タイ国

先端科学技術研究能力強化・人材育成

事業準備調査【有償勘定技術支援】

ファイナルレポート

（先行公開版）

2026 年 2 月

株式会社 オリエンタルコンサルタンツグローバル

特定非営利活動法人アジア科学教育経済発展機構

株　式　会　社　　梓　　設　　計

東大
JR(P)
26-022

序　文

独立行政法人国際協力機構は、タイ国科学技術研究能力強化・人材育成事業（調査名：タイ国先端科学技術研究能力強化・人材育成事業準備調査【有償勘定技術支援】）を実施することを決定し、同調査を株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル・特定非営利活動法人アジア科学教育経済発展機構 ・株式会社梓設計共同企業体に委託しました。

調査団は、令和4年9月から令和8年2月までタイの政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地踏査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

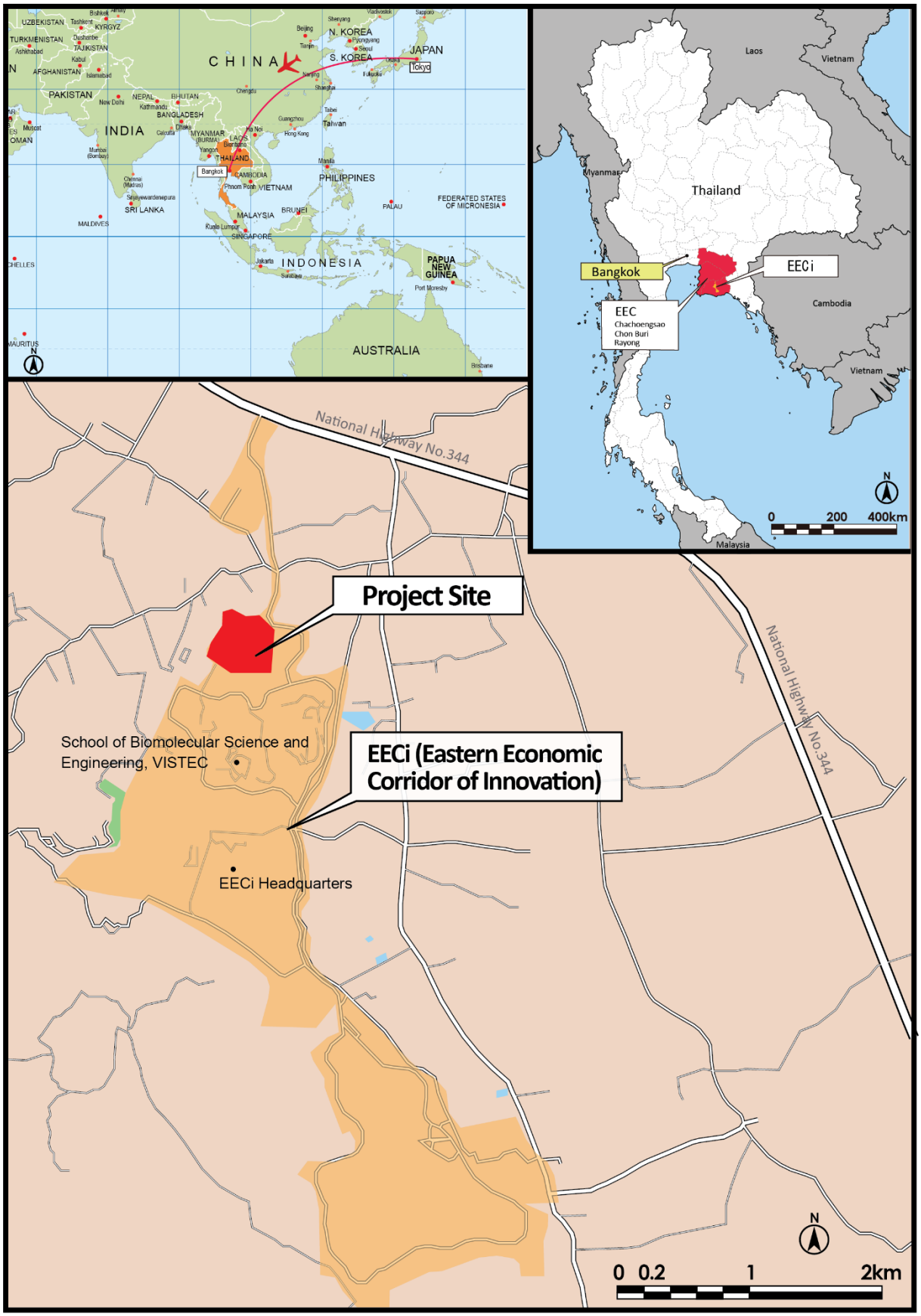
終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

令和8年2月

独立行政法人国際協力機構

東南アジア・大洋州部

部長　　米田　元


CHINA
N. KOREA
S. KOREA
JAPAN
Tokyo
INDIA
PAKISTAN
AFGHANISTAN
BANGLADESH
NEPAL
BHUTAN
MYANMAR
LAOS
THAILAND
CAMBODIA
VIETNAM
PHILIPPINES
MALAYSIA
SINGAPORE
INDONESIA
BRUNEI
PAPUA NEW GUINEA
AUSTRALIA
Laos
Vietnam
Myanmar
Thailand
Cambodia
Malaysia
Bangkok
EECi
EEC
Chachoengsao
Chon Buri
Rayong
0 200 400km
National Highway No.344
Project Site
School of Biomolecular Science and Engineering, VISTEC
EECi (Eastern Economic Corridor of Innovation)
EECi Headquarters
0 0.2 1 2km

調査対象地域図

要　約

1. プロジェクトの概要

タイ政府は「第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）」および「第 13 次国家経済社会開発計画（2023-2027）」において、先進国入りを果たすために、次世代産業とサービスの競争力を高めることによる国際競争力の向上に必要な重点課題として、国家的研究開発インフラへの投資を掲げている。また、科学技術研究能力の向上、産業の高度化、研究開発の人材育成等からなる産業高度化政策「タイランド 4.0」を最重要戦略として掲げており、具体的な施策の一つとして、東部経済回廊（Eastern Economic Corridor、以下 EEC）において、人工知能・ロボット工学・自動化・バイオテクノロジー等の研究開発の拠点となるイノベーション特区（Eastern Economic Corridor of Innovation、以下 EECi）を設置し、産官学による研究開発の拠点整備を推進している。

研究開発インフラの一つであるシンクロトロン放射光施設は、加速された電子を磁石で曲げることで発生させた強力な X 線（放射光）で限りなく小さいものを観察するための施設であり、医学・生命科学や環境・地球科学、材料科学など産業的利用も含め領域横断的に研究を支えるものである。タイでは、ナコンラチャシマ県の国立放射光研究センター（National Synchrotron Research Center、以下 NSRC）の後進となるシンクロトロン放射光研究所（The Synchrotron Light Research Institute、以下 SLRI）において、1990 年代に第 2 世代放射光施設が日本から提供され、日本の協力により放射光施設が設立されている。他方、タイ国内では学術・産業界からは高エネルギー・高輝度かつ多様な X 線へのニーズが高まっているが、第 2 世代放射光施設は 1970～80 年代に確立した技術であり、タイの既存施設で利用できる X 線は質・種類ともに限定的であることから、高度な放射光研究の実施には他国の放射光施設を利用せざるをえない状況となっている。高度化・多様化する学術・産業界の放射光研究ニーズに対応するためには、マイクロ・ナノメートル単位で X 線を照射でき、より高度・多様な分析を可能とする次世代放射光施設が必要である。

かかる状況下、タイ政府は、独自に次世代放射光施設整備に係るフィージビリティ・スタディ調査（以下 F/S）を実施し、2016 年に完成している。また、同調査結果を踏まえ、2020 年にタイ閣議にて次世代放射光施設整備に係る事業計画の承認を得ている。その後、2021 年 11 月には同じくタイ独自で詳細設計調査（以下 D/D）も完成している。今般、タイ財務省と高等教育科学技術研究イノベーション省（以下 MHESI）と SLRI は JICA に対し、円借款による次世代放射光施設整備（円借款候補案件「先端科学技術研究能力強化・人材育成事業」、以下「本事業」）の可能性の検討を依頼した。本事業は、ラヨーン県に位置するイノベーション特区（EECi）において、先端科学技術研究のための次世代放射光施設及び関連設備を整備することで、同国の先端科学技術研究能力、学術・産業界との連携強化や人材育成を図るものであり、タイ政府の「第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）」に掲げられた国家的研究開発インフラへの投資に不可欠な優先度の高い案件であることに加え、東南アジア地域初の次世代放射光施設となることから周辺国による施設利用も促進され、ASEAN の学術機関・大学・企業の放射光を用いた研究の地域拠点として連携強化が期待できることや、本邦学術機関等との共同研究等の更なる推進につながることなどから、実施意義の大きい案件であると考えられる。

本調査は、タイ側が作成した F/S 及び D/D のレビューを行った上で、本事業の審査に必要な追加的な情報収集を目的として実施するものである。

2. 調査結果の概要と事業内容

先端科学技術研究のための次世代放射光施設の整備及び人材育成を行うために、本事業は以下の内容を含む。

1) 次世代放射光施設の機材調達（線形加速器、シンクロトロン、蓄積リング（30 億電子ボルト：3.0GeV）、ビーム輸送ライン、ビームライン（7 基）
2) 次世代放射光研究施設の建屋建設
3) 関連設備（研究室、ユーティリティ、事務棟、宿泊棟）整備
4) 人材育成・技術移転
5) コンサルティング・サービス（詳細設計への助言、入札補助、施工監理、統合能力強化等）

2-1. 施設計画

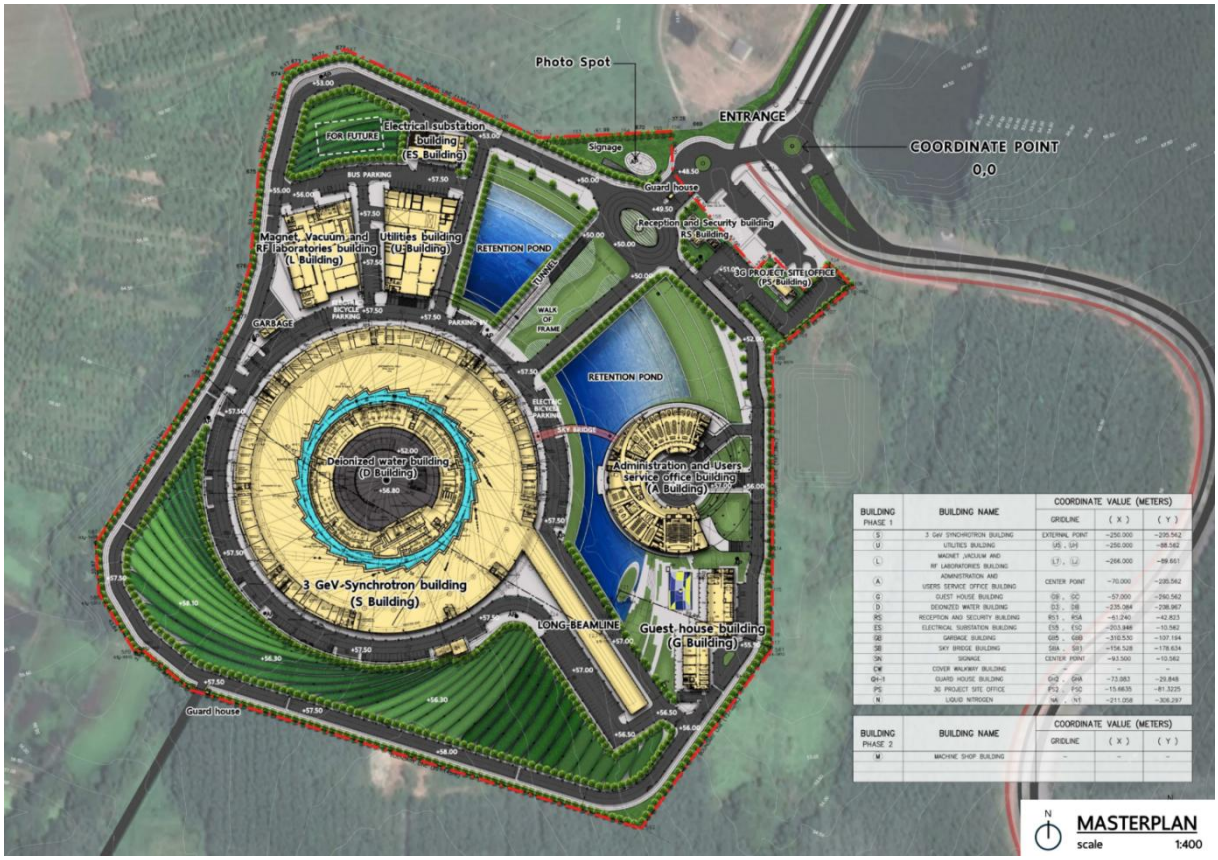
下図に示す 8 つの建物を順次整備していく方針である。



出所：SLRI

図 1　新設シンクロトロン放射光施設（SPS-Ⅱ）施設鳥瞰図

配置図を以下に示す。アプローチ道路の正面に建つシンクロトロン建物を中心に、6 棟の建物を配置し、研究施設及びアドミ施設の為の将来拡張用のスペースを確保している。



Legend: A: Administration Building and User Service Office, D: DI Water Building, G: Guest House, S: 3GeV Synchrotron Building, L: Magnet, Vacuum and RF Laboratories, U: Utilities Building, ES: Electrical Substation, RS: Reception and Security

出所：SLRI

図 2　施設配置図

表 1　施設の概要

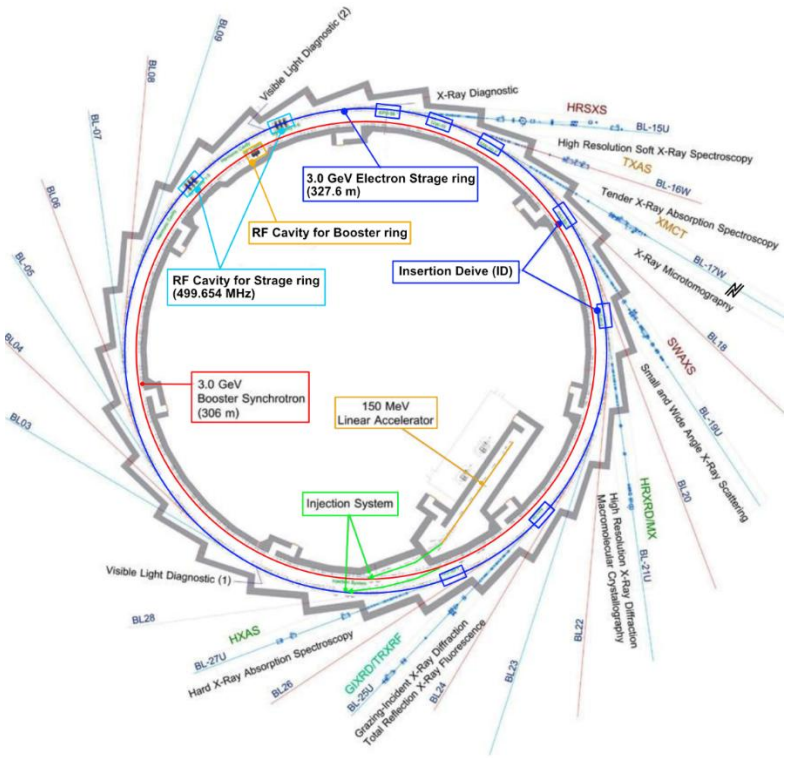
	建物名称	階数	構造	床面積（㎡）
1	3 GeV synchrotron building (S Building)	2	Steel frame (storage tunnel is RC)	32,126
2	Utility building (U Building) for synchrotron light source (including wastewater treatment building)	3	RC	7,214
3	Deionized (DI) water building (D Building)	3	RC	814
4	Magnet, vacuum and RF laboratories building (L Building)	2	RC	2,349
5	Administration and user service office building (A Building)	3	RC	5,805
6	Guest house building (G Building)	3	RC	3,950
7	Reception and security building (RS Building)	1	RC	53
8	Electrical substation 115 kV / 22 kV (ES Building)	1	RC	932
			計	53,243

その他：Infrastructure work & landscape including garbage storage (91 ㎡), signage work

出所：SLRI

2-2.　加速器計画

新設するシンクロトロン放射光施設（SPS-II）の加速器は、150MeV の入射直線加速器（入射ライナック）、3.0GeV ブースターシンクロトロン、3.0GeV 蓄積リングの 3 つの主要コンポーネントから構成されている。

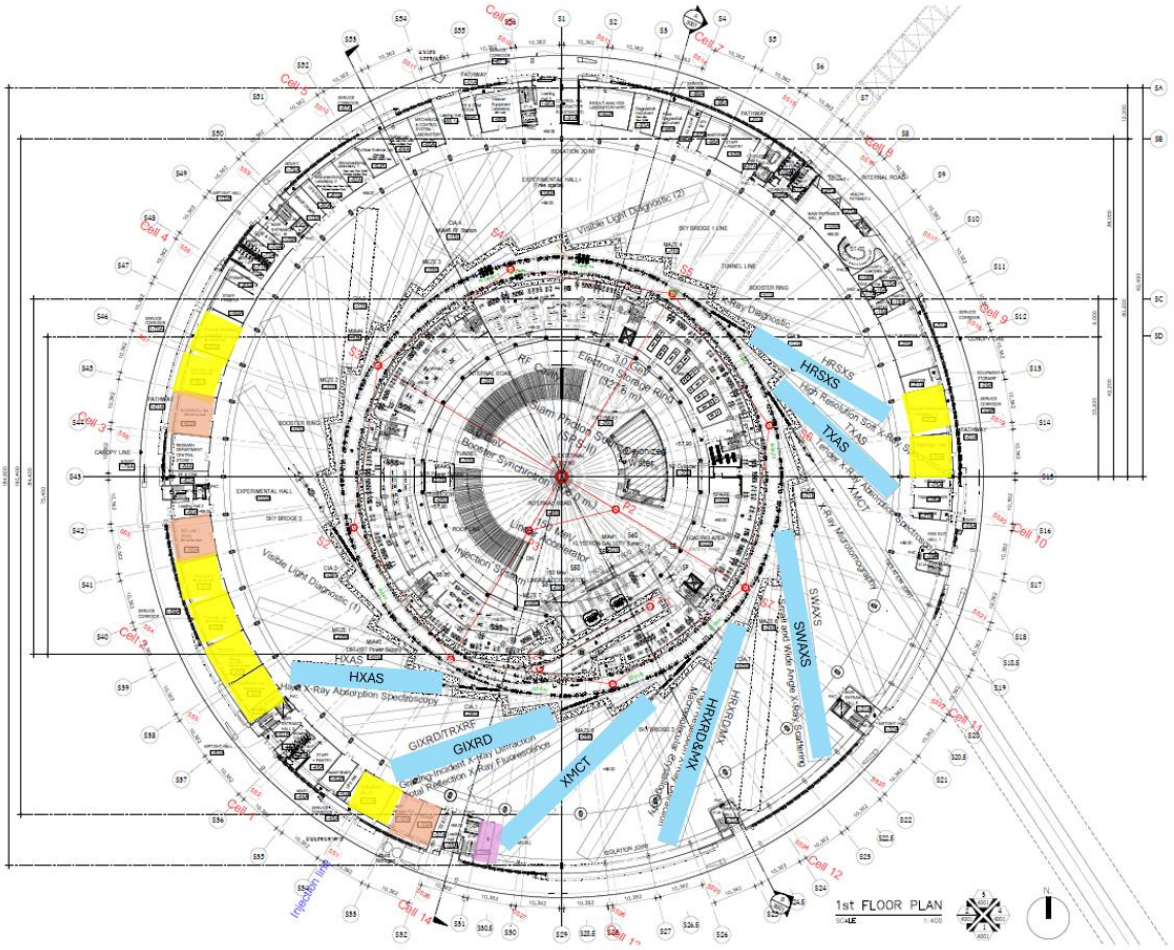


出所：SLRI

図 3　SPS-II 用 150 MeV 入射ライナックの概略図（単位:mm）

2-3.　ビームライン計画

SPS-II では、第 1 期として 7 本のビームラインを設置する予定である。下図に SPS-II で計画しているビームラインレイアウトの模式図を示す。SPS-II 蓄積リングには、長直線部が 11 箇所、短直線部が 10 箇所の計 21 箇所の挿入光源（ID）を設置することが可能となっている。



出所：SLRI

図 4　SPS-II ビームラインレイアウト概略図

SPS-II では、第 1 期として 7 本のビームラインを設置する予定である。そのラインナップを表 4-18 に示す。これらのビームラインは、SPS の既存利用者および将来の利用を予定している研究者や産業界からのニーズ調査結果に基づき計画されたものである。下表によれば、SPS-II のビームラインは、硬 X 線ビームライン 5 本、軟 X 線ビームライン 1 本、斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームライン 1 本で構成されている。

表 2　SPS-II 用ビームラインのラインナップ（第 1 期）

ビームライン名		エネルギー領域
HRSXS	高分解能軟 X 線分光ビームライン	90 eV – 2.5 keV
TXAS	テンダーX 線吸収分光ビームライン	1.8 – 13.0 keV
HXAS	硬 X 線吸収分光ビームライン	6.0 – 35.0 keV
XMCT	X 線マイクロトモグラフィビームライン	10.0 – 60.0 keV
HRXRD/MX	高分解能 X 線回折ビームライン/巨大分子結晶構造解析ビームライン	9.0 – 27.0 keV
SWAXS	小角広角 X 線散乱ビームライン	8.0 – 20.0 keV
GIXRD/TRXRF	斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームライン	8.0 – 28.0 keV

出所：SLRI

2-4. 調達方法・計画（非公開）

（一定期間非公開）

2-5. プロジェクト実施スケジュール

事業の実施スケジュールは以下の通り。

表 3　事業実施スケジュール

マイルストーン	スケジュール
借款契約	2026 年 4 月
コンサルタント（PMC）選定（パッケージ 4)	2026 年 3 月～2026 年 11 月
入札：施設（パッケージ 1)	2026 年 12 月～2028 年 2 月（14.5 か月）
入札：加速器（パッケージ 2)	2026 年 10 月～2030 年 1 月（39.5 か月）
入札：ビームライン（パッケージ 3)	2027 年 1 月～2030 年 4 月（39.5 か月）
施設建設工事（パッケージ 1)	2028 年 3 月～2031 年 4 月（38 か月）
瑕疵期間	2031 年 5 月～2032 年 4 月（12 か月）
加速器調達（パッケージ 2) （保証期間を含む）	2027 年 10 月～2034 年 4 月（79 か月）
ビームライン調達（パッケージ 3) （保証期間を含む）	2028 年 3 月～2033 年 11 月（69 か月）
ビームライン設置	2033 年 2 月～2033 年 10 月
最初のビーム（ID（挿入装置）なし）	2033 年 3 月
ビームライン試運転（最終機器試運転を含む）	2033 年 11 月～2034 年 7 月
事業完了、ビームサービス開始（第 1 フェーズ運用）	2034 年 8 月
コンサルティングサービス完了（パッケージ 4)	2034 年 8 月

※ コンサルタント選定、入札の計画期間は、JICA が定める標準実施期間に準じて設定されている。

※ SLRI による詳細設計は事業実施スケジュールに合わせて調整が必要である。

出所：調査団

2-6. 概略事業費の積算（非公開）

（一定期間非公開）

2-7. タイ政府負担の対象範囲（非公開）

（一定期間非公開）

3. プロジェクトの評価（非公開）

（一定期間非公開）

目　次

序　文
調査対象地域図
要　約
目　次
資料目次
表目次
図目次
略語集

ページ

1.　業務の概要 1
1.1　調査の背景 1
1.1.1　事業の目的 2
1.1.2　事業の概要 2
1.1.3　対象地域 2
1.1.4　事業責任機関および事業実施機関 2
1.2　調査の目的 2
1.3　調査の範囲 2
1.4　調査の方法 3

2.　事業の背景、経緯、課題およびニーズの確認 4
2.1　タイ国における開発計画や上位計画、国際的動向 4
2.1.1　国家経済社会開発計画 4
2.1.2　タイランド 4.0 4
2.1.3　国際的及び ASEAN 圏内における科学技術政策 5
2.1.4　タイ国の科学技術政策概観 7
2.1.5　タイ国の研究開発実施体制 11
2.2　科学技術研究分野の研究開発人材 19
2.2.1　タイの研究開発人材の全体像 19
2.2.2　研究論文 24
2.2.3　特許 26
2.2.4　産官学連携事業 28
2.2.5　大学発ベンチャー企業 29
2.3　放射光施設の概要（仕組み）・特徴 31
2.3.1　放射光施設の仕組み 31
2.3.2　タイ国内の放射光施設の開発変遷 35
2.3.3　日本や他の国の放射光施設と技術の優位性 37
2.3.4　放射光施設の運営・維持管理体制 40

2.4　既存の第 2 世代放射光施設（SPS-I）の概要・活用状況（推移）・課題 49
2.4.1　SPS-I の概要 49
2.4.2　SPS-I にあるビームラインの概要 51
2.4.3　SPS-I の利用状況 53
2.4.4　今後の活用・開発計画や課題等 61
2.5　世界の放射光施設建設の潮流（分布）及び周辺国の主要な放射光施設の概要・活用状況・課題、今後の建設計画 61
2.6　対象事業と関連する需要調査 63
2.6.1　産業界における新領域創成に関する動向と放射光研究活用の可能性 63
2.7　他の援助機関・国のタイの科学技術研究セクターへの対応 64
2.7.1　先端科学技術分野の国別援助 64
2.7.2　タイの行政機関・国による科学技術研究部門への対応 65
2.7.3　SLRI と他国・組織との協力 66
2.8　事業対象地域及びその周辺の経済・社会状況 67
2.8.1　EECi について 67
2.8.2　EECi の企業情報 68
2.8.3　EECi の研究機関 70
2.9　本事業の必要性と国家目標及び上位計画との整合性 71

3.　タイ側の事業計画および代替案の検討 73
3.1　タイ側の事業計画 73
3.1.1　本事業計画の検討経緯及び最新状況の確認・整理 73
3.2　代替案の検討 81
3.2.1　設計・実施における予算の配分方針 81
3.2.2　入射用加速器の考え方 82
3.2.3　入射ライナックの周波数バンド考え方 82

4.　加速器およびビームラインの概念設計の結果 83
4.1　加速器（入射ライナック、ブースターシンクロトロン、蓄積リング）の基本デザイン 83
4.1.1　150 MeV 入射ライナック 84
4.1.2　3.0 GeV ブースターシンクロトロン 88
4.1.3　3.0 GeV 蓄積リング 95
4.2　ビームライン（第 1 期）のの設計・計画 110
4.2.1　ビームライン（第 1 期）の概要 110
4.3　フェーズ 2 以降のビームライン将来計画 119
4.4　加速器およびビームラインのリスク管理とバックアップ計画 121
4.4.1　加速器の設計段階および試験段階でのリスク管理 121
4.4.2　インストールおよびコミッショニング時のリスク項目 122
4.4.3　放射線安全管理に係る計画策定 123

5.　概略設計の評価 128
5.1　敷地現況 128

5.1.1　自然条件 128
5.1.2　インフラ 134
5.1.3　施設設計基準 135
5.2　放射線安全管理に係る計画策定 136
5.2.1　タイ国における放射線規制と設計線量制限 136
5.2.2　遮蔽設計 136
5.2.3　遮蔽トンネルモデルの線量推定 136
5.2.4　蓄積リングトンネル部の遮蔽モデル 137
5.2.5　ビームラインの遮蔽 138
5.3　建物及び関連施設の概略設計 139
5.3.1　次世代放射光施設の建屋及び関連施設 139
5.3.2　構造計画 145
5.3.3　電気設計 152
5.3.4　冷却設備 155
5.3.5　給排水衛生設備 162
5.3.6　電気・冷却・空調・保守・防災や放射光モニタリング等の設備設計・計画 166
6.　事業計画 167
6.1　事業実施体制 167
6.1.1　本事業の主要機関 167
6.1.2　施設建設事業 168
6.1.3　機材の調達 169
6.2　施工方法・施工計画 169
6.2.1　建設条件の確認 170
6.2.2　建設現場の労務者について 171
6.3　調達方法・調達計画 172
6.3.1　調達方法の検討 172
6.3.2　入札パッケージの整理（非公開） 174
6.3.3　施設建設（非公開） 174
6.3.4　機材調達 175
6.3.5　プロジェクトマネージメントコンサルタント（PMC）の調達 176
6.3.6　施工監理コンサルタントの調達 176
6.4　免税措置の確認 176
6.4.1　直接税 176
6.4.2　間接税 176
6.5　事業実施スケジュールおよび概略事業費 177
6.5.1　プロジェクト実施スケジュールの検討 177
6.5.2　建設許可手続き 180
6.5.3　PMC コンサルティング・サービスの実施計画（非公開） 180
6.5.4　概略事業費の積算（非公開） 180

6.5.5　円借款事業の迅速化およびコスト縮減策（非公開）.....180
6.6　タイ政府負担の対象範囲（非公開）.....180

7.　利用制度.....181
7.1　ビームラインの利用制度.....181
7.1.1　SPS-I の利用制度.....181
7.1.2　SPS-I のユーザーを対象とした満足度調査.....183
7.1.3　SPS-II の利用制度.....185
7.1.4　日本の放射光施設の利用制度.....186
7.2　産学連携促進のための利用制度.....188
7.2.1　現状.....188
7.2.2　将来計画.....196
7.3　軍事利用.....197

8.　運営維持管理計画.....198
8.1　SPS-II の運転維持管理体制.....198

9.　人材育成.....201
9.1　SLRI の組織改編.....201
9.2　SPS-II プロジェクトチーム.....203
9.3　新規採用条件.....205
9.4　人材育成計画.....205
9.4.1　オンザジョブトレーニング(OJT).....206
9.4.2　奨学金による留学プログラム.....207
9.4.3　シンクロトロン学校と加速器学校.....208
9.4.4　招へい専門家によるオンサイトの人材育成.....210
9.4.5　共同研究プログラム.....210
9.4.6　放射光技術研究に関するアカデミックプログラムの設置.....211

10.　本邦招聘（J-TRIP）.....212
10.1　目的.....212
10.2　プログラム日程.....212
10.3　参加者.....213
10.4　得られた成果.....213

11.　経済財務計画（非公開）.....214

12.　環境社会配慮.....215
12.1　環境配慮に関する法令や許認可.....215
12.1.1　国家環境保全推進法（NEQA）（No.2）（2018）.....215
12.1.2　初期環境影響評価（IEE）.....216
12.1.3　EIA の必要性の確認.....217
12.2　SLRI の廃棄物管理.....218

12.2.1 排水システム 218
12.2.2 固形廃棄物の管理 218
12.2.3 危険廃棄物の管理 219
12.2.4 放射性廃棄物の管理 220
12.3 気候動対策事業としての案件形成に係る情報収集・分析 220
12.3.1 JICA Climate-FIT に対する立場 220
12.3.2 タイの更新された 2020 年国家決定拠出金への適応 220
12.3.3 将来の気候リスク分析 221
12.4 ジェンダー主流化ニーズ 223
12.4.1 タイにおけるジェンダーに関連する社会規範・慣習 223
12.4.2 先端科学技術分野における状況 224
12.4.3 他ドナーによる活動 224
12.4.4 実施機関における女性の雇用促進や管理職割合、技術者育成等のジェンダーに係る方針 224
12.4.5 本事業における提案 225

資料目次

Attachment 1: SPS-I's Users Information
Attachment 2: Vibration Survey Report
Attachment 3: Topographic Survey Result from SLRI
Attachment 4: Facility Design Documents Prepared by DKW Consortium
Attachment 5: Outline of OJT
Attachment 6: JICA Environmental Checklist

表目次

ページ
表 2-1　第 12 次および第 13 次国家経済社会開発計画で提起された重要な課題....4
表 2-2　2022 年 11 月 30 日までの SYNAPSE の EXECUTIVE BOARD....6
表 2-3　SPS-I における X 線断層顕微鏡の SYNAPSE 利用実績....7
表 2-4　ASEAN 主要国の GERD 比較....8
表 2-5　セクター別研究開発費（2011 年から 2021 年）....9
表 2-6　民間部門よる研究開発投資の上位 3 分野....10
表 2-7　公的機関....13
表 2-8　タイの代表的な大学....14
表 2-9　セクター別研究開発費（2009 - 2019)....18
表 2-10　社の研究開発費まとめ....19
表 2-11　研究開発人材（分野別・年別）....22
表 2-12　奨学金供与数（機関・年度別）....23
表 2-13　国別留学生数（2018 年から 2022 年）....23
表 2-14　留学生研究分野トップ 20....24
表 2-15　アジア主要国の研究者数と論文数の比較....25
表 2-16　アジア主要国の研究者数と論文数の比較....25
表 2-17　アジア太平洋諸国における国際特許件数....27
表 2-18　主要大学のスタートアップ支援組織....29
表 2-19　CUIHUB が設立を支援したスタートアップ企業....30
表 2-20　エネルギー領域と計測手法....33
表 2-21　放射光施設の各設備の名称と機能....33
表 2-22　世代別の放射光施設の特徴....34
表 2-23　SSLS における HELIOS ビームラインの主なパラメータ....39
表 2-24　世界のリサーチコンプレックスと放射光施設について....39
表 2-25　SPS-I のビームライン一覧....51
表 2-26　SPS-I のビームライン....53
表 2-27　論文数まとめ（2016 - 2023)....57
表 2-28　2017~2022 年までのビーム利用に基づく各ビームラインの研究に対するシンクロトロンサービスの可能性....59
表 2-29　SLRI のサービス種類別収入額（2021 年）....60
表 2-30　SLRI のサービスの経済的付近価値概要（2021 年）....60
表 2-31　SPS-II 計画と類似する世界の次世代放射光施設について....62
表 2-32　他の援助機関・国のタイの科学技術研究セクターへの対応....64
表 2-33　4 つのプラットフォームとプログラム....65
表 2-34　SLRI と他国・組織との協力....66
表 2-35　SLRI と日本の学術機関との最近の研究協力....67

表 2-36　EEC の追加恩典 69
表 3-1　F/S サマリー表 73
表 3-2　D/D サマリー表 73
表 3-3　現状設計サマリー表 74
表 3-4　新敷地の位置 75
表 4-1　SPS-II 用入射ライナックの電子ビームパラメータ 85
表 4-2　マルチバンチモード（MBM）運転のライナック出口におけるビームパラメータ 86
表 4-3　シングルバンチモード（SBM）運転のライナック出口におけるビームパラメータ 86
表 4-4　その他の放射光施設におけるブースターシンクロトロン 88
表 4-5　SPS-II 用ブースターシンクロトロンの主なパラメータ 90
表 4-6　ブースターシンクロトロン用磁石の主なパラメータ 91
表 4-7　機能結合型磁石のデザインパラメータ 92
表 4-8　発散用四極磁石と六極磁石のデザインパラメータ 92
表 4-9　ブースターシンクロトロンに配置される電磁石用電源のデザインパラメータ 92
表 4-10　SPS-II 蓄積リングの主なパラメータ 98
表 4-11　蓄積リングに配置される磁石の主なパラメータ 98
表 4-12　蓄積リングに配置される二極磁石のデザインパラメータ 99
表 4-13　蓄積リングに配置される四極磁石のデザインパラメータ 99
表 4-14　蓄積リングに配置される磁石のデザインパラメータ 99
表 4-15　蓄積リングに配置される八磁石のデザインパラメータ 99
表 4-16　蓄積リングに配置される補正用磁石のデザインパラメータ 99
表 4-17　蓄積リングの RF システムのデザインパラメータ 101
表 4-18　SPS-II 用ビームラインのラインナップ (第 1 期) 112
表 4-19　SPS-II ビームラインの挿入光源の仕様 112
表 4-20　高分解能軟 X 線分光 ビームラインの技術仕様 113
表 4-21　テンダーX 線吸収分光ビームラインの技術仕様 114
表 4-22　硬 X 線吸収分光ビームラインの技術仕様 115
表 4-23　X 線マイクロトモグラフィビームラインの技術仕様 116
表 4-24　高分解能 X 線回折ビームライン/巨大分子結晶構造解析ビームラインの技術仕様 117
表 4-25　小角広角 X 線散乱ビームラインの技術仕様 118
表 4-26　斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームラインの技術仕様 118
表 4-27　フェーズ 2 以降のビームラインラインナップ計画 120
表 5-1　ラヨーン県の気象データ 128
表 5-2　ラヨーン県の風速 129
表 5-3　積載荷重表 147
表 6-1　本件の対象施設 170
表 6-2　JICA 円借款事業の入札に係るガイドライン 172
表 6-3　標準入札図書(SBD) 172
表 6-4　タイにおける LCB による建築工事及び関連資機材の調達手順 173
表 6-5　LCB 調達手順のタイムライン 174

表 6-6　事業実施スケジュール....177
表 6-7　建設許可手続き....180
表 7-1　SPRING-8 のビームライン構成（2022 年 8 月現在）....181
表 7-2　SPS-1 の利用料金表....181
表 7-3　日本の代表的な放射光施設の利用制度のまとめ....182
表 7-4　満足度調査のグループ別サンプル数....183
表 7-5　グループ別の全体満足度....183
表 7-6　サービスの再度利用の意思....184
表 7-7　グループ 1 と 2 のユーザー区分（新規・既存）....184
表 7-8　SPS-II の想定料金表....185
表 7-9　日本の放射光施設の利用制度・情報提供の概要....187
表 7-10　SLRI の民間部門向けサービスのまとめ：業種別・サービス別（2012 年から 2022 年）....189
表 7-11　評価基準と計算方法....191
表 7-12　潜在的顧客層分析結果のまとめ....192
表 8-1　SPS-II の人員配置計画....199
表 9-1　新規採用と配置の計画....202
表 9-2　SPS-II 事業に関連する部局の人員構成 (2028 – 2032)....203
表 9-3　SPS-II プロジェクトチームの人員構成....204
表 9-4　SLRI の新規採用の雇用条件....205
表 9-5　OJT 実施記録....207
表 9-6　OJT の実施計画....207
表 9-7　タイの代表的な奨学金プログラムと 2022 年度の SLRI スタッフへの供与数....208
表 9-8　博士号の国別内訳....208
表 9-9　シンクロトロン・アクセレータースクールの参加者....210
表 10-1　プログラム日程....212
表 10-2　参加者リスト....213
表 12-1　NEQA2018 で廃止もしくは修正された点....215
表 12-2　EIA 規定の（2019）の基準（NO.27 建物建設）....217
表 12-3　排水システム....218
表 12-4　気候リスクマトリクス....222
表 12-5　タイにおけるジェンダーに関する施策例....226

図目次

ページ

図 2-1　国家戦略と諸計画の関係図....5
図 2-2　タイ GDP と、総研究開発費の対 GDP 比の推移....7
図 2-3　タイ国総研究開発費と GERD 予測....8
図 2-4　セクター別研究開発費....9
図 2-5　基礎研究と応研究別の研究開発費....10
図 2-6　タイ国の研究開発政策の実施体制....11
図 2-7　MHESI 傘下の公的研究機関....12
図 2-8　タイ大学類別の学生数....14
図 2-9　チュラロンコン大学の研究・教育....16
図 2-10　VISTEC の研究協力....17
図 2-11　部門別研究開発人材数推移....20
図 2-12　研究開発人材の育成目標....20
図 2-13　民間部門の研究者数内訳（2017 年）....21
図 2-14　タイ国の研究者による国際ジャーナルへの投稿論分数....24
図 2-15　タイ国の研究者による国際ジャーナルへの投稿論分数....26
図 2-16　タイ国の特許申請数（2012 - 2021)....26
図 2-17　タイでの特許申請数の国別内訳（2017)....27
図 2-18　チュラロンコン大学のスタートアップ支援組織....29
図 2-19　放射光施設の仕組み....31
図 2-20　年代別の放射光施設の特徴....35
図 2-21　タイ放射光施設開発の変遷....36
図 2-22　日本の国内放射光施設....38
図 2-23　SPRING-8 の運営体制....41
図 2-24　SPS-I の運転スケジュールのサンプル....42
図 2-25　SPS-I のシフト表のサンプル....43
図 2-26　チェックシートのサンプル....44
図 2-27　SOP のサンプル....45
図 2-28　ビームタイムの予定と実績（2014 年から 2023 年）....46
図 2-29　保守点検スケジュールのサンプル....48
図 2-30　上から：ナコンラチャシマ県にある SLRI 事務所,SPS-I マシンラインナップ＆パラメータ....50
図 2-31　SPS-I のビームラインのレイアウト....53
図 2-32　SPS-I のビームタイム（2014 - 2023)....54
図 2-33　SPS-I の利用者数（2003 - 2023)....55
図 2-34　SPS-I の地域別利用者（2018 - 2023)....55
図 2-35　SPS-I の研究プロジェクト数（2003 - 2023)....56

図 2-36　ビームライン別研究プロジェクト数（2003 - 2023)....57
図 2-37　各ビームラインの研究分野別利用回数....58
図 2-38　SLRI が提供するその他サービス（セクター別）....60
図 2-39　放射光を利用した先端研究開発の普及....63
図 2-40　EEC 内の特別区....68
図 2-41　EEC 促進スキームにおけるインセンティブと促進要因の概要....70
図 3-1　SPS-II、VISTEC、PTT 協力....75
図 3-2　SLRI による全体プロジェクトのスケジュール....3-78
図 3-3　円借款の L/A までの流れ....3-79
図 3-4　GOT の関連組織の機能と業務の流れ....3-80
図 4-1　SPS-II 用 150 MEV 入射ライナックの概略図（単位:MM）....83
図 4-2　シングルバンチモードとマルチバンドモード....85
図 4-3　SPS-II 用 150 MEV 入射ライナックの概略図（単位:MM）....87
図 4-4　入射ライナック用 RF システム構成....88
図 4-5　SPS-II ブースターシンクロトロンのラティス内磁石配列（図は単一ラティスの模式図）....90
図 4-6　ブースターシンクトロンの光学関数（ラティス 1 ユニット）(最大水平ベータトロン関数= 16.3M, 最大垂直ベータトロン関数=17.1M, AND 最大ディスパージョン関数=0.377M)....91
図 4-7　ブースターシンクロトロン用 RF アクセプタンス（計算値）....93
図 4-8　ブースターシンクトロンの RF キャビティの配置場所....94
図 4-9　ブースターシンクロトロン用 RF 5 セル PETRA-RF 空洞の模式図と写真....94
図 4-10　ブースターシンクトロンの RF キャビティの回路図....95
図 4-11　DTBA ラティスの模式図....96
図 4-12　DTBA セルにおける光学機能....97
図 4-13　SPS-II 蓄積リング用の RF 空洞の概念図と写真....100
図 4-14　蓄積リングの RF アクセプタンス（計算値）....102
図 4-15　DTBA 単位セルの概略図（上）、DTBA 単位セルの真空チャンバー断面の概略図（中）、放射光経路を含む真空チャンバーの概略図（下）....103
図 4-16　曲がり部の直線部の標準的な断面図（単位:MM）....104
図 4-17　曲げセクションの直線ビームダクトの標準直線部....104
図 4-18　ベンディング上流部およびベンディング下流部の概要図....105
図 4-19　曲げチャンバーの概要と寸法....105
図 4-20　多極磁石のチャンバーの断面図（最小厚さ 2.0MM、最小クリアランス 0.5MM）....106
図 4-21　PVCB-1 の概略図（上部）と曲げチャンバーPVCB-1 の断面図（下部）....107
図 4-22　PVCB-2 の概略図（上部）と曲げチャンバーPVCB-2 の断面図（下部）....108
図 4-23　PVCB-3 の概略図（上部）と曲げチャンバーPVCB-3 の断面図（下部）....109
図 4-24　PVCB-4 の概略図（上部）と曲げチャンバーPVCB-4 の断面図（下部）....110
図 4-25　SPS-II ビームラインレイアウト概略図....111
図 4-26　高分解能軟 X 線分光 ビームラインの光学デザイン概略図....113

図 4-27　テンダーX 線吸収分光ビームラインの光学デザイン概略図 114
図 4-28　硬 X 線吸収分光ビームラインの光学デザイン概略図 115
図 4-29　X 線マイクロトモグラフィビームラインの光学デザイン概略図 116
図 4-30　高分解能 X 線回折ビームラインと巨大分子結晶構造解析ビームラインの光学デザイン概略図 117
図 4-31　小角広角 X 線散乱ビームラインの光学デザイン概略図 118
図 4-32　斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームラインの光学デザイン概略図 119
図 4-33　ビームラインの将来計画 119
図 4-34　SPS-II ビームラインに対するニーズ調査計画 121
図 4-35　SPSRMS-II の構成 125
図 4-36　SPS-II の放射線モニタリングのレイアウト図 125
図 5-1　ラヨーン県の年間平均気象データ 129
図 5-2　タイ国の過去 11 年間（2005～2015 年）の洪水頻度 130
図 5-3　プレートマップ 131
図 5-4　タイ国断層マップ 131
図 5-5　敷地周辺写真 132
図 5-6　敷地使用に係る MOC 133
図 5-7　敷地現状写真（左：樹木、右：ゴム農園） 133
図 5-8　左: 今回サイトの PSD ; 右: 世界の研究施設の PSD 134
図 5-9　左：遮蔽トンネルと迷路設計のガンマ線量分布、右：遮蔽トンネルと迷路設計の中性子量分布 137
図 5-10　コンクリート遮蔽壁の位置と厚さ 138
図 5-11　放射線モニターの配置 139
図 5-12　SPS-II施設鳥瞰図 139
図 5-13　施設配置図 142
図 5-14　出入口と連絡橋(左: 1 階、右: 2 階) 143
図 5-15　階高及び天井高削減案 144
図 5-16　平滑床工事 (左: 専用機器、右: 磨いた後の床) 145
図 5-17　構造設計における考慮点 146
図 5-18　鉄骨屋根伏図 148
図 5-19　微振動対策の方針 149
図 5-20　鉛直変位への対策方針 150
図 5-21　地域の地震波 151
図 5-22　単線結線図（LOOP 3） 153
図 5-23　発電機、変圧器配置図 154
図 5-24　UPS 配置図 154
図 5-25　発電機配置図 155
図 5-26　シンクロトロン冷却水系統図 156
図 5-27　建物冷水系統図 156
図 5-28　ユーティリティー棟平面図(左:熱源配置、右:冷却塔配置) 157

図 5-29　実験ホール内空調ダクト図.....158
図 5-30　蓄積リング内空調ダクト図.....158
図 5-31　防振対策(左：ダクト、右：配管).....159
図 5-32　断滅計画.....159
図 5-33　ビームラインハッチ配置.....160
図 5-34　ビームラインハッチの空調吹出口計画部.....161
図 5-35　給水フロー図.....162
図 5-36　給水系統図.....162
図 5-37　水製造設備フロー図.....163
図 5-38　DI 水 製造装置室配置図.....163
図 5-39　排水フロー図.....164
図 5-40　再生水処理装置.....164
図 5-41　不活性ガス消化範囲図.....165
図 5-42　特殊ガス配管系統図.....165
図 6-1　SLRI 新体制図（2024 年 12 月時点).....167
図 6-2　プロジェクト実施体制案.....168
図 6-3　VISTEC キャンパス内の開発状況.....170
図 6-4　プロジェクト実施スケジュール.....179
図 7-1　SLRI のサービスプラットホーム.....188
図 7-2　放射光サービス統計と関連技術（2010-2023 年度）.....189
図 7-3　事例（技術移転／民間セクター等関連機関との会議）（2019-2020 年度）.....195
図 7-4　事例（技術移転／民間セクター等関連機関との会議）（2021 年度）.....195
図 7-5　事例（技術移転／民間セクター等関連機関との会議）（2022 年度）.....196
図 8-1　SLRI の組織体制（2033 年）.....200
図 9-1　共同研究プログラムの概略図.....211
図 12-1　内閣（左）と自然資源環境省（MNRE）（右）からの公式書簡.....216
図 12-2　ONEP からの公式書簡.....217
図 12-3　MNRE が指定する影響を受けやすい範囲.....218
図 12-4　SLRI の廃棄物保管用建物.....219
図 12-5　化学性廃棄物保管用の建物.....219
図 12-6　ライセンスのある会社による廃棄物収集.....220
図 12-7　女性の労働参加率推移（タイ、東南アジア・太平洋地域）.....223
図 12-8　SLRI 経営陣 (2023 年 ANNUAL REPORT より).....225
図 12-9　年代別ジェンダーギャップ.....225

略語集

12th Development Plan	The Twelfth National Economic and Social Development Plan (2017-2021)
13th Development Plan	The Thirteenth National Economic and Social Development Plan (2023-2027)
ADB	Asian Development Bank
AFM/STM	Atomic Force Microscope/ Scanning Tunneling Microscope
AI	Artificial Intelligence
Aichi SR	Aichi Synchrotron Radiation Center
AJCCST	ASEAN-Japan Cooperation Committee on Science and Technology
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
AOFSRR	Asia Oceania Forum for Synchrotron Radiation Research
APRIS	ASEAN-EU Programme for Regional Integration Support
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations
ASTNET	ASEAN Science and Technology Network
B/C	Benefit-Cost
B/D	Basic Design
BD	Combined-Function Dipole Magnets
BIOTEC	Bioscience and Biotechnology (research institute under NSTDA)
BOI	Board of Investment of Thailand
BOQ	Bill of Quantities
BPM	Beam Position Monitor
BS	Booster Synchrotron
BSE	School of Biomolecular Science and Engineering (VISTEC)
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CAPEX	Capital Expenditure
CDI	Coherent Diffraction Imaging
CEDAW	Convention on the Elimination of Discrimination against Women
CIRAD	The French Center for International Cooperation in Agricultural Technology
CIT	Corporate Income Tax
CNC	Computer Numerical Control
CO2	Carbon dioxide
COST	Committee on Science and Technology
COSTI	Committee on Science, Technology, and Innovation
COVID-19	Coronavirus disease of 2019
CP Group	Charoen Pokphand Group
CPF	CP Food Lab

CPGE	Committee to Promote Gender Equality
CS	Construction Supervision Consultant
CU	Chulalongkorn University
CU iHub	Chulalongkorn University Innovation Hub (startup management supporting unit of Chulalongkorn University)
D/D	Detailed Design
DBA	Double Bend Achromat
DCM	Double Crystal Monochromator
DECTRIS Ltd.	A Swiss company producing photon counting X-ray detectors
DI water	Deionized water
DIP	Department of Intellectual Property
DMM	Double Multilayer Monochromator
DTBA	Double Triple Bend Achromat
DXL	Deep X-ray Lithography
E/N	Exchange of Notes
EbA	Ecosystem-based Adaptation
EBITDA	Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization
EDD	Energy-Dispersive X-Ray Diffraction
EEC	Eastern Economic Corridor
EECa	Eastern Airport City (EEC Special Zones)
EECd	Digital Park (EEC Special Zones)
EECi	Eastern Economic Corridor of Innovation
EECmd	Medical Hub (EEC Special Zones)
EHIA	Environmental Health Impact Assessment
EIA	Environmental Impact Assessment
EIRR	Equity Internal Rate of Return
ENPV	Economic Net Present Value
ENTEC	Energy Technology (research institute under NSTDA)
EPICS-IOC	Experimental Physics and Industrial Control System – Input/Output Controller
EPU	Elliptical Polarization Undulator
ESE	School of Energy Science and Engineering (VISTEC)
ESRF	The European Synchrotron Radiation Facility
ESS	European Spallation Source
EU	European Union
EV	Enterprise Value
EVA	Economic Value Added

F/S	Feasibility Study
FAR	Floor Area Ratio
FDA	Food and Drug Administration
FEL	Free-Electron Laser
FIRR	Financial Internal Rate of Return
FLUKA	Fluktuierende Kaskade (German for Fluctuating Cascade)
FNPV	Financial Net Present Value
FRC	Frontier Research Centre (VISTEC)
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
FXI	Full Field X-ray Imaging
GDP	Gross Domestic Product
GERD	Gross domestic expenditure on research and experimental development
GHG	Green House Gas
GISTDA	Geo-Informatics and Space Technology Development Agency
GIWAXS	Grazing-Incidence Wide-Angle X-ray Scattering
GIXRD	Grazing-Incidence X-Ray Diffraction
GNSS	Global Navigation Satellite System
GOJ	Government of Japan
GOT	Government of Thailand
GUI	Graphical User Interface
HAII	Hydro and Agro Informatics Institute
HAPS UAV	High Altitude Pseudo-Satellite Unmanned Aerial Vehicle
HAXPES	Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy
HEPS	High Energy Photon Source (China)
HMBA	Hybrid Multi-Bend Achromat
HOM	Higher-Order Mode
HQ	Headquarter
HR	Human Resources
HRD	Human Resources Development
HRSXS	High Resolution Soft X-Ray Spectroscopy
HRXRD	High Resolution X-Ray Diffraction
HXAS	Hard X-Ray Absorption Spectroscopy
ICB	International Competitive Bidding
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
ID	Insertion Device

IEE	Initial Environmental Examination
ILO	International Labour Organization
INT	Institute for Technology and Innovation Management (startup management supporting unit of Mahidol University)
IOT	Internet of Things
IR	Infrared
ISMI	Infrared Spectro / Microscopy
IST	School of Information Science and Technology (VISTEC)
IWRM	Integrated Water Resources Management
JAEA	Japan Atomic Energy Agency
JAERI	Japan Atomic Energy Research Institute
JASRI	Japan Synchrotron Radiation Research Institute
JASTIP	Japan-ASEAN Science, Technology, and Innovation Platform
JETRO	Japan External Trade Organization
JICA	Japan International Cooperation Agency
JICA Climate-FIT	Jica Climate Finance Impact Tool
JST	JICA Study Team
KKU	Khon Kaen University
KMITL	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
KMUTT	King Mongkut's University of Technology Thonburi
KRIS	KMITL Research and Innovation Services (startup management supporting unit of KMITL)
KVIS	Kamnoetvidya Science Academy
KX	Knowledge Xchange for Innovation (startup management supporting unit of KMUTT)
L/A	Loan Agreement
LCB	Local Competitive Bidding
LED	Light-Emitting Diode
LIB	Limited International Bidding
LiMiNT	Lithography for Micro- and Nanotechnology
Linac	Linear Accelerator
LN2	Liquid Nitrogen
MAI	Market for Alternative Investment
MAX-IV	A Swedish national laboratory providing scientists with the most brilliant X-rays for research with Lund University as the host university
MBA	Multi-Bend Achromat
MBM	Multi-Bunch Mode
MEP	Mechanical, Electrical, Plumbing

MHESI	Ministry of Higher Education, Science, Research, and Innovation
MNRE	Ministry of Natural Resources and Environment
MOC	Memorandum of Cooperation
MOF	Ministry of Finance
MOST	Ministry of Science and Technology
MOU	Memorandum of Understanding
MPW	Multi-Pole Wiggler
MSE	School of Molecular Science and Engineering (VISTEC)
MTEC	Material and Manufacturing Technology (research institute under NSTDA)
MTHB	Million Thai Baht
MX	Macromolecular Crystallography
MXT	Multiple X-ray Techniques
NANOTEC	Nanoscience and Nanotechnology (research institute under NSTDA)
NARIT	National Astronomical Research Institute of Thailand
NBS-SURF	The National Bureau of Standards – Synchrotron Ultraviolet Radiation Facility
NDC	Nationally Determined Contribution
NECTEC	Electronics and Information Technology (research institute under NSTDA)
NEQA	National Environmental Quality Act
NESDB	Office of the National Economic and Social Development Board
NIMT	National Institute of Metrology Thailand
NQI	National Quality Infrastructure
NRCT	National Research Council of Thailand
NSLS-II	National Synchrotron Light Source II (USA)
NSRC	National Synchrotron Research Center *(previous name of SLRI)*
NSRRC	National Synchrotron Radiation Research Center of Taiwan
NSTDA	National Science and Technology Development Agency
NXPC	National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council
NXPO	Office of National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council
O&M	Operation and Maintenance
OAP	Office of Atoms for Peace
OCSC	Office of the Civil Service Commission
ODA	Official Development Assistance
OHEC	Office of the Higher Education Commission
OJT	On-the-Job Training
ONEP	Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning
OPEX	Operation Expenditure

OPS	Office of the Permanent Secretary
OSL	Optically Stimulated Luminescence
OSR	Open Space Ratio
P/Q	Prequalification
PAL	Pohang Accelerator Laboratory (South Korea)
PCIT	Phase Contrast Imaging and Tomography
PDF	Pair Distribution Function
PDMO	Public Debt Management Office
PEEM	Photoemission Electron Microscopy
PES	Photoemission Spectroscopy
PF	Photon Factory
PF-AR	Photon Factory Advanced Ring
PFE	Particulate Filtration Efficiency
PIU	Project Implementation Unit
PLS II	Pohang Light Source II (South Korea)
PMC	Project Management Consultant
PMU	Project Management Unit
PS	Power Supply
PSC	Project Steering Committee
PSD	Power Spectral Density
PSU	Prince Songkla University
PTT	(formerly known as) Petroleum Authority of Thailand
PVD	Prefabricated Vertical Drain
QCBS	Quality- and Cost-Based Selection
QD	Defocusing Quadrupole Magnets
QF	Focusing Quadrupole Magnets
QST	The National Institutes for Quantum Science and Technology (Japan)
R&D	Research & Development
RAMS	Radiation Area Monitoring System
RC	Reinforced Concrete
RF System	Radio Frequency System
RFR	Request for Reimbursement
RIKEN	A National Research and Development Agency of Japan
RIXS	Resonance In-elastic Spectroscopy
RO water	Reverse Osmosis water
RSC	Radiation Safety Committee

RSO	Radiation Safety Officer
S&T	Science & Technology
SAGA	UNESCO’s global STEM and Gender Advancement
SAGA-LS	SAGA Light Source, a compact 3rd generation SRF in Tosu City, Saga Prefecture, Kyushu, Japan.
SAXS	Small Angle X-ray Scattering
SBM	Single-Bunch Mode
SCF	Standard Conversion Factor
SCG	Siam Cement Group
SD	Defocusing Sextupole Magnets
SDR	Social Discount Rate
SEA	Strategic Environmental Assessment
SEDA	Student Entrepreneurship Development Academy (startup management supporting unit of Suranaree University of Technology)
SERI	SERI™ products are researched and fabricated using Thai silk fibroin protein solutions as drug/vaccine-controlled release carrier and artificial tissue
SES	SPRING EIGHT SERVICE
SET	Stock Exchange of Thailand
SF	Focusing Sextupole Magnets
SHB	Sub-Harmonic Buncher
SINS	Surface, Interface, and Nanostructure Science
SINS EUV	Surface, Interface and Nanostructure Science Extreme ultraviolet
SLRI	Synchrotron Light Research Institute
SLS	Swiss Light Source
SME	Small and Medium-sized Enterprise
SMPW	Superconducting Multi-Pole Wiggler
SOLEIL	Source optimisée de lumière d’énergie intermédiaire du LURE (LURE optimised intermediary energy light source), LURE meaning Laboratoire pour l'utilisation du rayonnement électromagnétique (Soleil means "Sun" in French, an SRF in France)
SOP	Standard Operation Procedure
SPL	Siam Photon Laboratory
SPS-I	Siam Photon Source I (existing SRF)
SPS-II	Siam Photon Source II (new SRF)
SPSRMS-II	Siam Photon Source Radiation Monitoring System-II
SRC	Steel-Reinforced Concrete
SRF	Synchrotron Radiation Facility
SRI	Siam Research and Innovation Company Limited

SSLS	Singapore Synchrotron Light Source
SSRF	Shanghai Synchrotron Radiation Facility
STEM	Science, Technology, Engineering, Mathematics
STeP	Science and Technology Park (startup management supporting unit of Chiang Mai University)
STI	Science Technology and Innovation
STR	Storage Ring
SUV	Soft X-ray – Ultraviolet
SWAXS	Small and Wide Angle X-Ray Scattering
SYNAPSE	Synchrotron for Neuroscience – an Asia Pacific Strategic Enterprise
TAS	Thailand Academy of Science
TBA	Triple Bend Achromat
TBIR	Thailand Business Innovation Research
TCELS	Thailand Center of Excellence for Life Science
TEM	Transmission Electron Microscope
TEY	Total Electron Yield
THB	Thai Baht
TINT	Thailand Institute of Nuclear Technology
TISTR	Thailand Institute of Scientific and Technological Research
TPS	Taiwan Photon Source
TRXAS	Time-Resolved X-ray Absorption Spectroscopy
TRXRF	Total Reflection X-Ray Fluorescence
TSMC	Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited
TSRI	Thailand Science Research and Innovation
TUIPI-TUBI	Center of Intellectual Property and Business Incubator (startup management supporting unit of Thammasat University)
TXAS	Tender X-Ray Absorption Spectroscopy
UHV	Ultra High Vacuum
UK	United Kingdom
UMC	United Microelectronics Corporation
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UPS	Uninterruptible Power Supply
USA	United States of America
USTDA	US Trade and Development Agency
VAT	Value Added Tax
VISTEC	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology

WAXS	Wide Angle X-ray Scattering
WBS	Work Breakdown Structure
XAFCA	X-ray Absorption Fine structure for catalysis
XAFS	X-ray Absorption Fine Structure
XAS	X-ray Absorption Spectroscopy
XDD	X-ray Development and Demonstration
XFI	X-ray Fluorescence Imaging
XMCD	X-ray Magnetic Circular Dichroism
XMCT	X-ray Microtomography
XMD	X-ray Magnetic Diffraction
XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy
XRD	X-ray Diffraction
XRF	X-ray Fluorescence
XRR	X-ray Reflectometry
XRT	X-ray Topography
XTM	X-ray Tomographic Microscopy

1. 業務の概要

1.1 調査の背景

タイ政府は「第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）」および「第 13 次国家経済社会開発計画（2023-2027）」において、先進国入りを果たすために、次世代産業とサービスの競争力を高めることによる国際競争力の向上に必要な重点課題として、国家的研究開発インフラへの投資を掲げている。また、科学技術研究能力の向上、産業の高度化、研究開発の人材育成等からなる産業高度化政策「タイランド 4.0」を最重要戦略として掲げており、具体的な施策の一つとして、東部経済回廊（Eastern Economic Corridor, 以下 EEC）において、人工知能・ロボット工学・自動化・バイオテクノロジー等の研究開発の拠点となるイノベーション特区（Eastern Economic Corridor of Innovation, 以下 EECi）を設置し、産官学による研究開発の拠点整備を推進している。

研究開発インフラの一つであるシンクロトロン放射光施設は、加速された電子を磁石で曲げることで発生させた強力な X 線（放射光）で限りなく小さいものを観察するための施設であり、医学・生命科学や環境・地球科学、材料科学など産業的利用も含め領域横断的に研究を支えるものである。タイでは、ナコンラチャシマ県の国立放射光研究センター（National Synchrotron Research Center, 以下 NSRC）の後進となるシンクロトロン放射光研究所（The Synchrotron Light Research Institute, 以下 SLRI）において、1990 年代に第 2 世代放射光施設が日本から提供され、日本の協力により放射光施設が設立されている。他方、タイ国内では学術・産業界からは高エネルギー・高輝度かつ多様な X 線へのニーズが高まっているが、第 2 世代放射光施設は 1970～80 年代に確立した技術であり、タイの既存施設で利用できる X 線は質・種類ともに限定的であることから、高度な放射光研究の実施には他国の放射光施設を利用せざるをえない状況となっている。高度化・多様化する学術・産業界の放射光研究ニーズに対応するためには、マイクロ・ナノメートル単位で X 線を照射でき、より高度・多様な分析を可能とする次世代放射光施設が必要である。

かかる状況下、タイ政府は、独自に次世代放射光施設整備に係るフィージビリティ・スタディ調査（以下 F/S）を実施し、2016 年に完成している。また、同調査結果を踏まえ、2020 年にタイ閣議にて次世代放射光施設整備に係る事業計画の承認を得ている。その後、2021 年 11 月には同じくタイ独自で詳細設計調査（以下 D/D）も完成している。今般、タイ財務省と高等教育科学技術研究イノベーション省（以下 MHESI）と SLRI は JICA に対し、円借款による次世代放射光施設整備（円借款候補案件「先端科学技術研究能力強化・人材育成事業」、以下「本事業」）の可能性の検討を依頼した。本事業は、ラヨーン県に位置するイノベーション特区（EECi）において、先端科学技術研究のための次世代放射光施設及び関連設備を整備することで、同国の先端科学技術研究能力、学術・産業界との連携強化や人材育成を図るものであり、タイ政府の「第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）」に掲げられた国家的研究開発インフラへの投資に不可欠な優先度の高い案件であることに加え、東南アジア地域初の次世代放射光施設となることから周辺国による施設利用も促進され、ASEAN の学術機関・大学・企業の放射光を用いた研究の地域拠点として連携強化が期待できることや、本邦学術機関等との共同研究等の更なる推進につながることなどから、実施意義の大きい案件であると考えられる。

本調査は、タイ側が作成した F/S 及び D/D のレビューを行った上で、本事業の審査に必要な追加的な情報収集を目的として実施するものである。

1.1.1 事業の目的

本事業は、タイ国東部のイノベーション特区（EECi）において、科学技術研究のための次世代放射光施設の整備及び人材育成を行うことにより、タイ国の科学技術研究及び産業開発の基盤強化を図り、もって持続的な経済発展に寄与するもの。

1.1.2 事業の概要

先端科学技術研究のための次世代放射光施設の整備及び人材育成を行うもの。

1) 次世代放射光施設の機材調達（線形加速器、シンクロトロン、蓄積リング（30 億電子ボルト：3.0GeV）、ビーム輸送ライン、ビームライン（7 基）[1]
2) 次世代放射光研究施設の建屋建設
3) 関連設備（研究室、ユーティリティ、事務棟、宿泊棟）整備
4) 人材育成・技術移転
5) コンサルティング・サービス（詳細設計への助言、入札補助、施工監理、統合能力強化等）

1.1.3 対象地域

タイ国ラヨーン県（EECi）

1.1.4 事業責任機関および事業実施機関

事業責任機関・事業実施機関：シンクロトロン放射光研究所（SLRI）[2]

1.2 調査の目的

本調査は、我が国の有償資金協力事業として事業「先端科学技術研究能力強化・人材育成事業」を実施するにあたって、タイ側が作成した F/S 及び D/D のレビューを行った上で、有償資金協力事業として事業を実施するにあたって貴機構が行う本事業の審査に必要な補完的な調査を実施することを目的とする。

1.3 調査の範囲

本調査は、タイ政府より要請のあった「1.1.2　事業の概要」に示される事業について、事業の必要性・妥当性の検証、事業計画および概略事業費等の事業審査に必要な補完調査を行うものであり、「1.2　調査の目的」を達成するため、企画競争説明書にある「実施方針及び留意事項」を踏まえつ

[1] 円借款事業にはフェーズ 1 ビームラインのみが含まれる。追加のビームラインはフェーズ 2 以降に開発される予定である。

[2] SLRI は、本プロジェクトにおける次世代放射光施設の設計、組立、試験、試運転、そして施設の統合について、自ら全責任を負うことになる。しかしながら、SLRI が単独で放射光施設を設計・建設するのは今回が初めてであるため、SLRI は、Advisory（理化学研究所と台湾国立加速器放射光研究センター（NSRRC）の専門家からなる外部チーム）から基本設計、詳細設計、試作、試運転などに関する助言を得られる体制を構築することを期待している。

つ、「調査内容」に示す事項の調査を実施し、「成果品等」に示す報告書等を作成し、同国政府への説明・協議を行う。

1.4　調査の方法

本調査は以下の方法で行った。

1) タイ側が作成した F/S 及び D/D のレビュー
2) 案件形成のための不足情報の収集と分析
3) タイ側との協議

2. 事業の背景、経緯、課題およびニーズの確認

2.1 タイ国における開発計画や上位計画、国際的動向

タイ政府は「第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）」において、先進国入りを果たすための国際競争力の向上に必要な重点課題として、国家的 研究開発インフラへの投資や人材開発を掲げている。また、「タイランド 4.0 」を産業高度化の最重要戦略として掲げ、具体的な施策の一つとして産官学による研究開発の拠点整備を推進すべく、EEC に研究 開発の拠点となるイノベーション特区 EECi を整備中である。

2.1.1 国家経済社会開発計画

「安全、繁栄、持続可能性」の目標を達成するための開発の方向性と戦略を定めるため、国家経済社会開発計画は、国家経済社会開発評議会と首相府によって作成されている。

施行中の第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）では、先進国へのステップとして、タイの競争力を高めるために国家研究開発基盤への投資と開発を優先している。第 12 次計画の狙いは、20 年国家戦略（2017 年～2036 年）の目標とも合致することである。第 13 次国家経済社会開発計画（2023-2027）は 2022 年 10 月に公表された。

表 2-1　第 12 次および第 13 次国家経済社会開発計画で提起された重要な課題

第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）	4.8 科学・技術・研究・イノベーションの発展に関する戦略 *これまでのタイの経済発展は、「知」を結集して独自の技術を開発するのではなく、労働力や天然資源のストック、海外から輸入した既成技術に依存するところが大きかった。そのため、海外の技術提供者は、技術による付加価値から利益を得て、市場シェアを獲得してきた。**タイにおける研究開発（R&D）投資は、国内のイノベーションを促進するのに十分ではなかった。*** *したがって、これからの開発戦略では、**タイの科学技術部門を強化し、科学的知識、技術、イノベーションを応用する能力を高め、農業、工業、サービス部門の競争力を強化**し、国民の生活の質を向上させることに重点を置くことになる。*
第 13 次国家経済社会開発計画（2023-2027）	5 つの重要分野 • *イノベーションによる所得格差の縮小と貧困削減* • ***知識集約型経済と付加価値開発の創出*** • *デジタル経済における需要に対応した人材開発* • *気候変動に対応するための環境保全* • *グローバルな経済・社会環境の変化に対応するための高度な準備*

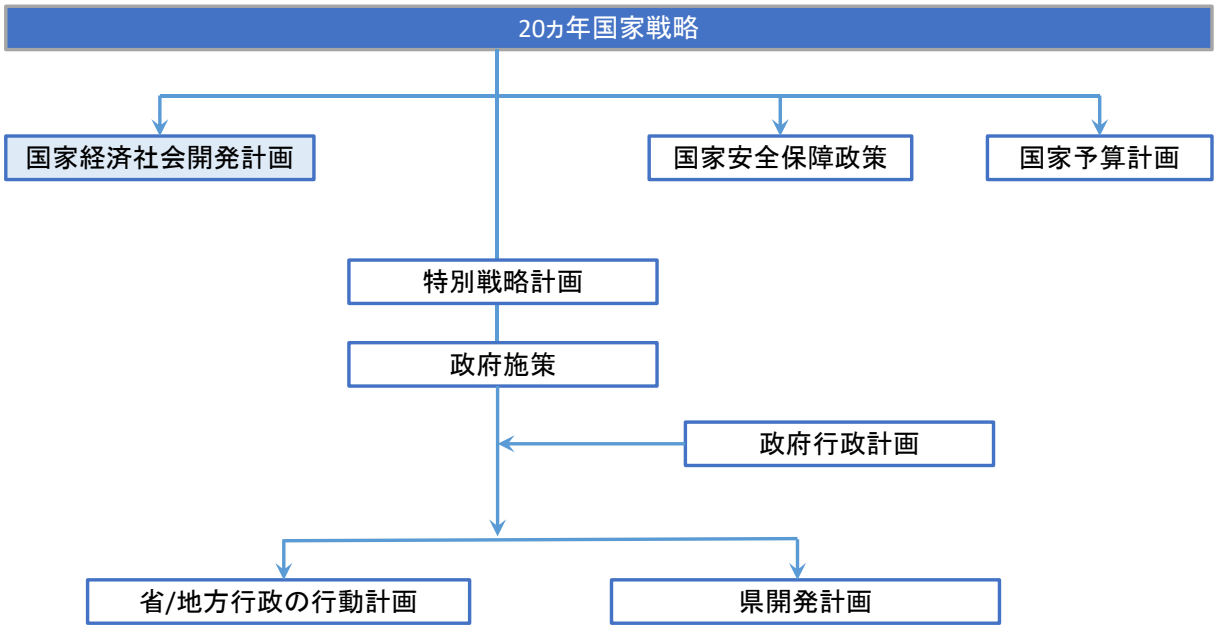
出所：調査団

2.1.2 タイランド 4.0

タイランド 4.0 は、「イノベーション」、「生産性」、「サービス貿易」をキーワードとする付加価値を持続的に創造する経済社会を目指し、「国家戦略」に沿って経済成長を加速させ、先進国入りを果たすという野心的なビジョンである。タイ政府は政治社会の安定を確保し、民政移管へのプロ

セスを推進する一方で、経済社会の長期的な開発政策を含む国家再建にも着手してきた。それを「国家戦略（Yuththasartchat）」と名付け、新憲法に規定する最上位の国家計画と位置付けた。

国家戦略と諸計画の関係は下図の通りである。



出所：NESDB（2016 年）

図 2-1　国家戦略と諸計画の関係図

20 カ年国家戦略は国家経済社会開発計画の上位に位置し、第 12 次開発計画（2017 ～ 21 年）から第 15 次開発計画（2032 ～ 36 年）までを統括することになる。また、この国家戦略は開発計画だけでなく、国家安全保障政策や国家予算の枠組みを決めるものであり、かつ特別戦略プランを通じて、中央政府、行政、地方政府の計画の策定とその実施にも影響を及ぼすものである。

政策委員の委員長は首相、副委員長は副首相 2 名、国軍最高司令官、陸海空軍の司令官、国防会議議長、タイ商業会議所、タイ工業連盟、タイ銀行協会の代表、PTT, SCG, CP Group など大企業のトップ、NESDB が委員メンバーである。

2.1.3　国際的及び ASEAN 圏内における科学技術政策

(1)　ASEAN 科学技術協力委員会 (COSTI)

ASEAN 科学技術ネットワーク（ASTNET）は、ASEAN 科学技術イノベーション委員会（COSTI）-科学技術委員会（COST）のフラッグシッププロジェクトとして位置づけられている。ASTNET は、ASEAN 全体の技術情報ネットワークを構築することを目的としている。また、ASEAN の科学技術情報資源を内部の科学技術および産業データベースと相互接続するためのゲートウェイを目指している。

ASEAN-EU 地域統合支援プログラム（APPRIS）からの支援は、ASTNET のパフォーマンスとサービスを改善するためにも提供された。ASEAN 科学技術ネットワーク（ASTNET）は、COSTI によって設立された包括的な情報インフラであり、次の項目を支えることが計画されている。

- 地域協力プログラムのためのグッドガバナンス、賢明な政策、積極的な計画
- 競争力のある基礎および応用研究開発
- 基礎教育、高等教育、継続教育の普及
- 人的資源の開発
- 技術移転

(2)　日 ASEAN 科学技術イノベーション共同研究拠点-持続可能開発研究の推進」(JASTIP)

2008 年に日本の ASEAN におけるプレゼンスを示すことが重要との認識の下開催された「日・ASEAN 科学技術協力委員会準備会合」において、日本と ASEAN の科学技術政策や協力の方向性等について協議する次官級会合の設置が合意され、2009 年にインドネシア・バリ島にて第 1 回「日 ASEAN 科学技術協力委員会」（AJCCST）が開催された。以降、ASEAN 内の会議である「ASEAN 科学技術イノベーション委員会」（COSTI）の開催に併せて基本的に毎年開催されている。

(3)　神経科学のためのシンクロトロン - アジア太平洋地域の戦略的企業（SYNAPSE）

SYNAPSE は、放射光研究のためのアジア オセアニア フォーラム (AOFSRR) の下で、浦項光源 (韓国)、上海シンクロトロン放射光施設、SPring-8 (日本)、シンガポールシンクロトロン光源、台湾光子源、オーストラリアシンクロトロンを含む放射光施設の連合である。地元のシンクロトロン、神経生物学、およびコンピューティングコミュニティからの支援を受けている。

表 2-2　2022 年 11 月 30 日までの SYNAPSE の Executive Board

Executive Board Members

Giorgio MARGARITONDO	École polytechnique fédérale de Lausanne, Switzerland	(Chairman)
Zhentang ZHAO	Shanghai Synchrotron Radiation Facility Advanced Research Institute, China	(Member)
Tetsuya ISHIKAWA	RIKEN Spring-8 Center, Japan	(Member)
Jung Ho JE	Pohang University of Science and Technology, Korea	(Member)
Chian-Ming LOW	National University of Singapore, Singapore	(Member)
Yeu-Kuang HWU	Academia Sinica, Taiwan	(Member)
Anton STAMPFL	Australia's Nuclear Science & Technology Organization, Australia	(Member)

出所：https://synapse-sg.org/

2022 年 11 月 30 日～12 月 2 日にプーケットで SYNAPSE の Executive Board Meeting が開催され、そこで SLRI が SYNAPSE のメンバーとなる MOU を締結され、2022 年 11 月 30 日から有効となり、終了日は設定されていない。現在、SLRI は SYNAPSE の準会員であり、SPS-I の X 線断層顕微鏡（X-Ray Tomography Microscopy）の年間ビームタイムの 10%が SYNAPSE 関連活動のために暫定的に確保されている。2024 年 10 月時点の利用実績は以下の通り。

表 2-3　SPS-I における X 線断層顕微鏡の SYNAPSE 利用実績

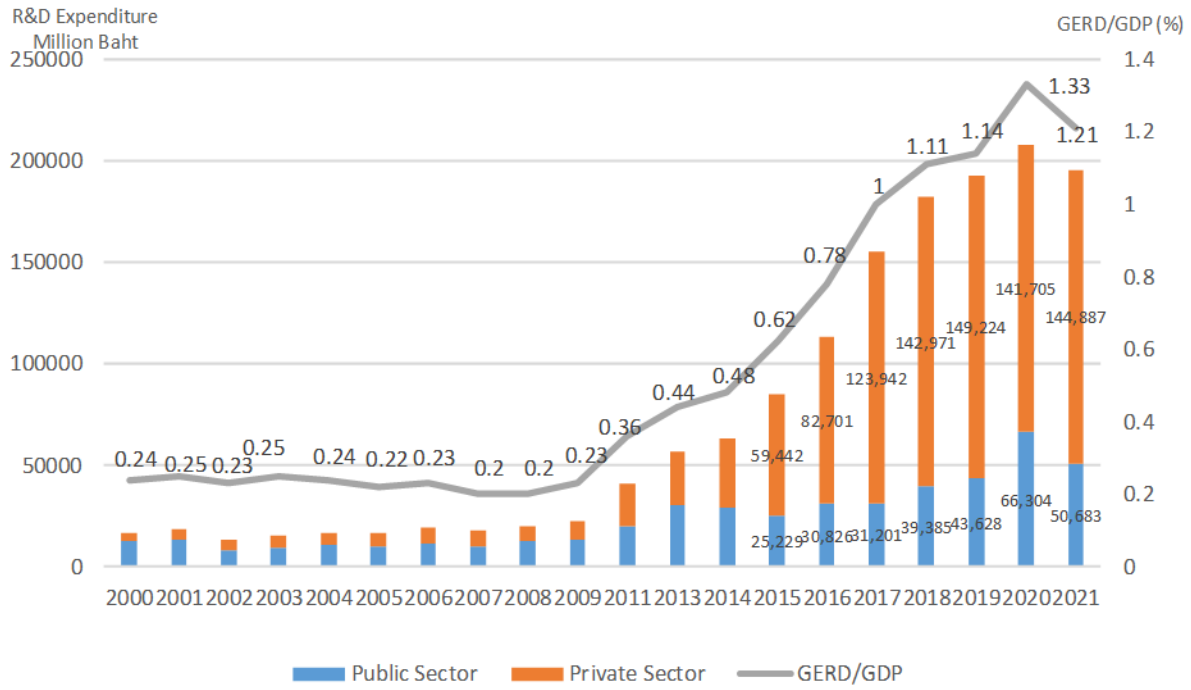
No	Year	Project Name	Principle Investigator	Beamtime Period	No. of Experiments	No. of Shifts
1	2021	High resolution tomography of animal brains	Professor, Yeukuang Hwu Hwu	1-7 Apr 2021, 4-8 Dec 2021	2	22
2	2023	Detector System Installation and System Test	Dr. Catleya Rojviriya	11-13 Jul 2023	1	6
3	2023	SYNAPSE: High resolution tomography of animal brains	Professor, Yeukuang Hwu Hwu	4-8 Dec 2023	1	10
4	2024	SYNAPSE: Development of high-resolution x-ray tomography imaging for brain research	Dr. Catleya Rojviriya	6-9 Mar 2024	1	8

出所：SLRI

2.1.4　タイ国の科学技術政策概観

(1)　タイ国の研究開発費

1998 年のアジア通貨危機以来、タイの GDP は堅調に増加しており、それに伴い、2010 年以降、総研究開発費の対 GDP 比率は GDP 成長率を上回る増加傾向を示している。これは、タイ政府による科学技術の重点化政策の成果であるといえる。下図は、2000 年から 2021 年にかけてのタイにおける研究開発費の対 GDP 比率（GERD）を示している。



出所：UNESCO Institute for Statistics and NXPO, 調査団作成 (2010 年と 2012 年はデータなし)

図 2-2　タイ GDP と、総研究開発費の対 GDP 比の推移

GERD は 2000 年に 0.24%であったが、2017 年は 1%に到達した。2019 年の GERD は 1.14%、総研究費 1928 億バーツのうち公的部門が 436 億バーツで 23%を占めているのに対して、民間セクターは 1492 億バーツで全体の 77%を占めている。民間部門の研究開発費への投資増が全体の総研究費の増加に大いに寄与している。

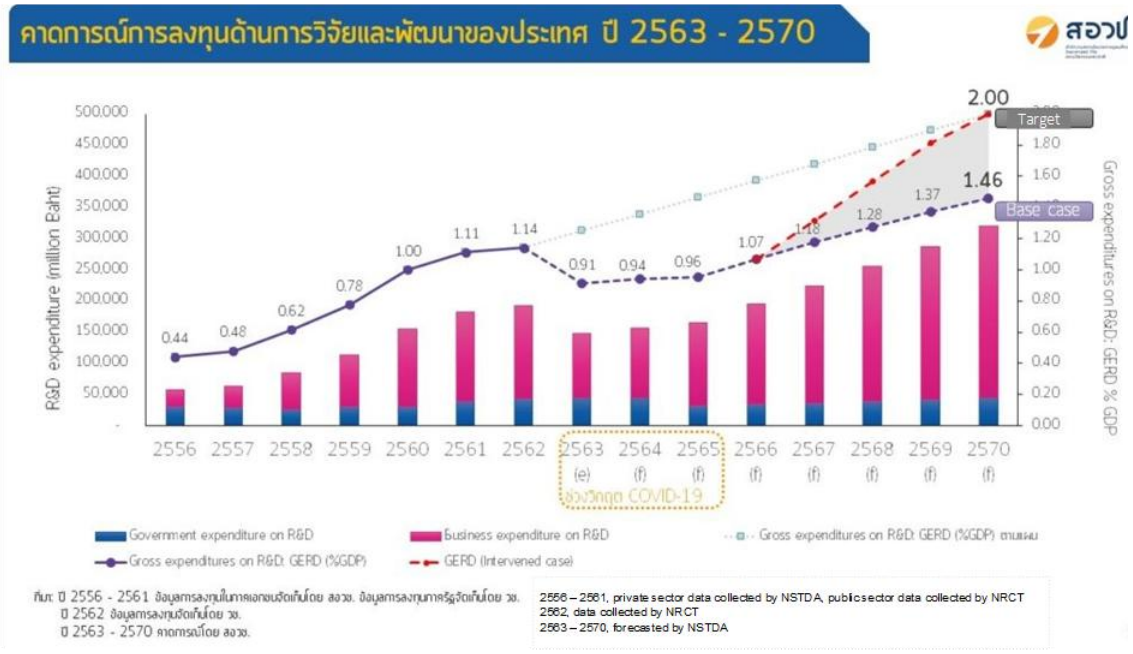
ASEAN 諸国の中での 2021 年の GERD を比較すると、タイ（1.21）は、シンガポール（2020 年に 2.16）より低く、マレーシア（2020 年に 0.95）、ベトナム（0.43）、インドネシア（2020 年に 0.28）よりは高い。

表 2-4　ASEAN 主要国の GERD 比較

国	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
インドネシア		0.25	0.24	0.23	0.27	0.28	
ミャンマー			0.04	0.06	0.09	0.15	0.15
マレーシア	1.28	1.42		1.04		0.95	
シンガポール	2.17	2.07	1.9	1.81	1.89	2.16	
タイ	0.62	0.78	1	1.11	1.14	1.33	1.21
ベトナム	0.44		0.53		0.53		0.43

出所：UNESCO Institute for Statistics, 調査団作成

タイ国政府の研究開発費の予測を下図に示す。 2020 年（2563 年）から 2022 年（2565 年）は、新型コロナウイルスの影響により、2019 年に比べて研究開発費、GERD ともに減少すると予測されているが、2023 年　(2566 年)以降は増加し、2027 年（2570 年）に通常の成長率で GERD は 1.46 %に達する予測されているが、政府は科学技術政策の投資刺激策を実施して 2.00%到達を目指している。

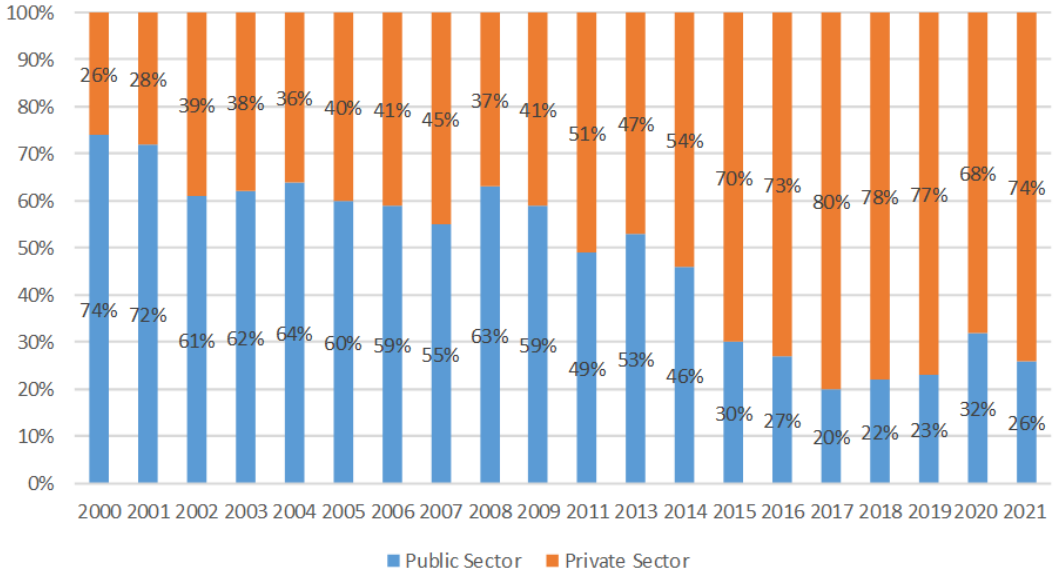


出所：https://www.nxpo.or.th/th/7929/

図 2-3　タイ国総研究開発費と GERD 予測

(2)　セクター別のタイ国研究開発費

タイ政府は、科学技術のイノベーションを促進するため、研究開発投資の GDP に対する比率を引き上げることを主要目標に掲げ、全国的な R&D 投資の増加を図っている。タイ 4.0 計画に基づき、研究開発費の増加が進められている。一方、タイ投資委員会（BOI）は、民間投資をさらに引き付けるため、税制上の優遇措置を実施した。その結果、2013 年に公的部門（政府）の出資割合が 51%、民間部門（産業界）が 49%であったものが、2021 年には公的部門が 26%、民間部門が 74%へと変化した。



出所：NXPO、調査団作成

図 2-4　セクター別研究開発費

下表は、2011 年から 2021 年までのセクター別の研究開発費を示している。

表 2-5　セクター別研究開発費（2011 年から 2021 年）

Amount: MTHB

年度	2011		2013		2014		2015		2016	
セクター	Amount	%	Amount	%	Amount	%	Amount	%	Amount	%
公的部門	20,186	49	30,270	53	29,045	46	25,229	30	30,826	27
民間部門	20,684	51	26,768	47	34,445	54	59,442	70	82,701	73
合計	40,870	100	57,038	100	63,490	100	84,671		113,527	100

年度	2017		2018		2019		2020		2021	
セクター	Amount	%	Amount	%	Amount	%	Amount	%	Amount	%
公的部門	31,201	20	39,385	22	43,628	23	68,304	32	50,683	26
民間部門	123,942	80	142,971	78	149,224	77	141,705	68	144,887	74
合計	155,143	100	182,356	100	192,852	100	208,009	100	195,570	100

2012 年はデータ無し

出所：NXPO、調査団作成

この期間における研究開発費の総額は 408 億バーツから 1956 億バーツ（4.8 倍）に増加しており、公共部門は 202 億バーツから 507 億バーツ（2.5 倍）、民間部門は 207 億バーツから 1449 億バーツ（7 倍）に成長し、研究開発費の全体的な増加に寄与している。

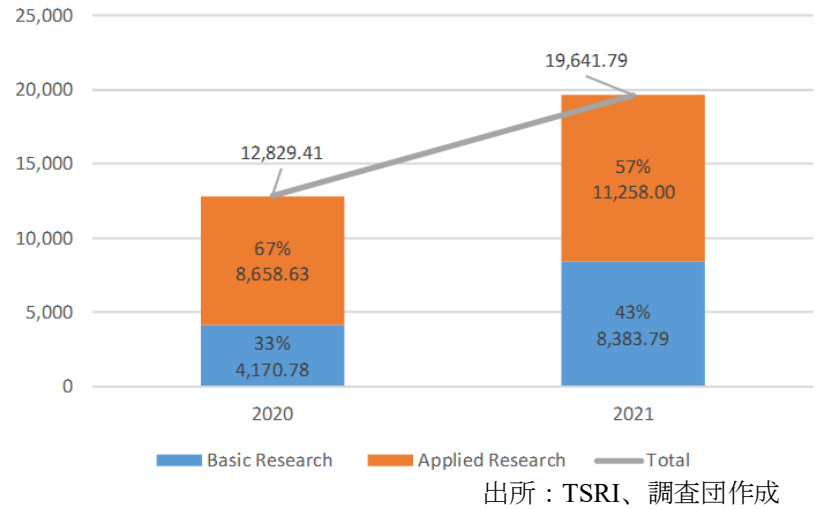
表 2-6　民間部門よる研究開発投資の上位 3 分野

業種 (研究開発投資額)	研究開発内容
食品産業 (THB 32,321 million)	フードイノベーションセンターへの研究基盤投資食品廃棄物の削減とリサイクルに関する研究開発 エンドユーザーの要求を満たす新製品開発および既存製品開発のリニューアル
石油産業 (THB 11,958 million)	生産性、コスト、その他の成果を実現するための新製品および新プロセスの開発 競争力、市場シェア、新規事業のための研究開発 インフラストラクチャー、スケールアップ、研究能力の強化
金融・保険業界 (THB 11,579 million)	モバイルバンキングプラットフォーム、オンラインビジネスシステム、サイバーセキュリティ、顧客ニーズの研究開発 デジタルディスラプションにより失われた事業を補充する新規事業の研究開発

出所：NXPO, 調査団作成

(3)　研究種類別のタイ国研究開発費

タイの研究開発費は、基礎研究および応用研究に分類されており、特に近年、民間部門の研究開発費が公的部門のそれを上回っている。これにより、タイにおける研究開発の主流が応用研究に向けられていることが推測される。下図は、タイ国科学技術研究革新庁（TSRI）が 2020 年および 2021 年に拠出した研究開発費を基礎研究および応用研究[3]に分類して示したものである。



出所：TSRI、調査団作成

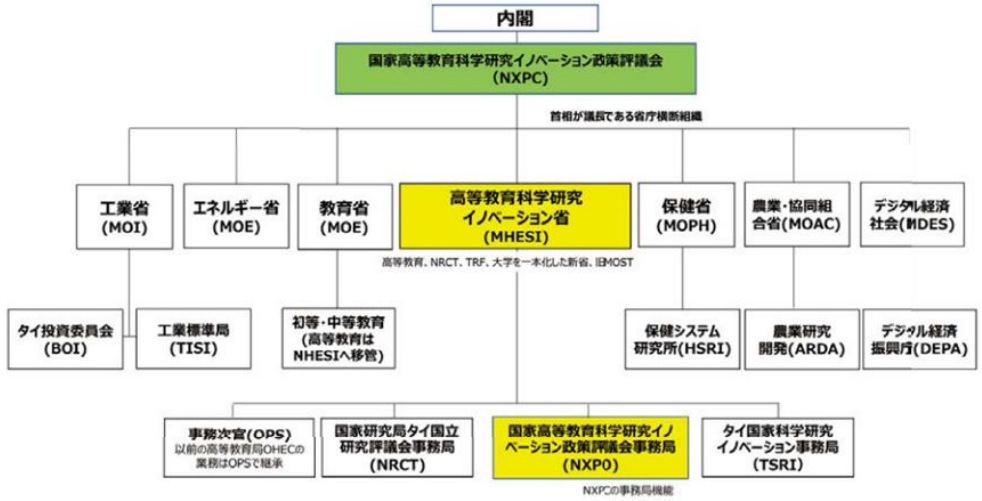
図 2-5　基礎研究と応研究別の研究開発費

図示されている通り、TSRI の研究資金も応用研究が 50%以上を占めている。

[3] 原文では直訳すると「戦略支援基金」と訳され、「応用科学基金」と解釈される。

2.1.5　タイ国の研究開発実施体制

高等教育科学研究イノベーション省（以下、MHESI）は、2019 年に科学技術省（MOST）、教育省内の高等教育委員会事務局（OHEC）、および首相府の国家研究評議会事務局を統合して設立された、タイの科学技術開発政策の中枢機関である。科学技術開発政策の横断的な計画および実施を行うため、内閣の下に国家高等教育科学研究革新政策審議会（NXPC）が組織されており、その議長は首相が務めている。副議長には副首相および MHESI 大臣が就任しており、この審議会の事務局として、国家高等教育科学研究革新政策審議会事務局（NXPO）が MHESI の下に設置されている。



出所：Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

図 2-6　タイ国の研究開発政策の実施体制

MHESI の下には、以下の 4 つの主要な部局・組織が存在する。

- 事務次官室（OPS）
- タイ国立研究評議会事務局（NRCT）
- 国家高等教育科学研究イノベーション政評議会事務局（NXPO）
- タイ国科学技術研究イノベーション事務局（TSRI）

(1)　MHESI 傘下の公的研究機関

MHESI には、法律上、国営企業、独立行政法人、公的機関の 3 つの法人格が存在し、それらに属する研究機関は下図に示す。



出所：MHESI とその他,調査団作成

図 2-7　MHESI 傘下の公的研究機関

たとえば、タイ国科学技術研究所（TISTR）は「国家研究機関」に分類される国営企業である。一方、「独立行政法人」と「公的機関」に分類される機関や組織は公共団体であり、この 2 つの分類の違いは、それらが設立された法的根拠にある。「独立行政法人」は NSTDA 法[4]などの特定の法律に基づき設立されており、「公的機関」は 1999 年法[5]に基づく勅令によって設立されている。

1)　タイ国科学技術研究所（TISTR）

TISTR は、1963 年に設立されたタイ初の国立研究所である。NSTDA 設立後、TISTR と NSTDA は競合関係にあり、NSTDA は高度な科学技術に焦点を当てているのに対し、TISTR は社会問題の解決に重点を置いている。TISTR の研究分野は、食品、健康関連、医療機器、代替エネルギー、環境、鉄道関連など多岐にわたっている。TISTR には、バイオ産業、持続可能な開発、産業サービスの 3 つの研究およびサービスグループが存在する。

2)　独立行政法人

■　国家科学技術開発機構（NSTDA）

NSTDA は、科学技術を国家の経済および社会の発展に役立てることを使命として設立された機関である。基礎研究および応用研究の推進、スタートアップ支援、技術移転、産学官連携、人材育成など、幅広い活動を行っている。TISTR に比べ、NSTDA は運営において人事や給与の自由度が高い。NSTDA には、バイオサイエンスおよびバイオテクノロジー研究所（BIOTEC）、ナノサイエンスおよびナノテクノロジー研究所（NANOTEC）など 5 つの研究所がある。

[4] https://po.opdc.go.th/file/reader/Y3x8MjIxOHx8ZmlsZV91cGxvYWQ
[5] Bureaucracy Development Commission (opdc.go.th)

NSTDA はまた、タイ国内の技術基盤を整備し、企業の誘致を促進するためのインフラを構築している。その一環として、タイサイエンスパークおよびソフトウェアパークタイランドの運営を行い、現在は EECi の設立を担当している。

■ タイ国立計測研究所（NIMT）

NIMT は、1998 年に設立され、計測の国際基準をタイ国内に普及させる役割を担っている。長さ、時間/周波数、質量関連量などの計測の一次標準に加え、近年は化学分析分野での活動も強化している。

3) 公的機関

SLRI を含む 6 つの研究組織が公的機関に分類される。これらの研究機関は、人事や給与などの運営においてより多くの自律性を持っている。

表 2-7　公的機関

組織	概要
タイ・シンクロトロン放射光研究所 (SLRI)	設立：1996 場所: ナコンラチャシマ県 日本調達の中古シンクロトロン放射光施設の設置 研究開発: 放射光及び関連研究 職員数: 212 (2022)
タイ地理情報・宇宙技術開発機関 (GISTDA)	設立：2000 場所: 本部はバンコク (バンケン、その他) 研究開発: リモートセンシング、GIS、衛星技術開発 職員数: 311 (2020)
タイ国家原子力技術研究所 (TINT)	設立：2006 場所: バンコク、ナコンナヨック、パトゥンタニ 研究開発: 医学、農業、バイオテクノロジー、材料、化学などにおける原子力研究 職員数: 327 (2021)
水資源・農業情報研究所 (HAII)	設立： 2009 研究開発: 科学技術の知識を農業および水資源管理に応用 職員数: 132 (2021)
タイ ライフ サイエンス センター オブ エクセレンス (TCELS)	設立：2004 研究開発: 医薬品、医療用ロボット機器のための生体医工学、細胞・遺伝子治療のための高度な医療サービス、細胞・組織の自動生産 職員数: 65
タイ国立天文学研究所 (NARIT)	設立：2008 研究開発: 天文学・天体物理学研究分野 職員数: 168 (2021)

出所：各機関の情報をもとに調査団作成

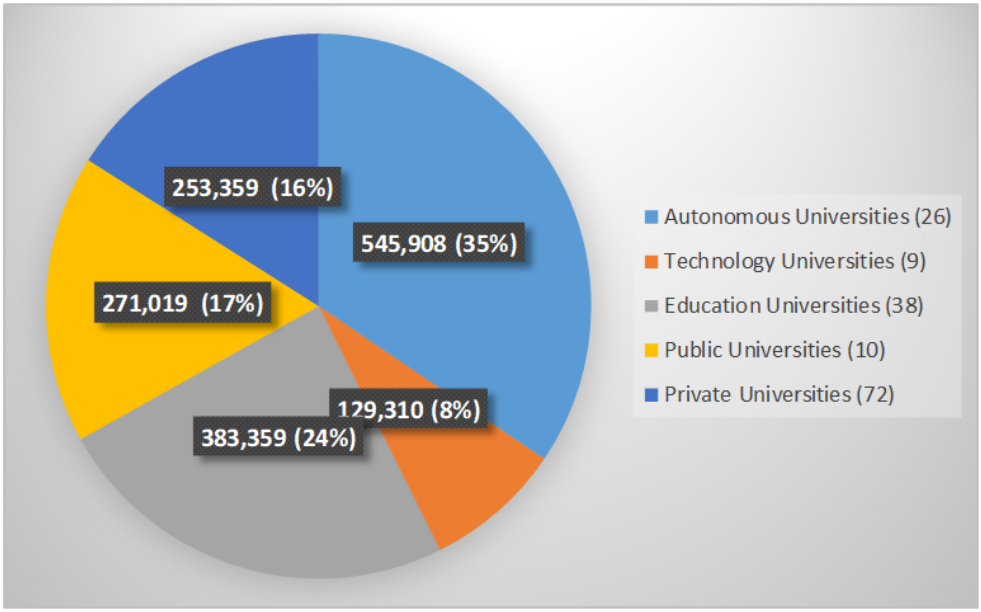
(2) 大学

タイの大学進学率は 49.3%であり（UNESCO, 2019）、152 カ国中 67 位、ASEAN 諸国ではシンガポール（88.9%）に次いで 2 位である。日本の進学率は 63.6%である。

タイには 155 の大学があり、そのうち 83 が国立および公立大学、72 が私立大学である（MHESI, 2021）。83 の国立および公立大学は、以下の 4 つのカテゴリーに分類される。

- 自治大学（26 大学）
- 技術大学（ラチャマンガラ技術大学 / 9 大学）
- 教育大学（ラジャバット大学 / 38 大学）
- 公立大学（10 大学）

研究能力が高い大学は主に国立大学であり、その多くが自治大学に分類される。タイの 155 の大学には、合計 1,582,955 人の学生が在籍しており（MHESI, 2021）、うち 545,906 人が 26 の自治大学に属し、これは全学生の 35%に相当する。



出所：MHESI

図 2-8　タイ大学類別の学生数

タイ国内で研究能力が高いと認められた代表的な大学を下表に示す。

表 2-8　タイの代表的な大学

Name of university (Establish year / Type / QS Asia Rank)	Main faculty/school	Number of students	Number of academic staff
Chulalongkorn University 1917 Autonomous 36 (Asia 2022)	20 faculties and 23 research institutes and colleges Main. Science, Engineering, Medicine, Pharmaceutical, Education, Law, MBA, etc.	Total: 37,280 BS: 25,643 MS/PhD: 10,849 Engineering: 3,155/1,383 Science: 3,111/1,053	Total: 7,861 Engineering:282 Science: 417
Mahidol University 1888 Autonomous 43 (Asia 2022)	16 faculties and 23 research institutes and colleges Main. Science, Engineering, Medicine, Public Health, Pharmaceutical, etc.	Total: 29,412 Undergrad: 21,882 Graduate: 7,530 Engineering: 2,014 Science: 2,648 (Annual Report 2021)	Total: 3,963 Engineering: 149 Science: 296

Name of university (Establish year / Type / QS Asia Rank)	Main faculty/school	Number of students	Number of academic staff
Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology (VISTEC) 1888 Private (established by PTT)	Only Graduate school 4 academic schools; Biomolecular Science and Engineering (BSE), Energy Science and Engineering (ESE), Information Science and Technology (IST), Molecular Science and Engineering (MSE)	Total: 225	Total: 36
King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT) 196 (Asia 2022)	8 faculties and 7 research institutes and colleges Main. Science, Engineering, Information Technology, Industrial Education and Technology, etc.	Total: 13,726 Undergrad: 11,640 Graduate: 2,086 Engineering: 5,337/653 Science: 1,497/176	Total: 659 Engineering: 212 Science: 107
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) 281-290 (Asia 2022)	11 faculties and 7 research institutes and colleges Main. Science, Engineering, Information Technology, Industrial Education and Technology, etc.	Total: 26,975 Undergrad: 23,789 Graduate: 3,186 Engineering: 6,455//913 Science: 3,136/443	Total: 1,176 Engineering: 317 Science: 156
Chiangmai University 88 (Asia 2022)	21 faculties and 16 research institutes and colleges Main. Science, Engineering, Medicine, Agriculture, etc.	Total: 37,350 Undergrad: 31,393 Graduate: 5,957 Engineering: 3,788/661 Science: 2,424/497	Total: 2,274 Engineering: 168 Science: 321
Khon Kaen University 133 (Asia 2022)	19 faculties and 5 research institutes and colleges Main. Science, Engineering, Medicine, Agriculture, etc.	Total: 38,249 Undergrad: 32,559 Graduate: 5,690 Engineering: 3,002/530 Science: 2,416/439	Total: 2,363 Engineering: 151 Science: 188
Suranaree University of Technology 351-400 (Asia 2022)	8 institutes and 1 research institutes and colleges Main. Science, Engineering, Agriculture, etc.	Total: 16,350 Undergrad: 14,793 Graduate: 1,557 Engineering: 3,000/866 Science: 476/331	Total: 435 Engineering: 159 Science: 85
Kasetsart University 138 (Asia 2022)	18 faculties and 4 research institutes and colleges and 3 local campus Main. Science, Engineering, Forestry, Agro-Industry, Fisheries, etc.	Total: 70,056 Undergrad: 61,768 Graduate: 8,288 Engineering: 10,669 Science: 13,247	Total: 3,530 Engineering: 252 Science: 303

出所：調査団

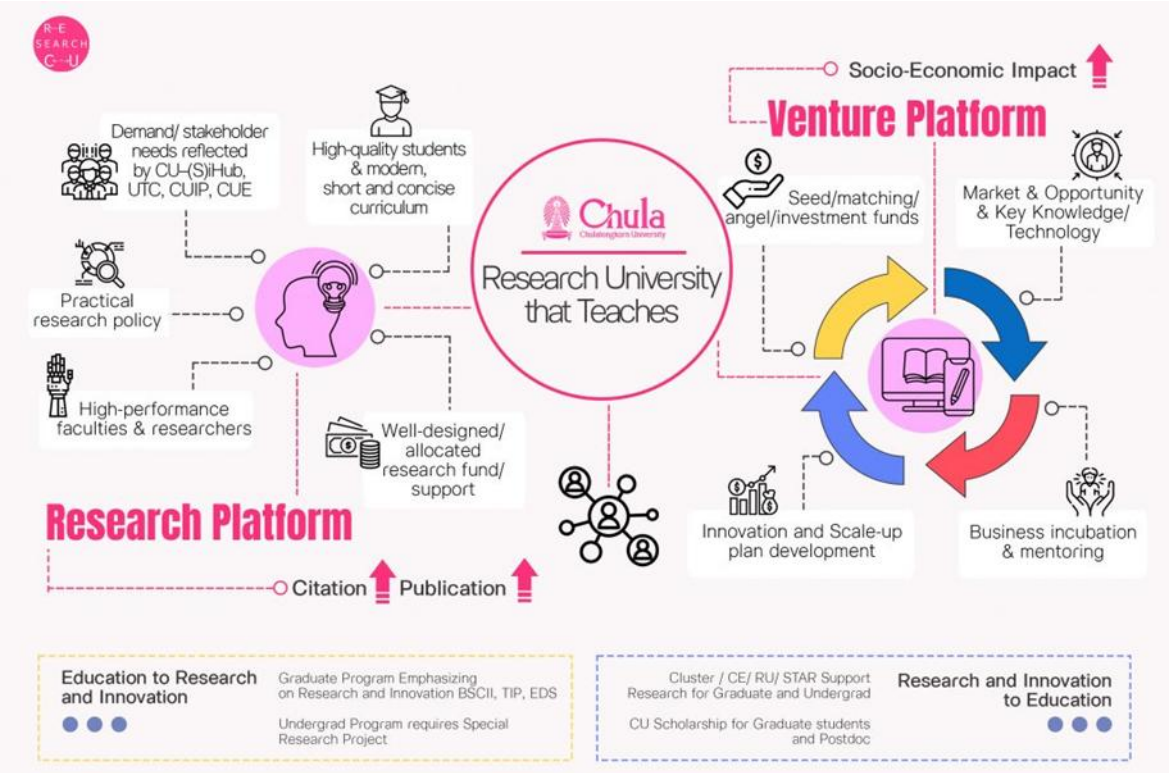
代表的な大学として挙げられているチュラロンコン大学（CU）とヴィディヤシリメディー科学技術大学（VISTEC）の詳細説明を以下に述べる。

1) チュラロンコン大学（CU）

チュラロンコン大学は、タイのバンコクに位置する公立で自治を有する研究大学である。同大学は、1899 年にラーマ 5 世（チュラロンコン王）の治世下において、王室の役人や公務員を養成する学校として王宮内に設立された。1917 年に国立大学として設立され、タイで最初の高等教育機関となった。

チュラロンコン大学は総合的かつ研究志向の強い大学であり、学生の質や研究の質、特定の科目における評価、大学の評判、環境管理システムの評価など、多くの分野でタイ国内最優秀の大学とされている。QS 世界大学ランキング 2022 によれば、同大学は世界で 215 位、アジアで 36 位、タイ国内で 1 位に位置している。

設立当初は 4 つの学部（文理学部、公共行政学部、工学部、医学部）で構成されていたが、現在では 20 の学部、3 つのカレッジ、1 つの学校、および複数の教育・研究機関を有している。



出所：チュラロンコン大学

図 2-9　チュラロンコン大学の研究・教育

2)　ヴィディヤシリメディー科学技術大学（VISTEC）

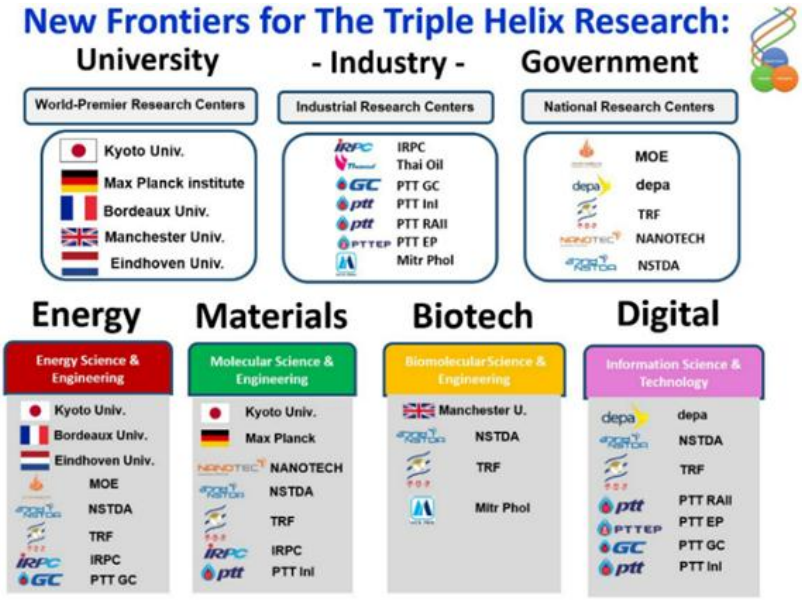
ヴィディヤシリメディー科学技術大学（VISTEC）は、2015 年に PTT Public Company Limited（PTT）によって設立された私立の大学院大学である。PTT は、フォーチュン誌によって世界のトップ 100 企業にランクインしている唯一のタイ企業である。VISTEC は、EECi の中心地であるラヨーン県ワンチャンバレーに位置し、世界レベルの研究卓越性を目指している。

VISTEC の使命は、国際的に認知される大学となることであり、情熱的な教員と才能ある学生を育成し、質の高いフロンティア研究を推進し、タイの競争力を高めるとともに、社会の持続可能な発展に貢献することである。

VISTEC には以下の 4 つの学際的な未来技術分野に特化した学校が設立されている。

- V 分子科学工学科（MSE）
- エネルギー科学工学科（ESE）
- 生物分子科学工学科（BSE）
- 情報科学工学科（IST）

これらの学校に加えて、最先端の研究設備（透過型電子顕微鏡（TEM）や核磁気共鳴分光法（NMR）など）を備えたフロンティア研究センター（FRC）が設立されており、世界中の学術および産業界との研究協力を行うための拠点として機能している。



出所：VISTEC

図 2-10　VISTEC の研究協力

(3)　民間（産業）セクター

タイの産業は長らく「世界の工場」としての役割を果たしてきたが、現在では「タイランド 4.0」および「インダストリー4.0」への変革が求められている。つまり、タイの民間セクターは、労働集約型産業から研究開発に基づく知識集約型産業へと転換し、技術追随者から技術リーダーへと変わる必要がある。これにより、革新的かつ付加価値の高い製品を市場に提供することが可能となる。

このような変革の中で、タイの主要企業は研究開発部門への投資を積極的に行っている。たとえば、サイアムセメントグループ（SCG）のセメント建材事業部門はサイアムリサーチ&イノベーションカンパニー（SRI）を設立し、タイ石油公社（PTT）は PTT イノベーションインスティテュートという研究センターを再編した。また、CP グループは CP フードラボ（CPF）を設立し、CPF は CPF 食品研究開発センターという R&D 志向の企業を持っている。

マクロデータもこの傾向を示している。2009 年から 2019 年の間に、GERD は 0.23 から 1.14 に急増しており、この改善の原動力は民間セクターである。2009 年の総研究開発費は 22,655 百万タイバーツであり、そのうち公的部門が 59%（13,319 百万タイバーツ）、民間部門が 41%（9,336 百万タイバーツ）を占めていた。2019 年には、総研究開発費は 192,852 百万タイバーツに達し、公的部門が 23%（43,628 百万タイバーツ）、民間部門が 77%（149,224 百万タイバーツ）を占めている。この期間において、民間部門の研究開発費は約 16 倍に増加した一方で、公的部門は 3.3 倍の増加にとどまっている。

表 2-9　セクター別研究開発費（2009 - 2019)

セクター	2009		2011		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	額	%	額	%	額	%	額	%	額	%	額	%	額	%	額	%	額	%
公的	13,319	59%	20,186	49%	30,270	53%	29,045	46%	25,229	30%	30,826	27%	31,201	20%	39,385	22%	43,628	23%
	times:1.0		times:1.5		times:2.3		times:2.2		times:1.9		times:2.3		times:2.3		times:3.0		times:3.3	
民間	9,336	41%	20,684	51%	26,768	47%	34,445	54%	59,442	70%	82,701	73%	123,942	80%	142,971	78%	149,224	77%
	times:1.0		times:2.2		times:2.9		times:3.7		times:6.4		times:8.9		times:13.3		times:15.3		times:16.0	
合計	22,656	100%	40,872	100%	57,040	100%	63,492	100%	84,673	100%	113,529	100%	155,145	100%	182,359	100%	192,855	100%
	times:1.0		times:1.8		times:2.5		times:2.8		times:3.7		times:5.0		times:6.8		times:8.0		times:8.5	

出所：UNESCO と NXPO, 調査団作成

本調査にてヒアリング調査を実施したタイ企業 16 社の研究開発費と過去の SPS-I 利用の有無を下表にまとめる。

表 2-10　社の研究開発費まとめ

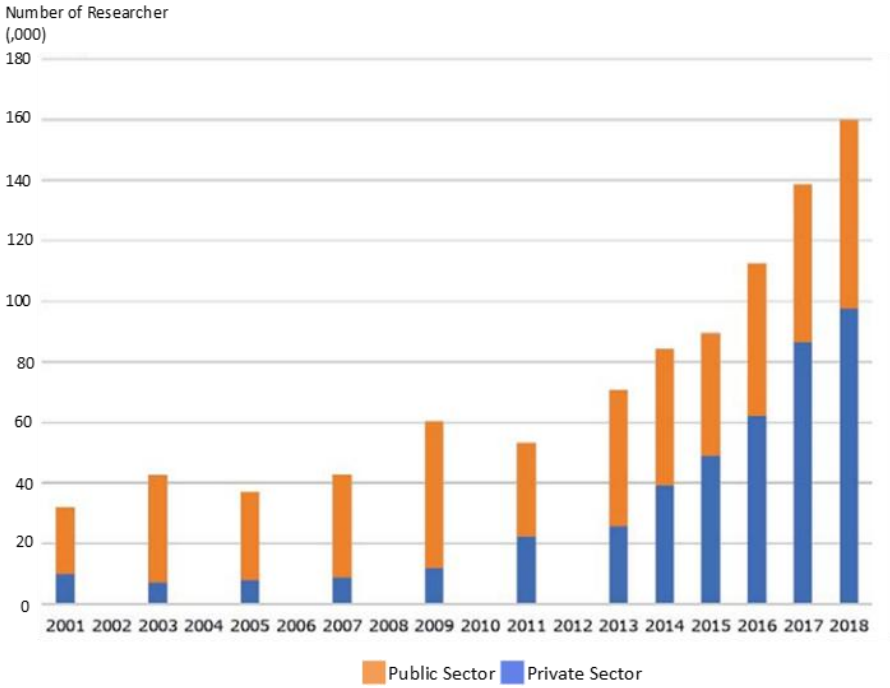
Business Scale/Type	Product	Total Revenue (Approx-MB)	Net Profit (Approx-MB)	R&D expenditure (Approx-MB)	SLRI Users	Beamline
Large Enterprise	Foods/ Retail	545,000.00	17,000.00	30.00	NA	
Large Enterprise	Feeds/ Farms/ Foods	545,000.00	19,000.00	500.00	yes	BL4.1: IR
Large Enterprise	Fuel/ Petrochemical products	153,000.00	53,900.00	501.00	yes	
Large Enterprise	Petrochemical products	499,000.00	19,400.00	890.00	yes	BL1.2 XTM; BL1.3W-SAXS; BL8-XAS
Large Enterprise	Building Materials	205,000.00	3,800.00	2,680.00	NA	
Large Enterprise	Petrochemical products	237,000.00	5,900.00	1,600.00	yes	BL1.2 XTM; BL1.3W-SAXS; BL8-XAS
Large Enterprise	Packaging	146,000.00	5,800.00	510.00	yes	
Large Enterprise	Steel	26,000.00	(100.00)	200.00	yes	BL3.2Ub: PEEM; BL5.2: XAS; BL5.3: XPS
Large Enterprise	Foods	25,000.00	3,800.00	9.00	yes	BL4.1: IR
Japanese affiliated	Cosmetics/ Consumers	14,000.00	700.00	25.00	yes	BL1.2W: XTM; BL1.3W: SAXS/WAXS; BL4.1: IR
SME	Chemical product	1.00	0.01	1.00	yes	NA
SME	Land	1.98	0.77	5.00	yes	NA
SME	Chemical product	-	(0.15)	0.20	yes	NA
SME	Chemical Lab	480.23	81.30	project based	yes	BL4.1: IR
SME	Medical Equipment	0.00	(0.01)	1.50	yes	BL6: DXL
SME	Cosmetics	2,960.20	82.20	upon request	yes	BL4.1: IR

出所：調査団

2.2　科学技術研究分野の研究開発人材

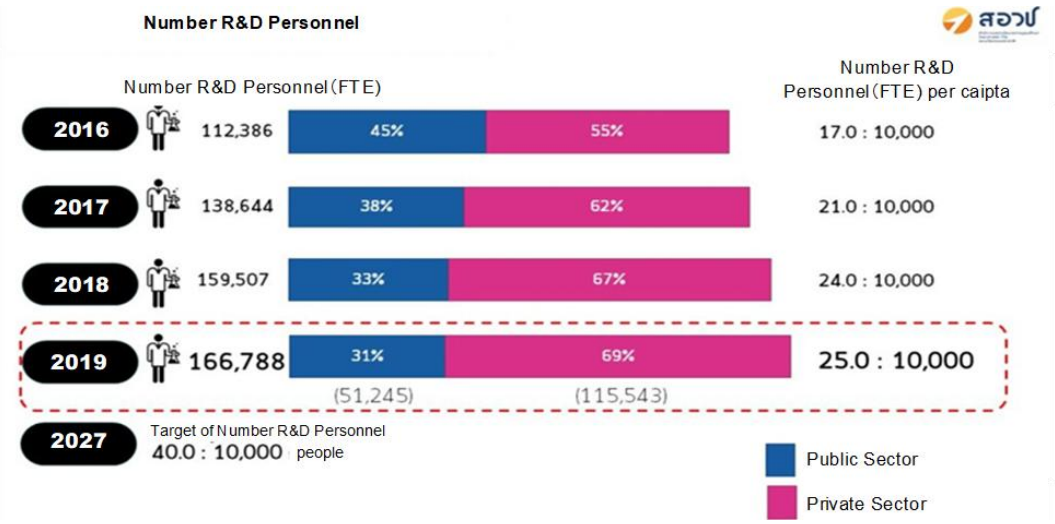
2.2.1　タイの研究開発人材の全体像

タイにおける研究開発（R&D）研究者の数は過去 10 年間にわたり着実に増加している。これは主に、民間の研究開発費用の増加に伴い、民間の研究者の数が増加しているためであり、政府機関における研究者数はほぼ横ばいか、わずかに増加しているに過ぎない。2017 年には研究者数は 138,644 人（フルタイム換算）であったが、2018 年には 15%増加し、159,507 人に達した。内訳としては、民間セクターが 67%、公共・政府セクターが 33%を占め、人口 1 万人あたりの研究者数は 24 人である。国家科学技術革新庁が策定した STI 政策計画（2012-2021）では、2012 年の時点で人口 1 万人あたりの研究者数は 9 人であり、2021 年までに 25 人に増加させることを目標としており、これは 2012 年の 2.7 倍の増加を意味する。政府は 2027 年までに人口 1 万人あたり 40 人に増加させることを目指している。



出所：data of NXPO、調査団作成

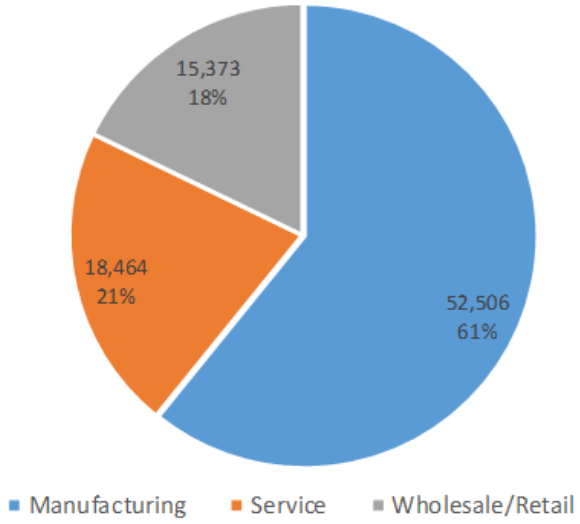
図 2-11　部門別研究開発人材数推移



出所： https://www.nxpo.or.th/th/7929/

図 2-12　研究開発人材の育成目標

2017 年における民間セクターの R&D 人員数は 86,343 人である。このうち、製造業は 52,506 人（61%）、サービス業は 18,604 人（21%）、卸売・小売業は 15,373 人（18%）を占めている。



出所：NXPO のデータを基に調査団作成

図 2-13　民間部門の研究者数内訳（2017 年）

製造業における事業分野別の研究開発人員数を下表にまとめる。

表 2-11　研究開発人材（分野別・年別）

事業分野	2013	2014	2015	2016	2017
食品および飲料	3,373	4,648	5,536	8,996	10,281
自動車	1,048	893	2,290	5,404	6,840
化学薬品および化学製品	3,536	3,872	3,985	5,736	6,135
電気機械器具	1,531	747	1,415	1,429	4,528
精製石油製品	541	728	426	4,445	4,291
基礎金属および金属加工品	990	742	2,187	797	3,097
その他の非金属鉱物製品	1,318	1,829	1,803	2,565	2,894
機械設備	1,389	2,344	3,721	1,975	2,732
オフィス、会計およびコンピューティング機械	-	415	1,470	1,981	2,289
ゴム・プラスチック製品	808	1,741	4,011	2,038	1,711
リサイクル、電気、ガス、水道の供給	626	750	337	613	1,629
家具	275	1,229	2,815	2,619	1,284
ラジオ、テレビ、通信機器および装置	1,348	1,219	980	1,014	939
農業	-	769	203	623	909
紙および紙製品	210	282	1,301	769	669
輸送機器	233	327	268	714	442
テキスタイル	272	564	307	308	439
衣料品	711	330	557	528	382
革製品と履物	432	328	554	398	368
鉱業と採石業	50	162	52	113	296
木材および木製品	357	363	142	194	123
印刷	102	205	495	136	117
医療機器、精密機器、光学機器、時計	97	225	45	129	101
タバコ製品	3	8	10	10	10
合計	19,250	24,720	34,910	43,534	52,506

出所：NXPO のデータを基に調査団作成

タイ政府は、研究者の数を増加させるだけでなく、その質の向上も目指している。「タイランド 4.0」の成功には、単に研究者の総数を増やすだけでなく、高度な技能を持つ産業人材やポストドクター研究者の数の増加が求められている。博士号を持つ研究者の数は 2014 年には人口 1 万人あたり 9.5 人であったが、「タイランド 4.0」の 20 年計画では 2036 年までに 80 人に増加させることを目標としている。

タイ政府は、海外留学を通じた人材育成を促進するために奨学金制度を設けている。2022 年には、政府奨学金 1,710 件およびその他の奨学金 586 件の合計 2,296 人の学生が外国の高等教育機関に留学している。下表は、2018 年から 2022 年までの政府奨学金およびその他の奨学金を通じて海外で学んだ学生の数を示す。

表 2-12　奨学金供与数（機関・年度別）

	Government Scholarship	Other Scholarship	Total
2018	2,166	715	2,881
2019	2,054	723	2,777
2020	1,710	586	2,296
2021	1,756	647	2,403
2022	1,782	654	2,436
Total	9,468	3,325	12,793

出所：OCSC のデータを基に調査団作成

2020 年から 2022 年にかけて、新型コロナウイルスによるパンデミックの影響が明確に見られ、2020 年には大幅な留学者数の減少が発生した。その後、2021 年および 2022 年には徐々に回復傾向にあるものの、コロナ前の水準に戻るには時間がかかっているが、今後は、留学者数がさらに回復していくことが期待される。2018 年から 2022 年の奨学金による海外留学生の留学先国別人数を下表に示す。

表 2-13　国別留学生数（2018 年から 2022 年）

Country	2018		2019		2020		2021		2022		Total	
イギリス	1244	43.2%	1260	45.4%	1049	45.7%	1106	46.0%	838	34.4%	5499	43.0%
アメリカ	925	32.1%	848	30.5%	723	31.5%	812	33.8%	989	40.6%	4298	33.6%
日本	145	5.0%	157	5.7%	137	6.0%	139	5.8%	182	7.5%	760	5.9%
ドイツ	145	5.0%	90	3.2%	78	3.4%	66	2.7%	69	2.8%	448	3.5%
オーストラリア	94	3.3%	102	3.7%	74	3.2%	54	2.2%	79	3.2%	403	3.2%
オランダ	64	2.2%	58	2.1%	40	1.7%	44	1.8%	52	2.1%	258	2.0%
中国	54	1.9%	53	1.9%	47	2.0%	36	1.5%	57	2.3%	247	1.9%
フランス	45	1.6%	35	1.3%	26	1.1%	23	1.0%	28	1.1%	157	1.2%
カナダ	21	0.7%	17	0.6%	15	0.7%	18	0.7%	15	0.6%	86	0.7%
ニュージーランド	21	0.7%	23	0.8%	15	0.7%	11	0.5%	10	0.4%	80	0.6%
台湾	5	0.2%	9	0.3%	12	0.5%	10	0.4%	18	0.7%	54	0.4%
韓国	8	0.3%	9	0.3%	8	0.3%	5	0.2%	12	0.5%	42	0.3%
その他	110	3.8%	116	4.2%	72	3.1%	79	3.3%	87	3.6%	464	3.6%
Total	2881	100%	2777	100%	2296	100%	2403	100%	2436	100%	12797	100%

出所：OCSC データを基に調査団作成

留学先国のトップ 2 はどの年度もイギリスとアメリカが占めており、期間を通じた両国の占有率は 75%を超える。日本は第 3 位に位置しているが、占有率は 6%弱である。

政府奨学金で留学した学生の研究分野および学問分野について、2018 年から 2020 年までの 3 年間のトップ 20 分野を下表に示す。

表 2-14　留学生研究分野トップ 20

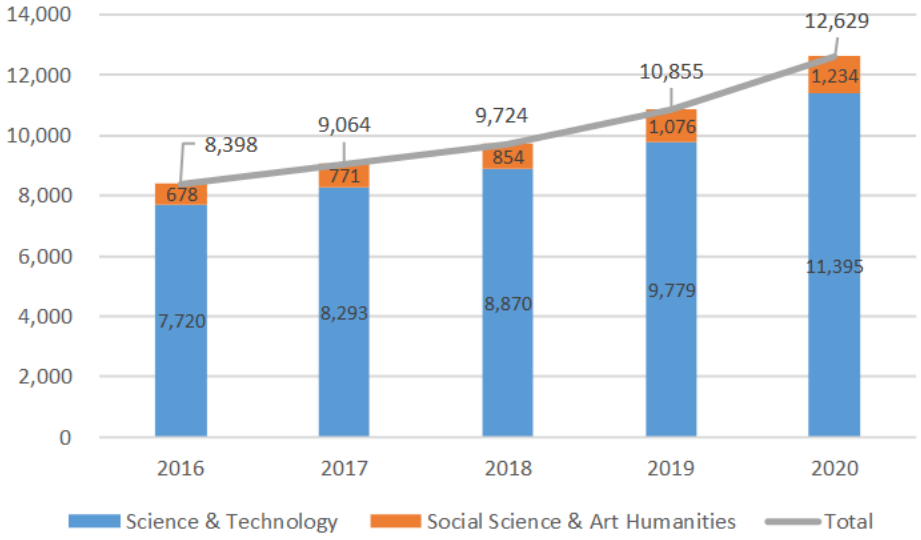
	2018		2019		2020	
	Field	(%)	Field	(%)	Field	(%)
1	Engineering	22.5	Engineering	22.2	Engineering	23.3
2	Biology	7.9	Computer Science	7.7	Computer Science	8.7
3	Computer Science	7	Biology	7.2	Physics	7.4
4	Physics	6.9	Physics	6.5	Biology	6.8
5	Mathematics	6.3	Mathematics	5.7	Mathematics	6.4
6	Chemistry	5.4	Chemistry	5.5	Chemistry	6.3
7	Science	3.9	Science	4.6	Science	4.9
8	Business Administration	3.5	Law	3.4	Economic	2.5
9	Law	3.2	Business Administration	3.2	Law	2.5
10	Economic	2.6	Economic	3.1	Business Administration	2.5
11	Medicine	2.4	Political Science	3	Food Science and Technology	2.3
12	Linguistics	2.3	Food Science and Technology	2.4	Medicine	2
13	Political Science	2.3	Medicine	2	Language	1.8
14	Food Science and Technology	2.1	Management	1.6	Nursing	1.6
15	Nursing	1.7	Linguistics	1.6	Pharmacy	1.6
16	Pharmacy	1.6	Nursing	1.6	Political Science	1.5
17	Environmental studies	1.5	Pharmacy	1.5	Geology	1.5
18	Social Science	1.4	Geology	1.4	Management	1.3
19	Geology	1.3	Social Science	1.4	Linguistics	1.3
20	Management	1.1	Environmental studies	1.3	Environmental studies	1.2
	Others	13.1	Others	13.1	Others	12.6

出所：OCSC データを基に調査団作成

毎年、工学、コンピュータサイエンス、生物学、物理学、化学など、科学技術関連の分野が上位を占めており、これらが将来のタイの研究開発において重要な役割を果たすコアな人材となることが強く期待されている。

2.2.2　研究論文

タイの研究者による国際ジャーナルへの投稿数の推移（2016 年から 2020 年）を下図に示す。



出所：Thomson Reuters Web of Knowledge,調査団作成

図 2-14　タイ国の研究者による国際ジャーナルへの投稿論分数

2020 年のアジア主要国の研究者数、論文数、研究者 1 名当たりの論文数を下表にまとめる。

表 2-15　アジア主要国の研究者数と論文数の比較

国	研究者	論文数			研究者 1 名当たりの論文数		
		S&T	Social	Total	S&T	Social	Total
シンガポール	44,800	15,066	3,227	18,293	0.336	0.072	0.408
マレーシア	83,800	13,802	2,345	16,147	0.165	0.028	0.193
韓国	525,700	68,653	8,809	77,462	0.131	0.017	0.147
中国	4,800,800	515,422	41,307	556,729	0.107	0.009	0.116
台湾	271,600	28,485	5,485	33,970	0.105	0.020	0.125
日本	903,400	88,179	7,038	95,217	0.098	0.008	0.105
フィリピン	27,800	1,972	582	2,554	0.071	0.021	0.092
タイ	166,800	11,395	1,234	12,629	0.068	0.007	0.076
インドネシア	74,900	5,032	1,192	6,224	0.067	0.016	0.083

出所：Thomson Reuters Web of Knowledge,調査団作成

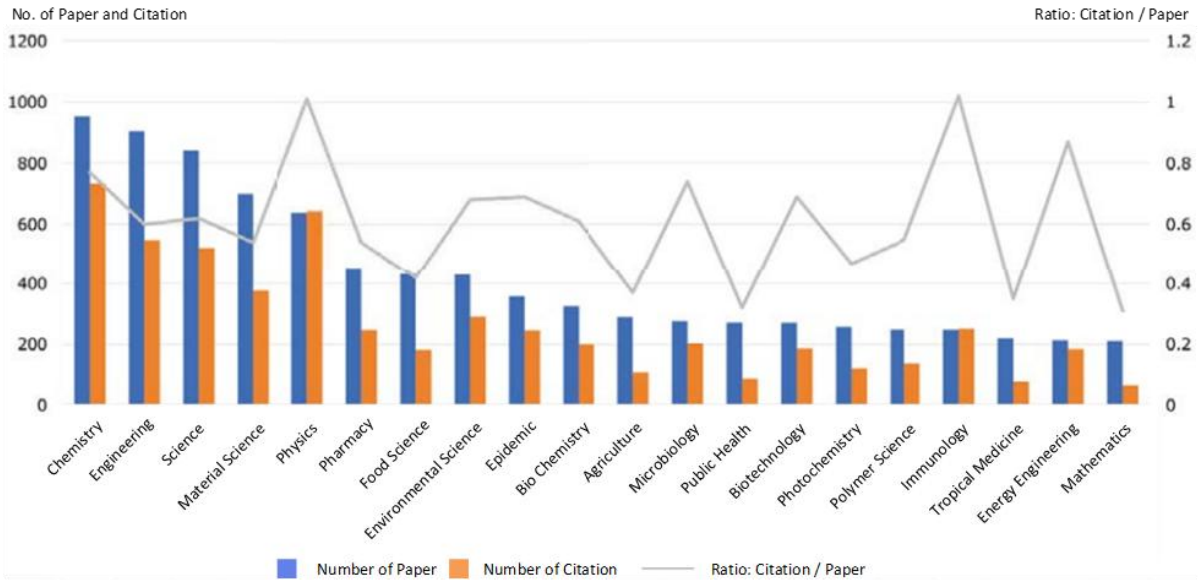
タイにおける研究者 1 名当たりの論文数は 0.068 であり、フィリピンやインドネシアと同レベルである。アジアの主要国の論文数と人口 1,000 人あたりの論文数を下表にまとめる。

表 2-16　アジア主要国の研究者数と論文数の比較

国	人口	論文数			人口 1,000 人あたりの論文数		
		S&T	Social	Total	S&T	Social	Total
シンガポール	5,680	15,066	3,227	18,293	2.652	0.568	3.221
マレーシア	32,366	13,802	2,345	16,147	0.426	0.072	0.499
韓国	51,269	68,653	8,809	77,462	1.339	0.172	1.511
中国	1,439,324	515,422	41,307	556,729	0.358	0.029	0.387
台湾	23,561	28,485	5,485	33,970	1.209	0.233	1.442
日本	126,476	88,179	7,038	95,217	0.697	0.056	0.753
フィリピン	109,581	1,972	582	2,554	0.018	0.005	0.023
タイ	69,800	11,395	1,234	12,629	0.163	0.018	0.181
インドネシア	273,524	5,032	1,192	6,224	0.018	0.004	0.023

出所：Thomson Reuters Web of Knowledge,調査団作成

タイの人口 1,000 人あたりの論文数は 0.163 であり、マレーシアや中国より少ないものの、フィリピンやインドネシアを上回っている。2020 年におけるタイの究分野別の論文数、被引用数、および被引用数/論文比率を下図に示す。



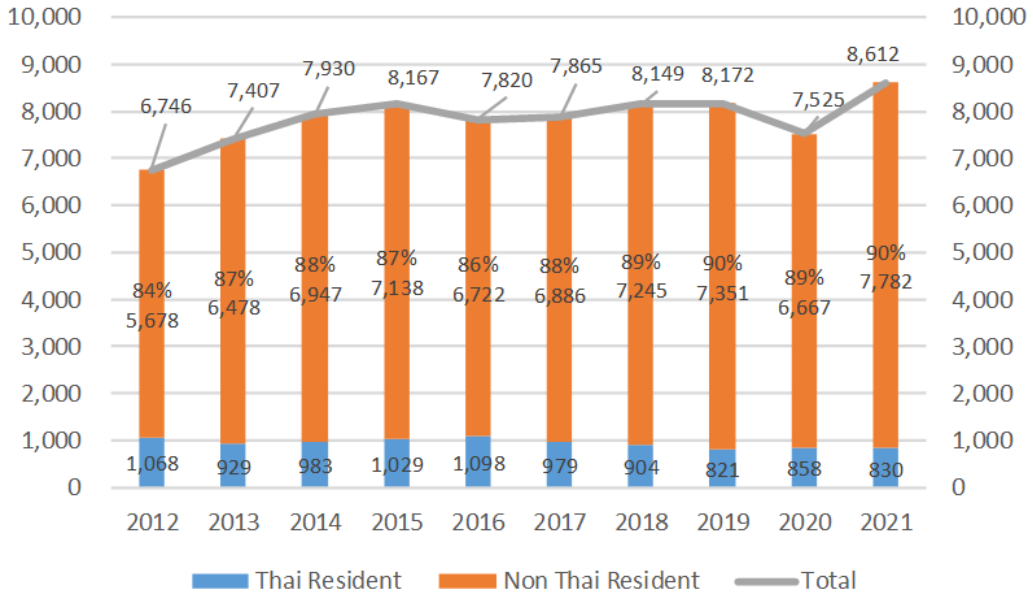
出所：NXPO,調査団作成

図 2-15　タイ国の研究者による国際ジャーナルへの投稿論分数

化学分野が論文数、被引用数ともに最も多い。

2.2.3　特許

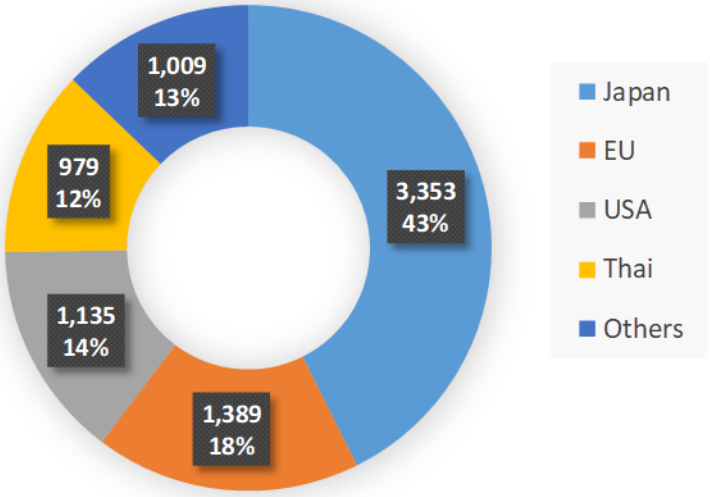
タイにおいて、知的財産権（特許を含む）は、商務省の知的財産局（DIP）によって管理されている。特許、小特許（日本の「実用新案」に類似）および意匠は、特許法（1979 年、1992 年、1999 年）により法制化されている。タイの特許出願の特徴の一つは、国内居住者よりも外国居住者による出願が多い点である。下図に示されているように、過去 10 年間におけるタイでの特許出願総数は緩やかに増加しており、外国居住者による出願の割合は全体の 80～90%と高水準を維持している。



出所：DIP.調査団作成

図 2-16　タイ国の特許申請数（2012 - 2021)

下図に示されている通り、日本からの特許出願が全体の 43%を占めており、タイからの出願は 12%である。



出所：JETRO バンコク.調査団作成

図 2-17　タイでの特許申請数の国別内訳（2017)

アジア太平洋諸国における国際特許件数の概要を下表に示す。

表 2-17　アジア太平洋諸国における国際特許件数

国	2017	2018	2019	2020	2021
中国	1,257,702	1,306,019	1,460,244	1,327,847	1,441,085
日本	453,640	460,660	460,369	452,130	423,254
韓国	233,625	226,568	232,020	248,427	260,610
インド	25,795	27,985	30,036	34,015	37,880
オーストラリア	11,679	11,656	12,261	12,568	11,906
シンガポール	6,684	6,950	7,415	7,354	7,946
マレーシア	1,929	2,148	2,060	2,122	1,923
ニュージーランド	3,062	3,182	3,039	2,173	2,377
インドネシア	52	2,320	1,451	3,141	1,358
タイ	503	1,611	1,685	1,766	1,512
ベトナム	632	663	749	838	1,133
フィリピン	554	508	736	674	630
モンゴル	114	128	83	90	70
ブルネイ	5	19	25	21	10
カンボディア	4	-	10	2	11
ラオス	5	-	1	1	8
ミャンマー	2	3	1	1	-

出所：世界知的所有権機関, 調査団

2021 年のタイにおける国際特許出願件数は 1,512 件であり、ASEAN 諸国ではシンガポールおよびマレーシアに次ぐ 3 番目の多さである。

2.2.4　産官学連携事業

タイを中所得国の罠から解放するための鍵の一つは、技術とイノベーションを活用して高付加価値の製品およびサービスを創出し、イノベーションを基盤とした経済および社会を推進することである。産業はイノベーション主導型経済の発展において重要な役割を担うため、企業がイノベーションを起こし、商業的に実現可能な製品およびサービスを生み出す技術を開発することが必要である。この問題に対処するために、産業、政府および学術界が連携して取り組むこと求められている。

高等教育および研究活動の双方を管轄する観点から、MHESI は産学官連携プロジェクトとして 2 つのプログラムを推進している。

- 高等教育サンドボックス：産業界のニーズに応える人材を育成するためのプログラムである。
- タイビジネスイノベーションリサーチ（TBIR）：政府セクターのニーズに応じた研究を推進するための研究資金を提供するプログラムである。

高等教育サンドボックス

高等教育サンドボックスは、MHESI が高等教育法 B.E.2562 の第 69 条に基づいて立ち上げた高等教育システムであり、従来の高等教育カリキュラムやプログラムを革新的に改善し、産業界の人材育成ニーズに応えることを目的としている。このシステムの下での高等教育プログラムは、産業界との協力に基づいてカリキュラムを開発することが求められる。従来の学期制（4 年制学士課程）やカリキュラム要件に縛られず、より実践的で革新的なカリキュラムを開発することが可能であり、民間企業のニーズに応えることができる。

タイビジネスイノベーションリサーチ（TBIR）

TBIR は、政府セクターが求める研究に地元企業が参画することを促進するための資金提供プログラムである。TBIR には以下の主要な関係者がいる。

政府 – 主に資金提供を行い、研究とイノベーションのリスクを負う。政府は、自らの使命を果たしたり、社会問題を解決したり、経済的な影響を生み出すために必要な技術やイノベーションのニーズを特定する。また、他の潜在的なユーザーに繋げる前に、これらの技術やイノベーションの最初のユーザーとしても機能する。

企業 – 企業は、政府機関が求める技術やイノベーションの発明者としての役割を担う。イノベーションを創出するだけでなく、TBIR を通じて企業のポテンシャルを向上させる。

大学 – 大学は、企業に対して研究開発のサポートおよびメンターシップを提供する。

TBIR は、政府、大学、産業界の協力を促進するメカニズムを備えており、共同研究や技術・知識の移転、研究施設の利用を通じて、企業におけるイノベーション創出に向けたすべてのリソースを活用することを目指している。タイには多くの中小企業（SME）が存在するため、TBIR は中小企業やスタートアップ企業に研究助成金を提供する資金提供機関として中小企業の成長を促進することが期待されている。このプログラムにより、企業が研究助成金から生まれた知的財産を所有できるため、商業化プロセスが迅速化され、中小企業やスタートアップ企業がイノベーション主導型企業へと成長し、イノベーション主導型経済の原動力となることが期待されている。

2.2.5　大学発ベンチャー企業

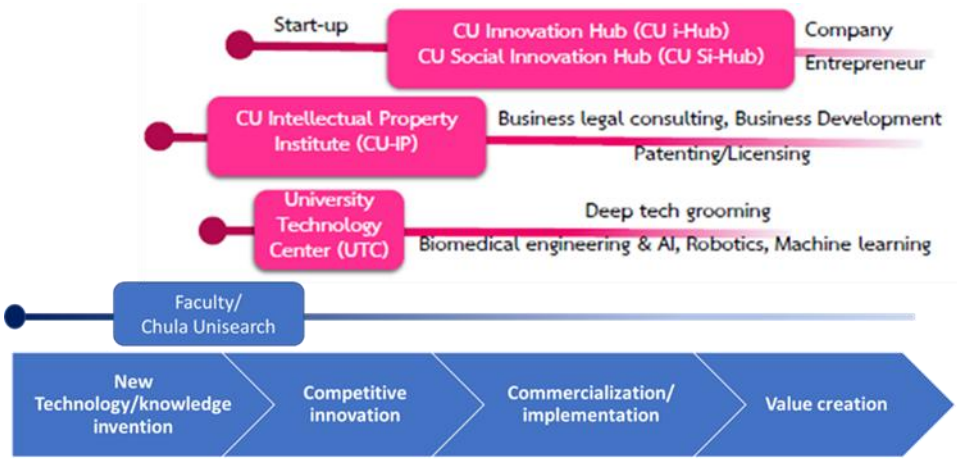
大学発ベンチャーは、大学の潜在的な研究成果を発掘し、革新的な製品で新たな市場を創出する「イノベーションのリーダー」として期待されている。前述の通り、イノベーションを基盤とした経済および社会への変革は、タイにとって重要な課題であり、大学発ベンチャーの育成が強く求められている。この問題に対応するため、前述の通り MHESI は、スタートアップ企業や中小企業向けの研究資金を支援するプログラムとして「TBIR」を開始した。大学によっては、産学連携を支援する組織とは別に、大学発ベンチャーを専門的に支援するシステムを設置しているところもある。各大学とそれに付随するスタートアップ支援組織を下表にまとめる。

表 2-18　主要大学のスタートアップ支援組織

大学	スタートアップ支援組織
チュラロンコン大学	CU Innovation Hub (CU iHub)
マヒドン大学	Institute for Technology and Innovation Management (INT)
モンクット王工科大学ラカバン校	KMITL Research and Innovation Services (KRIS)
モンクット王工科大学トンブリー校	Knowledge Xchange for Innovation (KX)
コンケン大学	Technology and Innovation Management Center (KKU-INNOPRISE)
スラナリ工科大学	Student Entrepreneurship Development Academy (SEDA)
タマサート大学	Center of Intellectual Property and Business Incubator (TUIPI-TUBI)
プリンスソンクラー大学	PSU Science Park
チェンマイ大学	Science and Technology Park (STeP)

出所：各大学の情報を基に調査団作成

チュラロンコン大学は、大学発スタートアップ企業を育成するために学内に研究支援組織を設置している。これらの組織の役割と責任は下図に示されている。



出所：Chula Research Affairs

図 2-18　チュラロンコン大学のスタートアップ支援組織

チュラロンコン大学は、2017 年に大学発スタートアップ企業を支援するために CU Innovation Hub（CU iHub）を設立した。CU iHub は、タイ社会を新たな生活様式や学び、創造性へと導くイノベーションを創出し、未来のリーダーとなる優秀な人材を育成することを目的としている。テクノロ

ジーと知的財産管理を通じて新たなビジネスチャンスを発見し、従来の産業に変革をもたらすことを目指している。iHub の下で活動するスタートアップ企業は、社会に対して顕著なイノベーションを創出することに焦点を当てており、以下の 5 つの主要分野に注力している。

- ヘルスケア／高齢化
- 教育
- バイオ循環型グリーンフードおよび農業
- 持続可能な社会
- ディープテクスーパークラスター

CU iHub 傘下のスタートアップ企業には、タバコの葉から新型コロナウイルスワクチンを製造する Baiya Phytopharm 社や、公共交通機関利用者をサポートするモバイルアプリ「ViaBus」が含まれている。ViaBus は、Forbes 誌の 2021 年アジア版「コンシューマーテクノロジー分野トップ 30」に選出された企業である。CU iHub が設立を支援したスタートアップ企業は、下表にまとめられている。

表 2-19　CUiHub が設立を支援したスタートアップ企業

Startup name	Affiliation/ Research Field	Innovative Product	Description	Achievements
Baiya Phytopharm	Pharmaceutical Sciences	Biopharmaceutical products COVID-19 vaccine	Focused on strengthening health security for all people, such as vaccines and anti-cancer products	The first plant-based cGMP facility for human in Asia
ViaBus	Computer Engineering	Real-time Transit Application	A real-time public transport bus tracking and navigation application around Bangkok Metropolitan	Consumer Technology 30 Under 30 (2021 Forbes Asia)
sPace	Mechanical Engineering	Dynamic Artificial Prosthetic Feet	A high-quality dynamic prosthetic feet made from carbon fibers which are flexible and bendable and can store energy with each step.	Petty patent, ISO 10328 strength standards, ISO 13485 for quality, and Food and Drug Administration (FDA) certified
Cure	Metallurgy Engineering and Material Science	Cure Air Filter	High Efficiency Filtration Technology	Sub-micron Particulate Filtration Efficiency (PFE) at 0.1 Micron, Design Excellent Award 2021
Nabsolute	Pharmaceutical Sciences	Mask Shield+ Protecting Spray	Nano-modification of biopolymer (Hy-N Technology) to unlock the limitation of new healthcare material development	Patented technology improving stability and efficacy of cosmetics, food, pharmaceutical products
PhytFoon	Pharmaceutical Sciences	Dust Reduction Spray	For Allergic and PM2.5 protection which derived from natural compounds	Human Repeat Insult Patch Test, Hypoallergenic Test
Enginelife	Bio-medical Engineering	SERI products for Drug/Vaccine controlled release systems and Tissue engineering	R&D of Thai silk protein for medical application. The focused applications are drug-controlled release carrier and artificial scaffold for tissue regeneration	SERI Cleanroom Laboratory with ISO 14644-1 Standard

Startup name	Affiliation/ Research Field	Innovative Product	Description	Achievements
Mineed	Pharmaceutical Sciences	Mineed's Detachable Dissolvable Microneedles	Detachable Dissolvable Microneedle Technology: quick, convenient, and painless administration with dose precision	Taiwan patent granted
Tann D	Allied Health Sciences	Tann D Inno-Food (Eggyday)	Demon Protein Albumen Food	CU petty patent
Enrez	Information Technology and Computer Engineering	Enrez: IoT and AI based Building Health and Energy Monitoring	24Hrs Real-Time Monitoring and Analysis using IoT and AI Technology	DEPA Accelerator Program (ASEAN's First Smart City Accelerator Winner (2019)
Kollective	Information Technology and Marketing Technology	Integrated Influencer Marketing Optimizer	Redefine "Influencer Marketing" in a non-traditional way for maximum performance and efficiency	5 winners in Startup Competitions
Biom	Biotechnology Sciences	Microbial Biostimulants	Innovative "microbial" detoxification accumulated residual in the soil	Patent Pending
Crystallyte	Nanotechnology Engineering	Crystallyte: CO2 converter into Carbon Nanomaterials	Negative CO2 emission carbon production from natural oxygenic organic compounds via zero thermal energy CO2 capture/regeneration process	MOU with Department of Intellectual Property

出所：チュラロンコン大学、調査団

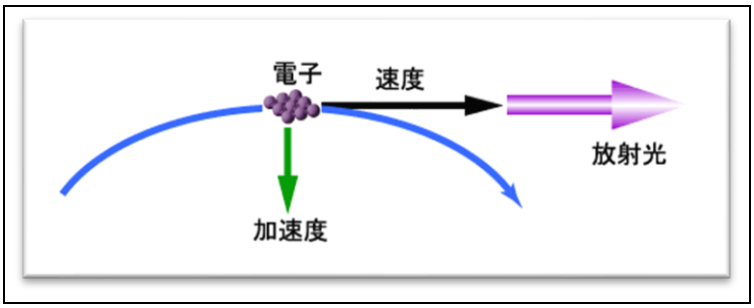
2.3　放射光施設の概要（仕組み）・特徴

2.3.1　放射光施設の仕組み

(1)　原理

光速に限りなく近い速さで直進する電子が、その進行方向を磁石などによって変えられた際に発生する電磁波を放射光と呼ぶ。放射光は、電子のエネルギーが高いほど指向性の高く明るい光となる。また、電子のエネルギーが高く、進む方向の変化が大きいほど、X線などの短い波長の光を含む。

電子は周囲に電場をつくり、高エネルギー電子が磁場によって曲げられると、仮想光子が振り落とされて現実の光子となって放出される。これが放射光である。



出所：放射光の原理 SPring-8 ウェブサイト

図 2-19　放射光施設の仕組み

(2)　放射光を発生させるための磁石

電子の進行方向を変えるために用いる磁石のタイプには、電子をリング状の加速器に沿って周回させるための偏向電磁石と、磁石列を特定の形に組み合わせた挿入光源がある。挿入光源はさらにアンジュレータとウィグラーの 2 種類に分けられ、それぞれ特徴ある放射光が得られる。

- 偏向電磁石：赤外線からＸ線までの連続した波長の光が得られる
- アンジュレータ：磁場が比較的弱いときには、電子を周期的に小さく蛇行させ、蛇行の都度発生する放射光を干渉させることにより、極めて明るい特定波長の光が得られる
- ウィグラー：磁場が比較的強いときには、電子を大きく複数回蛇行させることにより、偏向電磁石よりも、より明るい連続した波長の光が短い波長領域で得られる

(3)　利用領域

放射光は、以下の目的に利用できる。

- 物質の種類や構造、性質を詳しく知るため
- 様々な環境下での物質の構造や性質、及びその時間変化の様子を詳しく知るため
- 化学反応や物質変化のメカニズムを解き明かす推進力として用いるため

放射光は以下のような広範な分野で基礎研究から応用研究、さらに、産業利用に役立っている。

生命科学：　タンパク質巨大分子の 3 次元構造解析、非結晶生体物質の小角散乱、薬剤設計、新薬開発など

物質科学：　先端材料の原子・電子の構造、極端条件下の材料物性、産業材料の評価、新物質創製と材料改質など

化学：　触媒反応の動的挙動、表面のＸ線光化学過程、原子・分子分光、超微量元素分析及び化学状態、考古学的研究など

地球科学：　地球深部物質の構造と状態、極限環境下の物性、隕石・宇宙塵の構造など

環境科学：　生体試料中の環境汚染微量元素の分析、高性能電池材料の局所構造解析、環境浄化用触媒の分析など

医学：　微小血管造影法による腫瘍血管の観察、トモグラフィ、屈折コントラスト・映像法による呼吸器系疾患の観察など

産業：　半導体用新酸化物材料の評価、ナノ材料の評価、微量元素分析、材料の断層観察、材料の歪み分布解析など

また、エネルギー領域ごとの主な研究分野ついては下記に示す通りである。高エネルギー領域では回析・散乱を用いた構造研究が主力であり、低エネルギー領域では分光での電子状態研究が主力である。

硬 X 線領域：

- 0.2nm 以下の短波長の光
- 原子レベルのイメージングや結晶構造解析など微視的構造解析などの研究

軟 X 線領域：

- 0.2nm から 10nm の光
- 元素が持つ「内殻電子」に作用。特定元素周辺の局所的な電子構造やスピンの状態の選択的な計測が可能
- ベリリウムからカリウムなど軽元素の電子束縛エネルギー領域と重複し、元素特有の電子状態を捉える

真空紫外線領域：

- 10nm から 300nm の光
- 元素が持つ「価電子」に作用。物質中の価電子状態を全体的にとらえることが可能
- 物資質の科学結合状態や磁性に関わる価電子構造を調べること、光誘起構造相転移等の誘起が可能

下表に示す通り、エネルギー領域と計測手法を整理する。

表 2-20　エネルギー領域と計測手法

	回析・散乱	イメージング	分光	非弾性散乱
硬 X 線（真空不要）	構造解析、応力計測、歪計測、散漫散乱、小角散乱	ラジオグラフ、トポグラフ、X 線顕微鏡、X 線 CT	EXAFS、X 線蛍光分析、光電子分光	Compton、非弾性散乱、共鳴非弾性
軟 X 線（要真空）	共鳴散乱	軟X線顕微鏡、軟X線 CT	吸収分光、発光分光、光電子分光	共鳴非弾性
真空紫外線（要真空）			吸収分光、発光分光、光電子分光	

出所：SPring-8 の HP を参照に調査団作成

(4)　放射光施設の各設備の名称と機能

放射光施設は基本的に下表の設備により構成される。

表 2-21　放射光施設の各設備の名称と機能

設備名称	機能
電子銃（インジェクター）	電子を発生させる。電子銃で、タングステンの電極から電子ビームが引き出される。
加速器	電子を加速させる。電子ビームをほぼ光速まで加速させる。
蓄積リング	電子ビームを高エネルギーに保ち、周回させる。その間に偏向電磁石や挿入光源（アンジュレータ）によって放射光が放出される。
ビームライン	X 線を試料に当てる。ビームラインでは、放射光から、さらに分光器や集光ミラーなどによって、実験目的に応じた波長の X 線を取り出し、実験ハッチで試料に照射する。
ラボ	データを解析する。試料に照射した後にでてくる X 線、試料自体の変化や試料からの二次的に放出される光や電子などを検出器によって読み取り、そのデータを解析する。

出所：SPring-8 の HP を参照に調査団作成

(5)　世代別放射光施設の特徴

放射光施設がどのようにして生まれ、発展してきたのかを、世代別に下表に整理した。

表 2-22　世代別の放射光施設の特徴

世代名称	放射光施設の特徴	代表的な施設/組織
第 1 世代 （1940～1960）	放射光の専用施設ではなく、素粒子物理学研究用として建設された加速器により放射光利用を行った時代のもの。真空紫外線の波長領域のみ利用可能。	コーネル大学シンクロトロン（米） 東京大学原子核研究所電子シンクロトロン（日） NBS-SURF（米）
第 2 世代 （1970～1980 年代）	放射光専用の加速器および実験設備が建設され、蓄積リングの利用により、安定した放射光が供給可能となった。真空紫外線の波長領域から、より短波長の X 線領域を利用可能。	SOR-RING（日） 放射光源 SRS（英） 国立放射光源 NSLS（米） フォトン・ファクトリー（日） サイアム・フォトン光源（SPS-I）（タイ）
第 3 世代 （1990 年代～）	高性能の低エミッタンス蓄積リングに専用の加速器にアンジュレータ主体の挿入光源を多数設置できるように設計された施設により、より輝度の高い放射光を利用可能。加えて、第 2 世代よりも短波長の硬 X 線領域も利用可能。	欧州シンクロトロン放射光施設（仏） アドバンスド・フォトンソース（米） SPring-8（日） NSLS-II（米） TPS（台湾） SSRF（中国）
第 4 世代 （次世代）	従来のダブルベンドから、マルチベンドラティスへと進化した放射光施設で、光の明るさが従来の第 3 世代放射光施設と比べて 100 倍以上となり、コヒーレンス性も高まる。これまでなし得なかった研究成果が、医学分野、エネルギー分野等で得られることが期待される。	MAX-IV（スウェーデン） SIRIUS（ブラジル） ナノテラス（日本） *整備中:、HEPS（中国） *計画中：PAL（韓国）
自由電子レーザー （次世代）	自由電子のビームと電磁場との共鳴的な相互作用によってコヒーレント光[6]を発生させる方式のレーザーである。媒質によって発する光の波長が決まる一般のレーザーと異なり、電気的な操作によって波長を自由に変えることができるという特徴を持ち、軟 X 線、紫外域、可視光線、遠赤外域まで幅広い波長の光を取り出すことができる。	SACLA 理研播磨（日本） PAL (韓国) SwissFEL (スイス)
備考	マルチベンドアクロマット（MBA）ラティス：蓄積リングを構成する磁石群の基本構造（ユニットセル）の中の電子ビームを曲げる偏向電磁石の数を、従来の 2 つ（ダブルベンドアクロマット（DBA））より多く設置し、さらに低エミッタンス化を実現した蓄積リングの磁石配列	

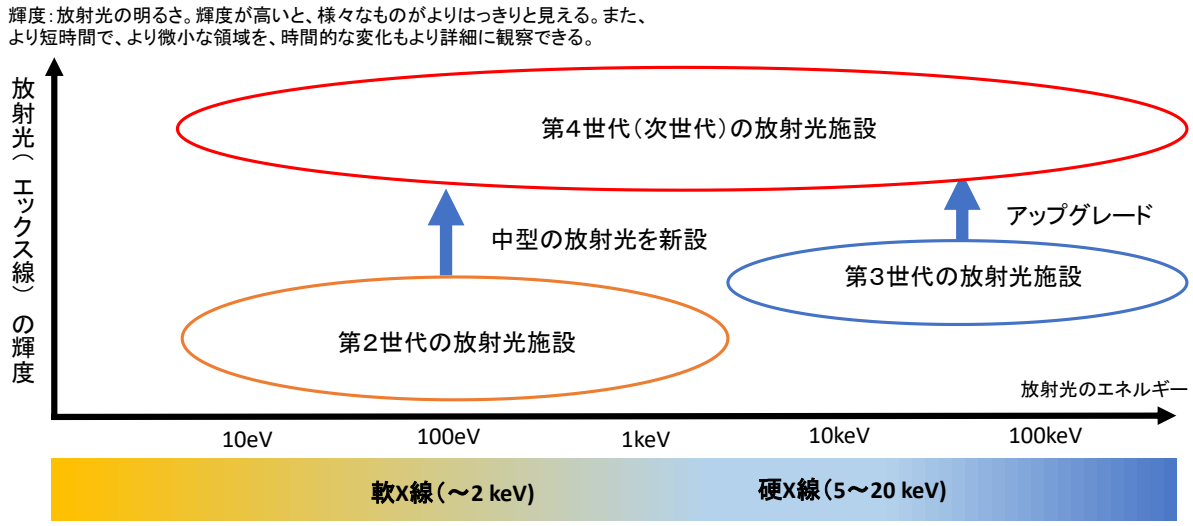
出所：SPring-8 のウェブを参考に調査団作成

上表の通り、近年は短周期アンジュレータ技術の進歩もあって、3GeV 程度の施設（例：MAX-IV）で硬 X 線が使えるようになり、高エネルギー蓄積リングを新たに建設する試みは行われなくなっている。

[6] 観測する波長がバンチ長に比べて短い場合には，電子の個数分だけ足し合わせた放射強度になる（インコヒーレントな放射）。逆に波長が長い場合には，電磁波の位相が揃って重ね合わさることになり，放射強度は電子数の 2 乗に比例する。これがコヒーレント光である。

現在、世界各地の新設あるいは計画中の放射光施設の大半が第 4 世代である。国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構が運営している次世代放射光施設ナノテラスも第 4 世代である。ナノテラスは、東北大学のキャンパス内に建設されている。「可視化」[7]と「コヒーレント光」を武器に、AI・ビッグデータ活用時代の研究開発との融合により、我が国の研究開発力を抜本的に強化していくことを期待されている。

従前の第 3 世代の放射光施設においても、第 4 世代へのアップグレードが世界各地で数多く計画されている。



出所：調査団

図 2-20　年代別の放射光施設の特徴

2.3.2　タイ国内の放射光施設の開発変遷

(1)　サイアム・フォトン計画

1996 年に「サイアム・フォトン計画」と名付けられたタイの放射光計画を実施するタイ国立シンクロトロン光源加速器研究センター（NSRC）が設立された。タイ国内において、基礎科学、特に物理学と数学の教育の充実を図るための人材育成が目的された計画であった。また、物理学や化学のような基礎科学の研究推進が国家の科学技術水準に向上に必要不可欠であり、サイアム・フォトン計画の推進が重要な貢献をするという位置づけであった。人材育成と基礎研究の推進という 2 つを目的とし、具体的には次の計画内容であった。

1. GeV の光源専用電子蓄積リングを建設する。将来は電子エネルギーを 1.2 GeV に上昇させることを考える
2. 固体の電子状態および固体表面研究用のビームラインを建設する
3. 将来，XAFS やマイクロリソグラフィー，LIGA 微細加工などの応用研究も考える
4. 将来，超伝導ウィグラーを設置して，X 線を出すことも考える．X 線用のビームラインも建設する

[7] 物質や生命の機能をナノレベルで可視化

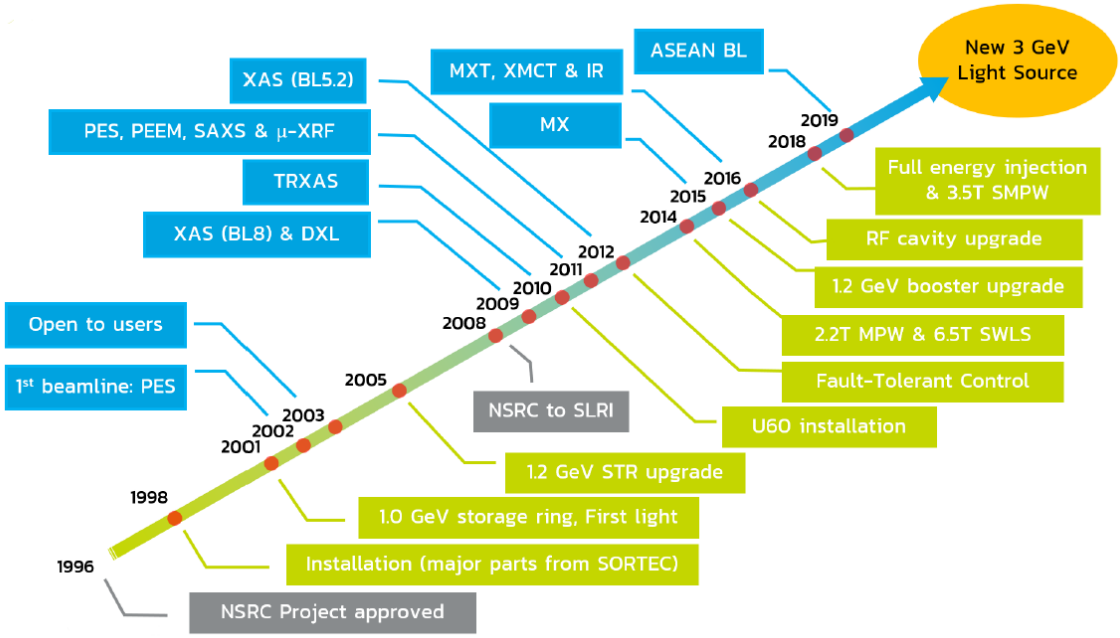
(2)　日本の光源加速器システム提供

タイ国政府は、日本から SORTEC-1 光源加速器システムを提供されて、放射光研究施設を建設して運営することにより、タイ国の科学技術の振興と人材育成を目指す事業をおこなった。SORTEC[8]で使用されていた加速器複合体（1 GeV 電子蓄積リング，ブースターシンクロトロン，入射ライナック）をもらい受け，光源用の蓄積リングを改造して，使用した。

(3)　開発の変遷

開発変遷は下図に示す通りである。1998 年に加速器主要パートが据え付けされ、2001 年に加速器のファーストライトが確認でき、2003 年にユーザー利用可能となっている。2008 年にタイ内閣は研究所の設置根拠法令となる「仏暦 2551 年タイ・シンクロトロン放射光研究所設置法」を発布。科学技術・環境省管轄下のタイ・SLRI 設立し、研究センターを監督下においた。

2009 年には X 線小角散乱（SAXS）ビームライン、赤外分光顕微鏡、X 線吸収分光ビームライン(SUT-NANOTEC-SLRI）を設計、光電子顕微鏡（PEEM）の運用試験を実施した。



※ NSRC: National Synchrotron Research Center (previous name of SLRI), PES: Photoemission Spectroscopy, XAS: X-ray Absorption Spectroscopy, DXL: Deep X-ray Lithography, TRXAS: Time-Resolved X-ray Absorption Spectroscopy, PEEM: Photoemission Electron Microscopy, SAXS: Small Angle X-ray Scattering, XRF: X-Ray Fluorescence, MPW: Multi-Pole Wiggler, MX: Macromolecular Crystallography, MXT: Multiple X-ray Techniques, XMCT: X-ray Microtomography, IR: Infrared, SMPW: Superconducting Multi-Pole Wiggler

出所：SLRI

図 2-21　タイ放射光施設開発の変遷

[8] SORTEC は，放射光を用いたマイクロ・リソグラフィーにより，大規模集積回路を製造する基盤技術を開発することを目的に、通産省（当時）の外郭機関である基盤技術研究促進センターと民間企業 13 社が出資して 1986 年に設立された株式会社である。

2.3.3　日本や他の国の放射光施設と技術の優位性

(1)　日本の科学技術基本計画における放射光施設

第 3 期科学技術基本計画（平成 18～22 年度）において、放射光施設は最先端の大型共用研究設備は、整備・運用に多額の経費を要し、広く共用に供することが世界最高水準の成果創出つながるものであるため、特定研究機関の事業はなく、国が責任をもって整備・共用を推進すべきであるとの方針が提示されている。これに基づき、我が国においては、産学官の様々な組織から最も適した組織を選択し、公平で効率的に整備・共用が実施されてきた。近年、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進するツールとしても重視されている。

第 5 期科学技術基本計画（平成 28～平成 32 年度）では、オープンイノベーション推進に向けた取組の強化を促すため、産学官の人材、知、資金を結集させ、共創を誘発する「場」の形成を重視している。イノベーションの迅速な創出には、近年、リサーチコンプレックス、即ち、一定の範囲の物理的空間において、大学、研究機関、企業等がそれぞれの活動を融合させ、世界の注目を集める研究開発、成果の事業化、人材育成を一体的に実施するための世界的にも優れた研究インフラ、組織、その他の資源の集積、の形成を加速することが有効と考えられている。

(2)　日本の国内放射光施設

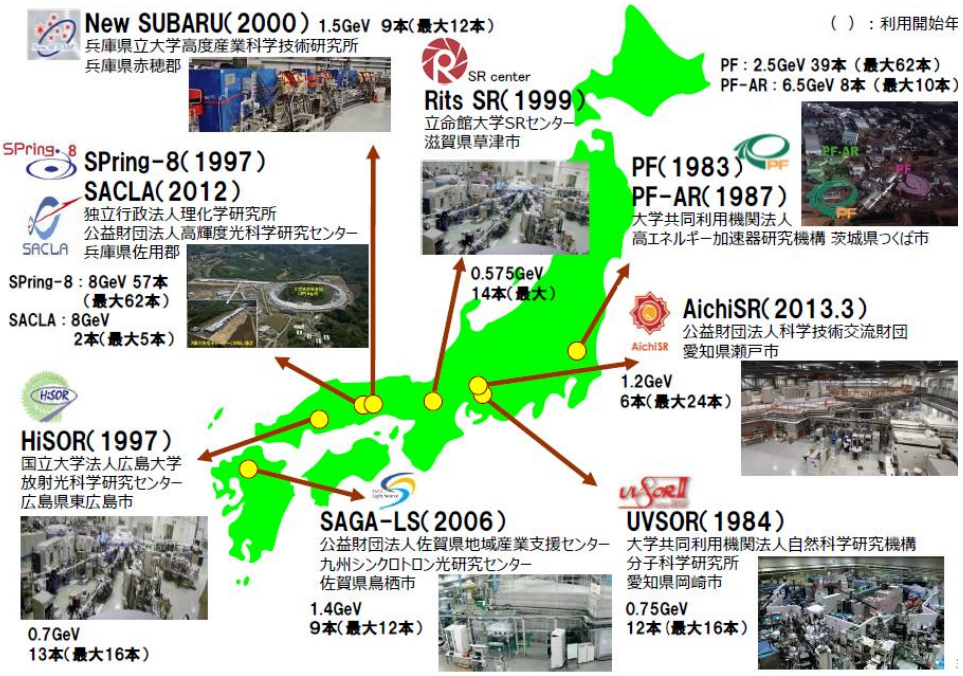
下図のとおり、我が国では、国や地方自治体、大学等により、これまで 9 つの放射光施設が整備されており、物質科学、生命科学、地球科学等の広範な分野で、数々の高インパクトな学術研究の成果が生み出されている。創薬や新材料開発等の分野では放射光の産業利用が進められており、放射光施設は科学的・社会的・経済的課題の解決に資するイノベーションの源泉としての役割を果たしている。

放射光科学の黎明期に世界各地の施設に技術的革新をもたらした真空封止型アンジュレータ[9]の開発・高度化をはじめ、我が国は世界の放射光科学を技術開発の面から牽引する役割を担ってきた。そうした我が国の技術的優位性は、第三世代放射光施設の最先端施設の一つとして国内外の学術・産業利用を支えてきた SPring-8 やその他の特色ある先端放射光施設など個々の施設の技術性能レベルにおいては依然として国際的に高い評価とプレゼンスを維持していると言える。国内初の第 4 世代光源を採用した 3GeV 高輝度放射光施設「ナノテラス」が、2025 年 4 月に運用を開始した。その他、我が国の放射光施設の開発において、世界的に特筆すべき点を列挙する。

- 1990 年真空封止型アンジュレータ開発され、PF-AR(フォトンファクトリー・アドバンストリング)において、世界で初めて挿入光源に採用
- 2004 年 SPring-8 がトップアップ運転10開始。世界初の”実験を一切妨げない”理想的なトップアップ運転を確立
- 2013 年 AichiSR　供用開始と同時にトップアップ運転を導入。世界初の超電導偏向電磁石による硬 X 線の発生

[9]真空槽の中に磁石列を配置する。真空内で磁石配列を上下移動することで任意のギャップに調整することも可能。従来のアンジュレータのギャップの最小値が 10mm 程度なのに対し、真空封止型では電子ビームに触れる寸前の 3mm 程度まで狭くできる。

[10]電子を継ぎ足し入射し、蓄積電流を通常運転時の上限一杯に維持する運転のことである。トップアップ運転では、入射時にも入射のない時と同様実験が可能である。



備考：2025 年現在、SACLA のビームライン数は 3 本である。
出所：次世代放射光施設検討ワーキンググループ（第 1 回）平成 26 年 6 月 10 日

図 2-22　日本の国内放射光施設

(3)　ASEAN における放射光施設

ASEAN 諸国では、シンガポールにも放射光施設がある。Singapore Synchrotron Light Source（SSLS）は、シンガポール国立大学の研究施設の一部であり、1999 年から稼働している。SSLS は、電子エネルギー700MeV、磁場 4.5T の第二世代の小型超伝導蓄積リングである。SSLS 蓄積リングの電子ビームは、光子エネルギー1.47keV、波長 0.845nm であり、実効 X 線スペクトルは約 10keV の範囲から 10cm-1 未満の遠赤外線までの周波数までをカバーする。フラックスは軟 X 線領域と隣接する硬 X 線領域で最大だが、硬 X 線へのロールオフが大きく、実験条件にもよるが、10keV が実用的な限界と考えられている。しかし、赤外線では、エッジ効果、すなわち 2 つの超伝導双極子のうち一方の入射領域における最大屈曲磁場の約半分の位置に光源点を選択することで、赤外線スペクトル領域全体にわたって高いフラックスと輝度が得られる。SSLS は主に大学や研究機関における研究用途に使用されている。

表 2-23　SSLS における HELIOS ビームラインの主なパラメータ

ビームライン	名称	エナジー範囲	測定方法
ISMI	Infrared Spectro / Microscopy	104-10 cm-1	FTIR-1, FTIR-2
LiMiNT	Lithography for Micro- and Nanotechnology	>2 keV	
PCIT	Phase Contrast Imaging and Tomography	>2keV	
SINS	Surface, Interface and Nanostructure Science	0.05 – 1.2 keV	XPS, PES, XAS, XMCD, AFM/STM
SINS EUV	Surface, Interface and Nanostructure Science EUV		
SUV	Soft X-ray – Ultraviolet	3.5 -1500 eV	
XAFCA	X-ray Absorption Fine structure for catalysis	3.0-12.8 keV	XAFS
XDD	X-ray Development and Demonstration	2.4 – 10 keV	XRD, XRR, XRF, XRT

出所：調査団

(4)　市・大学・放射光施設が一体となったリサーチコンプレックスの形成

リサーチコンプレックスとは、地域において集積している研究機関、企業、大学などがそれぞれの活動を融合させ、世界の注目を集める、異分野融合による最先端の研究開発、成果の事業化、人材育成を一体的・統合的に展開するための複合型イノベーション推進基盤のことである（出所：科学技術振興機構ホームページ）。世界では、下表に纏めるとおり、放射光施設を核としたリサーチコンプレックスが急成長している。

表 2-24　世界のリサーチコンプレックスと放射光施設について

リサーチコンプレックス名称	放射光施設	備考
フランス国サクレー	SOLEIL	2010 年に総予算 3500 億円で整備を宣言。
スイス国イノベーションパーク	SLS	パーク・イノヴァーアレ PSI（パウル・シェラー研究所）：先端技術を民間企業に移転するためのセンター • ビームタイム：5056 時間（99%：利用率） • スピンオフも推奨している（例：DECTRIS など
台湾新竹科学園区 HSP	NSRRC(TPS)	大学、研究機関、半導体産業が集まり、新竹科学園区 HSP が整備された • スピンアウト企業として UMC と TSMC を設立
スウェーデンサイエンスビレッジ	MAX-IV	放射光施設で構成される複合研究施設、ルンド大学からなる複合研究施設である。 リサーチコンプレックスの概要： • 350 社、2,700 人の雇用。ルンド大学と連携 • ルンド大学との連携によるオープンイノベーションとアントレプレナーシップ支援。ICT、テレコム、生命科学 • ESS： 5MW 核破砕中性子源　2GeV 超伝導陽子ライナックによる 5MW 核破砕中性子源（完成：2025 予定)
グルノーブル GIANT キャンパス	ESRF	高い割合で学術利用を維持し、質・量ともに優れた成果を生み出している。2020 年に次世代放射光施設としてアップグレード。 • ビームタイム：5485 時間（99%：利用率） • 2009 年以降、組織改革やビームラインの大胆な改造を実施。 キーワード： 極限、時間分解、イメージング、ナノビーム、自動化

出所：調査団

このような中、仙台市では次世代放射光施設立地を最大限に生かすため、仙台市経済成長戦略において、以下のリサーチコンプレックス形成に向けた取り組みを策定している。

- 研究開発施設や企業の立地・集積促進
- 企業の利活用促進に向けた普及啓発

特筆すべき点は、仙台市が施設利用権 2000 時間/年（10 年間）を取得し、ナノテラスでの測定を行う事業者が、大学・研究機関等から分析・解析・測定の支援を受ける際の費用の一部を補助することで、次世代放射光施設ナノテラスの産業利用を積極的に支援する。電子デバイス、電池、磁気デバイス、医療、水・環境、食品・畜産・農・漁業など様々な分野が集う、オープンイノベーションのインフラとして次世代放射光施設を位置づけ、産官学が連携して、産業利用の普及に努めていることは特筆すべき点である。

リサーチコンプレックスには東北大、北海道大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学などに加えて、海外の大学と国際連携体制の構築ハブとして新センターを組織する計画である。

2.3.4　放射光施設の運営・維持管理体制

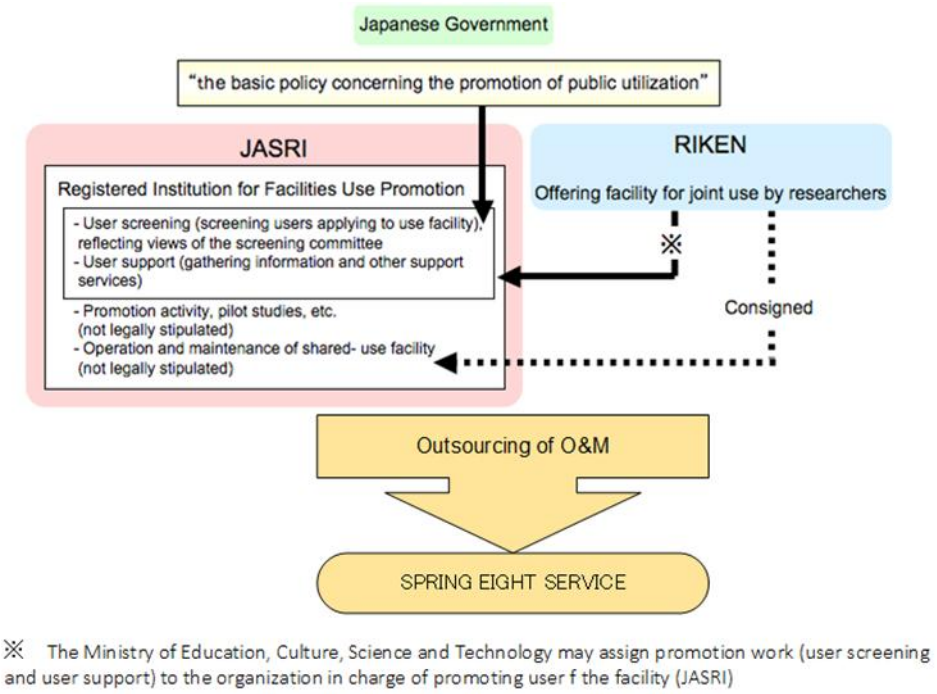
(1)　日本

日本の放射光施設の場合、運転維持管理の一部を外注している施設が多い。その代表的な例としては SPring-8 があげられる。SPring-8 の運転維持管理の体制の概要を以下に記載する。

SPring-8 の運営組織体制

SPring-8 は元々、理化学研究所（理研）と日本原子力研究所（原研）の 2 組織が共同で建設を計画されたが、この二つの研究組織以外の研究機関の利用を促進するために財団法人高輝度光科学研究センター（JASRI）が設置され、SPring-8 の共用施設部分の運営は JASRI が担当することとなった。2005 年に原研が SPring-8 の運営から撤退して、それ以後、SPring-8 は理研と JASRI の 2 組織により運営されている。それぞれの組織の役割分担は以下の通り。

- RIKEN：施設所有者および運営業務委託者
- JASRI：供用業務及び理研から委託を受けて行う運転管理やそれに関連する高度化研究等の業務



出所：SPring-8

図 2-23　SPring-8 の運営体制

SPring-8 の運転維持管理業務の委託

SPring-8 は上述の理研と JASRI による運営体制のもと、運転維持管理業務のうち一部の業務は SPRING EIGHT SERVICE（SES）[11]に委託されている。SES へ委託されている主の業務を以下に記す。

1. 加速器の運転，維持管理業務
2. 加速器運転期間中の定型的な運転業務，日常保守業務並びに停止期間中の機器の点検，整備等の維持管理に関する補助業務及びこれらに付随する関連業務
3. ビームラインの維持管理，研究開発支援
4. 放射光利用の研究支援，ユーザーサポート，産業利用サポート
5. 施設管理，保守点検，設備保全工事
6. 安全管理業務

SES は SPRING-8 以外にも、あいち SR や SAGA-LS 運転維持管理業務の支援を担当している。

日本で運転維持管理をアウトソーシングしている利点としては、アウトソーシングにより研究者が研究活動により集中できる体制を構築できる点があげられる。日本でアウトソーシングを可能にしているのは、技術者の層が厚いため、委託先が放射光施設の運転維持管理を担当する放射光技術に精通した技術者を十分に確保できるような環境にあるからである。

[11] スプリングエイトサービス株式会社 (SES) は、1996 年設立の企業で、主に SPring-8 などの放射光施設における加速器運転、ビームライン管理、放射線安全管理、ソフトウェア開発などを行っている。放射光技術を活用した研究施設の運営やサポートを提供し、多くの研究機関や企業と取引がある。

(2)　台湾

湾国立加速器放射光研究センター(NSRRC)は台湾北部・新竹の敷地内に TLS（1.5 GeV、1993 年より稼働）と TPS（3 GeV、2016 年より稼働）の二つの放射光施設の運転維持管理をおこなっている。NSRRC は各施設で組織を分けるのではなく、同じ組織体制で二つの放射光施設の運転・運転維持管理を行っている。このため、二つの放射光施設の停止期間中の機器の点検および整備の時期が重ならないように調整している。

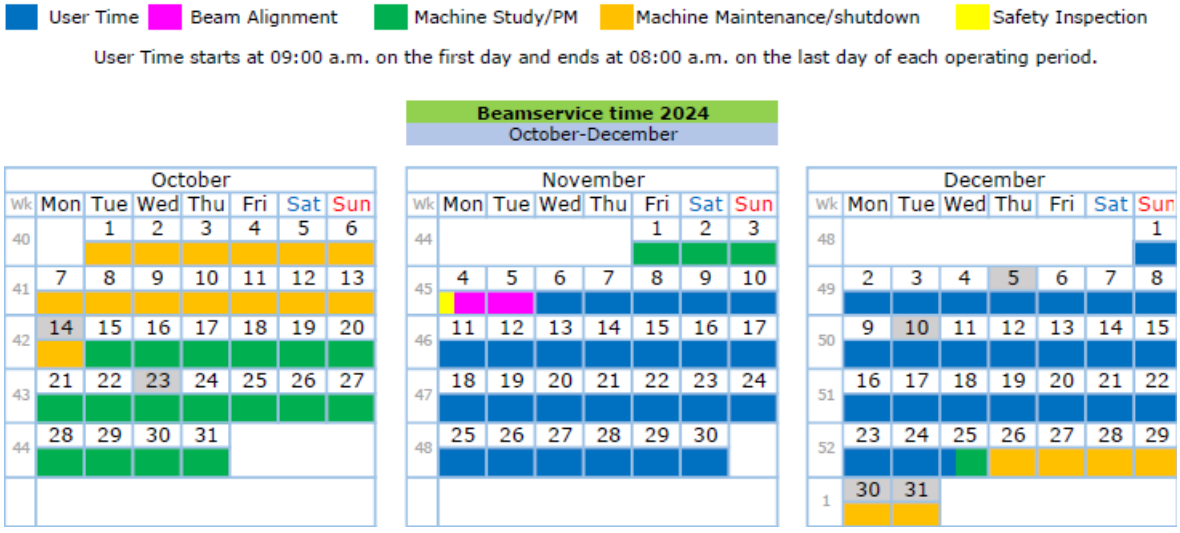
(3)　タイ

1)　SPS-I の運転維持管理体制

SLRI の場合、SPS-I の運転維持管理に関して外部委託は行っておらず、SLRI 組織全体でその運営維持管理を実施している。2025 年 2 月時点の SLRI にはプロジェクトに従事するスタッフが合計 231 名いる。SLRI の場合、SPS-I の運用・保守については業務委託方式を採用しておらず、運用期間中の日常的な運用・監視、および定期的な定常保守を含む SPS-I の運用・保守は全部門が担当している。SLRI は、SPS-II プロジェクトの準備として、2023 年 2 月に組織再編を実施し、2033 年に 2 回目の組織再編を予定している。組織再編の詳細については、第 9 章に記載する。

2)　運用・監視体制

SPS-I の運用スケジュールは、1) ユーザータイム（ビームライン運転）、2) ビームアライメント、3) マシンスタディ、4) マシンメンテナンスの 4 つの期間で構成されている。

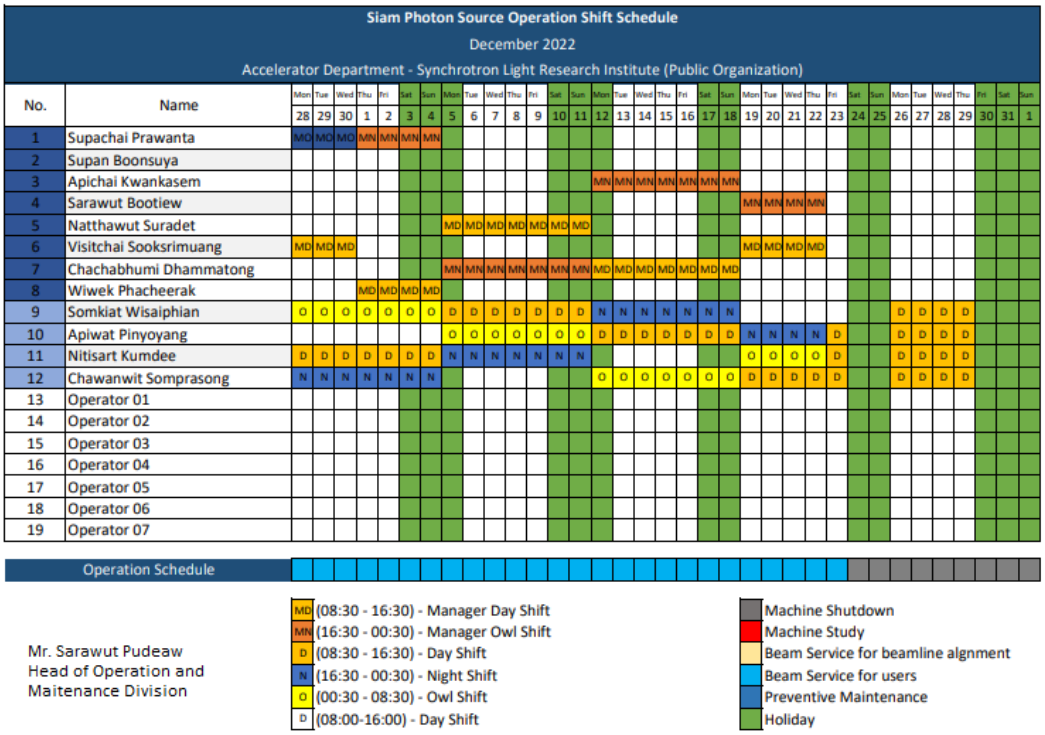


出所：SLRI

図 2-24　SPS-I の運転スケジュールのサンプル

ユーザータイム期間（ビームライン運用期間）は、以下のとおり 3 交替制（8 時間制）による 24 時間運用・監視体制を採用している。

Day shift:　08:30 – 16:30
Night shift:　16:30 – 00:30
Owl shift:　00:30 – 08:30



出所：SLRI

図 2-25　SPS-I のシフト表のサンプル

インジェクションタイムは通常、1 日 2 回、朝 8 時 40 分と、夜 20 時 30 分である。運転期間中の主な 維持管理業務は以下のとおり。

1) 異常発生時の運転監視・支援
2) 稼働データの取得
3) 巡回点検やデータ整理などの日常整備関連業務
4) 始業前検査又は停止後検査業務

実際の点検作業は、各担当部署が別途用意するチェックシートに沿って実施。代表的なチェックシートは以下の通り。

- メインコンプレッサー、オイル除去システム、ドライヤー、バッファータンク、LN2 バルク、コールドボックス、バルブボックス、LN2 相分離器、SMPW（superconducting multi-pole wiggler）などの主要機器ごとに個別にチェックするように設計されたウィークリーチェックシート
- チラーのチェックシート（水圧、ポンプレポート含む）
- 熱交換気のチェックシート
- 発電機とエンジンのチェックシート
- LINAC のチェックシート (電子銃 LED, ライナック冷却装置等)
- STR マグネット冷却水のチェックシート
- マグネットとマグネット電源のチェックシート
- 蓄積リング RF システム（ハイパワーアンプ）のチェックシート
- 蓄積リング RF システム (デジタル低周波数) チェックシート

- 蓄積リング RF システム (クーリングユニット) チェックシート
- シンクロトロンリング RF システム（デジタル低周波数）のチェックシート
- シンクロトロンリング RF システム（シンクロトロン RF システム冷却ユニット）のチェックシート
- 水質チェックシート
- 蓄積リングの真空系チェックシート

インジェクション操作に関するガイドラインは、標準操作手順 (SOP) にまとめられている。

RADIO FREQUENCY LABORATORY

Weekly Preventive Maintenance Check Sheet

Page: 1 / 1

Checked by:

Main System: Storage Ring RF System　　Date:

Sub System: High Power Amplifier (HPA)　　Week Ending:

ACDC Parameters Checking			
POWER	NORMINAL	ACTUAL	UNIT
DC VOLTAGE RF STATION 1			V
DC CURRENT RF STATION 1			A
DC VOLTAGE RF STATION 2			V
DC CURRENT RF STATION 2			A

HPA Flow Rate Checking			
Flow Meter	NORMINAL	ACTUAL	UNIT
HPA INLET			(l/min)
HPA OUTLET			(l/min)
HPA DUMMY LOAD			(l/min)
HPA CIRCULATOR			(l/min)

HPA Cooling Unit Parameters Checking				
ITEMS	SETTING	NORMINAL	ACTUAL	STATUS
Temperature Controller (C)	25	25.7		
Pressure (bar)		4.8		
Water in Reservoir Tanks				
Water Pump				
Compressor No.1				
Compressor No.2				

HPA Components Checking		
ITEMS	STATUS	Comments
Computer control		
Electric Cables		
Cable Connections		
Ventilation Fan		
Circuit Breakers		
Water Leakage		
Pump		

出所：SLRI

図 2-26　チェックシートのサンプル

Siam Photon	มาตรฐานขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Standard Operation Procedures : SOPs) กระบวนงาน: ขั้นตอนการเติมอิเล็กตรอนแบบไม่ลดกระแสที่พลังงาน 1.2 กิกะอิเล็กตรอนโวลต์	รหัส: AcD-01-02 แก้ไขครั้งที่: 0 วันที่ประกาศใช้: 21 พ.ค. 64 หน้าที่ 3 จาก 9 หน้า
หน่วยงานที่รับผิดชอบ ส่วนเดินเครื่องและซ่อมบำรุง	ผู้จัดทำ: นายวิศิษฏ์ชัย สุขศรีเมือง..... ผู้ทบทวน: นายนาวิน จันทร์ทอง.....	ผู้อนุมัติ: นายสุพัฒน์ กลิ่นเชียว.....

5. กฎหมายที่เกี่ยวข้อง/เอกสารอ้างอิง

5.1 ไม่มี

6. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน รายละเอียด และผู้รับผิดชอบ

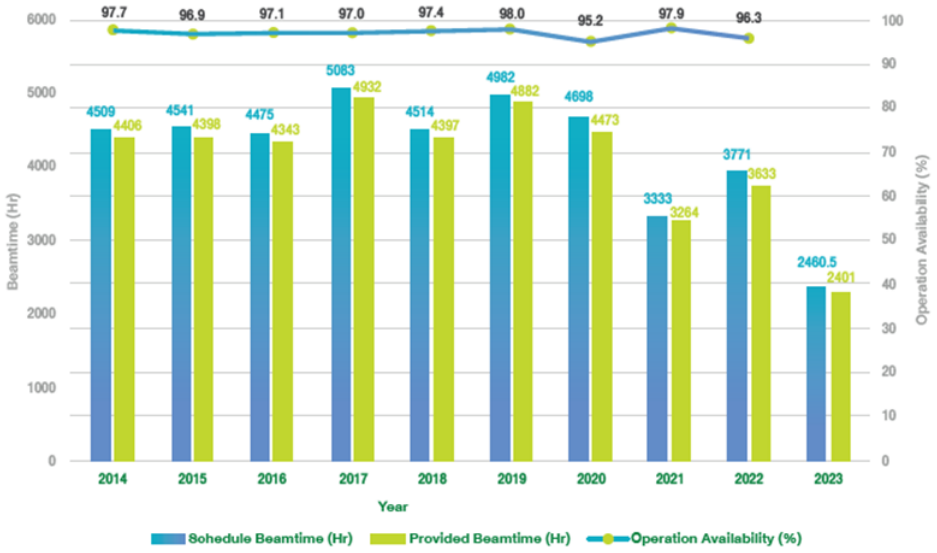
ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	กฎหมาย/เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ
1	เริ่มต้น				
2	- ปิดการแจ้งเตือน Beam alarm message - ประกาศแจ้งเตือน Beam refill	5 นาที	- ปิดการแจ้งเตือนข้อความในโปรแกรม Beam alarm message  - เปิดการแจ้งเตือน Beam refill 5 นาที และ 1 นาที ตามลำดับ 		เจ้าหน้าที่เดินเครื่องฯ

出所：SLRI

図 2-27　SOP のサンプル

SPS-I におけるビームライン稼働時の運転管理の点検作業方法は、前述の手順に基づき実施されている。これらの方法が適切に運用されているかについては、下図に参照される通り過去 10 年

間のビームタイム計画に対する実際の稼働率が概ね 97%という高水準で推移していることから、適切な運用が行われていることが示唆される。



出所：SLRI

図 2-28　ビームタイムの予定と実績（2014 年から 2023 年）

3)　非運転時の保守定期点検

SPS-I は、年 2 回の定期メンテナンスを実施している。定期点検での点検項目は以下の通り。

1)　電磁石系及びアライメントの点検整備
2)　電源系統の点検・整備
3)　加速器系の点検整備と加速空洞の老朽化
4)　高周波発生器の点検・整備
5)　クライストロンの点検整備
6)　冷却系の点検・整備
7)　真空系の点検・整備
8)　ビーム診断システムの点検・整備

実際の保守点検作業は、図 2-31 に示すように毎年作成される保守点検スケジュールに従って実施されている。なお、SPring-8 では、年 3 回、夏期、冬期、年度末にそれぞれ 1.5〜2 ヶ月、1 ヶ月間程度の点検調整期間を設定している。検査内容は、主に加速器の運転停止中に行われる安全系インターロック検査や、ビームラインや放射線漏洩の検査であり、SPS-I で実施されている検査内容とほぼ一致している。

4)　放射線安全管理体制

放射線安全管理は分科会および最高責任者の指導の下に行われている。タイの法律には放射線の安全性に関する以下のような法及び関連規制がある。

- 平和のための原子力法（2016 年、改正 2019 年）
- 放射線安全に関する大臣規則 (2018 年)

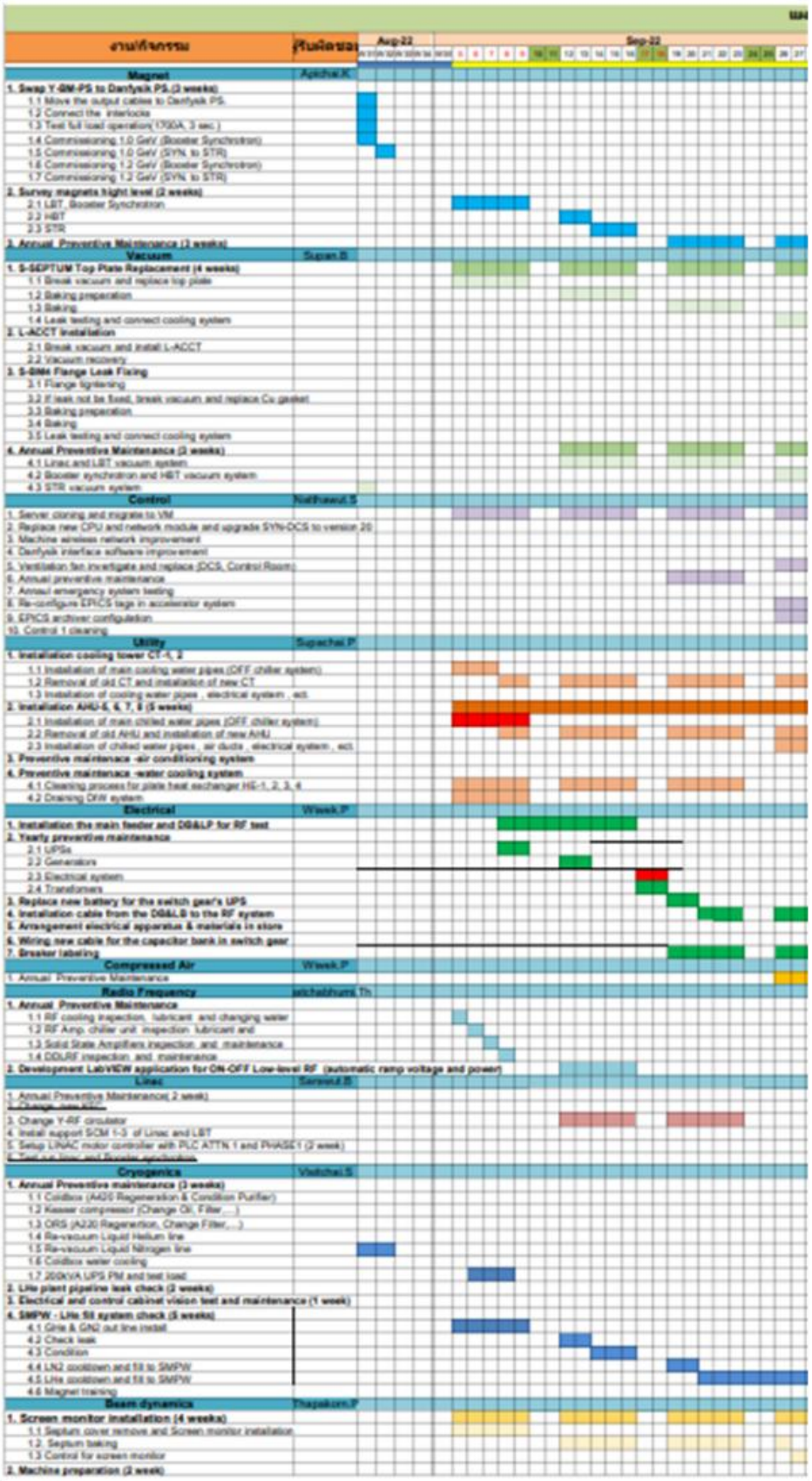
これらの規制に基づいて、SLRI は放射線従事者、ユーザー、および許可された訪問者の安全ガイドラインとなる放射線防護システムを設定している。安全管理体制はシンクロトロンや高性能 X 線装置による職業被ばくを保護や事故防止を目的に 2022 年 9 月 5 日に制定された。5 人の放射線安全担当者 (RSO) が安全業務を監督するために任命されており、放射線区域は管理区域と監視区域に分類されている。すべてのエリアのアクセス許可は厳密に実施されている。個人線量計とエリア放射線検出計は、時間ベースのメンテナンスの観点から放射線安全区域を監視するために使用されている。

SLRI では、安全管理の意識を高めるために、少なくとも 2 年に 1 回、全職員を対象とした研修を実施し、知識の再教育を行っている。研修内容は以下のとおり：

- 放射性物質または放射線発生装置の安全な使用に重点を置いた、放射線防護と安全性に関する規則と措置。
- 安全に関する内部規則 - 従事者の放射線被ばくの結果の報告。放射線緊急事態の場合の実践内容は、放射線防護と安全な場所での放射性物質収集または放射線発生器の安全性に関する内部規則をカバーしている。

SLRI は、安全管理の全体的な管理のために、有害な放射線を防止するための次の措置を含む安全管理に関する運用計画を作成している。管理区域と域監視区域の指定と区域へのアクセスを管理するための措置:

- 地域放射線監視
- 個人放射線監視
- 放射線従事者のための放射線安全規則
- 放射線防護のための工具と装置
- 放射光発生装置の運転における安全対策
- 実験ステーション使用時の安全対策
- 人員安全インターロック システムの動作原理とコンポーネント
- 人員安全インターロックを要求および承認する手順



出所：SLRI

図 2-29　保守点検スケジュールのサンプル

2.4　既存の第 2 世代放射光施設（SPS-I）の概要・活用状況（推移）・課題

2.4.1　SPS-I の概要

タイにある第 2 世代の放射光施設は、サイアム・フォトン光源（SPS-I）と呼ばれ、タイで最初の放射光源として開発された。この光源は、日本のソルテック株式会社（SORTEC）から主要な部品を移設したものである。

SORTEC の蓄積リングは 1.0GeV であったが、磁石配列の変更と挿入光源を設置するための長い直線部を設け、偏向磁石電源を更新すれば、入射後の加速により 1.2GeV で運転できるように再設計された。2001 年に 1.0GeV での運転に成功し、2005 年より偏向磁石用電源を大容量のものに交換し、1.2GeV での運転を開始した。

SPS-I は、1996 年 3 月 5 日にタイ政府の閣議決定により設立された NSRC により運営された。当時、科学技術環境省の監督のもと、NSRC プロジェクトの設立が閣議決定された。このプロジェクトは、タイにおける基礎および応用科学研究を促進することを目的としていた。NSRC は、ナコンラチャシマにあるスラナリー工科大学のテクノポリスに設置され、その後、2008 年にタイ内閣が研究所の設置根拠法令となる「仏暦 2551 年タイ・シンクロトロン放射光研究所設置法」を発布し、NSRC に代わりに SLRI が設立された。

SLRI は、タイ王国政府の高等教育・科学・研究・技術革新省の監督下にある公的機関である。タイ初の放射光施設であるサイアム・フォトン・ラボラトリー（SPL）を運営している。SPL では、1.2GeV の放射光源であるサイアム・フォトン光源（SPS-I）からの放射光を利用している。SPL では、タイ国内および海外のユーザーに対して、多くの実験技術を提供している。

既存の第二世代放射光である SPS-I は、加速器エネルギーが 1.2Gev、蓄積電流が 150mA、蓄積リングの周長が 81.3m、エミッタンスが 41.0 (nm・rad）、そしてビームライン数が 4 本となっており、SPS-I の稼働時間は、メンテナンス期間を除き、1 日あたり 23 時間である。現在、ビーム寿命は 100mA で 11 時間である。









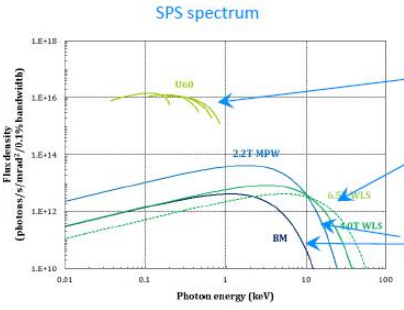






SPS machine parameters

Electron beam energy [GeV]	1.2
Beam current [mA]	150
Lattice	DBA
Number of superperiods	4
Natural emittance [nm-rad]	61
Mean Horizontal Emittance [nm-rad]	57.10
Mean Vertical Emittance [nm-rad]	4.45
Emittance Ratio	7.80 %
Circumference [m]	81.3
Revolution time/Orbital period [ns]	271
Betatron tunes ν_x, ν_y	4.78, 2.83
Synchrotron tune ν_s	2.86×10^{-3}
Natural chromaticities ξ_x, ξ_y	- 8.34, - 6.80
Momentum compaction factor α_c	0.01803
RF frequency [MHz]	118
Harmonic Number	32
RF voltage [kV]	300
RF power [kW]	80
Number of RF cavity	1
Damping times τ_x, τ_y, τ_s [ms]	10.87, 9.96, 4.78
Energy loss per turn [keV]	65.94
Natural energy spread [GeV]	0.0006
Synchronous phase [rad]	2.59
Linear energy acceptance	0.61%
Bunch length [ps]	163.62







U60　6.5T WLS





2.2T MPW　1.4 T BM



24H SPS operation



2006 – 2018 user beamtime statistics

出所：SLRI

図 2-30　上から：ナコンラチャシマ県にある SLRI 事務所,SPS-I マシンラインナップ&パラメータ

2.4.2　SPS-I にあるビームラインの概要

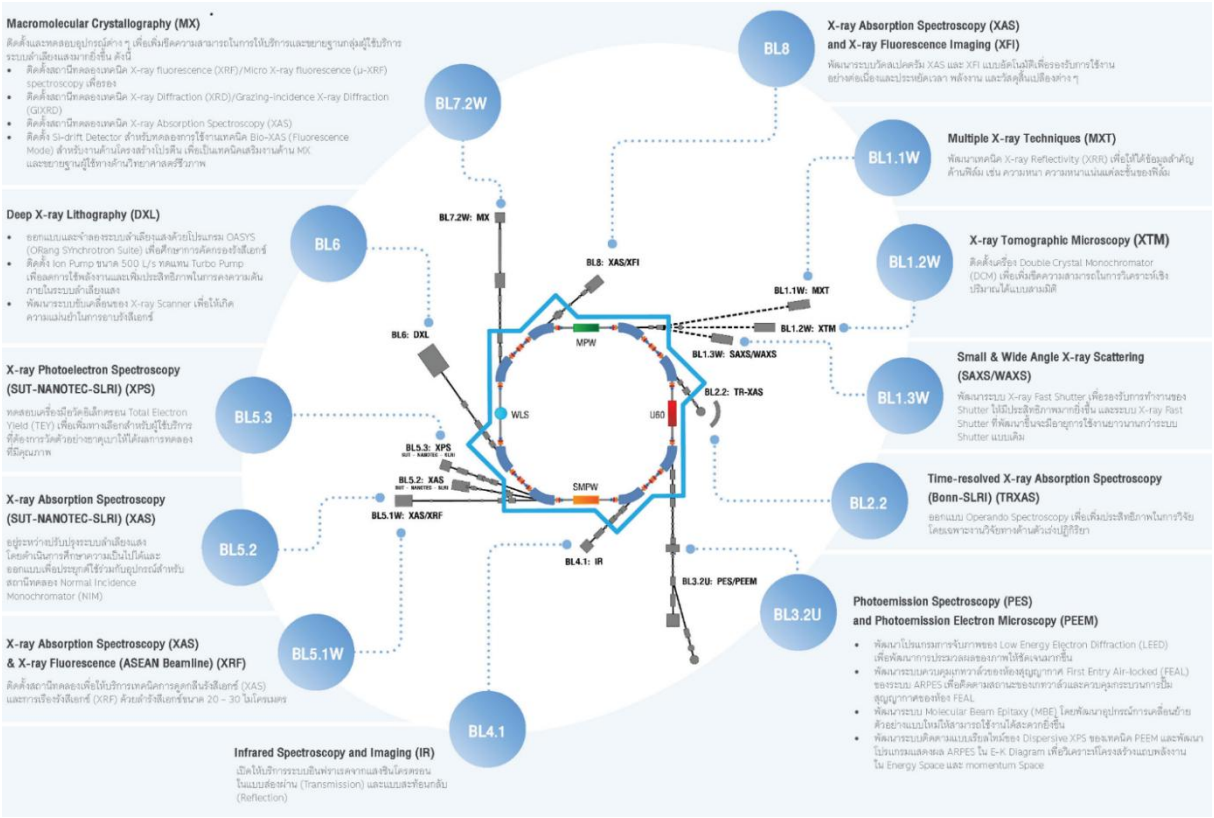
ビームラインは、シンクロトロン光を整形して蓄積リングから実験ステーションに送るために使用される、スリット、モノクロメータ、集束ミラー、その他の光学要素などのコンポーネントからなるシステムである。ビームラインの終端に位置する実験ステーションには、特定の測定技術のための測定システムが含まれている。 2021 年度の SPS-I でのビームライン稼働状況は、11 本のビームラインが稼働、3 本のビームラインがコミッショニング中であった。SPS-I のビームラインを下表にまとめる。

表 2-25　SPS-I のビームライン一覧

Beamlines (Operating)		
1	BL1.1W MXT Multiple X-ray Techniques	ビームライン 1.1W にて利用可能な計測技術は、X 線吸収分光法（XAS）と蛍光 X 線分析法（XRF）である。XAS は物質の酸化状態や原子スケール構造を菅申することが可能である。蛍光 X 線分析法は、物質の元素組成を定性および定量的に決定するために使用することが可能である。それぞれの計測技術は単一または組み合わせて利用することができる。
2	BL1.2W XTM X-ray Tomographic Microscopy	ビームライン 1.2w は、X 線イメージング計測とコンピュータマイクロトモグラフィー計測に特化した X 線ビームラインである。 BL1.2W から得られる 3 次元再構成画像は、試料内部の物質を破壊することなく可視化し、調査することを可能である。
3	BL1.3W SAXS/WAXS Small & Wide Angle X-ray Scattering	ビームライン 1.3W は、粒子径と粒度分布の分析、ブロック共重合体の周期、デンプンのラメラナノ構造、結晶化度パーセントなど、材料のナノ構造の分析に特化したビームラインである。
4	BL2.2 TRXAS Time-resolved X-ray Absorption Spectroscopy (Bonn-SLRI)	TRXAS ビームラインを用いた In-situX 線吸収分光法（XAS）は、データ収集時間が短時間であることが特徴である。その技術を利用して、熱力学的条件が変化する間の原子の電子構造や局所的な配位環境の変化を研究することが可能である。
5	BL3.2U/a PES Photoemission Spectroscopy	軟 X 線分光ビームラインは、物質の表面や界面の原子や元素およびその化学状態を分析することに利用することができる。
	BL3.2U/b PEEM Photoemission Electron Microscopy	PEEM エンドステーションは、放射光軟 X 線励起によって試料から放出される電子から高分解能の画像を生成することができる。さらに、空間分解能を有する近接 X 線吸収分光法により、画像中のサブミクロン領域の表面化学状態や電子構造に関する情報を取得することができる。
6	BL4.1 IR Infrared Spectroscopy and Imaging	フーリエ変換赤外分光法（FTIR）は、広く使用されている一般的な分析技術である。高輝度のシンクロトロン放射光を用いた赤外線顕微分光法は、高い空間分解能、優れた信号対雑音比（S/N 比）、および短いデータ取得時間を必要とする計測を可能としている。
7	BL5.2 XAS X-ray Absorption Spectroscopy (SUT-NANOTEC-SLRI)	ビームライン 5.2 は、X 線吸収分光（XAS）専用のビームラインである。このビームラインは、物質の原子配列や元素組成の研究に利用することができる。（BL5 は、スラナリー工科大学、タイ国立ナノテクノロジーセンター、SLRI の共同出資によるコンソーシアムビームライン）
8	BL5.3 XPS X-ray Photoelectron Spectroscopy (SUT-NANOTEC-SLRI)	全電子収量 （TEY）は、高品質な軽元素サンプルの測定を行う計測技術である。（BL5 は、スラナリー工科大学、タイ国立ナノテクノロジーセンター、SLRI の共同出資によるコンソーシアムビームライン）

Beamlines (Operating)		
9	BL6 DXL Deep X-ray Lithography	ビームライン 6a は、深部 X 線リソグラフィ（DXL）を用いた微細機械加工用ビームラインである。
10	BL7.2W MX Macromolecular Crystallography	ビームライン 7.2W は、タンパク質やその複合体、その他の分子の結晶構造を原子分解能で計測するための高分子結晶学専用の可変エネルギービームラインである。
11	BL8 XAS/XFI X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) and X-ray Fluorescence Imaging (XFI)	ビームライン 8 は、物質中の原子配列を研究するための X 線吸収分光（XAS）ビームラインである。
Beamlines (Not Operating)		
	BL5.1W X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) X-ray Fluorescence (ASEAN Beamline) (XRF)	X 線吸収分光（XAS）および蛍光 X 線分析（XRF）は、材料中の元素の価数・局所構造・微量成分、および構成元素同士の結合状態などをＸ線の吸収もしくは、吸収に伴う蛍光から評価するビームラインである。吸収分光は軽元素に、蛍光分光は重元素に高い感度を持つことから、幅広い元素を評価できるビームラインである。このため、幅広いエネルギー領域と柔軟な測定モードを備え、触媒、電池材料、環境試料など多様な研究に対応する。XRF は ASEAN 地域の共同利用ビームラインとして研究を支える基盤として機能する。
	BL3.1 (PES)	Ｘ線および紫外線(ＵＶ)光電子分光法を用いて材料再表面の電子状態を調べるビームラインで、光を照射して放出される電子のエネルギーを測定することで、表面の元素組成や結合状態、価電子帯構造を解析できる。更に付随するイオン源を用いて試料表面から掘削する事で資料の深さ方向の結合や分布を得る事ができる。XPS、UPS、角度分解測定などができ、触媒、薄膜、機能性材料の表面分析に広く活用される。
	BL7.1 (XRF)	同上（BL5.1W XRF）と測定対象は同じだが、ビームが絞ってあり、微小領域の元素分布を把握できる

出所：SLRI



出所：SLRI

図 2-31　SPS-I のビームラインのレイアウト

2.4.3　SPS-I の利用状況

(1)　ビームラインおよび実験ステーションの概要

2021 年度、SLRI は 11 のビームラインと 12 の実験ステーションでシンクロトロンを運用している。各ビームラインのサービス開始年を以下の表に示す。

表 2-26　SPS-I のビームライン

ビームライン	技術	運用開始年
BL1.1W MXT	Multiple X-ray Techniques	2016
BL1.2W XTM	X-ray Tomographic Microscopy	2016
BL1.3W SAXS/WAXS	Small & Wide Angle X-ray Scattering	2011
BL2.2 TRXAS	Time-resolved X-ray Absorption Spectroscopy (Bonn-SLRI)	2011
BL3.2U/a PES	Photoemission Spectroscopy	2011
BL3.2U/b PEEM	Photoemission Electron Microscopy	2011
BL4.1 IR	Infrared Spectroscopy and Imaging	2010
BL5.2 XAS	X-ray Absorption Spectroscopy (SUT-NANOTEC-SLRI)	2013
BL5.3 XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy (SUT-NANOTEC-SLRI)	2016
BL6 DXL	Deep X-ray Lithography	2006
BL7.2W MX	Macromolecular Crystallography	2009
BL8 XAS/XFI	X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) and X-ray Fluorescence Imaging (XFI)	2005

出所：SLRI

(2)　ビームライン利用状況概要

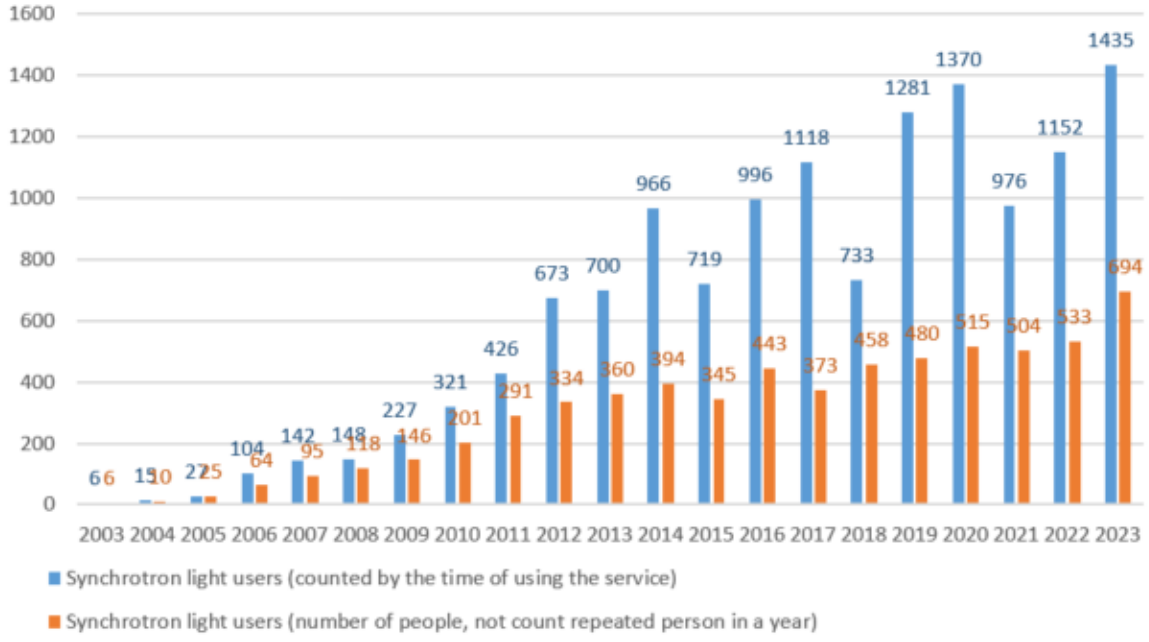
2014 年から 2023 年までのビームタイムの年度計画と実際に利用された時間、および運用稼働率を下図に示す。2021 年は新型コロナウイルスの影響で、2023 年は電気代の値上げの影響でビームタイム時間が短くなった。



出所：SLRI

図 2-32　SPS-I のビームタイム（2014 - 2023)

この期間における運用稼働率はおおむね 97%である。以下の図は、2003 年から 2023 年までの SLRI 利用者の延べ利用回数と年度内の重複利用を除いた利用者数を示している。



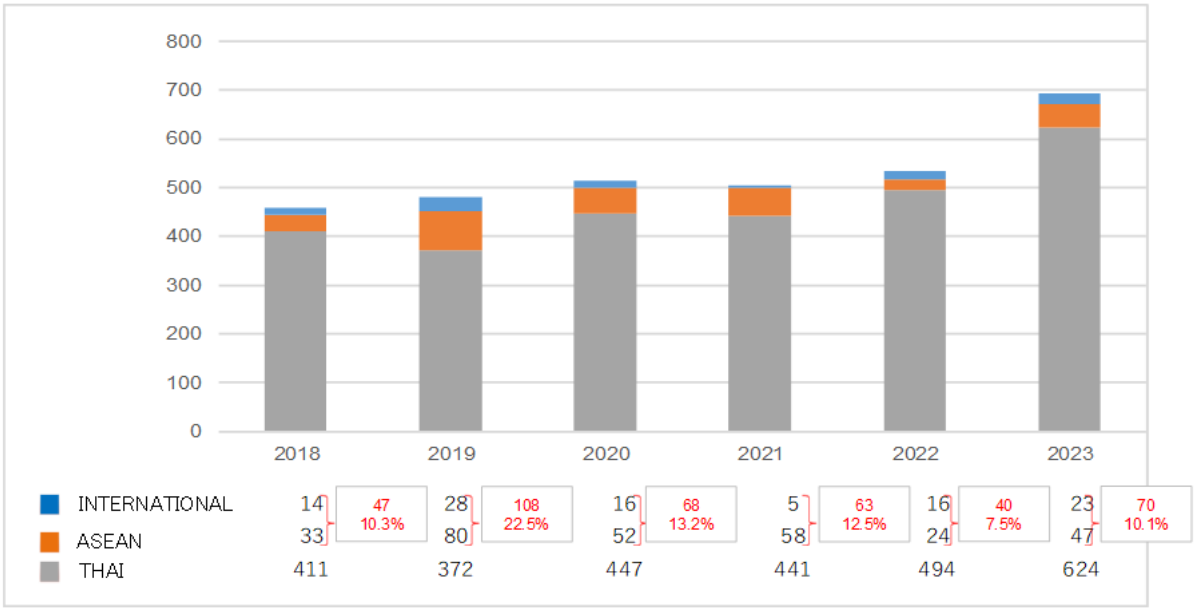
出所：SLRI

図 2-33　SPS-I の利用者数（2003 - 2023)

利用回数は、前年を下回る年もあったものの、全体として増加している。また、利用者数も増加傾向にあるが、利用回数の増加率に比べてその増加率は低い。2021 年においては利用者数は前年と同水準であったが、利用回数は前年から 29%減少しており、これは COVID-19 の影響によるものと推測される。2003 年から 2023 年までの利用回数と利用者数の年間平均成長率（CAGR）は以下の通りである。

- 利用回数：45.36%；利用者数：32.61%

以下の図は、2018 年から 2023 年までの SLRI 利用者の地域別分類を示している。



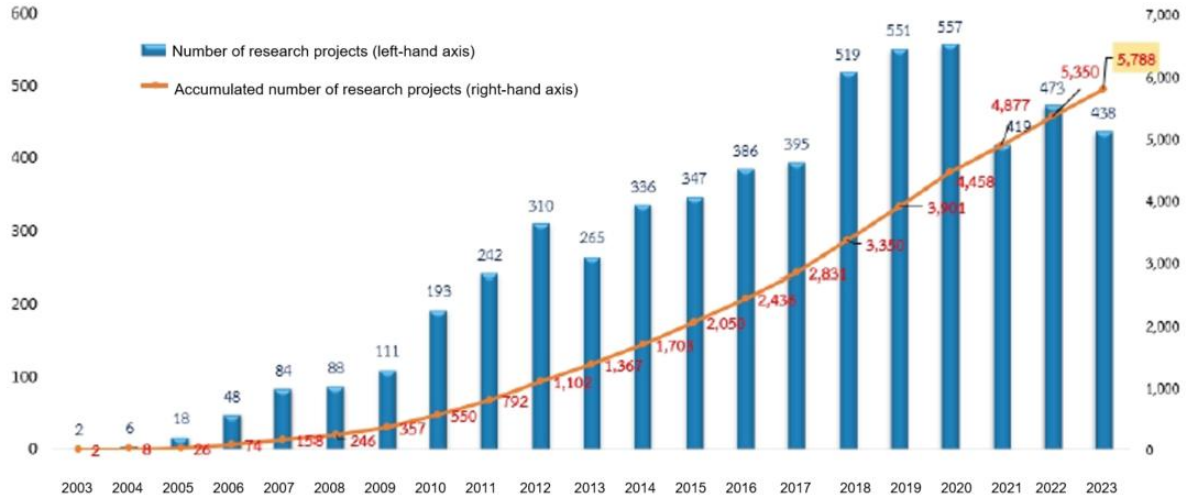
出所：SLRI

図 2-34　SPS-I の地域別利用者（2018 - 2023)

2019 年には海外利用者が全体の 22.5%を占めていたが、COVID-19 の影響でそれ以降減少している。

Attachment 1: SPS-I's Users Information には、2018 年から 2022 年までのビームライン別の海外利用者数が記載されている（図 2-36 の利用者数とは正確には一致しない）。

2003 年から 2023 年までに SLRI でシンクロトロン光を利用した研究プロジェクト数は合計で 5,788 件である。



出所：SLRI

図 2-35　SPS-I の研究プロジェクト数（2003 - 2023)

2023 年に SLRI の研究者（共著者を含む）が国際ジャーナルに投稿した論文は 208 件、国際会議には 16 件である。また、他機関の研究者が SLRI を謝辞に記載した論文は、国際ジャーナルに 35 件、国際会議に 2 件である。以下の表は、2016 年から 2023 年までの論文数をまとめたものである（2020 年と 2022 年のデータはなし）。

表 2-27　論文数まとめ（2016 - 2023)

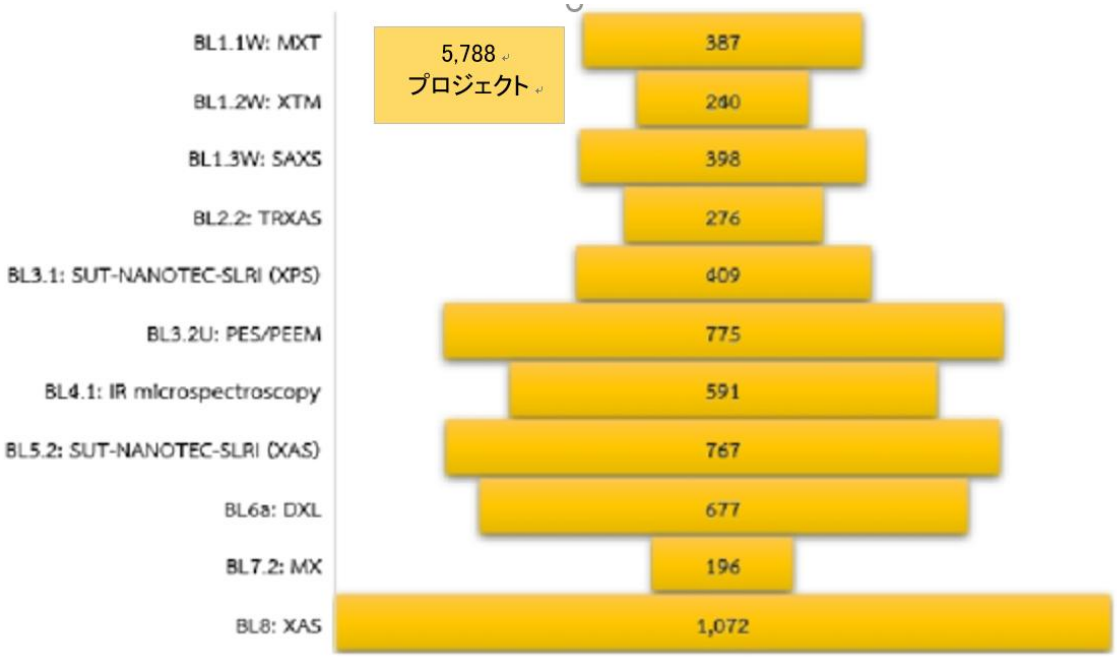
国際ジャーナル			
年度	SLRI 研究者による論文数*1	SLRI が謝辞に掲載された論文数	合計
2016	57	73	130
2017	106	61	167
2018	90	49	139
2019	111	48	157
2021	281	27	308
2023	208	35	243
Total	853	293	1,146
国際会議			
2016	7	-	7
2017	11	-	11
2018	10	-	10
2019	29	5	34
2021	8	3	11
2023	16	2	18
Total	81	10	91

*1: 共著（co-author)含む

出所：SLRI

(3)　各ビームラインの利用状況

2003 年から 2023 までのビームライン別の研究プロジェクト数を下図に示す。

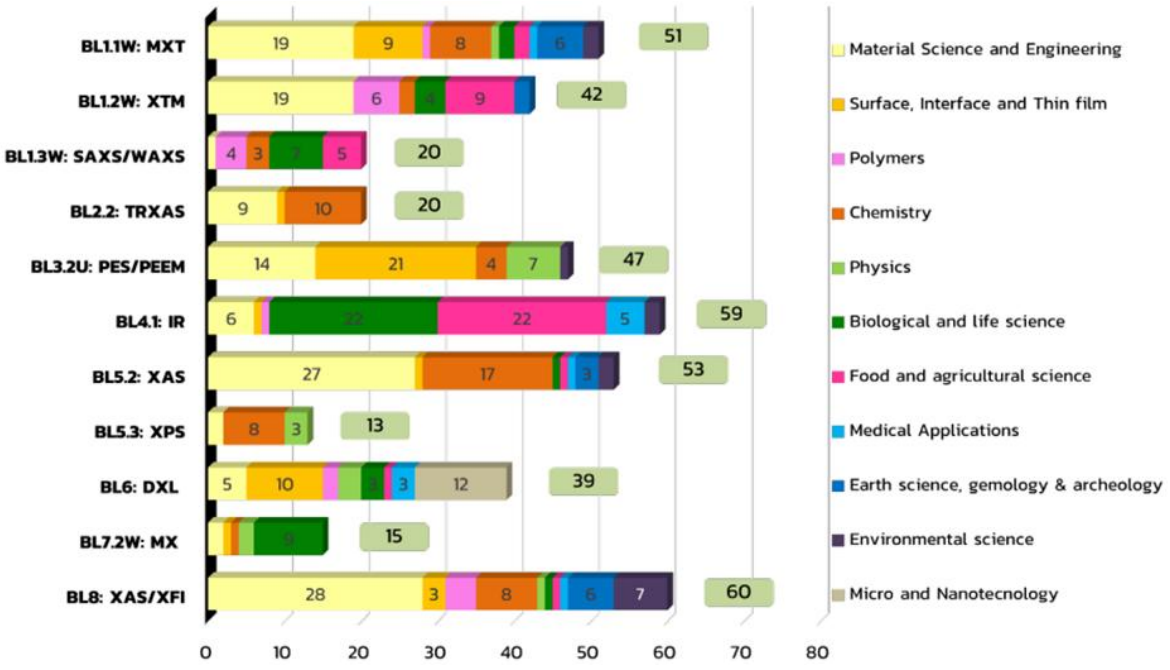


出所：SLRI

図 2-36　ビームライン別研究プロジェクト数（2003 - 2023)

最も多くのプロジェクトで使用されているビームラインは BL8：XAS/XFI（X 線吸収分光法と X 線蛍光イメージング）と BL3.2U:PES＆PEEM（光電子分光法および光電子顕微鏡）であり、これらの技術が多様な分野での研究において不可欠であることがわかる。また、BL5.2:X 線吸収分光法や XBL6:X 深部 X 線リソグラフィー、BL4.1：赤外分光法も広く利用され、特に材料科学やナノテクノロジーの分野で重要な役割を果たしていると推察される。一方で、BL1.2(トモグラフィー)や BL2.2 (時間分解 X 線吸収分光)などは特定の分野に限られた利用と考えられる。

2010 年から 2021 年までの各ビームラインの研究分野別の利用回数を下図に示す。



出所：SLRI

図 2-37　各ビームラインの研究分野別利用回数

以下の表は、2017 年から 2022 年までの各ビームラインの研究利用可能性を、ビーム利用データに基づいて示したものである。このデータは、ビームラインを介してシンクロトロン光を利用した時間のみを抽出しており、『ギャップ分析』により解析されている。ビームタイムは、学術利用を平均年間ビーム時間の最大 80%、産業利用を少なくとも 20%とする研究所の方針に沿って割り当てられている。データは毎年記録され、年間のサービス提供時間の平均値を算出し、その後、6 年間の算術平均を計算している。したがって、このデータは実際のビームタイム利用を示しており、一部のビームタイムは未利用時間が残っている。計算によると、学術利用と産業利用の両方にまだ余地があることが示されている。BL1.3W：SAXS/WAXS では、産業部門のビーム利用率が 116.2%（平均年間ビーム時間の 20%以上を利用している）であるため、産業利用の需要が非常に高いことを示しており、ビームサービスの残りのポテンシャルは-63.92%である。

表 2-28　2017~2022 年までのビーム利用に基づく各ビームラインの研究に対するシンクロトロンサービスの可能性

Beamline	ビーム利用						ビームサービスの残りのポテンシャル（%）
	学術		産業		合計		
	平均日数	割合（%）[1]	平均日数	割合（%）[2]	平均日数[3]	割合（%）[4]	
BL1.1W: MXT	131.83	77.67	0.97	2.29	132.80	79.96	20.04
BL1.2W: XTM	75.00	44.19	0.34	0.80	75.34	44.99	55.01
BL1.3W: SAXS/WAXS	81.00	47.72	49.31	116.20	130.31	163.92	-63.92*
BL2.2: TRXAS	96.58	56.9	-	-	96.58	56.90	43.10
BL3.2U: PES/ PEEM	121.00	71.29	0.75	1.77	121.75	73.06	26.94
BL4.1: IR	107.42	63.28	2.59	6.11	158.05	69.39	30.61
BL5.2: XAS	138.00	81.30	-	-	138.00	81.30	18.70
BL5.3: XPS	84.58	49.83	-	-	84.58	49.83	50.17
BL6: DXL	6.00	3.53	0.03	0.07	6.03	3.60	96.40
BL6: micro-XRF 5	44.50	26.22	0.92	2.16	45.42	28.38	71.62
BL7.2W: MX	47.25	27.84	-	-	47.25	27.84	72.16
BL8: XAS/FXI	159.67	94.07	2.83	6.66	162.50	100.73	-0.73*
合計	91.07	53.65	4.81	11.34	95.88	64.99	35.01 （平均）

注記:

[1] 学術ビーム利用の「割合」は、学術利用者のビーム時間に対する「平均日数」の比率である。学術利用者のビーム時間は 2017 年から 2022 年までの平均年間ビーム時間 (212.17 日) の 80% : 169.74 日。

[2] 産業ビーム利用の「割合」は、産業利用者のビーム時間に対する「平均日数」の比率である。産業利用者のビーム時間は 2017 年から 2022 年までの平均年間ビーム時間 (212.17 日) の 20% : 42.43 日。

[3] 合計の「平均日数」は、学術利用と産業利用の「平均日数」の合計。

[4] 合計の「割合」は、学術利用と産業利用の「割合」の合計。

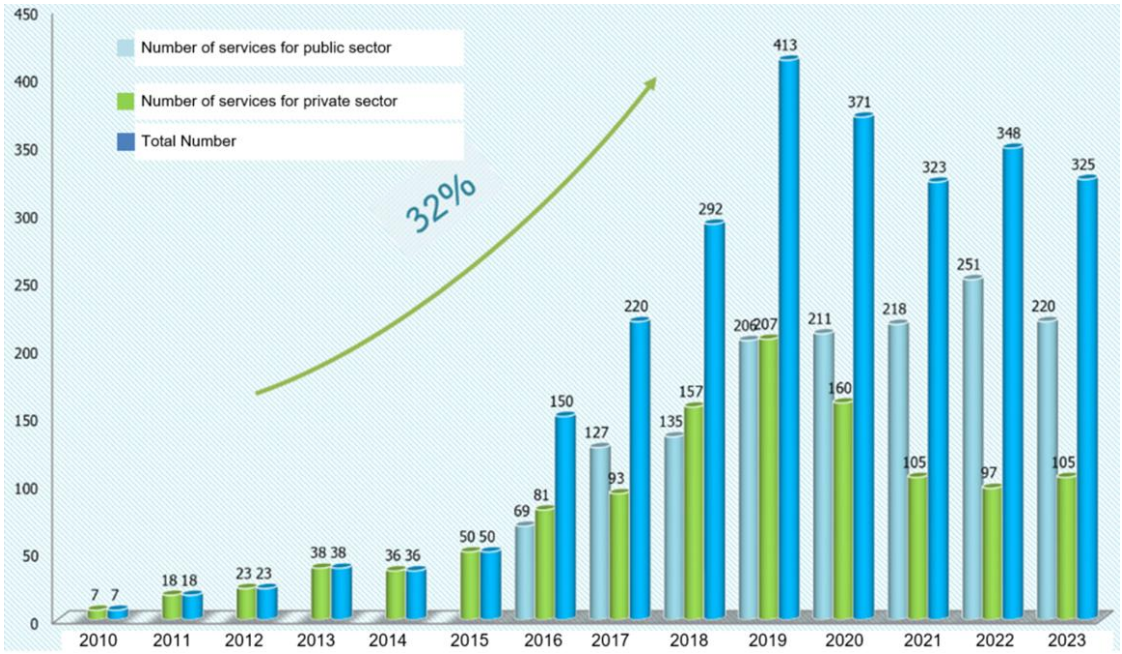
[5] マイクロ XRF は 2021 年から使用されていない。

* ビームサービスの残存ポテンシャルのマイナス パーセンテージは、利用可能な年間ビーム時間やその他の要因に応じて、ビームラインの全ポテンシャルを超えるビーム使用率を表す。

出所：SLRI

(4)　SLRI が提供するサービス

SLRI は、シンクロトロン放射光利用サービスに加えて、ソリューション支援サービス、コンサルティングサービス、科学機器利用サービス、エンジニアリング支援サービス、技術移転など、民間および公共部門向けに多様なサービスを提供している。以下の図は、2010 年から 2023 年までの分野別の SLRI が提供したその他のサービス件数を示している。



出所：SLRI

図 2-38　SLRI が提供するその他サービス（セクター別）

2021 年に SLRI は、サービス提供によって合計 19,882,144.48 バーツの収益を得ている。以下の表は、2021 年におけるサービス別の収益内訳を示したものであり、その他のサービスの詳細についてはセクション 7.2.1(1)を参照されたい。

表 2-29　SLRI のサービス種類別収入額（2021 年）

	サービスの種類	額　(THB)
1	放射光利用サービス、ソリューションサポートサービス、コンサルティングサービス、科学機器利用サービス	10,524,733.24
2	エンジニアリングサポートサービス	9,153,295.33
3	技術移転、セミナー、トレーニング、小売サービス	204,115.91
	SLRI が提供するサービスからの総収入	19,882,144.48

出所：SLRI、調査団作成

表 2-30　SLRI のサービスの経済的付近価値概要（2021 年）

サービスの種類	経済的付加価値 (MTHB)
民間向けシンクロトロン光サービスおよび関連技術	1,253,185
公共向けシンクロトロン光サービスおよび関連技術	108,105
技術およびエンジニアリングサービスの運営および提供	119,592
奨学金（修士・博士）と助成金のサポート	8,600
研修・セミナー	11,800
合計	1,501,282

出所：SLRI、調査団作成

2.4.4　今後の活用・開発計画や課題等

SPS-II の完成後、放射光特性が SPS-I よりはるかに優れているため、放射光を利用した研究は SPS-II で実施される。SPS-I 加速器は、特に低エネルギーおよび高エネルギー電子ビームを利用する技術開発に活用される。これらの開発作業の例としては、電子ビームおよび X 線ビーム位置モニターなどのビーム診断・計測機器の開発、固体検出器の開発などが挙げられる。SPS-I ビームラインは、主に教育・訓練目的で利用される。

将来的には既存の放射光施設およびワークショップ施設を Engineering Development Facility として活用する構想がある。 Engineering Development Facility の役割は、エンジニアリング開発の複数の側面を網羅し、その機能は以下の通りだが、これらに限定されるものではない。

- 加速器およびビームラインコンポーネントのエンジニアリング設計
- 機械、熱、振動シミュレーション
- 加速器およびビームラインコンポーネントの製造
- 製造されたコンポーネントの検証および試験
- ビーム診断システムのビーム試験
- SLRI 協力機関へのエンジニアリングサービス
- SPS-II への設置前の加速器およびビームラインコンポーネントの試験
- SPS-II 機器の修理および改修

2.5　世界の放射光施設建設の潮流（分布）及び周辺国の主要な放射光施設の概要・活用状況・課題、今後の建設計画

次世代放射光施設は、タイ国内の軟 X 線向けの既存施設と比べ、電子ビームが低エミッタンス（1 nm･rad）であることから、既存施設の 100～1,000 倍の輝度の放射光が得られ、局所領域を様々な測定手法でより鮮明に観察できる。また、同じ試料を測定した場合、既存施設と比べて 1/100 の時間（100 倍の時間分解能）でも鮮明なデータが得られるようになり、物質の化学反応等の高速変化を測定することができる。

諸外国では、2000 年代に数ナノメートルラジアン[nm･rad]のエミッタンス性能を備えた高輝度な 3 GeV 級放射光施設が相次いで建設されたのに加え、2010 年代には更なる低エミッタンス化を目指して NSLS-II（米国）、TPS（台湾）が建設された。2016 年 6 月には、マルチベンドアクロマット（MBA）ラティスの採用によりエミッタンス 0.3 nm･rad 程度を目標とする MAX IV（スウェーデン）が稼働を開始している。さらに、Diamond（英国）及び SOLEIL（仏国）においても、MBA ラティスの採用による低エミッタンスリングへのアップグレードが計画されており、諸外国でも第 3 世代放射光施設よりエミッタンスを下げた第 4 世代放射光施設を目指した整備が進んでいるといえる。

タイ SPS-II の計画と同規模の次世代放射光施設について下表に整理する。

表 2-31　SPS-II 計画と類似する世界の次世代放射光施設について

次世代放射光施設名称	施設概要	事業費・運用費	整備状況・その他
ナノテラス (日本)	加速器エネルギー： 3GeV 蓄積電流：400 mA リング周長：349 m エミッタンス： 1.14 nmrad 最大ビームライン数：28 本	事業費総額：370 億円 国負担：200 億円 民間負担：170 億円 運用費総額：29 億円/年 内、加速器運用費 19 億円/年 （詳細は、注記参照）	施設工事は完了。 2025 年 4 月に稼働開始。 フェーズ 1 で 10 本のビームラインを整備
NSLS-II (アメリカ)	加速器エネルギー： 3GeV 蓄積電流：400 mA リング周長：792 m エミッタンス： 0.55 nmrad 最大ビームライン数：60 本	施設の建設には 9 億 1,200 万米ドル	建設完了、運転中。 エミッタンスの実効性能は 1.0 nmrad。
TPS (台湾)	加速器エネルギー： 3GeV 蓄積電流：500 mA リング周長：518 m エミッタンス： 1.6 nmrad 最大ビームライン数：25 本	約 70 億台湾ドル (2 億 2,400 万米ドル)	2014 年に建設完了、2016 年より運用開始。 エミッタンスの実効性能は 1.5 nmrad。
MAX IV (スウェーデン)	加速器エネルギー： 3GeV 蓄積電流：300 mA(400 mA にアップグレード予定) リング周長：528 m エミッタンス： 0.33 nmrad 最大ビームライン数：19 本	約 60 億スウェーデンクローナ（5 億 8000 万米ドル)	2011 年から建設開始、2016 年から運用開始。
SIRIUS (ブラジル)	加速器エネルギー： 3GeV 蓄積電流：100 mA(2022/7) リング周長：518 m エミッタンス： 0.25 nmrad 最大ビームライン数：40 本	総投資額： 18 億レアル	2015 年から建設開始、2020 年から運用開始。
High Energy Photon Source (中国)	加速器エネルギー： 6GeV 蓄積電流：200 mA リング周長：1360 m エミッタンス： 0.06 nmrad 最大ビームライン数：90 (14 本：第 1 フェーズ)	総投資額：不明	2023 年ブースター据え付け完了。 2025 ファーストビーム目標。

注記:

加速器運転管理費：１９億円
- 運転経費（人件費含む）１４億円
- 光熱水費５億円

ビームライン１０本の維持管理：８億円
- 人件費：１億年
- 保守管理費：４億円
- 利用支援：３億円

その他（事務運営管理費）：２億円

出所：SLRI,調査団作成

なお、諸外国で 3 GeV 級の放射光施設の整備が進められているのは、いわゆるテンダーX線（2～5 keV）及び軟X線（2 keV 以下）といった、光子エネルギーが比較的低い領域の学術的ニーズ、産業利用ニーズが高まっているとともに、3GeV 級の放射光施設においても硬X線領域（5～20 keV）までカバーできる加速器技術が進展してきたことが要因であると考えられる。

2.6　対象事業と関連する需要調査

2.6.1　産業界における新領域創成に関する動向と放射光研究活用の可能性

環境・エネルギー、健康・医療、材料、情報通信、基礎科学、産業利用等の各分野における潜在的な利用ニーズや次世代放射光への期待について、下図に示す通りである。



出所：次世代放射光施設ワーキンググループ報告書（2015 年 4 月）

図 2-39　放射光を利用した先端研究開発の普及

(1)　軟 X 線の学術・産業利用（物質表面の分析）

最先端の科学技術は、新材料や触媒、医療・創薬等の開発において、物質の機能や化学反応の過程を適確に理解するため、物質表面の電子状態を詳細に解析するニーズが高まっている。世界の研究潮流は、物質の「構造解析」に加えて、物質の「機能理解」へと向かっており、物質表面の電子状態変化を時間的に追える、高輝度の軟 X 線利用環境の整備が重要となっている。加速器技術等の進展も相俟って、電子エネルギーが比較的低い領域でも高輝度の放射光を発生させることが技術的に可能になったことから、諸外国では 2000 年代に整備が進められ、2010 年代に入ってからは、米国、台湾、スウェーデンにおいて、更に高性能の軟 X 線向け高輝度放射光源が稼働を開始している。近年、ブラジルと日本において整備中である。

(2)　硬 X 線の学術・産業利用（物質内部の分析）

タイが計画している中規模の次世代放射光施設において、どのような硬 X 線利用が可能なのかは、類似施設での硬 X 線調査する必要がある。ナノテラスでは、X 線オペランド分光（HX:2-20KeV、Beam Size: 100nm）、X 線構造（HX: 2-20KeV, Beam Size: 50 μ m）、X 線階層的構造解析（HX: 4.4-30KeV, Beam Size 50 μ m）、X 線コヒーレントイメージングといった計 4 本の硬 X 線のビームラインが利用されている。

2.7　他の援助機関・国のタイの科学技術研究セクターへの対応

2.7.1　先端科学技術分野の国別援助

表 2-32　他の援助機関・国のタイの科学技術研究セクターへの対応

国名	主な援助内容
アメリカ	米国貿易開発庁（USTDA）は、タイの太陽光発電事業者の太陽エネルギー貯蔵システム開発事業を実施している。
ドイツ	タイとドイツの国際交流は長い歴史があり、600 社以上の在タイドイツ企業が存在する。両国には高等教育機関との間に 200 超の協力パートナーシップあり。情報通信や電力、医療、計量分野、全自動無人運転車両システム分野の技術移転実績がある。
フランス	フランス農業技術国際協力センター（CIRAD）が、カセサート大学、AIT、KMUTT 所属研究者との共同研究等交流を活発に行っている。農業分野の研究を中心に疫学研究、環境保全や天然資源管理などの研究、航空・宇宙分野でも密接な関係を構築している。さらに、2023 年には、タイの MHESI がフランスの高等教育研究省と高等教育、科学、研究、イノベーションに関する協力に関する意向書に署名した。
ASEAN	ASEAN 科学技術イノベーション委員会（ASEAN COSTI）において、バイオテクノロジー、食品科学技術、インフラとリソース開発、計量と地球物理、マイクロエレクトロニクスと IT、海洋科学技術、物質科学技術、宇宙技術応用、持続可能なエネルギー研究などの学術交流を深めている。
EU	Horizon 2020 では、ASEAN と EU の研究者が、27 件の共同研究が実施。研究分野は、健康、食品、ICT、環境、ナノテクノロジー分野となっている。ASEAN と EU の研究者の連携を促進させることを目的に EURAXESS ASEAN をシンガポールとタイに設置し、ワークショップ、セミナー、インターンシップ等の情報交流の場を提供。
中国	タイの MHESI は、2024 年から 2025 年にかけて、中国との間で一連の重要な合意を通じ連携を強化した。具体的には、2024 年に中国国家航天局（CNSA）と月探査（「嫦娥 7 号」への観測機器 MATCH の搭載）に関する MOU を締結したほか、2025 年には AI 共同研究所の設置、原子力の平和利用、中医学、および総合的な科学技術イノベーションに関する協力事項について、それぞれ MOU や意向書を締結した。

出所：調査団

2.7.2　タイの行政機関・国による科学技術研究部門への対応

2.1 節で述べたように、20 年国家戦略（2017 年～2036 年）では、6 つの長期国家戦略が示され、これらの 6 つの戦略に基づいて 23 のマスタープランが策定されている。

1. タイ国民と社会の幸福
2. 国家競争力、経済成長、所得分配
3. 人的資本の育成
4. 社会的平等と公平性
5. 国の生物多様性、環境の質、天然資源の持続可能性
6. 政府の効率性と公共サービスへのアクセス向上

科学技術政策はあらゆる戦略に関連しているが、特に 2) 国家競争力、3) 人的資本の育成、そして 5) 国の生物多様性、環境の質、天然資源の持続可能性と密接に関係している。

20 年国家戦略と並行して策定・実施された第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）では、タイの研究開発能力が不十分であると指摘され、強化の必要性が提唱された（2.1.1 参照）。

こうした流れの中で、政府改革や国内外の現状を踏まえ、「高等教育、科学、研究、イノベーション政策・戦略（2020～2027）」が策定された。この 2020～2027 年の政策・戦略は、それぞれ実施プロセスを推進するためのプログラムを組み込んだ 4 つのプラットフォームで構成されている。これらの 4 つのプラットフォームは、①人材と知識の開発、②グランドチャレンジのための研究開発・イノベーション、③競争力強化のための研究開発・イノベーション、④地域密着型開発と包摂性のための研究開発である。

表 2-33　4 つのプラットフォームとプログラム

プラットフォーム 1 人材と知識の開発	プラットフォーム 2 グランドチャレンジのための研究開発・イノベーション	プラットフォーム 3 競争力強化のための研究開発・イノベーション	プラットフォーム 4 地域密着型開発と包摂性のための研究開発
① 国家の脳力エコシステム ② 東部経済回廊（EEC）と新たな成長エンジンのための高度技能労働力 ③ 生涯学習と未来のスキルセット ④ すべての人のための AI ⑤ 最先端研究 ⑥ ビッグサイエンス	⑦ 資源、環境、農業 ⑧ 高齢化社会 ⑨ 生活の質と安全保障	⑩ 新経済のための研究開発（RDI） ⑪ スタートアップ、IDE、イノベーション・エコシステム ⑫ 質の高い国家インフラとサービス	⑬ 地域経済と革新的なコミュニティ ⑭ 貧困撲滅 ⑮ スマートシティ、住みやすい都市
⑯ 大学と研究機関の改革			

出所：NXPO、調査団作成

上記の施策に基づき、重点研究領域として、環境・エネルギー、デジタル情報通信技術、農業、ロボット・AI、先端ものづくり、医療が挙げられている。また、4 つのプラットフォームにまたがる横断的なプログラムとして、限られた研究開発資金の効率的な運用を可能とするため、大学・研究機関の再編・活性化が設けられた。

2.7.3 SLRI と他国・組織との協力

近年、SLRI は他国や組織との連携を進めている。以下に SLRI が連携してきた国・組織をまとめる。

表 2-34 SLRI と他国・組織との協力

No.	年	協力国・グループ	組織名
1	2016 年～	オーストラリア	Australian Synchrotron (ANSTO)
2	2012 年～	アジア・オセニア放射光研究フォーラム（AFOSR）	Asia Ocenia Forum for Synchrotron Radiation (AOFSRR)
3	2016 年～	大型イオン衝突型加速器実験（ALICE）	A Large Ion Colider Experitment (ALICE)
4	2019 年～	中国	Shanghai Advanced Research Institute (SARI), Chinese Academy of Science (CAS)
5	2024 年～	エジプト・アラブ共和国	National Research Centre, the Arab Republic of Egypt
6	2015 年～	欧州原子核研究機構（CERN）	European Organization for Nuclear Research (CERN)
7	2013 年～	ドイツ	Deutshces Elektronen Synchrotron (DESY)
8	Sicne 2014 年～	インドネシア	National Research and Innovation Agency (BRIN)
9	2019 年～	インドネシア	University of Bengkulu
10	2018 年～	日本	東京工業大学工学部
11	2006 年～	日本	理化学研究所放射光科学総合研究センター
12	2006 年～	日本	高輝度光科学研究センター
13	2017 年～	日本	東京電機大学
14	2020 年～	日本	名古屋大学未来社会創造機構物質創製研究所
15	2021 年～	日本	長岡技術科学大学物質理工学科
16	2010 年～	日本	高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所
17	2018 年～	マレーシア	Universiti Putra Malaysia
18	2022 年～	フィリピン	University of the Philippines
19	2019 年～	韓国	Pohang Accelerator Laboratory
20	2019 年～	韓国	Korea Association for Fusion Energy and Accelerator Technology (KAFAT)
21	2025 年～	韓国	Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University
22	2025 年～	韓国	Graduate School for Molecular Materials Chemistry (BK21 FOUR), Gyeongsang National University
23	2022 年～	SYNAPSE	Synchrotrons for Neuroscience - an Asia-Pacific Enterprise
24	2006 年～	台湾	National Synchrotron Radiation Research Center (NSRRC)
25	2012 年～	イギリス	Diamond Light Source Limited
26	2012 年～	ベトナム	Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology
27	2012 年～	ベトナム	Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology
28	Since 2016 年～	アメリカ合衆国	UChicago Argonne, LLC

出所：SLRI

2006 年以来、日本の RIKEN の SPring-8 とタイの SLRI のパートナーシップは、アジア太平洋地域における放射光科学の推進を目的とした技術移転、人材育成、および共同研究を中心に展開されている。SPring-8 は、タイの 1.2 GeV 施設である SPS-I の継続的な高度化を支援するとともに、複雑な硬 X 線実験のために、タイの研究者に同センターの高度な 8 GeV 施設へのアクセスを提供している。

SLRI と日本の高エネルギー加速器研究機構（KEK）は、2000 年に初めて協力関係を構築し、2010 年に協定を更新した。このパートナーシップは、放射光光源に関する学術交流および研究協力の促進に重点を置いている。2010 年の協議では、両機関の代表者が、SLRI による SPS-I 施設の拡張計画を支援すべく、KEK の技術的専門知識をどのように共有できるかについて意見交換を行った。

2006 年以来、タイの SLRI と台湾の NSRRC のパートナーシップは、極めて実践的なエンジニアリングおよび技術面での協力へと発展してきた。2016 年に NSRRC がタイの SPS-I 向けに 3.5 テスラの超伝導ウィグラーを特注設計し、設置したことは大きなマイルストーンとなった。また、現在も NSRRC は、超高真空システムや放射線安全といった専門分野における技術研修を実施している。

以下に SLRI と日本の学術機関との最近の研究協力をまとめる。

表 2-35　SLRI と日本の学術機関との最近の研究協力

No.	年	組織・プロジェクト名	研究テーマ
1	2025	知の拠点あいち重点研究プロジェクト V 期	ナノ細孔材料触媒に向けた超臨界プラズマ生成システムの開発
2	2023	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所	第 4 世代放射光源利用に向けた先端 X 線ビームラインの開発
3	2018	東京工業大学工学部	ダイヤモンドライクカーボン（DLC）膜の sp2/sp3 炭素結合比における基板抵抗率依存性に関する研究
4	2019	東京工業大学工学部	ガスバリアコーティング用ダイヤモンドライクカーボン膜の局所構造評価
5	2019-2020	東京電機大学	細胞接着を目的とした生体適合性 DLC 膜の構造調査
6	2021	長岡大学 物質理工学科	高性能デュアルイオン電池向けアモルファス炭素ナノ界面修飾アルミニウム負極

出所：SLRI

2.8　事業対象地域及びその周辺の経済・社会状況

2.8.1　EECi について

タイ側の次世代放射光施設整備計画において対象サイトは EECi サイト内に位置している。EECi の開発は、 MHESI 傘下の独立行政法人である国立科学技術開発機構（NSTDA）が担当している。NSTDA は、タイ国営エネルギー企業である PTT Public Company Limited (PPT)と協力し、EECi の主要拠点としてワンチャンバレーを開発している。このパートナーシップにおいて、PTT は主に基盤インフラとスマートシティの開発を担当し、NSTDA は EECi のイノベーションエコシステムの開発に注力している。

EECi は、東南アジア地域における研究成果の実用化および技術の現地化を目的としたイノベーションハブとして位置づけられており、主に以下の 6 つの重点産業を推進している。

1. 次世代農業
2. バイオリファイナリー
3. バッテリーと次世代輸送手段
4. 自動化・ロボット・インテリジェントシステム
5. 航空
6. 医療機器

EECi は 2022 年 11 月にグランドオープニングを迎えた。同年 11 月 15 日、SLRI（シンクロトロン光研究所）は、VISTEC および PTT と土地賃貸に関する協力覚書（MOC）を締結し、次世代シンクロトロン放射光施設の開発を目的として、30 年間の土地使用権を取得した。この覚書には、プロジェクト提案の改訂版が内閣で承認された後に、3 者が正式な合意を締結する旨が明記されている。

2.8.2　EECi の企業情報

EECi はタイ政府が 2016 年の策定した新国家戦略「タイランド 4.0」の中核となる EEC 構想の中で推進されている 4 つの EEC 特別区の 1 つである。MHESI が管轄する EECi 以外の EEC 特別区は、EECd（デジタル・パーク・タイランド）、そして航空産業に特化した EECa（東部航空都市）, と EECmd (メディカルハブ)の 3 つである。これらの 4 つの EEC 特別区または指定された 21 か所の工業区にてプロジェクトを推進する場合は、タイ投資委員会(BOI)が定めた追加恩典を付与される。



出所：BOI

図 2-40　EEC 内の特別区

(1)　BOI 促進スキーム

以下の表は、2019 年 12 月より BOI 投資促進法に基づき施行された EEC における投資促進策に関連する追加税制優遇措置をまとめたものである。

表 2-36　EEC の追加恩典

Key Features	Investment Incentives	Targeted Activities			
		Section 8	A1	A2	As
Standard tax package	Tax holidays	10 years (no cap)	8 years (no cap)	8 years	5 years
Investment projects which are engaged in human resource development programs	Tax holidays	2 years (no cap)	-	-	-
	50% reduction of CIT	-	3 years	3 years	3 years
Investments located in EECi, EECd, EECa and EECmd	Tax holidays	1 year (no cap)	-	-	-
	50% reduction of CIT	-	2 years	2 years	2 years
Investments located in industrial estates and promoted industrial parks	Tax holidays	1 year (no cap)	-	-	1 year
	50% reduction of CIT	-	-	-	-

A1: Knowledge-based activities focusing on R&D and design to enhance the country's competitiveness.
A2: Infrastructure activities for the country's development activities using advanced technology to create value-added, with no or very few existing investments in Thailand.
A3: High technology activities which are important to the development of the country, with a few investments already existing in Thailand.
Section 8: Technology and innovation development includes targeted core technology development such as development of biotechnology, nanotechnology, advanced materials technology and digital technology.

出所：BOI

BOI の発表によると、2020 年の EEC 域内における 12 分野のターゲット産業の投資は、申請ベースで 231 件（前年比 2.1%減）、1,042 億 400 万バーツ（9.0%減）であり、認可ベースでは 235 件（7.8%増）、963 億 5800 万バーツ（51.1%減）であった。同年の BOI 統計では、タイ全体のターゲット産業への投資は、申請ベースで 821 件、2,307 億 4,000 万バーツ、認可ベースでは 806 件、2,168 億 3,000 万バーツ。この結果、申請・認可ともに、ターゲット産業への投資では、EEC 域内向けがタイ全体のうち、件数で約 3 割、金額で 5 割近くを占めている[12]。

EECi へ参入する企業に関しては、2023 年 2 月現在、以下の 2 社の申請が EECi に認可されている。

- PTT Exploration and Production Public Company Limited
- Sumitomo Heavy Industries (Thailand) Ltd.（住友重機械工業タイランド）

(2)　EEC 促進スキーム

EEC 法に基づく特定産業の促進区域には、潜在的な投資を誘致し、タイを技術および先端イノベーションの投資センターに変革するための投資奨励策が存在する。特別に設計された技術およびクラスター産業に対して、EEC は「最大限のインセンティブパッケージの範囲内で、カスタマイズされた奨励パッケージを協議し、共同で設計する」ことに前向きである。

[12] 参照：https://www.jetro.go.jp/biznews/2021/09/c62c2ebfe90343a7.html



出所：調査団

図 2-41　EEC 促進スキームにおけるインセンティブと促進要因の概要

(3)　EECi にある日本企業による出資

2022 年 6 月 16 日、日本の住友重機械工業の子会社である住友重機械工業（タイランド）は、新オフィスのために EECi でのスペース賃貸契約を締結した。住友重機械工業は、EECi において最初にテナント契約を結んだ日本企業である。

さらに、2022 年 8 月には、タイの日本大使館および日本商工会議所向けに EECi 視察プログラムが実施された。このプログラムには 50 名以上のメンバーが参加した。

2.8.3　EECi の研究機関

EECi の教育区域（178 ライまたは 28.48 ヘクタール）には、現在、カムノートウィッタヤ科学アカデミー（KVIS）、ウィッタヤシリメディ科学技術研究所（VISTEC）およびワンチャン森林プロジェクトが存在する。また、NSTDA は、EECi 内に 3 つのイノベーションクラスター（BIOPOLIS、ARIPOLIS、SPACE INNOPOLIS）を立ち上げる予定である。

BIOPOLIS
- 革新的農業
- 化学およびバイオプロセス技術
- 機能性成分

ARIPOLIS
- センシングイノベーション
- コンピューティングイノベーション
- 製造およびサービスイノベーション
- サイバーフィジカルシステム統合

SPACE INNOPOLIS
- 高高度擬似衛星無人航空機（HAPS UAV）および全地球航法衛星システム（GNSS）
- NQI 宇宙航空

これら 3 つのイノベーションクラスターは、主要な研究機関や大学、国内外の企業、政府機関、そして地域社会と密接に連携し、EEC およびタイ国内の他地域で先端産業の開発を目指している。現在、タイ国内のいくつかの大学および研究機関が EECi のパートナーとして登録されている。

パートナー大学

VISTEC、スラナリー工科大学、チュラロンコン大学、マヒドン大学、カセサート大学、チェンマイ大学、タマサート大学、ワライラック大学、プリンス・オブ・ソンクラ大学、コンケン大学、キングモンクット工科大学ノースバンコク、アジア工科大学、ブラパ大学、ラチャマンガラ工科大学イーサン校、ラチャマンガラ工科大学プラナコーン校、ラチャマンガラ工科大学ラタナコシン校、ラチャマンガラ工科大学タンヤブリ校、ラチャマンガラ工科大学クルンテープ校、ラチャマンガラ工科大学スリウィチャヤ校など。

研究機関

NSTDA、地理情報および宇宙技術開発機構（GISTDA）、国立計量研究所（NIMT）、産業技術研究所、タイ自動車研究所、タイ科学技術研究所（TISTR）、タイ・ドイツ研究所、タイ生命科学卓越センター（TCELS）など。

2.9　本事業の必要性と国家目標及び上位計画との整合性

タイ政府は「第 12 次国家経済社会開発計画（2017-2021）」および「第 13 次国家経済社会開発計画（2023-2027）」において、先進国入りを果たすための国際競争力の向上に必要な重点課題として、国家的 研究開発インフラへの投資や人材開発を掲げており、本事業の目的と合致する。

対象サイトである EECi は、20 カ年国家戦略に基づく「タイランド 4.0 」構想のもと産業高度化に向けた産官学による研究開発の拠点整備の推進を目的としており、上位計画とも整合している。2020 年に本事業がタイ閣議にて承認され、国家的事業として位置づけられている。

放射光技術において先行する我が国では、軟 X 線（表面化学反応の精緻分析や軽元素分析等の汎用性に優れる）を対象とした放射光施設ナノテラスが整備され、昨年 4 月に共用が開始された。また、硬 X 線（物体内部ナノ構造の非破壊分析や重元素分析等の卓越性に優れる）を用いる SPring-8 についても、高度化（SPring-8-II）に係る予算が認められ、整備が開始された。これらはいずれも産業振興や国際競争力の強化を目的とした政府投資であり、世界各国で次世代放射光施設の整備が進むなか、とくに 1997 年の共用開始から 25 年以上が経過した SPring-8 は、将来の産業を先導していくには高度化が必須であった。

我が国と同様に、タイ政府においても、「知識・技術・イノベーションを基盤とした産業構造への転換」を目指す国家発展戦略としてタイランド 4.0 を掲げ、S-Curve 産業振興、研究開発力と人材育成の強化、デジタル化・産業クラスター形成を重点施策としている。また、持続可能な経済発展を図る政策枠組みとして、バイオ・循環型・グリーン経済を統合した BCG 経済モデル[13]の推進にも注力している。こうした政策目標の実現には、高度な研究開発基盤（インフラ）の整備がますます重要になっている。

一方、これまでタイの科学技術と産業技術開発を支えてきた現行放射光施設（SPS 1.2 GeV）は、2001 年の稼働開始から 20 年以上が経過している。同施設は、老朽化に加えて光源性能に限界があ

[13] Bio Circular Green (BCG)経済モデルとは、生物資源を持続的に利用する「バイオ」、廃棄物を削減して資源を循環させる「サーキュラー」、環境への影響を減らしながら質の高い生活と経済成長を目指す「グリーン」の 3 つの要素を統合し、イノベーションを通じて持続可能な経済成長を目指す経済モデルである。

り、先端科学研究および先端技術開発に不可欠な高度な分析ニーズに十分対応できない状況となりつつある。こうした制約は、タイランド 4.0 や BCG 経済モデルで示された重点産業における技術革新を推進するうえでも大きな課題となっている。

次世代放射光施設（SPS-II）は、軟 X 線から硬 X 線までの広いエネルギー領域で高輝度かつ安定したコヒーレント光を供給し、タイ国内ではこれまで困難であった精密測定や高度解析を可能にする。例えば、EV 化が加速する自動車産業では、電池材料の作動中の構造変化を精密に把握でき、高性能化や長寿命化設計に寄与する。半導体分野では、界面状態や不純物分布のナノ解析を通じ、次世代デバイス開発に必要な技術基盤を形成できる。また、医療・バイオ分野では、タンパク質構造の高分解能解析が新薬創出の加速につながり、農業分野では、作物中の微量元素分布の可視化が品質向上や栄養特性の評価に貢献する。次世代放射光施設によるこれらの先端計測・分析技術は、タイの重点産業の競争力向上に資することが期待される。

このように、次世代放射光施設の導入は、幅広い研究活動を支えるとともに、産業界の技術力の高度化を促進する基盤として極めて重要である。特に、イノベーション創出、研究開発力の強化、高度研究人材・技術者の育成といったタイランド4.0の政策目標に資する点からも、同施設整備に対する社会的ニーズは極めて高いと考えられる。

3.　タイ側の事業計画および代替案の検討

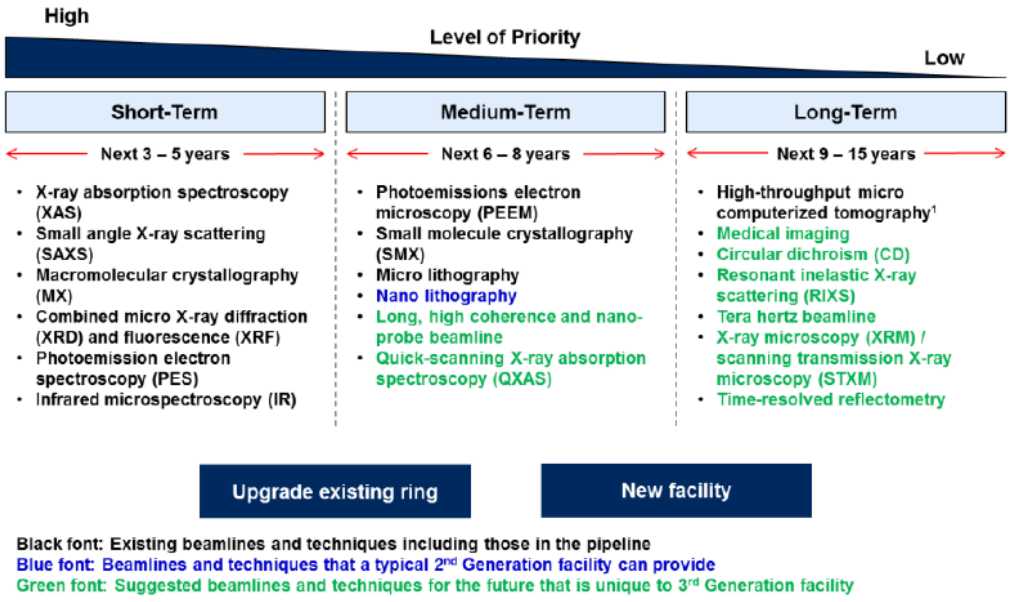
3.1　タイ側の事業計画

3.1.1　本事業計画の検討経緯及び最新状況の確認・整理

(1)　フィージビリティ・スタディ調査（F/S）

2016 年にタイ側が実施した F/S の概要は以下の通り。

表 3-1　F/S サマリー表

加速器	▪ インジェクター/ブースター： 自由電子レーザー (FEL) への将来の拡張の可能性を持つ線形全エネルギー注入器ライナック ▪ 蓄積リング： MBA ラティス
ビームライン	
敷地	ナコンラチャシマ県（コラート）、タイ

出所：SLRI

(2)　詳細設計調査(D/D)

2021 年にタイ側で実施。F/S と異なる点は以下のとおり。

表 3-2　D/D サマリー表

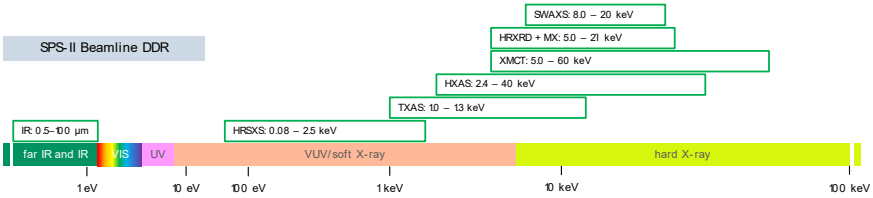
加速器	▪ インジェクター/ブースター： リニア入射ライナックとリング型ブースターシンクロトロンを組み合わせた設計で、タイの国内企業である程度製造可能（汎用放射光施設と共通の構成） ▪ 蓄積リング： DTBA ラティス
ビームライン	計画中の 7 ビームライン (HRSXS, TXAS, HXAS, XMCT, MX, SWAXS, HRXRD)
敷地	ラヨーン県 にある EECi のプロット K、タイ

出所：SLRI

(3)　現状の設計

2025 年 5 月の時点では、D/D から以下のような変更がある。

表 3-3　現状設計サマリー表

<table>
<tr><td>加速器</td><td>▪ インジェクター/ブースター：
変更なし
▪ 蓄積リング：
変更なし</td></tr>
<tr><td>ビームライン</td><td>計画中の 7 ビームライン (HRSXS, TXAS, HXAS, XMCT, SWAXS, HRXRD+ MX)


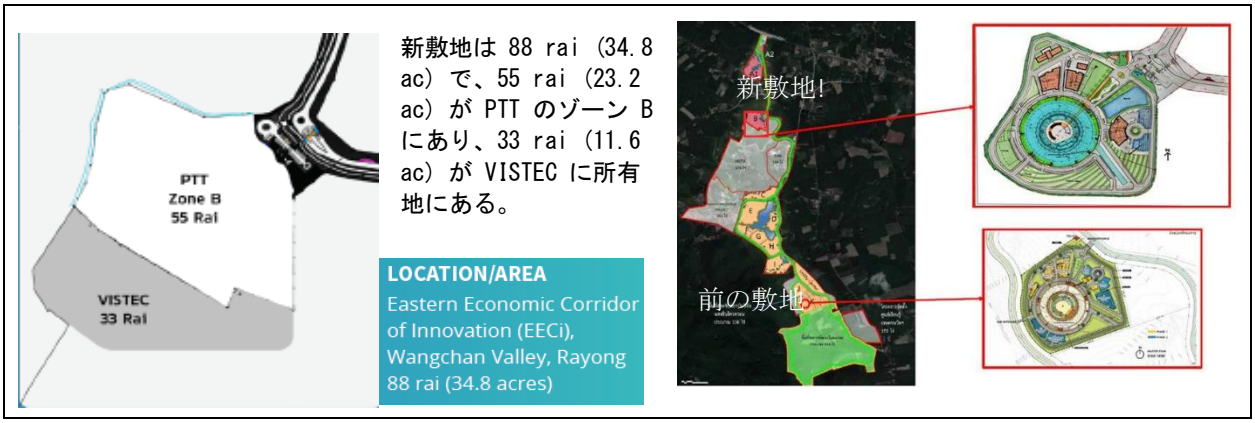
<table>
<tr><th>Beamline</th><th>Name</th><th>Photon Range</th><th>Beam size (H x V)</th><th>Scientific Technique</th></tr>
<tr><td>HRSXS</td><td>High Resolution
Soft X-ray Spectroscopy</td><td>0.08 – 2.5 keV</td><td>• Station A: 0.04 x 0.04 mm²
• Station B: 0.07 x 0.01 mm²</td><td>ARPES, XPS, NEXAFS, XMCD
PEEM, XMCD-PEEM</td></tr>
<tr><td>TXAS</td><td>Tender X-ray
Absorption Spectroscopy</td><td>1.0 – 1.3 keV</td><td>• Focused beam: 0.10 x 0.06 mm²
• Large beam: 1.3 x 2 mm²</td><td>XANES, EXAFS, XRF
Full-field Imaging: XRF</td></tr>
<tr><td>HXAS</td><td>Hard X-ray Absorption Spectroscopy</td><td>2.4 – 40 keV</td><td>• 0.12 x 0.11 mm²</td><td>XANES, QEXAFS, XRF</td></tr>
<tr><td>XMCT</td><td>X-ray Microtomography</td><td>5.0 – 60 keV</td><td>• 40 x 10 mm²</td><td>Micro-Tomography</td></tr>
<tr><td>SWAXS</td><td>Small and Wide-Angle X-ray
Scattering</td><td>8.0 – 20 keV</td><td>• 0.33 x 0.18 mm²</td><td>SAXS, WAXS, USAXS, GISAXS</td></tr>
<tr><td>HRXRD + MX</td><td>High Resolution X-ray Diffraction and
Macromolecular Crystallography</td><td>5.0 – 25 keV</td><td>• Station A: 1.4 x 0.9 mm²
• Station B: 0.02 x 0.01 mm²</td><td>High Resolution XRD
XRD imaging
Micro-focused MX, MAD, SAD</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>敷地</td><td>ラヨーン県にある EECi のゾーン B（PTT と VISTEC 所有地）、タイ</td></tr>
</table>

出所：SLRI

SLRI は、SPS-I の既存利用者と将来の利用者を対象にニーズ調査を実施し、SPS-II におけるビームラインのラインナップを検討した。 そこで、ニーズ調査の結果と予算の両方を考慮して、SLRI は 7 本のビームラインのラインナップを提案した。

タイの主要産業の 1 つは農業である。 SPS-I のビームラインの利用実績によると、タイでは農産物中のタンパク質分析の研究が非常に盛んである。 SPS-I には XMD ビームラインと MX ビームラインがあり、タンパク質の含有量を解析する研究が行われている。 一方で、SPS-I のこれらのビームラインには、空間分解能の制限とスポット ビーム径という特有の問題がある。 したがって、HRXRD+MX ビームラインを SPS-II に設置する場合には、精密な測定が可能となるため、SPS-II に HRXRD+MX ビームラインを設置することは合理的であると考えられる。

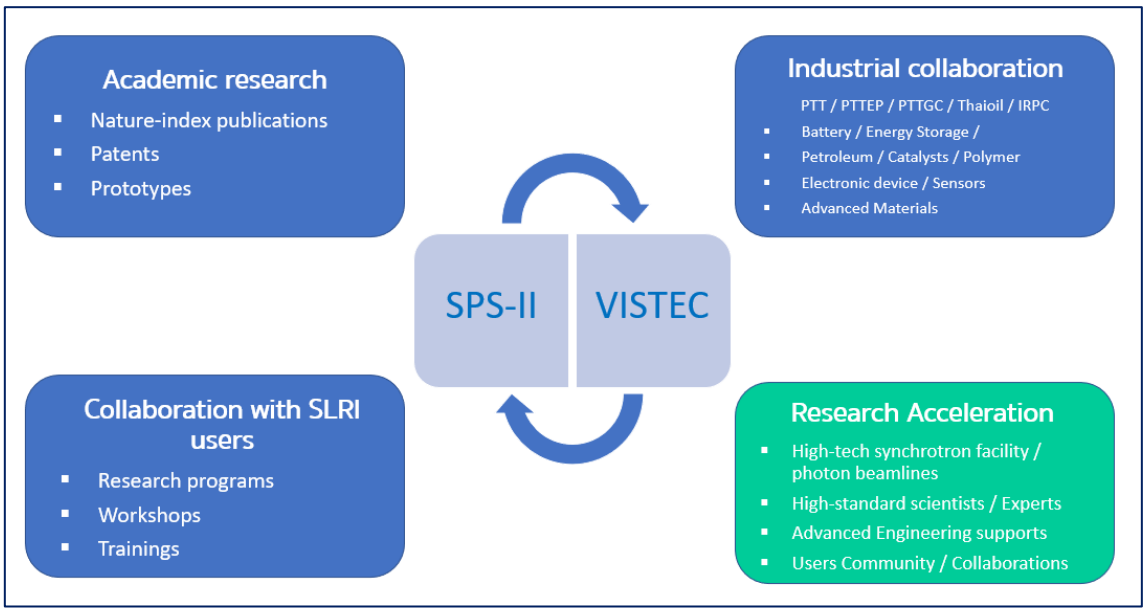
表 3-4　新敷地の位置



出所：SLRI

サイト変更の理由は以下の通り。

- 地質学的安定性:：前のサイトは未開発地域に囲まれ、科学局の車両試験場に隣接し、250m の滑走路に近いため振動を引き起こし、放射光施設に適していない。一方、新しい敷地は農地、VISTEC、EECi に囲まれており、将来、農地での大規模な建設工事や土地開発のリスクがないことが SLRI によって確認された。さらに、タイの地質専門家がボーリング調査を通じて、新しい敷地の地盤がシンクロトロン施設の荷重を支えるために十分であることを確認した。
- 交通アクセスの利便性： 新敷地は、EECi の入口と主要なユーザーおよび研究協力者の 1 つである VISTEC に近くなっている。構内道路の交通による影響がないことを確認するため常時微動調査が継続される。
- 近くの潜在的なユーザー/協力者： 工業団地、EEC にある科学研究機関、近隣の大学。



出所：SLRI

図 3-1　SPS-II、VISTEC、PTT 協力

サイト変更の必要性及び妥当性が確認された。 サイトの変更に伴い、次の点についてタイ側事業関係者と確認した。

- 2022 年 11 月 15 日に新しいサイトの MOC が締結された
- 2022 年 11 月末に SLRI 予算で新サイトの地盤調査 (ボーリング) が実施された。
- 本準備調査予算により、2022 年 11 月末に新サイトの地盤振動調査（微動計測）を実施（上記地質調査と併せて）。**Attachment 2 : Vibration Survey Report** を参照。
- 新サイトには EIA は必要なしとのタイ側の認識を確認した。第 12 章を参照。
- 新サイトの最終設計調整は 2024 年 12 月を目標に準備しており、追加設計費用はタイ側が負担する（閣議申請中）

(4) フェーズ分け

SPS-II 事業の暫定スケジュールは以下の 3 フェーズに分けて計画されている。

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Project Formulation Phase														
Project Implementation Phase														
Operation & Maintenance Phase														

注：スケジュールは内閣の承認と融資契約の署名のタイミングに左右される。

1) プロジェクト策定フェーズ（2022 年 9 月～2026 年 4 月）

プロジェクト策定フェーズの一環として、以下のことが確認された。

- SLRI による修正プロジェクト提案書 (PP) を MHESI 経由で国家経済社会開発評議会事務局 (NESDC)提出済
- SLRI が NESDC からのコメントを MHESI 経由で受領（2024 年 10 月）
- タイ内閣からの PP 承認の改訂（2024 年 10 月）[14]
- タイ議会から事業費の承認（2025 年 12 月）
- JICA 事実調査ミッションと JICA 評価（2026 年 1 月）
- 誓約、L/A 交渉、L/A 署名、E/N 署名(2026 年 4 月)

2) プロジェクト実施段階（2026 年 4 月～2034 年 8 月）

- 施設、加速器、ビームラインの詳細設計（D/D）
- コンサルタントの選定
- 入札
- 施設の建設
- 加速器およびビームライン用機器の調達
- 引き継ぎ
- 設備の瑕疵通知期間

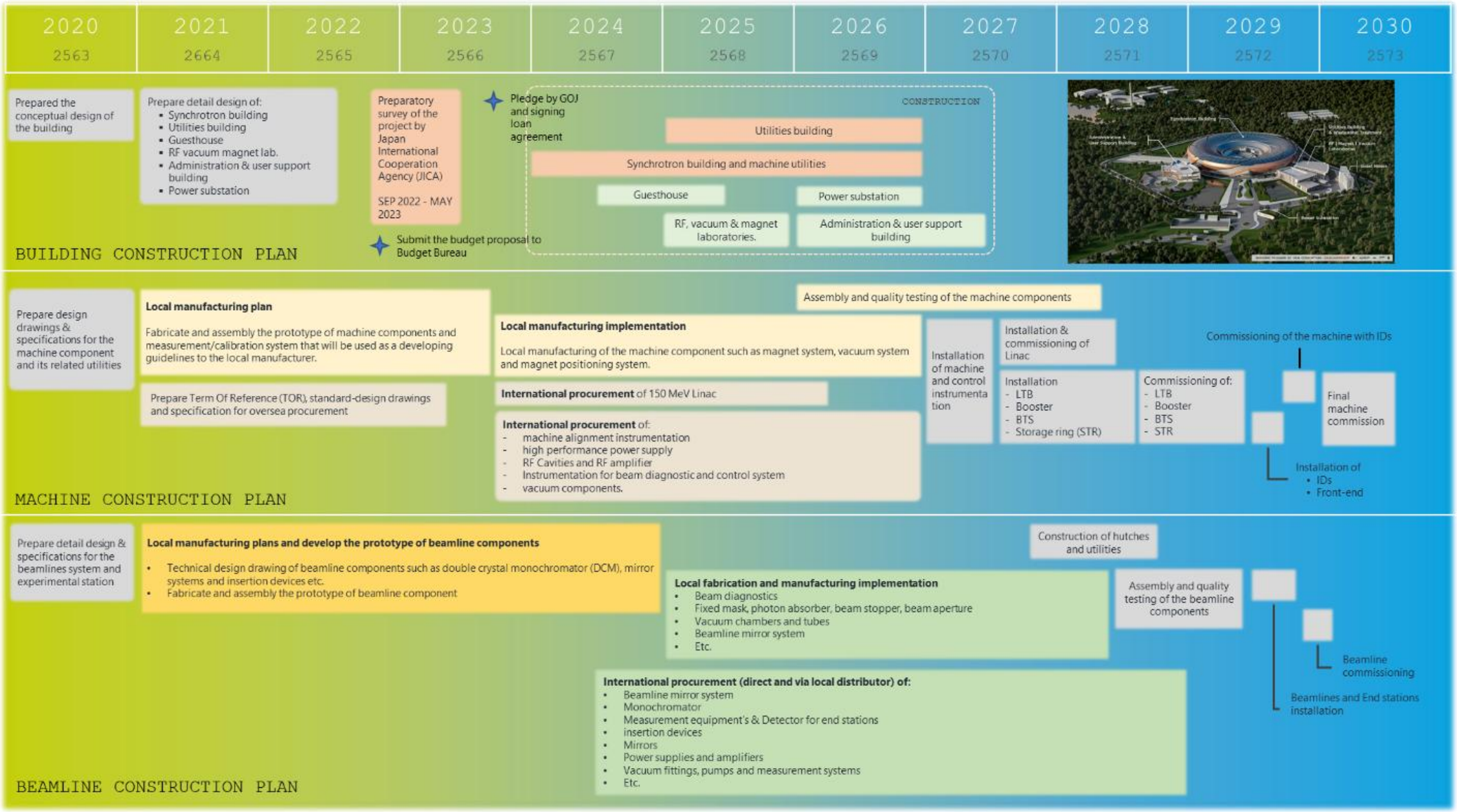
[14] 閣議スケジュールからの改訂された PP 承認は SLRI によって計画された。

- 加速器およびビームラインの機器の保証期間

また、ナノテラス同様に、フロントエンドおよび ID も加速器の一部として整備とコミッショニングをおこなう計画を確認した。

3)　運用・保守フェーズ（2034 年 9 月～）

ビームラインの追加整備を含む運営・維持管理段階（フェーズ 2 以降）は、本円借款（フェーズ 1）の対象外となる。 したがって、円借款はビームラインの試運転までと、加速器及びビームラインの機器の保証期間までを対象とする。



出所：：SLRI

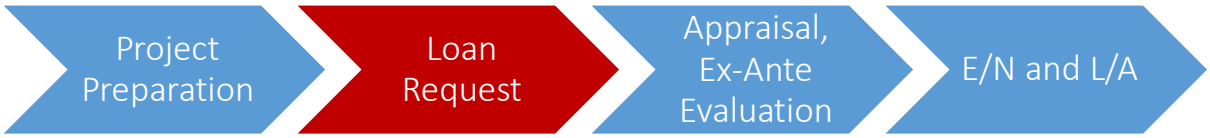
図 3-2　SLRI による全体プロジェクトのスケジュール

(5)　計画最終化プロセス

プロジェクト計画の策定プロセスは国によって異なるため、国別で説明する。

日本側

プロジェクトの実施に先立ち、日本側が行うべきステップはプロジェクトの準備から始める。その後、借入国：タイが日本に融資申請を提出する必要がある。 要請を受けて、日本は審査・事前評価、交換公文（E/N）、借款契約（L/A）を進めていく。

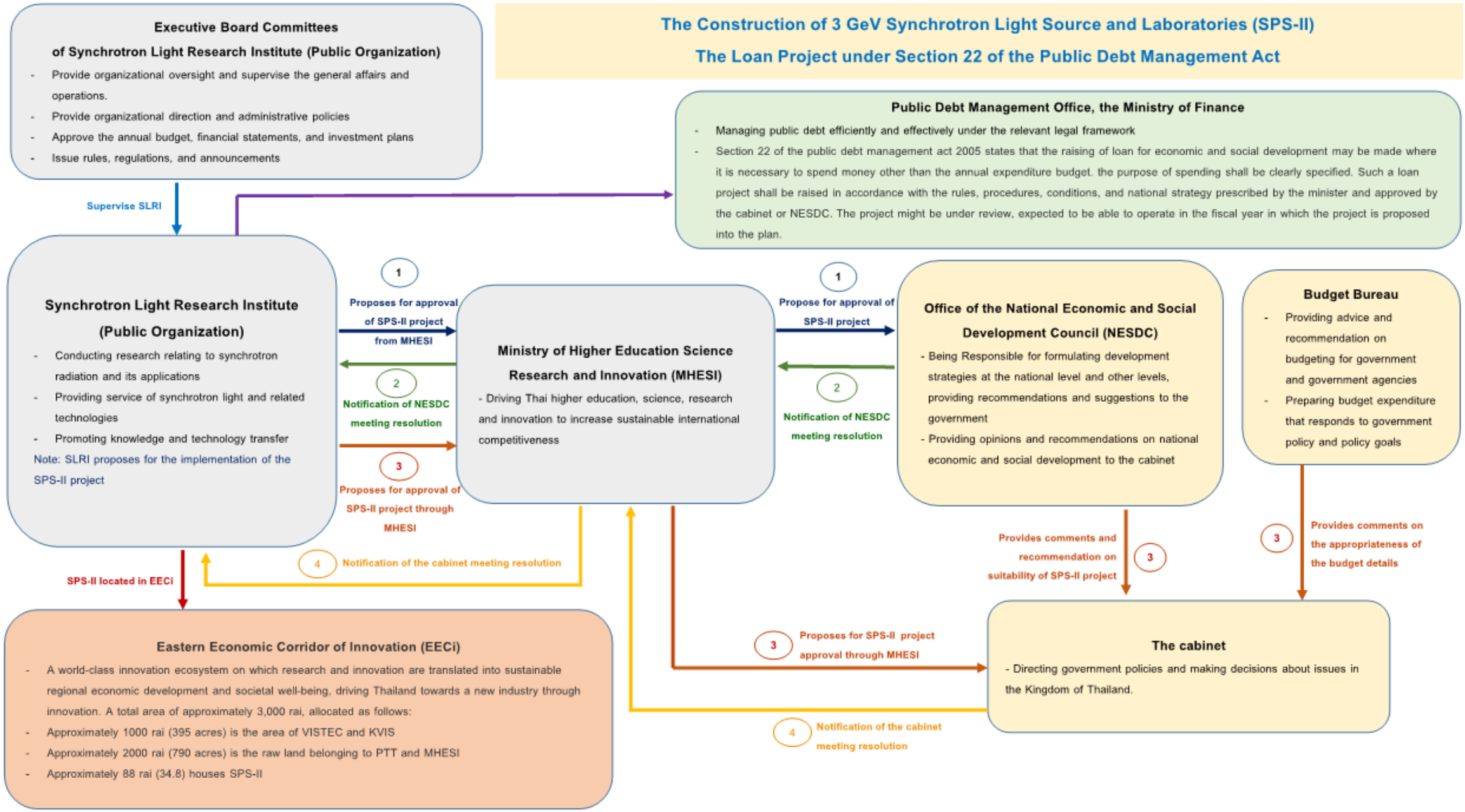


出所：調査団

図 3-3　円借款の L/A までの流れ

タイ側

内閣の承認（以下の図の 4 に示す）後、公的債務管理局（PDMO）、財務省（MOF）は日本政府に円借款要請申請書を提出するものとする（上記図の赤色で表示）。



出所：：SLRI

図 3-4　GOT の関連組織の機能と業務の流れ

3.2　代替案の検討

3.2.1　設計・実施における予算の配分方針

(1)　既存の第 2 世代放射光施設の更新

タイの放射光施設の運用計画によると、既存シンクロトロン放射光施設 (SPS-I) は、産業界からの需要が高い軟 X 線ビームライン、新設するシンクロトロン放射光施設 (SPS-II) では、より強度が強く、高輝度の硬 X 線ビームラインを提供する計画にしている。

現時点において、SLRI では、SPS-I と SPS-II の運用について、2 つのシナリオを策定している。一つは、SPS-I と SPS-II の 2 つの放射光施設を運用する計画、もう一つは、SPS-II のみを使用する計画である。これらは、SPS-II 完成後に数年以内にいずれかの計画に決定することになっているが、現時点では、2 つの放射光施設の運用することを考えているが、これには膨大な維持管理費と人員が必要となる。そのため、限られた予算とリソースを考慮すると、既存放射光施設である SPS-I を次世代放射光施設にアップグレードすることは困難であると考える。

あわせて、SPS-I と SPS-II の蓄積リングの周径が、それぞれ 81.3m と 327.6m と大きく異なるため、SPS-I の敷地に、周長が 300m を超える放射光を設置できる場所を確保できるかどうかも検討事項となる。2022 年 11 月に SPS-I を視察した際には、大きな放射光施設を建設する場所は確認できなかった。また既存放射光を利用するメリットの一つに既存放射光施設の機材を新設放射光施設に転用することが挙げられるが、SPS-I と SPS-II では技術仕様が大きく異なり、また SPS-I が既に長期間運用されてきたこともあり機器が老朽化しているため既存機材の転用が困難であることが懸念される。結果的に SPS-II を建設する際には新たな機器を整備する必要がある。

以上の観点を考慮すると、既存放射施設 SPS-I を次世代放射光施設にアップグレードすることは、技術面、コスト面の両面から困難であると考える。

(2)　他国の放射光施設を活用する可能性

放射光施設のビームラインを利用するのみであれば、タイ国内に新たに放射光施設を建設するよりも、タイの研究者が他国の放射光施設を利用する方が、コスト的にも安価であると考えられる。他方、高度な研究施設を自国に持つことの効果として、①タイ国内の学生/研究者/技術者の育成、②産業界への派生効果、③タイ国内の研究のシンボルとしての役割も考慮すべきであり、タイ国民が誇れる研究施設をタイ国民自身で設計製造することに意義があると考える。①に関して、海外で経験を積んだ若手研究者・技術者が、タイに帰国後、継続的に放射光関連の先端研究を実施する場を提供することがタイ国の研究能力を向上することになる。また、ASEAN 域内にはタイの他にシンガポールにも放射光施設が存在するが、新たにタイに次世代の放射光施設を建設することにより ASEAN 域内の研究発展の促進に貢献することができる。

(3)　ビームラインのラインナップ

ビームラインのラインナップと優先順位は、ビームラインの用途と建設予算によって決定される。SLRI は、SPS-II のビームラインのラインナップを検討するにあたり、既存放射光施設である SPS-I のビームラインユーザーと将来ビームラインを利用するポテンシャルのあるユーザーに対してニー

ズ調査を実施し、ニーズと予算の双方から検討して SPS-II のビームラインラインナップを決定した。そのため SLRI の提案しているビームラインの種類については妥当であると判断した。同規模の放射光施設である台湾放射光施設（TPS）が、7 本のビームラインの建設からスタートしたことを踏まえると、SPS-II が、7 本のビームラインから開始することは妥当であると考える。

3.2.2　入射用加速器の考え方

現在稼働している世界の放射光施設で使用されている入射用加速器は、直線加速器（ライナック）のみ、またはライナックにブースターシンクロトロンを組み合わせた加速器の 2 種類に大別することができる。米国ブルックヘブン国立研究所の放射光施設 (NSLS-II)や台湾放射光研究センターの放射光施設（TPS）、ブラジルの放射光施設（SIRIUS）などは、ライナックとブースターシンクロトロンを組み合わせた代表的な施設であり、日本の理化学研究所の Spring-8-II や量子科学技術研究開発機構のナノテラス、スウェーデンの MAX-Ⅳ、韓国の Pohang Light Source II（PLS II）は、フルエナジー入射ライナック[15]を採用した代表的な施設である。

2016 年にタイ政府が発表した F/S レポートでは、将来の自由電子レーザー（FEL）へのアップグレードを見据えて、フルエナジー入射ライナックが計画されていた。トップアップ運転ではシンクロトロンの運転時間が長くなるため、フルエナジーライナックは、電気料金などの運転コストの削減を期待することができるが、他方で、FEL の建設には、精度の高い制御システムが必要となるため建設コストが高くなる。

本調査において、調査団は、SLRI が将来的に FEL にアップグレードする計画がなく、SPS-II ではライナックとブースターシンクロトロンを組み合わせた入射用加速器を採用することを確認した。調査団としては、建設コスト、運転コスト、技術的難易度の観点から入射用加速器を検証し、ライナックとブースターシンクロトロンを組み合わせた入射用加速器は実現性のあるコンセプトであると確認した。

3.2.3　入射ライナックの周波数バンド考え方

3.2.2.で述べたように、SLRI は SPS-II ではライナックとブースターシンクロトロンを組み合わせた入射用加速器を採用する計画であることが確認された。そのため当初予定されていたフルエナジー入射ライナック用に計画されたライナックの C バンド周波数帯からライナックとブースターシンクロトンを組み合わせた入射加速方式に適した S バンド周波数を適用したライナックに変更された。調査団としては、建設コストや技術的安定性の面から検証し、SLRI が提案している S バンド周波数帯は妥当な計画であることを確認した。

[15] フルエナジーライナック: 加速器システムにおいて、電子の注入や加速を行う装置であり、S-band フォトカソード RF ガン、C-band 加速構造、磁気チャンカン、 熱陰極ガンなどから構成される。

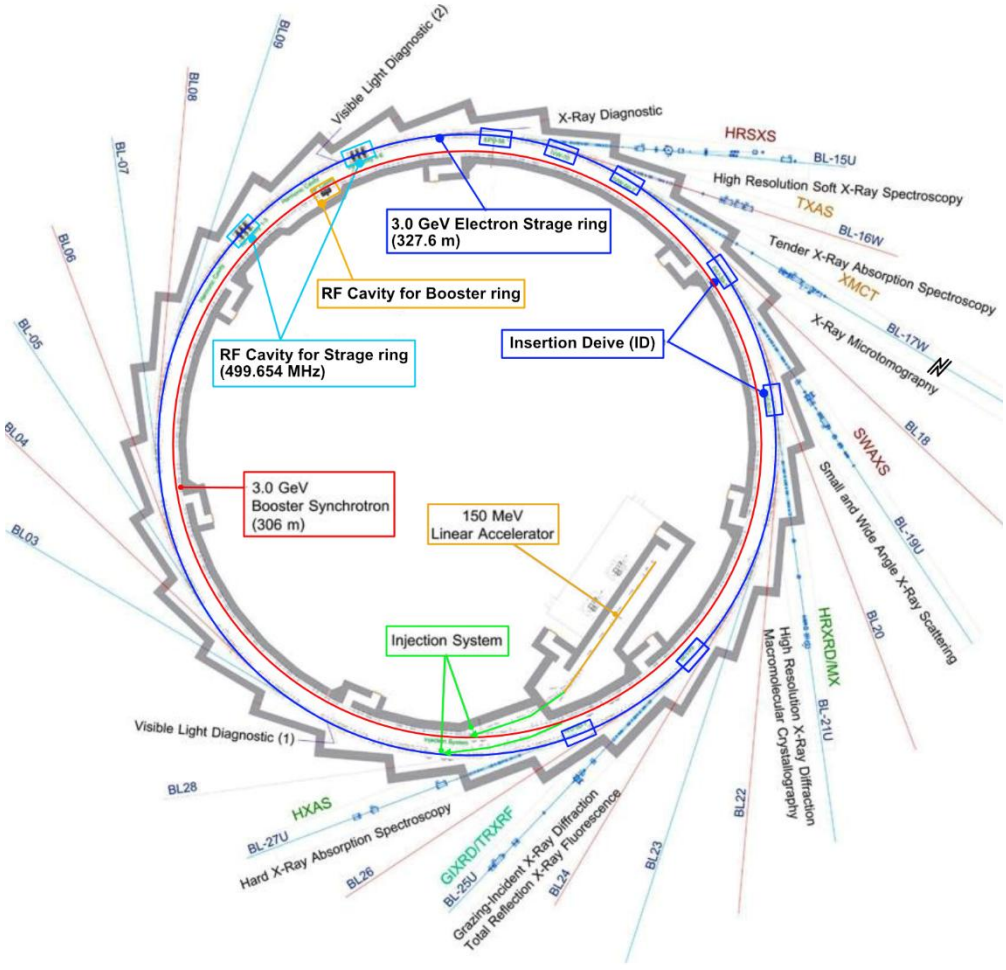
4. 加速器およびビームラインの概念設計の結果

4.1 加速器（入射ライナック、ブースターシンクロトロン、蓄積リング）の基本デザイン

SPS-II の加速器は、150 MeV の入射直線加速器（入射ライナック）、3.0GeV ブースターシンクロトロン、3.0 GeV 蓄積リングの 3 つの主要コンポーネントから構成されている。

入射加速器は、150 MeV 入射ライナックと 3.0 GeV ブースターシンクロトンから構成される。入射ライナックによって 150 MeV まで加速された電子は、周長 306.0 m のブースターシンクロトロンに輸送される。ブースターシンクロトンは、電子を3.0 GeVまで加速し、10nm-rad以下という低エミッタンスの電子ビームを生成するよう設計されている。

蓄積リングは、周長 327.6 m を計画し、0.97nm-rad という低エミッタンスのビームラインを実現するように設計している。蓄積リングの高周波（RF）システムの周波数は 499.65 MHz に計画され、ラティスデザインにはダブルトリプルラティスを採用する。ダブルトリプルラティスにより SPS-II の蓄積リングでは14本のスタンダード直線部と14本のセンター直線部が形成することが可能となり、将来的に最大 21 本の光源を設置できるように設計している。



出所：SLRI

図 4-1　SPS-II 用 150 MeV 入射ライナックの概略図（単位:mm）

4.1.1　150 MeV 入射ライナック

(1)　要求技術仕様

SPS-II では 150 MeV の入射ライナックの導入を予定している。 SPS-II において 150MeV 入射ライナックが選択された最も重要な理由は、高エネルギーライナックが生成する電子ビームのエミッタンスを極めて小さくできる点である。ビームエミッタンスとは、ビーム中の粒子（電子）が持つ運動量と位置の分布を示す量であり、これが小さいほどビームの収束性が高まる。相対的なエネルギーの広がりが小さいため（エネルギー分散が抑えられているため）、高品質な電子ビームが形成され、結果として、ブースターシンクロトロンへの入射に適したコンパクトなビームサイズが生成される。150 MeV の入射ライナックからのビームエミッタンスを適切な範囲内に抑制することによって、ブースターシンクロトロンへの入射効率が向上し、高いビーム伝送効率が確保することが可能となる。

以下に 150MeV 入射ライナックの要求技術仕様を示す。

- 制御グリッドおよび高電圧デッキに 500 MHz 変調を印加する三極管電子銃
- 500 MHz 定在波方式（スタンディングウェーブ方式）サブハーモニックプリバンチャー（SHB）
- S バンド進行波方式（トラベリングウェーブ方式）バンチャー（BCH）
- 2π/3 モードで動作する S バンド進行波方式加速管 4 本
- 電子銃と第 1 段 S バンド加速管の間に配置されたソレノイド（電子ビームの収束・伝搬安定化を目的とする磁場レンズ）
- 各加速管の後段に配置された三連四極磁石の 4 セット
- SHB 用 500 MHz 固体増幅器（半導体素子を用いた高周波電力増幅器）
- 45 MW クライストロンおよびモジュレータから構成される S バンド RF ステーション 2 系統
- 低レベル RF 制御系（加速空洞に供給する高周波の振幅・位相・周波数を精密に制御するシステム）
- ビームエネルギー測定（45°）およびブースターへのビーム輸送（18°）に用いる可変磁場二重極磁石
- ビームエネルギー測定用（45°）および安全対策用（前方方向）の 2 基のビームダンプ

SPS-II では、主な運転モードとしてトップアップ運転が計画されている。蓄積リングへのトップアップ入射を実現するためには、蓄積ビーム電流 300 mA に対して 3 nC 以上の電荷を有するバンチトレイン[16]が必要となる。蓄積リングとブースターシンクロトロンは、後述する RF システム[17]に基づいて設計されている。入射ライナックからブースターシンクロトロンおよび蓄積リングに輸送される電子（粒子）のバンチトレインの各バンチは、加速器の RF システムによって形成される RF バケツ（高周波電場によって形成された電子捕獲領域）に正確に入射されなければならない。そのた

[16] バンチトレイン：電子が時間的・空間的に固まって移動する小さな束のことを「バンチ」といい、バンチが一点間隔で保ちながら列用に続いている状態をバンチトレインという。
[17] RF システム：電子入射機と線形加速管から構成された高周波線形加速システム。

め高効率のビーム入射[18]を実現するためには、入射ライナックは RF バケツに対応したバンチ構造を持つビームを生成する必要がある。下の表に SPS-II 用入射ライナックの主要パラメータを整理する。

表 4-1　SPS-II 用入射ライナックの電子ビームパラメータ

Parameter	Specification
Accelerating particle	Electron
Beam Energy	≥150 MeV
RF frequency (S-band) of accelerating structures	2997.924 MHz
Normalized beam emittance (1σ) at linac exit	≤ 50 π mm mrad
Relative energy spread (rms) at linac exit	≤ 0.5%
Pulse-to-pulse energy variation (rms)	≤ 0.25%
Beam position error at linac exit	Within ±0.5 mm (for horizontal and vertical planes)
Pulse-to-pulse beam position variation	≤ 0.2mm (for horizontal and vertical planes)
Pulse-to-pulse jitter	≤ 100ps
Bunch charge	≥ 6.0 nC (MBM) / 1.5 nC (SBM)
Bunch duration	< 1.0 ns (SBM)
Repetition rate (Hz)	1.0-5.0 Hz (Adjustable)
Operation mode	Single bunch mode (SBM), Multi-bunch mode (MBM)

出所：SLRI

また、SPS-II 用の 150 MeV 入射ライナックは、将来の様々な実験に対応するためにマルチバンチモードとシングルバンチモードに変更可能なライナックを計画している。下の図にマルチバンチモードとシングルバンチモードの模式図を示す。

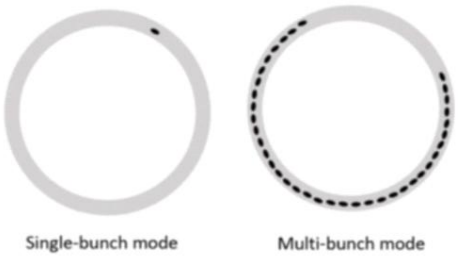


図 4-2　シングルバンチモードとマルチバンドモード

1)　マルチバンチモード（MBM）

マルチバンチモード（MBM）運転では、ライナックは最大マクロパルス長 600 ナノ秒の長パルスビームを生成する。MBM はビームを 500MHz（ガンレベル）でチョッピングする。トップアップ入射の場合、ライナックは数 mHz（10～300 秒ごと）で単一の MB 列を安定して照射する

[18] 高効率のビーム入射：入射ライナックで形成されたバンチが、加速器（ブースターリング、蓄積リング）で形成される RF バケツに「高効率」でビーム入射すること。

か、または数 mHz（1～5 分ごと）間隔で MB 列のシーケンス（1～5Hz で 1～10 秒間）を安定して照射する必要がある。

表 4-2　マルチバンチモード（MBM）運転のライナック出口におけるビームパラメータ

Parameter	Specification
Bunch train length	150 to 600 ns
Charge in bunch train	≥6nC with equal charge for all bunch
Bunch train uniformity	< 10%
Energy	≥ 150 MeV
Pulse-to-pulse energy variation (rms)	≤ 0.25%
Relative Energy spread (rms)	≤ 0.5%
Normalized emittance (1σ)	≤ 50 π mm·mrad (for horizontal and vertical planes)
Repetition rate	1 to 5 Hz (adjustable)
Pulse to pulse time jitter	≤ 100 ps

出所：SLRI

2)　Single-bunch mode (SBM)

シングルバンチモード（SBM）運転では、ライナックは 1 ns 未満の短いパルスを 1～5 Hz の調整可能な繰り返し周波数で出力する。各パルスは複数の S バンドマイクロバンチに分割され、ブースター内の単一の 500 MHz RF バケットに注入される。優れたシングルバンチ純度を確保するには、500 MHz サブハーモニックプリバンチャーの使用を検討する必要がある。バンチあたりの総電荷は少なくとも 1.5 nC である。トップアップ注入の場合、ライナックは数 mHz 間隔（10～300 秒ごと）でシングルバンチを、または数 mHz 間隔（1～5 Hz で 1～10 秒間）でシングルバンチのシーケンスを、1～5 Hz で 1～10 秒間、数 mHz の速度（1～5 分ごと）で確実に出力する必要がある。SBM 運転のビームパラメータは下表に記載されている。

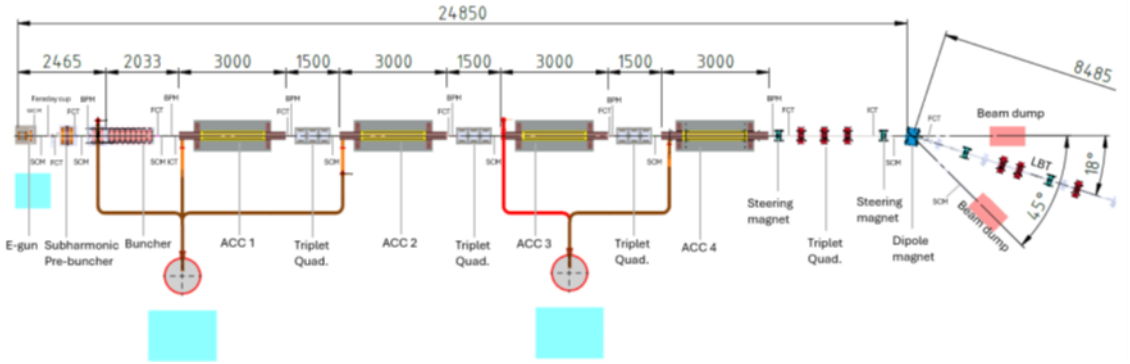
表 4-3　シングルバンチモード（SBM）運転のライナック出口におけるビームパラメータ

Parameter	Specification
Macro-puls length	< 1ns
Charge in single bunch	≥ 1.5nC
Energy	≥ 150 MeV
Pulse-to-pulse energy variation (rms)	≤ 0.25%
Relative Energy spread (rms)	≤ 0.5%
Normalized emittance (1σ)	≤ 50 π mm·mrad (for horizontal and vertical planes)
Single bunch purity	Better than 1%
Repetition rate	1 to 5 Hz (adjustable)
Pulse to pulse time jitter	≤ 100 ps

出所：SLRI

(2)　SPS-II 用入射ライナック構成設計

世界中の多くのシンクロトロン施設では、入射ライナックとしてターンキーライナックシステム[19]が使用されている。SPS-II でも、設計の類似性や製造の容易さを考慮し、他施設の事例を踏まえて、ターンキーライナックシステムを入射ライナックとして導入する。SPS-II 150MeV 入射ライナックは、設計する RF システムでビームチョッピングする熱陰極三極管型電子銃、サブハーモニックプリバンチャーと S バンドバンチャーを組み合わせたバンチングシステム、そして、メイン S バンド加速器で構成されている。SPS-II の入射ライナックは、15 MeV/m 以下の一定勾配を持つ 4 本の SLAC 3m 型の加速管から構成され、全長が約 25 m の入射ライナックによって 150 MeV のビームを適切に加速する計画である。SPS-II 用 150 MeV 入射ライナックの概略図を下図に示す。



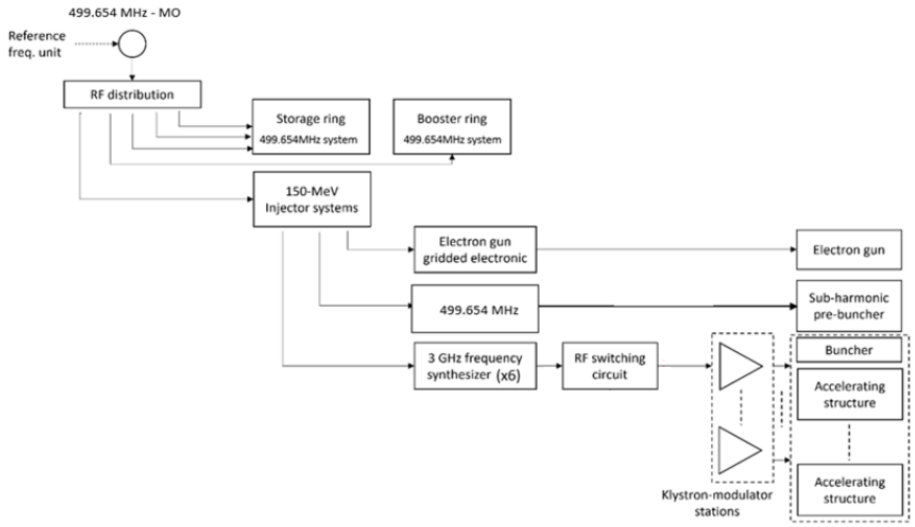
出所：SLRI

図 4-3　SPS-II 用 150 MeV 入射ライナックの概略図（単位:mm）

(3)　入射インジェクター用 RF システム

入射ライナックの RF システムは、各加速管およびバンチャーに対して独立した系統を構成している。下図に示すように、マスター周波数は、蓄積リングと共通のマスターオシレータから取得され、両者の同期が確保される。入射システムは、S バンドを基盤とし、蓄積リングの RF 周波数（499.654 MHz）と同期がとれるように 2,997.924 MHz を採用している。サブハーモニックキャビティは 499.654 MHz と設定している。サブハーモニックバンチャーキャビティは、短いバンチを生成するために使用される。SPS-II の入射ライナックは、4 本の SLAC 3 m 型加速管で構成され、全体で公称 150 MeV まで電子を加速させる。加速管で得られる平均加速エネルギーは約 37.5 MeV と見積もられ、各加速管に印加される電力は約 9 MW である。これにより安定した加速と効率的な入射ビームの生成が可能となる。

[19] 鍵（キー）を回せば設備が稼働する状態にして引き渡すという意味での一括受注契約



出所：SLRI

図 4-4　入射ライナック用 RF システム構成

4.1.2　3.0 GeV ブースターシンクロトロン

SPS-II 入射加速器は、150 MeV ライナックと 3.0 GeV ブースターシンクロトロンで構成している。ブースターシンクロトロンは、入射ライナックから供給される 150 MeV の電子ビームを 3.0 GeV まで加速し、低エミッタンスビームとして蓄積リングへ供給するように設計している。設計目標は、トップアップ運転において安定した入射を実現するため、エミッタンスを 10nm-rad 以下に抑えた電子ビームを供給することである。

SPS-II のブースターシンクロトロンは、蓄積リングと同じトンネル内に配置するように設計されている。トンネル内ブースターを備えたシンクロトロンは、下表に示すように、SIRIUS（ブラジル）、TPS（台湾）、SLS（スイス）、ALBA（スペイン）などの多くの放射光施設で開発され運転している。

表 4-4　その他の放射光施設におけるブースターシンクロトロン

Parameter	SIRIUS	TPS	SLS	ALBA	SPS-II
Injection energy (GeV)	0.15	0.15	0.1	0.1	0.15
Maximum energy (GeV)	3.0	3.0	2.4	3.0	3.0
Circumference (m)	496.8	496.8	270	249.6	306.0
Repetition rate (Hz)	2	3	3	3.125	2
Beam current (mA)	2		12	1	2
Emittance from liniac (mm. Mrad)	< 50	< 50		< 50	
Emittance at injection (mm.mrad)	170	150			
Emittance in booster (mm-rad)	3.47	10.3	9	9	5.89
Distance bw BS and STR (m)	3.44	3.44	2.9	2.8	3.43

出所：SLRI

(1)　要求仕様

SPS-II 用ブースターシンクロトンの要求技術仕様を以下に示す。

- 蓄積リング内の電子ビームを妨害する滞留磁場を回避するため、蓄積リング（STR）とブースターシンクロトロン（BS）間の距離は 3.40m 以上とする必要がある。この距離は SIRIUS および TPS 光源に基づいている。
- 漏洩磁場を最小限に抑えるため、ブースター偏向電磁石には H 型ダイポールが選択される。
- STR と BS 間のスペースは、機器の設置および輸送に十分な広さを確保する必要がある。
- ブースターの RF 周波数は、STR の RF 周波数との差が 5kHz 未満である必要がある。
- ブースターは、繰り返し周波数 2Hz、ビーム電流 2mA で運転される。

これらの仕様に基づき、まずブースターシンクロトロンの周長について確認した。ブースターリングの周長を決定する際、RF 周波数は設計上の重要なパラメータとなる。RF 周波数は、電子バンチ（粒子群）のタイミングや加速効率に密接に関係しており、電子バンチが周回ごとに RF 電場の加速位相と一致してキャビティを通過できるよう、周回周波数との整数倍関係に設定する必要がある。RF 周波数と周回周波数を適切に整合させて共振条件を維持することにより、効率的に電子へエネルギーを与えることができる。また、高い RF 周波数を採用することで、より短いバンチ構造に対応でき、入射同期の精度やビーム安定性を高めることが可能となる。

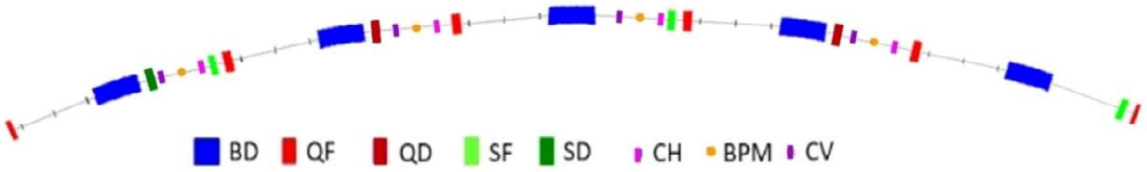
SPS-II の蓄積リングとブースターシンクロトロンの RF 周波数は、他の放射光施設の事例を参照し 499.654 MHz に設定されている。RF 周波数を 499.654 MHz、ハーモニック数[20]を 510 として周長を計算すると、ブースターシンクロトンの周長は 306.0 m となる。ブースターシンクロトロンの周長は 306.0 m に設計されており、これにより蓄積リング（周長 327.6 m、後述）との半径方向の平均距離は 3.43 m となり、技術仕様条件を満たしている。この距離は、SIRIUS や TPS などの事例と比較しても、ブースターシンクロトロンに設置される電磁石からの浮遊磁場を十分に緩和できる値とされている。

(2)　SPS-II ブースターシンクロトロン用ラティスデザイン

SPS-II ブースターシンクロトロンのラティスは、トップアップ運転に必要となる低エミッタンス電子ビームと RF バケットへの高い入射効率を実現するため、機能結合型磁石（BD）を備えた 40 個の FODO セルで構成されている。周長 306.0 m のブースターシンクロトロンは 8 つのラティスに分割され、各ラティスは 5 つの FODO セルから成り、1 ラティスの長さは 38.25 m である。零分散の直線部は設けられていない。

各ラティスには 5 つの BD が配置され、各 BD の中間には収束用の四極電磁石（QF）が組み込まれている。また、上流側から 2 番目と 4 番目の BD の下流側には発散用の四極電磁石（QD）が配置されている。さらに、BD の下流側には六極電磁石（SF/SD）が図に示す位置に配置されている。下図に FODO ラティス内の磁石配列を示す。

[20] ハーモニック数とは、加速器内で RF 周波数と粒子の周回周波数の比率を示す値で、1 周内に収められるバンチ（粒子群）の数を決定する重要なパラメータ



出所: SLRI

図 4-5　SPS-II ブースターシンクロトロンのラティス内磁石配列（図は単一ラティスの模式図）

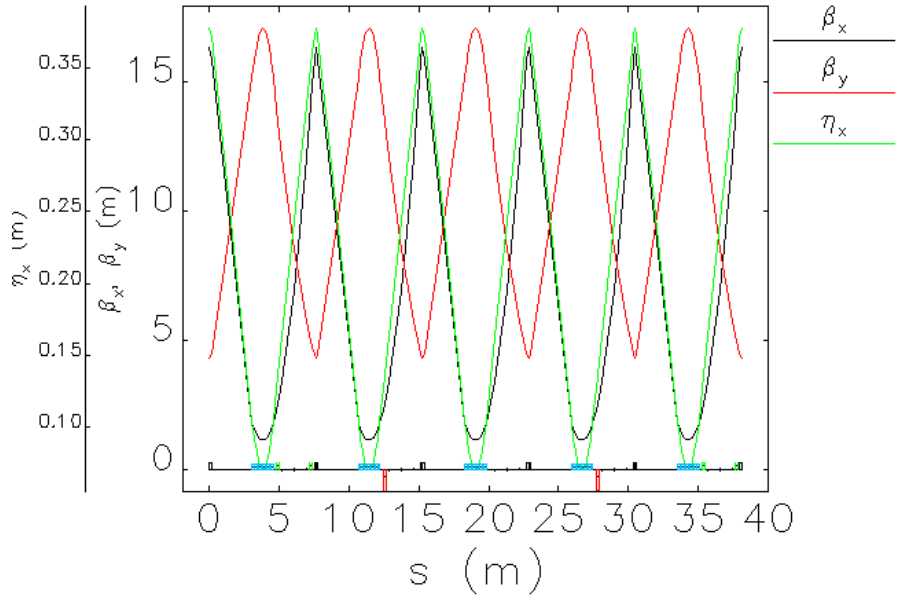
電子ビームの動作点（チューン）の調整には、収束用の四極電磁石（QF）と機能結合型磁石（BD）の発散方向の四極磁場が用いられている。BD の四極磁場成分を利用することで、電子ビームの動作点調整とクロマティシティ補正 を同時に行うことができる。しかし、BD の四極磁場成分には磁場誤差が生じる可能性があるため、配置された 16 個の発散用四極電磁石（QD）によって微調整が行われる。さらに、エネルギーランピング中に BD の真空チェンバーで誘起される渦電流により六極磁場が発生する可能性があるため、六極電磁石（SF/SD）によってクロマティシティが補正される。零分散ではない直線部は、入射・出射コンポーネント、RF キャビティ、およびビームラインの状態を監視する診断用コンポーネントの設置に利用する。

SPS-II のブースターシンクロトロンのラティスは、表 4-5 に示すパラメータを基に設計され、その妥当性を確認する目的で、ビーム軌道や収束特性を表す光学関数が計算された。その結果を図 4-6 に示す。光学関数の一つであるベータトロン関数（粒子の横方向振動の広がりを示す指標）の最大値は、水平方向で 16.3 m、垂直方向で 17.1 m であった。これらの値はいずれも比較的低く抑えられており、ビームサイズの増大を防ぎつつ、安定した低エミッタンス運転が可能であることが光学関数からも確認されている。

表 4-5　SPS-II 用ブースターシンクロトロンの主なパラメータ

Parameter	Specification
Circumference	306.0 (m)
Beam energy	3.0 (GeV)
Relativistic factor (γ)	5870.85
Emittance	5.89 nm-rad
Nat. energy spread	0.091 (%)
Nat. Chromaticity (ξx/ξy)	-23.63/-10.31
Tune (Qx/Qy)	14.71/5.61
Momentum compaction (αc)	$1.671e^{-3}$
Energy loss per turn (U0)	0.75 (MeV)
RF frequency	499.654 (MHz)
Harmonic number	510
Beam current	2 (mA)
Repetition rate	2 (Hz)

出所：SLRI



出所：SLRI

図 4-6　ブースターシンクトロンの光学関数（ラティス 1 ユニット）
(最大水平ベータトロン関数= 16.3m, 最大垂直ベータトロン関数
=17.1m, and 最大ディスパージョン関数=0.377m)

(3)　ブースターシンクロトロン用磁石システム

ブースターの磁石のデザインパラメータを表 4-6、表 4-7、表 4-8 に示す。

SPS-II 用のブースター磁石は、機能結合型二極電磁石（BD）、四極電磁石（QF/QD）、および六極電磁石（SF/SD）から構成される。機能結合型磁石は、1 つの電磁石によって複数の磁場成分を生成することができるため電磁石の数を削減でき、コスト削減と限られた空間の有効活用が可能となる。

BD の電子ビームに対する有効磁場長さは 1.5 m であり、最大磁場 1.048 T、四極磁場勾配 −2.084 T/m、六極磁場勾配 29.995 T/m²に設計されている。BD に含まれる各磁場成分は個別に制御することはできない。収束用四極電磁石（QF）と発散用四極電磁石（QD）は、それぞれ次の仕様で設計されている。QF は磁場勾配 19.395 T/m、有効磁場長さ 0.25 m、QD は磁場誤差を補正することを目的とし、磁場勾配 2.0 T/m 未満、有効磁場長さ 0.15 m に設計されている。

クロマティシティ（色収差）を補正するために、2 種類の六極電磁石が配置されている。収束用六極電磁石（SF）は磁場勾配 221.355 T/m²、発散用六極電磁石（SD）は磁場勾配 −66.579 T/m²に設計されている。両六極電磁石の有効長はいずれも 0.2 m である。

表 4-6　ブースターシンクロトロン用磁石の主なパラメータ

Parameter	
Combined function dipole (BD)	1.048 (T), -2.084(T/m), -29.995(T/m2)
Focusing quadrupole (QF)	19.395 (T/m)
Defocusing Quadrupole (QD)	-1.189 (T/m)
Sextupole (SF/SD)	221.355 (T/m2) / -66.579 (T/m2)

出所：SLRI

表 4-7　機能結合型磁石のデザインパラメータ

Parameter	Combination fn. Dipole (BD)
Effective length	1.5 (m)
Deflection angle (degree)	9 (degree)
Bending radius	9.55 (mm)
Dipole field	1.048 (T)
Quadrupole field	-2.084 (T/m)
Sextupole field	-29.995 (T/m2)
GFR	±10 (mm)
Field homogeneity	1.0 x 10-4

出所：SLRI

表 4-8　発散用四極磁石と六極磁石のデザインパラメータ

Parameter	Focusing Quad. (QF)	Defocusing Quad. (QD)	Sexupoles (SF / SD)
Effective length	0.25 (m)	0.15 (m)	0.2 (m)
Quadrupole field	19.395 (T/m)	1.189 (T/m)	-
Sextupole field	-	-	221 (T/m2) / -66.579 (T/m2)
GFR	±19 (mm)	±15 (mm)	±18 (mm)
Field homogeneity	5.0 x 10-4	5.0 x 10-4	1.0 x 10-4

出所：SLRI

下表に、ブースターシンクロトロン用の電磁石電源（PS）の仕様を示す。二極電磁石（BD）の電源は、3.0 GeV のビームエネルギーを達成するため、最大電流に 0.25 秒で立ち上がる必要がある。高電流・高電圧が求められるため、電源は 2 ユニット構成とされ、上部コイル群と下部コイル群をそれぞれ独立に直列給電する方式が採用されている。両電源は同一波形・同位相の正弦波電流（2 Hz）を供給し、電流検出器によって同期制御される。BD 電源の定格は 1050 A／850 V である。四極電磁石（QF）および六極電磁石（SF）の各電源は直列接続方式で駆動される。特に 40 台の収束用四極電磁石（QF）には、最大 700 V を供給可能な電源が必要とされている。補正電磁石の電源は、軌道補正の柔軟性を高めるため、独立電源方式が採用されている。

表 4-9　ブースターシンクロトロンに配置される電磁石用電源のデザインパラメータ

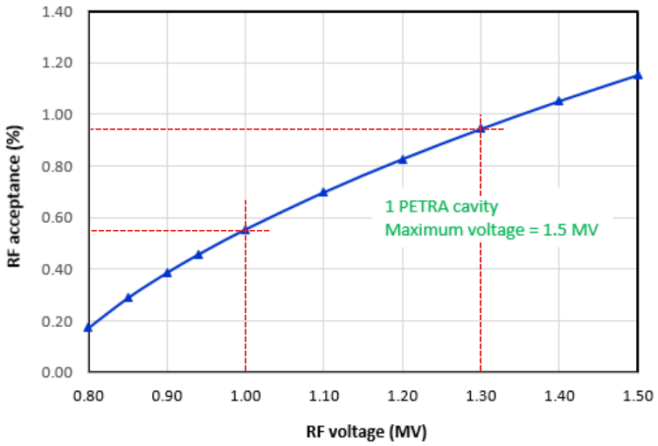
Magnet type	BD	QF	QD	SF	SD
Number of magnets	40	40	16	16	16
Number of power supplies	2	1	1	1	1
Magnet's max current (A)	958	421	61	250	250
PS. Max output current (A)	1050	460	65	250	250
PS. Max output voltage (V)	850	700	60	110	110
Short-term stability, < 1 min (ppm)	10	10	10	10	10
Long-term stability, < 8 hrs (ppm)	10	10	10	10	10
Current setting resolution (bits)	16	16	16	16	16
Current reading resolution (bits)	16	16	16	16	16
Output current ripple (ppm)	10	10	10	10	10

出所：SLRI

(4)　SPS-II ブースターシンクロトロン用 RF システム

ブースターシンクロトロンの RF システムは、電子ビームを 150 MeV から 3.0 GeV まで加速するために十分な電圧を供給する役割を担っている。ブースターシンクロトロンの周長は、ハーモニック数 510、RF 周波数 499.654 MHz として 306.0 m に設計されている。同期動作を維持するため、ブースターシンクロトロンと蓄積リングは同一の周波数で運転される。周長 306.0 m のブースターシンクロトロンを周回する電子ビームは、シンクロトロン放射により 1 周あたり約 0.75 MeV のエネルギーを失うと計算されている。したがって、この損失を補償し安定した加速を実現するためには、十分な RF 電圧を確保することが重要である。

RF 電圧と RF アクセプタンス（許容される相対エネルギー偏差）の関係を下図に示す。RF 電圧を 1.0 MV に設定した場合、RF アクセプタンスは±0.5%以上となる。さらに RF 電圧を 1.5 MV まで上昇させると RF アクセプタンスは 1.0%以上となり、ビームの安定性と入射効率が向上し、RF システムの性能が強化される。



出所：SLRI

図 4-7　ブースターシンクロトロン用 RF アクセプタンス（計算値）

表 4-5 に示すように、SPS-II 用ブースターシンクロトロンの公称チューン値[21]は 14.71/5.61 に設定されている。この条件下で、低エミッタンス電子ビームが長期間安定して周回可能なダイナミックアパーチャー[22]が確保され、1%以上の運動量アクセプタンス[23]が実現されるよう設計されている。

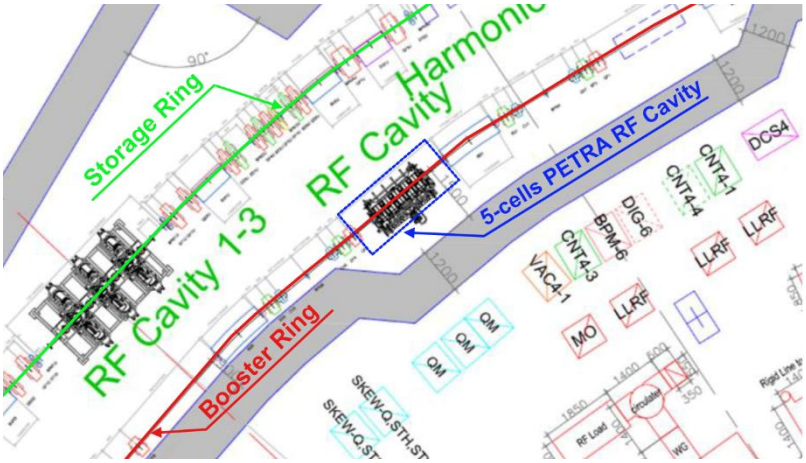
電子ビームのエネルギーが RF 電圧によって徐々に増加する過程で、電子ビームの振動やエミッタンスが減少する現象は断熱ダンピングと呼ばれる。しかし、エネルギーランピング速度が過度に速い場合には、断熱的な減衰が十分に働かず、その結果、電子ビームが不安定となり、ビーム寿命が短縮される。このため、SPS-II 用ブースターシンクロトロンでは、収束用四極電磁石の下流側に 5 セル PETRA 型 RF 空洞を配置し、適切な RF 電圧を供給することで、安定した電子ビームを維持できるよう設計されている（下図参照）。

---

[21] 公称チューン:加速器内で電子が安定して回転・加速するために設定される理論上のチューン値（電子が加速器を 1 周回る間に受ける水平・垂直方向の振動回数

[22] ダイナミックアパーチャー: 加速器内において電子ビームが安定して周回できる空間範囲。

[23] 運動量アクセプタンス: 加速器内で安定して保持できる電子ビームの運動量の許容範囲。

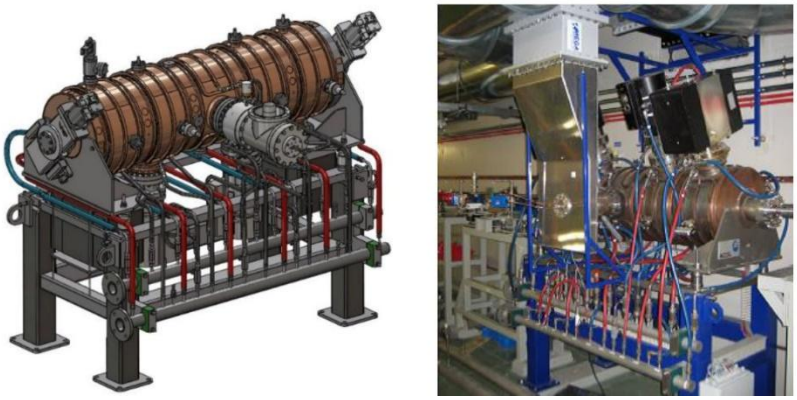


出所：SLRI

図 4-8　ブースターシンクトロンの RF キャビティの配置場所

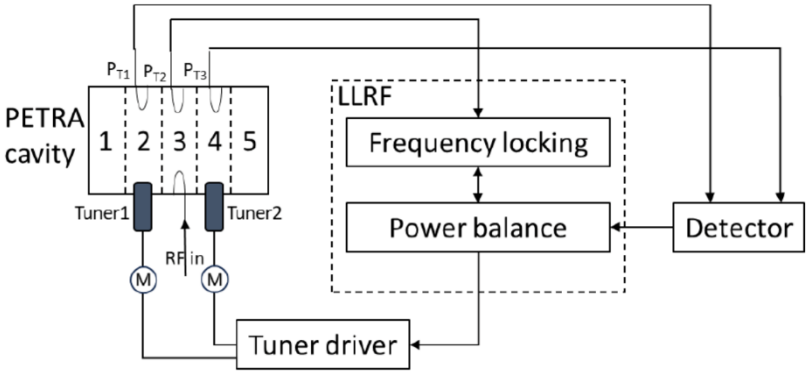
図 4-9 および図 4-10 は、5 セル PETRA 型 RF 空洞の概要図と回路図を示している。PETRA 型 RF 空洞は 5 つのセルで構成されている。中央セルには高出力同軸カプラーが設置され、このカプラーを介して RF 電力が効率的に空洞へ供給される。中央セルに隣接するセルには、独立したステッピングモーター駆動の機械式プランジャーチューナーが設置され、共振周波数を精密に調整することが可能である。

RF 空洞は、共振によって強い電場が形成し、電子ビームに加速電圧を効率的に供給するよう設計されている。また、空洞内の真空状態を維持するため、外側セル付近には 2 台のイオンポンプが設置されている。これにより、PETRA 型 RF 空洞は最大 1.3 MV の加速電圧を発生させることが可能であり、出力 60 kW の単一 RF 送信機によって駆動される。



出所：SLRI

図 4-9　ブースターシンクロトロン用 RF 5 セル PETRA-RF 空洞の模式図と写真



出所：SLRI

図 4-10　ブースターシンクトロンの RF キャビティの回路図

4.1.3　3.0 GeV 蓄積リング

SPS-II 蓄積リングは、SPS-I 蓄積リングと比較して、性能の向上と機能の拡充を目指して設計されている。性能面では、電子ビームのエミッタンスを低減することにより、高輝度でコヒーレンス分率の高い放射光を実現することを目標としている。機能面では、Double Triple Bend Achromat（DTBA）ラティスを採用することで、挿入光源（ID）を設置可能な直線部の数を倍増させ、より多くのビームラインを配置できるように設計されている。図 4-1 に SPS-II 蓄積リングの概略図を示す。

(1)　要求仕様

SPS-II の蓄積リングは、SPS-I と比較して非常に低いエミッタンスの電子ビームを実現することを目標として設計されている。この低エミッタンスにより、放射光ビームは高輝度となり、空間コヒーレンスも向上する。ラティス構造には Double Triple Bend Achromat（DTBA）が採用され、1 セルあたりの直線部を増加させることで、挿入光源を設置可能な箇所が増加し、放射光ビームラインの数が拡充されるよう設計されている。

電子ビームの自然エミッタンスを 1 nm· rad 以下に抑制する方法の一つとして、リングの円周を拡大することも考えられる。しかし、SPS-II では建設予定地の制約により、周長を 400 m 以下に抑える必要がある。そのため、DTBA ラティスと 400 m 以下の周長を組み合わせることで、目標とする低エミッタンスの実現を図っている。

SPS-II の蓄積リングの要求技術仕様を以下に整理する。

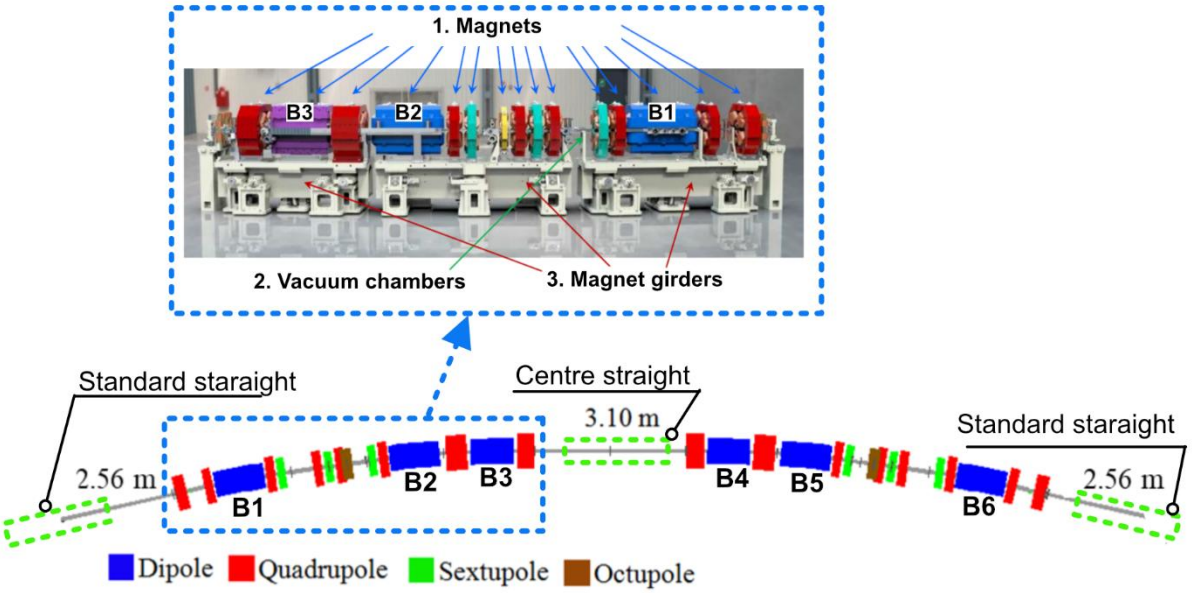
- リング周長：400 m 未満
- 電子ビームエネルギー：3.0 GeV
- ビーム電流：最大 300 mA
- ビームエミッタンス：1.0 nm· rad 未満

(2)　SPS-II 蓄積リング用ラティスデザイン

SPS-II の蓄積リングは、電子ビームエネルギー 3.0 GeV、自然エミッタンス 1 nm· rad 以下の低エミッタンス電子ビームの実現と、多数の放射光ビームラインの設置を目標として設計されている。ただ

し、設計にあたっては、建設予定地の制約により蓄積リングの周長を 400 m 以下に抑える必要があった。

これらの条件を踏まえて SPS-II 用ラティスの設計検討が行われ、その結果、Double Triple Bend Achromat（DTBA）ラティスが採用された。DTBA ラティスは、Diamond Light Source 蓄積リングのアップグレードのために開発されたラティス[24]であり、中央に直線部を追加した Double-Double Bend Achromat（DDBA）ラティスの特徴と、ESRF-II[25]の Hybrid Multi-Bend Achromat（HMBA）ラティスが有する低エミッタンスおよび優れた動的特性を組み合わせた設計となっている。



出所：SLRI

図 4-11　DTBA ラティスの模式図

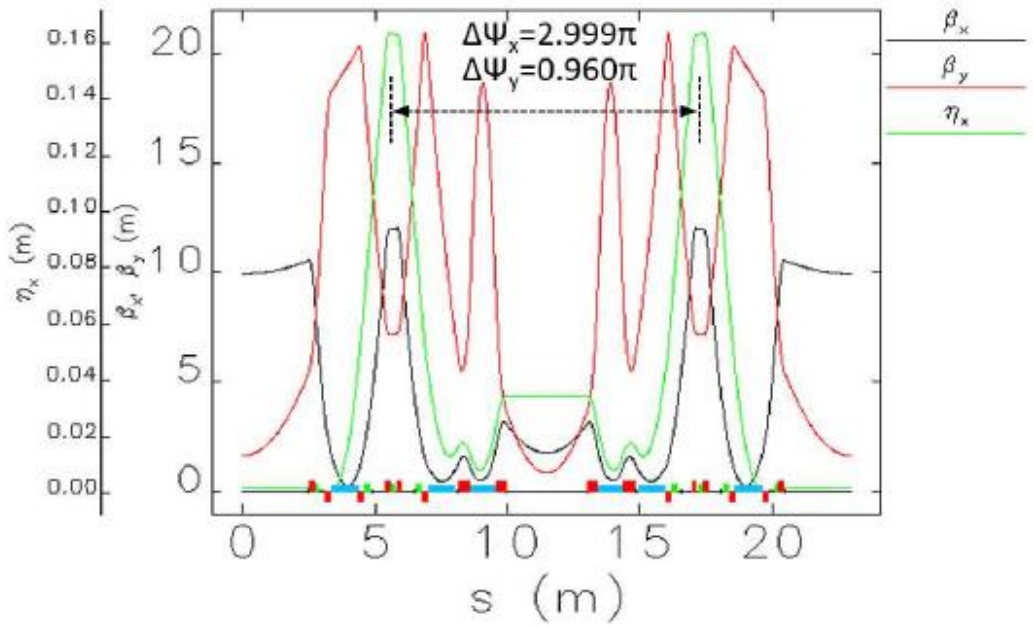
上図は、SPS-II 蓄積リング用 DTBA セルの模式図および DTBA ラティス半セル試作機の写真を示している。DTBA ラティスは 1 セルあたり 6 台の二極電磁石で構成され、セル内には 2 種類の直線部が設けられている。1 つは長さ 5.12 m のスタンダード直線部、もう 1 つは長さ 3.10 m のセンター直線部である。センター直線部には、例えば長さ 2.0 m のアンジュレータなどの挿入光源を設置することが可能である。スタンダード直線部とセンター直線部の両方を設けることにより、利用可能な直線部の数を増加させることができる。

電子ビームのエミッタンス低減と、センター直線部におけるビーム収束特性（ベータトロン関数）の調整を目的として、SPS-II 蓄積リング用 DTBA ラティスの線形光学設計が行われた。セル内側の 2 台の二極電磁石（B3、B4）は機能結合型二極電磁石（DQ）であり、セル中央部の光学関数制御に必要な横方向勾配を有している。DQ はダンピング・パーティション数[26]（Jx）を増加させることで、水平方向のエミッタンス低減に寄与する。一方、セル外側に配置された 4 台の二極電磁石（B1、B2、B5、B6）は同一磁場を持つ通常の二極電磁石である。非分散直線条件では、直線部に隣接する B1

[24] Diamond-II プロジェクト（英国、2023 年 9 月開始）
[25] ESRF upgrade II プロジェクト
[26] ダンピング・パーティション数は、加速器内で電子ビームのエネルギー減衰（ダンピング）が、水平、垂直、長手の各方向にどの程度分配されるかを示す数値

および B6 がエミッタンスに大きな影響を与えるため、エミッタンスを最小化するには B1 および B6 の磁場を弱め、B3 および B4 の磁場を強めてセル全体の総偏向角を一定（360/14 = 25.71°）に保つことが求められる。ただし、磁場強度を高めた場合、DQ は鉄心の磁場飽和の影響を受け、横方向勾配に制約が生じる。このため SPS-II では、B3 および B4 の二極磁場を 0.6 T、その他の磁石を 0.87 T に設定し、自然エミッタンスを 1 nm· rad 以下に抑制するよう設計されている。装置の小型化には強い偏向磁場が要求されるが、SPS-II の二極磁場は従来の Double Bend Achromat（DBA）や Triple Bend Achromat（TBA）ラティスと比較すると必ずしも強くはない。しかし、放射光源として十分な性能を有している。一方で、蓄積リングの小型化に伴い、二極電磁石からの光子取り出しが複雑化するという課題が残されている。

図 4-12 に、DTBA ラティス内の光学関数を示す。このラティスは、分散バンプのピーク間において、水平方向で 2.999π、垂直方向で 0.96π の位相進みを持つ。分散バンプとは、ラティス内で分散関数を局所的に変化させ、非線形補正や挿入光源の設置に適した条件を実現するための光学的構造である。一般的に、分散バンプの性能を最適化するには奇数π の位相進みが望ましいとされるが、本ラティスは望ましい条件から外れているものの、十分な性能を示している。このラティス設計の特徴は、設計位置において非線形項を正確に打ち消す対称性にある。装置全体の性能を考慮すると、対称性を崩すことは好ましくないが、運転条件やビームラインのチューニングに応じて、柔軟なラティス設計を選択肢に加えることも有効である。



（青、赤、緑のボックスは、それぞれダイポール、四極磁石、六極磁石）

出所：SLRI

図 4-12　DTBA セルにおける光学機能

周長 326.7 m の SPS-II 蓄積リングには、合計 14 個の DTBA セルが配置されている。対称性を維持するため、設置される 14 セルはいずれも同一の設計である。直線部は合計で 28 箇所あり、そのうち 14 箇所は長さ 5.02 m のスタンダード直線部、残り 14 箇所は長さ 3.10 m のセンター直線部である。

センター直線部には、最大 2.0 m のアンジュレータを設置可能である。SPS-I と SPS-II の蓄積リングにおける主要な設計パラメータを下表に示す。

表 4-10　SPS-II 蓄積リングの主なパラメータ

Parameter	SPS-II	SPS-I
Circumference (m)	327.6	81.3
Beam energy (GeV)	3.0	1.2
Relativistic factor (γ)	5870.85	2348.34
Emittance (nm-rad)	0.96	41.0
Beam current (mA)	300	
Nat. energy spread (%)	0.077	0.066
Nat. Chromaticity (ξx/ξy)	-69.1/-69.7	-8.7/-6.4
Tune (Qx/Qy)	34.21 / 12.37	4.75/2.82
Momentum compaction (αc)	3.24e-4	1.7e-2
Damping times hor. / ver. / long (ms)	9.8/11.3/6.1	10.7/9.8/4.7
Straight /Circumference	0.35	0.33
Energy loss per turn (U0) (MeV)	0.578	0.066
RF frequency (MHz)	499.654	118
RF voltage (MV)	2.2	0.3
Harmonic number	546	32
Over voltage (V/ U0)	3.8	4.5
Synchronous phase (degree)	164.77	167.29
Synchronous tune	0.00446	0.00460
Nat. bunch length (mm)	2.903	29.03
Nat bunch duration (ps)	9.68	96.8

出所：SLRI

(3)　SPS-II 蓄積リング用磁石システム

表 4-11 から表 4-16 は、蓄積リングの DTBA ラティスを構成する電磁石の設計パラメータを示す。DTBA ラティスは、二極磁石、機能結合型二極電磁石、四極電磁石、六極電磁石、八極電磁石の 5 種類の電磁石から構成されている。

表 4-11　蓄積リングに配置される磁石の主なパラメータ

Magnet type	Field / Gradient
Dipole	0.87 (T)
Combined fn. Dipole	0.6 (T) / 25.4 (T/m)
Quadrupole	60 (T/m)
Sextupole	2,030 (T/m2)
Octupole	72,000 (T/m3)

出所：SLRI

表 4-12　蓄積リングに配置される二極磁石のデザインパラメータ

	Combined fn. Dipole (DQ1)	Dipole (D0)
Length	0.850 (m)	1.0 (m)
Integrated field	0.51 (T*m)	0.87 (T*m)
Field	0.60 (T)	0.87 (T)
Integrated gradient	23 (T)	-
Gradient	25.4 (T/m)	-

出所：SLRI

表 4-13　蓄積リングに配置される四極磁石のデザインパラメータ

	QF1	QD2, QD3, QD5	QF4	QF6	QF8
Length	0.215 (m)	0.162 (m)	0.162 (m)	0.412 (m)	0.328 (m)
Integrated gradient	9.9 (T)	7.8 (T)-Max.	7.1 (T)	22.7 (T)	16.4 (T)
Gradient	46.0 (T/m)	48.0 (T/m)-Max.	44.0 (T/m)	55.0 (T/m)	50.0 (T/m)

出所：SLRI

表 4-14　蓄積リングに配置される磁石のデザインパラメータ

	SD1	SD2	SF3
Length	0.14 (m)	0.14 (m)	0.14 (m)
Integrated field	238 (T/m)	172.2 (T/m)	203.0 (T/m)
Gradient	1,700 (T/m2)	1,230 (T/m2)	1,450 (T/m2)
Integrated skew gradient	8.0 x 10-3 (m-1)	8.0 x 10-3 (m-1)	8.0 x 10-3 (m-1)
Corrector strength	8.0 (mT*m)	8.0 (mT*m)	8.0 (mT*m)

出所：SLRI

表 4-15　蓄積リングに配置される八磁石のデザインパラメータ

	OF1
Length	0.1049 (m)
Integrated gradient	7,550 (T/m2)
Gradient	72,000 (T/m3)

出所：SLRI

表 4-16　蓄積リングに配置される補正用磁石のデザインパラメータ

	COR
Length	0.10 (m)
Corrector strength	8.0 (mT*m)
Field	0.08 (T)

出所：SLRI

(4)　SPS-II 蓄積リング用 RF システム

蓄積リングの RF システムは、蓄積リングを周回する電子に加速電圧を与え、シンクロトロン放射によるエネルギー損失を補償する重要な役割を担う。シンクロトロン放射は、帯電した電子が磁場に

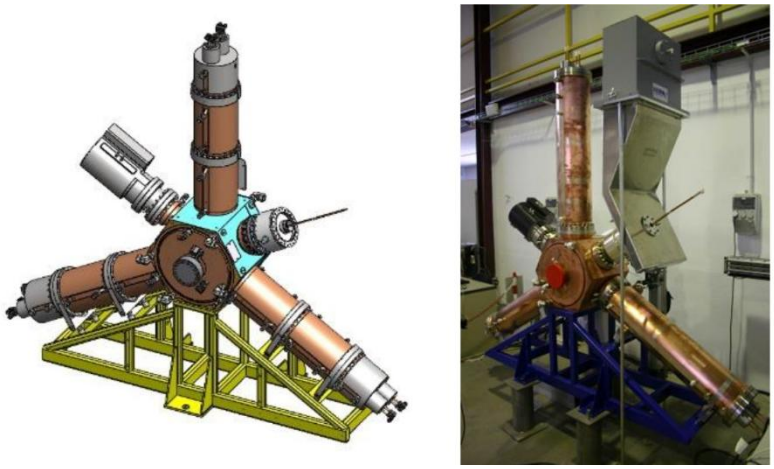
よって偏向される際に放射線としてエネルギーを放出する現象である。この損失は、ビームのエネルギーと安定性を維持するために RF システムによって補償されなければならない。

SPS-II の RF システムでは、SPS-I で運転実績のある低周波数帯（119 MHz）と 3.0 GeV 蓄積リングで広く採用されている高周波数帯（500 MHz）の 2 方式を比較検討した。その結果、電子ビームの安定性と高品質な放射光の供給を両立できることから、高周波数帯を採用した。この周波数帯はビームダイナミクスの最適化に寄与し、放射光生成において優れた性能を発揮するため、SPS-II 蓄積リングにとって最適な選択である。

RF システムは、蓄積リング内に RF 空洞を設置し、その内部に高周波電磁場を生成することで電子ビームに加速電圧を与えるシステムである。SPS-II では RF 周波数を 500 MHz とすることで、RF バンチ長が短縮され、エネルギーのばらつきが低減される。その結果、電子ビームの安定性が向上する。このため、ランダウ空洞の設置が不要となり、さらにトウシェック効果によるビーム損失への耐性が高まることで、ビームのメンテナンス性も向上する。また、500 MHz の RF 周波数は他の多くのシンクロトロン施設でも広く採用されており、運用および保守に関する知見や経験を相互に活用できる利点がある。これらの理由から、SPS-II の蓄積リングにおいては 500 MHz の RF システムが最適な選択肢として採用された。

一方で、電子ビームが RF 空洞を通過する際には、高次モード（Higher-Order Modes, HOM）が励起される場合がある。HOM が励起されると電子ビームの安定性が損なわれ、加速器全体の性能に悪影響を及ぼす可能性があるため、その抑制には HOM 減衰機構が必要となる。500 MHz の蓄積リングにおける代表的な HOM 減衰空洞の例として EU-HOM 減衰空洞があり、電子ビームの安定化に有効であることが実証されている。

SPS-II 蓄積リングに導入予定の RF 空洞は、500 MHz 帯で運転実績のある他の放射光施設の RF 空洞を参考に設計されている。下図に、EU-HOM RF 空洞を基に設計中の RF 空洞の概略図と外観写真を示す。



出所：SLRI

図 4-13　SPS-II 蓄積リング用の RF 空洞の概念図と写真

蓄積リングの RF システムは、二極電磁石および挿入光源によって発生するシンクロトン放射に伴うエネルギー損失を、十分な加速電圧で補償する役割を担う。SPS-II 蓄積リングの設計条件は、RF 周

波数 499.654 MHz、最大蓄積ビーム電流 300 mA であり、この条件下での二極電磁石による放射損失は 0.578 MeV/turn と推計される。

フェーズ 1 では、アンジュレータおよび多極ウィグラーから構成される挿入光源が設置される予定である。このうち、最大の放射損失を発生するのは多極ウィグラー（MPW50）であり、その損失は 50.2 keV/turn と見積もられる。7 基の挿入光源全体による損失は約 230 keV/turn であり、二極電磁石による損失と合わせた総放射損失は約 0.81 MeV/turn となる。将来的に挿入光源を最大 21 基まで拡張した場合、総放射損失は約 1.27 MeV/turn に達すると見込まれる。

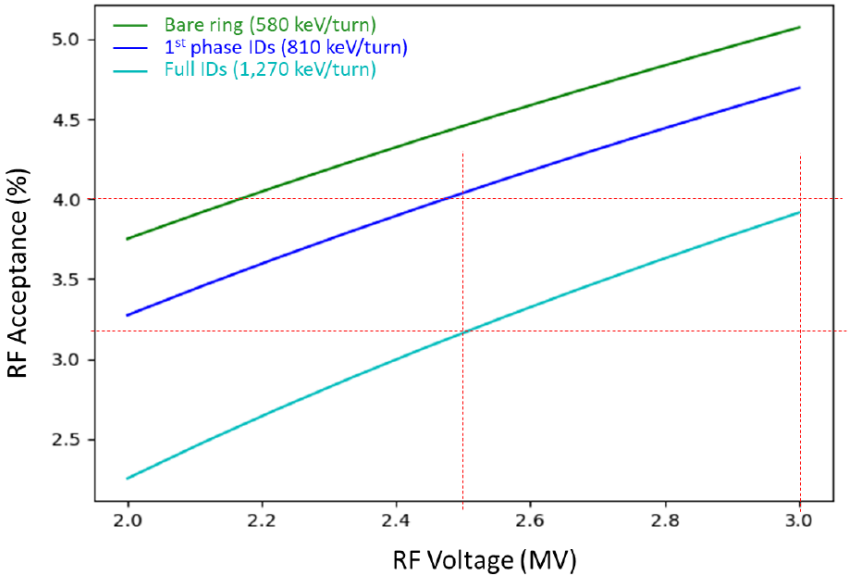
表 4-17　蓄積リングの RF システムのデザインパラメータ

Property	Bar lattice	1st Phase IDs	Full IDs
Energy loss (keV/turn)	580	810 (580+230)	1,270 (580+690)
Beam current (mA)	300	300	300
Beam power (kW)	174	243	381
Cavity voltage (MV)	3.0	3.0	3.0
Number of cavities	6	6	6
Voltage per cavity (kV)	500	500	500
Cavity shunt impedance (MΩ/cav.)	3.4	3.4	3.4
Total Copper power loss (kW)	220.6	220.6	220.6
Total power required/cavity (kW)	65.8	77.2	100.3

出所：SLRI

RF システムは、ラティス設計および蓄積リングの運動量アクセプタンスに基づいて設計される。特に、RF アクセプタンスは横方向のダイナミックアパーチャーによって制限される運動量アクセプタンスよりも大きく設定され、RF 電圧がビーム寿命を制限しないようにすることが重要である。運動量アクセプタンスとは、加速器内でビームが安定して存在できる運動量の許容範囲を指す。

下図は RF アクセプタンスと RF 電圧の関係を示す。この図より、7 基の挿入光源を設置した場合に必要となる運動量アクセプタンスは約 3.5%であり、SPS-II ではこれを上回る 3.6%に設定されている。さらに、将来的に挿入光源を 21 基に拡張することを想定し、6 台の RF 空洞を設置する計画である。加えて、ビーム寿命や RF 電圧の冗長性が不足する場合に備え、7 基目の RF 空洞を設置可能なスペースも確保している。



出所：SLRI

図 4-14　蓄積リングの RF アクセプタンス（計算値）

(5)　蓄積リングの真空システム

高輝度シンクロトロン放射の実現には、適切に設計された真空システムが必須であり、蓄積リングのビーム寿命および安定運転に直接影響する要素である。SPS-II に採用される Double Triple Bend Achromat（DTBA）ラティスは、マルチベントアクロマット（Multi-Bend Achromat; MBA）ラティスの一種であり、複数の曲げ磁石を直列に配置することでビームの収束性を高め、放射光の高輝度化を実現するよう設計されている。

MBA 構造の導入に伴い、真空チャンバーには高精度かつ高い機械的安定性が要求される。特に四極磁石などの集光磁石ではチャンバー径が極めて小さくなるため、真空コンダクタンスの低下による排気効率の制約が顕著となる。したがって、これを補うために高性能真空ポンプの導入が必要である。加えて、熱負荷が集中することが想定されるため、効率的な熱アブソーバーの配置も求められる。

以上を踏まえ、SPS-II の真空システムの設計では次の技術要件が必要となる。

- 超高真空（UHV）レベルの維持
- システム全体の高い安定性の確保
- 信頼性の高い真空システム
- 効率的な熱アブゾーバーの導入
- ビームの不安定性への影響を抑える設計

これらの設計コンセプトを達成するためには、真空チャンバーの材料、設計、および製造プロセスは極めて重要である。

真空チャンバーの材質について

蓄積リングの真空チャンバーに用いられる材料としては、ステンレス鋼、アルミニウム、無酸素銅などが候補となる。その中で SPS-II では、材料の機械的強度、加工性、および経済性を総合的に考慮し、アルミニウムを採用する計画である。真空チャンバーは非常に狭い磁石の極間に設置されるため、壁厚を薄く設計する必要がある一方で、十分な機械的強度を確保することが求められる。アルミニウムは軽量でありながら必要な強度を有し、さらに溶接や機械加工が容易であることから、高精度な真空チャンバーの製造に適している。なお、真空チャンバーはタイ国内の企業によって製造される予定である。

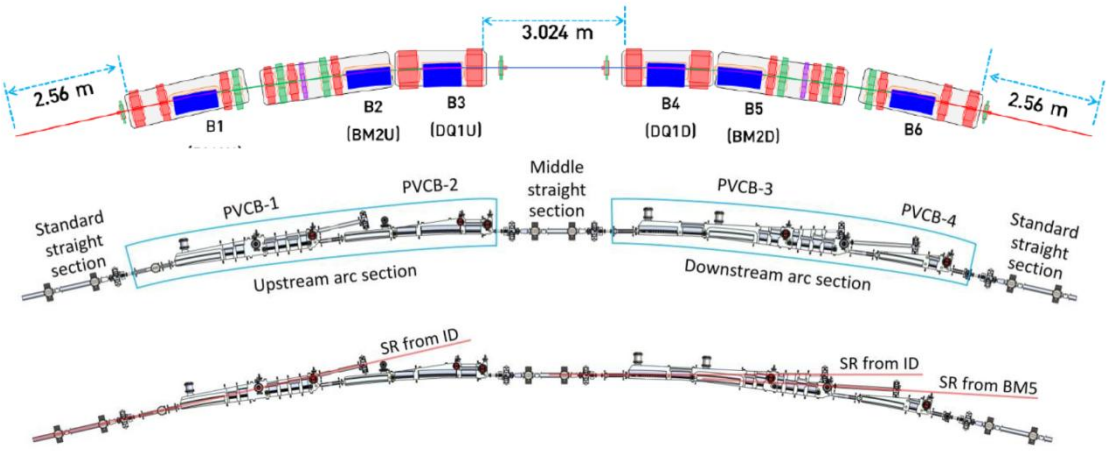
真空チャンバーの構造設計

SPS-II 蓄積リングに導入される DTBA ラティスは、1 セルの長さを 23.4 m とし、周長 327.6 m のリングに 14 セルを配置する。1 つの DTBA セルは、6 基の二極電磁石（BM）、2 基の機能結合型二極電磁石（DQ）、16 個の四極電磁石（QF、QD）、8 個の六極電磁石、2 個の八極電磁石で構成される。本ラティス設計により、長さ 5.12 m のスタンダード直線部と、長さ 3.10 m のセンター直線部の 2 種類の直線部が形成され、リング全体として各 14 箇所、合計 28 箇所が設けられる。

真空チャンバーは、このラティス設計に対応して以下の 3 種類に分類して設計される。

A) 直線部（スタンダード直線部およびセンター直線部）の真空チャンバー
B) ベンディング上流部（PVCB-1 および PVCB-2）の真空チャンバー
C) ベンディング下流部（PVCB-3 および PVCB-4）の真空チャンバー

真空チャンバーは、直線部（スタンダード直線部およびセンター直線部）に設置される挿入光源（ID）、ならびに DTBA セル下流側に配置された 5 番目の偏向電磁石を光源とする放射光に対応できるよう、合計 3 種類の放射光源を想定して設計している。　（図 4-15 を参照）

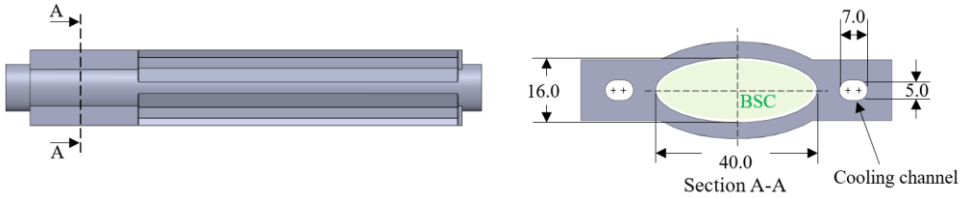


出所：SLRI

図 4-15　DTBA 単位セルの概略図（上）、DTBA 単位セルの真空チャンバー断面の概略図（中）、放射光経路を含む真空チャンバーの概略図（下）

直線部の真空チャンバーの設計

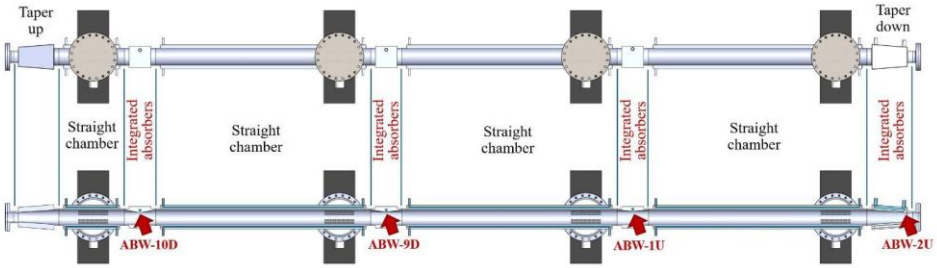
下図は、直線部に設置されるビームダクトの断面形状を示している。断面は短軸 16 mm、長軸 40 mm の楕円形であり、電子ビームの水平エミッタンスが垂直方向より大きいため、水平方向に広い断面形状とすることで十分なビーム通過空間を確保している。楕円断面は真空構造として必要な機械的強度を有し、外部圧力に対して安定した形状を維持することができる。挿入光源が設置される前の直線部には、アルミニウム製の円形断面ダミーチャンバーを設置する。ダミーチャンバーは内径約 62.7 mm、肉厚 4 mm として設計されている。



出所：SLRI

図 4-16　曲がり部の直線部の標準的な断面図（単位:mm）

下図は、スタンダード直線部に設置されるダミーチャンバーの模式図を示している。ダミーチャンバーは、ポンプポート付き直線チャンバー、インテグラルアブソーバーおよびテーパー部から構成される。上下流端部には、アルミニウムとステンレス鋼を接合したバイメタル製フランジが備えられている。インテグラルアブソーバーは放射光を受け止め、そのエネルギーを局所的に処理することで、光刺激脱離（Photon-Stimulated Desorption, PSD）によって発生するガス負荷を低減し、効率的な排気を可能とする。これにより、真空チャンバー全体を安定した真空状態に維持することができる。

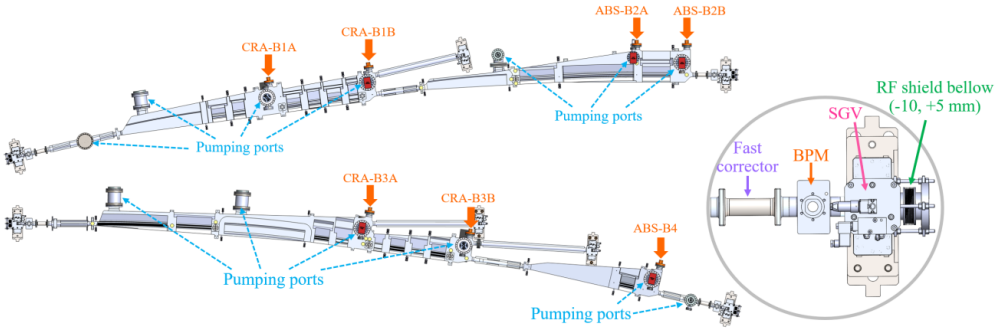


出所：SLRI

図 4-17　曲げセクションの直線ビームダクトの標準直線部

アーク部の真空チャンバーの設計

下図に曲げ部（ベンディング）の上流および下流に設置される真空チャンバーの概要を示す。DTBA セルを構成する各磁石間のスペースには、フォトンアブソーバおよび真空ポンプを配置する。ベンディング部のフォトンアブソーバは、真空チャンバーに入射する放射光を吸収・制御するとともに、PSD によるガス発生を局所化し、真空ポンプによる効率的な排気を可能とするよう設計されている。

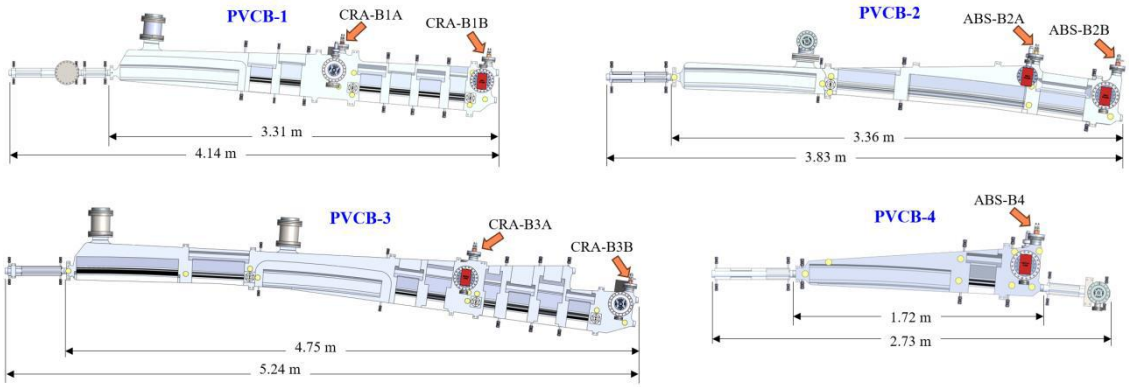


出所：SLRI

図 4-18　ベンディング上流部およびベンディング下流部の概要図

曲がり部上流端には、厚さ 1 mm のインコネル 625（Inconel 625）製ファスト軌道補正キッカー用チャンバー、ビーム位置モニター（Beam Position Monitor: BPM ）、および RF コンタクトシールド機能付きセクターゲートバルブを配置している。Inconel 625 は耐熱性および耐食性に優れた特殊合金であり、高熱負荷環境下においても安定した真空性能を維持できるため、ファスト軌道補正キッカー用チャンバーの材質として採用した。RF コンタクトシールド付きセクターゲートバルブは、ビームの高周波電場をシームレスに伝送し、インピーダンス不整合や高周波ノイズを抑制することで、電子ビームおよび測定機器への干渉を防止し、システム全体の安定性を確保する。

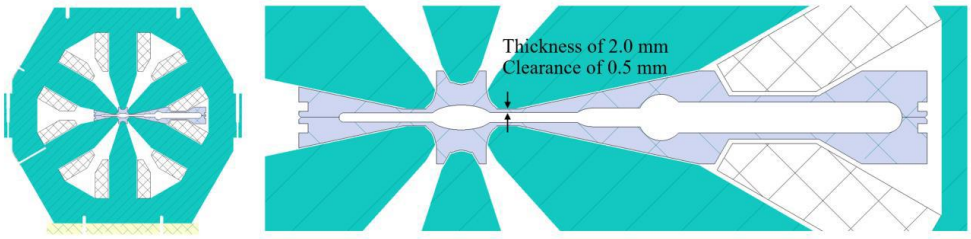
下図に、すべての曲げチャンバーの寸法（長さ）を示す。SPS-II の真空チャンバーはタイ国内企業により製作される予定であり、現地企業が保有する CNC フライス盤の加工能力を考慮し、各チャンバーの長さは 5 m 以内に収まるよう設計されている。



出所：SLRI

図 4-19　曲げチャンバーの概要と寸法

下図に、多極磁石に組み込まれた真空チャンバーの断面を示す。磁極間の空間が極めて狭いため、チャンバーの最小壁厚は 2.0 mm に設定されている。また、構造的強度を確保するため、磁場の影響を受けにくい領域では壁厚を増す構造としている。これにより、強度と重量のバランスを維持しつつ、垂直方向の最大外寸は 96.0 mm に設計されている。



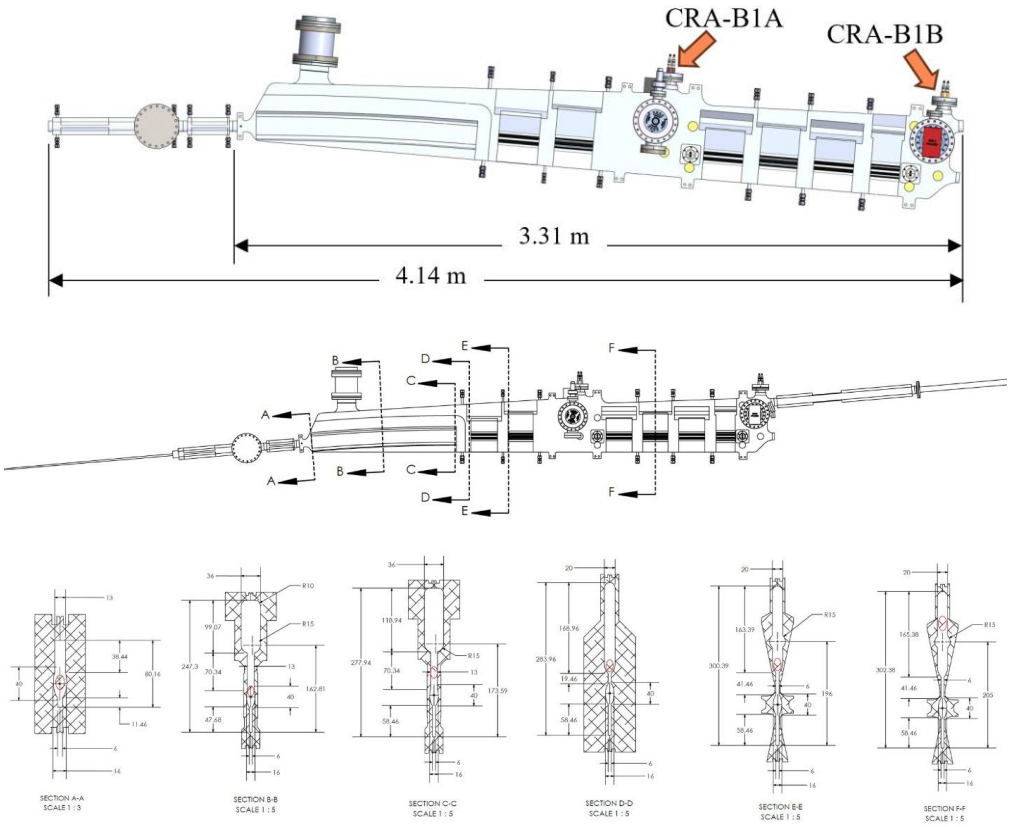
出所: SLRI

図 4-20　多極磁石のチャンバーの断面図（最小厚さ 2.0mm、最小クリアランス 0.5mm）

上流アーク部の真空チャンバー（PVCB-1）の設計

PVCB-1 ベンディングチャンバーは全長 4.14 m に設計されており、そのうち 3.31 m は CNC 加工部である（下図参照）。放射光による真空チャンバーの損傷を防止するため、クロッチアブソーバー（CRA-B1A および CRA-B1B）が所定位置に配置されている。また、スタンダード直線部に設置される偏光アンジュレータ（EPU）から放射光を取り出す際には、垂直方向に広い開口角が必要とされる。この要件に対応するため、偏向電磁石下部のアンテチャンバーギャップ[27]は、位置 A において 13 mm に拡大され、位置 C から D にかけては磁極形状に合わせ 6.0 mm に設定されている。この構造により、挿入光源で生成される放射光に対して、垂直方向 ±1.0 mrad、水平方向 ±2.0 mrad の開口角が確保されており、さらに約 0.2 mrad のミスアライメントを考慮した設計となっている。

[27] アンテチャンバー:真空チャンバーの一部であり、主にビームが通過するチャンネルの横に設置される追加の空間（またはギャップ）を指す。アンテチャンバーは、シンクロトロン放射光を効率的に吸収または排出するために使用される。

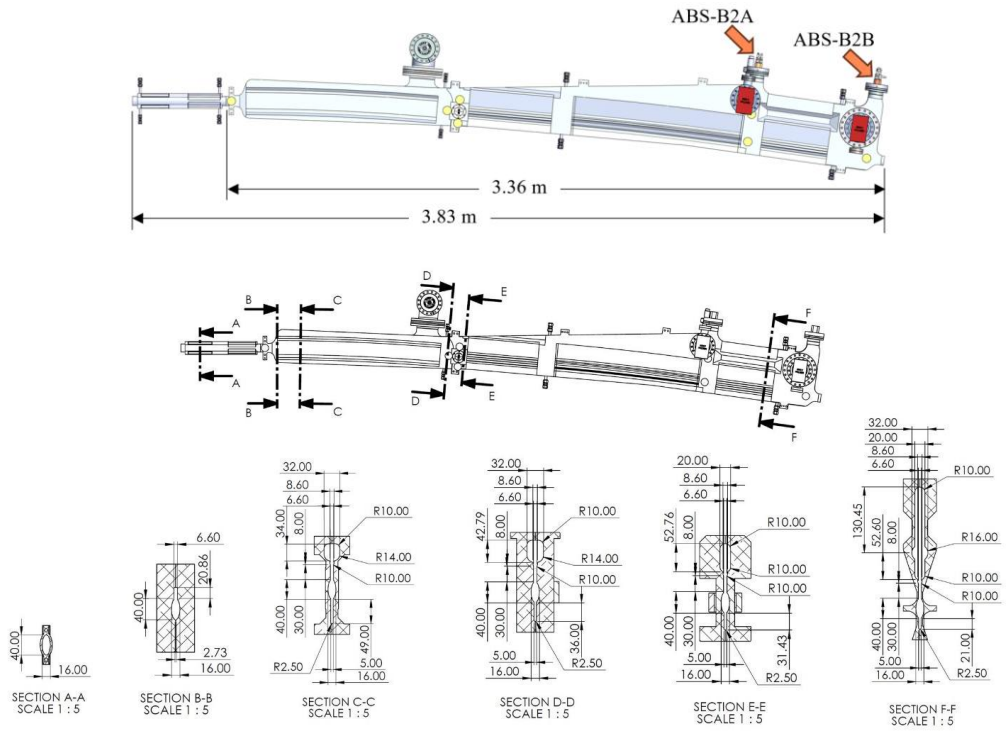


出所: SLRI

図 4-21　PVCB-1 の概略図（上部）と曲げチャンバーPVCB-1 の断面図（下部）

上流アーク部の真空チャンバー（PVCB-2）の設計

PVCB-2 ベンディングチャンバーは、放射光の取り出しが行われない区画に設置される真空チャンバーであり、放射光取り出し用のフォトンダクトは備えていない。下図に示すように、ベンディングチャンバーの全長は 3.83 m、CNC 加工部の長さは 3.36 m として設計されている。下図の下段には、PVCB-2 チャンバーの上面図および内部断面が示されている。　高出力かつ高密度の放射光から真空チャンバーを保護するため、フォトンアブソーバ（ABS-B2A および ABS-B2B）が所定位置に設置される。フォトンダクトを持たない場合でも、ベンディング放射光や散乱光が局所的に入射する可能性がある。そのため、本チャンバーはアブソーバで熱負荷を受け止めつつ、PSD に起因するガス負荷を局所化し、真空ポンプによる効率的な排気を可能にする設計となっている。

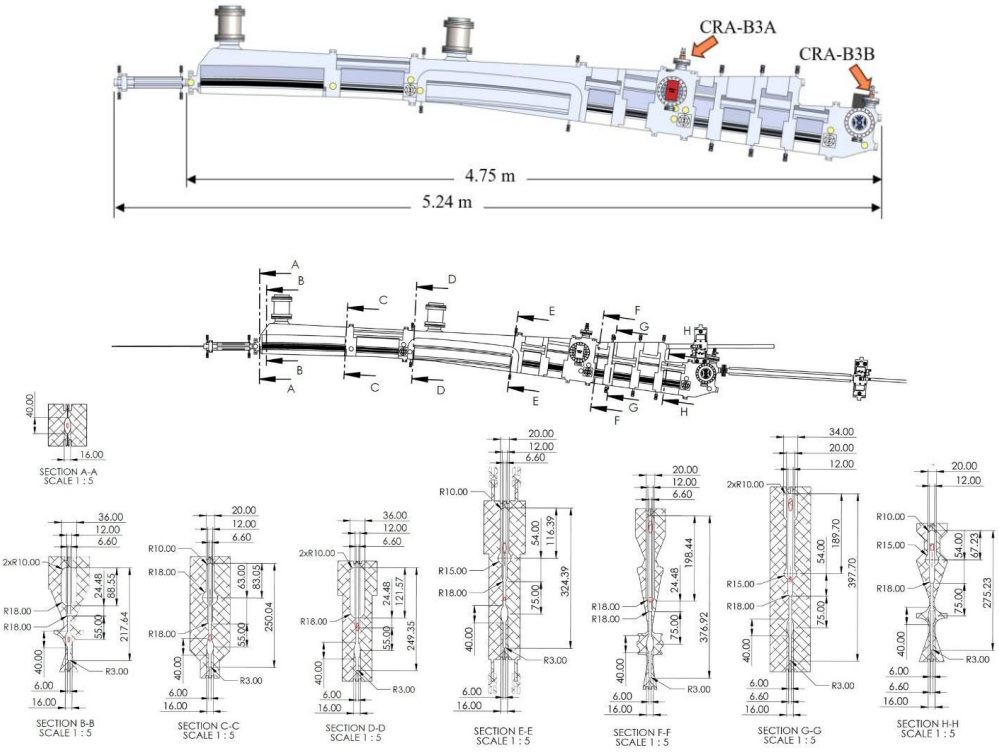


出所: SLRI

図 4-22　PVCB-2 の概略図（上部）と曲げチャンバーPVCB-2 の断面図（下部）

下流アーク部の真空チャンバー（PVCB-3）の設計

下図に、PVCB-3 ベンディングチャンバーの概要図および断面図を示す。本チャンバーは、設計上最も長尺の真空チャンバーであり、全長は 5.24 m、そのうち CNC 加工部分の長さは 4.75 m と設計されている。PVCB-3 には、DTBA セル中央のセンター直線部に設置された挿入光源（ID）および偏向電磁石からの放射光を取り出すため、2 基のフォトンダクトが設けられている。ID からの放射光に対する開口角は、垂直方向 ±0.46 mrad、水平方向 ±2.25 mrad と設定されている。一方、偏向電磁石からの放射光に対しては、垂直方向 ±1.0 mrad、水平方向 ±2.3 mrad とし、ID より広い開口を確保している。さらに、放射光に起因する熱負荷および PSD によるガス放出を局所化し、真空システム全体の安定性を維持するため、ステップ型クロッチアブソーバー（CRA-B3A および CRA-B3B）が所定位置に配置されている。

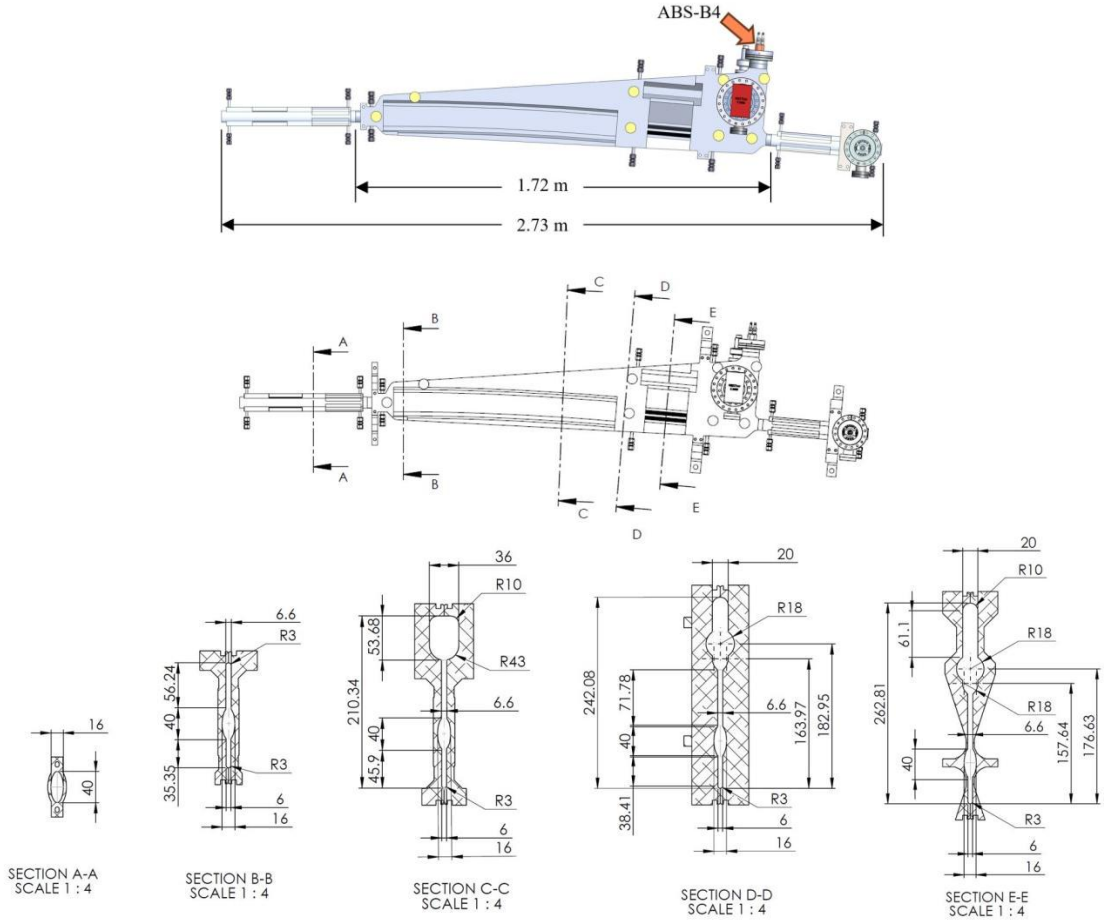


出所: SLRI

図 4-23　PVCB-3 の概略図（上部）と曲げチャンバーPVCB-3 の断面図（下部）

下流アーク部の真空チャンバー（PVCB-4）の設計

ベンディングチャンバーPVCB-4 は、フォトンダクトを有さない設計とした。CNC 加工が必要な部分の長さは 1.72 m、セル全長は 2.73 m である（図 4-24 参照）。ベンディングチャンバーPVCB-4 は全長が短いため、1 基のフォトンアブソーバ（ABS-B4）のみを所定位置に設置する計画とした。当該区画は、放射光が局所的に集中して入射する傾向があり、その結果、熱負荷および PSD に起因するガス放出が増加することが想定される。したがって、設置するアブソーバには高出力かつ高出力密度の放射光に耐える性能が求められる。



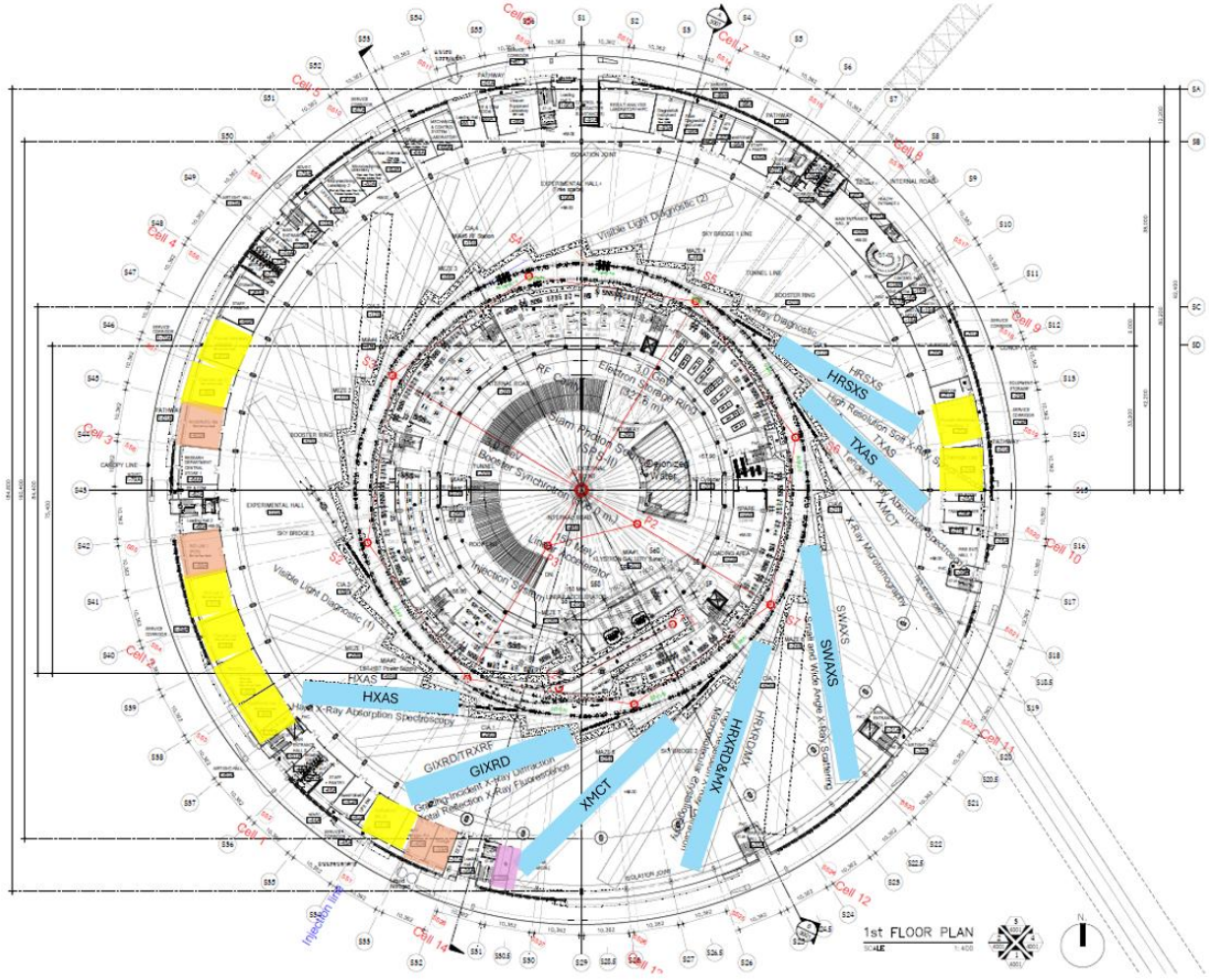
出所: SLRI

図 4-24　PVCB-4 の概略図（上部）と曲げチャンバーPVCB-4 の断面図（下部）

4.2　ビームライン（第 1 期）のの設計・計画

4.2.1　ビームライン（第 1 期）の概要

SPS-II において計画されているビームラインのレイアウトを下図に示す。SPS-II 蓄積リングは、合計 21 本の挿入光源（ID）を設置できる構造となっており、その内訳は、11 本の長直線部（スタンダード直線部に相当）と 10 本の短直線部（センター直線部に相当）である。さらに、同図には、診断用ビームライン 2 本および偏向磁石ビームライン 10 本が設置可能であることが示されている。



出所：SLRI

図 4-25　SPS-II ビームラインレイアウト概略図

SPS-II では、第 1 期として 7 本のビームラインを設置する予定である。そのラインナップを表 4-18 に示す。これらのビームラインは、SPS の既存利用者および将来の利用を予定している研究者や産業界からのニーズ調査結果に基づき計画されたものである。下表によれば、SPS-II のビームラインは、硬 X 線ビームライン 5 本、軟 X 線ビームライン 1 本、斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームライン 1 本で構成されている。

X 線分光系の HRXS・TXAS・HXAS は、先端材料の研究開発に活用されるとともに、半導体材料を含む電子デバイス研究にも利用される。XMCT は透過内部像の撮像が可能であり、燃料電池内部の挙動など、通常は観察できない領域の解析に利用される。XRD および WASX は、タンパク質などの生体高分子からガラスなどの非晶質材料まで、幅広い材料の内部微細構造解析に適用される。各ビームラインの光源となる挿入光源の仕様を表 4-19 に示す。

表 4-18　SPS-II 用ビームラインのラインナップ (第 1 期)

ビームライン名		エネルギー領域
HRSXS	高分解能軟 X 線分光ビームライン	90 eV – 2.5 keV
TXAS	テンダーX 線吸収分光ビームライン	1.8 – 13.0 keV
HXAS	硬 X 線吸収分光ビームライン	6.0 – 35.0 keV
XMCT	X 線マイクロトモグラフィビームライン	10.0 – 60.0 keV
HRXRD/MX	高分解能 X 線回折ビームライン/巨大分子結晶構造解析ビームライン	9.0 – 27.0 keV
SWAXS	小角広角 X 線散乱ビームライン	8.0 – 20.0 keV
GIXRD/TRXRF	斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームライン	8.0 – 28.0 keV

出所：SLRI

表 4-19　SPS-II ビームラインの挿入光源の仕様

	HXAS, HRXRD/MX and GIXRD/TRXRF	SWAXS	HRSXS	TXAS	XMCT
Source type	IVU18	IVU20	EPU58	IVU23	IVW50
Period length (mm)	18	20	58	23	50
Peak field (T)	1.23	1.32	1.03	1.54	2.1
Min. magnetic gap (mm)	4.2	4.2	10	4.2	5.5
Total magnet length (m)	2.0	2.0	1.344	0.85	2.0
Period number	110	100	25	38	40

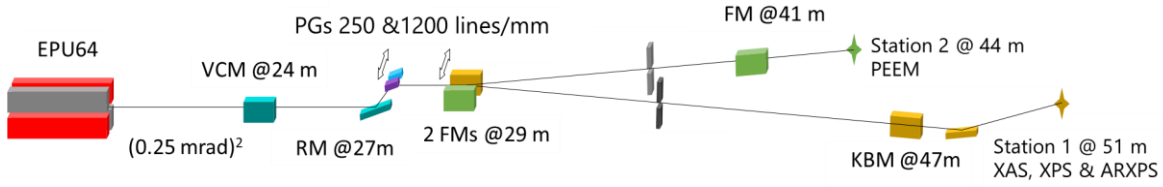
出所：SLRI

(1)　高分解能軟 X 線分光ビームライン (HRSXS)

表 4-20　高分解能軟 X 線分光 ビームラインの技術仕様

光源	EPU58 (Apple II type undulator)
エネルギー領域	90 eV – 2.5 keV
エネルギー分解能	E/ΔE: 5,000 – 10,000
ビームラインアクセプタンス	0.25 mrad (H) x 0.25 mrad (V)
光束	1012 – 1013 ph/s
モノクロメータ	collimated plane grating monochromators250 lines/mm for 80-400 eV 1200 lines/mm for 400-2500 eV
集光ミラー	Branch 1: KB Branch 2: Toroidal
照射光径	Branch 1: PEEM: 40 μm (H) x 4 μm (V) Branch2: XAS, XPS & ARPES :75 μm (H) x 15 μm (V)
評価手法	XAS-XPS-PEEM imaging PES XMCD
対象分野	Multilayered materials & 20 elements Magnetic thin film Strongly-correlated system
エンドステーションの計測器（検出装置）	PEEM: MCP/CCD detector with imaging energy analyzed (relocated from SPL) Soft-XAS: 4 elements silicon drift detector PES: Electron spectrometer (relocated from SPL)

出所：SLRI



出所：SLRI

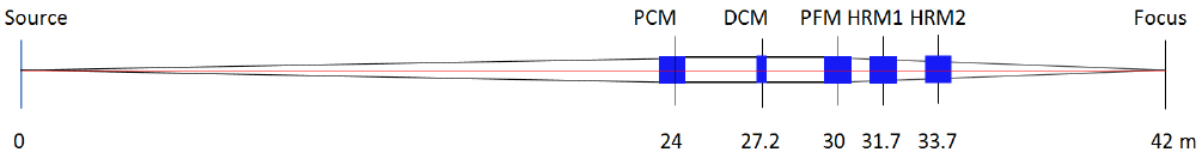
図 4-26　高分解能軟 X 線分光 ビームラインの光学デザイン概略図

(2)　テンダーX 線吸収分光ビームライン (TXAS)

表 4-21　テンダーX 線吸収分光ビームラインの技術仕様

光源	IVU23 (In-vacuum undulator)
エネルギー領域	1.8 – 13.0 keV
エネルギー分解能	ΔE/E : InSb(111): 3.0 x 10-4 @ 2keV Si(111): 1.4 x 10-4 @ 10keV
ビームラインアクセプタンス	0.45 mrad (H) x 0.2 mrad (V)
光束	5.0 x 1010 – 2.0 x 1013 ph/s
二結晶分光器	Beryl (1010), KTP (011), InSb(111) & Si (111)
集束ミラー	Paraboloid
照射光径	Focus: 110 µm (H) x 60 µm (V) Unfocus: 13 mm (H) x 2 mm (V)
評価手法	XANES, EXAFS & QEXAFS µXAFS & µXRF µANES & XRF imaging
対象分野	Industrial catalytic & advanced materials Environmental pollution & mitigation Soil science & cultural heritage
エンドステーションの計測器（検出装置）	13-elements silicon drift detector Main detectors for the end station

出所：SLRI



出所：SLRI

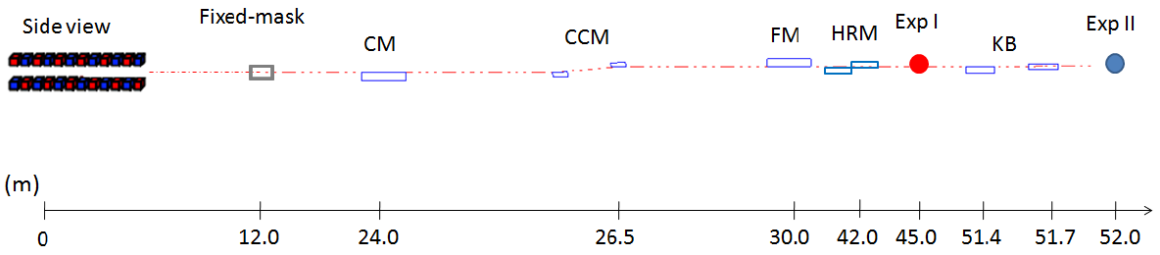
図 4-27　テンダーX 線吸収分光ビームラインの光学デザイン概略図

(3)　硬 X 線吸収分光ビームライン (HXAS)

表 4-22　硬 X 線吸収分光ビームラインの技術仕様

光源	IVU18 (In-vacuum undulator)
エネルギー領域	6.0 – 35.0 keV
エネルギー分解能	ΔE/E : < 1 x 10-4 from Si(111), <4 x 10-5 from Si(311)
ビームラインアクセプタンス	0.6 mrad (H) x 0.1 mrad (V)
光束	1012 – 1013 ph/s
二結晶分光器	Si (111) and Si (311) Channel-cut
集束ミラー	Toroid
照射光径	120 μm (H) x 120 μm (V)
評価手法	XANES, EXAFS & QEXAFS μXAFS & μXRF μANES & XRF imaging
対象分野	Industrial catalytic & advanced materials Environmental pollution & mitigation Soil science & cultural heritage
エンドステーションの計測器（検出装置）	7-elements silicon drift detector (relocated from SPL)

出所：SLRI



出所：SLRI

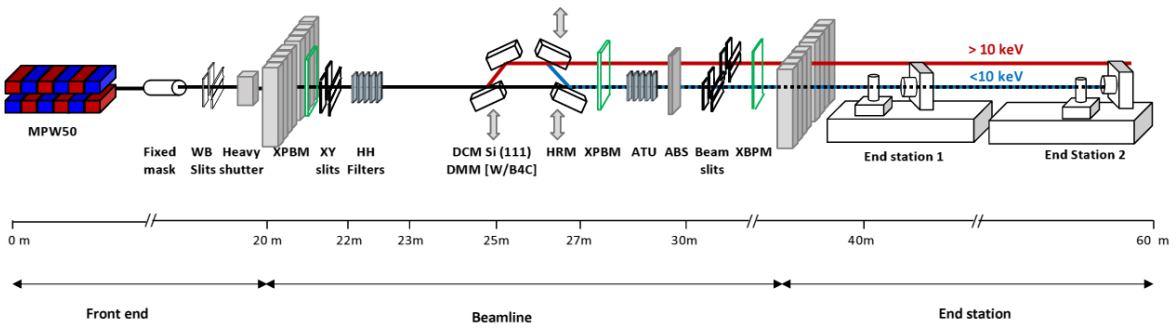
図 4-28　硬 X 線吸収分光ビームラインの光学デザイン概略図

(4)　X 線マイクロトモグラフィビームライン (XMCT)

表 4-23　X 線マイクロトモグラフィビームラインの技術仕様

光源	IVU50 (In-vacuum undulator)
エネルギー領域	10.0 – 60.0 Kev
エネルギー分解能	ΔE/E : DCM: ≤ 10-3 DMM: around 2-3 x 10-2
ビームラインアクセプタンス	0.6 mrad (H) x 0.16 mrad (V)
光束	1014 – 1015 ph/s
二結晶分光器	DCM: Si (111) for 8 -30 keV DMM: ML (2% BW) for 30 – 60 keV
集束ミラー	None (with a future plan to use zone plates for nano X-ray imaging)
照射光径	Unforcus: 65mm (H) x (7-17) mm (V)
評価手法	Phase & absorption contrast, Nano X-ray imaging
対象分野	Biological, medical & life science Paleontology
エンドステーションの計測器（検出装置）	Scintillators: Gadox, CsI, LSO and YAG Microscopes: 5x, 10x with/without 2x eyepiece Cameras: Pco.edge 5.5, Pco.dimax

出所：SLRI



出所：SLRI

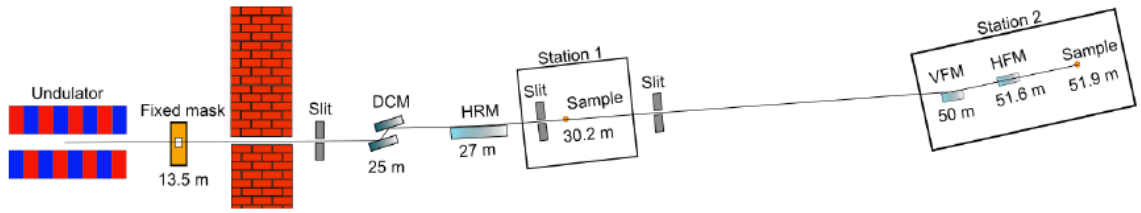
図 4-29　X 線マイクロトモグラフィビームラインの光学デザイン概略図

(5)　高分解能 X 線回折ビームライン/巨大分子結晶構造解析ビームライン（HRXRD/MX）

表 4-24　高分解能 X 線回折ビームライン/巨大分子結晶構造解析ビームラインの技術仕様

光源	IVU18 (In-vacuum Undulator)
エネルギー領域	9.0 – 27.0 kev
エネルギー分解能	1 x 10-4
ビームラインアクセプタンス	HRXRD: 27 µrad x 16 µrad, MX: 4 µrad x 18 µrad
光束	HRXRD: 1011 – 1013 ph/s MX: 1010 – 1012 ph/s
二結晶分光器	Si (111) & Si (311)
集束ミラー	KB
照射光径	HRXRD: 1.4 mm (H) x 0.9 mm (V) MX: 1.7 µm (H) x 1.0 µm (V)
評価手法	Micro & Macro XRD XRD imaging MAD & SAD
対象分野	Material Science & engineering Earth science Pharmacological impurities & drug target
エンドステーションの計測器（検出装置）	HRXRD: Scintillator with crystal analyzer, Dectris Myhen MX: Dectris 9m

出所：SLRI



出所：SLRI

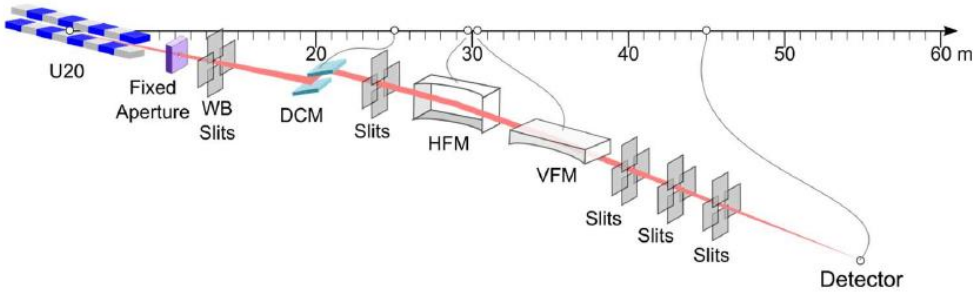
図 4-30　高分解能 X 線回折ビームラインと巨大分子結晶構造解析ビームラインの光学デザイン概略図

(6)　小角広角 X 線散乱ビームライン (SWAXS)

表 4-25　小角広角 X 線散乱ビームラインの技術仕様

光源	IVU20 (In-vacuum Undulator)
エネルギー領域	8.0 – 20 keV
エネルギー分解能	ΔE/E : 1.5 x 10-4 at 10 keV
ビームラインアクセプタンス	117 μrad (H) x 115 μrad (V)
光束	8.0 x 1012 – 7.0 x 1013ph/s
二結晶分光器	Si (111)
集束ミラー	KB
照射光径	328 μm (H) x 180 μm (V)
評価手法	SAXS & WAXS USAXS & GISAXS
対象分野	Life science & Polymer science Thin films & Membrane proteins
エンドステーションの計測器（検出装置）	In air C-shaped Pilatus 3, In vacuum Eiger 9M

出所：SLRI



出所：SLRI

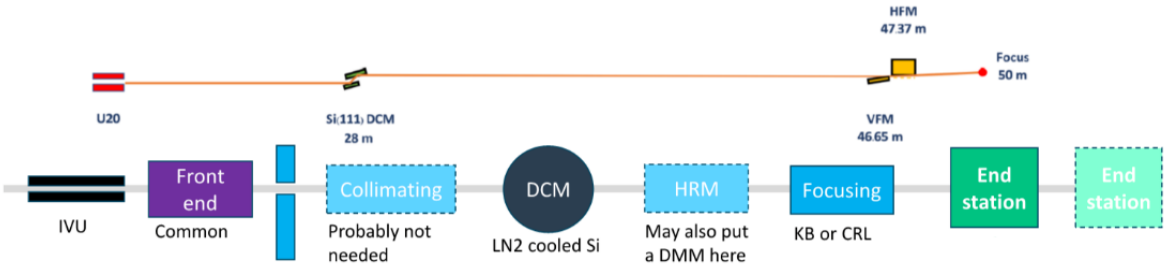
図 4-31　小角広角 X 線散乱ビームラインの光学デザイン概略図

(7)　斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームライン (GIXRD/TRXRF)

表 4-26　斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームラインの技術仕様

光源	IVU18 (In-vacuum undulator)
エネルギー領域	8.0 – 28 KeV
光束	1.0 x 1013 ph/s
照射光径	< 5μm
評価手法	SAXS XRD XRF
対象分野	Thin film characterization Perovskite photovoltaics Trace element analyses

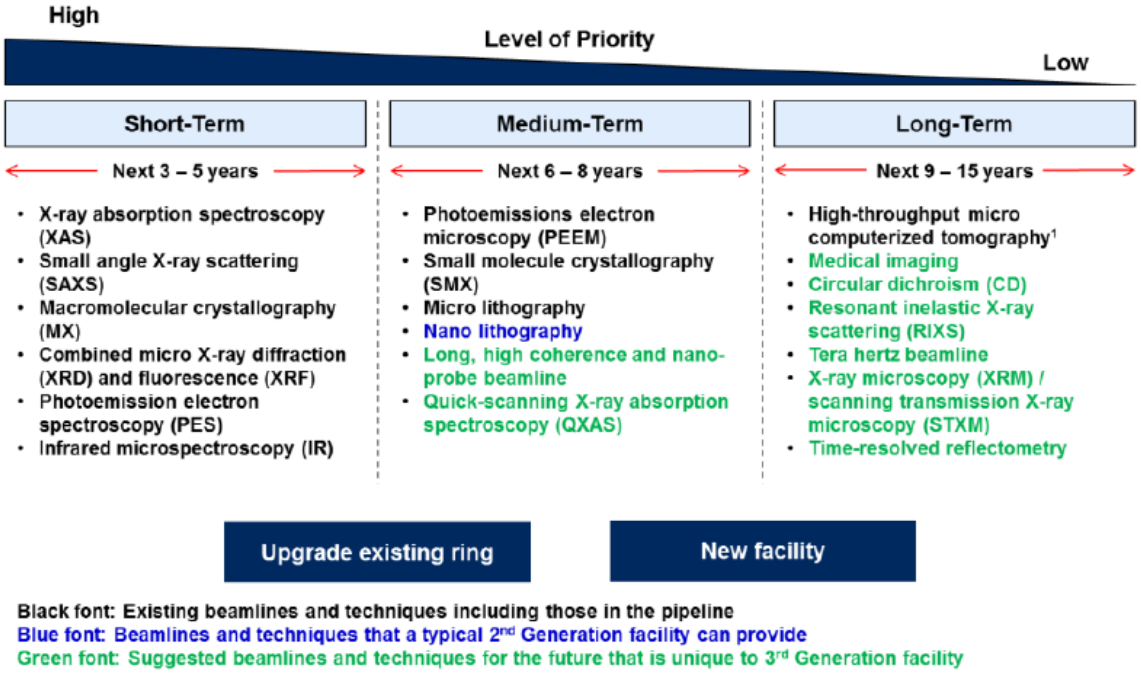
出所：SLRI



出所：SLRI

図 4-32　斜入射 X 線散乱・蛍光検出ビームラインの光学デザイン概略図

4.3　フェーズ 2 以降のビームライン将来計画



出所：SLRI

図 4-33　ビームラインの将来計画

上図に SPS-II の将来ビームライン計画を示す。コミッショニング開始から 3 年から 5 年の間は、電子ビームの性能が目標値に到達しない可能性がある。そのため、第 1 期に設置するビームラインは、SPS-I と同等のビーム条件下でも稼働可能な構成としている。電子ビームが計画どおりに目標値へ到達した場合には、既存施設（SPS-I）を大きく上回る高精度測定が可能となるが、仮に到達しない場合でもビームラインの稼働に支障が生じないよう設計されている。

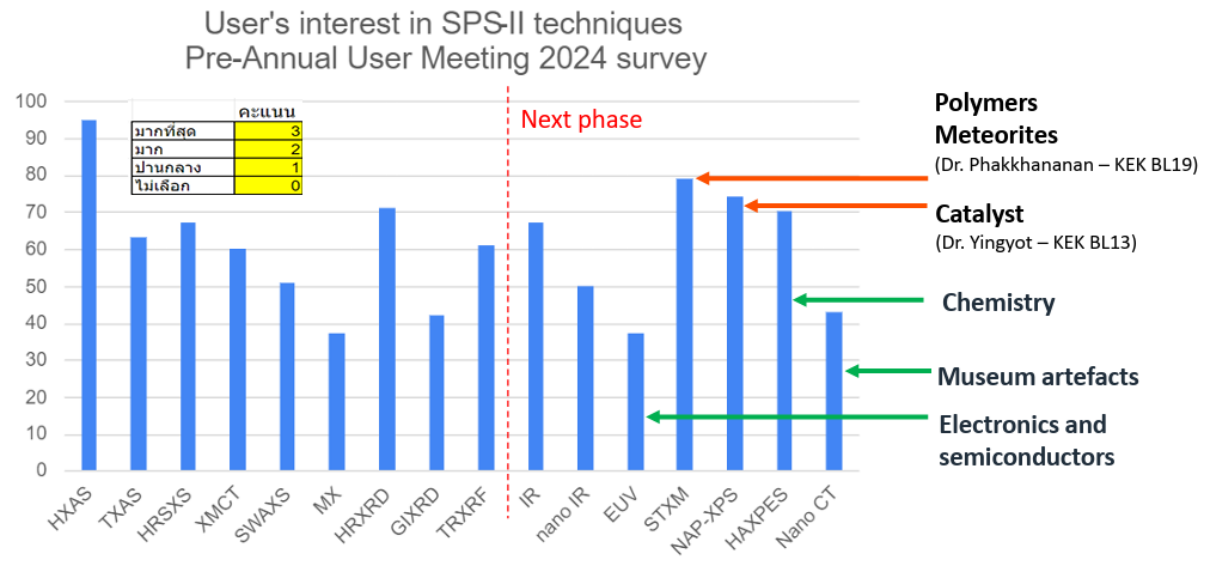
第 1 期のビームライン設置後、電子ビームの性能は段階的に改善し、目標値に近づいていくことを目指す。これに伴い、第 2 期以降ではビームラインのラインナップを高度化し、SPS-II を次世代放射光施設として最大限に活用した先端的計測を実現する計画である。第 2 期以降に導入予定のビームライン概要を下表に示す。

表 4-27　フェーズ 2 以降のビームラインラインナップ計画

	フェーズ 1	フェーズ 2	フェーズ 3
技術選択の戦略	既存の SPS-I ユーザーにとって利用しやすい計測技術を採用する。	第 3 世代シンクロトロンで提供されてきたより高度な計測技術	最新の蓄積リングの独自の機能を必要とする高度な計測技術
必要環境条件	• SPS-I よりも高い光子束と広い光子エネルギー範囲を提供する蓄積リング	• 蓄積リングにおける安定性の高い電子ビーム • 大量の光子が必要となる計測法のための高い光子線束 • アクティブ X 線光学系 • 高解像度画像形成 X 線光学系（ゾーンプレートなど）	• 高い安定性を有するビームラインコンポーネント • コヒーレンス維持（適応）X 線光学系 • 蓄積リングとビームライン検出器の同期
計測技術のラインナップ	• 高分解光電子分光 (PES) • 光電子顕微鏡 (PEEM) • X 線磁気円二色性（XMCD） • X 線マイクロ CT • X 線吸収微細構造(XAFS) • クイック XAFS • 小角/広角 X 線散乱（SAXS/WAXS） • 高分解能 X 線回折ビームライン (XRD) • 蛍光 X 線分析 (XRF) • 巨大分子結晶構造解析 (MX)	• マイクロビーム測定 • 硬 X 線光電子分光 (HAXPES) • 雰囲気制御型光電子分光法(XPS) • 共鳴非弾性 X 線散乱 (RIXS) • ナノ分解能 X 線イメージング • 表面 X 線散乱 • エネルギー分散型 X 線回折(EDD)	• ナノビーム測定 • プチオグラフィ • コヒーレント回折イメージング（CDI） • 二体分布関数（PDF） • 超高速測定

出所：SLRI

将来に導入するビームラインは、2024 年 6 月～7 月にかけて実施された、学術界および産業界のニーズ調査に基づいて決定する。調査では、回答者にフェーズ 1 の技術のうち上位 3 つと、次期フェーズの技術のうち上位 3 つを選択してもらった。上位 1 位の技術に 3 点、2 位の技術に 2 点、3 位の技術に 1 点が付与された。下図に、SPS-II ビームラインに対するニーズ調査の結果としての各技術のポイントを示す。



出所：SLRI

図 4-34　SPS-II ビームラインに対するニーズ調査計画

次世代計測技術のニーズ調査をより効果的に実施するためには、SLRI のビームライン専門家が、世界におけるビームライン技術の開発動向や、研究者が放射光技術をどのように活用しているかについて最新の知見を得ることが重要である。知識向上の手段としては、シンクロトロン・コミュニティに属する国際的な研究者・技術者との交流や学術文献の活用などが挙げられる。さらに、既存放射光施設（SPS-I）にはない技術を備えた海外の放射光施設に SLRI の専門家が赴くことで、より実践的なトレーニングを受けることが可能となり、専門性の強化につながると考えられる。将来的に SPS-II のビームラインや計測手法を高度化するためには、新しいビームラインに関する知識と先端的な測定技術を備えた人材の育成が不可欠である。ビームライン性能と測定技術が向上すれば、タイ国内におけるビームライン利用率の拡大が期待される。

4.4　加速器およびビームラインのリスク管理とバックアップ計画

本節では、SPS-II を開発する上でのリスク管理およびバックアップ計画をコンポーネントごとに検討する。

4.4.1　加速器の設計段階および試験段階でのリスク管理

(1)　磁石システム

リスク項目: 磁場強度と磁性
• 磁石を設計してプロトタイプを作成し、磁場強度や磁性性能を検証する。 • 磁石の設計および性能検証は NSRRC の磁石グループの指導を受ける。 • 磁石が期待通りの性能を発揮しない場合、その原因を調査する。 • 大きな改善が必要な場合、磁石開発のスケジュールは 6 ヶ月程度ずれる可能性があるが、SPS-II プロジェクトのスケジュール（2027 年半ばの設置予定）には影響を与えない。
バックアップ計画
• プロトタイプの性能が要求仕様に達しない場合は、海外サプライヤーから磁石を購入することを計画する。

(2)　真空システム

リスク項目: チャンバーの変形
• ANSYS や Solidworks の静的シミュレーションを使用して、重量、圧力、温度による変形の影響を計算し、真空チャンバーを設計する。 • 設計と製造公差を確認するために、チャンバーのプロトタイプを製作する。 • 試作品の変形が許容範囲を超える場合、製造工程や設計を改善する。
バックアップ計画
• 製造工程や設計を改善しても仕様要件を満たせない場合、海外サプライヤーからチャンバーを購入することを検討する。

(3)　ガーダーシステム

リスク項目: 構造振動、磁石アライメント、垂直・水平アライメント、ガーダーアライメント
• 要求仕様を満たすガーターのプロトタイプを開発する。 • ガーターの重量を増加させ、ガーターの重心を下げることにより、機械振動数を増加させる。 • ガーターと台座の間に振動制御装置を設置し、機械振動の周波数を上げる。 • 構造シミュレーション、モーダルシミュレーションを実施する。 • ガーダーのプロトタイプを用いて磁石負荷による機械振動やガーダーの変形を実測する。 • シミング（シムプレート）によるマグネットアライメント調整を行う。 • 水平アライメント方式を検討する。（対向する 2 つのウェッジマウントを使用）。
バックアップ計画
• SLRI によるガーダーの技術開発が不調に終わった場合、Advisory Team の助言を得てガーダーの設計をシンプルな構造に変更して製造する。 • SLRI によるガーダーの技術開発が不調に終わった場合海外のサプライヤーに依頼する。

4.4.2　インストールおよびコミッショニング時のリスク項目

(1)　プロジェクト管理

リスク項目:インストレーション、組立およびコミッショニング
• インストール、インテグレーション、コミッショニングプロセスのための WBS（Work Breakdown Structure）を作成する。 • プロトタイプ開発期間中にインストール、インテグレーション手順を確立する • 海外および国内の専門家との連携・協力体制を構築する。

(2)　加速器

リスク項目: 不安定な電子ビーム
• 蓄積リングに初期射出を行うための軸射出システムの設置 • ビーム蓄積電流値を 150 mA として運転を開始する。 • バンチバイバンチフィードバック運転 • 試運転期間とビームサービススケジュールの延期

4.4.3　放射線安全管理に係る計画策定

SLRI では、国際放射線防護委員会（ICRP）に基づき、放射線の安全利用と被ばく線量の管理の両方を考慮した ALARA（As Low As Reasonably Achievable）原則を採用することで、利用者と運営者の放射線安全を確保する。

そこで SLRI では、ALARA の原則と類似施設の勧告を遵守するため、1 年間に 2000 時間作業する全職員と利用者の被曝線量を年間 1 ミリシーベルト、1 年間に 6000 時間作業する敷地境界の環境線量を年間 0.5 ミリシーベルトという、より厳しい線量限度を設定することにした。

放射線遮蔽体には、リングトンネルにはコンクリート、ビームラインには金属パネルが使用される。それぞれの材料の厚さは、FLUKA（Fluktuierende Kaskade、ドイツ語で Fluctuating Cascade）を用いて計算される。

以上のように、SLRI は基本方針を決定したが、具体的な運転計画や体制はまだ明確になっていない。

(1)　現状

タイの法律には放射線安全に関する規制があり、平和のための原子力法 B.E.2559（2016 年）、改正 B.E.2562（2019 年）、放射線安全に関する大臣規則 B.E.2561（2018 年）がある。これらの規則の下で、SLRI は、放射線事業者、利用者、および許可された訪問者のための安全放射線操作のガイドラインとなる放射線防護システムを設定した。保護計画は 2022 年 9 月 5 日に発行された。この保護計画は、シンクロトロンおよび高性能 X 線装置による職業被ばくを対象としている。5 名の放射線安全管理者（RSO）が安全作業を監督する。放射線区域は管理区域と監視区域に分類される。全エリアの入退室許可は厳格に実施されている。光励起ルミネッセンス（OSL）個人線量計と放射線検出器を使用し、放射線安全区域の時間ベースの保守管理を行っている。放射線緊急事態に備えた安全標準作業手順が定められている。安全教育と緊急時訓練も毎年実施している。

(2)　放射線安全管理組織

SLRI は、上記の方針に従って放射性物質防護を管理している。労働安全衛生環境委員会は、ALARA の規制要件に従って SLRI に設置されている。放射線安全委員会（RSC）の専門家は、経営陣と協力して放射線安全プログラムを実施している。RSC は、放射線安全プログラムを監督するという目的を果たすために必要な権限を与えられている。RSC の管理の下、放射線安全管理者（RSO）が放射線安全プログラムを実施する。RSO の最優先業務は、公衆の健康と安全を適切に保護するための日常業務とその遂行、および被ばく線量を ALARA に維持することである。

RSO の任務と責任は以下の通り。

- ライセンスのすべての条件およびその規則が遵守されていることを保証する。
- ライセンスの規定に従って、密封線源が漏洩試験されていることを保証する。
- 放射性物質が、ライセンスによって許可された個人によってのみ使用されていること、および、すべての個人が必要な人員監視装置を備えていたことを保証する。

- ライセンスによって要求されるすべての記録を保持する。この記録には、要員監視記録、漏洩試験記録、在庫記録、使用者の訓練記録、および受領、移送、 廃棄の記録が含まれるものとする。
- 放射性物質が不正なアクセスや持ち出しから適切に保護されていることを保証する。
- すべての使用者が緊急時、操作、および放射線安全手順を読み、理解していることを保証する。

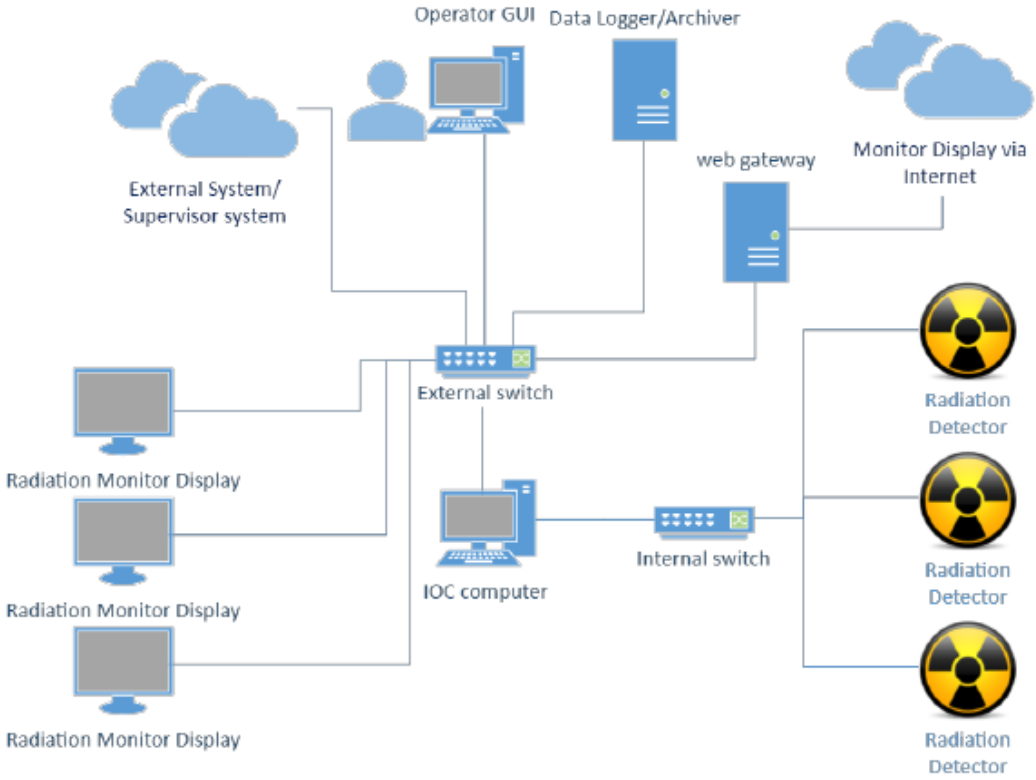
SPS-II における放射線安全管理に関する計画は以下の通り。

- 加速器、ビームライン、放射性線源などの認可
- ガス、空気中の放射性物質、漏洩などの放射線モニタリング
- スタッフおよび利用者の放射線および線量測定
- 放射性廃棄物管理
- 放射線測定および調査
- 放射線安全手順、規制および法律
- 放射線検査および監査
- 放射線準備対応手順

(3)　放射線モニタリング

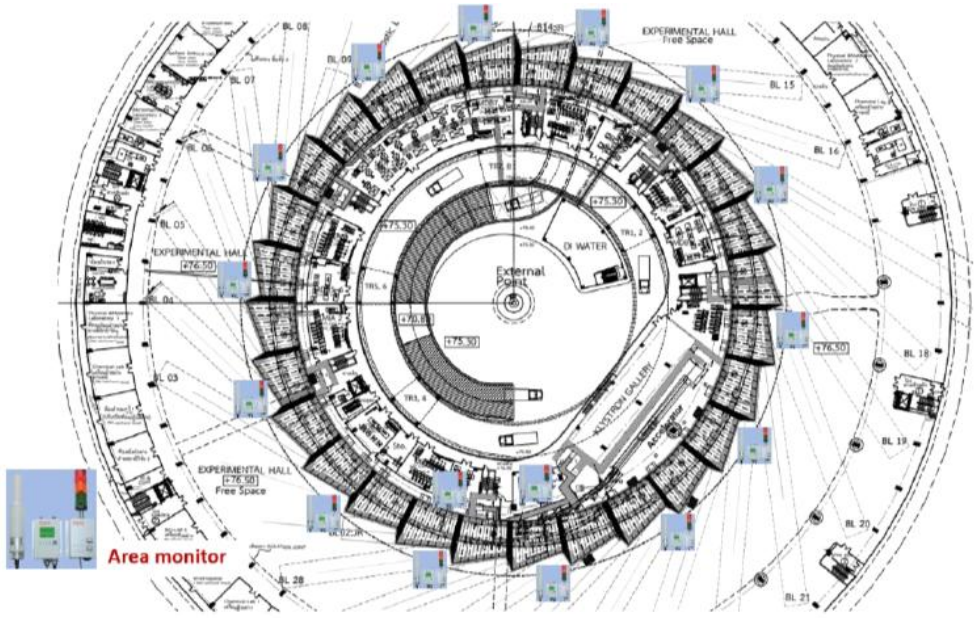
放射線モニタリングは、職場の状況や個人の被ばく線量を評価し、職場における放射線の状態が許容できるほど安全で満足のいくものであることを確認するために実施される。放射線安全規制により、放射線モニタリングの記録を長期間保存する必要がある。放射線モニタリング機器は、個人モニタリングとエリアモニタリングの両方に使用される。

放射線安全規則に従い、SPS-I は放射線エリアモニタリングシステム（RAMS）を設置し、被ばくデータを提供している。さらに、SPS-II では、実験物理・産業制御システム-入出力制御装置（EPICS-IOC）を応用して、サイアム光子源放射線モニタリングシステム-II（SPSRMS-II）と呼ばれる新しいモニタリングシステムを開発する予定である。SPSRMS-II で提案する EPICS-IOC は、グラフィカルな GUI とデジタル数値の両方で露光レートを監視できる制御システムである。下図に SPS-II のモニタリングシステムのレイアウトを示す。



出所：SLRI

図 4-35　SPSRMS-II の構成



出所：SLRI

図 4-36　SPS-II の放射線モニタリングのレイアウト図

放射線モニタリングに関する以下の情報は、SLRI の P.Aim-O による「放射線安全管理」報告書から抜粋した。

警告装置

- 管理区域として指定された各場所および各入口には、放射線が発生または使用されているときに作動する、容易に観察可能な警告灯を備えなければならない。
- 人体への被ばくを目的とした施設を除き、各管理放射線区域には、作動する可聴警告装置を設置しなければならない。

管理・操作手順

- 粒子加速器は、運転中でないときは、無許可で使用されることがないよう、安全を確保する。
- 緊急時を除き、安全インターロックシステムを使用して加速器ビームを停止してはならない。
- インターロックを含むすべての安全装置および警告装置は、3 ヶ月を超えない間隔で、 手順に従い、適切に動作しているかチェックするものとする。その場合、インターロックは次回使用前にテストされなければならない。そのようなテストの結果は、検査のために加速器施設に保管されなければならない。
- 加速器および関連する安全インターロックシステムの電気回路図は、最新の状態に保ち、点検のために維持し、各加速器施設の運転員が利用できるようにしなければならない。
- 安全インターロックまたはインターロックを意図的に迂回する必要がある場合、そのよう行為 は、以下の条件を満たさなければならない：
  - 機械部門長および放射線安全管理者である権限を有する者の承認。
  - 永久ログに記録し、加速器またはビームラインの制御部に掲示すること。
  - 可能な限り速やかに解除すること。

設定変更

人員や公衆への放射線被曝に影響を及ぼす可能性のあるシステム変更は、文書化し、変更実施前に放射線安全委員会に登録範囲を提出し、審査を受けるべきである。

放射性物質の管理

加速器には、加速器運転の結果として、あるいは加速器運転を支援するために、放射性物質が存在する場合がある。例えば、放射性ターゲットの使用、ビームラインのコンポーネントの放射化、機器の校正やチェックのための校正線源としての使用などである。

- 放射線安全委員会は、放射性物質の管理を、初回の登録承認または個別の承認のいずれかを通じて行う。どちらの方法が適用されるかは、生成される物質の種類や量によって異なる。いずれの場合も、該当する登録または承認の要件を遵守することが義務付けられている。
- 施設の運営に必要な放射性物質は、放射線安全委員会が発行する放射性物質認可を受けなければならない。

インターロック

- 管理区域への各入口には、バリア貫通の条件下で機械をシャットダウンする安全インターロックを設けること。
- 各セーフティ・インターロックは、他のすべてのセーフティ・インターロックから独立して動作できるような回路になっていること。

- すべての安全インターロックは、安全インターロックに欠陥や部品の故障があった場合、加速器やビームラインの運転ができないように設計されていること。
- セーフティインターロックシステムがトリップした場合、セーフティ・インターロックがトリップした位置で手動でコントロールをリセットすることにより、加速器の運転を再開することが可能であり、最後に主制御コンソールでリセットすることにより、加速器またはビームラ インを遠隔で再起動することができないようにすること。
- スクラムボタンまたはその他の緊急電源遮断スイッチは、すべての放射線エリア に設置され、容易に識別できるものとする。このような遮断スイッチには手動リセッ トが含まれ、遮断スイッチをリセットしなければ加速器またはビームラインを加速器制御コンソールから再 起動できないようにすること。
- 放射線安全インターロックシステムは、装置インターロックシステム、ビームラインインターロックシステム、放射線モニタリングシステムなど、複数のサブシステムで構成されている。これらのコンポーネントは、管理区域からの放射線被ばくを防止するように設計されている。システムの一部を変更する場合は、新しい設計について安全性レビューを実施し、適切な文書化を行う必要がある。
- SPS-IIのインターロックシステムはSLRIによって設計され、機器はビームラインとは別パッケージで調達される。PLC とセンサー間の通信システムの設計は、SPS-II プロジェクトチームと SLRI の制御エンジニアによって検討されている。
- 概念的には、SPS-II は各ビームラインに個人の安全と機器の保護のために 2 つの独立した PLC を備えている。フロントエンド、ビームライン光学系、エンドステーションは、ビームライン用の同一のインターロックロジックの一部となる。挿入光源に関連するインターロックは、装置グループによって管理される。SLRI は、多数の信号ケーブルと駆動ケーブルの管理の問題を軽減するために、イーサネットベースのフィールドバス (EtherCAT など) をサポートするシステムを導入する予定である。

5. 概略設計の評価

5.1 敷地現況

事業対象敷地は、タイのラヨーン県ワンチャン郡ワンチャンバレイに位置する。敷地は、科学技術大学や経済特区、先端技術研究などの施設を建設するために土地開発が進められ、国道 344 号線から約 1.5 km 入った場所である。

5.1.1 自然条件

(1) 気候

タイ国は、ケッペンの気候区分ではサバナ気候（Aw）、熱帯に属し、季節は 5 月～10 月が雨期、11 月～4 月が乾期である。プロジェクトサイトが位置するラヨーン県は年間を通して気温の変化が少なく平均気温は 26℃～28℃、平均最高気温はおよそ 30℃、平均最低気温は約 23℃である。気温が最も高くなるのは乾期末期の暑季（3 月～4 月）で、最高気温が 31℃程度まで上昇する。

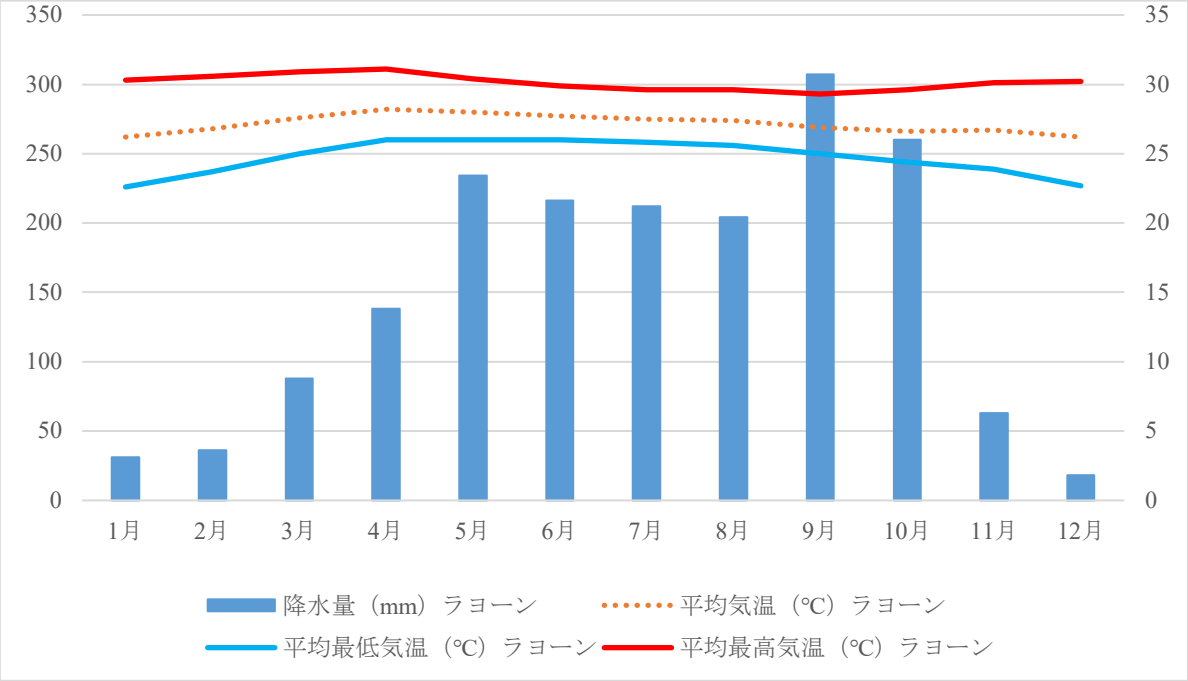
平均相対湿度は 63%～85%であり、蒸し暑い。降雨は雨期に集中し、年間降雨量のおよそ 79%を占める。降雨量のピークは 9 月で 307 mm である。

表 5-1　ラヨーン県の気象データ

月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均 /合計
平均気温（℃）	26.2	26.8	27.6	28.2	28.0	27.7	27.5	27.4	26.9	26.6	26.7	26.2	27.15
平均最低気温（℃）	22.6	23.7	25.0	26.0	26.0	26.0	25.8	25.6	25.0	24.4	23.9	22.7	-
平均最高気温（℃）	30.3	30.6	30.9	31.1	30.4	29.9	29.6	29.6	29.3	29.6	30.1	30.2	-
降水量（mm）	31	36	88	138	234	216	212	204	307	260	63	18	1807
降雨日数（日）	5	6	11	14	18	18	18	19	19	17	7	3	155
湿度（%）	66%	73%	77%	80%	82%	82%	82%	82%	85%	84%	73%	63%	77%
日照時間（時間）	9.0	8.6	8.7	9.1	9.4	9.8	9.9	9.8	9.1	8.7	9.1	9.3	110.5

＊ 1991 年から 2021 年まで 30 年間の平均値,、ただし日照時間については 1999 年から 2019 年までの 20 年間の平均値

出所：Climate-Data.org



出所：Climate-Data.org

図 5-1　ラヨーン県の年間平均気象データ

ラヨーン県の風速は 1 年を通して大きな季節変動があり、5 月から 9 月は風が強く、最も風が強い 7 月の時間当たりの平均風速は 時速 18.7 キロメートルである。10 月から 4 月は風が穏やかで、最も穏やかな 10 月は、時間当たりの平均風速が時速 11.9 キロメートルである。

表 5-2　ラヨーン県の風速

月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均
風速（kph）	12.8	13.2	14.2	13.7	15.2	18.1	18.7	18.2	14.1	11.9	14.5	15.3	15.0

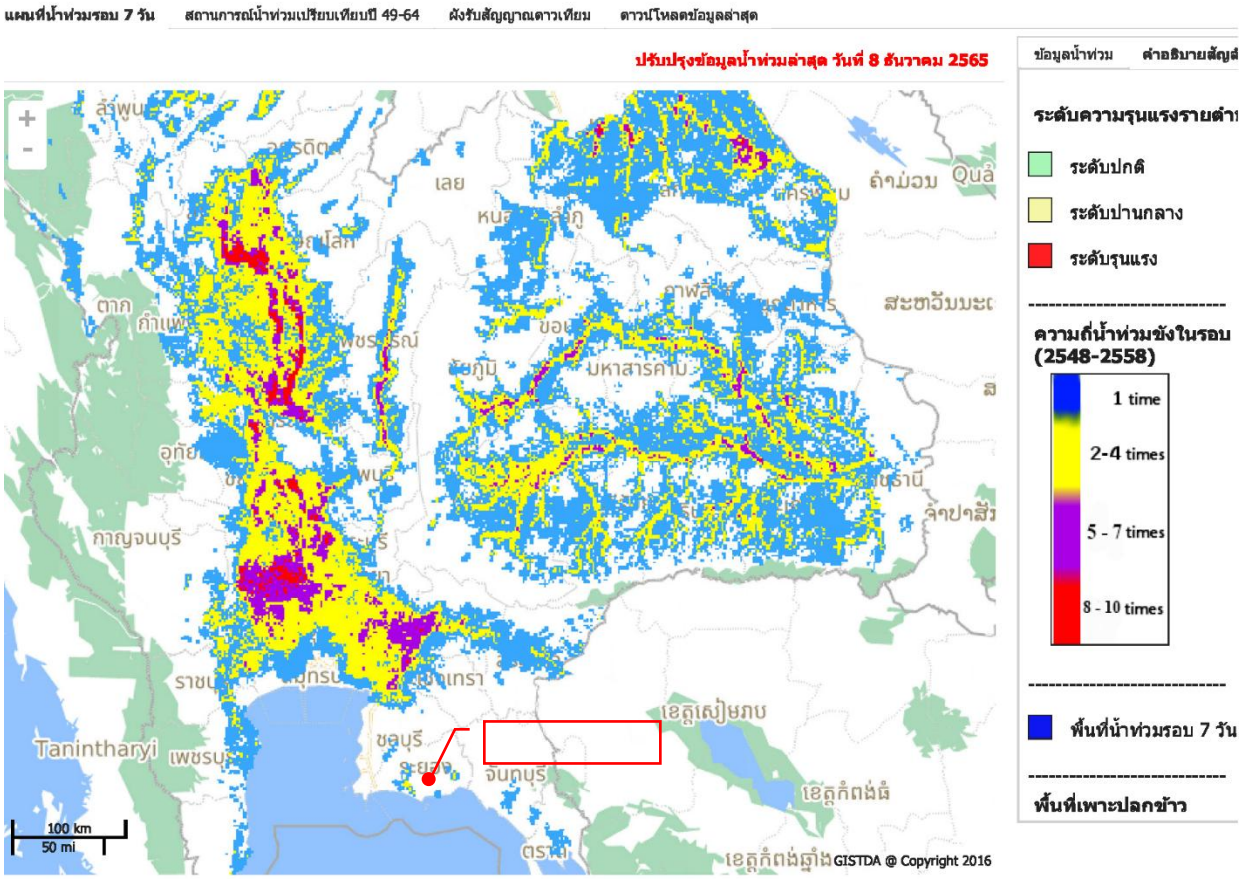
出所：Weather Spark

(2)　自然災害調査

タイの主な自然災害は洪水と干ばつであり、次いで地震が挙げられる。本プロジェクトサイトにおいては、特に洪水と地震について検討が必要である。

1)　洪水

タイで最も頻繁に起こる自然災害が洪水である。タイの洪水の原因は、5 月から 9 月にかけてアンダマン湾やタイ国土を広く覆うモンスーン熱帯性暴風雨、熱帯性低気圧、台風である。これらの気象がもたらす激しい雨によって、主にタイ中央部やバンコクなどのチャオプラヤ川流域で洪水が発生し、2011 年の洪水では甚大な被害をもたらした。タイ国 Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (GISTDA)のデータによると、本プロジェクトサイトが位置するラヨーン県ワンチャンバレイは過去に洪水が発生していない。



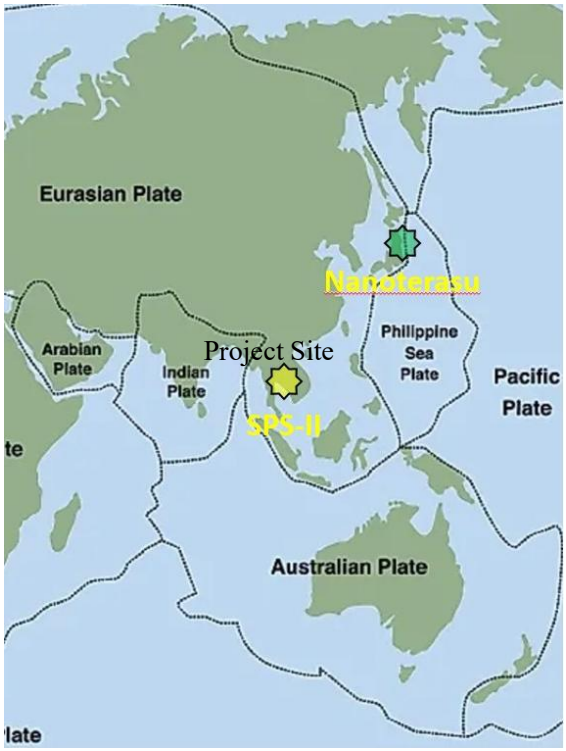
出所：GISTDA

図 5-2　タイ国の過去 11 年間（2005～2015 年）の洪水頻度

2)　地震

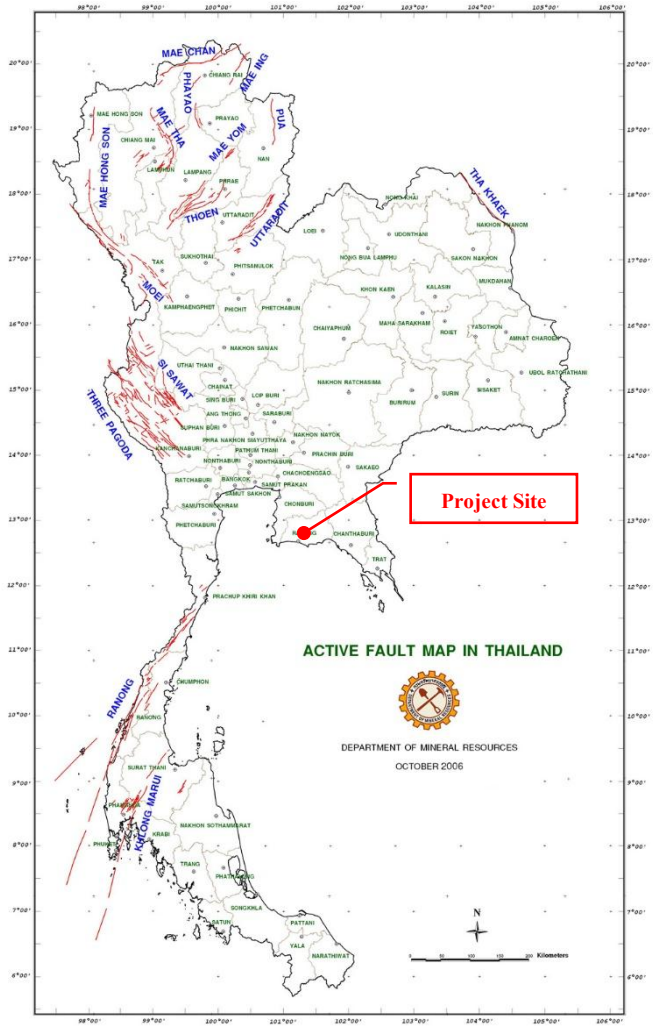
タイは下の図プレートマップに示すとおりユーラシアプレートに位置しており、直下にプレート境界がない。タイ周辺のプレート境界はミャンマー、アンダマン海（タイ西部の海）、スマトラ島東部にあり、タイの国境からは 350km 程度以上離れており、タイは地震リスクが比較的低い。しかしながら、タイにもプレート内地震の震源となる断層が北部と西部に位置し（下の図、タイ国断層マップ参照）、14 の活断層が確認されており、タイ北部や西部では度々地震が発生している。近年、マグニチュード 5 以上の地震がおよそ 6~10 年周期で発生している。

上記に加え、タイ国外で発生した地震もタイに大きな影響を及ぼすことがあり、過去にスマトラ島沖やミャンマーで発生したマグニチュード 6 を上回る大規模な地震の揺れがバンコクやタイ南部、北部で観測されている。プロジェクトサイトが位置するラヨーン県ワンチャンバレイは断層が無い地域に位置している。



出所：SLRI

図 5-3　プレートマップ



出所：SLRI

図 5-4　タイ国断層マップ

(3)　水文調査

敷地周辺に大学キャンパスなどの池があるが、河川はない。SLRI との協議において、計画施設での河川等の水の利用計画がないことを確認した。



出所：Google Earth、調査団作成

図 5-5　敷地周辺写真

(4)　測量調査

変更後の敷地の測量調査が 2023 年 2 月に SLRI によって実施された。変更後の敷地は、周長およそ 1.6 ㎞（東側約 370m、西側約 390m、南側約 380m、北側が約 430m）の変形した四角い形状で、北東部分が EECi の構内道路に接し、敷地への出入口が設けられている。地盤の高さはおよそ平均海水面＋51.0m～＋59.0m であり、敷地中央が高く、敷地の南に一部窪みが見られるが、比較的平坦な土地である。

(5)　地盤調査

変更後の敷地の地質調査が 2023 年 2 月に SLRI によって実施された。ボーリング調査は、シンクロトロン施設計画地の中心 1 か所と蓄積リング計画地で 4 か所、シンクロトロン施設計画地外周部で 6 か所実施された。その他に付属施設や外構の計画地で 10 か所実施された。ボーリングの深さは、シンクロトロン施設計画地の中心と蓄積リング計画地で 30m 程度、シンクロトロン施設計画地外周部で 12m～21m、付属施設計画地で 12m 程度、外構計画地で 10m～15m である。調査の結果、敷地南側の外構計画地に深さ 15m 付近で N 値 30 程度の地盤があるものの、敷地全体的に深さ 4m～8m 付近で N 値 50 以上の硬い層が確認されている。なお、シンクロトロン施設計画地中心と蓄積リング計画地では N 値 50 以上の層が深さ 30m 付近まで確認されている。地下水位は、シンクロトロン施設計画地で深さ 4m～10m 付近で、敷地北側の付属施設計画地及び敷地南側の外構計画地で 1.5m～3.5m 付近で観察されている。

(6)　地籍図

土地の所有者である PTT（タイの石油会社）および VISTEC（Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology）と SLRI との間で、2022 年 11 月 15 日に本プロジェクトでの 30 年間の土地使用に係る

協力覚書（MOC）に署名され、その後 2024 年 7 月 31 日に土地の賃貸契約が締結された。30 年後は土地の賃貸契約を更新する予定であり、土地の使用権について問題がない。



出所：SLRI

図 5-6　敷地使用に係る MOC

(7)　障害物調査

現地調査にて、敷地の一部がゴム農園であることを確認した。樹木の伐採と伐根が必要である。PPT が所有する敷地のゴムの木は伐採され、根を含めて撤去された。一方、VISTEC が所有する敷地の整地は着工前に実施される。用地買収や住民移転の必要はない。



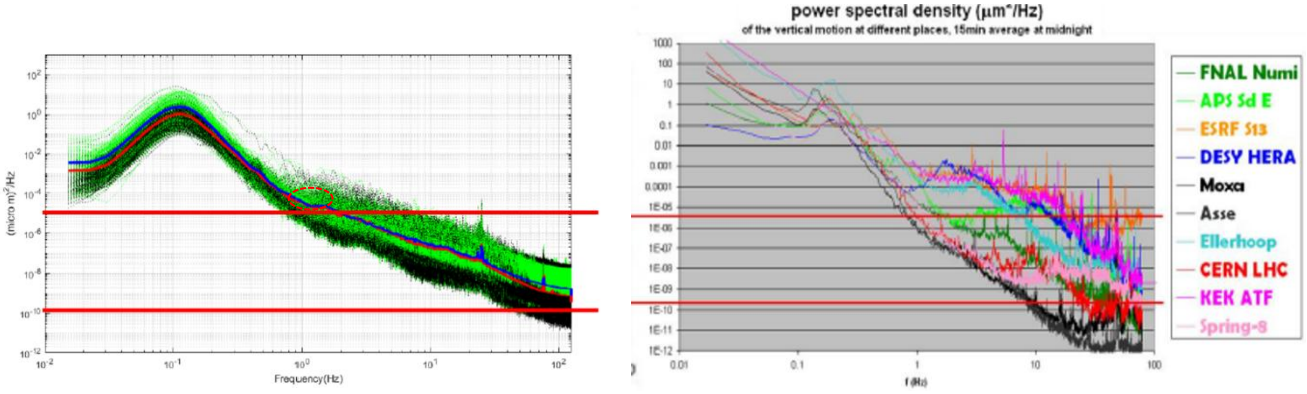
出所：調査団

図 5-7　敷地現状写真（左：樹木、右：ゴム農園）

(8)　振動調査

常時微動調査は調査団によって 2022 年 11 月 28 日から 12 月 1 日の日中に行われた。現地調査結果に基づくパワースペクトル解析（PSD）の結果によれば、今回の調査サイトの「静粛度」は世界の研究機関と同様であるとの結論が得られた。一方、「ナノテラス」の PSD の閾値は 1Hz 以上において 10-5μm2/Hz 以下であり、今回のサイトは 1Hz から 2Hz の間において、わずかにこの閾値を超えてい

る。そのため構造物の設計や施設・機材設備の面で、この超過範囲の影響を最小に抑えることを提案する。また、今回のプロジェクトサイト周辺の EECi エリアは現時点で完全に運営されていないため、特に次世代シンクロトロン放射光施設竣工（フェーズ 1）の時点において、実施段階における静粛度を確認することを提案する。



出所：調査団

図 5-8　左: 今回サイトの PSD ; 右: 世界の研究施設の PSD

(9)　敷地周辺の土地利用状況

敷地の北側および西側は農地であり、東側はワンチャンバレイ開発エリア、南側は科学技術大学（VISTEC）のキャンパスである。本計画敷地周辺の土地利用について確認されていなかったため、SLRI との協議において将来、敷地周辺で大規模施設が開発された場合、本施設への悪影響の懸念があることを指摘したところ、ワンチャンバレイ開発エリア及び VISTEC に本計画施設に影響を与えるような開発計画がないことが確認されており、加えて、本計画敷地周辺は大規模産業が許可されない農業、公的機関農村コミュニティ地に指定されているため、振動の発生や地盤沈下の原因になるような大規模施設建設やその他本計画施設に悪影響を与えるような開発の可能性がないとの回答を得た。しかしながら、ワンチャンバレイの施設整備が進むと、構内道路の交通量の増加に伴う微振動が懸念されるため、定期的な常時微動調査の実施が望ましい。

5.1.2　インフラ

(1)　電力設備

敷地入口付近に 115KV/24KV の特別高圧変電所の新設を計画している。受電容量は、施設及び放射光機材の必要電気量から算出している。一方、新しい変電所は独立、解放型と想定されている。正確な設置場所や関連する土木工事(マンホールの設置、配管工事、変圧器や遮断機、引込み柱の建注等)について電力会社と協議の上、実施設計完了までに以下の点を明確にしておく必要がある。

- 電力供給容量の確認、当変電所に至るまでの送電線建設工事負担金を、誰が、どの程度負担するか、事前に確認する。
- どの発電所から送電され、また送電線のケーブル端末の場所及び接続されているキャビネット仕様にについて、電力供給会社と協議する。
- 変電所内に 30MVA の変圧器が十分に収まるスペースがある事を確認する。

- 2 次側ケーブル（24KV）はこの変電所から多分管路を通じて Tie in room 迄引かれる。Tie in room からこれらの高圧ケーブルは他の低圧ケーブルに害を及ぼさない様に別々に敷設され、並行して走っているケーブルとは、十分な離隔距離を確保していることを確認する。

(2) 情報通信システム

- 本プロジェクト周辺には 3 つの通信関連企業があるので、SLRI はその中から 1 企業を選定する。
- SLRI は該当プロジェクトの通信システム主要回線として 12 芯の光ケーブル採用を計画している。

(3) 給排水設備

1) 上水

上水は PTT が整備する水道本管から分岐し、当施設に供給される。引込み配管は φ150、使用水量は 670m^3/日と推定されている。給水の内訳としては、軟水（クーリングタワー補給水）480m^3/日、一般給水 100m^3/日、DI 給水 30m^3/日、潅水 60m^3/日である。

2) 排水

排水は循環利用を計画されていて、クーリングタワーによる蒸発散と散水によって全ての水を使い切り、敷地外には排水しないよう計画されている。

(4) ガス設備

本敷地にガスのインフラ供給はない。

(5) 防火設備

実験ホールのクレーン上部の広い空間を監視するにはプロジェクター式火災警報器が有効である。

5.1.3 施設設計基準

(1) 適用される法律

本建物は、特殊な用途を含み、また規模も大きいが、通常の法律に基づいて設計及び工事を行う。以下に適用される現地の主な法律を列挙する。

- PTT city planning law
- Building law (Ministerial Regulation issued by virtue of the Building Control Act)
- Floor Area Ratio (FAR)
- Open Space Ratio (OSR)
- Building Boundary and setback
- Quantity parking lot (Phase 1)
- Universal design law (Building facilities for disabled person and elder, 2548 B.E.)
- OAP (放射線と原子力エネルギーを規制するための認可)

(2)　タイ国法律の特徴

- Building law においては、頻繁に条項の追加や修正が行われるので、基準や規制を漏らす事が無いよう注意する必要がある。
- タイ国の法律でカバーされてない構造部分は、アメリカ等先進国の法律を準用している。
- 1 万㎡を超える建物には、用途に関わらずスプリンクラーの設置が義務付けられているが、水を嫌う機器等を設置する部屋においては、代替消火設備の採用を検討する必要がある。

5.2　放射線安全管理に係る計画策定

5.2.1　タイ国における放射線規制と設計線量制限

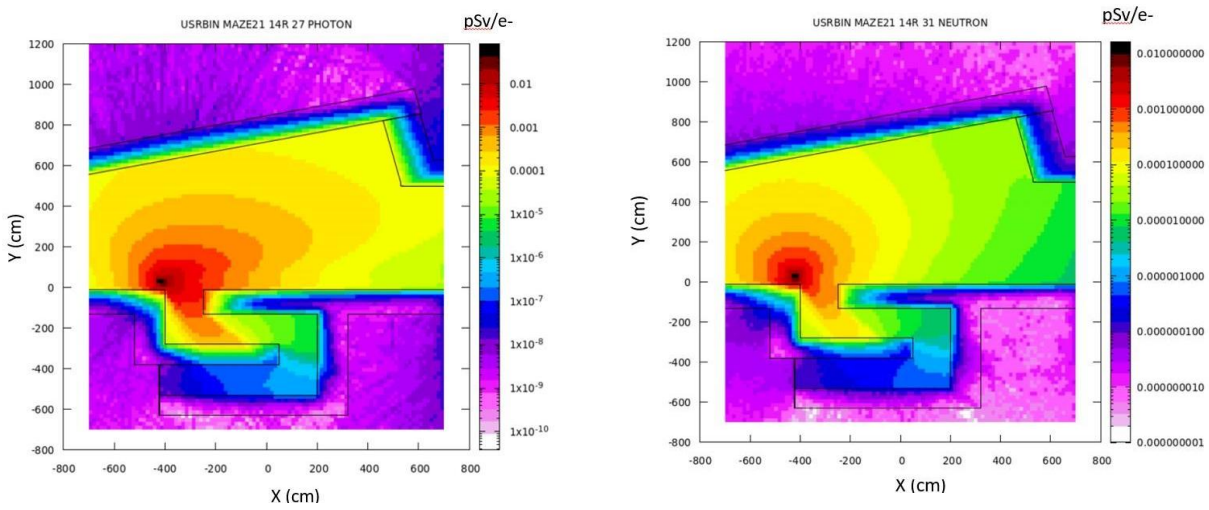
放射線遮蔽設計は、機械の動作による放射線の危険を防ぐために考慮する必要がある。SPS-II では、国内基準 OAP(タイの放射線と原子力エネルギーを規制するための認可)及び国際放射線単位測定委員会(ICRU)の勧告を満たした年間 1mSv の線量制限を設けている。

5.2.2　遮蔽設計

シールド設計をモデル化するためにモンテカルロコード FLUKA の使用を採用している。FLUKA は、粒子輸送と物質との相互作用を計算するための強力なツールであり、多くのアプリケーションに使用されている。特に、ターゲット設計や線量測定への電子加速器遮蔽は、MAX IV、NSLSII、TPS 等広く放射光施設で FLUKA を用いて研究されている。今回、SLRI は初めて加速器のシールド設計評価に FLUKA を適用する。

5.2.3　遮蔽トンネルモデルの線量推定

下図は、蓄積リングと迷路入口の X 軸に沿った距離によるガンマ線量分布を示している。シミュレーションの結果、トンネル外での平均ガンマ線量当量は約 5.0E-8pSv/e-、トンネル外中性子線量当量の平均は 1.0E-7pSv/e-である。不要ビームトリップを含めた通常運転の年間電子損失率の年間合計は 5.03E+15 e-/y、ガンマ線量当量の線量評価は 5.03E-1mSv/年、中性子線量当量は 2.51E-1mSv/年より総線量当量は 7.55E-1mSv/年となり、SLRI の設定した 2000 労働時間あたり線量制限 1mSV を下回っている。

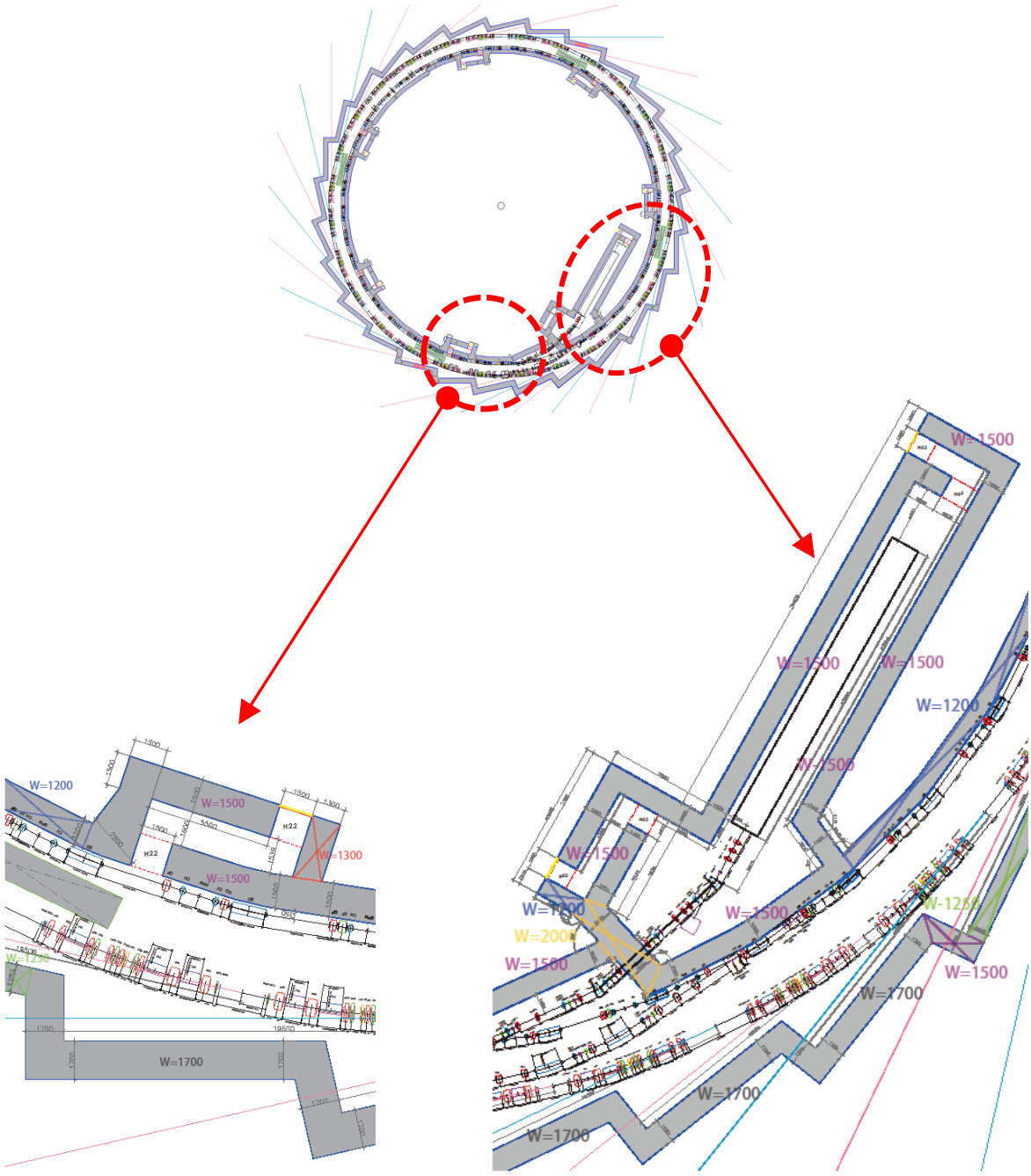


出所：SLRI

図 5-9　左：遮蔽トンネルと迷路設計のガンマ線量分布、右：遮蔽トンネルと迷路設計の中性子量分布

5.2.4　蓄積リングトンネル部の遮蔽モデル

蓄積リングトンネルの遮蔽コンクリート(物理的密度は 2.35 g cm-3)の厚さは、ビーム損失シナリオに基づいて計算され、リングの外壁は 125-170cm、内壁は 120-200cm、天井は 125cm、天井高さは 3.5m である。また、出入口は FLUKA 計算に基づいて、下図のようクランクに計画した。

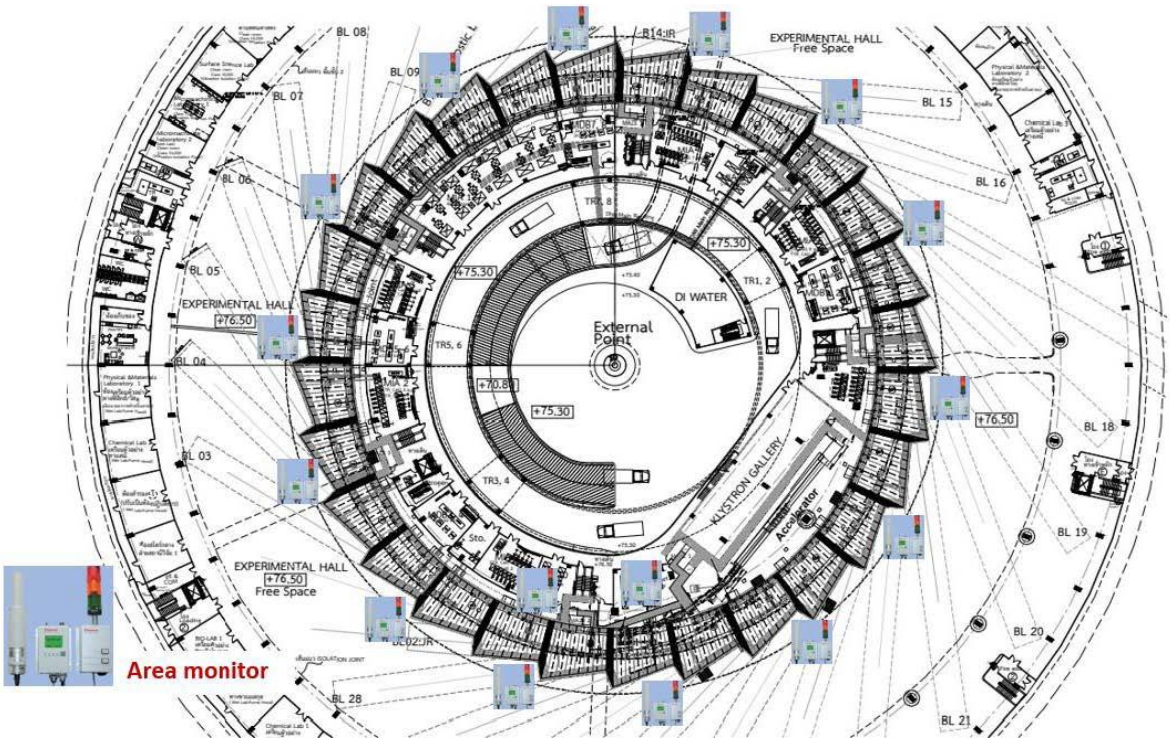


出所：SLRI

図 5-10　コンクリート遮蔽壁の位置と厚さ

5.2.5　ビームラインの遮蔽

実験ホール内のビームラインエリアは、放射線遮蔽能力のある鉄製ハッチや鉛シートで覆われ、モニターで放射線量を管理している。またハッチ入口に前室を設け、出入を二段階で確認する等、厳密な管理が計画されている。



出所：SLRI

図 5-11　放射線モニターの配置

5.3　建物及び関連施設の概略設計

5.3.1　次世代放射光施設の建屋及び関連施設

(1)　全体計画

下図に示す 8 つの建物を順次整備していく方針である。



出所：SLRI

図 5-12　SPS-Ⅱ施設鳥瞰図

(2) 施設概要

1) 3GeV シンクロトロン棟（S 棟）

(建築仕様)

- 延床面積: 32,126 ㎡
- 構造/階数: 鉄骨造 2 階建(蓄積リングトンネル部分は RC 造)
- 外部仕上: 金属パネル、アルミサッシュ
- 屋根: 金属パネル、防水シート
- 主要室: インジェクションエリア、蓄積リング、実験ホール(ビームラインエリア)、実験室、事務室、会議室、アドミ棟と 2 階ブリッジで接続される。

(構造仕様)

- 本体構造方式: 鉄骨造 2 階建、階高 21.5m
- 蓄積リング部分構造方式: RC 造
- 階高：一般部/ 1F=4.5m、2F=4.5m、実験ホール= 19.7m
- 屋根方式：鋼製トラス構造
- 基礎方式：人工地盤の上直接基礎

(設備仕様)

- 空調・換気システム: 熱源、空気調整、冷却水、BMS 及び自動制御方式
- 衛生設備：冷温水供給、排水、ガス供給、DI 水用配管、消火設備(スプリンクラー、不活性ガス消化、屋内消火栓)、再生水設備、特殊ガス設備
- 電気設備: 非常電源、電力供給・分配、照明、コンセント、警備システム、入館管理、避雷針

(特殊条件)

- 建物仕様は導入するシンクロトロン機材に適合している事
- 地盤調査に基づいて基礎設計を行う事
- 蓄積リング床(327.6m)は平滑に保ち、誤差 5mm 以内とする事
- 床の変位は 100 μm/ 10 m/ year 以下とする
- エクスパンションジョイント工法を用い、独立性を保つ事
- 温度と湿度を以下のように設定

	SPS-II
Storage ring & booster synchrotron tunnel	25.0℃±0.1℃, 50%±5%
Linac tunnel	25.0℃±0.1℃. 50%±5%
Experimental Hall	25.0℃±1.0℃, 55%±5%
Cooling Water for Synchrotron	25.0℃±0.1℃

- 放射線遮蔽壁・天井の厚みは以下とする
  - ライナックトンネル及び蓄積リング、ブースタートンネルの床: 1.3 m
  - ライナックトンネルの壁と天井: 1.2 m

- 蓄積リング、ブースタートンネルの壁と天井: 1.2 m
- 蓄積リング、ブースタートンネルの天井: 1.2 m
- 蓄積リング、ブースタートンネルのインジェクションエリアの壁: 1.5 m
- ビームラインのラチェット壁: 1.5 m

- シンクロトロン機材用の冷却室システム

2) ユーティリティー棟

- 延床面積: 7,214 ㎡
- 構造/階数: コンクリート造 3 階建
- 主要室: 給水施設、発電機、電力供給施設、冷却施設

3) DI (脱イオン化)水棟

- 延床面積: 814 ㎡
- 構造/階数: コンクリート造 3 階建
- シンクロトロン棟中庭部分に独立して配置

4) マグネット・バキューム研究棟

- 延床面積: 2,349 ㎡
- 構造/階数: コンクリート造 2 階建
- シンクロトン棟と接続

5) 利用者支援事務所

- 延面積: 5,805 ㎡
- 構造/階数: コンクリート造 3 階建
- 利用者数、運用時間等考慮して規模算定・配置が行われている。

6) 寮

- 延床面積: 3,950 ㎡
- 構造/階数: コンクリート造 3 階建
- 運用方針に沿った計画

7) 受付/セキュリティ棟

- 延床面積: 53 ㎡
- 構造/階数: コンクリート造平屋建
- 敷地入口に配置

8) 電力供給棟(115KV/22KV)

- 延床面積: 932 ㎡
- 構造/階数: コンクリート造 2 階建
- シンクロトロン棟と同時時期に整備する

(3)　その他

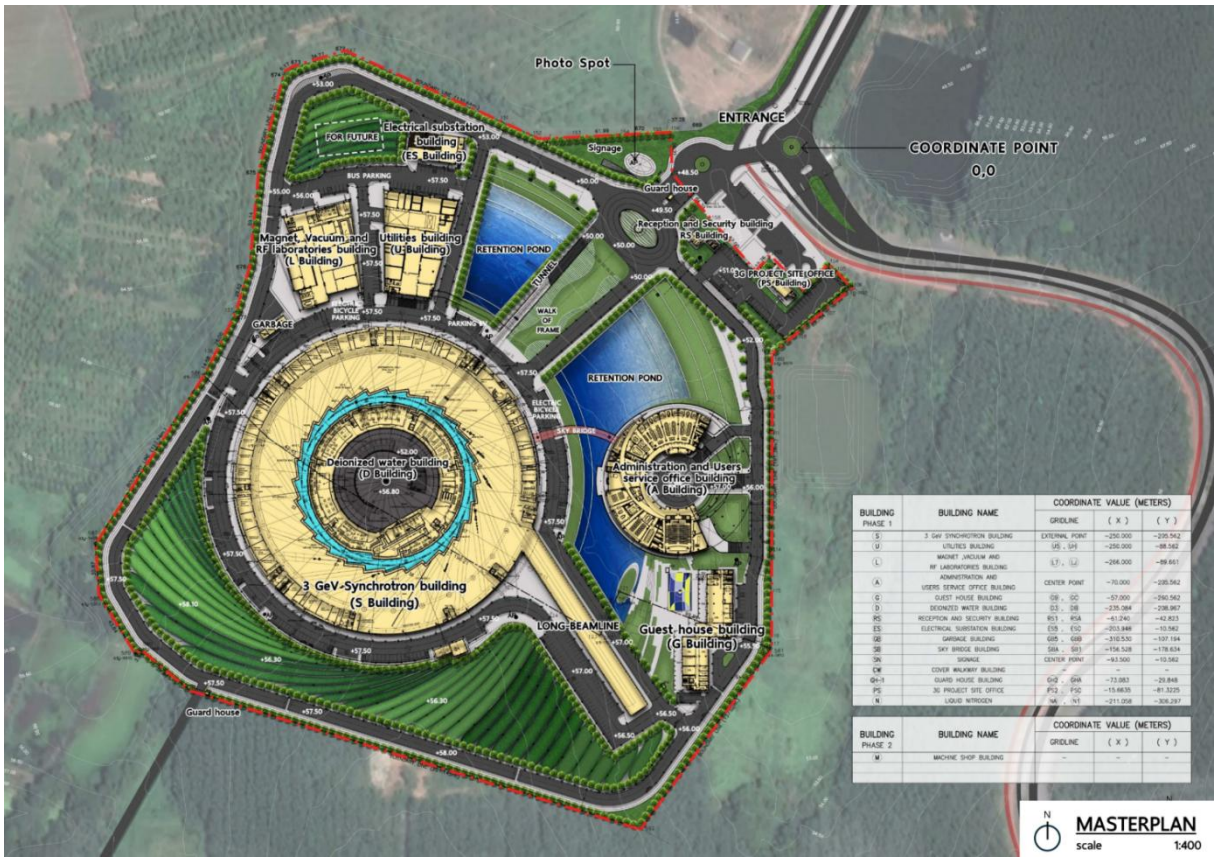
敷地整地、外構、構内道路、屋外サイン、倉庫（ゴミ）工事は、JICA 円借款スコープに含まれる。

(4)　施設計画条件

設計は、タイ国法律にのっとり、想定した各室の用途や利用者及び利用時間等によって計画されている。また、シンクロトロン施設として必須とされる特殊仕様(振動対策、平滑床、湿温度管理等)については、先進事例であるシリウス(ブラジル)や TPS(台湾)の仕様を引用し、さらに、放射光装置の要求に応じて、各室配置や平面・断面寸法を設定している。設計の完成度は高いが、新敷地へ対応した設計変更は実施設計で実施する。

(5)　配置計画

新しい敷地面積は、若干狭くなったが、各棟の配置や間隔を縮小してコンパクトにすることで、当初予定の全機能を盛り込んでいる。アプローチ道路の正面に建つシンクロトロン建物を中心に、6棟の建物を配置し、研究施設及びアドミ施設の為の将来拡張用のスペースを確保している。



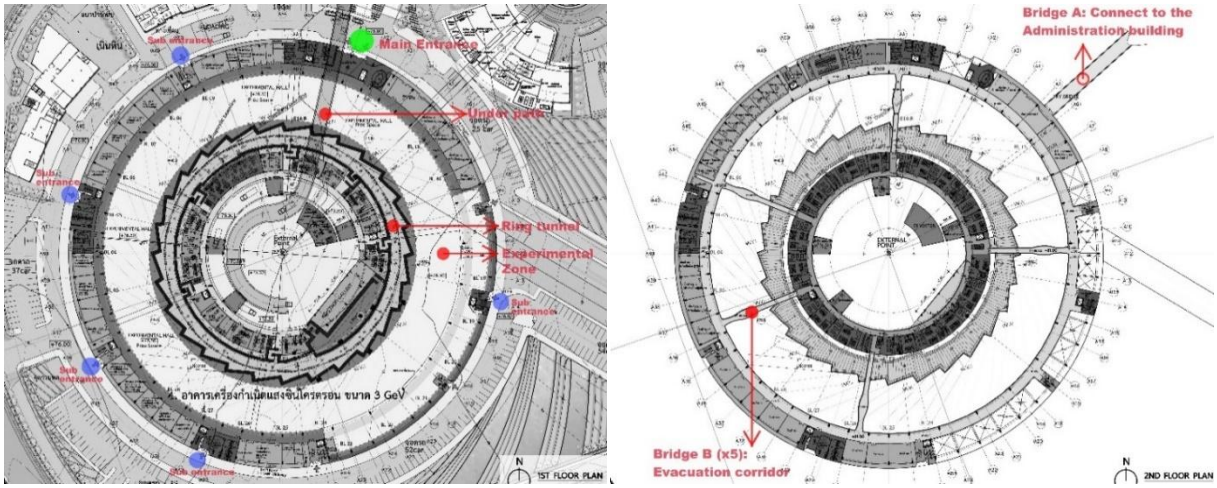
Legend: A: Administration Building and User Service Office, D: DI Water Building, G: Guest House, S: 3GeV Synchrotron Building, L: Magnet, Vacuum and RF Laboratories, U: Utilities Building, ES: Electrical Substation, RS: Reception and Security

出所：SLRI

図 5-13　施設配置図

(6)　動線計画（シンクロトロン棟）

人、車両、搬入の動線は種別毎に計画されており、入口での管理も考慮されている。またシンクロトロン棟の地下には機器や材料の搬入車路が確保され、同施設中庭部に接続している。また、アドミ棟とは 2 階の空中ブリッジで接続するが、建設時期がずれる為、接続部の取り合いなど事前の調整が重要である。



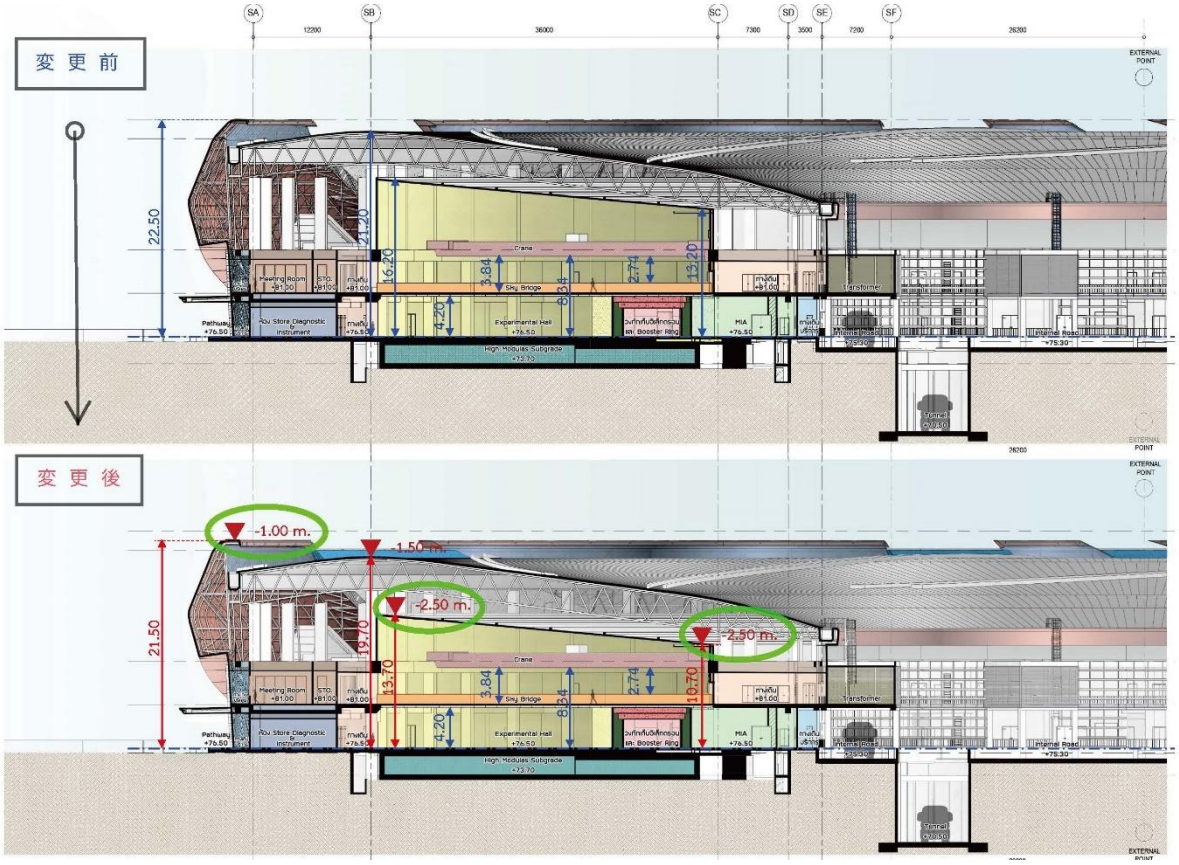
出所：SLRI

図 5-14　出入口と連絡橋(左: 1 階、右: 2 階)

(7)　平面計画、断面計画、外装計画の分析 (シンクロトロン棟)

当初の平面計画や断面計画における疑問点、懸念点については SLRI に確認し、2024 年 9 月までに以下の回答を得、問題ないことを確認した。

- 蓄積リングトンネル幅の決定根拠を確認した。シリウスの仕様を参考に、加速器のメンテナンススペースとして 3.5m、壁面の配管メンテナンススペースとして 1m を確保している。
- 実験スペース上空 4.5ｍに空中ブリッジが、9m にクレーンレールが設置されているが、実験活動に影響を与えない事を確認した。
- 搬入車路やクレーン使用時、施設への振動が懸念されるが、実験中には使用しない方で
- ある事を確認した。
- 放射線遮蔽壁における貫通処理及び振動対策が適切に講じられている事を確認した。
- 実験スペースのクレーン上部のスペース(約 5m)が確保されている理由を確認した。 バランスの取れた温湿度管理の為気積を確保したものだが、再計算の結果圧縮する事が可能である事が分かり、天井高さを 2.5m 下げることになった。
- 外装に関して研究施設として適切なグレードとする事を要求したところ、階高の 1m 削減と高額材料の使用範囲を狭めた案が提示された。



出所：SLRI

図 5-15　階高及び天井高削減案

(8)　ビームライン

- SLRI の計画図によると、21 本の ID ビームラインの内、No.18-23 は 70m まで、No,3-9 及び 9-24 は 56m まで設置可能となっている。
- 内、1 期で導入する最長の ID ビームライン 60m(SWAX)は、No,19（最大 70m）への設置が予定されている。

(9)　現地建設能力調査

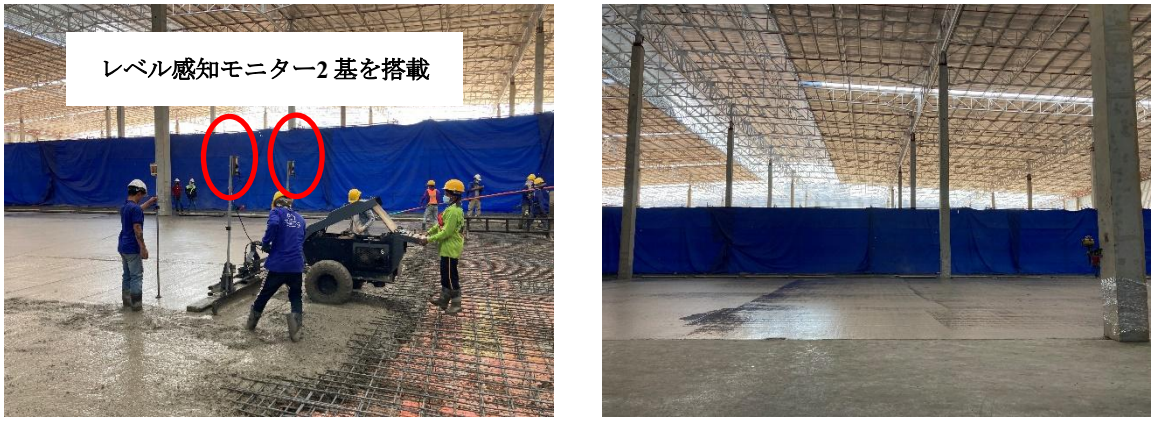
シンクロトロン施設においては、国際基準に即した厳格な品質確保が要求されるが、本件が同条件をクリア出来る環境にあるか、F/S の段階で確認しておく必要がある。公開された資料や口頭での説明では確実な情報を収集する事が難しく、実務者へ直接ヒアリングを行い、実際の現場を訪問して、確認を行った。

1)　平滑床工事

一般の建物では、1 スパン(6-7m)の中で±5mm の精度で躯体管理を行っているが、本件ではリングトンネル 321m 全体に渡り±5mm 以下の躯体精度が要求されている。

現地工事業者によると、タイ国内では平滑さを必要とする施設(例えば配送センター: 床が平滑で無いと脚立上部での変位が大きく、業務に支障が出る為)の場合、同種工事の専門業者に委託するのが一般的との説明を受け、同社が行う配送センターの建設現場を視察した。

コンクリートを均す機械に設置されたモニターは、打設コンクリートレベルを常に監視しており、計画レベルを示す基準杭と±3mm以上の差が発生した場合は、警告音が鳴り、直ぐに打設面を均し、修正する。作業は 100 ㎡程度毎に行うが、繰り返しレベルをチェックする事で、広大なスペースであっても±3mm以下のレベル差に抑える事が出来る。この米国製機器を活用して、平滑床を実現している。同機器の扱いのノウハウが必要である為対応者は限定されるが、今回要求される±5mm 以下の平滑床の工事に対応可能な現地工事業者が複数居る事を確認した。



出所：調査団

図 5-16　平滑床工事 (左: 専用機器、右: 磨いた後の床)

2)　地盤改良

2022 年末敷地が変更になった為、基礎設計はまだ完成していないが、シンクロトロン施設においては安定した地盤の確保と実施設計段階で行う基礎設計が非常に重要である。建物としては杭工事が一般的であるが、地盤特性によっては地盤改良工事が必要になる。

タイで一般的に採用されている地盤改良工法には、主にベアリングユニット工法（補強されたコンクリートスラブを杭群の頭部に設置する）、深層混合処理工法（回転オーガーとセメント系グラウトの注入により、軟弱粘土とセメントを現地で混合し、高強度の柱状体を形成する）、とプレハブ型鉛直ドレーン工法（合成樹脂を軟弱な土壌に鉛直方向に挿入し、毛細管現象を利用して周辺土壌の排水経路を確保する）が挙げられる。その中ではベアリングユニット工法を採用することを推奨する。

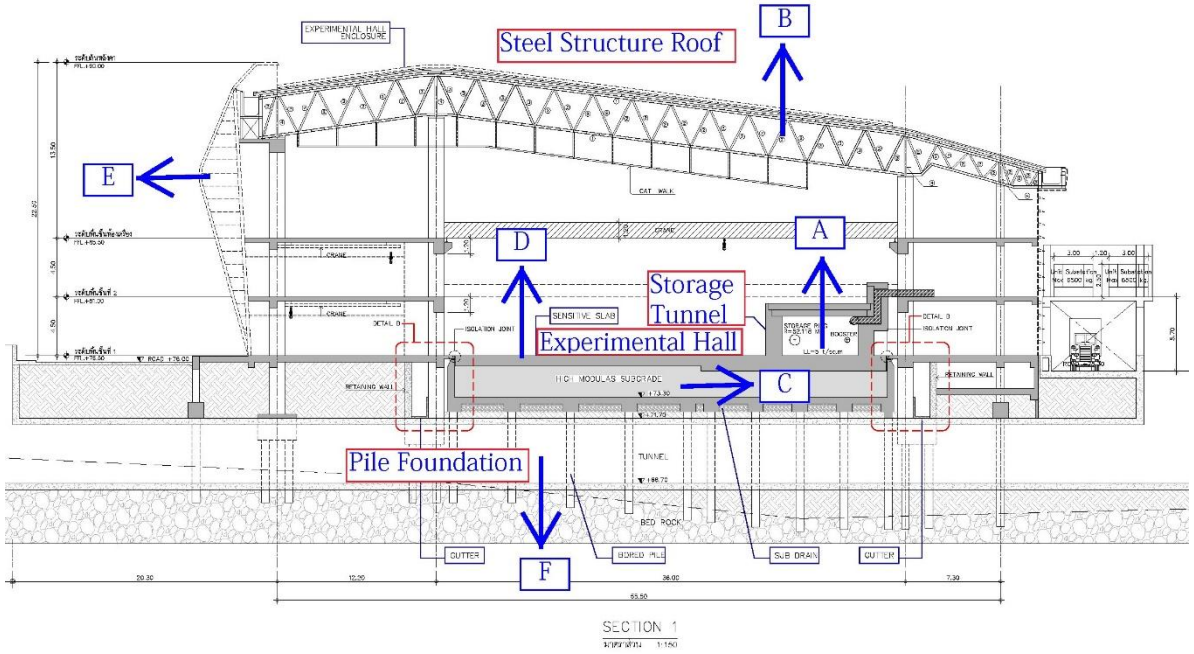
5.3.2　構造計画

(1)　構造設計の現状

昨年末敷地が変更になったが、新敷地における地盤調査に基づいた設計変更に未着手である為、具体的な数値や詳細な計算については確認が出来ず、設計思想や手順を確認した。

(2)　構造概要 (シンクロトロン棟)

- 地盤の状況：支持層は約 GL－6~9m で岩盤層が確認されている。その上部も表土も含め粘性土を主体したN値 20 を超える地盤となっている。
- 材料特性
  - コンクリート：FC 27～31N/mm^2（280～320 kg/ cm^2）
  - 鉄筋： D16～D32SD50、Fy= 490 N/mm^2（5,000 kg/ cm^2）、D12 SD40、Fy = 390 N/mm^2 （4,000 kg/ cm^2）、φ6～φ9SR24、Fy = 235 N/mm^2（2,400 kg/ cm^2）
  - 鉄骨：SS400（TIS 1227-2539）、Fy= 235 N/mm^2（2,400 kg/cm^2）、SM 520（TIS 1227- 2539）、Fy = 348 N/mm^2（3,550 kg/cm^2）



※ 調査団は、より安定した地盤を実現するために地盤改良による基礎を設置することを強く推奨する。杭および地盤改良工法の選択については、詳細設計段階で検討する。

出所：SLRI

図 5-17　構造設計における考慮点

(3)　積載荷重 (図 5-17 の A 参照)

積載荷重はタイ基準に基づいているが、特別な室については SLRI から条件提示された。

- タイ基準の積載荷重
  - 一般実験室他：5,000 N/㎡(約 500 kg/㎡)
  - 電源/保管室：50、000 N/㎡(約 5,000kg/㎡)
- 特殊な積載荷重>
  - ストレージトンネル：50,00 N/㎡（約 5,000 kg/㎡）
  - 実験ホール：10、000 N/㎡(約 1,000kg/㎡)

クレーンの可動範囲と揚重量は、条件に即して適切に計画する。

表 5-3　積載荷重表

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

	ประเภทพื้นที่	น้ำหนักบรรทุกจร (kg/sq.m)
1.1	พื้นที่ติดตั้งปืนยิงอิเล็กตรอน (Electron Gun) และท่อเร่งพลังงาน	5,000
2.1	วงกักเก็บอิเล็กตรอนและ Booster Ring	5,000
2.2.1	ห้อง Power Supply	5,000
2.2.1.1	Power Supply สำหรับ Bending - Storage ring	5,000
2.2.1.2	Power Supply สำหรับ Booster	5,000
2.2.1.3	Power Supply สำหรับห้องย่อยประจำ 14 Cell (1:2)	5,000
2.2.1.4	ห้อง UPS (สำหรับ Critical Load)	5,000
3.1	สถานีทดลองหลัก (Beamline)	1,000
3.2	สถานีทดลองส่วนต่อขยาย	1,000
4.1.1	Biological laboratory 1 - ห้องเตรียมตัวอย่างทางชีวโมเลกุลทั่วไป	500
4.1.2	Biological laboratory 2 - ห้องเตรียมตัวอย่างทางชีวการแพทย์	500
4.1.3	Chemical laboratory - ห้องเตรียมตัวอย่างทางเคมี	500
4.1.4	Micromachining laboratory 1	500
4.1.5	Micromachining laboratory 2	500
4.1.6	Optical laboratory - ห้องปฏิบัติการด้านทัศนศาสตร์	500
4.1.7	Physical & Materials laboratory - ห้องเตรียมตัวอย่างทางฟิสิกส์/วัสดุ	500
4.1.8	Surface science laboratory	500
4.1.9	ห้องเตรียมผลึกโปรตีน	500
4.1.10	ห้องทดสอบระบบเชิงกลและระบบควบคุม	500
4.1.11	ห้องประกอบ และทดสอบชิ้นส่วนสุญญากาศ	500
4.1.12	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ผลการทดลอง + HPC	500
4.1.13	ห้องสโตร์กลางฝ่ายสถานีวิจัย	500
4.1.14	ห้องสถานีวิจัยร่วม	500
4.1.15	ห้องสำรอง (สำหรับปรับเป็นห้องปฏิบัติการ)	500
4.2.3	ห้องปฏิบัติการ Diagnostic & Instrument	500
4.2.4	ห้องสโตร์สำหรับ Diagnostic & Instrument	500
5.1	ห้องควบคุม (Control room)	500
5.2	ห้อง Data Center (Control server room)	500
5.3	ห้อง Control LAB	500
5.4	ห้อง Control Store	500
5.5	สำนักงานส่วนกลาง (ห้องปฏิบัติงานนักวิจัย และเจ้าหน้าที่)	250

หมายเหตุ :

- บริเวณที่ต้องการน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) มีน้ำหนักมากเป็นพิเศษ จะมีการปรับเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกจรบริเวณนั้นๆ ให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งาน ในขั้นตอนถัดไป
- น้ำหนักบรรทุกคงที่นอกจากน้ำหนักของโครงสร้างตัวอาคาร (Superimposed Dead Load) จะมีการกำหนดน้ำหนักให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งาน ในขั้นตอนถัดไป
- สำหรับประเภทพื้นที่ 1.1 – 3.2 มีการออกแบบเป็นพิเศษตามมาตรฐานการสั่นสะเทือนระดับ VC-E และการทรุดตัวไม่เกิน 100 ไมโครเมตร/10 เมตร ต่อ 1 ปี

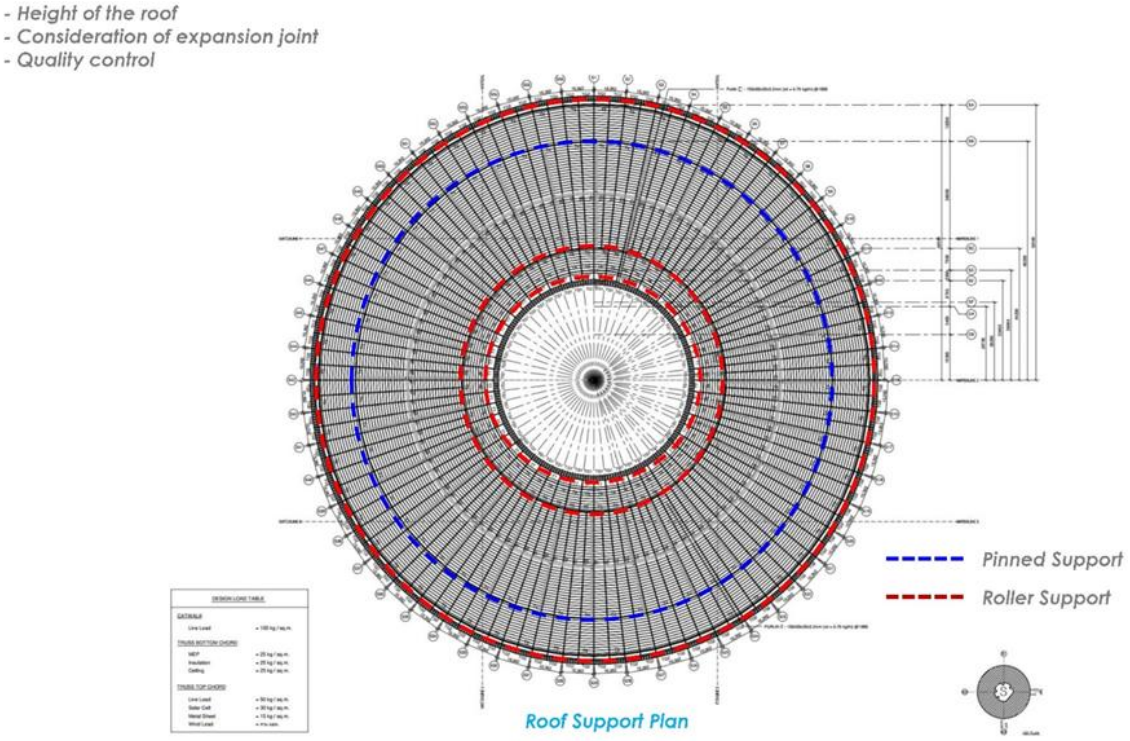
DESIGN+DEVELOP　K　WEP

出所：SLRI

(4)　**トラス設計 (図 5-17B参照)**

- 現設計の評価
  - トラスの高さと構成は建築設計に従って、必要以上の階高/天井高部分を調整した。
  - トラス下キャットウォークの配置を変更した。
  - コスト削減を意図し、複雑な構造を避けた。
  - 屋根に Exp.J を計画していなかった為、設ける方針で調整した 。
  - 初期検討において温度変化による鉄骨の変形量は僅かである事が分かっているが、詳細は未検討

- 追加考慮点の指摘
  - 屋根高さを下げれば、構造材・外装材を減らす事が出来、結果コスト削減につながる。SLRI も合意して今後の詳細設計に反映する。
  - この屋根サイズには温度変化が風圧、水平荷重の影響を考慮して Exp.J の設置を計画する。



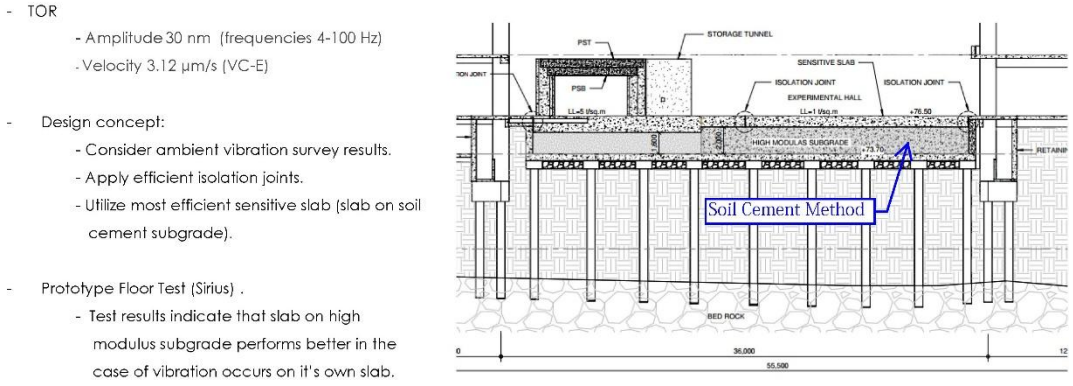
出所：SLRI

図 5-18　鉄骨屋根伏図

(5)　微振動対策 (図 5-17C参照)

- 現設計の評価
  - ストレージトンネル及び実験エリアには、① Exp.J を設け、② 各スペースの床下にソイルセメントを用いて独立した構造としている
  - 世界の既存シンクロトロンビルを参照しているが、詳細検討は行われていない
  - 基礎形式はシリウス（ブラジル）を参照している
  - 土壌からの水分放出を避け、強度と弾力性を高める為ソイルセメント法を採用した。
  - 土間コンクリートはソイルセメント工法よりも安いものの品質が劣る為非採用の方針
  - 以下要求されているが、現設計では、
  - ① (VC-E）3.12 μ m/s 以内は達成、② 振幅 30nm 未満は未達成である。
- 追加考慮点の指摘
  - 現状の Exp.J 位置は概ね問題ないと判断される。
  - 構造のコンセプトは他プロジェクトからの引用であり、本計画における効果は不明であり、方針は合意したが今後詳細設計での再確認が必要となる。

- 独立基礎を杭+マットスラブで支えることを現設計で計画しているが、調査団の見解としては地盤改良+マットスラブが望ましいと考えている。振動伝達の確認は必要だが、振動設計の正式なレポートが無いため、今後詳細設計での対応になる。
- 計画されているソイルセメント工法の設計についてはさらに詳細検討が必要。ストレージトンネル及び実験室の基礎方式を選択するための具体的な根拠を算出する。他プロジェクトとの比較だけでなく、今回の敷地に適切である事を確認する必要がある。



出所：SLRI

図 5-19　微振動対策の方針

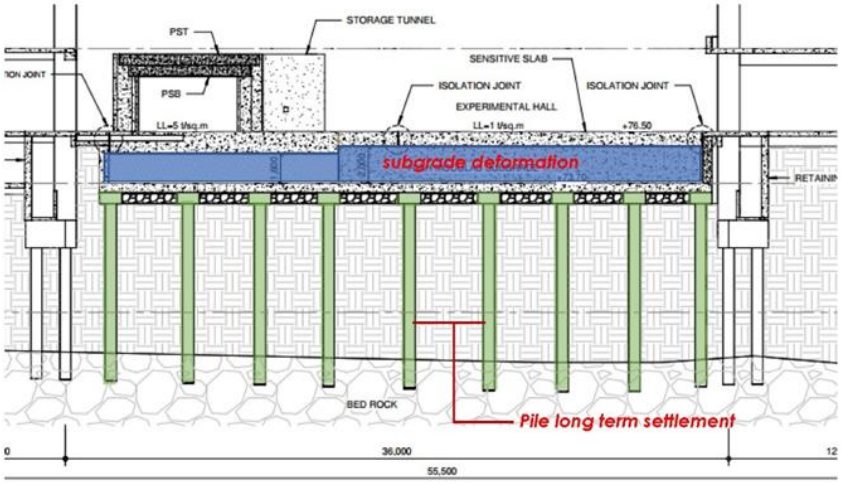
(6)　構造体の鉛直変位の確認 (図 5-17D参照)

- 現設計の評価
  - スラブのたわみは、タイ基準に基づいているが、一部は SLRI から指定されている。
  - ストレージトンネル・実験ホール 1F 床の仕上げレベルの精度を±5mm 以下とする事、SLRI より指定あり。現地施工会社にヒアリングし、±3mm まで達成可能である事が分かった。
  - ストレージトンネル・実験ホールの基礎＋1F 床の鉛直変位を 100μm/ 10 m/年以下 にする。
  - 杭は、不同沈下のない岩盤に載せる
  - 地質工学調査では岩盤の N 値＝50 以上、GL-5m～9m 程度（斜め層）に配置されている。
  - 敷地が変更になり、再調査の結果に基づいて構造計算の見直しが必要。
- 追加考慮点の指摘
  - 特別なスペース(ストレージトンネル・実験ホール)のたわみ対応が検討されていないため、許容誤差以内である事を確認する方法を詳細設計で記載することを SLRI が合意した。
  - 0.1mm/10m/year の変位はコンクリートクリープ効果を考慮した値と判断される。
  - RC 基礎の S 造建物なので、基礎高さは短く(1.0～3.0m 程度)、基礎断面が大きい為、鉛直荷重が比較的に小さい。よって、基礎に受けるクリープは微小である事からクリープを加えた梁・スラブの鉛直たわみを 0.1mm/10m/year 以下とする。

- TOR, floor deformation < 100 μm/ 10 m/ year

- Design concept :
  - Stiff supporting layer at pile tip.
  - Hight modulus and consistent subgrade for the sensitive slab.

- Settlement calculation of the whole structural system to be calculated to confirm the TOR.
  - Pile long term settlement
  - Subgrade (Soil-cement) long term deformation.



※ 調査団は、より安定した地盤を実現するために地盤改良による基礎を設置することを強く推奨する。杭および地盤改良工法の選択については、詳細設計段階で検討する。

出所：SLRI

図 5-20　鉛直変位への対策方針

(7)　地震と風力設計 (図 5-17E参照)

- 現設計の評価
  - 地震および風に対する設計は、タイの基準（1301/1302-61）に基づいている。この敷地では地震のリスクが低いため、地震設計を省略することも可能だが、建物の重要性を考慮し、この地域の地震データに基づいて地震力を考慮して検討した。
  - 振動とたわみを含む風の設計は、一般的な建物の基準に基づいている。
  - 風荷重等の水平変形は、わずか0.8mm（H/500）しかなく、詳細設計の清算書で再確認が必要。
- 追加考慮点の指摘
  - 本建物のような特殊な建物は、特別に法律以上の性能を考慮すべきと判断される。
  - 地震が発生した場合、重要な機器が損傷する可能性があり、コストにも影響する。
  - 風設計においては安全性確保を考慮して、現風力の割増(500年再現等)が必要。 今後詳細設計で対応することを SLRI が合意した。
  - あらゆるケースを考え、建物の垂直方向のたわみは許容値内でなければならない。
  - 上記全内容は SLRI も合意して今後の詳細設計に反映する。

- The site location in Wangchan, Rayong, has seismic consideration not required, according to DPT 1301/1302-61, with S_S = 0.067 < 0.167 and S_1 = 0.037 < 0.067

- Earthquake analysis and design can be done for the new site using the ground motion according to DPT.1301/1302-61 and apply the highest importance factor (I =1.5)

ตารางที่ 1.6-1 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{DS}

ค่า S_{DS}	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I หรือ II	ประเภทความสำคัญ III	ประเภทความสำคัญ IV
$S_{DS} < 0.167$	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)
$0.167 \le S_{DS} < 0.33$	ข	ข	ค
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	ค	ค	ง
$0.50 \le S_{DS}$	ง	ง	ง

ตารางที่ 1.6-2 การแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวโดยพิจารณาจากค่า S_{D1}

ค่า S_{D1}	ประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว		
	ประเภทความสำคัญ I หรือ II	ประเภทความสำคัญ III	ประเภทความสำคัญ IV
$S_{D1} < 0.067$	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)	ก (ไม่ต้องออกแบบ)
$0.067 \le S_{D1} < 0.133$	ข	ข	ค
$0.133 \le S_{D1} < 0.20$	ค	ค	ง
$0.20 \le S_{D1}$	ง	ง	ง

出所：SLRI

図 5-21　地域の地震波

(8)　地盤改良 (図 5-17F 参照)

- 現設計の評価
  現設計では、杭＋上部 3m 程度の地盤改良を計画している。新敷地の地質調査結果に従って、次の詳細設計段階で決定する予定。
- 追加考慮点の指摘
  - 微動等の建物への潜在的な影響についての調査は明確に行われていないため、今後の詳細設計で対応すると合意した。
  - 新たな敷地の地盤状況に関して、支持層は約 GL－6~9m で岩盤層が確認されている。その上部も表土も含め粘性土を主体したN値 20 を超える地盤となっている。地下水位が 岩盤層の上部付近に確認されているが、建物基礎部分をこの岩盤部分にしっかり支持できれば、沈下の懸念は生じないと判断される。
  - また支持層である岩盤が深い為（GL-10m 程度）、直接基礎+地盤改良が適切工法と考えられる。

5.3.3　電気設計

(1)　幹線設備

電力会社 PTT より 22kV で受電、各建物に配電する。幹線はループ配線とし、幹線のメンテナンスや更新の場合も給電し続けられるように計画している。幹線は LOOP 1 熱源棟用、LOOP 2 シンクロトロン用、LOOP 3 建物一般電源＋将来用の 3 系統としている。

発電機は 2000kVA×4 基の設置が計画されている。発電機の電圧は 400V であるが、22kV に昇圧して幹線に接続されている。またシンクロトロン及び実験機器に安定した電源を送電するために、各所に無停電電源装置（UPS）を設置している。

(2)　変圧器設計

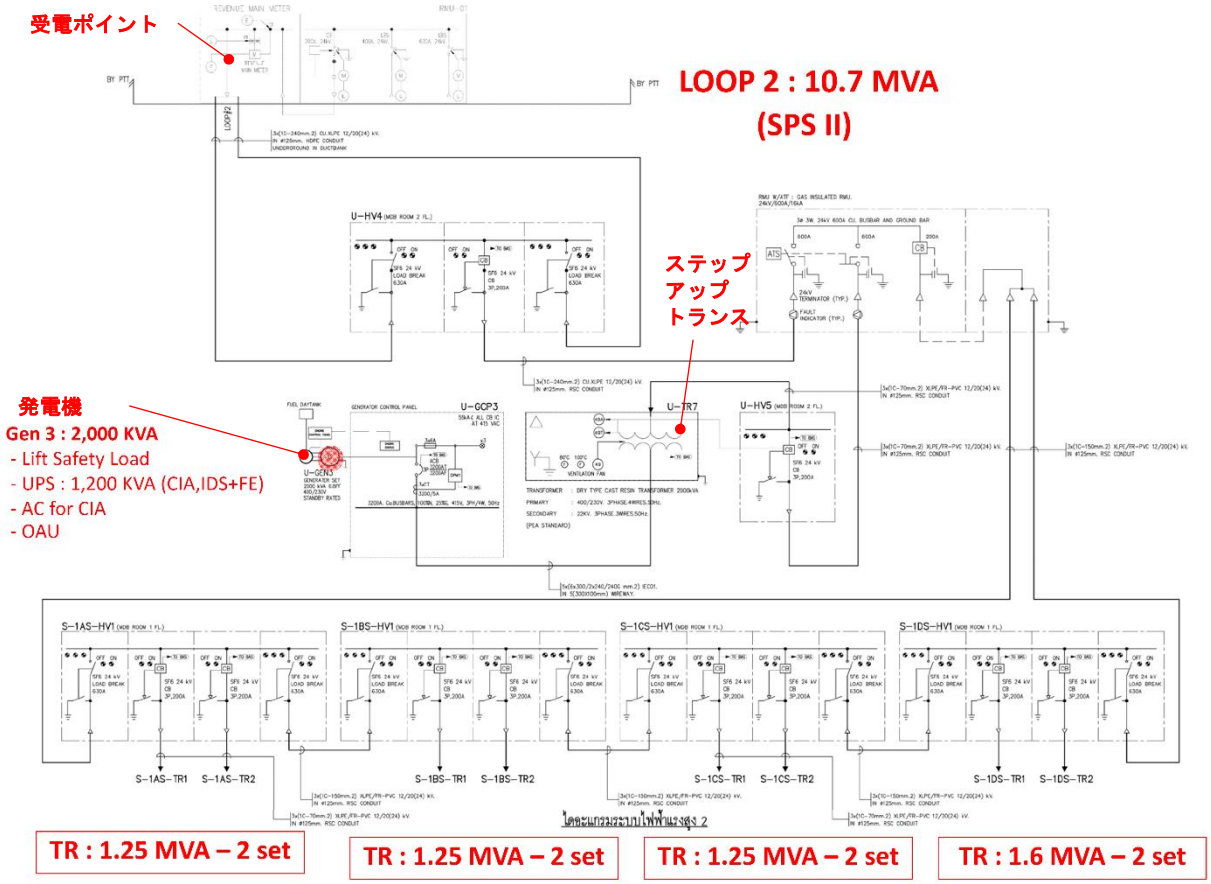
現在変圧器(容量 30MVA)は 1 台であるが、2 台が望まし望ましく、最終的な設計は実施設計段階で確認する。停電が起きた際全面的な停電に繋がり、発電機や UPS（無停電装置）が補完出来るとしても、それらの容量は大きくなる。2 台の変圧器を連結してしようする事で、受電設備環境はより安定する。

(3)　発電機の容量

発電機の容量は、対象範囲と各負荷集計して、計画されていることを確認した。

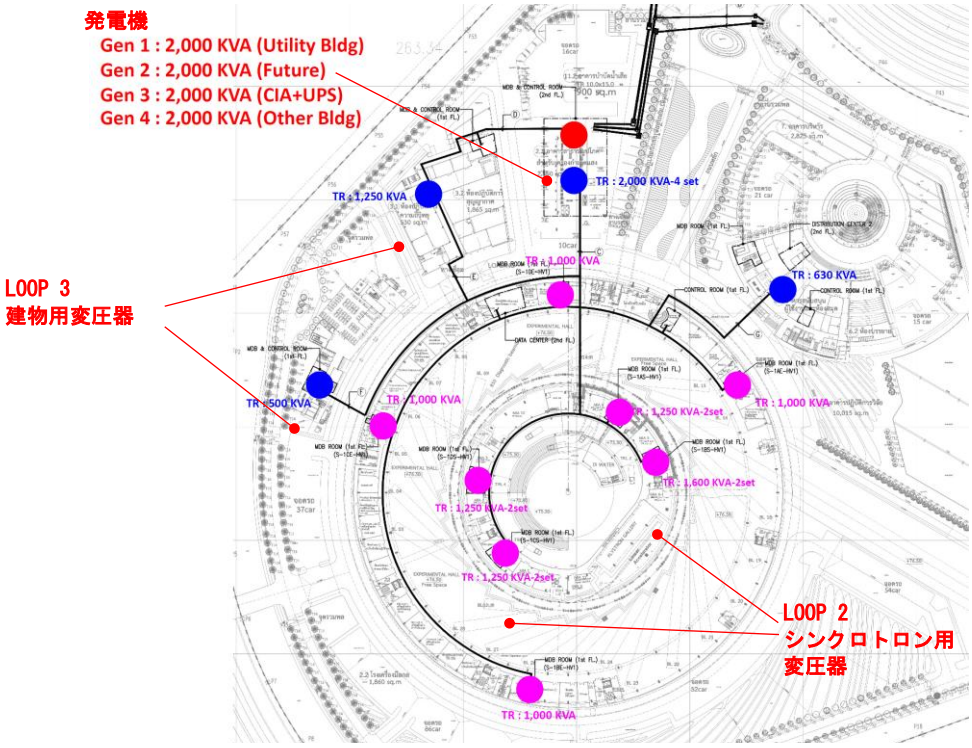
(4)　UPS の容量

UPS の容量 UPS の装置は瞬間的な停電も受け入れない機器を対象として計画している。停電発生後 1 分以内に電源が再供給された場合、稼働が可能な機器は発電機から電源供給される。



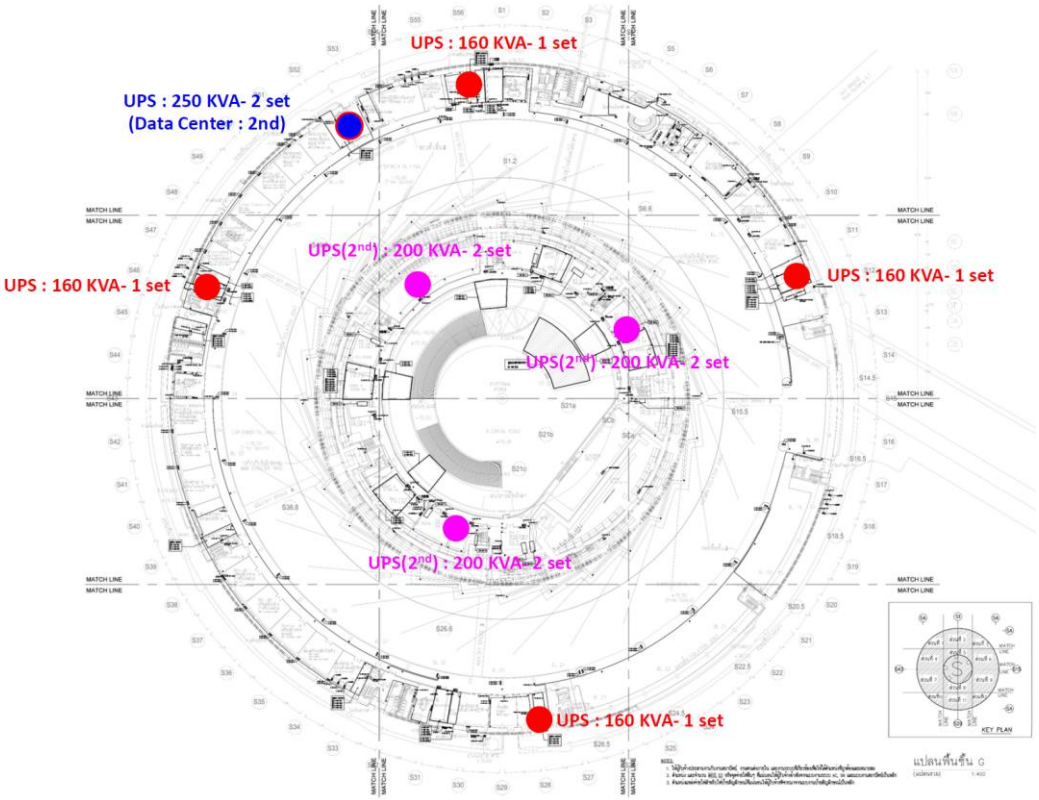
出所：SLRI

図 5-22　単線結線図（LOOP 3）



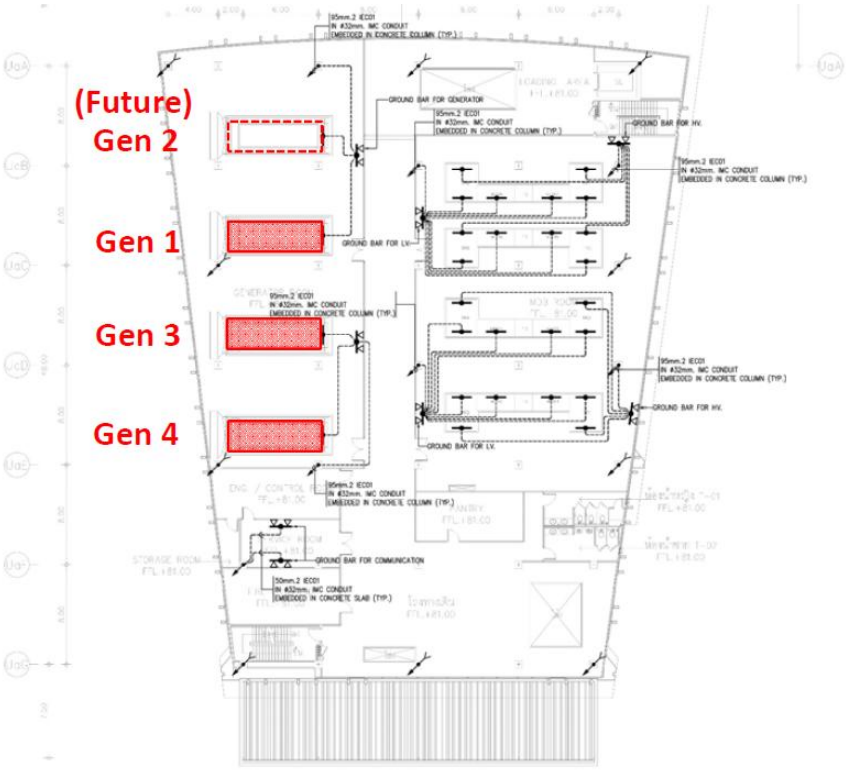
出所：SLRI

図 5-23　発電機、変圧器配置図



出所：SLRI

図 5-24　UPS 配置図



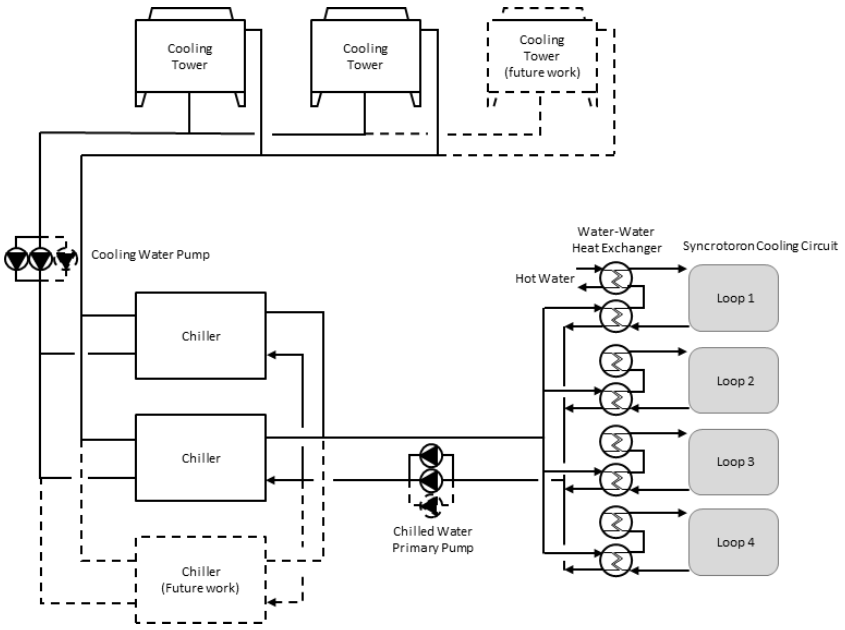
出所：SLRI

図 5-25　発電機配置図

5.3.4　冷却設備

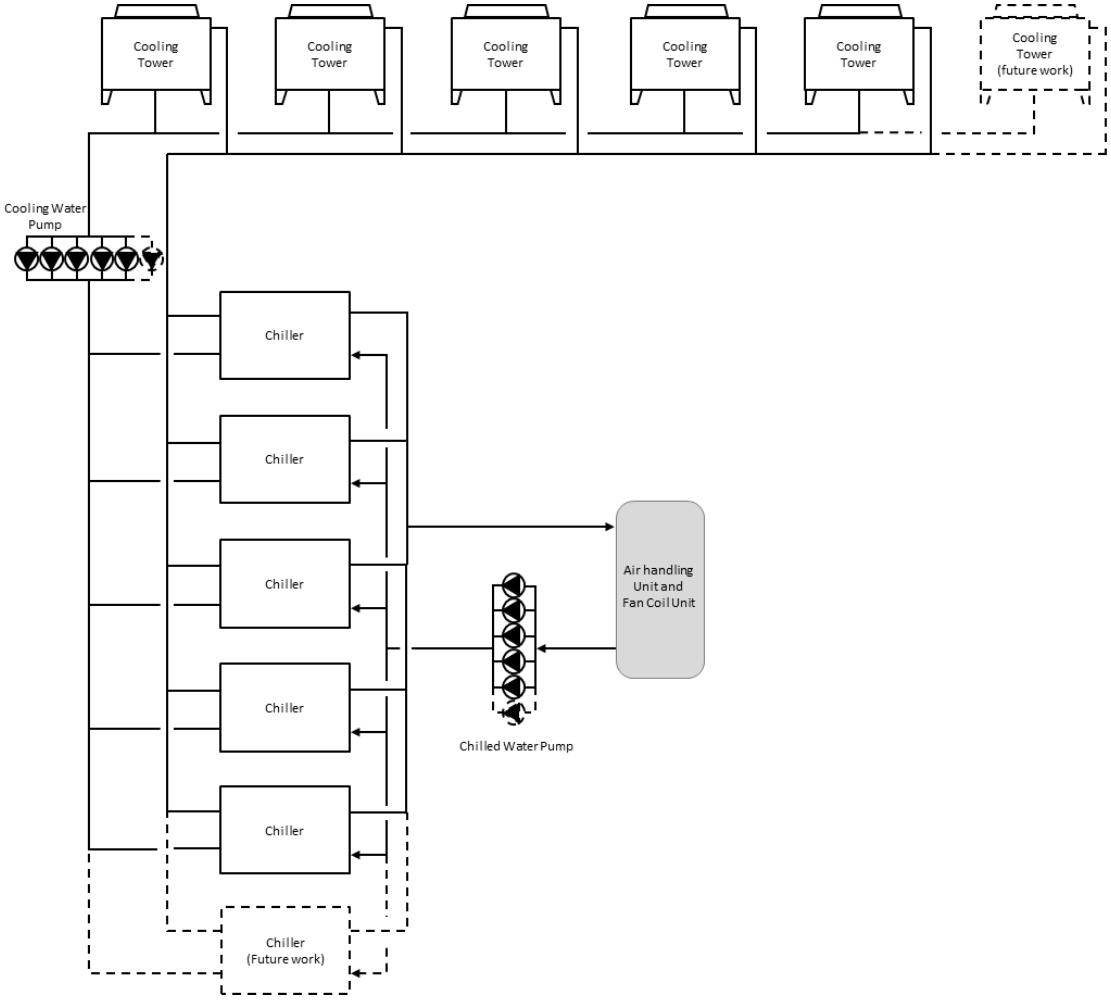
(1)　冷熱源設備

- エネルギー棟にはシンクロトロン冷却用熱源として 1,000RT の水冷ターボ冷凍機 1 台を設置するが、将来拡張が必要になった時の為さらに 1 台分のスペースを確保しておく。
- 冷凍機から取り出される 1 次側冷水温度 7℃は妥当であり、熱交換器を介して 2 次側とは縁を切っている。2 次側の冷却水温度は 40℃±0.1℃の系統が 1 系統と 25℃±0.1℃の系統が 3 系統あり、シンクロトロン装置の冷却水に使用されている。2 次側の冷却水温度を一定温度にするため、冷水コイルのほかに温水コイルも付加されている。
- 2 次側の冷却水は DI 水を使用しており、循環量の 5～10%が新たに製造された DI 水に入れ替わる計画となっている。
- また、エネルギー棟には建物冷房用として 1,000RT の水冷ターボ冷凍機が 5 台設置されており、うち 1 台は予備となっている。（将来は 1 台増設予定）冷水は冷水ポンプにより各空調機、ファンコイルユニットに送水されている。冷水温度は 7℃となっている。



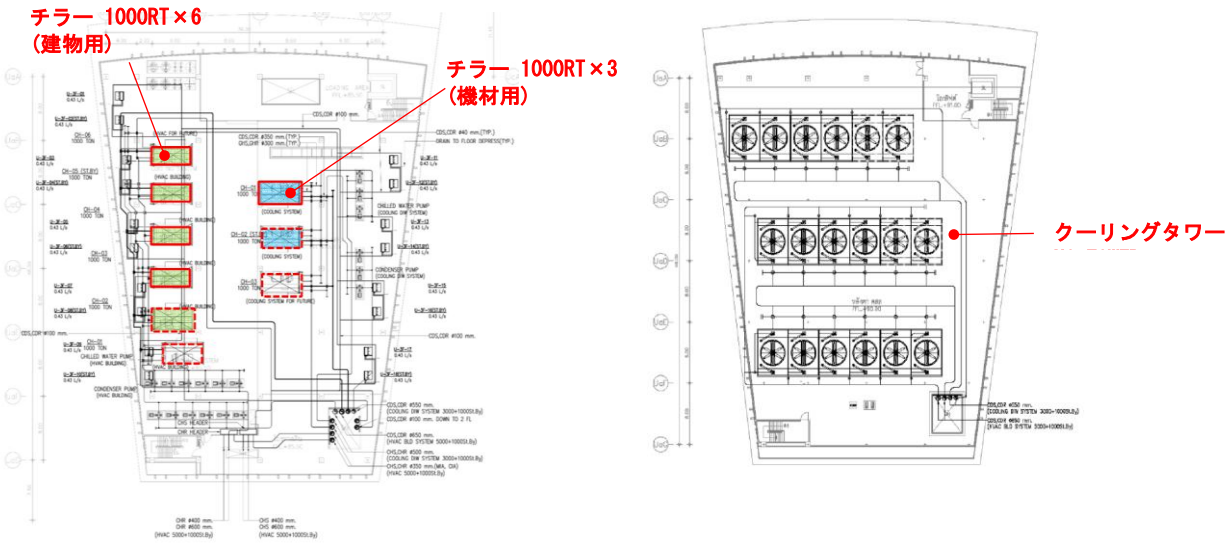
出所：SLRI

図 5-26　シンクロトロン冷却水系統図



出所：SLRI

図 5-27　建物冷水系統図



出所：SLRI

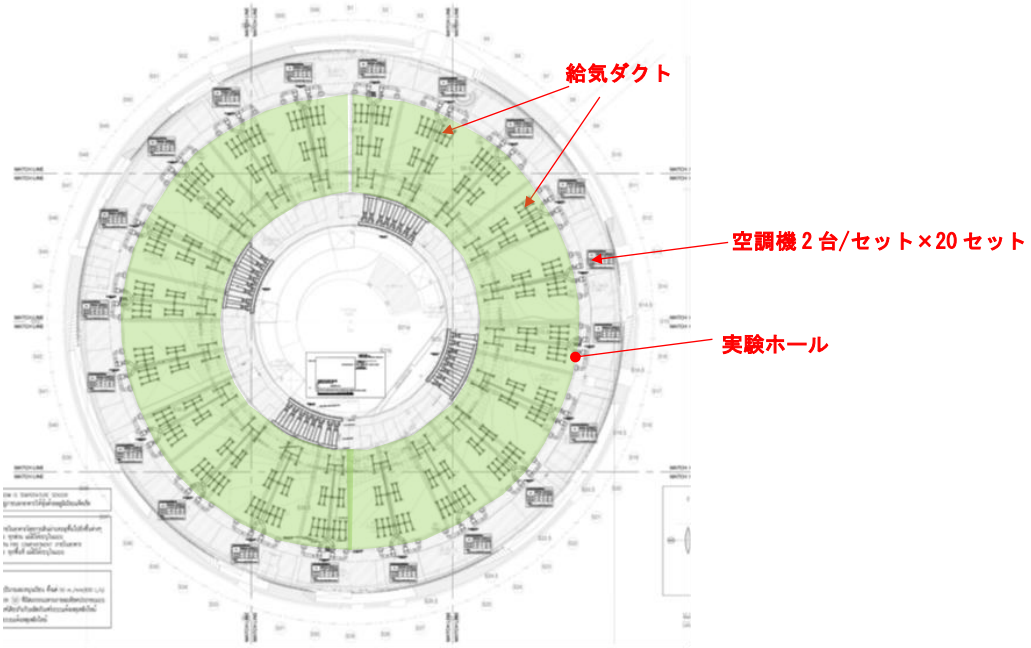
図 5-28　ユーティリティー棟平面図(左:熱源配置、右:冷却塔配置)

(2)　空調設備

1)　温湿度条件

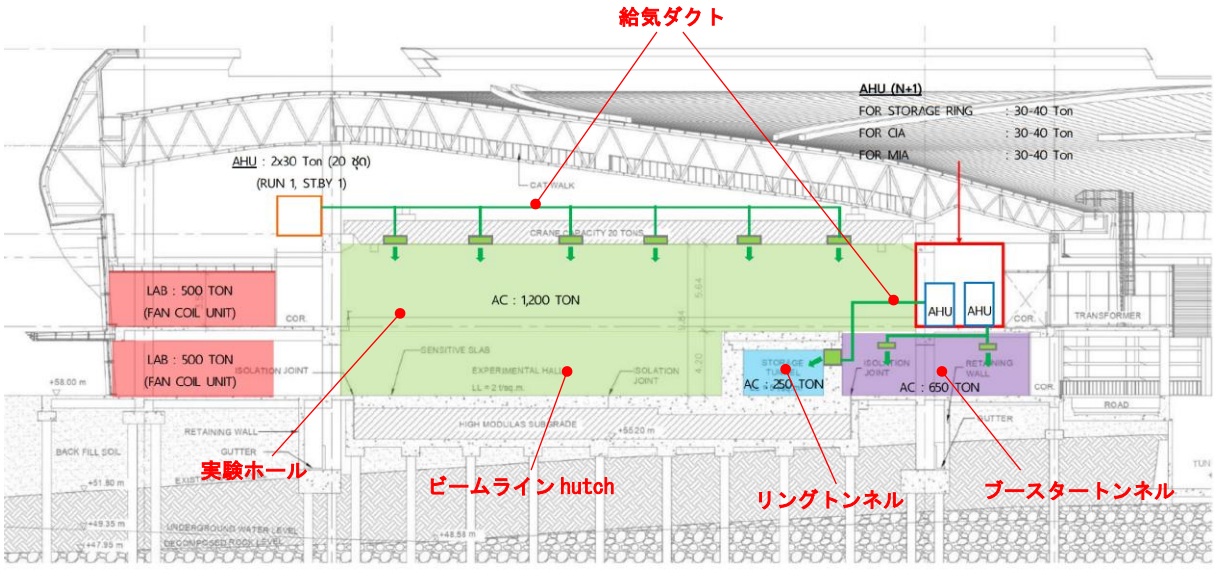
各室の温湿度条件は、加速器、リングトンネル、ビームライン hutch は 25.0±0.1℃、55±5%、実験ホールは 25.0±0.5℃、55%±5%となっている。

これらの室は空調機＋単一ダクト方式により冷房している。リングトンネル用の空調機はリングの内側に 45 台の空調機を設置し、実験ホールはリングの外側に 40 台の空調機を設置して空調している。空調機の冷水には 2 方弁が設けられ、室内の温度センサーにより室温が一定になるように開度を制御している。



出所：SLRI

図 5-29　実験ホール内空調ダクト図



出所：SLRI

図 5-30　蓄積リング内空調ダクト図

2)　防振対策

加速器内やリングトンネル内は装置が極端に振動を嫌うため、近辺に設置されるダクトや配管は防振材を介して固定している。

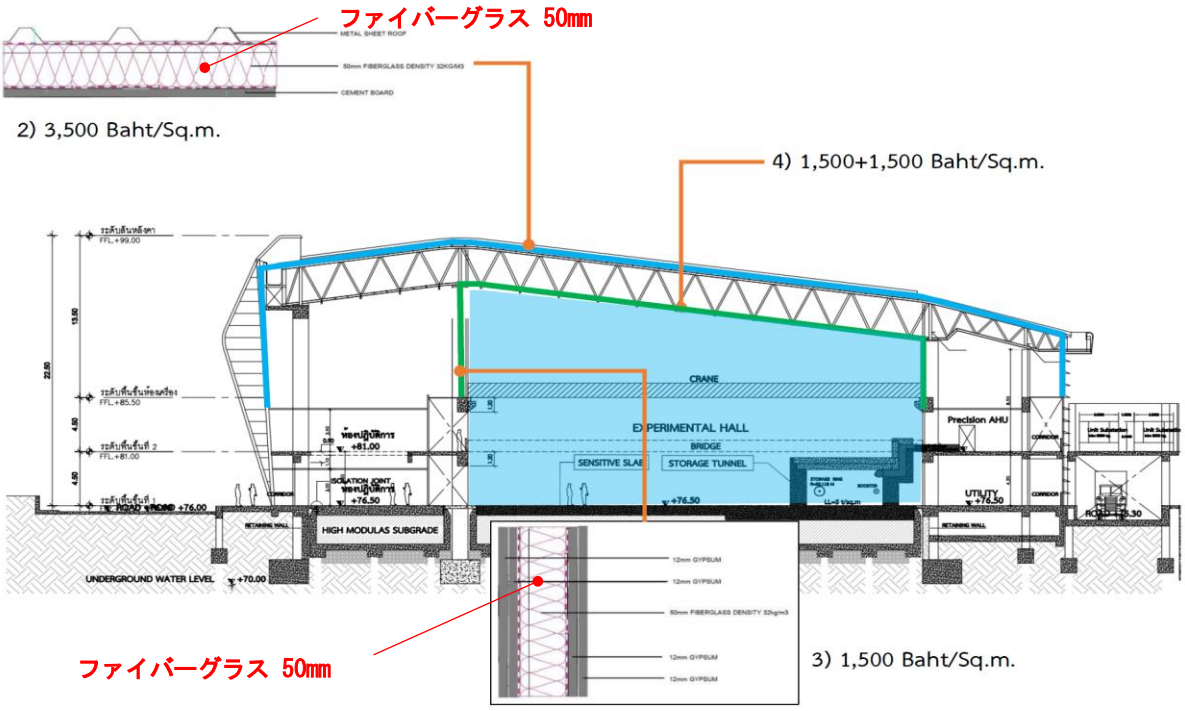


出所：SLRI

図 5-31　防振対策(左：ダクト、右：配管)

3)　断熱計画

シンクロトロン施設が入るエリアは温湿度条件が非常に厳しく設定されているが、それを実現させるための必要条件として、外乱を受けにくくするための外壁断熱が重要となってくる。特に当該地域は年間を通して気温が高いため、十分な断熱はランニングコストの低減にも貢献できる。本件では屋根及び壁にグラスウール 50mm を挟みこんだ建材を使用し、さらに空気層を挟んでダブルスキン化しているため、充分な断熱性能を確保していると考えられる。

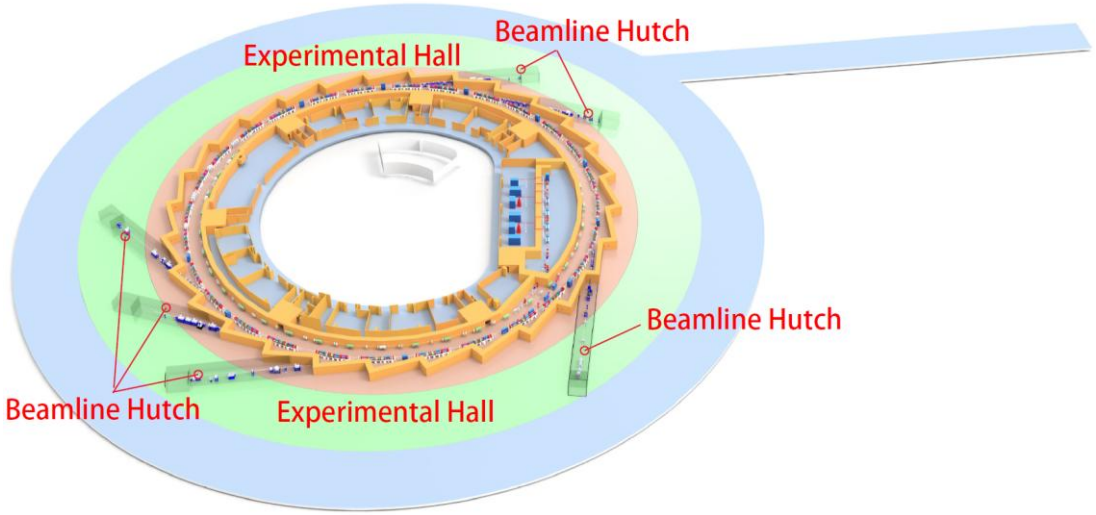


出所：SLRI

図 5-32　断減計画

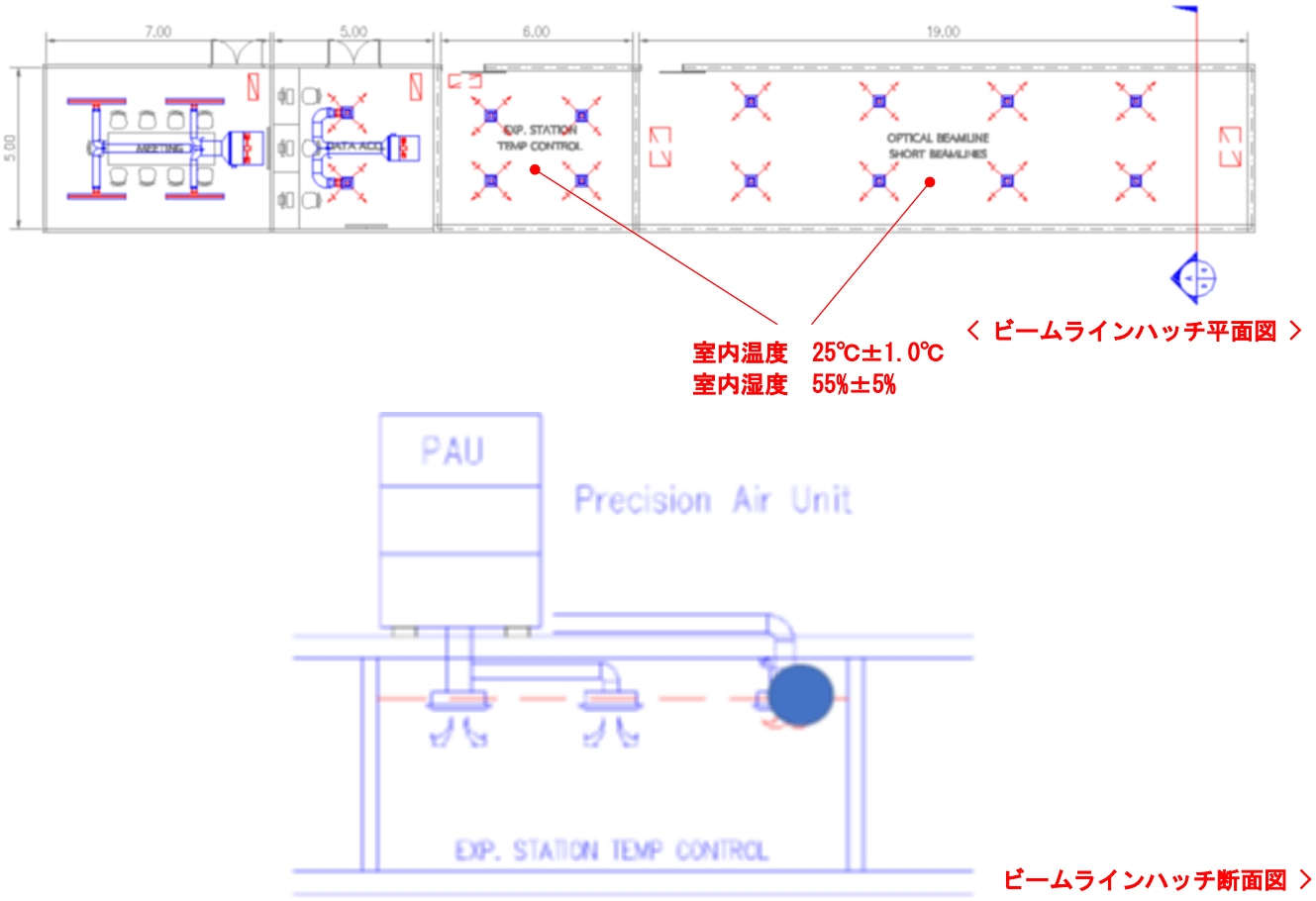
4)　ビームラインハッチ内湿温度管理

実験ホール内にはビームラインハッチと呼ばれるコンテナルームが設置される。当該室は±1.0℃の室温制御が求められるが、±1.0℃の精度で空調された実験ホール内に設置される為外乱をほとんど受けず、理想的な空間構成になっている。



出所：SLRI

図 5-33　ビームラインハッチ配置



出所：SLRI

図 5-34　ビームラインハッチの空調吹出口計画部

(3)　自動制御設備と中央監視設備

全設備の温湿度管理、水量管理、運転監視、運転、警報発令を自動制御システムと中央監視システムにより行っている。

(4)　留意点

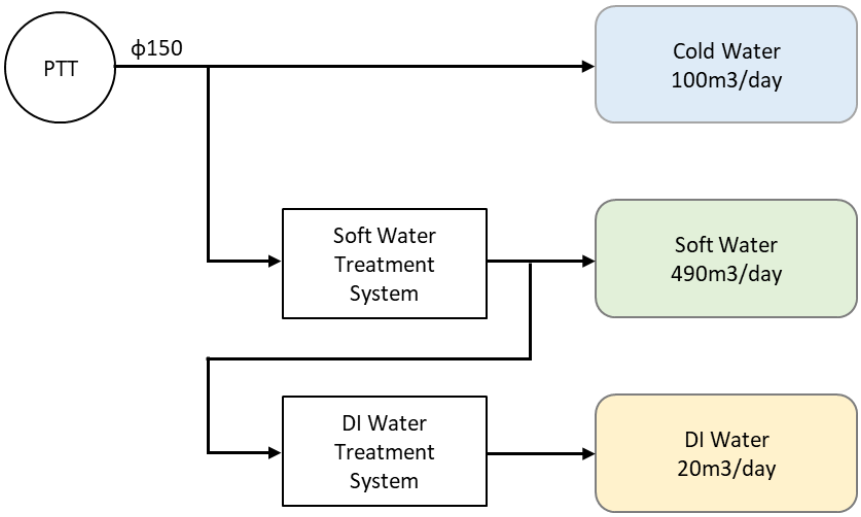
- 室温の制御において、精度 ±0.1℃が必要なエリアが多数あるため、制気口や室温センサーの位置、2 方弁の制御精度に十分な配慮をする必要がある。
- 実験ホールは天井が高く、空調吹き出しも天井面から行うため、室温が安定しない可能性がある。しかし、厳しい室温管理が必要なビームラインは実験ホール内に設置されたビームラインハッチ内に設置され、そのビームラインハッチ内がきちんと温度制御されていれば、問題は無いと考えられる。
- リングトンネル、ビームラインハッチなどは湿度条件が 55%±5%となっているが、除湿システムを追加的に設置する必要がある。
- 現在の計画資料では、ビームラインハッチ室の空調方式が不明確であり、実施設計の時点で計画内容の詳細を確認する。

- シンクロトロントンネルの天井スラブは取り外し可能になっているが、この部分を太い空調ダクトが貫通する計画になっているため、貫通部をどのような形状とするのか、放射線の遮蔽性に問題は無いのか、十分な検討が必要である。実施設計の時点で再度内容を確認する。

5.3.5　給排水衛生設備

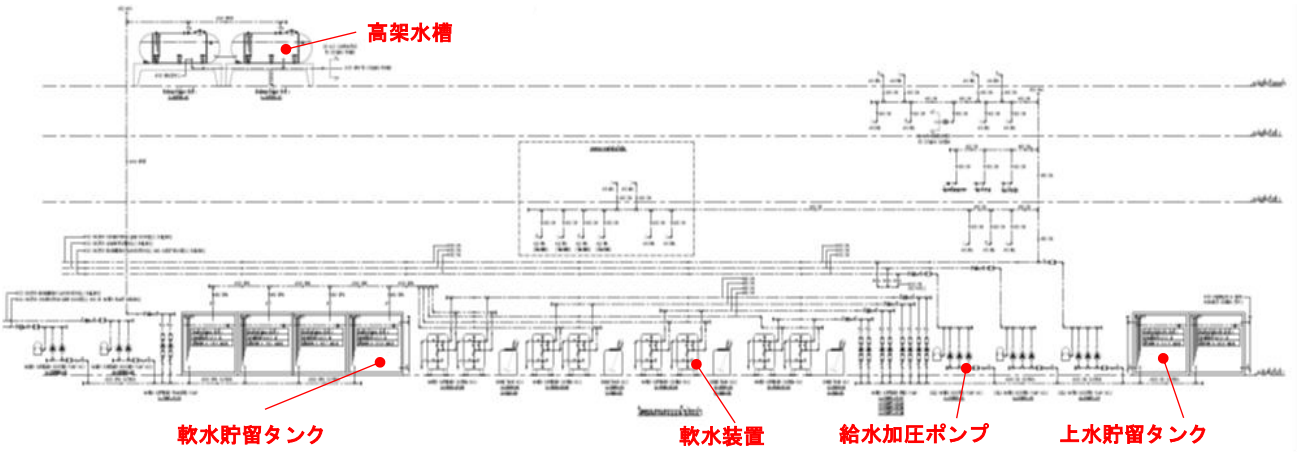
(1)　給水設備

敷地北側部において、市水を PTT から φ150 で引込み、一旦 2 つの受水槽に貯水する。その後、3 系統の加圧ポンプにより生活用水として各建物に送水される。また、一部の水は軟水化し、4 基の軟水受水槽に貯水した後、2 系統の加圧ポンプにより冷却塔補給水として送水する。軟水は DI 水製造装置にも送水され、純水化された後、4 つあるシンクロトロン冷却水の系統の補給水として使用される。受水槽容量は 2 日間分としている。



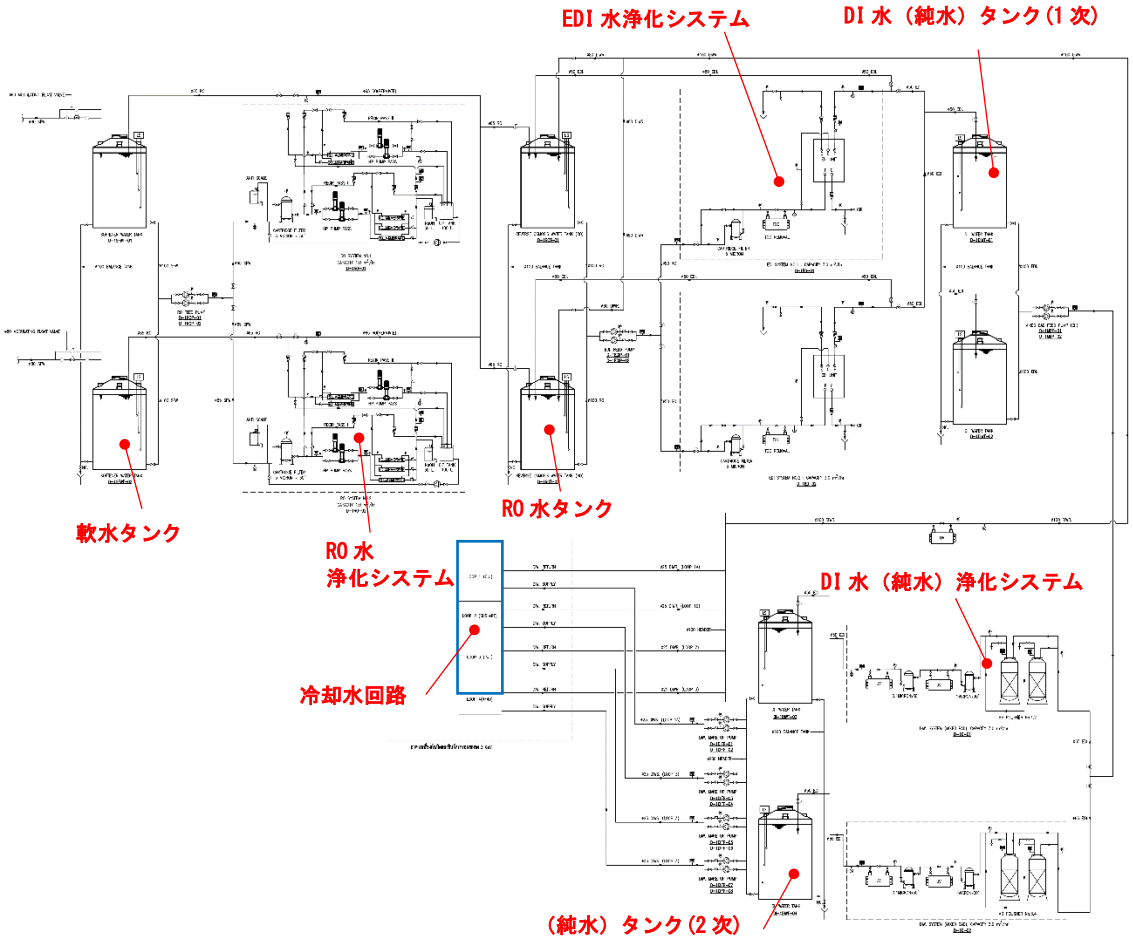
出所：SLRI

図 5-35　給水フロー図



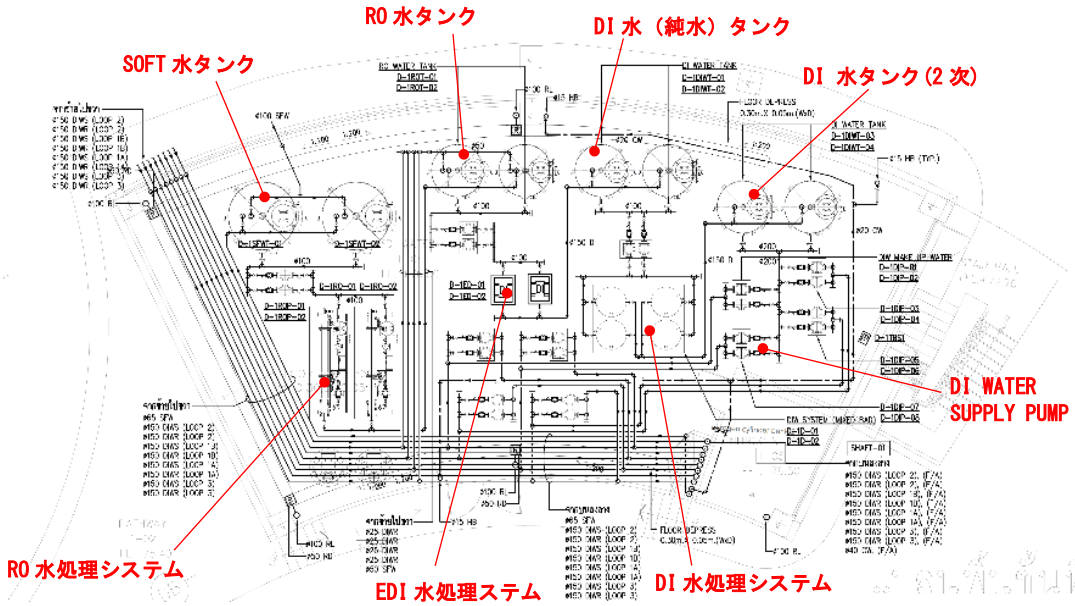
出所：SLRI

図 5-36　給水系統図



出所：SLRI

図 5-37　水製造設備フロー図

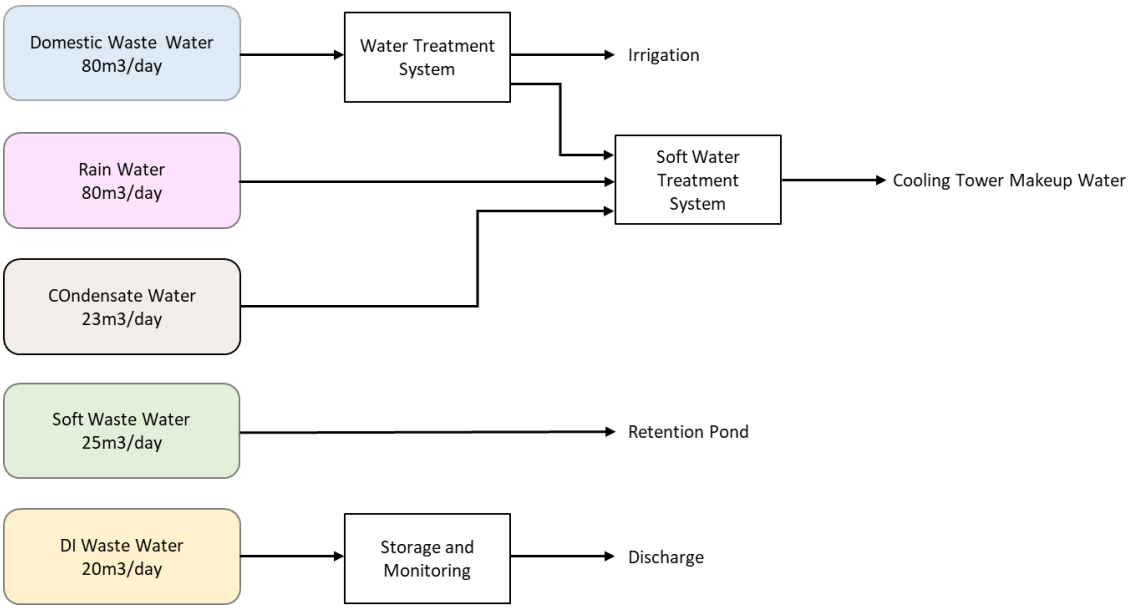


出所：SLRI

図 5-38　DI 水 製造装置室配置図

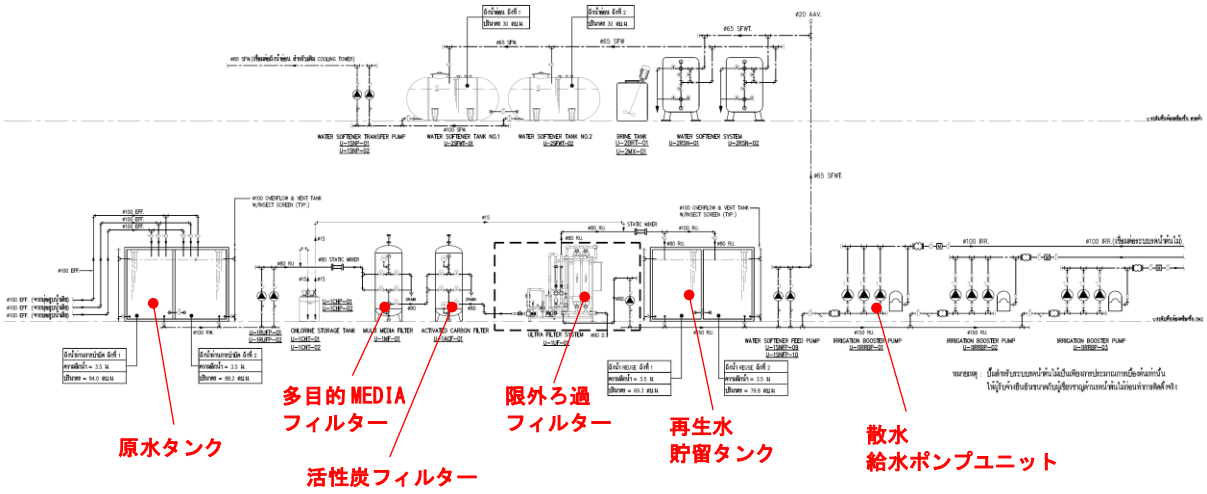
(2)　排水設備

各施設から排出される生活排水は、約 10 カ所に分散設置された浄化槽で処理される。実験排水についても各施設に設置された中和装置で中和され、浄化槽で生活排水と合流して処理される。処理された排水は一時的に排水タンクに貯留されのち、排水処理施設で高度処理し、一部は冷却塔の補給水として、残りは灌漑用水として利用する。 余剰した排水は敷地北側部より雨水排水路に放流される。



出所：SLRI

図 5-39　排水フロー図

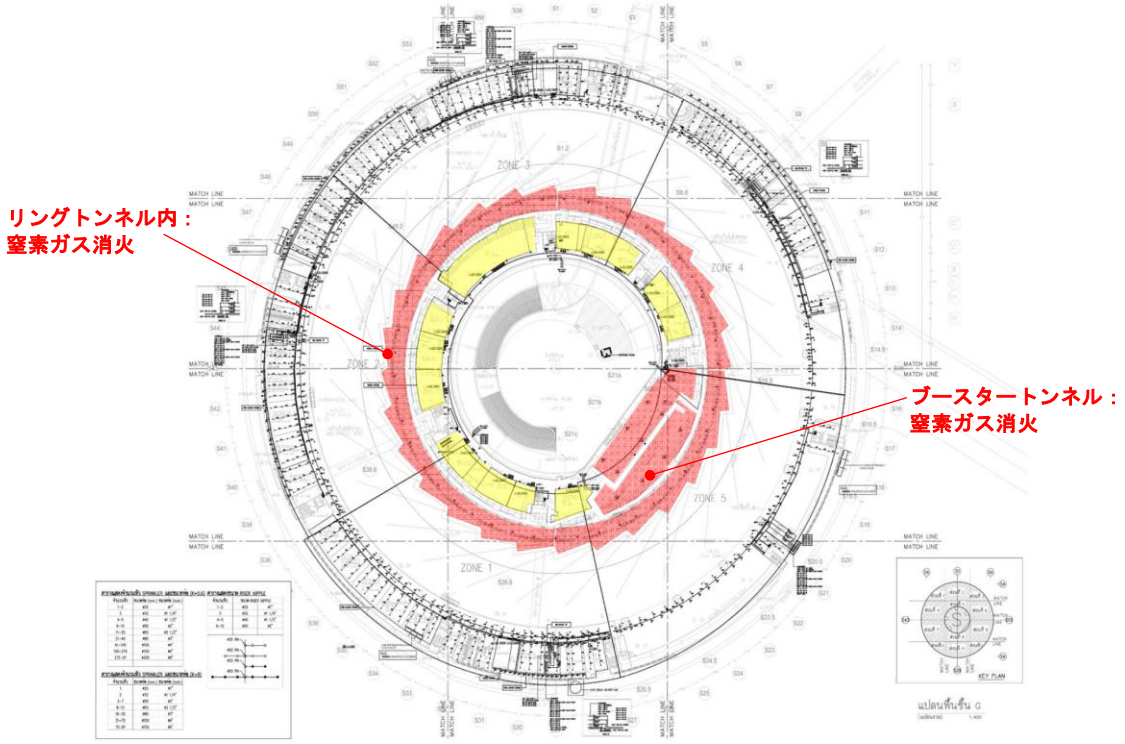


出所：SLRI

図 5-40　再生水処理装置

(3)　消火設備

施設内に消火用水タンクを設置し、モーターポンプとエンジンポンプにより建物全体に消火用水を送っている。ほとんどエリアにはスプリンクラーが設置されているが、加速器やリングトンネルにはスプリンクラーの代わりに窒素ガス消火が設置されている。また、実験ホールは天井が高いため予作動式スプリンクラーが設置されている。

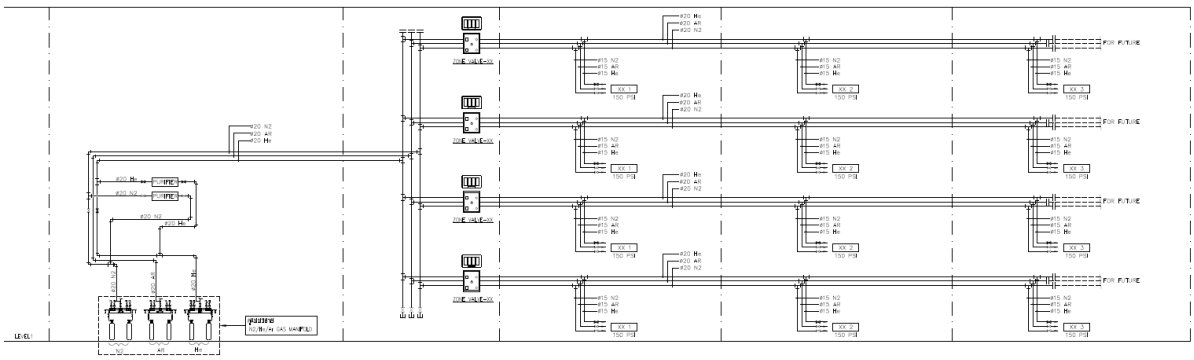


出所：SLRI

図 5-41　不活性ガス消化範囲図

(4)　特殊ガス設備

本施設ではヘリウム、アルゴン、窒素、液化窒素の供給を行っている。



出所：SLRI

図 5-42　特殊ガス配管系統図

(5)　留意点

施設内で発生した排水を処理して冷却塔補給水に使用する計画になっているが、処理が不十分だと冷却塔内や配管内などに不純物が蓄積する。水処理装置の確実なシステム構築と運用が求められる。

5.3.6　電気・冷却・空調・保守・防災や放射光モニタリング等の設備設計・計画

(1)　電気設備

1)　停電発生時に於ける対処方法

停電発生時、瞬間停電も許容しない重要な機器に対しては UPS が瞬時に電源を供給し、停電が発生しても 1 分以内に電源が再供給されれば再稼働が可能な機器には発電機が電源を供給する。なお、8 時間稼働可能なオイルタンクが計画されている。

UPS に接続された機器への電源供給可能時間は停電後 10 分程度だが、発電機が UPS に対して停電後 1 分以内に電源供給を開始するので、UPS は長時間電源を供給することが可能である。

2)　機械設備

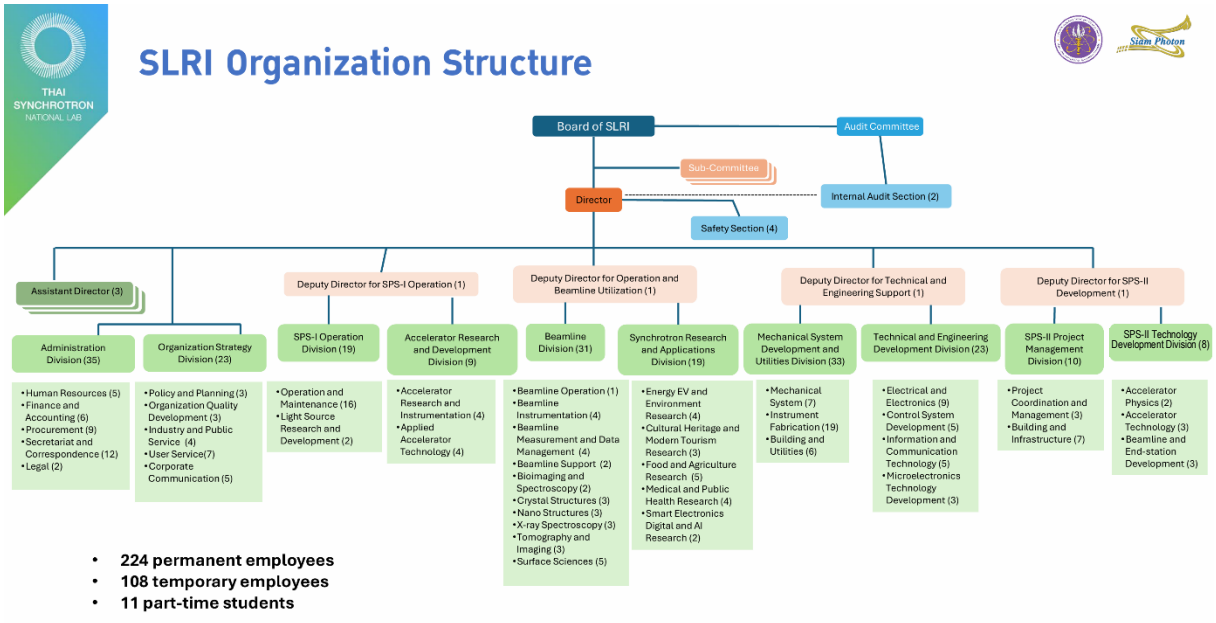
停電時にはチラー1 台、冷水ポンプ 1 系統など、負荷を絞って電源を供給する計画となっている。また、受水槽は 2 日間分の容量を確保している。主要機器については N+1 台の機器を設置として必ず予備を見込むようにし、故障時や機器更新時においても能力が低下しないような配慮がなされている。また、機器の搬出入についても搬入路を考慮した計画となっている。

3)　ランニングコストについて

電気料金、水道料金、下水道料金については消費量を推定して単価を掛け合わせ算出する必要がある。特に本施設は電気の使用料金が高額となるが、その金額は施設の使用率に大きく左右される。従って、使用率は他施設を参考にできるだけ現実に近い値を想定する必要がある。

6. 事業計画

6.1 事業実施体制



出所：SLRI

図 6-1　SLRI 新体制図（2024 年 12 月時点）

日本政府（JICA）が開発パートナー、GOT（財務省）が借入国である。本円借款事業における主要機関について以下に説明する。

6.1.1 本事業の主要機関

(1) 事業責任機関

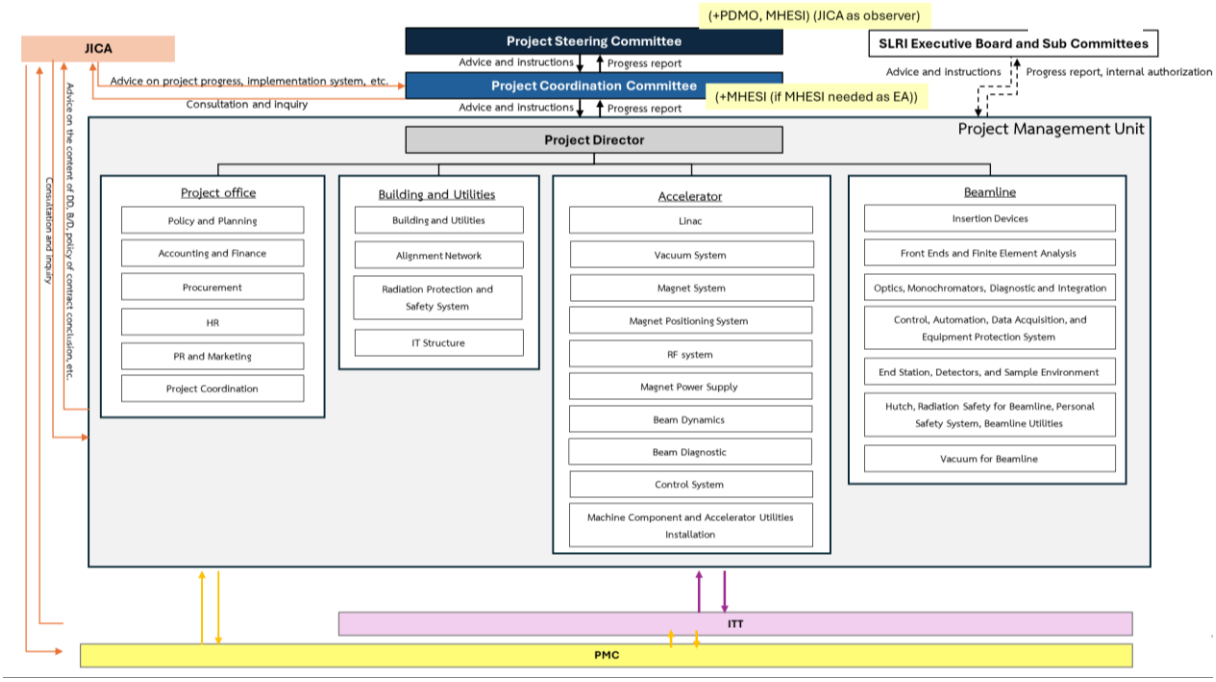
SLRI は本事業の責任機関、責任政府機関、そして JICA との連絡窓口となる。SLRI は、円借款契約および適用される JICA ガイドラインに従って、プロジェクトのすべての財務および主要な管理事項(契約署名) に責任を負う。

(2) プロジェクトマネジメントユニット（PMU）

MHESI の監督下にある事業責任機関・事業実施機関である SLRI により、プロジェクトマネジメントユニットが構成される。PMU は、事業実施の間に、プロジェクト管理コンサルタント (PMC)、設計コンソーシアム、建設監督コンサルタント (CS)、請負業者、機材サプライヤー、サービスプロバイダーなどの間のコミュニケーションを管理し、関係機関および JICA との調整をおこなう。

SLRIは、調達（コンサルタントの選定、すべてのパッケージの請負業者/サプライヤーの調達、請負業者とコンサルタントの業務の監督など）、報告、資金調達の要求を含む支出の管理を含む、プロジェクトのすべての技術的および重要な管理事項に責任を負う。貸付実行請求書、各種報告書（四半期進捗報告書、プロジェクト完了報告書など）の作成および JICA への報告。

SLRI は、SPS-II チーム、特にシステム統合およびサブシステム互換性チームとともに、次世代放射光施設整備にかかる組み立て、システム統合、試運転に全責任を負う。



出所：調査団

図 6-2　プロジェクト実施体制案

(3)　プロジェクト運営委員会（PSC）

プロジェクト運営委員会は、OPS-MHESI、PDMO、JICA タイ事務所からの権限のある代表者、さらに SLRI ディレクター、プロジェクトディレクター、および専門知識に基づいて指名されるその他のメンバーで構成され、プロジェクトに対して高いレベルで助言と指示を行うほか、予算超過、課税問題など、プロジェクトの実施または完了に影響する問題について話し合う。

(4)　Advisory Team

Advisory Team は理化学研究所と台湾国立加速器放射光研究センター（NSRRC）の専門家からなる外部チームである。その役割として、SLRI が主体的に助言を求めた際に、理化学研究所および NSRRC は技術的な指導を提供する。ただし、詳細設計をはじめとするすべてのプロジェクト文書の作成および最終化に関する最終的な責任は、あくまで SLRI が負う。特に留意すべき点として、Advisory Team の助言には法的な義務や責任は伴わず、また各機関の内部業務の都合上、タイムリーな対応が厳格に保証されるわけではない。したがって、SLRI は必要に応じて、自らの尽力と PMC の支援によってプロジェクトを推し進める体制を整えておく必要がある。

6.1.2　施設建設事業

以下の施設建設事業を円借款事業対象とする。

1)　3GeV シンクロトロン棟（S 棟）
2)　ユーティリティ棟（U 棟）

3) DI (脱イオン化)水棟（D 棟）
4) 電力供給棟(115KV/22KV)（ES 棟）
5) 寮（G 棟）
6) マグネット・バキューム・RF 研究棟（L 棟）
7) 利用者支援事務所（A 棟）
8) 受付/セキュリティ棟（RS 棟）
9) その他：インフラ整備、敷地、ゴミ集積所、サイネージ

建設工事及びその施工監理コンサルティングサービスの費用は ICB スキームを想定して作成した。建設工事請負業者の調達方法は、JICA 円借款工事調達標準入札図書に準拠して実施する。

6.1.3 機材の調達

以下の加速器を円借款事業対象とする。

- 線形加速器
- マグネット電源
- 計装
- コントロール
- RF
- 放射線の安全性
- 磁石
- 真空
- 機械的な位置決め
- ユーティリティ

以下のビームラインを円借款事業対象とする。

- ソース
- フロントエンド
- ビームライン
- エンドステーション
- ハッチ
- ビームライン中央ユーティリティ（7 本）

加速器とビームライン機材は ICB および LCB スキームを想定して積算した。機材調達請負業者の選定方法は、JICA 円借款物品調達標準入札図書およびタイ国標準公共調達基準に準じて実施する。

6.2 施工方法・施工計画

本事業にて建設する施設は以下に示す。

表 6-1　本件の対象施設

	建物名称	階数	構造	床面積（㎡）
1	3 GeV synchrotron building (S Building)	2	Steel frame (storage tunnel is RC)	32,126
2	Utility building (U Building) for synchrotron light source (including wastewater treatment building)	3	RC	7,214
3	Deionized (DI) water building (D Building)	3	RC	814
4	Magnet, vacuum and RF laboratories building (L Building)	2	RC	2,349
5	Administration and user service office building (A Building)	3	RC	5,805
6	Guest house building (G Building)	3	RC	3,950
7	Reception and security building (RS Building)	1	RC	53
8	Electrical substation 115 kV / 22 kV (ES Building)	1	RC	932
			計	53,243

その他：Infrastructure work & landscape including garbage storage (91m^2), signage work

出所：調査団

6.2.1　建設条件の確認

上述した本件で計画する放射光施設の建設サイトは首都バンコクから南東へ約 150km のラヨーン県にある Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology（VISTEC）キャンパスの一角に位置する。キャンパス内には新しい教育関連施設が建ち並んでおり、現在も、新施設が建設中である。



VISTEC の施設（管理棟）



キャンパス内の施設



水処理関連の施設



キャンパス内の工事中の様子

出所：調査団

図 6-3　VISTEC キャンパス内の開発状況

上記の建築物はタイ国の建設会社によって問題なく施工されており、本件の新施設の施工については、技術、安全管理等の総合的な観点より、タイ国の建設会社にて施工されることは、十分可能であることを確認した。また本件と類似する放射光施設も過去にタイ国の建設会社によって建設されている。

なお、タイ国内には日系ゼネコンの現地法人も多々あり主に民間の工場やオフィスビル等の建設工事を手掛けていることを確認した。

また、同国のランク上位の建設会社は本件新施設の建設費と同等以上の受注金額の施設建設実績があり、財務能力も十分であることを確認した。

新施設の建設に必要な建築資機材、電気・機械設備、労務者、建設機械、家具等の調達に関しては、サイトのあるラヨーン県及び首都バンコクより十分調達が可能であることを確認している。

6.2.2　建設現場の労務者について

タイの建設労働者の労働法/労働条件は、労働保護法、B.E. 2541 (A.C.1998) (改訂 B.E. 2562 (A.C.2019))、省令 No.3、B.E.2541 (A.C.1998)によって規制されている。 主な基本項目を以下に示す。

- 通常の労働時間は 1 日 8 時間で、週 48 時間を超えないこと。

休日の残業時間と休日の残業時間の合計は、週 36 時間を超えないこと。

休暇中の賃金

- 年間 30 労働日を超えない病欠の有給賃金の支払い。
- 不妊治療休暇中の有給の支払い。
- 年間 60 日を超えない、兵役のための休暇中の賃金の支払い。
- 45 日/妊娠を超えない出産休暇中の有給賃金の支払い

夜勤者の給与

労働省は、労働法を次のように規定している。

午後 10 時から午前 6 時までの夜間働く従業員は、日中に働く従業員よりも少なくとも 1.1 倍の賃金を受け取る必要があり、給与または賃金の各支払いは受取人によって署名されなければならず、そして遅延なく支払われなければならない。

時間外賃金

労働法および賃金率に従って、通常の勤務日の時間外賃金は以下の 2 つに分けられる。

- 17 時から 20 時は通常賃金の 1.5 倍
- 20 時から 翌朝 6 時は通常賃金の 2.0 倍

また、祝日の賃金も以下の 2 つに分かれている。

- 8 時から 20 時までは、通常賃金の 2.5 倍
- 20 時から翌朝 6 時までは通常時給の 3.0 倍

6.3　調達方法・調達計画

6.3.1　調達方法の検討

本円借款事業の入札は、JICA が公開している円借款事業の調達およびコンサルタント雇用ガイドライン・標準入札書類等 ｜ 事業について - JICA に準拠することを原則とする。LCB については 6.3.3 施設建設にて後述する。

表 6-2　JICA 円借款事業の入札に係るガイドライン

項目	ガイドライン
施設建設	Chapter 2: Guidelines for Procurement under Japanese ODA Loans
機材調達	Chapter 2: Guidelines for Procurement under Japanese ODA Loans
コンサルタント選定	Chapter 1: Guidelines for the Employment of Consultants under Japanese ODA Loans

注）: The HANDBOOK for Procurement under Japanese ODA Loans has been revised in October 2023.

出所：JICA

表 6-3　標準入札図書(SBD)

項目	SBD
施設建設	Standard bidding documents under Japanese ODA Loans Procurement of Works, October 2019
機材調達	Standard bidding documents under Japanese ODA Loans Procurement of Goods, May 2021
コンサルタント選定	Standard request for proposals under Japanese ODA Loans Selection of Consultants, October 2019

なお、上表では現時点の最新版を示すが、SBD の version は、ガイドラインに従い、その時点の最新版を利用することとする。

出所：JICA

タイ国における一般建築工事及び関連資機材の入札に係る関連法として、「Regulation of the Ministry of Finance on Public Procurement and Supplies Administration B.E. 2560 (A.D. 2017) Clause 28 (1) General solicitation notification method, (2) Selection method」を参照する。

タイにおける LCB による建築工事の調達手順を以下に示す。

LCB の手続きについては、「Regulation of the Ministry of Finance on Public Procurement and Supplies Administration B.E.2560 (2017) Clause 28 (1) General solicitation notification method, (2) Selection method」に関する財務省の規則に適用されるものとされる。

タイの LCB による建築工事及び関連資機材の調達手順を以下に示す。

表 6-4　タイにおける LCB による建築工事及び関連資機材の調達手順

No	項目	詳細
1.1	一般的な手順	タイにおける建築工事のタイ公共調達は、(1)、(2)、(3)の 3 つの方法で行うことができる。
1.1.1	一般入札は、次の方法で行う	-
(1)	e-market (not eligible)	単純な小包または標準化された商品またはサービスの購入または雇用が対象。リスト・製品情報システム (e-カタログ) で定義されている。 • 予算 THB 500,000 - 5,000,000 の見積もりによる購入 • THB 5,000,000 以上の予算規模にて電子入札で購入
(2)	e-bidding (eligible)	THB 500,000 を超える金額で、製品情報システム (電子カタログ) で小包の特定の特性が指定されていない製品またはサービスである調達については、電子入札システムで実施する必要がある。 (電子入札: e - 入札) 会計検査院が指定する方法による。
(3)	price inquiry (not eligible)	THB 500,000-5,000,000 の予算での調達をカバーする。政府機関がインターネットの使用に制限がある地域の場合に行う。 電子市場システムまたは電子入札システムを介した操作は不可能。
1.1.2	選定方法	国家機関が定める入札資格を有する事業者を少なくとも 3 社以上の参加が対象となる。
1.1.3	Specific Method	国の機関が定める資格を有する特定の事業者に対し、入札又は価格交渉を行うための国の機関による入札公告。事業者から直接行われる物資の調達でありかかる少額の見積もりが必要である場合が含まれる。 入札者からの一般公募公告または取消された選定方法による調達となった場合は新たな入札を行う。 ただし、事業者が市場価格もしくは見積価格または委員会が適切と認める価格よりも高い価格（入札札）となり、適切な価格であると判断した場合は、可能な限り価格交渉を行う。
1.2	Necessary Documents	「B.E. 2560 (2017) 政府調達および供給管理に関する財務省規則」の第 22 条に沿って必要な書類を提出する。
(1)	調達の理由と必要性についてのレター	-
(2)	調達材料または建設工事の作業範囲または特性の詳細について	-
(3)	調達材料の価格	-
(4)	予算額を指定する場合は調達予算額。 そのような制限がない場合は、その時点で購入または調達する予定額。	-
(5)	作業が完了するまでの工程計画。	-
(6)	調達方法及び理由について	-
(7)	提案の検討と選択の基準	-
(8)	その他、調達に必要な各種委員会の承認依頼、公告・招請文書・招請状の発行等の提案。 技術文書については、次のものを含めて準備する。	i) 具体的な特徴の詳細、工期、一般契約条件（表紙用紙≒10 ページ） ii) 技術仕様書 iii) 図面 iv) 数量明細書と BOQ（見積もり）

出所：調査団

以下に一般的な LCB にかかる手続きの所要日数を示す。

- プロジェクト費用 THB 500,000～5,000,0000 の場合、所要日数は 41 営業日以上必要
- プロジェクト費用 THB 5,000,000～10,000,0000 の場合、所要日数は 46 営業日以上必要
- プロジェクト費用 THB 10,000,000～50,000,0000 の場合、所要日数は 48 営業日以上必要
- プロジェクト費用 THB 50,000,000 を超える場合、所要日数は 56 営業日以上必要。次表を参照してください。

次表のとおりステップは変わらないが、応札者の入札書類の準備期間、契約書と署名の準備期間がプロジェクト費用の大きさによって変わってくる。

次表のステップ 8 にて、「The Committee submit the report to head of agency, Head of agency approve the procurement and announce the winner」とあり、SLRI の head of agency である MHESI への確認依頼が予定される。

表 6-5　LCB 調達手順のタイムライン

ding for over THB 50,000,000 project cost		Business Day
	Business Day	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56
Description	56	
Procurement plan preparation	1	
TOR preparation/appoint a committee	1	
e-bidding document preparation/head of agency consideration and give a green light		
Make a request for procurement report and submit to head of agency		
Upload the draft procurement plan announcement in website for public sounding		
Announcement of draft electronic tender documents (not less than 3 working days) with no comment to be revised	3	
Prepare a memorandum of information to announce the tender documents.	1	
Publish the electronic tender documents and tenderers prepare their proposal	20	
Tenderer query and clarification period (3 days befor Bidding Date)		
The Bidding Date, the tenderer submit their proposal	1	
The Committee conderder and verify proposals	7	
The Committee submit the report to head of agency	1	
Head of agency approve the procurement and announce the winner		
Waiting period of appeal	7	
Notify the winners to prepare for the contract (no more than 7 working days)	7	
Sign the contract (no more than 7 working days)	7	
Total (Days)	56	

出所：調査団

6.3.2　入札パッケージの整理（非公開）

（一定期間非公開）

6.3.3　施設建設（非公開）

（一定期間非公開）

(1)　タイ国内企業の利用の可能性

コンクリートの品質や室内の温度・湿度管理など厳格な施工管理が必要であるが、タイの大手建設会社やタイに拠点を置く日本の建設会社の中には、鉄骨造、鉄筋コンクリート（RC）造、SRC 造、土木工事による大規模建築物の建設経験があり、基本的な技術力を備えている。

(2)　日本の技術導入の可能性

タイの建設業者は、本施設に必要な基本的な技術力は備えているものの、同様の施設の建設経験はない。経験豊富な日本のノウハウは、特に放射光装置との連携など、事前の予測と準備において有効である。

6.3.4　機材調達

JICA の「円借款事業の調達およびコンサルタント雇用ガイドラインに係るハンドブック(Ver 1.1)、第 2 部円借款事業のための調達ガイドライン、第 1.02 条 国際競争入札（ICB）」によると JICA はほとんどの場合、事業に必要な資機材および役務の調達に関し、第 1.01 条第(3) 項にて述べている必要事項「調達にあたっての基本的考え方として原則、従来の経済性 （economy）、効率性（efficiency）、非差別性（公平性）（non-discrimination）に加 え、調達手続きの透明性も重要なポイントであるとの認識が高まっていることを踏まえ、 透明性（transparency）につき明記している。これは世界銀行の調達ガイドラインにおいても基本原則の一つとされている。」を満足させるためには国際競争入札（ICB）が最良の方法であると考えられ、通常借入人に対して資機材および役務の調達を円借款ガイドライン 第 2 章に規定する国際競争入札の手続きに基づいて行うよう求めている。加えて、国際競争入札（ICB）が適当でなく、JICA が他の方法を認め得るような特殊な状況は以下のとおりと定めている。

(a) 借入人が既存機器との適合性を図る見地から、機器またはスペアパーツについて妥当な範囲での規格統一維持を希望する場合。
(b) 借入人が、JICA が了承する手続きに従い落札された既存契約の下で供給される資機材および役務にかかる業務との継続性を図ることを希望する場合。
(c) 適格な請負業者、供給者または製造者（コントラクター） の数が限られている場合。
(d) 当該調達金額が少額なため外国企業が興味を示さないことが明確な場合、または、少額なため国際競争入札を行うことによって生ずる管理上の負担がその利点を上回る場合。
(e) 上記(a)、(b)、(c)および(d)に加え、緊急調達の場合のように JICA が国際競争入札を不適当とみなす場合について以下による。

上記の場合、次のような調達方法が適用され得るが、その際には最大限可能な限り国際 競争入札の趣旨を取り入れるものとする。

(a) 限定国際入札（LIB） （公示なしの直接招請による実質的な国際競争入札）
(b) インターナショナルショッピング（価格競争を確保するために複数（通常は 3 者以 上）の外国および／または現地の供給者から得た価格見積の比較に基づく調達方 法）
(c) 随意契約

円借款ガイドラインは、調達内容の性質またはその範囲に基づき、外国企業が関心を寄せる可能性が低く、資機材および役務が借入国内で調達される場合については適用されない ものとする。しかし、かかる資機材および役務の調達は、第 1.01 条第(3)項にて述べた 必要事項に十分配慮して行うものとする。JICA は、かかる調達は借入国で一般的に使用されている調達手続きに従った現地競争入札（LCB）が適切と考える。

以上の結果、本件は JICA 円借款ハンドブックに則して実施され、JICA が他の方法を認め得るような特殊な状況に該当する機材調達に関しては、本プロジェクトでは LCB を計画する。 機材調達スケジュールは、詳細設計、事前資格審査（P/Q）、入札・評価、調達、ICB および LCB の調達手順に基づき、機材据付工事監理を含む計画とする。

(1)　加速器の各コンポーネントを開発する可能性のあるタイ国内企業（非公開）

（一定期間非公開）

(2)　日本の技術導入の可能性（非公開）

（一定期間非公開）

6.3.5　プロジェクトマネージメントコンサルタント（PMC）の調達

プロジェクトを促進するために、プロジェクトマネージメントコンサルタント（PMC）が選定され、事業管理組織（PMU） を支援し、プロジェクトマネージメントサービスを提供する。PMC の雇用は、円借款によるコンサルタント雇用ガイドライン（以下、コンサルタント・ガイドライン）の最新版の手続きに従って実施される。 選定には、品質とコストに基づく選定方法 (QCBS) が適用される。

6.3.6　施工監理コンサルタントの調達

施設の施工監理コンサルタント選定は SLRI の主導となり、タイ国のガイドラインに従い調達される計画とする。その費用は PMC に含まれる。

6.4　免税措置の確認

タイ国内での主な税金は次のとおり。

6.4.1　直接税

個人所得税、法人所得税、石油所得税

6.4.2　間接税

付加価値税（VAT）、特定事業税、関税（輸入税）、消費税、印紙税

タイの主要な税法は歳入法であり、個人所得税、法人所得税、付加価値税、特定事業税、印紙税を規定している。 関税は関税法によって規制されており、 物品税法は物品税を管理している。 2023 年 1 月 5 日に the Ministry of Finance による関税率の引き下げ及び関税の免除にかかるアナウンスによると、下記項目が免税の対象となる。下記項目の(d)が本件で調達予定の機材に該当する。

(a) 新聞、出版物および文書
(b) 科学的または文化的研究に関連する工芸品および収集品。
(c) 教育的、科学的または文化的な視聴覚教材。
(d) 科学的資料および道具または器具
(e) 障害者用アイテム

(f) 楽器、スポーツ用品、技能用具。
(g) アートと建築の教材。

関税免除の対象となるには、物品が教育または研究目的で使用され、かつ MHESI の認証を受けている必要がある。また、原則として国内で生産されていない物品に限られるが、海外からの輸入が不可欠であると MHESI が認めた場合は例外とされる。免税に適用される法律は、「歳入局長通知 付加価値税（第 28 号）：歳入法第 80/1 条第 4 項に基づく借款計画または海外援助による、各省、局、部、地方自治体または国営企業への物品販売またはサービス提供の基準、方法および条件の設定」である。MHESI への免税申請書は SLRI が作成し手続きを行う予定。輸入税は税関によって管理される。

6.5　事業実施スケジュールおよび概略事業費

6.5.1　プロジェクト実施スケジュールの検討

事業の実施スケジュールは以下の通り。

表 6-6　事業実施スケジュール

マイルストーン	スケジュール
借款契約	2026 年 4 月
コンサルタント（PMC）選定（パッケージ 4）	2026 年 3 月～2026 年 11 月
入札：施設（パッケージ 1）	2026 年 12 月～2028 年 2 月（14.5 か月）
入札：加速器（パッケージ 2）	2026 年 10 月～2030 年 1 月（39.5 か月）
入札：ビームライン（パッケージ 3）	2027 年 1 月～2030 年 4 月（39.5 か月）
施設建設工事（パッケージ 1）	2028 年 3 月～2031 年 4 月（38 か月）
瑕疵期間	2031 年 5 月～2032 年 4 月（12 か月）
加速器調達（パッケージ 2） （保証期間を含む）	2027 年 10 月～2034 年 4 月（79 か月）
ビームライン調達（パッケージ 3） （保証期間を含む）	2028 年 3 月～2033 年 11 月（69 か月）
ビームライン設置	2033 年 2 月～2033 年 10 月
最初のビーム（ID（挿入装置）なし）	2033 年 3 月
ビームライン試運転（最終機器試運転を含む）	2033 年 11 月～2034 年 7 月
事業完了 **ビームサービス開始（第 1 フェーズ運用）**	2034 年 8 月
コンサルティングサービス完了（パッケージ 4）	2034 年 8 月

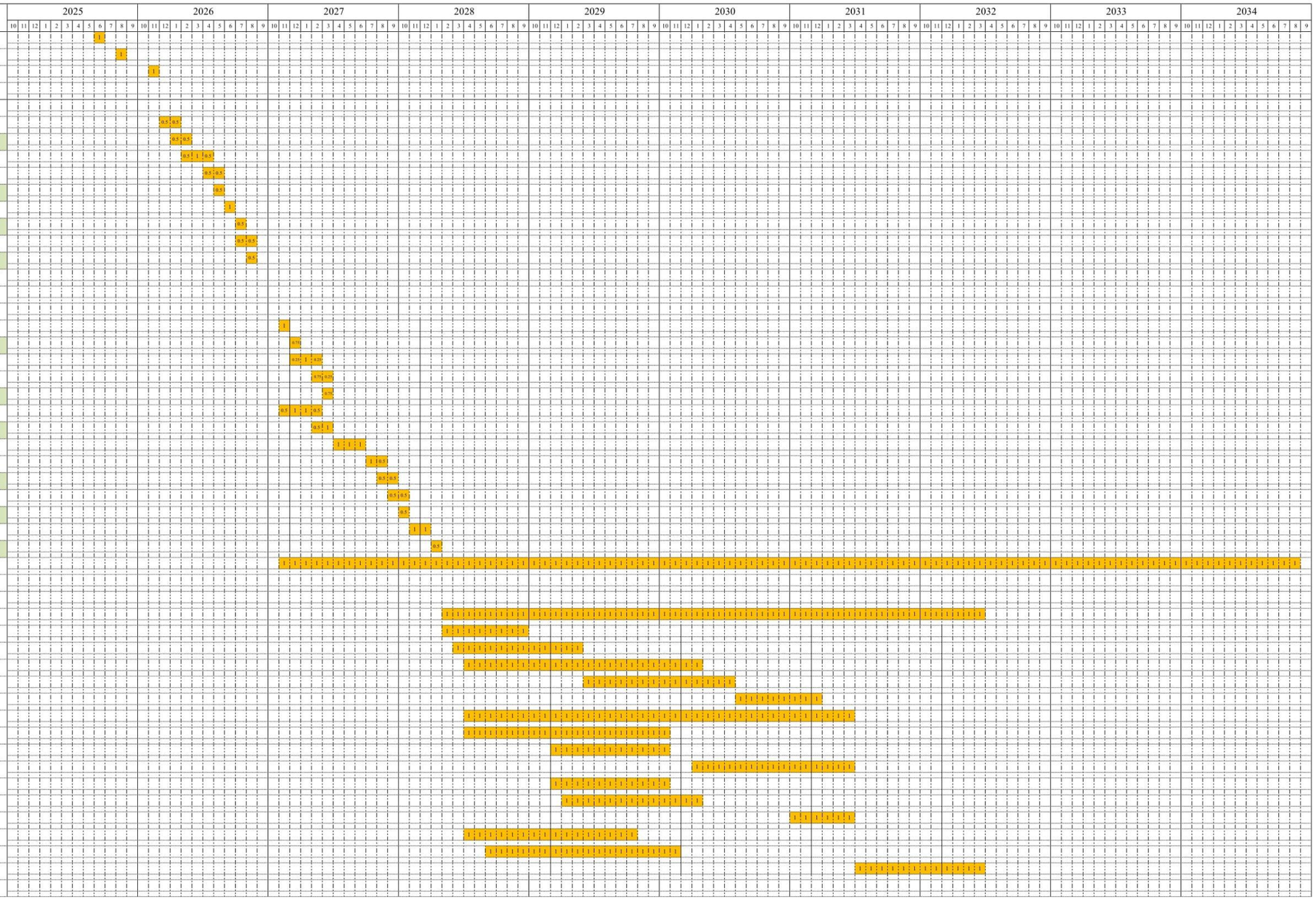
※コンサルタント選定、入札の計画期間は、JICA が定める標準実施期間に準じて設定されている。
※SLRI による詳細設計は事業実施スケジュールに合わせて調整が必要である。

出所：調査団

プロジェクト実施スケジュール案を以下に示す。

Implementation Schedule

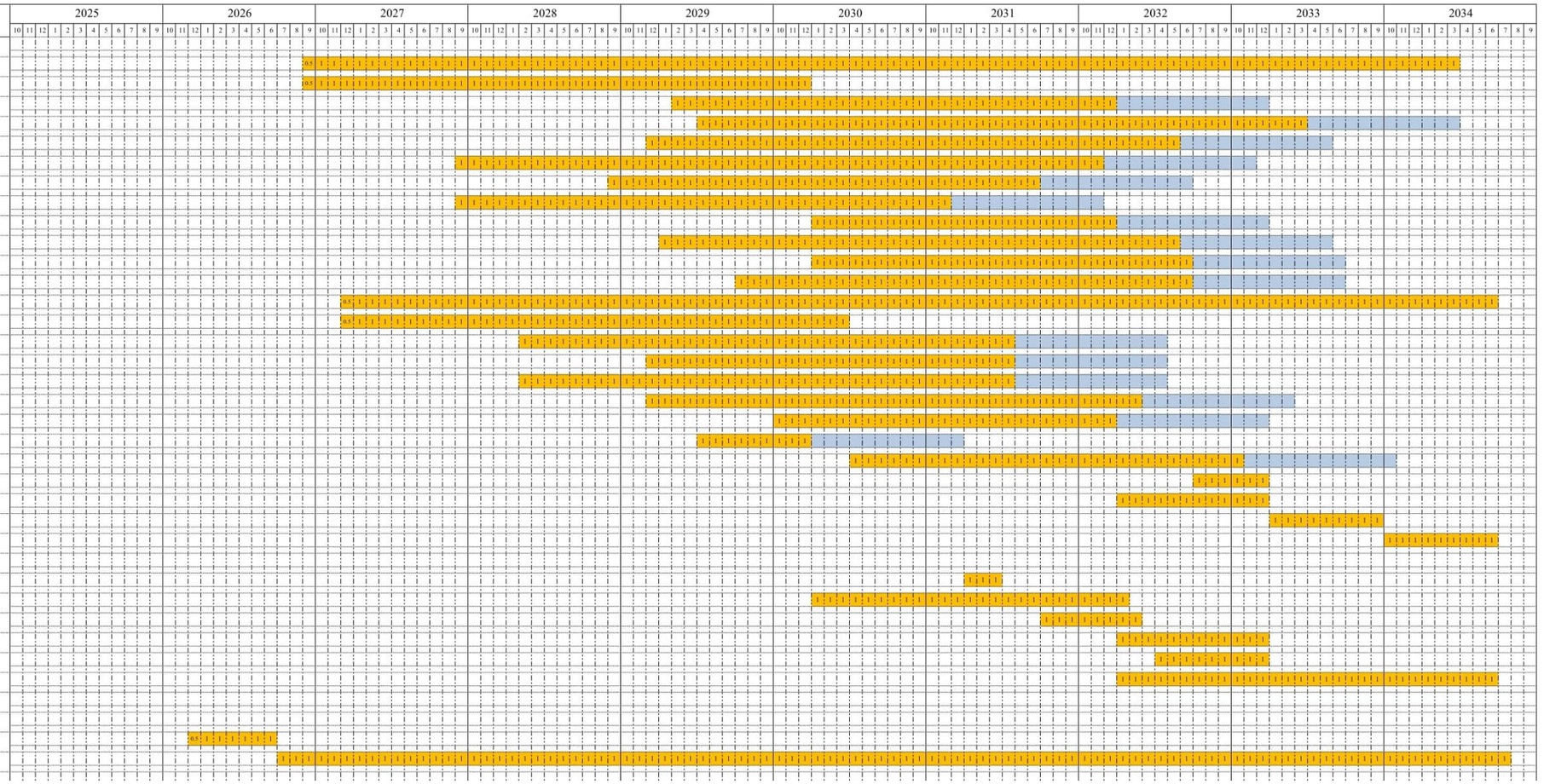
	Month
Appraisal	1
Pledge	1
Signing of Loan Agreement	1
	0
Procurement of Consultant (PMC)	0
- Preparation of RFP	1
- No Objection by JICA	1
- Advertising	2
- Technical Bid Evaluation	1
- No Objection by JICA	0.5
- Price Bid Evaluation	1
- No Objection by JICA	0.5
- Contract Negotiation	1
- No Objection by JICA	0.5
	0
Consulting Services (PMC)	0
Bidding Assistance	0
- Preparation of PQ Documents	1
- No Objection by JICA	0.75
- PQ Advertising	1.5
- PQ Evaluation	1
- No Objection by JICA	0.75
- Preparation of Bid Documents	3
- No Objection by JICA	1.5
- Advertising	3
- Technical Bid Evaluation	1.5
- No Objection by JICA	1
- Price Bid Evaluation	1
- No Objection by JICA	0.5
- Contract Negotiation, Preparation for Contract/Commencement of works	2
- No Objection by JICA	0.5
Project Management	94
	0
Building Construction	0
Construction (Package-1)	50
Survey and layout (Including primary monuments establishment)	8
Cut & fill	12
Infrastructure construction work	22
Road, Walkway and Hard landscape construction work	14
Soft landscape and Irrigation work	8
3GeV Synchrotron building (S Building)	36
Utilities building for synchrotron light source (U Building)	19
Magnet and vacuum laboratories (L Building)	11
User Office and library building (A Building)	15
Guest house and office building (G Building)	11
DI Water Building (D Building)	13
Reception and security (RS Building)	6
Electrical substation 115 kV / 22 kV (ES)	16
Install underground high voltage for electrical substation	18
Defect Notification Period (DNP)	12
	0



次のページに続く

Implementation Schedule

	Month
Equipment Procurement	0
Procurement of Equipment (Package-2, Accelerator)	90.5
Bidding	39.5
Instrumentation	35
Control	48
Radiation Safety	42
Magnet	51
Vacuum	34
Mechanical Positioning	39
Magnet Power Supplies	24
RF	41
Machine integration and utilities installation	30
Linac	36
Procurement of Equipment (Package-3, Beamline)	90.5
Bidding	39.5
Insertion Devices	39
Front Ends	29
SWAXS, HRXRD/MX, GIXRD/TRXRF beamlines	39
TXAS, HXAS, XMCT beamlines	39
HRSXS beamline	27
Detectors	9
Hutch, PSS, and Beamline Utilities	31
IDs and front-end installation	6
Beamline assembly & testing	12
Beamline installation	9
Final commissioning	9
	0
Pre-work (Survey and fiducials for control points)	3
Pre-installation in the LAB	25
Accelerator utility installation and testing	8
Machine installation	12
Machine integration and testing	9
Machine and beamline commissioning	30
	0
Procurement of International Technical Team (ITT)	0
Selection of ITT (Direct Appointment Procedure)	6.5
ITT Services	97



出所：調査団

図 6-4　プロジェクト実施スケジュール

6.5.2　建設許可手続き

本件の建設業許可申請の流れを以下に示す。建設工事に関するデザイン及び工事の許可に関する手順と仮のスケジュールは以下となる。

表 6-7　建設許可手続き

手続き	スケジュール
1. 基本設計 + SLRI および建築設計コンサルタント (InterPAC*) の承認	2021 年 4 月～6 月
2. アイデアの決定 + SLRI および建築設計コンサルタント (InterPAC*) の承認	2021 年 6 月～7 月
3. 基本設計に関する設計図と BOQ + SLRI および建築設計のコンサルタント (InterPAC*)	2022 年 7 月～9 月
4. 構造図+ SLRI および建築設計コンサルタント (InterPAC*) の承認	2022 年 9 月～2023 年 4 月
5. サイト変更に伴う設計の見直し**+ SLRI、建築設計者(DKW Consortium) による承認プロセス	2024 年 6 月～2025 年 5 月
5. サイト変更に伴う設計の見直し**+ SLRI、建築設計コンサルタント (InterPAC*) による承認プロセス	2024 年 10 月～2025 年 10 月
6. 建築管理法 B.E. 2522 に基づいて地方自治体に通知書を送る (設計コンサルタントが作成し、SLRI が提出)	工事入札前
7. 建物建設の意向通知書を PTT および VISTEC に送付（SLRI による）	工事入札前
8. B.E.2522 建築管理法第 39 条 bis に基づく建築物の建設に関する letter of notification of intention***の送付(施工者が作成し、SLRI が提出)	工事入札後／着工前

*　InterPAC： 設計時に SLRI アドバイス（TOR の作成など）を行ったタイのプロジェクトマネジメントコンサルタント会社

**　構造図が含まれる

***　確認応答が受信される

出所：SLRI

建設工事の完了後、使用開始前に、SLRI は建築工事完了の通知書を送付し、建築規制法 (B.E. 2522) に基づいて使用開始前に地域当局に建物の完了最終検査を依頼する必要がある。その後、当局による最終検査後に受領確認を受け取る。

6.5.3　PMC コンサルティング・サービスの実施計画（非公開）

（一定期間非公開）

6.5.4　概略事業費の積算（非公開）

（一定期間非公開）

6.5.5　円借款事業の迅速化およびコスト縮減策（非公開）

（一定期間非公開）

6.6　タイ政府負担の対象範囲（非公開）

（一定期間非公開）

7. 利用制度

7.1 ビームラインの利用制度

放射光施設のビームラインは共用ビームライン(Public Beamline)、専用ビームライン(Contract Beamline)と研究所が専有するビームラインに大別される。共用ビームラインは大学、産業界及び海外の研究者等に広く利用されることを目的に設置されており、一方、専用ビームラインは特定の研究機関等が設置し、独自に設定した利用研究課題を実施することを目的としている。SPring-8 の場合、理研が自らの研究開発を行うためのビームライン（Riken Beamline）が設定されており、その構成は下表のとおりである。

表 7-1　SPring-8 のビームライン構成（2022 年 8 月現在）

	Public	Contract	Riken	Total
Operation	26	15	13	54
Under construction	0	2	1	3
Total (%)	26 (45.6%)	17 (29.8%)	14 (24.6%)	57 (100.0%)

出所：SPring-8

共用ビームラインは、一般的に有償での利用を基本としているが、利用者数促進の観点等からトライアル利用などを中心に無償での利用制度を設けている施設もある。有償の場合も成果公開の条件や地元企業の利用等で利用料金に幅を持たせている施設が多い。日本の代表的な放射光施設の利用制度概要を表 7-3 にまとめる。

7.1.1 SPS-I の利用制度

SPS-I のビームラインは全てが共用のビームラインで、一部のビームラインは特定の研究機関及び企業に優先利用を認めているが、専用ビームラインは設置されていない。SPS-I の放射光施設の利用料金はビームライン別に設定されている。SPS-I の利用料金を下表にまとめる。

表 7-2　SPS-1 の利用料金表

	Beamline	Rate per hour (THB)
1	BL1.1W: MXT	7,200.00
2	BL1.2W: X-ray Imaging & XTM	6,000.00
3	BL1.3W: SAXS	7,200.00
4	BL2.2: TR-XAS	5,100.00
5	BL3.2Ua: PES	12,000.00
6	BL3.2Ub: PEEM	12,000.00
7	BL6a: DXL	6,200.00
8	BL6b: Micro-XRF	6,200.00
9	BL7.2W: MX	7,100.00
10	BL8: XAS	7,200.00

出所： SLRI

表 7-3　日本の代表的な放射光施設の利用制度のまとめ

施設	無償 成果公開	有償 (減額) 成果公開	有償 (減額) 成果専有　非公開	有償 成果専有　非公開
SPring-8 料金：1 シフトは 8 時間	10,720 円（消耗品実費負担定額分） 一般課題（成果非専有） 長期利用課題 緊急・特別課題	141,720 円 成果公開優先利用課題		490,720 円 成果専有課題 730,720 円 時期指定利用課題 成果専有測定代行課題
放射光実験施設 Photon Factory (PF) 料金：1 時間単位	共同利用（学術目的の実験課題であること）	通常ライン:15,400 円 高性能ライン： 30,800 *円* 優先施設利用（国又は国が所管する機関のプロジェクトで採択された研究課題であること）	通常ライン:15,400 円 高性能ライン： 30,800 *円* 試行施設利用 初めてのご利用を対象としたもの	通常ライン:28,600 円 高性能ライン： 57,200 *円* 一般施設利用
あいちシンクロトロン光センター 料金：1 シフトは 4 時間 Measurement service charge: per hour	成果公開無償利用事業課題で採択のみ		103,600 円 (51,800 円トライアル利用) 公共利用・中小企業利用 51,800 円 測定代行	207,200 円 (103,600 円トライアル利用) 一般利用 77,700 円 測定代行
佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター 料金：1 日単位	トライアル利用	12,100 円 県内産業利用（産学官） 24,200 円 県外重点分野利用（産学官）	48,400 円（半日） 県内企業	122,100 円 県内一般利用 244,200 円 県外一般利用

出所： https://photonbeam.jp/prices/

SLRI では新規顧客向けのトライアルユース制度の導入を検討しているが、実施には至っていない。一方、新規顧客に対しては放射光施設利用促進のために技術セミナーを定期的に開催しており、このセミナーの参加者から新規ユーザーとなったケースが複数ある。

コロナ期間中は、SLRI を訪問できないユーザー向けに資料送付による測定代行を主にアカデミックユーザー向けに実施していたが、これらは制度的なサービスでなく、大学等の研究者と SLRI の研究者間の協力ベースにより実施されていた。SLRI は測定代行サービス制度の設置を現在、検討中である。

7.1.2　SPS-I のユーザーを対象とした満足度調査

SLRI では SPS-I の利用者を対象とした顧客満足度調査を年 1 回実施している。本調査は、今後の SLRI が SPS-II の利用制度やユーザーに提供するサービスを検討する際に参考になる点を含むので、2019 年から 2022 年に実施された調査の概要と利用者から要望を以下にまとめる。

調査は SLRI のサービスを利用している利用者を 3 つのグループに分けて実施しており、そのグループごとに一定数の利用者を対象にサンプリング調査として実施している。各年度のグループ別の母集団数とサンプル数を下表にまとめる。

表 7-4　満足度調査のグーループ別サンプル数

グループ		2019	2020	2021	2022
グループ 1 教育機関・官公庁等の放射光およびサービスの利用者	母集団数	350	350	350	400
	サンプル数	250	200	200	254
グループ 2 民間法人による放射光及び関連サービスの利用者	母集団数	200	200	200	100
	サンプル数	100	50	100	50
グループ 3 放射光技術ワークショップの参加者	母集団数	500	0	500	300
	サンプル数	250	0	125	150

出所：SLRI

調査では、サービス項目ごとの満足度を 5 段階で回答するよう求めている。SLRI が提供するサービス全体の満足度を下表にまとめる。

表 7-5　グループ別の全体満足度

グループ	2019	2020	2021	2022	2023
グループ 1	4.82	4.84	4.68	4.62	4.65
グループ 2	4.69	4.73	4.48	4.52	4.66
グループ 3	4.74	n/a	4.48	4.50	4.65

2023 年度は全体満足度の結果のみ公表。

出所：SLRI

どのグループからもおおむね高い満足度を得ていることが窺える。サービスを再度利用したいかという質問に対する回答を下表にまとめる。

表 7-6　サービスの再度利用の意思

グループ	2019	2020	2021	2022
グループ 1	4.56	4.78	4.80	4.71
グループ 2		4.53	4.52	4.59
グループ 3		n/a	4.59	4.68

出所：SLRI

各グループもSLRIが提供しているサービスにある程度満足していることが再度利用したいという結果につながっていると推察される。

グループ 1 とグループ 2 に関してはサンプル対象となったユーザーが新規ユーザーか既存ユーザーであるかの分類も行っている。その結果を下表にまとめる。2020 年グループ 2 を除き両グループともに毎年ある一定数の新規ユーザーが含まれているが、特にグループ 2 はその割合が高い。これはグループ 3 に分類されている技術セミナーに参加したユーザーがその後にシンクロトロンユーザーになったことが起因していると推察される。

表 7-7　グループ 1 と 2 のユーザー区分（新規・既存）

グループ	ユーザータイプ	2019		2020		2021		2022	
		Number	%	Number	%	Number	%	Number	%
グループ 1	リピーター	157	62.8%	159	79.5%	167	83.5%	186	73.2%
	新規	93	37.2%	41	20.5%	33	16.5%	68	26.8%
	合計	250	100.0%	200	100.0%	200	100.0%	254	100.0%
グループ 2	リピーター	50	47.2%	50	100.0%	68	68.0%	28	56.0%
	新規	56	52.8%	0	0.0%	32	32.0%	22	44.0%
	合計	106	100.0%	50	100.0%	100	100.0%	50	100.0%

出所：SLRI

これらの調査結果からはSLRIの提供しているサービスと放射光施設の利用制度に対してユーザーからおおむね高い満足度得ていることが窺えるが、調査では改善を望む意見も収集している。改善を望む意見を以下に記載するので、今後のサービスおよび利用制度を検討するうえで参考にすることが薦められる。

- 利用者の研究分野に応じて、利用順番を検討すべきである。
- 金属エッチングや誘電体薄膜堆積装置など、実験を補助する試料作製・加工装置を導入すべきである。
- IR（赤外分光）やXAS（X線吸収微細構造）などの専門技術について、詳細かつ実践的なトレーニングの実施が必要である。
- メンテナンスに要する時間が長すぎる。
- 技術的なトラブルやビームラインの問題で実験が中断した場合、損失した時間の補償を検討すべきである。
- 利用者を増やすため、広報活動を改善すべきである。
- 運転スケジュールを利用者が容易に確認できるようにするや、ワークショップの告知内容をより詳細に記載するなど、ウェブサイトを改善すべきである。

- 初めて施設を利用する人に特化した、テクニカルマニュアルを作成すべきである。
- 利用者登録およびプロポーザルの提出プロセスを簡略化すべきである。
- Beam Dump を行う際は、事前に利用者へ通知することを徹底しなければならない。
- ゲストルームに、データ解析・処理専用の高性能コンピュータを設置すべきである。
- スラナリー工科大のキャンパス内でのシャトルバス運行サービスを提供すべきである。
- GIWAXS（広角放線入射 X 線散乱）など、利用可能なビームライン技術を多様化すべきである。

7.1.3　SPS-II の利用制度

SPS-II の第 1 期計画では 7 本のビームラインの設置を予定しているが、7 本すべてが共用ビームラインの予定である。SPS-II では、学術ユーザー及び中小企業ユーザーには一般ユーザーより割安の料金での利用サービスを提供する予定である。現在想定されているビームライン利用料金を下表にまとめる。

表 7-8　SPS-II の想定料金表

ユーザーグループ	Percentage Compared to Industrial User	Baht/Hour
一般企業		34,000
中小企業	33%	11,333
学術関係	10%	3,400
トレーニング	100%	34,000
外国ユーザー	100%	34,000

出所：SLRI

具体的な利用制度は今後、検討していく予定であるが、産学連携・産業利用を大きく促進するためには、そのニーズをくみ取った新しい利用制度や支援体制を構築する必要がある。産業利用・産学連携をより大きく促進するため、現在も主に Business Development Section が推進しているサービスをより拡充することが求められる。以下に今後検討するべき主な課題を挙げる。

(1)　産業利用支援性の拡充

製品開発を行う企業が、ビームラインや測定手法の選定、課題解決のためのアプローチ等について、適切に助言・相談を受けられるよう、専門知識を有するコンシェルジュやコーディネーター等を組織戦略部局（Organization Strategy Division）内に配備する。また、個別の企業の求めに応じて、大学等の研究パートナーを紹介するマッチングサポートを組織的に実施する。さらに、企業の研究者が直接現地に来ることなく、資料を送付してデータを受け取る測定代行（メールインサービス）を本格的に導入する。

(2)　中小企業・スタートアップ企業などの新たな利用者の開拓

前述の通り、中小向けに利用料金の減額プランを導入することを検討しているが、創薬や新規材料などに関する将来性のある研究テーマを有する中小企業・スタートアップ企業を対象としたトライアルユース制度の導入の検討が薦められる。また、大学や NSTDA などが取り組んでいるスタートアップ企業支援と連携した組織的な新規顧客開拓の制度作りの検討が薦められる。

(3)　地域と連携した利用制度の設置

前述の日本のナノテラスにおける仙台市と連携した地域企業を対象としたビームタイムの優先枠の設置などの事例に倣い、EEC の企業の利用促進のための制度作りの検討が薦められる。この点に関しては詳細を後述する。

(4)　知財管理の徹底、データベース・ネットワーク等利用の環境の整備

企業が安心して研究利用を実施できるよう、知財や機密情報の管理を徹底するとともに、高スループットデータを取り扱える解析装置やデータベースの配備の検討が薦められる。これらの整備により産業ユーザーの獲得増加が期待できる。

7.1.4　日本の放射光施設の利用制度

参考として、国内の放射光施設におけるビームラインサービスに関する情報を収集して、下表にまとめた。下表の情報に加え、ビームライン利用料は一般的に電気代、人件費、設備費、消耗品費で構成されることを確認した。消耗品費などの利用料は、すべての利用者に請求される。

表 7-9　日本の放射光施設の利用制度・情報提供の概要

		SPring-8 (理研＋JASRI)	ナノテラス（QST＋登録機関）	ナノテラス（PhoSIC）
利用資格				▪ 加入金を出資した会員 ▪ 出資口数等に応じた会員種別あり （プラチナ、ゴールド、一般）
事前相談		▪ 利用者から登録機関へ事前相談 ▪ 現地及びオンライン講習会の実施 ▪ 初回利用者向けのWEB 窓口設置 ▪ 分野専門の相談員等による産業利用相談 ▪ 測定代行等ライトニーズへの対応検討	▪ 検討中 （※詳細は登録機関と要協議）	▪ 利用の仕組み・手続き相談 ▪ 専門的な研究相談（パートナーマッチング） ▪ BL 利用相談
利用制度	成果非占有	▪ 通常利用 ▪ 緊急・特別利用 ▪ 大学院生利用 ▪ 優先利用（有償オプション）	▪ 一般課題	
	成果占有（有償）	▪ 通常利用 ▪ 時期指定利用･測定代行利用	▪ 成果占有課題	▪ 基本利用（無償の利用支援あり） ▪ アドバンスト利用（追加料金あり） ▪ メールイン・代行測定(追加料金あり) ※詳細については検討中
利用料金		▪ 成果非専有：消耗品実費負担のみ ▪ 成果占有：480 千円/8 時間 ▪ 成果非専有（優先利用）：131 千円/8時間 ※別途､消耗品実費負担あり	▪ 一般課題：消耗品実費負担のみ ▪ 成果占有：消耗品実費負担＋ビーム 使用料	▪ 加入金5000 万円（1口） ▪ 利用料金 3.5 万円/時（22 年度加入の場合） ▪ その他オプションを検討中
課題申請		▪ ユーザーニーズを踏まえ、課題募集を年2回から年6回へ増加し、更に1時間単位での随時利用枠を追加 ▪ 課題申請を全てオンラインで実施	▪ 年2回（状況を見ながら検討・追加）	BL 予約方法は以下のとおり（中間報告） ▪ 毎月利用申請が可能 ▪ 一か月前までは全メンバー予約確定（一次募集） ▪ プラチナ会員、特約ゴールド会員は優先的に7日前まで予約可(二次募集) ▪ 空枠があれば全会員が2日前までに予約可（三次募集）
課題審査		▪ 利用開始5か月前に課題審査を行い、その後選定委員会において決定 ▪ 利用開始1.5 か月前に登録機関より採否通知 ※年2 回公募の場合の平均的な期間	▪ 検討中 （※詳細は登録機関と要協議）	
実験実施		▪ 登録機関による利用支援 ▪ 施設利用時の技術指導支援 ▪ ユーザーニーズを反映するためのユーザー満足度アンケートの実施 ▪ 人材確保・育成に力を入れスタッフの技術力・研究力を強化	▪ 登録機関による利用支援	▪ PhoSIC スタッフによる利用支援として測定の基本指導を実施 ▪ 学術パートナーとの戦略的連携 ▪ メールイン、測定代行サービスは有償（詳細は検討中）
データ分析・結果の解釈		▪ 利用者が独自に実施するが、相談には適宜対応	▪ 利用者が独自に実施	▪ データ処理、解析については利用支援として基本指導を実施 ▪ アドバンストは解析等有料サービスを実施（検討中）
成果公開方法（成果非占有）		▪ 利用者が実験後2か月以内に実験報告書を提出 ▪ 利用者が実験後36か月以内に論文出版（※延長あり）	▪ 検討中 （※詳細は登録機関と要協議）	
利用料金支払い（成果占有）		▪ 請求書受領後2か月以内に登録機関に支払い	▪ 検討中 （※詳細は登録機関と要協議）	▪ 利用後に会員へ請求（詳細検討中）
改定の予定		▪ ユーザーニーズを踏まえ、複雑であった利用制度を長期利用制度の見直し等により改善予定	▪ 試験的共用で出た課題を元に登録機関とともに検討	▪ 早期建設費確保のインセンティブ確保と運用期の持続可能性確保のため、今後利用料金の改訂を予定
ユーザーに対する情報提供		▪ ブックレット等利用者情報誌による事例紹介 ▪ 施設見学 ▪ WEB サイト ▪ オンライン化も含めた普及啓発イベント（ＷＳ、研修会、研究会、講習会等） ▪ スクール（夏の学校、秋の学校） ▪ SPring-8 シンポジウム、産業利用	▪ WEB サイト ▪ QST 国際シンポジウム ▪ 放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム ▪ ナノテラス一般見学会 ▪ 新聞シリーズ連載予定 ▪ QST 記者懇談会 等	▪ コアリションカンファレンス(年2 回) ▪ エンドステーション利用技術説明会 ▪ 放射光学会での会合 ▪ 宮城県、仙台市等でのトライアルユース ▪ 国際放射光施設フォーラム ▪ その他アウトリーチ（新聞、テレビ、YouTube、パンフレット、施設視察、WEB サイト、各種会合、市民講座等による発信） 等

出所：文科省（資料 6、ナノテラス（次世代放射光施設）の利活用の在り方に関する有識者会議(第 3 回) 令和 4 年 10 月 21 日）

7.2　産学連携促進のための利用制度

7.2.1　現状

(1)　SLRI：放射光技術関連サービス

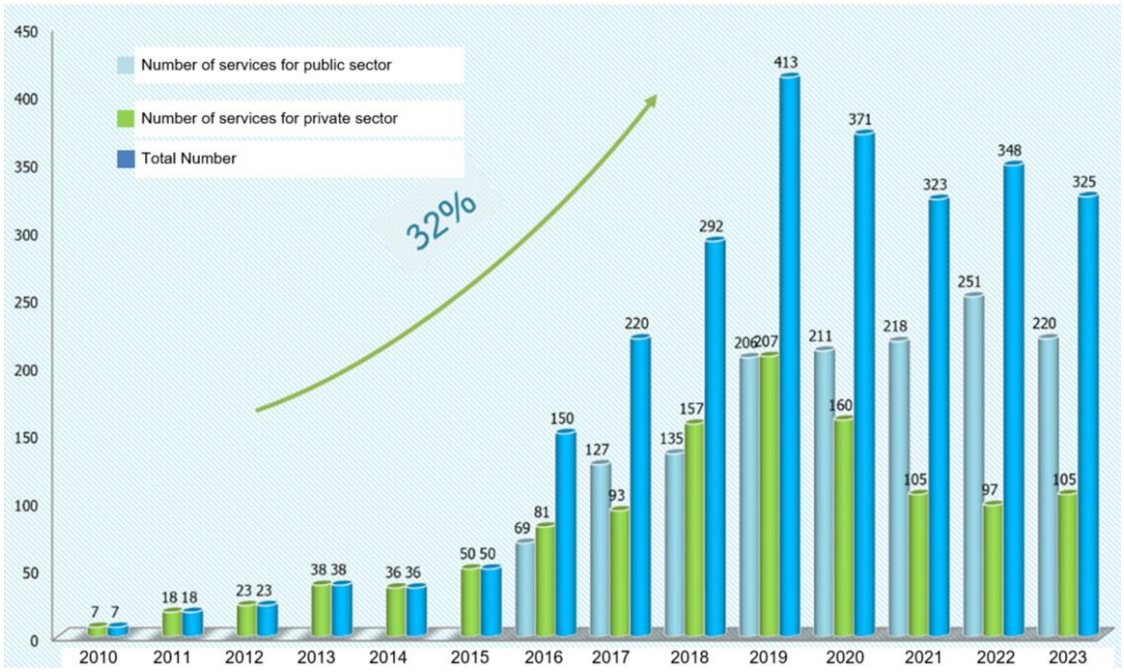
公的施設である SLRI は、2010 年、行政機関と民間セクターの両外部機関へのサービスの提供を開始した。(1) 放射光技術サービス、(2) 技術エンジニアリングサービス、(3)調査サービス、(4)コンサルティングサービス、(5)基礎科学機材サービス、(6)技術移転、場所貸し出し、物販等その他サービス、の 6 つのサービスを提供している。

放射光は調査研究、問題解決、製品開発に応用できる優れた特性を有する。その結果、政府機関（教育部門を含む）や民間セクターがこのサービスを利用するようになり、SLRI からサービスを受ける案件数の年平均成長率（CAGR）は 32%に達する。



出所：SLRI

図 7-1　SLRI のサービスプラットホーム



出所：SLRI

図 7-2　放射光サービス統計と関連技術（2010-2023 年度）

サービス提供件数は、2010 年から 2015 年まで低水準でしたが、2016 年以降急増し、2019 年に 413 件でピークを迎えた。しかし、2020 年以降は減少傾向にあり、新型コロナウイルスの影響が考えられる。民間部門は 2016 年から増加し、2019 年に 207 件まで達したが、2020 年以降は減少し、2022 年には 97 件と半減した。

上図では、2012 年から 2022 年にかけての民間部門へ提供したサービスの合計件数は 1047 件であるが、そのうちの 1024 件の業種別及びサービス種別の内訳を下表に示す。

表 7-10　SLRI の民間部門向けサービスのまとめ：業種別・サービス別（2012 年から 2022 年）

Industry	Scientific Instrument Services	Technical and Engineering Services	Synchrotron Light Services	Research Solutions Services	Total
Food & Agriculture	161	2	60	26	249
Rubber & Polymer	134	12	52	1	199
Automotive	137	0	3	0	140
Pharmaceuticals & Cosmetics	84	0	15	4	103
Metals & Ceramics	50	4	25	0	79
Electronics & Micro components	52	6	21	0	79
Petroleum & Chemicals	14	1	28	2	45
Textiles	0	0	3	0	3
Others	74	19	34	0	127
Total	**706**	**44**	**241**	**33**	**1024**
%	**68.9**	**4.3**	**23.5**	**3.2**	**100.0**

出所：

SLRI が 2012 年から 2022 年にかけて提供したシンクロトロン光サービスは、全体の 23.5%にあたる 241 件だった。特に利用が多かった業種は、「食品・農業（60 件）」、「ゴム・ポリマー（52 件）」、「金属・セラミックス（25 件）」、「電子・マイクロ部品（21 件）」、「石油・化学（28 件）」などであった。主な用途としては食品・農業分野では、食品の成分分析や品質評価のためにシンクロトロン光が活用され、ゴム・ポリマー業界では材料の構造解析に利用されている。金属・セラミックスや電子・マイクロ部品分野では、精密な材料評価や製造プロセスの改善などに活用されている。一方で、自動車（3 件）や繊維（3 件）といった業種での利用は少なく、特定の分野に集中していることが分かる。今後、さらなる産業応用が期待される。

(2)　潜在顧客層の分析

SLRI は、次世代放射光施設におけるタイ産業界の潜在的顧客層を特定するため、産業分析を実施した。本報告書では、その分析結果について述べる。

SLRI は、タイ証券取引所（SET）に上場している企業および、未上場ながら広く認知されている企業を対象に分析を行った。評価は以下の基準に基づいて実施された。

1) 企業価値 (Enterprise Value: EV)
   - 企業の市場価値を業界平均と比較し、スコアを算出。
   - EV が業界平均を上回る場合は 100 点を付与。
2) 収益性 (EBITDA)
   - 企業の利益（EBITDA）を業界平均と比較し、評価を実施。
   - EBITDA が業界平均を上回る場合は 100 点、マイナスの場合は 0 点。
3) 研究開発およびイノベーション
   - 企業の事業内容を分析し、シンクロトロン光技術がどれほど課題解決や研究開発に貢献できるかを評価。
4) 企業のイメージ
   - 産業研究や技術開発に対する関心度や可能性を評価。

各項目は 100 点満点で評価され、総合スコアは包括的な評価手法を用いて算出された。なお、いずれかの項目が 0 点の場合、総合スコアも 0 点となる。これは、SLRI が将来性のある企業を特定し、より効果的なマーケティング活動を行うための指標として活用される。評価基準と計算方法を下表にまとめる。

表 7-11　評価基準と計算方法

評価項目	評価基準および計算方法
企業価値スコアー EV score	企業価値（Enterprise Value, EV）は、市場から見た企業の経営力を示す指標である。 もし企業の EV が業界平均の EV を超えている場合、100 点 を付与。 $\text{EV Score} = \frac{Concerned\ Enterprise´s\ EV\ Score}{EV\ Average\ Score} x100$
収益性スコアー EBITDA score	企業の収益性は、経営管理能力、生産プロセス、製品・サービスの開発、マーケティング・広報活動、そして科学技術分野での研究開発能力を反映するものである。もし企業の EBITDA が業界平均の EBITDA を超えている場合、100 点 を付与。一方、EBITDA がマイナスの場合、0 点 となる。 $\text{EBITDA Score} = \frac{Concerned\ Enterprise´s\ EBITDA\ Score}{EBITDA\ Average\ Score} x100$ if EBITDA > average EBITDA, EBITDA score will be 100, if EBITDA < 0, EBITDA score will be 0
研究開発スコアー Research score	(1) 企業イメージ、(2) 事業内容の詳細（科学的な研究開発が可能な分野を含む）を評価する。例えば、農業関連産業では、農業生産プロセス、栄養価、食品加工プロセスなどが該当する。そして、(3) 事業の課題解決や発展のために、科学的な研究開発を活用できる機会を検討する。
最終スコアー Total score	$\text{Total Score} = \sqrt{\sqrt{EV\ Score\ x\ EBITDA\ Score}\ x\ Research\ Score}$

出所：SLRI

上記の方法で算出した最終スコアの結果をを基に以下の通り分類する。

- スコア 50－100：研究開発のビジネスパートナーシップを構築できる可能性がある企業
- スコアー25－49：継続的な関係構築や新規の協力関係の開拓を進め、科学技術革新を促進する機会がある企業
- スコア - 1－24：将来的に SLRI がアプローチすべきターゲットとなる可能性がある企業

タイ国の主要産業を中心にこの方法で潜在的顧客層を分析した結果を下表にまとめる。

表 7-12　潜在的顧客層分析結果のまとめ

産業	最終スコアー企業数			最終スコアー25 以上の企業(スコアー)	過去の放射光利用*1
	50-100	25-49	1-24		
農業	1 社	3 社	4 社	ミットポンシュガー&グループ企業（82） シータン・グローブ（42） タイワー（37） ユニワーニットパームオイル(31)	1 社
食品	7 社	7 社	23 社	チャロン・ポカパン・フーズ（CPF）(100) タイ・プレジデント・フーズ (100) CP ラム (100) タイ・ユニオン・グループ (97) ベタグロ (80) GFP-T (72) イースタン・ポリマー・グループ (63) タイ・ベジタブル・オイル (49) NR インスタント・プロデュース (37) アジアン・シー・コーポレーション (36) マリー・グループ (36) タイ・ココナッツ (35) セッペ (34) タイ・フーズ・グループ (32)	2 社
バイオテクノロジー	14 社	8 社	11 社	PTT グローバル・ケミカル (100) バンチャーク・コーポレーション (100) デムコ (100) PTT（タイ国営石油）(100) SCG パッケージング (97) バンプー (95) IRPC (95) ミトポン製糖（グループ企業）(82) コンケン製糖 (78) シン・エステート (78) タイ・アグリカルチャー・インターナショナル・シュガー (75) ガルフ・エナジー・デベロップメント (71) イースタン・ポリマー・グループ (63) クラブリ製糖 (55) ブリラム製糖 (47) NR インスタント・プロデュース (37) マリー・グループ (36) グローバル・グリーン・ケミカル (35) BBGI (35) ノースイースト・ラバー (32) タイ・イースタン・グループ (32) 東レ・テキスタイル（タイランド）(27)	4 社
プラスチック及びポリマー	3 社	2 社	4 社	サイアム・セメント（SCG）(100) TPI ポーリーン (100) イースタン・ポリマー・グループ (63) アピコ・ハイテック (32) 東レ・テキスタイル（タイランド）(27)	1 社

産業	最終スコアー企業数			最終スコアー25 以上の企業(スコアー)	過去の放射光利用*1
	50-100	25-49	1-24		
鉄鋼及び金属	3 社	1 社	25 社	サハウィリヤ・スチール・インダストリー（100） PTT 石油探査・生産（PTTEP）(100) イースタン・ポリマー・グループ (63) アピコ・ハイテック (32)	2 社
先端材料及びパッケージング	13 社	7 社	15 社	サイアム・セメント（SCG） (100) PTT（タイ国営石油）(100) CP ラム (100) TOA ペイント（タイランド）(98) SCG パッケージング (97) スパライ (95) IRPC (95) ティプコ・アスファルト (91) サラブリー・セメント (97) SCG デコール (84) SC アセット・コーポレーション (80) プルクサ・ホールディング (59) ワナチャイ・グループ (54) ポリプレックス（タイランド）(44) TMT スチール (34) BG コンテナ・グラス (33) ランド・アンド・ハウス (32) S.キッチャイ・エンタープライズ (28) 東レ・テキスタイル（タイランド）(27)	1 社
ゴム及びタイヤ	1 社	5 社	8 社	スリトラン・アグロインダストリー (50) スリトラン・グローブ（タイランド）(42) ノースイースト・ラバー (32) ユニベンチャー (28) イノーベ・ラバー（タイランド）(27) グッドイヤー（タイランド）(26)	0 社
太陽光発電及びクリーンエネルギー	14 社	0 社	8 社	BCPG (100) B.Grimm Power (100) エナジー・アブソリュート (100) グローバル・パワー・シナジー (100) PTT（タイ国営石油）(100) バンプー (95) タイ発電公社（EGAT）(87) ロジャナ工業団地 (86) シン・エステート (78) CK Power (71) ガルフ・エナジー・デベロップメント (71) バンコク航空燃料サービス(65) WHA コーポレーション (50) バンプー・パワー (50)	0 社
バッテリー	4 社	0 社	0 社	エナジー・アブソリュート（Energy Absolute）(100) グローバル・パワー・シナジー(100) ネクスト・ポイント（Next Point）(100) タイ・エナジー・ストレージ（TES）(100)	0 社

産業	最終スコアー企業数			最終スコアー25 以上の企業(スコアー)	過去の放射光利用*1
	50-100	25-49	1-24		
医療・公衆衛生・医薬品・健康・化粧品	7 社	11 社	9 社	PTT（タイ国営石油）(100) CP ラム (100) TOA ペイント（タイランド）(98) バンコク・ドゥシット・メディカル・サービス（BDMS）(89) メガ・ライフサイエンス (73) プルクサ・ホールディング (59) ビッグカメラ・コーポレーション (50) ホームプロ・センター (50) S&J インターナショナル・エンタープライズ (39) NR インスタント・プロデュース (37) タイワー (37) RS (36) BBGI (35) バムルンラード病院 (32) ユニベンチャー (28) チェンマイ・ラム・メディカル (27) ナムウィワット・メディカル (25) カーマート (25)	0 社
半導体	3 社	2 社	4 社	BCPG (100) バンプー (95) カル・コンプ・エレクトロニクス（タイランド）(50) ハナ・マイクロエレクトロニクス (47) KCE エレクトロニクス (45)	0 社
環境	7 社	1 社	6 社	TPI ポリーン・パワー　(89) サラブリー・セメント (87) シン・エステート (78) CK パワー (71) 東部水資源管理・開発（EASTW）(59) WHA コーポレーション (50) バンプー・パワー (50) ポリプレックス（タイランド）(44)	0 社
合計	77 社	47 社	117 社	（重複あり）	11 社

*1: 最終スコアー25 以上の会社のうち、過去に放射光サービスの利用がある会社数

出所：SLRI のデータを基に調査団作成

SLRI は、本分析を通じて、次世代放射光施設の主要な顧客層を明確化した。特に、SET に上場している企業の中から、研究開発に積極的な業種をターゲットとして選定した。今後は、本分析結果を活用し、ターゲット企業との連携強化を図るとともに、放射光技術の産業利用促進を進めていく予定である。

(3)　各種技術セミナー

SLRI は、直近の 4 年間（2019 年から 2022 年まで）、民間セクターへの知識と技術の移転に積極的に取り組んできた（4 年間で 119 回）。放射光利用と関連技術について、企業に、対面とオンラインの方法により提示されている（2020 年から 2021 年においては、新型コロナウイルス蔓延の影響によ

り、オンラインの方法も採用された）。これに加えて、SLRI は官民いずれのセクターにおいても、来訪者を歓迎している（この間、73 回、計 731 名の来訪者を受け入れ）。討論や意見交換で訪れる産業界からのグループは、主に、食品産業、農業、薬品、化粧品、材料工学の分野である。活動の主な目的は、信頼の構築、放射光実験室や基礎科学実験室が整備されていることの紹介である。



PTT Exploration と
Production Public Company Limited



タイ産業連盟

出所：SLRI

図 7-3　事例（技術移転／民間セクター等関連機関との会議）（2019-2020 年度）



MMP Corporation Company Limited



Beautiful Mom Company Limited

出所：SLRI

図 7-4　事例（技術移転／民間セクター等関連機関との会議）（2021 年度）



Saha Group Industrial Park と
Lion Corporation (Thailand) Limited



Baramizi Company Limited

出所：SLRI

図 7-5　事例（技術移転／民間セクター等関連機関との会議）（2022 年度）

(4)　MHESI(高等教育科学研究イノベーション省）

MHESI が実施している産学連携促進のための活動としては Higher Education Sandbox があげられる。Higher Education Sandbox は産業界が人材育成ニーズにこたえるため、従来の高等教育のカリキュラムを革新的に改善することを目指し、高等教育法 B.E.2562 第 69 条を制定して MHESI が打ち出した制度である。この制度の下で実視される高等教育プログラムは産業界と連携してカリキュラム開発することが条件となっており、従来の就学期間（学士 4 年間）やカリキュラム規定等に縛られずに、産業界が求めるより実践的でイノベーションにより特化したカリキュラム開発を可能としている。

MHESI が SPS-II の産学連携を支援するための政策を打ち出すかは今後の検討課題であるが、SPS-II Project の実施に向けて、タイの大学および企業と連携して Higher Education Sandbox 制度を利用した放射光技術者・研究者養成のための新しいカリキュラム開発を検討することが薦められる。

(5)　EECi

EECi は MHESI の管轄で実施されている経済特区プロジェクトであり、MHESI の中では NSTDA が本プロジェクトを担当している。前述の通り、NSTDA は EECi 内に既に産学連携を促進するための研究機関として BIOPLIS、ARPOLIS 及び SPACE POLIS を設置して、パイロットプラントや R&D コンサルタント等の産学連携サービスの提供を開始している。23 年 2 月の現地調査の際のヒアリングでは、NSTDA では SPS-II に特化した産学連携プログラムの開発は現時点では想定していないとのこと。NSTDA との連携は今後の検討課題となる。

7.2.2　将来計画

現在のところ、SLRI、MHESI、EECi のいずれにおいても、産学連携促進に関する将来計画はない。新施設の需要調査後の計画が期待される。

7.3　軍事利用

日本の政府開発援助（ODA）大綱（2003 年 3 月）では、日本の ODA の原則を以下のように定めている。

1) 環境保全と開発を両立させる。
2) ODA を軍事目的に使用したり、国際紛争を悪化させるようなことは避ける。
3) 被援助国の軍事費、大量破壊兵器・ミサイルの開発・生産、武器の輸出入等の動向に十分留意すること。
4) 被支援国の民主化、市場経済の導入、基本的人権・自由の確保に向けた取り組みに十分留意すること。

SLRI と調査団は、上記②と③の日本の ODA の原則に基づき、SPS-I が軍事目的に使用されたことはなく、SPS-II も軍事目的や国際紛争を悪化させる目的に使用してはいけないことを確認した。

8. 運営維持管理計画

第 2 章にて前述の通り、SPS-I の O&M では、一切の業務の委託は行われてなく、SLRI の組織全体の O&M のすべてを担っている。SPS-II に関しても現時点では外部組織への業務委託は計画されてなく、SPS-I と同様に SLRI 内にて O&M の全てを担当する予定である。

SPS-II の O&M に関して、具体的な業務推進及び管理方法等はまだ策定されていないが、基本的には SPS-I の O&M の方式を踏襲してそれらをアップデートしていくとのことである。SPS-I の O&M に関してはセクション 2.4.4 を参照。

今後、O&M の計画をする際は、9 章に後述する OJT で海外の放射光施設に派遣された研修員に核施設の O&M の検証も課題として与え、それらをフィードバックすることが薦められる。

既に計画されている O&M の体制に関して、2028 年の第 2 回組織変更後の体制を以下に述べる。

8.1 SPS-II の運転維持管理体制

SLRI は 2023 年 2 月に組織変更し、2033 年に再度組織変更をする予定であるが、2033 年の組織変更は SPS-II の O&M を視野に入れて計画されている。この 2 度の組織変更の詳細に関しては第 9 章を参照。2033 年の第 2 回組織変更後の体制図を図 8-1 に示す。

2033 年第 2 回組織変更後の体制では、SPS-II の O&M は SPS-II 担当の Deputy Director が管轄する 4 つのディビジョンと 12 のセクションが担当することとなる。2033 年には SLRI 全体で 352 名のスタッフが雇用されている予定で、この 4 つのディビジョンと 12 のセクションで計 166 名が配属される予定である。SPS-II の運転維持管理を担当する部局への人員配置計画を下表にまとめる。

表 8-1　SPS-II の人員配置計画

Division / Section	2033
Light Source Division (SPS-II)	37
SPS-II Operation & Maintenance Section	**15**
Accelerator Research & Development Section	**22**
Beamline Division (SPS-II)	**56**
SPS-II Beamline Operation Section	**31**
Applications R&D Section	**25**
Instrumentation Development Division (SPS-II)	**20**
Instrumentation Development Section	**20**
Engineering & Utility Division (SPS-II)	**53**
Mechanical Section	**11**
Fabrication Section	**8**
Building Section	**8**
Electrical Engineering Section	**9**
Control System Section	**8**
IT Section	**7**
Automation AI Section	**2**
Total	**166**

出所：SLRI

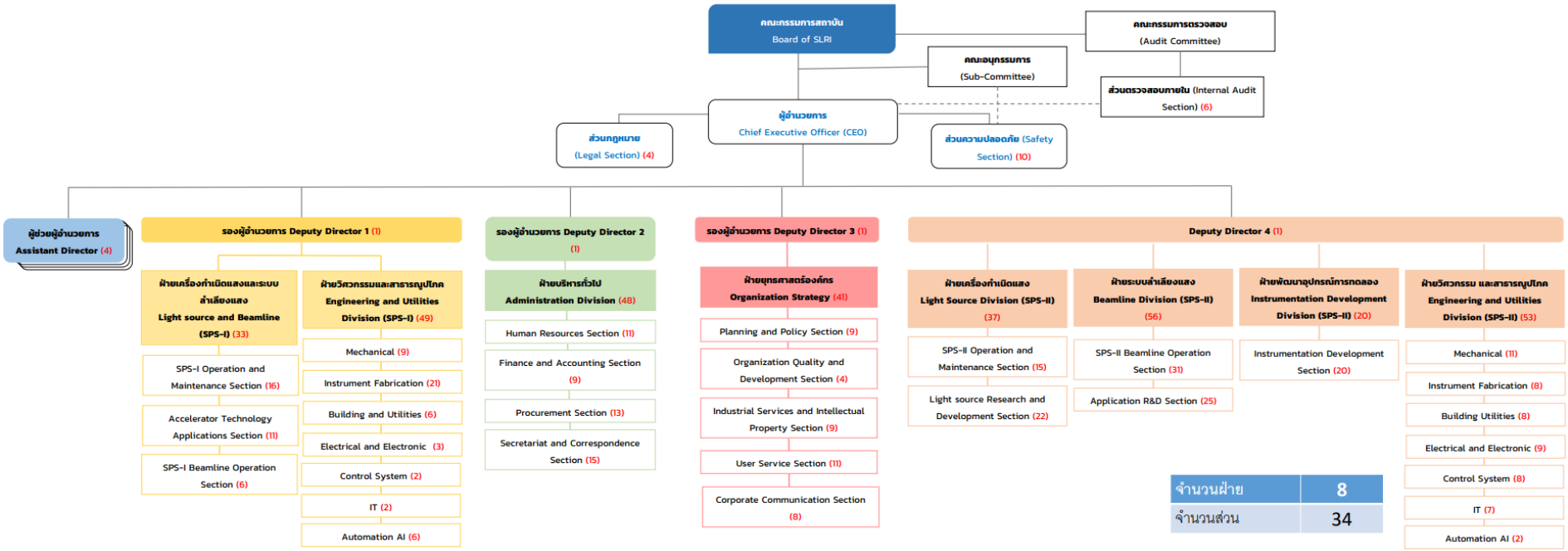
これらの 166 名が SPS-II の運転維持管理に関して以下の業務に従事する予定である。

1) 加速器の運転・保守作業
2) ビームラインの維持管理と研究開発支援
3) ユーティリティ設備の運転監視、保守点検
4) 安全

ユーザーサービス、学術サポート、産業界および公共機関との連携、企業広報、戦略計画、調達および財務、人材管理および開発は、組織戦略部門と管理部門の管轄下にあり、これらの部門は SPS-I および SPS-II 施設の両方でリモート作業を行い、研究所全体の責任を負う。

SPS-II の維持管理体制については、7 本のビームラインに対して 166 名の体制であるが、40 本のビームライン[28]に対して約 390 名の体制である SPring-8 と比較しても、人数的は十分な体制であると思われる。しかしながら、技術力の点においては、166 名うち大半が新規採用予定である点、また既存のスタッフも次世代放射光施設の運転経験がない点を鑑みると、9.4 章で後述する人材育成プログラムを通じて十分な人材育成を実施することが求められる。

[28] 2022 年 10 月現在、理研ビームライン 14 本、公共ビームライン 26 本



出所：SLRI

図 8-1　SLRI の組織体制（2033 年）

9. 人材育成

この章では SPS-II プロジェクトの人材育成計画を検証することを目的としているが、SPS-II プロジェクトは SLRI が実施する 1 プロジェクトいう位置づけであるため、まず SLRI 全体での組織改編に伴う人員配置計画と現在の SLRI が計画している SPS-II プロジェクトへ人員配置計画を確認したうえで、SPS-II プロジェクトの人材育成計画を検証する。

9.1 SLRI の組織改編

SLRI は SPS-II プロジェクト実施を見据えて 2023 年と 2033 年に 2 回の組織改編を計画している。第 1 回目の改編は 2023 年 2 月に実施された。この改編前の組織体制は、1 名の Director と 2 名の Deputy Director の元に 6 つのデパートメントと 26 のディビジョンという構成であったが、この第 1 回組織改編で 1 名の Director と 4 名の Deputy Director の元に 10 のディビジョンと 43 のセクションという構成に改編された。2033 年の第 2 期組織改編では、1 名の Director と 4 名の Deputy Director の元に 8 のディビジョンと 38 のセクションという構成に改編される予定である。

2025 年 2 月時点では、SLRI は合計 231 名のスタッフを雇用しており、そのうち 21 名は SPS-II Development 部門で勤務している。SPS-II Development 部門は、SPS-II Project Management Division と SPS-II Technology Development Division の 2 つのディビジョンに分かれている。SLRI 傘下の SPS-II Development 部門は、プロジェクトのマスタープランの策定、内閣の承認の取得、関連するすべての政府プロセスの完了、および機械の設計と必要なプロトタイプの開発を担当している。SPS-II Project Management Division は、計画、プロジェクト策定、政府プロセス、予算編成、人事、法務、建物の設計を担当している。一方、SPS-II Technology Development Division は、加速器とビームラインの設計、ビームライン光学系、実験ステーションの設計、プロトタイプ開発などの技術的な問題を担当している。

職員数は第 2 期組織改編の終了時の 2033 年に 352 名に増員される予定である。この 121 名の採用と配置の計画を下表にまとめる。

表 9-1　新規採用と配置の計画

Position/divisions	Feb 2023	Sept 2024	Feb 2025	Before Procurement (2027)	Before Construction/ Manufacturing (2028)	Before Assembly/ Installation (2030)	Before Project Completion (2033)
Deputy Directors	4	4	4	4	4	4	4
Assistant Directors	4	3	3	3	3	3	3
Administration Division	36	36	38	44	47	51	52
Organization Strategy Division	24	23	24	27	33	37	39
SPS-I Operation Division	18	18	19	22	24	24	24
Accelerator Research and Development Division	7	8	10	11	11	11	11
Beamline Division	28	30	33	33	35	38	43
Synchrotron Research and Applications Division	15	16	16	16	17	19	20
Mechanical System Development and Utilities Division	31	33	33	40	52	53	53
Technical and Engineering Development Division	22	22	23	23	27	35	37
SPS-II Project Management Division	8	8	10	17	20	21	21
SPS-II Technology Development Division	6	9	11	24	31	32	32
Safety Section	5	5	5	6	7	9	9
Internal Audit Section	3	2	2	2	3	4	4
Total	211	217	231	272	314	341	352

出所：SLRI

2030 年から実施される第 2 回組織改編では、SPS-II の運転維持管理を視野に入れて、SPS-II を担当する Deputy Director に管轄下に 4 つのディビジョンを設置して計 166 名を配置する計画である。この 4 つのディビジョンとその下に設置されるセクション別の人員配置計画を下表に示す。

表 9-2　SPS-II 事業に関連する部局の人員構成 (2028‐2032)

Division ***Section***	**2028 - 2032**
Light Source Division (SPS-II)	37
SPS-II Operation & Maintenance Section	*15*
Accelerator Research & Development Section	*22*
Beamline Division (SPS-II)	56
SPS-II Beamline Operation Section	*31*
Applications R&D Section	*25*
Instrumentation Development Division (SPS-II)	20
Instrumentation Development Section	*20*
Engineering & Utility Division (SPS-II)	53
Mechanical Section	*11*
Fabrication Section	*8*
Building Section	*8*
Electrical Engineering Section	*9*
Control System Section	*8*
IT Section	*7*
Automation AI Section	*2*
Total	166

出所：SLRI

9.2　SPS-II プロジェクトチーム

上述の通り SPS-II プロジェクトに参加する 69 名の全人員の選定は完了してないが、SLRI は SPS-II プロジェクトチームのメンバー選定をすでに開始しており、23 年 3 月時点で既存のスタッフ 55 名と外部の契約スタッフ 9 名がメンバーとして選定されている。SPS-II プロジェクトチームのコンポーネント別の人員構成を下表にまとめる。

表 9-3　SPS-II プロジェクトチームの人員構成

Component / Task	As of 2025			Before the start of procurement (2027)			Before the start of construction works (2028)		
	Full-time Staff	Concurrent	Temporary Staff	Full-time Staff	Concurrent	Temporary Staff	Full-time Staff	Concurrent	Temporary Staff
Project Leader and deputy leaders	**1**	**2**		**1**	**2**		**1**	**2**	
SPS Project Management	**3**	**22**	**4**	**8**	**31**	**4**	**9**	**31**	**4**
Project Coordination Office	3		1	8		1	9		1
Procurement		5	1		7	1		7	1
Finance		3	1		4	1		4	1
Others (legal, budgeting, HR, marketing, PR, etc)		14	1		20	1		20	1
Accelerator	**7**	**29**	**10**	**17**	**38**	**10**	**24**	**47**	**10**
Linac	1	3		2	4		3	5	
Beam Dynamics		3			3		1	3	
Beam Diagnostics	1	3		2	3		2	3	
Magnet System	3	1	5	4	2	5	6	2	5
Vacuum System	1	4	4	3	7	4	4	10	4
RF System		6	1	2	6	1	2	6	1
Control System		3		1	4		2	5	
Magnet Power Supply System		2		1	3		1	5	
Girder and Magnet Positioning System	1	4		2	6		3	8	
Beamline	**4**	**27**	**5**	**6**	**27**	**5**	**6**	**32**	**5**
Beamline center	4			4			4		
Insertion devices		2	1		2	1		2	1
Front ends + FEA		4			4			4	
Optics, monochromator, beamline diagnostics, integration		5	1	1	5	1	1	6	1
End stations, Detectors, Sample Environment		5	3		5	3		5	3
Control, Automation, Data Acquisition, Equipment Protection		4			4			5	
Hutch		2			2			2	
Beamline Vacuum		2		1	2		1	2	
Scientific Program and Future Beamlines		3			3			6	
Building and Infrastructure	**7**	**15**	**1**	**8**	**17**	**1**	**10**	**24**	**1**
Building and Utility	4	2		5	2		6	8	
Survey and Alignment	2			2	1		3	1	
Radiation Protection and Safety System	1	10		1	11		1	11	
IT Infrastructure		3	1		3	1		4	1
System Integration and Sub-system Compatibility	**-**	**-**	**-**	**1**	**-**	**-**	**1**	**2**	**-**
Coordinator for System Integration									
Assembly, Integration and Test				1			1		
System Engineering Service								2	
Beam Commissioning									
Increase by	**-**	**-**	**-**	**19**	**20**	**0**	**10**	**23**	**0**
Sub-Total	**22**	**95**	**20**	**41**	**115**	**20**	**51**	**138**	**20**
Total	**137**			**176**			**209**		

出所：SLRI

9.3　新規採用条件

SLRI 法人は、1999 年の勅令により公的機関と定義されており、職員は政府機関の職員とみなされる。SLRI は給与額の設定に関して一定の裁量権を有しているが、職員には公務員に定められた年金以外に退職年金はない。現在の新規採用の条件を下表にまとめる。

表 9-4　SLRI の新規採用の雇用条件

Type of employment	Contract base with 5-year period
Basic Monthly Salary (start) (for fresh without any past experience)	PhD: THB 38,000 for Engineer, Scientist and Physicist THB 26,674 for Administrator Master: THB 23,000 for Engineer and Laboratory Scientist THB20,610 for Administrator Bachelor: THB 18,300 for Engineer THB 15,000 for Administrator Diploma: THB10,623 for Technician
Other benefits	a. Medical treatment fee (200,000 THB / year) b. Medical treatment fee for family (70,000 THB /year) c. Dental treatment fee (5,000 THB / year) d. Dental treatment fee for family (3,000 THB / year) e. Tuition fee for children (4,000 THB /year) f. Bonus is not mandatory. It depends on the income of SLRI on that particular year.

出所：SLRI

SLRI のスタッフは全員、終身雇用ではなく、5 年ごとの契約社員である。SLRI によると、離職率は非常に低く、ほとんどの契約は希望に応じて更新される。

9.4　人材育成計画

SLRI は、次世代放射光施設の円滑な建設・運営・維持管理のために持続的な人材育成に取り組む必要があるとの認識に基づき、以下の人材育成指針を定めている。

- 人材管理および人材開発システムの開発
- 学習への参加を促進するための自主習支援ツールの開発
- 継続的な自己開発を奨励する組織文化の整備
- チームとして公共サービスとして働くマインドセットを養成
- 職場での質の高い生活を促進する職場環境の整備
- 人材育成における国内外のネットワークの開発・利用

SPS-II 事業に配属される職員の人材育成として具体的に以下の 3 つプログラムを活用する計画である。

1) オンザジョブトレーニング（OJT）
2) 奨学金を活用した海外留学プログラム
3) シンクロトロンスクールとアクセレータースクールへの職員派遣

9.4.1　オンザジョブトレーニング(OJT)

SLRI は 2025 年 2 月現在 231 名のスタッフを擁しており、そのうち 64 名が先端科学技術分野の博士号を取得しており、SLRI は高い研究能力を有する機関であることが、一方、次世代シンクロトロン装置（加速器やビームライン）の設置やコミッショニングを実務として経験したスタッフがいないことが確認されている。JICA アドバイザーはこれらの経験不足を何等の方法で補強することが事業成功の重要課題であることを指摘している。また、JICA アドバイザーは、次世代シンクロトロンで必要とされる高度な計測技術を習得する研究者を育成することが、将来の円滑な施設運用のために必要不可欠な課題であることを指摘している。次世代シンクロトロンの運転維持管理に精通した技術者育成も重要課題として挙げられる。

海外の次世代放射光施設での OJT はこれらの不足している経験や課題に対応するための効果的なツールとなりうる。事業の初期段階では、次世代シンクロトロン装置（加速器やビームライン）の設置やコミッショニングに従事するスタッフの能力強化が優先強化課題であり、事業が進むにつれ、ビームラインの先進的な計測技術の習得、研究開発や運転管理に従事するスタッフの能力強化などに対象を拡大していくことが薦められる。

現在、SLRI が計画している OJT のスキームを以下にまとめる。

OJT の期間

- 短期 OJT:　6 か月以内
- 長期 OJT :　 12 か月以内

OJT の受け入れ先として検討している放射光施設

- 放射光科学研究施設 Photon Factory（PF）日本
- 大型放射光施設 SPring-8　日本
- ナノテラス　日本
- NSRRC　台湾
- Deutsches Electronen-Synchrotron (DESY), Germany
- Swiss Light Source (SLS), Swiss Confederation
- Advanced Light Source (ALS-U), Lawrence Berkeley National Laboratory, USA
- National Synchrotron Light Source II (NSLS-II), Brookhaven National Laboratory, USA
- ANSTO, Australia
- Diamond, UK
- ALBA, Spain
- SIRIUS, Brazil

SLRI は過去にも OJT によるスタッフの海外放射光施設への派遣を実施している。OJT の実施記録を下表にまとめる。

表 9-5　OJT 実施記録

施設名	年	参加者数
National Synchrotron Light Source II (NSLS-II) USA	2018	2
Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) China	2017	9
Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) China	2019	4
National Synchrotron Radiation Research Center (SRRC) Taiwan	2013	4
National Synchrotron Radiation Research Center (SRRC) Taiwan	2014	5
National Synchrotron Radiation Research Center (SRRC) Taiwan	2016	9
National Synchrotron Radiation Research Center (SRRC) Taiwan	2017	4
National Synchrotron Radiation Research Center (SRRC) Taiwan	2018	20
National Synchrotron Radiation Research Center (SRRC) Taiwan	2019	1
National Synchrotron Radiation Research Center (SRRC) Taiwan	2020	7
	合計	65

出所：調査団

65 名は延べ参加人数で、複数回参加した職員が複数名含まれており、実際の参加人数は 45 名である。SLRI は、2023 年 3 月に 19 名のスタッフを Spring-8 に OJT 派遣した。

OJT の実施予定

SLRI は以下の OJT 実施を計画している。

表 9-6　OJT の実施計画

Type		2026	2027	2028	2029	2030	2031	total
短期	人数	0(0)	51 (51)	62 (62)	15 (15)	30 (30)	19 (19)	177 (177)
	予算(THB)	0	7,930,500	9,686,160	2,487,100	5,034,500	5,276,200	30,414,460
長期	人数	0(0)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	0(0)	0 (0)	8 (6)
	予算(THB)	0	330,800	661,600	1,318,000	0	0	2,310,400
合計	人数	0(0)	52 (52)	64 (64)	18 (18)	30(30)	19 (19)	185 (183)
	予算(THB)	0	8,261,300	10,347,760	3,805,100	5,034,500	0	32,724,860

※X (Y); X = すべての資金源からの研修生数、Y = OJT-PMC プログラムの研修生数
予算は OJT-PMC プログラムのみから算出（THB）

出所：SLRI

9.4.2　奨学金による留学プログラム

SLRI は、奨学金プログラムをタレント人材の獲得と開発のための重要なツールとして位置付けている。

海外の大学院での修士号、博士号取得を通じて、粒子加速器物理学、材料物理学、システム制御工学、電気工学、機械工学、生物医学などの分野の専門知識、先端技術を習得した人材を育成し、将来の放射光施設の運転維持管理・研究開発の中核人材を育成する。

タイの代表的な奨学金プログラムと、2022 年に SLRI のスタッフへ供与された奨学金数を下表にまとめる。

表 9-7　タイの代表的な奨学金プログラムと 2022 年度の SLRI スタッフへの供与数

奨学金プログラム	人数
Scholarships from the Office of the Civil Service Commission (OCSC)	1
Scholarships for study in China through OCSC	
Scholarships in the field of science and technology from the Ministry of Higher Education, Science, Research, and Innovation (MHESI)	2
Scholarships in the field of science and technology for supporting EECi (Eastern Economic Corridor of Innovation)	3
Scholarship from Thailand Academy of Science (TAS)	2
合計	8

出所：調査団

2022 年には 8 名の職員へ奨学金が授与された。SPS-II プロジェクト期間中、毎年同じレベルの奨学金数を獲得できれば、SLRI の採用計画の円滑な実施への貢献が期待できる。ただし、これらの奨学金は SLRI に固定的に割り当てられるものではなく、申請・認可ベースとなっており、採用および人材育成計画を円滑に実施するために、タイ政府もしくは他の機関からの安定的な奨学金の SLRI への供与が望まれる。

前述のように、SLRI は人材育成のために奨学金を積極的に活用しており、現在 58 人のスタッフが博士号を取得しており、58 人中 40 人が海外の大学で博士号を取得している。58 名のスタッフの博士号の国別内訳を下表に示す。

表 9-8　博士号の国別内訳

国	人数	%
Australia	1	1.7%
China	1	1.7%
Denmark	1	1.7%
France	1	1.7%
Germany	1	1.7%
Japan	5	8.6%
Switzerland	1	1.7%
Thailand	18	31.0%
United Kingdom	21	36.2%
United States	8	13.8%
合計	58	100.0%

出所：調査団

SPS-II プロジェクトは日本の研究者と協力して実施されるため、日本の大学からの博士号取得者数が増加すると期待される。

9.4.3　シンクロトロン学校と加速器学校

SLRI は、シンクロトロンの応用、ビームライン設計および開発、粒子加速器の設計および開発に関する国際的な研修に職員を派遣している。代表的な国際研修スクールは以下の通りである。

(1) Hercules European School

このスクールは、グルノーブル・アルプ大学が開設している 5 週間のコースである。このスクールでは、ヨーロッパ内外の大学や研究所からの学生、ポスドク、およびシニア研究者を対象に、中性子、X 線シンクロトロン放射線、自由電子レーザーを用いた凝縮物質研究（生物学、化学、物理学、材料科学、地球科学、産業応用）に関するトレーニングを提供している。中性子および X 線科学は、光学顕微鏡や電子顕微鏡、NMR、光学および THz 分光などの補完的技術と統合されている。

(2) CERN Accelerator School

このスクールは、粒子加速器物理学の分野で物理学者および技術者の育成を行っている。このスクールは 1983 年に設立され、主な目的は CERN および他の研究機関における蓄積された知識、特に粒子加速器やコライダーに関する知識を保存し、伝達することである。これにより、一般的な加速器物理学や特定のトピックに関する一連のコースが提供されている。

(3) U.S. Particle Accelerator School (USPAS)

USPAS は、粒子加速器や関連分野に関する知識を提供している。USPAS は、荷電粒子加速器および関連システムに関する科学技術に関する人材育成を行う、全国規模の大学院レベルのプログラムである。

(4) Asia-Oceania Forum for Synchrotron Radiation School (AOFSRR School)

AOFSRR School は、シンクロトロン放射光に関連する分野でのキャリアを目指すアジア・オセアニア地域の大学院生、ポスドク、および若手研究者を対象としている。このスクールでは、シンクロトロン放射の理論と応用に関する講義や実践的なセッションを広範な科学技術分野の研究者に提供している。

これらのスクールは、シンクロトロン放射光施設の開発および運用に必要な知識を提供しており、特に若手人材の育成に活用することが推奨されている。

以下の表は、SLRI のこれらのスクールへの過去の参加記録をまとめたものである。

表 9-9　シンクロトロン・アクセレータースクールの参加者

スクール	年：参加者数
HERCULES EUROPEAN SCHOOL	2015: 2 2016: 1 2018: 1
CERN Accelerator School	2014: 2 2018: 2
U.S. Particle Accelerator School (USPAS)	2015: 4 2016: 2
AOFSRR School (after 2017) Cheiron School managed by SPring 8 (2011 to 2015)	2011: 2 012: 3 2013: 2 2014: 2 2015: 3 2017: 2 2018: 2 2019: 2

出所：SLRI

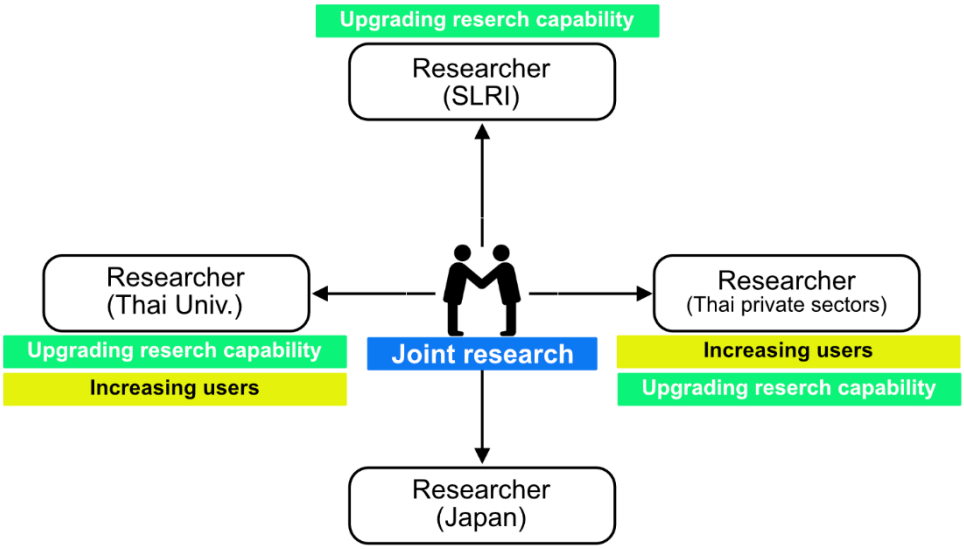
9.4.4　招へい専門家によるオンサイトの人材育成

前述の通り、詳細設計及び機材設置・コミッショニングの期間中に複数の外国人専門家が招へいされる予定である。これらの機会を活かしたオンサイトの研修を実施の検討が薦められる。専門家の招へいスケジュールに合わせて研修内容を検討し、テーマに合った職員を研修者として配属するべきである。

第2回現地調査中の口頭での確認では、SLRIは海外専門家の招へい費用として、一か月滞在を20万バーツで見積もっている。

9.4.5　共同研究プログラム

上述の通りSPS-II事業においても様々な人材育成方法が計画されているが、すべてSLRIの職員の人材育成を前提としている。ここで紹介する共同研究プログラムはSLRIの研究者の育成・研究能力の向上（アップデート）のみならず他の研究機関の研究者の育成も視野に入れたプログラムである。既にSLRIの研究者と大学等の研究機関の間の共同研究は実施されているが、共同研究プログラムを制度的に実施することにより、共同研究が産業界まで巻き込んだ形で実施されることが期待できる。



出所：調査団

図 9-1　共同研究プログラムの概略図

上図に共同研究プログラムの概略図を示す。共同研究は、タイ国内外の大学や研究機関または民間企業によって研究チームを編成することを基本とする。SLRI の研究者は、共同研究チームの一員として共同研究チームに参画する。今後の SLRI によるビームライン技術の開発を考えて、新しいビームラインや計測手法の開発を研究の目的に据えて他の研究機関や企業との共同研究を実施する。また、カウンターパートが望む様々な計測対象に対して適した計測を行うことで様々な計測手法を習得することが可能となる。

共同研究では、SLRI 研究者の能力を向上させるだけでなく、共同研究活動を通じて他の研究機関や民間企業から SPS-II のビームライン対するニーズや課題を把握することができる。他の機関から得たニーズや課題は、今後の SLRI のビームライン設置計画にフィードバックするように計画する。これにより、将来的に SPS-II ビームラインの利用者が増加および SLRI 以外の研究者の放射光技術に関する研究能力の向上も期待できる。

MHESI がこの共同研究プログラムを実施するために必要となるファンドの設定を検討することが望まれる。また、SATREPS などの既存のプログラムの活用も検討することが薦められる。

9.4.6　放射光技術研究に関するアカデミックプログラムの設置

前項の目的と重なるが、放射光技術研究に精通した人材を幅広く育成して、その技術を擁する人材の活躍場を SLRI 以外の研究機関、特に産業界の R&D 部門へ拡大していことが SPS-II 事業の事業効果を高めるうえで重要である。そのための人材育成の場として放射光技術研究に特化したアカデミックプログラムに設置の検討が薦められる。SPS-I の主要ユーザーでもあるスラナリ工科大学やコンケーン大学や、VISTEC などがその候補となる。プログラムの開発にあたっては、セクション 7.2.1 で記載した、MHESI が推進している Higher Education Sandbox を活用して、産業界と連携したプログラム開発の検討が薦められる。

10. 本邦招聘（J-Trip）

Japan Study Trip（以下「J-Trip」）は、「日本の類似放射光施設から学ぶ」と題した本邦招聘プログラムで、準備調査の人材育成の一環である。10 名の参加者は SLRI と財務省 (PDMO) からであり、JICA の予算の対象となる。 他の 20 名の参加者は SLRI ボードメンバー、SLRI 小委員会、予算局、DKW コンソーシアム、InterPAC からの参加者がそれぞれの予算から部分的に参加した。

10.1 目的

J-Trip の目的は以下を共有すること。

- 日本の次世代シンクロトロン放射光施設に活かされる技術
- 施設管理と産業利用・産学連携事例
- タイの放射光研究分野への理解促進と人材育成

10.2 プログラム日程

SLRI と調整した上で、J-Trip は移動日を含め 2023 年 3 月 26 日から 2023 円 4 月 1 日まで実施した。理研の協力で、宮城県にあるナノテラスや兵庫県にある SPring-8 等の放射光施設への訪問を調整した。プログラムは以下の通りである。

表 10-1　プログラム日程

日程		形態	招聘プログラム	内容
3/25(土)	22:50-		現地出発(NH850)　バンコク～羽田	
3/26(日)	-6:30		来日（バンコク→羽田）	
3/27(月)	10:00-12:00	視察	次世代放射光施設ナノテラスについて	ナノテラスの紹介と特徴、次世代放射光施設視点からのコアリシオンコンセプトについて学ぶ。
	14:00-16:00	講義	放射光利用の産学連携@光科学イノベーションセンター	コアリシオンコンセプトを始めた PhoSIC が語る：Innovation Ecosystem の概念を掲げるナノテラスについて学ぶ。
3/28(火)	10:00-12:00	視察	東北大学電子光理学研究センターについて	大学として大きめの電子加速器、原子核物理学、放射性同位体製造、テラヘルツ光科学などのユニークな研究所を視察し、SLRI にとっても電子加速器つながりで現在 SPS-I の運営や今後の取り組みの可能性について学ぶ。
	13:30-14:30	討議	JICA/SLRI/調査団：オンラインディスカッション	
	15:00-16:00	講義	リサーチコンプレックスの取り組み紹介@仙台市役所	ナノテラスとのコアリシオンの中で、仙台市役所観点からリサーチコンプレックス形成に向けた取り組みについて学ぶ。
3/29(水)	10:00-12:00	講義	次世代放射光の産業連携促進の取り組み視察@ NTT 都市開発	アーバンネット仙台中央ビルを活用した、次世代放射光施設ナノテラスの産業利用促進に係る連携協定先 NTT 都市開発から学ぶ。
	PM		移動（仙台→姫路）	

日程		形態	招聘プログラム	内容
3/30(木)	9:00-12:00	討議	SPring-8 について、理研播磨、SLRI、PDMO、タイ自費メンバー協議	概要説明に加え、SPring 8-II 計画の加速器・ビームラインの省エネ技術、経済波及効果計算事例、プロジェクトの究極的な目的の目線合わせについて学ぶ。
	13:00-16:00	視察	SPring-8, SACLA, ニュースバルについて	
	16:00-18:00	討議	理研播磨、JICA、SLRI、PDMO、タイ自費メンバー、調査団協議	
3/31(金)	9:00-12:00	討議	理研播磨、JICA、SLRI コアメンバー、調査団と協議	整備体制（特に、加速器の組立・統合の体制・役割と人員数）、運用について、ファーストビームから運用開始・安定共有等までの段階的な実施について事例から学び、協議を実施。
4/1(土)			帰国(NH847)　羽田～バンコク	

出所：調査団

10.3　参加者

本邦招聘参加者リストは以下に示す。

表 10-2　参加者リスト

No	氏名	所属組織	役職
1	Dr. Prapong Klysubun	SLRI	Deputy Director for SPS-II Development
2	Dr. Supat Klinkhieo	SLRI	Deputy Director for SPS-I Operation
3	Dr. Supagorn Rugmai	SLRI	Deputy Director for Operation and Beamline Utilization
4	Ms. Raweewan Lertsuksombut	SLRI	Assistant Director for Strategy and Organization Quality
5	Ms. Umaratchani Keawbutta	SLRI	Chief, Administration Division
6	Ms. Porntip Sudmuang	SLRI	Chief, SPS-II Technology Development Division
7	Ms. Malee Attaphibal	SLRI	Chief, SPS-II Project Management Division
8	Dr. Wasupol Rungtanapirom	SLRI	Scientist - International Coordinator, SPS-II Project Management Division
9	Miss Nuchjira Suksai	PDMO	Economist, Public Infrastructure Project Financing Bureau
10	Miss Metawadee Puangmalai	PDMO	Economist, Planning and Policy Bureau

出所：調査団

10.4　得られた成果

本招聘事業では、日本の放射光施設における整備、運用の考え方、人材育成・研究の理念、産学連携の取り組みや、また「コアリション」コンセプトやリサーチコンプレックスにおける行政の取り組みなどについて各講義を通して学ぶ良い機会となった。加えて、講義に連続する形で施設を見学する機会を設け、日本の放射光施設の現状、利用者の様子、事前に講義で学んだ内容について実際に目で見て理解をより深めることができた。被招聘者は各講義や見学において活発に質問や意見交換、議論を行い、今後の SPS-II 事業に役立てていこうとする姿勢が見られた。

11. 経済財務計画（非公開）

（一定期間非公開）

12. 環境社会配慮

12.1 環境配慮に関する法令や許認可

国家環境保全推進法（NEQA）は EIA を課すという内容を含み 1975 年に制定された。1984 年にはコンサルタントのライセンス登録を規定した省令が制定された。EIA システムは 1992 年の NEQA まで継続的に改訂され、EIA は専門家の委員会による EIA レポートのレビューの実施システムが重要とされている。後に、EIA システムの改革は、2007 年に憲法が発効された際に、より強固となった。憲法では、天然資源、環境の質、および健康に深刻な影響を与えるプロジェクトの種類と規模の規定、厳格な市民参加、意思決定のための戦略的環境アセスメント（SEA）の実施など EIA システムの改善を促した。2017 年に憲法が施工された後、EIA システムが改訂されたものが NEQA（2018）であり、レポート作成の際の規則やガイダンス、天然資源環境政策計画局（ONEP）に代わる州の機関の割り当てなど述べている。

12.1.1 国家環境保全推進法（NEQA）（No.2）（2018）

国家環境保全推進法（2018）2018 年 4 月に官報で公開され、2018 年 7 月に施工された。その概要は次の表のとおりである。

表 12-1　NEQA2018 で廃止もしくは修正された点

第 3 章	記載内容
46 節（定義）	• “EIA”, “permit/permission” “operator” の定義（特段明記しない限り適用する）
47 節（SEA）	• 法令に基づく SEA がある場合、EIA はその SEA の結果に基づく.
48 節 （報告）	• 大臣は国家環境委員会の承認を得て、事業の実施許可を明記した通知を発行する権限がある。また天然資源、環境、健康、生活、地域社会に影響のある事業は、EIA を作成し許可を得なければいけない（48 節 1 項）。 • EIA 報告書の提出に関する規則、手順、および条件は、国家環境委員会の承認を得て、大臣の通知で規定される。 これらの規則、手順、および条件は、プロジェクトのカテゴリまたは規模によって異なる場合があり、少なくともプロジェクトの詳細、現在の環境の状況、運用可能な代替案の評価、直接的および間接的に発生する環境への影響、プロジェクトの実施、EIA への市民参加などで構成される（48 節 2 項）。 • 天然資源環境政策計画局（ONEP）1 項の国家環境委員会による通知を 5 年以内、必要に応じてより短い期間で見直すことを推奨している（48 節 4 項）
50 節 （評価）	• ONEP や国家環境委員会によって割り当てられた国の機関は、EIA 報告書や関連資料を評価する（50 節、3 項） ONEP は国家環境委員会の承認を得て、EIA 報告書を提出することが義務付けられているプロジェクトが、天然資源、環境の質、健康に深刻な影響を与える可能性のあるプロジェクトでない限り、別の国の機関をその代理として任命することができる。これは国家環境委員会の通知に規定されている規則と手順に従うものとする（50 節、5 項）。
51/1 節 （承認・検討）	• 専門家委員会が承認しない場合、事業実施者は、委員会からの通知を受け取った後の 180 日以内に、委員会からの要求通りにガイドラインなどに従って、EIA 報告書を修正もしくは作り直さなければならない。それ以外は EIA 報告書を提出する意思がないとみなし、EIA プロセスの検討が終了したものとみなす。しかし新しい EIA 報告書を提出する権利に影響はない（51/1 節 2 項） • 3 項に従って提出された EIA 報告書が委員会によって承認されない場合、EIA の検討過程は終了する。しかし新しい EIA 報告書を提出する権利に影響はない（51/1 節 4 項）。 • 専門家委員会が意見をしてもしなくてもその対応が最終版である（51/1 節 5 項）。

第 3 章	記載内容
51/2 節 （検査）	• 専門家委員会もしくは委員会によって任命された職員は、EIA 報告書が提出された事業の敷地を検査する権限を有す。その検査は、認可を申請する事業実施者の目の前で行われるものとする。
51/3 節 （認可）	• 許可を与える権限のある職員は、51 節/5 に基づいて許可を求める事業実施者が提供しなければならない報告書を持参し、許可を与える状況や認可を更新することも同様に規定するものとする（51/3 節 2 項）
51/5 節 （実施報告書）	• EIA システムのモニタリング、検査、整備のために、EIA 報告書を提供し認可を求めそして認可を得た事業実施者は、国家環境委員会の承認のある大臣通達の中で規定された規則と手順に従って、少なくとも年に 1 回、認可を与える法的権限のある職員に EIA 報告書で求められている実施報告書を提出することとする（51/5 節 1 項）
51/6 節 （検討の過程）	• 国家環境委員会から承認された、もしくは専門家委員会から承認されたとみなされる EIA 報告書は、承認後、もしくは天然資源環境政策計画局または国家環境委員会によってその代理として行動するように任命された州機関が、国家環境委員会の意見または専門家委員会の承認を通知する書簡を発行する日付から、 5 年以内であれば、法律の定めるところにより、内閣の承認を求める際、または許可の検討プロセスに使用することができる（51/6 節 1 項）。
101/2 節	• 罰則に係る記載

出所：Environmental Impact Assessment in Thailand (2021)

12.1.2　初期環境影響評価（IEE）

本案件の初期環境影響評価（Initial Environmental Examination: IEE）SLRI によって 2019 年に実施され、報告書が作成された。また天然資源環境省が報告書を検討し、本事業を承認した。さらに EIA 報告書が必要な事業の種類でも規模でもないことが追加的に通知された。天然資源環境省による上記の合意について言及されたレターは、2020 年 2 月 18 日に内閣の事務総長に発行された。その後、2020 年 2 月 21 日に事務総長から内閣に通知された。1 つのレターを以下の図に示す。

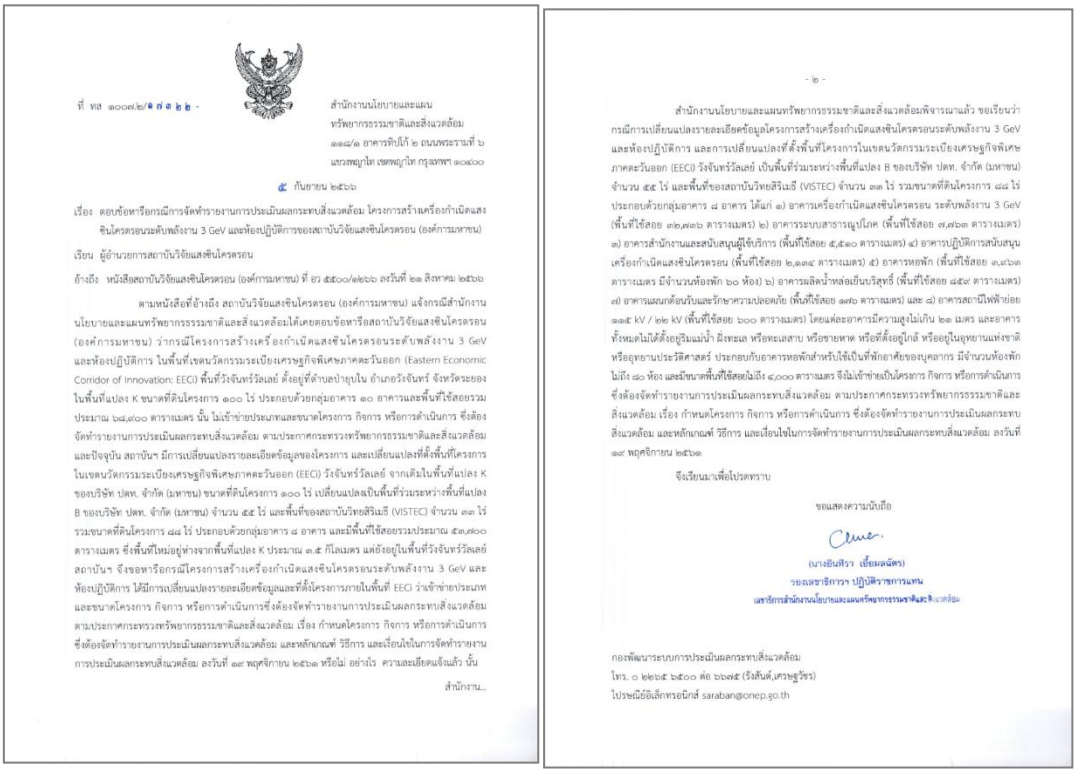


出所：SLRI

図 12-1　内閣（左）と自然資源環境省（MNRE）（右）からの公式書簡

12.1.3　EIA の必要性の確認

上述の 2 つの書簡が発行された後、放射光関連施設の建設の場所が変更になった。タイにおける環境影響評価（2021 年）に基づき、MNRE の管轄機関である天然資源・環境政策計画局（ONEP）の確認により、本プロジェクトは環境影響評価（EIA）の実施は不要と判断された。また、既に土地を取得済みのため住民移転がないため、JICA 環境社会配慮ガイドライン（2022 年）に基づき、本プロジェクトはカテゴリーC に該当する。



出所：SLRI

図 12-2　ONEP からの公式書簡

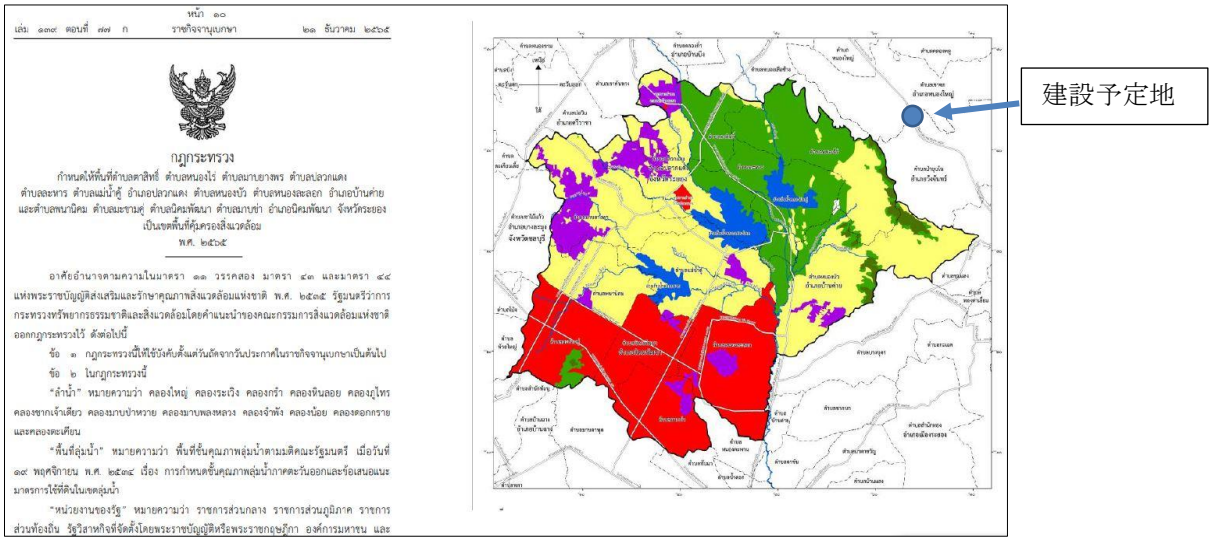
タイの EIA 規定では、35 種類の事業で EIA 報告書が必要と分類されている。その内の 1 つが建物建設に関するものであり、基準は次の表のとおりである。

表 12-2　EIA 規定の（2019）の基準（No.27 建物建設）

No	事業の種類	規模	段階
27.	次に述べる場所や利用目的のある建物管理に関する法の下での構想もしくは大型の建物; 27.1　川岸、河岸、湖、海岸、また環境に影響のある国立公園、歴史的公園に隣接する場所; 27.2　小売業、卸売業に使用される建物 27.3　民間の事務所や事業所として使用される建物	高さ 23m 以上、または同じ建物のすべての床面積が 10,000m^2 以上	建設許可を申請する時、管轄権のある地方事務所に通知する時、許可を申請せずに建設管理法に基づき、管轄権のある地方事務所に通知する場合。

出所:タイ EIA 規定

MNRE によると、本事業は 27.1～27.3 の種類に該当しない。また規模や段階も検討する必要がないとのことである。更に MNRE は次の図のように影響の受けやすい範囲をして指定している。その範囲内での事業は EIA が必要とされる。放射光関連施設の建設はその範囲外である。



出所：MNRE

図 12-3　MNRE が指定する影響を受けやすい範囲

12.2　SLRI の廃棄物管理

12.2.1　排水システム

SLRI の建物内外での排水システムは次の表のとおりである。

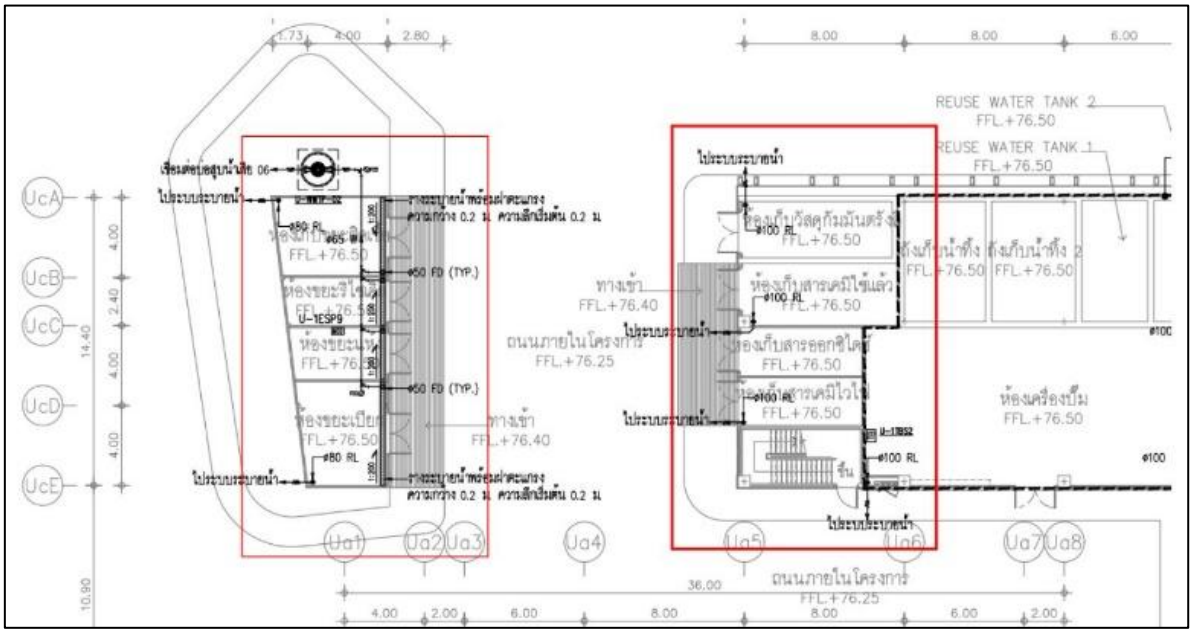
表 12-3　排水システム

建物内	建物外
• 汚水を中央で集約する前に各建物から出る汚水を分別する。 • 加速器から出る冷却水は、放射光の建物から出る汚水とは分別される。また環境への影響を避けるため、放射性物質に汚染されていないか確認する。 • 冷却水の中の放射性物質の汚染の指標は、トリチウム、グロスアルファ、グロスベータなどである。	• 各建物から出る汚水は、中央で集約する前に好気性処理システムによって処理される。 • 中央で集約された排水は、公共の排水管に流す前に、汚水管理の指標（BOD, COD, SS, TDS, pH など）で確認する必要がある。

出所：SLRI

12.2.2　固形廃棄物の管理

SLRI では約 3 リットル（0.003m^3）/人/日の固形廃棄物が生じており、SPS-II では約 1.96m^3/日の固形廃棄物が出ると想定されている。SPS-II からの廃棄物は、一般廃棄物、危険廃棄物、リサイクル用廃棄物で構成される。一般廃棄物は集約場所に保管され、地方政府によって処分される。SLRI には 2 か所の保管場所がある。保管場所の図面と写真は次の図のとおりである。図内の左側の建物は、廃棄物の湿度によって分けられ、右側の建物は廃棄物の種類（一般廃棄物、化学性廃棄物など）によって分けられている。



出所：SLRI

図 12-4　SLRI の廃棄物保管用建物



出所：SLRI

図 12-5　化学性廃棄物保管用の建物

12.2.3　危険廃棄物の管理

研究室から出る化学性廃棄物は収集場所に集められ、ライセンスのある会社（政府から承認を得ている）によって廃棄場所に送られる。化学性廃棄物の容器には危険を示すラベルを張る必要がある。また生物性廃棄物は地方政府に移す前に加圧滅菌器によって消毒される。同社は、ドイツの技術を使用して、環境への影響を大幅に最小限に抑え、国際標準化機構（ISO）で定められた ISO 9001（品質マネジメント）および ISO 14001（環境マネジメント）に従って体系的に管理されるよう廃棄物管理の方法を改善している。排ガスの処理（揮発性の薬品の扱い等）は、ドラフトチャンバーを設置して、屋外に排気するようにする。



出所：SLRI

図 12-6　ライセンスのある会社による廃棄物収集

12.2.4　放射性廃棄物の管理

放射性物質は OAP（Office of Atomic Peace, under MHESI）から承認を受けた TINT（Thailand Institute of Nuclear Technology）に送られる。

廃棄物管理に係る費用（ライセンスのある会社や OAP への送付、モニタリング費用など）は SLRI が支払っている。

12.3　気候動対策事業としての案件形成に係る情報収集・分析

12.3.1　JICA Climate-FIT に対する立場

このプロジェクトは当初、JICA 気候変動対策支援ツール（JICA Climate-FIT）の緩和策（温室効果ガス（GHG）排出削減/除去の定量的評価）に適用される。しかし、調査が進むにつれて、次のことが明らかになった。

- 現在の設計段階には、建築設備チームに確認されたように、GHG 排出削減量を有意義に見積もるための十分な情報がない。
- 放射光施設を使用した研究から生じる緩和効果は、定量的な計算ではなく、定性的で高度な技術に基づいている。
- 放射光施設の使用による研究影響のアウトリーチ効果は、多くのレベルで広範であるため、現在の初期段階では、より広い視点での定性的な議論がより強力と考えられる。

このため、JICA Climate-FIT 適応策に沿って分析を行うこととする。本事業は「インフラ：工業地域」という分野別の観点が最も適切なものとして選択されるが、必要に応じて他のガイドラインも参照し、特殊建築として影響の全体像を把握する。

12.3.2　タイの更新された 2020 年国家決定拠出金への適応

国連気候変動枠組み条約締約国会議（UNFCCC）の決定 1/CP.21 に従って、タイ天然資源・環境政策計画局は、2020 年 10 月 20 日付の書簡 No.1007.2/13850、更新された国家決定貢献（NDC）を次のとおり提出した。

GOT が策定した国家適応計画には、以下に示すように 6 つの優先分野がある。

1) 水資源管理分野
2) 農業および食料安全保障分野
3) 観光分野
4) 公衆衛生部門
5) 天然資源管理部門
6) 人間の居住と安全保障分野

さらに、統合水資源管理（IWRM）と生態系ベースの適応（Eba）実践の適用、作物/家畜の品種と管理システムを改善するための技術の使用、および上記 6 における気候変動脆弱性評価のためのツール これらのセクターは、タイの最新の NDC 2020 の技術開発と移転の一部であると説明されている。本事業における関連分野は、直接影響（水資源管理、天然資源管理）と間接影響（農業、食料安全保障）の 2 つに分けられる。

12.3.3 将来の気候リスク分析

JICA Climate-FIT 適応策 に基づいて、気候リスクマトリクスを以下のように作成した。

表 12-4　気候リスクマトリクス

		気候ハザード							
		H1: 洪水	H2: 暴風雨	H3: 地震津波	H4: 干ばつ・熱波				
	現状での発生状況	＋	－	－	－	脆弱性 *影響の受けやすさ/対処能力*	カウント	気候リスク	適応オプション
	将来の見込み	→	→	→	→				
暴露	E1: 建設用地の整地（樹木伐採含む）	1 敷地に洪水がなくても、他の場所での浸水による遅延は無視できない	1 遅延が発生する可能性あり	0 現在まで影響はなし	0 現在まで影響はなし	• 乾季に整地を計画する	0	E1 には洪水や暴風雨による重大な気候リスクはないが • 大量伐採による土壌侵食・粉塵の発生 • 吸収源の損失	伐採数と同量以上の植林の実施
	E2: 建設資材の調達、運搬	1 敷地に洪水がなくても、調達が遅れる可能性あり	1 道路の閉鎖や混乱により交通機関に支障が生じ、遅延の可能性あり	1 道路の閉鎖や混乱により交通機関に支障が生じ、遅延の可能性あり	0 現在まで影響はなし	• 建設資材は可能な限り近隣地域から調達する	0	E2 には洪水、暴風雨、地震による重大な気候リスクはない	-
	E3: 放射光および関連施設の建設	1 敷地に洪水がなくても、他の場所での浸水による遅延は無視できない	1 遅延が発生する可能性あり	0 現在まで影響はなし	0 現在まで影響はなし	• 適切な現場管理、資材保管、廃棄物管理は、洪水や暴風雨の影響を最小限に抑えるのに役立つ	0	E3 には洪水や暴風雨による重大な気候リスクはない	-
	E4: 利用者の快適さと生産性(研究と人材育成活動を含む)	0 現在まで影響はなし	0 影響はないが、屋外活動は制限される	3 地震の可能性は低いが、振動により機械が故障・誤動作する可能性があり	1: 室内温度を一定範囲内に保つ必要があるため、猛暑により光熱費が増加する	• 構造に耐震設計原則を適用する • エコデザインを適用してエネルギー消費量（光熱費）を削減し、利用者の快適性を高め、ひいては生産性を向上させる。	1	• この地域では耐震設計は必要ないが、地震による被害は高額になることを考慮する価値がある	• 耐震設計の採用 • 天井高の低減（建物容積の低減＝光熱費の削減） • 屋上太陽光パネルの活用
カウント		0	0	1	0				

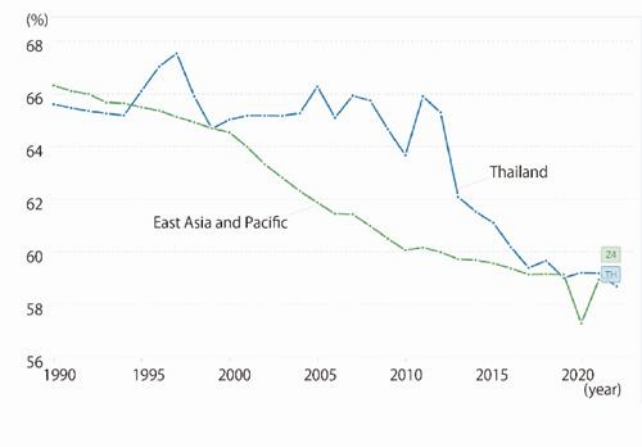
出所：調査団

12.4　ジェンダー主流化ニーズ

12.4.1　タイにおけるジェンダーに関連する社会規範・慣習

タイでは、アユタヤ王朝時代（1351-1767 年）における奉公義務[29]をはじめ、伝統的に、女性が比較的自由に経済活動に参入し、農業のみならず、物の売買などの商業活動に積極的に関与してきた。宗教的思想において、男性は出家することにより最大の功徳を積むとされるのに対して、女子は商業活動で得た生産物を僧侶に捧げること等によって功徳を積むとされている。これらを背景に、女性の高い労働参加率（female labor force participation rate）[30]が実現していると言われている。

一方、1990 年代からの世界的な女性の労働参加率減少傾向と同じく、タイにおいても女性の労働参加率は減少傾向にある。この主な理由は、若年層の高等教育への進学率向上、高齢化、就業意欲の喪失だろうと指摘されている。近年では、タイにおける女性の労働参加率は東南アジア・太平洋地域の平均値と同じである（2022 年 59%、ILO、参照：下図）。



出所：「世界雇用情勢 2012 年（女性編）」ILO

図 12-7　女性の労働参加率推移（タイ、東南アジア・太平洋地域）

労働市場における賃金や教育機会におけるアクセスの難しさ等、男女平等の観点では多くの課題が見受けられる。国家計画では、1975 年の第 4 次開発計画にて初めて、ジェンダーの課題が取り上げられ、①雇用の基盤としての 教育の充実、②男女平等の雇用と職業訓練、③女性を差別する法律の改訂が行われた。1981 年に、女子差別撤廃条約（Convention on the Elimination of Discrimination against Women : CEDAW）に調印・批准すると、1989 年には政府内に女性問題 国家委員会が独立機関として設置された。「村長は男性」という地方管理法が 1982 年に 改められ、民主化の進んだ 1990 年代になると、男性を家長とする家族および家族内での女性の父や夫への服従を合法化した家族法の一部等が是正された。

[29] 農民の男性は王や貴族の下で一定期間労働する義務。男性の留守中は女性がすべての労働をこなさねばならなかった。
[30] 人口のうち 15 歳以上の就労率

12.4.2 先端科学技術分野における状況

2015年に発表されたSTEM教育に関するユネスコ報告書「Cracking the Code」によると、女子はジェンダーの固定観念、STEM 分野における女性のロールモデルの欠如、社会的不安等の障害に直面しているという。にもかかわらず、タイはアジア太平洋地域で科学、技術、イノベーションに携わる女性研究者の割合が世界平均（28%）を上回っているわずか3カ国のうちの1つであり、女性が研究者の53%と半数以上を占めていること、一方、高等教育においても、理系の学生の53%が女性であるが、工学、製造、建設学では24%に満たないことが提示されている。

12.4.3 他ドナーによる活動

(1) UNESCO

タイは、ユネスコの世界的な科学、技術、工学、数学（STEM）とジェンダーの進捗（SAGA）[31]プロジェクトの一環として開発された政策ツールキットを利用して、STEM 分野におけるジェンダー不均衡を評価し、対処するアジア太平洋地域初の国となる。タイの教育者たちは、タイ王国をイノベーション、創造性、研究開発、グリーン・ハイテクが経済を牽引する国へと変革することを目指す 20 年間の国家戦略「タイランド 4.0」の一環として、ユネスコの専門家とともに、少女や若い女性のためのSTEM教育の改善に取り組んでいる。

この政策ツールキットは、適切な資金提供、男女別に集計されたデータ、ジェンダーに対応したキャリアカウンセリング、奨学金、女性 STEM 専門家のためのプログラム、ジェンダーに対応した教育戦略、学習教材等より構成される。

(2) ILO

ILOによると、今後10年間で、オートメーションやロボット工学を含む技術の進歩により、雇用の44%（1700 万以上の雇用）がオートメーション化する等、タイの雇用と企業は大きく変化すると推測されている。女性は主に、オートメーション化のリスクが明白な STEM スキルの低い職種に就いている状況である。よって、女性は男性よりも 50%以上、自動化の結果として仕事を失う可能性が高いと予測される。これらの問題に際し、国家の経済および社会開発の優先事項を考慮して、ILOはタイにおける電気・電子分野を高い成長率が見込まれる分野として特定し、今後10年間でSTEM関連のスキルギャップが大幅に拡大し、女性にとって成長の機会が生まれると予測した。このような状況下、当該分野における女性の質の高い雇用とキャリアアップを支援するため、女性に STEM 関連の重要なソフトスキルと技術的スキルを習得させることを目的とした「タイにおける STEM 分野の女性労働力準備・開発プログラム」が2017年から2020年にかけて実施されている。

12.4.4 実施機関における女性の雇用促進や管理職割合、技術者育成等のジェンダーに係る方針

持続可能な開発目標（SDGs）の目標5「ジェンダー平等」で規定されているように、JICAのグローバルアジェンダは、女性と少女のエンパワーメントを推進することで、ジェンダー平等で公平な社

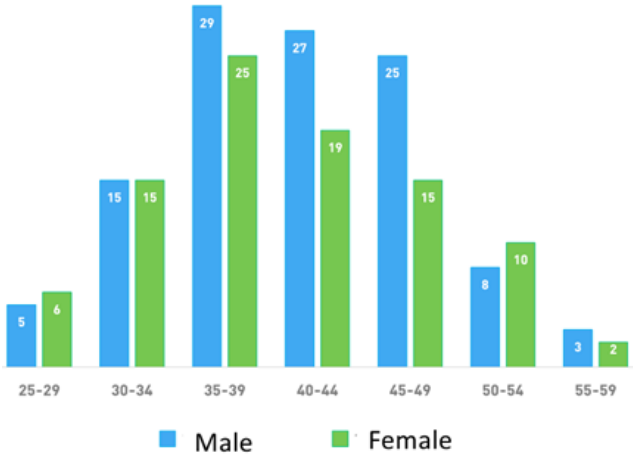
[31] SAGA プロジェクトは、スウェーデン政府の支援を受けているユネスコの世界的なプロジェクトであり、教育と研究のあらゆるレベルにおいて、女性と女児の状況を改善し、科学、技術、工学、数学 (STEM) 分野における男女格差を縮小することを目的としている。

会の構築を目指している。SLRI の 2023 年の Annual Report によると、2022 年 12 月の執行理事会には女性はいないが、下図の通り、経営陣には 18 人中 8 名が女性であり、ジェンダーバランスに大きな偏りは見受けられない。2023 年に SLRI で雇用された従業員の男女比については、ほぼ半数（45%）が女性であり、どの年代においても、概ね、ジェンダーバランスが確保されていることが分かる。SLRI は、新入社員の採用において性別の要件を設けておらず、選考プロセスにおいても性別を考慮せずに面接、筆記試験、実技試験を実施している。SLRI は、60 日間の産休、30 日間の女性育児休暇、15 日間の男性育児休暇、そして流産や生理痛の際に取得できる 60 日間の病気休暇を提供している。



出所：SLRI

図 12-8　SLRI 経営陣 (2023 年 Annual Report より)



出所：SLRI

図 12-9　年代別ジェンダーギャップ

12.4.5　本事業における提案

タイは、ジェンダー平等・中立性の観点から、地域における指導的な国の一つとして認識されている。下表に、タイで実施されているジェンダー関連の具体的な施策および政策を列挙する。これらの取り組みは JICA 事業におけるジェンダー主流化の取り組みと高い整合性を示しており、本事業のみならず、他国における JICA 事業においても応用可能なモデルとなり得る。

表 12-5　タイにおけるジェンダーに関する施策例

分類	施策例
＜ジェンダー平等・包摂性の政策主流化＞ ジェンダー平等と包摂性を、国家の政策および計画全体における必須かつ主要な構成要素として推進する。	• 第 13 次国家経済社会開発計画（2023–2027） - 「包摂的成長（inclusive growth）」 - 「誰一人取り残さない（Leave No One Behind）」 • SDG5「ジェンダー平等」の主流化（Gender Equality） • 国家予算、保健、教育、雇用政策において、ジェンダー視点を組み込むことを政府機関に要求。
＜ジェンダー平等・女性のエンパワメントの法制度強化＞ ジェンダー平等への国のコミットメントをさらに進展させるために、具体的なジェンダー平等法や女性のエンパワーメント戦略を確立する。	• 「性別に基づく不当な差別防止法」（2015） • 性別（性的指向・性自認を含む）に基づく差別を禁じる法律が施行。 • 国家女性開発戦略（National Women's Development Strategy） • 女性の政治参加，経済的自立，教育・職業訓練へのアクセスを柱とした政府戦略が施行。 • 同性婚合法化（2025 年施行） • 法制度上、性別に依存しない権利保障を進めた象徴的事例。
＜ジェンダー分析に基づく政策形成＞ ジェンダー分析を通してジェンダー格差への潜在的な影響を特定し、それを緩和するための徹底的な分析に基づいて政策決定を行う。	• ジェンダー別統計（Gender-Disaggregated Data）の整備 • 国家統計局（NSO）が、教育就学率、就業率、賃金、保健指標等を男女別に収集。 • UN Women・UNDP と連携した政策評価 • 地方自治体レベルで、ジェンダー影響評価（Gender Impact Assessment）を試行。 • 保健政策での応用 • 妊産婦ケア、HIV 対策、LGBTQ+ヘルスケアにおいて、性別・社会的要因を考慮した設計。
＜教育・雇用機会の構造的平等＞ STEM（科学、技術、工学、数学）などの分野や、管理職・技術職を含む多様な役職において、すべてのジェンダーに対して平等な教育および雇用の機会を確保する。	• 高等教育・研究分野 • 女性研究者向けの研究助成金・リーダー育成プログラム，STEM 分野における女子学生の奨学金制度。 • 大学・教育現場 • 性自認に配慮した学習環境整備， 技術職・デジタル分野での女性の再教育（reskilling）支援。 • 公共部門・企業 • 女性管理職比率向上を目標とするガイドライン，技術職・デジタル分野での女性再教育（reskilling）支援。

出所：調査団