

インドネシア共和国
PT. PLN (PERSERO)

インドネシア国
東部インドネシア地熱発電事業準備調査

最終報告書

(要約版)

2011年9月

独立行政法人 国際協力機構

西日本技術開発株式会社

産公
CR(1)
11-042

Ambon Is.



トゥレフ地熱地帯位置図
(中央マルク州 アンボン島)

目 次

I	緒 言	1
I-1	調査対象地域	1
I-2	背景	1
I-3	調査の実施方針	2
I-4	円借款事業の範囲	2
I-5	事業実施機関	3
I-6	本準備調査の調査項目	3
I-7	調査担当者	7
II	調査対象地域の電力事情	8
II-1	調査対象地域の電力需要と供給	8
II-1-1	マルク州の電力セクターの現状	8
II-1-2	アンボン島の電力需給	9
II-1-3	電力需給予測	11
III	トゥレフ地域の地熱資源	14
III-1	トゥレフ地域の地熱資源	15
III-1-1	トゥレフ地域の坑井掘削の現状	15
III-1-2	探査データおよび地熱資源に関する情報のレビュー	15
III-1-3	MT 探査	30
III-2	地熱資源の概念モデル	33
III-2-1	有望範囲	33
III-2-2	地熱活動を規制している透水性に関連した構造	34
III-2-3	地熱概念モデル	38
III-3	トゥレフ地域の地熱資源量評価	40
IV	地熱資源開発計画	43
IV-1	坑井の生産能力および還元能力	43
IV-2	必要となる坑井の数	45
IV-3	掘削計画	49
IV-3-1	掘削ターゲットおよび掘削基地	49
IV-3-2	掘削ターゲットおよび坑井掘削仕様	51
IV-4	発電所建設計画	58
IV-4-1	掘削基地および発電所の位置	58
IV-4-2	配管建設計画	58
IV-4-3	発電プラント建設計画	60

IV-4-4	資機材輸送計画	69
IV-5	送電計画	70
IV-6	プロジェクトコスト積算	72
IV-6-1	地熱資源開発コスト	72
IV-6-2	発電設備および送電線建設コスト	76
IV-7	事業実施計画	78
IV-8	事業効果の確認	82
IV-8-1	経済・財務評価	82
V	環境社会配慮	85
V-1	許認可および住民説明	85
V-1-1	EIA および環境許認可	85
V-1-2	住民説明会	85
V-2	社会環境	85
V-2-1	住民の移転	85
V-2-2	少数民族、先住民	85
V-2-3	代替案の検討	85
V-3	自然環境	86
V-3-1	保護区	86
V-3-2	生態系	86
V-4	汚染対策	86
V-4-1	H ₂ S	86
V-4-2	騒音	86
V-4-3	水質	87
V-4-4	廃棄物	87
V-5	環境チェックリスト	87
VI	結論と提言	95
VI-1	調査結果のまとめ	95
VI-2	今後の調査に関する提言	96

目 次

図 I-1	調査対象地域	1
図 I-2	調査の流れ	5
図 II-1	マルクおよび北マルク支店	9
図 II-2	アンボン系統日負荷曲線 (2010年7月14日)	10
図 II-3	アンボン島の需要と供給 (2011年 - 2016年、標準工程)	13
図 III-1	インドネシアにおける第四紀火山分布とマルク州の有望地熱地帯	14
図 III-2	既存坑および調査井位置図	15
図 III-3	トゥレフ地域地質図	17
図 III-4	トゥレフ地域重力異常図	18
図 III-5	トゥレフ地域全磁力 IGRF 残差図	19
図 III-6	CSAMT 法探査測点配置および 2次元解析結果断面例	20
図 III-7	温泉水の主要陰イオン三成分図	22
図 III-8	温泉水の酸素・水素同位体比	23
図 III-9	シラ温泉水等の酸素・水素同位体比	23
図 III-10	TG-1、TG-2 および TG-3 坑井柱状図	27
図 III-11	W2.1、W2.2 および W2.3 坑井柱状図	27
図 III-12	TLU-01 坑井柱状図	28
図 III-13	TLU-01 周辺坑井温度柱状図	29
図 III-14	見掛比抵抗分布平面図	31
図 III-15	解析比抵抗分布平面図	32
図 III-16	解析比抵抗分布断面図	33
図 III-17	地熱有望範囲推定図	34
図 III-18	各種調査から推定される断層分布	36
図 III-19	推定主要透水構造分布	37
図 III-20	TLU-01 周辺の推定難透水ゾーン分布	37
図 III-21	トゥレフ地域の地熱概念モデル	39
図 III-22	モンテカルロ解析を適用した地熱資源量評価結果 (頻度分布)	41
図 III-23	モンテカルロ解析を適用した地熱資源量評価結果 (残差累積頻度分布)	41
図 IV-1	想定したケーシングプログラム	44
図 IV-2	トゥレフ地域における生産井の坑井特性曲線のシミュレーション結果	44
表 IV-3	必要となる坑井の数	45
図 IV-3	補充井に関する検討結果 (シングルフラッシュシステム)	47
図 IV-4	補充井に関する検討結果 (ダブルフラッシュシステム)	48

図 IV-5	想定掘削基地、発電所敷地およびターゲット位置	50
図 IV-6	代表的掘削機器配置	51
図 IV-7	生産井掘削方向断面図	53
図 IV-8	還元井掘削方向断面図	54
図 IV-9	生産井ケーシングプログラム暫定案（大口径坑）	55
図 IV-10	生産井ケーシングプログラム暫定案（標準坑）	55
図 IV-11	還元井ケーシングプログラム暫定案	56
図 IV-12	坑井掘削基地、地熱発電プラントおよび送電線の配置計画	58
図 IV-13	FCRS 概念フロー図 - ダブルフラッシュ 10MW×2 のケース	59
図 IV-14	FCRS 概念フロー図 - ダブルフラッシュ 20MW×1 のケース	59
図 IV-15	地熱発電所の配置計画（ダブルフラッシュ方式 10MW×2）	64
図 IV-16	地熱発電所の配置計画（ダブルフラッシュ方式 20MW×1）	64
図 IV-17	地熱発電プラントの主要系統図（ダブルフラッシュ方式 10MW×2）	65
図 IV-18	地熱発電プラントの主要系統図（ダブルフラッシュ方式 20MW×1）	65
図 IV-19	単線結線図（10MW×2）	67
図 IV-21	アンボン島-セラム島系統図	70
図 IV-22	π 接続用鉄塔設計例	71
図 IV-23	プロジェクト実施スケジュール（ダブルフラッシュ 10MW×2） - 標準工程	80
図 IV-24	プロジェクト実施スケジュール（ダブルフラッシュ 10MW×2） - 目標工程 （Accelerated Target Schedule）	81
図 IV-25	ダブルフラッシュシステム 10MW×2 の発電原価計算結果	84
図 IV-26	プロジェクトコストに関する FIRR 感度解析結果	84
図 IV-27	予備費なしの場合の経済財務評価（ダブルフラッシュ 10MW×2 の場合）	84

表 目 次

表 I-1	調査の全体工程.....	6
表 I-2	業務の担当者一覧表.....	7
表 II-1	アンボン市の面積と人口（2008年）.....	8
表 II-2	2010年7月14日における最小供給と最大供給.....	9
表 II-3	アンボン島系統内発電機ユニット一覧（2009年8月10日現在）.....	11
表 II-4	アンボン島電力需給予測（2011年 - 2020年）.....	12
表 II-5	アンボン島電力需給予測（2011年 - 2020年）（修正、標準工程）.....	13
表 III-1	温泉・噴気ガス組成.....	20
表 III-2	温泉水の化学組成.....	24
表 III-3	各温泉水の化学組成から得られる地化学温度.....	24
表 III-4	TLU-01 温度・圧力検層結果.....	29
表 III-5	地熱資源量評価におけるパラメータ設定.....	41
表 IV-6	トゥレフ地域の地熱資源量評価結果.....	42
表 IV-1	坑井の生産能力の推定に用いたパラメータ.....	43
表 IV-2	坑口圧力 0.2MPaG における生産能力と還元能力.....	45
表 IV-4	補充井に関する検討結果（シングルフラッシュシステム）.....	47
表 IV-5	補充井に関する検討結果（ダブルフラッシュシステム）.....	48
表 IV-6	掘削基地および搬入路の必要規模.....	51
表 IV-7	坑井掘削仕様案.....	57
表 IV-8	地熱発電の方式.....	62
図 IV-20	単線結線図（20MW×1）.....	67
表 IV-9	資源開発概算コスト.....	72
表 IV-10	掘削コスト.....	73
表 IV-11	補充井掘削コストと年度展開.....	74
表 IV-6-3	補充井追加時期とコスト（続き）.....	75
表 IV-12	PLN による用地取得および土木工事コスト.....	76
表 IV-13	発電所建設コスト.....	77
表 IV-14	プロジェクトコスト総括.....	82
表 IV-15	プロジェクト経済、財務評価総括表（全ケース）.....	83

略語	意味
AMDAL	Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (インドネシア語) 環境影響評価
BAPPENAS	Badan Perencanaan dan Pembangunan Nasional (インドネシア語) 国家開発計画庁
B/D	Bid Document 入札書類
BPS	Badan Pusat Statistik (インドネシア語) インドネシア統計局
CB	Circuit Breaker しゃ断器
CDM	Clean Development Mechanism クリーン開発メカニズム
CER	Certified Emission Reduction 認証された排出削減量
CSAMT	Controlled-Source Audito-frequency Magneto-Telluric CSAMT探査法
DCS	Distributed Control System 分散型制御装置
EIA	Environmental Impact Assessment 環境影響評価
EIRR	Economic Internal Rate of Return 経済的内部収益率
E/N	Exchange of Notes 公文交換
EPC	Engineering, Procurement and Construction 建設工事一括請負
ES	Engineering Service エンジニアリングサービス
FCRS	Fluid Collection and Reinjection System 地熱設備配管
FIRR	Financial Internal Rate of Return 財務的内部収益率
F/S	Feasibility Study 事業化可能性調査
GDP	Gross Domestic Product 国内総生産
GDRP	Gross Domestic Regional Product 域内総生産
GHG	Greenhouse Gas 温室効果ガス
GOI	Government of Indonesia インドネシア政府
GPP	Geothermal Power Plant 地熱発電所
ICB	International Competitive Bidding 国際競争入札
IGRF	International Geomagnetic Reference Field 国際標準地球磁場
IPP	Independent Power Producer 独立発電事業者
JBIC	Japan Bank for International Cooperation 国際協力銀行
JICA	Japan International Cooperation Agency 国際協力機構
L/A	Loan Agreement 円借款契約
L/C	Letter of Credit 信用状

略語	意味
LCB	Local Competitive Bidding 国内限定競争入札
L/Com	Letter of Commitment 約定書
LEC	Levelized Energy Cost 発電原価
m asl	meters above sea level 海拔標高
MEMR	Ministry of Energy and Mineral Resources エネルギー鉱山省
MT	Magnetotelluric MT法 (電磁探査法の一つ)
NCG	Non-condensable Gas 不凝結ガス
NEP	National Energy Policy エネルギー政策
ODA	Official Development Assistance 政府開発援助
O&M	Operation and Maintenance 操業・保守
PD	Presidential Decree 大統領令
PDD	Project Design Document プロジェクト設計書
PLN	PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) 国営インドネシア電力公社
PLN Geothermal	PT. PLN Geothermal PLNの子会社
PPA	Power Purchase Agreement 売電契約
P/Q	Pre-Qualification 事前資格審査
rpm	Revolutions Per Minute 回転数
RUKN	Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (インドネシア語) 国家電力総合計画
RUPTL	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (インドネシア語) 電力供給事業計画
SLA	Subsidiary Loan Agreement 付帯借款契約
UKL	Upaya Pengelolaan Lingkungan 環境マネジメントプラン
UPL	Upaya Pemantauan Lingkungan 環境モニタリングプラン
VAT	Value Added Tax 付加価値税
WACC	Weighted Average Cost of Capital 加重平均資本コスト

第 I 章

I 緒言

I-1 調査対象地域

本調査の対象地域は、図 I-1 に示すマルク州アンボン島トゥレフである。

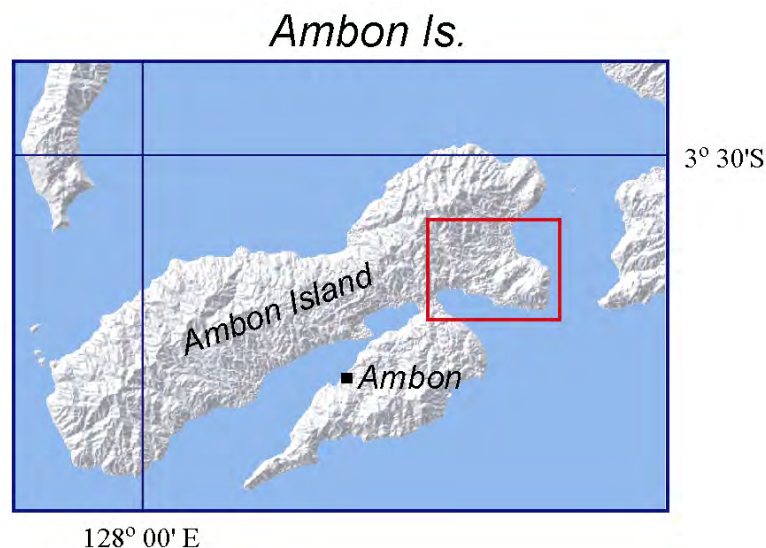


図 I-1 調査対象地域

I-2 背景

インドネシア国政府が発表した国家電力設備開発計画(RUKN 2008-2027)によれば、電力のピーク需要は2008年時点では25,407MWであったが、今後は年平均約9.1%ずつ伸びると予想されている。このように増大する電力需要に対応するため、同国政府は大規模発電計画(クラッシュプログラム)で対応することを発表している。2009年までの第一次クラッシュプログラムに引き続き、2010年1月に発表された第二次クラッシュプログラムでは、目標とする約1万MWの電源開発のうち3,977MWを地熱発電により賄うこととなっている。同国には世界最大の27,000MW相当のポテンシャルを有する地熱資源が賦存しているとされ、その活用への期待が大きい。しかし、現時点での開発規模は1,300MW程度と限られており、第二次クラッシュプログラムの目標達成のためにも、地熱開発の促進は急務となっている。このような状況から、地熱発電事業を実施する国有電力会社PT.PLNの地熱発電能力の増強が期待されている。PT.PLNの電源開発のうち、インドネシア東部に数多く分布する火山島である離島の地方電化のための電源としても、地熱発電は特に重要とされている。

PT.PLNの電力供給総合計画(Long Term Electricity Development Plan 2010-2019年、以下「RUPTL(2010年作成)」)によると、本事業による電力供給が期待されるマルク系統(アンボン島)の2010年におけるピーク需要は36.6MWであるが、経済成長、電化率向上に伴

う電力需要の増加により 2019 年までに年平均約 9.3%で需要が伸び、計 81.1MW に達する見込である。現存する電源設備の容量は合計 55MW であり、そのほとんどすべて、発電単価が高く、温室効果ガス排出量の多いディーゼル発電によるものである。化石燃料消費削減に加え温室効果ガスの排出量削減の観点から、これに代わる再生可能エネルギーの開発が必要とされている。また、マルク系統の給電能力が充分ではないことから、電力供給希望者が多数待機する状態となっており、これらに十分な給電を行うには現状でも数万 kW 規模の発電所建設が必要なことが第 1 次現地調査で明らかになった。

同国政府および PT.PLN は、マルク州アンボン島を含む東部地域の多くの電力を地熱発電で賄うことを計画している。本地域の発電規模は 20MW (10MW×2) と計画されている。本事業では、PT.PLN が地熱資源の賦存するトゥレフ地域で地熱発電を行い、現在ディーゼル発電により電力が賄われているアンボン島の需要地に送電する計画となっている。第 2 次クラッシュプログラムでは、2011 年末から 2012 年にかけて 10MW 発電所を 2 機建設し、2014 年はじめまでに発電を開始することになっている。地熱開発・発電所建設は PT.PLN が設立した PT.PLN Geothermal があたる予定である。

初期投資額の大きな地熱発電事業を経済・財務的にみても事業化可能なものにするためには、政府機関関連事業の場合、融資条件の良好な ODA 資金の活用が重要である。特に、円借款による支援は、本事業の支援には望ましいとされている。円借款事業化には、地熱資源賦存の確認と資源量評価に基づく地熱資源開発計画、環境保全に配慮した適切な事業計画等が必要であり、その妥当性を判断するためのデータや情報も必要である。事業化のための調査は、2009 年のわが国の経済産業省により実施された東部地域小規模地熱発電開発計画調査および 2010 年 2 月のプレ FS で実施されているが、FS としては十分なものではなく、その後の状況やインドネシア側の計画の変化にも対応出来てはいない。このため。本調査事業で、これらをレビューするとともに、必要な追加データを収集することによって円借款事業化に必要な検討や準備を行うこととなった。

I-3 調査の実施方針

本調査の目的は、円借款供与の検討に必要な情報を収集し、経済・技術・環境面からの分析を行い事業の妥当性を検討することである。この検討や既調査のレビュー結果に基づき、資源開発・発電所建設・送電線建設に係る実施計画を作成する。

I-4 円借款事業のスコープ

PT. PLN および BAPPENAS との協議記録によれば、本地域の円借款事業は次の内容となる予定である。

- 1) 地熱蒸気生産設備建設
- 2) 地熱発電所建設
- 3) 送配電線建設

- 4) 付帯設備建設
- 5) コンサルタントサービス (詳細設計、入札助勢、建設モニタリング、環境保全管理)

I-5 事業実施機関

PT.PLN (P.T. PLN Geothermal を含む)

I-6 本準備調査の調査項目

本準備調査の項目は以下の通りである。本調査の流れを図 I-2 に示す。

- a. 事業の必要性および電力需給状況の確認とレビュー
 - ・ マルク州電力セクターの現状レビュー
 - ・ 新期発電所建設計画および既設発電所の改修・廃止計画のレビュー (主にアンボン島内発電所)
 - ・ アンボン島の電力需給,人口および電化率の動向を考慮した本事業スコープの確認
- b. 地熱貯留層の詳細調査のレビュー
 - ・ 地質、地化学、物理探査等の地表調査および坑井調査等の既調査データの収集とレビュー
 - ・ 地熱貯留層の構造に関するレビューおよび解析結果
 - ・ 地熱蒸気・熱水の地質学的貯留状況の推定と地熱蒸気・熱水の化学特性のレビュー
 - ・ 蒸気生産量に及ぼす影響因子と影響の可能性検討に関するレビュー
 - ・ 地熱資源量および発電所へ供給可能な蒸気量に関するレビュー
 - ・ 地熱資源開発シナリオと最適設備容量に関するレビュー
- c. 施工計画に関する詳細調査のレビュー
 - ・ 生産井および還元井の仕様、コスト、スケジュールに関するレビュー (スケール対策等の建設・運用時の課題等の検討を含む)
 - ・ 蒸気配管・熱水配管建設の仕様、コスト、スケジュールに関するレビュー (景観等の環境配慮を考慮)
 - ・ タービンおよび発電機を含む地熱発電所建設の仕様、コスト、スケジュールに関するレビュー
 - ・ 送配電線建設の仕様、コスト、スケジュールに関するレビュー
- d. 全体事業費および操業・運営/維持管理費の積算、並びに事業実施計画作成
 - ・ 全体事業費および円借款対象事業費の積算

- ・ 調達方法および施工方法のレビュー
- e. 実施体制、操業・運営/維持管理体制の確認
- f. 環境社会配慮調査
 - ・ 既存資料のレビュー
 - ・ 汚染対策の検討
 - ・ 自然環境
 - ・ 社会環境
 - ・ 代替案の検討
 - ・ その他（ステークホルダーへの事業内容説明確認等）
- g. 事業効果の確認
 - ・ 運用効果指標の算出
 - ・ 定性効果の算出
 - ・ FIRR/EIRR の算出
- h. ワークショップの開催
 - ・ ドラフトファイナルレポート説明および意見交換のために、インドネシア政府および PT. PLN 関係者が参加したワークショップを開催

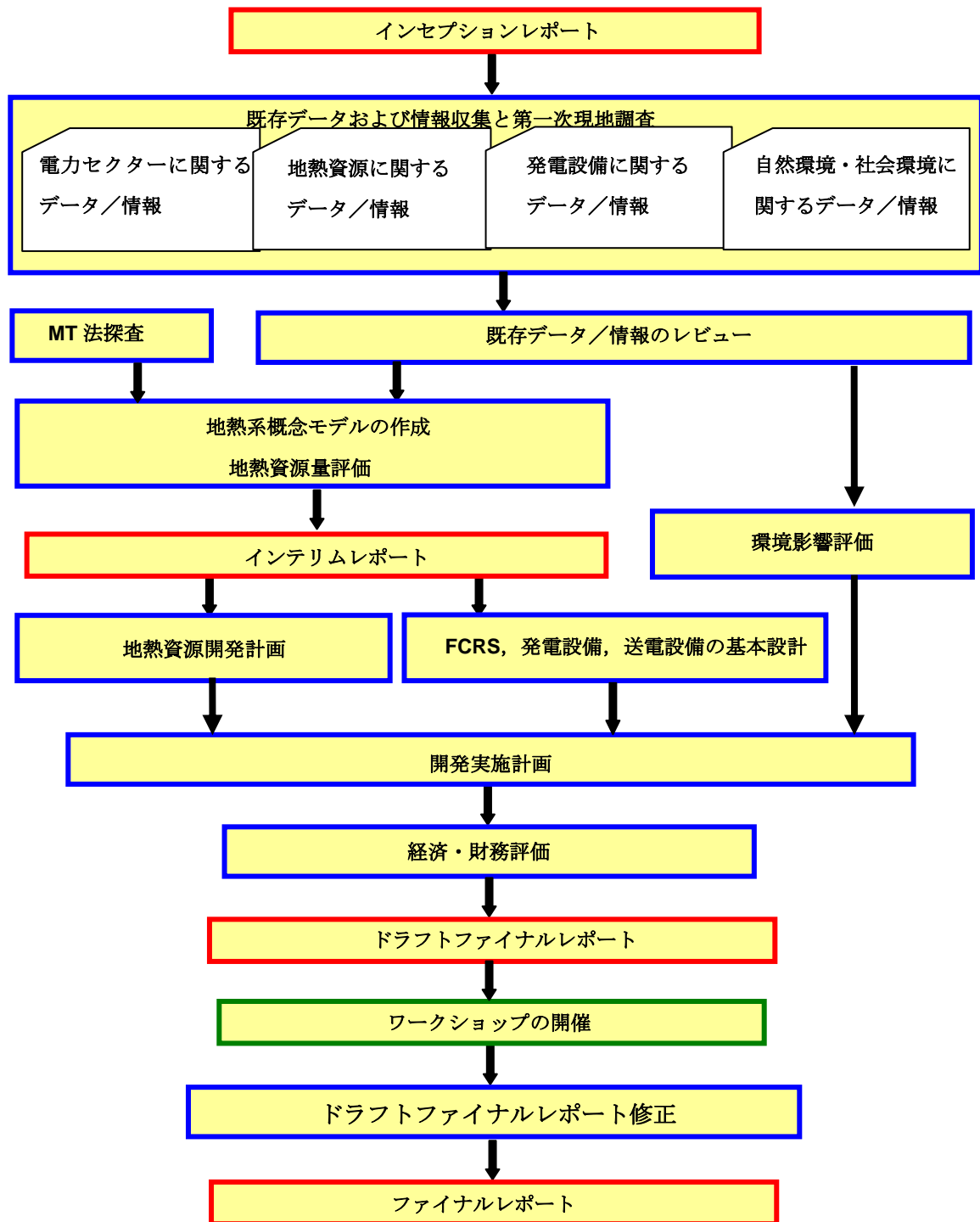
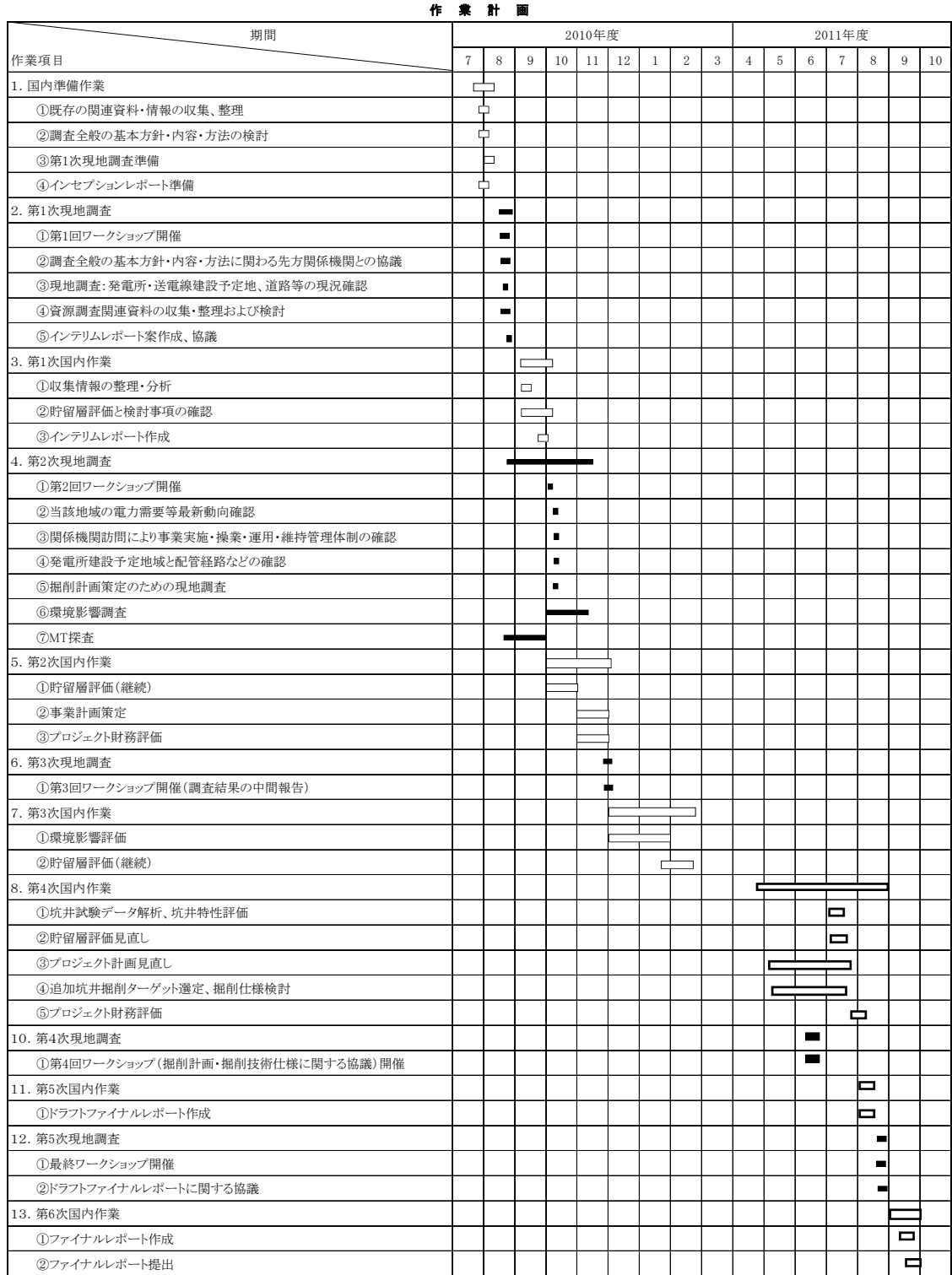


図 I-2 調査の流れ

表 I-1 調査の全体工程

様式-2



I-7 調査担当者

表 I-2 業務の担当者一覧表

氏名	担当	業務内容
島田 寛一	総括／地熱資源評価	プロジェクト総括業務および技術管理，資源評価
末吉 喜和	坑井掘削	坑井(生産井、還元井、観測井)掘削計画のレビュー，掘削費等の事業費の積算，調達方法および施工方法のレビュー
赤迫 秀雄	資源調査レビュー (地質)	資源調査関連資料の収集・整理および検討 (地質)，地熱貯留層詳細に関するレビュー
内山 明紀	資源調査レビュー (地化学)	資源調査関連資料の収集・整理および検討 (地化学)，スケール問題に関する検討，地熱流体の化学性状検討
福岡 晃一郎	資源調査レビュー (坑井調査)	資源調査関連資料の収集・整理および検討 (坑井)，調査井データのレビュー，地熱資源量の推定
本田 満	資源調査レビュー (物理探査A)	MT探査の計画・実施，データ解析・評価，地熱構造のレビューおよび検討
長野 洋士	資源調査レビュー (物理探査B)	資源調査関連資料の収集・整理および検討 (物理探査)，MT探査データ解析・評価
伊利 沙汀	環境社会配慮	環境社会配慮調査
舟越 好美	地熱発電所 (機械)	発電所建設計画，実施体制および操業・運営／維持管理体制の確認，事業費の積算，調達方法および施工方法のレビュー，事業実施計画策定，パイプライン建設計画のレビュー
酒村 建治	地熱発電所 (電気)、送配電	電力セクターの現状・需給状況調査，既存発電所の改修・廃止計画，新規発電所の建設計画に関するデータ収集，送配電計画
藤井 建次	経済・財務	経済・財務評価，相手国実施機関との調整

第 II 章

II 調査対象地域の電力事情

II-1 調査対象地域の電力需要と供給

II-1-1 マルク州の電力セクターの現状

マルク州 (Maluku) はインドネシアの東部に位置し、州域はマルク諸島 (モルッカ諸島) から遠く南方に広がっており、559 の島々から成っている。マルク州全体の面積は 581,376 km² に及ぶが、その約 90% が海であり、陸地の面積は 54,185 km² である。マルク州全体の人口は 144 万人 (2008 年時点)、州都はアンボン島のアンボン市 (Ambon) で、28 万人の人口である。表 II-1 に、2008 年におけるマルク州とアンボン市の面積と人口を示す。

表 II-1 アンボン市の面積と人口 (2008 年)

項目	面積 (km ²)	人口 (人)	人口増加率 (%/年)
アンボン市	377	281,293	3.95
マルク州	54,185	1,440,014 (1,531,402)	2.30
インドネシア全国	1,910,931	227,345,082 (237,556,363)	1.20

(人口の括弧内は 2010 年の国勢調査データ)

(出典 ; Maluku in Figures 2009, World Bank Database)

マルク州の電力供給は、PLN の「マルクおよび北マルク支店 (Wilayah Maluku dan Maluku Utara)」が行なっている。このマルクおよび北マルク支店は、アンボン (Ambon)、テルナテ (Ternate) およびトゥアル (Tual) の 3 つの営業所 (Cabang) から成っている。(図 II-1 参照) 前述したように、本支店管内は 559 もの島々からなっており、電源系統はすべて島単位で独立している。これら 3 営業所のうち、アンボン営業所が最大で、設備容量等は全体の半分以上を占めている。これら 3 系統の発電設備はすべてディーゼル機関であるが、アンボン営業所の発電可能容量は設備容量のほぼ半分であり、設備の老朽化が進んでいることがわかる。今回の準備調査の対象であるトゥレフ地熱発電所はアンボン営業所の管轄である。

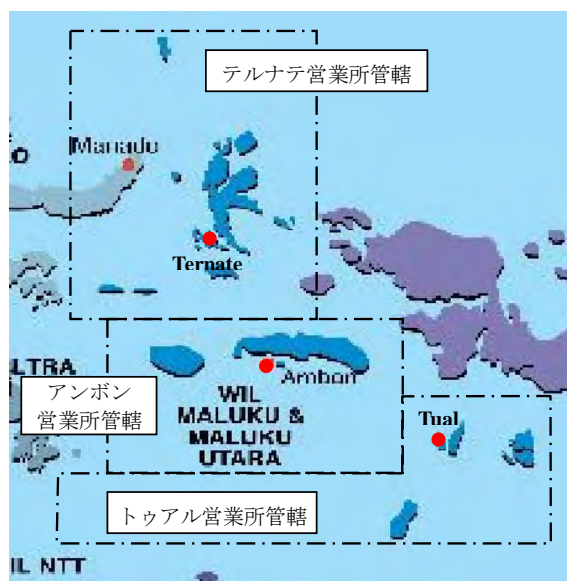


図 II-1 マルクおよび北マルク支店

II-1-2 アンボン島の電力需給

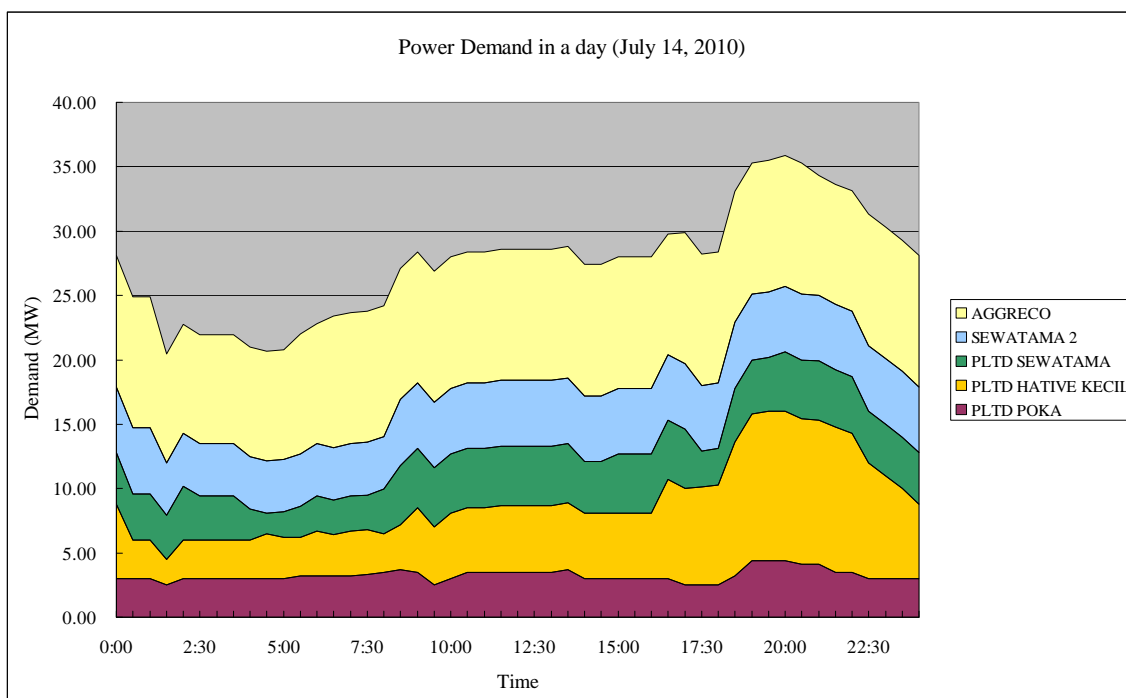
今回の準備調査の対象であるトゥレフ地熱発電所はアンボン島の系統に接続される。この系統はまだ 20kV による配電系統のみであるが、2010 年 9 月、建設が始まったワイ石炭火力発電所 (15 MW×2) に合わせ、この発電所からアンボン市中心まで 70kV 送電線が設置される予定である。

アンボン島系統の電力需要がアンボン営業所内の最大であり、約 60%を占めている。2010 年 7 月 14 日の電力供給状況と日負荷曲線を表 II-2 及び図 II-2 に示す。ピーク電力は午後 8 時に記録し、その値は 35.9MW であった。そのうちの 55%はレンタル設備に依存している。

表 II-2 2010 年 7 月 14 日における最小供給と最大供給

所有者	発電所	最小供給量 (1 時 30 分)	最大供給量(20 時 00 分)		
		(MW)	(MW)	小計(MW)	比率
PLN	Poka (ディーゼル)	2.5	4.4	16.0	45%
	Hative Kecil (ディーゼル)	2.0	11.6		
Rental	Sewatama (ディーゼル)	3.4	4.6	19.9	55%
	Aggreco	8.5	10.2		
	Sewatama 2	4.1	5.1		
合計		20.5	35.9	35.9	100%

(出典 ; PLN Wilayah Maluku dan Maluku Utara)



(出典 ; PLN Wilayah Maluku dan Maluku Utara)

図 II-2 アンボン系統日負荷曲線 (2010年7月14日)

マルク支店の2009年の統計書によれば、アンボン支店管内で電源契約を申請中で、まだ契約されていない顧客は770口、合計電力7,606kVAとなっている。更には、ホテルなどのサービス業は毎日発生する停電に備えて、自ら自家発電設備を所有しており、相当の電力が不足していることがうかがえる。

表 II-3 にアンボン島系統内の2009年現在の発電機ユニット一覧を示す。アンボン島系統の PLN 発電所は Poka 発電所及び Hative Kecil 発電所の2箇所である。この2発電所の設備容量合計は55,072kWであるが、表 II-3 に示されているように、可能出力は24,800kWしかない。特に Poka 発電所においては、設備容量33,600kWに対し、2年前の2008年における発電可能容量は19,100kW (2008年JETRO調査団調査結果)であったが、今回の調査では発電可能容量が9,500kWまで落ちていることがわかった。このため、PLNはレンタル発電機(可能出力21,700kW)をPoka発電所内に設置し、電力需要を賄っている状況である。

表 II-3 アンボン島系統内発電機ユニット一覧 (2009年8月10日現在)

Power Plant	No.	Manufacturer	Model	Year	Capacity (kW)		Remarks
					Rating	Dependable	
Poka	1	GMT	A420-14	1988	6,400	4,500	
	2	GMT		1988	6,400	-	Damaged Crank shaft
	3	GMT		1988	6,400	4,000	
	4	Caterpillar	3616	2003	4,700	-	Damaged Crank shaft
	5	Caterpillar		2003	4,700	-	
	6	ABC	12V DZC-100-166A	2005	2,500	1,000	De-rating
	7	ABC		2005	2,500	-	
Poka Total					33,600	9,500	
Hative Kecil	1	SWD	6TM 410RR	1978	2,296	1,800	De-rating
	2	SWD		1978	2,296	1,800	Ditto
	3	SWD		1983	3,280	2,200	Ditto
	4	SWD	12TM 410RR	1986	6,560	5,000	Ditto
	5	SWD		1991	7,040	4,500	Ditto
Hative Kecil Total					21,472	15,300	
PLN Ambon Total					55,072	24,800	
Rental Genset		CAT				5,750	5 units
		Cummins				10,200	12 units
		CAT				5,750	5 units
	Rental Genset Total						21,700
Ambon System Total						46,500	

(出典 ; PLN Wilayah Maluku dan Maluku Utara)

II-1-3 電力需給予測

2011年8月 Draft Final Report Workshop 時、マルク支店から入手した資料によれば、本事業により電力供給が期待されるアンボン島系統の2011年から2020年までの電力需給予測は表 II-4 となっている。本表によれば、2011年のピーク需要は43.3MWであるが、経済成長、電化率向上に伴う電力需要の増加により2016年までに年平均約11%で需要が伸び、72.9MWに達すると見込まれている。

表 II-4 アンボン島電力需給予測 (2011年 - 2020年)

Neraca Daya Sistem Ambon

Received on August 14, 2011

ELECTRICITY FOR A BETTER LIFE

Uraian	Unit	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kebutuhan											
Produksi Energi	GWh	224,0	241,5	266,0	292,1	320,0	350,6	383,9	420,1	459,4	501,9
Load Factor	%	59,1	58,3	57,4	56,6	55,7	54,9	54,1	53,3	52,5	51,7
Beban Puncak	MW	43,3	47,3	52,9	59,0	65,6	72,9	81,1	90,0	100,0	110,9
Pasokan											
Kapasitas Terpasang	MW	55,1	55,1	55,1	55,1	55,1	55,1	=> <i>Interkoneksi Pulau Ambon - Seram (Transmisi 70 kV)</i>			
Derating Capacity	MW	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1				
Pembangkit PLN											
Manufacture	Size										
PLTD Hative Kecil	21,5	MW	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2				
PLTD Poka	33,6	MW	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8				
Pembangkit Sewa											
Sewa HSD	MW	20,2	-	-	-	-	-				
Sewa MFO	MW		25,0	25,0	25,0						
Project PLN											
Waai #1,2 (FTP 1)	PLTU		15,0	15,0							
Waai #3 (Ekspanasi)	PLTU					15,0					
Tulehu (FTP 2)	PLTP					10,0		10,0			
Wai Tala	PLTA						15,0	45,0			
Project IPP / Swasta											
Jumlah Efektif	MW	56,2	76,0	91,0	91,0	91,0	116,0				
Cadangan											
Pemeliharaan	MW	4,5	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0				
Operasi	MW	3,8	4,5	4,5	4,5	4,5	10,0	10,0			
Surplus/Defisit (N-2)	MW	4,6	9,2	18,6	12,5	0,4	18,1				

97

(出典：Wilayah Maluku dan Maluku Utara、2011年8月 Draft Final Report Workshop 時入手)

本システムの発電設備は発電単価が高く、温室効果ガス排出量の多いディーゼル発電であるが、現在のその設備容量は合計 55MW あるものの、実際の発電可能容量は 25MW (表 II-3 参照) しかなく、不足している電力をレンタルのディーゼル発電機で賄っている状態である。この電力不足解消に加え、化石燃料消費削減、並びに温室効果ガスの排出量削減の観点から、これに代わる再生可能エネルギーの開発が急務である。表 II-4 によれば、レンタル発電機は 2014 年まで使用、そして 2015 年からは、現在建設中のワアイ石炭火力発電所、本事業によるトゥレフ地熱発電所、他が供給する計画となっている。しかし、トゥレフ地熱発電所においては、現時点から標準的な実施工程を考慮すれば、その運転開始は早くても 2016 年と推測されるため、この電力需給予測は修正される必要がある。この修正した需要予測を標準工程として表 II-5 に、また、図 II-3 にこの標準工程における需要と供給の関係を示す。これによれば、2015 年に電力供給が不足することになり、現状のレンタル発電機に頼らざるを得ないと考えられる。

前述したように、本システムの需要は年平均約 11% で順調に伸びる見込みであり (2016 年で 72.9MW、2020 年には 110.9MW + セラム島需要)、トゥレフ地熱発電所の単機容量としては 10~20MW 程度であれば系統的に十分に運用可能であると考えられる。

表 II-5 アンボン島電力需給予測 (2011年-2020年) (修正、標準工程)

System		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020				
Demand															
Production	GWh	224.0	241.5	266.0	292.1	320.0	350.6	383.9	420.1	459.4	501.9				
Load Factor	%	59.1	58.3	57.4	56.6	55.7	54.9	54.1	53.3	52.5	51.7				
Peak Load	MW	43.3	47.3	52.9	59.0	65.6	72.9	81.1	90.0	100.0	110.9				
Supply															
Installed Capacity	MW	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	Interconnection between Ambon system and Seram system. * Rental MFO will be in operation one (1) year ahead than their original schedule. ** FTP; Fast Truck Program							
Derating Capacity	MW	-20.1	-20.1	-20.1	-20.1	-20.1	-20.1								
PLN Generation															
Hative Kecil 21.5 MW	PLTD	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2								
Poka 33.6 MW	PLTD	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8								
Rental Facility															
Rental HSD	MW	20.2	0	0	0	0	0								
Rental MFO	MW	*25.0	25.0	25.0	25.0	0	0								
PLN Projects															
Waii #1,2 (**FTP1)	PLTU		15.0	15.0											
Waii #3 (Expansion)	PLTU					15.0									
Tulehu (**FTP2)	PLTP						20.0								
Wai Tala	PLTA						15.0								
IPP Project															
								45.0							
Total Supply	MW	81.2	76.0	91.0	91.0	81.0	116.0								
Existing Maintenance	MW	-8.3	-19.5	-19.5	-19.5	-25.0	-25.0								
Reserve	MW	29.6	9.2	18.6	12.5	-9.6	18.1								

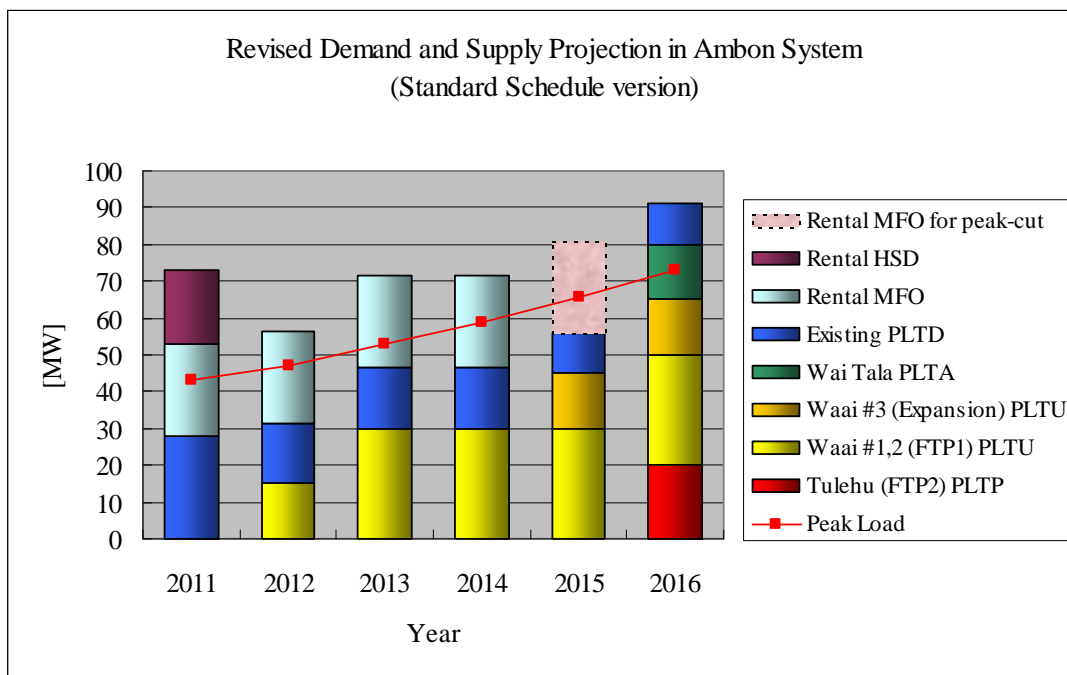


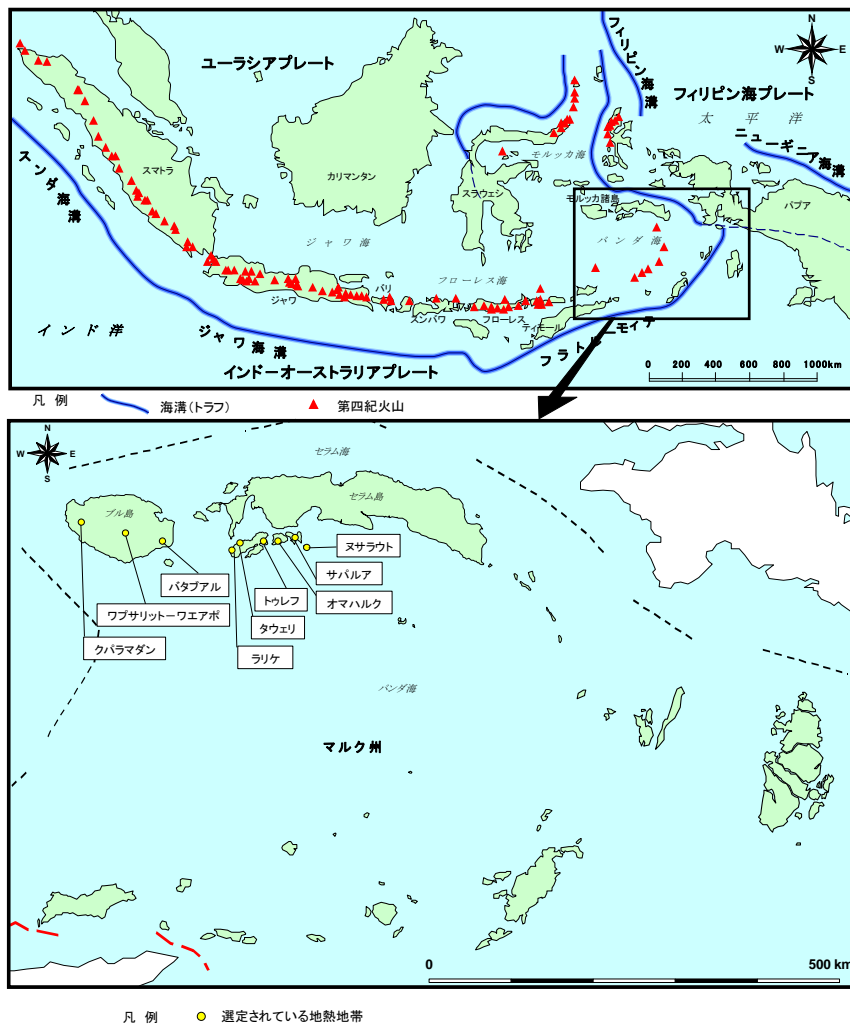
図 II-3 アンボン島の需要と供給 (2011年 - 2016年、標準工程)

第 Ⅲ 章

III トウレフ地域の地熱資源

インドネシアはユーラシアプレートとインドーオーストラリアプレートならびにユーラシアプレートとフィリピン海プレートとのプレート境界に位置している(図 III-1 参照)。海溝(トラフ)と第四紀の火山帯によって特徴づけられる典型的な島弧系が認められ、火山帯沿いに有望な地熱地帯が多く分布している。MEMR(2007)によれば、以下の9つの地熱地帯がマルク州では有望地点として選定されている。なお、トウレフを除く他の8地点については、系統だった本格的な地熱調査はまだ実施されていない。

クパラマダン(ブル島)、ワプサリットーワエアポ(ブル島)、バタブアル(ブル島)、ラリケ(アンボン島)、タウエリ(アンボン島)、トウレフ(アンボン島)、オマハルク(ハルク島)、サパルア(サパルア島)、ヌサラウト(ヌサラウト島)



出典: T. Simkin and L. Siebert (1994)、MEMR (2007)

図 III-1 インドネシアにおける第四紀火山分布とマルク州の有望地熱地帯

III-1 トウレフ地域の地熱資源

III-1-1 トウレフ地域の坑井掘削の現状

トウレフでは2008年と2009年に総計6本の測温孔(深度40m~150m)が掘削されている(図III-2参照)。2009年に掘削されたW2.1(掘削深度150m)の坑底温度が最も高く、122.6℃を記録している。2010年12月には、W2.1近傍の敷地から調査井TLU-01の掘削が開始された。2011年6月28日に932.65mまでの掘削が完了し、同年7月1日に7インチケーシング(535mから923m間は孔明管)が設置された。



図 III-2 既存坑および調査井位置図

III-1-2 探査データおよび地熱資源に関する情報のレビュー

1. 既存地質データ

トウレフ地域の地表に露出している地質は、古いものから新しいものの順に、砂岩層、タンジュン玄武岩溶岩、サラフトゥ-1 デイサイト質溶岩、サラフトゥ-2 デイサイト質

溶岩、ブキットバカール安山岩溶岩、ブキットバカール火山碎屑岩類、フベ火山碎屑岩類、シマロプ火山碎屑岩類、サラフトゥ火山碎屑岩類、カデラ火山碎屑岩類、エリワカン火山碎屑岩類以下の13種類に分類されている(図III-3参照)。

トゥレフ地域では、北東-南西方向の断層として、北側から順にワイルトゥン断層、バンダーハトゥアサ断層、バンダ断層およびフベ断層が推定されている。また、北西-南東方向のサラフトゥ断層、トゥレフ断層およびワイヤリ断層が推定されている。カデラ山の北側にはカデラ断層が推定されており、カデラ山の北東側ではその方向性が東西方向から北東-南西方向に転じている。ワイルトゥン断層は、南東側が相対的に陥没している正断層である。フベ断層は北西側が相対的に陥没している正断層である。ワイルトゥン断層とフベ断層に挟まれた部分は地溝状の構造になっている。なお、ワイルトゥン断層とフベ断層の間に位置するバンダーハトゥアサ断層とバンダ断層は北西側が相対的に陥没している正断層である。ワイヤリ断層とサラフトゥ断層は右横ずれ断層と考えられており、トゥレフ断層は北東側が相対的に陥没した正断層と考えられている。また、カデラ断層は南側が相対的に陥没している正断層と考えられている。

トゥレフ地域の地熱徴候は、テランアラム山(フベ山)周辺の温泉群とエリワカン山周辺の温泉群とに区分される。テランアラム山周辺の温泉群としては、バトゥロンパとバトゥルダの温泉群があり、テランアラム山北麓の海岸部とその北側の島に40℃から70℃の温泉が湧出している。これらの温泉は、トゥレフ断層の南東延長部とフベ断層との交点付近に位置している。エリワカン山周辺の温泉群としては、バンダ断層とトゥレフ断層との交点付近に位置するマモケン集落の海岸・海中に40℃前後の温泉が湧出している。また、バンダ断層沿いには東からテラガビル(35℃から48℃)、シラ(38℃から80℃)およびヤリ川沿いのハトゥイン(49℃)で温泉が湧出している。また、バンダーハトゥアサ断層沿いには、ハトゥアサ温泉(56℃から60℃)とバンダ変質帯がある。バンダ変質帯で検出されている変質鉱物は石英、モンモリロナイト、カオリナイト、イライト、明礬石、石膏などである。

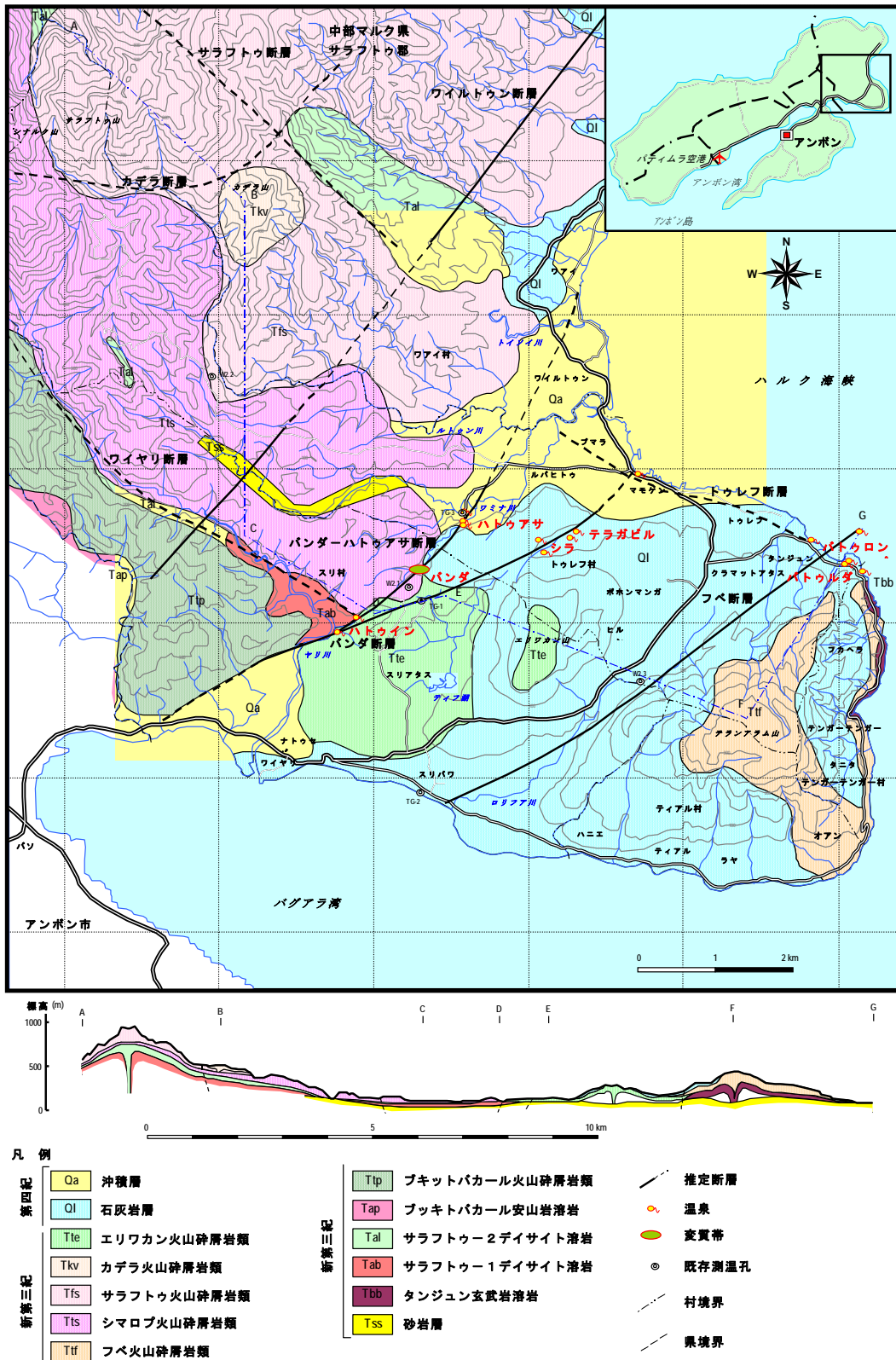


図 III-3 トウレフ地域地質図

2. 既存物理探査データ

a. 重力探査

約 25km² の範囲に 247 測点を配置 (測点間隔 300-600m) して重力探査が行われている (PLN、2008)。トゥレフ地域のブーゲ異常図 (図 III-4 参照) から、5 本 (GL1 から GL5) の重力リニアメントが抽出された。低重力異常域が本地域の北東部に広がっており、南西部には高重力異常域が広がっている。両者の境界部に重力リニアメント GL1 が認められる。北東-南西方向に伸びる重力リニアメント GL3 と GL4 との間には局所的な高重力異常域が北東へ伸びており、重力リニアメント GL3 の北西側は低重力異常域となっている。

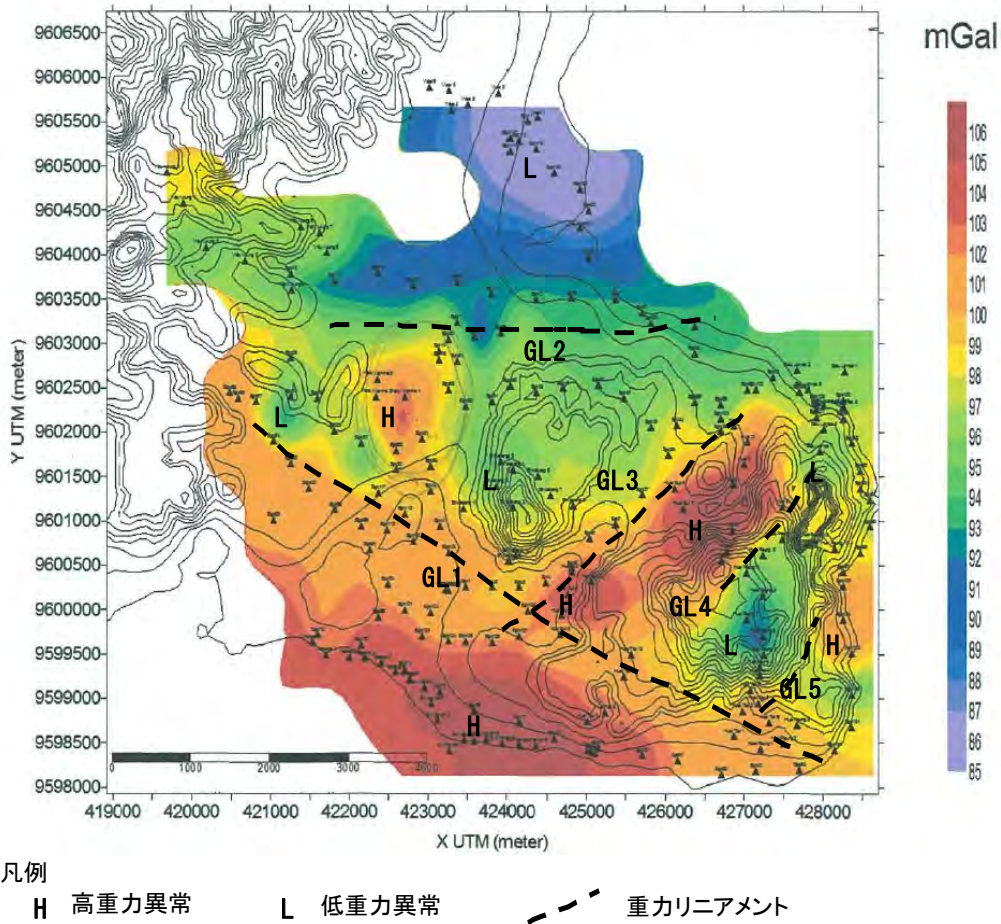


図 III-4 トゥレフ地域重力異常図

b. 磁力探査

重力探査と同じ 247 測点で磁気探査が行われている (PLN、2008)。全磁力図から IGRF (International Geomagnetic Reference Field) を差し引いた IGRF 残差図を図 III-5 に示す。ほぼ北側が正の磁気異常、南側が負の磁気異常となっている。両者の間は磁気異常の急

変部となっており、磁性体の不連続部となっている可能性もあるが、断層や地層境界との関連性は認められない。本地域の地熱徴候地は正の磁気異常にほぼ分布している。地熱徴候地は負の磁気異常域に分布しているのが一般的である。本地域は低緯度に位置していることから、磁性体の直上に磁気異常が検出されていない可能性がある。

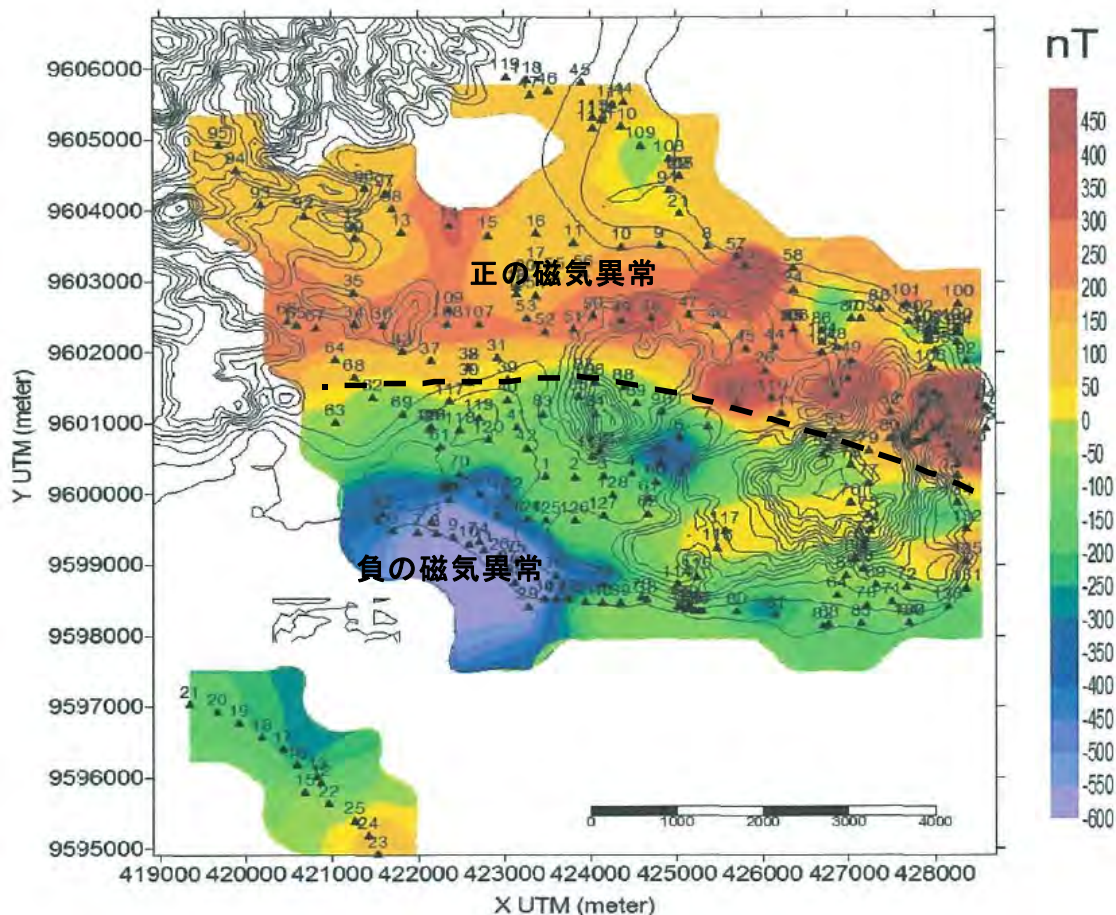


図 III-5 トゥレフ地域全磁力 IGRF 残差図

c. CSAMT 法探査

2008年にCSAMT法探査が実施されている(PLN, 2008)。約130点の測点で測定されたデータを用い、30以上の断面について2次元解析が行われている(図III-6参照)。しかし、次のような問題点が指摘される。すなわち、送信源と測点の距離は少なくとも探査深度の3倍以上離す必要があるが、実施された探査の送信源と測点の距離は非常に短い。このため、意味のある解析を行うに足る品質のデータが取得されていたかどうかについて疑問が残る。また、また、解析結果の断面図を見ると、深度約4kmまでを解析対象としたメッシュ設定となっている。しかし、通常のCSAMT法の測定で解析できるのは1km程度が限界である。したがって、解析結果の信頼性にも疑問が残る。このようなことから、CSAMT法探査の解析結果については、地熱構造の解釈には含めないこととした。

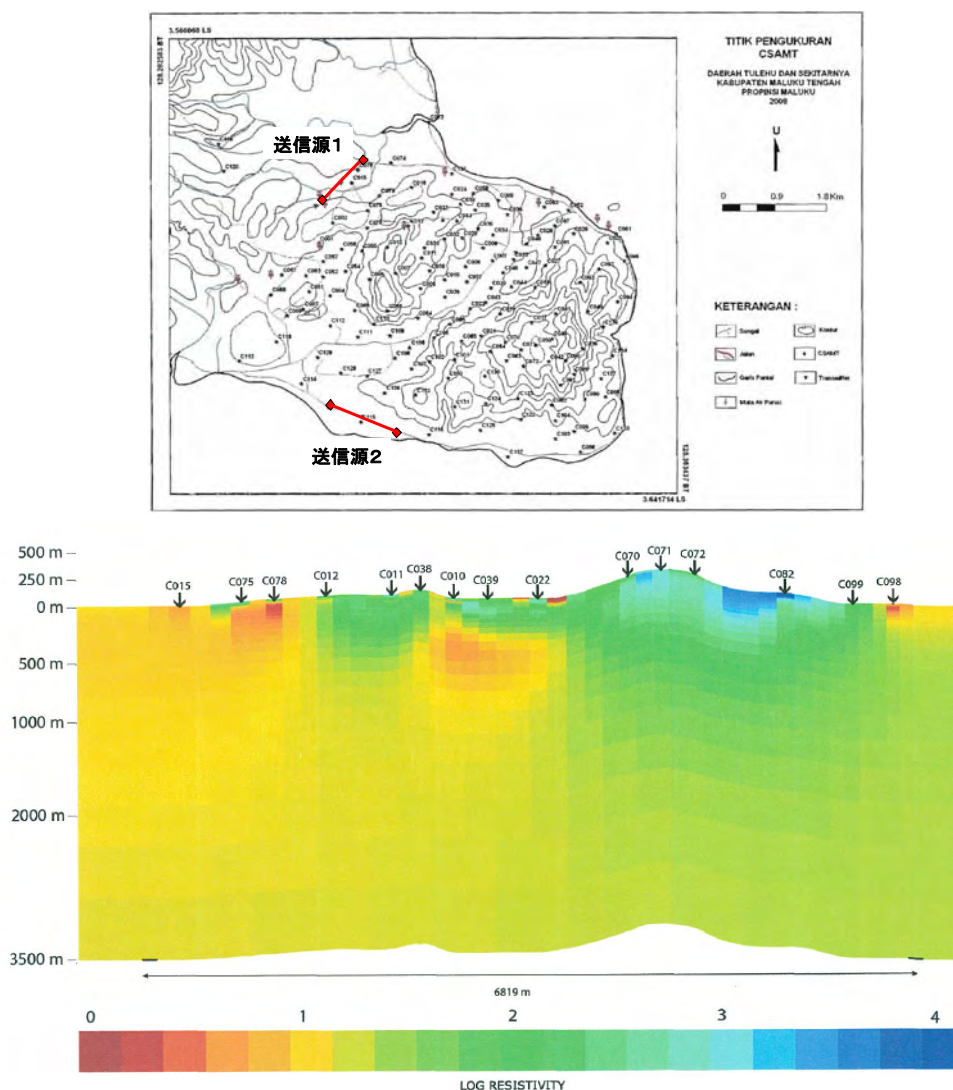


図 III-6 CSAMT 法探査測点配置および2次元解析結果断面例

3. 既存地化学データ

本地域における温泉・噴気ガスの化学組成データを表 III - 1 に示す。硫化水素ガスの分析はどの地点でも行われていないが、温泉ガスの温度が比較的低いこと、噴気・温泉地ではほとんど硫化水素臭がしなかったことから、どの地点の温泉ガスにも硫化水素ガスはほとんど含有されていないと考えられる。この表に示された噴気・温泉ガス組成は空気混入の影響を受け、温泉ガスの組成も起源となった地熱貯留層内の流体の化学的特徴を反映していないため、これらのデータを用い地熱貯留層流体の特性の把握や有望度を判断することは難しい。

表 III-1 温泉・噴気ガス組成

試料番号	CO ₂	O ₂	N ₂	Ar	CH ₄	試料採取地点	
TLH-3	1.83	32.62	66.48	0.00	0.07	トゥレフ海岸近く	トゥレフ
BTL-1	27.71	30.73	38.61	0.00	2.95	バトゥロンパ海岸	
HTS-3	47.38	10.55	41.68	0.00	0.39	ハトゥアサ	
BTL-3	8.85	3.95	6.35	0.00	0.00	バトゥロンパ海岸2	
HRK-1	95.57	2.33	1.72	0.38	0.00	ハルク	ハルク
OMA	16.07	29.08	54.66	0.00	0.18	オマ	
OMA-2	96.01	0.80	2.71	0.00	0.48	オマ	

本地域の地熱発電事業の全体像を明らかにするためには、坑井噴出流体の化学特性データが不可欠である。しかし、坑井の噴出試験データがないため、収集した既存データを検討した。表 III-1 に示す比較的高い温泉水から分離したと思われる TLH-3 のガスに含まれる CO₂ や NCG の割合は、一般的な地熱流体中のガスの特徴を有していると考えられる。このガスデータから地熱蒸気の不凝結ガス組成を参考として推定した結果は以下のとおりである。

NCG(mol%)	NCG(wt%)	CO ₂ (vol%)	H ₂ S(vol%)
0.37	0.88	98	2

ただし、開発地域から離れた地点で採取された試料であり、開発対象となる地熱貯留層の流体を代表しているかどうか不明ではある。また、試料の採取条件が不明なことや推定に当たっていくつかの仮定を設けていることなどから、この値が妥当な値かどうか判断できない。調査井の噴出試験後に蒸気の化学特性を見直す必要があるものの、当面は地熱井の蒸気中の不凝結ガス濃度・組成としてこの値を想定することとした。

本地域における温泉水の化学組成データ及び水素・酸素同位体データを表 III - 2 に示す。図 III-7 に示すように、温泉水は Cl 型または Cl-HCO₃ 型に分類され、Cl 濃度は最高 5,730mg/L と高い。海水と天水起源の地下水が混合した流体が温泉水の起源と考えられ、海水と地下水の混合で説明できる温泉水が多い（図 III-8 参照）。ただし、シラなど一部の温泉水では、熱水が周辺の岩石と相互作用したことを示す酸素-18 シフトが認められる（図 III-9 参照）。また、海水起源水の場合、Cl/B 比（モル）は 1200 程度であるが、酸素シフトが認められる温泉水では 130 程度と岩石との相互作用が進んでいることを示している。また、表 III-3 に示すように、これらの温泉では、地化学温度

(Na-K-Ca) も 200℃程度と高い値を示していることなどから、本地域には海水及び地下水を起源水とする地熱資源が賦存していると判断される。なお、正確な温度は把握できないが、Na-K-Ca 温度計はシラで 200℃を示している（表 III-3 参照）ことから、本地域の貯留層温度は 200℃以上と推定される。温泉水の岩石と熱水の相互作用や地化学温度等から見れば、シラ周辺地域に最も有望な地熱資源が賦存している可能性が指摘される。ただし、他の地点については、温泉として地熱流体が湧出できる深度方向の透水性層が存在しないために有望な地熱貯留層が検知できていない可能性もある。

エリワカン山の北に分布する温泉は、Cl/B モル比が 130 前後と類似しており、一つの

貯留層を起源とした熱水が分布している可能性がある。断層沿いにこれらの温泉は広がっており、断層沿いに広がる貯留層の存在を示すと思われる。

本地域の温泉水は炭酸イオン濃度が高いことから、貯留層構成岩石に堆積岩や石灰岩が含まれている可能性がある。堆積岩や石灰岩が貯留層構成岩石となっている場合、高濃度 NCG や炭酸カルシウムスケール析出等の問題が生じる可能性がある。したがって、これらの岩石と貯留層の関係を坑井調査で明らかにする必要がある。

温泉水の化学組成から見れば、発電所設備の腐食問題が生じる可能性はないと判断される。ただし、共存塩濃度が高いことなどから、熱水還元系統のシリカスケール問題は生じる可能性がある。貯留層温度が 200°C を超える場合、高温還元や酸注入等で対策は比較的容易であり、その効果も大きい。蒸気生産系統では貯留層の特性によってはスケールが析出する可能性がある。坑井特性調査結果を基に対策を検討することが必要となる可能性がある。

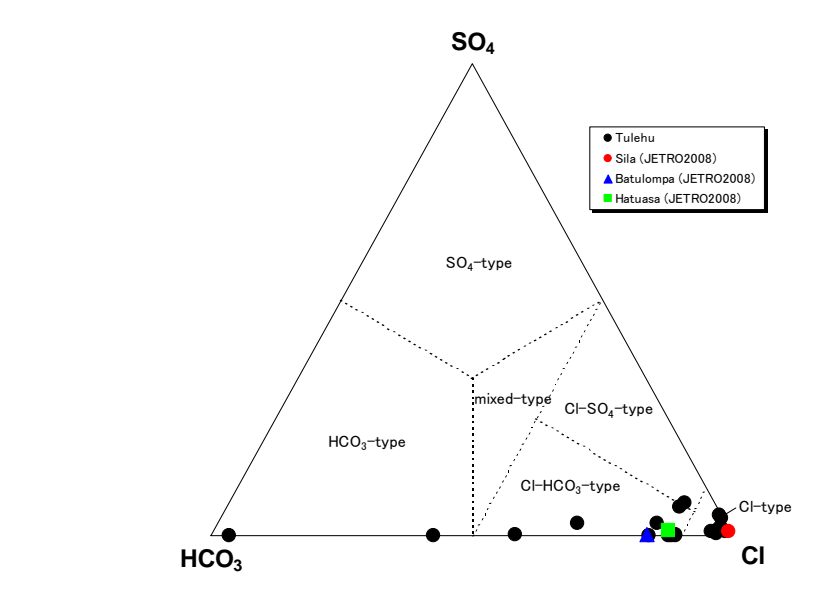


図 III-7 温泉水の主要陰イオン三成分図

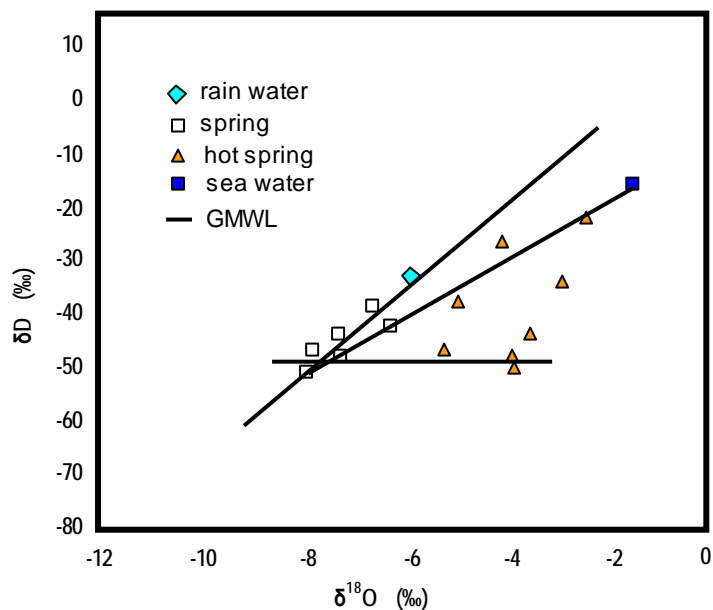


図 III-8 温泉水の酸素・水素同位体比

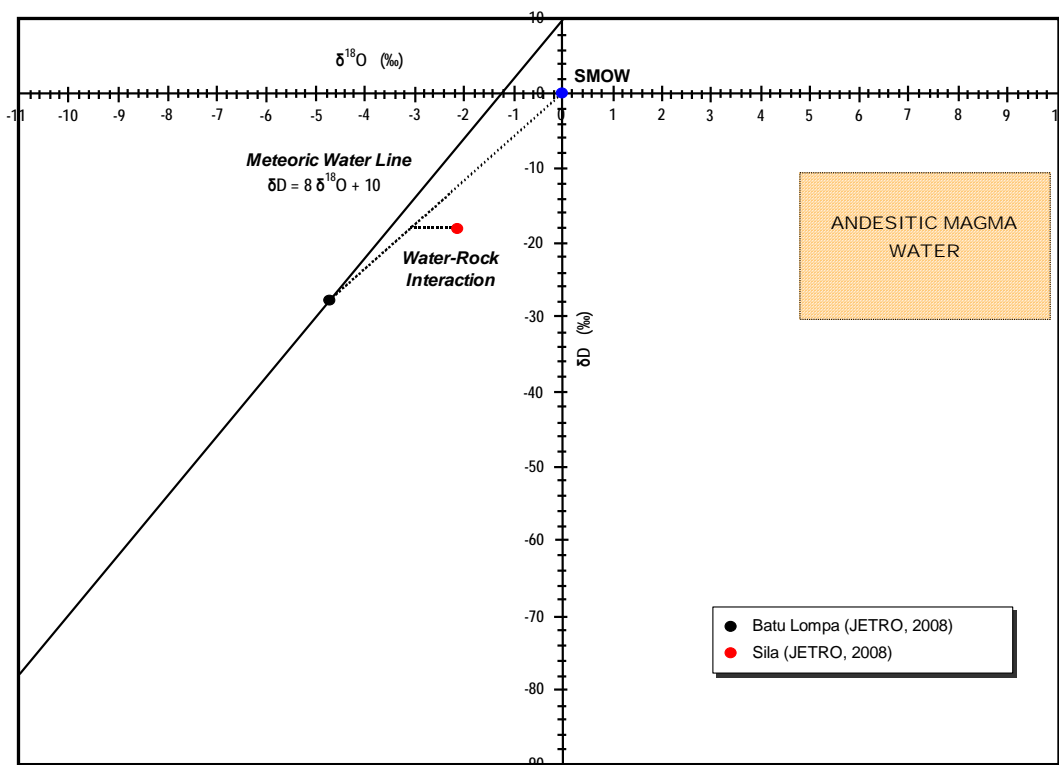


図 III-9 シラ温泉水等の酸素・水素同位体比

表 III-2 温泉水の化学組成

No.	Code	SiO ₂	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	Li	NH ₃	Cl	SO ₄	HCO ₃	H ₂ S	B	pH lab.	flow rate	water temp.	試料採取地点
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(l/min.)	(°C)	
1	TLH-1	149.9	0	1.06	145.3	16.55	373.8	39.73	0.18	2	473.86	0	655.44	1.33	1.64	6.2	6	57	トゥレフ病院裏の海岸
2	TLH-3	178.9	0	0.77	262.03	18.6	1062.1	152.8	0.79	3	1826.44	1.2	474.76	1	4.8	6.4	1.3	78	バトゥロンバ岬
3	TLH-4	82.98	0	0.09	265.78	119.36	1961.19	148.6	0.13	0.75	3128.92	258.93	520.9	2	1.26	6.9	2.8	40	マモケン海岸
4	SL-1	183.4	0	0.2	702.5	9.5	2824.64	302.6	1.2	1.36	5282.24	64.47	120.65	1.99	12.05	6.6	0.3	90	シラ
5	SL-2	86.75	0	0	288.38	5.24	1115.52	103.7	0.52	1.41	2055.75	15.48	151.35	1.99	4.78	7.6	-	38	シラ
6	HTS-1	163.4	0	0.05	312.6	9.39	1040.64	96.28	0.54	4.69	1811.54	25	423.78	13.39	3.46	6.4	7.5	60	ハトゥアサの川
7	HTS-2	155.5	0	0.08	299.2	8.85	997.92	91	0.51	5.63	1741.85	23.03	395.11	13.39	4.26	6.5	23.8	60	ハトゥアサ温泉のプール
8	HTS-3	172.8	0	0.14	288.2	9.22	966	92.06	0.53	4.69	1741.85	21.05	441.86	12.68	7.49	7.3	15	60	ハトゥアサ
9	BTL	179.4	0	1.64	969	418.5	8788	715	3.47	7.81	14989.6	833.33	188.4	10.63	24.55	6.6	0.5	49	バトゥロンバ島
10	Suli Beach	92.19	0	0	52.3	4.26	173.6	9.39	0.05	1.88	226.99	10.12	198.36	1.66	0.46	8.3	23.5	35	スリ海岸
11	SLM-1	181.3	0	0.1	213.2	22.7	1107	89.3	0.54	1.5	1811.85	3.87	442.55	1.99	6.14	6.4	1.5	61	ハトゥイン
12	SLM-2	124.5	0	1.65	492	9.15	2096	203.6	1.04	4.69	3818.82	72.62	153.94	5.32	6.9	5.9	7	70	ハトゥイン
1	OMA-1	208.3	0	2.97	289	308	3436	217.4	0.3	1.56	5400.7	815.79	575.19	4.65	2.09	6.7	1.5	65	オマ
2	OMA-2	239.4	0	0.57	64.02	4.63	768	70.24	0.48	3.5	1067.94	85.71	396.75	1.33	2.85	6.8	15	72	オマ
3	HRK-1	100.1	0	0.2	63.08	10.2	862	72.66	0.48	5	1118.92	95.39	532.52	2.66	2.09	7.8	3	85	ハルク

表 III-3 各温泉水の化学組成から得られる地化学温度

No.	Code	温度 (°C)			試料採取地点
		Na-K (Fournier)	Na-K (Giggenbach)	Na-K-Ca	
1	TLH-1	222.42	237.37	119.00	トゥレフ病院裏の海岸
2	TLH-3	250.43	263.26	179.96	バトゥロンバ岬
3	TLH-4	194.45	211.24	189.19	マモケン海岸
4	SL-1	223.11*	238.01	199.84	シラ
5	SL-2	210.95	226.69	157.58	シラ
6	HTS-1	210.56	226.32	150.32	ハトゥアサの川
7	HTS-2	209.35	225.20	148.38	ハトゥアサ温泉のプール
8	HTS-3	213.04	228.64	149.59	ハトゥアサ
9	BTL	200.07	216.51	269.02	バトゥロンバ島
10	Suli Beach	169.56	187.74	81.72	スリ海岸
11	SLM-1	199.38	215.87	160.01	ハトゥイン
12	SLM-2	214.66	230.15	185.09	ハトゥイン
1	OMA-1	180.80	198.38	219.92	オマ
2	OMA-2	209.60	225.43	182.92	オマ
3	HRK-1	202.91	219.17	187.47	ハルク

4. 坑井調査データ

d. 測温孔

TG-1は深度40mまで掘削され、地表から17mまでの凝灰質粘土層と17m以深の珪化したデイサイトはそれぞれエリワカン火山砕屑岩とサラフトゥ-2デイサイト溶岩と考えられる(図III-10参照)。坑底で測定された温度は41°Cであった。TG-2は深度120mまで掘削され、地表から33mまでの砂質粘土層と砂層は表土層と考えられる(図III-10参照)。33mから51mまでのサンゴ石灰岩層は石灰岩層と考えられる。51mから110mまでの粘土層と110mから120mまでのデイサイト層はそれぞれエリワカン火山砕屑岩類とサラフトゥ-2デイサイト溶岩と考えられる。120mの坑底で測定された温度は36°Cであった。TG-3は深度40mまで掘削され、地表から25mまでの粘土層と砂質粘土層は沖積層と考えられる(図III-10参照)。25mから40mまでのデイサイト層はサラフトゥ-2デイサイト溶岩と考えられる。坑底で測定された温度は31°Cであった。

W2.1は深度150mまで掘削され、地表から69mまでの火山砕屑岩類はシマロプ火山砕屑岩類と考えられる(図III-11参照)。69mから84mまでの粘土岩とデイサイトはサラフトゥ-2デイサイト溶岩と考えられる。84mから150mまでの粘土岩とデイサイトはサラフトゥ-1デイサイト溶岩と思われる。全体的に深度が増すとともに温度が増加しており、坑底では122.6°Cに達している。W2.2は深度150mまで掘削され、地表から7mまでの火山砕屑岩類はサラフトゥ火山砕屑岩類と考えられる(図IV-11参照)。7mから69.6mまでのデイサイトはサラフトゥ-2デイサイト溶岩と考えられ、69.6mから132.5mまでの粘土岩とデイサイトはサラフトゥ-2デイサイト溶岩もしくはサラフトゥ-1デイサイト溶岩と思われる。132.5mから150mまでの砂岩とデイサイトはサラフトゥ-1デイサイト溶岩に対比される可能性がある。全体的に深度が増すとともに温度がわずかに上昇している。坑底での温度は32.4°Cであった。W2.3は深度150mまで掘削され、地表から55mまでのサンゴ石灰岩と火山砕屑岩類は石灰岩層に対比される(図III-11参照)。55mから111.4mまでの火山砕屑岩はフベ火山砕屑岩類に対比される。111.4mから150mまでのデイサイトと火山砕屑岩はサラフトゥ-2デイサイト溶岩に対比される可能性がある。全深度を通じて温度上昇はほとんど認められず、深度150mの坑底での温度は27.5°Cと低い。

e. 調査井

調査井TLU-01は、TG-1とW2.1との間に位置しており、元坑は深度911mまで掘削され、サイドトラック坑は深度521.09mから932.67mまで掘削された。地表から64mまでの火山砕屑岩層(図III-12参照)はシマロプ火山砕屑岩類に対比される。深度64mから85mまでの変質した安山岩層はサラフトゥ-2デイサイト質溶岩と考えられる。深度85mから元坑の911mおよびサイドトラック坑の932.67mまでの火山砕屑岩を主体とする地層全てがサラフトゥ-1デイサイト質溶岩に対比可能かどうか判断できないが、本報告書では暫定的にサラフトゥ-1デイサイト質溶岩とした。

元坑の掘削では、深度330mで部分逸水が発生し、332mから350mの区間で一時全量逸水となり、618mまで部分逸水が継続した。また、深度725mで部分逸水が発生し、深度911mまで逸水が継続した。掘進率の変化などから、深度735~737mと740~750m

に逸水層が想定されている。一方、サイドトラック坑では、深度 644m(垂直深度 643.59m) 付近から部分逸水が発生し、深度 703m(垂直深度 702.15m) で全量逸水となった。これ以深は、932.67m(垂直深度 930.75m、坑底)まで部分逸水と全量逸水が繰り返した。掘削終了後の注水試験により、深度 703m 付近と 900m 付近に大きな逸水層が存在すると思われる。注水試験後の圧力変化により求めた坑井の浸透率一層厚積は、カーブマッチング法で 9.6 darcy-m(参考値)、重ね合わせ法では 5.3darcy-m となった。これらの値から、TLU-01 は良好な透水性を有していると思われる。

注水試験後に温度回復試験として温度と圧力の測定が注水停止 14 時間後から 111 時間後までの 7 回実施された(図 III-12、表 III-4 参照)。測定された最高温度は、送水停止 63 時間後の深度 500m における 115.42°C(坑内加圧状態、水位 550m)である。坑内状況を良好に保つため、掘削中に坑内へ送水された泥水の影響がかなり残っているために温度回復が遅いと思われる。

送水停止後の経過時間と測定された温度に基づいて平衡温度を計算した結果を表 III-4 に示す。通常温度回復試験では、送水停止後の静置時間(standing time)と測定された温度との関係から平衡温度(本来の地下温度)が推定される。しかし、TLU-01 の場合は、空気圧入による坑内加圧と脱気を温度回復試験中に繰り返しており、送水停止後の経過時間を静置時間とみなすことはできず、計算された平衡温度は本来の地下温度とは異なっている可能性がある。ただし、坑底付近については、温度回復試験中に坑内水位を変化させた影響は相対的に小さいと思われ、深度 900m における実測温度と計算温度とが比較的一致していることから、計算された平衡温度(約 230°C)はこの深度における本来の地下温度に近い可能性が高い。一方、変質鉱物である緑泥石や緑レン石の分布からは、前述したように 360m 付近以深の温度は 200°C を上回っていると予想される。したがって、今後実証する必要はあるが、深度 360m(標高約-287m)付近で 200°C 近くに達し、深度 900m(標高約-825m)付近では 230°C 前後に達していると思われる(図 III-13 参照)。

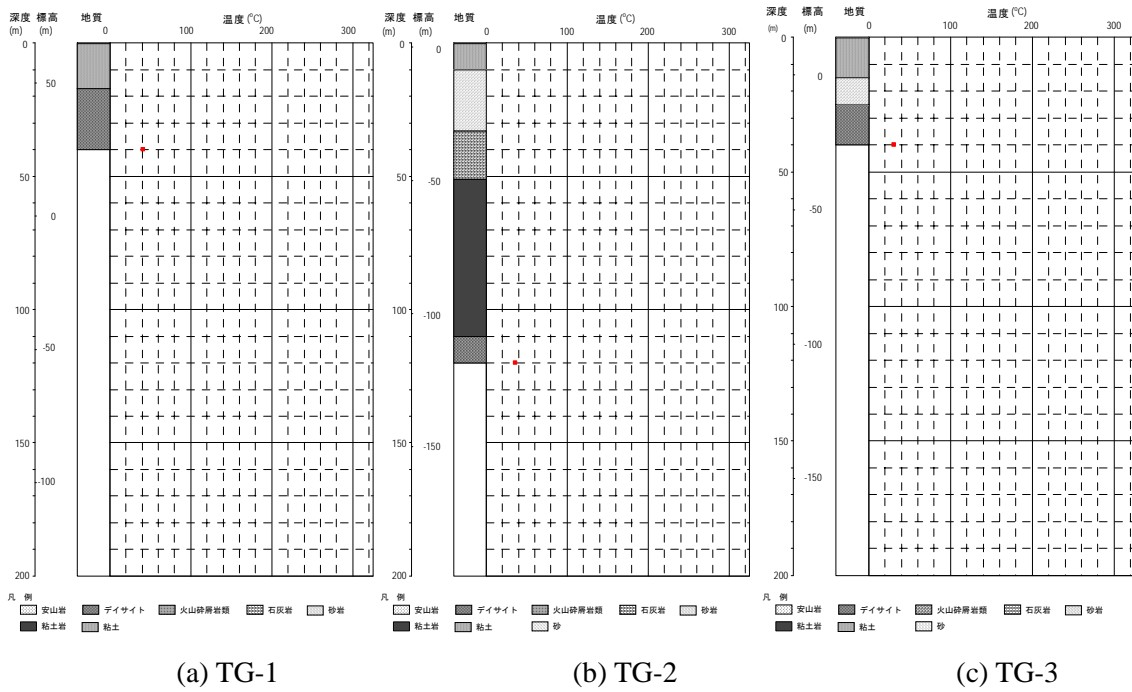


図 III-10 TG-1、TG-2 および TG-3 坑井柱状図

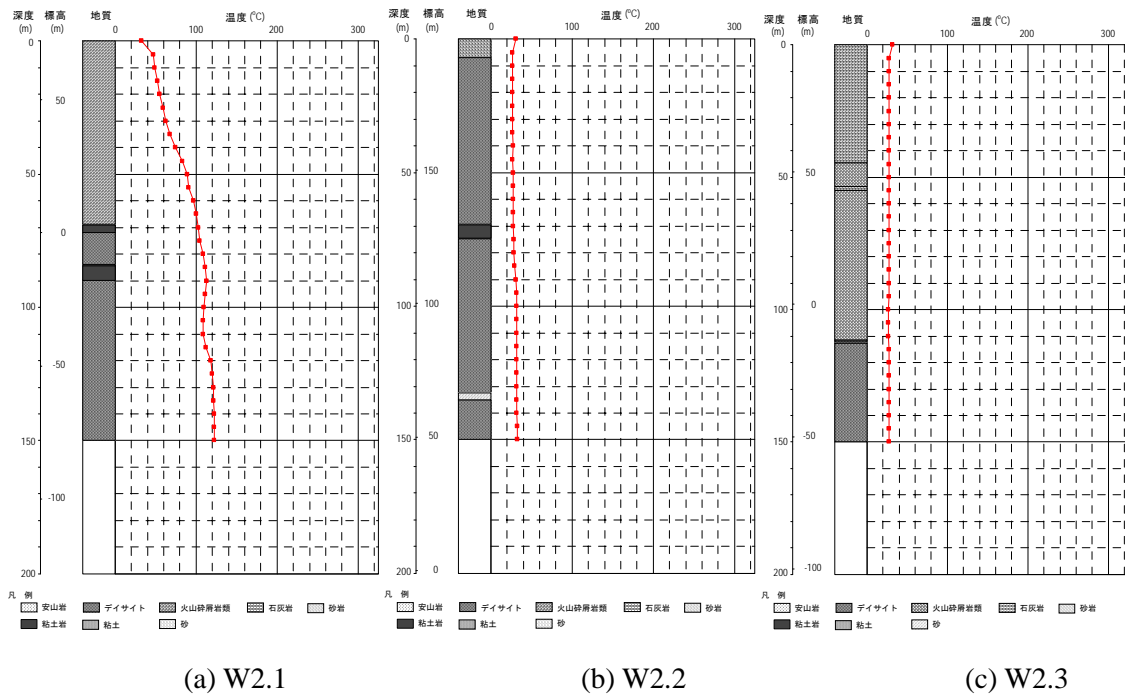
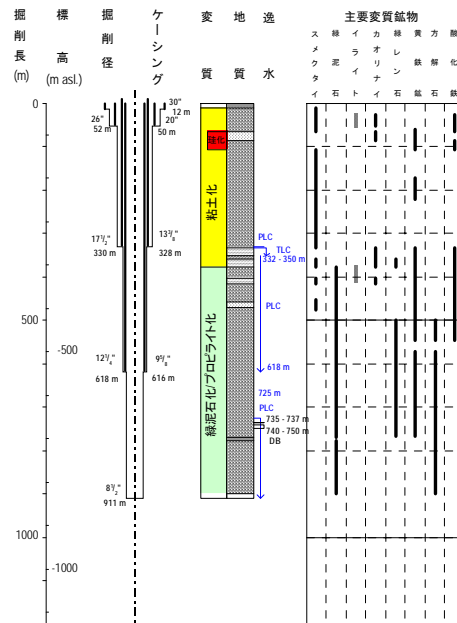
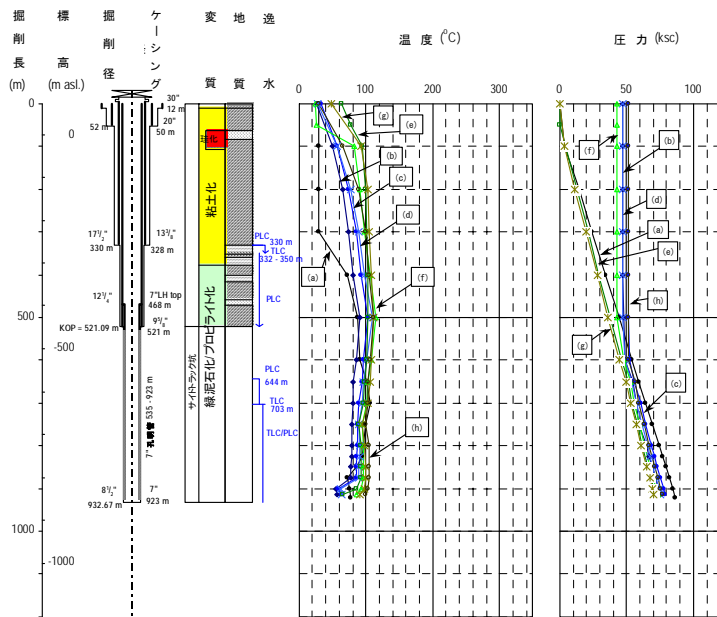


図 III-11 W2.1、W2.2 および W2.3 坑井柱状図



(a) 元坑



- (a) 2011/7/2-3. 送水停止44時間後、7"ケーシング挿入後、水位 = 60m
- (b) 2011/7/3-4. 送水停止14時間後、口元圧力47.5kscgで坑内加圧、水位 = 600m
- (c) 2011/7/4. 送水停止28時間後、口元圧力51kscgで坑内加圧、水位 = 600m
- (d) 2011/7/5. 送水停止40時間後、口元圧力46.99kscgで坑内加圧、水位 = 600m
- (e) 2011/7/5. 送水停止52時間後、脱気後、口元圧力0kscg、水位 = 60m
- (f) 2011/7/6. 送水停止63時間後、坑内再加圧後??時間、口元圧力 = 43.01kscg、水位 = 550m
- (g) 2011/7/7. 送水停止87時間後、再脱気後、口元圧力0kscg、水位 = 60m
- (h) 2011/7/8. 送水停止111時間後、坑内再加圧後??時間、口元圧力51kscg、水位 = 600m

(b) サイドトラック坑

- 凡例
- デイサイト
 - 安山岩
 - 安山岩質角礫岩
 - 凝灰角礫岩
 - 凝灰岩
 - カッティングスなし
 - TLC 全量逸水
 - PLC 部分逸水
 - DB ドリリングブレイク

出展：PLN Geothermal

図 III-12 TLU-01 坑井柱状図

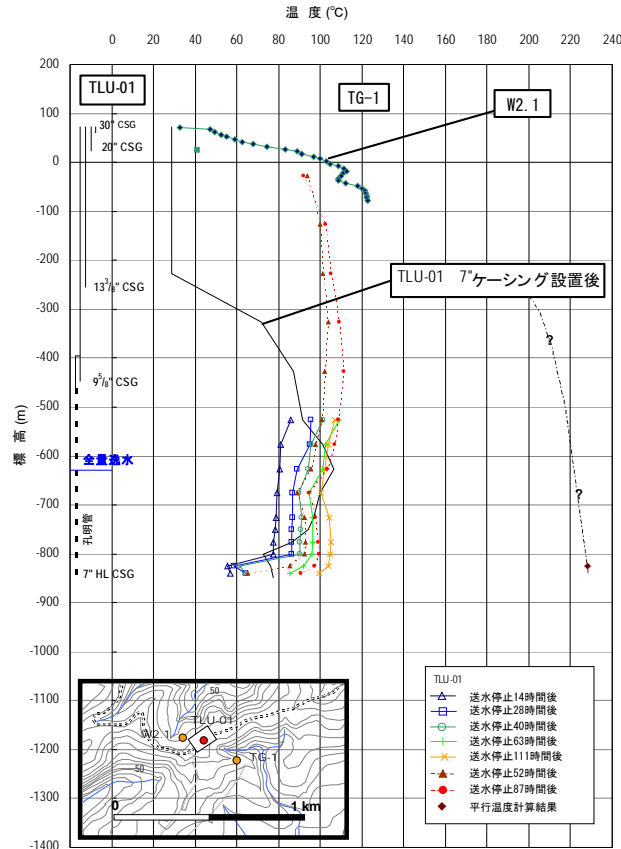


図 III-13 TLU-01 周辺坑井温度柱状図

表 III-4 TLU-01 温度・圧力検層結果

		温度回復試験															
実施日		2011/7/2-3		2011/7/3-4		2011/7/4		2011/7/5		2011/7/5		2011/7/6		2011/7/7		2011/7/8	
深度	標高	温度	圧力	温度	圧力	温度	圧力	温度	圧力	温度	圧力	温度	圧力	温度	圧力	温度	圧力
(m)	(m)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)
0	73	28.76	0.00	25.56	47.50	33.77	51.00	28.16	46.99	63.83	0.00	23.55	43.01	47.80	0.00	28.76	51.00
50	23									77.65	0.00	26.36	43.01				
100	-27	28.76	3.94	49.80	47.50	56.81	51.00	56.91	46.99	93.88	3.94	83.26	43.01	92.08	3.24	64.83	51.00
200	-127	28.76	14.21	64.93	47.50	74.05	51.00	76.95	46.99	99.79	12.81	91.68	43.01	102.70	11.54	88.87	51.00
300	-227	28.76	23.99	73.65	47.50	85.07	51.00	89.07	46.99	101.20	21.18	98.69	43.01	105.20	20.12	99.69	51.00
400	-327	72.04	34.26	80.76	47.50	92.48	51.00	97.79	46.99	103.70	29.47	106.51	43.01	108.91	28.07	105.10	51.00
500	-427	87.17	44.32	91.78	47.78	102.70	51.21	109.41	46.99	102.30	37.56	115.42	43.01	111.32	36.02	110.92	51.00
600	-527	91.68	54.30	85.67	48.91	95.69	52.40	101.10	48.89	100.70	45.93	108.91	47.65	108.61	44.32	106.91	51.00
650	-577	101.30	59.37	81.06	54.67	94.89	55.78	95.69	54.23	97.89	51.14	102.70	52.99	106.91	49.80	103.70	56.20
700	-626	106.31	64.43	80.66	57.14	88.87	60.35	94.08	57.05	95.39	53.95	101.00	55.67	103.20	52.69	102.30	58.81
750	-676	99.90	69.71	79.16	59.32	86.87	64.57	89.58	61.20	89.07	58.38	94.69	60.03	94.48	57.26	100.30	62.96
800	-726	96.69	74.56	78.76	65.15	86.87	68.65	90.98	65.56	92.38	61.90	96.19	63.76	97.69	60.98	104.30	66.90
825	-751	94.28	76.95	78.25	67.05	86.17	70.62	90.48	67.38								
850	-776	86.17	79.34	77.65	69.23	86.07	72.80	90.18	69.49	92.98	66.05	96.49	67.76	99.19	65.42	105.10	70.83
875	-800	72.84	81.87	77.65	71.48	86.07	75.12	90.18	71.96	92.38	68.51	96.09	70.09	99.29	67.53	104.70	73.37
900	-825	76.15	84.41	55.41	73.66	58.42	77.58	61.22	74.14	85.57	70.20	92.08	71.98	97.09	69.21	103.70	75.19
915	-840			56.71	75.21	64.43	78.78	64.23	75.61	65.03	71.82	85.27	73.39	90.48	70.41	99.59	76.60
923	-848	77.25	86.80														
注水停止後経過時間		44時間		14時間		28時間		40時間		52時間		63時間		87時間		111時間	
水位		60m		600m		600m		600m		60m		550m		60m		600m	
口元圧力		0kscg		48kscg		52.47kscg		48-46kscg		0kscg		44kscg		0kscg		51kscg	
最高温度		106.3°C @700m		91.8°C @500m		102.7°C @500m		109.4°C @500m		103.7°C @400m		115.4°C @500m		111.3°C @500m		110.9°C @500m	

III-1-3 MT 探査

約 13 km² の範囲でリモートリファレンス方式地磁気地電流探査を実施した。調査地域の北北西約 10 km の地点に設置したリモートリファレンス点を設置するとともに、調査範囲内には間隔を 700m~800m とした 34 測点の探査測点を格子状に設置し、320~0.001 Hz の周波数範囲において 50 周波数以上のデータ取得を行った。更に、現地で取得した MT データ（見掛比抵抗値）の補正（スタティックシフト補正）を行い、補正後の見掛比抵抗値から地下深部までの比抵抗構造を解析するために、3 次元比抵抗構造解析(差分法を用いた 3 次元平滑化拘束付き逆解析)を実施した。

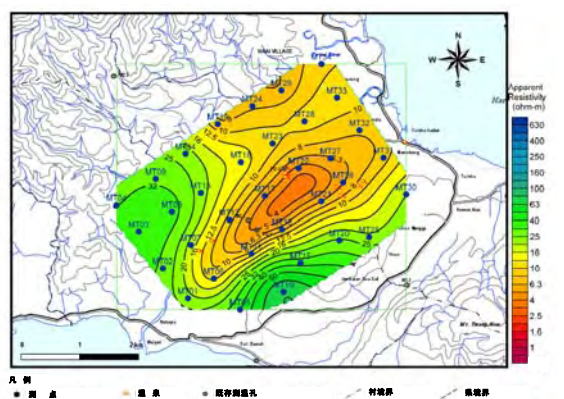
見掛比抵抗分布を図 III-14 に示す。周波数 100 Hz の見掛比抵抗分布はおおよそ深度 80m 付近から 290m 付近までの平均的な比抵抗分布を反映している。調査地域の中央部付近に 8 ohm-m 以下の北東から南西に延びる低見掛比抵抗域が認められる。この低見掛比抵抗域内には地熱徴候地が認められることから、熱水変質帯を反映した低見掛比抵抗域と考えられる。周波数 1 Hz の見掛比抵抗分布はおおよそ深度 600m 付近から 2,000m 付近までの平均的な比抵抗分布を反映している。周波数 100Hz の見掛比抵抗分布と同様な傾向を示している。ただし、8ohm-m 以下の低見掛比抵抗域が調査地域の北部や南部へ広がっている。周波数 0.1Hz の見掛比抵抗分布の表皮深度は 5,000m 以上である。10ohm-m 以下の低見掛比抵抗域は認められない。測点 MT16、MT20 および MT21 周辺に 25ohm-m 以下の相対的な低見掛比抵抗域が認められる。

3 次元比抵抗構造インバージョン解析の結果、5 ohm-m から 50 ohm-m の比抵抗値を示す表層、5 ohm-m 以下の低い比抵抗値を示す中間層（低比抵抗層）および 20 ohm-m 以上の比抵抗値を示す最下層（低比抵抗層の下部に分布）の三層に調査地域の地下は区分される。トゥレフ地域調査結果の各深度における解析比抵抗分布平面図（図 III-15 参照）および解析比抵抗分布断面図（図 IV-16 参照）から、以下に示す R1、R2 および R3 の比抵抗不連続線 3 本が抽出された。

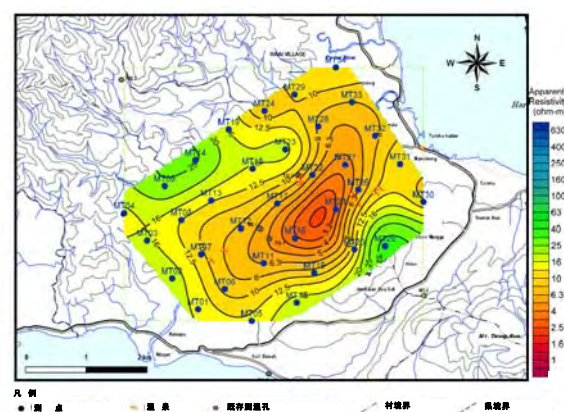
R1 は調査地域中央部をほぼ東北東から西南西に延びる比抵抗不連続線である。深度 100m と深度 150m の解析比抵抗分布平面図で顕著に認められる。R2 は調査地域南東部をほぼ北東から南西に延びる比抵抗不連続線である。深度 100m、150m、700m および 1,000m の解析比抵抗分布平面図で顕著に認められる。深度 100m と 150m の解析比抵抗分布平面図では、5ohm-m 以下の低比抵抗域が R1 と R2 に挟まれる形状で分布している。この低比抵抗域内には地熱徴候や変質帯が存在しており、熱水変質作用によって形成されたスメクタイトや混合層粘土鉱物によって構成される粘土化帯を反映していると考えられる。多くの活発な地熱地域で認められる貯留層上部に分布する低比抵抗域と同様の特徴を有すことから、この低比抵抗域の下位に地熱貯留層が期待され、R1 と R2 は地熱流体の流動や貯留を規制する断裂構造を反映している可能性が高い。R3 は調査地域の西部を北北西から南南西に延びる比抵抗不連続線であり、深度 150m と深度 250m の解析比抵抗分布平面図で認められる。R3 の示徴は比抵抗 R1 や R2 の示徴に比べるとやや弱い、地熱流体の流動や貯留を規制している断裂構造を反映している可能性がある。

深度 750m と深度 1,000m の解析比抵抗分布平面図では、R1 周辺域および R1 と R2 に挟まれた地域に相対的に高い比抵抗値を示す部分が認められる。この相対的な高比抵抗域の

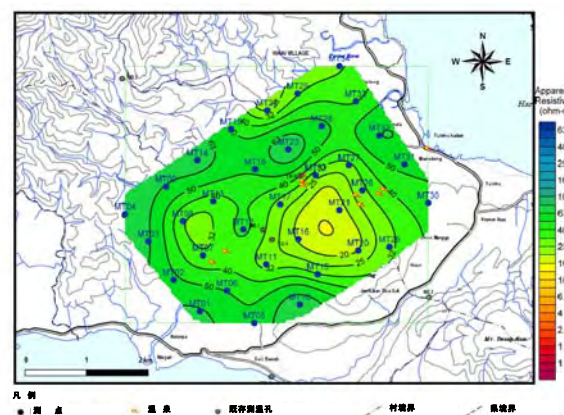
上部（浅部）には低比抵抗域が広く分布している。高温の地熱貯留層は相対的な高比抵抗域を示すことが多く、その上位には低比抵抗域が分布することが一般的である。これらのことから、深度 750m～1,000m で検出された相対的な高比抵抗域には、地熱貯留層が存在する可能性が高い。



(a) 周波数 100Hz



(b) 周波数 1Hz



(c) 周波数 0.1Hz

図 III-14 見掛け比抵抗分布平面図

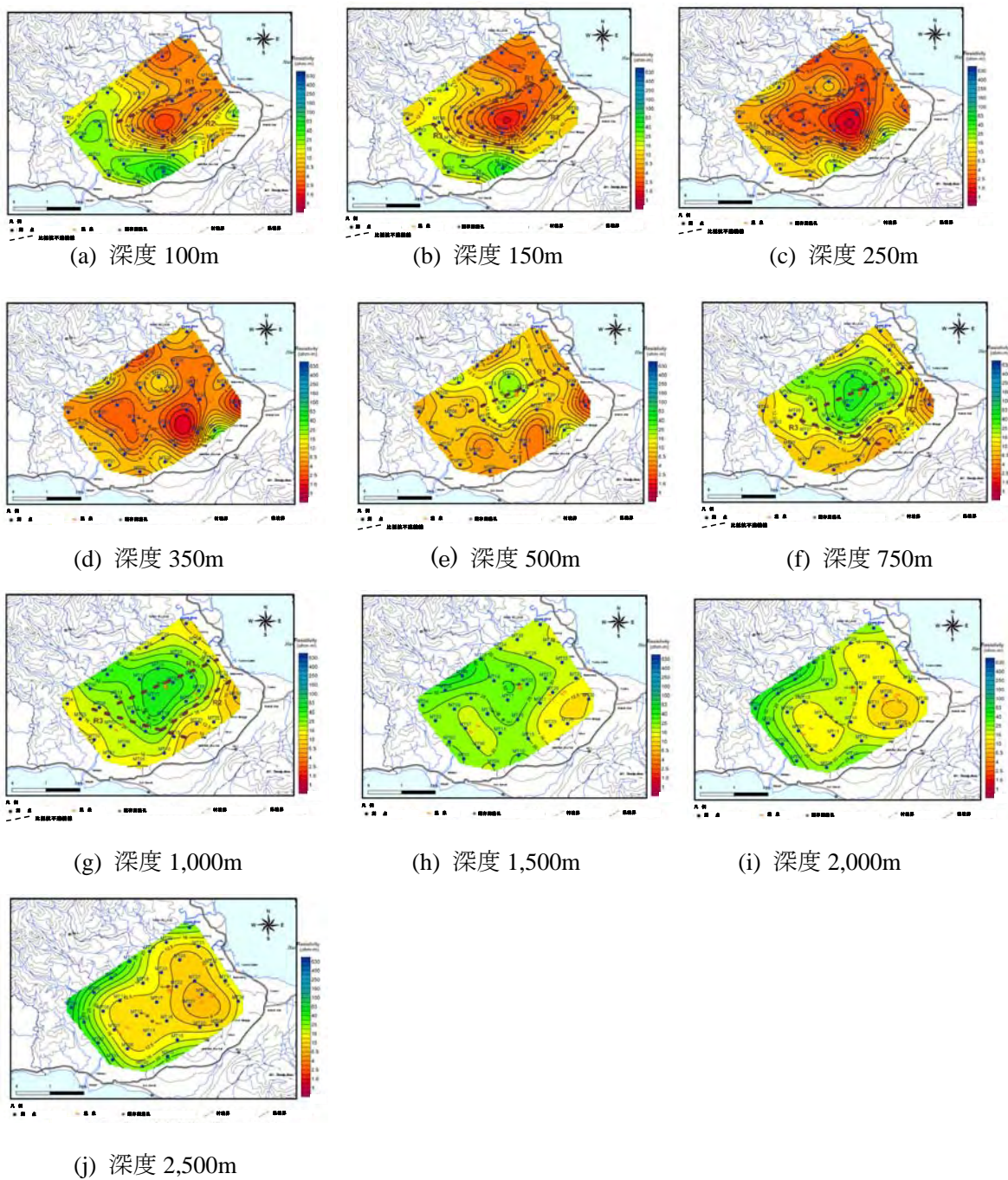


図 III-15 解析比抵抗分布平面図

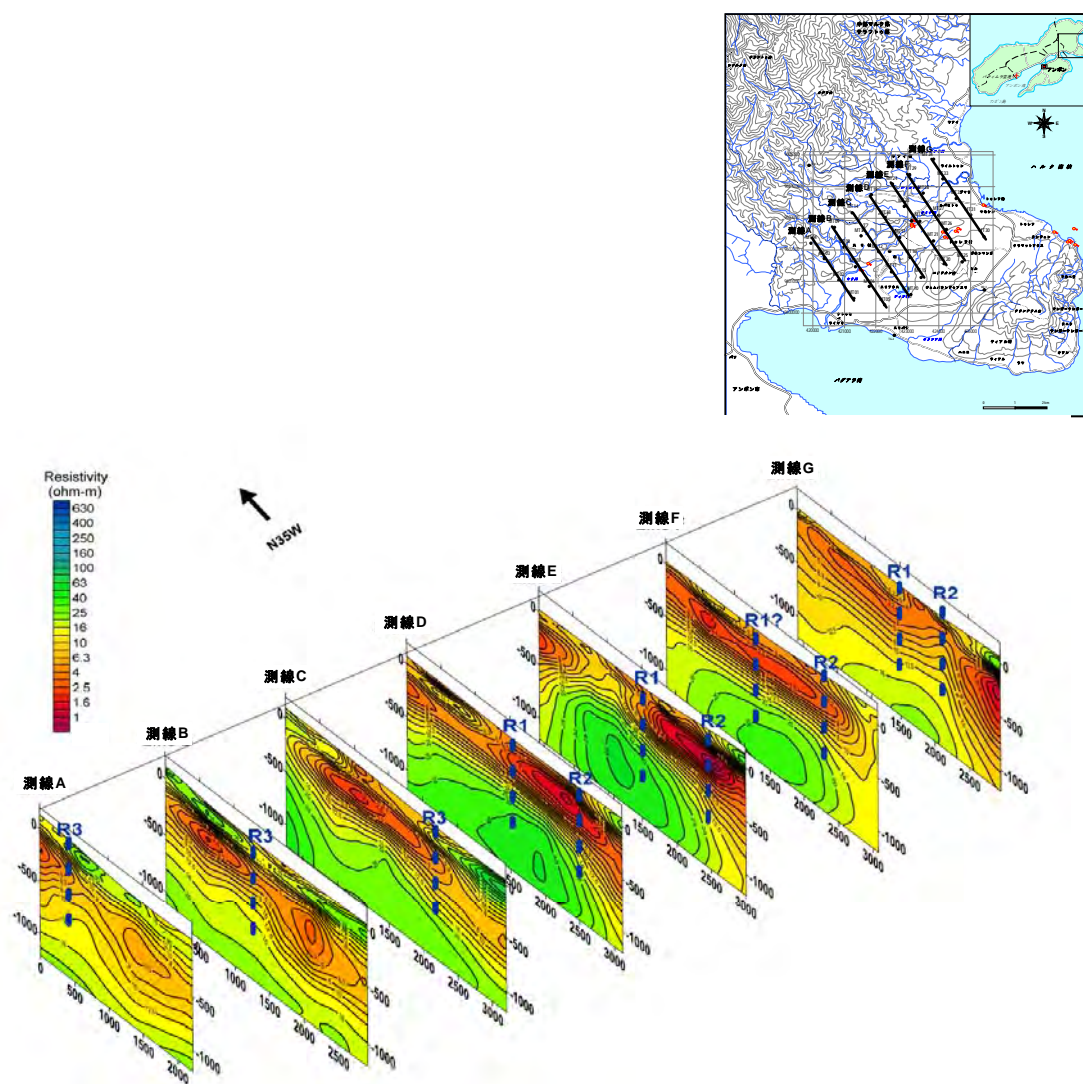


図 III-16 解析比抵抗分布断面図

III-2 地熱資源の概念モデル

III-2-1 有望範囲

大部分の地熱地帯では、低比抵抗ゾーンが地熱貯留層の上位に検出され、地熱貯留層分布範囲は相対的な高比抵抗ゾーンとなっている。低比抵抗ゾーンは貯留層の帽岩としての役割を果たす難透水層に相当している。低比抵抗ゾーンの下面付近の温度は 200°C 前後であることが多い。このようなことから、下位に高比抵抗ゾーンを伴うある程度の広がりをもった浅部低比抵抗ゾーンは地熱開発にとっての有望範囲と見なすことができる。

トゥレフ地域で推定される有望範囲を図 III-17 に示す。エリワカン山の北西側には、比抵抗値が 10ohm-m 未満の低比抵抗ゾーンが広がっている。この低比抵抗ゾーン内には、シラ温泉やテラガビル温泉、ハトゥアサ温泉などの活発な地熱微候地やバンダ変質帯が存在す

有望な地熱資源は、この低比抵抗ゾーンが広がっている範囲の地下に期待できる。有望域としては、約 7km²の最小範囲から 10 km²の最大範囲が見積もられる。深度 150m における 6.5ohm-m 未満の低比抵抗ゾーンの広がり と 10ohm-m 未満の低比抵抗ゾーンの広がりがほぼ最小範囲と最大範囲にそれぞれ対応する。

深度 1,000m における比抵抗分布を見ると、浅部低比抵抗ゾーン下位の 40ohm-m を超える相対的な高比抵抗ゾーンがワミナ川沿いに認められる。バンダ変質帯とハトゥアサ温泉がこの高比抵抗ゾーン分布域内に位置している。トゥレフ地域における地熱活動の中心は、この高比抵抗ゾーン分布域にあると考えられる。また、トゥレフ地域に湧出している温泉水の化学組成検討結果によれば、シラ温泉の温泉水には高温の深部地熱熱水が含まれていると判断され、シラ温泉付近にも地熱活動の中心地が存在する可能性がある。

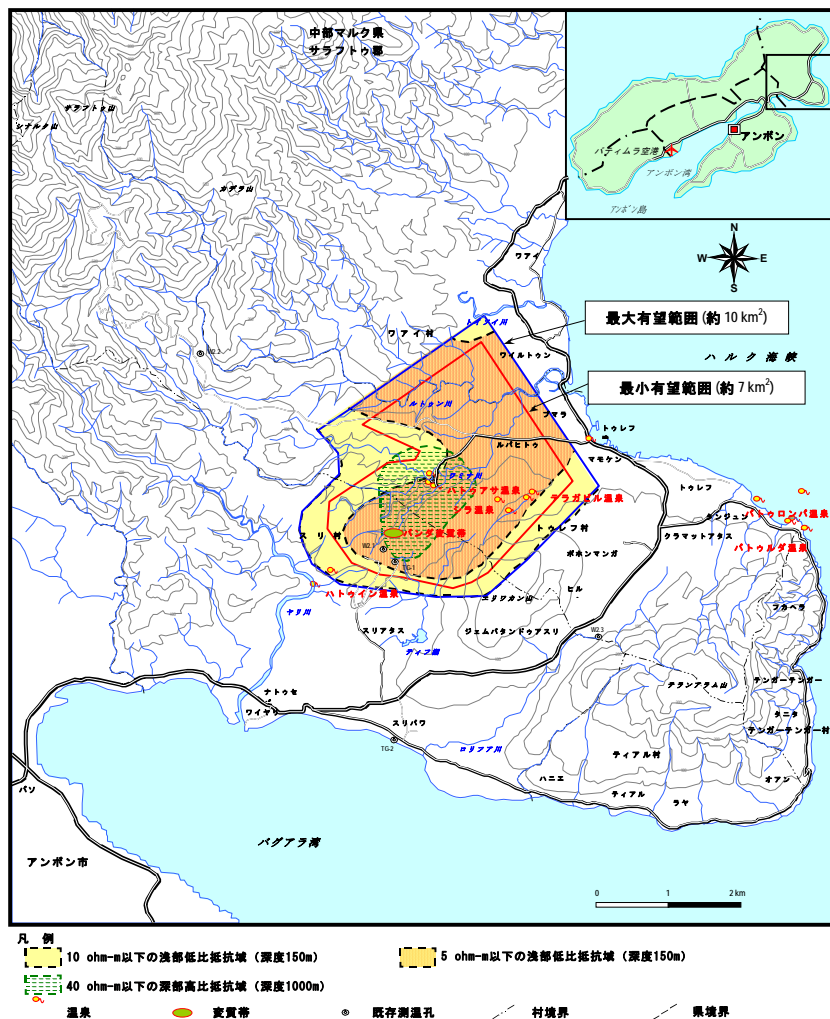


図 III-17 地熱有望範囲推定図

III-2-2 地熱活動を規制している透水性に関連した構造

トゥレフ地域でこれまでに実施された地熱探査によって推定される断層ないしは断層状構造を図 III-18 に示す。有望域内およびその周辺には、地質データから 5 つの断層が推定さ

れ、MT 探査によって3つの断層状構造が検知されている。また、重力データでも3つの断層状構造が認められる。ワイヤリ断層は、北西から南東へと伸びている。重力データで認められた断層状構造 GL1 はワイヤリ断層の南東延長線上に位置しており、両者は同一の構造と考えられる。ワイヤリ断層は右横ずれ断層とされているが、GL1 の南西側は高ブーグ異常域となっており、北東側には相対的な陥没状構造が広がっている。したがって、ワイヤリ断層は右横ずれ成分を伴った北東落ちの正断層である可能性もある。なお、MT 探査で検出された断層状構造 R3 もワイヤリ断層に対応すると考えられる。北東から南西へ伸びるバンダハトゥアサ断層は北西落ちの正断層である。MT 探査により検出された断層状構造 R1 はバンダハトゥアサ断層に対応すると解釈される。

バンダ断層は北東から南西へ伸びる北西落ちの正断層である。この断層近傍に断層状構造 R2 が MT 探査により検出されている。R2 の北半部はバンダ断層に対応すると考えられるが、R2 の南半部はバンダ断層から枝分かれした構造 (R2 断層と便宜上呼ぶ) と考えられる。トゥレフ断層は北西から南東へ伸びる北東落ちの正断層である。MT 探査や重力探査などでは、この断層に対応する断層状構造は検出されていない。これらの探査範囲の縁辺部にトゥレフ断層が位置しているために検出されなかった可能性もある。フベ断層は北東から南西に伸びる北西落ちの正断層である。この断層の北西側には相対的な陥没構造が認められる。重力データにより認められる断層状構造 GL3 はフベ断層に対応すると解釈される。

以上のような考察により、有望域およびその周辺には、次の6つの透水構造が推定される (図 III-19 参照)。

ワイヤリ断層：走向・傾斜 = S61.7°E85°NE と想定、バンダハトゥアサ断層との交点付近にハトゥイン温泉

バンダハトゥアサ断層：走向・傾斜 = N46.4°E80°NW と想定、断層沿いにハトゥアサ温泉とバンダ変質帯

バンダ断層：走向・傾斜 = 北部 N53°E80°NW、南部 N69°E80°NW と想定、断層沿いにシラ温泉、テラガビル温泉およびマモケン海岸の温泉

R2 断層：シラ温泉付近でバンダ断層から分枝、走向・傾斜 = N53°E80°NW と想定

トゥレフ断層：走向・傾斜 = S65°E80°NE と想定、断層沿いにマモケン海岸の温泉、バトゥロンパ温泉およびバトゥルダ温泉

フベ断層：走向・傾斜 = N56°E80°NW と想定、断層付近にバトゥロンパ温泉

トゥレフ地域では、MT 探査で検出された浅部低比抵抗ゾーンに対応する粘土化ゾーンが難透水層となっている。TLU-01 の掘削サイト近傍における難透水ゾーン下面は標高-300m 付近と推定される (図 III-20 参照)。

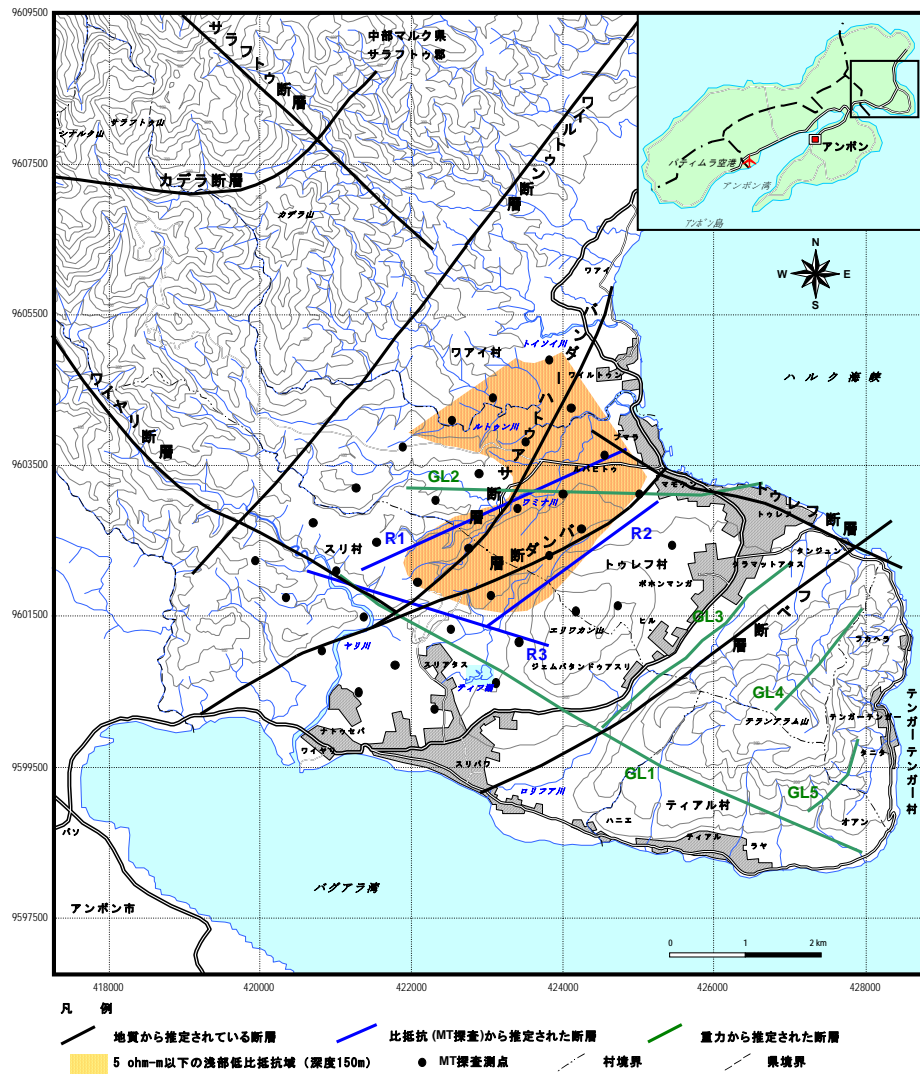
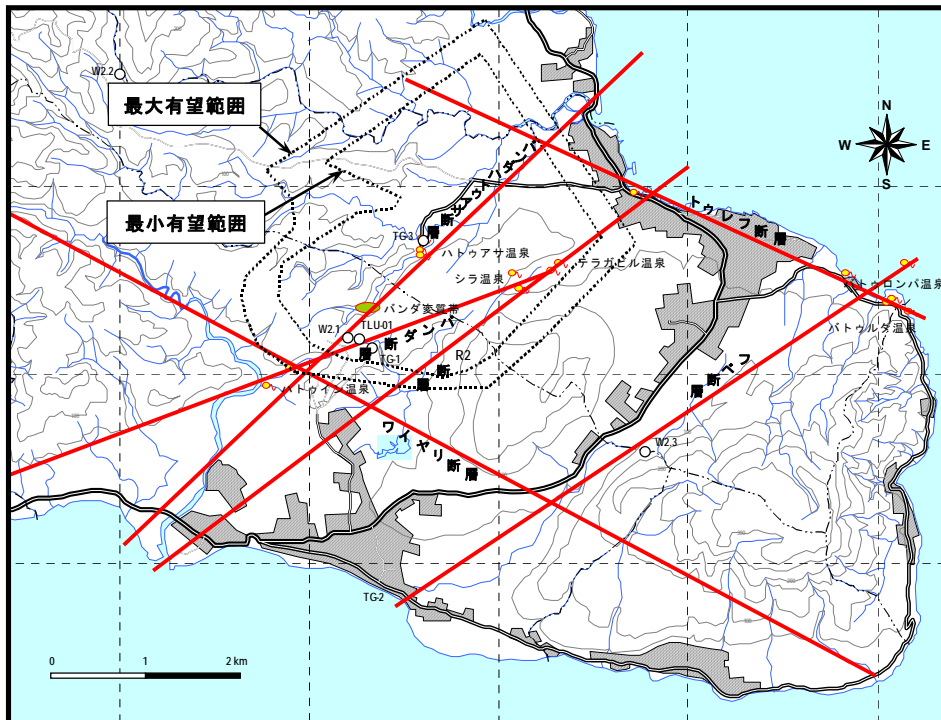


図 III-18 各種調査から推定される断層分布



- 凡例
- 標高0m付近における推定主要透水構造
 - 既存坑井
 - 温泉
 - 変質帯
 - 村境界
 - 県境界

図 III-19 推定主要透水構造分布

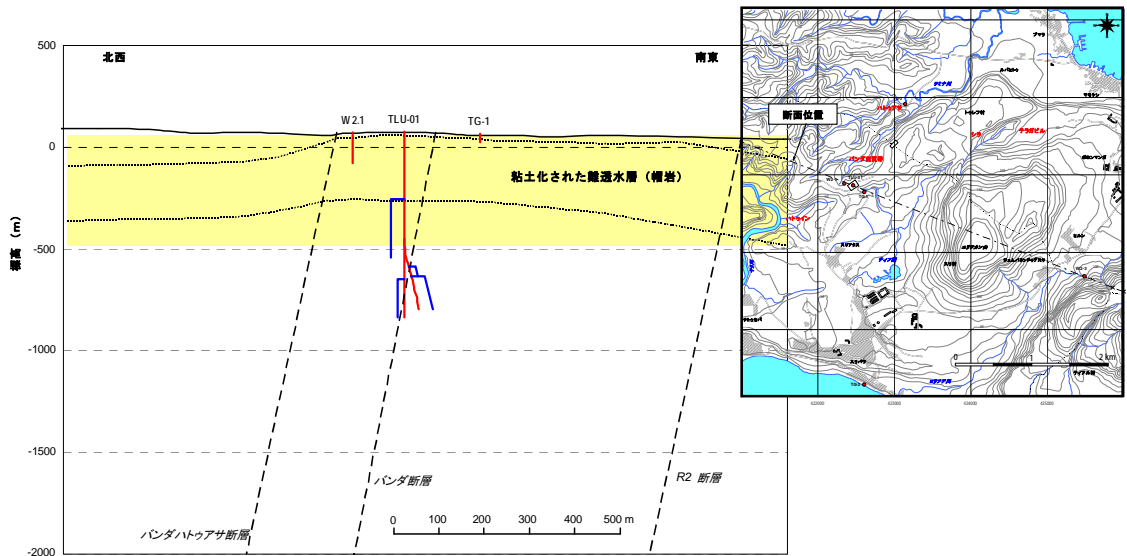


図 III-20 TLU-01 周辺の推定難透水ゾーン分布

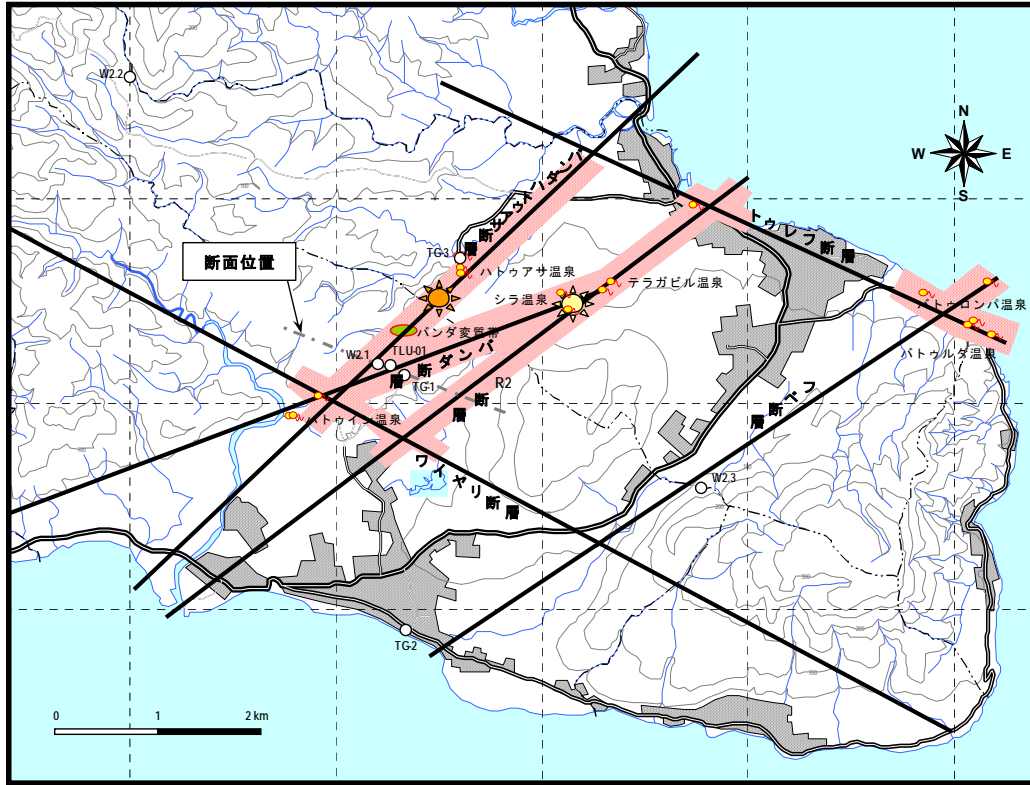
III-2-3 地熱概念モデル

これまでに得られたデータに基づく地熱概念モデルを図 III-21 に示す。地熱有望域はエリワカン山の北西側に広がっている。バンダハトゥアサ断層沿いでは、ハトゥアサ温泉とバンダ変質帯の間に地熱活動の中心が存在すると考えられる。この地熱活動の中心から、バンダハトゥアサ断層沿に地熱貯留層が広がっていると期待される。なお、ハトゥアサ温泉で湧出している温泉水には、この地熱貯留層に由来する熱水は含まれていない。このことは、難透水層が貯留層熱水の上昇を妨げていることを示していると考えられる。多くの地熱地帯での観測事例を考慮すれば、この難透水層の下面付近の温度は 200°C 前後に達していると考えられる。このようなことから、トゥレフ地域における地熱開発では、バンダハトゥアサ断層が 1 つの開発ターゲットになり得る。シラ温泉で湧出している温泉水には、深部の地熱貯留層に由来する熱水が含まれていると考えられる。シラ温泉はバンダ断層と R2 断層の分岐点付近に位置することから、バンダ断層沿いと R2 断層沿いにも地熱貯留層が期待される。

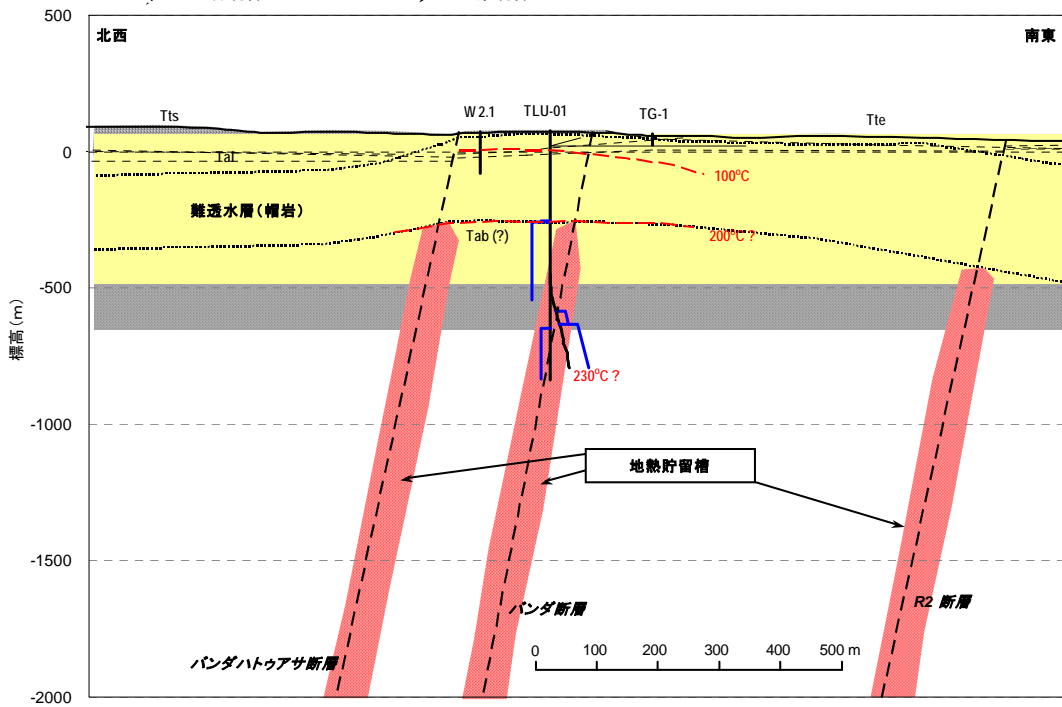
以上のことから、バンダハトゥアサ断層沿いならびにバンダ断層と R2 断層沿いの透水ゾーンに地熱貯留層が形成されている。テランアラム山麓で掘削された W2.3 やサラフトゥ山付近で掘削された W2.2 の温度測定結果（深くなっても温度上昇がほとんど認められない）を考慮すると、テランアラム山付近やサラフトゥ山付近は天水の流入域になっていると思われる。

現状では、トゥレフ地域の地熱資源を詳細に検討するにはデータが不十分であり、以下のような課題が残されている。この課題は調査井掘削後の噴出試験により検証される必要がある。すなわち、湧出している温泉水はいずれも石灰岩ないしは堆積岩の影響を受けていると考えられるような化学組成を示している。これらの岩石が確認されているのは地表付近のみであり、深部に石灰岩ないしは堆積岩が存在するかどうかは不明である。ターゲットとしている貯留層が石灰岩ないしは堆積岩中に形成されている場合、生産井や地熱流体輸送配管における炭酸塩スケール問題が危惧されるとともに、生産される蒸気中に高濃度の非凝縮性ガス（NCG）が含まれている恐れもある。このため、深部に石灰岩や堆積岩が存在するかどうかを調査井の噴出試験により得られる噴出流体の化学組成により検証しておく必要がある。

スケール問題に関しては、生産井が堆積岩中の貯留層に遭遇した場合、炭酸スケールの問題が生じると考えられる。高塩濃度の温泉水が多いことから、シリカスケール問題も重要と考えられる。シリカスケール発生の有無については、生産井の運用条件によっても左右されるが、塩濃度の高い熱水ではシリカスケールが比較的容易に発生する。ただし、200°C 前後で気水分離した場合には、分離後の熱水中におけるシリカのうどはそれほど高くはないと考えられる。この場合には、還元配管への酸注入がスケール対策として有効である。具体的なスケール対策の検討には、調査井の噴出試験で噴出流体の化学的特性の十分な検証が必要である。



- 凡例
- 標高0m付近の透水構造位置
 - 透水ゾーン(貯留層)
 - 地熱活動の中心
 - 深部熱水の影響を受けた浅部温泉帯水層
 - 既存坑井
 - 温泉
 - 変質帯
 - 村境界
 - 県境界



Tte エリワカン火山砕層岩類 Tts シマロブ火山砕層岩類 Tal サラフトウ-2サイト頁岩 Tab サラフトウ-1サイト頁岩 LC 逸水

図 III-21 トゥレフ地域の地熱概念モデル

III-3 トゥレフ地域の地熱資源量評価

トゥレフ地点について、推定される地下温度や貯留層体積などをパラメータとして、容積法により地熱資源量の計算を実施した。計算では、モンテカルロ解析手法を適用し、確率統計的に資源量を求めた。容積法は地熱貯留層内の貯留総熱量を計算し、これから利用可能な地熱資源量やそこから得られる発電量を推定する方法である。貯留熱量は、貯留層温度と利用限界温度との温度差に貯留層の体積、密度および比熱を乗じることによって得られる。この貯留熱量をすべて利用することは不可能であり、貯留熱量に地上までのエネルギー回収率を乗じたものが利用可能な地熱資源量となる。さらに、この利用可能資源量に熱エネルギーを電力に変換するまでの変換効率を乗じ、プラント運転年数で除することにより最終的な発電出力が求められる。発電出力の計算式を以下に示す。

$$\text{発電出力} = (T_r - T_a) \times \{(1 - \phi) C_{pr} \rho_r + \phi C_{pw} \rho_w\} \times V \times RF \times CE / (LF \times PL)$$

ρ_r 、 ρ_w	:	それぞれ岩石密度 (kg/m ³)、地熱流体密度 (kg/m ³)
C_{pr} 、 C_{pw}	:	それぞれ岩石比熱 (kJ/kg・°C)、地熱流体比熱(kJ/kg・°C)
T_r 、 T_a	:	それぞれ貯留層温度(°C)、利用限界温度(°C)
ϕ	:	空隙率 (%)
V	:	貯留層体積 (km ³)
RF	:	回収率 (%)
CE	:	変換効率 (%)
LF	:	プラント稼働率 (%)
PL	:	プラント運転期間 (年)

通常、容積法で用いられているパラメータの値を1つに限定することは困難であり、多くの場合これらはある程度の範囲を想定する。したがって資源量の計算結果についても、パラメータの範囲によって算出される範囲が存在する。モンテカルロ解析は計算結果にどの程度の幅があり、その中で最も可能性の高い数値はどれなのかを統計的に求める手法である。表 III-5 にパラメータの入力値一覧を示す。

10万回の試行によって得られたモンテカルロ解析の結果を図 III-22 と図 III-23 に示す。図 III-22 は資源量計算結果の頻度分布を示し、図 III-23 は地熱資源量計算結果の残差累積頻度分布を示している。頻度分布図では 30MW に最頻値が現れており (頻度は約 17.2%)、これがトゥレフ地域の地熱資源量についての最も確からしい推定値を表している。残差累積頻度分布から、トゥレフ地域の地熱資源量に関する確率を読み取った結果を表 III-6 に示す。これらの結果から、トゥレフ地域には、計画発電規模に対して十分な地熱資源が存在すると結論される。

表 III-5 地熱資源量評価におけるパラメータ設定

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	7.00	-	10.00
Reservoir Thickness (m)	1000	1500	2000
Rock Density (kg/m ³)	2400	2500	2600
Porosity (-)	0.05	-	0.10
Recovery factor (-)	0.125	-	0.250
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	200	220	240
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	11.96	-
Heat-Electricity Conversion Efficiency (-)	0.12	-	0.14
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	0.80	0.85	0.90
Abandonment Temperature (°C)	-	180	-

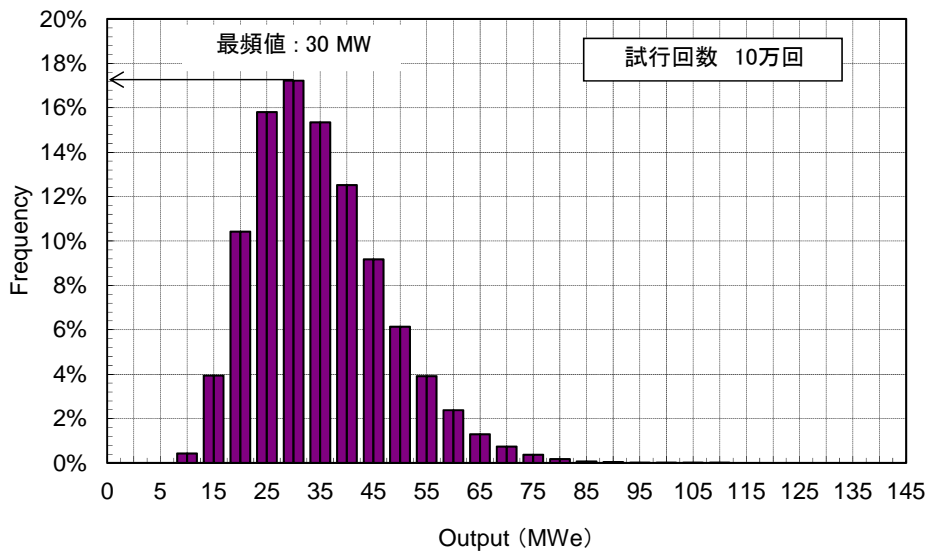


図 III-22 モンテカルロ解析を適用した地熱資源量評価結果 (頻度分布)

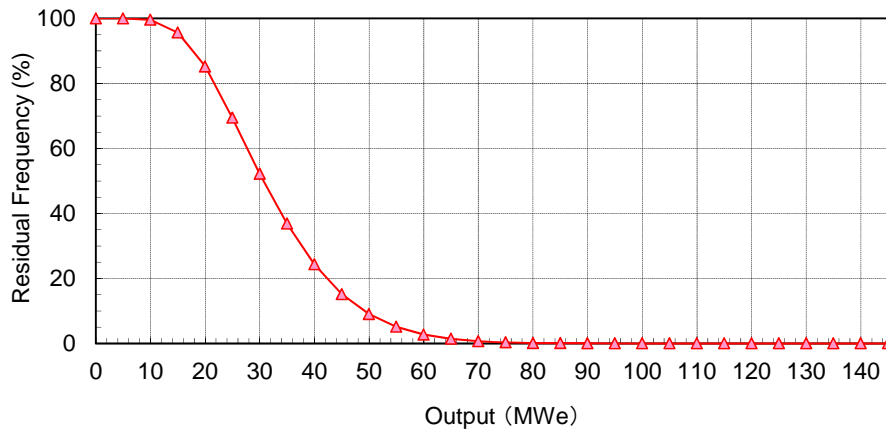


図 III-23 モンテカルロ解析を適用した地熱資源量評価結果 (残差累積頻度分布)

表 IV-6 トゥレフ地域の地熱資源量評価結果

資源量	残差累積頻度 (確率)
10 MW 以上	99.6 %
20 MW 以上	85.2 %
30 MW 以上	52.2 %
40 MW 以上	24.3 %
50 MW 以上	9.0 %
60 MW 以上	2.7 %
70 MW 以上	0.7 %

第 IV 章

IV 地熱資源開発計画

IV-1 坑井の生産能力および還元能力

坑井の生産能力は、20MW の発電を行うために必要となる坑井の数を見積るために必要な情報である。本調査では、坑井の生産・還元能力を坑井シミュレータ WELLFLOW を用いて推定した。WELLFLOW は、これまでに多くのフィールドで実際の坑井データの解析に用いられており、その有効性と精度については検証済みである。

トゥレフ地域は地熱開発の初期段階にあり、調査井としては TLU-01 が掘削されたのみである。トゥレフ地域の貯留層の深部における温度圧力状態に関しては十分なデータが得られていないため、表 IV-1 に示すパラメータを用いて、坑井の生産能力を求めた。表 IV-1 に示したパラメータは、TLU-01 の坑井試験データを参考にして決定した。坑井の生産能力の見積において想定したケーシングプログラムを図 IV-1 に示す。

WELLFLOW によるシミュレーション結果を図 IV-2 に示す。図 IV-2 は、様々な坑口圧力における蒸気と熱水の生産量を示している。この結果から、トゥレフ地域の生産井は、熱水割合の高い2相流体（蒸気：熱水=1:4.5）を噴出すると予想される。したがって、トゥレフ地域の地熱資源開発にあたっては、多量の熱水を処理するために還元計画が重要となることが予想される。

シミュレーション結果によれば、坑口圧力が 0.2MPaG の場合には蒸気流量は 63t/h、熱水流量は 280t/h となり、坑口圧力が 0.5MPaG の場合には蒸気流量は 43t/h、熱水流量は 239t/h となるという結果が得られた。この結果を用いて、20MW の発電に必要な坑井の数を求めた。

表 IV-1 坑井の生産能力の推定に用いたパラメータ

パラメータ	値
貯留層圧力	11.5 (MPaA)
貯留層温度	230 (°C)
浸透率-層厚積 (kh)	2 (darcy-m)
プロダクションケーシング長	850 (m)
フィードポイント深度	1200 (m)
プロダクションケーシング直径	0.342 (m) 13 3/8"
ライナー直径	0.273 (m) 10 3/4"
スキンファクター	0.0

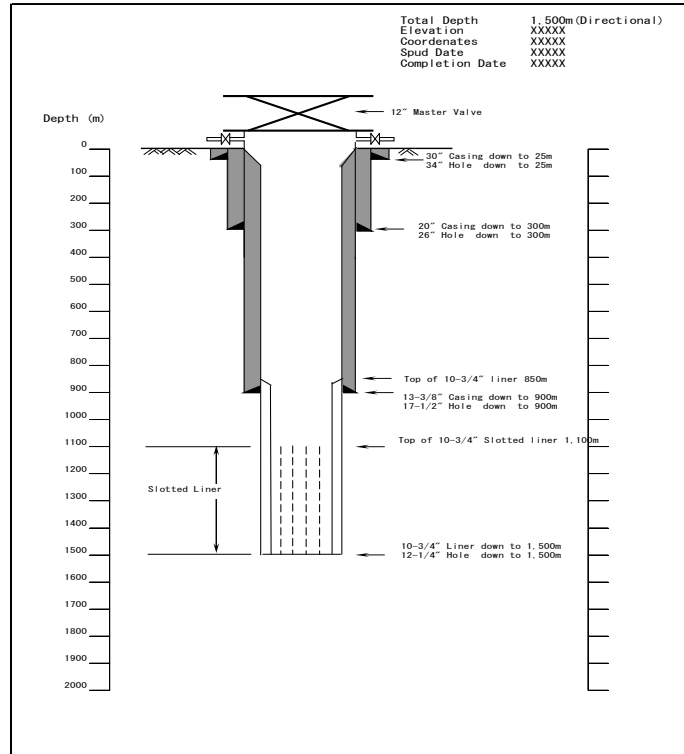


図 IV-1 想定したケーシングプログラム

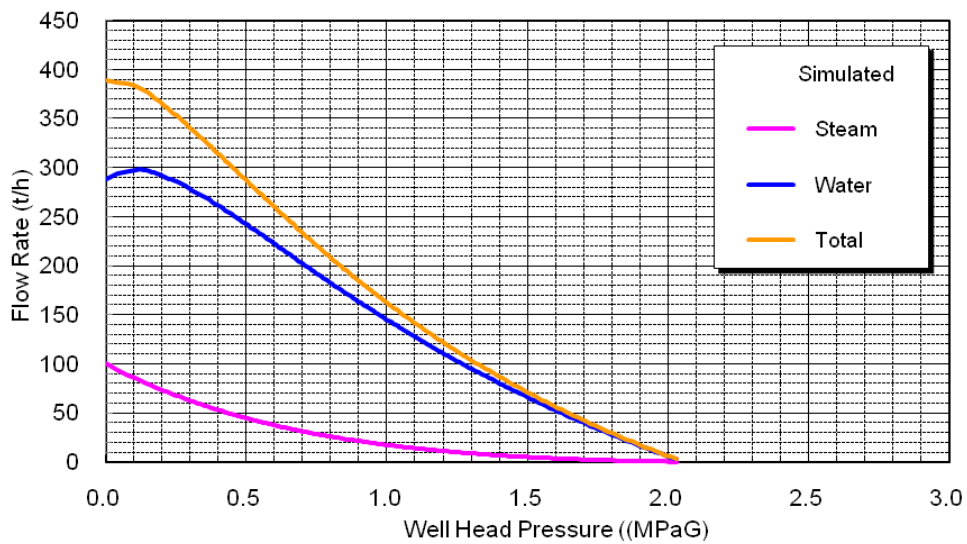


図 IV-2 トウレフ地域における生産井の坑井特性曲線のシミュレーション結果

IV-2 必要となる坑井の数

20MW の発電に必要となる坑井の数を見積もるにあたっては、貯留層圧力が想定よりも低くても生産用配管に併入できるように、坑口圧力はやや低めの 0.2MPaG の場合を想定した。商用に用いられているタービンのカタログスペックによれば、坑口圧力が 0.2MPaG の場合、1MW の発電に必要となる蒸気流量は約 10t/h である。したがって 20MW の発電には、200t/h の蒸気が必要である。トゥレフ地域の生産井は、坑口圧力 0.2MPaG の場合に 1 本あたり 63t/h の蒸気と 280t/h の熱水を生産する。したがって 20MW の発電を開始するために必要となる生産井の数は 4 本となる。掘削成功率を仮に 80% とすれば、発電開始までには 5 本の坑井の掘削が必要となる。

4 本の坑井から生産される熱水の総量は 1,120t/h であるため、約 1,200t/h の還元容量が必要となる。坑井の生産能力と還元能力がほぼ同等と考えて、1 本の還元井で 250t/h の熱水を処理できるとすれば、20MW の発電には 6 本の還元井が必要となる。

前述のとおりトゥレフ地域の生産井は汽水比の低い流体を生産すると予想される（蒸気：熱水=1：4.5）。このような場合には、熱水の有効活用の観点からダブルフラッシュシステムの利用が有用である。ダブルフラッシュシステムは、熱水を低圧条件下でフラッシュさせた蒸気を利用するため、シングルフラッシュシステムと比較して蒸気の利用度を約 30% 向上させる。トゥレフ地域の生産井の場合、ダブルフラッシュシステムを採用することで、蒸気生産量は 63t/h から 82t/h に向上する（ $63 \times 1.3 = 81.9\text{t/h}$ ）。この蒸気流量の増加分が熱水から差し引かれるため、熱水流量は 261t/h に減少する（ $280 - (82 - 63) = 261\text{t/h}$ ）。

ダブルフラッシュシステムを利用する場合に必要な生産井の数は、3 本となる（ $82 \times 3 = 240\text{t/h}$ ）。生産井の数が 3 本となることから、還元すべき熱水量も 783t/h に減少し、必要となる還元井の数は 4 本（ $250 \times 4 = 1,000\text{t/h}$ ）となる。

以上の結果を表 IV-2 および表 IV-3 にまとめた。シングルフラッシュシステムでは 20MW の発電を開始するために 4 本の生産井と 6 本の還元井が必要となる。ダブルフラッシュシステムでは、3 本の生産井と 4 本の還元井が必要となる。

表 IV-2 坑口圧力 0.2MPaG における生産能力と還元能力

発電方式	生産能力	還元能力
シングルフラッシュ	63t/h	250t/h
ダブルフラッシュ	82t/h	250t/h

表 IV-3 必要となる坑井の数

発電方式	初期生産井	初期還元井
シングルフラッシュ	5 (4 + 1backup)	6
ダブルフラッシュ	4 (3 + 1backup)	4

坑井の生産能力と還元能力は時間とともに減衰する。生産井の能力が減衰して、定格出力を維持できなくなったり、還元容量が不足したりした場合には補充井が掘削されることになる。30年間の運転期間を通じて必要となる補充井の数を見積もるために、生産井も還元井も年率3%の割合で能力が減退していくものと仮定し、30年間に必要となる補充井の数と、必要となる時期を求めた結果を、図IV-3、IV-4および表IV-4、表IV-5に示す。図IV-3と表IV-4には、シングルフラッシュシステムを用いた場合の検討結果を示し、図IV-4と表IV-5にはダブルフラッシュシステムを用いた場合の検討結果を示した。

シングルフラッシュシステムの場合、生産井の追加が必要となるのは、運転開始後7年目、16年目、25年目であり、合計3本の生産性の追加が必要となる。還元井は運転開始後7年目、14年目、20年目、27年目に追加が必要となり、合計4本の補充井が必要となる。

ダブルフラッシュシステムでは、運転開始後6年目、19年目、30年目に生産井の追加が必要となり、7年目、16年目、25年目に還元井の追加が必要となると予想される。ダブルフラッシュシステムでは、30年間に合計3本の生産井と3本の還元井の補充が必要となる。

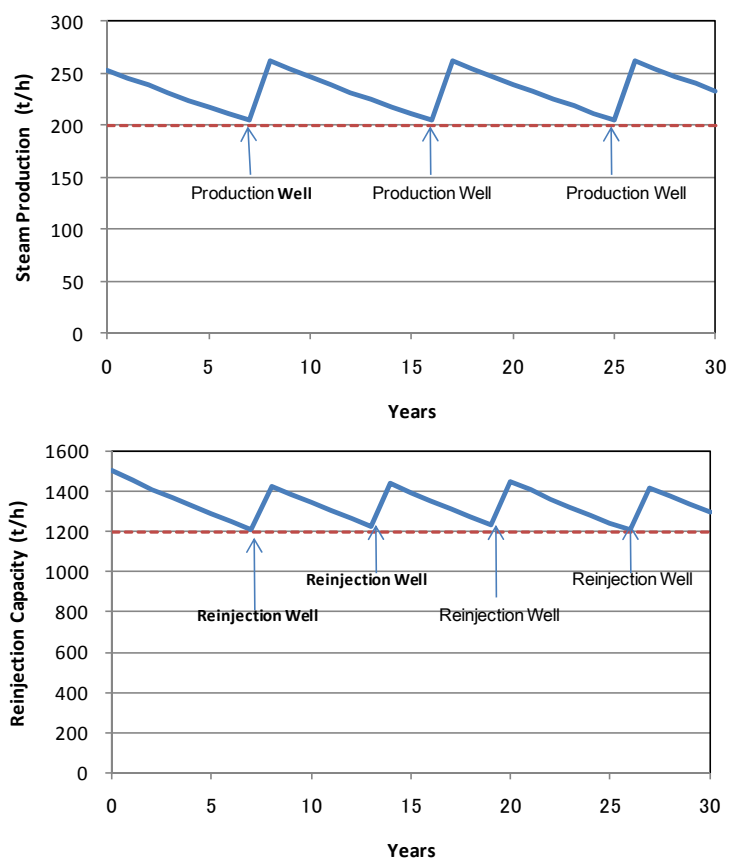


図 IV-3 補充井に関する検討結果 (シングルフラッシュシステム)

表 IV-4 補充井に関する検討結果 (シングルフラッシュシステム)

Years	Steam Production	Reinjection Capacity	Make Up Wells Production	Make Up Wells Reinjection
0	253	1500	0	0
1	246	1455	0	0
2	238	1411	0	0
3	231	1369	0	0
4	224	1328	0	0
5	218	1288	0	0
6	211	1249	0	0
7	205	1212	0	0
8	262	1426	1	1
9	254	1383	0	0
10	246	1341	0	0
11	239	1301	0	0
12	232	1262	0	0
13	225	1224	0	0
14	218	1187	0	1
15	212	1151	0	0
16	205	1116	0	0
17	262	1312	1	0
18	254	1273	0	0
19	247	1234	0	0
20	239	1197	0	1
21	232	1160	0	0
22	225	1124	0	0
23	219	1089	0	0
24	212	1054	0	0
25	206	1020	0	0
26	263	1206	1	0
27	255	1171	0	1
28	247	1137	0	0
29	240	1103	0	0
30	233	1069	0	0
		total	3	4

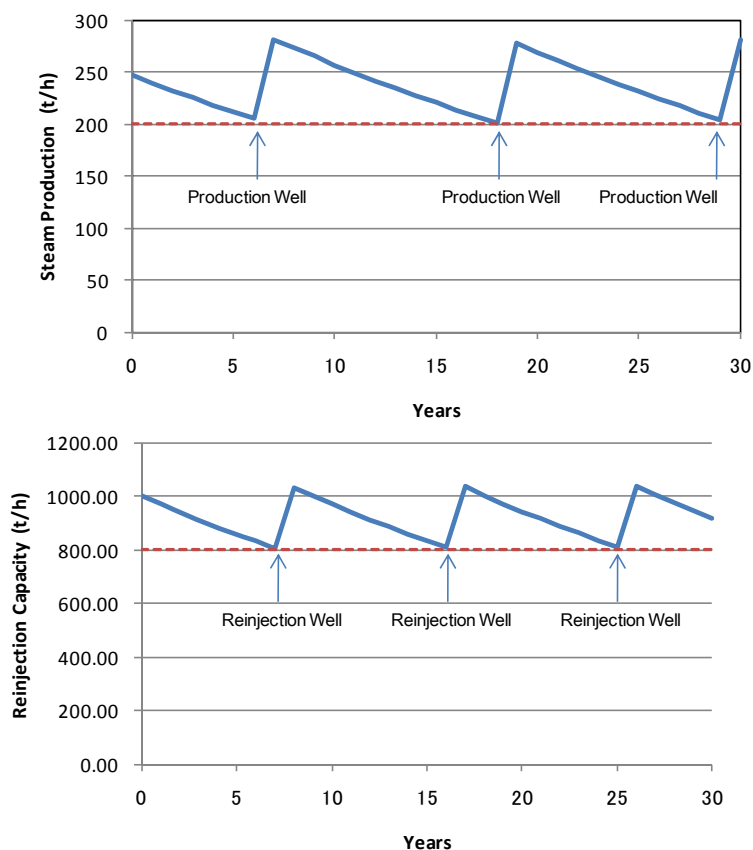


図 IV-4 補充井に関する検討結果 (ダブルフラッシュシステム)

表 IV-5 補充井に関する検討結果 (ダブルフラッシュシステム)

Years	Steam Production	Reinjection Capacity	Make Up Wells Production	Make Up Wells Reinjection
0	247	1000	0	0
1	240	970	0	0
2	232	941	0	0
3	225	913	0	0
4	219	885	0	0
5	212	859	0	0
6	206	833	0	0
7	282	808	1	0
8	273	1034	0	1
9	265	1003	0	0
10	257	973	0	0
11	250	943	0	0
12	242	915	0	0
13	235	888	0	0
14	228	861	0	0
15	221	835	0	0
16	214	810	0	0
17	208	1036	0	1
18	202	1005	0	0
19	278	975	1	0
20	270	945	0	0
21	261	917	0	0
22	254	890	0	0
23	246	863	0	0
24	239	837	0	0
25	231	812	0	0
26	225	1038	1	1
27	218	1006	0	0
28	211	976	0	0
29	205	947	0	0
30	281	919	0	0
		total	3	3

IV-3 掘削計画

IV-3-1 掘削ターゲットおよび掘削基地

想定される 20MW 地熱発電所開発シナリオによれば、必要となる生産井の本数は、シングルフラッシュ型の場合、運転開始時に 4 本、30 年間の運転期間に補充井として 3 本の総計 7 本が必要と想定されている。これに対して、ダブルフラッシュ型を採用する場合、運転開始時に 3 本、30 年間の運転期間に補充井として 3 本の総計 6 本が必要と想定されている。還元井については、シングルフラッシュ型の場合、運転開始時に 6 本、30 年間の運転期間に補充井として 4 本の総計 10 本が必要と想定されている。ダブルフラッシュ型を採用する場合、運転開始時に 4 本、30 年間の運転期間に補充井として 3 本の総計 7 本が必要と想定されている。補充井は原則として既存坑井からのサイドトラックとした場合でも、シングルフラッシュ型の場合、6 本の還元井を常時運用する必要がある。また、ダブルフラッシュ型の場合、少なくとも 4 本の還元井を常時運用する必要がある。したがって、シングルフラッシュ型の場合は 7 本の還元井掘削が可能な敷地が、ダブルフラッシュ型の場合は 5 本の還元井掘削が可能な敷地が必要となる。

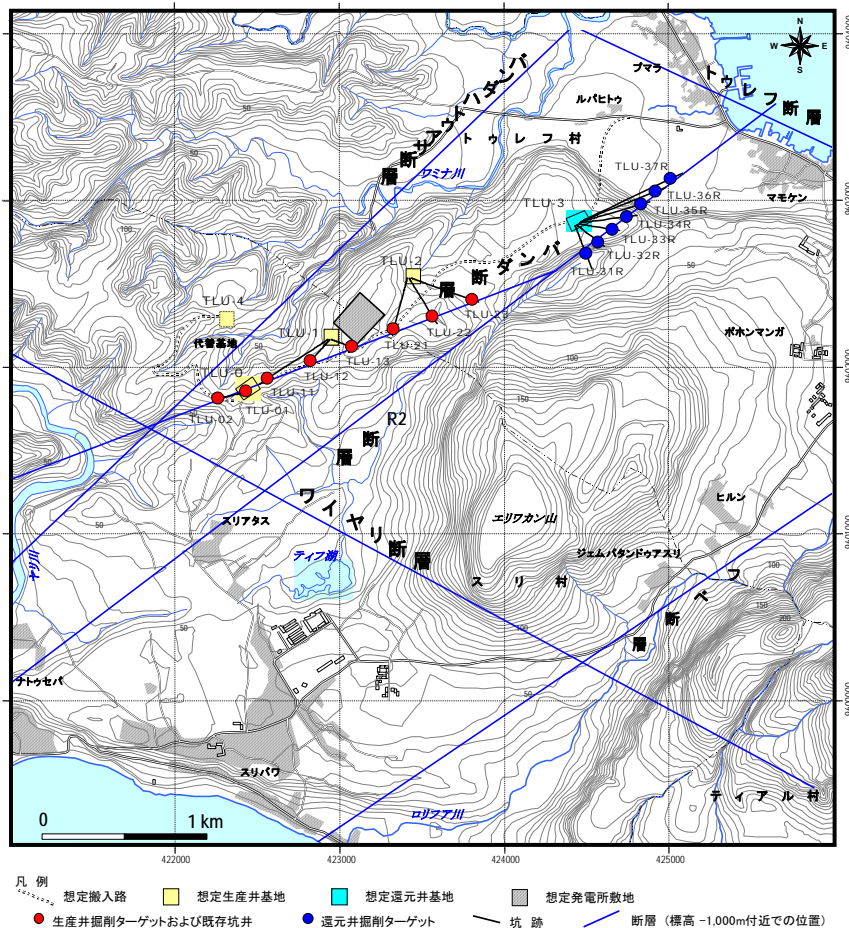
トゥレフ地域ではバンダハトゥアサ断層、バンダ断層および R2 断層が有望なターゲットとなる。ただし、バンダハトゥアサ断層上にあるハトゥアサ温泉はリゾート施設として利用されている。温泉水の化学組成から判断すれば、地熱開発の対象となる深部地熱熱水は混合しておらず、深部熱水と温泉との直接的なつながりはないと考えられる。しかし、バンダハトゥアサ断層を開発した場合の影響についてはまだ検証されていない。一方、想定される掘削基地から R2 断層をねらって坑井を掘削した場合、いずれの坑井も途中でバンダ断層を横切ることになる。このようなことから、バンダ断層を当面の開発対象とするのが妥当と判断される。以下の条件を考慮して掘削ターゲットと掘削基地を選定した。

- 1) 全ての掘削ターゲットをバンダ断層に配置
- 2) 生産井用のターゲットと還元井用のターゲットをそれぞれシラ温泉の西側と東側に配置（温泉水の化学組成から、シラ温泉付近に深部熱水の混入した温泉帯水層が想定されるため）
- 3) 生産井用のターゲットについては、相互干渉を考慮して 300m 以上の間隔で配置（ターゲット間隔は、今後の噴出試験結果により再検討する必要がある）
- 4) 還元井用のターゲットについては、相互干渉を考慮して 150m 以上の間隔で配置（ターゲット間隔は、今後の噴出試験結果により再検討する必要がある）
- 5) 坑井の掘削長が 1500m 以内となるようにターゲットと掘削基地を配置

選定された掘削ターゲットと坑井基地配置を図 IV-5 に示す。生産井のターゲットとして 7 つのターゲットが選定された。坑井の掘削長が 1500m 以内となるようにした場合、1 基地から掘削可能なターゲットは坑井 3 本分程度である。なお、調査井 TLU-01 の基地 (TLU-0) はバンダ断層に近すぎるため、掘削可能なターゲットは TLU-02 のみである。このため、補

充井を考慮すれば、新規の生産井基地として2基地（TLU-1基地とTLU-2基地、図IV-5参照）が必要である。地形条件等を考慮すれば、生産井基地TLU-1とTLU-2の間に発電所を建設するのが最適と考えられる。還元井については、図IV-5に示すTLU-3の基地から掘削することとした。ただし、TLU-37Rについては、1650m程度の掘削長が必要となる。なお、調査井TLU-01が生産井として使用可能かどうかは現時点では不明である。ターゲットTLU-11は、調査井TLU-01が生産井として使用できなかった場合の代替ターゲットとして選定した。暫定的に選定された新規掘削基地の概要ならびに各基地への搬入路の概要を表III-6に示す。また、掘削基地内における掘削機材等の代表的な配置例を図IV-6に示す。

調査井TLU-01の次に掘削される生産井用の坑井ターゲットとしては、TLU-01に近いTLU-12が推奨される。これに次ぐのはTLU-13、TLU-21、TLU-22、TLU-23の順と考えられる。還元井については、TLU-31Rから掘削するのが妥当と考えられる。ただし、ターゲット位置ならびに坑井掘削の順番については、坑井が3～4本程度掘削された時点で長期噴出試験を実施し、その結果に基づいて再検討することが望まれる。



図IV-5 想定掘削基地、発電所敷地およびターゲット位置

表 IV-6 掘削基地および搬入路の必要規模

項目	サイズ	備考
生産井基地 TLU-1	100m x 70m	3 坑井
生産井基地 TLU-2	100m x 70m	3 坑井
還元井基地 TLU-3	130m x 80m	7 坑井
取り付け道路	幅員 5m x 3,000m	新規造成

Note: (Start-up well + Make-up well)

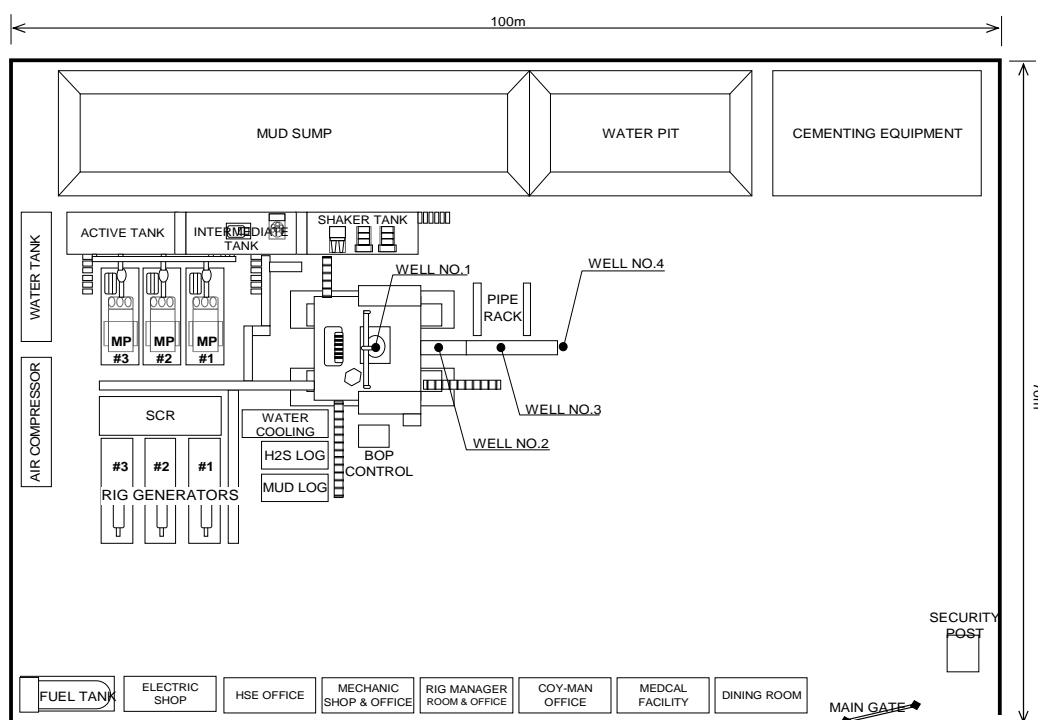


図 IV-6 代表的掘削機器配置

IV-3-2 掘削ターゲットおよび坑井掘削仕様

選定された掘削ターゲットとそのターゲットをねらう坑跡を図IV-7、図IV-8および図IV-9に示す。また、各ターゲットを掘削する坑井の仕様を表IV-7と図IV-10、図IV-11および図IV-12に示す。

生産井

トゥレフ地域での本格的な調査井 TLU-01 の掘削は深度 927m で完了し、温度・圧力検層や注水試験、温度回復試験が実施された。その結果、温度回復は遅いものの比較的高温度で透水性の高い貯留層の存在が予想された。今後の開発のための生産井の掘削仕様は、前

述した 20MW 開発計画に必要な生産井の本数及び坑井の出力計算から、いわゆる” Big-hole Completion (a 10-3/4” slotted liner completion)” が望ましい。インドネシア国におけるその他の地熱地域の多くでも本仕様で掘削され、成功を収めている。また、生産井の標準的な掘削仕様になりつつあり、本地域でも生産量の増大が期待される。しかしながら、一方で掘削費が上昇することもあり、標準的な仕上げ方法である” Standard-hole Completion (a 7” slotted liner completion)” も同時に検討する必要がある。図 IV-10、図 IV-11 両仕上げ方法に基づく坑井仕様を示す。

還元井

トゥレフ地域では、発電用の蒸気と分離された熱水および凝縮水は、貯留層圧力を保ち、生産量を維持するために還元井に還元される。標準的な還元井掘削仕様を図 IV-12 に示す。標準的な仕上げ方法である” Standard-hole Completion (a 7” slotted liner completion)” が推奨され、最終的なケーシング挿入深度は、掘削時に取得される科学的なデータに基づき再検討し、決定する。

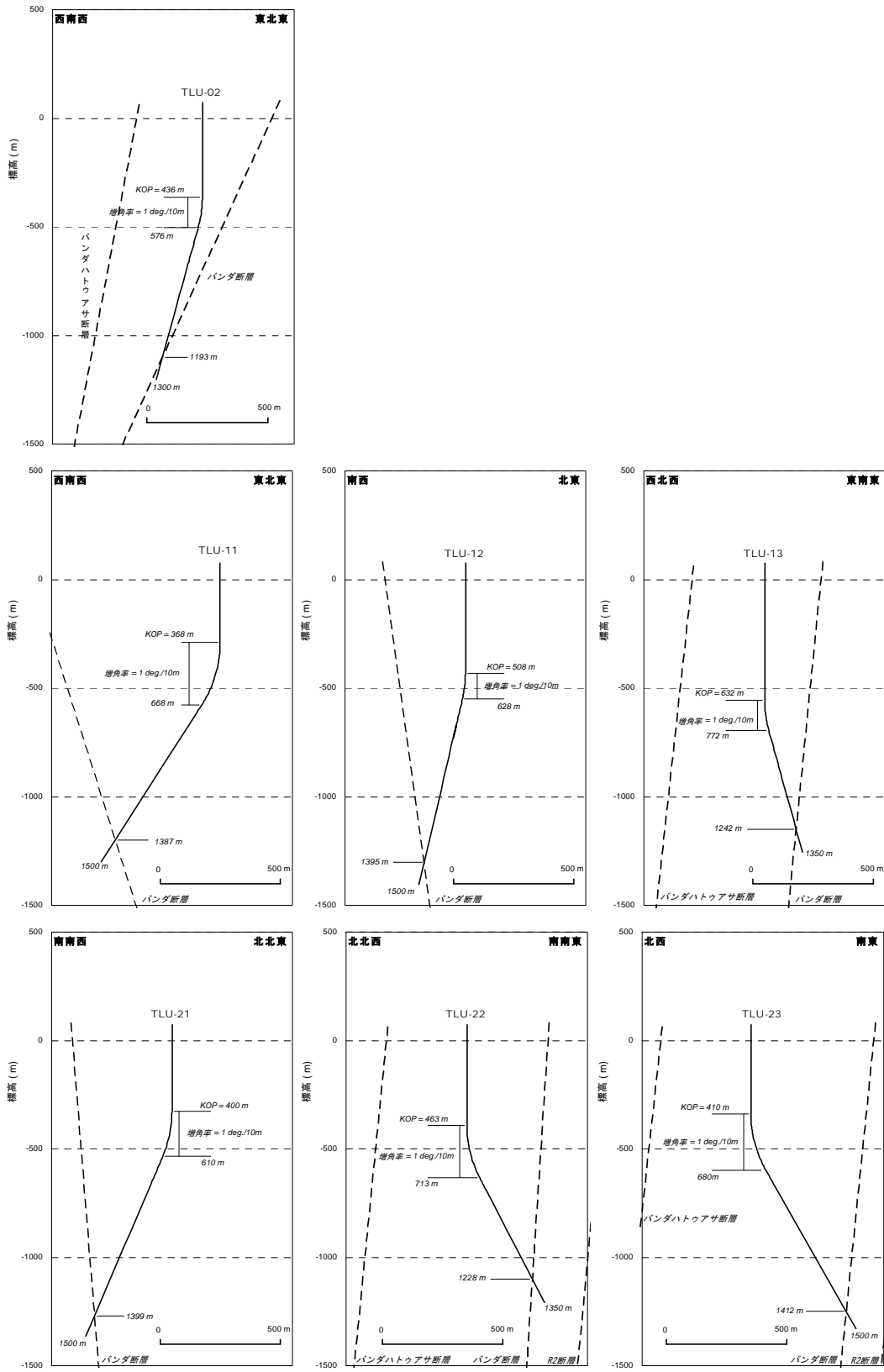


図 IV-7 生産井掘削方向断面図

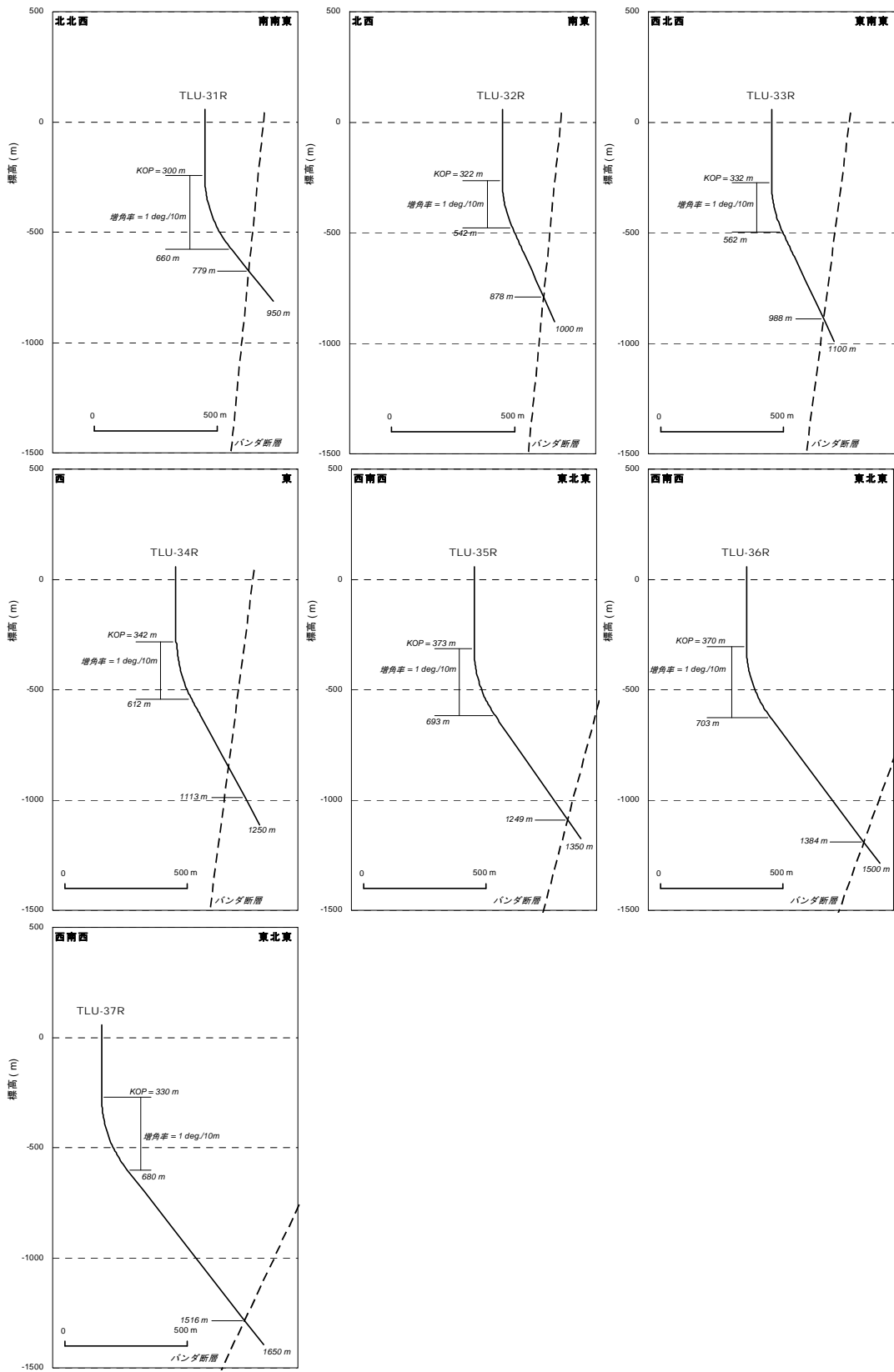


図 IV-8 還元井掘削方向断面図

掘削長	1250-1450m
標高	72-77m
KOP	310-410m
傾斜角度	Max.10-35deg.
掘削方位	

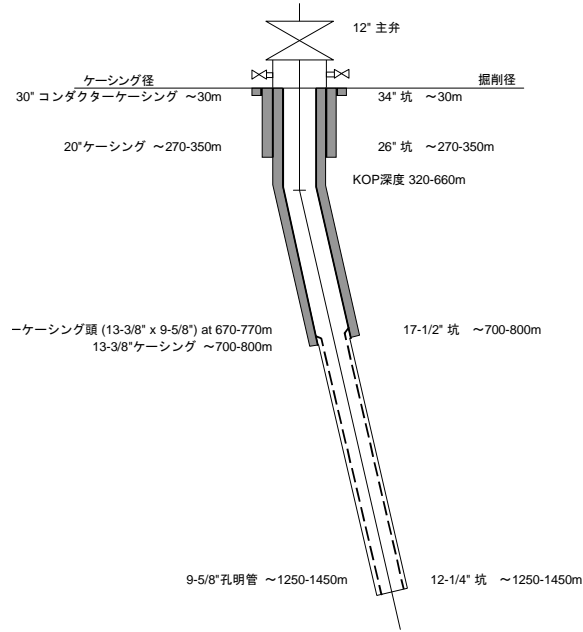


図 IV-9 生産井ケーシングプログラム暫定案 (大口徑坑)

掘削長	1250-1450m
標高	72-77m
KOP	310-410m
傾斜角度	Max.10-35deg.
掘削方位	

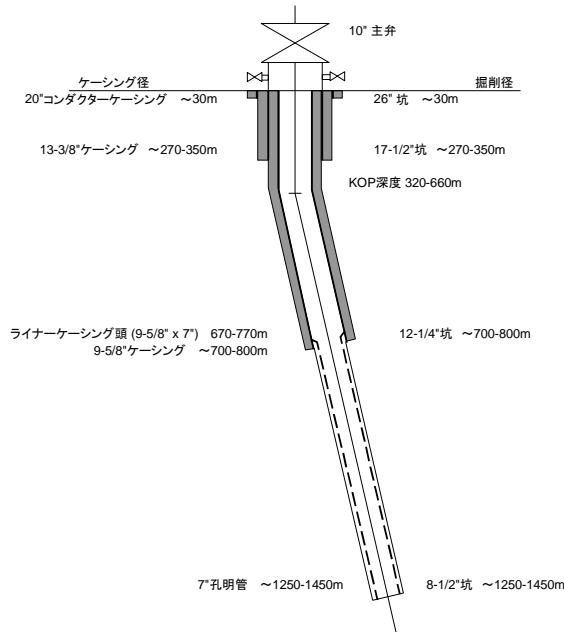


図 IV-10 生産井ケーシングプログラム暫定案 (標準坑)

掘削長	950-1450m
標高	58m
KOP	330-360m
傾斜角度	Max.20-35deg.
掘削方位	

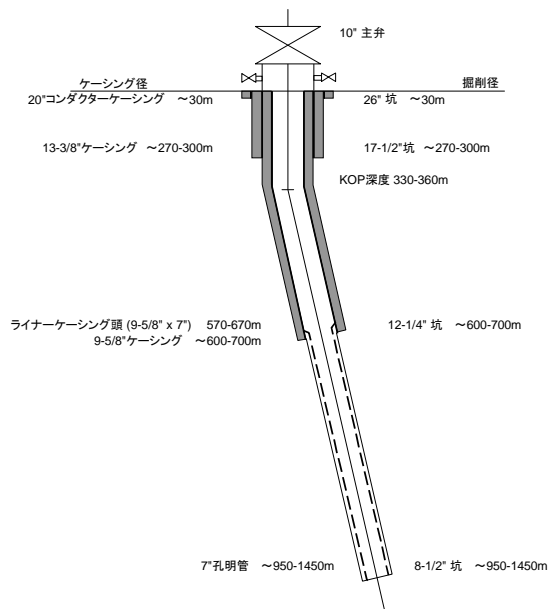


図 IV-11 還元井ケーシングプログラム暫定案

表 IV-7 坑井掘削仕様案

		TLU-01	TLU-02	TLU-11	TLU-12	TLU-13	TLU-21	TLU-22
口元位置	経距 (m)	422463.89	422456	422960	422970	422980	423440	423450
	緯距 (m)	9601866.54	9601861	9602180	9602180	9602180	9602550	9602550
	標高 (m)	72.78	72.78	77	77	77	72	72
掘削方位 (度、真北基準)			257.32	237.27	221.27	109.93	194.84	148.26
KOP (m)			436	368	508	632	400	463
増角率 (度/10m)			1	1	1	1	1	1
最大傾斜角度 (度)			14	30	12	14	21	25
掘削長 (m)			1300	1500	1500	1350	1500	1350
垂直深度 (m)			1277.11	1375.02	1480.07	1331.44	1436.22	1282.46
偏距 (m)			192.17	492.76	193.82	156.85	357.00	322.89
ターゲット位置	経距 (m)		422294	422594	422857	423103	423358	423593
	緯距 (m)		9601824	9601945	9602051	9602135	9602240	9602319
	標高 (m)		-1100	-1200	-1300	-1150	-1270	-1100
備考			バンド断層 @1193 m	バンド断層 @1387 m	バンド断層 @1395 m	バンド断層 @1242 m	バンド断層 @1399.2 m	バンド断層 @1228 m
		TLU-23	TLU-31R	TLU-32R	TLU-33R	TLU-34R	TLU-35R	TLU-36R
口元位置	経距 (m)	423460	424455	424464	424472	424481	424489	424498
	緯距 (m)	9602550	9602865	9602871	9602876	9602882	9602887	9602893
	標高 (m)	72	58	58	58	58	58	58
掘削方位 (度、真北基準)		109.25	158.74	128.29	99.21	82.71	73.64	68.16
KOP (m)		410	300	322	332	342	373	363
増角率 (度/10m)		1	1	1	1	1	1	1
最大傾斜角度 (度)		27	36	22	23	27	32	34
掘削長 (m)		1500	950	1000	1100	1250	1350	1500
垂直深度 (m)		1400.75	871.40	961.29	1051.11	1170.58	1233.79	1344.14
偏距 (m)		434.72	279.88	213.29	255.76	352.10	435.22	543.63
ターゲット位置	経距 (m)	423833	424520	424595	424681	424768	424855	424942
	緯距 (m)	9602420	9602698	9602767	9602842	9602918	9602994	9603071
	標高 (m)	-1250	-675	-790	-890	-990	-1090	-1190
備考		バンド断層 @1412 m	バンド断層 @779 m	バンド断層 @878 m	バンド断層 @988 m	バンド断層 @1113 m	バンド断層 @1248.9 m	バンド断層 @1384 m
		TLU-37R						
口元位置	経距 (m)	424506						
	緯距 (m)	9602898						
	標高 (m)	58						
掘削方位 (度、真北基準)		64.53						
KOP (m)		330						
増角率 (度/10m)		1						
最大傾斜角度 (度)		35						
掘削長 (m)		1650						
垂直深度 (m)		1453.22						
偏距 (m)		659.99						
ターゲット位置	経距 (m)	425032						
	緯距 (m)	9603149						
	標高 (m)	-1285						
備考		バンド断層 @1516 m						

IV-4 発電所建設計画

IV-4-1 掘削基地および発電所の位置

生産井用掘削基地として TLU-1 および TLU-2、還元井用掘削基地として、TLU-3 を新設する。発電所建設予定地を含む各基地および送電線の配置計画図を図 IV-12 に示した。PLN が調査井掘削のために造成した掘削基地 TLU-0 は、予備基地とする。生産井基地 TLU-1 は、既設 TLU-0 の約 600m 北東に位置し、生産井基地 TLU-2 は、さらにその約 600m 北東に位置する。また、還元井基地 TLU-3 は、生産井基地 TLU-2 の約 1000m 北東に位置する。トゥレフ地熱発電所は、生産井基地 TLU-1 と TLU-2 の間に配置する。

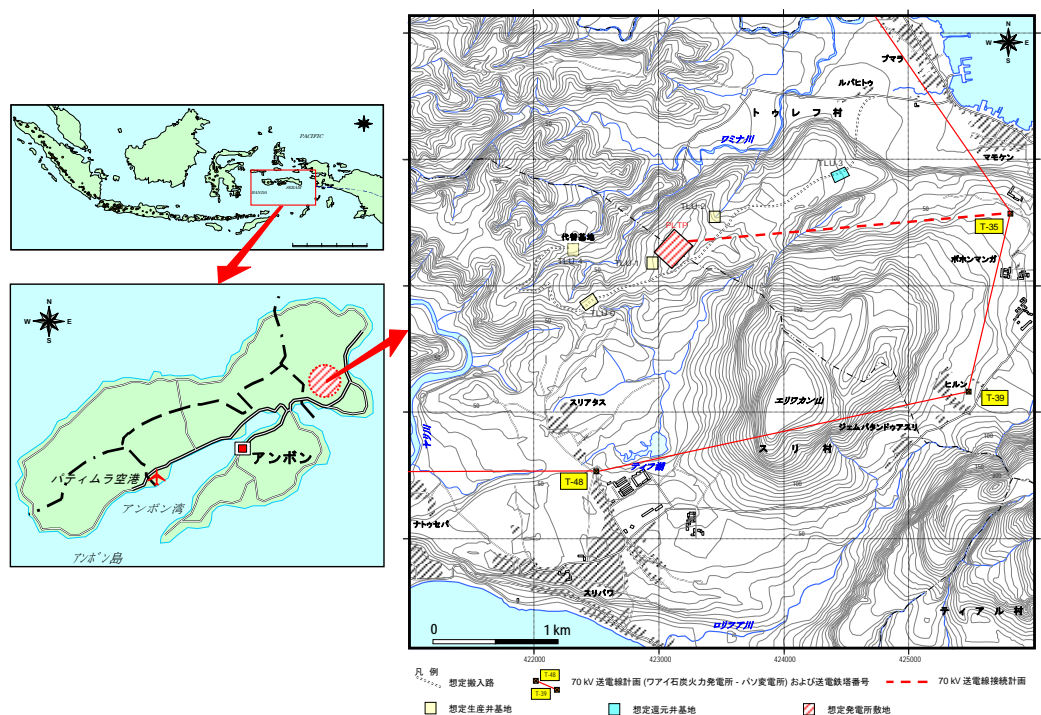


図 IV-12 坑井掘削基地、地熱発電プラントおよび送電線の配置計画

IV-4-2 配管建設計画

地熱配管設備 (Fluid Collection and Reinjection System (FCRS)) は、生産井からセパレーターまでの蒸気と熱水混合の気液二相流配管、セパレーター、セパレーターから発電所までの蒸気配管、セパレーターから還元井までの熱水配管、発電所から還元井までの復水配管から構成される。ダブルフラッシュシステムの場合は、セパレーターの下流の熱水ラインにフラッシャーが追加される。フラッシャー内では熱水の温度がおおよそ 100°C に低下するので、スケール発生の可能性が高くなる。スケール発生については、今後の調査井の生産

試験を通じて、地熱流体の分析を注意深く評価して、適切なフラッシャー圧力を決定すべきであり、必要であれば、スケール問題の対策を講じるべきである。FCRS の概念フロー図を次のダブルフラッシュのケースを参考に示す。

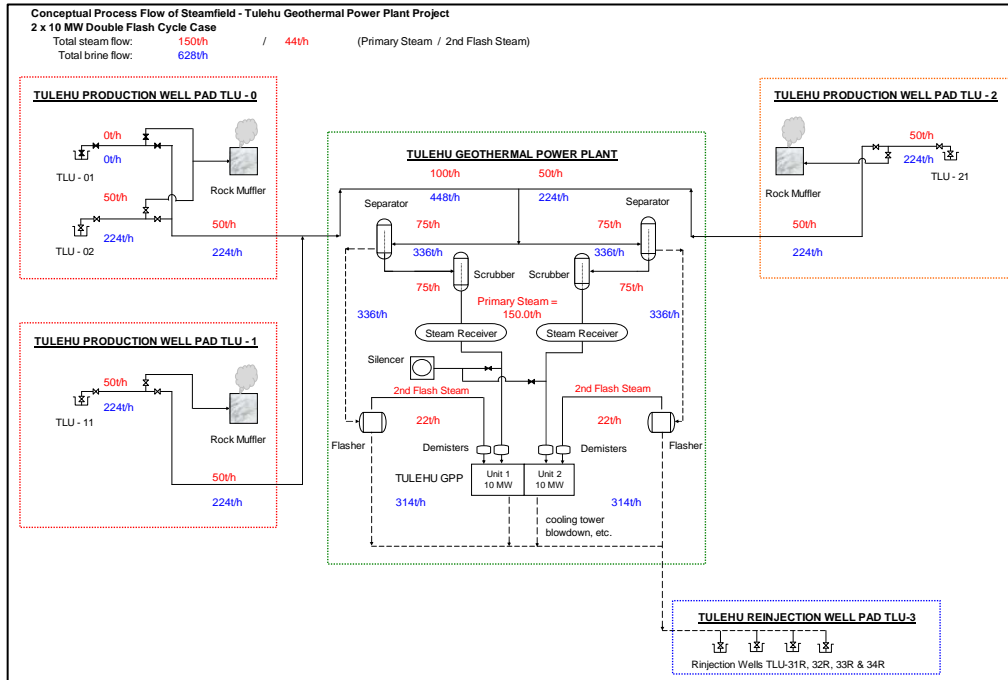


図 IV-13 FCRS 概念フロー図 -ダブルフラッシュ 10MW×2 のケース

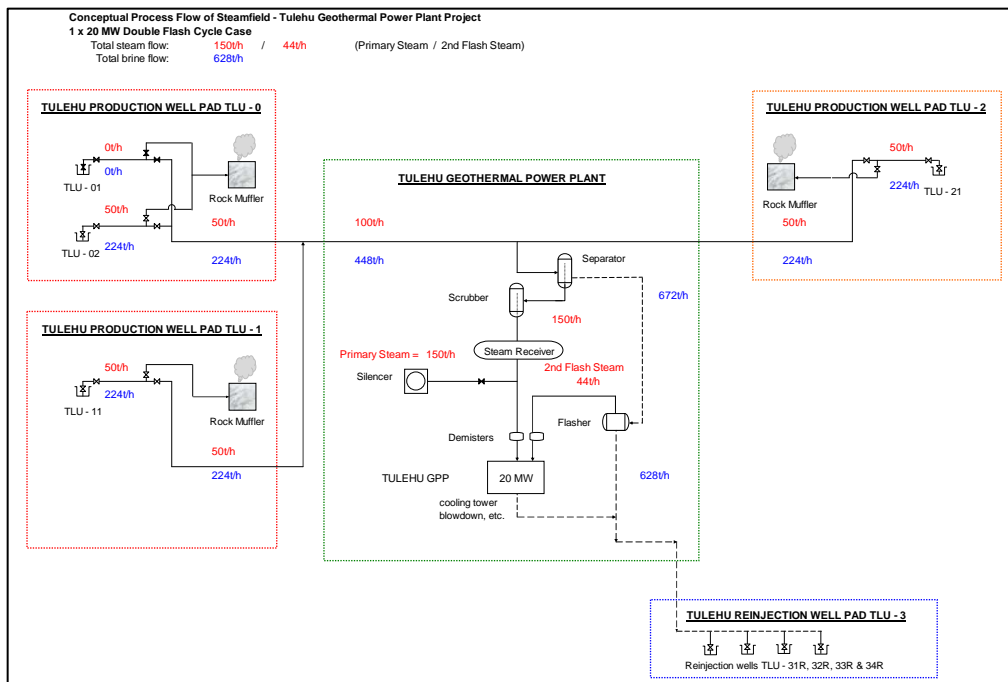


図 IV-14 FCRS 概念フロー図 -ダブルフラッシュ 20MW×1 のケース

IV-4-3 発電プラント建設計画

現在までのデータ・情報による、第 III 章の地熱資源の評価と第 IV 章の第 1 節・第 2 節に示す坑井に関する検討及び同第 3 節の掘削計画を基に、地熱発電プラントの建設計画について検討した。

以下に、発電方式（シングルフラッシュ方式、ダブルフラッシュ方式およびバイナリー方式）、単機出力、発電所の機械、電気、計装・制御関係の設備について検討した。

ただし、現在まで入手されたデータ・情報が限定されており、それらによる今回の地熱資源の評価と開発計画の検討には、その過程で、経験知識に基づく想定を用いて今回のアウトプットを得ている。したがって、今後、追加調査井の掘削、試験、プロジェクトサイトの気象観測等によって得られる十分なデータ・情報を加味して、地熱資源の再評価、地熱資源開発計画の再検討、発電プラントの建設計画の再検討を実施した後に、プロジェクトを実施するべきである。

1. 発電方式

地熱発電の方式には表 IV-8 に示す様に、背圧方式、シングルフラッシュ複水方式、ダブルフラッシュ複水方式、バイナリー方式等のさまざまな方式がある。ここでは、地熱資源の評価を基に、地熱発電プラントとして最も一般的に採用されているシングルフラッシュ方式とダブルフラッシュ方式についてその特徴、長短・優劣を比較検討した。

以下に示すように、トゥレフ地熱発電プロジェクトの発電方式としては、地熱エネルギーの有効利用とプロジェクト建設費の節減のから、シングルフラッシュ方式よりもダブルフラッシュ方式が優れているようである。

地熱流体の圧力・温度があまり高くなく、また、生産される蒸気と熱水の比率は約 1 : 4.5 とかなり多量の熱水量が予想される。シングルフラッシュ方式ではこの生産された地熱流体の内、セパレーターで分離された約 80%の多量の熱水を有効利用することなく、還元井から地下に戻ってしまうことになる。ダブルフラッシュ方式採用では、セパレーターで分離された熱水から、更にフラッシュャーで分離した 2 次蒸気を発電に有効利用し、効率を高めることができる。

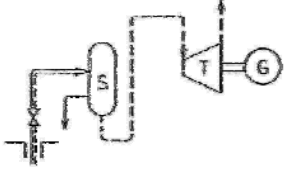
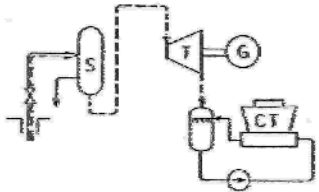
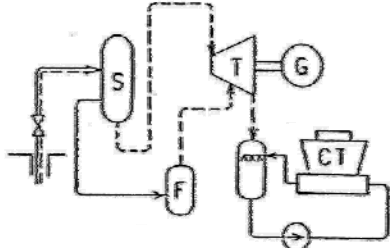
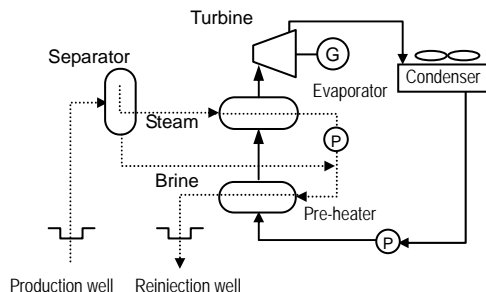
プロジェクト建設費の観点からみると、シングルフラッシュ方式ではダブルフラッシュ方式に対し、坑井の掘削費用が約 40%高くなる。シングルフラッシュ方式では、発電用蒸気が少なく、還元熱水量が多いため、20 MWの発電のためには約 4 本の生産井と 6 本の還元井が必要となる。一方、ダブルフラッシュ方式では生産井 3 本、還元井 4 本である。ダブルフラッシュ方式はシングルフラッシュ方式に比べて、フラッシュャー等の 2 次蒸気関係設備のプラントの建設費が数パーセント増加するが、前述の坑井掘削費の増加額に比較するとわずかな額である。

ただし、現時点では地熱流体の化学的性質がまだ明確でないので、低温域でのスケー

ル付着がダブルフラッシュ方式でも地熱流体エネルギー利用の制限問題となる可能性がある。今後の更なる調査井の掘削、噴出試験、地熱流体の化学分析等の結果を踏まえて、プロジェクト実施に当たって適切な発電方式について再検討をする必要がある。また、地熱流体の圧力・温度がかなり低く、熱水が多量の場合は、バイナリー地熱発電システムの採用の可能性についても考慮する必要がある。

トゥレフの地熱流体は比較的低音で、熱水量が多いと予想されるので、地熱バイナリー発電の採用も考えられる。地熱バイナリーでは地熱エネルギーを有効に利用できるため、ダブルフラッシュと同様に、シングルフラッシュに比べて坑井の掘削本数が少なくなる。バイナリー発電の特徴は、低沸点の2次媒体を使用するので、利用できる地熱流体が比較的に低温の場合でも発電が可能になることである。ただし、熱水のスケール析出の問題から、ダブルフラッシュと同様に地熱流体の利用温度の下制限がある。地熱バイナリー発電は所内動力比が、ダブルフラッシュ、シングルフラッシュの5～8%に比べて、約15%程度と大きいので、送電端の正味出力を同等にするには発電端出力を10%程度大きくする必要がある。また、空冷式コンデンサーを採用した場合、所要敷地面積が広がる傾向にある。地熱バイナリー発電については検討すべき要素・条件が(2次媒体の選定、2次媒体の圧力・温度・流量、設計外気温度、蒸気温度、熱水温度、単機出力、冷却方式、蒸気背圧タービンとの組合せ、他)が多いので、現段階では以上の概要の検討に止めておく。より詳細な検討については、今後、追加の調査井の掘削、試験によって、地熱流体、蒸気、熱水の特性・諸条件を把握し、また、プロジェクトサイトの気象観測により自然設計条件等が明確になった後に、検討することを推奨する。

表 IV-8 地熱発電の方式

地熱発電方式	特徴
<p>1) シングルフラッシュ背圧方式</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 熱水が多い場合に適する。 ガスが多い場合に適する。 小容量、通常、坑口パイロット発電に利用される。 効率が低い(蒸気消費率が高い) 建設費が安い 排気騒音が非常に高い
<p>2) シングルフラッシュ復水方式</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 熱水が多い場合に適する 小容量から大容量まで適する。 最も一般的である。 ダブルフラッシュに比べて効率が低い。
<p>3) ダブルフラッシュ復水方式</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 熱水が多い場合に適する。 小・中容量から大容量まで適する。 1次蒸気はセパレーター、2次蒸気はフラッシャーで分離される。 シングルフラッシュより効率が改善される。 シングルフラッシュに比べて建設費が高くなる。 フラッシャーからの低温熱水が還元ラインのスケール問題に注意する必要がある。
<p>4) バイナリー方式</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 熱水が多い場合に適する。 低い温度の地熱流体に適用できる。 低温熱水のためスケール問題に注意する必要がある。 小容量(約 10MW まで)である。 所内動力が大きい。

2. 単機出力

第 III 章のトゥレフ地域の地熱資源の検討に示すように、開発可能規模は 20MW である。一方、第 II.3 節に述べたように、将来のアンボンの電力系統の規模は最大負荷 110MW に達する見込みである。トゥレフ地熱発電所はベースロード発電所として運用されるので、単機出力はできるだけ大きい方が望ましいが、アンボン電力系統の安定運用のため、単機出力には制限がある。トゥレフ地熱発電所の単機出力として 10MW～20MW は将来のアンボン電力系統の規模を考慮すると適当と考えられる。

参考として、アンボン島の東部地域ワイに単機出力が 15MW の石炭火力発電プラントが 2 ユニット建設中 (2012 年に 1 号機、2013 年に 2 号機の完成予定) であり、70kV の送電線でアンボン電力系統に電力供給する。2013 年のアンボン電力系統の最大負荷は 52.9MW と予想されている。

トゥレフ地熱発電所の単機出力について、10MW×2 と 20MW×1 の 2 ケースについて比較検討した結果、建設費、建設工期、市場競争性の点で 20MW×1 のケースが多少有利な傾向にある。

3. 発電所機械関係設備

トゥレフ地熱発電所を構成する機械関係設備とその仕様について、発電方式・単機出力により、4 つのケース (シングルフラッシュ 10MW×2、シングルフラッシュ 20MW×1、ダブルフラッシュ 10MW×2、ダブルフラッシュ 20MW×1) について検討した。ただし、詳細仕様については、追加の調査井の試験データ、プロジェクトサイトの気象データ等により、プロジェクトの実施段階でさらに検討する必要がある。

上記の 4 つのケースの内、ダブルフラッシュのケースについて、地熱発電所の配置計画を図 IV-15 及び図 IV-16 に、地熱発電プラント主要系統図を図 IV-17 及び図 IV-18 に示す。(上記 4 つのケースの地熱発電所配置計画図、プラント主要系統図および発電所の主要機械設備の詳細仕様については、ファイナルレポートの IV.4.3 項を参照のこと。)

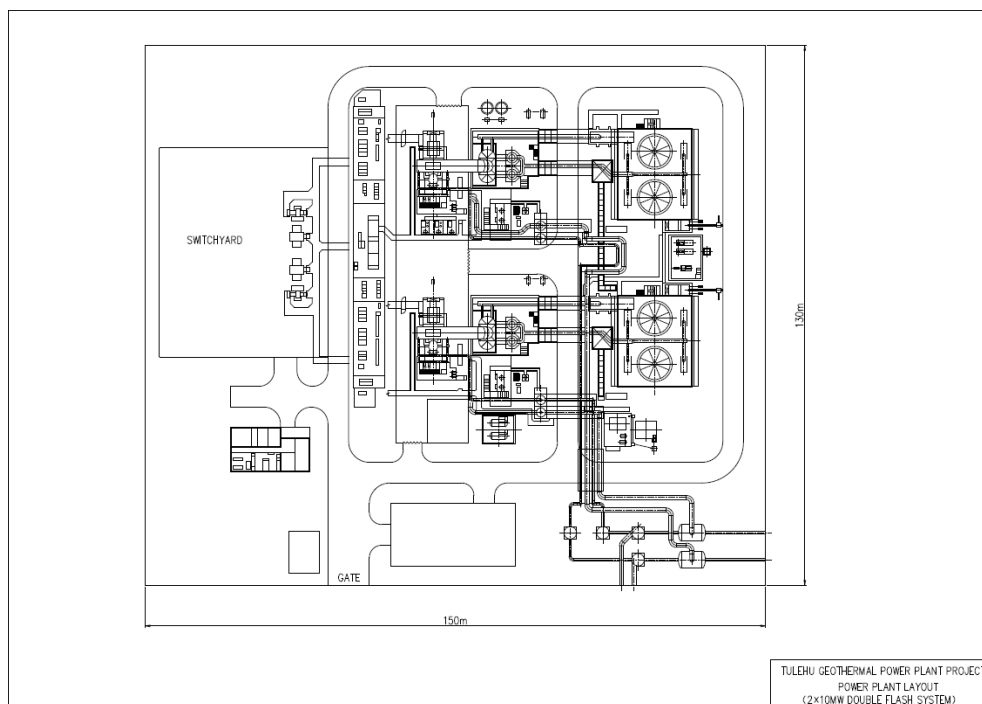


図 IV-15 地熱発電所の配置計画 (ダブルフラッシュ方式 10MW×2)

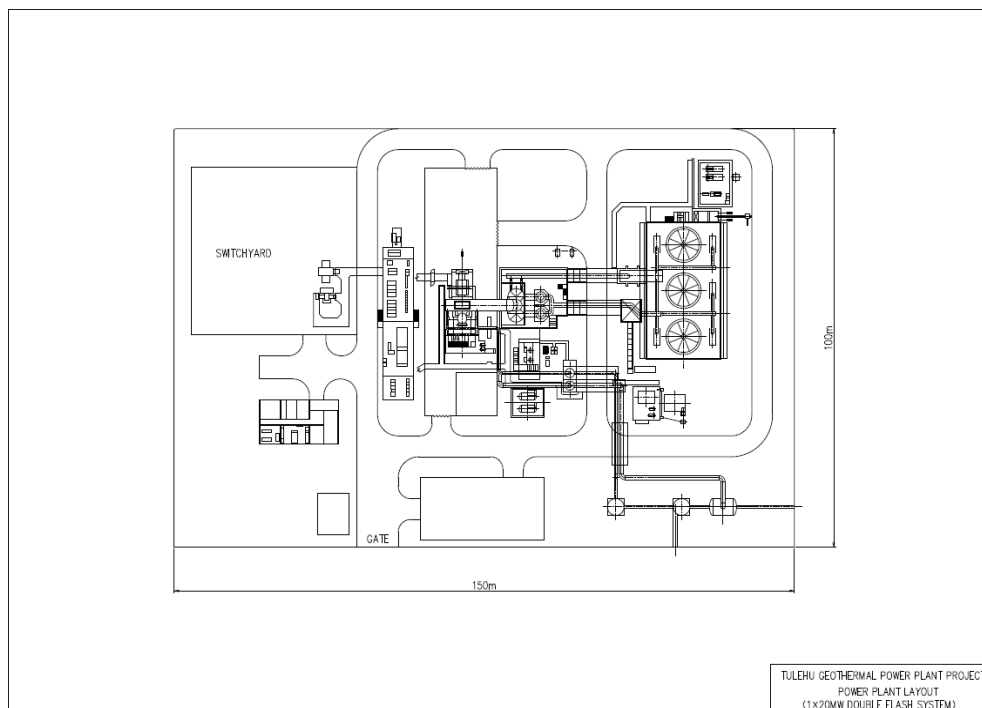


図 IV-16 地熱発電所の配置計画 (ダブルフラッシュ方式 20MW×1)

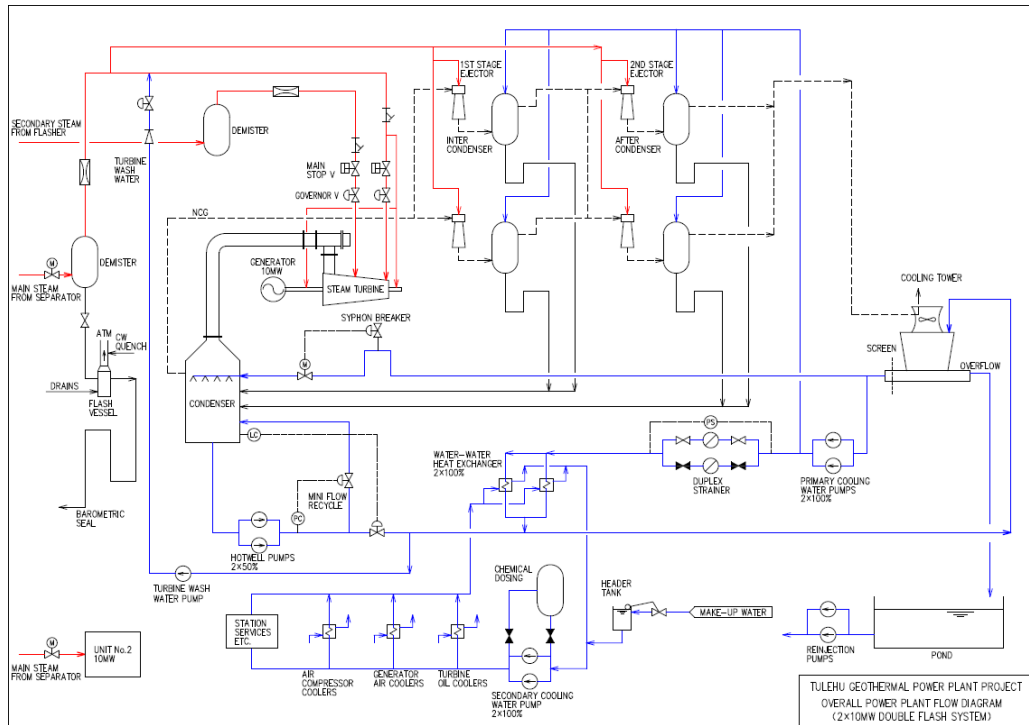


図 IV-17 地熱発電プラントの主要系統図 (ダブルフラッシュ方式 10MW×2)

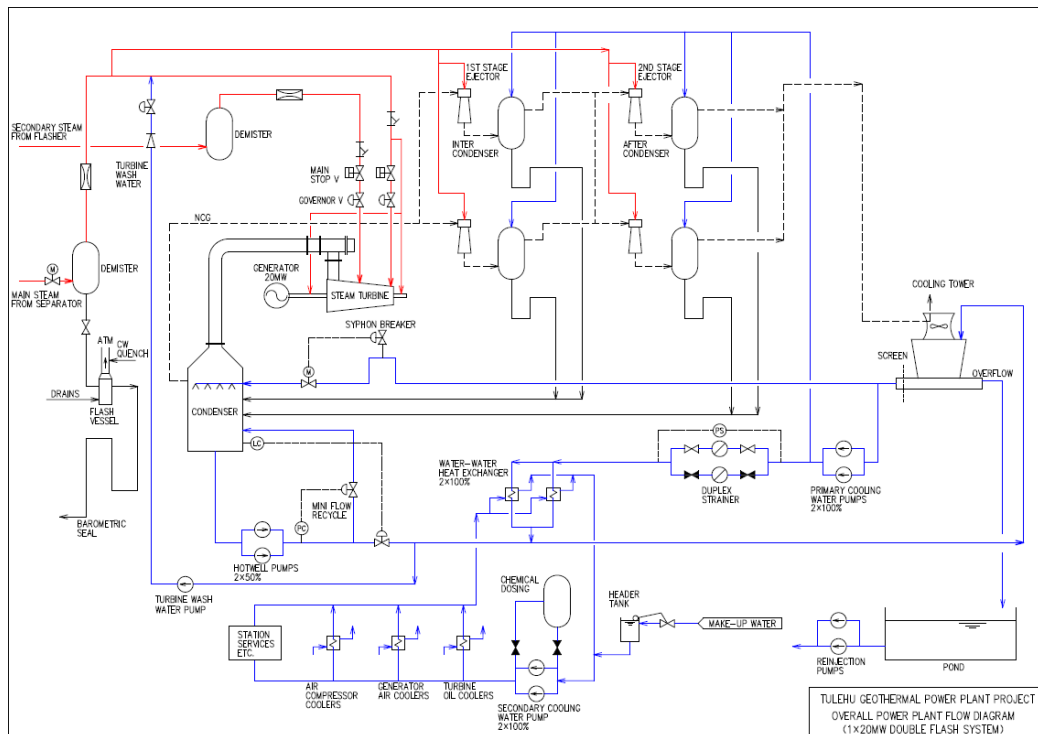


図 IV-18 地熱発電プラントの主要系統図 (ダブルフラッシュ方式 20MW×1)

4. 発電所電気・計装・制御設備

a. 概要

発電所のシステムについては、前述されている4つのケース(10MW×2および20MW×1のケースで、それぞれシングルおよびダブルフラッシュ)が想定されているが、電気、計装・制御設備に関して、F/S調査段階で特記するようなことはないため、2つのケース(10MW×2および20MW×1)についてのみ検討する。発電された電力は主変圧器により70kVに昇圧され、発電所構内の70kV開閉装置を経て、ワアイ石炭火力発電所(現在建設中)とパッソ変電所(建設予定)間の送電線に接続される。

一方、図IV-19(10MW×2の場合)或いは図IV-20(20MW×1の場合)の単線結線図に示すように、所内の補機に対しては所内変圧器により電源が供給され、所内回路が構成される。大型補機による低圧母線の電圧降下によっては、中圧母線(6kVなど)が必要になる場合もある。プロジェクト実施段階において、設計基準を明確にし、設計されることが必要である。ユニット起動時、所内補機用電力は発電機遮断器を開にした状態で系統より給電される。ユニット起動後、この発電機遮断器で同期投入を行い、初期負荷をとる。初期負荷保持時間が終了した後、規定の増負荷が行われ、起動が完成する。ユニット停止時は、規定負荷まで減負荷を行った後、再び発電機遮断器を開き、ユニット停止が完了する。

b. 発電機

本プロジェクトの発電機は、地熱用蒸気タービン発電機として、信頼度が高く、運転・保守の容易な空気冷却式3相同期発電機を採用する。地熱発電所においては、大気中に腐食性の高い硫化水素ガスが含まれるので、発電機の冷却空気取入れ口には酸化触媒フィルター(Oxidize catalytic filters)等を設置し、発電機内に流入する空気から硫化水素ガスを除去するものとする。励磁装置は機械的接触部品のないブラシレス方式とする。

発電機本体の仕様は以下の通りである。

型式	: 横置円筒回転界磁形、全閉空気冷却式3相同期発電機
定格容量・台数	: 10MW×2 or 20MW×1
定格電圧	: 11kV (or メーカー標準)
周波数	: 50Hz
回転数	: 3,000rpm
力率	: 0.8(遅れ)
中性点接地方式	: 変圧器接地

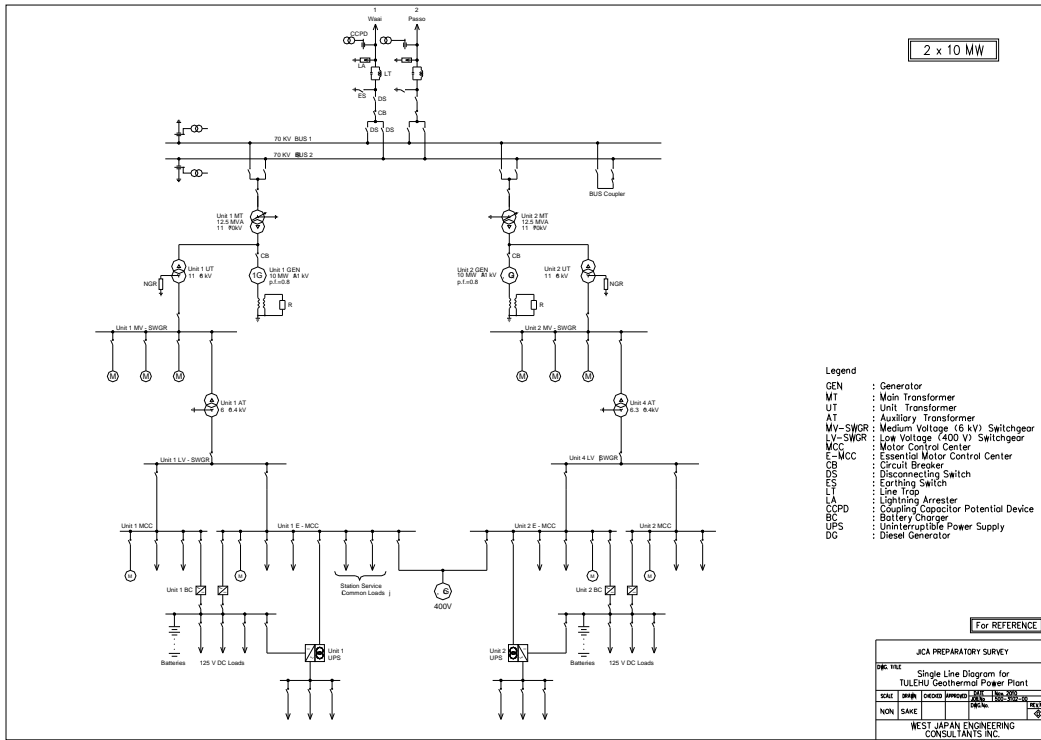


図 IV-19 単線結線図 (10MW×2)

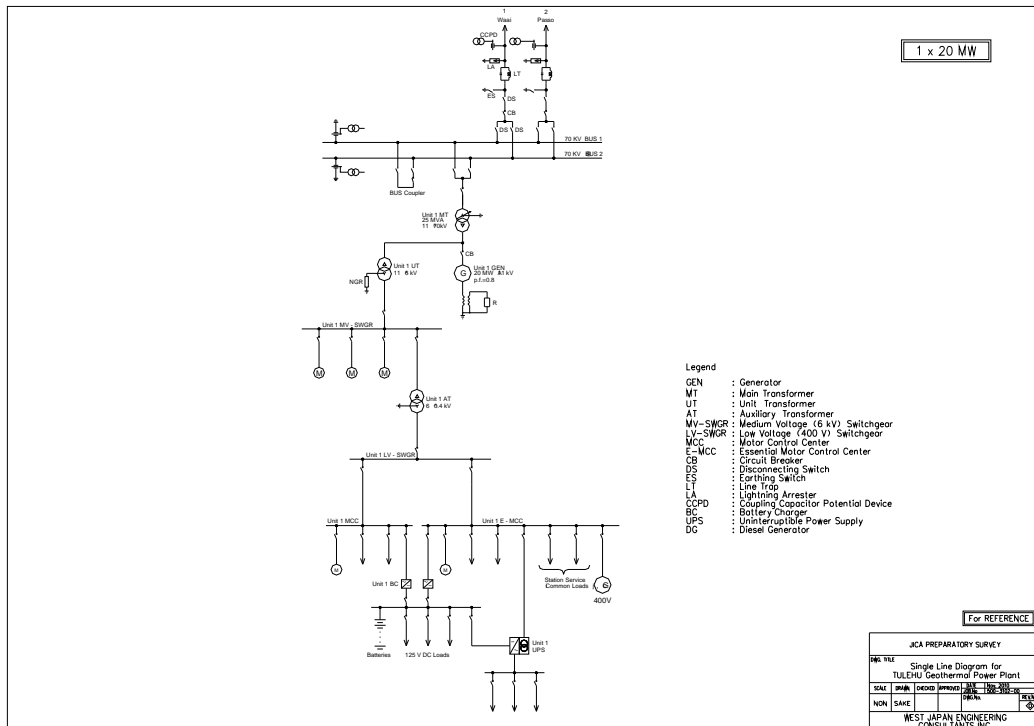


図 IV-20 単線結線図 (20MW×1)

c. 計装・制御設備

発電所の管理を有効に行うため、多くの運転データを自動計測し、保存することが重要である。このため、FCRS を含め、本発電設備の計測・制御装置は、マイクロプロセッサ・ベースの分散制御システム (DCS ; Distributed Control System) を採用する。この分散制御システムは、高い信頼性と生産性、フェールセーフオペレーションを可能にするシステムである。

地熱発電所における主な制御対象と通常使用される制御は次の通りである。

- i) 主蒸気供給設備
- ii) タービン発電機制御
- iii) 復水器レベル制御
- iv) 電気機器制御

制御の他に、発電所に設置される機器の保護のためのインターロックおよび機器操作のためのインターロックが組み込まれる。機器操作のインターロックは DCS に組み込まれるが、発電機の保護および蒸気タービンの保護に関わるインターロックはリレー回路 (ハード) により組まれることが一般的であり、本プロジェクトでも同様の考え方を採用する。

d. 通信設備

アンボン系統の給電指令所との連絡のために必要な通信設備が設置されなければならない。

e. 構内開閉所

開閉設備は PLN 標準の「コンベンショナル方式」を適用し、母線方式も 70kV の PLN 標準「複母線方式」を採用する。開閉設備及び送電線設備は、排気蒸気中の H₂S ガスによる腐食を避けるため冷却塔とは反対側に配置される。開閉設備概要を以下に示す。

- ・ 開閉所形式 : 屋外形, コンベンショナル方式
- ・ 変電所母線方式 : 複母線方式
- ・ 定格電圧 : 72.5kV
- ・ 定格電流 : 2,000A
- ・ 定格短時間電流 : 25kA or 31.5kA (系統による)
- ・ 定格絶縁強度
 - 雷インパルス耐電圧値 : 325kV
 - 商用周波耐電圧値 : 140kV
- ・ 送電線保護 : インピーダンス継電方式 (主保護), 地絡方向継電方式、過電流保護方式 (後備保護) 及び再開路方式

IV-4-4 資機材輸送計画

アンボン港は大型船が停泊できる埠頭と機器の荷揚げに必要な港湾設備が備わっている。埠頭の規模は、坑井掘削用機器や発電所の機器を輸送のための大型船が停泊するのに十分である。埠頭には 32 トン容量のクレーンが備わっており、特にコンテナの積み降ろしに使用されている。プロジェクト実施時の発電所の機器の輸送、荷揚げには、クレーンを装備した船を手配することも考えられる。アンボン港でインドネシアの通関ができ、アンボン港へはジャカルタ及びその他のインドネシアの主要都市からの海上輸送が可能である。

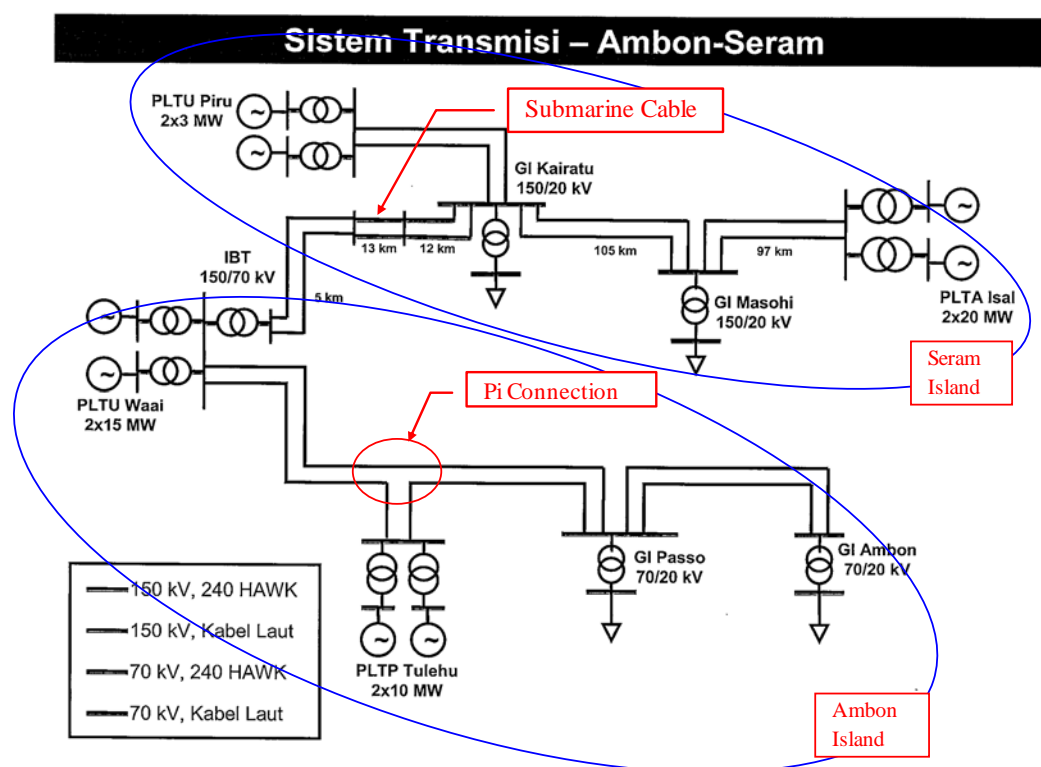
アンボン港からトゥレフ地熱発電所の建設予定地の近郊までは、良好に舗装された国道であり、道路の幅員、カーブ、坂、橋（コンクリート製、鉄骨構造）等で問題になる箇所は見当たらない。しかしながら、家屋・ビル等への引き込み電線が数メートル高さで道路を横断している箇所が多数あり、大型の機器を輸送する場合には適切な対策を講じる必要がある。アンボン港からすぐに、道路は交通量が非常に多いアンボン市街地の中心を通るので、大型の重量機器を輸送する場合には、特別の対策（所管の地方政府への事前の許可、深夜の輸送、その他）を講じる必要がある。

アクセス道路が、Rupa Hitu 村から坑井掘削基地 TLU-3、TLU-2、発電所、同 TLU-1、TLU-0 及び TLU-4 まで建設される計画である。アクセス道路は全長約 4 km でおおよそ緩やかな勾配である。

IV-5 送電計画

発電機で発生した電力は、主変圧器により 70 kV に昇圧され、本発電所併設開閉所から 2 回線の 70kV 送電線で系統に送電される。この 70kV 系統は現在、アンボン島の北東部に建設されているワイ石炭火力発電所と同時に新設されるものである。図 IV-21 にその系統図を示す。

図に示すように、トゥレフ発電所から出た送電線は、ワイ発電所とパッサ変電所間に割り込む形 (π 接続) で接続される予定である。PLN アンボン支所から受領した資料によれば、トゥレフ発電所に最も適当な耐張鉄塔は T-35 鉄塔であり、ここに π 接続することで計画する。(参照図書 ; Survey Reconnaissance Jalur Transmisi 70 kV, PLTU Liang - Passo - Ambon, Augustus 2007) T-35 鉄塔とトゥレフ地熱発電所の位置関係については、図 IV-12 を参照されたい。この T-35 鉄塔は、既設送電線の 1 回線が運転中でも、トゥレフ地熱発電所からの送電線がこの鉄塔に π 接続可能なように設計されなければならない。図 IV-22 に π 接続を可能にするための鉄塔の設計例を示す。



(出典 ; Wilayah Maluku dan Maluku utara)

図 IV-21 アンボン島ーセラム島系統図

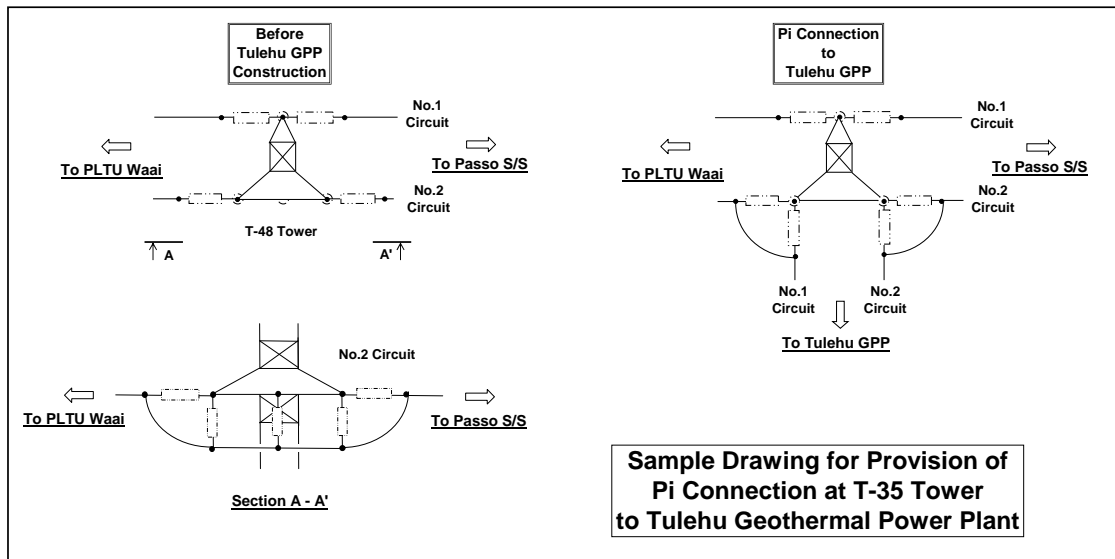


図 IV-22 π 接続用鉄塔設計例

IV-6 プロジェクトコスト積算

IV-6-1 地熱資源開発コスト

地熱資源開発コストは、次の二つのカテゴリーに分類される。

- 発電用の坑井が掘削されるまでに PLN によって実施されるべき事前工事コスト
- 発電所建設のための掘削・発電設備設置を含む諸作業に係るコスト

業務範囲および土地取得費を含む概算費用を表 IV-9 に示す。開発井の掘削コスト、補充井の掘削コストおよびその年度展開を表 IV-10 と表 IV-11 にそれぞれ示す。また、坑井掘削に必要な基地造成費等のコストを表 IV-12 に示す。

表 IV-9 資源開発概算コスト

区分	項目	見積額 (US\$)
シングルフラッシュ		
発電用坑井掘削 までに PLN によ って実施される べき事前工事	掘削基地造成 (生産井基地 2、還元井基地 1)	1,320,000
	搬入路建設 (新規掘削基地用)	360,000
	掘削工事前給水配管工事	480,000
	土地取得	373,800
	小 計	<u>2,533,800</u>
発電所建設段階	掘削機材搬入・搬出	2,000,000
	生産井掘削・坑井試験 (4 坑井)	21,560,000
	還元井掘削 (6 坑井)	23,100,000
	小 計	<u>46,660,000</u>
総 計		49,193,800
ダブルフラッシュ		
発電用坑井掘削 までに PLN によ って実施される べき事前工事	掘削基地造成 (生産井基地 2、還元井基地 1)	1,320,000
	搬入路建設 (新規掘削基地用)	360,000
	掘削工事前給水配管工事	480,000
	土地取得	373,800
	小 計	<u>2,533,800</u>
発電所建設段階	掘削機材搬入・搬出	2,000,000
	生産井掘削・坑井試験 (3 坑井)	16,170,000
	還元井掘削 (4 坑井)	15,400,000
	小 計	<u>33,570,000</u>
総 計		36,103,800

表 IV-10 掘削コスト

(Unit : US\$)

Item	Production well	Reinjection well
	Ave. Depth: 1,500m (Big hole) Ave. Drilling Days: 30	Ave. Depth: 1,500m (Standard hole) Ave. Drilling Days: 27
1. Rig Hire		
a. Drilling cost		
*Rig Operation (\$30,000/day)	1,080,000	972,000
*Air drilling package	600,000	N/A
b. Rig Move (On location)	240,000	240,000
Sub-total	1,920,000	1,212,000
2. Drilling Services		
a. Directional drilling service	360,000	300,000
b. Cementing services	360,000	300,000
c. Mud Log	60,000	50,000
d. Mud Engineering	50,000	40,000
e. Top drive	360,000	300,000
f. H2S Monitoring	50,000	40,000
g. Well logging	90,000	60,000
Sub-total	1,330,000	1,090,000
5. Drilling materials		
a. Bit and others	160,000	120,000
b. Casing and accessories	700,000	500,000
c. Well-head and valves	240,000	180,000
d. Mud materials	90,000	75,000
e. Cement and additives	180,000	140,000
f. Fuel and Oil supply	360,000	300,000
g. Drilling consumable-Foreign	90,000	70,000
h. Drilling consumable-Local	20,000	18,000
Sub-total	1,840,000	1,403,000
6. Drilling support		
a. Transport (on site)	20,000	15,000
b. Water supply	40,000	30,000
c. Others (Catering, etc.)	60,000	50,000
Sub-total	120,000	95,000
7. Well Testing	180,000	50,000
Grand Total for Drilling	US\$5,390,000/well	US\$3,850,000/well

Note: Excluding Rig Mob./Demob.

表 IV-11 補充井掘削コストと年度展開

シングルフラッシュ

Drilling Schedule					Drilling Unit Cost				
No.	Year	P-Well	R-Well	Rig Mob		5.39	3.85	2.00	Mill US\$
						P-Well	R-Well	Rig Mob	Total
-5	2010					0	0	0	0
-4	2011					0	0	0	0
-3	2012				JICA	0	0	0	0
-2	2013	4	1	1		21.56	3.85	2.00	27.41
-1	2014		5			0	19.25	0	19.25
Initial		4	6	1		21.56	23.1	2.00	46.66
1	2015					0	0	0	0
2	2016					0	0	0	0
3	2017					0	0	0	0
4	2018					0	0	0	0
5	2019					0	0	0	0
6	2020					0	0	0	0
7	2021					0	0	0	0
8	2022	1	1	1		5.39	3.85	2.00	11.24
9	2023					0	0	0	0
10	2024					0	0	0	0
11	2025					0	0	0	0
12	2026					0	0	0	0
13	2027					0	0	0	0
14	2028		1	1		0	3.85	2.00	5.85
15	2029					0	0	0	0
16	2030					0	0	0	0
17	2031	1		1		5.39	0	2.00	7.39
18	2032					0	0	0	0
19	2033					0	0	0	0
20	2034		1	1		0	3.85	2.00	5.85
21	2035					0	0	0	0
22	2036					0	0	0	0
23	2037					0	0	0	0
24	2038					0	0	0	0
25	2039					0	0	0	0
26	2040	1	1	1		5.39	3.85	2.00	11.24
27	2041					0	0	0	0
28	2042					0	0	0	0
29	2043					0	0	0	0
30	2044					0	0	0	0
Total		3	4	5		16.17	15.4	10.00	41.57
Grand Total			7						

表 IV-6-3 補充井追加時期とコスト (続き)

ダブルフラッシュ

Drilling Schedule					Drilling Unit Cost				
No.	Year	P-Well	R-Well	Rig Mob		5.39	3.85	2.00	Mill US\$
						P-Well	R-Well	Rig Mob	Total
-5	2010					0	0	0	0
-4	2011					0	0	0	0
-3	2012				JICA	0	0	0	0
-2	2013	3	2	1		16.17	7.7	2.00	25.87
-1	2014		2			0	7.7	0	7.7
Initial		3	4	1		16.17	15.4	2.00	33.57
1	2015					0	0	0	0
2	2016					0	0	0	0
3	2017					0	0	0	0
4	2018					0	0	0	0
5	2019					0	0	0	0
6	2020					0	0	0	0
7	2021	1	1	1		5.39	3.85	2.00	11.24
8	2022					0	0	0	0
9	2023					0	0	0	0
10	2024					0	0	0	0
11	2025					0	0	0	0
12	2026					0	0	0	0
13	2027					0	0	0	0
14	2028					0	0	0	0
15	2029					0	0	0	0
16	2030					0	0	0	0
17	2031	1	1	1		5.39	3.85	2.00	11.24
18	2032					0	0	0	0
19	2033					0	0	0	0
20	2034					0	0	0	0
21	2035					0	0	0	0
22	2036					0	0	0	0
23	2037					0	0	0	0
24	2038					0	0	0	0
25	2039					0	0	0	0
26	2040	1	1	1		5.39	3.85	2.00	11.24
27	2041					0	0	0	0
28	2042					0	0	0	0
29	2043					0	0	0	0
30	2044					0	0	0	0
Total		3	3	3		16.17	11.55	6.00	33.72
Grand Total		6							

表 IV-12 PLN による用地取得および土木工事コスト

(単位：百万 US\$)

ITEM		UNIT	QUANTITY	UNIT PRICE	PRICE	REMARKS
I	PRODUCTION WELL PAD	L.S.	1		740,000	
I-1	Production Pad No.1	m2	7,000	50	350,000	Size:70m x 100m
I-2	Production Pad No.2	m2	7,000	50	350,000	Size:70m x 100m
I-3	Cellar	nos	4	10,000	40,000	W2m x D3m x H2m x T0.3
II	REINJECTION WELL PAD	L.S.	1		580,000	
II-1	Reinjection Pad No.1	m2	10,400	50	520,000	Size:80m x 130m
II-3	Cellar	nos	6	10,000	60,000	W2m x D3m x H2m x T0.3
III	ACCESS ROAD	m	3,000	120	360,000	Width:5m, Unpaved
IV	WATER LINE	m	2,000	240	480,000	
V	LAND ACQUISITION	L.S.	1		373,800	
V-1	Well Pad	m2	29,400	7	205,800	(7,000 + 7,000 + 10,400) x 1.2
V-2	Access Road	m2	24,000	7	168,000	8m x 3,000m
GRAND TOTAL					2,533,800	I + II + III + IV + V

IV-6-2 発電設備および送電線建設コスト

5. 発電設備建設コスト

地熱発電所および附属開閉所の建設費は4つのケース（ケース1：シングルフラッシュ 10MW×2、ケース2：シングルフラッシュ 20MW×1、ケース3：ダブルフラッシュ 10MW×2、およびケース4：ダブルフラッシュ方式 20MW×1）について見積もった。

トゥレフ地熱発電プロジェクトの地熱発電所および附属開閉所の建設費の見積は、類似のラヘンドン地熱発電所3号機建設プロジェクトの実績をベースに算出した。ラヘンドン地熱発電所3号機建設プロジェクトの類似点は；PLNの円借款、シングルフラッシュ 20MW×1新設、建設地は遠隔離島のスラウエシ島、2007年4月契約、2009年2月完工で、建設単価はおおよそ1,900ドル/kWある。この実績価格にドル/円の為替レートの変動の影響、ダブルフラッシュの場合のコスト増加、10MW単機出力によるスケールデメリット等を考慮して各ケースの建設費を算定した。外貨・現地貨の比率はラヘンドン地熱発電所3号機の契約実績をベースに算出した。

FCRSのコストについては、インドネシアスマトラ島の地熱発電プロジェクトの2010年フィービリティ調査の配管設備の単価（インチ-m）をベースに算出した。以下の表IV-13に4つのケースの見積コストを示す。

表 IV-13 発電所建設コスト

(百万 US\$)

	シングルフラッシュ 10MW×2	シングルフラッシュ 20MW×1	ダブルフラッシュ 10MW×2	ダブルフラッシュ 20MW×1
FCRS:	8.38	7.94	6.62	6.62
Power Plant:	44.00	42.00	46.00	43.80
FCRS + Power Plant	52.38	49.94	52.62	50.42

6. 送電コスト

70kV 幹線送電線への約 3 km の接続送電線の建設コストは 0.3 百万ドルである。この接続送電線の建設は、円借款資金を用いず、PLN の自己資金で実施される計画である。

IV-7 事業実施計画

本プロジェクトの実施機関は PLN (PT. PLN (Persero) : インドネシア国有電力会社) である。ES 円借款資金により、PLN は地熱発電プロジェクト (地熱坑井掘削、FCRS・地熱発電所の建設) の経験豊富なコンサルタントを雇用する。PLN はコンサルタントの支援を受けて、プロジェクト実施計画・設計、コントラクターの調達および契約、コントラクターの設計・工事監理、受取審査等のプロジェクトを実行する。

本プロジェクトの完成後の PLN の運営・維持管理体制は、まだ明確には決定されていないが、先行して実施されているスラウエシ島のラヘンドン地熱発電事業の体制を参考にすると、以下のような事業運営体制が考えられる。

蒸気供給事業： PLN (PT. PLN Geothermal)
 地熱発電事業： PLN (PT. PLN Geothermal)
 送電・配電事業： PLN (アンボンの PLN マルク・北マルク支店)
 (Wilayah Maluku & Maluku Utara)

本トゥレフ地熱発電プロジェクトは次のような工事・業務および資金により構成される。

	工事・業務	資金
1)	PLN による先行工事 (用地取得、掘削基地の整地、アクセス道路建設、掘削用水設備の建設、プロジェクトサイトの気象観測等)	PLN 自己資金
2)-1	トゥレフ調査井 (3 生産井・1 還元井) の掘削および試験	ES 円借款
2)-2	追加のトゥレフ生産井・還元井の掘削および試験	プロジェクト円借款
3)	地熱流体輸送還元設備 (FCRS) の建設	プロジェクト円借款
4)	地熱発電所の建設 (附属開閉所を含む)	プロジェクト円借款
5)	70 kV 送電線接続工事	PLN 自己資金
6)	コンサルティング業務	ES 円借款
7)	将来開発有望地点の調査井 (2 生産井・1 還元井) の掘削および試験	ES 円借款

JICA の円借款プロジェクトに関する諸基準を考慮して、プロジェクト標準工程をシングルフラッシュ 10MW×2、シングルフラッシュ 20MW×1、ダブルフラッシュ 10MW×2、およびダブルフラッシュ 20MW×1 の4つのケースについて作成した。この要約版ではダブルフラッシュ 10MW×2 のケースのプロジェクト標準工程を図 IV-23 に参考に示す (完工まで約 60 カ月)。また、プロジェクトのできるだけ早い完成を目指す PLN の強い意志を考慮し

た目標工程 (Accelerated Target Schedule) をダブルフラッシュ 10MW×2 のケースについて 図 IV-24 に示す (完工まで約 52 ヶ月)。その他のケースのプロジェクト工程については本レポートの IV.7.4 節を参照されたい。

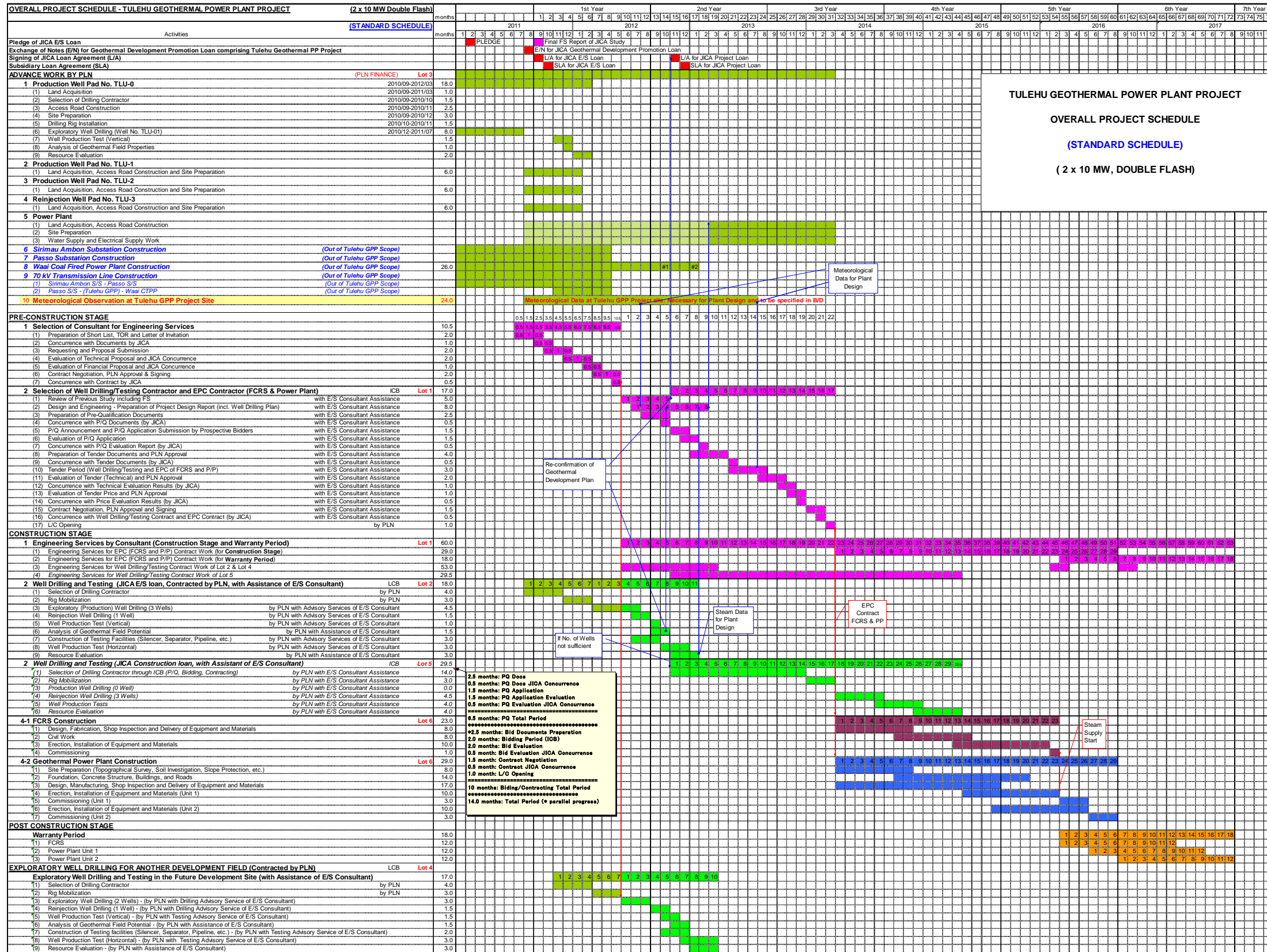


図 IV-23 プロジェクト実施スケジュール (ダブルフラッシュ 10MW×2) - 標準工程

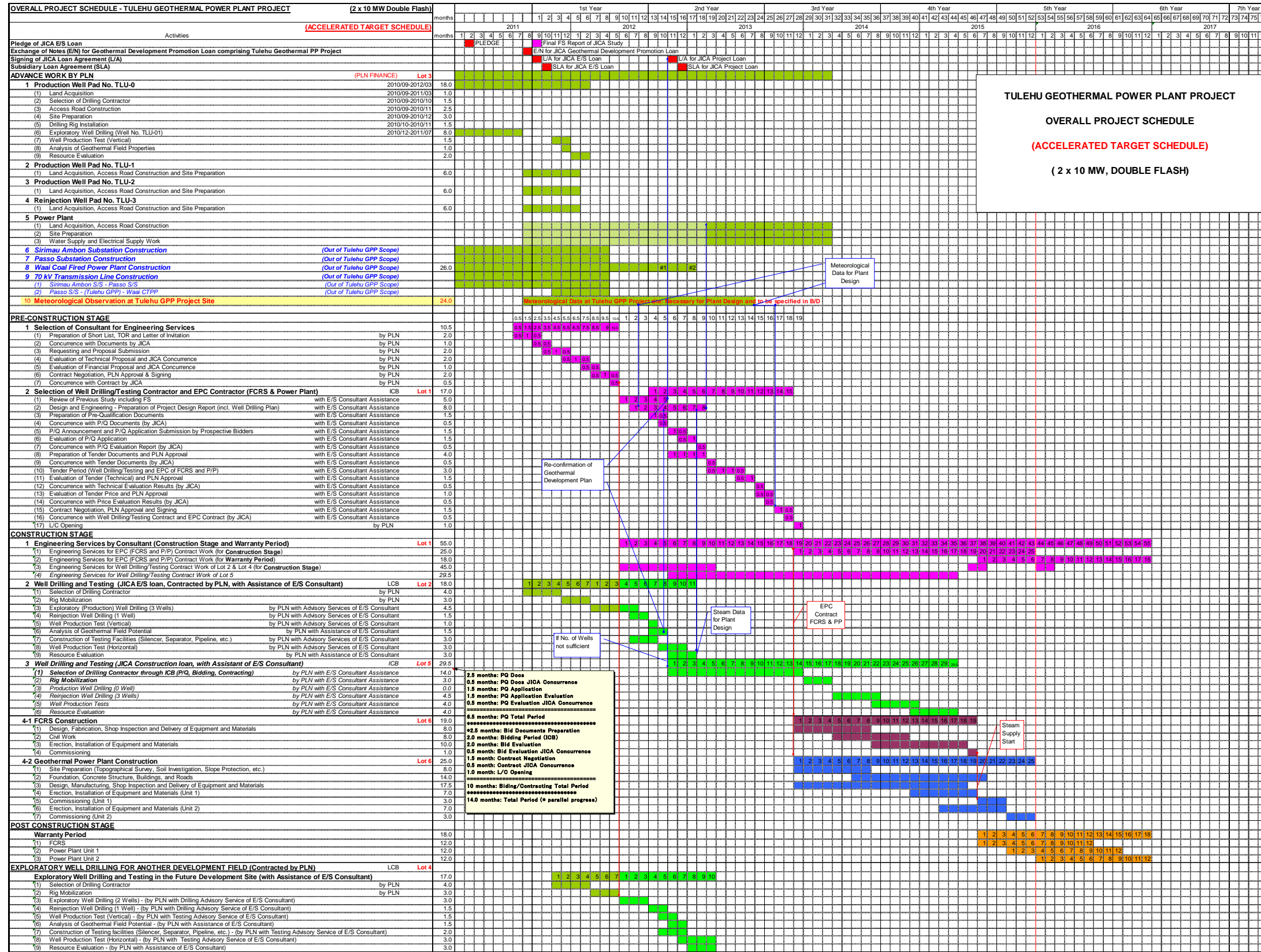


図 IV-24 プロジェクト実施スケジュール (ダブルフラッシュ 10MW×2) - 目標工程 (Accelerated Target Schedule)

IV-8 事業効果の確認

IV-8-1 経済・財務評価

10MW×2、20MW×1、シングルフラッシュタイプ、ダブルフラッシュタイプのそれぞれについてプロジェクトコストを試算した（表 IV-14）。ダブルフラッシュシステムはシングルフラッシュ比較して、プラントそのものは若干高価となるが、ダブルフラッシュは熱水を効率的に使用するため必要とされる井戸の本数が少なくなり（ダブルフラッシュ：生産井4本、還元井6本に対し、シングルフラッシュ：生産井3本、還元井4本）、結果的にプロジェクトコストとしては、ダブルフラッシュ 20MW×1 がコスト的に有利となる。

表 IV-14 プロジェクトコスト総括

Unit: Million US\$ Item	Single Flash		Double Flash	
	10 x 2	20 x 1	10 x 2	20 x 1
1 Project Up Stream Works				
1.1 Access Road/Civil Works (PLN portion)	2.53	2.53	2.53	2.53
1.2 Well drilling	46.66	46.66	33.57	33.57
Subtotal	49.19	49.19	36.10	36.10
2 Project Down Stream Works				
2.1 Power Plant	44.00	42.00	46.00	43.80
2.2 FCRS	8.38	7.94	6.62	6.62
2.3 Connecting T/L (PLN)	0.30	0.30	0.30	0.30
Subtotal	52.68	50.24	52.92	50.72
3 Total Project Cost	101.87	99.43	89.02	86.82
4 Administration Cost	4.07	3.98	3.56	3.47
5 Consulting Fee	10.51	10.51	10.51	10.51
6 Contingencies				
6.1 Price Conti. (FC:1.6%, LC:7.9%)	14.71	14.37	13.51	13.16
6.2 Physical Conti.	6.04	5.93	5.39	5.26
Subtotal	20.75	20.30	18.90	18.42
7 Grand Total	137.20	134.22	121.99	119.22
8 Implementation				
9.1 PLN Equity	25.82	25.28	22.96	22.45
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)	99.21	96.77	86.86	84.60
9.3 JICA Consultant Loan, 100%	12.17	12.17	12.17	12.17
Total	137.20	134.22	121.99	119.22
Yen equivalent (Million Yen)				
9.1 PLN Equity	2,053	2,010	1,825	1,785
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)	7,887	7,693	6,905	6,725
9.3 JICA Consultant Loan, 100%	968	968	968	968
Total	10,907	10,670	9,698	9,478
9 IDC+Commitment Charge	1.19	1.16	1.13	1.10

それぞれのケースについて経済・財務評価を行った。シングルフラッシュ 10MW×2 のケースを除いて、プロジェクトは財務的に実行可能であり、PLN アンボン支店の財務状況を大きく改善するという結果が得られた(表 IV-15 参照)。プロジェクト投資額の優位性から、経済、財務評価においても、シングルフラッシュよりダブルフラッシュの選択が経済的、財務的に有利であることが示された。

表 IV-15 プロジェクト経済、財務評価総括表 (全ケース)

Economic and Financial Evaluation Summary	Single F 10 MW x 2	Single F 20 MW x 1	Double F 10 MW x 2	Double F 20 MW x 1
Saving and Reduction Effects				
1 Annual Fuel Saving Volume	41.31 Mill/lit	41.31 Mill/lit	41.31 Mill/lit	41.31 Mill/lit
2 Annual Fuel Saving Amount	29.56 MM\$	29.56 MM\$	29.56 MM\$	29.56 MM\$
3 Subsidy Reduction	19.97 MM\$	20.34 MM\$	22.33 MM\$	22.66 MM\$
Economic Evaluation				
1 EIRR to diesel fuel oil saving	19.64% >12%	19.98% >12%	22.18% >12%	22.57% >12%
2 EIRR to subsidy reduction	13.42% >12%	13.96% >12%	17.17% >12%	17.76% >12%
3 EIRR to willingness to pay at 2500 Rp/kWh	17.47% >12%	17.78% >12%	19.61% >12%	19.97% >12%
4 EIRR to 15 MW x 2 Coal-fired	10.52% <12%	10.94% >12%	13.51% >12%	14.06% >12%
Financial Evaluation				
1 LEC at PP outlet (House service ratio at 5%)	14.89 cent/kWh	14.63 cent/kWh	13.23 cent/kWh	12.99 cent/kWh
2 LEC at Sending end (System loss at 10%)	16.55 cent/kWh	16.26 cent/kWh	14.70 cent/kWh	14.44 cent/kWh
3 WACC	2.56%	2.56%	2.56%	2.56%
4 FIRR at actual selling price at 7.93 cent/kWh	2.35% <2.56%	2.48% <2.56%	3.27% >2.56%	3.41% >2.56%
5 Project FIRR at LEC at sending end	8.90% >2.56%	8.90% >2.56%	8.85% >2.56%	8.86% >2.56%
6 Equity FIRR at LEC at sending end	30.46% >12%	30.43% >12%	29.55% >12%	29.53% >12%

ダブルフラッシュ 10 MW×2 のケースにおける発電原価計算結果を図 IV-25 に示す。このケースにおいて、送電端における発電原価は依然、PLN の平均売電単価 7.53cent/kWh を上回る 13.8cent/kWh となるが、これは、インドネシアの電力開発計画において一般的に使用されている割引率 12%を用いた場合であり、本プロジェクトは、JICA のソフトローンにて、実施されることを考慮し、本プロジェクトの機会費用約 3.0%の割引率にて発電原価を求めた場合、6.93cent/kWh となり、これは、PLN の平均売電単価を下回り、多額の補助金を投下している電力システムであることを考慮すると財務的に利なプロジェクトといえる。

ダブルフラッシュ 10MW×2 のケースにおいて、プロジェクトコストに対する FIRR の感度分析の結果を図 IV-26 に示す。この場合の FIRR は 9%となり、プロジェクトコストが 30%増大してもなお FIRR は 6%を超える結果となった。

なお、物理的、価格的予備費の合計がプロジェクトコストの約 16%をしめることから、プロジェクトがすべての予備費を使用することなく実現できた場合、ベースの 115 百万ドルにたいし、97 百万ドル、ベースの約 84%となるという結果となった(図 IV-27 参照)。

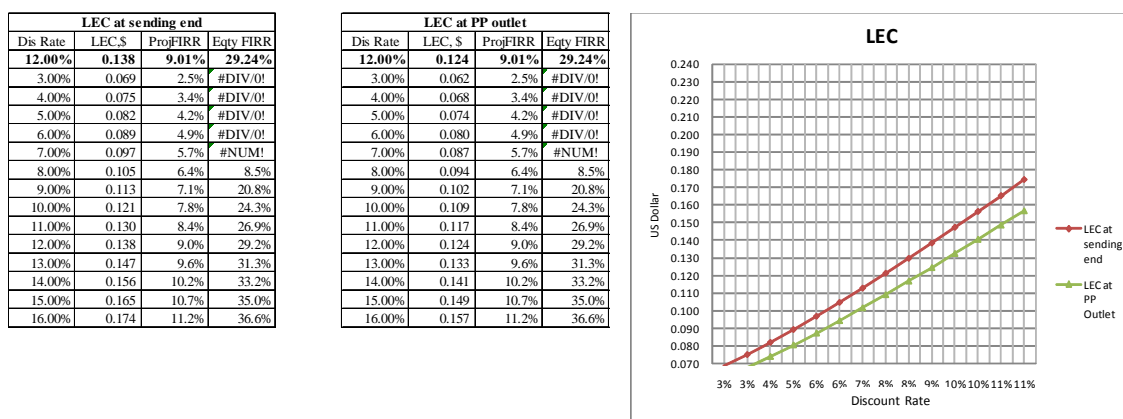


図 IV-25 ダブルフラッシュシステム 10MW×2 の発電原価計算結果

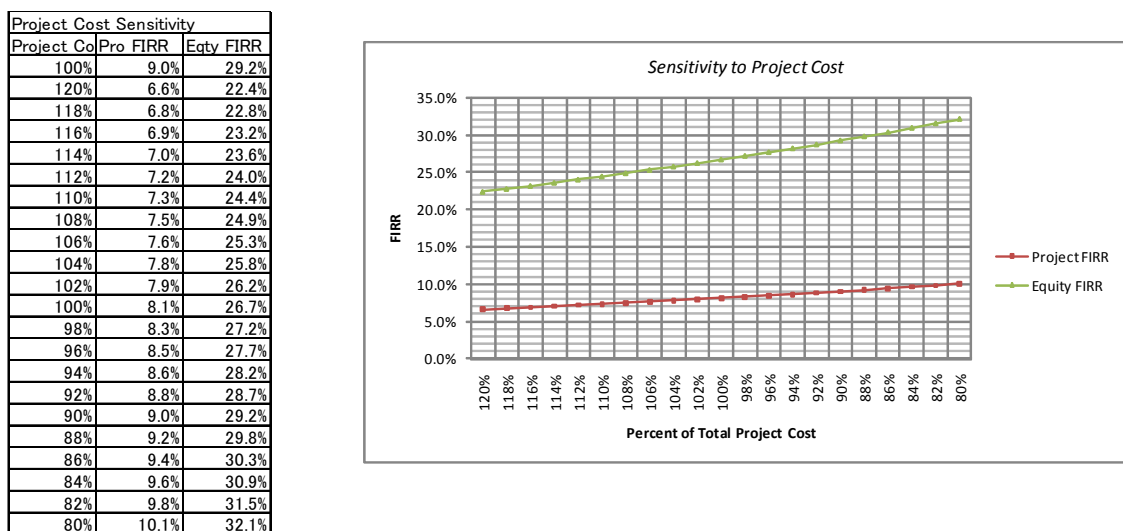


図 IV-26 プロジェクトコストに関する FIRR 感度解析結果

Financial Evaluation		With Contingencies	Without Contingencies
1 Levelized Energy Cost at PP outlet (House service ratio at 5%)		12.45 cent/kWh	10.89 cent/kWh
2 Levelized Energy Cost at Sending end (System loss at 10%)		13.84 cent/kWh	12.10 cent/kWh
3 WACC		2.98%	2.96%
4 FIRR at actual selling price at	7.53 cent/kWh	3.34% >2.98%	4.44% >2.96%
5 Project FIRR at LEC at sending end		9.01% >2.98%	9.10% >2.96%
6 Equity FIRR at LEC at sending end		29.24% >12%	29.22% >12%

図 IV-27 予備費なしの場合の経済財務評価 (ダブルフラッシュ 10MW×2 の場合)

第 V 章

V 環境社会配慮

V-1 許認可および住民説明

V-1-1 EIA および環境許認可

環境関連法規に基づき本プロジェクトの環境マネジメントプラン及びモニタリングプラン(UKL/UPL)が作成されている。本調査の実施にあたって、UKL/UPLのレビューを行ったところ、特に問題点は抽出されなかった。

作成されたUKL/UPLは、審査の結果、中央マルク州当局により承認されている(Approval letter No.660.21/PLH-III/2010, 12 March 2010)。

V-1-2 住民説明会

スリ村において村長の司会による住民説明会が2010年10月1日に開催された。本プロジェクトの主な内容及び建設時における主な環境影響について説明がなされ、住民の理解が得られるとともに協力が約束された。また、事業者は住民の意見を前向きに検討し、可能な範囲でプロジェクトに反映していくとの説明がなされた。今後トゥレフ村においても同様な説明会が実施される予定である

V-2 社会環境

V-2-1 住民の移転

プロジェクト実施予定地は未利用の耕作地であり、住民の移転の必要はない。

V-2-2 少数民族、先住民族

プロジェクト実施予定地域に少数民族や先住民族の居住は見られない。

V-2-3 代替案の検討

1. ゼロオプションと開発計画の比較

本プロジェクトはディーゼル発電所の一部の代替電源として地熱発電所を建設するものであり、プロジェクトを実施しない場合には、以下のことが予想される。

- ・ディーゼル発電所起因の諸環境問題の改善ができないため、環境汚染が進行する。
- ・電力不足のためにディーゼル発電容量の増設や石炭火力発電所の建設も考えられ、各地域の煤塵、SPM、NO_x、SO_x、温排水等の影響により住民の生活環境が悪化する。

- ・ ディーゼル発電が継続されるため、CO₂排出量が増加する。

2. 代替案

発電所計画で提案したシングルフラッシュおよびダブルフラッシュシステムの代替案を検討した結果、シングルフラッシュシステムに比べてダブルフラッシュシステムのほうが環境負荷が小さいという結果となった。

V-3 自然環境

V-3-1 保護区

プロジェクト実施予定地は、国の法律・国際条約等に定められた保護区内に位置していない。プロジェクト実施予定地の西方に位置する保護林は、プロジェクト実施予定地から2km以上離れており、プロジェクト実施による影響は想定されない。

V-3-2 生態系

プロジェクト実施予定地周辺には、希少種、固有種等の保護生物の生息・生育は確認されていない。プロジェクト実施予定地は低木・草地およびサゴヤシ林であり、人手が加わった自然性の低い環境にある。プロジェクトの実施による動植物や生態系への影響は小さいと考えられる。

V-4 汚染対策

V-4-1 H₂S

- ① 本プロジェクトは調査段階にあり、開発段階も含めて H₂S の利用可能なデータが存在しない。
- ② 一般に、地熱発電所の H₂S は冷却塔から空冷ファンにより大気に排出され、大気中で拡散希釈される。このような処理により、ほとんどの場合 H₂S の着地濃度を十分に低減することができる。しかしながら、精度の高い評価を行うには H₂S の拡散シミュレーションや風洞実験を実施して、その効果を確認する必要がある。

V-4-2 騒音

騒音レベルの予測値は、周辺の温泉施設(プラント建設予定地から約 700m)において 53dB、至近集落(計画地から約 1,300m)において 48dB であり、環境基準 55dB (Kep.48/MenLH/11/1996) を満足している。

V-4-3 水質

地熱熱水は全て還元井による地下に還元される計画であり、発電施設からの生活排水およびプラント排水は国の排水基準を満足できるように適宜処理した後に排水する計画であるため、地下水を含む周辺水域への影響は小さいものと考えられる。

V-4-4 廃棄物

廃棄物は法律に基づいて処理される計画であるため、周辺環境への影響は小さいものと考えられる。

V-5 環境チェックリスト

本プロジェクトの環境チェックリストを以下に示す。

環境チェックリスト

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
1 許 認 可 ・ 説 明	(1)EIAおよび環境許認可	(a) 環境アセスメント報告書 (EIAレポート)等は作成済みか。 (b) EIAレポート等は当該国政府により承認されているか。 (c) EIAレポート等の承認は付帯条件を伴うか。付帯条件がある場合は、その条件は満たされるか。 (d) 上記以外に、必要な場合には現地の所管官庁からの環境に関する許認可は取得済みか。	(a) Y (b) Y (c) N (d)	(a)関連法規に基づき環境マネジメントプラン及びモニタリングプラン(UKL/UPL)は作成済み。 (b)UKL/UPL は中央マルク州政府により認可済み (認可証書: No.660.21/PLH-III/2010, 12 March 2010). (c) UKL/UPLの認可には8項目の条件が付けられており、PLN Geothermalはそれらを遵守する業務がある。 (d)本プロジェクトではUKL/UPL以外の環境に関する必要な認可事項はない。
	(2)現地ステークホルダーへの説明	(a) プロジェクトの内容および影響について、情報公開を含めて現地ステークホルダーに適切な説明を行い、理解を得ているか。 (b) 住民等からのコメントを、プロジェクト内容に反映させたか。	(a) Y (b) Y	(a)2010年10月1日にスリ村において村長の司会により、スリ村に位置する坑井 (TLU-01)の掘削のための住民説明会が開催された。本プロジェクトの主な内容及び掘削時における主な環境影響について説明され、住民の理解を得られるとともに協力が約束された。 (b)PLN Geothermalは住民の意見を前向きに検討し、可能な範囲でプロジェクトに反映していく予定である。 今後、他の坑井掘削、発電所建設等のための住民説明会をトゥレフ村等周辺住民に実施する必要がある。
	(3)代替案の検討	(a) プロジェクト計画の複数の代替案は（検討の際、環境・社会に係る項目も含めて）検討されているか。	(a) N	本地域に地熱開発は可能な地熱地帯がTulehuから7km離れた場所にあるため、最初の開発検討段階から他の代替案を考慮していない。また、Tulehu地熱地帯はTulehu村及び電力需要の中心アンボン市の近くにあり、プロジェクト実施による重大な負の環境影響及び社会影響が想定されない。

環境チェックリスト（続き）

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
2 汚 染 対 策	(1)大気質	(a) 排出される硫化水素等の大気汚染物質は、当該国の基準と整合するか。硫化水素による周辺植生等への影響は生じるか。 (b) その他の施設から排出される大気汚染物質は、当該国の排出基準等と整合するか。大気質に対する対策は取られるか。	(a) Y (b)	(a)本プロジェクトは調査段階にあり、開発段階も含めて利用可能なデータが存在しない。 1) 地熱発電所のH ₂ Sは冷却塔から空冷ファンにより大気に排出され、大気中で拡散希釈される。このような処理方法は、ほとんどの場合はH ₂ Sの着地濃度を十分に低減することができる。しかしながら、H ₂ Sの影響については拡散シミュレーションや風洞実験を実施して詳細な評価を行う必要がある。 2) UKL/UPLではH ₂ Sの予測が実施されているが、諸元の設定の根拠が不明である。 3) 既存の地熱発電所ではH ₂ Sによる周辺環境への影響が顕在化した例はなく、H ₂ Sは基準を満足している。従って、本プロジェクトによるH ₂ S濃度の排出量のデータはないが、既存の地熱発電所の範囲内であれば、周辺環境に影響を及ぼすことはないと推測される。 (b)地熱発電所ではH ₂ S以外の大気汚染物質が排出されることはない。
	(2)水質	(a) 発電施設等からの排水（温排水を含む）は当該国の排出基準等と整合するか。 (b) 地熱利用に起因するヒ素、水銀等の水質汚染は生じるか。汚染が生じる場合、対策は用意されるか。 (c) 廃棄物処分場からの浸出水は当該国の排出基準、環境基準等と整合するか。浸出水により土壌・地下水、海洋等を汚染しない対策がなされるか。 (d) 坑井掘削に伴う排水による水質汚染は生じるか。汚染が生じる場合、対策は用意されるか。	(a) Y (b) N (c) N (d) N	(a)発電施設からの生活排水は浄化槽を設けて処理し、油分等を含む排水は排水槽に集め、油分を分離した後排水する計画である。これにより国の排水基準を満足できるものと考えられる。 (b) 地熱熱水は還元井による地下に還元される計画であるため、水質への汚染はない。 (c)本プロジェクトでは廃棄物処分場の設置計画はない。 (d)坑井掘削に伴う排水は浸透防止策が取られた貯留池に溜めて循環利用する計画であり、排水はほとんど発生しないと考えられる。

環境チェックリスト（続き）

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
2 汚 染 対 策	(3) 廃棄物	(a) 施設稼働に伴って発生する廃棄物は当該国の規定に従って適切に処理・処分されるか。 (b) 坑井掘削に伴う廃棄物は当該国の基準に従って適切に処理・処分されるか。	(a) Y (b) Y	(a) 冷却塔スラッジや廃油については政令で定められた危険物および有毒廃棄物の管理に関する規則（Government Regulation Number 74 Year 2001 concerning Hazardous and Toxic Material Waste Management）に基づき適切に処理する計画である。 (b) 坑井掘削による発生汚泥は、浸透防止策が取られた貯泥池に貯めて上記法律（Government Regulation Number 74 Year 2001 concerning Hazardous and Toxic Material Waste Management）に基づき適切に処理する計画である。
	(4) 騒音・振動	(a) 騒音、振動は当該国の基準等と整合するか。	(a) Y	(a) 本プロジェクトで建設される20MWと同等の規模を持つ地熱発電所のモニタリング結果によれば、周辺の集落における騒音レベルは、環境基準を満足している。また、本プロジェクトのプラント計画地周辺の温泉施設（プラント計画地から北約700m）や至近集落スウリ村（プラント計画地から南西約1300m）の騒音予測結果は53dB、48dBであり、これは環境基準の55dB（Kep. 48/MenLH/11/1996）を満足している。
	(5) 地盤沈下	(a) 蒸気の採取により地盤沈下が生じる恐れがあるか。	(a)	(a) 地盤沈下の響は不明であるが、既存の地熱発電所では地盤沈下が観測された例は報告されていない。蒸気採取による地盤沈下を生じないように地熱開発では次のように対策を行っている。1) 地熱流体の採取は生産井より地下深部から自然噴出させて採取する。2) 地盤変動の原因となる浅部地下水系に影響を及ぼさないように地下深部まで鋼管(遮水管)を挿入後、坑井壁との間をセメンティングする。3) 熱水は還元井により地下深部に還元する。
	(6) 悪臭	(a) 排出される硫化水素等の悪臭物質による周辺への影響は生じるか	(a) Y	(a) 大気質を参照のこと

環境チェックリスト

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
3 自 然 環 境	(1)保護区	(a) サイトは当該国の法律・国際条約等に定められた保護区内に立地するか。プロジェクトが保護区に影響を与えるか。	(a) N	(a)プロジェクト実施予定地は、国の法律・国際条約等に定められた保護区内に立地しない。
	(2)生態系	(a) サイトは原生林、熱帯の自然林、生態学的に重要な生息地（珊瑚礁、マングローブ湿地、干潟等）を含むか。 (b) サイトは当該国の法律・国際条約等で保護が必要とされる貴重種の生息地を含むか。 (c) 生態系への重大な影響が懸念される場合、生態系への影響を減らす対策はなされるか。	(a) N (b) N (c) N	(a)プロジェクト地域は耕地、草地、二次林及び生産林であり、原生林、熱帯の自然林、生態学的に重要な生息地（珊瑚礁、マングローブ湿地、干潟等）が存在しない。 (b)プロジェクト地域でインドネシアの法律及びIUCNのレッドリストに登録されている稀少種や絶滅危惧種等の生息、生育が観察されていない。 (c)動植物への影響を軽減するために樹木の伐採を最小限にとどめるように努める。
	(3)地形・地質	(a) プロジェクトにより計画地周辺の地形・地質構造が大規模に改変されるか。	(a)	(a)事業規模、特性によりプラント建設や坑井掘削による計画地周辺の地形・地質構造が大規模に改変されることはない。

環境チェックリスト

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
4 社 会 環 境	(1) 住民移転	(a) プロジェクトの実施に伴い非自発的住民移転は生じるか。生じる場合は、移転による影響を最小限とする努力がなされるか。 (b) 移転する住民に対し、移転前に補償・生活再建対策に関する適切な説明が行われるか。 (c) 住民移転のための調査がなされ、再取得価格による補償、移転後の生活基盤の回復を含む移転計画が立てられるか。 (d) 補償金の支払いは移転前に行われるか。 (e) 補償方針は文書で策定されているか。 (f) 移転住民のうち特に女性、子供、老人、貧困層、少数民族・先住民族等の社会的弱者に適切な配慮がなされた計画か。 (g) 移転住民について移転前の合意は得られるか。 (h) 住民移転を適切に実施するための体制は整えられるか。十分な実施能力と予算措置が講じられるか。 (i) 移転による影響のモニタリングが計画されるか。 (j) 苦情処理の仕組みが構築されているか。	(a) N (b) N (c) N (d) N (e) N (f) N (g) N (h) N (i) N (j) N	(a) プロジェクト実施予定地は未利用な耕地であり、住民の移転が想定されない。 (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i) (j)
	(2) 生活・生計	(a) プロジェクトによる住民の生活への悪影響が生じるか。必要な場合は影響を緩和する配慮が行われるか。 (b) プロジェクトによる取水（地表水、地下水）や排水の放流が、既存の水利用、水域利用に影響を及ぼすか。	(a) Y (b) Y	(a) プロジェクトの建設及び供用により地域住民の生活環境への影響が及ぼす可能性が考えられる。影響に対して、PLNは国の関連法規に基づき、対策を取る予定である。さらに、PLNの共同体発展プログラム CSR (Corporate Social Responsibility) を補償計画に利用することにより、用地取得を潤滑に進めることを検討している。 (b) プロジェクトの建設・供用段階では少量の地表水しか利用しない。また、供用段階における排水の水質は規制値を遵守するため、本プロジェクトによる地表水環境への影響が小さいと考えられる。
	(3) 文化遺産	(a) プロジェクトにより、考古学的、歴史的、文化的、宗教的に貴重な遺産、史跡等を損なう恐れはあるか。また、当該国の国内法上定められた措置が考慮されるか。	(a) N	(a) プロジェクト計画地域に考古学的、歴史的、文化的、宗教的に貴重な遺産、史跡等が存在しない。
	(4) 景 観	(a) 特に配慮すべき景観が存在する場合、それに対し悪影響を及ぼすか。影響がある場合には必要な対策は取られるか。	(a) N	(a) プロジェクト計画地域に特に配慮すべき景観が存在しない。
	(5) 少数民族、先住民族	(a) 当該国の少数民族、先住民族の文化、生活様式への影響を軽減する配慮がなされているか。 (b) 少数民族、先住民族の土地及び資源に関する諸権利は尊重されるか。	(a) N (b) N	(a) プロジェクト実施地域には、少数民族や先住民族は居住していない。 (b)

環境チェックリスト（続き）

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
4 社会 環境	(6)労働環境	(a) プロジェクトにおいて遵守すべき当該国の労働環境に関する法律が守られるか。 (b) 労働災害防止に係る安全設備の設置、有害物質の管理等、プロジェクト関係者へのハード面での安全配慮が措置されるか。 (c) 安全衛生計画の策定や作業員等に対する安全教育（交通安全や公衆衛生を含む）の実施等、プロジェクト関係者へのソフト面での対応が計画・実施されるか。 (d) プロジェクトに関係する警備要員が、プロジェクト関係者・地域住民の安全を侵害することのないよう、適切な措置が講じられるか。	(a) Y (b) Y (c) Y (d) Y	(a) PLN Geothermalはビッドドキュメントの中で、応札する企業に対して、労働条件に関する全ての法令の遵守を求める文言を盛り込む予定にしており、労働関連法令順守のための計画書の作成と提示も求めることにしている。 (b) プロジェクトの最終プランが確定した後に、保安用機器の設置を設計に追加する予定である。 (c) ビッドドキュメントには、安全衛生計画の策定と、従事者の安全教育が必要条件として盛り込まれる予定である。 (d) ビッドドキュメントに、公衆道徳の遵守と現地社会との良好な関係の維持が盛り込まれる予定である。さらに、PLN Geothermalは契約企業に対し、この目的を達成するために適切な手段を講じるよう求めることにしている。

環境チェックリスト（続き）

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
5 そ の 他	(1) 工事中の影響	(a) 工事中の汚染（騒音、振動、濁水、粉じん、排ガス、廃棄物等）に対して緩和策が用意されるか。 (b) 工事により自然環境（生態系）に悪影響を及ぼすか。また、影響に対する緩和策が用意されるか。 (c) 工事により社会環境に悪影響を及ぼすか。また、影響に対する緩和策が用意されるか。	(a) Y (b) Y (c) Y	(a)建設段階での主な環境影響は、粉じんや重機輸送による道路の損傷であり、その他は土壌浸食による河川水の濁りがある。これらの影響は、UKL/UPLに記載されている複数の緩和策により低減が可能である。 (b)プロジェクト地域は耕地であり、希少種や絶滅危惧種の生息がなく、生態系への大きな影響を及ぼすことが考えられない。 (c)建設段階での主な社会環境への影響は、雇用の発生、ビジネス機会の発生、静穏な環境の喪失である。いずれの影響もUKL/UPLに記載されている緩和策により低減可能である。
	(2) 事故防止	(a) 有害物・危険物の貯蔵、排出、輸送等に十分な事故対策（防止設備の設置、防止管理体制の整備）が取られているか。また、設備のトラブル等により緊急的に河川に排出される場合に備え、飲料水汚染防止等の対策が講じられているか。	(a) Y	(a)ビッドドキュメントの中で、事故防止策を策定することが明文化される。地熱発電所では、灯油（非常用電源の燃料）、NaOHやH2SO4等の薬品を予め定められた場所に保管することが一般的である。灯油や薬品の運搬には、法令により、適切な運搬路を通ることや運搬用道路の整備などが求められている。
	(3) モニタリング	(a) 上記の環境項目のうち、影響が考えられる項目に対して、事業者のモニタリングが計画・実施されるか。 (b) 当該計画の項目、方法、頻度等はどのように定められているか。 (c) 事業者のモニタリング体制（組織、人員、機材、予算等とそれらの継続性）は確立されるか。 (d) 事業者から所管官庁等への報告の方法、頻度等は規定されているか。	(a) Y (b) Y (c) Y (d) Y	(a)PLN Geothermalはモニタリングプログラム(UPL)を作成済みである。作成済みのモニタリングプログラムに、温泉と水井戸のモニタリングを追加する必要がある。 (b)作成済みのモニタリングプログラムでは、項目ごとに定期的な観測を行うよう記載されており、地下水は四半期に1回、大気質モニタリングは2か月に1回と定めている。 (c)本プロジェクトサイトに十分な予算と人員を持つプロジェクトマネージャの指揮下に環境部門を置き、本社のHSE管理者が配置されている。HSEチームが安全管理と、モニタリングにおける異常値検出時の緩和策実行の任務を負っている。 (d)UKL-UPLの認可証書によれば、PLN Geothermalはモニタリングを継続し、6か月ごとに中央マルク州政府環境保護局に報告する義務がある。

第 VI 章

VI 結論と提言

VI-1 調査結果のまとめ

本調査では、トゥレフ地域において出力 20MW の地熱発電所建設のために必要となるフイージビリティスタディを実施して来た。

本調査によって明らかにされた事項は以下の通りである。

- ・ トゥレフ地域は、20MW の地熱発電が可能なポテンシャルを有する
- ・ 開発ターゲットとしては、バンダハトゥアサ断層、バンダ断層、R2 断層が有望であると判断された。
- ・ TLU-01 の掘削により、比較的透水性の良い (5~10 darcy-m) の貯留層の存在が確認された。また、浅部から地下温度が 200℃を越えていることを示すデータが得られた。
- ・ TLU-01 の掘削地点周辺では、標高-300m 付近が帽岩の底面であることが確認された。
- ・ 20MW の発電に必要な坑井の数を見積もったところ、以下の表に示す結果となった。

発電方式	初期生産井	初期還元井	補充生産井	補充還元井
シングルフラッシュ	4 (+ 1backup)	6	3	4
ダブルフラッシュ	3 (+ 1backup)	4	3	3

- ・ 今回の調査で入手可能なデータ、情報をもとに実施された地熱資源の評価と資源開発計画の検討をベースに、発電プラント方式は4つのケース（ケース1：シングルフラッシュ 10MW×2、ケース2：シングルフラッシュ 20MW×1、ケース3：ダブルフラッシュ 10MW×2、およびケース4：ダブルフラッシュ 20MW×1）を主体に検討した。
- ・ バイナリー地熱発電システムについては、詳細検討のための要素・条件が今回の調査ではまだ確認できていないので、概要についての検討にとどめた。今後の E/S 段階で詳細検討すべきである。
- ・ トゥレフの地熱資源は熱水量がかなり多い（気水比約 1 : 4.5）と推定されるので、発電プラント方式は、ダブルフラッシュまたはバイナリー方式がシングルフラッシュに比べてエネルギーの有効利用の点で優れていると考えられる。
- ・ 発電プラントの単機容量 10MW~20MW はアンボンの電力システムに対して可能と考えられる。
- ・ ただし、現在まで入手されたデータ・情報が限定されており、それらによる今回の地熱資源の評価と開発計画の検討には、その過程で、経験知識に基づく想定を用いて今回のアウトプットを得ている。したがって、今後、追加調査井の掘削、試験、プロジ

ェクトサイトの気象観測等によって得られる十分なデータ・情報を加味して、地熱資源の再評価、地熱資源開発計画の再検討、発電プラントの建設計画の再検討を実施した後に、プロジェクトを実施すべきである。

- ・ プロジェクトコストの見積とプロジェクト効果の確認を行ったところ、トゥレフ地域で 20MW の発電所を建設するには、ダブルフラッシュシステムが有利であると判断された。また、単機容量は経済・財務的に総合的に判断して 20MW×1 機の構成が有利という結果となった。

VI-2 今後の調査に関する提言

地熱発電所建設にあたって重要な情報であるが、本調査では明らかにできなかった事項は以下の通りである。

- ・ TLU-01 は掘削泥水による冷却効果が著しいため、本来の地下温度は確認できていない。
- ・ TLU-01 は、当初の掘削予定深度 1,500m に対し、深度 703m 付近と 900m 付近で大きな逸水層に遭遇した。これらはバンダ断層沿いの地熱貯留層と考えられるが、浅部で遭遇しているため、バンダ断層の深部における性状（温度・透水性）が確認されていない。
- ・ 噴気試験が実施されていないため、バンダ断層沿いの蒸気・熱水性状（化学組成・NCG 濃度）や坑井特性に関するデータが得られていない。
- ・ TLU-01 の自然水位は、坑口から 70m 程度にあった。もし還元井掘削予定地点付近においても同様の地下水位レベルであるならば、還元方法に工夫が必要となる可能性がある。

これらの課題を解決するために、今後は以下の調査を行うことを提言する。

- ・ 1,500m 級の調査井を掘削し（できれば TLU-01 とは別の掘削基地から）、TLU-01 と新規掘削坑井を用いた噴出試験を実施する。
- ・ 地熱流体の化学組成、NCG ガス濃度を明らかにする。
- ・ TLU-01 において 1 回／月程度の頻度で静的な坑内温度検層を実施し、自噴するかどうかの判断材料とする。
- ・ 上記の通り、追加調査井の掘削、噴出試験により、プラント計画・設計のための蒸気条件（圧力、温度、非凝縮性ガスの量・組成）、熱水量、スケール付着に関する地熱流体特性を明確にする。
- ・ プロジェクトサイトの気象データを観測（2年間）に早急に着手し、プロジェクトの設計条件（気温、気圧、湿球温度、風向、風速、降雨量等）を確定する。
- ・ 上記により明確になった蒸気条件、地熱流体特性、気象条件を用いて、発電プラント方式（ダブルフラッシュ、シングルフラッシュ、バイナリー等）、単機容

量等について再度検討し、最適な発電プラントの基本計画・設計をする。

- ・ 地熱流体に含まれる H_2S ガスの濃度および発電所の諸元に基づき、拡散シミュレーションまたは風洞実験を行って H_2S ガスの周辺環境への影響を評価する。