

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

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)
11-040

目 次

I 緒 言.....	I-1
I.1 調査対象地域.....	I-1
I.2 背景.....	I-1
I.3 調査の実施方針.....	I-2
I.4 円借款事業の範囲.....	I-2
I.5 事業実施機関.....	I-3
I.6 本準備調査の調査項目.....	I-3
I.7 調査担当者.....	I-7
II 調査対象地域の電力セクターの現状.....	II-1
II.1 インドネシア電力セクターの概要.....	II-1
II.2 インドネシアの電力需要と供給の現状.....	II-2
II.3 インドネシアにおける地熱開発の現状.....	II-2
II.4 調査対象地域の電力需要と供給.....	II-4
II.4.1 マルク州の電力セクターの現状.....	II-4
II.4.2 アンボン営業所の電力需給.....	II-7
II.4.3 アンボン島の電力需給.....	II-8
II.4.4 電力需給予測.....	II-12
III トゥレフ地域の地熱資源.....	III-1
III.1 マルク州の地熱資源.....	III-1
III.2 地熱資源に関する既存データのレビュー.....	III-3
III.2.1 トゥレフ地域の坑井掘削の現状.....	III-3
III.2.2 探査データおよび地熱資源に関する情報のレビュー.....	III-4
III.2.3 MT 探査.....	III-34
III.3 地熱資源の概念モデル.....	III-59
III.3.1 有望範囲.....	III-59
III.3.2 地熱活動を規制している透水性に関連した構造.....	III-61
III.3.3 地熱概念モデル.....	III-66
III.4 トゥレフ地域の地熱資源量評価.....	III-69
III.4.1 資源量評価の方法.....	III-69
III.4.2 容積法による地熱資源量評価結果.....	III-70
III.4.3 モンテカルロ解析.....	III-71
IV 地熱資源開発計画.....	IV-1
IV.1 坑井の生産能力および還元能力.....	IV-1
IV.2 必要となる坑井の数.....	IV-4

IV.3	坑井掘削計画.....	IV-11
IV.3.1	掘削ターゲットおよび掘削基地.....	IV-11
IV.3.2	坑井掘削仕様.....	IV-15
IV.4	発電所建設計画.....	IV-22
IV.4.1	掘削基地および発電所の位置.....	IV-22
IV.4.2	配管建設計画.....	IV-24
IV.4.3	発電プラント建設計画.....	IV-30
IV.4.4	資機材輸送計画.....	IV-61
IV.5	送電計画.....	IV-63
IV.6	プロジェクトコスト積算.....	IV-65
IV.6.1	地熱資源開発.....	IV-65
IV.6.2	発電設備および送電線建設コスト.....	IV-69
IV.7	事業実施計画.....	IV-71
IV.7.1	プロジェクトの意義.....	IV-71
IV.7.2	プロジェクトの実施機関.....	IV-72
IV.7.3	プロジェクト実施計画.....	IV-72
IV.7.4	プロジェクト実施スケジュール.....	IV-75
IV.8	事業効果の確認.....	IV-83
IV.8.1	資金調達計画.....	IV-83
IV.8.2	プロジェクトの操業条件.....	IV-84
IV.8.3	経済・財務評価.....	IV-86
V	環境・社会配慮.....	V-1
V.1	環境影響評価およびプロジェクトの環境カテゴリ分類.....	V-1
V.1.1	環境影響評価.....	V-1
V.1.2	プロジェクトの環境カテゴリ.....	V-1
V.2	調査地の環境ベースライン.....	V-1
V.2.1	自然環境.....	V-1
V.2.2	社会環境.....	V-14
V.3	環境影響評価と緩和策.....	V-24
V.3.1	環境影響評価項目の選定.....	V-24
V.3.2	緩和策の検討.....	V-26
V.4	代替案の検討.....	33
V.4.1	代替案.....	33
V.4.2	ゼロオプションと開発計画の比較.....	34
V.5	送電線.....	34
V.5.1	環境影響項目.....	34

V.5.2 環境の現況	35
V.5.3 環境影響の予測評価	35
V.6 事業内容説明会	36
V.7 環境管理計画	37
V.8 環境モニタリング計画	39
V.9 環境チェックリスト作成	40
VI 結論と提言	VI-1
VI.1 調査結果のまとめ	VI-1
VI.2 今後の調査に関する提言	VI-2

目 次

図 I-1-1	調査対象地域	I-1
図 I-6-1	調査の流れ	I-5
図 II-4-1	マルクおよび北マルク支店	II-6
図 II-4-2	アンボン島系統図	II-8
図 II-4-3	アンボン系統日負荷曲線 (2010年7月14日)	II-9
図 II-4-4	Poka 発電所における 2010 年の発電電力量 (PLN および購入分)	II-11
図 II-4-5	アンボン島の需要と供給 (2011年 - 2016年, 標準工程)	II-13
図 III-1-1	インドネシアにおける第四紀火山分布	III-1
図 III-1-2	MEMR(2007)によって選定された有望地熱地帯	III-2
図 III-2-1	既存坑および調査井掘削サイト位置図	III-4
図 III-2-2	トゥレフ地域地質図	III-8
図 III-2-3	トゥレフ地域重力異常図	III-9
図 III-2-4	トゥレフ地域全磁力 IGRF 残差図	III-10
図 III-2-5	CSAMT 法探査 測点配置	III-12
図 III-2-6	CSAMT 法 2次元解析結果断面の例	III-12
図 III-2-7	温泉水の主要陰イオン三成分図	III-15
図 III-2-8	温泉水の酸素・水素同位体比	III-16
図 III-2-9	シラ温泉水等の酸素・水素同位体比	III-17
図 III-2-10	TG-1 坑井柱状図	III-20
図 III-2-11	TG-2 坑井柱状図	III-21
図 III-2-12	TG-3 坑井柱状図	III-22
図 III-2-13	W2.1 坑井柱状図	III-23
図 III-2-14	W2.2 坑井柱状図	III-24
図 III-2-15	W2.3 坑井柱状図	III-25
図 III-2-16	TLU-01 坑井柱状図	III-29
図 III-2-17	TLU-01 注水中の坑内流速と逸水割合	III-30
図 III-2-18	TLU-01 還元指数解析結果	III-30
図 III-2-19	TLU-01 浸透率一層厚積の解析結果	III-31
図 III-2-20	TLU-01 の深度 900m における平衡温度計算結果	III-31
図 III-2-21	TLU-01 周辺坑井温度プロファイル	III-32
図 III-2-22	MT 法探査測点配置図	III-35
図 III-2-23	MT 探査測定装置配置状況図	III-37

図 III-2-24	3次元比抵抗構造モデル概念図.....	III-41
図 III-2-25	スタガードグリッド概念図.....	III-43
図 III-2-26	地熱貯留層周辺における比抵抗構造概念図.....	III-46
図 III-2-27	見掛比抵抗分布平面図（周波数 100 Hz）.....	III-48
図 III-2-28	見掛比抵抗分布平面図（周波数 1 Hz）.....	III-48
図 III-2-29	見掛比抵抗分布平面図（周波数 0.1 Hz）.....	III-49
図 III-2-30	解析比抵抗分布平面図（深度 100m）.....	III-52
図 III-2-31	解析比抵抗分布平面図（深度 150m）.....	III-52
図 III-2-32	解析比抵抗分布平面図（深度 250m）.....	III-53
図 III-2-33	解析比抵抗分布平面図（深度 350m）.....	III-53
図 III-2-34	解析比抵抗分布平面図（深度 500m）.....	III-54
図 III-2-35	解析比抵抗分布平面図（深度 750m）.....	III-54
図 III-2-36	解析比抵抗分布平面図（深度 1,000m）.....	III-55
図 III-2-37	解析比抵抗分布平面図（深度 1,500m）.....	III-55
図 III-2-38	解析比抵抗分布平面図（深度 2,000m）.....	III-56
図 III-2-39	解析比抵抗分布平面図（深度 2,500m）.....	III-56
図 III-2-40	比抵抗断面位置図.....	III-57
図 III-2-41	解析比抵抗分布断面図.....	III-57
図 III-3-1	地熱有望範囲推定図.....	III-60
図 III-3-2	各種調査から推定される断層分布.....	III-62
図 III-3-3	推定主要透水構造分布.....	III-64
図 III-3-4	TLU-01 周辺の推定難透水ゾーン分布.....	III-65
図 III-3-5	トゥレフ地域の地熱概念モデル.....	III-68
図 III-4-1	モンテカルロ解析を組み合わせた容積法による地熱資源量評価.....	III-70
図 III-4-2	モンテカルロ解析によって得られた頻度分布.....	III-72
図 III-4-3	モンテカルロ解析によって得られた残差累積頻度分布.....	III-72
図 IV-1-1	坑井シミュレータ WELFLOW で用いられる貯留層モデル.....	IV-2
図 IV-1-2	想定した生産井のケーシングプログラム.....	IV-3
図 IV-1-3	WELFLOW によって求めた坑井特性曲線.....	IV-4
図 IV-2-1	補充井に関する検討結果（シングルフラッシュシステム）.....	IV-7
図 IV-2-2	補充井に関する検討結果（ダブルフラッシュシステム）.....	IV-9
図 IV-3-1	想定掘削基地、発電所敷地およびターゲット位置.....	IV-13
図 IV-3-2	代表的掘削機器配置.....	IV-14
図 IV-3-3	生産井掘削方向断面図.....	IV-16
図 IV-3-4	還元井掘削方向断面図.....	IV-17
図 IV-3-5	生産井ケーシングプログラム暫定案（大口径坑）.....	IV-18

図 IV-3-6	生産井ケーシングプログラム暫定案（標準坑）	IV-19
図 IV-3-7	還元井ケーシングプログラム暫定案	IV-20
図 IV-4-1	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-23
図 IV-4-2	シングルフラッシュ 10MW×2 ケース - トウレフ地熱発電プロジェクト FCRS 概念フロー図	IV-26
図 IV-4-3	シングルフラッシュ 20MW×1 ケース - トウレフ地熱発電プロジェクト FCRS 概念フロー図	IV-27
図 IV-4-4	ダブルフラッシュ 10MW×2 ケース - トウレフ地熱発電プロジェクト FCRS 概念フロー図	IV-28
図 IV-4-5	ダブルフラッシュ 20MW×1 ケース - トウレフ地熱発電プロジェクト FCRS 概念フロー図	IV-29
図 IV-4-6	地熱発電所の配置計画（シングルフラッシュ方式 10MW×2）	IV-46
図 IV-4-7	地熱発電所の配置計画（シングルフラッシュ方式 20MW×1）	IV-47
図 IV-4-8	地熱発電所の配置計画（ダブルフラッシュ方式 10MW×2）	IV-48
図 IV-4-9	地熱発電所の配置計画（ダブルフラッシュ方式 20MW×1）	IV-49
図 IV-4-10	地熱発電プラントの主要系統図（シングルフラッシュ方式 10MW×2）	IV-50
図 IV-4-11	地熱発電プラントの主要系統図（シングルフラッシュ方式 20MW×1）	IV-51
図 IV-4-12	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）	IV-52
図 IV-4-13	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）	IV-53
図 IV-4-14	単線結線図（10MW×2）	IV-55
図 IV-4-15	単線結線図（20MW×1）	IV-56
図 IV-4-16	70kV 開閉所平面図（10MW×2）	IV-60
図 IV-4-17	70kV 開閉所平面図（20MW×1）	IV-60
図 IV-4-18	70kV 開閉所側面図	IV-61
図 IV-5-1	アンボン島-セラム島系統図	IV-63
図 IV-5-2	π 接続用鉄塔設計例	IV-64
図 IV-7-1	プロジェクト実施スケジュール（シングルフラッシュ 10MW×2） - 標準 工程	IV-77
図 IV-7-2	プロジェクト実施スケジュール（シングルフラッシュ 20MW×1） - 標準 工程	IV-78
図 IV-7-3	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	IV-79

図 IV-7-4	プロジェクト実施スケジュール (ダブルフラッシュ 20MW×1) - 標準工程.....	IV-80
図 IV-7-5	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-81
図 IV-7-6	プロジェクト実施スケジュール (ダブルフラッシュ 20MW×1) - 目標工程 (Accelerated Target Schedule)	IV-82
図 IV-8-1	Willingness-to-pay 価格感度分析(ダブルフラッシュ 10MW×2).....	IV-94
図 IV-8-2	30年現在価値による発電原価(LEC) (ダブルフラッシュ 10MW×2)....	IV-98
図 IV-8-3	売電単価感度表 (ダブルフラッシュ 10MW×2).....	IV-98
図 IV-8-4	プロジェクトコスト感度 (ダブルフラッシュ 10MW×2)	IV-99
図 IV-8-5	日経・JBIC 排出量取引参考気配.....	IV-100
図 V-2-1	プロジェクトの位置および調査地点(JICA Team).....	V-2
図 V-2-2	2005-2009 における調査地域の月平均、月最大、最小気温の変化.....	V-3
図 V-2-3	2005-2009 における調査地域の月平均日降水量の年変化	V-4
図 V-2-4	2005-2009 における調査地域の月平気湿度の年変化.....	V-4
図 V-2-5	風配図 (2005 - 2009)	V-5
図 V-2-6	風配図 (2010.7.7 - 2010.7.13)	V-7
図 V-2-7	風配図 (2010.7.7 - 2010.7.13)	V-7
図 V-2-9	用地取得実施体制	V-18
図 V-2-10	本プロジェクトにおける土地取得の予定スケジュール	V-19
図 V-2-11	社会経済調査地域	V-21

表 目 次

表 I-6-1	調査の全体工程.....	I-6
表 I-7-1	業務の担当者一覧表	I-7
表 II-3-1	インドネシア国内における地熱発電所一覧	II-3
表 II-4-1	アンボン市の面積と人口 (2008 年)	II-4
表 II-4-2	マルク州の州内総生産額 (2008 年)	II-4
表 II-4-3	マルク州の州内総生産額の構成比 (2004 年)	II-5
表 II-4-4	電力需給状況 (2009 年)	II-6
表 II-4-5	販売電力量 (2009 年)	II-6
表 II-4-6	配電損失 (2009 年)	II-7
表 II-4-7	アンボン営業所電力需給実績.....	II-7
表 II-4-8	アンボン営業所販売電力量	II-8
表 II-4-9	2010 年 7 月 14 日における最小供給と最大供給.....	II-9
表 II-4-10	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)	II-10
表 II-4-11	Poka 発電所 2010 年データ (1 月～7 月)	II-11
表 II-4-12	アンボン島電力需給予測 (2011 年 - 2020 年)	II-12
表 II-4-13	アンボン島電力需給予測 (2011 年- 2020 年) (修正、標準工程)	II-13
表 III-2-1	温泉・噴気ガス組成.....	III-13
表 III-2-2	温泉水の化学組成	III-16
表 III-2-3	各温泉水の化学組成から得られる地化学温度	III-18
表 III-2-4	TLU-01 温度・圧力検層結果.....	III-33
表 III-2-5	MT 法探査測点座標一覧表	III-36
表 III-2-6	スタティックシフト補正係数一覧表.....	III-41
表 III-4-1	モンテカルロ解析に用いたパラメータ設定.....	III-71
表 III-4-2	トゥレフ地域の地熱資源量評価結果.....	III-73
表 IV-1-1	設定した貯留層パラメータ	IV-2
表 IV-2-1	坑口圧力を 0.2 (MPaG) とするときの坑井の生産能力・還元能力	IV-5
表 IV-2-2	必要となる初期坑井の数	IV-5
表 IV-2-3	補充井に関する検討結果 (シングルフラッシュシステム)	IV-8
表 IV-2-4	補充井に関する検討結果 (ダブルフラッシュシステム)	IV-10
表 IV-3-1	掘削基地および搬入路の必要規模.....	IV-14
表 IV-3-2	坑井掘削仕様案	IV-21
表 IV-4-1	地熱発電の方式	IV-32

表 IV-4-2	シングルフラッシュ方式とダブルフラッシュ方式の比較検討	IV-33
表 IV-4-3	トゥレフ地熱発電所の単機出力の比較検討	IV-35
表 IV-6-1	地熱資源開発コスト	IV-65
表 IV-6-2	掘削コスト積算結果	IV-66
表 IV-6-3	補充井追加時期とコスト	IV-67
表 IV-6-3	補充井追加時期とコスト (続き)	IV-68
表 IV-6-4	PLN による土木工事および土地収用コスト	IV-69
表 IV-6-5	発電所建設コスト	IV-70
表 IV-7-1	主要工程と期間	IV-76
表 IV-8-1	融資条件	IV-83
表 IV-8-2	管理費科目	IV-84
表 IV-8-3	プロジェクトおよび代替案の操業状況	IV-85
表 IV-8-3	プロジェクトおよび代替案の操業状況 (続き)	IV-86
表 IV-8-4	プロジェクトコスト (シングルフラッシュ 10MW×2)	IV-87
表 IV-8-5	プロジェクトコスト (シングルフラッシュ 20MW×1)	IV-88
表 IV-8-6	プロジェクトコスト (ダブルフラッシュ 10MW×2)	IV-89
表 IV-8-7	プロジェクトコスト (ダブルフラッシュ 20MW×1)	IV-90
表 IV-8-8	補助金削減額 (ダブルフラッシュ 10MW×2)	IV-91
表 IV-8-9	燃料節約、補助金減額 EIRR	IV-95
表 IV-8-10	対石炭火力 EIRR	IV-95
表 IV-8-11	Willingness-To-Pay EIRR	IV-96
表 IV-8-12	返済計画書 (ダブルフラッシュ 10MW×2)	IV-101
表 IV-8-13	FIRR 計算書 (ダブルフラッシュ 10MW×2)	IV-102
表 IV-8-14	キャッシュフロー (ダブルフラッシュ 10MW×2)	IV-102
表 V-2-1	日最大風速における風向の出現回数および頻度 (2005 – 2009)	V-5
	(Source: BMKG)	V-5
表 V-2-2	日最大風速における風向の出現回数および出現率 (2010.7.7 – 2010.7.13)	V-6
表 V-2-3	調査地域の河川および湖沼	V-8
表 V-2-4	H ₂ S の測定結果	V-9
表 V-2-5	騒音の測定結果	V-9
表 V-2-7	地下水の水質分析結果	V-12
表 V-2-8	調査地域の人口	V-15
表 V-2-9	教育施設	V-15
表 V-2-10	保健医療従事者	V-16
表 V-2-11	調査地域の住民にみられる疾病のランク	V-16

表 V-2-12	主な分野における 15 才以上の人口の就業状況	V-17
表 V-2-13	調査地域の宗教施設.....	V-17
表 V-3-1	想定される環境影響項目の評定および影響の分析	V-24
表 V-3-2	日本における地熱発電所から排出される H ₂ S 濃度の風洞実験結果	V-29
表 V-3-3	インドネシアにおける H ₂ S の基準	V-29
表 V-3-4	予測地点および条件等 (JICA 調査チーム).....	V-30
表 V-4-1	複数案の検討結果 (JICA 調査チーム)	33
表 V-4-2	ゼロオプションと実施案の比較.....	34
表 V-5-1	環境影響予測評価	35
表 V-8-1	モニタリング項目および計画	39

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

調查結果概要

調査結果概要

I 調査地

本調査の調査対象地域は、マルク州アンボン島トゥレフ地域である（図1）。

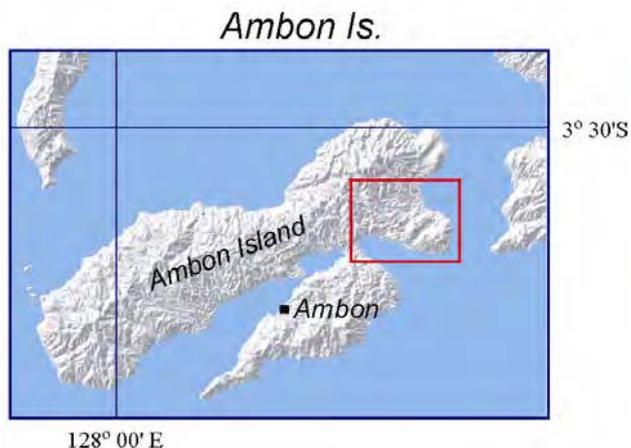


図1 調査対象地域

II 事業の必要性と電力需給状況の確認

- ・ アンボン系統では発電可能容量は設備容量の半分の 25 MW 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。
- ・ 2015 年には電力供給が不足することが予測され、早急な電源開発が必要である（図2）
- ・ 本系統の需要は順調に伸びる見込みであり、トレフ地熱発電所は、10～20 MW の単機容量でも系統的に十分に運用可能である。

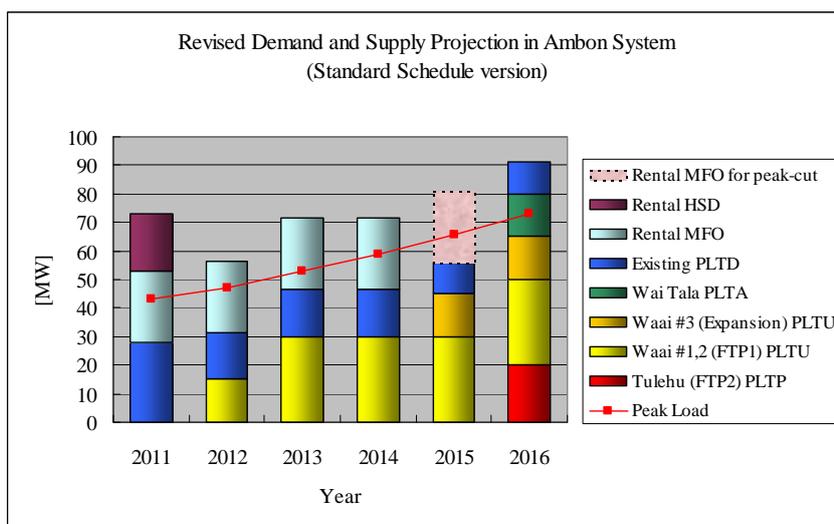


図2 電力需給予測結果

III 地熱貯留層の詳細調査

(1) 地質

- ・ トゥレフ地域の地表に露出している地質は、新第三紀の火山岩類が主体であり、エリワカン山周辺には第四紀の石灰岩が分布している（図3）
- ・ 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。（図3）
- ・ トゥレフ地域の地熱徴候は、バンダーハトゥアサ断層、バンダ断層、トゥレフ断層、ワイヤリ断層およびフベ断層沿いに分布しており、地表近くの地熱活動はこれらの断層に関連している可能性が高い。



図3 トゥレフ地域 地質図

(2) 物理探査

- ・ 既存物理探査データ（重力探査、磁気探査および CSAMT 探査）のレビューを行い、重力リアメントを推定した。
- ・ MT 法探査により、トゥレフ地域の地熱貯留層の広がり把握した。（図 4）

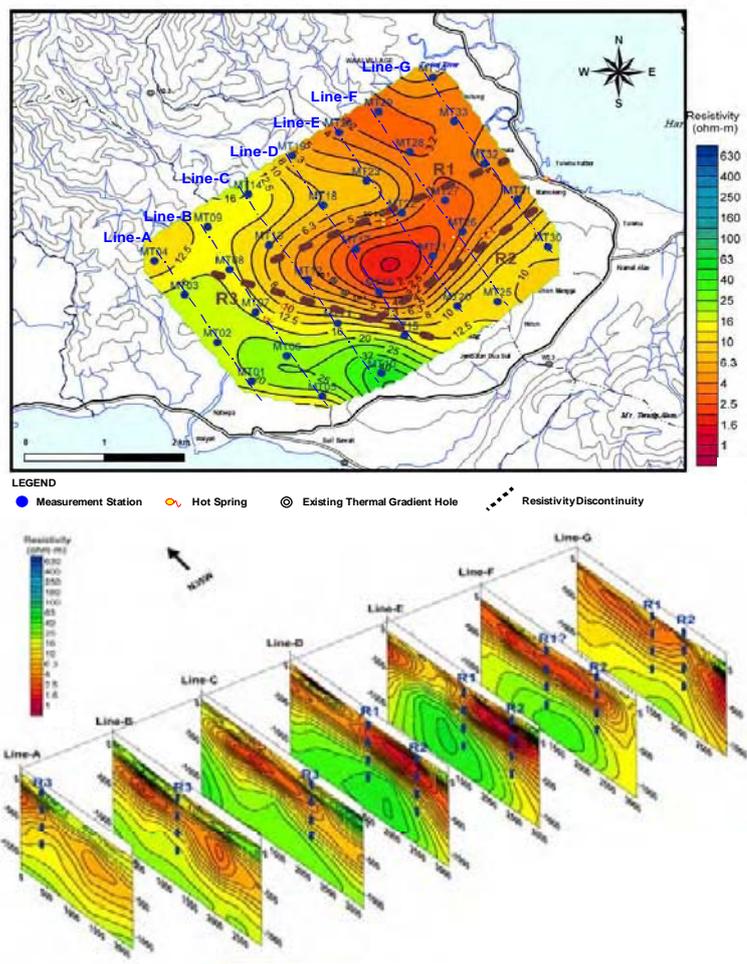


図 4 MT 法探査 解析比抵抗分布図

(3) 地化学

- ・ 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

- ・ 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。
- ・ 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。酸素シフトが認められる温泉水では C1/B 比が 130 程度を示し、岩石

との相互作用が進んでいることを示している。

- ・ 本地域には海水及び地下水を起原水とする地熱資源が賦存していると判断される。
- ・ 正確な温度は把握できないが、Na-K-Ca 温度計は Sila で 200°Cを示していることから、本地域の貯留層温度は 200°C以上と推定される。

(4) 坑井データ

- ・ 既存の坑井データのうち、地熱兆候が認められるのは W2.1 のみであった。
- ・ W2.1 の近傍に PLN Geothermal によって調査井 TLU-01 が深度 932m まで掘削された。
- ・ TLU-01 の坑井試験が実施されたが、透水性に関する試験のデータは良好であったが、温度回復試験中に加圧・解放が繰り返されたため、通常の解析は適用できなかった。
- ・ TLU-01 の透水性は、5 ~ 10 darcy-m と良好な結果であった。
- ・ 加圧・解放による影響は受けているものの、坑底での平衡温度は 228°C と求められた。

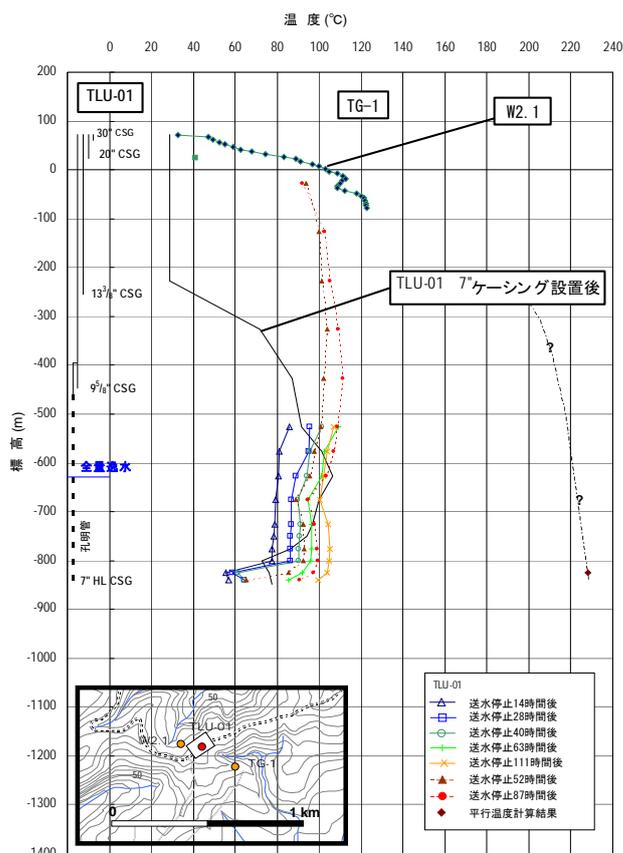


図5 TLU-01 データ集約図

(5) 地熱系概念モデル

- ・ 各種調査結果を集約して、有望範囲と透水構造モデルを作成した。(図6)
- ・ TLU-01 の掘削結果を加味して、地熱系概念モデルを作成した。(図7)

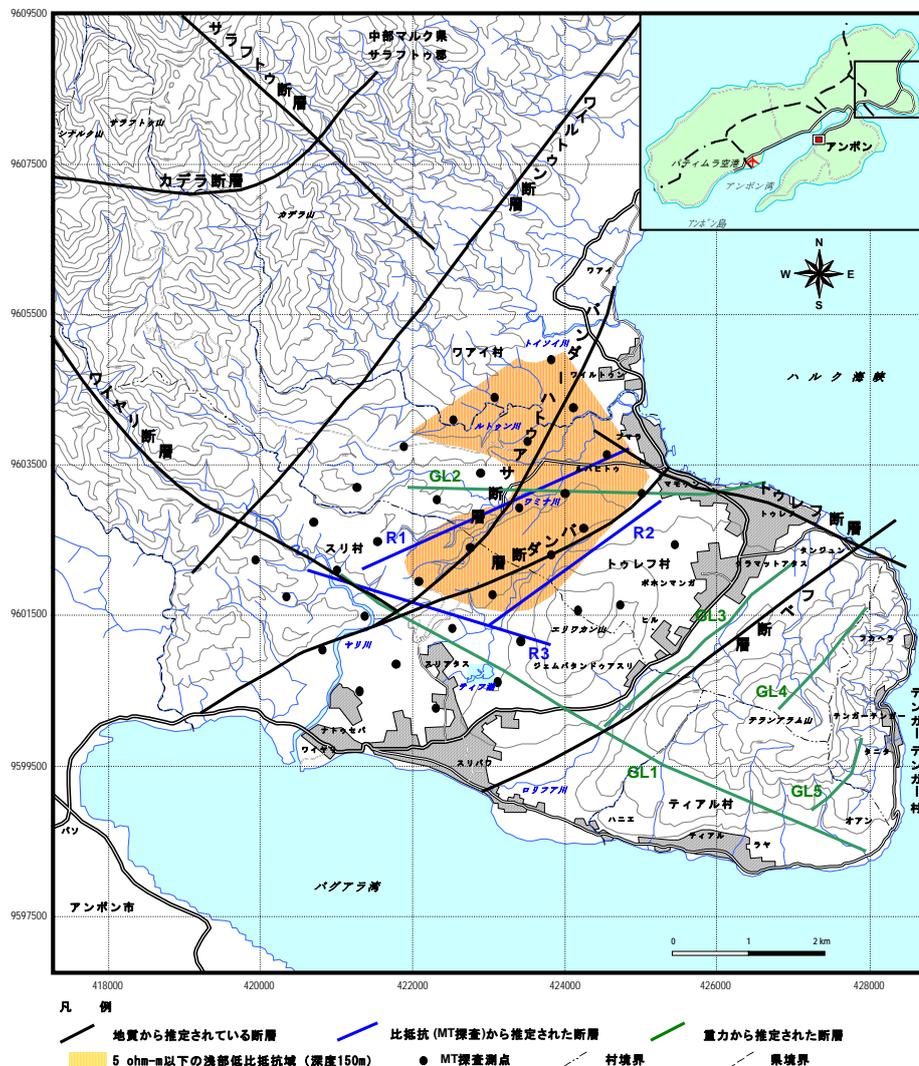
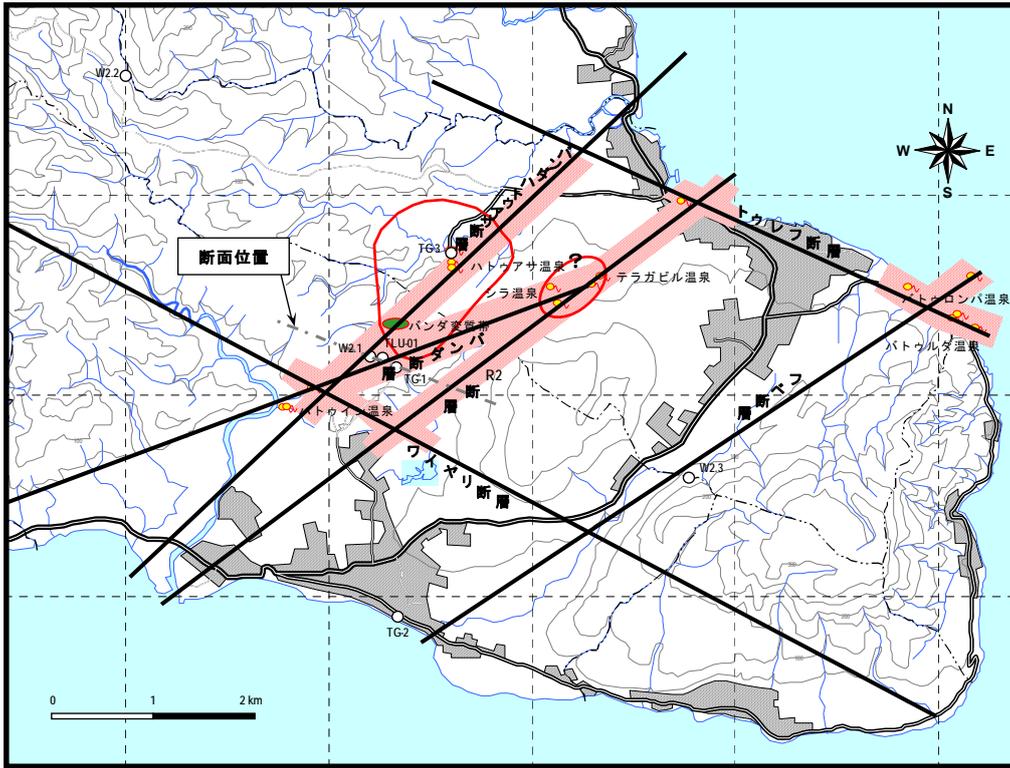
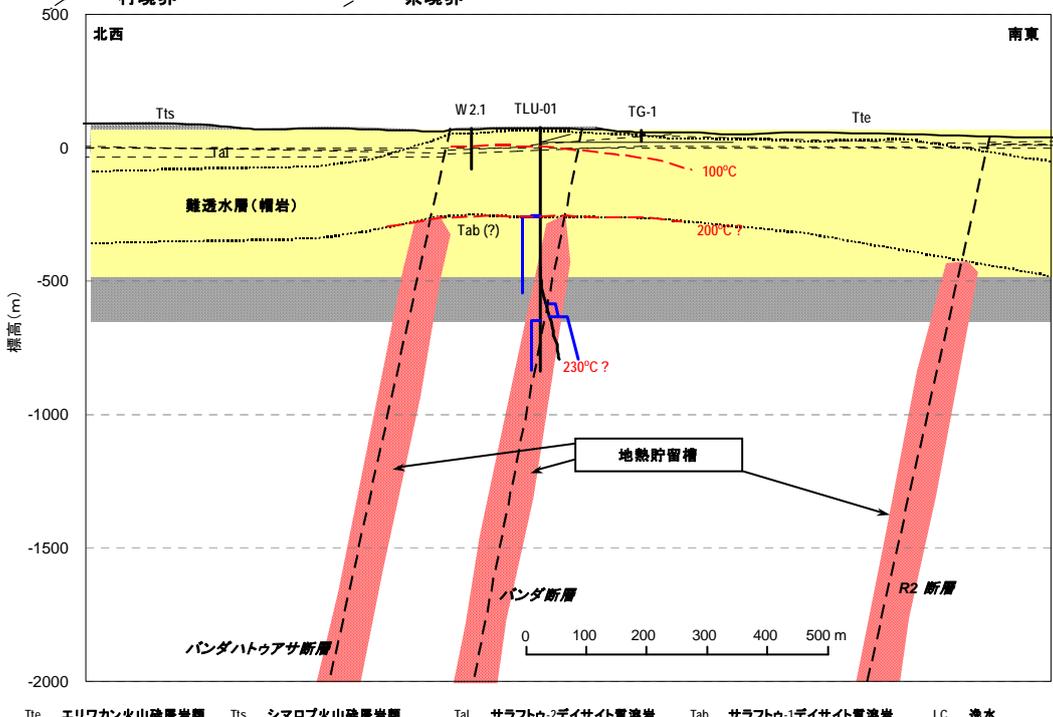


図6 断層分布と有望範囲



- 凡例
- 標高0m付近の透水構造位置
 - 既存坑井
 - 村境界
 - 県境界
 - 透水ゾーン
 - 温泉
 - 変質帯
 - 地熱活動の中心



Tte エリワカン火山砕屑岩類 Tts シマロブ火山砕屑岩類 Tal サラトゥ-2デイサイト質溶岩 Tab サラトゥ-1デイサイト質溶岩 LC 逸水

図7 トウレフ地域地熱系概念モデル

(7) 地熱資源量評価

- ・ 容積法により試算したトゥレフ地域の地熱資源量は約 30MW となった。
- ・ モンテカルロ法を用いた解析結果から、資源量評価の最頻値は 30MW であり、計画の 20MW に対して十分な資源量が存在すると結論された。(図 8)

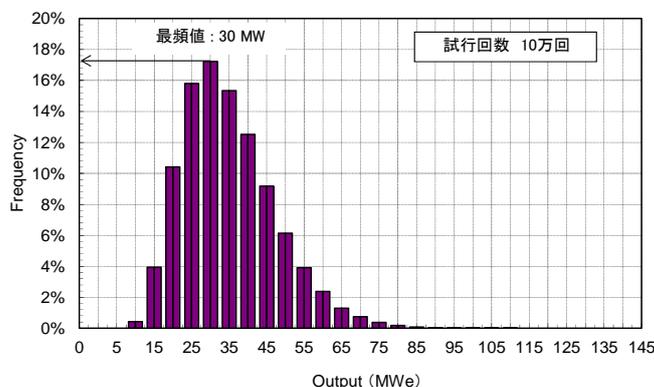


図 8 トゥレフ地域 地熱資源量評価結果

IV 地熱資源開発計画

(1) 坑井の生産・還元能力

- ・ 坑井シミュレータを用いて、坑井の生産能力を推定した (図 9)
- ・ 坑口圧力を仮定して、必要となる坑井の数を試算した。(表 1、表 2)

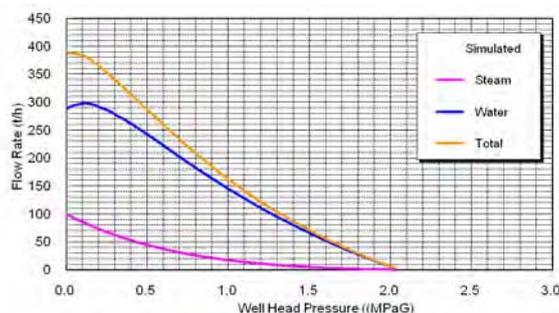


図 9 坑井の生産能力の推定結果

表 1 坑井の生産能力試算結果

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

表 2 必要となる初期坑井の数

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

(2) 坑井掘削計画

- 地熱系概念モデル、各種調査結果を元に掘削ターゲットと掘削基地を選定し（図10）、坑井掘削の仕様を検討した。（図11）

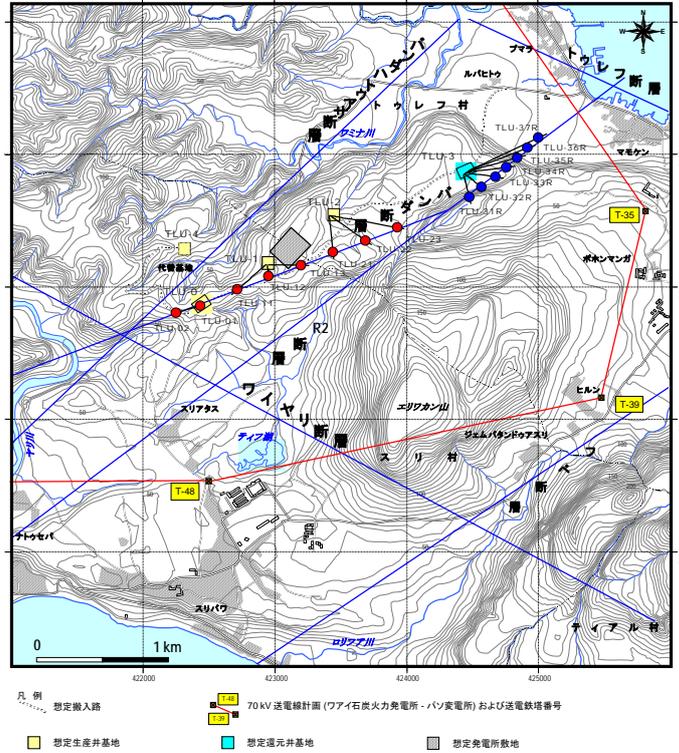


図10 掘削ターゲットおよび掘削基地の配置

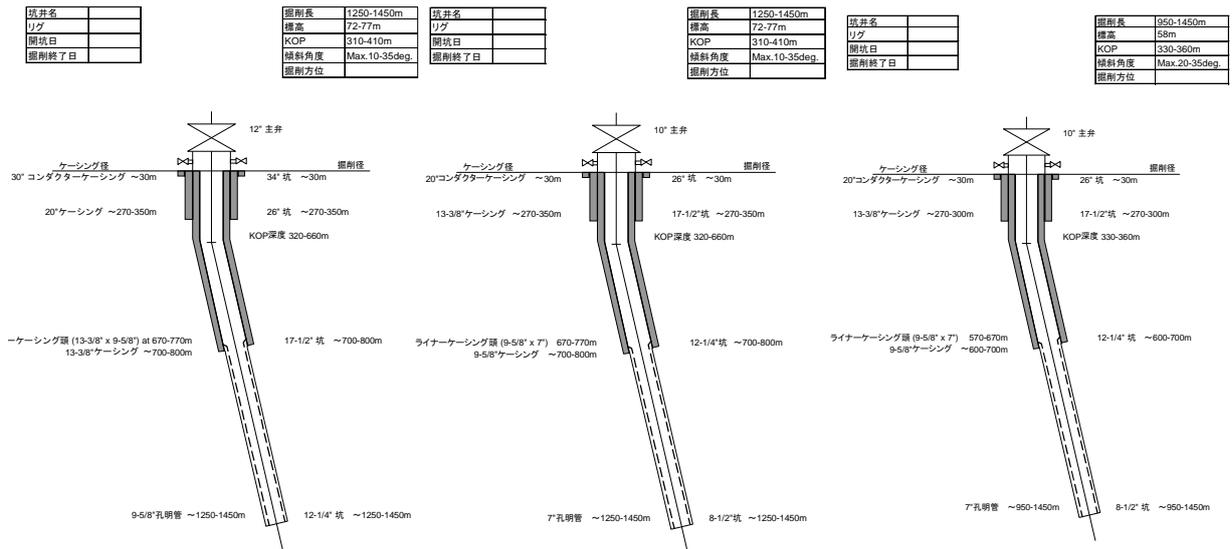


図11 坑井掘削仕様

(4) プラント建設計画・送配電計画

- ・ 単機出力：2 x10 MW、1 x20 MW、発電方式：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ラント建設計画を作成した。それらの計画の内、図 12 に 2 x10 MW ダブルフラッシュの例を示す。
- ・ 既存のアンボン島系統への接続計画を図 13 に示す。

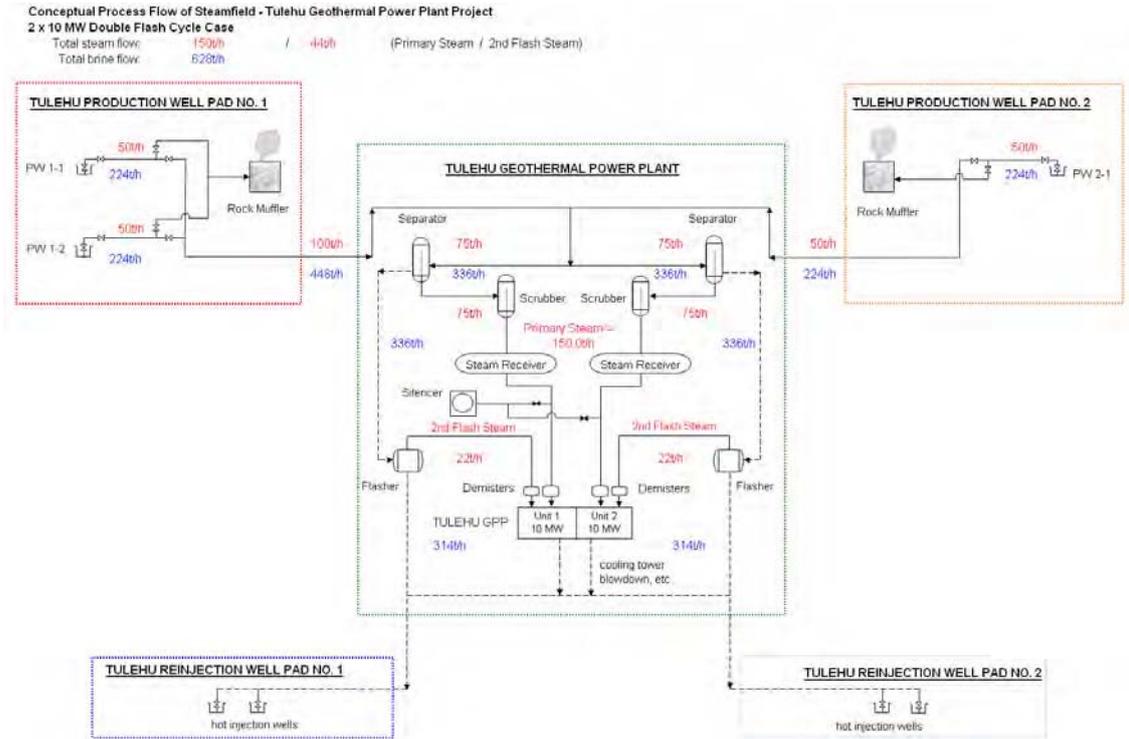


図 12 システムフロー図 (2x10MW ダブルフラッシュシステムの場合)

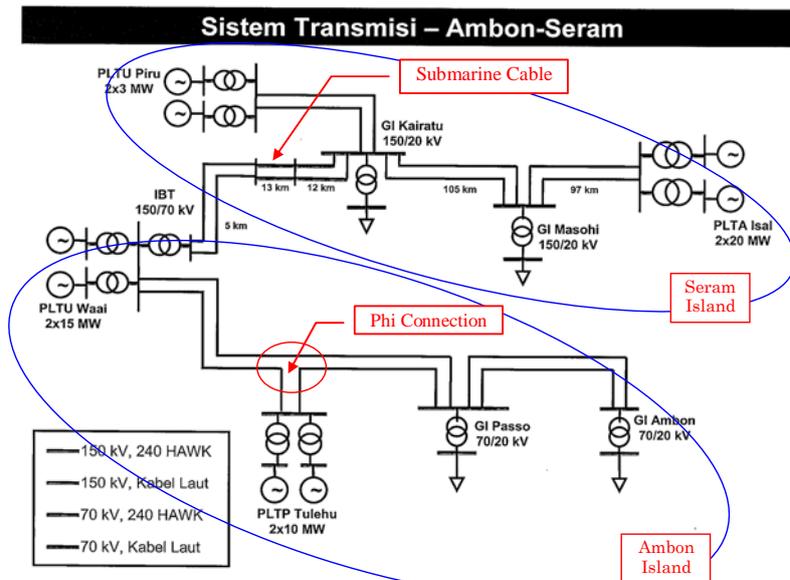


図 13 アンボン島ーセラム島系統図

(5) プロジェクトコスト積算・事業実施計画・事業効果の確認

- ・ 2x10MW、1x20MW、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3)
- ・ プロジェクト実施機関は PLN(P.T.PLN(Persero)) : インドネシア国有電力会社) である。
- ・ 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

- ・ プロジェクト標準工程を上記の4つのケースについて作成した。2 x 10 MW ダブルフラッシュのケースのプロジェクト標準工程では完工まで約60ヵ月、また、プロジェクトのできるだけ早い完成を目指す目標工程(Accelerated Target Schedule)では完工まで約52ヵ月が見込まれる。その他のケースの工程は本文を参照。
- ・ それぞれのケースについて経済・財務評価を行った。2x10MW シングルフラッシュのケースを除いて、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4)

表3 プロジェクトコスト試算結果総括

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

表4 プロジェクトの財務評価結果

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%

V 環境社会調査

許可・説明

- ・中央マルク州政府により UKL/UPL の認可を受けた。
- ・スリ村においてプロジェクトの住民説明会を開催した。

社会環境

- ・プロジェクト予定地周辺に保護区は無いことを確認した。
- ・住民の移住は必要無いことを確認した。
- ・プロジェクト予定地付近には先住民・少数民族は居住していないことを確認した。

自然環境

- ・保護種の生息は認められなかった。
- ・プロジェクトの実施により植物相、動物相、生態系へ重大な影響は生じないことを確認した。

汚染防止

- ・H₂S のデータが得られていないため、プロジェクトの実施による H₂S 汚染の検討はできなかった。一般的に、地熱発電所から放出される H₂S の影響は、適切なプラント設計によって無害なレベルまで低減可能である。より詳細な H₂S の影響については、噴出試験データを用いて拡散シミュレーションまたは風洞実験を行って検討する必要がある。

VI 結論と提言

結論

- ・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、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 2×10 MW、ケース2：シングルフラッシュ 1×20 MW、ケース3：ダブル

ルフラッシュ 2×10 MW、およびケース 4：1×20 MW) 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 10 MW～20 MW はアンボンの電力系統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。

今後の調査に関する提言

- ・ （できれば TLU-01 とは別の掘削基地から）1,500m 級の調査井を掘削し、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、不凝結ガスの量・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 H₂S 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 H₂S ガスの周辺環境への影響を評価する。

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-1-1 に示すマルク州アンボン島トゥレフである。

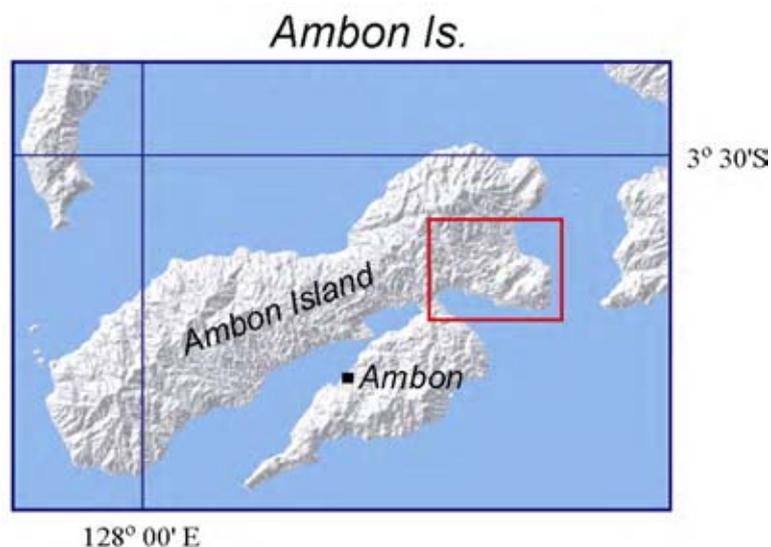


図 I-1-1 調査対象地域

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、その殆どすべて、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、地熱資源に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-6-1 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

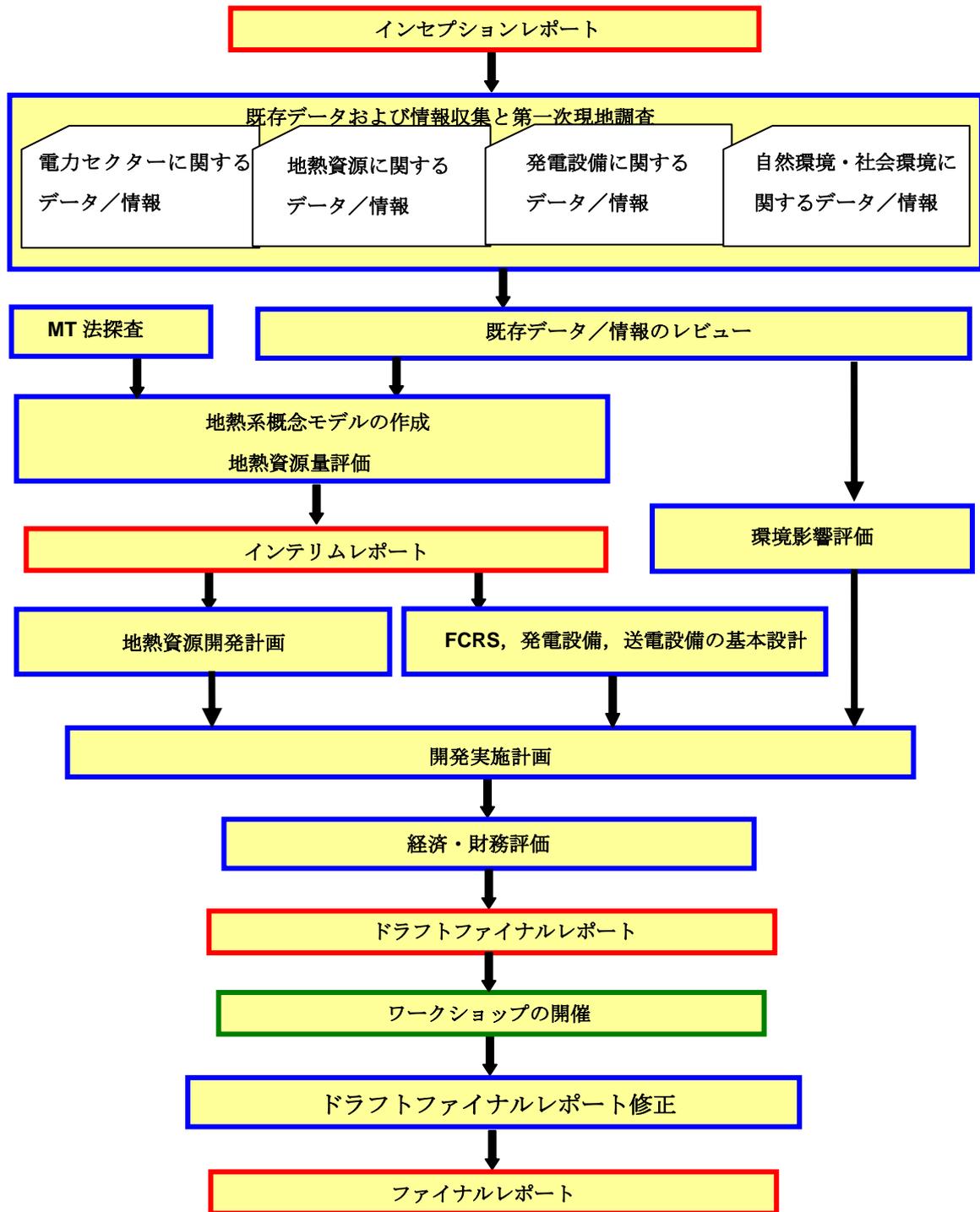


図 I-6-1 調査の流れ

表 I-6-1 調査の全体工程

様式-2

作業項目	作業計画															
	2010年度										2011年度					
期間	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. 国内準備作業																
①既存の関連資料・情報の収集、整理																
②調査全般の基本方針・内容・方法の検討																
③第1次現地調査準備																
④インセプションレポート準備																
2. 第1次現地調査																
①第1回ワークショップ開催																
②調査全般の基本方針・内容・方法に関わる先方関係機関との協議																
③現地調査：発電所・送電線建設予定地、道路等の現況確認																
④資源調査関連資料の収集、整理および検討																
⑤インテリムレポート案作成、協議																
3. 第1次国内作業																
①収集情報の整理・分析																
②貯留層評価と検討事項の確認																
③インテリムレポート作成																
4. 第2次現地調査																
①第2回ワークショップ開催																
②当該地域の電力需要等最新動向確認																
③関係機関訪問により事業実施・操業・運用・維持管理体制の確認																
④発電所建設予定地域と配管経路などの確認																
⑤掘削計画策定のための現地調査																
⑥環境影響調査																
⑦MT探査																
5. 第2次国内作業																
①貯留層評価(継続)																
②事業計画策定																
③プロジェクト財務評価																
6. 第3次現地調査																
①第3回ワークショップ開催(調査結果の中間報告)																
7. 第3次国内作業																
①環境影響評価																
②貯留層評価(継続)																
8. 第4次国内作業																
①坑井試験データ解析、坑井特性評価																
②貯留層評価見直し																
③プロジェクト計画見直し																
④追加坑井掘削ターゲット選定、掘削仕様検討																
⑤プロジェクト財務評価																
10. 第4次現地調査																
①第4回ワークショップ(掘削計画・掘削技術仕様に関する協議)開催																
11. 第5次国内作業																
①ドラフトファイナルレポート作成																
12. 第5次現地調査																
①最終ワークショップ開催																
②ドラフトファイナルレポートに関する協議																
13. 第6次国内作業																
①ファイナルレポート作成																
②ファイナルレポート提出																

凡例：——事前作業期間 ■——現地業務期間 □——国内作業期間 △——△ 報告書等の説明

I.7 調査担当者

表 I-7-1 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セクターの現状

II.1 インドネシア電力セクターの概要

インドネシアは 1997 年のアジア経済危機の際に ASEAN 諸国の中でも最も大きな影響を受けた。しかしながら、インドネシアの経済状況は、経済危機後の様々な政策改革や国内外の投資に支えられて大きく改善した。今日では同国の経済は着実に拡大しており、電力需要も急速に伸びている。国家電力会社である PLN の「電力需給計画」(RUPTL 2010 – 2019)によれば、2009 年の国全体での電力需要のピークは 24,609MW で、過去 5 年間の平均で、ジャワバリ系統においては 3.4%、ジャワバリ系統以外では 10%の伸びを記録した。また、同年のエネルギー需要量は 133.11TWh を記録、過去 5 年間の平均で、ジャワバリ系統においては 5.4%の伸び率、東部インドネシア地域では最も高い 10.4%の伸びを記録している。今後の同国の電力需要のピークは年間平均 9.5%の割合で増加し、2019 年には 59,863MW に達すると予測され、また、エネルギー需要についても同様に高い割合で増加し、2019 年には 334.4TWh に達するものと予測されている。インドネシアの電力セクターでは、エネルギーの安定供給のために需要に見合うように発電所を建設することが緊急課題のひとつであるが、特に、2009 年のジャワバリ系統における電力需要は国全体の 73.4%を占めるため、この系統内での発電所建設が最重要である。このため、インドネシア政府は 2006 年に第一次クラッシュプログラムとしてジャワバリ系統 10,000MW の電源開発を大統領令として公布し、現在も建設が続いている。また、ジャワバリ系統以外の系統においても、地方電化や地方経済の拡大に伴って電力需要は急速に増加しているため、第一次クラッシュプログラムに続き、同規模 (9,522MW) の第二次クラッシュプログラムが策定された。その計画によれば、53%にあたる 5,007MW がジャワバリ系統以外の開発を行う予定である。この第二次クラッシュプログラムは、再生可能エネルギーの開発に重点を置くこと、特に地熱発電を多く開発すること (全体の 42%が地熱)、そして IPP を導入する計画にしたこと、に特徴がある。

インドネシア国の電力セクターが直面しているもうひとつの緊急課題は、エネルギー源の多様化である。原油の高騰を考慮すれば、発電コストの抑制と安定したエネルギー供給のためにはエネルギー源としての石油依存率を低下させる必要がある。このため、インドネシア政府は「国家エネルギー政策 (National Energy Policy: NEP)」を 2002 年に策定し、2020 年までに一次エネルギーの 5%以上を再生可能エネルギーでまかなう目標を立てている。この目標達成のために、政府は同国内に豊富に賦存する地熱エネルギーに重要な役割を与えている。

II.2 インドネシアの電力需要と供給の現状

2009年の全国の電力需要（販売電力量）は133.11TWhで、30,320MWの発電設備によりその供給が行われた。RUPTL 2010 - 2019によれば、発電設備の内訳は、汽力11,700MW（38.6%）、コンバインドサイクル発電7,521MW（24.8%）、水力3,648MW（12.0%）、ディーゼル2,618MW（8.6%）、ガスタービン3,116MW（10.3%）、地熱1,105MW（3.6%）およびその他である。また、顧客数も着実に伸びており、2005年から2009年にかけて、3,440万口から4,100万口に増え、年間112万口ずつ増加している。実際、電力供給が十分ではないことから、契約を待たされている顧客が多数いることを考えれば、この数値はもっと大きい数値のはずである。

インドネシアの国内の電力系統は、連係された電力系統と孤立した電力系統との二つに分類することができる。ジャワバリ（Java-Bali）系統は既に十分に開発が進められ、超超高压送電網（500kV）により連係された電力系統を形成している。この系統以外の電力系統は相対的に開発が遅れており、各系統の連係は不十分である。このうち、ジャワバリ（Java-Bali）系統とスマトラ（Sumatera）系統については、直流500kVによる連係が計画されており、現在の計画では2016年に連係される予定である。その他の電力系統では、まだサブ系統とそれぞれ切り離された、より小さなサブ系統から構成されており、独立・孤立した地域が依然として多く存在する。発電設備の系統別分布をみるとジャワバリ系統に22,906MW（75.5%）の設備が集中し、ついでスマトラ系統に4,598MW（15.2%）の設備が存在し、両系統で全体の90.7%を占めている。

II.3 インドネシアにおける地熱開発の現状

インドネシアは世界最大の地熱ポテンシャルを保有していると言われている。同国内の地熱ポテンシャルは約27,000MW相当であり、全世界の地熱ポテンシャルの40%を占めるとの試算も報告されている。このため、地熱エネルギーの開発は、増大する電力需要への対応、エネルギー源の多様化の観点から強く期待されてきた。インドネシア国内における地熱発電所一覧表を表II-3-1に示す。表のように地熱発電は7地点で行われており、現在の発電能力は1,100MWを超えている。しかし、この発電能力は世界第3位ではあるものの、膨大なポテンシャルを考慮すると、この恵みを十分活かしているとは言えない状態にある。

インドネシアの国内経済はアジア通貨危機から脱却し、順調な回復・発展を遂げており、国内エネルギー需要も増大している。他方で、既存油田の生産力低下、設備の老朽化などから、石油供給力は低下し、同国は2002年には石油の純輸入国に転じる事態が発生した。このような事態に危機感を抱いたインドネシア政府は、石油依存体質からの脱却を図るため、エネルギーの多様化、国産エネルギーの開発促進を図ることを目的として、2002年に「国家エネルギー計画（National Energy Policy: NEP）」を策定し、2020年までにエネルギー利用の5%以上を再生可能エネルギーにより供給することを目標とした。さらに、2006年

には「国家エネルギー政策に関する大統領令（2006年第5号）」を發布し、国家エネルギー政策を大統領令という形でより高レベルの国家政策に位置づけた。一方、これと並行して、インドネシア政府は内外の民間企業の地熱開発への参加を促進するため、2003年に初めて「地熱エネルギー法」を制定し、地熱開発のための法制度を明確化した。また、エネルギー鉱物資源省では国家エネルギー計画を具体化するため、2004年、「地熱開発ロードマップ（Road Map Development Planning of Geothermal Energy）」を策定し、2020年に6,000MW、2025年には9,500MWの地熱発電を行うというさらに高い開発目標を設定した。そして、2004年には地熱関連組織の改変も行なわれ、プルトリナが分社化され、プルトリナ地熱エネルギー(株)社が設立された。このように、同国の地熱開発は新たな開発推進の枠組みが整備され、積極的な開発に向けてそのスタートが切られたところである。

表 II-3-1 インドネシア国内における地熱発電所一覧

Power Plant	Location	Unit	MW	Turbine Maker	Operation	Steam Supply	Power Generation
Sibayak	North Sumatra	#1	2	Unknown	1996	Pertamina	
		#2	5	Unknown	2007	Pertamina	
		#3	5	Unknown	2007	Pertamina	
Salak	West Java	#1	55	ANSALDO	1994	Chevron Geothermal Indonesia	PLN
		#2	55	ANSALDO	1994		
		#3	55	ANSALDO	1994		
		#4	55	Fuji	1997	Chevron Geothermal Indonesia	
		#5	55	Fuji	1997		
		#6	55	Fuji	1997		
Wayang-Windu	West Java	#1	110	Fuji	2000	Mandala Nusantara Ltd	
		#2	117	Fuji	2009		
Kamojang	West Java	#1	30	MHI	1983	Pertamina	PLN
		#2	55	MHI	1988		
		#3	55	MHI	1988	Pertamina	
		#4	63	Fuji	2008		
Darajat	West Java	#1	55	MHI	1994	Chevron Geothermal Indonesia	PLN
		#2	81.3	MHI	2000	PT. Chevron Geothermal Indonesia	
		#3	110	MHI	2007		
Dieng	Central Java	#1	60	ANSALDO	1999	Geodipa Energi	
Lahendong	North Sulawesi	#1	20	ALSTOM	2001	Pertamina	PLN
		#2	20	Fuji	2007	Pertamina	PLN
		#3	20	Fuji	2009	Pertamina	PLN
Total		*1,138.3 MW					

Note*; RUPTL 2010-2019 では、1,105 MW と記載されている。

(JICA 調査団調査)

II.4 調査対象地域の電力需要と供給

II.4.1 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-4-1 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。(人口の括弧内は 2010 年の国勢調査データである)

表 II-4-1 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

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

マルク州の 2008 年における州内総生産額 (GDRP) は 6 兆 2,700 億ルピアで、経済規模は全国の約 0.15 % と 1 % にも満たない程度である。対前年伸び率は実質価格ベースで約 10 % の成長を示した。しかしながら、人口 1 人当たりの州内総生産額はインドネシア平均の約 25 % の水準にとどまっている (表 II-4-2 参照)。マルク州では、州内総生産額 (GDRP) の約 35 % を農業が占めており、続いてホテル・飲食業や公務などが主力産業となっている。2004 年からの 5 年間では、建設業および商業・観光・飲食関連の伸びが特に目立っている (表 II-4-3 参照)。これらの開発計画を支えるため、電力の安定供給がきわめて重要となっている。

表 II-4-2 マルク州の州内総生産額 (2008 年)

地 域	州内総生産額	全国比	1 人当たり州内総 生産額 (2007 年)	全国比
マルク州	6 兆 2,700 億ルピア	0.15%	437 万 7,000 ルピア	24.9%
インドネシア全国	4,204 兆 3,590 億ルピア	100.0%	1,758 万 1,000 ルピア	100.0%

(出典 : Maluku in Figures 2009, Gross Regional Domestic Product by Provinces 2004-2008; BPS)

表 II-4-3 マルク州の州内総生産額の構成比 (2004 年)

		マルク州	全インドネシア
農業		35.7%	15.4%
鉱業		0.9%	8.5%
工業		4.6%	28.3%
電気・ガス・水道事業		0.7%	1.0%
建設業		1.2%	5.8%
商業・観光・飲食業		25.4%	16.2%
運輸・通信事業		8.7%	6.1%
金融・不動産業		5.3%	8.4%
公共事業		17.5%	10.2%
合計		100.0%	100.0%
GDRP (ルピア)	2004 年	4 兆 480 億	2,303 兆 320 億
	2008 年	6 兆 2,700 億	4,204 兆 3,590 億

(出典：Maluku in Figures 2009, Gross Regional Domestic Product by Provinces 2004-2008;BPS)

マルク州の電力供給は、PLN のマルク・北マルク支店 (Wilayah Maluku dan Maluku Utara) が行っている。このマルク・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-4-1 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。これら営業所別の 2009 年における需給状況、発電電力量および配電損失をそれぞれ表 II-4-4 に示す。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レフ地熱発電所はアンボン営業所の管轄である。

表 II-4-5 に支店内の販売電力量 (2009 年) を示す。アンボン支店が全体の 53.9% を占めている。また、468 MWh の電力量のうち 96.8 MWh がレンタル発電機による電力となっている。

表 II-4-6 は 3 営業所の配電損失を示している。アンボン営業所およびトゥアル営業所の配電損失は 10% を超えており、これは 2009 年の全国平均値 (7.93%) を上回る値である。

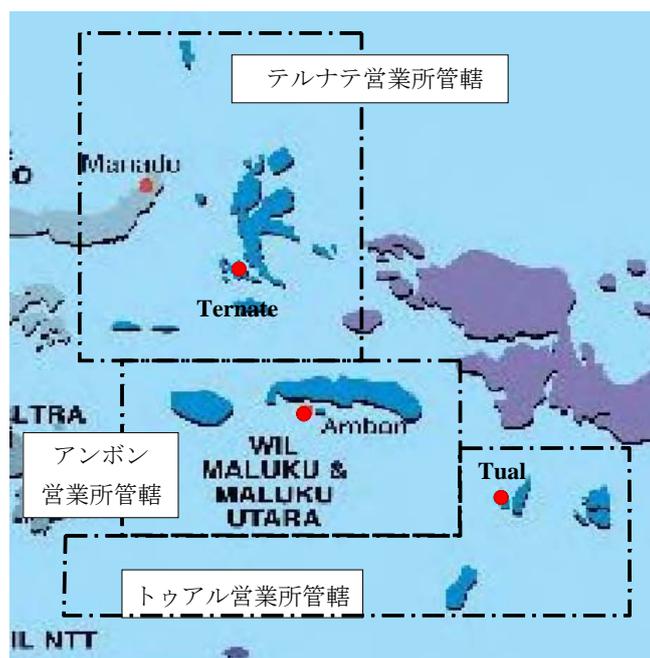


図 II-4-1 マルクおよび北マルク支店

表 II-4-4 電力需給状況 (2009 年)

営業所	設備容量 (MW)	発電可能容量 (MW)	ピーク電力 (MW)
アンボン	110.96	56.86	57.18
テルナテ	66.03	49.95	35.90
トゥアル	26.27	13.12	10.35
計	203.26	119.93	103.432

(出典 ; PLN Wilayah Maluku dan Maluku Utara Statistik 2009)

表 II-4-5 販売電力量 (2009 年)

営業所	PLN 発電機		PLN 内消費	レンタル発電機	販売電力量支店総計	
	A (GWh)	(%)	B (GWh)	C (GWh)	A-B+C (GWh)	(%)
アンボン	221.87	58.4	5.49	36.11	252.48	53.9
テルナテ	123.25	32.5	2.73	44.01	164.53	35.2
トゥアル	34.59	9.1	0.27	16.68	51.00	10.9
計	379.708	100.0	8.49	96.80	468.01	100.0

(出典 ; PLN Wilayah Maluku dan Maluku Utara Statistik 2009)

表 II-4-6 配電損失 (2009 年)

営業所	販売電力量 (GWh)	配電損失	
		(GWh)	(%)
アンボン	252.48	33.46	13.25
テルナテ	164.53	8.04	4.89
トゥアル	51.00	6.19	12.14
計	468.01	47.69	10.19
インドネシア全国	—	—	7.93

(出典 ; PLN Wilayah Maluku dan Maluku Utara Statistik 2009)

II.4.2 アンボン営業所の電力需給

アンボン営業所管内にはアンボン島、セラム島、ブル島、他があり、それぞれの島において系統が独立している。アンボン営業所全体における 2006 年から 2009 年までの電力需要状況は表 II-4-7 の通りである。ピーク電力は 2006 年から 2007 年にかけて 15.2% と大きな伸びを記録、2007 年から 2008 年の伸びは鈍ったものの、2008 年から 2009 年にかけては 8.8% の伸びを示し、この 3 年間で年平均約 9% 以上の伸びを記録している。一方、設備容量はこの 4 年間で増減はあるが、結果的にほとんど増えておらず、発電可能容量は年々減り続け、設備の老朽化が目立っている。

表 II-4-7 アンボン営業所電力需給実績

年	設備容量		発電可能容量		ピーク電力	
	(MW)	伸び率	(MW)	伸び率	(MW)	伸び率
2006	110.32	-	67.73	-	44.77	-
2007	122.44	11.0%	64.50	▲4.8%	51.58	15.2%
2008	110.51	▲9.7%	60.97	▲5.5%	52.57	1.9%
2009	110.96	0.4%	56.86	▲6.7%	57.18	8.8%

注) ▲印はマイナスを表す。

(出典 ; PLN Wilayah Maluku dan Maluku Utara Statistik 2009)

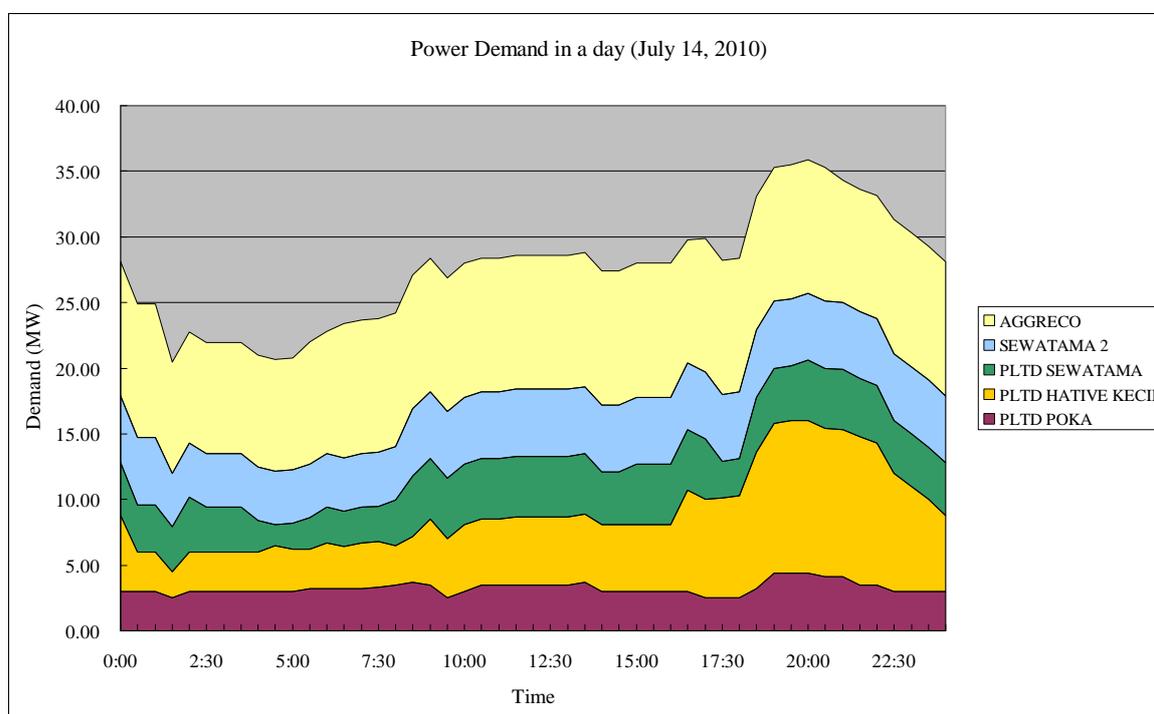
アンボン営業所における 2006 年から 2009 年までの販売電力量を表 II-4-8 に示す。購入電力量も含んだアンボン営業所全体の電力量では、2006 年から 2007 年において 10% を超える伸びを示したが、2007 年からは 2 年間 3% 台の伸びとなっている。

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-4-9 及び図 II-4-3 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。表 II-4-9 に示すように、ピーク時の電力供給の 55%をレンタル設備に依存している。

表 II-4-9 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-4-3 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-4-10 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-4-10 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。

また、表 II-4-11 は Poka 発電所の2010年（1月～7月）における諸データである。1月に9,900kWあった可能出力が7月には4,600kWまで落ちている。その結果、1月に4,441MWhあった PLN 発電機による発電電力量が、7月には1,617MWhまで減少し、その代わり、購入電力量が3,433MWhから12,258MWhまで増加する結果となっている（図 II-4-4 参照）。

表 II-4-10 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）

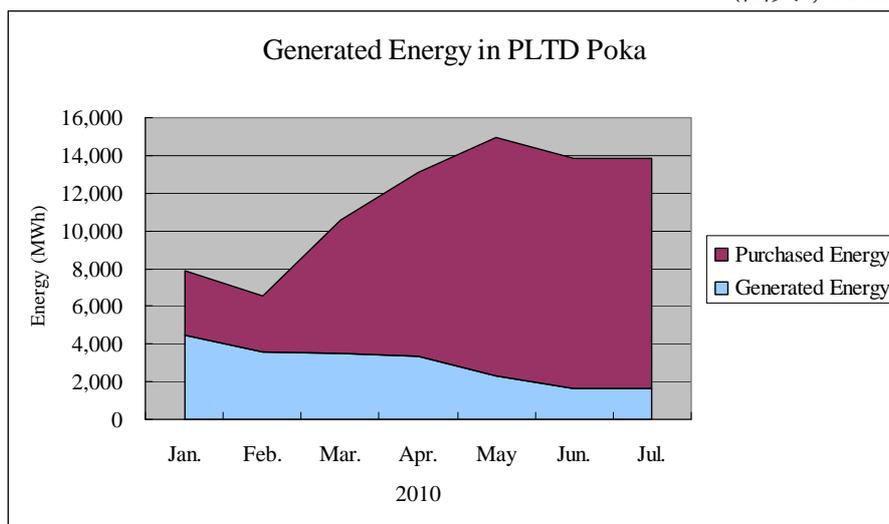
Power Plant	No.	Manufacturer	Model	Year	Capacity (kW)		Remarks
					Rating	Dependable	
Poka	1	GMT	A420-14	1988	6,400	4,500	
	2	GMT		1988	6,400	-	Damaged Crank shaft
	3	GMT		1988	6,400	4,000	
	4	Caterpillar	3616	2003	4,700	-	Damaged Crank shaft
	5	Caterpillar		2003	4,700	-	
	6	ABC	12V DZC-100-166A	2005	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)

表 II-4-11 Poka 発電所 2010 年データ (1月～7月)

項目	単位	計算式	2010 年						
			1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
設備容量	(MW)	A	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6
可能出力	(MW)	B	9.9	6.4	8.1	7.5	7.5	4.6	4.6
ピーク出力	(MW)	C	9.8	6.4	7.8	7.3	6.6	4.1	4.4
発生電力量	(MWh)	D	4,441	3,565	3,473	3,337	2,272	1,615	1,617
所内電力量	(MWh)	E	223	235	230	211	149	111	110
所内率*	%	$E'=E/D$	5.0%	6.6%	6.6%	6.3%	6.6%	6.9%	6.8%
平均出力*	(MW)	$F=D/(24*\text{days})$	5.97	5.31	4.67	4.64	3.05	2.24	2.17
負荷率*	%	$G=F/C$	60.9%	82.9%	59.9%	63.5%	46.3%	54.7%	49.4%
購入電力量	(MWh)	H	3,433	2,975	7,092	9,796	12,649	12,216	12,258
機関用燃料 (HSD)	(LTR)	J	1,420	1,128	1,088	1,039	701	486	487
HSD 単価	(Rp/LTR)	M	6,090.7				6,122.6	6,122.6	6,122.6
HFO 単価	(Rp/LTR)	N							
機関用潤滑油	(LTR)	P	22,781	12,228	22,573	17,556	18,601	13,585	10,450
その他用潤滑油	(LTR)	Q	-	1,672	-	-	836	209	-
燃料消費率 (SFC)	(LTR/MWh)	$R=J/D$	0.3197	0.3162	0.3134	0.3113	0.3084	0.3009	0.3012
	(Rp/MWh)	$R'=R*M$	1,947.2				1,888.1	1,842.3	1,844.3
潤滑油消費率 (SLC)	(cc/kWh)	$S=P/J$	5.1296	3.4294	6.4989	5.2605	8.1859	8.4113	6.4643
レンタル機関用燃料 (HSD)	(k-LTR)	T	900	787	1,863	2,493	3,229	3,116	3,203
総合燃料消費率 (SFC)	(LTR/MWh)	$U=(J+T)/(D+H)$	0.2946	0.2928	0.2793	0.2690	0.2634	0.2604	0.2660
	(Rp/MWh)	$U'=U*M$	1,795				1,612	1,595	1,628
発生電力量	(MWh)	D	4,441	3,565	3,473	3,337	2,272	1,615	1,617
所内電力量	(MWh)	E	223	235	230	211	149	111	110
購入電力量	(MWh)	H	3,433	2,975	7,092	9,796	12,649	12,216	12,258
送電端電力量	(MWh)	$V=D-E+H$	7,651	6,305	10,335	12,921	14,772	13,720	13,765

(出典 ; Poka 発電所)



(出典 ; Poka 発電所)

図 II-4-4 Poka 発電所における 2010 年の発電電力量 (PLN および購入分)

II.4.4 電力需給予測

2011年8月 Draft Final Report Work Shop 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-4-12 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-4-12 アンボン島電力需給予測 (2011年 - 2020年)

Neraca Daya Sistem Ambon

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	=> Interkoneksi Pulau Ambon - Seram (Transmisi 70 kV)			
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	15,2				
PLTD Poka	33,6	MW	20,8	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 (Ekspansi)		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		MW	8,3	19,5	19,5	19,5	25,0	25,0				
Pemeliharaan		MW	4,5	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0				
Operasi		MW	3,8	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)

本系統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-4-10 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-4-12 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Waai石炭火力発電所、本事業によるトレフ地熱発電所、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-4-13 に、また、図 II-4-5 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-4-13 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	45.0							
IPP Project															
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								

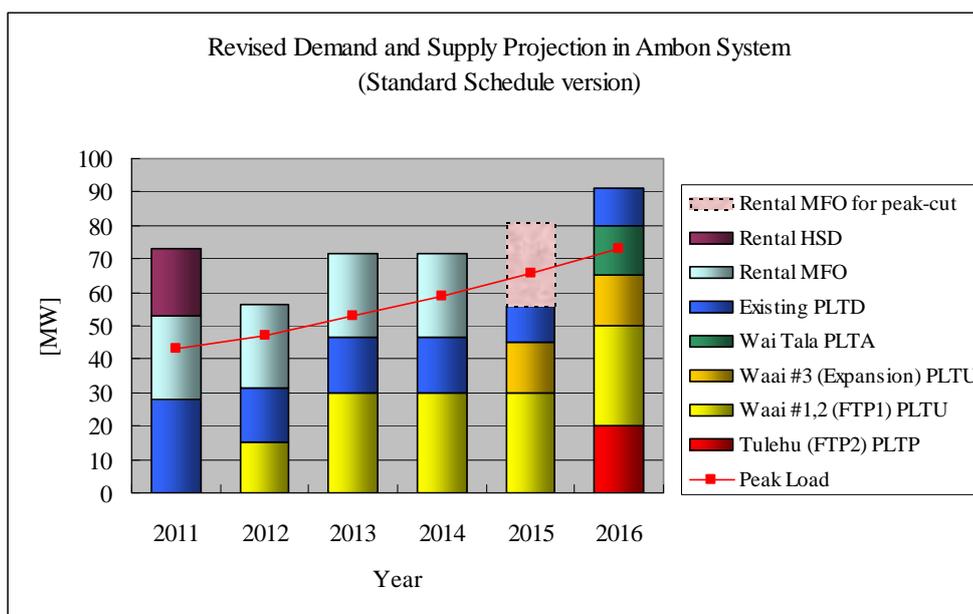


図 II-4-5 アンボン島の需要と供給（2011年 - 2016年，標準工程）

第 Ⅲ 章

III トウレフ地域の地熱資源

III.1 マルク州の地熱資源

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-1-1 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る。この火山帯沿いに有望な地熱地帯が多く分布している（図 III-1-2 参照）。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。

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）、タウェリ（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）

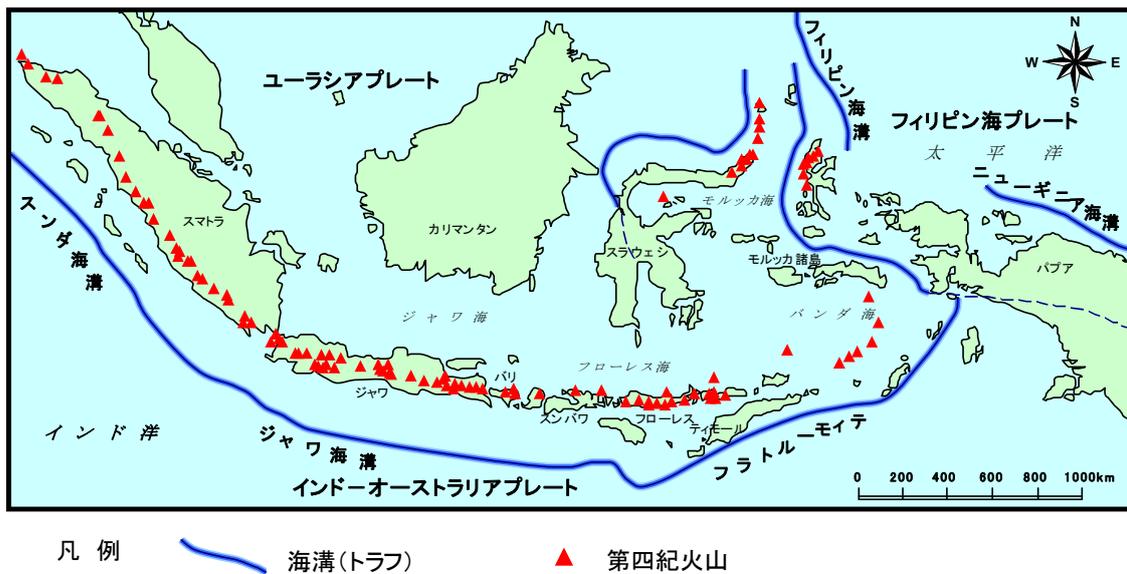
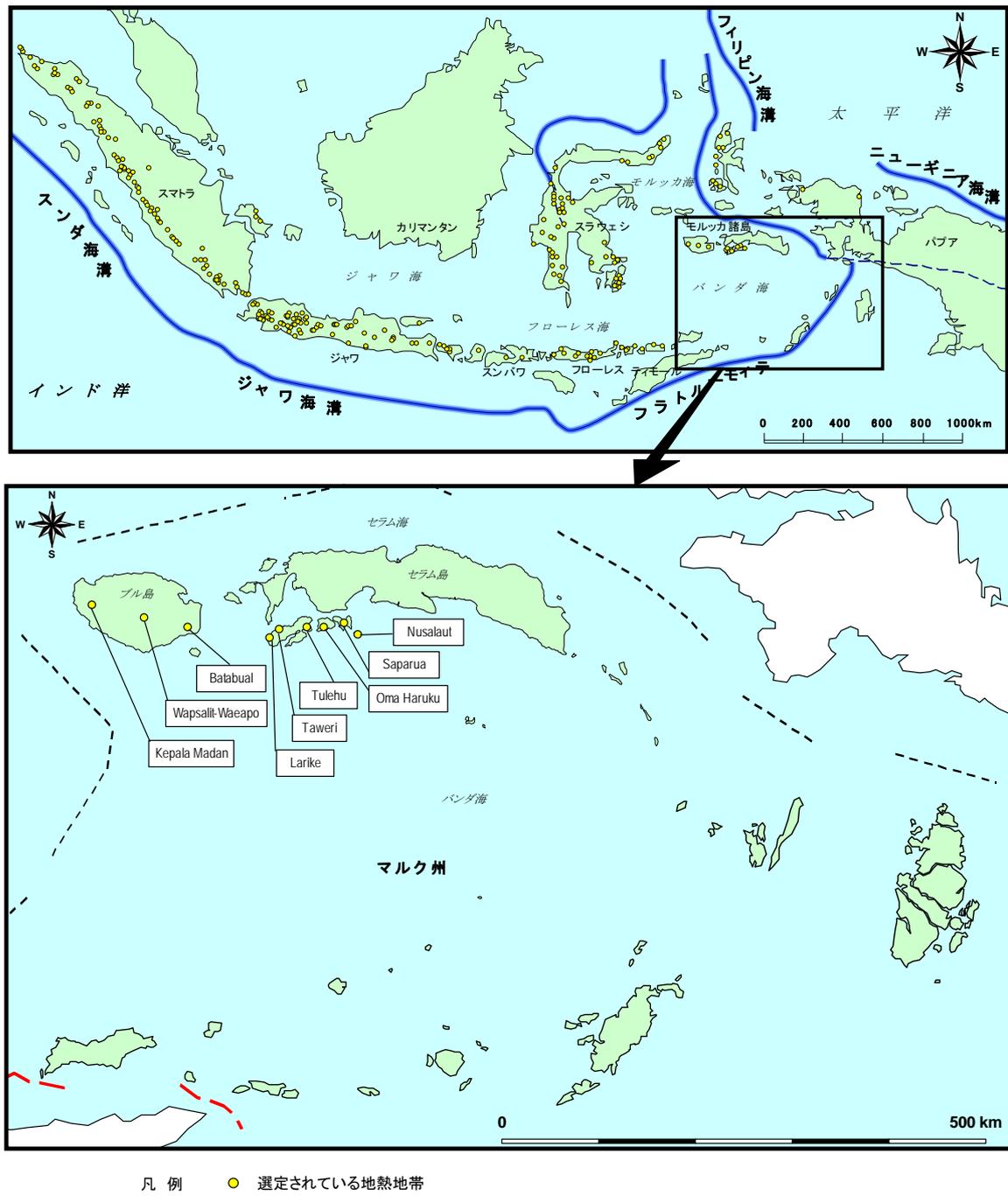


図 III-1-1 インドネシアにおける第四紀火山分布



出典: MEMR (2007)

図 III-1-2 MEMR(2007)によって選定された有望地熱地帯

III.2 地熱資源に関する既存データのレビュー

III.2.1 トゥレフ地域の坑井掘削の現状

トゥレフでは、6本の測温孔が掘削されている（図 III-2-1 参照）。2008年にはTG-1、TG-2およびTG-3の3坑井が掘削された。バンド変質帯近くで掘削されたTG-1の掘削深度は40mである。スリバワ集落付近の海岸部に掘削されたTG-2の掘削深度は120mである。ハトゥアサ温泉近傍で掘削されたTG-3の掘削深度は40mである。測定された坑底温度は、TG-1が41°C、TG-2が36°C、TG-3は31°Cであり、TG-1が最も高い。

2009年にはW2.1、W2.2およびW2.3の3坑井が掘削された。掘削深度は、いずれも150mである。測定された坑底温度は、サラフトゥ山の南東山麓で掘削されたW2.2とテランアラム山（フベ山）の北東山麓で掘削されたW2.3がそれぞれ32.4°Cと27.5°Cとそれほど高くはない。一方、TG-1の近くで掘削されたW2.1の坑底温度は122.6°Cとかなり高い。

調査井TLU-01の掘削敷地は最も高い温度が測定されたW2.1近傍にあり、深度1,200mを目標として2010年12月に掘削が開始された。2011年2月18日には、深度911mに到達したが、坑内リーミング中に掘具が抑留された。以後は抑留回復作業が継続されたが、2011年5月にサイドトラックが決定された。深度521mから537.16mまでの区間の95/8インチケーシング切削後に、521.09mから東南東へ向けてのサイドトラックが2011年6月3日に開始された。2011年6月12日に927mまで到達したが、一時抑留状態となった。地層状況が悪いと判断されたため、コア採取後に掘止めとすることが決定された。6月28日に927.63mから932.65mまでのコア採取が行われたが、採取されたコア長は23cmであった。7月1日には7インチケーシングが468mから923m間に挿入され（535mから923m間は孔明管）、温度・圧力検層や注水試験、温度回復試験などが7月8日まで実施された。



図 III-2-1 既存坑および調査井掘削サイト位置図

III.2.2 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

アンボン島の地質は、主として二畳紀の超塩基性岩類、三畳紀の堆積岩類、鮮新世の火山岩類（安山岩、デイサイト、凝灰角礫岩、凝灰岩など）と貫入岩類（花崗岩とキ緑岩）、

更新世から完新世のサンゴ石灰岩および沖積層によって構成されている。このうち、鮮新世の火山岩類が最も卓越しており、全島面積のおよそ 90%に相当する範囲の地表を覆っている。断層については、北東方向と北西方向の断層が全体的に卓越している。

a. トゥレフ地域の表層地質

トゥ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、ブキットバカル安山岩溶岩、ブキットバカル火山碎屑岩類、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-2-2 参照）。

砂岩層 (Tss)

ワミナ川沿いに露出しており、粗粒から細粒の砂岩によって構成されている。前期中新世の地層と考えられ、シマロプ火山碎屑岩類によって覆われているが、両者の境界は直接確認できない。

タンジュン玄武岩溶岩 (Tbb)

タンジュン玄武岩溶岩はトゥレフ地域南東部のバトゥルダ温泉からフカヘラ集落をへてテンガーテンガー集落へいたる海岸部に露出しており、風化が進んでいる。この溶岩層の下部は堅硬な溶岩であり、上部は安山岩質、玄武岩質ならびにデイサイト質の大礫から巨礫によって構成されている。後期中新世から前期鮮新世の地層と考えられている。

サラフトゥ-1 デイサイト質溶岩 (Tab)

スリアタス集落の北西側に位置するヤリ川沿いに露出しており、径が 1 から 15cm の安山岩質およびデイサイト質の火山角礫岩部を伴っている。タンジュン玄武岩溶岩の上位に位置すると考えられている。

サラフトゥ-2 デイサイト質溶岩 (Tal)

ワアイ集落の北西側に露出しており、ヤリ川沿いやワミナ川上流部などにも露出している。デイサイト溶岩流であり、前期鮮新世から中期鮮新世の地層と考えられている。

ブキットバカル安山岩溶岩 (Tap)

トゥレフ地域の南西端付近に露出している。塊状の安山岩やデイサイト、セン緑岩が卓越している。前期鮮新世から中期鮮新世の地層と考えられている。

ブキットバカル火山碎屑岩類 (Ttp)

ヤリ川中流から上流域の南西側に露出している。種々の火山碎屑岩によって構成されており、中期鮮新世から後期鮮新世の地層と考えられている。

フベ火山碎屑岩類 (Ttf)

テランアラム山（フベ山）の山頂付近からオアン集落にかけての地域やテンガーテンガー村の海岸沿いに露出しており、タンジュン玄武岩溶岩を覆っている。また、上位の石灰岩層とは不整合の関係で接しており、後期鮮新世の地層と考えられている。

シマロプ火山碎屑岩類 (Tts)

ヤリ川の北東側に露出しており、層厚はおよそ 650m と見積もられている。上位へ向かって次第に細粒化している。

サラフトゥ火山碎屑岩類 (Tfs)

トゥレフ地域の中中部から北部にかけて広範囲に露出している。サラフトゥ火山の最終噴出物と考えられており、露頭では一般的に風化によって粘土化している。シマロプ火山碎屑岩類よりも上位の地層である。

カデラ火山碎屑岩類 (Tkv)

カデラ山付近に露出しており、火山灰や細粒砂によって構成されている。サラフトゥ火山碎屑岩類を覆っており、中期鮮新世の地層と考えられている。

エリワカン火山碎屑岩類 (Tte)

エリワカン山付近およびスリアタス集落周辺に露出しており、貝殻化石を含んでいる。中期鮮新世から後期鮮新世の地層と考えられている。

石灰岩層 (Ql)

主としてトゥレフ地域の南部に露出しており、サンゴや貝殻の化石を含んでいる。更新世から完新世のサンゴ石灰岩であり、下位の火山岩類を不整合に覆っている。

沖積層 (Qa)

トゥレフ地域東部海岸に位置するワイルトゥン集落、プマラ集落およびマモコン集落周辺やヤリ川河口付近のナトゥセパ集落周辺に分布しており、粘土から礫にいたる粒径の堆積物によって構成されている。

b. トゥレフ地域の地質構造

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（図 III-2-2 参照）。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。

北東－南西方向の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り、トゥレフ地域に露出しているほぼ全ての火山岩類を切っている。エリワカン山と

テランアラム山（フベ山）との間を通る北東－南西方向のフベ断層は北西側が相対的に陥没している正断層であり、石灰岩層を切っている。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と考えられている。なお、ワイルトゥン断層とフベ断層の間に位置する北東－南西方向の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。

北西－南東方向の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。

c. トゥレフ地域の地熱徴候および変質帯

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。

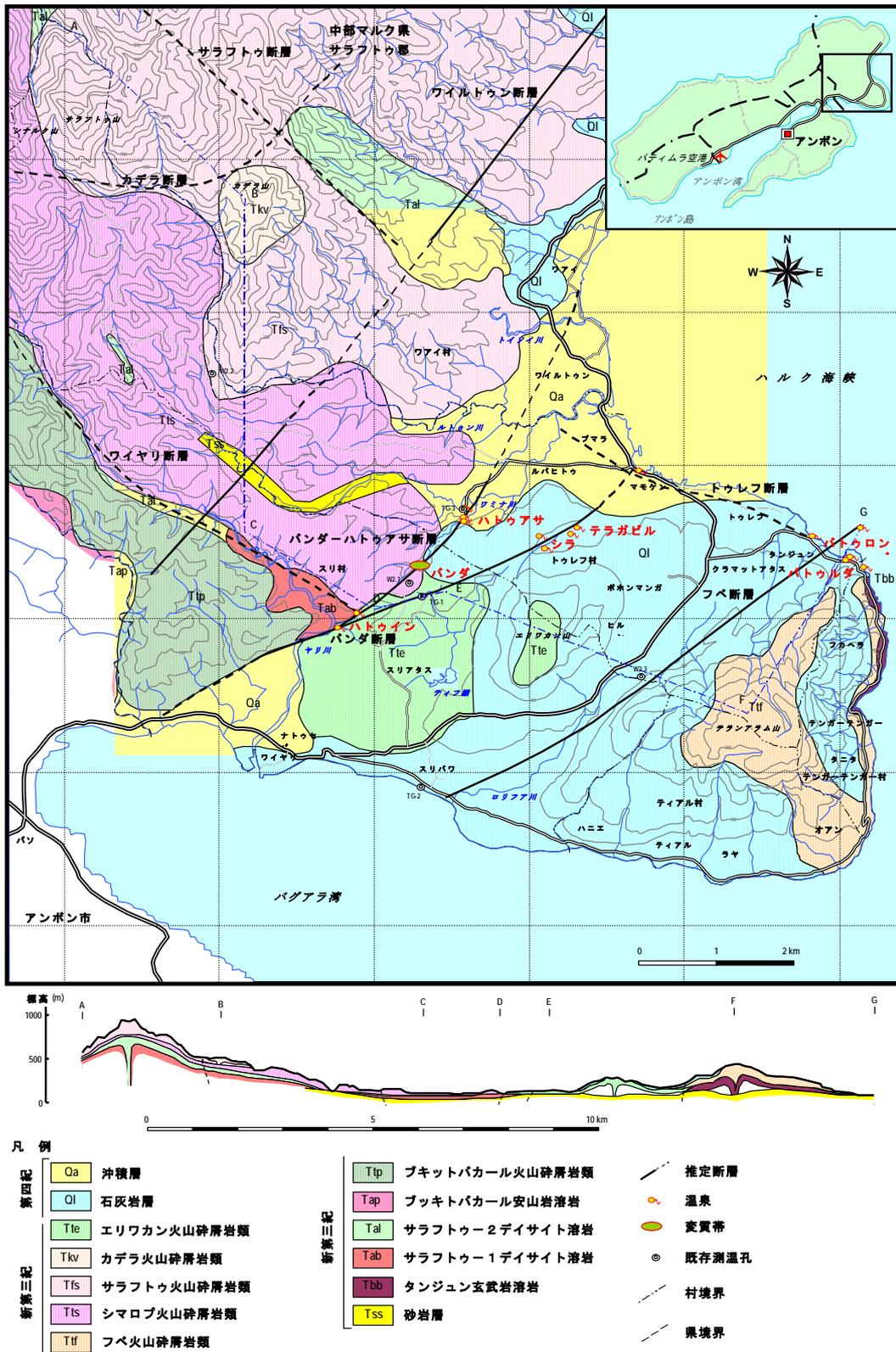


図 III-2-2 トウレフ地域地質図

2. 既存物理探査データ

a. 重力探査

トゥレフ地域の重力探査はラコステ重力型 G-928 により約 25km² の範囲で 300-600m の間隔で 247 点測定されている (PLN、2008)。重力探査では局所的な高重力異常は貫入岩、低重力異常は陥没構造の存在を示唆し、また、重力異常の急変部は地下の密度分布の境界を示していると考えられ、それが線状に延びている場合は断層や地層境界を示している場合がある。当該地域のブーゲ異常図(図 III-2-3)を見ると、ブーゲ異常は 85mgal から 106mgal の範囲の値を示し、概略北東側で低重力異常、南西側で高重力異常となっている。この高重力異常の一部は調査範囲南部から北東方向に進展している。図中に高重力異常を” H”、低重力異常を” L” で示した。高重力異常と低重力異常の重力急変部が線状に延びる部分を重力リニアメントとして抽出し、図中に示した。(GL1~GL5) GL1 は地質図におけるワイヤリ断層の南東方向の延長部に位置している。GL2 は沖積層と石灰岩層の地質境界と整合性がある。GL3 はフベ断層とほぼ一致する。GL4 や GL5 は確認されていない地下構造を反映している可能性がある。

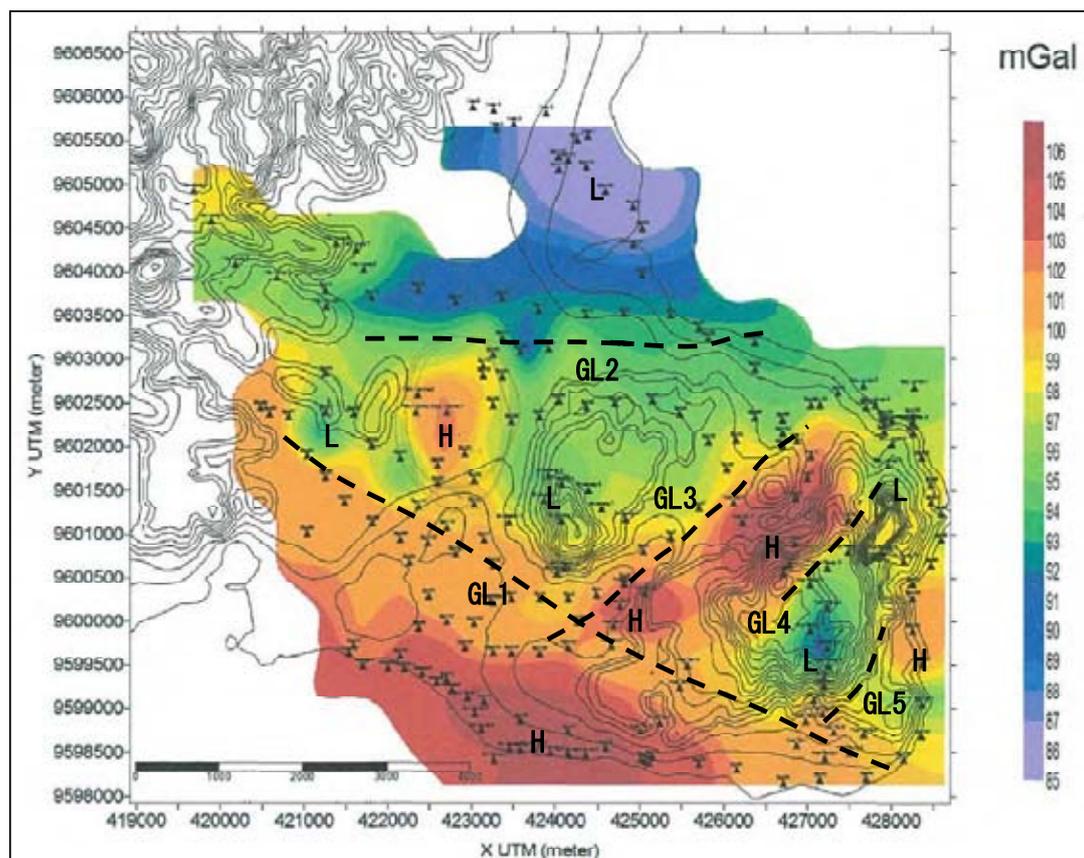


図 III-2-3 トゥレフ地域重力異常図

なお、本重力分布から地下構造を検討する上で、重力値と標高の相関図や岩石密度の情報が既存報告書に記載されていなかったため、重力異常分布の仮定密度が適正であるか判断できない。既存重力探査結果は情報が不足しており、地下構造の検討では参考にとどめるべきであると考えられる。

b. 磁力探査

トゥレフ地域の磁気探査は重力探査と同じ247測点でジオメトリクス社のG-528により測定されている(PLN、2008)。磁気探査では磁化の強弱や磁性体の分布から地下構造の推定やキュリー点深度を推定することができる。しかし、近年地熱探査においてMT探査(電磁探査)や重力探査が用いられることが多く、磁力探査は重力探査を補強する目的で行われることがある程度である。図III-2-4は当該地域の全磁力図からIGRF(International Geomagnetic Reference Field)を差し引いたIGRF残差図である。

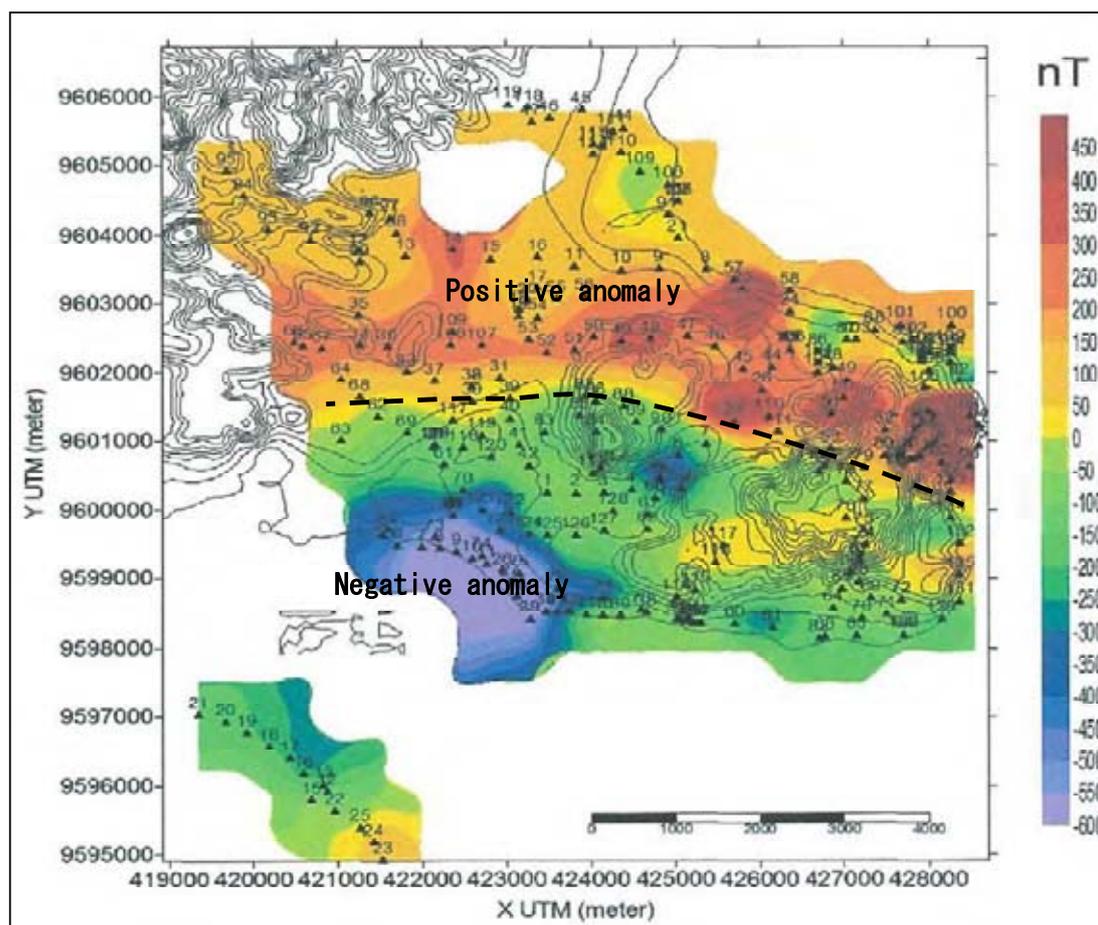


図 III-2-4 トゥレフ地域全磁力 IGRF 残差図

IGRF 残差は-600nT から 450nT の範囲の値を示し、概略北側で正の磁気異常、南側

で負の磁気異常となっている。これらの正負の磁気異常の間の磁気異常の急変部は磁性体の不連続部となっている可能性があるが、既存地質図における断層や地層境界との関連性は認められない。また、本地域の温泉湧出地点等の地熱徴候地の分布は正の磁気異常の分布と調和的である。一般的に地熱徴候地周辺は変質帯が広がっており、岩石の変質等により磁気は周辺より低異常を示すことが多い。これは本地域が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。この場合 IGRF 残差から極磁気変換等のフィルター図を作成する等測定データの再解析で検証できる。ただし、地表徴候と変質帯の分布は MT 探査による低比抵抗域の分布状況から推定可能なので磁気探査データの再解析は必要ないと思われる。

c. CSAMT 法探査

トゥレフ地域においては、2008年に測点数約130点のCSAMT法探査が実施されている(PLN, 2008)。図 III-2-5 に、CSAMT 法探査の測点配置を示す。PLN (2008)には、これら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次元解析を実施した結果が示されている。図 III-2-6 に、2次元解析結果の例を示す。地熱貯留層の比抵抗構造の特徴は、非常に低い比抵抗を示すキャップロックの下位に、高温の貯留層本体に対応する比較的高い比抵抗を示す領域が存在する場合が多い。図 III-2-6 に示したCSAMT法解析結果には、このような示徴を示す部分が認められ、トゥレフ地域の地熱貯留層の広がりを示している可能性がある。しかしながら、図 III-2-5 に示した測線配置には問題があり、測定データに立ち返って検証が必要である。また、2次元解析のメッシュ設定にも問題がある。

測線配置については2つの問題がある。1つは送信源と測点の距離が非常に短いことである。もう1つは、送信源が2か所に設置されており、テンソル測定を行ったと考えられることが挙げられる。一般にCSAMT法の測定においては、ニアフィールド効果を避けるために、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。トゥレフ地域のCSAMT法探査の測線配置では送信源と測点の距離が非常に短く、中には送信源のワイヤー上に測点が存在している地点もある。このような場合には、測定データのほとんどがニアフィールド効果のために解析に使用できなくなる。ニアフィールド効果を補正する方法もいくつか提案されているが、ニアフィールド効果を完全に補正することは不可能である。さらに、送信源が2か所に設置されており、テンソル測定と呼ばれる測定を行ったと考えられるが、この場合は電場・磁場を測定する方向ごとにニアフィールド効果の現れ方が異なり、補正はますます難しくなる。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。

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。ニアフィールド効果は、周波数が低くなるほど遠くにまでおよぶため、通常のCSAMT法の測定は通常1Hz以上の帯域に限られる。周波数1Hzまでのデータ

を用いて解析できるのは 1km 程度が限界である。したがってトゥレフ地域の CSAMT 法の解析結果にも信頼性に疑問が残る。送信源から離れた測点付近の構造は信頼性があるかもしれないが、送信源は調査井の掘削予定地点の近くに設置されており、利用可能な情報は限られたものとなる。このような理由のため、CSAMT 法探査の解析結果は、地熱構造の解釈には含めないこととした。

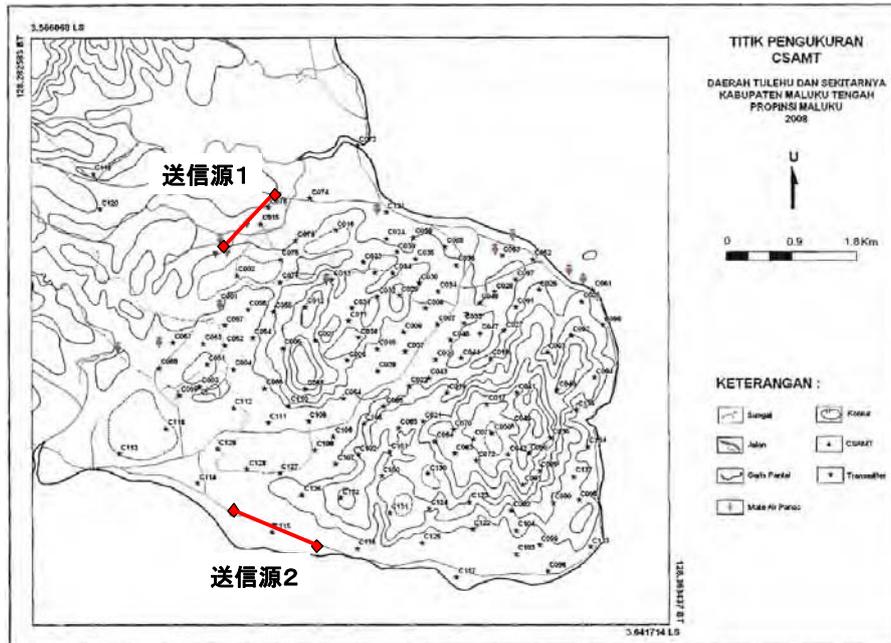


図 III-2-5 CSAMT 法探査 測点配置

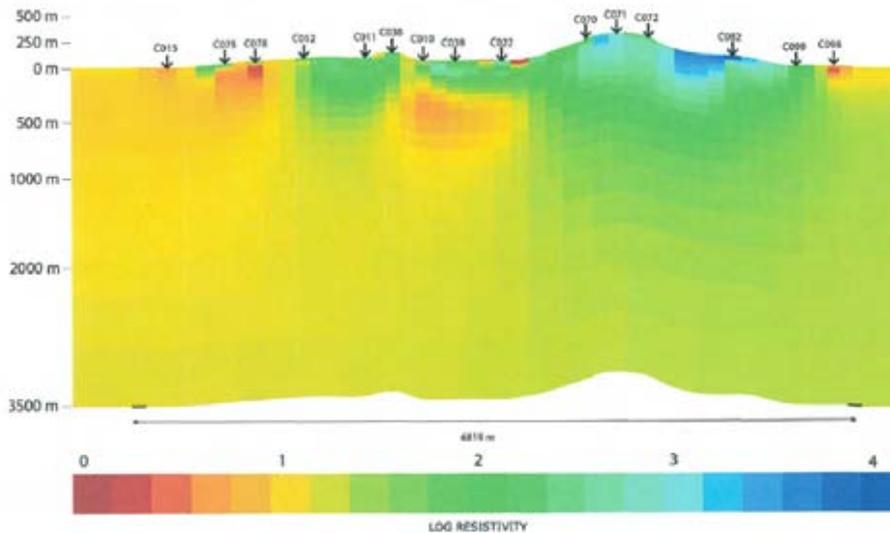


図 III-2-6 CSAMT 法 2次元解析結果断面の例

3. 既存地化学データ

a. 噴気・温泉ガス分析

PT.PLN Geothermal により実施された FS(2010) では、地化学調査の一環として温泉・噴気ガスの分析が行われている。温泉・噴気ガスは、一般には地熱資源の有望性等を調査するために実施される。坑井噴気試験による坑井化学特性（不凝結ガス濃度及び組成）データが得られていない場合には、作業仮説としての坑井蒸気化学特性を把握するため、周辺の自然噴気の化学分析が行われることがある。

本地域で過去に調査された温泉・噴気ガスのデータを表 III-2-1 に示す。通常、地熱流体にはほとんど含まれない酸素ガスの割合が高く、同時に窒素の割合も高い。これらの酸素・窒素データは、温泉・噴気ガスが空気の混入の影響を受けていることを示している。本地域では、硫化水素ガスの分析はどの地点でも行われていない。温泉ガスの温度が比較的低いこと、実際に今回の現地調査を行った噴気・温泉地ではほとんど硫化水素臭がしなかったことから、硫化水素ガスはどの地点の温泉ガスにも、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と判断した。

表 III-2-1 温泉・噴気ガス組成

サンプル No.	CO ₂	O ₂	N ₂	Ar	CH ₄	採取地点	
TLH-3	1.83	32.62	66.48	0.00	0.07	トゥレフ海岸	トゥレフ
BTL-1	27.71	30.73	38.61	0.00	2.95	バトゥロンバ海岸	
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	バトゥロンバ海岸 2	
HRK-1	95.57	2.33	1.72	0.00	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	

本地域での調査井掘削は、一般的な地熱発電開発の手順からすればもっと早く実施されるべきであったが、2011年7月上旬にようやく掘削が完了した段階であり、噴出試験は実施されていないため、噴出流体の化学性状は不明なままである。しかし、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、タービン発電機概念設計を行う必要がある。この設計には、坑井噴出流体の化学特性データが不可欠である。そこで、本調査では、地熱井から得られる噴出流体の化学特性を代表するような自然噴気が本地域に存在するかどうか、現地調査を行い確認した。現地調査の結果、残念

ながら、地熱貯留層流体の特性を反映するような噴気ガスの採取は困難であると判断された。ただし、本調査において収集した既存データの中に、地熱流体に含まれる一般的な不凝結ガスの特徴をもつ温泉ガスデータが得られていることが明らかになった。この既存データを用いて地熱蒸気の化学特性を検討することとした。

表 III-2-1 に示す TLH-3 のガスサンプルは比較的溫度の比較的高い温泉水(表 II-2-2) から分離したものである。CO₂ や NCG の割合は、空気の影響を除けば、一般的な地熱流体中のガスの特徴を有している。そのほかのガスデータのなかには現在の調査井掘削地点の近傍で採取されたものもあるが、ガス中の約半分が CO₂ や NCG というケースもあり、一般的な地熱流体中のガスの特徴とは異なる。このため、TLH-3 の温泉ガスが開発の対象となる地熱貯留層の流体を代表しているかどうか現状では不明瞭ではあるが、作業仮設としての地熱蒸気の不凝結ガス組成を TLH-3 ガスデータから推定した。

このデータのガス中の酸素・窒素は空気の混入によるものと判断されることから、これらを除き CO₂ の割合を計算した。TLH-3 の温泉水は、後述するように貯留層岩石と相互作用した地熱熱水であり、その pH は中性である。中性の地熱水から分離した蒸気中の CO₂/H₂S 比は一般に比較的大きく 10~100 のモル比となることが多い。特に海水が起源となった熱水では、pH が高いために H₂S は熱水中に溶解しやすく、蒸気中の H₂S 濃度は低くなる。ここでは、海水起源水の混入が認められることから、モル比を高めめの 50 と想定した。その結果、TLH-3 データに基づき想定された蒸気中の不凝結ガス濃度 (NCG) 及びその組成は次のようになる。

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

この TLH-3 ガスは、開発地域から離れた地点での採取されたガスであることや採取条件が不明なこと等のため、これらが妥当な値かどうか判断できないが、概念設計等の作業の仮説として地熱井の蒸気中の不凝結ガス濃度・組成と設定したい。アンボン島に分布する三畳紀の堆積岩類が本地域の深部にも存在し、貯留層流体の CO₂ ガス濃度を高めている可能性がある。ただし、実際の開発対象の地熱貯留層から得られる流体では、このようなガス濃度・組成とはならない場合も考えられる。調査井掘削及び噴気試験後、それらの結果を基に蒸気の化学特性は見直す必要がある。

b. 温泉水化学分析・同位体分析

温泉水の化学分析・同位体分析結果を用いて地熱資源賦存の可能性検討、地熱貯留層流体の起源把握、地熱貯留層流体温度推定、地熱貯留層流体の分布状態と挙動把握およびスケール・腐食等の課題有無把握と対応策等の検討が、一般には実施される。本地域の化学組成データ及び水素・酸素同位体データを表 III-2-2、図 III-2-7、図 III-2-8

に示す。また、地化学温度を表 III-2-3 に示す。

(1) 地熱資源賦存の可能性と地熱流体の起源について

図 III-2-7 に示すように本地域の温泉水は Cl 型または Cl-HCO₃ 型であり、Cl 濃度は最高 5,730mg/L と高い。これは、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なっているためと考えられる。図 III-2-8 に示すように、海水と地下水の混合で説明できる温泉水も多いが、シラ温泉やビル温泉等の温泉水では、図 III-2-9 に示すように熱水が周辺の岩石と相互作用したことを示す酸素-18 シフトが見られる。酸素-18 シフトは高温の地熱貯留層で生じ、地熱流体の賦存の可能性を示している。しかし、石灰岩等の炭酸塩中では低い温度であってもシフトが起きる場合があることからこのデータだけで地熱熱水が賦存していると判断することはできない。一方、海水起源水の場合、Cl/B 比（モル）は約 1200 程度を示すが、シラ温泉等の酸素シフトの見られる温泉水では 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 II-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°C 程度と高い値を示している。以上のことから、本地域には海水及び地下水を起源水とし加熱された地熱資源が賦存していると判断される。

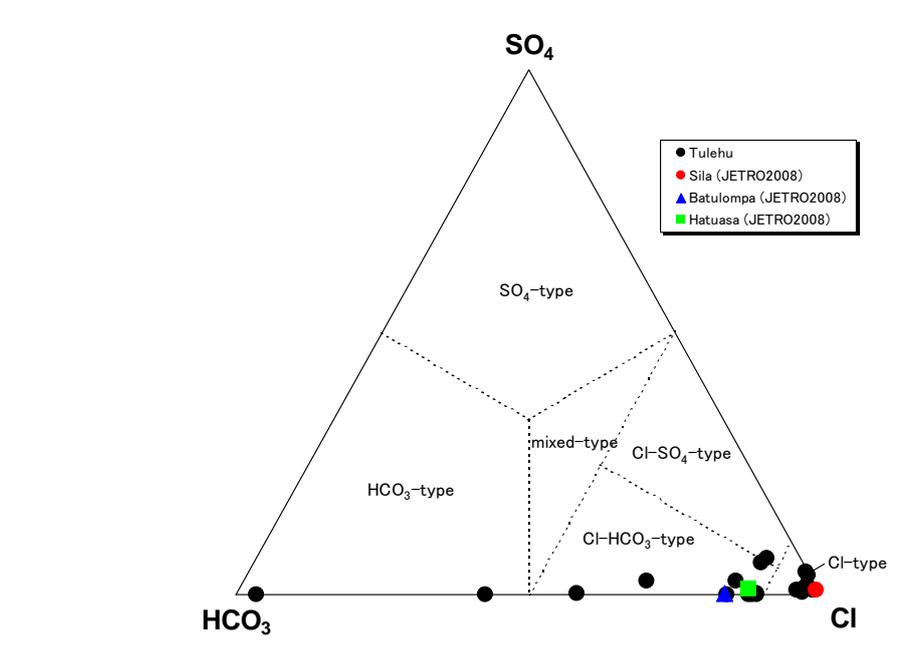


図 III-2-7 温泉水の主要陰イオン三成分図

表 III-2-2 温泉水の化学組成

No.	Code	SiO ₂ (ppm)	Al (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Li (ppm)	NH ₃ (ppm)	Cl (ppm)	SO ₄ (ppm)	HCO ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)	B (ppm)	pH lab.	flow rate (l/min.)	water temp. (°C)	試料採取地点
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

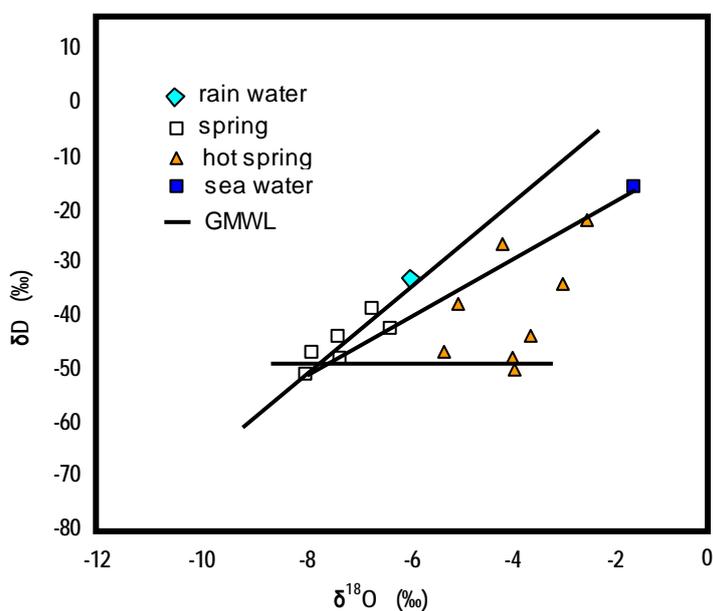


図 III-2-8 温泉水の酸素・水素同位体比

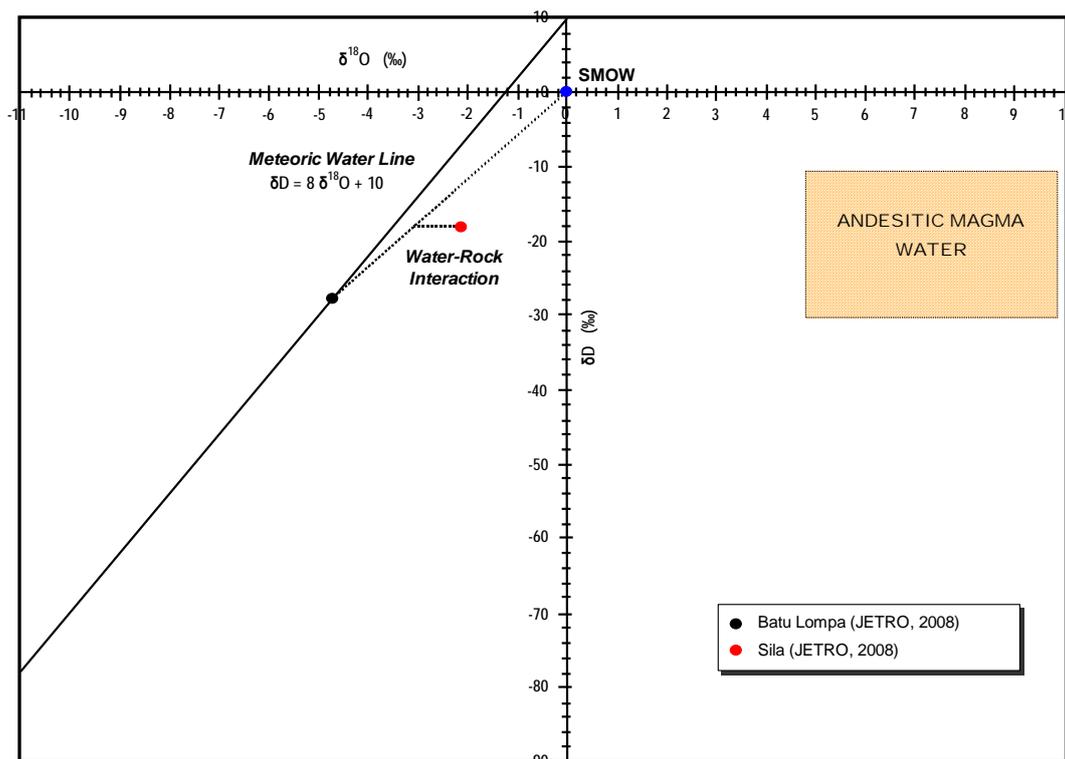


図 III-2-9 シラ温泉水等の酸素・水素同位体比

(2) 地熱貯留層温度について

地熱貯留層温度を求めるために、既存調査では地化学温度計が適用されている。地下水による希釈や冷却が生じているために、正確な温度把握は、調査井を掘削しなければ把握できないが、Na-K-Ca 温度計は Sila で 200℃を示していることから、本地域の貯留層温度は 200℃以上あるものと推定される。

表 III-2-3 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	ハトゥロンパ岬
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	ハトゥロンパ島
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

トゥレフ

ハルク

(3) 地熱貯留層流体の分布状態と挙動について

G. Eriwakang の北に分布する温泉は、Cl 濃度にばらつきがあるが、Cl/B 比は類似しており、130 前後のモル比を示している。これは一つの貯留層を起源とした熱水が、この地域に分布する可能性を示している。断層沿いにこれらの温泉は広がっており、断層沿いに貯留層も広がっている可能性を示すものと思われる。

貯留層を構成する岩石については、Cl/B 比の検討により推定できる場合もあるが、本地域の場合海水起源水であることから、Cl/B 比による岩石種の判断は難しい。しかし、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り、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。堆積岩や石灰岩が貯留層坑井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の析出等の開発上の問題が生じる可能性がある。

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、Sila 地点で湧出している温泉が最も高温の地熱貯留層から派生した地熱熱水により生成されているように見える。化学・同位体データから見れば、この地点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あることになるが、他地点については深部に地熱資源が賦存していても、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り、この地域及び周辺の断層等の地質構造に沿う透水性層の分布を考慮した総合解析により地熱貯留層構造を把握する必要がある。

- (4) スケール・腐食等のエンジニアリング上の課題の有無の把握と対応策について
- 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。しかし、発電所の設計条件によるが、共存塩濃度が高いこともあり、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。貯留層温度が推定どおり 200℃を超える程度であれば、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。

4. 坑井調査データ

a. TG-1

TG-1 は、バンダ変質帯の南側で深度 40m まで掘削された測温孔である（図 III-2-1 参照）。地表から 17m までは凝灰質の粘土層で、これはエリワカン火山碎屑岩と考えられる（図 III-2-10 参照）。17m から 40m までは珪化したデイサイトと記載されている。このデイサイトはサラフトゥ-2 デイサイト溶岩に対比される可能性がある。坑底で測定された温度は 41°C であった。

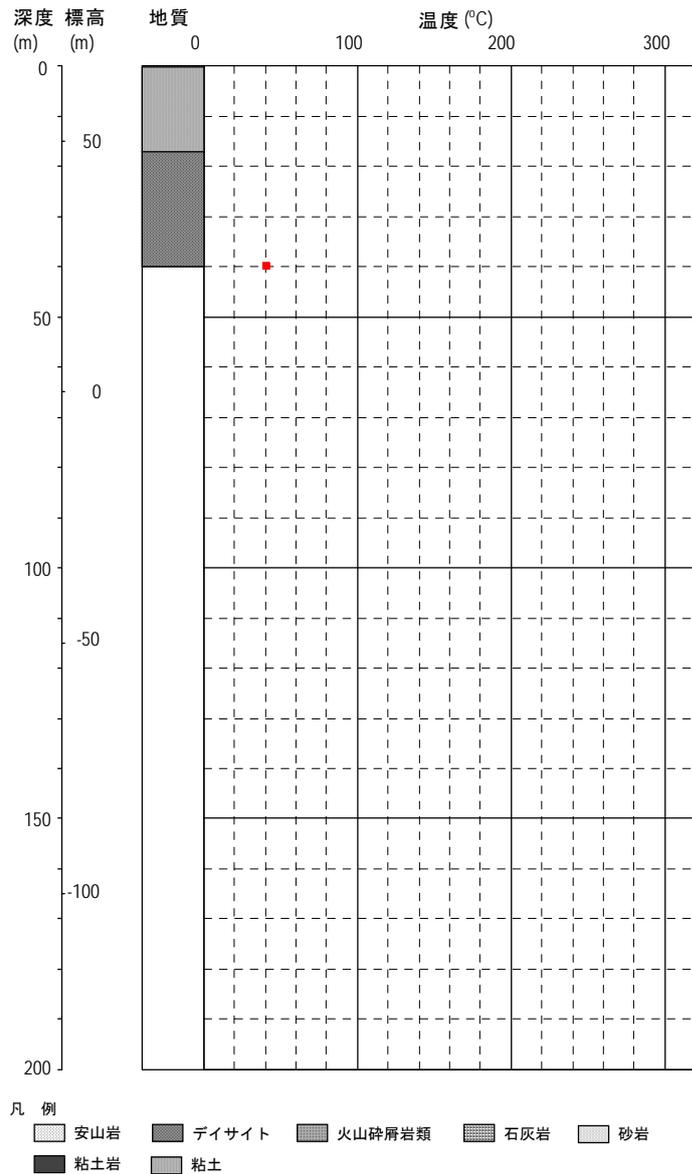


図 III-2-10 TG-1 坑井柱状図

b. TG-2

TG-2 は、スリバワ集落の海岸近くで深度 120m まで掘削された測温孔である（図 III-2-1 参照）。地表から 10m までは砂質粘土層で、10m から 33m までは砂層であった。これらは表土層と考えられる（図 III-2-11 参照）。33m から 51m まではサンゴ石灰岩層と記載されており、石灰岩層に対比される。51m から 110m までは粘土層と記述されており、110m から 120m まではデイサイトである。これらの層はそれぞれエリワカン火山碎屑岩類とサラフトゥ-2 デイサイト溶岩に対比されると考えられる。120m の坑底で測定された温度は 36°C であった。

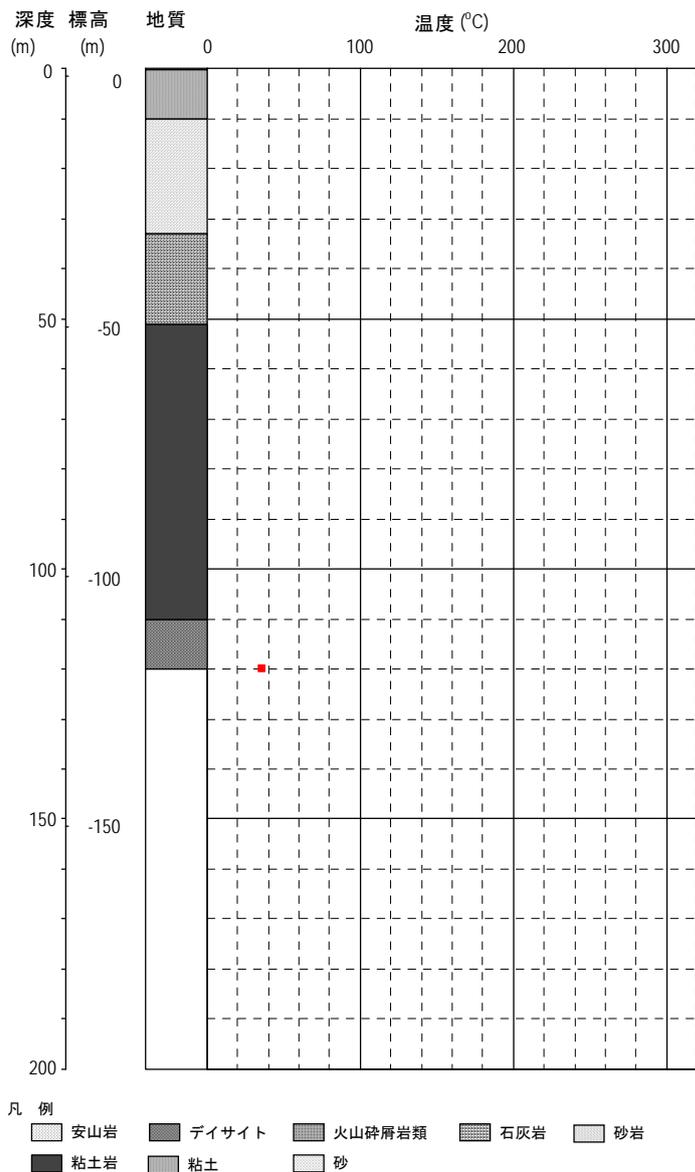


図 III-2-11 TG-2 坑井柱状図

c. TG-3

TG-3 は、ハトゥアサ温泉の近くで深度 40m まで掘削された測温孔である(図 III-2-1 参照)。地表から 15m までは粘土層で、15m から 25m までは砂質粘土層であった。これらは沖積層と考えられる(図 III-2-12 参照)。25m から 40m まではデイサイトである。この層はサラフトゥ-2 デイサイト溶岩に対比されると考えられる。坑底で測定された温度は 31°C であった。

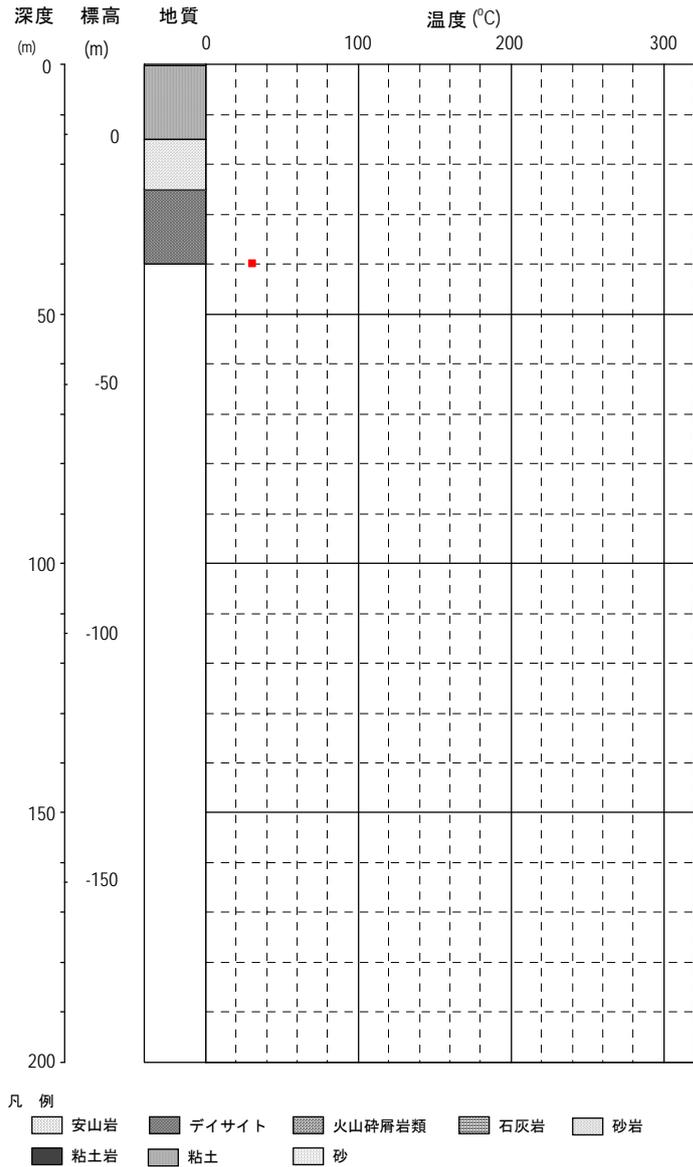


図 III-2-12 TG-3 坑井柱状図

d. W2.1

W2.1 は、TG-1 の近くで深度 150m まで掘削された測温孔である (図 III-2-1 参照)。地表から 69m までは火山碎屑岩類で、シマロプ火山碎屑岩類に対比されると考えられる (図 III-2-13 参照)。69m から 71.6m までは粘土岩、71.6m から 84m まではデイサイトであった。これらはサラフトゥ-2 デイサイト溶岩と考えられる。84m から 89.7m までは粘土岩、89.7m から 150m まではデイサイトである。これらの層はサラフトゥ-1 デイサイト溶岩に対比される可能性がある。深度 90m から 110m 間でやや温度低下しているが、全体的には深度が増すととも温度が増加しており、坑底では 122.6°C に達している。

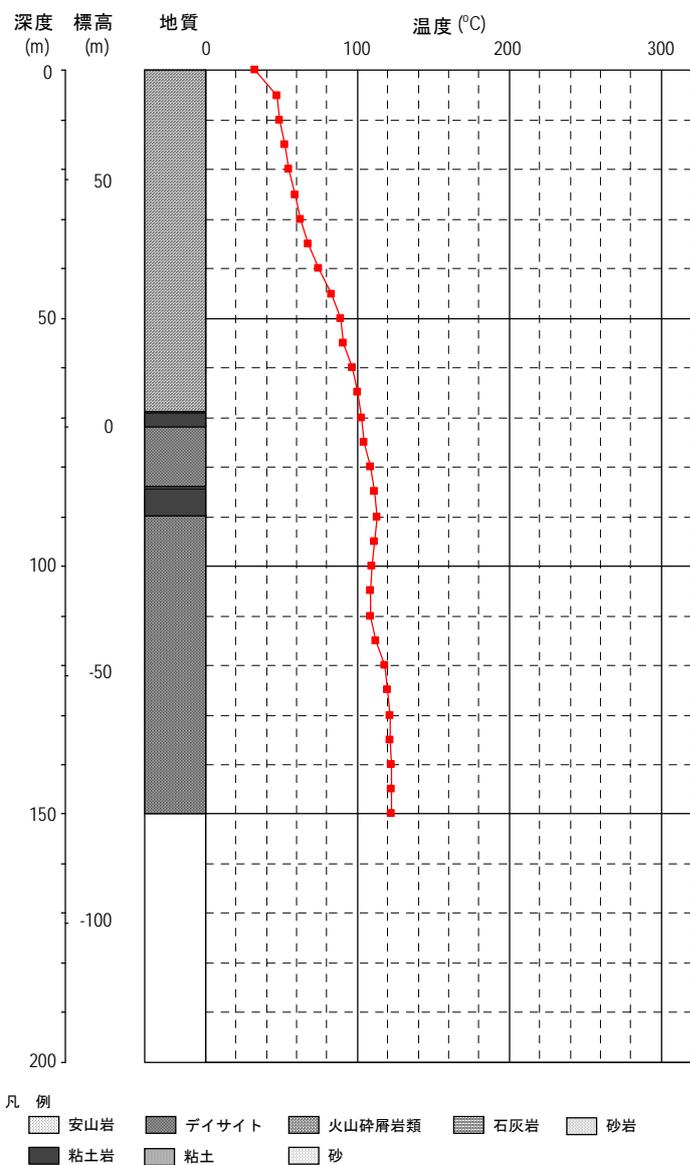


図 III-2-13 W2.1 坑井柱状図

e. W2.2

W2.2 は、ルトゥン川上流部で深度 150m まで掘削された測温孔である（図 III-2-1 参照）。地表から 7m までは火山碎屑岩類で、サラフトゥ火山碎屑岩類に対比されると考えられる（図 III-2-14 参照）。7m から 69.6m まではデイサイトであり、サラフトゥ-2 デイサイト溶岩と考えられる。69.6m から 74.7m までは粘土岩、74.7m から 132.5m まではデイサイトである。これらの層はサラフトゥ-2 デイサイト溶岩もしくはサラフトゥ-1 デイサイト溶岩に対比されると思われる。132.5m から 135.7m までは砂岩、135.7m から 150m まではデイサイトである。これらの層はサラフトゥ-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。

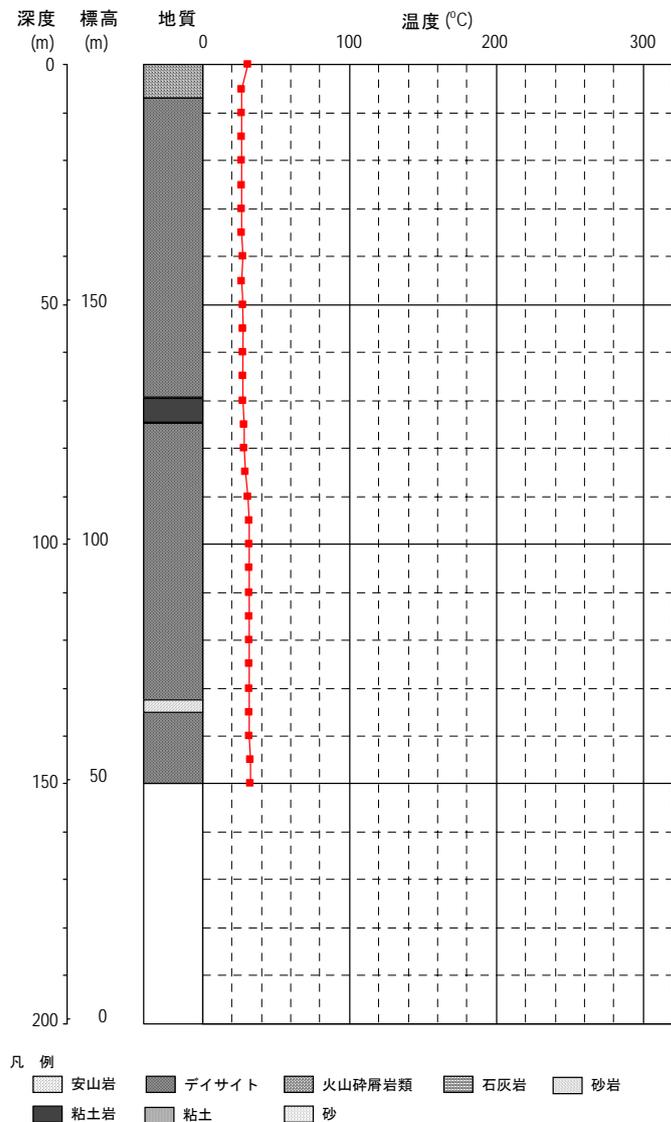


図 III-2-14 W2.2 坑井柱状図

f. W2.3

W2.3 は、テランアラム山（フベ山）の北西麓で深度 150m まで掘削された測温孔である（図 III-2-1 参照）。地表から 44.5m まではサンゴ石灰岩、44.5m から 53.4m までは火山碎屑岩類、53.4m から 55m まではサンゴ石灰岩であり、石灰岩層に対比される（図 III-2-15 参照）。55m から 111.4m までは火山碎屑岩であり、フベ火山碎屑岩類に対比される。111.4m から 112.3m まではデイサイト、112.3m から 122.4m までは火山碎屑岩、122.4m から 150m まではデイサイトであった。これらはサラフトウ-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。

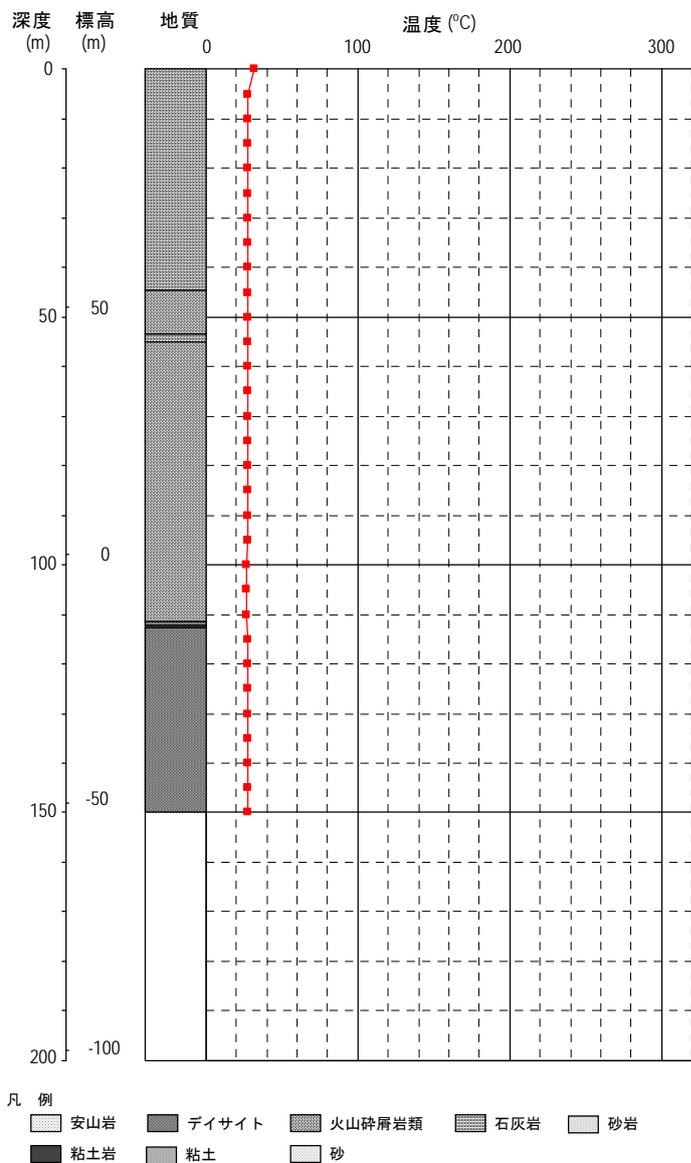


図 III-2-15 W2.3 坑井柱状図

g. TLU-01

地質

調査井 TLU-01 は、測温孔 TG-1 と W2.1 との間に位置しており（図 III-2-1 参照）、掘削敷地の標高は約 76m である。元坑は深度 911m まで掘削されたが、掘具が抑留されたため、深度 521.09m からサイドトラックされた。掘削敷地の北西約 1.4km の地点に新第三紀の砂岩が露出している（標高約 50m）ことから、比較的浅部でこの砂岩層に遭遇すると予想された。しかし、砂岩層は確認されなかった。

地表から 64m までは火山砕屑岩層が分布しており（図 III-2-16 参照）、シマロプ火山砕屑岩類に対比される。深度 64m から 85m までは変質した安山岩層が分布しており、サラフトゥ-2 デイサイト質溶岩に対比されると考えられる。深度 85m から 911m（元坑）までは火山砕屑岩が主体であるが、深度 459m から 471m までは安山岩層が占めている。これら全てがサラフトゥ-1 デイサイト質溶岩に対比可能かどうかは判断できないが、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。

逸水層および透水性

深度 330m で部分逸水が発生し、332m から 350m の深度区間で一時全量逸水となっている。これ以深は、部分逸水が継続する状態で 618m まで掘削が行われた。 $9\frac{5}{8}$ ケーシング設置（設置深度 616m）により逸水は停止したが、深度 725m で部分逸水が発生した。深度 911m まで逸水は継続したが、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、部分逸水と全量逸水が繰り返す状態で 932.67m（垂直深度 930.75m、坑底）まで掘削が行われた。

掘削終了後の注水試験では、毎分 600 リットル注水時の坑内流速測定により逸水層位置と逸水割合が推定されている（図 III-2-17 参照）。深度 700m 付近と 900m 付近で流速が大きく低下している。掘削中に深度 703m で全量逸水が発生していることから、深度 703m 付近と 900m 付近に大きな逸水層が存在していると考えられる。なお、深度 750m、800m および 850m では流速が深度 700m よりも上昇している。このような現象は、地層中から坑内へ流体が流入している場合にも発生するが、TLU-01 については坑径の変化（掘削時の坑壁の崩壊等）に起因するものと考えられる。

また、注水試験では多段階注水試験も行われている。毎分 600 リットルの注水後に、検層器を深度 700m に設置し、流量を毎分 900 リットル、1200 リットル、1500 リットルに変化させた場合の圧力変化が記録されている。ただし、注水時間は 15 分から 30 分程度と短く、各流量において圧力が静定していない可能性もある。多段階注水時の圧力変化から、TLU-01 の還元指数を求めた結果を図 III-2-18 に示す。還元指数は、試験対象坑井を還元井として利用した場合に、坑口圧力が 1kg/cm² 増加した際の流量の変化として定義される透水性の指標である。TLU-01 の還元指数は、

28.3(m³/h/kg/cm²)となり、良好な透水性を持つという結果が得られた。

注水試験での注水を停止した後に、圧力変化が測定されている。TLU-01の透水性を検討するために、このデータにカーブマッチング法および重ね合わせ法を適用して坑井の浸透率一層厚積を求めた（図 III-2-19 参照）。カーブマッチング法による浸透率一層厚積（参考値）は、9.6 (darcy-m)となり、重ね合わせ法による解析結果は 5.8 (darcy-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判断される。

変質状況

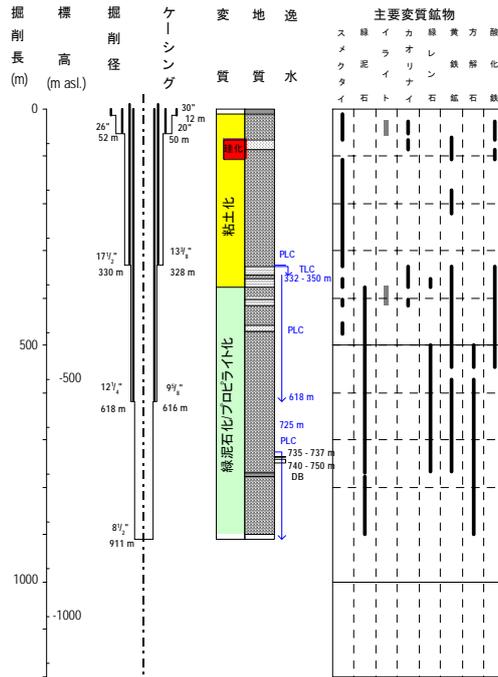
地表付近から深度 378m まではスメクタイトによって特徴づけられる粘土化帯となっている。この粘土化帯の底部付近から掘削中の逸水が始まっており（深度 330m）、難透水層（帽岩）となっている粘土化帯と判断される。なお、深度 64m 付近から 85m 付近にかけては比較的強く珪化している。なお、200℃以下で生成されると考えられるスメクタイトは地表付近から深度 475m 付近までに認められているが、200℃以上で生成されると考えられる緑泥石は 378m 付近以深で、緑レン石は 360m 付近以深で認められている。これらの変質鉱物が現在の熱水変質作用によって生成されたとすれば、360m 付近以深の温度は 200℃を上回っていると期待された。

温度状況

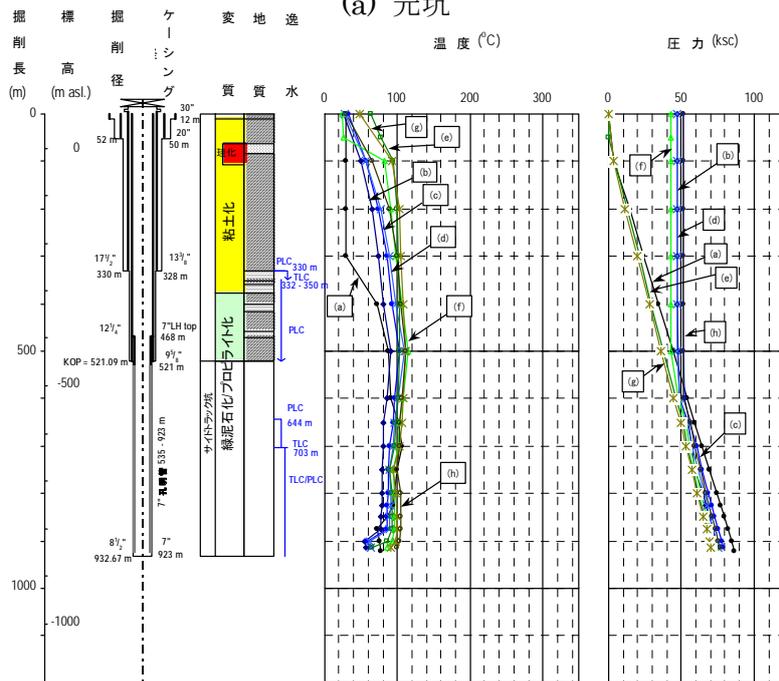
掘削終了にともない、注水試験後に温度回復試験として温度と圧力の測定が注水停止 14 時間後、28 時間後、40 時間後、52 時間後、63 時間後、87 時間後および 111 時間後の 7 回実施されている（図 III-2-16、表 III-2-4 参照）。送水停止 63 時間後の深度 500m で測定された 115.42℃（坑内加圧状態、水位 550m）が最高温度である。全体的に温度の回復が遅い。サイドトラック坑掘削にあたって、坑内状況を良好に保つために、逸水状況下で泥水が多量に坑内へ送水されている。この掘削中に坑内へ送水された泥水の影響がかなり残っているために温度回復が遅いと考えられる。

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-2-4 に示す。通常温度回復試験では、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水位を 550m ほど変化させており、送水停止後の経過時間を静置時間とみなすことはできない。このため、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る。深度 900m における実測温度と計算温度との比較を図 III-2-20 に示す。両者は比較的一致していることから、計算された平衡温度（約 230℃）はこの深度における本来の地下温度に近い値を示している可能性が高い。なお、他の深度については、両者はあまり一致しておらず、計算された平衡温度は本来の地下温度を示してい

ないと考えられる。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、今後実証する必要があるが、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-2-21 参照)。



(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

凡例

- ダイサイト (Dy) 安山岩 (And) 安山岩質角礫岩 (And. Breccia) 凝灰角礫岩 (Ash Breccia) 凝灰岩 (Ash) カッティングスなし (No Cuttings)
- TLC 全量逸水 (Total Flow) PLC 部分逸水 (Partial Flow) DB ドリリングブレイク (Drilling Break)

出典：PLN Geothermal

図 III-2-16 TLU-01 坑井柱状図

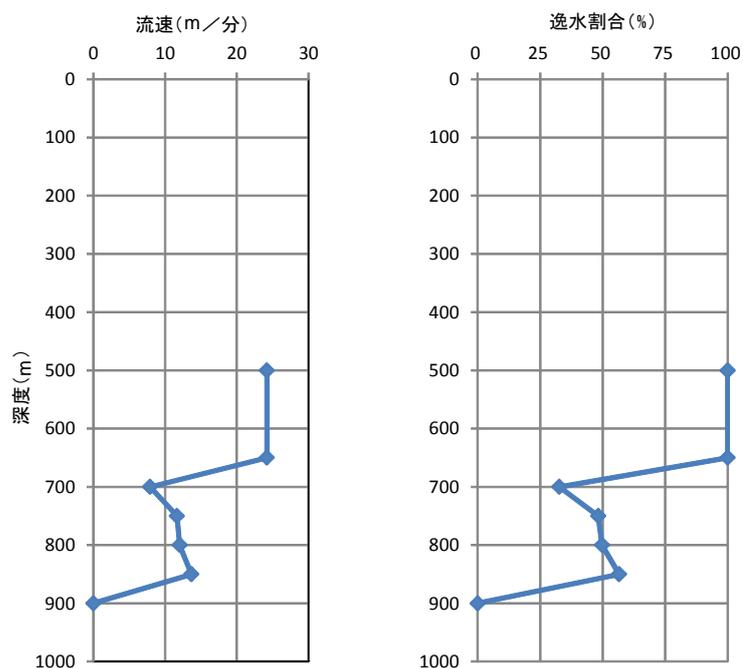


図 III-2-17 TLU-01 注水中の坑内流速と逸水割合

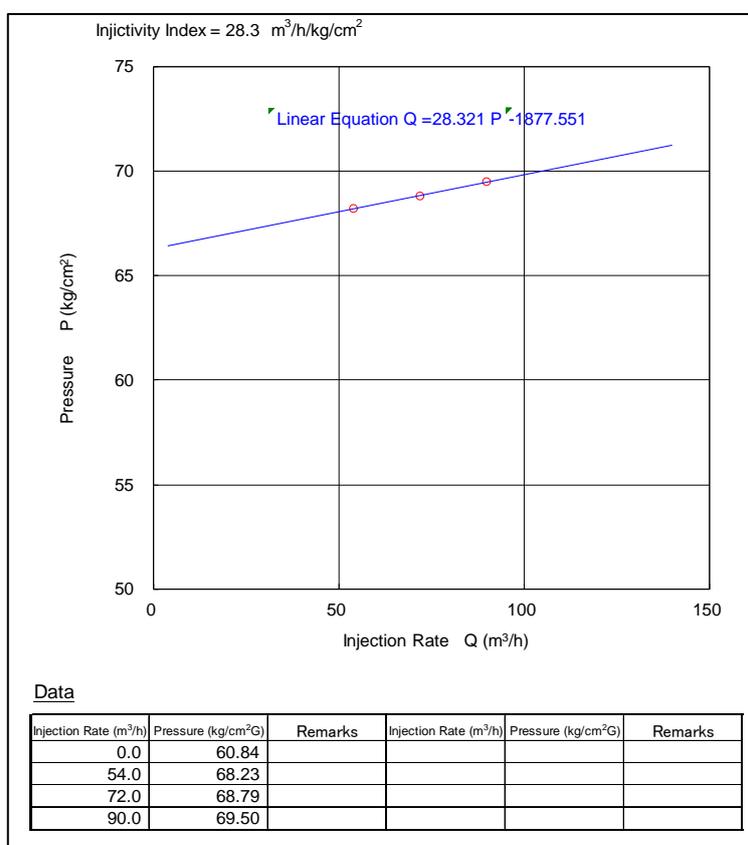
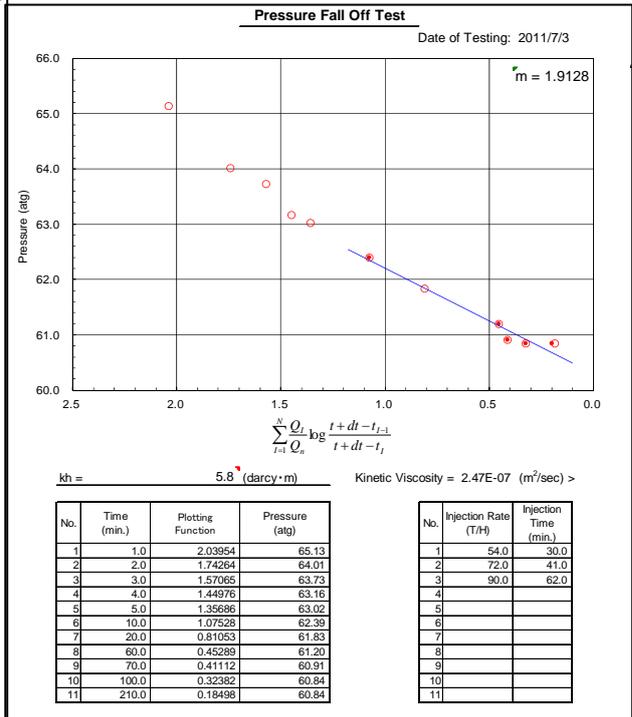
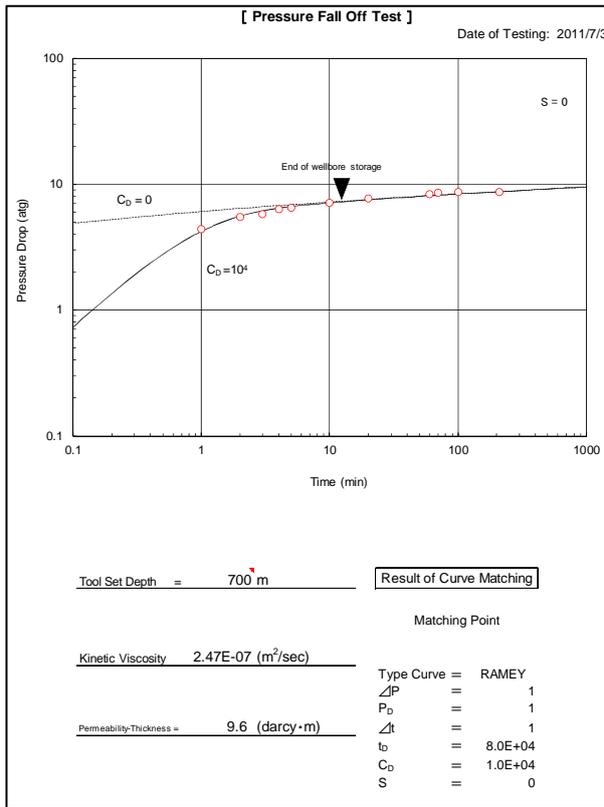


図 III-2-18 TLU-01 還元指数解析結果



(a) カーブマッチング法

(b) 重ね合わせ法

図 III-2-19 TLU-01 浸透率一層厚積の解析結果

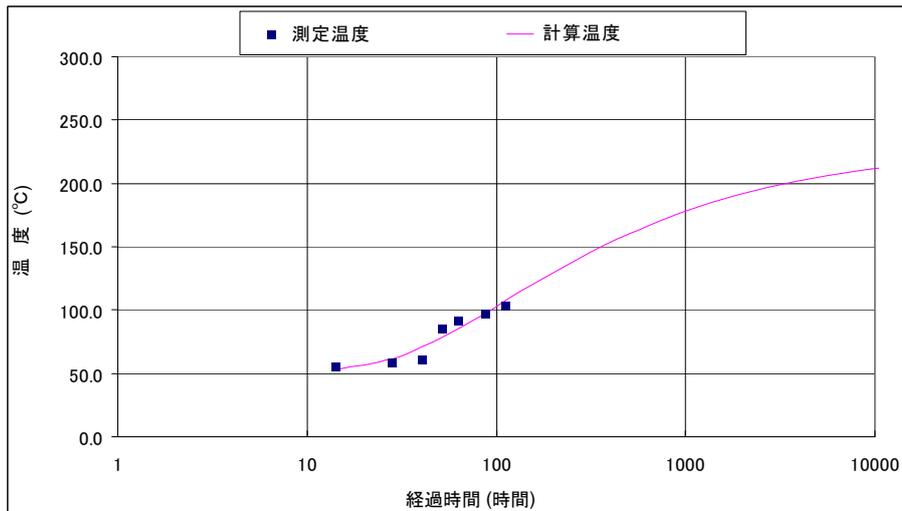


図 III-2-20 TLU-01 の深度 900m における平衡温度計算結果

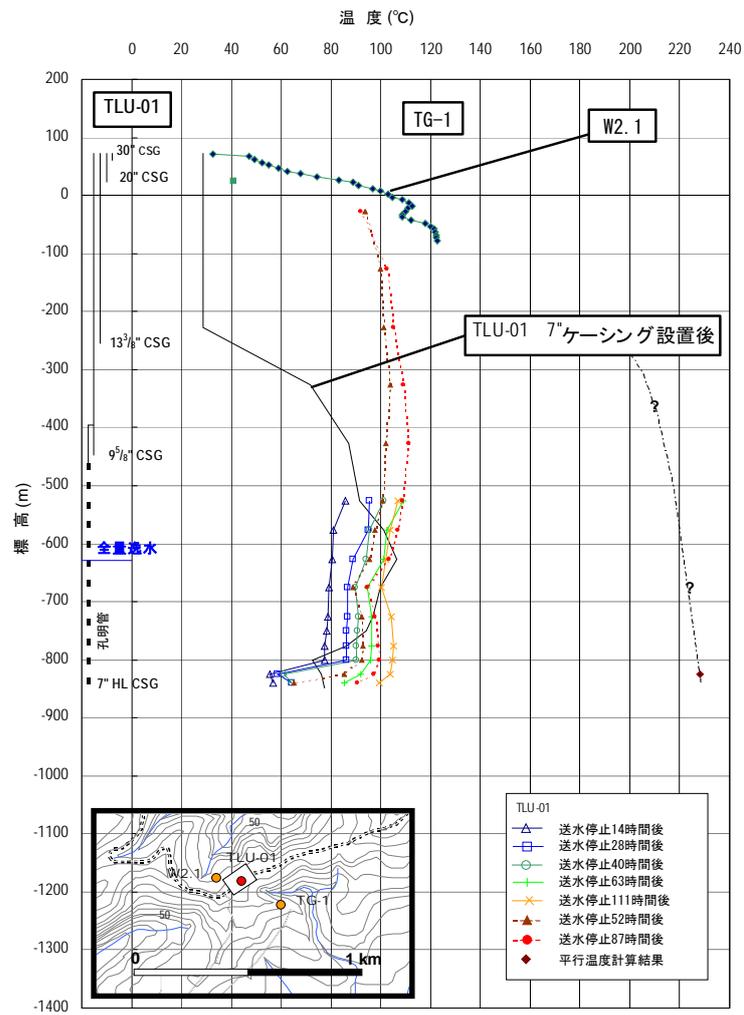


図 III-2-21 TLU-01 周辺坑井温度プロファイル

表 III-2-4 TLU-01 温度・圧力検層結果

実施日		温度回復試験																平衡温度計算結果	
深度	標高	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			
(m)	(m)	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	(°C)	
		(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(kscg)	(°C)	(°C)
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	135	
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	122	
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	120	
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	131	
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	137	
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	136	
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	228	
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.2.3 MT 探査

1. 探査概要

今回実施した MT 探査（地磁気地電流探査）の主要目的は、地下深部における詳細な比抵抗（単位体積当たりの電気抵抗）分布の形状から断裂構造（断層、破碎帯等）の分布や地下における熱水変質帯の分布状況等を検出し、地熱貯留層の位置・方向性を検討するとともに、掘削有望地域の選定の基礎資料とすることである。地熱流体の通路・貯留域となり得る断裂構造（断層・カルデラ壁等）の分布位置を詳細に検討するため、約 700m～800m の間隔でほぼ格子状に設置した 34 測点で測定した。また、貯留層深度に関する過去の調査開発経験や経済的に掘削可能な深度から、概略 1,000～2,500m の貯留層構造が解明できれば良いことから、この深度あるいは、さらに深部の比抵抗情報を得ることが可能な 320～0.001 Hz の周波数範囲において 50 周波数以上のデータを取得した。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）を実施し、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。

2. 探査内容

約 13 km² の範囲に 34 測点を配置し、リモートリファレンス方式 MT 探査を実施した。測定成分は、磁場 3 成分（H_x, H_y, H_z）と電場 2 成分（E_x, E_y）であり、320Hz から 0.001Hz の周波数範囲で 50 周波数以上測定して見掛比抵抗および位相値の計算を実施した。

a. 調査地域および測点配置

トゥレフ地域で実施した MT 探査の測点配置図を図 III-2-22 に示す。測点は比抵抗構造および断裂構造の分布位置を詳細に把握するために、図に示すように測点間隔約 700 m～800 m で、概略格子状に配置した。なお、本調査で測定を実施した測点数は 34 点であり、測点位置の座標は GPS を用いた簡易測量によって決定した（MT 探査測点座標一覧表を表 III-2-5 に示す）。現地における測定は PT. Elnusa TBK の技師および西日本技術開発株式会社の技師による共同作業により実施された。また PT. PLN により、測定に必要な現地作業の許可取得および現地作業の助勢が行われた。

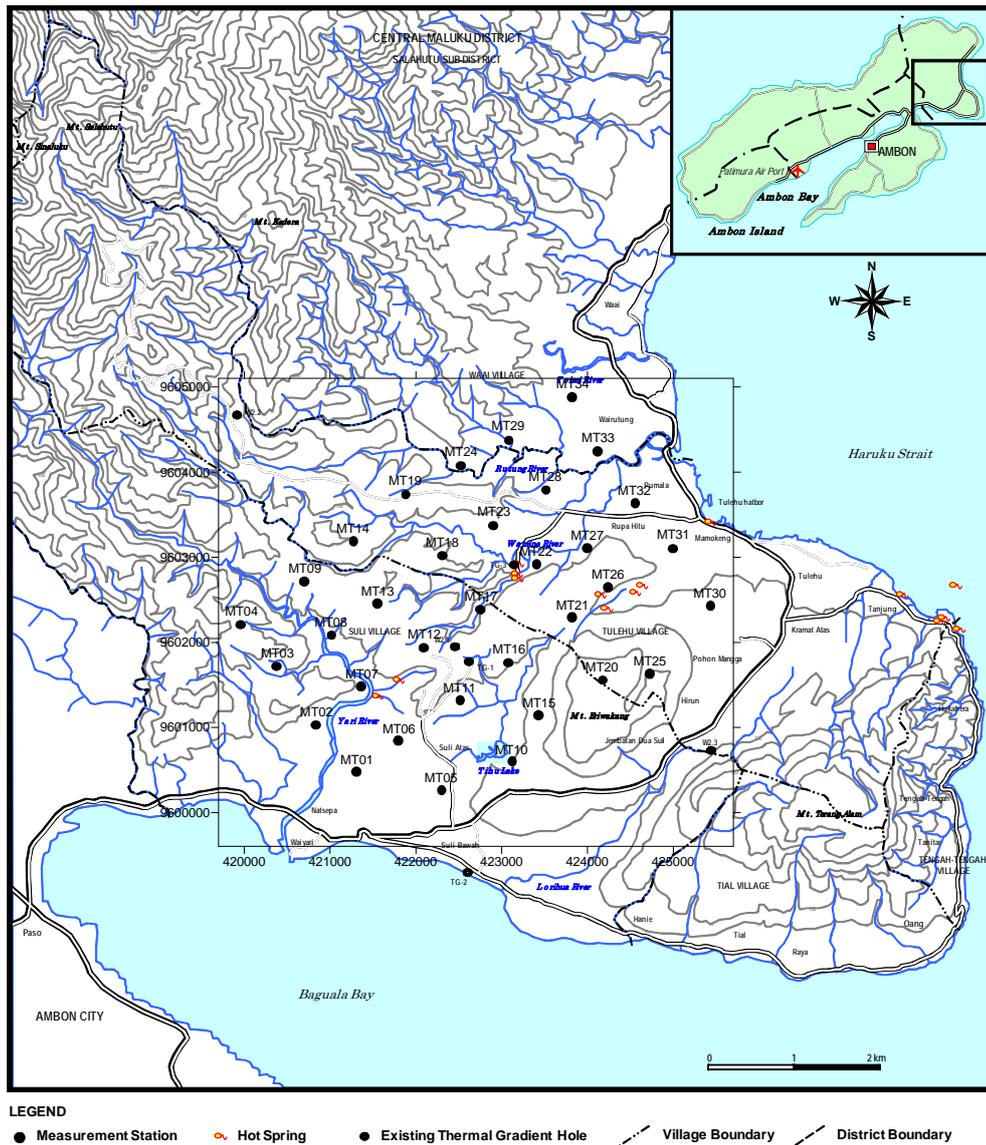
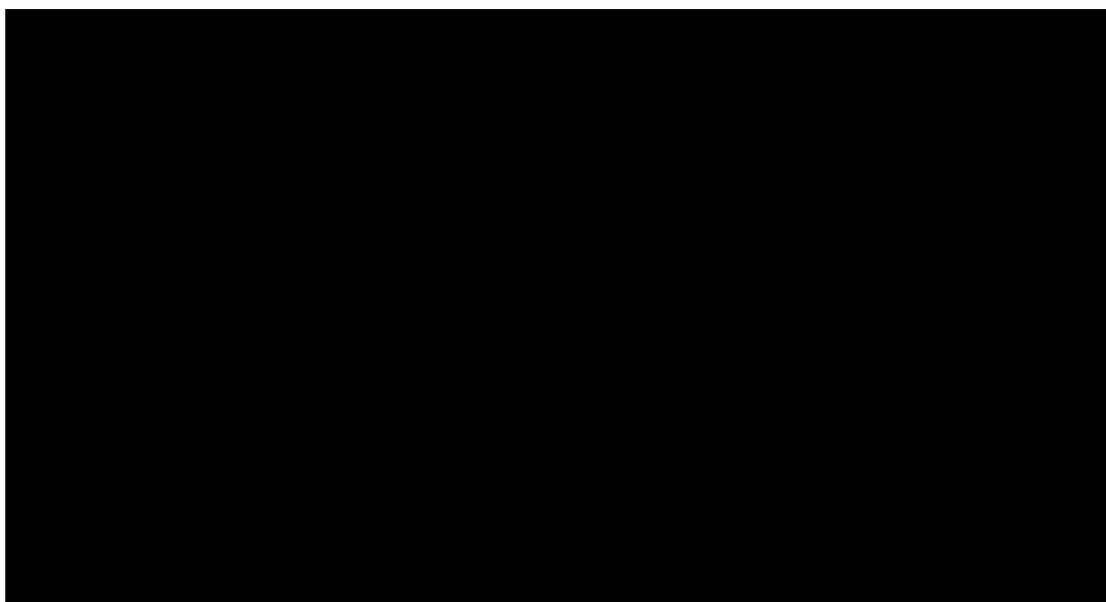


図 III-2-22 MT 法探査測点配置図

表 III-2-5 MT 法探査測点座標一覧表

The table content is completely redacted with a solid black box.

b. リモートリファレンス点の選定

電磁ノイズ除去のために設置するリモートリファレンス点は、調査地域の外に位置し、且つ電磁ノイズ（電線、パイプライン、民家等）が可能な限り少ない地点を選定する必要がある。トレフ地域の調査においては調査地域の北北西約 10 km の地点においてテスト観測を実施したところ、電磁ノイズが比較的少なく、本調査のリモートリファレンス点として適当であると判断された。このため、この地点に調査期間中、リモートリファレンス点を設置し、観測を行った。

c. データ取得方法

本調査では、リモートリファレンス点と調査地域内の測点 2～3 点で、同時観測を行うリモートリファレンス方式を実施した。観測点においては、電場 2 成分 (Ex, Ey) および磁場 3 成分 (Hx, Hy, Hz) について時系列データの測定を実施した。なお、電位電極間隔は原則として Ex, Ey ともに原則 100m として測定を実施した。

電場および磁場データの測定は、主に人工ノイズが少ないと考えられる夜間帯（14 時から翌朝 8 時まで）に実施した。測定した周波数は 320Hz から 0.001Hz であり、この周波数帯において、50 周波数以上の見掛比抵抗値および位相値を算出した。時系列データの取得は、各測定点およびリモートリファレンス地点で同時に行い、1GB のフラッシュメモリカードに記録した。なお、全周波数データは 40 以上のセグメントに分割して、周波数解析を行い、クロスパワー、インピーダンステンソルを計算した後、最終的に見掛比抵抗値および位相値を算出した。なお、各測定点において取得されたデータは、ノートタイプのパーソナルコンピューターを用いて各観測点で回収

し、宿舎にて外付け型ハードディスクに記録を行った。MT 探査の測定装置配置状況図を図 III-2-23 に示す。

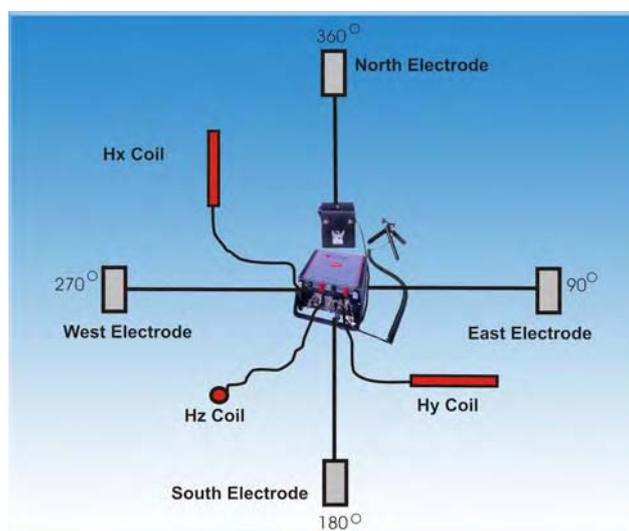


図 III-2-23 MT 探査測定装置配置状況図

d. 現地データ処理

各測定点およびリモートリファレンス地点において回収された電場および磁場の時系列データは、宿舎にてリモートリファレンス処理を施した。リモートリファレンス処理後のクロスパワーデータを用いて、以下に示す MT パラメータの算出を行った。

- ・ 周波数毎の見掛比抵抗値
- ・ 周波数毎の位相値
- ・ 見掛比抵抗値および位相値データの標準偏差
- ・ コヒーレンシー等の他の MT パラメータ

リモートリファレンス処理により得られるクロスパワーデータの編集後、上記データの連続性、S/Nを確認し、データの品質が悪い場合には、同一測点による再測定を実施した。また、再測定においてもデータ品質の向上が認められない場合には、測定点を若干移動して再度測定を行った。今回の現地測定においては、幾つかの測点における低周波数のデータにおいて、標準偏差が比較的大きなデータが認められたものの、解析には十分な精度のデータを取得することができた。

また、各周波数の 40 クロスパワー毎の見掛比抵抗および位相をコンピューター画面出力することにより、時間毎のノイズ状況を把握し、特にノイズが多いと考えられる時間帯のデータを取り除くエディット処理（データ編集作業）を実施した。この作業はデータ回収後、PT. Elnusa TBK の技師により宿舎にて実施され、西日本技術開発（株）の技師がチェックを行った。

e. 解析方法

データ解析の最終目的は、調査地域の地下浅部から深部に至るまでの比抵抗分布を精度良く解析し、この比抵抗構造により地下地熱構造の検討に役立てることである。

(1) データ解析の概要

MT 法データの解析の基本式はカニヤルの式 (Cagniard equation) と呼ばれており、[1]式で表現される。この式は水平成層大地に平面電磁波が垂直に入射するとして、マックスウエルの方程式 (Maxwell's equations) により導かれる。

$$\rho_a = \frac{0.2}{f} \left| \frac{E}{H} \right|^2 \quad [1]$$

但し、

- ρ_a : 見掛比抵抗 (ohm-m)
- f : 周波数 (Hz)
- E : 電場 (mV/km) の水分成分
- H : 磁場 (nT) の水分成分

透入深度は、一般に[2]式に示す表皮深度が用いられている。これは、比抵抗が一般的な均質媒質に平面電磁波が垂直に入射した場合に、電磁波が地表の 1/2 に減衰するまでの距離であり、カニヤルの式 (Cagniard equation) における見掛比抵抗値は概略、地表からこの透入深度までの平均的な比抵抗値を示すものである。

$$\delta = 355 \times (\rho / f)^{1/2} \quad [2]$$

但し、

- δ : 透入深度 (表皮深度) (m)
- ρ : 大地の比抵抗 (ohm-m)
- f : 周波数 (Hz)

[2]式から明らかなように、MT 法においては周波数が高くなるにつれ、より浅部の比抵抗情報が、逆に周波数が低くなるにつれ、より深部の比抵抗情報が得られる。これは、各周波数において、直交する電場および磁場を測定すれば、浅部から深部までの比抵抗の分布が計算できることを意味している。

地下の比抵抗構造が 2 次元や 3 次元的に変化する場合には、電場 E_x は、その垂直方向の磁場 H_y のみならず、磁場 H_x とも関係する。同様に電場 E_y は、磁場 H_x だけでなく、磁場 H_y とも関係する。一般的には、地表で観測される自然電場成分 (E_x および E_y) と自然磁場成分 (H_x および H_y) の間には、以下の関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} E_x &= Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \\ E_y &= Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \end{aligned} \right\} [3]$$

但し、

- E_x : 電場の水平成分：通常南北方向 (mV/km)
 E_y : 電場の水平成分：通常東西方向 (mV/km)
 H_x : 磁場の水平成分：通常南北方向 (nT)
 H_y : 磁場の水平成分：通常東西方向 (nT)
 Z : インピーダンステンソル要素

また、磁場の鉛直成分 (H_z) と磁場の水平成分 (H_x および H_y) の関係については以下の式で表すことができる。

$$H_z = A \cdot H_x + B \cdot H_y \quad [4]$$

但し、 A 、 B は係数

上記のうち、 Z (インピーダンステンソル) は地下の電気的性質 (比抵抗構造) の指標であり、これらの値からカニヤルの式を用いて見掛比抵抗値を算出することが可能となる。

(2) リモートリファレンスデータ処理

前述したように、本調査においては、時系列データに含まれるノンコヒーレントノイズを除去するために、リファレンス点を設置し、リファレンス点および測定点で観測された電場・磁場の時系列データを用いてリモートリファレンスデータ処理を実施した。観測点とリモートリファレンス間におけるデータ処理のタイミングは、測定時に時系列データの各ブロックに書き込まれた測定時間、バンド番号等を参照して、両者が一致するデータを自動的に検索して処理され、40個のクロスパワーがクロスファイルとして作成される。これらのデータ (観測点におけるデータとリファレンス点におけるデータ) を基に以下の式を用いてリモートリファレンスデータ処理を実施し、観測点毎、周波数毎におけるインピーダンス要素 (Z_{xy} , Z_{yx} , Z_{xx} , Z_{yy}) を算出した。

$$\left. \begin{aligned}
 Z_{xx} &= \langle ExHxr^* \rangle \langle HyHy^* \rangle - \langle ExHy^* \rangle \langle HyHxr^* \rangle : \\
 &\quad / \langle HyHxr^* \rangle \langle HxHy^* \rangle - \langle HyHy^* \rangle \langle HxHxr^* \rangle \\
 Z_{xy} &= \langle ExHxr^* \rangle \langle HxHy^* \rangle - \langle ExHy^* \rangle \langle HxHxr^* \rangle : \\
 &\quad / \langle HyHxr^* \rangle \langle HxHy^* \rangle - \langle HyHy^* \rangle \langle HxHxr^* \rangle \\
 Z_{yx} &= \langle EyHxr^* \rangle \langle HyHy^* \rangle - \langle EyHy^* \rangle \langle HyHxr^* \rangle : \\
 &\quad / \langle HyHxr^* \rangle \langle HxHy^* \rangle - \langle HyHy^* \rangle \langle HxHxr^* \rangle \\
 Z_{yy} &= \langle EyHxr^* \rangle \langle HxHy^* \rangle - \langle EyHy^* \rangle \langle HxHxr^* \rangle : \\
 &\quad / \langle HyHxr^* \rangle \langle HxHy^* \rangle - \langle HyHy^* \rangle \langle HxHxr^* \rangle
 \end{aligned} \right\} [5]$$

但し、

- E_x : 観測点の x 方向の電場 (mV/km)
 E_y : 観測点の y 方向の電場 (mV/km)
 H_x : 観測点の x 方向の磁場 (gamma)

- H_y : 観測点の y 方向の磁場 (gamma)
 H_{xr} : リファレンス点の x 方向の磁場 (gamma)
 H_{yr} : リファレンス点の y 方向の磁場 (gamma)
 * : 共役複素数を意味する

互いに直行する見掛比抵抗 ρ_{xy} 、 ρ_{yx} および位相 ϕ_{xy} 、 ϕ_{yx} は各周波数毎に上記のインピーダンスを用いて、以下の[6]式に基づいて算出した。

$$\left. \begin{aligned}
 \rho_{xy} &= (1/5f)|Z_{xy}|^2 \\
 \rho_{yx} &= (1/5f)|Z_{yx}|^2 \\
 \phi_{xy} &= \tan^{-1}(\text{Im}(Z_{xy})/\text{Re}(Z_{xy})) \\
 \phi_{yx} &= \tan^{-1}(\text{Im}(Z_{yx})/\text{Re}(Z_{yx}))
 \end{aligned} \right\} [6]$$

(3) スタティックシフト処理

電位電極を設置した周辺に局所的な地下浅部の比抵抗異常体が存在する場合、この局所的比抵抗異常が測定されたデータの全周波数成分に影響を及ぼし、見掛比抵抗曲線が上下にシフトすることがある。この影響は、スタティックシフトと呼ばれ、地下の比抵抗構造を解析する上でこの影響を取り除くことは重要である。スタティックシフトは、局所的な地下浅部の比抵抗異常の影響であるため、この影響を受けた測点データは近くに存在するデータとの整合性に乏しく、このため高周波数域の見掛比抵抗分布において、その分布を乱す様な傾向を示すことが多い。今回の解析ではこれらのことを考慮に入れて、以下の方法によりスタティックシフトの除去を行った。

- ▶ 各測点におけるインバリエントモードの見掛比抵抗値 (ρ_{xy} と ρ_{yx} の平均比抵抗) を計算し、高周波数域でのインバリエントモード見掛比抵抗分布図を作成する。
- ▶ 作成したインバリエントモード見掛比抵抗分布平面図を基に、周辺の測点の値と極端に異なる値を示す測点をチェックする。
- ▶ 周辺の測点におけるインバリエントモード見掛比抵抗値と極端に異なる値を示す場合には、この値を周辺のインバリエントモード見掛比抵抗値となだらかな変化をするように補間し、シフトさせる。この際、インバリエントモード見掛比抵抗値のなだらかな分布を得るために重み付き平滑化処理あるいはメディアンフィルター処理を施す。
- ▶ シフトさせたインバリエントモード見掛比抵抗値と実測インバリエント見掛比抵抗値との差異から静補正係数(スタティックシフト値)を算出する。

以上の方法により算出したスタティックシフト補正係数を表 III-2-6 に示す。以後の解析(3次元比抵抗構造解析)においては、スタティックシフト補正後のデータを使用して実施した。

表 III-2-6 スタティックシフト補正係数一覧表

(4) 3次元比抵抗構造解析

3次元比抵抗モデリングは図 III-2-24 に示すようなキューブ状の比抵抗ブロックを用いて差分法により見掛け比抵抗値および位相値の計算を行い、3次元の比抵抗モデルから算出される各測点における見掛け比抵抗値と実際の測定により得られた各測点の見掛け比抵抗値を数学的にマッチングさせることにより、地下の比抵抗構造を解析する方法である。この3次元比抵抗インバージョン解析により、1次元層構造解析や2次元比抵抗構造解析から得られる比抵抗構造に比べて、より精度の高い地下比抵抗構造が把握できることが期待される。

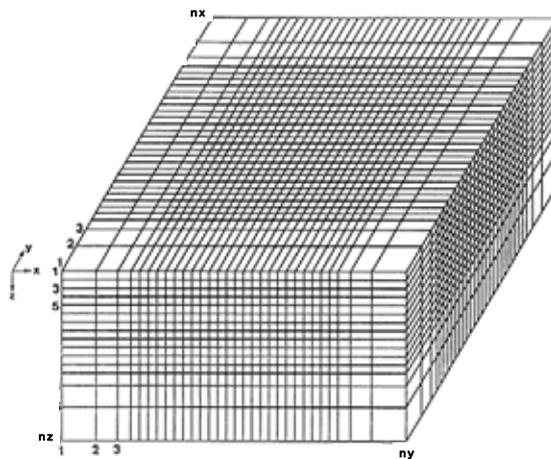


図 III-2-24 3次元比抵抗構造モデル概念図

大地および大気中の電磁場は、以下に示すマックスウェルの方程式で表現される。

$$\nabla \times E = i\omega\mu H \quad [7]$$

$$\nabla \times H = \sigma E \quad [8]$$

但し、

- ω : 角周波数 ($=2\pi f$)
 μ : 大地の透磁率 ($=4\pi \times 10^{-7}$)
 σ : 大地の電気伝導度 (mho)

ただし、変位電流は無視できるものとしている。上式[7]および[8]から

$$\nabla \times (\nabla \times H) = \nabla \times \sigma E = \sigma \times \nabla \times E = k^2 H \quad [9]$$

$$\nabla \times (\nabla \times E) = \nabla \times i\omega\mu H = i\omega\mu \times \nabla \times H = k^2 E \quad [10]$$

ここで、 $k^2 = i\omega\mu\sigma$ である。H を直交座標系の成分 H_x, H_y, H_z に分解すれば、[9]式は以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \partial^2 H_x / \partial y^2 + \partial^2 H_x / \partial z^2 - \partial^2 H_y / \partial x \partial y - \partial^2 H_z / \partial x \partial z - k^2 H_x &= 0 \\ \partial^2 H_y / \partial x^2 + \partial^2 H_y / \partial z^2 - \partial^2 H_x / \partial y \partial x - \partial^2 H_z / \partial y \partial z - k^2 H_y &= 0 \\ \partial^2 H_z / \partial x^2 + \partial^2 H_z / \partial y^2 - \partial^2 H_x / \partial z \partial x - \partial^2 H_z / \partial z \partial y - k^2 H_z &= 0 \end{aligned} \right\} [11]$$

また、E を直交座標系の成分 E_x, E_y, E_z に分解すれば[10]式は以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \partial^2 E_x / \partial y^2 + \partial^2 E_x / \partial z^2 - \partial^2 E_y / \partial x \partial y - \partial^2 E_z / \partial x \partial z - k^2 E_x &= 0 \\ \partial^2 E_y / \partial x^2 + \partial^2 E_y / \partial z^2 - \partial^2 E_x / \partial y \partial x - \partial^2 E_z / \partial y \partial z - k^2 E_y &= 0 \\ \partial^2 E_z / \partial x^2 + \partial^2 E_z / \partial y^2 - \partial^2 E_x / \partial z \partial x - \partial^2 E_z / \partial z \partial y - k^2 E_z &= 0 \end{aligned} \right\} [12]$$

スタッガードグリッドを用いた差分法を利用すると（図 III-2-25 参照）、観測点における磁場を[11]式を用いて解くことは以下の[13]、[14]および[15]式を同時に解くことと同等となる。

$$\begin{aligned} iw\mu H_x(i,j,k) \times dy \times dz &= \langle \rho_{zz} \rangle \{ H_y(i+1,j,k) - H_y(i,j,k) - H_x(i,j+1,k) + H_x(i,j,k) \} / dz \\ &\quad - \langle \rho_{zz} \rangle \{ H_y(i+1,j-1,k) - H_y(i,j-1,k) - H_x(i,j,k) + H_x(i,j-1,k) \} / dz \\ &\quad - \langle \rho_{yy} \rangle \{ H_x(i,j,k+1) - H_x(i,j,k) - H_z(i+1,j,k) + H_z(i,j,k) \} / dy \\ &\quad + \langle \rho_{yy} \rangle \{ H_x(i,j,k) - H_x(i,j,k-1) - H_z(i+1,j,k-1) + H_z(i,j,k-1) \} / dy \quad [13] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} iw\mu H_y(i,j,k) \times dx \times dz &= \langle \rho_{xx} \rangle \{ H_z(i,j+1,k) - H_z(i,j,k) - H_y(i,j,k+1) + H_y(i,j,k) \} / dx \\ &\quad - \langle \rho_{xx} \rangle \{ H_z(i,j+1,k-1) - H_z(i,j,k-1) - H_y(i,j,k-1) + H_y(i,j,k-1) \} / dx \\ &\quad - \langle \rho_{zz} \rangle \{ H_y(i+1,j,k) - H_y(i,j,k) - H_x(i,j+1,k) + H_x(i,j,k) \} / dz \\ &\quad + \langle \rho_{zz} \rangle \{ H_y(i,j,k) - H_y(i-1,j,k) - H_x(i-1,j+1,k) + H_x(i-1,j,k) \} / dz \quad [14] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} iw\mu H_z(i,j,k) \times dx \times dy &= \langle \rho_{yy} \rangle \{ H_x(i,j,k+1) - H_x(i,j,k) - H_z(i-1,j,k+1) + H_z(i,j,k) \} / dy \\ &\quad - \langle \rho_{yy} \rangle \{ H_x(i-1,j,k+1) - H_x(i-1,j,k) - H_z(i,j,k) + H_z(i-1,j,k) \} / dy \\ &\quad - \langle \rho_{xx} \rangle \{ H_z(i,j+1,k) - H_z(i,j,k) - H_y(i,j,k+1) + H_y(i,j,k) \} / dx \\ &\quad + \langle \rho_{xx} \rangle \{ H_z(i,j,k) - H_z(i,j-1,k) - H_y(i,j-1,k+1) + H_y(i,j-1,k) \} / dx \quad [15] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{但し, } \langle \rho_{xx} \rangle &= \{ \rho(i-1,j,k) + \rho(i,j,k) \} / 2.0 \\ \langle \rho_{yy} \rangle &= \{ \rho(i,j-1,k) + \rho(i,j,k) \} / 2.0 \\ \langle \rho_{zz} \rangle &= \{ \rho(i,j,k) + \rho(i,j,k-1) \} / 2.0 \end{aligned}$$

dx, dy, dz : それぞれ x, y, z 方向の格子間隔

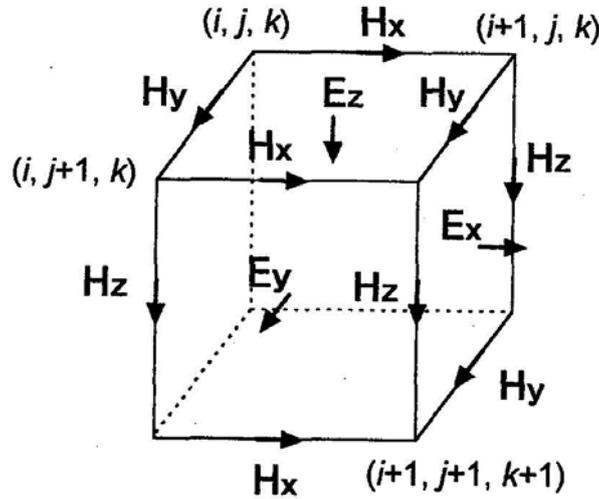


図 III-2-25 スタガードグリッド概念図

上述した[13]、[14]および[15]式を同時に解くに当たって、3次元比抵抗モデルの境界における磁場の値を設定する。設定にあたっては、一次元層構造比抵抗モデルにより解析的に求まる磁場の値を利用した。すなわち、一次元層構造比抵抗モデルから解析的に求まる磁場の値を3次元比抵抗モデルの側面境界に設定した。更に、地表から上空側に7層の空気層を設定し、この空気層は地表から離れるに連れて大きな層厚を有するように設定を行った。なお、この空気層には 10^6ohm-m の比抵抗を与え、最上部には一次元層構造比抵抗モデルから解析的に求まる磁場の値を設定した。また、3次元比抵抗モデルの底面境界にも、同様に一次元層構造比抵抗モデルから解析的に求まる磁場の値を設定した。今回の3次元比抵抗モデル計算においては、地形の影響を考慮に入れていないが、地形の影響の一部はスタティックシフト補正により取り除かれるものと考えられること、および観測された見掛比抵抗の分布と地形との相関性が低いことから、地形の影響が解析結果に大きく影響を及ぼしている可能性は低いと考えられた。

上述の[13]、[14] および [15]を同時に解くことにより磁場の値 (H_x, H_y および H_z) が算出されれば、[8]式を用いることによって、電場の値 (E_x および E_y) を求めることができる。このため、最終的に以下の式を用いることによって、見掛比抵抗値および位相値を算出することが可能となる。

$$\left. \begin{aligned} \rho_{xy} &= 1/i\omega\mu \cdot |E_x/H_y| \\ \phi_{xy} &= \arg(E_x/H_y) \end{aligned} \right\} [16]$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_{yx} &= 1/i\omega\mu \cdot |E_y/H_x| \\ \phi_{yx} &= \arg(E_y/H_x) \end{aligned} \right\} [17]$$

(5) 3次元比抵抗構造インバージョン計算

本解析で用いたインバージョン計算は、平滑化制約付き最小二乗法を用いたものである。この手法では、以下に示す最小二乗法の目的関数 U を最小にすることにより、非線形方程式を解くこととなる。

$$U = (W\Delta d - WA\Delta m)^T (W\Delta d - WA\Delta m) + \alpha (C\Delta m)^T (C\Delta m) \quad [18]$$

ここで W は各データの重み行列、 Δd は実測データとモデル計算値の残差、 Δm は比抵抗モデルパラメータの修正値ベクトル、 α は平滑化パラメータ、 C はモデルのラフネス行列である。関数 U の第1項は実測データと計算データの差異を示し、第2項は3次元比抵抗モデルの粗さ（ラフネス）を示す。この目的関数 U を最小にする Δm は、以下に示す正規方程式を解くことで求めることができる。ただし、モデルの比抵抗値と見掛比抵抗、位相は非線形の関係にあるため、先ず3次元比抵抗モデルの初期値を与え、以下の式を用いて反復改良をすることにより、比抵抗モデル（各比抵抗ブロックの比抵抗値）の修正を実施した。

$$\{(WA)^T(WA) + \alpha C^T C\} \Delta m_{k+1} = (WA)^T \Delta d \quad [19]$$

ここで、 Δm は、反復計算 k 回目における比抵抗モデルパラメータの修正値ベクトルであり、 A はヤコビアン行列（比抵抗モデルパラメータを変化させた時の見掛比抵抗値および位相値の変化率を示す）を示す。実測データ（見掛比抵抗、位相）とスタaggerドグリッドを用いた差分法による計算データの残差二乗和が十分小さくなるまで、[19]式の繰り返し計算を行えば、3次元比抵抗構造モデルの最終解を得ることができる。なお、今回の解析における3次元インバージョンの入力データにおいては、各ブロックの初期値を均質（見掛比抵抗値の平均値）とした。

(6) 地熱地域における比抵抗構造

火山地帯に位置する地熱地域において電気探査や電磁探査等の比抵抗探査を実施した場合、その解析においては低比抵抗ゾーンおよび比抵抗不連続線に着目する。低比抵抗ゾーンとは一般的に 10ohm-m （あるいは 5ohm-m ）以下の比抵抗値を示す地域であり、熱水活動により形成される熱水変質帯の存在を反映していることが多い。

一般に電気探査や電磁探査によって得られる地熱地域の地下比抵抗構造は、図 III-2-26 に示すように三つのゾーンに区分される。それらは、①通常高い比抵抗値を示す表土層、②表土層の下位に存在し、低い比抵抗値を示す低比抵抗ゾーンおよび、③最下位に存在し、かつ高い比抵抗値を示す比抵抗基盤域である。ここで表土層とは、地表付近の比較的高い比抵抗値を示すゾーンであり、火山灰や未変質の火山岩を反映していることが多い。この層の情報は低比抵抗ゾーンや比抵抗基盤域に比べれば、地

熱構造を検討する上では、さほど重要でないと考えられる。

地熱地域における低比抵抗ゾーンは、熱水変質帯（スメクタイト、混合層粘土鉱物等）を反映したものと考えられ、通常 5 ohm-m 以下の非常に低い比抵抗値を示すことが多い。この低比抵抗ゾーンは空隙率が低く、地熱貯留層の帽岩的な役割を担っていることが多い。また、比抵抗基盤域は低比抵抗ゾーンの下位に存在し、低比抵抗ゾーンと比較して高い比抵抗値を示す。この深部に分布する比抵抗基盤域は、緑泥石、イライト、エピドオーテ等の高温で生成される熱水変質帯を反映しているものと考えられ、この比抵抗基盤層が隆起構造を呈している場合には、相対的に周辺域よりも高温となっている地域を示している可能性がある。また、これらの2つのゾーン（低比抵抗ゾーン、比抵抗基盤域）は、地熱地域においては地層の種類とは整合性が無い場合が多い。これは、地下に存在する岩石の比抵抗値が岩石の種類よりも、空隙率、変質度合、温度等により強く影響されるためであると考えられる。

一般的に地熱貯留層周辺の比抵抗構造は、以下のような特徴を示す。

- ・ 顕著な比抵抗不連続示徴が存在し、この示徴がある方向性を持って連続する。また、比抵抗不連続線周辺で比抵抗基盤域の隆起構造が認められる。このような比抵抗不連続構造は断層や断層周辺に存在する破砕帯等の断裂構造を反映することが多い。
- ・ 低比抵抗ゾーンの比抵抗値が、比抵抗不連続構造付近で特に低い値を示す。この低比抵抗ゾーンは、スメクタイトや混合層粘土鉱物等の熱水変質帯を反映し、地熱貯留層の帽岩の役割を担っていることが多い（図 III-2-26 中の ρ_a で示す箇所である）。
- ・ 多くの地熱地域では、深部の高温域は低比抵抗域の下部に位置する相対的な高比抵抗域内に存在する。また、この箇所（比抵抗基盤内）では、深部高比抵抗域の隆起構造が認められる。この高比抵抗域の隆起構造は、比較的浅部で生成するスメクタイトや混合層粘土鉱物の変質帯よりも、更に高温で生成するイライトや緑泥石等の変質帯の割合が高くなるために形成されるものと推定される。

火山地帯における地熱貯留層は、一般的に断層あるいは断層に沿った破砕帯等に起因する断裂系に沿って発達している場合が多く、この場合、地熱貯留層の熱水の一部が断裂沿いの破砕ゾーンを上昇し、地熱貯留層の上部にスメクタイトや混合層粘土鉱物等から成る熱水変質帯を形成することが多い。この熱水変質帯（スメクタイト、混合層粘土鉱物等）は概略 70°C から 200°C の温度条件で生成することが多く、低い比抵抗値を示すため、地熱地帯で得られる低比抵抗ゾーンは図 III-2-26 に示すように、地熱貯留層の上位に位置し、帽岩の役割を担う熱水変質帯を反映しているものと考えられる。このため、地熱貯留層は断層周辺で、上位に低比抵抗ゾーンが分布している深部高比抵抗域の隆起部内に存在することが多い。

以上のことから、比抵抗構造から地熱開発のターゲット地点を選定する場合には、

低比抵抗ゾーンの情報のみでなく、その他、断層等の断裂構造や地質構造、水理構造等を加味して検討する必要がある。

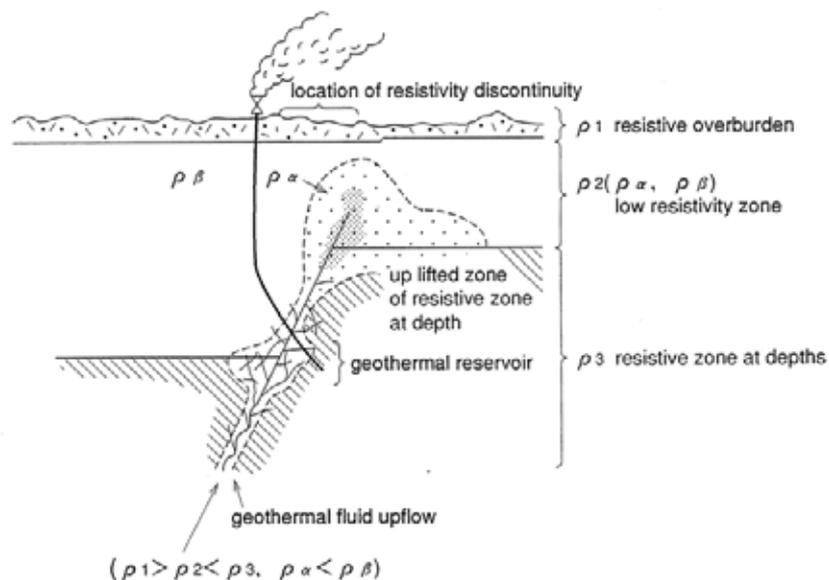


図 III-2-26 地熱貯留層周辺における比抵抗構造概念図

3. トゥレフ地域 MT 法解析結果

a. 見掛比抵抗分布

前述したように、MT 探査における測定周波数は可探深度と密接な関係があり、高い周波数における見掛比抵抗値は浅部の比抵抗情報を、低い周波数における見掛比抵抗値は深部までの比抵抗情報を反映している。そこで、トレフ調査地域の各測点で得られた見掛比抵抗値を 3 種類の周波数（100Hz、1Hz、0.1Hz）毎に抽出して、見掛比抵抗分布平面図を作成した。作成した見掛比抵抗分布平面図を図 III-2-27～図 III-2-29 に示す。なお、これらの見掛比抵抗分布平面図は、測定した 2 方向の平均的な比抵抗情報を反映しているインバリアントモードの見掛比抵抗データを用いて作成した。

但し、各周波数の見掛比抵抗分布が示す探査深度（表皮深度）は各測点において異なること、および見掛比抵抗値は地表から表皮深度までのある種平均した比抵抗値であることから、見掛比抵抗分布と実際の地下の比抵抗分布とは異なることがあり、見掛比抵抗分布のみから地下比抵抗構造を検討すると誤った解釈が生じる可能性がある。このため、見掛比抵抗分布においては大局的な傾向のみを記述することとし、詳細な地下比抵抗構造は後述する 3 次元比抵抗構造解析において検討するものとする。

周波数 100 Hz における見掛比抵抗分布平面図を図 III-2-27 に示す。この周波数における見掛比抵抗値は、概ね 5ohm-m から 65ohm-m の範囲である。本分布図における

表皮深度は測点により異なるが、深度約 80m から 290m までであり、比較的浅部の平均的な見掛比抵抗分布を反映したものである。本見掛比抵抗分布においては 8ohm-m 以下を示す低見掛比抵抗域が調査地域の中央部の測点 MT16、MT17、MT21、MT22、MT26 および MT27 周辺に認められ、この低見掛比抵抗域は概略北東-南西方向に延びる傾向を強く示している。また、この低見掛比抵抗域内には、幾つかの地熱徴候地（温泉等）が認められることから、この低見掛比抵抗域は地熱徴候に関連した熱水変質帯を反映したものと考えられる。

周波数 1 Hz における見掛比抵抗分布平面図を図 III-2-28 に示す。この周波数における見掛比抵抗値は、概ね 3ohm-m から 32ohm-m の範囲である。本分布図における表皮深度は、測点により異なるが、深度約 600m から 2,000m までである。本分布図の見掛比抵抗値は周波数 100Hz の見掛比抵抗値に比べて若干小さな値を示しているものの、その相対的な分布傾向は、大局的には 100Hz の見掛比抵抗分布傾向と同様のもとなっている。但し、10Hz の見掛比抵抗分布においては、100Hz のものと比較して 8ohm-m 以下の見掛比抵抗値を示す低見掛比抵抗域がより広範囲（調査地域の北部や南部）に分布している。

周波数 0.1Hz における見掛比抵抗分布平面図を見掛比抵抗分布平面図（周波数 1 Hz）を図 III-2-29 に示す。この周波数における見掛比抵抗値は、概ね 20ohm-m から 65ohm-m の範囲である。本分布図における表皮深度は 5,000m 以上の大きな値を示す。本分布図の見掛比抵抗分布傾向は周波数 100Hz や 1Hz の見掛比抵抗分布傾向と大きく異なっており、10ohm-m 以下を示す低見掛比抵抗域は認められない。測点 MT16、MT20 および MT21 周辺において、25ohm-m 以下を示す相対的な低見掛比抵抗域の分布が認められる。

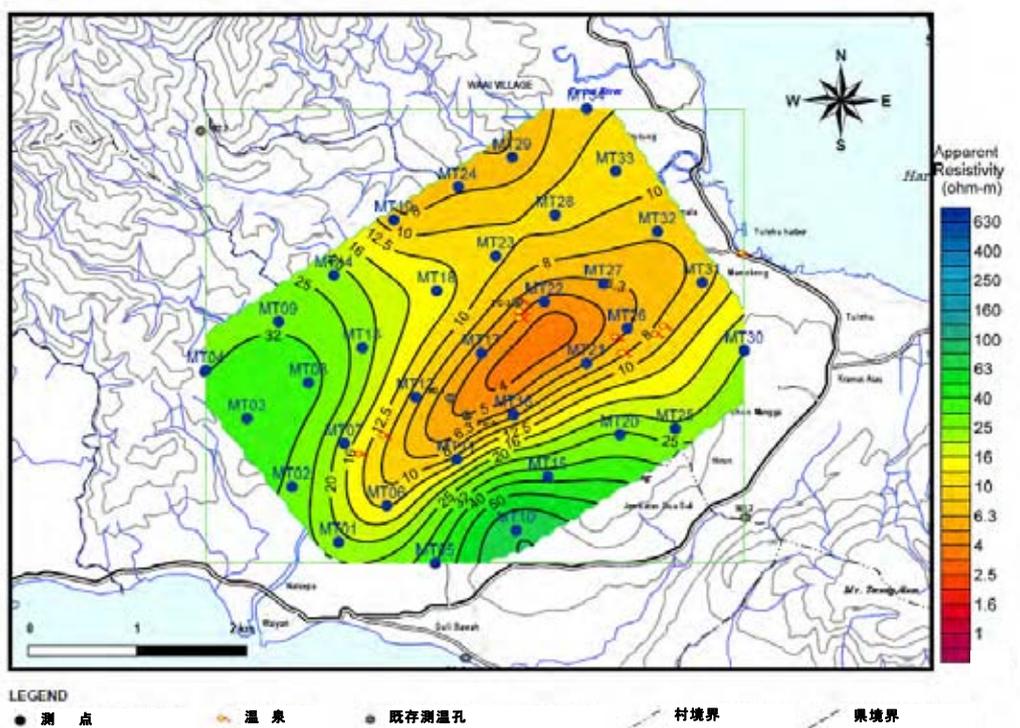


図 III-2-27 見掛比抵抗分布平面図 (周波数 100 Hz)

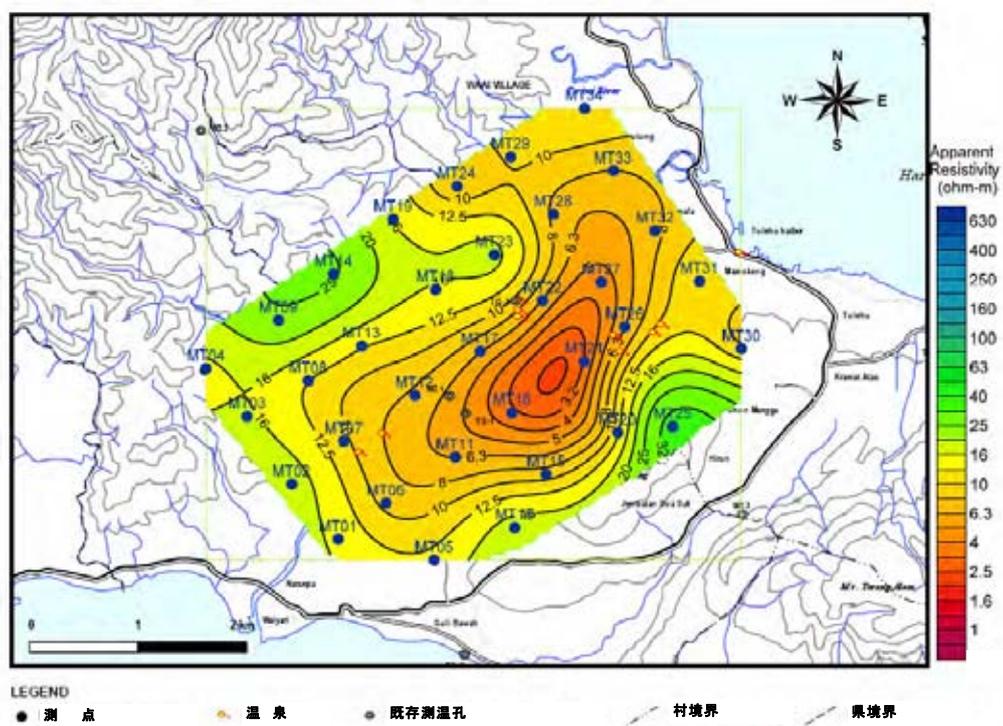


図 III-2-28 見掛比抵抗分布平面図 (周波数 1 Hz)

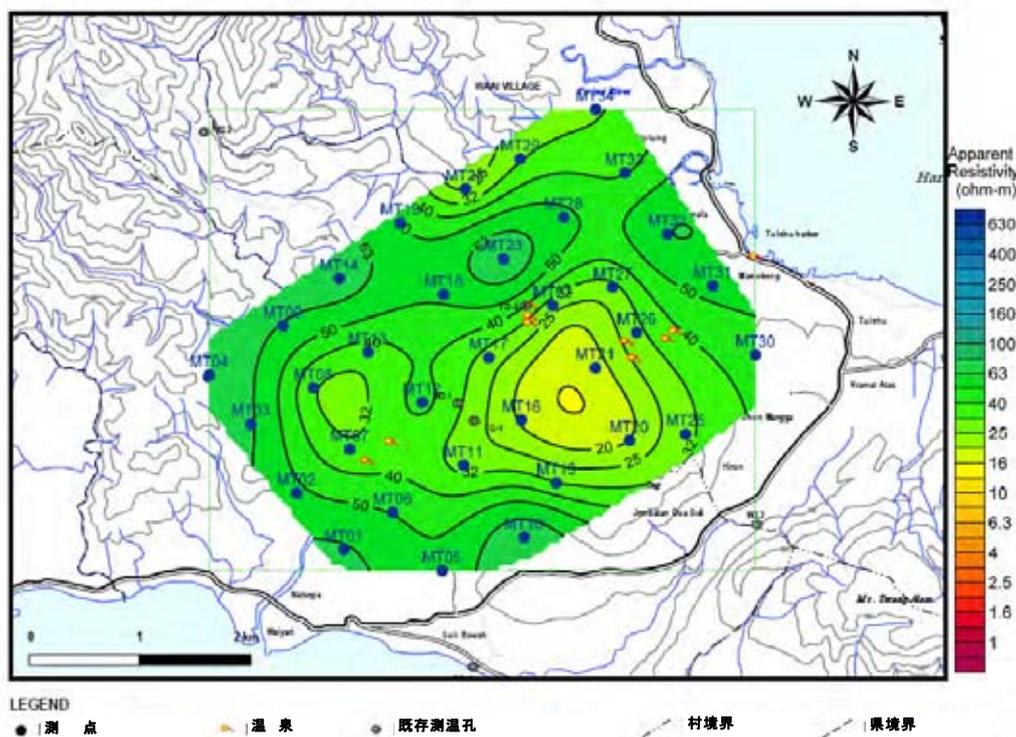


図 III-2-29 見掛比抵抗分布平面図 (周波数 0.1 Hz)

b. 3次元比抵抗構造解析

観測された 34 測点のデータを用いて、平滑化拘束付き 3次元比抵抗構造インバージョンを実施し、トレフ地域における地下比抵抗構造を解析した。3次元比抵抗構造インバージョン解析には、各測点における周波数 100Hz~0.1Hz 間の見掛比抵抗値および位相値 (回転角度 N35°W) を用いて実施した。なお、逆解析にはガウス-ニュートン法を利用した最小二乗法を用い、順解析にはスタッガード格子を利用した差分法 (Mackie et al., 1994) を用いて計算を行った。

3次元比抵抗インバージョン解析の結果得られた 3次元比抵抗分布データを基に、10 深度 (深度 100m、深度 150m、深度 250m、深度 350m、深度 500m、深度 750m、深度 1,000m、深度 1,500m、深度 2,000m および深度 2,500m) における解析比抵抗分布平面図 (図 III-2-30~図 III-2-39) および図 III-2-40 に示す A、B、C、D、E、F、G' 断面における解析比抵抗分布断面図 (図 III-2-41) を作成した。

3次元比抵抗構造インバージョン解析の結果、調査地域の比抵抗構造は概略、5ohm-m から 50ohm-m の比抵抗値を示す表層、5ohm-m 以下の低い比抵抗値を示す中間層 (低比抵抗層) および 20ohm-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) の三層に分割された。3次元比抵抗構造解析結果および前述した地熱地域における比抵抗構造を検討の上、考察したトレフ地域の比抵抗構造を以下に記述する。

(1) 比抵抗不連続線

比抵抗不連続構造とは、比抵抗分布から認められる比抵抗構造上の不連続が存在する箇所であり、このような構造がある方向性をもって連続している場合には、その周辺には断層あるいは断層周辺に存在する破碎帯の存在が期待される。一般に地熱地帯の地下に存在する地熱流体は、断層あるいは断層周辺に存在する破碎帯に貯留されていることが多いことが確認されている。このため、比抵抗不連続線を抽出して断裂構造を推定することは、調査地域の地熱構造を考察する上で重要である。ト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および解析比抵抗分布断面図から抽出される比抵抗不連続線は以下に示す R1、R2 および R3 の 3 本である。

比抵抗不連続線 R1 は調査地域中央部を概略東北東－西南西方向に延びる比抵抗不連続線であり、比抵抗不連続線 R2 は調査地域南東部を概略北東－南西方向に延びる比抵抗不連続線である。比抵抗不連続線 R1 は、深度 100m および深度 150m の解析比抵抗分布平面図（図 III-2-30 および図 III-2-31）において、また比抵抗不連続線 R2 は深度 100m、150m、750m および 1,000m の解析比抵抗分布平面図（図 III-2-30、図 III-2-31、図 III-2-35 および図 III-2-36）において認められる。また、これらの比抵抗不連続線（R1 および R2）は、周波数 100Hz における見掛比抵抗平面分布図においても明瞭に認められる。比較的浅部の解析比抵抗平面分布図においては、これらの比抵抗不連続線（R1、R2）に挟まれる形状で、明瞭な 5ohm-m 以下を示す低比抵抗域が分布している。比抵抗不連続線 R1 および R2 に挟まれる形状で分布するこの低比抵抗域には、温泉等の地熱徴候が存在することから、スメクタイトや混合層粘土鉱物から構成される熱水変質帯を反映しているものと考えられる。このことから、比抵抗不連続線 R1 および 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ものと推定される。

比抵抗不連続線 R3 は調査地域の西部を概略北北西－南南西方向に延びる比抵抗不連続線であり、深度 150m および深度 250m における解析比抵抗分布平面図（図 III-2-31 および図 III-2-32）において認められる。この比抵抗不連続線 R3 の示徴は比抵抗不連続線 R1 および R2 の示徴に比べると若干弱いものの、本比抵抗不連続線も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。

(2) 低比抵抗域

3次元比抵抗構造解析結果、広域に分布する低比抵抗域が検出された。すなわち、調査地域の中央部に 5ohm-m 以下を示す低比抵抗域が分布しており、深度 100m および深度 150m における解析比抵抗分布平面図（図 III-2-30 および図 III-2-31）において明瞭に認められる。この低比抵抗域は深度 100m および 150m の解析比抵抗平面分布図において、前述した比抵抗不連続線 R1 および R2 に挟まれる形状で概略北東－南西方向に延びる傾向を示している。また、前述したようにこの低比抵抗域内には温泉等の地熱徴候が認められていることから、この低比抵抗域は熱水変質作用によって形

成されたスメクタイト等の粘土鉱物を反映しているものと考えられる。更に、この低比抵抗域は多くの活発な地熱地域で認められる貯留層上部に分布し、帽岩的な役割を果たしている粘土鉱物と同様の特徴（比較的浅部に広い範囲で分布し、周辺域に比抵抗不連続線が存在する）を有すことから、トレフ地熱地域の地熱貯留層の帽岩的役割を果たしている透水性の低い変質粘土帯である可能性が高い。

(3) 深部高比抵抗域

深度 750m および深度 1,500m における解析比抵抗分布平面図（図 III-2-35 および図 III-2-36）によれば、調査地域中央部の比抵抗不連続線 R1 周辺域および比抵抗不連続線 R1 と R2 に挟まれた地域には、相対的に高い比抵抗値を示す地域が分布している。また、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。前述したように、高温の地熱貯留層は相対的な高比抵抗域を示す（スメクタイトや混合層粘土鉱物等の変質帯よりも更に高温で生成するイライトや緑泥石等の変質帯の割合が高くなるため）ことが多く、また、その上部に低比抵抗域（スメクタイトや混合層粘土鉱物を反映するもの）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 において比抵抗不連続線 R1 周辺域や比抵抗不連続線 R1 と R2 に挟まれた地域に分布する相対的な高比抵抗域は高温で生成するイライトや緑泥石等の変質帯の割合が高くなっていることを示しているものと考えられ、周辺域と比較して高温である可能性が高いものと推定される。この相対的な高比抵抗域は調査地域の北部（測点 MT14 および MT19 周辺）まで広がりを見せているが、この調査地域南東部においては浅部においては地熱貯留層の帽岩を反映するような低比抵抗域は認められない。

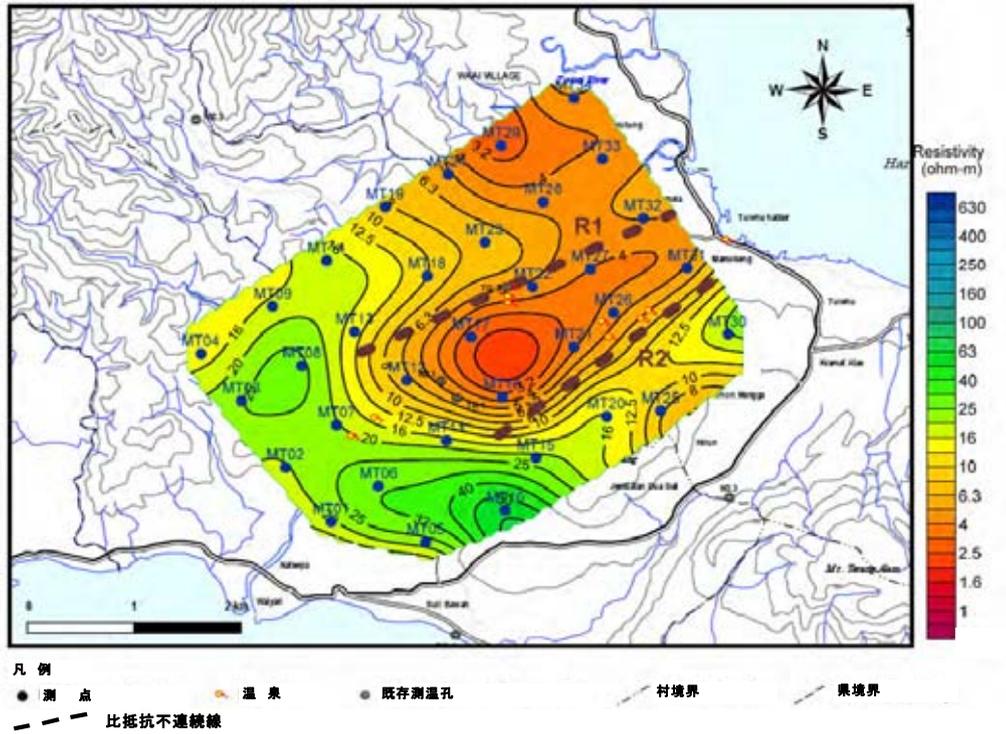


図 III-2-30 解析比抵抗分布平面図（深度 100m）

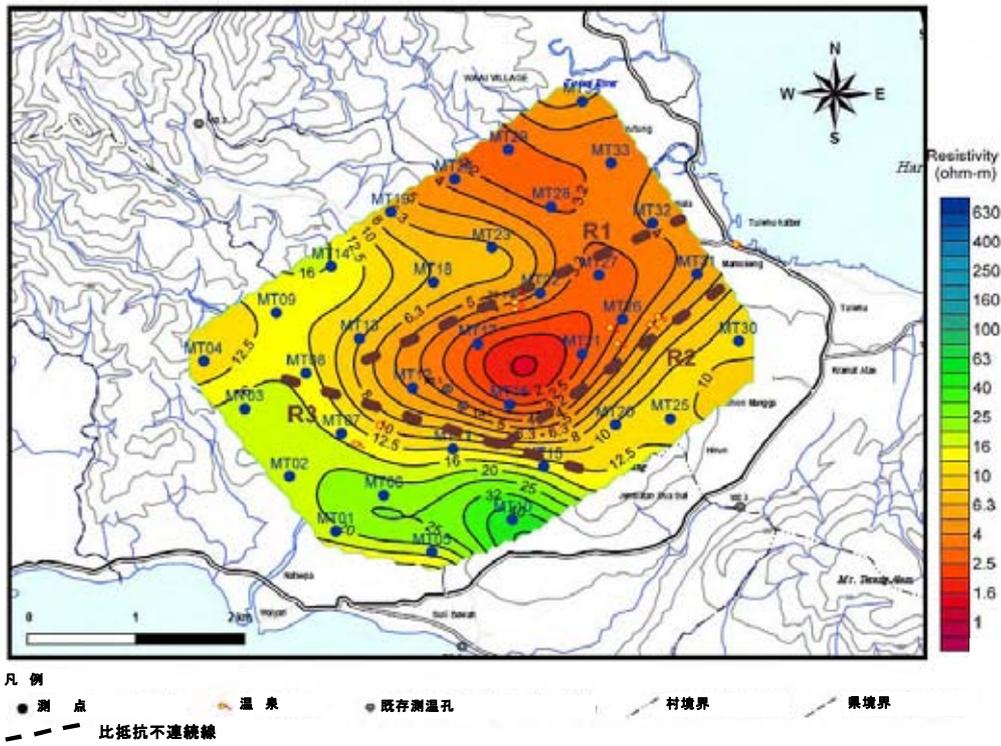


図 III-2-31 解析比抵抗分布平面図（深度 150m）

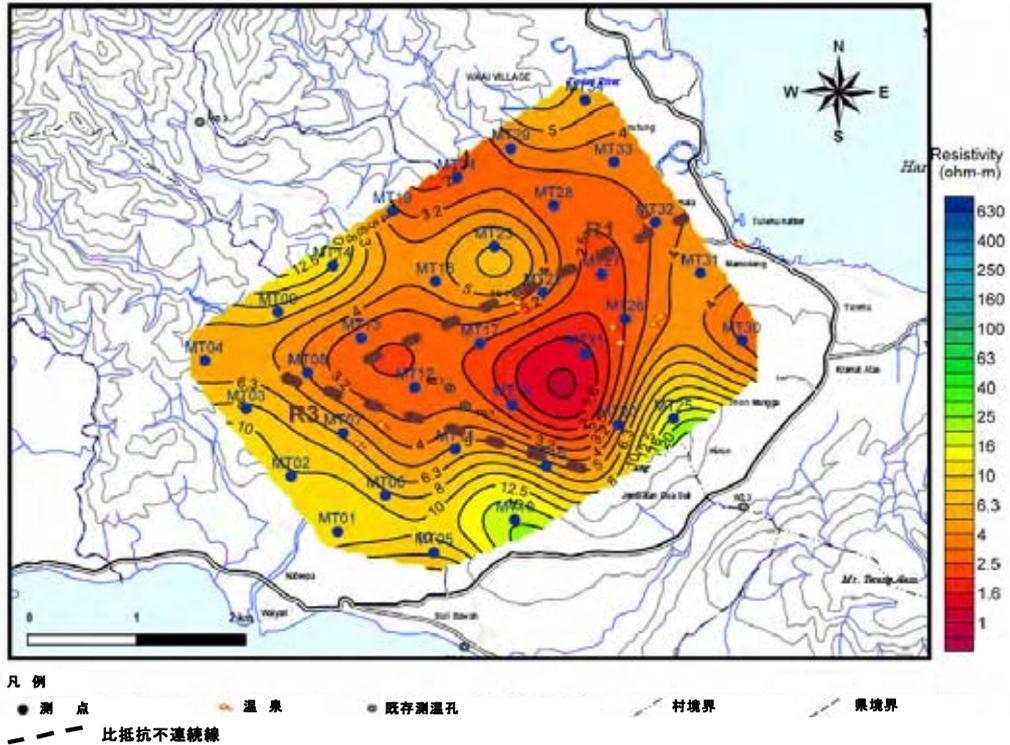


図 III-2-32 解析比抵抗分布平面図（深度 250m）

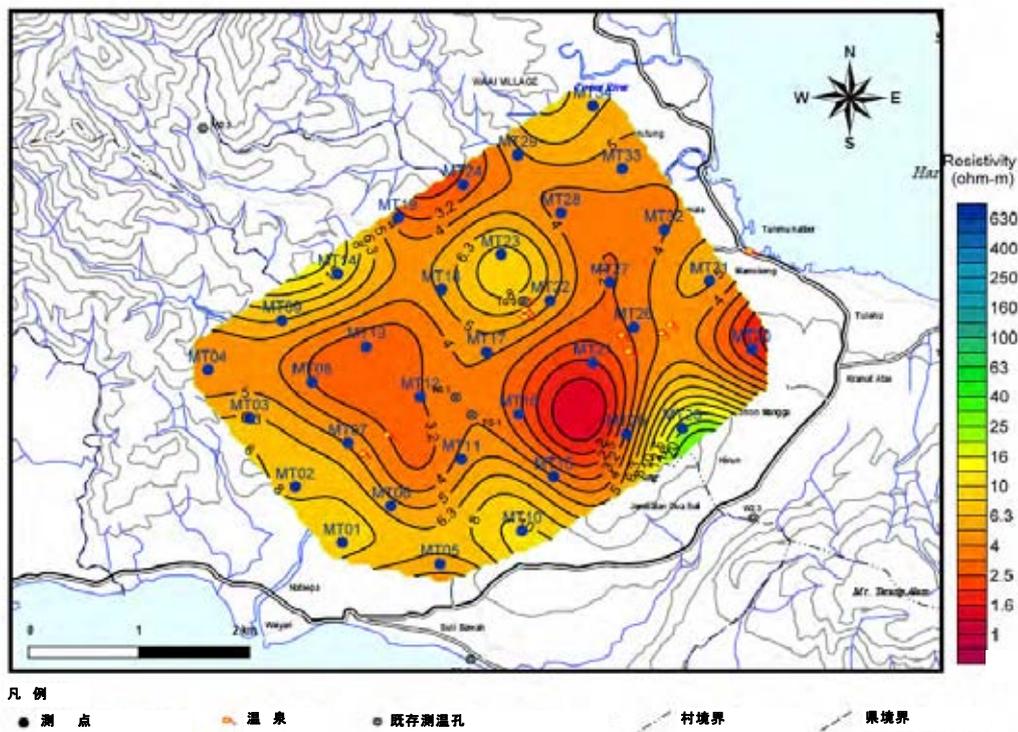


図 III-2-33 解析比抵抗分布平面図（深度 350m）

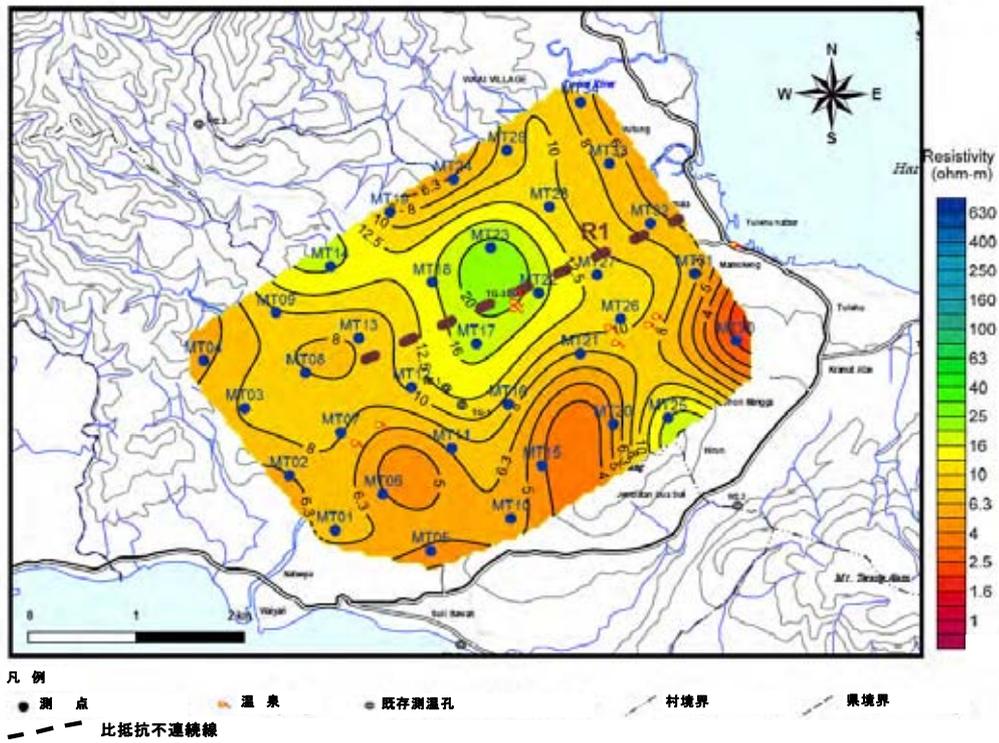


図 III-2-34 解析比抵抗分布平面図（深度 500m）

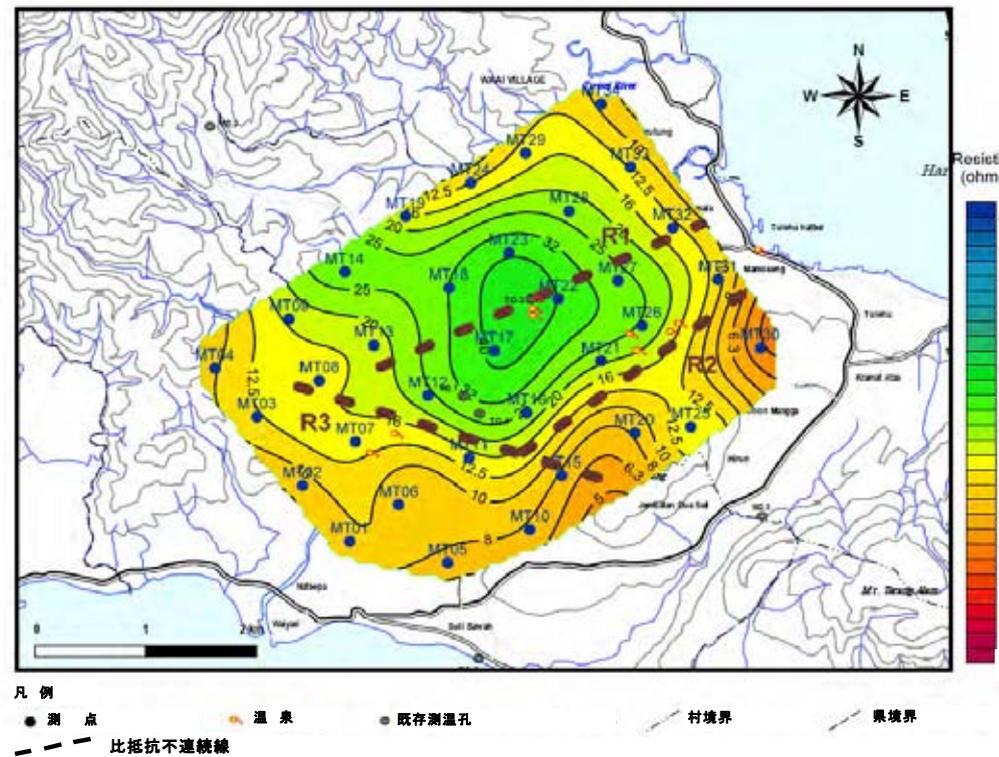


図 III-2-35 解析比抵抗分布平面図（深度 750m）

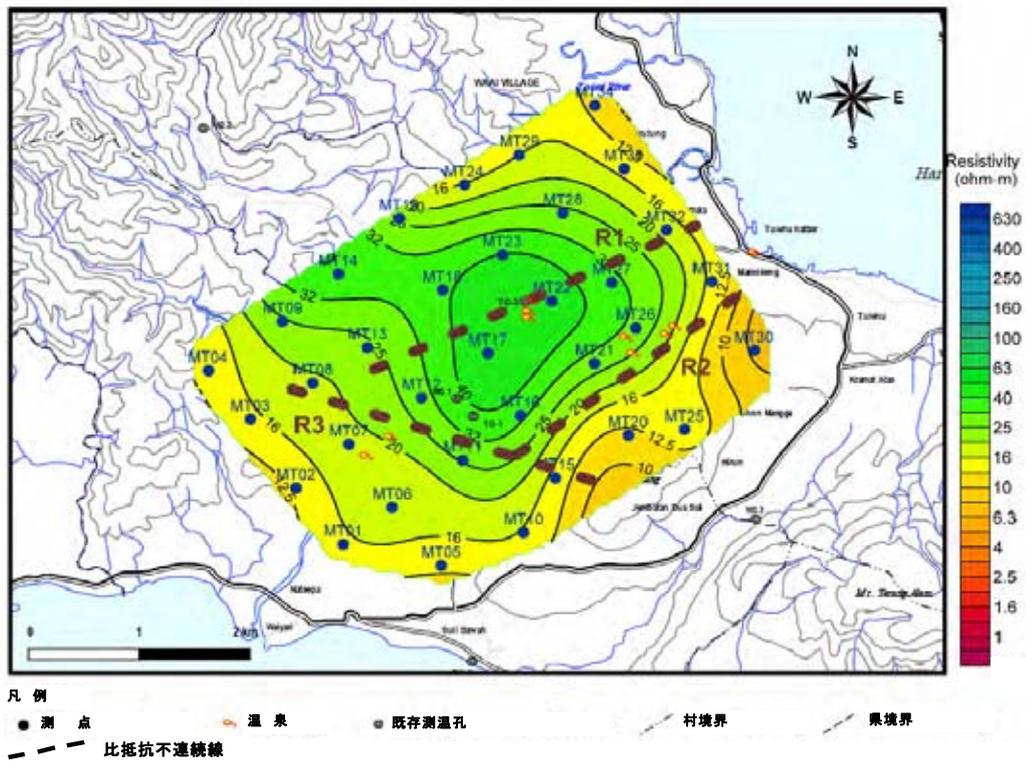


図 III-2-36 解析比抵抗分布平面図（深度 1,000m）

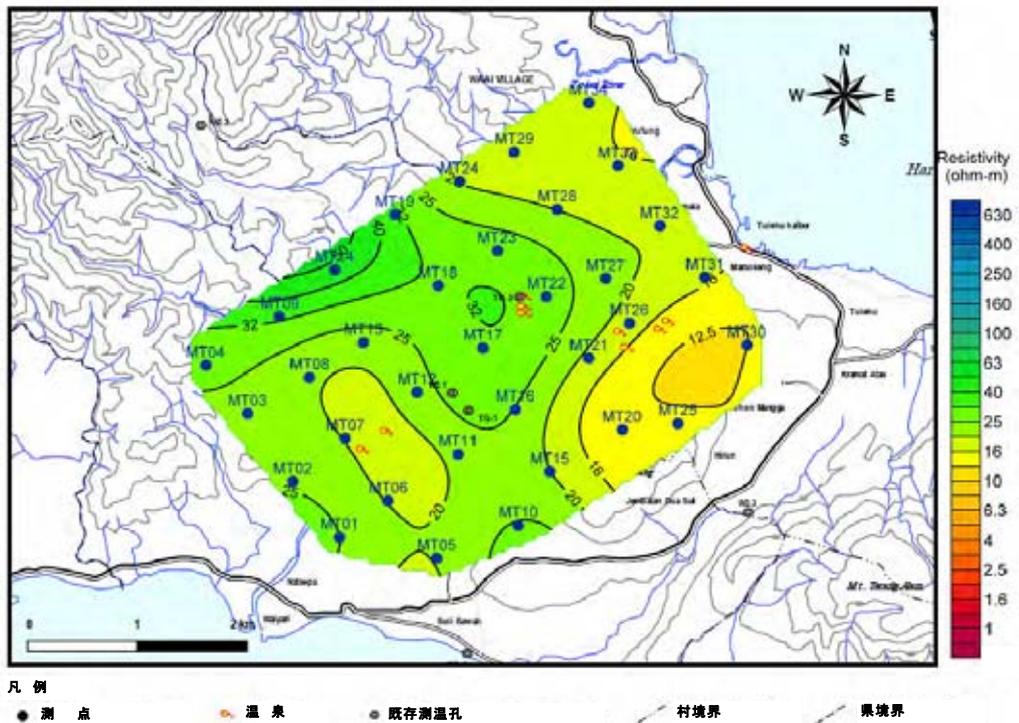


図 III-2-37 解析比抵抗分布平面図（深度 1,500m）

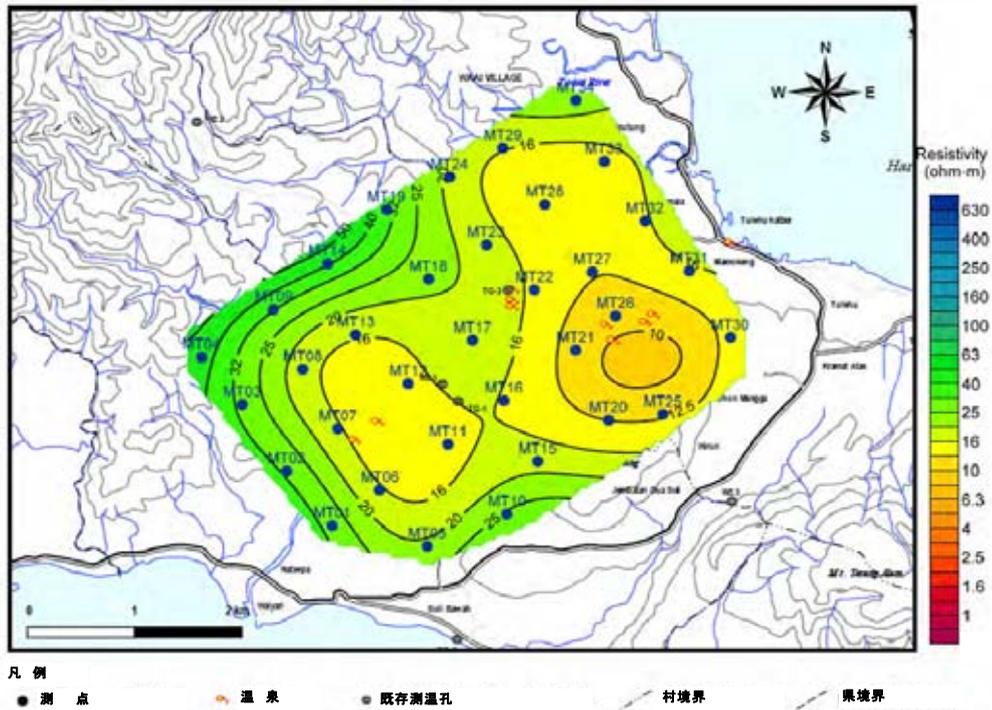


図 III-2-38 解析比抵抗分布平面図 (深度 2,000m)

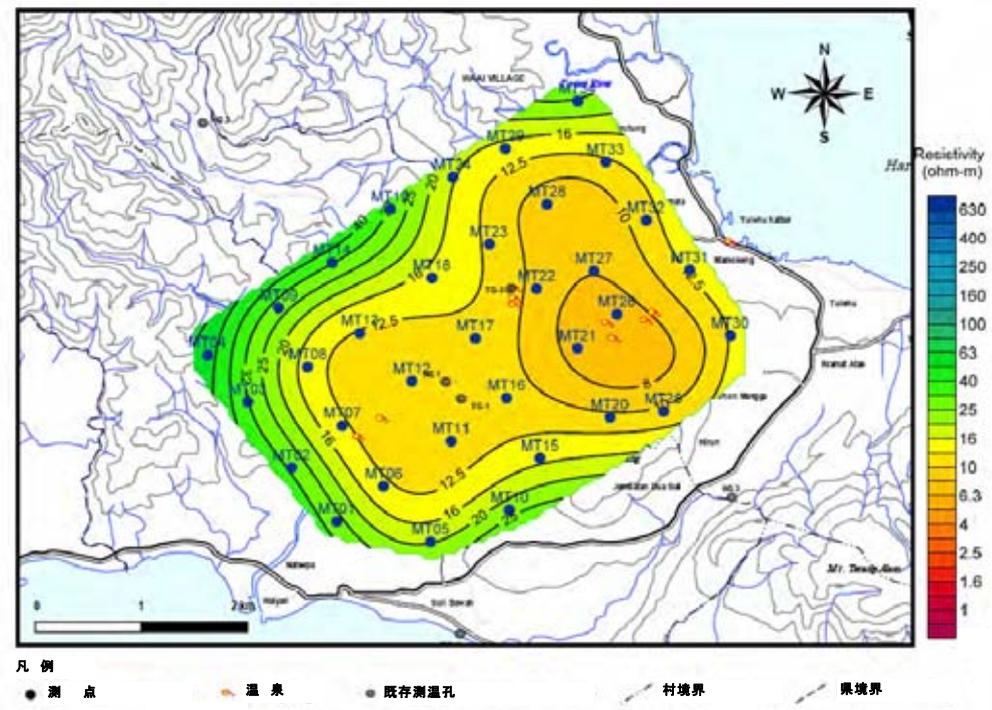


図 III-2-39 解析比抵抗分布平面図 (深度 2,500m)

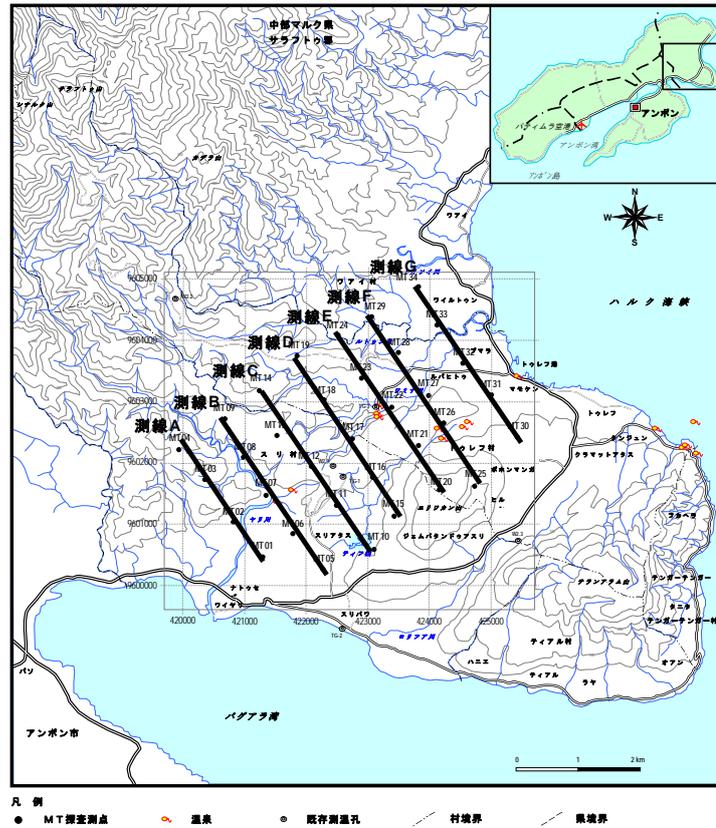


図 III-2-40 比抵抗断面位置図

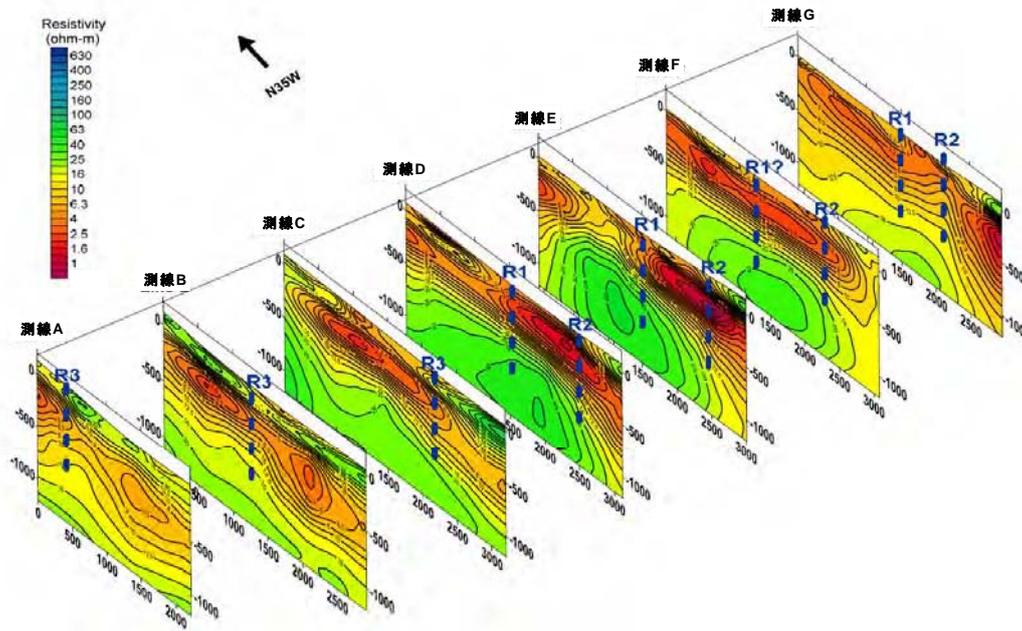


図 III-2-41 解析比抵抗分布断面図

c. MT 探査結果のまとめ

トウレフ調査地域の概略中央部には概略東北東－西南西方向に延びる比抵抗不連続線 R1 が、また調査地域の南東部には北東－南西方向に延びる比抵抗不連続線 R2 が認められる。これらの比抵抗不連続線に挟まれる形状で北東から南西方向に延びる低比抵抗域が深度 100m から 150m の比較的浅部に分布している（図 III-2-30 および図 III-2-31）。この顕著な低比抵抗域は 70°C～200°C で生成するスメクタイトや混合層鉱物等の変質鉱物から形成された熱水変質帯を反映していると考えられる。一方、比抵抗不連続線 R1 の中央部は、相対的な高比抵抗域の隆起構造の中心部となっており（図 III-2-35 および図 III-2-36 参照）、この隆起構造はイライトや緑泥石などのより高温で生成する変質鉱物により構成されている熱水変質帯を反映していると推定される。これらのことから、比抵抗不連続線 R1 は深部の高温地熱流体の流動・貯留を規制している主要な断裂構造である可能性が高い。この比抵抗不連続線 R1 は深部に達する断裂構造である可能性が高い。

上述の高比抵抗の隆起構造は、比抵抗不連続線 R1 の南部および北部にも広がっている。比抵抗不連続線 R1 の南側に分布する高比抵抗域の隆起構造（深度 750m および 1,000m にて認められる）は概略、比抵抗不連続線 R2 をその南限としており、その上部の深度 100m～500m には低比抵抗域が分布している。また、この分布域には、122.6°C（深度 150m）の温度を記録した坑井 W2.1 が存在している。これらのことを考慮すると、深部の高温地熱流体は比抵抗不連続線 R1 を通じて上昇しており、比抵抗不連続線 R1 周辺部に貯留されているとともに、その流体の一部は南側に水平流動して比抵抗不連続線 R1 と R2 に挟まれる地域に存在する熱水変質帯の下部に貯留している可能性がある。

深度 2,000m の解析比抵抗平面分布図においては、10ohm-m 以下を示す低比抵抗域が調査地域東部の測点 MT21、MT22、MT26 および MT27 周辺に分布している。岩石比抵抗は一般に温度が高温になるほど低い値を示すため、このような深度 2,000m あるいはそれよりも深部における低比抵抗域は深部の高温域を反映することがある。但し、このような深部における解析比抵抗分布は、浅部～中深部の解析比抵抗分布と比較して精度が若干劣るため、この深部における低比抵抗域を解釈・評価するためには、坑井情報等の他の地球科学的なデータが必要である。

調査地域の北西部および南東部は比較的浅部（深度 100m から深度 500m）においては相対的な高比抵抗域となっており、また、深度 750m 以深においては相対的な低比抵抗域となっている。このことから、調査地域の北西部および南東部は調査地域の中央部や東部と比較して熱水活動は弱いものと考えられ、地熱開発における有望性は低いものと考えられる。

III.3 地熱資源の概念モデル

III.3.1 有望範囲

MT 探査の項でも述べたが、熱水卓越型貯留層内やその周辺の岩石は、水-岩石相互反応による熱水変質作用を一般的に受ける。貯留層中心部から縁辺部に向かうにしたがって温度は低下するため、熱水変質作用によって生成される変質鉱物の種類も縁辺部へ向かうにしたがって低温相のものへと変化する。熱水変質作用の温度が 200°C に満たない場合、主としてスメクタイトや緑泥石-スメクタイト混合層鉱物、イライト-スメクタイト混合層鉱物、石英（100°C 未満の場合は玉随やクリストバライトなど）、ハロイサイトなどが生成される。これらの変質鉱物のうち、スルクタイトや混合層鉱物中のスメクタイト成分は交換性陽イオンを含んでいる。このため、これらのスルクタイトやスメクタイト成分を含む混合層鉱物を主成分とする粘土化された岩石の比抵抗値は岩石本来の比抵抗値よりも低くなる。一方、200°C 以上の温度下で熱水変質作用が行われた場合は、緑泥石やイライト、緑レン石などが主要な変質鉱物として生成される。これらの変質鉱物は、岩石本来の比抵抗値を下げるような働きをしない。

大部分の地熱地帯では、地熱貯留層の上位に低比抵抗ゾーンが検出され、この低比抵抗ゾーンの下位は相対的な高比抵抗ゾーンとなっている。ほとんどの場合、この低比抵抗ゾーンの下に広がる相対的な高比抵抗ゾーンに主要な蒸気生産ゾーンが存在している。このような地熱地帯では、低比抵抗ゾーンとして検出された層状の部分が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。例えば、この低比抵抗ゾーン内では、坑井掘削中の逸水現象はほとんど認められず、伝導型の温度分布が観測される。さらに、このゾーン内で検出される変質鉱物は主としてスメクタイトや緑泥石-スメクタイト混合層鉱物、イライト-スメクタイト混合層鉱物である。また、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。トゥレフ地域では、表層の高比抵抗ゾーンの下に浅部低比抵抗ゾーンが広がり、さらにその下には高比抵抗ゾーンが分布するという 3 層構造が MT 探査により検出された。このような構造が認められることから、トゥレフ地域には有望な地熱資源が存在すると期待できる。推定される有望範囲を図 III-3-1 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徴候地やバンダ変質帯が存在する。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 MT 探査結果から見積もられる。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 (図 III-2-36 参照) 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。なお、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る。したがって、シラ温泉付近にも地熱活動の中心地が存在する可能性も残されている。

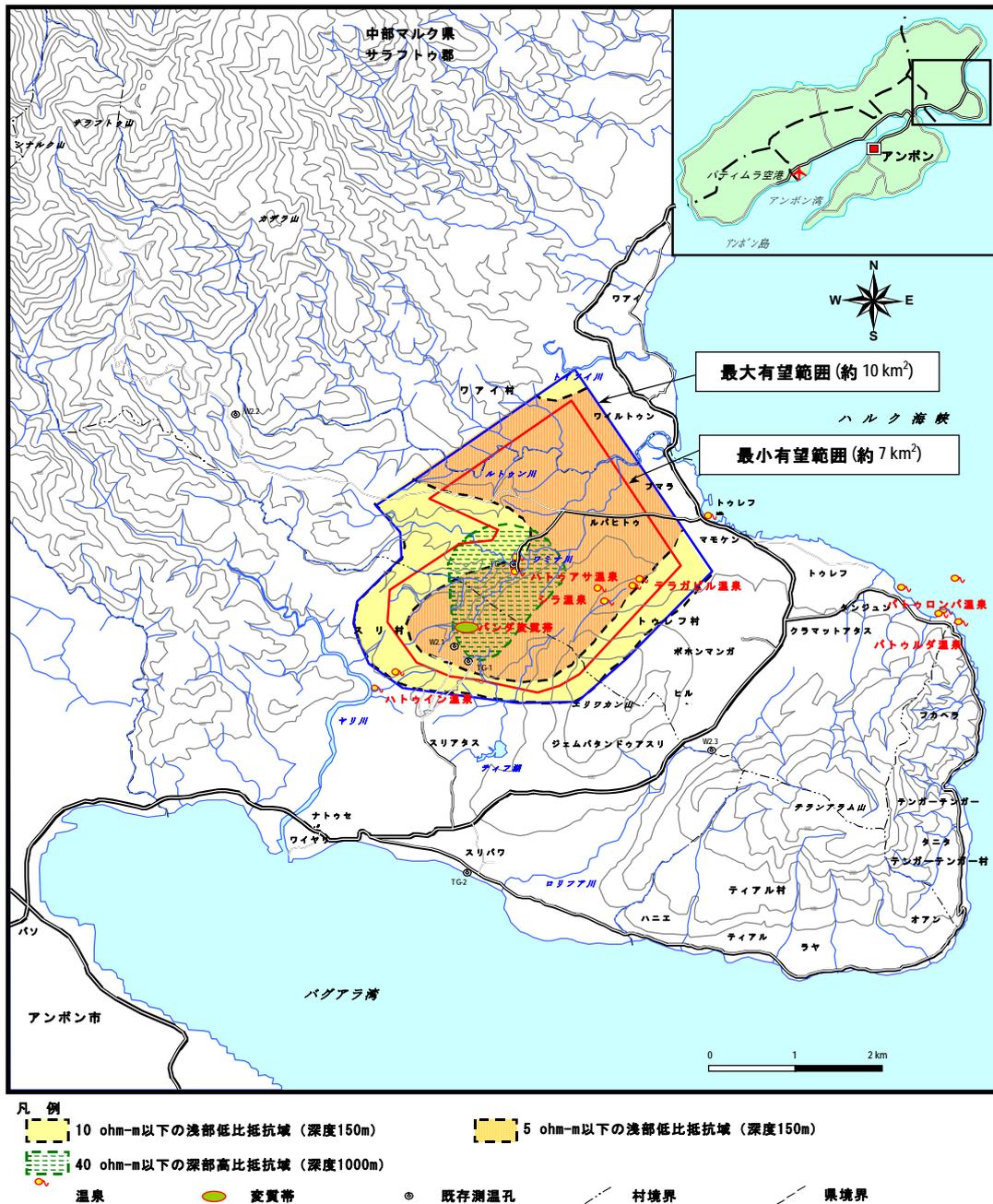


図 III-3-1 地熱有望範囲推定図

III.3.2 地熱活動を規制している透水性に関連した構造

火山地帯では、断層運動による破砕帯が地熱活動を規制する透水性の良い主要な構造となっていることが多い。また、強く粘土化された層が地熱貯留層の帽岩となる難透水性の部分となっているのが一般的である。トゥレフ地域では、これまでにいくつかの地熱探査が行われている。それらの探査によって推定された断層ないしは断層状構造の分布を図 III-3-2 に示す。抽出された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ている。すなわち、ワイヤリ断層、バンダハトゥアサ断層、バンダ断層、トゥレフ断層およびフベ断層である。MT 探査による比抵抗構造からは、R1、R2 および R3 の断層状構造が検知されている。また、重力データからは、GL1、GL2 および GL3 の断層状構造が認められる。

ワイヤリ断層は、ワイヤリ川にほぼ沿って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いる。両者は同一の構造と考えられる。すなわち、ワイヤリ断層はティアル村のオアン集落付近にまで延びていると考えられる。ワイヤリ断層は右横ずれ断層とされているが、GL1 の南西側は高ブーゲ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 もワイヤリ断層や GL1 付近に位置している。この構造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。この断層近傍に断層状構造 R1 が MT 探査により検出されている。この構造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。その分布位置から、R2 の北半部はバンダ断層に対応すると考えられる。しかし、R2 の南半部はバンダ断層の南東側に位置しており、バンダ断層の落ちの方向を考慮すれば、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。

トゥレフ断層はマモケンからタンジュンにかけての海岸付近を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。

フベ断層はエリワカン山とテランアラム山 (フベ山) の間を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。フベ断層の近くには、断層状構造 GL3 が重力データにより認められているが、この構造はフベ断層に対応すると解釈される。

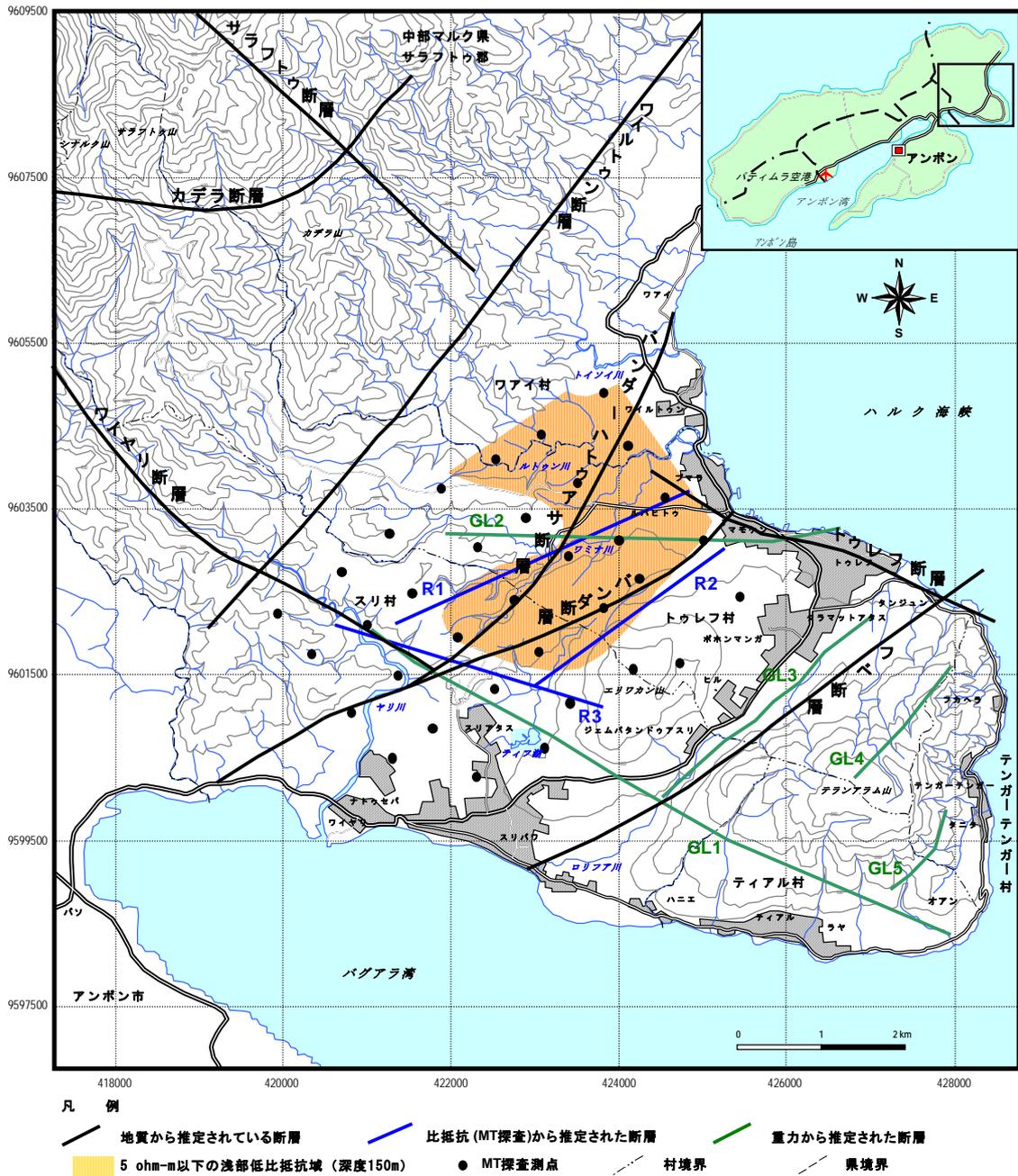


図 III-3-2 各種調査から推定される断層分布

以上のような考察により、有望域およびその周辺には、6つの透水構造が推定される。なお、これらの透水構造が断層そのものであるかどうかは不詳であるが、以下の記述では関連していると考えられる断層名でこれらの透水構造を便宜上呼ぶこととする。すなわち、図 III-3-3 に示すワイヤリ断層、バンダハトゥアサ断層、バンダ断層、R2 断層、トゥレフ断層およびフベ断層である。温泉や変質帯はほぼこれらの断層沿いに分布することから、地表近くの地熱活動はこれらの断層によって規制されていると判断される。

ワイヤリ断層は低比抵抗ゾーンの広がりから推定された有望範囲の南西縁を画している構造である。その走向・傾斜については、暫定的に $S61.7^{\circ}E85^{\circ}NE$ と想定した。ハトゥイン温泉がワイヤリ断層とバンダハトゥアサ断層の交点付近に位置している。

バンダハトゥアサ断層は MT 探査では比抵抗不連続線 R1 として検出されている。有望域最小範囲の北西縁付近に位置している。その走向・傾斜については、暫定的に $N46.4^{\circ}E80^{\circ}NW$ と想定した。ハトゥアサ温泉とバンダ変質帯がこの断層沿いに位置している。

バンダ断層は、その方向性を考慮すれば、北部と南部に大別される。北部は MT 探査で顕著な比抵抗不連続線 R2 として検出されている。しかし、南部については、MT 探査では検出されていない。これは、浅部に広がる体比抵抗層の影響と考えられる。バンダ断層の走向・傾斜については、暫定的に北部で $N53^{\circ}E80^{\circ}NW$ 、南部では $N69^{\circ}E80^{\circ}NW$ と想定した。シラ温泉、テラガビル温泉およびマモケン海岸の温泉がこの断層沿いに位置している。

MT 探査で検出された R2 断層は、シラ温泉付近でバンダ断層から枝分かれしている。有望域最小範囲の南東縁付近に位置している。その走向・傾斜については、暫定的に $N53^{\circ}E80^{\circ}NW$ と想定した。

トゥレフ断層沿いには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が分布している。その走向・傾斜については、暫定的に $S65^{\circ}E80^{\circ}NE$ と想定した。

フベ断層は重力探査では重力リニアメント GL3 として検出されており、その北西側は相対的な陥没ゾーンとなっている。バトゥロンパ温泉がこの断層付近に位置している。その走向・傾斜については、暫定的に $N56^{\circ}E80^{\circ}NW$ と想定した。

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可能性が高い。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、TLU-01 の掘削結果でも標高-300m 付近が難透水層の下面となっている（図 III-3-4 参照）。また、TLU-01 の逸水層はバンダ断層に関連した透水ゾーンと判断される。

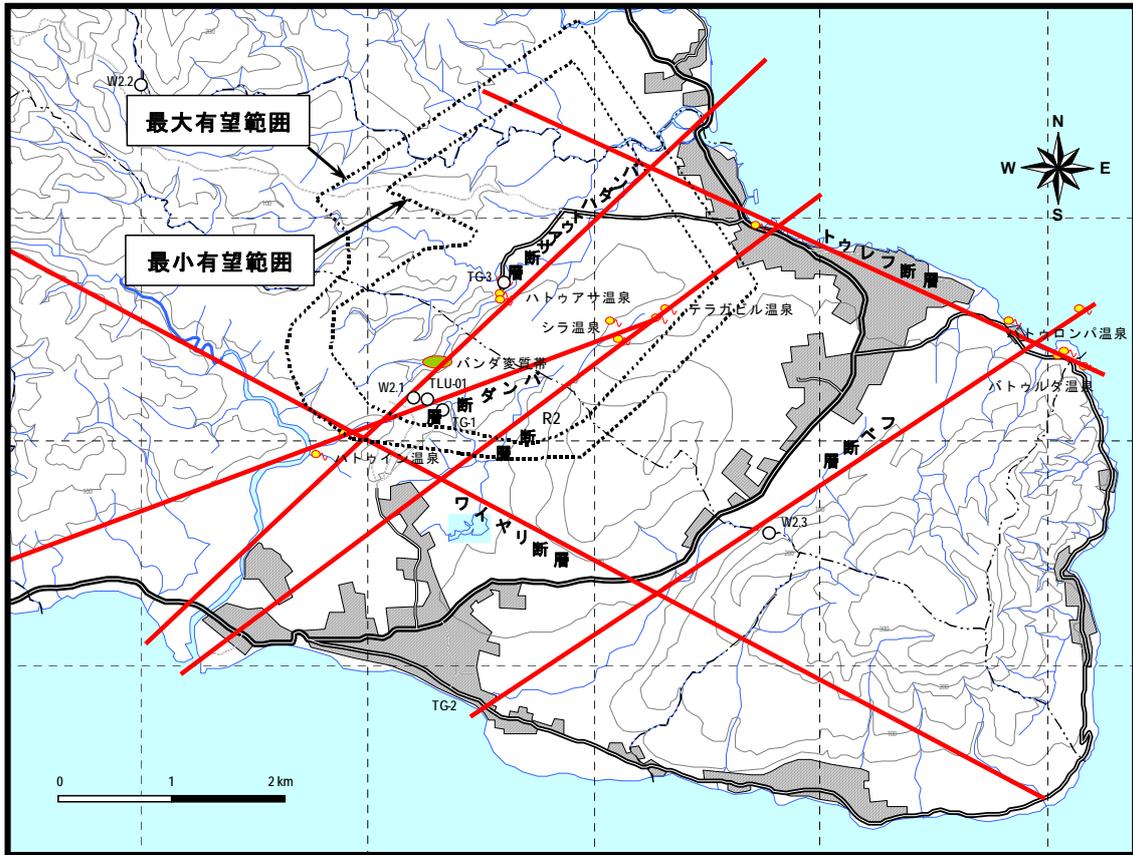


図 III-3-3 推定主要透水構造分布

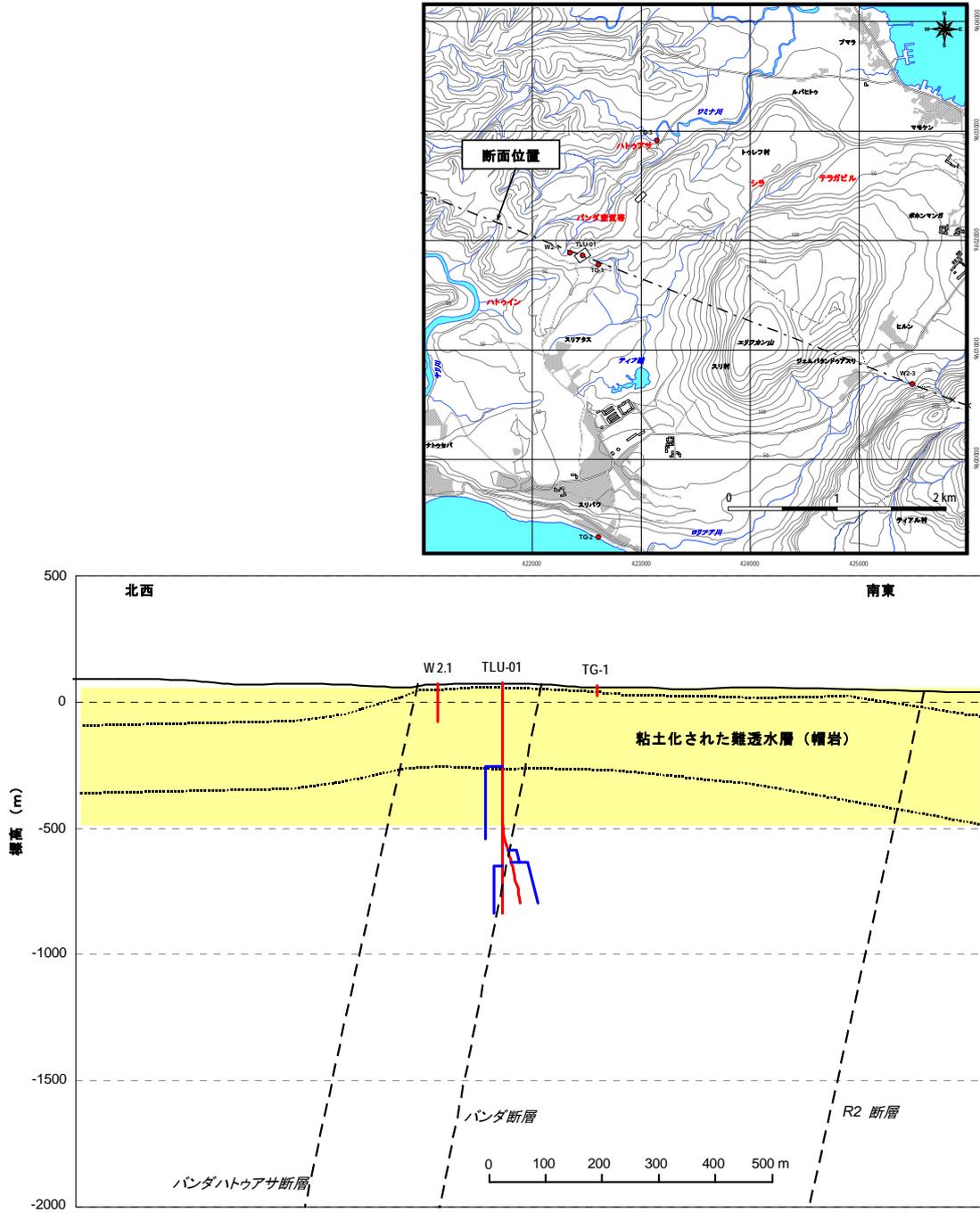


図 III-3-4 TLU-01 周辺の推定難透水ゾーン分布

III.3.3 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-3-5 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。今回の MT 探査に基づけば、地熱活動の中心はバンダハトゥアサ断層沿いで、ハトゥアサ温泉とバンダ変質帯の間に存在すると考えられる。この地熱活動の中心からは、バンダハトゥアサ断層に沿って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と化学組成から判断される。このことは、MT 探査で検出された低比抵抗ゾーンに対応する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℃前後に達していると期待される。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と判断される。

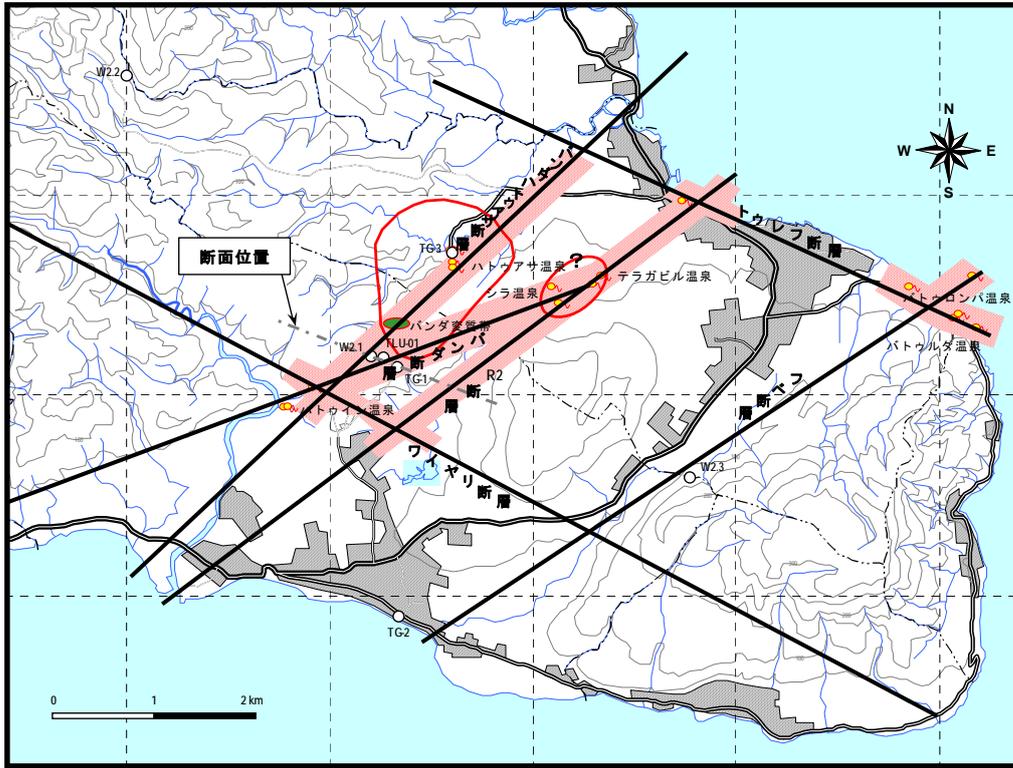
トゥレフ地域で湧出している温泉水の化学組成から判断すれば、シラ温泉で湧出している温泉水には、深部の地熱貯留層に由来する熱水が含まれていると考えられる。したがって、シラ温泉はバンダ断層と R2 断層の分岐点付近に位置することから、バンダ断層沿いと R2 断層沿いにも地熱貯留層が期待される。

以上のことから、次のような概念モデルが推定される。ハトゥアサ温泉とバンダ変質帯の間に推定される地熱活動の中心およびシラ温泉付近では、深部から高温の地熱流体が上昇しており、この地熱流体によりバンダハトゥアサ断層沿いならびにバンダ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。

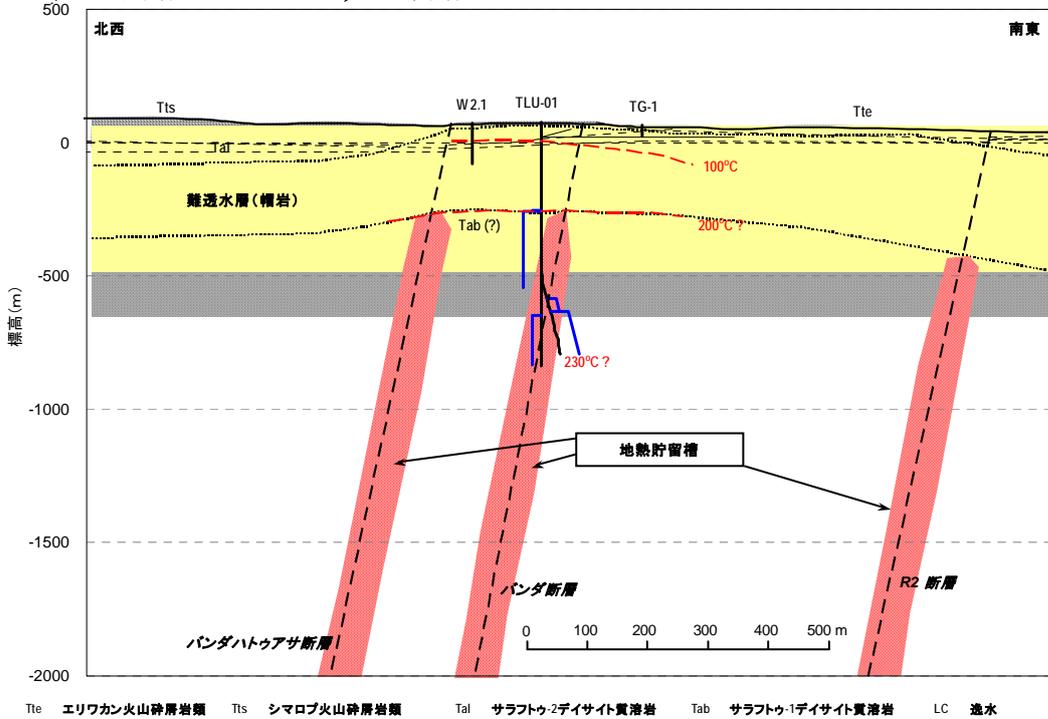
現状では、トゥレフ地域の地熱資源を詳細に検討するにはデータが不十分であり、以下のような課題が残されている。この課題は調査井掘削後の噴出試験により検証される必要がある。すなわち、湧出している温泉水はいずれも石灰岩ないしは堆積岩の影響を受けていると考えられるような化学組成を示している。これらの岩石が確認されているのは地表付近のみであり、深部に石灰岩ないしは堆積岩が存在するかどうかは不明である。ターゲットとしている貯留層が石灰岩ないしは堆積岩中に形成されている場合、生産井や地熱流体輸送配管における炭酸塩スケール問題が危惧されるとともに、生産される蒸気中に高濃度の非凝縮性ガス (NCG) が含まれてい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

でも左右されるが、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濃度はそれほど高くはならないと考えられる。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
 - 既存坑井
 - 村境界
 - 県境界
 - 透水ゾーン
 - 温泉
 - 変質帯
 - 地熱活動の中心



Tte エリワカン火山砕屑岩類 Tts シマロブ火山砕屑岩類 Tal サラフトウ-2デイスait貫浴岩 Tab サラフトウ-1デイスait貫浴岩 LC 透水

図 III-3-5 トウレフ地域の地熱概念モデル

III.4 トウレフ地域の地熱資源量評価

III.4.1 資源量評価の方法

トウレフ地域の地熱資源量の評価には、容積法とモンテカルロシミュレーションを組み合わせた評価を実施した。容積法は、開発の初期段階にある地域の資源量評価に良く用いられる簡易な資源量評価法であるが、周辺から貯留層への涵養の効果が資源量の算定に含まれないため、容積法を用いることにより、安全側に見積もられた資源量が求められる。

容積法では、以下の計算式によって地熱資源量を推定する。

$$\text{貯留熱量 (S.H.)} = (T_r - T_a) \times \{(1 - \phi) C_{pr} \rho_r + \phi C_{pw} \rho_w\} \times V$$

$$\text{回収可能熱量 (H.R.)} = \text{S.H.} \times \text{回収率}$$

$$\text{発電出力(Power Output)} = (\text{H.R.} \times \text{C.E.}) / (\text{Lf} \times \text{P.L.})$$

ここに

T_r : 貯留層温度 (°C)

T_a : 利用限界温度 (°C)

ϕ : 空隙率 (%)

ρ_r : 岩石の密度 (kg/m³)

ρ_w : 流体の密度 (kg/m³)

C_{pr} : 岩石の比熱 (kJ/kg・°C)

C_{pw} : 流体の比熱 (kJ/kg・°C)

V : 貯留層の体積 (km³)

$C.E.$: 変換効率 (%)

Lf : プラント稼働年数 (year)

$P.L.$: プラント稼働率 (%)

である。

通常、容積法で用いられているパラメータ（貯留層の体積や温度など）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想定される範囲がある。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。貯留層パラメータに含まれる不確実性を考慮して地熱資源量の評価するために、計算結果に含まれる幅を評価し、その中で最も可能性の高い数値を統計的に求める手法であるモンテカルロ解析 (Monte Carlo Analysis) を併用して評価を行った。モンテカルロ解析では、図 III-4-1 に示すように、各パラメータについて値を取りうる範囲と確率分布を設定し、各パラメータについて乱数を発生させ、多数回の容積法評価を繰り返した結果から、頻度分布と残差累積確率分布図を作成する。頻度分布と残差累積確率分布を組み合わせて解釈することにより、調査対象地域の地熱資源量の最も確からしい推定値を求める手法である。

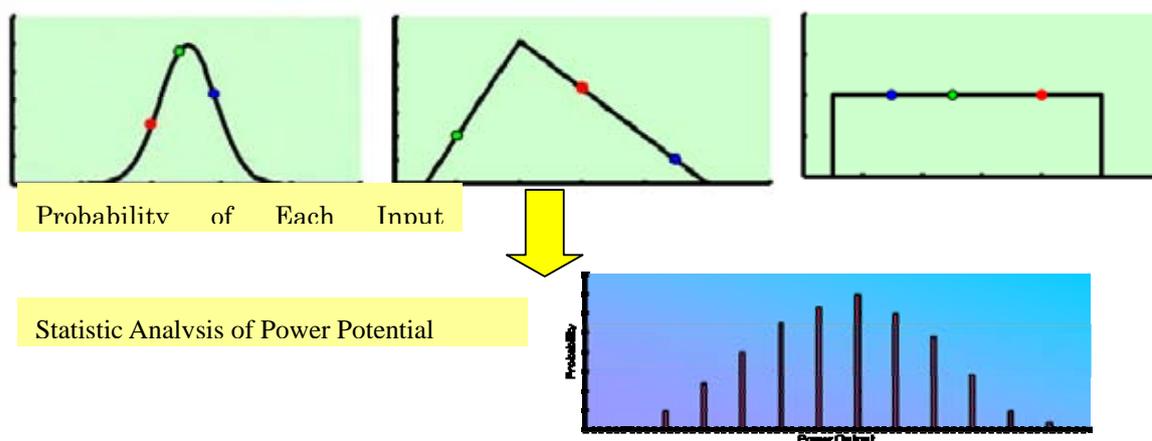


図 III-4-1 モンテカルロ解析を組み合わせた容積法による地熱資源量評価

III.4.2 容積法による地熱資源量評価結果

地熱概念モデルによれば、有望範囲は 7 km² から 10 km² と求められている。MT 法探査の解析結果を参考にして貯留層の厚さを 1.5 km とすれば、貯留層の体積は約 12.75 km³ となる。貯留層の温度と利用限界温度はそれぞれ 220°C と 180°C と推定した。岩石物性については、密度、比熱、空隙率をそれぞれ 2,500 kg/m³, 0.85 kJ/kg °C および 7.5% と設定した。回収率と変換効率はそれぞれ 20% および 13% と仮定した。プラントの運転に関するパラメータとしては、稼働年数を 30 年、稼働率を 85% とした。このようなパラメータ設定では、トゥレフ地域の地熱資源量は以下に示す計算によって 34.6 MW と求められる。

$$\begin{aligned}
 \text{貯留熱量} &= (T_r - T_a) \{ (1 - \phi) C_{pr} \rho_r + \phi C_{pw} \rho_w \} V \\
 &= (220 - 180) \{ (1 - 0.075) \times 0.85 \times 2500 + 0.075 \times 4.52 \times 806 \} (1.28 \times 10^{10}) \\
 &= 1.14 \times 10^{15} \text{ (kJ)} \\
 \text{回収可能熱量} &= \text{貯留熱量} \times \text{回収率} \\
 &= 1.14 \times 10^{15} \times 18.75\% \\
 &= 2.14 \times 10^{14} \text{ (kJ)} \\
 \text{発電出力} &= (\text{H.R.} \times \text{C.E.}) / (\text{Lf} \times \text{P.L.}) \\
 &= (2.14 \times 10^{14} \times 13\%) / (85\% \times 30 \text{ year}) \\
 &= 1.09 \times 10^{12} \text{ (kJ/year)} \\
 &= 34.6 \text{ (MJ/sec)} \\
 &= 34.6 \text{ (MW)} \quad [1 \text{ W} = 1 \text{ J/sec}]
 \end{aligned}$$

III.4.3 モンテカルロ解析

モンテカルロ解析に用いた貯留層パラメータの設定を表 III-4-1 に示す。貯留層の面積は、概念モデルに基づき、最小値は 7km²、最大値を 10km² とした。貯留層の厚さは、最小値を 1km、最大値を 2km、最確値を 1.5km とした。したがって貯留層体積については最小値 7km³ から最大値 20km³ の範囲の値を取る設定となっている。貯留層温度の範囲は、最小値 220°C から最大値 240°C の範囲にあり、最確値は 230°C とした。岩石の空隙率は 5% から 10% の範囲にあるものとし、回収率は 12.5% から 25% の範囲内で変化するものとした。岩石の密度は 2,400 kg/m³ から 2,600 kg/m³ の範囲にあり、最確値は 2500 kg/m³ とした。岩石の比熱は、0.7 kJ/kg°C から 1.0kJ/kg°C の範囲の値を取るものとし、熱から電力への変換効率は 12% から 14% の値を取るものと設定した。プラントの稼働率は 80% から 90% の範囲にあり、最確値は 85% とした。利用限界温度、プラント稼働年数と稼働率は、それぞれ 180°C、30 年と 85% に固定した。

表 III-4-1 モンテカルロ解析に用いたパラメータ設定

パラメータ	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	-

このような設定を用いて 10 万回の試行を経て求められた資源量の頻度分布を図 III-4-2 に示し、残差累積頻度分布（累積頻度を全頻度から差し引いた値）を図 III-4-3 に示す。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-4-2 に示す。

以上の結果から、80%以上の確率でトゥレフ地域の地熱資源量は 20 MW 以上であり、最

頻値は 30MW であると評価される。したがって、トゥレフ地域には 20 MW の発電のために十分な地熱資源量が存在していると結論することができる。

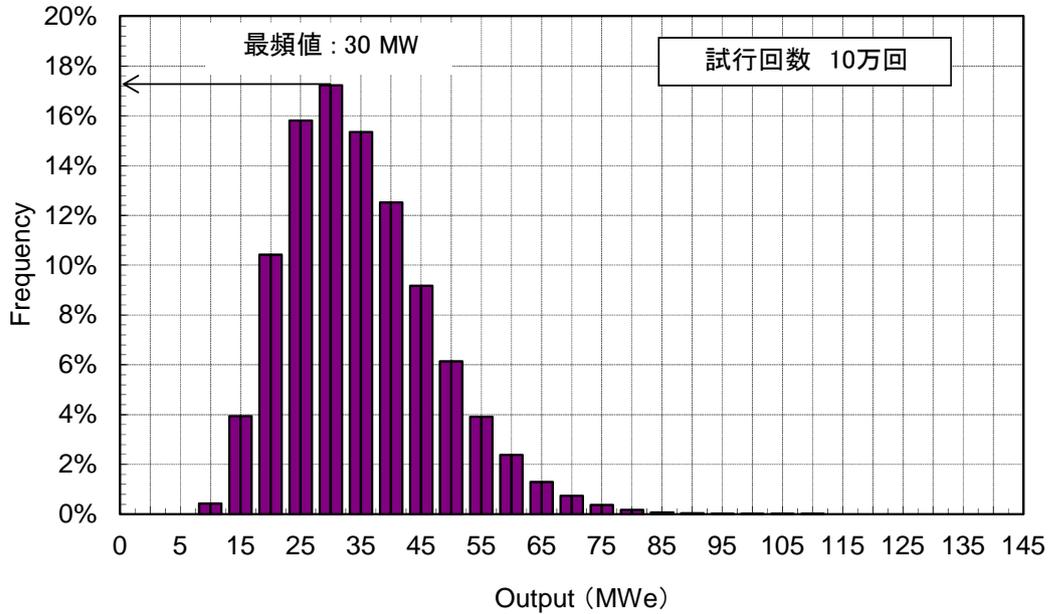


図 III-4-2 モンテカルロ解析によって得られた頻度分布

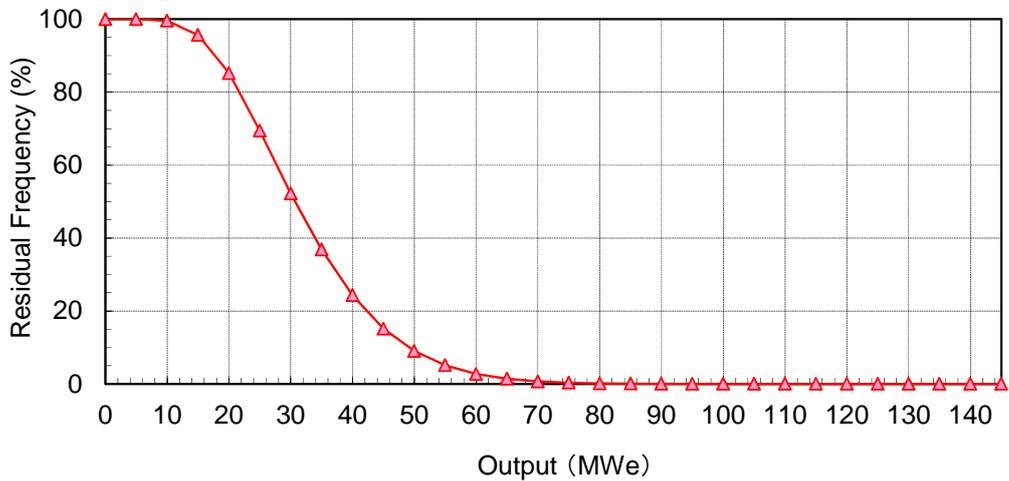


図 III-4-3 モンテカルロ解析によって得られた残差累積頻度分布

表 III-4-2 トウ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

開発に必要となる坑井の数を決定するためには、坑井の生産能力と還元能力を推定する必要がある。本調査では、坑井の生産能力と還元能力を、坑井シミュレータ WELLFLOW (Itoi et al., 1983; Seokoguchi, 1968; Tokita et al., 2002, 2004, 2005)を用いて推定した。WELLFLOW は九州大学と西日本技術開発によって開発され、数多くの地熱フィールドにおいてその精度と有効性が実証されている坑井シミュレータである。WELLFLOW は、貯留層の温度・圧力とフィードポイントにおける浸透率-層厚積(kh)を与えると、様々な坑口圧力での蒸気流量と熱水流量を計算することができる。WELLFLOW の中で用いられている坑井モデルを周辺の地層を含めた形で図 IV-1-1 に示す。WELLFLOW によって坑口圧力と蒸気流量・熱水流量および噴出流体の比エンタルピーの関係が得られ、タービン入口圧力を指定すれば各坑井から得ることのできる発電量を推定することができる。プログラム開発を容易にするために、WELLFLOW の中では、以下のような仮定が用いられている。地層内の流れはダルシー則に従う定常円筒流であり、貯留層は多孔質均質媒質であると仮定されている。貯留層内部の地熱流体は純水であり、貯留層の温度圧力状態に応じて熱水単相・蒸気単相・気液 2 相のいずれも取り扱えるようになっている。流体の挙動は、熱水単相または気液 2 相状態での質量保存則と運動量保存則を用いて記述される。

トゥレフ地域は開発の初期段階にあり、調査井は TLU-01 が掘削されているのみである。TLU-01 の掘削深度は、当初予定されていた 1,200~1,500m に対して 920m 程度とかなり浅めであり、開発の主なターゲットとなる深度における貯留層状態が十分に明らかにされているとは言い難い。したがって、坑井の生産・還元能力は、表 IV-1-1 に示す貯留層パラメータを用いて推定した。表 IV-1-1 に示すパラメータは、地熱資源量評価の際に得られた結果を参考にして設定したが、TLU-01 の坑井試験で得られた数値をそのまま用いたわけではない。貯留層の温度には、TLU-01 の温度回復試験において坑底付近で得られた平衡温度を用いた。貯留層圧力としては 11.5MPaA を用いたが、これはフィードゾーンが深度 1,200m 程度にあり、自由水面が海水準付近に来ることを想定して設定したものである。浸透率-層厚積の値としては、2darcy-m というやや小さめの値を用いた。これは、TLU-01 の注水試験では 5~10darcy-m という値が得られているが、安全側の推定値を得るために敢えて低めの数値を設定したものである。また、生産井のケーシングプログラムは、図 IV-1-2 に示した構成を想定した。

表 IV-1-1 に示した貯留層パラメータを用いて、WELLFLOW によって計算した坑井特性を図 IV-1-3 に示す。図 IV-1-3 は、生産井の坑口圧力を変化させたときの蒸気・熱水の噴出量を示している。この結果から、トゥレフ地域の生産井から噴出する流体の気液比は低い（概略蒸気：熱水=1：4程度）ことがわかる。このことからトゥレフ地域においては、還元

方針の選定が将来の貯留層管理において重要になると予想される。

WELLFLOW によって計算した坑井特性曲線から、坑口圧力を 0.2MPaG とした場合には、63t/h の蒸気と、280t/h の熱水が得られ、坑口圧力を 0.5MPaG とした場合には、43t/h の蒸気と、239t/h の熱水が得られることがわかる。この坑井特性曲線を用いて、発電に必要な坑井の数を検討した。

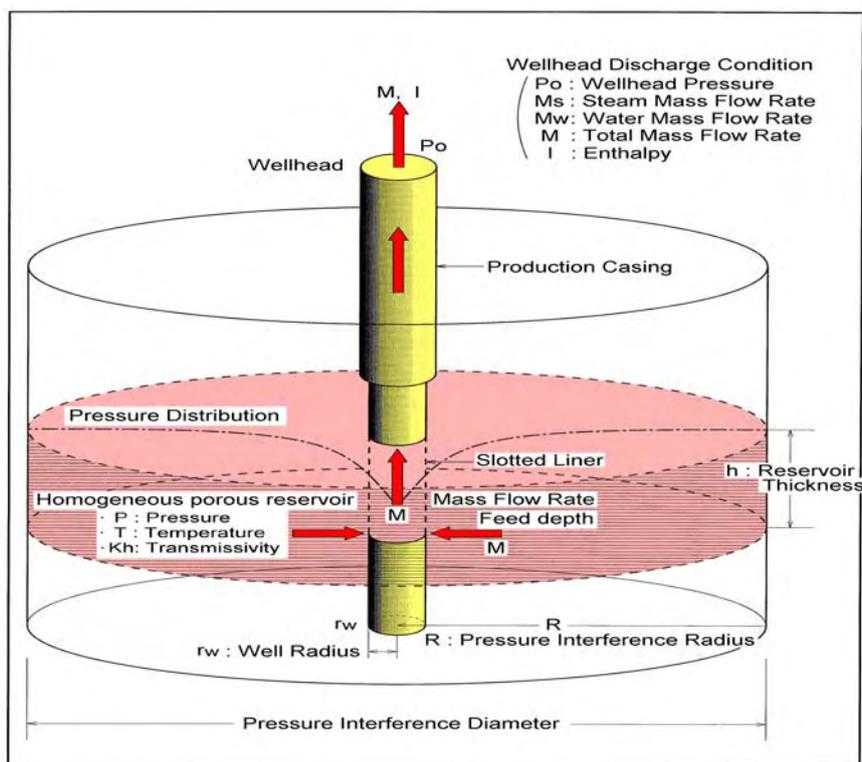


図 IV-1-1 坑井シミュレータ WELLFLOW で用いられる貯留層モデル

表 IV-1-1 設定した貯留層パラメータ

パラメータ	設定値
Reservoir Pressure	11.5MpaA
Reservoir Temperature	230°C
Permeability-Thickness (kh)	2darcy-m
Production Casing Depth	850m
Feed Point Depth	1200m
Production Casing Diameter	0.342m (13 3/8")
Liner Diameter	0.273m (10 3/4")
Skin Factor	0.0

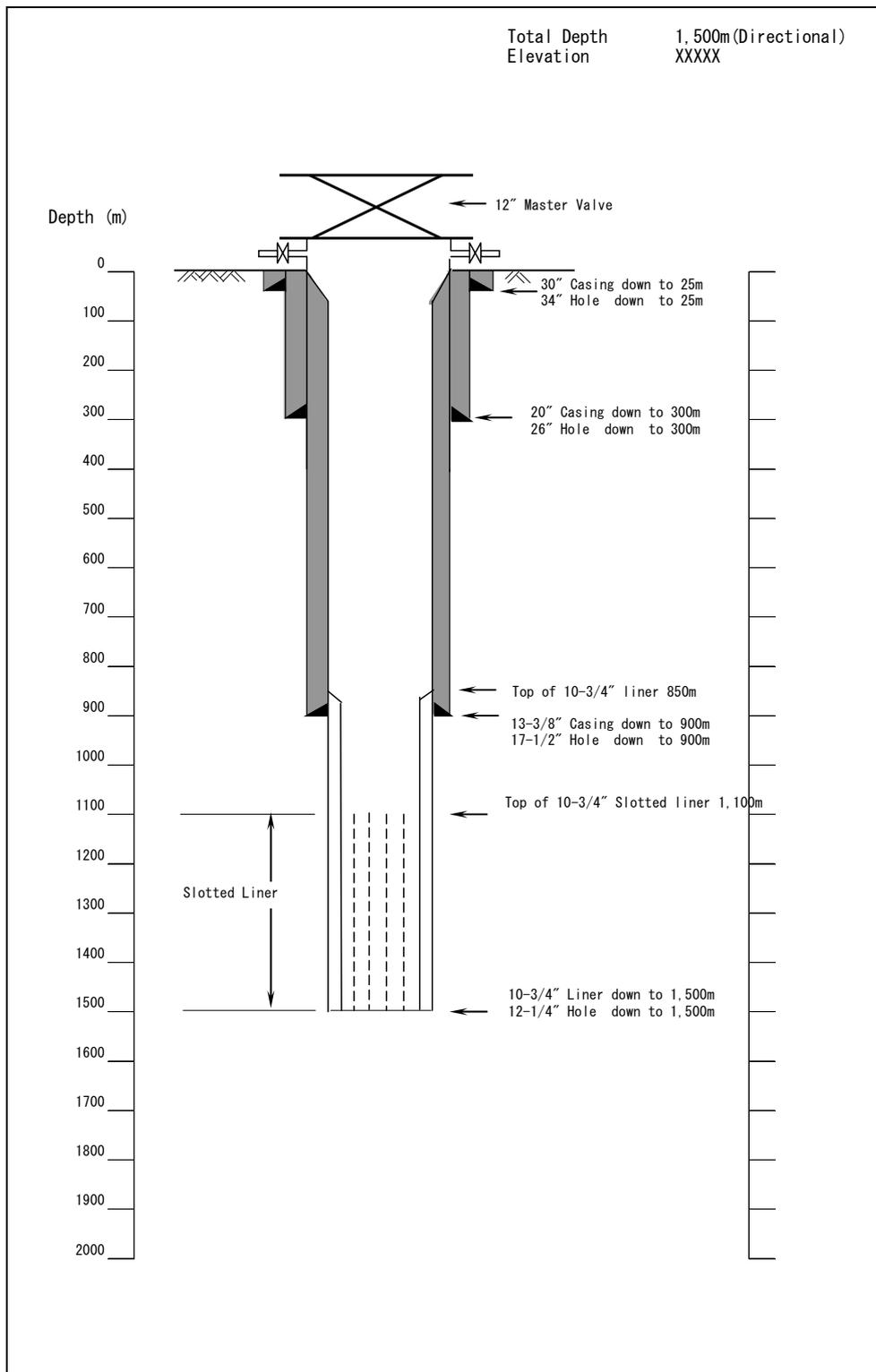


図 IV-1-2 想定した生産井のケーシングプログラム

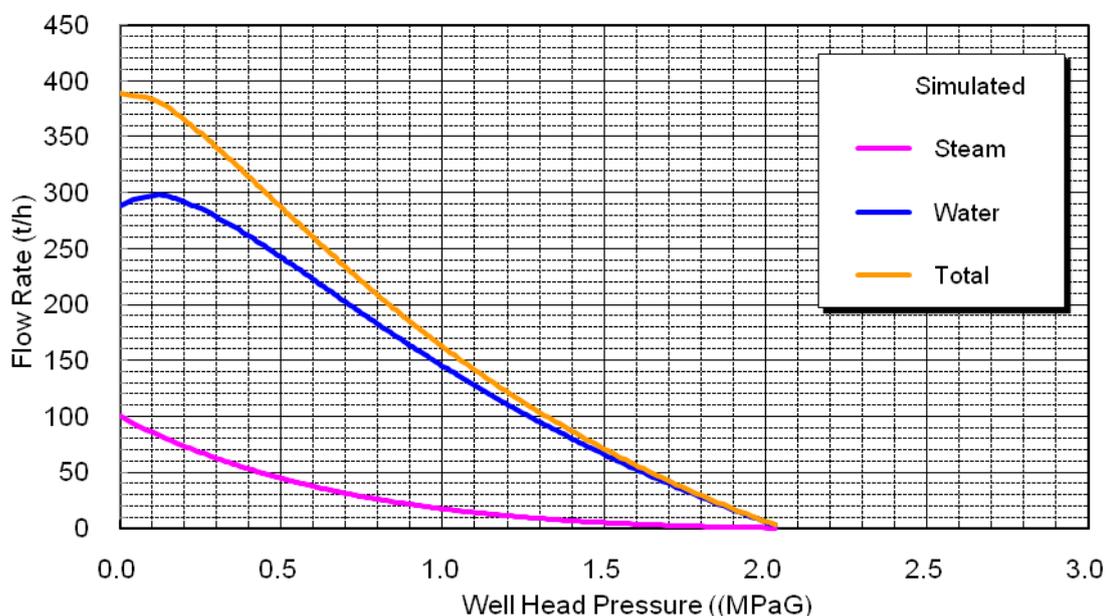


図 IV-1-3 WELLFLOW によって求めた坑井特性曲線

IV.2 必要となる坑井の数

WELLFLOW によって求めた坑井特性を用いて、トゥレフ地域において 20MW の発電を 30 年間行うのに必要となる坑井の数を求めた。坑井の数の検討には、貯留層の温度・圧力が WELLFLOW に入力した値よりも小さくなり、坑口圧力を低く保たなければならない場合を想定して、坑口圧力 0.2MPaG での噴出量を用いた。この場合、1MW の発電に必要な蒸気流量は、商用の蒸気タービンの性能表から 10t/h と見積もられた。したがって坑口圧力を 0.2MPaG とした場合に 20MW の発電に必要な蒸気流量は 200t/h となる。坑口圧力 0.2MPaG における坑井特性から、蒸気の噴出量は 63t/h であるから、20MW の発電には 4 本の生産井が必要となる。坑井の掘削成功率を 80% とすると、20MW の発電を開始するためには 5 本分の掘削が必要となる。

坑井特性曲線より、坑口圧力 0.2MPaG の場合、1 本の坑井から 280t/h の熱水が噴出するので、4 本の生産井を用いて生産を行うとすると 1,120t/h の熱水が作り出されることになる。したがって、トゥレフ地域で 20MW の発電を行うには、約 1,200t/h の還元容量が必要になる。坑井の生産指数と還元指数はフィードポイント周辺の地層の透水性によって決まるため、理想的には両者は一致するはずである。したがって 1 本の還元井にも 280t/h の熱水を還元できると期待できるが、ここではやや安全側に見積もって 1 本あたりの最大還元容量を 250t/h と仮定した。この場合、20MW の発電によって生み出される 1,200t/h の熱水を処理するには、6 本の還元井が必要となる。

既に述べたとおり、トゥレフ地域においては噴出流体の気液比は1：4程度と見積もられることから、ダブルフラッシュシステムの採用が有効であると考えられる。一般に、ダブルフラッシュシステムではタービンの後段に、熱水をさらに蒸発させた低圧の蒸気を入れることにより、30%蒸気量が増加した場合と同等の性能向上が期待できる。ダブルフラッシュシステムを採用するとした場合、生産井1本あたりの蒸気生産量は、63t/hから82t/hに向上すると考えられる（ $63 \times 1.3 = 81.6$ ）。また、生産井1本から産出する熱水の流量は、 $280 \text{ t/h} - (82 \text{ t/h} - 63 \text{ t/h}) = 269 \text{ t/h}$ に減少すると考えられる。この場合、20MWの発電に必要な生産井は、3本となる（ $82 \text{ t/h} \times 3 = 246 \text{ t/h}$ ）。3本の生産井から生み出される熱水の総量は、 $261 \text{ t/h} \times 3 = 783 \text{ t/h}$ となり、必要となる還元井の数は4本となる。この場合、4本の還元井で1,000t/hの熱水を処理できることになる。

以上の検討結果を、表 IV-2-1 および表 IV-2-2 に示す。トゥレフ地域において20MWの発電を開始するには、シングルフラッシュ方式を採用する場合には、5本（4本+予備1本）の生産井と、6本の還元井が必要となり、ダブルフラッシュシステムを採用する場合には、4本（3本+予備1本）の生産井と、4本の還元井が必要になると考えられる。

表 IV-2-1 坑口圧力を0.2 (MPaG)とするときの坑井の生産能力・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-2-2 必要となる初期坑井の数

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していく。減衰により定格出力や必要還元容量を維持できなくなった場合には補充井が掘削されることになる。30年間の運転期間中に必要となる補充井の数を見積もるために、生産能力と還元能力はともに3%/年の割合で減衰していくと仮定した。シングルフラッシュシステムを採用した場合に補充井が必要となる時期、および、30年間に必要となる補充井の数を図 IV-2-1 および表 IV-2-4 に示す。ダブルフラッシュシステムを採用する場合の補充井についての検討結果を図 IV-2-2 および表 IV-1-5 に示す。

シングルフラッシュシステムを採用する場合には、20MWの発電を開始するために5本の生産井の掘削が必要となり、そのうち4本から合計253t/hの蒸気が生産され、発電が開始される。蒸気生産量は3%/年の割合で減衰していき、発電開始から7年後には必要蒸気量である200t/hを下回り、補充井が必要となる。この補充井は63t/hの蒸気を生産して、総

蒸気量は 261.8t/h となり、必要蒸気量が確保される。これ以降は 16 年目と 25 年目に補充井が必要となり、30 年間を通じて合計 3 本の生産井が補充井として必要になる。還元能力については、20MW の発電に必要とされる還元容量は 1,200t/h であり、運転開始時点では 6 本の還元井で 1,500t/h の還元容量を持っている。生産井と同様に還元容量も年間 3% の割合で減衰していき、運転開始後 7 年目には還元容量が不足して補充井が必要となる。新たな還元井が掘削されることにより、還元容量は 1,426t/h に回復する。これ以降は、14 年目、20 年目、27 年目に補充井が必要となり、30 年間で合計 4 本の補充井が必要になると考えられる。

ダブルフラッシュを採用した場合は、運転開始までに 4 本の生産井の掘削が行われ、そのうち 3 本から合計 247 (t/h) の蒸気が生産され、発電が開始される。生産能力は年率 3% の割合で減衰していき、6 年目、19 年目、そして 30 年目に補充井が必要となる。還元井については、4 本の還元井を用いて 1,000t/h の還元容量をもって運転が開始される。還元能力も同様に減衰していき、運転開始後 7 年目に必要還元容量 800t/h を下回り、補充井が掘削される。その後、16 年目と 25 年目に補充井が必要となり、30 年間で合計 3 本の補充井が必要になると考えられる。

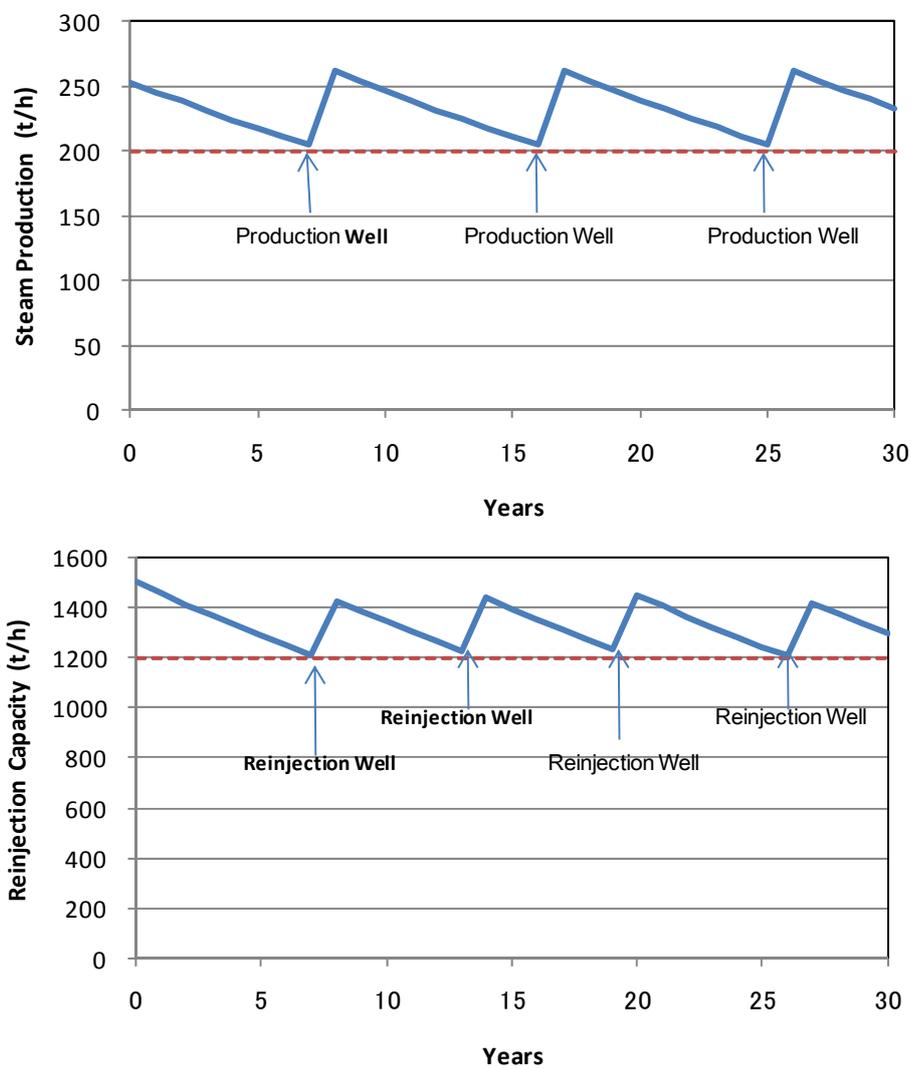


図 IV-2-1 補充井に関する検討結果 (シングルフラッシュシステム)

表 IV-2-3 補充井に関する検討結果 (シングルフラッシュシステム)

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	1437	0	1
15	212	1394	0	0
16	205	1353	0	0
17	262	1312	1	0
18	254	1273	0	0
19	247	1234	0	0
20	239	1447	0	1
21	232	1404	0	0
22	225	1362	0	0
23	219	1321	0	0
24	212	1281	0	0
25	206	1243	0	0
26	263	1206	1	0
27	255	1419	0	1
28	247	1377	0	0
29	240	1336	0	0
30	233	1296	0	0
		total	3	4

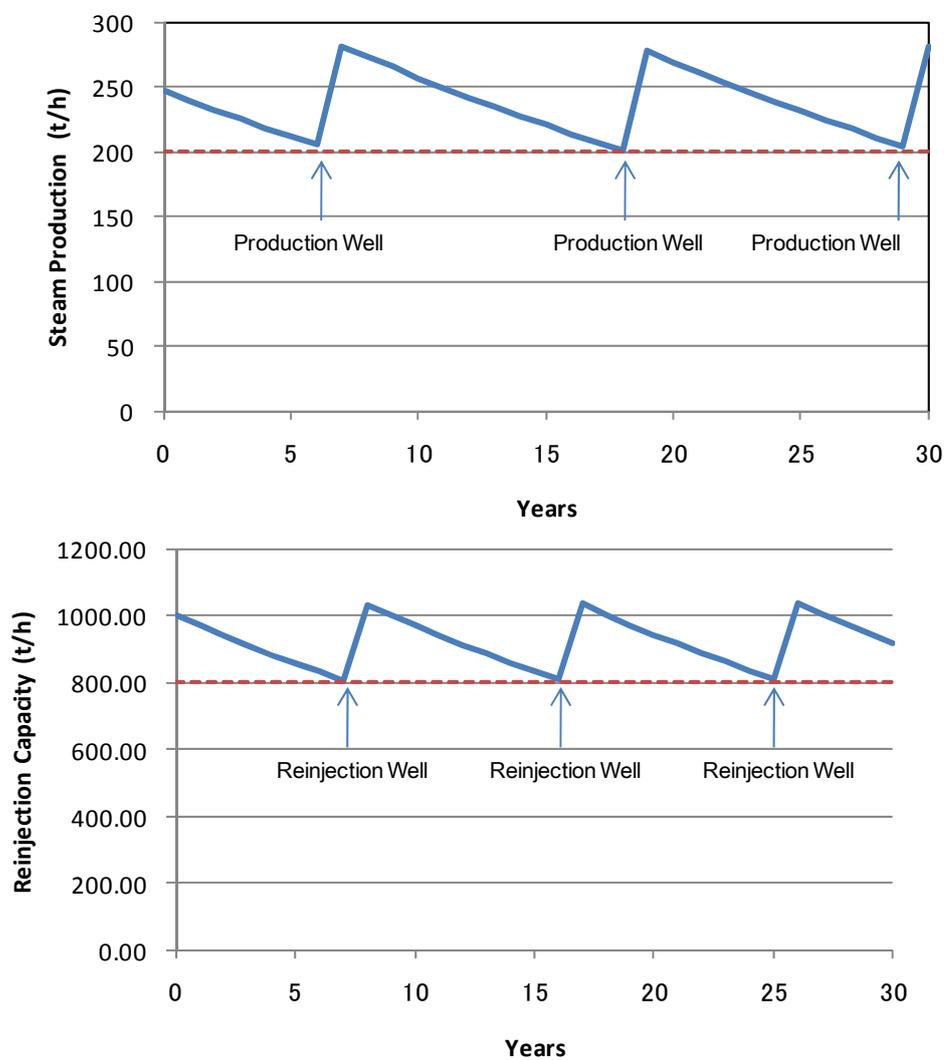


図 IV-2-2 補充井に関する検討結果 (ダブルフラッシュシステム)

表 IV-2-4 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 坑井掘削計画

IV.3.1 掘削ターゲットおよび掘削基地

トゥレフ地域は、マルク州アンボン島のスリ村とトゥレフ村にまたがっており、地形は比較的平坦である。調査井用の掘削基地がすでに PLN により造成されており、機材などの搬入路もすでに造成・改修されている。この掘削基地から調査井 TLU-01 が掘削された。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。したがって、次のような規模の生産井基地が必要となる。

シングルフラッシュ型の場合：7 本の実産井掘削が可能な敷地

ダブルフラッシュ型の場合：6 本の実産井掘削が可能な敷地

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は、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は、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、次のような規模の還元井基地が必要となる。

シングルフラッシュ型の場合：7 本の還元井掘削が可能な敷地

ダブルフラッシュ型の場合：5 本の還元井掘削が可能な敷地

III.3 節でも述べたように、トゥレフ地域での地熱開発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。これらの断層上には温泉が存在する。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の深部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。バンダ断層や R2 断層についても、断層上に温泉は存在するが、いずれの温泉も利用されていない。ただし、R2 断層をねらって坑井を掘削する場合、地形条件等を考慮すると、いずれの坑井も途中でバンダ断層を横切るような掘削基地配置となる。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
(ターゲット間隔については、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
(ターゲット間隔については、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そのターゲットをねらうのに最適と考えられる坑井基地配置を図 IV-3-1 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。調査井 TLU-01 の基地 (TLU-0) はターゲットとした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、他のターゲットを掘削するには新規に掘削基地を造成する必要がある。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。TLU-01 および TLU-02 が生産井として使用可能としても、補充井も含めると、あと 5 本程度の坑井掘削が必要であることから新規の生産井基地として 2 基地が必要である。このため、各基地から 3 本掘削すると仮定し、生産井基地として TLU-1 基地と TLU-2 基地の位置を図 IV-3-1 のように選定した。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-3-1 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 IV-3-1 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-3-2 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。

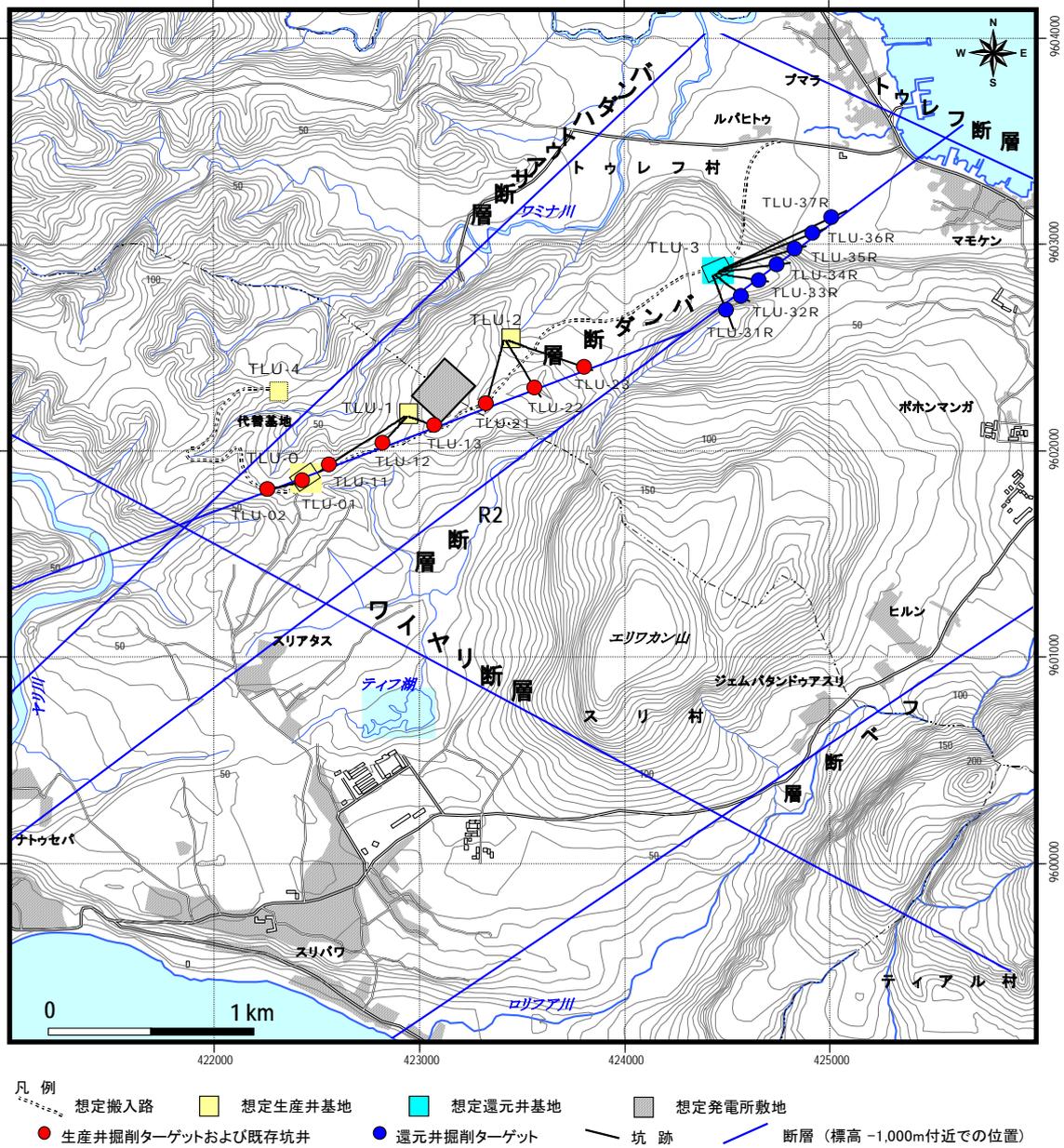


図 IV-3-1 想定掘削基地、発電所敷地およびターゲット位置

表 IV-3-1 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)

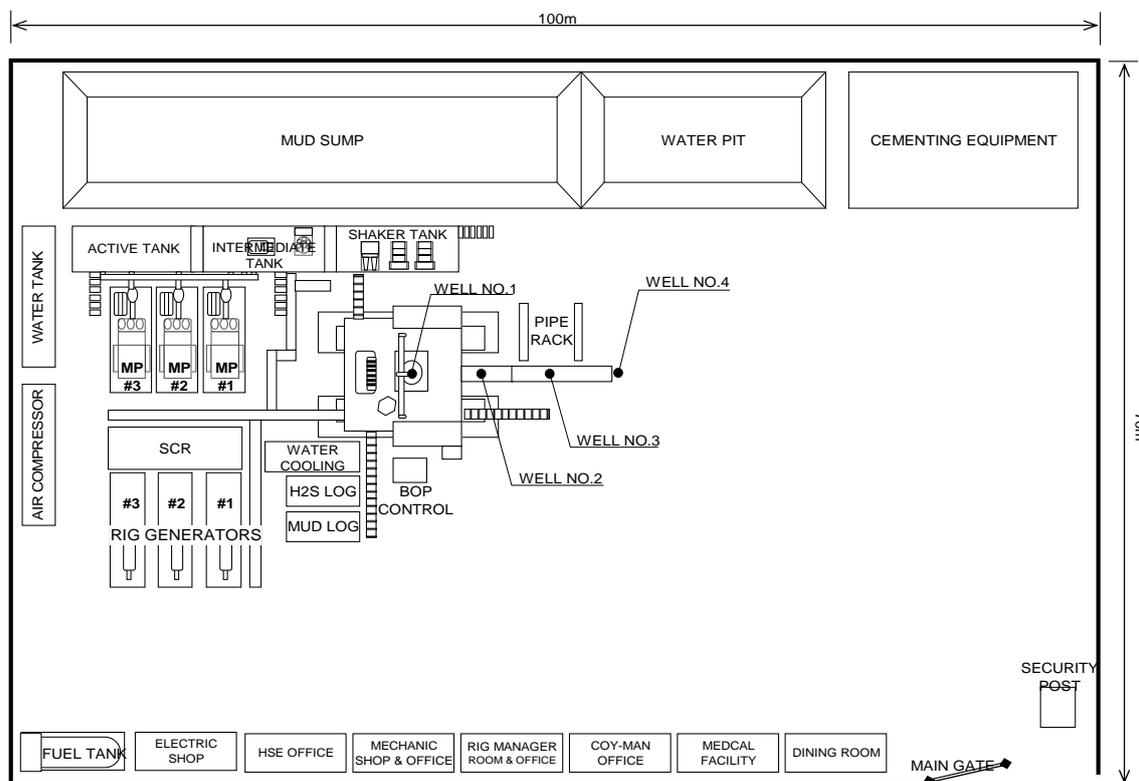


図 IV-3-2 代表的掘削機器配置

IV.3.2 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-3-1、図 IV-3-3 および図 IV-3-4 に示す。また、各ターゲットを掘削する坑井の仕様を表 IV-3-2 と図 IV-3-5、図 IV-3-6 および図 IV-3-7 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-3-5、図 IV-3-6 に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-3-7 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。

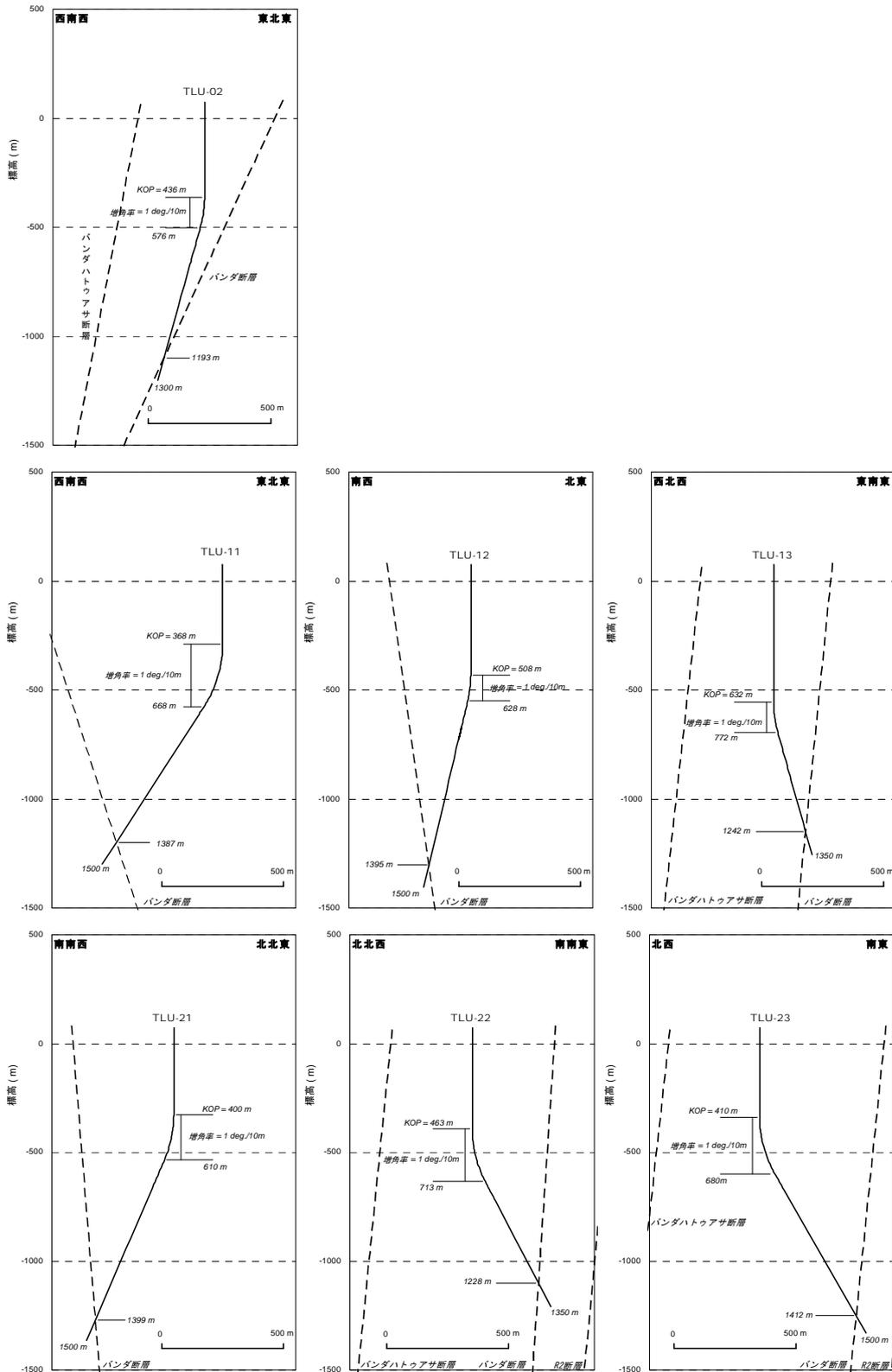


図 IV-3-3 生産井掘削方向断面図

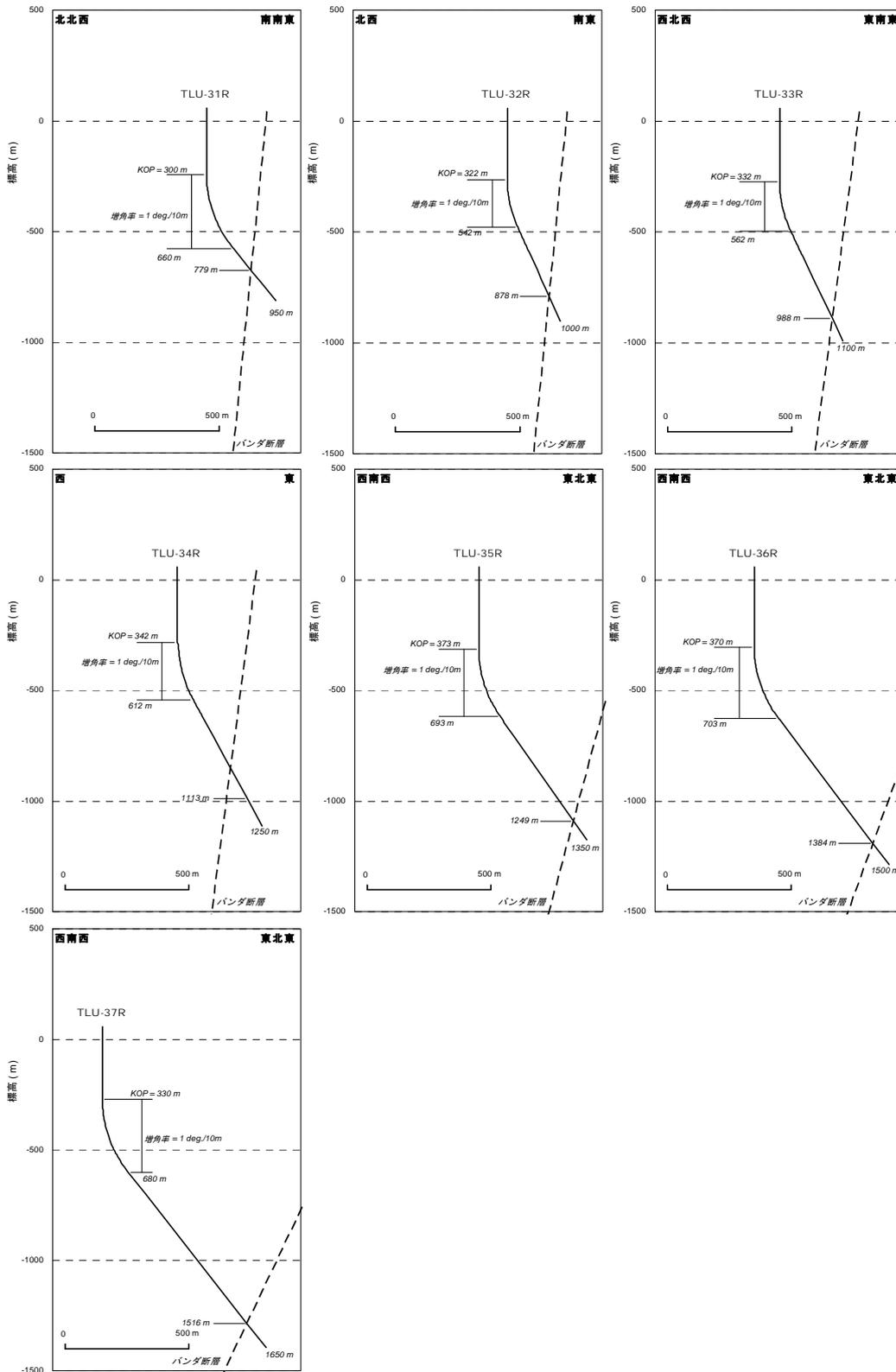


図 IV-3-4 還元井掘削方向断面図

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

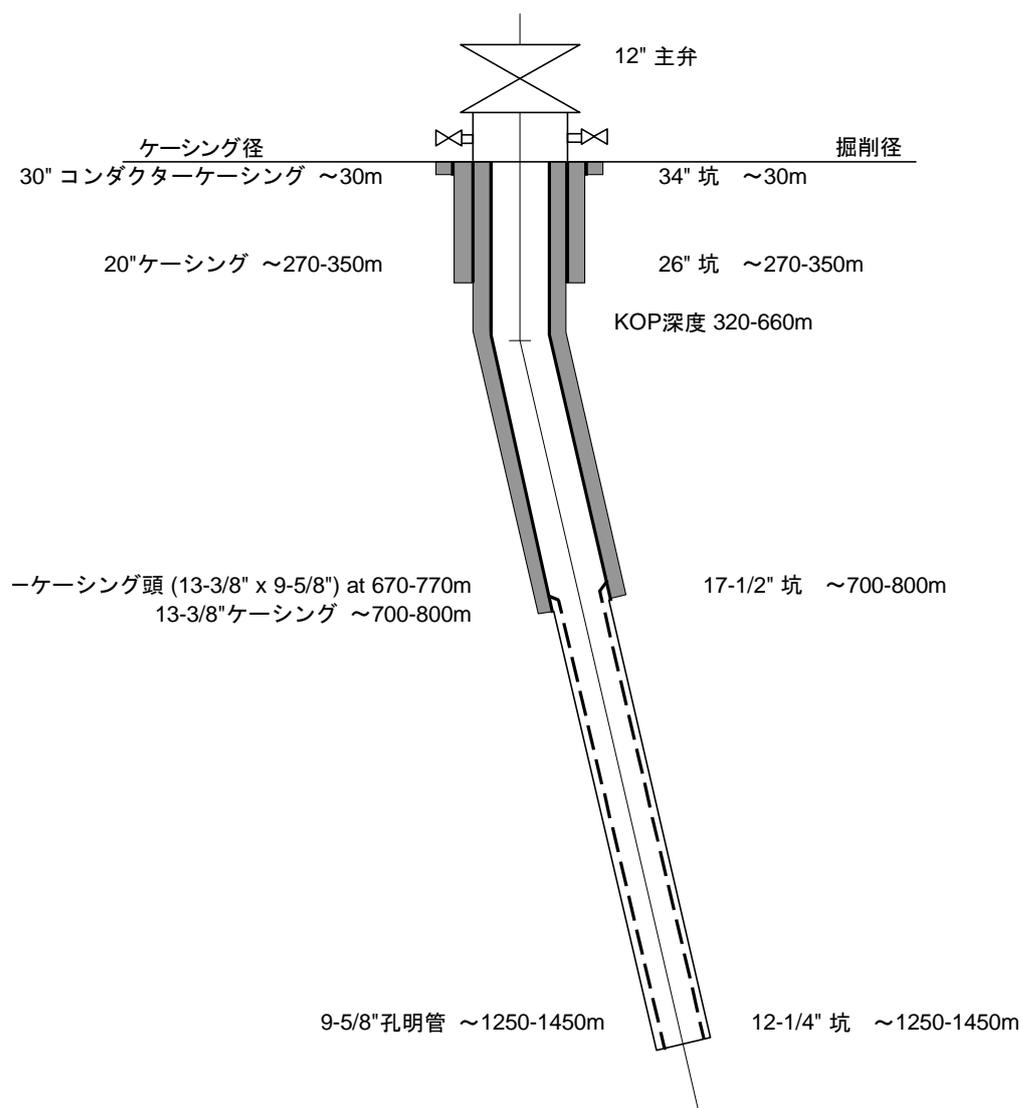


図 IV-3-5 生産井ケーシングプログラム暫定案（大口径坑）

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

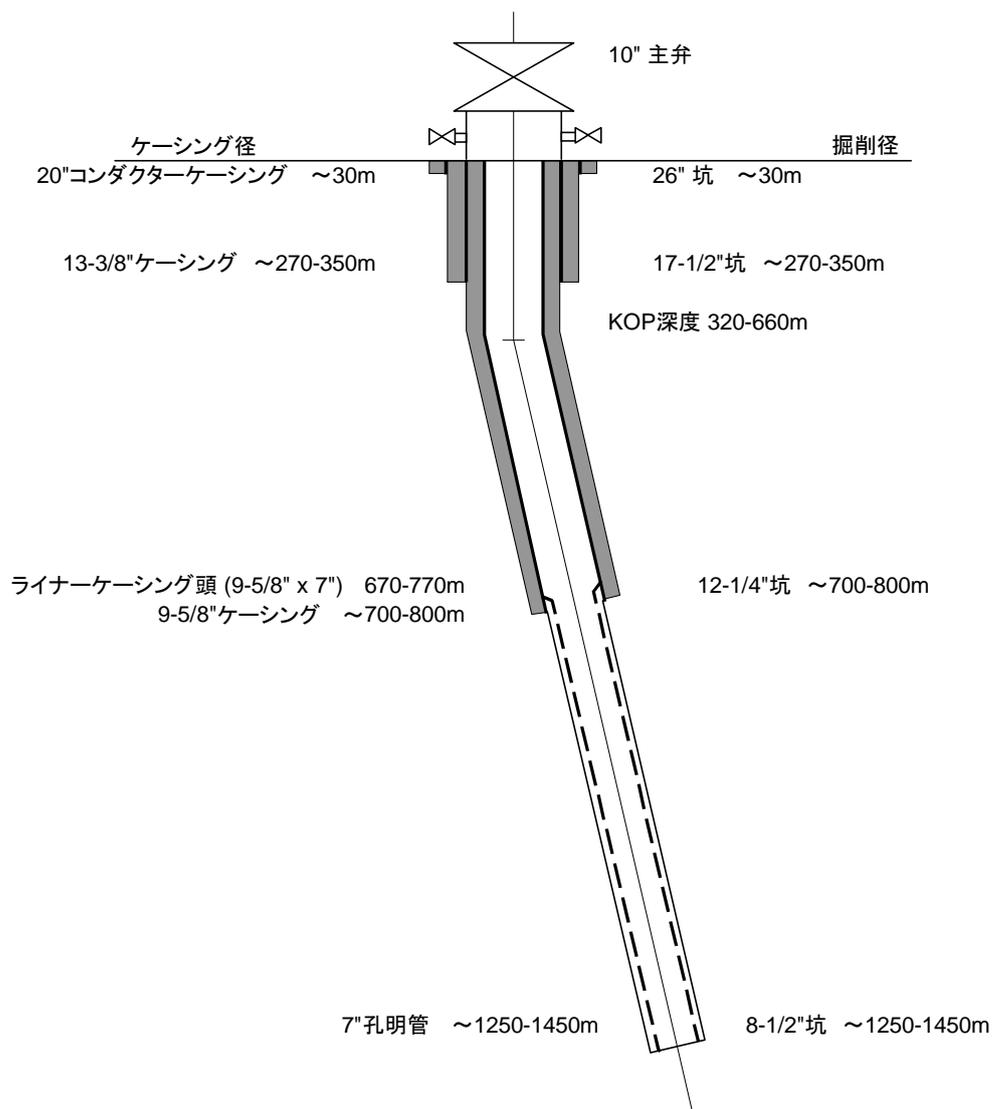


図 IV-3-6 生産井ケーシングプログラム暫定案 (標準坑)

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

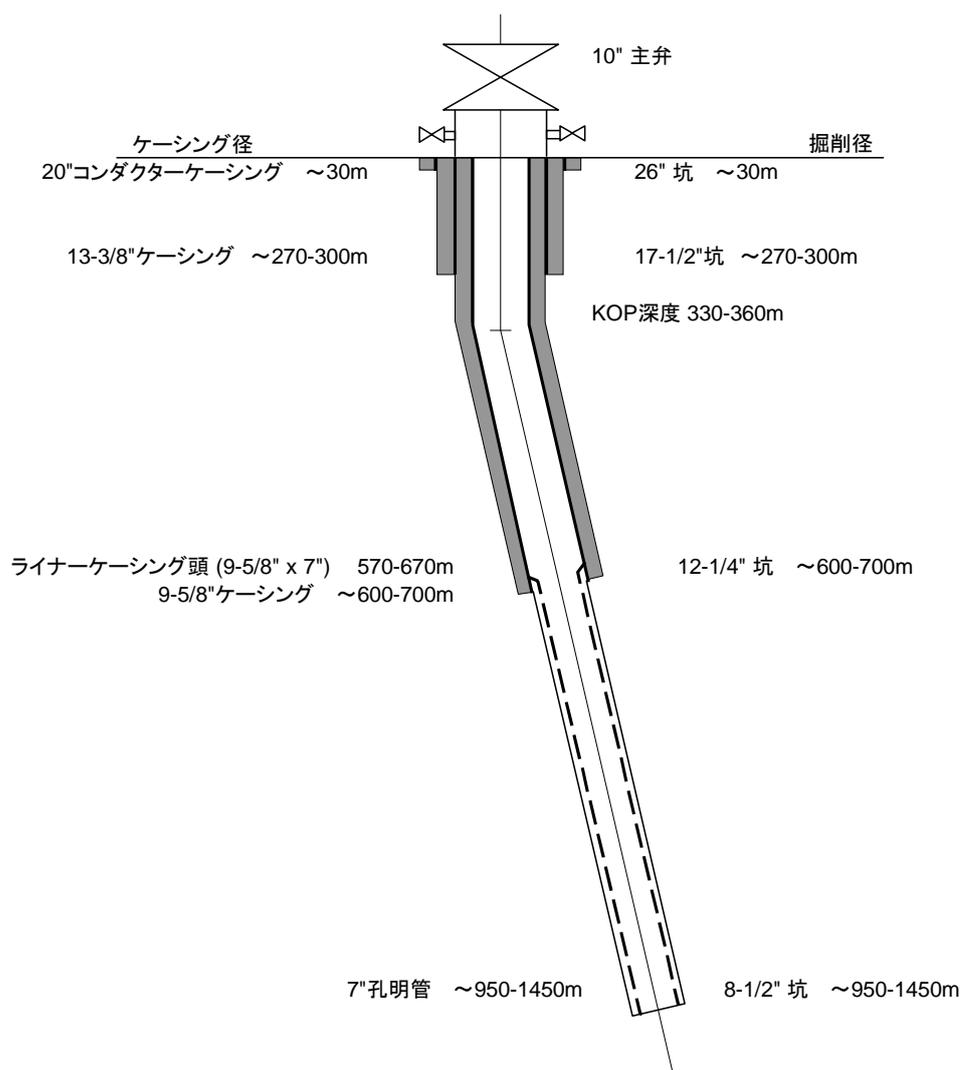


図 IV-3-7 還元井ケーシングプログラム暫定案

表 IV-3-2 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			バンダ断層 @1193 m	バンダ断層 @1387 m	バンダ断層 @1395 m	バンダ断層 @1242 m	バンダ断層 @1399.2 m	バンダ断層 @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		バンダ断層 @1412 m	バンダ断層 @779 m	バンダ断層 @878 m	バンダ断層 @988 m	バンダ断層 @1113 m	バンダ断層 @1248.9 m	バンダ断層 @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		バンダ断層 @1516 m						

IV.4 発電所建設計画

ここでは地熱発電プラント建設計画（坑井掘削基地、配管設備、地熱発電所等の全体配置計画、配管設備計画、地熱発電所計画（機械設備、電気設備、計装・制御設備）、資機材輸送計画）についての検討を以下の各セクションに述べる。

IV.4.1 掘削基地および発電所の位置

坑井掘削基地と地熱発電所の全体配置を検討するに当たっては、地熱流体のエネルギー的にも地形的にも高位から低位への自然な流れができるように考慮して配置を計画した。地熱発電プラントでは、地熱流体のエネルギーは生産井から、地熱発電所、還元井へと高位から低位に流れるので、地形的にも同様に生産井基地、地熱発電所、還元井基地を高位から低位の順に配置することが望ましい。特に、還元熱水は飽和水であるから、低地点から高地点に輸送する配置は避けるべきである。生産性からの地熱流体は蒸気と熱水の混じった気液二相流で地熱発電所構内に設置されるセパレーターへ輸送され、蒸気と熱水に分離される。蒸気はタービン・発電機を回転させ発電の仕事をする。熱水は還元井まで輸送され地下に還元される。

生産井、還元井の各坑井掘削基地、発電所および送電線の配置計画図を、図 IV-4-1 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。結果、生産井基地は標高約 72～77m、発電所は標高約 72m、還元井基地は標高約 58m の配置となる。

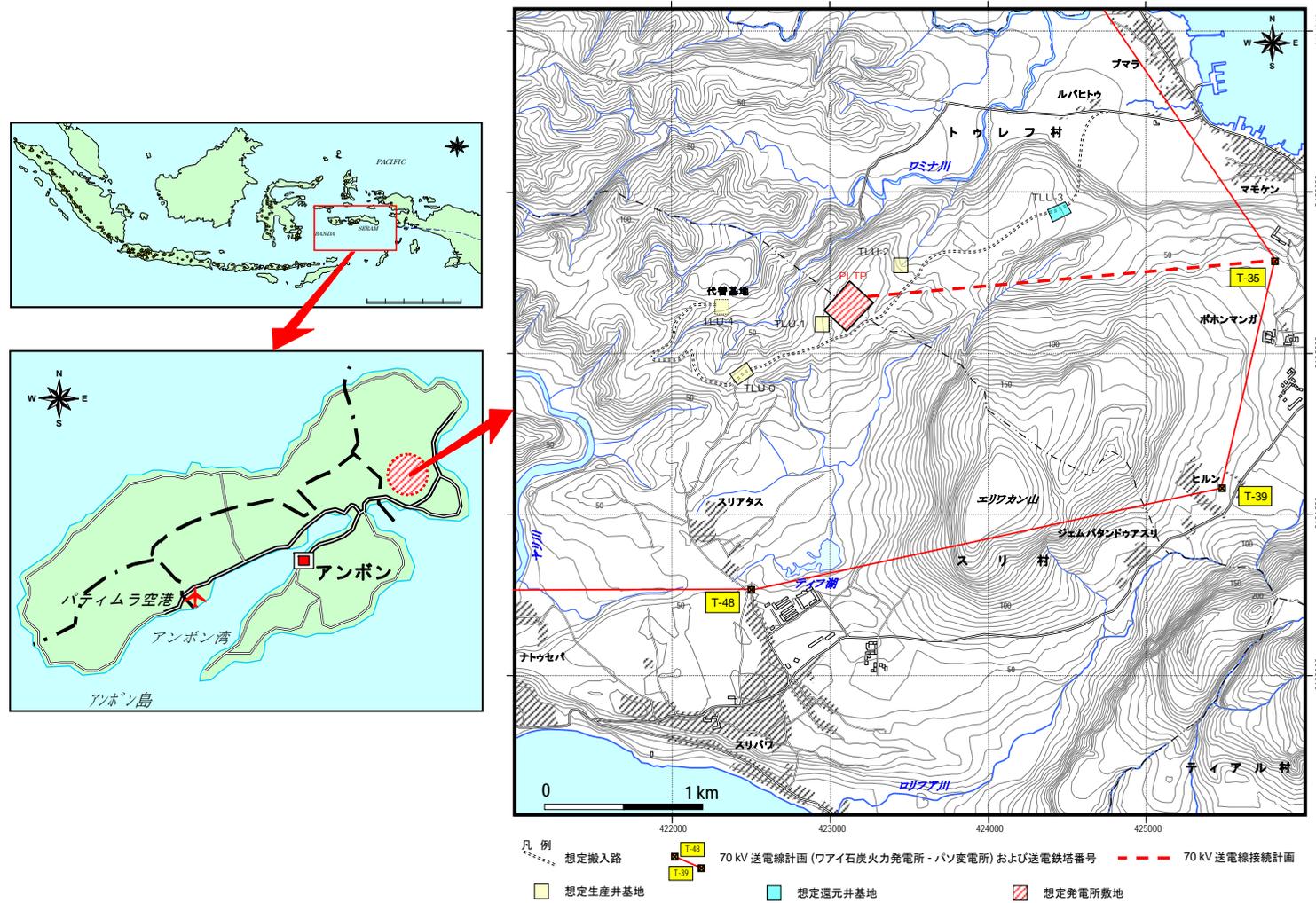


図 IV-4-1 坑井掘削基地、地熱発電プラントおよび送電線の配置計画

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、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 4 つのケースについて作成した。

- ☒ IV-4-2 シングルフラッシュ 10MW×2 ケース
- ☒ IV-4-3 シングルフラッシュ 20MW×1 ケース
- ☒ IV-4-4 ダブルフラッシュ 10MW×2 ケース
- ☒ IV-4-5 ダブルフラッシュ 20MW×1 ケース

1. 生産井からセパレーターまでの地熱流体輸送配管

生産井で取出された地熱流体は、セパレーターまで蒸気と熱水の気液二相流で輸送される。各生産井基地からの気液二相流配管は、途中で合流させながら発電所内に設置されるセパレーターまで設置される。二相流配管では生産井からセパレーターまでは下り勾配の配置とする。各の生産井基地にセパレーターを設置して、蒸気と熱水に分離して、蒸気を発電所まで輸送する方法もある。この場合、二相流配管にくらべて大口径の蒸気配管が必要になる。設備投資を抑える面から二相流配管の採用が望ましい。

2. セパレーター/フラッシャー

セパレーターは発電所構内に設置する。生産井から輸送されてきた二相流の地熱流体セパレーターで蒸気と熱水に分離される。分離された蒸気は発電のためタービンに送られ、熱水は還元井に送られる。ダブルフラッシュシステムを採用する場合は、セパレーターの下流の熱水ラインにフラッシャーを更に設置し、低圧の 2 次蒸気を発生させ地熱エネルギーの有効利用を図る。追加の 2 次蒸気をタービンに供給し、発電出力を増加させる。

3. セパレーターから発電所タービンまでの蒸気供給配管

セパレーターで分離された蒸気は蒸気供給配管によりタービンに供給される。タービンへ供給される蒸気の純度を向上させるため、途中にスクラバー、デミスターを設置する。設備保安のため、圧力逃がし装置、サイレンサー等を設置する。ダブルフラ

ッシュシステムを採用する場合には、前述のようにタービン中段に供給されるフラッシュャーからの2次蒸気配管が設置される。

4. 熱水還元配管

セパレーター、フラッシュャーで分離された熱水は、熱水還元配管により還元井に輸送され、地下に戻される。分離された熱水は飽和水であるから、途中の上り勾配での異常なフラッシングやウォーターハンマー現象を避けるために、還元配管は下り勾配の配置とする。

5. 発電プラントからの復水還元配管

タービンで仕事をした蒸気は復水器で凝縮水となり、冷却塔に送られ冷却水となって循環するが、その一部の余剰分が冷却塔貯水槽からのオーバーフローとして系外に排出される。このオーバーフロー水は復水還元配管にて還元井に輸送され地下に戻される。このオーバーフロー水は前述の熱水還元量に比較して少量であると予想され、還元熱水の温度降下への影響は少ないと考えられるので、ここでは熱水還元配管に接続合流して還元井まで輸送すると計画した。

Conceptual Process Flow of Steamfield - Tulehu Geothermal Power Plant Project
2 x 10 MW Single Flash Cycle Case

Total steam flow: 200t/h
 Total brine flow: 896t/h

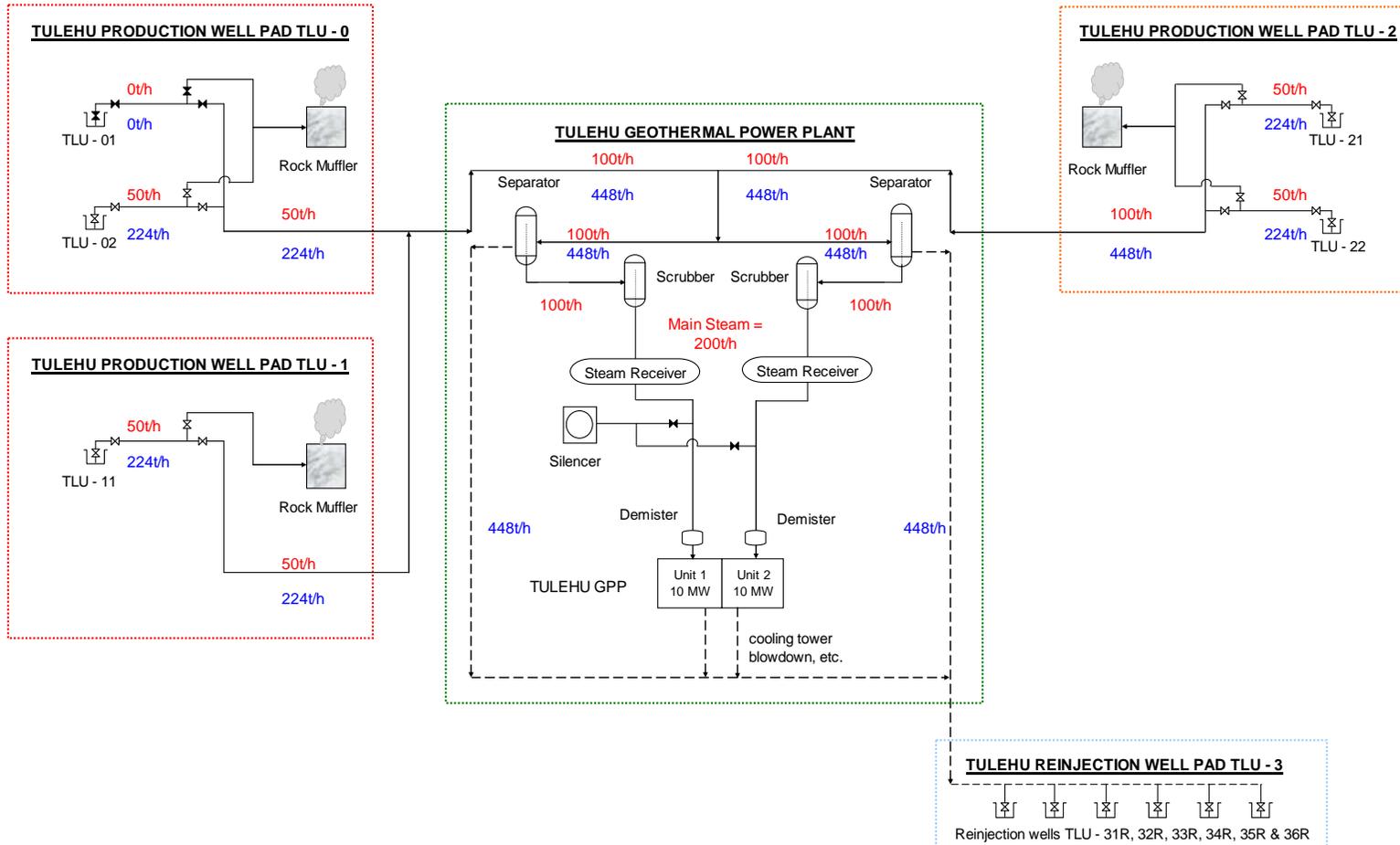


図 IV-4-2 シングルフラッシュ 10MW×2 ケース - トウレフ地熱発電プロジェクト FCRS 概念フロー図

**Conceptual Process Flow of Steamfield - Tulehu Geothermal Power Plant Project
1 x 20 MW Single Flash Cycle Case (1 Separator)**

Total steam flow: 200t/h
Total brine flow: 896t/h

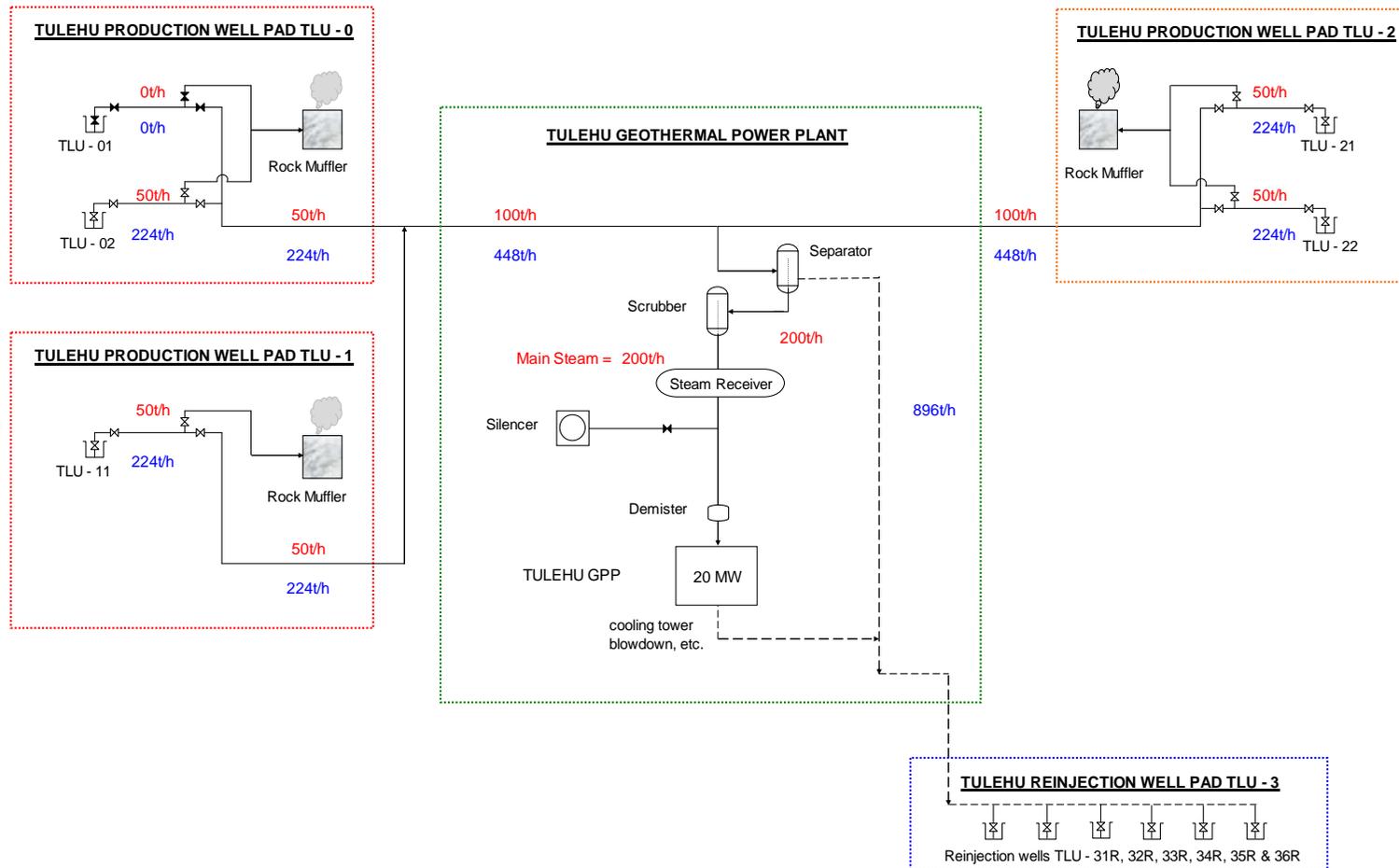


図 IV-4-3 シングルフラッシュ 20MW×1 ケース - トゥレフ地熱発電プロジェクト FCRS 概念フロー図

Conceptual Process Flow of Steamfield - Tulehu Geothermal Power Plant Project
2 x 10 MW Double Flash Cycle Case

Total steam flow: 150t/h / 44t/h (Primary Steam / 2nd Flash Steam)
 Total brine flow: 628t/h

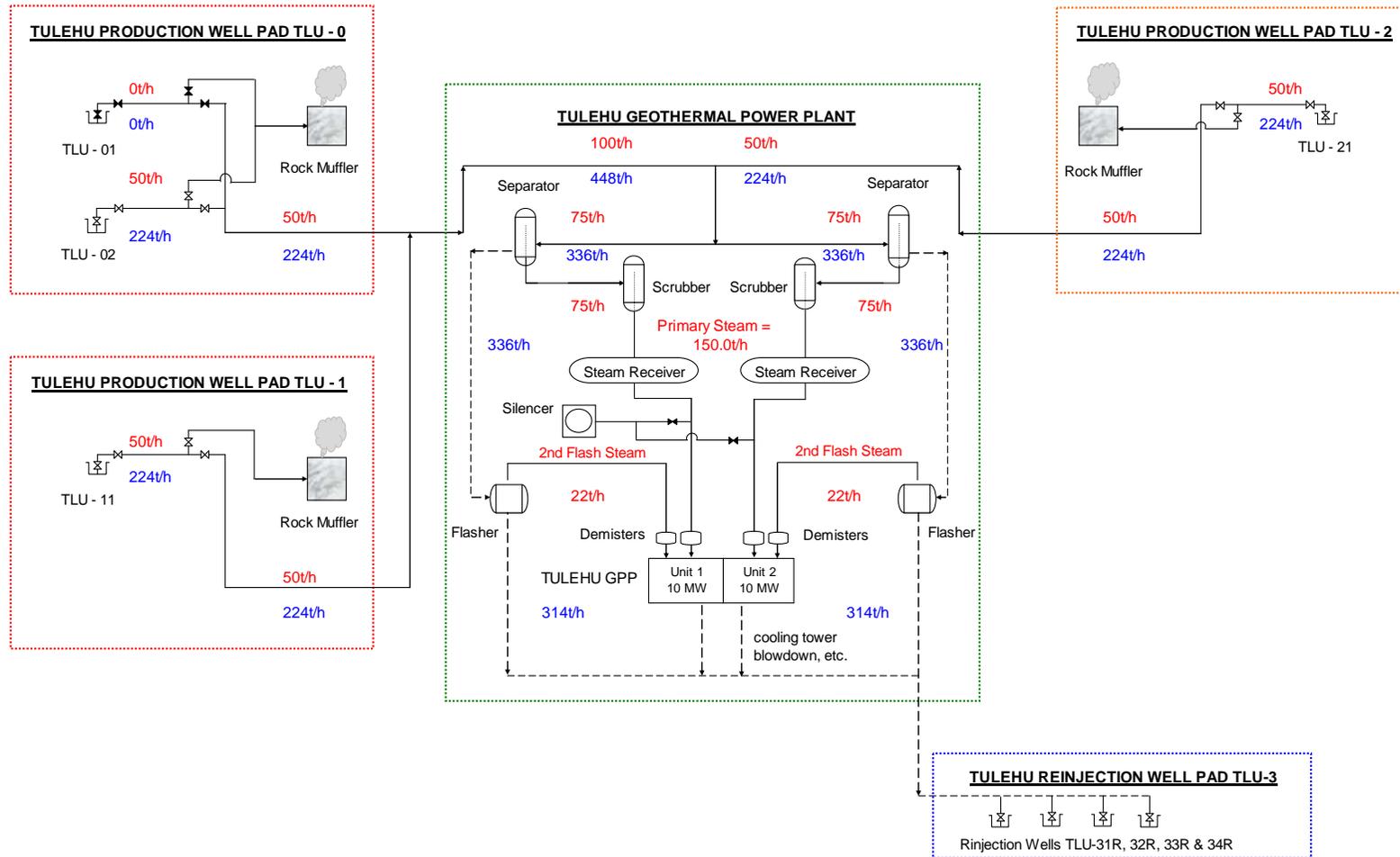


図 IV-4-4 ダブルフラッシュ 10MW×2 ケース - トゥレフ地熱発電プロジェクト FCRS 概念フロー図

Conceptual Process Flow of Steamfield - Tulehu Geothermal Power Plant Project

1 x 20 MW Double Flash Cycle Case

Total steam flow: 150t/h / 44t/h (Primary Steam / 2nd Flash Steam)
 Total brine flow: 628t/h

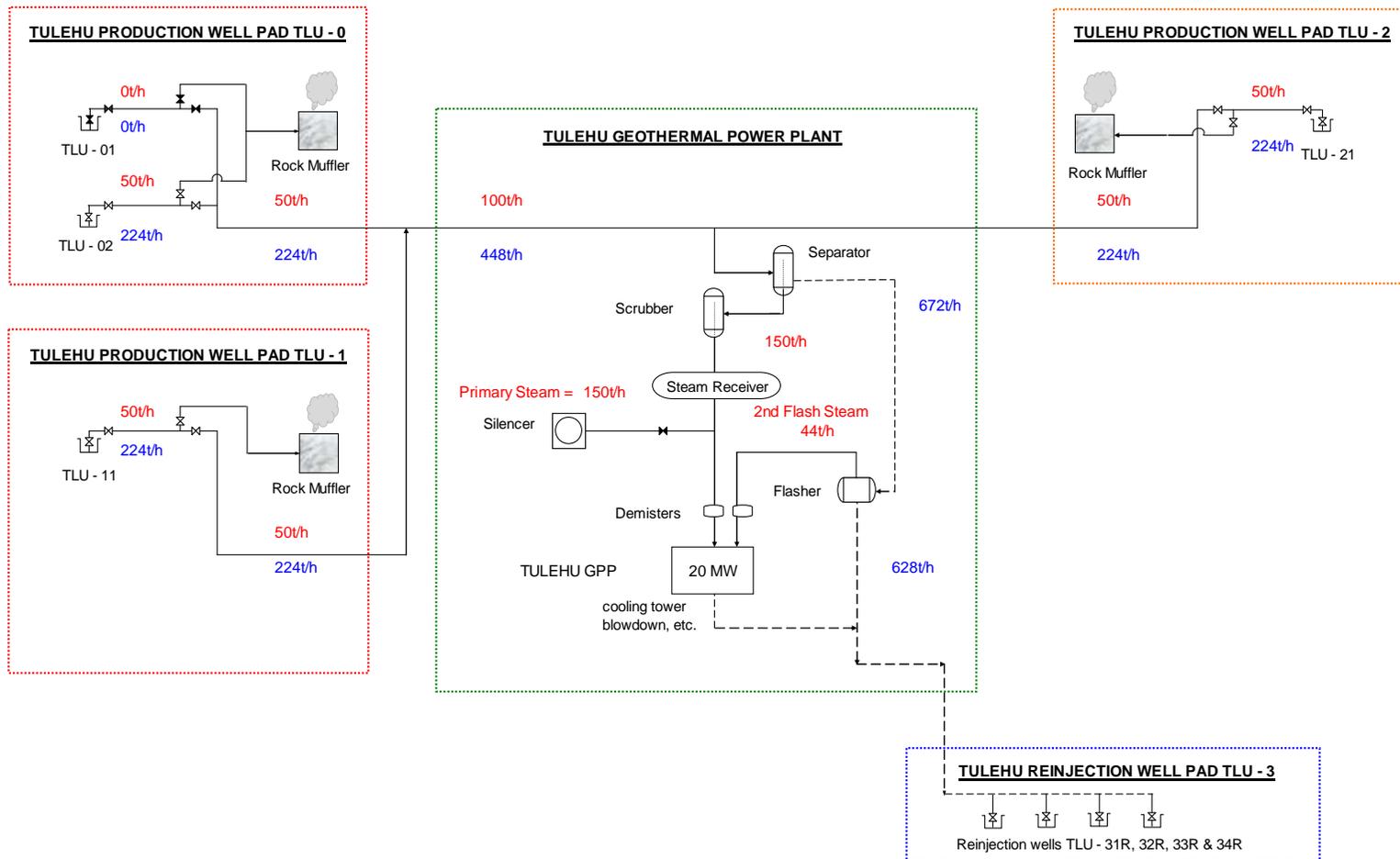


図 IV-4-5 ダブルフラッシュ 20MW×1 ケース - トウレフ地熱発電プロジェクト FCRS 概念フロー図

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次の4つのケースを検討した。地熱バイナリー発電については、現段階では、概要の検討をした。

ケース1 シングルフラッシュシステム 10MW×2

ケース2 シングルフラッシュシステム 20MW×1

ケース3 ダブルフラッシュシステム 10MW×2

ケース4 ダブルフラッシュシステム 20MW×1

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べきである。

1. 発電方式

地熱発電の方式には表 IV-4-1 に示す様に、背圧方式、シングルフラッシュ復水方式、ダブルフラッシュ復水方式、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比較検討し、表 IV-4-2 にその特徴、長短・優劣をまとめ、トゥレフ地熱発電プロジェクトに適する発電システムを選定した。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、ダブルフラッシュ方式の採用を推奨する。

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、20MW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。一般的な地熱バイナリーでは、生産井からの地熱流体をセパレーターで分離した蒸気と熱水のエネルギーを熱交換器で2次媒体地熱に伝達する。蒸気はプレヒーターで余熱された2次媒体を蒸発器で加熱・蒸気化させた後、セパレーターで分離された熱水と合流して、プレヒーターで2次媒体を加熱した後、還元井に運ばれて地下に還元される。蒸発器で蒸気化された2次媒体はタービン・発電機を回転させて発電し、空冷式コンデンサーにて冷却液化される。液化された2次媒体はポンプでプレヒーターに送られ、再度加熱される。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、熱水の特徴・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-4-1 地熱発電の方式

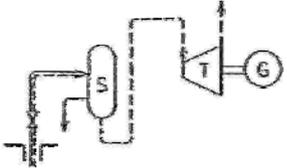
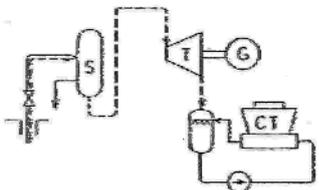
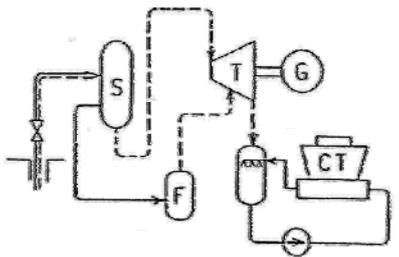
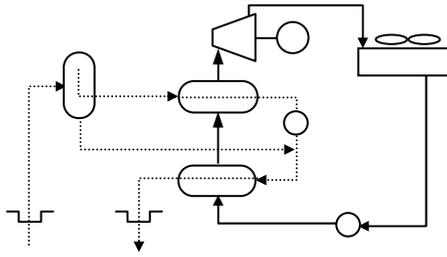
地熱発電方式	特徴
<p>1) シングルフラッシュ背圧方式</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 熱水が多い場合に適する。 • ガスが多い場合に適する。 • 小容量、通常、坑口パイロット発電に利用される。 • 効率が低い(蒸気消費率が高い) • 建設費が安い • 排気騒音が非常に高い
<p>2) シングルフラッシュ復水方式</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 熱水が多い場合に適する • 小容量から大容量まで適する。 • 最も一般的である。 • ダブルフラッシュに比べて効率が低い。
<p>3) ダブルフラッシュ復水方式</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。

表 IV-4-2 シングルフラッシュ方式とダブルフラッシュ方式の比較検討

地熱発電方式	シングルフラッシュ方式	ダブルフラッシュ方式
現状での総合評価	劣	優
タービン入り口蒸気圧力*	1次蒸気： 3 bar-a 2次蒸気： なし	1次蒸気： 3 bar-a 2次蒸気： 1.2bar-a
坑井の数量*	(+) 3 本 総数： 10 本 生産井： 4 本 還元井： 6 本	ベース ケース 総数： 7 本 生産井： 3 本 還元井 4 本
フラッシャー及び2次蒸気システム	なし	1基又は2基
還元熱水量*	非常に多い、約 896t/h 約 (+) 268t/h	比較的少ない、約 628t/h ベース ケース
地熱流体エネルギーの利用度	・生産井から供給される地熱流体と発電に利用される蒸気の比率は約 18% (重量比) ・セパレーター熱水エネルギーを全量還元するので、地熱流体エネルギーの利用度が低い。	・生産井から供給される地熱流体と発電に利用される蒸気の比率は約 23% (重量比) (+) 5ポイント ・セパレーター熱水からフラッシャーで2次蒸気を生産利用するので、地熱流体エネルギーの利用度が高い。
プロジェクト建設費	建設費は総合的に高くなる 生産井、還元井の必要本数が増えるので、建設費が高くなる	ベース ケース フラッシャー他の2次蒸気関係設備の分建設費が増額となるが、生産井、還元井の必要本数が少なくなるので、総合的な建設費は少なくなる。
必要な発電所用地	約 100m ~ 130m×150m	約 100m ~ 130m×150m フラッシャー他の2次蒸気関係設備のための用地が必要になるが、シングルフラッシュの発電所と同等の敷地面積のなかで十分配置できる。
建設工期	標準 26 カ月	標準 26 カ月 (フラッシャー、2次蒸気はタービン工期内に完工)

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システムの規模は最大負荷 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、アンボン電力システムの安定運用のため、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システム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アイに単機出力が 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システムに電力供給する。2013 年のアンボン電力システムの最大負荷は 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を表 IV-4-3 にまとめた。

表 IV-4-3 トゥレフ地熱発電所の単機出力の比較検討

ユニット数、単機出力	10MW×2ユニット	20MW×1ユニット
現状の総合評価	(推奨)	(推奨)
セパレーター	2 セット	1 セット
フラッシャー (ダブルフラッシュ)	2 セット	1 セット
タービン・発電機	2 セット	1 セット
冷却塔	2 セル×2 セット (合計4セル)	3 セル×1 セット (合計3セル)
構内開閉所	5 回線 ・70kV送電線2回線、 ・母線連絡、 ・1号主変圧器、 ・2号主変圧器	4 回線 ・70kV送電線2回線、 ・母線連絡、 ・主変圧器
建設期間 (EPC 契約～完工)	26 カ月 ・1号機:23カ月、 ・2号機:23カ月(3ヶ月遅れ)	23 カ月
アンボン電力系統に対する単機容量	単機容量 10MW : ・アンボン電力系統に対し、安定運用できる単機容量の範囲内。(トゥレフ地熱発電所の運開時の予想ピーク負荷 72.9MW、その後 110MW に増加) (参考) 15MW×2 のワアイ石炭火力発電所(建設中、2012年、2013年運開予定)がアンボン電力系統(2013年のピーク負荷予想 52.9MW)に接続・運用される。	単機容量 20MW : ・アンボン電力系統に対し、安定運用できる単機容量の範囲内。(トゥレフ地熱発電所の運開時の予想ピーク負荷 72.9MW、その後 110MW に増加) (参考) 15MW×2 のワアイ石炭火力発電所(建設中、2012年、2013年運開予定)がアンボン電力系統(2013年のピーク負荷予想 52.9MW)に接続・運用される。
建設コスト	高い ・小容量のため、発電プラントのkW当り単価が一般的に高くなる傾向がある。	Base Case

ユニット数、単機出力	10MW×2ユニット	20MW×1ユニット
	<ul style="list-style-type: none"> ・冷却塔のセル数が多くなるので、建設コストが増加する ・構内開閉所の回線数が多くなるので、建設コストが増加する。 	
地熱発電所の必要敷地面積	約 1.95ha (約 130m×約 150m) <ul style="list-style-type: none"> ・2ユニットを配置するため、発電プラントの敷地面積が広がる。 	Base Case 約 1.5ha (約 100m×約 150m)
調達市場性	<ul style="list-style-type: none"> ・10MWクラスの小容量地熱発電プラントの納入実績は多数ある。 ・市場競争性が低い。 ・後発のタービンメーカーに調達先が限定される恐れがある。 ・先発の実績あるタービンメーカーは、近年、20MW以上の中・大型ユニットをターゲット主体とした、生産設備に移行している（小容量ユニットにあまり関心を示さない、受注したとしても価格が高くなる） 	<ul style="list-style-type: none"> ・20MWクラスの地熱発電プラントの納入実績は多数ある。 ・市場競争性は高い。 ・先発及び後発のタービンメーカーから調達先が選定できる

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、次の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）について以下のとおり検討した。ただし、ここに示す仕様については、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。

上記の各ケースについて、地熱発電所の配置計画を図 IV-4-6、図 IV-4-7、図 IV-4-8

及び図 IV-4-9 に、地熱発電プラント主要系統図を図 IV-4-10、図 IV-4-11、図 IV-4-12
及び図 IV-4-13 に示す。

発電所の主要機械設備とその仕様は以下のとおり。

<u>発電方式</u> & <u>単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式</u> <u>2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式</u> <u>1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式</u> <u>2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式</u> <u>1×20 MW</u>
<u>Turbine</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	Single Casing, Single Flow, Impulse or Reaction, Condensing Type	Single Casing, Single Flow, Impulse or Reaction, Condensing Type	Single Casing, Single Flow, Impulse or Reaction, Condensing Type	Single Casing, Single Flow, Impulse or Reaction, Condensing Type
Rated output	10,000 kW / unit	20,000 kW	10,000 kW / unit	20,000 kW
Max. capacity	105% Rated output	105% Rated output	105% Rated output	105% Rated output
Speed	3,000 rpm	3,000 rpm	3,000 rpm	3,000 rpm
Steam press. / temp.	3.0 bar abs. / 133.5 °C <i>(Tentative)</i>	1st: 3.0 bar abs. / 133.5 °C 2nd: 1.14 bar abs. / 103.3 °C <i>(Tentative)</i>	3.0 bar abs. / 133.5 °C <i>(Tentative)</i>	1st: 3.0 bar abs. / 133.5 °C 2nd: 1.14 bar abs. / 103.3 °C <i>(Tentative)</i>
NCG content in steam	% in weight <i>(To be confirmed after well testing)</i>	% in weight <i>(To be confirmed after well testing)</i>	% in weight <i>(To be confirmed after well testing)</i>	% in weight <i>(To be confirmed after well testing)</i>
Steam rate at rated output	Approx. 125 t/h / unit <i>(Tentative)</i>	1st: Approx. 190 t/h 2nd: Approx. 54 t/h <i>(Tentative)</i>	Approx. 250 t/h <i>(Tentative)</i>	1st: Approx. 190 t/h 2nd: Approx. 54 t/h <i>(Tentative)</i>
<u>Condenser</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	Spray, Direct Contact type Condenser	Spray, Direct Contact type Condenser	Spray, Direct Contact type Condenser	Spray, Direct Contact type Condenser
Pressure	approx. 0.12 bar abs. <i>(Tentative)</i>	approx. 0.12 bar abs. <i>(Tentative)</i>	approx. 0.12 bar abs. <i>(Tentative)</i>	approx. 0.12 bar abs. <i>(Tentative)</i>

<u>発電方式 & 単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式 1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 1×20 MW</u>
<u>Gas Extractor</u>				
No. of sets	2 sets / unit x 2 units	2 sets	2 sets / unit x 2 units	2 sets
Type	Two Stage Steam Jet Ejector			
Capacity x Number of trains	1st stage: 100% x 2 2nd stage: 100% x 2	1st stage: 100% x 2 2nd stage: 100% x 2	1st stage: 100% x 2 2nd stage: 100% x 2	1st stage: 100% x 2 2nd stage: 100% x 2
<u>Cooling Tower</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set / unit	1 set / unit x 2 units	1 set / unit
Type	Counter or Cross flow, Mechanical Draft, Concrete Basin/Foundation and FRP structure	Counter or Cross flow, Mechanical Draft, Concrete Basin/Foundation and FRP structure	Counter or Cross flow, Mechanical Draft, Concrete Basin/Foundation and FRP structure	Counter or Cross flow, Mechanical Draft, Concrete Basin/Foundation and FRP structure
Number of cells	2 cells / set x 2 sets	3 cells / set x 1 set	2 cells / set x 2 sets	3 cells / set x 1 set
<u>Hotwell Pump</u>				
No. of units	2 sets / unit x 2 units	2 sets	2 sets / unit x 2 units	2 sets
Type	Vertical, centrifugal, double suction, single stage, canned pump	Vertical, centrifugal, double suction, single stage, canned pump	Vertical, centrifugal, double suction, single stage, canned pump	Vertical, centrifugal, double suction, single stage, canned pump
Capacity	50% /set	50% /set	50% /set	50% /set
<u>Demister</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	Vane or cyclone centrifugal type	Vane or cyclone centrifugal type	Vane or cyclone centrifugal type	Vane or cyclone centrifugal type
Steam dryness	At least 99.98% at outlet			

<u>発電方式 & 単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式 1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 1×20 MW</u>
<u>Turbine Wash Water Pump</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	Horizontal, centrifugal, to inject geothermal condensate (Hotwell pump discharge water) into main steam	Horizontal, centrifugal, to inject geothermal condensate (Hotwell pump discharge water) into main steam	Horizontal, centrifugal, to inject geothermal condensate (Hotwell pump discharge water) into main steam	Horizontal, centrifugal, to inject geothermal condensate (Hotwell pump discharge water) into main steam
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set
<u>Primary Cooling Water Pump</u>				
No. of units	2 sets / unit x 2 units	2 sets	2 sets / unit x 2 units	2 sets
Type	Horizontal, Single Stage, Centrifugal			
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set
Fluid	Geothermal condensate (Cooling Tower outlet)			
<u>Water-water Heat exchanger</u>				
No. of units	2 sets / unit x 2 units	2 sets	2 sets / unit x 2 units	2 sets
Type	Plate type or Shell & Tube type	Plate type or Shell & Tube type	Plate type or Shell & Tube type	Plate type or Shell & Tube type
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set
Fluid	Treated fresh water	Treated fresh water	Treated fresh water	Treated fresh water
<u>Secondary Cooling Water Pump</u>				
No. of units	2 sets / unit x 2 units	2 sets	2 sets / unit x 2 units	2 sets

<u>発電方式 & 単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式 1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 1×20 MW</u>
Type	Horizontal, Single Stage, Centrifugal			
Capacity	100%/set	100%/set	100%/set	100%/set
Fluid	Treated fresh water	Treated fresh water	Treated fresh water	Treated fresh water
<u>Main Oil Tank</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	Rectangular steel tank	Rectangular steel tank	Rectangular steel tank	Rectangular steel tank
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set
Fluid	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil
<u>Oil Cooler</u>				
No. of units	2 sets / unit x 2 units	2 sets	2 sets / unit x 2 units	2 sets
Type	Vertical shell and tube type, Two (2) pass	Vertical shell and tube type, Two (2) pass	Vertical shell and tube type, Two (2) pass	Vertical shell and tube type, Two (2) pass
Capacity	100 % /set	100 % /set	100 % /set	100 % /set
Fluid	Turbine oil / Treated fresh water			
<u>Main Oil Pump</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	Main turbine driven, centrifugal type	Main turbine driven, centrifugal type	Main turbine driven, centrifugal type	Main turbine driven, centrifugal type
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set

<u>発電方式 & 単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式 1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 1×20 MW</u>
Fluid	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil
<u>Auxiliary Oil Pump</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	AC motor-driven, centrifugal type	AC motor-driven, centrifugal type	AC motor-driven, centrifugal type	AC motor-driven, centrifugal type
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set
Fluid	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil
<u>Emergency Oil Pump</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	DC motor-driven, centrifugal type	DC motor-driven, centrifugal type	DC motor-driven, centrifugal type	DC motor-driven, centrifugal type
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set
<u>Vapor Extractor</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set	1 set / unit x 2 units	1 set
Type	Centrifugal type turbo-blower	Centrifugal type turbo-blower	Centrifugal type turbo-blower	Centrifugal type turbo-blower
Capacity	100%/set	100%/set	100%/set	100%/set
<u>Oil Heater</u>				
No. of units	1 set / unit x 2 units	1 set / unit	1 set / unit x 2 units	1 set / unit
Capacity	100%/set	100%/set	100%/set	100%/set
<u>Oil Purifier</u>				
No. of units	1 set / unit x 2units	1 set	1 set / unit x 2units	1 set

<u>発電方式 & 単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式 1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 1×20 MW</u>
Type	Centrifugal type	Centrifugal type	Centrifugal type	Centrifugal type
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set
Fluid	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil	Turbine lubricant oil

Instrument Air Compressor

No. of units	1 set each for units 1 & 2, and 1 set for common standby	2 sets (1 set standby)	1 set each for units 1 & 2, and 1 set for common standby	2 sets (1 set standby)
Type	Oil free rotary screw or reciprocating	Oil free rotary screw or reciprocating	Oil free rotary screw or reciprocating	Oil free rotary screw or reciprocating
Pressure	7.5 bar	7.5 bar	7.5 bar	7.5 bar
Capacity	100% / set	100% / set	100% / set	100% / set

Service Air Compressor

No. of units	1 set for common use for units 1 & 2	1 set	1 set for common use for units 1 & 2	1 set
Type	Oil free rotary screw or reciprocating			
Pressure	7.5 bar	7.5 bar	7.5 bar	7.5 bar
Capacity	100%/set	100%/set	100%/set	100%/set

Chemical Dosing System

No. of units	1 lot for common use for units 1 & 2	1 lot	1 lot for common use for units 1 & 2	1 lot
Type	Chemical storage and dosing system	Chemical storage and dosing system	Chemical storage and dosing system	Chemical storage and dosing system

<u>発電方式 & 単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式 1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 1×20 MW</u>
<u>Fire Fighting Equipment</u>				
No. of units	1 lot for common use for units 1 & 2	1 lot	1 lot for common use for units 1 & 2	1 lot
Type	Water storage, pumps, piping networks, hydrants, sprinklers, detectors, alarm, and fire extinguishers	Water storage, pumps, piping networks, hydrants, sprinklers, detectors, alarm, and fire extinguishers	Water storage, pumps, piping networks, hydrants, sprinklers, detectors, alarm, and fire extinguishers	Water storage, pumps, piping networks, hydrants, sprinklers, detectors, alarm, and fire extinguishers
<u>Reinjection Pump</u>				
No. of units	3 sets common for units 1 & 2	3 sets	3 sets common for units 1 & 2	3 sets
Type	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal
Capacity	50 % / set			
<u>Reinjection Settling Basin</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2	1 lot	1 lot common for units 1 & 2	1 lot
Type	Concrete pond	Concrete pond	Concrete pond	Concrete pond
<u>Cranes & Lifting Devices (Turbine Hall, Hotwell Pump, Cooling Tower, Warehouse, Workshop)</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2, 1 lot each for units 1 & 2 Cooling Towers	1 lot	1 lot common for units 1 & 2, 1 lot each for units 1 & 2 Cooling Towers	1 lot
Type	Overhead cranes, hoists	Overhead cranes, hoists	Overhead cranes, hoists	Overhead cranes, hoists
<u>Workshop and Equipment</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2	1 lot	1 lot common for units 1 & 2	1 lot

<u>発電方式 & 単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式 1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 1×20 MW</u>
<u>Laboratory Furnishings</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2	1 lot	1 lot common for units 1 & 2	1 lot
Type	Chemical analysis laboratory, H ₂ S detection and protection system	Chemical analysis laboratory, H ₂ S detection and protection system	Chemical analysis laboratory, H ₂ S detection and protection system	Chemical analysis laboratory, H ₂ S detection and protection system
<u>Warehouse</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2	1 lot	1 lot common for units 1 & 2	1 lot
<u>Ventilation and Air Conditioning System</u>				
No. of units	1 lot common use for units 1 & 2	1 lot	1 lot common use for units 1 & 2	1 lot
Type	Ventilation fans, ductworks and Air conditioning with H ₂ S filters	Ventilation fans, ductworks and Air conditioning with H ₂ S filters	Ventilation fans, ductworks and Air conditioning with H ₂ S filters	Ventilation fans, ductworks and Air conditioning with H ₂ S filters
<u>Service Water Supply System</u>				
No. of units	1 lot common use for units 1 & 2	1 lot	1 lot common use for units 1 & 2	1 lot
Type	Raw water supply, water storage, filters, sterilizing, pumping, and distribution system	Raw water supply, water storage, filters, sterilizing, pumping, and distribution system	Raw water supply, water storage, filters, sterilizing, pumping, and distribution system	Raw water supply, water storage, filters, sterilizing, pumping, and distribution system
<u>Waste Water Treatment System</u>				
No. of units	1 lot common use for units 1 & 2	1 lot	1 lot common use for units 1 & 2	1 lot

<u>発電方式 & 単機容量</u>	<u>シングルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>シングルフラッシュ方式 1×20 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 2×10 MW</u>	<u>ダブルフラッシュ方式 1×20 MW</u>
Type	Oily water separator, settling pond, pH control system	Oily water separator, settling pond, pH control system	Oily water separator, settling pond, pH control system	Oily water separator, settling pond, pH control system
<u>Powerhouse</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2	1 lot	1 lot common for units 1 & 2	1 lot
<u>Control & Electrical Building</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2	1 lot	1 lot common for units 1 & 2	1 lot
<u>Administration Building</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2	1 lot	1 lot common for units 1 & 2	1 lot
<u>Guard House</u>				
No. of units	1 lot common for units 1 & 2	1 lot	1 lot common for units 1 & 2	1 lot

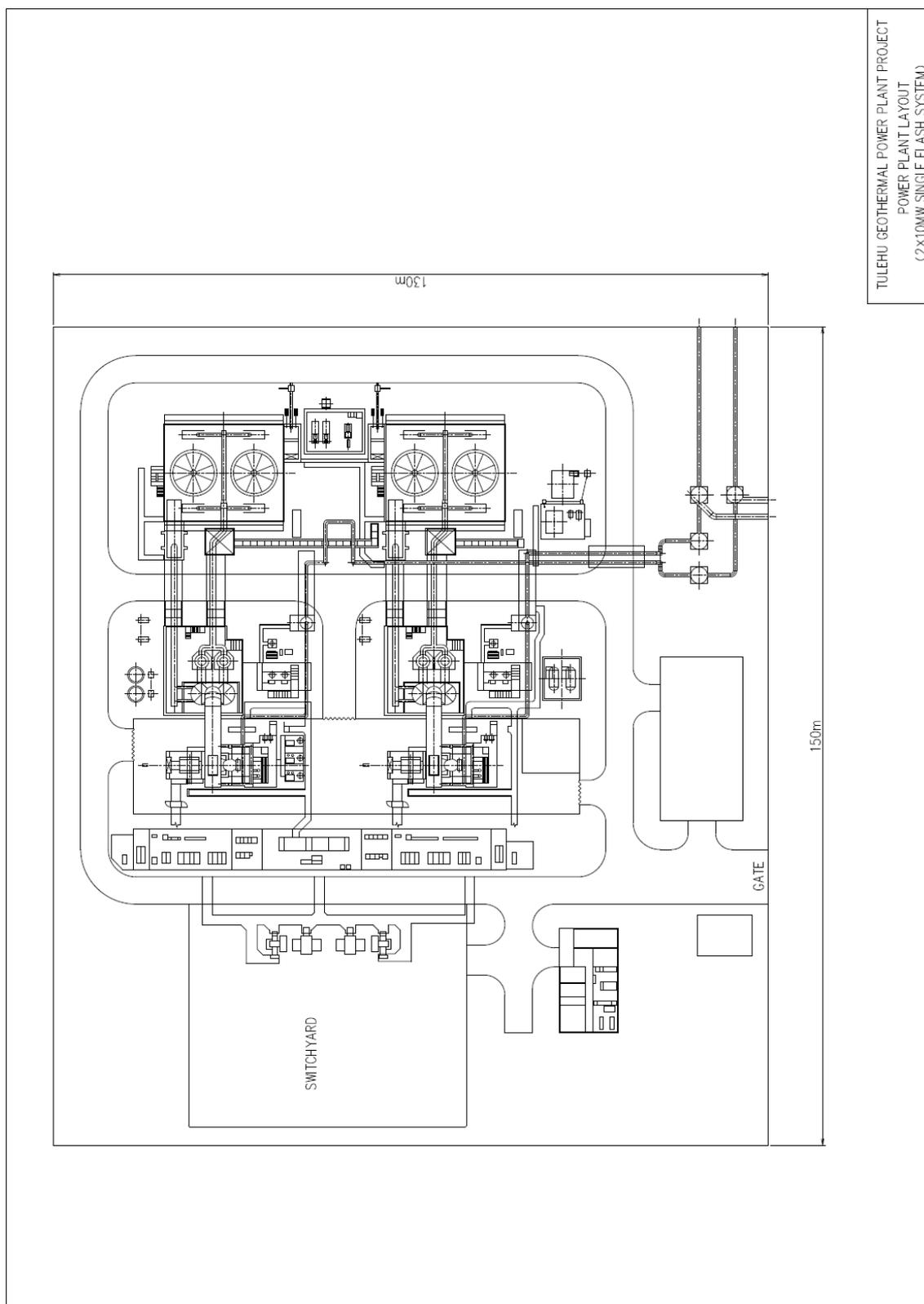


図 IV-4-6 地熱発電所の配置計画 (シングルフラッシュ方式 10MW×2)

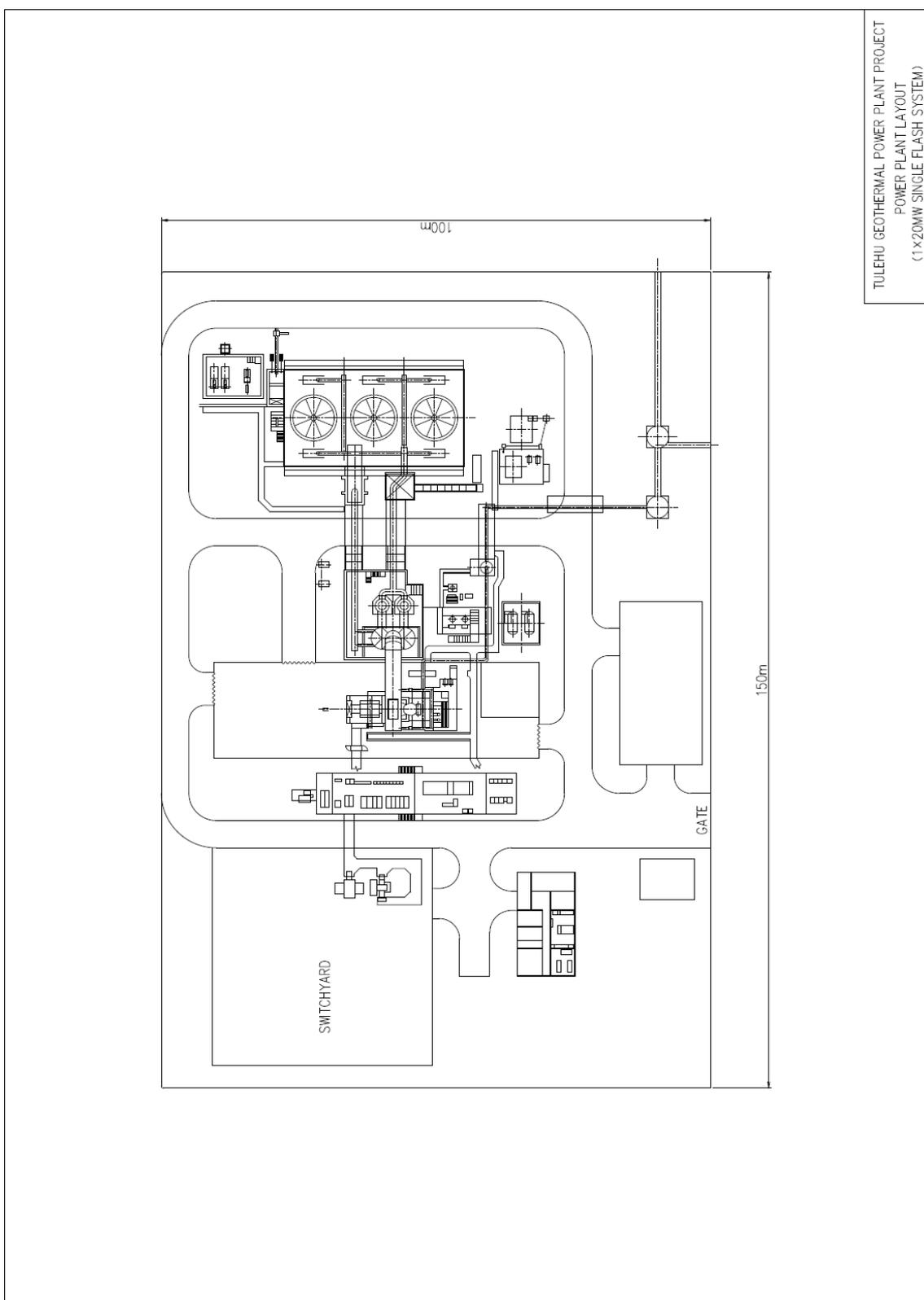


図 IV-4-7 地熱発電所の配置計画 (シングルフラッシュ方式 20MW×1)

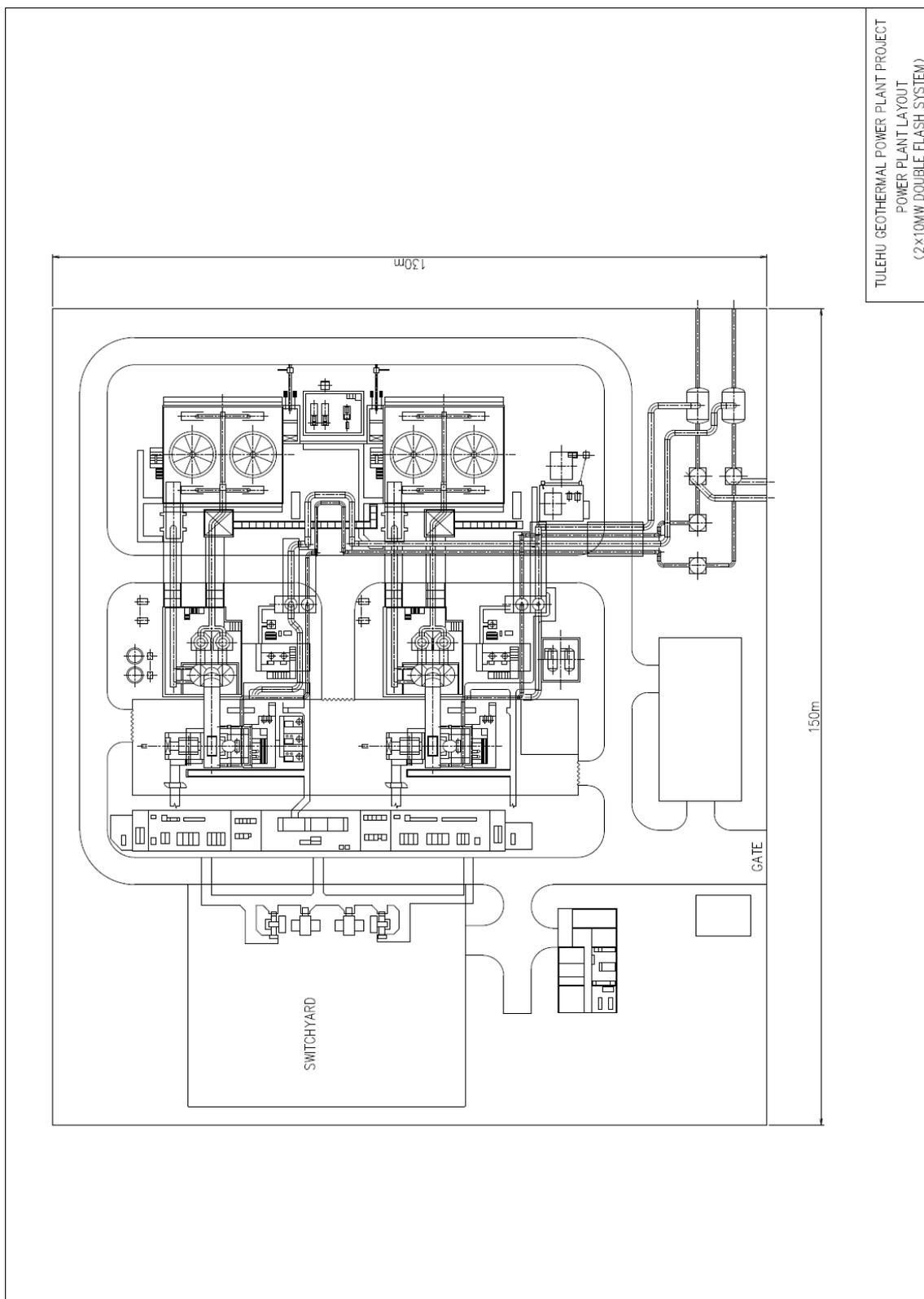


図 IV-4-8 地熱発電所の配置計画 (ダブルフラッシュ方式 10MW×2)

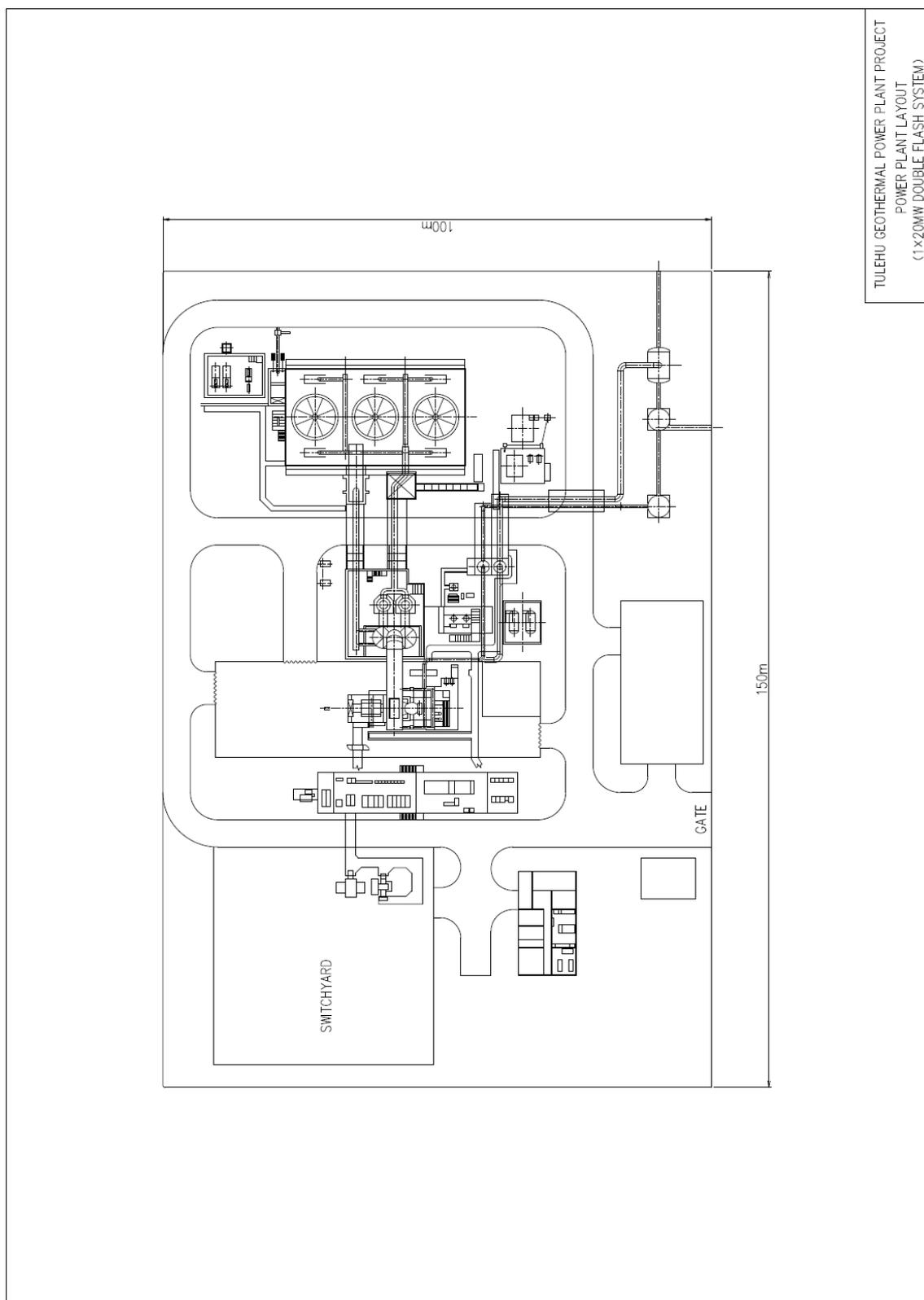


図 IV-4-9 地熱発電所の配置計画 (ダブルフラッシュ方式 20MW×1)

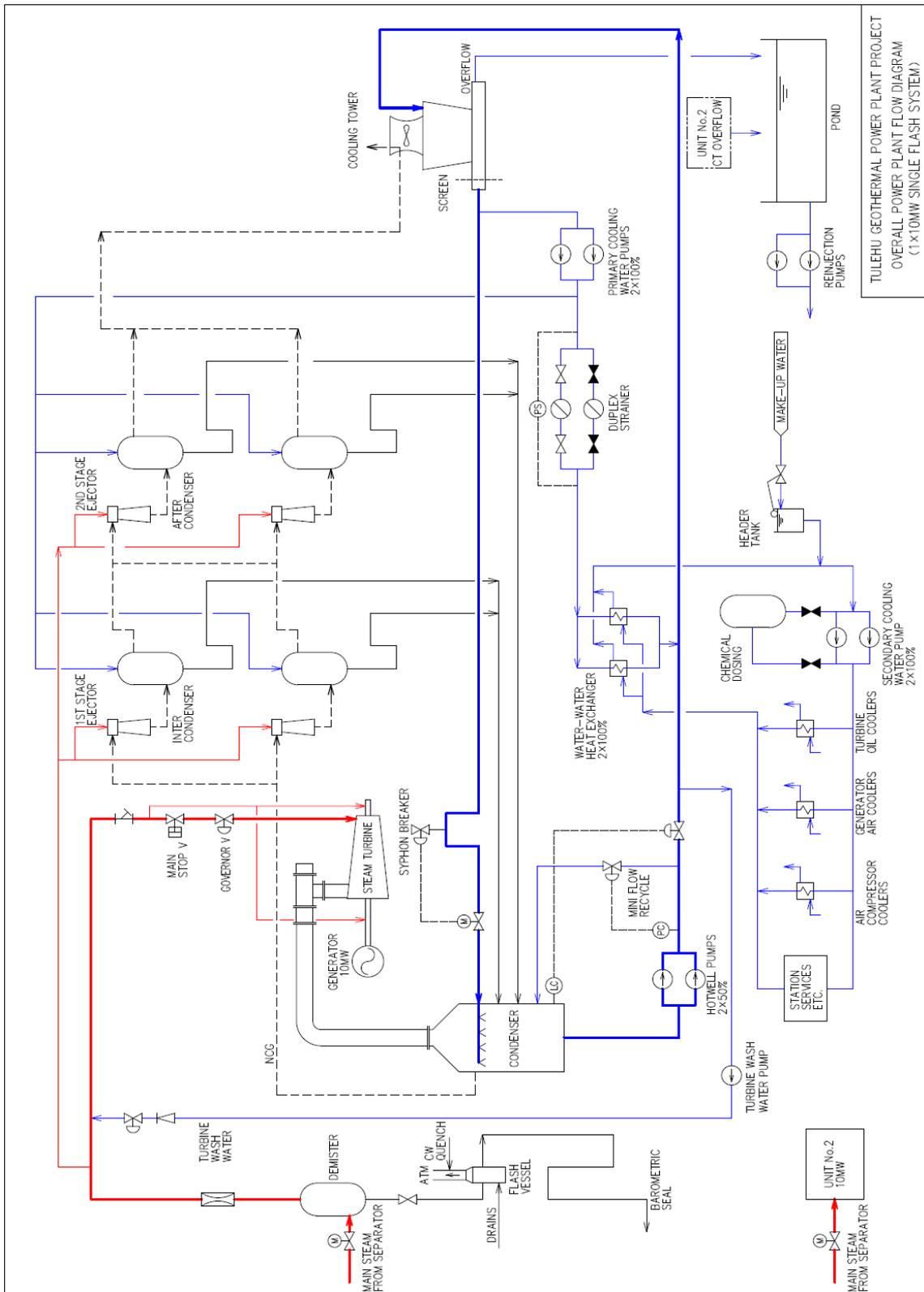


図 IV-4-10 地熱発電プラントの主要系統図 (シングルフラッシュ方式 10MW×2)

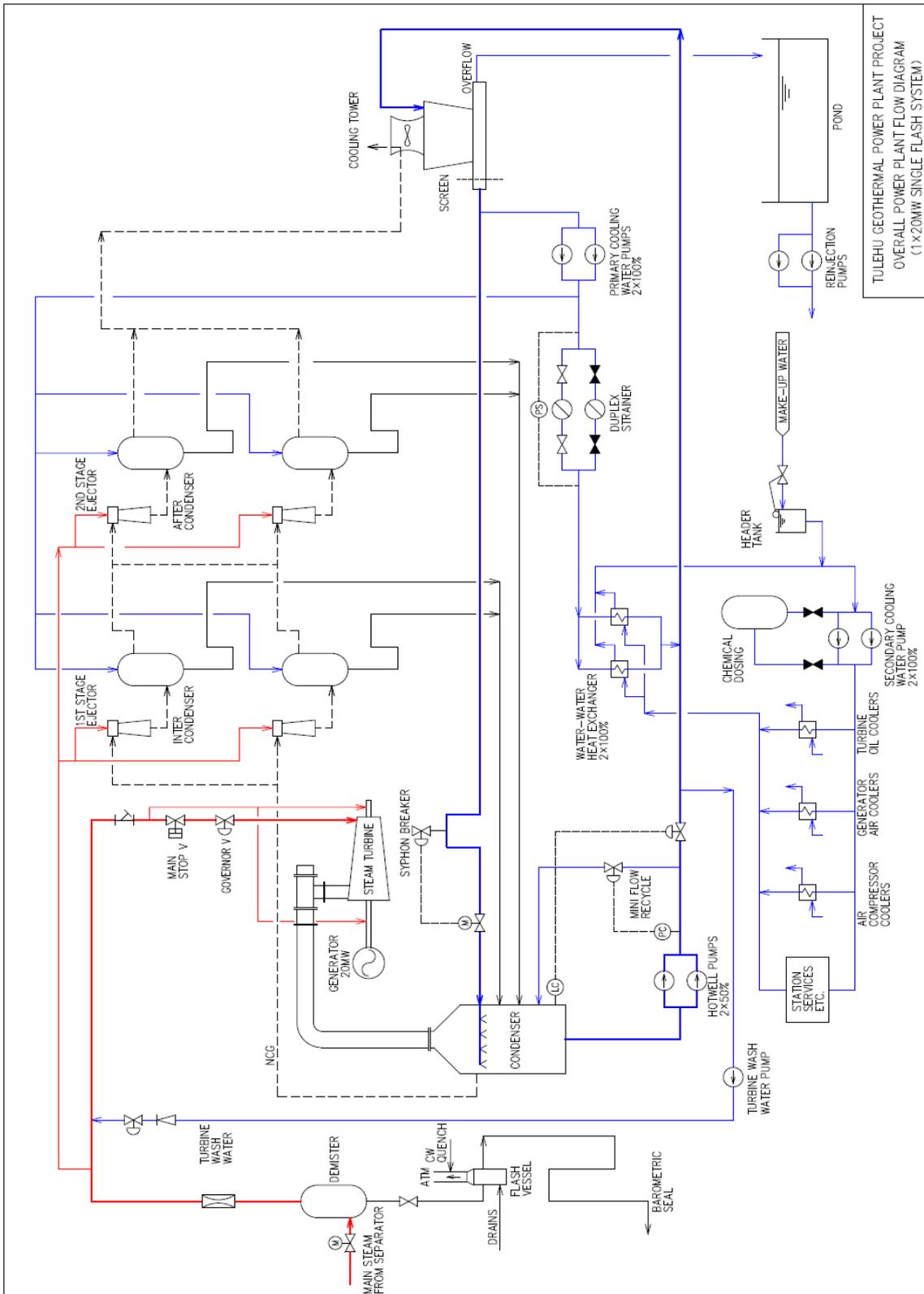


図 IV-4-11 地熱発電プラントの主要系統図 (シングルフラッシュ方式 20MW×1)

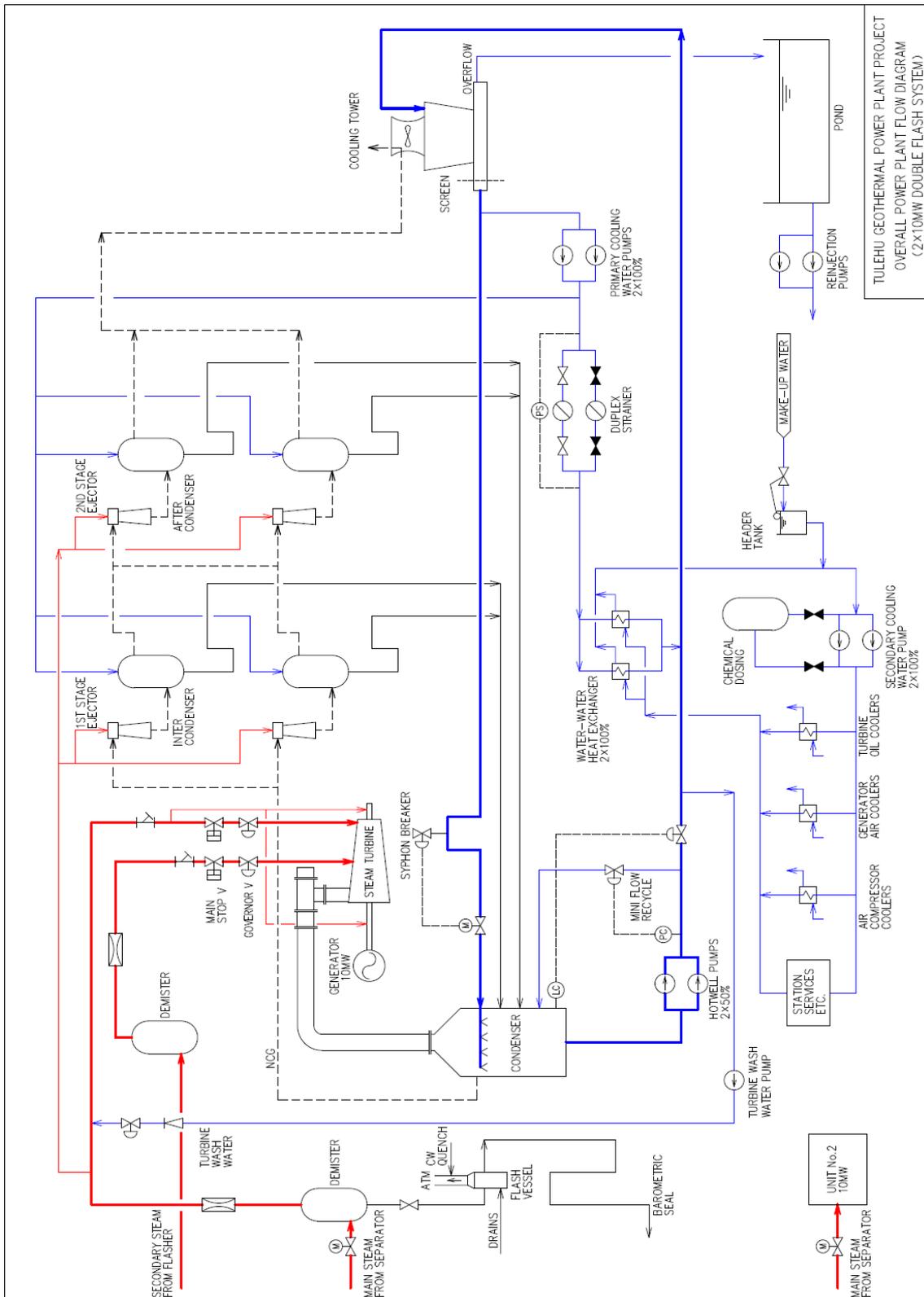


図 IV-4-12 地熱発電プラントの主要系統図 (ダブルフラッシュ方式 10MW×2)

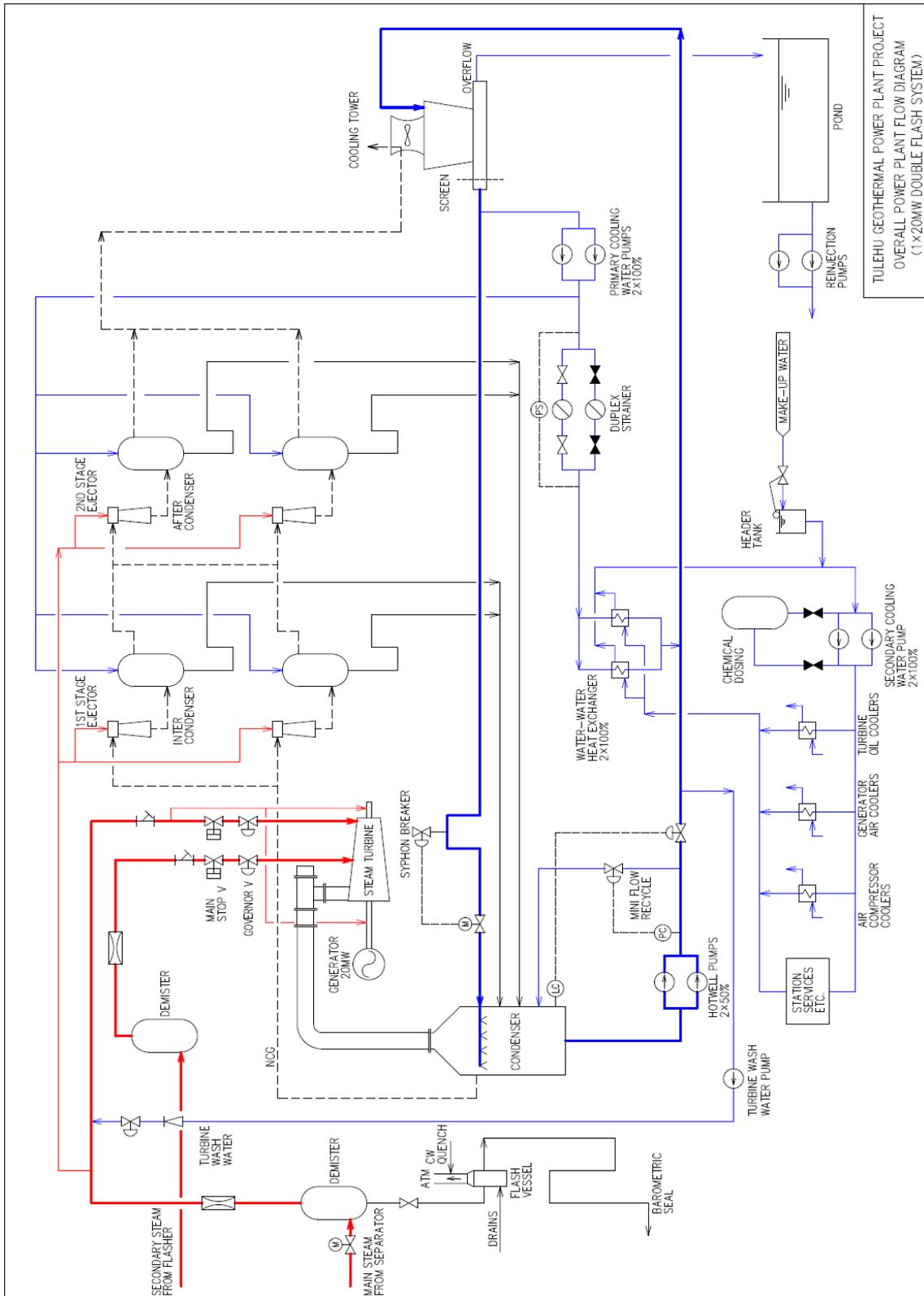


図 IV-4-13 地熱発電プラントの主要系統図 (ダブルフラッシュ方式 20MW×1)

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、それぞれシングル及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-4-14（10MW×2 の場合）あるいは図 IV-4-15（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（6 kV 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 ないし 20MW×1
定格電圧	: 11kV（ないしメーカー標準）
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

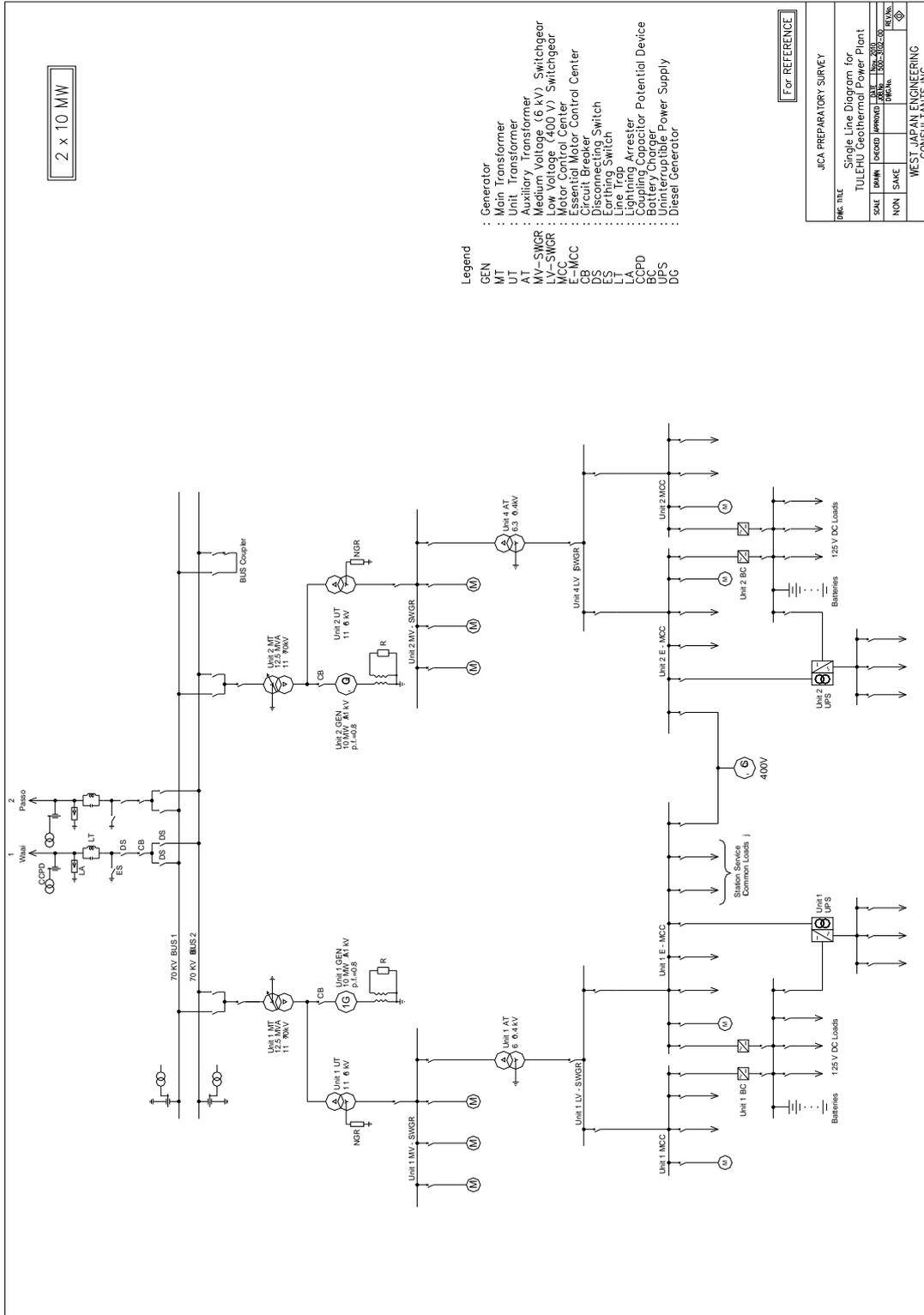


図 IV-4-14 単線結線図 (10MW×2)

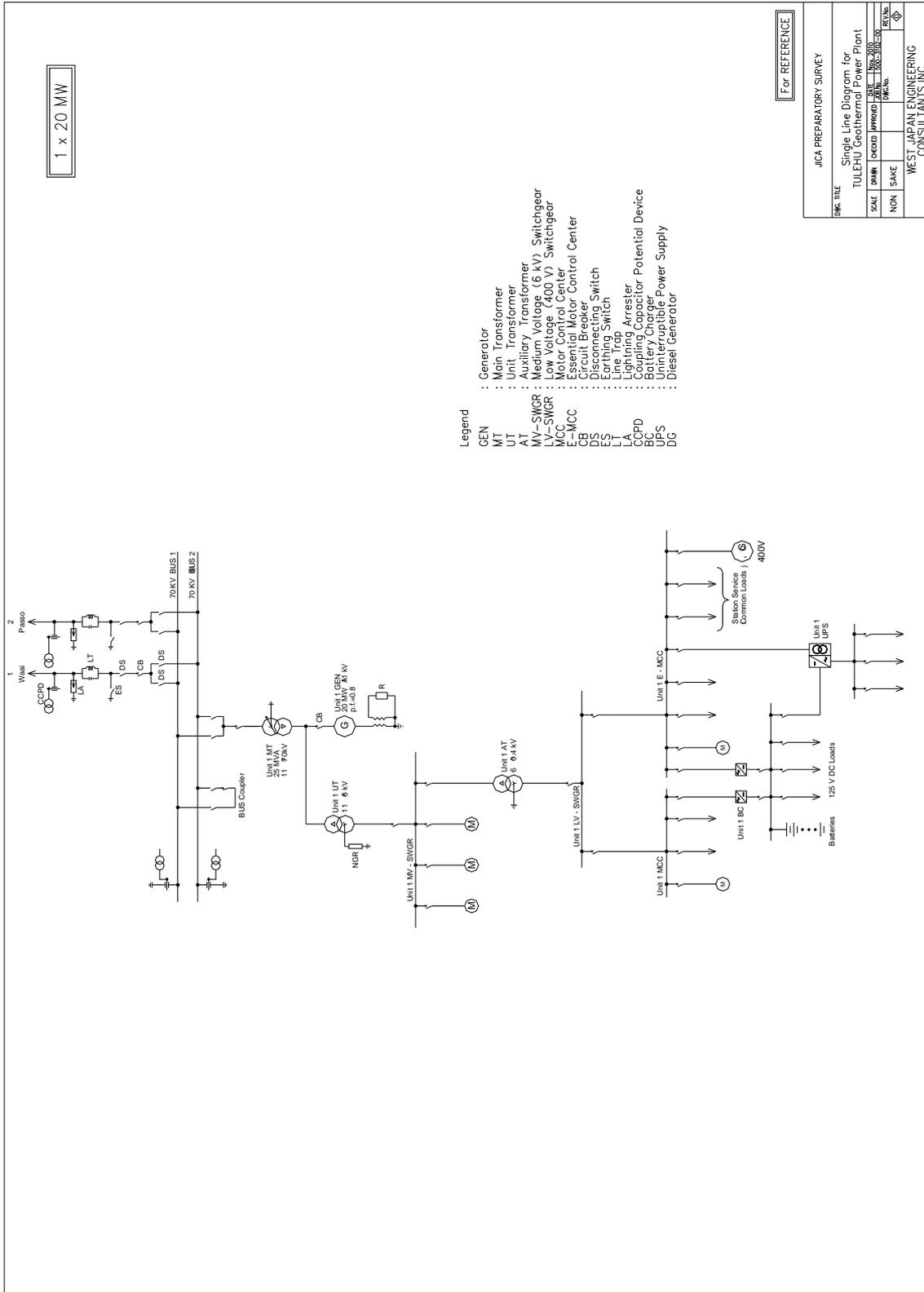


図 IV-4-15 単線結線図 (20MW×1)

c. その他電気設備主要機器仕様 (例)

機 器	仕 様 (例)			
	Q'ty	10MW×2	Q'ty	20MW×1
主変圧器	2	12.5MVA, 11kV / 70kV +/-10% (負荷時タップ切換器付)	1	25MVA, 11kV / 70kV +/-10% (負荷時タップ切換器付)
所内変圧器	2	11 / 6kV +/- 5% (無負荷タップ切換器付) (容量は詳細設計時決定)	1	同左
補機用変圧器	2	6kV / 400V +/-5% (無負荷タップ切換器付) (容量は詳細設計時決定)	1	同左
中圧閉鎖配電盤 (M/C)	2 組	6kV、 高圧大型補機用 (設計基準に従うこと)	1 組	同左
400V パワーセンター (P/C)	2 組	400V、 低圧大型補機用 (設計基準に従うこと)	1 組	同左
400V モーターコントロールセンター (MCC)	1 式	400 V、 低圧補機用 1 x 共通 MCC 発電所共通負荷用 (事務所用電源、他) 2 x ユニット用 MCC ユニット運転に必要な負荷用 2 x 非常用 MCC 非常用補機用 (安全停止用負荷)	1 式	400 V、 低圧補機用 1 x 共通 MCC 発電所共通負荷用 (事務所用電源、他) 1 x ユニット用 MCC ユニット運転に必要な負荷用 1 x 非常用 MCC 非常用補機用 (安全停止用負荷)
分電盤	2 組	230V/110V AC、 125V DC、 制御および計装用、 照明用、 他	1 組	同左
制御システム	2 組	DCS (分散型制御装置)、 自動電圧調整器盤、 EHG 制御盤、 自動併入装置、 他	1 組	同左
保護盤	2 組	タービン保護盤、 主変圧器保護盤、 送電線保護盤、 他	1 組	同左
直流電源装置	2 組	125V DC : 制御・保護用 充電器盤 (二重化)、 蓄電池および分電盤 48V DC : 通信用 充電器盤、 蓄電池、 分電盤	1 組	同左
無停電電源装置 (UPS)	2 組	230V AC、 分電盤、 DCS 他デジタル制御装置電源用	1 組	同左
非常用ディーゼル発電機	1 組	ディーゼル発電機 (非常停止用) および専用燃料油タンク 400V、 非常用 MCC に接続	1 組	同左

d. 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。

主蒸気供給設備

- ・ セパレータ水位制御
- ・ 蒸気供給制御

タービン発電機制御

- ・ 冷機状態から 100%負荷までの自動起動・停止のためのタービン自動制御
- ・ 自動タービン制御装置と連係して、タービンの起動および負荷制御を行うデジタル電気-油圧制御 (EHC)

復水器レベル制御

復水器内の温水は温水ポンプにより冷却塔へ圧送される。復水器内の水位はこの温水ポンプ保護のため水位制御を要する。水位制御のため、復水器には水位発信器を設置し、DCS に組み込まれる制御ロジックに従って制御される。この制御は制御室内の画面およびキーボードによって制御可能なものとする。制御不調の場合の保護システムとして、水位スイッチを設置し、異常に低い水位となった場合に警報を出し、更に水位が下がった場合にはユニットを非常停止させる。この保護システムも DCS に組み込まれる。

電気機器制御

同期併入制御

電気機器運転・停止制御、他

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。DCS は計算機本体の他に運転員とのインターフェースのための液晶ディスプレイが設置され、一般の運転監視および操作は液晶ディスプレイの画面およびキーボードからの操作によって行なうことができる。DCS 用の電源には、発電所全停 (Black out) の場合でも安全に停止できるよう無停電電源装置 (UPS; Uninterruptible Power Supply) を設置し、停電時でも電源供給できるようにする。

e. 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。

f. 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、過電流保護法式 (後備保護) 及び再閉路方式

図 IV-4-16、図 IV-4-17、図 IV-4-18 に、PLN 標準の 70kV 開閉所レイアウトを示す。

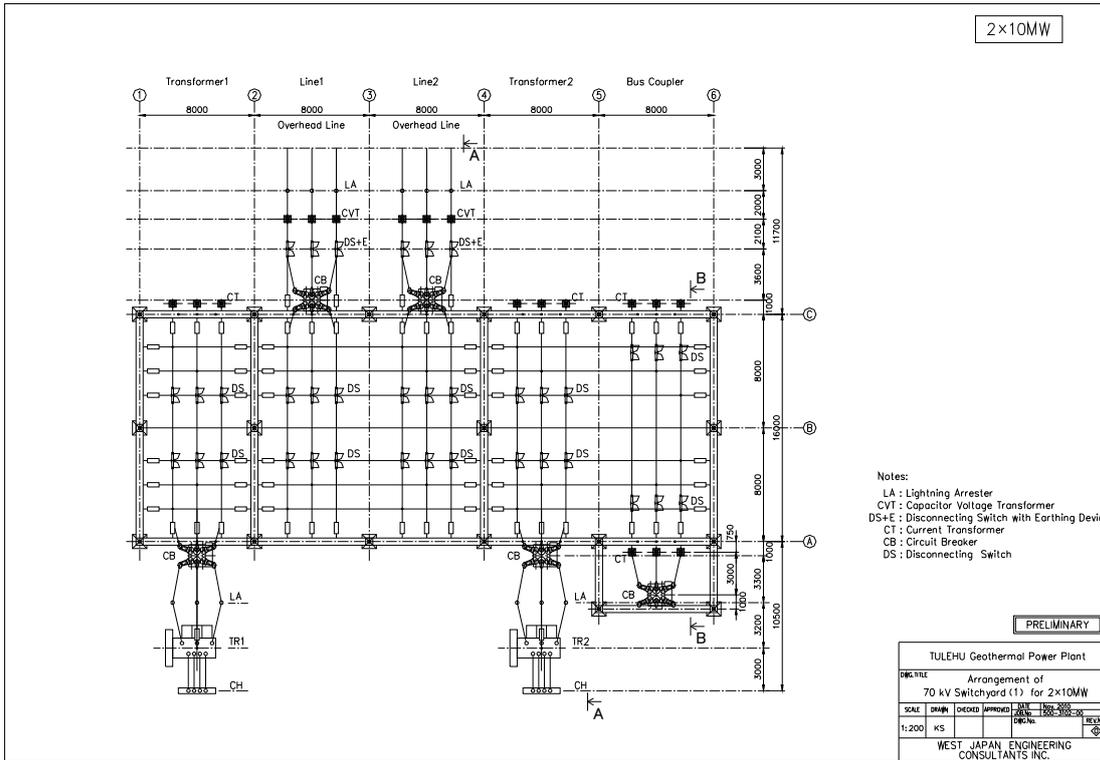


図 IV-4-16 70kV 開閉所平面図 (10MW×2)

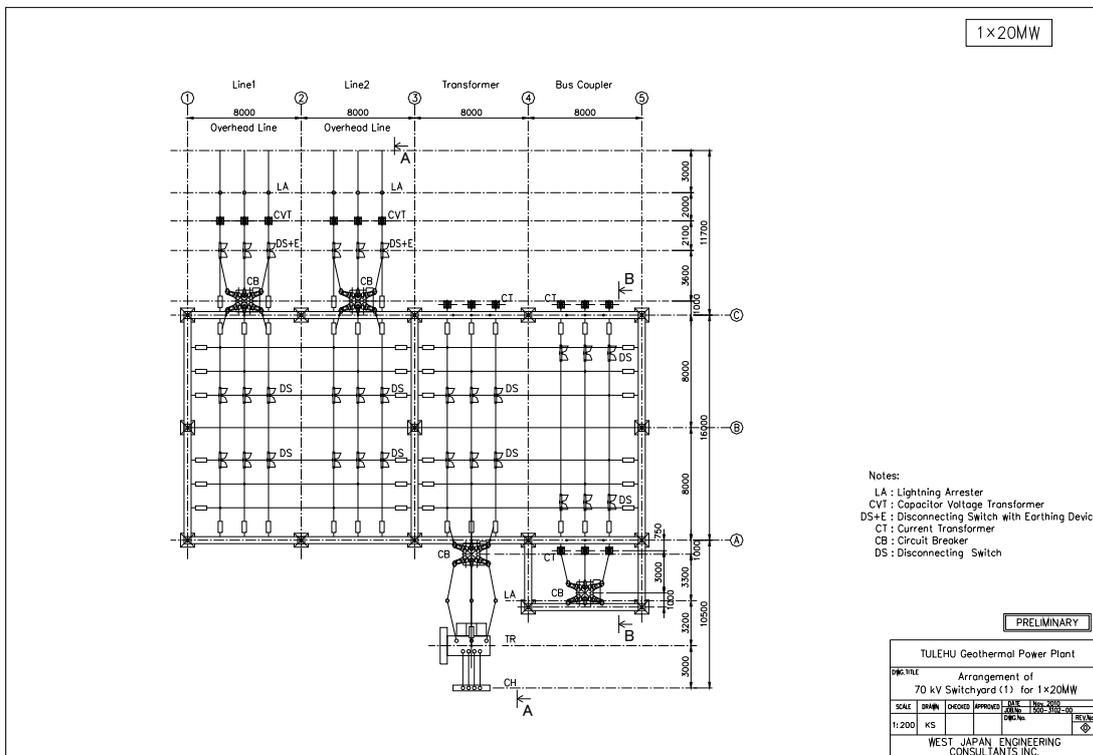


図 IV-4-17 70kV 開閉所平面図 (20MW×1)

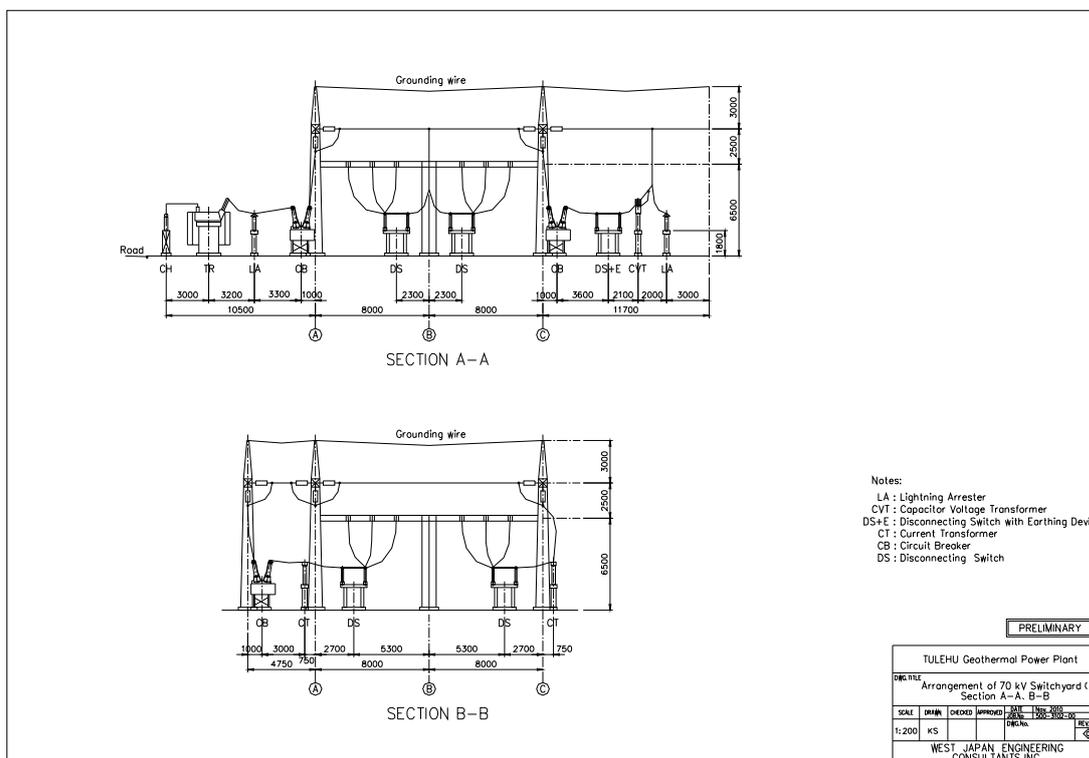


図 IV-4-18 70kV 開閉所側面図

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がよいであろう。

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。また、以下の点についても確認できた。

- ・アンボン港でインドネシアの通関が可能

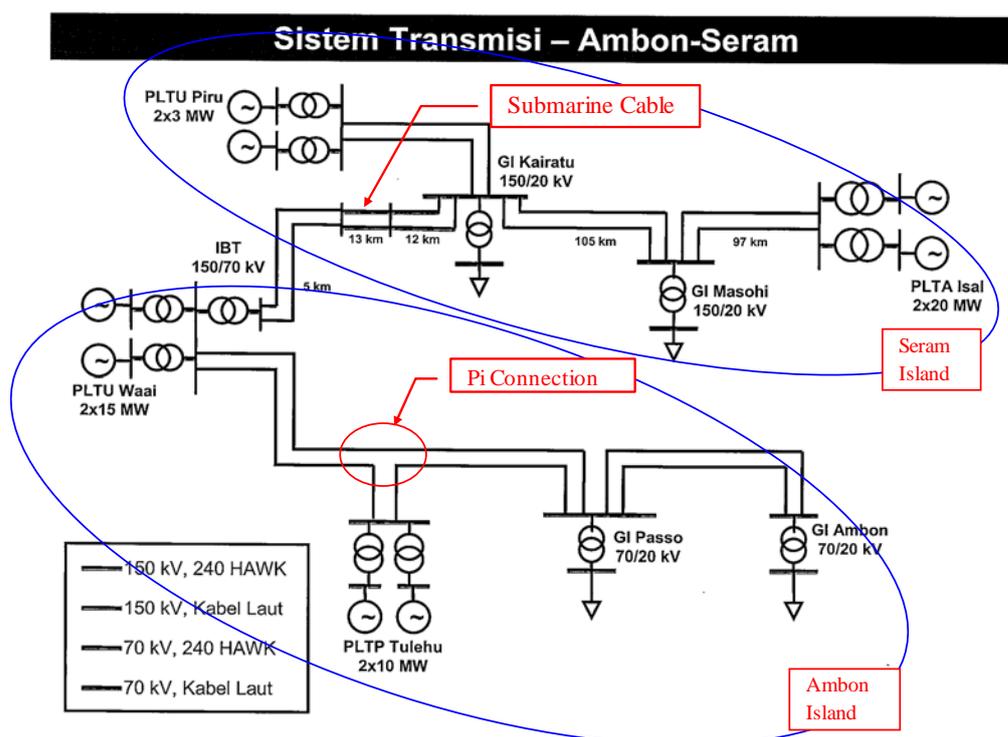
- ・アンボン港へはジャカルタ及びその他のインドネシアの主要都市からの海上輸送が可能



アンボン港埠頭 - 停泊船、クレーン

IV.5 送電計画

発電機で発生した電力は、主変圧器により 70kV 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-5-1 にその系統図を示す。



(出典 ; Wilayah Maluku dan Maluku utara)

図 IV-5-1 アンボン島ーセラム島系統図

図に示すように、トゥレフ発電所から出た送電線は、ワイ発電所とパッソ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-4-1 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-5-2 に π 接続を可能にするための鉄塔の設計例を示す。

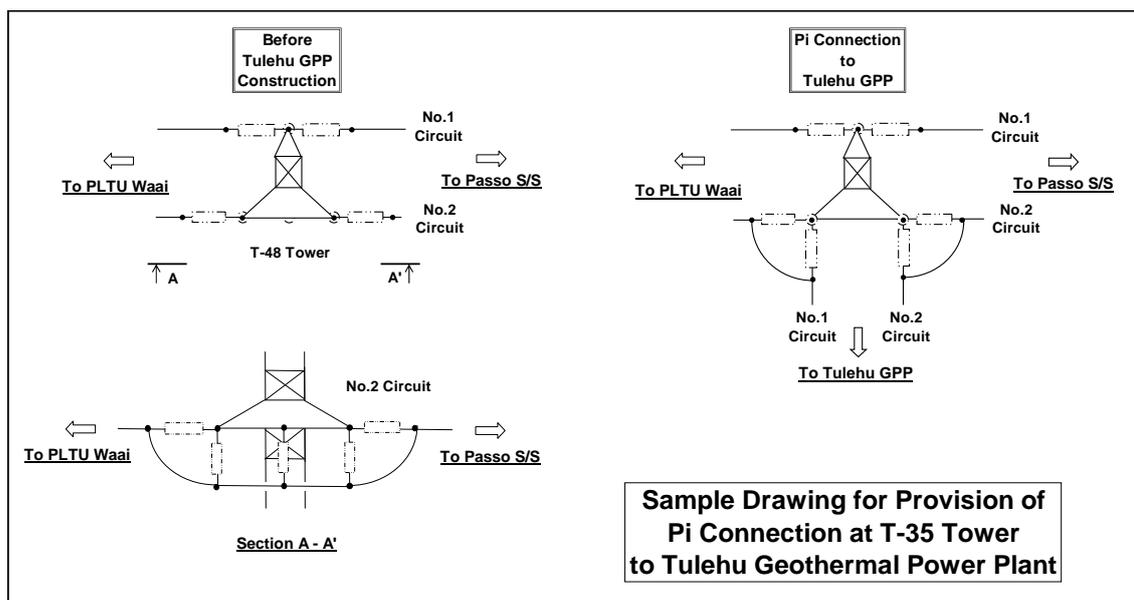


図 IV-5-2 π 接続用鉄塔設計例

IV.6 プロジェクトコスト積算

IV.6.1 地熱資源開発

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-6-1 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-6-2 と表 IV-6-3 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-6-4 に示す。

表 IV-6-1 地熱資源開発コスト

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
	掘削工事用給水配管工事	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
	掘削工事用給水配管工事	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-6-2 掘削コスト積算結果

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
<u>1. Rig Hire</u>		
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	<u>1,920,000</u>	<u>1,212,000</u>
<u>2. Drilling Services</u>		
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	<u>1,330,000</u>	<u>1,090,000</u>
<u>5. Drilling materials</u>		
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	<u>1,840,000</u>	<u>1,403,000</u>
<u>6. Drilling support</u>		
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	<u>120,000</u>	<u>95,000</u>
<u>7. Well Testing</u>	<u>180,000</u>	<u>50,000</u>
Grand Total for Drilling	US\$5,390,000/well	US\$3,850,000/well

Note: Excluding Rig Mob/Demob.

表 IV-6-3 補充井追加時期とコスト

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					0	0	0	0
-2	2013	4	1	1	JICA	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					0	0	0	0
-2	2013	3	2	1	JICA	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-6-4 PLN による土木工事および土地収用コスト

(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

1. 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 20MW×ダブルフラッシュ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（インチーm）をベースに算出した。以下の表IV-6-5に4つのケースの見積コストの詳細を示す。

表 IV-6-5 発電所建設コスト

ケース1: シングルフラッシュ 10MW×2

(百万 US\$)

	FC Ratio	LC Ratio	FC	LC	Total
FCRS:	56%	44%	4.69	3.69	8.38
Power Plant:	70%	30%	30.77	13.23	44.00
Turbine and Mechanical	94%	6%	19.49	1.24	20.73
Generator and Electrical	85%	15%	4.87	0.86	5.73
Control and Instrumentation	100%	0%	2.21	0.00	2.21
Balance of Plant	100%	0%	3.09	0.00	3.09
Civil Works	0%	100%	0.00	8.82	8.82
Others	38%	63%	1.34	2.19	3.53
FCRS + Power Plant	68%	32%	35.56	16.92	52.38

ケース2: シングルフラッシュ 20MW×1

(百万 US\$)

	FC Ratio	LC Ratio	FC	LC	Total
FCRS:	56%	44%	4.45	3.49	7.94
Power Plant:	70%	30%	29.40	12.60	42.00
Turbine and Mechanical	94%	6%	18.56	1.18	19.74
Generator and Electrical	85%	15%	4.64	0.82	5.46
Control and Instrumentation	100%	0%	2.10	0.00	2.10
Balance of Plant	100%	0%	2.94	0.00	2.94
Civil Works	0%	100%	0.00	8.40	8.40
Others	38%	63%	1.28	2.08	3.36
FCRS + Power Plant	68%	32%	33.85	16.09	49.94

ケース3: ダブルフラッシュ 10MW×2

(百万 US\$)

	FC Ratio	LC Ratio	FC	LC	Total
FCRS:	56%	44%	3.71	2.91	6.62
Power Plant:	70%	30%	32.20	13.80	46.00
Turbine and Mechanical	94%	6%	20.32	1.30	21.62
Generator and Electrical	85%	15%	5.08	0.90	5.98
Control and Instrumentation	100%	0%	2.30	0.00	2.30
Balance of Plant	100%	0%	3.22	0.00	3.22
Civil Works	0%	100%	0.00	9.20	9.20
Others	38%	63%	1.40	2.28	3.68
FCRS + Power Plant	68%	32%	35.91	16.71	52.62

ケース4: ダブルフラッシュ 20MW×1

(百万 US\$)

	FC Ratio	LC Ratio	FC	LC	Total
FCRS:	56%	44%	3.71	2.91	6.62
Power Plant:	70%	30%	30.66	13.14	43.80
Turbine and Mechanical	94%	6%	19.53	1.24	20.59
Generator and Electrical	85%	15%	4.84	0.85	5.69
Control and Instrumentation	100%	0%	2.19	0.00	2.19
Balance of Plant	100%	0%	3.07	0.00	3.07
Civil Works	0%	100%	0.00	8.76	8.76
Others	38%	63%	1.33	2.17	3.50
FCRS + Power Plant	68%	32%	34.37	16.05	50.42

2. 送電線コスト

70kV 幹線送電線への約 3km 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

IV.7.1 プロジェクトの意義

本プロジェクトは、インドネシア政府の地熱ロードマップおよび大統領の第 2 次 10,000MW 建設クラッシュプログラムに従って、マルク州、アンボン島のトゥレフ地区に 20MW の地熱発電所を建設するものである。トゥレフ地熱発電所で発電した電力は 70kV 送電線によってアンボンの需要中心地域に供給される。この 70kV 送電線はワイ IPP 石炭火力発電所 (15MW×2 ユニット) からの電力輸送のために計画され建設中である。これらの新しい発電所はアンボン電力系統の逼迫している需要供給の状況を緩和すると期待されている。現在のところ、アンボン電力系統はディーゼル発電のみが唯一の電力供給源であり、それらディーゼル発電設備の老朽化のため、PLN は電力需要家の要求に十分応えられない状況である。PLN は多数の新規の電力購買申し込みを受け入れることができない状況であり、多くの商業施設では自家用の小型ディーゼル発電設備を設置している。電力需要は年間約 10% の率で増え続けている。PLN は IPP のディーゼル発電所を建設して、その需要増加に対処してきた。また、地熱発電はディーゼル発電に比べてはるかに安く発電できるので、本プロジェクトは、インドネシア政府の補助金および高価なディーゼル燃料油を節減することも期待できる。

IV.7.2 プロジェクトの実施機関

本プロジェクトの実施機関は PLN(P.T.PLN(Persero)) :インドネシア国有電力会社) である。

IV.7.3 プロジェクト実施計画

1. プロジェクト実施体制

JICA とインドネシア政府は本プロジェクトに関し、ES 円借款供与を 2011 年 3 月にプレッジしており、本プロジェクトのエンジニアリングサービス (ES) 及びプロジェクト本体を含む地熱開発促進プログラム円借款の交換公文 (E/N) が 2011 年 8 月 18 日に締結された。本プロジェクトの FS がまとめ次第、ES 円借款の貸付契約 (L/A) 締結の予定である。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、FCDS・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。本プロジェクトの実行に当たっては、PLN の次のような部門が主として関係する。

PLN 本社

Division of Alternative and Renewable Energy (Director of Planning and Technology) : トゥレフ地熱プロジェクトの計画

Division of Engineering Technology (Director of Planning and Technology) : コンサルタントの選定

Division of Procurement Management (Director of Strategic Procurement) : コントラクターの選定

Division of Construction & IPP for East Indonesia (Director of Operation for East Indonesia) : プロジェクト建設の全体管理

PLN プロジェクト管理事務所

PLN Pilitring Sulmapa (at Makassar) : プロジェクト建設の実施管理

PLN 支店

Wilayah Maluku & Maluku Utara at Ambon

PLN 関係会社

PT. PLN Geothermal : PLN の地熱事業関係の子会社

2. 運営維持管理体制

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)

3. プロジェクト構成と調達計画

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	トゥレフ生産井・還元井の追加掘削および試験	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)	70kV 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

上記の内、第 1)項の先行工事および 5)項の 70kV 送電線接続工事は自己資金により PLN が実施する。第 1)項の PLN の先行工事は、プロジェクトの実施スケジュールを確実にするために重要な工事である。また、第 5)項の 70kV 送電線接続工事については、現在、ワアイ IPP 石炭火力発電所の建設工事と同時に建設される 70kV 送電線のワアイパッソ間の 35 番鉄塔に接続する予定であるから、先行しているこの送電線工事が将来のトゥレフ地熱発電所からの接続を考慮した設計、工事を十分確認すべきである。

PLN は、現在準備中の ES 円借款資金により、第 2)-1 項のトゥレフ調査井（生産井 3 本、還元井 1 本）および試験、第 6)項のコンサルティング業務、また、第 7)項の将来開発有望地点の調査井（生産井 2 本、還元井 1 本）を先行して調達する。これらの調達は、プロジェクトの早期完成を目指すためには、ES 円借款の L/S 以前でも可能な限り早い時期に着手することが望まれる。トゥレフおよび将来地点の調査井掘削の調達は、コンサルタントの選定と平行して実施されるので、PLN はコンサルタントの助勢なしで調査井の掘削業者の入札を実施する必要がある。

上記の第 1)項で観測中のプロジェクトサイトの気象データ、および第 2)-1 項の調

査井（生産井、還元井）、試験の結果を基に、コンサルティング業務の初期の段階で、地熱資源の追加評価、蒸気条件の確定、掘削計画、FCRS、地熱発電設備の詳細・再検討を行い、プロジェクト実施計画を見直し、ファイナライズする。

ファイナライズされたプロジェクト実施計画に基づき、プロジェクト円借款の貸付契約（L/A）を締結し、第2)-2の追加の生産井、還元井の掘削、第3)項のFCRS、第4)項の地熱発電所のプロジェクトを調達・実行する。

本プロジェクトの調達については、概ね上述の工事・業務に従ったパッケージに分けて実行されるが、第3)項のFCRS、第4)項の地熱発電所については一つのパッケージとし、フルターンキーで調達・契約する。

プロジェクト実施段階でのコンサルタントの業務内容はおよそ以下のとおりである。

地熱資源開発関係：

- ・ トゥレフ調査井の掘削工事監理のアドバイス
- ・ トゥレフ調査井の試験のアドバイス
- ・ トゥレフ調査井、試験の結果に基づく地熱資源の再評価
- ・ 追加のトゥレフ生産井、還元井の坑井掘削業者の事前資格審査
- ・ 追加のトゥレフ生産井、還元井坑井掘削業者調達のための入札書類作成
- ・ 追加のトゥレフ生産井、還元井坑井掘削業者調達のための PLN の入札実施助勢
- ・ 追加のトゥレフ生産井、還元井坑井掘削業者選定のための入札評価、契約交渉、契約助勢
- ・ 追加のトゥレフ生産井、還元井の掘削地点とターゲットの選定
- ・ 追加のトゥレフ生産井、還元井掘削の工事監理、熱水・蒸気の分析
- ・ 地熱貯留層のシミュレーションを含む地熱資源評価
- ・ PLN のトレーニング、技術移転
- ・ 将来有望地点の調査井掘削工事監理のアドバイス
- ・ 将来有望地点の調査井の試験のアドバイス
- ・ 将来有望地点の調査井、試験の結果に基づく地熱資源の評価

FCRS、地熱発電所建設関係：

- ・ 上記のトゥレフ調査井に基づく地熱資源の再評価結果およびプロジェクトサイトの気象データを考慮した既存の設備設計、プロジェクト計画のレビュー
- ・ プロジェクト基本計画・設計
- ・ EPC 業者の事前資格審査
- ・ EPC 業者の調達のための入札書類作成

- ・ PLN の EPC 入札実施助勢
- ・ EPC 業者選定のための入札評価、契約交渉、契約助勢
- ・ EPC 業者が実施する設計の審査、工場試験立会
- ・ EPC 業者が実施する現地工事・試運転の監理
- ・ 受け取り試験の審査・評価
- ・ PLN のトレーニング、技術移転

IV.7.4 プロジェクト実施スケジュール

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図 IV-7-1、IV-7-2、IV-7-3 および IV-7-4 にそれぞれ作成した。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て、目標工程 (Accelerated Target Schedule) をダブルフラッシュ 10MW×2 およびダブルフラッシュ 20MW×1 のケースについて検討し、図 IV-7-5 および IV-7-6 を作成した。表 IV-7-1 に各ケースの主要工程と期間を一覧表にまとめた。プロジェクト実施工程には次の作業・工事の期間を含んでいる。また、プロジェクトサイトが熱帯地方の遠隔離島に位置していることも考慮した。

- ・ ES 円借款契約の締結 (ES L/A)
- ・ 同上のインドネシア政府-PLN 間のサブローンアグリーメント (ES SLA)
- ・ プロジェクト円借款貸し付け契約の締結 (Project L/A)
- ・ 同上のインドネシア政府-PLN 間のサブローンアグリーメント (Project SLA)
- ・ PLN の先行工事
- ・ コンサルタントの雇用
- ・ 調査井の掘削コントラクターの選定 (PLN 実施)
- ・ 調査井 (生産井、還元井) の掘削工事および試験
- ・ 追加の坑井掘削および FCRS、地熱発電所建設のコントラクター選定のための入札、評価、契約
- ・ FCRS、地熱発電所の主要機器の設計
- ・ FCRS、地熱発電所の主要機器の製作、工場立会試験
- ・ プロジェクトサイトまでの資機材・機器の輸送
- ・ 現地建設工事の開始
- ・ 蒸気供給開始の時期
- ・ 受け取りのための試運転、性能試験
- ・ 受け取り後の保障期間 (12 ヶ月)
- ・ 将来の有望地点の調査井掘削および試験

表 IV-7-1 主要工程と期間

主要工程と期間		プロジェクト標準スケジュール				目標スケジュール (Accelerated Target Schedule)	
		シングルフラッシュ		ダブルフラッシュ		ダブルフラッシュ	
		10MW×2	20MW×1	10MW×2	20MW×1	10MW×2	20MW×1
1	コンサルタントの選定	10.5 ヶ月	10.5 ヶ月	10.5 ヶ月	10.5 ヶ月	10.5 ヶ月	10.5 ヶ月
2	追加調査井の掘削コントラクターの選定 (LCB)	4 ヶ月	4 ヶ月	4 ヶ月	4 ヶ月	4 ヶ月	4 ヶ月
3	追加調査井の掘削、試験	14 ヶ月	14 ヶ月	14 ヶ月	14 ヶ月	14 ヶ月	14 ヶ月
4	追加坑井の掘削コントラクターの選定 (ICB)	14 ヶ月	14 ヶ月	14 ヶ月	14 ヶ月	14 ヶ月	14 ヶ月
5	追加坑井の掘削、試験	17 ヶ月	17 ヶ月	15.5 ヶ月	15.5 ヶ月	15.5 ヶ月	15.5 ヶ月
6	FCRS、地熱発電所のコントラクター選定	22 ヶ月	22 ヶ月	22 ヶ月	22 ヶ月	18 ヶ月	18 ヶ月
7	FCRS の設計、調達、製作、輸送、据付、試運転、完成	22 ヶ月	22 ヶ月	22 ヶ月	22 ヶ月	19 ヶ月	19 ヶ月
8	地熱発電所の設計、調達、製作、輸送、据付、試運転、完成	29 ヶ月	26 ヶ月	29 ヶ月	26 ヶ月	25 ヶ月	22 ヶ月
9	プロジェクト総合期間 (開始～プラント完成まで)	60 ヶ月	57 ヶ月	60 ヶ月	57 ヶ月	52 ヶ月	49 ヶ月
10	FCRS、地熱発電所の保証期間	12 ヶ月	12 ヶ月	12 ヶ月	12 ヶ月	12 ヶ月	12 ヶ月
11	プロジェクト総合期間 (開始～保証期間終了・最終受取り)	72 ヶ月	69 ヶ月	72 ヶ月	69 ヶ月	64 ヶ月	61 ヶ月

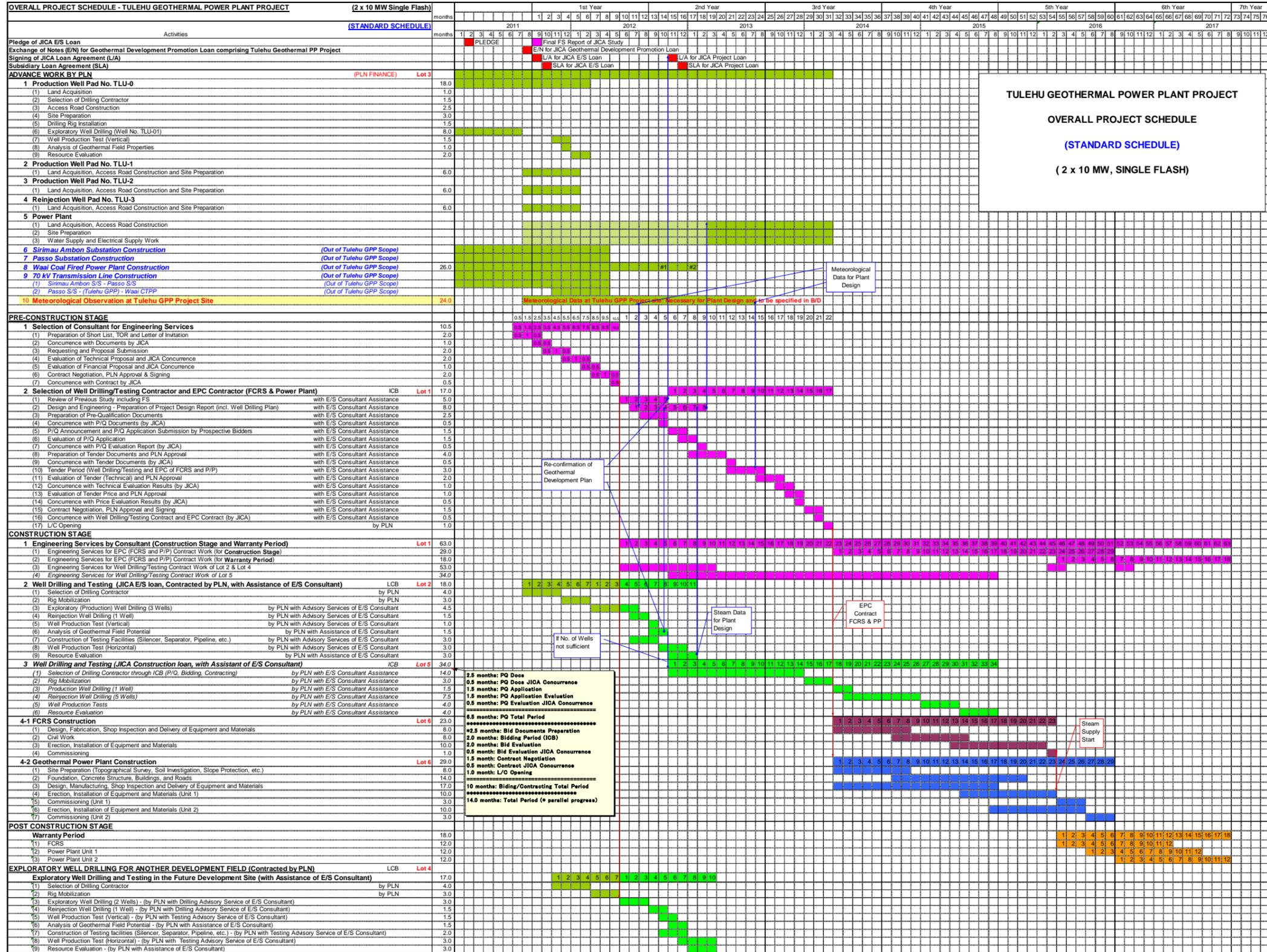


図 IV-7-1 プロジェクト実施スケジュール (シングルフラッシュ 10MW×2) - 標準工程

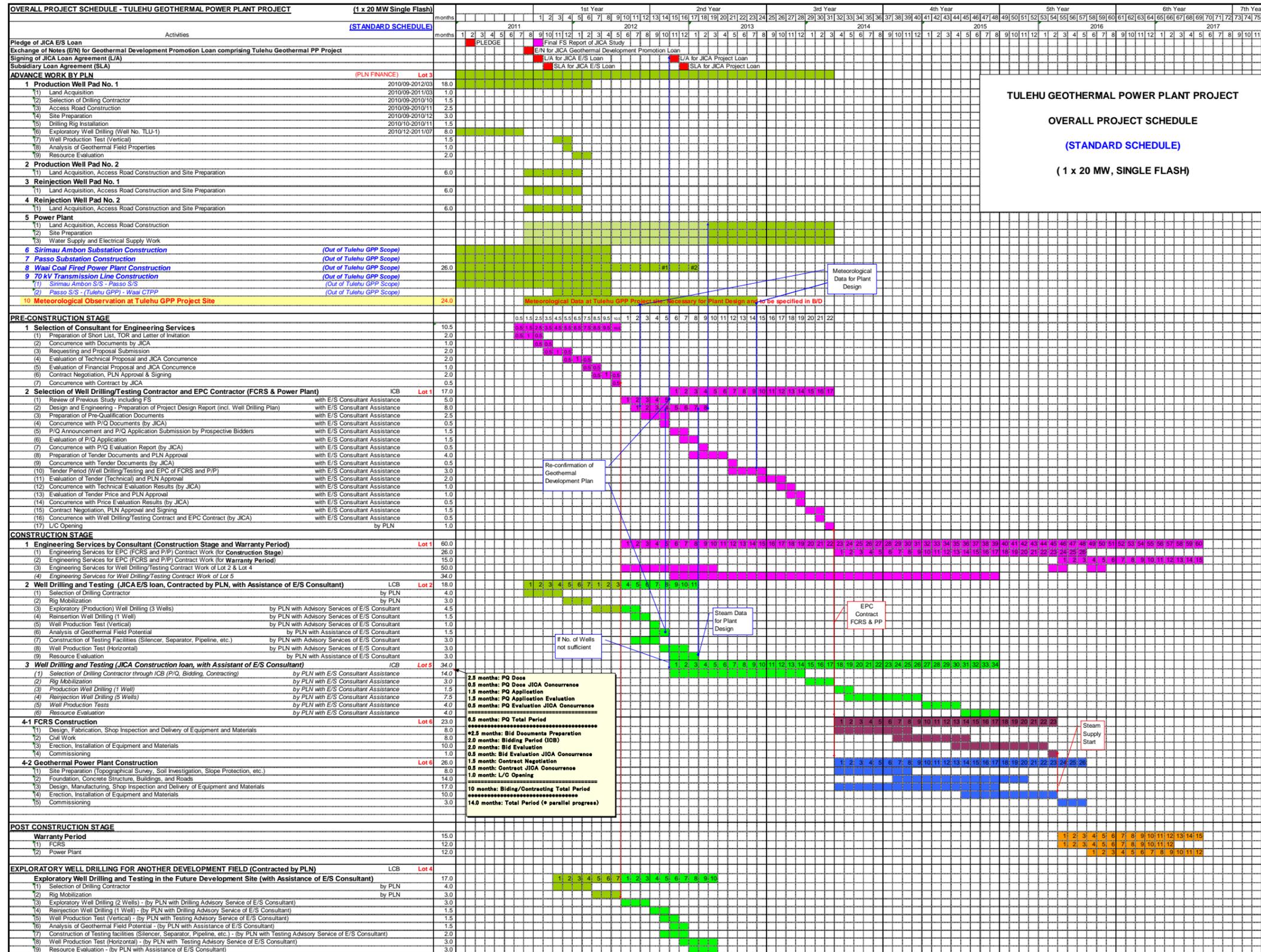


図 IV-7-2 プロジェクト実施スケジュール (シングルフラッシュ 20MW×1) - 標準工程

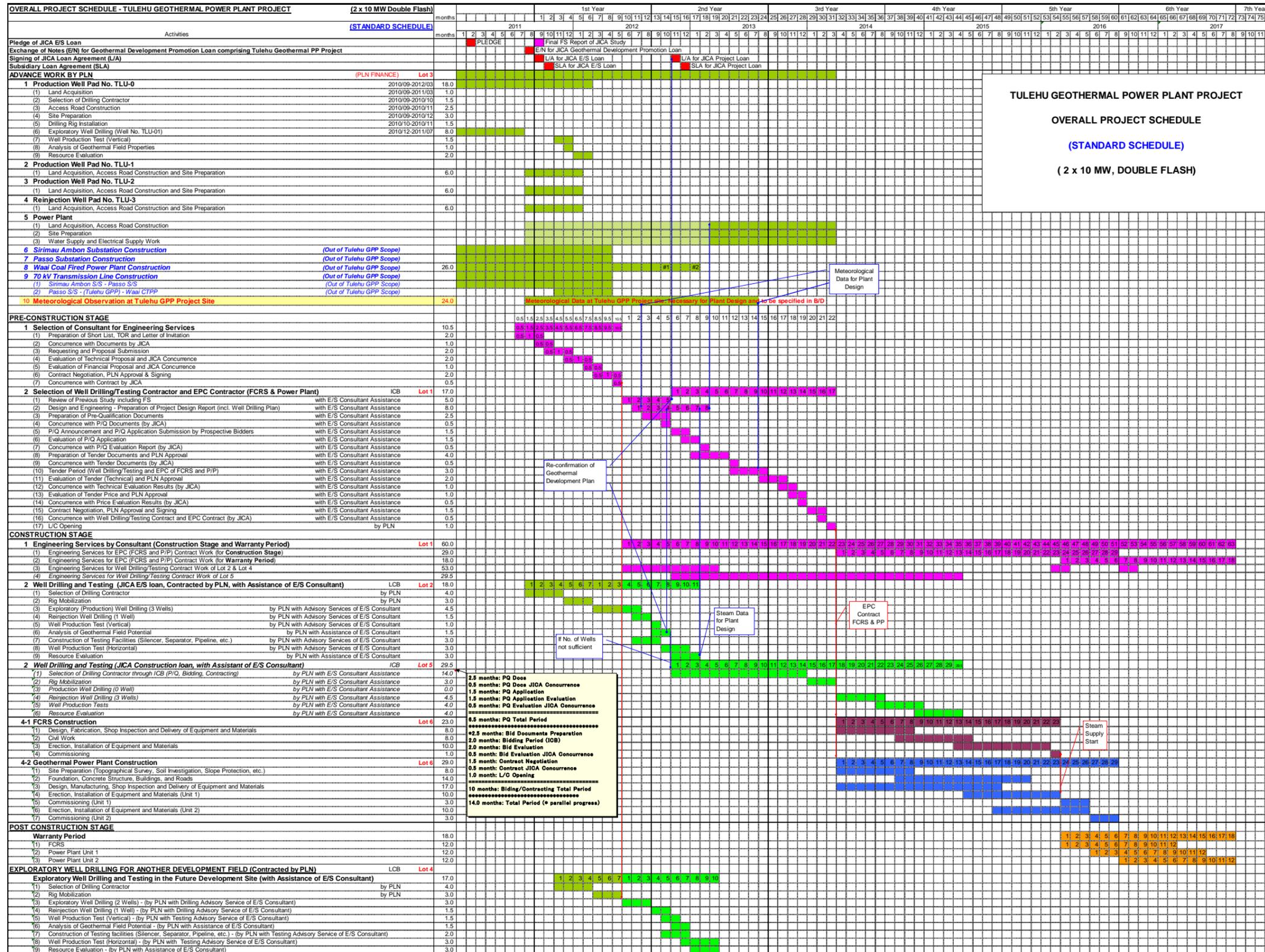


図 IV-7-3 プロジェクト実施スケジュール (ダブルフラッシュ 10MW×2) - 標準工程

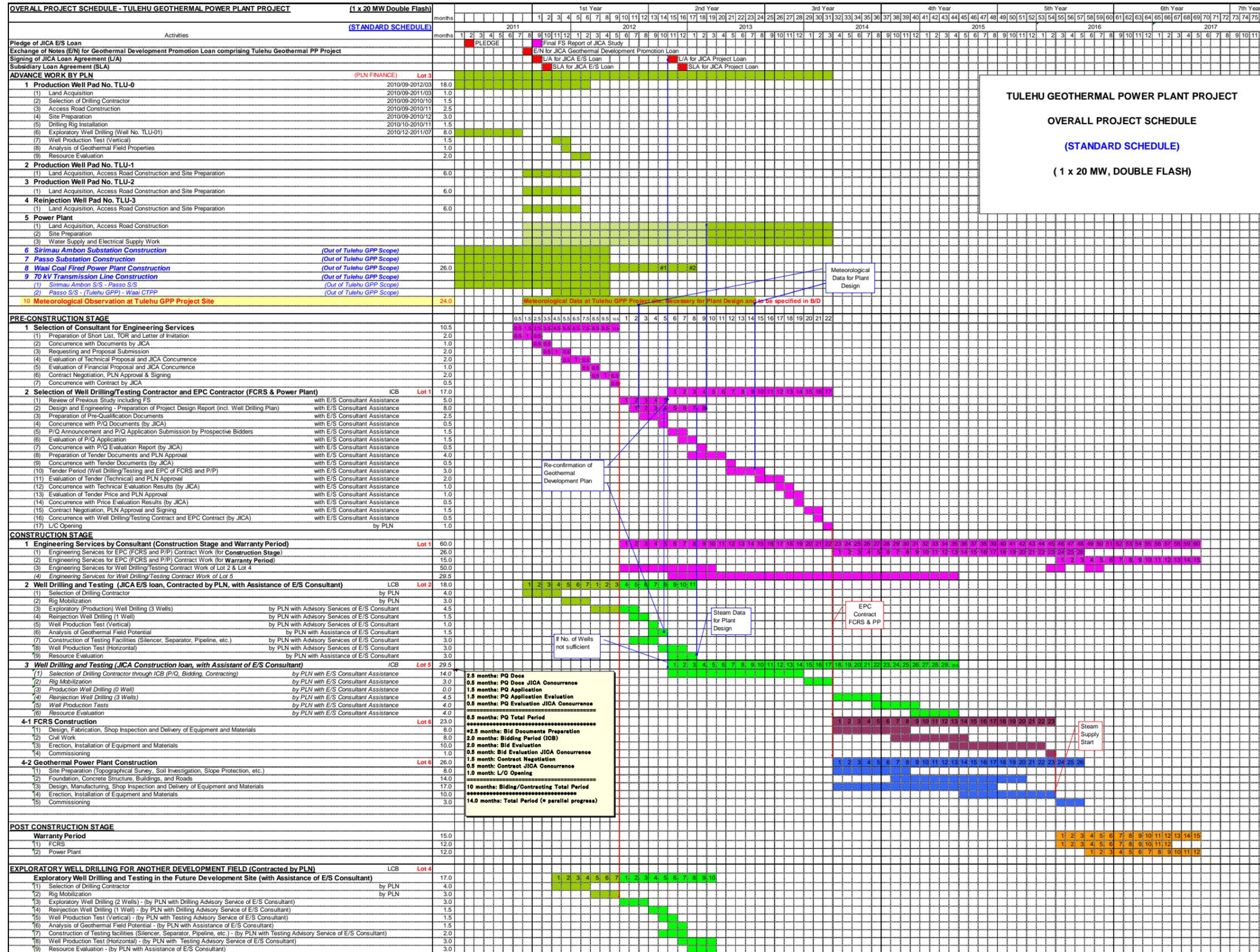


図 IV-7-4 プロジェクト実施スケジュール (ダブルフラッシュ 20MW×1) - 標準工程

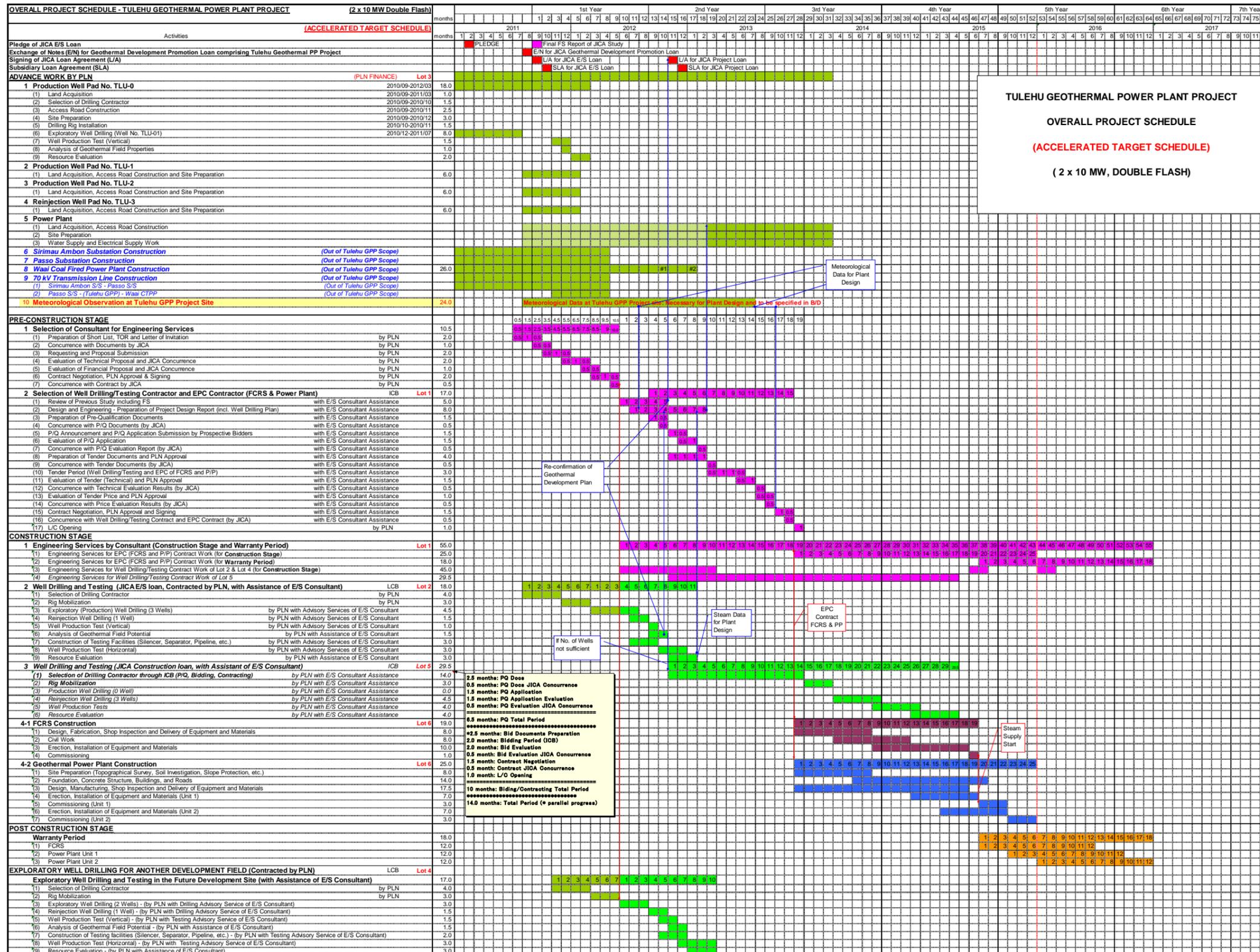


図 IV-7-5 プロジェクト実施スケジュール (ダブルフラッシュ 10MW×2) - 目標工程 (Accelerated Target Schedule)

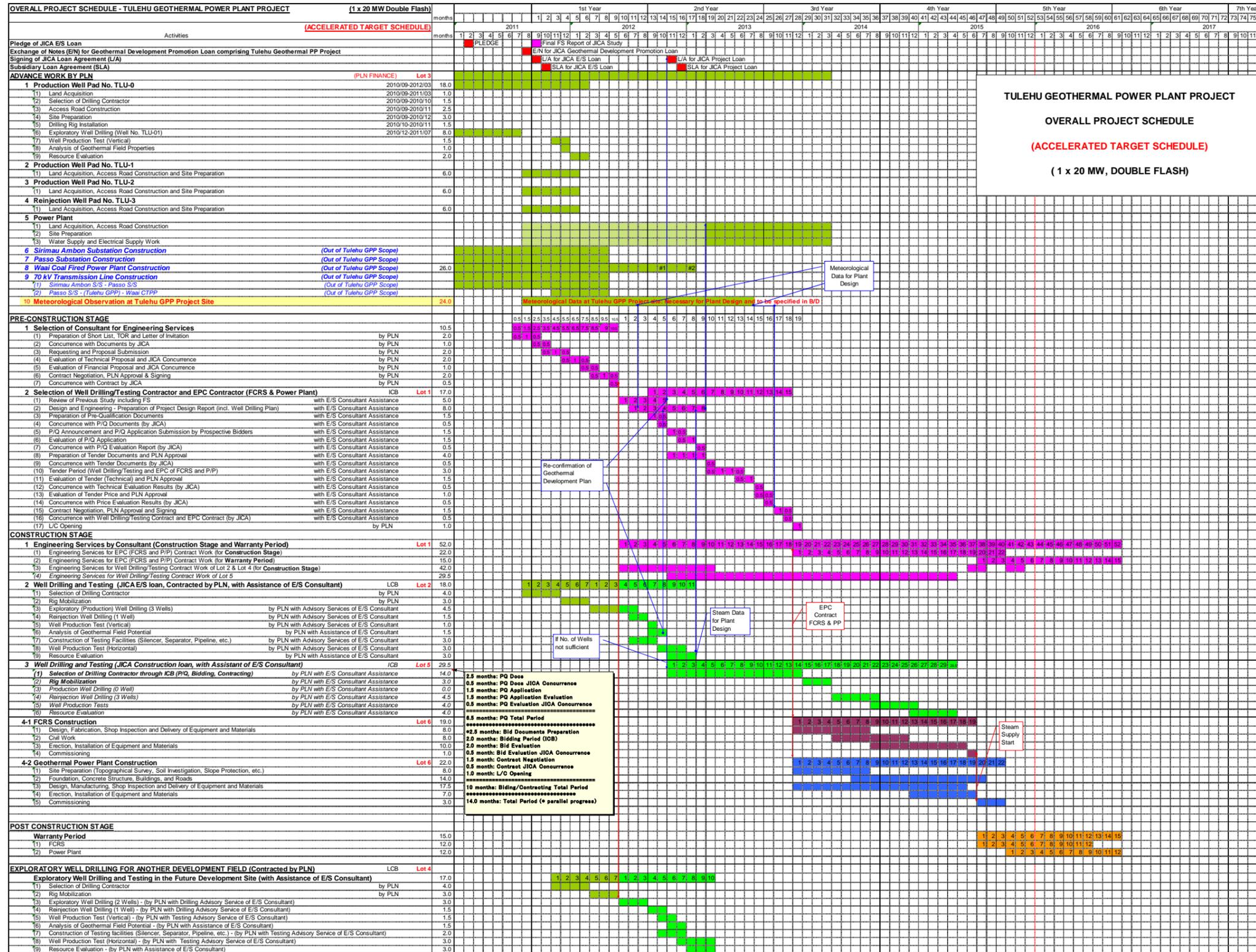


図 IV-7-6 プロジェクト実施スケジュール (ダブルフラッシュ 20MW×1) - 目標工程 (Accelerated Target Schedule)

IV.8 事業効果の確認

IV.8.1 資金調達計画

1. プロジェクト資金

JICA は本プロジェクトコスト総額の 85%を融資することになっており、残りの 15%は PLN の自己資金をプロジェクトに当てるものとする。これらの融資条件は下表の通り。

表 IV-8-1 融資条件

	プロジェクト借款	コンサル借款	PLN 自己資金
金利/ROR	年率 0.3%	年率 0.01%	12.00%
支払い猶予期間	10 年	10 年	NA
返済期間	40 年	40 年	NA
返済方法	元利均等払い	元利均等払い	NA

日本国の ODA 借款のその他の条件は下記の通り。

- ジェネラル・アンタイト（但し、掘削業者選定は LCB）
- JICA のプロジェクト借款の上限は総プロジェクトコストの 85%であり、土地収用費用、実施機関の管理費は除く。
- 金利は第一回の支払後開始される。
- コンサルは JICA のコンサル雇用のためのガイドライン、プロジェクトはインドネシア国の法に則り、日本国 ODA 借款ガイドラインにより適正に調達されるものとする。

2. 経済財務評価条件

ベース価格は 2011 年 6 月時点のものであり、為替レートは表を使用する。コスト見積もり、および経済・財務評価はアメリカドルで実施し、最終的な借款額は円貨にて表示する。

Yen/US\$	US \$ 1 =	79.5Yen
Rp/US\$	US \$ 1 =	8,558 Rp
Rp/Yen	Yen 1 =	0.00929 Rp

価格予備費については、下記レートを使用するものとする。なお、物理的予備費はすべての役務、機材、建設費に対し 5%とする。

Foreign portion	1.6% annually
Local portion	7.9% annually

(Source: JICA)

3. 管理費

本プロジェクトの管理費としては、PLN にとって最初の地下資源開発を含む地熱発電プロジェクトであることを考慮し、資機材・工事費の4%を計上する。管理費項目としては下記を考慮する。

表 IV-8-2 管理費科目

1. 一般管理	a. コンサル、コントラクター管理 b. 保険 c. 地方および工場などとの交渉 d. 契約書類 e. 保全
2. 建設管理	g. 政府、コンサル、コントラクターの調整 h. 総合建設工事管理 i. 建設関連書類、政府、融資機関への通知手続き j. 建設安全、健康管理 k. 現地工事事務所および公益費
3. 許認可、通行権、環境管理	l. 建設準備段階、建設、輸送などの許認可申請・取得 m. 建設のための地形、地質測量 n. 環境アセス、環境許可 o. 環境モニターリング（部分的にプロジェクトに含む） p. 管理機関への報告
4. その他	

IV.8.2 プロジェクトの操業条件

本プロジェクトにおいて、アンボン島電力システムの電力需給状況、および、地熱資源量の検討の結果、4ケースの地熱発電形態が検討された。すなわち

- 1) シングルフラッシュ 10MW×2
- 2) シングルフラッシュ 20MW×1
- 3) ダブルフラッシュ 10MW×2
- 4) ダブルフラッシュ 20MW×1

であり、これらの運転条件、およびその代替ディーゼル、石炭火力（現在建設中の Waai 石炭火力 15MW×2 を想定）の運転状況は表 IV-8-3 の通り想定した。

表 IV-8-3 プロジェクトおよび代替案の操業状況

プロジェクト

Unit Type	Unit	SF	SF	DS	DS
OPERATING CONDITIONS					
Unit Capacity	MW	10	20	10	20
No. of Unit	No.	2	1	2	1
Total Capacity	MW	20	20	20	20
Economic Life/Dep	Year	30	30	30	30
Fuel Type		Geo	Geo	Geo	Geo
Station Use	%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
System Losses	%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Capacity Factor	%	85.00%	85.00%	85.00%	85%
Annual Generation	GWh	148.9	148.9	148.9	148.9
Salable energy at PP	GWh	141.5	141.5	141.5	141.5
Fuel Consumption	Mil. lit./kg	0	0	0	0
Salable Energy at SS	GWh	127.4	127.4	127.4	127.4
Initial Production Well	No.	5		4	
Initial Reinjection Well	No.	6		4	
Make up Production Well	No.	3		3	
Make up Reinj, Well	No.	4		3	

(出典 : PLN and Study Team)

表 IV-8-3 プロジェクトおよび代替案の操業状況 (続き)

代替案

Unit Type	Unit	Alt Coal	Diesel F Save	
OPERATING CONDITIONS				
Unit Capacity	MW	15	5	
No. of Unit	No.	2	5	
Total Capacity	MW	30	25	
Economic Life/Depreciation	Year	30	30	
Fuel Type		Coal	Diesel	
Plant efficiency	%	30.00%	35.00%	
Station Use	%	8.0%	7.0%	
System Losses	%	10.0%	10.0%	
Capacity Factor	%	58.53%	69.48%	
Annual Generation	GWh	153.0	151.0	
Salable energy at PP	GWh	141.5	141.5	
Salable Energy at SS	GWh	127.4	127.4	
Fule Cost		80 \$/Ton	6122.6	Rp/Lit
Fuel Consumption	Mil. kg	104.43	41.31	Mil lit.
Annual Fuel Cost	M\$	8.35	29.56	
Const. Cost	\$/kW	1500.00	700.00	
Generating Cost at PP	USC/kWh	11.39	22.33	

(出典 : PLN and Study Team)

注) 上記の表では石炭火力、ディーゼルの発電単価は 11.39 cent/kWh, 22.33 cent/kWh となっているがこれは Maximum Continuous Rating (MCR)での運転の場合であり、現実的な運転モードでは負荷の変動があり、これらの発電単価より高くなる。

現在、アンボン電力システムはすべてを老朽化されたディーゼルとレンタル IPP のディーゼルの供給に頼っている状態であるが、年率 10%の需要の伸び率を示しており、増加し続ける電力需要増に PLN はすべて対応することが出来ず、民間では自家発電（小規模ディーゼル）が増加している状況である。

IV.8.3 経済・財務評価

1. プロジェクトコスト

各4ケースのプロジェクト開発形態それぞれについて、本プロジェクトは JICA の円借が適用されるという条件で見積もられた。それぞれの集約表を表 IV-8-4 から表 IV-8-7 に示す。

表 IV-8-4 プロジェクトコスト (シングルフラッシュ 10MW×2)

Project: Geothermal Power Plant 10 MW x 2, Single Flash		Unit: Million US\$				
	FC Ratio	LC Ratio	FC	LC	Total Ratio	
1 Project Up Stream Works						
1.1 Access Road/Civil Works (PLN portion)	0%	100%	0.00	2.53	2.53	
1.2 Well drilling (4 pro & 6 Reinj)	70%	30%	32.66	14.00	46.66	
Subtotal	0%	0%	32.66	16.53	49.19	
(Makeup well: 3 pro & 4 reinj)						
2 Project Down Stream Works						
2.1 Power Plant	70%	30%	30.80	13.20	44.00	
2.2 FCRS	56%	44%	4.69	3.69	8.38	
2.3 Connecting T/L (PLN Portion)	0%	100%	0.00	0.30	0.30	
Subtotal	0%	0%	35.49	17.19	52.68	
3 Total Project Cost						
			68.15	33.72	101.87	
4 Administration Cost						
	0%	100%	0.00	4.07	4.07	
5 Consulting Fee						
	75%	25%	7.88	2.63	10.51	
6 Contingencies						
6.1 Price Contingency (FC:1.6%, LC:7.9%)	27%	73%	3.99	10.72	14.71	
6.2 Physical Contingency	62%	38%	3.76	2.28	6.04	
Subtotal			7.75	13.00	20.75	
7 Grand Total			83.78	53.42	137.20	100%
8 Implementation						
9.1 PLN Equity	44%	56%	11.26	14.56	25.82	
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)	64%	36%	63.81	35.40	99.21	
9.3 JICA Consultant Loan, 100%	72%	28%	8.71	3.46	12.17	
Total	61%	39%	83.78	53.42	137.20	100%
Yen equivalent (Million Yen)						
9.1 PLN Equity			895	1,158	2,053	
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)			5,073	2,814	7,887	
9.3 JICA Consultant Loan, 100%			692	275	968	
Total			6,661	4,247	10,907	
9 IDC+Commitment Charge						
			1.19			

表 IV-8-5 プロジェクトコスト (シングルフラッシュ 20MW×1)

Project: Geothermal Power Plant 20 MW x 1, Single Flash		Unit: Million US\$				
	FC Ratio	LC Ratio	FC	LC	Total Ratio	
1 Project Up Stream Works						
1.1 Access Road/Civil Works (PLN portion)	0%	100%	0.00	2.53	2.53	
1.2 Well drilling (4 pro & 6 Reinj)	70%	30%	32.66	14.00	46.66	
Subtotal	0%	0%	32.66	16.53	49.19	37%
(Makeup well: 3 pro & 4 reinj)						
2 Project Down Stream Works						
2.1 Power Plant	70%	30%	29.40	12.60	42.00	
2.2 FCRS	56%	44%	4.45	3.49	7.94	
2.3 Connecting T/L (PLN Portion)	0%	100%	0.00	0.30	0.30	
Subtotal	0%	0%	33.85	16.39	50.24	37%
3 Total Project Cost						
			66.51	32.93	99.43	74%
4 Administration Cost						
	0%	100%	0.00	3.98	3.98	3%
5 Consulting Fee						
	75%	25%	7.88	2.63	10.51	8%
6 Contingencies						
6.1 Price Contingency (FC:1.6%, LC:7.9%)	27%	73%	3.89	10.48	14.37	
6.2 Physical Contingency	62%	38%	3.69	2.24	5.93	
Subtotal			7.58	12.72	20.30	15%
7 Grand Total			81.97	52.25	134.22	100%
8 Implementation						
9.1 PLN Equity	43%	57%	10.99	14.29	25.28	19%
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)	64%	36%	62.27	34.50	96.77	72%
9.3 JICA Consultant Loan, 100%	72%	28%	8.71	3.46	12.17	9%
Total	61%	39%	81.97	52.25	134.22	100%
Yen equivalent (Million Yen)						
9.1 PLN Equity			874	1,136	2,010	
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)			4,950	2,743	7,693	
9.3 JICA Consultant Loan, 100%			692	275	968	
Total			6,516	4,154	10,670	
9 IDC+Commitment Charge						
			1.16			

表 IV-8-6 プロジェクトコスト (ダブルフラッシュ 10MW×2)

Project: Geothermal Power Plant 10 MW x 2, Double Flash						Unit: Million US\$	
	FC Ratio	LC Ratio	FC	LC	Total Ratio		
1 Project Up Stream Works							
1.1 Access Road/Civil Works (PLN portion)	0%	100%	0.00	2.53	2.53		
1.2 Well drilling (3 pro & 4 Reinj)	70%	30%	23.50	10.07	33.57		
Subtotal	0%	0%	23.50	12.60	36.10		
(Makeup well: 3 pro & 3 reinj)							
2 Project Down Stream Works							
2.1 Power Plant	70%	30%	32.20	13.80	46.00		
2.2 FCRS	56%	44%	3.71	2.91	6.62		
2.3 Connecting T/L (PLN Portion)	0%	100%	0.00	0.30	0.30		
Subtotal	0%	0%	35.91	17.01	52.92		
3 Total Project Cost							
			59.41	29.62	89.02		
4 Administration Cost							
	0%	100%	0.00	3.56	3.56		
5 Consulting Fee							
	75%	25%	7.88	2.63	10.51		
6 Contingencies							
6.1 Price Contingency (FC:1.6%, LC:7.9%)	27%	73%	3.65	9.86	13.51		
6.2 Physical Contingency	62%	38%	3.36	2.03	5.39		
Subtotal			7.01	11.89	18.90		
7 Grand Total							
			74.30	47.69	121.99		
100%							
8 Implementation							
9.1 PLN Equity	43%	57%	9.84	13.12	22.96		
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)	64%	36%	55.75	31.11	86.86		
9.3 JICA Consultant Loan, 100%	72%	28%	8.71	3.46	12.17		
Total	61%	39%	74.30	47.69	121.99		
100%							
Yen equivalent (Million Yen)							
9.1 PLN Equity			782	1,043	1,825		
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)			4,432	2,473	6,905		
9.3 JICA Consultant Loan, 100%			692	275	968		
Total			5,907	3,792	9,698		
9 IDC+Commitment Charge							
			1.13				

表 IV-8-7 プロジェクトコスト (ダブルフラッシュ 20MW×1)

Project: Geothermal Power Plant 20 MW x 1, Double Flash					Unit: Million US\$	
	FC Ratio	LC Ratio	FC	LC	Total Ratio	
1 Project Up Stream Works						
1.1 Access Road/Civil Works (PLN portion)	0%	100%	0.00	2.53	2.53	
1.2 Well drilling (3 pro & 4 Reinj)	70%	30%	23.50	10.07	33.57	
Subtotal	0%	0%	23.50	12.60	36.10	
(Makeup well: 3 pro & 3 reinj)						
2 Project Down Stream Works						
2.1 Power Plant	70%	30%	30.66	13.14	43.80	
2.2 FCRS	56%	44%	3.71	2.91	6.62	
2.3 Connecting T/L (PLN Portion)	0%	100%	0.00	0.30	0.30	
Subtotal	0%	0%	34.37	16.35	50.72	
3 Total Project Cost			57.87	28.96	86.82	
4 Administration Cost	0%	100%	0.00	3.47	3.47	
5 Consulting Fee	75%	25%	7.88	2.63	10.51	
6 Contingencies						
6.1 Price Contingency (FC:1.6%, LC:7.9%)	27%	73%	3.56	9.60	13.16	
6.2 Physical Contingency	62%	38%	3.27	1.99	5.26	
Subtotal			6.83	11.59	18.42	
7 Grand Total			72.58	46.64	119.22	100%
8 Implementation						
9.1 PLN Equity	43%	57%	9.58	12.87	22.45	
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)	64%	36%	54.29	30.31	84.60	
9.3 JICA Consultant Loan, 100%	72%	28%	8.71	3.46	12.17	
Total	61%	39%	72.58	46.64	119.22	100%
Yen equivalent (Million Yen)						
9.1 PLN Equity			762	1,023	1,785	
9.2 JICA Project Loan, (less than 85%)			4,316	2,410	6,725	
9.3 JICA Consultant Loan, 100%			692	275	968	
Total			5,770	3,708	9,478	
9 IDC+Commitment Charge			1.10			

<参考>

先行して開発された PLN のラヘンドン 3 号機は同じ円借により 2004 年 3 月度の L/A (総額 58.66 億円、STEP)により建設され、本プロジェクトでも想定されているシングルフラッシュ 20MW×1 地熱発電タイプである。この L/A にて想定されている発電プラントコストは 41.6 億円であり、実際の PLN が契約した EPC 契約額 (2007 年 3 月) は当時の為替レート(100Yen/US\$)において今回想定された同じタイプのシング

ルフラッシュで 38.15Mill\$(38.15 億円)であった。今回想定した 42.00Mill\$の約 90%であり、競争入札による価格低下、5年以上の物価上昇率を考慮すると、今回の見積もり額は適正だと判断される。また、L/A によるコンサルコスト見積額 4.8 億円については 2006 年 5 月の締結以来 2011 年現在まで継続中であり、ほぼ同額の消費額となっており、コンサル価格においても、L/A 時の見積もりが適正であったことを示している。(本プロジェクトのコンサル額は地熱資源調査開発調査設計監理、FCRS の建設のための調査、設計監理を含んでいるため Lahendong での想定額の 2 倍程度の見積額となっている。)

2. 経済性評価

a. 方法論

ディーゼル燃料節約効果：本プロジェクトが実現されると、発電原価の高いディーゼルは回避されることになる。また、現在、ディーゼルは実際の販売電力価格以上の発電原価で運転されており、それを補う政府の補助金が大きな問題となっている。従って、プロジェクトと同等の電力を発生するためのディーゼルオイル価格と本プロジェクトの経費を比較することにより本プロジェクトの経済的内部収益率を算定し、インドネシアにおける電力開発に使われる割引率 12%を比較することにより、本プロジェクトの経済性を評価する。

政府補助金節約効果：また、下表に示されるように、政府の電力料金に対する補助金の支出が大きく国の財政に負担をかけていることから、補助金削減額と本プロジェクトの経費を比較することにより、割引率 12%と比較し経済性を評価する。

表 IV-8-8 補助金削減額 (ダブルフラッシュ 10MW×2)

a. アンボンシステムの平均発電原価*	2,758	Rp/kWh	0.3223	US\$/kWh
b. 実際の販売単価* (678.58 Rp/kWh)			0.0793	US\$/kWh
c. 想定される実際の補助金単価 $c = a - b$			0.2430	US\$/kWh
d. プロジェクトの平均送電端発電原価			0.1470	US\$/kWh
e. プロジェクト実施後の補助金単価 $d = d - b$			0.0677	US\$/kWh
f. 削減される補助金単価 $f = c - e$			0.1753	US\$/kWh

最小費用効果 (石炭火力との比較)：現在、Waai 石炭火力(15MW×2)が IPP で建設中であり、このコストと本プロジェクトのコストを比較し、経済的内部収益率法により評価する。

Willingness-To-Pay 評価：PLN アンボンでは、設備容量、稼働電力に制限があり、かつ、老朽化のために需要家の電力需要に十分対応できない状態であり、高額な発電原価にもかかわらず、小規模自家発ディーゼル (下図参照) を導入しているホテルが

あり、そのホテルによると、発電原価は 2,500Rp/kWh とのことであり、ほとんど毎日ある時間帯の運転を義務づけられている。このことから、アンボンにおいては、電力価格 2,500Rp/kWh に置いても十分需要があるということであり、この価格を Willingness-to-pay として経済的内部収益率を算定する。Willingness-to-pay 価格について感度分析を実施する。



b. 経済性評価

本プロジェクトの建設費、運転経費、30 年間中の補充井の経費とディーゼル年力節約、政府補助金節約での経済的内部収益率(EIRR)を算定した。また、電力単価 2,500 Rp/kWh を Willingness-to-pay として EIRR を算定した。

燃料節約効果

プロジェクト	シングルフラッシュ		ダブルフラッシュ	
	10MW×2	20MW×1	10MW×2	20MW×1
年燃料節約量	4,131 万リットル/年			
年節約額	2,956 万 US\$/年			
EIRR	19.64%	19.98%	21.18%	22.57%

いずれのケースも、年間 4,131 万リットルのディーゼル燃料節約効果と、その年間費用約 3,000 万 US\$ の節約となり、これらの便益に対し、本プロジェクトの経費の比較において、それぞれの EIRR はハードルレートの 12% を大きく上回っており、燃料節約に関しては、すべてのプロジェクトケースにおいて経済的に実行可能性があると判断できる。

政府補助節約効果

プロジェクト	シングルフラッシュ		ダブルフラッシュ	
	10MW×2	20MW×1	10MW×2	20MW×1
年間補助金節約額	1,997 万 US\$	2,034 万 US\$	2,233 万 US\$	2,266 万 US\$
EIRR	13.42%	13.96%	17.17%	17.76%

政府補助の場合も、すべてのケースで、約 2 千万 US\$ から 2 千 2 百万 US\$ の節約が可能である。いずれのケースもハードルレート 12% を上回った。また、政府補助節約は単独ではなく、上述のディーゼル燃料節約効果と重複して評価される物であり、いずれのケースも十分経済的効果があると判断される。ダブルフラッシュ 20MW×1 のケースが最大の経済的効果を発揮し、その合計年間節約額は約 5 千万 US\$ となり、本プロジェクトの投資額から見ても 3 年間でその投資額が回収可能であり、国家経済的に最優良のプロジェクトであると判断される。

石炭火力との比較

プロジェクト	シングルフラッシュ		ダブルフラッシュ	
	10MW×2	20MW×1	10MW×2	20MW×1
EIRR	10.52%	10.94%	13.51%	14.06%

石炭火力との経済比較の場合、SF ではその初期投資の大きさにより、石炭火力が優位となり、ダブルフラッシュでは地熱が石炭火力より有利となる。このことから、対石炭火力に対する優位性はその初期投資額に左右されることになり、地熱資源の特性により、地方での小規模石炭火力に対する地熱開発の経済性の優劣は左右されることになる。

2,500Rp/kWh Willingness-to-pay

プロジェクト	シングルフラッシュ		ダブルフラッシュ	
	10MW×2	20MW×1	10MW×2	20MW×1
EIRR	17.47%	17.78%	19.61%	19.97%

2,500Rp/kWh Willingness-to-pay の場合、すべてのケースで 12% のハードルレートを上回り、アンボンシステムにおいては、本プロジェクトの経済性は非常に高いと判断される。

Willingness-to-pay 価格感度分析

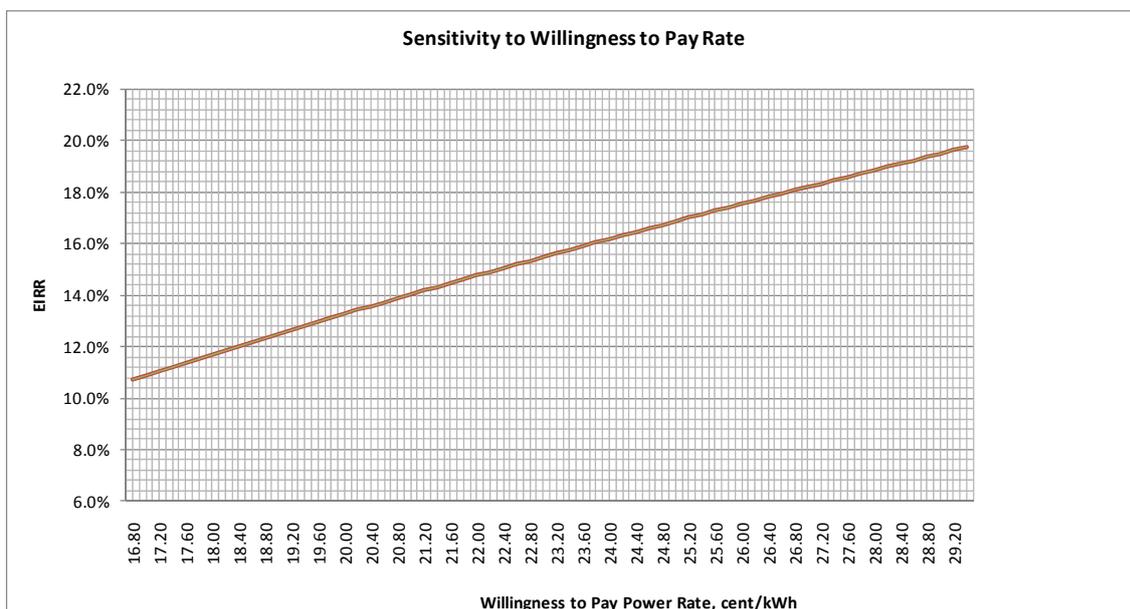


図 IV-8-1 Willingness-to-pay 価格感度分析(ダブルフラッシュ 10MW×2)

Willingness-to-pay 電気価格の EIRR に対する感度分析を上図の通り実施した。実勢価格の 2500Rp/kWh であれば EIRR は約 19% で十分ハードルレートの 12% を超えるが、一方、12% のハードルレートとなる価格は 18.4cent/kWh (1,570Rp/kWh) となる。従って、ホテルだけではなく、アンボン地域需要家平均でこの価格以上でも電力接続・購入を望むことが確認できれば本プロジェクトの Willingness-to-pay による経済性はあることが証明される。

最小費用選択では、石炭火力のほうがシングルフラッシュ地熱より有利であるが、ダブルフラッシュ地熱に対しては地熱が有利である。上記の EIRR の算定結果ではすべての場合で、地熱発電の投入は国家経済に大きく貢献することが判明した。燃料として、年間 29.5 百万 US\$, また、政府補助金として 20 ないし 23 百万 US\$ の節約がみこまれる。上記の経済性の結果からも、また、技術的検討からも、本プロジェクトでは、ダブルフラッシュシステムの採用が望まれる。

PLN の開発計画 (10MW×2) に合致するダブルフラッシュ 10MW×2 のケースの燃料節約と政府補助金節約の EIRR 計算、並びに、対石炭火力 EIRR, Willingness-to-pay の算定過程を表 IV-8-9、表 IV-8-10、表 IV-8-11 に示す。

表 IV-8-9 燃料節約、補助金減額 EIRR

Model: [Geo without LL & SS] EIRR = 22.18%															Model: [Geo without LL & SS] EIRR = 17.17%							
Year	Year	PROJECT					Total Cost	ALTERNATIVE : [Fuel Save]					Total Cost	Cost Balance	[Subsidy]							
		Project Cost	Capacity	Capacity Factor	Annual Salable Energy	O&M Cost		Project Cost	Capacity	Capacity Factor	Annual Salable Energy	Efficiency			Fuel Consump.	Fuel Cost (Fuel Save)	O&M Cost	Capacity Factor	Annual Salable Energy	Subsidy Reduction	Total Cost	Cost Balance
		MMS	MW	%	GWh	MMS	MMS	MW	%	GWh	%	ML Kg	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS		
-6	2010	0.00					-														0.00	
-5	2011	0.00					-														0.00	
-4	2012	14.52					14.52														-14.52	
-3	2013	30.30					30.30														-30.30	
-2	2014	23.16					23.16														-23.16	
-1	2015	21.05					21.05														-21.05	
1	2016	0.00	20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
2	2017		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
3	2018		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
4	2019		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
5	2020		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
6	2021		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
7	2022		20	85.0%	127.40	1.93	11.24	13.17	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	16.39	69.85%	127.40	22.33	22.33	9.16
8	2023		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
9	2024		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
10	2025		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
11	2026		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
12	2027		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
13	2028		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
14	2029		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
15	2030		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
16	2031		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
17	2032		20	85.0%	127.40	1.93	11.24	13.17	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	16.39	69.85%	127.40	22.33	22.33	9.16
18	2033		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
19	2034		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
20	2035		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
21	2036		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
22	2037		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
23	2038		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
24	2039		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
25	2040		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
26	2041		20	85.0%	127.40	1.93	11.24	13.17	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	16.39	69.85%	127.40	22.33	22.33	9.16
27	2042		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
28	2043		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
29	2044		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
30	2045		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	25	69.85%	127.40	40.0%	41.31	29.56	-	29.56	27.63	69.85%	127.40	22.33	22.33	20.40
31	2046																					
		89.02			3,822.00	57.78	33.72	180.52			3,822.00	1,239.41	886.70		886.70	708.18			3,822.00	669.88	489.35	

表 IV-8-10 対石炭火力 EIRR

Model: [DF20MW x 1] EIRR = 13.51%																		
Year	Year	PROJECT					Total Cost	ALTERNATIVE : [Coal Fired]					Total Cost	Cost Balance				
		Project Cost	Capacity	Capacity Factor	Annual Salable Energy	O&M Cost		Project Cost	Capacity	Capacity Factor	Annual Salable Energy	Efficiency			Fuel Consump.	Fuel Cost	O&M Cost	
		MMS	MW	%	GWh	MMS	MMS	MMS	MW	%	GWh	%	ML Kg	MMS	MMS	MMS	MMS	
-6	2010	0.00					-											0.00
-5	2011	0.00					-											0.00
-4	2012	14.52					14.52											2.25
-3	2013	30.30					30.30											11.25
-2	2014	23.16					23.16											18.00
-1	2015	21.05					21.05											13.50
1	2016	0.00	20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
2	2017		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
3	2018		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
4	2019		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
5	2020		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
6	2021		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
7	2022		20	85.0%	127.40	1.93	11.24	13.17	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	-2.64	
8	2023		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
9	2024		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
10	2025		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
11	2026		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
12	2027		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
13	2028		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
14	2029		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
15	2030		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
16	2031		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
17	2032		20	85.0%	127.40	1.93	11.24	13.17	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	-2.64	
18	2033		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
19	2034		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
20	2035		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	
21	2036		20	85.0%	127.40	1.93	-	1.93	30	58.53%	127.40	30.0%	104.43	8.35	2.17	10.52	8.60	

表 IV-8-11 Willingness-To-Pay EIRR

		model: PLN Tulehu Geothermal Project, Double Flash 10 MW x 2															[MM \$]					
No.	YEAR	MW	OUTPUT		INVESTMENT				REVENUE		COSTS					NET INCOME		NET INCOME		CASH FLOW		
			GWH SALE	SALES	Total	NITAL INV. (w/o EC)	No. of Supplm. Wells	SUPPLM. INVEST.	TOTAL INVEST.	TOTAL REVENUE	OPER. COST	Total	DEPRECIATION	SUP. WELL DEPR.	TOTAL EXPENSES	NET INCOME	Tax	(After Tax)	FREE CASH FLOW			
			1	2	Fin Loan	Equity	3	4	5	6	7	Well	TL	Others	8	9	10	11	12	13		
			[GWh]		2.1	2.2		[M\$]	[2+3]			7.1	7.2	7.3		[6+7+8]	[6-9]	[3+4]	[10-11]	[4+7+8+12]		
-6	2009								0.00												0.00	
-5	2010								21.23												-21.23	
-4	2011				21.23	16.54	4.69		40.18												-40.18	
-3	2012				32.07	26.09	5.98		32.07												-32.07	
-2	2013				28.52	23.83	4.68		28.52												-28.52	
-1	2014																					
1	2015	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	8.03	29.18	3.84	25.55	31.65		
2	2016	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	8.03	29.18	3.53	25.66	31.76		
3	2017	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	8.03	29.18	3.53	25.66	31.76		
4	2018	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	8.03	29.18	3.53	25.66	31.76		
5	2019	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	8.03	29.18	3.53	25.66	31.76		
6	2020	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	8.03	29.18	3.53	25.66	31.76		
7	2021	20	127.40					2	11.24	11.24	37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	3.15	24.92	20.90
8	2022	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	1.91	26.16	33.38	
9	2023	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	0.79	27.28	34.50	
10	2024	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	0.36	27.70	35.29	
11	2025	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	0.38	31.04	34.91	
12	2026	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	0.80	30.82	34.69	
13	2027	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	0.82	30.60	34.47	
14	2028	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	1.04	30.38	34.25	
15	2029	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	1.26	30.17	34.04	
16	2030	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	1.48	29.95	33.81	
17	2031	20	127.40					2	11.24	11.24	37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	1.69	29.73	23.36
18	2032	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	1.92	29.51	33.38	
19	2033	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	2.13	29.29	33.16	
20	2034	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	2.35	29.07	32.94	
21	2035	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	2.57	28.85	32.72	
22	2036	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	2.79	28.63	32.50	
23	2037	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	3.01	28.41	32.28	
24	2038	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	3.22	28.20	32.07	
25	2039	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	3.45	27.98	31.85	
26	2040	20	127.40					2	11.24	11.24	37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	3.67	27.77	20.77
27	2041	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	3.88	27.54	31.41	
28	2042	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	4.10	27.32	31.19	
29	2043	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	4.32	27.16	31.03	
30	2044	20	127.40							37.22	1.93	6.11	3.38	0.01	2.74	1.12	9.15	28.06	4.35	27.07	30.94	
Total			3,822.00	121.99	99.03	22.96	6	33.72	155.71	1,116.50	57.78	116.04	33.57	82.25	28.00	201.92	914.68	75.69	838.98	827.32		
Willingness to Pay																				Project E.I.R.R.	19.81%	

3. 財務評価

a. 方法論

本プロジェクトの実施機関である PLN の財務性を評価するために財務的内部収益率を算定し、それぞれの場合の機会費用 (WACC) と比較する。売電単価については、実際の PLN の販売単価および、30 年間に於けるインドネシアにおいて、電力プロジェクトに適用されている割引率 12%による 30 年平均現在価値での発電原価(LEC)を用いた。

WACC (加重平均金利：機会費用)	2.56%
--------------------	-------

b. FIRR 計算結果

FIRR の計算結果をそれぞれのケースで下記にまとめた。

シングルフラッシュ 10MW×2

Financial Evaluation	
1 Levelized Energy Cost at PP outlet (House service ratio at 5%)	14.89 cent/kWh
2 Levelized Energy Cost at Sending end (System loss at 10%)	16.55 cent/kWh
3 WACC	2.56%
4 FIRR at actual selling price at 7.93 cent/kWh	2.35% <2.56%
5 Project FIRR at LEC at sending end	8.90% >2.56%
6 Equity FIRR at LEC at sending end	30.46% >12%

シングルフラッシュ 20MW×1

Financial Evaluation	
1 Levelized Energy Cost at PP outlet (House service ratio at 5%)	14.63 cent/kWh
2 Levelized Energy Cost at Sending end (System loss at 10%)	16.26 cent/kWh
3 WACC	2.56%
4 FIRR at actual selling price at 7.93 cent/kWh	2.48% <2.56%
5 Project FIRR at LEC at sending end	8.90% >2.56%
6 Equity FIRR at LEC at sending end	30.43% >12%

ダブルフラッシュ 10MW×2

Financial Evaluation		
1 Levelized Energy Cost at PP outlet (House service ratio at 5%)		13.23 cent/kWh
2 Levelized Energy Cost at Sending end (System loss at 10%)		14.70 cent/kWh
3 WACC		2.56%
4 FIRR at actual selling price at	7.93 cent/kWh	3.27% >2.56%
5 Project FIRR at LEC at sending end		8.85% >2.56%
6 Equity FIRR at LEC at sending end		29.55% >12%

ダブルフラッシュ 20MW×1

Financial Evaluation		
1 Levelized Energy Cost at PP outlet (House service ratio at 5%)		12.99 cent/kWh
2 Levelized Energy Cost at Sending end (System loss at 10%)		14.44 cent/kWh
3 WACC		2.56%
4 FIRR at actual selling price at	7.93 cent/kWh	3.41% >2.56%
5 Project FIRR at LEC at sending end		8.86% >2.56%
6 Equity FIRR at LEC at sending end		29.53% >12%

上表の通り、算定されたそれぞれの30年現在価値による発電原価(LEC)は実際の平均販売価格 7.93cent/kWh より高額であるが、現状のディーゼルによる実際の発電原価 30.5cent/kWh より安価となる。実際の販売価格の場合、シングルフラッシュ 10MW×2 の場合を除き、すべての場合で、算定された FIRR は WACC を超え、財務的に実施可能と判断され、LEC 価格が投入できることが出来れば、本プロジェクトの財務性は非常に高くなり、PLN アンボンの財務性を大きく改善することになる。検討した4ケースで、財務性の高い順はダブルフラッシュ 20MW×1、ダブルフラッシュ 10MW×2、シングルフラッシュ 20MW×2、シングルフラッシュ 10MW×2 となる。プロジェクト完成後の運転保守を考慮すると、PLN が計画している組み合わせ、10MW×2 が最適であると考えられる。この場合の、FIRR 計算書、返済計画書、キャッシュフローを表 IV-8-11, -12, -13 に示す。

c. 財務性感度解析

(1) 30年現在価値による発電原価

30年現在価値による発電原価(LEC)を求めるため、ベースとして12%の割引率を用いたが、今回のプロジェクトの機会費用 2.56%を適用すると、発電原価は現実の売電単価 7.93cent/kWh より安価な 6.2cent/kWh (発電端) 7.0cent/kWh (送配電端) となる。

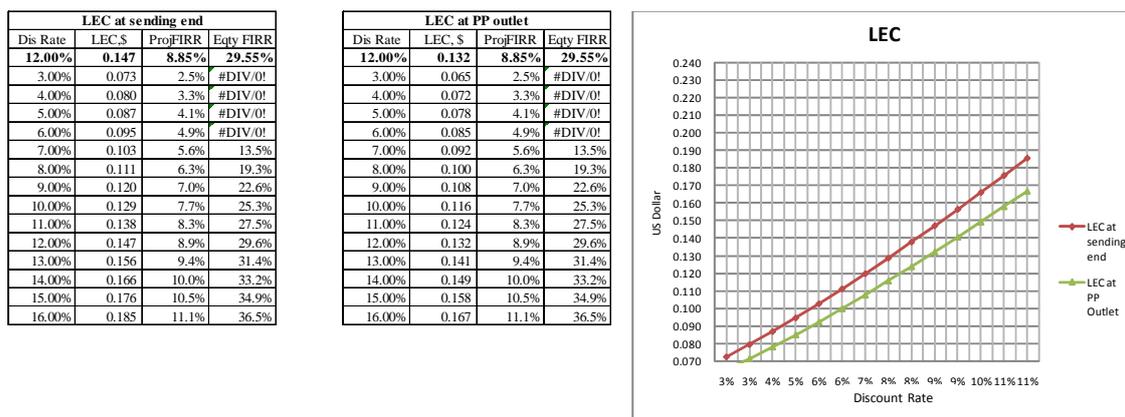


図 IV-8-2 30年現在価値による発電原価(LEC) (ダブルフラッシュ 10MW×2)

(2) 売電単価感度

実際のケースで、7.93cent/kWh で販売された場合 FIRR は WACC, 2.56%を超えるがわずかの 2.81%となる。30年間でのキャッシュフローで、補充井の掘削費のために赤字を出さないためには、WACC の2倍近くの FIRR が必要であり、そのためには、販売価格は 10.00cent/kWh 程度が望ましい。

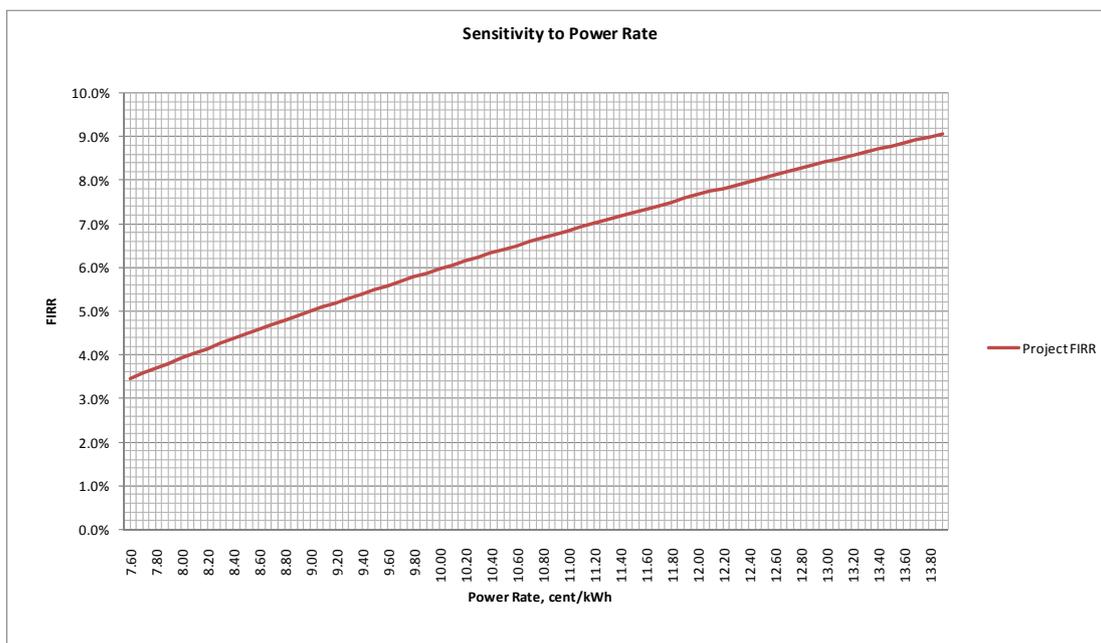


図 IV-8-3 売電単価感度表 (ダブルフラッシュ 10MW×2)

(3) プロジェクトコストに対する感度

ダブルフラッシュ 10MW×2 の場合における LEC 価格にて販売した場合、下表の通り、FIRR は 8.8%であり、プロジェクトコストが 30%高くなったとしても、依然 FIRR は 6.5% であり WACC の 2.56%より高くなる。

Project Cost Sensitivity		
Project Cost	Pro FIRR	Eqty FIRR
100.0%	8.9%	29.5%
130.0%	6.5%	23.1%
127.5%	6.7%	23.5%
125.0%	6.8%	24.0%
122.5%	7.0%	24.5%
120.0%	7.2%	25.0%
117.5%	7.4%	25.5%
115.0%	7.6%	26.0%
112.5%	7.8%	26.6%
110.0%	8.0%	27.1%
107.5%	8.2%	27.7%
105.0%	8.4%	28.3%
102.5%	8.6%	28.9%
100.0%	8.9%	29.5%
97.5%	9.1%	30.2%
95.0%	9.4%	30.9%
92.5%	9.6%	31.6%
90.0%	9.9%	32.3%
87.5%	10.2%	33.0%
85.0%	10.5%	33.8%
82.5%	10.8%	34.6%
80.0%	11.1%	35.5%

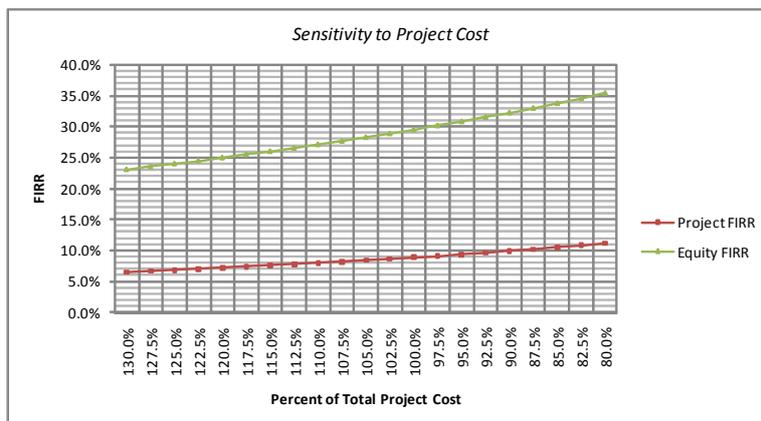


図 IV-8-4 プロジェクトコスト感度 (ダブルフラッシュ 10MW×2)

もし、プロジェクトが予備費を使用することなく実現できたとしたら、ベースのプロジェクトコスト、122.0 百万ドルが 103.1 百万ドルとなり約 85%への減額となり、その場合の財務状況は下表の通り。

Financial Evaluation	With Contingencies	Without Contingencies
1 Levelized Energy Cost at PP outlet (House service ratio at 5%)	12.99 cent/kWh	11.58 cent/kWh
2 Levelized Energy Cost at Sending end (System loss at 10%)	14.44 cent/kWh	12.87 cent/kWh
3 WACC	2.56%	3.01%
4 FIRR at actual selling price at 7.93 cent/kWh	3.41% >2.98%	3.90% >3.01%
5 Project FIRR at LEC at sending end	8.86% >2.98%	9.10% >3.01%
6 Equity FIRR at LEC at sending end	29.53% >12%	29.05% >12%

4. CDM 効果

a. CO₂ 削減効果と CER 販売収入

アンボン電力系統はすべてディーゼルで発電されているため、ディーゼル代替係数 0.8 が適用され、本プロジェクトの CO₂ 年間削減量は下記の式で求められる。

$$20\text{MW} \times 8,760\text{hr} \times 85\% (\text{capacity factor}) \times 0.8 = 119,136\text{t/年}$$

これに対し、本プロジェクトで発生する CO₂ 量は地下からの非凝結ガスに含まれる CO₂ であり、その量は地化学データ分析結果より 98vol% (0.87wt%) と算定され、下式により求められる。

$$20\text{MW} \times 8,760\text{hr} \times 85\% \times 10\text{t/MWh (consumption)} \times 0.87\text{CO}_2\text{wt\%/100} = 12,956 \text{ t/年}$$

従って、本プロジェクトの年間 CO₂ 削減量は 119,136 - 12,956 = 106,180 t/年となる。

b. CER 価格

下記に示すとおり、日経-JBIC 排出量取引参考気配におと、最近において、CO₂ は約 1,100 円/t (13.7US\$/t) で取引されており、本プロジェクトでの CO₂ 削減量がすべて取引されるとして、年間約百万ドルの財務収益が見込まれ、PDD (Project Design Documents)作成をコンサルタントに依頼する場合、約 30 万ドルの経費が掛かるが、年間百万ドルの収益には十分見合う経費だと考えられる。

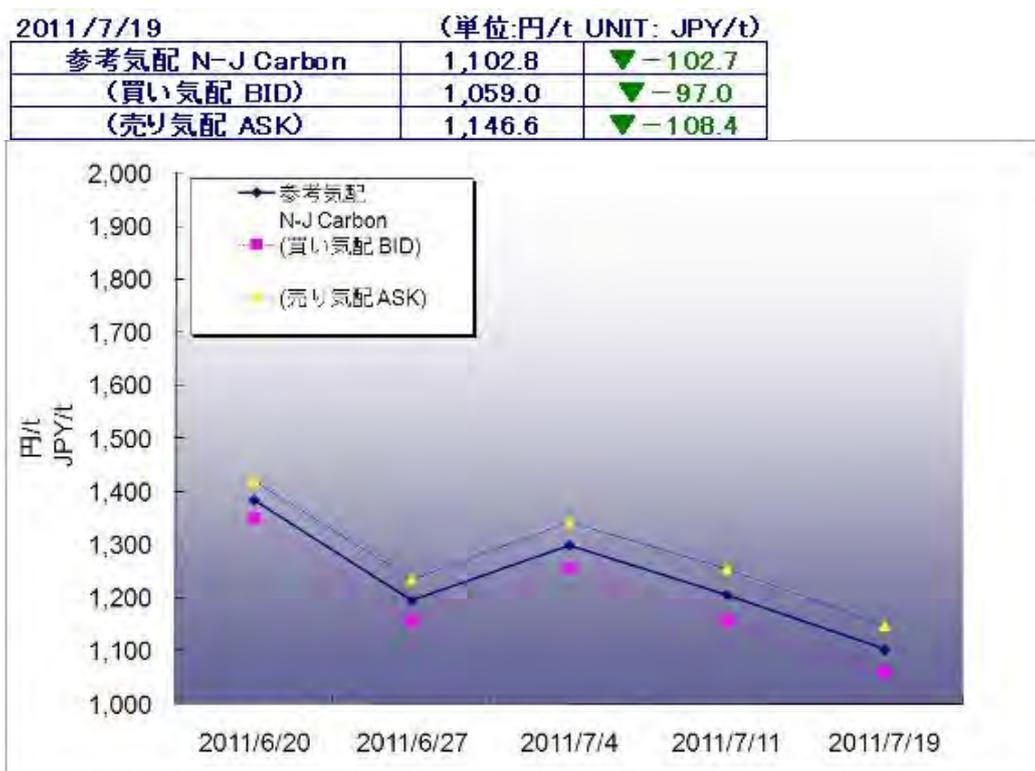


図 IV-8-5 日経・JBIC 排出量取引参考気配

出典 : http://www.joi.or.jp/carbon/h_index.html (HP of Japan Institute for Overseas Investment)

表 IV-8-12 返済計画書 (ダブルフラッシュ 10MW×2)

PLN Tulehu Geothermal Project, Double Flash 10 MW x 2

Loan					Total Repayment				
No	Year	Loan	Equity	Total	Principal	Interest During Construction	Interest	Repay-ment	Outstand-ing Balance
-6	2010	0.00	0.00	0.00	-	0.00			
-5	2011	0.00	0.00	0.00	-	0.01			
-4	2012	33.69	4.69	38.38	-	0.11			38.75
-3	2013	32.57	7.61	40.18	-	0.18	-	-	68.29
-2	2014	26.09	5.98	32.07	-	0.23	-	-	92.62
-1	2015	23.83	4.68	28.52	-	0.27	-	-	116.70
0	2016	0.00	0.00	0.00	-	0.32		-	117.03
1	2017				-		0.32	-	117.35
2	2018				-		0.32	-	117.67
3	2019				-		0.32	-	117.99
4	2020				-		0.32	-	118.31
5	2021				-		0.32	-	118.63
6	2022				-		0.32	-	118.95
7	2023				1.73		3.96	5.46	117.45
8	2024				3.40		7.26	10.52	114.19
9	2025				4.74		9.67	14.34	109.52
10	2026				5.97		11.81	17.78	103.55
11	2027				5.97		11.17	17.14	97.58
12	2028				5.97		10.52	16.49	91.61
13	2029				5.97		9.87	15.84	85.64
14	2030				5.97		9.24	15.21	79.67
15	2031				5.97		8.59	14.56	73.70
16	2032				5.97		7.95	13.92	67.73
17	2033				5.97		7.30	13.27	61.76
18	2034				5.97		6.66	12.63	55.79
19	2035				5.97		6.01	11.98	49.82
20	2036				5.97		5.38	11.35	43.85
21	2037				5.97		4.73	10.70	37.88
22	2038				5.97		4.08	10.05	31.91
23	2039				5.97		3.45	9.42	25.94
24	2040				5.97		2.80	8.77	19.97
25	2041				5.97		2.16	8.13	14.00
26	2042				5.97		1.52	7.49	8.03
27	2043				4.24		0.87	5.11	3.79
28	2044				2.57		0.41	2.98	1.23
29	2045				1.23		0.14	1.37	0.00
30	2046				0.00		0.00	0.00	0.00
					-		-		
Total		82.49	18.27	100.77	119.40	1.13	137.49	254.52	

Note: IDC include 0.1% of commitment charge

表 IV-8-13 FIRR 計算書 (ダブルフラッシュ 10MW×2)

model: PLN Tulehu Geothermal Project, Double Flash 10 MW x 2																		[MM \$]				
No.	YEAR	MW	SALES		INVESTMENT				REVENUE					COSTS			NET INCOME		NET INCOME		CASH FLOW	
			GWHSALE	Total	INTLNL INV. (w/lo IDC)	Fm Loan	Equity	No. of Supplm. Wells	SUPPLM. INVEST.	TOTAL INVEST.	TOTAL REVENUE	OPER COST	DEPRECIATION	TOTAL EXPENSES	NET INCOME	Tax	(After Tax)	FREE CASH FLOW				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					
			[GWh]		2.1	2.2	[M\$/well]	[2+3]		7.1	7.2	7.3	[6+7+8]	[5-9]	[34%]	[4+7+8+13]						
-5	2010							0.00									0.00					
-4	2011			21.23	16.54	4.69		21.23									-21.23					
-3	2012			40.18	32.57	7.61		40.18									-40.18					
-2	2013			32.07	26.09	5.98		32.07									-32.07					
-1	2014			28.52	23.83	4.68		28.52									-28.52					
1	2015	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	8.03	10.70	3.64	7.06	13.17				
2	2016	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	8.03	10.70	3.53	7.17	13.27				
3	2017	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	8.03	10.70	3.53	7.17	13.27				
4	2018	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	8.03	10.70	3.53	7.17	13.27				
5	2019	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	8.03	10.70	3.53	7.17	13.27				
6	2020	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	8.03	10.70	3.53	7.17	13.27				
7	2021	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	8.03	10.70	3.53	7.17	13.27				
8	2022	20	127.40				2	11.24	11.24	18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	9.15	9.58	16.42				
9	2023	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	11.2	9.15	9.58	16.42	14.89				
10	2024	20	127.40					18.73	1.93	6.11	3.36	0.01	2.74	11.2	9.15	9.58	16.42	14.89				
11	2025	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	0.38	12.55	16.42				
12	2026	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	0.80	12.33	16.26				
13	2027	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	0.82	12.11	15.98				
14	2028	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	1.04	11.89	15.76				
15	2029	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	1.26	11.68	15.55				
16	2030	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	2.35	10.58	14.45				
17	2031	20	127.40				2	11.24	11.24	18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	1.89	11.24	3.87		
18	2032	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	1.92	11.02	14.89				
19	2033	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	2.13	10.80	14.67				
20	2034	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	3.22	9.71	13.58				
21	2035	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	2.57	10.37	14.23				
22	2036	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	2.79	10.14	14.01				
23	2037	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	3.01	9.92	13.79				
24	2038	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	3.22	9.71	13.58				
25	2039	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	3.45	9.49	13.36				
26	2040	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	3.67	9.26	13.14				
27	2041	20	127.40				2	11.24	11.24	18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	3.88	9.05	12.92		
28	2042	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	4.10	8.83	12.70				
29	2043	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	4.26	8.68	12.54				
30	2044	20	127.40					18.73	1.93	2.75	0.01	2.74	11.2	5.80	12.93	4.35	8.58	12.45				
Total			3,822.00	121.99	99.03	22.96	6	33.72	155.71	561.85	57.78			116.04	33.57	82.25	28.00	201.82	360.03	75.69	284.33	272.65
Electricity Price (at sending end)																		14.10	(¢/kWh)			
WACC of Project																		2.56%				
															Equity IRR		25.5%		Project F.I.R.R.		8.85%	

表 IV-8-14 キャッシュフロー (ダブルフラッシュ 10MW×2)

Model: PLN Tulehu Geothermal Project, Double F															[MM \$]		
No.	Year	Cash Inflow Borrowing (w/lo IDC)	Equity	Cash Flow from Operating Activities				Depreciation		Total	Cash			Balance			
				EBIT	Interest	Tax	Profit	Initial Inv.	Additional Inv.		Investment	Equity	Additional Investment	Repayment Capital	Total	Par	Accumulate
		1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
						[34%]	[2-3-4]			[+5+6+7]				[9+10+11]	[8-12]		
-6	2009																
-5	2010																
-4	2011	16.54	4.69							21.23	16.54	4.69				21.23	
-3	2012	32.57	7.61							40.18	32.57	7.61				40.18	
-2	2013	26.09	5.98							32.07	26.09	5.98				32.07	
-1	2014	23.83	4.68							28.52	23.83	4.68				28.52	
1	2015			10.70		3.64	7.06	6.11		13.17						13.17	
2	2016			10.70	0.32	3.53	6.85	6.11		12.95						12.95	
3	2017			10.70	0.32	3.53	6.85	6.11		12.95						12.95	
4	2018			10.70	0.32	3.53	6.85	6.11		12.95						12.95	
5	2019			10.70	0.32	3.53	6.85	6.11		12.95						12.95	
6	2020			10.70	0.32	3.53	6.85	6.11		12.95						12.95	
7	2021			9.58	0.32	3.15	6.11	1.12		13.33		11.24				2.09	
8	2022			9.58	3.96	1.91	3.71	6.11	1.12	10.93			1.73	1.73	9.20	89.23	
9	2023			9.58	7.26	0.79	1.53	6.11	1.12	8.75			3.40	3.40	5.35	94.58	
10	2024			9.58	9.67		-0.09	6.11	1.12	7.13			4.74	4.74	2.39	96.97	
11	2025			12.93	11.81	0.38	0.74	2.75	1.12	4.61			5.97	5.97	-1.36	95.61	
12	2026			12.93	11.17	0.60	1.16	2.75	1.12	5.03			5.97	5.97	-0.94	94.67	
13	2027			12.93	10.52	0.82	1.59	2.75	1.12	5.46			5.97	5.97	-0.51	94.16	
14	2028			12.93	9.87	1.04	2.02	2.75	1.12	5.89			5.97	5.97	-0.08	94.08	
15	2029			12.93	9.24	1.26	2.44	2.75	1.12	6.31			5.97	5.97	0.34	94.42	
16	2030			12.93	8.59	1.48	2.87	2.75	1.12	6.74			5.97	5.97	0.77	95.18	
17	2031			12.93	7.95	1.69	3.29	2.75	1.12	7.16			5.97	17.21	-10.05	85.13	
18	2032			12.93	7.30	1.92	3.72	2.75	1.12	7.59			5.97	5.97	1.62	86.75	
19	2033			12.93	6.66	2.13	4.14	2.75	1.12	8.01			5.97	5.97	2.04	88.79	
20	2034			12.93	6.01	2.35	4.57	2.75	1.12	8.44			5.97	5.97	2.47	91.26	
21	2035			12.93	5.38	2.57	4.98	2.75	1.12	8.85			5.97	5.97	2.88	94.14	
22	2036			12.93	4.73	2.79	5.41	2.75	1.12	9.28			5.97	5.97	3.31	97.45	
23	2037			12.93	4.08	3.01	5.84	2.75	1.12	9.71			5.97	5.97	3.74	101.19	
24	2038			12.93	3.45	3.22	6.26	2.75	1.12	10.13			5.97	5.97	4.16	105.35	
25	2039			12.93	2.80	3.45	6.69	2.75	1.12	10.56			5.97	5.97	4.59	109.94	
26	2040			11.81	2.16	3.28	6.37	2.75	2.24	11.36			5.97	17.21	-5.85	104.09	
27	2041			12.93	1.52	3.88	7.53	2.75	1.12	11.40			5.97	5.97	5.43	109.52	
28	2042			12.93	0.87	4.10	7.96	2.75	1.12	11.83			4.24	4.24	7.59	117.11	
29	2043			12.93	0.41	4.26	8.27	2.75	1.12	12.13			2.57	2.57	9.57	126.68	
30	2044			12.93	0.14	4.35	8.44	2.75	1.12	12.31			1.23	1.23	11.09	137.77	
Total		99.03	22.96	360.03	137.49	75.69	146.84	116.04	28.00	412.87	99.03	33.72	119.40	275.11	137.77		

第 V 章

V 環境・社会配慮

V.1 環境影響評価およびプロジェクトの環境カテゴリ分類

V.1.1 環境影響評価

インドネシア国法上（省令 No. 17/2001）、出力が 55MW 未満の地熱発電所は AMDAL(環境影響評価、Analysis Mengenai Dampak Lingkungan)の提出が義務付けられていない。本事業の計画開発規模は 20MW であるため、AMDAL の提出は要求されないが、環境省大臣令 No.86 (2002) により環境管理計画 UKL と環境モニタリング計画 UPL は提出する必要がある、UKL と UPL は 2010 年 3 月に作成され、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 プロジェクトの環境カテゴリ

本事業は、「環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン」（2002 年 4 月公布）に掲げる火力発電（地熱）セクターに該当するため、カテゴリ A に分類されている。

V.2 調査地の環境ベースライン

V.2.1 自然環境

1. 資料収集および現地調査

a. 資料収集

プロジェクト計画地最寄りの Pattimura 空港（アンボン空港）気象観測所の 5 年間（2006～2009 年）にわたる気温、降雨量、湿度、風向・風速の観測データを収集した。

Pattimura 空港気象観測所は、プロジェクト計画地から西南に 40km ほど離れたアンボン空港にあるインドネシア気象・気候・地球物理庁（BMKG : Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisica）の観測所である。

b. 現地調査

プロジェクト計画地の環境の現状を把握するために風向・風速、H₂S、騒音および水質の調査を実施した。

各項目の調査地点を図 V-2-1 に示す。

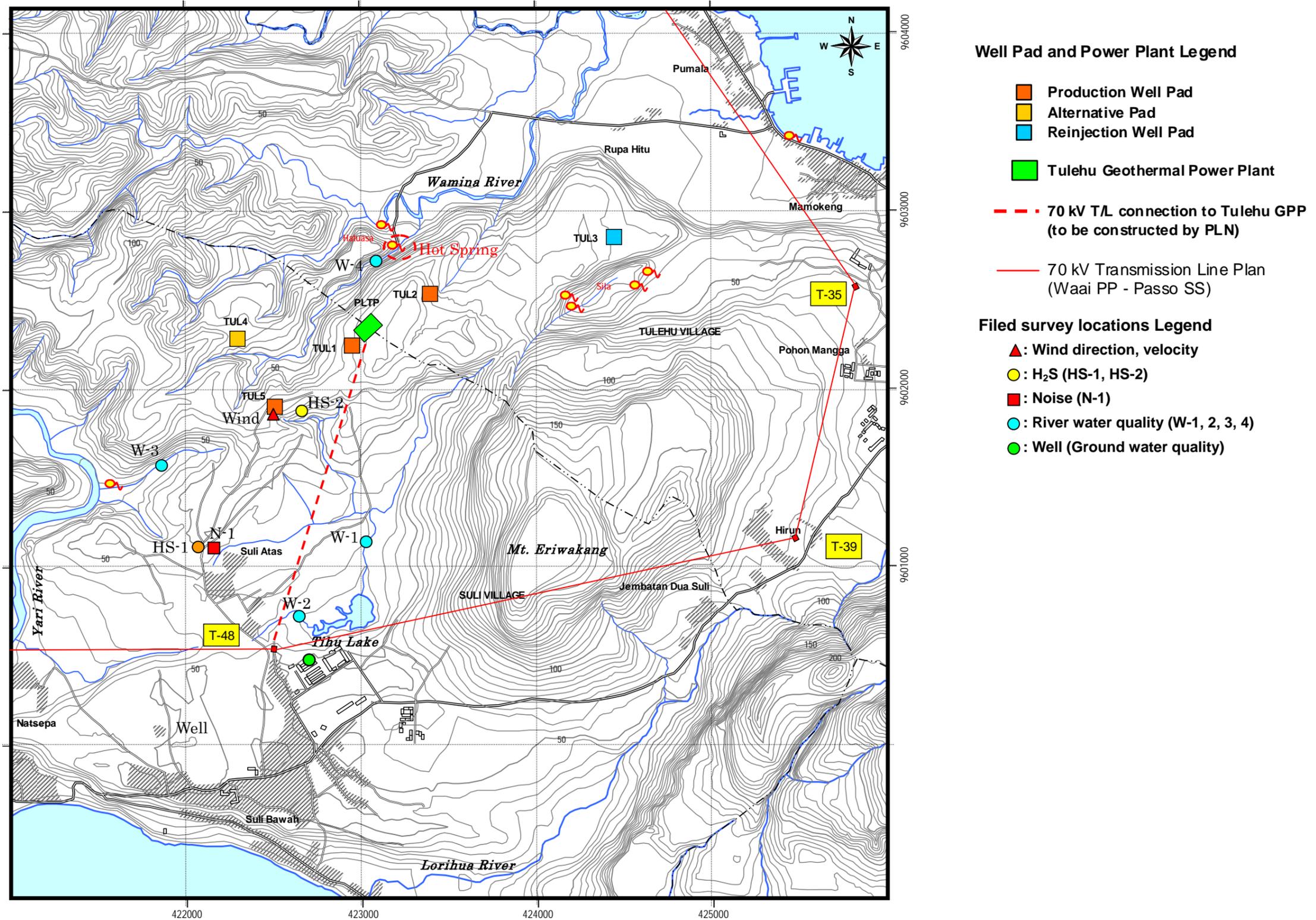


図 V-2-1 プロジェクトの位置および調査地点(JICA Team)

2. 気象

a. 概況

マルク州アンボン地域を含むインドネシアには、乾季と雨季の季節がある。風向は季節と密接に関係があり、6～9月はオーストラリアからの風が吹き、この風は水分が少ないためにインドネシアに乾季をもたらす。12月から翌年の3月まではアジアおよび太平洋から吹く風が雨季をもたらす。このように季節は4～5月（移行シーズンⅠ）および10～11月（移行シーズンⅡ）の移行期間を経て半年毎に変化する。

b. 気温

一般に気温は観測地点の海拔高度や海岸からの距離によって変化する。調査地域の2005～2009年の月平均気温は25.0～27.6℃の範囲にある。年間における月平均最高気温は高い2月が31.8℃で、低い7月が27.5℃である。また、月平均気温と月平均最低気温をみると、1月の27.6、24.2℃が高く、8月の25.0、23.1℃が低くなっている（図V-2-2）。

気温の変化傾向は西モンスーン期に高くなり、移行シーズンⅠを経て東モンスーン期に低くなり、移行シーズンⅡを経て再び上昇する。

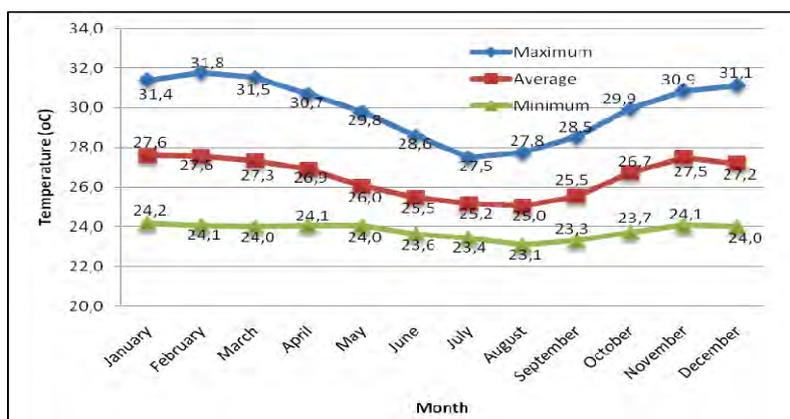


図 V-2-2 2005-2009 における調査地域の月平均、月最大、最小気温の変化

(Source: BMKG)

c. 降水量

マルク州アンボン地域の降水量はインドネシアの西地域とやや異なり、日平均降水量は6月(26.3mm)が多く、3月(6.3mm)が少ない(図 V-2-3)。降水量の年変化の傾向は東モンスーン期に移行シーズンⅡを経て増加し、西モンスーン期に移行シーズンⅠを経て減少する。



図 V-2-3 2005-2009 における調査地域の月平均日降水量の年変化

(Source: BMKG)

d. 湿度

調査地域の月平均湿度は43%~49%の範囲にあり、月平均湿度は79.3%~87.9%である(図 V-2-4)。湿度は西モンスーン期に最低(2月)に達し、東モンスーン期に最高(6月)に達す。また、平気湿度年変化は西モンスーン期に低くなり、その後移行シーズンⅠを経て増加し、東モンスーン期に移行シーズンⅡを経て再び高くなる。

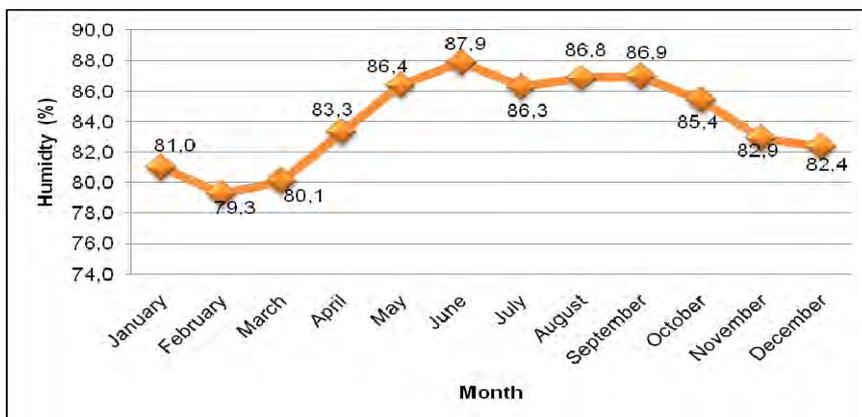


図 V-2-4 2005-2009 における調査地域の月平気湿度の年変化

(Source: BMKG)

e. 風向および風速

観測所の 2005～2009 年の日最大風速における風向の出現回数および頻度を表 V-2-1 に整理した。また、表 V-2-1 による風配図を図 V-2-5 に示す。

年間の最多風向は、南の風が最も多く、出現率が 26.3%となっており、次は南東風で出現率が 22.8%となっている。年間の最少風向は、西と北東の風が最も少なく、出現率が 3.3%および 3.4%となっている。年間の最多風速は 5～10knot/s (1knot/s=0.514m/s) となっており、出現率が全体の 80.8%となっており、5 年間の平均風速は 8.66knot/s (4.45m/s) である。

表 V-2-1 日最大風速における風向の出現回数および頻度 (2005 – 2009)

(Source: BMKG)

Wind Direction	0 – 5 knot		5 – 10 knot		10 – 15 knot		15 – 20 knot		20 – 27 knot		≥ 27 knot		Total	
	F*	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
N	16	0.9	174	9.4	30	1.6	11	0.6	3	0.2	-	-	234	12.6
NE	2	0.1	40	2.2	5	0.3	13	0.7	3	0.2	-	-	63	3.4
E	2	0.1	77	4.1	11	0.6	3	0.2	3	0.2	-	-	96	5.2
SE	10	0.5	369	19.9	42	2.3	-	-	2	0.1	-	-	423	22.8
S	13	0.7	439	23.6	40	2.2	2	0.1	-	-	-	-	494	26.6
SW	4	0.2	255	13.7	79	4.3	17	0.9	4	0.2	3	0.2	362	19.5
W	3	0.2	41	2.2	5	0.3	5	0.3	3	0.2	4	0.2	61	3.3
NW	14	0.8	105	5.7	4	0.2	1	0.1	-	-	-	-	124	6.7
Total	64	3.4	1500	80.8	216	11.6	52	2.8	18	1.0	7	0.4	1857	100

*: Frequency

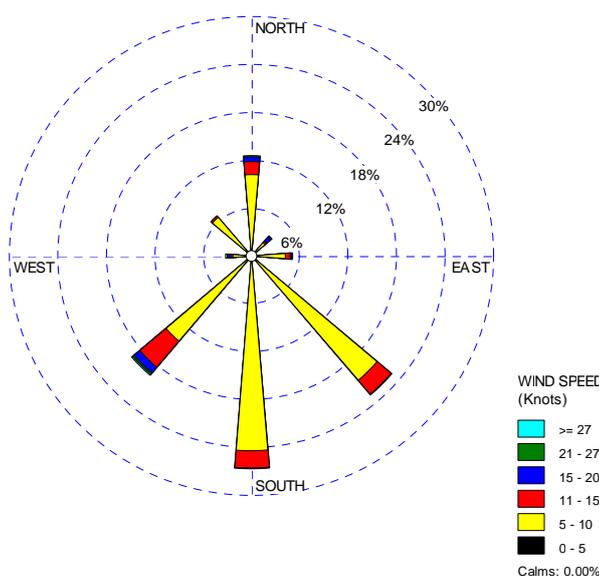


図 V-2-5 風配図 (2005 – 2009)

f. 風向・風速の現地測定結果

現地の風向・風速の調査はスリ (Suli) 村に位置する生産井 TLU-01 地点 (S: 040 10' 22.8" E: 1030 38' 40.0") で 2010 年 10 月 7～13 日にかけて実施し、地上 10m の風向・風速を 5 分間毎に 7 日間観測した (図 V-2-1 参照)。

調査期間における最多風向は、南の風が最も多く、出現率が 20.49% となっており、次いで北の風で、出現率が 18.90% となっている。風速は静穏 (calms) の出現率が 54.6%、1～2m/s の出現率が 30.21m/s、5m/s より大きい風速が 0.05% とほとんどなく、平均風速は 0.92m/s となっている。調査期間の日最大風速における風向の出現回数および風向・風速出現率を表 V-2-2 および図 V-2-6,7 に示す。

表 V-2-2 日最大風速における風向の出現回数および出現率 (2010.7.7 – 2010.7.13)

Wind Direction	1 – 2m/s		2 - 3m/s		3 - 4m/s		4 - 5m/s		≥ 5m/s		Total	
	F*	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
N	280	13.89	82	4.07	18	0.89	-	-	1	0.05	381	18.90
NE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	236	11.71	118	5.85	48	2.38	11	0.55	-	-	413	20.49
SW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	93	4.61	25	1.24	4	0.20	-	-	-	-	122	6.05
NW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subtotal	609	30.21	255	11.16	70	3.47	11	0.55	1	0.05	916	45.44
Calms											1100	54.6
Total											2016	100

*F: Frequency

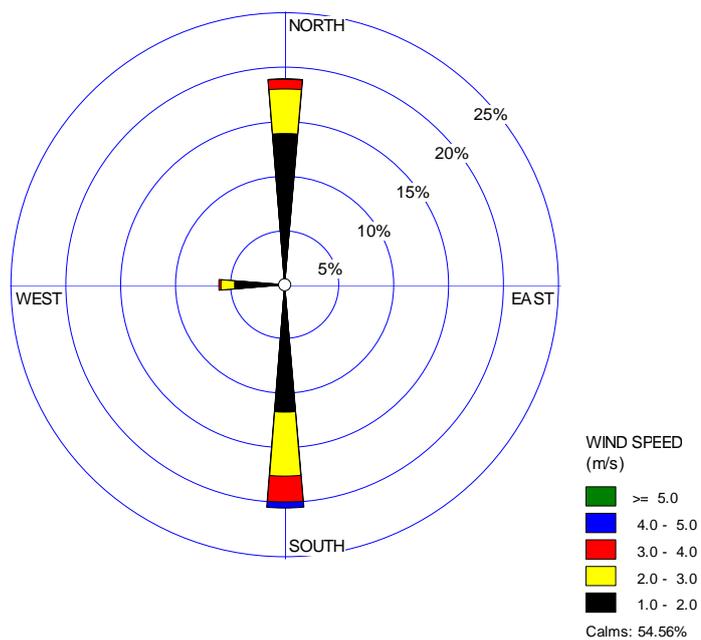


図 V-2-6 風配図 (2010.7.7 - 2010.7.13)

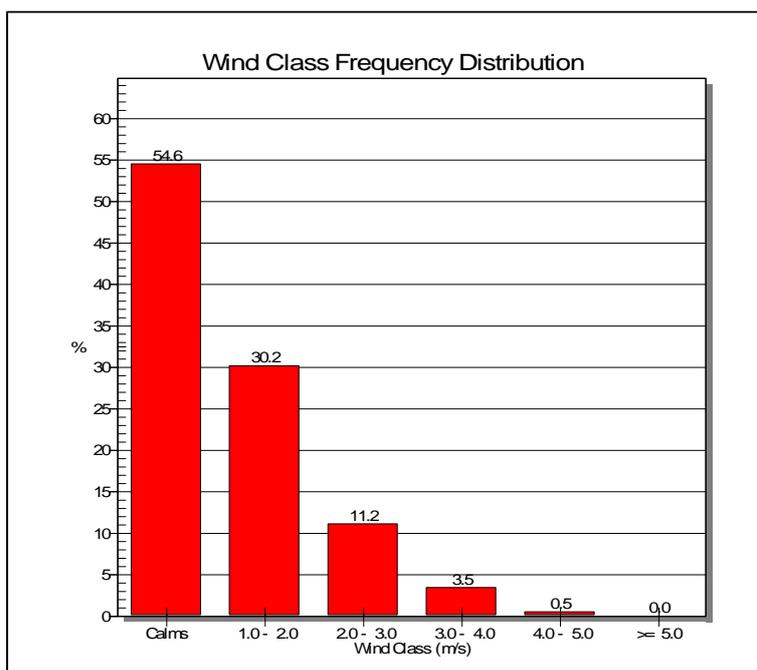


図 V-2-7 風配図 (2010.7.7 - 2010.7.13)

3. 水文学的条件

a. 地表水

調査地域内のスリ村には3つの河川（Waetatiri, Waelorihua と Waeyari River）、一つの池（Tihu Lake）が存在し、トゥレフ（Tulehu）村には2つの河川（Waerutung と Wae Mareta Rive）が存在する（表 V-2-3）。

表 V-2-3 調査地域の河川および湖沼

地域	河川	湖沼
スリ	Yari river (tributary:Waiyari, Waetatiri) and Lori-hua river (Waelorihua)	Tihu Lake
トゥレフ	Wamina river (tributary : Waerutung nad Wae Mareta	-

(JICA Team)

b. 温泉

調査地域周辺の Wamina 川上流に2カ所の温泉施設があり（図 V-2-1 参照）、2カ所共に同じ温泉湧出地点に位置する(S3 35.603 E128 18.506)。

c. 水の利用

調査地域の住民の生活用水は地下水の井戸水と、地方自治体が設置した給水タンクの水である。

PLN によれば、掘削中の TLU-01 の用水は Tihu Lake から取水する計画となっており、村長より Tihu Lake からの取水許可を与えられている。Tihu Lake は現地住民による生活用水としての利用はなく、その他の目的での水の利用もない。また、プロジェクトの他の生産井および発電所用水の取水場所については、坑井の具体的な掘削位置やプラントの具体的計画（必要な水量）等が定まった時点で PLN Geothermal が取水地点を検討する予定である。

4. 大気質

計画地周辺および集落境界の2カ所（図 V-2-1 参照）において H₂S 濃度の24時間測定を実施した。測定結果は2地点共に定量下限値未満 (<0.005ppm) であり、H₂S に係わる臭気基準 0.02ppm (Kep/50/MENLH/11/1989) 以下にある（表 V-2-4）。

表 V-2-4 H₂S の測定結果

項目	基準*	単位	測定結果	
			HS-1	HS-2
硫化水素(H ₂ S)	0,02	ppm	<0,005	<0,005

* : 臭気基準 (KEP.50/MENLH/XI/1996)

HS-1 : 集落境界 (生活走路付近) S : 03o 36' 31.8" E : 128° 17' 54.9"

HS-2 : 計画地地点 (地熱徴候地点) S : 03o 36' 10.2" E : 128° 18' 13.2"

(JICA Team)

5. 騒音

集落境界地点において、24 時間の騒音レベルの測定を行った (図 V-2-1 参照)。昼間、夜および 24 時間の騒音レベルの測定結果は 39~48dB(A)であり、騒音に係わる居住地域の環境基準 (Kep 48/MENLH/11/1996) 55dB(A)以下にある (表 V-2-5)。

表 V-2-5 騒音の測定結果

地点番号	測定場所	測定結果 *			基準**
		L _S dB(A)	L _M dB(A)	L _{SM} dB(A)	
N-1	スリ村北側	48	39	47	55

*: L_S = Value of Leq in daylight (16 hours)

Leq = Equivalent continuous sound pressure level

L_M = Value of Leq in night (8 hours)

L_{SM} = Value of Leq in all day (24 hours)

***: Noise level of quality standards in accordance with the decision of the Ministry of Environment. No. Kep.48/MenLH/11/1996

(JICA Team)

6. 水質

a. 河川・池の水質

水質調査は Tihu 池の流入河川 (W1)、流出河川 (W2) および計画地周辺の Waiyari 川 (W3) と温泉の上流の Tulehu 川 (W4) の 4 地点で実施した (図 V-2-1 参照)。水質の分析結果および環境基準の類型IV (Government Regulation no. 82 year 2001 on Water Quality Management and Control of Water Pollution Class IV) を表 V-2-6 に示す。

調査地点により、BOD、COD、リン、銅、大腸菌および糞便性大腸菌は基準を超えており、これら以外の項目はすべて基準値以下にある。

Waiyari および Tihu 流入、流出地点の水温は 26~26.7℃の範囲にあり、温泉水の流入がある Tulehu 川が 34℃である。

Tulehu 川調査地点では腐敗臭が感じられ、嫌気的な条件になっており、有機物質の指標である BOD、COD は 10.5、31.5mg/L と高く、環境基準の 3mg/L (BOD)、25mg/L

(COD)を大きく超える。BOD、COD が高くなっている原因は周辺からの生活排水の流入が一因であると考えられる。

大腸菌および糞便性大腸菌は全調査地点で基準値を超過しており、飲用不適であり、使用する時に殺菌処理が必要である。

表 V-2-6 河川および池の水質分析結果

No	項目	単位	測定結果				基準値
			W1	W2	W3	W4	
A. PHYSICS							
1	Temperature	°C	26	26.7	26	34	Temperature ± 3°C
B. CHEMICAL							
1	pH	-	6.8	6.8	6.0	7.0	6-9
2	BOD	mg/l	2.3	3.0	1.2	10.5	3
3	COD	mg/l	8.1	12.0	6.2	31.5	25
4	DO	mg/l	7.2	4.3	6.9	4.9	> 4
5	Total Phospate	mg/l	0.2678	0.0120	0.293	0.293	0.2
6	Nitrate	mg/l	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	10
7	Nitrite	mg/l	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.06
8	Cadmium	mg/l	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	0.01
9	Chromium (VI)	mg/l	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	0.05
10	Copper (Cu)	mg/l	0.15	0.28	0.14	0.14	0.02
11	Lead (Pb)*	mg/l	< 0.0040	< 0.0040	< 0.0040	< 0.0040	0.03
12	Sulphate (SO4)	mg/l	118	50	116	137	400
13	Zinc	mg/l	< 0.0078	< 0.0078	< 0.0078	< 0.0078	0.05
14	Cyanide	mg/l	< 0.001	0.005	< 0.001	0.007	0.02
15	Iron (Fe)	mg/l	< 0.0041	0.2631	< 0.0041	< 0.0041	1.0
16	Manganese (Mn)	mg/l	< 0.049	< 0.049	< 0.049	< 0.049	0.5
17	Amoniac (NH3)	mg/l	0.17	0.43	0.110	0.39	1.5
18	Sulfide (H2S)	mg/l	< 0.001	0.06	< 0.001	< 0.001	0.002
19	Floride	mg/l	0.21	0.54	0.36	0.49	1.5
20	Chloride	mg/l	19	9	18	250	600
C. ORGANIC CHEMICAL							
1	Detergent as MBAS	ug/L	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	200
2	Compounds Phenol	ug/L	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	1
D. MICROBIOLOGY							
1	Coliform	MPN/100 ml	59 x 10 ²	52 .x 10 ²	95 x . 10 ²	50 .x 10 ²	5000
2	Fecal Coli	MPN/100 ml	39 .x10 ²	12 .x 10 ²	33 . x10 ²	10 .x 10 ²	1000

Source: JICA Team (Results of Laboratory Analysis. 2010)

b. 地下水の水質

地下水はスリ村の生活用水として使用している井戸から採水して分析した（図 V-2-1 参照）。分析結果と飲用水基準(Minister of Health of Indonesia No. 416/ Men-Kes./Per/IX /1990) を表 V-2-7 に示す。

微生物に関する項目の大腸菌および糞便性大腸菌は 1600 MPN/100ml であり、飲用水基準値の 50 MPN/100ml (no plumbing) を満たさない。これは井戸水が河川や池の水の影響を受けているものと考えられる。

表 V.2-7 地下水の水質分析結果

No	項目	単位	分析結果	基準値
A. PHYSICS				
1	Color	PtCo	< 1	50
2	TDS	mg/l	-	1500
3	Turbidity	NTU	1,43	25
4	Taste	-	No Taste	No Taste
5	Odor	-	No Odor	No Odor
6	Temperature	°C	26,8	temperature ± 3°C
B. CHEMICAL				
1	Mercury (Hg)*	mg/l	< 0,0010	0,001
2	Arsenic (As)*	mg/l	-	0,05
3	Iron (Fe)	mg/l	< 0,0041	1,0
4	Detergent	mg/l	< 0,001	0,5
5	Flouride (F)	mg/l	0,63	1,5
6	Cadmium (Cd)*	mg/l	< 0,0010	0,005
7	Chromium, Val ⁶ (Cr ⁺⁶)*	mg/l	< 0,004	0,05
8	Calcium Carbonate/CaCO ₃	mg/l	45,991	500
9	Chlorida (Cl ⁻)	mg/l	35	600
10	Manganese (Mn)	mg/l	< 0,049	0,5
11	Nitrate (NO ₃)	mg/l	< 0,003	10
12	Nitrite (NO ₂)	mg/l	< 0,002	1,0
13	pH	-	5,5	6,5 - 9.0
14	Selenium (Se)*	mg/l	-	0,01
15	Zinc (Zn)	mg/l	0.0079	15
16	Cyanida (CN)*	mg/l	0,005	0,1
17	Sulfate(SO ₄)	mg/l	< 1	400
18	Lead (Pb)*	mg/l	< 0,0040	0,05
19	Chlorine	mg/l	-	not regulated

20	Phenol	mg/l	< 0,002	0,01
21	KMnO ₄	mg/l	0.002	10
C. MICROBIOLOGY				
1	Coliform	MPN/100 ml	≥ 1600	piping = 10 not piping = 50
2	Fecal Coli	MPN/100 ml	≥ 1600	not required

Source: JICA Team (Results of laboratory analysis. 2010)

7. 動植物

a. 保護動植物

本プロジェクトの UKL、UPL およびプロジェクト地域を管轄するアンボン環境局 (Mr. Yunan Tan, Vice-Coordinator)によれば、プロジェクト開発地域に保護種の生息、生育はない。また、現地踏査からはプロジェクト地域は草地や低木およびサゴヤシ林で、人手が加わり自然性の低い環境であり、貴重な動植物の生息・生育する可能性は低いと判断される。

b. 植物相

調査地域で観察されている現存植物は二次林、湿地林、栽培植物および低木に分類される。

主な種は二次林のクローブ(*Syzigium aromaticum*)、ネムノキ(*Albizia falcataria*)、ハイビスカス(*Hibiscus macrophyllus*)、グメリナ・アルボレア(*Gmelina arborea*)、プライ(*Alstonia spp*)等である。また、二次林に加えて面積が少ないが湿地植生のサゴヤシ(*Metroxylon sp*)が存在し、タイヘイヨウクルミ(*Inocarpus fagiferus*)、ミフクラギ(*Cerbera manghas*)、シダ(*Hymenophyllum sp*)およびサトイモ(*Colocasia sp.*)等がみられる。

ブッシュの主な種はチガヤ(*Imperata cylindrica*)、ヒマワリヒヨドリ(*Eupatorium odoratum*) およびシチヘンゲ(*Lantana camara*)等である。

c. 動物相

野生動物のいくつかの種類は踏査時のインタビューによって存在が確認され、これらを以下に示す。

哺乳類：イノシシ(*Sus scrofa*)、猿(*Macaca spp*)、ネズミジカ(*Tragulus javanicus*)、バーキング ディアー(*Muntiacus muntjak*)等。

鳥類：ニワトリ(*Gallus gallus*)、ブリビス(*Ebubulcus ibis*)、オオバンケン(*Centropus sinensis*)、チメドリ(*Macronus gularis*)、ガラス(*Corvus enca*)、コシラヒゲカンムリアマツバメ(*Hemiprocne comata*)、コシジロヒヨドリ(*Pygnonotus aurigaster*)、アカハラシキチョウ(*Copsychus malabaricus*)。

爬虫類および両生類：アマカサヘビ(*Bungarus fasciatus*)、ミズオオトカゲ(*Varanus salvator*)、ハブ(*Trimeresurus sp.*)等

8. 土地利用

プロジェクト計画地は地理的に乾燥している西中部マルク諸島のアンボンの丘陵地帯に位置する。

2008年の村のモノグラフのデータによると Bandabaru 集落の土地利用は、栽培・植林 (62.27%)、集落・建物 (28.4%)、道路 (3.36%)、墓地 (0.67%)、温泉施設 (0.67%)、オフィス・公共施設 (3.30%)、レクリエーション (1.69%) 等である。

土地利用図 (図 V-2-8) に従えば、本地域を含むマルク地区は自然林、二次林、ブッシュ、乾燥地農業と混合農業地域に分類される。地熱開発地域は混合農業地域に隣接する乾燥地農業地域にある。プロジェクト計画地の北西には保護林が分布しているが、発電所建設計画地点から最も近い領域でも 2km 以上離れており、本プロジェクトにより保護林へ影響が及ぶことは考えにくい。

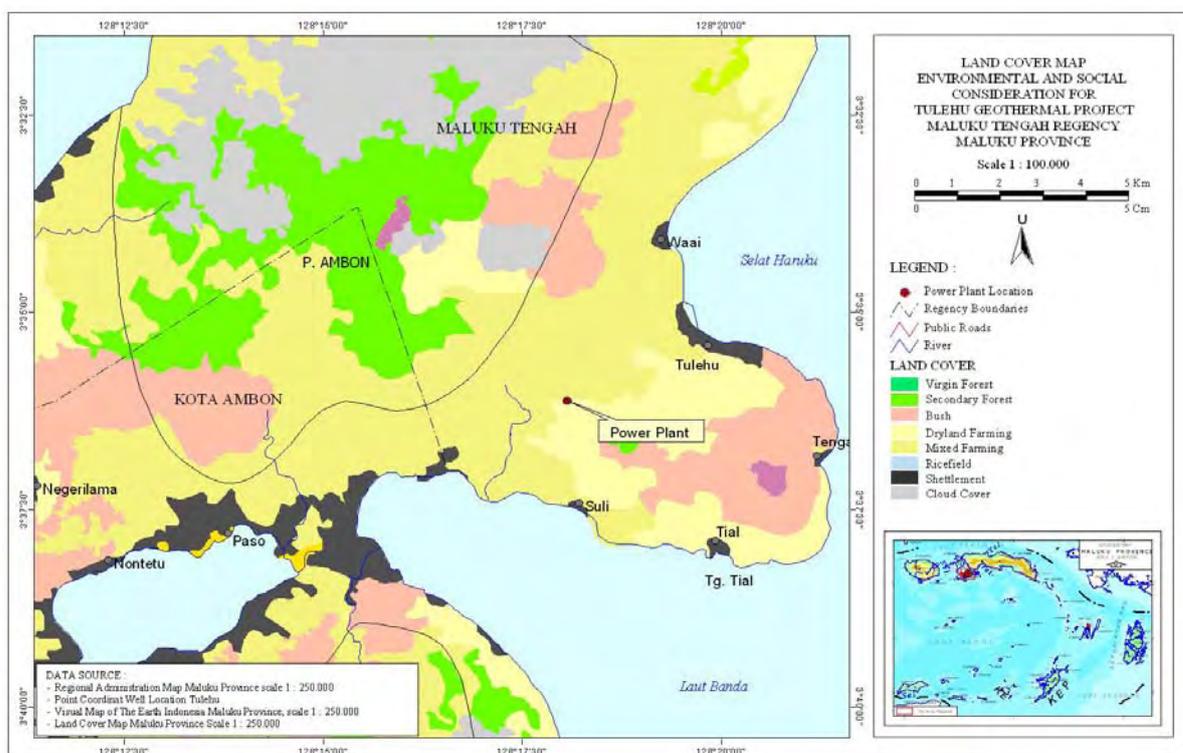


図 V-2-8 土地利用図

V.2.2 社会環境

1. 概況

トゥレフ地熱開発プロジェクト計画地は中部マルク県 (Central Maluku) サラフトゥ (Salahutu) 地区スリ村およびトゥレフ村に位置し、周辺にティアル (Tial) 村がある。

現況把握のための社会環境の調査範囲はスリ村、トゥレフ村およびティアル村の一部とした。

社会・経済・文化等に関しては中部マルク県統計局が 2009 年に刊行した中部マルク県サラフトゥ地区の統計ブックより、人口、経済、文化、保健に関する資料を整理した。

2. 人口

2008 年の中部マルク県の統計によるとサラフトゥ地区の人口は中部マルク県の他の地区に比べて 2 番目に多く、44,603 人であり、総面積は 151.82km²で、人口の密度は 294 人/km²である。

2008 年のサラフトゥ地区の統計によるとサラフトゥ地区ではトゥレフ村の人口が 15,852 人で最も多く、ティアル村の人口は 2,362 人で最も少ない。また、スリ村の人口は 8,896 人である (表 V-2-8)。

家族の平均構成人数は、スリおよびティアル村では 4 人、トゥレフ村では 5 人であり、平均で 1 家族は両親と 2 人或いは 3 人の子供からなっていると考えられる。

表 V-2-8 調査地域の人口

村	男	女	合計	世帯数	密度	世帯人員
スリ	4,419	4,447	8,896	2,186	137	4
トゥレフ	7,835	8,017	15,852	3,457	514	5
ティアル	1145	17	2,362	556	100	4
合計	13,399	12,481	27,110	6,199		4.3

Source: Salahutu in Figures 2008

3. 教育

2008 年のサラフトゥ地区の統計によると、本地区の教育施設は十分である。全ての村で幼稚園レベル教育施設が 1~2 カ所あり、小学校レベルでは 2 校以上がある。学校はスリ村では 5 校、ティアル村では 2 校、トゥレフ村では 12 校があり、各村に中学校は 1~2 校、高校はスリ村とトゥレフ村にある (表 V-2-9)。

表 V-2-9 教育施設

村	幼稚園	小学校	中学校	高校
スリ	1	5	1	1
トゥレフ	2	12	2	4
ティアル	1	2	1	-
合計	4	19	4	5

Source: Salahutu in Figures 2008

4. 保健衛生

保健施設に関しては 2008 年のサラフトゥ地区の統計によると、本地区では病院はトゥレフ村で 1 カ所、公共保健センターはスリ村で 3 カ所、ティアル村で 1 カ所である。

サラフトゥ地区の医療従事者の状況は医師が 10 名で、うちスリ村は 4 名、トゥレフ村は 3 名、他の村は 3 名となっており、准医師は 35 名で、うちスリ村は 15 名、ティアル村は 1 名、トゥレフ村は 13 名、他の村は 6 名となっている。また、本地区の助産師は 20 名で、うちスリ村は 7 名、ティアル村は 1 名、トゥレフ村は 3 名、他の村は 9 名となっており、村の助産婦は各村によって異なり一つの村では 2～15 人である。

調査対象地域の保健医療従事の内訳の詳細を表 V-2-10 に示す。また、表 V-2-11 に調査地域の住民にみられる疾病のランクを示す。

表 V-2-10 保健医療従事者

村	医師	准医師	保健センターの助産師	村の助産婦	他
スリ	4	15	7	12	10
ティアル	-	1	1	2	1
トゥレフ	3	13	3	15	14
合計	7	29	11	29	25

Source: Salahutu in Figure 2008

表 V-2-11 調査地域の住民にみられる疾病のランク

病名	ケース	%
ARI (急性呼吸器疾患)	1982	28,5
下痢	339	4,9
マラリア	748	10,8
口腔の疾患	357	5,1
筋肉組織や結合組織の疾患	281	4,0
皮膚感染	279	4,0
結核(TBC)	250	3,6
他の疾患	900	13

Source : Salahutu in Figure 2008

5. 地域経済と生計

サラフトゥ地区を含む中部マルク県の住民の主な収入源は農林水産業である。中央統計局からの入手可能なデータにより整理した中部マルク県の人々の主な収入源の特徴、および主な分野における 15 才以上の男女人口の就業状況を表 V-2-12 に示す。

表 V-2-12 をみると、農業、林業、漁業、畜産分野では労働力の 58%を吸収しており、主な農産品はトモロコシ、キャッサバ、芋や落花生、プランテーション作物はクローブ、ココナッツである。次に労働力を吸収している分野は貿易、ホテルおよびレストランの 15%である。

表 V-2-12 主な分野における 15 才以上の人口の就業状況

No	主な分野	男	女	合計
1	農業、林業、漁業、畜産	48,339	17,708	66,047 (58%)
2	製造業	3,265	2,403	5,668 (5%)
3	貿易、ホテルおよびレストラン	6,037	11,172	17,209 (15%)
4	公共サービス業	6,537	4,787	11,324 (10%)
5	その他（鉱業、採石および電気）、ガス、水道、建設、運輸、金融等	12,349	1,041	13,390 (12%)
	合計	76,527	37,111	113,638 (100%)

Source: Central Maluku in Figure, 2009

6. 民族構成および宗教

中部マルク県の都市部および各地区の中心市街部の住民の民族構成は不均一であるが、農村部の住民の多くはモルッカ諸島の民族である。計画地周辺の住民は 2001 年よりバンダ島から移住してきた移住民である。

サラフトゥ地区の住民の宗教はイスラム教とキリスト教であり、スリ村の人口のほとんどがクリスチャンであり、トゥレフ村の人口のほとんどがムスリムである。

宗教施設は、スリ村には教会が 33 か所、12 のモスク、21 の礼拝場があり、トゥレフ村には 57 のモスク、47 の礼拝場、教会が 15 か所にある。ティアル村には 9 か所のモスク、17 か所の礼拝場、教会が 2 か所にある（表 V-2-13）。

表 V-2-13 調査地域の宗教施設

Village	Mosque	Musholla (small mosque)	Church
Suli	12	21	33
Tulehu	57	47	15
Tial	9	17	2
Total	78	85	50

Source: Salahutu in Figure 2008

7. 用地取得計画

a. 法的枠組みとプロセス

インドネシアにおいては、公益事業開発における土地の取得は 2005 年の大統領令第 36 号（2007 年の大統領令第 65 号によって同法改正）に基づき 2007 年の同法の実施方法を定めた国土庁長官令第 3 号に従って実施される。

PLN による土地の取得の主なプロセスは以下ようになる。

- 1ha 以下の土地ならば、PLN が直接土地のオーナーと交渉し、価格について合意に至った場合に代金を支払って土地を取得する。
- 1ha 以上の土地ならば、土地の取得交渉のために自治体により最大 9 名の委員からなる用地調達委員会が設置される。
- 用地調達委員会が PLN の代わりに金額の交渉を行う。PLN は、委員会とオーナーの間で合意した金額を土地の対価として支払う。1ha 以上の土地を購入する場合には、PLN には購入金額を決定するプロセスに携わることができない。

b. 実施体制

用地取得の PLN の実施体制を図 V-2-9 に示す。

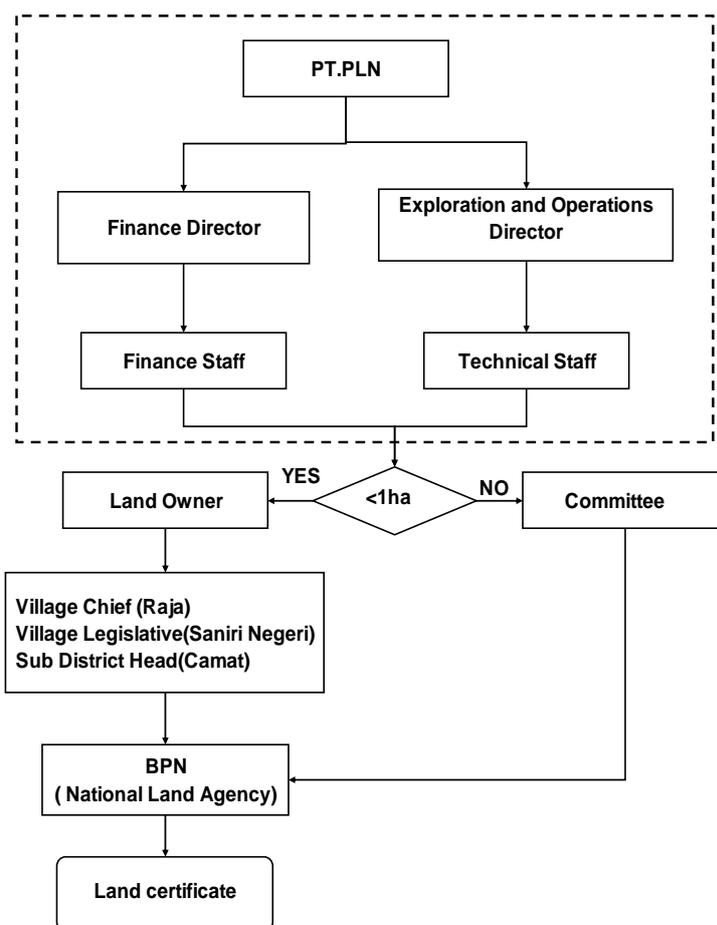


図 V-2-9 用地取得実施体制

c. 実施スケジュール

本プロジェクトにおける用地取得の予定スケジュールを図 V-2-10 に示す。

LAND ACQUISITION SCHEDULE

Activities / Month / Weeks	Oct-11				Nov-11				Dec-11				Jan-12			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Coordination with local office, establishing committee 9																
Process of land acquisition by committee 9																
Measurement by local office of National Land Agency (Badan																
Clarification by BPN																
Payment																

図 V-2-10 本プロジェクトにおける土地取得の予定スケジュール

(Source: PT. PLN)

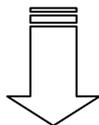
d. 計画用地

UKL および UPL によると本プロジェクトは合計約 7ha の用地が必要とする。PT.PLN の質問回答書によるとプロジェクト地の土地の全ては 12 の所有者が所有しており、これらの土地は耕作してない可耕地である (表 V-2-14)。

PLN-GE によれば、土地の買収および補償は村長および地域コミュニティのリーダーらの参加で行われる。スリ村長のインタビューによればスリ村における土地の価格については全ての所有者の同意を得られ、補償は順調に進むでしようとしている。

表 V-2-14 用地面積および特徴

用地の現況				
土地の法的所有者状況	取得する用地の面積(ha)	土地や資産に影響を与える世帯数	移転世帯数	影響を受ける店、工場、事業所数
法的所有	約 7 ha	12 家族	-	-
違法所有	-	-	-	-
その他	-	-	-	-
合計	-	12 家族	-	-



取得する用地の特徴(単位: ha)			
住宅地	可耕地	公有地	Total
-	約 7 ha	-	約 7 ha

注: 現在の計画における予定用地面積

Source: PT.PLN

8. 社会・経済調査

a. 調査方法

プロジェクト地域の社会経済の現況調査はアンケートを使用して 2010 年 10 月 2～7 日に実施した。

調査地域はプロジェクトが立地するスリ村、トゥレフ村および周辺のティアル村を対象とした（図 V-2-11）。

調査はスリ村に 150 通、トゥレフ村に 90 通およびティアル村に 60 通の計 300 通のアンケートを用い、調査員による住民の家庭を訪問してアンケートに従って質問し回答を記入する方式で行った。

b. 回答者

アンケートの回答者は男性 216 人、女性 84 人であり、宗教の信仰はイスラムが 160 人、クリスチャンが 140 となっている。回答者の 70%程度は 10～40 年間住んでいる住民で、40 年間以上住んでいる住民も 13～18%程度となっている。回答者の家族構成人数は以下のとおりである。

1～2 人は 30～35%程度

3～5 人は 35～50%程度

6 人以上は 18%程度

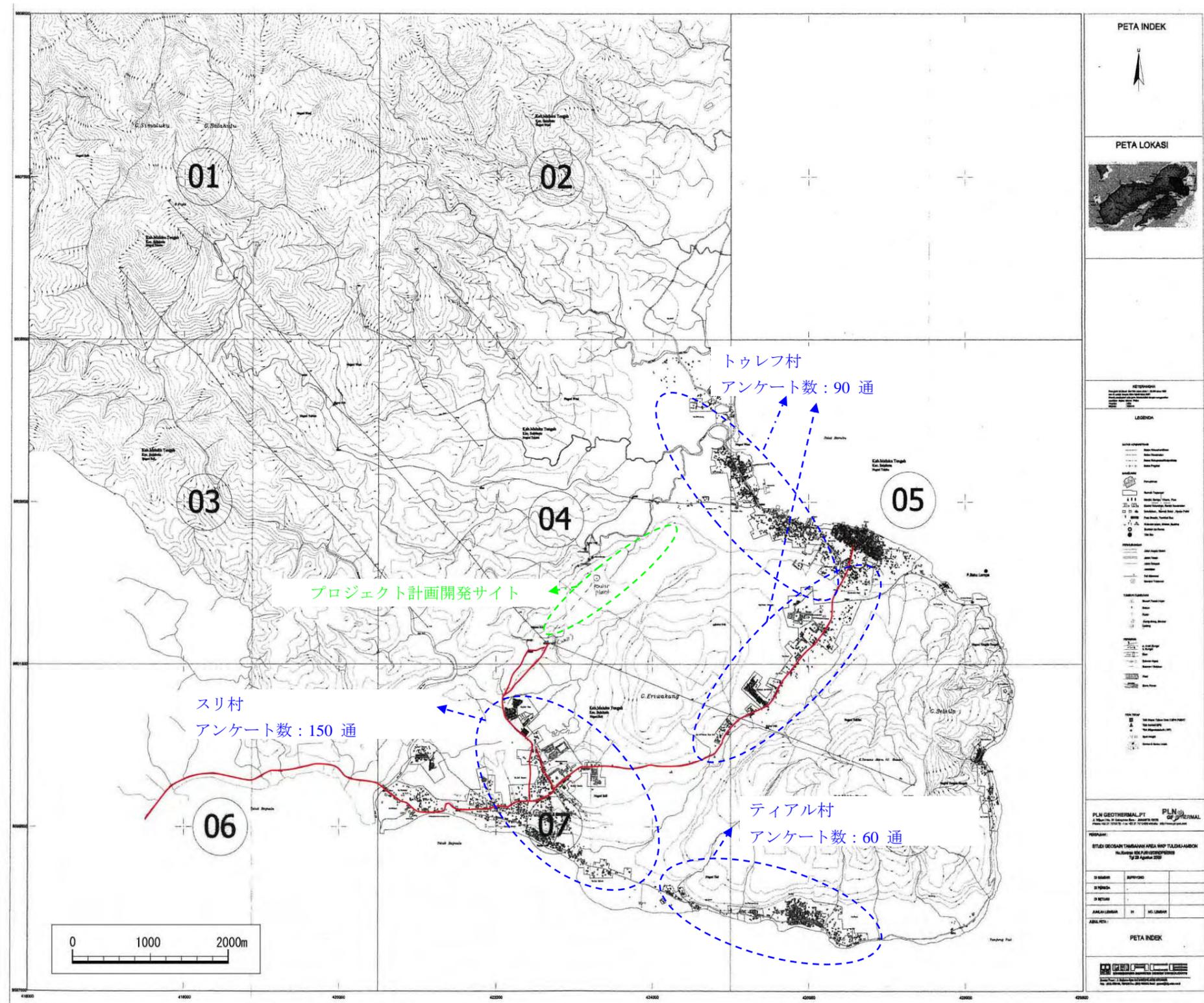


図 V-2-11 社会経済調査地域

c. 調査結果

a) 教育

アンケート回答者の識字率はスリ村では 99.5%、非識字率は 0.5% であり、トゥレフおよびティアル村では全てが識字者であった。アンケート回答者の教育レベルは 46~56% は高校卒業、23~34% は中学卒業、7~10% は小学卒業、6% は大学卒業である。70~80% の回答者は公立学校、20~30% は私立学校または宗教系の学校（イスラム神学校や教会学校）である。

b) 経済状況

サブサラフトゥ地区の住民の多くは農業に従事しており、主にキャッサバ農家、ココナツ農家、グローブ農家である。キャッサバ、サツマイモといった食用作物が栽培されており、稲作地はない。

80~90% の回答者の収入源は農業からで、残りの回答者の収入源は民間企業従業員、公務員であり、3~4% の回答者は定職に就いていないか求職中であった。

ジャングル周辺の集落の回答者の一部は、ユーカリの葉の採集によって生計を立てていると回答しており、一日あたり各家族は 40~50kg のユーカリを採集することが可能で、1kg あたり 500 ルピアの収入になるとの回答であった。

アンケート回答者の世帯収入における両親（父、母）の寄与については 92~98% が世帯主の父の方が多いと回答しており、母と回答しているのは 2~8% で、そのほとんどは夫を亡くした母子家庭である。

今年の家計の経済状況は昨年と比べると悪くなったと感じている回答者が多いが、一方、10~25% の回答者は変化がないと回答している。回答者の多くは生活道路の破損、大幅な食料品価格の上昇、および一般家庭の生活苦に対して政府の関心が薄いことを主張している。

また、今年の家計の経済状況は去年より良くなったと感じている回答者は自治体間において違いがみられ、スリ村の回答者の 80%、トゥレフおよびティアル村の回答者 40% が良くなっていると回答している。同様に昨年からの国の経済状況の変化について、スリ村の回答者は楽観的で 70% が良くなっていると回答し、トゥレフ村は 48%、ティアル村では 40% の回答者が良くなっていると回答している。

c) 土地・住宅所有

土地、住宅の所有について、多く（80% 程度）は回答者自分の土地と住宅を所有、8% 程度は借家、13~20% は親族の土地に家を建ており、このうち 2~8% は一時的に住んでいると回答している。彼らの所有する住宅は木材で作ったシンプルな家屋で、1~2 部屋は 58~69% 程度、3~4 部屋は 22~32%、5~6 部屋は 7~8% 程度である。

回答者の各家族の所有する土地の面積はスリ村では比較的小さく、70% 以上は 0.5ha 以下と回答している。また、回答者の 15% は 0.5~1ha、12~16% は 1ha 以上の土地を所有していると回答している。

回答者によれば、狭い土地を所有している住民は、無許可で他人の土地を耕作し、主にキャッサバ、トモロコシ、落花生、バナナなどの果物や、野菜を栽培している。

d) 衛生・保健

家庭の飲用や炊事等の生活用水の水源については、スリ村住民の回答者の 90%が井戸水を使用しており、乾季の渇水時に川の水を使用している。トゥレフおよびティアル村の住民の回答者は生活用水の 88%が川の水、12%が井戸水を使用している。

e) プロジェクトの認知

地熱開発プロジェクト計画に関してはスリ村の 40～45%の回答者が知っており、45～55%の回答者が知らないと答えた。また、トゥレフおよびティアル村の住民の回答者の 70%は知らないと答えた。

プロジェクト計画の存在を知っていた回答者の 40～60%は村で実施された PLN Geothermal による説明会によって知ったと回答し、他は F/S 調査時のコンサルタントの調査員からと回答している。また、地熱発電所が村に建設されることで電力供給の改善や雇用の増加による生活水準の向上に繋がると認識しているようである。なお、プロジェクト実施によって村へもたらされる便益について、54～84%の回答者が上水道、生活道路等のインフラ整備や雇用機会を望むと回答している。

他の回答者の 35～45%も村で地熱発電所の開発により安い電気料金の使用をできるや、25～32%はプロジェクトの労働者として従事できる等のことに期待している。また、74～82%の回答者は特別な職種を除いて外部からの労働者の雇用に同意しないと回答している。

回答者の 75～80%は、説明会や他人を通じて得られたプロジェクトに関する情報が不十分であり、プロジェクトに関する説明会での説明は限られた時間で不完全だったとしている。また、彼らは実際に地熱発電所からの廃棄物や用水の詳細や、プロジェクト計画地周辺のコミュニティへのメリットを知りたいとしている。

説明会に参加していないアンケート回答者は、説明会の開催に関する情報や通知が得られなかったと回答している。これは説明会の準備時間が 2 日間程度と短かったためであると考えられる。

V.3 環境影響評価と緩和策

V.3.1 環境影響評価項目の選定

現地踏査や PLN が作成した UKL および UPL を踏まえ、地域の特性、事業の特徴を考慮し、本プロジェクトの実施により想定される環境影響項目および影響の分析結果を表 V-3-1 に示す。

なお、影響が大きいと想定される項目の緩和策の検討を次項で調査段階、建設段階および供用段階に分けて実施した。

表 V-3-1 想定される環境影響項目の評定および影響の分析

項目	評定	影響の分析	緩和策の検討
大気質 (H ₂ S)	A	発電所の冷却塔から排出される H ₂ S による周辺集落における環境影響が想定される。 UKL および UPL で H ₂ S については予測を実施されているが、予測計算に使用されている諸元の根拠は不明であり、具体的計画を決まった後に再検討が必要である。	次項で検討する。
水質	A	計画地周辺に河川や池があり、坑井掘削時の泥水の発生や供用時に発生する排水による河川や池への影響が想定される。また、工事期間に工事濁水および一時裸地化した場所から雨水による濁水が想定される。	次項で検討する。
騒音	A	計画地周辺に集落があり、調査時における地熱流体の噴出時に発生する騒音や建設機械の稼働において発生する建設作業騒音が想定されるが、一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。 供用時の影響については、冷却塔、蒸気タービン、発電機等からの騒音が想定され、近傍集落における環境への影響が想定される。	次項で検討する。
土壌汚染	B	還元設備が未完成である調査段階においては、熱水が周辺に漏れて、土壌汚染につながる懸念される。	熱水は浸透防止策が取られた貯留池に一時溜め、還元設備が完成した後に還元井により地下深部に還元する。
廃棄物、 有害物質	A	工事中に産業廃棄物(掘削汚泥、廃材)の発生が想定される。 土木工事に伴う土砂が発生することが想定され、減量化、土捨場への適正処分等の検討が必要と	次項で検討する。

		なる。	
水利用	B	坑井掘削、土木工事用水および供用時の発電所用水取水により、河川流量、池の水位に影響を及ぼす可能性が予測される。	取水を行う水源（池、河川、地下水）についてモニタリングを実施し、河川水量、池の水位の大きな変動等を生じないような範囲での取水に努める。
動植物生態系	B	計画地周辺に稀有種、固有種等の保護生物の存在は確認されてない。現地は低木・草地およびサゴヤシ林であり、人手が加わり自然性の低い環境である。プロジェクトの実施による動植物や生態系の影響が小さいと考えられる。 また、工事による水域環境の改変はほとんどなく、水質対策実施により排水による水域生物の影響は小さいと考えられる。	特段の配慮は必要がないと考えられるが、影響が生じる状況が判明した場合には建設工事の実施にあたって、動・植物の生息、生育場所の保全に努める。
森林および保護区	D	プロジェクト地域には森林法による保護区域や自然公園等の保護区域はない。	—
住民の移転	D	プロジェクト実施による住民の移転は想定されない。	—
用地の取得	B	1) 用地について UKL および UPL によれば、本プロジェクト全体で約7ha の用地を必要とする。 2) 計画地および周辺の 7ha 土地の全ては 12 のオーナーが所有している私有地である。 3) 土地の全ては利用されていない可耕地である。 4) PLN はすでに1ha の用地を取得済みであり、1ha を借りている。今後は必要に応じて用地を順次買収していく予定である。 5) 用地のオーナーは本プロジェクトに特に反対していない。 6) 計画地は全て利用されていない土地であり、また、オーナーの一部分は本地区以外に住んでいるために用地取得による地域住民の生活への影響は小さいと考えられる。	用地取得により生活に影響が生じる住民がある場合には、生活手段として代替地の準備や必要に応じてプロジェクトへの優先雇用等に努める。
少数民族、先住民	D	プロジェクト地域には少数民族や先住民はない。	—

Rating;

A: Serious impact is expected,

B: Some impact is expected,

C: Extent of impact is unknown,

D (or No Mark): No impact is expected. IEE/EIA is not necessary.

V.3.2 緩和策の検討

1. 調査期間

a. 大気汚染

a) H₂S

掘削した坑井から発生するガス、蒸気の量および成分は場所、貯留層の圧力、熱水の温度条件等によって異なる。地熱貯留層から得られる蒸気の量、温度等を評価するため、噴出の観測、測定等を行う必要があり、この試験期間中に噴出する地熱流体に含まれる H₂S の周辺への一時的な影響が考えられる。

b) 対策

坑井からガスの噴出について、試験後に速やかに施設との連結を行い、噴出状態のまま放置しない。

b. 騒音

a) ガスの噴出

坑井掘削機械(発電機、泥水排出ポンプ、コンプレッサー等)や資機材輸送車両、坑井からの大気への蒸気噴出時の騒音等がある。これらは一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。

b) 対策

噴出試験時における騒音については、サイレンサーの設置により、騒音の低減を図る。

c. 水質汚染および対策

a) 排水

坑井掘削工事中に少量の泥水、噴出流体から分離した熱水の発生が考えられる。また、坑井掘削工事中に、し尿を含む生活排水の発生が考えられる。

b) 対策

坑井掘削工期中に発生する泥水は、浸透防止策が取られた貯泥池に溜めて上澄みの再利用や蒸発処理を行う。また、坑井から分離した熱水は浸透防止策が取られた貯留池に一時溜め、還元井により地下深部に還元する。

なお、し尿を含む生活排水については、発生量は少なく、一時的なものであるため、特に処理する必要はないと考えられるが、状況により処理が必要になった場合は、浄化槽等による処理が考えられる。

d. 廃棄物

a) 掘削汚泥

坑井掘削に伴う汚泥が生じる。これまでの経験から汚泥の発生量は坑井 1 本あたり 200～300m³（脱水後）程度である。

b) 対策

坑井掘削に伴って生じる汚泥は、浸透防止策が取られた貯泥池に貯め、法律（Government Regulation Number 74 Year 2001 concerning Hazardous and Toxic Material Waste Management）に従って適切に処理する。

2. 建設工事期間

a. 騒音

a) 建設機械、車両通行

建設機械、資機材運輸車両等による発生する騒音が考えられるが、一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。

b) 対策

騒音が発生する工事の集中や資機材運輸の集中を避ける等騒音の低減に努める。

b. 水質汚染

a) 排水

工事期間に工事濁水や一時裸地化した場所から浸食による濁水の発生が考えられる。また、建設工事中に、し尿を含む生活排水の発生が考えられる。

b) 対策

工事に伴う濁水は、必要に応じて仮設沈殿池で処理したのち、放流する。また、し尿を含む生活排水については、浄化槽等による処理した後に排出する。

c. 廃棄物および対策

a) 廃棄物

建設工事中に建設廃材や掘削土等の発生が考えられる。

b) 対策

廃棄物全般について適切に有効利用する等、発生の低減を図る。

工事現場にコンテナを設置し建設廃材(ゴミ類等)の分別回収を行う。回収する配管、ワイヤー、金具等の金属類は地元の需要が高く、業者による引き取りが可能である。それ以外のプラスチック、ビニール、ガラス等は法律（Government Regulation

Number 74 Year 2001) に従って処理する。

また、コンクリート、レンガ等の建設廃棄物については、現地において土捨場を設けて適切処理を行う。

掘削土等は、基礎工事の埋戻し、関連施設の建設、植栽の整地等場内で調整する。

3. 供用期間

a. 大気汚染

a) H₂S の排出

地熱発電所運転時の大気汚染および悪臭の対象となる物質としては H₂S（硫化水素）がある。

本プロジェクトの調査井では噴出試験が実施されていないため、地熱流体に含まれる H₂S の濃度のデータが得られていない。PLN の作成した UKL および UPL では、H₂S の排出規制値 (35mg/m³) を用いてシミュレーションが実施されているが、モデルに入力した発電所の冷却塔の諸元が示されていない。発電所からの H₂S の影響については、今後の調査で得られた地熱流体に含まれる H₂S の濃度および発電所諸元に基つき拡散モデルによるシミュレーションや風洞実験等を行った上で評価する必要があると考えられる。

b) 対策

以下では既存の地熱発電所事例により、H₂S の影響を考えることとする。

一般に地熱蒸気に含まれる H₂S は、復水器からガス抽出器により抽出し、冷却塔頂部に導き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、世界中の地熱発電所で採用されている標準的な手法であり、ほとんどの場合は H₂S の着地濃度を十分に低減することができる。

参考として、日本の地熱発電所における H₂S 排出量および最大着地濃度の風洞実験結果を表 V-3-2 に示す。

c) その他

インドネシアでは H₂S について省令 (KEP-50/MENLH/11/1996) により臭気環境基準が定められている。また、省令 (KEP-13/MENLH/3/1995) により固定発生源からの排出規制が制限され、地熱発電所からの H₂S の排出濃度が規制されている (表 V-3-3)。臭気環境基準の省令では基準の適用地域についての説明がなく、住居がない地域や地熱徴候地帯等の温泉地域にも等しく適用されることになるが、臭気環境基準が制定されているほとんどの国では基準の適用からこれらの地域を除外している。また、省令では基準の評価時間についても示されていないのは大きな問題であり、一般的には臭気は一瞬 (数秒) の濃度を用いて評価するものであると考えられるが、本基準を適用する場合は用いる評価時間が不明となる。WHO (世界保健機関) 大気質ガイドライン (Air Quality Guidelines-Second Edition) では H₂S の人体に対する影響を 24 時間平均で 150μg/m³ (0.1ppm) 以下としており、本プロジェクトにおける H₂S の周

辺地域への影響は WHO のガイドライン値を用いて評価することが推奨される。

表 V-3-2 日本における地熱発電所から排出される H₂S 濃度の風洞実験結果

発電所の出力(MW)	冷却塔 出口 H ₂ S 排出濃度(ppm)	H ₂ S 排出量 (m ³ N/h)	風洞実験結果	
			H ₂ S 最大着地濃度距離 (m)	H ₂ S 最大着地濃度 (ppm)
A (27.5)	約 62 (夏期) 約 120 (冬季)	約 58	100~500	0.030~0.060
B (50)	約 14 (夏期) 約 120 (冬季)	約 140	100	0.006~0.008
C (65)	約 49 (夏期) 約 110 (冬季)	約 720~730	300~800	0.141~0.193
D (55×2)	1号 約 8.0~10.3 2号 約 6.1~7.3	1号 65 2号 63	100~300	0.006~0.007 (1, 2号合計)
E (30)	約 21 (夏期) 約 20 (冬季)	約 83	~240	N.D~0.001
F (50&30)	1号 約 2.9~11.6 2号 約 2.7~7.0	1号 約 41 2号 約 23	120	0.091~0.009 (1, 2号合計)

Source: 原口信宏、地熱 Vol.32 No.1 (Ser.No.136), p57-69, 1995

表 V-3-3 インドネシアにおける H₂S の基準

項目	単位	H ₂ S
排出規制基準 ¹⁾ (総排出量)	mg/m ³	35
臭気基準 ²⁾	ppm	0.02

Source : 1) Decree of the State Minister for Environment concerning Emission Standards for Stationary Sources (KEP-13/MENLH/3/1995)

2) Decree of the State Minister for Environment concerning Offensive Odor Level Standards (KEP-50/MENLH/11/1996)

b. 騒音

a) 騒音の予測

本プロジェクト計画地周辺の至近集落は、プラント計画地から南西約 1300m に位置するスリ村である。また、プラント計画地から北約 700m の地点に温泉施設がある。これらの地点の発電所供用時における騒音の影響については確認する必要がある (図 V-3-1)。

地熱発電所の発電設備および施設における騒音の発生源として蒸気タービン、発電機、復水器、冷却塔、冷却塔ファン等がある。既存の地熱発電所の測定結果では、

これらの騒音源の中で冷却塔の騒音が大きい。

本プロジェクトの地熱発電所稼働により温泉地点および集落地点への騒音の影響について予測を実施した。予測地点および予測結果は表 V-3-4 に示すとおりである。

予測では同規模の 20MW 地熱発電所の主要騒音源の騒音レベルの検討結果より、音源は計画発電所の冷却塔の騒音とし、既存の同規模の地熱発電所の冷却塔の騒音レベルの測定値を用いた。

発電所稼働による温泉地点の騒音レベルの予測値は 52dB、スリ集落の騒音レベルの予測値は 48dB である。

b) 評価

現況騒音の調査結果 47dB(24 時間) に比して温泉施設は 5dB、スリ集落地点は 1dB 大きくなると予測され、表 V-3-4 に示すインドネシアの住居地域における環境基準値 (55dB) を満足する。従って、発電所稼働に係わる騒音の、温泉施設および至近集落に対する影響は軽微なものであると考えられる。

表 V-3-4 予測地点および条件等 (JICA 調査チーム)

項目		内容
予測地点		温泉施設、スリ集落
計画地からの距離		温泉施設：約 700m スリ集落：約 1300m
音源		地熱発電所計画地
予測条件		距離減衰と大気吸収のみ考慮
現況環境騒音		47dB (24 時間)
予測結果	スリ集落	48dB
	温泉施設	52dB
環境基準*		55dB (住居)

*: Noise level of quality standards in accordance with the decision of the Ministry of Environment. No. Kep.48/MenLH/11/1996.

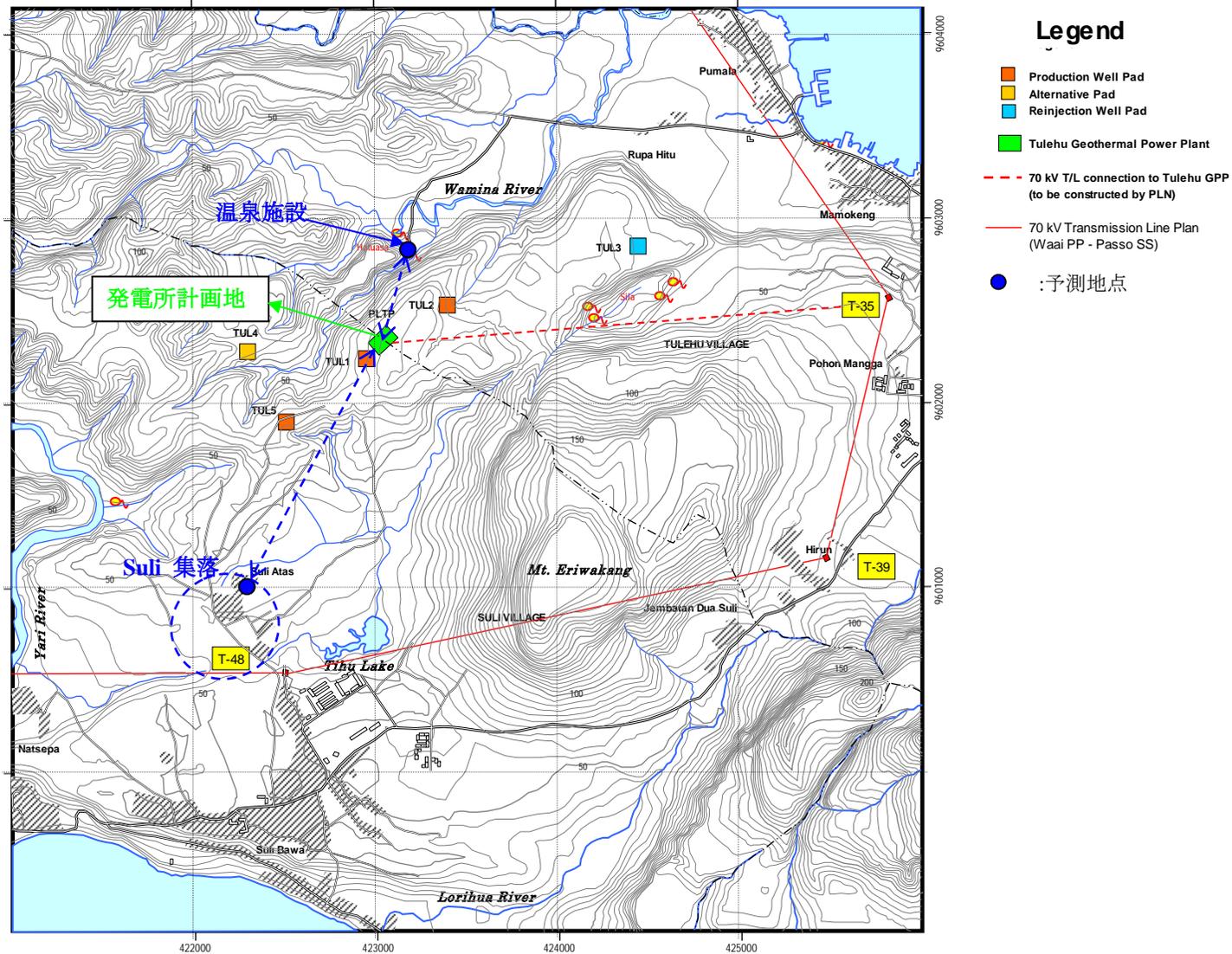


図 V-3-1 騒音予測地点

c. 水質汚染

a) 排水

地熱発電所からの排水として気水分離器で分離した熱水、冷却塔からの冷却排水および一般排水が考えられるが、分離した熱水は還元井により地下に還元される計画である。

b) 対策

冷却塔オーバーフロー水（地熱蒸気の凝縮水）は、地熱蒸気（蒸気の中に不純物は含まれない）の凝縮水であり、熱水の化学的な性質にかかわらず水質的には良好で再利用が望ましい。再利用しない場合は無処理のまま排水しても全く問題はない。

一般排水のうち、生活排水は排水処理施設を設け、処理して排水する。

油分等を含む排水は排水槽に集め、油分を分離等適切な処理をした後に排水する。

d. 廃棄物および対策

a) 廃棄物

プラントの維持管理に伴い発生する廃棄物としては、一般廃棄物、冷却塔スラッジ、廃油がある。これらの廃棄物については周辺環境に影響を与えないように配慮する必要がある。

b) 対策

i- 一般廃棄物

一般廃棄物は前述の建設時と同様に分別し回収し、金属類木材は業者による引き取りが可能である。それ以外（コンクリート、レンガなど）は廃棄物に関する法律（Government Regulation Number 74 Year 2001）に基づいて現地で集積場を設けて処理する必要がある。

ii- 冷却塔スラッジ

水分を分離し乾燥した後、廃棄物に関する法律（Government Regulation Number 74 Year 2001）に従い、現地で浸透防止策が取られた貯泥池を設けて埋め立処分し、放置しない。

Organic and drilling sludge's will be disposed of in a sanitary landfill

iii- 廃油

タービン油および潤滑油の廃油については廃棄物に関する法律（Government Regulation Number 74 Year 2001）に基づき、適切に貯蔵した後、定期的に専門業者に処理を委託して処分する必要がある。

V.4 代替案の検討

V.4.1 代替案

本プロジェクトには以下に示す提案があり、これらの計画案の環境への影響について検討する。複数案の検討結果を表 V-3-1 に示す。

2 x 10 MW シングルフラッシュシステム

1 x 20 MW シングルフラッシュシステム

1 x 20 MW および 2 x 10 MW ダブルフラッシュシステム

表 V-4-1 複数案の検討結果 (JICA 調査チーム)

環境項目	2 x 10 MW シングルフラッシュ システム	1 x 20 MW シングルフラッシュ システム	1 x 20 MW およ び 2 x 10 MW ダブルフラッシュ システム*
大気(H ₂ S)	A	A	B
騒音	A	B	B
水質	B	B	B
廃棄物	A	A	B
自然環境	A	A	B
景観	C	C	C
住民の移転	A	B	B
雇用や生計手段等の 地域経済	B	B	B

A: 影響が大きい

B: 影響がある

C: 影響が想定されない。

*: 1 x 20 MW および 2 x 10 MW ダブルフラッシュシステムの環境への影響はほぼ同程度であるために同じとする。

V.4.2 ゼロオプションと開発計画の比較

調査地域の主な電源はディーゼル発電によって賄われており、既存のディーゼル発電所起因の環境問題は深刻である。本プロジェクトはディーゼル発電所の一部分電源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は以下のことが予測される。

- ・ ディーゼル発電所起因の諸環境問題の改善はできないため、汚染が進行する。
- ・ 電力不足のためにディーゼル発電所の増設や石炭火力発電所の建設も考えられ、煤じん、SPM、NO_x、SO_x、温排水、CO₂増加により、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に二酸化炭素放出量が増加する。

プロジェクトを実施しない場合と、本プロジェクトによりディーゼル発電を代替した場合の計画実施案の比較をマトリックス表示により表 V-3-2 に示す。

表 V-4-2 ゼロオプションと実施案の比較

環境影響項目		ゼロオプション	計画実施
大気	NO _x , SO _x	--	++
	H ₂ S	0	--
騒音		--	-
水質		--	-
自然環境		0	--
土地利用や地域資源利用		--	++
住民の移転		0	0
雇用や生計手段等の地域経済		0	++
廃棄物		--	-
温室効果ガス		--	++
費用		--	++

ゼロオプション案（ディーゼル発電を継続）、計画の実施（ディーゼル発電はピーク時のみ運転）と対比で、

--：悪化 0：変化なし ++：改善 +：軽微の改善 -：軽微の悪化

(JICA Team)

V.5 送電線

V.5.1 環境影響項目

計画送電線は 70kv で、計画地から建設する予定の送電線鉄塔 T-35 地点に直結する予定である（図 V-2-1 参照）。

送電線についてはインドネシアの法律により UKL および UPL が必要であり、PLN は作成する予定である。

一般的に送電線の建設、存在による主な環境影響は以下の4項目が想定される。

- ・ 計画ルートにおける住民の移転
- ・ 建設時（土木工事、鉄塔工事等）における動植物の影響
- ・ 建設時（土木工事）における水質の影響
- ・ 供用時（存在）における動物（鳥類）の影響

V.5.2 環境の現況

送電線ルートの具体的な計画はないが、予定ルート周辺に森林や保護区域はなく、現地の環境局(Mr. Yunan Tan vice coordinator)によれば、計画地域に保護生物種の生息・生育はない。プラント計画地と同様に送電線予定ルート周辺は低木・草地およびサゴヤシ林がみられ、人手が加わり自然性の低い環境であり、貴重な動植物の生息・生育する可能性は低いと判断する。

また、送電線予定ルートに住居はなく、周辺に水田や畑等の農地がみられない。

V.5.3 環境影響の予測評価

送電線による環境影響項目の予測評価を表 V-5-1 に示す。

述べた送電線における重要と思われる環境影響項目の環境への影響については、送電線の具体的な計画は決まった時点で UKL および UPL で具体的に検討を実施されることが必要であると考えられる。

表 V-5-1 環境影響予測評価

影響項目	建設時	供用時
住民の移転	予定ルートに住居はなく、送電線建設による住民の移転が想定されない。	—
動植物	予定ルート周辺では貴重生物種の生息・生育はなく、70kv の送電線鉄塔の建設による土地の改変面積は 20m×20 m 程度であることから、送電線建設による動植物への影響が少ないものと考えられる。	送電線ルート周辺に大型鳥類の生息環境はなく、大型鳥類の移動ルートにあることも確認されていないことから、送電線の存在による鳥類への影響がないものと考えられる。
水質	鉄塔建設時に工事排水や降雨時の濁りの流出が考えられるが、土地の改変面積が小さく、工事排水も少なく、一時的な影響である特段な配慮が必要としないと考えられる。	—

V.6 事業内容説明会

PLN-GE は、スリ村に位置する TLU-01 坑井掘削のための説明会を 10 月 2 日（土曜日）にスリ村役場で行った。

今後、発電所建設や他の坑井の掘削のための住民説明会をトゥレフ村でも実施する必要がある。PLN Geothermal はプロジェクトの具体的な計画を決定した後、調査、建設に着手する前にトゥレフ村の説明会を実施する。

スリ村で行った説明会の主な内容は以下の通りである。

説明会の司会：SULI 村の村長(Mr. P. Siutela)

参加者：SULI 村の住民およびコミュニティリーダー

PLN 本社、PLN Maluku 地域の代表、WES JEC および Amythas（環境再託現地コンサルタント）の計 55 人

1) PLN-GE の Endro Supriyanto によるプロジェクトの概要および調査、建設段階におけるマイナスの影響（騒音、ほこり、道路の損傷等）等を説明し、住民の理解と協力を求めた。

2) 参加者の質問（4人）

- ・ プロジェクトの名前はトゥレフからスリに変更を要望する。
- ・ 交通車両の増加により事故、渋滞を避けるため、工事車両の通行は夜に分散すること。
- ・ マイナスの影響の責任は誰が負うのか。
- ・ プロジェクトの投資額はいくらか。
- ・ プロジェクトに地元から従業員の雇用を要求する。
- ・ プロジェクトが地域社会に利益を与えることを期待するが、Sidoarjo/Lapindo のような掘削井の事故の影響も心配する。

3) PLN Geothermal の回答

- ・ 現段階では許可手続き文書などの関係で、プロジェクトの名前の変更は難しいが、皆さんの意見を踏まえて発電所の建設時に前向きに検討したい。
- ・ マイナスの影響の責任について、PLN の責任によるものであれば、PLN は責任を負うし、請負業者の過失によるものは契約者が責任を負う。
- ・ 雇用については、必要な労働者の条件にもよるが、可能な範囲で雇用を提供したい。
- ・ プロジェクトの投資は大きく、本プロジェクトはマルクの人々に大きな利益を与えることができる。

V.7 環境管理計画

環境マネジメントプランを表 V-7-1 に示す。

表 V-7-1 環境マネジメントプラン

建設期間			
項目	内容	実施期間	実施体制
水文	・ 取水地点下流側の用水ユーザの特定	1ヶ月以内	プロジェクトマネージャ(プロジェクト実施期間: EA) とコントラクター
	・ 影響が最小限になる取水量とタイミングの決定 ・ 取水タイミングと水質の記録管理	毎日 (取水期間)	
水質	・ 排水処理池の処理水量および排水の管理 ・ 排水処理池の防浸策および処理システムの維持管理	毎日 (工事排水期間)	プロジェクトマネージャ(EA), コントラクター, および環境コンサルタント
	・ 水質モニタリング	年4回	
大気	・ 関連車両の速度制限 ・ 関連車両の交通ルート、走行時間帯等の管理計画の設定	建設期間中継続的に実施	プロジェクトマネージャ(EA)とコントラクター
	・ 路面散水	必要に応じて実施	
	・ 坑井噴出試験規模縮小および回避と試験計画の周辺コミュニティへの連絡 ・ 坑井噴出試験期間の縮小および影響範囲の確認	噴出試験前	
騒音	・ 建設業者は基準遵守のため、作業時間、慣行を見直し、実施可能な最適な作業方法および場所を選択する。建設騒音が基準を超える場合にはサイレンサーや防音障壁の設置により低減を図る。 ・ 地域コミュニティに騒音発生工事期間を事前に連絡する。 ・ 夜間における騒音低減のために資機材運輸の計画を検討する。 ・ 資機材運輸ルートの検討	掘削・建設期間	プロジェクトマネージャ(EA), コントラクターおよび環境コンサルタント

	<ul style="list-style-type: none"> 騒音基準の遵守および低減のためのモニタリングの実施 	毎月	
廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> 建設廃棄物の低減、分類管理計画の制定。 建設廃棄物のモニター、分類、保管、処理 廃棄物の化学特性および有害物質の分析。 	掘削時および建設時	PLN Geothermal コントラクター
供用期間			
項目	内容	実施期間	実施体制
水質	<ul style="list-style-type: none"> 発電所排水のモニター。 浄化槽の維持管理 河川水質のモニター 	2ヶ月に1回	プロジェクトマネージャ(EA)、環境コンサルタント
大気	<ul style="list-style-type: none"> 集落の H₂S のモニター 	年4回	プロジェクトマネージャ(EA)、環境コンサルタント
	<ul style="list-style-type: none"> 累計排出量の影響評価 NCGs の測定、モニター。 	週に1回程度	
騒音	<ul style="list-style-type: none"> 敷地境界における騒音レベルのモニタリングおよび PT.PLN の基準の遵守 	2ヶ月1回	PLN Geothermal, 環境コンサルタント
	<ul style="list-style-type: none"> PPE の使用 	随時	プロジェクトマネージャ (EA)、コントラクター
廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> 供用時における廃棄物の分類、記録、処理方法の提案 廃棄物の化学特性および有害物質の分析。 設備の維持管理および油の漏洩の防止 オイルインターセプタの維持管理 	毎月	PLN Geothermal

V.8 環境モニタリング計画

本プロジェクトの環境モニタリングについては、UKL、UPL が作成されているが、モニタリング計画には、付近の集落（スリ村）の井戸や周辺の温泉のモニタリングは含まれていない。

プロジェクトの工事期間（坑井掘削工事、噴出試験時を含む）および施設供用期間において実施すべきと考えられる環境モニタリング項目を表 V-8-1 に示す。

モニタリングはプロジェクト実施事業者が実施し、6ヶ月ごとに中央マルク州環境管理局に報告する。

表 V-8-1 モニタリング項目および計画

モニタリング項目		工事期間	供用期間
大気質	測定項目	H ₂ S 濃度（噴出試験時）	H ₂ S 濃度
	頻度	適宜実施	年 2 回程度
	調査地点	噴出井戸周辺、民家・集落地点（スリ集落、トゥレフ集落）	発電所周辺、民家・集落地点（スリ集落、トゥレフ集落）
騒音	測定項目	騒音レベル	騒音レベル
	調査頻度	適宜実施	年 2 回程度
	調査地点	民家・集落地点（スリ集落、トゥレフ集落）	発電所敷地境界、民家・集落地点（スリ集落、トゥレフ集落）
水質	測定項目	排水基準、環境基準項目	排水基準、環境基準項目
	頻度	適宜実施	年 2 回程度
	調査地点	排水口、工事排水の影響を受ける河川（Waiyari 川、Waetatiri 川および、Wamina 川の上流、下流）	冷却塔、浄化槽、油分分離槽の排水口、排水の影響を受ける河川（Waiyari 川、Waetatiri 川および Wamina 川の上流、下流）
地盤 変動	測定項目	水準測量より地点の標高	
	頻度	発電所の運転開始前：1 回、運転後：年 1 回	
	調査地点	生産井の分布状況より数地点設定（例えば、TLU-1, 2, 4, 5 基地周辺にそれぞれ 2 地点設定）	
温泉	測定項目	湧出量、泉温、水質（噴出試験時）	湧出量、泉温、水質

	頻度	適宜実施	発電所の運転開始前：2回 運転開始後：年2回程度
	調査地点	トゥレフ集落温泉施設	トゥレフ集落温泉施設
地下水	測定項目	地下水位、水質	地下水若しくは河川水を使用する場合、河川水量および地下水位
	頻度	適宜実施	発電所の運転開始前：2回 運転開始後：年2回
	調査地点	スリ村の井戸（1カ所）、トゥレフ村の井戸（1カ所）	スリ村の井戸（1カ所）、トゥレフ村の井戸（1カ所）

V.9 環境チェックリスト作成

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 は中央マルコ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日にスウリ村において村長の司会により、スウリ村に位置する坑井 (TUL-5)の掘削のための住民説明会を開催された。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を約束された。 (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リ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。このような処理方法は、ほとんどの場合は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、H2S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H2Sの予測を実施されているが、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H2Sによる周辺環境への影響が顕在化した例はなく、H2Sは基準を満足している。従って、本プロジェクトによるH2S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H2S以外の大気汚染物質を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。汚染が生じうる場合、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 (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)
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 (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	(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	(a) 当該国の少数民族、先住民の文化、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) 工事中的の影響	(a) 工事中的の汚染（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。

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)
6 留意 点	他の環境チェックリストの参照	(a) 必要な場合は、送変電・配電に係るチェックリストの該当チェック事項も追加して評価すること（送変電・配電施設の建設を伴う場合等）。	(a)	(a) 送電線の計画ルート上には民家が存在しないため、送電線の建設による住民の移転は必要ない。送電線計画ルートには大型鳥類の生息地は存在せず、また、大型鳥類の移動経路に重なるとは確認されていない。したがって送電線の建設により、鳥類の影響が考えられない。
	環境チェックリスト使用上の注意	(a) 必要な場合には、越境または地球規模の環境問題への影響も確認する（廃棄物の越境処理、酸性雨、オゾン層破壊、地球温暖化の問題に係る要素が考えられる場合等）。	(a)	(a)

注1) 表中『当該国の基準』については、国際的に認められた基準と比較して著しい乖離がある場合には、必要に応じ対応策を検討する。
 当該国において現在規制が確立されていない項目については、当該国以外（日本における経験も含めて）の適切な基準との比較により検討を行う。
 注2) 環境チェックリストはあくまでも標準的な環境チェック項目を示したものであり、事業および地域の特性によっては、項目の削除または追加を行う必要がある

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°C 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 10 MW~20 MW はアンボンの電力系統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 H₂S 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 H₂S ガスの周辺環境への影響を評価する。