

図2-8-84 熱水流量の挙動予測結果  
 (ケースⅡ-2: 蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域中央部に還元)

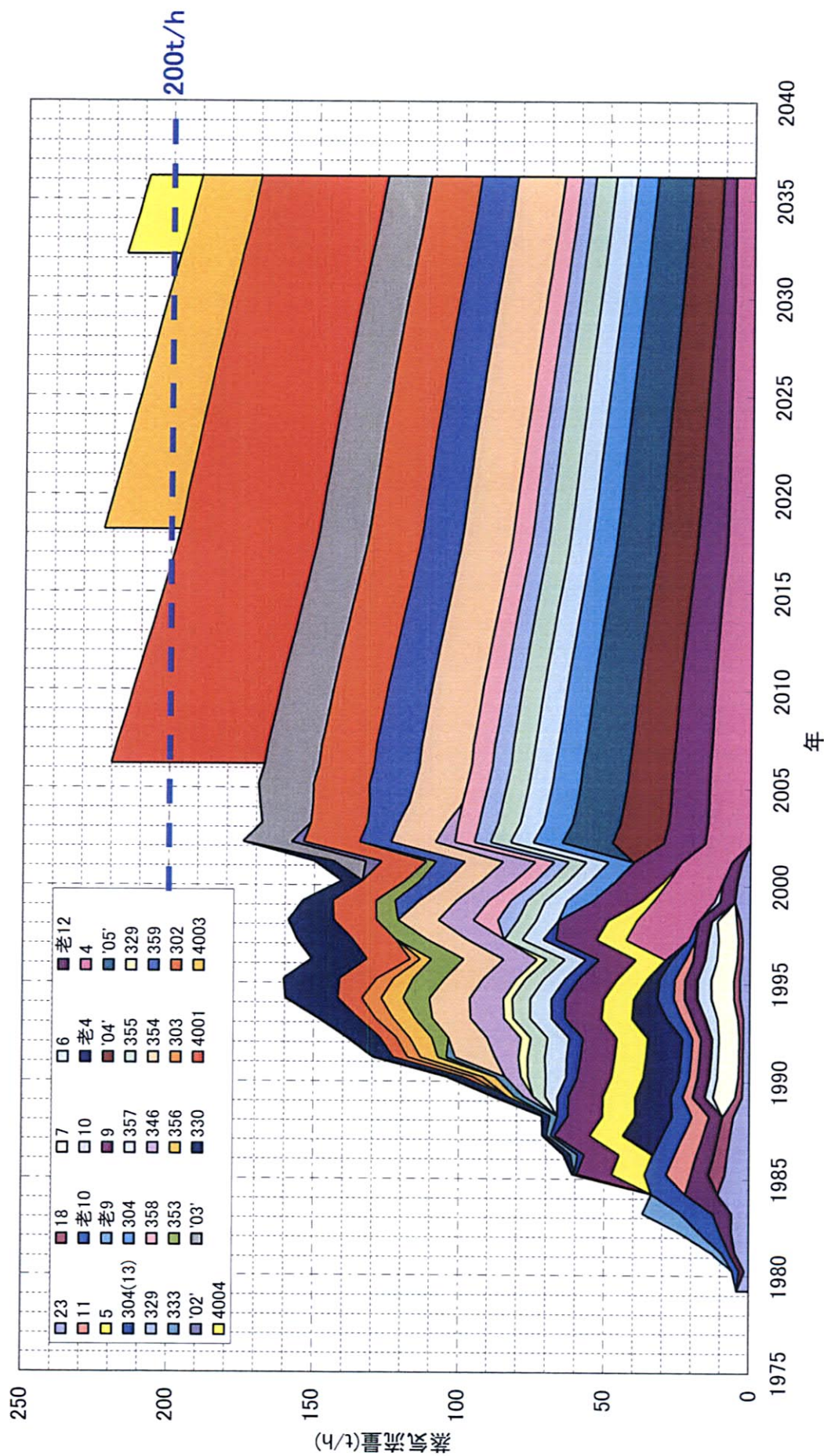


図2-8-85 蒸気流量の挙動予測結果  
 (ケースⅡ-3: 蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域南部に還元)

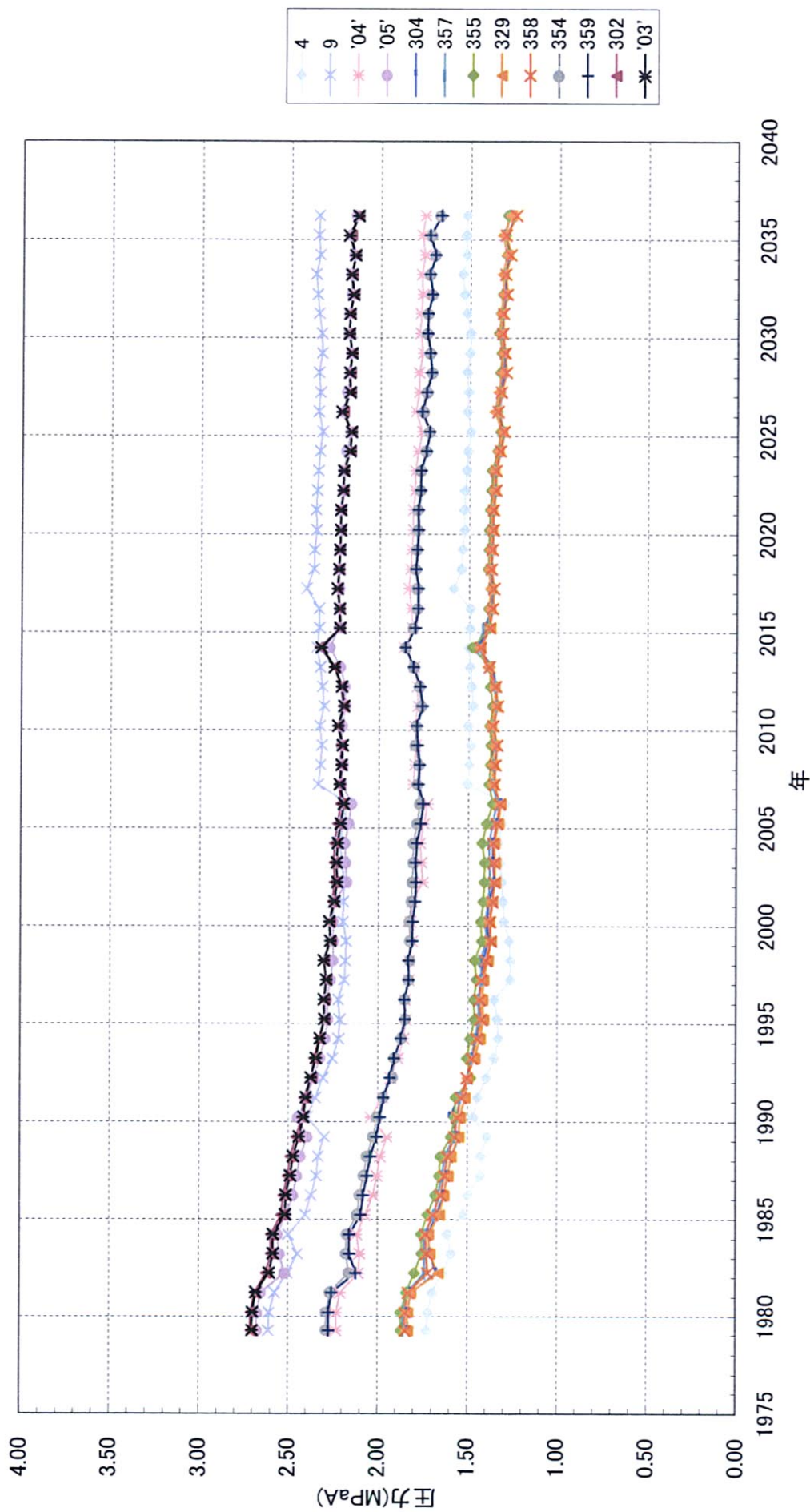


図2-8-86 浅部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果  
 (ケースⅡ-3:蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域南部に還元)

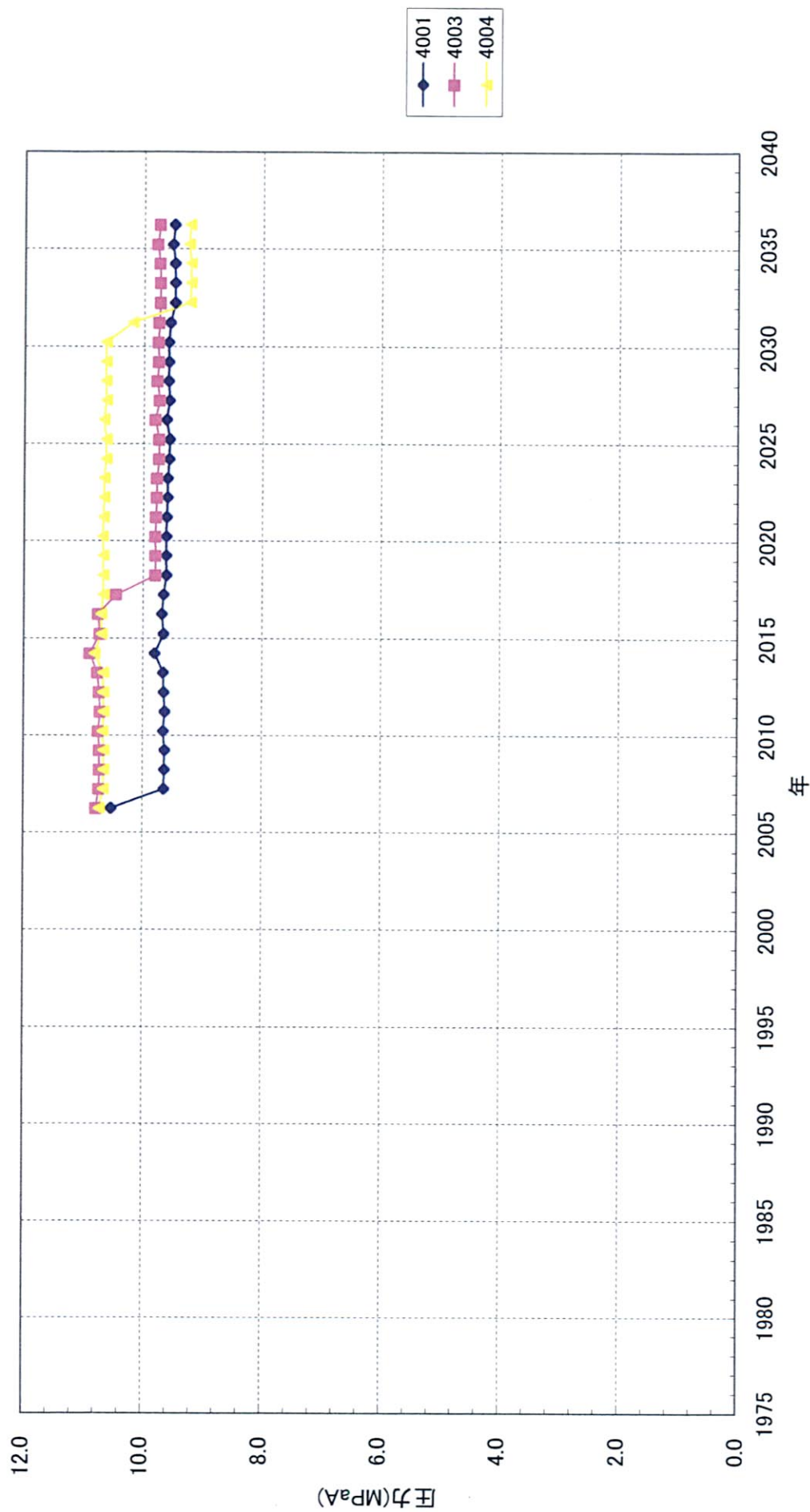


図2-8-87 深部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果  
 (ケースⅡ-3: 蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域南部に還元)

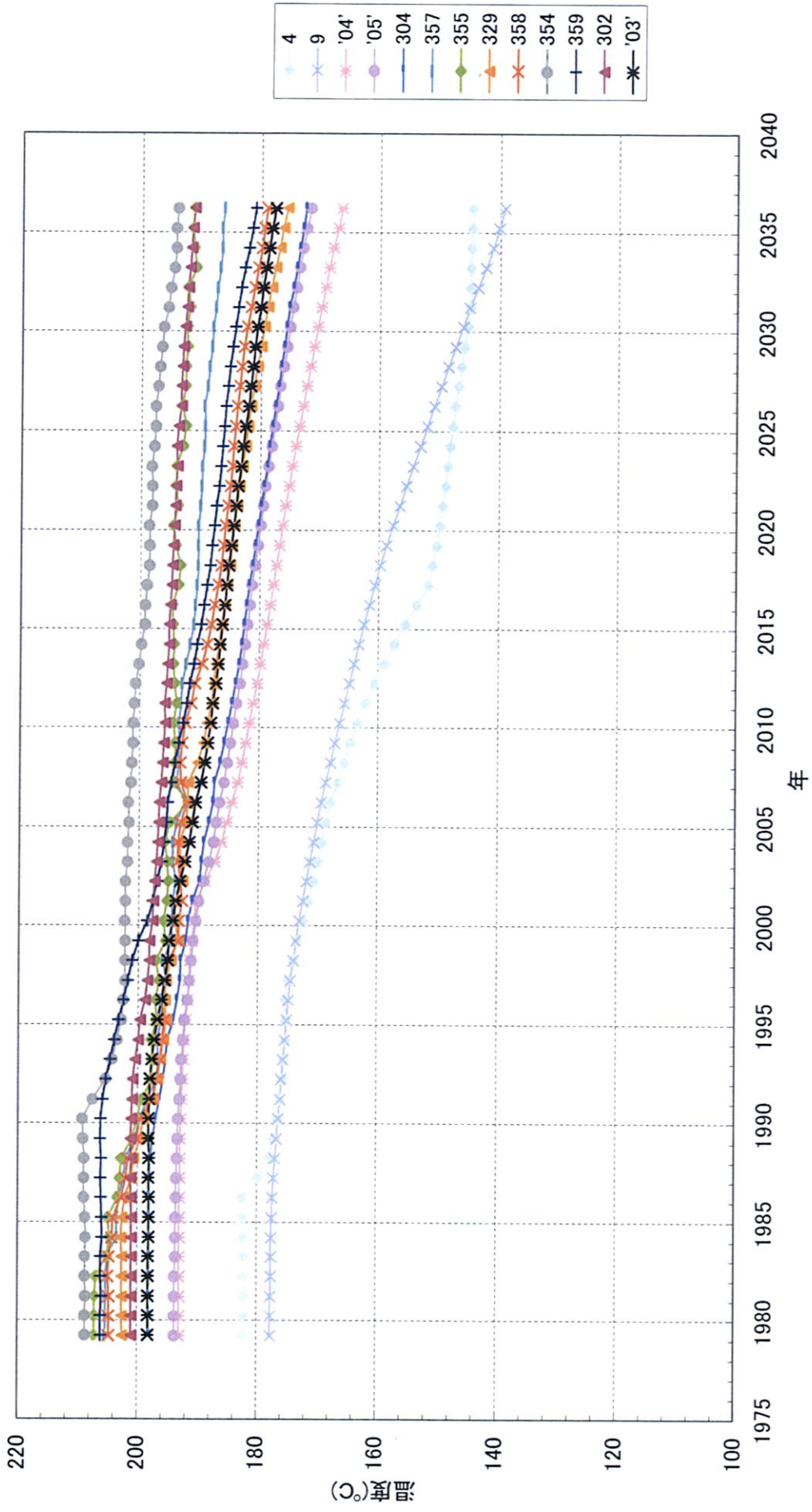


図2-8-88 浅部井流入点ブロック温度の挙動予測結果  
 (ケースⅡ-3: 蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域南部に還元)

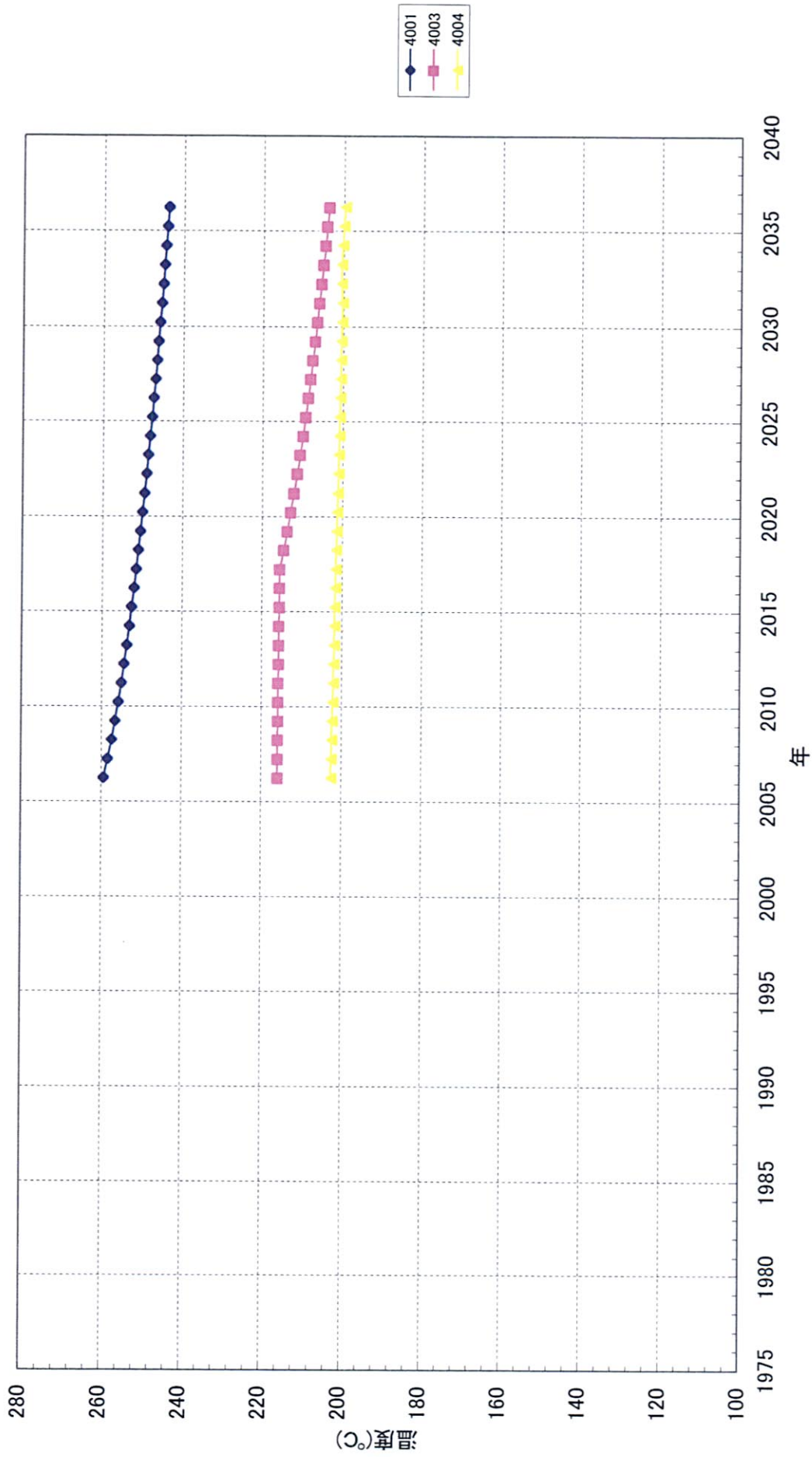


図2-8-89 深部井流入点ブロック温度の挙動予測結果  
 (ケースⅡ-3: 蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域南部に還元)

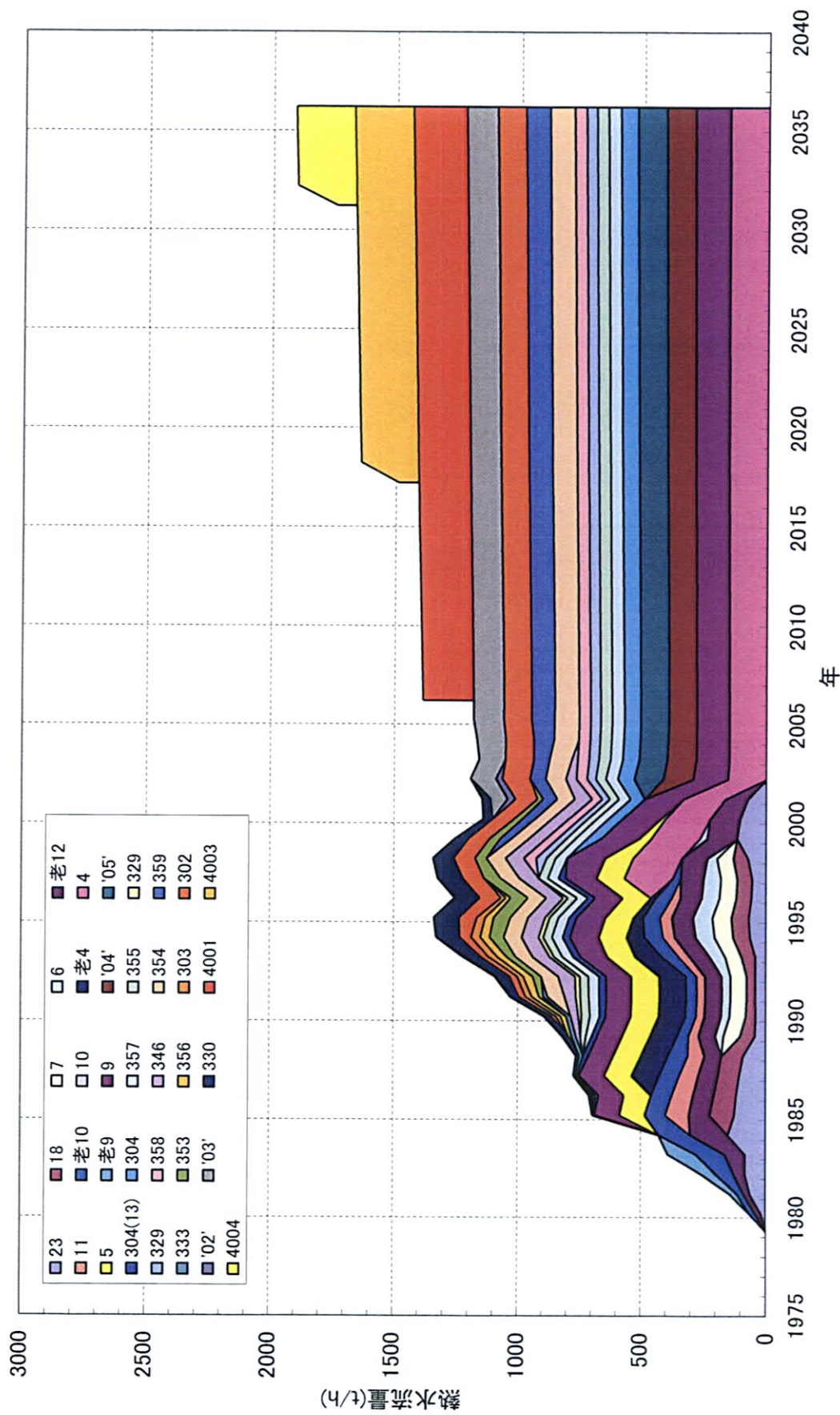


図2-8-90 浅部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果  
 (ケースⅡ-3: 蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域南部に還元)

場合には深部の補充井の数は2本である。ただし、3本目の補充井を追加する時期が上記の2ケースに比べて5年遅く追加する結果となった。これは、上記の2ケースと比べて、浅部生産井の流体温度の低下量が小さいため蒸気流量の減衰が小さいことが原因である。ただし、図2-8-86に示すように、熱水を還元することにより貯留層圧力は上昇し、維持されるという還元の正の効果が見られた。上記の結果を考慮すると、本貯留層は実際に還元を実施するとともに蒸気流量200t/hを下回らない生産を実現する能力は十分にあると考える。

(iii) 資源量評価の結論

資源量評価の結論は次のとおりである。

- ① 羊八井地熱貯留層は、現在の浅部貯留層で現状の生産を続ける能力はある。
- ② 現状の浅部貯留層と深部のZK4001を追加して生産を続ける能力はある。
- ③ 浅部と深部を合わせて、200t/hの蒸気を生産する能力はある。
- ④ 浅部と深部を合わせて、240t/hの蒸気を生産することは不可能ではないが、リスクが高い。
- ⑤ 浅部と深部を合わせて、280t/hの蒸気を生産することは不可能と考えられる。
- ⑥ 還元をした場合も貯留層の生産能力には変わりはない。羊八井地域の北部、中部、南部への還元はどの場合もほぼ同じ効果がある。



### 3 技術移転

## 3 技術移転

### 3-1 技術移転の目的と目標

本開発計画調査では、羊八井地域での深部地熱資源を調査し資源量を評価することと並んで、調査、掘削、評価などの技術を中国に移転することを目的としている。具体的には、地表からの地熱調査技術、地熱井の掘削技術特に傾斜掘削技術、貯留層評価技術の移転が重点項目とされた。

技術移転の目標は、将来このような技術を中国側が独自に活用して地熱調査開発ができるようにすることが目標である。

### 3-2 技術移転の方法

技術移転のは、次の方法によって行うことを計画した。

#### ① 技術移転セミナー

中国側の技術者に対して技術セミナーを開催するものである。実際には現地での調査、掘削、貯留層評価などの作業に際して、作業現場、調査団事務所、発電所事務所などでセミナーを開催した。

#### ② オンザジョブトレーニング

具体的な技術を現場の作業に即して、作業を共にしながらトレーニングするものである。実際に、調査、掘削、貯留層評価などの作業中に随時実施した。

#### ③ 日本国内での研修

チベットの関係者を日本に招き、研修を行った。研修は会議室での講義、日本の地熱発電所や発電設備製造工場などの見学、関係機関の訪問意見交換などを通じて行った。

### 3-3 技術移転の内容

技術移転は、次の各技術ごとに以下の内容で行った。

#### 3-3-1 地表地質調査技術

##### ① 地表地質調査の方法

変質帯調査法や断裂系調査法について技術移転を行った。

##### ② 地表地質調査の解析方法

X線分析法、熱ルミネッセンス法、衛星写真利用の地質構造解析などについて技術移転を行い、これらの結果に基づき羊八井の地質構造について討論した。

#### 3-3-2 電磁探査技術

##### ① 現地での測定技術

現地での測定に際して、ノイズを最小にして能率的に測定する方法について技術移転した。

##### ② 解析技術

測定結果から1次元解析,2次元解析,3次元解析をする方法について技術移転した。

③ 探査結果の解釈技術

1次元解析,2次元解析,3次元解析の解析結果から地熱貯留層の位置を判定する方法について技術移転し,今回の探査結果に基づき地熱調査井の掘削場所について共同で討論した。

3-3-3 坑井掘削技術

① 傾斜掘削技術

傾斜掘削計画立案,掘削編成の選定方法,必要な資材,作業手順,坑跡コントロール技術,坑跡管理技術などについて技術移転した。

② 逸泥対策技術

逸泥箇所の見地,逸泥防止剤の使用技術,セメンチング技術,逸泥掘削技術などについて技術移転した。

③ 高温地層掘削技術

高温地層を掘削する技術として,循環泥水冷却設備と冷却方法について技術移転した。

④ サイドトラック技術

サイドトラック技術に関して,サイドトラック計画技術,ケーシングミリング技術,ケーシングの窓開け区間の選定技術,サイドトラックの工事手順,資材などについて技術移転した。

⑤ 坑井仕様立案,工程管理

ケーシングプログラムの計画立案,ドリリングチャートによる実績工程の管理,資材調達管理による工程短縮技術などについて技術移転した。

⑥ 掘削設備の改善

深部地熱掘削のための掘削設備の改善や整備の方法について技術移転した。

⑦ 抑留事故予防技術

ドリリングジャールスによる抑留事故予防技術,掘管切断事故の防止,事故発生時の対応策などについて技術移転した。

3-3-4 坑井地質調査技術

① 岩石試料の標示・保管方法

岩石試料の標示・保管方法として,カッティングコラムの作成方法とその利用方法について技術移転を行った。

② 岩石観察方法

岩石試料を実体顕微鏡や偏光顕微鏡により観察する方法,岩石試料の薄片作成技術などを技術移転した。

③ 逸泥深度の同定方法

地熱井掘削調査における重要かつ難しい課題である,逸泥深度の同定方法について,変質鉱物,温度曲線,掘進率,掘削パラメータなどを総合検討して同定する方法について技術移転した。

### 3-3-5 坑井検層技術

#### ① PTS 検層の方法

JICA から提供された PTS 検層器を使用した検層の方法、検層器の組み立て方法などについて技術移転した。また、実際の坑井での検層作業に際して、検層の方法を技術移転した。

#### ② PTS 検層のデータ整理・解釈の方法

パソコンを利用した検層結果のデータ整理の方法、検層結果から坑井内の状況を解釈する方法について技術移転した。

### 3-3-6 地化学調査技術

#### ① 試料採取方法

地熱熱水、蒸気などの試料採取方法について技術移転した。特に試料採取直後に前処理をしないと正確な分析結果が得られない、地熱の地化学調査に特有の技術があるので、これについては繰り返し指導した。

#### ② 分析方法

試料採取から前処理、化学分析にいたる一連の分析方法について、技術移転した。

#### ③ 分析結果の評価

化学分析によって正確な分析値が得られたかどうかを評価する方法について技術移転した。

#### ④ 地化学調査の解析方法

化学分析結果のデータ整理方法、解析手法、貯留層構造に対する解釈方法などを技術移転した。

### 3-3-7 噴気試験技術

#### ① 噴気試験の方法

噴気試験の意義、方法、設備などについて技術移転した。

#### ② 噴気設備の操作方法

噴気試験を安全かつ正確に実施するために、汽水分離器や熱水タンク、流量調整バルブの役割と操作方法について技術移転した。

#### ③ スケールテスト方法

噴気試験と平行して実施したスケール付着試験について、目的、方法、設備、解析方法について技術移転した。

#### ④ 流量の換算方法

噴気試験で測定されるデータから密度補正、坑口圧力換算することは坑井評価の基本である。この換算の意義、原理、計算方法について技術移転した。

#### ⑤ 噴気試験のデータ処理

噴気試験で得られたデータの処理方法として、データを坑口圧力換算流量で示す必要性、二相流の熱量算出方法、特性グラフの作成方法、任意圧力換算流量の意義と利用方法などについて技術移転した。

### 3-3-8 地熱貯留層評価技術

#### ① 貯留層評価の全体像

地熱貯留層の全体構造，貯留層の概念，貯留層の成因，貯留層シミュレーションによる地熱系再現の概念，貯留層の変化の再現の概念，将来予測の概念などを講義し指導した。

#### ② 貯留層データベースの利用技術

大量の観測データを効率よく整理解析する方法として，貯留層データベースの利用の意義，JICA から提供されたデータベースソフトの取り扱い方法，データベースソフトを利用して貯留層構造などを考察する方法などを技術移転した。

#### ③ 貯留層概念モデルの作成

貯留層概念モデルの概要，必要なデータ，モデル作成方法，モデル作成に当たっての注意点などを技術移転した。また，実際のデータに基づき，羊八井地熱貯留層の概念モデルについて共同で検討議論した。

#### ④ 貯留層シミュレーションの意義と方法

貯留層シミュレーションの意義，目的，方法，手順などを説明した。また地熱貯留層の形成過程と形成条件，熱の伝達様式と浸透率の関係などについて技術移転した。

#### ⑤ 貯留層シミュレーションソフトの取り扱い方法

JICA が提供した地熱貯留層シミュレーションソフトの内容，入力ファイルの作成方法，計算手順，計算結果ファイルの見方などについて技術移転した。

#### ⑥ 貯留層シミュレーションの例題演習

貯留層シミュレーションの方法について，典型的な例題を提供して，計算方法，結果の見方，例題の意義などについて講義演習した。

#### ⑦ ヒストリーマッチングの方法

ヒストリーマッチングについて，目的，解析内容，手順などについて説明した。また，貯留層の観測結果から貯留層圧力を推定する方法，発電出力結果から蒸気噴出量を推定する方法，ヒストリーマッチングの具体例，ヒストリーマッチングをするために必要な貯留層の観測項目などについて技術移転した。

#### ⑧ 3次元可視化の方法

貯留層シミュレーション結果を3次元可視化ソフトを利用して表示する方法について技術移転した。

### 3-3-9 地熱発電所建設計画技術

#### ① 現在の羊八井地熱発電所の問題点

現在の地熱発電所の問題点を抽出し，問題の所在と原因，対応策などについて議論し技術移転した。

#### ② 初歩開発計画

貯留層評価の結果と現在の問題点の討論に基づき，羊八井地域の将来のあるべき開発計画について，考え方を示し，討論し，考え方の基礎について技術移転した。

#### ③ 発電所設備

現在の問題点や初歩開発計画に基づき、発電所のあるべき設備内容について議論し、その考え方を技術移転した。

### 3-3-10 日本国内研修

カウンターパートの訪日研修は、2001年度から2005年度まで毎年一回ずつ実施された。その概要は以下のとおりである。

#### (i) 2001年度研修

##### (1) 訪日研修者

范小平 西藏電力工業局 工程師 (現：西藏地熱地質大隊)

##### (2) 研修日程

2001年11月25日から12月20日まで(26日間)

##### (3) 研修題目

貯留層シミュレーションのための地熱系モデル構築

##### (4) 研修内容

地熱モニタリング方法、貯留層シミュレーション方法、貯留層モデル構築

##### (5) 研修場所

日本重化学工業(株) 東京本社  
日本重化学工業(株) 盛岡工業所  
地質調査総合センター(つくば)  
東北電力葛根田地熱発電所  
日本重化学工業松川地熱発電所

#### (ii) 2002年度研修

##### (1) 訪日研修者

蔣勇 西藏地熱開発公司 総工程師

##### (2) 研修日程

2002年11月10日から12月7日まで(28日間)

##### (3) 研修題目

地熱発電所の運転管理

##### (4) 研修内容

地熱関連計測、地熱蒸気生産・熱水還元、スケール対策、トレーサー試験

##### (5) 研修場所

日本重化学工業(株) 東京本社  
日本重化学工業(株) 盛岡工業所  
東北電力葛根田地熱発電所  
日本重化学工業(株)松川地熱発電所  
富士電機(株)  
日本鋼管(株)

#### (iii) 2003年度研修

##### (1) 訪日研修者

劉旭耀 西藏電力工業局 生産技術部 副主任

黄 小波 西藏地熱開発公司 副総経理

(2) 研修日程

2003年11月30日から12月26日まで(27日間)

(3) 研修題目

地熱開発

(4) 研修内容

日本の地熱開発状況、日本の地熱開発に対する政策支援、地熱発電設備、地熱貯留層の評価、建設計画の立案、経済性評価、資金調達

(5) 研修場所

東北水力地熱(株) 東京本社

国際協力銀行

住友商事(株)

富士電機(株)

日本鋼管(株)

東北水力地熱(株)松川地熱発電所

(iv) 2004年度研修

(1) 訪日研修者

王 慶華 西藏電力工業局 局長

高 応雲 西藏電力工業局 総工務師

陳 新民 西藏電力工業局 総経済師

杜 金水 西藏電力工業局 生産技術部主任

(2) 研修日程

2004年10月11日から26日まで(16日間)

(3) 研修題目

中国地熱発電開発

(4) 研修内容

地熱発電事業の経営、新規地熱発電所建設の経営

(5) 研修場所

日本重化学工業(株) 東京本社

国際協力銀行

住友商事(株)

富士電機(株)

東北電力葛根田地熱発電所

北海道電力森地熱発電所

(v) 2005年度研修

(1) 訪日研修者

劉 曉明 西藏電力工業局 副局長

旦正才旺 西藏電力工業局 企画部副主任

曾 毅 西藏電力工業局 生産技術部 高級工務師

王 大宏 西藏電力工業局 生産技術部 工務師

柳 承志 西藏電力工業局 羊八井地熱発電所 工程師  
索 加 西藏地質鉍産勘査開発局 地熱地質大隊 大隊長

(2) 研修日程

2006年3月に約2週間実施される計画である。

(3) 研修題目

中国地熱発電開発

(4) 研修内容

地熱発電事業の経営, 新規地熱発電所建設の経営

(5) 研修場所

日本重化学工業(株) 東京本社

国際協力銀行

住友商事(株)

富士電機(株)

東北電力葛根田地熱発電所

北海道電力森田地熱発電所

### 3-3-1-1 ワークショップ(ラサ報告会、北京報告会)

本開発計画調査の最終段階にあたり、これまでの調査結果を中国側に報告し、議論するために報告会を開催した。特に貯留層評価結果の報告と、評価結果に基づく初歩開発計画の議論を重点的に行った。

(i) ラサでの報告会

2005年11月18日と25日に実施した。

中国側からはチベット電力工業局の劉曉明副局長を始め地熱発電関係各部署、羊八井地熱発電所、地熱地質大隊などから約30名が参加した。調査団から6ヶ年にわたるこれまでの調査結果を総括的に報告し、特に貯留層評価の方法と結果、及び生産予測シミュレーションに基づく初歩開発計画の案について説明し、議論をした。

(ii) 北京での報告会

2005年12月1日に実施した。

中国側からは、中国能源研究会地熱專業委員會の幹部など地熱の専門家、地熱発電開発に関する行政当局の担当者、チベット電力工業局、チベット地熱開発公司、地熱地質大隊などから約40名が参加し、日本側からは、JICA中国事務所、調査団など約10名が参加した。参加者名簿を表3-3-1に示す。

調査団から6ヶ年にわたるこれまでの調査結果を総括的に報告し、特に貯留層評価の方法と結果、及び生産予測シミュレーションに基づく初歩開発計画の案について説明し、議論をした。この結果、中国の地熱関係専門家から、本開発計画調査の成果について先進的かつ適切なものであることが認められ、初歩開発計画案についても妥当なものであるとの意見がまとめられた。

### 3-4 技術移転の成果

6ヶ年度にわたる調査に際して実施された技術移転は、当初の計画どおりの成果が得ら



表 3-3-1 北京報告会参加者名簿

姓 名	所 属	役 職
张振国	中国エネルギー研究会常務理事地熱專業委員会前主任	教授
廖志杰	北京大学地球及び空間科学学院	教授
刘时彬	北京大学地球及び空間科学学院	高級工程師
赵 平	中国科学院地質及び地球物理研究所	研究員
白铁珊	北京市地熱研究院	教授
汤松然	国土資源探鉱エンジニアリング研究所	教授
刘志江	西安熱工研究院有限公司	高級工程師
隋跃华	山東省維科特石油科技有限責任公司	總經理
宋玉宽	中石化石油探查開發研究院	高級工程師
郑克炎	中国エネルギー研究会地熱專業委員会主任	高級工程師、教授
杨朝斌	チベット国土資源庁	高級工程師
李 华	チベット電力工業局	高級工程師
陈新民	チベット電力工業局	高級工程師
陶庆法	国土資源部地質環境司	高級工程師
刘旭耀	チベット電力工業局	工程師
索 加	チベット地勘局地熱地質大隊	大隊長
陈 健	チベット地勘局地熱地質大隊	高級工程師
瓦 黑	チベット科学技術庁	副処長
多 吉	チベット地質鉱産勘査開発局	総工程師 院士
焦兴义	チベット地熱開發公司 羊八井地熱發電所	總經理、所長
刘晓明	チベット電力工業局	副總經理 高級工程師
将 勇	チベット地熱開發公司 羊八井地熱發電所	総工程師
曾 毅	チベット電力工業局	高級工程師
王大宏	チベット電力工業局	工程師
蒋祥军	国電熱工研究院	教授級高級工程師
卢美健	チベット電力工業局	主任 高級工程師
张 凯	国家電網公司	高級工程師
辜 彬	四川大学姓名科学学院生態系	教授 (通訳)
赖 勇	北京大学地球及び空間科学学院	副教授 (通訳)
王 珂	チベット大厦 (ラサ)	(通訳)
吴 迪	住友商事	經理助理
渡辺雅人	国際協力機構中華人民共和国事務所	次長
國武大紀	国際協力機構中華人民共和国事務所	担当所員 (所長助理)
宮崎貞一	日本重化学工業株式会社(JICA 調査団)	団長
花野峰行	日本重化学工業株式会社(JICA 調査団)	副団長
木崎有康	日本重化学工業株式会社(JICA 調査団)	掘削
菱 靖之	地熱エンジニアリング株式会社(JICA 調査団)	地化学
丹野 修	有限会社八幡平工業(JICA 調査団)	噴気試験
荒井文明	地熱エンジニアリング株式会社(JICA 調査団)	地質
佐藤 啓	地熱エンジニアリング株式会社(JICA 調査団)	貯留層評価
増田一樹	日本重化学工業株式会社(JICA 調査団)	エネルギー部長

れた。この成果を整理すると以下のとおりである。

- ① 各調査手法ごとに詳しく技術移転され、チベット側でこれらの調査のが実施できるレベルにまでほぼ到達した。
- ② 地化学モニター、圧力モニターなどはチベット側の手により今後も継続して実施される見込みである。
- ③ 掘削技術については CJZK3001 の掘削を通じて、傾斜掘削技術、逸泥防止技術、サイドトラック技術などが十分に技術移転され、CJZK3001 の掘削においても作業の主体はチベット側で行われた。
- ④ 噴気試験技術については、長期噴気試験を通じて現地の地熱発電所の技師と共に作業を行った結果、技術の内容から作業の実施まで十分にチベット側のみでできるレベルに達した。
- ⑤ 貯留層評価技術、特に地熱貯留層シミュレーションについては、長期にわたる演習と共同作業により、新たなシミュレーションのケース設定や実際の計算を既にチベット側のみでも行っており、十分な技術移転が達成された。

全体としてみれば、地熱調査開発利用にかかる実務はこれまでチベット側でも独自に苦労して行ってきたため、技術の基礎はしっかりしていたため、日本からの技術移転は非常に理解と吸収が早く、十分に身に付けることができたものと思われる。

## 4 地熱開発計画

## 4 地熱開発計画

### 4-1 羊八井地熱発電所の主要な問題点と対応策

羊八井地熱発電所の現状及び将来の主要な問題点を述べ、問題に対応するための基本的な考え方について述べる。

#### 4-1-1 蒸気量の不足と発電出力の低迷

- ① 現在、羊八井地熱発電所では第一、第二発電所を合わせて発電設備容量は24,180kWあるが、年間平均の発電出力は約12,000kWから13,000kWである。発電出力が低迷している理由は需要の季節変動に追随していることもあるが、主要な理由は利用している浅部貯留層の温度と圧力が低下して生産蒸気量が減少していることである。
- ② 浅部貯留層からの蒸気生産は現状維持なら可能であるが、これ以上の蒸気生産は不可能と考えられる。
- ③ 一方、深部貯留層も利用すれば深部と浅部の貯留層を合計して約200t/hの蒸気生産が安定的に可能と評価されるので、今後は徐々に深部貯留層の利用を増加させることが発電出力増加のための基本的な方法である。

#### 4-1-2 設備の不適合と老朽化

- ① 現在の第一発電所、第二発電所の発電設備はそれぞれ約25～20年前、20～15年前に設計建設されたものであるが、その後に生産される蒸気条件が変化しているため現在浅部貯留層から生産される蒸気条件に設備が適合していない。
- ② 発電設備は老朽化している。
- ③ これに対応するには、現有の発電設備を新規の設備に交換することが基本的に必要である。

#### 4-1-3 深部地熱と浅部地熱を利用する場合の問題点

今後十数年間は、羊八井では深部の地熱流体と浅部の地熱流体を同時に生産して利用することになると考えられるが、その場合は次の問題点がある。

- ① 深部貯留層の高圧蒸気を現在の低圧タービンで発電利用するためには蒸気圧力を下げなければならない。蒸気圧力を下げて発電利用することはエネルギーの損失となる。
- ② 深部貯留層の高圧蒸気を高圧のまま現在の低圧母管に合流すると、低圧の浅部貯留層の蒸気が合流できなくなり、浅部地熱資源の利用が制限される。
- ③ 深部貯留層の流体と浅部貯留層の流体は化学成分が異なるので、これらを合流して用いると一般に激しいスケールの生成が予想される。
- ④ これらの問題を解決する基本的な方法は、深部貯留層の蒸気と浅部貯留層の蒸気とは別々に輸送し、別々のタービンで利用することである。

#### 4-1-4 スケール付着、腐食、不凝縮ガス

- ① 現在の浅部生産井では炭酸カルシウムスケールが坑井内に付着するため、定期的

にスケール浚いを行っている。深部生産井(ZK4001)でも噴気流体の化学分析結果から、坑井内または貯留層内で炭酸カルシウムスケールが付着していることが予想される。

- ② ZK4001 の噴気試験設備のうち、坑口セパレータの直後の熱水タンクの排出弁にはシリカスケールの付着が認められた。このことは、深部熱水を利用する場合、熱水温度が低下するとシリカスケールが析出する危険性が高いことを示している。
- ③ 長期噴気試験に際して行われたスケール付着試験では、スケールはほとんど付着しなかったが、熱水の温度が低下すればスケールの付着の可能性がある。従って、今後ともスケール付着試験や防止試験などは適時実施して対策を講じるべきである。
- ④ 噴気試験設備にはごく薄い四面銅鉱や黄銅鉱、非晶質シリカスケールが付着していたため、これらがパイプラインの内側をコーティングするため、パイプラインの腐食はあまり問題にならないものと思われる。
- ⑤ 深部地熱流体中には浅部流体よりかなり多くの非凝縮性ガスが含まれている。このため、タービンの後の復水器には大きな容量のガス抽出器を備えて真空度を高く保つことが重要である。

#### 4-1-5 還元

廃熱水を地下に還元することは、環境保護や貯留層圧力の維持のために非常に重要であるが、次の問題点がある。

- ① 低温の還元熱水が貯留層に回った場合は、貯留層の温度が低下し、生産量が減少する。
- ② 深部の高温熱水の温度を下げて還元する場合は、パイプラインや還元井内でシリカスケールの析出が発生する。
- ③ 深部の高温熱水を高温高圧のまま還元する場合は、還元井の耐圧性能を十分にしないと蒸気漏れなどの事故の恐れがある。またこれを浅部に還元する場合は、浅部貯留層から地表に蒸気や熱水が漏洩する危険性もある。
- ④ これらの問題に対処するためには、還元井の能力評価、スケール付着試験、高温還元運転技術の試験などを行い、羊八井の実情に適した還元技術を習得することが重要である。
- ⑤ 熱水還元をする場所は、還元層の透水性が十分になければならない。現状では熱水還元ができそうな透水性を有する場所は浅部貯留層の存在する場所しか発見されていない。今後は熱水還元ができる場所を探索するとともに、トレーサーテストなどを行い、還元熱水の挙動を調査し、生産への悪影響を避ける対策が必要である。

#### 4-2 初歩開発計画

##### 4-2-1 基本計画

地熱貯留層評価の結果と上記の問題点を踏まえて、基本計画を次のようにすることが適切である。

- ① 最終的な総蒸気生産量は、安定的に生産が可能な 200t/h の生産量とする。この蒸気量は高圧タービンと適切で優秀な設備を用いれば約 20,000kW の発電が可能であ

る。

- ② 羊八井の今後の地熱発電は浅部地熱の利用から深部地熱の利用に転換する。転換は徐々に行う。
- ③ 現在の第一発電所は 2010 年頃に老朽化して使えなくなるので、この頃に深部地熱利用の第三発電所を建設する。
- ④ 現在の第二発電所は 2020 年頃に老朽化して使えなくなるので、この頃に深部地熱利用の第四発電所を建設する。

#### 4-2-2 初歩開発計画

上記の基本計画に基づき、次の初歩開発計画を提案する。(図 4-2-1)

##### (i) 第三発電所の建設

- ① 第三発電所は深部の高圧蒸気を利用して、発電設備容量は 6,000kW 程度とする。
- ② 第三発電所は 2010 年までに建設する。2010 年には第一発電所の運転を停止する。
- ③ 2006 年から 2010 年に、追加の深部生産井を 1 本掘削し、ZK4001 と共に 2 本の深部生産井を使用する。
- ④ 2006 年から 2010 年に還元井を掘削し、高温熱水の還元試験をし、還元技術を確立する。
- ⑤ 2006 年から 2010 年に、その他の高圧蒸気利用発電技術の研究と設備設計をする。
- ⑥ 2005 年以後も引き続き、貯留層の温度・圧力・地化学モニターや発電所の蒸気量などの観測を継続する。

##### (ii) 第四発電所の建設

- ① 第四発電所は深部の高圧蒸気を利用して、発電設備容量は 12,000kW 程度と想定する。
- ② 第四発電所は 2020 年までに建設する。2020 年には第二発電所の運転を停止する。
- ③ 2005 年以後、貯留層の温度・圧力・地化学モニターや発電所の蒸気量などの観測を継続し、必要な地熱調査を行い、このデータに基づき 2015 年頃に新たに貯留層評価をする。
- ④ 新たな貯留層評価に基づき、2015 年から 2020 年に第四発電所の発電出力を決め、生産井、還元井を掘削し、発電設備を建設する。

##### (iii) 本開発計画の効果

本開発計画により、次の効果がある。

- ① 現在、羊八井地熱発電所は浅部地熱だけを利用しているため、発電設備容量が 24,180kW あるにも関わらず、実際の発電量は約 13,000kW 程度である。今後深部地熱を利用して第三発電所、第四発電所を建設することにより、実際の発電量が増加するとともに、発電設備の利用率も向上する。
- ② 現在の羊八井地熱発電所は老朽化しているので、これを漸次新しい発電設備に置き換えることができる。
- ③ 第三発電所の出力は現有の ZK4001 井の蒸気量のみでも可能であり、もう 1 本の深部生産井を追加することにより運転の安定性が増す。
- ④ 第四発電所の建設は、2020 年までの深部地熱利用発電の経験や新たな調査、研究

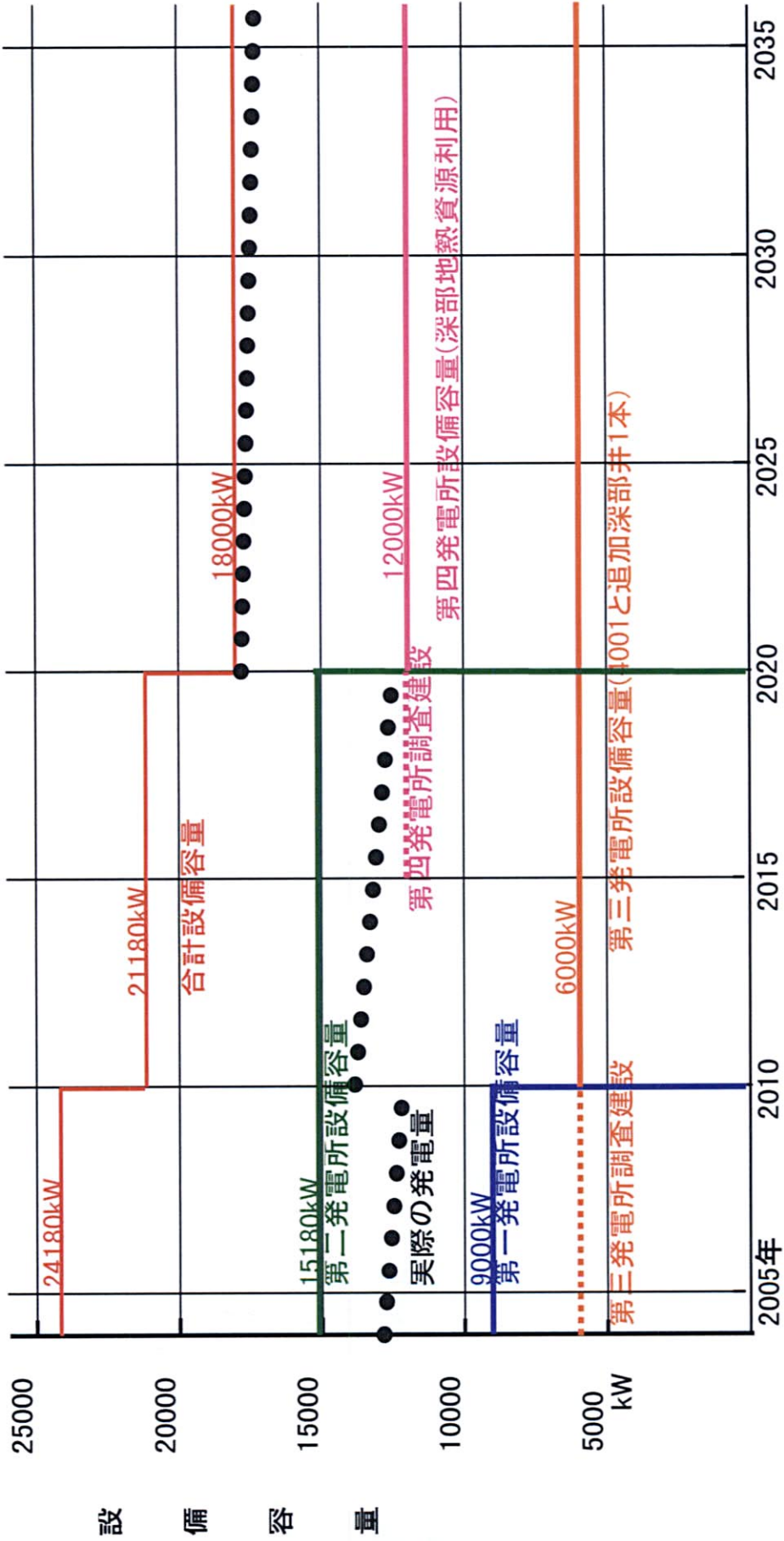


図4-2-1 羊八井地熱発電所 初步開発計画

の成果に基づくため、運転の合理性や投資の安全性が増す。



# 5 提 言

## 5 提言

### 5-1 提言に際しての現状認識

羊八井地熱発電所は調査開発の開始以来既に30年以上経過しており、現地で従事している人々は地熱開発利用について非常に豊富な経験を持っている。特に、これまで独自の技術開発により問題を解決してきたことは、高い能力のあることを示している。しかし世界の地熱開発先進国の水準とはまだ差がある。

### 5-2 全体的な提言

#### ① データの取得

掘削や発電所運転におけるデータを継続的に取得すること(モニター)が重要である。

#### ② データ管理

データは一元的に整理し、管理することが重要である。

#### ③ データ活用

問題解決や効率改善のために、常にデータに基づき考察することが重要である。

#### ④ 設備、機材、人材の充実

データ取得及び掘削などの工事のための設備、機材、人材を揃えることが重要である。

### 5-3 個別的な提言

特に重要と思われる事項について、提言する。

#### 5-3-1 探査

##### (i) 基礎図面の整備

① 地形、地熱井、パイプラインなどの位置を正確に測量して、羊八井の開発地域の1/5000程度の詳細な地形図を整備することが重要である。

##### (ii) 地化学調査

① 蒸気・熱水の正確な化学分析をするために、サンプル採取技術を改善して定着させることが重要である。

② 生産井から噴出する蒸気・熱水の地化学モニタリングを継続して実施することが重要である。この調査は安価でかつ貯留層のモニターや地熱発電所運転上の問題解決のための効果が大きい。

##### (iii) 坑井調査

① 坑井掘削に伴うカッティングスによる地質調査は重要である。特に流体包有物の調査は安価で成果が大きい。

② 坑井掘削に伴い、検層を十分に実施することが重要である。特に掘削直後のPTS検層により逸泥深度を正確に把握すること、スタンディングタイムを十分にとって貯留層温度を把握することは重要である。

##### (iv) 噴気試験

① 噴気試験は、蒸気と熱水を分離して計測することが重要である。そのための移

動式の試験設備を用意しておくことも重要である。

- ② 噴気試験のデータ処理として、圧力に対する流量換算法を確実に習得することは、試験結果を有効に利用する上で効果が大きい。

### 5-3-2 貯留層評価

#### (i) 生産還元記録

- ① 生産井、還元井の温度、圧力、流量を継続的に測定し、生産還元記録として残すことが重要である。
- ② 発電所での蒸気流量を継続して測定することが重要である。

#### (ii) 貯留層モニタリング

- ① 貯留層圧力を継続的に測定することが重要である。水位観測は安価なので多くの坑井で継続実施することが効果的である。重要な観測井についてはキャピラリーチューブ(毛細管)式の圧力計により連続観測することが望ましい。
- ② いくつかの生産井、還元井については、定期点検等の停止時に温度圧力検層を毎年継続的に実施することが望ましい。
- ③ 生産流体の地化学モニタリングは継続して行うことが重要である。

### 5-3-3 掘削

#### (i) 資機材の整備

- ① 掘削に当たっては、常に使用する掘り管やビットなどの機材は常に点検整備しておくことが重要である。特に掘り管やビットなどの損傷による事故は、損害が大きいのでこれを未然に防止することが非常に重要である。
- ② セメントや逸泥防止材など常に使用する資材は、十分な数量を準備しておき、必要な時にすぐに使用できることが必要である。これらの資材不足で掘削作業が中断することは経済的に大きな損失となるとともに、大きな事故につながる恐れがある。

#### (ii) 掘削技術

- ① 掘削工事の工程管理をきちんとして、資機材調達などに無駄のないようにすることが重要である。
- ② 今後深部高温貯留層を掘削する場合は、泥水冷却設備など高温対策を十分にすることが非常に重要である。

#### (iii) データ取得と整理・活用

- ① 逸泥位置の把握は、生産還元の目的のみならず、安全に掘削するためにも非常に重要である。逸泥現象、掘進率の変化、セメンチングの記録など逸泥位置の把握に役立つデータは常に注意して取得し、整理し、活用すべきである。
- ② 掘削の重要な時点では、PTS 検層などをして、坑井内の温度や逸泥位置などを確認することが望ましい。

### 5-3-4 地熱発電設備と運転

#### (i) 調査・試験・研究

- ① 今後羊八井では、高温の深部地熱流体と低温の浅部地熱流体を共に利用することとなり、その場合はこれまで以上に流体流送の安定性、合流の問題、スケール付着、腐食などの問題が発生する可能性が大きい。これらの問題の解決のためには、適時、適切な試験研究を行うことが重要である。
- ② 蒸気熱水配管設備は、温度、圧力、流量を測定できるようにし、継続的にこれらを測定することが重要である。
- ③ 二相流の流量測定は容易ではないが、化学トレーサーを用いる方法は安価にできるので、この方法の活用を勧める。

#### 5-3-5 データ整理と活用

- ① 全ての調査データ、運転データ、モニタリングデータなどは、データベースとしてきちんと整理しておくことが重要である。
- ② 発電所の新設などの大工事の時のみならず、日々の問題解決のためにもデータを適切に活用して問題を検討することが重要である。

#### 5-4 まとめ

羊八井地熱発電所の技術者は既に十分な問題解決能力を持っているが、データが少ないことが最大の問題である。データ取得の設備器具を整備し、常に十分なデータを取得し整理しておき、データに基づき問題解決の検討を進めることが最も重要である。

地熱資源の総合的、合理的な開発と持続的発展のために、チベットの地熱資源の開発利用計画をチベット自治区の発展計画に含めることが望ましい。

## 引用文献・参考図書

- Bodnar R.J.(1993); Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 683-684.
- Bostick, F.X., Jr. (1977); A simple and almost exact method of MT analysis. Workshop on electrical methods in geothermal exploration, Snowbird Utah.
- Dor Ji and Zhao Ping (2000); Characteristics and genesis of the Yangbajing geothermal field, Tibet. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 1083-1088.
- Fournier, R. O.(1977); Chemical geothermometer and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5, 41-50.
- 西藏地熱地質地質大隊(1997); 西藏自治区当雄具羊八井地熱田深部高温熱形成机制研究報告書.
- Smith, J. T., and Booker, J. R. (1991); Rapid inversion of two- and three-dimensional magnetotelluric data, *J. Geophys. Res.*, 96, 3905-3922.
- 土屋範芳・山元歩・中塚勝人(1994); 葛根田地熱地域の火山岩および火山碎屑岩中の石英の熱発光—熱発光地質温度計の予察的研究—. *日本地熱学会誌*, 16, 57-70.
- Zhao Ping, Dor Ji and Jin Jian (2000); A new geochemical model of the Yangbajing geothermal field, Tibet. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 2007-2012.
- 吳珍漢・葉培盛・胡道功等(2003); 青藏高原腹地地殼變形与構造地貌形成演化過程. 地質出版社
- 趙文津・張肇元主編(2002); 喜馬拉雅山及雅魯藏布江縫合帶深部結構与構造——INDEPTH項目訳文集——