

図2-8-73 蒸気流量の挙動予測結果(ケースⅡ-1: 蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域北部に還元)

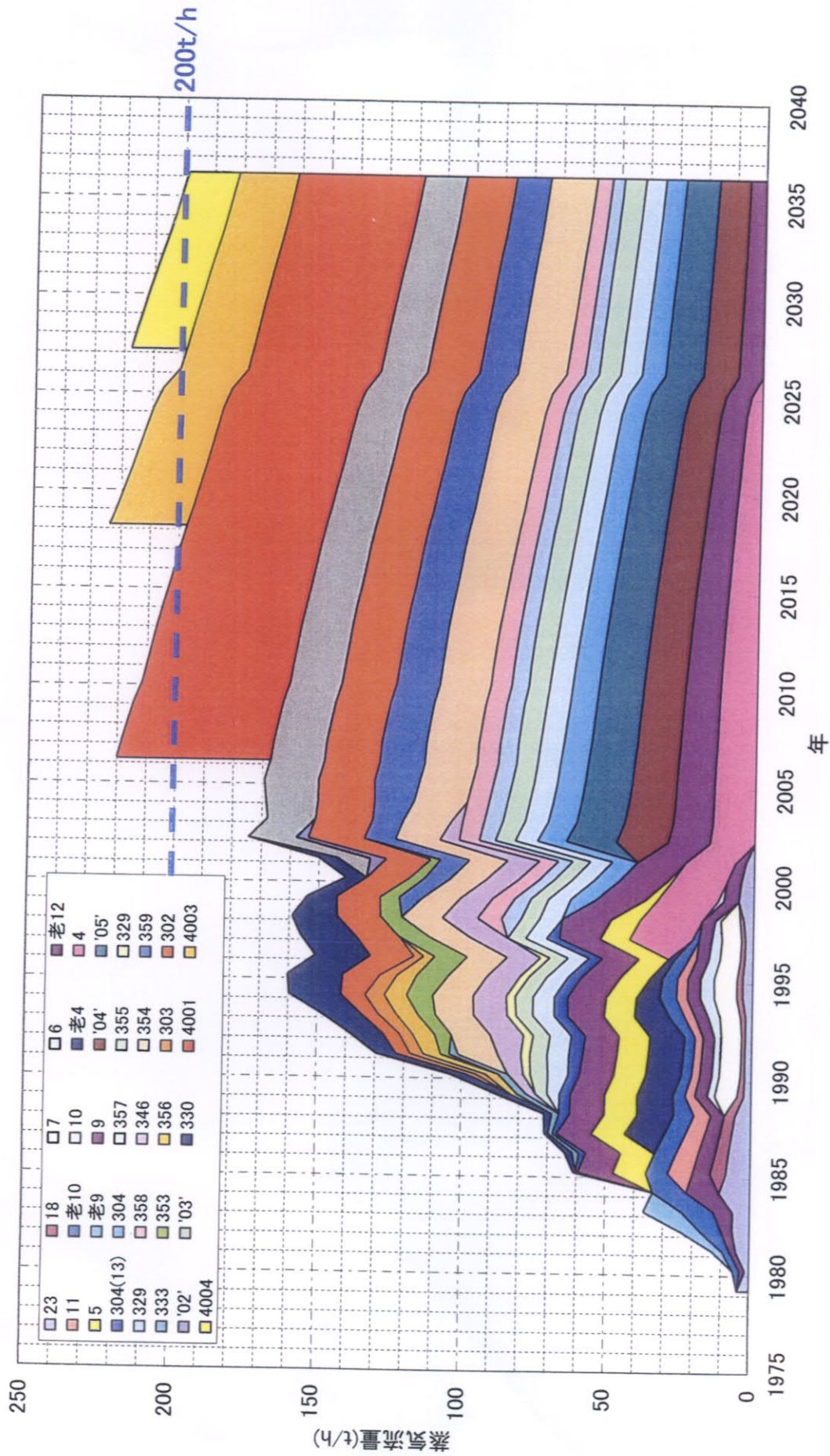


図2-8-79 蒸気流量の挙動予測結果
 (ケースⅡ-2: 蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域中央部に還元)

- ③ 総蒸気流量 200t/h 維持かつ深部井熱水を地域南部に還元するケース(ケースⅡ-3, 図 2-8-85)

浅部井および深部井にて噴出した熱水を全て還元し、かつ総蒸気流量が 200t/h を下回らないようにするケース(ケースⅡ-3)では、深部の補充井を 3 本追加する必要があると計算された。なお、還元をせずに蒸気流量 200t/h を維持する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、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。

(3) 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

3-1 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

技術移転は、次の方法によって行った。

3-2-1 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

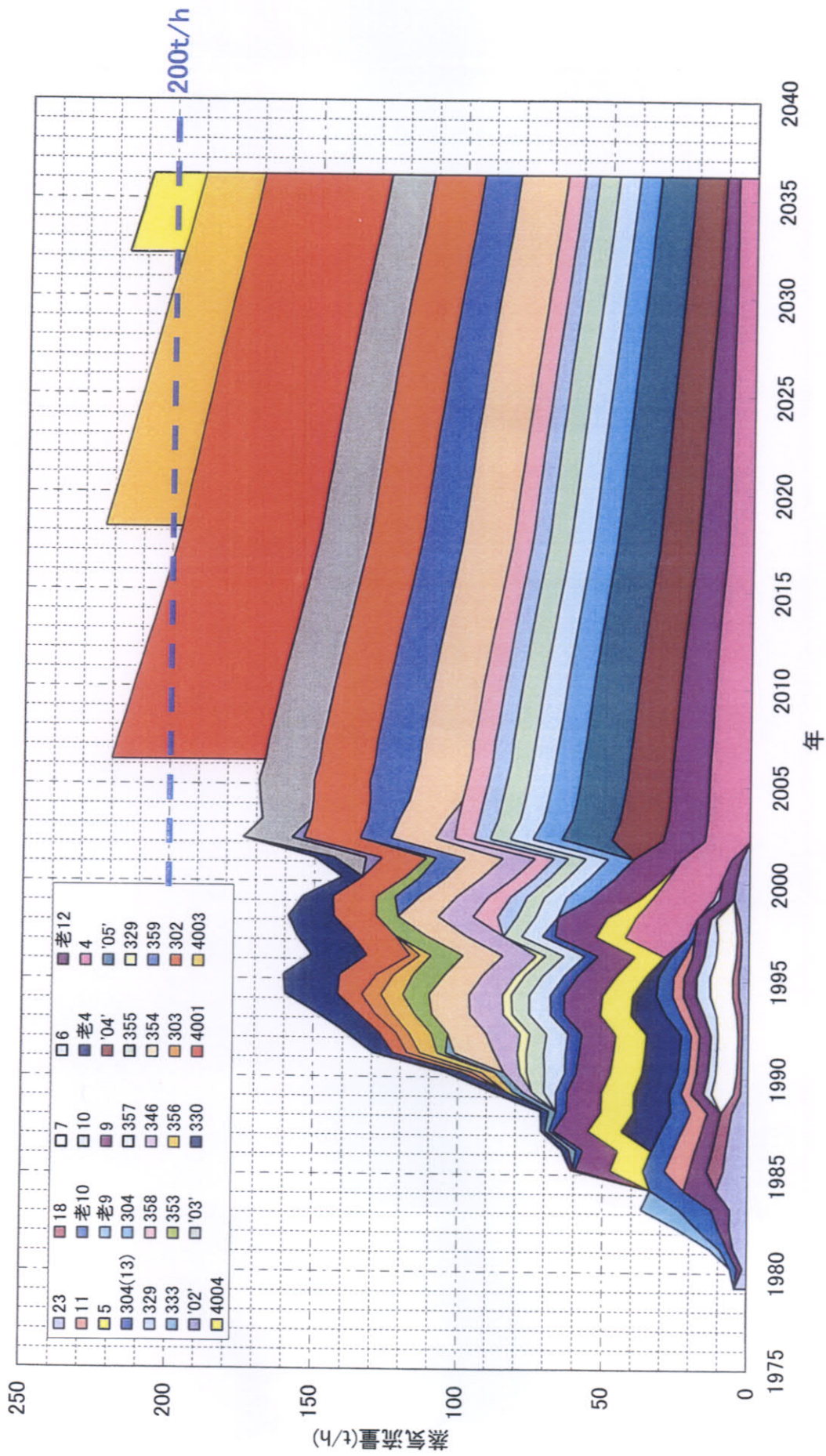


図2-8-85 蒸気流量の挙動予測結果
 (ケースⅡ-3:蒸気流量200t/h維持, かつ深部井熱水を地域南部に還元)

セミナーを開催した。

3-2-2 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。

3-2-3 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。

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 設備の不適化と老朽化

- 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大きな無駄遣いとなる。

- 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、還元井の能力の測定、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

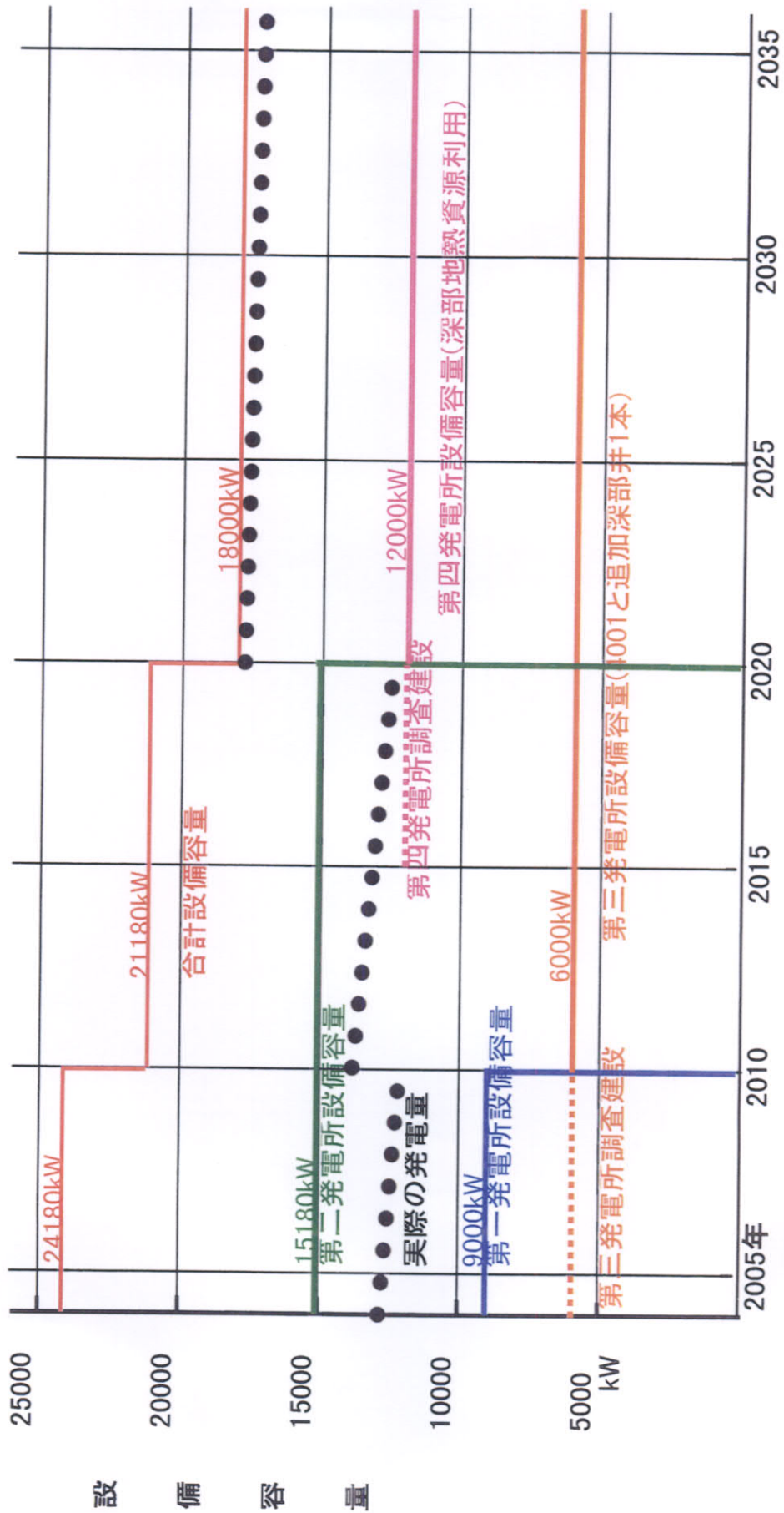


図4-2-1 羊八井地熱発電所 初歩開発計画

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ため、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

5-1 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。