

**中華人民共和国
チベット羊八井地熱資源
開発計画調査
ファイナル レポート
要約版**

平成18年2月
(2006年)

目 次

1	調査概要	1
1-1	調査の背景	1
1-2	調査の目的	1
1-3	プロジェクトの概要及び各段階の作業内容	1
1-3-1	羊八井の位置と環境	1
1-3-2	本調査の年度展開	1
1-3-3	調査結果の概要	5
1-4	調査の実施体制	8
2	調査結果のまとめ	11
2-1	チベットの地熱資源状況と電力事情	11
2-2	地表調査	11
2-2-1	地質調査	11
2-2-2	地化学調査	14
2-2-3	電磁探査 (MT 法)	15
2-2-4	2002 年 2 月時点での地熱系モデルと CJZK3001 の掘削位置の検討	17
2-3	調査井 (CJZK3001 井) 掘削	23
2-3-1	2001 年度工事の概要 (掘削資材準備)	23
2-3-2	2002 年度工事の概要 (深度 0 m~403.2 m 掘削)	23
2-3-3	2003 年度工事の概要 (深度 403.2m~1,903.93m 掘削)	23
2-3-4	2004 年度工事の概要 (深度 1,903.93 m~2,254.5 m 及びサイドトラック 坑深度 877 m~1,109.14 m 掘削)	23
2-4	坑井調査	25
2-4-1	坑井地質	25
2-4-2	坑内検層	25
2-4-3	噴気誘導作業	27
2-4-4	坑井調査から判明した地熱貯留構造	33
2-5	既存深部井 (ZK4001 井) の噴気試験及びスケール付着試験	36
2-5-1	噴気試験	36
2-5-2	スケール付着試験	37
2-6	地熱貯留層の追跡調査	39
2-6-1	地化学的追跡調査	39
2-6-2	水位観測	41
2-7	地熱系モデル	41
2-7-1	地質構造	41
2-7-2	熱源	45
2-7-3	地下温度分布	50
2-7-4	地化学モデル	50

2-7-5	地熱系概念モデル	50
2-7-6	地熱データベースの作成と利用	51
2-8	地熱資源量評価	51
2-8-1	資源量評価の方法	51
2-8-2	地熱貯留層の数値モデル	52
2-8-3	自然状態シミュレーション	52
2-8-4	ヒストリーマッチング	59
2-8-5	将来予測および地熱資源量評価	64
3	技術移転	78
3-1	技術移転の目的と目標	78
3-2	技術移転の方法	78
3-2-1	技術移転セミナー	78
3-2-2	オンザジョブトレーニング	80
3-2-3	日本国内での研修	80
4	地熱開発計画	80
4-1	羊八井地熱発電所の主要な問題点と対応策	80
4-1-1	蒸気量の不足と発電出力の低迷	80
4-1-2	設備の不適化と老朽化	80
4-1-3	深部地熱と浅部地熱を利用する場合の問題点	80
4-1-4	スケール付着, 腐食, 不凝縮ガス	81
4-1-5	還元	81
4-2	初歩開発計画	82
4-2-1	基本計画	82
4-2-2	初歩開発計画	82
5	提言	84
5-1	提言に際しての現状認識	84
5-2	全体的な提言	84
5-3	個別的な提言	84
5-3-1	探査	84
5-3-2	貯留層評価	85
5-3-3	掘削	85
5-3-4	地熱発電設備と運転	86
5-3-5	データ整理と活用	86
5-4	まとめ	86

(この要約版の章、節の番号及び図表番号は本報告書と同じであるため欠番がある。)

1 調査概要

1-1 調査の背景

中華人民共和国チベット自治区の羊八井地熱地域では1970年代から独自技術で地熱開発が行われ、1977年に1MWの地熱発電に成功して以来発電設備を増強し、1991年に発電設備容量24.18MWeの地熱発電所を完成させ現在まで稼働中である。羊八井地熱発電所はチベット自治区の首府であるラサ市周辺における主要な発電所のひとつである。しかし現在羊八井で開発利用されている地熱貯留層は地下200mから400m程度の浅部貯留層であり、浅部貯留層の能力不足等のため蒸気生産量が低下し発電出力が約15MWeと低迷している。中国側はこの問題に対処するため1990年代から深部地熱資源の調査を行い、その結果深部地熱資源が発見されたが、技術的及び資金的制約のため十分な調査や資源評価がなされていないのが現状である。このような背景から、羊八井地域における深部地熱資源調査およびその評価に関して日本政府に技術支援が要請され、2000年7月にプロジェクト形成基礎調査が行われた。2000年10月には開発計画調査の予備調査が行われ、実施細則と協議議事録が締結された。2001年1月には本開発計画調査を担当するコンサルタントが選定され、2000年度の冬から本地熱資源開発計画調査が開始された。

1-2 調査の目的

本開発計画調査では、地表調査によって深部地熱資源の賦存地域を明らかにし、その地点へ調査井を掘削して深部地熱資源を調査確認し、噴気試験及び貯留層シミュレーションによって深部地熱資源の資源量評価を行うとともに、これらの技術を中国側に技術移転することにより、中国側による将来の地熱開発利用への技術支援を行うことを目的としている。

1-3 プロジェクトの概要及び各段階の作業内容

1-3-1 羊八井の位置と環境

調査地域の広域位置図を図1-3-1に、調査地域の衛星写真位置図を図1-3-2に、羊八井地域の調査位置図を図1-3-3に示す。

羊八井はチベット自治区の首府であるラサ市(海拔標高3600m)の北西約90kmのところであり、海拔標高は4300mから4500mである。行政区分は、チベット自治区ラサ市当雄県羊八井鎮である。羊八井は南西から北東方向に長く延びる広い谷状の低地であり、北西側は7162mの主峰を持つネンチンタンコラ山脈であり、南東側は6000m以上の唐山である。年平均気温は2.5℃で空気は薄く海岸部の約半分である。付近の低地は全く樹木のない草原で、放牧が主な産業である。羊八井は、チベットの外部からチベットに通じる主要な交通路である青蔵国道と中尼(中国-ネパール)国道との分岐点に当たり、青蔵国道沿いには2006年の完成を目指してチベット鉄道が建設中である。

1-3-2 本調査の年度展開

本開発計画調査は2000年度の2001年2月に開始され、2005年度の2006年3月に終了

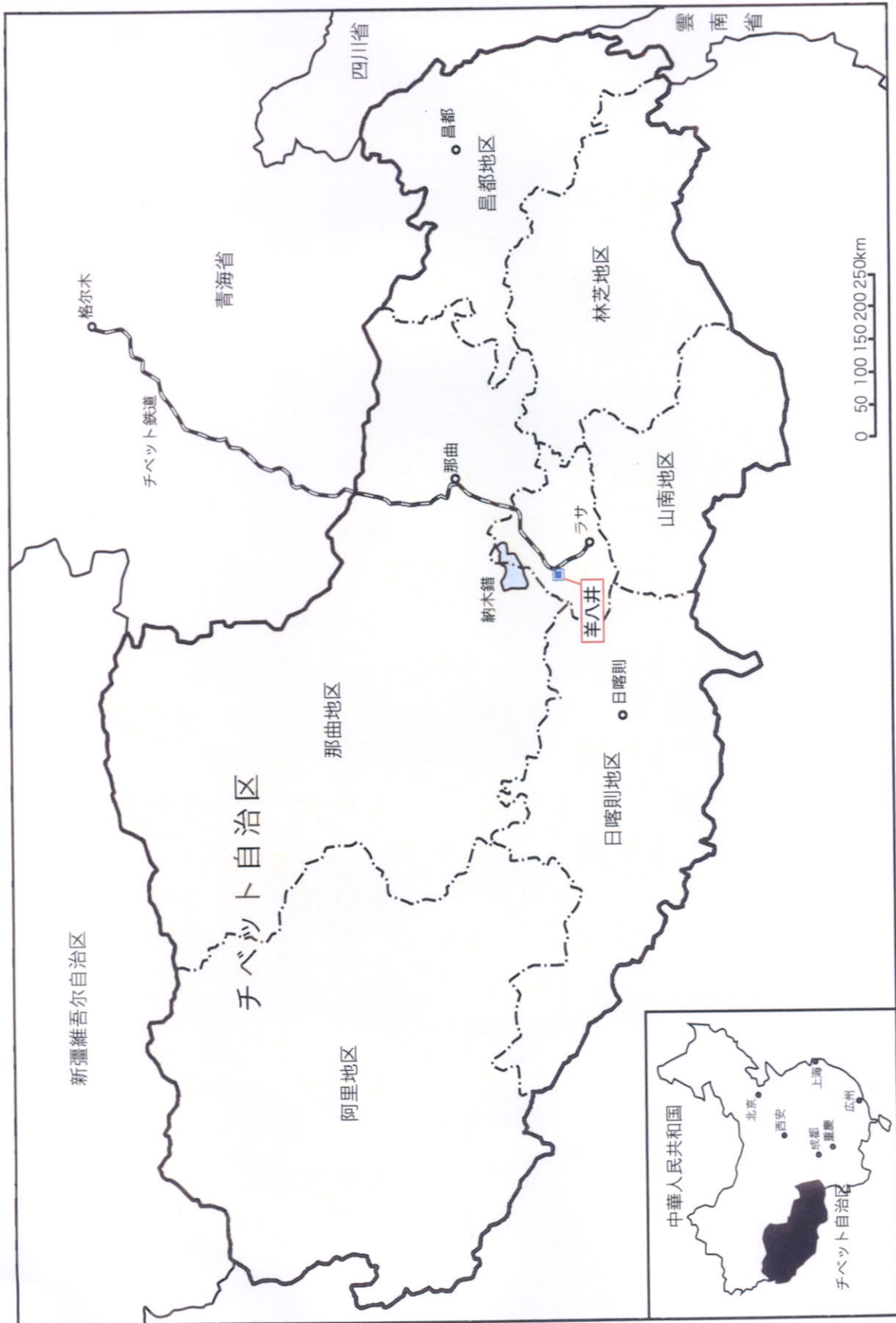


図 1-3-1 調査地域位置図

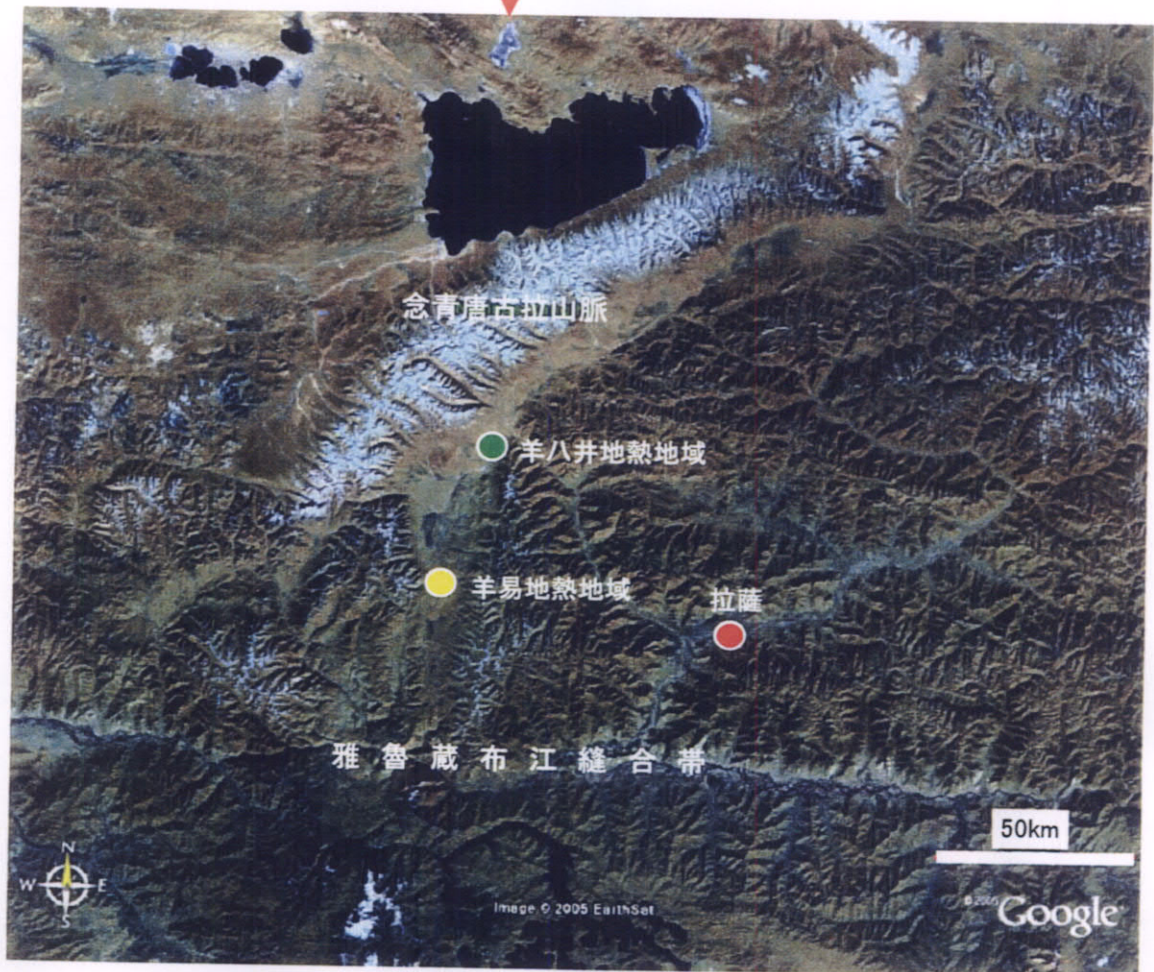
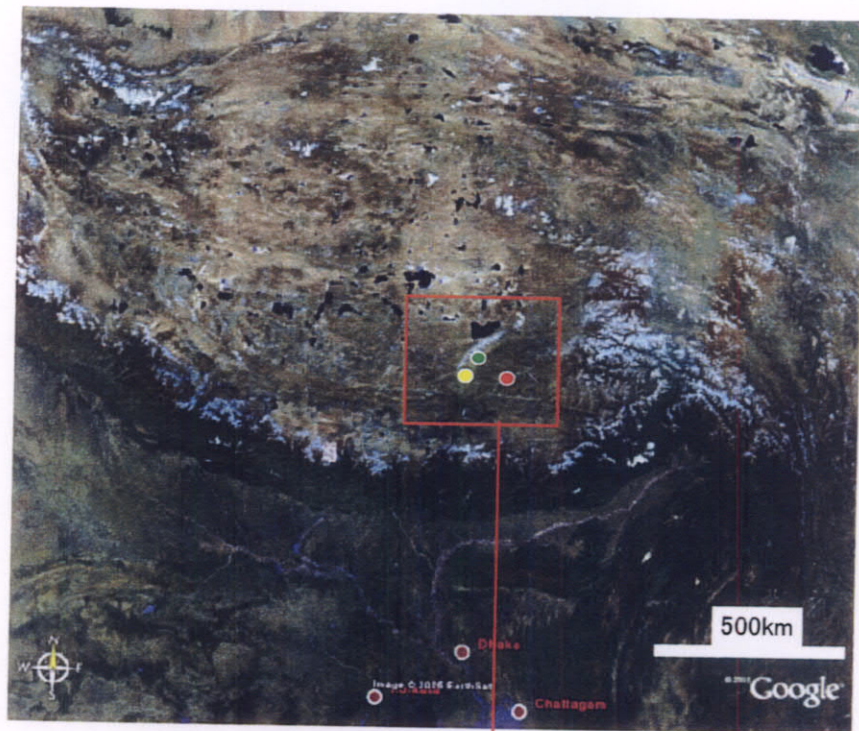


图1-3-2 羊八井地熱地域位置图(衛星画像)

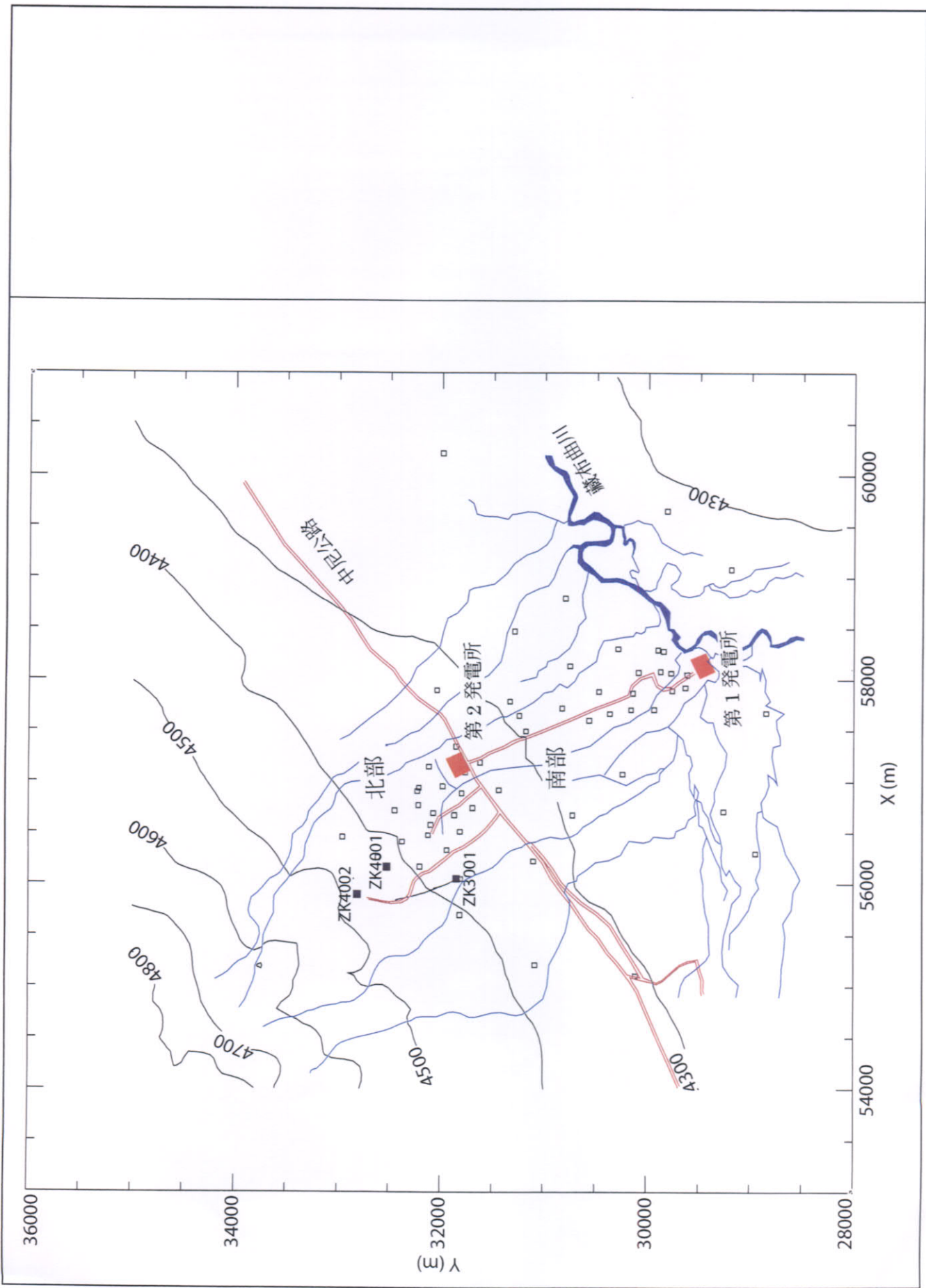


図 1 - 3 - 3 羊八井地域の調査位置図

した。足かけ6ヶ年度、正味5年間の調査であった。この間に実施された作業の年度展開を表1-3-1に、作業工程を表1-3-2示す。

この間の調査作業の概略の内容は次のとおりである。

(i) プロジェクトの開始準備

2000年度に実施した。

(ii) 地表探査

2001年度に地質調査、地球化学調査、電磁探査(MT法)を実施した。

(iii) 調査井(CJZK3001)掘削

2001年度の地表調査結果に基づき、調査井の掘削地点を選定し、調査井の仕様を決め、掘削準備を完了した。

2002年度に掘削を開始し、2002年度には0~403.2mの掘削、2003年度には403.2~1903.93mの掘削、2004年度には1903.93~2254.5mの掘削と877~1109.4mのサイドトラック掘削を行った。

(iv) 調査井(CJZK3001)の坑内調査

2002年度から2004年度の掘削に伴い、坑井地質調査、坑内検層を実施した。掘削終了後の2004年度には噴気誘導を実施した。

(v) 既存深部井ZK4001井の噴気試験

2003年度には噴気試験設備の調達、2004年度には噴気試験設備の設置工事を行った。2004年度と2005年度には長期噴気試験と坑井特性試験を行い、合わせてスケール付着試験をおこなった。

(vi) 地熱貯留層のモニタリング

2001年から既存井の地球化学的追跡調査を継続し、2004年からは既存井の水位の連続観測を開始した。

(vii) 地熱貯留層評価

2001年には地表調査の結果に基づき、地熱貯留層モデルを作成し、2004年には調査井の掘削結果、噴気試験、貯留層モニタリングの結果に基づき、貯留層モデルを改良した。

2004年からは、得られたデータに基づき、コンピュータによる貯留層シミュレーションにより、貯留層の数値モデルを作成し、自然状態シミュレーションとヒストリーマッチングを実施した。2005年度にはヒストリーマッチングと生産予測シミュレーションを実施して貯留層の生産能力評価を行った。

(viii) 地熱開発計画

2005年度にこれまでの調査結果に基づき、地熱開発計画を検討した。

(ix) 技術移転

2000年度から2005年度の調査作業に伴い、それぞれの調査、掘削、評価の技術を技術移転した。

1-3-3 調査結果の概要

(i) 地表調査

- ① 羊八井地域の地熱活動の中心は、北部地域のZK4001井付近を通るF2断層を中心とするNE-SW方向に延びる区域である。この区域では地下深部から高温地熱流体が

中華人民共和国チベット羊八井地熱資源開発計画調査年度展開

表 1-3-1

調査項目	2000年度												2001年度												2002年度												2003年度												2004年度												2005年度											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作業項目	□												□												□												□												□												□											
国内準備作業	■												■												■												■												■												■											
地質調査、坑井地質調査	■												■												■												■												■												■											
地化学調査、噴気流体化学調査	■												■												■												■												■												■											
電磁探査 (MT法)	■												■												■												■												■												■											
地熱系モデル構築、掘削位置検討	■												■												■												■												■												■											
CJK3001調査井掘削	■												■												■												■												■												■											
CJK3001噴気誘導	■												■												■												■												■												■											
CJK3001坑井検層	■												■												■												■												■												■											
ZK4001噴気設備設計、施工	■												■												■												■												■												■											
ZK4001噴気試験	■												■												■												■												■												■											
周辺坑井 水位観測	■												■												■												■												■												■											
地熱貯留層モデル作成	■												■												■												■												■												■											
自然状態シミュレーション	■												■												■												■												■												■											
ヒストリーマッチング	■												■												■												■												■												■											
生産予測シミュレーション	■												■												■												■												■												■											
総合評価、開発計画、提言	■												■												■												■												■												■											
報告書作成	▽												▽												▽												▽												▽												▽											

▽ 現地調査期間
 ■ 国内作業期間
 □ その他作業
 ● 報告書作成

表 1-3-2 中国チベット羊八井地熱資源開発計画調査 作業工程表

調査期間	2000年度												2001年度												2002年度												2003年度												2004年度												2005年度																																																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																
作業項目																																																																																																																								
現地調査	■ 第1次現地調査																																																																																																																							
国内作業	□ 準備作業																																																																																																																							
現地調査													■ 第2次現地調査																																																																																																											
国内作業													□ 第3次現地調査(前期)												■ (後期)																																																																																															
現地調査																									■ 第4次現地調査																																																																																															
国内作業													□ 国内準備作業												□ 第1次国内作業												■ 第5次現地調査																																																																																			
現地調査																																					□ 第2次国内作業(前期)												■ (後期)																																																																							
国内作業																																					□ 第3次国内作業												■ 第6次現地調査												■ 第7次現地調査																																																											
現地調査																																																	□ 第4次国内作業												■ 第8次現地調査(前期)												■ (後期)												■ 第5次現地調査																																			
国内作業																																																													□ 第5次国内作業												■ 第9次現地調査												■ 第3次国内作業												■ 第4次国内作業												■ 第5次国内作業											
報告書作成	▽ IC/R												▽ PR/R												▽ PR/R2												▽ PR/R3												▽ IT/R												▽ PR/R4												▽ DF/R												F/R																																			

▽ 報告書作成

■ 現地調査期間

□ 国内作業期間

上昇しているものと考えられる。

- ② 北部の地熱活動の中心地区で深部から上昇した高温地熱流体は地下浅部で南東方向に流動し、羊八井南部にまで達して浅部貯留層を形成している。
- ③ 浅部貯留層の地熱流体は深部熱水と地表水(温泉水)との混合で形成されており、現在の浅部貯留層からの地熱流体生産量に比べて供給量は不足している可能性がある。

(ii) 調査井掘削及び坑井調査

- ① 深部調査井(CJZK3001)は元井戸を2254.5mまで掘削し、さらにサイドトラック井を877mから1109.14mまで掘削した。
- ② 深部調査井(CJZK3001)においては、浅部貯留層は深度235m～694mにあり検層温度はほぼ150℃であり、シリカ温度は170～180℃と推定される。深部貯留層は深度981m～1503mに存在する。検層温度は981mから1128mの間に約160℃から約260℃に急激に上昇し、それ以深は約260℃で一定である。1503m以深には貯留層は存在しないと考えられる。
- ③ 981mから1109mまでの深部貯留層を対象として、噴気誘導を試みたが噴気にいたらなかった。主な原因は、浅部でのケーシングの破損、深部での坑井内の詰りと考えられる。

(iii) ZK4001 噴気試験

- ① ZK4001 井の長期噴気試験を行った。坑口圧力1.5MPaで蒸気流量50t/h、熱水流量269t/hが確認された。また、3ヶ月間の長期噴気試験の間に噴出量の変化はあまりなかった。
- ② 噴気試験と同時に実施したスケール付着試験では、スケール付着はほとんどみられなかった。しかし、流体温度が低下するとシリカスケールが析出することと、坑内で炭酸カルシウムスケールが析出することが判明した。

(iv) 貯留層評価

- ① 羊八井の深部と浅部を合わせた貯留層は、合計約200t/hの蒸気生産を30年間安定的に継続することが可能であると評価された。
- ② 合計240t/hの蒸気生産は可能性はあるがリスクがあり、合計280t/hの蒸気生産はリスクが非常に大きいと評価された。

(v) 地熱開発計画

- ① 羊八井地域の今後の地熱開発は浅部貯留層利用から漸次深部貯留層利用に移行することが適当と考えられた。
- ② 現在運転中の第一、第二発電所が老朽化する時期を考慮して、2010年には第一発電所を停止して発電出力約6000kWの第三発電所を建設し、2020年には第二発電所を停止して発電出力約12000kWの第四発電所を建設する計画を作成した。
- ③ 現在から将来にわたり貯留層などの調査を継続し、開発計画をさらに合理的なものにすることを提案した。

1-4 調査の実施体制

日本開発計画調査の実施体制は、図1-4-1に示すとおりである。

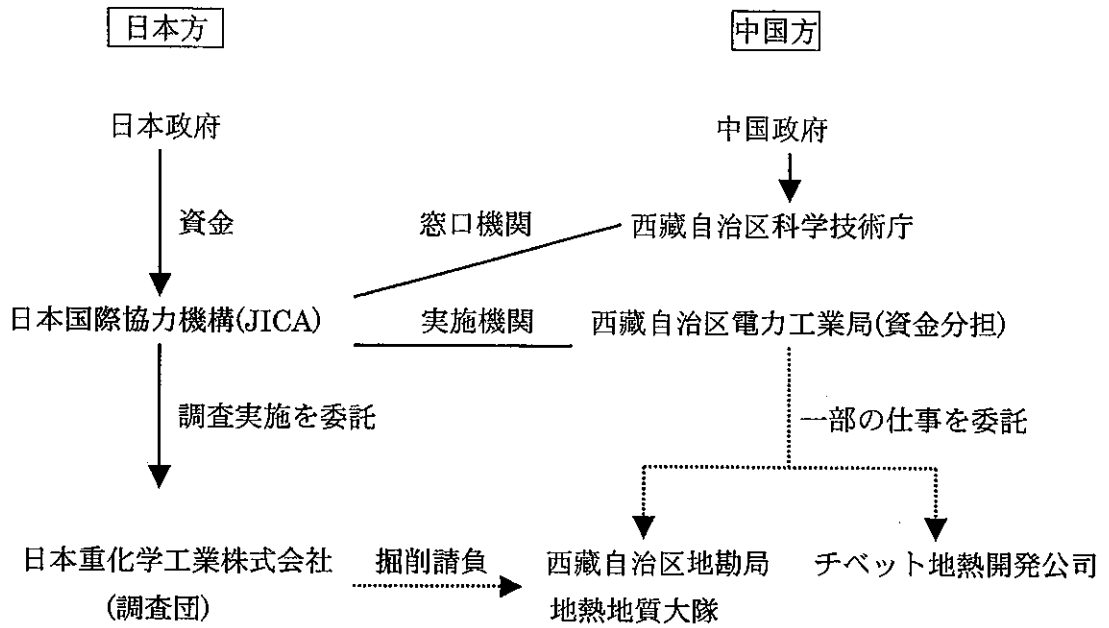


図 1 - 4 - 1 中華人民共和国チベット羊八井地熱開発計画調査 実施体制

日本側は、調査を実施するコンサルタント会社として日本重化学工業株式会社が JICA から委託された。調査実施に当たっての中国側の窓口機関は西藏自治区科学技術庁であり、開発計画調査を共同で実施するカウンターパートは西藏自治区電力工業局である。また、特に大きな工事となった調査井(CJZK3001 井)の掘削は、日本重化学工業㈱から西藏自治区地質鉍産勘査開発局地熱地質大隊に再委託発注して実施された。