

独立行政法人 国際協力機構

中華人民共和国チベット自治区電力工業局

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

平成18年2月
(2006年)

独立行政法人 国際協力機構
経済開発部

経済

JR

06-012

序 文

日本国政府は中華人民共和国の要請に基づき、同国チベット自治区羊八井地域を対象とする地熱資源開発計画調査を行うことを決定し、国際協力機構がこの調査を実施しました。

当機構は、平成13年2月から平成18年1月までの9次にわたり、日本重化学工業株式会社の宮崎眞一氏を団長とし、同社及び地熱エンジニアリング株式会社、地熱技術開発株式会社、有限会社八幡平工業の団員から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団は中華人民共和国政府関係者と協議を行うとともに、現地調査を行い、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が中華人民共和国の地熱発電の開発に寄与するとともに、両国親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、本調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心から感謝を申し上げます。

平成18年2月

独立行政法人国際協力機構
理事 伊沢 正

平成 18 年 2 月

独立行政法人国際協力機構
理事 伊沢 正 殿

伝 達 状

中華人民共和国チベット羊八井地熱資源開発計画調査を終了いたしましたので、ここに最終報告書を提出いたします。6 年間にわたる中華人民共和国関係諸機関との共同作業の成果を本報告書にまとめました。

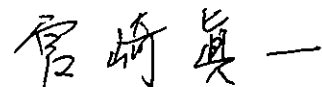
中華人民共和国チベット自治区は地熱資源が大変豊富であり、太古からの美しい大自然を保護するためにも中華人民共和国政府は地熱発電の開発に力を入れており、羊八井地域において 1977 年から自力の技術で地熱発電を開始し第一と第二地熱発電所が運転しております。しかし、これまで開発利用されている地熱資源は浅部の比較的低温の資源であり発電出力も低迷していたため、本開発計画調査で深部地熱資源の調査と資源量評価を行ったものです。本調査の結果、羊八井地域の地熱資源は約 2 万 kW の発電を継続する能力があると評価され、本調査の中で第三と第四地熱発電所を建設する初歩計画を、現地カウンターパートであるチベット電力工業局と共に作成いたしました。チベット電力工業局はこの初歩計画に基づき、新発電所を建設するための活動を既に開始いたしました。遠からず新地熱発電所の建設が実現するものと信じます。チベットでは今年にはチベット鉄道が開通する予定で、経済開発が進んでおり、エネルギー需要も激増しています。幸いチベット鉄道の沿線には非常に多くの地熱資源がありますので、自治区政府は将来さらに多くの地熱発電所を建設する希望を持っています。

本調査では技術移転を真剣に行いました。特に高温深部地熱井の傾斜掘削技術、コンピュータシミュレーションによる貯留層評価など、カウンターパート側は長期にわたり調査団員と作業を共にしながら熱心に学びました。羊八井では既に自力で大変な苦勞をして地熱開発と発電所運転をしていたため目的意識も高く、調査団からの技術を砂が水を吸い取るように吸収してくれました。

本調査の成果と移転した技術が、チベットの厳しくも雄大な大自然を保護しつつ今後の経済発展に寄与することを願う次第です。

最後に中華人民共和国のカウンターパート及び関係諸機関の調査に対する真摯な態度とご協力、貴機構担当部署、現地の中華人民共和国事務所の親身なご指導とご支援に心から感謝申し上げます。

中華人民共和国チベット羊八井地熱資源開発計画調査団
総括 宮崎眞一



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	5
1-3-3	調査結果の概要	8
1-4	JICA 調査団の構成とカウンターパート側の構成	9
1-4-1	調査の実施体制	9
1-4-2	調査団とカウンターパートの構成	9
1-5	謝辞	9
2	調査結果のまとめ	13
2-1	チベットの地熱資源状況と電力事情	13
2-1-1	地熱資源状況	13
2-1-2	電力事情	15
2-2	地表調査	19
2-2-1	地質調査	19
2-2-2	地化学調査	41
2-2-3	電磁探査 (MT 法)	59
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	79
2-3	調査井 (CJZK3001 井) 掘削	97
2-3-1	工事の概要	97
2-3-2	2001 年度調査井掘削工事 (掘削資材準備)	97
2-3-3	2002 年度調査井掘削工事	99
2-3-4	2003 年度調査井掘削工事	114
2-3-5	2004 年度調査井掘削工事	129
2-4	坑井調査	149
2-4-1	坑井地質	149
2-4-2	坑内検層	172
2-4-3	噴気誘導作業	180
2-4-4	坑井調査から判明した地熱貯留構造	204
2-5	既存深部井 (ZK4001 井) の噴気試験及びスケール付着試験	209
2-5-1	噴気試験	209
2-5-2	スケール付着試験	235
2-6	地熱貯留層の追跡調査	245
2-6-1	地化学的追跡調査	245
2-6-2	水位観測	282

2-7	地熱系モデル	289
2-7-1	地質構造	289
2-7-2	熱源	292
2-7-3	地下温度分布	297
2-7-4	地化学モデル	297
2-7-5	地熱系概念モデル	297
2-7-6	地熱データベースの作成と利用	298
2-8	地熱資源量評価	299
2-8-1	資源量評価の方法	299
2-8-2	地熱貯留層の数値モデル	299
2-8-3	自然状態シミュレーション	307
2-8-4	ヒストリーマッチング	307
2-8-5	将来予測および地熱資源量評価	343
3	技術移転	403
3-1	技術移転の目的と目標	403
3-2	技術移転の方法	403
3-3	技術移転の内容	403
3-3-1	地表地質調査技術	403
3-3-2	電磁探査技術	403
3-3-3	坑井掘削技術	404
3-3-4	坑井地質調査技術	404
3-3-5	坑井検層技術	405
3-3-6	地化学調査技術	405
3-3-7	噴気試験技術	405
3-3-8	地熱貯留層評価技術	406
3-3-9	地熱発電所建設計画技術	406
3-3-10	日本国内研修	407
3-3-11	ワークショップ(ラサ報告会、北京報告会)	409
3-4	技術移転の成果	409
4	地熱開発計画	413
4-1	羊八井地熱発電所の主要な問題点と対応策	413
4-1-1	蒸気量の不足と発電出力の低迷	413
4-1-2	設備の不適化と老朽化	413
4-1-3	深部地熱と浅部地熱を利用する場合の問題点	413
4-1-4	スケール付着, 腐食, 不凝縮ガス	413
4-1-5	還元	414
4-2	初歩開発計画	414
4-2-1	基本計画	414
4-2-2	初歩開発計画	415

5	提言	419
5-1	提言に際しての現状認識	419
5-2	全体的な提言	419
5-3	個別的な提言	419
5-3-1	探査	419
5-3-2	貯留層評価	420
5-3-3	掘削	420
5-3-4	地熱発電設備と運転	420
5-3-5	データ整理と活用	421
5-4	まとめ	421
	引用文献・参考図書	422

図一覧

図 1 - 3 - 1	調査地域位置図 -----	2
図 1 - 3 - 2	羊八井地熱地域位置図（衛星画像） -----	3
図 1 - 3 - 3	羊八井地熱地域位置図 -----	4
図 1 - 4 - 1	実施体制 -----	10
図 2 - 2 - 1 (1)	地質調査地点位置図（第 2 次現地調査） -----	20
図 2 - 2 - 1 (2)	地質調査地点位置図（第 8 次現地調査） -----	21
図 2 - 2 - 2	羊八井地熱地域地質図 -----	23
図 2 - 2 - 3	羊八井地域の断層の π -ポールダイアグラム -----	24
図 2 - 2 - 4	羊八井地域の断層のローズダイアグラム -----	25
図 2 - 2 - 5	羊八井地熱地域の主要断層及び地熱地表徴候分布図 ---	26
図 2 - 2 - 6	羊八井地熱地域変質帯分布図 -----	29
図 2 - 2 - 7	断層と変質帯の関係 -----	30
図 2 - 2 - 8	羊八井地熱地域熱水変質鉱物組合せによる変質分帯図 -	37
図 2 - 2 - 9	羊八井地熱地域石英ルミネッセンス発光強度比 の分布図 -----	38
図 2 - 2 - 1 0	羊八井地域地表の均質化温度と塩濃度の相関図 -----	43
図 2 - 2 - 1 1	羊八井地熱地域の流体包有物のタイプ分布 -----	44
図 2 - 2 - 1 2	試料採取位置図 -----	45
図 2 - 2 - 1 3	試料採取方法 -----	46
図 2 - 2 - 1 4	キーダイアグラム -----	51
図 2 - 2 - 1 5	2 成分相関図 -----	54
図 2 - 2 - 1 6	ガス濃度分布図 -----	55
図 2 - 2 - 1 7	^3H 濃度分布図 -----	56
図 2 - 2 - 1 8	Cl 濃度分布図 -----	57
図 2 - 2 - 1 9	MT 調査測点位置図 -----	61
図 2 - 2 - 2 0	1 次元解析結果（測線 A） -----	63
図 2 - 2 - 2 1	1 次元解析結果（測線 B） -----	64
図 2 - 2 - 2 2	1 次元解析結果（測線 C） -----	65
図 2 - 2 - 2 3	1 次元解析結果（測線 D） -----	66
図 2 - 2 - 2 4	2 次元解析結果（測線 A） -----	68
図 2 - 2 - 2 5	2 次元解析結果（測線 B） -----	69
図 2 - 2 - 2 6	2 次元解析結果（測線 C） -----	70
図 2 - 2 - 2 7	2 次元解析結果（測線 D） -----	71
図 2 - 2 - 2 8	比抵抗平面図（標高 4,200 m） -----	72
図 2 - 2 - 2 9	比抵抗平面図（標高 4,000 m） -----	73
図 2 - 2 - 3 0	比抵抗平面図（標高 3,800 m） -----	74
図 2 - 2 - 3 1	比抵抗平面図（標高 3,500 m） -----	75

図 2-2-3 2	比抵抗平面図 (標高 3,000 m) -----	76
図 2-2-3 3	比抵抗平面図 (標高 2,500 m) -----	77
図 2-2-3 4	3次元解析結果 (測線 A) -----	81
図 2-2-3 5	3次元解析結果 (測線 B) -----	82
図 2-2-3 6	3次元解析結果 (測線 C) -----	83
図 2-2-3 7	比抵抗平面図 (地表下 300-400 m) -----	84
図 2-2-3 8	比抵抗平面図 (地表下 900-1,000 m) -----	85
図 2-2-3 9	比抵抗平面図 (地表下 1,400-1,600 m) -----	86
図 2-2-4 0	比抵抗平面図 (地表下 2,000-2,250 m) -----	87
図 2-2-4 1	比抵抗平面図 (地表下 2,500-2,750 m) -----	88
図 2-2-4 2	羊八井地熱地域の標高 3,000m における比抵抗分布と 比抵抗不連続線 -----	89
図 2-2-4 3	羊八井地熱地域, ブーゲー重力異常図 -----	90
図 2-2-4 4	羊八井地熱地域調査総括図 (2002 年 2 月) -----	92
図 2-2-4 5	羊八井地熱地域の地熱系モデル (2002 年 2 月) -----	93
図 2-2-4 6	新規観測井の予想断面図 (2002 年 2 月) -----	96
図 2-3-1	2002 年度 CJZK3001 ドリリングチャート -----	100
図 2-3-2	2002 年度 CJZK3001 ケーシングプログラム -----	101
図 2-3-3	2002 年度掘削設備配置図 -----	104
図 2-3-4	2002 年度 CJZK3001 坑跡平面図 (元坑) -----	109
図 2-3-5	2002 年度 CJZK3001 坑跡断面図 (元坑) -----	110
図 2-3-6	2002 年度 CJZK3001 坑跡平面図 (サイドトラック坑) -	112
図 2-3-7	2002 年度 CJZK3001 坑跡断面図 (サイドトラック坑) -	113
図 2-3-8	2003 年度 CJZK3001 ドリリングチャート -----	115
図 2-3-9	2003 年度 CJZK3001 ケーシングプログラム -----	116
図 2-3-1 0	2003 年度 CJZK3001 坑跡平面図 -----	125
図 2-3-1 1	2003 年度 CJZK3001 坑跡断面図 -----	126
図 2-3-1 2	掘削用坑口装置 -----	127
図 2-3-1 3	2004 年度 CJZK3001 ドリリングチャート -----	131
図 2-3-1 4	2004 年度 CJZK3001 ケーシングプログラム (元坑) ---	131
図 2-3-1 5	2004 年度掘削設備配置図 -----	133
図 2-3-1 6	2004 年度 CJZK3001 坑跡平面図 -----	136
図 2-3-1 7	2004 年度 CJZK3001 坑跡断面図 -----	137
図 2-3-1 8	2004 年度 CJZK3001 ケーシングプログラム (サイドトラック坑) -----	141
図 2-4-1	CJZK3001 変質分帯図 -----	155
図 2-4-2	ZK4002 変質分帯図 -----	158
図 2-4-3	CJZK3001 深度-均質化温度分布図 -----	161

図 2-4-4	CJZK3001 の流体包有物の均質化温度と塩濃度の相関図	162
図 2-4-5	ZK4002 深度-均質化温度分布図	164
図 2-4-6	ZK4002 の流体包有物の均質化温度と塩濃度の相関図	165
図 2-4-7	各コア試料の X 線分析による鉱物相対強度 (石英指数換算)	171
図 2-4-8	CJZK3001 および CJZK3001a 検層結果総合対比図	173
図 2-4-9	CJZK3001 PTS 検層結果 (2003 年度)	175
図 2-4-10	CJZK3001 温度圧力測定結果 (2004. 7. 21)	177
図 2-4-11	CJZK3001 スピンナー測定結果 (2004. 7. 21)	178
図 2-4-12	検層結果の解釈 (9 月 13 日注水なしで検層)	182
図 2-4-13	CJZK3001a 温度圧力測定結果 (2004. 9. 14)	184
図 2-4-14	CJZK3001a 静止中のスピナー測定結果 (2004. 9. 14)	185
図 2-4-15	CJZK3001a 注水中のスピナー測定結果 (2004. 9. 14, 注水流量: 60 t/h)	187
図 2-4-16	CJZK3001a 注水中のスピナー測定結果 (2004. 9. 14, 注水流量: 30 t/h)	188
図 2-4-17	検層結果の解釈 (9 月 14 日検層注水中)	189
図 2-4-18	CJZK3001a 温度圧力測定結果 (2004. 9. 17)	190
図 2-4-19	CJZK3001a 静止中のスピナー測定結果 (2004. 9. 17)	191
図 2-4-20	CJZK3001a 注水中のスピナー測定結果 (2004. 9. 17, 注水流量: 60 t/h)	193
図 2-4-21	検層結果の解釈 (9 月 17 日検層注水中)	194
図 2-4-22	検層結果の解釈 (噴気誘導時の総合的な状況)	195
図 2-4-23	CJZK3001 噴気誘導作業 (1)	199
図 2-4-24	CJZK3001 噴気誘導作業 (2)	200
図 2-4-25	CJZK3001 噴気誘導作業 (3)	201
図 2-4-26	CJZK3001 総合柱状図	205
図 2-4-27	CJZK3001 調査総括断面図	206
図 2-5-1	ZK4001 噴気試験設備系統図	210
図 2-5-2	ZK4001 噴気試験経時変化図 (1) (2)	215
図 2-5-3	ZK4001 噴気特性グラフ (2004. 12. 13 第 1 回測定)	218
図 2-5-4	ZK4001 流量特性	223
図 2-5-5	ZK4001 噴気特性グラフ (2005. 7. 13~15 第 2 回測定)	224
図 2-5-6	ZK4001 噴気特性グラフ (2005. 8. 26~27 第 3 回測定)	225
図 2-5-7	ZK4001 噴気特性グラフ (2005. 10. 8~9 第 4 回測定)	226
図 2-5-8	ZK4001 噴出試料写真 (1) (2)	228
図 2-5-9	ZK4001 噴出岩の流体包有物均質化温度分布図	233
図 2-5-10	ZK4001 噴出岩の流体包有物の均質化温度 と塩濃度の相関図	234

図 2-5-1 1	ZK4001 スケール・噴出試料採取位置図	-----	236
図 2-5-1 2	ZK4001 スケール試験熱水採取位置図	-----	239
図 2-6-1	地化学試料採取地点位置図	-----	250
図 2-6-2	Cl-Ent 混合モデル図	-----	251
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (1) -ZK03-	-----	252
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (2) -ZK04-	-----	253
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (3) -ZK05-	-----	254
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (4) -ZK21-	-----	255
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (5) -ZK304-	-----	256
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (6) -ZK309-	-----	257
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (7) -ZK313-	-----	258
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (8) -ZK324-	-----	259
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (9) -ZK328-	-----	260
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (10) -ZK329-	-----	261
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (11) -ZK346-	-----	262
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (12) -ZK354-	-----	263
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (13) -ZK355-	-----	264
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (14) -ZK357-	-----	265
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (15) -ZK358-	-----	266
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (16) -ZK359-	-----	267
図 2-6-3	熱水の化学性状経時変化図 (17) -ZK4001-	-----	268
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (1) -ZK03-	-----	269
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (2) -ZK04-	-----	270
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (3) -ZK05-	-----	271
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (4) -ZK21-	-----	272
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (5) -ZK313-	-----	273
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (6) -ZK329-	-----	274
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (7) -ZK346-	-----	275
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (8) -ZK354-	-----	276
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (9) -ZK355-	-----	277
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (10) -ZK357-	-----	278
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (11) -ZK358-	-----	279
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (12) -ZK359-	-----	280
図 2-6-4	蒸気成分経時変化図 (13) -ZK4001-	-----	281
図 2-6-5	水位観測結果	-----	286
図 2-7-1	チベット当雄羊八井地区構造地貌形成過程模式図	----	290
図 2-7-2	羊八井地熱田水熱系統概念モデル図	-----	293
図 2-7-3 (1)	羊八井地熱地域調査総括図 (その 1)	-----	294

図 2-7-3 (2)	羊八井地熱地域調査総括図 (その 2)	-----	295
図 2-7-4	当雄羊八井盆地活動断裂構造模式図	-----	296
図 2-8-1	シミュレーション解析のイメージと流れ	-----	300
図 2-8-2	地熱貯留層数値モデル作成フロー	-----	301
図 2-8-3	解析範囲とグリッド分割 (全体)	-----	302
図 2-8-4	解析範囲とグリッド分割 (中央)	-----	303
図 2-8-5	上方境界の圧力平面分布	-----	305
図 2-8-6	下方境界の質量流束分布	-----	306
図 2-8-7	浸透率分布断面図 (断面 A-A')	-----	309
図 2-8-8	浸透率分布平面図 (海拔 4250~4300m)	-----	310
図 2-8-9	浸透率分布平面図 (海拔 4200~4250m)	-----	311
図 2-8-10	浸透率分布平面図 (海拔 4150~4200m)	-----	312
図 2-8-11	浸透率分布平面図 (海拔 4100~4150m)	-----	313
図 2-8-12	浸透率分布平面図 (海拔 4050~4100m)	-----	314
図 2-8-13	浸透率分布平面図 (海拔 4000~4050m)	-----	315
図 2-8-14	浸透率分布平面図 (海拔 3800~4000m)	-----	316
図 2-8-15	浸透率分布平面図 (海拔 3600~3800m)	-----	317
図 2-8-16	浸透率分布平面図 (海拔 3400~3600m)	-----	318
図 2-8-17	浸透率分布平面図 (海拔 3200~3400m)	-----	319
図 2-8-18	浸透率分布平面図 (海拔 3000~3200m)	-----	320
図 2-8-19	浸透率分布平面図 (海拔 2750~3000m)	-----	321
図 2-8-20	浸透率分布平面図 (海拔 2500~2750m)	-----	322
図 2-8-21	浸透率分布平面図 (海拔 2250~2500m)	-----	323
図 2-8-22	浸透率分布平面図 (海拔 2000~2250m)	-----	324
図 2-8-23	浸透率分布平面図 (海拔 1500~2000m)	-----	325
図 2-8-24	浸透率分布平面図 (海拔 1000~1500m)	-----	326
図 2-8-25	浸透率分布平面図 (海拔 500~1000m)	-----	327
図 2-8-26	浸透率分布平面図 (海拔 0~500m)	-----	328
図 2-8-27	自然状態の温度分布断面図および熱水の 流速ベクトル図 (計算結果)	-----	329
図 2-8-28	自然状態の温度分布平面図および熱水の 流速ベクトル図 (計算結果)	-----	330
図 2-8-29	坑井内温度分布 (計算結果と測定結果の比較)	-----	331
図 2-8-30	各坑井の噴気流量の計算方法の概念図	-----	333
図 2-8-31	発電出力と蒸気流量の関係	-----	334
図 2-8-32	年平均発電出力の経時変化	-----	335
図 2-8-33	発電出力から推定した蒸気流量	-----	336
図 2-8-34	推定した 1 号発電所の実績の蒸気流量	-----	337
図 2-8-35	推定した 2 号発電所の実績の蒸気流量	-----	338

図 2-8-36	推定した 1 号発電所の実績の熱水流量 -----	339
図 2-8-37	推定した 2 号発電所の実績の熱水流量 -----	340
図 2-8-38	ヒストリーマッチングにおける貯留層温度分布の経時変化 (第 3 層：海拔 4150~4200m) -----	342
図 2-8-39	ヒストリーマッチングにおける貯留層圧力分布の経時変化 (第 3 層：海拔 4150~4200m) -----	344
図 2-8-40	流入点温度の経時変化 (計算結果と地化学温度の比較) -----	345
図 2-8-41	生産予測シミュレーション (還元なし) における 深部井の追加位置と順番 -----	348
図 2-8-42	生産予測シミュレーション (還元あり) における 還元井の追加位置と順番 -----	349
図 2-8-43	浅部生産井の熱水の還元模式図 -----	351
図 2-8-44	深部生産井の熱水の還元模式図 -----	352
図 2-8-45	蒸気流量の挙動予測結果 (ケース I-1：生産井現状維持の設定) --	354
図 2-8-46	流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (ケース I-1：生産井現状維持の設定) --	355
図 2-8-47	流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース I-1：生産井現状維持の設定) --	356
図 2-8-48	熱水流量の挙動予測結果 (ケース I-1：生産井現状維持の設定) --	357
図 2-8-49	蒸気流量の挙動予測結果 (ケース I-2：生産井現状維持+ZK4001 の設定) --	358
図 2-8-50	浅部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (ケース I-2：生産井現状維持+ZK4001 の設定) --	359
図 2-8-51	深部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (ケース I-2：生産井現状維持+ZK4001 の設定) --	360
図 2-8-52	浅部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース I-2：生産井現状維持+ZK4001 の設定) --	361
図 2-8-53	深部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース I-2：生産井現状維持+ZK4001 の設定) --	362
図 2-8-54	熱水流量の挙動予測結果 (ケース I-2：生産井現状維持+ZK4001 の設定) --	363
図 2-8-55	蒸気流量の挙動予測結果 (ケース I-3：蒸気流量 200t/h 維持の設定) -----	364
図 2-8-56	浅部井流入点ブロックの圧力の挙動予測結果 (ケース I-3：蒸気流量 200t/h 維持の設定) -----	365
図 2-8-57	深部井流入点ブロックの圧力の挙動予測結果 (ケース I-3：蒸気流量 200t/h 維持の設定) -----	366

図 2-8-58	浅部井流入点ブロックの圧力の挙動予測結果 (ケース I-3 : 蒸気流量 200t/h 維持の設定)	----- 367
図 2-8-59	深部井流入点ブロックの温度の挙動予測結果 (ケース I-3 : 蒸気流量 200t/h 維持の設定)	----- 368
図 2-8-60	熱水流量の挙動予測結果 (ケース I-3 : 蒸気流量 200t/h 維持の設定)	----- 369
図 2-8-61	蒸気流量の挙動予測結果 (ケース I-4 : 蒸気流量 240t/h 維持の設定)	----- 370
図 2-8-62	浅部井流入点ブロック圧力蒸気流量の挙動予測結果 (ケース I-4 : 蒸気流量 240t/h 維持の設定)	----- 371
図 2-8-63	深部井流入点ブロックの圧力の挙動予測結果 (ケース I-4 : 蒸気流量 240t/h 維持の設定)	----- 372
図 2-8-64	浅部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース I-4 : 蒸気流量 240t/h 維持の設定)	----- 373
図 2-8-65	深部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース I-4 : 蒸気流量 240t/h 維持の設定)	----- 374
図 2-8-66	熱水流量の挙動予測結果 (ケース I-4 : 蒸気流量 240t/h 維持の設定)	----- 375
図 2-8-67	蒸気流量の挙動予測結果 (ケース I-5 : 蒸気流量 280t/h 維持の設定)	----- 377
図 2-8-68	浅部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (ケース I-5 : 蒸気流量 280t/h 維持の設定)	----- 378
図 2-8-69	深部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (ケース I-5 : 蒸気流量 280t/h 維持の設定)	----- 379
図 2-8-70	浅部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース I-5 : 蒸気流量 280t/h 維持の設定)	----- 380
図 2-8-71	深部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース I-5 : 蒸気流量 280t/h 維持の設定)	----- 381
図 2-8-72	熱水流量の挙動予測結果 (ケース I-5 : 蒸気流量 280t/h 維持の設定)	----- 382
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, かつ深部熱水を地域北部に還元)	----- 383
図 2-8-74	浅部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (ケース II-1 : 蒸気流量 200t/h 維持, かつ深部熱水を地域北部に還元)	----- 384
図 2-8-75	深部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (ケース II-1 : 蒸気流量 200t/h 維持, かつ深部熱水を地域北部に還元)	----- 385
図 2-8-76	浅部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース II-1 :	

	蒸気流量 200t/h 維持, かつ深部熱水を地域北部に還元)	-----	386
図 2-8-77	深部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (ケース II-1 : 蒸気流量 200t/h 維持, かつ深部熱水を地域北部に還元)	-----	387
図 2-8-78	熱水流量の挙動予測結果 (ケース II-1 : 蒸気流量 200t/h 維持, かつ深部熱水を地域北部に還元)	-----	388
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, かつ深部熱水を地域中央部に還元)	-----	389
図 2-8-80	浅部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (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)		390
図 2-8-81	深部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (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)		391
図 2-8-82	浅部井流入点ブロック圧力の挙動予測結果 (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)		392
図 2-8-83	深部井流入点ブロック温度の挙動予測結果 (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)		393
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)	-----	394
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)	-----	395
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)		396
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)		397
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)		398
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)		399
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)		400
図 4-2-1	羊八井地熱発電所初歩開発計画	-----	416

表一覧

表 1 - 3 - 1	羊八井地熱資源開発計画調査年度展開 -----	6
表 1 - 3 - 2	羊八井地熱資源開発計画調査作業工程表 -----	7
表 1 - 4 - 1	調査団の人員構成 -----	11
表 1 - 4 - 2	カウンターパートの人員構成 -----	12
表 2 - 1 - 1	チベットの主な地熱利用 -----	14
表 2 - 1 - 2	羊八井の地熱開発の歴史 -----	16
表 2 - 1 - 3	羊八井地熱発電所の発電設備 -----	17
表 2 - 2 - 1	羊八井地域の地質層序総括表 -----	22
表 2 - 2 - 2	地質図中の断層の性状一覧 -----	27
表 2 - 2 - 3 (1)	羊八井地域及び周辺地域における 岩石薄片顕微鏡観察結果 -----	31
表 2 - 2 - 3 (2)	羊八井地域における岩石薄片顕微鏡観察結果 -----	32
表 2 - 2 - 4 (1)	羊八井地域の X線回折分析結果 -----	33
表 2 - 2 - 4 (2)	羊八井地域における岩石試料の X線回折分析結果一覧表 -----	34
表 2 - 2 - 5	羊八井地域の変質分帯における変質鉱物組合せ表 -----	36
表 2 - 2 - 6	羊八井地域における石英の熱ルミネッセンス 発光強度比 -----	39
表 2 - 2 - 7	羊八井地域における石英斑晶中の流体包有物のタイプ -----	40
表 2 - 2 - 8	羊八井地域の流体包有物試験結果一覧 -----	42
表 2 - 2 - 9	分析方法 -----	47
表 2 - 2 - 10	坑井熱水, 温泉水及び坑井蒸気分析結果 -----	49
表 2 - 2 - 11	地表水分析結果 -----	50
表 2 - 2 - 12	環境河川水分析結果 -----	50
表 2 - 2 - 13	地化学解析に使用可能なデータ用データ -----	53
表 2 - 2 - 14	生産井噴出流体の流入点における化学組成計算結果 -----	60
表 2 - 2 - 15	方解石の飽和度計算結果 -----	60
表 2 - 2 - 16	地熱流体が流動する断層の評価 -----	80
表 2 - 3 - 1	CJZK3001 掘削工事工程 -----	98
表 2 - 3 - 2	主要掘削設備 -----	103
表 2 - 3 - 3	2002 年度 CJZK3001 ビット記録 -----	106
表 2 - 3 - 4	CJZK3001 傾斜掘削計画計算表 -----	107
表 2 - 3 - 5	2002 年度 CJZK3001 方位傾斜計算結果 (元坑) -----	108
表 2 - 3 - 6	2002 年度 CJZK3001 方位傾斜計算結果	

	(サイドトラック坑) -----	111
表 2-3-7	2003 年度 12-1/4" 坑逸泥対策材料使用量 -----	120
表 2-3-8	2003 年度 CJZK3001 ビット記録 (8-1/2" 坑) -----	121
表 2-3-9	2003 年度 CJZK3001 方位傾斜計算結果 -----	123
表 2-3-10	2004 年度 CJZK3001 ビット記録 -----	134
表 2-3-11	2004 年度 CJZK3001 方位傾斜計算結果 (元坑) -----	135
表 2-3-12	CJZK3001 逸泥一覧表 (深度 981~1,263m) -----	142
表 2-3-13	2004 年度 CJZK3001 方位傾斜計算結果 (サイドトラック坑) -	146
表 2-4-1	CJZK3001 の岩石薄片顕微鏡観察結果 -----	150
表 2-4-2	ZK4002 の岩石薄片顕微鏡観察結果 -----	151
表 2-4-3	CJZK3001 の X 線回折分析結果 -----	153
表 2-4-4	CJZK3001 の変質鉱物組合せ表 -----	154
表 2-4-5	ZK4002 の X 線回折分析結果 -----	156
表 2-4-6	ZK4002 の変質鉱物組合せ表 -----	157
表 2-4-7	CJZK3001 の流体包有物試験結果一覧 -----	160
表 2-4-8	ZK4002 の流体包有物試験結果一覧 -----	163
表 2-4-9	密度・孔隙率測定結果 -----	167
表 2-4-10	熱伝導率測定結果 -----	168
表 2-4-11	比熱測定結果 -----	169
表 2-4-12	物性試験用コア一覧表 -----	170
表 2-4-13	CJZK3001 井エアーリフト用コンプレッサー仕様 -----	197
表 2-4-14	CJZK3001 井エアーリフト噴気誘導作業経過 -----	198
表 2-4-15	CJZK3001 噴出誘導時の噴出熱水の化学分析結果 -----	203
表 2-5-1	羊八井 ZK4001 噴気試験経過表 -----	213
表 2-5-2	ZK4001 噴気試験測定結果記表 -----	214
表 2-5-3	ZK4001 第 1 回特性試験結果表 -----	217
表 2-5-4	ZK4001 長期噴気試験記録表 -----	219
表 2-5-5	ZK4001 特性試験結果表 (第 2 回, 第 3 回, 第 4 回) --	222
表 2-5-6	ZK4001 噴出岩の岩石薄片顕微鏡観察結果 -----	230
表 2-5-7	ZK4001 噴出岩の X 線回折分析結果 -----	231
表 2-5-8	ZK4001 噴出岩の流体包有物試験結果一覧 -----	232
表 2-5-9	ZK4001 スケールテストピース点検記録表 -----	238
表 2-5-10	スケール付着試験熱水分析結果 -----	240
表 2-5-11	ZK4001 スケール・噴出試料の X 線分析結果 (石英指数) 一覧表 -----	242
表 2-5-12	ZK4001 スケール・噴出試料の X 線分析結果 (石英指数) 経時変化 -----	243

表 2 - 6 - 1	坑井噴出流体分析結果 (2001-2005)	
	- 蒸気・蒸気凝縮水 -	246
表 2 - 6 - 2	坑井噴出流体分析結果 (2001-2005) - 熱水 -	247
表 2 - 6 - 3	温泉水分析結果	248
表 2 - 6 - 4	地表水分析結果	249
表 2 - 6 - 5	環境河川水分析結果	249
表 2 - 6 - 6	水位観測記録 (その 1) (その 2) (その 3)	283
表 2 - 8 - 1	岩石物性値一覧表	308
表 2 - 8 - 2	流入点位置の設定	341
表 2 - 8 - 3	還元をしない生産予測シミュレーションの 設定・結果一覧	347
表 2 - 8 - 4	還元をする生産予測シミュレーションの設定・結果一覧	350
表 3 - 1 - 1	北京報告会参加者名簿	410

1 調 査 概 要

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(傾斜掘り)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 のところにあり、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にあり、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。



図 1-3-1 調査地域位置図

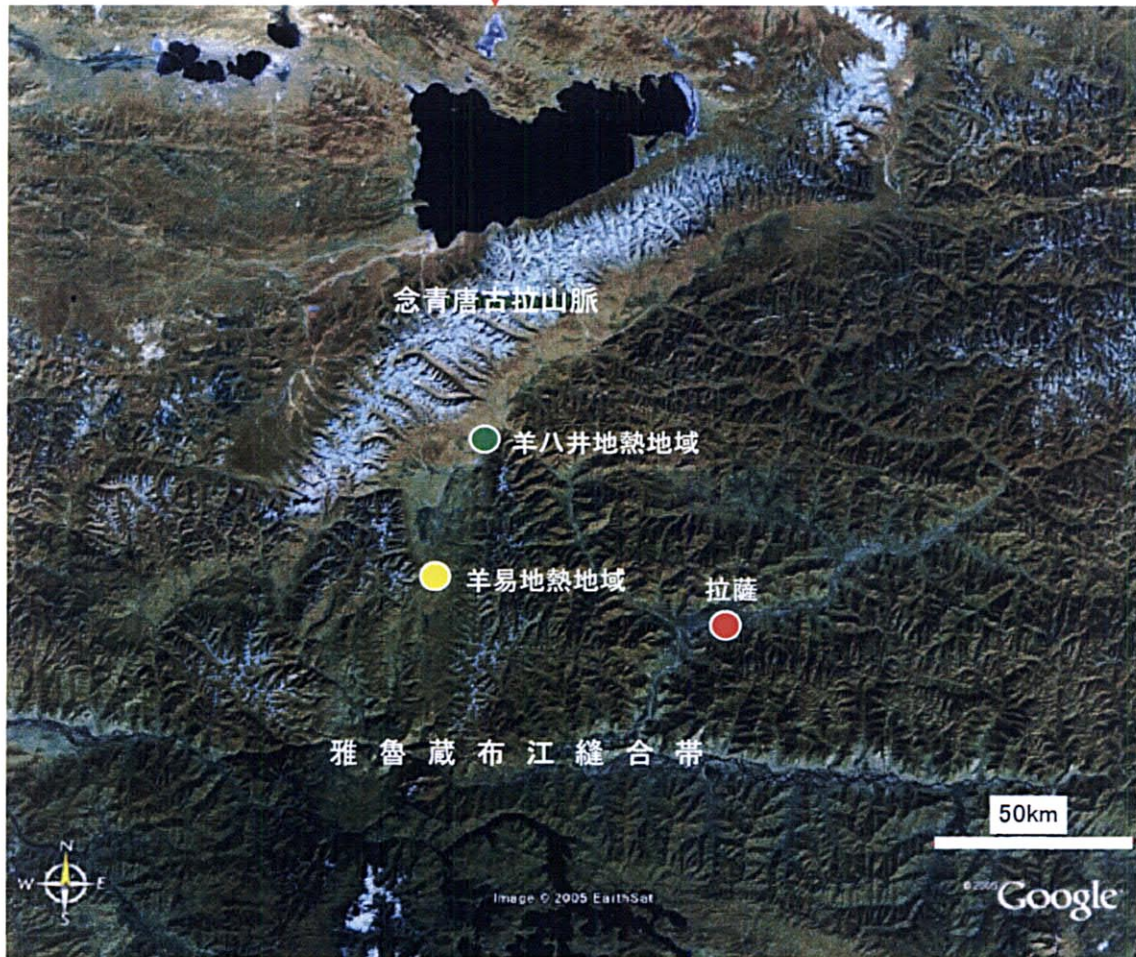
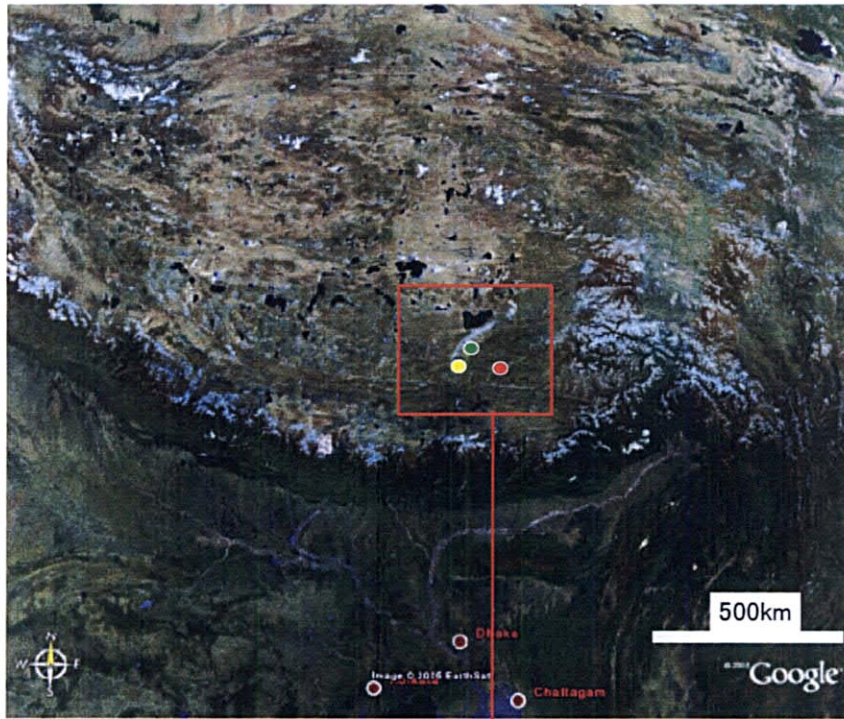


图1-3-2 羊八井地熱地域位置图(衛星画像)

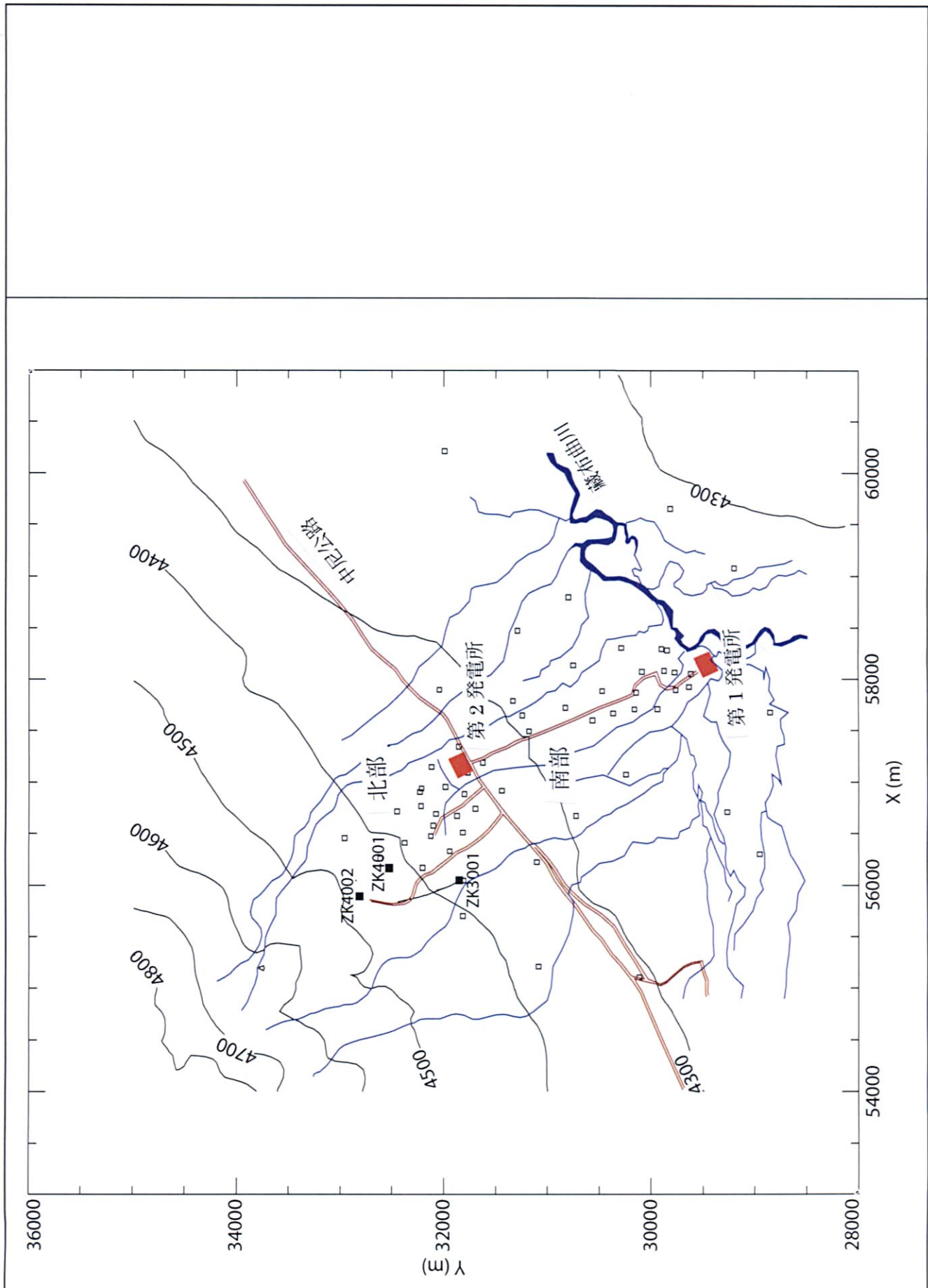


図 1 - 3 - 3 羊八井地域の調査位置図

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は供給量とほぼ平衡している。

(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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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 JICA 調査団の構成とカウンターパート側の構成

1-4-1 調査の実施体制

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。

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(株)から西藏自治区地質鉱産調査開発局地熱地質大隊に再委託発注して実施された。

1-4-2 調査団とカウンターパートの構成

本開発計画調査を担当するコンサルタント会社は、2000年度と2001年度は日本重化学工業株式会社が JICA から受託した。しかし2002年2月に日本重化学工業株式会社は会社更生法の申し立てをして受託資格がなくなったため、2002年度、2003年度は新たに東北地熱エネルギー株式会社(後に東北水力地熱株式会社に社名変更)が受託した。その後2004年には日本重化学工業株式会社が会社更生計画の認可決定を受け受託資格を回復したこともあり、2004年度、2005年度は再び日本重化学工業株式会社が JICA から受託して調査を実施した。この間、日本重化学工業株式会社と東北地熱エネルギー株式会社とは関係会社である関係もあり、調査団の主要メンバーは6ヶ年度を通じて大きな変更がなく調査を実施することができた。

調査団員の人員構成を表1-4-1に、チベット側カウンターパートの人員構成を表1-4-2に示す。

1-5 謝辞

本開発計画調査を実施するにあたって、ご指導および便宜を頂いた国際協力機構の皆様、特に主担当をしていただいた経済開発部第二グループ資源・省エネルギーチーム、中国でお世話になった中華人民共和国事務所に対して深く感謝いたします。また、チベット現地ではチベット自治区電力工業局、チベット地熱開発公司、チベット自治区地質調査開発局地熱地質大隊など多くの皆様にご協力や便宜を頂いたことに対して深く感謝いたします。

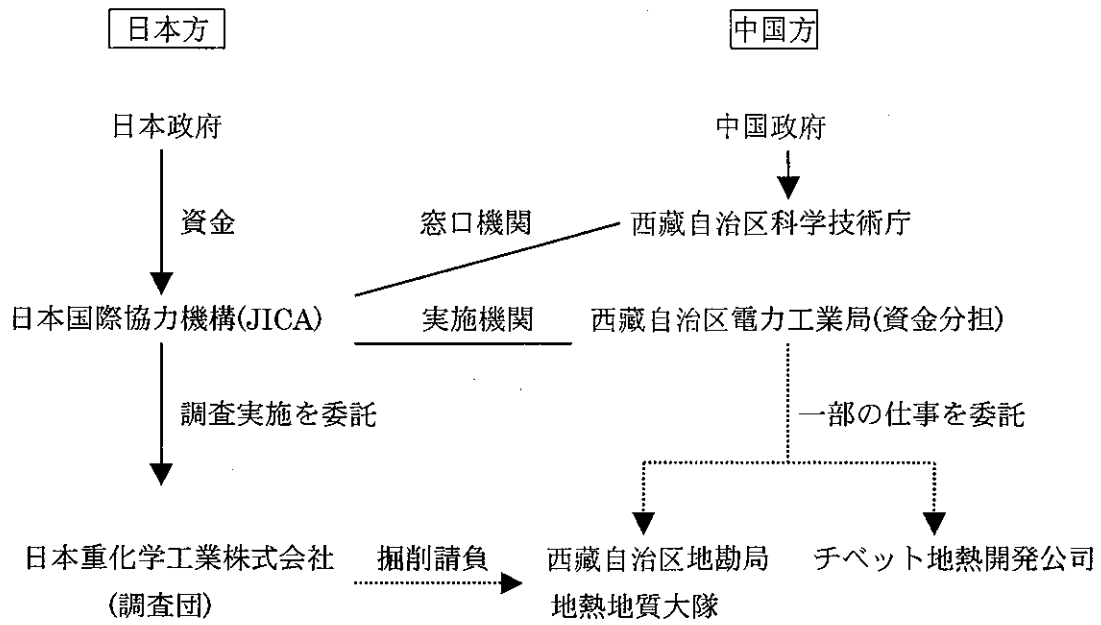


図 1 - 4 - 1 中華人民共和国チベット羊八井地熱開発計画調査 実施体制

表1-4-1 調査団員の人員構成

担当分野	氏名	所属	担当年次
業務主任者、調査団長 総括/地熱開発	宮崎 眞一	日本重化学工業㈱ (東北地熱エネルギー㈱)	1~6
調査副団長 検層・資源量調査	花野 峰行	日本重化学工業㈱ (東北地熱エネルギー㈱)	1~6
地質調査・坑井地質A	土井 宣夫	日本重化学工業㈱	1,2
同上	加藤 修	日本重化学工業㈱	3
同上	井出 俊夫	日本重化学工業㈱ (東北地熱エネルギー㈱)	4,5,6
地質調査・坑井地質B	荒井 文明	地熱エンジニアリング㈱ (補強)	6
地化学調査/環境調査	菱 靖之	地熱エンジニアリング㈱ (補強)	1~6
電磁探査(MT法) A	山根 一修	地熱技術開発㈱ (補強)	1,2
電磁探査(MT法) B	魏 強	日本重化学工業㈱	1,2,3
同上	谷地 正一	地熱技術開発㈱ (補強)	1~6
同上	Vittorio Bernardi	地熱技術開発㈱ (補強)	2
調査井掘削A	木崎 有康	日本重化学工業㈱	1~6
調査井掘削B	阿部 茂	地熱エンジニアリング㈱ (補強)	3,4
噴気試験	釈永 信彦	日本重化学工業㈱ (東北地熱エネルギー㈱)	1,2,3,4
同上	丹野 修	(有)八幡平工業 (補強)	5,6
貯留層解析A	小松 亮	地熱エンジニアリング㈱ (補強)	1~6
同上	梶原 竜哉	地熱エンジニアリング㈱ (補強)	6
貯留層解析B	佐藤 啓	地熱エンジニアリング㈱ (補強)	6

表1-4-2 カウンターパートの人員構成

担当分野	氏名	所属
総括	曾毅	フット自治区電力工業局 生産技術部 高級工程師
地質調査	多吉	フット自治区地質鉱産勘査開発局 院士 (地熱地質大隊)
	陈健	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	赵福龙	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
電磁探査	靳宝福	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	范小平	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	王建品	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 工程師
	拉巴次仁	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 工程師
	西绕	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 工程師
地化学調査	杜少平	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	谢鄂军	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	彭瑞玲	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	陈健	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	许多龙	羊八井地熱発電所 熱網専工 工程師
坑井掘削	陈健	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	谢鄂军	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	赵福龙	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
噴気試験	蒋勇	羊八井地熱発電所 総工程師
	许多龙	羊八井地熱発電所 熱網専工 工程師
	谭金群	羊八井地熱発電所 熱田監測員 助理工程師
貯留層解析	柳承志	羊八井地熱発電所 副所長 工程師
	许多龙	羊八井地熱発電所 熱網専工 工程師
	王大宏	フット自治区電力工業局 生産技術部 工程師
	扎西	羊八井地熱発電所 運行助理工程師
	谭金群	羊八井地熱発電所 熱田監測員 助理工程師
	陈健	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師
	谢鄂军	フット自治区地質鉱産勘査開発局地熱地質大隊 高級工程師

2 調査結果のまとめ

2-1 チベットの地熱資源状況と電力事情

2 調査結果のまとめ

2-1 チベットの地熱資源状況と電力事情

2-1-1 地熱資源状況

(i) チベットの地熱資源の分布

中国には中低温の地熱資源は非常に多いが、高温地熱資源の賦存しているのは、チベット自治区、雲南省及び四川省にほぼ限られている。これらの地域は地球科学的には全て、インドプレートとユーラシアプレートの衝突によって発生したチベット高原の隆起とヒマラヤ山脈の形成に関連したもので、広くは地中海—ヒマラヤ地熱帯に属するものである。この地熱帯のなかでもチベット自治区はその中心をなすものであり、チベット自治区内には 700 箇所に近い地熱活動地が知られている。また、「滇蔵地熱帯(1999)」によれば、チベットの地熱資源賦存地域は、高温地熱資源(150℃以上)129 地域、中温地熱資源(90~150℃)31 地域、低温地熱資源(90℃以下)135 地域が紹介されている。

チベットの地熱分布の主体はチベット自治区の南部であり、特にシガツェから尼木、羊八井を通り那曲に至る地溝状の地域には非常に多くの高温地熱が分布している。この地域はラサに近くチベットの政治、経済、文化の中心地域でもあり、チベットから外部に通じる主要な交通路である青藏公路(青海チベット国道)と 2006 年の完成を目指して建設中の青藏鉄道が通過している地域でもある。このためこの地域では地熱資源の利用が既に盛んに進められており、また将来のさらなる地熱の開発利用も最も期待されている地域である。地球科学的なチベットの地熱資源の分布の詳細は 2-7 章で述べる。

(ii) 地熱資源の利用状況

チベットでは伝統的に温泉を浴用に利用する習慣はあったが、現在では地熱発電利用も始まっている。主な利用状況は以下の表 2-1-1 のとおりである。現在はチベットの経済発展に伴うエネルギー不足、中国全体での温泉利用の急激な発展などを背景にして、特に間近にせまったチベット鉄道の開通に伴う地域の発展を見越して、地熱資源の利用への期待が高まっている。

(iii) 羊八井の地熱発電開発利用の経緯と状況

羊八井の地熱調査開発は 1975 年に始まり、1977 年には 300kW の地熱試験発電設備による発電に成功し、同年には 1000kW の第一号地熱発電ユニットを設置して発電を開始した。1981 年から 1985 年には 3 台の国産の 3000kW 地熱発電ユニットを設置して、羊八井第一地熱発電所が完成した。その後、第二発電所として 1986 年には 3180kW の日本の富士電機製の地熱発電ユニットを設置し、さらに 1988 年から 1991 年にかけて 4 台の国産の 3000kW 地熱発電ユニットを設置して第二発電所が完成した。現在は、最初の 300kW 発電設備と 1000kW 地熱発電ユニットは廃棄されているので、発電設備容量は第一地熱発電所が 3 発電ユニットで 9,000kW、第二地熱発電所が 5 発電ユニットで 15,180kW、合計 24,180kW である。実際の平均総発電出力は、1995 年頃までは設備の増強に伴い増加してきたが、1995 年以降は 13000kW~12000kW でほぼ安定した出力で運転

表 2-1-1 チベットの主な地熱利用

地熱発電利用	地域名	発電開始時期	設備容量	発電設備タイプ	備考
	羊八井	1977年	24.18MW	ターボリアクト	
	那曲	1993年	1MW	ハイリ-サイクル	休止中
	朗久	1980年代初め	1MW	シガリアクト	休止中
	羊易	次期開発の最有力地			

温泉利用	地域名	特徴
	羊八井	地熱発電所の蒸熱水利用。温泉プール、レジャー施設、温室栽培、養魚
	寧中	温泉プール、レジャー施設
	日多	温泉プール、レジャー施設、ホテル。現在整備中
	谷露	現在開発中

を続けている。

1977年の発電開始から現在まで、地熱発電に利用している地熱貯留層は深度約200m～400m程度の極めて浅いところのものであり、貯留層温度も160～180℃程度と、世界の一般の地熱発電所に比べると温度の低い地熱資源を利用しているものである。このため、羊八井では1992年頃から深部地熱資源の調査を開始し、中国独自の調査を進めるとともに、1982年から1995年には国連のUNDPの調査も行われた。この間、羊八井北部地域において1993年にはZK4002井を掘削し2006.8mに到達し329.8℃の高温を確認したが、連続的な噴気には至らなかった。1996年にはZK4001井を掘削し1495.09mに到達し251℃の最高温度を確認するとともに連続15日間の噴気試験により、蒸気と熱水を合わせて約300l/hの噴出を確認し、羊八井北部の深部において高温地熱貯留層の存在が確認された。しかしその後、資金及び調査技術の不足のため深部地熱資源の調査は進まなかったため、2000年におけるJICAへの協力要請に至ったものである。

羊八井地域の地熱発電開発利用の歩みを表2-1-2に示す。また、羊八井の地熱発電設備の概要を表2-1-3に示す。

2-1-2 電力事情

(i) チベットの電力事業

チベット自治区の発電、送電、配電網は中国の内地とは繋がっておらず、独立した電力網を形成している。電力事業は、チベット自治区政府の事業機関であるチベット自治区電力工業局が担当している。中国では電力事業の民営化が進められており、電力工業局もチベット電力公司に移行しつつあるが、現在は電力工業局と電力公司が並存しており、人員もほとんどが兼務である。

地熱発電事業に関しては、地熱資源の調査、掘削などは国土資源部系列の自治区政府の事業機関であるチベット地質鉱産勘查開発局地熱地質大隊が担当しており、地上の蒸気設備と発電設備の所有と運転管理は電力工業局の子会社であるチベット地熱開発公司が担当している。

(ii) チベットの電力需給の現状と将来

チベットの中部電網はラサ市、シガツェ地区、山南地区、那曲地区、林芝地区を含む地区である。この内ラサ市、シガツェ地区、山南地区はチベットの政治、経済、文化等の中心地域である。那曲地区はチベット高原北部の牧畜を中心とする地区、林芝地区はチベット高原東南部の地区である。

これらの地区のうち、ラサ、シガツェ、山南地区の電網は既に連繋しており、那曲地区も2004年に110kV送電線で連繋した。

2003年末の状況は、チベット中部電網の発電設備容量は220.31MWであり、その内通常の水力発電は106.13MW(48.1%)、揚水発電は90MW(40.9%)、地熱発電は24.18MW(11%)である。

チベット中部地区はチベットの政治、経済、文化、宗教などの中心地区であり人口も多く、経済発展速度も速い。今後の発展を考えると、国家の西部大開発政策の進展とともに、国家は道路、航空路、鉄道、郵便、通信など基礎施設の建設投資を増加させる計画である。また、漢方薬材料や農畜産品を主とする加工業、鉱山業、林業、建築建材業、旅行

表 2 - 1 - 2 羊八井の地熱開発の歴史

年	月	事 項
1975	7	羊1孔(ZK316)掘削、38.89m掘削時に湿り蒸気噴出。
1977	9	中国で第一号の1000kW級地熱発電ユニット(羊八井1号試験発電ユニット)の試運転成功。
1981	11	羊八井第一地熱発電所第2号3000kW発電ユニットを運転開始。
		同時に羊八井～ラサ間の110kV高压送電線完成。
1982	7	国連とイタリアの専門家チームが羊八井を訪問し、第一期共同プロジェクト(CRP/81/001)の作業計画が実現。
1982	11	羊八井第一地熱発電所第3号3000kW発電ユニットが運転開始。
1985	9	羊八井第一地熱発電所第4号3000kW発電ユニットが運転開始。
1986	3	米国と日本から導入した3180kW発電ユニットが発電開始。(第二地熱発電所第5号)
1987	7	羊八井地熱発電技術研究が国家科学技術進歩一等賞を受賞。
1988	12	羊八井第二地熱発電所第6号3000kW発電ユニットが運転開始。
1989	2	羊八井第二地熱発電所第7号3000kW発電ユニットが運転開始。
1989		国連第二期CPR188/007プロジェクトが開始。
1990	12	羊八井第二地熱発電所第8号3000kW発電ユニットが運転開始。
1991	2	羊八井第二地熱発電所第9号3000kW発電ユニットが運転開始。
1992	8	チベット高温地熱開発利用国際シンポジウムをラサで開催。
1993		羊八井北部深部井ZK4002が完成。2006.8m。最高温度329.8℃。 連続噴気には至らず。
1994	12	羊八井地熱発電所の年間発電量が1億キロワット時を突破。
1996	10	羊八井北部深部井ZK4001が完成。1495.09m。最高温度251℃。連続15日間の噴気試験で、 圧力15kgf/cm ² 、流量約300t/hを確認。
2000	7	日本のJICAがプロジェクト形成基礎調査を実施。
2000	10	日本のJICAが開発計画調査予備調査を実施。協議議事録締結。
2001	3	JICAの開発計画調査の現地調査が開始

表 2-1-3 羊八井地熱発電所の発電設備

発電所	ユニット番号	運転開始 始年	発電設備 容量(kW)	発電方式	1次蒸気		2次蒸気		排気圧 力(atA)	タービンメーカー	発電機メーカー	備考
					圧力(atA)	圧力(atA)	圧力(atA)	圧力(atA)				
第一発電所	1	1977	1,000	シグナル方式								
同	2	1981	3,000	ターボ方式	1.7	0.5	0.08	0.08		青島汽輪機廠	濟南生建電機廠	
同	3	1982	3,000	ターボ方式	1.7	0.5	0.08	0.08		青島汽輪機廠	濟南生建電機廠	
同	4	1985	3,000	ターボ方式	1.7	0.5	0.08	0.08		青島汽輪機廠	濟南生建電機廠	
第二発電所	5	1986	3,180	ターボ方式	1.7	0.5	0.08	0.08		富士電機	富士電機	
同	6	1988	3,000	ターボ方式	1.7	0.5	0.08	0.08		青島汽輪機廠	濟南生建電機廠	
同	7	1989	3,000	ターボ方式	1.7	0.5	0.08	0.08		青島汽輪機廠	濟南生建電機廠	
同	8	1990	3,000	ターボ方式	1.7	0.5	0.08	0.08		青島汽輪機廠	濟南生建電機廠	
同	9	1991	3,000	ターボ方式	1.7	0.5	0.08	0.08		青島汽輪機廠	濟南生建電機廠	休止中

観光業を5大産業として大幅に促進する計画である。このほか、自治区経済の発展と国防の建設需要を目的として、国家はチベット鉄道の建設を2001年に始め、2006年の完成を目指している。この鉄道が完成すれば、鉄道沿線とチベット全体の経済発展はさらに促進されることが予想される。

電力需要のこれまでの状況と今後の予想は次のとおりである。2001年から2005年までの電力需要(電力量)は年率15.7%で伸びており、2006年から2010年は年率12.1%、2010年から2015年は年率7.1%の伸びが想定されている。このように、最近のチベット中部地区の電力需要の伸びは非常に速いが、新規の発電所の建設は少なく、電力需給の不均衡が大きくなっている。

この電力需要の伸びに対しては、地熱資源の賦存状況を明らかにした後、地熱資源開発利用計画をチベット自治区エネルギー発展計画に入れるべきとされている。

チベットは水力資源は非常に豊富である。自治区全体の水力資源の理論資源量は20.14万MWで、全国の1/3を占めており全国一である。技術的開発可能量は11万MWで全国の20%を占めており、四川省に次いで全国二番目である。このように、チベットでは水力発電が主体であるが、水力発電は出力調整能力に劣り、特に渇水期の出力不足は厳しい。さらに、羊湖揚水発電所は元来は電力需要の少ない時期に余った電力を利用して揚水し、電力需要の多い時期に発電する計画であったが、実際には電力需要の少ない時期でも余剰電力はなく、揚水できない状況である。

チベットは太陽エネルギーも豊富で、チベットの大部分の地域での年間日照時間は1500～3400時間に達し、太陽輻射総量は6000～8000MJ/m²で、チベット自治区内では水力資源と分布上の補完関係がある。しかし、太陽エネルギー利用は大規模な電力需要には対応できない。また、自治区内の石炭資源は非常に少なく品質も悪いので利用価値は少ない。チベット鉄道完成後は自治区外から石炭を運んで火力発電所を建設する条件が整うが、標高3500m以上での石炭火力発電は、燃焼効率が悪く、環境問題も無視できない。

このような条件下で、チベットでは将来のエネルギー源として、豊富でかつクリーンな水力発電と地熱発電に大きな期待が寄せられている。