

インド国  
北部地熱資源に係る情報収集・確認調査

ファイナル・レポート

JICA LIBRARY



1226871 [0]

平成25年1月  
(2013年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

西日本技術開発株式会社

南ア

13-007

**インド国  
北部地熱資源に係る情報収集・確認調査**

**ファイナル・レポート**

**平成25年1月  
(2013年)**

**独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)**

**西日本技術開発株式会社**



1226871 [0]

## 略語一覽

APTEL:	Appellate Tribunal for Electricity
BBMB:	Bhakra Beas Management Board
BEE:	Bureau of Energy Efficiency
CEA:	Central Electricity Authority
CDM:	Clean Development Mechanism
CERC:	Central Electricity Regulatory Commission
CFC:	Chlorofluorocarbon
CPRI:	Central Power Research Institute
CSAMT:	Controlled Source Audio-frequency Magneto Telluric method
CTU:	Central Transmission Utility
DPR:	Detailed Project Report
DVC:	Damodar Valley Corporation
EIA:	Environmental Impact Assessment
F CRS:	Fluid Collection and ReInjection System
FS:	Feasibility Study
GSI:	Geological Survey of India
HFC:	Hydrofluorocarbon
IEE:	Initial Environmental Examination
IIT:	Indian Institute of Technology
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPP:	Independent Power Producer
JETRO:	Japan External Trade Organization
JICA:	Japan International Cooperation Agency
LPG:	Liquefied Petroleum Gas
MNRE:	Ministry of Renewable Energy
MOEF:	Ministry of Environment and Forests
MOP:	Ministry of Power
MT:	Magneto-Telluric Method
NCG:	Non Condensable Gas
NEEPCO:	North Eastern Electric Power Corporation Limited
NGRI:	National Geophysical Research Institute
NHPC:	National Hydro Electric Power Corporation Limited
NLDC:	National Load Despatch Centre
NPC:	Nuclear Power Corporation Limited
NPTI:	National Power Training Institute
NRPC:	Northern Region Power Committee
NTPC:	National Thermal Power Corporation Limited

O&M: Operation & Maintenance  
PFC: Power Finance Corporation Limited  
PGCIL: Powergrid Corporation of India Limited  
PTCUL: Power Transmission Corporation of Uttarkhand Limited  
REC: Rural Electrification Corporation Limited  
RLDC: Regional Load Despatch Centre  
SEB: State Electricity Board  
SEIAA: State/Union territory Environmental Impact Assessment Authority  
SERC: State Electricity Regulatory Commission  
SJVNL: Satluj Jal Vidyut Nigam Limited  
SLDC: State Load Despatch Centr  
SNA: State Nodal Agency  
SNC: Ernst & Young ShinNihon LLC  
STU: State Transmission Utility  
THDC: Tehri Hydro Development Corporation India Limited  
UERC: Uttarkhand Electricity Regulatory Comission  
UPCL: Uttarkhand Power Corporation Limited

本報告書で用いた主要固有名詞（組織名及び地名）和文表記の英文表記

【組織名】

インド地質調査所:	Geological Survey of India (GSI)
ウツタルカンド送電公社:	Power Transmission Corporation of Uttarakhand Limited (PTCUL)
ウツタルカンド電力規制委員会:	Uttarakhand Electricity Regulatory Commission (UERC)
ウツタルカンド電力公社:	Uttarakhand Power Corporation Limited (UPCL)
ウツアラカンドジャルビドゥユニットニガム公社:	Uttarakhand Jal Vidyut Nigam Limited (UJVNL)
エネルギー効率局:	Bureau of Energy Efficiency (BEE)
環境影響評価庁:	State/Union territory Environmental Impact Assessment Authority (SEIAA)
環境森林省:	Ministry of Environment and Forests (MOEF)
原子力発電公社:	Nuclear Power Corporation Limited (NPC)
国立球物理研究所:	National Geophysical Research Institute (NGRI)
国営水力発電公社:	National Hydro Electric Power Corporation Limited (NHPC)
国営火力発電公社:	National Thermal Power Corporation Limited (NTPC)
サトルジ水力発電公社:	Satluj Jal Vidyut Nigam Limited (SJVNL)
州送電事業局:	State Transmission Utility (STU)
州電力規制委員会:	State Electricity Regulatory Commission (SERC)
州電力局:	State Electricity Board (SEB)
州負荷調整センター:	State Load Despatch Centre (SLDC)
新・再生可能エネルギー省	Ministry of New and Renewable Energy (MNRE)
全国負荷調整センター:	National Load Despatch Centre (NLDC)
送電公社:	Power Grid Corporation of India Limited (PGCIL)
ダモダル溪谷公社:	Damodar Valley Corporation (DVC)
地区負荷調整センター:	Regional Load Despatch Centre (RLDC)
地方電化公社:	Rural Electrification Corporation Limited (REC)
中央送電事業局:	Central Transmission Utility (CTU)
中央電力規制委員会:	Central Electricity Regulatory Commission (CERC)
中央電力研究所:	Central Power Research Institute (CPRI)
中央電力庁:	Central Electricity Authority (CEA)
テリ水力開発公社:	Tehri Hydro Development Corporation India Limited (THDC)
電気問題上訴処理法廷:	Appellate Tribunal for Electricity (APTEL)
電力技術者訓練所:	National Power Training Institute (NPTI)
電力省:	Ministry of Power (MOP)
電力融資公社:	Power Finance Corporation Limited (PFC)
バークラビーズ溪谷管理局:	Bhakra Beas Management Board (BBMB)
北東電力公社:	North Eastern Electric Power Corporation Limited (NEEPCO)

北部地区電力委員会:

Northern Region Power Committee (NRPC)

【主要地名】

アグニグンダラ	Agnigundala
アグニクンド	Agnikund
アッサム州	Assam State
アルナーチャルプラデッシュ州	Arunachal Pradesh State
アーンドラプラデッシュ州	Andhra Pradesh State
ウッタラカンド州	Uttarakhand State
ウッタルプラデッシュ州	Uttar Pradesh State
オリッサ州	Orissa State
ガイク	Gaik
カソル	Kasol
カナカル	Kanakar
カラパニ	Kalapani
ガラール	Galhar
ガリ	Gari
カールクンド	Kharkund
カルナタカ州	Karnataka State
ガンナニ	Gangnani
カンベイ	Cambay
キーラオ	Khirao
グジャラート州	Gujarat State
ケード	Khed
ケララ州	Kerala State
ゴア	Goa
ジェオリ	Jeori
シッキム州	Sikkim State
ジャム・カシミール州	Jammu & Kashmir State
チャモリ県	Chamoli District
ジャールカンド州	Jharkhand State
ジュマ	Juma
ジョシマート	Joshimath
ダーウリガンガ川	Dhuli Ganga River
タッタ	Tatta
タッタパニ	Tatapani
ダドゥラ・ナガルハベリ	Dadra & Nagar Haveli
タプリ	Tapri
タポバン	Tapovan
ダマン・ディウ	Daman & Diu



タミルナドゥ州	Tamil Nadu State
ダル	Dar
チャティスガール州	Chhattisgarh State
チャングルング	Changlung
チャンディガール	Chandigarh
チューマータン	Chhumthang
デラドゥン	Dehradun
デリー	Delhi
トゥラル	Tural
トゥルシシヤーム	Tulsi Shyam
トゥワ	Tuwa
トリプラ州	Tripura State
ナガランド州	Nagaland State
西ベンガル州	West Bengal State
パナミク	Panamik
バラティ	Balati
バラパラス	Bara Palasi
ハリヤナ州	Haryana State
パンジャブ州	Punjab State
ビハール州	Bihar State
ヒマチャルプラデッシュ州	Himachal Pradesh State
プガ	Puga
プドゥシェリ	Puducherry
ベダ	Beda
マッディヤプラデッシュ州	Madhya Pradesh State
マニカラン	Manikaran
マニプル州	Manipur State
マハラーストラ州	Maharashtra State
ミゾラム州	Mizoram State
メガラヤ州	Meghalaya State
ヤムノトリ	Yamnotri
ラジャスタン州	Rajasthan State
ラジュワディ	Rajwadi
リング	Ringi

# 目 次

I 緒 言	1
I-1 調査目的	1
I-2 調査対象地域	1
I-3 相手国機関	2
I-4 背景・経緯	2
I-5 調査実施の基本方針及び実施方法	3
I-5-1 調査実施の基本方針	3
I-5-2 調査実施方法	4
I-6 調査のスケジュール	5
I-7 要員計画	8
I-8 成果品	9
II インド国における電力事情及び再生可能エネルギー導入状況	10
II-1 インド国及びウッタラカンド州の電力需給状況及び再生可能エネルギー導入状況	10
II-2 インド国及びウッタラカンド州の電力供給体制及び行政機構	11
II-2-1 インド国及びウッタラカンド州における電力関連行政機構	11
II-2-2 インド国における電力供給体制	14
II-2-3 ウッタラカンド州の電力供給体制	17
II-3 インド国における再生可能エネルギー導入促進に係る政策と地熱発電の位置づけ	19
II-4 インド国における地熱開発に必要な承認・許認可等	20
III 我が国及び他国の地熱発電開発状況及び活用事例	23
III-1 日本における地熱発電開発状況及び活用事例	24
III-2 フィリピンにおける地熱発電開発状況及び活用事例	27
III-3 インドネシアにおける地熱発電開発状況及び活用事例	30
III-4 一般的な地熱発電開発の進め方	32
III-4-1 地熱資源	32
III-4-2 地熱資源開発の一般的流れ	35
III-4-3 インドで望まれる地熱開発の進め方	37
III-5 我が国の地熱関連企業の受注状況	38
IV インドの地熱資源	42
IV-1 インドにおける主要地熱地点の概要	42
IV-1-1 インド北部地区の地熱資源	43
IV-1-2 インド西部地区の地熱資源	55
IV-1-3 インド南部地区及び東部地区の地熱資源	61
IV-1-4 地熱発電開発候補地点	64

IV-2	地熱発電開発に関わるインドの機関・企業	74
V	タポバン地点	75
V-1	過去の調査のレビュー	75
V-1-1	過去の調査の概要	75
V-1-2	タポバン地点の地熱資源	76
V-1-3	タポバン地点の地熱発電開発プロジェクトの内容	80
V-1-4	社会環境的側面	87
V-1-5	MT 探査結果	88
V-2	タポバン地点の現状	89
V-2-1	プロジェクトの進捗状況と許認可手続きの現状	89
V-2-2	地質概況	90
V-2-3	環境・社会状況	91
V-2-4	アクセス道路、送変電設備等のインフラ状況	101
VI	タポバン地熱プロジェクト実施計画	108
VI-1	地熱資源評価段階	108
VI-1-1	調査井掘削	108
VI-2	フィージビリティ調査	122
VI-3	建設段階	122
VI-3-1	地熱資源開発	123
VI-3-2	地熱流体輸送設備	124
VI-3-3	発電プラント	124
VI-4	プロジェクトの実施体制及び実施スケジュール	124
VI-5	プロジェクトの概算コスト	126
VI-5-1	プロジェクトコストの構成	126
VI-5-2	プロジェクトコスト	127
VI-6	プロジェクトを進める上での懸念事項・課題	130
VII	他地点における地熱資源開発調査の支援	132
VII-1	ウッタラカンド州	132
VII-2	他州	133

## 目 次

第 I-1 図	調査対象地域	1
第 I-2 図	インドの主要地熱地帯	3
第 I-3 図	調査の流れ	6
第 II-1 図	インド国における中央政府電力セクターの組織概要	12
第 II-2 図	インドの主要送電系統図	16
第 II-3 図	ウッタラカンド州送電系統図	19
第 III-1 図	日本の地熱発電所位置図	26
第 III-2 図	フィリピンの地熱発電所位置図	29
第 III-3 図	インドネシアの地熱発電所位置図	31
第 III-4 図	断裂型地熱貯留層の例	34
第 III-5 図	多孔質地層型地熱貯留層の例	34
第 III-6 図	熱水卓越型貯留層の上に形成された蒸気卓越型貯留層の例	34
第 III-7 図	一般的な地熱系の模式断面	35
第 III-8 図	地熱発電開発の一般的な流れ	37
第 III-9 図	地熱発電プラントメーカーの世界市場の占有率	38
第 III-10 図	最近（2005 年～2009 年）の地熱発電方式別設置比率	39
第 III-11 図	最近（2001 年～2010 年）のスチームタービン方式メーカー別占有率	39
第 III-12 図	最近（2005 年～2009 年）のバイナリー方式メーカー別占有率	40
第 IV-1 図	インドの主要温泉分布	43
第 IV-2 図	インド北部地区の主要温泉分布	44
第 IV-3 図	ジャム・カシミール州主要温泉の主要陰イオン三成分図	46
第 IV-4 図	ジャム・カシミール州主要温泉の B 濃度と Cl 濃度の関係図	47
第 IV-5 図	ジャム・カシミール州主要温泉の Na-K-Mg 三成分図	47
第 IV-6 図	ジャム・カシミール州地熱井の温度分布	49
第 IV-7 図	ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の主要陰イオン三成分図	50
第 IV-8 図	ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の B 濃度と Cl 濃度の関係図	51
第 IV-9 図	ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の Na 濃度と Cl 濃度の関係図	51
第 IV-10 図	ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の Na-K-Mg 三成分図	52
第 IV-11 図	マニカラン及びカソルの地熱井温度分布	52
第 IV-12 図	ウッタラカンド州主要温泉の主要陰イオン三成分図	54
第 IV-13 図	ウッタラカンド州主要温泉の B 濃度と Cl 濃度の関係図	54
第 IV-14 図	ウッタラカンド州主要温泉の Na-K-Mg 三成分図	55
第 IV-15 図	インド西部地区の主要温泉分布	57
第 IV-16 図	インド西部地区主要温泉の主要陰イオン三成分図	57
第 IV-17 図	グジャラート州及びマハラシュトラ州主要温泉の Na 濃度と Cl 濃度の関係図	58

第 IV-18 図	インド西部地区主要温泉の Na-K-Mg 三成分図	58
第 IV-19 図	タッタパニ温泉の B 濃度と Cl 濃度の関係図	59
第 IV-20 図	タッタパニの地熱井温度分布	60
第 IV-21 図	インド南部地区と東部地区の主要温泉分布	62
第 IV-22 図	インド南部地区及び東部地区主要温泉の主要陰イオン三成分図	62
第 IV-23 図	インド南部地区及び東部地区主要温泉の Na-K-Mg 三成分図	63
第 V-1 図	タポバン地点の位置および地熱調査井掘削位置	76
第 V-2 図	透水ゾーン、地熱活動及び天水の流入域の分布	77
第 V-3 図	南北断面での地熱系概念モデル図	78
第 V-4 図	地熱貯留層の範囲	79
第 V-5 図	モンテカルロ解析を適用した容積法による地熱資源量計算結果	80
第 V-6 図	地熱流体輸送設備レイアウト	82
第 V-7 図	地熱流体輸送設備レイアウト	83
第 V-8 図	バイナリー発電系統図	84
第 V-9 図	MT 探査測点位置および坑井位置図	89
第 V-10 図	広域道路図	102
第 V-11 図	発電所敷地および生産井掘削基地周辺現況写真	103
第 V-12 図	候補地点周辺概要	104
第 V-13 図	タポバン地区電力系統	106
第 V-14 図	タポバン地区水力プロジェクト計画図	107
第 VI-1 図	調査井掘削計画平面図	109
第 VI-2 図	調査井 No.1 掘削ターゲット図	110
第 VI-3 図	調査井 No.2 掘削ターゲット図	110
第 VI-4 図	掘削機標準配置	111
第 VI-5 図	生産調査井ケーシングプログラム	113
第 VI-6 図	還元調査井ケーシングプログラム	114
第 VI-7 図	坑口装置	115
第 VI-8 図	噴出試験装置（セパレーター法）の模式図	118
第 VI-9 図	噴出試験装置（リッププレッシャー法）の模式図	119
第 VI-10 図	地熱流体サンプリングシステムの模式図	119
第 VI-11 図	噴出特性曲線の例	120
第 VI-12 図	PTS 検層結果の例	121
第 VI-13 図	タポバン地点プロジェクト実施スケジュール	126
第 VII-1 図	技術アドバイザー主体の場合	134

## 表 目 次

第 I-1 表	調査のスケジュール	7
第 I-2 表	業務の担当者一覧表	8
第 II-1 表	インドにおける発電設備の電源構成	15
第 II-2 表	インド北部における発電設備の電源構成	17
第 II-3 表	インド北部地区における事業主体別発電設備容量	18
第 III-1 表	世界の地熱発電設備容量	23
第 III-2 表	日本の地熱発電所	27
第 III-3 表	フィリピンの地熱発電所	30
第 III-4 表	インドネシアの地熱発電所	32
第 III-5 表	2005 年～2009 年の地熱発電設備設置実績（国別・規模順）	41
第 IV-1 表	インド北部地区主要温泉の化学組成	45
第 IV-2 表	ジャム・カシミール州主要温泉の地化学温度一覧	48
第 IV-3 表	ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の地化学温度一覧	53
第 IV-4 表	ウッタラカンド州主要温泉の地化学温度一覧	55
第 IV-5 表	インド西部地区主要温泉の化学組成	60
第 IV-6 表	インド西部地区主要温泉の地化学温度一覧	61
第 IV-7 表	インド南部地区及び東部地区主要温泉の化学組成	63
第 IV-8 表	インド南部地区及び東部地区主要温泉の地化学温度一覧	63
第 IV-9 表	インドにおける地熱発電開発候補地点一覧	66
第 V-1 表	ノルマルペンタンの一般性状	86
第 V-2 表	調査地域における平均的気象条件	91
第 V-3 表	調査地域の土地利用分布	92
第 V-4 表	調査地域における人口統計データ	93
第 V-5 表	調査地域における農村の識字率	94
第 V-6 表	調査地域における職業統計データ	95
第 V-7 表	調査地域における教育施設	95
第 V-8 表	予想される環境影響項目の検討結果	98
第 V-9 表	現地状況	105
第 VI-1 表	発電所及び坑井基地の仕様	123
第 VI-2 表	プロジェクトコストの構成	126
第 VI-3 表	プロジェクトコスト一覧	128
第 VI-4 表	掘削費内訳	129

# 第 I 章

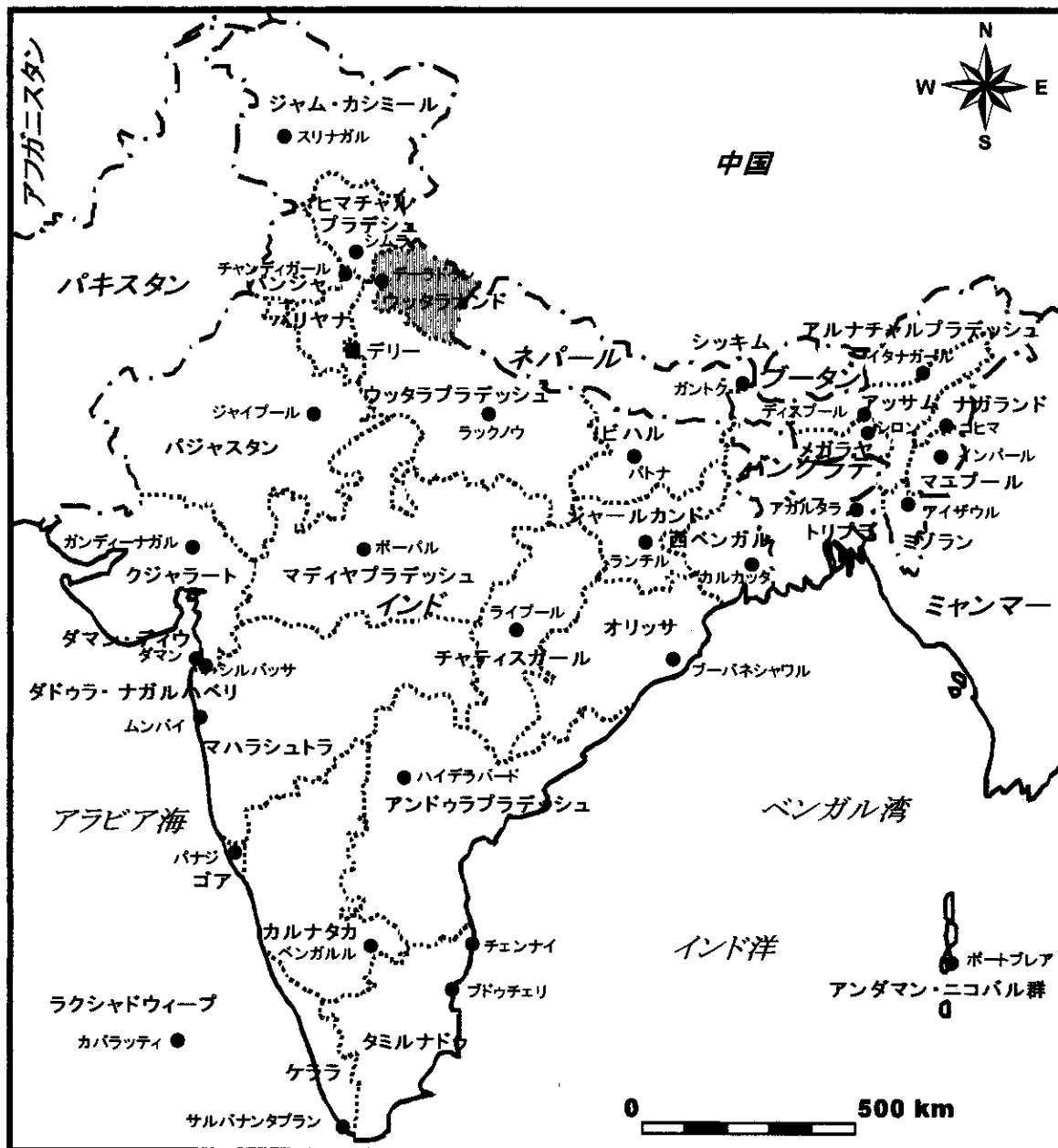
# I 緒言

## I-1 調査目的

インドの地熱資源に関する基礎情報を収集・アップデートするとともに、インド政府の政策及び実施体制を確認し、今後の地熱開発分野における支援方針を検討するための基礎情報を収集する。

## I-2 調査対象地域

インド国 ウッタラカンド州他 (第I-1図)



第I-1図 調査対象地域



### I-3 相手国機関

インド国営火力発電公社 (NTPC)

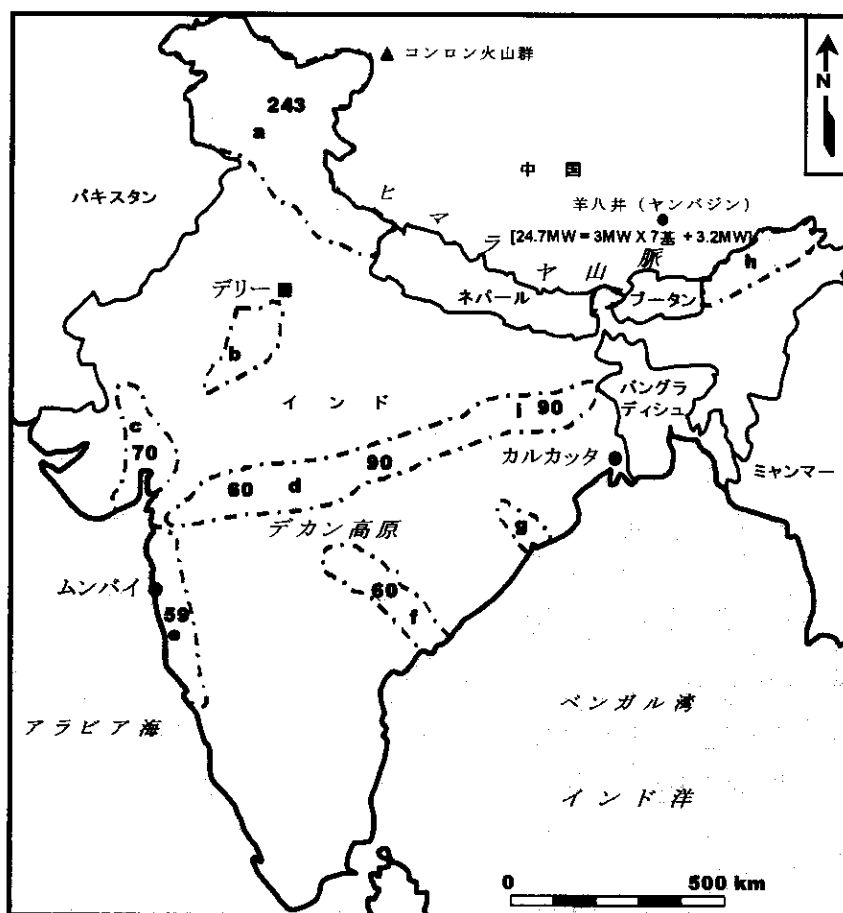
### I-4 背景・経緯

2010年のコペンハーゲン合意に基づき、インド国はCO<sub>2</sub>排出削減の自主目標としてGDP比で20～25%を掲げている一方で、急速な経済成長を背景に2011年にはCO<sub>2</sub>排出量が世界第3位となり、気候変動問題への対応が喫緊の課題となっている。このような状況に対してインド政府は、電源の多様化とCO<sub>2</sub>排出削減のために新・再生可能エネルギー省 (MNRE: Ministry of New and Renewable Energy) を設置し、風力、太陽、小水力、バイオマス等の再生可能エネルギー開発を進めている。2010年末には、風力が13,000MW以上、太陽光発電は約18MWが導入されている。

地熱エネルギーに関しては、1970年代の石油危機後、国連とインド地質調査所 (GSI: Geological Survey of India) により主要温泉の予察調査が行われ、1991年にGeothermal Atlas of Indiaとしてとりまとめられた。その後に行われた温泉の化学特性や地質に関する研究により、いくつかの温泉については、発電や産業での直接利用が可能と推定されている。また、GSIとAtomic Minerals Divisionによって最深で約600mの浅部調査孔が各地で掘削されている。インドにおける主要な地熱地帯を第I-2図に示す。

デカン高原およびその周辺に位置する地熱地帯での地下増温率は60～90°C/km (1km深くなると温度が60～90°C高くなる) 程度であり、高温の地熱資源はあまり期待できない。一方、ヒマラヤ山脈沿いの北西ヒマラヤ地熱地帯における地下増温率は243°C/kmと高い (ただし、この地下増温率は深さが数百mの井戸での測定結果に基づいており、地下1,000mの温度を実際に測定したものではない)。インドでは地熱開発へ向けた動きはあるものの、いずれも計画段階であり、地熱発電は未だ実現されていない。

政府、電力公社等も地熱発電開発のノウハウを有していないため、NTPCは地熱開発に必要な技術の習得を強く要望している。このような背景のもと、2009年度に我が国経済産業省による円借款案件形成等調査が実施され、インド北部の地熱資源の概要が把握された。その後、2010年12月に、インド政府は日本政府に対し「ウッタラカンド州タポバン地熱開発にかかるF/Sプロジェクト」の実施を要請している。しかし、タポバン地点を含め、多くの地熱地点の現状は探査の初期段階であり、要請案件実施の妥当性を判断するための基礎情報が不足している。



Chandrasekharam (2000, 2005)を基に作成

■: 北西ヒマラヤ地熱地帯    b: ソハナ地熱地帯    c: カンベイ地熱地帯    d: SONATA地熱地帯  
 ●: 西海岸地熱地帯    f: コダバリ地熱地帯    g: マハーナジ地熱地帯    h: 北東マラヤ地熱地帯  
 図中の数字は地下増温率(°C/km)を示す。  
 ▲ 第四紀火山

第I-2 図 インドの主要地熱地帯

### I-5 調査実施の基本方針及び実施方法

#### I-5-1 調査実施の基本方針

本調査ではインドにおける地熱資源に関する情報を収集・アップデートするとともに、インド政府の政策・実施体制を確認して地熱分野における今後の支援方針を検討するための情報を収集する。また、ウッタラカンド州タポバンにおける地熱発電開発の可能性を確認することも主要な目的としている。本調査では発電のみならず熱や水の利用を考慮した地産地消型エネルギー供給システムの構築も考慮する。本調査では、このような地熱発電の特徴を踏まえた地熱発電の意義を念頭に置き、調査に取り組むとともにインド側関係者の理解を深めることに留意する。さらに、実施機関である NTPC に対して、必要に応じて日本ならびに他国の地熱発電開発の事例を示し、地熱発電事業に関する理解を深めることができるよう取り組む。本調査では、以下の点を重視して調査に取り組むこととする。

#### I) インドの再生可能エネルギー導入促進に係る政策及び地熱発電の位置づけ

インド政府が策定した再生可能エネルギー関連政策について調査し、インド政府の再生

可能エネルギー導入政策における地熱発電の位置づけを再確認する。調査の結果、同政策に対して、よりインドの実情に合った政策及び施策の提言が可能となった場合には、それを提案する。

## 2) 本調査の位置づけと調査終了後の支援方針

本調査は、過去に日本政府の支援により行われた円借款案件形成等調査のアップデート及び補完を行うとともに、今後の支援可能性を検討するものと理解している。本調査終了後の日本政府の支援として技術協力の実施の可否が検討されることを前提に、本調査では基礎情報の収集を行うとともに、それらにもとづき、技術協力の実施妥当性及び具体的な支援内容の検討を行うこととする。特に地熱発電開発候補地域を対象としては、地表での詳細地質調査及び物理探査についての技術協力の実施可能性を考慮した調査・検討を行う。また、調査井掘削及び坑井試験実施を視野に、インド政府による調査井掘削に係る予算措置の可能性及びインド側の実施体制の確認を行う。さらに、調査井掘削・坑井試験及び地熱貯留層評価に対する技術支援の具体的な支援内容の検討・提示を行う。

## 3) 地熱発電所の建設に係る円借款による支援可能性

本調査では円借款による開発可能性を直接的には検討しないが、将来的な円借款プロジェクトの形成の可能性もあることを念頭におき、地熱発電開発の可能性を検討する。

## I-5-2 調査実施方法

地熱電源開発は、地熱資源の開発により十分な蒸気量が確保されることが条件となるために、ほかの電源開発とは異なった事業化調査・開発・運用・保守管理が行われる。すなわち、通常の発電事業の燃料確保にあたる地下資源の状況（量・特性）を把握した上で、適切な資源開発（蒸気生産）計画を策定することが求められる。インドにおける地熱開発の現状を把握した上で、適切な開発方法の提案を行うことが必要である。本調査における地熱開発調査方法を以下に述べる。

### 国内準備作業

以下の項目について、日本国内で資料・文献調査及び関係機関へのヒアリングを行う。

- インド国及びウッタラカンド州の電力需給状況及び再生可能エネルギー導入状況
- インド国及びウッタラカンド州の電力供給体制及び行政機構
- 我が国及び他国（インドネシア、フィリピン等）の地熱発電の開発状況及び活用事例
- 我が国の地熱関連企業（タービンメーカー等）の受注状況及び強み・弱み
- 過去に実施された調査（円借款案系形成等調査）の結果のレビュー及び全体スケジュール案の作成
- インセプション・レポートの作成

### 第1次現地調査

以下の報告ならびに現地での調査を行う。

- JICAインド事務所へインセプション・レポート説明
- NTPCへのインセプション・レポートの提出、調査の内容・方針の説明及びヒアリング
- インドにおける地熱開発に必要な承認、許認可の調査
- 地熱資源に係るレビューと地熱発電開発候補地域の抽出

- JICAインド事務所への報告

### 第1次国内作業

以下の報告ならびに検討を行う。

- JICA南アジア部及び産業開発・公共政策部への帰国報告
- ウッタラカンド州における地熱発電の開発可能性及び開発の意義、位置づけの検討
- インテリム・レポート作成

### 第2次現地調査

以下の報告ならびに現地での調査を行う。

- JICAインド事務所へインテリム・レポート説明
- NTPCへのインテリム・レポートの提出、調査進捗状況の説明
- 不足情報の収集・分析及び追加の情報収集
- 地熱発電開発に関する民間企業等の情報収集
- ウッタラカンド州の地熱発電開発候補地域における現地調査
  - ・ 地質概況
  - ・ 環境・社会状況（周辺の村落の人口分布、主な産業・生活様態、熱・電力等エネルギーの使用状況、森林・河川等の環境、保護林・国立公園等の有無）
  - ・ アクセス道路、送変電設備等のインフラ状況
  - ・ 水資源の利用可能性を念頭においた河川の状況
- JICAインド事務所への報告

### 第2次国内作業

以下の報告ならびに作業を行う。

- JICA南アジア部及び産業開発・公共政策部への帰国報告
- 地熱発電開発の促進支援に関する提言の作成
- ドラフト・ファイナル・レポート作成

### 第3次現地調査

以下の報告を行う。

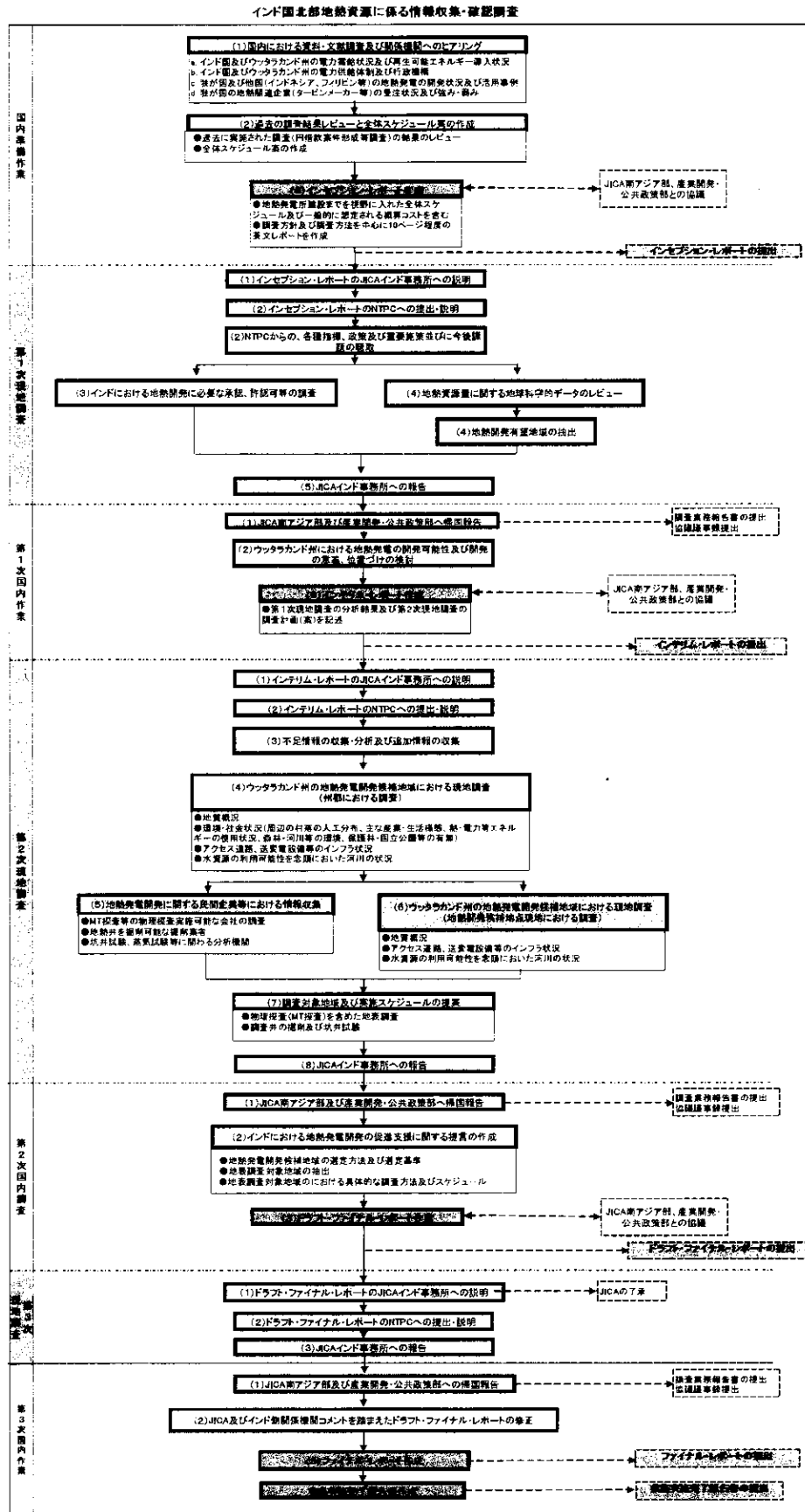
- JICAインド事務所へドラフト・ファイナル・レポート説明
- NTPCへのドラフト・ファイナル・レポートの提出、調査結果の説明
- JICAインド事務所への報告

### 第3次国内作業

ファイナル・レポート作成して提出する。

## I-6 調査のスケジュール

本調査のスケジュールを第I-1表に示す。



第 I-3 図 調査の流れ

第I-1表 調査のスケジュール

作業項目	2011年度		2012年度											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1		
<b>1. 国内準備作業</b>														
(1) 国内における資料・文献調査及び関係機関へのヒアリング	□													
(2) 過去の調査結果レビューと全体スケジュール案の作成	□													
(3) インゼプション・レポート作成	□													
<b>2. 第1次現地調査</b>														
(1) インゼプション・レポートのJICAインド事務所への説明		■												
(2) インゼプション・レポートのNIPICへの提出・説明、各種符號、政策及び重要施設並びに今後開闢の確保		■												
(3) インドにおける地熱開発に必要な承認、許認可等の調査		■												
(4) 地熱資源量に関する地球科学的データのレビュー、地熱開発有望地域の抽出		■												
(5) JICAインド事務所への報告		■												
<b>3. 第1次国内作業</b>														
(1) JICA南アジア部及び産業開発・公共政策部への帰国報告		□												
(2) ウットラカンド州における地熱発電の開発可能性及び開発の意義、位置づけの検討		□												
(3) インテリム・レポート作成		□												
<b>4. 第2次現地調査</b>														
(1) インテリム・レポートのJICAインド事務所への説明			■											
(2) インテリム・レポートのNIPICへの提出・説明			■											
(3) 不足情報の収集・分析及び追加情報の収集			■											
(4) 地熱発電開発に関する民間企業等における情報収集			■											
(5) ウットラカンド州の地熱発電開発候補地域における現地調査(州都における調査)			■											
(6) ウットラカンド州の地熱発電開発候補地域における現地調査(地熱開発候補地点近地における調査)			■											
(7) 調査対象地域及び実施スケジュールの提案			■											
(8) JICAインド事務所への報告			■											
<b>5. 第2次国内調査</b>														
(1) JICA南アジア部及び産業開発・公共政策部への帰国報告			□											
(2) インドにおける地熱発電開発の促進文脈に関する提言の作成			□											
(3) ドラフト・ファイナル・レポート作成			□											
<b>6. 第3次現地調査</b>														
(1) ドラフト・ファイナル・レポートのJICAインド事務所への説明						■								
(2) ドラフト・ファイナル・レポートのNIPICへの提出・説明						■								
(3) JICAインド事務所への報告						■								
<b>7. 第3次国内調査</b>														
(1) JICA南アジア部及び産業開発・公共政策部への帰国報告														
(2) JICA及びインド関係機関コメントを踏まえたドラフト・ファイナル・レポートの修正														
(3) ファイナル・レポート作成・提出														
<b>調査工程</b>														

凡例: □ 事前作業期間 ■ 現地業務期間 □△ 国内作業期間

## I-7 要員計画

本調査の要員計画は第 I-2 表に示すとおりである。

第 I-2 表 業務の担当者一覧表

氏名	担当	業務内容
赤迫 秀雄	総括/地熱開発	プロジェクト総括業務及び技術管理、地熱資源評価総括、地熱開発方針統括
末吉 喜和	地熱開発 A	既存調査レビュー（主に掘削関係）、全体スケジュール（案）検討、コスト概算、現地調査（インフラ状況・河川状況等）、地熱井掘削企業の調査、地熱発電開発候補地域における掘削計画・スケジュール検討、インドにおける今後の調査方法及びスケジュールの検討、地熱発電開発の促進支援の提言
長野 洋士	地熱開発 B	地熱発電の開発状況・活用事例（日本・海外）調査、既存調査レビュー（主に地表調査関係）、地熱発電開発候補地域の抽出、物理探査企業の調査、地熱発電開発候補地域における物理探査を含めた地表調査・スケジュール検討、インドにおける地熱発電開発候補地域の選定方法・選定基準策定
矢原 哲也	地熱開発 C	我が国の地熱関連企業の受注状況及び強み・弱みの調査、既存調査レビュー（主に坑井調査関係）、坑井試験・蒸気試験等に関わる分析機関の検討・調査、地熱発電開発候補地域における坑井試験の内容・スケジュール検討、インドにおける今後の調査方法及びスケジュールの検討
杉村 麻衣子	地熱開発政策・制度 A	電力需給状況調査、再生可能エネルギー導入状況調査、電力供給体制・行政機構の調査、地熱開発に必要な承認・許認可の調査、政策・施策に関する調査・検討、地熱発電開発の促進支援の提言
田籠 功一	地熱開発政策・制度 B	電力需給状況調査、再生可能エネルギー導入状況調査、電力供給体制・行政機構の調査、地熱開発に必要な承認・許認可の調査、政策・施策に関する調査・検討、地熱発電開発の促進支援の提言
副田 宜男	地熱資源評価 A	既存調査レビュー（地熱資源）、地熱発電開発候補地点の検討・抽出、現地調査（地質概況など）、地熱発電開発候補地域における地表調査計画、インドにおける地表調査対象地域の抽出
和田 隆行	地熱資源評価 B・ 環境社会配慮 B	既存調査レビュー（地熱資源）、地熱発電開発候補地点の検討・抽出、インドにおける地表調査対象地域の抽出、環境・社会状況の調査
ランジーヴ マリック	環境社会配慮 A	環境・社会状況の調査

**I-8** 成果品

本調査の成果は、以下の報告書に取りまとめる。

インセプション・レポート（英文、和文）

インテリム・レポート（英文、和文）

ドラフト・ファイナル・レポート（英文、和文）

ファイナル・レポート（英文、和文）



## 第 II 章

## II インド国における電力事情及び再生可能エネルギー導入状況

### II-1 インド国及びウッタラカンド州の電力需給状況及び再生可能エネルギー導入状況

インドでは近年の急速な経済成長に伴う電力需要の増加が著しく、2009-2010年度は約10.1%の供給電力量不足、約12.7%のピーク電力不足があった。また、2010-2011年度における電力量不足は8.5%、ピーク電力不足は9.8%であった。不足する電力の一部（2010-2011年度は全電力供給量の約0.7%）をブータン（水力発電による電力）から輸入しているが、インド国内における供給力の確保が重要課題となっている。なお、北部地区電力委員会（NRPC: Northern Region Power Committee）のデータによれば、北部地区における2011年5月の電力需給バランスは、約3.97%の供給電力量不足、約5.96%のピーク電力不足と報告されている。ウッタラカンド州について見ると、約2.78%の供給電力量不足、約10.89%のピーク電力不足であり、ヒマチャルプラデッシュ州では約0.09%の供給電力量不足（ピーク電力不足は0%）であった。

2007年に策定された第11次5ヶ年計画では、最終年度である2011-2012年度末までの5ヶ年で総計78,577MWの発電設備増強を目標としていたが、実際の達成量は50,000MW以下となった。現在2011/12-2016/17年をカバーする第12次5ヶ年計画を策定中であるが、その中でインド政府は、第11次5ヶ年計画における未到達分も含めて第12次5ヶ年計画では、総発電設備容量が100,000MWとなる設備容量の増強を目標としている。再生可能エネルギーについても、風力・太陽光・太陽熱に重点を置き、積極的な導入を図るとしている。電力省（MOP: Ministry of Power）の中央電力庁（CEA: Central Electricity Authority）ホームページ掲載データによれば、2011年10月末時点におけるインドの総発電設備容量は182,689.62MWである。その電源構成としては、火力119,040.98MW（約65.2%）、水力38,706.4MW（約21.2%）、原子力4,780MW（約2.6%）、再生可能エネルギー20,162.24MW（小水力を含む、約11.0%）となっており、火力発電を中心とする電源構成になっている。特に石炭火力の設備容量は100,098.38MWであり、総発電設備容量の約54.8%を占めている。なお、今回の調査対象範囲が含まれている北部地区（チャンディガール、デリー、ハリヤナ州、ヒマチャルプラデッシュ州、ジャム・カシミール州、パンジャブ州、ラジャスタン州、ウタルプラデッシュ州、ウッタラカンド州）に存在する発電所の設備容量は48,764.06MW（火力28,711.75MW、原子力1,620MW、水力14,922.75MW、再生可能エネルギー3,509.56MW）であり、インド全体の約27%を占めている。

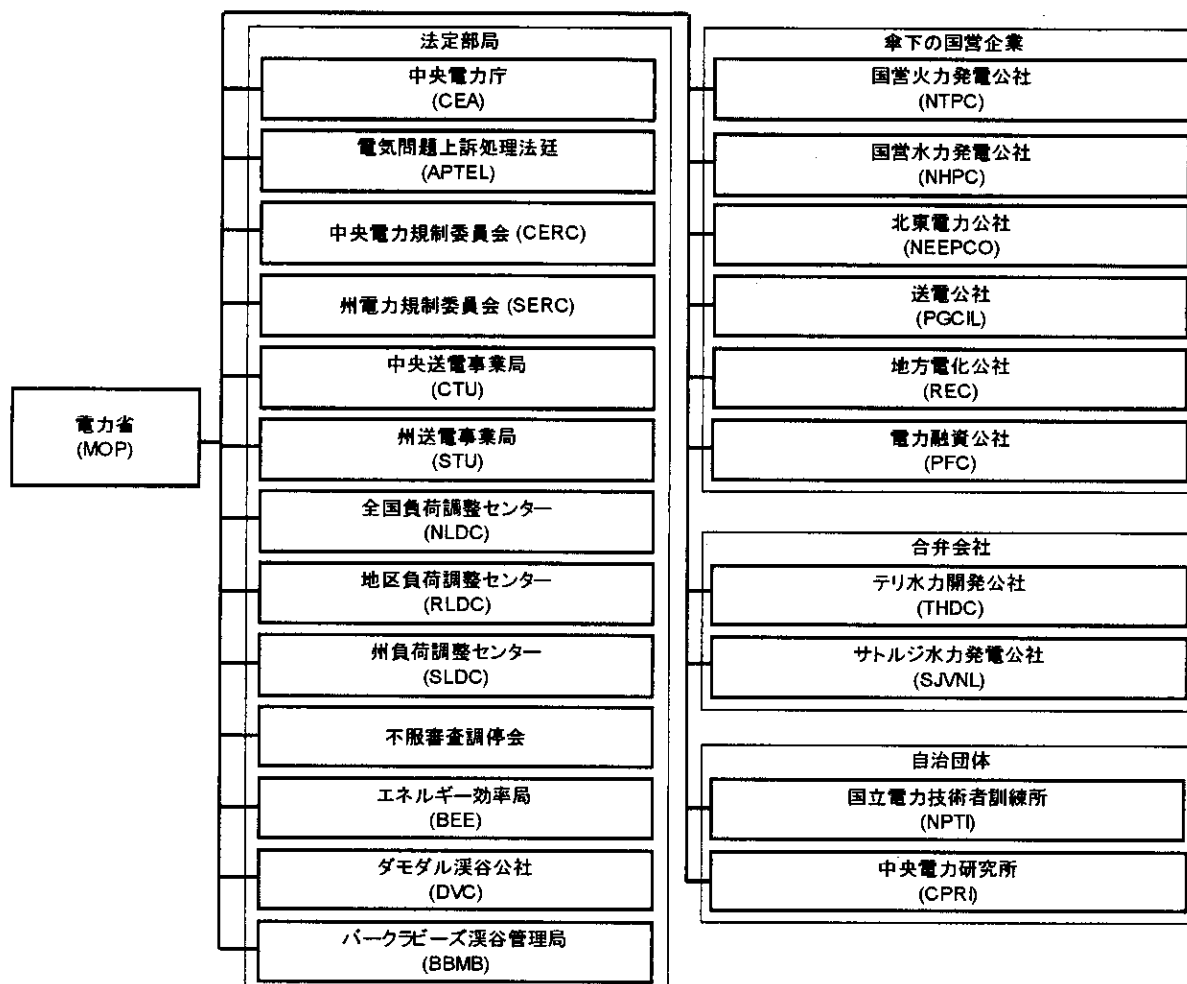
MOPの2010-2011年報では、2011年1月31日現在のウッタラカンド州における設備容量は2,410.04MWであり、その電源構成は水力1,924.18MW、火力330.61MW、原子力22.28MW、再生可能エネルギー132.97MWとなっている。また、ヒマチャルプラデッシュ州における設備容量は2,284.15MWであり、その電源構成は水力1,731.94MW、火力180.31MW、原子力34.08MW、再生可能エネルギー337.82MWとなっている。

## II-2 インド国及びウッタラカンド州の電力供給体制及び行政機構

### II-2-1 インド国及びウッタラカンド州における電力関連行政機構

インドにおける電気事業は、中央政府と州の共同管轄事項と定められており、中央政府と州政府が電力政策の立案や電気事業の規制・監督などを行っている。中央政府では、電力省が電力行政を管轄している。かつてはエネルギー省（Ministry of Energy Sources）であったが、1992年7月2日から現在の名称となっている。電力省における電力関連組織概要を第II-1図に示す。電力省は電気法 2003（Electricity Act 2003）とエネルギー保護法 2001（Energy Conservation Act 2001）の執行を行うとともに、必要となった場合や政府政策目的との整合性をとるための両法の改正を行うこととなっている。主要な所管事項は以下のとおりである。

- 電力セクターに関する総合政策、エネルギー政策
- 水力発電（25MW以下の小水力、ミニ水力、マイクロ水力は新・再生可能エネルギー省所管）、火力発電及び送・配電網に関する全ての事項
- 電力セクターに関連するエネルギー保護やエネルギー効率に関する全ての事項
- 中央電力庁、中央電力局（CEB: Central Electricity Board）及び中央電力規制委員会（CERC: Central Electricity Regulatory Commission）に関する全ての事項
- 地方電化
- 電力計画
- 以下の組織・事業体に関する事項
  - ダモダル溪谷公社
  - パークラビーズ溪谷管理局（灌漑に関連した事項は除く）
  - NTPC
  - NHPC
  - 地方電化公社
  - 北東電力公社
  - 送電公社
  - 電力融資公社
  - テリ水力開発公社
  - サトルジ水力発電公社
  - 中央電力研究所
  - 国立電力技術者訓練所
  - エネルギー効率局



第 II-1 図 インド国における中央政府電力セクターの組織概要

1) 中央電力庁

電気（供給）法 1948 [Electricity (Supply) Act 1948] に設立された機関である。その後、電気（供給）法 1948 は電気法 2003 となり、電力省の付属機関となっている。ただし、中央電力庁に関する規定は以前の法と同じ内容となっている。国の電力政策に沿った国家電力計画を策定している。また、発電会社が水力発電所を建設しようとする場合は、中央電力庁の同意を要する。電気法 2003 の第 73 条は、以下のような権限を中央電力庁に付与している。

- 電力政策関連事項に対する中央政府への助言、電力システム開発に関する将来計画策定
- 電力プラント、電線及び送電系統連携の建設に関わる技術的標準設定
- 電力プラント及び電線の建設・設置、運転・保守に関わる安全基準設定
- 送電線の運転・保守に関わる系統基準設定
- 送電や電力供給に関わる計量器設置条件設定
- 電力システムの改善や増強に関わる計画やプロジェクトの促進
- 電力産業従事者の技術力向上の促進

2) 電気問題上訴処理法廷

電気法 2003 第 110 条の規定により、審査員ないし中央調整委員会（Central Regulatory Commission）、州調整委員会（State Regulatory Commission）、合同委員会の裁定に対する異議申し立てや原訴状の聴取を行う機関である。電気法 2003 第 121 条に基づき、訴状に関する聴取のため、原裁定機関と協議するとともに法定職務執行のため全ての委員会へ命令を発する。

### 3) 中央電力規制委員会

電力規制委員会法 1998（Electricity Regulatory Commissions Act, 1998）により設立された機関である。その後、電力規制委員会法 1998 は電気法 2001 に組み入れられている。中央政府所管発電会社の電気料金を統制している。なお、中央政府管轄外の発電会社であっても、複数の州にまたがる発電会社や複数の州における発電・売電計画を有している場合には、その発電会社の電気料金を統制する。さらに、州間での送電ならびに送電料金の統制や州間での送電や電力取引に関するライセンスの認可業務を行っている。また、国の電力政策や電気料金政策策定における中央政府への助言も行っている。

### 4) 州電力規制委員会

州内における発電、電力供給、送電等の料金、卸売り電気料金や小売り電気料金などを決定している。また、州内における送電、配電及び電力取引ライセンスの発行とともに、再生可能エネルギーによる発電やコージェネレーションの促進を所管している。ウッタラカンド州では、電力規制委員会法 1998 に基づく 2002 年 1 月 1 日付の公示 03/9-3- URJA/2002 によりウッタラカンド電力規制委員会（UERC: Uttarakhand Electricity Regulatory Commission）が設立されている。

### 5) 中央送電事業局

インド電気法 1910（Indian Electricity Act, 1910）に基づいて設立された機関である。同法の廃止に伴い、中央送電事業局に関する規定は電気法 2003 に引き継がれている。州間送電システムによる送電を行っている。また、州送電事業局、中央政府、州政府及び発電会社等との州間送電システムに関連した企画・調整を行っている。なお、中央政府所管の送電事業体は送電公社（PGCIL: Power Grid Corporation of India Limited）である。

### 6) 州送電事業局

インド電気法 1910（Indian Electricity Act, 1910）に基づいて設立された機関である。同法の廃止に伴い、送電事業局に関する規定は電気法 2003 に引き継がれている。州内の送電システムによる送電を行っている。また、中央送電事業局、州政府及び発電会社等との州内送電システムに関連した企画・調整を行っている。

### 7) 全国負荷調整センター

地区負荷調整センター間における電力の最適な融通調整を行うために設置された機関である。全国負荷調整センターの所管事項については、中央政府が規定している。

### 8) 地区負荷調整センター

電気法 2003 第 25 条は、効率的、経済的、総合的な送電・給電、特に、州間、地区内及び地域間の発電・送電設備の接続・調整促進のための地区分けを行うよう中央政府に求めている。

地区負荷調整センターは特に地区内における電力供給及び電力系統運転状況モニタリング等の責務を負っている。なお、インド本土における電力供給については、以下の5つの地区 (Region) に大別されており、それぞれに電力委員会 (Power Committee) が置かれている。

北部地区 (Northern Region) = チャンディガール、デリー、ハリヤナ州、ヒマチャルプラデッシュ州、ジャム・カシミール州、パンジャブ州、ラジャスタン州、ウッタラプラデッシュ州、ウッタラカンド州

西部地区 (Western Region) = チャティスガール州、グジャラート州、マディヤプラデッシュ州、マハラストラ州、ダマン・ディウ、ダドゥラ・ナガルハベリ、ゴア

南部地区 (Southern Region) = アンドラプラデッシュ州、カルナタカ州、ケララ州、タミルナドゥ州、プドゥシェリ

東部地区 (Eastern Region) = ビハール州、ジャールカンド州、オリッサ州、西ベンガル州、シッキム州

北東部地区 (North-Eastern Region) = アルナーチャルプラデッシュ州、アッサム州、メニプル州、メガラヤ州、ミゾラム州、ナガランド州、トリプラ州

#### 9) 州負荷調整センター

州内における電力システムの総合的運用を図ることを責務としている。

#### 10) 不服審査・調停会

電気法 2003 は全ての配電免許取得者に消費者の不服に関する審査会の設置を義務づけている。調停会は、不服審査会で不調となった不服申請の聴聞・調停を行うために州委員会が指名ないし選定した機関である。ウッタラカンド州では、ウッタラカンド電力規制委員会内に消費者不服申請調停会 (Consumer Grievance Redressal Forum) が設置されている。

#### 11) エネルギー効率局

エネルギー保護法 2001 第3条に基づいて2002年3月1日に設立された機関である。エネルギー効率の向上を目指しており、省エネルギー対策の促進を第1の課題としている。

## II-2-2 インド国における電力供給体制

### (1) 発電事業

インドでは、中央政府、州政府及び民間 (ライセンス事業者、IPP) のそれぞれの事業者が発電事業を営んでいる。1991年の電力事業自由化以降、現在まで約100件のIPPが承認され、このうち44件が現在も稼働している (電力省、CEA、PFC: Power Finance Corporation Limited)。2003年のElectricity Actにより、発電事業の民間への開放が行われ、30件のIPP (22,038MW) が出資合意された。ただし、外国事業者の案件はない。

インドでは近年の急速な経済成長に伴う電力需要の増加が著しく、2009-2010年度は約10.1%の供給電力量不足、約12.7%のピーク電力不足があった。また、2010-2011年度における電力量不足は8.5%、ピーク電力不足は9.8%であった。不足する電力の一部 (2010-2011年度は全電力

供給量の約 0.7%) をブータン (水力発電による電力) から輸入しているが、インド国内における供給力の確保が重要課題となっている。2007 年に策定された第 11 次 5 ヶ年計画では、最終年度である 2011-2012 年度末までの 5 ヶ年で総計 78,577MW の発電設備増強を目標としている。2011 年 12 月 31 日現在における発電設備容量と電源構成を第 II-1 表に示す。インドの総発電設備容量は 186,654.62MW であり、その電源構成としては、火力 122,963.98MW (約 65.9%)、水力 38,748.4MW (約 20.8%)、原子力 4,780MW (約 2.6%)、再生可能エネルギー 20,162.24MW (約 10.8%) となっており、火力発電を中心とする電源構成になっている。特に石炭火力の設備容量は 104,021.38MW であり、総発電設備容量の約 55.7% を占めている。発電事業者の区分で見ると、州政府の事業者が 83,605.65MW と全体の約 44.8% を占めており、中央政府の事業者 57,732.63MW (約 30.9%)、民間 45,316.34MW (約 24.3%) となっている。

中央政府の主要な事業者としては、NTPC、ダモダル溪谷公社 (DVC: Damodar Valley Corporation)、NHPC、原子力発電公社 (NPC: Nuclear Power Corporation of India Limited)、テリ水力開発公社 (THDC: Tehri Hydro Development Corporation India Limited) などである。なお、NTPC はインド全体の約 17.4% に相当する 32,442.23MW の発電設備容量を有しており、合弁事業をふくめると、その設備容量は 35,662.23MW (インド全体の約 19.1%) に達する。

第 II-1 表 インドにおける発電設備の電源構成

電源	火力				原子力	水力	RES (MNRE)	合計	比率 (%)	
	石炭	ガス	ディーゼル	計						
設備容量 (MW)	州政府	48,112.00	4,327.12	602.61	53,041.73	0.00	27,338.00	3,225.92	83,605.65	44.79
	中央政府	37,365.00	6,702.23	0.00	44,067.23	4,780.00	8,885.40	0.00	57,732.63	30.93
	民間	18,544.38	6,713.50	597.14	25,855.02	0.00	2,525.00	16,936.32	45,316.34	24.28
	合計	104,021.38	17,742.85	1,199.75	122,963.98	4,780.00	38,748.40	20,162.24	186,654.62	100.00
比率 (%)	55.73	9.51	0.64	65.88	2.56	20.76	10.80	100.00		

RES 再生可能エネルギー(小規模水力、バイオマス、ゴミ、風力)

MNRE 新・再生可能エネルギー省

2011 年 12 月 31 日現在 (出典: CEA ホームページ)

## (2) 送・配電事業

インドでは基本的に、州単位で認可を受けた事業者が送・配電事業を行っている。なお、中央政府の送電公社 (PGCIL: Power Grid Corporation of India Limited) が州単位の電力系統を連携している。インドにおける主要な送電系統図を第 II-2 図に示す。





## II-2-3 ウッタラカンド州の電力供給体制

### (1) 発電事業

北部地域電力委員会 (NRPC: Northern Region Power Committee) によれば、北部地域における 2011 年 5 月の電力需給バランスは、約 3.97%の供給電力量不足で約 5.96%のピーク電力不足とされている。ウッタラカンド州では、約 2.78%の供給電力量不足、約 10.89%のピーク電力不足であり、ヒマチャルプラデッシュ州では約 0.09%の供給電力量不足（ピーク電力不足は 0%）であった。今回の調査対象範囲が含まれている北部地域における 2011 年 8 月 31 日現在の発電所設備容量を第 II-2 表に示す。北部地域の総発電設備容量は 47,932.56MW であった。28,380.25MW が火力であり、全体の約 59.2%を占めている。これに次ぐのが、水力の 14,422.75MW であり、再生可能エネルギー3,509.56MW、原子力 1,620MW の順となっている。北部地域の発電設備容量はインド全体の約 26%を占めている。北部地域における主要発電事業者の 2011 年 3 月 31 日現在の設備容量を参考として第 II-3 表に示す。この時点で最も大きな発電設備容量を有するのは NTPC で、北部地区全体の 25.57% (1,128MW) を占めている。

2011 年 8 月 31 日現在におけるウッタラカンド州の総発電設備容量は 2,453.74MW である (第 II-2 表参照)。全体の約 79.7%に相当する 1,956.18MW が水力であり、火力は 330.61MW となっている。事業主体別に見ると、州政府の事業体が全体の約 56.5% (1,386.77MW) を占めている。州政府の事業主体はウッタラカンド州所有のウッタラカンドジャルビドゥニガム公社 (UJVNL: Uttarakhand Jal Vidyut Nigam Limited) であり、0.2MW から 376MW の水力発電所を運転している。中央政府の発電事業主体は、火力発電所が NTPC であり、水力発電所は NHPC、テリ水力開発公社 (THDC: Tehri Hydro Development Corporation India Limited)、サトルジ水力発電公社 (SJVNL: Satluj Jal Vidyut Nigam Limited) など、原子力発電所は NPC である。

第 II-2 表 インド北部における発電設備の電源構成

電源		火力				原子力	水力	RES (MNRE)	合計	比率 (%)	
		石炭	ガス	ディーゼル	計						
北部地域全体	設備容量 (MW)	州政府	13,612.00	1,719.20	12.99	15,344.19	0.00	7,052.55	1,052.86	23,449.60	48.92
		中央政府	9,750.50	2,344.06	0.00	12,094.56	1,620.00	5,792.20	0.00	19,506.76	40.70
		民間	870.00	71.50	0.00	941.50	0.00	1,578.00	2,456.70	4,976.20	10.38
		合計	24,232.50	4,134.76	12.99	28,380.25	1,620.00	14,422.75	3,509.56	47,932.56	100.00
	設備容量比率 (%)		50.56	8.63	0.03	59.21	3.38	30.09	7.32	100.00	
ウッタラカンド州	設備容量 (MW)	州政府	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,252.15	134.62	1,386.77	56.52
		中央政府	261.26	69.35	0.00	330.61	22.28	304.03	0.00	656.92	26.77
		民間	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	400.00	10.05	410.05	16.71
		合計	261.26	69.35	0.00	330.61	22.28	1,956.18	144.67	2,453.74	100.00
	設備容量比率 (%)		10.65	2.83	0.00	13.47	0.91	79.72	5.90	100.00	
ヒマチャルプラデッシュ州	設備容量 (MW)	州政府	0.00	0.00	0.13	0.13	0.00	393.60	418.96	812.69	27.36
		中央政府	118.30	61.88	0.00	180.18	34.08	765.34	0.00	979.60	32.98
		民間	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,178.00	0.00	1,178.00	39.66
		合計	118.30	61.88	0.13	180.31	34.08	2,336.94	418.96	2,970.29	100.00
	設備容量比率 (%)		3.98	2.08	0.00	6.07	1.15	78.68	14.11	100.00	

R.E.S. 再生可能エネルギー（小規模水力、バイオマス、ゴミ、風力）

MNRE 新・再生可能エネルギー省

2011 年 8 月 31 日現在（出典: CEA ホームページ）

第 II-3 表 インド北部地区における事業主体別発電設備容量

(単位: MW)

企業体/州	水力	火力	ガス	原子力	ディーゼル	RES	合計
NTPC		8,780.00	2,348.00				11,128.00
ウッタールプラデッシュ	501.60	4,672.00				45.00	5,218.60
ラジャスタン	411.00	3,760.00	443.80			30.25	4,645.05
パンジャブ	1,051.00	2,630.00	25.00			243.20	3,949.20
ハリヤナ	0.00	3,160.00	25.00		3.92	70.10	3,259.02
NHPC	3,118.00						3,118.00
BBMB	2,866.30						2,866.30
ウッタラカンド	1,652.15					139.00	1,791.15
NPC				1,620.00			1,620.00
SJVNL	1,500.00						1,500.00
デリー		135.00	1,172.00				1,307.00
THDC	1,200.00						1,200.00
ジャム・カシミール	660.00		175.00		8.94	129.33	973.27
ヒマチャルプラデッシュ	366.00				0.13	578.00	944.13
チャンデガール							0.00
合計	13,326.05	23,137.00	4,188.80	1,620.00	12.99	1,234.88	43,519.72

RES: 再生可能エネルギー(小水力発電、バイオマス発電、ゴミ発電、風力発電)

NTPC: インド国営火力発電公社

NHPC: インド国営水力発電公社

BBMB: パークラビーズ溪谷管理局

NPC: 原子力発電公社

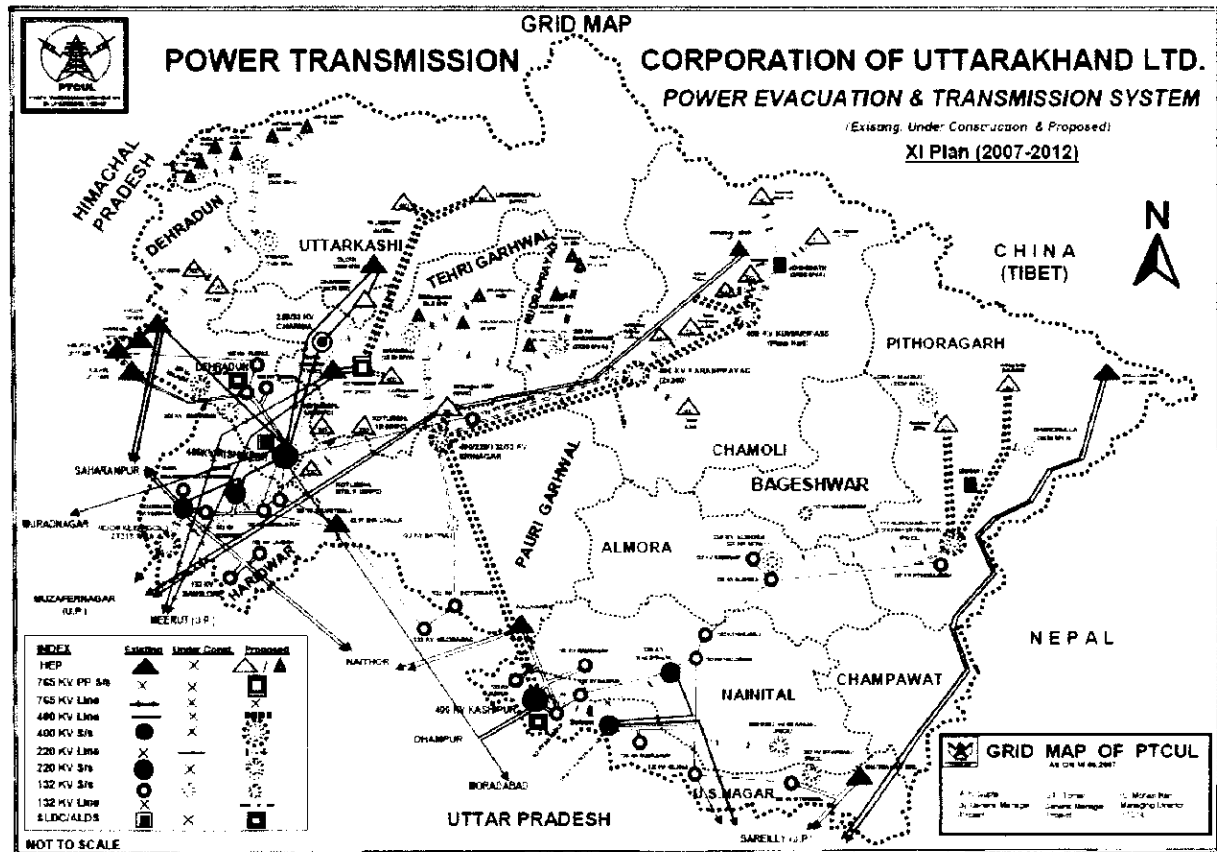
SJVNL: サトレジ水力発電公社

THDC: テリ水力開発公社

2011年3月31日現在 (出典: NRPC 2010-2011 Annual Report)

## (2) 送・配電事業

ウッタラカンド州内の送電系統を第II-3図に示す。ウッタラカンド州では、2003年6月20日付でウッタラカンド電力規制委員会の認可 (Uttarakhand Transmission and Bulk Supply Licence、Licence No. 1 of 2003) を受けたウッタラカンド送電公社 (PTCUL: Power Transmission Corporation of Uttarakhand Limited) が送電事業を行っている。また、同日付けでウッタラカンド電力規制委員会の認可 (Uttarakhand Distribution and Retail Supply Licence、Licence No. 2 of 2003) を受けたウッタラカンド電力公社 (UPCL: Uttarakhand Power Corporation Limited) が配電事業を行っている。



出典: ウッタラカンド送電公社ホームページ

第II-3 図 ウッタラカンド州送電系統図

### II-3 インド国における再生可能エネルギー導入促進に係る政策と地熱発電の位置づけ

1970年代の2度にわたるオイルショックによりエネルギー自給の重要性が認識され、国のエネルギー安全保障の観点から、新エネルギー及び再生可能エネルギーの重要性が高まった。このような背景を基に、科学技術部内に補完エネルギー委員会（CASE: Commission for Additional Sources of Energy）が1981年に設立された。この委員会は、1982年にエネルギー省の非在来型エネルギー部（DNES: Department of Non-Conventional Energy Sources）となり、1992年には非在来型エネルギー省（MNES: Ministry of Non-Conventional Energy Sources）となった後、2006年に現在の名称となった。新エネルギー及び再生可能エネルギーの開発・活用（熱源などの電源以外の利用も含む）を目指しており、新エネルギー及び再生可能エネルギーに関する全ての事項を所管している。太陽光・太陽熱、風力、バイオマス、小規模水力（25MW以下の小水力、ミニ水力、マイクロ水力）、コジェネレーション、ゴミ、水素ガス、燃料電池、潮力などとともに地熱エネルギーも新・再生可能エネルギー省の所管となっている。

新・再生可能エネルギー省の2009-10年報によれば、地熱エネルギーは重要な再生可能エネルギーの1つであり、発電も含めた多様な用途（暖房、ハウス栽培、料理など）を持った利用可能な熱エネルギーであると位置づけられている。インド地質調査所による調査で約340箇所の温泉が確認されている。このうち、チャティスガル州、ヒマチャルプラデシュ州、ジャム・カシミール州、ジャールカンド州及びウッタラカンド州の有望地点では、新・再生可能エネルギー

ギー省の支援による MT 調査が国立地球物理調査所 (NGRI: National Geophysical Research Institute) により実施されている。同省は、2009 年 5 月に地熱に関するレビューミーティングを開催しており、いくつかの州 (アンドラプラデシュ州、チャティスガール州、グジャラート州、ヒマチャルプラデシュ州、ジャム・カシミール州、ジャールカンド州、マハラシュトラ州、オリッサ州及びウッタルカンド州など) は地熱関連企業との協議を通じて地熱資源の評価・利用の第一歩を踏み出している。また、新・再生可能エネルギー省は地熱開発のガイドライン検討を目的とした作業部会を設置している。さらに、同省の 2010-11 年報によれば、地熱エネルギーや他の新・再生可能エネルギーに関する新技術の開発・促進を目指す広範な調査・開発・実証プログラムが実施されている。

#### II-4 インド国における地熱開発に必要な承認・許認可等

地熱資源の調査は、これまでインド地質研究所や、国家地球物理研究所などの政府機関により一部行われてきたが、最近民間企業の地熱開発に対する関心が高まっていることから、政府は現在、民間による地熱開発をサポートするためのガイドラインを準備している。また、地熱開発事業に必要なすべての許認可の取得を一つの窓口を通じて行えるよう、さらに地熱開発への資金面での支援についても検討している。ガイドラインは MNRE により作成され、現在ドラフト段階であるが、将来的に同国の地熱開発はこのガイドラインの下に進められると考えられる。よって、ガイドラインの最終段階で内容が変更される可能性はあるものの、現段階での概要を下記に纏める。また、本ガイドライン発効前については、必要とされる許可は MNRE ではなく州政府が出すことになっている。よって、タポバンプロジェクトの調査に関する許可の申請は、後述するとおり NTPC からウッタルカンド州政府に対して行われている。

策定中のガイドラインでは、地熱資源の所有者については、石油・ガスと同様に「国家資源」と定められている。しかしながら地熱開発の許可やライセンスを州政府が付与する権利を認めしており、また国家資源ではあっても、地熱発電に対するロイヤリティは求めないとしている。

地熱資源の探査 (prospecting lease) 及び開発 (exploration) に関する民間企業の申請は、州窓口機関 (SNA: State Nodal Agency) を通じて MNRE に対して行い、MNRE は州政府の代表とともにそれらの評価を行うことになる。許可は、SNA から民間企業に対して通知される。政府機関による申請は、MNRE に直接行ってよい。探査 (試掘を含まない) の期間は 6 ヶ月で、探査権の保有者は 12 ヶ月以内に MNRE に報告書を提出する。開発の期間は 3 年間で、6 ヶ月ごとに進捗がレビューされ、最終報告書を 3 年目の終わりに提出する。

開発権の申請の場合、3 ヶ月ごとに申請を纏めて評価することから公開入札に近い形となり、特に、ベースラインデータがすでに存在し探査が終了していると考えられるジャム・カシミール州のプガ、チューマータン地域、ヒマチャルプラデシュ州のパルバティ溪谷 (Parvati Valley) 地域 (マニランなど)、チャティスガール州のタッタパニ地域、マハラーストラ州西岸のケード、トゥラル地域についてはこの形式での開発が有効であるとしている。

開発権の申請に必要な書類は以下のとおりである。

- ▶ 地域の座標と水系を示した地図

- 試掘計画
- 坑井の深度と口径を含めた掘削計画
- 地質、地球物理、地化学調査を含めたワークプラン詳細
- 掘削費用見積もり
- 掘削資金調達済みであることを示す書類
- 掘削調査に関する技術専門専門性や技術協力に関する同意書

また、掘削活動の前に必要な環境及び森林に係る許可を受けていなければいけない。

資源開発が終了し、発電所の建設を計画する場合には、詳細事業報告書 (DPR: Detailed Project Report) を提出する。DPR には、資源評価結果、予想ポテンシャル、発電所建設計画、送電計画、環境社会配慮、事業費見積り、事業収入予想、資金調達計画など発電事業計画の詳細が盛り込まれる。DPR に添付される書類は以下のとおりである。

- 会社登録
- 州政府からの発電所建設許可
- MNRE・CEA からの発電事業の技術的・経済的実行可能性に関する認証
- 環境許可
- 森林伐採に係る許可
- 土地取得許可
- 必要に応じて地元の村の五人会議（インドの村落レベルの評議会）からの許可
- 表層水・地下水利用の許可
- 必要に応じて高層建築物建設許可
- 建設場所が私有地である場合、土地所有者の許可
- 技術協力を受ける場合は、それを証明するもの
- 銀行保証、金融機関からの資金調達の詳細
- 発電事業者登録
- 電力売買契約
- 人材計画

MNRE は、地熱開発の促進のために、以下のようなインセンティブを検討している。

- 地熱を国のエネルギー開発の優先項目とすること。
- 地熱開発に対して、太陽光と同等のインセンティブを与えること。
- MNRE は開発費用の 50%を補助する。
- MNRE は発電費用の 25%を補助する。
- MNRE は、州政府を通じて、サイトのインフラ整備を支援する。
- 開発をサポートするために、低金利（4%）で 25-30 年のソフトローンを供与する。
- 開発と発電事業に対して、風力と同等の 5 年間の免税措置を適用する。技術開発費と利潤の再投資に対しては免税とする。

- ▶ 開発に必要な輸入資機材の関税免除。
- ▶ 太陽光と同等の、発電ベースのインセンティブを付与する。
- ▶ 地熱の熱利用及び発電事業にから発生するカーボンクレジットの保有権を認める。

MNRE はこれらに加えて、デモンストレーションプロジェクトの実施や人材育成に対する支援の実施を検討している。

地熱発電所から最寄りの送電網までの送電は発電事業者の責任で行う。発電事業者は、MNRE の再生可能エネルギーガイドラインが定めるとおり、発電量の最低 25% を州の電力委員会 (State Electricity Board) に、双方の合意額で売電しなければならない。

地熱の直接利用に対する許可は、発電事業許可とは別の扱いとする。調査の許可の申請は州の窓口機関に対して行う。許可取得後は、調査を 6 ヶ月間で行い、その後 12 ヶ月以内に最終報告書と DPR を作成する。その後、最長 24 ヶ月で事業を実施する。地熱の直接利用は、地域の雇用創出や経済開発においてローカル社会が大きく裨益することから、事業費の 50% を中央政府がインセンティブや補助金の形で負担し、さらに 25% を土地やライセンスの形で州政府が負担する。

以上が、現在策定中のガイドラインの概要であるが、Tapovan の地熱開発にしては、本ガイドライン発効前であることから、NTPC よりウッタラカンド州政府に対して、2008 年 11 月に Tapovan 地域の地熱開発に対する“関心表明” (Expression of Interest) が提出され、それに対して 2009 年 3 月にウッタラカンド州政府から、同地域の開発のための“詳細調査” (detailed survey) の承認が出されている。

今後のプロジェクトの進捗に係る手続きとして、ウッタラカンド州政府から聴取したところ、以下の通りであった。

今後 NTPC は探査を行い、最終報告書を州政府に提出しなければならないが、さらに開発を進めるには、調査結果に基づく具体的な掘削計画をウッタラカンド州政府に提出し、掘削の許可を得ることになる。その際には、掘削地域の地図、掘削地点の等高線図、掘削のための予算措置、掘削後の DPR の作成方法・費用負担者等についての情報が必要となるとのことである。これらの情報から州政府が 2 ヶ月くらいで審査を行い、掘削を許可する。またこの時点で州政府と NTPC の間で、今後同地域で何 MW の地熱発電が行われ、そのうち何 MW が州内で供給される見込みであるか、といった内容の MOU を締結する。その後 NTPC が掘削を行い DPR が完成した時点で、NTPC はそれを州政府に提出し、発電所建設の許可 (州の資源を利用して発電を行うことに対する州からの許可) を申請する。この時点で、NTPC は州に一定の電力を一定の価格で供給することを確約する。また発電所建設に必要な環境認可については森林環境省から取得する。なお、ウッタラカンド州政府からは、開発段階での地熱井の掘削に関して森林環境省からの許可は必要でないとのコメントがあったが、NTPC の見解では、森林環境省からの EIA 許可は必要となる可能性が高い、とのことであった。そもそもインドでは地熱井の掘削がこれまで行われた実績がないため、森林環境省の EIA 許可が必要な開発プロジェクトのリストに地熱開発プロジェクトは入っていない。しかしながら石油・ガスの開発には森林環境省の許可が必要とされることから、地熱開発にも求められて然るべきものと考えるのが妥当である。

# 第 III 章

### III 我が国及び他国の地熱発電開発状況及び活用事例

地球温暖化対策として、再生可能エネルギーを活用した電源開発が世界的に脚光を浴びており、地熱資源保有国では地熱発電開発に対する関心が近年高まっている。世界各国の2010年における地熱発電所設備容量を第III-1表に示す。世界で最も大きな発電設備容量を有するのはアメリカである。その設備容量は3,093MWであり、世界全体の約29%を占めている。アメリカ本土西部のロッキー山脈沿いの地域（ネバダ州やカルフォルニア州など）に地熱発電設備の大部分が立地している。アメリカに次ぐのはフィリピンであり、設備容量は1,904MW（世界全体の約18%）である。以下、インドネシア1,197MW（世界全体の約11%）、メキシコ958MW（世界全体の約9%）、イタリア843MW（世界全体の約8%）、ニュージーランド628MW（世界全体の約6%）、アイスランド575MW（世界全体の約5%）、日本536MW（世界全体の約5%）とつづいている。以下にアジアにおける主要地熱開発実績として、日本、フィリピン及びインドネシアにおける地熱発電所開発状況を述べる。

第III-1表 世界の地熱発電設備容量

国名	2010年の設備容量 (MW)	割合 (%)
アメリカ	3,093	28.9
フィリピン	1,904	17.8
インドネシア	1,197	11.2
メキシコ	958	8.9
イタリア	843	7.9
ニュージーランド	628	5.9
アイスランド	575	5.4
日本	536	5.0
エルサルバドル	204	1.9
ケニア	167	1.6
コスタリカ	166	1.5
ニカラグア	88	0.8
ロシア	82	0.8
トルコ	82	0.8
パプアニューギニア	56	0.5
グアテマラ	52	0.5
ポルトガル	29	0.3
中国	24	0.2
フランス	16	0.1
エチオピア	7.3	0.1
ドイツ	6.6	0.1
オーストリア	1.4	0.0
オーストラリア	1.1	0.0
タイ	0.3	0.0
合計	10,715	100.0

出典: Ruggero Bertani (2010) Geothermal power generation in the world. *Pro. W. G. C. 2010*



### III-1 日本における地熱発電開発状況及び活用事例

我が国における地熱発電所を第 III-1 図と第 III-2 表に示す。地熱発電実用プラントの第 1 号は、1966 年 10 月 8 日に 9.5MW で自家用として運転を開始した日本重化学工業株式会社の松川発電所（岩手県）である。松川発電所の出力は 1993 年 6 月に 23.5MW へ変更された。その後、事業主体は東北水力地熱株式会社となり、事業用として発電を続けている。松川発電所これに続いて九州電力株式会社の大岳発電所（大分県）が 1967 年 8 月 12 日に認可出力 10MW で事業用の運転を開始した（現在の認可出力は 12.5MW）。現時点における稼働中の地熱発電所の認可出力は事業用 522.6MW、自家用 12.61MW の総計 535.21MW である。このうち、地熱バイナリー発電は、八丁原バイナリー 2MW と霧島地熱バイナリー 0.22MW の 2 基のみである。

1970 年代のオイルショックにより、純国産の石油代替エネルギーとして太陽などの新エネルギーとともに地熱エネルギーの開発が国策として推進されるようになった。1980 年には通商産業省（現在は経済産業省）所管の特殊法人として新エネルギー産業機構（NEDO、現在は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）が設立された。この時期には、地熱資源探査の技術が世界的にもまだ確立されておらず、試行錯誤的に各種の探査技術が適用されていたため、地熱開発には多額の初期投資（探査費用）が必要であった。このため、地熱開発プロジェクトはハイリスク・ローリターンなプロジェクトと見なされるようになり、民間の開発意欲が次第に縮小するようになった。このような状況から、NEDO は地熱探査技術の確立を目指した地熱探査技術等検証調査を 1980 年度から 2002 年度にわたり実施した。地熱探査技術等検証調査や民間による地熱資源探査実績の蓄積により、現在の地熱探査技術が確立された。

また、開発リスクを低減させるため、NEDO は我が国における地熱資源の分布を明らかにする全国地熱資源総合調査を 1980 年度から 1992 年度にわたり実施した。さらに、開発リスクのために民間による地熱開発が滞っている有望地域での調査を先導的に実施して開発を促進する目的で地熱開発促進調査を 1980 年度から開始した。当初の調査プログラムは 1 種類のみであったが、数度の見直しにより、以下に示す 4 種類の調査プログラムが用意されるようになった。

調査 A: 有望な地熱資源が存在すると推定されるが、調査データが少ないために未開発となっている地域で広域（100～300km<sup>2</sup>程度の面積）の調査を行い、地熱資源存在の可能性を検討する。期間は原則として 3 年間で、地質調査、地化学調査、物理探査（重力探査、電磁探査など）、熱流量調査坑（小口径）掘削等の調査を実施。

調査 B: 地熱資源存在の可能性は高いが、開発リスクがまだ高いために未開発となっている地域（50～70km<sup>2</sup>程度の面積）で調査を行い、地熱貯留層の有無を検証する。期間は原則として 3 年間で、地質調査、地化学調査、物理探査（重力探査、電磁探査など）、熱流量調査坑や構造試錐の小口径坑井掘削、環境調査等を実施。

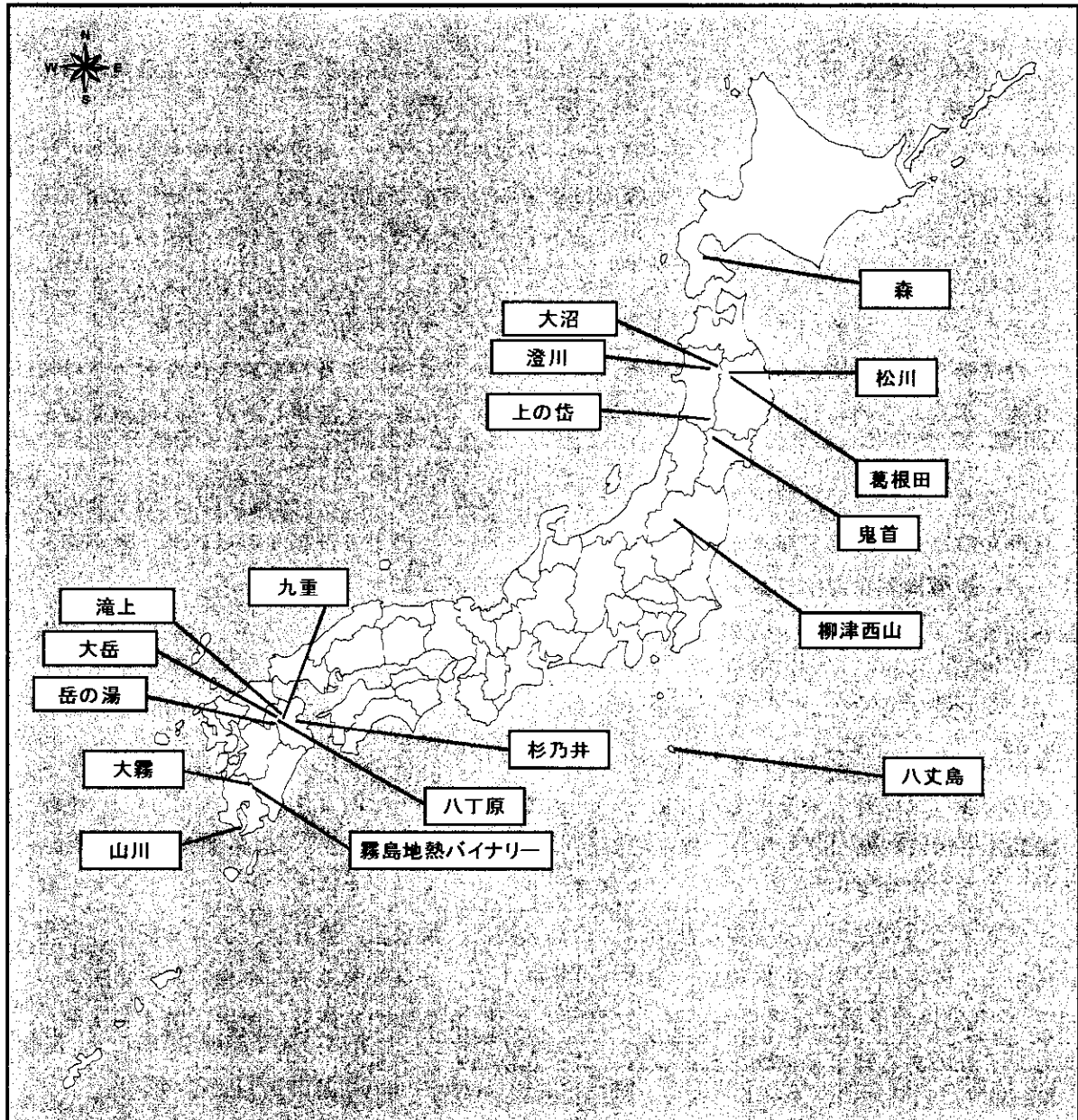
調査 C-1: 高温で有望な地熱貯留層が存在すると期待される地域（5～10km<sup>2</sup>程度の面積）で調査を行い、概略の地熱資源量を把握する。期間は原則として 4 年間で、補完の地質調査、地化学調査、物理探査を行うとともに、中口径～大口径の構造試錐、噴出試錐、還元試錐の掘削による長期噴出試験と資源量評価、経済性の概略評価、環境調査等を実施。

調査 C-2: 200°C 以下の地熱資源まで活用する中小規模地熱発電（10MW 未満）を想定した場

合に有望な地熱貯留層が存在すると期待される地域（5～10km<sup>2</sup>程度の面積）で調査を行い、概略の地熱資源量を把握する。期間は原則として2年間で、補完の地質調査、地化学調査、物理探査を行うとともに、中口径～大口径の調査井掘削による長期噴出試験と資源量評価、経済性の概略評価、環境調査等を実施。

地熱開発促進調査が地熱発電所建設へ結びついた事例としては、柳津西山地熱発電所や八丈島地熱発電所があげられる。また、地熱探査技術等検証調査で掘削された坑井の噴出実績が澄川地熱発電所建設に貢献している。さらに、調査C-2が実施された鹿児島県の池田湖東部地域では、地熱発電所建設が計画されている。地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>排出量削減が大きな課題となった近年は、地熱エネルギーの活用が日本のみならず世界的にも脚光を浴びている。このような情勢の中、国による地熱開発を促進するためのプログラム及び実施主体を含めた枠組みの見直しが現在進められている。また、温泉の余剰エネルギーを活用した既存の地熱発電としては、大分県の杉乃井ホテル（1.9MW、フラッシュ発電）と九重観光ホテル（0.99MW、フラッシュ発電）及び鹿児島県の霧島国際ホテル（0.22MW、バイナリー発電）の3例であったが、地熱発電に対する温泉事業者の関心が高まっている。このような動きを受けて、我が国メーカーの小規模地熱発電プラント開発・実用化へ向けた動きが加速されている。

重複地域を含めると、延べ67地域で地熱開発促進調査が実施されているが、地熱発電所が建設された事例は少ない。我が国では、多くの有望地域が国立公園や国定公園などの自然公園内に立地していることとともに、地元温泉事業者等の反対などが地熱発電所建設を阻む大きな要因となっている。我が国では、鉱物資源や石油・ガス・石炭などの化石燃料資源などとは異なり、地熱資源は鉱業権の対象となっていない。ただし、法令上は明文化されていないが、地熱井（調査井や構造試錐なども含む）掘削にあたっては、温泉法に基づく「温泉掘さく許可申請」を事前に都道府県知事へ行い、その許可を得ることが慣例となっている。我が国における地熱開発を規制する可能性がある主要な法令は、自然公園法、温泉法、森林法、国有林野法、砂防法、河川法、農地法、文化財保護法、地すべり等防止法、農業振興地域の整備に関する法律、道路法、急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律、廃棄物の処理及び清掃に関する法律、絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律などである。



第 III-1 図 日本の地熱発電所位置図

第 III-2 表 日本の地熱発電所

発電所名	所在地	発電部門 蒸気供給部門	設備容量 (MW)	認可出力 (MW)	運転開始 年月	タービン製造会社 発電機製造会社	備 考	
松川	岩手県	東北水力地熱	23.5	23.5	1966年10月	東芝	運転時の設備容量・認可出力は9.5MW、1973年に22MW、1993年6月に23.5MWへ変更、当初の発電・蒸気供給部門は日本重化学工業で自家用だったが、現在は事業用	
大岳	大分県	九州電力	13	12.5	1967年8月	三菱重工 東芝	事業用、運転時の認可出力は10MW、同年に11MW、1979年に12.5MWへ変更	
大沼	秋田県	三菱マテリアル	10	8.5	1974年6月	三菱重工 三菱電機	自家用、運転時の認可出力は6MW、1975年に7.5MW、1977年に8.6MW、1986年に9.5MWへ変更	
鬼首	宮城県	電源開発	25	12.5	1975年3月	川崎重工 富士電機	事業用、運転時の認可出力は9MW、1976年に12.5MWへ変更	
八丁原	1号機	大分県	九州電力	55	55	1977年6月	三菱重工 三菱電機	事業用、運転時の認可出力は23MW、1980年に55MWへ変更
	2号機	大分県	九州電力	55	55	1990年6月	三菱重工 三菱電機	事業用
	バイナリー	大分県	九州電力	2	2	2006年4月	オーマツト	事業用、バイナリー発電
葛根田	1号機	岩手県	東北電力 東北水力地熱	50	50	1978年5月	東芝	事業用、運転時の蒸気供給部門は日本重化学工業
	2号機	岩手県	東北電力 東北水力地熱	30	30	1996年3月	東芝	事業用、運転時の蒸気供給部門は東北地熱エネルギー
杉乃井	大分県	杉乃井ホテル	3	3	1981年3月	三菱重工 三菱電機	自家用、運転時の認可出力は1.17MW、同年に3MWへ変更、2006年1月廃止	
杉乃井	大分県	杉乃井ホテル	1.9	1.9	2006年4月	富士電機	自家用	
森	北海道	北海道電力	50	50	1982年11月	東芝	事業用、運転時の蒸気供給部門は道南地熱エネルギー	
霧島国際ホテル	鹿児島県	大和紡織光	0.1	0.1	1984年2月	富士電機	自家用、2006年8月に廃止	
霧島地熱バイナリー	鹿児島県	富士電機システムズ 大和紡織光	0.22	0.22	2006年8月	新日本産機 JN&G	自家用、バイナリー発電	
岳の湯	熊本県	廣瀬商学	0.2	0.05	1981年10月	三菱重工 安川電機	自家用、現在休止中	
上の岱	秋田県	東北電力 東北水力地熱	28.8	28.8	1994年3月	東芝	自家用、運転時の設備容量・認可出力は27.5MW、1997年2月に28.8MWへ変更、運転時の蒸気供給部門は秋田地熱エネルギー	
澄川	秋田県	東北電力 三菱マテリアル	50	50	1995年3月	三菱重工 三菱電機	事業用	
山川	鹿児島県	九州電力	30	30	1995年3月	三菱重工 三菱電機	事業用、運転時の蒸気供給部門は九州地熱	
標津西山	福島県	東北電力 奥会津地熱	65	65	1995年5月	東芝	事業用	
大霧	鹿児島県	九州電力 日鉄鹿児島地熱	30	30	1996年3月	三菱重工 三菱電機	事業用	
滝上	大分県	九州電力 出光大分地熱	25	25	1996年11月	三菱重工 三菱電機	事業用	
八丈島	東京都	東京電力	3.3	3.3	1999年3月	富士電機	事業用	
九重	大分県	九重観光ホテル	2	0.99	2000年12月	川崎重工 日立	自家用	

出典：火力原子力発電技術協会（2009）地熱発電の現状と動向

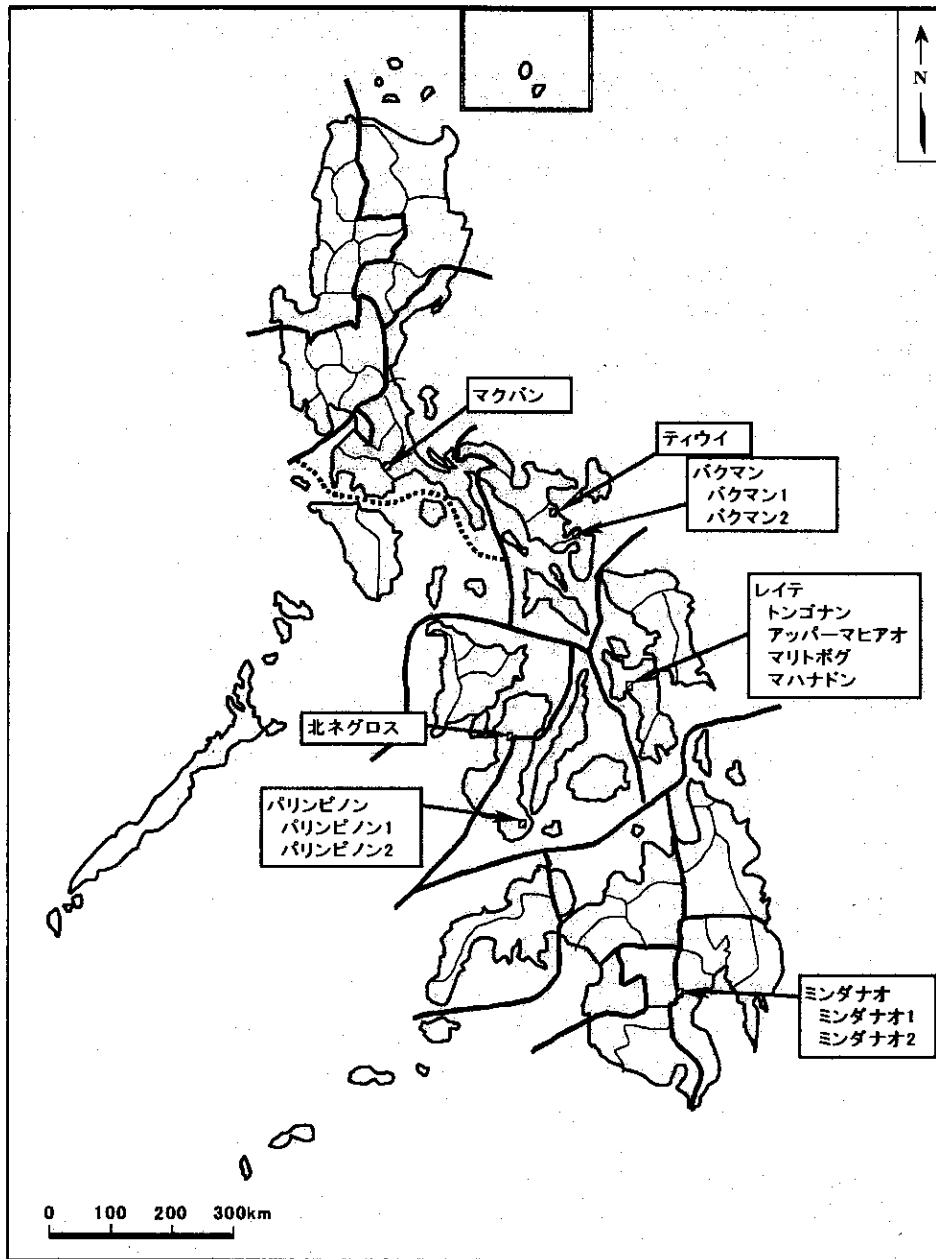
## III-2 フィリピンにおける地熱発電開発状況及び活用事例

フィリピンにおける電力セクター政策の策定機関はエネルギー省（DOE: Department of Energy）である。国営の電力公社（NPC: National Power Corporation）が当初は発・送電事業を行っていた。しかし、民営化の一環として、送電部門が2001年に分離され、送電会社 TransCo（National Transmission Corporation）が設立された。2002年3月に改正電力産業法（EPIRA: Electric Power Industry Reform Act）発効し、電力産業への競争原理導入のため、NPCの発電資産の70%を民営化することを目指した競売が行われている。地熱発電設備としては、パリンピノン、バクマン、マクバン及びティウイの発電設備が民間へ払い下げられている。フィリピンにおける既設地熱発電所を第 III-2 図と第 III-3 表に示す。電力産業への競争原理導入により、新規の発電事業者は発電所建設とともに、地方配電会社ないし大口需要家（1MW 超）との電力売買契約を取り交わす必要がある。なお、バクマンのマニトローランドでは、かつて 850kW 前後の発電と余剰蒸気を利用した農産物や水産物の乾燥施設が稼働していた。

地熱資源の開発については、国営フィリピン石油公社（PNOC: Philippine National Oil

Company) の傘下にあった PNOC エネルギー開発公社 (PNOC-EDC: PNOC Energy Development Corporation) が主に行っていた。ただし、ルソン島のマクバン (MakBan) とティウイ (Tiwi) については、ユノカル (現在はシェブロン) の現地法人であるフィリピン地熱会社 (PGI: Philippine Geothermal, Inc.) が地熱資源の開発を行っている。なお、PNOC-EDC は民営化され、2008 年 6 月に EDC と社名が変更された。フィリピン国内で地熱資源開発を行う場合には、大統領令第 1442 号 (PD1442: Presidential Decree 1442) の規定に従って、DOE と地熱業務契約 (Geothermal Service Contract, GSC) を締結する必要がある。また、フィリピン企業もしくは外国企業とフィリピン企業の合弁企業でフィリピン側が 60%以上の株を所有する企業のみが国産エネルギーを開発できるとフィリピン共和国憲法に規定されているため、外国資本が単独で地熱資源開発を行うのは不可能である。

フィリピン政府はエネルギー自給率を高めるため、国産エネルギーの探査・開発・利用を加速させようとしている。このため、政府は石油・石炭、地熱の有望地点については、競争入札制度を導入し、入札者へ積極的に開発地点を提供するフィリピンエネルギー契約交渉 (the Philippine Energy Contracting Round=PECR) を展開している。政府は世界最大の地熱生産国となることを目指しており、発電用および非発電用の地熱有望地域として 11 地域を 2005 年 8 月の PECR2005 で提示した。このうち、発電用の新規開発地点として認定されているのは、ダクラン (Daklan)、ナティブ (Natib)、マビニ (Mabini)、モンテラゴ (Montelago)、ビリラン (Biliran) およびアマカン (Amacan) である。地熱発電事業については税制面での優遇措置などはあるものの、あくまでも競争原理に基づく民間主導の開発体制をとっている。なお、2007 年以降に発生した原材料価格高騰と原材料需給逼迫やそれに続く世界的な金融危機などの影響により、地熱プロジェクトは全体的に遅延している。



第 III-2 図 フィリピンの地熱発電所位置図

第 III-3 表 フィリピンの地熱発電所

発電所名	所在地	発電部門 蒸気供給部門	設備容量 (MW)	運転開始 年月	タービン製造会社 発電機製造会社	備 考
マクパン A	ルソン島	Abokiz Power Renewables Inc. Chevron Geothermal Philippines Holdings Inc.	55 × 2	1979年1月	三菱重工 三菱電機	APRIはNPC(National Power Corporation)の資産売却により設備を取得
マクパン B	ルソン島		55 × 2	1980年6月		
マクパン C	ルソン島		55 × 2	1984年9月		
マクパン D	ルソン島		20 × 2	1995年8月	オーマツ	
マクパン E			20 × 2			
マクパン バイナリー1 マクパン バイナリー2 マクパン バイナリー3	ルソン島	Omat Abokiz Power Renewables Inc.	3 × 2 3 × 2 3 × 0.73	1994年6月	オーマツ	
ティウイ A ティウイ B ティウイ C	ルソン島	Abokiz Power Renewables Inc. Chevron Geothermal Philippines Holdings Inc.	55 × 2 55 × 2 55 × 2	1979年5月 1980年4月 1982年3月	東芝	APRIはNPCの資産売却により設備を取得
バクマン1	ルソン島	EDC	55 × 2	1号 1993年10月 2号 1993年12月	Ansaldo ABB	発電部門は当初NPCであったが、資産売却により現在はEDC所有
バクマン2	ルソン島	EDC	20 × 2	1号 1994年3月 2号 1998年4月	三菱重工 三菱電機	発電部門は当初NPCであったが、資産売却により現在はEDC所有
北ネグロス	ネグロス島	EDC	49	2007年2月	富士電機	国立公園による制約等から発電規模縮小を検討中
バリピン 1	ネグロス島	EDC	37.5 × 3	1983年9月	富士電機	発電部門は当初NPCであったが、資産売却により現在はEDC所有
バリピン 2 オコイ ナスヒ ソゴン	ネグロス島	EDC	20 20 20 × 2	1993年12月 1994年 1995年	富士電機	発電部門は当初NPCであったが、資産売却により現在はEDC所有
トンゴナン	レイテ島	NPC EDC	37.5 × 3	1983年6月	三菱重工 三菱電機	
トンゴナン トッピング	レイテ島	NPC EDC	6.5 × 32	1997年9月	オーマツ	
アッパーマヒアオ	レイテ島	EDC	34.12 × 4	1996年9月	GE	発電部門は当初BOTでカリフォルニアエネルギーが運転
バイナリー	レイテ島	EDC	5.5	1996年9月	オーマツ	
マリトボグ	レイテ島	EDC	77.5 77.5 × 2	1996年5月 1996年10月	富士電機	発電部門は当初BOTでカリフォルニアエネルギーが運転
マリトボグ トッピング	レイテ島	EDC	16.7	1998年1月	オーマツ	
マハナドン A マハナドン B	レイテ島	EDC	60 × 2 60	1997年7月	東芝	発電部門は当初BOTでカリフォルニアエネルギーが運転
マハナドン A トッピング マハナドン B トッピング	レイテ島	EDC	6.5 × 2 6.5	1997年9月	オーマツ	
ミンダナオ 1 ミンダナオ 2	ミンダナオ島	EDC	54.24 54.24	1998年12月 1999年6月	三菱重工 三菱電機	発電部門は当初BOTで丸紅・オックスボウが運転

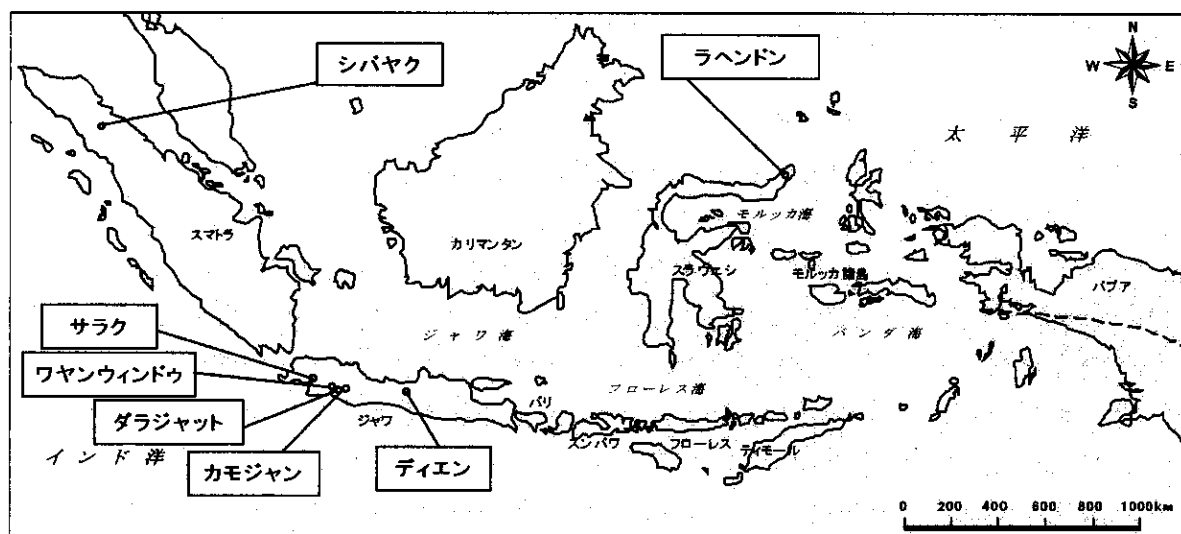
出典: 火力原子力発電技術協会 (2009) 地熱発電の現状と動向

## III-3 インドネシアにおける地熱発電開発状況及び活用事例

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おり、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を第 III-3 図と第 III-4 表に示す。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。

インドネシアでは、経済の拡大にともなって電力需要も急速に伸びている。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 1 つとなっている。インドネシア政府は 2006 年に第 1 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された。また、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 1 次クラッシュプログラムに続き、同規模 (9,522MW) の第 2 次クラッシュプログラムが策定された。この第 2 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) 及び IPP 導入が計画の特徴となっている。また、インドネシア政府

は国家エネルギー政策（NEP: National Energy Policy）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。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、地熱開発ための法制度を明確化した。また、エネルギー鉱物資源省（MEMR: Ministry of Energy and Mineral Resources）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、プルタミナが分社化され、プルタミナ地熱エネルギー(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。なお、インドネシアにおける近年の地熱開発の枠組みは次のようになっている。エネルギー鉱物資源省の地下資源局（CGR: Center for Geological Resources）が地熱資源の基礎調査を行い、その結果に基づいてエネルギー鉱物資源省が地熱鉱業権（WKP: Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi、インドネシア語 = Geothermal Working Area）を設定する。その後、入札により地熱鉱業権を落札した民間事業者が地熱資源評価、フィジビリティスタディ及び環境影響評価を行った上で事業化する。なお、IPP事業者は国営の電力公社である PLN と電力売買契約を締結する必要がある。



第 III-3 図 インドネシアの地熱発電所位置図



第 III-4 表 インドネシアの地熱発電所

発電所名	所在地	発電部門 蒸気供給部門	設備容量 (MW)	運転開始 年月	タービン製造会社	備 考	
シバヤク	北スマトラ州	Pertamina	2 5 5	1996年 2007年 2007年	不明		
サラク	西ジャワ州	PLN Chevron Geothermal Indonesia	1号機	55	1994年3月	ANSALDO	
			2号機	55	1994年6月		
			3号機	55	1997年8月		
サラク	西ジャワ州	Chevron Geothermal Indonesia	4号機	55	1997年	富士電機	
			5号機	55			
			6号機	55			
ワヤンウインドウ	西ジャワ州	Mandala Nusantara Ltd.	110 117	2000年 2009年	富士電機		
カモジャン	西ジャワ州	PLN Pertamina	1号機	30	1982年10月	三菱重工	
			2号機	55	1987年7月		
			3号機	55	1987年9月		
	4号機	西ジャワ州	Pertamina	63	2008年	富士電機	
ダラジャット	西ジャワ州	PLN Chevron Geothermal Indonesia	1号機	55	1994年10月	三菱重工	
			2号機	81.3	2000年		
			3号機	110	2007年		
ディエン	中部ジャワ州	Geodipa Energi	60	1997年3月	ANSALDO		
ラヘンドン	北スラウェシ州	PLN Pertamina	1号機	20	2001年	ALSTOM	
			2号機	20	2007年	富士電機	
			3号機	20	2009年	富士電機	

出典：火力原子力発電技術協会（2009）地熱発電の現状と動向

### III-4 一般的な地熱発電開発の進め方

#### III-4-1 地熱資源

電源として利用可能な地熱資源には、熱エネルギーの運搬媒体としての水の存在、温度（熱エネルギー）及び加熱された熱水が貯留され流動する地熱貯留層の存在が必要である。フラッシュ方式の従来型地熱発電には 200°C を超える温度が通常求められる。また、バイナリー発電方式の場合には 100°C を超える温度が求められる。比較的粗粒の未固結粒子（砂、礫など）で構成されている地表付近の地層は透水性が良く、帯水層が形成されやすい。しかし、地下に広がる岩石の場合は、例外はあるものの、一般的には透水性が低い。地熱貯留層を覆う難透水層は浅層地下水の浸透による貯留層冷却を妨げると期待されることから、地熱貯留層を覆うように広がる難透水性層（ゾーン）の存在が一般的に望まれる。

これまでに世界で確認されている地熱貯留層は、断裂型貯留層と多孔質地層型貯留層とに大別することができる。断裂型貯留層では、岩石が破碎されている断裂帯に地熱貯留層が形成されている（第 III-4 図参照）。断層運動や岩体の貫入は既存の岩体（地層）に断裂を生じさせる。世界的に見れば、大部分の地熱貯留層は断層沿いに形成された断裂帯に存在する。地熱貯留層の上に広がる難透水層は、ほとんどの場合、スメクタイトの存在で特徴づけられる粘土化された岩石である。このような粘土化作用は、200°C に満たない温度での水-岩石総合作用によって通常はもたらされる。このような難透水層は、比抵抗調査でしばしば低比抵抗層（ゾーン）として検出される。

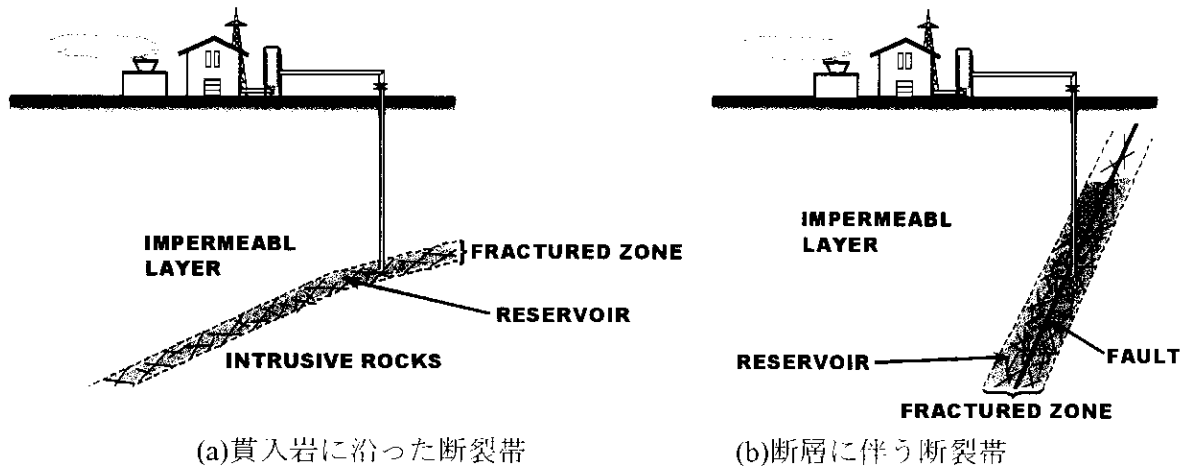
多孔質地層型貯留層では、透水性の良い地層中に地熱貯留層が存在する（第 III-5 図参照）。比較的水平に近い分布をしていることが多く、貯留層の上に広がる難透水層は強く溶結した溶

結凝灰岩層などのような緻密な岩石によって構成されている場合が多い。ただし、この型に分類される地熱貯留層の例は比較的少ない。なお、この型に分類される地熱貯留層に貯留されている地熱流体は、多くの場合、断裂型貯留層から供給されていることが多い。

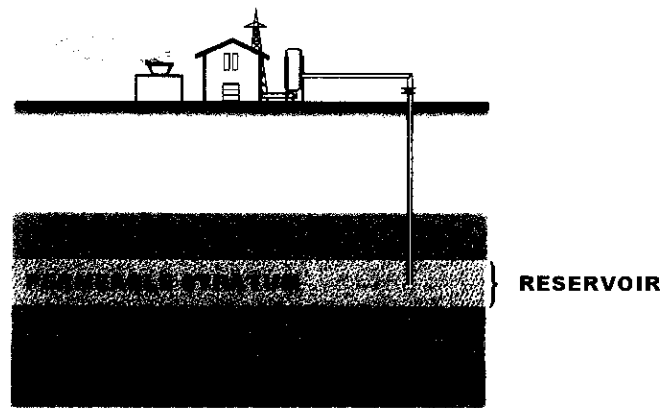
地熱開発を進めるに当たっては、地熱探査により地下の地質構造・地熱構造を把握することが重要である。すなわち、地熱探査によって地熱貯留層の位置・広がり把握することが求められる。探査によって推定された地熱貯留層の位置・広がり、調査井の掘削により確認・検証され、地熱貯留層の分布状況がより詳しく把握される。

貯留層中の水 ( $H_2O$ ) がどのような相で存在しているかによって地熱貯留層を分類することがある。熱水卓越型貯留層の場合、貯留層中の水は液相として存在し、蒸気卓越型貯留層の場合は液相と気相が共存する2相状態で水が存在する。また、希ではあるが、過熱蒸気の状態の水が存在する場合もある。蒸気生産及び熱水還元による干渉や減衰を考慮すれば、熱水卓越型の貯留層が一般的には望ましい。ただし、蒸気卓越型貯留層の場合、還元すべき熱水量が熱水卓越型貯留層よりも少ないことから、必要となる還元井の数も少なくすむというメリットがある。蒸気卓越型貯留層は熱水卓越型貯留層の上に形成されている場合が多々ある(第III-6図参照)。このような蒸気卓越型貯留層は、しばしばスチームキャップと呼ばれる。いくつかの地熱地帯では、高いポテンシャルを有する比較的大規模に広がったスチームキャップが認められている。なお、スチームキャップは難透水層の下部に認められることが多い。地熱井から生産される蒸気・熱水の性状は、地熱発電所の運用条件を検討するに重要な要因となる。どのような蒸気・熱水が生産されるかは、地化学調査によって検討され、調査井掘削・噴出試験によってその性状が検証される。

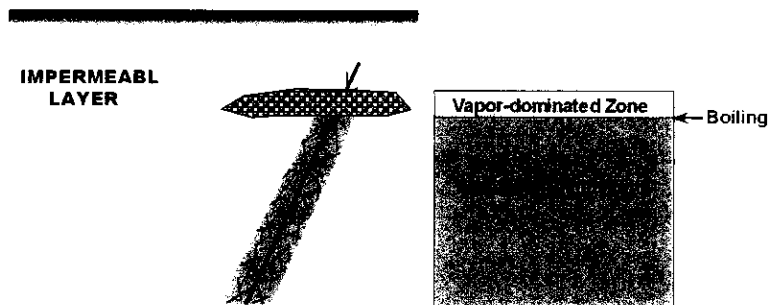
地熱流体の化学的な性状は、高温下での水-岩石反応や  $H_2S$ 、 $CO_2$  などのガス成分の化学反応によって影響される。第III-7図に D.Chandrasekharm 及び Jochen Bundschuh (2008) による典型的な地熱系の模式断面図を示す。マグマの貫入によって、マグマ中に含まれるいくつかの化学成分が地熱流体に混入する。調査井掘削前の探査段階では、地熱流体の化学組成が地熱貯留層の特性評価に必要な温度などの情報を与えてくれる。特に、CI型に分類される高温の温泉水は、 $200^{\circ}C$  を超える温度の熱水卓越型貯留層に由来した熱水であることが多いため、地下深部の地熱貯留層特性を把握する上で重要である。酸性  $SO_4$  型に分類される温泉水や噴気ガスも高温地熱貯留層に由来している可能性があるため、これらの化学組成を調べることも重要である。



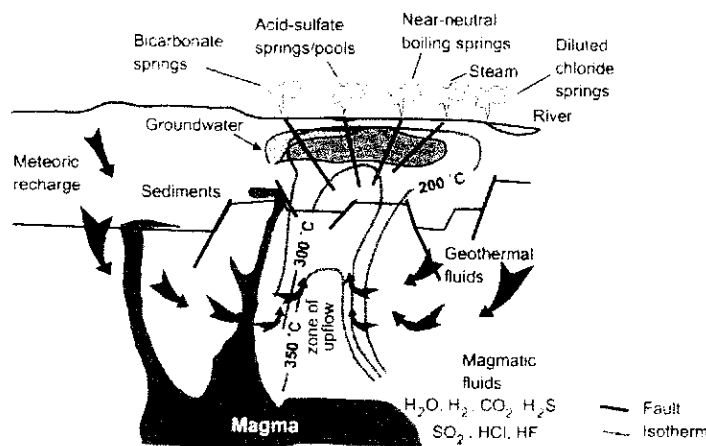
第 III-4 図 断裂型地熱貯留層の例



第 III-5 図 多孔質地層型地熱貯留層の例



第 III-6 図 熱水卓越型貯留層の上に形成された蒸気卓越型貯留層の例



熱: 火山地域では、貫入したマグマが地熱系の熱源となっている。  
 流体: 矢印で示される地下へ浸透した天水が高温の岩体に達し、マグマ起源のガスと混合することによって天水とは異なる化学組成の地熱流体となる。上昇する地熱流体は浅層の地下水と混合し、その化学組成がさらに変化する。

(D.Chandrasekharm and Jochen Bundschuh, 2008)

第 III-7 図 一般的な地熱系の模式断面

### III-4-2 地熱資源開発の一般的流れ

地熱資源の開発には開発リスクが伴う。すなわち、資源の賦存状況（分布範囲や品質など）を目で直接確認することができないため、開発失敗というリスクを常に伴っている。費用対効果も考慮して、この開発リスクを軽減するため、第 III-8 図に示すような段階的地熱資源開発が通常進められている。各段階では、次の段階へ進めることの是非が検討・判断される。第 1 段階は探査段階であり、フィジビリティスタディ段階、建設段階を経て運転・保守段階と進む。第 1 段階の最終目標は、地熱資源存在の可能性、地熱資源の化学的・物理的性状及び地熱資源量（継続可能な最適発電規模）を把握することにある。第 1 段階の探査段階は、さらに以下の 3 段階に細分することができる。

- フェーズ 1 有望範囲を抽出するための広域調査段階
- フェーズ 2 地熱資源の広がり及び地熱構造を把握するとともに調査井掘削ターゲットを選定するための精査段階
- フェーズ 3 開発対象とする地熱貯留層の化学的・物理的特性を坑井掘削により明らかにするとともに地熱資源量を評価する資源量評価段階

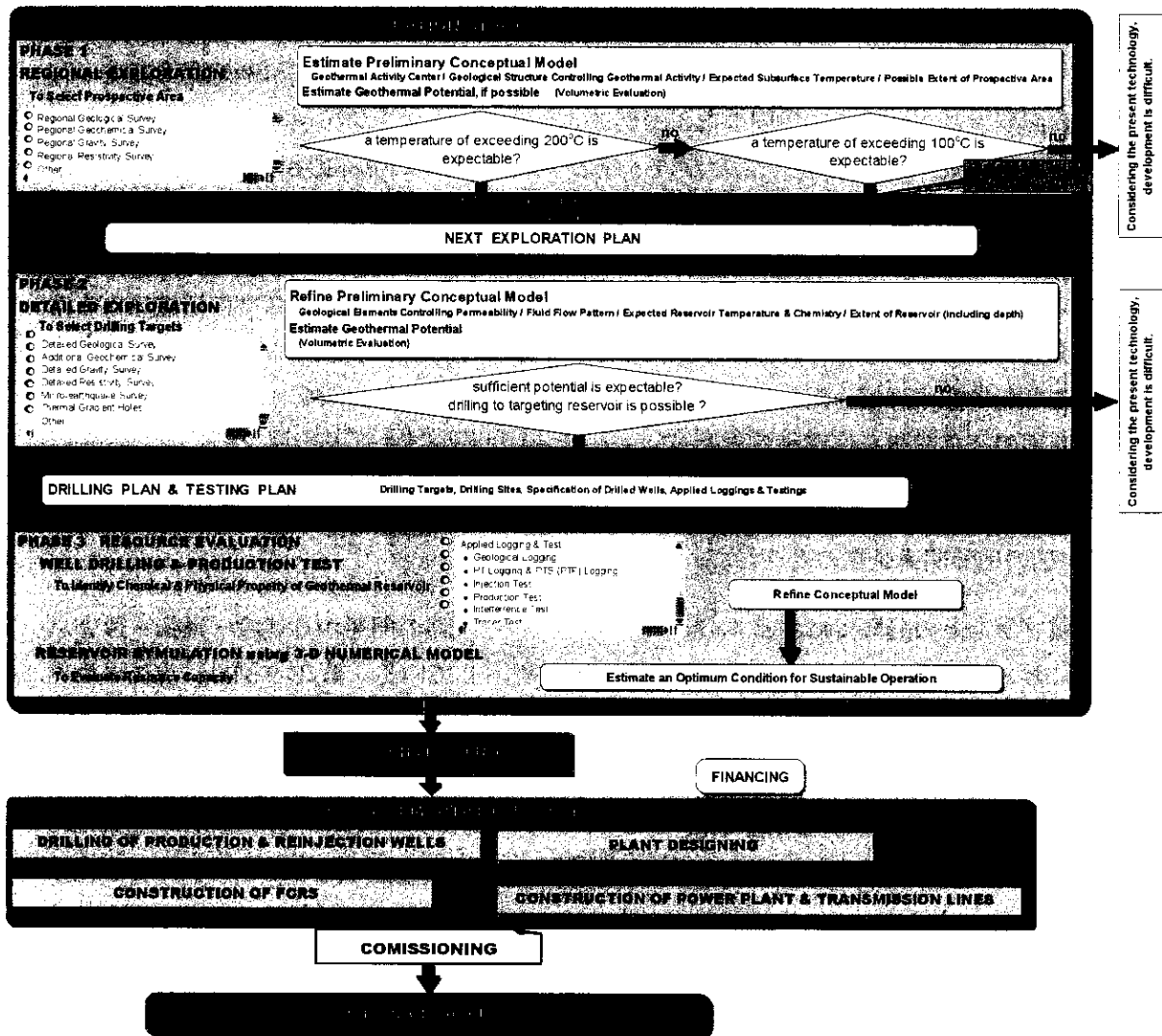
広域調査段階では、有望範囲（最重点調査域）を抽出するため、対象地域全域での調査が行われる。精査段階では、広域調査で絞り込まれた有望範囲内で、地熱資源確認のための調査井掘削地点を選定することが可能な精度での精密調査が行われる。資源量評価段階では、地熱資源確認のための調査井が掘削され、噴出試験が行われる。噴出試験結果とこれまでの探査結果に基づいて、3次元貯留層シミュレーションによる資源量評価が行われるが、その精度を向上させるためには、3本以上の調査井を掘削することが望まれる。広域調査段階、精査段階及び資源量評価段階の各段階で、その段階で得られた情報を基に地熱概念モデルが作成される。このモデルには、地熱活動を規制している地質要素、高温異常域の広がり、流体の流動パターン

が理解しやすい形で記載される必要がある。多くの地熱探査手法が存在するが、1つの手法のみではこれらの要素を全て把握することができない。このため、いくつかの探査手法を組み合わせる必要がある。ただし、その組み合わせは対象とする地熱地域によって異なる。地質調査、地化学調査及びMT調査は世界的に見ても比較的汎用性の高い探査手法であるが、最適な探査手法の組み合わせは、対象とする地熱地域の特性を考慮した上で個別に検討しなければならない。なお、複数の探査手法が適用されることから、それらの結果を総合的に解釈した上で概念モデルを作成することが必要となる。

フィジビリティスタディ段階では、探査段階で評価された最適開発規模及び噴出試験により確認された蒸気・熱水品質を基に、地熱発電所の概念設計が行われる。さらに、この概念設計に基づいて、プロジェクトの経済・財務評価が行われる。この段階までに、発電所ならびに送電設備を含めた開発に関わる全ての環境影響評価を終わらせておくことが望まれる。

建設段階では、発電プラント及びFCRS（蒸気・熱水輸送及び還元システム）の詳細設計を経て、建設工事施工業者が競争入札により決定され、落札業者によりプラント建設が行われる。このプラント建設期間内に、予定している出力での発電に不足している生産井及び還元井が掘削され、その長期噴出試験が実施される。

運転・保守段階においても、蒸気生産・熱水還元実績、補充井掘削結果等の蓄積されたデータに基づく概念モデルの精緻化・貯留層シミュレーションが安定した蒸気生産を継続させる（貯留層管理）ためにも必要である。



第 III-8 図 地熱発電開発の一般的な流れ

### III-4-3 インドで望まれる地熱開発の進め方

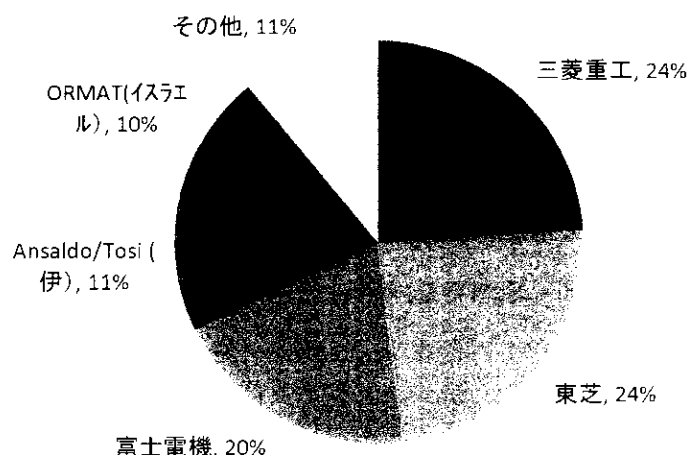
地熱発電開発プロジェクトはハイリスク・ローリターン の典型例とされてきた。安定した発電の持続が可能な最適出力規模を知るためには、次のような段階的な調査が必要と考えられる。最初に有望範囲を把握するための広域調査（フェーズ 1）が必要である。その次に、広域調査で抽出された有望範囲の精査（フェーズ 2）が行われ、地熱資源の広がり と掘削ターゲットが明らかにされる。この精査結果に基づいて対象地域におけるおおよその地熱ポテンシャルが容積法（あるいはストアードヒート法）により見積もられる。この見積もられた地熱ポテンシャル概算値は当面の開発目標となる。ただし、この概算値はその地点における持続可能な最適発電規模とは必ずしも一致しない。持続可能最適発電規模を知るためには、次段階の調査井掘削と噴出試験結果に基づく地熱資源評価（フェーズ 3）が必要である。

開発検討初期段階では、上述のように、期待できる発電規模が一般的には不明な状況にある。持続可能最適発電規模を知るためには 3 段階の調査が必要であり、この調査のための費用調達

が必要となる。しかし、段階的に調査を行えばプロジェクトは順調に進展するとは限らず、プロジェクト断念というケースも起こり得る。このような開発リスクの存在が地熱発電開発への民間参入の障壁となっている。民間の参入を促進させるための優遇策（例えばフィリピンのような税制上の優遇策）を講じている国もある。我が国では、フェーズ1からフェーズ3に対応する調査が国によって行われており、民間が負担すべき開発リスクを低減させることにより、民間の参入を促進させる政策がとられている。インドネシアにおいても、フェーズ1とフェーズ2に対応する調査が国によって行われており、民間が負担すべき開発リスクの低減による地熱発電開発促進策が講じられている。インドでは、地熱発電開発の経験がまだあまり蓄積されていないことを考慮すれば、国が先導的にフェーズ1とフェーズ2に対応する調査を実施することにより地熱発電開発を促進することが望まれる。

### III-5 我が国の地熱関連企業の受注状況

地熱発電プラントの分野では、日本のメーカーは、発電機器の開発から建設・運転・保守点検の分野において多くの実績を有しており、世界をリードしている。第III-9図は、現在の世界の地熱発電設備 10.716MW のうち、各メーカーの占める比率を示しているが、日本の主要メーカー3社（三菱重工、富士電機システム、東芝）で世界市場の約70%を占めている。

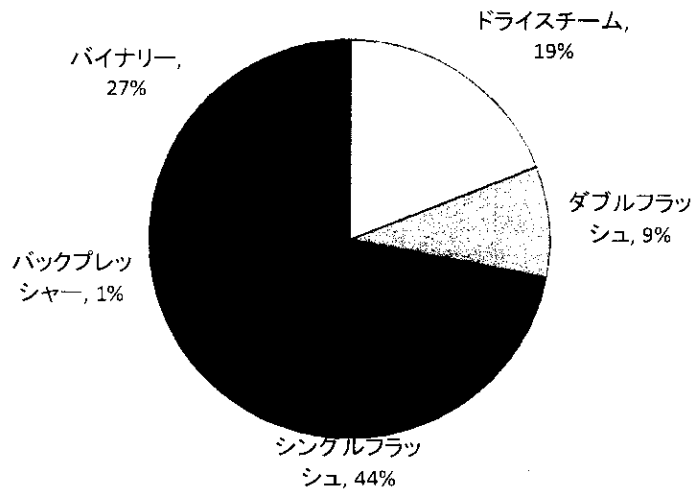


出典 日本エネルギー経済研究所（平成23年）地熱発電開発におけるコンサルティング企業の動向に関する調査

第III-9図 地熱発電プラントメーカーの世界市場の占有率

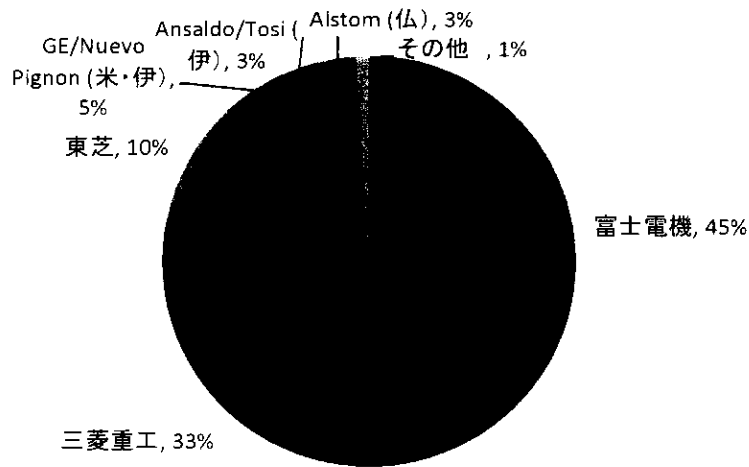
地熱発電プラントにはスチームタービン方式とバイナリー方式があり、世界の地熱発電設備のうち90%にあたる9,500MWは、スチームタービン方式である。残り11%はバイナリー方式であるが、第III-10図に示すとおり、2005年以降ではバイナリー方式は27%と普及が拡大している。日本の主要メーカーはスチームタービン方式で高いプレゼンスを維持しており、第III-11図に示すとおり、過去10年間（2001年から2011年）のスチームタービンの世界市場の88%という高いシェアを占めている。地熱発電プラントの設計・製造には、腐食を起こしやすい地熱流体やガスへの対策も考慮しながら高い信頼性を持ち、比較的低温・低圧の地熱蒸気を効率的に利用できる蒸気タービンを製造する高い技術レベルが必要である。イタリア、米国等との競

合もあるが、概して日本メーカーの機器は発電効率やメンテナンスで優れていると考えられている。一方、バイナリー方式では、第 III-12 図に示すとおり世界市場の約 80%をイスラエルの ORMAT 社が占めており、群を抜いている。ORMAT 社は、発電設備を供給するだけでなく、自ら地熱資源開発から発電事業まで進出していることは注目すべきことである。



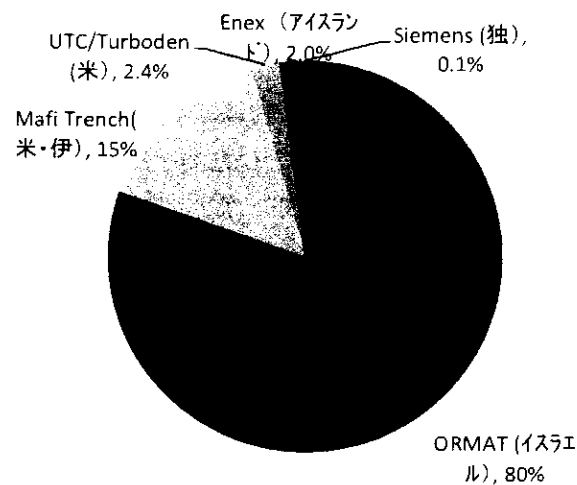
出典: 日本エネルギー経済研究所 (平成 23 年) 地熱発電開発におけるコンサルティング企業の動向に関する調査

第 III-10 図 最近 (2005 年～2009 年) の地熱発電方式別設置比率



第 III-11 図 最近 (2001 年～2010 年) のスチームタービン方式メーカー別占有率





出典：日本エネルギー経済研究所（平成 23 年）地熱発電開発におけるコンサルティング企業の動向に関する調査  
第 III-12 図 最近（2005 年～2009 年）のバイナリー方式メーカー別占有率

地熱プロジェクトは、地熱流体の温度等のフィールド条件により発電方式及びその経済性が大きく左右される。バイナリー発電はユニット当たりの発電規模が小さく、中低温地熱資源の活用に限られていることから、コストが高いという評価が一般的であり、途上国等電力価格を低く抑える必要のある国では普及は限られてきた。しかしながら、最近ではドライスチームや高温熱水資源でも利用できるタイプのバイナリーシステムが開発されてきており、発電規模もスチームタービン並みに大規模化する傾向にある。米国では、バイナリー発電設備が盛んに建設されており、開発中の地熱プロジェクトもバイナリー方式を使ったものが多く、バイナリー発電にコスト競争力が出てきている。

こうしたことから、インドネシア、フィリピン、中南米アフリカ等の高温熱水型資源国では、今後もスチームタービン方式が主流として利用されると考えられるが、EGS（Enhanced Geothermal System）計画を進める米国や、ドイツを中心とするヨーロッパ、豪州等では、新規技術の進展により中低温地熱資源を利用したバイナリー方式の割合が大幅に増大するものと見られている。我が国の地熱発電プラントメーカーがこのような地熱発電の市場動向に対応して、今後も高いプレゼンスを維持していくためには、スチームタービン方式の市場を確保しつつ、バイナリー方式の市場への進出も積極的に果たしていく必要がある。

地球温暖化対策の一環として、再生可能エネルギーの活用が世界的に検討・実行されている。我が国においてもこの世界的な潮流は近年顕在化しており、代替電源としての中～低温領域地熱資源の活用にも注目が集まっている。ほとんどがまだ本格的には実用化されていないが、数社の本邦企業は中～低温領域の地熱資源による発電システム開発に着手しており、これらの発電システムが商用化されることが期待されている。

第 III-5 表 2005 年～2009 年の地熱発電設備設置実績 (国別・規模順)

国名	プラント	基	COD	設備容量 (MW)	形式	オペレーター	メーカー
エルサルバドル	Berlin	3	2006	44	シングルフラッシュ	LaGeo/Enel Green Power	General
	Berlin	4	2008	9.4	バイナリー	LaGeo/Enel Green Power	Enex
フランス	Soultz-sous-Forêts	1	2008	1.5	バイナリー	European EGS Interest Group	UTC/Turboden
ドイツ	Unterhaching	1	2008	3.4	バイナリー	Municipality	Siemens
	Landau	1	2008	3	バイナリー	Municipality	ORMAT
グアテマラ	Amatitlán	1	2007	24	バイナリー	ORMAT	ORMAT
アイスランド	Hellisheiði I	1-2	2006	90	シングルフラッシュ	Orkuveita Reykjavíkur	三菱
	Hellisheiði III	1-2	2008	90	シングルフラッシュ	Orkuveita Reykjavíkur	三菱
	Reykjanes	1	2005	50	シングルフラッシュ	Hitaveita Sudurnesja	富士
	Reykjanes	2	2006	50	シングルフラッシュ	Hitaveita Sudurnesja	富士
	Hellisheiði II	1	2007	33	シングルフラッシュ	Orkuveita Reykjavíkur	東芝
	Nesjavellir	4	2005	30	シングルフラッシュ	Orkuveita Reykjavíkur	三菱
	Svartsengi	2	2005	30	シングルフラッシュ	Hitaveita Sudurnesja	富士
インドネシア	Wayang Windu	2	2009	117	シングルフラッシュ	Star Energy Ltd	富士
	Darat	3	2008	110	ドライsteam	Chevron	三菱
	Kamojang	4	2007	60	ドライsteam	PLN	富士
	Lahendong	2	2008	20	シングルフラッシュ	PLN	富士
	Lahendong	3	2009	20	シングルフラッシュ	PLN	富士
	Sibayak	2-3	2007	11	シングルフラッシュ	Pertamina Geothermal Energy	Harbin
	Nuova San Giovanni	1	2005	40	ドライsteam	Enel Green Power	General
イタリア	Nuova Larderello	1	2005	20	ドライsteam	Enel Green Power	Ansaldo/Torj
	Sasso 2	1	2009	20	ドライsteam	Enel Green Power	GE/Nuovo
	Nuova Lagona	1	2009	20	ドライsteam	Enel Green Power	GE/Nuovo
日本	Hatchobaru	3	2006	2	バイナリー	Kyushu Electric Power	ORMAT
ケニア	Olkaria III	3	2008	36	シングルフラッシュ	ORMAT	三菱
	Oserian	2	2007	2	シングルフラッシュ	Oserian Flower co	Elliot
メキシコ	Los Hornos	8	2007	5	バックプレッシャー	Comisión Federal de Electricidad	三菱
ニュージーランド	Kawerau	1	2008	100	ダブルフラッシュ	Mighty River Power	富士
	Mokai 2	1-5	2005	20	バイナリー	Tuaropaki Power Co	ORMAT
	Mokai 2	1	2005	19	シングルフラッシュ	Tuaropaki Power Co	三菱
	Mokai 1A	1	2007	17	バイナリー	Tuaropaki Power Co	ORMAT
	Ngawha 2	1	2008	15	バイナリー	Top Energy	ORMAT
	Wairakei	15-17	2005	14	バイナリー	Contact Energy	ORMAT
	KA24	1	2008	8.3	バイナリー	ORMAT	ORMAT
ニカラグア	San Jacinto	1-2	2007	10	バックプレッシャー	Polaris	Alstom
パプアニューギニア	Lihir	2	2005	30	シングルフラッシュ	Lihir Gold Ltd mine	GE/Nuovo
	Lihir	3	2007	20	シングルフラッシュ	Lihir Gold Ltd mine	General
フィリピン	Mambucal	1	2007	49	シングルフラッシュ	National Power Corporation	富士
ポルトガル	Pico Vermelho	1	2006	13	バイナリー	Electricidade dos Açores	ORMAT
ロシア	Okeanskaya	1-2	2007	3.6	シングルフラッシュ	SC Geoterm	Kaluga Turbine Works
	Mendeleevskaya	1	2007	1.8	シングルフラッシュ	SC Geoterm	Kaluga Turbine Works
	Germencik	1	2009	47	ダブルフラッシュ	GURMAT	三菱
トルコ	Dora	1	2006	7.4	バイナリー	MB	ORMAT
	Kizildere Binary	1	2008	6.8	バイナリー	BEREKET	ORMAT
米国	Bottle Rock	2	2007	55	ドライsteam	US Renewables	富士
	Faulkner	1	2009	50	バイナリー	Nevada Geothermal	ORMAT
	North Brawley	1-7	2009	49	バイナリー	ORMAT	ORMAT
	Stillwater	1-2	2009	48	バイナリー	Enel Green Power	Mafi Trench
	Richard Burdett	1-2	2005	30	バイナリー	ORMAT	ORMAT
	Galena III	1	2008	30	バイナリー	ORMAT	ORMAT
	Salt Wells	1	2009	24	バイナリー	Enel Green Power	Mafi Trench
	Desert Peak II	1	2006	23	バイナリー	ORMAT	ORMAT
	Galena II	1	2007	13	バイナリー	ORMAT	ORMAT
	Raft River	1	2008	13	バイナリー	US Geothermal	ORMAT
	Blundell I	2	2007	11	バイナリー	Pacific Corporation	ORMAT
	Gould	1-2	2006	10	バイナリー	ORMAT	ORMAT
	Heber South	1	2008	10	バイナリー	ORMAT	ORMAT
	Thermo Plot	1-50	2009	10	バイナリー	Raser Technologies	UTC/Turboden
合計				1,699.2			

出典: 日本エネルギー経済研究所「地熱発電開発におけるコンサルティング企業の動向に関する調査」(平成 23 年 3 月)

## 第 IV 章

## IV インドの地熱資源

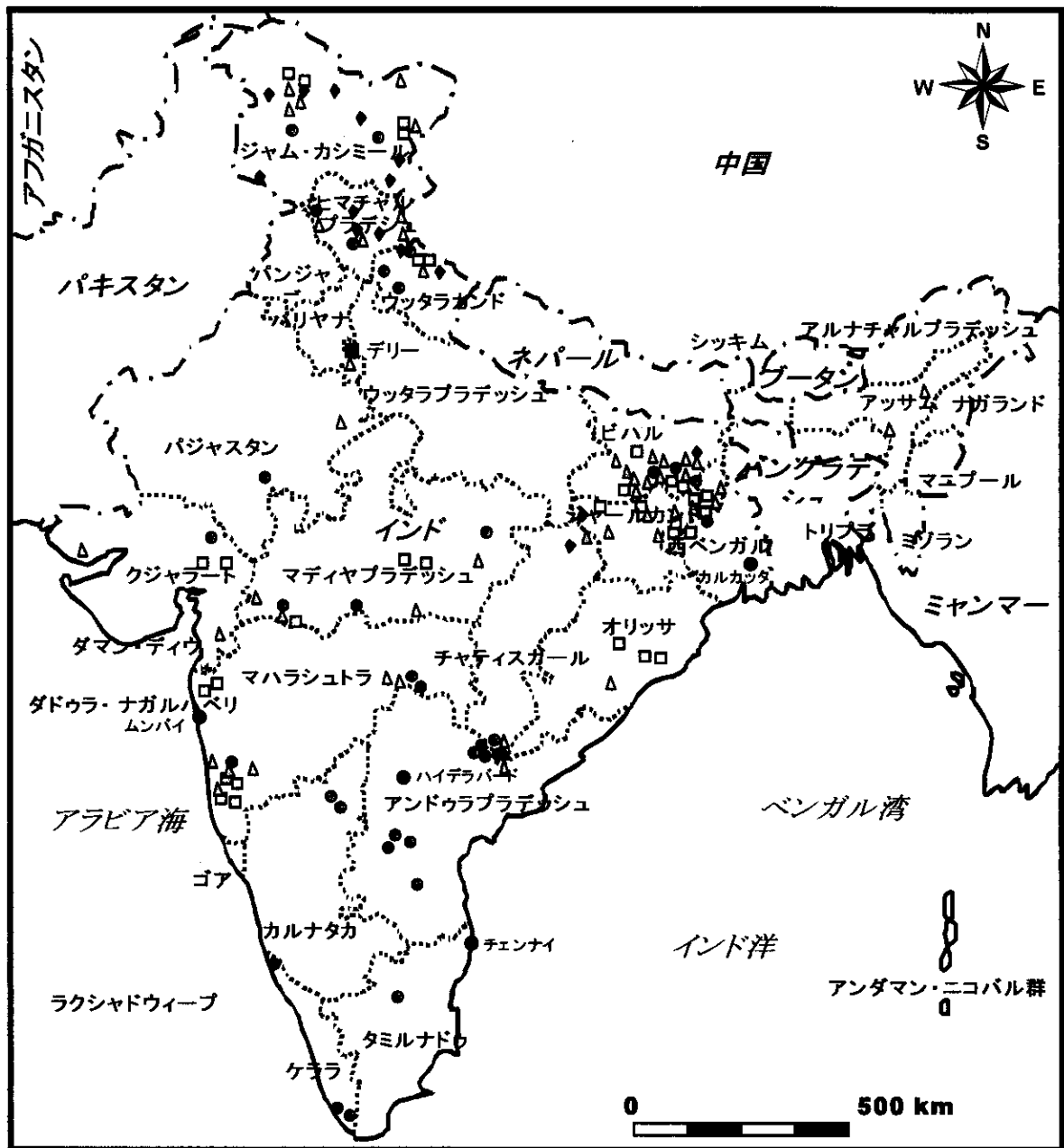
### IV-1 インドにおける主要地熱地点の概要

インドにおける地熱資源に関しては、1970年代の石油危機後、国連と GSI により主要温泉の予察調査が行われ、1991年に *Geothermal Atlas of India* としてとりまとめられた。その後に行われた温泉の化学特性や地質に関する研究により、いくつかの温泉については、発電や産業での直接利用が可能と推定されている。また、GSI と Atomic Minerals Division によって最深で約 600m の浅部調査孔が各地で掘削されている。GSI (2002) がとりまとめたインドにおける主要な温泉の分布を第 IV-1 図に示す。

我が国での地熱開発促進調査 (NEDO が実施) における調査地点選定では、次のような基準項目を総合的に勘案して決定されている。

- 沸騰温度前後ないしはそれを上回る温度の自然噴気が存在する
- 60°C 以上の自然湧出温泉ないし浅部井が存在する (精密調査地点の場合は 80°C 以上)
- 地化学温度計で 150°C 以上の貯留層が指示される (精密調査地点の場合は 200°C 以上)
- 地域内ないし近傍に 60 万年以降に活動した火山が存在する
- 30 万年前以降の熱水変質帯が存在する

なお、これらの選定基準はフラッシュ型地熱発電開発を想定したものである。バイナリーシステムによる地熱発電を想定する場合、貯留層温度に関する温度条件は 100°C 以上とすべきである。また、火山に関する項目は火山国でないインドには適用できない。さらに、変質年代に関しては不明なことが多い。したがって、バイナリーシステムによる地熱発電も視野に入れたインドにおける地熱発電開発候補地点抽出にあたっては、60°C 以上の温度が確認されている地点でかつ温泉水の化学組成が記載されている地点を最初に抽出した。抽出されたのは北部地区のジャム・カシミール州、ヒマチャルプラデシュ州及びウッタラカンド州、西地区部のグジャラート州、マハラシュトラ州及びチャティスガル州、南部地区のアンドウラプラデッシュ州、東部地区のジャールカンド州及び西ベンガル州の 39 地点である。



凡例

- ◆ 泉温75~100°C
- 泉温55~75°C
- △ 泉温35~55°C
- 泉温<35°C

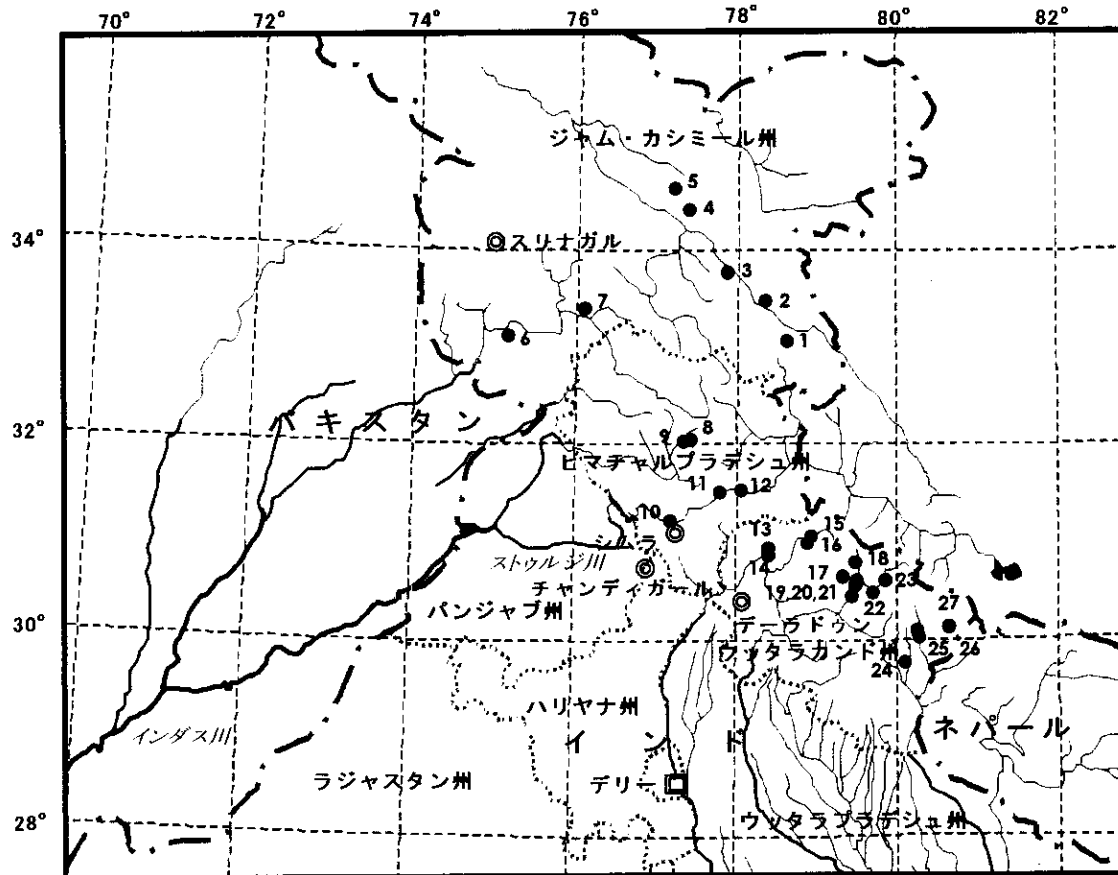
出典: GSI (2002), Geothermal energy resources of India

第 IV-1 図 インドの主要温泉分布

#### IV-1-1 インド北部地区の地熱資源

インド北部地区のジャム・カシミール州、ヒマチャルプラデシュ州及びウッタラカンド州に分布する温泉のうち、湧出温度が 60°C 以上で温泉水の化学組成が記載されている温泉の位置とその化学組成をそれぞれ第 IV-2 図と第 IV-1 表に示す。化学組成が記載されている泉温が 60°C 以上の温泉が存在するのは、ジャム・カシミール州で 7 地点、ヒマチャルプラデシュ州で 5 地点、ウッタラカンド州では 15 地点である。これらの地点の中で、80°C 以上の高い温度が報告されているのは、ジャム・カシミール州ではプガ (63~84°C) とチューマータン (60~83°C)

である。また、ヒマチャルプラデシュ州ではマニカランとカソル (72~96°C)、ウッタラカンド州ではヤムノトリ (90°C)、ベダ (94°C)、カナカル (81°C) 及びタポバン (60~94°C) である。



- 凡例 ● 60°C以上の温泉
- ジャム・カシミール州  
 1: プガ (63~84°C) 2: チューマータン (60~83°C) 3: ガイク (60°C) 4: パナミク (76°C) 5: チャンゲルング (66°C)  
 6: シドゥー (65°C) 7: ガラール (60°C)
- ヒマチャルプラデシュ州  
 8, 9: マニカラン、カソル (72~96°C) 10: タッタパニ (60~61°C) 11: ジョエリ (60°C) 12: タプリ (73°C)
- ウッタラカンド州  
 13: ヤムノトリ (90°C) 14: パナス (73°C) 15: ジョティ (65°C) 16: ガンナニ (61°C) 17: ベダ (94°C)  
 18: キーラオ (60°C) 19: ロアニ (61°C) 20: カナカル (81°C) 21: ガリ (61°C) 22: タッポバン (60~94°C)  
 23: ジュマ (62°C) 24: バラティ (68°C) 25: ニュ (72°C) 26: ダル (79°C) 27: カラバニ (62°C)

出典: GSI (2002), Geothermal energy resources of India

第 IV-2 図 インド北部地区の主要温泉分布

第 IV-1 表 インド北部地区主要温泉の化学組成

地点名	温度 (°C)	ph	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	F (mg/l)	B (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	備考	文献	
<b>ジャム・カシミール州</b>															
ブガ	84	8.9	600	90	5	1.5	468	172	799	5	155	237		1	
	80	8.6	600	72	2	1	433	140	856	15	155	130		1	
	70	8.3	530	68	15	tr	410	122	637	10	60	120		1	
	80	7.6	580	80	54	1	400	118	830	15	123	113		1	
	84	8.2	600	80	4	1.5	420	119	690	15	129	120		1	
	67	8.1	540	72	16	2	398	129	708	12	129	165		1	
	81	7.65	530	72	17	5	370	123	702	18	116	120	Drilled Hole	1	
	80	8.4	640	76	2	2	424	140	686	15	140	130	Drilled Hole	1	
	63	7.7	540	68	17	3	397	149	643	12	129	148	Drilled Hole	1	
チューマータン	83	8.8	355	21	3	0.2	113	258	290	2	38	152		1	
	73	8.1	350	16	8	2	116	241	400	5	16	140		1	
	60	7.8	340	45	10	2	110	221	376	5	15	120		1	
	84	8.6	360	18	7	tr	122	241	368	10	16	100		1	
	70	7.9	350	18	14	tr	108	224	396	5	15	100	Drilled Hole	1	
	74	7.4	300	24	34	1	74	198	-	8	31	110	Drilled Hole	1	
ガイク	80	7.8	94	3	8	1	21	91	129	20	4	80		1	
パナミック	76	7.7	135	6	13	tr	13	99	254	12.5	2	101		1	
チャングルング	66	7.7	580	48	10	2	85	57	1610	10	8	130		1	
シドゥー	65	7.3	350	70	114	16	606	45	495	2.5	tr	28		1	
ガラール	60	6.95	56	4	14	1	30	72	112	6	1	35		1	
<b>ヒマチャルプラデシュ州</b>															
マニカラン、カソル	96	7.7	88	19	44	15	133	36	170	0.8	33	60		1	
	77	6.7	30	10	59	13	56	57	175	-	24	30		1	
	73	6.6	33	10	58	10	59	45	175	0.2	2	70		1	
	82	7.5	17	6	60	6	30	52	170	0.4	19	40		1	
	85	7.6	106	20	42	4.6	55	130	107			105		3	
	86	6.4	78	17	38	4.6	51	140	104			104		3	
	72	7.2	84	20	38	4.6	54	120	87			113		3	
	73	7.3	88	21	42	6.9	53	160	126			117		3	
	96	6.7	96	25	48	5.8	50	150	143			105		3	
	78	7.6	75	15	70	10.4	70	200	117			86		3	
	89	7.1	84.3	16.5	47.5	3.2	37.4	168	117	0.96	1.74	57.8		4	
	87	6.8	62.8	12.9	43.1	5.07	37.1	171	80.2	0.96	1.76	56.6		4	
	タッタバニ	61	7	2400	84	98	34	3865	108	296	1.7	4	38		1
		60	8	2000	100	81	40	108	215	3600	3		50		2
ジェオリ	60	7.6	920	40	116	22	1280	176	393	4	19	83		2	
タブリ	73	7.9	240	23	28	2	145	117	288	11	6	160		2	
<b>ウッタラカンド州</b>															
ヤムノトリ	90	7.9	155	27	52	12	170	33	276	3	10	83		1	
バナス	73	7.5	30	7	38	13	30	55	145	1	3	50		1	
ジョティ	65	8.3	340	44	6	4	105	63	634	10	9	59		1	
ガンナニ	61	7.4	280	25	28	6	90	36	739	8	5	102		5	
ベダ	94	8.3	700	55	4	tr	139	109	1708	2.2	13	150		5	
キーラオ	60	8.2	54	5	2	4	12	38	118	4	2	80		1	
ロアニ	61	8.4	39	8	13	3	15	58	192	4	1	46		1	
カナカル	81	8.1	30	5	34	3	15	30	117	1.6	-	22		1	
ガリ	61	8.4	366	38	7	12	141	43	639	8	5	45		1	
タポバン	94	7.5	16.7	8.33	80.9	27.6	6.77	24.7	375		0.39	78		6	
	80	6.6	12.6	6.11	86.4	20.1	5.13	21.4	336		0.27	57		6	
	67	6.5	12.8	6.79	95.6	23.1	4.67	21.7	381		0.25	59		6	
	60	7.4	14.1	7.2	113	28.3	5.08	23.6	412		0.27	62		6	
ジュマ	62	8	290	43	14	9	48	14	881	3	5	91		1	
バラティ	68	6.4	180	38	64	10	12	5	734	2	1	130		1	
ニュー	72	7	22	38	174	118	10	32	1144	0.7	tr	56		1	
ダル	79	7	89	10	13	2	2	63	221	4	2	99		1	
カラバニ	62	6.8	270	14	36	5	30	29	751	8.6	3	88		1	

文献

- 1 Geological Survey of India (2002). Geothermal energy resources of India.
- 2 A. Absar, R. Shanker, B. L. Jangi, A. K. Bajaj, R. K. Aggarwal and G. K. Gupta (1996). Chemical variations in thermal discharges from Satluj and Spiti valleys, Himachal Pradesh, India - a conceptual geochemical model. GSI, Spl. Pub., (45), 169-182
- 3 D. Chandrasekharan, M. A. Alam and A. Minissale (2005). Thermal discharges at Manikaran, Himachal Pradesh, India. Proc. W.G.C., 2005, 1-4
- 4 D. Chintil, L. Pizzino, N. Voltattorni, F. Quattrocchi and V. Wallia (2009). Geochemistry of thermal waters along fault segments in the Beas and Parvati valleys (north-west Himalaya, Himachal Pradesh) and in the Sohna town (Haryana), India. Geochemical Jour., vol. 43, 65-76.
- 5 R. Shanker, A. Absar and G. C. Stuvastava (1999). Geochemistry and origin of geothermal systems of northwest Himalaya. 21st New Zealand Geothermal Workshop, 73-78.
- 6 SNC及びJETRO (2010). インド・ウッタラカンド州における地熱発電計画調査報告書

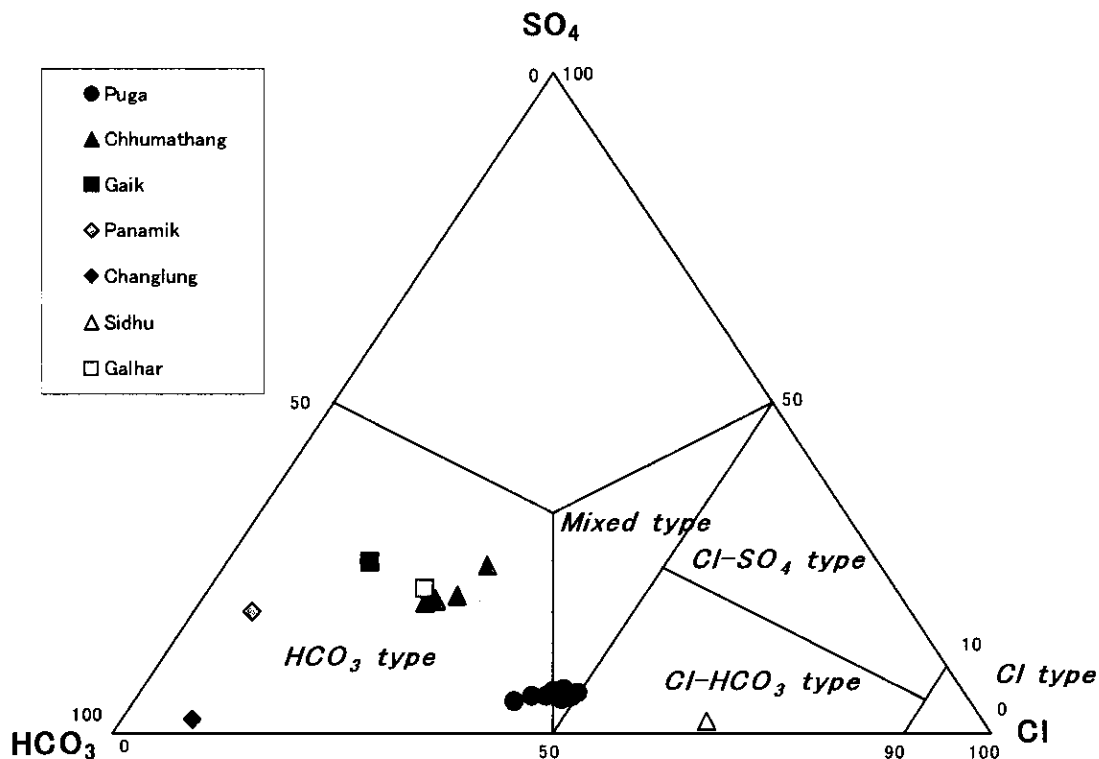
出典: GSI (2002), Geothermal energy resources of India

(1) ジャム・カシミール州

ジャム・カシミール州における主要温泉の主要陰イオン三成分図を第 IV-3 図に示す。大部分が HCO<sub>3</sub> と Cl を主要陰イオンとしている。チューマータン、ガイク、パナミック、チャングルン

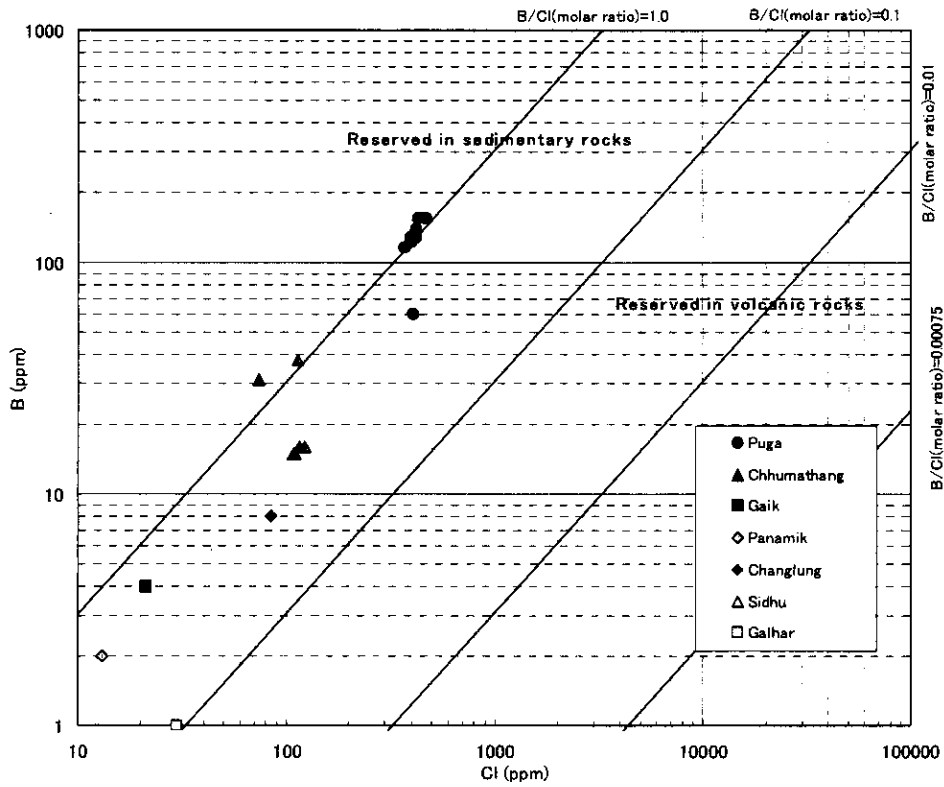
グ及びガラールの温泉水は  $\text{HCO}_3$  型に分類され、プガの温泉水はほぼ中間型 (mixed type) に、シドゥーの温泉は  $\text{Cl-HCO}_3$  型に分類される。これら温泉の B 濃度と Cl 濃度との関係を見ると (第 IV-4 図参照)、B/Cl モル濃度比がいずれも 0.1 より大きく、主として堆積岩起源の地層中で生成された温泉水と推定される。

温泉水の化学組成に基づく地化学温度計の適用により推定される貯留層温度を第 IV-2 表に示す。地化学温度計の適用における推定温度の妥当性については、温泉水が地下の高温下で化学的に平衡状態にあるかどうかが大きき要素となる。第 IV-5 図に示すように、ガイク、チャングルング、シドゥーとガラールの温泉水は、化学的には平衡状態に達していないと考えられることから、アルカリ比温度計の精度はそれほど高くないと思われる。一方、プガ、チューマータン及びパナミクについては、いくつかの Mg の割合が低い温泉水データは、温泉水が化学的に完全に平衡状態にあることを示唆しており、完全には平衡状態にない温泉水データも、平衡状態にある温泉水とほぼ同じ Na/K 比を示すことから、Na/K 比を温度計算式に含む地化学温度計の精度は比較的高いと考えられる。この場合、プガでは  $200^\circ\text{C}$  を超える温度が、チューマータンでは  $210^\circ\text{C}$  前後の温度が、パナミクでは  $170^\circ\text{C}$  前後の温度が期待される。ただし、これらの温度に達する深度は不明である。また、Na-K-Ca 温度を見ると、チャングルング及びシドゥーでも  $100^\circ\text{C}$  を超える温度の熱水が存在する可能性がある。

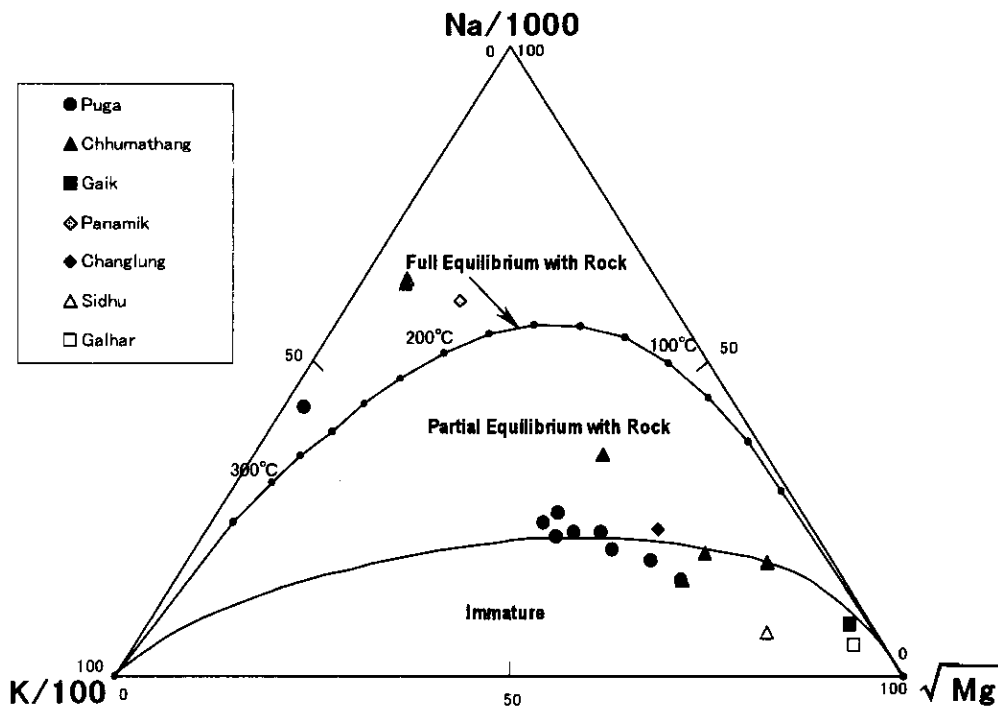


第 IV-3 図 ジャム・カシミール州主要温泉の主要陰イオン三成分図





第 IV-4 図 ジャム・カシミール州主要温泉の B 濃度と Cl 濃度の関係図

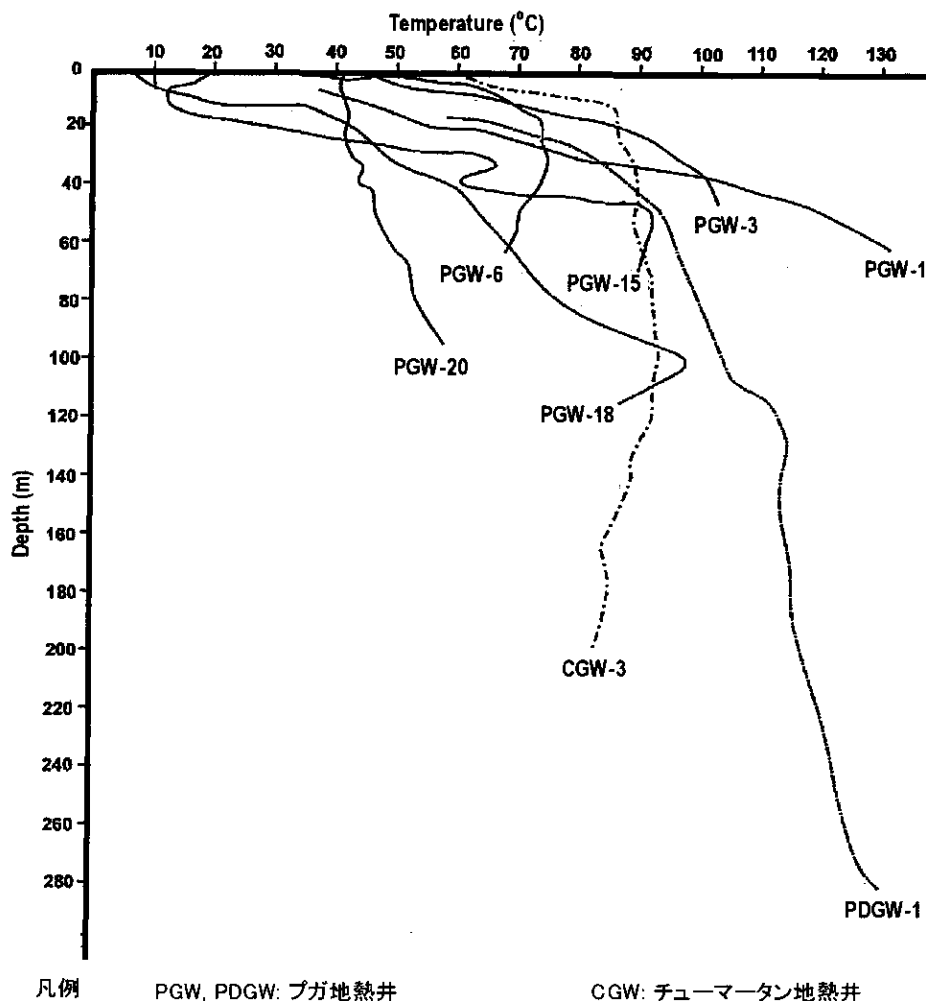


第 IV-5 図 ジャム・カシミール州主要温泉の Na-K-Mg 三成分図

第 IV-2 表 ジャム・カシミール州主要温泉の地化学温度一覧

地点名	温度 (°C)	地化学温度 (°C)											
		TSiO <sub>2</sub>						TNa-K			TNa-K-Ca	T(Na-K-Ca)-dMg	TK-Mg
		quartz (adiabatic)	quartz (conductive)	chalcedony	α cristobalite	β cristobalite	amorphous	Truesdall	Fournier	Giggenbach			
プガ	84	178	192	173	143	93	68	236	254	267	246	246	158
	80	145	152	127	102	53	31	208	233	247	241	241	158
	70	141	148	122	97	48	26	216	238	253	220	220	332
	80	139	144	118	94	45	23	225	246	259	213	213	162
	84	141	148	122	97	48	26	221	243	256	240	240	154
	67	158	167	144	117	66	44	221	243	256	223	223	145
	81	141	148	122	97	48	26	223	245	258	223	223	130
	80	145	152	127	102	53	31	207	232	246	242	242	147
チューマータン	63	152	160	136	110	61	38	214	238	251	218	218	137
	83	153	162	138	112	62	39	137	176	194	182	182	143
	73	149	157	133	107	57	35	116	158	177	160	160	99
	77	141	148	122	97	48	26	220	242	256	213	213	130
	84	133	137	110	87	38	17	123	164	182	166	166	249
ガイク	70	133	137	110	87	38	17	126	166	184	152	152	249
	74	137	143	116	92	43	22	165	199	215	135	131	121
バナミク	60	122	125	97	74	26	6	90	135	155	78	53	66
ハンミク	76	133	138	111	87	39	17	114	156	175	95	95	196
チャングルング	66	145	152	127	102	53	31	168	201	218	199	199	132
シドゥー	65	81	77	45	27	-18	-35	277	285	294	150	150	112
ガラール	60	89	86	55	36	-10	-28	154	190	207	70	28	73

プガとチューマータンでは坑井掘削が行われている。掘削された坑井での温度分布を第 IV-6 図に示す。プガで掘削された坑井の深度は 28.5m から 384.7m の範囲である。最も高い温度が測定された坑井は GW-1 であり、坑底で 130.37°C を記録している。また、GW-18 では深度 92.5m で 120°C を記録しており、DGW-1 では深度 280m で 127°C を記録している。チューマータンで掘削された 6 坑井の深度は 20m から 221m の範囲である。4 坑井で自噴したが、熱水の最高温度は 109°C であった。このように、プガとチューマータンでは 100°C を超える温度が坑井によりすでに確認されている。



第IV-6図 ジャム・カシミール州地熱井の温度分布

(2) ヒマチャルプラデシュ州

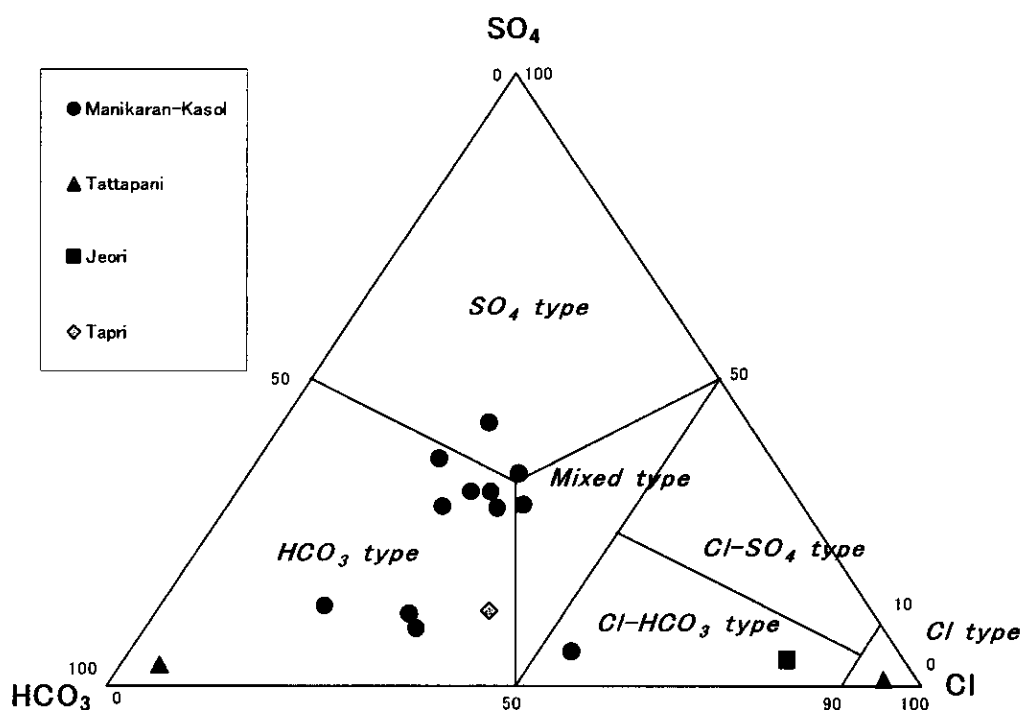
ヒマチャルプラデシュ州における主要温泉の主要陰イオン三成分図を第IV-7図に示す。マニカランとカソルの温泉は大部分が中間型 (mixed type) 付近にプロットされ、タプリの温泉も中間型付近にプロットされる。タッタパニの温泉はCl型とHCO<sub>3</sub>型に分類され、ジェオリの温泉はCl-HCO<sub>3</sub>型に分類される。

B濃度とCl濃度との関係を見ると(第IV-8図参照)、マニカラン、カソル及びタプリの温泉はB/Clモル濃度比がいずれも0.1より大きく、主として堆積岩起源の地層中で生成された温泉と推定される。一方、Cl濃度が高いタッタパニとジェオリの温泉は火山岩起源の地層中で生成された温泉の利用域にプロットされる。しかし、これらの地点には火山岩は認められていない。Na濃度とCl濃度との関係を見ると(第IV-9図参照)、海水(Na = 10,714 ppm、Cl = 19,000 ppm)と淡水(Na = Cl = 0 ppm)を結ぶ線付近にプロットされる。タッタパニ周辺では岩塩を含む地層が存在することから、海水の影響を受けたように見えるのはこの岩塩を含む地層に起因していると考えられる。

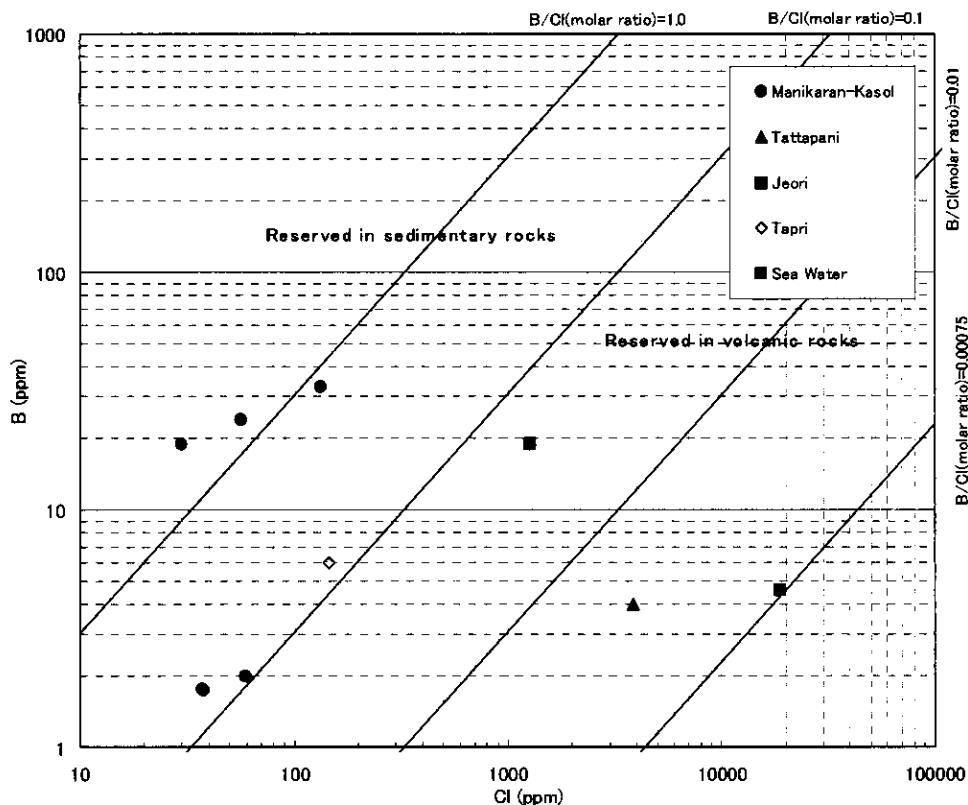
温泉の化学組成に基づく地化学温度計の適用により推定される貯留層温度を第IV-3表に示す。マニカラン、カソル、タッタパニ、ジェオリ及びタプリの温泉は100°Cを超える温度がアルカリ比温度計により計算される。ただし、地化学温度計の適用における推定温度の妥当

性については、温泉水が地下の高温下で化学的に平衡状態にあるかどうか大きな要素となる。第 IV-10 図に示すように、大部分の温泉水は、化学的には平衡状態に達していないと考えられることから、アルカリ比温度計により計算される温度の精度はそれほど高くないと思われるが、マニカラン、カソル、タッタパニ、ジェオリ及びタプリには  $100^{\circ}\text{C}$  を超える温度の熱水が存在する可能性がある。

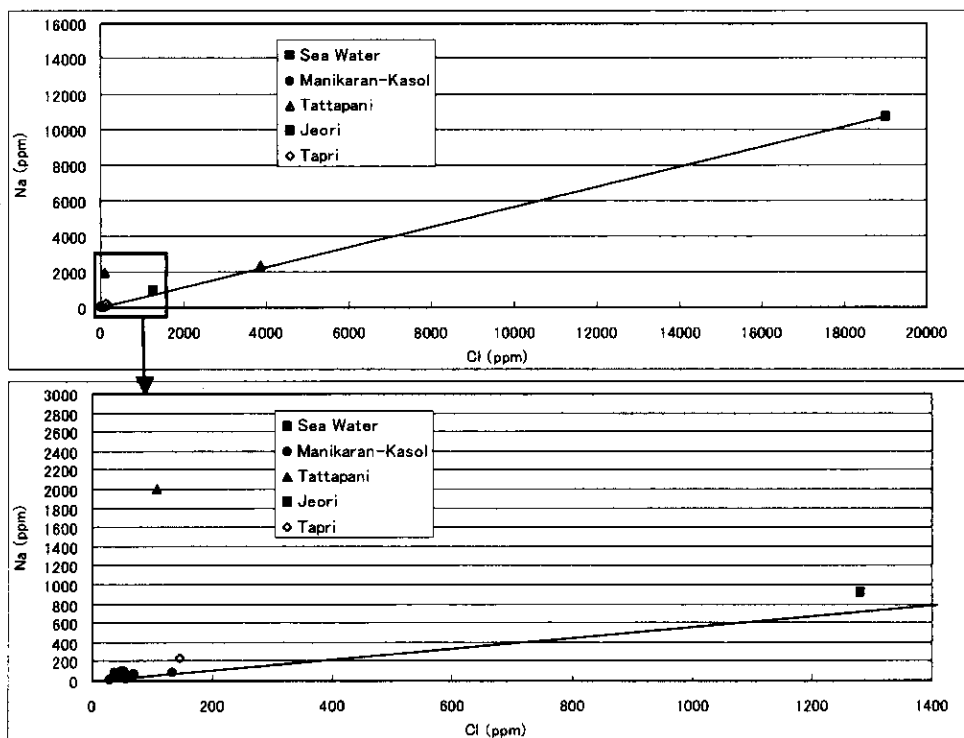
マニカランでは  $90.3\text{m}$  から  $250\text{m}$  の坑井が 8 本掘削されており、 $497.1\text{m}$  と  $706.9\text{m}$  の坑井がそれぞれ 1 本掘削されている。 $497.1\text{m}$  の坑井では、深度  $40\text{m}$  付近で  $101^{\circ}\text{C}$  の温度を記録している。掘削された坑井の内、7 本の坑井からは熱水が自噴し、その温度は  $70^{\circ}\text{C}$  から  $94^{\circ}\text{C}$  であった。地熱井の温度分布を見ると、ある深度までは温度上昇が認められるが、その深度をすぎると温度が低下している（第 IV-11 図参照）。このような温度分布は、熱水が地熱井掘削地点の直下から上昇流動しているのではなく、掘削地点とは異なる場所から熱水が側方へ流動して来ている場合に認められる温度分布である。したがって、マニカラン及びカソルにおける熱水の供給源がどこにあるかを知ることがこの地点における地熱開発では重要になると考えられる。カソルでは  $12.67\text{m}$  から  $309\text{m}$  の坑井が 8 本掘削されている。この内、3 本の坑井で  $53^{\circ}\text{C}$  から  $72^{\circ}\text{C}$  の熱水が自噴した。



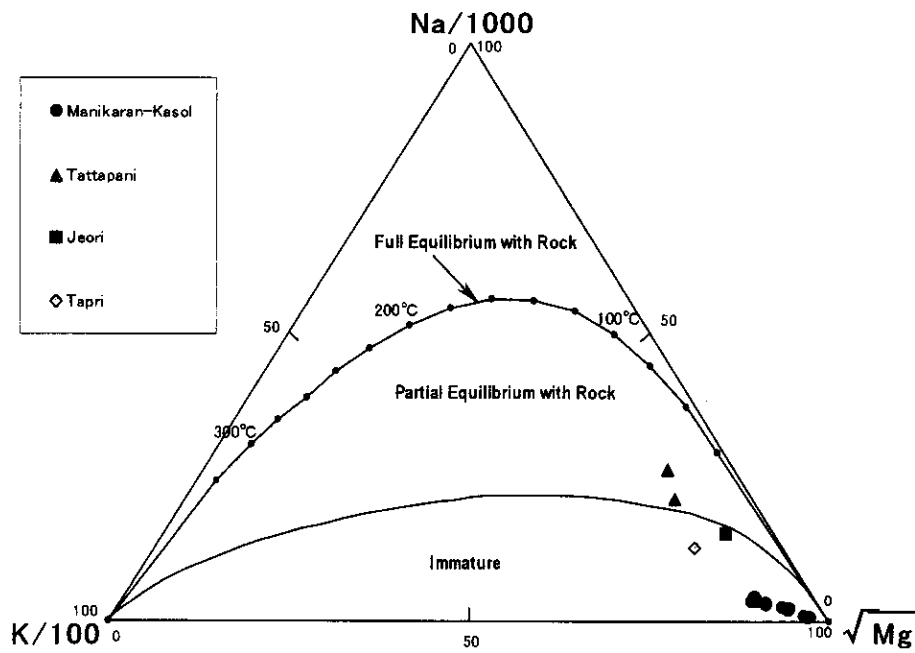
第 IV-7 図 ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の主要陰イオン三成分図



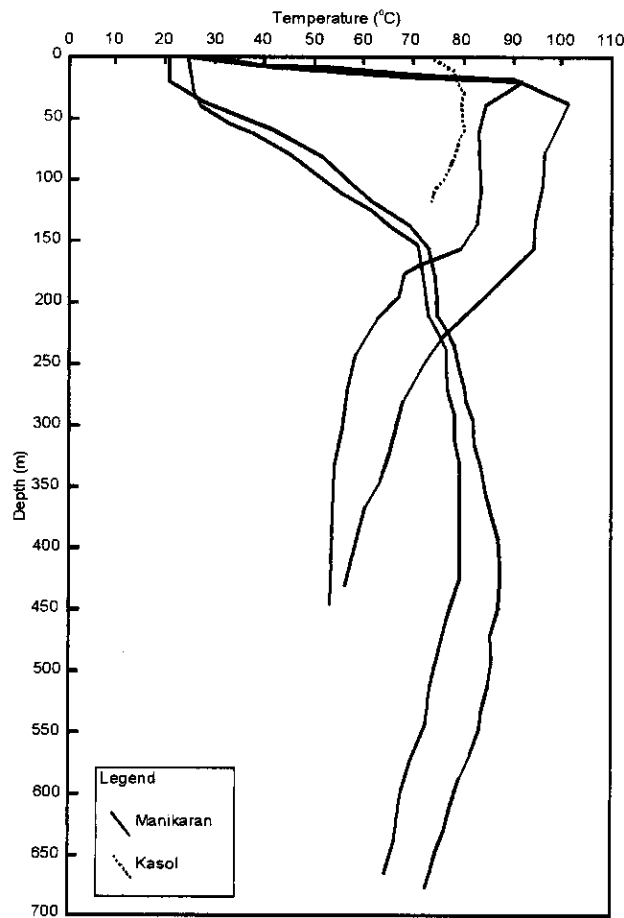
第 IV-8 図 ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の B 濃度と Cl 濃度の関係図



第 IV-9 図 ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の Na 濃度と Cl 濃度の関係図



第 IV-10 図 ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の Na-K-Mg 三成分図



第 IV-11 図 マニカラン及びカソルの地熱井温度分布

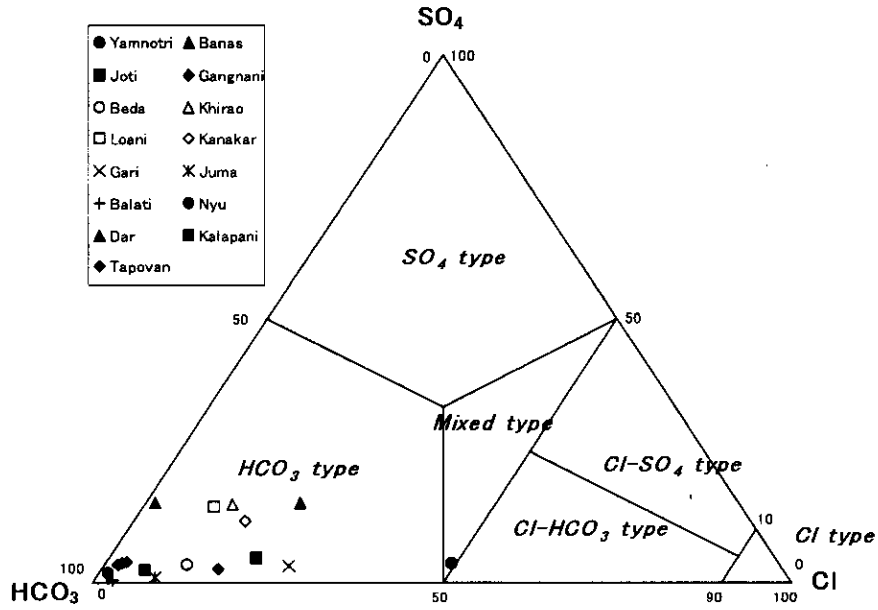
第 IV-3 表 ヒマチャルプラデシュ州主要温泉の地化学温度一覧

地点名	温度 (°C)	地化学温度 (°C)												
		TSiO <sub>2</sub>							TNa-K			TNa-K-Ca	T(Na-K-Ca)-dMg	TK-Mg
		quartz (adiabatic)	quartz (conductive)	chalcedony	α cristobalite	β cristobalite	amorphous	Truesdell	Fournier	Giggenbach				
マニカラン、カソル	96	110	111	81	60	13	-7	289	293	302	102	102	78	
	77	83	79	48	30	-16	-33	368	348	351	63	38	64	
	73	117	118	90	68	20	0	349	335	340	64	32	67	
	82	94	92	61	42	-5	-23	380	356	358	43	43	62	
	85	135	140	114	89	41	19	268	278	289	108	108	94	
	86	135	139	113	89	40	19	290	294	303	100	97	90	
	72	139	144	118	94	45	23	305	305	313	107	107	94	
	73	140	146	120	96	47	25	305	305	313	107	107	90	
	96	135	140	114	89	41	19	320	316	322	112	112	97	
	78	126	129	101	78	30	10	277	285	294	81	67	76	
	89	108	109	79	58	11	-8	273	282	292	95	74	94	
77	108	108	78	57	10	-9	281	288	297	85	67	82		
タッタパニ	61	92	89	59	39	-7	-25	97	141	160	158	158	106	
	60	103	102	72	51	5	-14	123	164	182	175	175	109	
ジュオリ	60	124	127	99	76	28	8	112	155	174	138	138	92	
タブリ	73	156	165	142	115	66	42	183	213	229	136	136	109	

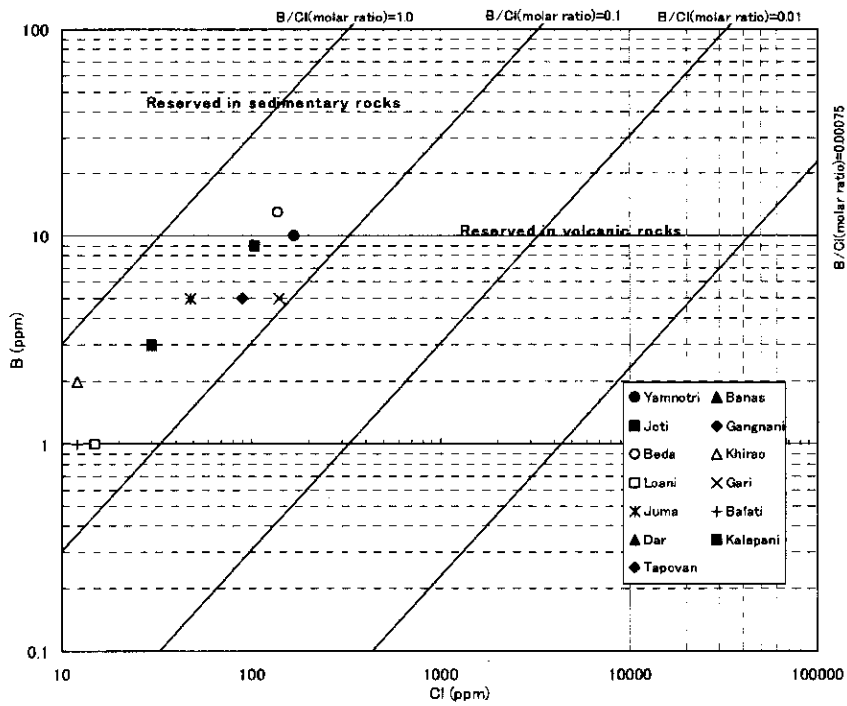
(3) ウッタラカンド州

ウッタラカンド州における主要温泉の主要陰イオン三成分図を第 IV-12 図に示す。ヤムノトリの温泉水は Cl 濃度が比較的高く (170 ppm)、中間型 (mixed type) に分類される。他の温泉水は HCO<sub>3</sub> 型に分類される。ただし、ベダとガリの温泉水の Cl 濃度はそれぞれ 139 ppm 及び 141 ppm と比較的高い濃度を示している。B 濃度と Cl 濃度との関係を見ると (第 IV-13 図参照)、いずれの温泉水も B/Cl モル濃度比が 0.1 より大きく、主として堆積岩起源の地層中で生成された温泉水と推定される。

温泉水の化学組成に基づく地化学温度計の適用により推定される貯留層温度を第 IV-4 表に示す。地化学温度計の適用における推定温度の妥当性については、温泉水が地下の高温下で化学的に平衡状態にあるかどうか大きな要素となる。第 IV-14 図に示すように、ベダ以外の温泉水は、化学的には平衡状態に達していないと考えられることから、アルカリ比温度計により計算される温度の精度はそれほど高くないと思われる。ベダの温泉水については 200°C 前後の温度が計算されることから、この地点は有望と考えられる。また、Na-K-Ca 温度を見ると、ヤムノトリやガンナニ、キーラオ、ガリ、ジュマ、バラティ、ダル、カラパニでも 100°C を超える温度の熱水が存在する可能性がある。

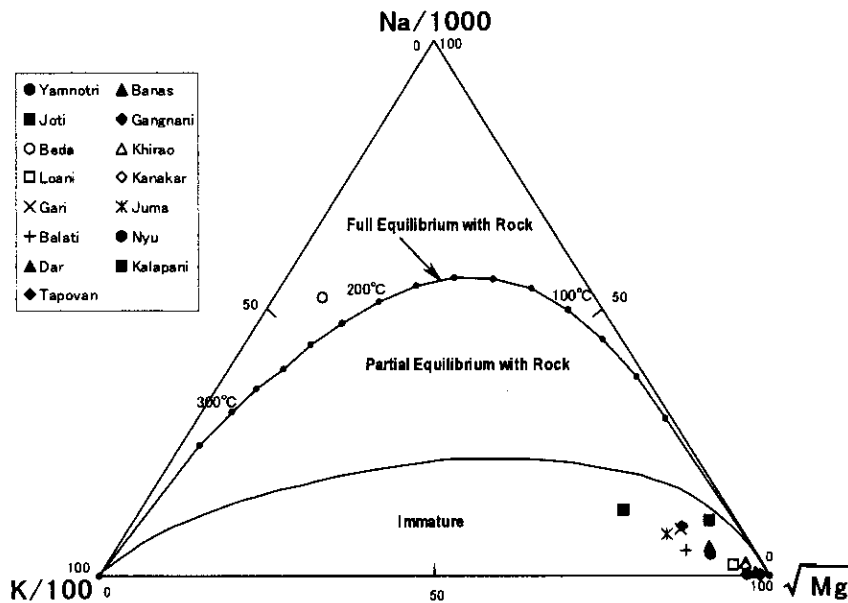


第 IV-12 図 ウッタラカンド州主要温泉の主要陰イオン三成分図



第 IV-13 図 ウッタラカンド州主要温泉の B 濃度と Cl 濃度の関係図





第 IV-14 図 ウッタラカンド州主要温泉の Na-K-Mg 三成分図

第 IV-4 表 ウッタラカンド州主要温泉の地化学温度一覧

地点名	温度 (°C)	地化学温度 (°C)											
		TSiO <sub>2</sub>						TNa-K			TNa-K-Cs	T(Na-K-Ca)-dMg	TK-Mg
		quartz (adiabatic)	quartz (conductive)	chalcedony	α cristobalite	β cristobalite	amorphous	Truesdell	Fournier	Giggenbach			
ヤムノトリ	90	124	127	99	76	28	8	256	270	281	119	119	89
バナス	73	103	102	72	61	5	-14	301	302	310	61	52	57
ジョティ	65	109	110	80	59	12	-7	217	240	254	221	221	118
ガンナニ	61	134	138	112	88	39	18	176	207	223	180	180	96
ベダ	94	153	161	137	111	81	39	163	197	214	209	209	248
キーラオ	60	122	125	97	74	26	6	179	210	226	125	125	62
ロアニ	61	99	98	68	48	1	-17	281	287	297	91	91	76
カナカル	81	72	67	35	18	-27	-43	250	265	277	53	53	65
ガリ	61	98	97	67	47	0	-18	192	220	235	207	207	98
ジュマ	62	128	132	105	81	33	12	234	253	266	194	194	106
ハラティ	68	145	152	127	102	53	31	285	291	300	130	130	101
ニユ	77	107	107	78	57	10	-9	1107	704	646	78	78	70
ダル	79	132	137	110	86	37	16	200	227	242	109	109	87
カラバニ	62	127	130	103	80	31	11	126	166	185	110	110	84
タポバン	94	121	124	96	73	25	5	465	409	404	46	15	52
	80	108	108	79	58	10	-9	457	404	400	34	34	49
	67	109	110	80	59	12	-7	482	419	413	35	35	50
	60	111	112	83	62	14	-5	471	413	408	35	35	49

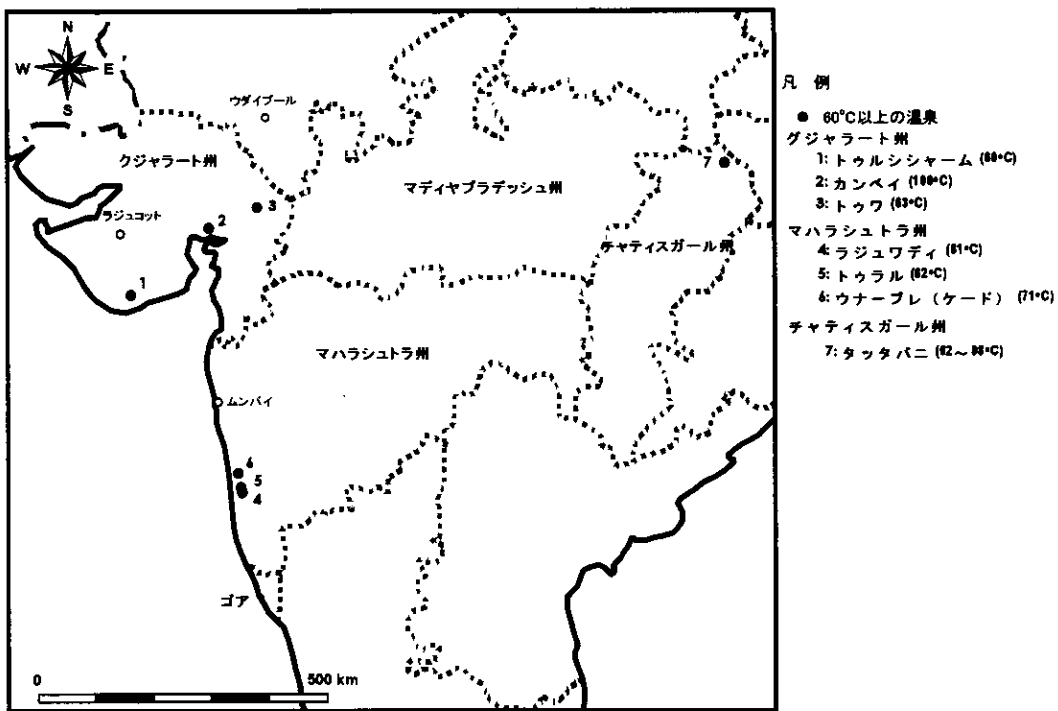
IV-1-2 インド西部地区の地熱資源

インド西部地区に分布する温泉のうち、湧出温度が 60°C 以上で温泉水の化学組成が記載されている温泉の位置とその化学組成をそれぞれ第 IV-15 図と第 IV-5 表に示す。化学組成が記載されている泉温が 60°C 以上の温泉が存在するのは、グジャラート州の 3 地点とマハラシュトラ州の 3 地点及びチャティスガール州の 1 地点、である。これらの地点の中で、80°C 以上の高い温

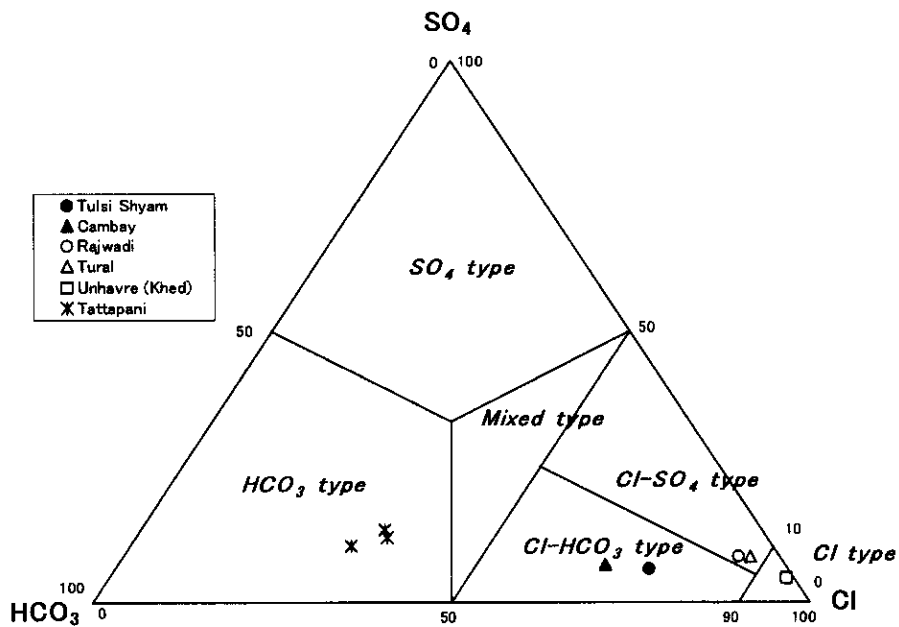
度が報告されているのは、グジャラート州のカンベイで掘削された坑井 (100°C) とチャティスガル州のタッタパニ (62~98°C) のみである。グジャラート州で 60°C を超えている温泉水は、トゥルシシャームとカンベイ及びトゥワである。これらの温泉水の主要陰イオン三成分図を第 IV-16 図に示す。ただし、トゥワの温泉水については  $\text{HCO}_3^-$  の分析値がないため、この三成分図にはプロットできない。トゥルシシャームとカンベイの温泉水は  $\text{Cl-HCO}_3^-$  型に分類される。トゥルシシャームの温泉水の  $\text{Cl}$  濃度は 450 ppm、カンベイの温泉水の  $\text{Cl}$  濃度は 2,428 ppm と両温泉水ともに比較的高い  $\text{Cl}$  濃度を示している。Na 濃度と  $\text{Cl}$  濃度との関係を見ると (第 IV-17 図参照)、海水と淡水を結ぶ線付近にプロットされることから、海水の影響を受けている可能性がある。トゥワの温泉水については、K の分析値がないためアルカリ比温度計を適用できない。また、第 IV-18 図に示すように、トゥルシシャームとカンベイの温泉水は、化学的には平衡状態に達していないと考えられることから、アルカリ比温度計の精度は高くないと思われる。ただし、Na-K-Ca 温度を見ると、トゥルシシャームには 100°C を超える温度の熱水が存在する可能性がある。なお、グジャラート州の地熱資源を考察するには、温泉水の化学組成データが不十分であり、補完調査が必要である。

マハラシュトラ州で 60°C を超えている温泉水は、ラジュワディとトゥラル及びウナーブレ (ケード) である。ラジュワディとトゥラルの温泉水は  $\text{Cl-SO}_4$  型に分類され、ウナーブレ (ケード) の温泉水は  $\text{Cl}$  型に分類される。これらの温泉水の  $\text{Cl}$  濃度は、ラジュワディが 376 ppm、トゥラルが 375 ppm、ウナーブレ (ケード) が 1,065 ppm と比較的高い。Na 濃度と  $\text{Cl}$  濃度との関係を見ると (第 IV-17 図参照)、海水と淡水を結ぶ線付近にプロットされることから、海水の影響を受けている可能性がある。これらの温泉水は温泉水は化学的平衡状態に達していないと考えられることから (第 IV-18 図参照)、アルカリ比温度計により計算される温度の精度は高くないと思われる。マハラシュトラ州の地熱資源を考察するには、温泉水の化学組成データが不十分であり、補完調査が必要と考えられる。

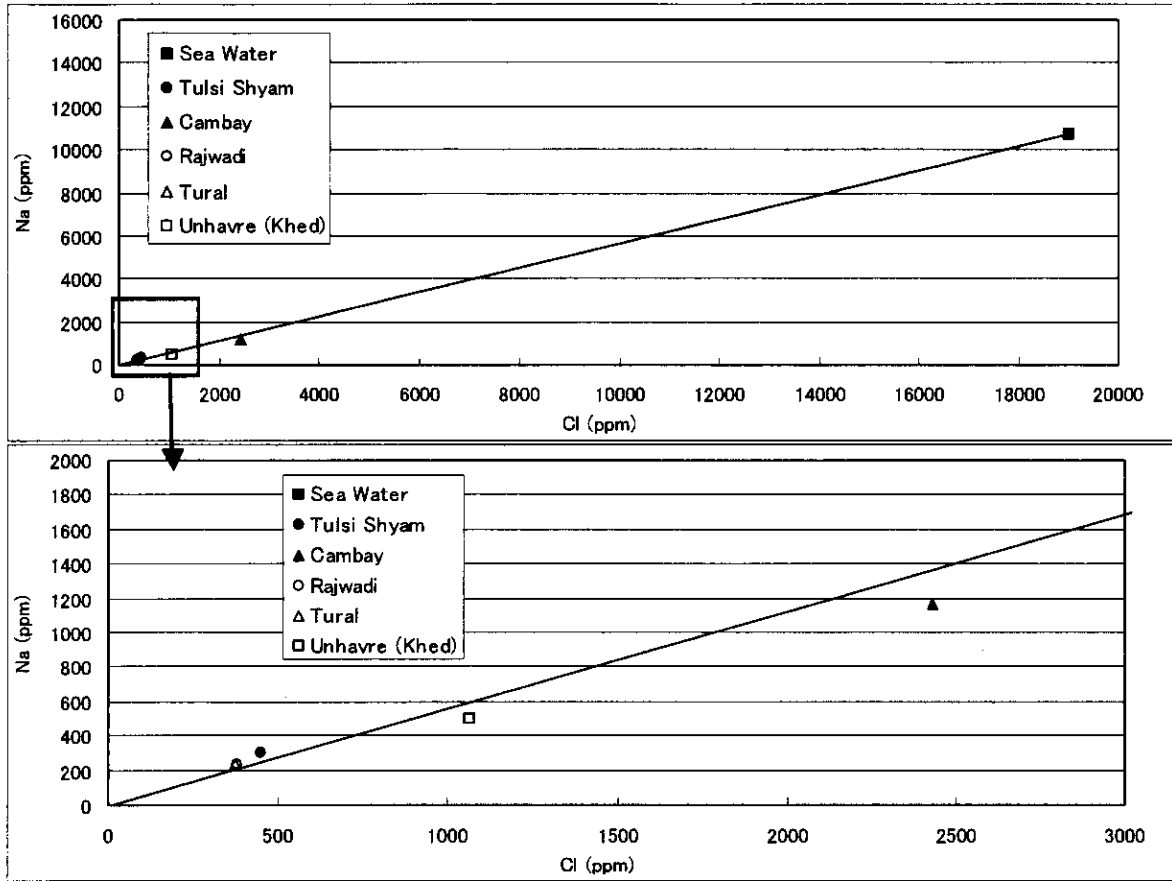
チャティスガル州のタッタパニの温泉水は  $\text{HCO}_3^-$  濃度 (177~213 ppm) が相対的に高いことから  $\text{HCO}_3^-$  型に分類される。タッタパニの温泉水の B 濃度と  $\text{Cl}$  濃度との関係を第 IV-19 図に示す。温泉水の B/ $\text{Cl}$  モル濃度比が 0.024 前後であり、火山岩起源の地層中で生成された温泉水の領域にプロットされる。先カンブリア紀の片麻岩や花崗岩が存在することから、これらの岩石の影響と考えられる。第 IV-18 図に示すように、タッタパニの 1 試料は、ほぼ化学的平衡状態に達していると考えられるが、他の 2 試料は平衡状態にない。ただし、平衡状態にある温泉水とほぼ同じ Na/K 比を示すことから、Na/K 比を温度計算式に含む地化学温度計の精度は比較的高いと考えられる。この場合、タッタパニでは 160°C 前後の温度は期待できると考えられる (第 IV-5 表参照)。タッタパニで掘削された地熱井の温度分布を第 IV-20 図に示す。6 号井では、深度 480m 付近で 112°C を記録しており、4A 号井では深度 100m 付近と 300m 付近で 110°C 近くの温度を記録している。これら坑井の温度分布を外挿すれば、1,000~1,500m 程度の深度が必要となる。しかし、外挿で求められた深度は一応の目安にすぎず、これらの温度に達する深度は不明とするのが現時点では妥当である。



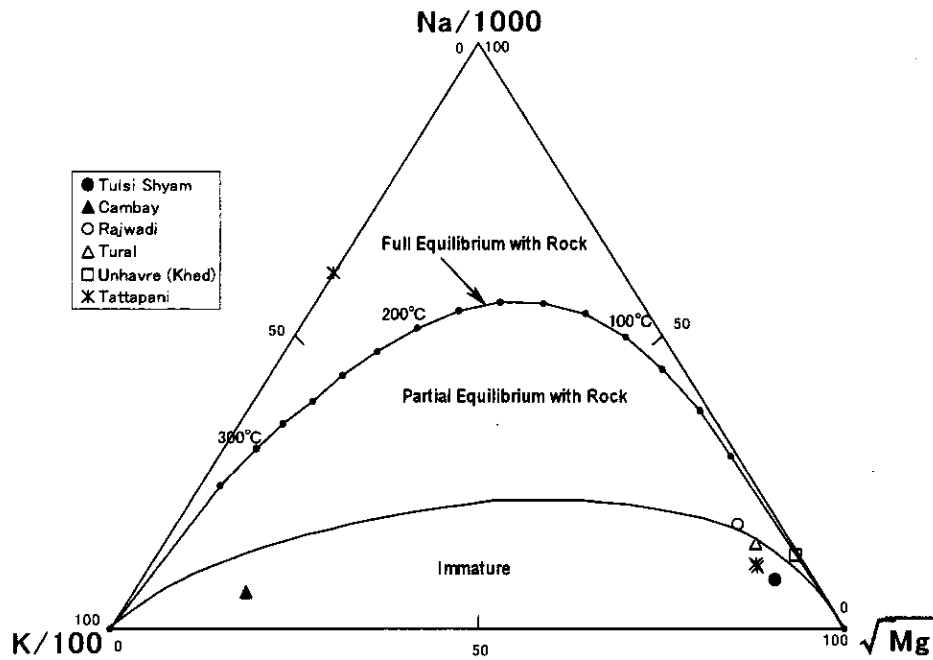
第 IV-15 図 インド西部地区の主要温泉分布



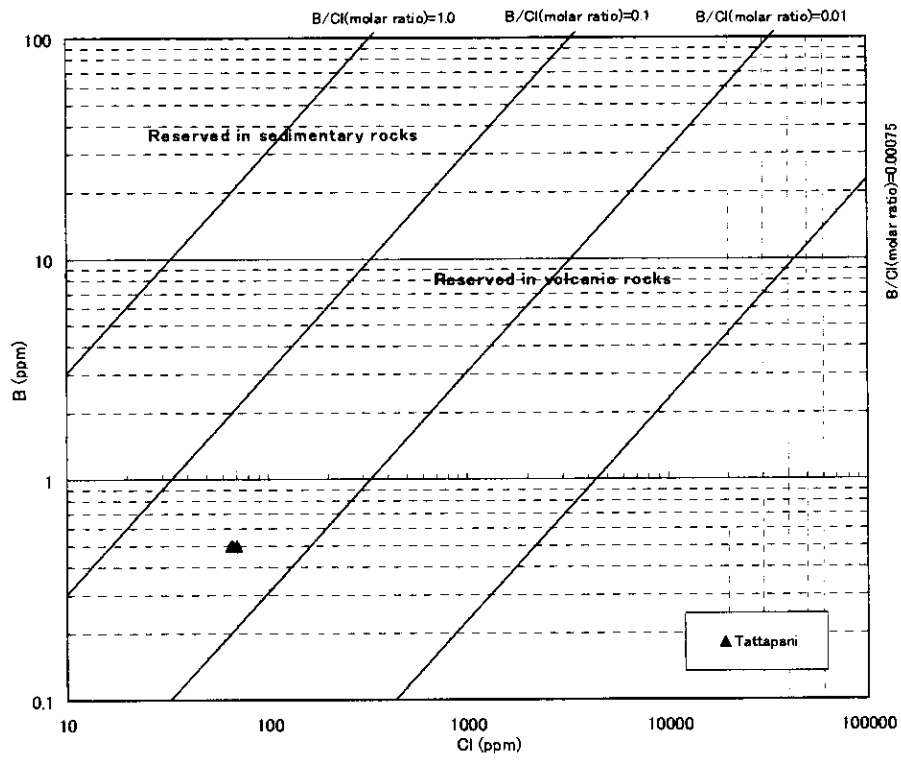
第 IV-16 図 インド西部地区主要温泉の主要陰イオン三成分図



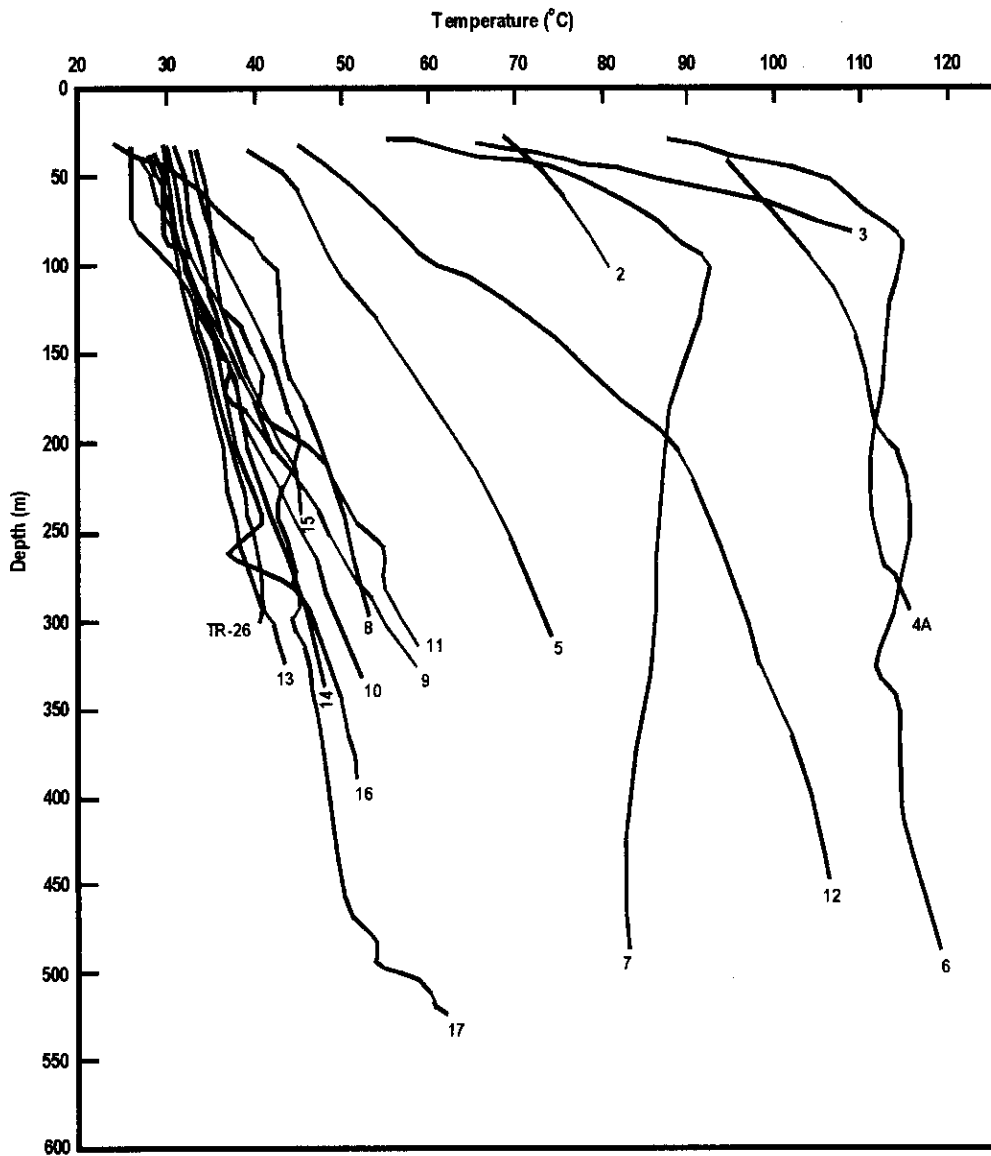
第 IV-17 図 グジャラート州及びマハラシュトラ州主要温泉の Na 濃度と Cl 濃度の関係図



第 IV-18 図 インド西部地区主要温泉の Na-K-Mg 三成分図



第 IV-19 図 タッタパニ温泉の B 濃度と Cl 濃度の関係図



第 IV-20 図 タッタパニの地熱井温度分布

第 IV-5 表 インド西部地区主要温泉の化学組成

地点名	温度 (°C)	pH	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	F (mg/l)	B (mg/l)	SO <sub>2</sub> (mg/l)	備考	文献	
ゲジャラト州															
トウルジヤム	60	7	300	20	75	10	460	100	200	4	1	110		1	
カンベイ	100		1167	1461	9	8	2428	672	1534				Drilled Hole	1	
トゥワ	63	7.6			505	14	2500	285				30		1	
	63		126		508	13		188		0.8		78		1	
マラシュトラ州															
ラジュワディ	61	7.7	238	7.6	52	1.05	376	100	437	4	<0.5	82		1	
トゥラル	62	7.6	231	7.8	56	1.63	375	100	306	4	<0.5	122		1	
ウナーブレ (ケート)	71	7.7	500	2	180	12	1065	136	20	2	<0.5	60		1	
チャティスガル州															
タッタパニ	91		133	8	3	1	67	70	177	3	0.5	96		1	
	62		126	8	3	1	65	60	213	3	0.5	60		1	
	98		124	8	4	0	70	64	180	3	0.5	104		1	

第 IV-6 表 インド西部地区主要温泉の地化学温度一覧

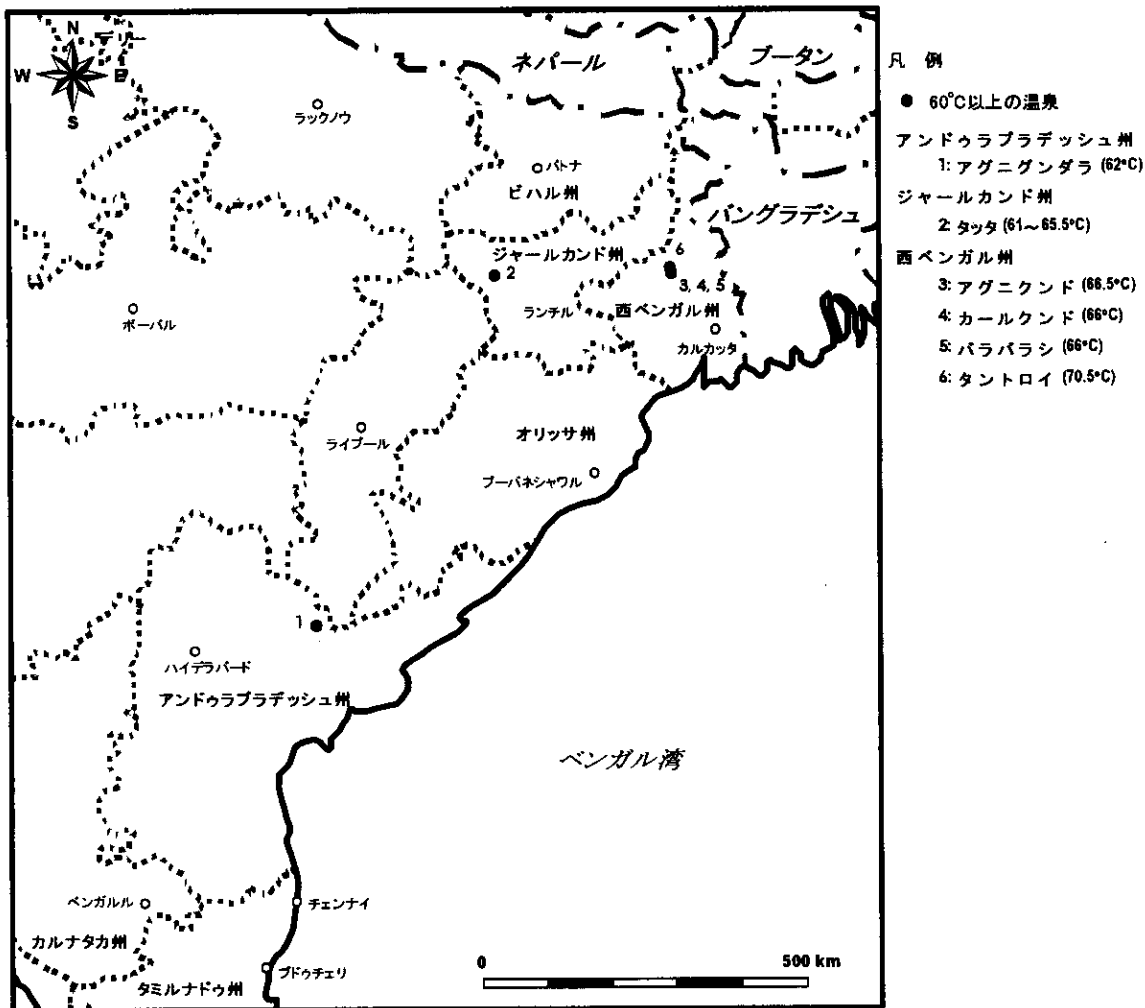
地名	温度 (°C)	地化学温度 (°C)											
		TSiO <sub>2</sub>						TNa-K			TNa-K-Ca	T(Na-K-Ca)-dMg	TK-Mg
		quartz (adiabatic)	quartz (conductive)	chalcidny	α cristobalite	β cristobalite	amorphous	Truesdell	Fournier	Giggenbach			
トウルシヤーム	60	137	143	118	92	43	22	148	185	202	108	108	84
カンベイ	100							848	603	587	476	476	244
ラジュワディ	61	124	126	99	76	28	7	90	135	155	78	50	88
トウラル	62	142	149	123	98	49	27	94	139	158	77	46	83
ウナーブレ (ケード)	71	110	111	81	60	13	-7	-10	40	62	25	25	33
タッタハニ	91	131	135	108	84	36	15	139	177	195	156	186	90
タッタハニ	62	110	111	81	60	13	-7	143	181	198	146	146	90
タッタハニ	98	135	139	113	89	40	19	145	182	200	166		

IV-1-3 インド南部地区及び東部地区の地熱資源

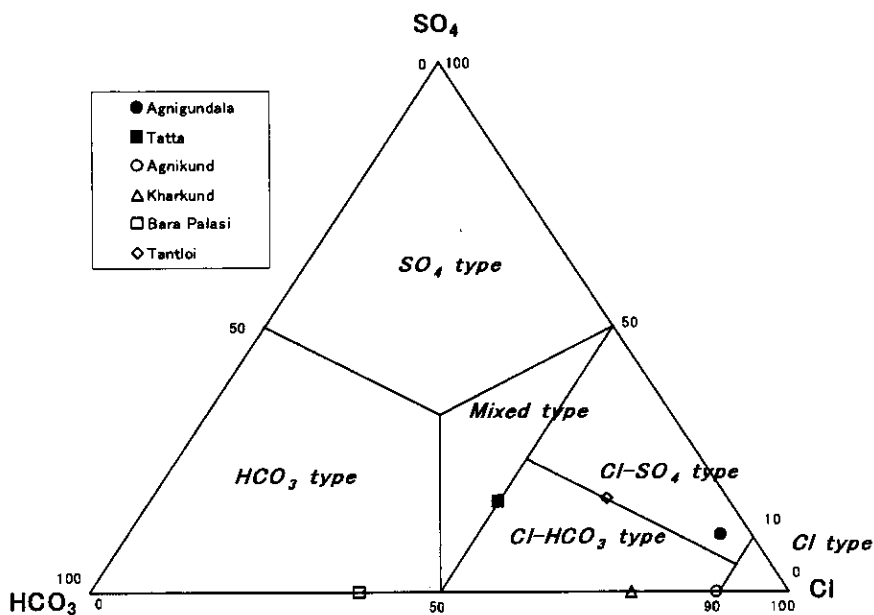
インド南部地区と東部地区に分布する温泉のうち、湧出温度が 60°C 以上で温泉水の化学組成が記載されている温泉の位置とその化学組成をそれぞれ第 IV-21 図と第 IV-7 表に示す。化学組成が記載されている泉温が 60°C 以上の温泉が存在するのは、アンドウラプラデッシュ州の 1 地点、ジャールカンド州の 1 地点及び西ベンガル州の 4 地点である。これらの地点の中で、80°C 以上の高い温度が報告されている地点はない。

インド南部地区と東部地区の主要な温泉水の主要陰イオン三成分図を第 IV-22 図に示す。アンドウラプラデッシュ州のアグニグンダラの温泉水は Cl 濃度 (430 ppm) と SO<sub>4</sub> 濃度 (146.5 ppm) が比較的高く、Cl-SO<sub>4</sub> 型に分類される。ジャールカンド州のタッタの温泉水は中間型に分類される。西ベンガル州のアグニクンド、カールクンド及びバラパラシの温泉水は SO<sub>4</sub> 濃度 (0.01 ~ 0.04 ppm) が低い。アグニクンドの温泉水は Cl 濃度 (100 ppm) が比較的高く、Cl 型に近い Cl-HCO<sub>3</sub> 型に分類される。カールクンドの温泉水も Cl-HCO<sub>3</sub> 型に分類されるが、バラパラシの温泉水は HCO<sub>3</sub> 型に分類される。タントウロイの温泉水は、他の 3 温泉よりも SO<sub>4</sub> 濃度 (39 ppm) が高いことから Cl-SO<sub>4</sub> 型に分類される。

温泉水の化学組成に基づく地化学温度計の適用により推定される貯留層温度を第 IV-8 表に示す。地化学温度計の適用における推定温度の妥当性については、温泉水が地下の高温下で化学的に平衡状態にあるかどうか大きな要素となる。アグニクンドとカールクンドの温泉水は化学的平衡状態に達していないと考えられる (第 IV-23 図参照)。したがって、アルカリ比温度計から貯留層の温度を推定するのは困難と判断される。タッタとバラパラシの温泉水は Mg 濃度が検出下限未満となっていることから、第 IV-23 図でアルカリ比温度計適用の妥当性を検討するのは困難である。しかし、100°C を超える熱水が存在する可能性は残されている。

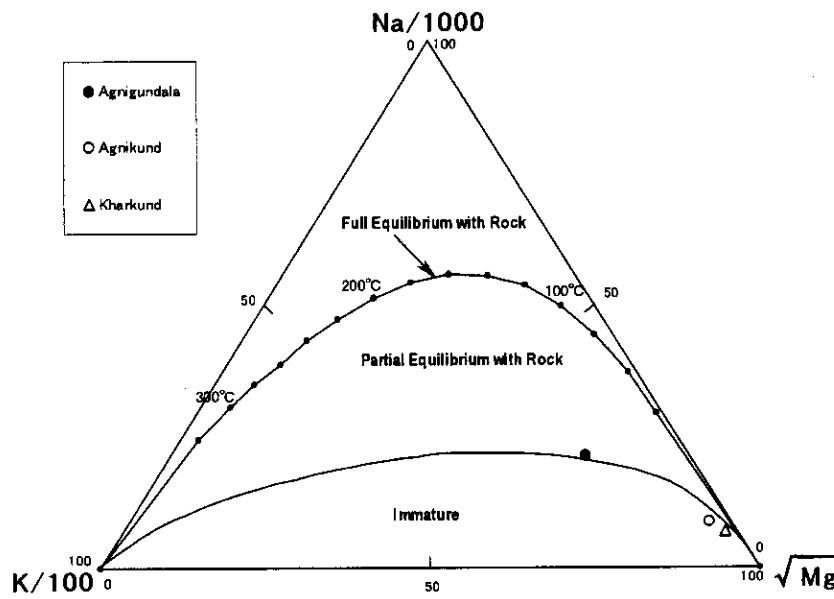


第 IV-21 図 インド南部地区と東部地区の主要温泉分布



第 IV-22 図 インド南部地区及び東部地区主要温泉の主要陰イオン三成分図





第 IV-23 図 インド南部地区及び東部地区主要温泉の Na-K-Mg 三成分図

第 IV-7 表 インド南部地区及び東部地区主要温泉の化学組成

地点名	温度 (°C)	pH	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	F (mg/l)	B (mg/l)	SO <sub>2</sub> (mg/l)	備考	文献
アンドゥラプラデッシュ州														
アグニグンダラ	62	7.5	321	23.6	32.5	0.9	430	146.5	38	3.5		143		1
ジャールカンド州														
タッタ	61-65.5	7.62	162	5	8	tr	105	98	120			808		1
西ベンガル州														
アグニクンド	65.5	9.11	108	4.18	2	1.2	100	0.04	20	12		60		1
カールクンド	66	9.04	110	2.65	6	2	100	0.03	50	12		60		1
バラバラシ	66	9.08	100	2	tr	tr	40	0.01	110	15		80		1
タントロイ	70.5	9.4	10	2	1	tr	53	39	24	11		275		1

文献

- 1 Geological Survey of India (2002): Geothermal energy resources of India

第 IV-8 表 インド南部地区及び東部地区主要温泉の地化学温度一覧

地点名	温度 (°C)	地化学温度 (°C)											
		TSO <sub>2</sub>						TNa-K			TNa-K-Ca	T(Na-K-Ca)-Mg	TK-Mg
		quartz (adiabatic)	quartz (conductive)	chalcedony	α-cristobalite	β-cristobalite	amorphous	Truesdell	Fournier	Giggenbach			
アグニグンダラ	62	150	158	134	108	59	36	157	192	209	137	130	122
タッタ	61-65.5	262	300	306	261	214	180	88	133	153	103	103	145
アグニクンド	67	110	111	81	60	13	-7	104	147	166	127	127	72
カールクンド	66	110	111	81	60	13	-7	72	119	140	82	82	56
バラバラシ	66	122	125	97	74	26	6	62	109	130			
タントロイ	71	187	203	185	154	104	78	277	265	294	86		

#### IV-1-4 地熱発電開発候補地点

##### (1) 地熱発電開発候補地点の抽出

各地域の確認されている温度、熱水の化学組成から期待される温度および現在の調査段階を考慮して有望地域を抽出した。ただし、この有望地域抽出に際しては、社会環境や自然環境などの立地条件は考慮されていない。社会環境や自然環境は、期待される地熱資源ポテンシャルとともに、地熱発電開発検討にあたっての重要な要因となる。したがって、抽出された地点の社会・自然環境の検討が調査計画立案に先立って行われることが望まれる。

前節で述べた 39 地点の中で、80°C 以上の温度が確認されている有望性の高い地点は次の 9 地点である。

- プガ (ジャム・カシミール州、130.37°C)
- タッタパニ (チャティスガール州、112°C)
- チューマータン (ジャム・カシミール州、109°C)
- マニカラン及びカソル (ヒマチャルプラデシュ州、101°C)
- カンベイ (グジャラート州、100°C)
- タポバン (ウッタラカンド州、94°C)
- ベダ (ウッタラカンド州、94°C)
- ヤムノトリ (ウッタラカンド州、90°C)
- カナカル (ウッタラカンド州、81°C)

また、60~80°C の温度が確認されている地点の中で、地化学温度計から 100°C 以上の貯留層が期待される地点は次の 17 地点である。

- ジョティ (ウッタラカンド州、65°C、地化学温度 240°C 前後)
- ガリ (ウッタラカンド州、61°C、地化学温度 210°C 前後)
- チャングルング (ジャム・カシミール州、66°C、地化学温度 200°C 前後)
- ジュマ (ウッタラカンド州、62°C、地化学温度 190°C 前後)
- ガンナニ (ウッタラカンド州、61°C、地化学温度 180°C 前後)
- タッタパニ (ヒマチャルプラデシュ州、60°C、地化学温度 170°C 前後)
- シドゥー (ジャム・カシミール州、65°C、地化学温度 150°C 前後)
- ジェオリ (ヒマチャルプラデシュ州、60°C、地化学温度 140°C 前後)
- アグニグンダラ (アンドゥラプラデッシュ州、62°C、地化学温度 135°C 前後)
- タプリー (ヒマチャルプラデシュ州、73°C、地化学温度 135°C 前後)
- バラティ (ウッタラカンド州、68°C、地化学温度 130°C 前後)
- アグニクンド (西ベンガル州、66.5°C、地化学温度 125°C 前後)
- キーラオ (ウッタラカンド州、60°C、地化学温度 125°C 前後)
- カラパニ (ウッタラカンド州、62°C、地化学温度 110°C 前後)
- ダル (ウッタラカンド州、79°C、地化学温度 110°C 前後)
- トウルシシャーム (グジャラート州、60°C、地化学温度 105°C 前後)
- タッタ (ジャールカンド州、65.5°C、地化学温度 105°C 前後)

これら 26 地点のうち、地化学温度計から 200°C 以上の貯留層が期待されるプガ(240°C 前後)、

チューマータン (210°C 前後)、ベダ (210°C 前後)、ジョティ (240°C 前後) 及びガリ (210°C 前後) ではフラッシュ型地熱発電適用の可能性もある。残る 21 地点については、地化学温度計から 200°C を超える温度は得られなかったことから、バイナリーシステムによる発電となる可能性が高い。

上述した 26 地点の現時点における調査段階を既存資料により判断すれば、資源評価段階 (フェーズ 3) ないしは精査段階 (フェーズ 2) にあると考えられる地点は、プガ、チューマータン、タッタパニ (チャティスガール州) 及びタポバンの 4 地点である。また、精査段階 (フェーズ 2) にあると考えられる地点は、マニカラン及びカソルとカンベイであり、他の 20 地点は広域調査段階 (フェーズ 1) と考えられる。確認されている温度及び推定される貯留層温度とともに現時点における調査段階を考慮して、26 地点の順位付けした結果を第 IV-9 表に示す。なお、NGRI が MNRE の支援により、チャティスガール州、ヒマチャルプラデシュ州、ジャールカンド州及びウッタルカンド州で MT 調査を実施しているが、その詳細資料は入手されなかったため、この MT 調査結果は考慮していない。

第 IV-9 表 インドにおける地熱発電開発候補地点一覧

地熱候補地名	州名	現在の調査段階	確認されている最高温度 (°C)	アルカリ比温度計から推定される貯留層温度 (°C)	備 考	
ブガ	ジャム・カシミール	資源評価ないし精査段階	130.37	213 - 246		
チューマータン	ジャム・カシミール		108		180 - 213	
タッタバニ	チャティスガール		112		146 - 166	
タボバン	ウッタラカンド		94		溶存成分濃度が低くアルカリ比温度計精度低い	
マニカラン、カソル	ヒマチャルプラデシュ	精査段階	101	100 - 112	溶存成分濃度が比較的低い=アルカリ比温度計精度やや低い 復方流熱源温度分布	
カンベイ	グジャラート		100			温度以外の影響が強い
ベダ	ウッタラカンド	広域調査段階	94	209	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
ヤムノトリ	ウッタラカンド		90	119	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
カナカル	ウッタラカンド		81	溶存成分濃度が低くアルカリ比温度計精度低い	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
ジョティ	ウッタラカンド		65	221	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
ガリ	ウッタラカンド		61	207	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
チャングルング	ジャム・カシミール		66	199	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
ジュマ	ウッタラカンド		62	194	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
ガンナニ	ウッタラカンド		61	180	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
タッタバニ	ヒマチャルプラデシュ		61	158 - 175	高濃度=岩石中塩類の影響 アルカリ比温度計適用妥当性要検討	
シドゥー	ジャム・カシミール		65	150	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
ジェオリ	ヒマチャルプラデシュ		60	138	高濃度=岩石中塩類の影響 アルカリ比温度計適用妥当性要検討、分析値1試料	
アグニグンダラ	アンドラプラデシュ		62	80°C未満、 60°C以上	137	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる
タブリ	ヒマチャルプラデシュ		73	136	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
バラティ	ウッタラカンド		68	130	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
アグニクンド	西ベンガル		66.5	127	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
キーラオ	ウッタラカンド		60	125	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる 溶存成分濃度が低い=アルカリ比温度計精度低い	
カラバニ	ウッタラカンド		62	110	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
ダル	ウッタラカンド		79	109	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
トウルシヤーム	グジャラート		60	106	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる	
タッタ	ジャールカンド	65.5	103	分析値1試料のみであり、確認調査などが望まれる		

200°C以上の温度が期待される地点  
100~200°Cの温度が期待される地点

(2) 地熱発電開発候補地点における今後必要となる地熱調査

資源利用評価段階 (フェーズ3) ないし精査段階 (フェーズ2) にあると考えられる地点

ブガ (ジャム・カシミール州)

ブガでは地表調査が実施されており、深度が 28.5m から 384.7m の坑井も掘削されている (最高温度 130.37°C)。アルカリ比温度からは、240°C 前後の貯留層温度が予想される。したがって、この地点における地熱発電開発計画はフラッシュ型地熱発電適用を念頭に置いた開発計画になると考えられる。地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と考えられる。

- 既往調査レビュー及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討 4ヶ月程度
- 調査井掘削 (3坑井と想定) 及び噴出試験・資源量評価 25ヶ月程度
- フィジビリティ調査 4ヶ月程度

なお、既往調査結果のみでは調査井掘削ターゲット選定が困難と判断された場合には、補足調査が必要となる。

#### チューマータン（ジャム・カシミール州）

チューマータンでは地表調査が実施されており、深度が 20m から 221m の坑井が掘削されている（噴出熱水の最高温度は 109°C）。計算されたアルカリ比温度からは、210°C 前後の貯留層温度が予想される。したがって、この地点における地熱発電開発計画はフラッシュ型地熱発電適用を念頭に置いた開発計画になると考えられる。地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と考えられる。

既往調査レビュー及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

なお、既往調査結果のみでは調査井掘削ターゲット選定が困難と判断された場合には、補足調査が必要となる。

#### タッタパニ（チャティスガル州）

タッタパニでは地表調査が実施されており、掘削された坑井の深度 480m 付近で 112°C が記録されている。ただし、計算されたアルカリ比温度は 160°C 前後であり、バイナリーシステムによる発電となる可能性が高い。地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と考えられる。

既往調査レビュー及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

なお、既往調査結果のみでは調査井掘削ターゲット選定が困難と判断された場合には、補足調査が必要となる。

#### タポバン（ウッタラカンド州）

タポバン地点については次章で述べるため、ここでは省略する。

#### 精査段階（フェーズ2）にあると考えられる地点

##### マニカラン及びカソル（ヒマチャルプラデシュ州）

マニカラン及びカソルでは地表調査が実施されており、マニカランで掘削された坑井の深度 40m 付近で 101°C の温度が記録されている。温泉水の溶存陽イオン濃度は全体的に低いことから、計算されたアルカリ比温度の精度はやや低いと考えられるが、少なくとも 110°C 前後の貯留層存在の可能性はある。想定される温度から判断すれば、バイナリーシステムによる発電となる可能性が高い。なお、掘削された坑井の大部分は側方流動型の温度分布を示すことから、熱水の供給源は既存坑井掘削地点から離れた場所に存在すると考えられる。したがって、熱水の供給源を把握するための補足調査が必要になると考えられ、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー・補足調査、調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	8ヶ月程度
-----------------------------------	-------

調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

## カンベイ（グジャラート州）

カンベイで掘削された坑井からの熱水温度は100°Cと沸騰温度に達している。高い塩分濃度は海水の影響と推定されるが、沸騰による濃縮の影響も考えられる。既存データから地下の貯留層温度を推定するのは困難である。熱水の塩濃度が高いことから、この地点における地熱発電開発にあたっては、スケール問題や配管の腐食問題などを検討する必要がでてくると想定される。地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー・補足調査、調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	8ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	27ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

広域調査段階（フェーズ1）にあると考えられる地点

## ベダ（ウッタラカンド州）

ベダでは94°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは210°C前後の貯留層温度が予想される。したがって、フラッシュ型地熱発電が適用される可能性もある。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証するするとともに地熱異常域の広がり把握する必要がある。すなわち、広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断される。地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

## ヤムノトリ（ウッタラカンド州）

ヤムノトリでは90°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは120°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証するするとともに地熱異常域の広がり把握する必要がある。すなわち、広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断される。地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

## カナカル（ウッタラカンド州）

カナカルでは81°Cの温度が報告されている。温泉水に溶存する成分の濃度が低いことから、計算されたアルカリ比温度にはかなりの誤差が含まれていると考えられる。また、化学

組成が記載されているのは1試料のみであることから、現時点では貯留層温度を推定するのは困難である。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が今後必要と判断される。地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### ジョティ（ウッタラカンド州）

ジョティでは65°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは240°C前後の貯留層温度が予想される。したがって、フラッシュ型地熱発電が適用される可能性もある。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### ガリ（ウッタラカンド州）

ガリでは61°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは210°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであり、泉温がそれほど高くないことから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### チャングルング（ジャム・カシミール州）

チャングルングでは66°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは200°C前後の貯留層温度が予想される。したがって、フラッシュ型地熱発電が適用される可能性もある。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度

フィジビリティ調査 4ヶ月程度

#### ジュマ（ウッタラカンド州）

ジュマでは62°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは190°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### ガンナニ（ウッタラカンド州）

ガンナニでは61°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは180°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### タッタパニ（ヒマチャルプラデシュ州）

タッタパニでは60°C前後の温度が報告されている。計算されたアルカリ比温度からは、170°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、熱水中の溶存成分濃度は温度だけではなく、地層中に含まれる岩塩などの塩類の影響が想定される。したがって、アルカリ比温度計適用の妥当性を今後検討する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。なお、温泉水の塩濃度が比較的高いことから、この地点における地熱発電開発にあたっては、スケール問題や配管の腐食問題などを検討する必要があると予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	27ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### シドゥー（ジャム・カシミール州）

シドゥーでは65°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは150°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分



析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### ジェオリ（ヒマチャルプラデシュ州）

ジェオリでは60°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは140°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、熱水中の溶存成分濃度は温度だけではなく、地層中に含まれる岩塩などの塩類の影響が想定される。さらに、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やしてアルカリ比温度計適用の妥当性ととも推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。なお、温泉水の塩濃度が比較的高いことから、この地点における地熱発電開発にあたっては、スケール問題や配管の腐食問題などを検討する必要があると予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	27ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### アグニグンダラ（アンドゥラブラデッシュ州）

アグニグンダラでは62°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは130°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### タプリー（ヒマチャルプラデシュ州）

タプリーでは73°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは135°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。なお、温泉水の塩濃度が比較的高いことから、この地点における地熱発電開発にあたっては、スケール問題や配管の腐食問題などを検討する必要があると予

想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	27ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### バラティ（ウッタラカンド州）

バラティでは68°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは130°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### アグニクンド（西ベンガル州）

アグニクンドでは66.5°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは125°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### キーラオ（ウッタラカンド州）

キーラオでは60°Cの温度が報告されており、アルカリ比温度からは125°C前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは1試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6ヶ月程度
精査（MT調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4ヶ月程度
調査井掘削（3坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25ヶ月程度
フィジビリティ調査	4ヶ月程度

#### カラパニ（ウッタラカンド州）

カラパニでは 62°C の温度が報告されており、アルカリ比温度からは 110°C 前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは 1 試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ 1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6 ヶ月程度
精査（MT 調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4 ヶ月程度
調査井掘削（3 坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25 ヶ月程度
フィジビリティ調査	4 ヶ月程度

#### ダル（ウッタラカンド州）

ダルでは 79°C の温度が報告されており、アルカリ比温度からは 110°C 前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは 1 試料のみであること及び泉温がそれほど高くないことから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ 1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6 ヶ月程度
精査（MT 調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4 ヶ月程度
調査井掘削（3 坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25 ヶ月程度
フィジビリティ調査	4 ヶ月程度

#### トゥルシシャーム（グジャラート州）

トゥルシシャームでは 60°C の温度が報告されており、アルカリ比温度からは 105°C 前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは 1 試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ 1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6 ヶ月程度
精査（MT 調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4 ヶ月程度
調査井掘削（3 坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25 ヶ月程度
フィジビリティ調査	4 ヶ月程度

#### タッタ（ジャールカンド州）

ジャールカンド州のタッタでは 61 から 65.5°C の温度が報告されており、アルカリ比温度からは 105°C 前後の貯留層温度が予想される。ただし、化学組成が記載されているのは 1 試料のみであることから、分析試料数を増やして推定された貯留層温度の妥当性を検証する必要がある。広域調査段階（フェーズ 1）からの調査が必要と判断され、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と予想される。

既往調査レビュー、広域調査（補足地質・地化学調査）、有望範囲抽出	6 ヶ月程度
精査（MT 調査）及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討	4 ヶ月程度

調査井掘削（3 坑井と想定）及び噴出試験・資源量評価	25 ヶ月程度
フィジビリティ調査	4 ヶ月程度

#### IV-2 地熱発電開発に関わるインドの機関・企業

##### (1) MT 探査等物理探査を実施可能な機関・企業

MT 探査実施が可能なのはほぼ国の研究機関（NGRI、GSI など）に限られる。NGRI は、METRONIX 社（ドイツ）製の MT 探査データ取得システムを 3 セット有している。IIT Bombay (Indian Institute of Technology Bombay) でも 1 セット（METRONIX 製）所有しているが、保有数量が不十分である。

##### (2) 地熱井掘削可能な機関・企業

インド国内には、地熱井掘削実績（温泉井は除く）のある掘削業者は存在しない。しかしながら、石油及び天然ガスの大規模開発が行われていることから、地熱井掘削に利用可能な大型の掘削設備を有する会社は多数存在する。それらの中から、IADC (International Association of Drilling Contractors, <http://www.iadc.org/>) のウェブサイトおよび現地情報に基づき調査したところ、以下の掘削業者が掘削能力を有すると判断された。実際の入札業務に当たっては、掘削設備の保有状況・アベイラビリティ等の詳細な調査が必要である。

- Shiv-Vani Universal, Ltd. <http://www.shiv-vani.co.in/>
- John Energy Limited. <http://www.johnenergy.com/>
- Essar Oilfield Services India, Ltd. <http://www.essar.com>
- Oil & Natural Gas Corporation Limited. <http://www.ongcindia.com/>

##### (3) 坑井試験・噴出試験等に関わる機関・企業

NGRI や GSI は分析部門を有している。また、IIT Bombay における化学分析も可能である。その場合、Department of Earth Sciences が窓口となる。なお、インドでは本格的な地熱井掘削の実績がほとんどなく、これに伴う坑井試験や噴出試験の実績もない。作業自体は石油や天然ガス開発でも類似した作業が行われているが、そのままでは地熱開発に適用できないため、地熱開発経験者による技術的支援が必要と考えられる。

## 第 V 章

## V タポバン地点

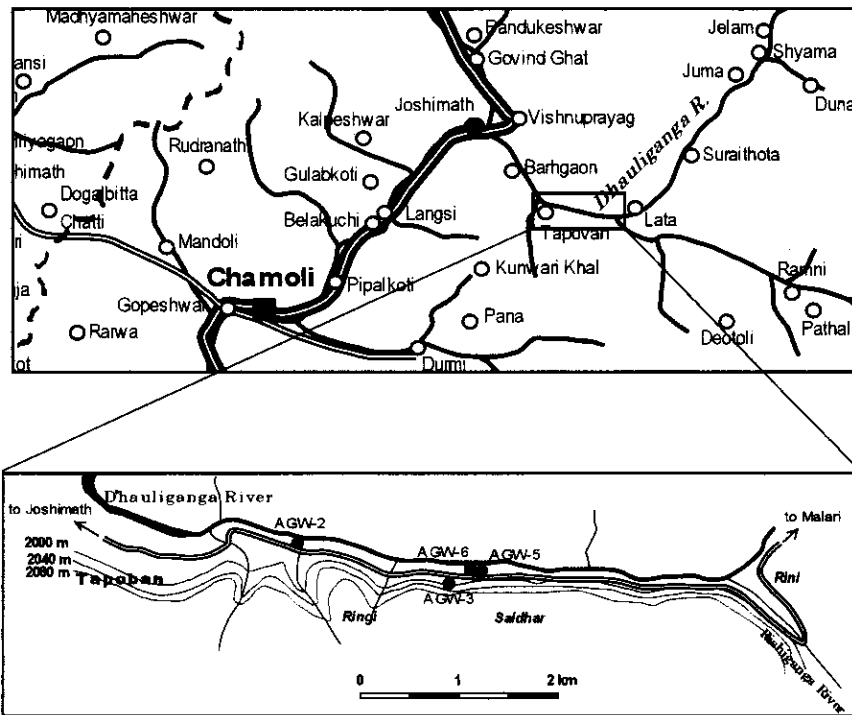
### V-1 過去の調査のレビュー

#### V-1-1 過去の調査の概要

タポバン地点では、1970年代から1990年代にインド地質調査所が地熱探査を実施している。実施された調査は、地質調査、地化学調査、物理探査、温度測定孔調査および浅部調査孔掘削である。この地点で掘削された浅部調査孔はAGW-2、AGW-3、AGW-5およびAGW-6の4本である。第V-1図に坑井位置を示す。AGW-2は掘削深度291mである。深度79m掘削後に熱水が自噴した。噴出熱水の温度は80°C、噴出流量は当初6,65l/min、15年後には300l/minから400l/minの流量が確認された。AGW-3の掘削深度は431mである。深度350m掘削後に熱水が自噴した。噴出熱水の温度は90°C、噴出流量は当初800l/minであった。しかし、熱水噴出にともない、坑口周辺に熱水からの析出物が堆積したため、噴出流量は300~400l/min程度に減少した。本調査での現地を調査した時点(2012年4月)でも熱水の噴出は継続していた。AGW-5の掘削深度は412.5mである。深度350m掘削後に熱水が自噴した。噴出熱水の温度は92°Cである。本坑井については、深度900mまでの掘削が当初計画されていた。しかし、掘削上の問題により、深度412.5mで掘り止められた。AGW-6の掘削深度は728.1mである。深度510m掘削後に熱水が自噴した。深度728.1m掘削後の噴出熱水の温度は68.5°C、噴出流量は950l/minである(Sharma et al., 1995, GSI 2002)。これらの調査結果に基づき、タポバン地点における熱水の多目的利用(温室利用、地域暖房など)の構想がインド地質調査所の研究者により提案されたこともあるが(S. C. Sharma and A. B. Dhaulakhundi, 1995)、現在のところ開発には至っていない。

タポバン地点周辺では、インド火力発電公社(NTPC)による2つの水力発電所建設プロジェクトが進行中である。すなわち、タポバン地点下流側のTapovan Vishnugad水力プロジェクトと上流側のLata-Tapovan水力プロジェクトである。この水力プロジェクトに関連した地質調査および物理探査がタポバンの地熱徴候地を含む地域で実施されている。

SNC及びJETROが2010年に実施した調査では、それまでの調査結果のレビューとともに現地調査が行われ、タポバン地点の地熱資源評価及び地熱資源開発策定がされた。その結果は、「インド・ウツタルカンド州における地熱発電開発計画調査報告書(経済産業省委託新日本有限責任監査法人・独立行政法人日本貿易振興機構、平成22年3月)」として取りまとめられた(以下ではSNC及びJETRO(2010)と略記する)。以下、SNC及びJETRO(2010)の調査結果を集約する。



(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

第 V-1 図 タポバン地点の位置および地熱調査井掘削位置

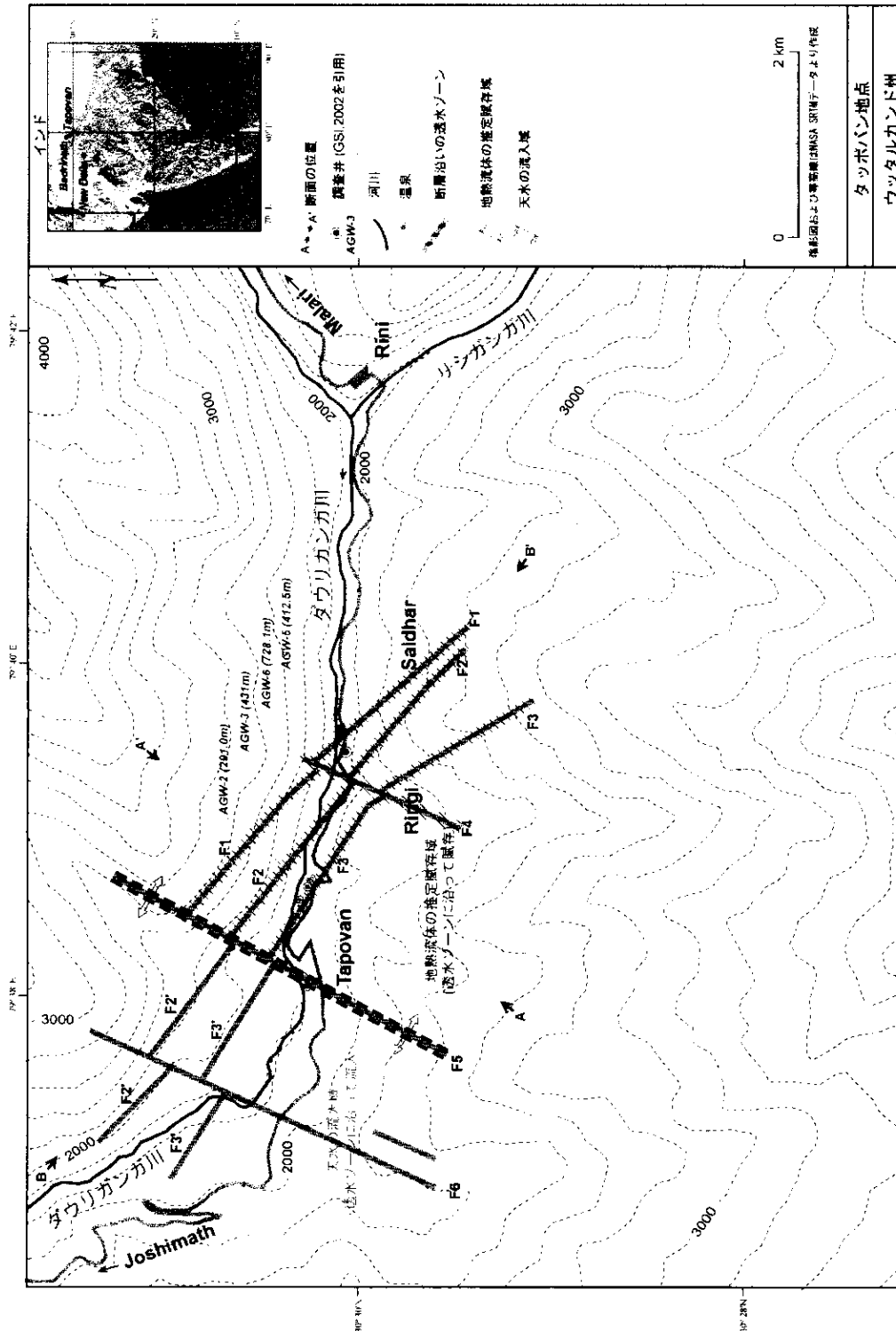
### V-1-2 タポバン地点の地熱資源

SNC 及び JETRO (2010) に示されるタポバン地点の地熱系概念モデルは次のとおりである(第 V-2 図および第 V-3 図参照)。タポバン地点では、透水ゾーン F5 よりも東側で河川の南側に、F1~F4 の透水ゾーンに沿って、100°C 程度の熱水が貯留されていると考えられる。ここでは地表から深度 200m 付近までは粘土化された難透水層が発達している可能性がある。地熱系の熱源は、第三紀ないし第四紀に貫入した花崗岩からの伝導熱と考えられる。その位置は明確ではないが本地点の南部もしくは西部の地下深部に存在する可能性がある。

熱水は、タポバン地点の南もしくは西に位置する標高の高い地点で地下に浸透した天水を主要な起源としている。地下に浸透した天水は花崗岩からの伝導熱により加熱され、この地点付近において、主に F1~F4 の透水ゾーンに沿って、粘土化変質による難透水層(帽岩)の下位に、主に珪岩内に貯留されている。温泉水や AGW-3 の噴出熱水の地化学温度から、地表に温泉水を湧出させている温泉帯水層の温度は 100°C 程度と推定される。温泉水や AGW-3 の噴出熱水の化学成分に基づくと、これらの熱水は珪岩中のみを流動してきたと考えられる。第 V-3 図に示すとおり、珪岩中に挟まれている結晶片岩および片麻岩よりも深部に地熱流体が賦存されている可能性はある。その熱水の温度は確認されていないが、本地点の地温勾配から推定すると、深度約 2,000m で 160°C を越える可能性はある。

一般的には、熱水や噴気ガスの地化学分析により、地下深部の温度推定が可能な場合も多い。

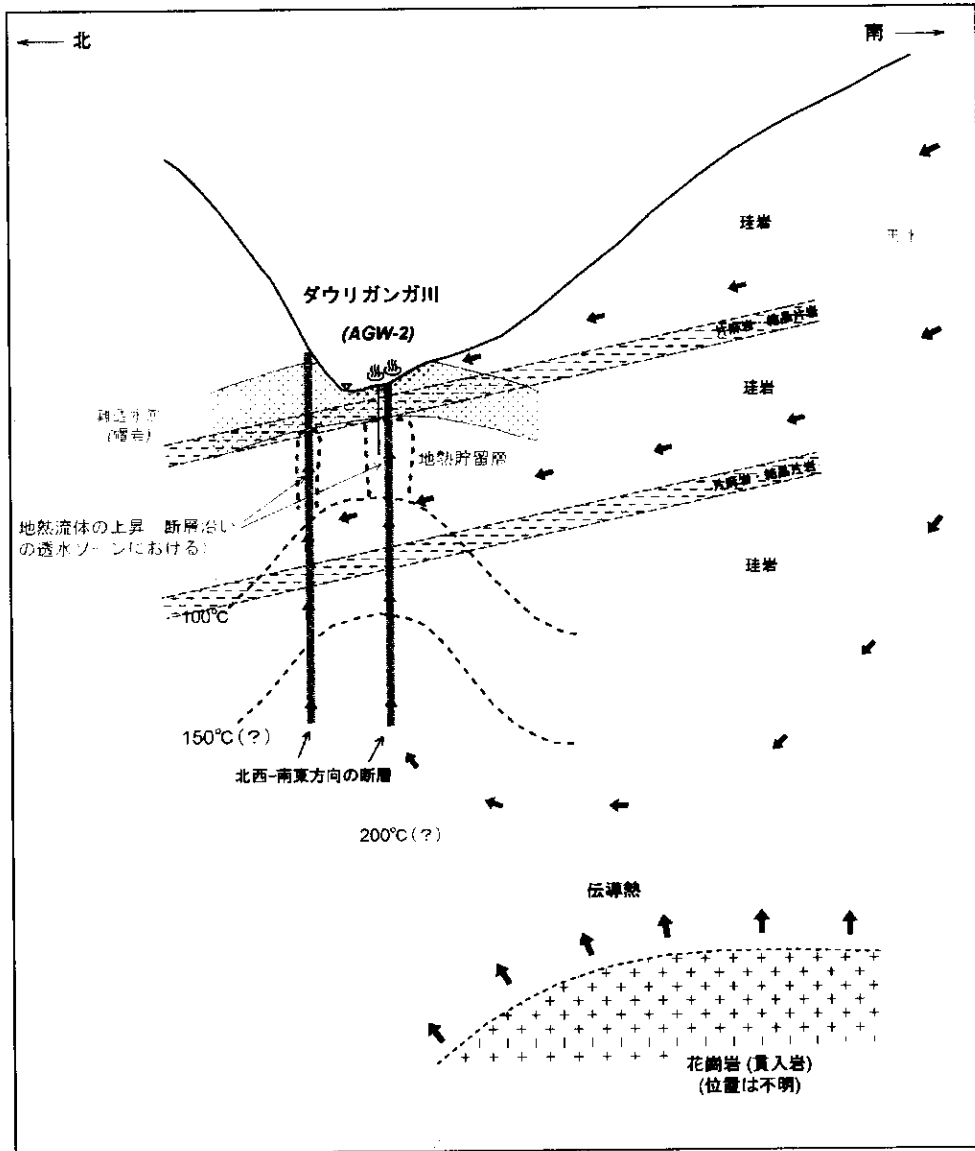
しかし、この地点では、熱水に含まれる化学成分の濃度が全体的に低く、化学組成に基づく地下深部の温度推定が困難である。深部の高温については、坑井掘削などにより確認する必要がある。



(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

第 V-2 図 透水ゾーン、地熱活動及び天水の流入域の分布

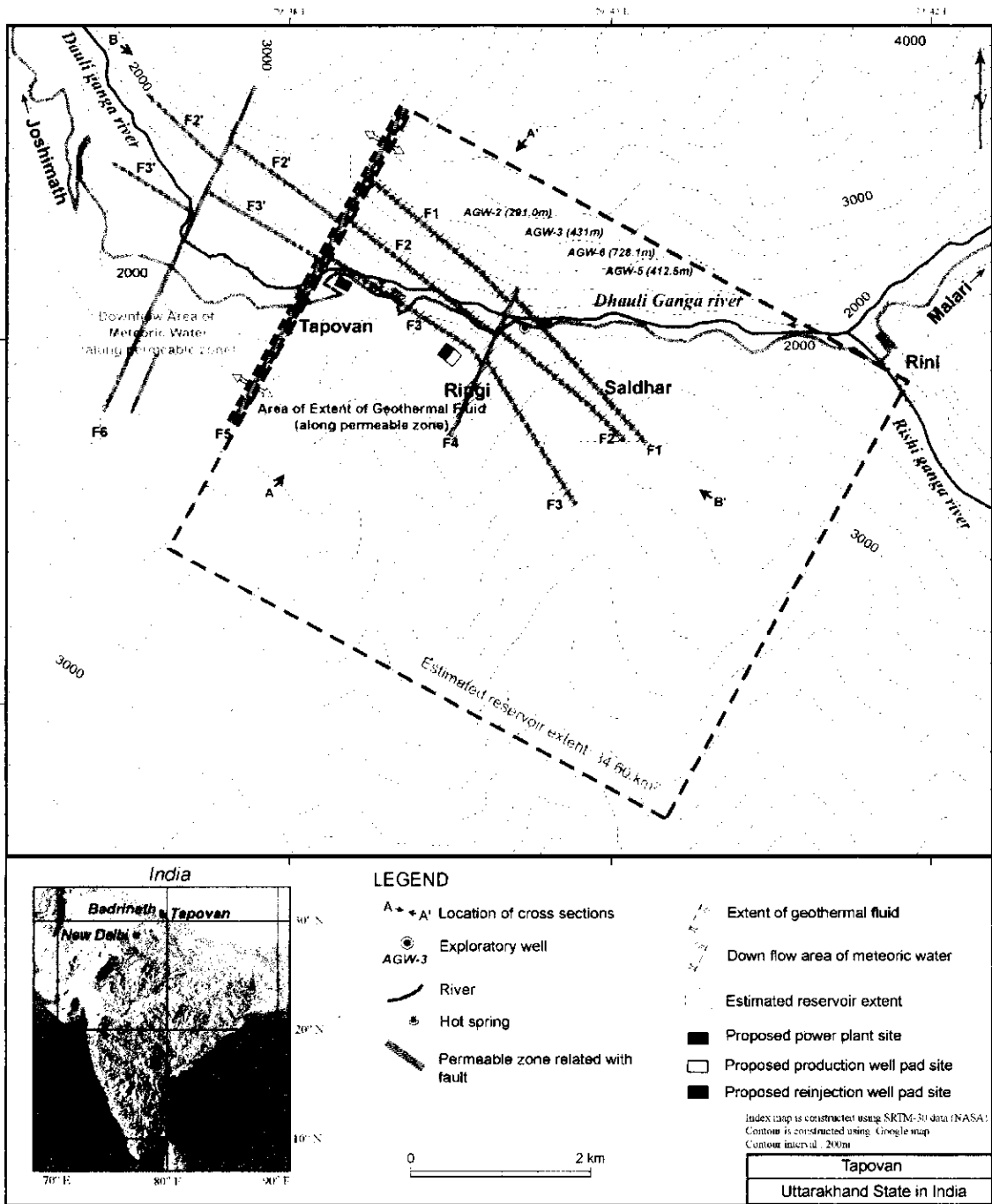




(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

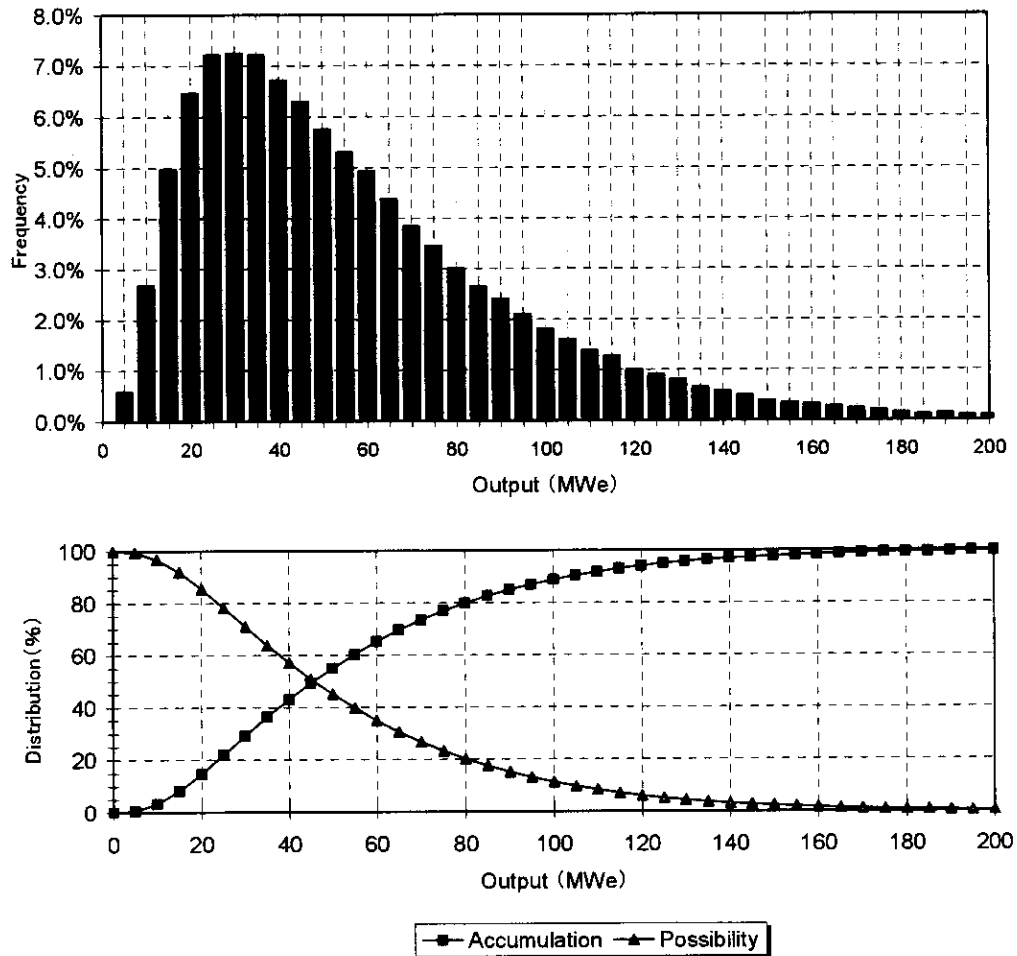
第 V-3 図 南北断面での地熱系概念モデル図

SNC 及び JETRO (2010) ではタポバン地点の地熱資源について、モンテカルロ解析手法を適用した容積法によりおおよその地熱資源ポテンシャルが見積もられた。その結果、地熱ポテンシャルは、確率 80% のレベルで 23.7MWe 以上のポテンシャルと概算された (第 V-4 図及び第 V-5 図参照)。



(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

第 V-4 図 地熱貯留層の範囲



(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

第 V-5 図 モンテカルロ解析を適用した容積法による地熱資源量計算結果

### V-1-3 タポバン地点の地熱発電開発プロジェクトの内容

SNC 及び JETRO (2010) で策定されたタポバン地点の地熱発電開発プロジェクトの内容は以下のとおりである。なお、ここで策定されたプロジェクト内容は、今後実施される地熱調査井掘削を含む地熱資源精密探査の結果に基づき見直される必要がある。今回の調査により、SNC 及び JETRO (2010) で策定されたプロジェクトの内容の一部見直しの必要が生じたが、それらについては第 V-2 節以降に記述する。

当該地点の地形は極めて急峻であり、敷地が確保できる場所は地形的にほぼ限定される。敷地造成が比較的容易と判断される場所の面積などを考慮すれば、掘削可能な坑井本数は 10 本程度と見込まれた。生産井 5 本、還元井 5 本と想定し、生産井 1 本あたりの出力を 2MWe 程度と想定すれば、出力規模は 10MWe 程度となることから、当面は 10MWe の地熱発電開発を目指すのが妥当とされた。

タポバン地点に賦存されている地熱資源は 100~200°C 程度の中温熱水と考えられ、バイナリー発電の適用が推奨された。SNC 及び JETRO (2010) で想定されたプロジェクトの概要は以下のとおりである。

### <地熱資源開発>

- ▶ 発電所・生産井基地および還元井基地の敷地造成
- ▶ アクセス道路の建設
- ▶ 生産井および還元井の掘削

### <地熱流体輸送設備建設>

### <バイナリー方式 10MW 地熱発電所建設>

#### (1) 地熱資源開発計画

##### a. 発電所および坑井掘削基地の敷地造成

現地は急峻な谷地形となっており、平坦地は少ない。このため、発電所敷地および掘削基地の候補地点としては、次の2地点が提案された。1つの候補地点は、AGW-3号井から約1km西に位置するダウリガンガ川左岸の比較的平坦な丘陵地である。当該地点は既設道路より150m程度標高が高く、近隣に民家や小学校がある。地熱開発の規模によっては、これらの移転等の検討が必要となる可能性もある。残る候補地点は、第1候補地点から北西へ約1.5kmの地点であり、標高的には第1候補地点よりも低い。ただし、第2候補地点は軍事施設があるため利用不可能であることが今回の調査で判明した。

敷地面積がそれぞれ約7,000m<sup>2</sup>の生産井掘削基地と還元井基地および敷地面積約12,000m<sup>2</sup>の発電所敷地の敷地造成を行う。なお、詳細な地形測量や表層土質等の調査を行った後に敷地造成の詳細設計を行う必要がある。

##### b. アクセス道路の建設

ウッタルカンド州の州都デラドゥン市では、地熱開発で実施する土木工事等に必要となる建設資機材の調達が可能である。デラドゥン市からタポバン地点までの距離は約300kmであり、国道58線を通る陸路でのアクセスが可能である。

発電所敷地近傍の既設道路から発電所敷地までは、掘削機材搬入や発電機器搬入のための道路建設が必要である。なお、後述するようにアクセス道路のルートについては今回の調査で見直した。なお、詳細な地形測量や表層土質等の調査を行った後の詳細設計が必要である。

坑井掘削および発電設備は、当開発地点まで陸路での輸送が可能であると考えられる。なお、地熱開発開始時には、事前に港からの既設道路について、路盤強度・幅員・橋梁等の詳細な調査を実施するべきである。

掘削工事や発電所運用に必要な工事用水は、ダウリガンガ川から取水が可能と考えられ、給水配管をアクセス道路沿いに敷地まで敷設する。

##### c. 生産井および還元井の掘削

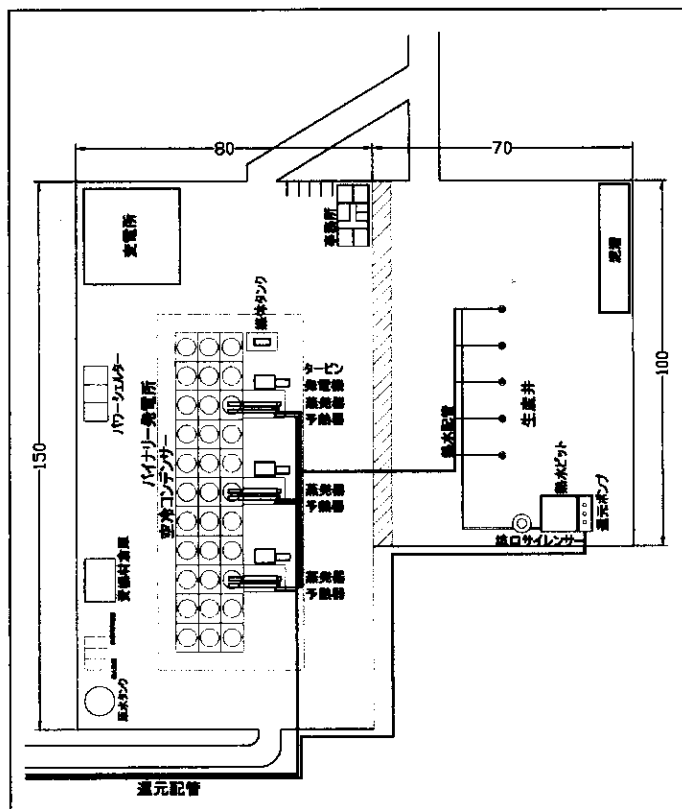
生産井および還元井の掘削で使用する掘削設備は、掘削深度が1,000m～1,500m程度であることを考慮し、800～1,000馬力以上のものが推奨された。なお、掘削機材・材料の運搬調達等については、開発前に十分な調査を実施する必要がある。

生産井および還元井の掘削は、限られた坑井敷地から複数のターゲットを掘り抜くために、

傾斜掘削を行うことで計画された。

## (2) 地熱流体輸送設備計画

SNC 及び JETRO (2010) で計画された配管レイアウトを第 V-6 図に示す。生産配管は生産井から発電所まで設置し、還元配管は発電所から還元井まで設置する。



(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

第 V-6 図 地熱流体輸送設備レイアウト

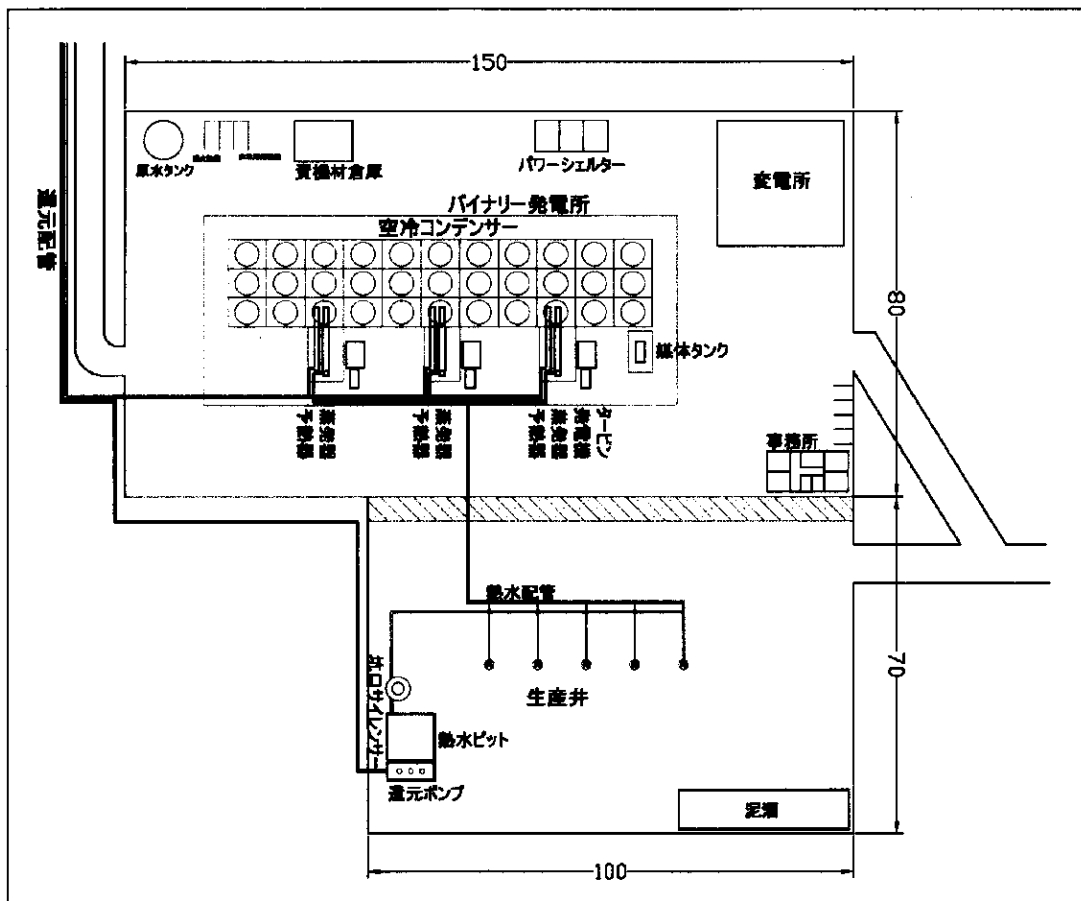
各生産井から地下貯留温度の熱水を地上に汲み上げるため、深井戸ポンプを設置する。深井戸ポンプにはラインシャフトポンプと水中ポンプの2種類あり、ポンプ設定深度、生産井のケーシング形状、ポンプの耐熱温度、費用等を考慮してポンプの種類を決定する必要がある。また、生産井基地に坑口サイレンサーと鉄筋コンクリート製の熱水ピットを設置し、生産井の噴出試験や発電所運転緊急時の発電系統外への熱水放出と一時貯水に対応する。熱水ピット横に還元ポンプを設置し、熱水ピットの熱水を還元井に圧送する。

## (3) 地熱発電設備計画

SNC 及び JETRO (2010) では、地下資源に関する検討結果から本地点では中温熱水が貯留されていると考えられ、地熱資源の温度を考慮すると本地点ではバイナリー発電の適用が推奨された。以下、SNC 及び JETRO (2010) に示される地熱発電設備計画を記述する。本設備計画についても、今後、調査井掘削結果に基づき更新される。

## a. 発電所レイアウト

一般的に地熱発電所の配置計画を行う際には、生産井基地からの地熱流体輸送管の位置・方向性、送電線の位置、風向（冷却塔の最適配置検討のため）を検討する必要がある。発電所敷地の中央には 3.5 MW×3 ユニットの空冷式バイナリー発電設備を設置することで計画された。発電所の周りには、変電所、パワーシェルター、原水タンク、事務所等の建屋を設置する。主変圧器は変電所区画内に配置する。なお、パワーシェルター等の電気設備が冷却ファンからの排気や腐食性の非凝縮性ガスやミストを含んだ排気による影響がないように空冷式凝縮器（空冷ファン）は変電所の風下側に配置する。第 V-7 図にバイナリー発電所のレイアウトを示す。



(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

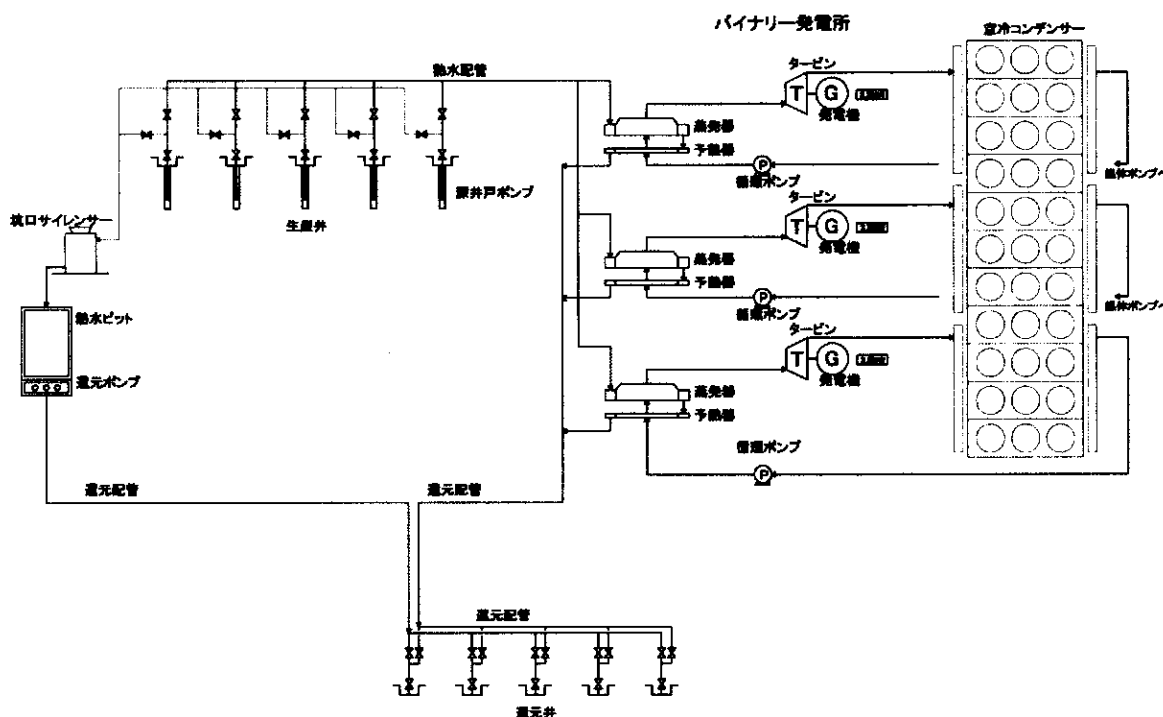
第 V-7 図 地熱流体輸送設備レイアウト

## b. 発電システムの概要

第 V-8 図にバイナリー発電所の発電システムを示す。SNC 及び JETRO (2010) では、5 本の生産井から深井戸ポンプを使用して合計 2,400t/h の熱水が生産されることが想定された。10.5MW バイナリー発電所は 3.5 MW×3 ユニットおよび補機設備で構成される。バイナリー発電には熱源のサイクルと作動媒体のサイクルがあり、熱源サイクルでは、生産井から深井戸ポンプを用いて生産される熱水がバイナリー発電設備の 2 種類の熱交換器（蒸発器、予熱器の順番）に導かれる。予熱器を通過した熱水は還元井まで輸送され地下に還元される。

作動媒体のサイクルでは、低沸点作動媒体が比較的高い圧力で熱交換器（予熱器、蒸発器の順番）に入る。熱交換器で加熱されて蒸気化した作動媒体はタービンに導かれる。タービンを通じた作動媒体は空冷式凝縮器で凝縮された後、媒体供給ポンプで熱交換器に再送される。

発電所の緊急時には、噴出熱水は坑口サイレンサーを通して熱水ピットに排出される。熱水ピットに貯水した熱水は還元ポンプにより還元井に圧送される。



(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

第 V-8 図 バイナリー発電系統図

c. 発電設備

地熱発電設備を設計するにあたっては、生産井の蒸気条件や気象データが必要である。しかし、本地点についてはこれらのデータが得られていない。このため、発電設備の概略仕様についてのみの検討された。

主要設備の仕様

タービン

- 型式 単気筒単流形、復水式
- 定格出力 3.5 MW
- ユニット数 3 ユニット
- 回転数 1,500 rpm

## 発電機

- 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
- 電圧 11kV
- 周波数 50Hz
- 力率 0.9 遅れ
- 励磁装置 ブラシレス励磁機

## 蒸発器

- 型式 シェルアンドチューブ型 1set/ ユニット
- 熱源 brine
- 蒸発器入口温度 150°C
- 流量 400 t/h/ ユニット

## 予熱器

- 型式 シェルアンドチューブ型 1set/ ユニット
- 予熱器出口温度 80°C
- 流量 400 t/h/ ユニット

## 媒体供給ポンプ

- 型式 多段遠心ポンプ 1 set/ ユニット

## 凝縮器

- 型式 機械通風型空冷冷却ファン、フィンチューブ  
1 set/ ユニット

バイナリー発電設備の作動媒体の冷却凝縮には水冷方式と空冷方式があり、その選定が重要である。空冷方式の場合、発電出力は昼夜および季節の気温に追従して変動し、冷却ファンの運転動力が発生する。一方、水冷方式は冷却ファンのような運転動力がかからないことから、発電出力（送電端）は水冷のほうが大きくなる。ただし、水冷方式を使用するには一定の冷却水を供給する必要がある。しかし、調査地点での取水可能量や取水規制等の情報がないことから、SNC 及び JETRO（2010）ではコスト高になるが空冷式の凝縮器を計画した。

作動媒体の選定

バイナリー発電の性能は作動媒体の選択によって左右される。作動媒体の選定に際しては以下の条件を考慮する必要がある。

- 熱力学特性が優れ、熱的に安定な物質であること
- 毒性がなく、プラント構成材料に対しても腐食性がないこと
- 安価で入手できること

バイナリー発電の作動媒体として過去にフロン系の冷媒が使用されていたが、最近では地熱の熱源に適するように選定された炭化水素系の媒体（プロパン、ブタン、ペンタン等）が使用されている。作動媒体として代表的なノルマルペンタンの一般性状を以下



に示す。

第 V-1 表 ノルマルペンタンの一般性状

分子式	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
分子量	72.151
融点 (1 atm.)	- 129.73 °C
沸点 (1 atm.)	36.06 °C
臨界温度	197.2 °C
臨界圧力	33.68bar
液体比重 (15.4 °C)	0.6309
ガス比重 (15.4 °C、 1 atm.)	2.6073
爆発限界	1.4～8.3vol%
引火点	40 °C

(出典: SNC 及び JETRO, 2010)

#### d. その他付属設備

##### 取水、貯水設備

発電所に原水タンクを設置し、ダウリガンガ川から取水した水を貯水する。

##### 消火設備

屋外消火設備として、水消火栓設備を発電所および建屋廻りに設置する。消火用水は原水タンクよりディーゼルおよび電動駆動の消火ポンプにより昇圧されて消火栓へ供給される。主変圧器、所内変圧器には水噴霧消火装置を設置する。屋内の消火設備として、ポータブル型の粉末消火器を発電所建屋に備える。

##### 空気圧縮機

バイナリー発電設備の空気駆動式弁の動力源として空気圧縮機を設置する。

##### 非常用発電機

発電所に非常用ディーゼル発電設備を設置し、発電設備の緊急停止時のバックアップ電源として備える。

##### 保守・点検設備

予備品、道工具等の保管する資機材倉庫および機器修理場所を設ける。

##### 空調装置

空調装置を設置し、電気・制御室、発電所事務所の空調を行う。

### 通信設備

給電指令所とバイナリー発電所等との連絡用として通信設備を設置する。

#### e. 資機材輸送

発電設備および送変電設備の資機材は、カルカッタ港での陸揚げすることで計画された。カルカッタ港からは陸送し、ウッタールプラデッシュ州のカンプル市およびウッタールカンド州のデラドゥン市を經由して調査地点のタポバン地点まで輸送する。

ただし、上述した地熱資源ポテンシャルの概算値には多くの未確定ファクターが含まれていること、生産井1本あたりの出力も確認された値ではないことから、今後の調査による検証・修正が必要とされた。すなわち、利用可能な地熱資源存在確認のための調査井をどこへ掘削するかを判断するには、依然としてデータが不十分であり、調査井掘削に先立つ精査段階の調査が必要とされ、精査段階の調査実施が提案された。

#### V-1-4 社会環境的側面

SNC 及び JETRO (2010) において示された、本プロジェクトの地熱発電開発において課題となる可能性がある環境規制は次のとおりである。すなわち、調査地域は急峻な溪谷に囲まれ、平地は少なく、タポバン村の居住地から離れたところに位置している。調査地域は、低木、草原、農地および岩地となっている。現在発電施設はないが、二つの水力発電プロジェクトが当時、実施中であった。調査地域における環境に影響をあたえるものは、実施中のプロジェクトからのものを除けば見受けられない。僅かな交通量から発生する排気ガスと騒音だけである。道路の修繕工事から粉塵が生じるが一時的なものである。調査地域において水質汚染源は認められない。

プロジェクトの特徴等を踏まえてプロジェクトが事業化される際に、環境社会配慮が適切に行われるために想定される調査項目が選定された。SNC 及び JETRO (2010) において抽出された今後の開発調査で必要な環境社会配慮項目を以下に示す。

##### ① 生物相

- ・ 地熱地域及び発電所関連施設周辺に生息・生育している生物の把握及び予測、評価
- ・ 地熱地域及び発電所関連施設周辺に重要な種の把握及び生息・生育環境の把握及び予測、評価
- ・ 地熱地域及び発電所関連施設周辺に生息・生育している希少生物の把握及び予測、評価

##### ② 地熱地域の生態系の現状把握及び予測、評価

##### ③ 地熱地域及び関連施設周辺における H<sub>2</sub>S 濃度の把握及び予測、評価

##### ④ 地熱地域及び関連施設周辺における騒音の把握及び予測、評価

##### ⑤ 地熱地域及び関連施設周辺に存在する河川の水質調査及び予測、評価

##### ⑥ 地熱地域及び周辺の河川流量及び地下水位の把握及び予測、評価

## ⑦ プロジェクト実施による周辺住民の生活、生計の影響の予測、評価

## V-1-5 MT 探査結果

NGRI から提供された報告書“MAGNETOTELLURIC INVESTIGATION IN GEOTHERMAL FIELDS OF TAPOVAN UTTARAKHAND, INDIA”（以下では、NGRI (2008) と略記する）によれば、タポバン地点及びその周辺の 25 測点で MT 探査が実施されており、3 断面 (Profile-1, Profile-2 および Profile-3) の 2 次元比抵抗構造解析が行われている。これらの解析断面のうち、Profile-3 がタポバン地点で抽出された有望地区を通っている。第 V-9 図に示すように、Profile-3 沿いの測点 T04、T02 及び T03 周辺の地表では熱水変質帯が確認されている。また、約 94 °C の熱水が湧出している AGW-3 坑井 (掘削深度 431m) や約 80 °C の熱水が湧出する AGW-2 (掘削深度 291m) も測点 T04 と T02 の間に掘削されている。

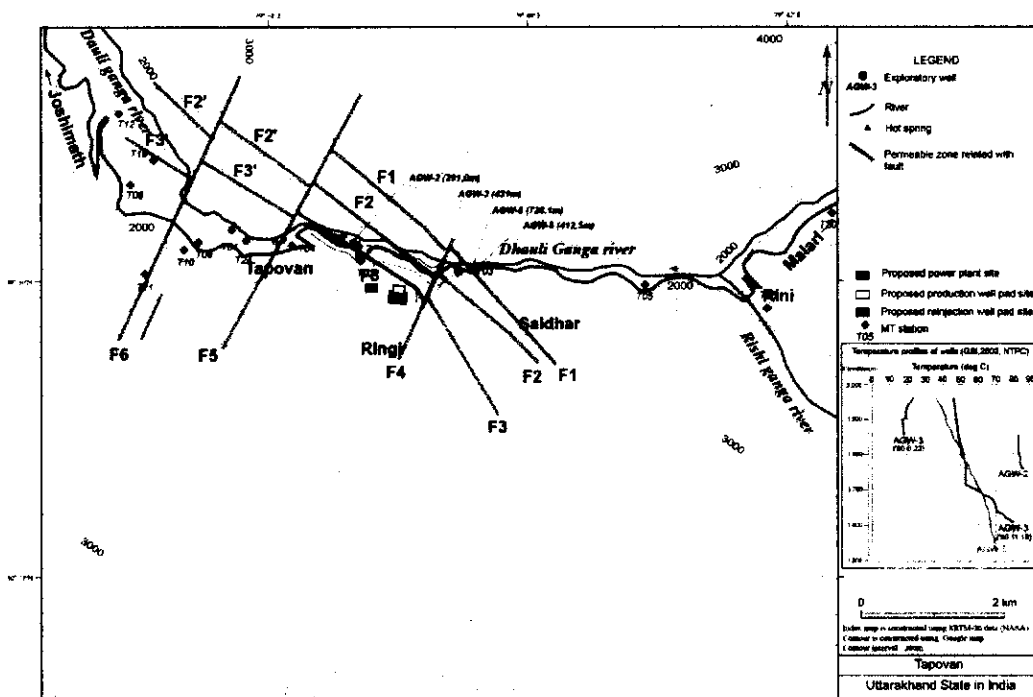
NGRI (2008) の報告書に示される Profile-3 では、西側の測点 T11 から T10 周辺及び東側の測点 T05 から T20 周辺の地表付近に、比抵抗値が 500ohm-m を超える高比抵抗領域が広がっている。一方、測点 T04 と T02 の間では、比抵抗値が 30~60ohm-m 程度と比較的低い領域が地表近くに広がっている。この比抵抗値が比較的低い領域は、測点 T05 から T20 周辺の地表付近で認められる高比抵抗領域の下側に潜り込むような形状で広がっている。

一般的な地熱地帯においては、熱水変質帯に対応する低比抵抗領域は 10ohm-m 以下の低い比抵抗値を示す。しかし、タポバン地点ではそのような低比抵抗領域は認められず、比較的低い比抵抗値を示す領域の比抵抗値は 30~60ohm-m 程度である。タポバン地点では先カンブリア紀の変成岩が分布しており、岩石自体が水を通しにくいと考えられる。すなわち、熱水通路近傍の岩石は熱水により変質されるが、熱水は岩石中にほとんどしみこまないため、比較的広範囲にわたる熱水変質作用が行われないうちに 10ohm-m 以下の低比抵抗異常が検出されていない可能性がある。したがって、地表付近に認められる 30~60ohm-m 程度の相対的な低比抵抗領域は、一般的な地熱系で認められるような低比抵抗異常ではないものの、地下における熱水活動の影響を反映している可能性がある。ただし、タポバン地点でこれまでに掘削された坑井の温度測定データ、噴出流体や地表に湧出する温泉水に基づく推定地下温度などを考慮すると、本地点では火山地帯に認められるような高温の地熱系が発達する可能性は低い。なお、測点 T20 及び T25 周辺域の深部 (4km 以深) に低比抵抗領域が認められる。しかし、実測値 (Observed Resistivity) を見ると、東西方向 (TM モード) の見掛比抵抗断面の低周波数 (深部情報を反映する) からは低比抵抗示徴が認められるものの、南北方向 (TE モード) の見掛比抵抗断面では低比抵抗示徴が認められない。したがって、偽像 (実際には存在しない異常域、2 次元比抵抗構造解析ではしばしばこのような偽像が認められる) である可能性が高い。

標高 0m 付近以深に広がる 1,000ohm-m 以上を示す高比抵抗域は亀裂に乏しい地層を反映していると考えられる。この高比抵抗域の上面深度は解析断面中央部から東に向かって深度を増している。この高比抵抗域上面はスラスト (衝上断層、低角度で傾斜している断層) 面に対応している可能性も考えられる。

NGRI (2008) の報告書内の解析には 2 次元比抵抗構造解析が用いられているが、最新解析技術である 3 次元比抵抗構造解析と比較すると、特に深部における解析精度が劣る場合がある。

この3次元比抵抗構造解析を精度良く実施するためには、線状ではなく平面的に測点を配置する必要があるが、タポバン地点においては、地形的な制約のため測点を平面的に配置することは難しい状況である。



(出典: SNC 及び JETRO, 2010 を改変)

第 V-9 図 MT 探査測点位置および坑井位置図

## V-2 タポバン地点の現状

### V-2-1 プロジェクトの進捗状況と許認可手続きの現状

II-4 節で述べたとおり、インド政府は現在、民間による地熱開発をサポートするためのガイドラインを準備している。また地熱開発事業に必要なすべての許認可の取得を一つの窓口を通じて行えるよう、さらに地熱開発への資金面での支援についても検討している。ガイドラインは MNRE により作成され、現在ドラフト段階であるが、将来的には同国の地熱開発はこのガイドラインの下に進められると考えられる。しかしながら、本ガイドライン発効前については、必要とされる許認可は MNRE ではなく州政府が出すことになっているため、Tapovan プロジェクトについての必要な許認可手続きは NTPC から州政府に対して行われている。

これまでの経緯としては、NTPC よりウッタラカンド州政府に対して、2008 年 11 月に Tapovan 地域の地熱開発に対する“関心表明”(Expression of Interest)が提出され、それに対して 2009 年 3 月にウッタラカンド州政府から、同地域の開発のための“詳細調査”(detailed survey)の承認が出されている。今後のプロジェクトの進捗に係る手続きとして、ウッタラカンド州政府から聴取したところ、以下の通りであった。

今後 NTPC は探査を行い、最終報告書を州政府に提出しなければならないが、さらに開発を進めるには、調査結果に基づく具体的な掘削計画をウッタラカンド州政府に提出し、掘削の許可を得ることになる。その際には、掘削地域の地図、掘削地点の等高線図、掘削のための予算措置、掘削後の DPR の作成方法・費用負担者等についての情報が必要となるとのことである。これらの情報から州政府が 2 ヶ月くらいで審査を行い、掘削を許可する。またこの時点で州政府と NTPC の間で、今後同地域で何 MW の地熱発電が行われ、そのうち何 MW が州内で供給される見込みであるか、といった内容の MOU を締結する。その後 NTPC が掘削を行い DPR が完成した時点で、NTPC はそれを州政府に提出し、発電所建設の許可（州の資源を利用して発電を行うことに対する州からの許可）を申請する。この時点で、NTPC は州に一定の電力を一定の価格で供給することを確約する。また発電所建設に必要な環境認可については森林環境省から取得する。なお、ウッタラカンド州政府からは、開発段階での地熱井の掘削に関して森林環境省からの許可は必要でないとのコメントがあったが、NTPC の見解では、森林環境省からの EIA 許可は必要となる可能性が高い、とのことであった。そもそもインドでは地熱井の掘削がこれまで行われた実績がないため、森林環境省の EIA 許可が必要な開発プロジェクトのリストに地熱開発プロジェクトは入っていない。しかしながら石油・ガスの開発には森林環境省の許可が必要とされることから、地熱開発にも求められて然るべきものとするのが妥当である。

#### V-2-2 地質概況

タポバン地点およびその周辺域の主要な地層は、先カンブリア紀の Central Crystalline 層群である。変成岩によって構成されており、3つの地層に細分される (S.C. Sharma et al., 1995, GSI, 2002)。最下位の地層はヘラン層 (Helang Formation) であり、珪岩を主体としており、結晶片岩やや厚い片麻岩 (大理石を挟む) を挟んでいる。ヘラン層はビラガース層 (Bilagarh Formation) によって覆われている。ビラガース層は、珪岩により構成されるタポバン部層 (Tapovan Member)、片麻岩と結晶片岩により構成されるダーク部層 (Dhak Member)、結晶片岩を挟む珪岩により構成されるガース部層 (Garh Member) の3部層に細分される。ビラガース層の上位には、片麻岩と珪岩を挟む結晶片岩によって構成されるジョシマート層 (Joshimath Formation) が分布している。タポバン地点で掘削された浅部調査孔のうち、AGW-3 は深度 400m で、AGW-6 は深度 510m でそれぞれヘラン層に到達している。タポバン地点におけるこの地層の走行はほぼ北西-南東方向であり、北へ傾斜している。Central Crystalline 層群には、第三紀ないし第四紀の花崗岩体が貫入している。タポバン地点には花崗岩の存在は確認されていないが、GSI (2005) による広域地質図によると、タポバン地点の南西約 25km の地点および北西約 25km の地点に露出していることが報告されている (GSI, 2005)。

タポバン地点はそのほとんどが急傾斜地からなり、緩傾斜地は極めて少ない。急傾斜地は上述の岩石が地表に露出する、もしくは薄い土壌に覆われる。緩傾斜地は耕作地であることが多く、土壌が比較的発達していると考えられる。ただし、ここでも地表に岩石が露出している箇所が多くあることから土壌の下位は硬質な岩石からなると判断される。また、局所的ではあるが岩石が変質作用を受けている地点があり、ここでは軟質～中硬質な岩石から構成される。

### V-2-3 環境・社会状況

#### (1) 環境社会面における現状

##### a. 位置

タポバン地熱地域は、東経 79 度 39 分、北緯 30 度 29 分に位置する。ウツタルカンド州チャモリ県ジョシマート郡リング村にある。

##### b. 自然環境

##### 1) 気象・気候

プロジェクト地域およびその周辺の気候的条件は標高によって変化する。現地の気候はとても複雑で日照と雨をもたらす風の変化によって変化する。夏季（3 月から 6 月）には、溪谷地域の気温は暑くなるが、高山地域では肌寒く感じる程度寒い。夏季には激しい雷雨が頻繁にある。モンスーンや雨季は 6 月から始まり 9 月まで続く。降雨は 6 月から 9 月に集中する。冬季は 11 月から 2 月まで続く。気温は 3 月以降急激に上昇し、年間を通じて 6 月が最も暑く、1 日の最高気温は 26 度に達する。12 月と 1 月は最も寒く 1 日の平均気温は 2 度しかない。年間の平均降雨量は約 1,200mm である。6 月から 9 月の期間は西南季節風の影響を受け、年間で最大の降雨を観測する。

第 V-2 表 調査地域における平均的気象条件

月	平均気温 (°C)		降雨量 (mm)
	最高	最低	
1 月	11.4	2.1	65.3
2 月	12.4	3.2	98.0
3 月	17.6	6.6	114.3
4 月	21.8	10.8	64
5 月	24.6	13.9	71.3
6 月	25.9	16.6	132.3
7 月	24.1	16.9	247.4
8 月	23.6	16.9	222.4
9 月	22.9	14.8	104.8
10 月	20.6	10.5	45.1
11 月	16.8	6.2	15.4
12 月	13.6	3.8	25.0

(出典: IMD data <http://imd.gov.jp>)

##### 2) 植物相

プロジェクト地域における主な森林は、ヒマラヤ湿性温帯林およびヒマラヤ乾性温帯林である。ヒマラヤマツ(*Pinus roxburghii*) は、海拔 750~1,600m での主な樹種である。海拔 1,500m 以

上では、ヒマラヤマツや Banj、Buransh、Anyar および Kaphal などがともに育つ。当該地域では、モンスーン前に 191 の植物種、モンスーン後では 155 種が確認され、それらは主に草や低木である。現地の主な保護林は、Dasoli、Dunagiri および Paikhadalla である。

プロジェクト地域で標高が低い所では主に温帯針葉樹林が広がっている。標高の高いところでは、準高山、高山低木群落や牧草地が広がっている。全域において高い樹木が混在する森林は、高度の低い場所にあり、それに対して、高度が高く寒い地域には樹木がなく、低木や草といった大きく成長しない種が代表的である。本調査で確認された主な森林のタイプは以下のとおり。

湿性ヒマラヤスギ林は、ヒマラヤスギ (*Cedrus deodara*) の林で、他種の割合は少ない。標高 2,500～2,600m の間にある Hanuman Chatti 地域近辺に分布する。そこで確認されたいくつかの重要な樹木には、*Abies pindrow*、*Hippophae rhamnoides* および *Populus ciliata* がある。つる植物や着生植物は見られない。

標高 2,300～2,800m の間にある Lambagar および Hanuman Chatti 地域には、西部地方の雑多な針葉樹林がある。これはモミ、ヒマラヤスギ、アオマツおよびイチイといった雑多な針葉樹林だが、この地域にはヒマラヤトウヒは見られない。重要な低木の中には、メギ属 *aristata*、コトネアステル属 *microphyllus*、*Elsholtzia fruticosa*、*Hippophae rhamnoides*、*Prinsepia utilis*、*Sarcococca saligna*、*Sorbaria tomentosa*、*Spiraea canescens* などがある。草や芝生には、*Adiantum lunulatum*、*Anaphalis triplinervis*、*Anemone obtusiloba*、*Agrostis stolonifera*、*Calamagrostis emodensis*、*Circium wallichii*、*Fragaria nubicola*、*Geranium robertianum*、*Impatiens sulcata* などが代表的である。

### 3) 土地利用

土地利用の主な分類は、農地および露出岩石である。プロジェクト地域の土地利用分布は以下の第 V-3 表に示す。

第 V-3 表 調査地域の土地利用分布

土地利用項目	範囲 (%)
密生植生	8.4 %
疎生植生	18.1 %
池・湖／河床	1.1 %
無植生および岩地	23.2 %
農地 (畑地および牧草地)	24.6 %
草地	3.8 %
低木	13.3 %
雪	7.5 %

(出典: Tala-Tapova 水力発電プロジェクト, EIA 報告書 (2006))

## c. 社会環境

### 1) 経済開発

本地域における主な土地利用は家畜類の牧草地および耕作地である。2度の作付け時期は、雨季、4月から10月および冬季、10月から4月である。雨季の主な作物はトウモロコシおよび豆類で、冬季の主な作物は小麦、大麦、カラシおよびエンドウ豆である。乾燥地の85%で畑作が行われている。かんがいは水が利用可能な段々畑で行われる。果物もまた小規模な果樹園や庭で果物が育てられている。

当該地域で収穫される林産物には、建築用、家具用および器具用の木材や、飼料、薪、果実、種子、薬および精油などがある。パートタイムの活動として魚を捕り、その一部は地元で売られる。

## 2) 社会的資源および文化財

地元住民は、14の小さな村と郡の中心であるジョシマートに定住している。ジョシマートは国道(NH)58沿いにある。ここは地域の中心であり、バドリナート寺院、ヘムクンド湖、そして花の谷を訪れる巡礼者や観光客のための基点となっている。

プロジェクト地域には歴史的又は宗教的な場所はない。村の寺院からも離れている。最も近くにある歴史的および宗教的に重要な場所は、バドリナート寺院でアラクナンダ川上流の標高3,133mの地にある。バドリナートは8世紀頃巡礼地となった。最初の寺院は9世紀頃に建立された。現在の建物は約400年前のものである。毎年5月から10月にかけて約60万人の巡礼者が寺院を訪れる。ジョシマートにも1,200年前に建立された寺院があり、有名な巡礼地となっている。

## 3) 調査地域における農村の人口統計データ

プロジェクト地域の14の農村についてのデータおよび情報が収集され、その人口統計データは以下の表 V-4 に示されるとおりである。2001年の人口調査による当該地域の人口総計は、3,830人である。男女比（男性1,000人における女性の人口）は、1,034人である。一世帯の人数平均は4.5人である。最新の人口調査は2011年に実施されたが詳細は2012年4月現在まだ集計中である。

2011年の人口調査によるとシャモリ郡とウッタラカンド州の人口はそれぞれ391,114人と10,116,752人である。2001年から2011年の10年間での人口増加率はシャモリ郡とウッタラカンド州でそれぞれ5.6%と19.7%である。

第 V-4 表 調査地域における人口統計データ

村名	世帯数	人口合計	人口(男)	人口(女)	指定カースト人口	指定部族人口
Barhgaon	176	825	408	417	164	0
Payaichormi	27	134	69	65	0	0
Dhak	85	369	182	187	178	0
Kundikhola	45	233	111	122	24	0
Bilagar	27	121	60	61	5	0



Chamtoli	17	78	36	42	0	0
Topovan	173	793	404	389	224	29
Gahar	11	51	25	26	0	0
Bhangul	42	195	107	88	18	6
Lata	75	342	150	192	59	277
Raini Chak Lata	41	153	82	71	0	141
Pang Chak Lata	29	105	44	61	1	103
Raini Chak Subhai	39	153	71	82	0	148
Ringi	61	278	134	144	9	6
Total	848	3,830	1,883	1,947	682	709

(出典: Tala-Tapova 水力発電プロジェクト, EIA 報告書 (2006), Census 2001)

人口合計のうち 18.5%を指定部族が、17.8%を指定カーストが占め、残りの 63.7%が一般に分類される人々である。しかし、それらの割合は村によって大きく異なる。Raini Chak Lata や Paing Chak Lata などの村は人口の大部分が指定部族に属している。

プロジェクト地域における全体の識字率は、66%である。男性と女性の識字率は、78.7%と 53.3%である。Bilagar 村が最も高い識字率であった (76.9%)。最も低い識字率は Lata 村で、51.2%であった。

第 V-5 表 調査地域における農村の識字率

村名	識字能力 の合計	識字率 (%)	識字能力 (男)	識字率 (男 %)	識字能力 (女)	識字率 (女 %)
Barhgaon	569	69.0	346	60.8	223	39.2
Payaichormi	81	60.4	53	65.4	28	34.6
Dhak	220	59.6	137	62.3	83	37.7
Kundikhola	148	66.5	85	57.4	63	42.6
Bilagar	93	76.9	45	48.4	48	51.6
Chamtoli	51	65.4	29	56.9	22	43.1
Topovan	554	69.9	323	58.3	231	41.7
Gahar	31	60.8	19	61.3	12	38.7
Bhangul	132	67.7	88	66.7	44	33.3
Lata	175	51.2	86	49.1	89	50.9
Raini Chak Lata	116	75.8	66	56.9	50	43.1
Pang Chak Lata	71	67.6	39	54.9	32	45.1
Raini Chak Subhai	104	68.0	57	54.8	47	45.2
Ringi	175	62.9	109	62.3	66	37.7
Total	2,520	65.8	1,482	78.7	1,038	53.3

(出典: Tala-Tapova 水力発電プロジェクト, EIA 報告書 (2006), Census 2001)

プロジェクト地域における全人口に対する正規労働者の割合は、36.4%である。縁辺労働者および非労働者の割合は、それぞれ 8.3%と 55.3%である。

主要な職業は農業であり、労働人口のほとんどがこれに関連している。その他の職業は、建設、運輸、通信などである。

第 V-6 表 調査地域における職業統計データ

村名	労働者数	縁辺労働者数	非労働者数
Barhgaon	228	13	597
Payaichormi	37	9	97
Dhak	110	13	259
Kundikhola	107	57	126
Bilagar	35	24	86
Chamtoli	45	5	33
Topovan	290	35	503
Gahar	16	0	35
Bhangul	101	33	94
Lata	170	3	172
Raini Chak Lata	80	49	73
Pang Chak Lata	54	19	51
Raini Chak Subhai	82	65	71
Ringi	151	6	127
Total	1,506	331	2,324

(出典: Tala-Tapova 水力発電プロジェクト, EIA 報告書 (2006) , Census 2001)

#### 4) インフラストラクチャー

プロジェクト地域において、バスが唯一有効な交通機関である。最も近隣の鉄道の駅は、ハルドワニとデヘラドゥーンに位置し、それぞれ 290km と 360km 離れた距離にある。

プロジェクト地域の村では、医療施設は乏しく、利用可能な病院施設はタポバン村にしかない。児童福祉センターや助産院、保育所はタポバン、ラタおよびバルガオンで利用可能である。教育施設に関する情報は下記の表に示す通りである。高等学校はなく、小・中学校があるのみである。

第 V-7 表 調査地域における教育施設

村名	小学校	中学校	高等学校
Barhgaon	1	1	-
Payaichormi	1	-	-
Dhak	1	1	-

Kundikhola	-	-	-
Bilagar	-	-	-
Chamtoli	-	-	-
Topovan	1	1	-
Gahar	-	-	-
Bhangul	1	-	-
Lata	1	-	-
Raini Chak Lata	1	1	-
Pang Chak Lata	1	-	-
Raini Chak Subhai	1	1	-
Ringi	1	-	-

(出典: Tala-Tapova 水力発電プロジェクト, EIA 報告書 (2006), Census 2001)

## 5) 家屋

家屋はレンガとモルタルの伝統的な様式と方法で建てられる。約 25～30%の家屋が **pucca** と呼ばれる家屋で、2～3%が **kutchra** と呼ばれる家屋であるのに対して、大多数である 68～73%が **semi pucca** 家屋である。ほとんどがそれぞれに平均 4～5 部屋ある 2 階建ての家屋である。調査地域における家屋の大半 (約 75～80%) は電化されている。湧き水は飲料水として頻繁に利用されているが、水道水の利用率は約 80%である。地元の人々は、乾燥した家畜の糞、木材や化石燃料に大きく依存しており (約 60～70%)、約 22～25%の人々が **LPG** を利用し、その他の人々は灯油やバイオガスなどの他の燃料を利用している。

### (2) プロジェクト地域の現状

プロジェクト地域は急峻な渓谷に囲まれ、平地は少なく、**Nanda Devi** 生物圏保護区の中に位置している。そこは低木、草原、農地および岩地や居住地になっている。農地や居住地は民有地であり、それ以外は公有地である。現在発電施設はないが、近傍で二つの水力発電プロジェクトが進められている。**Tapovan Vishnugad** 水力発電プロジェクト (520MW) はゆっくりであるが進んでおり、2014 年に運転開始予定である。**Lata Tapovan** 水力発電プロジェクト (171MW) は進んでいない状況にある。調査井の掘削候補地点はリング村の中にある。リング村の人口は村民からの聞き取りによると 600 人とのことである。村民は村より高標高のダウリガンガ川の支流から水を引いて飲料水としている。地域の主要道路からリング村に通じるいくつかの山道があり、村民の生活道路となっているが、道幅が狭く未舗装である。したがって、7 月から 9 月の雨季には土石流や地すべり、12 月から 3 月の冬季には積雪により山道が頻繁に寸断される。

### (3) プロジェクト実施に伴う環境社会面への影響

#### 環境社会配慮項目

現地調査の結果を踏まえ、地熱発電所建設というプロジェクトが実施されることを考慮し、次の段階で必要となる環境社会配慮項目を実施段階および運転段階に分けて検討した。表 V-8

に検討結果を示す。この表において特に留意すべき事項を以下に次述する。

掘削計画地点から約 250m 離れたところに小学校やリンギ村の居住地がある。一般に掘削の騒音レベルは 100-110dB(A)程度であり、掘削作業は 24 時間行われることから特に昼間の小学校の、夜間の居住地への影響が懸念される。掘削機器の防音対策の他、小学校の移転検討が望ましい。

リンギ村の住民は標高の高いダウリガンガ川の支流から飲料水を引いてきている。掘削用水を標高の低い本流のダウリガンガ川からくみ上げる場合、村民への影響はないと考えられるが、村民が不安を訴える場合、飲料水の水質モニタリングの実施が望まれる。

本地域の地熱資源は火山活動に関連したものではないため、地熱井からの硫化水素ガスの噴出可能性は低いと考えられるが、モニタリングを実施が望ましいと考えられる。

掘削基地までの搬入道路はリンギ村の主な生活道路となっている歩道を大幅に改修する計画になっている。補強後は工事用車両の通行が増え、村民の利用が困難になると予想されるので、村民の要望があれば代替の生活道路を確保する必要がある。

第 V-8 表 予想される環境影響項目の検討結果

項目		調査・工事期間	運転期間	
汚染対策	大気汚染	硫化水素 (H <sub>2</sub> S)	地熱貯留層評価を行うために実施する噴出試験に伴い、H <sub>2</sub> S を含むガスが発生し、近傍地域における一時的な影響が想定される。	H <sub>2</sub> S を含む地熱流体を発電用蒸気として利用することにより、H <sub>2</sub> S が水蒸気とともに冷却塔から排出され、発電所近傍における環境影響が想定される。
		窒素酸化物 (NOx)	資材等の搬出入の車輛通行に伴う影響については、広域に及ぶとは考えられない。しかし、輸送経路の近傍に民家等があることから、一時的な影響が想定される。	
		粉じん等	工事中の資材等の搬出入に使用する車両から、土砂粉じんの巻き上げ等が発生するが、その影響は広域に及ぶとは考えられない。しかし、輸送経路の近傍に民家等がある場合は、影響が想定される。	
	騒音・振動	坑井において、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および振動が想定される。一時的なものであるがプロジェクト地域近傍での影響が考えられる。	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・振動が想定され、近傍における環境への影響が想定される。	
	水質汚染	坑井掘削時に泥水の発生が考えられる。また、敷地造成時の裸地発生により、降雨時の土砂の流出による地表水の濁りが考えられる。	供用時に発生する排水による周辺の水環境への影響が想定される。	
	土壌汚染	還元設備が未完成である調査、建設段階においては、地熱水が周辺に漏れて、土壌汚染につながる懸念される。		
	廃棄物	産業廃棄物	工事中に産業廃棄物(掘削汚泥、廃材)の発生が想定される。	供用時に産業廃棄物(汚泥、廃油等)の発生が想定される。
		土木工事残土	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なる。	
	地盤の沈下		深部地熱流体を採取することから、発電所近傍における地盤沈下が想定される。	

	悪臭	実施する噴出試験で発生する H <sub>2</sub> S による悪臭が、近傍地域における一時的な影響を及ぼす可能性が想定される。	供用時に発生する H <sub>2</sub> S による悪臭が、発電所近傍に影響を及ぼす可能性が想定される。
自然環境	用水	工事用水取水により、河川流量、地下水位に影響を及ぼす可能性が想定されるが、取水は一時的で、かつ量も少ないため、影響は小さいと考えられる。	供用時においては、発電用水取水により、河川流量、地下水位、湿地への影響が懸念される。
	地形・地質	調査、生産井掘削、発電所建設工事等による土地の形状の変更が予想される。	
	動植物	樹木の伐採や土地の改変による一時的な影響が考えられる。	樹木の伐採や土地の改変、施設の存在による動物の分布状況、生息環境、植物の重要種および群落の影響が想定されるが、詳細は不明である。
	生態系	樹木の伐採や土地の改変による一時的な影響が考えられる。	樹木の伐採や土地の改変、施設の存在により、動植物の分布、生息・生育環境の変化が考えられる。
	水利用	工事用水取水により、河川流量、地下水位に影響を及ぼす可能性が想定されるが、取水は一時的で、かつ量も少ないため、影響は小さいと考えられる。	供用時においては、発電所用水取水により、河川流量、地下水位への影響が予想される。
社会環境	雇用や生計手段等の地域経済	雇用機会の増加、調査、建設資・機材の地元調達や作業人員の食料の地元購入により地域経済や住民の暮らしについては正の影響が期待される。	雇用機会の増加、発電所維持管理のための資・機材の地元調達や作業人員の食料の地元購入により地域経済や住民の暮らしについては正の影響が期待される。
	土地利用や地域資源利用	調査、建設のための基地と取付け道路の設置による土地の利用や地域資源の利用が予想される。	発電所施設等による土地の利用や地域資源の利用が予想される。
	既存の社会インフラや社会サービス	調査、建設段階における道路の建設、整備等により社会インフラの改善が期待できる。	発電所施設等の存在による道路の整備、維持管理や、住民への電気供給等の正の影響が期待できる。
その他	温室効果ガス	工事車両から排出される温室効果ガスの一時的影響が考えられる。	ディーゼル発電所の代替により、温室効果ガスの劇的な削減につながる効果により、多大な正の影響が予想される。

#### (4) 相手国の環境社会配慮関連法規の概要

##### a. プロジェクト実施に関する環境社会配慮関連法規の概要

以下に地熱発電開発に係る環境社会配慮関連法規を示す。これらの法規はインド国政府のホームページ <http://moef.nic.in/modules/rules-and-regulations/environment-protction/> で閲覧可能である。

##### 環境保護

- No.29 of 1986, [23/5/1986] - The Environment (Protection) Act, 1986, amended 1991
- S.O.844(E), [19/11/1986] - The Environment (Protection) Rules, 1986
- S.O.1533(E), [14/09/2006] - Environmental Impact Assessment Notification-2006

##### 大気質

- No.14 of 1981, [29/3/1981] - The Air (Prevention and Control of Pollution) Act 1981, amended 1987
- G.S.R.6(E), [21/12/1983] - The Air (Prevention and Control of Pollution) (Union Territories) Rules, 1983
- G.S.R.712(E), [18/11/1982] - The Air (Prevention and Control of Pollution) Rules, 1982

##### 水質

- No.36 of 1977, [7/12/1977] - The Water (Prevention and Control of Pollution) Cess Act, 1977, amended 1992 ,
- No. 19 of 2003, [17/3/2003] - The Water (Prevention and Control of Pollution) Cess (Amendment) Act, 2003.
- No.6 of 1974, [23/3/1974] - The Water (Prevention and Control of Pollution) Act, 1974, amended 1988
- G.S.R.830(E), [24/11/2011] - The Water (Prevention and Control of Pollution) Amendment Rules, 2011.
- G.S.R.378(E), [24/7/1978] - The Water (Prevention and Control of Pollution) Cess Rules, 1978
- G.S.R.58(E), [27/2/1975] - The Water (Prevention and Control of Pollution) Rules, 1975
- Central Board for the Prevention and Control of Water Pollution (Procedure for Transaction of Business) Rules, 1975 amended 1976

##### 騒音

- The noise pollution (Regulation and control) (Amendment) Rules,
- S.O.123(E), [14/2/2000] - Noise Pollution (Regulation and Control) Rules, 2000

##### 森林保全

- State/Union Territory Minor Forest Produce (Ownership of Forest Dependent Community) Act, 2005 - Draft
- Forest (Conservation) Act, 1980, amended 1988.
- The Indian Forest Act, 1927.

- ・ G.S.R.23(E) - Forest (Conservation) Rules, 2003.
- ・ G.S.R.719 - Forest (Conservation) Rules, 1981, amended 1992.

#### b. プロジェクトの実施に必要な相手国の EIA 等の内容

##### 環境アセスメントシステム

インドでは 1980 年代まで多くの開発プロジェクトが、環境への配慮なしに行われた。その後、1980 年に設立した環境庁が正式に環境課題を担当するようになり、それが 1985 年に環境森林省となった。1980 年に、環境観点から見た大きなプロジェクトの認可は、行政上要求されることになり、それは国家計画委員会および中央投資委員会が融資の承認前にそのようなプロジェクト認可の調査を行うこととなった。

5 年後、インド政府である環境森林省は渓谷プロジェクトに対する環境アセスメントのガイドラインを発行した。これらのガイドラインには様々な調査が要求され、それは水没地帯における森林や野生生物への影響、水没可能性、上流や下流の水界生態系および漁獲への影響、水に起因する病気、気候変化と地震活動などについてである。環境認可取得のため「環境影響評価通知書 1994」が 1994 年に整備され、その時の詳細な告知は 1986 年の環境保護法第 3 節および第 5 法規のもとに示された。

開発プロジェクトの環境認可は、そのプロジェクトの特性により特定の基準にしたがった州または中央の基準のどちらかから得られる。しかしながら（最終的にどこから環境認可を入手したかは関係なく）、国内で行われる計画のほとんどには、国家環境汚染管理局または環境汚染管理委員会から最初に承認を得なければならない。プロジェクト提案者は外部のコンサルタントまたは機関と協力し、EIA 調書を準備する責任がある。プロジェクト立案の早い段階で、政策決定者に EIA 調書の情報を提供することが望まれる。それはプロジェクト開始より可能な限り早く行われなければならない。プロジェクトが承認された場合、EIA にはそのプロジェクトの監査報告を盛込まなければならない。

地熱発電所は、「事前の環境認可が要求されるプロジェクトや活動一覧」には含まれていないが、「火力発電所」のカテゴリーが「地熱発電所」に適用される可能性がある。この場合、50MW 以上の地熱発電所はカテゴリー「A」になり、50MW 以下はカテゴリー「B」になる。環境森林省 (MOEF) は環境認可のカテゴリー「A」の担当部署であり、環境影響評価庁 (State/Union territory Environmental Impact Assessment Authority、SEIAA) はカテゴリー「B」の担当部署である。

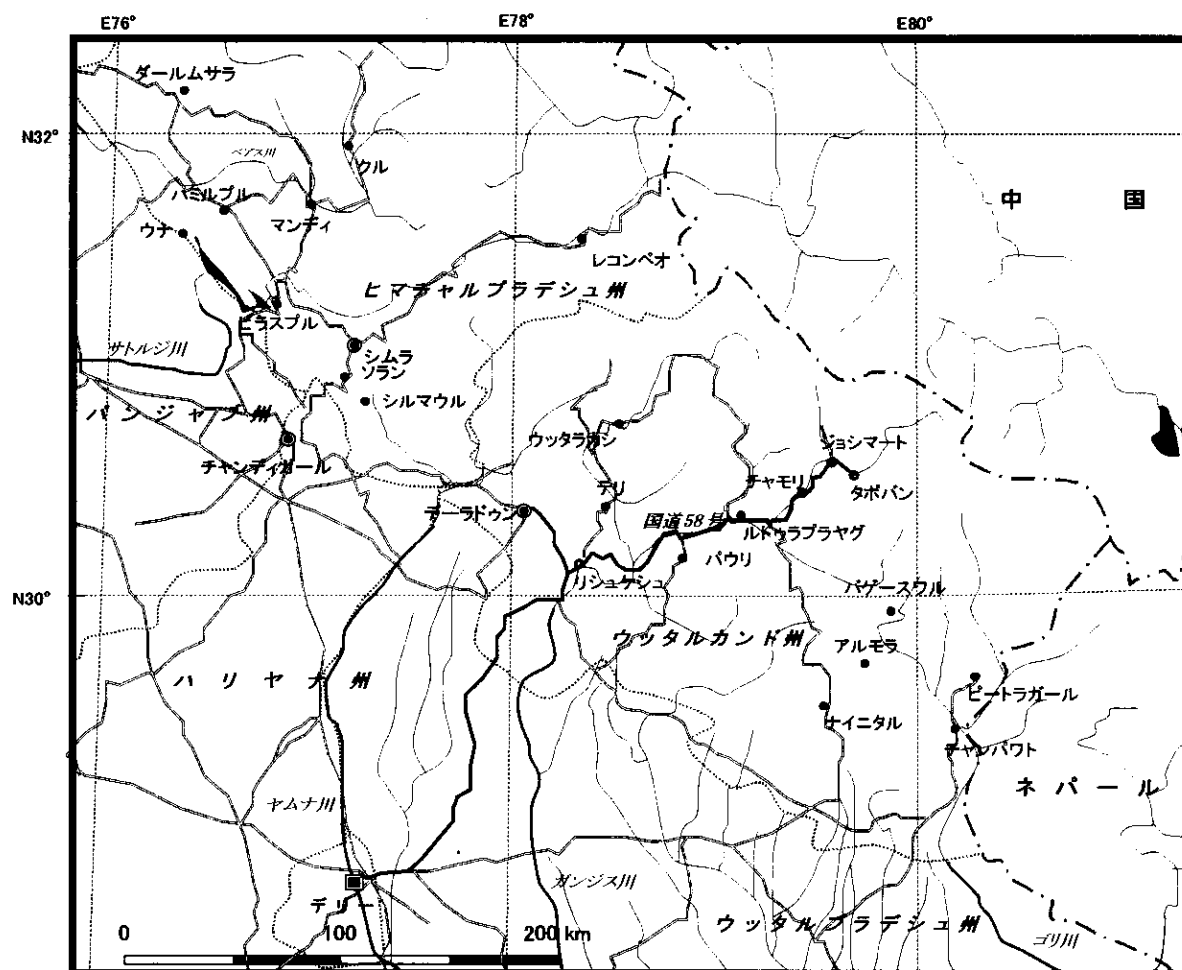
#### **V-2-4** アクセス道路、送変電設備等のインフラ状況

##### 道路状況

タポバン地点は、インド国北西部ウッタラカンド州チャモリ県に位置している。アラクナンダ (Alaknanda) 川の支流であるダウリガンガ (Dhaul Ganga) 川の沿いの地点であり、標高は約 2,000m である。ウッタラカンド州の州都であるデラドゥン (Dehradun) からサイト近隣の町であるジョシマート (Joshimath) までは約 280km であり、その間の道路は全て舗装されており、重量物輸送に問題はない。ジョシマートからタポバンまでは約 15km であり、道路状況は概ね良好であるものの、一部改修・改良を要する箇所が存在する。また、途中数箇所です路上に岩盤



がせり出しており、重量物輸送に支障をきたす恐れがあるため、改修が必要である。タポバンから掘削候補地点までは約3kmであり、近傍の既設幹線道路からは搬入路の取り付けが困難であるため、タポバンの集落近傍からサイト付近に向かう既設の歩行者用道路を大規模に改修する必要がある。第V-10図に広域道路図を示す。



第V-10図 広域道路図

河川の状況

タポバン地点を流れる河川は、唯一ダウリガンガ川であり、その他の河川は流入していない。流量は豊富であり、水力発電用としての利水が計画されているとともに、その一部がタポバン地域の上水道として利用されている。発電所/掘削候補地点近傍に存在する集落では、飲料/農業用として近傍の谷を流れる天水を利用しており、直接ダウリガンガ川からの取水は実施していない。従って、発電・掘削用にダウリガンガ川から直接取水しても、周辺の影響は非常に小さいと考えられる。

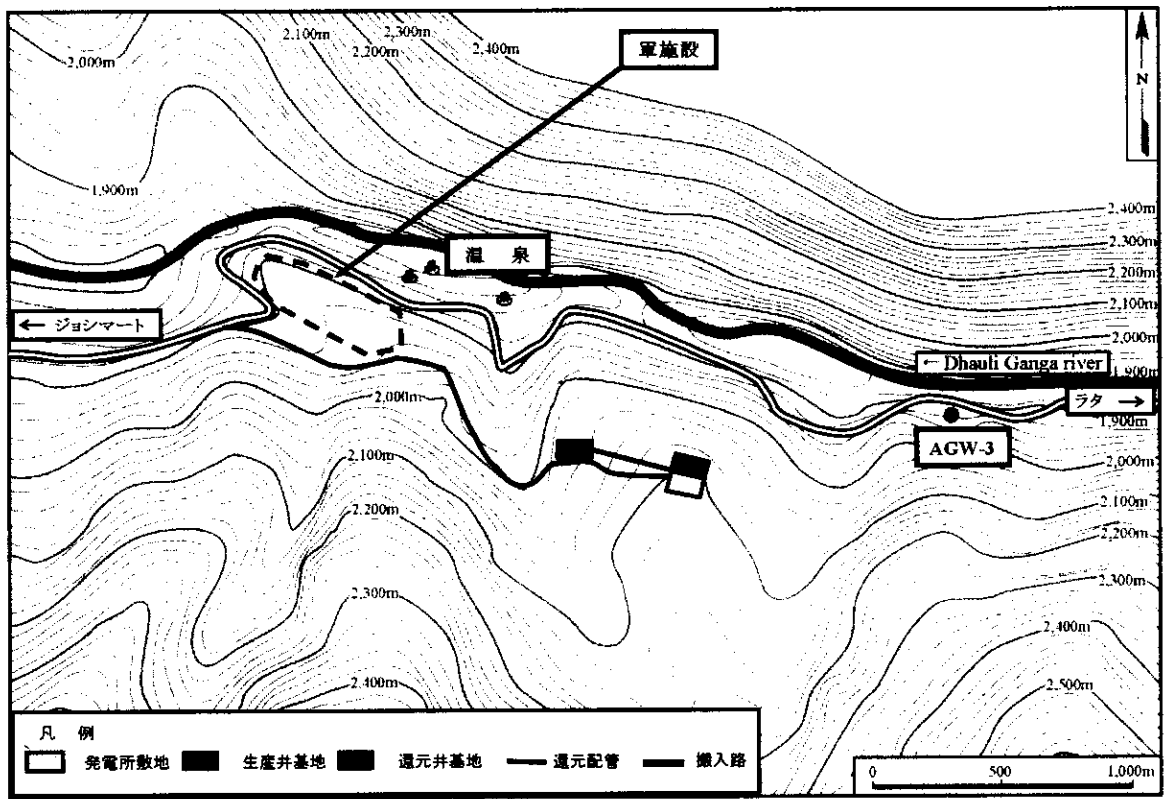
発電所/掘削候補地点

現地は急峻な谷地形となっており、平坦地は少ない。発電所敷地および掘削基地としては、

AGW-3 号井から約 1km 西に位置するダウリガンガ川左岸の比較的平坦な丘陵地が唯一の候補地点である。当該地点は既設道路より 190m 程度標高が高く、近隣に民家や小学校がある。地熱開発の規模によっては、これらの移転等の検討が必要となる可能性もある。周辺の現況写真を以下に示す。また、候補地点の状況を第 V-11 図、第 V-12 図および第 V-9 表に示す。現地状況の写真は添付資料に示す。



第 V-11 図 発電所敷地および生産井掘削基地周辺現況写真



第 V-12 図 候補地点周辺概要

第 V-9 表 現地状況

位 置	タポバンから約3km、ジョシマートから約18km
標 高	2,044～2,133m
アクセス状況	デーラドゥーン～ジョシマート間：良好 ジョシマート～タポバン間：概ね良好であるが、改修・改良を要する [数カ所で路上に岩が張り出している] タポバン～敷地候補地：搬入路（約2km）の建設が必要
現場周辺の概況	近くに4坑井（AGW-2、3、5、6）が存在
	約600人が周辺に居住
	全体的には急峻な谷地形であるが、敷地候補地はやや緩やかな傾斜地
敷地候補地の状況	地表は概ね土壌によって覆われているが、非常に堅硬な岩石が露出している場所もある 農耕地として利用されている 農耕地は私有地、森林は州有地 掘削用水は近くの大きな川（Dhaulī ganga川）から取水
気象条件	降雨期：7月～9月 降雪期：12月末～3月（最大積雪量30cm）
備考	<p>1. 掘削サイト</p> <p>a. 生産井</p> <p>候補地1 平均標高2,056m、比較的緩傾斜で耕作地にあつて良好であるが、かなりの造成工事を要する</p> <p>候補地2 平均標高2,112m、平坦地であるが、小学校があるため検討を要す</p> <p>候補地3 平均標高2,133m、平坦地であるが、民家が多く、実質的に建設不可能と思われる</p> <p>b. 還元井</p> <p>JETRO調査で想定されていたサイトは軍用地となっており、利用不可能と判断される このため、生産井掘削敷地近くに還元井掘削敷地を配置せざるを得ない</p> <p>2. 搬入路</p> <p>約2kmの搬入路を新規に建設する必要がある 掘削工事請負会社による輸送経路状況精査が必要</p> <p>3. 掘削用水</p> <p>必要となる取水量（最大毎分1,000リットル）を確保するにはダウリガンガからの取水となる ただし、次のような問題点が考えられる</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 掘削敷地との標高差を考えると1,000LPMで25ksc以上の高圧送水能力を有するポンプが必要</li> <li>* 河川の水位変化を考慮すると、取水地点を決めるのが困難と思われる</li> <li>* 既設道路から河川までは70mほどの標高差があり、送水ポンプ設置は容易でない</li> </ul> <p>4. 気象条件</p> <p>NTPCのタポバン水カプロジェクト事務所の説明によれば、降雨期と降雪期の工事は極めて困難とのことである</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 降雨期には地滑りや落石が頻発</li> <li>* 降雪期の物資輸送は困難</li> </ul>

### 送電設備

タポバン地域周辺におけるダウリガンガ川では、NTPCが2箇所水力発電所を建設中である。ダウリガンガ川の下流側には、民間企業（GVK社：330MW）等による複数の水力発電所が建設中または計画中である。しかしながら、NTPC現地情報では、Lata - Tapovan水力プロジェクトは建設中断しており、再開のめどは立っていないとのことである。

- Tapovan - Vishnugad 水力プロジェクト  
出力：520MW（130MW x 3）

場所: タポバン地熱発電所候補地より北西へ約 16km (直線距離)

運開予定: 2014 年

■ Lata - Tapovan 水力プロジェクト

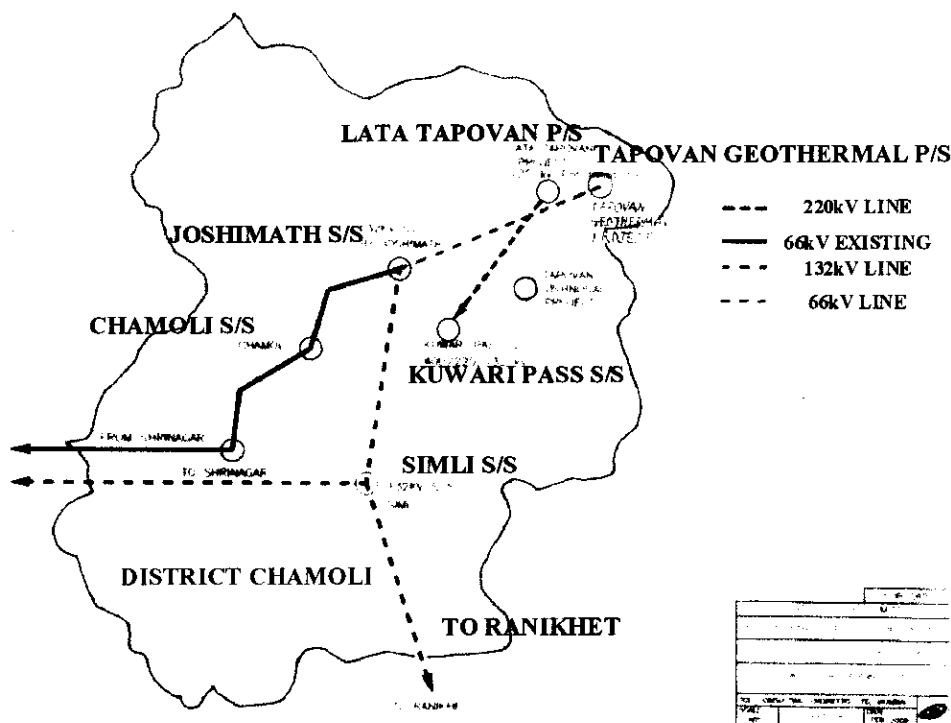
出力: 171MW (57MW x 3)

場所: タポバン地熱発電所候補地より北西へ約 1.3km (直線距離)

運開予定: 未定

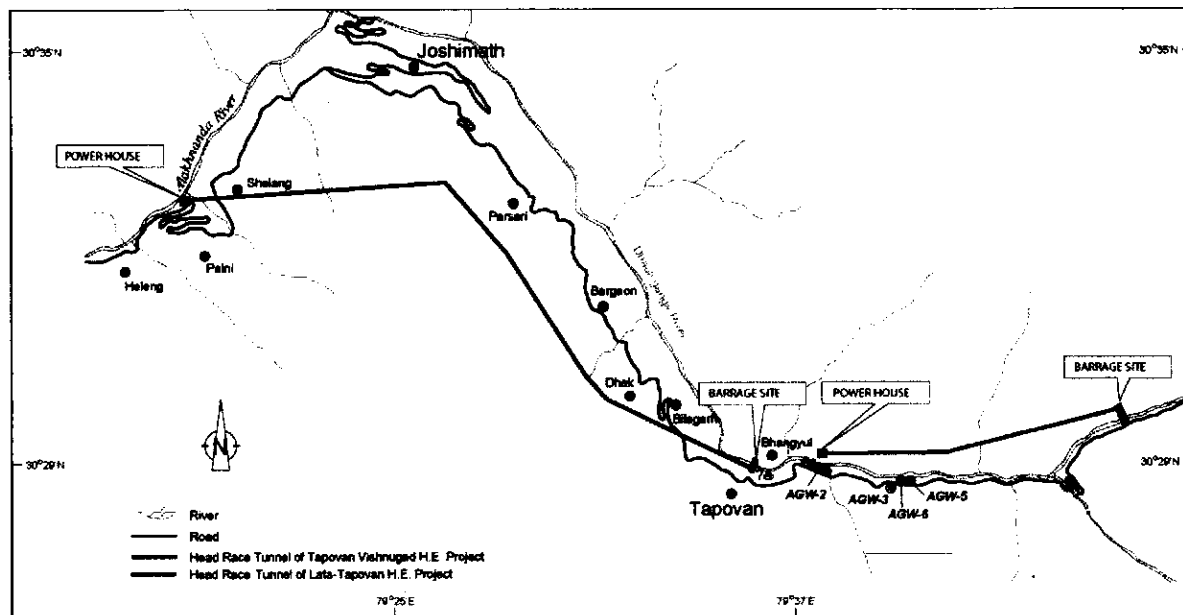
ウツタルカンド州の電力系統を第II-3図、チャモリ県の電力系統図を第V-13図に示す。また、現在建設中の水力発電計画を第V-14図に示す。タポバン地点は、現在工事中断中のラタ・タポバン水力発電所のすぐ近くにあり、他に連系可能な既設変電所としてはジョシマート変電所がある。

タポバン地点からの送電は、2km以内と一番近い220kVラタ・タポバン水力発電所が考えられるが、同水力発電所は220kV GIS (ガス絶縁開閉装置: Gas Insulated Switch Gear) が採用されるために、接続は省スペースではあるが高コストである。また、同水力発電所の建設工事が一時中断していること、および地熱発電発生出力が約10MWと想定されることを考慮すれば、66kV送電線で既設のジョシマート変電所へ送るのが最適と考えられる。66kV送電線は約10kmであり、ジョシマート変電所からはチャモリ変電所、シリナガール変電所へと66kVでつながっている。また、ジョシマート変電所からは132kV送電線建設も計画されている。



(出典: NTPC Hydro Limited)

第 V-13 図 タポバン地区電力系統



(出典: NTPC Hydro Limited)

第 V-14 図 タポバン地区水力プロジェクト計画図

## 第 VI 章

## VI タポバン地熱プロジェクト実施計画

今回の調査により、タポバン地点の地熱発電開発を進める上での障害・課題がいくつか明らかになった。主なものは以下に示す土地や地形の制約である。

- タポバン地点は山岳地に位置し、そのほとんどが急傾斜地からなる。そのため、土木工事が可能な緩傾斜地が極めて少ない（リング村付近のみに限られる）。その限られた緩傾斜地は、軍用施設、耕作地及び居住地として利用されている。このため、地熱発電所敷地や坑井掘削基地の土地を確保するためには地元住民との折衝が必要となる。
- 本地点はヒマラヤ山脈の山岳地にあり、気象状況が厳しい。すなわち、7月～9月は多雨期にあり土砂崩れ・地すべりが多発する。12月～3月は降雪期である。これらの期間は土木工事の実施が極めて困難である。
- 地熱資源ポテンシャルのリスクが存在する。すなわち、適切な開発規模を推定することが現段階では困難である。

仮に上述した土地・地形の制約及び気象状況の制約が克服できるとした場合に推奨される今後の地熱資源開発の調査項目を検討するとともに、本調査で新たに入手されたタポバン地点のMT探査データを基に調査井掘削ターゲットについても検討した。

### VI-1 地熱資源評価段階

#### VI-1-1 調査井掘削

##### (1) 調査井掘削

低角度で傾斜する衝上断層がタポバン地点に存在する可能性が見掛比抵抗断面 Profile-3 から示唆された。この衝上断層はMT探査測点 T04 付近から東へ緩やかに傾斜し、掘削基地候補地点に近い測点 T02 や T03 付近では海拔 500m から 0m の間に、測点 T20 付近では海拔 0m から -500m 付近を通過している。しかし、地表地質のデータからはMT探査データが示唆する衝上断層に対応する断層はみあたらない。ヒマラヤ山脈内の広域地質構造を考慮すると衝上断層が存在する可能性は否定できないものの、現段階ではMT探査から推定された衝上断層のみを掘削ターゲットとするのはリスクが大きいと判断される。地表地質データからは、北西-南東方向に延びる高角度の断層 F1、F2 及び F3 と北東-南西方向に延びる高角度の断層 F4 が推定されている。これらの推定された断層の地下における分布の精度はそれほど高くないことから、MT探査から推定された衝上断層を含めて複数の断層を掘り抜くように調査井の掘削計画を検討するのが現時点では妥当と考えられる。なお、衝上断層はMT探査測線上でのみそのおおよその位置が推定されているため、調査井がMT探査測線で衝上断層を掘り抜くような掘削計画を検討する必要がある。このような課題を考慮して生産調査井と還元調査井の掘削計画を検討した。ただし、調査井掘削の主要目的は地熱貯留層の存在を確認することである。したがって、還元調査井として計画した調査井についても、地熱貯留層の存在確度がより高い箇所を掘削することで計画した。したがって、還元調査井で地熱貯留層が確認された場合には生産井に転用



されることもある。将来的な生産井や還元井の掘削計画及び地熱開発計画は、これらの調査井掘削結果に基づいて検討することが推奨される。

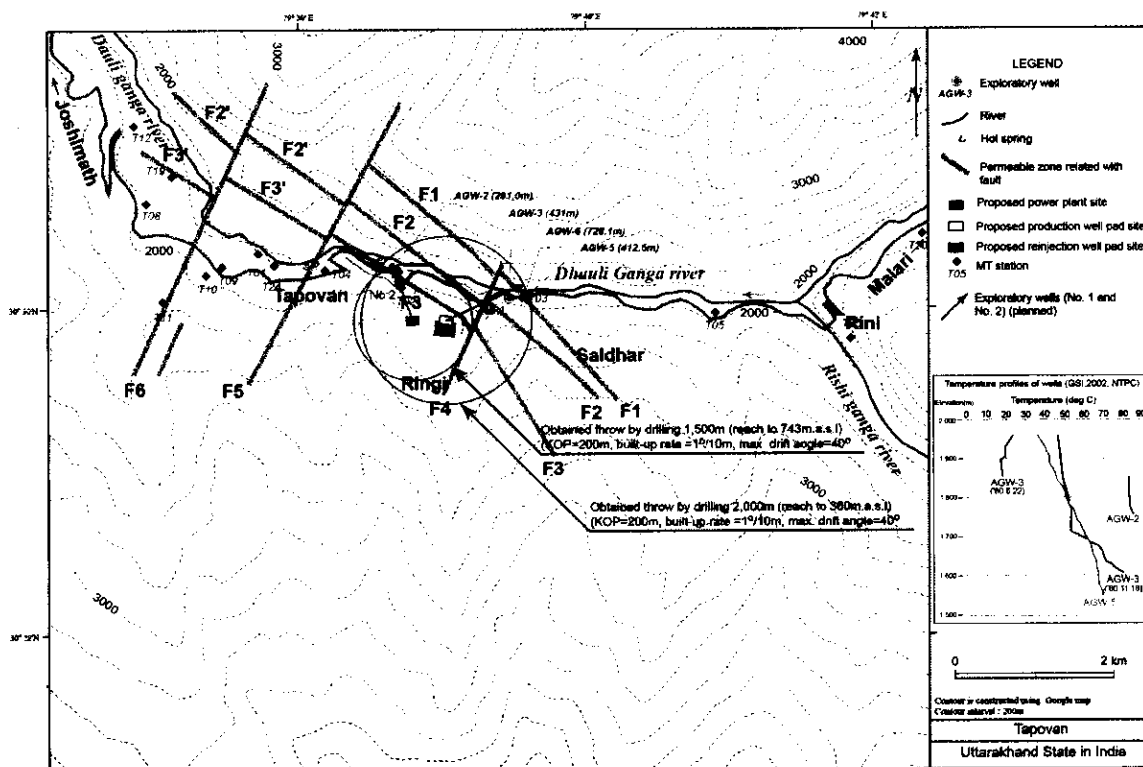
推奨される生産調査井（調査井 No.1）と還元調査井（調査井 No.2）の掘削計画を第 VI-1 図から第 VI-3 図に示す。また、掘削条件は以下のとおり仮定した。なお、複数の断層を掘り抜くために、調査井の最大傾斜角を 40 度としたが、このような比較的高角の傾斜角で掘削する場合、掘削コントラクターには地質状況の把握や掘削技術に十分な技術を有することが求められる。

調査井 No.1（生産調査井）

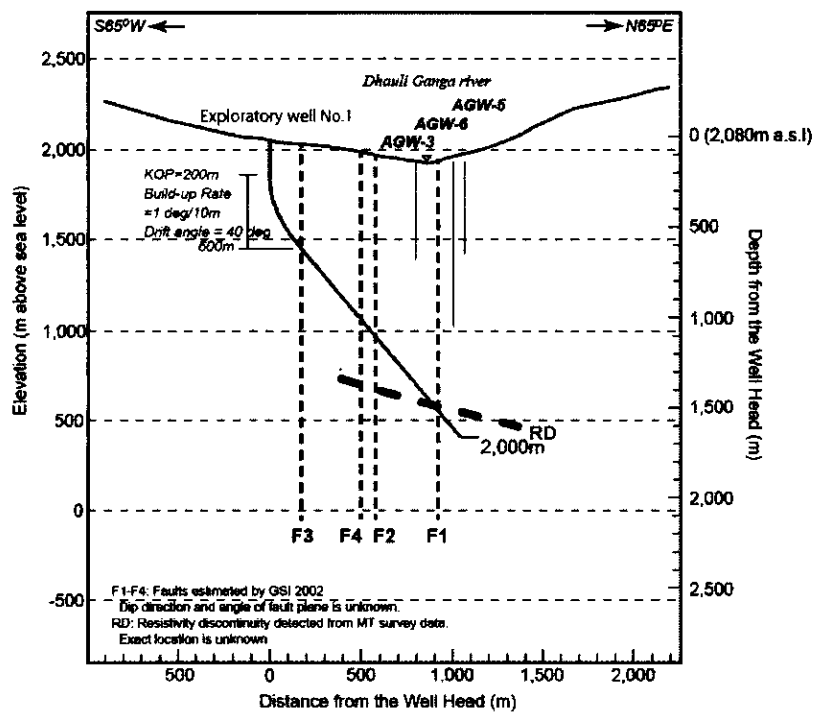
掘削深度	2,000m
傾斜掘削開始深度（Kick off point）	200m
増角率掘削長	10m につき 1 度
最大傾斜角	40 度
掘削方位	N65°E

調査井 No.2（還元調査井）

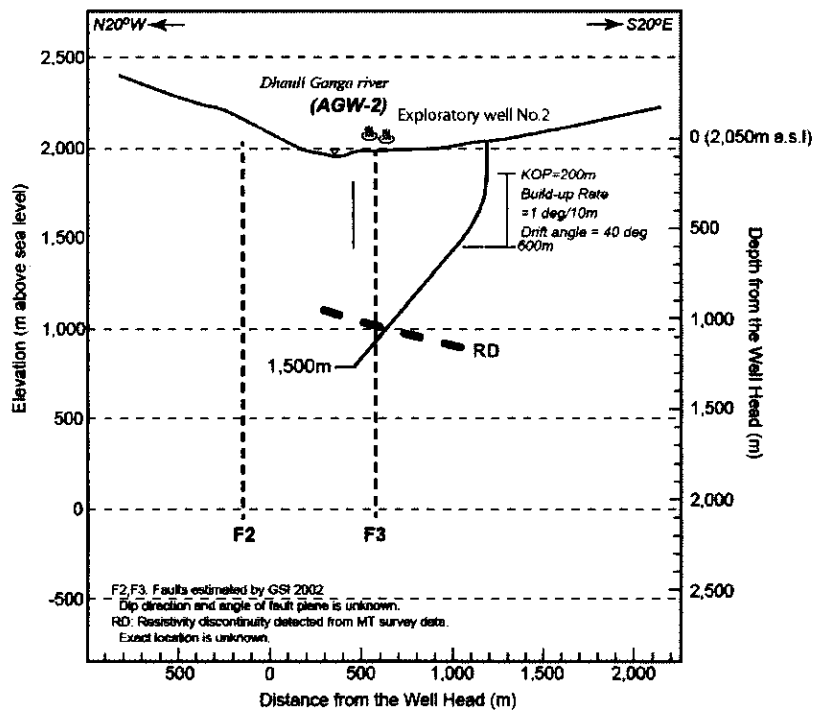
掘削深度	1,500m
傾斜掘削開始深度（Kick off point）	200m
増角率掘削長	10m につき 1 度
最大傾斜角	40 度
掘削方位	N20°W



第 VI-1 図 調査井掘削計画平面図



第 VI-2 図 調査井 No.1 掘削ターゲット図



第 VI-3 図 調査井 No.2 掘削ターゲット図

(2) 調査井の掘削

前述のターゲットに調査井を掘削して地熱資源の賦存状況を確認する。生産調査井と還元調査井をそれぞれ 1 本掘削するものとするが、掘削準備作業を含めて、以下の工事が必要である。

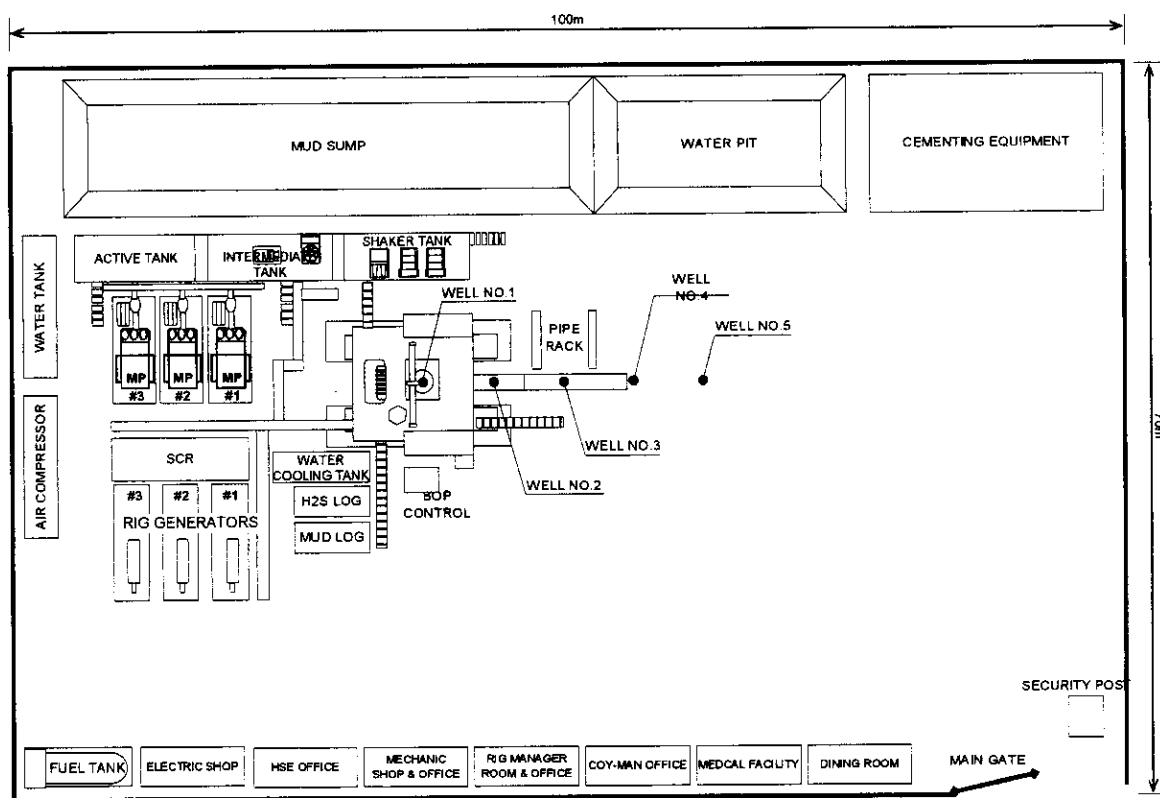
- ▶ アクセス道路建設
- ▶ 敷地造成
- ▶ 掘削用水設備設置
- ▶ 生産調査井および還元調査井の掘削

a. アクセス道路の建設

前述したように、大型車両が通行可能なサイトへのアクセスは存在しないため、タポバン  
の集落近傍からサイト付近に向かう既設の歩行者用道路を大規模に改修する必要がある。大型の  
掘削機材搬入や将来の発電機器搬入を考慮して、道路の幅員は約6mとし、その延長は2km程  
度となる見込みである。

b. 坑井掘削基地の敷地造成

土木工事が可能な緩傾斜地はリンギ村付近のみに限られる。その限られた緩傾斜地のうち、  
集落や学校に隣接する平坦地が生産井基地の唯一の候補地である。この地点に生産調査井の掘  
削基地を造成する。還元調査井の掘削基地は、生産調査井掘削基地よりも標高の低い地点にあ  
る平坦地に造成する。還元熱水を自然流下で還元井基地まで輸送するためである。なお、詳細  
な地形測量や表層土質等の調査を行った後に敷地造成の詳細設計を行う必要がある。掘削基地  
の標準的なレイアウト例を第VI-4図に示す。



第 VI-4 図 掘削機標準配置

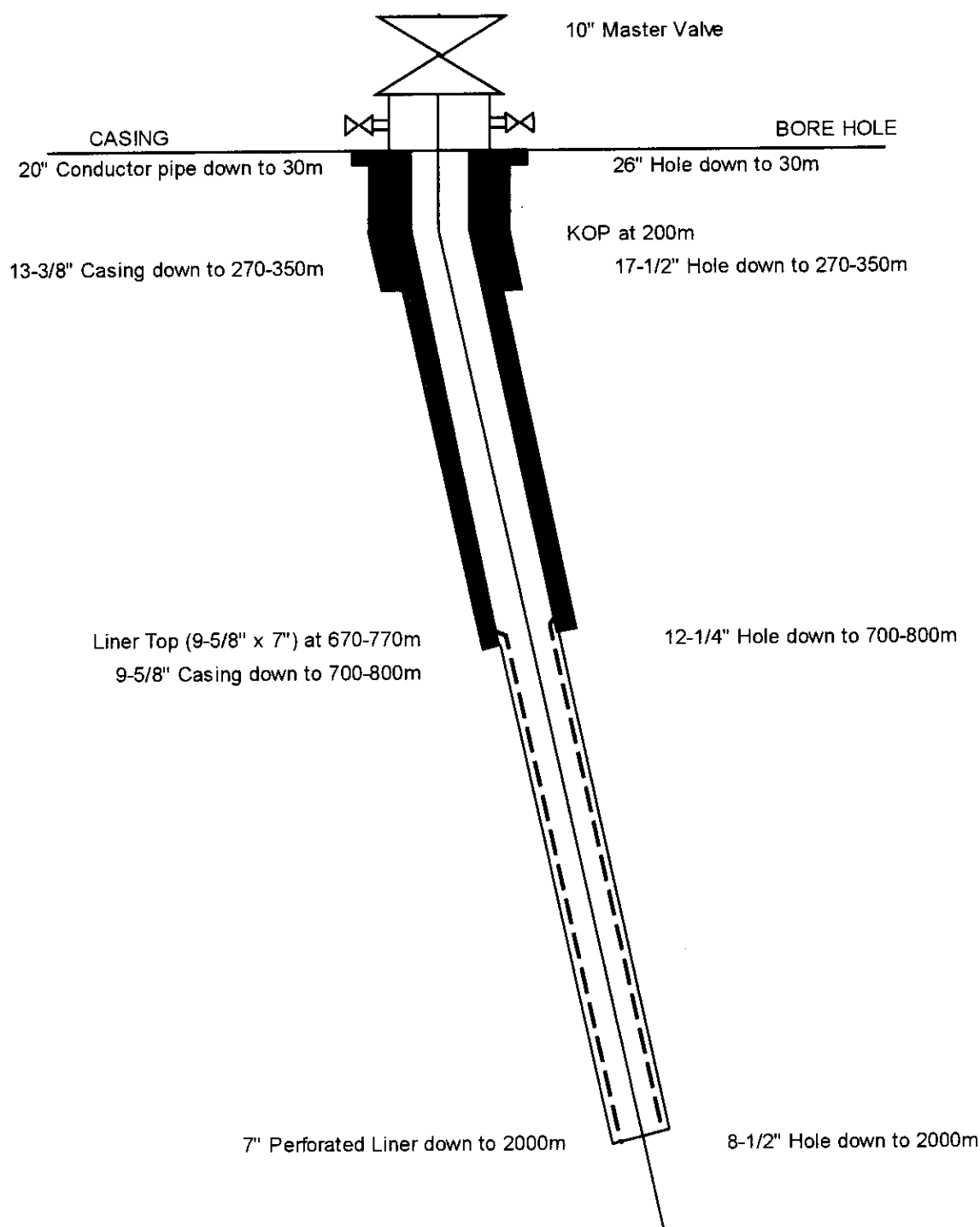
### c. 掘削用水設備設置

掘削工事に必要となる工事用水は、ダウリガンガ川から取水が可能と考えられ、給水配管を掘削基地まで敷設する。ただし、取水地点は以下の条件下にあり、取水計画作成にあたっては、十分な技術的検討が必要である。

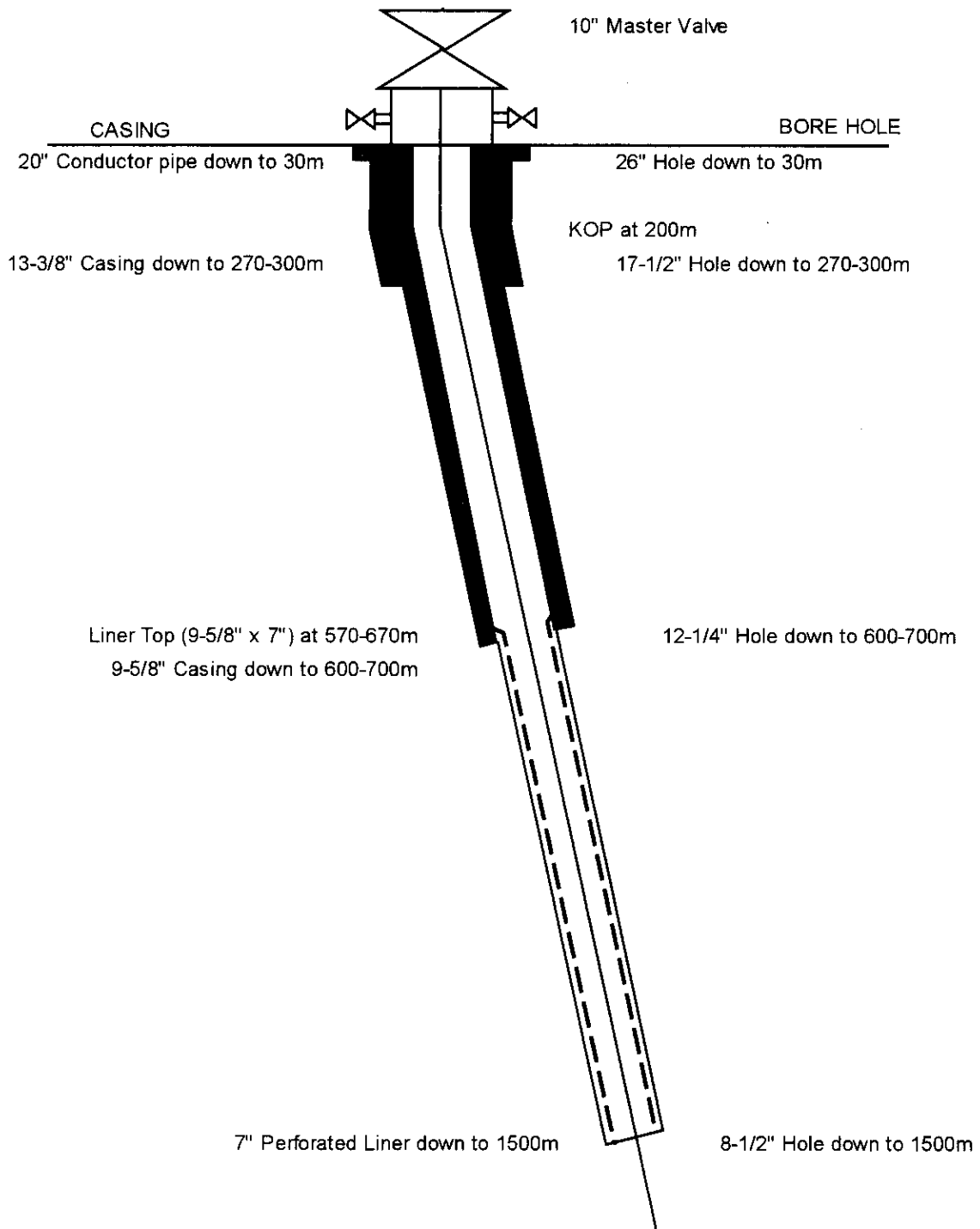
- ▶ 河川と掘削基地との標高差が大きい（約 260m）
- ▶ 河川流量の変化が大きく、取水設備の設置が困難
- ▶ 既設道路から河川までの標高差が約 70m あり、取水設備設置工事が困難

### d. 生産調査井および還元調査井の掘削

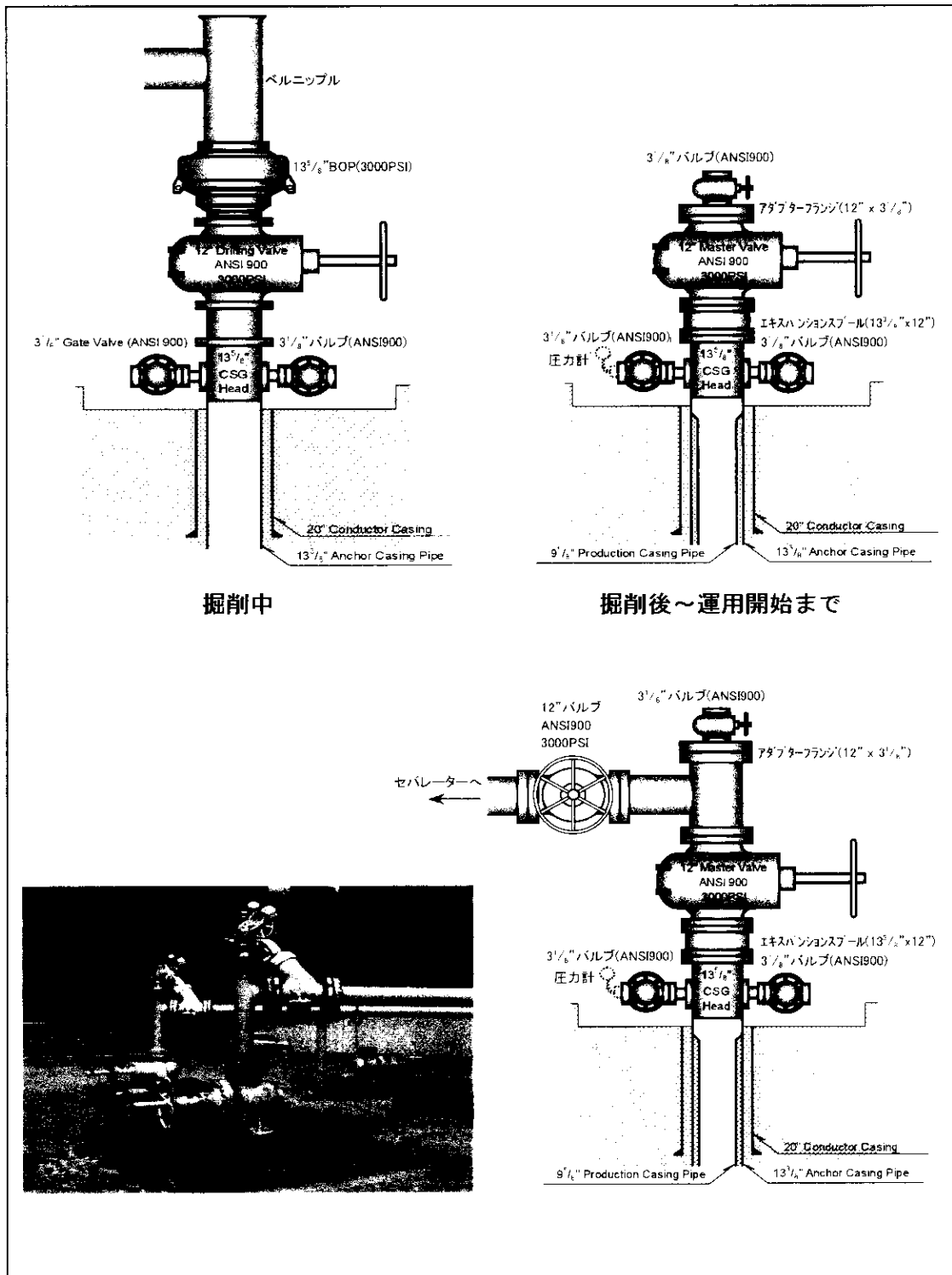
生産調査井および還元調査井の掘削で使用する掘削機は、掘削深度が 1,500m～2,000m 程度であることを考慮し、800～1,000 馬力以上のものを使用する。生産調査井および還元調査井の掘削は、限られた坑井敷地から複数のターゲットを掘り抜くために、傾斜掘削を行うのとする。各調査井のケーシングプログラムを第 VI-5 図と第 VI-6 図に示す。なお、2 本の調査井を生産調査井と還元調査井に便宜的に区分したが、利用方法は実際の掘削結果により判断する。なお、掘削中ならびに発電運用時の坑口装置を第 VI-7 図に示す。



第 VI-5 図 生産調査井ケーシングプログラム



第 VI-6 図 還元調査井ケーシングプログラム



第 VI-7 図 坑口装置

### (3) 坑井地質調査（カッティングス調査）

坑井地質調査の目的は、地質層序、変質状況、地質構造、流体包有物均質化温度、岩石物性等を明らかにし、地熱構造モデルを作成するための基礎資料を得ることである。坑井地質調査において一般的に実施される調査項目は、カッティングス観察、偏光顕微鏡観察、X線回折分析（全岩）及び流体包有物試験である。これらの調査項目は、調査対象地点の地質状況や調査の予算等を考慮し決定される。

得られた情報は、坑井状況の把握及び掘削計画の見直しに用いられる。また、地熱構造モデルの構築・見直しの基礎資料とされる。坑井地質調査の結果として、地質柱状図、偏光顕微鏡観察結果表、X線回折結果一覧表、流体包有物試験結果一覧表などが得られる。

#### カッティングス観察・記載

カッティングス観察は、実体顕微鏡を用いて原則として5～10m間隔のカッティングス試料を対象として行う。主な記載内容は、岩石の種類、色、硬さ、岩相の特徴、変質の程度と特徴、カッティングスの大きさなどである。これらの観察事項を取りまとめて、地質柱状図を作成する。また、偏光顕微鏡観察と合わせて坑井周辺の地質層序を検討する。

#### 偏光顕微鏡観察

各地層の岩層または熱水変質を代表する部分のカッティングス試料から薄片を作成し、偏光顕微鏡観察を行う。観察事項は、組織、構成鉱物（初生鉱物、変質鉱物）、鉱物の共生関係、変質の程度などである。

#### 粉末X線回折分析

岩石が地熱流体（熱水・ガス）と接触すると個々の造岩鉱物と地熱流体の間で化学反応が起こり、各鉱物は地熱流体の温度・圧力・化学成分に応じて別の鉱物（変質鉱物）に変化する。X線回折分析では、岩石試料中の変質鉱物を同定し、変質作用にかかわった地熱流体の温度やpHを推定する。分析の数量は原則として100m間隔の深度とするが、カッティングス観察の結果等により柔軟に対応することが望ましい。

#### 流体包有物試験

流体包有物均質化温度は坑井周辺の温度を推定するひとつの手法である。また、流体包有物氷融点温度は、地熱流体の地化学特性（塩濃度）を推定するひとつの手法である。

熱水変質作用により変質鉱物が生成される際、その鉱物結晶が成長する過程で結晶粒中に熱水あるいは熱水とガス（液相と気相を総称して流体と呼ぶ）が閉じ込められることがある。結晶粒中に閉じ込められた流体を流体包有物とよぶ。地下で高温の液相として結晶中に取り込まれた流体包有物は、地上に取り出されたときには気温にまで温度が下がる。この時、内部の圧力も同時に下がって気相が形成され、液相と気相が共存した状態になる。このような試料を加熱するとある温度で気相が消失する。この気相が消失する温度が均質化温度である。多くの場合、流体包有物の均質化温度は熱水が変質鉱物内に取り込まれた時の温度を示している。氷融



点温度は、流体包有物内の液相を凍らせ、次第に昇温しながら氷がすべて溶け終わる温度のことである。純水の場合、氷融点は $0^{\circ}\text{C}$ であるが、種々の塩類あるいはガスが含まれているような流体包有物の場合、溶存物質の濃度に関連し氷融点が降下する。この氷融点降下から流体包有物中の流体の塩濃度を推定することができる。このように流体包有物試験では地下温度や地熱流体の化学特性に関する情報が得られることから、流体包有物試験の実施も推奨する。

#### (4) 噴出試験

噴出試験は、地熱貯留層流体の物理的、化学的特性を評価するために実施される。

##### 物理特性

噴出試験に用いられる試験方法や試験装置のサイズは、生産井や地熱貯留層のタイプ、予想される最大噴出量及び噴出流体の比エンタルピー等によって選定される。一般的には、セパレータ法とリッププレッシャー法の2種類の試験方法が適用されており、それぞれの試験装置の概要を第VI-8図と第VI-9図に示す。可能であれば、リッププレッシャー法より精度の高いセパレータ法の採用が推奨される。セパレータ法における主な装置は以下の通りである。

- ① セパレータ
- ② オリフィスプレート
- ③ 熱水堰
- ④ 圧力計, マノメーター, 大気圧計

##### 地化学特性

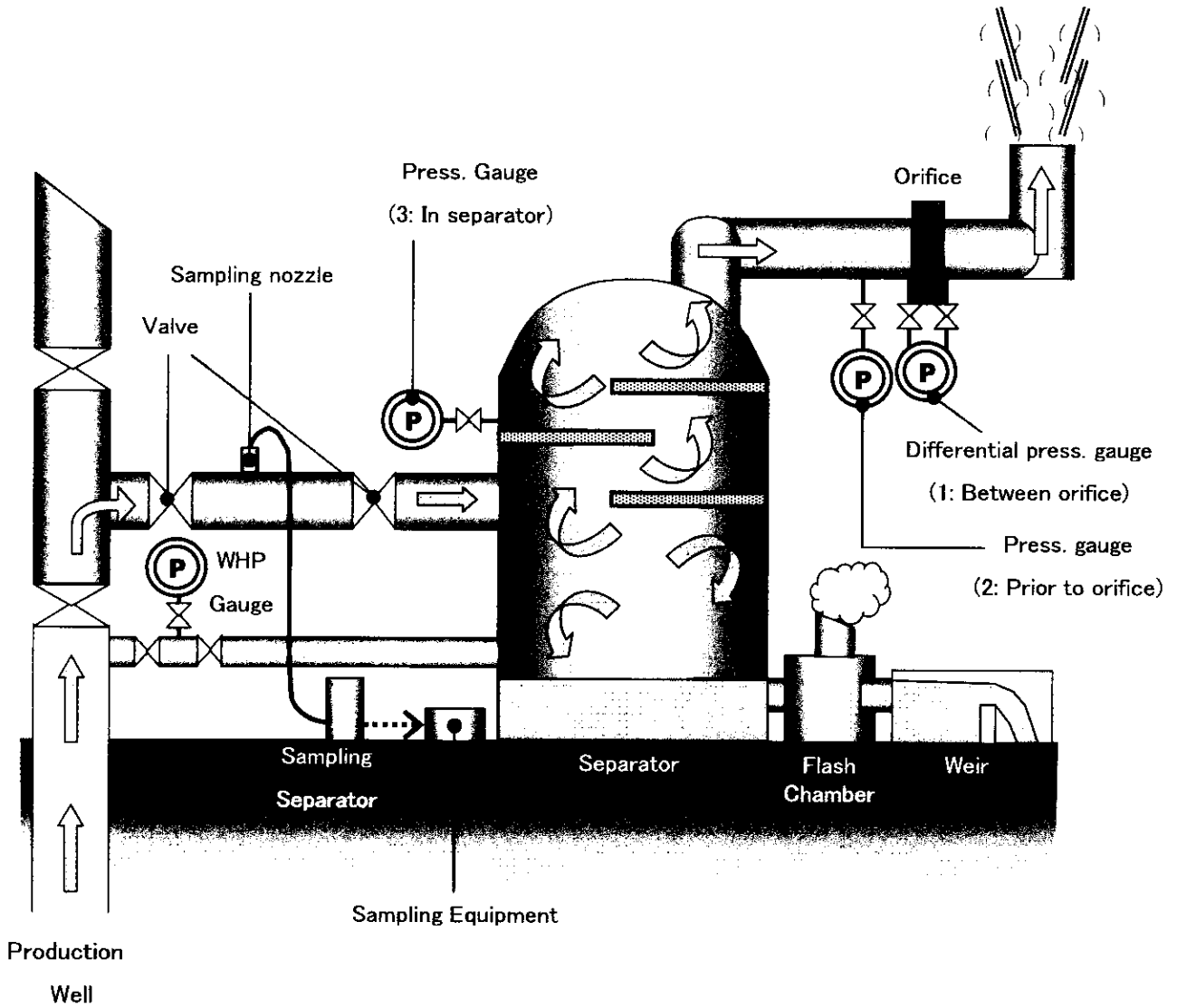
生産井から噴出する流体（熱水及び蒸気を含むガス）の化学組成は発電所や生産・還元システムの設計をする上で重要なデータである。例えば、高い不凝結ガス濃度はガス抽出装置が必要となる。流体の化学分析の結果、浸食・腐食問題やスケーリングの問題が深刻な問題として発生することが予想された場合は、経済的な対策を検討する必要がでてくる。

第VI-10図に示すように、サンプリングノズルからサンプリングセパレータに導かれ、そこで熱水と蒸気・ガスに分離される。分離された蒸気とガスはサンプリングクーラーで凝縮水とガスに分離される。一方、熱水は熱水堰で採取される。これらのサンプリングは物理特性試験の直後に実施されるのが望ましく、サンプリングの際には、気温、大気圧、セパレータ圧力、熱水温度等が記録される。それぞれの流体の分析項目は以下のとおりである。

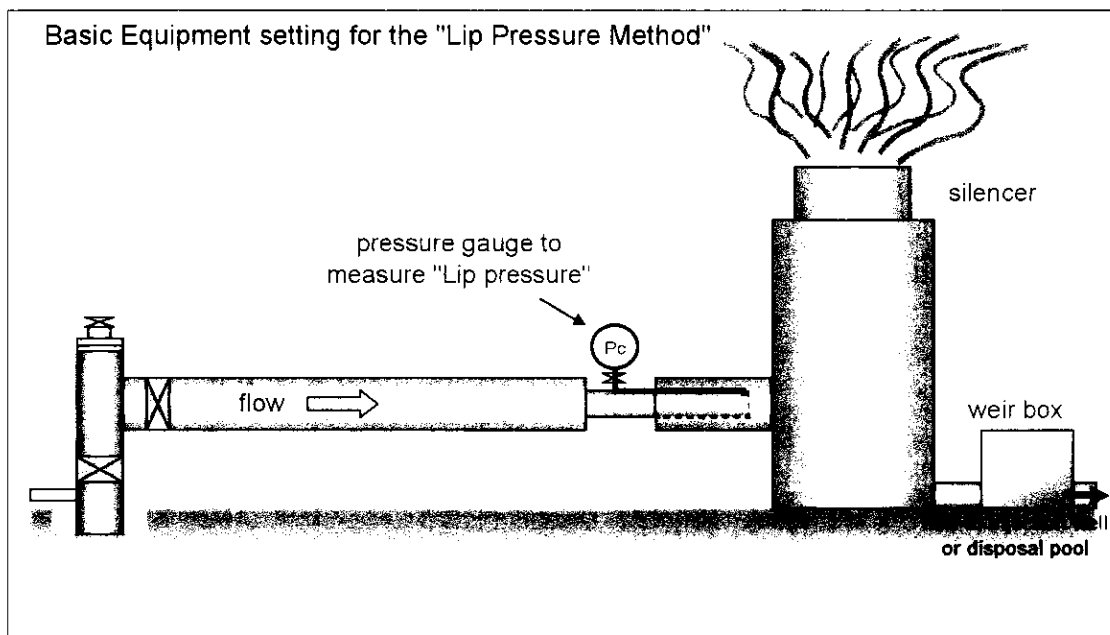
熱水: pH, 電気伝導率, Na, K, Li,  $\text{NH}_4$ , Ca, Mg, T-Fe, Al, Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ , T- $\text{CO}_2$ , F, Br, I, As, B, T- $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , T-Hg, D( $\text{H}_2\text{O}$ ), O( $\text{H}_2\text{O}$ ), O( $\text{SO}_4$ ), S( $\text{SO}_4$ ), トリチウム

凝縮水: pH, 電気伝導率,  $\text{NH}_4$ , Cl, T- $\text{CO}_2$ , As, B, T- $\text{SiO}_2$ , T-Hg, D( $\text{H}_2\text{O}$ ), O( $\text{H}_2\text{O}$ )

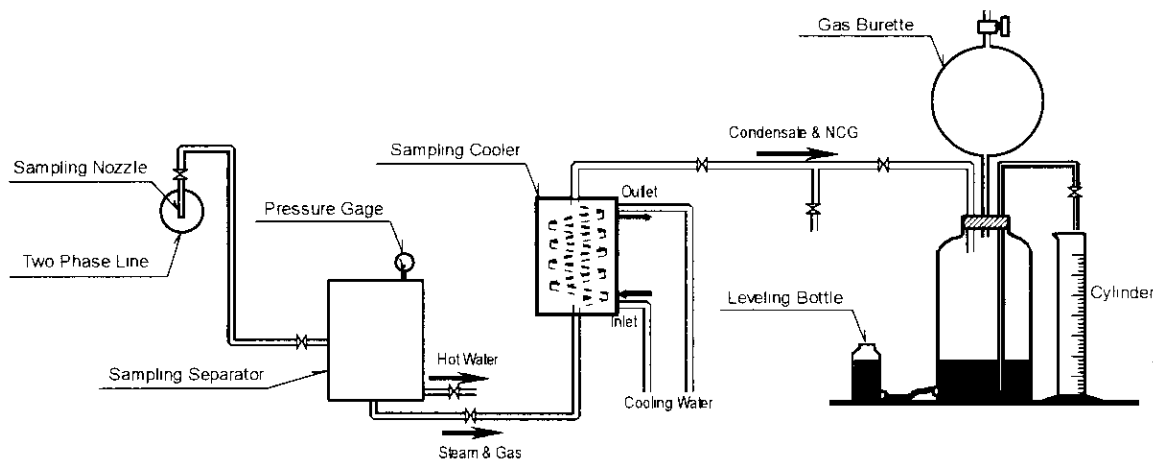
ガス: 不凝結ガス含有率(容量比),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , Rガス, D( $\text{H}_2$ ), C( $\text{CO}_2$ ), C( $\text{CH}_4$ ), S( $\text{H}_2\text{S}$ ), Rガス中の  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , Ar, He



第 VI-8 図 噴出試験装置（セパレーター法）の模式図



第 VI-9 図 噴出試験装置（リッププレッシャー法）の模式図



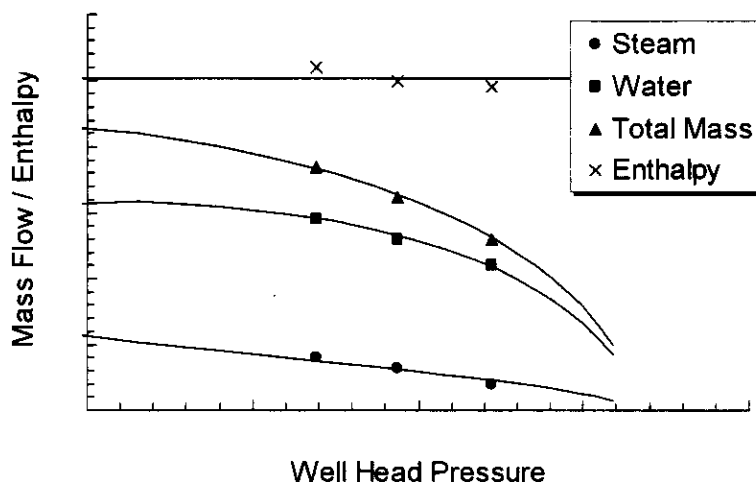
第 VI-10 図 地熱流体サンプリングシステムの模式図

(5) 噴出特性曲線

セパレータ法では、分離蒸気の流量はオリフィスプレートを使用し、オリフィスの前圧と差圧をサンプリングして測定することができる。一方、分離熱水は大気圧状態でフラッシュさせし、熱水堰を用いて測定することができる。リッププレッシャー法では、気液二相流体を適切なサイズの配管を通してサイレンサーに噴出させ、配管端に取り付けられた圧力計を用いてリッププレッシャーが測定される。気液二相流体の流量は、James の実験式に基づいて計算することができる。

長期的な噴出試験を実施することが可能であれば、第 VI-11 図に示す噴出特性曲線を作成す

るために、異なる3種類の坑口圧力における噴出量が測定されることが望ましい。この試験では、弁開度の調整により計画坑口圧力に調整される。



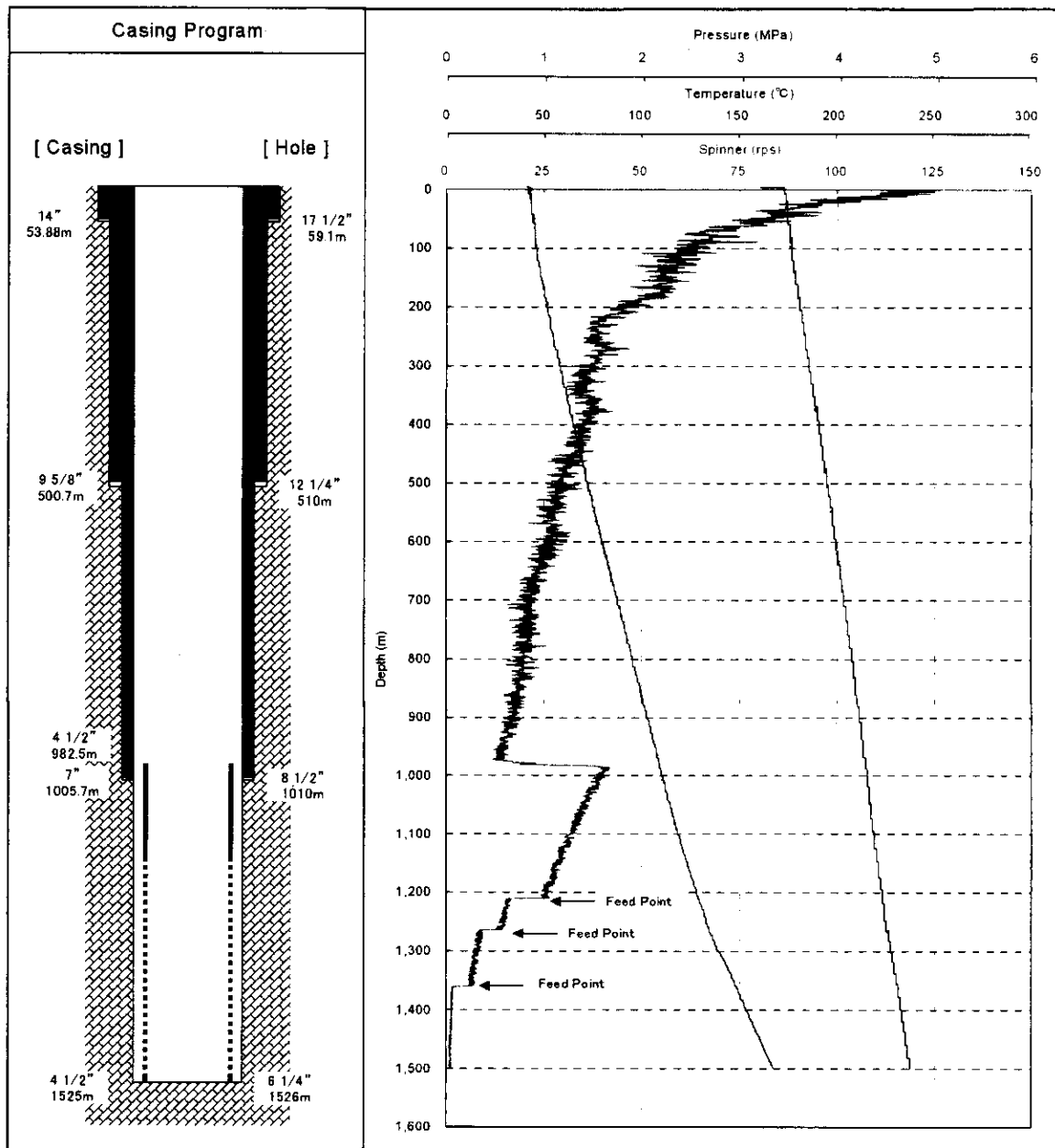
第 VI-11 図 噴出特性曲線の例

(6) PTS 検層

フィードポイントは地熱流体が地熱貯留層から生産井に流入してくる深度であり、このフィードポイントを明らかにするために、噴出中に PTS (圧力、温度、スピナー) 検層が実施される。

PTS 検層器には2種類の装置があり、一つはメモリー型で測定データが装置内部のメモリーに記録されるタイプである。もう一つはリアルタイム型で、測定データは電気ケーブルを会して地上のデータレコーダーに送られるタイプである。この検層器の操作にはワイヤーラインユニットが使用される。また検層中に地熱流体の大気へのリークを防ぎ、坑内の締切り状態を維持するために坑口の上にライザーパイプが設置される。

PTS 検層結果の例を第 VI-12 図に示す。PTS データは各フィードポイントで流入している地熱流体の流量や比エンタルピーのような流動状態を把握するために大変有効であり、これらのデータは将来の掘削計画を策定するためにも利用される。



第 VI-12 図 PTS 検層結果の例

(7) 地熱貯留層構造解析・地熱系概念モデルの構築

従来の調査・研究に基づいて構築された地熱系概念モデルに関する情報を収集し、今回の調査における各調査の検討結果を考慮し、さらに調査井データにもとづき、総合解析を行うと同時に、地熱系概念モデルの再構築を行う。概念モデルは、蒸気生産・熱水還元等の資源開発の方針決定や掘削ターゲットの選定に用いられる。さらには地熱資源量評価の基礎となることから、できる限り詳細・高精度に作成する。概念モデルの見直し・再構築においては、以下の事項を考慮する。

ア. 地熱貯留層の分布、規模

- イ. 地質構造モデルの見直し
- ウ. 高透水性ゾーンの分布と地質構造的解釈
- エ. 地下温度分布および地化学解析結果による熱構造
- オ. 地熱流体の起源、生成機構及び流体流動
- カ. 噴出流体の物理特性による出力試算
- キ. 化学特性に基づくスケール付着及び腐食の可能性
- ク. 噴出蒸気の化学特性に基づく蒸気品質

再構築された地熱系概念モデルにもとづき、掘削ターゲット等の再検討を行う。

#### (8) 貯留層評価 (貯留層シミュレーション)

タポバン地点の地熱資源量は貯留層シミュレーションによって評価する。貯留層シミュレーションは、地熱開発において最も信頼性の高い資源量評価手法である。これは、概念的に構築された貯留層モデルを数値化し(数値モデル)、コンピュータによって地熱貯留層における蒸気や熱水の生産・還元を再現し、そのために生じる貯留層の特性変化を例えば30年間予測することで、持続可能な開発規模、すなわち適正な地熱資源量を定量的に求める。数値モデルはまた、長期間の地熱発電所運転のための地熱貯留層管理にも用いられる。

数値モデルは概念的に構築された地熱貯留層モデルに基づき構築される。これは地下の状態を様々なパラメータを与え数値化したモデルである。例えば岩石の密度、空隙率、透水性、熱伝導率などである。

構築された数値モデルをより現実的なものにするために次の手順により検証・修正を行う。まず、既存の調査データを活用して、開発前の安定した貯留層の状態を計算で再現する自然状態シミュレーションを行い、次に開発段階の動的変化に富んだ貯留層の挙動をヒストリーマッチングで再現することで、信頼性の高い貯留層数値モデルを構築する。そのうえで、先ず現状の開発計画に沿った予測計算を行い、その妥当性を評価する。その結果、計画の修正が必要と判断されれば、次の段階として、追加の予測計算において開発シナリオの修正を繰り返し、適正な開発計画を抽出する。

### VI-2 フィージビリティ調査

地熱資源量評価に基づく最適開発規模検討結果を踏まえ、地熱発電所の概念設計を行う。一般にこの段階において経済・財務評価を行い、経済的観点からのプロジェクト実行可能性が検討される。フィージビリティ調査の後、建設段階に着手される。

### VI-3 建設段階

タポバン地熱発電開発プロジェクトの内容(建設段階)の詳細は調査井掘削及び地熱資源評価結果に基づき実施されるFS調査で検討されるが、現時点で想定されるプロジェクトの概要は以下のとおりである。

<地熱資源開発>

- ▶ 発電所・生産井基地および還元井基地の敷地造成
- ▶ アクセス道路の建設
- ▶ 生産井および還元井の掘削

＜地熱流体輸送設備建設＞

＜バイナリー方式 10MW 地熱発電所建設＞

送電設備は本プロジェクトに必須であるが、州政府による建設が期待されることから、本プロジェクトには含んでいない。

### VI-3-1 地熱資源開発

#### (1) 発電所および坑井掘削基地の敷地造成

現地は急峻な谷地形となっており、平坦地は少ない。このため、発電所及び坑井掘削基地の位置は第 V-12 図に示す以外はないと考えられる。10MW 地熱発電所には生産井基地と還元井基地がそれぞれひとつずつ必要である。それぞれの基地から 5 本の坑井が掘削される。発電所及び生産井基地が建設可能な平坦地の近傍には小学校が存在する。生産井基地の敷地の一部は発電所敷地と共用できる。還元井基地は発電所敷地の西側の平坦地がその候補地である。還元熱水は発電所から自然流下で還元井基地まで輸送するため、還元井基地は発電所より標高の低いところに設置する必要がある。第 VI-1 表に敷地の計画概要を示す。

第 VI-1 表 発電所及び坑井基地の仕様

Item	Size (Flat area)	Land acquisition area	Remarks
Production well pad	100m x 70m	10,000 m <sup>2</sup> (100 x 70 x 1.5)	Modified by actual rig size
Reinjection well pad	100m x 70m	10,000 m <sup>2</sup> (100 x 70 x 1.5)	Modified by actual rig size
Plant site	150m x 80m	13,000 m <sup>2</sup> (150 x 80 ~ 100 x 35) x 1.5	Plant site will consist of a part of the production well pad and others
Reinjection pipe line	5m x 200m	2,000 m <sup>2</sup> (5 x 200 x 2.0)	Including patrol road

#### (2) アクセス道路の建設

ウッタルカンド州の州都デラドゥン市では、地熱開発で実施する土木工事等に必要となる建設資機材の調達が可能である。デラドゥン市からタポバン地点までの距離は約 300km であり、国道 58 線を通る陸路でのアクセスが可能である。

発電所敷地近傍の既設道路から発電所敷地までは、掘削機材搬入や発電機器搬入のための道路建設が必要である。第 V-12 図に新設が必要なアクセス道路の位置を示す。

坑井掘削および発電設備は、当開発地点まで陸路での輸送が可能であると考えられる。なお、地熱開発開始時には、事前に港からの既設道路について、路盤強度・幅員・橋梁等の詳細な調

査を実施するべきである。

掘削工事や発電所運用に必要な工事用水は、ダウリガンガ川から取水が可能と考えられ、給水配管をアクセス道路沿いに敷地まで敷設する。

### (3) 生産井および還元井の掘削

生産井および還元井の掘削は、限られた坑井敷地から複数のターゲットを掘り抜くために、傾斜掘削を行うものとする。生産井及び還元井の詳細な掘削深度やケーシングプログラムは、地表調査や調査井掘削結果を基に作成された地熱構造モデルを参考に最終決定される。

## VI-3-2 地熱流体輸送設備

発電所、生産井基地、還元基地および配管レイアウトを第 V-12 図に示す。生産配管は生産井から発電所まで設置し、還元配管は発電所から還元井まで設置する。

## VI-3-3 発電プラント

SNC 及び JETRO (2010) では地下資源に関する検討結果から、本地点では中温熱水が貯留されていると考えられ、地熱資源の温度を考慮すると本地点ではバイナリー発電の適用が推奨された。

## VI-4 プロジェクトの実施体制及び実施スケジュール

タポバン地熱発電開発プロジェクトの実施スケジュールについて、SNC及びJETRO (2010) 及び地熱発電開発の一般的なスケジュールを参照し計画した。この工程については、地熱資源調査及びフィージビリティ調査により更新・見直す必要がある。事前調査着手（地熱資源評価）からプロジェクト完了までの実施スケジュールは次のように想定される。

本調査終了後、事前調査に着手される。地熱調査井掘削前に掘削に必要な許認可取得の手続きが実施される。平行して事前調査のコンサルタントが選定され、事前調査に着手される。事前調査には28ヶ月が見込まれる。事前調査完了時に地熱資源調査FSレポートが提出される。それにもとづき、フィージビリティ調査が実施されプロジェクト実行可能性が検討される。

プロジェクト着手に先立ち、発電所建設に必要な許認可の取得が行われ、プロジェクトに着手される。まずコンサルタントが選定される。次いでプロジェクトの調達を開始され、コントラクターが決定される。各コントラクターとの契約発効後、直ちに設計・製作、輸送、建設工事、試運転が実行され、プロジェクトが完成、営業運転が開始される。

各段階のスケジュールは以下のとおりである。

### フェーズ3 (地熱資源評価)

この段階は28ヶ月が見込まれる。この段階では、地熱調査井掘削・試験、地熱資源評価が実施される。



### フィージビリティ調査

この段階は3ヶ月が見込まれる。この段階では、発電設備の概念設計及び実施可能性調査が実施される。

### コンサルタントの雇用

プロジェクトの早期着手・実現のためにはまず、コンサルタントを早く選定すべきである。コンサルタントの選定は4ヶ月、サービス期間は60ヶ月が見込まれる。

### 坑井掘削・試験

プロジェクトの早期着手・実現のためには、掘削コントラクターを早く選定すべきである。コントラクターの選定は4ヶ月、敷地造成・掘削機材搬入は3ヶ月、生産井・還元井掘削及び坑井試験は27ヶ月が見込まれる。

### 発電所建設 (EPC)

コンサルタント調達の後、EPCコントラクターの選定は9ヶ月が見込まれる。

### 地熱流体輸送設備の建設

契約後、設計、製作、輸送、建設工事、試運転完了までに20ヶ月が見込まれる。

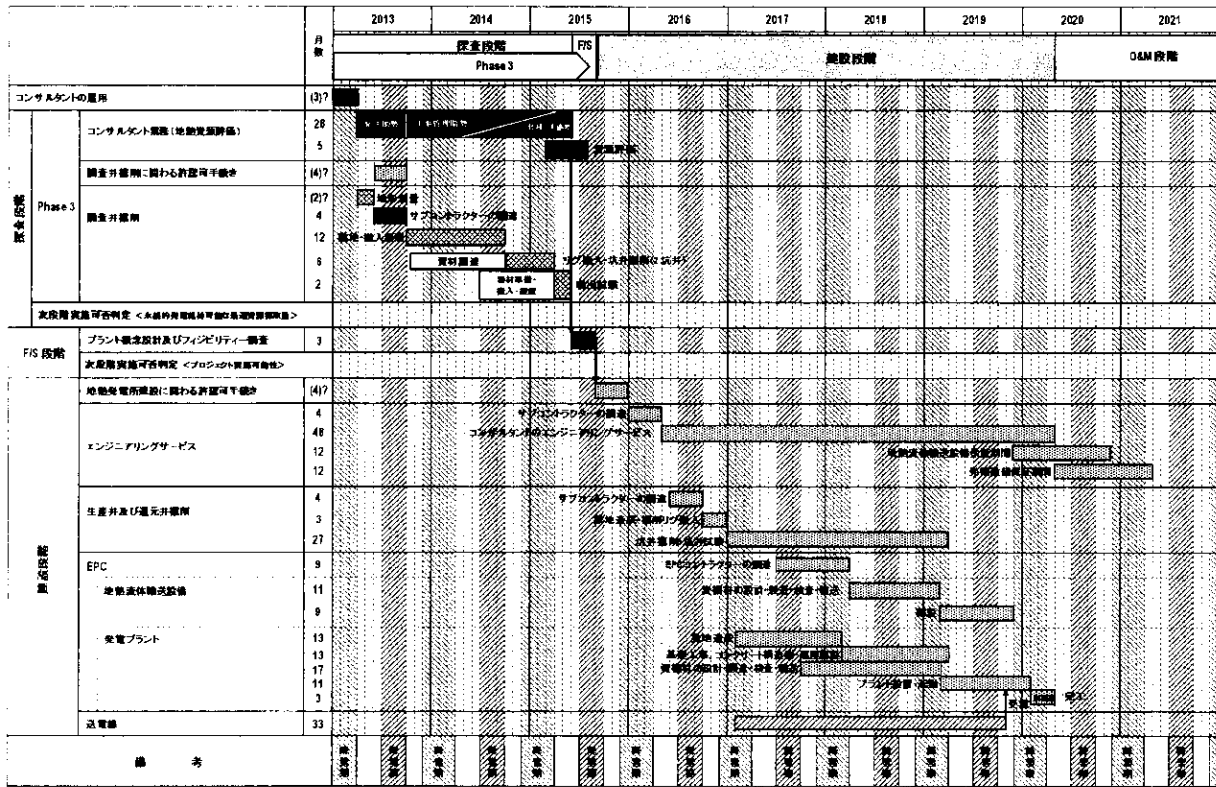
### 地熱発電所の建設

契約後、設計、製作、輸送、建設工事、試運転完了までに39ヶ月が見込まれる。

### 送変電設備の建設

契約後、設計、製作、輸送、建設工事、試運転完了までに33ヶ月が見込まれる。

事前調査のコンサルタントの調達から営業運転開始までは88ヶ月と見込まれる（第VI-13図参照）。



第 VI-13 図 タポバン地点プロジェクト実施スケジュール

VI-5 プロジェクトの概算コスト

VI-5-1 プロジェクトコストの構成

コストは以下のように区分して積算した。

- ・ 調査掘削（アクセス道路、調査井掘削等）
- ・ 地熱発電所建設

プロジェクトコスト構成には第VI-2表に示す項目を積算した。

第 VI-2 表 プロジェクトコストの構成

<b>I. 調査井掘削段階</b>	
	アクセス道路敷設（掘削用水含む） 掘削基地造成 調査井掘削および噴出試験 生産井: 2,000m x 1本 還元井: 1,500m x 1本 資源評価 F/S
<b>II. 地熱発電所建設段階</b>	
1. 蒸気設備	坑井掘削および試験 生産井: 2,000m x 4本

	還元井: 1,500m x 4 本
2. 発電設備	地熱バイナリーサイクル発電システム 発電所建設 地熱流体輸送配管および還元システム 地熱流体輸送・還元配管建設 サイレンサーその他. 敷地造成（発電所敷地、その他）
3. 送電設備	地熱発電所開閉設備 昇圧変圧器（11/66kV, 11MVA） 66 kV 送電線（10km） ジョシマート変電所側開閉設備
4. コンサルタント費	1,2 および 3 の 10%
5. 予備費	1,2,3 および 4 の 5%
6. 管理費	1,2 および 3 の 5%

### VI-5-2 プロジェクトコスト

プロジェクトコストは、調査井掘削段階および発電所建設段階に分類し、その内訳を第VI-3表に示す。また、掘削費概算内訳を第VI-4表に示す。

第 VI-3 表 プロジェクトコスト一覧

	業務内容	概算費用 (US\$)
調査井掘削段階	アクセス道路敷設 (2km)	800,000
	掘削用水 (高圧ポンプを含む)	200,000
	掘削基地造成 (2 箇所)	1,000,000
	掘削機運搬	2,000,000
	生産調査井掘削及び噴出試験	4,310,000
	還元調査井掘削	3,410,000
	掘削に係るコンサルタント費	500,000
	資源評価 F/S	500,000
	合計	12,720,000
発電所建設段階	蒸気設備	
	a. 掘削機運搬	2,000,000
	b. 生産井掘削及び噴出試験 (4 坑井)	17,240,000
	c. 還元井掘削 (4 坑井)	13,640,000
	発電設備	20,510,000
	送電設備*	0
	コンサルタント費	5,339,000
	予備費	2,936,000
	管理費	2,670,000
	合計	64,335,000
総計		77,055,000

注 ;

1. 送電は、UPCL (ウツタルカンド発電公社) および PTCUL (ウツタルカンド送電公社) が実施すると想定し、プロジェクトコストから除外している。
2. 概算掘削費は、インド国内および東南アジア (インドネシア、フィリピン) における最近の市場価格に基づくものである。

第 VI-4 表 掘削費内訳

Unit: US\$

Item	Production well Ave. Depth: 2,000m	Reinjection well Ave. Depth: 1,500m
<b>1. Rig Hire</b>		
a. Drilling cost		
*Rig Operation (\$25,000/day)	1,500,000	1,250,000
*Air drilling package	N/A	N/A
b. Rig Move (On location)	150,000	150,000
Sub-total	<u>1,650,000</u>	<u>1,400,000</u>
<b>2. Drilling Services</b>		
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	N/A	N/A
f. H <sub>2</sub> S Monitoring	N/A	N/A
g. Well logging	90,000	60,000
Sub-total	<u>920,000</u>	<u>750,000</u>
<b>5. Drilling materials</b>		
a. Bit and others	160,000	120,000
b. Casing and accessories	700,000	500,000
c. Wellhead and valves	100,000	100,000
d. Mad materials	60,000	40,000
e. Cement and additives	120,000	100,000
f. Fuel and Oil supply	300,000	250,000
g. Drilling consumable-Foreign	-	-
h. Drilling consumable-Local	-	-
Sub-total	<u>1,440,000</u>	<u>1,110,000</u>
<b>6. Drilling support</b>		
a. Transport (in site)	20,000	20,000
b. Water supply (Operation)	40,000	30,000
c. Others (Catering, etc.)	60,000	50,000
Sub-total	<u>120,000</u>	<u>100,000</u>
7. Well Testing	180,000	50,000
<b>Grand Total for Drilling</b>	<b>US\$4,310,000/well</b>	<b>US\$3,410,000/well</b>

## VI-6 プロジェクトを進める上での懸念事項・課題

現時点で想定される、本プロジェクトを進める上での懸念事項及び課題を以下のとおりまとめた。

### (1) フェーズ3（地熱資源評価）

#### アクセス道路・敷地造成時

- 学校・民家への影響  
近隣の学校・民家への工事中的の影響を考慮する必要がある。
- 地形が急峻であり、十分な平坦地が確保できるか  
土木工事に関する測量・詳細設計を実施し、検討を行う。
- 既設道路の詳細調査・補修  
掘削業者による詳細な輸送ルート調査が必要である。
- 降雨期・降雪期の現地作業の制約  
工程・安全対策に関して十分な検討が必要である。

#### 坑井掘削

- 掘削可能な業者の詳細調査  
本調査では、掘削可能な業者の概要を調査しているため、入札選定前には保有掘削設備等の詳細調査が必要である。
- 輸送路調査  
入札時には、掘削業者による業者リグベースから現地までの輸送路調査が必要である。
- 掘削用水  
掘削用水取水地点・取水方法・配管ルートの詳細調査が必要である。
- 掘進率の及ぼす岩石の硬度  
掘削工程に影響を及ぼす岩石の硬度等の現地地質状況を詳細調査する必要がある。
- 被圧地下水対策  
本地点には、被圧地下水の存在が推定されるため、坑井掘削中に遭遇した場合の対策を事前に検討する必要がある。
- 降雨期・降雪期の現地作業の制約  
現地の気象条件により現地作業実施時期に制約があり、12月～3月の積雪期及び7月～9月の多雨期には、現地における調査は困難である。多雨期には土石流や地滑りが多発し、近隣の町村（ジョシマートなど）から現地までのアクセス道路が頻繁に寸断されるため、実質的に現地作業の制約が多い。したがって、現地においてベースキャンプを設置するなど、工事期間中のロジスティックを事前に十分検討しておく必要がある。

### (2) 調査井掘削時の社会環境懸念事項

- 掘削計画地点から250m離れたところに小学校やリング村の居住地がある。一般に掘削の騒音レベルは100-110dB（A）程度であり、24時間操業されることから昼間の小学校の影響、

夜間の居住地への影響が懸念される。掘削機器の防音対策の他、小学校の移転が望ましい。

- ▶ リンギ村の住民は標高の高い支流から飲料水を引いてきている。掘削用水を標高の低い本流からくみ上げるとしても住民が不安な場合、飲料水の水質モニタリングの実施が望まれる。
- ▶ 地熱井からの硫化水素ガスの噴出可能性は低いものの、モニタリングすることが望ましい。
- ▶ 掘削基地までの搬入道路はリンギ村の主な生活道路となっている歩道を大幅に改修する計画になっている。補強後は工事用車両の通行が増えることが予想されるので、住民の要望があれば代替の生活道路を確保する必要がある。

以上のとおり、タポバン地点においては、地熱資源のリスクと環境社会配慮上の課題が存在する。すなわち、適切な地熱開発の開発規模を推定することが現段階では困難である。また、MT 探査データに基づき調査井の掘削ターゲットの候補は推定されたものの、それらが精度高く推定されない状況にある。さらに、掘削基地の位置に地形上の制約があり、掘削ターゲットを掘り抜くためには傾斜角の大きい傾斜掘削の必要となり、掘削技術の課題が存在する。

環境社会配慮上の制約は次のとおりまとめられる。タポバン地点は山岳地に位置し、そのほとんどが急傾斜地からなる。そのため、発電所及び掘削基地が建設可能な緩傾斜地はリンギ村付近のみに限られる。その限られた緩傾斜地は、軍用施設、耕作地及び居住地として利用されている。このため、地熱発電所敷地や坑井掘削基地の土地を確保するためには地元住民との折衝が必要となる。このようなリスク及び課題を考慮すれば、タポバン地点は地熱発電開発に適した地点とは言い難い。

## 第 VII 章



## VII 他地点における地熱資源開発調査の支援

タポバン地点以外の地点における地熱開発の支援については、ウッタラカンド州もしくは他州におけるNTPCの地熱開発調査への支援が想定される。

### VII-1 ウッタラカンド州

ウッタラカンド州は、NTPCがタポバン地点の調査に関する許可申請を申請・取得している州であることから、他の州に比べ、州内の他地点の調査実施にスムーズに着手できる可能性がある。

ウッタラカンド州においては、タポバン地点以外にも温泉が湧出している地点がある。このうち、ベダの温泉水については200°C前後の温度が計算されることから、この地点は有望と考えられる。また、Na-K-Ca温度を見ると、ヤムノトリやガンナニ、キーラオ、ガリ、ジュマ、バラティ、ダル、カラパニでも100°Cを超える温度の熱水が存在する可能性がある。ただし、これらの地点はタポバン地点と類似した地質状況であることが想定され、地下地質構造を精度よく把握することが困難となり、掘削ターゲット選定に至らない場合がある。これらを考慮すると、ウッタラカンド州における地熱資源調査の優先順位は、次に述べる他州における調査よりも劣ると判断される。

ウッタラカンド州内のこれらの地点は、次のような調査が必要と判断される。

項目	内容	
既存データ収集および解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 既存データ収集および解析</li> <li>- 各地点の地熱資源検討</li> <li>- 補足地表調査対象地点（有望地点）選定</li> </ul>	
↓		
有望地点での調査項目	内容	
第1段階 地質および地化学調査 (2~3 地点)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地質調査（地質・熱水変質帯・断層分布などの把握、岩石試料採取など）</li> <li>- 温泉水採取</li> <li>- 地質試料室内分析（岩石薄片観察、X線回折分析、岩石年代測定）</li> <li>- 地化学室内分析（化学分析、同位体分析）</li> <li>- 地熱系概念モデル作成</li> <li>- 物理探査対象地点選定</li> </ul>	
第2段階	物理探査（MT 探査）	- 約 35 測点
	掘削に関わる基礎調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 土地利用状況</li> <li>- 公園・森林規制</li> <li>- アクセス道路</li> <li>- 取水状況</li> <li>- 掘削に係る許認可</li> </ul>

地熱資源評価地熱資源評価・開発計画策定 (掘削ターゲット選定・掘削仕様検討)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地表調査結果の集約</li> <li>- 地熱系概念モデルの修正</li> <li>- 地熱資源ポテンシャル評価</li> <li>- 今後の地熱資源開発基本計画策定</li> </ul>
---	---



項目	内容
調査井掘削	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 敷地造成、アクセス道路取り付け</li> <li>- 調査井掘削 (3本程度)</li> </ul>
坑井検層・坑井試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 坑井検層</li> <li>- 還元量試験</li> <li>- 干渉試験</li> <li>- 噴出試験</li> </ul>
地熱資源量評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地熱構造モデル作成</li> <li>- 地熱資源量評価 (地熱貯留層シミュレーション)</li> </ul>
FS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地熱資源開発計画策定</li> <li>- 地熱発電所基本計画</li> <li>- 経済財務評価</li> </ul>
環境影響評価	環境影響評価

## VII-2 他州

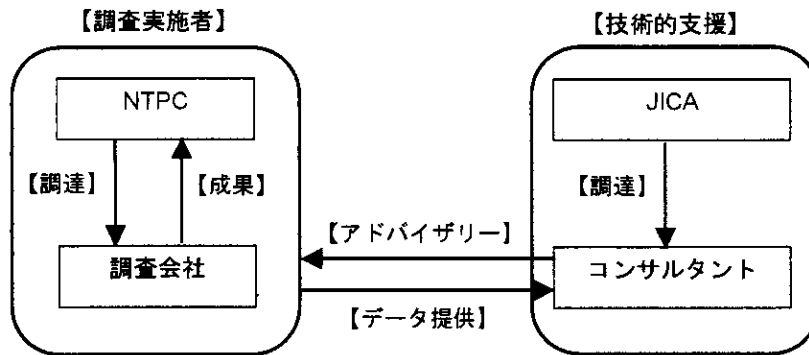
第IV章にまとめたとおり、インド国内には地熱調査が比較的進んでおり、資源利用評価段階(フェーズ3)ないし精査段階(フェーズ2)にある地熱地点もある。これらの地点では、地熱発電所建設へ向けては、次のような調査が今後必要と考えられる。

- ① 既往調査レビュー及び調査井掘削ターゲット選定・掘削仕様検討
- ② 調査井掘削(3坑井と想定)及び噴出試験・資源量評価
- ③ フィジビリティ調査

なお、既往調査結果のみでは調査井掘削ターゲット選定が困難と判断された場合には、補足調査が必要となる。インド国内の地熱地点のいくつかは、日本国外務省危険情報で、「渡航の是非を検討してください」に区分されており、本邦の人員による現地調査活動に制約がある。このような状況も考慮した地熱資源調査の支援体制及び支援内容は次のように想定される

### (1) 実施体制

この調査段階における支援体制としては、次のふたつの体制が想定される。ひとつは、調査自体はインド国側により実施され、それについて技術的アドバイザーサービスを行う体制である。もうひとつは、調査自体をJICA側で主体的に実施し、現地作業のみを尼国等の調査機関に再委託する体制である。ただし、調査実施主体による現地確認調査が実施できないことは、事業内容検討等に際し、適切かつ十分な検討に支障を来す恐れがある。これを考慮すると、技術的アドバイザーサービスによる支援体制がより現実的であると考える(第VII-1図)。



第 VII-1 図 技術アドバイザー主体の場合

(2) 実施内容

想定される実施内容は以下のとおりである。

地表調査

項目	内容
既存データ収集・解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 既存データ収集および解析</li> <li>- 補足調査の要否検討（必要な場合はその調査内容検討）</li> </ul>

【必要となる可能性がある補足調査】

項目	内容
補足地質調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地質調査（地質・熱水変質帯・断層分布などの把握、岩石試料採取など）</li> <li>- 地質試料室内分析（岩石薄片観察、X線回折分析、岩石年代測定）</li> </ul>
補足地化学調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 温泉水採取</li> <li>- 地化学室内分析（化学分析、同位体分析）</li> </ul>
追加物理探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 既存物理探査データの再解析</li> <li>- 追加MT探査</li> </ul>
掘削に関わる基礎調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 土地利用状況</li> <li>- 公園・森林規制</li> <li>- アクセス道路</li> <li>- 取水状況</li> <li>- 掘削に係る許認可</li> </ul>
地熱資源評価・開発計画策定（掘削ターゲット選定・掘削仕様検討）	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地表調査結果の集約</li> <li>- 地熱系概念モデルの修正</li> <li>- 地熱資源ポテンシャル評価</li> <li>- 今後の地熱資源開発基本計画策</li> </ul>

## 調査井調査

項目	内容
調査井掘削	- 敷地造成、アクセス道路取り付け - 調査井掘削（3本程度）
坑井検層・坑井試験	- 坑井検層 - 還元量試験 - 干渉試験 - 噴出試験
地熱資源量評価	- 地熱構造モデル作成 - 地熱資源量評価（地熱貯留層シミュレーション）
FS	- 地熱資源開発計画策定 - 地熱発電所基本計画 - 経済財務評価
環境影響評価	環境影響評価

また、地熱開発の経験を有しないNTPCの技術者を対象に、地熱発電開発の全般に関する基礎的知識習得を目的として、日本における講義や現場視察を実施することも、インド国における地熱発電開発促進に有効と考える。日本における技術研修の内容として以下の内容が挙げられる。

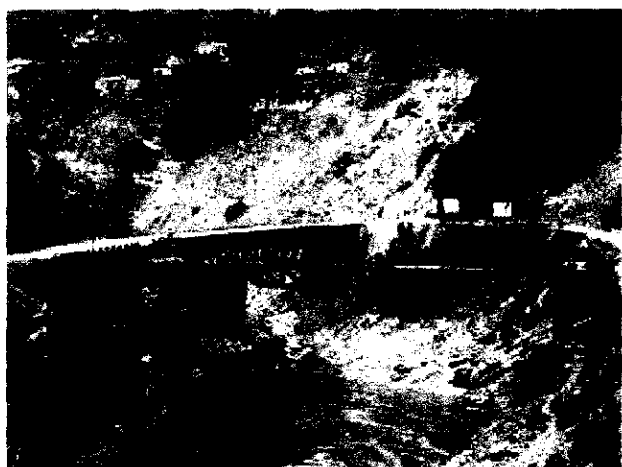
- ・地熱資源探査手法（講義）
- ・地熱貯留層評価（講義）
- ・地熱発電設備（講義）
- ・地熱発電所の運転管理（講義）
- ・地熱開発の経済性（講義）
- ・地熱発電所見学（視察）

## 添付資料

## 添付資料

タポバン地点 現地写真

●国道 58 号線（リシケシュージョシマート間）の道路状況



●ジョシマートータポバン間の道路状況

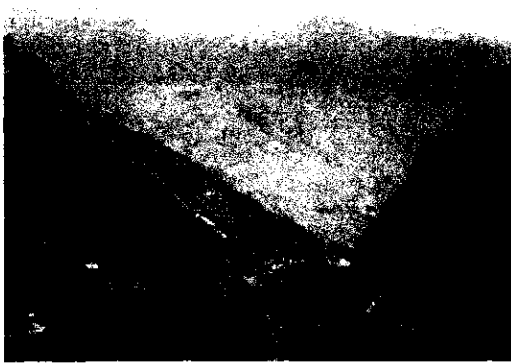
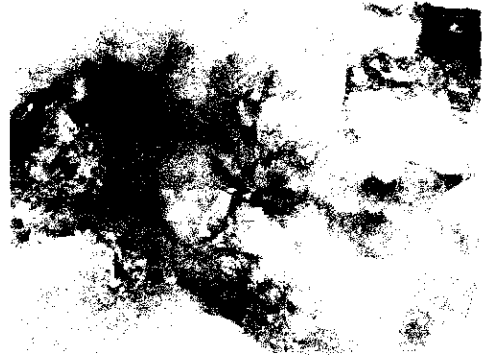




●タポバン現地状況



AGW-3 号井



タポバン地点の遠景



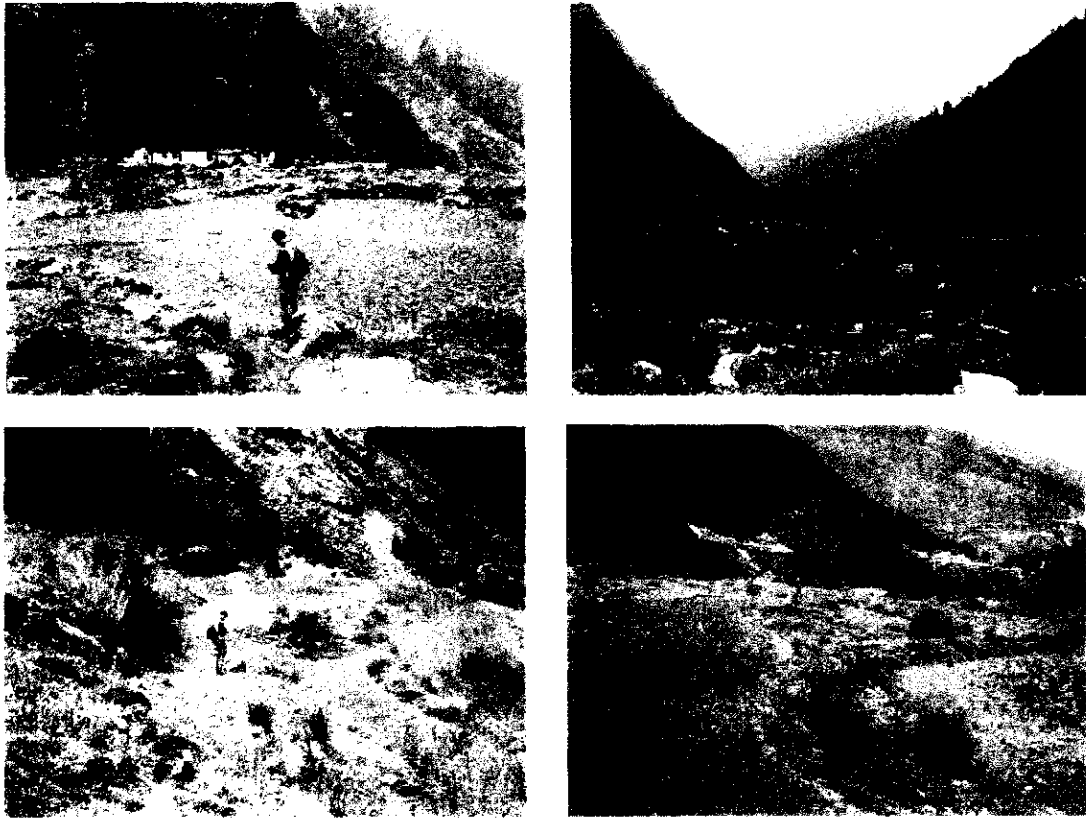
地元住民へのヒアリング調査



リンギ村



リンギ村の飲料水のひとつ



掘削基地・発電所敷地候補地点



掘削基地・発電所用地候補地点への道路（車両での通行は不可能）



掘削基地・発電所用地候補地点への搬入路入り口候補箇所（軍施設を迂回するように設置）

