

地熱発電の現状と今後の課題

1 9 9 6 年 1 2 月

電力中央研究所

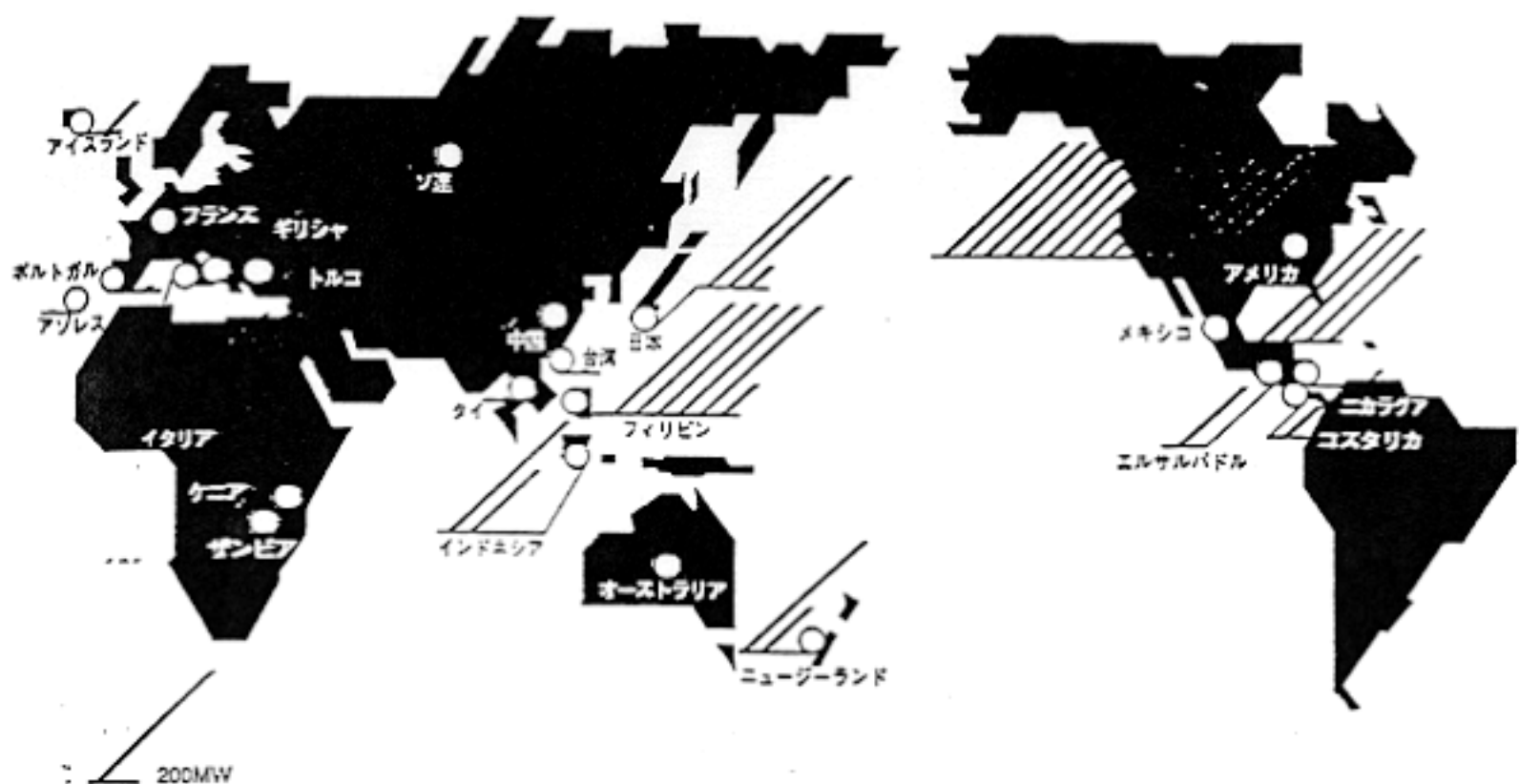
堀 義直

世界の地熱発電所の現状

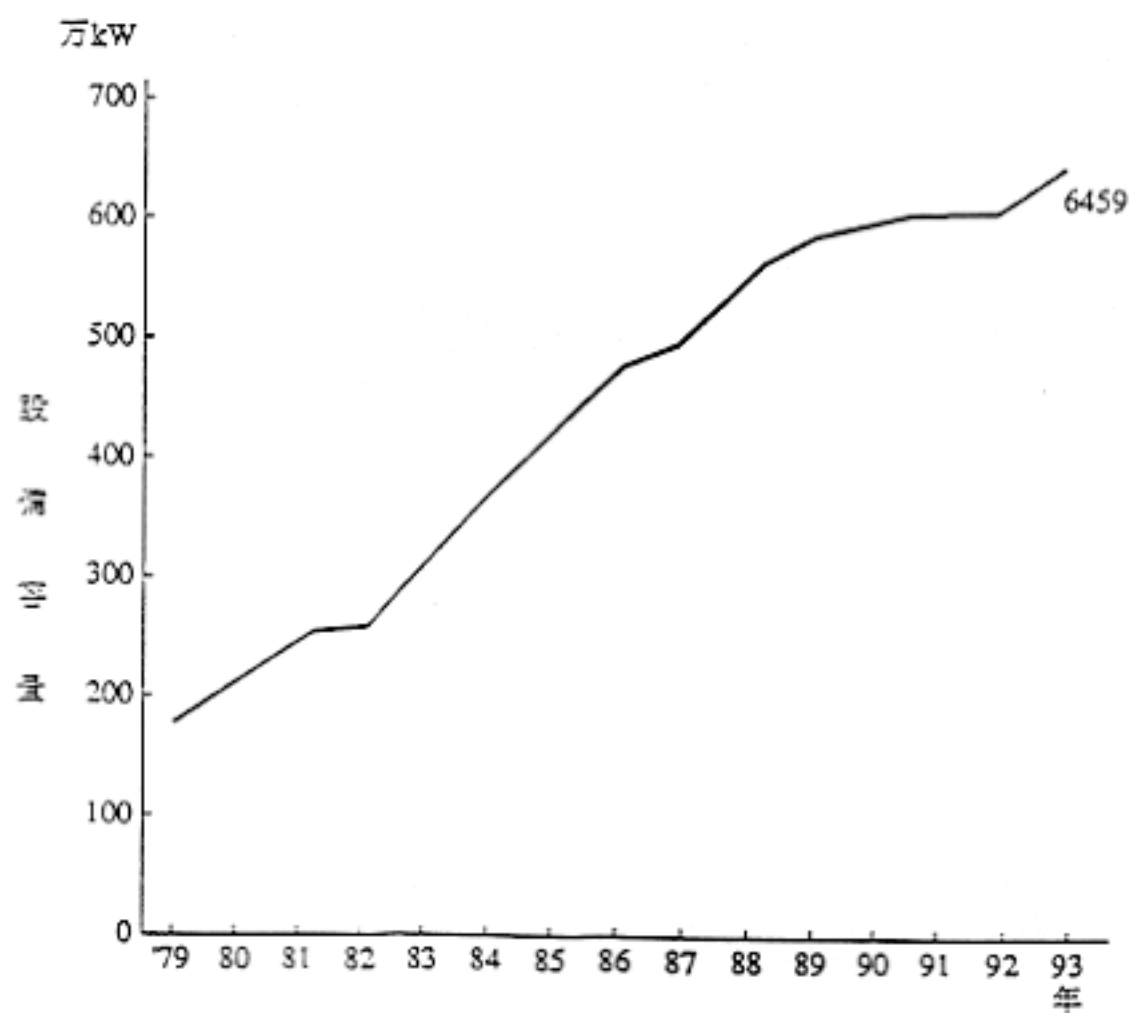
国名	地域・発電所	設備容量 (MW)	国別計 (MW)	備 考
※日本		517,422	503,827	(0.2%) 地熱発電の割合
米国	The Geysers Coso Imperial Valley Dixie Valley 他	1,797 240 402.8 66 245	2,750.8	Geysers地域は過熱蒸気型の発電であり、米国の地熱発電設備容量の70%を占めている。 (0.3)
フィリピン	Tongonan Tiwi Mak-Ban Palimpinon Bac-Man	112.5 330 345.75 135.5 130	1,053.75	(15.0)
メキシコ	Cerro Prieto Los Azufres Los Hornos	620 98 35	753	ダブルフラッシュで単機容量110MWのものがある。(熱水型発電) (2.6)
イタリア	Larderello Travale Radicondoli Monte Amiata	460.7 90 75	625.7	世界で最初に地熱発電を行った国 (1.1) (1904年：明治37年 0.75馬力)
インドネシア	Kamojang Dieng Lahendong Salak Darajat	140.25 2 2.5 110 55	309.75	(1.2)
ニュージーランド	Wairakei Ohaaki Kawerau-Tasman P&P Kawerau-Tarawera	157 108 10 6	281	熱水型の発電を世界で最初に行った国 (1958年：昭和33年 6,500kW) (3.8)
エルサルバドル	Ahuachapan Berlin	95 10	105	(14.2)
コスタリカ	Miravalles	55	55	
アイスランド	Bjornafag Krafla Svartsengi	3 30 16.4	49.4	(5.3)
ケニア	Olkaria	48	48	(5.4)
ニカラグア	Momotombo	35	35	(17.7)
中国	Yangbajang (羊八井) 他	25.18	25.18	(0)
トルコ	Kizildere	20.4	20.4	(0.1)
台湾	Tu-Chang	0.3 (休止中)	0.3 (休止中)	(0)
ロシア	Pauzhetskya	11	11	
ポルトガル	Pico Vermelho	8.2	8.2	
フランス	Guadeloupe	4.2	4.2	
ギリシャ	Milos	2 (休止中)	2 (休止中)	
タイ	Fang	0.3	0.3	
ザンビア	Kapisya	0.2	0.2	
オーストラリア		0.17	0.17	
計			6,649.135	(0.4)

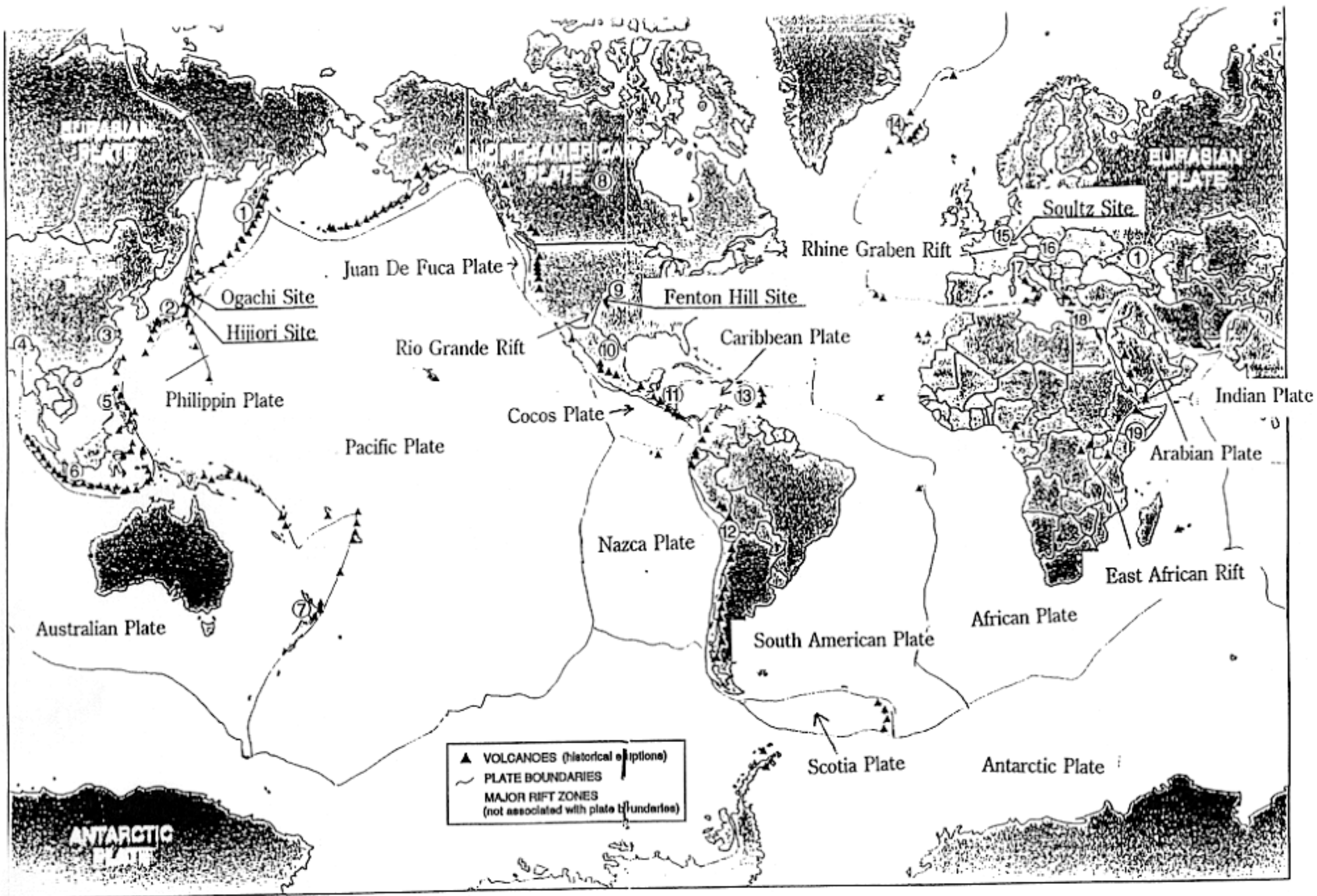
(注) 1994年12月末現在の認可出力を示す (※1995年10月)

出典：「わが国の地熱発電の動向 1995年版」日本地熱調査会を加筆修正



世界の地熱開発状況推移





A Global View of GEOTHERMAL ENERGY

わが国の地熱発電の現状と開発計画

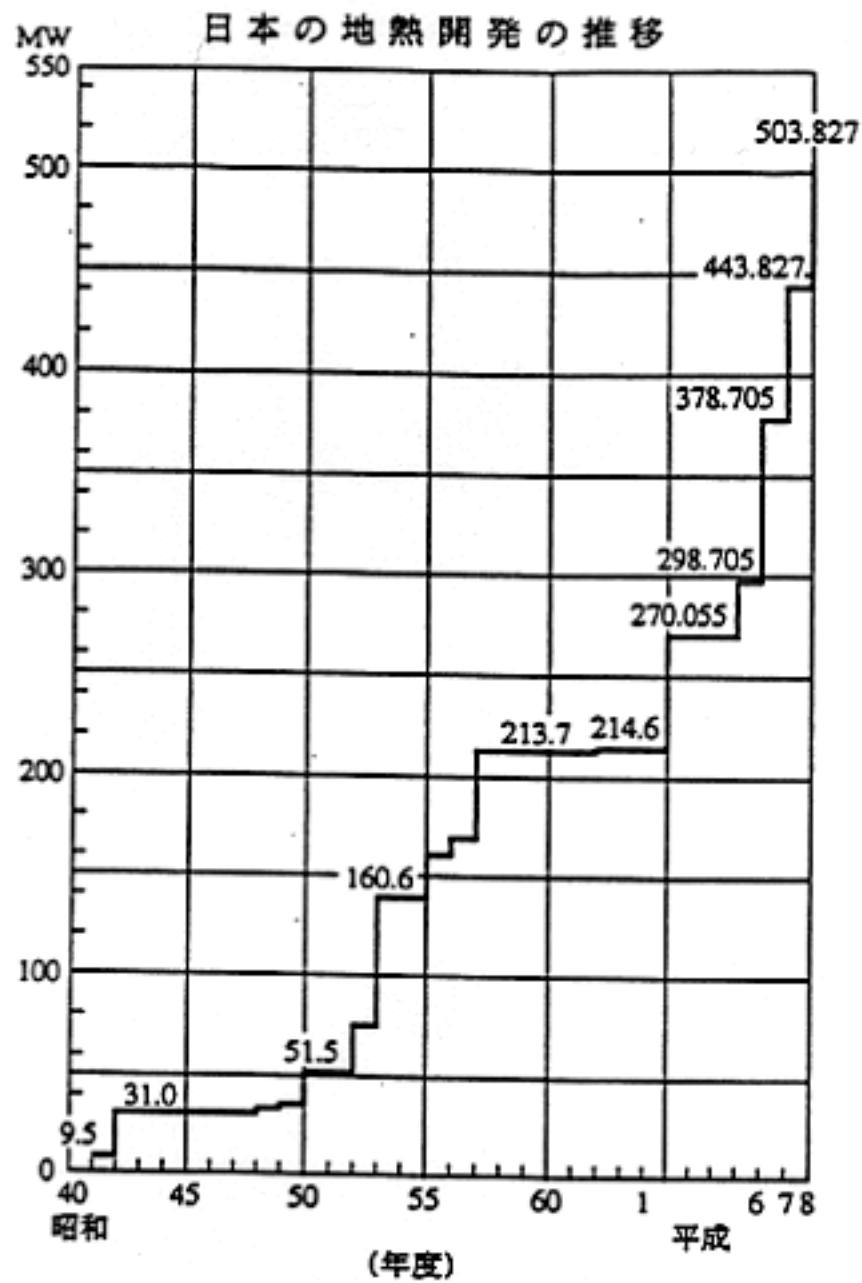
既設地熱発電所

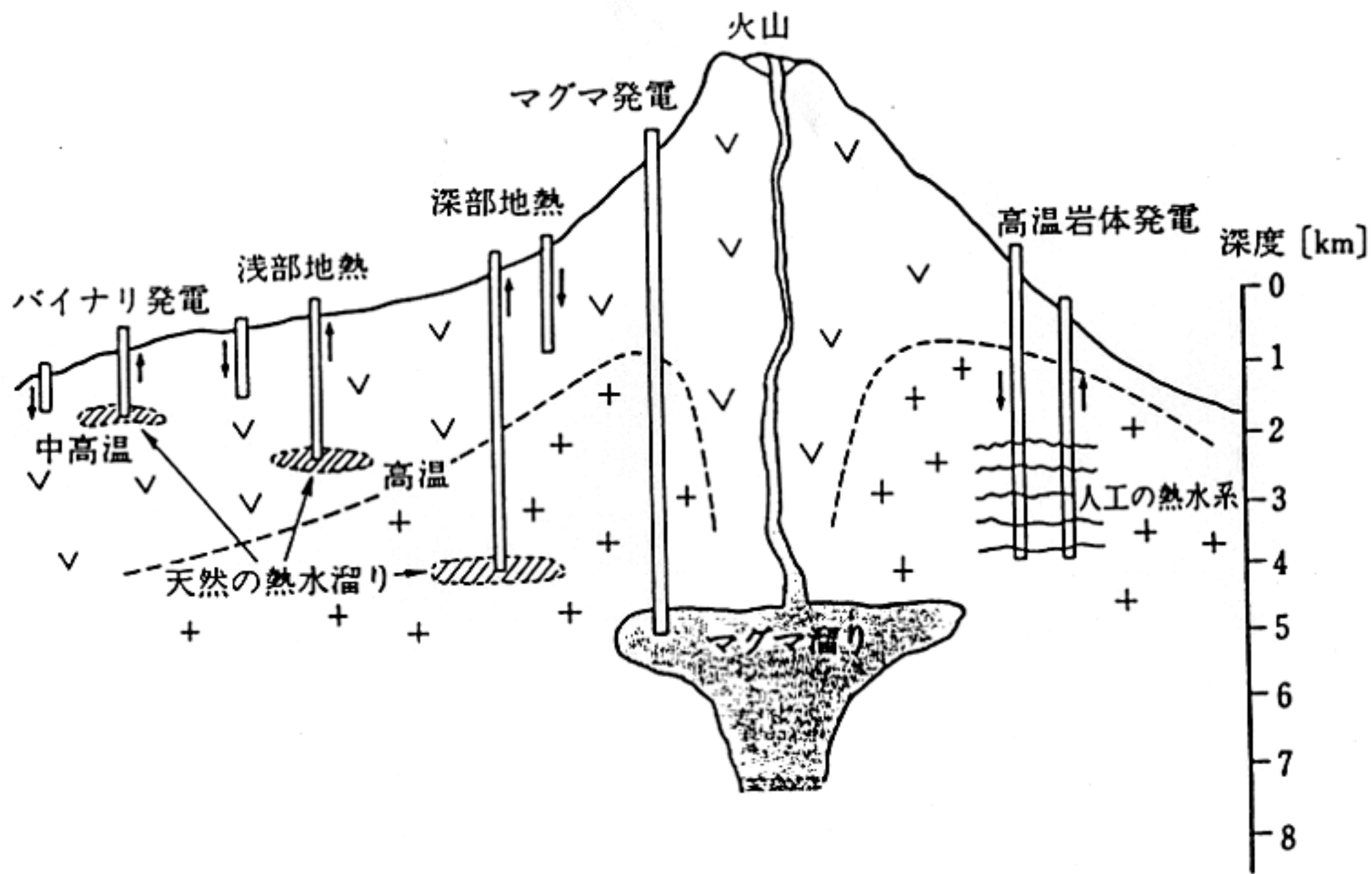
施設者名	発電所名	認可出力 (kW)	運転開始年月	最近の利用率			蒸気井 本数	タービン 入口圧力 (kg/cm ²)	貯留層 温度 (℃)	特 記 事 項
				H3	H4	H5				
九州電力	大 岳 八丁原1号 八丁原2号	12,500	昭和42年8月	94.9	99.9	99.8	4	1.5	238	
		55,000	昭和52年6月	79.5	73.9	68.0	14	6.3	277	
		55,000	平成2年6月	84.8	86.6	79.7	8	6.0	278	
九州電力 九州地熱(株)	山 川	30,000	平成7年3月	—	—	—	11	10	375	
九州電力 日鉄鹿児島地熱	大 富	30,000	平成8年3月	—	—	—	10	2.0	232	
東北電力 日本重化学工業	高根田1号	50,000	昭和53年5月	82.7	88.0	85.6	22	3.5	—	
東北電力 東北地熱エネルギー	高根田2号	30,000	平成8年3月	—	—	—	7	3.5	—	
東北電力 秋田地熱エネルギー	上 の 岱	27,500	平成6年3月	—	—	55.0	5	5.5	335	
東北電力 三菱マテリアル	渡 川	50,000	平成7年3月	—	—	—	—	—	—	
東北電力 奥会津地熱	柳津西山	65,000	平成7年5月	—	—	—	—	—	—	
北海道電力 道南地熱エネルギー	森	50,000	昭和57年11月	39.2	43.7	40.1	9	6.0	270	
電 源 開 発	鬼 首	12,500	昭和50年3月	79.6	65.4	85.3	7	2.5	240	設備容量25,000kWに対し、許可出力は12,500kWである。西枝が探査し生産井(1本)を当て、出力100%達成。
日本重化学工業	松 川	※1 23,500	昭和41年10月	95.9	100.0	92.3	11	1.5	254	わが国最初の地熱発電所で、唯一熱水を含まない蒸気のみを噴出する貯留層(蒸気卓越型)を有する。
三菱マテリアル	大 沼	9,500	昭和49年6月	80.4	84.1	84.0	5	1.5	208	
杉乃井ホテル	杉 乃 井	3,000	昭和56年3月	44.5	37.4	39.0	4	3.0	245	生産井の減衰により、出力低下。
大和紡観光	富島国際 ホテル	100	昭和59年2月	40.0	31.8	39.1	3	3.0	164	
広 瀬 商 事	岳 ノ 湯	105	平成3年10月	—	—	—	1	6.7	—	200kWで計画したが、蒸気井の減衰により105kWで運転。
九州電力	大岳バイナリー 試験所	122	平成7年1月	—	—	—	—	—	—	
合 計		503,827	—	—	—	—	—	—	—	

※1 松川発電所は、H5年6月に認可出力変更：22,000→23,500kW

地熱開発地点

地点名	開発者名	電力会社	出力(kW)	着 工	運 開	温度	備 考
滝 上	出光大分地熱 (出光興産)	九州電力	25,000	平成7年6月	平成8年11月	248	平成2年8月に基本協定締結。 平成6年7月に電調審決定。
小 国	電源開発	電源開発	20,000	平成10年度	平成12年度	—	平成6年12月熊本県、小国町、大分県、九重町に 調査申し入れ。
八 丈 島	東京電力	東京電力	3,000				





地熱発電の概念

地熱発電方式

地熱発電方式	資源の深さ	対象資源	資源温度	利用媒体
浅部地熱	2 km 以内	天然の熱水	200 度以上	蒸気
深部地熱	2 km 以上	天然の熱水	200 度以上	蒸気
バイナリー発電	—	天然の熱水	150 度以上	低沸点媒体
高温岩体発電	2 - 6 km	高温の岩盤	200 度以上	蒸気
マグマ発電	6 km 以上	マグマ近傍の岩盤	600 度以上	蒸気

地熱発電の特徴

メリット

クリーン

国産エネルギー

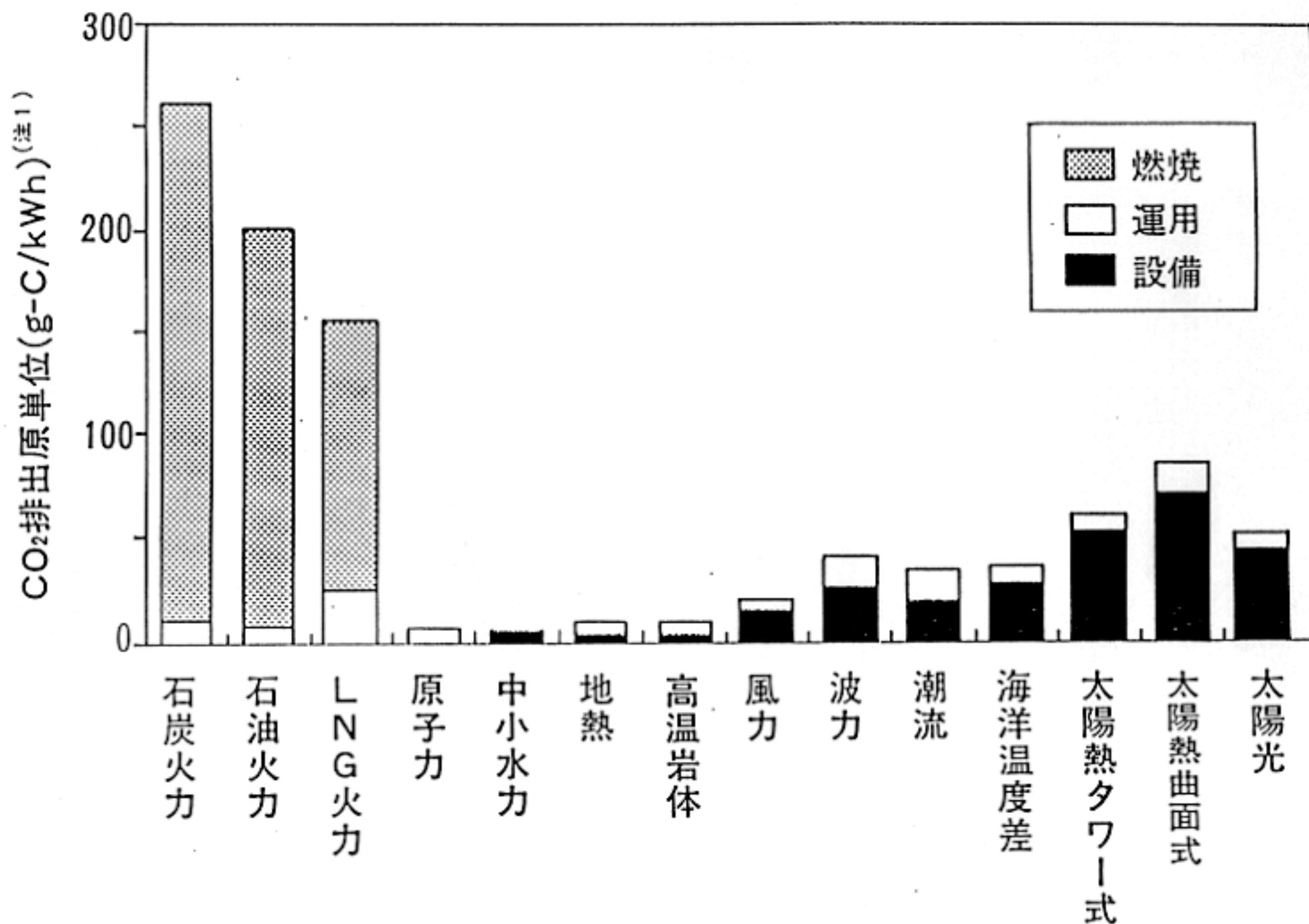
資源量が豊富

デメリット

発電規模が小さい

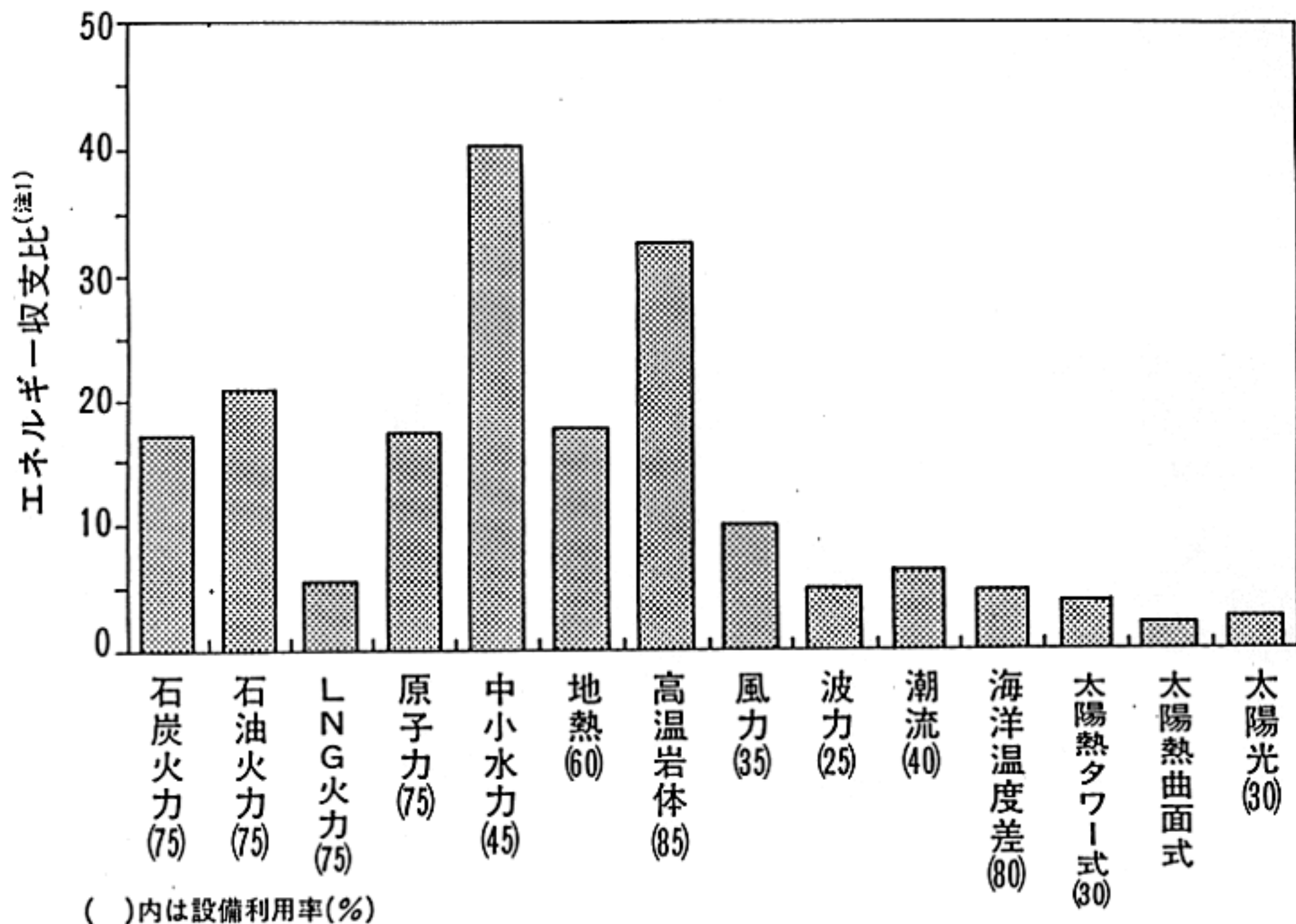
発電コストが高い

国立公園内の立地



(注1) = $\frac{\text{発電所設備建設・運用および燃料燃焼時などに発生するCO}_2\text{総量}}{\text{発電所で生産するエネルギー全量}}$

発電プラントのCO₂排出原単位 (内山による)

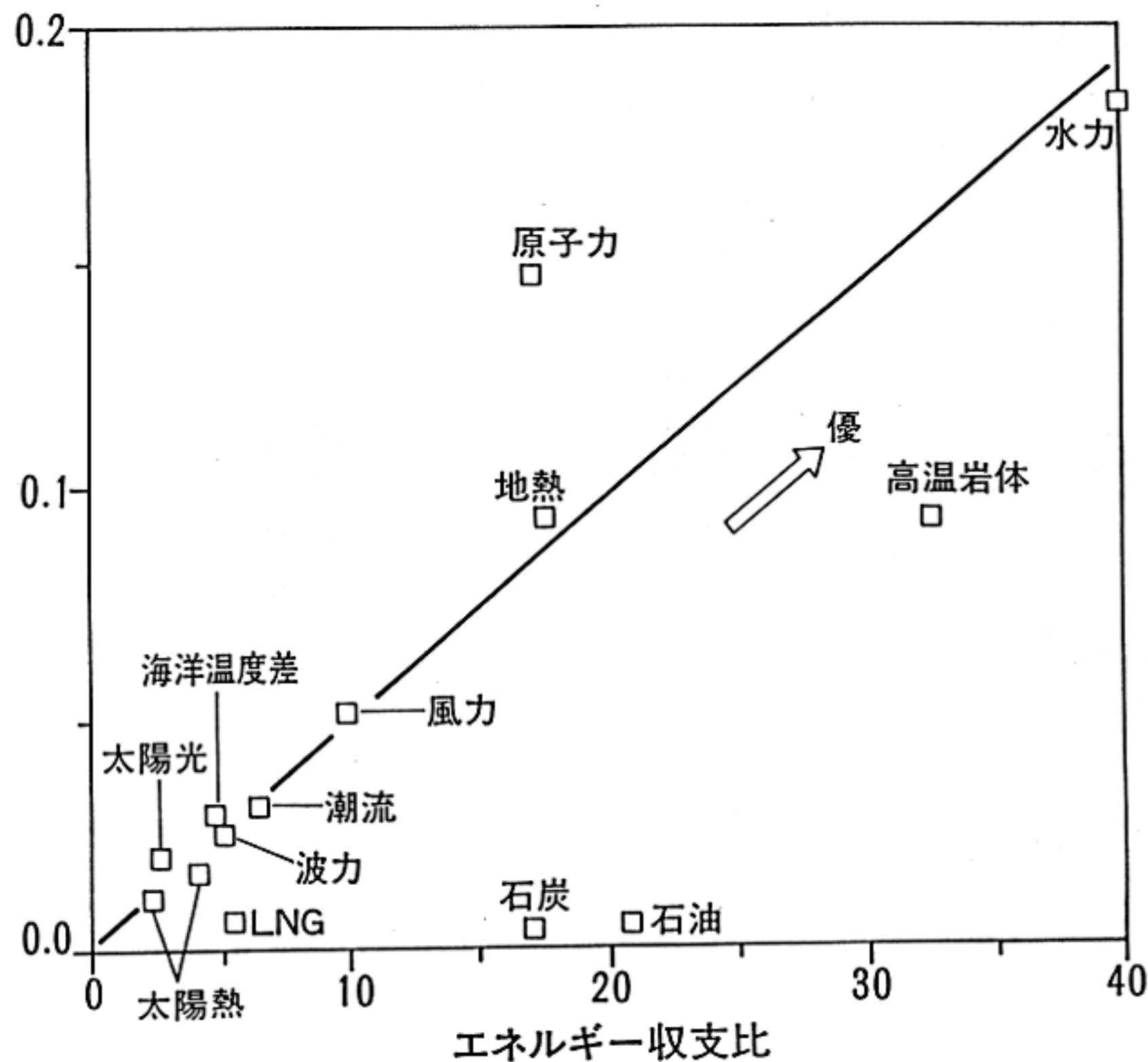


(注1) エネルギー収支比 = $\frac{\text{発電所で生産するエネルギー全量} \times \text{電力の一次エネルギー変換係数}}{\text{投入エネルギー(設備建設, 運用)}}$

発電プラントのエネルギー収支(内山による)

単位CO₂排出量当りの発電量：

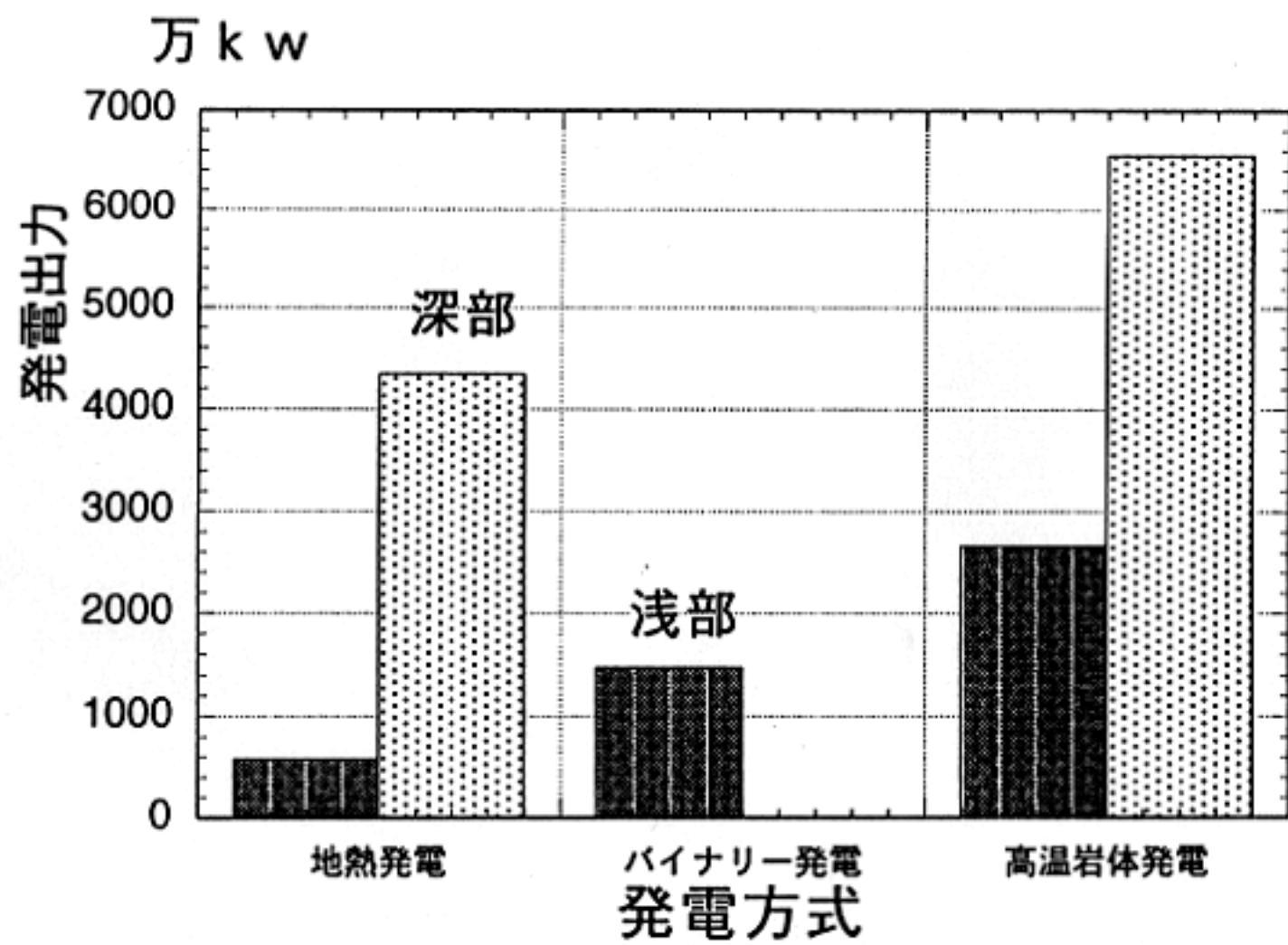
1/CO₂排出原単位 (kWh/g-C)



発電プラントのエネルギーとCO₂排出原単位 (内山による)

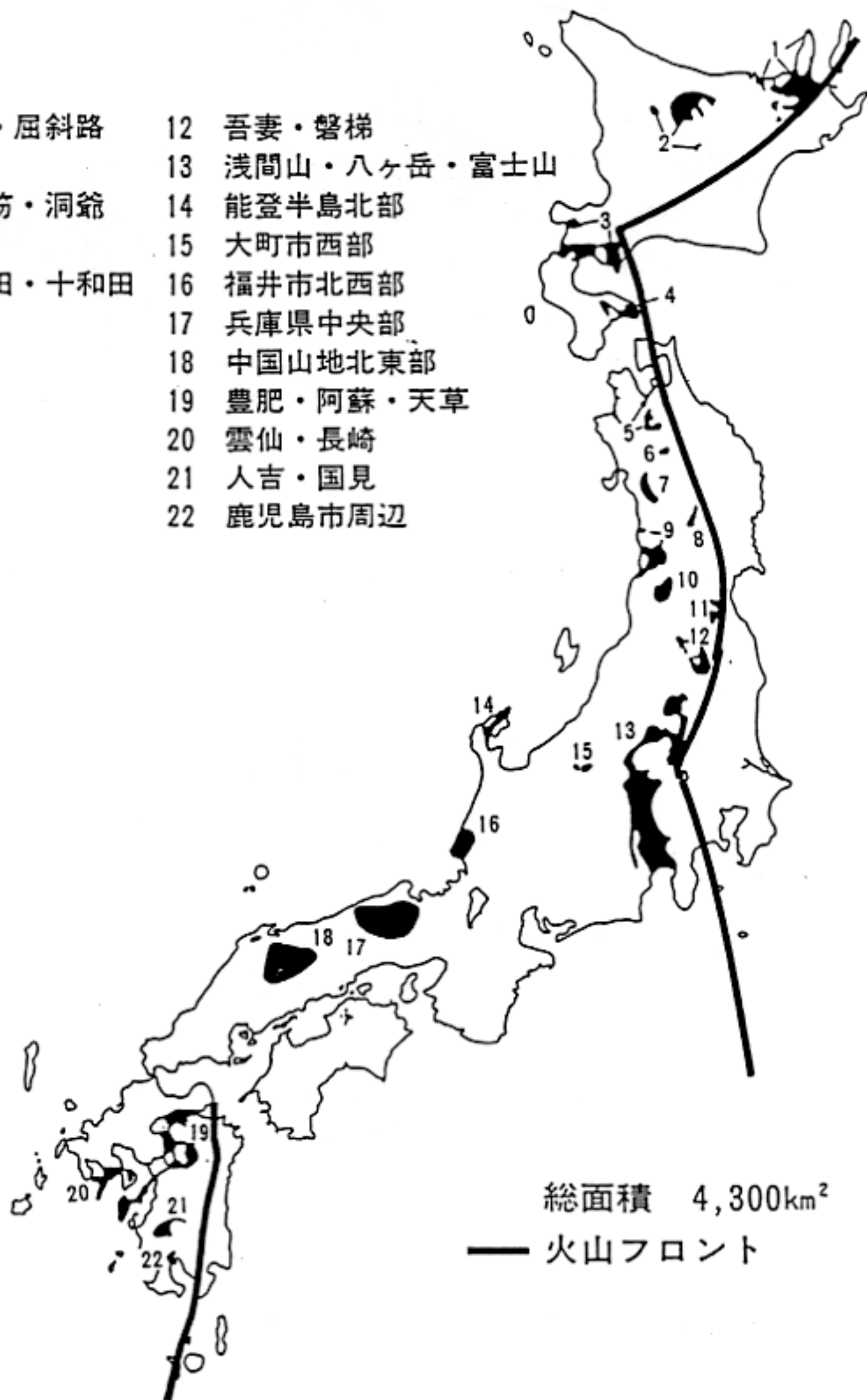
地熱発電の資源

発電方式	浅部 万kw	深部 万kw	合計 万kw	出典
地熱発電	582	4、342	4、924	(宮崎 1991)
バイナリー発電	1、472	—	1、472	(宮崎 1991)
高温岩体発電	2、652	6、543	9、195	(NEDO 1994)
合計	4、706	10、885	15、591	



発電方式別の資源量

- | | | |
|------------|----|-------------|
| 知床・阿寒・屈斜路 | 12 | 吾妻・磐梯 |
| 大雪・十勝 | 13 | 浅間山・八ヶ岳・富士山 |
| 二セコ・支笏・洞爺 | 14 | 能登半島北部 |
| 函館・恵山 | 15 | 大町市西部 |
| 岩木・八甲田・十和田 | 16 | 福井市北西部 |
| 森吉山 | 17 | 兵庫県中央部 |
| 大平山 | 18 | 中国山地北東部 |
| 栗駒 | 19 | 豊肥・阿蘇・天草 |
| 酒田市周辺 | 20 | 雲仙・長崎 |
| 月山・肘折 | 21 | 人吉・国見 |
| 蔵王 | 22 | 鹿児島市周辺 |



高温岩体発電の可能性地域の分布

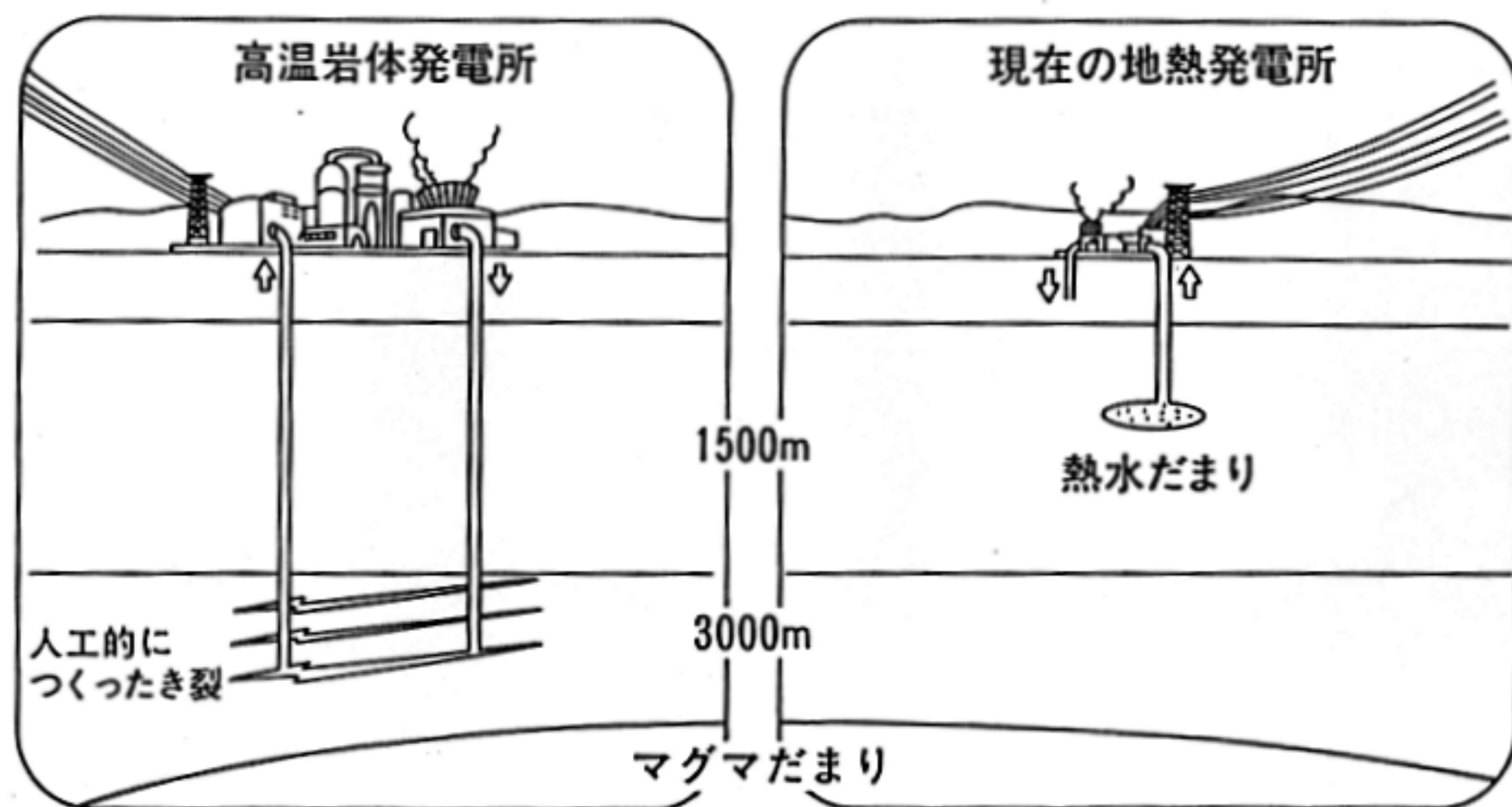
(地質調査所の資料)

高温岩体可能性地域の面積と発電資源量

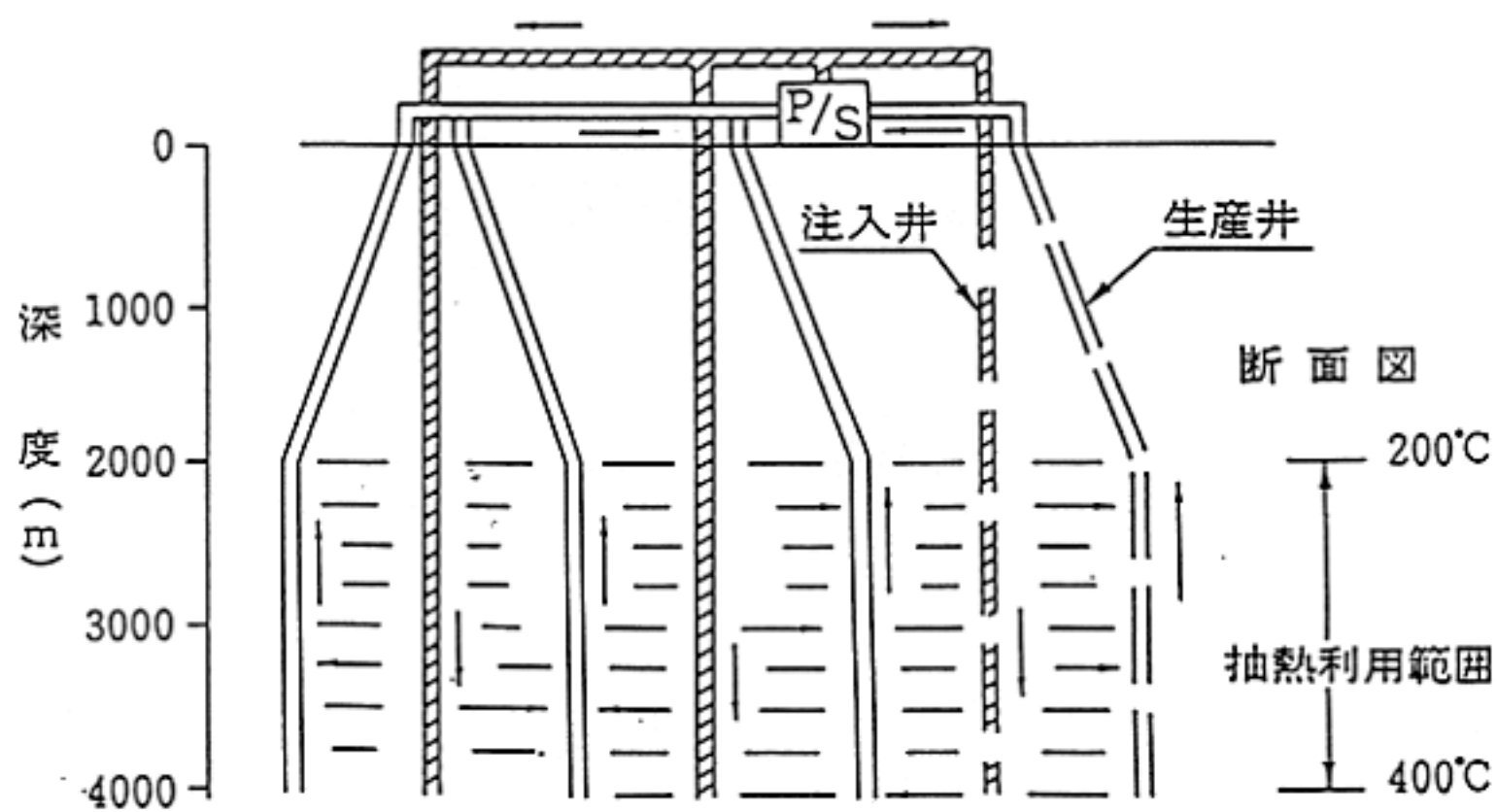
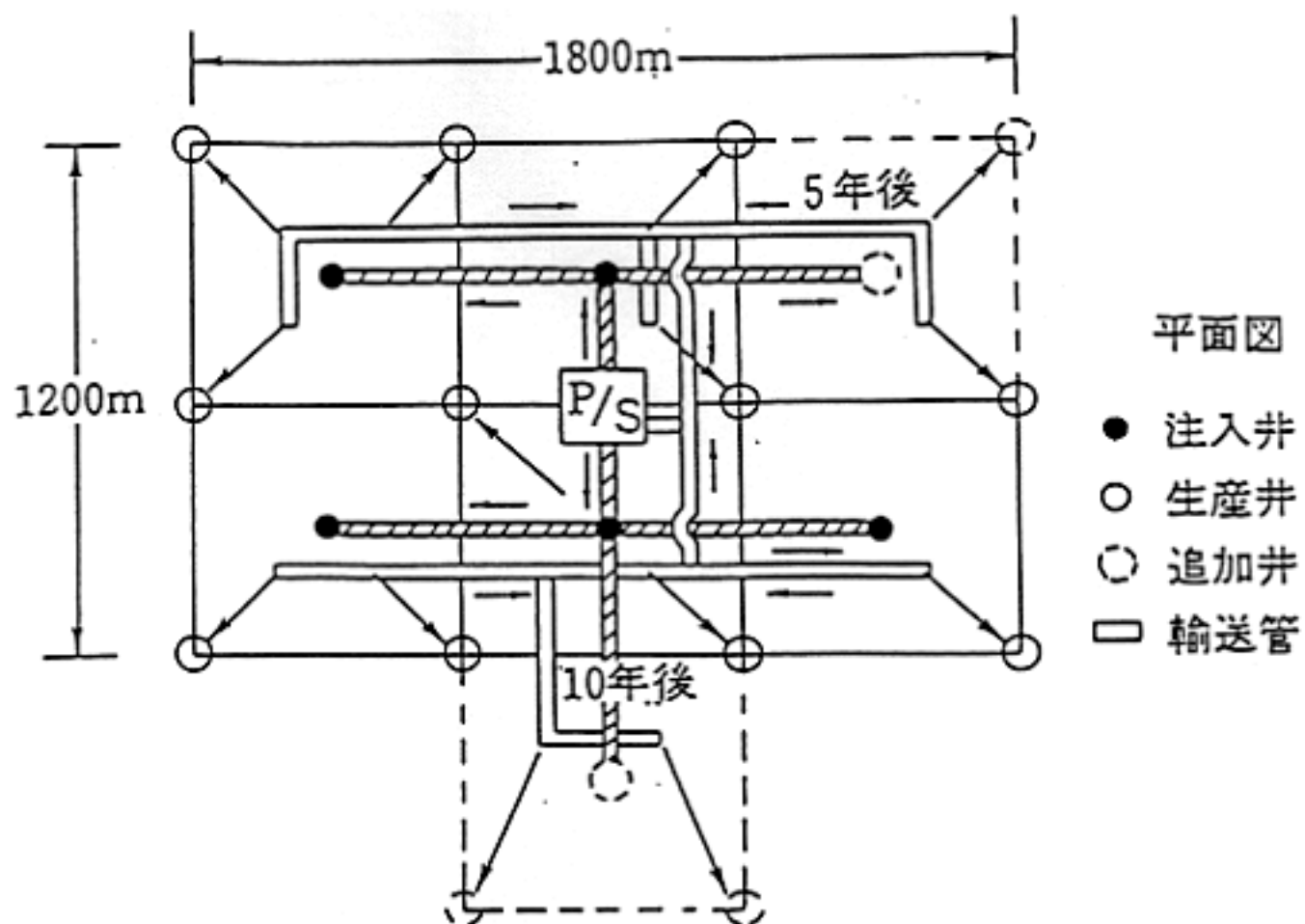
地 域	地質調査所推定値		電力中央研究所推定値	
	面 積 km ²	資 源 量 万 kW	資 源 量 万 kW	資 源 量 万 kW
単位発電量(万kW/km ²)		0.35	3.5	9.6
想 定 深 さ(km)		1.5	3	4
北 海 道	1,035	362	3,623	9,936
東 北	1,980	693	6,930	19,008
東 京	483	169	1,691	4,637
中 部	300	105	1,050	2,880
北 陸	54	19	189	518
関 西	50	18	175	480
四 国	0	0	0	0
中 国	126	44	441	1,210
九 州	285	100	998	2,736
合 計	4,263	1,492	14,922	40,925

地熱発電の発電コスト

	5万kw程度	20万kw程度	出典
地熱発電	16円/kwh	—	(NEDO 1985) (電中研 1986、1990)
バイナリー発電	18円/kwh	—	
高温岩体発電	18円/kwh	13円/kwh	



地熱発電 概念図



坑井配置概念図

24万kW

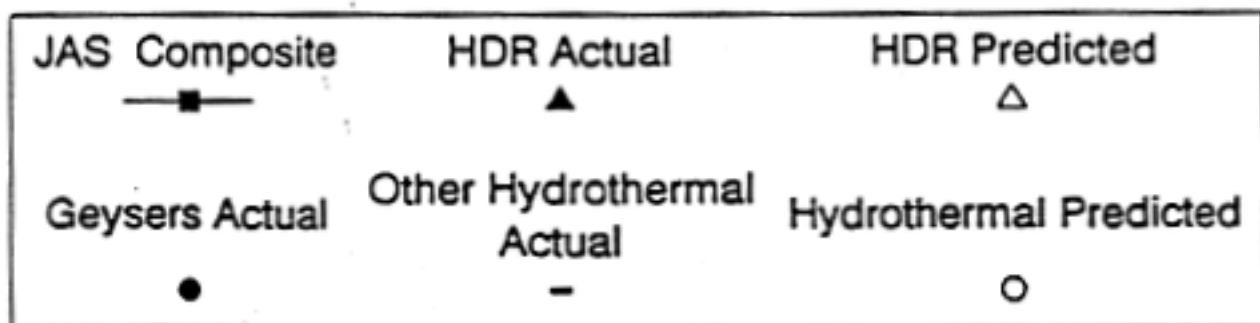
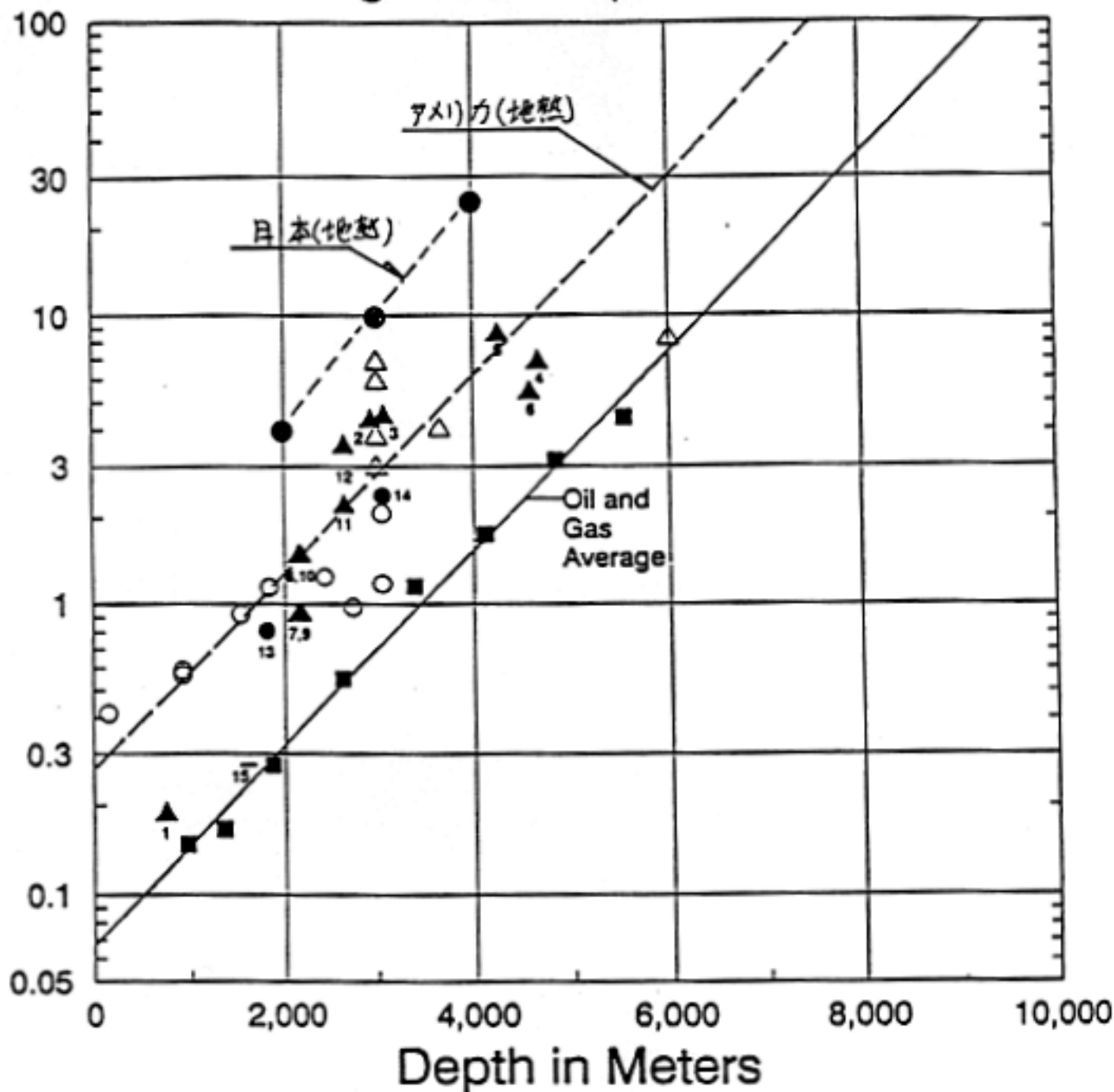
建設費および発電コスト

地 下 部	686.1億円
地 上 部	596.1億円
合 計	1282.2億円
建設単価 発電単価 15年平均	53.4万円／kW（発電端） 12.7円／kWh（送電端）

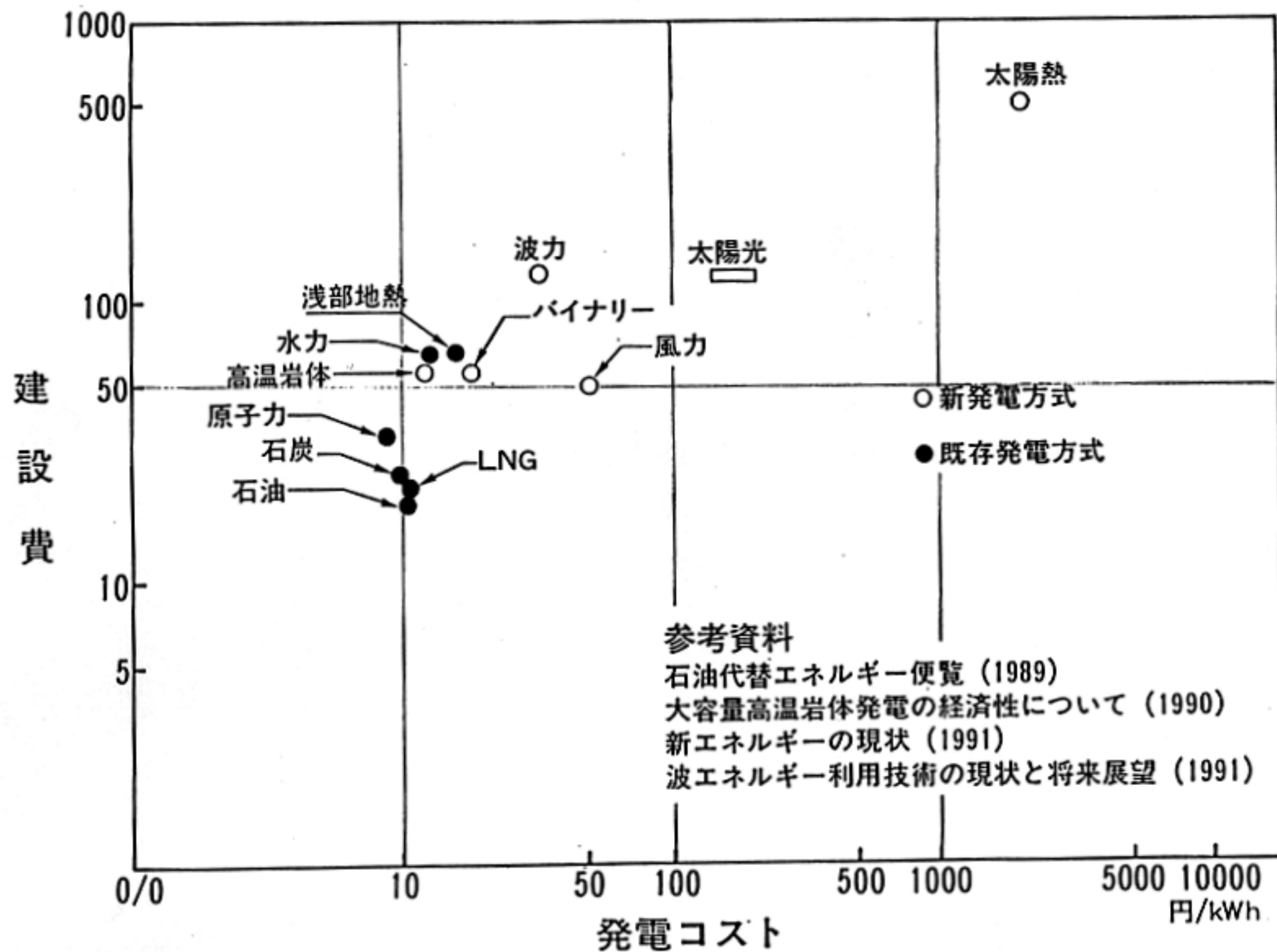
億円

Drilling and Completion Costs

Millions of 1989 Dollars



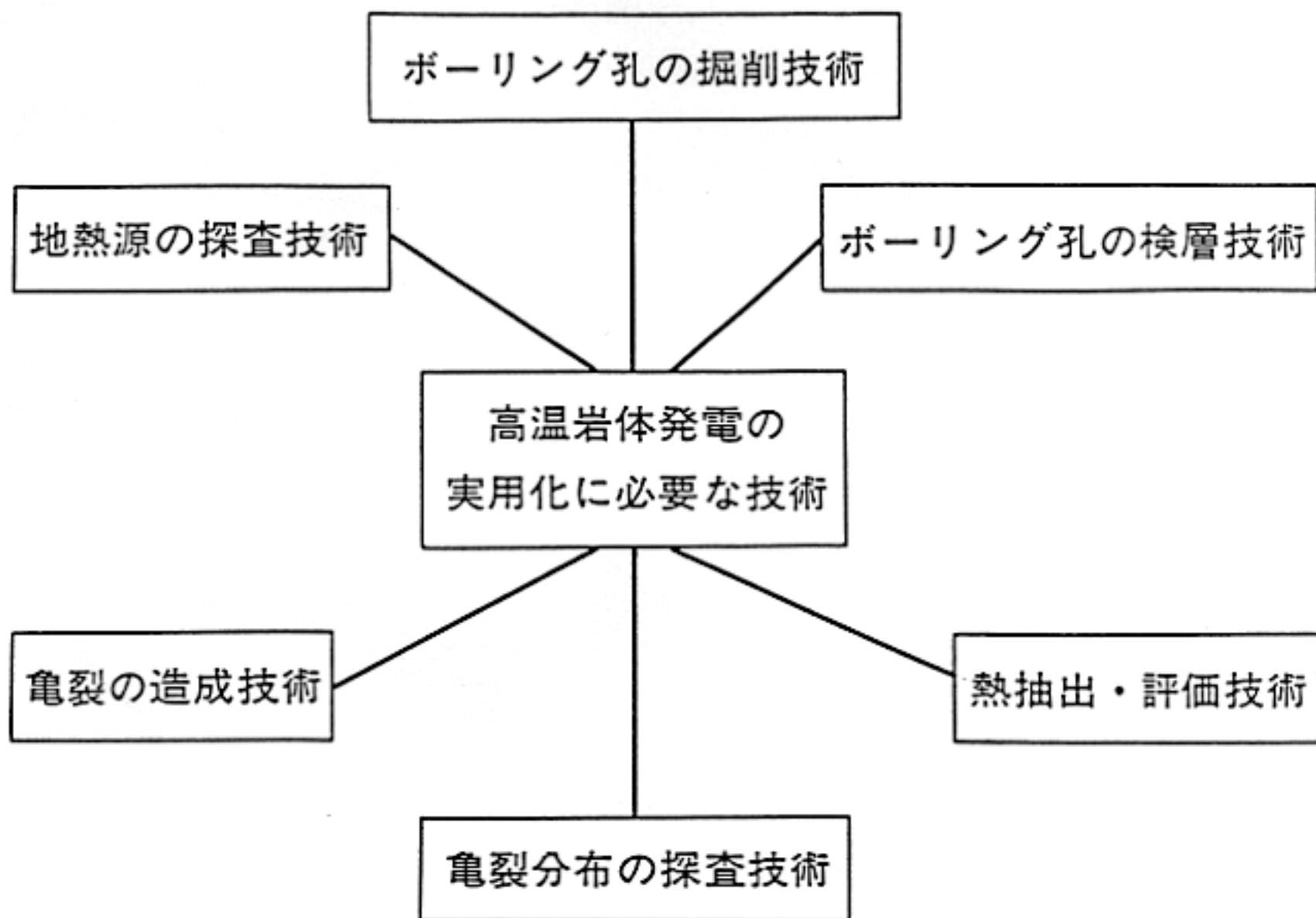
坑井の掘削及び仕上げ費用 (日米比較)



発電方式別のコスト比較

各発電方式の技術課題

浅部地熱	熱水の減少対策（貯留層評価、スケール対策など）
深部地熱	高温・深部掘削技術の開発、掘削コストの低減
バイナリー	高温坑井内ポンプの開発、安全な低沸点媒体の開発
高温岩体発電	長期抽熱実験、小規模発電実験
マグマ発電	耐熱材料の開発



高温岩体発電の実用化に必要な技術

高温岩体発電の技術開発レベル

	レベル 1 可能性調査レベル	レベル 2 小規模発電レベル	レベル 3 実用レベル
探査技術	2000 m	3000 m	4000 m
掘削技術	200 度、2000 m	300 度、3000 m	400 度、4000 m
造成技術	一層造成	複数層造成	多層造成
抽熱技術	短期間、単層抽熱	中期間、複数層抽熱	長期間、多層抽熱
評価技術	2 次元	2 次元	3 次元
コスト評価技術	平板モデル解析 標準モデル評価	簡単亀裂モデル解析 特定地点評価	複雑亀裂モデル解析 建設地点評価
発電コスト	考慮せず	他発電方式の 2 倍程度	他発電方式と同程度

今後開発すべき技術