

第6章 地熱発電の賦存量および導入ポテンシャル

本章では、地熱発電に関する賦存量および導入ポテンシャル調査の結果を示す。調査にあたり、既存調査のレビューにより課題の整理を行った上で、温度区分別の賦存量および導入ポテンシャルの推計を行った。

その結果、賦存量は 150℃以上では 2,400 万 kW、120℃～150℃では 110 万 kW、53～120℃では 850 万 kW と推計された。また、地熱発電の導入ポテンシャルは 150℃以上では 110～220 万 kW、120～150℃は 0.8～21 万 kW、53～120℃は 740 万 kW 以下となった。

6.1 既存調査レビューと課題整理

(1) 既存調査のレビュー

①賦存量（資源量）

わが国の代表的な地熱資源量評価としては、1991 年に発表された旧工技研地質研究所・宮崎らによる推計が挙げられる。宮崎らは全国の浅部地熱資源を 2,054 万 kW と推計した。また、宮崎らは深部の地熱資源を含めると、全国の地熱資源量は 6,396 万 kW に達するとの試算結果を示した。しかしながら、当時は地下温度構造と地下基礎深度に関する空間分析の精度に制約があったため、地熱資源量を地域毎の地熱資源量分布として可視化できる段階には至っていなかった。

その後、地下温度構造と地下基礎深度のデータが飛躍的に向上したことから、2008 年に(独)産業技術総合研究所の村岡らは G I S ベースで全国の 150℃以上の地熱資源量評価を行い、熱水系資源量の地域的分布の可視化を試みた。村岡らは全国の 150℃以上の地熱資源量を 2,347 万 kW と推計した。また、G I S による分析の結果、熱水系資源は東北日本に偏在し、とりわけ大雪・十勝火山群がわが国最大の地熱地域であることを示した。さらに、同年に村岡らは以上と同様の手法を用いて、全国の 53～120℃の地熱資源量評価を行い、同温度区分の資源量を 833 万 kW と推計した。

表 6-1 地熱資源量推計に関する既存調査一覧

出典	推計結果	概要
宮崎ら (1991)	2,054 万 kW	・深部地熱資源を含めると 6,396 万 kW に達するとの試算あり。
村岡ら (2008a)	2,347 万 kW (150℃以上)	・わが国初の GIS による地熱資源量評価。
村岡ら (2008b)	833 万 kW (53～120℃)	・村岡ら (2008a) と同様の評価手法により評価。

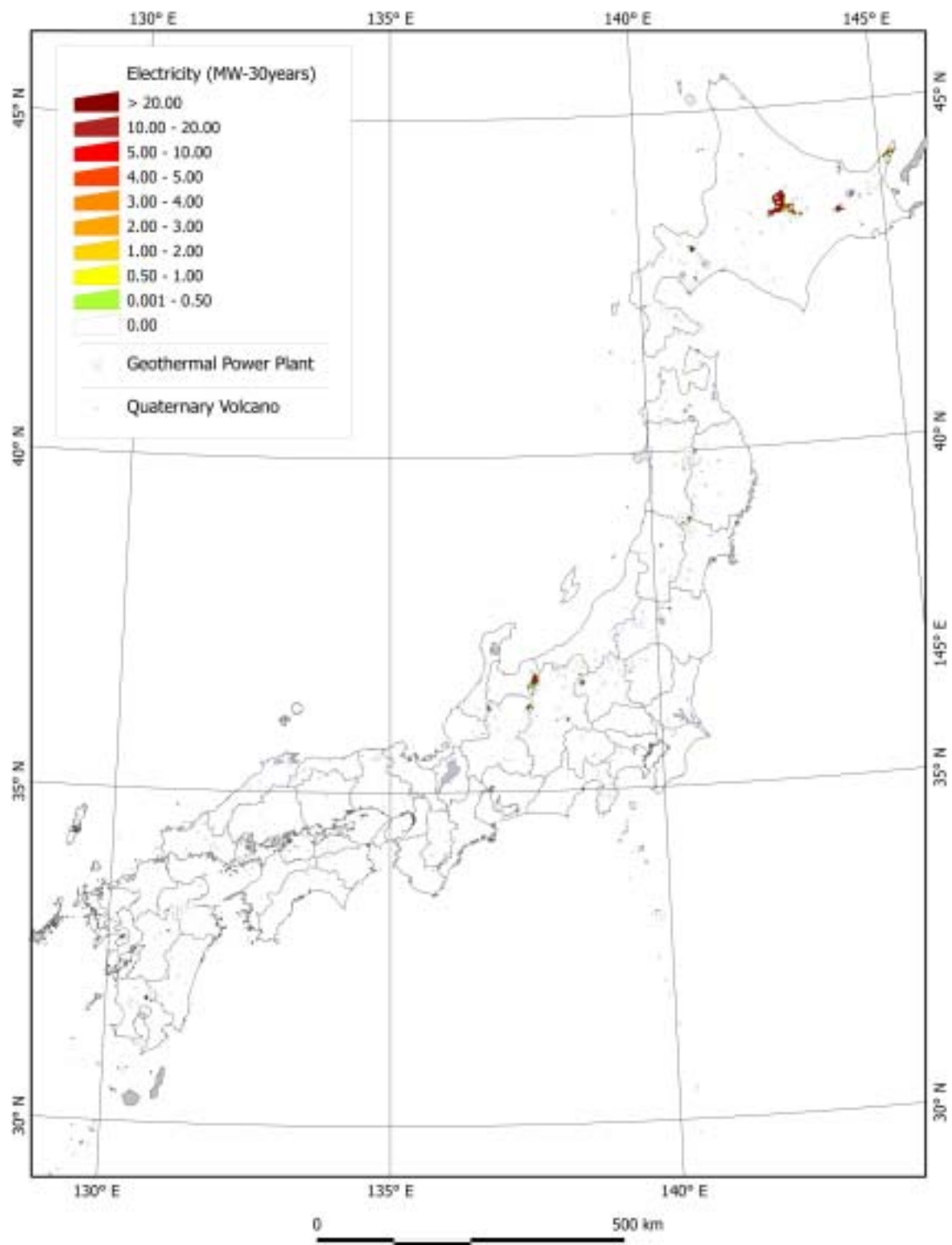


図 6-1 150°C以上の熱水系地熱資源量密度分布図

出典：村岡洋文・阪口圭一・駒澤正夫・佐々木進（2008a）、日本の熱水系資源量評価 2008、日本地熱学会平成 20 年度学術講演会講演要旨集

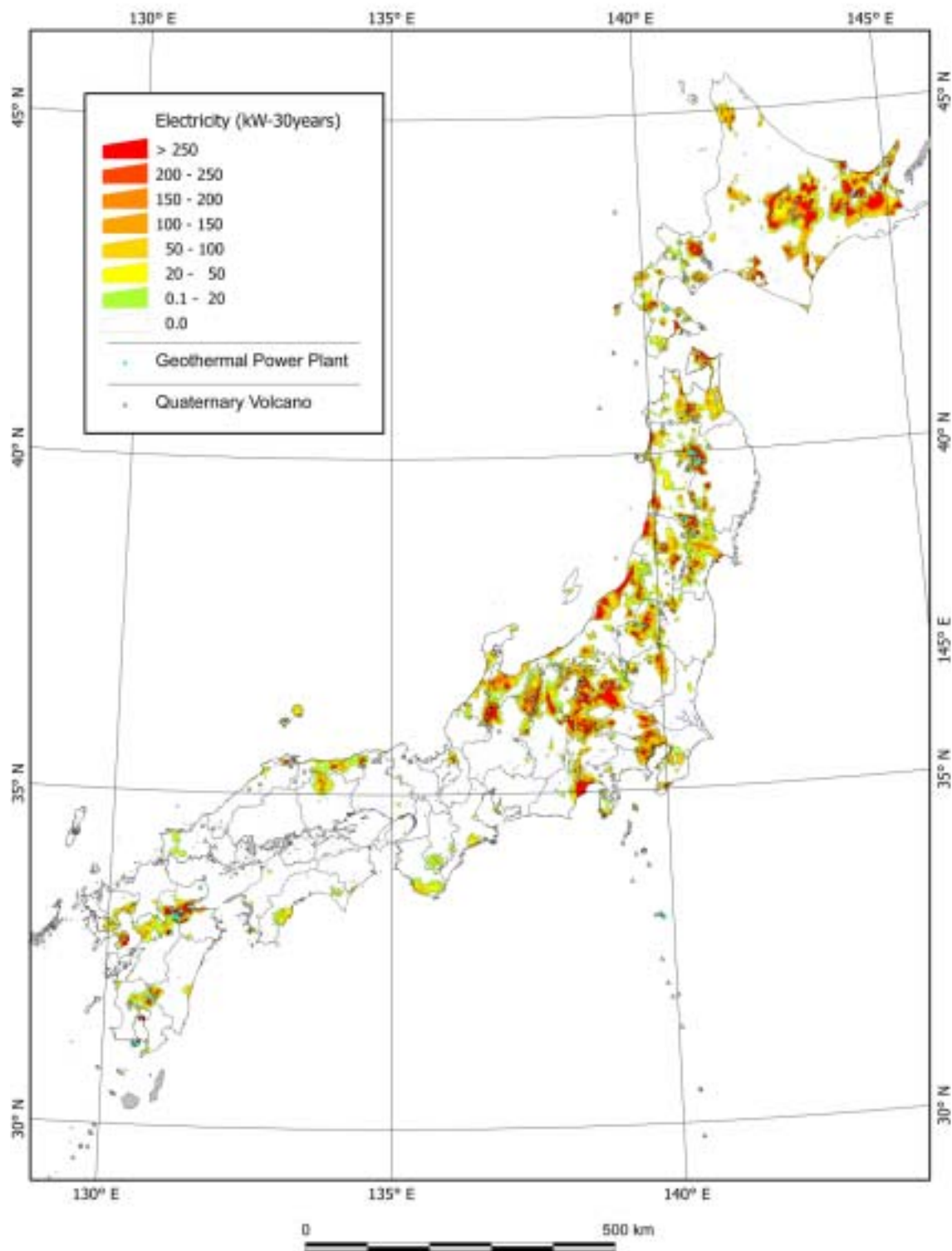


図 6-2 53~120°C以上の熱水系地熱資源量密度分布図

出典：村岡洋文・佐々木宗建・柳澤教雄・大里和己（2008b）、カーナサイクルによる温泉発電の市場規模評価、日本地熱学会平成 20 年度学術講演会講演要旨集

②導入ポテンシャル

地熱発電の導入ポテンシャルについては、2009 年に発表された地熱発電に関する研究会（経済産業省）中間報告の中で、2020 年度までの追加的開発可能量の試算が行われている。同試算では、NEDO が 2002 年に実施した地熱開発促進調査の対象である 31 の地熱有望地域の賦存量に対して、許容発電コストの異なる 3 つのシナリオを設定し、それぞれ導入ポテンシャルを推計している。また、同試算では、温泉発電についても考慮されており、日本地熱学会・日本地熱開発企業協議会（2008）「2050 年自然エネルギービジョン（地熱）」に示された温泉発電の賦存量及び温泉開発見込量を基に、2020 年までに導入可能な温泉発電の発電出力を推計している。以上の推計より、同中間報告は、2020 年度までに発電コスト 12 円/kWh の調査地域まで建設が可能になる場合は 67 万 kW、発電コスト 15 円/kWh まで可能になる場合は 93 万 kW、発電コスト 22 円/kWh まで可能になる場合は 113 万 kW の地熱発電が追加的に導入されるとの試算を示している。

なお、各地熱開発有望地域における発電コスト算定の際には、現行の補助制度等を前提とし、設備の耐用年数を 15 年と設定している。

表 6-2 地熱発電に関する研究会による 2020 年度までの地熱発電の追加的開発可能量

許容発電コスト	追加的開発可能量	
	設備容量	発電電力量
12 円/kWh	67 万 kW	41 億 kWh
15 円/kWh	93 万 kW	57 億 kWh
20 円/kWh	113 万 kW	69 億 kWh

※設備稼働率を 70%と設定。

出典：地熱発電に関する研究会（経済産業省）「地熱発電に関する研究会 中間報告」H21.6 を基に作成



図 6-3 NEDO 地熱開発促進調査結果に基づく地熱開発発電コストおよび発電出力累計

出典：地熱発電に関する研究会（経済産業省）「地熱発電に関する研究会 中間報告」H21.6

(2) 既存調査における課題整理

既存調査における課題を以下に示す。

・ 賦存量推計に関する課題

これまでの地熱資源量評価の目的は、より高い精度で熱水系地熱資源量进行评估し、GISを用いてその地域偏在性を表現することであった。ゆえに、技術的な開発可能性については検討の対象外であり、既存調査の推計結果は「賦存量」ではなく「資源量」であった。また、村岡らは150℃以上および53～120℃の地熱資源について評価したものの、120～150℃の地熱資源はこれまでの既存調査で評価の対象となっておらず、すべての温度区分における地熱資源量評価が完成しているわけではない。

・ 導入ポテンシャル推計に関する課題

地熱発電に関する研究会による試算は、地熱開発促進調査が行われた31地域の賦存量に対する導入ポテンシャルの推計を行ったものであるため、必然的に導入可能量には限界がある。

6.2 調査実施フロー

地熱発電の導入ポテンシャル推計における調査実施フローを図 6-4 に示す。

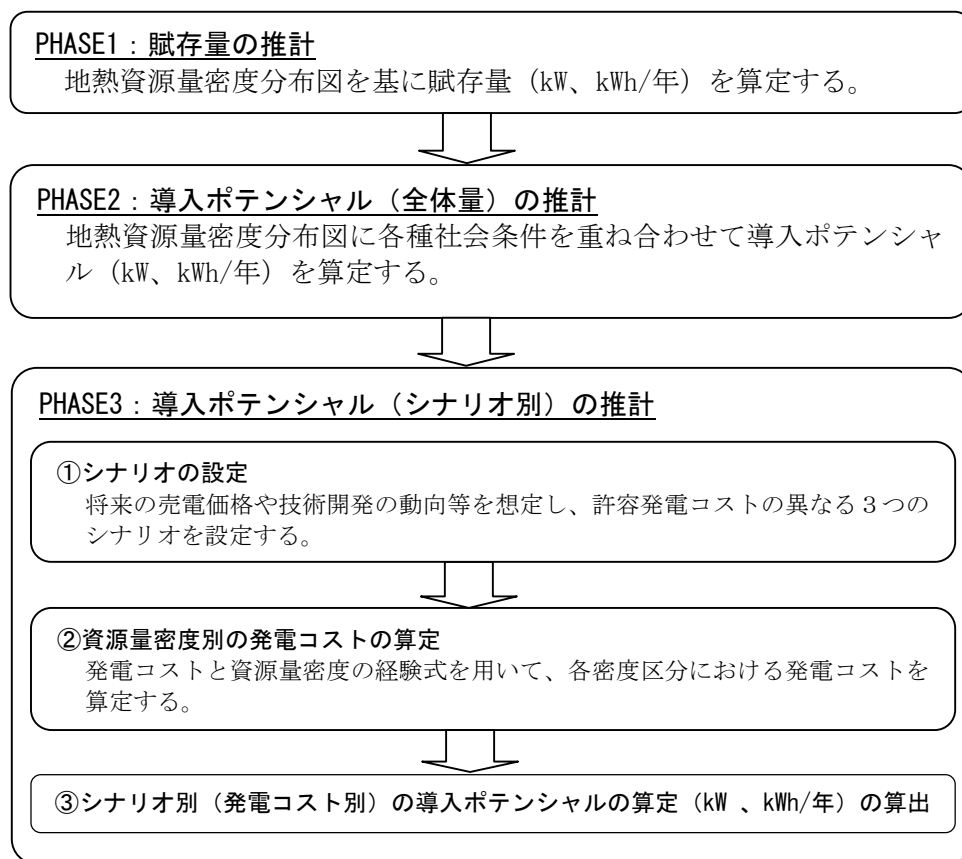


図 6-4 地熱発電の導入ポテンシャル推計における調査実施フロー

賦存量の推計では、150℃以上、120～150℃、53～120℃の地熱資源量密度分布図を基に算定した。地熱資源量密度分布図は、地熱資源量を単位 km² 当たりの設備容量により表現するもので、(独)産業技術総合研究所の村岡らがすでに 150℃以上および 53～120℃の資源量分布図を作成している。本調査では、新たに 120～150℃の地熱資源量密度分布図を作成するとともに、これらの資源量分布図から技術的に利用可能であると考えられる密度を持つグリッドを抽出し、それらの資源量密度を集計することにより賦存量を算定した。なお、賦存量推計の際には、経済性を考慮して現実的でない地点は除外した。

導入ポテンシャル（全体量）の算定では、上記で作成した温度区分別の賦存量マップに対して、各種社会条件を重ね合わせ、地熱発電施設が設置可能な面積を求め、資源量密度を考慮しない導入ポテンシャル（kW、kWh/年）を推計した。社会条件としては、120℃以上の地熱資源に対しては「法規制等区分」、「土地利用区分」、「居住地からの距離」を、53～120℃の地熱資源に対しては「法規制等区分」と「土地利用区分」をそれぞれ設定した。

導入ポテンシャル（シナリオ別）の算定では、導入ポテンシャル（全体量）に対して、

温度区分別に許容発電コストの異なる 3 つのシナリオを設定し、各シナリオにおける導入ポテンシャルを推計した。発電コストと資源量密度の経験式については、NEDO（2002）「平成 13 年度 地熱開発促進調査 開発可能性調査（戦略的調査全国調査）第 3 次報告書」および地熱発電に関する研究会（2009）中間報告が発電コストと資源量密度に関する基礎的な情報を提供している。

6.3 地熱発電（熱水資源利用）の賦存量の推計

6.3.1 推計に使用した各種データとその信頼性

本調査では、(独)産業技術総合研究所の村岡らが作成した地熱資源量密度分布図を用いるものとした。本データは、GISを用いることにより、わが国で初めて熱水系資源量の地域的分布を表現したものである。

村岡らによる既存調査では、150℃以上の地熱資源については蒸気フラッシュ発電方式を、53～120℃の地熱資源についてはカーナサイクル発電方式をそれぞれ仮定して地熱資源量評価を行っている。本調査では、村岡らの既存調査の手法を踏襲し、ランキンサイクル発電を仮定して全国の120～150℃の熱水系資源量を求め、全国の系統的な地熱資源量密度分布図を完結させた。以下にその具体的内容を示す。

○米国地質調査所の容積法地熱資源量評価法

本調査では、村岡らの既存調査に従い、米国地質調査所の容積法を用いて120～150℃の地熱資源量評価を行った。容積法は、米国地質調査所(Brook *et al.*, 1979)により確立された1つの標準的な地熱資源量評価法であり(以下USGS容積法と呼ぶ)、その概念が比較的単純で、さまざまな地質学的条件の地熱地域に適用できるという利点があり、地熱貯留層の容積と温度を与えることにより、地熱資源量を計算することができる。

USGS容積法の評価手順は以下の通りである(Brook *et al.*, 1979; 村岡, 1991)。

$$q_R = \rho_c \cdot a \cdot d \cdot (t - t_{ref})$$

ここで、

q_R : 地熱貯留層熱エネルギー (J)

ρ_c : 含水岩石の容積比熱 (岩石容積比熱 $2.5 \times 10^{-6} \text{ J/m}^3/\text{℃}$ 、孔隙率15%を仮定して、 $2.7 \times 10^{-6} \text{ J/m}^3/\text{℃}$)

a : 貯留層面積 (m^2)

d : 貯留層厚さ (m)

t : 貯留層温度 (℃)

t_{ref} : 基準温度 (℃)

上式はカラム熱量を基にする方法では、単位区画(1km×1km)の熱エネルギーは、

$$q_R = \rho_c \cdot a \int_{LD}^{UD} (t(z) - t_{ef}) dz$$

LD : 貯留層底部の深度 (m)

UD : 貯留層下限温度の深度 (m)

$t(z)$: 深度の関数としての貯留層温度 (℃)

で与えられる。

この岩石や孔隙流体に蓄えられた熱エネルギー q_R は、浸透率などの制約、低エンタルピー流体や岩石からのエネルギー抽出の制約などのため、坑口で全てを回収することはで

きない。Brook *et al.* (1979) は熱水卓越方の回収率として $R_g=0.25$ を採用し、坑口回収エネルギー q_{wh} (J) を次式で求めている。

$$q_{wh} = R_g \cdot q_R$$

単位質量の地熱流体が地熱貯留層から坑口まで上昇するのに要するエネルギー損失は次式で与えられる。

$$h_{WH} = h_R - (Z_R \cdot g) / 1000$$

ここで、

- h_{WH} : 坑口での地熱流体の単位質量あたりのエンタルピー (kJ/kg)
- h_R : 地熱貯留層での地熱流体の単位質量あたりのエンタルピー (kJ/kg)。本計算では、貯留層温度は可変であるので、貯留層下限温度と貯留層底部の温度の平均温度を計算し、平均温度に対応するエンタルピーを蒸気表から求めた (日本機械学会, 1981)。
- Z_R : 貯留層下限温度の深度と貯留層底部深度の平均 (m)
- g : 重力加速度 (m/s^2)

機械的仕事量 (W_A) は次式で表される。

$$W_A = \frac{q_{wh}}{h_{WH} - h_{ref}} [h_{WH} - h_o - t_o(s_{wh} - s_o)]$$

ここで、

- h_{ref} : 基準温度での地熱流体の単位質量あたりのエンタルピー (kJ/kg)
- h_o : 最終状態での地熱流体の単位質量あたりのエンタルピー (kJ/kg)。
- t_o : 地熱流体廃棄温度 (273.14+基準温度 K)。
- s_{wh} : 坑口での地熱流体の単位質量あたりのエントロピー (kJ/kg K)。 h_{WH} に相当するエントロピーを蒸気表から求めた。
- s_o : 最終状態での地熱流体の単位質量あたりのエントロピー (kJ/kg K)。

電気エネルギー E は、機械的仕事量 W_A から発電効率 η_u を使って次式で求められる。

$$E = W_A \cdot \eta_u$$

この電気エネルギーを 30 年間にわたって、発電に使用すると、発電量は次のようになる。

$$E / 30 \text{ 年} = E / (30 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \quad (\text{J/s または W})$$

6.3.2 賦存量推計方法

(1) 資源量分布図の作成

本調査でも、120～150℃の地熱資源量評価において USGS 容積法を踏襲したが、既存調査における村岡らの手法と同様にいくつかの特殊な設定を行った。具体的な設定条件等を以下に示す。

1) 温度構造

温度構造には、林（1982）の活動度指数を用いた。活動度指数（Activity Index; AI）とは、図 6-5 のように、地熱地域の温度指標として平均的な直線的地温勾配と沸騰曲線とを百分率で等分した指数である。図 6-5 の AI=0 の直線が平均的な地温勾配 3℃/km を示し、AI=100 の曲線が高温条件の密度減少を考慮した純水の静水圧沸騰曲線温度（Haas, 1971）を示す。活動度指数は熱水上昇流域を対象として規格化・単純化された温度曲線であるが、一度、活動度指数が決まれば、任意の深度の温度を表現できる。つまり、活動度指数マップは 3 次元温度構造図として使えるという利点がある。そのため、本調査では村岡らが作成した全国の活動度指数マップ（図 6-6）を温度構造として利用した。

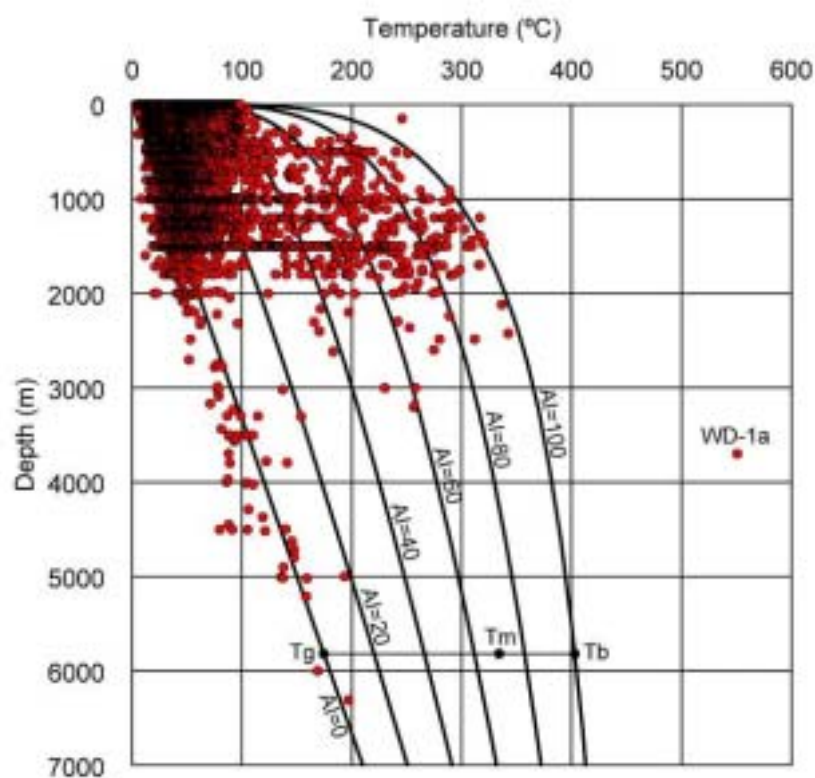


図 6-5 坑井地温データと活動度指数

出典：林正雄（1982）、深部高温地熱貯留層のターゲット、日本地熱学会誌，4，81-90。

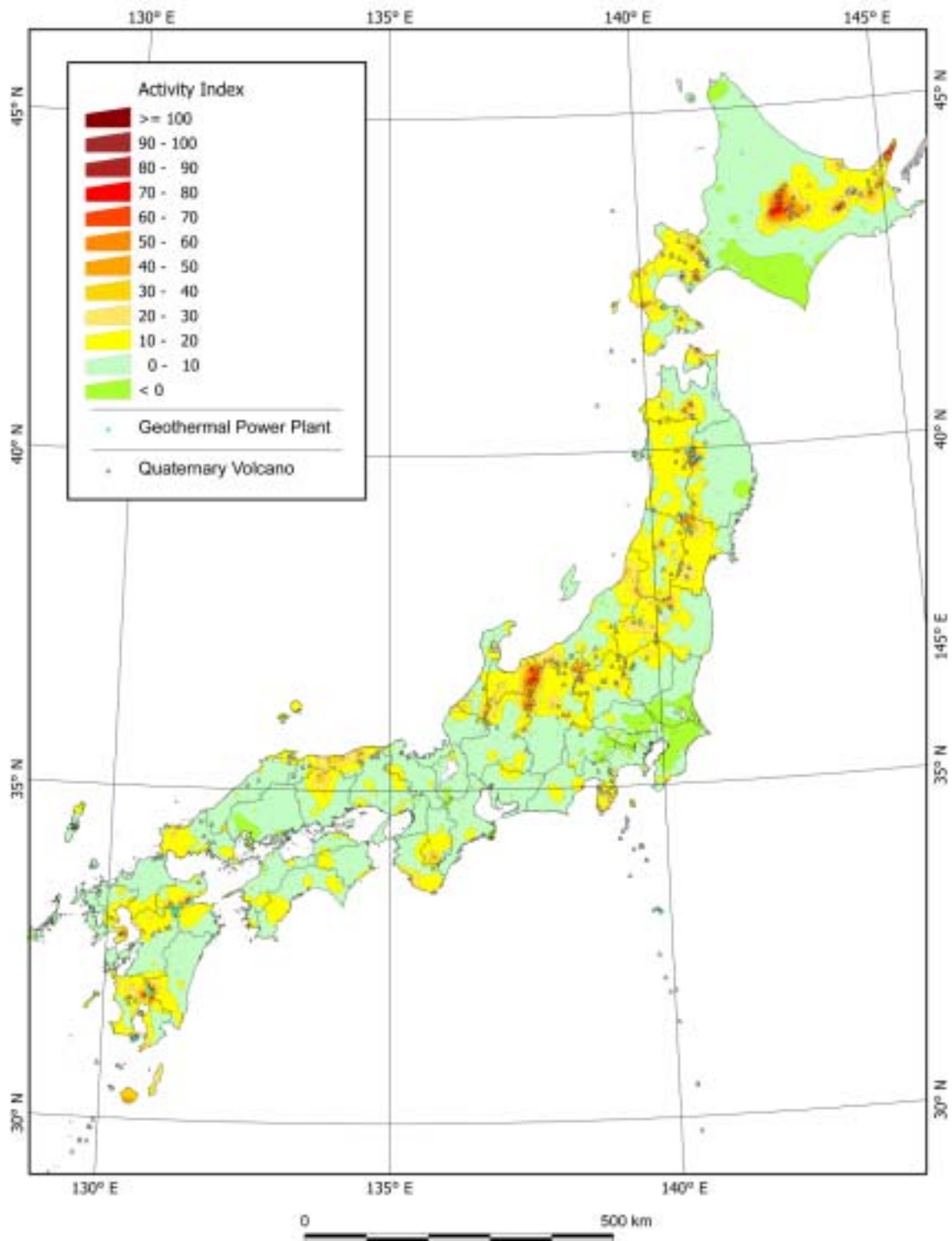


図 6-6 活動度指数分布図

出典：村岡洋文・阪口圭一・玉生志郎・佐々木宗建・茂野 博・水垣桂子（2007）「日本の熱水系アトラス」
産総研地質調査総合センター p. 110

活動度指数 (AI) から任意の深度 (z) の最高温度 ($t_m(z)$) は次式で与えられる。

$$t_m(z) = t_g(z) + AI \cdot (t_b(z) - t_g(z)) / 100$$

ここで、

$t_g(z)$: 平均的な地温勾配 ($3^\circ\text{C}/100\text{m}$) で得られる仮想的な温度

$t_b(z)$: 水の沸騰温度

本調査では熱水系資源を $53\sim 120^\circ\text{C}$ 、 $120\sim 150^\circ\text{C}$ 、 150°C 以上に分けることから、貯留層温度の下限は 120°C となる。

2) 地熱貯留層の底面深度

地熱貯留層の底面深度は、駒澤(2003)による重力基盤深度を採用する(図 6-7)。駒澤によれば、花崗岩等の深成岩類の露頭は全て基盤とし、先新第三系、さらに、固結が進んでいられると考えられる最下部中新統の一部を基盤に含めている。重力基盤の密度は $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ 、被覆層との密度差を $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ としている。したがって、本調査における熱水系貯留層の存在し得る地層は重力的に推定された新第三系および第四系ということになる。

3) 基準温度

基準温度(最低状態温度 t_{ref})については、カーリーナサイクル発電方式を仮定していることから、控え目に見積もって 84°C とした。なお、蒸気フラッシュ発電を仮定している 150°C 以上の熱水系資源の場合、USGS 容積法にしたがって 15°C 、カーリーナサイクル発電方式を仮定している $53\sim 120^\circ\text{C}$ の熱水系では 53°C とそれぞれ設定される。

4) 発電効率

発電効率(η_w)はランキンサイクル発電方式の標準的な発電効率として 0.2 と設定した。なお、 150°C 以上の熱水系の場合 0.4 、 $53\sim 120^\circ\text{C}$ の熱水系では 0.0731 とそれぞれ設定される。

5) 単位計算区画

単位計算区画は活動度指数分布と同じ $1\text{km}\times 1\text{km}$ とする。実際の計算においては、村岡(1991)にしたがって Fortran 言語でプログラムを作成する。

以上の手法を基に作成された $120\sim 150^\circ\text{C}$ の地熱資源量密度分布図を図 6-8 に示す。

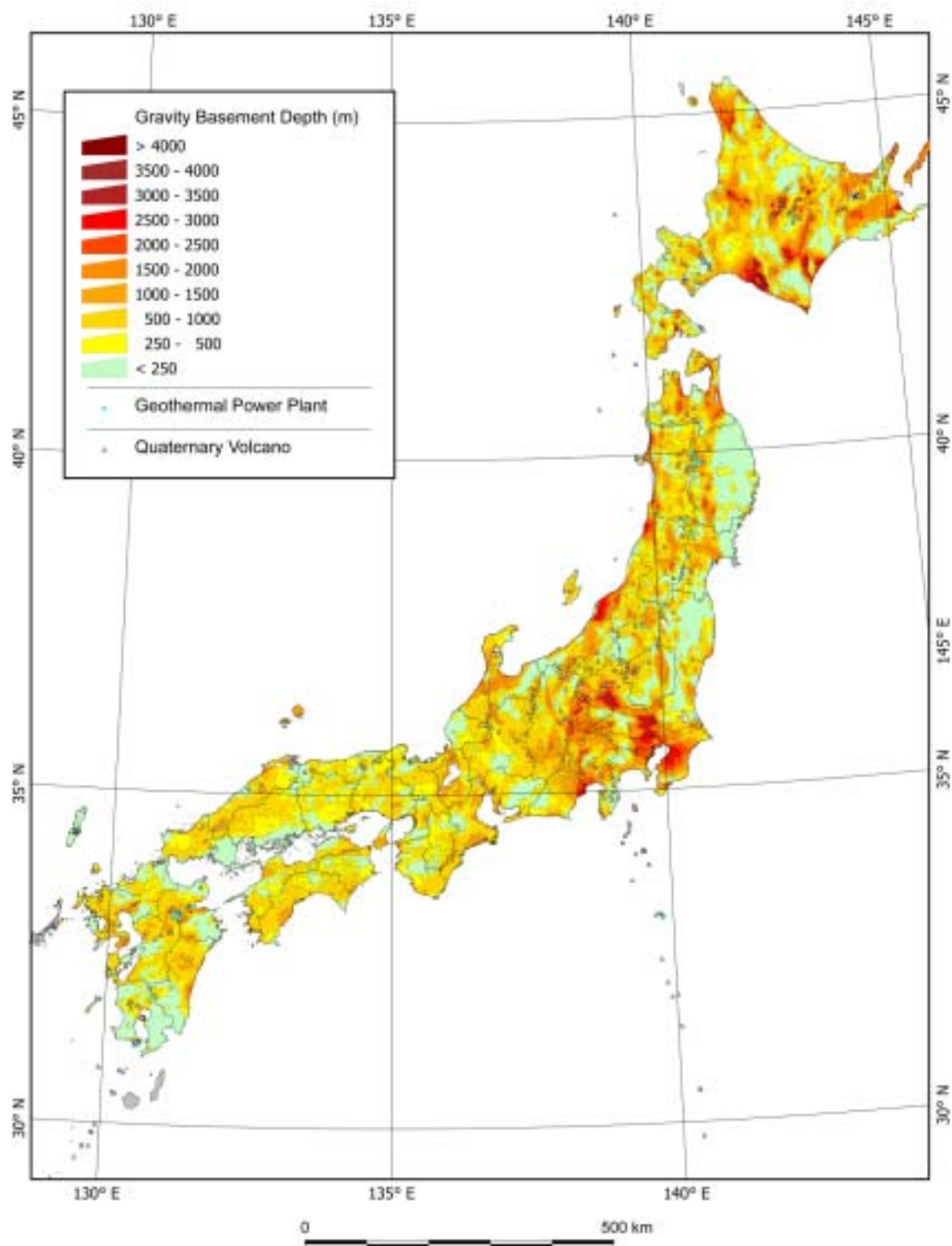


図 6-7 重力基盤深度分布図

出典：駒沢正夫（2003）「日本の重力探査事情－地下構造とのかかわり」石油技術協会誌，68，1，21-30.

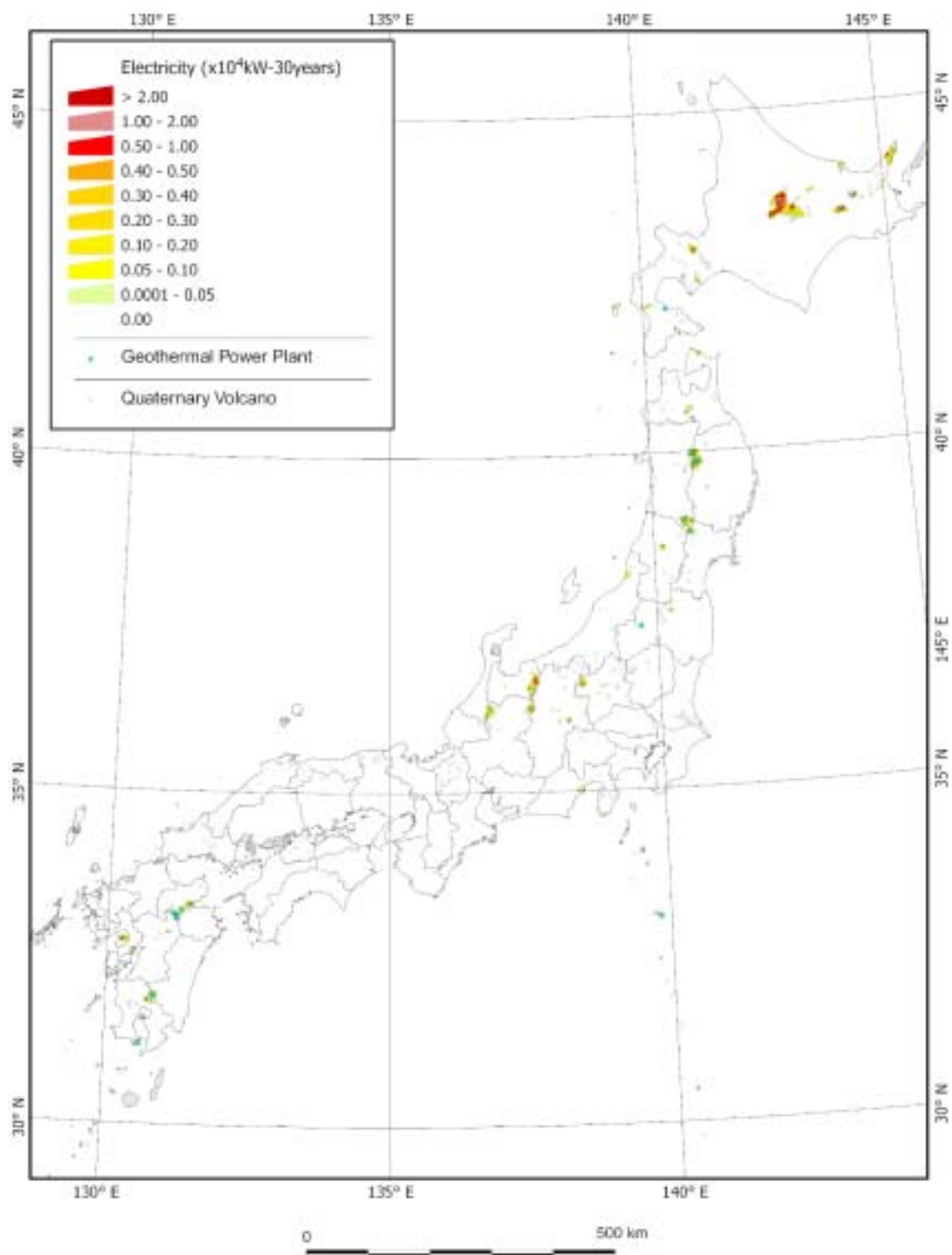


図 6-8 120~150°C以上の熱水系地熱資源量密度分布図

(2) 賦存量推計方法

ここでは、既存調査および(1)で作成した地熱資源量密度分布図を基に地熱発電の賦存量を算定した。

地熱資源量密度分布図を用いれば、各温度区分の資源量分布図からそれぞれ技術的に利用可能な密度を持つグリッドを抽出し、それらを集計することで賦存量が算定できる。賦存量推計の際には、150℃以上の地熱資源については10kW/km²以上、120～150℃については1kW/km²以上、53～120℃については0.1kW/km²以上をそれぞれ技術的に利用可能な密度区分と設定し、温度区分毎にこれらの条件を満たすグリッドの抽出を行った。賦存量の境界条件設定を表6-3に示す。

表 6-3 各温度区分における賦存量の境界条件

温度区分	設定条件	備考
150℃以上	10kW/km ² 以上	開発コスト 38.5 円/kWh 以上に相当
120～150℃	1kW/km ² 以上	開発コスト 57.6 円/kWh 以上に相当
53～120℃	0.1kW/km ² 以上	開発コスト 75.1 円/kWh 以上に相当

6.3.3 賦存量推計結果

(1) 賦存量分布状況

各温度区分における地熱発電の賦存量分布状況を図 6-9～11 に示す。これによると、150℃以上の地熱資源については、北海道、岩手県と秋田県の県境、長野県と富山県の県境に集中して分布している。また、120～150℃の地熱資源については、それらの賦存地域より若干範囲を広げて分布している。一方、53～120℃の地熱資源については、特に東日本、北日本の広範囲にわたり分布している。

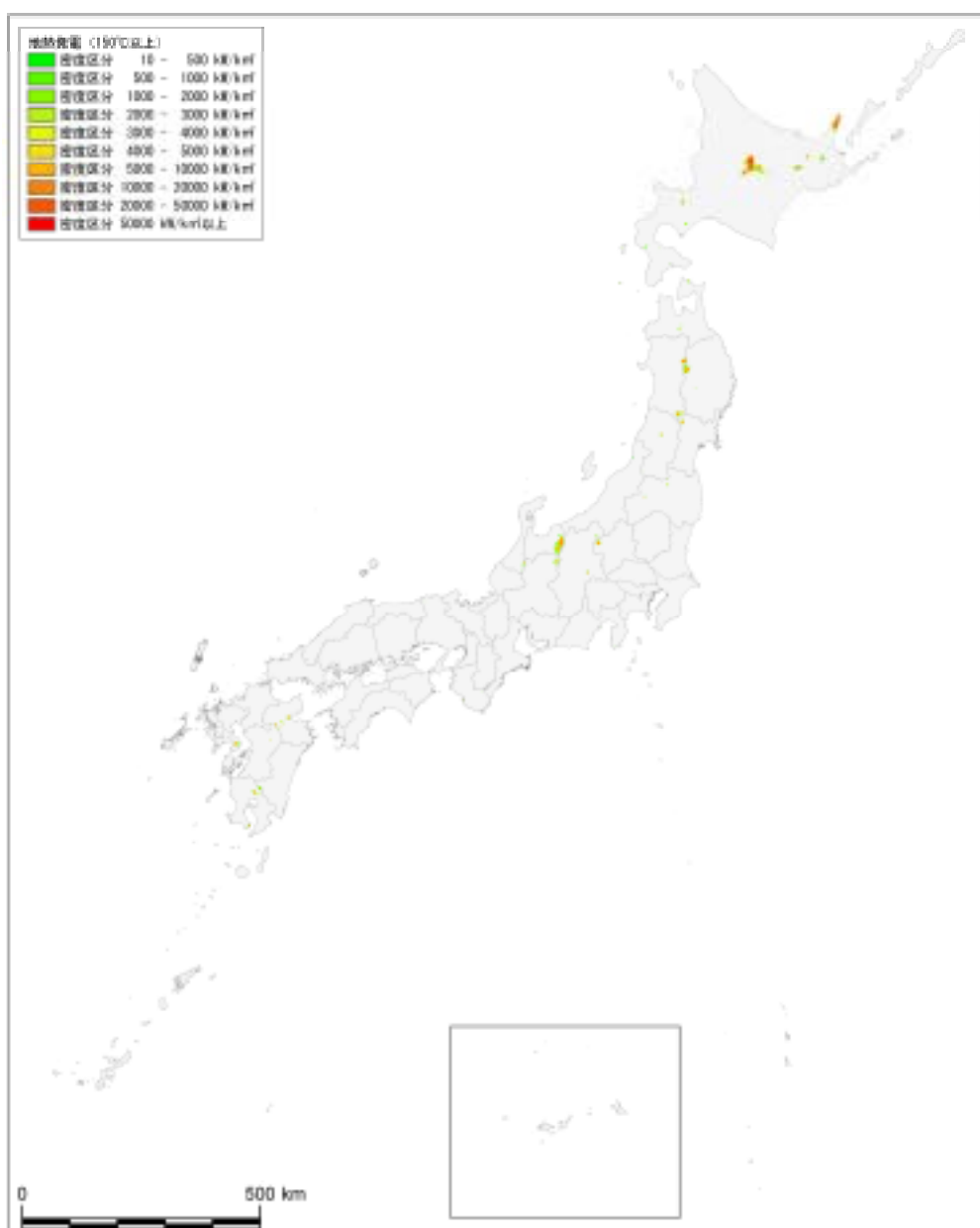


図 6-9 150℃以上の熱水資源における地熱発電の賦存量分布図

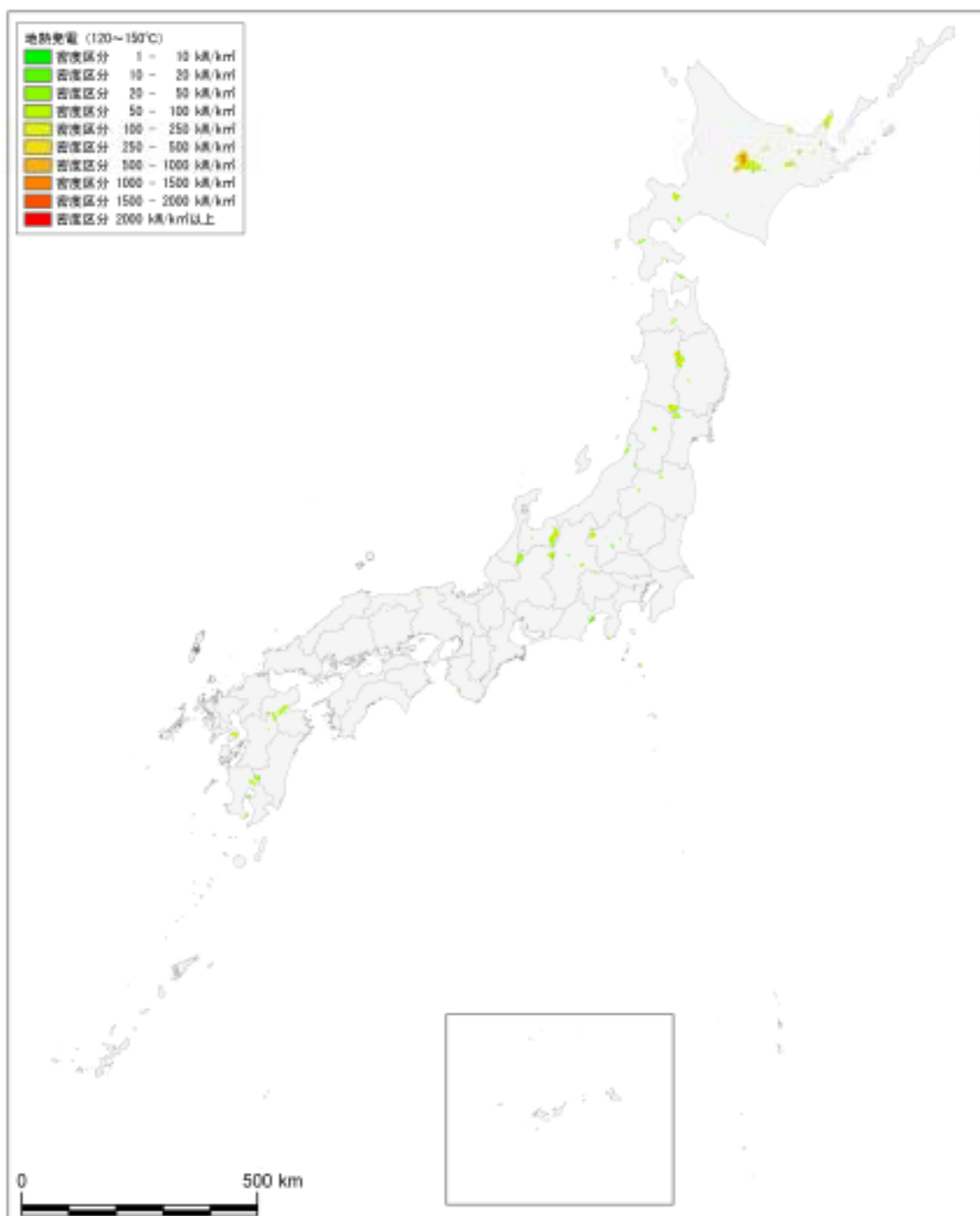


図 6-10 120~150°Cの熱水資源における地熱発電の賦存量分布図

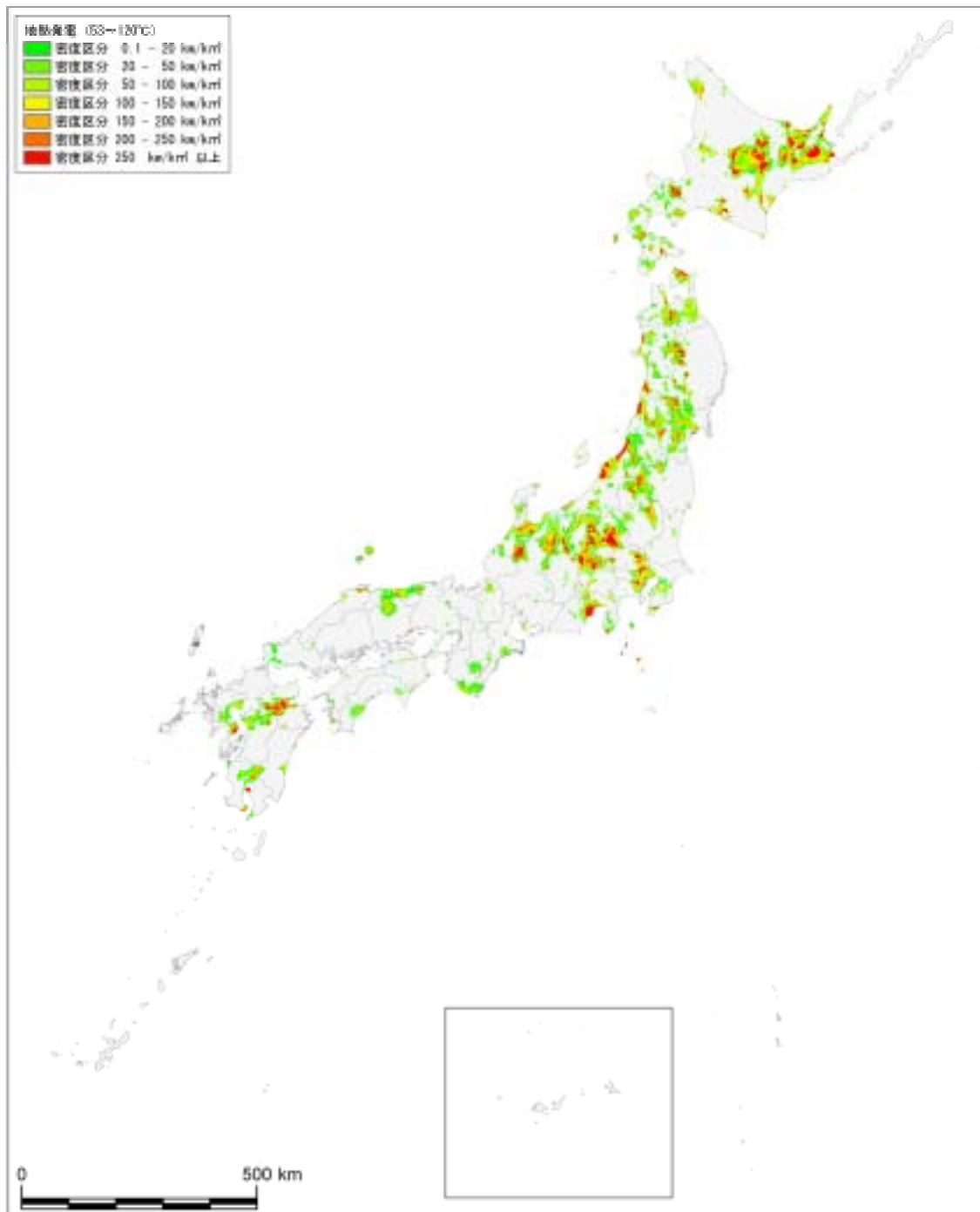


図 6-11 53~120℃の熱水資源における地熱発電の賦存量分布図

（２）賦存量の推計結果

地熱発電の賦存量の推計結果を表 6-4 に示す。これによると、賦存量は 150℃以上では約 2,400 万 kW、120℃～150℃では約 110 万 kW、53～120℃では約 850 万 kW と推計された。なお、150℃以上に関する国立・国定公園内の賦存量は約 1,900 万 kW であり、全体の 83%に及んでいる。

表 6-4 地熱発電賦存量の集計結果

温度区分	賦存量（万 kW）	面積（km ² ）
150℃以上	2,357	3,124
120～150℃	108	5,692
53～120℃	849	84,487

(3) 電力供給エリア別および都道府県別の賦存量分布状況

①電力供給エリア別の分布状況

地熱発電の電力供給エリア別の賦存量を表 6-5～6 および図 6-12～13 に示す。

これによると、150℃以上の賦存量は北海道地域に集中しており、全体の 71%となっている。次いで東北地域が 11%、北陸地域 9%、九州地域 6%がそれに続いている。120～150℃についても 150℃以上と同様の分布状況にあり、北海道地域が全賦存量の約 65%を占めている。

一方、53～120℃の賦存量は比較的広範囲にわたり分布しており、その割合は北海道地域 32%、東北地域 25%、東京地域 15%、中部地域 13%となっている。

表 6-5 電力供給エリア別の地熱発電の賦存量推計結果（設備容量：万 kW）

資源区分	北海道	東北	東京	北陸	中部	関西	中国	四国	九州	沖縄	合計
150℃以上	1,674	252	39	220	37	2	0	0	134	0	2,357
120～150℃	70	16	2	7	3	0	0	0	9	0	108
53～120℃	272	216	128	37	107	8	17	4	60	0	849

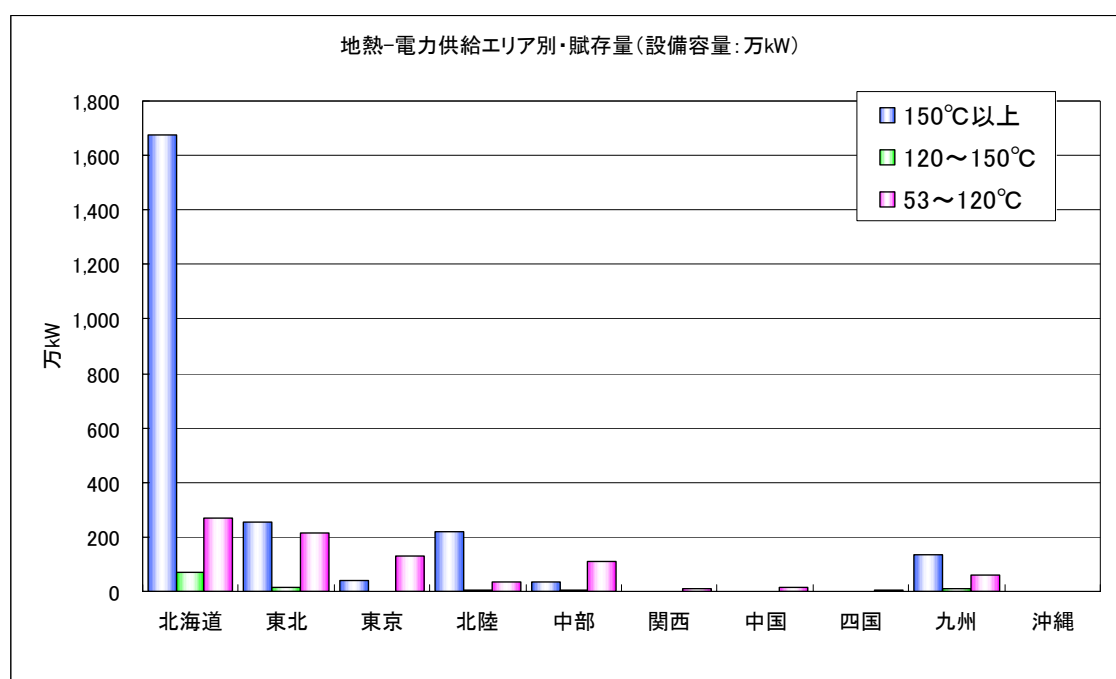


図 6-12 電力供給エリア別の地熱発電の賦存量（設備容量：万 kW）

表 6-6 電力供給エリア別の地熱発電の賦存量推計結果（面積：km²）

資源区分	北海道	東北	東京	北陸	中部	関西	中国	四国	九州	沖縄	合計
150℃以上	1,620	528	79	442	130	9	0	0	315	0	3,124
120～150℃	2,481	1,233	237	507	456	31	12	0	735	0	5,692
53～120℃	22,679	24,249	11,194	4,566	8,755	2,198	3,474	1,117	6,254	0	84,487

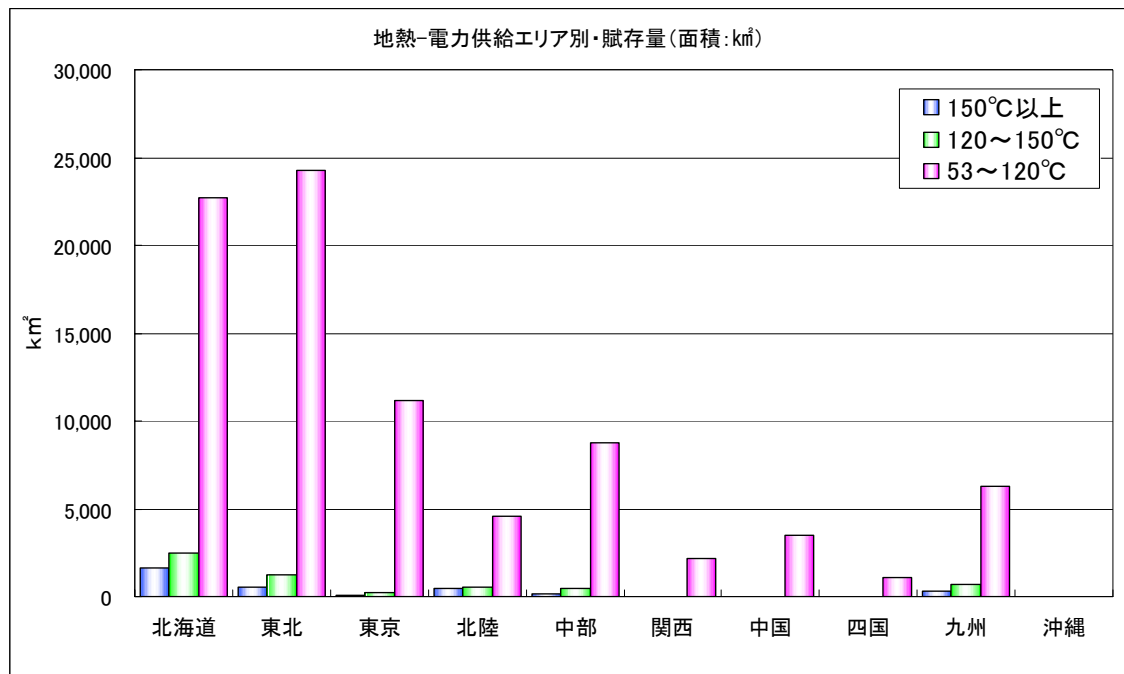


図 6-13 電力供給エリア別の地熱発電の賦存量（面積：km²）

②都道府県別の分布状況

都道府県別の地熱発電の賦存量分布状況を表 6-7～9 および図 6-14～16 に示す

これによると、150℃以上の賦存量は北海道が約 1,700 万 kW と突出しており、全体の 71%を占めている。二番目は富山県で 210 万 kW、秋田県の 110 万 kW、岩手県の 86 万 kW がそれに続いている。

120～150℃の賦存量についても、150℃以上と同様、北海道の賦存量が約 70 万 kW と突出しており、全体の 65%を占めている。秋田県の 7 万 kW、富山県の 6 万 kW、岩手県の 5 万 kW がそれに続いている。

一方、53～120℃の賦存量については、以上の温度区分と同様に北海道の賦存量が約 272 万 kW（全体の 32%）と最も多いが、長野県 64 万 kW、群馬県 56 万 kW、新潟県 50 万 kW が比較的高い割合を占めている。

表 6-7 150℃以上の熱水資源における都道府県別の地熱発電の賦存量推計結果

集計単位	面積 (km ²)	賦存量 (万 kW)	集計単位	面積 (km ²)	賦存量 (万 kW)
全国	3,124	2,357	三重県	0	0
北海道	1,620	1,674	滋賀県	0	0
青森県	42	9	京都府	0	0
岩手県	178	86	大阪府	0	0
宮城県	49	25	兵庫県	2	0
秋田県	195	111	奈良県	0	0
山形県	31	11	和歌山県	7	2
福島県	26	10	鳥取県	0	0
茨城県	0	0	島根県	0	0
栃木県	0	0	岡山県	0	0
群馬県	73	37	広島県	0	0
埼玉県	0	0	山口県	0	0
千葉県	0	0	徳島県	0	0
東京都	4	1	香川県	0	0
神奈川県	0	0	愛媛県	0	0
新潟県	6	0	高知県	0	0
富山県	411	213	福岡県	0	0
石川県	31	7	佐賀県	0	0
福井県	0	0	長崎県	66	29
山梨県	0	0	熊本県	20	9
長野県	53	15	大分県	87	39
岐阜県	75	22	宮崎県	17	3
静岡県	6	1	鹿児島県	125	54
愛知県	0	0	沖縄県	0	0

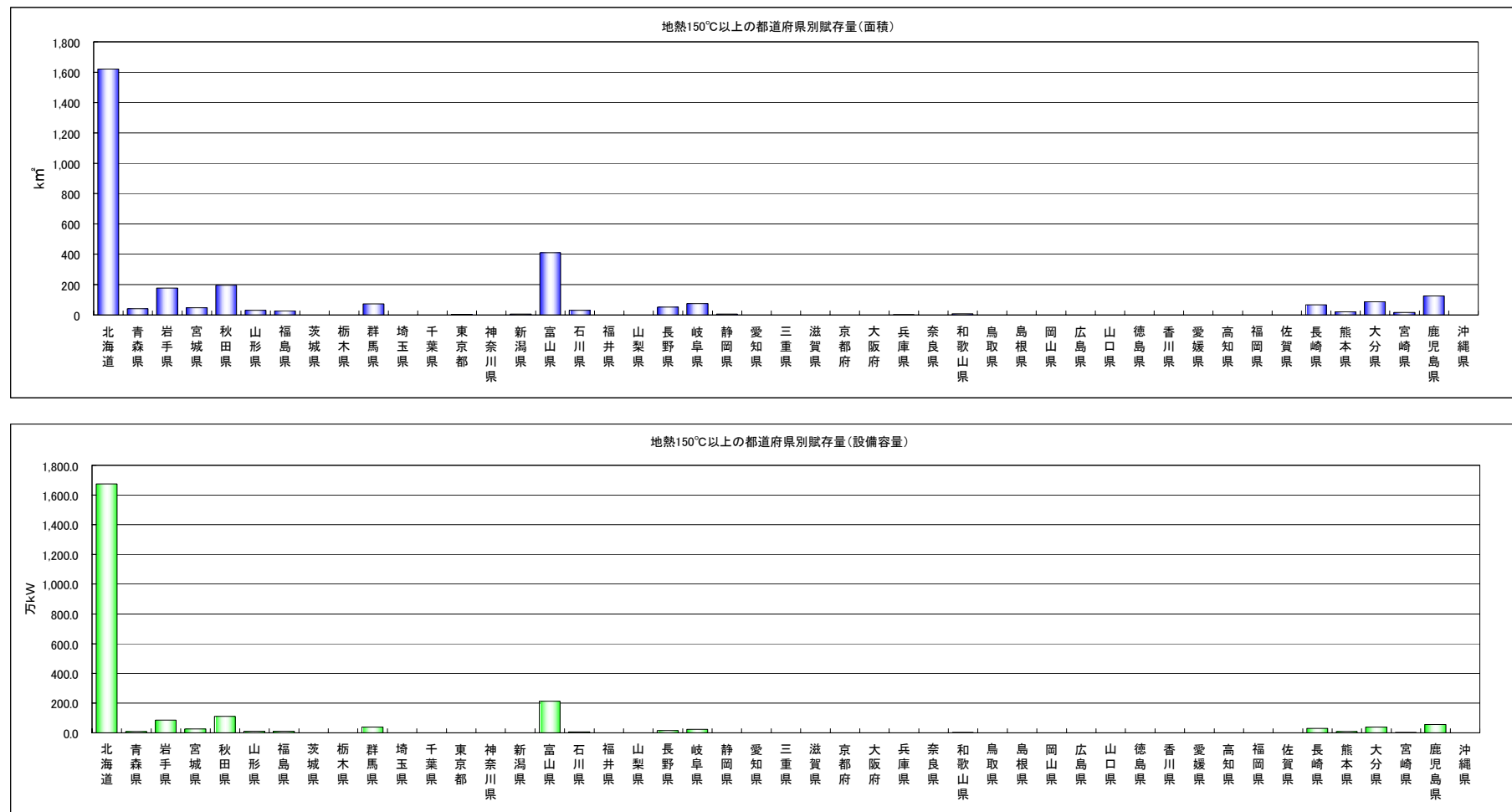


図 6-14 150℃以上の熱水資源における地熱発電の賦存量（上段：面積、下段：設備容量）

表 6-8 120～150℃の熱水資源における都道府県別の地熱発電の賦存量推計結果

集計単位	面積 (km ²)	賦存量 (万 kW)
全国	5,692	108
北海道	2,481	70
青森県	127	1
岩手県	322	5
宮城県	146	2
秋田県	380	7
山形県	117	1
福島県	63	1
茨城県	0	0
栃木県	1	0
群馬県	174	2
埼玉県	0	0
千葉県	0	0
東京都	37	0
神奈川県	0	0
新潟県	80	0
富山県	397	6
石川県	110	1
福井県	0	0
山梨県	11	0
長野県	140	1
岐阜県	223	2
静岡県	107	0
愛知県	0	0

集計単位	面積 (km ²)	賦存量 (万 kW)
三重県	0	0
滋賀県	0	0
京都府	0	0
大阪府	0	0
兵庫県	12	0
奈良県	1	0
和歌山県	18	0
鳥取県	5	0
島根県	0	0
岡山県	7	0
広島県	0	0
山口県	0	0
徳島県	0	0
香川県	0	0
愛媛県	0	0
高知県	0	0
福岡県	0	0
佐賀県	0	0
長崎県	113	2
熊本県	63	1
大分県	293	3
宮崎県	49	0
鹿児島県	216	3
沖縄県	0	0

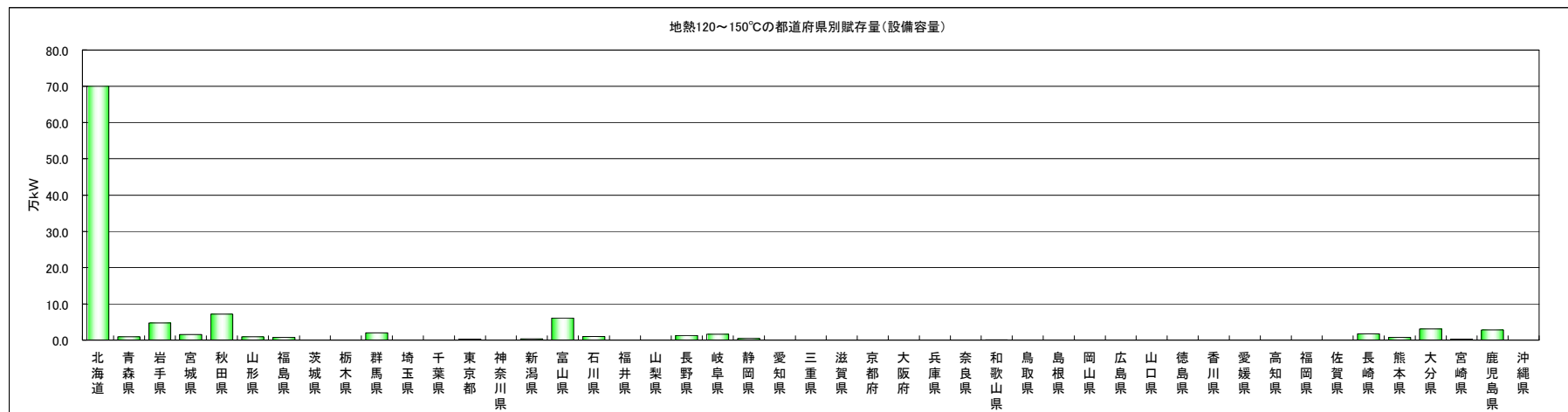
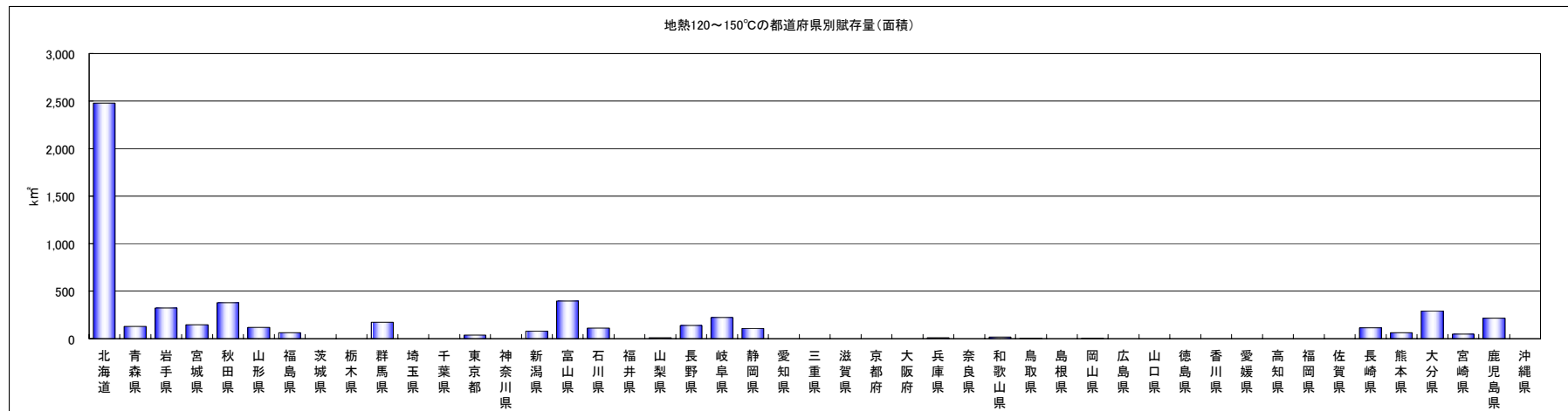


図 6-15 120～150℃の熱水資源における都道府県別の地熱発電の賦存量（上段：面積、下段：設備容量）

表 6-9 53～120℃の熱水資源における都道府県別の地熱発電の賦存量推計結果

集計単位	面積 (km ²)	賦存量 (万 kW)
全国	84,487	849
北海道	22,679	272
青森県	3,704	32
岩手県	1,767	20
宮城県	3,579	26
秋田県	3,928	32
山形県	3,540	30
福島県	2,994	26
茨城県	169	1
栃木県	1,441	12
群馬県	3,698	56
埼玉県	1,494	19
千葉県	1,022	7
東京都	1,031	13
神奈川県	570	6
新潟県	4,738	50
富山県	2,769	25
石川県	1,389	11
福井県	210	1
山梨県	1,140	10
長野県	5,585	64
岐阜県	1,807	21
静岡県	1,709	26
愛知県	86	1

集計単位	面積 (km ²)	賦存量 (万 kW)
三重県	398	1
滋賀県	244	2
京都府	36	0
大阪府	7	0
兵庫県	423	2
奈良県	518	1
和歌山県	969	3
鳥取県	1,404	7
島根県	662	4
岡山県	939	5
広島県	0	0
山口県	469	1
徳島県	94	0
香川県	59	0
愛媛県	206	1
高知県	758	3
福岡県	173	1
佐賀県	465	2
長崎県	678	7
熊本県	1,518	11
大分県	1,585	25
宮崎県	535	4
鹿児島県	1,300	10
沖縄県	0	0

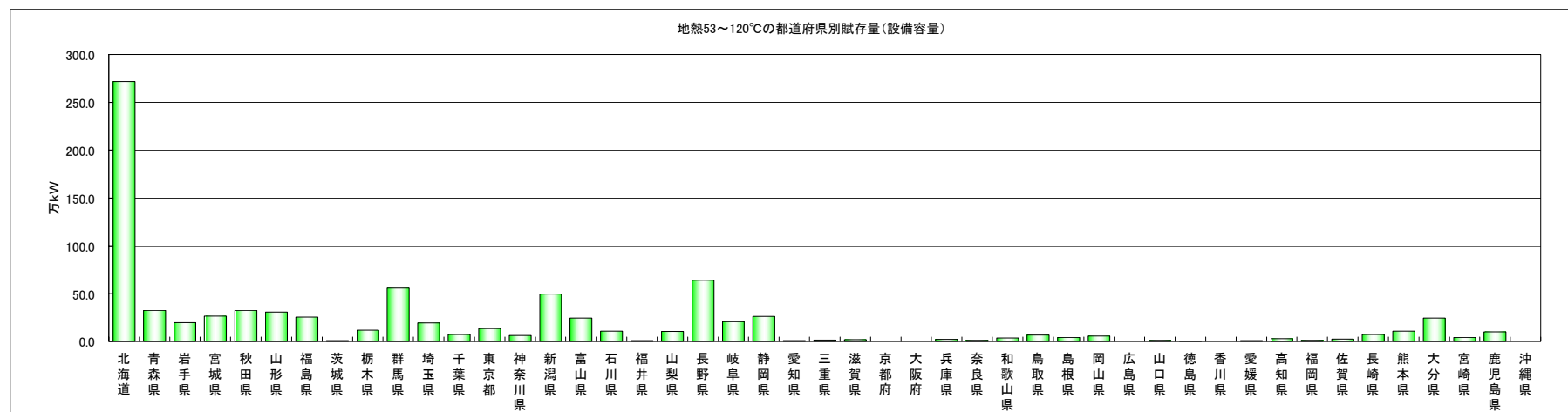
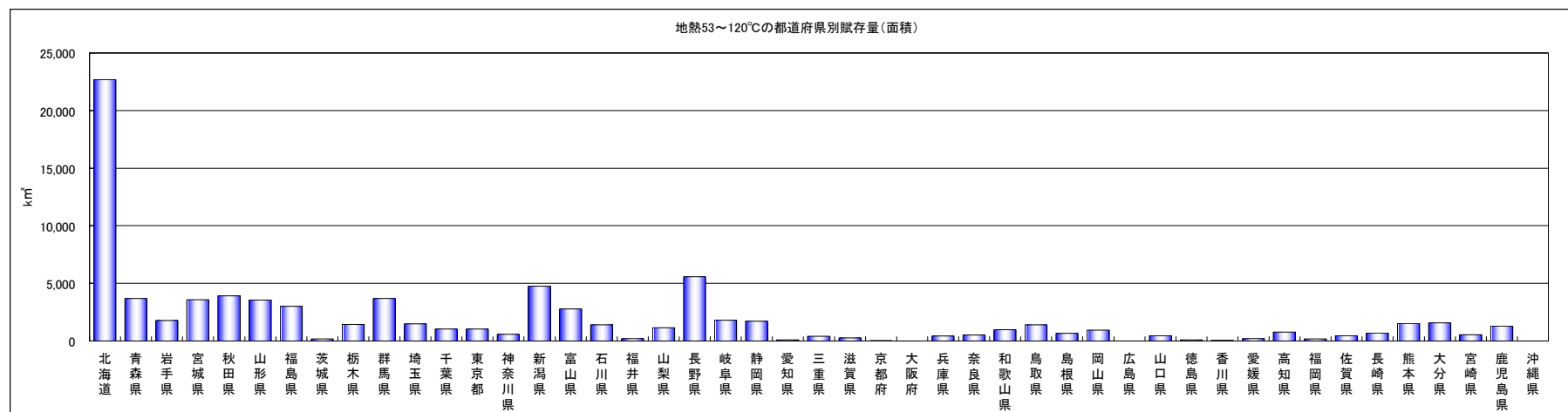


図 6-16 53～120℃の熱水資源における都道府県別の地熱発電の賦存量（上段：面積、下段：設備容量）

6.4 地熱発電（熱水資源利用）の導入ポテンシャルの推計

6.4.1 推計に使用した各種データとその信頼性

（１）賦存量に関わるデータ

賦存量に関するデータは前章で作成した地熱資源賦存量マップを使用した。

（２）社会条件に関わるGISデータ

①法規制区分

・自然公園（国立公園、国定公園）

環境省自然環境局自然環境計画課が「平成 19 年度生態系総合管理基盤情報整備業務」で整備したデータを使用した。このデータは、もともとは環境省自然環境局生物多様性センター（以降、「生物多様性センター」という）が「平成 10 年度自然環境情報 GIS 整備事業」で作成したデータ（平成 11 年度発行）が元になっており、このデータに対し、平成 18 年までに改変があった箇所について修正を加えたものである。新設された尾瀬国立公園の区域も反映されたデータとなっている。

原典資料は環境省自然環境局国立公園課の国立公園区域図・国定公園区域図であり情報の信頼性は高い。原典資料の中には、作成時期が古い紙図面上に情報を手書きで追記して公園区域を管理しているような図面もあり、このような場合は局地的に位置精度が若干落ちている場合がある。そのため、自然公園区域線の境界の位置精度が正確でない場合があり、区域検討を行うような厳密な検討や検証には向かないデータとなっている（そのため、一般には公開されていない）。

しかし、本データは、自然公園管理者の情報からデータ化したものであり、全国のすべての国立公園・国定公園について、同じ仕様でポリゴンデータ化され、属性として自然公園の地域地区区分属性（特別保護地区、第 1 種特別保護地域、普通地域のような属性）を保持しているため、利用価値が高い。今回のように概ね 100m メッシュのグリッドによる解析を行うには十分な精度と内容であると考えられる。

今回の解析では、このデータから 100m メッシュのグリッドデータを作成し、解析に用いた。

・原生自然環境保全地域、自然環境保全地域、国指定鳥獣保護区、 世界自然遺産地域区域図

自然公園のデータと同様、生物多様性センターが「平成 10 年度自然環境情報 GIS 整備事業」で作成したデータをもとに、平成 18 年までに改変があった箇所について、環境省自然環境局自然環境計画課が平成 19 年度に更新を行ったデータである。このデータから 100m メッシュのグリッドデータを作成し、解析に用いた。

②居住地からの距離

(財)統計情報研究開発センターが提供している地域メッシュ統計第1次地域区画別平成17年国勢調査の人口データを使用した。このデータは1/2地域メッシュ単位で集計されているため、500mメッシュのグリッドデータに人口データを結合後、解析用にセルサイズを100mに変更した。人口が1人以上存在するグリッドを居住地として、ArcMapのエクステンション機能であるExpandで500m(5セル)分を拡張し、居住地から500m以下とそれ以外の属性を付与し、解析に用いた。

③土地利用区分

国土交通省国土計画局が公開している国土数値情報の「土地利用3次メッシュデータ」のうち、平成18年度のデータを使用した。平成18年度データは、100mメッシュ単位に地図記号や衛星画像の色調から判断される土地利用種別をデータ化したものであり、位置精度は概ね2.5万分1地形図レベルである。

今回、このデータを100mメッシュのグリッドデータに変換し、解析に用いた。

④都道府県境界

基盤地図情報(25000レベル)に含まれる県境界のXMLデータをシェープファイルに変換し、都道府県境界データとして編集したものを使用した。

このデータから作成した100mメッシュのグリッドデータを使用し、集計を行った。

⑤電力供給エリア境界

電力各社ホームページのサービスエリア・管轄などと国土地理院数値地図25000(行政界・海岸線)より日本大学生産工学部長井研究室で作成したデータを使用した。海域は電力各社の陸域管轄地の延長上を範囲として区分している。データはシェープファイルに変換し電力会社管轄境界データとして編集したもので、区域精度は概ね2.5万分1地形図レベルである。このデータから作成した100mメッシュのグリッドデータに変換後に使用し、集計を行った。

6.4.2 導入ポテンシャル推計方法

(1) 導入ポテンシャル（全体量）の推計

賦存量推計により作成された各温度区分の賦存量分布図にGIS上で各種社会条件を重ね合わせ、地熱発電施設が設置可能な面積を求め、発電コストを考慮しない全体の導入ポテンシャル（kW、kWh/年）を算定した。53～120℃の地熱資源賦存量に対しては「法規制等区分」と「土地利用区分」、120～150℃および150℃以上の地熱資源賦存量に対しては「法規制等区分」、「居住地からの距離」、「土地利用区分」をそれぞれ導入ポテンシャルの算定条件として設定した。開発可能条件および開発不可条件を表6-10～11に示す。

120～150℃および150℃以上の地熱資源における導入ポテンシャルの算定では「居住地からの距離：100m以上」を算定条件に設定した。これは、120℃以上の地熱資源の開発は通常居住地から遠い場所で行われるのに対し、53～120℃の低温域の地熱資源開発は温泉を活用するものが含まれ、居住地の近傍で行われても問題がほとんど無いと考えられるためである。また、同様の理由から、「土地利用区分」の「7.建物用地」を53～120℃の地熱資源においては開発可能条件としている。

表 6-10 地熱発電における導入ポテンシャル算定条件
(53～120℃の熱水系地熱資源)

条件項目 (○内の数字は絞込み順)	開発可能条件	開発不可条件
①法規制等区分	自然公園(第2種特別地域、第3種特別地域、普通地域)	自然公園(特別保護地区、第1種特別地域) 原生自然環境保全地域 自然環境保全地域 国指定鳥獣保護区 世界自然遺産地域
②土地利用区分	1.田、2.その他農用地、5.森林、6.荒地、7.建物用地、E.海浜、G.ゴルフ場	9.幹線交通用地、A.その他用地、B.河川地及び湖沼、F.海水域

表 6-11 地熱発電における導入ポテンシャル算定条件
(120～150℃および150℃以上の熱水系地熱資源)

条件項目 (○内の数字は絞込み順)	開発可能条件	開発不可条件
①法規制等区分	自然公園(普通地域)	自然公園(特別保護地区、第1種特別地域、第2種特別地域、第3種特別地域) 原生自然環境保全地域 自然環境保全地域 国指定鳥獣保護区 世界自然遺産地域
②居住地からの距離	100m以上	100m未満
③土地利用区分	1.田、2.その他農用地、5.森林、6.荒地、E.海浜、G.ゴルフ場	7.建物用地、9.幹線交通用地、A.その他用地、B.河川地及び湖沼、F.海水域

(2) シナリオ別の発電コストの設定

地熱発電では発電コストをパラメータとして、温度区分別に3つの将来導入シナリオを表6-12のように設定した。

なお、ここでいう『発電コスト』とは、後述するNEDO調査(2002)における発電コストをベースとしている。具体的には、投資に対する金利分(4%)は考慮されているが、投資回収などの資金コストは十分には計上されていないため、必ずしも十分な採算性を担保した値にはなっていない(少なくとも固定価格買取制度などの議論にそのまま活用可能な単価ではない)。

表 6-12 シナリオ別の発電コスト

シナリオ	発電コスト		
	150℃以上	120～150℃	53～120℃
シナリオ1	16 円/kWh 未満	24 円/kWh 未満	24 円/kWh 未満
シナリオ2	20 円/kWh 未満	36 円/kWh 未満	36 円/kWh 未満
シナリオ3	24 円/kWh 未満	48 円/kWh 未満	48 円/kWh 未満

(3) 資源密度と発電コストの関係の定量化

①150℃以上の蒸気フラッシュ発電

NEDO（2002）は最も短期間のうちに開発が期待される 31 地熱地域の平方 km 当たりの MW 数を『資源量密度』として与えており、この発電コストと資源量密度の経験式を求めている。本調査でも基本的にはこの経験式を用いることとし、NEDO（2002）と同様に、耐用年数 30 年、地熱開発促進調査なし、かつ、補助金なしの条件で発電コストの経験式を算出することとした。そのため、地熱発電に関する研究会（2009）の発電コストよりやや高い値となっている。NEDO（2002）では地熱発電所の耐用年数として、15 年の場合と 30 年の場合が算定されている。しかし、1966 年以来 43 年間、安定的に操業している松川地熱発電所や、1967 年以来 42 年間、安定的に操業している大岳地熱発電所など、地熱発電所の耐用年数の長さは歴史的に証明済みのため、ここでは耐用年数 30 年を採用した。

一方、ここでは、NEDO（2002）とは異なり、31 地域のデータのうち、分散の大きい 6 地域のデータを除いて、25 地域の発電コストと資源量密度から新たに経験式を求めることとした。その理由は、NEDO（2002）では分散の大きい 31 地域のデータを全て用いた結果、対数関数の特性によって、発電コストの変化幅がごく限定された近似曲線となっているためである。25 地域のデータから得られた近似式を(1)式に示す。

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = -4.0076 * \ln[\text{資源量密度 (MW/km}^2\text{)}] + 20.068 \quad \dots (1)$$

また、図 6-17 にこの関係を用いて自然公園内外の地熱資源の品位の違いを明らかにするために作成したコスト・サプライ曲線の例を示す。

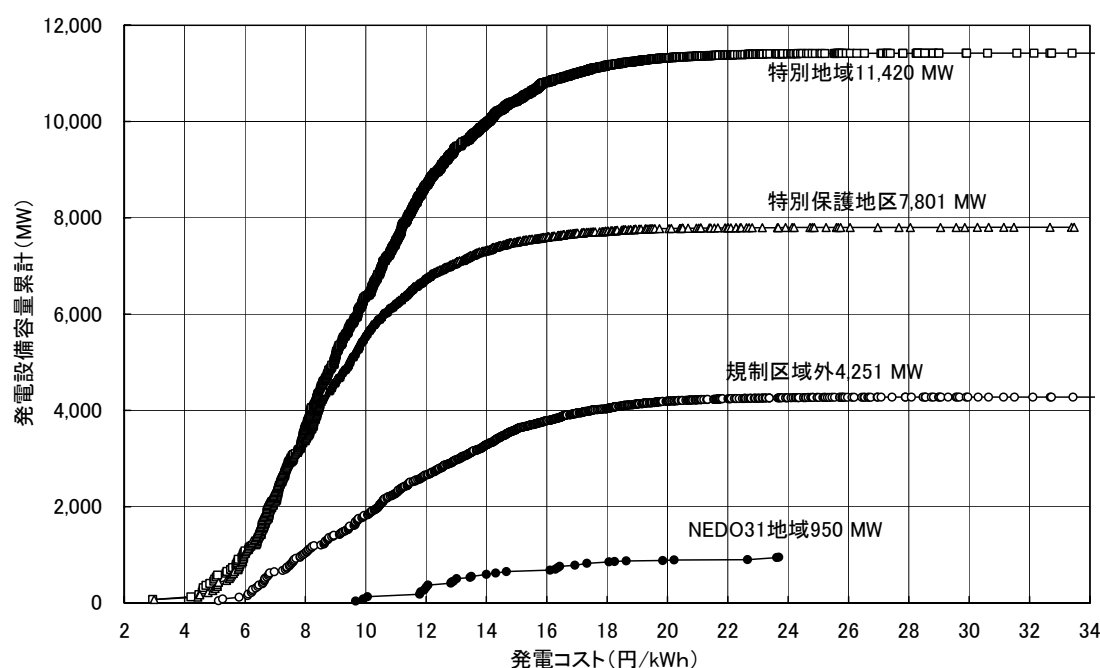


図 6-17 (1) 式を全国に適用した自然公園内外の資源のコスト・サプライ曲線

②120～150℃のランキンサイクル発電

蒸気フラッシュ発電に比べて、バイナリーサイクル発電の発電コストの公表データは少なく、発電コストと資源量密度の経験式を求めるためには、いくつかの類推を必要とする。前述の25地域のデータから得られた貯留層温度と発電コストの関係の経験式を(2)式に示す。

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = -0.0388 \times [\text{貯留層温度 (℃)}] + 25.59 \quad \dots (2)$$

NEDO (2002) では、貯留層温度が低い場合には、蒸気フラッシュ発電のみでなく、バイナリーサイクル発電の発電コストも求めており、最終的に発電コストの低い方を選択している。このトレンドは原理的に、150℃以下の温度領域に外挿可能と思われるが、データの分散が大きいため、その信頼度にやや危惧が残る。

そのため、比較のため、図6-18にSanyal (2010) の堆積盆地の地熱開発に関する貯留層温度と発電コストの関係を示す。これはバイナリーサイクル発電を前提としており、しかも、全開発過程の発電コストを示していることから、本報との比較に好適である。ここでkhとは浸透率・層厚積のことであり、この値が大きいほど、地熱貯留層の透水性が大きく、地熱貯留層としての性能が高いことを示している。堆積盆地であり、粗粒の砂岩などが多いため、みかけ上のkhが桁違いに大きくなっているが、堆積盆地では常に浸透率の低い頁岩が互層するため、ここではkhの最も大きな250,000～1,000,000 md-ft (ミリダルシー・フィート) の曲線付近が開発可能な領域とみなされる。図6-18のこれらの曲線は(2)式から得られる発電コストと低温側で概ね一致している。よって、この一致から、低温領域の発電コストについては、(2)式から推定して差し支えないものとする。

(2)式から、各温度領域の相対的な発電コストの比率が表6-13のように求められる。

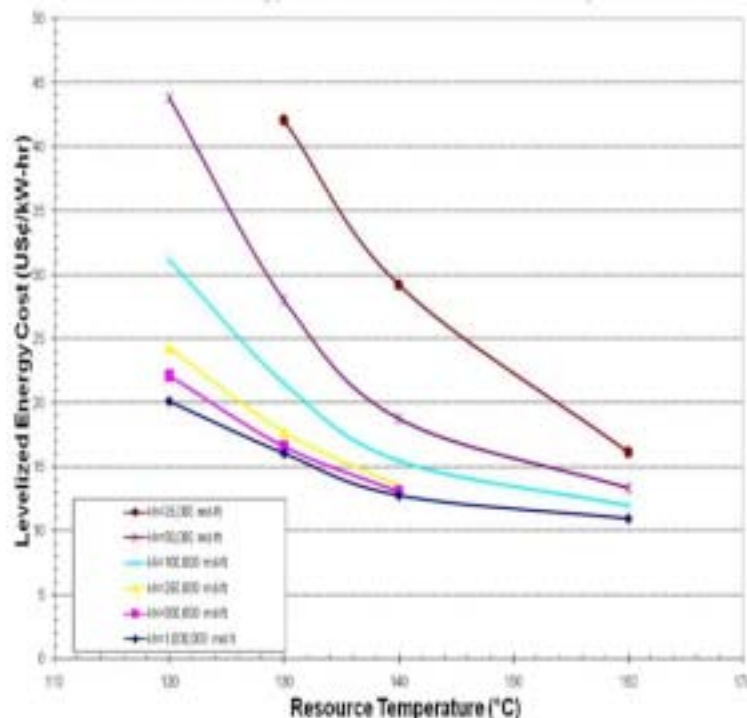


図6-18 堆積盆地の地熱開発に関する貯留層温度と発電コストの関係 (Sanyal, 2010)

表 6-13 各温度領域の相対的な発電コスト比

温度範囲	中間温度	発電コスト
300-150℃	225.0℃	15.27 円/kWh
150-120℃	135.0℃	19.03 円/kWh
120-53℃	86.5℃	22.31 円/kWh

この相対比をもとに、120～150℃のランキンサイクル発電については、(3)式の発電コストが推定される。

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = -4.8372 * \ln[\text{資源量密度 (MW/km}^2\text{)}] + 24.222 \quad \dots (3)$$

③53～120℃のカリーナサイクル発電

同様に、表 6-13 の相対比をもとに、53～120℃のカリーナサイクル発電については、(4)式が推定される。

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = -5.284 * \ln[\text{資源量密度 (MW/km}^2\text{)}] + 26.46 \quad \dots (4)$$

(4)式から、53～120℃のカリーナサイクル発電（温泉発電を含む）については、ほとんど採算が合わず、ビジネスとして成立しないようにみえる。しかし、ここで評価しているのは、あくまでも掘削から地上設備の開発までを含めた発電コストである。

実際には、2008 年 3 月現在、我が国には 28,090 個の温泉源がすでに存在し、1962 年以降、毎年平均 334 個の温泉が新たな掘削によって開発されている。したがって、これらすでに掘削済みの温泉の副産物として、温泉発電を行うならば、新たな掘削を必要とせず、その発電コストが一挙に低減することは自明である。全国にすでに存在する温泉の、浴用利用より高温側の未利用熱エネルギーを温泉発電に利用した場合、723MW（72.3 万 kW）の市場規模が推定されている（村岡ほか，2008b）。このように、実際には温泉発電ビジネスモデルが成立する可能性は十分にあると言える。

④各温度区分におけるシナリオ毎の開発可能条件

(2) で設定した許容発電コストに対して、①～③で得られた資源密度と発電コストの関係式に基づき、各温度区分におけるシナリオ毎の開発可能条件を算出した。算出結果を表 6-14 に示す。

表 6-14 各温度区分におけるシナリオ毎の開発可能条件

	150℃以上		120～150℃		53～120℃	
	発電コスト	資源量密度	発電コスト	資源量密度	発電コスト	資源量密度
シナリオ1	12円未満	7,490kW/km ² 以上	24円未満	1,050kW/km ² 以上	24円未満	1,590kW/km ² 以上
シナリオ2	16円未満	2,760kW/km ² 以上	36円未満	88kW/km ² 以上	36円未満	164kW/km ² 以上
シナリオ3	20円未満	1,020kW/km ² 以上	48円未満	7kW/km ² 以上	48円未満	17kW/km ² 以上

6.4.3 導入ポテンシャル推計結果

導入ポテンシャル（全体量）の推計結果を以下に示す。なお、詳細なデータは巻末資料に示す。

（１）導入ポテンシャル（全体量）分布状況

地熱発電の温度区分別の導入ポテンシャル分布状況を図 6-19～21 に示す。

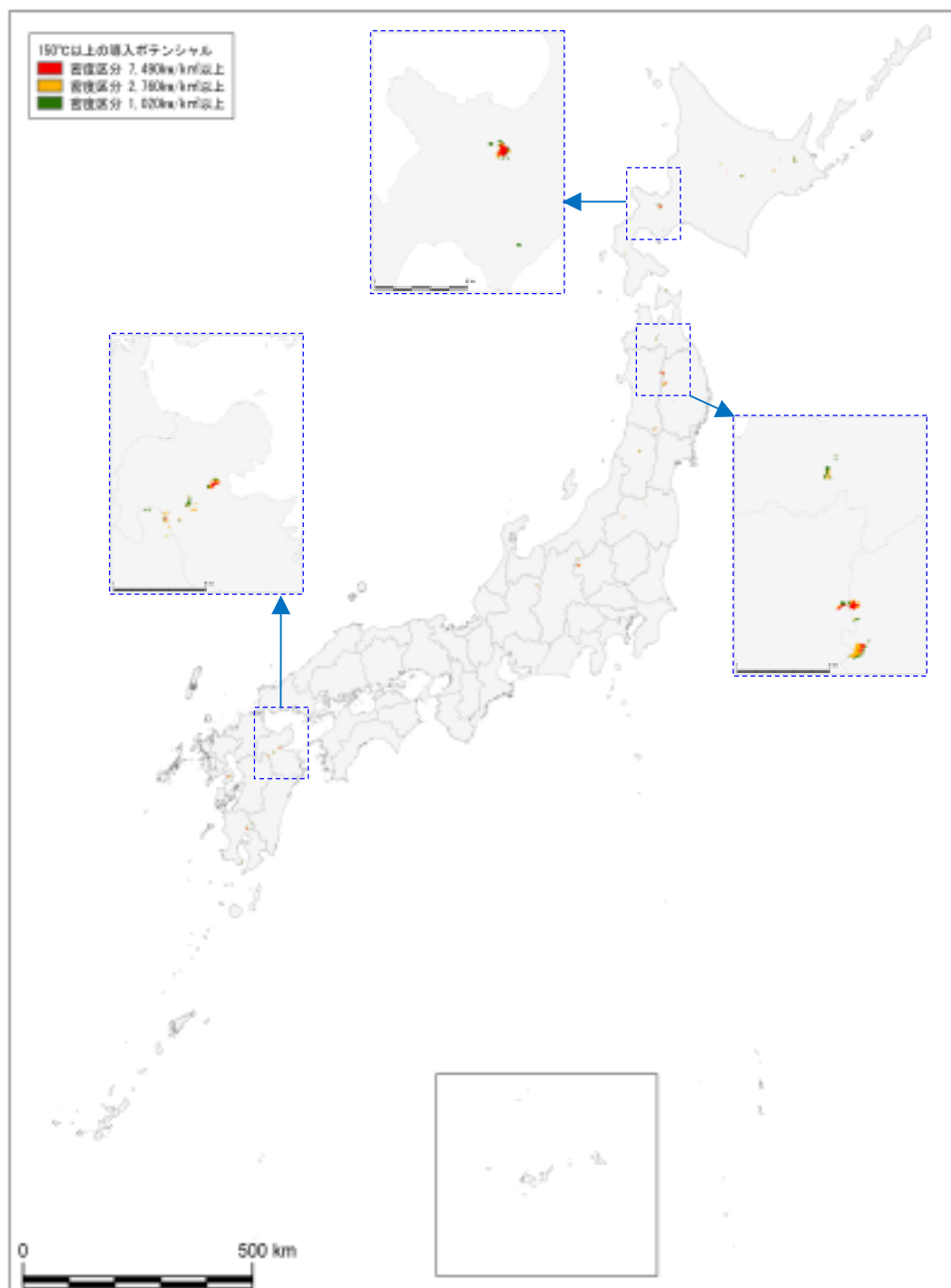


図 6-19 地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル分布図（150℃以上）

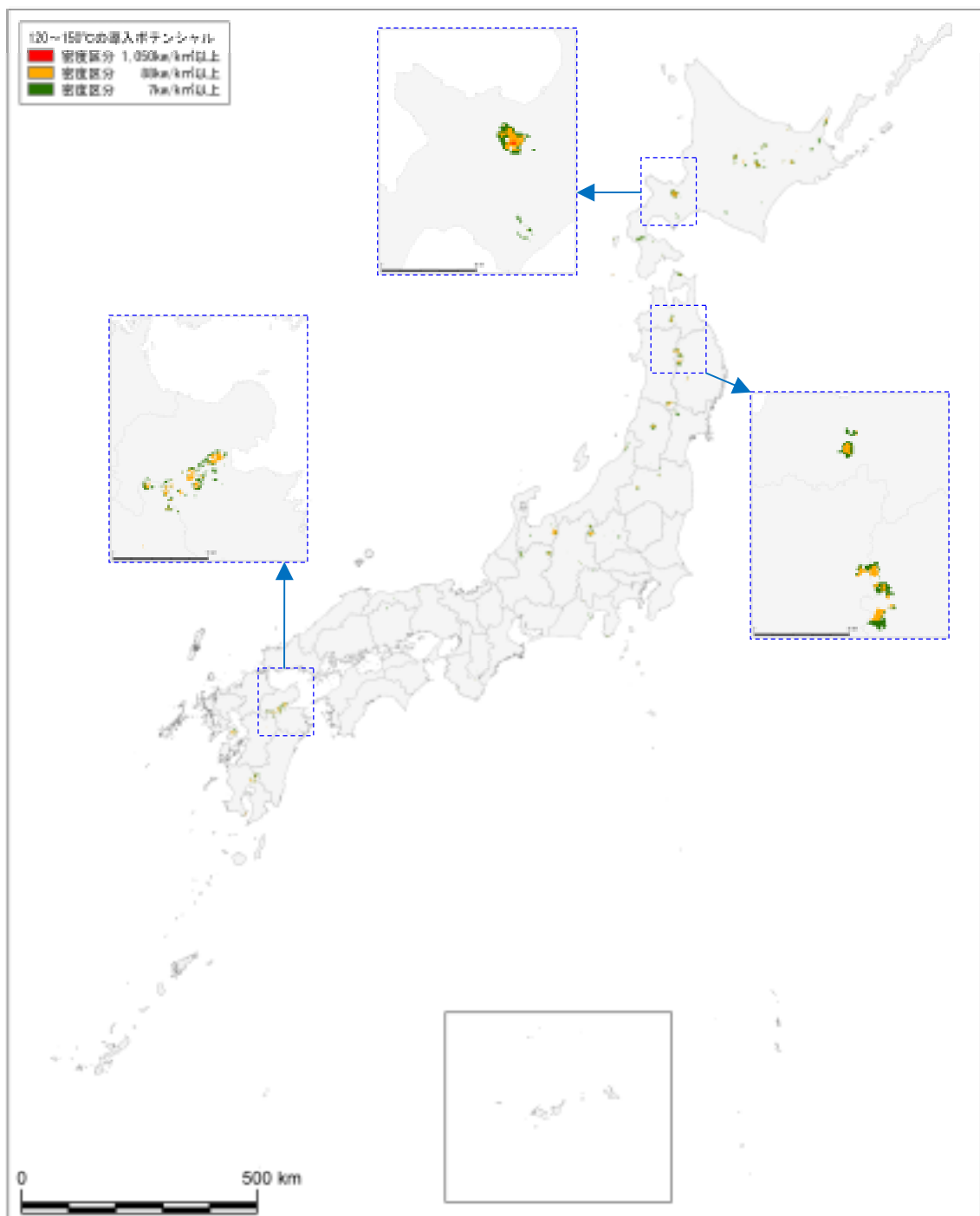


図 6-20 地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル分布図（120~150°C）

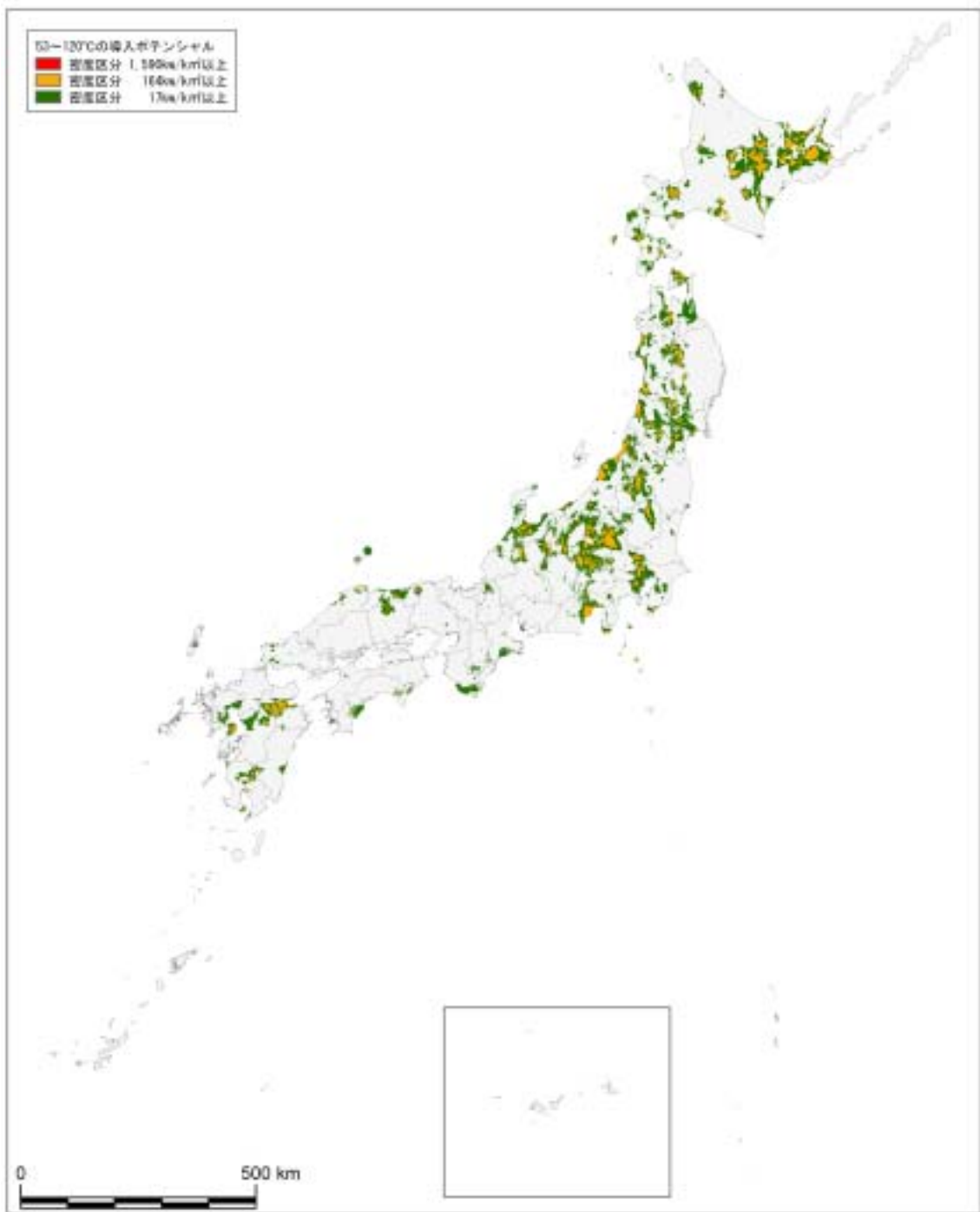


図 6-21 地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル分布図 (53~120°C)

(2) シナリオ別の導入ポテンシャル推計結果

①150℃以上の熱水資源における導入ポテンシャル

150℃以上の地熱発電の導入ポテンシャルの推計結果を表 6-15 および図 6-22 に示す。導入ポテンシャルの全体量は約 230 万 kW、シナリオ別のポテンシャルは各々110～220 万 kW となった。

電力供給エリア別（電力会社別）の導入ポテンシャルは表 6-16 に示すとおり、東北地域と北海道地域とが並んで大きく、78 万 kW、74 万 kW となり、各々が全体の 1/3 程度を占めている。九州地域がそれに次いで 50 万 kW、全体の 22%となっている。

表 6-15 地熱発電の導入ポテンシャル推計結果（150℃以上）

条件項目	設備容量（万 kW）	面積（km ² ）
導入ポテンシャル（全体量）	227	572
・シナリオ 1（12 円/kWh 未満） 7,490kW/km ² 以上	113	89
・シナリオ 2（16 円/kWh 未満） 2,760kW/km ² 以上	191	263
・シナリオ 3（20 円/kWh 未満） 1,020kW/km ² 以上	220	424

※導入ポテンシャルは既開発分（約 53 万 kW）を含んでいる。

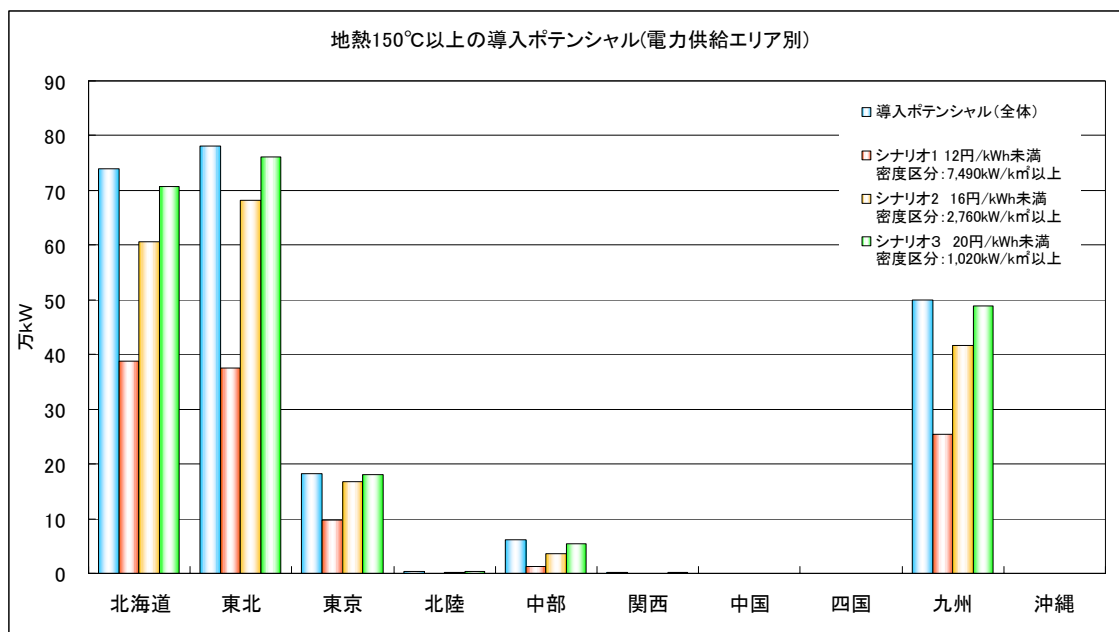


図 6-22 電力供給エリア別の地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル（150℃以上）

表 6-16 電力供給エリア別の地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル推計結果
(150℃以上)

条件項目	条件	単位	全国	北海道	東北
導入ポテンシャル (全体量)	150℃以上	万 kW	227	74	78
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (12 円/kWh 未満) 7,490kW/km ² 以上	万 kW	113	39	38
	シナリオ 2 (16 円/kWh 未満) 2,760kW/km ² 以上	万 kW	191	61	68
	シナリオ 3 (20 円/kWh 未満) 1,020kW/km ² 以上	万 kW	220	71	76

条件項目	条件	単位	東京	北陸	中部	関西
導入ポテンシャル (全体量)	150℃以上	万 kW	18	0	6	0
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (12 円/kWh 未満) 7,490kW/km ² 以上	万 kW	10	0	1	0
	シナリオ 2 (16 円/kWh 未満) 2,760kW/km ² 以上	万 kW	17	0	4	0
	シナリオ 3 (20 円/kWh 未満) 1,020kW/km ² 以上	万 kW	18	0	5	0

条件項目	条件	単位	中国	四国	九州	沖縄
導入ポテンシャル (全体量)	150℃以上	万 kW	0	0	50	0
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (12 円/kWh 未満) 7,490kW/km ² 以上	万 kW	0	0	25	0
	シナリオ 2 (16 円/kWh 未満) 2,760kW/km ² 以上	万 kW	0	0	42	0
	シナリオ 3 (20 円/kWh 未満) 1,020kW/km ² 以上	万 kW	0	0	49	0

②120～150℃の熱水資源における導入ポテンシャル

120～150℃の地熱発電の導入ポテンシャルの推計結果を表 6-17 および図 6-23 に示す。120～150℃における導入ポテンシャルは全体量で約 21 万 kW、シナリオ別のポテンシャルは 0.8～21 万 kW となった。

電力供給エリア別（電力会社別）の導入ポテンシャルは、は表 6-28 に示すとおり、北海道地域が 7 万 kW で全体の 1/3 を占め、次いで東北地域が 5 万 kW で全体の 24%となっている。次いで北陸地域と九州地域が並んで 14%程度となっている。

表 6-17 地熱発電の導入ポテンシャル推計結果（120～150℃）

条件項目	設備容量（万 kW）	面積（km ² ）
導入ポテンシャル（全体量）	21	1,778
・シナリオ 1（24 円/kWh 未満） 1,050kW/km ² 以上	0.8	6.5
・シナリオ 2（36 円/kWh 未満） 88kW/km ² 以上	17	692
・シナリオ 3（48 円/kWh 未満） 7kW/km ² 以上	21	1,662

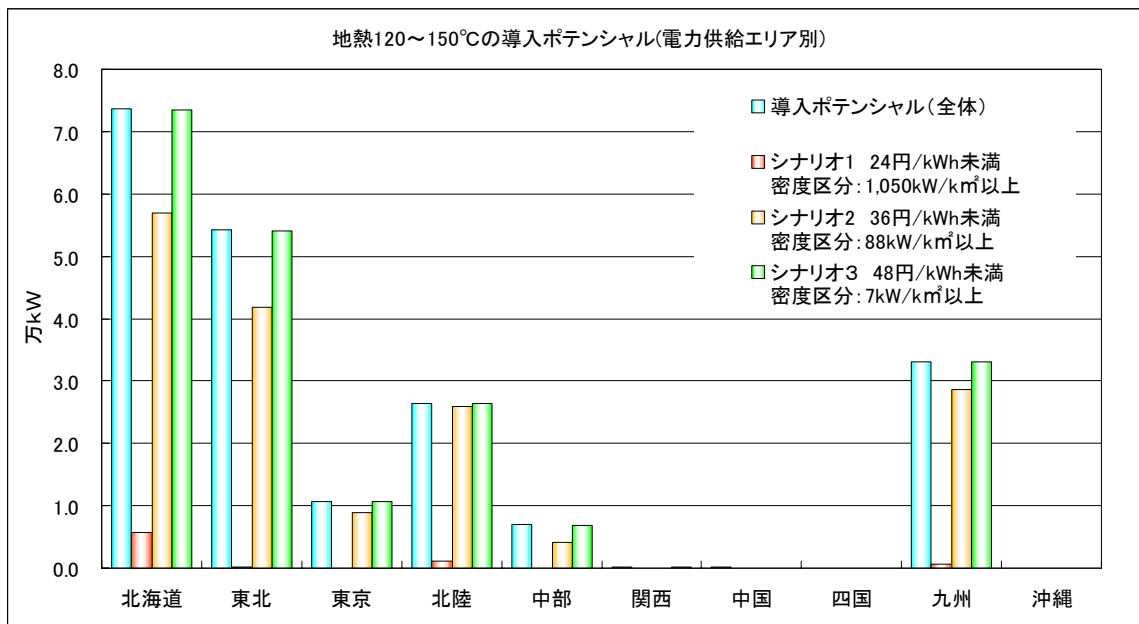


図 6-23 電力供給エリア別の地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル（120～150℃）

表 6-18 電力供給エリア別の地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル推計結果
(120～150℃)

条件項目	条件	単位	全国	北海道	東北
導入ポテンシャル (全体量)	120～150℃以上	万kW	21	7	5
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (24 円/kWh 未満) 1,050kW/km ² 以上	万kW	1	1	0
	シナリオ 2 (36 円/kWh 未満) 88kW/km ² 以上	万kW	17	6	4
	シナリオ 3 (48 円/kWh 未満) 7kW/km ² 以上	万kW	20	7	5

条件項目	条件	単位	東京	北陸	中部	関西
導入ポテンシャル (全体量)	120～150℃以上	万kW	1	3	1	0
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (24 円/kWh 未満) 1,050kW/km ² 以上	万kW	0	0	0	0
	シナリオ 2 (36 円/kWh 未満) 88kW/km ² 以上	万kW	1	3	0	0
	シナリオ 3 (48 円/kWh 未満) 7kW/km ² 以上	万kW	1	3	1	0

条件項目	条件	単位	中国	四国	九州	沖縄
導入ポテンシャル (全体量)	120～150℃以上	万kW	0	0	3	0
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (24 円/kWh 未満) 1,050kW/km ² 以上	万kW	0	0	0	0
	シナリオ 2 (36 円/kWh 未満) 88kW/km ² 以上	万kW	0	0	3	0
	シナリオ 3 (48 円/kWh 未満) 7kW/km ² 以上	万kW	0	0	3	0

③53～120℃の熱水資源における導入ポテンシャル

53～120℃の地熱発電の導入ポテンシャルの推計結果を表 6-17 および図 6-24 に示す。53～120℃の導入ポテンシャルは、全体量は約 740 万 kW、シナリオ別のポテンシャルは 0～740 万 kW となった。

電力供給エリア別（電力会社別）の導入ポテンシャル全体量は表 6-20 に示すとおり、これについても北海道地域と東北地域が比較的大きく、各々246 万 kW（全体の 33%）、194 万 kW（同 26%）となっている。次いで東京地域が 112 万 kW（同 15%）、中部地域が 88 万 kW（同 12%）となっている。150℃以上および 120～150℃と比較すると、さまざまな地域に分散的に潜在していることが分かる。

表 6-19 地熱発電の導入ポテンシャル推計結果（53～120℃）

条件項目	設備容量（万 kW）	面積（km ² ）
導入ポテンシャル全体量	742	75,327
・シナリオ 1（24 円/kWh 未満） 1,590kW/km ² 以上	0	0
・シナリオ 2（36 円/kWh 未満） 164kW/km ² 以上	404	14,142
・シナリオ 3（48 円/kWh 未満） 17kW/km ² 以上	742	62,968

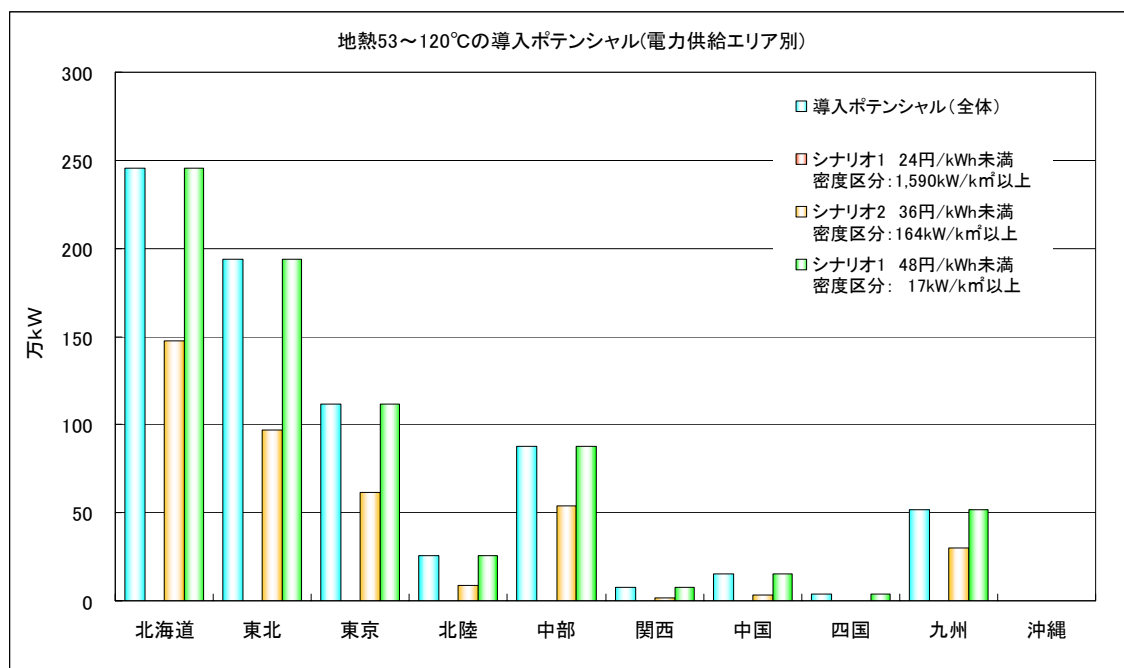


図 6-24 電力供給エリア別の地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル（53～120℃）

表 6-20 電力供給エリア別の地熱発電のシナリオ別導入ポテンシャル推計結果
(53～120℃)

条件項目	条件	単位	全国	北海道	東北
導入ポテンシャル (全体量)	53～120℃	万 kW	742	246	194
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (24 円/kWh 未満) 1,590kW/km ² 以上	万 kW	0	0	0
	シナリオ 2 (36 円/kWh 未満) 164kW/km ² 以上	万 kW	404	148	97
	シナリオ 3 (48 円/kWh 未満) 17kW/km ² 以上	万 kW	742	246	194

条件項目	条件	単位	東京	北陸	中部	関西
導入ポテンシャル (全体量)	53～120℃	万 kW	112	26	88	8
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (24 円/kWh 未満) 1,590kW/km ² 以上	万 kW	0	0	0	0
	シナリオ 2 (36 円/kWh 未満) 164kW/km ² 以上	万 kW	62	9	54	1
	シナリオ 3 (48 円/kWh 未満) 17kW/km ² 以上	万 kW	112	26	88	8

条件項目	条件	単位	中国	四国	九州	沖縄
導入ポテンシャル (全体量)	53～120℃	万 kW	15	4	52	0
導入ポテンシャル (シナリオ別)	シナリオ 1 (24 円/kWh 未満) 1,590kW/km ² 以上	万 kW	0	0	0	0
	シナリオ 2 (36 円/kWh 未満) 164kW/km ² 以上	万 kW	4	0	30	0
	シナリオ 3 (48 円/kWh 未満) 17kW/km ² 以上	万 kW	15	4	52	0

※ここで、「範囲外」とは、電力会社別集計にあたり電力会社境界線ポリゴンによる集計を行っているが、仮想発電所のポイントデータの中には、この電力境界ポリゴンからはみ出すデータが稀に存在する（海外線付近など）。このように集計から漏れた点を範囲外として計上している。

(3) 都道府県別の導入ポテンシャル推計結果

①150℃以上の熱水資源における導入ポテンシャル

150℃以上の地熱発電の都道府県別導入ポテンシャル(全体量)を表6-21および図6-25に示す。導入ポテンシャルが最も大きいのは北海道で、全体の33%を占めている。次いで、岩手県の17%、秋田県と群馬県と大分県が8%で並んでいる。次いで鹿児島県の7%となっている。

表6-21 都道府県別の地熱発電の導入ポテンシャル(全体量)推計結果(150℃以上)

集計単位	面積 (km ²)	導入 ポテンシャル (万kW)	集計単位	面積 (km ²)	導入 ポテンシャル (万kW)
全国	572	227	三重県	0	0
北海道	204	74	滋賀県	0	0
青森県	38	9	京都府	0	0
岩手県	77	39	大阪府	0	0
宮城県	2	1	兵庫県	0	0
秋田県	31	19	奈良県	0	0
山形県	21	6	和歌山県	0	0
福島県	11	4	鳥取県	1	0
茨城県	0	0	島根県	0	0
栃木県	0	0	岡山県	0	0
群馬県	33	18	広島県	0	0
埼玉県	0	0	山口県	0	0
千葉県	0	0	徳島県	0	0
東京都	0	0	香川県	0	0
神奈川県	2	0	愛媛県	0	0
新潟県	5	0	高知県	0	0
富山県	0	0	福岡県	0	0
石川県	0	0	佐賀県	0	0
福井県	0	0	長崎県	28	12
山梨県	0	0	熊本県	6	3
長野県	13	2	大分県	36	18
岐阜県	21	4	宮崎県	5	1
静岡県	0	0	鹿児島県	37	17
愛知県	0	0	沖縄県	0	0

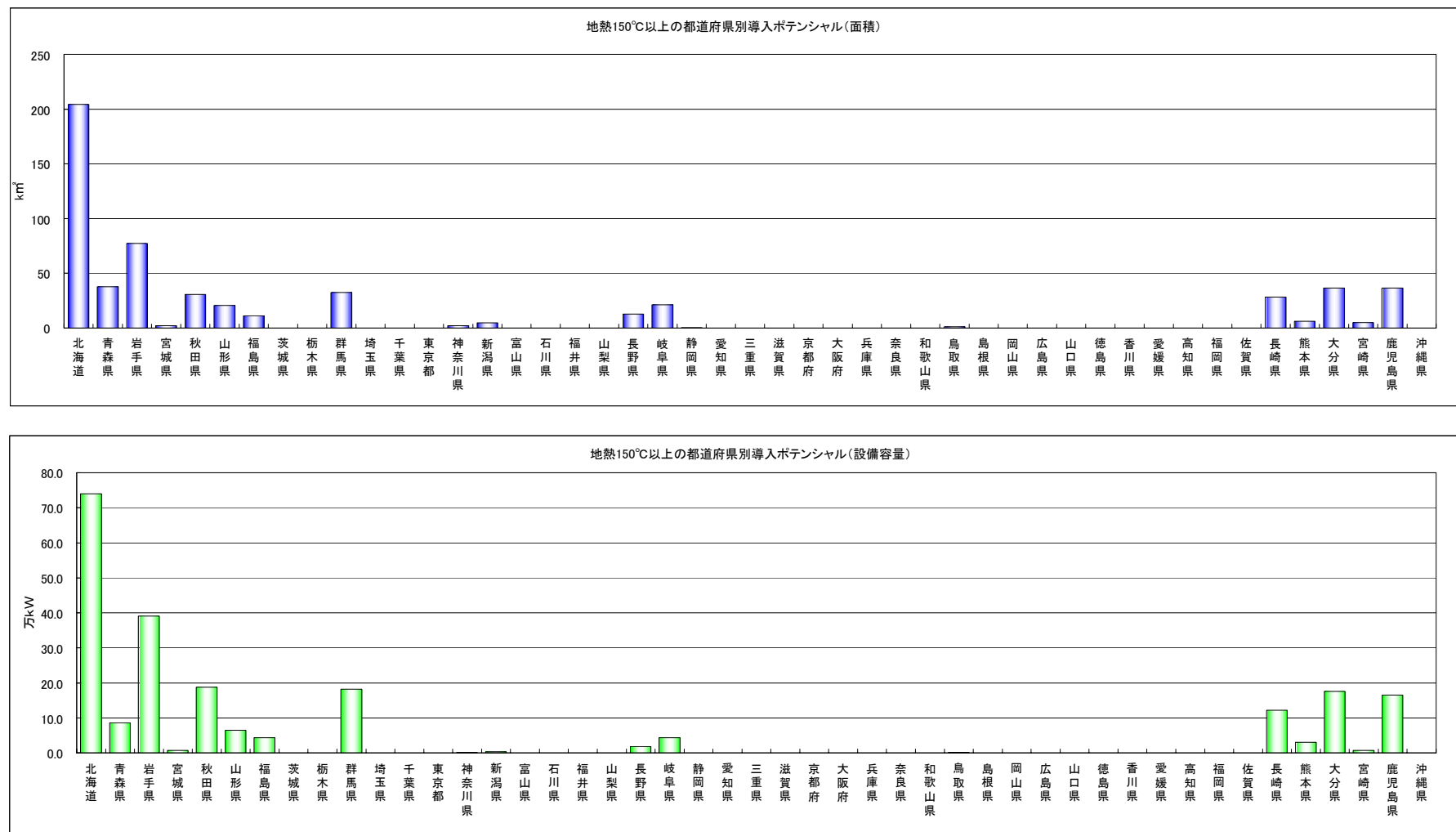


図 6-25 都道府県別の地熱発電の導入ポテンシャル (150℃以上) (上段：面積、下段：設備容量)

②120～150℃の熱水資源における導入ポテンシャル

120～150℃の地熱発電の都道府県別導入ポテンシャル(全体量)を表6-22 および図6-26に示す。導入ポテンシャルが最も大きいのは 150℃以上と同様に北海道で 7 万 kW、全体の 33%を占めている。次いで、富山県、岩手県の順となっている。

表 6-22 都道府県別の地熱発電の導入ポテンシャル（全体量）推計結果（120～150℃）

集計単位	面積 (km ²)	導入 ポテンシャル (万 kW)	集計単位	面積 (km ²)	導入 ポテンシャル (万 kW)
全国	1,778	21	三重県	0	0
北海道	705	7	滋賀県	0	0
青森県	109	1	京都府	0	0
岩手県	158	2	大阪府	0	0
宮城県	33	0	兵庫県	2	0
秋田県	84	1	奈良県	0	0
山形県	77	1	和歌山県	2	0
福島県	35	0	鳥取県	2	0
茨城県	0	0	島根県	0	0
栃木県	0	0	岡山県	4	0
群馬県	80	1	広島県	0	0
埼玉県	0	0	山口県	0	0
千葉県	0	0	徳島県	0	0
東京都	2	0	香川県	0	0
神奈川県	0	0	愛媛県	0	0
新潟県	19	0	高知県	0	0
富山県	83	3	福岡県	0	0
石川県	0	0	佐賀県	0	0
福井県	0	0	長崎県	40	1
山梨県	3	0	熊本県	25	0
長野県	32	0	大分県	110	1
岐阜県	78	0	宮崎県	15	0
静岡県	20	0	鹿児島県	59	1
愛知県	0	0	沖縄県	0	0

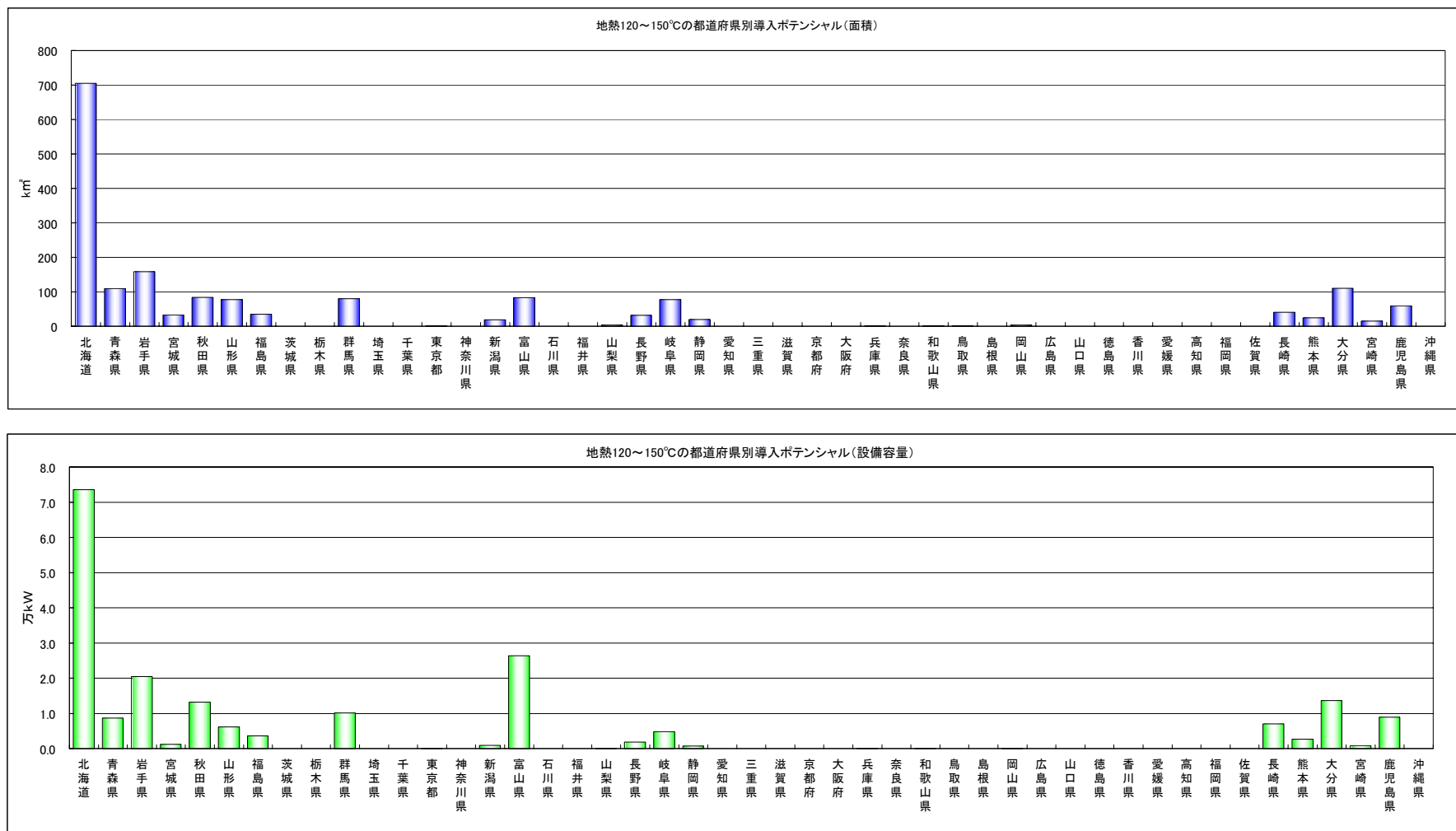


図 6-26 都道府県別の地熱発電の導入ポテンシャル (120～150℃) (上段：面積、下段：設備容量)

③53～120℃の熱水資源における導入ポテンシャル

53～120℃の地熱発電の都道府県別導入ポテンシャル(全体量)を表6-23および図6-27に示す。導入ポテンシャルが最も大きいのはやはり北海道で246万kWであるが、全体の33%を占めている。次いで長野県の52万kW(7%)、群馬県の50万kW(7%)、新潟県の44万kW(6%)となっている。東日本では比較的大きなところが目立つ。

表 6-23 都道府県別の地熱発電の導入ポテンシャル(全体量)推計結果(53～120℃)

集計単位	面積 (km ²)	導入 ポテンシャル (万 kW)	集計単位	面積 (km ²)	導入 ポテンシャル (万 kW)
全国	75,327	742	三重県	369	1
北海道	20,252	246	滋賀県	196	1
青森県	3,248	28	京都府	31	0
岩手県	1,600	18	大阪府	7	0
宮城県	3,237	24	兵庫県	399	2
秋田県	3,606	29	奈良県	495	1
山形県	3,204	27	和歌山県	935	3
福島県	2,788	24	鳥取県	1,306	6
茨城県	151	1	島根県	587	3
栃木県	1,299	10	岡山県	901	5
群馬県	3,388	50	広島県	0	0
埼玉県	1,294	16	山口県	450	1
千葉県	906	6	徳島県	89	0
東京都	831	11	香川県	57	0
神奈川県	439	5	愛媛県	193	1
新潟県	4,190	44	高知県	737	3
富山県	2,154	18	福岡県	161	1
石川県	1,108	6	佐賀県	427	2
福井県	197	1	長崎県	636	7
山梨県	1,066	10	熊本県	1,383	10
長野県	4,833	52	大分県	1,395	21
岐阜県	1,520	14	宮崎県	440	3
静岡県	1,592	24	鹿児島県	1,152	8
愛知県	82	0	沖縄県	0	0

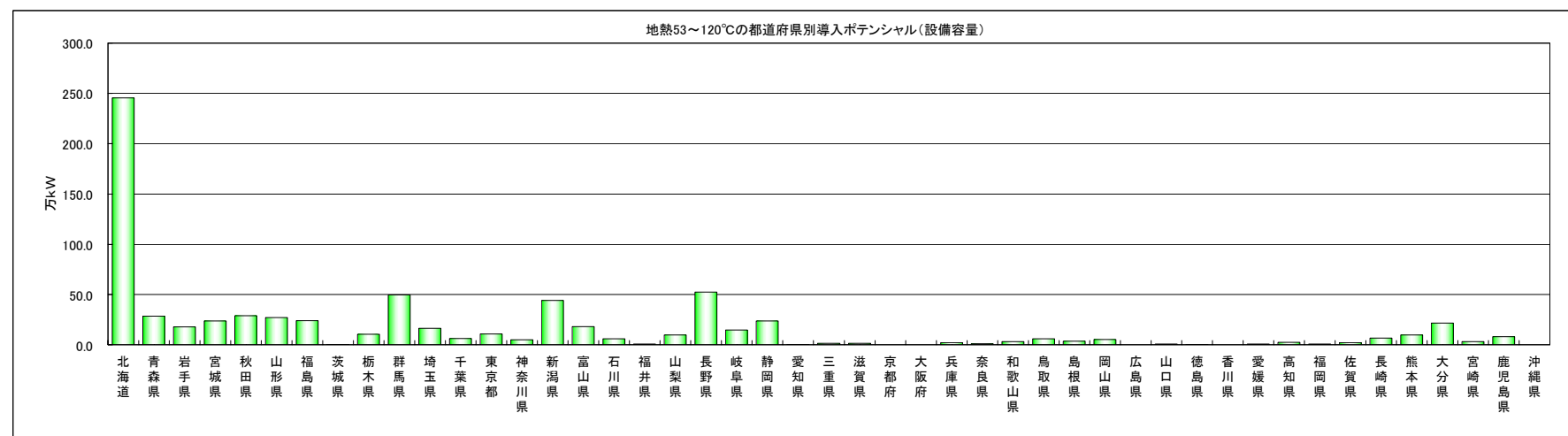
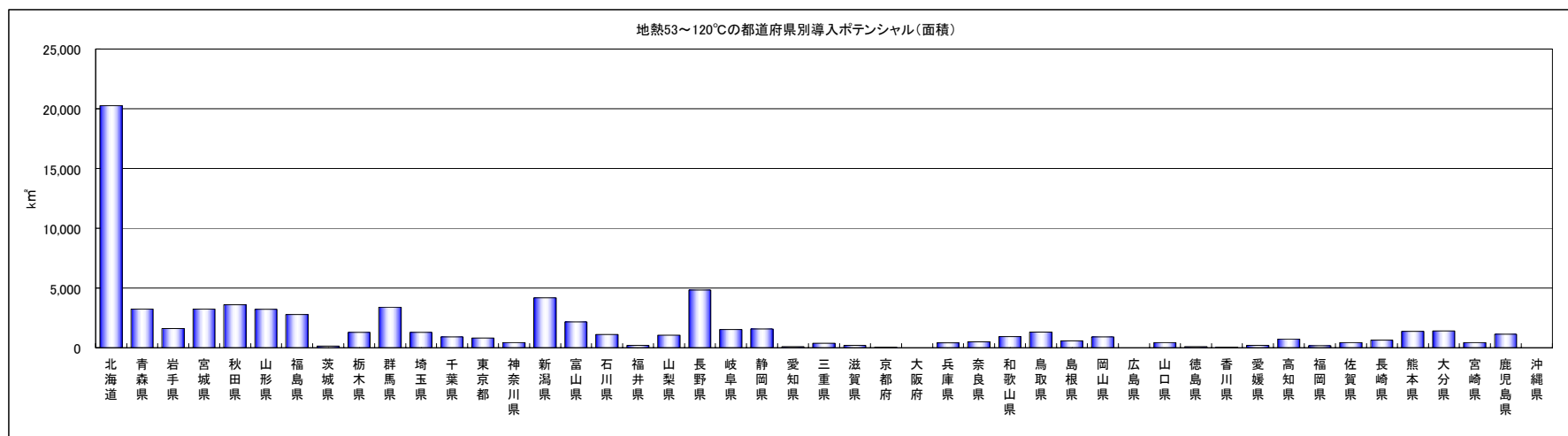


図 6-27 都道府県別の地熱発電の導入ポテンシャル (53～120℃) (上段：面積、下段：設備容量)

6.5 温泉発電の導入ポテンシャルの推計

(1) 基本的な考え方

温泉発電は地熱発電の一種であり、既開発または自然に湧出している高温温泉の熱を発電に利用するものである。源泉の温度は通常 53～120℃程度であり、温泉発電においては低温域でも運転可能なカリナサイクル発電方式による発電が想定される。既存の温泉を利用することから、新たに掘削の費用がかからず、通常的地熱発電よりも低コストで開発できる。一方、通常の温泉施設では、源泉温度が高すぎる場合は冷ましてから使用され、使用後も熱を持ったまま捨てられているのが現状である。温泉発電はこのような温泉の「未利用エネルギー」を活用するものであり、豊富な地熱資源を有し、数多くの温泉施設を抱えるわが国において、そのポテンシャルは大きいものと考えられる（図 6-28）。

このような背景から、本調査では地熱発電（熱水資源利用）とは別に、既の開発された温泉および自然に湧出している温泉を対象として温泉発電の導入ポテンシャルの推計を行う。本調査では、温泉発電の導入ポテンシャルに関わる既存の推計値を利用し、許容発電コストの異なる 3 つの導入シナリオにおいて、それぞれ推計値を基に導入可能量の算定を行った。

なお、江原ら（2008）「2050 年自然エネルギービジョンにおける地熱エネルギーの貢献」によれば、わが国の源泉数は戦後から一貫して増加傾向にあり、今後とも源泉の数は増えるものと考えられる。しかしながら、温泉発電は新規掘削なしで導入できる点に最大の特徴があるため、本調査では、今後開発させる源泉を推計から除外した。また、今後利用可能となる源泉の地熱開発については、地熱発電の賦存量および導入ポテンシャル推計で十分に網羅されているものとした。

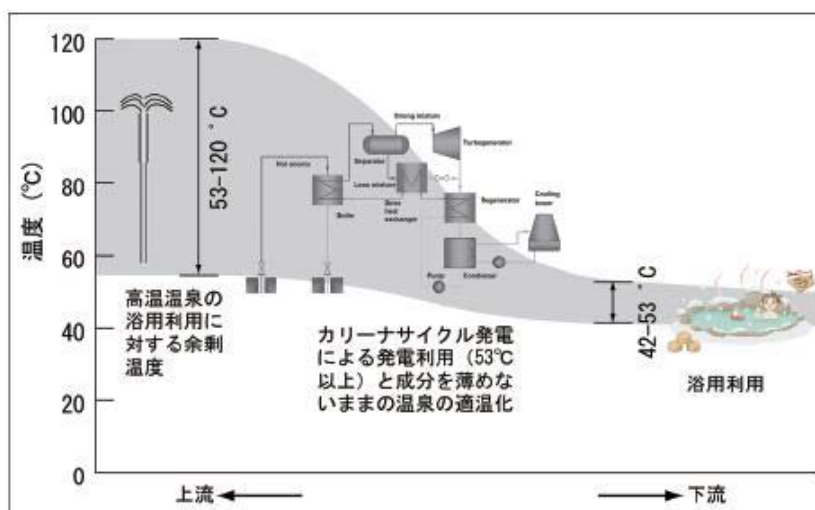


図 6-28 温泉発電におけるビジネスモデルの概要

出典：村岡洋文「再評価されつつある地熱開発ニーズに応じて」GREEN NEWS、
産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門広報誌

(2) 既存調査のレビュー

地熱発電の導入ポテンシャルに関する既存調査として、2008 年に(独)産業技術総合研究所の村岡が「2050 年自然エネルギービジョンにおける地熱エネルギーの貢献」の中で行った推計が挙げられる。村岡は、カーリーナサイクル発電を仮定し、金原 (2005) による温泉データを用いて、わが国の温泉発電の導入ポテンシャルを 72.2 万 kW と推計している。同推計では、まず、金原による温泉データ 3,687 箇所のうち、開発可能と考えられる 657 箇所について設備容量の算定を行い、開発が現実的ではない 30kW の源泉を除く 210 箇所の設備容量を 9.6 万 kW と算出している。全国の導入ポテンシャルは、母数 3,687 に対する全国の温泉数 27,866 に単純比例するものと考えられ、210 箇所における設備容量の約 7.55 倍の値をわが国の温泉発電の導入ポテンシャルとして推計している。村岡による導入ポテンシャルの推計は、各温泉データから設備容量を算出する際、例えば、熱源熱水温度とカーリーナサイクル発電効率の関係 (図 6-29) など、科学的な知見に基づいており、信頼性の高いものと考えられる。

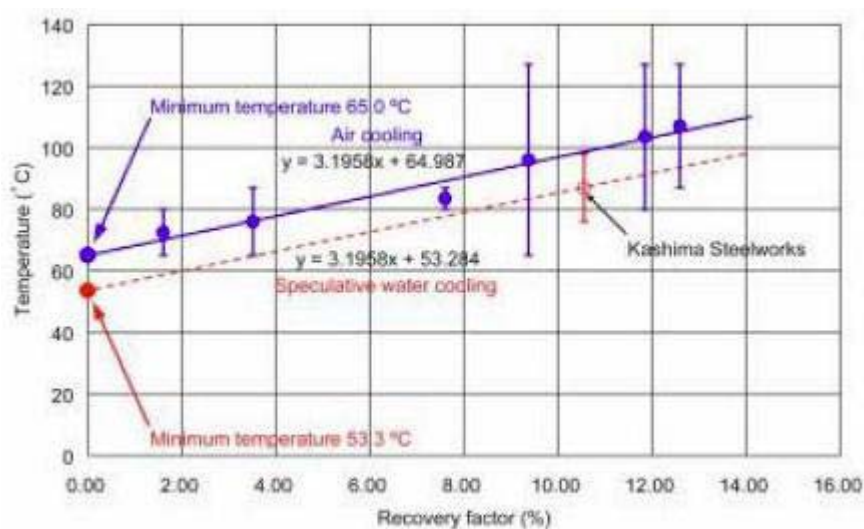


図 6-29 熱源熱水温度とカーリーナサイクル発電効率の関係

出典：江原幸雄、安達正敏、村岡洋文、安川香澄、松永烈、野田徹郎 (2008) 「2050 年自然エネルギービジョンにおける地熱エネルギーの貢献」、日本地熱学会誌第 30 巻 第 3 号、p. 165-179

（３）賦存量の検討

上記（２）の既存調査においては、30kW 以下を開発が現実的ではない領域と設定している。30kW 以下の領域は、後述する開発コストで 36 円/kWh 以上かかることが想定され、開発は現実的ではないと考えられる。本調査でもその考え方を踏襲するものとする。また、既存温泉以外の新たに温泉開発を行うとともに、温泉発電を行うケースが考えられるが、その賦存量については地熱発電（熱水資源利用）の 53～120℃に包含されている。

そのため、ここでは 72 万 kW を温泉発電の賦存量と考えることができる。

（４）導入ポテンシャル推計

村岡による推計値 72 万 kW を導入ポテンシャルの全体量として、許容発電コストの異なる 3 つのシナリオを設定して各々の導入ポテンシャルを検討する。①温泉発電の導入シナリオと各シナリオの許容発電コストを設定し、その一方で、②現状の地熱発電施設の発電コストを整理した。③ここで整理した発電コストと各シナリオの許容発電コストを比較することによりシナリオ毎の導入ポテンシャル全体量に対する開発可能率を設定し、それらを全導入ポテンシャルに乗じることでシナリオ毎の導入ポテンシャルを算出した。

①シナリオの設定

温泉発電で使用する温泉の温度は通常 53～120℃であることから、村岡による導入ポテンシャル全体量の推計ではカーリーナサイクル発電が想定された。一方、地熱発電の賦存量および導入ポテンシャルの推計でも、同一の温度区分が設定されており、それらの推計においてカーリーナサイクル発電が仮定されている。

以上より、温泉発電の導入シナリオについても、地熱発電の 53～120℃熱水系資源の導入ポテンシャル推計と同一のシナリオを設定し、各シナリオの許容発電コストをそれぞれシナリオ 1 で 24 円/kWh、シナリオ 2 で 36 円/kWh、シナリオ 3 で 48 円/kWh とした。温泉発電の導入ポテンシャル、許容発電コストおよび将来動向を表 6-24 に示す。

表 6-24 温泉発電導入シナリオ別の対応発電コスト

	発電コスト※
シナリオ 1	24 円/kWh 未満
シナリオ 2	36 円/kWh 未満
シナリオ 3	48 円/kWh 未満

※ここでいう発電コストは、地熱発電における開発コストと同様、投資に対する金利分（4%）が考慮された値であるが、投資回収などの資金コストは十分には計上されていない。

②温泉発電の発電コストの試算

温泉発電の発電コストについては、2009 年に発表された地熱発電に関する研究会（経済産業省）中間報告の中で、出力 50kW の温泉発電用ユニットは、標準的な設置工事等を入れて約 8,000 万円、坑井掘削・維持費、給湯配管・送電線工事費、ボイラータービン技術者専任の労務費を考慮しない場合として、22 円/kWh になると試算している。

同研究会資料「新技術の活用等によって増加可能な発電量の試算」でも、より詳細な試算が行われているが、現行制度に基づく補助金が 0% の場合において、ボイラータービン主任技術者専任義務がある場合は 34.0～24.0 円/kWh、ボイラータービン主任技術者の兼任が認められる場合は 20.4～18.7 円/kWh と試算している（表 6-25）。

表 6-25 温泉発電の発電コスト試算

出典	発電コスト	
経済産業省(2008)「地熱発電に関する研究会中間報告」	22 円/kWh※	
地熱発電に関する研究会(2008)「新技術の活用等によって増加可能な発電量の試算」	ボイラータービン主任技術者専任義務あり	34.0～24.0 円/kWh
	ボイラータービン主任技術者専任兼任可	20.4～18.7 円/kWh

※坑井掘削・維持費、給湯配管・送電線工事費、ボイラータービン技術者専任の労務費を含めない

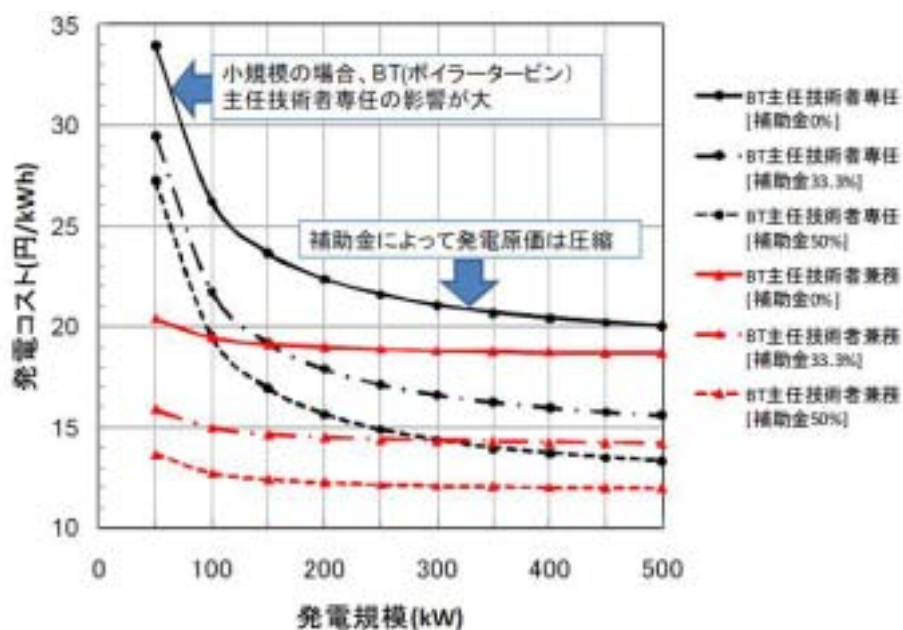


図 6-30 発電コストと発電規模の関係

出典：第3回地熱発電に関する研究会「資料3 新技術の活用等によって増加可能な発電量の試算」H21.3

③各シナリオにおける開発可能率の想定

上記を考慮し、各シナリオに対する開発可能率を表 6-26 のように想定した。

表 6-26 各シナリオにおける導入可能率

シナリオ	発電コスト	開発可能率	シナリオの概要
シナリオ1	24 円/kWh 未満	50%	ボイラータービン主任技術者の専任義務の有無を問わず、現状の発電コストは 22～30 円/kWh であり、許容発電コストが 24 円/kWh 未満でも全導入ポテンシャルの約半分で採算が取れ、開発が進むものとする。
シナリオ2	36 円/kWh 未満	100%	全導入ポテンシャルにおいて採算が取れるため、開発が進むものとする。
シナリオ3	48 円/kWh 未満	100%	既開発および自然湧出の温泉発電だけでなく、掘削深度が 40m 程度の浅い地域でも温泉開発が進み、既開発および自然湧出における導入ポテンシャルの 1.5 倍まで開発が進む可能性がある。 (ただし、熱水資源でカウントされているため、ここでは増加分は計上しない)

(5) 温泉発電の賦存量および導入ポテンシャル推計結果

以上より推計された温泉発電の賦存量および導入ポテンシャルを表 6-27 および図 6-31 に示す。

表 6-27 温泉発電の賦存量および導入ポテンシャル

	賦存量	導入ポテンシャル		
		シナリオ1 開発コスト 24 円/kWh	シナリオ2 開発コスト 36 円/kWh	シナリオ3 開発コスト 48 円/kWh
設備容量	72 万 kW	36 万 kW	72 万 kW	72 万 kW
発電電力量	44 億 kWh	22 億 kWh	44 億 kWh	44 億 kWh

※発電電力量は設備利用率 70%で算定

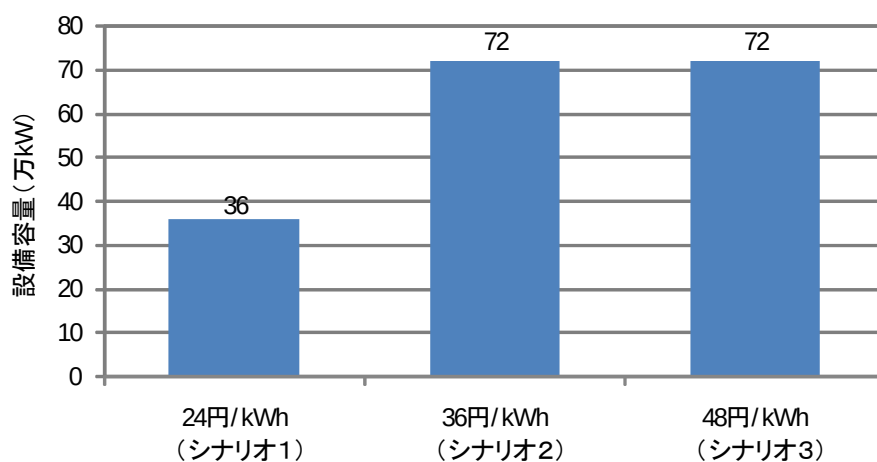


図 6-31 温泉発電のシナリオ別導入ポテンシャル

6.6 地熱発電の賦存量および導入ポテンシャル（まとめ）

地熱発電の賦存量および導入ポテンシャルのまとめを表 6-28 および図 6-32 に示す。地熱発電の賦存量は 150℃以上では 2,400 万 kW、120℃～150℃では 110 万 kW、53～120℃では 850 万 kW と推計された。また、導入ポテンシャルは 150℃以上では 110～220 万 kW、120～150℃は 0.8～21 万 kW、53～120℃は 0～740 万 kW となった。また、上記の外数としての温泉発電のポテンシャルは 36～72 万 kW と推計された。

表 6-28 地熱発電の賦存量および導入ポテンシャル

		賦存量 万 kW	導入ポテンシャル (設備容量)			導入ポテンシャル (年間発電量)		
			シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3
			万 kW	万 kW	万 kW	億 kWh/年	億 kWh/年	億 kWh/年
地 熱 発 電(熱水 資 源 利 用)	150℃以上	2,400	110	190	220	69	117	135
	120～150℃	110	0.8	17	21	0.5	10	13
	53～120℃	850	0	400	740	0.0	248	455
	計	3,360	110	610	980	70	375	603
温泉発電		72	36	72	72	22	44	44
合計		3,400	150	680	1,050	92	420	650

※年間発電量は設備利用率 70%で算定

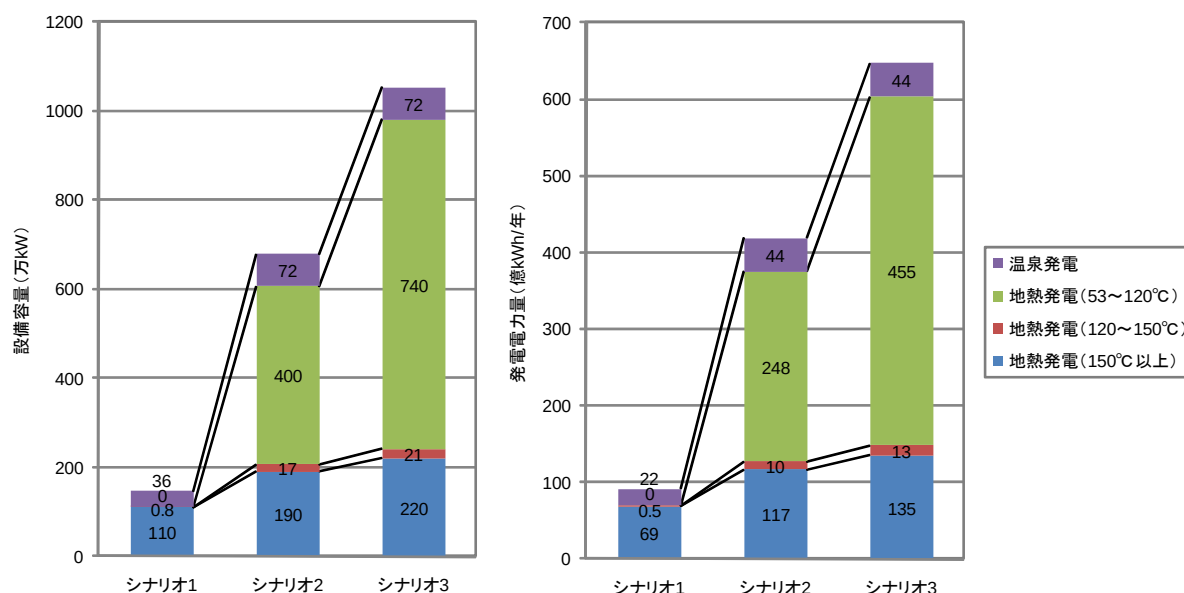


図 6-32 地熱発電（熱水資源）および温泉発電の導入ポテンシャル

左：設備容量、右：年間発電電力量