

地熱発電開発の今後のシナリオ

地熱情報研究所・代表

九州大学名誉教授

江原 幸雄(えはら さちお)

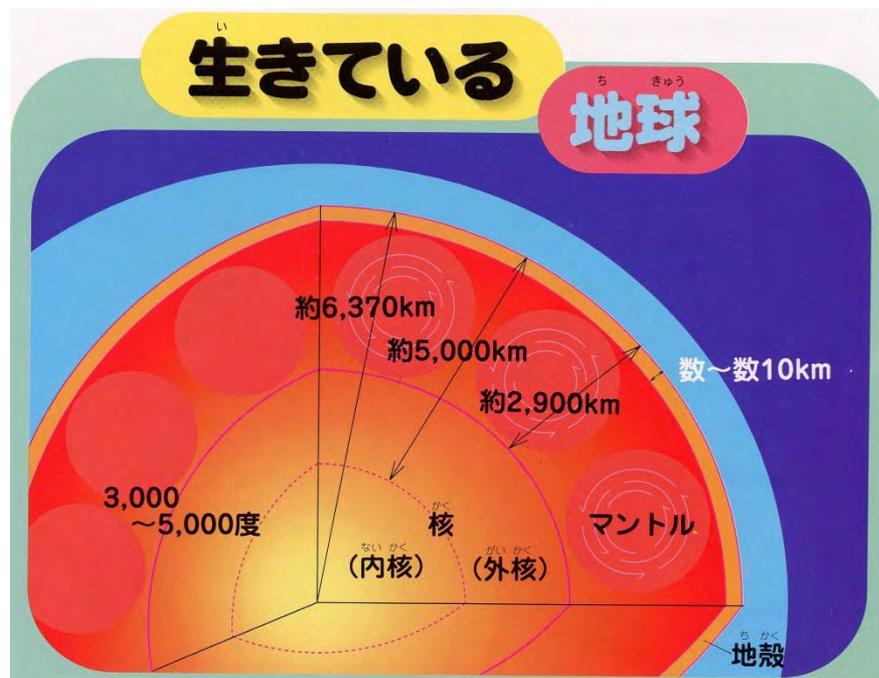
地熱発電の可能性と環境影響評価に関するシンポジウム

2012年8月30日 福岡市 レソラNTT夢天神ホール

莫大な地球内部の熱

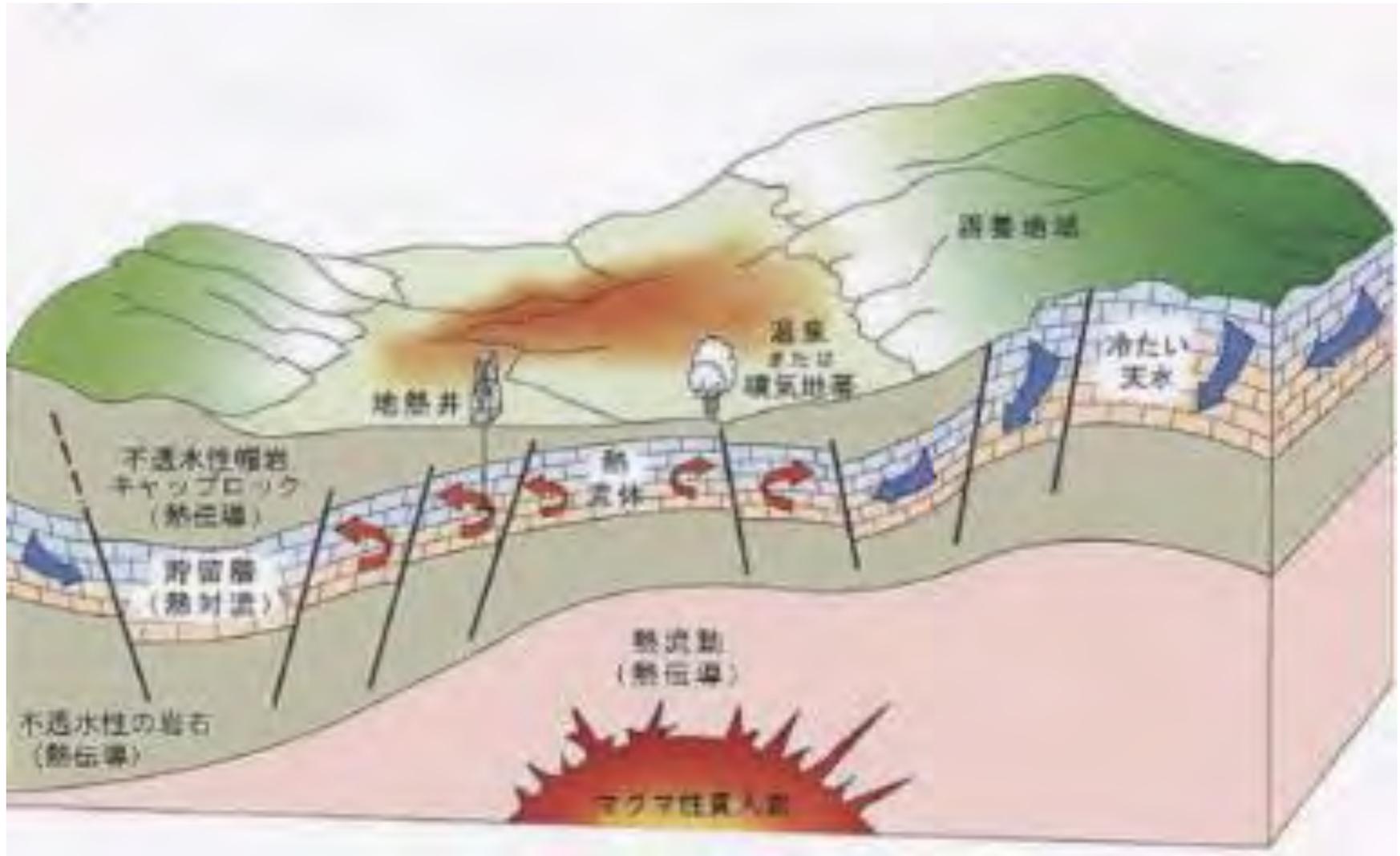
- ・地球体積の99%は
1000°C以上
- ・100°C以下は0.1%
- ・地球は火の玉
- ・地球内部に蓄えられて
いる熱=
 10^{13} EJ(1EJ= 10^{18} J)
- ・地球内部は高温 地表
は低温→常に熱が流出
使い切るには数10億年

地球の内部の温度
(中心→6000°C=太陽表面温度)



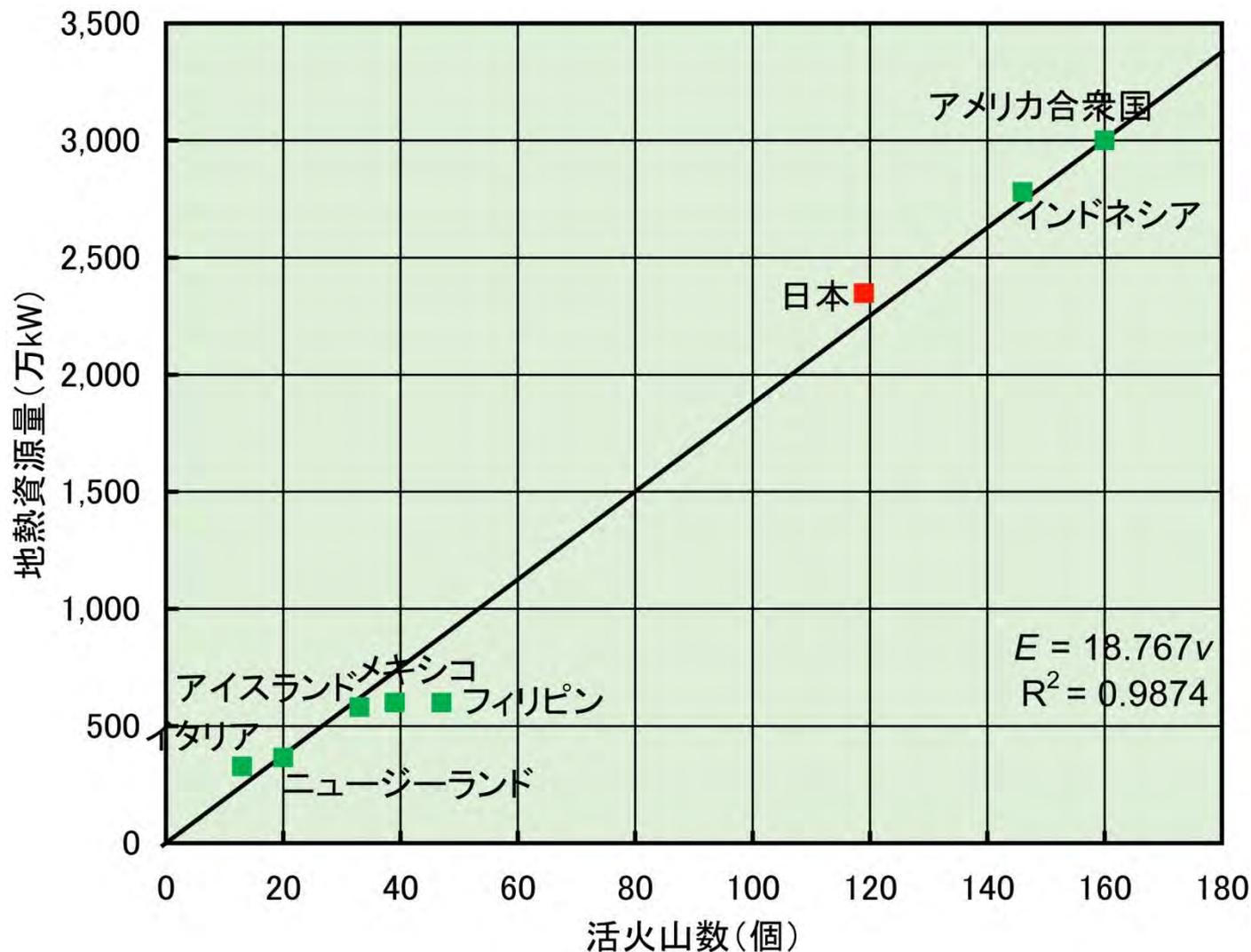
地下の熱システム：地熱貯留層と温泉

(日本地熱学会IGA専門部会、2008)



日本は世界第3位の地熱資源大国

世界の発電換算地熱資源量と活火山の個数(村岡、2009)



多様な地熱エネルギー：温度による分類

(1) 超高温地熱(400°C以上) 将来型資源

マグマ・高温岩体、熱交換、発電主、局地的・地域的、主として基礎的研究

(2) 高温地熱(200–350°C) 地熱発電

天然の高温高圧蒸気、発電、局地的、持続可能性保証、新資源の発見

(3) 低・中温地熱(数10–百数10°C) 直接利用

中低温熱水、直接利用、バイナリー発電、局地的・地域的、経済性(総合的技術開発)

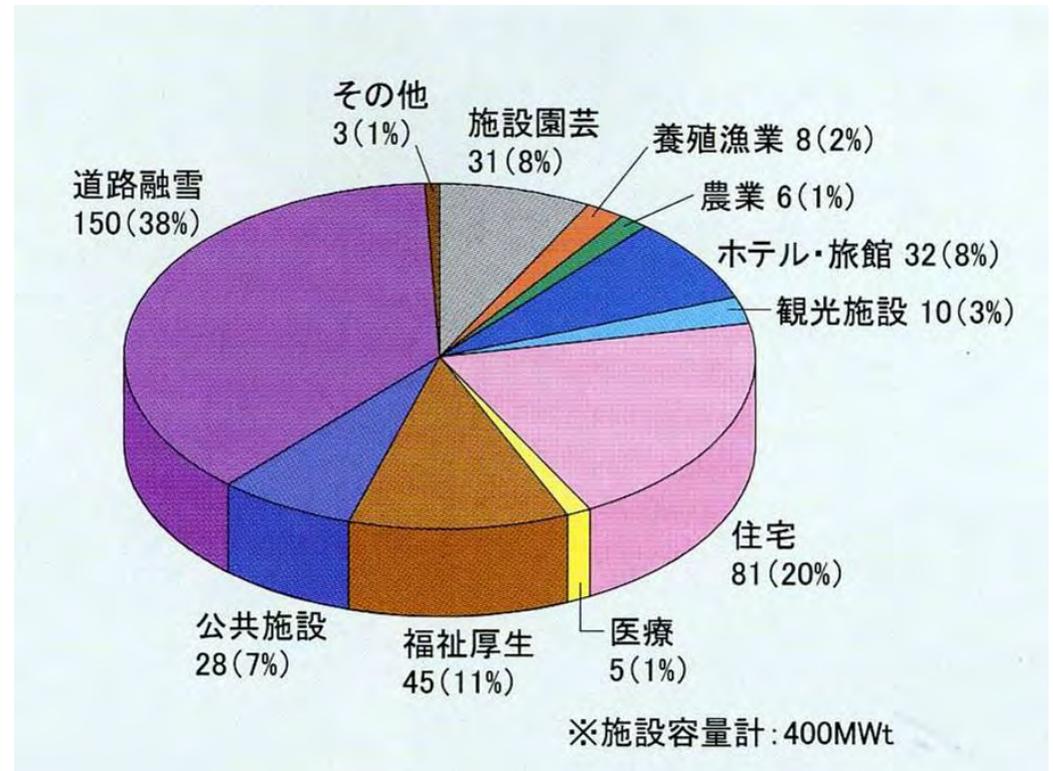
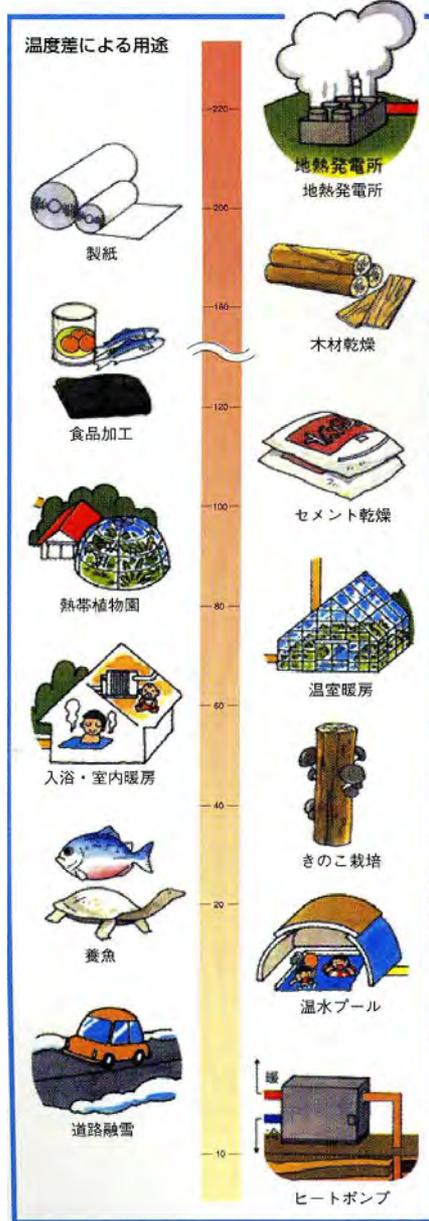
(4) 地中熱(10–20°C) 第4の地熱

浅い地層・地下水の熱、室内冷暖房、温水供給、ヒートポンプ、普遍的、経済性(総合的技術開発)、普及活動、ヒートアイランド、地球環境問題

* EGS (Enhanced Geothermal System)という考え方が広まれば、より普遍化する。

多目的に使われる地球の熱エネルギー(NEF,2007)

⇒地域振興の観点から特に重要

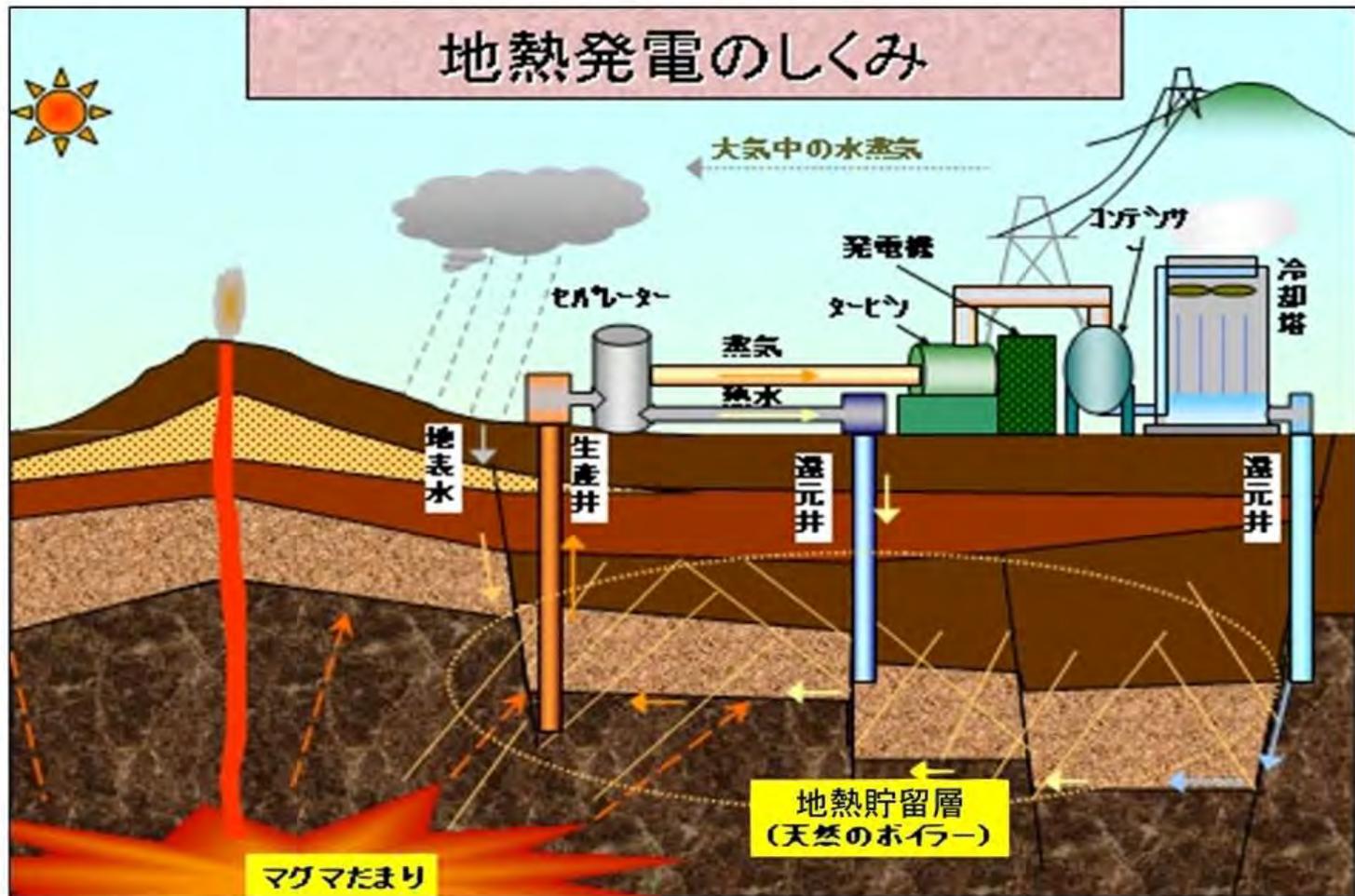


地熱発電システム

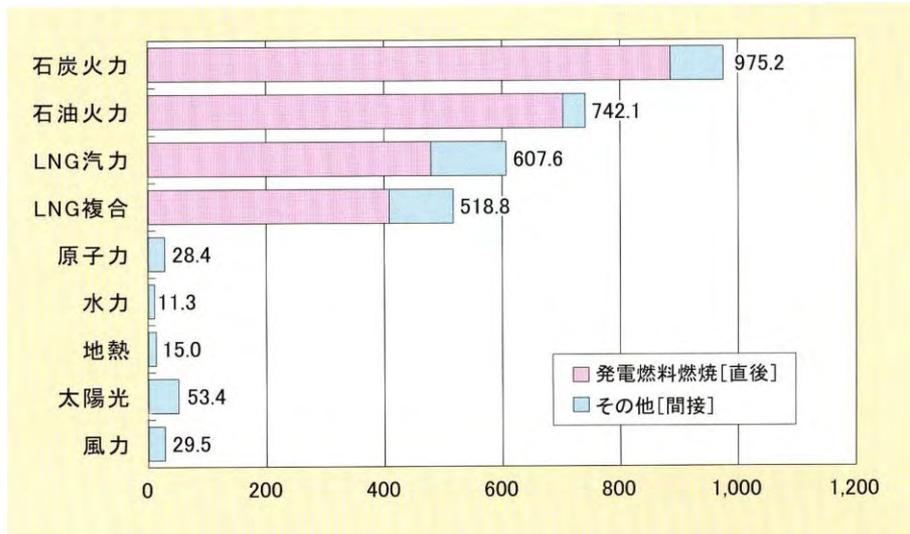
日本地熱開発企業協議会、2012

地熱発電とは

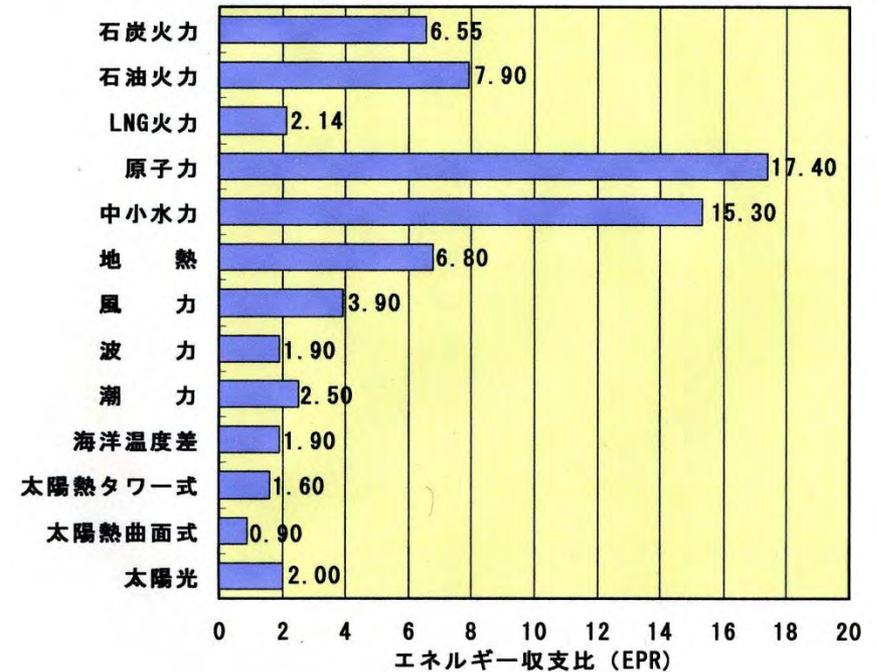
地熱発電とは、地中深くから得られた蒸気で直接タービンを回して発電するものです。一緒に出る熱水は還元井を使って再び地下に戻して再利用に役立ってます。



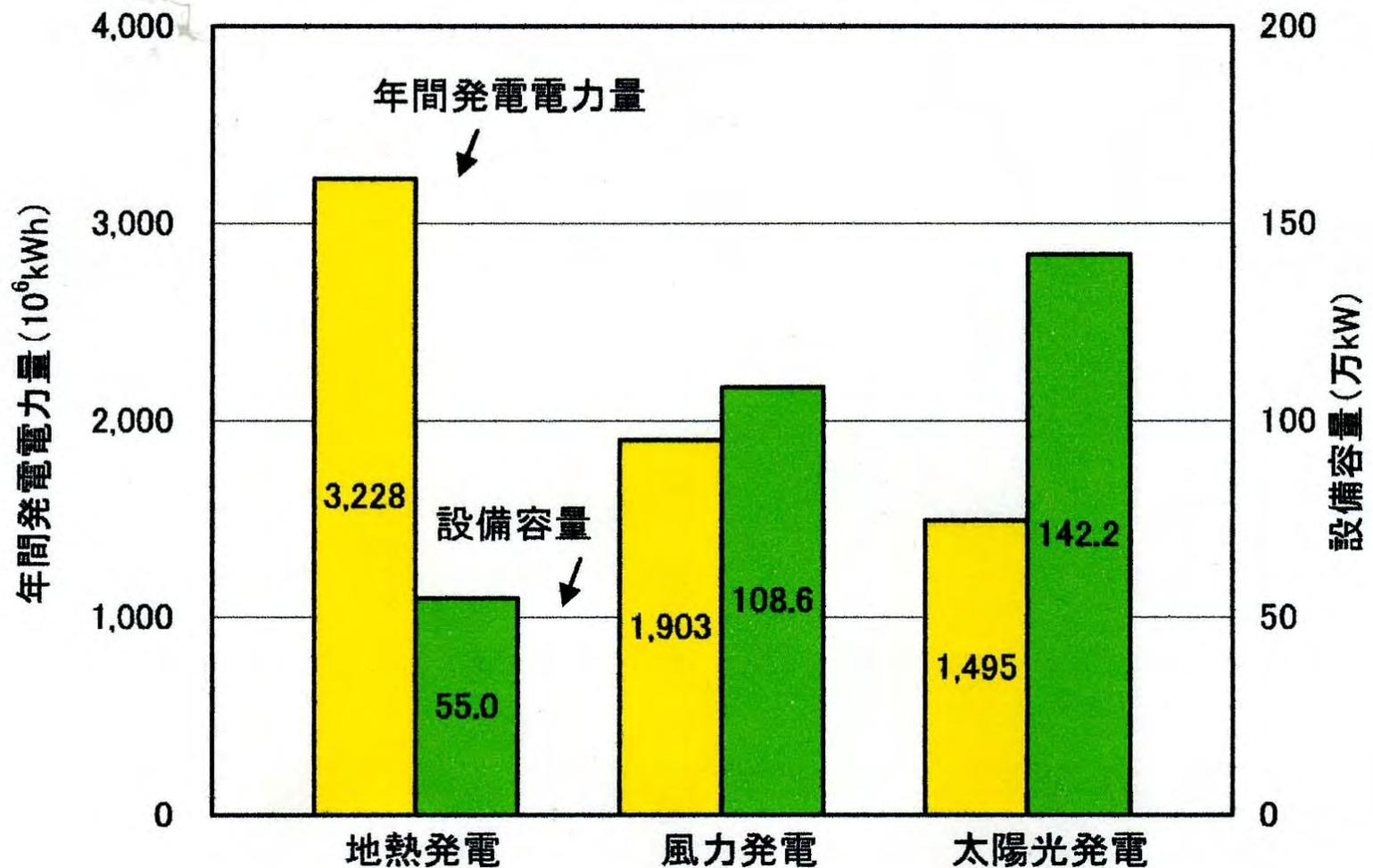
左: CO₂排出量 (gCO₂/kWh) 電力中央研究所(2000)



右: エネルギー収支比 天野(2006)



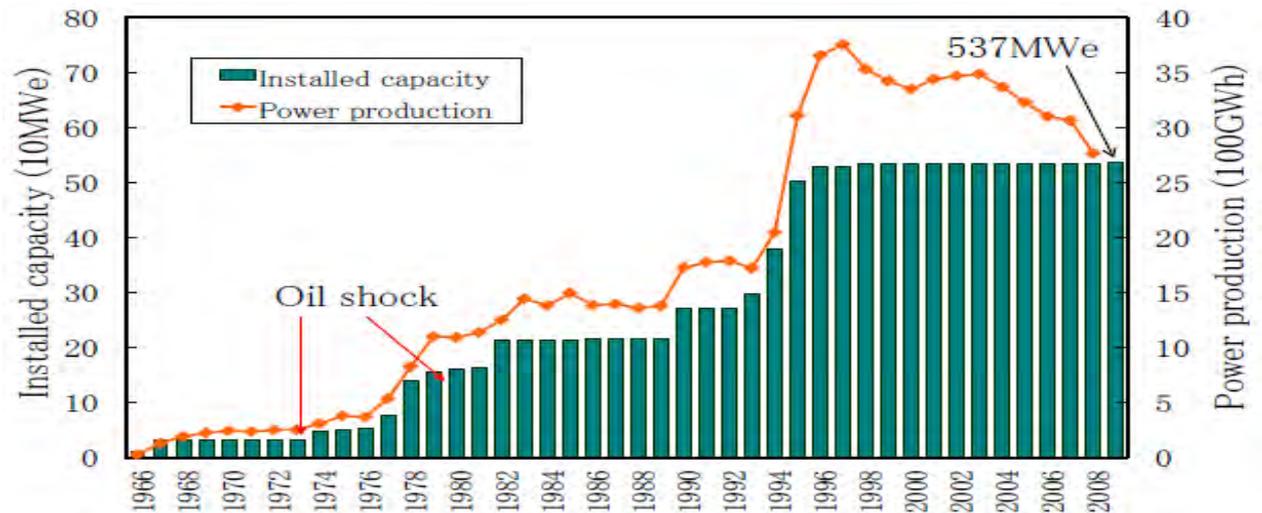
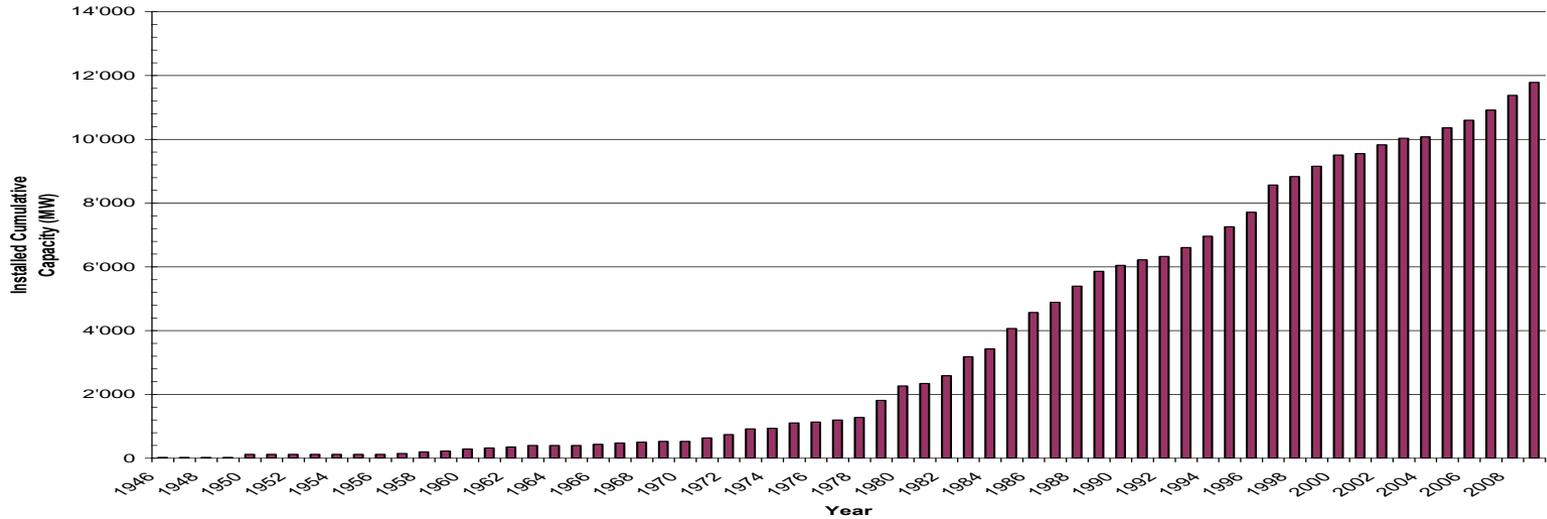
地熱発電による発電量は 太陽光発電・風力発電より大きい(天候に左右されない)！ (地熱開発研究会,2008)



地熱発電の動向

進展を続ける世界(上)と停滞する日本(下)

(Bertani,2010 & 火力原子力発電技術協会、2009)



最近の地熱開発の世界の動向

世界各国は地球温暖化対策、エネルギーセキュリティの観点から、地熱を含めた再生可能エネルギー開発を重要視し、高い数値目標の設定、政策的支援を行っている。

- アメリカ:2035年に再生可能エネルギー80%
- アイスランド:2030年全電力再生可能エネルギー
- ニュージーランド:2030年90%再生可能エネルギー
- インドネシア:2025年再生可能エネルギー17%

非火山国のドイツ(バイナリー発電)、EU(高温岩体発電)、オーストラリア(高温岩体発電)でも積極的

日本だけが取り残されつつある(日本の発電タービンの世界シェアは世界全体の70%! ねじれ現象!)

わが国の地熱発電における問題点

資源量はあるが利用が進まない！(地球からの贈りものが有効活用されていない。

⇒活用しなければ、長時間かけて大気中に無駄に放出されてしまう)

背景的問題

○国の政策(近年原発重視⇒福島第一原発事故後、再生可能エネルギー重視へ転換しつつある???)

地熱政策の大きなブレ:石油危機後大きく予算増加(15年間100億円以上)その後急激に低下, 本年急上昇?

⇒究極的には「地熱法」の制定⇒ロードマップの作成⇒政策支援(政治の役割は環境整備)

三大障壁

○コスト問題(3.11前の状況:石炭火力発電、原発の2~3倍)

○国立公園問題(有望資源の80%以上が国立公園特別地域内)

○温泉問題(周辺温泉への悪影響が生じるのではないかとの懸念)

発電コスト問題

適切な全量買取制度の制度設計、開発リードタイム短縮……) **RPS制度の反省に立つ！**

本年7月1日より固定価格買取制度の施行（1.5万キロワット以上、27.3円／kWh、1.5万キロワット未満42円／kWh）。+2012年より経済産業省（150.2億円）による大きな地熱開発支援策および環境省による温泉発電支援策（10億円～）。

国立公園問題

国立公園問題(有望と評価された資源量の80%以上が特別地域内)⇒従来利用はできなかった。ただし、1972年までは可能であった(当時、開発中のものを含め6箇所:八丁原、大岳、大沼、松川、鬼首、葛根田)←1972年に当時の通産省と環境庁が合意。

.....

再生可能エネルギー利用促進に向け、規制・制度改革へ(許可の早期化・柔軟化)

.....

2011~12年検討:当初は国立公園外から内部へのいわゆる斜め掘りが許可されたが実質効果は極めて限定的であることから ⇒さらに検討

⇒2012年3月27日通知 国立公園特別地域2・3種内での地熱発電所設置条件付き許可。優良事例の個別審査(自然環境への影響を最小限にする という条件)。

まず、国立公園内既設6箇所の立地環境に関して検証が必要不可欠(すでに国立公園内で最長46年にわたる運転実績に基いて)

日本の地熱発電所(1)

東北・関東



大沼地熱発電所
1974.6～
9,500kW



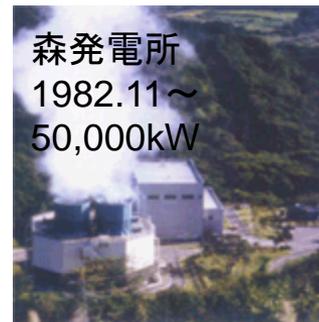
澄川地熱発電所
1995.3～
50,000kW



上の岱地熱発電所
1994.3～
28,800kW



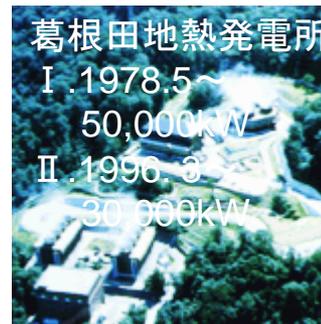
森発電所
1982.11～
50,000kW



松川地熱発電所
1966.10～
23,500kW



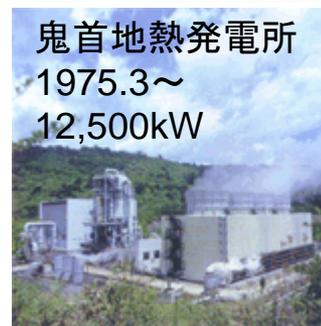
葛根田地熱発電所
I. 1978.5～
50,000kW
II. 1996.3～
30,000kW



柳津西山地熱発電所
1995.5～
65,000kW



鬼首地熱発電所
1975.3～
12,500kW



八丈島地熱発電所
1995.5～
3,300kW



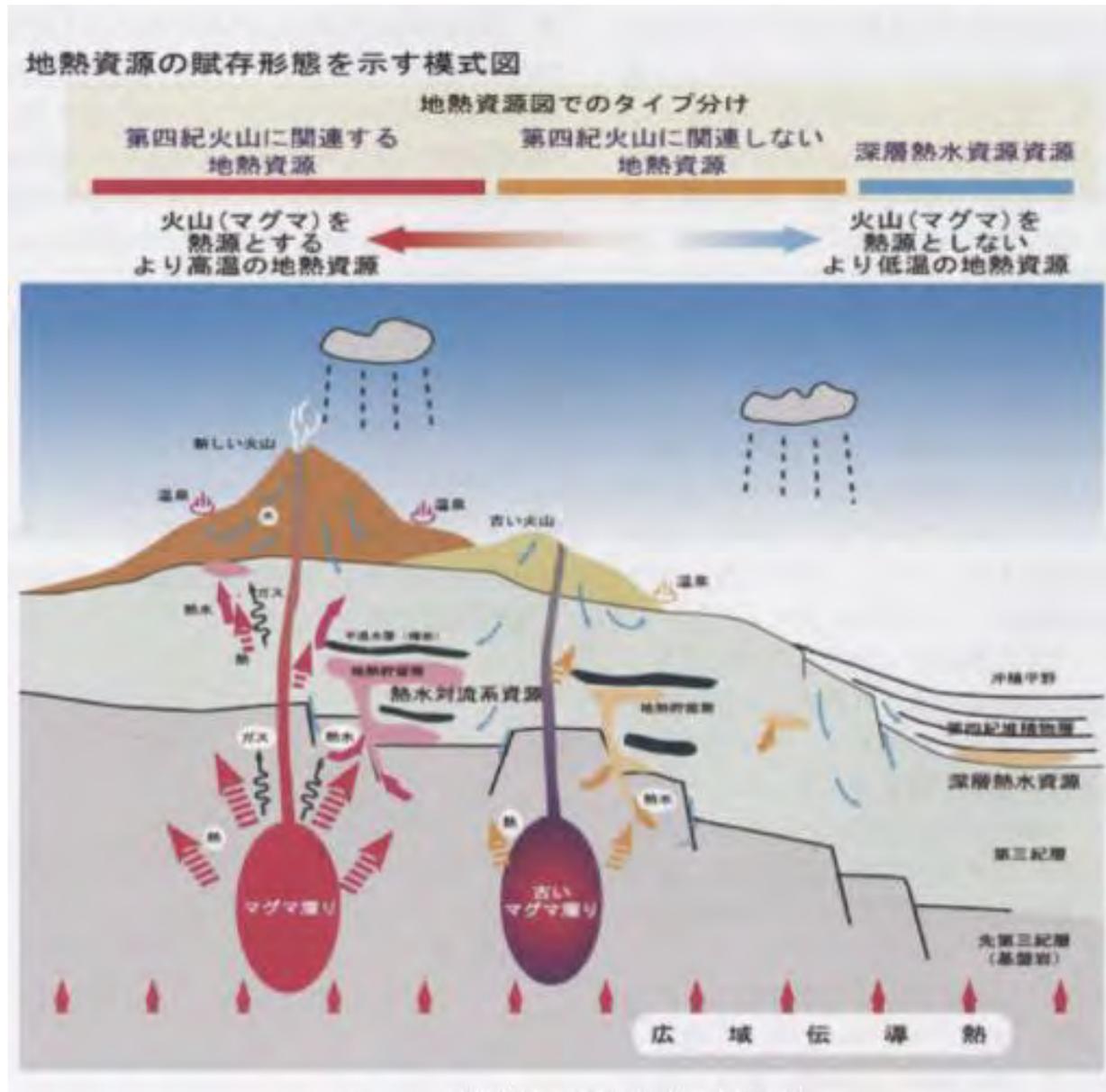
日本の地熱発電所(2)

九州地域

地熱発電所
主要都市



火山と地熱・温泉熱の関係 (日本地熱学会、2010)



温泉問題 実際のデータから見た 地熱発電の温泉への影響(1)

日本の場合

○地熱発電によって、枯渇等により、温泉に悪影響が出たと科学的に説明された例はない。

(一方、わが国では、温泉が温泉に影響を与えたことが科学的に説明された例は多い。同じ温泉帯水層からの温泉採取となり直接的影響が出やすいと考えられる)。

○熱水還元の影響で、温泉湧出量が増えたと判断された例がある。コンピュータによる計算でもそのようなことが起きることが説明された。

⇒還元を深くに行なうことによって原状に復帰

⇒ただし、使用後温泉水の地下還元は検討の価値有

温泉問題 実際のデータから見た 地熱発電の温泉への影響(2)

外国の場合：**熱水卓越型地熱系**の例：

ニュージーランド(ワイラケイ)やフィリピン(ティウイ)⇒温泉や間欠泉の活動低下、場合によっては、水蒸気爆発も発生している。

理由：過剰な地熱流体の採取＋不用熱水を地下還元せず、河川や海に放流。⇒流体の枯渇が発生。また、地熱構造の特徴として、地熱貯留層と温泉帯水層との水理学的関連が強い。

⇒その後の経過：より低い生産量で安定化傾向に向かう。
しかし、間欠泉活動等は復活してはいない。適切な地熱流体採取・還元が行われるようになって、回復には開発期間と同程度以上の時間がかかると考えられる。

火山と地熱・温泉熱の関係

- 1) 熱の起源はマグマ(共通)
- 2) 水の起源は降水(共通)
- 3) 地熱のもと(地熱貯留層)は一般に深く(1000m~3000m程度)
・高温(200~400°C程度)、温泉のもと(温泉帯水層)は浅く(地表~数100m程度)・低温(10数10度~数10°C)。
- 4) 地熱貯留層の上部には、一般に難透水性のキャップロック(帽岩)が存在しているので、地熱貯留層から地熱流体を採取しても、温泉帯水層に直接的な影響を与えないと考えられている。
- 5) **しかし**、地熱貯留層と温泉帯水層の水理学的なつながりがある場合も考えられ、地下構造の解明とモニタリングが必要。
- 6) 地下の調査無しに、事前に地熱発電が温泉に影響があるともないとも言えない。そこで、データに基づいて影響を評価し、影響が予測される場合はそれを回避する科学的・技術的検討を行なう。

温泉問題への環境省の対応

2012年3月環境省「温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)」策定

- ・地熱発電に係る坑井掘削許可に関する目安⇒適切な運用が必要
(都道府県への十分な説明が必要:許可の早期化・柔軟化が目的)
⇒ガイドラインがマイナスになることの懸念:現実に事例が発生
 - ・自然環境保全審議会温泉部会(いわゆる温泉審議会)における適切な委員構成
 - ・関係者に求められる取組等
 - 1)温泉事業者、地熱発電事業者等によるモニタリングの重要性
 - 2)情報の共有・公開
 - 3)関係者間の合意形成(協議会等の設置)
「・・・協議会等は、地熱資源開発の過程のなるべく早い段階から設置することが望ましく、その設置に当たっては、地元自治体の果たす役割が大きいと考えられる。」
- ⇒全国に先駆けて、「熊本県地熱・温泉熱研究会」の立ち上げ
(関係者を網羅し、地熱利用と温泉熱利用の共生を前提に、地域振興を目指す)
⇒全国の模範となるような活動が期待される

地熱発電の温泉影響に関するまとめ

- 1) 不適切な地熱流体の生産(過剰な生産)を行えば、温泉へ影響するだけでなく、自らの発電にも大きく影響する。
- 2) 影響を正しく評価するためには、信頼のおける観測データが必要。
- 3) 影響を避けるための、科学的・技術的検討と対策が重要。中でも、**持続可能な生産**が重要。

なお、温泉現象は**自然的要因**(降水量・火山活動等)で変化、また、多様な**人為的要因**(特に浅部の水理構造と関係するダム、河川、道路工事等)でも変化する。したがって、温泉の変化の解明のためには、温泉地の地下水理構造の解明と温泉のモニタリングが欠かせない。

持続可能な(長期間安定な)発電を目指して

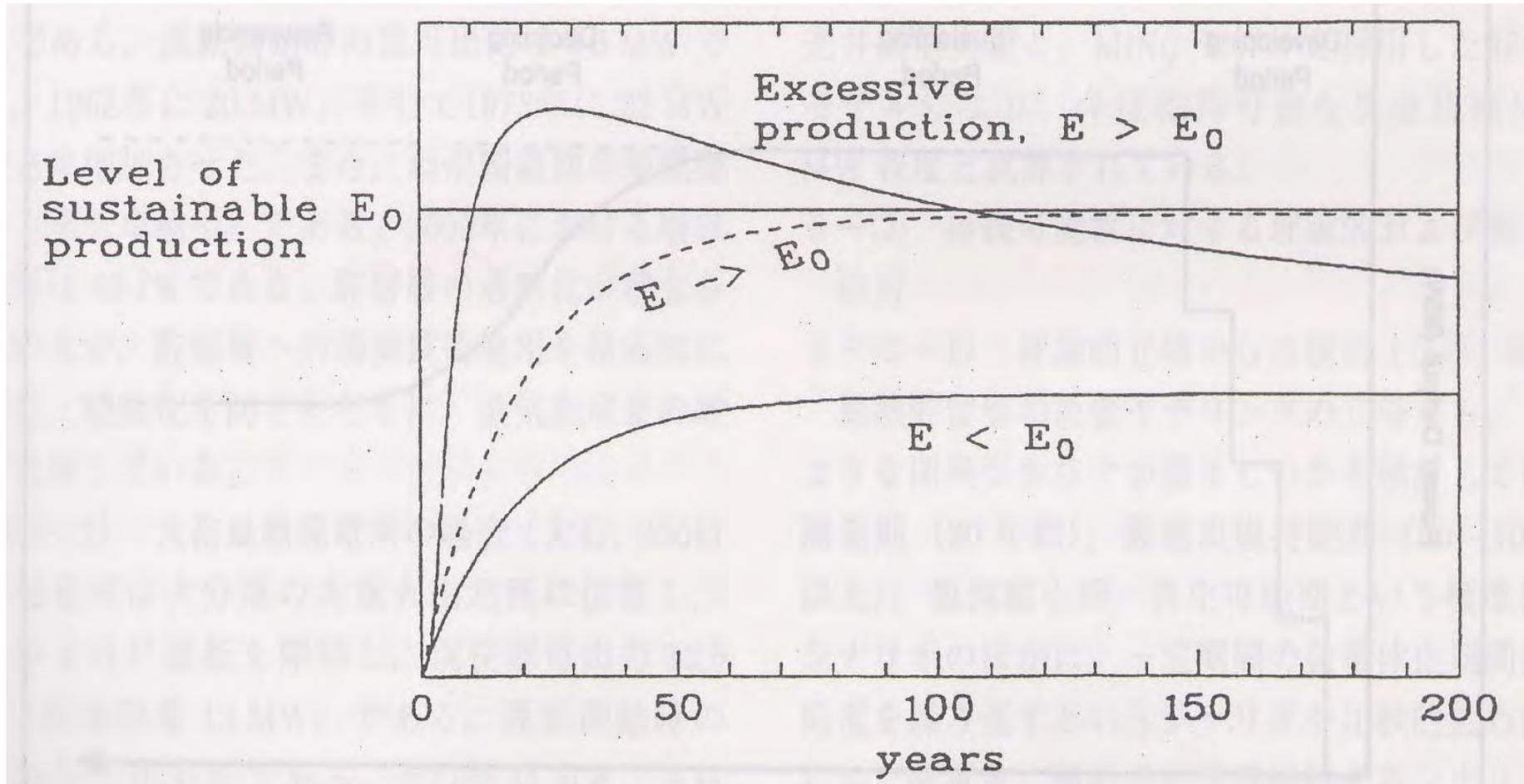
○地熱エネルギーは再生可能であるが、地熱貯留層を適切に管理しないと、過剰生産が発生し、長期間(～200－300年間)の安定な発電(＝**持続可能な発電**)が保証されない(これは温泉利用も同じである)。

○地熱エネルギーが他の再生可能エネルギーと伍して将来的にわたって生き残っていくためには「**持続可能な発電**」でなければならない。

→**地熱貯留層の適切な管理は技術的に可能**
「繰り返し精密重力観測による地下流体質量監視技術」

持続可能な生産レベルの概念

(Axelsson et al., 2003)

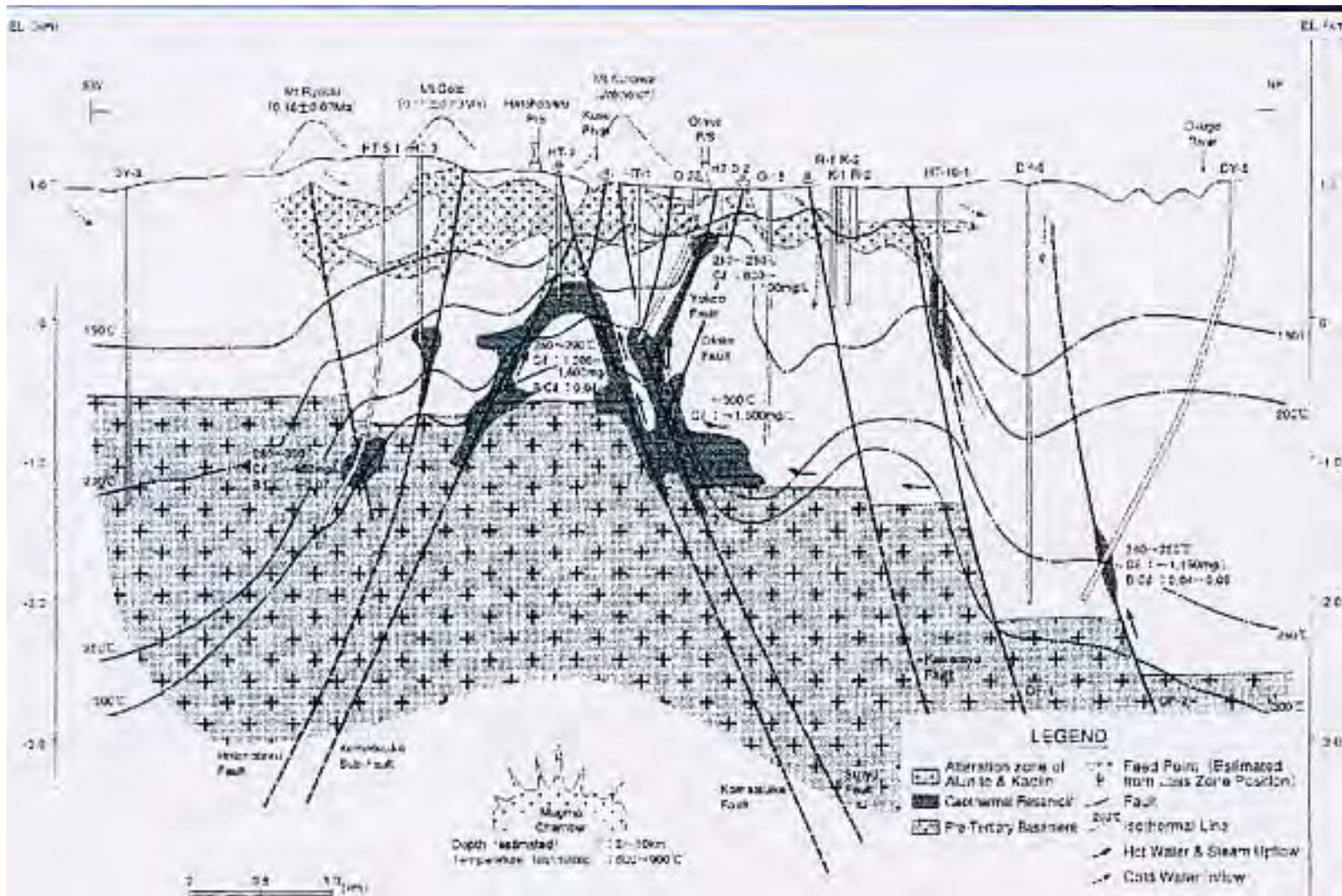


わが国最大の地熱発電所(設備出力110MW) 九州電力八丁原地熱発電所(大分県九重町)

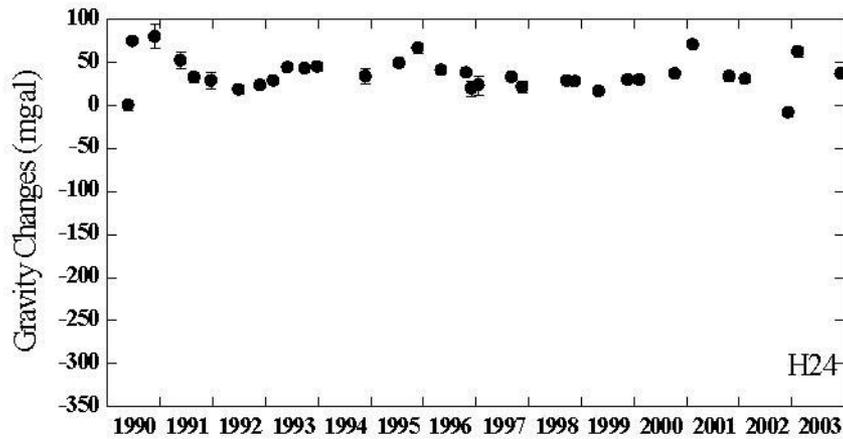


八丁原地熱地域の熱水系概念モデル

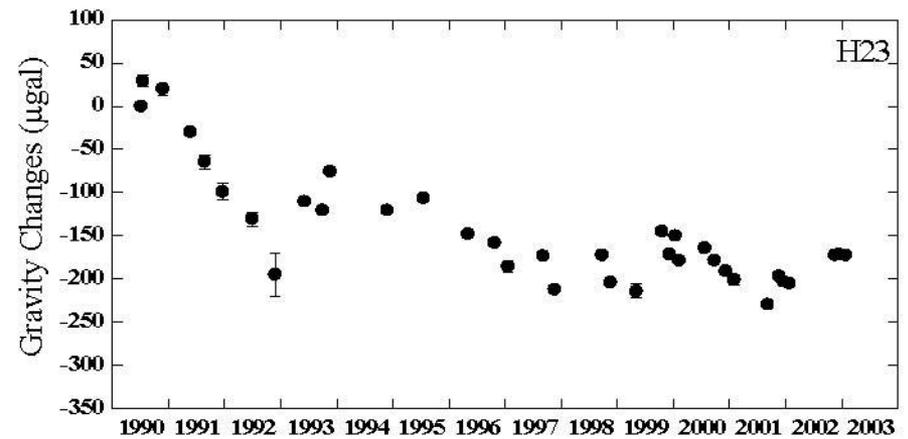
熱水卓越型地熱系・断裂型地熱貯留層



還元ゾーンと生産ゾーンにおける重力変化

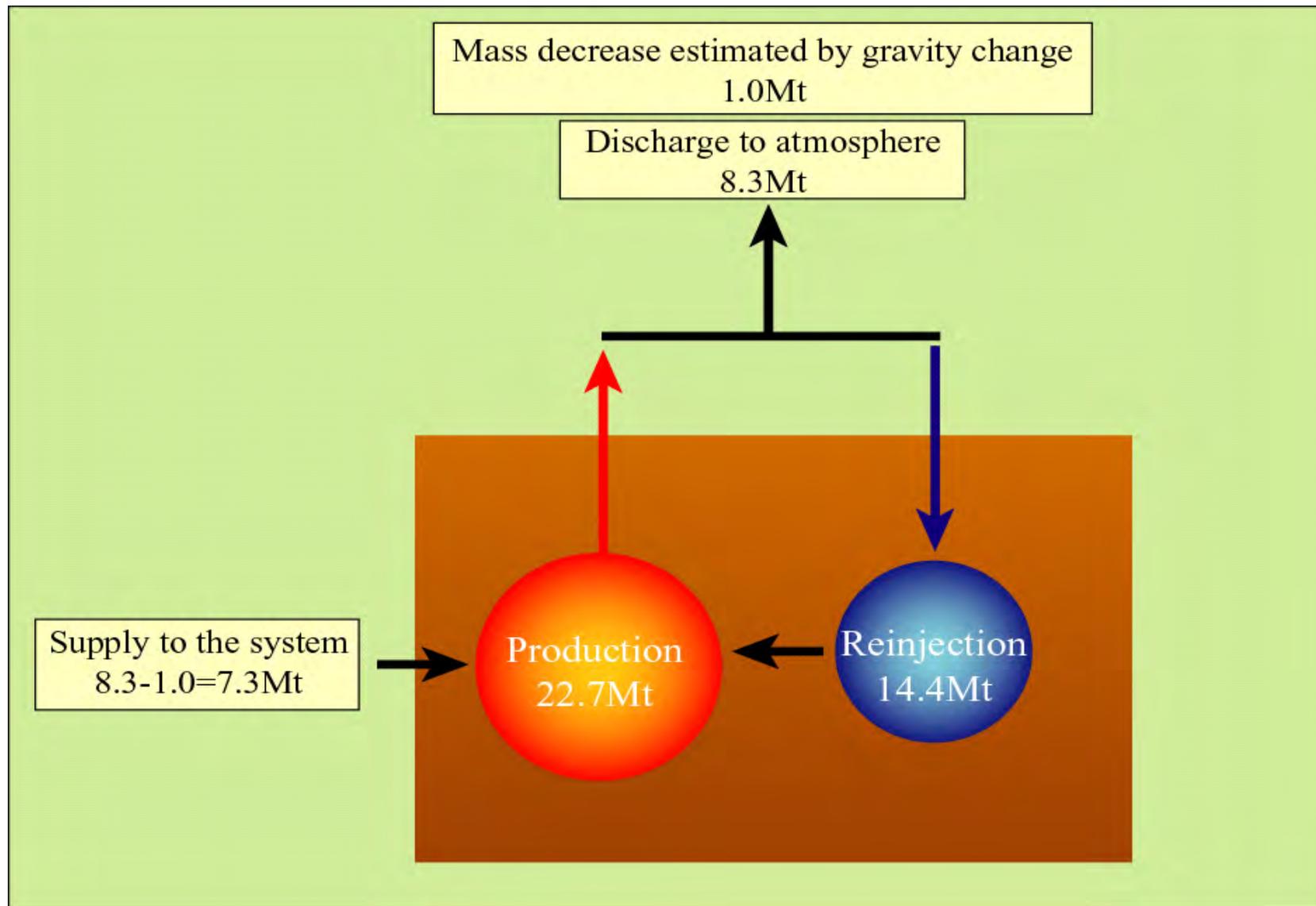


還元ゾーン



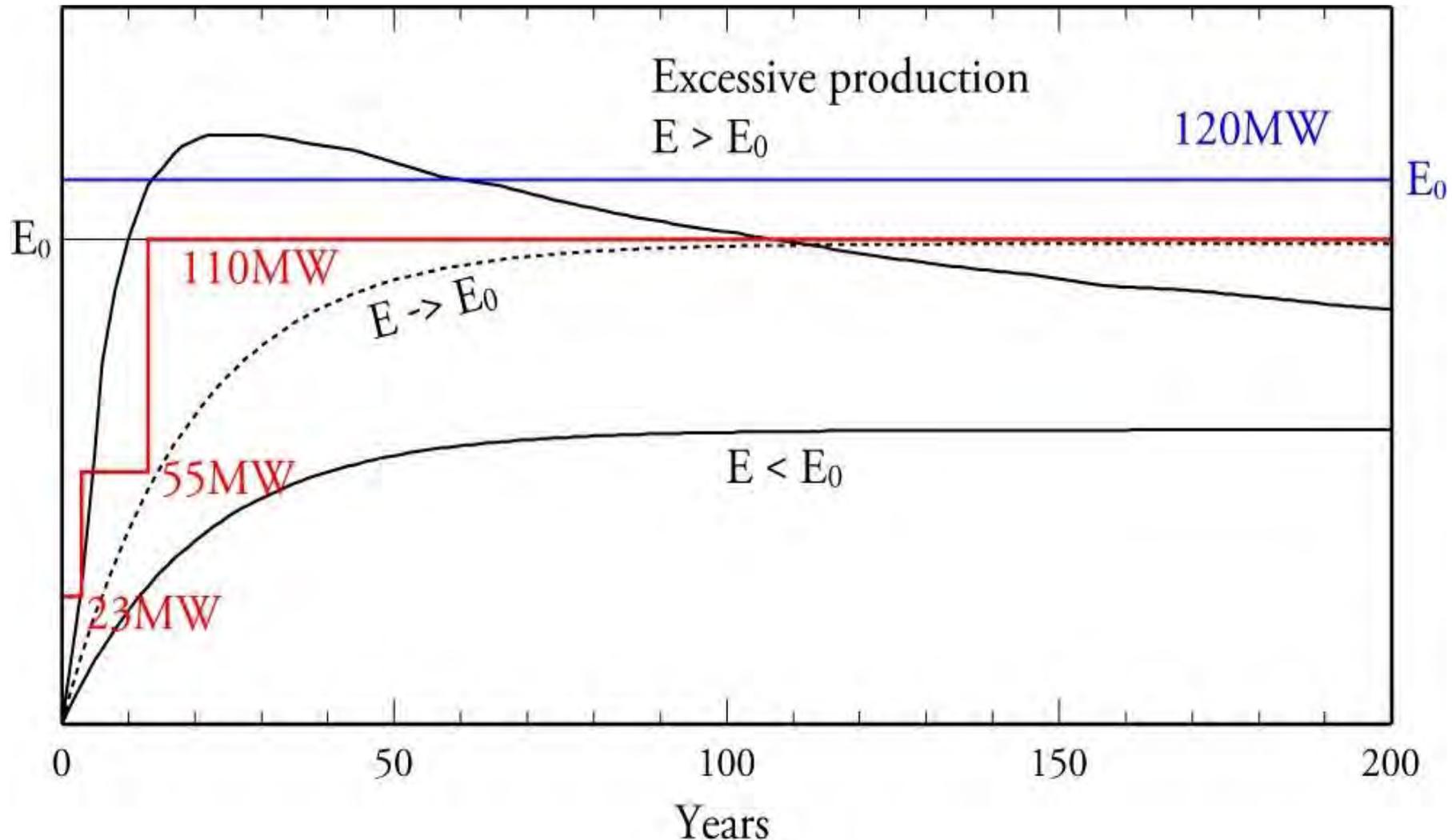
生産ゾーン

1999年10月から2000年10月における水収支モデル



段階的開発による持続可能な発電の実現

小さく生んで、モニタリングとモデリングで育て、長生きする！



「持続可能な発電」はすべてに必須の技術

○長期間安定な発電⇒経済性に大きく貢献

○温泉への影響を最小化(地下流体のバランス維持)

○最小限の補充井掘削(地表改変を最小化)

⇒持続可能な発電は、自然環境への影響を最小限にするとともに、経済性も最大限に高める。

まとめ: 3つの障壁の現状

1) コスト問題 ○大きく前進

2) 国立公園問題:

○見掛け上は前進、しかし、審査基準等不明⇒解決に時間がかかる可能性。⇒積極的対応の必要性

3) 温泉問題:

○見掛け上は前進、しかし、ガイドラインの運用が問題。都道府県レベルの理解不十分。説明の必要性。

○関係者間の引き続き協議必要。都道府県レベルでの温泉問題理解のための協議会の設置の必要性。

地熱利用と温泉利用の共生を基盤とした、地域振興。

地熱エネルギーの可能性

「わが国の再生可能エネルギーのポテンシャル評価」の中で

2050年自然エネルギービジョン

自然エネルギープラットフォーム(JREPP)

による供給ポテンシャルの評価)

(もともとは2008洞爺湖サミットに向けて作成されたものである。)

「2050年地熱エネルギービジョンにおける地熱エネルギーの貢献」

江原幸雄・安達正敏・村岡洋文・安川香澄・松永 烈・野田徹郎

日本地熱学会誌 第30巻第3号、165－179、2008

2050年へ向けての電力シナリオの例

自然エネルギー政策プラットフォーム(9月14日より、再生可能エネルギー協会)、2008

- 水力、太陽光／熱、風力、地熱、バイオマス等の自然エネルギーによる供給を最大限利用する。
- 自然エネルギー比率を50%以上とし、CO2排出量を70%以上削減(2000年比)する。
- 国立環境研究所による2050年日本低炭素化社会のシナリオBをベースにエネルギー需要を考える(GDP成長率 年1% 地域重視・自然志向)。
- 化石燃料および原子力の利用は必要最小限に限定する。

地熱発電供給の内訳 と 3つのシナリオ

発電利用(電力)の内訳

地熱発電＝天然蒸気発電＋バイナリー発電(150℃以上)

温泉発電＝高温温泉バイナリー発電(～53℃)＋還元熱水発電(の一部)

3つのシナリオ

ベースシナリオ＝「せねばならぬシナリオ」(問題を地道に解決して「到達すべき！」地熱エネルギー利用目標) ⇒現状改善型の考え方

ベストシナリオ＝「渾身の力を込めたシナリオ」(すこぶる困難な問題を諦めずに克服して「到達したい!!」地熱エネルギー利用目標) ⇒現状改善型の考え方

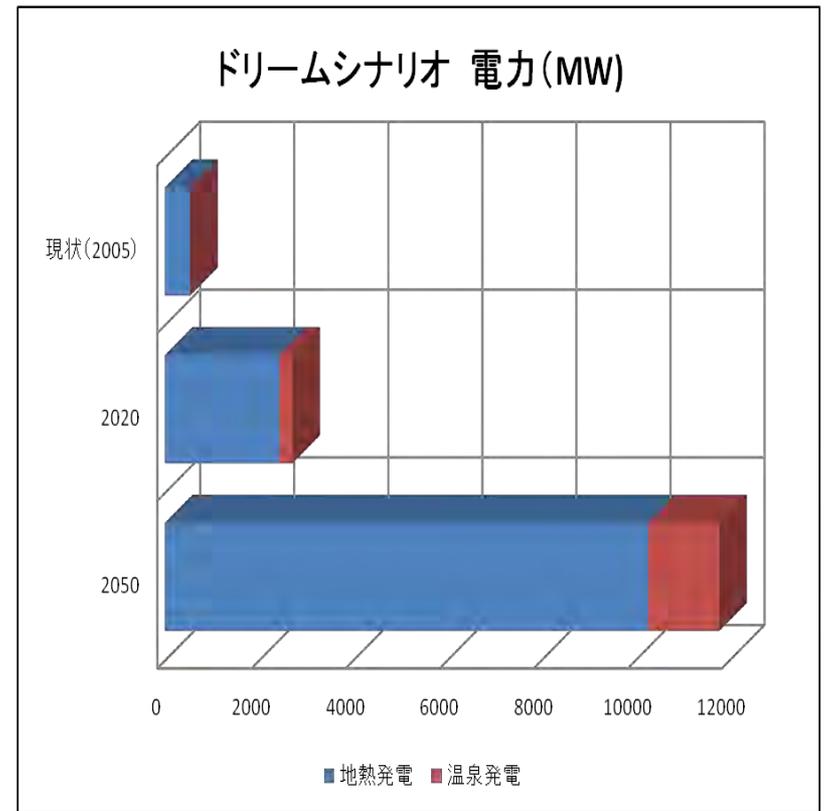
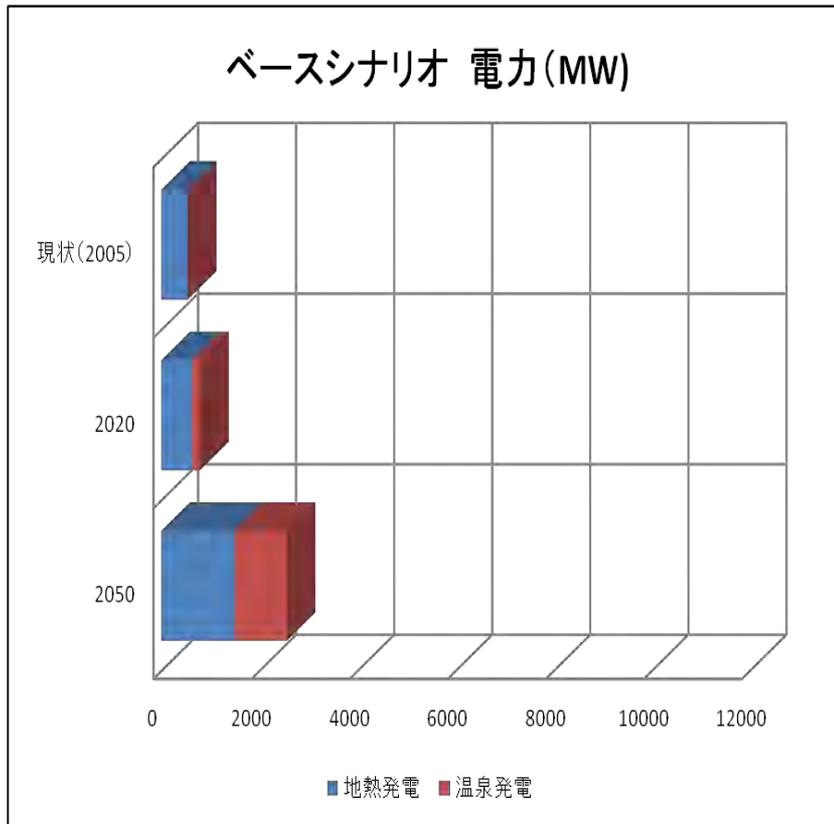
ドリームシナリオ＝「ロマンを抱こうシナリオ」(革命的なブレークスルーで導く「理想の!!!」)地熱エネルギー利用目標 ⇒バックキャスト的な考え方

地熱発電ベースシナリオ

2050年全電力量の0.3%

地熱発電ドリームシナリオ

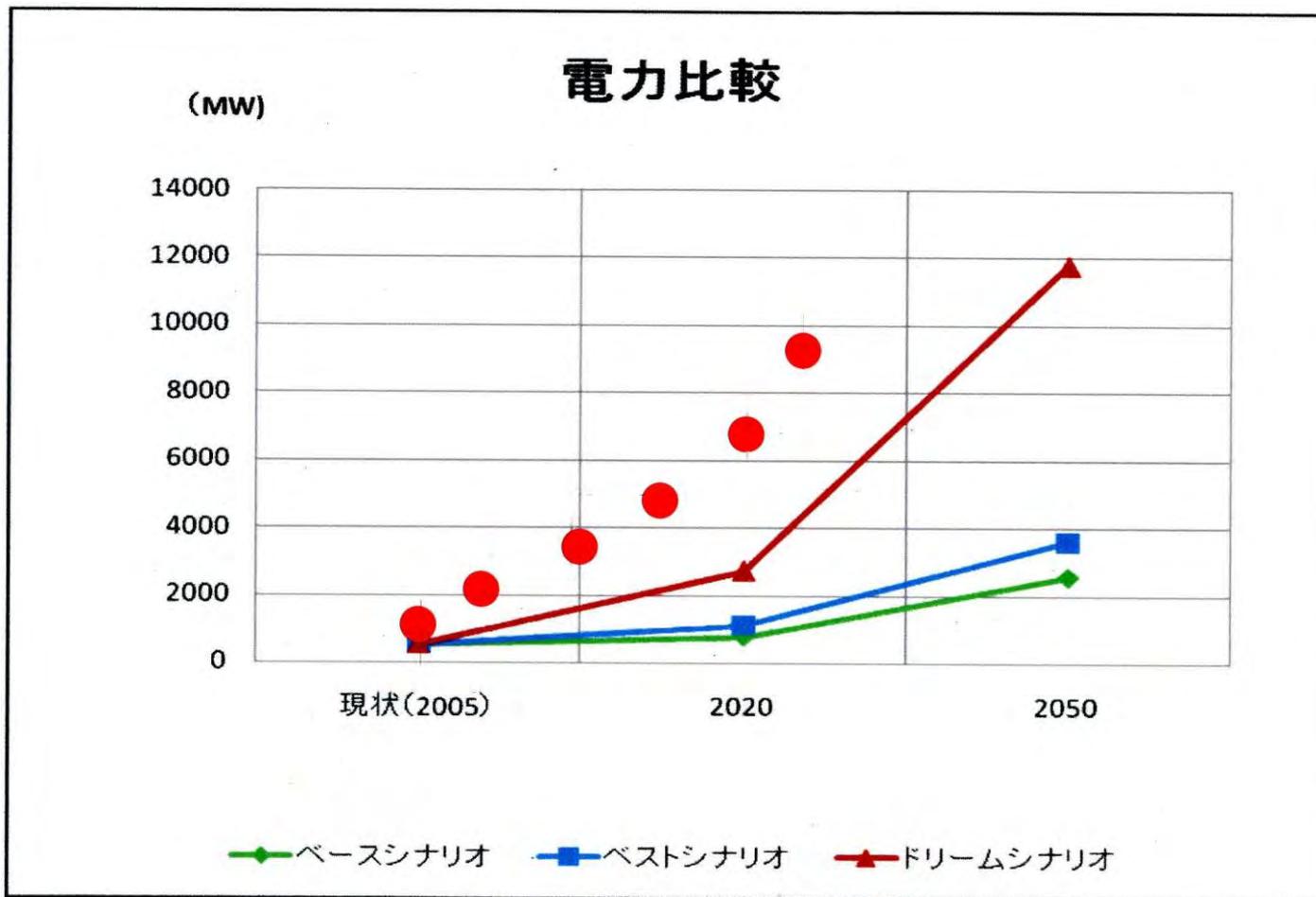
2050年全電力量の10.2%



シナリオ別地熱発電設備容量の比較

日本のドリームシナリオは過大か？

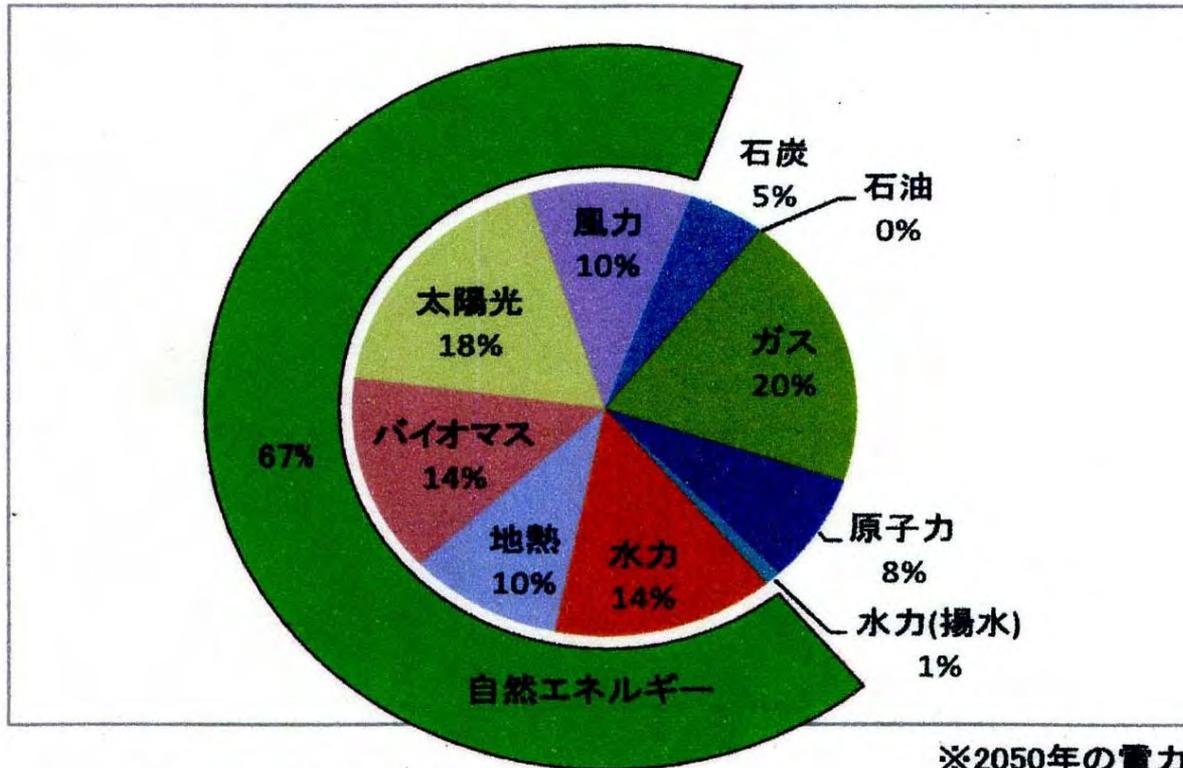
●インドネシア



2050年全電力量中に占める地熱発電の貢献

各エネルギーが10～20%程度のシェアを果たす (JREPP、2008)

ただし、2008年作成。3. 11後の見直し必要。18%節電の実績



2050年のエネルギー源別の電力量の割合

※2050年の電力量の全体は8366億kWh
(参考:2000年の電力量は10,427億kWh)

今後数年間における地熱発電の展開予想

地熱発電を取り囲む最近の状況

1) 発電コスト問題におけるFITの効果

1.5万kW以上 27.3円/kWh

1.5万kW未満 42円/kWh

2) 時間のかかる法的環境アセス(現状では4年間程度必要)

7500kW未満であれば必要なし(自然公園の手続き必要)。

3) 大規模発電の環境: 計画中の山葵沢地熱発電所(4万2000kW)

⇒2020年運転開始予定(環境アセスに入っている)

⇒当面(～2020年頃) 数1000kW規模＋段階的地熱開発のスタート
＋小規模温泉発電(バイナリー発電＋湯煙発電)

当面(～2020年頃) 風力発電や太陽光発電に頑張ってもらい、地熱発電は2020年以降本格的な寄与を目指す。そのためには、国立公園問題・温泉問題の早期の解決が必要(許可の早期化・柔軟化)。

地熱発電の当面の目標(江原試案)

まず、+100万kW&シェア1%を達成しよう

1) 経済産業省予測導入量(2009)

2020年 166万kW

2) 環境省大臣試案(2010)

2020年 171万kW

3) 現行のエネルギー基本計画における地熱発電

2030年 シェア1% 165万kW

以上の年間あたりの地熱発電量は太陽光発電1000万kWに相当

4) 新たなエネルギー基本計画における地熱発電(検討中)

2030年 シェア4% 670万kW

5% 830万kW

5) ドリームシナリオ

2030年 608万kW

2012年5月刊行著書「地熱エネルギー」

四六判、196ページ、1680円 オーム社

