第174回深田研談話会

半世紀を迎えた我が国の地熱発電

松川地熱発電所の運転開始（1966年10月8日）から50年

熊本大学　国際先端科学技術研究機構
(兼)　石油天然ガス・金属鉱物資源機構　地熱部

當舍　利行（とうしゃ　としゆき）

2016年11月11日
深田研究所研修ホール

目次

1. はじめに
2. 地熱発電の50年の歩み
3. 地熱資源とは
4. 地熱発電の現状
5. これからの地熱発電
6. おわりに

はじめに

I. 自己紹介

学歴:

1984 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻博士課程修了

職歴:

1985 通商産業省工業技術院地質調査所地殻熱部
1991 工業技術院総務部サンシャイン計画推進本部(併任)
1999 NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)地熱開発センター(出向)
2002 AIST(産業技術総合研究所)地圏資源環境研究部門(復帰)
2013 JOGMEC(石油天然ガス・金属鉱物資源機構)地熱部(転籍)
2015 熊本大学　国際先端科学技術研究機構(転籍)

II. これまでの仕事

地熱地帯における微小地震

地熱地帯では、熱水が流動することにより地震が発生することがある。この地震を用いた探査が行われている。

自然電位観測による流体運動の推定

自然電位は、簡便な測定で熱水の流動を推定することができることから、測定を通じて熱水系を評価する。

ちねつ？　じねつ？

地

「じ」と発音＜呉音＞：　地震、地盤、地面・・・
「ち」と発音＜漢音＞：　地球、地質、測地・・・

日本に最初に漢字が伝来したのは中国南部呉地方からで＜呉音＞が流入し、後に中国北部長安から＜漢音＞を導入してそれが日本での正式な音読みとなり定着普及した流れが有ります。
一般的には＜漢音＞が清音、＜呉音＞が濁音の傾向が強い様子で、＜漢音＞が一番正式な読みとされ、＜呉音＞は仏教用語に用いられている。　(http://homepage2.nifty.com/osiete/s446.htm)

地熱：地球熱、地殻熱などともいう

↓

「ちねつ」の方が一般的？

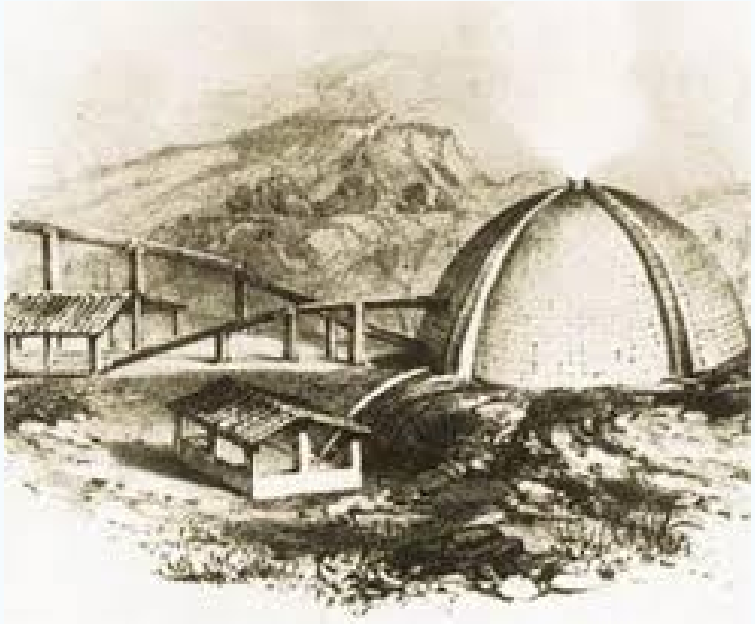
ちなみに：送り仮名は「じ」ではなくて「ぢ」を書くのは、現在では例外的扱い。縮み（ちぢみ）、鼻血（はなぢ）など　とのこと

地熱はいつから利用しているのか

世界最初の地熱蒸気を用いた発電

イタリア:トスカニーニ地方ラルデレロ

トスカニーニ地方の地熱発電所(現在)　経済省HPより



地熱エネルギー入門より

地熱からホウ素を取り出していた。日本でも、硫黄を取り出すことは昔より行われていた。

多くの地熱地帯では、地熱の中の二酸化ケイ素(SiO_2:45%～75%含む)が多く含まれており、この除去技術が課題であった

地熱熱水の中の微量金属の取り出し(最近の話題)

地熱発電の歴史

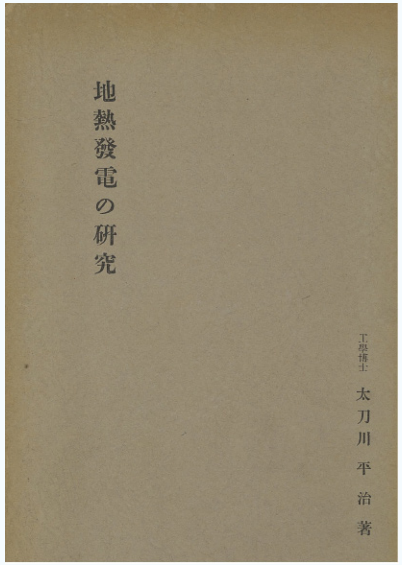
1911年　Valle del Diavolo ‘Devil’s Valley　発電所（Larderello, Italy)最初の蒸気貯留層からの蒸気による発電

1958年　Wairakei発電所（New Zealand)最初の熱水混じりの蒸気を用いた発電所

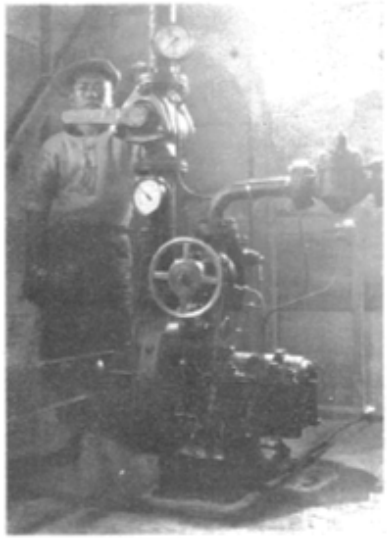
1925年　太刀川平治の実験（鶴見岳；2kW出力）、11月13日試運転、11月21日より1927年4月10日まで連続運転

1966 年　我が国初の地熱発電（松川地熱発電所）蒸気貯留層からの蒸気を利用

世界初の地熱発電実験（伊、Larderello、1904）



太刀川平治著
地熱発電の研究



我が国初の地熱発電装置
（地熱利用第1発電所）

鶴見岳の坑井

工學博士　太刀川平治著

地熱發電の研究

除籍

社團法人　日本動力協會

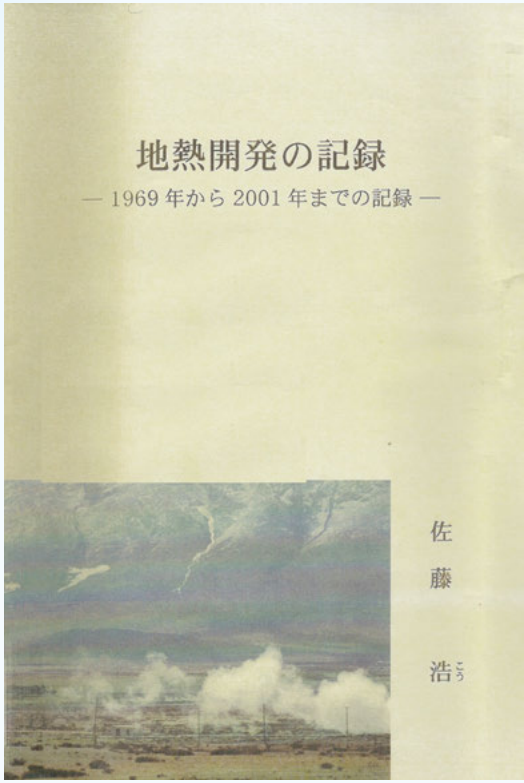
緒言

人類文明ノ發達シ來レル經路ヲ顧ミルニ、古代卽チ產業ノ觀ルヘキモノナキ時代ニ於テハ人類ノ生活ハ主トシテ天產物ニ依賴セリ。斯ルガ故ニ太陽ノ恩惠ニ最モ多ク浴スル熱帶地方ガ人文開化ノ根源地トナレリ。從ツテ文明ガ未ダ幼稚ナル時代ニ於テハ天惠ニ富メル者ガ民族中ノ覇權ヲ握ルコトトナレリ。然ルニ此等ノ民族ハ次第ニ天惠ニ狎レテ自ラ修ムル所ヲ怠ルニ至リ、文明ノ中心ハ熱帶地方ヨリ溫帶地方ヘト推移シ、天惠ニ薄クトモ克己ノ精神ニ厚キ北歐ノ民族ハ種々ノ工夫ヲ凝ラシテ新文明ノ開發ニ努メ、機械力則チ動力ヲ產業ニ應用スルコトニ依リテ人文史上ニ一大變革ヲ與ヘ、遂ニ二十世紀文明ハ世界ヲ風靡スルニ至レリ。斯クテ今日ニ於テハ產業ノ盛衰ガ國民ノ勢力ヲ消長セシムルノ狀態ナルコトハ玆ニ喋々スルコトヲ要セズ。而シテ產業界ニ於ケル原料、資本、勞力各要素ノ重要性ハ舊來ノ位置ヲ顚倒シテ、今ヤ勞力（動力ヲ含ム）、資本、原料ノ順位トナレリ。從ツテ今後產業界ニ於テ最モ重要ナルハ加工費ノ節約ナラザルベカラズ。此事ハ文明ノ進步スル程又產業ノ發達スル程其色彩ヲ濃厚ナラシムルコトハ最早疑ヲ挿ムノ餘地ナシ。加工費ノ節約ハ低廉ニシテ且ツ豐富ナル動力ノ供給ニ待ツコトノ大ナルハ多言ヲ要セズ。サレバ將來ノ產業界ニ於テ其樞機ヲ握ルモノハ動力ナリト云フモ敢ヘテ過言ニアラザルベシ。而シテ凡ベテノ動力ハ其發生、變成竝ニ傳送ヲ電氣ニ依ルコトノ最モ能率良キコトハ動カスベカラザル事實ニシテ、電力ガ動力界ヲ支配スルコトハ當然ノ歸結ナリ。

目次

1. はじめに
2. 地熱発電の50年の歩み
3. 地熱資源とは
4. 地熱発電の現状
5. これからの地熱発電
6. おわりに

地熱発電50年の歩み



日本重化学工業（松川地熱発電所の開発企業）の地熱事業部副本部長であった佐藤 浩（さとう こう）さんが自費出版された回顧録。

発電所建設の経緯はほぼ以下の通り：

1. 合金鉄を製造する東加工（あずまかこう）では、安価な電力を必要としていたが、水力発電では適地がなかった。
2. 社長の富岡重憲氏は、立山の蒸気の活用や、イタリアでの地熱発電の話を聞いていた。
3. 松尾村では観光開発のために坑井を掘削したが、蒸気のみの噴出であった。
4. 松尾村の話を地質調査所経由で聞いた富岡氏は調査を命じた。

松川開発の年表

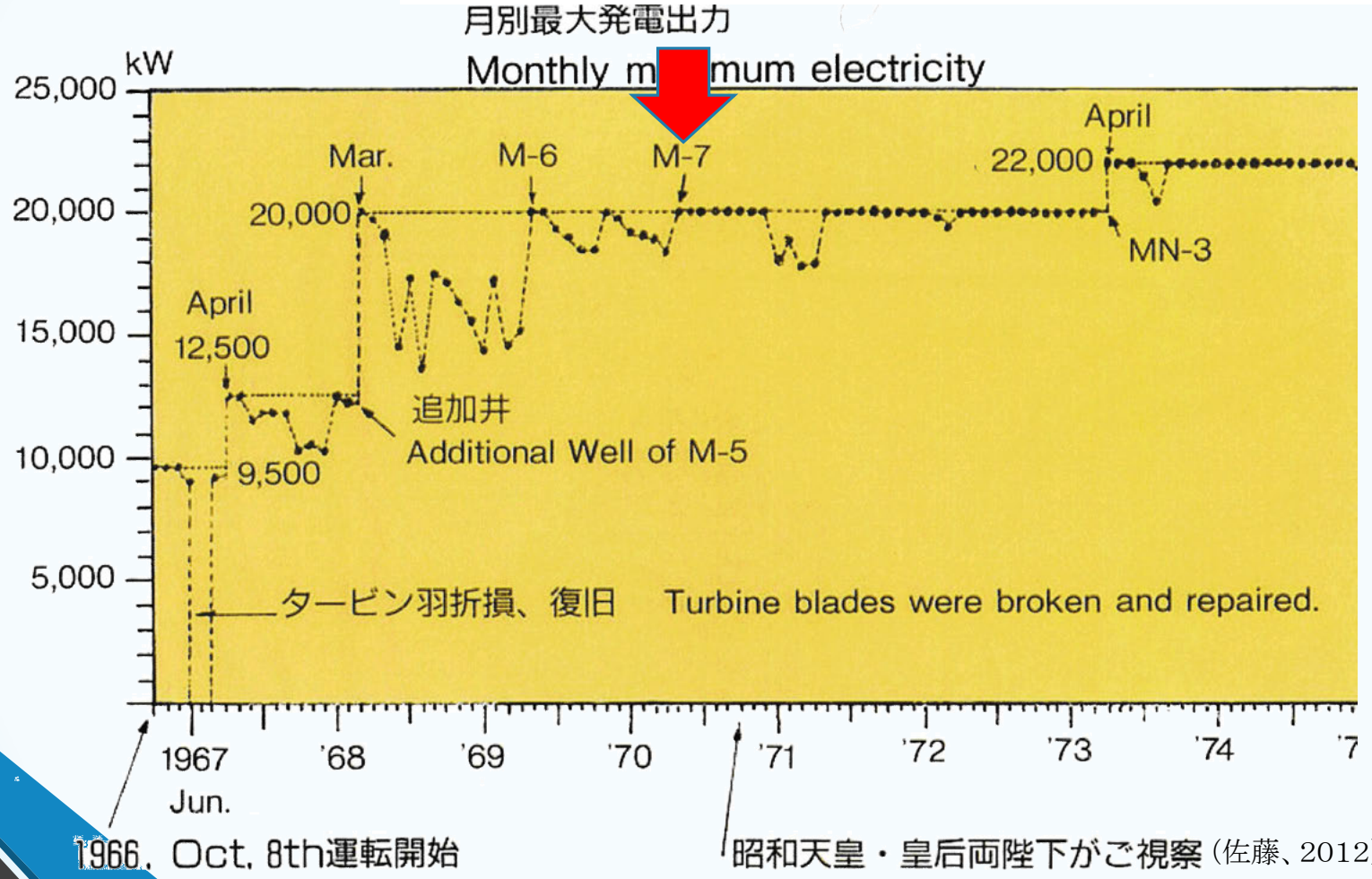
	年号	経　過	調査	坑　井	富岡重憲社長の行動
第一期	S25 (1950) 頃				水力発電に代わり地熱発電について イタリアで地熱発電を見てきた 佐藤工業㈱佐藤助九郎氏と意見交換
	S27 (1952)	松尾村が観光開発のため 松川地域で温泉掘削開始		試錐1号(164m)m/M 試錐2号(159m)m/M	
	S28 (1953)	地質調査所地質部が松川 地域の予察調査実施		試錐3号(327m)m/M 試錐4号(89m)m/M	
	S29 (1954)			試錐5号(57m)m/M 試錐6号(206m)m/M	
	S30 (1955)	地質調査所地質部が地熱 開発を対象とした調査開始	地質G	試錐7号(164m)m/M	中村進氏に地質調査所との接触 を命じ、松川の情報を得る
	S31 (1956)	地質調査所とJMC(当時の 社名は東化工)が共同 で開発することを申し入れ			
第二期	S32 (1957)	松尾村と地熱開発についての 契約書締結	地質G	試錐7号増掘(223m)J	森芳太郎氏、片桐邦雄氏ら呼びを 松川常駐として命じる(6～8月)
	S33 (1958)	地質調査所との共同研究 契約締結	地形G 地質G		
	S34 (1959)	岩手県や青森営林局 協力依頼する	電気G 弾性波G		
第三期	S35 (1960)	工業技術院から応用研究 補助金を受け、調査井の 掘削を開始する	電気G	試錐(79m; 51m)G/M 試錐GS-1(214m)J/G 調査井AR-1(325m)J 調査井BR-1(450m)J	
	S36 (1961)		電気G	調査井BR-2(571m)J	不況到来により、社内で地熱をめぐって 賛否百出したが、これを乗り越えた
	S37 (1962)	新技術開発事業団へ地熱 開発事業費の申請			地熱開発事業費のヒアリングで 地質調査所中村久由氏らへ 協力要請(1年がかり)
第四期	S38 (1963)	8月に上記事業費決定 5,000kwで250百万円	地質J 電気検層J 温度検層J	生産井M－1(945m) 掘削開始J	起工式挙行
	S39 (1964)	M-1の蒸気量60t/hの成功で 規模を2万kwに変更 工事費17億円調達	地質J 電気検層J 温度検層J	**M－1噴気成功** **(1/14)** 生産井M-2(1,080m)J 生産井M-3(1,207m)J 調査井T-21(602m)J	
	S40 (1965)	パイプライン・発電所の建設 工事着手。400kw工事用 発電開始	地質J 電気検層J 温度検層J	生産井M-4(1,501m)J	
	S41 (1966)	**発電所完成** **(総工事費は26億円)** **10月8日9,500kwで** **営業運転開始**			竣工式・祝賀会開催 「仕事はこれからだ」の名言 を残された

記号；　G:地質調査所, J:日本重化学工業㈱(旧東化工), m:松尾鉱山, M:松尾村　(佐藤、2012)

運転開始後の出力変動

M-1井の成功を受けて、生産井M-2井からM-4井を掘削して、発電所の運転開始（10月8日）を迎えたが．．

M-7井成功までは、トラブル続きであった。主な原因は、
①M-3井からの岩粉噴出により、タービン羽折損等
②杭井の仕上げ不十分（孔明管設置不十分）やケーシング破損による蒸気停止
③M-4井の不成功、M-1井とM-5井の干渉等による蒸気不足



（佐藤、2012）

地熱発電の日（10月8日）

日本地熱協会、石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）および電気事業連合会が共同で、松川地熱発電所が運転を開始した10月8日を「地熱発電の日」として日本記念日協会に申請し、登録された。写真は、記念日登録証の贈呈セレモニーの様子（2016年9月16日）

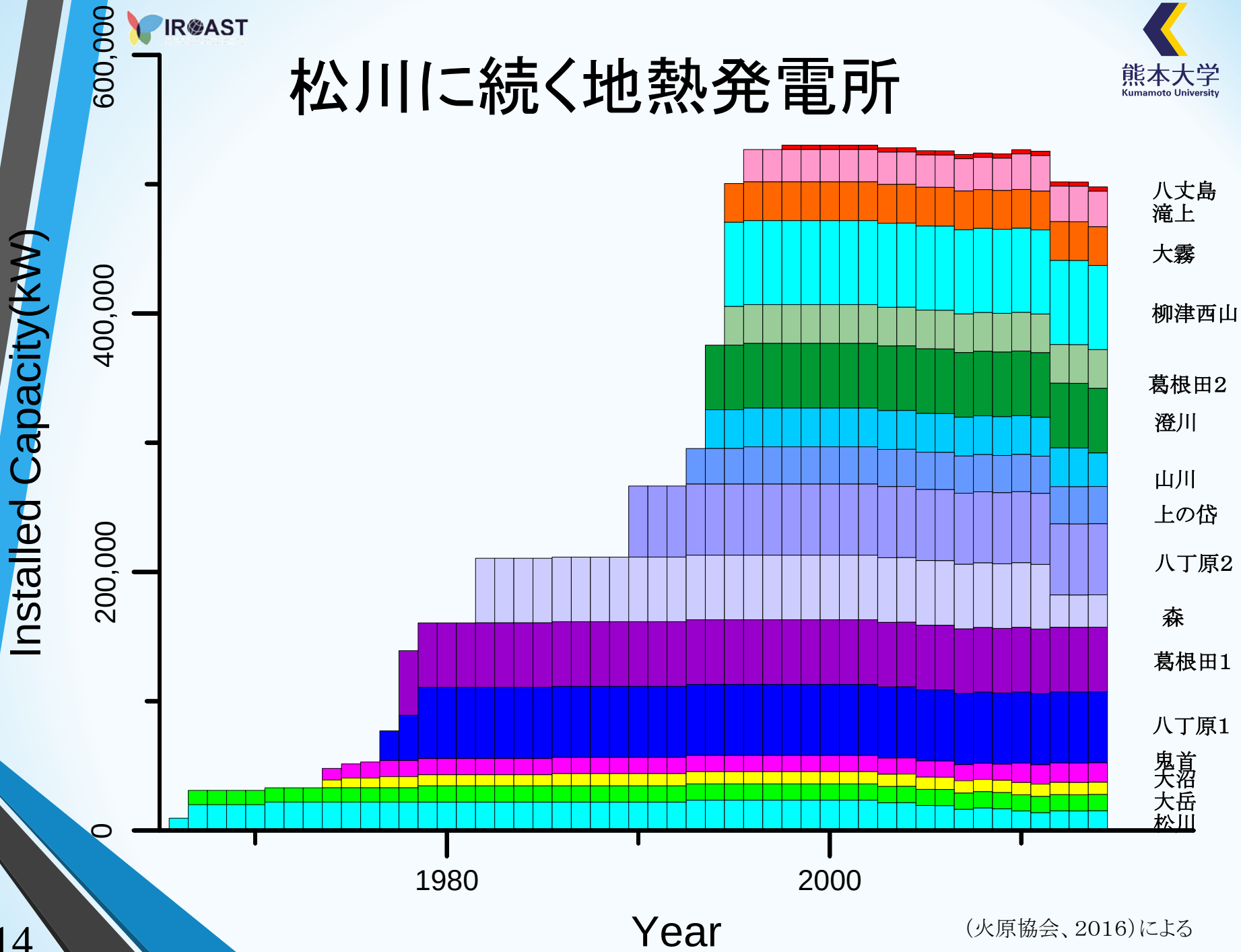
機械遺産に認定

認定理由：本発電所は、地熱活用の先駆として技術開発をリードし、その成果は他の地熱発電所でも広く用いられている。（中略）50年を経た現在も、蒸気井を順次掘削しながら安定した運転を継続している。また、当時設計・製作された主な構築物・設備も、タービン以外はほぼ当時の容姿を残している。1993年に更新された旧タービンも敷地内の地熱PR館に保存・展示されている。

松川地熱発電所は、わが国の再生可能エネルギー活用の先駆けとして、様々な地熱特有の技術課題を解決してきたことの証となる設備群である。（日本機械学会HPより）

東北自然エネルギー（株）提供

松川に続く地熱発電所



（火原協会、2016）による

地熱資源開発のモチベーション

原油価格の変動

我が国の太陽光発電技術の歴史

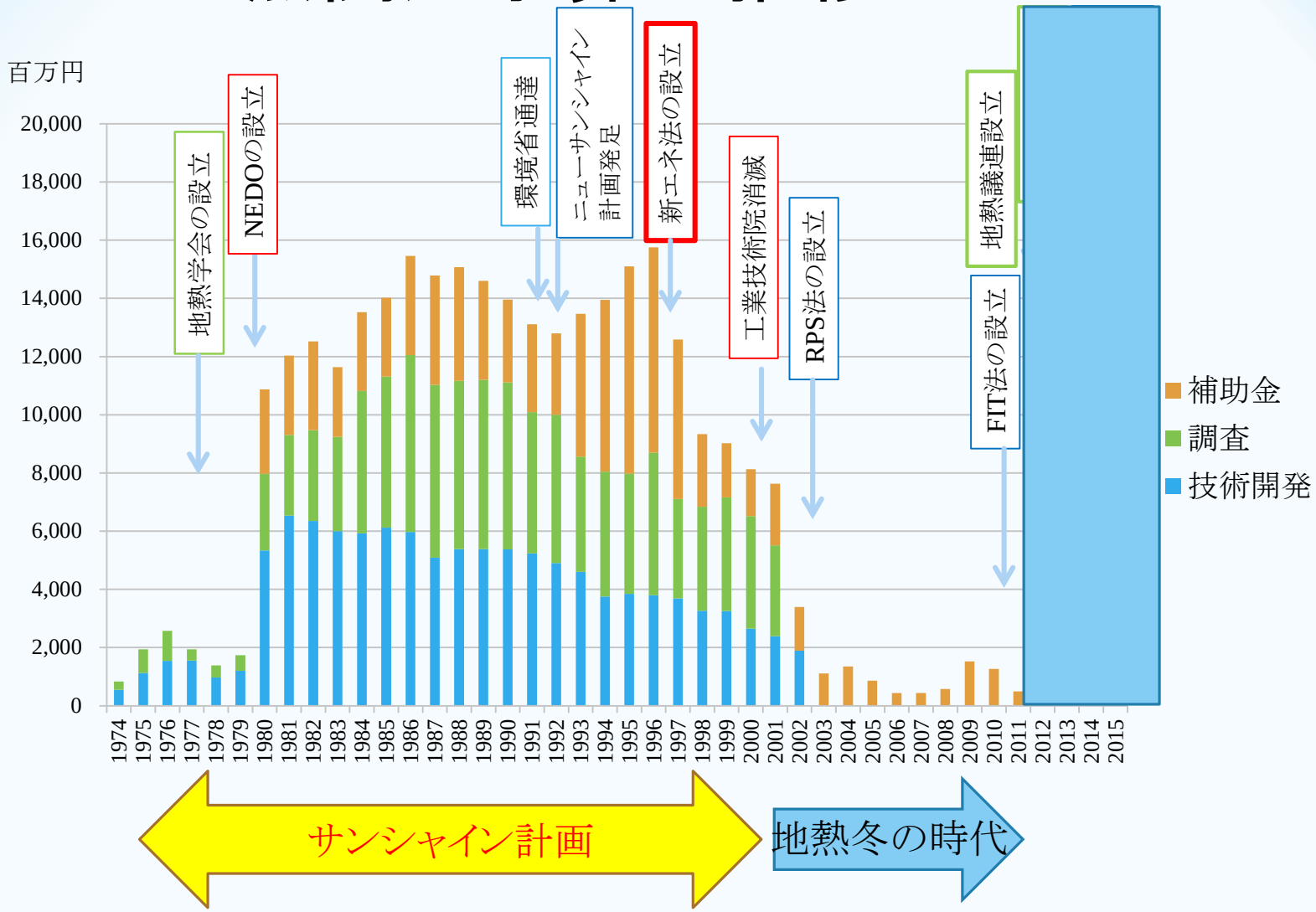
1973年：第一次石油ショック
1974年：サンシャイン計画発足
1980年：NEDO（新エネルギー総合開発機構）発足

（産総研太陽光発電研究センター、2007）

地熱発電と原油価格

(USD/Barrel)
ニューヨークWTI原油価格（米ドル／バレル）
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
600,000
400,000
200,000
0
1971
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
2015
2020
地熱発電認可出力
サンシャイン計画

地熱関連予算の推移



「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」により
新エネの範疇から外れる ➡ 補助金などが受けられなくなる

目次

1. はじめに
2. 地熱発電の50年の歩み
3. 地熱資源とは
4. 地熱発電の現状
5. これからの地熱発電
6. おわりに

地熱資源とは

地熱資源は、どのようにして生成されるのか？

なぜ再生可能なのか？

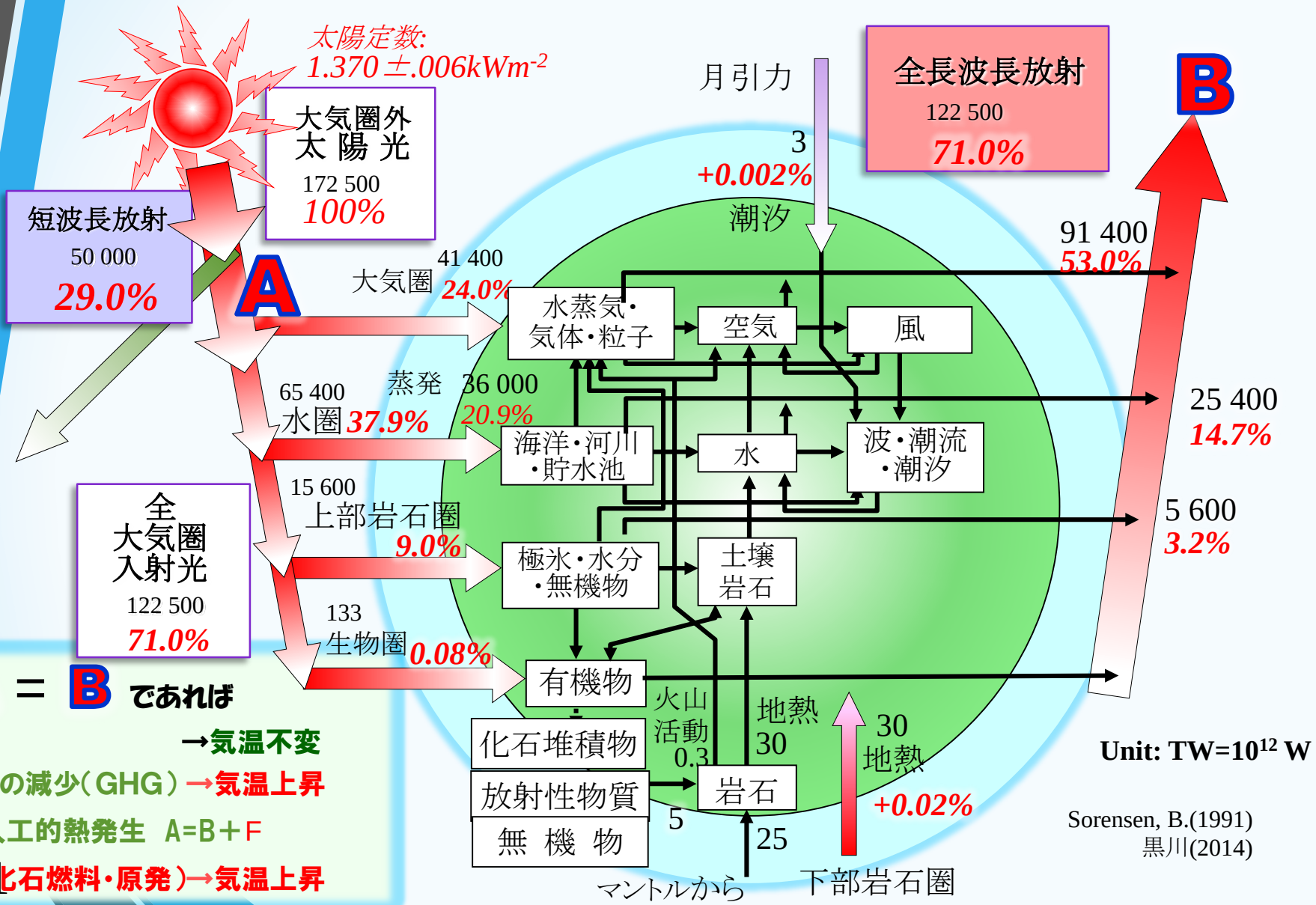
エネルギーはどのように地熱エネルギーに変換されるのか？

太陽エネルギーとの関係は？

地熱エネルギーはどこのあるのか？

どのようにして見つけるのか？

太陽と再生エネルギー資源



A ＝ B であれば

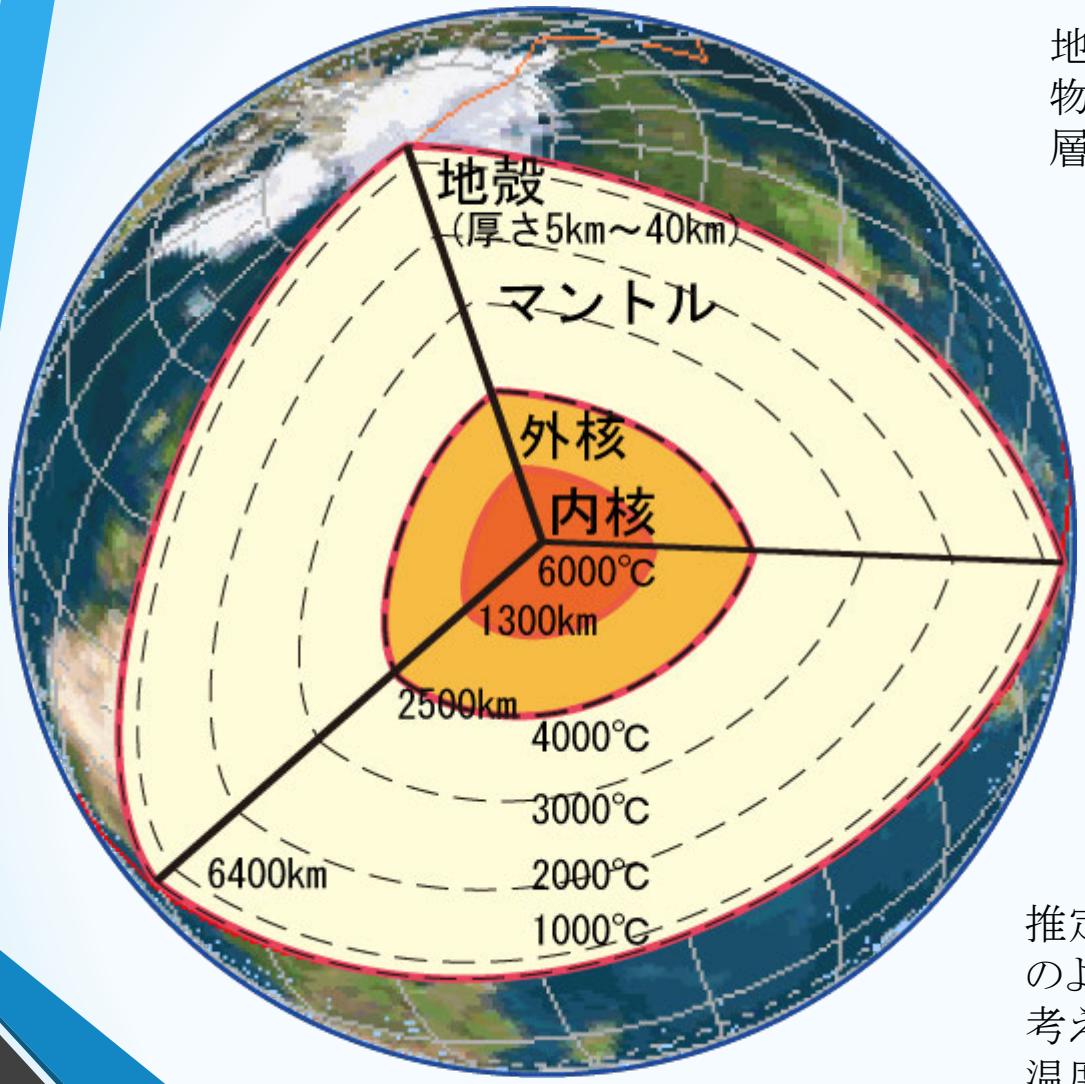
→気温不変

●Bの減少（GHG）→気温上昇

●人工的熱発生　A=B＋F

（F:化石燃料・原発）→気温上昇

地球の構造と熱



地球の半径は約6400kmで、内部は、物質や状態の差によりいくつかの層に分かれています。

最も外側は、地殻(ちかく)と呼ばれていて、厚さは、5～40kmしかありません。その下は、マントル、と核(かく)にわかれます。核は、また、状態の差により内核と外核に分かれており、内核の半径は、1300km、外核の半径は2500kmと考えられています。

推定されている温度分布を入れるとこのようになり、地球の中心は、6000度と考えられています。これは太陽の表面温度と同じです。

地熱の3要素

「ふた」が重要

変質した難透水性の
地層がふたの役割をし、
キャップロック（帽岩）と
呼ばれています

探査・調査の対象

（火山の周りの）地熱の3要素

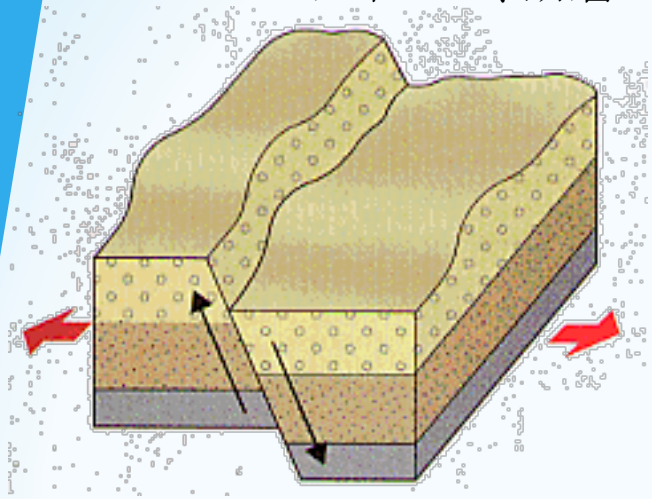
熱＝マグマ溜り

器＝地熱貯留層

水＝地熱流体

地熱貯留層とは

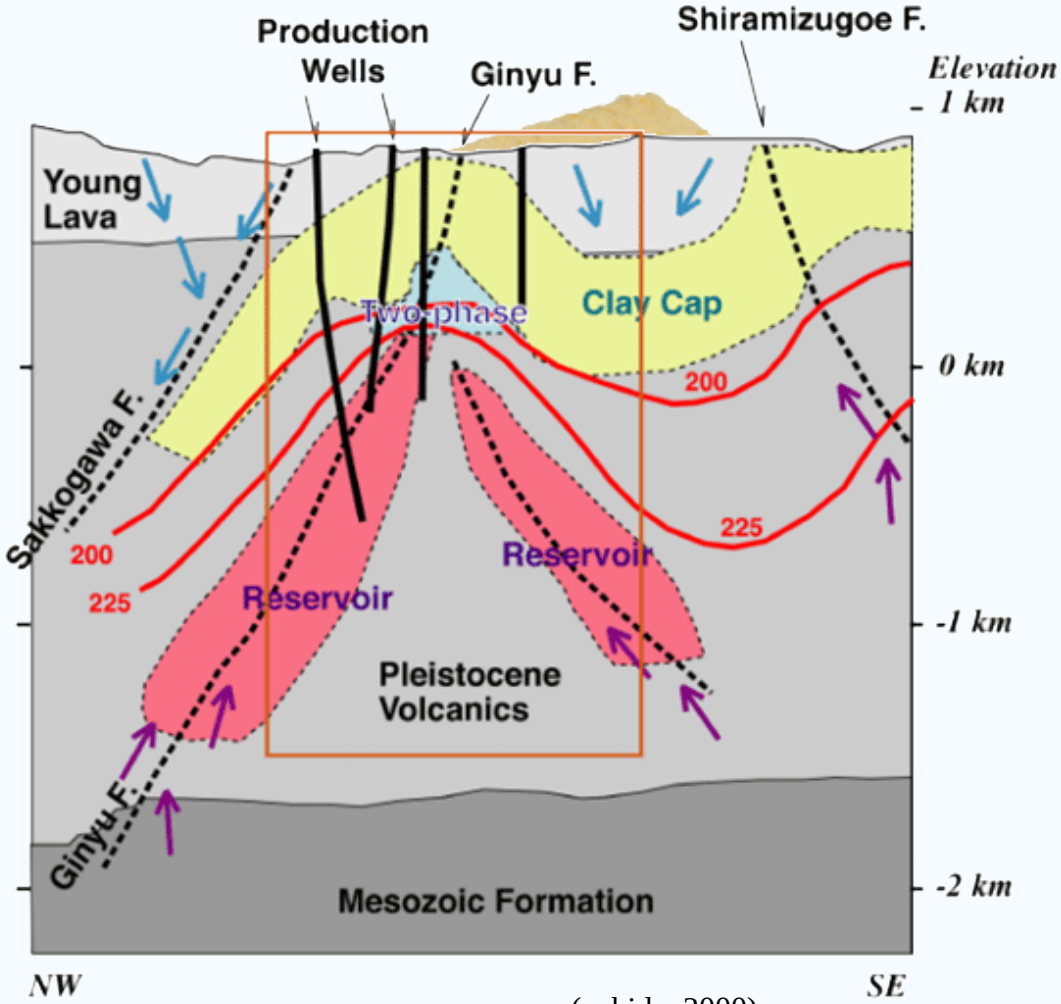
日本では、断層に付随した地熱資源＝断裂型地熱貯留層



断裂タイプ

探査の対象:

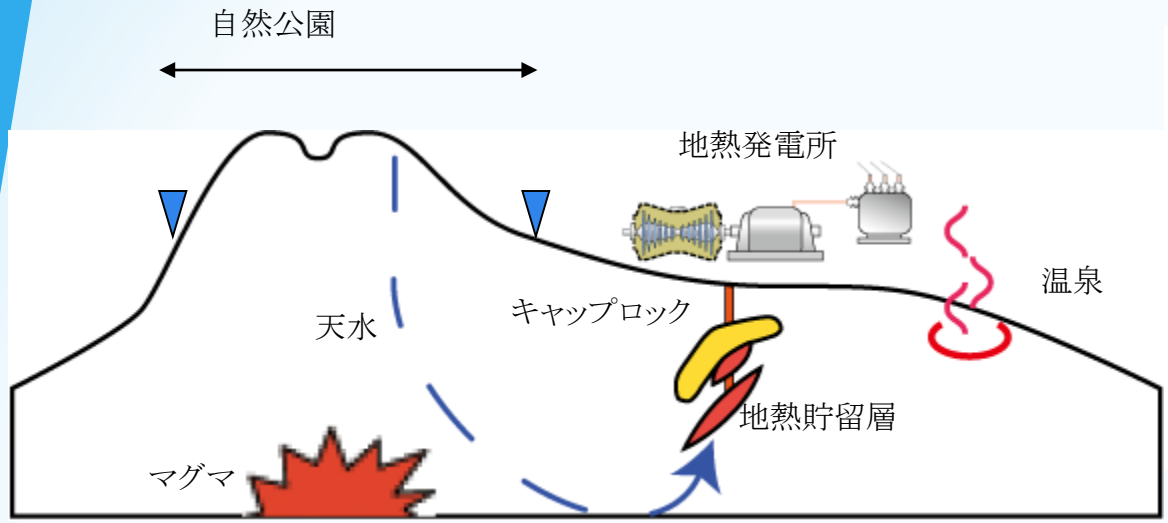
- 断裂タイプの貯留層:
  重力、地震波
- キャップロック(変質鉱物)
  比抵抗



(uchida, 2000)

大霧地熱発電所と銀湯断層

地熱の再生可能性



地熱資源生成のメカニズム

① 雨水などが天水として地下に浸透
② マグマの熱によって暖められて熱水は断層帯を通って上昇
③ 上昇に伴い周囲の岩石を変質させ難透水性のキャップロックを形成
④ キャップロックにより熱水の上昇を遮られて貯留

発電により取り出した貯留層内の熱水は、熱せられた天水により貯留層に充填されると考えられる。

戻ってくる天水の量　＞　取り出す熱水の量　が重要

地熱の探査

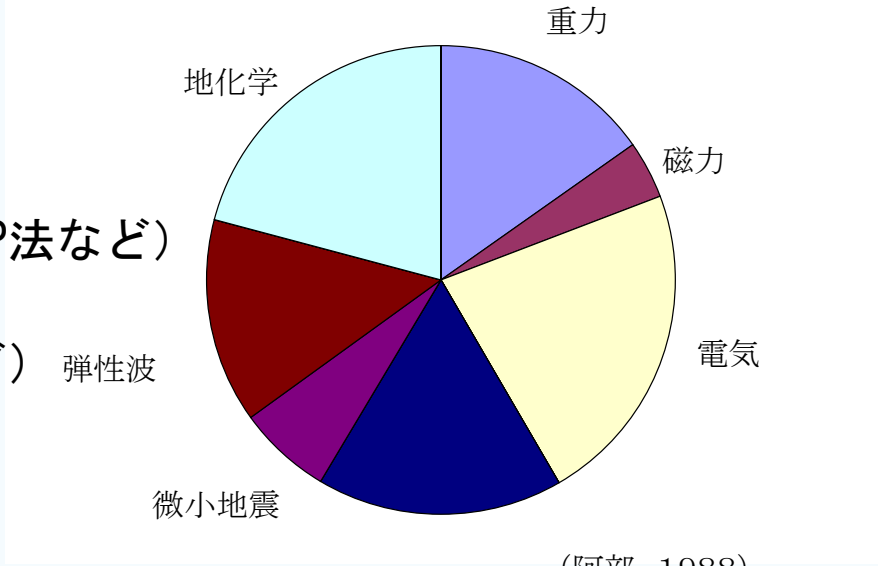
	手法	構造	流体	熱	広域探査	詳細探査	備考
リモートセンシング	衛星画像	○			○		
	SAR	○			○		
重力	空中重力	○			○		カルデラ、断層
	地表重力	○			○		
電磁気測定	空中電磁測定			○	○		
	MT法測定	○	○		○		
	CSMT測定	○	○		○	○	人工発信源
	AMT測定	○	○			○	
	電気探査	○	○			○	人工発信源
	自然電位調査		○		○	○	
弾性波測定	弾性波屈折法	○			○		
	弾性波反射法	○				○	
	微小地震法	○	○			○	

SAR: synthetic aperture radar

探査手法別分類

- 重力探査
- 磁力探査
- 電気探査（比抵抗法、IP/SIP法など）
- 電磁探査（MT法、CSMT法など）
- 微小地震探査
- 弾性波探査(屈折法、反射法など)
- 地化学探査（水銀、RNなど）

地熱探査で使われた手法
（検層は除く）



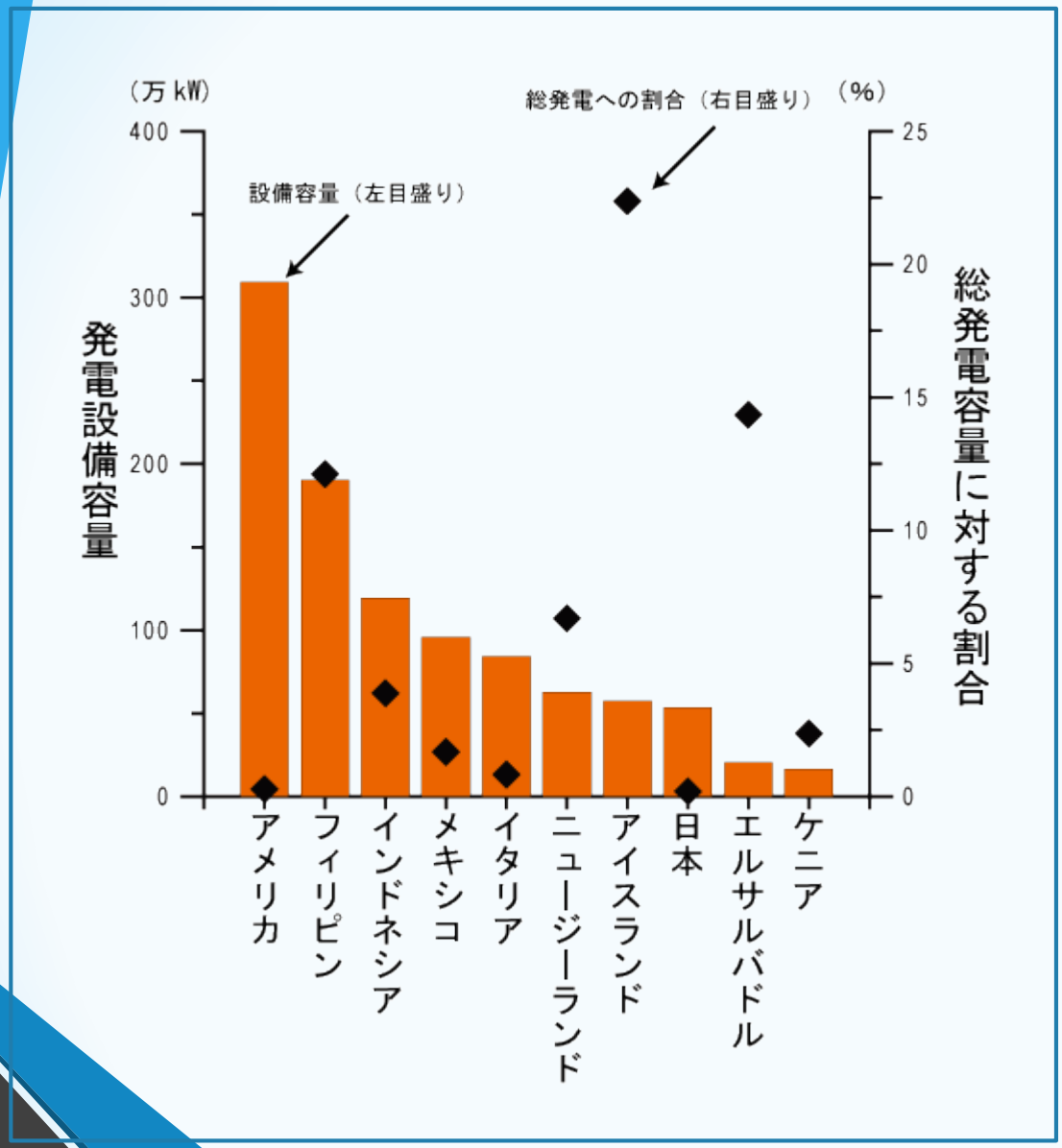
（阿部、1988）

物理探査ハンドブック p.1069

目次

1. はじめに
2. 地熱発電の50年の歩み
3. 地熱資源とは
4. 地熱発電の現状
5. これからの地熱発電
6. おわりに

資源としてはまだ未開発



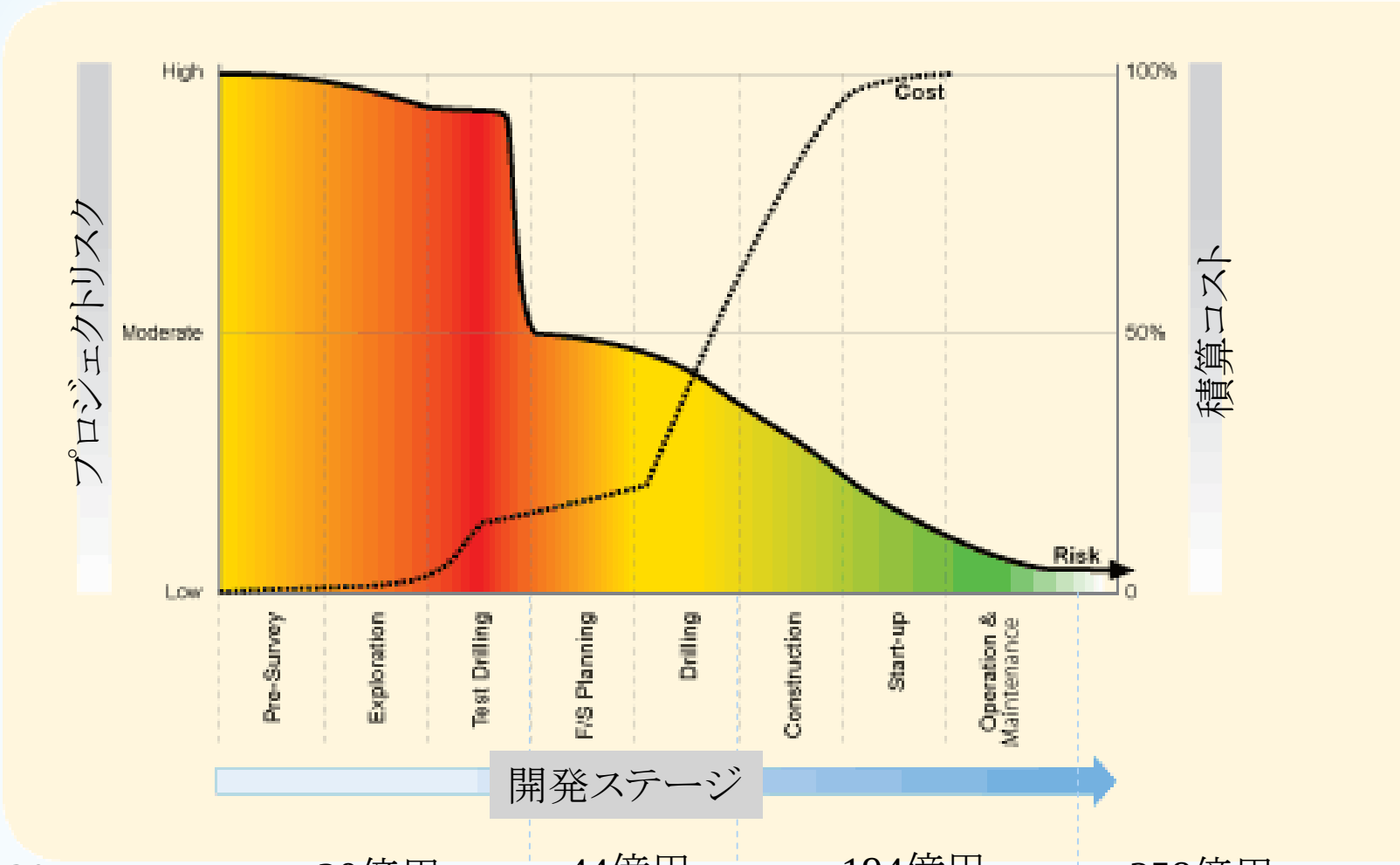
- ✓ CO_2排出の少ない環境に優しい電源
- ✓ 世界第三位の純国産の資源
- ✓ ベース電源として優れた再生可能エネルギー

地熱発電の加速的普及

しかし、いくつかの課題が・・・・

開発リスクと積算コスト

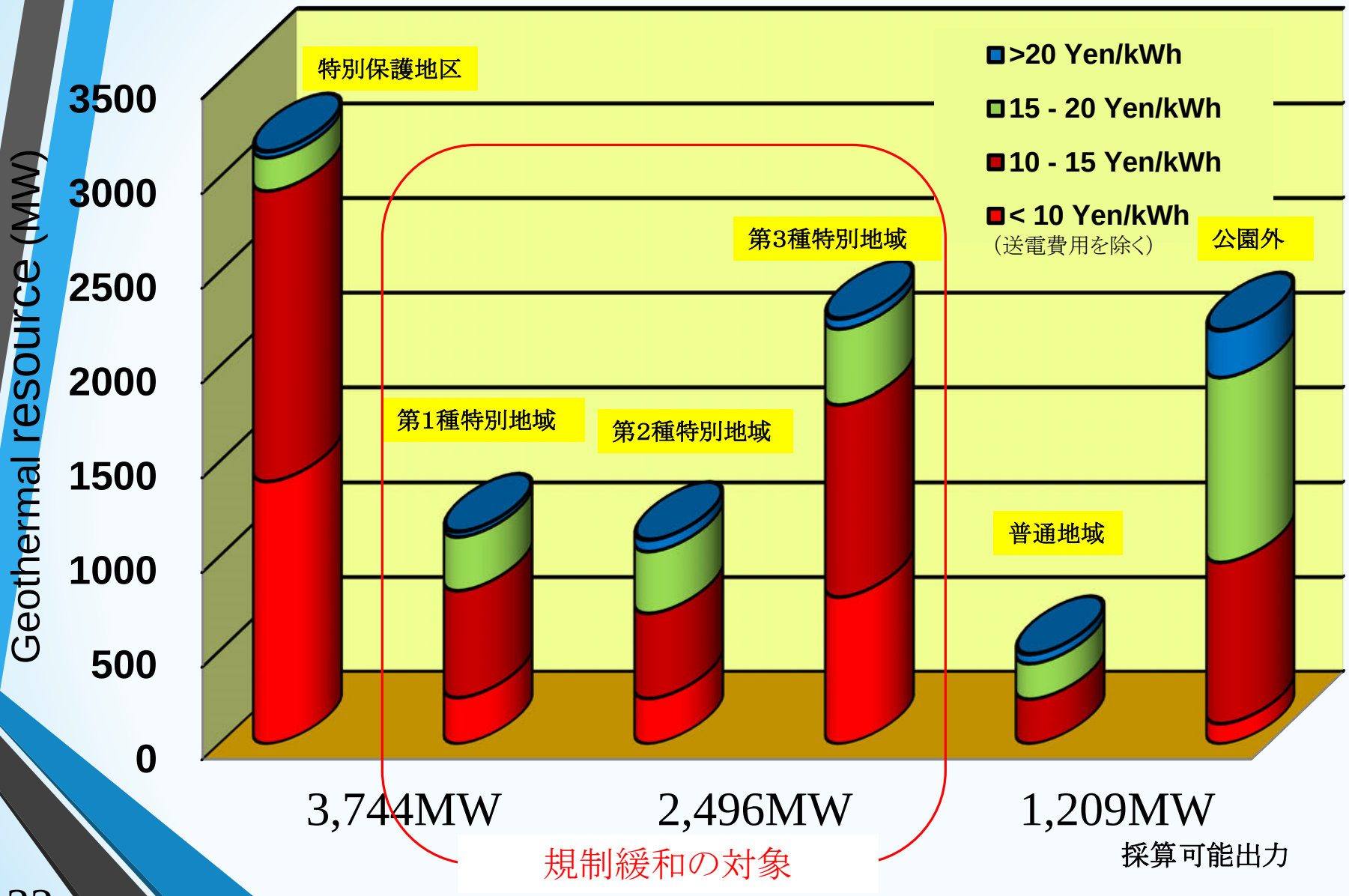
調査井を掘削するまでの調査・探査段階でのリスクが非常に高いという特徴がある。



30MW モデルケース	20億円 (8%)	44億円 (17%)	194億円 (75%)	258億円 (100%)

Work Bank(2012) Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation　および日本地熱開発企業協議会(2012)　地熱発電の買い取り価格についての要望、調達価格等算定委員会　資料7

公園内の資源量


Geothermal resource (MW)
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
>20 Yen/kWh
15 - 20 Yen/kWh
10 - 15 Yen/kWh
< 10 Yen/kWh
（送電費用を除く）
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
普通地域
公園外
3,744MW
2,496MW
1,209MW
採算可能出力
規制緩和の対象

地熱発電事業化に向けた課題と促進策

JOGMECの活動

課　題

1. 地下資源

①見えない地下資源～資源量の推定が課題
②開発に時間を要する～初期調査・探査・開発まで時間を要する（モデルケースで11年）

2. 火山に付随

①自然公園内立地～自然との共生
②温泉近傍立地～地域との共生

促　進　策

① 固定価格買取制度 ※1
② 初期調査支援（助成金）J
③ 探査支援（出資）J
④ 開発建設支援（債務保証）J
⑤ 広域調査、技術開発 J
⑥ 環境アセスメント調査早期実施事業
⑦ 自然公園法規制緩和 ※2
⑧ 理解促進活動の推進（地熱開発理解促進関連事業支援補助金）

※ J：JOGMEC実施支援活動

※1固定買取制度による地熱発電の買取価格

地熱	15,000kW以上	15,000kW未満
買取価格(税抜)	26円	40円
調達期間	15年間	15年間

※2:国立・国定公園内における規制の見直し

＜平成24年3月措置＞

第2種・第3種特別地域内において、傾斜掘削よりも掘削コストが低いために事業化可能性が大幅に高まる垂直掘削や、発電所設置の許可方針について環境省が通知（平成24年3月）

⇒地域における合意形成がなされているなど、優良事例の場合に許可

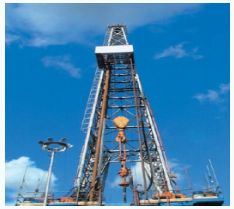
地熱発電のための支援制度

初期調査

〇地質調査や物理探査（重力探査・電磁探査等）、坑井掘削調査等を実施し、地質構造の把握や地熱貯留層を確認。

探査（地熱貯留層の評価）

〇坑井掘削と噴気試験を実施し、地下の地熱貯留層の範囲や規模を把握。



環境影響評価

〇発電所設置のための環境影響評価を実施。

建設

〇発電用蒸気を採取・利用するための生産井・還元井・パイプライン・発電設備等を設置。

操業

〇地熱発電所の運転。

八丁原発電所（大分県）

開発リスク

JOGMECの業務

助成事業

地質構造の把握や貯留層を確認するための調査に対する助成（助成金交付）。

（100億円）

出資

貯留層評価・経済性評価を行うための探査事業に対し、上限50%（ただしJOGMECが単独で最大出資者にならない範囲）で出資を実施。

（8億円）

債務保証

建設に必要な資金を民間金融機関から融資を受ける場合、当該債務の80%を上限に保証。

（70億円）

28年度予算

助成事業（初期地質調査）の概要

事業の内容

●事業の目的
安定的なエネルギー資源を獲得し、純国産のエネルギー源である地熱資源の開発を促進することを目的として、地熱資源の有望な地域において行う、地表調査、地化学調査、物理探査、坑井掘削調査（噴気試験を行うものを除く）など、リスクの高い初期調査について支援。

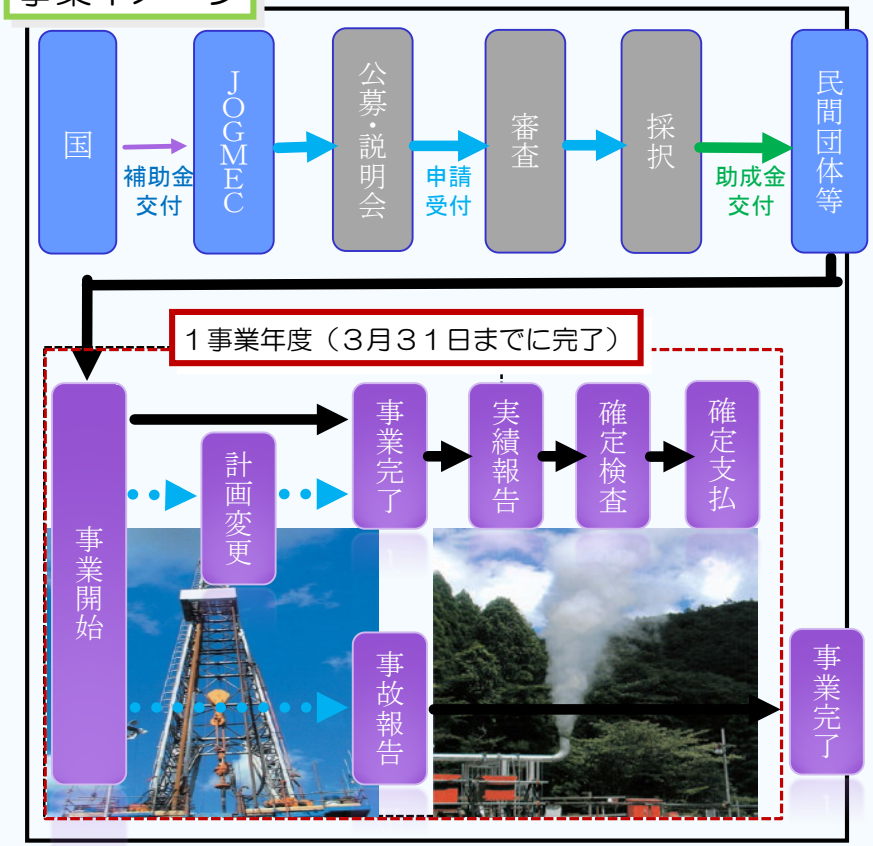
対象調査・助成率

対象調査	助成率	
	一般の地熱資源開発法人	地元の地熱関係法人等※
地表調査 （文献調査、地質調査、物理探査、地化学探査等に要する経費）	3/4以内	定額
坑井掘削調査 （坑井掘削費※、坑井調査費、附帯工事費に要する経費） ※噴気試験を行うものを除く	1/2以内	定額
環境事前調査、モニタリング調査等 （環境事前調査、既存温泉への影響を把握するためのモニタリング調査（坑井掘削を含む）等）	定額	定額

※地元の地熱関係法人
地元に所在する法人で、温泉事業や地熱利用事業等を行う法人（地方自治体を含む）

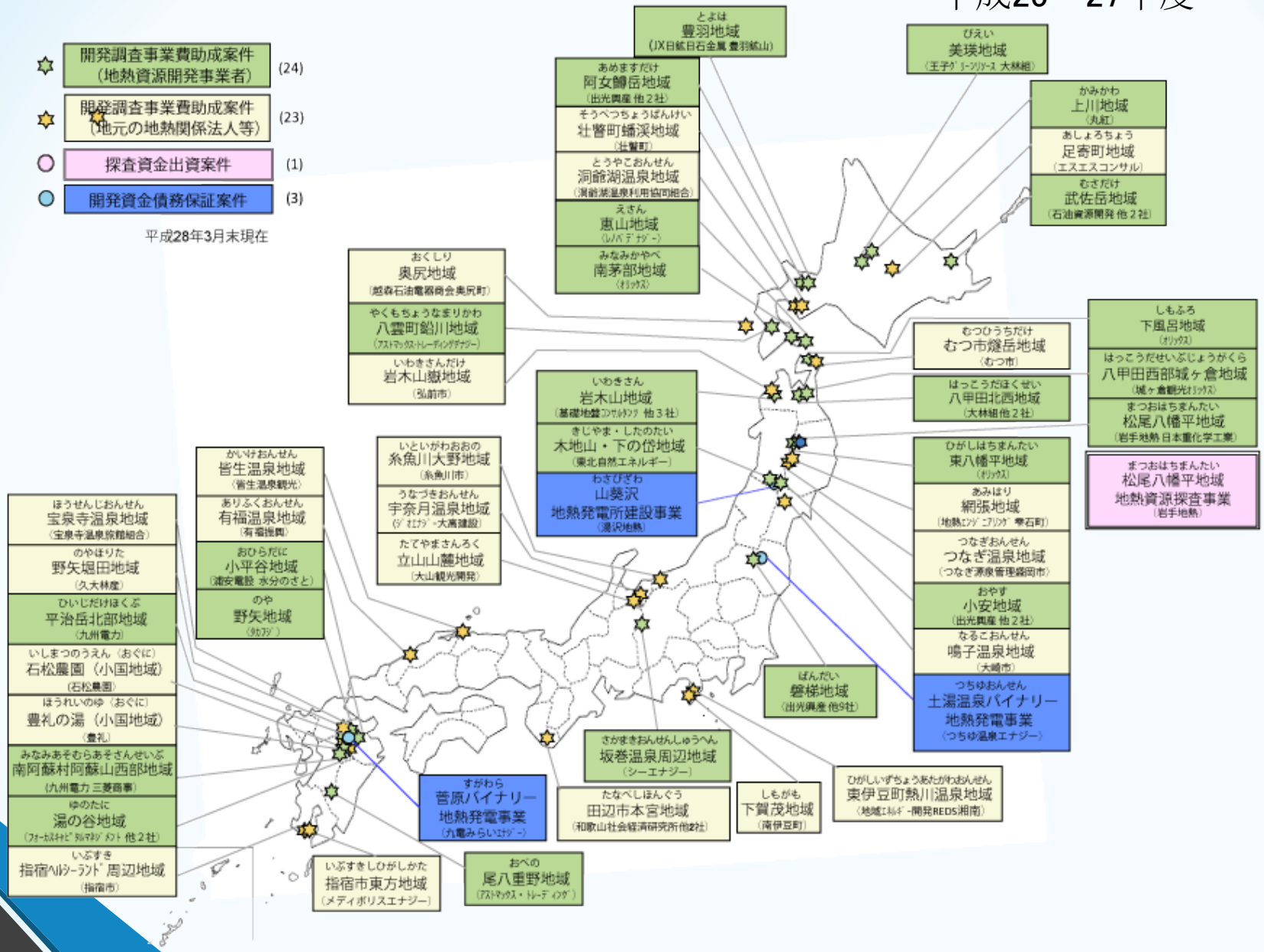
実施体制

事業イメージ



助成事業採択案件

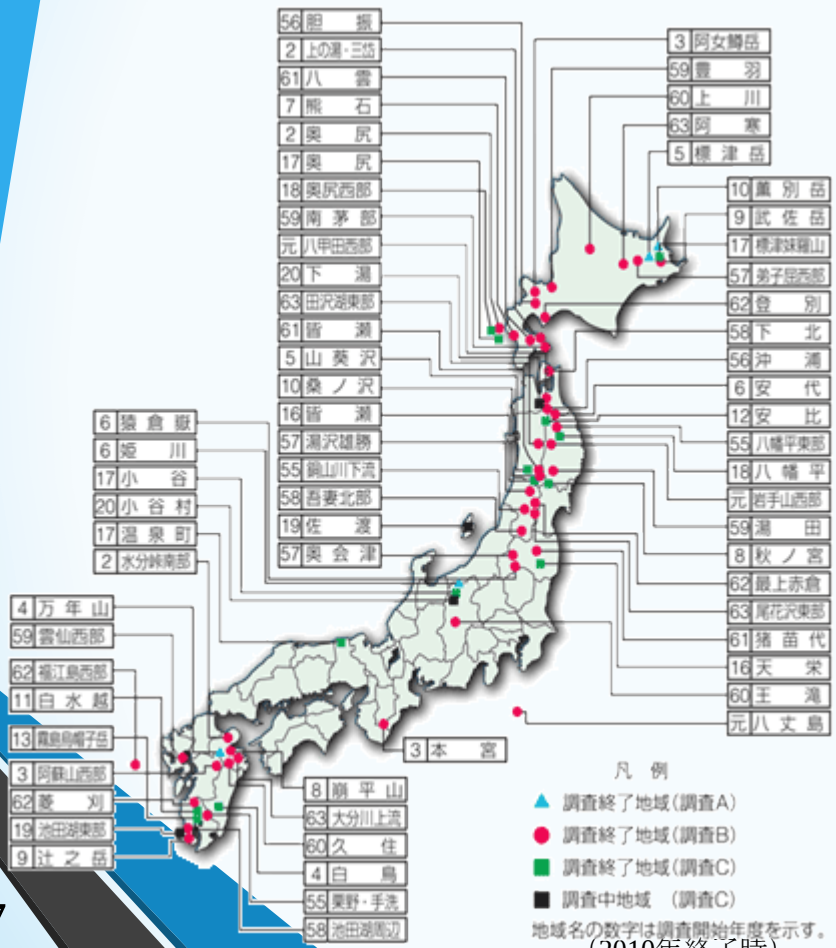
平成25～27年度



国による全国規模の地熱調査

地熱開発促進調査（NEDO）

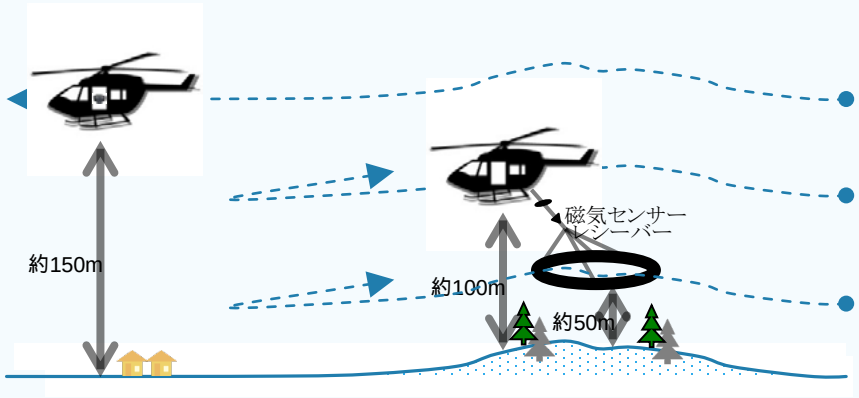
地熱開発促進調査は、全国の地熱資源賦存可能性のある地域の中から、探査リスクなどにより開発調査が進んでいない有望地域についてNEDOが先導的な調査を行うことにより、民間地熱開発事業者等による地熱発電の開発を促進することを目的



（2010年終了時）

地熱資源ポテンシャル調査（JOGMEC）

わが国には地熱資源の賦存が見込まれながら、調査の不十分な地域が数多く存在。これらを地域を対象に、広域の地質構造を把握し、新しい地熱有望地域の絞り込みやポテンシャル評価を行う。



飛行速度	：約70km/h（対地）（40kt; 74.1km/h）
飛行高度	：約100m（対地）
ループ高度	：約50m（対地）
測線間隔	：250mを基本
ループ直径	：約30m

【空中重力偏差法（AGG:Airborne Gravity Gradiometer）】

飛行速度	：約90km/h（対地）（50kt; 92.6km/h）
飛行高度	：約150m（対地）
測線間隔	：250mを基本

【空中電磁法（HeliTEM）／磁気法】

地熱資源ポテンシャル調査

・日本は豊富な地熱資源を有しているが、その多くは自然公園内に賦存しており、十分に調査が行われているとは言い難い。そこで<u>土地の改変を行わず</u>、広域の地質構造を把握し、新しい地熱有望地域の絞り込みやポテンシャル評価を行うため、平成25年度より空中物理探査(重力、電磁、磁気)を実施している。探査のうち重力探査、磁気探査については調査精度向上に資すると考えられる最新技術を採用している。

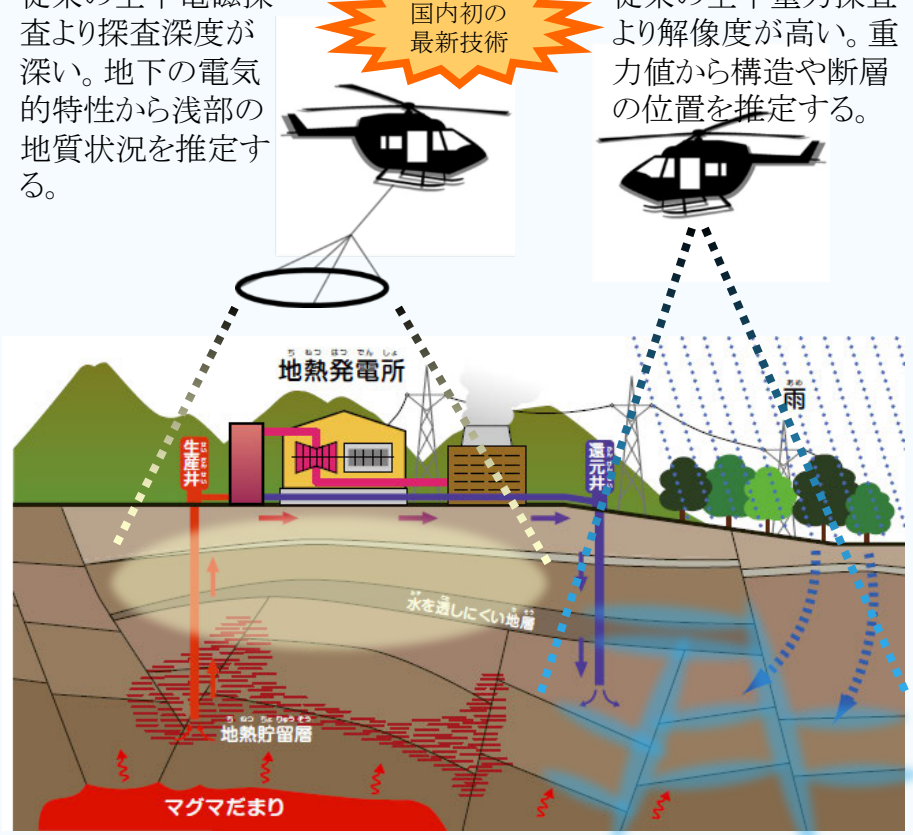
時間領域電磁探査 (HeliTEM)

従来の空中電磁探査より探査深度が深い。地下の電気的特性から浅部の地質状況を推定する。

国内初の最新技術

重力偏差法探査 (AGG)

従来の空中重力探査より解像度が高い。重力値から構造や断層の位置を推定する。



地熱ポテンシャル調査

・平成27年度は東北2地域(八幡平、湯沢・栗駒)、北海道3地域(大雪山(上川)、ニセコ、武佐岳)

・平成28年度は27年度調査の残り、及び新規地域(場所未定)を実施予定。

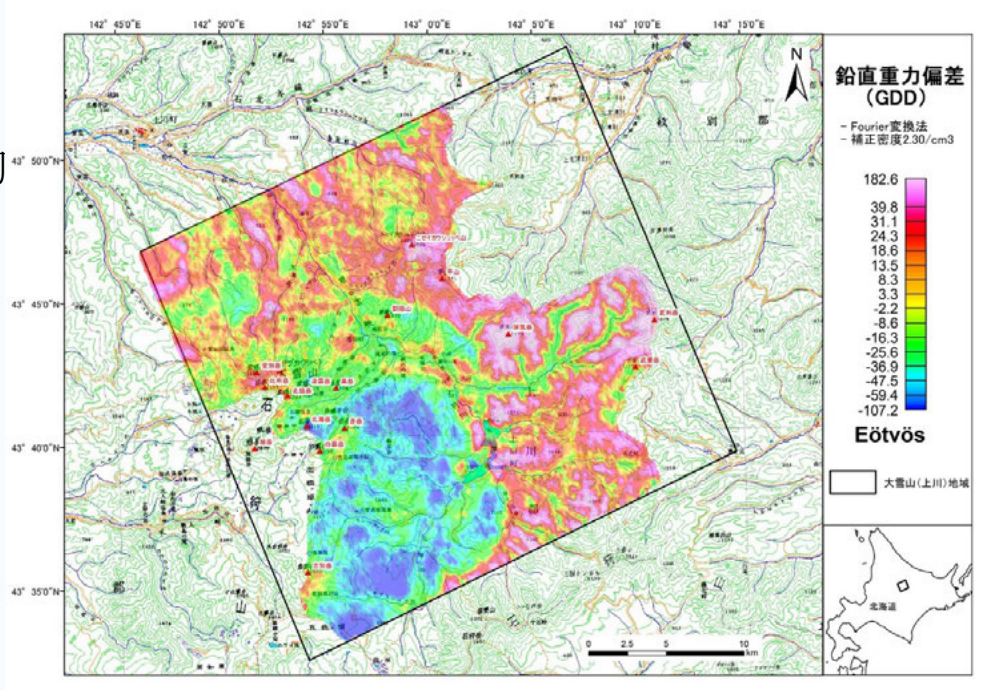
「全国地熱ポテンシャルマップ」
((独)産業技術総合研究所,2009)を加工

(くじゅう、霧島は26年度までに調査完了済)

平成27年度調査地域と調査法

	八幡平	湯沢・栗駒	大雪山(上川)	ニセコ	武佐岳
重力偏差法探査 (AGG)	※	○	○	○	○
時間領域電磁探査 (Helitem)	○	○	△	○	△

○:調査完了　△:一部終了　　※は平成26年度に完了済



大雪山(上川)地域解析図(重力偏差)

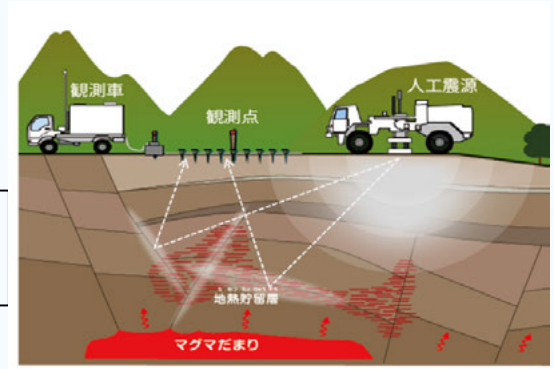
地熱貯留層探査技術

(平成25年度～)

【地熱開発における課題①】
蒸気・熱水が貯まっている地熱貯留層（割れ目）の空間的な位置が難しく、坑井掘削が失敗する例が散見される。

【目標】
地熱貯留層（割れ目）の空間的な位置を可視化する。

・石油探鉱分野で発展著しい弾性波探査の地熱探査への応用。
・他の探査データの総合解析手法の開発。



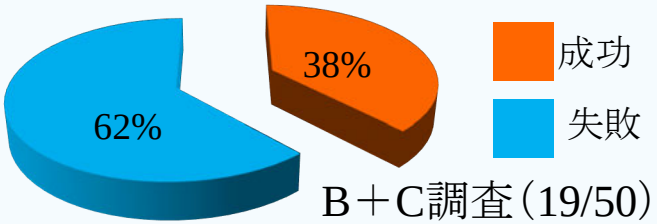
高精度な地熱貯留層構造の把握

- 平成25年度「地熱貯留層探査技術」における弾性波探査の現況調査
  ⇒ 地熱資源探査における弾性波探査の現況を把握し、技術開発で取り組むべき課題の整理を実施
- 平成26-27年 「地熱貯留層探査技術」 フェーズ1
  ⇒ 技術課題解決のための実証用データの取得を実施。（鹿児島県指宿市、山川発電所周辺）
- 平成28-29年 「地熱貯留層探査技術」 フェーズ2
  ⇒ 他の物理探査データを含めた統合的な貯留層構造の解析を実施し、弾性波探査を主軸とする地熱貯留層探査手法を確立する。

掘削成功率の向上　　地下のリスク低減

地質モデル（地熱システム）の高精度化

NEDO地熱開発促進調査での掘削成功率



B＋C調査（19/50）

平成4~24年度に行われたNEDO地熱開発促進調査の「調査A」、「調査B」、「調査C」において、最終坑径が中坑径(5-5/8in 142mm)以上で、コアリングを目的とした掘削及び還元井を除いた計50坑のうち、
・噴気を実施
・噴出熱水の地層内温度が200℃以上
であった掘削を「成功」とした。

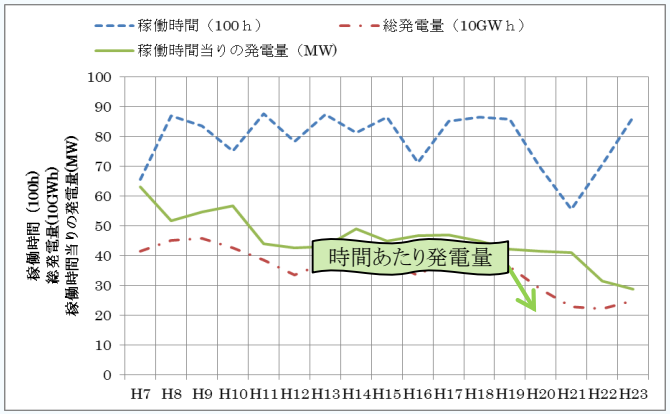
地熱貯留層評価・管理技術

(平成25年度～)

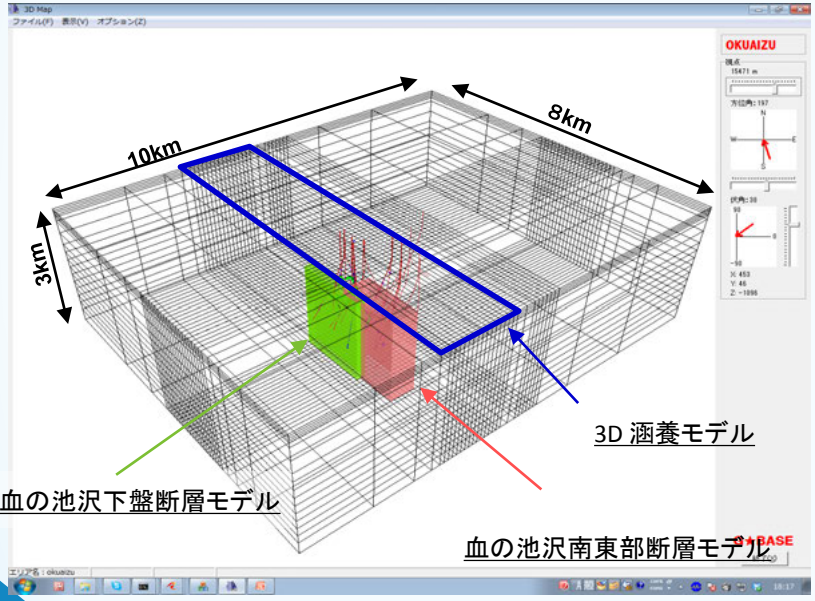
【地熱開発における課題②】
発電に必要な量の蒸気・熱水を安定的に採取できず、発電出力が変動しているケースが見られる。

【目標】
蒸気・熱水の採取量の最適化・安定化を実現する。

・地下における蒸気・熱水の流れの評価精度のさらなる向上
・地下の熱源部への水の補給をより適切に行う

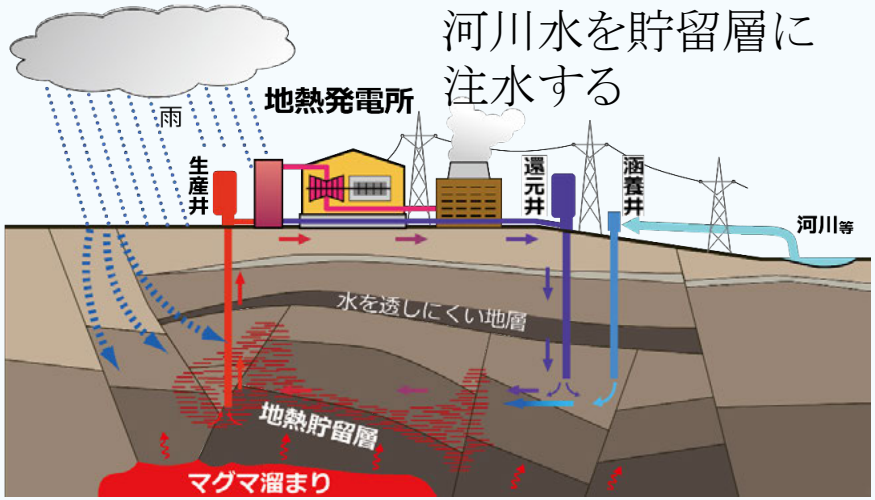


柳津西山地熱発電所の発電出力



シミュレーションのためのモデル

河川水を貯留層に注水する



☞平成27年度は実証フィールドである福島県の柳津西山地熱発電所にて涵養試験を開始。
☞平成28年度は引き続き涵養試験、モニタリング、数値シミュレーション等を実施。

地熱貯留層掘削技術

(平成27年度～)

【地熱開発における課題③】
坑井掘削は地熱開発調査における大宗を占め、時間とコストが課題の1つとなっている。

【目標】
坑井掘削期間を短縮し、コストを抑制する。

数値目標　※一軸圧縮強度が100MPa程度の地熱井を想定

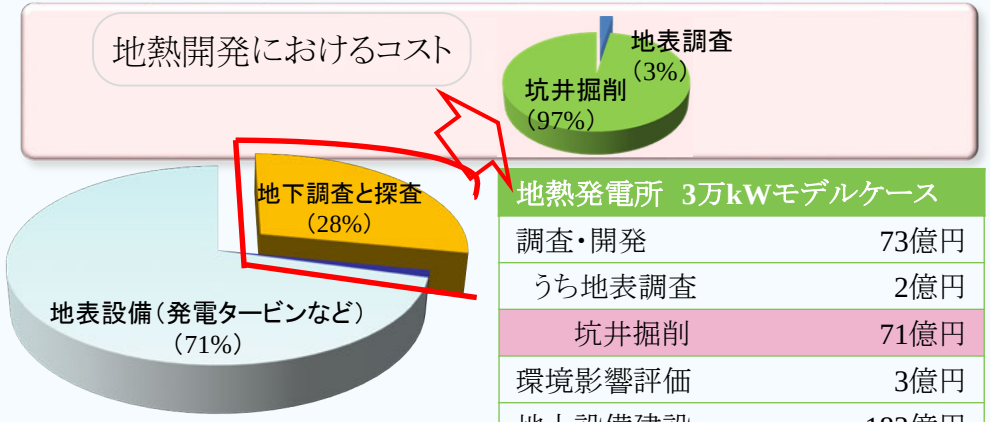
掘進能率：通常の2倍程度(8-1/2in孔掘削の場合　60m/日⇒120m/日)
耐久性(ビットライフ)：通常の5倍増
(8-1/2in孔掘削の場合　150m/個⇒750m/個)
掘削後のビット外形変化(ゲージ落ち)：1/16in（1.6mm）以内

・石油開発で実用化されているPDCビットの地熱フィールドへの適応化。
・掘削能率・耐久性とも従来のローラーコーンビットよりも優れたPDCビットの開発。

☞平成27年度はPDCカッターの開発に主眼を置いた研究を実施。28年度はPDCビットの開発とフィールドテストを実施予定。

軟～中硬岩用6-1/4" PDCドリルビット
写真提供：株式会社クリステンセン・マイカイ

PDCカッター



（地開協、第3回調査価格等算定委員会資料より）

地熱発電所　3万kWモデルケース	
調査・開発	73億円
うち地表調査	2億円
坑井掘削	71億円
環境影響評価	3億円
地上設備建設	183億円
総額	259億円

見えない地下資源へのリスク

温泉発電（温泉熱水を利用した地熱発電）

我が国の温泉の分布

高温の温泉（赤印）が
　北海道中部から東部
　東北脊梁
　中部（伊豆・北アルプス）
　九州
に分布している

産総研「全国地熱ポテンシャルマップ」(2009)より

リスクの回避

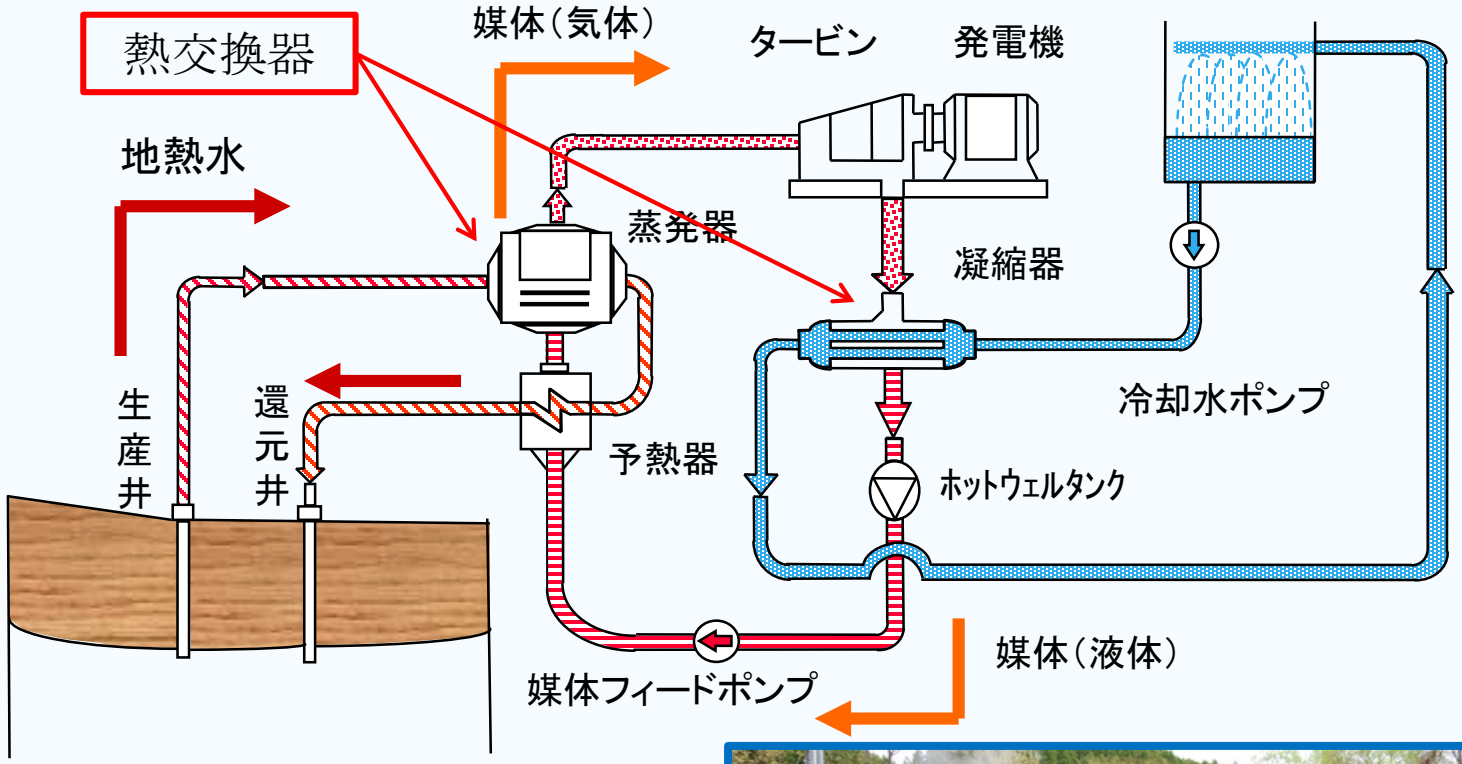
すでに、発見されている資源を利用した開発

所在地	発電所名	認定出力（ｋW）	事業主	運転開始
大分県別府市	瀬戸内自然エナジー発電所	48	(株)瀬戸内自然エナジー	2013.01
大分県別府市	五湯苑地熱発電所	92	西日本地熱発電(株)	2014.01
大分県別府市	亀の井発電所	11	地熱ワールド工業（株）	2014.11
大分県別府市	コスモテック別府バイナリー発電所	500	（株）コスモテック	2014.11
熊本県小国町	小国まつや発電所	50	合同会社小国まつや発電所	2014.04
兵庫県新温泉町	湯村温泉観光交流センター薬師湯　温泉バイナリー発電所	40	新温泉町	2014.04
長野県高山村	七味温泉ホテル渓山亭バイナリー発電所	20	七味温泉ホテル（株）	2014.04

FIT認定発電所（2014年12月現在）

バイナリー・サイクル発電方式

バイナリーサイクル発電（ランキンサイクル）



低沸点媒体として、代替フロン系や炭化水素系媒体を使用する場合（ランキンサイクル）のシステム。アンモニアと水の混合媒体を使用する場合（カリーナサイクル）では、気液分離器などが必要となる。

（株）ケイ・エル・アイ

熊本県小国まつや発電所

http://www.k-lease-i.com/ogni_matsya.html

小型バイナリー発電機

アルバック理工㈱
高効率可搬型
小型発電システム
（ECOR-3-Ft）
『媒体；非公開』

㈱神戸製鋼所
マイクロバイナリー
発電システム
（MB-70H）
『媒体；HFC245fa』

地熱技術開発㈱
カリーナサイクル発電システム
（KSC-34g-50）
『媒体；アンモニア水』

ホット・アース㈱
（Electra Therm社）
（Green Machine4020）
『媒体；R245fa』

第一実業㈱
（Access Energy社）
（Thermapower125XLT）
『媒体；R245fa』

売電可能電力

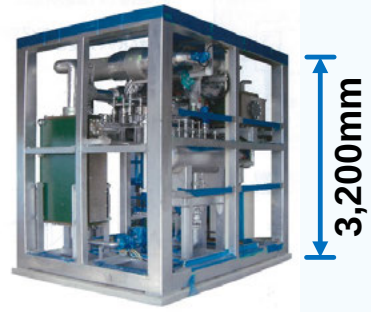
2kW　5kW　5.5kW　10kW　15kW　45kW　50kW　47kW　50kW　76kW　85kW　100kW　100kW 超

アネスト岩田㈱
バイナリー発電装置
『媒体；HFC245fa』

㈱IHI
小型バイナリー発電装置
（HR20W）
『媒体；HFC245fa』

ホット・アース㈱
（Electra Therm社）
（Green Machine4000）
『媒体；R245fa』

㈱ゼネシス
小型排熱温度差発電
（Mini-DTEC）『媒体；R245fa』



地熱技術開発製以外は、低沸点媒体として代替フロン計を使用。発電効率を75%と仮定。

導入実例

小国まつや発電所外観

別府五湯苑発電機

兵庫県新温泉町薬師湯（自家発電）

コスモテック別府バイナリー発電所

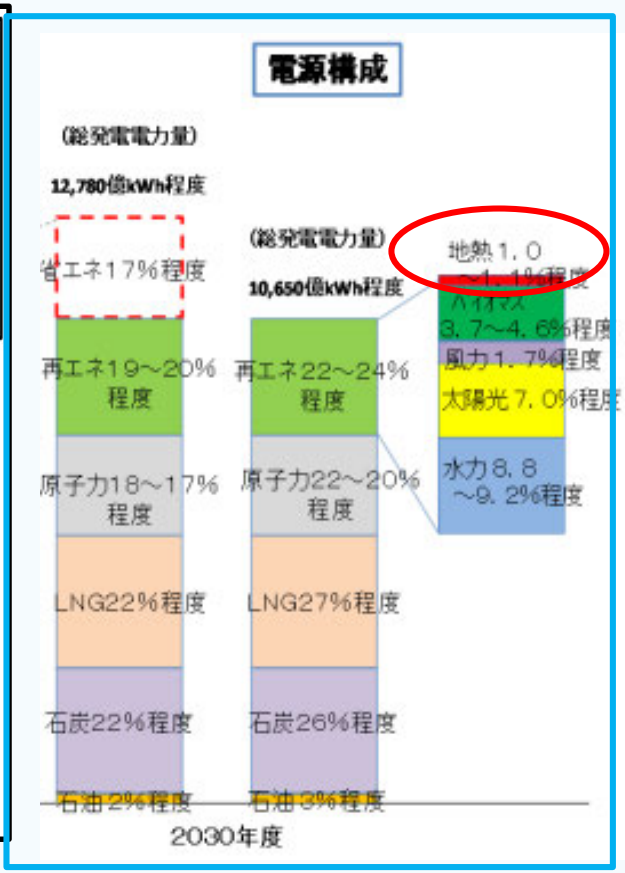
政府の自給見通し

地熱発電の見通し

- エネルギー基本計画（平成２６年４月）では、地熱発電を発電コストが低廉で、安定的に発電することができ、昼夜を問わず継続的に稼働できる「ベースロード電源」として、**位置付け**。
- 長期エネルギー需給見通し（平成２７年７月）では、一次エネルギーに占める地熱発電の割合を2030年度までに現状の約0.3％から1.0～1.1％（＋１００万kW）へ拡大することを目標。

- 既存の設備容量は約52万kW。大規模開発について、現行の環境規制の下での開発を見込み、中・小規模開発について、現在把握されている案件の開発を見込むと、2030年度で約90万kWとなる。
- 上記に加え、中・小規模開発について、今後も開発が順調に進行すると想定した場合の導入量は、2030年度で約108万kWとなる。
- さらに、大規模開発について、環境規制の緩和が実施されたと想定した場合の導入量は、2030年度で約140万kWとなる（2020年度は約64万kW）。
- 更なる導入拡大のための取組として、関係省庁、自治体及び開発事業者等が緊密に連携し、国を挙げて大規模開発を支援していくことで、地熱発電の最大導入を目指す。

	大規模開発について、現行の環境規制の下での開発を見込み、中・小規模開発について、現在把握されている案件の開発を見込む場合	大規模開発について、現行の環境規制の下での開発を見込み、中・小規模開発について、今後も開発が順調に進行すると想定した場合	大規模開発について、環境規制の緩和を想定した開発を見込み、中・小規模開発について、今後も開発が順調に進行すると想定した場合
大規模開発	約32万kW	約32万kW	約61万kW
中・小規模開発	約6万kW	約24万kW	約24万kW
既存発電所	約52万kW	約52万kW	約52万kW
合計	**約90万kW（63億kWh）**	**約108万kW（76億kWh）**	**約140万kW（98億kWh）**



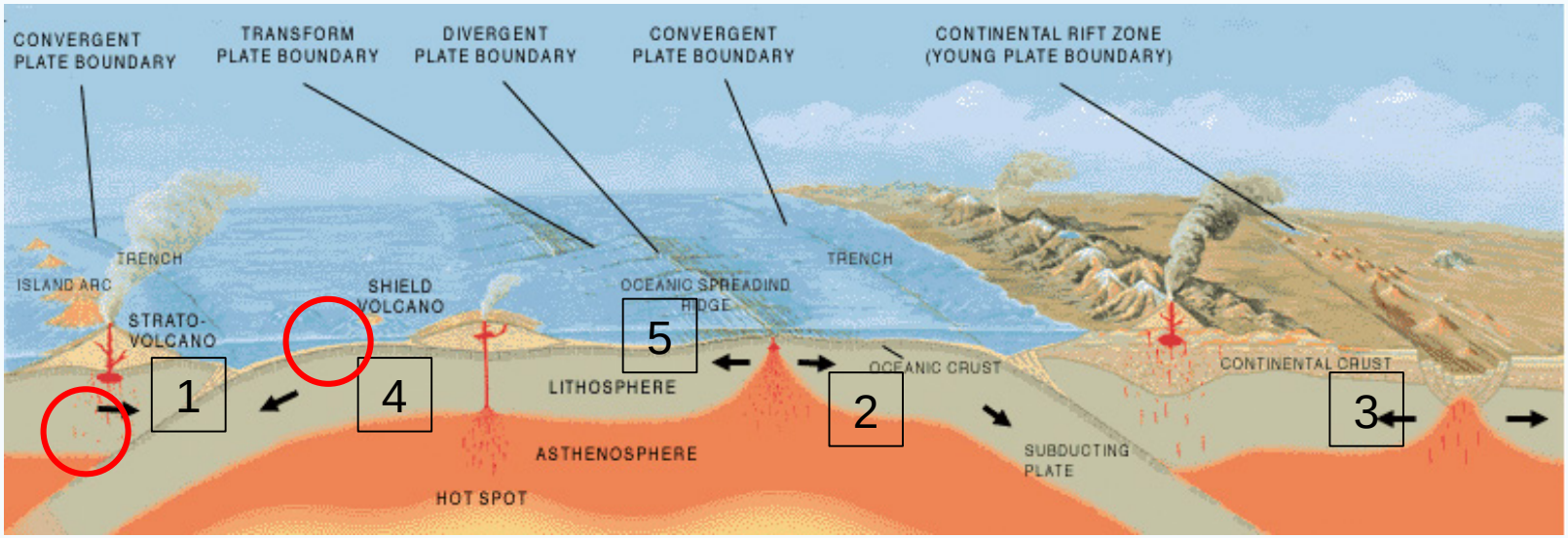
（出典）経済産業省

目次

1. はじめに
2. 地熱発電の50年の歩み
3. 地熱資源とは
4. 地熱発電の現状
5. これからの地熱発電
6. おわりに

地熱資源の存在する場所

1. プレートの沈み込み地帯（Subduction zone)
2. プレートが生成される地域（Ridge)
3. 大規模地溝帯（Rift valley)
4. ホットスポット（Mantle Plume)
5. 構造運動（テクトニクス）地帯
6. 深層熱水地帯



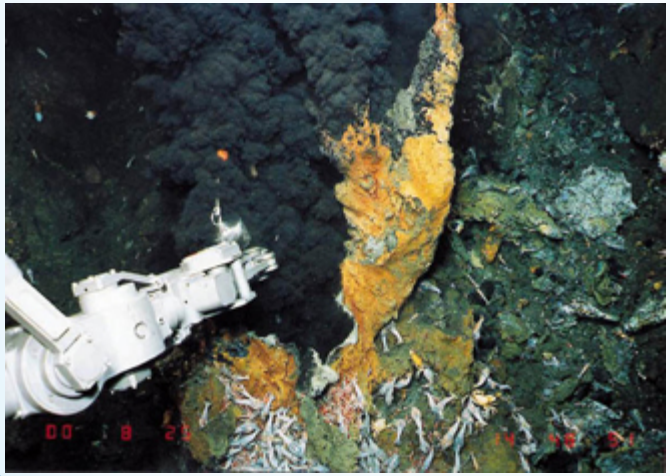
世界中どこでも地熱資源があるというわけではないのです

一方、新しい地域での開発の可能性が考えられている

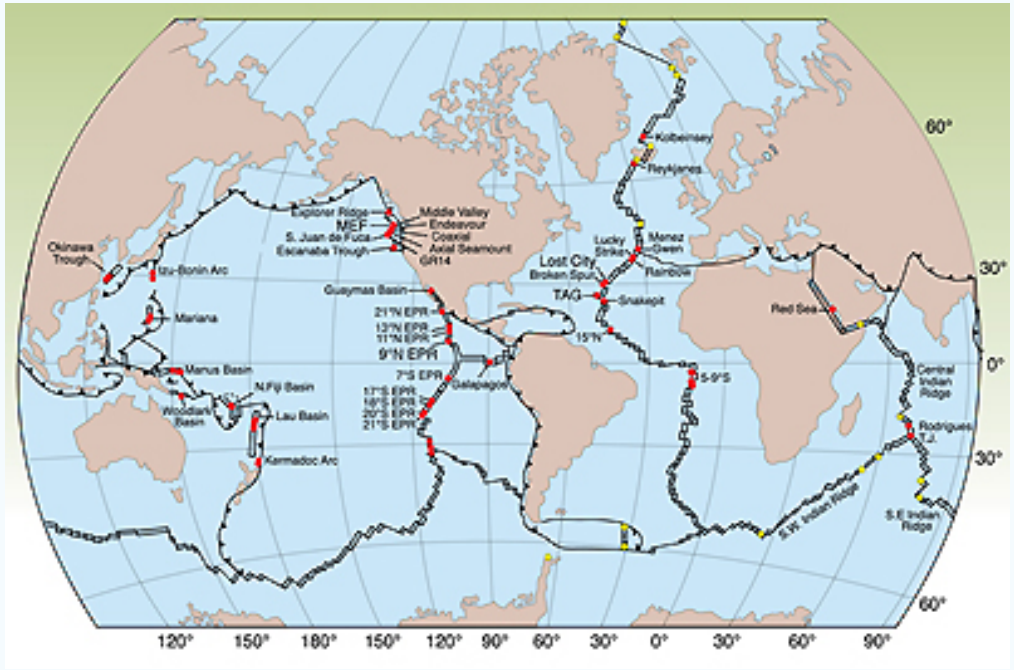
海洋底の熱水プリューム

海底の地熱資源の利用

課題
- 資源量の推定
- 発電方法
- 送電(使用)方法



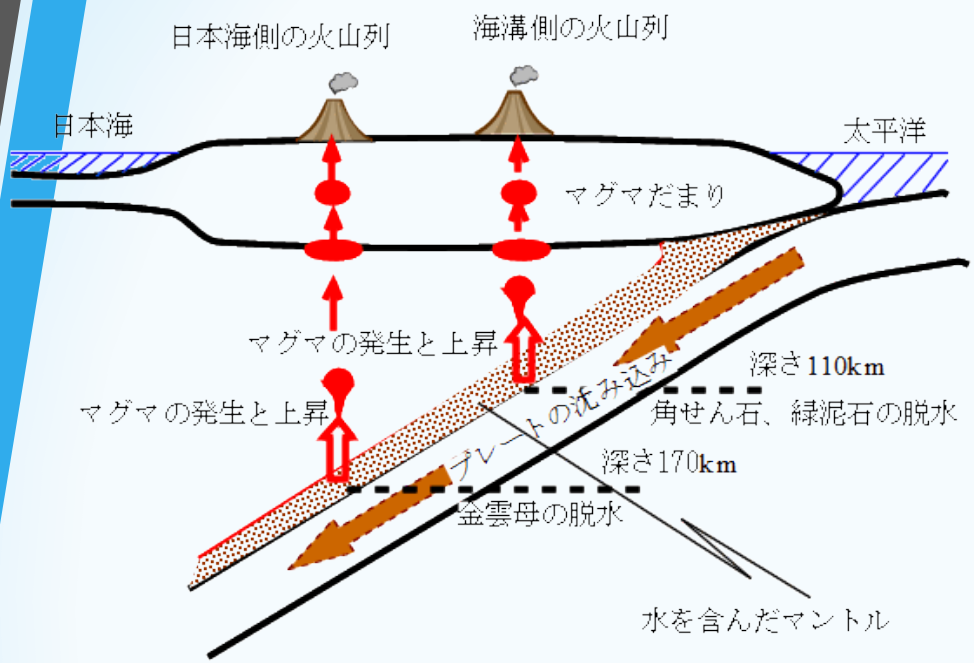
インド洋の海底熱水系

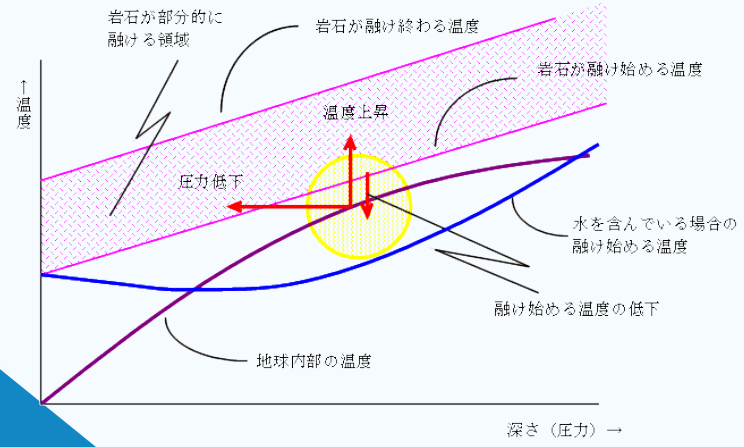


主な熱水系の位置(Tivey, 2007より)。赤丸は噴出孔の位置が正確にわかっているもの、黄丸は熱水起源の海水異常が発見されて近くに噴出孔があると推定されるもの。

東京大学大気海洋研究所HPより
http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/topics/2009/2009_ORI16.html

超臨界熱水の利用





プレートの沈み込みが深さ110kmに達したところで、角せん石、緑泥石からの脱水が起き、また深さ170kmで金雲母からの脱水が起き、それぞれの深さでマグマが発生する（海溝側火山と背弧側火山を生み出すマグマの発生）。

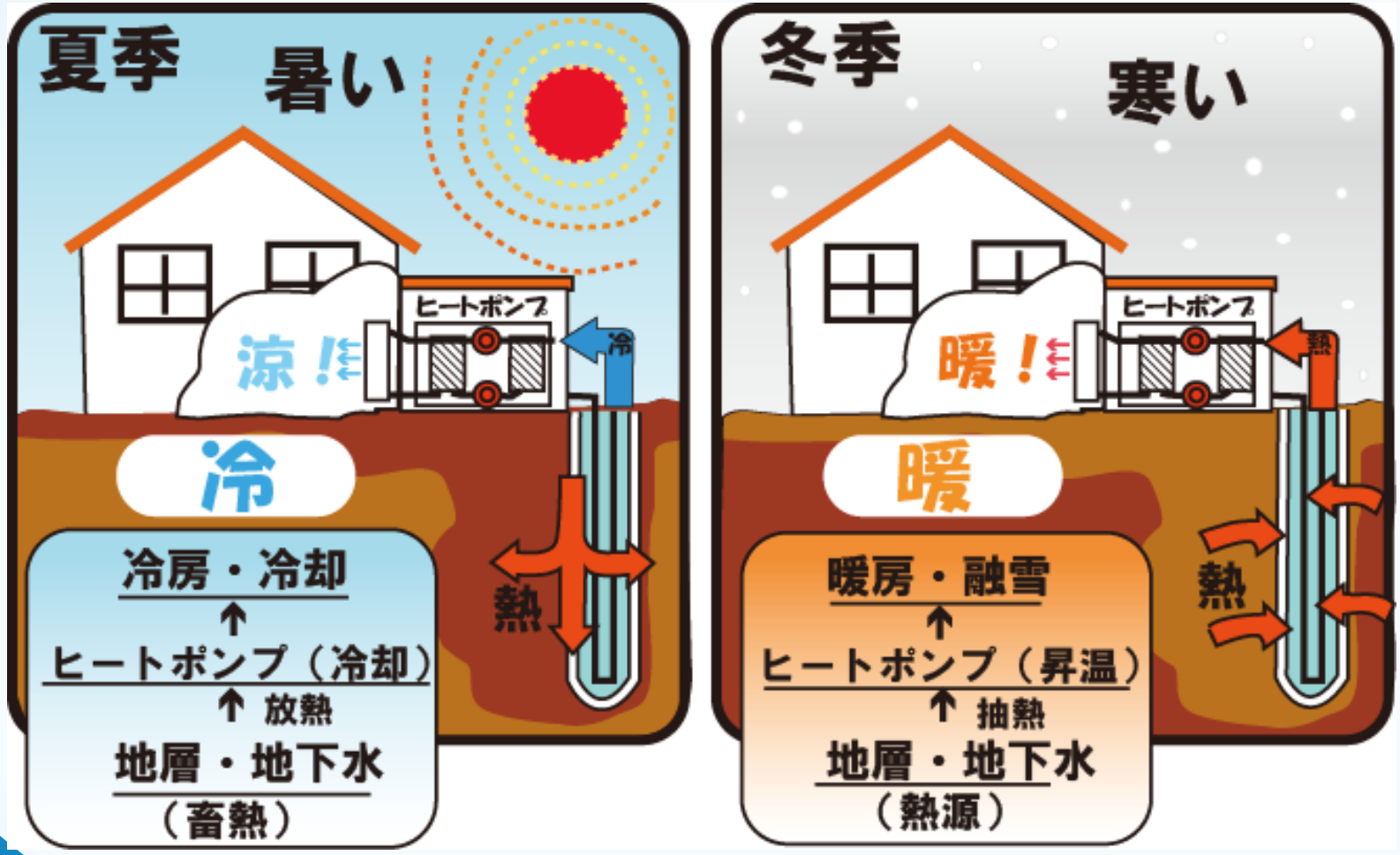
火山列の下には大量のマグマが超臨界状態で存在している可能性がある

高温（高質）資源利用の可能性

http://www.s-yamaga.jp/nanimono/chikyu/kazan-03.htm

地中熱資源の利用

地面の温度は年間を通じてほぼ一定



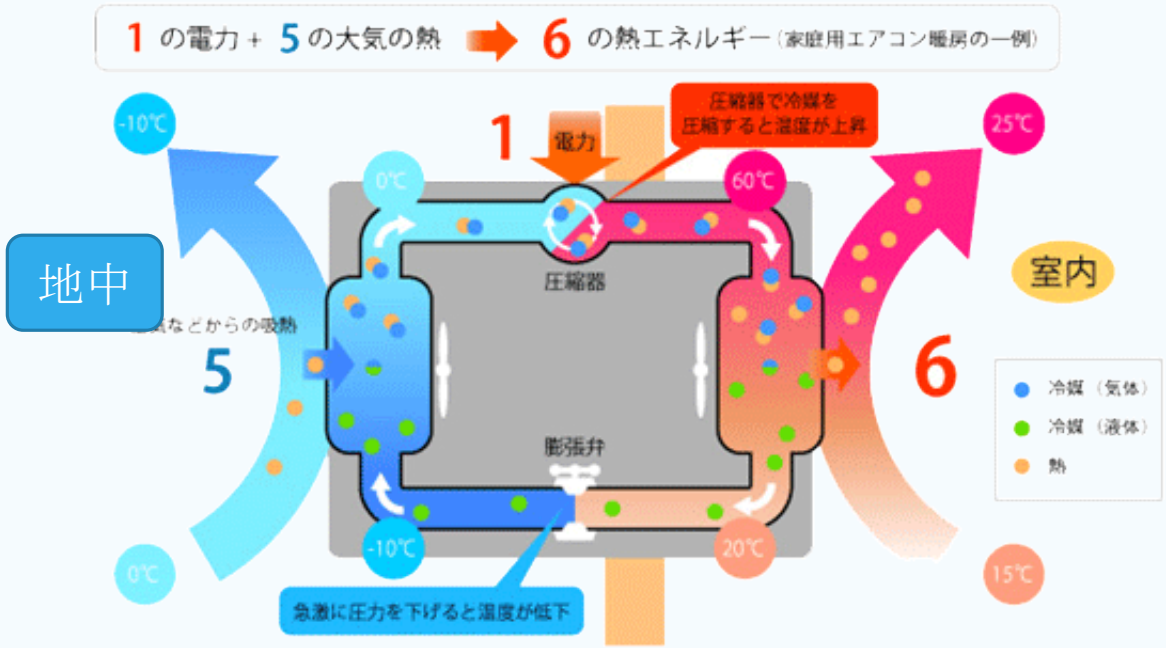
ヒートポンプという技術により地中の熱を用いて冷暖房が可能

地中熱(利用)ヒートポンプ

Geothermal Heat Pump

ヒートポンプとは：温度の低い所から高い所へ、熱を移動させる仕組み

気体の圧縮・膨張と熱交換を組み合わせたもので、冷凍冷蔵庫、エアコン、ヒートポンプ式給湯器などがある。

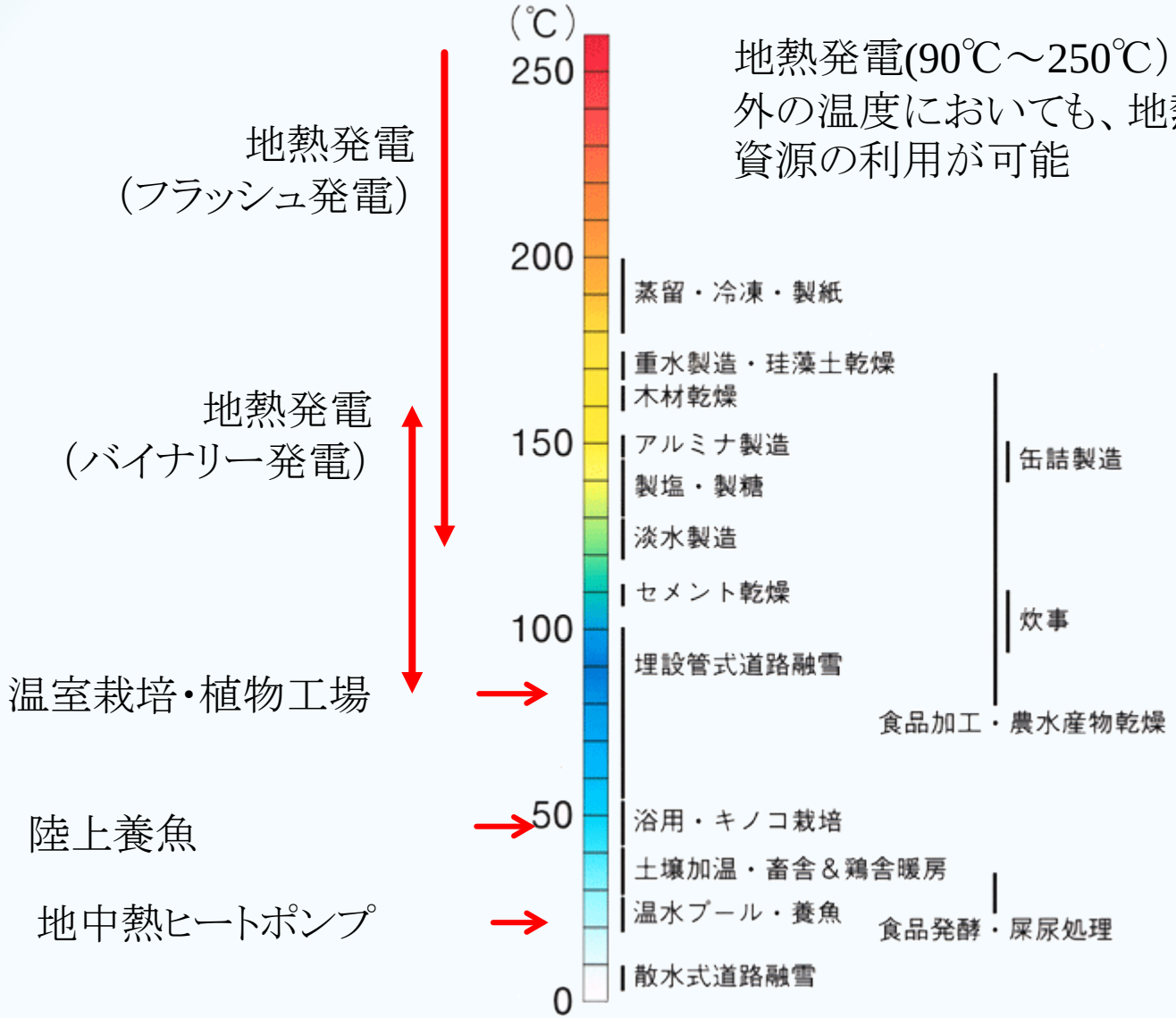


http://www.hptcj.or.jp/study/tabid/102/Default.aspx

この例の場合には、冷たい大気からの熱を暖かい室内へ移動させて、室内を暖めている。電力は使用するが、電力の仕事の何倍もの仕事を行うことができる。この室外の空気の代わりに地中の熱を利用するのが地中熱利用ヒートポンプ。

様々な温度での地熱資源の有効活用

地熱発電(90℃～250℃)以外の温度においても、地熱資源の利用が可能



新たな保険

”地熱発電 保険で開発促進　東京海上、温泉変化時に補償” 日本経済新聞/Web両方掲載
http://www.nikkei.com/article/DGXLASGC09H12_Z00C16A6NN7000/

東京海上日動火災保険は６月から、地熱発電の事業者を対象にした新たな賠償責任保険を販売する。
地熱発電所の好立地には温泉が多く、周辺の温泉業者から温泉の枯渇や湯質の変化を警戒する声が多かった。新たな保険では温泉に問題が起きた場合に、温泉業者が原因を調査する費用や営業で生じる損失額を補償する。事業者が近隣住民の理解を得たうえで新たな発電所の開発に乗り出しやすくなる仕組みを整える。

周辺の温泉に何らかの変化が生じた場合、温泉業者が発電事業者に賠償請求するには500万～3000万円かけてボーリング調査を実施する必要があった。こうした費用負担を警戒した温泉業者が開発に反対し、地熱発電所の開発を進める障壁になっていた。

東京海上は地方自治体と温泉業者が加盟する温泉協議会が湯量の減少や湯質の変化を確認した場合、原因調査の費用を補償する。国内では初めての取り組みになる。

地熱発電は新たな電源として政府が開発を促している。国の長期エネルギー需給見通しでは2030年度までに設備容量を現在の約３倍に相当する155万キロワットに増やす計画になっている。

まとめ

1. 地熱の開発の芽生えと最初の地熱発電所
2. 地熱開発の栄枯盛衰
3. 地熱開発の促進（支援）策
4. 中小規模の地熱発電（温泉発電）
5. 国による指針（エネルギーミックスによる期待される発電量）
6. 新しい地熱資源の開発
7. 熱の有効利用（農業、漁業、林業などへの応用）や保険制度

JOGMEC：開発のための財政的支援と地下に関連する技術開発

NEDO：地表設備や長期的な研究

崩落した石垣と回転した石碑

おわりに

何かご質問は？

よりよい地球環境のために

當舍　利行（とうしゃ　としゆき）

tosha@kumamoto-u.ac.jp