

世界における地熱開発の動向

IEA Geothermal Implementing Agreement Annual Report 2012

(2014年12月23日発行)

より抜粋

<http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2014/10/2012-GIA-Annual-Report-Final-23Dec14.pdf>

翻訳者：厨川 道雄(正会員)

安川 香澄(正会員)

Copyright ©IEA-GIA 2012, IEA-GIA 2013

目次

第1章 世界の動向

1 世界エネルギーの現状.....	3
2 地熱エネルギー 世界の見通し.....	7
3 2012年における世界地熱の状況.....	9
4 参考文献.....	12

第2章 各国の動向

1 Australia(オーストラリア).....	14
2 European Commission(欧州連合).....	19
3 France(フランス).....	24
4 Germany(ドイツ).....	31
5 Iceland(アイスランド).....	36
6 Italy(イタリア).....	42
7 Japan(日本).....	49
8 Republic of Korea(韓国).....	53
9 Mexico(メキシコ).....	58
10 New Zealand(ニュージーランド).....	61
11 Norway(ノルウェー).....	65
12 Spain(スペイン).....	70
13 Switzerland(スイス).....	71
14 United Kingdom(イギリス).....	77
15 United States of America(アメリカ).....	83

第1章 世界の動向

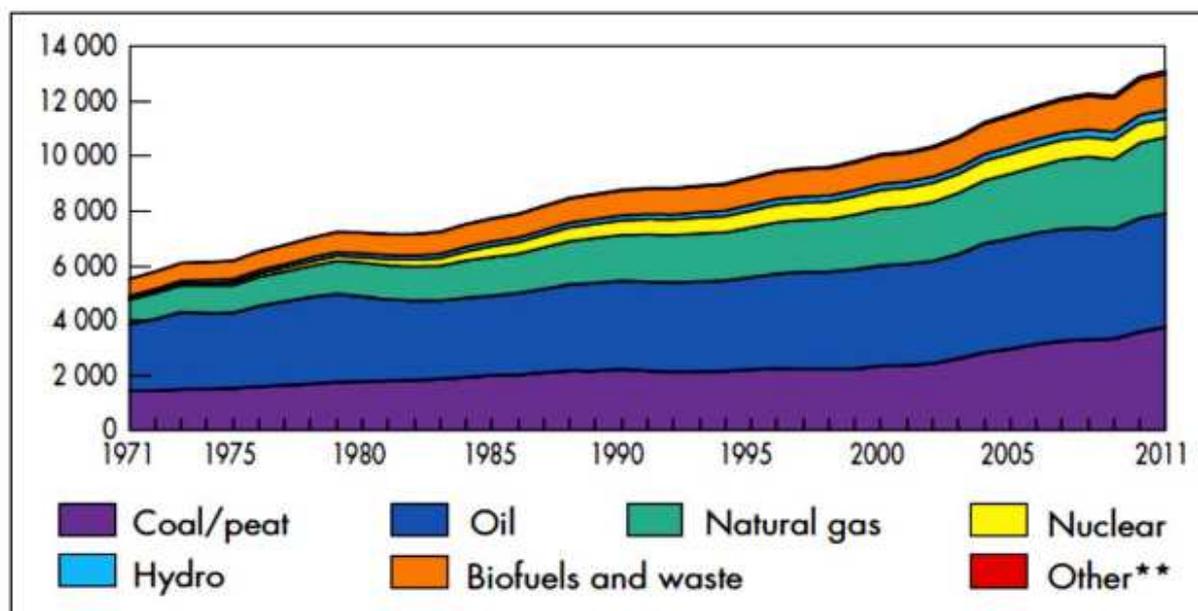
IEA Geothermal Implementing Agreement Annual Report 2012、2014年12月発行から抜粋
<http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2013/11/2012-Trend-Report-Weber-30Aug14.pdf>

1. 世界エネルギーの現状

Executive Summary : Current World Energy Situation、2012 Annual Report p3

2011年から2012年にかけて、再生可能エネルギー、特に太陽(42%)、風力(19%)は、急速に成長しており、世界では非常に大きなハイライトとなっている(IEA RPa, 2013)。残念なことに、これは絶え間なく続く世界のエネルギー需要の増加によって、目立たなくなっている。低炭素エネルギーシステムに向けた継続的かつ悲惨なほどに遅い世界的な進捗、再生可能エネルギー政策の支持より優先される政府の緊縮計画の結果による世界エネルギーシステムを浄化するための推進力の欠如などが背景にある。世界は、今世紀末までに世界に平均気温の上昇を産業革命前に比較して2°C以内に抑えるとした国際同意の目標を達成する軌道から外れたままである。

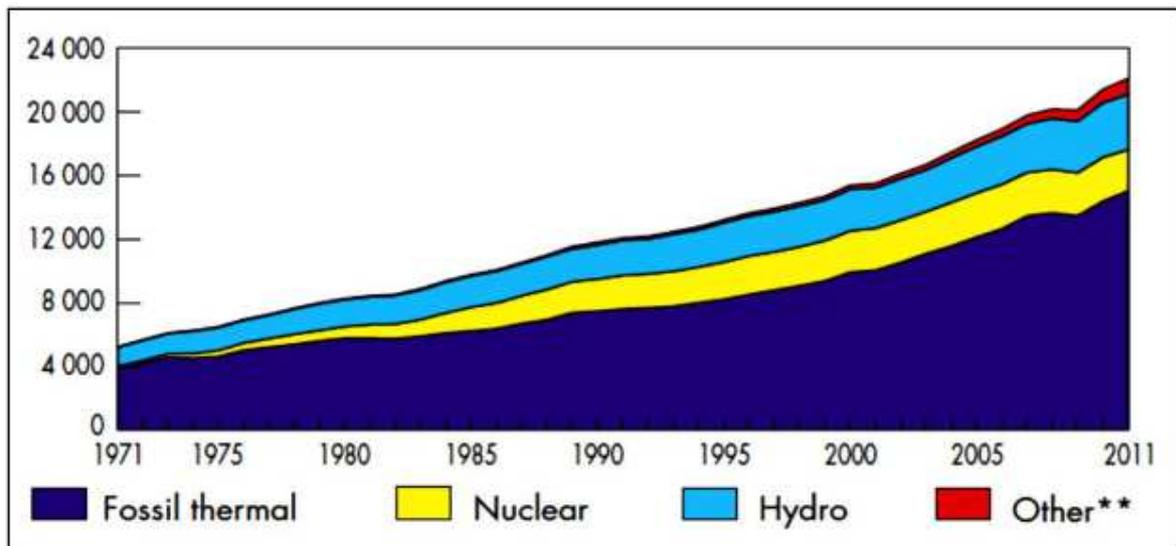
2011年の世界のエネルギー需要は、世界的な経済危機が生じた2009年に約1%減少したことを除いて、ここ40年間のほぼ絶え間ない成長を継続している(第1-1図)。2011年における世界1次エネルギー供給量(TPES: total primary energy supply)は、13,113 Mtoe¹⁾に達し、2010年に比べて396Mtoeあるいは3.1%増加した。同様に、世界の発電量は22,126TWh²⁾に達し、2010年が21,431TWhであったのに比べて、約3.2%増加した(第1-2図)。



第1-1図 1971年から2011年までの燃料別世界1次エネルギー供給量(Mtoe)
(その他は、地熱、風力、太陽、熱など)(IEA, 2013)

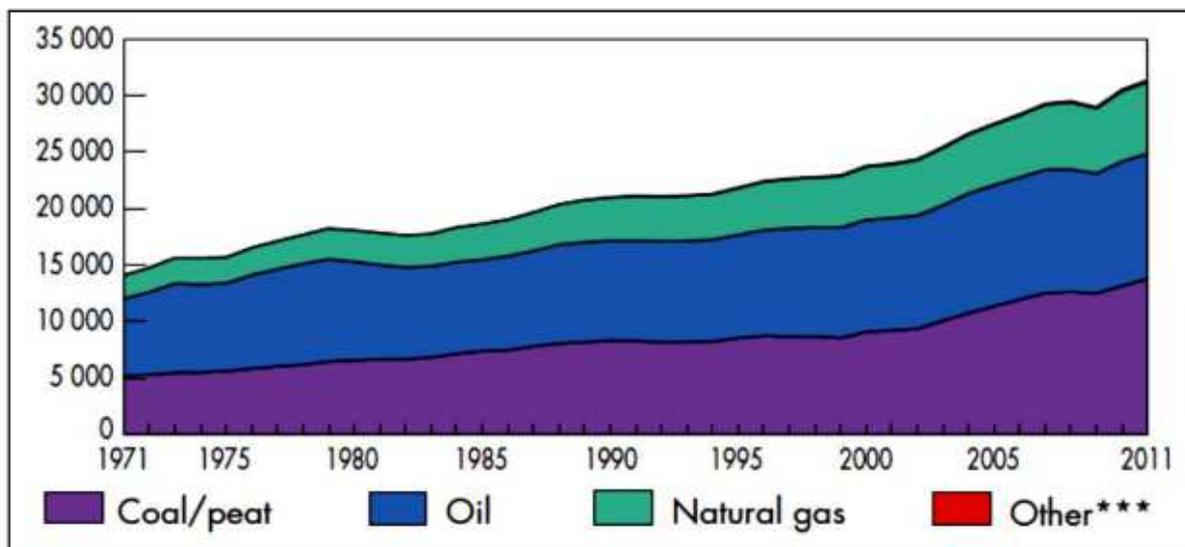
¹ M=メガ(10⁶), toe=ton of oil equivalent: 石油換算トン(石油1トンの燃焼エネルギー量)

² TWh=テラ(10¹²)ワット・時. 1W・hは、1ワットの電力×1時間

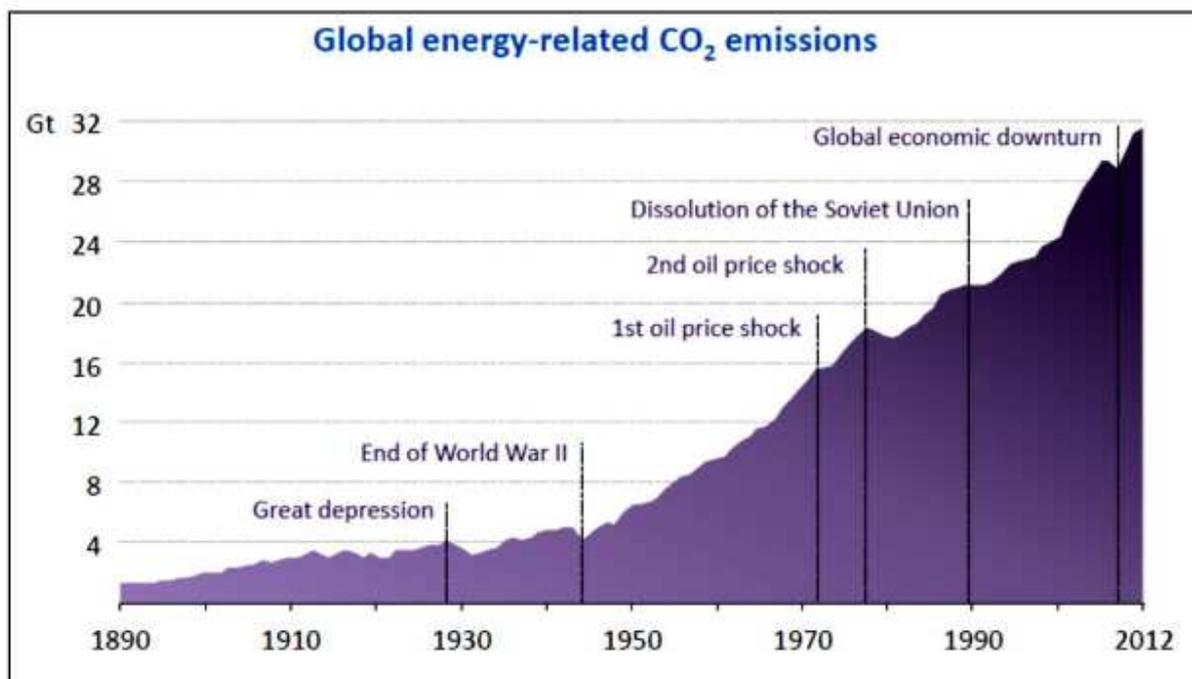


第 1-2 図 1971 年から 2011 年までの世界の発電量 (Mtoe)
 (その他は、地熱、風力、太陽、熱など) (IEA, 2013)

非常に重要なことは、エネルギー需要の増加に伴ってエネルギー起源の CO₂ 排出量が増加していることである。2011 年における CO₂ 排出量は 31,432Mt で、2010 年の 30,326Mt に比べて 1,016 Mt、あるいは 3.4%増加した (IEA, 2013、第 1-3 図)。IEA は 2012 年の排出量が継続して増加し、これまでで最も多い 31,600Mt に達すると予想している。しかし、増加率は 1.4%と幾分低くなる。このような傾向が続けば、長期的な気温は 3.6℃ 以上増加すると見込まれる (IEA PRb, 2013; 2013a, 第 1-4 図)。



第 1-3 図 1971 年から 2011 年までのエネルギー起源の CO₂ 排出量 (Mtoe)
 (その他は、工業廃棄物、非再生可能一般廃棄物など) (IEA, 2013)



第 1-4 図 1890 年から 2012 年までの世界のエネルギー起源の CO₂ 排出量 (Mtoe)
(IEA, 2013a)

この要因は、現在生産されているエネルギーの平均単位は、20 年前に比べて同じように「ダーク」であることがあげられる。このことは、IEA によるエネルギーの一単位を供給するために排出される CO₂ の平均の量で示されるエネルギーセクター炭素強度 (ESCI: Energy Sector Carbon Intensity Index) で明らかである。1990 年に ESCI は石油換算トン当たり CO₂ 排出量 2.39 トン (2.39 tCO₂/toe) であったが、2010 年は 2.37 tCO₂/toe とほとんど同じである (第 1-5 図)。これによって、温室効果ガスの排出量は増え、2013 年には大気中の CO₂ 平均濃度は 400ppm となった。これは、ここ数千年で初めての値である。比較のために、今世紀末の温度上昇を 2°C とすると、これに対応する大気中の CO₂ 濃度は 450ppm となる。世界の平均濃度は年間 0.57ppm 増加しているため、この傾向が続けばこの惑星の温暖化は最悪になり、それに伴って多くの被害が生ずる。世界の平均温度は、すでに 0.8°C 上昇し、将来対策をしなければ、長期的に今後更に 2.8~4.5°C 上昇し、産業革命以前に比較すると 3.6~5.3°C の上昇となる。温度と海面の上昇を伴って、すでに気候は変動し、嵐、洪水、熱波などの異常気象がさらに頻繁にかつ強烈になるという証拠がある。

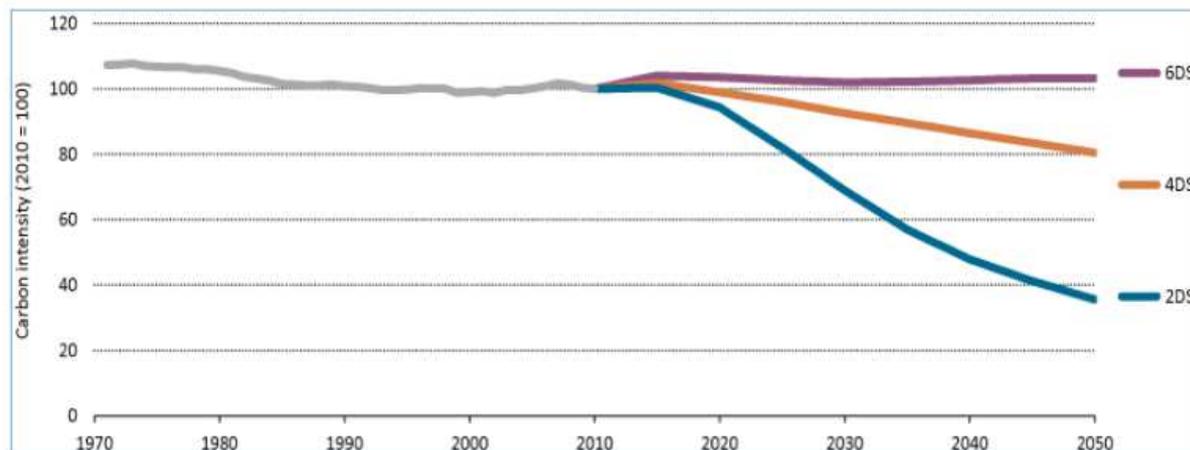
国際的な温暖化交渉によって、新たな気候変動に関して 2020 年までに発効するよう、2015 年までに同意しようとしている。もし世界の温度上昇の限度である 2°C を達成しようとするならば、2020 年以前に本腰を入れることが要求される。

世界のエネルギー消費量の 80% 以上は、化石燃料に依存している。そのため、エネルギーセクターが温室効果ガスの約 3 分の 2 を排出していることは、予想外のことでない。発電の成長に対して、石炭はシェアの大半を占めており、火力発電は 2010 年から 2012 年まで約 6% 増加した。また、絶対値で石炭は非化石燃料に比べて、伸び率が高い傾向が続いている (IEA, 2013b)。単位エネルギー供給量当たりの CO₂ 排出量は、1990 年以来 1% 少なくなっていることは、驚くべきことではない。新興経済国の経済成長に対する石炭依存は特に強く、将来の重大な驚異となっている。例えば、2011 年における中国の石炭消費量は、世界の消費量の 46% を占めており、またインドは 11% を占めている。

すでに述べたように、2012 年には世界のエネルギー起源の CO₂ 排出量は約 1.4% 増加し、31.6Gt³⁾ に達した。このうち、非 OECD 諸国は 60% を占める。中国は最も増加量が大きく、300Mt であったが、再生可能エネルギーの展開や経済活動のエネルギー強度の改善などの結果、ここ 10 年で最も増加

³ G = ギガ (10⁹)

率は少なかった。アメリカは、発電において石炭からガスへの転換の結果、排出量は 200Mt 減少した。ヨーロッパにおいては石炭の消費が増えているが、景気後退、再生可能エネルギーの増加、CO₂ 排出量の抑制などにより、排出量は 50Mt 減少した。日本では、原子力発電所の停止により、化石燃料の使用量が増え、排出量が 70Mt 増えていることは好ましいことではない。世界排出量のうち OECD 諸国が占める割合は約 40%で、2000 年の 55%から減少している。温暖化対策に関して積極的な政策をとっていることを考慮しても、2020 年における世界の温室効果ガス排出量は炭酸ガス換算量にして約 4Gt と推定され、2°C を達成する目標値よりも高い。



第 1-5 図 エネルギーセクターの炭素強度(ESCI) (IEA, 2013b)

2°Cシナリオのための 4 対策

しかし、全く希望がないわけではなく、IEA は 2°C シナリオのための 4 対策と称する新たなスキームを開発した。これは正味経済原価でなしに、排出量の増加を 2020 年前に 3.1Gt 削減し、あるいは 2°C 達成コースに必要な節約量の約 80%を削減することができる 4 つの政策である (IEA RPB, 2013)。これらの政策は、

- 1)2020 年までにエネルギーセクターの排出量を大きく減少させ、
- 2)既存の技術のみに依存し、
- 3)多くの国で採用されたり、証明されたりしており、
- 4)これを採用しても、どのような国や地域の経済成長を妨げることなく、2015 年にパリで開催予定の締約国会議において国際的な気候交渉とそれに続いて期待される合意の実施に必要な時間はあ

る。

- 4 つの政策は、
- 1) 特別なエネルギー効率手段（節約量の 49%）の採択、すなわち照明や新たな電化製品、冷暖房装置に対するエネルギー効率基準（ビルディングセクターから 60%）
 - 2) 効率の低い（臨界未満の）石炭火力発電所の建設と使用の制限（20%の節約）、再生可能エネルギーを現在の 20%から 2020 年に 27%まで増加
 - 3) 上流の石油・ガス生産におけるメタン排出の最小限化（18%の節約）。2010 年においてベンチングやフレアリングによるメタン排出は、二酸化炭素換算量にして約 1.1Gt であった。
 - 4) 化石燃料の消費に対する不公平な補助金の段階的廃止の加速（2020 年で 12%）。2011 年においては、補助金は 230 億米ドルに達しており、再生可能エネルギーに対する補助の約 6 倍に相当する。

気候変動の影響に対する適応

気候変動は、エネルギーセクターに対して悪影響を与えており、このような影響からの回復力を増加しなければならない。温度上昇は電力プラントの冷却効率に影響を与え、干ばつや熱波の回数が増えることによって貯水や水力発電に直接影響し、異常気象事象（熱帯低気圧や嵐）によって生ずる急激かつ破壊的な影響により発電所やグリッド、石油・ガス設備、風力発電地帯、その他のインフラにリスクを生ずる（IEA, 2013）。冷暖房需要の変化、海面上昇、気候パターンの変化などが、水力やプラントの水不足に対して徐々に影響する。エネルギーセクターは、堅実な順応を推進するためのフレームワークを実行しなければならない。

さらに、経済的関わりも重要であり、より強力な気候政策を有する戦略が必要である。2020年まで強力な気候対策を延期すれば、より多くの費用が必要となる。すなわち、延期することによって2020年以前に1.5兆米ドルの投資を避けられるが、再び軌道に戻すためには、その後5兆円の追加投資が必要となる。

世界的な持続性エネルギーシステムはまだ可能である

世界的な持続性エネルギーシステムはまだ可能であり、広範囲にわたって利益をもたらす。しかし、排出量の世界的な増加や気候変動に対する科学的根拠の増加を考えると、2015年パリにおいて世界的な対策が導入できることによって気候変動に成功裏に対処できるような国家的行動が必須である。2°Cシナリオのための4対策により、2020年までに排出量の増加を抑えることができ、経済成長に悪影響を与えることなく2°Cという目標を達成できる。炭素捕捉や貯留（CCS）を含む大規模な低炭素技術を2020年後も展開する必要がある。エネルギーセクターは、既存施設の回復と将来の投資決定において気候変動に順応しなければならない。政府は、効率向上と低炭素技術へのシフトを推進するために決定的な役割を演じなければならない（IEA, 2013a; IEA ETP, 2012）。

2. 地熱エネルギー 世界の見通し

Executive Summary : Geothermal Energy – A Global Perspective, 2012 Annual Report p6

地熱エネルギーの主たる源は、マントルや大陸地殻内の放射性アイソトープである U^{238} 、 Th^{232} 、 K^{40} の崩壊（約50%）と地球の核やマントルからの熱の流れ（約50%）による（KamLAND, 2011）。この両者を合計すると、平均地殻熱流量は $44TWth^4$ ($1,400EJ^5$ /年) となり、2011年の世界1次エネルギー供給量である $549 EJ$ /年の約2.6倍に相当する。2011年の1次エネルギー供給量は、2010年の $532 EJ$ /年に比べて約3%増加している。世界の地熱資源は巨大で、かつどこにでもあるが、地熱は地下に見えない形で賦存しているため、地熱ポテンシャルを正確に求めることはむずかしい。地熱資源開発に用いられる技術は常に発達しているため、既知の地熱資源量が増え、可能性を高め、コストを削減する方向に進んでおり、それによって地熱の技術的および経済的ポテンシャルが増えているが、この不確定さがネックになっている。地熱資源のポテンシャルを推定するには、まだまだ不確定なことが多く、更に多くの情報や利用する技術を用いて、資源量評価の精度を改善することが期待される。

世界における発電用の従来型地熱（熱水型）資源（確認および未確認）の技術ポテンシャルは、 $6.5 TWth$ ($205EJth$ /年) と推定され（Stefansson, 2005）、2011年の1次エネルギーの年間供給量の約37%に相当する。このうち、温度が $130^{\circ}C$ 以上で、従来技術を用いて発電用として開発可能な熱水型の資源量は、設備利用率を90%と仮定して求めると、約 $200GWe$ ($5.7EJe$ /年あるいは $57EJth$ /年) となる。残りの $4.7TWth$ ($148 EJth$ /年) は、温度 $130^{\circ}C$ 以下の資源で、主として熱の直接利用に用いることができる。Stefanssonによると、これらの推定値は、まだ発見されていない未確認資源を含める

⁴ TWth=テラ (10^{12}) ワットの熱、添え字 th は熱量を表し、電力量 e と区別する。以下同様

⁵ E=エクサ (10^{18})、J=ジュール

と、5~10 倍に増え、世界の技術ポテンシャルは 1,000GWe (28.4EJ/年) ~2,000GWe (56.8EJ/年) と想定される。発電ポテンシャルは、180~200°Cの高温流体に対する変換効率を 20%まで高めることができる技術が開発されると、大きく増加する。

熱水型資源に加え、以下のように発電や熱の直接利用が可能な重要な地熱資源がある。

- 1) 従来のプラントから排出される熱水（コージェネ）や低温地熱資源（75~130°C）の熱水を用いたバイナリー発電。
- 2) 地熱発電所から排出される熱水のカスケード熱利用。
- 3) 地殻に存在する高温岩盤の掘削可能な深さ（3~10km）から EGS を用いて採取できる巨大なエネルギーポテンシャル。
- 4) 熱水システム（3~5km）の下に存在すると考えられる超臨界流体の地熱資源。
- 5) 石油やガス井から生産される高温熱水。
- 6) 深部堆積層ベースンに存在する高温熱水。
- 7) 海底の地溝や、熱水噴出口に認められる熱水地熱資源
- 8) 世界中に偏在し、冷暖房のためのヒートポンプを用い、地表面のどこでも利用できる浅部地熱資源

EGS による発電用の技術ポテンシャルは、追加資源として最も多い。その量は、掘削可能な深さまでの岩盤に貯えられている熱量、回収率（2%を仮定）、許容温度降下（初期温度から 10°Cの降下を仮定）に依存するが、3km までの深さで約 89EJ/年、10km までの深さで 1,050EJ/年と推定される

(Goldstein, et al., 2011)。それ故、発電用の技術ポテンシャルは、Stefasson の低い見積（28.5EJ/年）と高い見積（57EJ/年）および EGS の低い値（3km まで）と高い値（10km）を加えた値：すなわち 117.5EJ/年（28.5+89EJ/年）と 1,107EJ/年（57+1,050EJ/年）の範囲になる。

Stefasson の地熱直接利用によると、熱利用の設備利用率を約 30%と仮定すると、世界の直接利用の技術ポテンシャルは 41.6EJ/年で、9.5EJ/年から 312.2EJ/年の範囲であると考えられる (Goldstein et al., 2011)。

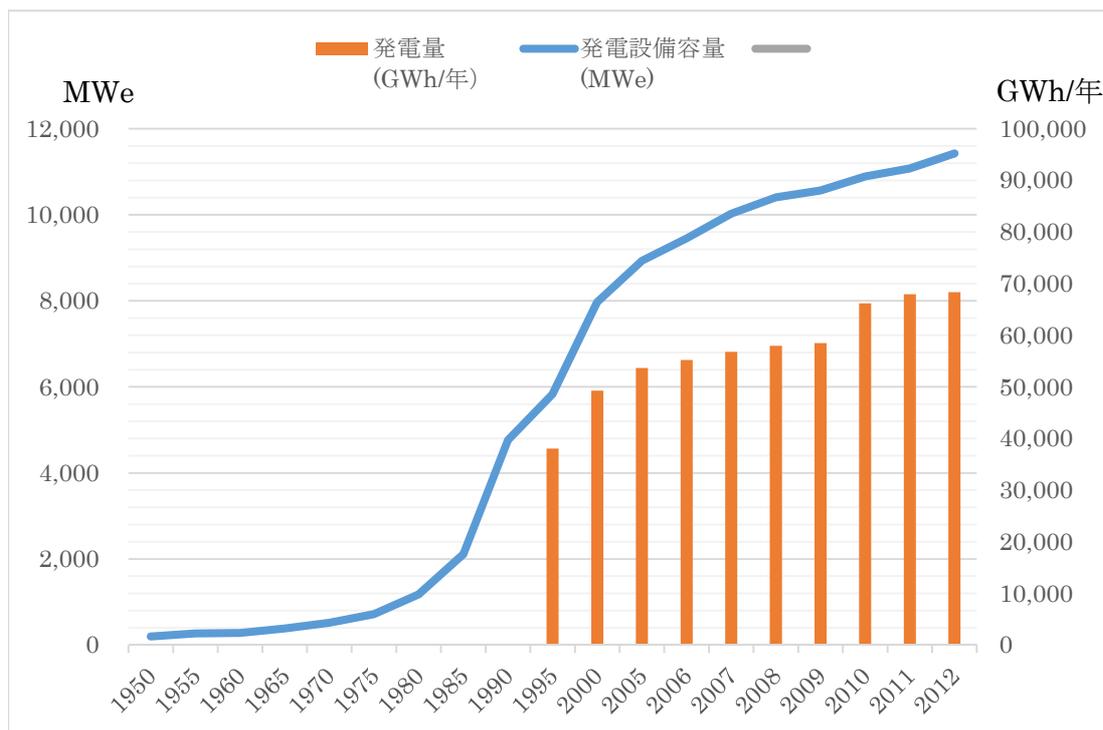
現在の技術で開発できる熱水型資源を利用すると、2050 年までに 70~80GWe の供給ができ、地球表面の 10~15%、世界人口の 15%程度の家庭で使用できるようになる。さらに、EGS、超臨界流体、石油やガスの副産物としての熱水、深部堆積層ベースンの熱水、地溝に沿って存在する海底の熱水型地熱資源など他のタイプの地熱資源を先端技術によって開発することにより、2050 年までに 80GWe の開発が可能となり、トータルすると約 150GWe、1,182TWh/年の発電量が得られる。これは、世界発電量の 3%に相当し、石炭火力を地熱に代替すると、1Gt の二酸化炭素排出量を削減できることになる。

これまで述べてきたように、クリーンエネルギーの供給、気候変動の緩和、持続的発展の維持を達成するためには地熱エネルギーを含む再生可能エネルギー技術の展開 (IEA, 2011) などの緊急かつ多大に注目することが必要となる。地熱エネルギーは、ベースロード電力となり得るし、炭素の排出も少ない。IEA は 2050 年までに、地熱を用いて設備容量 200GWe から約 1,400TWh/年の発電ができると想定している。このうち半分は従来型の熱水型地熱、残り半分は EGS の開発によって発電することによって、世界の発電量の約 3.5%を供給し、CO₂ 排出量を約 0.76Gt/年削減できる (IEA, 2011)。地熱は更に、直接利用によって 2050 年までに 5.8EJ/年 (1,600TWh/年)、世界の直接利用の約 3.9%を供給できる。

地熱は、多くの有用な特性を有する重要な再生可能エネルギー資源である。地球上で広い範囲に存在し、環境に優しい性質を有し、季節に関係なく、天候の影響を受けず、固有の資源であり、電力の多角的な開発に貢献し、分散アプリケーションに効果的で、適切な開発規模を有し、設置面積が少なくて済む。地熱は主として、電力ベースロードの供給に使われ、稼働率は 90%以上に達する。また、効率は落ちるものの、負荷によって発電を調整することもでき、グリッドが利用できないところでは、分散型の電力供給ができる。

地熱発電と直接利用の開発は、ここ数年間世界中で高い成長を示しており、将来の見通しも明るい (第 1-6 図、第 1-1 表参照)。

地熱資源は、世界の現在および将来のエネルギー需要に大きく貢献し、二酸化炭素の削減、気候変動の緩和にも役立つに十分なポテンシャルを有する。世界の地熱資源ポテンシャルは莫大であるが、それを最大限に利用するには、長期間にわたる研究開発が必要となる。



第 1-6 図 世界の 1950 年から 2012 年までの地熱設備容量と 1995 年から 2012 年までの発電量
(注：原文 Table ES2 をグラフで表示)

第 1-1 表 世界における 1995 年から 2012 年までの地熱直接利用(設備容量と利用量)
(注：原文 Table ES3 を簡略化)

分類	設備容量 (MWth)						直接利用 (TJ/年)					
	1995	2000	2005	2010	2011 ¹⁾	2012 ²⁾	1995	2000	2005	2010	2011 ¹⁾	2012 ²⁾
地熱ヒートポンプ	1,854	5,275	15,384	33,134			14,617	23,275	87,503	200,149		
暖房	2,579	3,263	4,366	5,394			38,230	42,926	55,256	63,025		
温室暖房	1,085	1,246	1,404	1,544			15,742	17,864	20,661	23,264		
養殖池暖房	1,097	605	616	653			12,493	11,733	10,976	11,521		
農産物乾燥	67	74	157	125			1,124	1,038	2,013	1,635		
工業利用	544	474	484	533			10,120	10,220	10,868	11,745		
入浴、水泳	1,085	3,957	5,401	6,700			15,742	79,546	83,018	109,410		
冷房/融雪	115	114	371	368			1,124	1,063	2,032	2,126		
その他	238	137	86	42			2,249	3,034	1,045	955		
合計	8,664	15,145	28,269	48,493	54,200	60,929	112,441	190,699	273,372	423,830	459,000	497,293

1) From 2011 GIA Trend Report (GIA 2013)
2) From 2012 GIA Trend Report (GIA 2014)

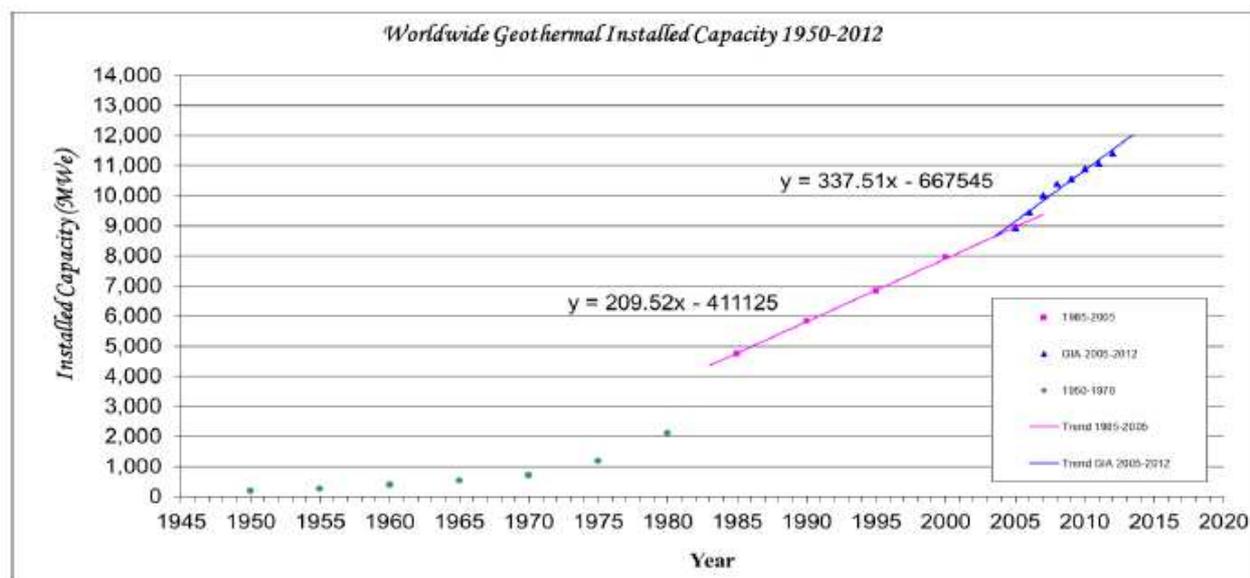
3. 2012 年における世界地熱の状況

Executive Summary : Status of Global Geothermal Energy in 2012、2012 Annual Report p7

世界の地熱に関するデータは、5 年毎に定期的に行われている WGC エクササイズの一環として、インドネシアのバリで 2010 年 4 月 25 日~29 日に開催された世界地熱会議 (World Geothermal Congress:WGC) で集めた (Bertani, 2010, Lund et al., 2010)。2011 年と 2012 年においては、2010 年のデータを Lund et al. (2011) と Bertani (2012) による出版物と比較して、注意深く評価した。2013 年においては、イタリアのピサで開催された欧州地熱会議 (European Geothermal Congress) のため

に欧州の地熱データを 2012 年末現在にアップデートした (Antics et al., 2013)。さらに、GIA メンバー国から、2012 年末のデータの提供があった。2012 年末現在、2010 年のデータ (Bertani 2012)、2012 年にアップデートされた欧州のデータ (Antics et al., 2013)、および 2012 年における GIA メンバー国からのデータ (第 1-7 図、) によれば、世界で 25 カ国が地熱発電を実施しており、設備容量の合計は 11,427MWe を超え、発電量の合計は 68,345GWh 以上である。2012 年には、GIA のメンバー国のうち 9 カ国が地熱発電を行っており、世界の設備容量の 63%、発電量の 61% を占めている。

1950 年から 1970 年にかけて、世界の地熱設備容量の成長率は非常に小さかった。しかし、1970 年代初期のエネルギー危機の後に急速に増加した。1983 年には、1970 年に比較して、6.5 倍以上増えた。1983 年から 2005 年にかけて、世界の地熱設備容量の増加率は 2.3 と安定した値を示し、年間約 210MWe 増加した(第 1-7 図)。さらに、2005 年から 2012 年の間は、増加率が大きく成長し、2012 年末まで年間約 338MWe の割合で直線的に増加した。この間、それ以前の 5 年間に比べて、1.6 倍の増加となった。GIA メンバー国の設備容量は、2005 年の 5,449MWe から 2012 年には 7,248.5MWe となり、1,799.5MWe、すなわち約 33% 増加した。第 1-2 表は、発電量に関する GIA メンバー国の 2012 年現在のデータ、非メンバー国 16 カ国の 2010 年と 2012 年のデータである (Bertani, 2012, Antics et al., 2013)。第 1-6 図は、1950 年から 2012 年の設備容量と 1995 年から 2012 年の発電量を示す。ここで、2006 年、2007 年、2008 年、2009 年、2011 年、2012 年は最低限の見積値である (2010 年に収集されたデータを包括的かつ全面的にアップデートしたデータによる)。



第 1-7 図 世界における 1945 年から 2012 年までの地熱発電設備容量の推移

第 1-2 表に示されるように、いくつかの国が世界の地熱発電の設備容量と発電量に大きく貢献している。チベット、ニューギニアのリヒール島、ポルトガルのサンミゲル島を含む 8 カ国においては、国内設備容量の 10% を超えており、そのうち 6 カ国で地熱により電力の 14% から 75% がまかなわれている。2012 年において、GIA メンバー国の地熱設備容量が国の設備容量に対する割合は 1.5% から 25% の範囲で、国の発電量に対する地熱の割合は 2.2% から 30% となった。

GIA メンバー国の地熱発電量は、年間 41,661GWh で、GIA の変換率 (Mongillo, 2005) を用いると、地熱により 10.6Mtoe の石油を節約し、34.23Mt の二酸化炭素を削減することになる。世界全体では、年間 68,345GWh の発電により、17.3Mtoe の節約、55.8Mt の二酸化炭素削減となる。

再生可能エネルギーについての設備容量当たりの発電量は、貢献度に対するよい指標となる。2012 年 GIA メンバー国では、この値は 5.7 GWh/年/MWe であるが、世界平均は 6.0 GWh/年/MWe である。この値には、一年に実際に発電した時間、すなわち利用率が考慮されている。地熱においては、資源の利用率 (一般には追加坑井掘削によって維持される)、プラントの稼働率 (修理や保守に影響を受ける)、送電あるいは負荷追従の制約などが考慮される。地熱の利用率は非常に高く、新しい設備では 90% を超えることから、地熱はベースロード発電に適しているといえる。

第 1-2 表 地熱発電の設備容量と発電量。GIA メンバー国の 2012 年、Antics et al. (2013)による非メンバー国および Bertani (2012)によるの 2012 年のデータ

Country*	Installed Capacity [MW _e]	Annual Electricity Generated [GWh/yr]	% of National Capacity	% of National Energy
Australia*	0.12	0.5	-	-
Austria	1.4	2.2	-	-
China (Tibet)	24	150	~30	-
Costa Rica	166	1,131	~8	~13
El Salvador	204	1,422	~15	~26
Ethiopia	7.3	10	-	-
France	17.7	50.6	-	0.01
Germany #	12.1	25.4	-	-
Guatemala	52	289	-	-
Iceland	665	5,210	25.0	30.0
Indonesia	1,197	9,600	-	-
Italy	874.5	5,235	1.0	2.0
Japan (2011)	540.1	2,688.8	0.2	0.3
Kenya	202	1,430	~14	~22
Mexico	958.0	5,817	1.5	2.2
New Zealand	794.0	5,843	8	14
Nicaragua	88	310	~11	-
Papua New Guinea (Lihir Island)	56	450	~75	~75
Philippines	1,904	10,311	~12	~17
Portugal (San Miguel Island)	28.5	185	~25	~40
Romania[#]	0.05	0.4	-	-
Russia	81.9	441	-	-
Thailand	0.3	2.0	-	-
Turkey	166.6	950	-	-
USA	3,386	16,791	0.3	0.4
Total GIA Countries	7,248	41,661	-	-
Total- Global	11,427	68,345	-	-

* GIA Member Country in bold font, 2012 data from 2012 Country Reports and 2012 Trend Report (GIA, 2014)

** The Bertani (2012) data is for the period to the end of 2010; # New geothermal power generating country

Red text= updated with EGC data for 2012 Europe (Antics et al., 2013).

Blue= from 2012 GIA Trend Report (GIA, 2014)

Green= from 2012 GIA Country reports

2012 年現在、地熱ヒートポンプ（GHPs）、室内、温室および水産養殖池の暖房、農作物の乾燥、工業利用、入浴と水泳、冷房、融雪などの直接利用に 78 カ国が地熱を使用している（Lund et al., 2011）。2012 年末の直接利用の設備容量は約 48,493MWth で、年間 423,830TJ の熱エネルギーが利用された（第 1-1 表）。2011 年においては、GIA メンバーの 13 カ国が約 26,869MWth の設備容量を有し、年間約 204,583TJ の熱を利用した（第 1-1 表）。GIA メンバー国においては、2010 年の世界の設置台数 276 万ユニット(12kW 等価)に加えて（Lund et al., 2011）、2011 年には 150 万の GHP ユニットが設置された（GIA, 2013）と推定される。

2005年から2012年の間、世界の直接利用に関する設備容量は約115%増加し（第1-1図）、エネルギーとして約82%増加した。世界の利用量は年間約497,293TJとなり、石油を年間約17.6Mtoe節約し、二酸化炭素を年間56.6Mt削減した（Mongillo, 2005）。2012年のGIAメンバー国の直接利用は、年間約214,411TJで、石油を年間7.4Mtoe節約、二酸化炭素を年間24.3Mt削減した。

第1-2表 GIAメンバー国の直接利用全体量。2010年と2011年のデータはLund et al. (2011)、2012年のデータはGIAメンバー国による

Country	Installed Capacity [#] (MW _{th})			Utilization (TJ/yr)		
	2010#	2011©	2012	2010#	2011©	2012
Australia	132	37	38	1,314	324	327
Canada	-	-	1,079	-	-	6,332
France	2,016	2,016	2,130	14,557	12,937	13,687
Germany	3,063	3,183	3,412	11,449	16,558	17,744
Iceland	2,065	2,061	2,102	24,621	25,200	25,278
Italy	1,000	1,000	1,000	12,599	12,599	12,600
Japan	2,100	2,100	2,094	25,698	25,708	26,099
Korea	277	462	553	1,563	2,240	2,649
Mexico	156	156	156	2,558	2,558	2,558
New Zealand	375	396	388	10,138	10,160	9,475
Norway	1,000	1,000	1,000	10,800	10,800	10,800
Spain	92	96	105	688	703	817
Switzerland	1,366	1,497	1,616	7,152	6,876	7,902
UK	-	301	358	-	1,801	2,125
USA	12,564	12,564	12,564	76,119	76,119	76,119
<i>Total GIA Countries</i>	26,207	26,871	28,593	199,257	204,584	214,411
<i>Worldwide Total</i>	48,493	54,200	60,929	423,830	459,000	497,293

[#] Total installed capacity for all heating applications and including heat pumps (for details, see 2012 GIA Trend Report (GIA, 2014)).

© From 2011 GIA Trend Report (GIA, 2013)

4. 参考文献

Antics, M., Bertani, R, and Sanner, B. (2013) Summary of EGC 2013 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe. June, 2013; EGC 2013, Pisa, Italy, 19 p.

Bertani, R. (2012) Geothermal power generation in the world 2005-2010 update report. *Geothermics*, 41, 1-29.

Bertani, R. (2010) Geothermal Power Generation in the World, 2005-2010 Update Report. *Proc. World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, 41 p.

Goldstein, B., et al. (2011) Geothermal Energy, Chapter 4 in: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, May 2011. **Reference for entire IPCC report:** IPCC, 2011: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom

and New York, NY, USA, 1075 pp.

IEA (2013) IEA Key World Energy Statistics 2013. OECD/IEA, Paris, France.

IEA (2013a) Re-drawing the Energy-Climate Map. IEA presentation, London, 10 June 2013. Available at:
http://www.worldenergyoutlook.org/pressmedia/recentpresentations/Presentation_EnergyClimateMap_London10June2013.pdf

IEA (2013b) Tracking Clean Energy Progress 2013- Key Findings. Available at:
http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TCEP_web.pdf

IEA (2011) IEA Technology Roadmap- Geothermal Heat and Power. OECD/IEA, Paris, France.

IEA ETI (2013) IEA Energy Technology Initiatives 2013. OECD/IEA, 2013, Paris, France. Available at:
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyInitiatives2013.pdf>

IEA PRa (2013) Progress towards clean energy has stalled. IEA Press Release, 17 April 2013. Available at:
<http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2013/april/name,36789,en.html>

IEA PRb (2013) Four energy policies can keep the 2 C climate goal alive. IEA Press Release, 10 April 2013. Available at:
<http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2013/june/name,38773,en.html>

KamLAND (2011) Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements. Nature Geoscience, 4, 647-651.

Lund, J.W., Freeston, D.H. and Boyd, T.L. (2011) Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. Geothermics, 40 (3) 159-180.

Mongillo, M.A., 2005. Savings factors for geothermal energy utilization. IEA Geothermal Implementing Agreement document, January 2005. (available on IEA-GIA website: Savings Factors.pdf)

著者および連絡先

Mike Mongillo
IEA-GIA Secretary
GNS Science
Wairakei Research Centre
Box 2000
Taupo 3352
NEW ZEALAND
E-mail: mongillom@reap.org.nz

第2章 各国の動向

National Activities (GIA Annual Report 2012 Country Report より)

<http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2013/11/2012-Trend-Report-Weber-30Aug14.pdf>

1. Australia (オーストラリア)

(National Activities Chapter 8)

1. 概要

最近になって、オーストラリアのエネルギーミックスに地熱の電力および直接利用が導入された。このことは、オーストラリアには活火山がなく、主たる居住地域の冬の天候は比較的温暖なためである。近年、技術が進歩し、EGS や高温堆積層内帯水層 (HAS) などの新たな地熱資源の開発に結びついていることから、オーストラリアには、これらの非在来型の地熱資源のポテンシャルが大きいと認識されてきた。その結果、高温の熱を生ずる結晶質基盤岩に存在する EGS タイプの資源と多くの深部堆積ベースンに認められる高温堆積層内帯水層のポテンシャルを明確にし、定量化する作業が行われている。

現在、クイーンズランド州バーズビル (Birdsville) の Ergon Energy バイナリーサイクル発電所で、総設備容量 120kW、正味電力 80kW の地熱発電が行われている。ここでは、クーパーベースン上部の Great Artesian ベースンから産出される 98°C の塩水を用いている。オーストラリアの電力需要は 253,851GWh で、地熱の占める割合は 0.001% 以下である。地熱の直接利用の設備容量は、30.1MWth と推定される。

2. 主たる成果

- 2012 年、南オーストラリアのクーパーベースンにおける Geodynamics の Innamincka Deep EGS プロジェクトで、新しい坑井 Habanero 4 が掘削され、水圧破砕実験が行われた。それ以外、新しい開発はされていない。
- 2012 年 3 月 8 日、新規再生可能プログラム (ERP : Emerging Renewable Program) の最初の助成金 190 万ドルが、National ICT Australia (NICTA) に授与された。NICTA は 500 万ドルのプロジェクトで、地熱調査のための高度なデータの取得を行っている。
- 2012 年 9 月 17 日、ERP 助成金 125 万ドルが、アデレード (Adelaide) 大学地熱エネルギー研究のための南オーストラリアセンター (South Australian Center) に授与された。これは、高温堆積層内帯水層の透水性を、より良く把握して、それを予測するためのプロジェクト (354 万ドル) で、地熱関連の 2 件目の助成金である。
- 地熱エネルギー資源の調査に対する緊急税額控除が、2012 年 7 月 1 日から実施された。これは、鉱物や石油の開発を促進するための税制であるが、地熱エネルギーの調査も同じような優遇を受けることになる。
- オーストラリア規格協会は、地中熱ヒートポンプの設計と設置に関する標準化の作業を開始した。
- 第 5 回オーストラリア地熱エネルギー会議 (AGEC) が、2012 年 11 月 14 日～16 日にニューサウスウェールズ州シドニーで開催された。地熱エネルギーを対象とした会議が、オーストラリア地熱エネルギー協会 (AGEA : オーストラリア地熱関連企業の企業代表団体)、オーストラリア地熱エネルギーグループ (AGEG : 企業や政府、学術団体を含むオーストラリア地熱エネルギーコミュニティの代表) の共催で初めて行われた。

3. 国家プログラム

現在、オーストラリアの地熱発電は、小規模なバーズビル (Birdsville) ORC プラントに限られている。しかし、政府は地熱資源を、その規模や利用の可能性から見て、ベースロード電力や直接利用に適した、温室効果ガスの排出量の少ない再生可能エネルギー資源とし認識している。

2012 年のエネルギー白書において、政府はオーストラリアのエネルギーセキュリティの強化および温室効果ガス排出削減の目標達成のための重要なオプションとして、地熱エネルギーを考えている。こ

のエネルギー白書では、将来のシナリオとして地熱は 2050 年までに 9%の電力を供給するものと見なし、オーストラリアの深部地熱資源の開発を可能とするクリーンエネルギーイノベーションに投資することが望ましいと述べている。

第 1-1 表 オーストラリアにおける 2011 年の地熱エネルギー利用

電力	
全設備容量(MWe)	0.12
新規設備容量(MWe)	0
国内発電設備容量に対する割合(%)	<0.001
全発電量(GWh)	0.471
推定ポテンシャル(MWe あるいは GWh)	<0.001
直接利用	
全設備容量(MW _{th})	30.1*
新規設備容量(MW _{th})	3.0*
熱の全使用量(PJ/年あるいは GWh/年)	90.9*
ヒートポンプの全設備容量(ME _{th})	19.8*
ヒートポンプの全使用量(GWh/年)	47.7
目標	na
推定ポテンシャル(PJ/年あるいは GWh/年)	na

na: データ無し

*: 推定値

2012 年にオーストラリア政府は、2つの資金提供機関であるオーストラリア再生可能エネルギー機関 (ARENA : Australian Renewable Energy Agency) と 100 億ドルのクリーンエネルギー金融公庫 (CEFC : Clean Energy Finance Corporation) を新たに設立した。ARENA は独立した連邦機関で、再生可能エネルギー技術の競争力の向上と、オーストラリアにおける再生可能エネルギー供給増加のための革新技术を支援している。2012 年 6 月 1 日に発足した ARENA は、オーストラリアにおける再生可能エネルギーの供給増加とコストの削減を図るプロジェクトに対して、初期段階での助成と財政支援を行うために、約 30 億オーストラリアドルを用意している。

2050 年までに排出量を 80%削減するというオーストラリアの長期目標を達成するために、2012 年 7 月 1 日に、1 トン当たり 23 オーストラリアドル (23.55 ドル) に相当する炭素税*を導入した。暫定的に EU 排出取引スキーム (ETS) とリンクし、2015 年 7 月 1 日に弾力的価格のキャップアンドトレード**ETS を導入するため、法律を制定している。

*オーストラリアの炭素税(訳者注): オーストラリアの上院は 2014 年 7 月 17 日、温室効果ガスの排出削減を目的とした炭素税の廃止法案を賛成多数で可決した。オーストラリアの炭素税は他国の排出量取引制度に比べ高額とされてきた。

**キャップアンドトレード(訳者注): 政府が企業に二酸化炭素排出枠を割り当て、その一部を企業が取引できる制度

オーストラリアでは、地熱調査と開発の法規制は、州と地方政府の責任である。オーストラリア政府審議会 (COAG ; the Council of Australian Government) のエネルギーと資源に関する常任委員会 (SCER : Standing Committee on Energy and Resources) の指示のもと、連邦政府の主導で所管部局

は、資源の開発を目指している地熱企業のための一貫性のある国家のフレームワークを提供する作業を行っている。

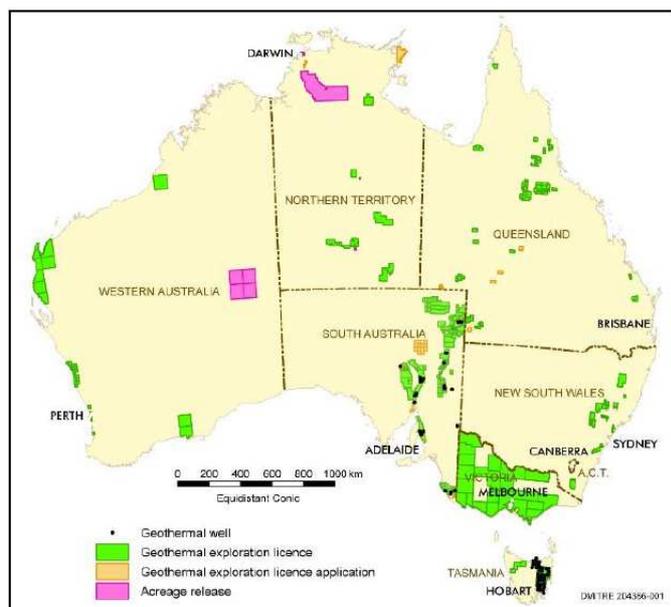
4. 産業の現状と市場開発

現在のところ、オーストラリアの地熱企業の多くは、調査を中心に行っており、競争前の段階にある。Ergon Energy Birdsville プラントを除いて、商業規模の EGS や HSA（高温堆積層内帯水層）設備が稼働していないため、開発コストを評価できるようなデータはない。

EGS と HAS プロジェクトの概念を実証するために、2012 年末までに 52 社が 356 の地域でライセンス（面積 432,000km²）が申請された（第 1 図）。2002 年から 2012 年 12 月 31 日までに、調査、物理探査、掘削、貯留層スティムレーション、導通試験に 8.15 億豪ドル（8.34 億ドル）が使われた。これは、地熱ライセンス地域の保有権を維持するために必要な事業計画である。

非在来型の EGS と HAS セクターは、現在 2 つのことに挑戦している。すなわち、資源を確認することと、商業的に実行可能なコストで電力を持続的に供給できるような技術を実証することである。地熱セクターは、現在の金融市場において大規模なプロジェクトの資金を確保するために苦労している。

ここ 5 年間、オーストラリア政府は、地熱エネルギーセクターに約 1.5 億豪ドルをコミットした。この資金のうち、これまで約 1,660 万豪ドルだけが企業に支払われた。なぜなら、資金提供を受ける企業が支払いを受けるには、一定の条件を満足することが要求されているからである。オーストラリア政府は、企業のプロジェクト進捗を援助し、プログラムガイドラインに従っている企業には柔軟性を持って対応している。



第 1-1 図 2012 年 12 月 31 日現在における地熱ライセンスの供与および申請地域

5. 研究、開発、実証

オーストラリアにおける地熱の研究開発は、非従来型の地熱資源（すなわち、EGS と HSA）に対する技術開発に重点が置かれている。地熱セクターは、地域の研究開発と幅広い国際的な地熱コミュニティとの連携が重要であると認識している。この目的を達成するために、特定のオーストラリア優先研究課題と、IEA GIA 研究アネックスや地熱技術に関する国際パートナーシップ（IPGT）などの国際研究機関との間の調整が必要である。なお IPGT は、アイスランド、ニュージーランド、スイス、アメリカによって構成されている。

オーストラリアにおける地熱企業の研究のために現場に必要な費用は、2012 年で合計 1.01 億豪ドル（1.03 億ドル）と推定される。政府が出資している地熱の研究は、ほとんどが地熱研究イニシアティブ（GRI : Geothermal Research Initiative）のメンバーである国立研究所や大学で行われている。GRI の目的は、オーストラリアにおいて商業規模でかつ持続性を有する大規模な地熱発電プラントの開発を支

援するための研究を実施することである。それ故に、GRIは研究の妥当性を確保するため、企業との協力関係を維持している。研究テーマは、深部、高圧、高温環境における掘削技術、環境影響（誘発地震や効率的な水利用など）、ボーリング前の地熱貯留層ポテンシャルの予測と特性把握、革新的な発電であるが、これらに限定されていない。これらの研究機関における研究は、オーストラリア研究審議会（ARC：Australian Research Council）や、オーストラリア再生可能エネルギー機関（ARENA）などの州および政府の財政的支援を受けている。

特に再生可能エネルギーに対するオーストラリア政府の財政支援は、現在 ARENA によって管理されている。ARENA は、2012 年 11 月 12 日に一般財政支援戦略（General Funding Strategy）を発表した。ここでは、2012-15 年の財政支援規程の主たる目的と優先事項が述べられている。この戦略は、取り組むべき ARENA 計画の概要を示す投資計画とともにリリースされた。

オーストラリアの地熱セクターは、ARENA プログラムの恩恵を受けている。例えば、1.26 億オーストラリアドルの新規再生可能プログラム（ERP）である。これは、イノベーション連鎖を通してオーストラリアの再生可能エネルギー技術の開発を支援するもので、資金メカニズムである ARENA のポートフォリオに含まれている。ERP のもとには、大規模なベースロードに貢献するポテンシャルを有する地熱などの開発技術に利用できる資金として、少なくとも 4,000 万ドルがある。ARENA の議長は、地熱に対するいかなる資金も、長期研究開発などの競争前段階の活動や地熱資源評価のコスト削減のための情報共有に焦点を当てるべきと地熱セクターに対して述べている。

ARENA は、地熱エネルギープロジェクトに対して 1.5 億ドル以上の資金を運営している。これには、目的とする地熱調査に対して有効なデータを提供するために、500 万ドルのプロジェクトを実施している National ICT Australia Ltd に対しての資金 190 万ドルなどが含まれている。さらに、2012 年 9 月 17 日に Ferguson 大臣は、HAS 地熱資源の透水性をよりよく把握し、予測するための 354 万ドルプロジェクトを支援するため、アデレード大学地熱エネルギー研究南オーストラリアセンターに対して、ARENA からの公的資金 125 万ドルを提供することを発表した。2012 年において ARENA は、再生可能エネルギー実証プログラムと地熱井掘削プログラムのもとでプロジェクト管理を継続して行っている。

6. 地熱教育

Victrian Department of Primary Industries は、Education & Demonstration of Direct Geothermal Energy (edDGE) プログラムに、160 万ドルを授与した。このプログラムは、メルボルン大学、Direct Use of Australia、Geotech の共同事業である。

7. 将来の見通し

2013 年における主たる活動計画には、南オーストラリアのクーパーベースンにおける Geodynamics の Innamincka Deep EGS プロジェクトで、一対をなす Habanero 1 坑井と 4 坑井の仕上げと試験がある。これらの坑井を用いて地下岩盤の導通を成功させ、その後 Habanero 1 MWe パイロットプラントを建設し、クローズドシステムの長期運転を開始する計画である。

8. 参考文献

Australian Renewable Energy Agency (ARENA), 2012. Draft General Funding Strategy 2013-2014/2015-2016.

Available online at:

<http://www.arena.gov.au/documents/ARENA-Draft-GFS-20130424.pdf>

Bureau of Resources and Energy Economics (BREE), 2013. '2013 Australian energy update.' Commonwealth of Australia, Canberra.

Accessible online at:

<http://www.bree.gov.au/documents/publications/aes/2013-Australian-energy-statistics.pdf>

Lund, J. W., Freeston, D. H. & Boyd, T. L., 2011. Direct utilization of geothermal energy: 2010 worldwide review. *Geothermics*, Vol. 40, Issue 3, pp. 159 – 180.

Department of Resources, Energy and Tourism (DRET), 2012. Energy White Paper 2012, Australia's Energy transformation'. Commonwealth of Australia, Canberra. Accessible online at: http://www.ret.gov.au/energy/facts/white_paper/Pages/energy_white_paper.aspx

著者

Dr Betina Bendall
Principal Geothermal Geologist
Energy Resources Division
Department for Manufacturing, Innovation, Trade,
Resources and Energy (DMITRE)
State Government of South Australia
Level 6, 101 Grenfell St
Adelaide, South Australia 5000
GPO Box 1264
Adelaide, South Australia 5001
T +61 (08) 8463 3243
F +61 (08) 8463 3229
E-mail: betina.bendall@sa.gov.au

Barry A Goldstein
Executive Director
Energy Resources Division
Department for Manufacturing, Innovation, Trade,
Resources and Energy (DMITRE)
State Government of South Australia
Level 6, 101 Grenfell St
Adelaide, South Australia 5000
GPO Box 1264
Adelaide, South Australia 5001
T +61 (0)8 8463 3200
M +61 (0)413 007 365
F +61 (08) 8463 3229
E-mail: barry.goldstein@sa.gov.au
<http://www.geothermal.dmitre.sa.gov.au/>
<http://www.geothermal.dmitre.sa.gov.au/ageg>

2. European Commission (欧州連合)

(National Activities Chapter 9)

1. 概要

欧州連合 (EU) は、研究および技術革新に関するフレームワークプログラム (FP : Framework Programmes) を通して、地熱エネルギーを支援している。第7回フレームワークプログラム (FP7) は、エネルギー分野で年に一度の提案を募集した。浅部および深部を含む地熱エネルギーに関するテーマのほとんどが、この募集の対象になっている。現在の FP7 は、2007年に始まって2013年に終了する。次のフレームワークプログラムは、2014年に始まって2020年まで続くので、Horizon 2020と名付けられた。

2. 主たる成果

2013年のエネルギー関連の募集 (FP7-ENERGY-2013-1) では、地熱貯留層の特性把握と評価の分野の提案を受け付ける。提案の締め切りは2012年11月末で、2013年1月に結果が分かる。

再生可能エネルギーによる冷暖房に関するヨーロッパ技術プラットフォーム (RHC-ETP : the European Technology Platform for Renewable Heating and Cooling) では、全ての主たる再生可能な熱源 (バイオマス、太陽熱、地熱) に関し、利害関係者を含めて、研究・技術革新を含めた発展、競争力、持続性に対する戦略を立てている。このプラットフォームの重要な目的は、関係する戦略研究アジェンダ (SRA : Strategic Research Agenda) を作成し、2020年、2030年、2050年までの市場開拓に関する共通のビジョンを作成することである。

3. 2012年における EU プロジェクト

2012年においては、3件の継続プロジェクトと3件の新規プロジェクトがある。

3.1 Ground-Med

開始 : 2009年1月、終了 : 2013年12月、EC資金 : 454万8944ユーロ。

Ground-Med (Advanced ground source heat pump systems for heating and cooling in Mediterranean climate : 地中海気候における冷暖房のための先端的な地熱ヒートポンプシステム) は、新しい時代の地熱ヒートポンプを開発するプロジェクトである。ヨーロッパ南部において、いろいろな室内冷暖房エミッター (ラジエータ、ファンコイル、空気ハンドリングユニット、輻射壁) を用いて、8つのビルの冷暖房を行い、実証とモニタリングを行う。主たる目的は、8つの実証サイトのそれぞれが、季節を通して性能係数を最大にすることである。性能係数は、1年を通してビルに供給された有効エネルギーを、異なるシステムコンポーネントで消費された電力で割って求められる。現在評価中の技術開発には、シングルコンプレッサ、タンデムコンプレッサ、インバータコンプレッサなどの異なる技術オプションを有するスーパーヒートポンプ、極端に消費電力の低いファンコイル、凝縮熱を用いた新型の空気ハンドリングユニット、冷房のための熱エネルギー貯蔵ユニット、革新的なボアホール熱交換機、最大のエネルギー効率を得るための先進的制御技術とアルゴリズムなどが含まれる。

Contact : Dimitri Mendrinios;
dmendrin@cres.gr

3.2 Geothermal ERA NET

開始 : 2012年5月、終了 : 2016年4月、EC資金 : 199万9955ユーロ。

Geothermal ERA NET 共同体は、欧州における地熱研究を支援しているほか、エネルギー機関と省庁の共通する目標を推進するため、両者間の協力を積極的に進めている。欧州9カ国 (アイスランド、オランダ、フランス、スイス、ドイツ、イタリア、ハンガリー、トルコ、スロバキア) の国および地域プログラムを代表するコンソーシアムが、Geothermal ERA NET の成功を目指した支援を行っている。

Contact : Guðni A. Jóhannesson
gudni.a.johannesson@os.is

3.3 GreenHP

開始：2012年11月、終了：2016年8月、EC資金：349万9701ユーロ。

改修ビルのための次世代ヒートポンプに関する GreenHP プロジェクトの目標は、集合住宅や商業ビルのための大容量空気/水ヒートポンプをもとに、新しい高効率暖房システムの調査と開発を行うことである。高性能ヒートポンプシステムは、代替冷媒を用いる予定であり、また特にスマートグリッドのような大規模な（再生可能）エネルギーシステムと交流を図り、太陽光発電や太陽熱、エネルギー貯蔵などの他の再生可能エネルギー源と一体化する予定である。

Contact : Annemarie Schneeberger, Austrian Institute of Technology

3.4 NextHPG

開始：2012年12月、終了：2016年11月、EC資金：265万6417ユーロ。

NextHPGの主たる目的は、最も見込みのある天然冷媒である炭化水素と CO₂ を用いるとともに、これら2つの冷媒を効率よく、かつ安全に使用できるように十分な改良されたコンポーネントと補助装置を用いることによって、信頼性が高く、安全で、効率がよく、大容量のヒートポンプを開発することである。プロジェクトの目標は、現在の HFCs/HFOs 技術水準あるいは Sorption ヒートポンプに比べて、効率向上（SPF 値で 10%-20%）と二酸化炭素排出量の削減（TEWI*で 20%削減）を図ることである。

*TEWI(訳者注) : Total Equivalent Warming Impact (総合等価温暖化因子)

GWP は、単純に各ガスが大気中に放出された場合の比較であるが、冷媒は密閉サイクルで使用されるので、その使用時の漏れ状況、廃棄時の大気への放出量、また運転電力消費による化石燃料使用からの炭酸ガス発生量を総合的に考慮して、地球温暖化への影響を評価する手法が TEWI であり、次式で表される。

TEWI = 直接排出 CO₂ 等価量 + 間接排出 CO₂ 等価量

直接排出 CO₂ 等価量 = $GWP \times L \times N + GWP \times M \times (1 - \alpha)$

間接排出 CO₂ 等価量 = $N \times E \times \beta$

GWP : 1kg 当りの CO₂ 基準の温暖化係数 積分期間 100 年間 (kg-CO₂/kg)

L : 機器からの年間漏れ量 (kg/年)

N : 機器の運転年数 (年)

M : 機器への充填量 (kg)

α : 機器廃棄時の回収率

E : 機器の年間エネルギー消費量 (kWh/年)

β : 1kWh の発電に要する CO₂ 発生量 (kg-CO₂/kWh)

(引用：日本冷凍空調学会ホームページ <http://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/2.html>)

Contact : Jose Antonio Perez Garcia, Universitat Politecnica de Valencia

3.5 GEISER

開始：2010年1月、終了：2013年6月、EC資金：530万8869ユーロ。

GEISER (Geothermal Engineering Integrating Mitigation of Induced Seismicity in Reservoirs : 貯留層内の誘発地震の軽減に関する地熱工学) プロジェクトは、誘発地震を許容レベルまで低減することなどを中心に、地熱エネルギー開発が直面している主要ないくつかの問題にチャレンジするプロジェクトである。主たる目標は、

(i) 地熱システムでの誘発地震のプロセスとメカニズムを理解すること、

- (ii)誘発地震低減方法を開発すること、
 - (iii)地熱発電のライセンス供与の法的小および管理上のガイドラインを設けること
- である。

上記の目的に取り組むため、4つのテーマを掲げている。

(1) 誘発地震の解析

欧州の代表的な貯留層を対象に、専門家からの情報や欧州以外の地域（エルサルバドルのベルリン地熱発電所、アメリカのガイザーズ）のデータを用いる。誘発地震の時間と空間の広がりについて解析し、これらと注入と生産のパラメータ、現場の応力状態、地質的な構造との関係を調査する。これらのデータを、注入によって重大な地震を誘発しなかったプロジェクトのデータと比較する。

(2) 誘発地震に関係する地盤力学とプロセスの把握

温度、孔隙弾性、流体の注入速度、既存の断層セグメント、地域の応力状態、時間依存性効果などの影響要素を調査し、いろいろなモデルによるアプローチと室内実験によって、流体の注入に伴う地震誘発のメカニズムを特定する。

(3) 誘発地震の影響

人的に誘発した地震と自然の地震を比較することによって、地震の危険性評価を行う。(1)と(2)の結果を用い、大きな地震を誘発する可能性についての定量的な評価と地盤の振動による被害の可能性を明確にする。

(4) 誘発地震低減の戦略

(3)で説明した提言および(1)と(2)をもとに、“ソフトな注水”を提案する。責任者とオペレータが地震の危険性を最小限にし、運転および生産中のリスクを管理するようにするため、モニタリングネットワークの最適化とリアルタイムモニタリングを導入する。一般市民の誘発地震に対する認識や同意を得るための適切な処置を施すため、採掘活動や石油・ガス産業によって発生した過去の地震の経験を取り入れる。

プロジェクトの終了までに **GEISER** は、EGS プロジェクトの全ての局面で発生する誘発地震によって生ずるリスク評価のための確率論的枠組を中心とした、安全で信頼性の高い EGS の運転に関する成功事例のガイドラインを示す。この枠組の基となるのは、十分に試験され、先見性の高い「交通信号システム*」で、将来 EGS が EGS が開発される時にリアルタイムで表示される。最初は、近接する断層や地下の応力状態などの事前の情報にもとづくことになるが、観察された誘発地震や坑井内の圧力状態をリアルタイムで測定することによって、すぐさまアップデートする予定である。

*交通信号システム (traffic light system) (訳者注) :

traffic light rating system と呼ばれ、様々な状態を信号と同じ赤、黄、緑によって示すシステム。ここでは、誘発地震の危険性をこれら 3 色で示して、一般市民に知らせるシステム。

GEISER は、過去のプロジェクトの経験をもとに、EGS プロジェクトに対する一般市民の支持を高める戦略を提案している。特定の EGS プロジェクトに対して、利益とリスクを明確にし、適切に対処することができるよう、調査と生産のワークフロー全体を通しての費用便益バランスは、利害関係者にとって重要である。特に、リスクの認識には特に注意を払わなければならない。面倒なことや小さいなダメージでも、注意深く処理し、重要なプロジェクトのリスクとして対処すべきである。構造物以外のダメージに対しては、コストを評価し、補償するために、手順について合意しておく必要がある。

GEISER の研究成果とベストプラクティスガイドラインは、欧州全体の深部地熱エネルギーを効率よくかつ安全に利用するために、重要な役割を果たす。

Contact : David Bruhn
dbruhn@gfz-potsdam.de

3.6 GEOCOM

開始：2011年1月、終了：2014年12月、EC資金：351万3704ユーロ。

地熱コミュニティ（GEOCOM：Geothermal Communities）プロジェクトは、3カ所のパイロットサイト（ハンガリー、スロバキア、イタリア）において、地熱エネルギーの革新的なエネルギー高効率技術との組合せ、他の再生可能エネルギーとの統合した利用に関する最も有効な技術を取り上げている。

これら3カ所で併行して意欲的な開発研究を目指している実証実験の他に、GEOCOMはコスト効率がよりよく、技術的に確実な地熱プロジェクトを構築することに焦点を置いた補足研究を行っている。

さらにこのプロジェクトは、セルビア、ルーマニア、ポーランド、マケドニアの多くの市を一括して、プロジェクトパートナーとしている。これらの市は、新技術の導入を必要とする操業中の地熱システムを有しているか、あるいはプロジェクトの成果を活用して新たなシステムを始めようとしている。

これまでプロジェクトとしては、Galanta サイトにおいて具体的な成果を上げている。Galanta サイトでは、高層ビルの改修で、ビル屋上の太陽光発電（PV）システムの設置に加え、高密度の熱市場に提供するための地熱暖房ループの拡張および地域小学校の一つにおいてファサード*の断熱、ドアと窓の入れ替え、屋上のPVパネルの設置など全面改修を行った。

*ファサード(訳者注)：建物を特徴付ける、装飾などが施された正面の構造

ハンガリーの Morahalom 実証サイトでは、いくつかの公共ビル改修の管理を行い、提案された2台の CHP(コージェネ)エンジンのうち、一台の設置を完了した。CHP エンジンには、採取された熱水からメタンを分離できるという特長を有している。2台目の CHP エンジンの試運転、CONCERTO モニタリングシステム、LED による公共照明システムについては、今後開始する予定である。

関係する公的調達と法的処理を行った後、Montieri 実証サイト（第 2-1 図参照）ではプロジェクトの具体化を開始した。現在、直接暖房システムが建設中で、2013年の夏に完成する。指定されたビルの改修は、今後開始される予定である。Montieri は、2013年にコンソーシアム会議を主催する予定である。この会議においては、GEOCOM プロジェクトの主要な投資がどのように具体化されているかの経験を、プロジェクトパートナーが直接得られるチャンスである。

このプロジェクトでは、実証試験と併行して研究も行われている。このなかで、歴史的なビルに適用できる新しい改修方法を調査している。さらに、欧州中南部をターゲットとして、太陽、風力、バイオマスエネルギーと地熱エネルギーとを組合せする可能性を詳細に調べる包括的研究が公表された。プロジェクトのトレーニングとモニタリングを具体化しようとしている一方、社会経済的研究も現在実施中である。



第 2-1 図 Montieri 実証サイト

More information:

www.geothermalcommunities.eu

Contact : Gabor Kitley, gabor.kitley@geonardo.com

著者

Kirsty Crocket

European Commission

DG Research and Innovation

CDMA 5/132

B-1049

Brussels

BELGIUM

E-mail : Kirsty.Crocket@ec.europa.eu

3. France(フランス)

(National Activities Chapter 10)

1. 概要

特に 1970 年代の 2 回のオイルショック以来、フランスでは長い間にわたって地熱エネルギーをいろいろな方面で利用してきた。1961 年以後、パリ堆積盆地やアキテーヌにおいて、地熱の直接利用が数多く行われてきた。2007 年以降、これらの地熱利用は再び注目を集めた。

地熱の熱出力設備容量は 345MWth と推定されるが、プラント数は約 50 で、その多くは地域暖房に用いられている。パリ堆積盆地には、36 のペアの地熱井（一对の生産井と還元井で構成）があり、31 の暖房ネットワークにつながっていることは、注目に値する。60~80°C の熱水が、深さ 1,600~1,800m の Dogger 堆積層から汲み上げられている。南フランスのアキテーヌでは 10 のシングル坑井がある。ここでは、還元する必要はないからである。

地中熱ヒートポンプは、最近開発された。オフィスビルや公営集合住宅の暖房に関する市場は活発であるが、ヒートポンプはまだまだ普及されていない。

フランスでは、2 つの地熱発電プラントが稼働している。仏領西インド諸島グアドループ島の Bouillante 発電所とアルザスの Soultz-sous-Forets の EGS パイロットプラントである。地熱はグアドループ島の電力需要の約 6% を担っている。

フランスで使用されている 2011 年における地熱エネルギーの現状を表 3-1 表に示す。

第 3-1 表 フランスにおける 2011 年の地熱エネルギー利用

電力	
全設備容量(MWe)	17.7
国内発電設備容量に対する割合(%)	na
全発電量(GWh)	56.6
国内需要に対する割合(%)	0.01
直接利用	
全設備容量(MWth)	345
熱の全使用量(GWh/年)	1,094
ヒートポンプの全設備容量(ME _{th})	1,339
ヒートポンプの全使用量(GWh/年)	2,707

na: データ無し

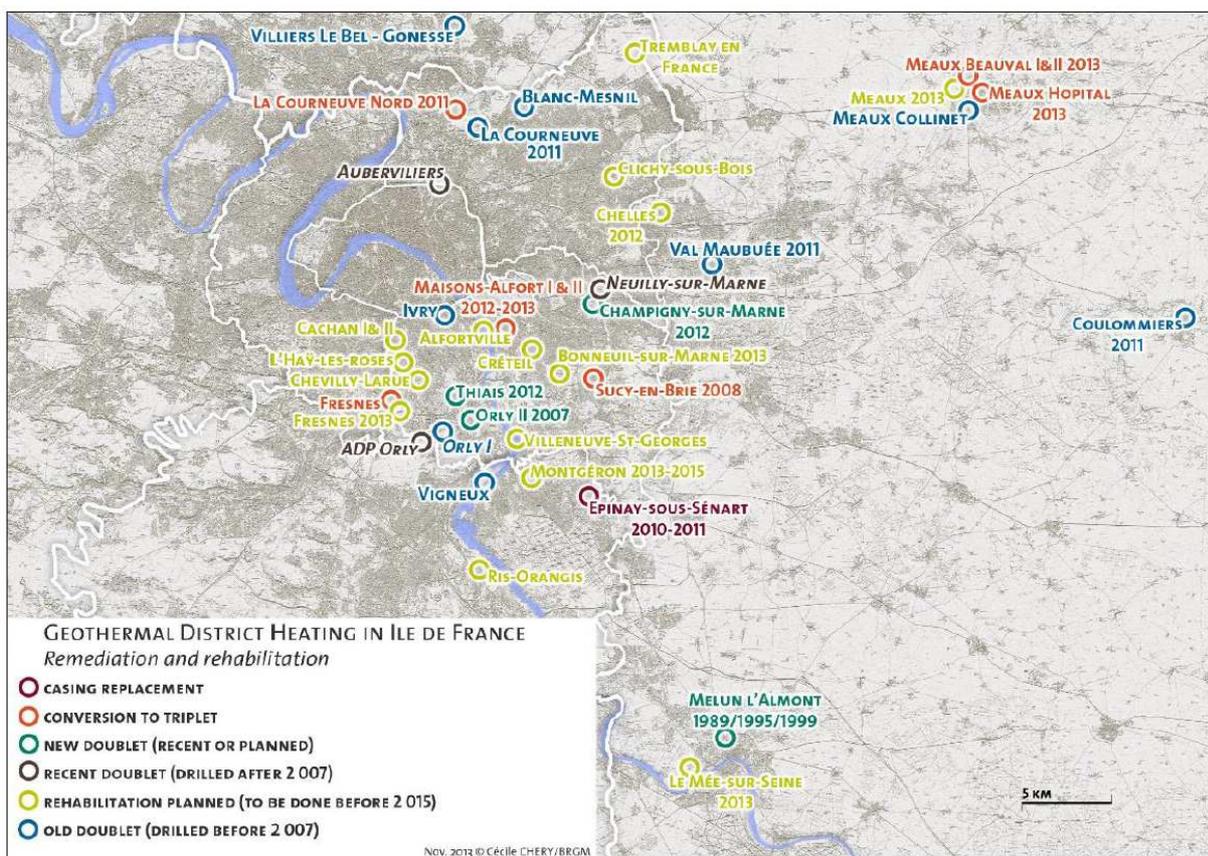
新たな政策が 2005 年から始まった。主なものは、環境グルネル (Grenelle de l'environnement) である。これは、フランスの持続的発展の意義を見直し、多様な利害関係者（産業界、環境関連機関、地方公共団体、国、労働組合、専門家）を政策形成過程に関与させる会議である。この政策によって全てのタイプの地熱エネルギーが促進される。地熱の直接利用は、2006 年から 2020 年の間に 5 倍に増加するものと期待される。2020 年においては、海外県*で 80MW の地熱発電プラントを建設する予定である。

フランスにおける地熱の設備容量を考えると、1 年当たり 49.4 万トンの石油を節約し、約 159.6 万トンの CO₂ の排出削減につながる。

*海外県(訳者注)：フランスがヨーロッパ以外に有する領土の総称である。原則として本土の県と同一の地位を有する。カリブ海のグアドループ(Guadeloupe)およびマルティニーク(Martinique)、インド洋のレユニオン(Réunion)、南米のギアヌ(Guyane)の 4 つがある。

2. 主たる成果

- ・パリ堆積盆地で、2007年から地熱直接利用の新たな施設が操業を始めた。1980年代初めにパリ盆地において掘削された4つのペア坑井を、2012年に改修した。その一つである Champigny-sur-Marne では、新たな生産井を掘削し、既存の2本の坑井を還元井とするトリプル坑井システムに変えた。他の3カ所、Thiais および Maisons-Alfort 1 と 2 では、ケーシングの改修が行われた。このほか、いろいろなところで改修が計画されている。2007年から、既存坑井に加えていくつかのペア坑井が掘削されている。
- ・さらに、パリ近くの Issy-les-Moulineaux の地域暖房のため、アルビア期帯水層に深さ 650m のペア坑井が掘削された。ヒートポンプを用いることによって、温度 28°C、流量 200m³/h の水から 5.4MW の暖房と 1.3MW の高温清浄水を生産している。
- ・同じ方式を用いて、パリ近郊の Plessis-Robinson において深さ 900m のネオコミアン帯水層から温度 34°C の熱水を生産し、3,500 世帯の地域暖房として用いている。
- ・ECOGI プロジェクトが始まり、2012年9月から12月に最初の坑井が掘削される。これは、アルザスの Rittershoffen に、深さ 2,500m の2本の坑井を掘削し、24MWth の工業用熱を供給する EGS プロジェクトである。生産された熱は、15km のパイプによって Beinheim に送られ、デンプン工場で使用される。
- ・2012年に調査のための許可申請が、新たに6件あった。現在、鉱山関係の省庁で審査中の申請は18件にのぼる。このうち、調査申請の5件(うち2件は、アルザスの Lauterbourg と Wissembourg)が有効と判断されている。



第 3-1 図 パリ盆地における Dogger 帯水層で実施中か計画中の地熱活動 (2007 年~2015 年)
(出典: BRGM)

2012 年における海外県の重要な活動は、以下の通りである。

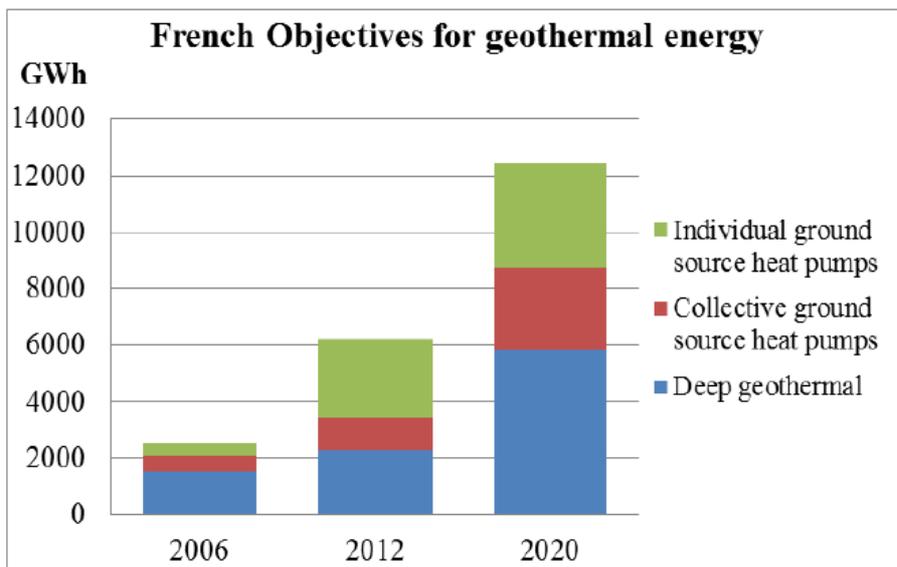
- ・マルティニーク島で、地球物理学を含めた追加の地表調査が実施されている。
- ・グアドループ島の Bouillante 南方に位置する Vieux-Habitants で、地表調査が始まった。

- ・広域プロジェクトである「カリブ海地熱」は、公式に開始された。この 850 万ユーロのプロジェクトは、カリブ海地方全体で地熱開発を促進するためのものである。
- ・ドミニカ島 (Dominica island) において、フランス開発庁の資金により探査ボーリングが行われ、良好な結果が得られる見通しである。グアドループ島とマルティニーク島の間にあるこの島の需要を上回るポテンシャルを有するものと期待される。それ故、周辺の島への送電を考えている。

3. 国家プログラム

2009 年にフランスは、2020 年までにエネルギーミックスの 23%を再生可能エネルギーでまかなうという目標を定めた。2020 年までに再生可能エネルギーをさらに 2,000 万石油換算トン(1toe=約 42GJ)生産する必要がある。これには、再生可能による熱が 50%、再生可能による電力が 50%を占める。

2012 年と 2020 年の地熱の熱利用を定め、第 3-2 図に示す。



第 3-2 図 フランスにおける地熱暖房の将来の動向

- ・直接熱利用：2006 年の 1.5TWh から 2012 年には 2.3TWh、さらに 2020 年には 5.8TWh。
- ・地熱ヒートポンプ：2006 年の 1.0TWh から 2012 年には 3.9TWh、さらに 2020 年には 6.6TWh。このことは、2020 年に 200 万世帯が地中熱ヒートポンプを使用することになる。

地熱発電は、フランスにおいて 2020 年に 80MW に達すると期待される。

- ・仏領西インド諸島とレユニオンにおいて、火力発電を合理的なコストで脱炭化エネルギーに代える。2020 年においては、フランス全体の再生可能エネルギーの割合が 23%であるのに対し、これらの島では、現在、ほとんどが化石燃料を使っているところから、50%を目標とする。
- ・2050 年までには、このエネルギー開発に EGS プロジェクトの経験を生かす。

2011 年に、ADEME(フランス環境エネルギー庁)によって、戦略的地熱ロードマップが発刊された。そこでは、地熱セクターの課題と問題点や 2020 年の見通しを述べ、研究開発の優先度と実証操作の必要性を明確化するための技術的および科学的な限界を示している。

地熱の利用法によって、その進捗がいろいろである。

- ・電力：本土で多くのプロジェクトが構築されている(熱・電力複合)。しかし、固定買取制度などの制度がないため、海外島の地域に関する計画は少ない。

- ・直接利用：パリ盆地において、いくつかの設備が毎年建設されている。これは、促進の助けとなっているが、十分ではない。目標を達成するために、パリ盆地における設備を増やすとともに、いろいろな帯水層や地質学的条件で他のプロジェクトを開始しなければならない
- ・地中熱ヒートポンプ：設備容量は、わずかながら増加している。目標を達成するためには、ペースを上げる必要がある。

新規ビルのエネルギー消費量を $50\text{kWh}/\text{m}^2/\text{年}$ のレベルにするという新たな基準を設けたことが、エネルギー需要を削減するための有力な手段となっている。このためには、電気暖房を例えばヒートポンプなどに代える必要がある。しかし、この法規に付随する規程に、ヒートポンプよりもガスやバイオマスを有力な方法として推薦しているため、2008年におけるヒートポンプ市場は低迷した。

地中熱ヒートポンプを法規に明示することが、非常に重要である。浅部地熱プロジェクトの手続きは明確ではなく、手続きが非常に厄介であるか、あるいはない可能性もある。さらに、環境対策についても明確になっていない。結果的に作業は、規制上の手順、専門的な標準、掘削業者の資格にもとづいて行われている。不幸にも、新たな法規は2013年前には期待できない。

4. 産業の現状と市場開発

フランスには、タービンやヒートポンプの製造業、地上および地下のエンジニアリング会社、掘削業者など地熱関連の全ての産業が存在する。2010年に、それらの多くは、すべての再生可能エネルギーの代表である既存のSER (French Renewable Energy Association : フランス再生可能エネルギー協会) の他、AFPG (French Geothermal Association : フランス地熱協会) に加入した。2012年12月、AFPGは2日間にわたる会議と展示会で構成される第2回フランス地熱の日 (French Geothermal Days) を企画した。2012年には、SERによってフランス地熱関係者の名簿が出版された。

ヒートポンプ市場の障害となる主たる要素として、以下の2点があげられる。

- ・比較的ガス価格が安いので、特に(住宅で)熱のみを利用する場合などでは、浅部地熱プロジェクトを導入することによる利益が上がらない。
- ・ビルのエネルギー効率に関する新たな法規のスキームは、一次エネルギーをもとにしたもので、温室効果ガスの排出、あるいは国の貿易収支バランスに対する影響を考えていない。電気は係数2.58と定められている (電気 1kWh は熱 2.58 kWh に相当する) いるので、ヒートポンプが過小評価されることになり、ヒートポンプの競争力が低められている。将来、この係数を含めて、もっとバランスの取れたアプローチを採用すべきである。

再生可能熱ファンド (Renewable Heat Fund) が2009年に設立され、企業、集合住宅、商業ビルに関係したプロジェクトに資金を提供している。2009年から2013年の間、全ての再生可能エネルギーに対して12億ユーロが配分された。再生可能熱プロジェクトと一般にガスによる熱供給との差額を補填することを目的としている。暖房ネットワークとフィージビリティスタディに対する資金を含む地熱プロジェクトの資金は、第3-2表に示すとおり安定している。

2010年以来、暖房ネットワークの開発に対するいくつかの方策が始められた (2010年GIA年報参照)。省エネルギー認証制度は、供給者が省エネルギーを推進するのに役立っている。

ヒートポンプや地熱用熱交換器を含め、個人住宅に対して26%の減税がある。2011年の減税は36%であったが、全ての再生可能エネルギーに対する支援が減少した。また、利息ゼロのローンや省エネルギー認証制度もある。

地熱プロジェクトの開発に対して重要なインセンティブは、適切なリスク緩和スキームを設けることである。フランスには2つの公的スキームがあり、深部地熱 (SAF Environmentによって管理) と浅部地熱 (帯水層に対する操業のみでAquapacと呼ばれている) である。いずれも、短期 (初期の流量と温度) と長期 (20年以上にわたる資源の開発可能性) をカバーしている。しかし、保険金は非常に異なっており、深部地熱に対しては420万ユーロ、浅部地熱に対しては11.5万ユーロである。これらのファンドは、公的機関とプロジェクトのオーナーが一緒になって支援している。現在、電力開発に対するこのようなスキームはない。

第3-2表 2012年における地熱プロジェクトと予算

Geothermal Project Type	Number of funded projects				Quantity of produced renewable energy (toe/yr)	Amount of the subsidy given by ADEME (k€)
	2009	2010	2011	2012	2012	2012
Deep geothermal	1	4	4	3	8,692	6,918
Shallow aquifers	4	32	33	18	884	1,346
Borehole heat exchangers	10	35	34	30	506	2,403
Waste water	1	6	16	13	1,909	3,817
TOTAL	16	77	87	64	11,991	14,484

電力に対しては、2010年に新たに始まった固定買取制度である。地熱の電力に対しては、海外県で130ユーロ/MWh（100ユーロ/MWhではなく）、本土では200ユーロ/MWhである。副産物である熱を利用するとボーナスが得られる。これによって、とりわけ本土において多くの会社が深部地熱プロジェクトに乗り出した。海外県に対する支援スキームは、見直す必要がある。

5. 研究、開発、実証

フランスの地熱に関する研究は、特に Soultz-sous-Forêt のパイロットプラントで採用している EGS を含め、ほとんどの分野をカバーしている。ソルツの研究開発プログラムは第3フェーズが実施されており、地熱の開発、モニタリング、ライフタイムの判定に焦点を置いている。第4フェーズについては、検討中である。

フランスの全ての研究領域に関するプロジェクトの募集を2回行った後、171の中核的研究拠点が資金を受けた。G-Eau-Therme Profonde 研究所に、2012年3月に公的品質ラベルが与えられた。アルザスをベースに、深部地熱エネルギーを対象としており、8年間に3,300万ユーロの資金を受ける。

GeodEnergy（無炭素エネルギー技術の研究拠点）も資金を受けた。これは、オルレアンに拠点を置き、CO₂貯蔵、エネルギー貯蔵、地熱エネルギー（熱および電気）など地下関係の3つの産業セクターを有している。

以上の2件の他に、フランスの地熱に関する国家研究開発予算の大部分は、ADEME が管理している。また、上流研究の一部は ANR（National Agency for Research：国立研究機関）、技術革新のファンドは FUI（Fund for Industrial Cluster：産業クラスターのファンド）が支援している。

ADEME の支援により、特に Bouillante において、従来型高エンタルピーについての研究開発が行われている。また、低エンタルピーについての研究は、資源の特性評価、モデリング、環境影響、地下熱エネルギー貯蔵などがある。

地中熱ヒートポンプと地熱の熱交換器に関する研究開発は、全体システムの最適化やいろいろな再生可能エネルギーと地下の熱エネルギー貯蔵を組み合わせるなどの革新的概念の研究などを対象に行われている。ANR は、エネルギーパイル（建物の荷重を受け持つパイルを地中熱交換に利用したもの）を用いたシステムについての研究を行っている Gecho プロジェクトに資金提供し、FUI は省エネルギー住宅の低価格化の開発を行っている Micro-Geo プロジェクトに資金を提供している。

2011年暮れ、戦略ロードマップに基づき、フランス政府は革新的な深部地熱の熱および発電実証プロジェクトを支援するための提案を公募した。2012年3月に提案が提出されたが、2013年までに結果が出ていない。

フランス企業ファンドは、熱力学サイクルやポンプなどの装置の研究、地熱探査や開発への投資に使われているが、その額は不明である。

企業と研究所が協力する研究開発プロジェクトを推進するために、以下に示すような国家技術クラスターがつけられた。

- Avenia : Aquitance をもとにした深部地熱利用
- Synergile : 海外県における再生可能エネルギーの開発
- S2E2 : スマートビル
- Advancity : スマートシティ
- Tenerrdis : いくつかの再生可能エネルギー
- Derbi ; 熱貯蔵
- Dream : 水と環境影響

6. 地熱教育

教育プログラムは、地中熱ヒートポンプが中心となっている。なぜなら、地熱エネルギー関係で採用される人の多くは、このセクターだからである。初期トレーニングは、大学によって開発されている。ADEME ファンドは、ビルにセクターですでに働いている人を対象に、短期トレーニング部門に用いられている。

7. 将来の見通し

2013 年以降、地熱関係の推進がいくつか図られるものと期待される。

- フランス本土において、深部の直接熱利用のための操業数が増える予定である。
- 特に、Rittershoffen においては 2 番目の坑井が掘削され、ECOGI プロジェクトは継続される。
- 地熱調査のための多くの許可が認められ、特に本土において電力・熱の生産や生産井の掘削が行われると期待される。
- 深部地熱実証プロジェクトの選定と資金援助により、フランス産業の新たな引き金となり、新しい深部地熱の見通しができる。
- フランスのドミニカにおける探査ボーリングは、地熱プラントの建設プロジェクトにつながると期待される。
- 浅部地熱プロジェクトに対する法規のフレームワークは、明確になり、熱法規が採択される見通しである。
- 2013 年以降、再生可能エネルギーファンドのスキームが延長されるかどうかの問題となる。

8. 参考文献等

ADEME(2011 年)地熱戦略ロードマップ

ADEME(2012 年)フランスにおける地熱エネルギー分野のノウハウー熱の直接利用と地熱電力システム

AFPG (2012) La géothermie en France-Etude du marché en 2011.

Boissavy C., Vernier R., Laplaige, P. (2013) Geothermal Energy Use, Country Update for France. European Geothermal Congress 2013. Pisa, Italy

Boissier F., Desplan A., Laplaige, P. (2010) France Country Update. World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia.

EurObserv'ER (2012) The State of Renewable Energies in Europe-2012 Edition.

MEDDE (2010) France National Renewable Energy Action Plan.

MEDDE (2013) Panorama Energie Climat-Edition 2013.

ADEME (French Agency for Energy and Environment) and BRGM (France's leading public institution in Earth Science field) have created a general geothermal website for France:
www.geothermie-perspectives.fr

The list of valid high temperature geothermal permits is published on the following website:
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-titres-miniers-en-cours-de.html>

The website of Interreg project "Caribbean Geothermal" gathers information about the whole region:
<http://geothermie-caraibes.org>

著者

Romain Vernier
Geothermal Energy Department
BRGM
3, Av. Claude Guillemin
BP36009-45060 ORLEANS
Cedex 2
FRANCE
E-mail : r.vernier@brgm.fr

Philippe Laplaige
ADEME
Centre de Sophia Antipolis
500 route des Lucioles
06560 Valbonne
FRANCE
E-mail : philippe.laplaige@ademe.fr

4. Germany(ドイツ) (National Activities Chapter 11)

1. 概要

地熱エネルギーは莫大なポテンシャルを有しており、理論的にはドイツのエネルギー需要の数倍以上に相当する。このポテンシャルを開発するために、有望地域の調査と開発、掘削技術の開発および抽出した地熱エネルギーを電力に変換するシステムに至るまで、すでに多くの取り組みがなされてきた。

ドイツにおいて、地熱の有望地域が3カ所ある。ドイツ北部の North German ベースン、南西の Upper Rhine ベースン、南部の Masasse ベースンである。

2012年、発電を目的に、これらの地域の2カ所で開発が行われた。Sauerlach (バイエルン) と既存の Landau サイト (ラインラントーブファルツ、2007年)、Unterhaching (バイエルン、2008年-2009年)、Bruchsal (バーデン-ウエルテンベルグ) につながる Insheim (ラインラントーブファルツ) である。

さらに発電を行うため、3つの地熱プロジェクトのプラントが建設中である。いずれもバイエルンの Kirchstockach と Kirchweidach、および Oberhaching である。ドイツ地熱協会 (GtV : German Geothermal Association) によれば、2012年10月にドイツでは20の地熱 CHP (combined heat and power) プラントが操業中で、家庭や会社、公共ビルに直接熱ネットワークを通して、熱エネルギーを供給している。



第 4-1 図 ドイツの地熱エネルギーのターゲットとなる3つのベースン

2. 国家プログラム

ドイツは、厳しい気候変動防止目標を掲げるとともに、2022年までに原子力発電所を全廃することと決断した。今世紀半ばまでに、ドイツ政府は再生可能エネルギーを優先し、2050年までに電力消費量の80%、最終エネルギー消費量の60%を補うというエネルギー供給目標を掲げた。再生可能エネルギーの開発を支援するために、第6次エネルギー研究プログラムのもとで、2011年から2014年の間、将来のエネルギー技術の研究開発のため、35億ユーロ（約50億米ドル）を確保した。

ドイツの国内エネルギー総消費量に対する再生可能エネルギーのシェアは、2012年には上昇し、22.9%に達した。これは、前年度に比べて2.5%の増加に当たる。太陽、風力、水力、バイオマス、地熱による発電量は1.36億kWhで、2011年に比べて10%増加した。

2012年において、再生可能エネルギーによる熱供給は大きく増加し、2011年の1.35億kWhから1.44億kWh以上に増加した。しかしながら、ドイツの熱消費量に対する再生可能エネルギー源のシェアは、2011年レベルの10.4%に留まっている。これは、2012年の熱消費量全体が、寒波のため増加したためである（2011年の1兆3010億kWhに対して、2012年は1兆3850億kWhと推定される）。このことは、熱の消費に対する再生可能エネルギーのシェアは、ここ3年の間増加していないことを示している。

第4-1表 ドイツにおける2012年の地熱エネルギーの利用

電力	
全設備容量(MWe)	12.1
新規設備容量(MWe)	4.6
国内発電設備容量に対する割合(%)	<0.1
全発電量(GWh)	25.4
国内発電量に対する割合(%)	<0.1
直接利用	
全設備容量(MW _{th})	211.5
熱の使用量(深部地熱資源)(GWh/年)	731
熱の全使用量(深部+地中熱)(GWh/年)	7,070
地熱ヒートポンプ数	230,000
商業関連	
従業員数	13,900
投資額(億ユーロ)	9.3
歳入(億ユーロ)	7.8

3. 産業の現状と市場開発

連邦政府は、厳選された研究プロジェクトに対する資金援助の他に、Renewable Energy Sources Act (EEG：再生可能エネルギー法)により地熱発電を支援し、掘削に助成金を出すことによって、新たなプロジェクトにインセンティブを与えている。2011年6月末、連邦議会（国会の下院）でEEGが改正された後、2012年初めに地熱エネルギー促進のためのフレームワークの条件が改善された。現在の投資者に対する高いリスクを低減するために、地熱発電に対する助成金は、kWh当たり25ユーロセントに上がる予定である。EGSによる発電には、2012年現在kWh当たり5ユーロセントとなっている。これらの補助金によって、今日まで新たな設備の建設は、期待を下回っていた。しかし、政府は将来の地熱エネルギーが促進されると期待している。プロジェクトを委託するための現実的なタイムスケジュールを定めるとともに、プロジェクトの実施を早めるために、2018年まで助成金の減額は延期されることになった。

ドイツ政府の市場インセンティブプログラム（MAP : Market Incentive Program）は、暖房、温水、冷房、プロセス加熱を供給するために用いる再生可能エネルギーシステムを推進するものである。MAPには、ドイツ連邦経済技術省輸出管理局（BAFA : Federal Office of Economic and Export Control）が管理している小型ビルのセクションとドイツ復興金融公庫（KfW）金融グループの再生可能エネルギープログラムの主要構成要素となっている大型ビルと商業施設のセクションがある。MAPは、いくつかの地熱技術をサポートしている。例えば、住宅用ビルの高効率ヒートポンプシステムの設置に当たって、ヒートポンプに最大 1.23 万ユーロ（1.75 万米ドル）の援助をしている。100kWt を超える大型のヒートポンプに対しては、1 システムにつき最大 5 万ユーロ（7.2 万米ドル）で、熱容量 kW 当たり 80 ユーロ（115 米ドル）の払戻ボーナスを支払っている。

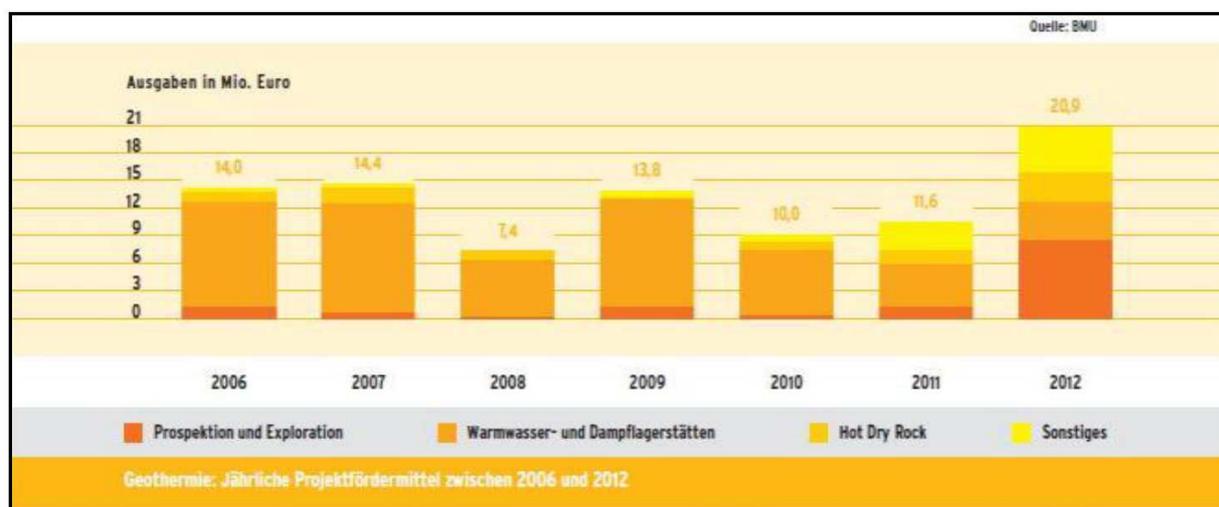
深部地熱エネルギーを用いる熱・電力プラントに対しては、プラント当たり最大 200 万ユーロ（290 万米ドル）の払戻ボーナスがある。坑井の掘削は、全プロジェクトコストの大部分を占める。深さ 400m 以上の掘削コストの払戻ボーナスは、坑井の深さに応じて、垂直深度 1m 当たり 540 米ドルから 1,000 米ドルとなっている。1 坑井当たりの最大ボーナスは、3,600 万米ドルである。さらに、一部の探査リスクも KfW プログラム内でカバーしている。

4. 研究、開発、実証

最近、深部地熱エネルギーによる発電に用いられる科学技術の進歩は著しい。それにもかかわらず、地熱エネルギーは、商業的規模で信頼性を持って利用されるまでには至っていない。地熱エネルギーのポテンシャルは高く、再生可能エネルギーにもとづく将来のエネルギーシステムに対する貢献度も高いことを留意して、BMU（Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety of Germany : 連邦環境・自然保護・原子炉安全省）は、関連する研究プロジェクトを支援している。

地熱ポテンシャルを利用するために、特に適地における探査と開発、掘削技術、採取された熱の電力への変換について、かなり多くの取り組みがなされてきた。

現在の BMU 研究プロジェクトは、地熱の付加価値を高めるための全ての段階をカバーしている。その主たる目的は、地熱エネルギーのコスト効率を高めるため、コスト削減を図ることである。計画・調査段階、掘削・建設・組立段階、試運転と操業段階にわたるプロジェクトの全ての段階における技術的発展が、コスト削減に貢献している。現在、投資コスト全体の大部分を占めているのは、掘削作業である。したがって、掘削速度を速め、費用のかからない掘削が必要となる。しかしながら、建設されたプラントも、効率よく、保守費用が少なく、信頼性が高くなければならない。地熱エネルギーに対する技術進歩と同時に、当然のことながらよりよい広報活動を行う必要がある。大事なことだが、適地と十分いえないところにおいても、地熱エネルギーを利用する方法を探る必要がある。



第 4-2 図 ドイツの 2006 年から 2012 年にわたる地熱プロジェクト資金

深部地熱セクターが実施中のプロジェクトに必要な資金は、2011年の1,160万ユーロから2012年には2,080万ユーロに増加した。これは過去2年間に比べて、大幅に新たな承認が増えたことによる。2012年には2011年と同じ、37の新たなプロジェクト(2,140万ユーロ)が承認された。これは、深部地熱セクターが安定した研究成果を得ることに役立っている。平均すると、新たな承認の総数は、2004年以来2倍になっている。

4.1 主な研究

・高温用ポンプ開発のための試験掘削装置の運転開始

地熱発電所にとって、信頼性が高く、効率のよい水中ポンプは、コスト効果を上げるためのポイントとなる。浸食性の高い成分を含む、高温で大量の深部熱水を生産するために使用されるポンプは、例えば石油の生産に用いられるポンプに比較して、非常に過酷な条件に晒されることになる。このも大を克服するために、Baker Hughes INTEQ GmbHは、Optimized Geothermal Pumpsプロジェクトのもとで、地熱井の掘削に使用されるポンプの改良を行っている。2012年夏、ツェレのBaker Hughesサイトにおいて、高温用ポンプの試験掘削装置の運転を開始した。これは、最適なポンプの設計を行うため、新たな知見を得る目的で実施されている。

当時のニーダーザクセン州知事であるDavid McAllisterによって、2012年9月に試験掘削装置の運転が開始された。この掘削装置は、高温試験に用いられており、モーター巻線絶縁体とポンプ補正システムを故意に200°Cを超える温度に晒した。チームは、地熱に使用した際のポンプの破損に関する記録を総合的に解析し、これにもとづいてモーターの改造をすでに始めている。

・Bavarian Molasse ベースンにおける信頼の高い運転

高効率、長期運転のための設備の設計と熱水の冷却挙動の調査を行う際、構成部品を正確に知っておくことは重要である。現在まで、正確なデータの取得を行っていなかったため、不必要な設計や保守費用の支出および故障につながり、プラントの寿命を縮めることにもなった。Stadtwerke Munchenによるコーディネーションのもとで、ミュンヘン工科大学(TUM)の水理化学研究所とErdwerk GmbHが協力し、Bavarian Molasse ベースンにおいて深部地熱設備の計画と最適化に伴うリスクを最小化するプロジェクトが行われている。これは、4つの分野に分けられている。材料の改良、フィルターの改善、坑井と貯留層の状況変化に対応した測定技術、このシステムに生ずる圧力の計測である。例えば、圧力測定の不確かさの許容度を計算するのに、100%というコストを重視した安全限界を最近追加した。チームは、運転中に連続かつ定量的なガス分析法を開発しようとしている。

公益企業 Stadtwerke Munchen の2番目の地熱プロジェクトである Sauerlach 地熱サイトに、注目が集まっている。ザウラーアッハの Bavarian Molasse ベースン内は、比較的ガス含有量が高く、水とガスに高濃度の硫化物が含まれている。また、炭化水素がかなり高濃度であり、さらに高温(142°Cまで)という条件は、特にチャレンジするためのよい例となる。このプロジェクトに BMU は、約77万ユーロを提供した。

今後、ミュンヘンの公益企業 Stadtwerke による第2の地熱プロジェクトである Sauerlach 地熱サイトに注目が集まると思われる。Sauerlach の Bavarian Molasse ベースンは、水相およびガス相内のガスと硫化物の濃度が高く、炭化水素濃度も高く、高温(142°Cまで)であることから、多くのチャレンジが行われている。BMU は、このプロジェクトに対して約77万ユーロを提供している。

ドイツにおける地熱プロジェクトの他のハイライトは、BMU が発行した「Innovation Through Research 2012-Annual Report on Funding in the Renewable Energies Sector」に記載されている。

5. 将来の見通し

政府の研究支援の目的は、将来深部地熱貯留層からコスト効果が高い熱を抽出・利用し、発電を推進することである。地熱エネルギーの市場浸透を促進するため、研究資金の主たるターゲットとなるのは、地熱エネルギーを用いた熱エネルギーの生産である。中期を超える期間においては、天候などの影響を受けず、継続した生産が可能な再生可能エネルギー資源である地熱エネルギーが、ドイツの市場におけるフットプリント(立場)を確保し、需要を大いに伸ばすことが、最も大切である。

6. 参考文献等

Innovation Through Research 2012-Annual Report on Funding in the Renewable Energies Sector , BMU 2012:

<http://www.erneuerbare-energien.de/unser-service/mediathek/downloads/detailansicht/artikel/innovation-und-forschung/>

The Development of renewable energy sources in Germany in 2012-Graphics and tables, Working Group on Renewable Energy-Statistics (AGEE-Stat) 2012:

http://www.erneuerbare-energien.de/english/renewable_energy/data_service/agee-stat/doc/42725.php

EEG-Renewable Energy Sources Act 2012, BMU:

<http://www.erneuerbare-energien.de/en/unser-service/mediathek/downloads/detailview/artikel/renewable-energy-sources-act-eeg-2012/>

Trends in Geothermal Application 2011, IEA-GIA, B. Ganz :

<http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2013/07/Trend-Report-2011-FINAL-3-Standard-Ganz-17Jul13.pdf>

6th Energy Research Programme of the Federal Government:

<http://www.bmwi.de/EN/Service/publications.did=477502.html>

Further sources of information:

Funding of renewable energy projects by BMU:

[http://www.forschungsjahrbuch.de/Geothermal Information System for Germany \(GEOTIS\), Leibniz Institute for Applied Geophysics \(LIAG\):](http://www.forschungsjahrbuch.de/Geothermal%20Information%20System%20for%20Germany%20(GEOTIS),%20Leibniz%20Institute%20for%20Applied%20Geophysics%20(LIAG):)

http://www.geotis.de/index.php?loc=en_us

Bundesverband Geothermie GtV:

<http://www.geothermie.de/>

Informationsportal Tiefe Geothermie:

<http://www.tiefegeothermie.de>

著者

Dr Lothar Wissing

Projekträger Jülich

Erneuerbare Energien PTJ-EEN

Forschungszentrum Jülich GmbH

52425 Jülich

Tel.: +49 (0)246161-4843

Fax: +49 (0)2461 61-2840

E-mail : l.wissing@fz-juelich.de

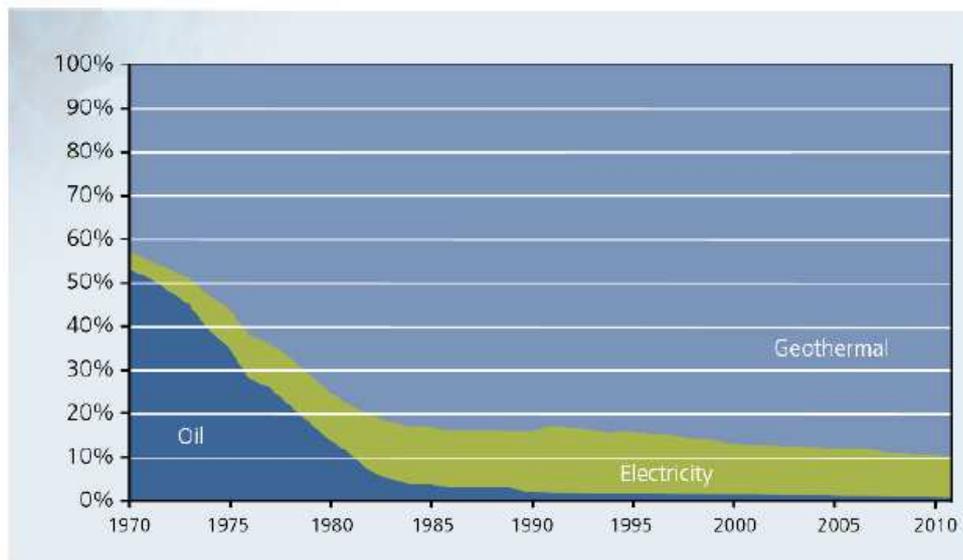
www.fz-juelich.de/ptj

5. Iceland(アイスランド)

(National Activities Chapter 12)

1. 概要

アイスランドでは、全ての発電・燃料用エネルギーおよび1次エネルギーの85%は、発電の際二酸化炭素を排出しない、国産の再生可能資源に依存している。アイスランドが、再生可能エネルギーを長期的に優先させるという効果的な政策を採用した結果である。1次エネルギーの使用量における地熱の割合は、2012年に69%を占め、175PJ(1PJ=280GWh)に相当する。国家のエネルギー供給をまかなう点で、地熱エネルギーがこのように重要な役割を占めている国は他にない。



第 5-1 図 1970 年以降のエネルギー源別暖房の割合

第 5-1 表 2012 年アイスランドにおける地熱エネルギー利用

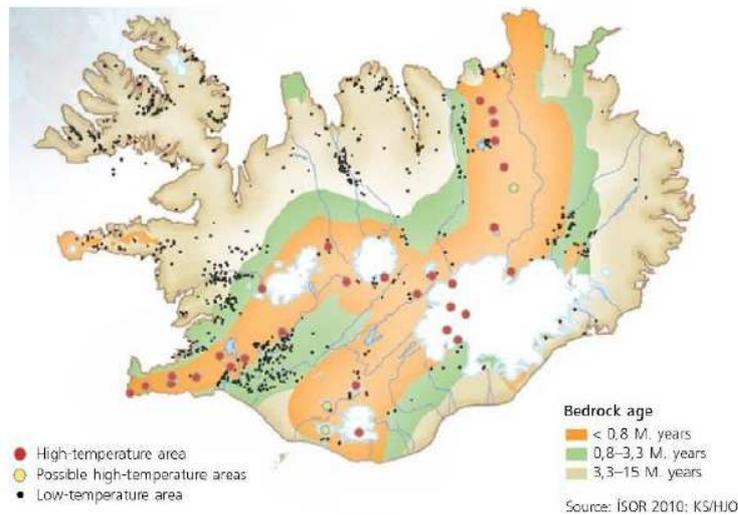
電力	
全設備容量(MWe)	665
国内発電設備容量に対する割合(%)	25
全発電量(GWh)	5,210
国内発電量に対する割合(%)	30
直接利用	
全設備容量(MW _{th})	na
熱の使用量(深部地熱資源)(GWh/年)	7,000
ヒートポンプの全設備容量(MW _{th})	na
ヒートポンプの全正味使用量(GWh/年)	na

na: データなし

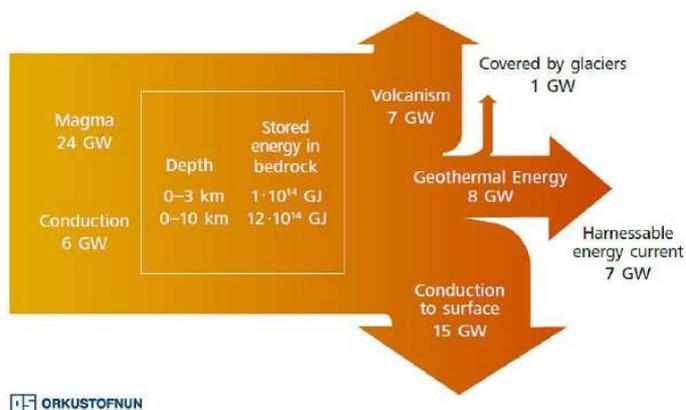
アイスランドにおける現在のエネルギー使用量は約 30GW と見積もられ、そのうち 7GW が自然エネルギーである。10km より浅い岩盤に貯蔵されているエネルギーは、 12×10^{14} GJ と推定される。現在のアイスランドにおける電力価格のもとで、技術的かつ経済的に 4,300MWe の地熱発電施設の建設が可能で、環境問題を考慮に入れなければ、30TWh の発電が可能であると考えられる。

2. 主たる成果

2012 年の地熱エネルギーによる 1 次エネルギーの供給は、156PJ から 175PJ へ 12% 増加した。このうち地熱発電は、4.7TWh から 5.2TWh へ 8% 増加した。将来、9 カ所の地熱発電所で 675MWe の発電を計画しているが、2015 年から 2017 年には、このうち 45~170MWe を建設する予定である。



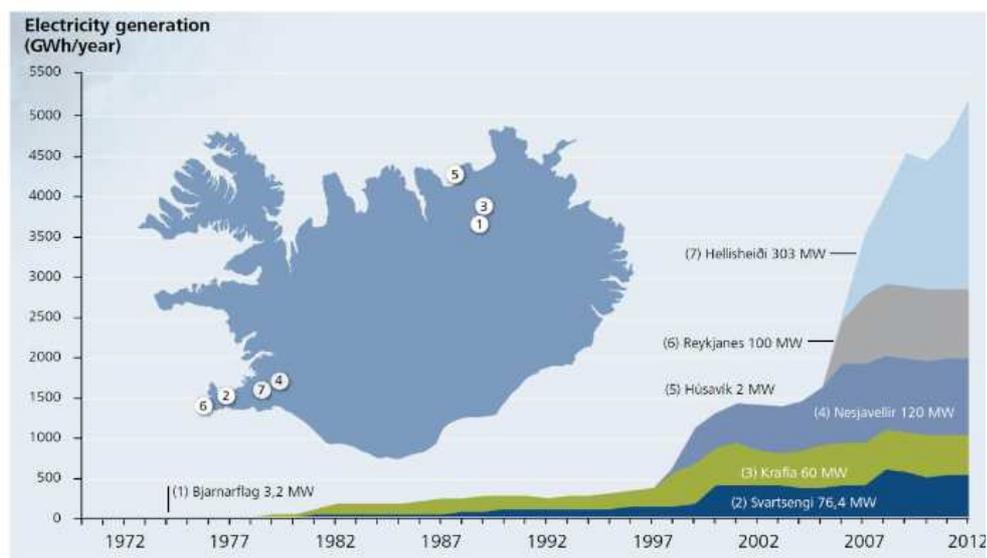
第 5-2 図 アイスランド火山地帯の高温地熱フィールドと火山の山腹の低温泉クラスター位置。アイスランドは、ホットスポットと大西洋中央海嶺上に位置しており、地質的に非常に活発である。



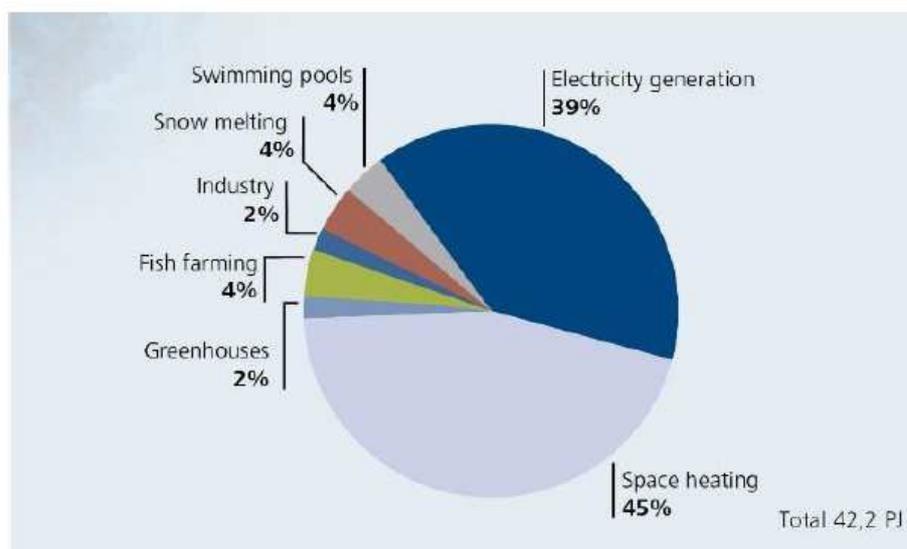
第 5-3 図 アイスランド地殻を通る地上のエネルギーの流れと貯えられている熱

Orkustofnun 社は、欧州経済領域（EEA : European Economic Area）グラントの 3 つの再生可能エネルギープログラムを持つ Donor Programme Partner（DPP）の任務を遂行している。DPP は、全体で 2,800 万ユーロの予算を有し、2013 年から 2016 年までの間、ハンガリーに 900 万ユーロ、ポルトガルに 5 万ユーロ、ルーマニアに 1,400 万ユーロ配分されている。予算は、再生可能エネルギー分野のプログラムに関連するプロジェクトの開発、実行、管理に使用される。

既存の化石燃料による地域暖房システムを採用しているハンガリーとルーマニアは、地熱による熱エネルギープラントの建設に、重点が置かれる予定である。さらに、ハンガリーにおいて再生可能エネルギーの持続的利用に関する認識を高めること、ハンガリーへの資金提供国において再生可能エネルギーに対する高等教育を支援することにも重点が置かれている。ハンガリープログラムの一部として、6ヶ月にわたって8人の専門家が、Orkustofnun 社が運営している国連大学地熱トレーニングプログラムを受講することを支援するプログラムがある。ポルトガルにおいては、あらかじめ決められているテルセイラ島に建設予定の2~3MW 地熱発電パイロットプラントを建設するプロジェクトにプログラムの重点が置かれている。これは、テルセイラ島における最初の地熱プラントになる。再生可能エネルギーによる発電のシェアを拡大することで二酸化炭素の排出を削減するとともに、アゾレス諸島において、国連大学地熱トレーニングプログラムによる特別コースを設ける予定である。



第 5-4 図 1969 年から 2012 年のアイスランドにおける地熱発電の推移



第 5-5 図 2012 年のアイスランドにおける地熱の直接利用と発電

3. 国家プログラム

アイスランド政府の方針は、電力消費型産業、熱の直接利用および輸送セクターに対して、環境と調和した再生可能エネルギー資源の利用の増加を図ることである。ここ 10 年間、大規模な水力発電やいくつかの地熱プロジェクトに対する社会的な反対があり、これによって価値の高い自然地域を保護するという幅広いコンセンサスができてきた。政府が、これまで地熱エネルギーが発見されていない地域において、地熱資源の調査を行うという努力もなされた。2020 年にまとめられた、特に輸送部門の再生可能エネルギーのシェアを増加するための戦略であるディレクティブ 2009/28/EC を踏まえて、アイスランド国家再生可能エネルギーアクションプラン（NREAP : Icelandic National Renewable Energy Action Plan）が 2012 年に出版された。

2012 年に、地熱の探査と利用を促進するアイスランドのエネルギーフレームワークは、以下の 2 つの重要な点について改正がなされた。

- (1) 新たな地熱暖房公共施設に対する助成金は、石油や電気を用いた集合暖房と同じく 8 年間から 12 年に延長された。もし、プロジェクトが他の助成金を受けていても、この助成金は影響されない。
- (2) 再生可能資源を用いるエネルギー利用は、ディレクティブ 2009/28/EC を考慮し、法律 no.30/2008 を改正することによって促進される。

4. 産業の現状と市場開発

最近の国家レビューによって、アイスランドの地熱エネルギーは水力発電よりも有望との見方が示されたが、その開発は環境問題や低い電力価格のために滞っている。地域によっては、掘削サイトや現場へのアクセスが制限されている。さらに、地熱発電プラントの景観が、ますます重要になっている。他に、暖房のために地熱エネルギーが使用できないコミュニティに対して政府が助成金を出していることが、地熱開発の妨げになっている。助成金は地域の発展に効果があるが、地熱資源を調査しようとする動きを低めることになる。



第 5-6 図 2011 年半ばの住宅暖房に対するエネルギー費用の比較
(1kr/kWh は、8 セント/kWh に相当する)

5. 研究、開発、実証

地熱研究クラスターである GEORG は、Deep Root of Geothermal Systems (DRG プロジェクト) を開始した。この目的は、火山の底部における水とマグマの関係やエネルギーを維持するためにどのように熱が地熱系に移動するかを把握することである。さらにこのプロジェクトは、高温用の坑井と坑口の設計、大深度からの超臨界蒸気の利用法に焦点を当てている。このプロジェクトは 100 万ドルで、GEORG、Orkustofnun 社、Reykjavik Energy、HS Orka、Landsvirkjun、アイスランド深部掘削プロジェクト (IDDP : Iceland Deep Drilling Project) により資金援助を受けている。研究は、大学、研究所、エンジニアリング社、エネルギー関連会社から成る 3 つのグループによって行われてい

る。探査、電気抵抗と地震測定、岩石学、地球化学の分野で、新しい技術が開発されている。さらに、新たなシミュレーションモデルも開発する予定である。このモデルは、地下熱交換部のスティムレーションや高温蒸気に対する地熱井の操作のために用いられる。この分野で働く若手研究者の育成は、このプロジェクトの重要な目的分野である。このプロジェクトは、レイキャネース半島において準備中の IDDP-2 を強力に推進している。

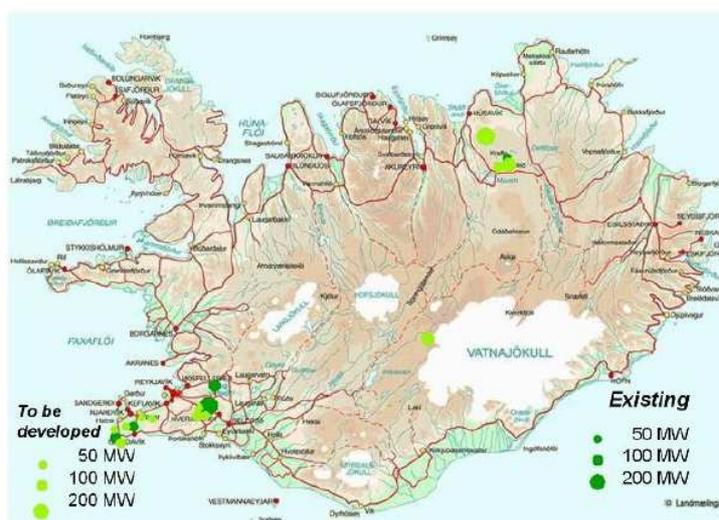
6. 地熱教育

国連地熱トレーニングプログラム(UNU-GTP : United Nations University – Geothermal Training Programme)が、1979 年以来アイスランドで続けられている。この目的は、地熱ポテンシャルの高い発展途上国において、地熱探査と開発の専門家グループを育成しようとするものである。2000 年には、アイスランド大学の協力を得て、MSc(Master of Science) が始められた。UNU-GTP は、アイスランド政府から年間 500 万ドルの資金を得ている。1979 年以来、53 カ国から 515 人の科学者が卒業した。アジア (40%)、アフリカ (32%)、ラテンアメリカ (16%)、中央および東ヨーロッパ (12%) である。これらの中で、女性は 97 人 (19%) を占めている。

レイキャビク (Reykjavik) 大学にアイスランドエネルギー研究科が設けられ、再生可能エネルギー分野でポストドクコースがある。アイスランド大学も地熱エネルギーに焦点を置いた再生可能エネルギー分野でポストドクコースを設けている。

7. 将来の展望

マスタープランの法的フレームワークで決められているエネルギー資源の利用と保護に関する布告 No.48/2011 を踏まえて、地熱と水力資源を開発、保護、将来の研究を行うべき資源と分類した国会決議が通過した。



第 5-7 図 マスタープランによって開発すべきとされた地熱発電プラント

第 5-2 表 水力と地熱エネルギーに対するマスタープランによるプロジェクトを環境的、社会的、経済的な影響をもとにプロジェクトを評価し、開発すべきもの、準備すべきもの、将来考慮すべきものに分類した結果

Potential Power	Hydro (TWh/a)	Geothermal (TWh/a)	
Existing	13	5	26%
To be Developed	3	10	20%
To be Protected	8	18	39%
To be Considered	6	3	14%
Total	31	35	

8. 参考文献等

Orkustofnun(2012). Energy Statistics 2012 (Accessible on the website: www.os.is)

Björnsson, Sveinbjörn, Guðmundsdóttir, Inga Dóra, and Ketilsson, Jonas (2010). Geothermal Development and Research in Iceland. Orkustofnun 2010. (Accessible on the website : www.os.is)

著者

Jonas Ketilsson

Orkustofnun

Grensasvegi 9

ICELAND-108

E-mail : jonas.ketilsson@os.is

6. イタリア

(National Activities Chapter 13)

1. 概要

イタリアでは、地熱発電はトスカーナ地方に限られている。一方、直接利用は、国全体に分散しており、主として入浴、地域暖房などに利用されている。ここでは、2012年に実施された活動を紹介する。

地熱発電の設備容量は、これまでの最高値である 875MWe に達した。34 のユニットから 5,235 GWh が発電された。直接利用のための熱量は、1,000 MWth から 3,500 GWth に増加した。設備容量の半分は、ヒートポンプを用いている。

地熱発電のために、新たな開発促進法が承認された。

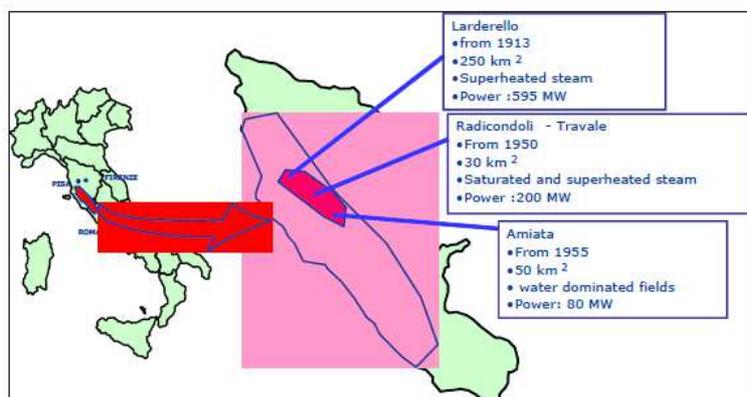
イタリアにおける、2012年における地熱利用をまとめ、第 6-1 表に示す。

第 6-1 表 2012年におけるイタリアの地熱エネルギー利用

電力	
全設備容量(MWe)	874.5
国内発電設備容量に対する割合(%)	1
全発電量(GWh)	5,235
国内発電量に対する割合(%)	2
直接利用	
全設備容量(MW _{th})	1,000
熱の使用量(深部地熱資源)(PJ/年)	12.6
ヒートポンプの全設備容量(MW _{th})	500
ヒートポンプの全正味使用量(PJ/年)	1.7

2. 主たる成果

全ての地熱発電は、トスカーナ地方で行われており、第 6-1 図に示すように Larderello/Travale と Mount Amiata の 2つの地域に集中している。全てのプラントは、Enel Green Power が所有し、運転を行っている。



第 6-1 図 イタリアの地熱地帯

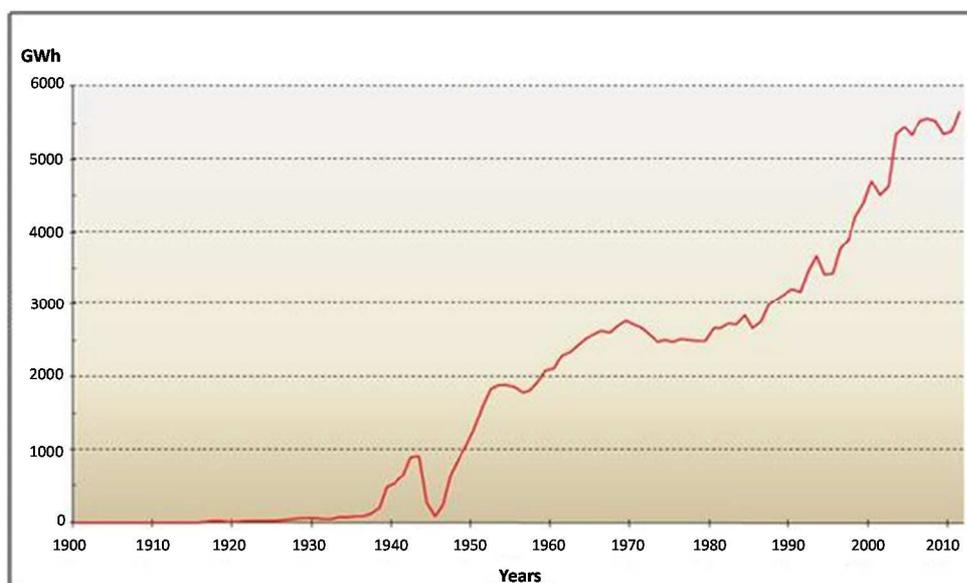
2012年12月31日現在の状況は、以下の通りである。

- ・ 操業中の坑井：生産井 308 本、還元井 69 本、貯留層あるいは現場管理用 107 本。これらのうち 96 本は深さ 3km 以上
- ・ パイプシステム：蒸気ライン 207km、還元パイプ 298km
- ・ 発電所：パワーユニット 34、うち 60MW が 4 基、20~40MW が 3 基、15MW 以下の古いユニット 3 基。多く(24 基)は、20MW の統一された標準設計である。
- ・ 容量：発電設備容量は 875MW で、うち Larderello/Travale に蒸気卓越型が 795MW、Mount Amiata には熱水型フラッシュプラント 80MW がある。稼働能力は 766MWe で、2012 年の発電量は 5,235MWe に達した。

2012 年に 3 つのプラントの補修を行った。また 8MW の古いプラントが閉鎖した。

Bagnore 3 で熱水から蒸気を分離して用いるバイナリープラントが完成した（2013 年運転開始）。

地熱開発から 100 年以上経った今も、Larderello フィールドでは持続的な発展を遂げている(第 6.3 図参照)。

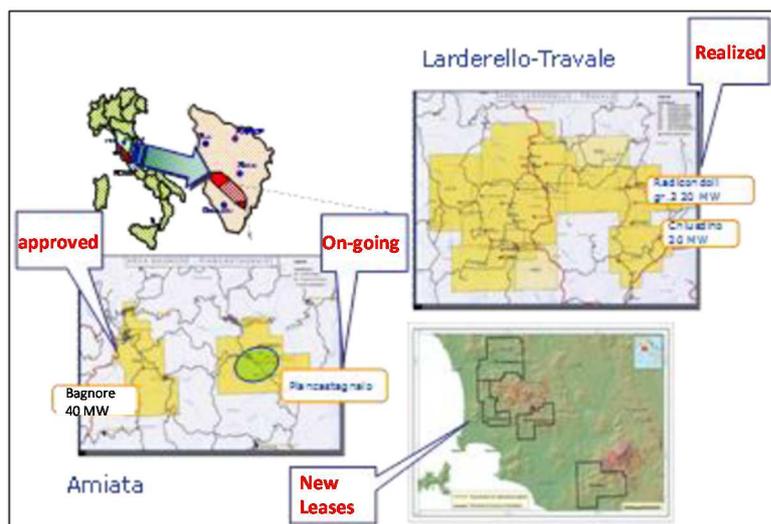


第 6-2 図 イタリアの地熱発電の推移

イタリアにおける Enel Green Power のビジネスプランでは、第 6-3 図に示すように、いくつかの新たなプロジェクトの建設やトスカーナ地域の開発に重点が置かれている。すなわち、Bagnore に 40MW の新規プラントを建設する他、バイナリー発電プラントに適した温度の熱水が回収できるかどうかを調べるため、Larderello と Mount Amiata 周辺の新たにリースした地域で探査を行う。

2012 年に、Enel Green Power の掘削チームは、トスカーナにおいて以下の掘削作業を実施した。

- ・ 深さ 2.1km、3.9km、4.3、4.4km の坑井 4 本
- ・ 深さ 400m の静水圧の調査井 2 本
- ・ 坑井改修、増掘り 7 本
- ・ 2012 年に掘削された坑井の全長 16km



第 6-3 図 Enel Green Power の活動計画

3. 産業の現状と市場開発

温室効果ガス削減のための国家エネルギー戦略に、地熱エネルギーが組み込まれている。

イタリアは、再生可能エネルギーの開発に対して、いろいろなアプローチを用いた政策を導入している。税率に関していえば、プラントの規模によるが、再生可能エネルギーによる発電に対して新たなインセンティブを与える法律が、2012年7月に施行された。

このインセンティブは、公式に最終候補リストに掲載された限られた数のプラントにしか適用されない。遠隔入力サービスの割当があるので、これにインプットして低いインセンティブに応札することは可能である。このプロセスは、多くのプラントがインセンティブを求める場合は不利である。しかし、地熱に対する割当が高いことから、近い将来問題が起こると思えない。

商業で用いられていない技術を導入しており、十分革新的と認められるプラントに対して、温度150°Cまでの場合、包括的な関税は200ユーロ/kWhとなる。線形法則を用いれば、151°Cで200ユーロ/kWhから235°Cでは137/kWhとなるので、インセンティブは下がる。

標準的な関税には、3つのレベルがある。

- 1 MW以下のプラント：135ユーロ/kWh
- 1MWから20MWまでのプラント：99ユーロ/kWh
- その他のプラント：85ユーロ/kWh

特別な特長を有するプラントに対しては、他のプレミアムがある。

- 全量を還元するプラント（ゼロエミッション）：30ユーロ/kWh
- これまでプラントがない地域に新設した最初の10MWプラント：30ユーロ/kWh
- 硫化水素と水銀の排出量を95%削減したプラント：15ユーロ/kWh

ロイヤルティ

“探査許可”を有していると、年間のリース料として325ユーロ/kWhを支払わなければならない。エンタルピーが低いか中程度の資源の場合、上記の料金は最大値となる（一般的にもっと低い）。

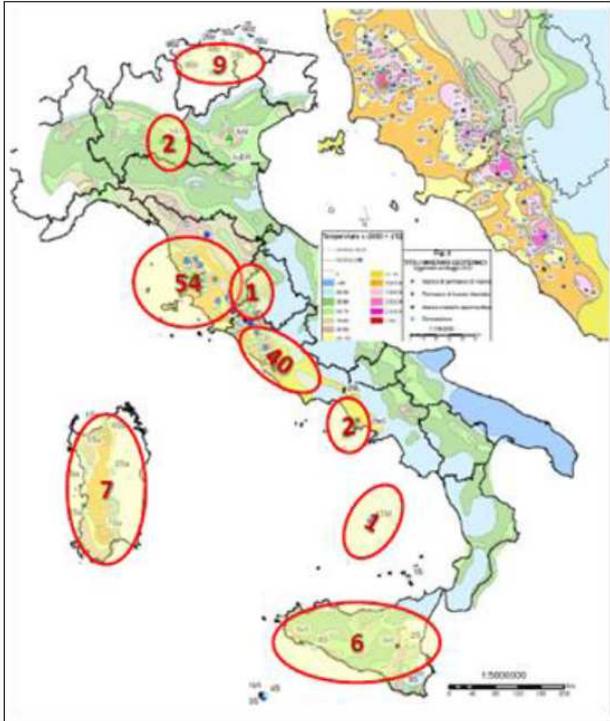
発電に対して、“採掘リース”所有者は、支払い義務がある（3MW以上のプラントの場合）。

- 管轄区域内に“リース”が含まれている場合、地方自治体に対して発電量MWh当たり13ユーロを支払う。
- 管轄区域内に“リース”が含まれている場合、行政区に対して発電量MWh当たり19.5ユーロを支払う。

自由化

新たな法律により、地熱市場へのアクセス、新たなプレーヤーの地熱ビジネスへの参入、地域担当から”探査リース”の容認などが自由化された。ここ 2 年ほどに、イタリアの異なる地域で、いくつかのリースの申請があった（第 6-4 図参照）。

新たな申請の総数は、約 120 である。近い将来、イタリアでは画期的に地熱発電のための開発が行われ、発電量は大きく増加するものと予想される。



第 6-4 図 2012 年 12 月 31 日現在の地熱ライセンスの申請

4. 環境対策

トスカーナ地方は、景観の保持と旅行者の誘致を行っているところから、特に Mount Amiata 地方では、エンタルピーの高い地域の新たなプロジェクトの開発に大きな障害となっている。

Enel Green Power は、イタリアの地熱発電所で発生する硫化水素の排出を低減するために、特許を有する除去システムを 20 個設置した。これが好結果をもたらし、地域が地熱開発を受け入れるようになった。

建設的かつお互いに利益のある関係を地域と構築することを目的に、Enel は環境負荷を削減し、地域の受入を促進するために、多くの対策を実施した。掘削パッド、蒸気ライン、発電所からの騒音や美観の問題を解決するために、新たな設計を行った。

イタリアにおける化石燃料削減に対する地熱エネルギーの寄与は、第 6.2 表に示すように無視できるものではない。削減される二酸化炭素の量を第 6.3 表に示した。

5. 将来の見通し

Larderello では開発が始まってから 100 年以上も経過しているが、深部の掘削や還元プログラムを導入し、今なお継続して地熱発電が行われている。

2 番目の開発地域である Mt. Amiata において、ヨーロッパでも最大のコンビナートの一つである Floramiata では、地域暖房や温室システムに地熱が間接的な利益をもたらすにもかかわらず、地域コミュニティからの反対により、大きなポテンシャルを有する Bagnore 地域の地熱開発が進んでいない。しかし、完全な許認可システムが最終的にできたことから、新たなプラントの建設が始められようとしている。

第 6-2 表 イタリアの地熱エネルギーのセービングファクター

地熱生産量	GWh/年	セービング ファクター(toe/GWh)	化石燃料の 節約(toe)
地熱発電量	5,235	253	1,324,455
熱生産量	3,500	127	443,437
合計	8,815		1,767,892

第 6-3 表 地熱利用による二酸化炭素削減量

		ガス、石油、石炭の代替による 全 CO ₂ の削減量(tCO ₂)
地熱発電量(GWh/年)	5,235	
天然ガスに対する CO ₂ 削減量(kg/MWh)	193	1,010,355
天然ガスに対する CO ₂ 削減量(kg/MWh)	817	4,276,995
天然ガスに対する CO ₂ 削減量(kg/MWh)	953	4,988,955
地熱発電量(GWh/年)	3,500	
天然ガスに対する CO ₂ 削減量(kg/MWh)	97	339,490
天然ガスに対する CO ₂ 削減量(kg/MWh)	409	1,431,459
天然ガスに対する CO ₂ 削減量(kg/MWh)	477	1,669,452

トスカーナや他の地域で、地熱研究のために新たな地域が開放されている。目的は、バイナリーサイクル発電に適した中程度の高さのエンタルピーを有する熱水を探査するためである。

イタリアの地熱エネルギーは他の国に比べて豊富といわれるが、地熱セクターの重要な投資を維持するには、新たなインセンティブ法では不十分である。

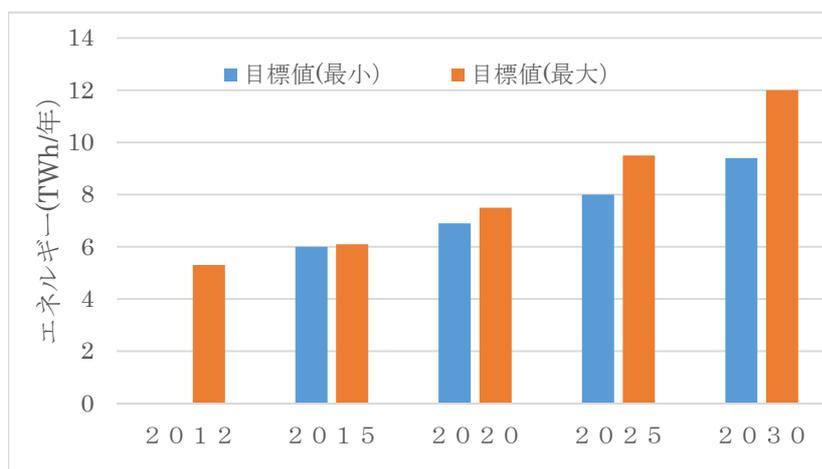
地熱エネルギーは、電力ベースロードとして、どの国においても重要な資源として見られているが、特にイタリアにおいては、現在のインセンティブスキームを改正しなければ、中・長期的な地熱開発の見通しはあまりよくない。

2020 年の目標を第 6.4 表に示す。

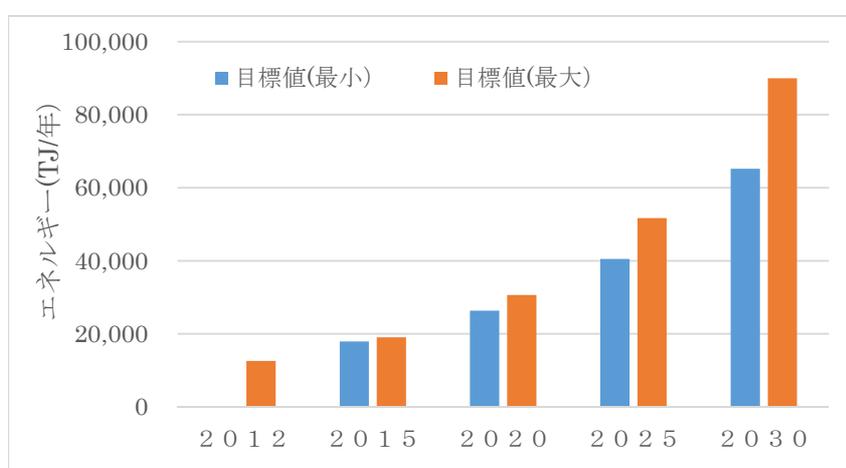
第 6-4 表 イタリアにおける地熱の目標

電力	
2012 年の全設備容量(MWe)	874.5
2015 年の予測(MWe)	915
2020 年の目標(MWe)	1,080
直接利用	
2012 年の全設備容量(MW _{th})	1,000
2020 年の目標(MW _{th})	2,500

Unione Geotermica Italiana (UGI) は、2030 年まで最大と最小の 2 つの成長シナリオによる評価を行った。その結果を、第 6-5 図と第 6-6 図に示す。



第 6-5 図 イタリアにおける地熱発電の将来予測



第 6-6 図 イタリアにおける地熱直接利用の将来予測

6. 参考文献

Buonasorte G., Cataldi R., Franci T., Grassi W., Manzella A., Meccheri M. and Passaleva G. (2011) Previsioni di crescita della geotermia in Italia fino al 2030 - Per un Nuovo Manifesto della Geotermia Italiana-, Ed. Pacini, Pisa, , 108pp.

Cappetti, G. Romagnoli, P. and Sabatelli, F. (2010) Geothermal electricity: country update report. Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, April 25-30.

Montemaggi, M., Romagnoli, P. and Bertani, R. (2013) Geothermal power generation for Italy. Proceedings European Geothermal Conference, Pisa, Italy, June 3-7. Sabatelli,

F., Mannari, M. and Parri, R. (2009) Hydrogen sulphide and mercury abatement: development and successful operation of AMIS technology. Transactions GRC

著者

Paolo Romagnoli
Geothermal Center of Excellence
Enel Green Power
via A. Pisano 120
56122 Pisa
ITALY
E-mail : paolo.romagnoli@enel.com

Ruggero Bertani
Geothermal Center of Excellence
Enel Green Power
via A. Pisano 120
56122 Pisa
ITALY
E-mail : ruggero.bertani@enel.com

7. Janan (日本)

(National Activities Chapter 14)

1. 概要

2012年からJOGMEC（石油天然ガス・金属鉱物資源機構）が、資金援助や地下の技術開発を含む地熱開発に対して、重要な役割を担うことになった。2011年に発生した福島第1原発の事故により、原子力以外の安定したエネルギーとして再生可能エネルギーを期待する世論の高まり、地球温暖化防止にも役立つ地熱が見直された。

日本政府は、2012年7月に再生可能エネルギーの導入促進のため、固定買取制度（FIT）を導入した。FIT制度による電力会社への電気の販売価格は、地熱発電を促進するうえで、非常に魅力的なものになっている。

2012年12月、地熱エネルギー開発に関する情報交換のために、日本地熱協会が設立された。

温泉業者は、自分たちの温泉水を使って発電することに興味を持ち始め、直接海に流している温泉水を使って発電プラントを設計・建設した。さらに小規模な発電所が、2013年には建設予定である。設備容量30MW以上の大規模発電所に関しては、プラント建設までに10年以上要する。しかし、容量42MWの新しい地熱発電プラントが、現在環境影響アセスメントの段階にあり、数年後の運転開始が期待されている。

第7-1表 2012年における日本の地熱エネルギー利用の現状

電力	
全設備容量(MWe)	540
新規設備容量(MWe)	0
国内発電設備容量に対する割合(%)	0.2
全発電量(GWh)	2,689
国内発電量に対する割合(%)	0.3
直接利用	
全設備容量(MW _{th})	2,094
新規設備容量(MW _{th})	na
熱の使用量(GWh/年)	7,250
ヒートポンプの全設備容量(MW _{th})	na
ヒートポンプの全正味使用量(GWh/年)	na

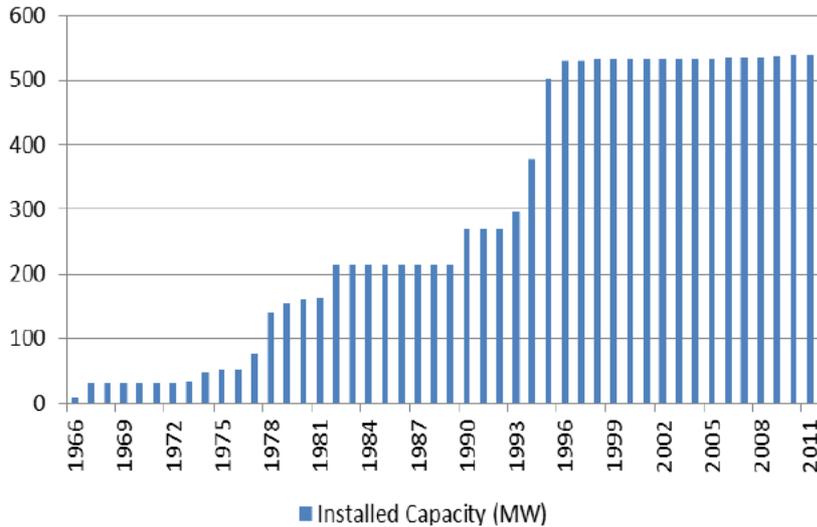
na: データなし

2. 主たる成果

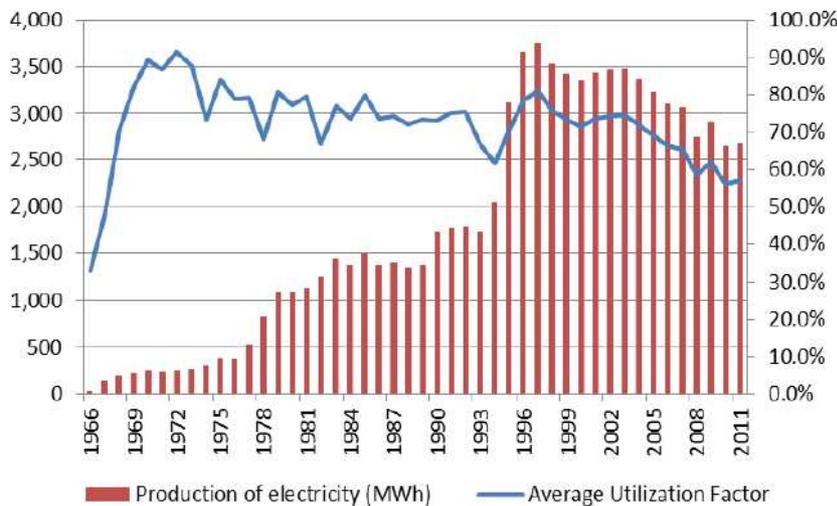
- 2004年に石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が設立され、国家事業を行う機関として石油公団と金属鉱業事業団の業務を引き継いでいる。JOGMECは、石油や金属などの地下資源の開発に関する経験を有しており、2012年9月に地熱資源の開発を促進するために、新たに地熱資源開発の業務が加わった。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、10年前に地熱エネルギー開発の実施機関であったが、現在地熱エネルギーの地上設備の開発に従事している。

・地下資源開発の経験を有しないいくつかの民間企業が、地熱エネルギー開発に興味を持ち始めた。2012年12月に、日本地熱協会が設立され、これらの会社も参加した。その目的は、以下の通りである。

- 1) 地熱発電のための研究と調査
- 2) 政府および関連機関に対する提言と誓願
- 3) メンバー間の地熱発電に関する情報交換
- 4) プレスリリースと地熱発電啓蒙



第7-1図 日本における地熱発電プラントの全設備容量



第7-2図 日本における地熱発電の全発電量と平均利用率

3. 国家プログラム

環境省による国立公園の開発規制緩和が図られ、第2種および第3種特別地域での開発が可能となった。しかし、環境省は、環境とバランスの取れた理想的な開発を実施することを要求している。ワーキンググループは、理想的な実施例について検討しているが、結論は得られていない。

2011年3月の原発事故以来、地熱エネルギーを含むエネルギーの安定供給の必要性がより強く求められているが、地熱開発は期待されて研究と調査は行われているものの、2003年以来開発は止まっていた。

日本は、熱量から推定した地熱ポテンシャルは、世界第3位である。エンタルピーの低い地熱資源の利用を促進するため、高温地熱資源のみではなく、中あるいは低温熱水の地熱ポテンシャルを評価した。評価されたポテンシャルは、温度150℃以上が23.5GW、120℃から150℃が1.1GW、53℃から120℃が8.5GWであった。最低温度53℃は、カーナサイクルをもとに計算した温度と発電の関係から決めた。

4. 産業の現状と市場開発

- ・2012年3月現在、商業用との地熱発電所は16基あり、設備容量は527.6MWである。その他4基が自家用で、設備容量は12.49MWである。2012年の地熱発電プラント数と設備容量は、2011年と同じである。
- ・上の岱地熱発電所の修復作業が終わったため、2012年の発電量は増加した。2011年における地熱発電量は2,689GWhで、日本の発電量の0.26%に相当する。
- ・年間の熱利用は、個人の風呂を含む家庭用で2,467TJで、利用できる熱の50%以上に達した。2番目に利用が多いのは、公共施設で665TJ、3番目はホテルや旅館の暖房で464TJ、4番目は道路の融雪で432TJである。2012年における熱の直接利用の全設備容量は408MW、熱量にして年間5,367TJで、2011年とほぼ同じである。なお、この数値は、ホテルや旅館の公衆浴場用の熱量は含まれていない。

5. 研究、開発、実証

武佐岳、豊羽、阿女鱒岳、足寄、美瑛、岩木山、松尾・八幡平、木地山・下の岱、小安、宇奈月温泉、熱川温泉、本宮、有福温泉、小国地域2カ所を含む15カ所を選定し、地熱開発を実施している（第7-3図参照）。それぞれの地域で、地表調査と調査井を用いた探査を行っている。

熱水を用いた小規模発電の実証が計画されており、小浜温泉で発電プラントを建設する予定である。温泉はホテルや旅館の公衆浴場で使われているが、これまで排水は70%以上直接海に捨てられている。

6. 将来の見通し

2013年と2014年には、空中重力と電磁探査が九州と東北地方の主な地熱地帯周辺で行われる予定である。これらの探査は、特に規制緩和で地熱開発が可能となった国立公園などにおいて期待される新たな地熱地帯で行われる。技術的な確信が得られた後、2014年以降の調査は、その他の主たる地熱地帯に拡大して実施する予定である。

JOGMECでは、他の技術として、地熱貯留層の維持に関する技術を開発している。いくつかの地熱地帯では、圧力低下や加熱状態など貯留層に関するトラブルが発生している。貯留層圧力を保持するために水を注入している。この実験は2014年から地熱地帯で実施される予定である。

地熱地帯に地震反射法を適用する技術開発も行っている。地震探査法は解像度が非常に高いが、非常に複雑な地熱地帯で実施するには、困難を伴う。JOGMECでは、最新の解析技術を用いて、地熱地帯における地震データを解析する計画である。

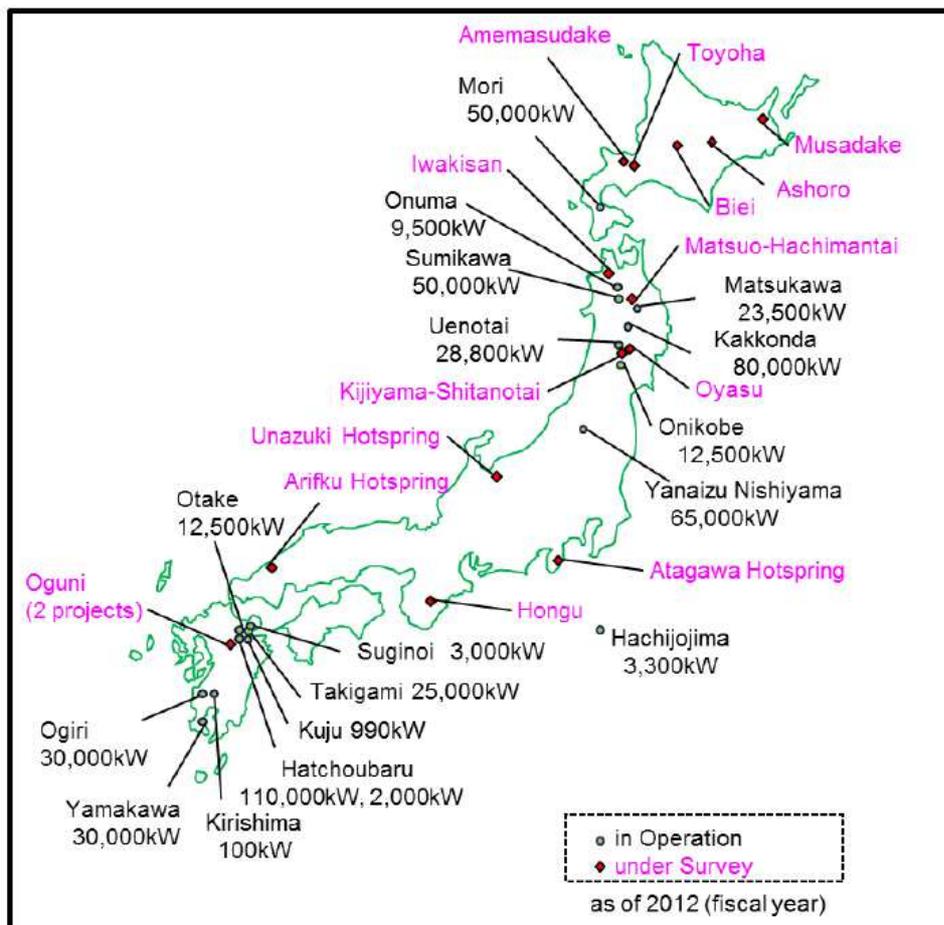
7. 参考文献等

Thermal and Nuclear Power Engineering Society (2012):

The Present State and Trend of Geothermal Power Generation of Japan in the Fiscal Year 2010 and 2011.

Thermal and Nuclear Power Engineering Society, 99p (in Japanese)

http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2012sokuho_gaiyo.pdf (in Japanese)



第 7-3 図 2012 年現在の日本の地熱プロジェクト

著者

Tosha Toshiyuki
 Geothermal Resource Development Department
 JOGMEC
 10-1, Toranomom 2-chome,
 Minatoku, Tokyo, 105-0001
 Japan
 E-mail : tosha-toshiyuki@jogmec.go.jp

Kenji Fujimoto
 Geothermal Resource Development Department
 JOGMEC
 10-1, Toranomom 2-chome,
 Minatoku, Tokyo, 105-0001
 Japan
 E-mail : fujimoto-kenji@jogmec.go.jp

8. (Korea) 韓国

(National Activities Chapter 15)

1. 概要

韓国においては、火山や地殻活動に伴う高温の資源はないことから、地熱利用は地中熱や地熱ヒートポンプ（GHP）など直接利用に限られている。地熱ヒートポンプは、2000年半ばから急速に増加し、2012年末現在、全設備容量は500MW_{th}を超えられると思われる(第8-1表参照)。GHPが成功していることから、一般市民やエネルギーセクターの地熱エネルギーに対する認識が、特にベースロードの一部となりうることも含めて、高まった。欧州、オーストラリア、アメリカにおけるEGSを含めて低温の地熱発電に関する最近の情報により、韓国の政策担当者や産業界が地熱発電に興味を持ち、2010年末にはEGSのパイロットプラントプロジェクトが開始された。

第8-1表 2012年12月現在の地熱エネルギー利用(推定値)

直接利用	
GHPを除く全設備容量(MW _{th})	43.7
GHPを除く新規設備容量(MW _{th})	0
GHPを除く熱の全使用量(GWh/年)	164.9
GHPの全設備容量(MW _{th})	508.8
GHPの新規設備容量(MW _{th})	177.7
GHPを除く熱の全生産量(GWh/年)	571.0

2012年9月、EGSパイロットプラントプロジェクトの第1本目の坑井掘削が、ボハン地域で始まった。目標とする深さは4.5kmから5kmで、温度は180℃に達すると思われる。12月にはこの坑井の深さは2.25kmまで達した。2013年3月には、掘削が再開される予定である。9個の坑井内3次元加速度計を設置した微小地震モニタリングシステムが完成し、計測が行われている。個々の観測結果は、高速光LANによってインターネットネットワークに接続して送られるので、高周波データをリアルタイムで処理できる。

IEA GIAが推薦するプロトコルに沿ったEGSポテンシャルに関する研究により、理論的および技術的ポテンシャルは、それぞれ6,975GWeおよび19.6GWeと予測される。韓国における温室効果ガスの削減技術に関する技術ロードマップによれば、2030年における地熱発電の設備容量は200MWeの予定で、これは技術ポテンシャルの1%に相当する。韓国のEGSパイロットプラントプロジェクトが成功すれば、ロードマップの一つのマイルストーンになり、このパイロットプラントを10MWeクラスにスケールアップすることが計画されている。

2. 国家プログラム

国家エネルギー戦略は、2008年以来ほぼ変わっていないが、2013年には”第2国家エネルギーマスタープランが計画されている。それ故2014年から、再生可能エネルギーの研究開発と実証計画が、大幅に変更される予定である。

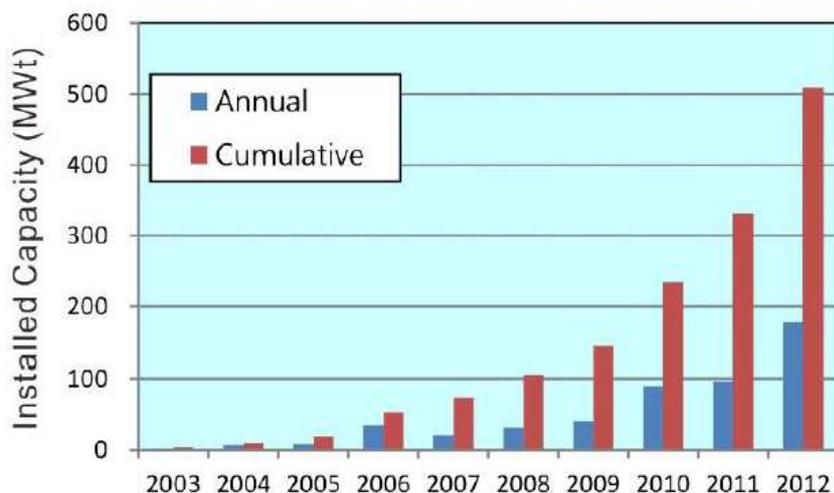
2012年の1次エネルギー消費量は、石油換算約2776億330万トン(toe)である。このうち地熱は63,281toeで、全体のたった0.023%である。地熱エネルギーの状況と見通しは、国としてそれほど重要な位置づけになっていない。しかしながら幸いにも、政府や民間による地熱利用の認識は高まっており、地熱の市場シェアが地熱に対するインセンティブを鼓舞している。それ故、近年GHPの設置台数が大幅に増えるものと予想されている。

第8-2表に示すように、EGSの掘削支援を反映して2012年には政府の投資額が増えている。一方、民間マッチングファンドは同じレベルで止まっている。

第 8-2 表 2010 年から 2012 年間の地熱研究開発の支出額（単位：1,000 ドル）

	2010	2011	2012
政府	8,750	8,294	12,980
民間	2,000	4,554	4,199
合計	10,750	12,828	17,179

第 8-1 図は、ここ 10 年間の GHP の設置台数の増加の傾向を示す。2011 年以前は、GHP を発電用として考えていなかったため、この傾向は反映されていない。



第 8-1 図 増加傾向を示す GHP 設置台数

3. 産業の現状と市場開発

韓国における地熱業界は、GHP の設計と設置に重点を置いている。公式報告によると、GHP に関しては、100 以上の小規模な企業があり、その中で 20 社が活発に活動しており、市場シェアの 50% 以上を占めている。韓国地熱エネルギー協会(韓国知識経済部に登録)と韓国地下水・地熱エネルギー協会(韓国国土交通省に登録)という 2 つの企業団体があり、いずれも GHP の設置を行っている。

GHP の設置台数が急激に増えたのは、アクティブな政府の助成金プログラムと新規および再生可能エネルギーに関する特別な強制力を有する法律 (Mandatory Act) による。助成金プログラムにはいくつかあり、「実証助成金プログラム (Deployment Subsidy Program)」、「地域実証プログラム (Rural Deployment Program)」、「2020 年までの 100 万グリーンホームプログラム (1 Million Green Home by 2020 Program)」などで、あらかじめ決められた年間予算のコンペに基づき、全設置コストの 50% を政府が助成している。他の有力な助成金プロジェクトとして、2010 年から実施されている「グリーンハウス実証プログラム (Greenhouse Deployment Program)」がある。これは、グリーンハウスや水産養殖のための GHP の設置コストの 60% を国が、20% を地方自治体が負担するので、農業経営者は GHP 設置に 20% の負担ですむことになる。2012 年、この特別プログラムによる年間の市場は 4,520 万ドルにも達した。

「国民の義務的再生可能エネルギー使用法 (Mandatory Public Renewable Energy Use Act)」は、2012 年に改正され、「面積が 1,000m² より大きな全ての民間ビルディングでは、年間使用エネルギーの 10% 以上を新エネルギーあるいは再生可能エネルギーにすべき」となった。新たなエネルギー導入の最低限の割合は、2011 年に 11%、2012 年に 12% と増える。法令によれば、GHP の設置計画は、2011 年に 114MWth、2012 年に 120MWth と報告されているが、建設期間があるので、2、3 年経てば、この数値は達成できる見通しである。

地熱発電のパイロットプラントプロジェクトが 2010 年末に始められ、2015 年末までに 1 MWe を目標としているが、法的に地熱発電の支援するフレームはまだない。韓国政府は、2012 年から再生可能ポータルフォリオスタンダード (RPS) システムを開始したが、地熱はコストに関する参照データがないという理由で、含まれていない。このような法的フレームの欠陥は、意欲のある企業が地熱ビジネスに参入することに対する大きな障害となっている。韓国の地熱コミュニティは、2013 年に地熱発電が RPS に取り入れられるよう期待している。しかし、再生可能エネルギー証書 (REC) で地熱がどのように位置づけられようとも、REC で依然として重要事項になっている。2014 年までに鉱山法の一部として、地熱法ができることが期待される。

4. 研究、開発、実証

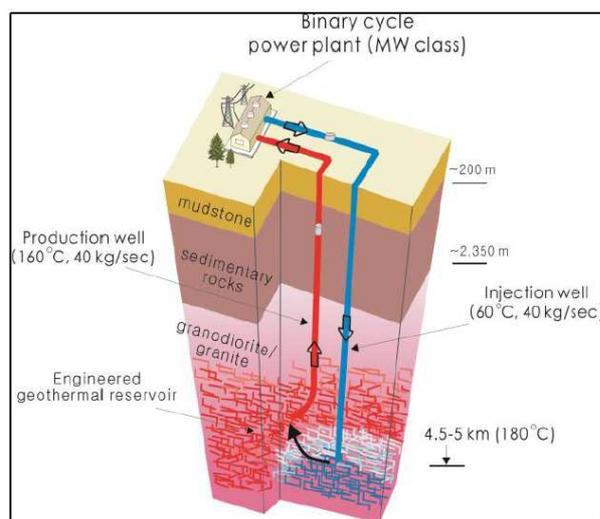
韓国において、研究活動のほとんどは、国家予算によって行われている。研究開発活動は、以下の 2 つに分類される。

- 1) いろいろな GHP タイプを用いた浅部地熱利用
- 2) 地熱発電

浅部地熱利用に関しては、いくつかの成功例がある。例えば、坑井熱交換の熱的性質の測定による大規模データベースの作成や地下水が流れる条件のもとでの坑井熱交換器の THC (熱的一流体力学的-化学的) 連結挙動のシミュレーションなどである。坑井熱交換器の効率に関する研究や、地下水熱エネルギー利用と帯水層エネルギー貯蔵 (ATES) の利用に関する研究も実施している。

EGS パイロットプラントプロジェクトが 2010 年末に開始されたが、これは韓国において地熱発電を実現するための最初の試みである。期間は 5 年間で、国が予算を負担し、企業が参加するプロジェクトである。場所は、朝鮮半島の南東部で熱流量が高いボハン地域である。このプロジェクトは、2 つのフェーズから成る。

- 1) 2 年間；現場の準備、3km までの掘削、温度異常の確認など、
- 2) 3 年間；既存坑井を 4.5~5km までの増掘り、スチームレーションによる貯留層の造成、2 坑井システムを構築するための 2 本目の坑井の掘削、1 MWe クラスのバイナリー発電プラントの建設など (第 8-2 図参照)。



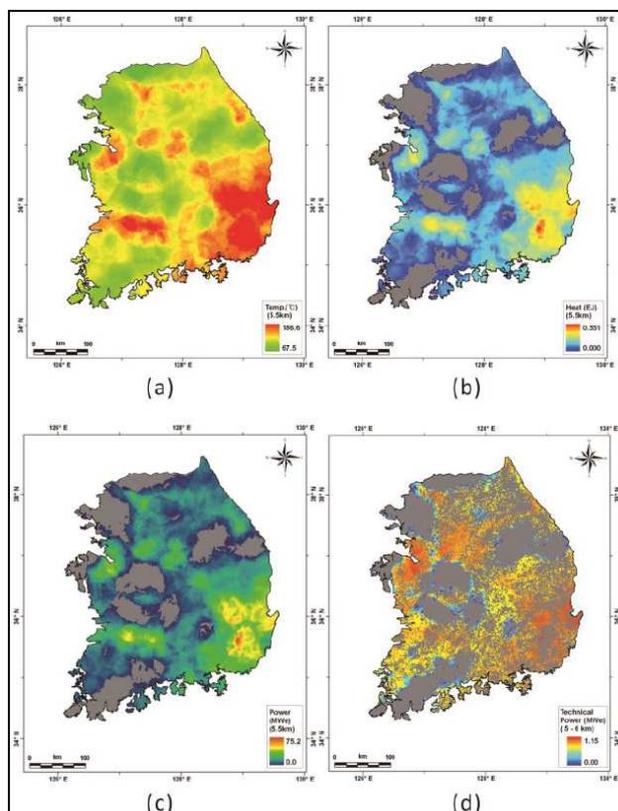
第 8-2 図 韓国の EGS パイロットプラントプロジェクトの概念図

貯留層造成とその成長を把握するため、9 個の 3 次元加速時計を設置した微小地震モニタリングシステムを完成し、現在測定中である。EGS サイトを中心として、半径 3km と 5km の円を描き、その上に 8 つの観測箇所を設けた。EGS サイトに設置した加速度計の深さは 180m であるが、残り 8 個は

120～130m の深さに設置した。全ての加速度計は高速インターネットネットワークに接続し、リアルタイムで 1,000 Hz のサンプリング速度でデータ処理を行っている。

最初の坑井 Px-1 の掘削は、2012 年 9 月 14 日に、あらかじめ地表に設置した 20 インチのパイプの中を、17.5 インチのビットを通して行った。スベア部品の調達、掘削に必要な事項やサービスに関する経験の不足によるなどの原因で、掘削が計画より遅れている。12 月 14 日には、坑井は深さ 2,250m に達した。PX-1 を掘削中、掘削ビットの振動を地震源とする、掘削時地震探査 (SWD) を行い、深部の地震速度分布の情報を得ている。SWD に関しては、それぞれ 500m の長さで地表ジオフォンの配列を配置し、それぞれの配列には 10m 間隔でジオフォンをセットした。2012 年には、ビットが深さ 300m から 1,700m に達するまで測定した。

韓国地質資源研究院 (KIGAM) は、IEA GIA によって承認されているプロトコルに従って、EGS による地熱発電ポテンシャルを求めた。理論的ポテンシャルは 6,975GWe となり、2011 年の全発電容量の 92 倍に相当する。技術的ポテンシャルは、深さ 6.5km までに限り、回収率を 14%、温度降下ファクターを 10℃、土地のアクセスなどを考慮した結果、19.6GWe となった。第 8-3 図にポテンシャル評価の手順例を示す。



第 8-3 図 EGS ポテンシャル評価の手順例。

(a)深さ 5.5km の温度分布、(b)5～6km の範囲に含まれる熱量
(c)深さ 5～6km の理論的ポテンシャル、(d) 深さ 5～6km の技術的ポテンシャル。(c)と(d)のグレーの部分は、地表温度 +80℃より低い地域で、また(d)にはアクセスできない地域も含まれている。

5. 地熱教育

ソウル大学校では、2009 年から大学院および学部レベルの地熱コースを設けている。一般的な地熱のトピックや地熱発電に関するセミナーは、数多くある。EGS パイロットプラントプロジェクトの進捗を反映して、掘削、スティムレーション、経済性に関して地域的な会議で特別セッションが企画されて

いる。

6. 将来の見通し

GHP の設置台数は、今後 2、3 年に急速に増加すると思われる。積極的な助成金プログラムと特別な強制力を有する法律 (Mandatory Act) のためである。GHP システムの性能が不十分であったり、誤動作を起こしたりことが見受けられる。市場が急速に伸びていることにより、適切な設計や性能の検証を行わずに、GHP を設置しているからである。GHP の成長を続けるには、特に 1MWth 以上の大型システムに対して、長期にわたる挙動のモデル化と性能の検証が重要である。

地熱発電は、ここ 5 年以内に EGS パイロットプロジェクトを成功させて、実現化されることが期待されている。スケールアップと将来の商業化のために、企業の積極的な参加が重要であるが、地熱発電に対する法的な枠組がないのが問題である。現在、高度な再生可能エネルギー証書 (REC) を伴う再生可能ポートフォリオスタンダード (RPS) システムに地熱エネルギーを取り入れることや地熱に対する法的な枠組を実施することを求めて活発な活動が行われている。韓国では、温室効果ガス削減技術に関する技術的ロードマップで、国内で地熱は 2030 年までに 200MWe の設備容量が可能であるとしている。この容量は技術的ポテンシャルの 1% に相当する。もし成功すれば、EGS パイロットプロジェクトは、このロードマップを実施するためのマイルストーンとなる。2020 年までには、このパイロットプラントプロジェクトが、10MWe にスケールアップされることが期待されている。

7. 参考文献等

Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) (2011)
Strategic roadmap for greenhouse gas reduction technology – Geothermal. Ministry of Knowledge Economy, 86p. (in Korean)

Song, Y., Baek, S.-G., Kim, H. C. and Lee, T. J. (2011)
Estimation of theoretical and technical potentials of geothermal power generation using enhanced geothermal system. Econ. Environ. Geol., 44, 513-523. (in Korean with illustrations and abstract in English)

著者

Yoonho Song
Geothermal Resources Department
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)
Gwahang-no 124, Yuseong-gu, Daejeon 305-350
REPUBLIC OF KOREA
E-mail : song@kigam.re.kr

9. (Mexico) メキシコ

(National Activities Chapter 16)

1. 概要

地熱と風力が、メキシコで利用されている最も重要な非従来型再生可能エネルギー資源である。直接利用も、温泉療法学などで伝統的に行われているが、発電が最も重要である。

メキシコにおいて、地熱発電は 1959 年に初めて行われた。メキシコ中央部の Pathe フィールドの最初の商業プラントで、このプラントは 1973 年に運転を中止した。同年、Cerro Prieto で最初の地熱発電プラントが運転を開始した。2012 年 12 月現在、地熱発電の設備容量は 958MWe で、運転容量は 805MWe である。

第 9-1 表にメキシコにおける地熱発電に関するデータを示す。

第 9-1 表 2012 年メキシコにおける地熱発電に関する統計

電力	
全設備容量(MWe)	958
運転設備容量(MWe)	805 ^a
蒸気不足のため運転中止している設備(MWe)	153
新規設備容量(MWe)	0
国内発電設備容量に対する割合(%)	1.52
総発電量(GWh)	5,817
国内発電量に対する割合(%)	2.24
目標値	na ^b
メキシコ国内ポテンシャル	2,310 ^c

a: Cerro Prieto 1 で 150MWe、Los Azufres で 3MWe(バイナリー)

b: 地熱に対して特に目標はない。2024 までに、全発電容量 35%を温室効果ガスの排出がほとんどないクリーンな資源で行うという目標がある。

c: 従来型の熱水地熱のポテンシャル。

2012 年に、4 つの地熱フィールドにはおおよそ 222 本の生産井と 29 本の還元井があった。

それらは、Cerro Prieto に生産井 160 本、還元井 18 本、Los Azufres に生産井 37 本、還元井 6 本、Los Humeros に生産井 22 本、還元井 3 本、Las Tres Virgenes に生産井 3 本、還元井 2 本である。

メキシコにおいては、地熱の直接利用の伝統はない。最近の推計では、直接利用は 156MWth となっているが、主として温泉療法学である。温泉療法学に地熱を利用しているサイトは、19 地域で 16 カ所ある。

2. 主たる成果

Humeros フィールドにおいて、2012 年末に 25MWe のフラッシュユニットが完成し、2013 年 1 月から運転を開始した。このユニットで、Humeros フィールドの設備容量は 65MWe となった。ほとんど同じタイプで、同じ容量の他の発電プラントがほぼ完成し、2013 年に運転開始の予定である。Los

Azufres フィールドでは、メキシコ電力公社（CFE）が、50MWe の建設に対して国際入札を行った。三菱重工を中心とするジョイントベンチャーが落札し、2013 年に建設を開始した。

3. 国家プログラム

公共サービスのための発電設備容量の約 76.6%は、国有のメキシコ電力公社（CFE）に所属している。他の 24.4%は、民間企業が複合サイクルや風力プラントなどが発電しているが、電量は全て CFE に売らなければならない。CFE は、全ての地熱フィールドの開発と管理を行っており、地熱蒸気を用いた発電に対して責任を持っている。この 1 次エネルギー源は、何 10 年も発電に用いられてきた。従来型（高温熱水タイプ）資源に対する技術は成熟したものと考えられ、化石燃料、従来型の水力、原子力技術と同じベースの競合的立場に置かれている。

2024 をターゲットとした目標は、国内の発電の 35%をクリーンエネルギーでまかなうべきとしている。現在、特別なエネルギーによって目標を達成するためにいくつかの作業グループが形成されている。

4. 産業の現状と市場開発

メキシコにおいて、地熱開発に対する経済的なインセンティブはない。すでに述べたように、地熱発電は、メキシコにおいては従来型エネルギーである見なされ、化石燃料、従来型水力、原子力と同じベースで競合している。それ故、メキシコにおける将来の地熱開発に対する主な障害は、近代的な化石燃料発電技術に対して経済的に不利なことである。

地熱開発に関して励みとなる兆候は、初めてのことであるが、民間の投資家が探査とボーリングを行ったことである。しかしながら、未解決の法的事項があり、開発業者の投資が事実上保護されていないため、情報は開示されていない。

5. 研究、開発、実証

メキシコにおける地熱の研究活動のほとんどは、発電のための資源開発と調査に重点が置かれている。特に、フィールドに関する知識を深めることを目標に、開発を継続するうえで、その挙動を予測する知見を得ようとしている。地熱ポテンシャルが高い新しい地域での探査も行われている。特に、全ての地熱研究費は政府が負担しているが、民間投資家による新しい地域の探査も実施されている。

2012 年連邦政府は、メキシコ地熱エネルギーイノベーションセンター（CEMIE-Geo）の設立のため、国内入札を実施した。これは、研究や高等教育を行う機関となるが、民間企業、地熱エネルギーに関連した協会や研究機関で構成される。2 つのグループが形成され、連邦政府の投資によるいくつかのプロジェクトが提案された。入札は最終的に中止され、新たな入札が 2013 年に始まった。

6. 地熱教育

過去に CFE は、アイスランド(国連大学)、ニュージーランド（オークランド大学地熱研究所）、バハ・カリフォルニア自治大学（UABC）によって提供された地熱プログラムを通して、技術者を何名か育成した。2011 年に CFE は、JICA とメキシコ政府の協定のもとで、複数の若い技術者を日本へ派遣した。過去のほとんどに期間、CFE と Instituto de Investigaciones Electricas (IIE：電気研究所) は、専門家育成の一環として、機械、電気、化学、地質の技術者のオンザジョブトレーニングを実施している。定期的な専門家会合（会議、セミナー等）が、地熱専門家教育のベースを提供している。

7. 将来の見通し

Los Humeros で 2 番目の 25MWe の電力ユニットが商業ベースでの運転を始めた際、現在の 8 基の背圧ユニットのうち 5MWe の 3 基が解体される計画である。このフィールドにおける新たな設備容量は、75MWe となる。CFE は、Cerritos Colorados において 25MWe の開発を続けている。Los Azufres において、50MWe の電力ユニットが建設中で、2014 年に運転開始予定である。最初の民間企業による地熱発電プロジェクトがメキシコ西部で実施され、3 本の深部探査ボーリングを行っている。この件に関する情報は開示されていない。他の探査活動（地磁気地電流法：MT 探査）が、メキシコ西部で民間企業により行われている。

メキシコにおける電気料金は、公共電力システムの運転コストの上昇をカバーするため、徐々に上がっている。この傾向は継続すると思われる。現在、最終消費者に対する電気料金のほとんどは、連邦政府によっていろいろなレベルで助成されている。地熱発電に対する固定価格買取制度（FIT）はない。

8. 参考文献等

Gutiérrez-Negrín, L. C. A. (2012) Update of the geothermal electric potential in Mexico. Geothermal Resources Council Transactions, Vo. 36, pp671-677

著者

Raúl Maya-González. Manager of Geothermal Projects Comisión Federal de Electricidad (CFE)

Luis Gutiérrez-Negrín, Asociación Geotérmica Mexicana

E-mail : l.g.negrin@gmail.com

David Nieva, Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)

Reforma No. 113, Col. Palmira Cuernavaca, Morelos

MEXICO

E-mail : dniava@iie.org.mx

10. New Zealand (ニュージーランド)

(National Activities Chapter 17)

1. 概要

ニュージーランドでは、長い間地熱を発電や直接利用、観光施設として利用してきた。最近、ワイラケイでは、分離された高温のかん水のカスケード利用をさらに進めようとしている。

新たなニュージーランドの開発戦略は、従来型対流システムから4GWe（あるいは30TWh/年）という地熱発電資源ポテンシャルの評価値に基づいている。これらのシステムは、ほとんどがタウポ火山地帯内にある深さ3.5kmまでに存在している。3.5~5kmの深く、温度が高い未開発のゾーンには、少なくとも10GWeのポテンシャルがあると見込まれている。詳細な情報と位置については、IEA-GIA年報2010年および2011年版を参照のこと。2012年における地熱開発の状況を第10-1表にまとめた。この表によれば、運転設備容量は758MWe、設備利用率は88%である。この量は、ポテンシャル評価値の20%しか使っていないことになる。2012年には、新規発電所や大型の産業用直接利用設備は建設されなかった。しかし、進行であるか、あるいは2013年に認可される予定の大型プロジェクトがいくつかある。

ニュージーランド政府は、2025年までに再生可能エネルギーによる電力の割合を90%にすることを目標にしている。このうち、55%が水力、25%が地熱、10%が風力とバイオマスである。また政府は、2025年までに再生可能エネルギーの直接利用を9.5PJ/年だけ増やすことを目標にしている。

第10-1表の直接利用に関する統計である。設備容量に関するデータがないので、生産された熱から推定した。2010年から実質的な設備容量は変わっていない。しかし、計算法を改訂したため、2011年の年報(Annual Report)よりも減少している。

第10-1表 2012年におけるニュージーランドの地熱エネルギー利用

電力	
全設備容量(MWe)	794
運転容量(MWe)	758
国内発電設備容量に対する割合(%)	8
全発電量(GWh)	5,843
国内発電量に対する割合(%)	14
設備利用率(%)	88
目標値(2025年までの国内発電量に対する割合: %)	25
ニュージーランドのポテンシャル推定値(TWh、<3.5km)	30
直接利用	
全設備容量(MW _{th})	384
熱の使用量(GWh/年)	2,624
ヒートポンプの全設備容量(MW _{th})	4
ヒートポンプの全正味使用量(GWh/年)	8
目標値(2025年までの追加量、PJ/年)	9.5
国内ポテンシャル	na

na: データなし

産業における直接利用は、全体の62%にあたり、パルプと紙（カーウェラウ）、木材（タウハラ、カーウェラウ、オハアキ）、蜂蜜（ワイオタブ）のプロセス用の熱や蒸気を供給している。入浴や水泳施設で約19%、廃棄高温かん水のカスケード利用が13%である。かん水の利用には、エビの養殖、観光、暖房（ワイラケイ）が含まれている。残りの6%は、暖房、温水、グリーンハウスなどである。

2. 主な成果

ニュージーランドの電力供給において、再生可能エネルギーである地熱の役割は大きい（14%を供給）。2011年から2012年にかけて、1次エネルギーの供給は3.1%増加した。2012年においては、地熱は全ての再生可能エネルギー供給の51%を占め、重要な役割を占めている。

2012年、試験、開発、探査などのため、14本の深部掘削が行われた。新たな深い探査井がContact EnergyによってTahekeで掘られた。Tikitere、Rotoma-Tikorangi、Tauhara、Reporoaで、プロジェクトの計画がある。Top Energyにより、Ngawhaの増設が提案されている。これらが実現すれば、2025年までに430MWが追加される。

2012年の間、Mighty River Power (MRP) が82MWのNgatamarikiバイナリー発電プラントの建設を継続して行っており、2013年半ばに完成する予定である。また、Contactが166MWのTe Mihiダブルフラッシュパワープラントをワイラケイに建設しており、2013年末に完成予定である。55年を経過したタービンのアップグレードや交換も行われている。Contactは、ワイラケイの凝縮された冷却水の排水から溶解したH₂Sを除去するユニークな生物学的な回収装置を取り入れた。

Norske Skog Tasmanが、Kawerauに25MWのバイナリー発電プラントを建設し、運転を始めた。これは、NTGAがKawerauの粉碎工場で直接利用の熱が必要な時に、余剰の蒸気とかん水をより効率的に供給できるようになっている。

“Wairakei Terraces”の既存の人工シリカテラスの側に大型の温泉入浴設備を建設し、近くの注水パイプから分離した水を使い、地域の旅行者用施設として利用している。

Kawerau (NTGA-45kt/日、MRP-20kt/日、TeAhi O Maul-15 kt/日) で、地熱流体の回収量を増やすために、承認ヒアリングの準備を行った。25年経過したOhaaki発電所でも、40 kt/日で継続して運転するための再承諾契約の準備が行われた。Ohaaki発電所は、実際の発電は、設備容量(105MW)の40%に過ぎなかった。2台の11MW高圧タービンの一つを完全に分解し、2台の44MW低圧タービンを交代で運転することにした。これは圧力の低下によるものである。他の全ての地熱発電プラントは、1年を通してフルパワーで運転を行った。

3. 国家プログラム

ニュージーランドには、固定価格買取制度など財政的なインセンティブはないが、2010年に排出ガス取引スキームが導入された。これにより、化石燃料に比べて長期的な限界費用(marginal cost)*が削減されるので、地熱プロジェクトの促進につながっている。新規事業のキャブレート（還元利回り）は、CO₂1トンにつき25ニュージーランドドルであるが、電力市場に対する財政的圧力を緩和するために、減額された。工場からの一時的な地熱排出もこのスキームに含まれている。国際的市場における炭素価格は、2010年以来大幅に下がっているため、再生可能エネルギーに投資しようとする長期的な経済的インセンティブも下がっている。

*限界費用(訳者注)：限界費用とは、生産量を小さく一単位だけ増加させたとき、総費用がどれだけ増加するかを考えたとき、その増加分を指す。

ニュージーランドのエネルギー戦略（2011年~2021年）をレビューし、2025年には205年に比較して、再生可能エネルギーによる電力を90%とし、再生可能エネルギー（地熱とバイオマス）を用いた新たな直接利用を9.5PJとする政府目標を確認した。しかし、商業的な市場の決断に対して、この目標値はほとんど影響を与えていない。というのは、インセンティブやペナルティがないからである。

2012年、Bay of Plenty and Northland Regional CouncilのWaikatoは、地熱政策の公開レビューを行い、新規および継続地熱プロジェクトに対して、承認を発行するためのガイダンスを提示した。

4. 産業の現状と市場開発

2012年におけるニュージーランドの地熱開発に対する資本投資は、掘削や発電所の建設に対して約6億ニュージーランドドルであったと推定される。最大の投資家は、MRPとContactである。建設ブームによって企業の仕事は、専門スタッフが450人に達するまでに拡大した。プロジェクトの全設備コストは、大型プロジェクトに対してはMWe当たり450万ニュージーランドドルであった。地熱に対する長期の限界費用は、割引率を8%、為替レートが安定すると仮定すると、新たな発電オプションはMWh当たり60~80ニュージーランドドルと低いレベルである。

マイナス面では、2008年以来商業用電力や工場の熱に対する需要が増えていないので、次の3~5年間、新たなプロジェクトへの投資計画が延期されている。土地の所有者や他の投資家などによるニッチなプロジェクトがあるが、それらの規模は限られている。

デベロッパーが他にチャレンジすることは、土地へのアクセスと法律的な制約である。大型の再生可能エネルギープロジェクトに対する承諾書を得るプロセスが合理化され、迅速なルートができたので、納税費が削減された。

もし、再生可能なベースロード容量が需要を超えたならば、将来の長期的な成長は制限を受ける。そのため、2020年以降の新たな成長分野を調査する必要がある。例えば、電気自動車への転換、HVDC（高圧直流）送電を通してのオーストラリアへの輸出、エネルギー集約型産業の成長などがある。大きな助成金がなければ、これらは一般に市場の牽引要因や阻害要因となりうる。

5. 研究と開発

地熱研究に対する政府が中核となる投資額は、年間460万ニュージーランドドルに達する。その分野は以下の通りである。

- ・深部、高温資源の開発ポテンシャル
- ・資源の評価と地球物理的探査（MT、地震探査）
- ・貯留層の持続的なパフォーマンスを得るためのシミュレーションの改良（モデル化）
- ・地球化学的スケールと生産に伴う化学物質の管理
- ・環境への影響削減
- ・極限微生物を含む地熱エコシステム（熱的バランス）
- ・高温、高圧下での岩盤と流体の相互作用
- ・極端な条件下でのセメント
- ・直接利用における資源と技術の持続性に対する知識の向上

企業が資金提供しているのは、地盤沈下、スケーリング、トレーサの挙動、鉱物の抽出、貯留層シミュレーションなどの解決に向けた実用的な問題に焦点を当てた応用研究プロジェクトである。企業は、これらの多くを政府資金による研究や大学院の研究と協力で行っている。

ニュージーランドにおいて、地熱ヒートポンプに対する将来の成長ポテンシャルは大きい。これらは寒い地域において、徐々に取り入れられている。新たな連携機関である”ニュージーランド地熱ヒートポンプ協会（GHANZ : Geothermal Heat-pump Association of New Zealand）”は、ワークショップの運営、ウェブサイトの開設、情報流通の促進などの目的のため2012年に設立された。

6. 地熱教育

オークランド大学は、地熱研究所(Geothermal Institute)6ヶ月学位コース（インドネシアなどの国が必要とする年間25人の政府援助スカラーシップ）やエネルギー修士プログラム他の短期コース、および年次ニュージーランド地熱ワークショップの企画（35年目に当たる）などを継続して実施している。カンタベリー大学は、大学院で地熱プログラムを行っている。定期的な地球科学および工学に関する専門家のトレーニングコースは、GNS Science社が大学や大企業(例えば、SKMやPB Powerなど)と一緒に、特にインドネシアなどのいくつかの地熱開発国で実施している。

7. 将来の見通し

2013年に対する短期的展望は、TOPP1、Te Mihi、Ngatamarikiなどの発電所をフル稼働し、国のエネルギーに占める地熱の割合を約17%にあげることである。2013年以降の見通しは明るい、需要の伸びがなければベースロード容量に対して供給が過剰となり、それが成長の足かせとなる可能性がある。大型の地熱プラントの計画と建設が少なくとも5年遅れることがありうる。地域経済が動き始め、いくつかの小型地熱プロジェクトが建設されるが、Huntlyでいくつかの石炭火力発電所が閉鎖される可能性がある。現在のプロジェクトを完成させた後で、建設会社”Geothermal New Zealand”プロジェクトとの合体やMRPなどのデベロッパーによる海外地熱への投資など、仕事を継続して行う努力が必要である。

幅広い情報が利用できることと、材木、酪農、園芸などの1次産業への増大する供給に対応するために熱集約的なプロセス産業が設立されていることから、直接利用とヒートポンプの開発は、着実に伸びると期待される。

8. 参考文献等

Bromley, C.J. (2012), “Geothermal Development in the Taupo Volcanic Zone” Proc. 45th AUSIMM New Zealand Branch Annual Conference 26-29th August 2012, Rotorua.

EECA (2012) "www.nzgeothermal.org.nz/ Publications/Submissions/Draft-Submission-Technical-Guidance-consultation-version-NZGA.pdf “

Harvey C. & White, B. (2012) “A country update of New Zealand geothermal: leading the world in generation growth since 2005” www.nzgeothermal.org.nz/Publications/Industry_papers/A-Country-Update-of-NewZealand-2012.pdf

MBIE (2013a) "Energy in New Zealand 2013" www.med.govt/sectors-industries/energy/energy-modelling/publications/energy-in-new-zealand-2013/Energy-in-New-Zealand-2013.pdf

MBIE (2013b) "New Zealand Energy Quarterly" www.med.govt.nz/sectors-industries/energy/energy-modelling/publications/new-zealand-energy-quarterly.

NZGA (June 2012) "Geothermal energy, New Zealand’s most reliable sustainable energy resource" www.nzgeothermal.org.nz/ Publications/Submissions/2012-NZGA-Position-Statement-draft6.pdf

White, B., (2012) "Geothermal - the renewable star." NZGA www.nzgeothermal.org.nz/Publications/Industry_papers/Geothermal-the-renewable-star-EnergyPerspectives-article-Jan2013.pdf

著者

Chris Bromley
GNS Science Limited
Wairakei Research Centre
Private Bag 2000
Taupo 3350
NEW ZEALAND
E-mail: c.bromley@gns.cri.nz

Acknowledgements: Brian White, Brian Carey, Colin Harvey and Andy Bloomer

11. Norway (ノルウェー)

(National Activities Chapter 18)

1. 概要

ノルウェーで、地熱エネルギーが利用され始めたのは最近である。これまで、地熱資源を用いた発電の経験がなく、地熱資源は専らヒートポンプにより取り出されており、ヒートポンプは広範囲に使われている。これまでノルウェーは、深部熱エネルギーを利用したことはないが、ノルウェー本土において深部地熱エネルギーを利用した地域暖房システムの計画があり、Ny Alesund では化石燃料に代えて地熱エネルギーを利用する予定である。

学術団体（大学や研究機関）や民間企業を始め、政治家や一般市民の間で、地熱エネルギー全般を推進するために、強力なロビー活動が行われている。このロビーの統括組織は、2009年に設立されたノルウェー地熱エネルギー研究センター（CGER : Norwegian Centre for Geothermal Energy Research）である。このセンターには、2012年の初めに、16の大学、研究所、企業が共同出資している。石油国であるノルウェーで地熱エネルギーを成功させるには、ノルウェーの企業や大学が有している海洋技術の経験とノウハウとともに、再生可能エネルギー資源の使用を増加するという国家のエネルギー政策がポイントとなる。新しい地熱関連企業は、ノルウェーが有する海洋技術を容易に地熱に利用することができる。

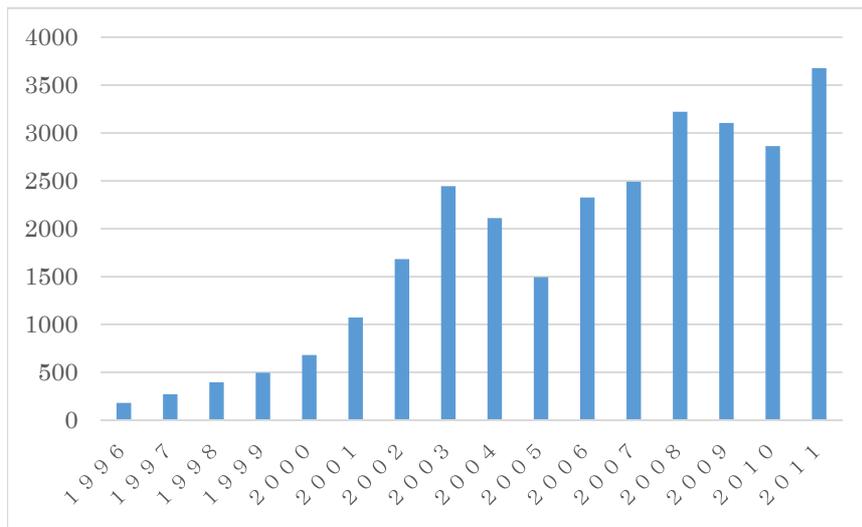
2. 主たる成果

ノルウェーは、オスロで2012年5月に第27回 IEA GIA 執行委員会を実施した。また同時に、スタトイル社（Statoil）のオフィスのある Vækerø で、関連する委員会も開催した。同じ週に、ノルウェー地熱エネルギー研究センター（CGER）は1日セミナーを行い、IEA GIA の執行委員会のメンバーやノルウェーや海外の科学的な貢献者が参加した。これらのイベントと関連して、エネルギー研究所（IFE : Institute for Energy Technology）は腐食、スケール、トレーサなどをテーマに、1日ワークショップを行った。IFE の研究スタッフによる発表に続いて、実験室の見学を実施した。これらは全て同じ週に実施され、成功を収めた。

ノルウェーにおける主な地熱関連活動は、地中熱ポンプである。ヒートポンプ関係の団体である NOVAP（Norwegian Heat Pump Association）によれば、1年につき約500の新しいヒートポンプが設置されている。地中熱ヒートポンプ（GSHP）の90%以上が、坑井内熱交換器（BHE : borehole heat exchangers）を用いて結晶質岩盤に掘削されたボアホールから熱を抽出している。ノルウェーの標準的なシステムは、ボアホールの深さが50~350m、直径139mm（115mm）で、直径40mmのシングルU字型チューブを用いる方式である。ほとんどのBHEはグラウトせず、オープンである。BHEは、深くなる傾向にある。深さ500mのシングルU字型チューブが2年以上にわたり熱の供給を続けている例がある。最近新たに設置されたいくつかのBHEは、深さ300mである。

第11-1表と第11-1図は、これまでのGSHPの開発をまとめたものである。年によって変化しているのは、電気料金と関係している。例えば、2003年は雨が少なく水力発電の生産量が少なかった年で、逆に2005年は雨が豊富であった。GSHPポンプ（水/水、空気/水ヒートポンプ）に対して関心が高まっている。しかし、ノルウェーのヒートポンプ市場は、空気/空気ヒートポンプによって支配され、設置台数はGSHPに比べて10倍多い。

- 2011年ノルウェーでは3,677台の水/水ヒートポンプが販売された。434.4GWhの省エネルギーとなる。
- また、2011年ノルウェーでは2,914台の空気/水ヒートポンプが販売された。183.7GWhの省エネルギーとなる。
- 年間登録されたエネルギー用の坑井の数は、約5,000本である。



第 11-1 図 1996 年から 2011 年までの年間水/水ヒートポンプ設置台数。
空気/水ヒートポンプの設置台数も同様な傾向を示している。

第 11-1 表 2012 年のノルウェーにおける地熱利用

電力	
全設備容量(MWe)	0
国内発電設備容量に対する割合(%)	0
全発電量(GWh)	0
国内総需要量に対する割合(%)	0
直接利用	
全設備容量(MW _{th})	na
熱の全使用量(GWh/年)	na
ヒートポンプの全設備容量(MW _{th})	2,000

na: データなし

3. 国家プログラム

ノルウェーは、世界第 3 のエネルギー輸出国であり、電力供給のほとんどは水力発電に依存している。ノルウェーのエネルギー資源は、ユニークである。1 次エネルギー供給および電力供給における再生可能エネルギーのシェアは、非常に大きい国の一つである。ノルウェーは、2020 年までに 1990 年レベルに比較して温室効果ガスの排出を 30%削減し、2050 年までにはカーボンニュートラルにするという意欲的な目標を掲げている。2020 年の目標は非常に困難だがやりがいがある。というのは、国のエネルギー供給およびビルのエネルギー使用は、すでにカーボンニュートラルの状態にあるからである。

2002 年省エネルギーと再生可能エネルギーを推進するために、公営企業である Enova SF が設立された。Enova 社は、特定の送電グリッド課税と一部州の予算から成るエネルギーファンド (Energy Fund) を通して資金の提供を受けている。今日、エネルギーファンドは、約 34 億ユーロで、2013 年

には約 14 億ユーロ増える見通しである。2002 年以来、Enova のファンドにより、21TWh の省エネが達成された。

ここ 10 年を通してノルウェーは、エネルギーの研究開発に重点を置き、政府の資金提供は 10 年で約 3 倍となった。エネルギーセクターに対する新たな国家総括研究開発戦略 (ENERGI 21) は、2008 年に始まり、2011 年に改訂された。この戦略の構想は、欧州においてエネルギーと環境に関心が高い先導的な国家になることである。この ENERGI 21 においては、深部地熱エネルギーのプライオリティが低く、短期および長期の国家の地熱に対する予算に影響を与えている。

2008 年にノルウェーの議会は、二酸化炭素の回収・貯蔵 (CCS : carbon dioxide capture and storage) と化石エネルギーに依存しないエネルギーシステムのための研究・開発・実証 (RD&D) の予算を 8,000 万ユーロ増加する気候協定 (Climate Agreement) を採択した。エネルギーの RD&D に対する民間資金は、世界の中でも最も多い。目標とする R&D 分野の専門知識の開発と革新技術の推進のために、2009 年には 8 つの環境に優しいエネルギー研究 (FME) センターが設立された。それぞれのセンターは、8 年間にわたり年間 140~270 万ユーロの融資を受ける。2009 年に地熱は含まれていなかったが、2012 年に議会によって新たに認められた気候協定には、特に地熱エネルギーの研究センターを設立することが決まった。

2007 年に導入され、2010 年に改訂されたエネルギー効率に対する規定で新たなビルディングコードにより、大型ビルに対する GSHP の導入が増加している。この新しいエネルギー効率規定では、暖房に必要なエネルギーを約 25% 削減することが期待されている。新たな法令によれば、500m² を超える新築および改築のビルの暖房や温水の少なくとも 60% 以上は、電力や化石燃料以外のエネルギー担体で供給しなければならない。これにより、中型サイズの GSHP が、校舎などのいろいろなビルに対して必要となる可能性が広まっている。2015 年には、ビルディングコードが改訂される。パッシブハウスやエネルギーを生産するアクティブハウスが目標となる。

GSHP の増加に貢献する他の新しい法令は、エネルギーラベリングスキームである。2010 年からビルを建設、リース、販売する際、このスキームにおいて、ビルにエネルギー認証とエネルギー消費ラベルが要求される。このスキームにより、ビルのエネルギー消費に対する知識と認識が深まっていると思われる。

4. 産業の現状と市場開発*

* 著者注：原文は「We refer to IEA-GIA Annual reports from 2010 and 2011 for further details.」となっており、ここには何も書かれていないので、2011 年の IEA-GIA Annual report

(<http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2013/10/2011-GIA-Annual-Report-Final-4Oct13.pdf> の 162 ページから) を翻訳し、挿入した。

Enova SF は、石油・エネルギー省に所属する公営企業である。Enova の目的は、消費および生産されるエネルギーをさらに持続性を有するエネルギーに代え、供給セキュリティを同時に改善することである。Enova は、エネルギーファンドから割り当てられた資金で運営している。エネルギーファンドは、電気料金に幾分追加した料金 (kWh 当たり 0.28 米セント) が資金源である。これは 2004 年に始まり、2010 年には 142 万ドルに達している。さらに、エネルギーファンドは、先に設立された再生可能エネルギーとエネルギー効率のためのグリーンファンドからも資金を得ている。グリーンファンドの資本金は、45 億ドルである。エネルギーファンドからは、深部地熱エネルギーに対して資金供出はされていない。一般的に、政府機関である Enova は、個人住宅の塩水から水ヒートポンプに対し、2,000 ドルまで支援している。大型の設備に対しては、Enova のプログラム”地域エネルギーセンター”で個別に支援している。2011 年に設置された浅部地熱設備の多くは、Enova の資金供与を受けている。

クリスティアンサン市内のショッピングモールである Sorlandssenteret は、200m のボアホール 90 本から成る浅部地熱システムを建設し、Enova から 43 万ドル得た。これにより推定 3.2GWh の省エネが達成された。

“ノルウェーにおける地中熱—経済的ポテンシャルのマッピング”と称するポテンシャル調査が、ノルウェー水公社によって 2011 年から開始され、地中熱ヒートポンプを使用することによって、ノルウ

エーのほとんどのビルの冷暖房が可能であるとの結論を得た。中型から大型設備を用いた地中熱ヒートポンプによる冷暖房の値段は、他の代替エネルギーと比較して競合できる。家庭用は採算性が落ちるが、それでも魅力はある。この調査では、室内の冷暖房供給システムを含めていないが、ヒートポンプ、エネルギー坑井、設置コストは考慮している。結晶質岩盤の熱伝導率は比較的高いので、閉ループ抽熱システムのエネルギー坑井としては適している。ノルウェーの一部の地域では、表層の地下水資源を利用することも可能である。

エルベルム地域では、浅部地下水を用いたオープンシステムの需要が増えている。エルベルム市では、地下水を用いたヒートポンプシステムが公共建築物5棟で採用されている。これによって自治体は、「自治体ヒートポンプ賞」を2012年に得た。

Undervisningsbyggによる革新的暖房システムの解決策に関するコンペの結果、オスロ市の校舎の所有者は、オスロのLjan学校にBTESを建てた。校庭のアスファルトでは、太陽熱を集めている。春、夏、秋および冬の太陽が出て暖かい日には、太陽熱はヒートポンプの塩水の加熱に使われる。夏の余った太陽熱は、エネルギー坑井にチャージするために用いられる。

Statoilは、再生可能エネルギー生産における地位を徐々に築こうとしている。さらに、海洋風力発電に興味を持ち、地熱は将来の成長に対するビジネス分野とされている。Statoilは、市場における地熱発電のポテンシャルを十分実現するために、地質、掘削、貯留層管理など石油やガスでの専門知識を核として設立された。

特に掘削分野で、地熱市場に浸透することに興味を有する新たな中小企業がある。

- Norwegian Hard Rock Drilling AS (NORHARD) は、長距離掘削の技術開発や生産・運転装置を開発する会社である。地熱井の掘削や石油やガスの適用に関する開発も行っている。
- Resonator は、新たな自社技術をもとに、改良パーカッションドリルの強力な電気ハンマーを開発している。この開発は、オスロ南方にある生命科学大学(UMB)で行っている。技術の実証には、2年かかる予定である。

5. 研究、開発、実証

スバルバル諸島のNy Alesundで2012年に興味深い地熱計画がある。スバルバル諸島は、欧州本土の北に位置する大西洋の列島である。1920年のスバルバル諸島協定で、ノルウェーがこの諸島の全統治権を有するとされている。Ny Alesundは、スバルバル諸島の本土であるスピッツベルゲン諸島西海岸の遠隔開拓地である。この開拓地で化石燃料を地熱エネルギーに代替することに関する研究に資金が投資されている。ここでは北極圏環境が主たるテーマである。地熱ポテンシャルや地質に関する不確定要素は多いものの、Ny Alesund北部には温泉がある。

6. 地熱教育

ノルウェー地熱エネルギー研究センター(CGER)は、メンバーを対象に地熱エネルギーに関連した議題のワークショップを継続して開催している。2012年11月には、CGERはベルゲンで「地熱坑井の坑井内測定とモニタリング」と題する1日ワークショップを企画した。ハンガリーとスロバキアからの招待発表もあった。

7. 将来の見通し

浅部の地熱エネルギー(ヒートポンプ)が、ノルウェーでは広く使用されている。しかし、深部地熱エネルギーは、特に国民、政治家、資金提供機関、報道機関、企業および研究組織にとって、比較的新しい概念である。

地熱エネルギーは再生可能エネルギーミックスにおいてよく知られており、受け入れられる重要な構成要素であることから、CGERは、地熱エネルギーを促進している。CGERは、成功裏に終わったGeoEnergi 2011に続いて、主要な地熱会議であるGeoEnergi 2013を2013年秋に開催を計画している。会議は2日間にわたり、科学者、報道関係者、政策担当者などを対象にしており、IGA会長のRoland Horneも招待する。

CGERは欧州地熱エネルギーカウンシル(EGEC)のメンバーとなったので、国際地熱機関とのネットワークにアクセスできる。

CGERによる最大限の努力によって、ノルウェー政府は2012年からの”気候条約”に関する白書に地熱エネルギーを優先エネルギーの一つとして取り扱うことになった。

8. 参考文献等

IEA Energy Policies of IEA Countries, Norway 2011 Review OECD/IEA (2011)

- www.rcn.no
- www.cger.no
- www.enova.no
- <http://www.energi21.no/>
- www.novap.no

著者

This report was written and compiled by Jiri Muller with contributions from Kirsti Midttømme.

Jiri Muller

Institute for Energy Technology

PO Box 40

No-2027 Kjeller

NORWAY

E-mail: jiri@ife.no

Kirsty Midttømme

Christian Michelsens Research AS

P.O Box 6031

No 5892 Bergen

NORWAY

E-mail: Kirsti.Midttomme@cmr.no

1 2 . Spain (スペイン)

(National Activities Chapter 19)

スペイン政府は、2012年に電力セクターを設立し、全ての再生可能エネルギーに対する固定価格買取制度の無期限延期と電力生産に対して7%の新税を認めざるを得なくなった。

それによって、電力生産のための地熱エネルギーの開発は、スペインにおいて非常にややこしくなっている。

しかし、2012年の冷暖房のための浅部地熱開発は、大いに進んでいる。この技術によるエネルギー効率向上と省エネは、今後ともますます魅力的になる。

2013年9月にスペインの貢献についてのレポートを提出した。2013年の国別報告には、さらに詳しく記述する予定である。

著者

Francisco Monedero Gómez

Hidroeléctrico, Energías del Mar y Geotermia/Responsable de Área

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo

Madrid

SPAIN

E-mail : fmonedero@idae.es

Website : www.idae.es

1 3. Switzerland (スイス) (National Activities Chapter 20)

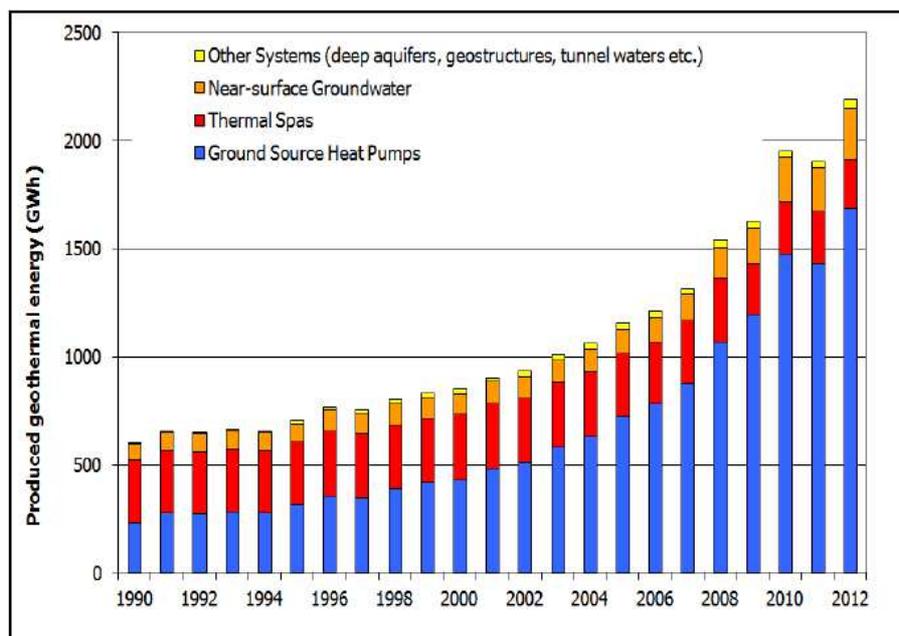
1. 概要

スイスの浅部地熱は成長を続けており、国のポテンシャルによって制約されることはない。このセクターは、ここ 12 年毎年約 12% の年間平均成長率を享受している (第 13-1 図)。2012 年末までには、約 8 万台の地中熱ヒートポンプが稼働している (参考文献 1)。同様に、直接利用と発電用の地熱の理論的ポテンシャルは、非常に大きい。より現実的な技術的および経済的ポテンシャルは、1~20TWhs で、これに副産物としての熱を伴う。

2012 年には、2 つの深部地熱プロジェクトが成熟期を迎えている。スイス北部の Schlattingen (Thurgau 州) と熱と電力の複合生産を行っているスイス東部の St. Gallen (St Gallen 州) である。St. Gallen 市の公益事業による熱・発電プロジェクトは、地下開発が失敗し、予定された供給を行えない場合は、保証金として 2,410 万スイスフランを受け取る。

深部地熱エネルギー資源に対する政府のインセンティブが十分でないため、企業の活動が停滞している。2012 年の研究開発費は、400 万ドルのレベルである (実証試験の資金も含む)。研究開発費のほとんどは、地熱の開発に伴う誘発地震の管理に充当されている。

2011 年 3 月 11 日に発生した地震と津波による福島第 1 原子力発電所事故、再生可能エネルギーのコスト削減、北アフリカと中東の政策不安を受けて、スイスは 2050 年のエネルギー戦略の開発、実施に向けて動いている。特筆すべき点は、国の電力需要の 40% (25TWh) を担っている原子力エネルギーを約 20~30 年後に廃止することである。そのための一つの例として、新たな再生可能エネルギーによる電力シェアを増加し、現在の 1.9TWh から 2020 年には 4.4TWh、2035 年には 14.5TWh とするよう推進している。地熱エネルギーは、現在供給量はゼロであるが、2035 年までに 1TWh の供給を目指している。エネルギー効率の向上、温室効果ガス排出削減の観点から最終消費者に対する更なる目標は、地熱エネルギーによる間接および直接熱供給を増加することである。消費サイドからの目標は検討されているが、供給サイドのそれぞれの供給源に関する目標はできていない。



第 13-1 図 スイスにおける地熱エネルギー利用の現状

第 13-1 表 スイスにおける地熱エネルギー利用の現状

直接利用	
全設備容量(MW _{th})	4.3
新規設備容量(MW _{th})	1.3
熱の使用量(GWh/年)	0.015
ヒートポンプの全設備容量(MW _{th})	1,581
ヒートポンプの全正味使用量(GWh/年)	1,962
目標値(PJ/年)	na
国内ポテンシャル	na

na: データなし

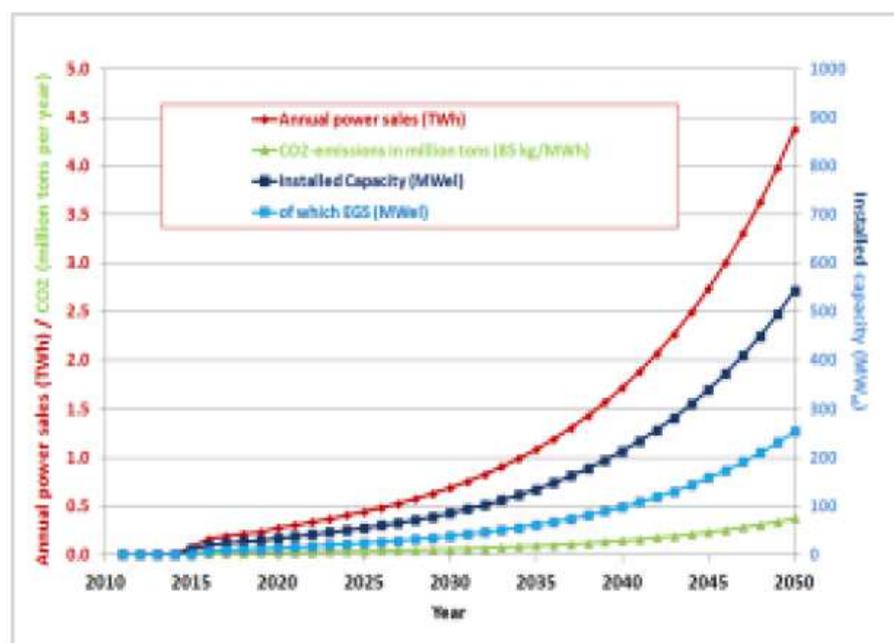
2. 国家プログラム

2012年にスイスエネルギー局は、深部地熱エネルギーの総合的政策支援プログラムを作成した（参考文献2）。これは、スイスエネルギー戦略2050の一部に含まれている。最初から全ての政策手段が実行されるわけではないが、議会および連邦や州の担当局は、徐々に支援をしていく予定になっている。

2012年には、主な法律や規則は施行されなかった。

連邦や州政府および関連する政府機関は、これまで地熱を推進してこなかったため、地熱開発は民間企業に任されてきた。深部地熱エネルギーに対する政府のインセンティブには、地熱エネルギーに対する固定価格買取制度、適切な資源が発見されない場合などの財政的損害を補うための補償スキーム（これは最終的にスイスの地下深部に対する知識の欠如によるが）、研究、開発、実証（パイロットや実証プラント段階での技術）の資金があげられる。

浅部地熱エネルギーに対しては、州が地中熱ヒートポンプの利用に対する支援メカニズムを提供している（エネルギー効率向上、温室効果ガス削減がもともとの目標である）。



第 13-2 図 スイスの地熱発電成長のシナリオ。このシナリオは、地熱エネルギーからの電力を推進するという政策手段をもとに作成された。
(出典：スイスエネルギー局)

3. 産業の現状と市場開発

地中熱ヒートポンプに関して、業界関係の市場は、ますます活発な状況を呈している。地中熱ヒートポンプの成功により、事例証拠により強化されるという初期的な兆候が示されていることから、多くのプレーヤーが市場に参入している。浅部地熱掘削会社のほとんどが、価格競争を行っている。品質保証は、ヒートポンプと掘削会社に対する品質ラベリングスキームと環境局の地中熱ヒートポンプに対する基準（SIA 384/6）とガイドラインにより、高いレベルに保たれている。地中熱ヒートポンプスキームに関して多くのギャップが認められた。チェックと管理が広く行われていないため、地中熱ヒートポンプの設置は、大きなリスクを有している（設置、充填、試験）。材料にも限界がある可能性がある。さらに、スイスでは空間的な計画の制御がないため、深部地中熱ヒートポンプの実証に関する法的フレームワークは、貧弱である。一般に、150m までは地中熱ヒートポンプは問題がない。250m 以上の深さになると、リスクが大きくなり、問題が生ずる。しかしながら、面積にしてスイスの約 50%に相当する Swiss Molasse ベースンは、その人口の 75%以上に深部地下として貢献しているので、地中熱ヒートポンプを用いるには、非常に適した地域である(参考文献 3)。

スイス連邦政府は、地熱エネルギーの利用に関して、直接的なインセンティブを有していない。スイス 26 州の多くは、地中熱ヒートポンプに対する効果的な投資を支援するスキームを持っている。

深部地熱エネルギーの開発に関して、スイスの企業はあまり成熟していない。この産業は、探査、掘削、設備、熱と電力プラントの操業に至る完全な一連の業務をカバーしている。今日まで、存在しない市場のプレーヤーは、それほど多くはない。資金の欠如、有能な人的資源の不足、法的フレームワークの不備により開発が抑制されている。しかしながら、これらの障害を克服するための核心的な技量は存在し、とりわけ州の管理者と立法者は、ビジネスに適した法的フレームワークを設計、実施する仕事を、デベロッパーと一緒にやろうとしている。

これらの努力を補足するものとして、スイス連邦政府は固定買取制度や地熱発電所に対する保証制度を継続して実行しようとしている。固定価格買取制度や地熱保証などの他の関連手段に必要な資金は、高圧グリッドを通しての送電される電力に対して最終消費者が支払う追加料金を割り当てている。2012 年に、追加料金は、顧客の平均最終価格である kWh 当たり 17 ルピアのうち、kWh 当たり 0.45 ルピアに達した。追加料金は、新たな再生可能な電力を採取することを義務づけられている電力の販売業者に対して割り当てよう設計されているので、商業的に実行可能性のある新たな再生可能電力を支援する手段のためにのみ使用される。ここで手段とは、実際には技術開発を意味する。

追加料金による歳入は、高圧グリッドを経由する電力に規定されているので、ドイツの例と異なり、全ての方策に使用できる年間予算は上限が設けられている（1年につき 2.5 億スイスフラン）。事実、プロジェクトは順番待ちリストに載せられている。順番待ちリストはかなり順序が入れ替わることがあり、多くの公表されたリスト（ほとんどが太陽光か風力）が具体化されていない。次に、固定価格買取制度は 20 年間で支払が尽きてしまう。

固定価格買取制度は、エネルギー条例によって管理されているので、地熱発電に対しては固定価格買取制度について特別の副次的影響がある。すなわち、人工的に熱抽出するために必要な電力は、固定買取制度に従えば、グリッドに供給される電力から差し引かれなければならない。これは、バイオマスからの電力との類似していることに起因する。供給原料を工場に集めるために必要な電力は、グリッドに供給される電力から差し引かれなければならない。人工熱抽出に関しては、熱水や蒸気を発電プラントに供給するためのエネルギーは考慮されない。

スイスにおいて、地下深部に関する知識に大きなギャップがあるため（スイスでは 3000m 以深の坑井は 10 本しかない）、スイス政府が地熱発電プロジェクトの地熱保証システムを策定している。グリッドの追加料金として徴収された 1.5 億スイスフランがこのスキームに充てられている。地熱保証に応募した地熱発電プロジェクトは、失敗した場合にプロジェクトの全地下開発コストの 50%までが返金される。

第 13.2 表 地熱エネルギー資源を用いた
電力の固定価格買取制度(参考文献 4)

設備容量	固定買取価格 (Rp./kWh)
≤5MW	40.0
≤10MW	36.0
≤20MW	28.0
>20MW	22.7

US\$ 1 = CHF.95 or 95 Rappen (Rp.)

4. 研究、開発、実証

スイスでは、研究開発・実証のための資金は、いろいろな財源から拠出されている。基礎研究は、主としてスイス科学財団 (Swiss National Foundation) が供出している。この資金は、大学の研究者に渡っている。地熱エネルギー利用への貢献に対しては、COTHERM (COmbined hydrological, geochemical and Geophysical Modelling of GeoTHERMal Systems) プロジェクトが負担している。https://www.rdb.ethz.ch/projects/project.php?proj_id=30445&z_detailed=1&z_popular=1&z_keywods=1)。2012 年の資金は、約 20 万スイスフランであった。

基礎研究に向けた資金は、主として ETH ドメイン (スイス国の 5 つの研究機関) とスイスエネルギー局が管理している。2012 年の予算は併せて 200 万スイスフランであった。主たるプロジェクトは GEOTHERM (2008 年～2012 年) である。このプロジェクトでは、バーゼル EGS プロジェクトの深部データの解析を行い、一見均質な結晶岩盤の応力と強度の異方性について重要な知識の習得や大規模な水圧スチームレーションを行った際のボアホールの位置関係、圧力降下、地震の統計 (周波数とマグニチュード)、その他の現象について解析した(<http://www.cces.ethz.ch/projects/nature/geotherm>)。

スイスエネルギー局は、パイロットおよび実証プロジェクトにも資金を提供している。地熱エネルギープロジェクトは、年間 50～100 万スイスフランを得ている。2012 年に資金提供を受けたプロジェクトは、Thurgau 州の熱の直接利用プロジェクトである。ここでは、農業関連企業が約 1,200m までボーリングを行い、温度約 60°C の水を、化石燃料を燃焼する代わりにグリーンハウスに供給している (<http://www.grob-gemuese.ch/cms/index.php?id=23>)。スイスエネルギー局は、地熱の研究開発・実証プログラムの成果をまとめ、毎年発行している(参考文献 6)。

スイス政府と州の両方から予算を得ている Universities of Applied Science (応用科学大学) は、応用研究と開発を行っており、主として浅部地熱エネルギー利用やヒートポンプ、品質制御などを実施している。予算額は不明だが、およそ 10～50 万スイスフランと思われる。

スイス連邦技術革新委員会 (CTI : Commission for Technology and Innovation) は、学術機関と企業の共同プロジェクトに出資している。企業の予算そのものも寄与しているが、CTI は全プロジェクトコストの 50% を上限に、学術的な研究の部分に資金提供している。地熱に関しては、予算確保に成功しているとは言い難い。その理由として、浅部地熱セクター関連企業からの予算要求が少ないこと、深部地熱企業が十分成長していないことが上げられる。CTI からの予算総額は、年間 10～20 万スイスフランである。

スイスの公益企業は、共同で研究開発機関を運営している。場合によって、地熱エネルギーに関係するプロジェクトに対して、年間 30 万スイスフラン以下のレベルの予算を提供している。個々の公益会社は、研究セクターの指定研究にもグラントを出している。予算レベルは不明だが、10 万スイスフラン以下と思われる。私企業は、いくつかの現場活動を研究開発支出と宣言している。その額は不明である。

5. 地熱教育

Neuchâtel 大学は、先端研究修了証書、あるいは CAS DEEGEOSYS(深部地熱システムの探査と開発)を開始し、定員超過となるほど人気を得た(参考文献 7)。

6. 将来の見通し

2012 年以降は、多くの政策転換が期待される。最も注目すべきは、エネルギー法の全面改定で、2013 年 9 月に議会で議論される予定である。エネルギーに関する研究開発は、2013 年からの拡大に向けての準備が始まる。エネルギー研究開発は、2050 年までのスイスエネルギー戦略の 5 本柱の一つと考えられる。プロジェクトに関しては、2006 年に始まったスイスの最初の主たる熱・電力複合プロジェクトであるザンクト・ガレンプロジェクトは、最初の坑井が掘削される予定である。同様に、Schlattingen TG のアグリビジネスのための直接利用プロジェクトにおいて、2 本目の高精度な指向性坑井が掘削される予定である。

7. 参考文献等

1-Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz Ausgabe 2012 (2013). Published by the Swiss Geothermal Association geothermie.ch

<http://www.geothermie.ch/data/dokumente/miscellanus>

PDF/Publikationen/Geothermiestatistik%20Schweiz%202012.pdf

[Document only available in German]

2-Energiestrategie 2050-Erstes Massnahmenpaket Zusammenstellung der Massnahmenbeschriebe (2012)

http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_691836301.pdf

[Document only available in German; deep geothermal energy support program pp. 116-140]

3-Qualitätssicherung Erdwärmesonden by Dr. Walter Eugster, dipl. Natw. ETH

http://www.fws.ch/tl_files/download_d/Downloads/Eugster-QS-EWS_Eugster.pdf

[Document only available in German; presentation on Quality Assurance in Ground Source Heat Pumps]

4-Energy Ordinance (730.01)-Appendix 1.4

<http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983391/201210010000/730.01.pdf>

[Document available in German and French]

5-Energy Ordinance (730.01)-Appendix 1.6

<http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983391/201210010000/730.01.pdf>

[Document available in German and French]

6-2013 Report of the RD&D Program Geothermal Energy of the Swiss Federal Office of Energy

<http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000011027.pdf&name=000000290789>

7-Certificate of Advances Studies at the University of Neuchâtel: CAS DEEGEOSYS-Exploration & Development of Deep Geothermal Systems Certificate

<http://www2.unine.ch/foco/CAS-DEEGEOSYS>

著者

Gunter Siddiqi

Swiss Federal of Energy

Postfach

CH 3003 Bern

SWITZERLAND

E-mail : gunter.siddiqi@bfe.admin.ch

Rudolf Minder

Swiss Federal Office of Energy

Program Manager Geothermal Energy Research

Ruchweid 22

CH 8917 Oberlunkhofen

E-mail : rudolf.minder@bluewin.ch

1 4. United Kingdom (イギリス)

(National Activities Chapter 21)

1. 概要

イギリスの地熱資源の開発は、他の非火山国に比べても、非常に遅れている。EGS による発電の適地は、イギリス南西部と北西部である。コーンウォールで行われた高温岩体プロジェクトでは、深さ 2.6km で温度 100℃、また North Pennie バソリスに向けて掘削された Eastgate ボアホールでは、深さ 995m で温度は 46.2℃ となっている。現在、2つの EGS プロジェクトが進行中である。すなわち、一つは EGS Energy 社がコーンウォール St Austell の Eden プロジェクトで、4MWe の深部地熱エネルギープラントを開発中である。花崗岩に鉛直深さ 4,500m の坑井 2 本を掘削し、坑底温度が少なくとも 175℃ に達することを期待している。このプラントの初期段階においては、Eden にある施設の電気および熱を供給する予定であるが、将来開発が進むと地域に供給する。もう一つは、Geothermal Engineering 社 (GEL) が提案している、コーンウォール Redruth 近くの United Downs Industrial Estate の深部地熱開発プロジェクトである。これは、1980 年代から 1990 年代に行われたイギリスの高温岩体プロジェクトが実施されたテストサイトの Rosemanowes から数 km 離れたところに位置する。このプロジェクトでは、深さ約 4,500m の 3 本の坑井 (2 本が生産井、1 本が注水井) を掘り、バイナリープラントにより 10MWe の発電を行い、地域のために熱 55MWth を供給する計画である。この深さにおける花崗岩の温度は約 200℃ と期待している。2010 年にこれら 2 つのプロジェクトは、Deep Geothermal Challenge 基金から政府グラントとして、それぞれ 201 万ポンドと 149 万ポンドの支援を受けている。

第 14-1 表 イギリスにおける 2012 年の地熱エネルギー利用の現状

直接利用	
全設備容量 (MWth)	2.6
熱の全使用量 (GWh/年)	12.3*
2012 年のヒートポンプの新規設備容量 (MWth)	60
ヒートポンプの全設備容量 (MW)	355
ヒートポンプの全正味使用量 (GWh/年)	578**

*Sauthampton のプラント補修のため、前年度より減少

**正味使用量を計算するため、熱当量全負荷 (時間/年) を、
家庭用では 1800 時間/年、業務用では 1500 時間/と仮定した

熱のみの利用する場合には、中生代の堆積層が最も適している。5 カ所のベースンが調査され、ベルム紀-三疊紀基底砂岩では測定の結果 80℃ に達した。しかし、いくつかのベースンでは、最深部で 100℃ に達する可能性がある。深部の孔隙率や透水性のデータは限られているが、これらの値は十分な生産が得られる程度高いという測定結果がある。透水量係数をもとに、生産が可能な砂岩の厚さを求めると、数 10m から数 100m の範囲となる。原位置にある熱の推定値は、 $201 \sim 328 \times 10^{18} \text{J}$ となった。今日まで、地熱暖房が行われているのはサウサンプトン市のみで、ここでは設備容量 2MW のプラントが、深さ 1.8km、温度 76℃ の三疊紀の砂岩帯水層から塩水を抽出している。しかし、この設備は 2012 年に稼働していなかったため、稼働に向けて新たにポンプが設置されたところである。2011 年には、ニューキャッスル市で石炭紀のフェル砂岩を 1821m まで掘削した。969m に砂岩の障害物があり、これによって掘削が妨げられた。2012 年にこの障害物を取り除き、1770m で坑底温度 73℃ を記録した。バース市においては、ローマ時代から温泉が開発されているが、2012 年にこの高温の被圧

水を横切って坑井が掘削された。このお湯は、**Thermae Bath Spa** を保護するために使用されるとともに、新しいホテルに供給する予定である。

2. 国家プログラム

イギリスの再生可能エネルギー戦略は 2009 年に開始された。これにより、2020 年までにエネルギーの 15% を再生可能エネルギーで補い、さらに 2030 年までに 7.5 億トンの二酸化炭素を削減すること目標にしている。そのため、発電の 30% 以上、熱の 12%、運輸のためのエネルギーの 10% を再生可能エネルギーでまかなうことになる。そのほとんどは、風力、バイオマス、バイオ燃料、電気自動車であるが、家庭用暖房のかなりの部分を地中熱ヒートポンプで供給する必要がある。地熱発電の役割は小さい。

イギリスの再生可能エネルギーロードマップは、2011 年に発表され、再生可能エネルギーの目標に合致するために最もポテンシャルの高いものとして、8 つの技術を特定している。そのうちの一つに地中熱ヒートポンプと空気ヒートポンプが取り上げられている。そのため導入されたインセンティブに、非家庭用地中熱ヒートポンプのための再生可能熱インセンティブと家庭規模の地中熱ヒートポンプのための熱プレミアムペイメント（無償資金協力）がある。

2.1 法規関係

Renewable Obligation (RO) は、現在の主たる財政的なメカニズムであり、これによってイギリス政府が大規模な再生可能発電の展開するためのインセンティブにしている。発電業者は、供給者あるいはトレーダーに再生可能エネルギー購入義務証書 (**Renewable Obligation Certificates : ROCs**) を売り、卸電力価格に加えてプレミアムを受け取ることができる。2011 年には、地熱発電は MWh 当たり 2ROCs を受け取ることができるが、2012 年にこのレベルは再評価される。地熱業界は、地熱発電に対してドイツと同じレベルに引き上げ、MWh 当たり 5ROCs にするようロビー活動を行っている。しかしながら、2013 年から 2015 年の間は MWh 当たり 2ROCs を維持するが、2016 年から 2017 年には MWh 当たり 1.8ROCs に下がる予定である。

2010 年 4 月 1 日に、固定価格買取制度 (**Feed-in Tariffs**) が導入された。エネルギー・気候変動省 (**Department for Energy and Climate Change : DECC**) は、固定価格買取制度を通して、小規模 (5MW 以下) の低二酸化炭素発電が促進されることを願っている。2012 年に地熱発電は行われなかった。

再生可能エネルギー熱の使用量に応じて、政府予算から対価を支払う制度である **Renewable Heat Incentive (RHI)** が、2011 年 7 月に導入された。これには、深部地熱の熱利用と非家庭用の地中熱ヒートポンプが含まれている。2012 年には、100kWth 以下のプロジェクトに対しては 4.8p*/kWhth、100kWth 以上のプロジェクトに対しては 3.5p/kWhth の対価を支払う。地中熱ヒートポンプと他の熱技術の間に RHI 対価は大きな不均衡が生じて、市場が混乱し、非家庭用地中熱ヒートポンプの設置の障害となっている。

*p : (訳者注) ペンス、100 ペンス=1 ポンド

家庭用の地中熱ヒートポンプは、購入価格を援助するために 1250 ポンドが支払われる **Renewable Heat Premium Payment (RHPP)** が適用される。このスキームは、地中熱ヒートポンプ、バイオマスボイラー、太陽熱などによる再生可能熱手段を設置するために個人世帯主、公団住宅提供者、コミュニティグループを支援するもので、オフガスグリッド (訳者注: ガスの供給網のないところ) の地区に向けたものである。全体の予算は 2500 万ポンドで、1000 万ポンドが公団住宅提供者、700 万ポンドが個人世帯主、800 万ポンドがコミュニティグループに割り当てられている。家庭用 RHI は、2014 年初めに導入予定である。

2012 年 3 月に、政府は低二酸化炭素の熱に対する戦略的フレームワークを発表した。地域暖房や農業用熱源として深部地熱とそのポテンシャルに対する認識が深まっている。戦略的フレームワークによって、政府は 10 年後の住宅、商業施設、工場の暖房に対するビジョンを立て、イギリスの再生可能

および排出削減の目標を達成するために炭素なしの熱供給を考えている。深部地熱によって供給される熱のネットワークが、戦略的フレームワークの主要要素となっている。

また 2012 年 3 月に、政府は熱需要マップを発表した。これは一連の電子マップで、イギリス全土の建物の熱需要を示している。この目的は、デベロッパーや計画者が低炭素熱プロジェクトの適地を確認するための援助である。このマップは、全てのセクターやビルのタイプに対して、熱需要密度 (kWh/m²年) で示している。画像を拡大して、住宅地、商業地帯、工業地帯、公共ビルに分けてみることも可能である。

2.2 国家目標へ向けた進展

- 2012 年末までに、RHI のもとで正式に認可された地中熱ヒートポンプ設備が 37 あり、全体の設備容量は 1.0MWth であった。2011 年 6 月以降の熱生産量は 853MWhth であった。
- 2011 年 8 月から 2012 年 11 月までに、1,251 の地中熱ヒートポンプ施設 (13MWh) が、Renewable Heat Premium Payment を受けた。

2.3 研究開発のための政府支援・イニシアティブ

- Engineering and Physical Science Research Council は、地下工学や熱物質移動に関する 4 つの研究プロジェクトに資金を提供している。予算総額は、100 万ポンドである。
- 英国地質調査所は、地熱研究のため Natural Environment Research Council より、2012 年に 71 万ポンド受領した。

3. 産業の現状と市場開発

EGS Energy と Geothermal Engineering の 2 社は、イギリス南西部で EGS による熱と電力プロジェクトの開発を計画している。いずれのプロジェクトも、掘削を始めるにあたって計画の認可と環境に関する承認が必要である。2012 年には、これらのプロジェクトにおける最初の坑井掘削のため、援助額を増やす努力をしている。地方議会である Cornwall Council は、再生可能エネルギーの開発と推進に熱心で、議会と Local Enterprise Partnership は、積極的に深部地熱エネルギーの開発支援を行っている。

直接利用に関しては、主なイニシアティブが 2 件進められている。GT Energy 社は、2012 年 7 月にマンチェスター市で地熱の熱利用プロジェクトを推進するために、主たる公共事業社と共同で動いていると発表した。2012 年にマンチェスタープロジェクトは、環境省から Ground Investigation Consent (GIC) を受けた。さらに、これによって 1 月に 24 年間にわたる取水ライセンスを得る。Cluff Geothermal 社は、イギリス北東部のニューカッスルアポンタインの北部に位置する Shiremoor でのボーリングを提案している。熱は、新たなオフィスや住宅開発用に供給される。

2012 年 5 月に、再生可能エネルギー境界の深部地熱グループが、イギリスの地熱ポテンシャルに関する委託報告書を発表した。それによると、最終的に深部地熱資源から 9.5GW のベースロード電力と 100GW の熱を供給することができるとしている。この値は、イギリスにおける年間平均電力発電容量および熱の全消費量の 20% に等しい。しかし、いずれの主要な地熱開発に対しても必要な資金援助レベルは、非常に大きくなると結論づけている。

4. 研究、開発、実証

イギリスの地熱研究のレベルは、他の再生可能エネルギーに比べて低い。イギリス政府は、潮波などの技術を支援してきた。これは、輸出可能な実用的技術開発を行うことを目指している。イギリスの地熱研究のほとんどは、資源調査とその利用である。

4.1 政府資金

初期段階の研究に対して政府は、Research Council を通して資金提供を行っている。EU の資金も利用できる。第 14-2 表に資金提供を受けたプロジェクトのリストを示したが、これが全てではない。

スコットランド政府は、「スコットランドにおける深部地熱エネルギーのポテンシャル」の研究に投資したが、主たる契約者は AECOM である。

4.2 企業資金

企業からの資金提供は、企業秘密となるので、必ずしも公表されていない。第 14-3 表は、大学セクターが実施しているプロジェクトのリストである。

第 14-2 表 2012 年における政府出資プロジェクト（完全なリストではない）

機関	企業パートナー	プロジェクトのタイトル	プロジェクト分野	資金提供
ケンブリッジ大学	Arup	EGS貯留層開発のための数値モデル	深部地盤力学	EPSRC
ニューキャッスル大学	Cluff Geothermal Ltd	イギリス北部における断層型地熱エネルギー資源の水理地質概念モデル	イギリス北部の地熱ポテンシャル	NERC
レディング大学		クローズドループ地中熱ヒートポンプ：現在および将来の気候予測に対する削減ポテンシャル	水平型地中熱ヒートポンプに与える気候変動の影響	NERC
サウサンプトン大学		基礎地盤に設置された地中熱システムの挙動	エネルギーパイルの挙動	EPSRC
カーディフ大学		SEREN：地中熱	地中熱ヒートポンプの挙動と抽熱の改良	WEFO

EPSRC : Engineering and Physical Science Research Council

NERC : Natural Environmental Research Council

WEFO : Welsh European Funding Office

第 14-3 表 2012 年における大学セクターに資金提供されたプロジェクト（完全なリストではない）

機関	プロジェクトタイトル
ダラム大学	地熱工学のマツチフィジックスシミュレーション
ダラム大学	低エンタルピー深部堆積層の地熱ポテンシャル

5. 地熱教育

イギリスには、地熱エネルギーの探査や開発に関する特別な高等教育コースはない。しかし、大学の地球科学や再生可能エネルギーコースは、しばしば地熱の観点からの授業モジュールを設けている。

2012 年 10 月、地中熱ヒートポンプ協会が、熱抽出用杭の設計と設置に関する新しい標準について出版した。

英国掘削協会（British Drilling Association）は、2012 年 6 月と 12 月にそれぞれロンドンとリードで品質向上に関するセミナーを実施した。これに続いて第 3 回は、2013 年 4 月にグラスゴーで開催される。

公共住宅市場がヒートポンプの重要な推進役となっていることから、エネルギー・気候変動省（DECC）は、公共住宅提供者に対しヒートポンプ（空気熱源、地中熱源とも）の設置に関する最近の MCS（小規模発電認証スキーム：Microgeneration Certification Scheme）を説明する巡回説明会に助成金を支払った。

6. 将来の見通し

EGS の坑井掘削に対する資金提供は、2012 年にはほとんど増えなかった。10 月に EGS Energy 社が主催した深部地熱エネルギーシンポジウムにおいて、エネルギー・気候変動省大臣 Greg Barker は、深部地熱電力セクターに更なる支援をするかどうか、政府が再考することを約束した。その結

果、エネルギー・気候変動省は地熱発電のポテンシャル調査を更に実施し、2013年半ばに報告する予定である。2013年春に、Geothermal Engineering社は、民会投資者からの資金が確保できないとの理由で、イギリスのRegional Development Fundに600万ポンドが返還された。

2013年に、イギリス政府のEarly Tariff Review Consultationは、Renewable Heat Incentive (RHI)の価格を、非家庭用地中熱ヒートポンプに対してkWh当たり7.2~8.2ペンスに、深部地熱に対してkWh当たり5ペンスにするよう提案した。これらの価格は、2014年まで導入されないが、地熱の熱利用セクターにとって、開発のインセンティブとなるものと思われる。2012年に刊行した”熱の将来”を受けて、イギリス政府は熱ネットワークの構築に、かなりの資金援助をすると発表した。

7. 参考文献等

Curtis, R, Ledingham P, Law R and Bennett T. 2013.
Geothermal Energy Use, Country Update for the United Kingdom, European Geothermal Congress 2013, Pisa, Italy, 3-7 June 2013.

Manning, D. A. C., Younger, P. L., Smith, F. W., Jones, J. M., Dufton D. J. and Diskin, S. 2007.
A deep geothermal exploration well at Eastgate, Weardale: a novel exploration concept for low-enthalpy resources.
Journal of the Geological Society, London, 164, 371-382.

Parker, R. H. 1999. The Rosemanowes HDR Project 1983-1991.
Geothermics, 28, 603-615.

Sinclair Knight Merz (SKM), 2012.
Geothermal Energy Potential: Great Britain and Northern Ireland, (May 2012).

Renewables Obligation:
・www.ofgem.gov.uk/Sustainability/Environment/RenewablObl/Pages/RenewablObl.aspx

Renewable Heat Incentive:
・www.decc.gov.uk/en/content/cms/meeting_energy/renewable_ener/incentive/incentive.aspx
・www.energysavingtrust.org.uk/Professional-resources/Funding-and-finance/Renewable-Heat-Incentive

Renewable Energy Association Deep Geothermal Group:
・www.r-e-a.net/member/deep-geothermal

Ground Source Heat Pump Association:
・www.gshp.org.uk/

著者

Jon Busby
British Geological Survey
Keyworth, Nottingham
NG12 5GG
UNITED KINGDOM
E-mail : jpbu@bgs.ac.uk

Penny Dunbabin
Climate & Energy, Science & Analysis
Area 6A
Department of Energy & Climate Change
3-8 Whitehall Place
London, SW1A 2AW
UNITED KINGDOM
E-mail : penny.dunbabin@decc.gsi.gov.uk

15. United States of America (アメリカ)

(National Activities Chapter 22)

1. 概要

アメリカの地熱の設備容量は 3.2GWe で、世界のトップを維持している。2012 年には、以下のプロジェクトで運転が始まるので、設備容量は 147.05MW 追加される (GEA, 2013)。

- John L. Featherstone (CA) 49.9 MW、フラッシュ
 - McGinness Hills (NV) 30 MW、バイナリー
 - Neal Hot Springs (OR) 30.1 MW、バイナリー
 - Tuscarora (NV) 18 MW、バイナリー
 - San Emidio (NV) 12.75 MW、バイナリー
 - Dixie Valley (NV) 6.2 MW、バイナリーエクспанション
 - Florida Canyon Mine (NV) 0.1 MW、副産物
- (CA : カリフォルニア州、NV : ネバダ州、OR : オレゴン州)

莫大な地熱資源ポテンシャルが存在し、そのタイプも従来型地熱、EGS、低温資源、石油・ガス井からの副産物などがある。米国地質調査所 (USGS) は、既知の地熱資源が 9,057MW、未発見の資源が 30,033MW、EGS 資源が 517,800MW 存在すると推定している (Williams et al., 2008)。このポテンシャルが企業の開発を促進するとともに、地熱エネルギー協会 (Geothermal Energy Association : GEA) が 2013 年およびそれ以降の開発で、2,511~2,606MW が増えるとした報告をサポートしている (GEA, 2013)。石油・ガス井から生産される低温地熱資源である地熱副産物により、さらに 3,000MW 増える (GTO, 2012)。地熱エネルギーはアメリカのエネルギー構成の 0.3% 足らずしか占めていないが、気候変動を緩和し、断続的な再生可能エネルギー資源を支援する信頼性の高いベースロードエネルギーとして、主要な役割を演ずる能力を有している。

2012 年アメリカ政府は、研究開発と資源評価を通して、継続して地熱エネルギーの開発促進を実施している。主要な資金提供機関である米国エネルギー省の Geothermal Technologies Office (GTO) は、技術的な障壁のないプロジェクトから EGS 実証プロジェクトに至るまで、数多くの成功を収めている。例えば、ガイザーにおける Calpine の EGS 実証試験では、2012 年を通してスティムレーションを行い、5MW に相当する蒸気を得ている。これは、既存の施設が EGS によって発電量を増やすことができるという大きなマイルストーンになった (GTO, 2012)。

直接熱利用の推定容量は、12.5GWth (IEA, 2013) で、アメリカは世界で最も確固たる地熱市場を維持している。発電に供される資源は、カリフォルニアやネバダのようにアメリカ西部の州だけに限られているが、大規模な低温地熱直接利用施設は、アメリカ全土で運転が行われてきた。ボールステイト大学 (インディアナ州マンシー) は、American Recovery and Reinvestment (ARRA) のもとの景気刺激予算の 500 万ドルを使って、現在アメリカで用いられているうちで最も規模の大きい地中熱ヒートポンプ施設を建設するために、1,800 本の坑井を掘削している (Ball State University, 2013)。地中熱ヒートポンプのデータは、2010 年以降評価したことはないが、現在 12,000MWth の容量を有していると推定される。2011 年における、国内の地中熱ヒートポンプ以外の直接利用の施設数は 450 で、容量は 564MWth と推定される (OpenEL, n.d.)。

第 15-1 表 2012 年におけるアメリカの地熱エネルギー利用の現状

電力	
全設備容量(MWe)	3,187 (GTO, 2012)
新規設備容量(MWe)	147.05 (GEA, 2013)
国内発電設備容量に対する割合(%)	0.3
全発電量(GWh)	16,791 (EIA, 2013)
国内発電量に対する割合(%)	0.4
目標値(国内発電量に対する割合: %)	na
国内のポテンシャル推定値(MWe)	9,057/30,033/517,800 (Williams et. al., 2008)
直接利用	
全設備容量(MWth)	564.1 (IEA, 2013)
新規設備容量(MWth)	na
熱の使用量(GWh/年)	2,287 (IEA, 2013)
ヒートポンプの全設備容量(MWth)	12,000 (IEA, 2013)
ヒートポンプの全正味使用量(GWh/年)	17,143 (IEA, 2013)
目標値(PJ/年)	na
国内ポテンシャル	na

na: データなし

2. 国家プログラム

2012 年におけるアメリカのエネルギー戦略は、エネルギーの自立と国家経済の強化を達成することの必要性から”All-of-Above Approach”（利用し得るエネルギー源を利用する）という標語で表される。オバマ大統領は、再生可能エネルギーの生産を倍増するという 2008 年の目標を堅持している（White House, 2012）。

地熱エネルギー生産に関する多くの局面にアメリカの行政機関が関わっており、その概要をここで紹介する。規制政策と認可に関していえば、連邦政府所有地の地熱利用の認可については、土地管理局と米国森林局が最も多く関与している。現在、アメリカの地熱エネルギー設備容量のほぼ 50%は、この管轄により実施されている。米国財務省は、資本支出か生産量に基づく現金助成や税額控除によって地熱プロジェクトの資本コスト削減を奨励している。地熱技術の先端研究、開発、実証（RD&D）は、米国エネルギー省が担当し、Geothermal Technology Office (GTO)、Building Technologies Office (BTO)、Loan Program Office (LPO)のプログラムによって支援している。他の連邦機関の中で、米国地質調査所(USGS)は、従来の熱水型から EGS や低温熱水に至る地熱資源の位置とポテンシャル評価を担当している。最近、再生可能エネルギー利用特別措置法（RPS* : Renewable Portfolio Standard）や鉱物資源に焦点を置いた機関など州政府レベルのいろいろなイニシアティブによって、地熱技術が支援を受けている。

* RPS : (訳者注)電気事業者に対し、毎年その販売電力量に応じて一定割合以上の再生可能エネルギー等から発電されるで電気の利用を義務つけた制度

国レベルの RPS（再生可能エネルギー利用特別措置法）がないことを考えて、多くの州は RPS の義務的な目標を達成するために、多くの法律を制定している。例えば、全地熱設備容量の約 95%を占め

るネバダとカリフォルニアは、義務的な目標値を有しており、現在中間のマイルストーンを近づいている。大量の地熱ポテンシャルを有する他の州も、RPS 目標を定めている。それをまとめ、第 15-2 表に示す (DSIRE, 2013)。コロラド、オレゴン、ニューメキシコ、ワシントンはしっかりした RPS の目標値を有し、地熱市場を拡張あるいは新設するための開発努力を推進している。

第 15-2 表 2012 年 12 月 31 日現在の西部の州における RPS 目標のまとめ

州名	RPS 目標(年)	法案番号(年)
カリフォルニア	33%(2020)	SB x1-2 (2011)
ネバダ	25%(2020)	SB 358 (2009)
ハワイ	25%(2020)	HB 144 (2009)
オレゴン	25%(2020)	SB 838 (2007)
コロラド	30%(2025)	HB 1001 (2010)
モンタナ	15%(2015)	HB 681 (2007)
ニューメキシコ	20%(2020)	SB 418 (2007)
ワシントン	15%(2015)	1937 (2006)

連邦および州レベルで、地熱開発を促進するために多くの政策手段が実施された。連邦レベルにおいては、要件を満たしたアメリカの再生可能エネルギープロジェクトを支援する生産税控除 (production tax credit : PTC)、エネルギー企業投資税額控除 (investment tax credit : ITC)、Section 1603 現金助成 (ITC の代わり)、Section 1705 負債保証プログラム (loan guarantee program) などにより再生可能エネルギーによる発電を継続して促進している。非電気事業者の規模では、地熱ヒートポンプポンプに対して、住民税の税額控除が受けられ、地熱供給者に対して、財産税免除を目的とした国のインセンティブプログラムがある。

3. 産業の現状と市場開発

2012 年の地熱発電は、Ormat Technologies(39%、56MW)、GE Energy LLC(34%、49.9MW)、TAS Energy Inc.(27%、39.1MW)によって展開され、145MWe の追加容量、あるいは 4%の成長につながっている (Blooming New Energy Finance, 2013a)。これらが追加されたことにより、Ormat Technologies の市場シェアが 23%から 24%へ増加し、富士と東芝がそれぞれ 2%減少した。高温資源用から小型の低温資源用へと装置の規模が変化している。

2012 年、6 つの州と一つのインターコネクトリジョンで、正味 16.8TWh の地熱発電が行われた (EIA, 2013)。EIA (米国エネルギー部 : Energy Information Administration) のデータから、市場浸透率は、正味総発電で 0.02 から 3.81%、MWh の単位で表される再生可能エネルギーの正味総発電量は、0.59%から 47.04%の範囲となった (第 15-3 図)。ネバダ州は、市場浸透が際立っており、地熱の全体および再生可能エネルギーに対する正味発電量は最も多い。2012 年におけるネバダ州の市場浸透率 47.04%は、州の再生可能エネルギーミックスの一部を担う地熱発電に依存するところが大きい。カリフォルニア州の市場浸透率は、地熱がエネルギー全体の 3.31%を占め、再生可能エネルギーの 23.4%を担っている。ユタ州とハワイ州では、地熱が再生可能エネルギーミックスの一部として大きな役割を占めているが、オレゴン州とアイダホ州は、まだ成長の初期段階である。

2012 年のアメリカの地熱市場において、資本コストは未だ課題である (第 15-3 図)。設備コストの詳細は簡単に入手できないが、2012 年における Section 1603 現金助成金の米国国債の配布データから、コストを推定することは可能である。2012 年に操業中のプロジェクトが受け取った奨励金は、プロジェクトによって 1,200 万ドルから 1.02 億ドルに至る (第 15.3 表参照)。ローレンスバークレー国立研究所は、太陽光発電 (PV) のユニット当たりのコストを推定するために、この方法を用いた (Barbose et al., 2012)。同じ方法で求めた 2012 年地熱の MWe 当たりのコストは、2.52 ドル* (252 万ドル) から 6.82 ドル(682 万ドル)の範囲であると推定される。

*ドル：訳者注 原文では「\$2.52 to \$6.82/MWe」となっているが、単位はドルではなく、百万ドルの間違い、すなわち MWe 当たり 252 万ドルから 682 万ドルと思われる。

Section 1603 の報奨金に加え、2012 年にプロジェクトは PTC（生産税控除）あるいは ITC（投資税額控除）を利用できる。これら 3 つの推進プログラムに関する特定法律によって、一つのプロジェクトが 2 つ以上のプログラムを利用することは禁じられている。したがって、プロジェクトデベロッパーはこれらを選択することになり、前年と同様、Section 1603 の奨励金のみを利用している。このような背景の理由は、前金で払う費用（up-front-costs）が高いという特長があり、プロジェクトチャレンジャーは、現存のタックス・エクイティ*において税制控除の恩恵を受けているからである。PTC と ITC は有効であるが、2012 年に操業を行うプロジェクトにとっては不十分である。Section 1603 の将来に目を向けると、現金助成プログラムは 2011 年末にはピークに達し、奨励金はセーフ・ハーバー・ルール**のもとでのみ、2009 年、2010 年、2011 年に建設を開始したプロジェクトに限られる。

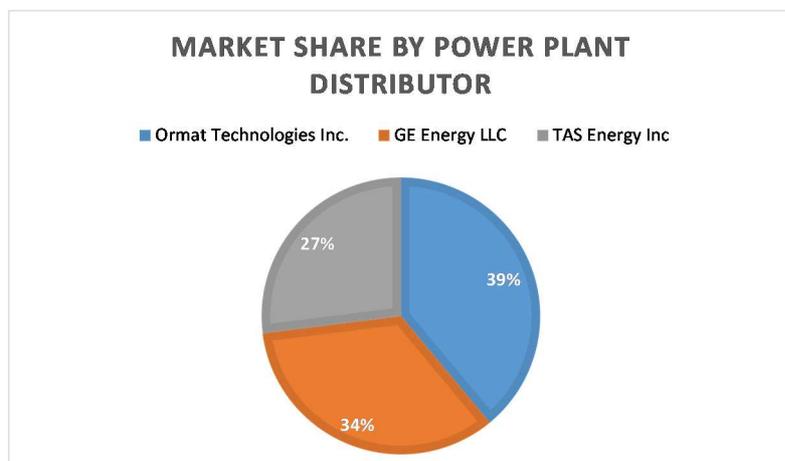
* タックス・エクイティ：（訳者注）

tax equity：黒字会社が赤字会社のエネルギー投資分を一部肩代わりして保有した分の見返りとして税額の一部控除という対価を得るという概念

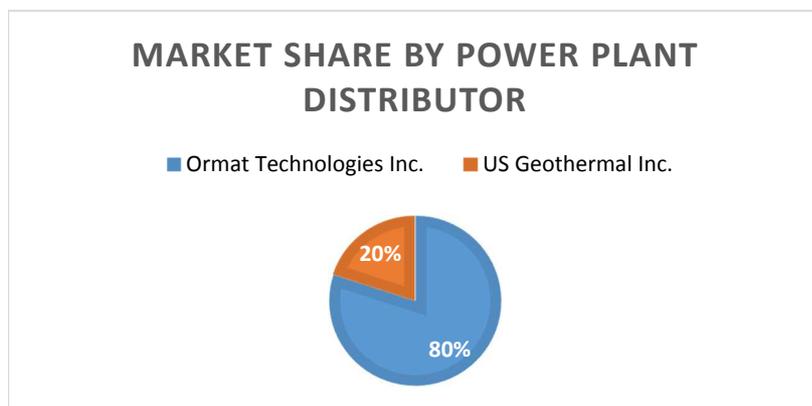
**セーフ・ハーバー・ルール：（訳者注）

諸規制や税法などにおいて、その規定を順守していれば違反（違法）にはならない範囲を明確化したルール

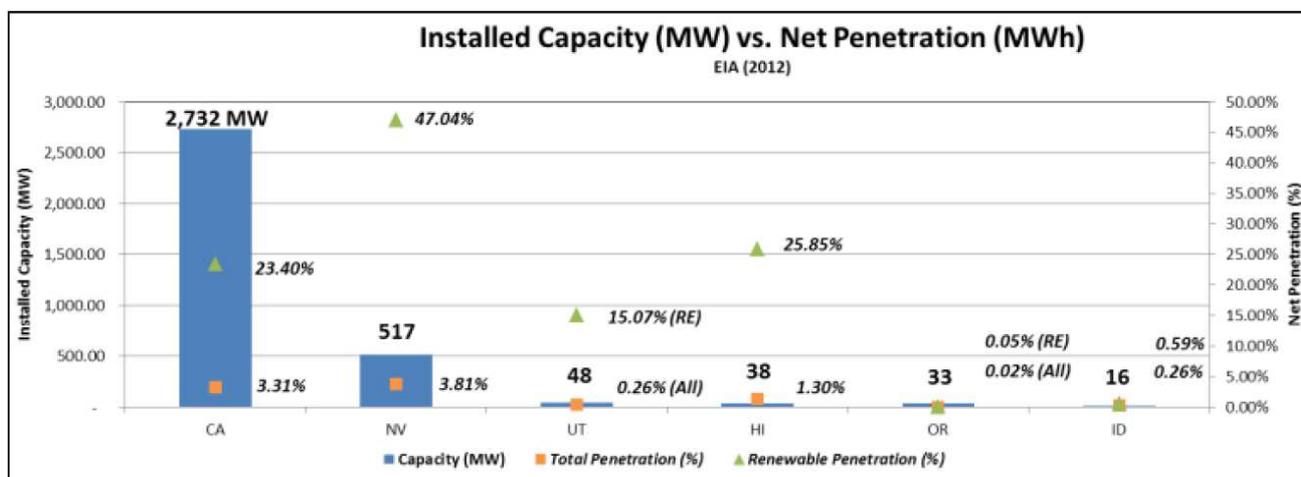
米国エネルギー省の Loan Program Office (LPO) は、Section 1705 ローン保証プログラムを通して、地熱企業を支えている（第 15-3 表）。その結果、地熱デベロッパー 3 社が 5 億ドル以上の保証を獲得した。2012 年このプログラムにより、McGinnes Hill(ネバダ)、Neal Hot Springs(オレゴン)、Tuscarora(ネバダ)のプロジェクト立ち上げに 1,25 億ドルが支援された。これらのプロジェクトそれぞれは、Section 1603 の奨励金を受けており、総計すると 80MW 以上の容量に対し、1.04 億ドルの支給となっている。



第 15-1 図 タービンメーカーの市場シェア



第 15-2 図 プロジェクトデベロッパーの市場シェア



第 15-3 図 それぞれの州における地熱の市場浸透率

第 15-3 表 プロジェクトコストの推定値

プロジェクト名	州名	設備容量 (MW)	年	1603 グラント (百万ドル)	推定コスト (百万ドル)	MW 当たりコスト 百万ドル/MW
Florida Cnyon Mine	ネバダ	0.1	2012	0.1	0.4	3.61
Dixie Valley	ネバダ	6.2	2012	4.7	15.6	2.52
San Emidio	ネバダ	11.75	2012	11.7	39	3.32
Tuscarora	ネバダ	21	2012	23.8	79.4	3.78
McGinness Hills	ネバダ	30	2012	46.9	156.4	5.22
Neal Hot Springs	オレゴン	30.1	2012	32.7	109.1	3.63
John L. Featherstone	カリフォルニア	49.9	2012	102	340.2	6.82

4. 研究、開発、実証

企業、大学、国立研究所が共同で実施する地熱技術を推進するため、エネルギー省の Geothermal Technologies Office (GTO) が主たる財政的支援メカニズムを有している。約 200 のプロジェクトに対する全体的な目標を、地熱セクターのリスクとコスト削減のための革新的な技術を研究、開発、実証することとしている。優先的なプログラムは以下の通りである。

- ・新しい熱水資源の発見とコストとリスク削減の同時達成
- ・中期的な期間前に、実証試験を通して低温熱水および副産物システムの利点の証明
- ・長期的に、EGS システムを研究、開発、実証を通して推進すること

- ・技術に関係しない市場障害に対する処置

2012年に、GTOはEGS、低温、副産物の分野を通して、革新的な開発、システム解析の成功を担ってきた。以下にその例を示す。

- ・ガイザーにおける Calpine の EGS 実証試験は、2012年にスティムレーションを実施し、廃棄された坑井から5MWに相当する蒸気を生産した。エネルギー省が財政支援をしている6つのプロジェクトの一つである Calpine は、EGS の実証に初めて成功した。
- ・Altarock 実証プロジェクトは、2012年に例えばダイバータを用いて、高圧の冷水を地下に注入することによって EGS 貯留層を造成する革新的技術を用いたスティムレーションを実施した。4,400万ドルのプロジェクトに対してエネルギー省は2,140万ドルを拠出している。この目標は、既存の地熱地帯に掘削された坑井の外側に EGS 貯留層を形成できることを示すことである。
- ・Caldwell Ranch Innovative Exploration Technologies (IET)プロジェクトは、11.4MWに相当する蒸気を確認して終了した。この値は、ガイザーの3本の廃棄坑井から予想される生産量より50%多かった。Calpine は、現在未開発の EGS 貯留層の一部と組み合わせることにより、Caldwell Ranch は45MWに相当する蒸気が生産されると見積もっている。
- ・Simbol Materials をパートナーとして、エネルギー省は年間30万から60万台の電気自動車を動かすことができる量を確保するため、地熱塩水からリチウム抽出の開発を行っている (Geothermal Technologies Office, 2012)。エネルギー省は企業を支援して、最初の実証施設を建設し、地熱塩水からのリチウム、マンガン、亜鉛などの鉱物の生産を行う。
- ・GTO は、ワイオミング州 Rocky Mountain Oilfield Testing Center (RMOTC)での実証プロジェクトの成功を受けて、石油・ガスセクターが副産物として地熱の生産に着手するために戦略的イニシアティブを開始した。GTO は、テキサス州において石油・ガスフィールドにバイナリー発電ユニットを導入し、この技術を実証することを目指している。
- ・Geothermal Regulatory Roadmap (GRR)は、地熱認可プロセスを明確にするため、関連機関、企業、政策担当者が使用するための作業ガイドの開発に着手した。最初の年度に、西部の8州のために、連邦レベルでフローチャートを開発した。主な事項や関心事項に関するデータを収集し、現在のプロセスで重複しているところを明らかにすることによって、地熱認可の合理化を目的に最良事例を特定するための解析を実施している。
- ・EGS 誘発地震に伴うリスクに取り組み、それを評価するために、エネルギー省は誘発地震プロトコルを発表した。この戦略は、公務員、企業人、取締役官、一般市民に参加してもらい、安全を確保し、適切に計画されたプロジェクトを推進することである。米国科学アカデミーは、“エネルギー技術における誘発地震のポテンシャル”と題する報告書を発行した。これはスタンダードとして使用できるプロトコル (National Research Council, 2013) で、エネルギー省が出資している EGS 実証プロジェクトが採用する。

地熱業界団体の地熱エネルギー協会 (GEA) は、立法化と擁護に関するロビー活動に参加している。最も注目すべき成功例は、PTC と ITC のそれぞれを規定している Internal Revenue Code (IRC) Section 45 と 48 の改訂である。この改訂にあたって、2013年12月31日をもって地熱エネルギーを再生可能エネルギーとしての資格を与え、建設中のプロジェクトを有資格とする文章を加えた (H.R. 8 112th Congress, 2013)。これによって地熱業界は活性化されている。例えば、Geothermal Resources Council (GRC)の年次会合がネバダ州リノで行われたが、33カ国以上から2,000人を超える参加者があった。

5. 地熱教育

アメリカでは、地熱技術に関する多くの教育プログラムがある(第15.3表参照)。その多くは大学セクターによるものであるが、政府や企業もサポートしている。このテーマは非常に広いので、ここでは概要のみを紹介する。詳しくは、以下を参照のこと。

<http://geo-energy.org/reports/2011GEAGeothermalEducationTrainingGuide/pdf>

2011年の初めから2012年にかけて、ネバダ大学リノ校はエネルギー省GTO（Geothermal Technology Office）、オレゴン工科大学、スタンフォード大学、コーネル大学、南メソジスト大学、ウェストバージニア大学、ユタ大学などの支援を得て、全米地熱アカデミーを主催した。地熱工学、地質、地球物理、貯留層工学、掘削、政策、事業開発の分野の第1線の講師や専門家が、7月に4週間にわたるコースを運営した。さらに、地熱技術に焦点を置いた教育を実施しているアカデミーの他のリストを第15-4表に示した。

第15-4表 アメリカにおける地熱教育

国家教育 国家地熱アカデミー		
地質科学	工学	直接利用・地中熱ヒートポンプポンプ
コロラド鉱山大学	コーネル大学	クラークソン大学
南メソジスト大学	マサチューセッツ工科大学	グリーンビル工科大学
スタンフォード大学	オレゴン工科大学	オクラホマ州立大学
アラスカ大学(フェアバンクス校)	トラッキー・メドーズ・コミュニティ・カレッジ	オレゴン工科大学
カリフォルニア大学(デービス校)	ウェストバージニア大学	ゲートウェイ工科大学ウイスコンシン
ネバダ大学(リノ校)		
ノースダコタ大学		
ユタ大学		

6. 将来の見通し

今後アメリカの地熱市場は、発電と直接利用ともに成長の余地は十分ある。低温地熱プロジェクトと既存地熱付近のEGSの可能性が高まり、これらの分野で技術開発が増えて活性化し、アメリカ市場の最前線となる。EGS（Desert Peakとガイザー）と低温地熱および副産物（すなわち、RMOTC）の研究、開発、実証によって、利用できる坑口温度の範囲が広まり、地熱資源開発のための地理的制約を取り除かれる。これらのタイプのプロジェクトが成功すると、さらに開発が進められ、地熱市場の成長につながる。

アメリカの地熱業界は、データへのオープンアクセスの必要性を認識し、National Geothermal Data システム（NGDS）の開発につながった。NGDSは、データへのアクセス、相互運用、保護に取り組むための現在進行中の試みであり、地下の特性と関連データに関する企業全体の知識を広められる予定である。このシステムは、地熱資源分布のなかで将来的な開発のための適切な開発地点を分析し、明確化するための研究コミュニティの能力向上を支援するものである。

2012年、連邦政府の認可プロセスを近代化することを意図したホワイトハウス行政命令は、National Environmental Policy Act（NEPA：国家環境政策法）などの手段を通して、地熱開発のタイムフレームを合理化するための機会を与えている。このイニシアティブを支援するために、Geothermal Regulatory Roadmapは複数の管轄にわたる規制プロセスとの連携を図り、重複をしなくするなど修正を進めるためのベストプラクティスを特定する。望ましい結果は、環境に対して重大かつ蓄積する影響がない活動に対して、同等なレベルのレビューをすることである。その結果、石油・ガスと風力や太陽などの再生可能エネルギー間の格差を回避できる。

地熱プロジェクトの応用範囲は拡張しているので、プロジェクト収入の多用途性を増やす必要がある。ハイブリッド電力システム（すなわち、地熱と太陽）と複合した電力と熱システムの共同開発は、資源ポテンシャルを最大化し、財政的支援を得るよい機会を生む。多様化するPPA（Power Purchase Agreement）契約*は、さらに順応性のあるエネルギー源として地熱を認識し、単にベースロード電力以上のものとして地熱が導入され始めることになる。

*PPA契約：(訳者注) Utility（電力会社）と発電者の間で結ぶ「電力販売契約」をいう。

参考文献等

Ball State University. (n.d.) Nation's Largest Project of Its Kind Goes Live. Retrieved September 5, 2013 from <http://cms.bsu.edu/about/geothermal>

Barbose, G., Darghouth, Wiser, R. (2012) Tracking the Sun: An Historical Summary of the Installed Price of Photovoltaics in the United States from 1998 to 2011. Retrieved September 5, 2013 from <http://emp.lbl.gov/sites/all/files/LBNL-5919e.pdf>

Bloomberg New Energy Finance. (2013) Renewable Energy Project Database. Retrieved August 22, 2013. Subscriber Service.

DSIRE. (2013). DSIRE RPS Data Spread sheet. [Data File]. Retrieved September 5, 2013 from <http://www.dsireusa.org/rpsdata/RPSspread031813.xlsx>.

DSIRE. (2013). Federal Incentives/Policies for Renewables & Efficiency: Business Energy Investment Tax Credit (ITC). Retrieved September 5, 2013 from http://www.dsireusa.org/incentives/incentive.cfm?Incentive_Code=US02F.

DSIRE. (2013). Federal Incentives/Policies for Renewables & Efficiency: Renewable Electricity Production Tax Credit (PTC). Retrieved September 5, 2013 from http://www.dsireusa.org/incentives/incentive.cfm?Incentive_Code=US13F.

DSIRE, (2013). Residential Renewable Energy Tax Credit. Retrieved September 5, 2013 from http://www.dsireusa.org/incentives/incentive.cfm?Incentive_Code=US37F&re=1&ee=0, December 11, 2013.

Energy Information Administration. (2013, August 22). Electric Power Monthly. [Data File] Retrieved September 5, 2013, from [http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grap](http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grap.html)her.cfm?t=epmt_1_01_a

Geothermal Energy Association. (2013). 2013 Annual Geothermal Power Production and Development Report. Retrieved September 5, 2013, from http://geo-energy.org/pdf/reports/2013AnnualUSGeothermalPowerProductionandDevelopmentReport_Final.pdf

Geothermal Energy Association. (2012, December 18). Geothermal Industry Ends 2012 on a High Note. Retrieved September 5, 2013, from <http://geo-energy.org/pressReleases/2012YearEndRelease.aspx>

Geothermal Technologies Office. (2012). Annual Report 2012: Year in Review. Retrieved September 5, 2013, from <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/geothermalannualreport2012.pdf>

H.R. 8-112th Congress: American Taxpayer Relief Act of 2012. (2012). In www.GPO.gov. Retrieved September 11, 2013, from <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-112hr8enr/pdf/BILLS-112hr8enr.pdf>.

IEA Geothermal Implementing Agreement. (2013). GIA Trends Report 2011. Retrieved September 5, 2013 from <http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2013/07/Trend-Report-2011-FINAL-3-Standard-Ganz-17Jul13.pdf>

National Research Council. (2013). Induced Seismicity Potential in Energy Technologies. Washington, DC: The National Academies Press, 2013.

OpenEI. (n.d.). Map of Low Temperature Direct Use Geothermal Facilities. Retrieved September 5, 2013 from http://en.openei.org/wiki/Map_of_Low_Temperature_Direct_Use_Geothermal_Facilities

U.S. Department of Energy Loan Programs Office. (n.d.). 1705. Retrieved September 5, 2013 from <https://lpo.energy.gov/programs/1705-2/>.

U.S. Department of the Treasury. (2013). 1603 Program: Payments for Specified Energy Property in Lieu of Tax Credits. Retrieved September 5, 2013 from <http://www.treasury.gov/initiatives/recovery/Pages/1603.aspx>.

White House. (2012). The Blueprint for a Secure Energy Future: Progress Report. Retrieved September 5, 2013 from http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/email-files/the_blueprint_for_a_secure_energy_future_oneyear_progress_report.pdf

Williams, C., Reed, M., Mariner, R., DeAngelo, J., Galanis, S. (2008). Assessment of Moderate-and High-Temperature Geothermal Resources of the United States. Retrieved September 5, 2013, from <http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3082/>

- <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/>-US Department of Energy Geothermal Technologies Office
- <http://www.geothermal.org/>-Geothermal Resources Council
- <http://geo-energy.org/>-Geothermal Energy Association
- <http://cgec.ucdavis.edu/>-California Geothermal Energy Collaborative
- <http://www.gbcge.org/education-NGA.php>-National Geothermal Academy
- <http://www.gbcge.org/>-Great Basin Center for Geothermal Energy

著者

Steven CJ Hanson
SRA, International-US DOE Geothermal Technologies Office
1000 Independence Ave. SW
Washington, DC
UNITED STATES
E-mail : steven.hanson@ee.doe.gov

Christopher Richard
BCS, Incorporated-US DOE Geothermal Technologies Office
1000 Independence Ave. SW
Washington, DC
E-mail : Christopher.Richard@ee.doe.gov

Jay Nathwani

U.S. Department of Energy
Geothermal Technologies Office
1000 Independence Ave, SW
Washington DC
UNITED STATES
E-mail : jay.nathwani@ee.doe.gov