

【海洋・地熱エネルギー特集】

欧米における地熱エネルギー利用の新技术の開発状況

本稿では二つの地熱発電技術、高温岩体(HDR。深部の地熱資源を開発する技術)、およびバイナリ・サイクル発電(低温の地熱エネルギーを電気に変換するために用いるための設備設計)の開発状況、特に欧米における商用化を視野に入れた研究開発状況を紹介します。主な情報源は、2005年における国別の世界の地熱発電の状況を要約した資料¹であるが、適宜他の資料を参照した。

1. 高温岩体技術

HDR 技術の開発状況については資料²で整理されている。高温岩体³という用語は、そもそも米国ロスアラモス科学研究所(現在のロスアラモス国立研究所)が1970年代から1990年代にかけて開発したプロセスに対して名付けられたものである。当時の研究者達は地球の構造についてのより深い理解や、深部の地熱資源を開発する方法に取り組んでいた。研究者達はさらにこれらの深部の地熱資源を開発するプロセスを説明するために新たな用語群を生み出した。例えば、スイスでは、HDR 技術の進展を表現する「深部熱採掘」⁴という用語が用いられた。米国エネルギー省の地熱技術プログラムでは、伝統的な熱水資源利用から高温岩体までの範囲を含む一連の地熱資源利用技術について「enhanced geothermal systems(EGS)⁵」という言葉を用いた。

HDR 技術は米国および日本において実証されたが、今日では主にオーストラリアおよびフランスで開発が行われている。オーストラリアでは、ジオダイナミックス社⁶が単独で、高温岩体から再生可能な地熱エネルギーを生み出すことに取り組んでいる。同社は、現在オーストラリアのクーパー盆地においても資源開発を実施中である。なお、同社は2000年11月に民間企業として登録されている。

2. バイナリ・サイクル発電

バイナリ・サイクル発電は、低温の地熱水(90°~175°C)の熱を、閉ループの熱交換器を通して循環させる流体に移動させることにより発電を行うものである。熱交換器では作動流体(通常はブタンのような低沸点の炭化水素ベースの液体)が暖められ

¹ 資料1: "World Geothermal Generation 2001-2005: State of the Art", Ruggiero Bertani
Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

² 資料2: "DEVELOPMENT OF HOT DRY ROCK TECHNOLOGY", Helmet Tenzer, GHC
BULLETIN, December 2001

³ hot dry rock

⁴ deep heat mining

⁵ EGSの日本語訳としては「貯留層滋養技術」あるいは「地熱涵養技術」がある。

⁶ Milton, Queensland; <http://www.geodynamics.com.au>

る。地熱水（塩水）の熱は作動流体に移動し、それが気化する。気化したガスはタービンに導かれて発電を行う。この技術はすでに確立し、商用運転に用いられている。前出の資料 1 によると、世界で設置されている地熱発電 8,912MW のうち約 8% が、バイナリ/複合サイクル/ハイブリッド設備である。

3. 米国での地熱研究開発プログラム

2006 年 3 月、米国地熱エネルギー協会（GEO）⁷ は、米国の地熱発電の最新状況に関する報告書⁸（資料 3）を発表した。この報告書によると、地熱研究に対する政府支出は 1998 年 - 2006 年の期間毎年 2,000 ~ 3,000 万ドルであった。

2005 年エネルギー政策法では、DOE の（地熱エネルギーを含む）再生可能エネルギー研究プログラムに対する資金の増額について記述されている。しかし、DOE は 2007 会計年度の予算要求では、地熱研究プログラムに対する予算の要求を行っていない。これに関しては「2007 年度予算では、地熱エネルギーのプログラムを終了させることを要求する。2005 年エネルギー政策法の条項に関しては、連邦補助による研究を求めずに、さらなるコスト低減に向けた地熱資源の商用開発を加速すべきである。」と述べている。現時点では、DOE の将来の地熱研究への取り組みは不明確である。

DOE の地熱研究は「エネルギー効率化および再生可能エネルギープログラム」の「地熱技術プログラム(GTP)」⁹を通じて資金提供されてきた。GTP は米国のエネルギー供給へ貢献するため、経済的に競争力のある地熱エネルギーを確立することを目指し、産業界と協力したパートナーシップに取り組んでいる。

4. 高温岩体研究開発および技術の商用化(米国)

GTP の研究プログラムは EGS の重要性を支援している。EGS 技術は、伝統的な熱水資源から高温岩体の範囲まで、地熱資源利用の連続的な活用のために用いることができる。研究の主な分野は以下の通り。

- ・国立再生可能エネルギー研究所(NREL)¹⁰によって主導されるエネルギーシステムの研究と試験（地熱エネルギーの熱や電気への変換を強化することに取り組む）
- ・サンディア国立研究所¹¹によって主導される掘削技術の研究（ハードウェアと診断ツールの両者）
- ・アイダホ国立研究所¹²によって主導される地学と支援技術研究（探査および資源管理）

⁷ the Geothermal Energy Association (GEO, Washington, DC; <http://www.geo-energy.org/>)

⁸ “Update on U.S. geothermal power production and development”

⁹ the Energy Efficiency and Renewable Energy Program’s Geothermal Technologies Program (GTP; <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/about.html>).

¹⁰ the National Renewable Energy Laboratory (NREL; Golden, Colorado)

¹¹ Sandia National Laboratories (SNL; Albuquerque, New Mexico)

GTP の戦略計画¹³が 2004 年 8 月に発表されている。2005 年 8 月には GTP の 2006-2011 年の複数年計画¹⁴が発表された。この計画には、一般的な戦略計画よりもかなり詳細な情報が記載されている。

EGS 技術は HDR 資源の開発を助けることになるであろうが、現在、米国において商業ベースの HDR 設備の設置に関する情報は得られていない。

5. バイナリ発電の研究開発と技術の商業化（米国）

米国 DOE のエネルギー転換プロセスの改善に関する研究プロジェクトは主として NREL によって実施されている。NREL の地熱エネルギー利用の低コスト化への取り組みは以下の 5 つの重点研究分野で行われている。

- ・ 混合作動流体の凝縮
- ・ 熱交換器のライニング
- ・ 空冷式凝縮器
- ・ 代替的非凝縮型ガス除去法
- ・ 小規模地熱発電設備のフィールド検証

既に米国ではいくつかのバイナリ発電所が稼働している。地熱エネルギー協会¹⁵は所有者（プラント名）、立地点、運転開始日、公称出力を記したバイナリ・プラントのリストを作成しており、それを次表に示す。

表 1 米国で稼働中のバイナリ発電所

| 州 | 所有者（プラント名） | 立地点 | 開始年 | 出力 (MW) |
|---------|---|------------------|------|---------|
| カリフォルニア | アマディ・ジオサーマル・ベンチャー (AMEDEE) | アマディ | 1988 | 1.6 |
| | コンステレーション・パワー・アンド・オーマット (MAMMOTH PACIFIC I) | シェラネバダマウンテン / モノ | 1984 | 10 |
| | コンステレーション・パワー・アンド・オーマット (MAMMOTH PACIFIC) | シェラネバダマウンテン / モノ | 1990 | 15 |
| | オーマット (GEM RESOURCES II) | インペリアル | 1986 | 18 |
| | オーマット (ORMESA I, IE, IH) | インペリアル | 不詳 | 44 |
| | オーマット (ORMESA II) | インペリアル | 1986 | 18 |
| | オーマット (SIGC BINARY) | インペリアル | 1992 | 42 |
| ハワイ | プナ・ジオサーマル・ベンチャー | パオア | 1993 | 10(注) |

¹² the Idaho National Laboratory (INL; Idaho Falls, Idaho).

¹³ "Geothermal Technologies Program Strategic Plan", DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, August 2004

¹⁴ "DOE Geothermal Technologies Program Multi-Year Program Plan 2006-2011" August 31 2005

¹⁵ Washington, DC; <http://www.geo-energy.org>

| | | | | |
|-----|---|--------|------|------|
| ネバダ | コンステレーション・エナジー (SODA LAKE I) | ファロン | 1987 | 5.1 |
| | コンステレーション・エナジー (SODA LAKE II) | ファロン | 1990 | 18 |
| | ホーム・ストレッチ・ジオサーマル (WABUSKA) | ワブスカ | 1984 | 2.2 |
| | スチームボート・デベロップメント社 (STEAMBOAT II) | ワシュー | 1992 | 24 |
| | スチームボート・デベロップメント社 (STEAMBOAT III); | ワシュー | 1992 | 24 |
| | US エナジー・システム (STEAMBOAT I) | ワシュー | 1986 | 8.4 |
| | US エナジー・システム (STEAMBOAT IA) | ワシュー | 1988 | 2.95 |
| ユタ | リカレント・リソースズ (Cove Fort) LLC (COVE FORT 2) | コブフォート | 1990 | 2.25 |

(注) このプラントはシングルフラッシュとバイナリのハイブリッド方式

6. 高温岩体技術の研究開発および商業化 (欧州)

欧州では少なくとも2つのHDRプロジェクトが進行中である。一つはフランスで、もう一つはスイスで行われている。また、英国のカンブロン鉱業大学¹⁶はコンウォールのペンリン近くのローズマロー採石場において過去に取り組んだ。ドイツにおいてもいくつかのプロジェクトが過去に実施された(例えば、ファルンケンブルグ・フラック・プロジェクト、ウラチ地熱プロジェクトなど)。

ソルツ・ソ・フォレッツ (フランス)

ソルツプロジェクトは、EUとフランス、ドイツ、イタリア政府との共同事業である。このプロジェクトは1987年に開始された。実施地点は、過去に原油が産出されたことがある地質学的に良好とされる地域である。現在の開発フェイズの期間は2005年から2008年であり、5から6MWのパイロットプラントの建設を支援する計画である。もし、パイロット運転が計画通りに進めば、25MWの産業用の試作機が2010年に建設されるかもしれない。さらなる情報は欧州HDRのwebsite¹⁷を参照。

バーゼルおよびジュネーブ (スイス)

スイスのバーゼルとジュネーブで行われている、深部熱鉱山(DHM)¹⁸プロジェクトは、HDR型のコジェネレーション(熱電併給)プラント技術の確立を目指している。

¹⁶ The Camborne School of Mines

¹⁷ <http://www.soultz.net>.

¹⁸ the Deep Heat Mining (DHM) project

プロジェクトは1996年に連邦エネルギー局(OFEN)によって主導および一部助成されている。現在は、民間企業および公的機関がプロジェクトの活動を支援している。ジオサーマル・エクスプローラ社¹⁹がプロジェクトの進展と管理に責任を負っている。

バーゼルの現場の計画では、地域熱供給システムのための電力3MWと熱20MWを生産する能力のある深度5,000m地点での貯留槽の開発を提唱している。ジュネーブの現場では、詳細な調査が行われている(追加情報はwebサイト²⁰を参照のこと)。

7. バイナリ・プラント研究開発および技術の商業化(欧州)

欧州で稼働中のバイナリ・プラントは以下の通り。

| 国名 | 概要 |
|--------|--|
| オーストリア | <ul style="list-style-type: none"> ・アルセイム：2002年：1MW ・ブルモー：2001年：0.2MW |
| ポルトガル | <ul style="list-style-type: none"> ・リベラグランデ・プラント、サンミゲール島、アゾレ：1998年に4基のバイナリが完成：計13MW |

以上

翻訳・編集：NEDO情報・システム部

(出典：SRI Consulting Business Intelligence Explorer Program)

¹⁹ Geothermal Explorers Ltd. (<http://www.geothermal.ch/eng/projekt.html>)

²⁰ <http://www.dhm.ch/dhm.html>.