

# 地熱発電普及への取組み — 蒸気タービンの性能・信頼性向上

## Geothermal Turbine Technologies Contributing to Spread of Renewable Energy

谷口 晶洋

■ TANIGUCHI Akihiro

地球温暖化の原因となる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の排出量を削減するため、エネルギー効率の向上などによる省エネが推進されているが、一方で、CO<sub>2</sub> 排出量の少ない再生可能エネルギーを利用した発電も普及しつつあり、直接的な削減効果が期待される。

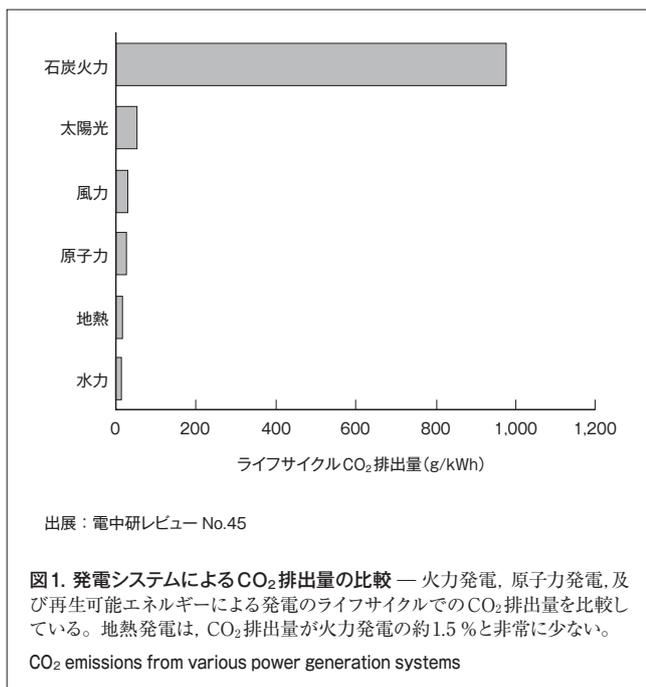
東芝は、再生可能エネルギーの一つである地熱を利用した発電設備に早くから取り組み、1966年にわが国最初の地熱発電所向けにタービン・発電機を納入して以降、様々な改善を加えながら、これまでに全世界の地熱発電容量の約30%に相当する設備を供給してきた。現在もタービンの性能・信頼性向上など技術改善を進めており、地熱発電の普及を通して地球温暖化の緩和に貢献している。

To reduce carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, which are a major cause of global warming, efforts toward energy conservation and improvement of energy efficiency are making progress. In addition, renewable energy systems such as geothermal power plants, which emit less CO<sub>2</sub>, are coming into widespread use.

Since Toshiba's introduction of a turbine and generator for Japan's first geothermal power plant in 1966, we have been developing equipment for such plants accounting for about 30% of global geothermal energy capacity up to now. Applying various improvement technologies for geothermal turbines, including technologies for improving performance and reliability, we are making efforts to contribute to the prevention of global warming through the spread of geothermal power.

### 1 まえがき

地球温暖化の原因となるCO<sub>2</sub>の排出量を削減するため、エネルギー効率の向上などによる省エネが進められているが、



一方で、CO<sub>2</sub>排出量の少ない再生可能エネルギーの利用による発電も普及しつつある。

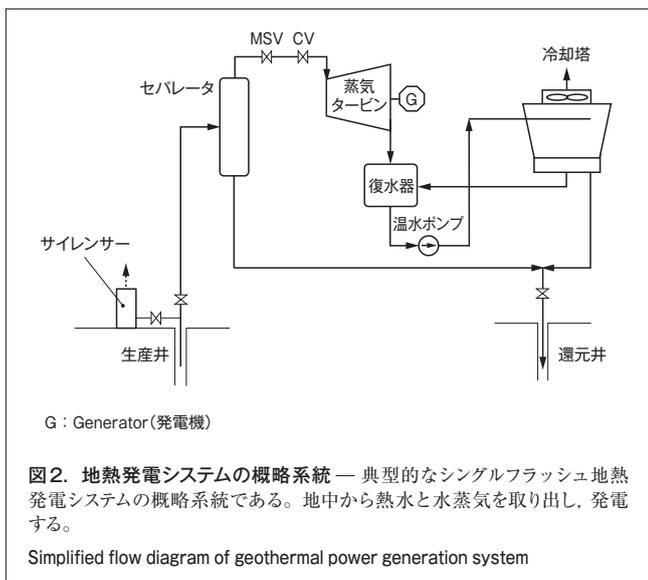
再生可能エネルギーの一つである地熱を利用した発電は、CO<sub>2</sub>排出量が石炭火力発電の約1.5%と非常に少ない(図1<sup>(1)</sup>)。そのため、近年世界的に地熱発電の開発が進み、現在では世界の地熱発電設備容量は9,000 MWに達している。今後、その設備容量はますます増加する計画である。

東芝は1966年に、わが国最初の本格的な地熱発電所向けにタービン・発電機を製作し納入した。その後、腐食性ガスなど地熱発電特有の環境における機器の性能向上や信頼性向上に努め、全世界の地熱発電容量の約30%に相当する設備を供給してきた。当社が供給した地熱発電設備により、石炭火力発電で同量発電した場合に比べ1,880万t/年のCO<sub>2</sub>排出量が削減され、地球温暖化の緩和に貢献している。

### 2 地熱発電システムの概要

地熱発電は、地下のマグマだまりのエネルギーにより熱せられた熱水と水蒸気を地中から取り出し、そのエネルギーでタービンを回し発電するものである。典型的なシングルフラッシュ地熱発電システムの概略の系統を図2に示す。

地中から取り出された熱水は、セパレータで減圧沸騰して飽和蒸気となり、主蒸気止め弁 (MSV)と主蒸気加減弁 (CV)



を介してタービンに供給される。この蒸気には腐食成分を含む不凝縮ガスが含まれている。

タービンで仕事をした蒸気は復水器に排気されるが、地熱発電システムでは凝縮した復水を再利用する必要がないので、直接接触式復水器がよく用いられる。復水器には冷却塔から冷却水が供給されてタービン排気を凝縮し、復水器内を真空にする。復水器で凝縮したタービン排気と冷却水は、温水ポンプで冷却塔に導かれて冷却され、冷却水として再利用される。

### 3 東芝の地熱発電普及への取組み

当社は、1966年に、わが国最初の本格的な地熱発電所である松川地熱発電所に設備を納入して以来、世界各国に累計で45台、設備容量で2,850 MWを納入してきた。

地熱発電では、蒸気が飽和蒸気であることやその中に腐食性成分が含まれることから、耐食性材料や高信頼性技術の開

発が求められていた。地熱発電用タービンにかかわる課題と対策を表1に示す。当社は、これらの補修ビジネスを通じ、耐食性コーティングなど地熱発電特有の課題に対する技術を開発してきた。

北米のカルパイン社ガイザース地熱発電所向けに新技術を盛り込んだタービンロータ及びノズル4セットを2002年に納入し、良好に稼働している。また、フィリピンのナショナルパワー社ティウイ地熱発電所の補修ではタービンロータ4本を納入した。更に、補修ビジネスで得た顧客の声を反映することで製品の優位性が認められ、アイスランドのレイキャビックエナジー社ヘリシェイディ地熱発電所向けのタービン・発電機(33.6 MW×1台)や、ニュージーランドのコンタクトエナジー社テミヒ地熱発電所向けのタービン・発電機(83 MW×3台)を受注した。

これらのうちで代表的な事例として、ヘリシェイディ地熱発電プロジェクトでタービンに適用した技術について述べる。

#### 3.1 ヘリシェイディ地熱発電プロジェクトの概要

ヘリシェイディ地熱発電所は、レイキャビック市の北東約20 kmに位置する。当社は、バルケデュア社(ドイツ)と共同で、レイキャビックエナジー社からヘリシェイディ地熱発電所向けの低圧タービン・発電機(33.6 MW)とBOP(Balance of Plant:プラント周辺機器)の据付け及び調整渡し案件を2005年11月に受注した。当社の供給範囲は蒸気タービン・発電機及び直属関連機器であり、復水器や冷却塔などBOPはバルケデュア社が供給した。短納期が要求された案件だったが、スキッドマウントタービン(注1)を適用するなど短納期施策を取り入れ、2007年11月に営業運転を開始した。

#### 3.2 ヘリシェイディ地熱発電所のタービンの特徴と適用技術

ヘリシェイディ地熱発電所は、既設の高圧タービン(45 MW×2台、三菱重工業(株)製)と低圧タービン(33.6 MW×1台、当社製)から成る。高圧タービンに供給される蒸気は、生産井より取り出された地熱流体が汽水分離されたものである。一

表1. 地熱発電用タービンの課題と対策

Problems related to geothermal turbines and countermeasures against them

| 項目        | 課題  | 対策   |
|-----------|---|--|
| 湿り蒸気      | <ul style="list-style-type: none"> <li>水分による動翼のエロージョン発生</li> <li>湿り損失の増大</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>MEB、ドレンキャッチャ適用</li> </ul>   |
| 腐食性ガス、不燃物 | <ul style="list-style-type: none"> <li>腐食の発生</li> <li>応力腐食割れの発生</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐食性材料の適用</li> <li>応力レベルの緩和構造の適用</li> </ul>                                    |
| 不凝縮ガス     | <ul style="list-style-type: none"> <li>不凝縮ガスとの混合蒸気表の特性</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>不凝縮ガスとの混合蒸気表の適用</li> </ul>  |
| スケール      | <ul style="list-style-type: none"> <li>ソリッドパーティクルエロージョン(SPE)</li> <li>スケールのたい積</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>対SPEコーティングの初段ノズルへの適用</li> <li>ラージプロファイル蒸気通路部の適用</li> <li>タービン洗浄の適用</li> </ul> |

MEB : Moisture Extracting Bucket SPE : Solid Particle Erosion

(注1) 工場ではタービンを一体に組み立て、更にスキッド(共通架台)に載せたもの。

方、汽水分離時に生成した熱水を更に低圧でフラッシュさせた蒸気が低圧タービンに供給される。蒸気タービンは単気筒単流、軸流排気である。蒸気の入口圧力は200 kPaと、通常の地熱発電用タービンの入口圧力(700~1,300 kPa)に比べて低い。そのため、タービンの出力は比較的小さいにもかかわらず、最終段の翼長は地熱発電用タービンとしては世界最長級の792.48 mm (31.2 in)を採用した。タービンの仕様を表2に示す。

このタービンには下記の技術を適用した。

表2. タービンの仕様

Specifications of turbine

| 項目    | 仕様                  |
|-------|---------------------|
| 型式    | 単車室・単流・復水タービン       |
| 排気    | 軸流                  |
| 回転数   | 3,000 rpm           |
| 出力    | 33.6 MW             |
| 入口蒸気圧 | 200 kPa             |
| 排気圧力  | 6.8 kPa             |
| 段数    | 4段                  |
| 最終段   | 792.48 mm (31.2 in) |

**3.2.1 軸流排気タービン** 軸流排気方式では、タービンからの排気はタービン軸方向に排出され、復水器に導かれる。そのため、曲がりなどによる圧力損失がなく、タービンの排気損失が小さく、タービンの性能が向上する。更に、軸流排気方式は下方排気方式や上方排気方式に比べ、タービン及び復水器の配置によりタービン建屋をコンパクトに抑えることができ、発電所の建設コストを低減することができる。

**3.2.2 パッケージタービン** タービンは工場ですべてに組み立てられ、更にスキッド上で配管や計装品を組み込んだ。

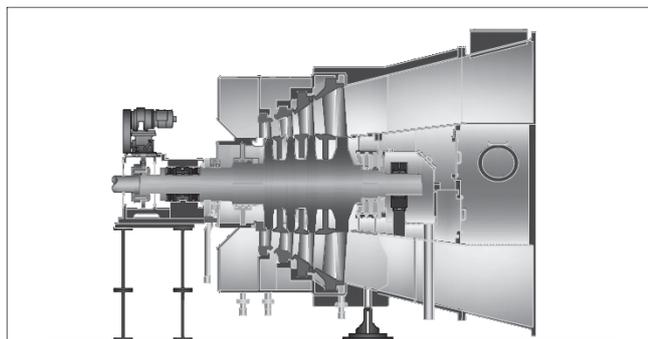


図3. 軸流排気方式のパッケージタービン — 工場ですべてに組み立てられ、配管や計装品も組み込まれたパッケージタービンで、タービンからの排気は軸方向に排出される。

Cross-sectional view of axial exhaust packaged turbine set

(注2) タービンをスキッドに載せ、付属計器や配管を工場ですべてに組み立てたもの。



図4. タービン・発電機の据付け状態 — パッケージタービンは工場ですべてに組み立てられているので、現地での据付け作業が簡便である。

Turbine and generator installed at site

軸流排気方式のパッケージタービン<sup>(注2)</sup>を図3に示す。現地ではパッケージタービンを基礎に置き、配管やケーブルなどをつなぎ込むだけでよく、現地工事期間が大幅に短縮された。タービン・発電機の据付け状態を図4に示す。

**3.2.3 耐食性向上技術** 地熱発電では地中から取り出された地熱流体から汽水分離された蒸気を使用するため、その中に不凝縮ガス(CO<sub>2</sub>、硫化水素(H<sub>2</sub>S)など)、塩分などを含んでいる。そのため、エロージョン(機械的作用による浸食)やコロージョン(化学的作用による腐食)に十分配慮することが必要である。このタービンには下記の耐食性向上技術を適用した。

(1) 初段ノズルへのコーティング 地熱発電ではタービンに導入される蒸気に、湿分や固形物が含まれることがあり、タービン初段ノズルがエロージョンを受けることがある。このタービンには耐食性を向上させるために、初段ノズル表面にタングステンカーバイドをコーティングした(図5)。

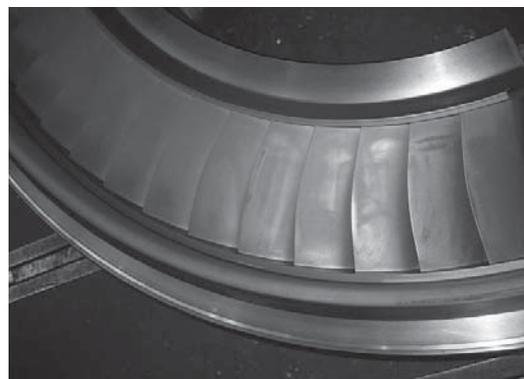


図5. ノズルへのコーティング適用事例 — タングステンカーバイドをコーティングされたノズル板は、鈍い金属光沢を呈している。

Application of coating on nozzle

(2) MEB及びドレンキャッチャー 地熱発電ではタービンに導入される蒸気は飽和蒸気であり、タービン排気の湿り度が十数%に達する。タービン羽根のエロージョンを防止するため、また、タービン性能を向上させるために

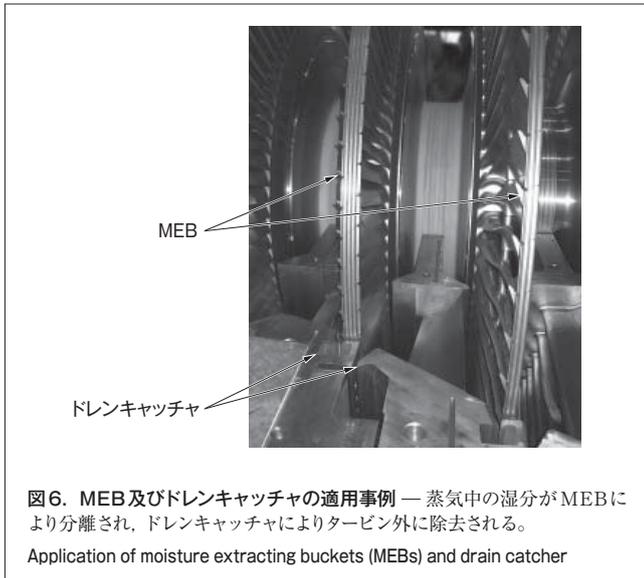


図6. MEB及びドレンキャッチャーの適用事例 — 蒸気中の湿分がMEBにより分離され、ドレンキャッチャーによりタービン外に除去される。  
Application of moisture extracting buckets (MEBs) and drain catcher

は、蒸気中の湿分を除去することが重要である。このタービンでは、蒸気中の湿分を除去するため、湿分分離溝が施されたMEB (Moisture Extracting Bucket) を動翼に、また、MEBやノズルで分離された湿分をタービン外に除去するドレンキャッチャーをノズルに適用した(図6)。

(3) ロータへのコーティング グランドパッキンシール部では空気と蒸気が接するため、ノズルダイヤフラムシール部では、蒸気流によりエロージョン及びコロージョンを受けやすい。このタービンでは、これらの部位にコバルト合金をコーティングし、耐食性を向上させた(図7)。

## 4 あとがき

地球温暖化ガスのCO<sub>2</sub>の排出量を削減するため、再生可能エネルギーを利用した発電の普及が期待されている。

東芝は、早くから地熱発電設備への取組みを始め、様々な改善を加えながら、現在までに多くの設備を供給してきた。今後も、更なる技術改善により、性能・信頼性向上、工期短縮、コスト低減を進め、地熱発電のいっそうの普及を通して、地球温暖化の緩和に貢献していく。

## 文献

- (1) 西宮 昌, ほか. 地球温暖化の解明と抑制. 電中レビュー. 45. 2001, p.64.
- (2) Sakuma, A., et al. Upgrading and Life Extension Technologies for Geothermal Steam Turbines. Proc. World Geothermal Congress 2000. 2000, p.3289 - 3294.

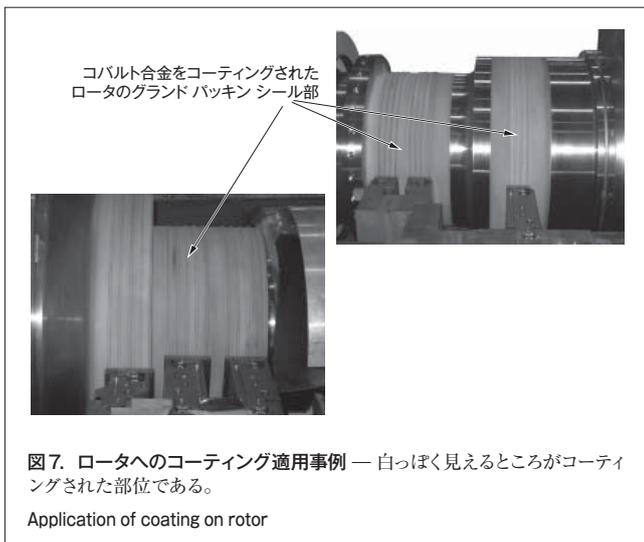


図7. ロータへのコーティング適用事例 — 白っぽく見えるところがコーティングされた部位である。  
Application of coating on rotor



谷口 晶洋 TANIGUCHI Akihiro

電力システム社 火力・水力事業部 火力改良保全技術部 主務。火力及び地熱発電所のエンジニアリング業務に従事。  
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.