

大容量から小容量までの地熱発電システムを実現する東芝の取り組み

Latest Technologies Contributing to Realization of Large- to Small-Capacity Geothermal Power Plants

田尻 純一

■TAJIRI Junichi

東芝は、1966年に国内初となる地熱発電プラント用タービン発電機を納入して以来、世界各地の地熱発電プラントに顧客のニーズに対応した発電設備を供給してきた。近年では、ニュージーランド テミヒ地熱発電所に2ユニット、ケニア オルカリア地熱発電所に4ユニット、及びインドネシア パトハ地熱発電所に1ユニットのタービン発電機及び補機システムを、蒸気量に応じて構成の異なるタービンで受注している。更に、1987年にメキシコのプラントに納入した5 MWの小型パッケージ型タービンの実績を生かし、蒸気の生産井開発直後から利用可能な坑口発電向け小型地熱発電プラントの普及にも努めており、30 MW以上の大容量から数MWの小容量まで、顧客ニーズに応えた地熱発電システムを供給することができる。

Toshiba has been developing and supplying equipment for geothermal power plants in Japan and overseas in response to customers' requirements since its delivery of a turbine generator for Japan's first geothermal power plant in 1966. In recent years, we have received orders for turbine generators and auxiliary equipment, including for two units of the Te Mihi Geothermal Power Station in New Zealand, four units of the Olkaria Geothermal Power Plant in Kenya, and one unit of the Patuha Geothermal Power Plant in Indonesia, and applied turbine systems appropriate to the amount of steam flowing into the turbine in each case.

In addition to the development and supply of large-capacity turbine systems of 30 MW or more, we are also making efforts to disseminate small-capacity turbine systems for geothermal wellhead power plants, which can be used immediately after the development of steam production wellheads, based on our experience in the development of a 5 MW portable type geothermal turbine for a project in Mexico in 1987.

1 まえがき

再生可能エネルギーの中で地熱発電は、天候や昼夜といった自然環境に左右されない、安定したエネルギー供給源と言える。このため、東日本大震災以降、日本の豊富な地熱資源を活用した地熱発電が安定供給電源として見直されており、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」(再生可能エネルギー特別措置法)の施行(2012年7月)が後押しとなり、国内地熱発電プラントの新規開発が活性化するものと期待されている。

一方海外では、地熱資源が豊富な国々で、地熱発電システムが純国産エネルギーとして以前から評価されており、継続して開発されている。近年でもインドネシアやトルコなどで国家プロジェクトとして大規模な開発が計画されており、またメキシコやケニアといった国々でも新規開発の計画が進行している。

東芝はこの地熱発電システムに40年以上の実績を持っており、現在稼働中の世界の地熱発電容量の約25%に相当する設備を供給している。近年でもニュージーランドや、ケニア、インドネシアなどの地熱発電プラントに構成の異なるタービンを提案し、それぞれのプラントに応じた最適な設備と認められて受注に至っている。

ここでは、現在製作や建設が進んでいる当社供給の地熱発

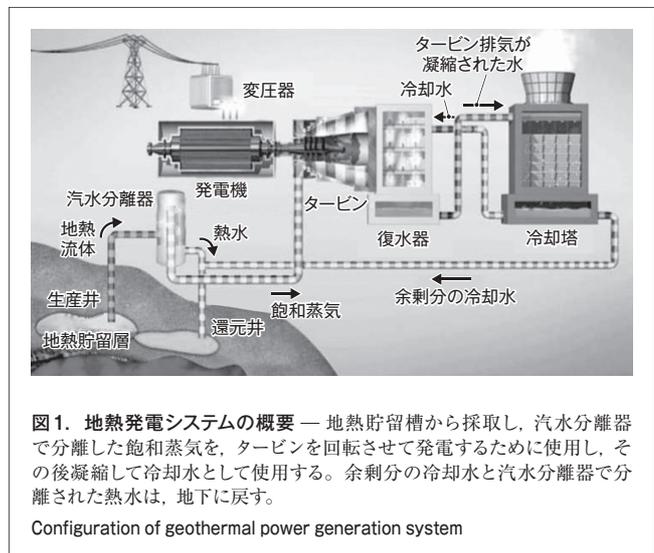


図1. 地熱発電システムの概要 — 地熱貯留層から採取し、汽水分離器で分離した飽和蒸気を、タービンを回転させて発電するために使用し、その後凝縮して冷却水として使用する。余剰分の冷却水と汽水分離器で分離された熱水は、地下に戻す。

Configuration of geothermal power generation system

電システムの概要、及び今後特に国内で需要の増加が見込まれる小型地熱発電プラントについて、当社の地熱発電システムへの取り組みを述べる。

2 地熱発電システムの概要⁽¹⁾

地熱発電のプラントシステムやその構成設備は、生産井か

ら採取される地熱流体が過熱蒸気か熱水か、発電容量などの条件を考慮して選択されるタービンの排気方式が背圧式か復水式か、などによって異なる。ここでは地熱発電プラントで比較的事例が多い、地熱流体が熱水でタービン排気を復水式としたプラントを例として地熱発電システムの概要を述べる(図1)。

まず、地下の地熱貯留層に向けて生産井を掘削し、熱水と水蒸気が混合した地熱流体を取り出す。採取した地熱流体を汽水分離器で飽和蒸気と熱水に分離し、飽和蒸気はタービンを回転させ発電するために使用する。このような構成で汽水分離を1段階だけで行うタイプをシングルフラッシュと呼ぶ。一方、分離した熱水温度が高い場合に、これを再度低圧の汽水分離器を用いて減圧沸騰させ、2段階で飽和蒸気を採取するタイプをダブルフラッシュと呼ぶ。

タービンから排気された蒸気は復水器に送り冷却塔から供給される冷却水により凝縮し、循環水ポンプで昇圧して冷却塔に送水して冷却した後、冷却水として使用する。また余剰分の冷却水及び汽水分離器で分離した熱水は、還元井を通して地下に戻る。

地熱蒸気には腐食成分を含む不凝縮性ガスや、シリカなどのスケール(固形成分)が含まれており、特に不凝縮性ガスの硫化水素は有毒で銀や銅系の材料に対して腐食性が強いので、地熱発電システムの材料選定には注意を払う必要がある。またスケールはタービンや、熱交換器、配管などに付着して、性能を低下させたり管路を閉塞したりするため、定期的な除去や付着防止対策が必要になる。

3 東芝が設備供給する 建設中の地熱発電プラント

3.1 ニュージーランド テミヒ地熱発電所1, 2号機

テミヒ地熱発電所はニュージーランドの北島中央部、タウポ火山帯に位置する。このプラントはニュージーランド コンタクトエナジー社がプラント建設を計画し、マッコーネルダウエル社、エスエヌシーラバリン社、及びパーソンズプリンカーオフ社によるジョイントベンチャー(JV)が冷却塔や、循環水ポンプ、真空ポンプなどのプラント補機設備の供給と建設工事を受注した。当社はこのJVを通じて2基の83 MWタービン発電機及び直接接触式復水器を2012年に納入した。タービンの主な仕様を表1に示す。

このプラントの特徴は、地熱蒸気供給にダブルフラッシュが採用され、中圧と低圧の2種類の圧力を持った主蒸気がタービンに供給されることである。そのため当社は、2フローの中圧タービンと1フローの低圧タービンを、それぞれに供給される蒸気圧力に対して最適化し、これらのタービンをタンデムに接続した3フロータービン(図2)を採用した。中圧蒸気は中圧タービンだけに、低圧蒸気は低圧タービンだけに、それぞ

表1. テミヒ地熱発電所用タービンの主な仕様

Specifications of turbine for Te Mihi Geothermal Power Station

項目	仕様
型式	単車室, 3フロー, 復水タービン
排気方向	下方
回転数	3,000 min ⁻¹
出力	83.507 MW
入口蒸気圧	中圧520 kPa, 低圧114 kPa
排気圧力	6.5 kPa
段数	中圧6, 低圧4
最終段落動翼長	792.48 mm (31.2 in)

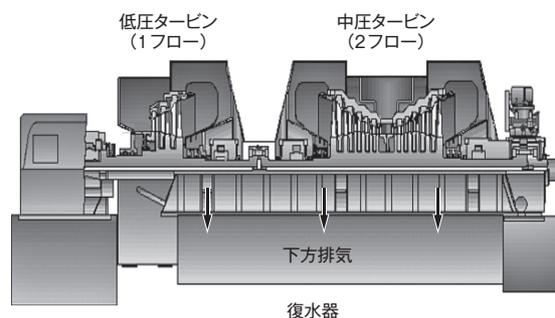


図2. 3フロー式地熱タービン— 混圧の2フロータービンに比べて円滑な蒸気流が得られ、排気損失が低減して高い発電出力が得られる。

Cross-sectional structure of triple-flow type geothermal turbine

れ流入させるようにすることで、混圧の2フロータービンに比べて円滑な蒸気流が得られる。またタービン排気を3フローに分けることで各フローのタービン排気流量を減少させ、排気損失を低減できる。これらにより高い発電出力を達成できた。

ダブルフラッシュを採用する場合、シングルフラッシュより多くのタービン駆動蒸気を得られる利点はあるが、低圧蒸気側では低温のためにスケールが析出しやすくなり、その付着物除去が課題となる。このプラントでも薬液によるスケール除去システムが設置される計画であるが、その薬液注入システムの保守停止期間中は低圧蒸気圧力を上昇させ、析出物を低減させる特殊運転を採用する計画である。このため低圧タービンには、異なる2種類の圧力でも運転可能な制御システムを採用している。

一般的なダブルフラッシュ採用プラントのタービンでは、低圧蒸気をタービンの中間段落に流入させる混圧タービンを採用する例が多い。この場合、製造後に低圧蒸気流入点を変更するのは困難なため、前述したような圧力変動運転はできない。このため薬液注入システムの保守停止期間中はスケール付着を防止するため、低圧蒸気システムからの蒸気供給を停止しなければならない。このプラントの3フロータービンに採用した制御システムは、そのような条件にも対応して柔軟な運転が可能であり、優位性が高い。

また当社は、このプラントで採用したトレイ式の直接接式復水器も製作した。これはタービン排気蒸気を復水器内部のトレイから散布した冷却水に直接接触させて凝縮させる復水器で、地熱発電プラントでは地熱蒸気の凝縮水を冷却水の補給水として利用できるため、採用例が多い。

3.2 ケニア オルカリア第1, 第4地熱発電所

ケニアはアフリカ最大の地熱地帯である東アフリカ リフトバレーに属している。オルカリア地熱発電所は、ケニアの首都ナイロビから北西約100 kmに位置するオルカリア地域に建設される。140 MWの地熱発電プラントを2か所建設し、合計280 MWの電力を供給する計画で、これは現在のケニアの総発電設備容量の約25%に相当する。このプラントは豊田通商(株)と韓国 現代エンジニアリング社が共同でケニア電力会社から一括受注したもので、当社は現代エンジニアリング社に対して、第1発電所増設に2基、新設の第4発電所に2基の合計4基の75 MWタービン発電機を2013年に納入する。タービンの主な仕様を表2に示す。

このプラントではシングルフラッシュで地熱蒸気が供給され、タービンは地熱発電プラント用として実績の多い2フロア下方排気を採用した(図3)。

またこのプラントでは、地熱蒸気中に含まれるスケールが

タービン蒸気通路部に付着して出力低下が発生する場合に備えて、タービン洗浄装置が設置される。これは、適切な粒子径のスプレー水を主蒸気止め弁(MSV)上流部に対して散布できるスプレーノズルを設置し、スケール付着による出力低下が発生した際に、運転を継続しながらスプレーを噴霧してスケールを洗い流し、出力の回復を図る装置である。タービン洗浄装置が設置されない場合はスケール除去のためにタービンを停止させて分解しスケールを除去する必要があるため、この装置の設置により運転の継続性向上が期待できる。当社はタービン洗浄装置の粒子径を決めるスプレーノズルを供給するが、このシステムについても当社は1995年から実績があり、スケール除去に最適な粒子径の発生を検証したスプレーノズルを供給する。

3.3 インドネシア バトハ地熱発電所1号機

バトハ地熱発電所は、インドネシア ジャワ島西部バンドン郊外に位置する。このプラントはインドネシア ジオ デイパ エネルギー社に、丸紅(株)と当社が60 MWタービン発電機を含む設備一式の納入及び建設工事を請け負ったもので、2014年に運転開始予定である。タービンの主な仕様を表3に示す。

このプラントもシングルフラッシュで地熱蒸気が供給され、タービンのタイプは1フロアの軸流排気タービン(図4)を採用した。

軸流排気方式の場合、タービンの排気蒸気はタービン軸方向に排出されるため、下方排気や上方排気と比べて排気蒸気の曲がりによる圧力損失がない。更に排気室の形状はディフューザ効果を得られるよう設計され、圧力回復が得られるために蒸気エネルギーを最大限に活用できる。また軸流排気は下方排気や上方排気と比べて、復水器配置の関係からタービン建屋をコンパクトに設計でき、発電プラントの建設コスト低減にも寄与している。

当社は、このプラントではタービン発電機に加え、汽水分離器や、冷却水をノズルスプレーで散布するノズル式の直接接式復水器、分散型制御装置(DCS)、主変圧器、所内変圧器、機械式通風冷却塔、循環水ポンプ、不凝縮性ガス抽出機(真

表2. オルカリア地熱発電所用タービンの主な仕様
Main specifications of turbine for Olkaria Geothermal Power Plant

項目	仕様
型式	2重車室, 2フロア, 復水タービン
排気方向	下方
回転数	3,000 min ⁻¹
出力	第1発電所増設 75.26 MW 第4発電所新設 74.924 MW
入口蒸気圧	第1発電所増設 480 kPa 第4発電所新設 580 kPa
排気圧力	7.5 kPa
段数	7
最終段落動翼長	792.48 mm (31.2 in)

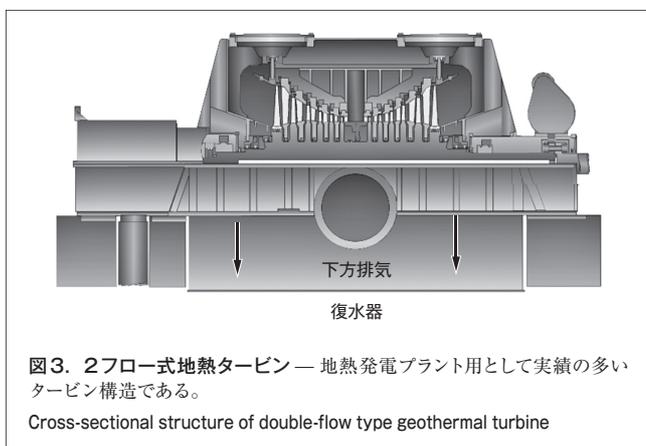


表3. バトハ地熱発電所用タービンの主な仕様
Main specifications of turbine for Patuha Geothermal Power Plant

項目	仕様
型式	単車室, 1フロア, 復水タービン
排気方向	軸流
回転数	3,000 min ⁻¹
出力	59.880 MW
入口蒸気圧	795 kPa
排気圧力	9.8 kPa
段数	6
最終段落動翼長	792.48 mm (31.2 in)

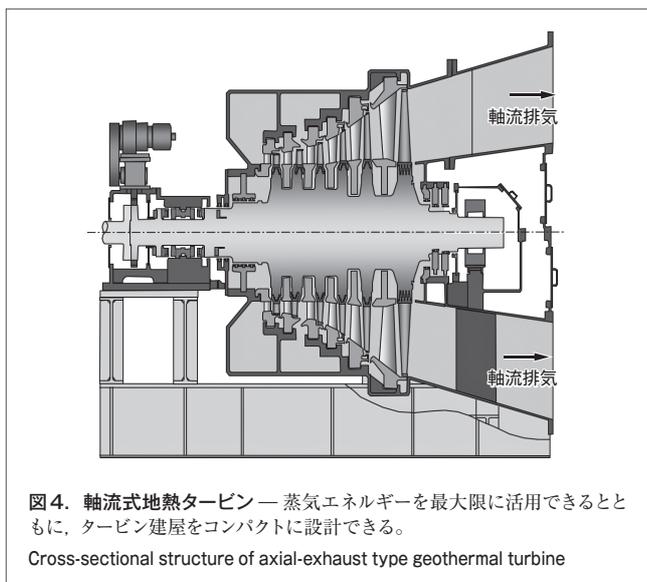


図4. 軸流式地熱タービン — 蒸気エネルギーを最大限に活用できるとともに、タービン建屋をコンパクトに設計できる。
Cross-sectional structure of axial-exhaust type geothermal turbine

空ポンプ及びエゼクタ)、空気圧縮機などのプラント補機システムもあわせて供給する。

4 今後の取組み

出力30 MW以上の大容量地熱発電プラントの場合、地熱蒸気を供給する生産井も複数必要になる。当社が1994年に納入したコスタリカ ミラバレス発電所の場合、出力55 MWのタービン発電機に対し9か所の生産井から3か所のサテライトに蒸気を集めて発電プラントに供給していた⁽²⁾。

全ての生産井を同時に掘削することは困難なことから、最初の生産井を掘削してから発電プラントが運転を開始するまでの長期間、地熱蒸気は大気中へ放出されて有効に利用できない。また生産井の減衰を考慮して予備の生産井も掘削する必要があるが、これも有効に利用できない分は大気中へ放出される。このため、ミラバレス発電所建設当時から、1本の生産井を掘削するごとにその蒸気をすぐに利用できる、坑口発電に適したパッケージタイプで小容量の地熱発電システムの需要があった。

近年の国内事情も、大容量地熱発電プラントでは生産井の数や掘削範囲が広がり、建設に時間が掛かる。このため、生産井の数が少なくすむ、小容量でパッケージタイプの小型地熱発電プラントを指向することが地熱資源開発において現実的な方策と考える。

当社は1987年に出力5 MWの小型パッケージ型背圧式タービンをメキシコのプラントに納入しており、この実績をベースに小型地熱発電プラント用のタービン発電機(図5)を製品ラインアップに加えた。主要設備を共通架台に設置して出荷することで現地工程を短縮し、短期間で運用を開始できる2 MWクラスの小容量地熱発電システムである。タービンは小型のた

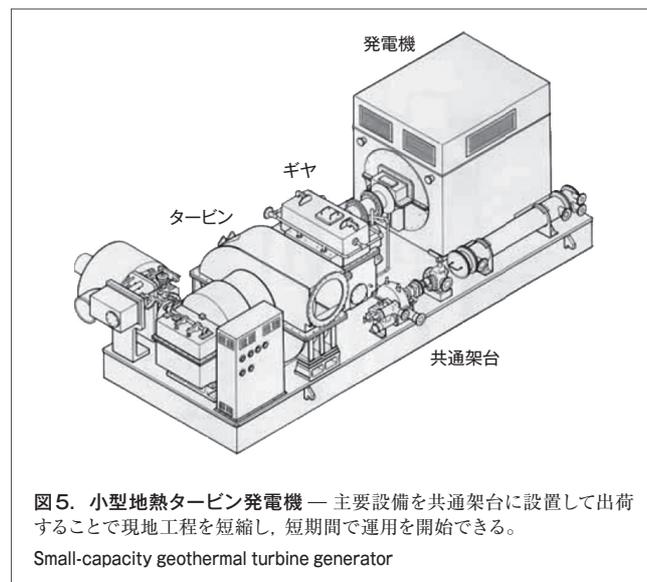


図5. 小型地熱タービン発電機 — 主要設備を共通架台に設置して出荷することで現地工程を短縮し、短期間で運用を開始できる。
Small-capacity geothermal turbine generator

め高速で回転し、ギヤで減速して発電機を回転させる。またタービン排気はプラント条件に応じて背圧式でも復水式でも選択可能である。

5 あとがき

風力や太陽光など再生可能エネルギーの利用は、地球環境保護の観点からも昨今国内外で脚光を浴びている。

当社は再生可能エネルギーの一つである地熱発電システムについても豊富な経験と実績を持っており、より高効率で耐腐食性に優れた設備の開発を継続してきた。その結果、様々な蒸気条件や発生蒸気量の異なる地熱発電プラントに、それぞれに最適なシステムを提案し、現在も多数の地熱発電プラントを建設している。

今後はこれらの大容量地熱発電プラントに加え、小容量の地熱発電プラントの領域でも顧客の要望に応えたコンパクトで短納期のシステムを提供することで、地熱発電システムの更なる普及や地熱資源の有効利用に取り組んでいく。

文 献

- (1) 谷口晶洋. 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. 東芝レビュー. 63, 9, 2008, p.27-30.
- (2) 田尻純一. コスタリカ ミラバレス発電所の建設について. 地熱. 31, 2, 1994, p.130-136.



田尻 純一 TAJIRI Junichi

電力システム社 火力・水力事業部 火力プラント技術部参事。
再生可能エネルギープラント技術業務に従事。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.