

単機容量世界最大の地熱発電所

ニュージーランド ナ・アワ・プリア地熱発電所

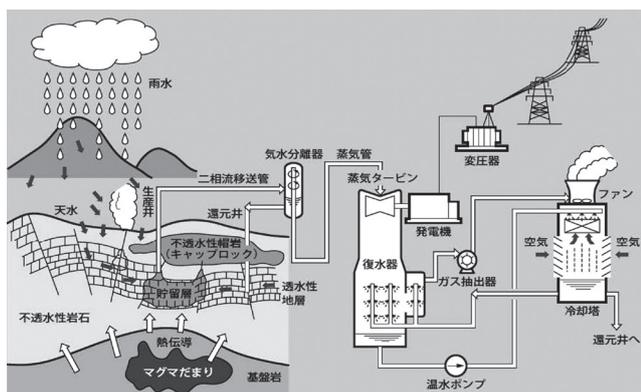
武藤 寿枝

地熱発電は、地中に存在する熱エネルギーを熱水または蒸気のかたちで取り出し、発電に利用するものである。地熱発電設備単機としては世界最大の 140 MW を供給するニュージーランドのナ・アワ・プリア地熱発電所が 2010 年 4 月に商業運転を開始した。ナ・アワ・プリア地熱発電所は世界でも稀なトリプルフラッシュシステムを採用し、出力の最大化を図っている。本報では、トリプルフラッシュを実現可能にした熱水の pH 制御によるシリカスケールの抑制技術や補機構成、制御・自動化などプラントシステムの特徴について報告する。

キーワード：自然エネルギー、地熱発電、トリプルフラッシュシステム、pH 制御、腐食対策

1. はじめに

地熱発電は、地中に存在する熱エネルギーを利用した発電方式である。高温のマグマだまりからの熱伝導により熱せられた地下水を、井戸（生産井）を通して取り出す。取り出した蒸気及び熱水の混合流体（二相流）を気水分離し、蒸気のみをタービンへ導いて発電する（図—1）。

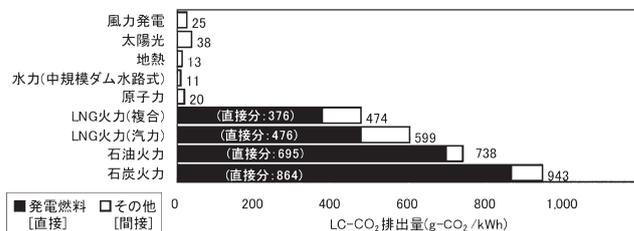


図—1 地熱発電の仕組み¹⁾

地熱発電は、季節、天候、昼夜を問わず、安定して電気を供給することが可能である。設備利用率は、他の自然エネルギーと比較すると、風力 20%、太陽光 12% に対し、地熱 70%（資源エネルギー庁²⁾と突出している。

また、地熱発電はその原理から明らかなように、発電時に化石燃料の燃焼に伴う CO₂ を発生させない。さらに、風力、太陽光のような他の自然エネルギーに

比べ、エネルギー密度が高く、前述の通り設備利用率も高いので、1 kWh 発電するために必要な設備・運用・保守等で間接的に発生する CO₂ の量も少ない（図—2）。このため、地球温暖化の深刻化を背景に、その重要性が再認識されている。



図—2 電源別ライフサイクル CO₂ 排出量の評価結果³⁾

2. ニュージーランドの地熱資源開発への取り組み

ニュージーランドは 1958 年に北島中央部のタウポ湖付近でワイラケイ地熱発電所の運用を始めた地熱発電の歴史の長い国である。ニュージーランドの総発電設備容量は 9,667 MW、このうち再生可能エネルギーとして、地熱発電は 723 MW (7.5%) と、水力の 5,252 MW (54.3%) に次ぐ設備容量を有している (2010 年)⁴⁾。

ニュージーランドでは、今後は化石燃料による発電所は建設せず、水力、地熱、風力の再生可能エネルギー開発に注力する政府方針が出されており、2030 年までに 900 MW の地熱発電の開発が計画されている。近年の地熱資源開発の動きはめざましく、2008 年に

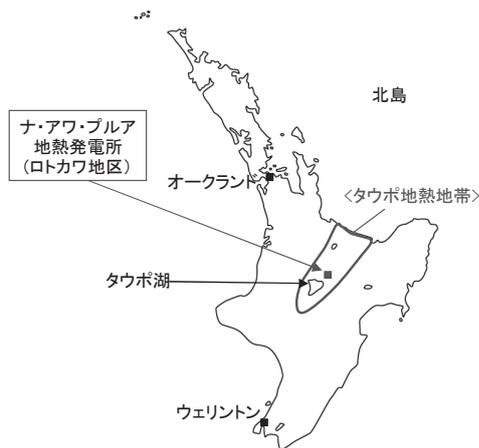
は 100 MW のカウエラウ地熱発電所が、2010 年には本報にて紹介する 140 MW のナ・アワ・プリア地熱発電所が建設された。引続き 83 MW の設備 2 台からなるテミヒ地熱発電所や、バイナリー発電方式を採用する 82 MW のナタマリキ地熱発電所が 2013 年の完成に向けて建設される予定である。

3. ナ・アワ・プリア発電所

単機容量世界最大の発電設備を有するナ・アワ・プリア地熱発電所（写真—1）は、2010 年 4 月に商業運転を開始した。本発電所は、ニュージーランドの国营電力会社マイティー・リバー・パワー社と地元の先住民族団体であるタウハラノース No.2 トラストによる共同所有で、ニュージーランドの北島、タウポ火山帯の一角であるロトカワ地区に位置している（図—3）。



写真—1 発電所全景



図—3 発電所所在地

(1) プロジェクトスケジュール

本プロジェクトは、EPC（建設一括請負）契約の形式であったが、2008 年 5 月に土地造成を開始し、6 月に杭打ち、基礎工事に着工した。2009 年 4 月に、蒸気タービンや発電機などの大物機器が日本より到着し

据付を開始した。同 10 月には地熱二相流を受入れ、約半年間で試運転を完了し、2010 年 4 月商業運転開始となった。

(2) プラントサイクルの選択

地下から取り出した二相流を気水分離して、蒸気をタービンへ導き、熱水を地下へ還元する図—1 のようなシステムをシングルフラッシュシステムと呼ぶ。熱水の圧力・温度がまだ十分高い場合、熱水を減圧して再蒸発（フラッシュ）させて、その蒸気もタービンへ送って、熱源の有効利用を図ることができる。このように高圧と低圧蒸気を発生させるシステムをダブルフラッシュシステムと呼ぶ。さらにもう一回熱水をフラッシュさせて、高圧、中圧と低圧蒸気を発生させるシステムをトリプルフラッシュシステムと呼ぶ。

多くの地熱発電所の蒸気圧力が 10 bar 以下であるのに対し、生産井からナ・アワ・プリア地熱発電所へ移送される二相流の圧力は約 24 bar と高く、プラントの計画段階においてダブルフラッシュあるいはトリプルフラッシュのどちらを採用すべきかの検討が行われた。トリプルフラッシュはダブルフラッシュより 6 MW 多く発電できるとの結果を得て、トリプルフラッシュシステムを採用することとなった。トリプルフラッシュシステムは世界的にみても極めて稀で数件しか事例がない。

(3) プラントの配置

地熱発電システムにおいて、気水分離設備は生産井の近傍に設置され、蒸気を発電所まで移送することが多いが、本プロジェクトでは地熱二相流を数キロメートル離れた生産井から発電所まで移送しており、気水分離設備は発電所敷地内に設けられている。

発電所敷地は、当該地域に特有の起伏に富んだ地形をしており、この高低差を活用して写真—1 に見られる通り、気水分離器（セパレータ）は丘上に、その他機器は丘下に配置した。

(4) プラントの系統・機器構成

ナ・アワ・プリア地熱発電所は、年平均で 45,000 トン／日、ピーク時に 48,000 トン／日の二相流を受入れている。発電所の概略系統を図—4 に示す。

生産井から移送される約 24 bar の二相流を高圧セパレータ（気水分離器）で受け、高圧の蒸気と熱水に気水分離する。分離された高圧熱水は減圧され二相流となり、中圧セパレータで中圧の蒸気と熱水に気水分離される。低圧も同様である。

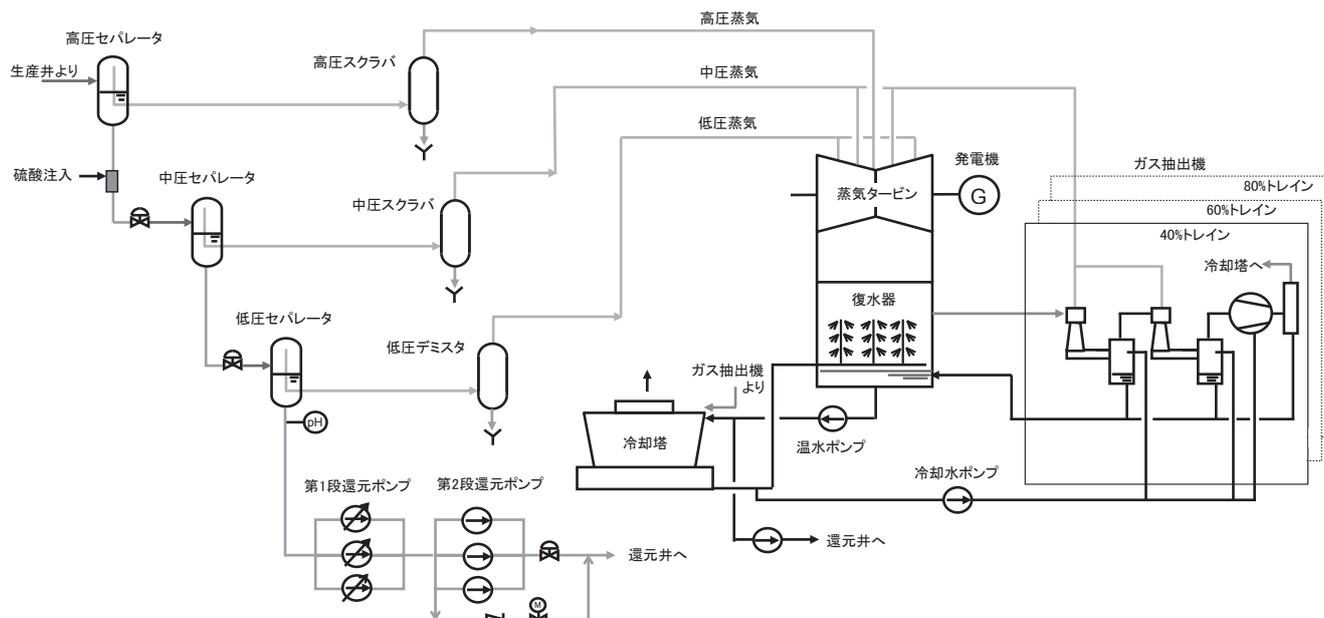


図-4 発電所概略系統図

低圧熱水は還元井を通じて地中に戻されるが、セパレータで蒸気を分離させる度に、熱水に含まれるシリカ等のスケール成分の濃度は高くなり温度も下がるため、スケールが析出し易くなる。スケールは還元配管や還元井坑内で発生すると、その除去に多大なコストがかかるためスケールの析出・堆積を抑える必要がある。そこで、pHを低くするとシリカの重合速度が遅くなる性質を利用し、高圧熱水に硫酸を注入して還元熱水のpHを約5.0に保ち、スケール析出を抑制している。2012年4月で商業運転開始から2年になるが、スケール問題は発生していない。

pH調整された低圧熱水は、熱水還元ポンプにより昇圧され、還元井まで移送される。本還元ポンプシステムは可変速ポンプと定速ポンプの2段構成で、還元井の要求圧が低い場合は1段階目だけで、要求圧が高い場合は1段階目と2段階目の両方を稼働させ、必要圧力まで昇圧している。低圧セパレータのレベル制御は1段階目の還元ポンプの回転数または2段階目の還元ポンプ出口にあるレベル制御弁にて行われる。このように、還元井の特性に応じて柔軟な運用ができるシステムとなっている。

なお、低圧セパレータを丘上に還元ポンプは丘下に設置することでポンプ押し込み圧を確保し、ポンプピットを省略している。

本発電所は、蒸気タービン、発電機各1台の単機構成であるが(写真-2)、気水分離して得られた高・中・低圧蒸気は蒸気タービンに供給され、定格で139MW、最大で147MWを発電する。蒸気タービンの最終段には地熱向けとして世界最大の31インチ翼



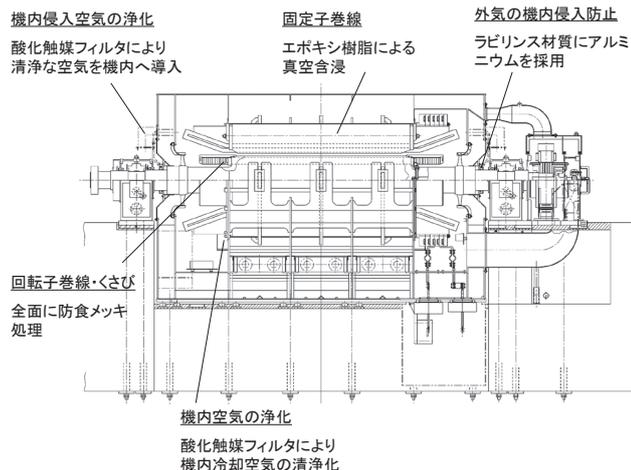
写真-2 蒸気タービン及び発電機

を採用しており、その出力は、地熱発電設備単機容量としては世界最大である。

また、地熱発電所の雰囲気に含まれる硫化ガスは、銅・銀に対し強い腐食性を持っている。腐食対策として、発電機固定子は真空全含浸処理、回転子巻線・くさびにははずメッキを施し、さらに機内冷却空気はフィルタで浄化している(図-5)。

図-4の概略系統に示す通り、蒸気タービンの排気は、タービンの下に設置された復水器で冷却水と混合することにより冷却、凝縮される。復水器から出た温水は湿式冷却塔で冷却され、再び冷却水として復水器で利用される。

高圧蒸気に含まれる不凝縮ガスは、ガス抽出装置により復水器から抽出され、冷却塔ファンにより上空へ吹き上げられる空気とともに大気中に拡散される。ガス抽出装置は3系列構成で、定格ガス流量を100%として、40%、60%、80%容量の系列を持つ。各系列は、



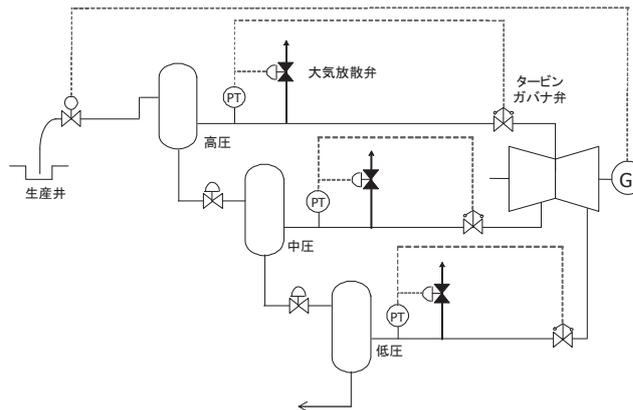
図一五 発電機部位別の腐食対策

第1段エゼクタ、第2段エゼクタと真空ポンプから成る。3系列の運転を組合せることで、40～180%の範囲で7種の運転パターンを提供できる。経年的に不凝縮ガスの流量が変化した場合でも効率的なガス抽出を実現し、発電効率の向上を図っている。

(5) プラントの制御・自動化

発電所に設置された制御システムは、発電所内だけでなく、生産井、還元井、開閉所を総合制御、監視している。井戸元と発電所の協調制御システム(図一六)により、計画発電量に見合うよう二相流の供給(生産井の弁開度)を制御し、さらに、蒸気圧力の制御を行っている。通常運転時は、蒸気タービンのガバナ弁により蒸気圧力を制御しているが、何らかの異常や過渡変化により蒸気圧力が上昇した場合は、大気放散弁を開けることによりさらなる圧力の上昇を防いでいる。このような異常事態が発生した場合は、生産井の弁開度はその位置保持となっており、蒸気が大気へさらに放出されることを防止している。また、何らかの異常により、蒸気タービンが緊急遮断した場合は、生産井の弁を全閉するように自動化されている。

本発電所では、起動・停止操作においても自動化を大幅に取り入れ、運転員の介入を最小化している。例えば、プラント起動時、復水器のレベルを安定制御した状態で、冷却水の流量を自動で増加させる。プラン



図一六 協調制御システム

ト停止時には、最大出力からの負荷下げ、蒸気タービン・発電機の停止、補機の停止、生産井の弁の閉止までを自動で行う。

4. おわりに

本発電所の建設により、ニュージーランドの電力需要の2.5%を賄い、当該国政府の「再生可能エネルギーによる発電割合を2007年時点の約70%から2025年までに90%まで引き上げる」という目標⁵⁾に大きく貢献した。今後も日本を含め世界各国でCO₂削減に貢献できる地熱発電所の建設に取り組んでいきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 稲垣正太郎：富士時報、Vol.78 No.2、2005
- 2) 資源エネルギー庁：地熱発電に関する研究会 中間報告 平成21年6月
- 3) 電力中央研究所：研究報告 Y09027 平成22年7月
- 4) Ministry of Economic Development：New Zealand Energy Data File 2011, 2011
- 5) Ministry of Economic Development：New Zealand Energy Strategy to 2050, 2007

【筆者紹介】

武藤 寿枝 (むとう としえ)
 富士電機㈱
 エネルギー事業本部 発電プラント事業部
 火力・地熱統括部 プラント技術部 技術グループ
 主任

