

インドネシア・ムアララボ地熱発電所

Muara Laboh Geothermal Power Plant in Indonesia

服部 康之 HATTORI, Yasuyuki

富士電機のインドネシアにおける地熱発電所のシェアは約 50% を占め、同国の電力関係者から高い評価と信頼をいただいている。2019 年 12 月に営業運転を開始したインドネシア・スマトラ島に納入したムアララボ地熱発電所（発電容量 85.26 MW）は、住友商事株式会社と現地エンジニアリング会社の PT.Rekayasa Industri がコンソーシアムを組織し、PT.Supreme Energy Muara Laboh から一括請負工事契約として受注した。住友商事株式会社の下、富士電機はテクニカルリーダーとしてプラント全体のエンジニアリングを推進したほか、蒸気タービン、発電機、電動機、制御盤などを納入した。

Fuji Electric has a market share of approximately 50% in geothermal power plants in Indonesia, being highly regarded and trusted by the country's electricity industry. On December 2019, the Muara Laboh geothermal power plant (power generation capacity: 85.26 MW) in Sumatra, Indonesia started operation, for which a consortium of Sumitomo Corporation and PT. Rekayasa Industri, a local engineering company, had concluded a turnkey contract with PT. Supreme Energy Muara Laboh. As a subcontractor to Sumitomo Corporation, we were responsible for the engineering of the entire plant as the technical leader and delivered equipment, such as steam turbines, generators, motors and turbine governor regulators.

① まえがき

世界における地熱発電の設備容量は年々増加傾向にあり、図1に示すように 2010 年時点の 10,716 MW と比較すると 2018 年は 14,600 MW と約 1.4 倍に増加している。中でもインドネシアの伸長は目覚ましく、2010 年から 2018 年までの間で約 1.6 倍の伸びを示している。

富士電機は、インドネシアを重要な市場と捉え、これまでもインドネシアの多くの地域に地熱発電設備を納入している。

今回、富士電機がプラント全体のエンジニアリングと主要機器の供給を担当し、2019 年 12 月に営業運転を開始したインドネシア・スマトラ島の発電容量 85.26 MW の

ムアララボ地熱発電所について述べる。

② インドネシアの地熱資源

インドネシア国内には、発電容量にして 29,000 MW 相当の地熱資源があると推定されており、世界第 2 位の資源保有量である。富士電機は、ウルブル 1～4 号機（計 226 MW スマトラ島）、ワヤンウィンド 1 号機（110 MW ジャワ島）、ワヤンウィンド 2 号機（117 MW ジャワ島）など、地熱発電としては世界的にも最大級の発電容量の設備を納入している。その一方で、既に開発され発電に利用されている資源量は 7% 程度にとどまり、開発の余地が大きく残されている。インドネシア政府としても、世界的

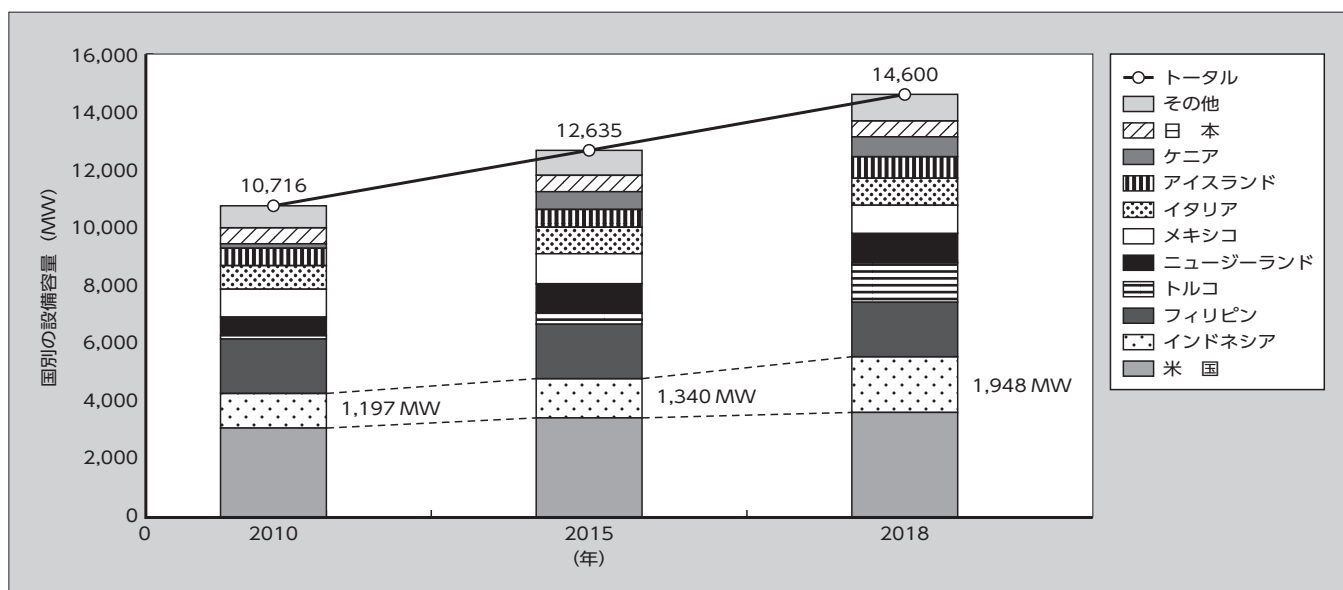


図1 世界の地熱発電市場の動向

な環境意識の高まりを受け、発電過程で CO₂ を排出しない地熱発電設備の総容量を 2025 年までに 7,200 MW まで増やす政策を発表しており、将来的にも地熱発電設備のさらなる需要拡大が見込まれる。

地熱発電設備の発電容量は、生産井から供給される地熱資源（蒸気、熱水）の圧力や温度、流量などの条件によって決まるため、ムアララボ地熱発電所のように大容量の設備を建設できるということは、インドネシアには非常に高いエネルギーを持つ良質な地熱資源が存在していることを示している。中でも、スマトラ島には最大のポテンシャルがあると推定されており、本稿で述べるムアララボ地熱発電所のほか、近年のインドネシア地熱発電プロジェクトの多くがスマトラ島で進行している。

③ プロジェクトの概要

図 2 に示すように、本プロジェクトは住友商事株式会社（住友商事）がインドネシアの大手エンジニアリング会社である PT. Rekayasa Industri (REKIND) とコンソーシアムを組織し、このコンソーシアムは 2017 年 3 月に独立系発電事業者の PT. Supreme Energy Muara Laboh (PT. SEML) から一括請負工事 (EPC) 契約として受注した。

PT. SEML はインドネシアの国営電力企業である PT. PLN と電力販売契約 (PPA) を結んでいる。富士電機は住友商事の下、テクニカルリーダーとして参画し、プラント全体のエンジニアリングを推進したほか、発電設備の設計・供給、指導員の派遣などを担当した。

図 3 に本地熱発電所の建設地を示す。本地熱発電所は、スマトラ島西部に位置する。図 4 に発電所の全景を示す。

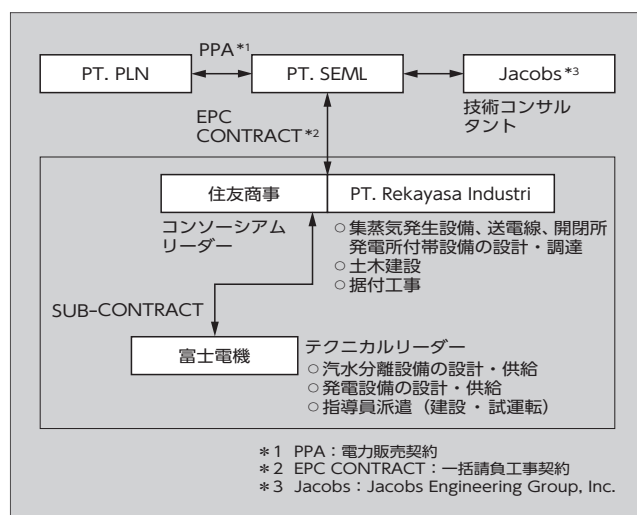


図 2 プロジェクト体制

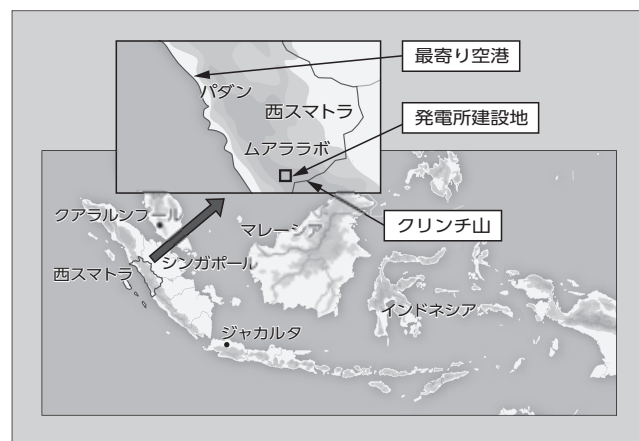


図 3 ムアララボ地熱発電所建設地点



図 4 発電所全景

④ 発電設備の概要

図 5 に本地熱発電所の主要系統設備を示す。

地下から熱水と蒸気を取り出す生産井や、熱水を地下に戻す還元井と発電所は、輸送配管によって結ばれている。本地熱発電所の地熱資源は、複数の生産井から採取される蒸気と熱水の混ざった二相流の状態を取り出される。二相流は、輸送配管によってセパレータ（汽水分離設備）に集められ、そこで蒸気と熱水に分離される。本地熱発電所ではダブルフラッシュシステムを採用しており、まず高圧セパレータにて高圧蒸気と熱水に分離し、分離した熱水をフラッシュさせ、再度低圧セパレータで気液分離することで低圧蒸気を取り出す。セパレータからタービンまでつながる蒸気配管では、流体から液分や湿分を適切に排出しないと、ウォーターハンマ

〈注 2〉ダブルフラッシュシステム：2 段階で汽水分離を行い、高圧蒸気と低圧蒸気を抽出して無駄なく地熱資源を利用する方式である。

〈注 3〉フラッシュ：高温高圧の熱水が低圧力環境下において再蒸発することである。

〈注 1〉 PT：株式会社（Perseroan Terbatas）

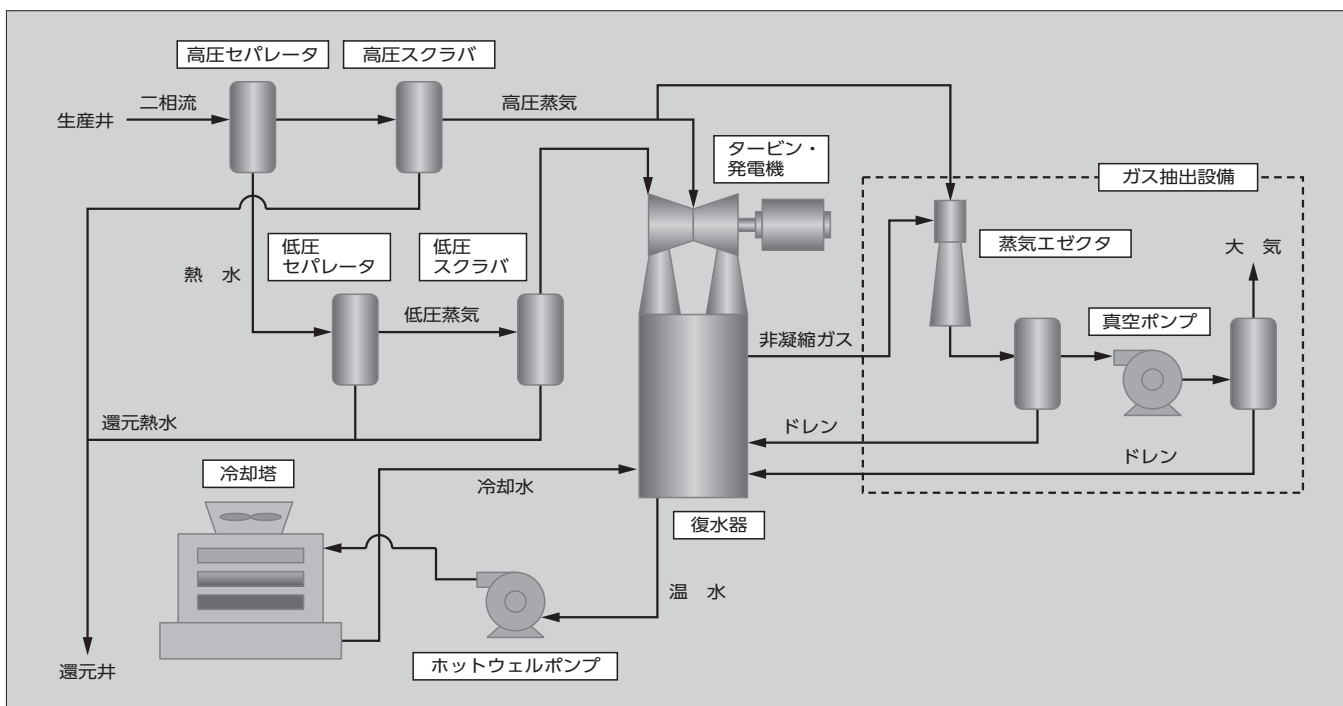


図5 地熱発電所の主要系統設備

により配管や連結する機器の損傷につながる可能性があるため、一定の間隔でドレンポッドを設置し、液分を取り除く設計としている。高圧蒸気と低圧蒸気は一定圧力に制御され、スクラバによって湿分をさらに除去した後、蒸気タービンに送って発電に使用する一方、分離した熱水は還元井を経て地下に戻る。

地熱発電所の発電容量は、生産井から得られる蒸気特性（圧力・温度・流量）に依存するため、自然条件によって決まる。その決められた蒸気条件の中でプラント全体の性能を最適化するためには、冷却設備やガス抽出設備といったコールドエンドと呼ばれる設備の機能で、復水器内の圧力をできるだけ低くし、タービンの入口と出口のエネルギー落差を大きくとることが重要なポイントとなる。

冷却設備は主に、復水器、ホットウェルポンプおよび冷却塔で構成されている。発電に使われた蒸気を凝縮する復水器から温水をホットウェルポンプにて冷却塔に送り出し、冷却塔にて冷やされた冷却水が復水器に戻り、蒸気の凝縮に使用され循環する系統となっている。また、ガス抽出設備は、蒸気中に含まれる非凝縮ガス（ CO_2 、 H_2S 、空気など）を、蒸気エゼクタと真空ポンプによって復水器から取り除き、系外に排出する機能を持っている。地熱蒸気中には多くの非凝縮ガスが含まれるため、火力発電所などの設備と比較して大容量のガス抽出設備が必要となる。非凝縮ガスを適切に排出できないと、復水器内の真空度が低下し、タービンの仕事量が減り、プラント全体の性能（効率）が悪化するため、ガス抽出設備の役割は重要である。

〈注4〉ウォーターハンマ：配管内圧力の急激な変化により、内部流体が急速に動かされ衝撃が発生する現象である。

ここまでの地熱発電設備としての主要な設備であり、その他には、補助冷却水設備や薬品注入設備など、発電プロセスに関わる一連の設備も富士電機の供給範囲であった。

5 主要設備の基本仕様

表1に主要設備の基本仕様を示す。本地熱発電所に納入した製品のうち、蒸気タービン、発電機、電動機、制御盤（TGR：Turbine Governor Regulator）は富士電機製である。一方、冷却塔や汽水分離器、FRP製配管などはインドネシア国内から調達し、同国内での調達比率を高めることでPT. SEMLの要望に応えた。

6 プロジェクトの特徴

6.1 悪い交通の便かつ悪天候

本地熱発電所は、スマトラ島西部のバリサン山脈の最高峰であるクリンチ山（標高3,805 m）から約10 km離れており、パダンにある最寄りの空港からでも車で5時間程かかり、周辺に小さな集落があるだけの隔離された地域である。本地熱発電所は、標高1,400 mの山中ということもあり、雨期、乾期に関係なく雨が多いほか、通信ネットワークもつながりにくいなど、多くの悪条件が重なっていた。輸送路についても、大部分が山道であることから、急な勾配や狭い道幅の箇所が多く、大型の機器を輸送するため入念な調査と事前準備を十分に行い、全ての機器を無事現地に届けることができた。

特に、輸送したパーツの中で最も質量があった大型の発電機固定子（約100 t）を、険しい山道の中、輸送することは大きなリスクがあったが、事前に問題点を洗い出して

表1 主要設備の基本仕様

	蒸気タービン	発電機	ガス抽出設備	冷却塔
				
型式	○単気筒ダブルフロー ○反動式 ○下向き排気	○全閉空気冷却ターボ発電機	○ハイブリッド式 蒸気エゼクタ・真空ポンプ	○強制通風対交流型
基本仕様	○発電端出力：85.26 kW ○入口蒸気圧力： 高圧 0.84 MPa abs 低圧 0.39 MPa abs ○回転数：3,000 min⁻¹	○容量：105 MVA ○励磁方式：ブラシレス ○電圧：11 kV ○周波数：50 Hz ○定格効率：0.85（遅れ）	○構成： 2×50% 2段エゼクタ+真空ポンプ 1×50% 3段エゼクタ（バックアップ）	○セル数：8 ○躯体：コンクリート製 ○設計湿球温度：18.3℃

対策を講じたことで、実際の輸送（図6）ではトラブルなく運搬できた。現地において、日本からの支援を受けにくい環境の中、現地で指導員などを積極的に採用し、富士電機の人員とチームを形成して対応に当たり、据付けや試運転などの業務を遂行し、無事顧客への引渡しを完遂した。

6.2 独立系発電事業者による高い要求レベル

本プロジェクトは、独立系発電事業者によるプロジェクトファイナンス案件であり、従来の同国向け案件と比較して、厳しくプロジェクトの採算性を問われた。PT. SEML は出資者に対して、融資に値するプロジェクトであることを示す必要があることから、コンソーシアムに対し、プロジェクト期間をとおして、技術、品質、納期、安全などあらゆる観点で要求を満たしていることを説明するよう求めてきた。これに対し、技術仕様書や図面、品質記録、工程進捗状況などを随時更新し、顧客の求める最新状況が常に明確となるよう情報を整理し、速やかに対応した。



図6 発電機固定子の輸送状況

〈注5〉プロジェクトファイナンス：企業がプロジェクトから得られるキャッシュフローをもとに資金を調達する方法である。

富士電機および REKIND は、地熱発電設備を熟知した顧客やコンサルタントからの厳しい指摘に応え、真摯な対応を心掛けることで顧客との信頼関係を構築することができた。その結果、地熱発電所を無事納期どおりに完成させることに成功した。

7 あとがき

インドネシア・ムアララボ地熱発電所について述べた。インドネシアは国策として地熱発電所を使用した地熱エネルギーの利用拡大を掲げている。富士電機は、同国の持続可能な開発目標に向けて、継続して協力していく所存である。

また、富士電機は近年、ケニアやメキシコといった新しい市場を開拓しているほか、日本国内の地熱発電プロジェクトも遂行している。今後も国内外に関わらず、世界的な低炭素社会の実現に向け、地熱発電技術を生かして積極的に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) “Geothermal Power Generation in the World 2010–2014 Update Report”, <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGASTandard/WGC/2015/01001.pdf>, (accessed 2020-07-14).
- (2) “2016 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report”, https://www.eesi.org/files/2016_Annual_US_Global_Geothermal_Power_Production.pdf, <https://www.thinkgeoenergy.com/the-top-10-most-read-geothermal-news-of-2019-on-thinkgeoenergy/>, (accessed 2020-07-14).
- (3) THINK GEONERGY. <https://www.thinkgeoenergy.com/the-top-10-most-read-geothermal-news-of-2019-on-thinkgeoenergy/>, (accessed 2020-07-14).



服部 康之

火力・地熱発電プラントの機械・配管エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電プラント事業本部発電事業部火力・地熱プラント総合技術部。

特集

低炭素社会実現に向けた富士電機の発電プラント事業





＊本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。