

海外地熱発電への取り組み

——インドネシア・サルーラ地熱 IPPプロジェクトの事例紹介——

株式会社キューデン・インターナショナル
専務取締役

中島 智史



1. はじめに

世界的に再生可能エネルギーの急速な導入が進んでおり、太陽光発電や風力発電が注目を集めているが、これらの発電種別は天候等に左右されるため、安定した電源にはなりにくいのが現状である。

一方、地熱発電は世界の全発電容量の0.3%程度と非常に小さな割合ではあるものの、地熱資源賦存量のうち有効利用されているのは7%程度であり、今後、さらなる利用拡大が期待されている。

当社は、これまで九電グループが国内外で蓄積した技術・ノウハウを活かし、市場の成長性が高いアジアを中心に、海外エネルギー事業を展開しており、これまで60年にわたり培ってきた地熱発電に関する開発・運営ノウハウをもとに、インドネシアで世界最大級のサルーラプロジェクトを完工した。以下にその概要について紹介する。

2. プロジェクト概要

2.1 背景・概要

サルーラ地熱鉱区は、アメリカの石油会社であるユノカル社が、1993年から地熱坑井の掘削など、開発・

環境調査を進めていた。しかしながら、1998年のアジア通貨危機の影響もあり、2002年に開発を断念し、開発権をインドネシア国営電力会社に売却した。その後、本プロジェクトの入札が行われ、2006年7月に伊藤忠商事株式会社、メドコ社、オーマット社のコンソーシアムが落札した。

九州電力は2007年10月に本プロジェクトへの参画を決めたものの、その後の原油価格、鋼材価格の高騰など事業環境の変化を受け、インドネシア国営電力会社およびインドネシア政府との売電価格の見直し交渉を行い、2013年4月に見直し後の売電契約が締結された。その後、プロジェクトの実施に向け、プロジェクトファイナンス方式による融資契約組成のため銀行団と交渉を開始し、2014年3月に融資契約書を締結、同年5月に着工した。

本プロジェクトは、インドネシア北スマトラ州サルーラ

図1 発電所の位置

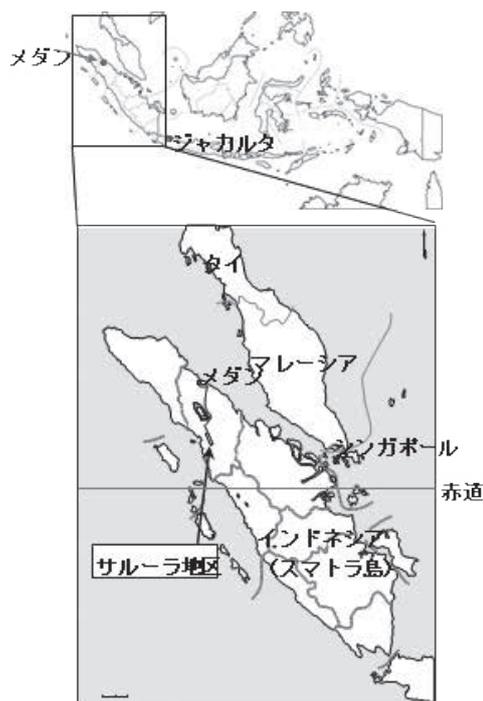


表1 プロジェクトの概要

テーマ	内容
地点	スマトラ島サルーラ地区の2地点 (シランキタン地点、ナモラ地点)
開発規模	送電端出力 320.8MW (2地点合計)
事業内容	地熱資源開発から発電までの一貫開発 30年間にわたりインドネシア国営電力会社へ売電
出資者 (出資比率)	九州電力 (25%)、伊藤忠商事 (25%) 国際石油開発帝石 (18.25%) メドコパワーインドネシア (19%) オーマットテクノロジーズ (12.75%)
運転開始	2017年 3月18日：初号機 2017年 10月2日：2号機 2018年 5月4日：3号機

ラ地区（図1）にて、3ユニット合計で送電端出力320.8MWの地熱発電所を建設し、30年間にわたってインドネシア国営電力会社に売電するIPPプロジェクトで、2017年3月に初号機、同年10月に2号機、2018年5月に3号機が運開した。なお、単一開発契約のもとでの地熱開発としては、世界最大級の規模である。

2.2 事業スキーム

事業の実施に当たっては、スポンサー共同で出資して設立した共同事業体と、銀行団、坑井掘削工事業者、発電所建設工事業者などとの間で諸契約を締結し、開発を進めた。（図2）

融資にかかわる銀行団は、株式会社国際協力銀行、アジア開発銀行、市中銀行で構成されており、わずか1年と短期間で融資契約締結に至ったこともあり、プロジェクトファイナンス業界で最も権威のあるProject Finance International誌による2014年の“Asia Pacific Power Deal of the Year”に表彰されたほか、プロジェクトファイナンスに関する多くの賞を受賞した。

本プロジェクトは、地熱坑井の掘削と発電所建設工事を並行して行うもので、坑井掘削工事についてはアメリカの大手掘削会社であるハリバートン社、発電所建設工事については韓国の大手建設会社である現代建設社と契約した。

また、地下資源の開発に当たっては、高度な地下資源評価技術を有する九電グループの西日本技術開発株式会社と技術コンサル契約を締結し、坑井掘削計画の策定から掘削後の坑井評価、その評価データを反映した地質構造モデルの作成などを実施した。

2.3 建設スケジュール

2014年5月の着工後、シランキタン地点の造成工事から着手し、数カ月後にナモラ地点の工事も加わって、2地点の同時建設工事となった。雨季の中での造成工

事は困難を極めたものの、着工から34カ月後の2017年3月に初号機運開、その7カ月後に2号機運開、さらに7カ月後に3号機運開と、ほぼ計画通りに、着工から48カ月後に3ユニットがすべて運開した。工事遅延が慢性化しているインドネシアにおいて、ほぼ計画通りに工事が完了するのは極めてまれな事例である。（表2）

表2 建設工事工程

年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
月	4	3 5			3 10	5
項目	売電契約承認	融資契約締結 初回借入 着工			初号機運転開始 2号機運転開始	3号機運転開始

3. 坑井掘削工事

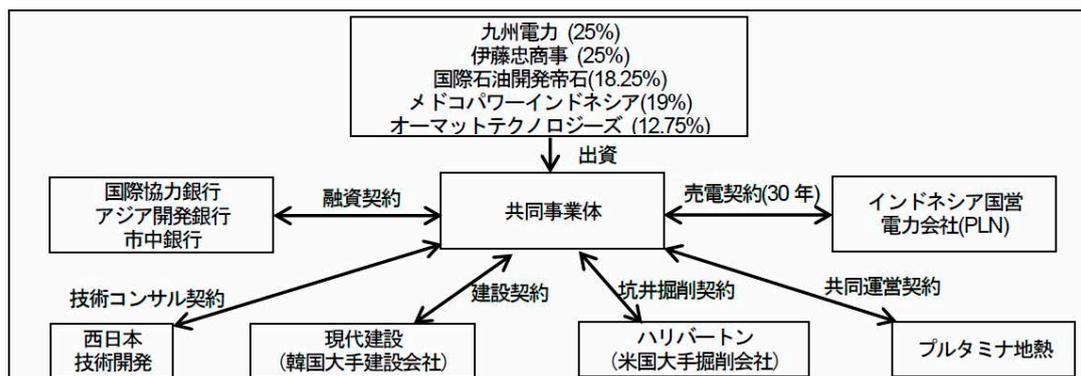
3.1 概要

本プロジェクトの地下資源については、前開発事業者であるユノカル社が調査した、地表調査、重力探査、電磁探査、噴気試験データをもとに、西日本技術開発株式会社が3Dシミュレーションによる地下資源評価を行った結果、30年間の事業期間にわたり、計画発電出力で運転を行うために必要な蒸気・熱水が存在することを確認し、資源量は十分であると評価した。

その地下資源評価結果をもとに掘削ターゲットなどの掘削計画を策定し、掘削後に得られた坑井データを反映した地質構造モデルを作成し、必要に応じて掘削計画を見直ししながら、進める計画であった。

ところが、実際に掘削したところ、当初、ユノカル社が調査した結果とは違う位置に断層が発見されるなど、坑井基地の場所変更を含む大幅な計画変更を余

図2 事業スキーム



儀なくされた。発電所の建設スケジュールに沿うように掘削する必要があったため、掘削機の追加などの対応を行い、ピーク時には4基の掘削機を配置し、発電設備の要求量を満足する生産・還元容量を確保するまで掘削を進めた。

図3 坑井掘削



3.2 坑井基地

地熱坑井には、発電に必要な地熱流体（蒸気と熱水）を地下から取り出す生産井と、発電に使用した後の熱水を地下に還元する還元井がある。生産井と還元井の位置については、両者が地下で干渉しないように、生産ゾーンと還元ゾーンを分けた配置となっている。

シランキタン地点は、1カ所の生産・還元基地と2カ所の還元基地から掘削を行い、ナモラ地点は3カ所の生産基地、2カ所の還元基地から掘削を行った。

3.3 坑井

掘削ターゲットまで掘削した後、生産井については、どの程度の蒸気と熱水が得られるのかの噴出試験を行い、発電設備の要求量を満たすまで坑井を追加掘削する。また、還元井については、掘削ターゲットまで掘削した後、還元試験を行い、どの程度の熱水を還元できるか確認試験を行い、必要量まで坑井を追加掘削する。

本プロジェクトでは、最終的に、シランキタン地点、ナモラ地点の2地点合計で34本の井戸を使用することとなった。34本もの井戸を一気に掘削するのは極めてまれであり、インドネシアでは初の事例である。（表3）

本プロジェクトの生産井は、一般的な坑井に比べると、出力が非常に大きいのが特徴である。一般的な坑井では1本当たりの出力は3～5MWであるのに対し、本プロジェクトでは15～55MWにもなる。ちなみに、50MWクラスは世界最大級の生産井である。

表3 坑井本数

地点	生産	還元	合計
シランキタン	4	9	13
ナモラ	11	10	21
合計	15	19	34

4. 発電所建設工事

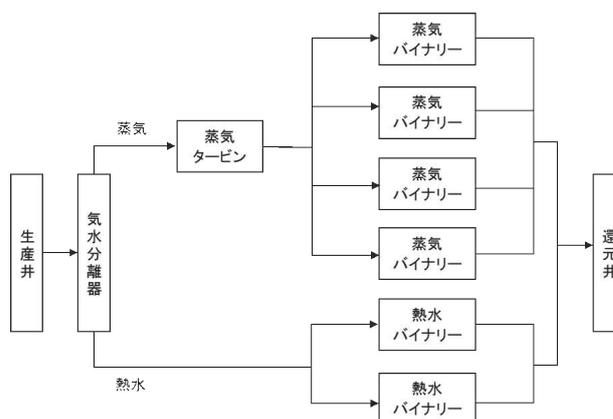
4.1 発電設備の特徴

本プロジェクトでは、蒸気で蒸気タービンを回す従来式の発電に加え、蒸気タービンからの排気（蒸気）で沸点が低いペントンを加熱・気化してタービンを回すバイナリー設備での発電を行う地熱コンバインドサイクル（Integrated Geothermal Combined Cycle [IGCC]）を採用している。また、気水分離器で分離された熱水についても同じくバイナリー設備で熱回収し、発電を行っている。このIGCCシステムは、インドネシアでは初の導入となる。

IGCCの特徴としては、複数の発電設備で構成されているため、蒸気タービンのみ、バイナリー設備のみの単独運転など柔軟な対応が可能で、発電所の稼働率を上げることができることが挙げられる。しかしながら、機器点数が多くなり、メンテナンスに手間がかかるなどの短所もある。

環境面においては、背圧タービンを採用しているため、復水式タービンに設置される冷却塔が不要となり、大気への水蒸気の放散を抑制できる。また、発電に使用した蒸気と熱水は全量還元するため外部への放出がなく、さらに、還元した熱水が地下で再加熱され、生産側で再利用されることで地熱資源の持続性も期待できる。

図4 設備構成
〔1ユニット当たりの構成〕



4.2 シランキタン地点

初号機であるシランキタン発電所は、標高約500mの場所に位置している。生産基地に2基の気水分離器を設置し、蒸気および熱水を配管により発電所まで輸送している。発電に使用した蒸気と熱水は、すべて熱水の形で配管にて還元基地まで輸送している。

発電した電気は、発電所内の変電所にて150kVまで昇圧し、約2km離れた国営電力会社の変電所まで2回線で送電している。

発電システムは、背圧式の蒸気タービンが1基、蒸気バイナリーが4基、熱水バイナリーが2基の計7基の発電機で構成されている。なお、蒸気タービンについては地熱発電での納入実績が豊富な株式会社東芝製、バイナリー設備については同設備で世界シェア1位のオーマット社製を採用している。(図4、表4)

表4 シランキタン発電所出力

ユニット		シランキタン
蒸気タービン		63MW (63MW×1基)
バイナリー	蒸気	27MW (6.8MW×4基)
	熱水	28MW (14MW×2基)
合計		発電端118MW

※機器仕様上の出力

図5 シランキタン発電所



4.3 ナモラ地点

ナモラ発電所(2号機と3号機)は、初号機のシランキタン発電所からおよそ10km北の標高約850mの場所に位置している。3カ所の生産基地には、合計7基の気水分離器を設置し、蒸気および熱水を配管により発電所まで輸送している。

発電設備構成は、シランキタン地点と同じく、1ユニット当たり7基の発電機で構成されており、同じ敷地内に同出力のユニットが2基ある。(図4、表5)

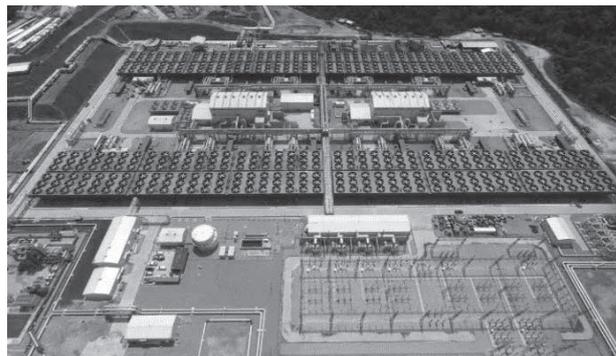
発電した電気は、発電所内の変電所にて150kVまで昇圧し、約10km離れた国営電力会社の変電所まで2回線で送電している。

表5 ナモラ発電所出力

ユニット		ナモラ1(2号機)	ナモラ2(3号機)	計
蒸気タービン		58MW (58MW×1基)	58MW (58MW×1基)	116MW
バイナリー	蒸気	31MW (7.7MW×4基)	31MW (7.7MW×4基)	62MW
	熱水	31MW (15.5MW×2基)	31MW (15.5MW×2基)	62MW
合計		発電120.0MW	発電120.0MW	発電端240.0MW

※機器仕様上の出力

図6 ナモラ発電所



5. おわりに

開発調査開始から約25年の歳月を経て、ようやく本プロジェクトは完工に至った。開発中は、数多くの課題に直面し、運開までの道のりは決して平坦ではなかった。九州電力は他スポンサーと連携をとりつつ、九電グループが保有する地熱発電のノウハウを課題解決に最大限活かすとともに、建設工事においても品質・施工管理体制の強化を図るべく、適宜、技術者を現地に派遣した。これらを通じて得られた知見・経験は、今後の海外地熱開発を推進するうえで、大変貴重と考えている。

地熱は運開以降も貯留層管理等が重要となるため、九電グループの地熱運営ノウハウを活かし、本プロジェクトの安定運転に今後とも貢献していきたい。

一方、今後の案件発掘の取り組み方針として、サルーラ運開後、「海外地熱展開への戦略」を策定した。戦略として、①将来拡張性のある案件や地域展開の拠点となる案件等、「魅力ある案件の積極的な開発」、②「プロアクティブな営業活動」、③安定したプロジェクト運用を可能とするための人材育成等、「プロジェクト体制の構築」を掲げている。この3つの戦略のスパイラルアップが、いつの日か「地熱における世界のリーディングカンパニー」につながることを信じて、今後も積極的に案件の獲得に取り組みたい。