

インドネシアのラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機と ウルブル地熱発電所 3 号機・4 号機

Units 5 and 6 at Lahendong Geothermal Power Plant and Units 3 and 4 at Ulubelu Geothermal Power Plant in Indonesia

村上 隆 MURAKAMI, Takashi

高宮 淳 TAKAMIYA, Atsushi

インドネシアでは深刻化している電力不足の打開策として地熱開発を促進している。富士電機は、CO₂ 排出量が少なく、環境面に優れ、かつ天候に左右されずに安定した電力供給が可能な地熱発電に以前から注力しており、数多くの技術を保有している。また、EPC 案件においては、パートナーとの関係性を重視し、経験と実績に基づいたさまざまな創意工夫を行うことで、建設工期の短縮にも努めている。ラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機およびウルブル地熱発電所 3 号機・4 号機は、当初計画よりも最大 3 か月前倒して営業運転を始めることで、インドネシアの電力事情の改善に貢献している。

Indonesia has been promoting geothermal development as a measure to overcome its increasingly serious power shortage. Fuji Electric has long been committed to geothermal power generation, which has low CO₂ emissions and provides an eco-friendly and stable power supply independent of weather conditions. We possess a large number of technologies in this field. We emphasize the relationship with partners and work to shorten the construction period by applying various ideas and making efforts based on our experience and track record for promoting an engineering, procurement and construction (EPC) project. Units 5 and 6 at the Lahendong Geothermal Power Plant and Units 3 and 4 at the Ulubelu Geothermal Power Plant started commercial service up to 3 months ahead of the initial schedule, helping to improve the electricity situation in Indonesia.

① まえがき

再生可能エネルギーである地熱資源を利用した地熱発電は、水力発電、太陽光発電、風力発電と同様に、化石燃料を燃焼する発電方式に比べて CO₂ の排出量が格段に小さく、CO₂ 排出量削減の観点から世界的に注目されている。

富士電機は国内外において、2,900 MW を超える容量の地熱発電の主要設備を納入しており、過去 10 年のシェアは世界で約 40% を占めている（図 1）。これは、腐食やスケールなど地熱発電所特有の課題に対する富士電機の技術、および工程短縮の実現など一括請負工事（EPC）としてプロジェクトを遂行する能力が総合的に評価されている成果である。また、世界最大容量となるトリプルフラッシュ式地熱発電所をニュージーランドに建設した実績があり、地熱発電設備に特有のシリカ析出対策、タービン翼の材質選定などの技術に対して高い評価も得ている。

インドネシアでは、深刻化している電力不足の打開策と

して地熱開発を促進している。富士電機が主要機器を納入したラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機およびウルブル地熱発電所 3 号機は、当初の計画よりも前倒して営業運転を開始した。さらに、ウルブル地熱発電所 4 号機は 2017 年 4 月の完成に向けて、建設工事が順調に推移している。

本稿では、これらの地熱発電所の概要と工期短縮について述べる。

② インドネシアの地熱発電

インドネシアは、東南アジア諸国連合（ASEAN）を代表する国であり、豊富な天然資源および労働力を持ち、今後も大いなる発展が見込まれる。

近年、インドネシアの電力需要は、顕著な増加傾向にある一方で、電力開発計画は遅延気味である（図 2）。現在も電化率が 70% 程度と低く、計画停電が実施されるなど電力不足が深刻化しており、新たな発電所の建設および送電線網の強化が求められている。

インドネシアの地熱発電設備の総容量は、米国、フィリピンに次ぎ世界第三位であり、2015 年時点で約 1,340 MW の地熱発電が行われている。地熱資源ポテンシャルは、世界第二位となる 29,000 MW と推定されているが、利用率は約 5% に留まっている（図 3）。

このような背景から、インドネシアのエネルギー鉱物資源省は、地熱発電所による電力供給を拡大し、同国の地熱エネルギーによる電力総容量を 9,500 MW とする目標を掲げている。

富士電機は、地熱発電設備分野における技術力および経験を生かし、インドネシアに 3 台の発電機と 16 ユニット（タービン・発電機）の地熱発電設備を納入している。納入した地熱発電設備の総容量は、約 823 MW に至っている。

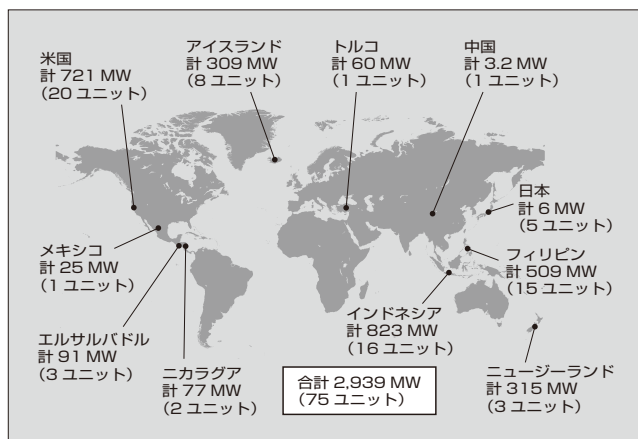


図 1 富士電機の地熱発電設備の納入実績

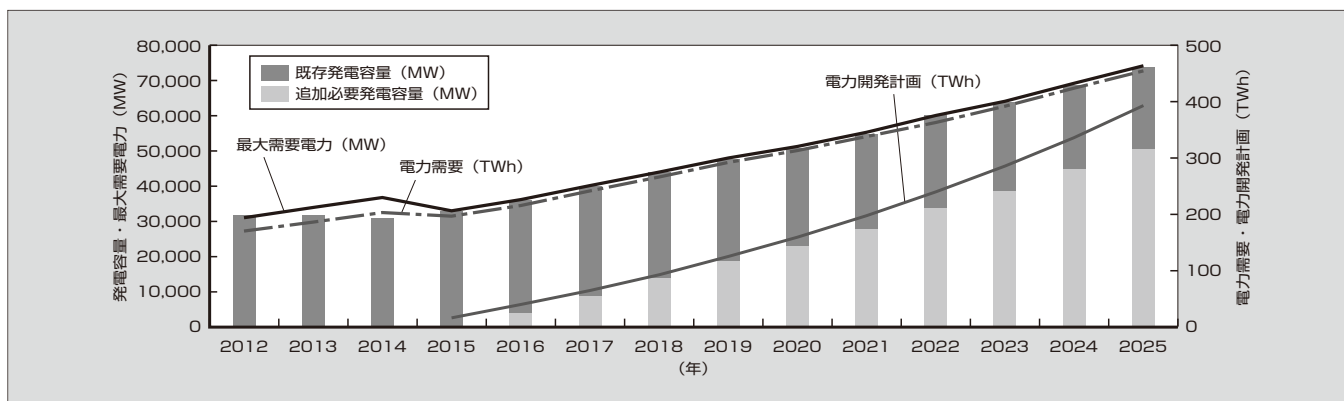


図2 インドネシアの電力需要予測と開発計画

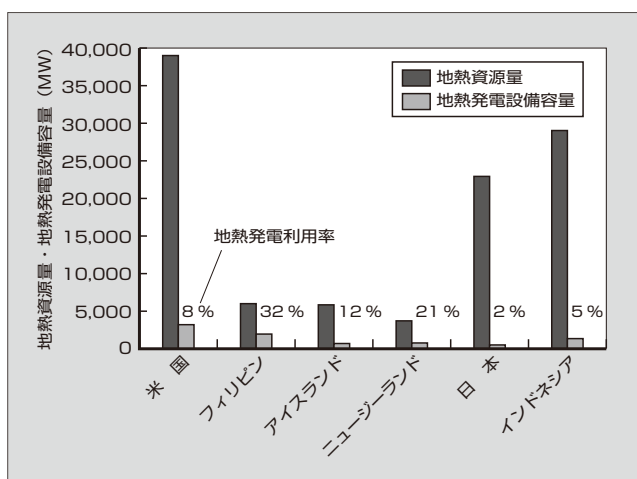


図3 主要国の地熱発電利用率の比較

2014 年度に、ラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機における 2 ユニットのプロジェクト、およびウルブル地熱発電所 3 号機・4 号機における 2 ユニットのプロジェクトを受注した（図 4）。

両プロジェクトは、高品質および高性能な設備を短納期で納入する提案を行ったことで、顧客の高い評価を得ることができ、地熱市場の競争が激化する中、受注に至った。現在、ウルブル地熱発電所 4 号機の建設を推進中であり、既にラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機およびウルブル地熱発電所 3 号機は、当初計画よりも最大約 3 か月前倒し

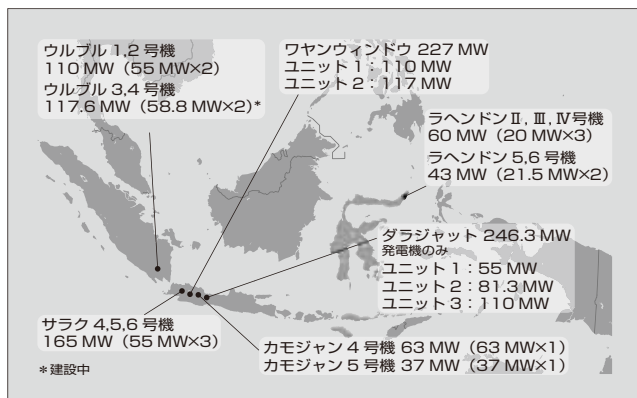


図4 インドネシアにおける富士電機の地熱発電設備の納入実績

で営業運転を開始した。

ウルブル地熱発電所 4 号機の建設は工事および試運転が順調に推移しており、2017 年 4 月の営業運転の開始を目指している。

③ ラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機

3.1 プロジェクトの概要

ラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機は、インドネシアのほぼ中央にあるスラウェシ島ミナハサ州トンパソ郡タリクラン村の標高約 800 m の山中に建設された。スラウェシ島の北端に位置する北スラウェシ州の州都マナドから車で約 1 時間 20 分の距離にある。発電容量は送電端出力 40 MW (20 MW×2 台) である。この地区の近くのラヘンドン村では、既設のラヘンドン地熱発電所 II 号機から IV 号機が営業運転を行っている。いずれも富士電機が納入したものである（図 5）。

本プロジェクトは、住友商事株式会社を主契約者として、2014 年 12 月 1 日にプルタミナ ジオサーマル エナジー社から土木据付け込みの EPC 契約として受注したものである。富士電機は住友商事株式会社と契約を結び、主機である地熱蒸気タービン・発電機、復水器をはじめとする発電所の主要設備を納入した。また、SAGS (Steam-Above-Ground System) などは、インドネシアの大手エンジニア

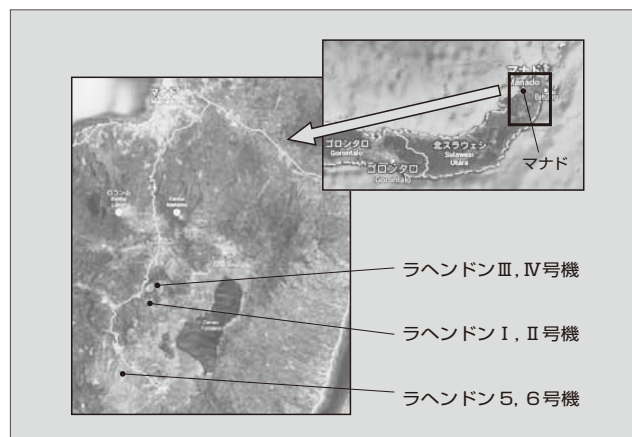


図5 ラヘンドン地熱発電所の位置



図6 ラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機の全景（右側が 5 号機）

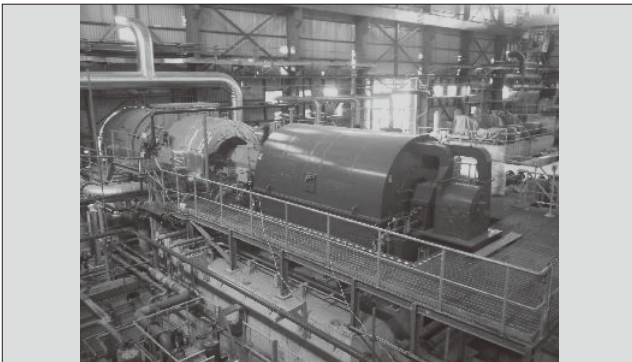


図7 ラヘンドン地熱発電所 5 号機のタービン・発電機

リング会社であるレカヤサ インダストリ社が納入した。

図 6 にラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機の全景を、図 7 に 5 号機のタービン・発電機の外観を示す。

3.2 プロジェクトの特徴

本プロジェクトのタービンは、排気損失の少ない軸流排気を採用している。復水器は、ガス冷却ゾーンを内蔵したコンパクトな直接接触式を採用している。タービン・発電機は、建設工期を短縮するためスキッド方式で設計と製作を行い、日本から出荷した。

地熱蒸気中の不凝縮ガス成分は 1%（重量 %）である。この不凝縮ガス成分を復水器から取り出すガス抽出設備には、蒸気エゼクタと真空ポンプからなるハイブリッド方式を採用した。ガス抽出設備は、50% 容量 2 台（常用）と 50% 容量 1 台（予備）の計 3 台で構成される。冷却塔は FRP 製の塔体構造であり、3 セルで構成されている。ホットウエルポンプは 50% 容量 2 台の運転である。本発電設備は、ホットウエルポンプが 1 台停止した際に瞬時に出力

〈注〉スキッド方式：蒸気タービンと発電機がそれぞれパッケージ化された方式である。パッケージのまま出荷、輸送、設置ができるため、現地での組合せが不要であり、現地での建設工期の短縮に大きく貢献できる。

表 1 ラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機のタービン・発電機
の主な仕様

項 目		仕 様
タービン	型 式	単気筒単流、軸流排気、反動式、復水タービン
	送電端出力	20,000 kW
	入口圧力	8.0 bar（絶対圧）
	入口温度	170.2℃
	復水器真空	0.075 bar（絶対圧）
発電機	型 式	空気冷却ターボ発電機
	容 量	25,300 kVA
	電圧、周波数	11 kV, 50 Hz
	力 率	0.85（遅れ）

設定を下げ、復水器への冷却水量を 50% に絞って運転するランバック機能を持っている。

分散型制御システム（DCS）にはタービン自動起動装置を搭載しており、ボタンを押すだけで主蒸気止弁開から 100% 定格出力まで自動的にプラントを立ち上げることができる。

表 1 に、タービン・発電機の主な仕様を示す。

④ ウルブル地熱発電所 3 号機・4 号機

4.1 プロジェクトの概要

ウルブル地熱発電所 3 号機・4 号機は、スマトラ島南端のランブーン州タンガムス県ウルブル郡の山中で標高約 800 m の地点に建設している。発電容量は送電端出力 110 MW（55 MW×2 台）である。富士電機が納入し、2012 年に運転を開始した既存のウルブル地熱発電所 1 号機・2 号機に隣接している（図 8）。

スマトラ島はインドネシアの中でも最大の地熱資源ポテンシャルがあると推定されており、ウルブルはスマトラ島においていち早く地熱開発が行われた地域である。

富士電機は、住友商事株式会社およびレカヤサ インダストリ社と協働してプロジェクトを進めている。ウルブル地熱発電所 3 号機は 2016 年 7 月に営業運転を開始しており、4 号機は 2017 年 4 月の完成に向け建設中である。本発電所で発電する電力は、インドネシア国営電力会社を通

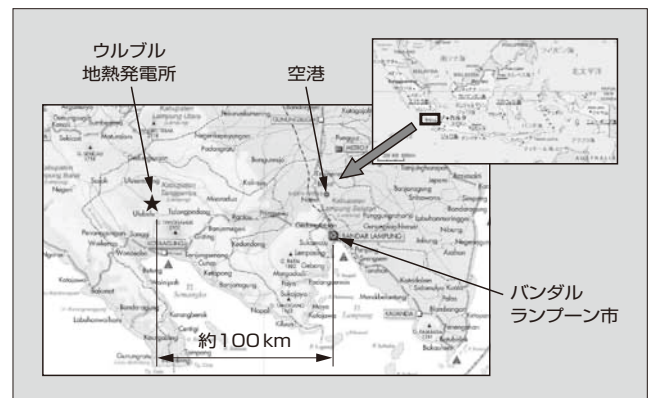


図 8 ウルブル地熱発電所の位置

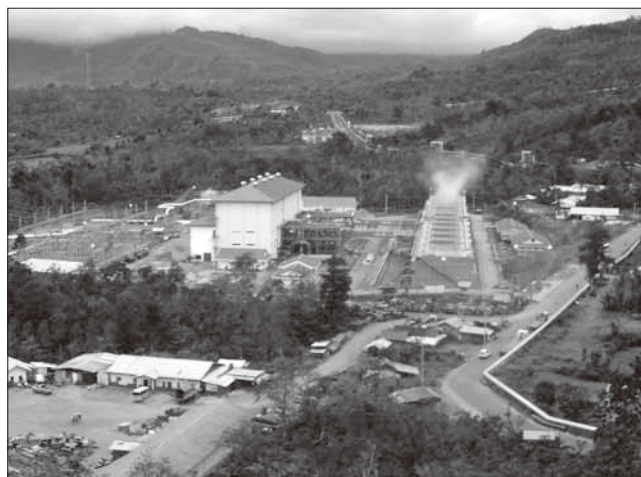


図9 ウルブル地熱発電所 3 号機・4 号機の全景



図10 ウルブル地熱発電所 3 号機のタービン・発電機

じてランブーン地域に供給され、同地域における慢性的な電力不足の解消に大きく貢献している。

図9にウルブル地熱発電所3号機・4号機の全景を、図10に3号機のタービン・発電機の外観を示す。

ウルブル地熱発電所3号機・4号機は、大統領令の下でインドネシア政府が推進する再生可能エネルギー開発案件の一つに位置付けられている。また、プロジェクトの資金は世界銀行からの借り入れて賄われており、インドネシア国内における注目度は高い。

4.2 プロジェクトの特徴

地下において液体の水が主体である熱水卓越型の地熱資源（二相流体）は、複数の生産井より輸送配管を通して生産基地に集められ、汽水分離器によって蒸気と熱水に分離される。蒸気は圧力と流量が調整されて発電所に導かれ、熱水は還元井を経て地下に戻される。これらの輸送配管の総延長は30 km以上に及ぶ。分離された蒸気は、発電所に設置されたバント設備で一定圧に制御され、発電所の蒸気スクラバによって湿分除去が行われた後、蒸気タービンに導かれる。

発電所の主要設備として、下向き排気の反動型復水式蒸

表2 ウルブル地熱発電所3号機・4号機のタービン・発電機の主な仕様

項 目		仕 様
タービン	型 式	単気筒、ダブルフロー、下向き排気、反動式、復水タービン
	送電端出力	55,000 kW
	入口圧力	7.6 bar（絶対圧）
	入口温度	168.0℃
	復水器真空	0.08 bar（絶対圧）
発電機	型 式	空気冷却ターボ発電機
	容 量	70,000 kVA
	電圧、周波数	11 kV, 50 Hz
	力 率	0.85（遅れ）

気タービン、全閉空気冷却式発電機、直接接触式復水器、各大型電動機およびタービン発電機制御装置がある。これらを富士電機が製造し、汽水分離器、湿分分離機、電気設備、FRP管、ケーブル類はインドネシア国内で調達した。

発電所の全体配置は敷地面積および地形により制約され、東西に3号機と4号機を並べ、高台となる北側に冷却塔、中央部分にタービン建屋と電気室、南側に開閉所を配置する計画とした。

表2に、タービン・発電機の主な仕様を示す。

5 地熱発電プロジェクトの遂行における留意点

5.1 パートナーとの協働

住友商事株式会社は、コンソーシアムリーダーとして、主に商務全般、保険、船積み業務を担い、プルタミナ ジオサーマル エナジー社との調整および折衝を行うとともに、レカヤサ インダストリ社ならびに富士電機をサポートした。

レカヤサ インダストリ社は、現地ポーションを一手に引き受け、SAGS、電気設備、現地工事を担うとともに、インドネシア国法規への対応ならびに地域社会との調整も主体的に担当した。

住友商事株式会社、レカヤサ インダストリ社および富士電機は、インドネシア地熱発電設備の建設において、多くの受注活動ならびにプロジェクト遂行を10年以上にわたり共に取り組んでおり、シナジー効果を発揮し、理想的なパートナーシップを構築している。

5.2 顧客満足度の向上

富士電機は、設備のライフサイクルを考慮して、運転とメンテナンス性に重点を置いて設計している。顧客満足度の向上の観点から、保守・管理を考慮した発電所配置の最適化、機器へのアクセス性の考慮および操作性などに対する顧客の要望を、エンジニアリング段階ならびに現地工事段階で最大限反映している。

5.3 プロジェクトの短納期化

近年、地熱発電所の建設工期は従来と比べて短くなっている。ラヘンドン地熱発電所 5 号機では、工期に 22 か月が求められた。これは、同じく富士電機が納入した、同規模で営業運転中であるカモジャン地熱発電所 5 号機の工期が 23 か月であったことに対し、1 か月の短縮である。ウルブル地熱発電所 3 号機の契約工期は 23 か月であり、同エリアで営業運転中であるウルブル地熱発電所 1 号機の工期が 28 か月であったことに対し、5 か月の短縮が要求された。富士電機は、ガス抽出設備の配置を自ら計画するなどして全体配置を最適化し、発電所のコンパクト化を図るとともに、タービン、発電機、薬品設備などをパッケージ化することで現地工事の物量を減らし、工期の短縮の要求に応えた。

プロジェクトの初期段階では、レカヤサ インダストリ社と工事工程ならびに試運転工程を細部にわたり調整した。プロジェクトの建設中は、レカヤサ インダストリ社と合意した工程に沿い、機器および材料の搬入計画を立て、現地工事に滞りが生じないようにした。エンジニアリングの段階においては、エンジニアリングデータの交換が重要であることから、レカヤサ インダストリ社との間で交換期日を事前に定め、そのスケジュールに従って進めることで、機器仕様および土木建築の詳細設計の早期完遂に努めた。また、プルタミナ ジオサーマル エナジー社とは、インドネシア、日本を問わず積極的に打合せを行い、設計方針の決定ならびに懸案事項の解決を図った。

これらの活動が、プロジェクト初期段階における基幹エンジニアリングの推進につながり、計画に沿った機器搬入および工事推進が実現した。

その結果、当初計画していた日程よりもラヘンドン地熱発電所 5 号機は約 1 か月、6 号機は約 3 か月、ウルブル地熱発電所 3 号機は約 3 週間の前倒して営業運転を開始した。ウルブル地熱発電所 4 号機の建設工事も順調に推移している。

6 あとがき

ラヘンドン地熱発電所 5 号機・6 号機およびウルブル地熱発電所 3 号機・4 号機について述べた。

今後、インドネシアにおける地熱発電所の建設において

は、地理的な条件や環境への配慮などにより、さらに建設の難易度が高くなると見込まれている。富士電機は、経験と実績を最大限に生かすことで環境とエネルギーの両面での貢献を目指す。

さらに、数多くの実績に基づく、富士電機の技術を生かし、CO₂ 排出量が少なく、環境面で優れ、かつ天候に左右されずに安定した電力供給が可能な再生可能エネルギーとして、地熱発電のいっそうの発展に努めていく所存である。

最後に本地熱発電所の建設に当たり、お客さまであるプルタミナ ジオサーマル エナジー社殿をはじめ、住友商事株式会社殿ならびにレカヤサ インダストリ社殿に多大な協力をいただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

- (1) エネルギー・鉱物資源省電力総局. “インドネシアの電力事情報告書”. <http://energy-indonesia.com/07basicinfo/0140319inturn.pdf>, (参照 2016-12-24).
- (2) 国際エネルギー機関 (IEA). “Southeast Asia Energy Outlook 2015”. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/world-energy-outlook-special-report-on-southeast-asia-2015.html>, (参照 2016-12-24).
- (3) エネルギー・鉱物資源省. “Power Policy and National Deopment Plan in Indonesia”. Symposium on Sustainable Power Supply Mix in the Future. 2015-12-20. <https://enenken.iece.or.jp/data/6458.pdf>, (参照 2016-12-24).
- (4) 日本貿易振興機構 (JETRO). “インドネシアの電力エネルギー事情”. <http://energy-indonesia.com/03dge/0130625Pak%20Rida.pdf>, (参照 2016-12-24).



村上 隆

火力・地熱発電設備の取りまとめ業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部発電プラント事業部火力・地熱プラント総合技術部主席。



高宮 淳

火力・地熱発電設備の建設に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部発電プラント事業部火力・地熱プラント建設部主任。





＊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。