

創エネルギーと社会インフラソリューション の現状と展望

Energy Creation and Social Infrastructure Solutions:
Current Status and Future Outlook

藤原 正洋 FUJIWARA, Masahiro

① まえがき

世界の電力需要は、経済協力開発機構（OECD）非加盟国で年率 1.9%、需要が飽和している OECD 加盟国でも年率 0.6% の継続的な伸びが予測されている。世界的な視野で見れば、原油価格の不安定な動向、2016 年秋に発効した「パリ協定」による CO₂ を代表とする地球温暖化ガスの排出削減などへの対応が必要である。国内では、電力改革の確実な遂行をはじめ、2015 年に策定された「長期エネルギー需給見通し」の取組みの履行や、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」（FIT）の制度改定、2017 年 4 月からのガスの小売全面自由化などへの対応が課題となる。富士電機では、これらへの対応のために運転効率や保守性の向上などお客さまの総合的な経済性の改善に貢献できるように努めており、創エネルギーとして、火力発電をはじめ、地熱発電、原子力発電、太陽光発電、風力発電、燃料電池などの分野において、技術開発と製品化に取り組んでいる。

社会インフラソリューションは、人々の生活や経済活動を支えることにつながるものであり、これまでは快適で効率的な仕組みを目指した高度化がなされてきた。しかしながら、設備の老朽化に伴う事故および複数の震災の経験から、本質安全性、環境性能、レジリエンスなどの新たな評価指標への対応が急務である。

富士電機は、“エネルギー・環境技術の革新により、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献する”を経営方針の一つに掲げ、エネルギー・環境に関する多種多様な技術のたゆまぬ革新を続けている。とりわけ創エネルギーと社会インフラソリューションにおいては、事業を推進するに当たり“5つのK（環境、効率、経済性、価値創造、革新）を極める”をスローガンに日々活動を続けている。本稿では、富士電機が取り組

んでいる創エネルギーと社会インフラソリューションから代表的なものを取り上げ、現状と展望を述べる。

② 火力発電分野

海外では、電力需要が旺盛な台湾や韓国、東南アジア、アフリカの一部の地域を中心に火力発電のニーズが多い。国内においても原子力発電所の稼働問題、FIT に呼応したバイオマス発電^(※1)や新電力による電源の確保などを背景に火力発電のニーズがある。

富士電機は、火力発電の経済性を向上させながら環境負荷の低減と大幅な効率の向上を実現させ、顧客の価値創造の一翼を担っている。具体的には、蒸気条件の高温・高圧化をはじめ、中・小容量タービンの再熱化、蒸気タービンの小型化やケーシング数の削減など、確実に信頼性の高い技術を提供している。これらの技術やノウハウを駆使して、現在は内陸型の大型ガスタービンコンバインドサイクル発電、超々臨界圧火力発電^(※2)、バイオマス発電など多数の案件を抱え、工期通りの竣工を目指して設計、製作、建設を進めている。今後も、国内外において顧客の要望に応えられるよう、技術の革新やエンジニアリング能力の向上に努めていく。

アフターサービスにおいても、単なる定期補修や延命化だけではなく積極的に最新技術を適用して効率向上や運用改善を行っている。種々の診断技術を適用した予防保全によって稼働率の大幅な向上などにも寄与している。また、海外のサービス拠点（米州、台湾、韓国、東南アジア、中近東）の充実を図るとともに、現地で行う補修技術の開発などにより発電所の停止期間の最短化に貢献している。さらに、川崎地区に“プラント運転支援センター”を設置して、国内外のプラント稼働状況の遠隔監視を行い、運転・保守面にお

(※1) バイオマス発電

バイオマスとは、動物・植物などを由来とする有機性資源のことである。バイオマス発電は、これを火力発電の燃料として利用し、発電する。バイオマスは、廃棄物系と栽培作物系があり、燃料として利用するとき

には、乾燥させる場合と、チップやペレット状に加工する場合がある。

(※2) 超々臨界圧火力発電

超々臨界圧発電とは、水の臨界圧を超える高温・高圧条

件下に置くことによって、水を気化させるための熱エネルギーを削減し、高効率に発電する方式のことである。発電効率を向上するために段階的に高温高圧化が図られ、圧力が 24.1 MPa 以上で、かつ温度が 566℃を超えると超々臨界圧発電という。

る効果的なアドバイスを行っている。今後も、顧客の多種多様なニーズに確実に応えながら、積極的なサービスの提案活動を行っていく。

③ 地熱発電分野

天候などの自然条件に左右されない安定的な再生可能エネルギーとして、温泉発電を含む地熱発電が国内外で見直されている。フラッシュサイクル発電^{(*)3}が適用できる地熱源は、既に発電所が稼働済あるいは計画・開発の途上にある。一方で、低位熱源を活用できるバイナリーサイクル発電^{(*)4}は今後も大きなポテンシャルを持っており、年間の新設規模でフラッシュサイクル発電を抜くのも時間の問題と予想されている。

インドネシア、フィリピン、メキシコ、イタリア、アイスランド、ケニアなどの地熱発電が盛んな国々では、引き続き地熱発電所の建設計画がある。国内でも、長期エネルギー需給見通して2030年までに地熱発電の割合を現在の3倍に拡大する計画である。さらに、リスクのある地熱源探査や井戸の掘削に対して、国からの支援として、石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)からの資金援助が活用できる状況⁽¹⁾であり、現在では多くの計画が持ち上がっている。

富士電機では、地熱発電分野における世界のトップメーカーとして、プラントの経済性や運転効率の改善および機器の耐腐食性、信頼性、保守性を向上するために技術開発を続けている。また、アフターサービスについても、火力発電分野と同様にサービス拠点やサービスメニューの拡充を行い、顧客のプラントの安全・安定・経済的な運用のために積極的なサービスの提案活動を行っている。

富士電機は、フラッシュサイクル発電では、インドネシアで4基のプラントを完成させ、アイスランド、メキシコおよびフィリピン向けのプラントを建設中、もしくは機器を製作中である(11ページ“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”参照)。バイナリーサイクル発電においては、2017年3月に作動媒体が代替フロン系の5MWの国内最大規模のプラントを完成させ、作動媒体がノルマルペンタンの同容量のもう1基のプラントの機器を製作中である。さらには、温泉発電分野への参入も進めている。

④ 原子力分野

原子力発電は、長期エネルギー需給見通して2030年において20～22%を担う電源と位置付けられている。ただし、安全の確保が大前提であり、福島第一原子力発電所の事故の教訓を生かした新規規制基準を満足することが再稼働や建設継続の必須条件となる。このため、既に12基の廃炉が決定し、再稼働を目指している発電所は37基であり、2016年末において5基が再稼働済である(図1)。

現在、原子力損害賠償・廃炉支援機構(NDF)を中心に廃炉計画の達成に向けた汚染水対策や、燃料デブリを取り出すための技術開発および装置設計が、国を挙げて鋭意進行中である。同時に、使用済燃料を再処理し、回収するウラン・プルトニウム混合物を平和的に有効利用しようという核燃料サイクルについても鋭意推進されている。原子力の分野では、当面、原子力発電所の再稼働と廃炉に向けた取組みの両面から継続したソリューション技術が求められている。

富士電機は、原子力施設の運転や廃炉の過程で発生する放射性廃棄物の安全な処理・処分や保管を可能とするため、種々の優れた特徴を持ったジオポリマー材料を活用する固化技術の研究・開発を、英国のエイメック・フォスター・ウィラー社と共同で進めている。また、核燃料サイクルに貢献するために混合酸化物燃

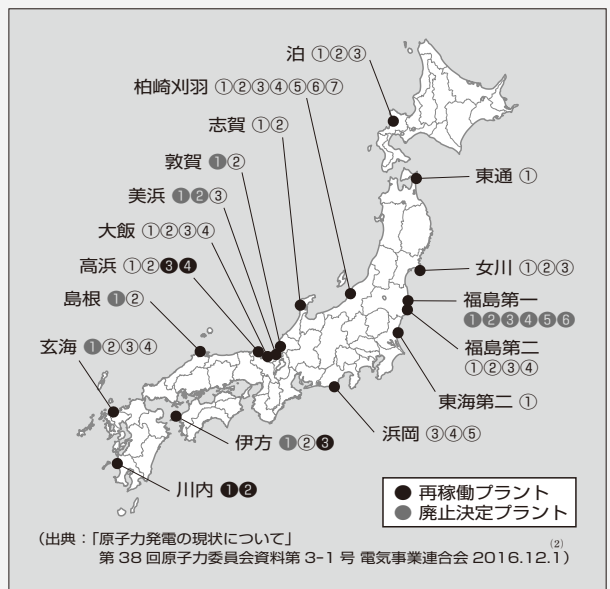


図1 国内の原子力発電所の稼働状況

(*) 3 フラッシュサイクル発電

坑口から噴出する蒸気に多くの熱水が含まれる場合、気水分離器によって蒸気のみを抽出し、直接蒸気タービンを回す発電の方式である。

(*) 4 バイナリーサイクル発電

温度が低い蒸気や熱水などの熱源利用する場合には、ペンタンなどの低沸点の媒体に熱を伝えて高圧の蒸気を作り、タービンを回す発電の方式である。フラッシュ

サイクル発電方式では利用できない低位(低温)熱源に適した発電方式である。

料（MOX 燃料）の製造設備、遠隔ハンドリング装置、耐震配電盤などにおいて、新規制基準に対応した技術や製品を提供している（16 ページ“商業用原子力発電炉に係る新規制基準に適合した耐震配電盤”参照）。

5 太陽光発電分野

国内で 2012 年に FIT が導入されて以降、これまでに認定を受けた設備容量は累計で 80 GW に上るが、運用を開始している設備は 30 GW にとどまっている。まだ運用を開始していない設備のうち、49 kW 以下の低圧連系発電設備が 17.5 GW、2 MW 以上の特別高圧連系発電設備が 23.8 GW であり、小規模設備と大規模設備の二極化した市場となっている（図 2）。

富士電機は、保有するパワーコンディショナ（PCS）や特高変電設備などのシステム機器製品、EPC（土地の造成などを含めたフルターンキー）におけるノウハウの強みを生かし、500 kW 以上の設備容量をカバーして市場に込んでいる。PCS の累計納入量は 1,800 MW、EPC による累計納入量は建設中のプラントを含めて 400 MW に上っている。

直近は、FIT 買取価格の低下による採算性確保のためのコストダウン、ならびに再生可能エネルギーの導入量の増加に伴う系統の安定化が課題となっている。富士電機は、このような課題を確実に克服するために高性能・低価格を実現した PCS や系統安定化システムを開発し、提供している（20 ページ“DC71 MW/AC51 MW 上北六ヶ所太陽光発電所”参照）。

高性能・低価格の PCS は、主力製品である 1 MW 屋外型を開発し、2017 年 10 月から販売を開始する予定である。

系統安定化システムについては、従来の安定化シス

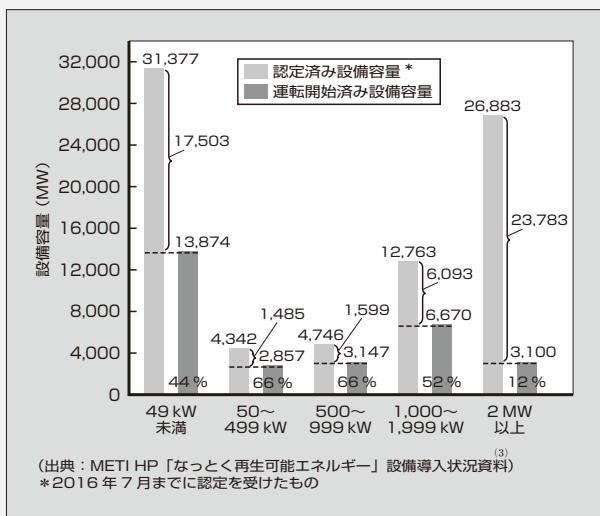


図 2 2016 年 7 月までに認定を受けた太陽光発電設備の設備容量と、そのうち運転を開始した設備容量（容量別）

テムに大容量蓄電池を追加搭載した低価格の新しい系統安定化システムを開発し、複数のプラントへの納入が既に決まっている。このシステムの導入により、蓄電池の容量を低減することができ、蓄電池の低価格化とのシナジーにより厳しい条件下にあった複数の案件において事業性を成立させた。

6 風力発電分野

風力発電についても FIT の恩恵を受け、導入促進の期待がかかっているが、7.5 MW 以上の設備については約 3 年かかる環境アセスメントが義務付けられているために、大規模なウインドファームの建設が本格的に始まったのは 2016 年度からである。また、太陽光発電においては大きく低下した買取価格が、風力発電においては 22 円/kWh で維持されているために、太陽光発電事業者が新たな投資先として風力発電にシフトする動きもあり、当面の導入計画は増加傾向になるものと考えられる。

富士電機は、数 MW 級の発電所の EPC など手掛けてきており、系統連系設備や電力安定化設備などのエンジニアリングとシステム機器製品の販売に注力してきた。

風力発電に適する風況の良い地域は、北海道と東北に多いことはよく知られている。送電網の容量が比較的小さい地域では、風況の変化に伴う出力変動による電力品質への影響が課題となっている。例えば、北海道電力株式会社では、“風力発電設備の出力変動緩和対策に関する技術要件”を 2016 年度に発表し、新規に建設する風力発電所において蓄電池などを設置し、電力系統の周波数調整に影響が出ないレベルに出力変動を抑えることを要請している。

富士電機では、蓄電池と PCS を組み合わせ、最適制御を行うことにより、蓄電池の適切な充放電によって風力発電所の出力変動を抑制し、電圧や周波数を要



図 3 電力安定化装置用パワーコンディショナ

求値以内に安定させる電力安定化システムを実用化して納入している（図3）。

このシステムは、東北電力管内をはじめ、国内の離島やガラパゴス諸島など多くの納入実績がある（42ページ“ガラパゴス諸島向け鉛蓄電池・リチウムイオン電池併用による電力安定化システム”参照）。

今後は、電力安定化システムを軸として太陽光発電設備のEPCで培ったノウハウを付加することにより、風力発電設備のEPCにも本格的に取り組む。

⑦ 燃料電池分野

燃料電池は、燃料に化学反応により水素を生成できる物質が含まれていればよいので多様な燃料が使用できる。実用的には、都市ガス、LPGおよび下水消化ガスなどのバイオガス、さらには水素が使われることが多い。

燃料電池の特徴として、小容量でも発電効率が高いこと、排ガス中にNO_xやSO_xなどの大気汚染物質をほとんど含まないこと、ならびに低騒音・低振動であり環境特性がよい発電装置であることが挙げられる。したがって、分散型電源として適しており、排熱を回収してコージェネレーションシステムとすれば総合効率が90%にも達する非常に優れた電源である。

燃料電池の種類は、使用する電解質によって、りん酸形（PAFC）、固体高分子形（PEFC）、溶融炭酸塩形（MCFC）、固体酸化物形（SOFC）などがある。それぞれに動作温度や発電効率が異なるため、適した用途も異なっている（表1）。

富士電機は、1973年からりん酸形燃料電池の開発に着手し、国の支援や電力会社、ガス会社の協力を得ながら、5MW機までの種々の出力や用途の90台以上のユニットについてフィールドテストを実施してきた。そこで得た知見を生かして1998年に100kWオンサイト型商用機の納入を開始し、2016年までに世界各地に75台を納入してきた（表2）。一台当たりの累積運転時間も最長で124,000時間（約15年間）を超えており、装置としての高い信頼性と充実したアフターサービス体制を実証している。

富士電機は、現在、りん酸形燃料電池の普及を図るために、機能の高度化、用途の拡大および低価格化に取り組んでいる。国内では、独立給電による災害対応機能とFITに対応したバイオガス^(*)への適用を、海外では、排ガスを利用して対象空間全体に低酸素雰囲気を作る防火システムを軸に拡販を図っている。また、次世代の高効率コージェネレーションシステムとして

表1 燃料電池の種類と用途

種類	りん酸形 (PAFC)	固体高分子形 (PEFC)	溶融炭酸塩形 (MCFC)	固体酸化物形 (SOFC)
動作温度	190~200℃	70~90℃	600~700℃	700~1,000℃
発電効率	40~45%	35~40%	45~50%	45~60%
主な用途	業務用	家庭用, 自動車用	業務用	業務用, 家庭用

表2 りん酸形燃料電池商用機の納入先（2016年12月現在）

納入先		納入台数
国内	オフィスビル	6
	研修施設, 展示施設	5
	大学, 庁舎	8
	病院, ホテル	8
	工場	8
	下水処理場	28
	実証試験	1
海外（ドイツ, 韓国, 米国, 南アフリカ）		11
合計		75

固体酸化物形の開発を鋭意進めている（26ページ“燃料電池の新展開”参照）。

⑧ 電力流通分野

東日本大震災において、長時間にわたる停電や計画停電など、電力供給の脆弱（ぜいじゃく）性があらわになった。このため、エネルギーセキュリティの向上のために、国や自治体によるさまざまな施策が推進されている。とりわけ、FITの導入により太陽光発電を主体とした再生可能エネルギーを利用する発電設備の建設が飛躍的に増えた。この結果として、系統の安定化という課題が顕在化してきた。具体的には、太陽光発電や風力発電などの不安定な発電出力による系統周波数の問題、ならびに分散型電源からの逆流による配電線の電圧の問題などが挙げられる。

また、期を同じくして、電力システム改革による電気料金の抑制、電力の安定供給、新たな電力事業者の参入機会の拡大などが推進され、2015年に電力広域的運営推進機関が設立され、2016年から電力小売りの全面自由化が始まった。今後は、料金規制の撤廃や発電分離などのさらなる改革が進んでいく。

新たな安定した電力供給システムとして、地域エネルギーマネジメントシステム（CEMS）を発展させたバーチャルパワープラント（VPP）の実証が進行中で

(*) バイオガス発電

バイオガスとは、生ごみや汚泥などの有機性資源を原

料として嫌気性微生物の力を利用することにより生産されるガスのことである。バイオガス発電は、このバ

イオガスを利用して発電する方法である。

ある(図4)。

また、新たな電力取引市場として、“1時間前市場”“リアルタイム市場”“容量市場”“ネガワット市場”などの枠組みを、順次導入していくことが検討されている(図5)。

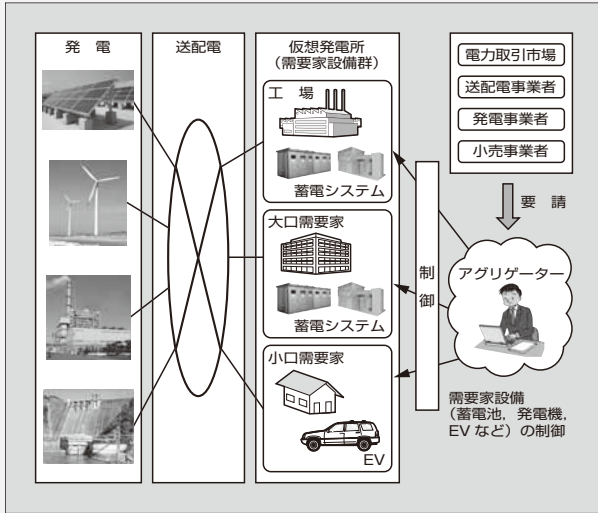


図4 バーチャルパワープラントの実証イメージ

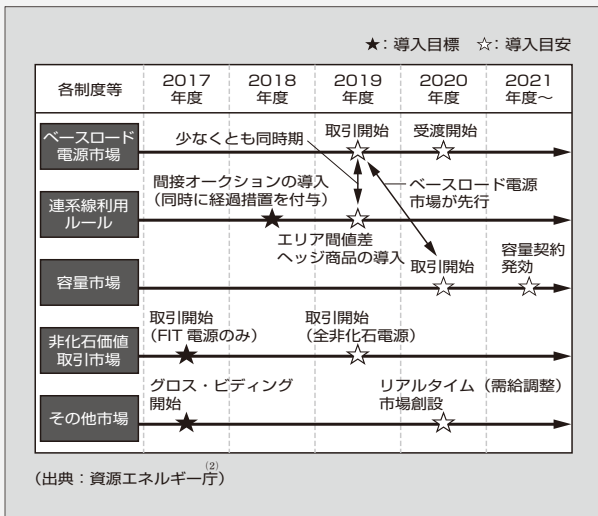


図5 今後の電力取引市場の動向(導入目標・導入目安)

さらに、地域では、エネルギーの地産地消や雇用創出を目指した地域エネルギー供給サービス事業の企画・設立が進み、企業などの需要家側では、エネルギーコストの最小化や、自然災害時などに事業資産の喪失を最小限にする事業継続計画(BCP: Business Continuity Plan)において新たなエネルギーシステムの構築が進んでいく。

富士電機は、発電設備や受変電設備における監視、運用、制御に関わる技術や製品に対し、さまざまな実証事業を通じて得た知見や自主開発の成果などを反映し、さらにICT(Information and Communication Technology)を付加することにより、顧客の多種多様なニーズに確実に応えていく。具体的には、システムの最適運用のための計算機システム、システムの安定化や需要側のピークシフトのための大型蓄電システム、ならびに系統電圧を規定値以内に保持するための静止型無効電力補償装置(SVC: Static Var Compensator)などを開発し、順次、市場に投入している。導入事例を次に示す。

富士電機の蓄電システムは、図6に示すように種々のニーズに対して適切なPCSと制御装置を組み合わせることにより、図中の全ての種類の蓄電池制御機能を実現している。

電力会社などの系統運用者向けは規模が大きくなり、容量は数十MWhに及ぶことも珍しくない。北海道電力株式会社の南早来変電所向けに、住友電気株式会社製のレドックスフロー電池(15MW, 60MWh)の複数バンクについて最適統合制御を行うシステムを2015年に納入した(図7)。一般的に蓄電池は早い応答性や容易な拡張性などの特徴を持ち、また、従来、ピークシフトに用いられてきた揚水発電と比べても短いリードタイムや設置場所の制約が少ないなどの長所もある。このため、これからの導入拡大が期待される(36ページ“世界最大級の60MWhレドックスフロー電池による系統蓄電池用の大容量交直変換システム”参照)。

富士電機の配電系統の電圧制御方法は、現在主流で

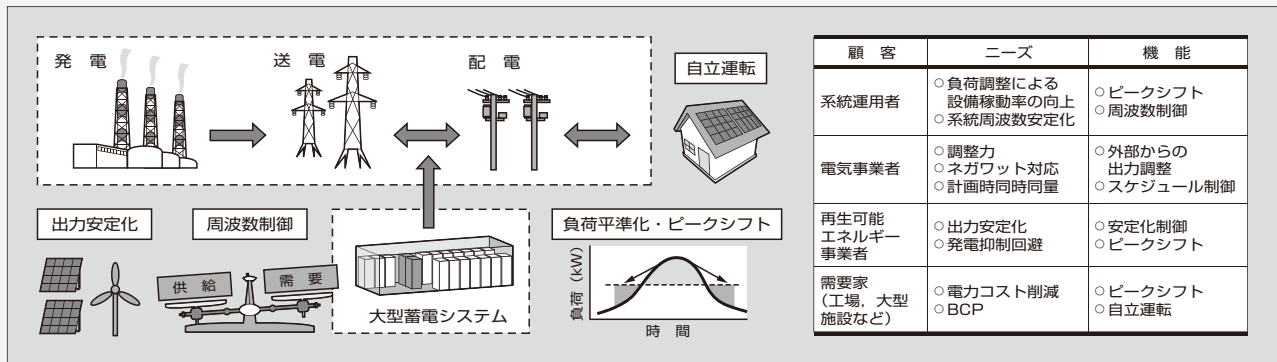


図6 電力系統における蓄電池システムの用途



図7 南早来変電所の大型蓄電システム

はあるが動作回数制限のある自動電圧調整器（SVR：Step Voltage Regulator）ではなく、動作回数制限のない SVC を使用している。SVC には、無効電力を発生させる方式により自励式と他励式の 2 種類がある。このうち、他励式の配電系統用 SVC は、東北電力株式会社と共同で開発した装置であり、可変インダクタを用いることで無段階に連続制御を行うことを可能にしている。また、冷却ファンレス方式により従来の SVC と比べて小型・軽量化でき、信頼性も優れているため、柱上に設置することが可能である。さらに、現在は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の“分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業”において、SiC（炭化けい素）モジュールを用いて、より高性能、小型・軽量化を実現し、単柱に取付けが可能な次世代型の SVC を開発中である。配電系統全体の電圧維持に貢献するために、監視制御を行う計算機システムと合わせて市場に提供していく（31 ページ“電圧変動問題の解決に貢献する配電系統用静止型無効電力補償装置”参照）。

9 水環境分野

工場や事業所から出る産業排水は「水質汚濁防止法」および各自治体の条例による“上乘せ基準”により水質の規制が厳しく設けられ、厳正な処理を行うことが義務化されている。これに従い、工場の新設や増設を行う際などには排水処理設備の整備が必須である（図 8）。年々、水質の規制が厳しくなる傾向は変わらず、企業側としては排水基準を厳守しながらランニングコストを削減することが課題となっている。

例えば、食品・飲料の業界では、インスタント食品やレトルト食品の需要の増加、ならびに幅広い年齢層をターゲットとした種々の飲料の発売に伴い、生産量や生産品目の増加および製造プロセスの変更などが必要となっている。これに伴い、排水量や排水の水質の変化が発生し、排水処理の管理が難しくなっている。さらに、周辺環境への配慮や労働環境の改善など



図8 排水処理施設

の観点から、アンモニアや硫化水素などに由来する悪臭の抑制も必要となってきた。食品・飲料工場の排水は、その多くが高濃度の有機性排水であり、標準活性汚泥法に代表される生物処理が多用されている。この場合、排水量の増加や排水の水質に変化がある場合には、土木工事を伴う処理能力の増強もしくは前処理・後処理設備の追加など、いずれも多大な設備投資が生じる対応を取らざるを得ない。

富士電機は、排水処理コストの削減と悪臭対策を同時に可能とするパチルス菌^(*6)を使った新排水処理ソリューションを開発した。これは、有機性物質を効率的に分解するパチルス菌を使ったものであり、パチルス菌の分解能力を最大化する専用の活性剤を遺伝子や酵素の高度な解析を通じて開発し、組み合わせたものである（図 9）。

新排水処理ソリューションは、大規模な設備投資が不要であり、ランニングコストを削減しながら悪臭も抑えることができるという優れた性能を持っている。具体的には、高濃度の有機性物質を短時間で分解するだけでなく、産業廃棄物の一つとなる余剰汚泥の発生を抑えるという特徴を持ち、悪臭を検出下限以下に抑えながら汚泥の処理費用を従来比で 20～40% 削減できる。さらに、通性嫌気性のため曝気（ばっき）プロワの動力も従来比で 10～40% 削減できる。

富士電機は、宇都宮大学との共同研究により、パチ



図9 パチルス種菌と活性剤

(* 6) パチルス菌

52 ページ「解説」参照

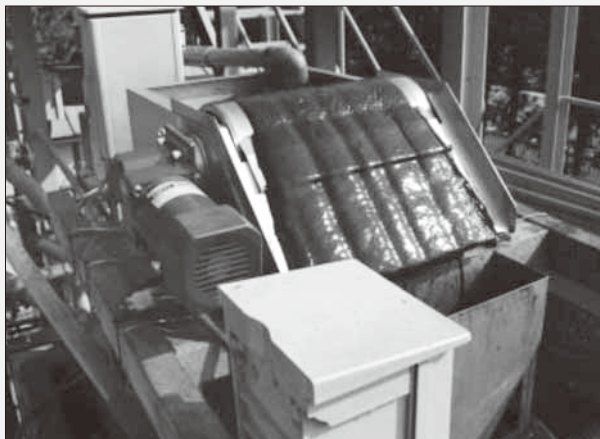


図10 汚泥レス排水処理システム（磁気分離装置）

ルス菌の活用を発展させ、排水処理設備の新設や増設に当たり初期投資とランニングコストを圧倒的に削減できる“汚泥レス排水処理システム”を開発した。このシステムは、宇都宮大学が持つ“磁化活性汚泥法”とバチルス菌を組み合わせたシステムであり、初期投資、ランニングコストおよび設置スペースを同時に削減できるものである。具体的には、生物処理における固液分離に、図10に示す磁気分離装置を採用しているため、生物処理槽の容量を従来比で1/2～1/3に圧縮できる。また、沈殿槽も不要になるため建設コスト（初期投資）を大幅に削減できる。さらに、バチルス菌により生物の自己酸化が増強されることから、余剰汚泥をゼロにできる。これにより、汚泥処理に必要な汚泥脱水機が不要となり、薬品費、電力費、処理費もなくなるのでランニングコストも大きく削減できる（47ページ“バチルス菌による新排水処理ソリューション”参照）。

10 あとがき

富士電機が取り組んでいる創エネルギーと社会イン

フラソリューションから代表的なものを取り上げ、現状と展望を述べた。このほか、ドイツのフォイトハイドロ社と協業している水力発電分野や、国内トップシェアの電力スマートメーター、行政向け無害化・業務パッケージソフトウェアなどについてもさまざまな取り組みを行っている。

富士電機はこれからも、お客さまに目を向け、お客さまの声を聞き、お客さまと力を合わせ、お客さまの価値創造を達成していくために、たゆまぬ技術革新とサービスの向上に努めていく。そして、安全・安心で環境にやさしい創エネルギーと社会インフラソリューションの提供により、持続可能な社会の実現に大きく貢献し続けていく所存である。

参考文献

- (1) 平成28年度助成金交付および出資・債務保証実績. 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC). http://www.jogmec.go.jp/geothermal/geothermal_10_000007.html#002, (参照 2016-11-01).
- (2) 市場整備WGにおける検討結果. 資源エネルギー庁. http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/kihonseisaku/denryoku_system_kaikaku/pdf/03_03_00.pdf, (参照 2016-11-01).
- (3) なっとく再生可能エネルギー. 経済産業省. http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/statistics/index.html, (参照 2016-11-01).



藤原 正洋

富士電機株式会社執行役員、発電・社会インフラ事業本部長。





*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。