

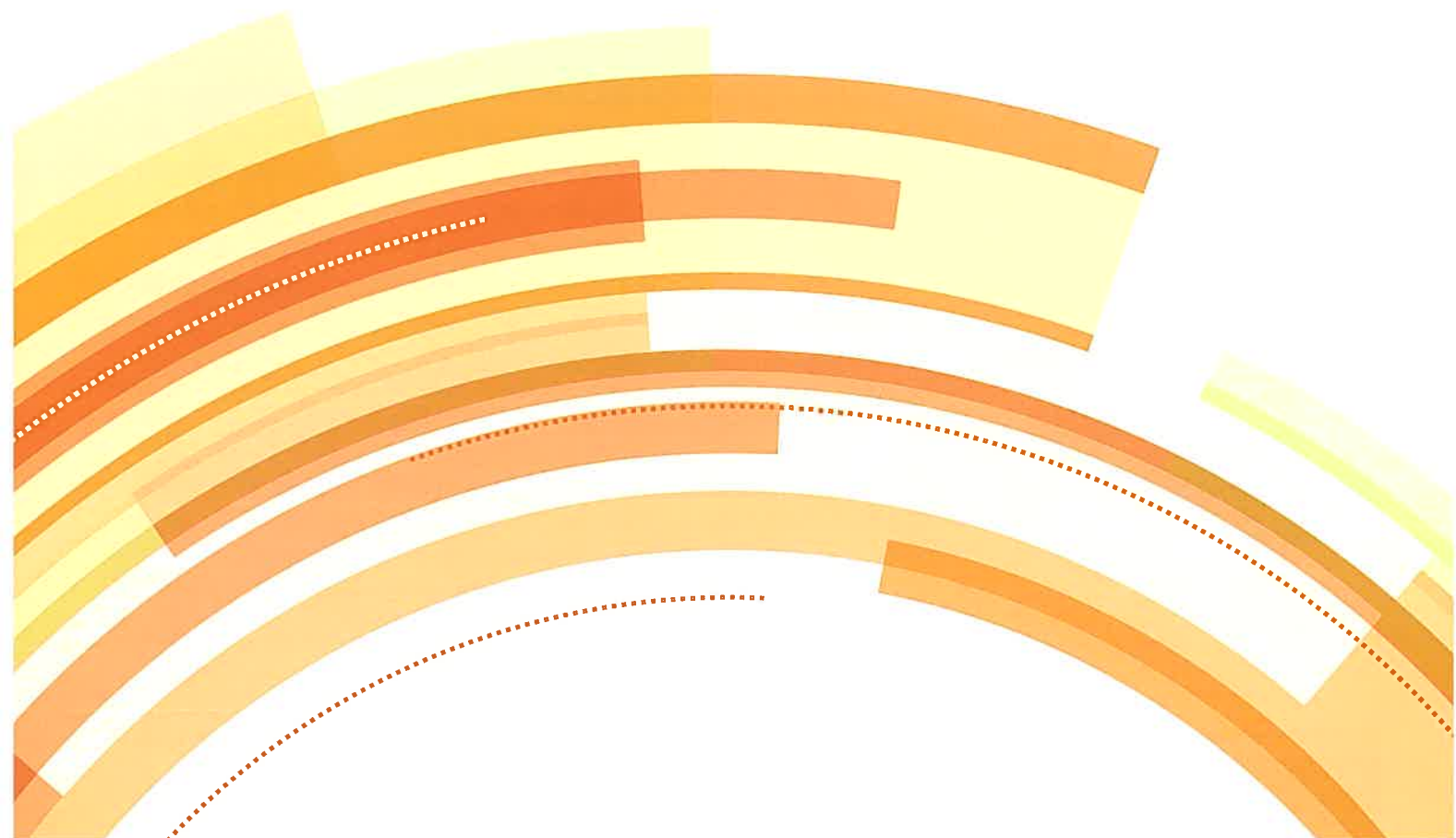
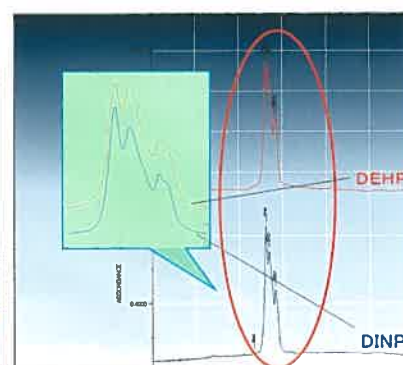
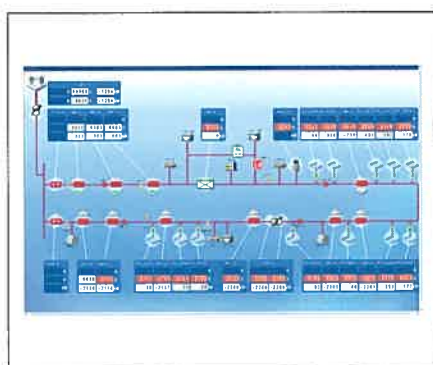
三菱電機技報

12

2014

Vol.88 No.12

「もう一段高いレベルの環境経営」



目次

特集「もう一段高いレベルの環境経営」

環境経営概念の革新 1
水口 剛

もう一段高いレベルの環境経営 2
南原智彦

環境管理の技術的進展

電力需給バランスを考慮した節電対策 7
豊田明子・鈴木健司

“クリーン情報システム”による管理強化 11
奥井秀明

フタル酸エステルスクリーニング技術 15
中 慈朗・黒川博志・村岡克生・宮園友利江・中川康幸

マイクロバブル洗浄装置の小型化・
高速化による適用拡大と環境負荷低減 19
増田暁雄・柴田洋平・樋野本宣秀

生産での環境負荷低減(CO₂削減)

銀めっき設備の電化によるCO₂排出量削減 23
竹内健太郎・山口 博・藤田正道・横山政彦

省エネルギー技術を結集した新設計技術棟の建設 27
春日宏之・大田日出夫

節電30%の取組みと見える化による省エネルギー 31
内田博明・清水徳泰

製品での環境社会貢献のコア技術

再生可能エネルギーの系統接続技術 35
小島康弘・高野富裕・泉井良夫

SiCパワー半導体ガリードする省エネルギー 39
佐藤克己・山田順治

モータの高効率化と適用拡大による環境負荷低減 43
大穀晃裕

宇宙システムの環境課題への貢献 47
迎 久幸・野口龍宏・辻 雅生・小畑俊裕

高濃度オゾンによる水環境浄化 51
安永 望・山内登起子・古川誠司

Aiming to Achieve a Higher Level of Environmental Management

Revolution of Concept for Environmental Management
Takeshi Mizuguchi

Aiming to Achieve a Higher Level of Environmental Management
Tomohiko Nambara

Power Saving for Electricity Demand and Supply Balance
Akiko Toyokuni, Kenji Suzuki

Waste Management Strengthening by "Clean Information Systems"
Hideaki Okui

Screening Method of Phthalate Esters
Jiro Naka, Hiroshi Kurokawa, Katsunari Muraoka, Yurie Miyazono, Yasuyuki Nakagawa

Broadly-applicable Non-chemical Cleaning Technology by Utilizing Microbubble
Akio Masuda, Yohei Shibata, Nobuhide Hinomoto

Reduction of CO₂ Emissions by Electrification of Silver-plating Equipment
Kentaro Takeuchi, Hiroshi Yamaguchi, Takamichi Fujita, Masahiko Yokoyama

Construction of Office Building Concentrated on Energy-saving Technologies
Hiroyuki Kasuga, Hideo Ota

Wrestle with Power Saving for 30% and Energy Saving by Visualization
Hiroaki Uchida, Noriyasu Shimizu

Technologies for Renewable Energy Resources to Grid Connection
Yasuhiro Kojima, Tomihiro Takano, Yoshio Izui

SiC Power Semiconductor Technologies Catering for Energy Saving
Katsumi Sato, Junji Yamada

Environmental Load-reduction by High Efficiency Motors and Expanding Motor Applications
Akihiro Daikoku

Contribution of Space Systems to Environmental Affairs
Hisayuki Mukae, Tatsuhiro Noguchi, Masao Tsuji, Toshihiro Obata

Purification of Water Environment by Higher Concentration Ozone
Nozomu Yasunaga, Tokiko Yamauchi, Seiji Furukawa

特許と新案

「プラスチックの選別方法及び選別装置」

「列車情報管理装置および機器制御方法」 55

「開閉装置」「ガス絶縁開閉装置」 56

三菱電機技報88巻総目次 57

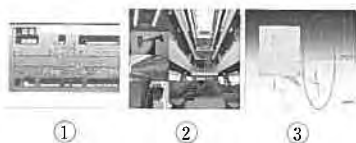
スポットライト

リニューアル専用エレベーター“Elemotion”

表紙：もう一段高いレベルの環境経営を目指す取組み

三菱電機グループは“豊かな社会構築に貢献するグローバル環境先進企業”として“もう一段高いレベル”の環境経営による新しい発展を目指す。本号は“環境ビジョン2021”発表後の環境経営コンセプトの成熟・深化の説明及び、①環境管理の技術的進展、②生産での環境負荷低減(CO₂削減)、③製品での環境社会貢献のコア技術の3つの側面から最新の取組みを述べる。

①は再生可能エネルギーと既存の電力網とをつなぐ当社尼崎地区での実証実験の系統図である。需給制御、配電制御の開発成果を紹介する。②は生産時のCO₂排出量削減のために、最新の省エネルギー技術を結集しCASBEE福岡で最高ランクSを取得した新設計技術棟である。③は欧州で新たに製品への含有が禁止されるフタル酸のFT-IRスペクトルによる検出・識別原理を示す。



巻/頭/言

環境経営概念の革新

Revolution of Concept for Environmental Management

水口 剛
Takeshi Mizuguchi



環境経営の考え方は時とともに変化してきた。では、もう一段上の環境経営とは何だろうか。

かつて環境経営と言えば、環境に“配慮”した経営を意味した。例えば生産工程でのCO₂の削減や化学物質の適正管理などにPDCA (Plan Do Check Action) で取り組む環境マネジメントシステムのイメージである。それは、生産効率の改善やリスク低減で利益に貢献すると考えられた。やがてこの考え方は、原材料の調達や製品の使用・廃棄時の環境影響へと視野を広げた。サプライチェーンへの拡大である。

その後さらにこの概念は発展し、今では単に配慮するだけでなく、事業活動を通じて社会的課題の解決に“貢献”することだと言われるようになった。“守りのCSR (Corporate Social Responsibility)”から“攻めのCSR”と言われたり、共有価値の創造 (CSV) と呼ばれたりする考え方もこれに近い。社会的課題への取組みを企業価値につなげようというのである。だが、この考え方はまだ既存の企業価値モデルに縛られている。これに対して投資と企業報告の分野では、その先を行く考え方が提唱され始めた。

2013年12月、国際統合報告評議会 (IIRC) が統合報告の国際フレームワークを公表した。統合報告という、既存のアンニュアルレポートとCSR報告書を1冊にまとめること、せいぜい社会的課題をいかに事業に結び付けるかというCSV的な報告をすることと考えるのが一般的である。だがIIRCは、フレームワークの中で資本の概念を拡張し、価値概念も拡張することを提案した。資本と言えは通常は株主・債権者からの財務的資本を考えるが、企業活動はそれだけでなく、人的資本や社会・関係資本など多様な資本に支えられている。そしてそれらいずれの資本であっても、それを増やせば価値の蓄積であり、減らせば価値の毀損になるというのである。

その中でも最も重要なのが自然資本である。自然資本がすべての経済活動の基盤だから、というだけではない。今明らかに人間の経済活動の規模が、地球に元々備わっているCO₂の吸収能力や資源の再生能力、つまりは地球の環境容量を超えてしまったからである。金余りと言われるように、財務的資本が余って行き場を失う一方で、自然資本の相対的希少性が高まった。経済全体で見て財務的資本が余っ

ているのに人々の意識が金に縛られ格差が広がるのは、適切な分配の仕組みを見つけれずにいるからで、この点は別の課題だが、資本の相対的重要性が変わった以上、経済を駆動する原理も変わらなければならない。企業価値を頂点にしてほかの資本をそのための手段と位置付ける価値モデルからの転換である。

それでは、自然資本を中核に据えた、新たな環境経営とはどのようなものだろうか。それは、気候変動や生物多様性の減少などの社会的課題の解決が単に“貢献”の対象ではなく、それ自体を“目的”と捉える経営ではないか。同時に、そういった課題への取組みについて、単なるアウトプットではなく、アウトカムを重視する経営でもある。

例えば、技術力のある日本企業ならば、数ある技術開発テーマの中から環境問題の改善に貢献する成果をみつけろって報告することは簡単なことだろう。だがそれは単にアウトプットの紹介にすぎない。その技術が実際にどれほど採用され、結果としてどれほどの改善をもたらしたのか。それが、アウトカムである。仮に平均気温の上昇を2度以内に抑えたとすれば、先進国は2050年までに温室効果ガスの排出を8割から9割減らさなければならない。その実現のために自社に求められるアウトカムはどの程度か。サプライチェーンも含めた自社の事業活動が経済全体の中で占める比率を考えれば、自社が引き受けるべき責任が明らかになるだろう。このようにして決まる“すべきこと”と、実際に“できること”とのギャップを埋めるために何をするかが問われる時代なのである。

“それで企業が存続できるのか”との問いには、こう答えない。その成果をもって、投資家と対話し、説得してほしい。自然資本の価値をこれだけ守ったのだから、責任ある投資家は、きちんとこれを評価し、長期投資でわが社を支えるべきだと。今年2月、金融庁がスチュワードシップ・コード^(注1)の公表を通じて機関投資家に実施を求めたエンゲージメントとは、“双方向”の対話なのだから。

(注1) 年金や運用機関などは、人々の資金を預かる責任ある機関投資家として、投資先企業との対話(エンゲージメント)を通じて投資価値の向上を図るべきだとする原則。イギリスのスチュワードシップ・コードをモデルに策定され、2014年6月時点で127の金融機関等が受入れを表明した。



南原智彦*

もう一段高いレベルの環境経営

Aiming to Achieve a Higher Level of Environmental Management

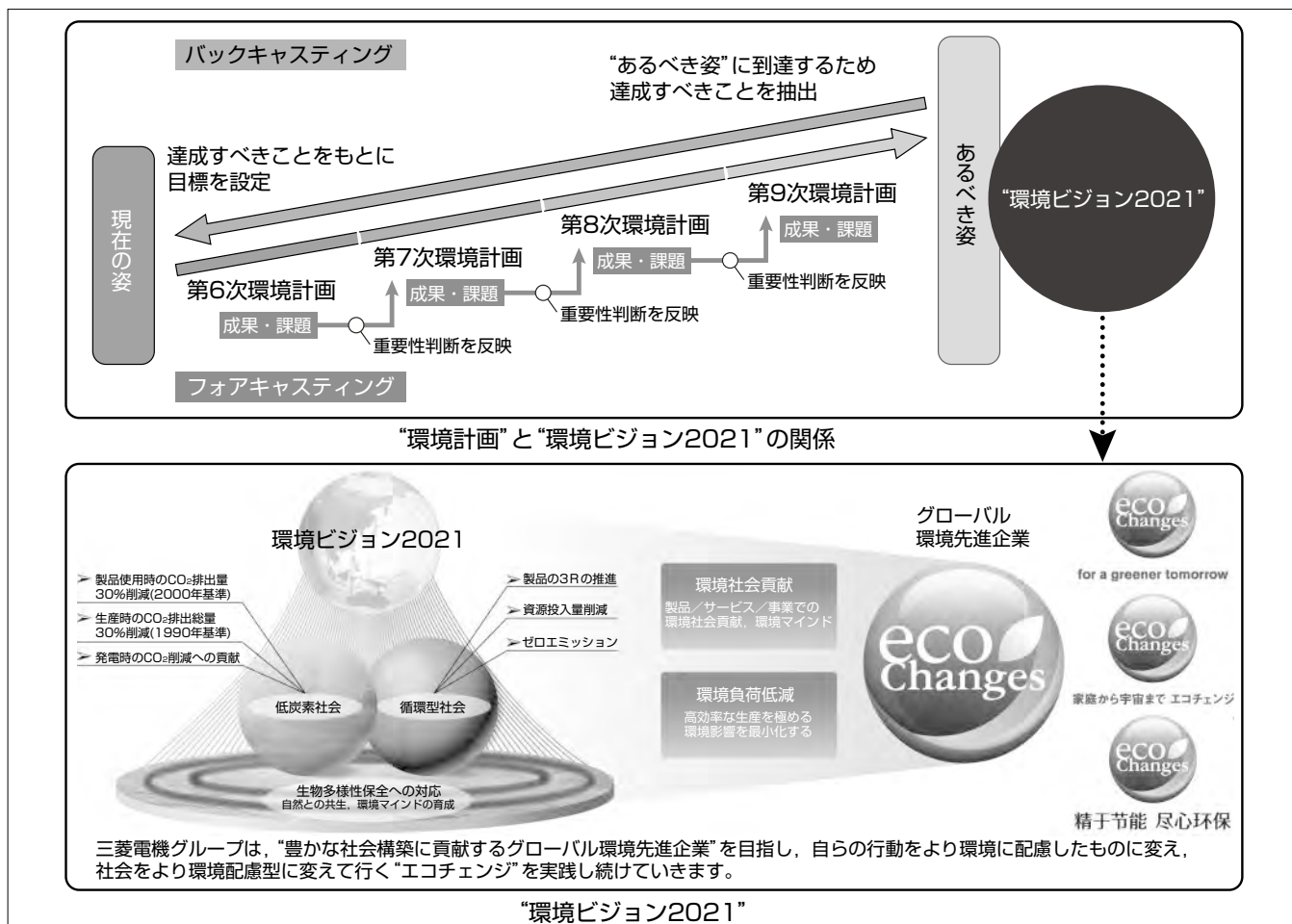
Tomohiko Nambara

要 旨

三菱電機創立100周年となる2021年を目標年とし、2007年に発表した当社環境経営の長期ビジョン“環境ビジョン2021”に基づく活動期間も、6年間の実践を経て折り返し地点にきている。この間、環境経営は精力的に進められ、方法論的にも“成熟”した。長期ビジョンによるバックキャストイングに加え、中期計画である環境計画で成果と課題を確認し、その時々を経済社会状況を踏まえた現実的取組みに落とし込むフォアキャストイングの過程が位置付けられたこと、環境経営に関するトップコミットメントが有効に機能していること、当社独自の事業本部ごとのトップコミットメントも活用するようになったことなどが挙げられる。

企業の持続可能性に関する要求の世界的な標準化を受け、当社の環境経営の重要事項を“低炭素社会の実現への貢献”と特定した。エネルギー効率の高い製品・サービスの開発と提供による寄与が支配的で、当社の使命であると捉えている。生産時のCO₂削減活動も成熟し、生産ラインの改善、ユーティリティ機器の高効率化、太陽光発電の積極的導入、広域にわたる集中デマンド監視などが定着した。この成果を再び製品・サービスに反映し、社会還元を図っている。

今後は、増加する海外での開発・生産における、守りと攻め双方での質的に新たな課題にも取り組みながら、循環型社会形成の側面でも当社の持つ独自技術や事業によって貢献し、次なる長期展望を構想する所存である。



当社環境経営のコンセプトと重要性判断のプロセス

図の下半分は当社の環境経営の長期ビジョンである“環境ビジョン2021”と、“環境社会貢献”“環境負荷削減”という2つの活動エッセンス、及び“豊かな社会構築に貢献するグローバル環境先進企業”というあるべき姿からなる環境経営のコンセプトである。図の上半分は、環境経営を進めるに当たり、長期ビジョンによるバックキャストと、中期計画である環境計画策定における重要性判断を伴うフォアキャストを示す。

1. ま え が き

当社が環境経営の長期ビジョンである“環境ビジョン2021”を制定したのは2007年である。当社創立100周年である2021年は目前であり、追い込みのステージに入っている。当社は3年ごとに中期計画である“環境計画”を策定しており、環境ビジョン2021に基づく環境計画は第6次～第9次迄の4計画が想定されている。本稿の執筆時点である2014年度は第7次環境計画の最終年度であり、環境ビジョン2021の活動期間としては丁度折り返し地点に当たる。現在、次年度から活動開始となる第8次環境計画を策定中である。

三菱電機技報2011年12月号で、“グローバル環境先進企業への環境経営”と題して前環境推進本部長が当社の環境経営のコンセプトと特徴について整理した⁽¹⁾。筆者は同職を2012年4月から引き継いで環境経営の戦略作りと施策の執行に当たってきた。この約3年間は、一言でその特徴を述べると環境ビジョン2021の“成熟”の期間であったと言えよう。

本稿では、この“成熟”について当社グループ環境経営上の最重要課題と特定した“低炭素社会の実現への貢献”を中心に振り返り、次期環境計画に向けてもう一段高いレベルの環境経営とは何かを考察する。

2. 環境経営コンセプトの成熟

2.1 コンセプト

最初に、環境経営のコンセプト図におけるメッセージの成熟について述べる。

要旨に掲載の図は、2014年6月末に公開した環境経営の概念図である。下半分を占める環境経営のコンセプトを示す図は、三菱電機技報2011年12月号掲載の論文⁽¹⁾の時点とほぼ同じ内容であるが、これに加筆し1つのメッセージを込めている。2011年の段階では活動のエッセンスとして“体質強化”と“社会貢献”を上下に示していたが、現段階ではそれらは“環境社会貢献”“環境負荷低減”へと表現を変え、上下の位置関係を逆転させた。

この修正は、製品・サービスによる社会における環境負荷低減が、環境経営課題として重要な度を増していることを示すための変更である。

“製造業は環境負荷の極小化を追求し、資源・エネルギーの消費を最低限に抑えて製品・サービスを提供すべきである”という考え方は、かつて公害の元凶となった製造業における環境経営の認識としては最も基本的かつ重要なもの

であり、そのことに疑いの余地はない。しかし、1990年代から本格化した企業の環境経営の実践や、環境関連法規制及び規格類の整備などの社会的実践によって、製造過程そのものによる環境負荷の削減は企業の内部で継続的に追求され、それに対する社会的監視も効果的に維持されるようになった。これに対し、上質の製品・サービスが地球全体の環境負荷低減のためには重要で、効果が大きいという認識はそれほど広がっておらず、それが一般社会で確固たる位置を得るまでには至っていない。

喫緊の問題として政治課題にまで上って取り組まれている“地球温暖化”抑制への寄与と“低炭素社会”の実現に関しては、電機・電子業界では製造過程そのものの排出削減効果よりも、世界中で使用される様々な電機・電子機器類がいかんしてエネルギー消費を抑え、温室効果ガスの排出を抑制するかという“抑制量”の効果の方がはるかに大きい。例えば当社では2013年度に計測・推定した実績ベースで、生産時の排出に対して製品・サービス使用時の排出は45倍を超えている(表1)。したがって、電機・電子機器のエネルギー効率を高くすることは、当社のように幅広い製品を開発・製造し提供する企業にとってはまさに使命であり、環境経営がビジネスモデルとして明確に実現する側面であるといえる。

なお、当社は、特定の製品・サービスによる環境貢献を狙うのではなく、当社グループが提供する全ての製品・サービスによって低炭素社会の構築に向けた貢献を追求するというスタンスを採用している。

2.2 重要性判断の過程の位置付け

次に、外部からの新しい要求に合わせ、環境経営の説明に重要性判断の過程を位置付けた点を述べる。

企業における環境経営の定着とともに、企業に対して要求される説明責任の内容も成熟してきている。2010年11月に国際規格ISO26000(社会的責任に関する手引)が発行され、2013年5月にはUNEP(国連環境計画)公認の非営利団体

表1. 当社グループのバリューチェーンでの温室効果ガス排出量(2013年度)

スコープ		排出量	算定概要
スコープ1 自社での燃料使用に伴う直接排出		37万トン	ガス、重油などの使用、製品製造に伴うCO ₂ 、SF ₆ 、PFC、HFC排出量
スコープ2 外部から購入した電力や熱の使用に伴う間接排出		82万トン	電力などの使用に伴うCO ₂ 排出量
		5,459万トン	
スコープ3 自社の事業活動範囲外での間接的排出	カテゴリ4 購入した物流サービス	41万トン	製品の物流・流通(販売物流)に伴うCO ₂ 排出量 [対象] 製造拠点55社 (当社、国内関係会社33社、海外関係会社21社)
	カテゴリ5 事業から出る廃棄物	0.06万トン	廃棄物の輸送(廃棄物物流)に伴うCO ₂ 排出量 [対象] 当社
	カテゴリ11 販売した製品の使用に伴う排出	5,418万トン	販売した製品の使用に伴うCO ₂ 排出量 (SF ₆ の漏れ量のCO ₂ 換算値も含む) [対象] 製品使用時CO ₂ 削減対象の最終製品97製品

PFC：パーフルオロカーボン、HFC：ハイドロフルオロカーボン

GRI(Global Reporting Initiative)の発行するサステナビリティ レポートガイドラインの最新版(第四版: G4)が発行されるなど、これまでの各企業の実践を踏まえて、組織の環境配慮をより効果的に説明させる枠組みが相次いで公表された。

これらは企業が経済的成長を図るビジネスモデルの中で、同時に社会や環境という価値の増進を図ることを意図している。その手続きとして“重要性判断の内容と手続き(何があるのか)の重要な側面となるのか”の明確化がある。“重要”か否かを判断するに当たっては企業存続と公益増進との両面が考慮されていなければならない。

そこで当社ではこの考え方に沿い、当社グループの年次の環境報告の中に“環境経営の重要課題”というページを2014年度から新設した⁽²⁾。その中でまず、3年ごとの中期計画である環境計画を“低炭素社会への貢献”“循環型社会形成への貢献”及び“生物多様性保全・環境マインド醸成”を3つの柱とする“環境ビジョン2021”の実現に向けたバックカスティングと、前環境計画の進捗(成果・課題)を踏まえたフォアカスティングの両方から設定し、この過程で“社会にとっての重要性”と“三菱電機グループにとっての重要性”とを判断していると説明した。

続いて重要性判断の結果を示した。すなわち、当社グループが数値目標を伴う管理項目を設定しているのは、“生産時CO₂の削減”“生産時のCO₂以外の温室効果ガスの削減”“廃棄物最終処分率ゼロに向けた取組み”“製品使用時CO₂削減”“製品への資源投入量削減”であり、これら5つの項目は、経営の視点と環境影響度の視点から定めたことを説明した。そして、これらのうち、気候変動への影響の抑制に関わる生産及び製品・サービスでのCO₂排出量の削減は、当社の事業活動上、重要度・頻度ともに優先度が高い指標と考えている点も説明した。

2.3 バックカスティングとフォアカスティングの組合せ

重要性判断の過程の明確化に当たり、改めて整理したのは、2.2節で触れた“バックカスティングとフォアカスティングの組合せ”の概念である。2011年の論文⁽¹⁾では環境ビジョン2021によるバックカスティングの環境計画策定過程への導入を当社の特徴として述べ、考察で環境経営を積極的に推し進めるに当たっての長期ビジョンの必要性を述べた。これに対し、現時点での捉え方は、第6次、第7次環境計画による約6年間の実践を経て、若干の変更を加えた形になる。すなわち、環境計画策定過程におけるフォアカスティングの位置付けと役割を明確にした。

2014年度に改訂した長期ビジョンと中期ビジョンとの関係図を本稿の要旨の図に示した。ここで、先に述べた“重要性判断”は“フォアカスティング”の活動要素である。環境経営で環境資源の増進をビジネスモデルとして進めるには、長期計画策定過程より、実践的である中期計画の策

定過程に位置付ける方が適切であると考えられる。現在進行中の中期計画の成果と課題を確認し次期計画を立てるため、よりビジネス状況に則した実現を図ることが可能となる。

2.4 トップマネジメントの強化

当社環境経営のもう1つの成熟ポイントとして挙げられるのは、トップマネジメントの強化である。当社の環境活動はどちらかというと各製作所に強い主体性のあるボトムアップ型で構成され、現在でもその構造は維持されている。第6次、第7次環境計画中にトップマネジメントとしての環境経営も充実し、強化されてきており、そのことに関するいくつかのポイントを次に述べる。

2.4.1 環境ビジョン2021の策定を契機とする変化

バックカスティング導入の端緒になった“環境ビジョン2021”は、地球温暖化への問題意識が政治課題化した2008年のG8洞爺湖サミットを目前にした時期、自社グループの環境活動を一言で説明できるようにする必要があるという社長自らの判断があり、策定された。この策定を契機に、様々な局面で社長による環境経営方針の説明が内外に向けられるようになった。

それまで環境担当執行役名で定められていた環境方針に加え、社長名の“三菱電機グループ環境方針”を2009年に策定し、社外にも公開した。

環境活動の社外向け年次報告である“環境報告”で、2008年から社長メッセージを掲載するようになった(それ以前は、環境担当執行役のメッセージを掲載)。同時に、社内向けには6月の環境月間メッセージとして社長メッセージを周知するようになった。

これらのメッセージは形式的なものではなく、実際に社長の言葉で語った環境経営への認識及び意思を伝えることを重視して作成している。例えば、先に述べた“全ての製品・サービスで環境貢献を進める”という当社グループのスタンスは、前社長が最初に明確にした意思であり、その後グループ全体での製品・サービスにおける環境活動を一体感を持って推進できる基本的な拠り所となった。現社長にもそのスタンスが引き継がれている。

これら環境経営の社長メッセージは、環境経営がトップの深い関与のもとに行われていることを内外に印象付けるとともに、次節で述べるように、グループ環境マネジメントシステムのトップダウンのプロセス、又は統制力を強化することにも寄与していく。

2.4.2 “事業での環境貢献”―事業本部ごとの説明―

事業活動によって効用の増進と環境貢献とが同時に求められる現代社会の動向に鑑み、当社グループでその充実を進め、外部への説明責任を効果的に果たすために、新たな説明枠組みを提案した。それが“事業での環境貢献”⁽³⁾⁽⁴⁾である。

当社グループは10のプロフィットセンターから成る事業

本部制を採用している。その10の事業本部ごとに、環境経営の“重要性判断”を説明し、“トップコミットメント”を行うというのが、この企画である(図1)。

通常は重要性判断等に関しては、当該企業グループ全体としてのトップコミットメントと判断が説明され、G4でも戦略記述は簡潔に行うことが推奨されている。

しかし、当社グループの場合、2011年の論文⁽¹⁾でも述べたように環境管理・推進の組織が完全に職制組織と一致した統合的運営を行っているため、環境に関するガバナンスも事業本部ごとに責任を分担する。そして、当社グループの事業範囲は自ら“家庭から宇宙まで”と標榜(ひょうぼう)するように非常に幅広くバリエーションに富み、それぞれの事業と環境との関連も一様ではない。事業本部が職掌する事業範囲ごとに、サプライチェーン構造も顧客構造も、生産戦略も異なり、リスクや機会の規模も違う。こうした背景から、事業と環境に関する戦略や、重要性判断に関し、より一貫した具体的記述を行うために、事業本部ごとに戦略や分析を説明するこの当社独自の企画を2013年度からスタートさせた。

この企画は対外的説明の充実化という意図もさることながら、内部的な環境経営の意識向上の効果を狙っている。各事業本部のトップが対外的な説明責任を明示的に担うことで、事業と環境との関係がより明確になり事業本部の内部における自覚が深まることや、各事業本部による環境負荷低減の効果の説明が事業上の直接のメリットにつながることを意図している。



図1. 事業での環境貢献⁽³⁾

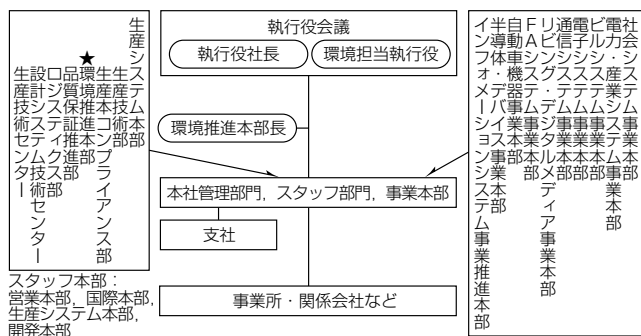


図2. 当社グループの環境マネジメント推進体制

3. 生産時CO₂削減の成熟

当社グループの環境への取組みの推進事務局である環境推進本部は、生産システム本部という“ものづくり”支援のスタッフ部門の中に組織化されており(図2)、資源やエネルギーを極力使用しない効率のよい生産を実現するという側面を推進することに活動の重点を置いてきた。その中心が“生産時CO₂の排出削減”である(図3)。

三菱電機技報2009年10月号の論文⁽⁵⁾でも述べたように、第6次環境計画で提示した活動の枠組みは“生産ライン改善”と“ユーティリティ機器の高効率化”である。そして“生産ライン改善”では、高効率機器への置き換え、インバータ化、装置動作条件の見直しなどの生産性向上施策に加え、直行率改善によるスループット向上、稼働率向上、リードタイム短縮などの改善を推進し、エネルギー起源のCO₂排出量の削減を進めてきた。後者は、生産システム本部が積極的に推し進めるものづくりの現場での継続的な無駄撲滅の活動である“Just In Time改善活動”の土壌によって深められ、当社グループ全体で展開が加速された。

“ユーティリティ機器”とは空調や照明、ボイラ、コンプレッサ、受変電設備などを指し、生産現場内で共通的に利用される機器である。これらの高効率化は製品開発として当社内で積極的に推進され、自社内での活用はもとより、社外にも供給し、ビジネス展開している。

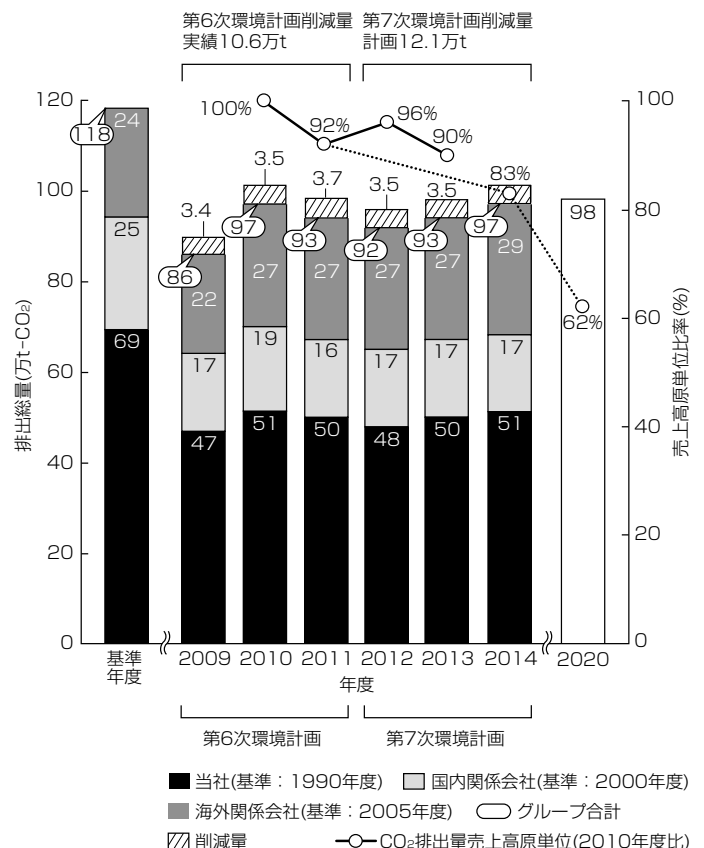


図3. 生産時CO₂排出量の削減計画と実績

ところで、第6次、第7次環境計画期間中のCO₂排出と削減活動の実績を示すグラフからは、この期間の“売上高原単位”の揺れを見てとることができる。長期計画である環境ビジョン2021では温室効果ガス削減の目標を排出量の絶対値として1990年度比30%削減を掲げているが、それを維持しつつ、中期の実行計画である第7次環境計画では、売上高原単位での目標設定を行い、指標管理に取り組んだ。これは、第6次計画中に経験した2008年のリーマンショックによる経済状況の悪化に起因する対応策で、生産規模の大きな変化に影響されずCO₂削減の努力が正当に評価され、活動が維持されることを狙ったものである。

しかし、第7次環境計画の初年度における原単位実績は計画には届かず、悪化した。その大きな原因は主として半導体部門の売上高減少であった。理想的には生産の規模に応じてラインの稼働も縮小し、エネルギー消費に伴うCO₂排出は減ると思われがちであるが、実際には半導体の製造ラインにおけるエネルギー消費の固定分が規模に応じて柔軟に変化させにくいという特性を持っているため、活動による削減が例年並みを堅持したにもかかわらず原単位は悪化したのである。その後、2014年度に向け生産規模が回復して各種経営指標が上向く中、原単位の改善が順調に進められているのが現状であるが、原単位管理と活動の正当な評価の関係は一筋縄ではいかないことを実感した。結局、適正な活動の維持と、実際の削減の実現のためには、原単位と総量の双方を活用して管理していく必要があると考えている。

なお、2011年の東日本大震災に伴う電力の供給不足を契機に、太陽光発電の計画的積極的な導入と、ピーク電力抑制のための当社グループ複数拠点での共同デマンド管理を進めた。当社のエネルギー管理システムによって実現しているデマンド管理は、今般のピーク電力平準化のための省エネ法改正(2013年5月)への対応にも応用する予定である(本特集号の論文“電力需給バランスを考慮した節電対策”p7を参照)。

4. む す び

2013年度、当社はグループ連結で初の売上高4兆円を達成した。2014年度は新体制が始まり、これまでの経営戦略を継続しつつ、もう一段高いレベルの成長を目指す姿勢が表明された。これに対応する“もう一段高いレベルの環境経営”とは、第6次、第7次の環境計画中に培った、成長戦略と製品による社会の環境負荷削減への貢献との更なる一体化であると考えている。また、その効果の説明に当たっては、情報開示過程の正確性、透明性を高めるとともに、グローバルレベルでの現実の環境負荷低減へ寄与するため、

CO₂以外の温室効果ガス全体の削減と合わせた効果の把握や、原子力発電の稼働状況低下によって大きく悪化した電気事業者の排出係数による影響把握など、社会の関心に直接応えられる管理の導入も検討する必要がある。

成長を図るに当たり海外での開発、製造も拡大することが予定されている。温室効果ガス削減でも、資源の有効活用や廃棄物の適正管理でも、日本国内の環境経営で達成されているクオリティで海外での環境負荷低減を実践できるまでには、様々な障壁がある。現地の事情や社会の実態に合わせながら、教育による人材育成を進め、引き続きその追求を進めていく所存である。近年注目度の高い水リスクや生態系サービスの毀損への配慮も、より高度な対応が必要になる。エネルギー効率、資源効率の高い製品を、海外の現地の価格ニーズや文化的ニーズの中で実現していくために、これまでとは質の異なる新たな製品開発力を身につけることも重要な課題になる。

本稿は“低炭素社会の実現”を中心に述べたが、当社が“循環型社会の形成”に向けて事業として実現している大規模・高純度プラスチックリサイクルの取り組みや、マイクロバブル洗浄装置やオゾナイザなど環境負荷の少ない水の有効活用システムは、社会基盤となるまで当社グループ全体で育てるべきものと考えている。

第8次、第9次の環境計画では、これまでの環境経営の成熟の成果の上に、このような各側面での新たな課題にも取り組み、社会に真に必要なとされる持続可能な企業を目指す。そして、バックキャスティングとフォアキャスティング双方での環境経営の推進力を次世代でも得るため、次なる長期計画も構想する所存である。

参 考 文 献

- (1) 山下光二：“グローバル環境先進企業”への環境経営，三菱電機技報，**85**，No.12，668～674（2011）
- (2) 環境経営の重要課題，三菱電機オフィシャルWebサイト（2014）
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/eco/subject/index.html>
- (3) 事業での環境貢献，三菱電機オフィシャルWebサイト（2014）
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/environment/business/index.html>
- (4) 事業での環境貢献，三菱電機グループ環境行動レポート2013，3～7（2013）
- (5) 塩田 久：第6次環境計画と“生産ライン改善”による生産時CO₂削減，三菱電機技報，**83**，No.10，590～594（2009）

電力需給バランスを考慮した節電対策

豊国明子*
鈴木健司**

Power Saving for Electricity Demand and Supply Balance

Akiko Toyokuni, Kenji Suzuki

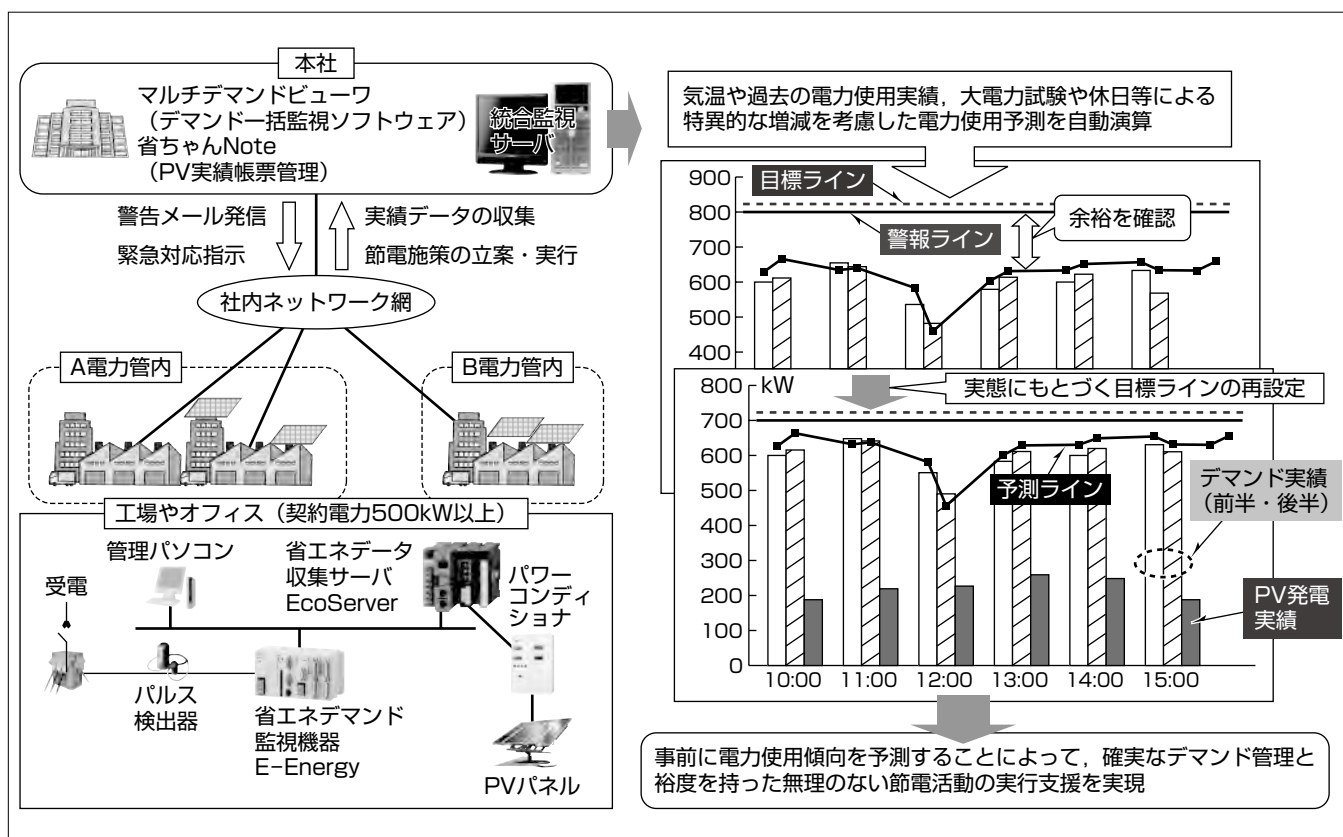
要 旨

東日本大震災の影響によって、日本のエネルギー需給環境は大きく変化した。世の中が深刻な電力不足に直面した2011年以降、従来の“量や効率を指標とする省エネルギー”とともに、“電力需給バランスを意識したエネルギー管理（需要が集中する時間帯のピーク電力の抑制と平準化）”が求められるようになった。

2013年以降は、一時の緊急事態は回避されたように見えるが、日本のエネルギー政策は大きな変革期を迎えており、事業者が節電・省エネルギーに努めなければならないことには変わりはない。2013年5月改正の省エネ法でも、“電気需要の平準化”に関する措置として、季節・時間帯での電気需要の変動を縮小することが追加された。

三菱電機グループは、事業継続と社会的要請に対応するため、2011年の政府による節電要請を契機に、節電対策プロジェクト体制を立ち上げ、“デマンド監視システム”の構築による大口需要家拠点のピーク電力の一括管理、全社横断的な夏季・冬季の節電強化活動を推進してきた。この結果、ピーク電力の抑制とともに節電活動が定着し、契約電力の低減や省エネルギー施策の拡大による効果が生み出され、大幅な電気料金の抑制につながった。

本稿では、これまでの当社グループの節電での取り組みやデマンド監視システムの変遷、成果について述べる。また、改正省エネ法への対応、今後の展開についてもまとめる。



デマンド監視システムを活用した節電活動

事業所（工場、オフィス等）に設定した“E-Energy”及び“EcoServer”で、事業所の需要電力（デマンド）や需要電力量、太陽光発電システム（PV）の発電電力や発電電力量を計測し、社内イントラネット網を通じて、本社の統合監視サーバへ定期的に自動送信する。統合監視サーバで、事業所のデマンドや太陽光発電状況のモニタリングとデマンドの予測を行うことによって、適切な節電要請指示や節電目標管理に役立てる。

1. ま え が き

2011年の大震災をきっかけに、日本のエネルギー政策は根幹から見直されることになり、地球温暖化防止と化石燃料使用抑制のための従来型省エネルギーに加え、電力需給バランスに配慮した節電（ピーク電力の抑制）が格段に重要視されるようになった。

本稿では、当社が精力的に取り組んできた節電への取り組みや成果を述べ、ピーク電力の抑制が法規制化された改正省エネ法への対応について考察する。

2. 当社グループの節電対策

2.1 過去3年間の動向と実績

2.1.1 2011年夏季

2011年3月の原子力発電所の被災や停止によって、東北電力・東京電力管内は危機的な電力不足に見舞われ、電力需要が集中する2011年夏季には、電気事業法27条における電力使用制限令が発動される事態となった。制限令では、両電力管内の契約電力500kW以上の大口需要家は、2011年の7～9月の平日昼間の最大使用電力を2010年同時期・同時時間帯に比して、15%削減することが義務付けられた。

これに対し、当社はいち早く対策本部を設置し、経団連（一般社団法人日本経済団体連合会）が発表した、政府要請の15%よりも更に厳しい25%削減を目標に掲げて、あらゆる節電対策を講じた。単独での削減目標達成が困難な事業所もあったため、制限令で定める“共同スキーム（同一電力管内の複数拠点共同でのピーク電力抑制）”を採用した。

大口需要家拠点の需要電力を集中管理する“デマンド監視システム”を構築し、両電力管内にある全18事業所の需要電力を本社で常時監視した。2010年度の最大使用電力の75%を各事業所及び電力管内共同の使用電力の上限値（目標デマンド）とした。このシステムは、使用電力（デマンド）が目標デマンドの値に近づくと警告メールを自動発信する仕組みで、これによって最大需要電力（ピーク電力）の超過を水際で食い止めることに成功した。

各事業所では、空調・照明等の使用抑制、高効率機器への更新加速、業務エリアの集約、生産設備の稼働時間変更、休日夜間への操業シフト、自家／非常用発電・太陽光発電システム（PV）の稼働等の打てる限りの対策を実施した。この結果、東京電力管内で27.6%、東北電力管内は被災の影響もあり47.9%のピーク電力の削減となり、目標を達成した（表1）。

2.1.2 2011年冬季

福島第1原発被災以降、全国の前発は、定期点検で停止した後、再稼働は非常に困難な状況となり、電力不足は全国的な広がりを見せ始めた。夏季の経験から東京電力・東北電力管内は供給力確保や利用者の節電が進み、冬季節電の数値目標は回避されたが、関西電力・九州電力ともに大

表1. 電力管内別のピーク電力削減目標と実績

節電期間	政府の要請 (2010年ピーク比)	当社の目標 (2010年ピーク比)	当社の実績 (2010年ピーク比)
2011夏季	東京 15% 東北 15%	東京 25% 東北 25%	東京 27.6% 東北 47.9%
2011冬季	関西 10% 九州 5%	関西 10% 九州 5%	関西 14.9% 九州 10.4%
2012夏季	関西 15%→10%** 九州 10%→10%** 四国 7%→5%** 北海道 7%→7%** 中部・中国 5%→なし**	60Hz合同で10% (関西・九州・四国) 北海道 7% その他 3%	60Hz合同で13.7% (関西13.7%、九州11%、 四国5%) 北海道(小口のみ) 10% その他 目標以上

* 節電期間開始(7月2日時点)の目標 ** 7月26日以降の最終目標

幅な電力不足に陥ることが判明した。政府から関西電力・九州電力管内に対し、法による拘束力はないものの、2010年冬季の同月比でそれぞれ10%、5%の節電要請が発表された。

これを受けて、当社は、デマンド監視システムの監視対象を関西電力・九州電力管内にも拡大した。関西電力管内の事業所では、1,000kW以上の電力を一度に使用する大電力試験がピーク電力を左右する主要因であったため、東京電力・東北電力管内で夏季に行ったような節電施策に加え、事業所間で連携を取り需要電力のピークが集中しないよう大電力試験の休日・夜間等への時間調整を行った。九州電力管内は、半導体製造拠点多く、クリーンルームの終日稼働によって電力のピーク変動が少ないため、総合的な省エネルギー施策をより強化した。

この結果、冬季も両電力管内ともに目標をクリアし（表1）、小口拠点を含めても目標以上の削減を実現した。

2.1.3 2012年夏季

2012年夏季は、北海道・関西・九州・四国で、再び政府による数値目標を伴う節電要請がなされた。

当社では、全国の事業所で節電に取り組んだが、さらに関西・四国・九州の3電力管内を1グループ（60Hz共同運用）とした目標を設定し、対応に注力した。また、デマンド監視システムの機能を拡張し、全国の大口拠点68事業所のデマンド監視だけでなく、PV発電量の自動収集や、デマンド予測の表示ができるように改良・整備した。

60Hz共同運用を行うことで、電力管内間のピーク日時のずれや余裕分を共有できるメリットが表れ、発動発電機の使用や無理無駄な節電を抑制し、共同目標10%以上に対し13.7%の削減で目標達成となった（表1）。

2.1.4 2012年冬季以降

2012年冬季以降は、冬季の北海道電力管内以外、政府から数値目標を伴う節電要請は出ていない、しかし、経済復興傾向の中、原発再稼働の道りは依然厳しく、特に西日本の電力供給力は予備率3%をわずかに上回る程度であり、安定的な電力の供給体制が整っているとは言えない。

また、政府の発表する電力需給の見通しは、2011年以降の節電成果の定着化を前提としている。当社でも、これまで培ってきた節電施策を着実に実行し、新たな施策も加えた節電活動を前年同等に継続することで、政府の要請に対

応することとしている。特に、高効率機器の導入・更新は積極的に行い、省エネルギーや電力値上げコストの抑制を図る。生産活動・業務への配慮から、非常時対策として2011年に実施した節電を目的とした発動発電機の手配、全社施策としての大電力試験の時間調整、就業シフトは行わず、無理のない節電を前提とする。

本稿を執筆している2014年9月現在も夏季節電期間中であるが、2012年冬季以降、当社グループは毎年ほぼ前年度と同等の節電実績を維持している。また、契約電力500kW未満の小口事業所についても2011年冬季から節電実績を取りまとめており、2010年以前と比較し、ピーク電力を10%以上削減している拠点も多い。

2.2 デマンド監視システムの変遷

2.2.1 システム構成

デマンド監視システムは、要旨の図に示すとおり、各事業所の受電点パルス計測器の信号を読み取ることで需要電力を計測する省エネデマンド監視サーバ“E-Energy”，PV発電実績を取得する省エネデータ収集サーバ“EcoServer”（全て当社製）と、本社に設置した統合監視サーバで構成している。統合監視サーバには、デマンドとPVの発電実績を10秒周期で収集・集計する“マルチデマンドビューワ（当社製）”とPV発電実績データの帳票作成を行う“省ちゃんNote（三菱電機エンジニアリング（株）製）”が稼働している。

2.2.2 マルチデマンドビューワの改良

2011年当初、当社製品に、複数拠点の合計デマンドをリアルタイムに統合監視できる仕組みはなく、電力使用制限令の共同スキームによる運用を実現するため、マルチデマンドビューワを開発した。マルチデマンドビューワでは、拠点ごとや複数拠点をまとめたグループ単位での目標管理が可能で、各拠点又はグループ合計のデマンドがあらかじめ設定した目標値に近づくと、画面上の警告表示のほか、メールによる警告を自動発信することができる。

しかし、デマンドは刻々と変化するため、ピーク時に目標に対してどの程度の余裕があるかの事前判断が難しく、余裕があるのに過剰な節電をしてしまう、又は差し迫った状態になって慌てて緊急対策を要請することになるという問題があった。

デマンドの増減傾向は、当日の電気予報値（電力会社が公表する管内合計のピーク電力）と最高気温に依存する傾向があるため、当日のデマンドは、過去に電力管内全体の需要電力や最高気温が近似した日に記録したデマンド実績に類似すると考えられる。また、当社はほとんどの事業所で、PVの発電電力を自社消費しているため、PVの発電効率が低くなると、その分デマンドは増加する。

そこで、マルチデマンドビューワを改良して、当日のデマンド予測ラインと電力使用率、PV実績グラフを表示できるようにし、デマンド実績の帳票作成機能も充実化した。この

システムでは、管内合計のピーク電力、最高気温、曜日等からデマンドの増減傾向が近そうな過去の複数日をデマンドの基準パターンとして登録し、デマンド予測を行う日の各電力会社の電気予報値や各地域の最高気温予報とスケーリングすることによって、当日の予測デマンド値を自動演算する。また、大電力試験の実施や休業日が把握できる場合は、あらかじめそれによる増減分を設定し、該当時間のデマンドを補正する。一方、PVの発電効率は、晴天でも設置地点の雲の影響を受けやすいため、自動演算とは独立させ、PV実績グラフと発電効率表示でデマンド予測に役立てることとした。

この改良によって、事前にデマンドの傾向を視覚的に把握できるようになり、帳票の見やすさ、デマンド集計効率も向上した。事前のデマンド状況の発信や分析、迅速な対処が可能となったため、空調の過度な停止や発電機の予備的な稼働等の行き過ぎた節電要請の抑止、逆に緊急時への備えが盤石なものとなった。

2.2.3 コンポーネントの追加

(1) PV発電実績の帳票作成

マルチデマンドビューワの改良の結果、PVの発電実績も取り込めるようになったが、PV発電実績の一括帳票作成には対応していなかったため、統合監視サーバに省ちゃんNoteを搭載した。これによって、事業所から本社へのPV発電実績の報告をなくし、事業所側の作業負担を減らすことができた。

(2) デマンド及びPV発電実績の社内Webサイト公開

節電意識の向上と定着化を図るため、当日の電力管内別の当社グループのデマンドとPV発電状況を社内Webサイトに公開する自動アップロードツールを制作した。2014年7月から運用を開始し、当社環境推進本部ホームページの節電対策サイトに、毎時（10～18時）更新している。

3. 節電対策の成果

3.1 施策別の節電効果

節電対策の施策別効果（kWの削減効果）を見ると、図1の2013年度夏季実績に示すように設備導入・更新効果が一番大きく、高効率機器の積極的導入は、ピーク抑制にも大きな効果を発揮することが分かる。冬季も、太陽光発電の効果が若干減少するが、ほぼ同じ割合である。高効率機器やPVの導入は、CO₂排出量の削減、電気料金抑制、当社事業の拡大にも貢献するため、今後も積極的に進めていく。

3.2 契約電力の低減による電力コスト削減

事業所では、毎年、契約電力の更新で、前年度の実績を

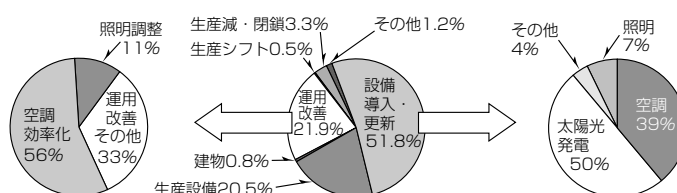


図1. 節電施策の効果(2013年度夏季実績)

見ながら、年間のピーク電力が超えない値に決めるため、節電が定着し、確実にピーク電力が低減できれば、契約電力を下げるができる。電気料金の一部は契約電力に準じて計算されるため、契約電力の低減は電気料金を抑制する効果がある。当社グループは、段階的に契約電力を低減し、2013年は2011年当時と比べ19MWの低減、3.3億円の基本料金抑制となった。これに付随して、買電量も必然的に減少するため、従量部分の削減も含めると、年間約8億円もの電気料金を抑制した算定となった。

4. 改正省エネ法への対応

4.1 改正省エネ法の概要

省エネ法は1979年に制定され、日本の省エネルギー政策の根幹をなすもので、これまでも幾度かの改正があったが、震災を契機に、2013年5月の法改正(2014年4月施行)で“電気需要の平準化”という新たな概念が盛り込まれた。エネルギー使用効率の改善、化石燃料の使用低減といった従来の省エネルギー対策に加え、需要が高まる昼間の需要電力を抑制して平準化することを要求している。

毎年電力需要が高くなる夏季(7～9月)、冬季(12～3月)の8～22時を電気需要の平準化を求める時間帯と定め、“チェンジ”“カット”“シフト”の3つの視点で、ピーク対策を実施することが基本方針である(図2)。

事業者の省エネルギー努力の評価は、改正前の年間エネルギー消費による原単位指標に加え、新たに、ピーク抑制の努力を評価する電気需要平準化評価原単位(以下“平準化原単位”)という。)が定義された。平準化原単位には、ピーク時間帯の節電をより高く評価しようという狙いがあり、ピーク時間帯の需要電力量に評価係数1.3を乗じた上で、比較する。この原単位についても、従来あったエネルギー消費原単位と同様に、年平均1%改善を目指すことが要件である。

4.2 電気需要平準化への対応

平準化原単位は、評価指標1.3を乗じて算出されるため、平準化時間帯の節電努力は、それ以外の時間帯のエネルギー消費を削減するより高く評価される算式となっている。しかし、図3に示すとおり、評価係数は分母と分子にかかることから、平準化時間帯の実際の寄与度は1.3より小さくなり、エネルギー消費原単位と大きく離れたものにならないことが分かる。例えば、ほとんどが昼間操業の場合、平準化原単位式の $e \times 0.3$ の部分は、全エネルギー使用量Eの約17%(7か月/12か月の3割)にしかならず、夜間操業のある事業所では、 $e \times 0.3$ の割合は更に小さくなる。

一般的な試算として、原単位の分母が前年度と同じと仮定し、エネルギー消費原単位が前年度比1%悪化した場合に、平準化原単位だけで1%改善しようとすると、平準化時間帯の電力使用量を少なくとも10%以上削減することが必要な計算となり、非常に厳しい。したがって、改正法が求めるピ

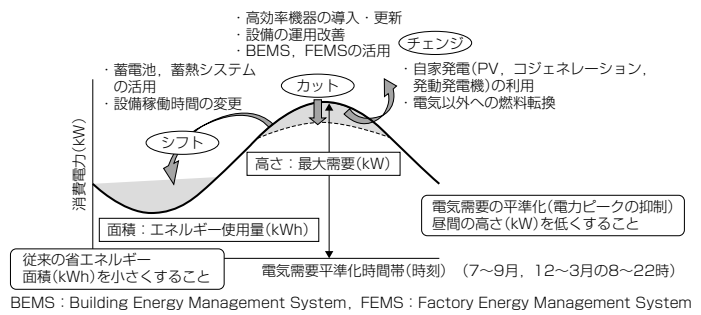


図2. 改正法における電気需要の平準化

実績値	N-1年度	N年度
全エネルギー使用量	E	E'
電気需要平準化時間帯(7～9月、12～3月の8～22時)の電気使用量	e	e'
エネルギーの使用量に密接な関係のある値	S	S'

$\frac{\text{N年度の実績}}{\text{N-1年度の実績}} = \frac{E'}{E}$	$\frac{\text{N年度の実績}}{\text{N-1年度の実績}} = \frac{E' - e' + e' \times 1.3}{E - e + e \times 1.3}$
--	--

図3. 電気需要平準化評価原単位

ーク対策の実施が必要であることは当然だが、これまでどおり、年間通じての量や効率を改善する“エネルギー使用の合理化による省エネルギー”が重要であることに変わりはない。

当社は、法が推奨するピーク抑制策のうち、CO₂排出量の削減が両立する手段を中心に、改正法に対応していく方針である。また、改正法が適用される2015年以降の実績報告に向けた試みとして、2014年度は、デマンド実績やエネルギー使用の見込みから、平準化原単位が昨年度比99%以下となるのに必要なデマンド上限目安を推計して、デマンド監視システムに設定し、達成度と推計方法の妥当性検証を行っている。今後の展開として、電力量(kWh)とピーク電力(kW)の両方の尺度を用い、様々な角度から実績値の分析や予想を継続していく中で、デマンド監視システムを最大限に活用し、改正法の違法管理に役立てていきたい。

5. む す び

2011年からこれまでの当社グループの電力需給状況に照らした節電対策について述べた。

4月に震災後初めての“エネルギー基本計画”が公表されたが、日本のエネルギーの安定供給が軌道に乗るまでには、まだしばらく時間がかかる見込みである。今後も、エネルギー需給動向を見守りながら、電気料金の値上げ影響抑制の観点からも、一層の省エネルギー努力と節電と需要電力の平準化への取組みを推進していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 豊国明子, ほか: デマンド監視システムによる節電対策, 三菱電機技報, 85, No.12, 680～683 (2011)

“クリーン情報システム”による管理強化

奥井秀明*

Waste Management Strengthening by "Clean Information Systems"

Hideaki Okui

要 旨

昨今、産業廃棄物の不法投棄防止、環境汚染防止など“環境リスクの予防と保全”を目的とする法規制が強化されている。三菱電機では、“環境規制への確実な対応”と“環境事故の未然防止”を掲げ、廃棄物を管理する“クリーン情報システム”を、2000年から社内事業所に導入し、マニフェスト発行時の不具合を防止してきた⁽¹⁾。一方、関係会社を含むグループ全体を見ると、記載ミス、漏れ等のマニフェスト管理のヒューマンエラーによる不具合が散見され、契約書管理の不具合を含め監査での廃棄物関係の指摘は、8割を占めていた。そこで、マニフェスト及び契約書における不具合を撲滅するため、クリーン情報システムの機能強化とグループ全体へのシステム適用によって、遵法管理レベルの向上と廃棄物管理業務の効率化を図った。実施内容は、次のとおりである。

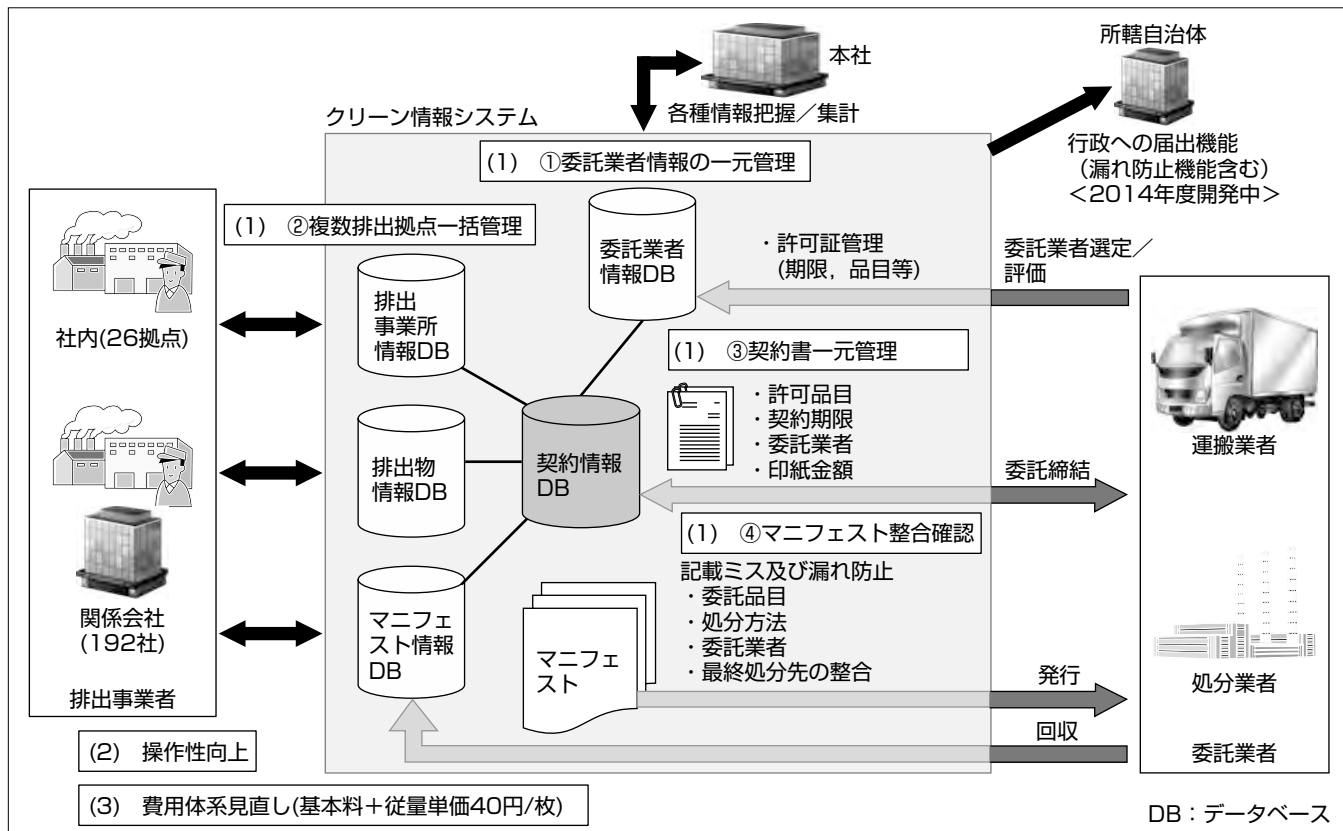
(1) 機能の強化及び追加

- ①委託業者情報の一元管理
- ②複数排出拠点の一括管理
- ③契約書一元管理
- ④マニフェスト整合確認

(2) 警告表示を組み込み、一覧メニュー画面の刷新と操作性向上

(3) 定額から従量制への費用体系見直しによるグループ全体への適用拡大

これによって、契約書及びマニフェストでの不具合の撲滅だけでなく、マニフェスト発行や監査業務等の効率化の効果として、グループ全体で約2,000h/年の削減が見込まれる。なお、今後も、廃棄物管理全般の支援システムとして、更なる強化を図っていく。



クリーン情報システムの機能強化

排出事業者の廃棄物管理を支援する“クリーン情報システム”は、委託業者情報、排出事業者情報、排出物情報、マニフェスト情報の基本情報を新たに追加した契約情報とひも付けすることで遵法チェックされた状態でマニフェストが発行される仕組みとなっている。また、各種情報を本社組織から閲覧及び集計も可能としており、所轄自治体へのマニフェストの実績報告等の届出機能も持っている。

1. ま え が き

1999年の青森・岩手の大規模不法投棄事件等をきっかけに、廃棄物処理法は、幾度となく法改正され厳格化してきた。当社は、2000年に適法対応として監査を強化するとともに廃棄物管理システムである“クリーン情報システム”を開発し、社内の製造拠点に展開してきた。廃棄物処理法で、産業廃棄物は、行政の許可を持つ委託業者に引き渡す際にマニフェストを発行する義務がある。オフィスでも廃棄物が発生することがあるため、全ての業種で廃棄物管理が必要である。産業廃棄物の管理は、廃棄物の保管管理から委託業者の選定と契約締結、マニフェスト発行、行政への届出とあり、それぞれに法で定められた基準がある。それら基準を逸脱すると当事者、法人も含め罰則又は行政指導の対象となり、会社経営に大きな影響を及ぼすことになる。そのため、軽微な不具合も含め適法管理の徹底が必要であり、今回更なる適法管理の強化とグループ全体への適用拡大を図るため、“クリーン情報システム”の機能強化と関係会社への展開を図った。

2. システム機能強化の背景と目的

2.1 廃棄物管理で抱える課題

2.1.1 グループ内の監査状況と課題

1999年の青森・岩手の不法投棄事件から、当社でも廃棄物管理における適法監査を強化してきた。過去の環境推進本部の監査での指摘内容を分析すると、環境全般の半数以上が廃棄物管理であり、そのうちの8割が、契約書及びマニフェスト関連の指摘である。また、製造拠点よりオフィスやサービス拠点の方が、危険物となる薬品等の取扱いがない、届出を要する環境関連設備を持っていない等によって、廃棄物関連の指摘の比率が高い。具体的な指摘内容としては、

(1) 契約書関連

法定記載要件や暴排条項の記載漏れ、契約期限切れ等

(2) マニフェスト関連

発行時の記載漏れ及び記載間違い、最終処分先変更の是非未実施等

(3) その他

行政への定期報告漏れ、代表者変更届出漏れ等がある。これらは、委託業者任せや廃棄物処理法に関する理解不足によるものであり、管理体制や人材が充足している製造拠点より、特にオフィス及びサービス関連の関係会社に多く散見される。契約書やマニフェストが適正に管理されず、無許可業者への委託や有価物と偽って偽装したと判断された場合は、実務者だけでなく、法人として懲役又は3億円以下の罰金の対象となる。仮に軽微なミスでも、行政の措置命令の対象となり、会社名を公表される場合がある。

ある。廃棄物管理で、人によるチェックは一時的には、適法を維持できるが、特定の担当者に依存してしまうと、不在時に対応できないおそれがあるため、人による運用には限界がある。そこで、契約書作成やマニフェスト発行をシステム的に対応することで、これらのヒューマンエラーの撲滅が図れると考えた。今回“クリーン情報システム”の機能強化を行うことによって、更なる適法管理の強化を図ることができた。また、このシステムを関係会社へも展開することで、三菱電機グループ全体の廃棄物管理の向上が図れる。

2.1.2 目的と方針

廃棄物等管理の支援システムである“クリーン情報システム”の機能強化の目的は、次のとおりである。

(1) 不具合の未然防止(監査指摘撲滅)と適法管理レベルの向上

(2) 廃棄物管理業務の効率化

この2つの目的を達成するため、今回のシステム改善では、①委託先情報共有、複数排出拠点管理機能の強化による既存ユーザーの管理レベル向上、②契約書管理とマニフェスト管理の整合確認機能追加による新規ユーザーの適法レベル向上、③契約書作成及びマニフェスト発行作業の効率向上を基本方針として、開発と展開を行った。

3. システムの機能強化と関係会社展開

3.1 適法管理機能の強化及び追加

今回、適法管理レベルの向上を目的として、機能強化及び追加した機能について述べる。

(1) 複数排出拠点一括管理機能の追加

従来のシステムでは、適法チェックするための基本情報の登録が、1つのIDでしか入力・管理ができなかったが、今回、図1に示すように、複数の拠点(現場)で、IDの取得ができ、マニフェストの発行だけでなく、基本情報の管理が可能となった。

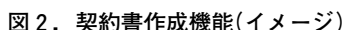
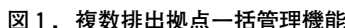
また、この機能の追加によって、複数の拠点を持つ事業所や工事系の業種にも、システムを利用することが可能となった。

(2) 契約書一元管理機能追加

今回のシステム機能強化では、委託契約書の内容を基本情報として入力することで、標準(ひな型)となる契約書を作成でき、また、契約期限の管理や許可証にある許可品目と委託品目の整合チェック等ができる機能、さらに、委託金額を計算することで、印紙額を算出し、適正な印紙額を契約書に記載する機能を追加し、契約書もシステムで一元管理することが可能となった(図2)。

(3) マニフェスト整合確認機能追加

(2)で述べた機能を追加することで、発行するマニフェストは、契約書にひも付いた形でチェックされた内容となる



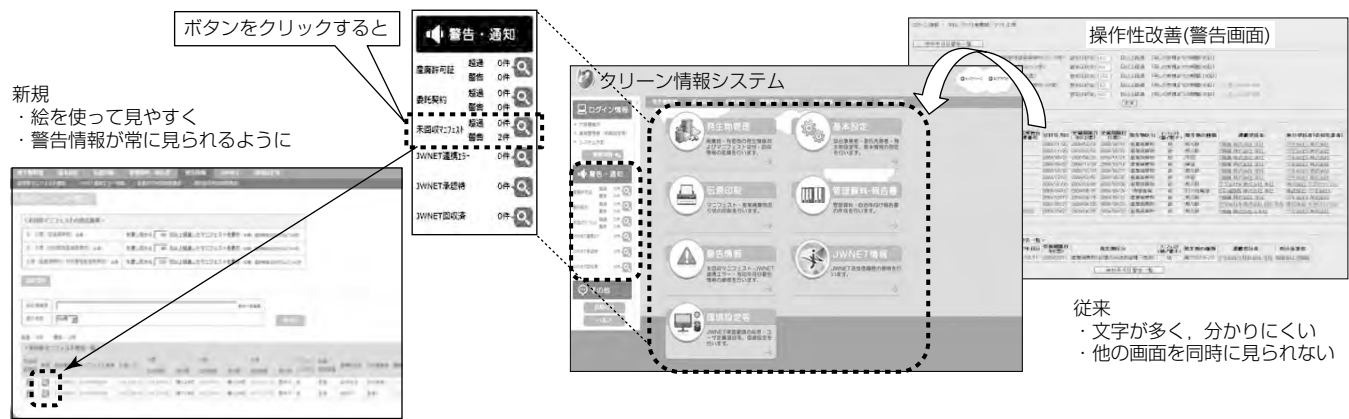


図 5. 操作性改善(警告画面表示)

(2) システムの操作性改善

従来システムは、画面構成が分かりにくく、トップ画面から入力画面に移行すると、警告表示が見えなくなるなど、操作性が悪かった。今回は、ビジュアル的に画面構成を見やすくし、警告画面等は常に表示されているよう構成を見直した(図 5)。

3.3 関係会社への展開

グループ全体の遵法管理向上を図るため、関係会社全 192 社へのクリーン情報システム導入推進を展開した。当社グループの関係会社は、全国各地で据付けや設置等を行う建設工事系の関係会社から、1 年間を通じて manifests の発行が少ないオフィス系の関係会社等、業種は様々であるが、グループ全体へのシステム適用を図るため、システム利用頻度に合わせ、manifest 発行枚数ごとに利用料金を設定する従量制の導入等、費用体系の見直しを行い、関係会社への導入が容易に行えるようになった。

4. 導入成果

このシステムの強化と適用拡大によって、①不具合の未然防止(監査指摘撲滅)と遵法管理レベルの向上、②廃棄物管理業務の効率化を図ることができた。manifest 発行や業者管理等の業務効率化の効果として、グループ全体で 2,000h/年の削減が見込まれる。

また、表 1 には、これまでの紙 manifest や公益財団法人日本産業廃棄物処理振興センター情報処理センター(JWNET)単独使用による場合の評価を示しているが、遵法面では、確実に評価が高いシステムを構築できたと言える。

5. む す び

manifest 及び契約書の不具合を撲滅するため、クリーン情報システムの機能強化とグループ全体へのシステム

表 1. 紙及び電子 manifest 比較

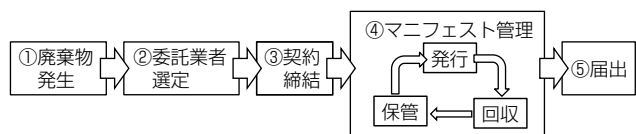
	紙 manifest		電子 manifest	
主なチェック項目	A: 手書き	B: クリーン ^(注1) (単独)	C: JWNET ^(注2) (単独)	D: クリーン・JWNET 併用
A票記載内容	×	○	△	○
最終処分先整合	×	○	×	○
返却期限切れ	×	○	△	○
許可証期限切れ	×	○	×	○
委託基準 ^(注3)	×	○	×	○
manifest 保管(紛失)	必要	必要	不要	不要
行政の定期報告(漏れ)	必要	必要	不要	不要

(注 1) 社内の manifest 管理システム(名称: クリーン情報システム)

(注 2) 国の委託機関の manifest 管理システム

(注 3) 委託基準違反項目: 許可品目外委託, 契約期間外, 未契約業者委託等

	課題	施策
1	各種行政書類の記載ミス及び提出漏れ	①記載ミス及び提出漏れチェック機能追加
2	優良委託業者選定の効率化	①当社基準の策定及び検索機能の充実化 ②優良委託業者データベースの拡充
3	現場管理での理解不足	①法令及び不具合事例の情報提供機能追加
4	ネットワーク未整備対応	①携帯ツール利用機能追加の検討



廃棄物管理業務全体をクリーン情報システムで対応

図 6. 今後の展開

適用を図ってきた。今後は、廃棄物管理全般を支援するシステムとして、図 6 の内容で更なる追加開発を図り、グループ全体の遵法管理の向上と効率化を進めていく予定である。

参考文献

- (1) 境 国昭, ほか: 循環型社会に向けた環境統合情報システム, 三菱電機技報, 77, No.5, 317~322 (2003)

フタル酸エステルのスクリーニング技術

中 慈朗* 宮園友利江**
黒川博志** 中川康幸*
村岡克生**

Screening Method of Phthalate Esters

Jiro Naka, Hiroshi Kurokawa, Katsunari Muraoka, Yurie Miyazono, Yasuyuki Nakagawa

要 旨

2006年に始まったRoHS(the Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)指令が第2段階を迎えようとしており、新たに4種類のフタル酸エステル類が規制対象物質になる可能性が高いとされている。これらは電源コードや電線被覆等に用いられる塩化ビニル等の可塑剤として使用される物質であり、多くの製品に樹脂が用いられるため、含有の有無を判定する評価対象数は多いと考えられる。判定を効率的に行うには、精度は高いが時間を要する詳細分析を行う前に、短時間で判定可能な分析法を確立し、スクリーニング手法として用いる必要がある。ここではFT-IR(フーリエ変換赤外分光分析)を用いたフタル酸エステルのスクリーニング技術について検討した結果を示す。

FT-IRを用いたスクリーニングは、前処理として樹脂試料からフタル酸エステルを溶媒抽出後、撥水(はっすい)性基板上で濃縮し、水滴状のフタル酸エステルについて、FT-IRスペクトルを取得し、その形状の違いから4種類のフタル酸エステル類を判別する手法である。また、規制対象物質にならないフタル酸エステルと区別する方法も見いだした。

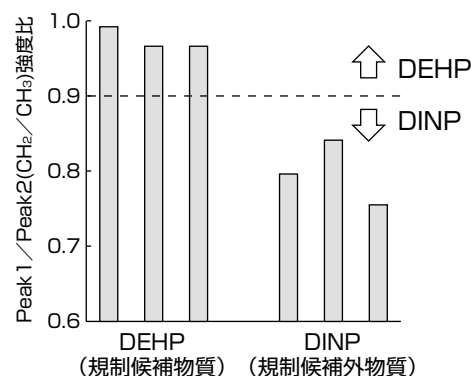
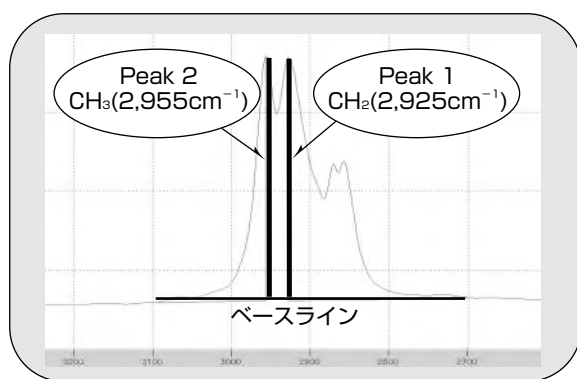
樹脂試料を用いて、FT-IRを用いたスクリーニング技術と精度の高い詳細分析法で得た結果を比較し、妥当性を確認した。このスクリーニング技術を活用して、効率的に対象物質の含有判定を進めるとともに、必要に応じてより精度の高い詳細分析を用いることで確実な判定を実施し、RoHS指令の適合性を担保していく。



【主な特徴】

- ・溶媒抽出と濃縮処理によってフタル酸エステルを抽出
- ・FT-IRのスペクトル形状から種類を判定

フタル酸エステルのスクリーニング手順



規制候補／候補外物質のフタル酸エステル類の含有判定事例

DEHP：フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)
DINP：フタル酸ジイソノニル

フタル酸エステルのスクリーニング手順と判定事例

4種類のフタル酸エステル類を判別するためのスクリーニング手順と最も判別が困難なDEHP(規制候補物質)とDINP(規制候補外物質)の判定事例である。

1. ま え が き

2006年7月からRoHS指令が施行⁽¹⁾され、鉛、カドミウム等6種類の化学物質の使用が規制されるようになった。化学物質は目には見えないため、含有情報を得るには何らかの分析を行う必要があるが、規制対象となる製品が広範囲なため、分析は膨大な数となる。したがって、効率的に含有情報を取得するには、おおよその含有の有無を短時間で判定できる分析法をスクリーニング手法として用い、必要に応じて、精度は高いが時間を要する詳細分析を行うという取組みが必須となる。先に述べた6物質については、蛍光X線分析による元素分析がスクリーニング手法として有効であり、短時間で測定可能な形に改良された蛍光X線分析装置が広く普及している。

近年、RoHS指令が第2段階を迎えることが明確になってきている⁽²⁾。これによって、適用製品の拡大、適用除外項目の見直し等がなされるが、新たに規制対象物質として、DEHP(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))、DBP(フタル酸ジブチル)、BBP(フタル酸ブチルベンジル)、DIBP(フタル酸ジイソブチル)の4種類のフタル酸エステル類が追加される可能性が高いとされている。フタル酸エステルは、電源コード、電線被覆等に用いられている塩化ビニル等の可塑剤として使用される物質であり、多くの製品に用いられるため、効率的に判定するには、先に述べた6物質と同様、スクリーニング手法の確立は必須である。フタル酸エステルはC、H、Oの3元素で構成される有機物であり、6物質のように規制対象物質を特定する元素を含まないため、蛍光X線分析でスクリーニングすることはできない。フタル酸エステルのスクリーニング手法として、種々検討されている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾が、ここではFT-IR(フーリエ変換赤外分光分析)を用いた手法を検討した。また、DINP(フタル酸ジイソノニル)などの規制対象物質にならないフタル酸エステルが存在するため、規制対象となる4種類のフタル酸エステル類と区別する判定法についても検討した。

2. フタル酸エステルのスクリーニング手順

2.1 フタル酸エステルの抽出、濃縮

4種類のフタル酸エステル類を判定する上で、それらのFT-IRスペクトル形状を詳細に解析する必要があるが、フタル酸エステルは塩化ビニル等に含まれているため、前処理を行わず製品の形態で分析すると、フタル酸エステルの含有量が少ない場合、塩化ビニル等の樹脂に起因する妨害ピークの影響によって、フタル酸エステルの詳細解析が困難となる。この問題を解決するため、前処理として樹脂試料からヘキサンを用いてフタル酸エステルを抽出し、妨害ピークの影響を低減する手法を検討した。抽出は常温で約30分で可能であり、複数個同時処理できることを考慮す

れば、1つの樹脂試料にかかる時間は短いと考えている。ヘキサンに抽出したフタル酸エステルを高感度に測定するため、撥水性基板に滴下し、乾燥の過程でこの水滴が小さくなることによって、濃縮処理を行った。乾燥後の撥水性基板には、図1に示すような水滴状のフタル酸エステルがサンプルとして得られた。

2.2 スペクトルの測定、判定

図1のように得られたフタル酸エステルについてFT-IRスペクトルを測定し、そのスペクトル形状からフタル酸エステルの種類を判定する。一例としてDEHPを含有する樹脂試料について、この抽出と濃縮処理したフタル酸エステルを測定したFT-IRスペクトルを図2(a)に示す。比較のため、同図(b)に標準試料から得られたDEHPのスペクトルを合わせて示す。両者は非常によく一致しており、抽出と濃縮によって、フタル酸エステルがサンプリングされたため、樹脂に起因する妨害ピークの影響を受けず、FT-IRスペクトルを取得できた。

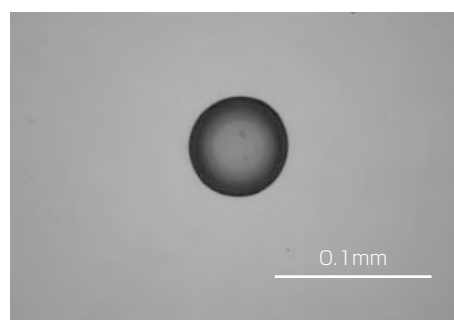
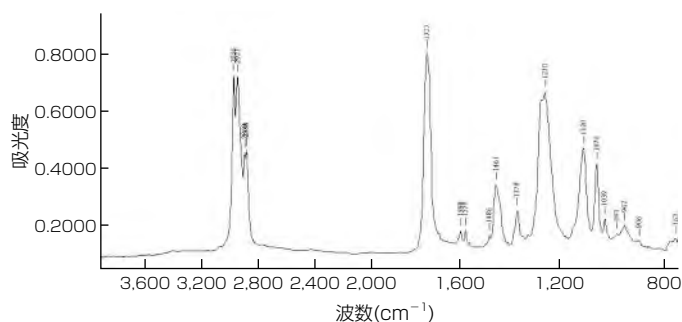
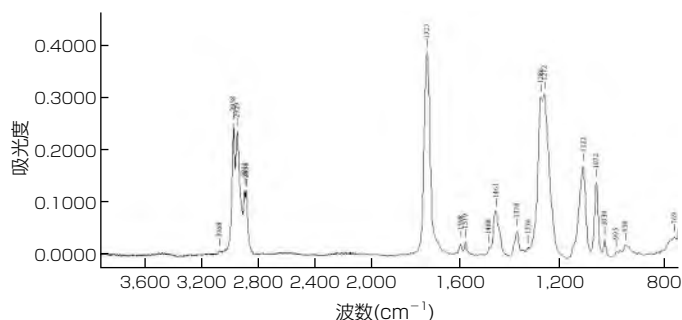


図1. 濃縮処理で得られたフタル酸エステル



(a) DEHP抽出試料



(b) DEHP標準試料

図2. DEHPのFT-IRスペクトル

次に、得られたスペクトルを用いて、規制対象候補物質である4種類のフタル酸エステル類の判別法について述べる。

規制候補物質であるDEHP、DBP、BBPの標準試料から得られたFT-IRスペクトルを図3に示す。DIBPはDBPと同様なスペクトルであるため図は省略した。

図3に示したフタル酸エステルのFT-IRスペクトルの形状を比較すると、 $1,800\text{cm}^{-1}$ 以下に観察されるフタル酸エステルに特有のパターンを表す複数のピークと $3,000\text{cm}^{-1}$ 付近に観察される炭素と水素の結合(C-H結合)に由来するピークの強度比が異なっていることが分かる。強度比の違いは、それぞれのフタル酸エステルの分子構造中に含まれるC-H結合の数がそれぞれ異なるためと考えている。この強度比の違いを利用することによって、容易にフタル酸エステルの種類を判別可能であることが分かる。

規制対象物質にならないDINP(フタル酸ジイソノニル)は、DEHPのFT-IRスペクトルと比較した場合、 $1,800\text{cm}^{-1}$ 以下のフタル酸エステル特有のパターンを表すピークと $3,000\text{cm}^{-1}$ 付近のC-H結合に由来するピークの強度比はほ

ぼ同じで、先に述べた判定手法では区別できない。それぞれのFT-IRスペクトルを図4に示す。

DEHPとDINPを区別するため、 $3,000\text{cm}^{-1}$ 付近のC-H結合に由来するピークの形状に注目した。 $3,000\text{cm}^{-1}$ 付近のC-H結合に由来するピークを詳細に見ると、 $2,925\text{cm}^{-1}$ 付近に1つの炭素と2つの水素の結合(CH_2 結合)に由来するピークと、 $2,955\text{cm}^{-1}$ 付近に1つの炭素と3つの水素の結合(CH_3 結合)に由来するピークの2つが観察される。図4から、DEHPとDINPの2つのピーク強度比が異なり、 CH_2 結合と CH_3 結合のピーク強度比(CH_2/CH_3 ピーク強度比)は、DEHPの方が大きくなることが分かる。

DEHPとDINPの CH_2/CH_3 ピーク強度比は先に述べたような違いが認められるが、その妥当性を検証するため、複数の試料について評価した。DEHP又はDINPを含有する樹脂試料について、先に述べた方法でFT-IRスペクトルを測定し、得られたスペクトルから計算した CH_2/CH_3 ピーク強度比を図5に示す。評価はそれぞれ3個実施した。

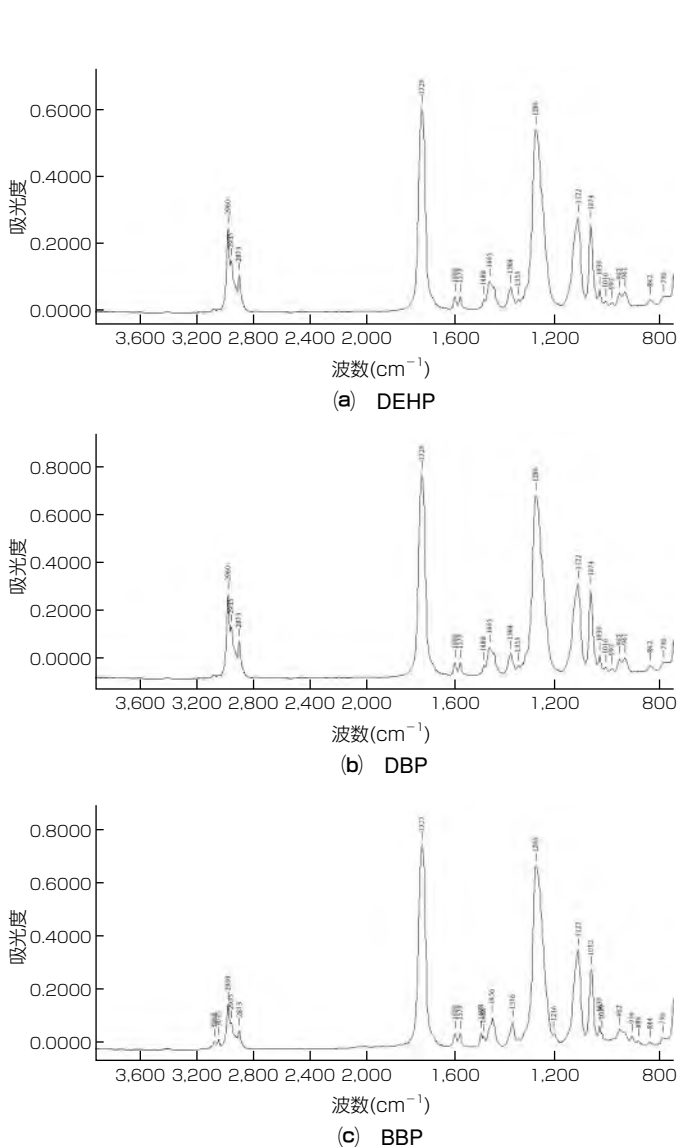


図3. DEHP, DBP, BBPの標準試料から得られたFT-IRスペクトル

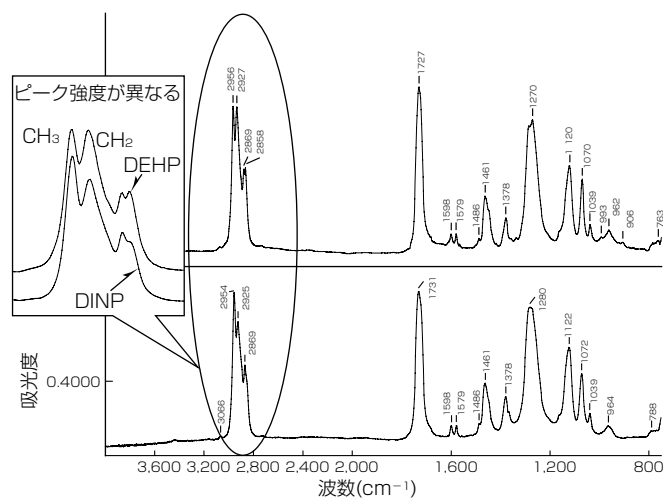


図4. DEHPとDINP標準試料から得られたFT-IRスペクトル

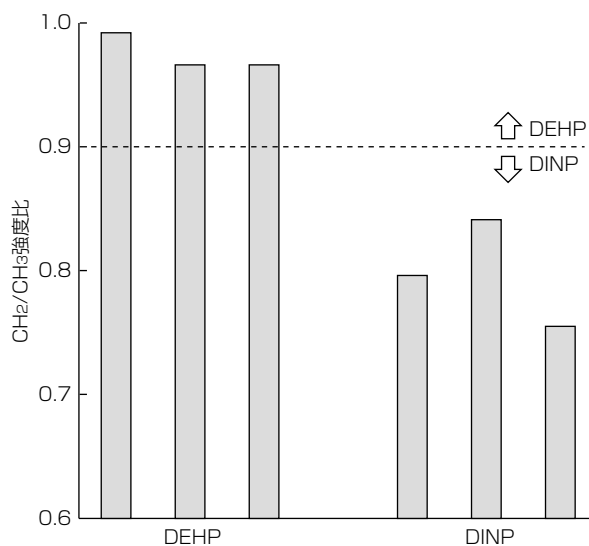


図5. DEHPとDINPの CH_2/CH_3 ピーク強度比

図から、DEHPのCH₂/CH₃ピーク強度比は0.9以上となるのに対し、DINPの強度比は測定した全ての試料で0.9以下であった。この結果から、CH₂/CH₃ピーク強度比で、0.9をしきい値としてDEHPとDINPの判別が可能と考えられる。このピーク強度比の違いが決定的な差と言えるかを、今後、評価個数を増やして確認する必要がある。3章で確認結果を述べる。また、DEHPとDINPの判別に疑義が生じた場合、精度の高い詳細分析法を併用して判定することで、RoHS指令適合性を担保する。

3. 応 用 例

先に述べたFT-IRを用いたスクリーニング手法の妥当性を検証するため、含有するフタル酸エステルの種類が未知な樹脂試料に対する判定評価を行った。含有物質を確認するため、精度の高い詳細分析法として、HPLC(液体クロマトグラフィー)を用いて測定し、両者による判定結果を比較した結果を表1に示す。評価は7個実施し、今回評価した樹脂試料からは、フタル酸エステルとして、DEHPとDINPの2種類が検出された。またTOTM(トリメリット酸トリス(2-エチルヘキシル))はフタル酸エステルの代替物質として知られる可塑剤であり、規制対象候補外の物質である。

表1から含有物質がDEHP又はDINPを単独で含有する場合にはFT-IRとHPLCに良い一致が見られた。これは今回述べたスクリーニング手法が妥当であることを示す結果である。ただしフタル酸エステルとTOTMの2種類を含有する場合(試料番号③、⑦)は、FT-IRでは判定不能と

なる。これは、フタル酸エステルとTOTMの2種類を含有する場合、1,800cm⁻¹以下のフタル酸エステルに特有のパターンを表すピークと3,000cm⁻¹付近のC-H結合に由来するピークの強度比が、先に述べた4種類のスペクトルと異なることが主因である。このような場合は、FT-IRでは判定せず、HPLC等の詳細分析法による判定が必要である。

4. む す び

RoHS指令の規制候補物質になっているフタル酸エステル類の4種類の物質に対するFT-IRを用いたスクリーニング技術について述べた。フタル酸エステルは、塩化ビニル等の可塑剤として多くの製品に用いられる物質であるため、分析は膨大な数となると考えられる。評価を効率的に行い、含有の有無を判定する上で、このスクリーニング技術は有効と考えられる。今後評価個数を増やすことで、その妥当性を継続的に検証し、4種類の物質が規制対象になった場合は、このスクリーニング技術を活用することによって、RoHS指令適合性を効率的に担保するようにしていく。

参 考 文 献

- (1) DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment
- (2) DIRECTIVE 2011/65/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast)
- (3) 野口道子, ほか: FT-IRによる塩ビ中のフタル酸エステルの高感度検出法の検討, 第60回応用物理学会春季学術講演会要旨集, 27p-B7-7 (2013)
- (4) 熱分解-GC-MSを用いた同一分析条件による臭素系難燃剤とフタル酸エステル類の分析(2) ~フタル酸エステル類の分析例~, SHIMADZU GC-MS Application Datasheet No.48 (2012)
- (5) 国井さゆり, ほか: 熱脱着GC/MSによるプラスチック玩具中のフタル酸エステルの簡易定量分析法の検討, 第14回高分子分析討論会要旨集, II-08 (2009)

表1. 未知試料測定結果(FT-IRとHPLCの比較)

試料番号	評価手法	測定結果			
		DEHP	DINP	TOTM	判定不能
①	FT-IR	○			
	HPLC	○			
②	FT-IR		○		
	HPLC		○		
③	FT-IR				○
	HPLC		○	○	
④	FT-IR		○		
	HPLC		○		
⑤	FT-IR		○		
	HPLC		○		
⑥	FT-IR		○		
	HPLC		○		
⑦	FT-IR				○
	HPLC	○		○	

○: 含有判定結果

マイクロバブル洗浄装置の小型化・高速化による適用拡大と環境負荷低減

増田 暁雄*
柴田 洋平*
樋野 本宣秀*

Broadly-applicable Non-chemical Cleaning Technology by Utilizing Microbubble

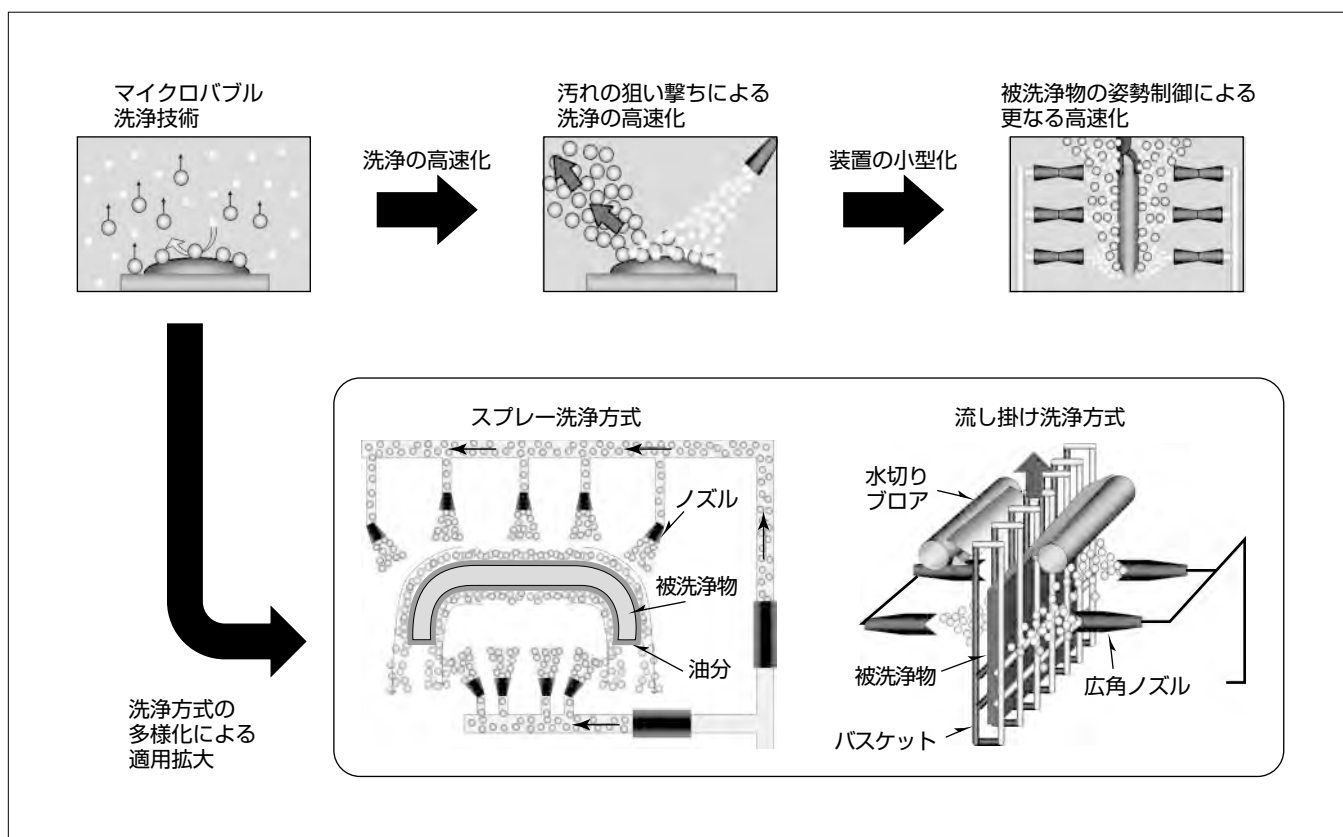
Akio Masuda, Yohei Shibata, Nobuhide Hinomoto

要 旨

地球規模で環境破壊に対する危機感が高まる中、工業分野でも生産効率のみならず、地球環境との調和を考える時代が到来している。三菱電機が実用化したマイクロバブル洗浄技術は、洗浄工程で排出されるVOC(揮発性有機化合物：Volatile Organic Compounds)や洗浄廃液を削減可能な環境配慮型洗浄技術であり、適用範囲を拡大すること自体が環境負荷低減につながる。この洗浄技術を全業界規模に適用拡大して地球環境保護に貢献することを目的として、洗浄装置の小型化・高速化と洗浄形態の多様化を着眼点とした洗浄方式を開発・実用化した。設備導入に際して、標準的な処理能力・装置寸法が既知で、各種洗浄方式を選択できることは、使い勝手の良さや不具合リスク回避の観点

で重要な要素である。この洗浄技術の適用拡大に際しては、微細気泡による油分の吸着除去という洗浄原理を生かし、従来の洗浄技術を用いた装置と比較して、同等以上の高速洗浄と装置小型化を実現した。また、従来広く用いられている溶剤洗浄・アルカリ洗浄の分野で既に確立されたスプレー洗浄方式・流し掛け洗浄方式などの洗浄形態を取り入れ、工程レイアウト・生産タクトや被洗浄物の形状に応じた多様な洗浄方式を開発・実用化した。

マイクロバブル洗浄技術は、いまだ進化の途上であるが、洗浄方式の標準的な選択肢になり得る水準となった。各業界で広く用いられ、地球環境に対して大きく貢献することが強く期待される。



マイクロバブル洗浄の高速化・装置小型化と洗浄方式の多様化

上段にマイクロバブル洗浄の高速化・装置小型化を実現した洗浄方式の開発の流れを、下段に適用拡大を狙って開発した洗浄方式を示す。洗浄の高速化は、マイクロバブル噴流によって汚れを狙い撃ちすることで汚れに作用するマイクロバブルの絶対数を増加させて実現し、装置の小型化は、被洗浄物の姿勢制御による更なる高速化を図り、洗浄槽を小型化することで実現している。また、スプレー洗浄方式・流し掛け洗浄方式マイクロバブル洗浄は、袋構造や平板形状など被洗浄物の形状に応じて開発したものであり、液面に浮上する油膜を除去する工程を省いて洗浄時間を短縮したことで併せて、適用拡大に大きく寄与している。

1. ま え が き

近年、地球温暖化に代表される様々な異常気象の発生を契機として、世界的に地球規模の環境に関心が高まっている。先進国を中心として、環境負荷を低減するための種々の取組みが推進されていることは周知である。

工業分野で有機溶剤を用いる洗浄工程が排出するVOCは、塗装工程に次いで多量であり、全VOC発生量の約1割を占めるといわれる。このため、従来の洗浄工程と代替可能な低環境負荷の洗浄技術を確認することは、地球温暖化や水質汚濁、大気汚染を抑制し、地球環境に貢献するための重要な課題と言える⁽¹⁾。

当社では、マイクロバブルといわれる直径100 μ m以下の微小な気泡を水中に高密度に生成することによって、気液界面の面積を飛躍的に拡大し、被洗浄物表面に付着した油分を吸着除去する洗浄技術を開発し、社内複数の工場に適用している⁽²⁾。この技術で用いる洗浄液・洗浄廃液が水系であり、かつ後述のように洗浄液の再生利用が可能であることから、適用拡大による大幅なVOC削減が期待できる。

しかしながら、実用化の際に装置技術の観点で考えると、被洗浄物の形状・寸法、生産タクトや装置レイアウトが、異なる工程で用いるため洗浄時間の短縮・装置の設置面積縮小など、種々の課題を達成する必要がある。

本稿では、マイクロバブル洗浄技術の特徴を述べるとともに、これらの課題を達成するために開発した洗浄形態の異なるマイクロバブル洗浄技術とその効果を述べる。

2. マイクロバブル洗浄技術の特徴

2.1 溶剤洗浄とマイクロバブル洗浄の比較

図1にマイクロバブル洗浄と従来の溶剤洗浄における油分除去機構の概念図を示す。溶剤洗浄では、被洗浄物に付着した油分を洗浄液中に溶解・乳化して除去する。そのため、除去した油分量の増加に伴い、洗浄液中に油分が蓄積して洗浄力が低下する。そこで、定期的な洗浄液の更新による洗浄力の維持が必要となるが、これは生産活動の中断と相当量の廃液の発生を意味する。

一方、マイクロバブル洗浄では、99%以上を水で構成した洗浄液に油分が付着した被洗浄物を浸漬し、高密度に生成したマイクロバブルと呼ばれる微細気泡の表面に油分を

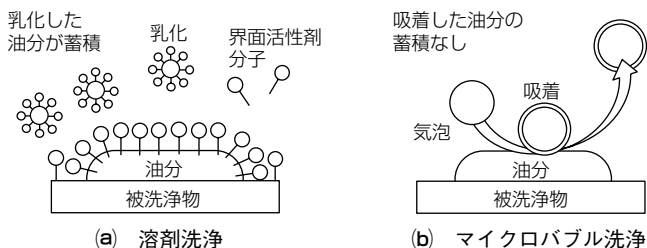


図1. 溶剤洗浄とマイクロバブル洗浄の油分除去機構の概念図

吸着・除去する。マイクロバブル表面に吸着された油分は気泡の浮力によって洗浄液面に分離されるため、液面の油分層を選択除去することで洗浄液中への油分の蓄積を抑制できる。その結果、溶剤洗浄と比較して、洗浄液の劣化を抑制して洗浄力を長期間維持することができ、洗浄液の更新頻度を大幅に低減して生産性向上と廃液削減による環境負荷低減を実現できる。

図2に量産工程におけるマイクロバブル洗浄装置の連続稼働検証の結果を示す。検証期間中の液交換を行わず、被洗浄物による持ち出しと液面からの蒸発によって失われた洗浄液を補給するだけとした。つまり、洗浄装置が持つ洗浄液の自浄作用だけで3か月のメンテナンスフリーを達成し、洗浄廃液を大幅に削減できることを実証済みである。

2.2 マイクロバブル洗浄の原理

図3にマイクロバブル洗浄装置の構成を例示する。マイクロバブル洗浄における油分除去は、①被洗浄面に付着した油分へのマイクロバブルの接触、②マイクロバブル表面への油分の吸着、③洗浄液中の水流及び気泡自身の浮力による被洗浄物表面からの離脱・浮上という3段階で進む。このように、被洗浄物表面に新たなマイクロバブルを次々に接触させ、その表面に油分を移行することで洗浄が進む。浮上したマイクロバブルは液面で破泡し、油膜を形成することで洗浄液と油分を分離する。液面の油分層をオーバーフローなどの手段で選択的に除去し、油水分離後の洗浄液だけ循環することで洗浄液を再生利用する。

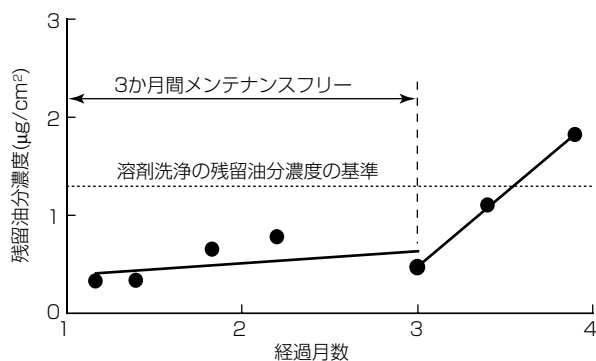


図2. 残留油分濃度の稼働期間依存性

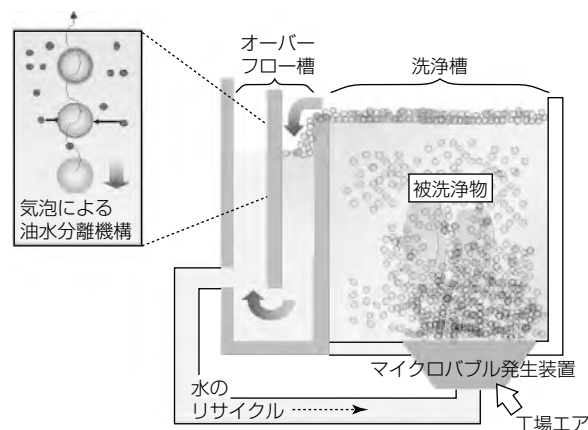


図3. マイクロバブル洗浄装置の構成

3. 洗浄時間短縮と装置小型化を実現する マイクロバブル洗浄技術の開発と実用化

洗浄工程は、塑性加工や機械加工などの主加工工程後に配置される場合が多いため、処理時間が短く工程前後に滞留が生じないこと、装置の設置面積が小さく加工装置の近傍に容易に設置できることが求められる。

マイクロバブル洗浄の適用拡大に際して、洗浄時間・設置面積に着目した次の洗浄方式を開発した。

- (1) 従来の洗浄技術と異なる洗浄原理を生かした、マイクロバブル噴流で汚れを狙い撃ちする洗浄方式
- (2) 袋構造や板状など、様々な形状の被洗浄物に対応したスプレー洗浄方式・流し掛け洗浄方式

3.1 汚れを狙い撃ちする浸漬洗浄方式の開発

図4にマイクロバブル洗浄における残留油分濃度の洗浄時間依存性を示す。あらかじめ同量の油分を付着させた複数の平板試料を洗浄液中に浸漬し、マイクロバブル噴流を所定の時間当てた後、抽出溶媒を用いて試料表面に残留した油分濃度を測定したものである。残留油分濃度が一定の値に達するまでは、洗浄時間の延長に伴って残留油分がほぼ線形に減少することが分かる。

先に述べた洗浄原理によって、この現象は時間経過に伴って被洗浄物表面に接触するマイクロバブルの数が増加するために生じると考えられる。つまり、高密度のマイクロバブル噴流を用いて短時間に多数のマイクロバブルを被洗浄物に作用させることで、洗浄時間を短縮できることを示唆する。

一般に前後工程と比較して処理時間が長くなる場合が多く、生産タクトに不整合が生じることが原因でバッチ処理を採用せざるを得なかった小物板金部品等では、洗浄を高速化することの価値が高い。前後工程と処理タクトを合わせた1個流しの連続生産ライン化が可能となり、中間仕掛削減・リードタイム削減が可能となる。

洗浄の高速化を実現する手段として、図5に示すように高密度のマイクロバブル噴流で被洗浄物を狙い撃ちする液中ノズルの配置と狙い撃ちを高精度化する被洗浄物の姿勢制御機構を備えた洗浄装置を開発した。この装置の導入事

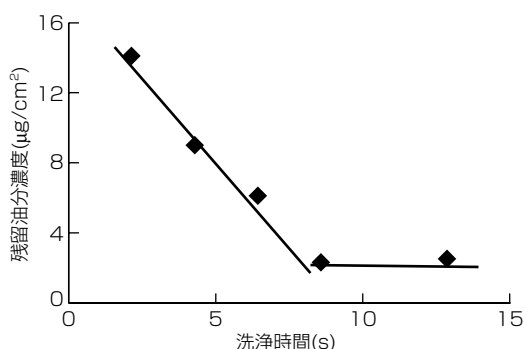


図4. 残留油分濃度の洗浄時間依存性

例では、洗浄時間を4秒に短縮し、サイクルタイムが短いプレス装置と洗浄装置を直結する1個流し化を実現した。

3.2 スプレー洗浄方式と流し掛け洗浄方式の開発

マイクロバブル洗浄の基本的な形態は、液中で被洗浄物にマイクロバブルを作用させる浸漬洗浄方式である。しかしながら、袋構造を持つ被洗浄物の場合、浮上した気泡が袋構造の内部に滞留する問題があり、部品形状による適用対象の制約条件があった。これに対し、被洗浄物にマイクロバブルを含む洗浄液を噴霧するスプレー洗浄方式を開発した。

図6にスプレー洗浄方式のマイクロバブル洗浄装置を示す。浸漬洗浄方式と比較して2つの利点がある。1つ目は袋構造を持つ被洗浄物に対して、マイクロバブル洗浄の適用が可能になった点である。浸漬洗浄方式では内部に気泡が滞留し、油分を被洗浄物から分離することができなかった。一方で、スプレー洗浄方式では、被洗浄物にマイクロバブルを含む洗浄液を噴霧するため、気泡の滞留を防止することができる。2つ目は、浸漬洗浄方式で必須であった

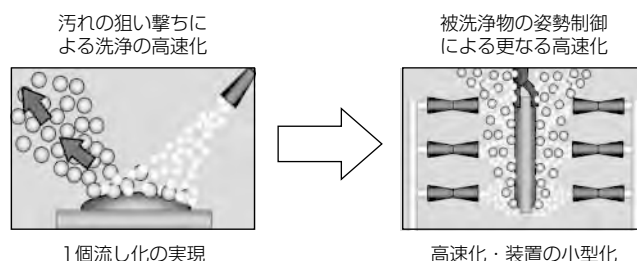


図5. 汚れの狙い撃ちと被洗浄物の姿勢制御

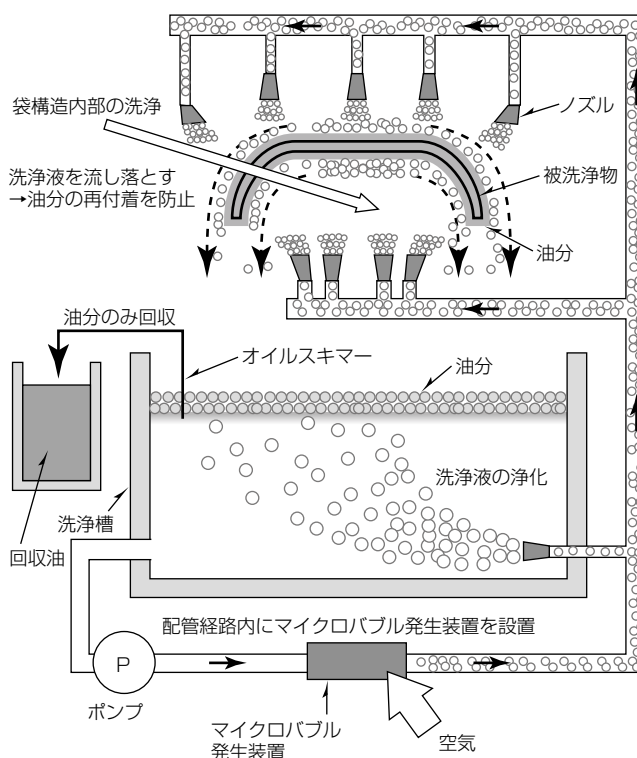


図6. スプレー洗浄方式のマイクロバブル洗浄装置

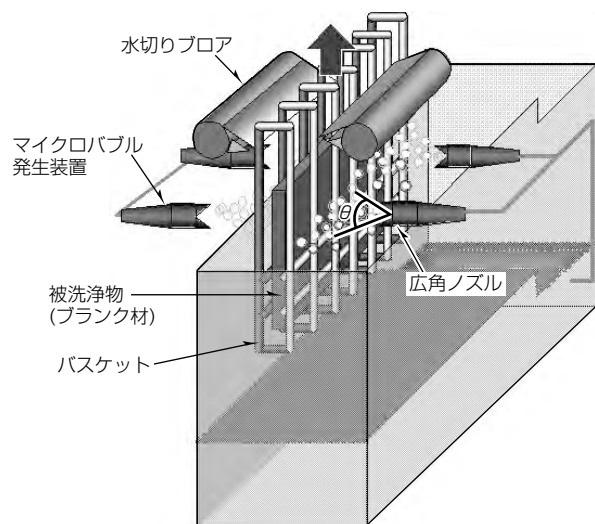


図7. 流し掛け洗浄方式のマイクロバブル洗浄装置

洗浄液面を浄化する工程が不要になった点である。洗浄液面に油分層が形成されていると、洗浄が完了して被洗浄物を取り出す際に、液面を浮遊する油分が再付着する問題が生じる。これを防止するため、被洗浄物を洗浄液から取り出す前に、液面の油分層を除去する浄化工程が必須である。一方、スプレー洗浄方式の場合、被洗浄物が洗浄液の液面を通過する工程がないため、液面の油分が再付着することがなく、浄化工程を省略することが可能である。図6に示す導入事例では、洗浄工程のサイクルタイム短縮によって、浸漬式と比較して洗浄処理能力を1.75倍に向上している。

また、別の適用形態として、板材洗浄に特化した流し掛け洗浄方式を開発・実用化した。図7に流し掛け洗浄方式のマイクロバブル洗浄装置を示す。この方式では、マイクロバブルを含む洗浄液膜をプランク材表面に沿って流し掛けながら被洗浄物を保持したバスケットを引き上げる。スプレー洗浄方式と比較して、洗浄液-大気間の気液界面が小さく、洗浄液によって高密度のマイクロバブルを含有するため、洗浄効率を向上させることができる。また、広角ノズルを用いて洗浄液を広範囲に流し掛けることでノズル本数を削減して、洗浄液の循環ポンプの電力容量を1/2に削減するとともに、広角ノズルの直上に水切りプロアを設置して洗浄と同時に水切り乾燥を完了する装置構成・動作を開発し、乾燥炉レス化による省エネルギー化を図っている。ここで、ノズル本数削減と乾燥炉レス化による装置の小型化を同時に実現している。

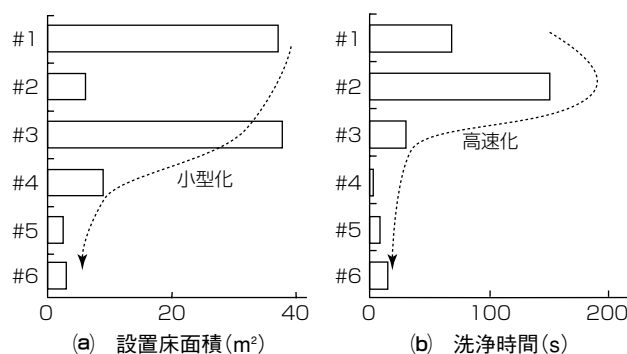


図8. マイクロバブル洗浄の装置小型化と洗浄時間短縮

3.3 洗浄方式の多様化による適用対象の拡大

これまでに述べたように、マイクロバブル洗浄技術の適用拡大による生産工程の環境負荷低減を狙い、導入障壁を下げるために、多様な洗浄方式を開発した。図8に実用化した装置の設置床面積と洗浄時間について、導入時系列にまとめた。#1～#3と示した導入初期の装置では、設置床面積と洗浄時間でトレードオフが存在しており、レイアウトと生産数を考慮して調整する必要があった。これに対し、#4以降の装置では、3.1節と3.2節に示した洗浄方式を導入して小型化と高速化を両立させた。

4. む す び

地球規模で環境破壊に対する危機感が高まる中、工業分野でも生産効率のみならず、地球環境との調和を考える時代が到来している。マイクロバブル洗浄技術は、洗浄工程で排出されるVOCや洗浄廃液の排出量を削減可能な低環境負荷の洗浄技術として期待される。

本稿では、生産タクトや設備の設置面積、被洗浄物の形状に応じて洗浄方式を多様化することで適用工程の拡大を狙ったマイクロバブル洗浄技術の展開について述べた。今後も、更なる適用拡大に向けた活動を継続する予定である。

参 考 文 献

- (1) 経済産業省 環境指導室：VOC排出の現状と課題
http://www.meti.go.jp/policy/voc/downloads/VOC_genjou_kadai.pdf
- (2) 宮本 誠，ほか：マイクロバブルによる低環境負荷・低コスト洗浄技術，三菱電機技報，81，No.6，425～428（2007）

銀めっき設備の電化による CO₂排出量削減

竹内健太郎* 横山政彦*
山口 博**
藤田正道*

Reduction of CO₂ Emissions by Electrification of Silver-plating Equipment

Kentaro Takeuchi, Hiroshi Yamaguchi, Takamichi Fujita, Masahiko Yokoyama

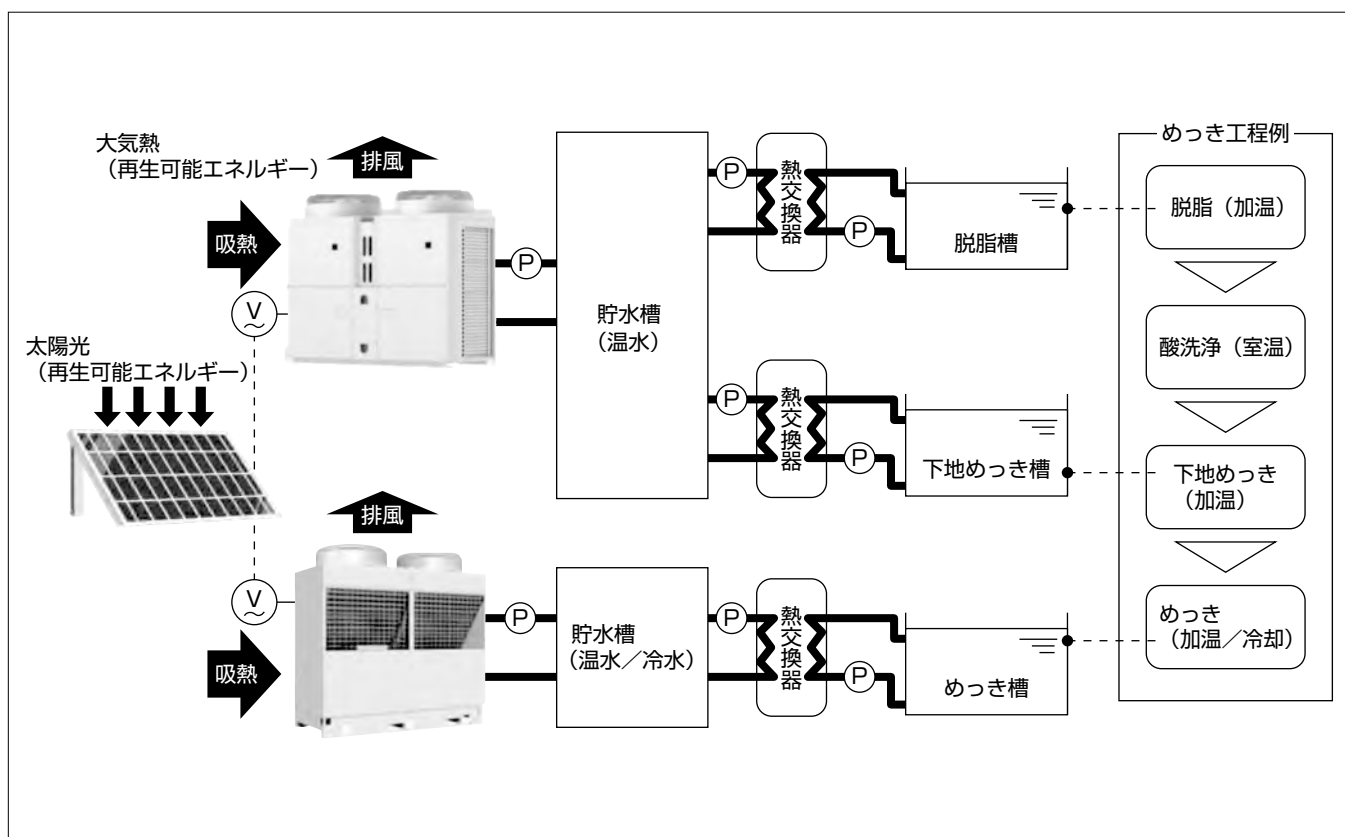
要 旨

三菱電機グループでは、環境経営の長期ビジョン“環境ビジョン2021”を掲げ、2020年度までに1990年度を基準として生産時のCO₂排出量を30%削減することを目標に活動している。

従来、CO₂排出量削減の基本施策は生産ラインの改善とユーティリティ機器の高効率機器への更新であり、生産ラインを構成する機器の省エネルギーはモータのインバータ化などが主流であった。しかし今般、三菱電機の系統変電システム製作所で、太陽光発電システムを備えたスマートグリッド実証実験に連動した活動として、エネルギーロスの大きいガスボイラによる蒸気加温から電気加温による改善といった新たなアプローチを計画した。

当所ではめっき工場を持ち、めっき工程中の処理液の加温に多くの蒸気を使用している。めっき工場では老朽化に伴う設備更新を計画していたため、これに合わせてエネルギー効率の良いヒートポンプを導入し、処理液の加温に適用することにした。試験槽を用いた事前検証によってノウハウを蓄積し、更新設備をオール電化としたことで生産時におけるCO₂排出量を大きく削減することができた。

本稿では、まず従来の蒸気加温方式の問題点とヒートポンプの概要について述べ、次に電気加温(冷却)システム構築までの取組み、最後に電化したことによるCO₂排出量削減やランニングコスト削減等の効果について述べる。



ヒートポンプによる電気加温(冷却)システム

電力源に太陽光発電システムを利用し、処理槽の使用温度域や容量に応じた仕様のヒートポンプを分散配置して、処理液を加温(冷却)するシステムの事例である。

1. ま え が き

当社系統変電システム製作所(尼崎地区)では、電気の安定供給を支えるガス絶縁開閉装置を始めとした電力送変電機器の製造を行っている。これらの部品には電気伝導性向上を目的とした銀めっき処理を行っているため、所内にめっき工場を持っている。また、当地区では太陽光発電システムを備えたスマートグリッド実証実験設備を構築しており(図1)、これに連動した活動として蒸気使用設備の電化を検討していた。めっき工場では多くの処理液を蒸気で加温している。今般、設備の老朽化に伴う3つの生産ラインの更新を計画していた。そのため設備更新に合わせてヒートポンプ導入による蒸気使用設備の電化を行い、エネルギーロスを低減することでCO₂排出量削減を図ることとした。本稿では、まず従来の蒸気加温方式の問題点とヒートポンプの概要について述べ、次に電気加温(冷却)システム構築に向けた取組み、最後に電化後の効果について述べる。

2. 従来の蒸気加温方式の問題点

従来の蒸気による処理液の加温方法は図2に示すとおり、ボイラ室から蒸気配管内に蒸気を送り、高温になった蒸気配管によって処理液を加温していた。蒸気加温のメリットとして、次が挙げられる。

(1) 加温能力が高く、短時間で処理液の昇温が可能

(2) 2次側の設備がシンプルで省スペース

一方、デメリットとして、

(1) 配管からの放熱ロス(配管距離が長い)(図2の①)

(2) スチームトラップから排出されるドレン水の廃熱(図2の②)

(3) 蒸気漏れによるロス(図2の③)

などが挙げられ、エネルギーロスが大きい。

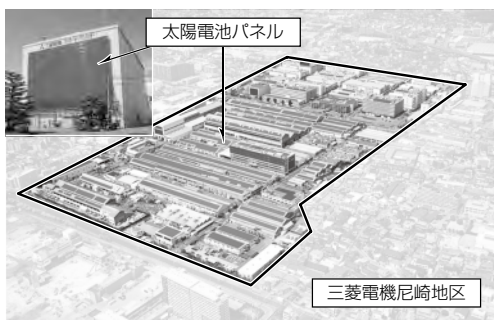


図1. スマートグリッド実証実験設備

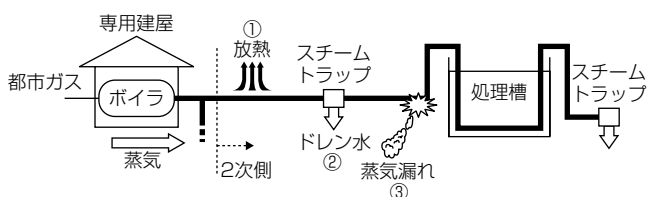


図2. 蒸気加温方式(従来法)

3. ヒートポンプの概要

ヒートポンプは大気熱を利用する技術で、投入したエネルギーよりも大きな熱エネルギーを得ることができるため、エネルギー効率が良い(図3)。一般的にはエアコンや冷蔵庫、給湯器等に利用されている。めっき設備では次のプロセスで作り出された温水の熱を利用してめっき処理液を加温する。

①大気熱を集め、低温の冷媒に熱を伝える。

②熱を持った冷媒は圧縮機によって更に高温になる。

③高温になった冷媒の熱を水に伝え、温水を作る。

④熱を失った冷媒は膨張弁を通り更に低温となり、再び大気から熱を奪える状態になる。

4. 電気加温(冷却)システム構築に向けた取組み

4.1 事前検証

ヒートポンプによる電気加温システムの構築に向けて、まずは試験槽で事前検証を実施した。温水を作り出すヒートポンプには、一過型と循環型の2種類があり、一過型はエコキュート^(注1)に代表されるヒートポンプで、高温出湯が可能だが、追い炊き運転には適していない。一方、循環型は大容量の追い炊き、保温に適している。めっき処理液は液量が多く、また常に一定の範囲内の液温を保ち続ける必要があるため、この活動では循環加温型ヒートポンプ(当社冷熱システム製作所製)を選定した。選定後、試験槽で加温を行い、能力的に問題がないことを確認した。

次に既存ラインを改造し、循環加温型ヒートポンプを設置して検証を開始した。一部の処理液はヒートポンプだけでは要求温度まで昇温できないため、電気ヒーターを併用し、55℃以上はヒーター加温とした。また、処理液の加温にはヒートポンプだけでなく、温水を貯(た)めておく貯水槽の容量、温水の熱を処理液に伝える熱交換器の仕様、処理液を一定の範囲内で保温する温度制御方法の検討も併わせて必要となる。そのため当社の生産技術センターと協同で熱量計算を行い、貯水槽容量、目標昇温時間に応じた熱交換面積、液流量等を決定した。そして新ラインへの適用に向けて電気加温システムのノウハウを蓄積していった。

(注1) エコキュートは、関西電力㈱の登録商標である。

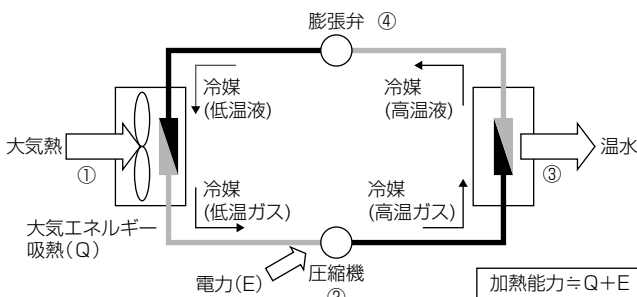


図3. ヒートポンプの原理(温水)

4.2 システム概要

更新前の蒸気主体の加温(冷却)システムは図4(a)となり、めっき工場とは別建屋のボイラ室から供給している蒸気の入り切りによって、処理液を加温する。一方で、事前検証を基に適用したヒートポンプによる電気加温(冷却)システムの構成は図4(b)のとおりとなる。ヒートポンプで温水(冷水)を作り、次の手順で処理液の加温(冷却)と保温を行う。

- ①ヒートポンプによって、貯水槽の水を加温(冷却)する(図4(b)のポンプ①が駆動し、設定温度になれば停止)。
- ②貯水槽で加温(冷却)した温水(冷水)の熱を熱交換器で処理液に伝え、加温(冷却)する(ポンプ②③が駆動)。
- ③処理液の保温はポンプ②のON, OFFで調節する(めっき液ろ過のため、ポンプ③は常時駆動)。

当所めっき設備における電気加温(冷却)システムの付帯設備は次のとおりである。

- (1) ヒートポンプ
 - ①循環加温型ヒートポンプ
 - ②循環加温/冷却型ヒートポンプ
- (2) 貯水槽
 - ①加温用貯水槽(65℃)
 - ②加温/冷却用貯水槽(40℃/10℃)
- (3) 熱交換器
 - ①ルート式熱交換器(各処理槽)
 - ②循環ポンプ

ヒートポンプと処理槽を直接配管で連結すると、万が一配管に穴が空いた場合に処理液がヒートポンプを故障させたり、屋外へ流出したりするリスクがあるため、中間に貯水槽と熱交換器を設置して加温(冷却)する構成としている。

4.3 処理液の温度に応じたヒートポンプの選定

めっき設備で、温度調節が必要な処理液は3種類あり、

それぞれ70℃、30℃、20℃で管理する必要がある。したがって、各温度域に応じた温調方式を決定しなければならなかった。導入した循環加温型ヒートポンプの能力は65℃までの温水を作ることができるが、処理液の加温は温水の熱を熱交換器を介して間接的に伝えるため、温水と同じ温度までは加温できず、最高加温温度は約55℃となる。よって30℃設定の処理液はヒートポンプだけで加温し、70℃設定の処理液については電気ヒーターを併用し、55℃以上はヒーター加温とすることで対応した。また20℃の処理液は、冬場は加温を行うが、夏場では逆に冷却が必要となる。そこで20℃設定の処理液については専用に加温運転と冷却運転の両方が行える循環加温/冷却型ヒートポンプを導入し、各季節の外気温に応じて対応できるようにした。

4.4 設置スペースの確保

ヒートポンプを導入するに当たり、新たにヒートポンプ本体、貯水槽、熱交換器等の設備を設置する必要があり、1つのめっき設備で約18m²の設置スペースを新たに確保する必要があった。特にヒートポンプ本体は周辺空間も含めてスペースが必要なため、同時に設置する排気装置の架台をかき上げる形で設置スペースを捻出した。また、ヒートポンプ、貯水槽、熱交換器はできる限りめっき処理槽に近い位置に設置し、配管は全て保温材を巻くことで配管からの放熱による熱ロスを抑えた(図5)。

4.5 熱交換器の選定

熱交換器は温度調節が必要な処理槽ごとに設置し、貯水槽の熱を処理液に伝える機器であるが、選定する際に次の点を考慮した。

- (1) 熱交換器内を流れる処理液はめっき液等の薬液のため、薬液の性状に応じた材質の選定が必要である。
- (2) 薬液は結晶化しやすいので、液が流れる部分は単純構

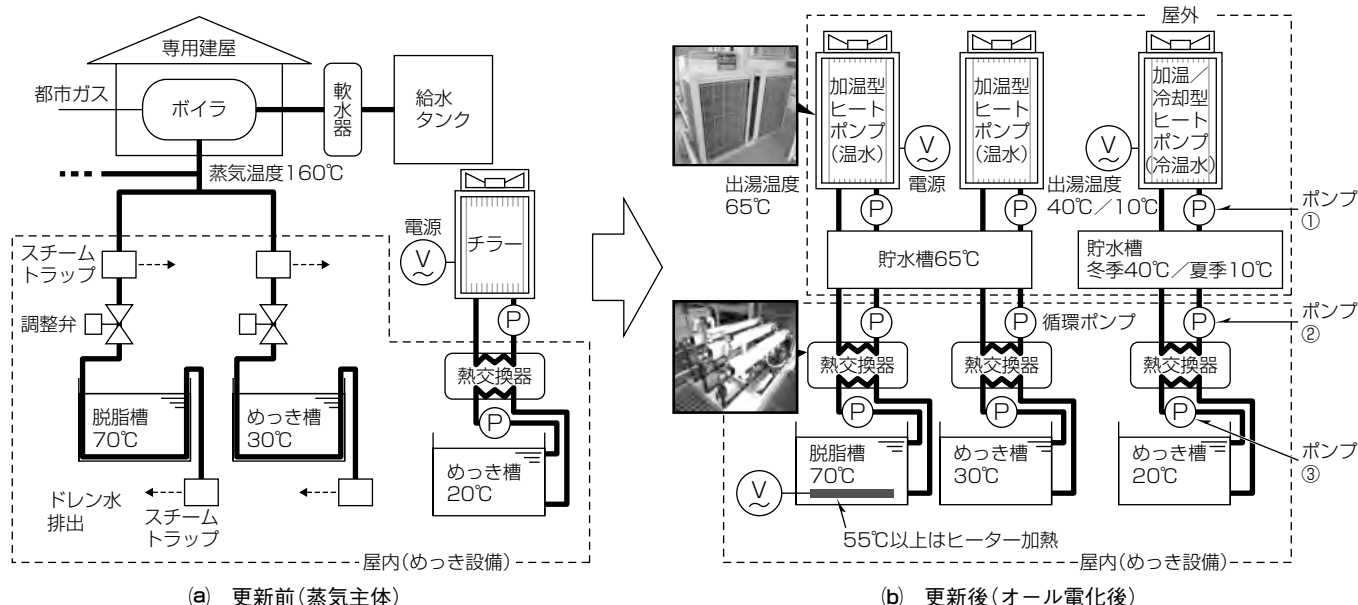


図4. 加温(冷却)システム



図5. ヒートポンプの設置場所

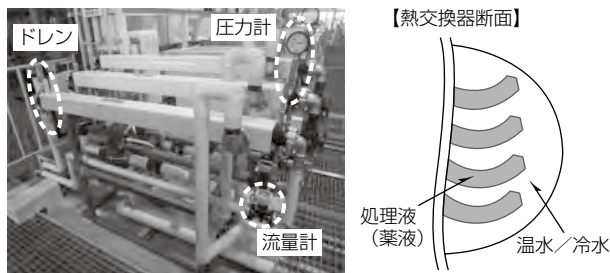


図6. ルート式熱交換器

造が適している。

- (3) 設置場所はめっき設備の防液堤内のため、できるだけコンパクトな方が良い。
- (4) 結晶化による目詰まりを防ぐため、メンテナンス性を考慮した構造とすることがある。

一般的に広く使用されているプレート式熱交換器は、伝熱面積が広く、サイズもコンパクトであるが、内部が複雑で細く、(4)の結晶による目詰まりリスクが高いことから適用を見送った。この設備で適用したのは材質のバリエーションが豊富なルート式熱交換器で、図6の断面図のように単純で結晶が詰まりにくい構造となっている。また、液が流れる部分を湾曲させることで伝熱面積を広く確保し、サイズのコンパクト化を図っている。さらに薬液の結晶の詰まり具合が把握できるように圧力計と流量計を設置し、定期的に熱交換器内の液抜きと洗浄ができるように専用ドレンも備えることで、メンテナンス性を考慮した設計とした。

4.6 立上時間の改善

ヒートポンプによる電気加温(冷却)は一度貯水槽の水を加温(冷却)してから処理槽へ熱交換を行うため、始業時の立上に時間を要する。そこでウィークリータイマを設置し、事前に貯水槽の水を加温(冷却)し、始業時には熱交換を開始できる運用方法とすることで立上時間を1時間短縮した。これによって冬場、週明けの負荷最大時(図7)で立上時間1.5時間、それ以外の日常の立上時であれば0.5時間程度で昇温が可能となった。また、自動で電源ON、OFFを可能にしたことによって、必要加温(冷却)時間を最適化し、更なる省エネルギーを図った。

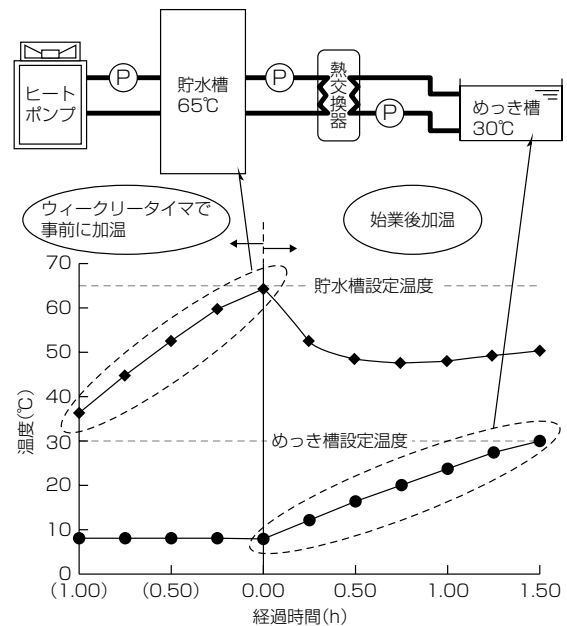


図7. 立上時間と温度の関係(冬場週明け)

表1. 電化によるCO₂排出量削減効果

項目	更新前【蒸気加温方式】	更新後【ヒートポンプ加温方式】
加温方式	・ボイラ室から送る蒸気の熱で処理液を加温 ・蒸気加熱は配管からの放熱や蒸気漏れによる熱ロスが大きい	・エネルギー効率の高い最新のヒートポンプ技術を用いた電気加温システムに変更 ・ウィークリータイマによる自動運転で無駄な電力の削減と昇温時間の短縮を実施
トータルCOP ^(注2)	0.51	2.02
CO ₂ 排出量 ^(注3) (3ライン計)	122 t-CO ₂ /年	58 t-CO ₂ /年
ランニングコスト (3ライン合計)	3.9 百万円/年	1.7 百万円/年

(注2) COP: Coefficient Of Performance 加熱能力(kW)÷消費電力(kW)
(注3) 太陽光発電システムによる効果は含まない

5. CO₂排出量削減効果

めっき設備3ラインの更新に合わせてヒートポンプを取り入れ、さらに処理液量の最適化(▲30%)を実施したことによるCO₂排出量削減効果は表1のとおりとなる。

エネルギー効率を示すトータルCOPは0.51→2.02に改善し、CO₂排出量は52%削減、ランニングコストも56%削減と大きな改善効果を得ることができた。

6. む す び

当社の中でヒートポンプを生産設備に適用し、蒸気使用設備の完全電化を初めて実現した工場として、熱ロスを抑えた高効率の処理液加温(冷却)が可能となり、CO₂排出量、及びランニングコストを大幅に削減することができた。またヒートポンプの一般産業用途に適用した事例として、新たな可能性を示すことができた。この活動は工場電化のモデルケースとして、電力会社にも注目されており、更なる発展・展開が期待できる。今後も新たな技術を随時適用しながら、生産時のCO₂排出量の削減を進めていく。

省エネルギー技術を結集した 新設計技術棟の建設

春日宏之*
大田日出夫*

Construction of Office Building Concentrated on Energy-saving Technologies

Hiroyuki Kasuga, Hideo Ota

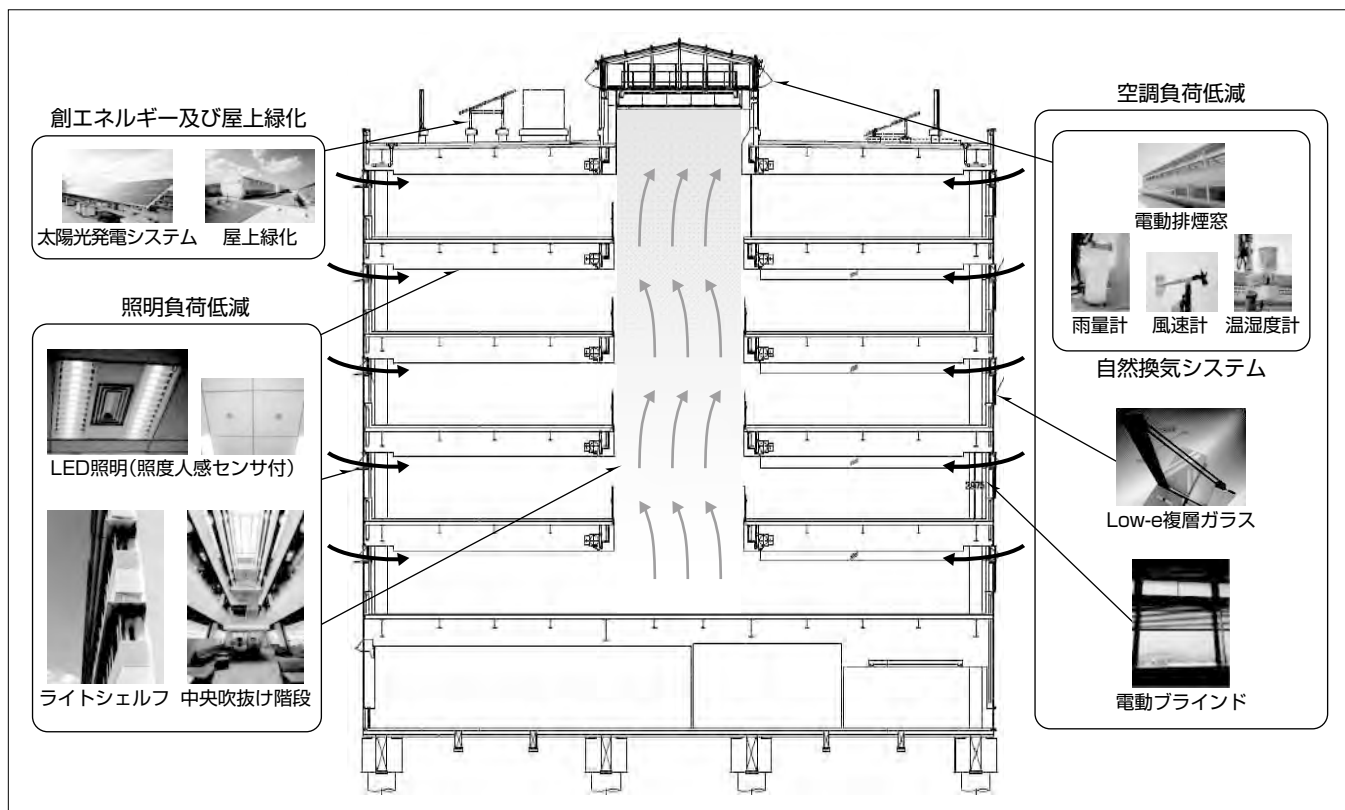
要 旨

三菱電機パワーデバイス製作所は、低炭素社会実現に向けて製品力強化と継続的な事業拡大、市場ニーズにあった新製品開発の加速を図っていくために、パワーデバイスの開発・設計場所である福岡地区に設計技術棟 (Power Device Innovation Center：略称PI棟) を建設した。“連携強化推進”“研究所とのコラボレーション促進”“顧客への高いホスピタリティ”“環境性能の確保”を建設コンセプトとして設計技術棟の建設検討を開始し、福岡県及び福岡市から“グリーンアジア国際戦略総合特区”の指定法人に指定されたことから、国内外の顧客来場の機会に“グローバル環境先進企業”をアピールできる環境配慮型ビルを目指した。当社の環境配慮・省エネルギー製品のフル活用、自然エネルギー(光、風)を積極的に取り入れることに主眼を置き、

建設コンセプトの部門間連携強化と合わせて検討した結果、“中央吹き抜け階段”を採用し、これがPI棟の大きな特徴になっている。本稿では次に挙げるPI棟に採用した省エネルギー技術について述べる。

- (1) 照明負荷低減
- (2) 空調負荷低減
- (3) 創エネルギー及び屋上緑化

これらの省エネルギー技術を適用した設備を当社が誇る“Facima BA-SYSTEM”で監視・制御し有効に稼働させることによって、年間560MWh(236t-CO₂)のエネルギー削減が見込まれる。このような取組みが福岡市に認められ、CASBEE福岡(建築物環境配慮制度)で当社初の最高ランク“S”を取得した。



PI棟に採用した主要な省エネルギー技術

PI棟を象徴する中央吹き抜け階段を中心に、自然エネルギー(光、風)の積極的活用、当社の最先端省エネルギー技術の積極的導入によって環境性能を確保し、“グローバル環境先進企業”をアピールできる環境配慮型ビルを実現した。

1. ま え が き

低炭素社会実現に向けて、世界規模で省エネルギー家電、ハイブリッド自動車・電気自動車が普及するとともに、鉄道網の整備、風力・太陽光発電を中心とする再生可能エネルギーへの転換が期待されている。省エネルギー・創エネルギー製品にはパワーデバイスが不可欠であり、パワーデバイスのトップメーカーとして、当社の市場におけるポジションを確固たるものとする必要がある。そのためにも製品力強化を図り、継続的な事業拡大と市場ニーズにあった新製品開発を加速していくために、次の3項目を目的に最新の設計技術棟建設に取り組んできた(図1、表1)。

(1) 開発・設計部門統合による開発スピードの加速

パワーデバイス製作所の主要な国内事業拠点は福岡・熊本・兵庫であるが製品力強化に必要となる開発・設計部門は福岡地区に集結している。開発・設計部門が福岡地区構内に分散しているため1か所に統合することで開発スピードを加速させる。

(2) 開発・設計スペースの確保

今後の開発・設計負荷増に対応するためにスペースを確保する。

(3) 新機種開発用検証ラインの確保

新機種開発・生産用の開発検証ラインを整備するためのスペースを確保する。



図1. 新設計技術棟(PI棟)の全景

表1. 建設諸元

建築面積	1,892m ²
延べ面積	10,988m ²
階数	6階建て
用途	事務所
構造種別	鉄骨造(S造)
東西	59.4m
南北	29.4m
最高高さ	30.9m

2. PI棟の建設コンセプト

PI棟の建設コンセプトは、次のとおりである。

(1) 連携強化推進

開発・設計部門を中心に共通部門を含めた全方位での連携強化を図り開発スピードを加速する。そのために、人が集まりコミュニケーションが活性化する出会いの場を提供し、開放感が感じられる空間によって創造性を誘発する。また、部門間の壁を取り除いたオープンで人員増減に柔軟に対応できる執務環境を確保する。

(2) 研究所とのコラボレーション促進

社内研究所等の駐在エンジニアとの開発効率アップに配慮した長期間リラックスして滞在できるコラボレーション環境を構築する。

(3) 顧客への高いホスピタリティ

顧客(社外、社内他事業本部)との大小会議・セミナーや長期滞在型の打合せなどに幅広く対応できるパブリックエリアを構築する。また、パワーデバイスと環境技術とのつながりが子供から大人まで実感・アピールできるショールームを構築し、顧客へのホスピタリティ(おもてなし)を図る。

(4) 環境性能の確保

自然エネルギー(光、風)の積極的導入及び断熱性能向上と各種省エネルギー技術・自社省エネルギー製品の積極的な導入を図ることによって環境性能を確保しエネルギー消費の可視化を図る。国内外の顧客来場の機会に“グローバル環境先進企業”をアピールできる環境配慮型ビルを目指し、“中央吹き抜け階段”(図2)を採用するとともに最新の省エネルギー技術を導入した。



図2. 中央吹き抜け階段

3. PI棟に採用した省エネルギー技術

3.1 照明負荷低減

PI棟で最も環境(エネルギー)負荷の大きい“照明設備”では、全館LED照明を採用するとともに照度・人感センサによるきめ細かい照明制御を行い、またライトシェルフによって得られる自然採光によって照明負荷を低減した(年間453MWh削減(191t-CO₂))。

3.1.1 全館LED照明

PI棟執務エリアのLED照明器具を三菱電機照明制御システム“メルセーブNET”によって4ユニット単位で制御し、人がいない空間でムダになりがちな照明を人感センサで減光又は消灯している(表2)。

また、昼間はLED照明の明かりに窓からの自然光がプラスされ窓際は特に明るくなり過ぎるため、照度センサで自然光の分だけ照明光を減光し照明負荷を低減した(図3、表3)。

3.1.2 自然採光の積極的活用

(1) 中央吹き抜け階段

自然エネルギー(光、風)を積極的に取り入れるとともに、部門間の連携強化を図るために導入した中央吹き抜け階段

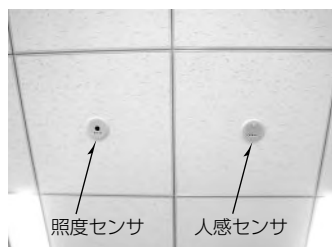
表2. 人感センサ設定条件(執務エリア)

	設定照度
不在になってから25分後	45% 約450ルクス
その後5分間不在の場合	0% 約0ルクス



(a) LED照明

(b) LEDダウンライト



(c) 照度・人感センサ

図3. LED照明及び照度・人感センサ

表3. 照度センサ設定条件(執務エリア)

	設定照度
目標設計照度	70% 約700ルクス
照度下限率(窓際側)	45% 約450ルクス
照度下限率(室内側)	60% 約600ルクス

によって、屋根から2階フロアまでを明るく照らし照明負荷を低減した(図2)。

(2) ライトシェルフ

PI棟の窓(東・西・南面)にはライトシェルフという庇(ひさし)を設けており、夏の直射日光による眩しさを遮り、冬の暖かい日差しを招き入れる。ライトシェルフによる反射で自然光を天井面に取り込み照明負荷を低減している(図4)。

3.2 空調負荷低減

3.2.1 自然換気システム

室内温度と外気温度及び湿度、風速、降雨状況を各種センサ類で監視し、Facima BA-SYSTEMで外気が室内条件と同等になった際に、自動で執務エリア及びトップライト(中央吹き抜けの天窗)の排煙窓を開放するとともに空調機を停止するシステムを構築した(表4、図5、図6)。

中間期(春、秋)における執務エリアの空調を自動で自然換気に置き換えることによって空調負荷を低減した(年間57MWh削減(24t-CO₂))。

3.2.2 Low-e複層ガラス

PI棟の窓ガラス(北面を除く)には、Low-e(Low emissivity)複層ガラスを採用しており、ガラスの表面に特殊な

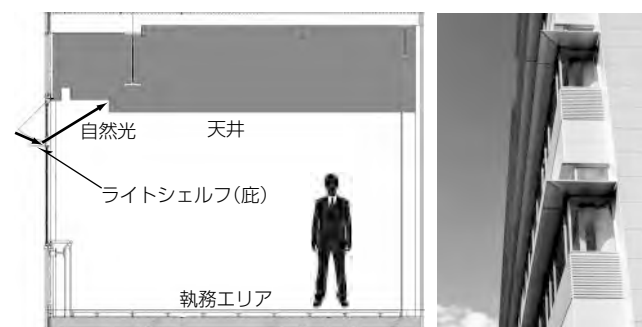


図4. ライトシェルフ

表4. 自然換気システム設定条件

項目	設定条件(排煙窓 開放成立条件)	遅延時間 ^(注1) (分)	
		条件成立時	条件不成立時
温度	23℃ < 外気温度 < 27℃	3	3
湿度	50%RH < 外気湿度 < 70%RH	3	3
風速	風速 < 2 m/s	2	2
雨量	雨量 < 0.2mm/h	30	1

(注1) 各項目の設定条件に対して観測値の変動が激しい場合、排煙窓の開閉頻度が増加し故障の原因となるため、条件成立時(不成立時)に遅れ時間を持たせたもの。

RH : Relative Humidity



図5. Facima BA-SYSTEMの画面



(a) 雨量計



(c) 電動排煙窓



(b) 風速計



(d) 温湿度計

図 6. 自然換気システム

表 5. 電動ブラインド開閉設定条件

時刻	エリア	ブラインド角度
7:00	北	全開
	南	全閉(スラット角度:水平)
	西	全閉(スラット角度:水平)
	東	全閉(スラット角度:垂直)
20:00	全部	全閉(スラット角度:垂直)



図 7. 電動ブラインド



図 8. 太陽光発電システム

コーティング処理(金属及びその酸化物等で構成された非常に薄い膜)を施し、外気の熱を室内に伝達しにくくし空調負荷を低減した。また結露を軽減してカビ・腐食を防止するとともに防音対策、紫外線カット効果が期待できる(年間16MWh削減(7t-CO₂))。

3.2.3 ブラインド制御

室内の窓には電動ブラインドを設置しており、日中はリモコンによる手動開閉動作で明るさ調整を行っている。夜間に室内照明の明かりが構外に漏れて、地域住民への“光害”にならないよう、タイマ制御で自動的に電動ブラインドを開閉している。さらに夏期早朝時における日射負荷を軽減するために、エリアによって開閉角度条件を設定して自動開閉している(表5、図7)。



図 9. 屋上緑化システム



図10. CASBEE福岡による環境性能評価結果

3.3 創エネルギー及び屋上緑化

3.3.1 31.32kW太陽光発電システム

屋上の北側及び南側に、31.32kW太陽光発電用モジュールを155m²設置し、パワーコンディショナ等の機器類を棟内屋上電気室に設置して2014年度中に発電開始予定である(図8)。発電した電気でPI棟の消費電力の一部をまかなう。PI棟1階ショールームに表示装置を設置し、日々の発電量と積算値を表示し発電量の見える化を図る(年間34MWh発電(14t-CO₂))。

3.3.2 屋上緑化システム

太陽光発電設備に併設し、姫高麗芝及び多年草を76.8m²(16.0m×4.8m)植え、屋上緑化システムを構築した(図9)。

4. CASBEE福岡(環境配慮制度)認証の取得

福岡市では、延べ床面積が5,000m²を超える建築物を新築・増改築する場合、“福岡市建築物環境配慮に関する指導要綱”に基づき、工事着手の21日前までに“建築物環境配慮計画書”を行政に届け出る必要がある。届出の際、環境配慮の取組み内容を“CASBEE福岡”で評価し提出する必要がある。“CASBEE福岡”とは建築物の環境性能を評価して格付する手法であり、今回のPI棟では当社初の最高ランク“S”を取得した(図10)。

5. む す び

PI棟は、今後も“グローバル環境先進企業”の象徴として、省エネルギー活動及び改善を推進していく。

節電30%の取組みと見える化による省エネルギー

内田博明*
清水徳泰*

Wrestle with Power Saving for 30% and Energy Saving by Visualization

Hiroaki Uchida, Noriyasu Shimizu

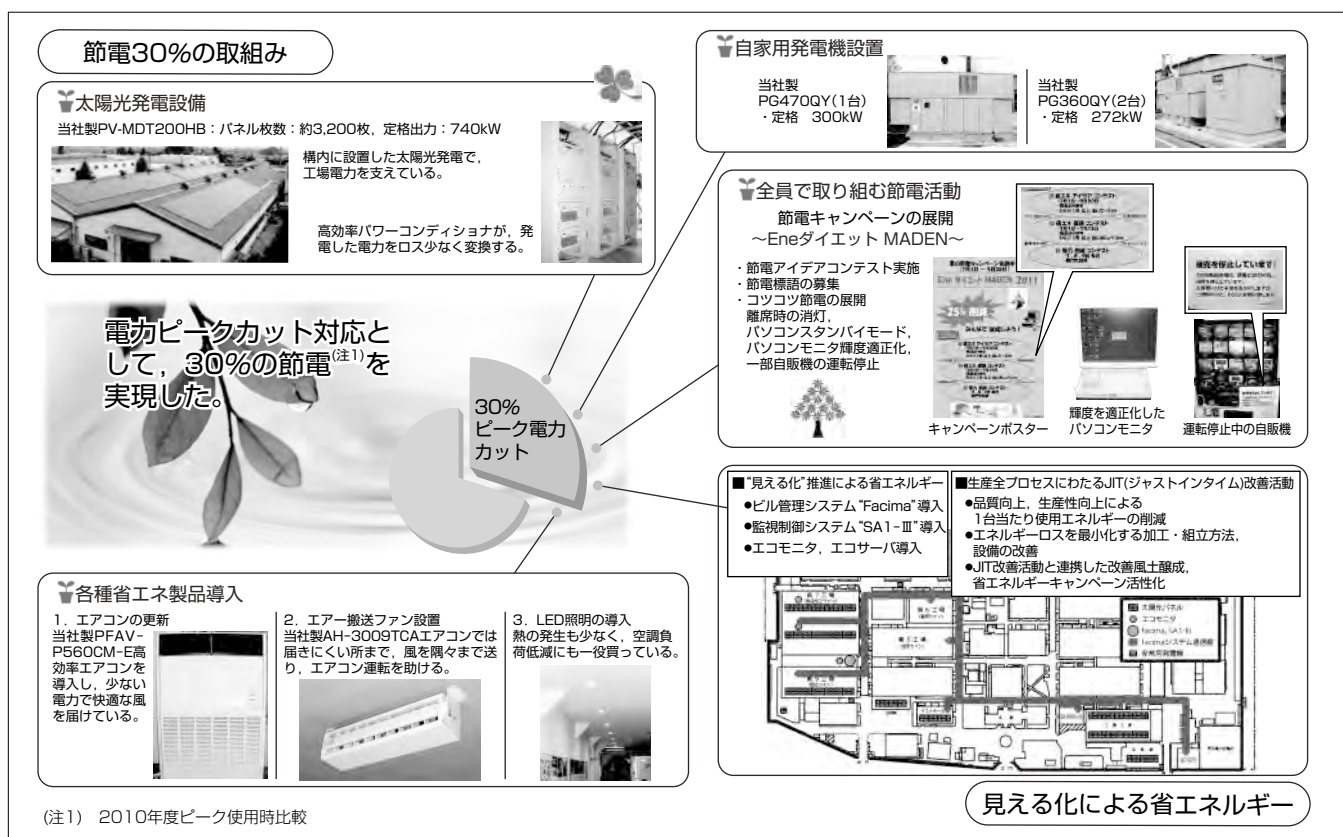
要 旨

三菱電機の“環境ビジョン2021”の中期計画である第6次環境計画(2009~2011年度)で、当社の群馬製作所は637tの生産時CO₂削減が必要であるなか、2010年度末時点での削減実績が377tにとどまり、抜本対策の必要に迫られている時、東日本大震災が発生した。夏のピーク電力制限令15%に対し、三菱電機グループでは削減目標25%を挙げたが、群馬製作所は独自の目標30%削減を掲げ、取組みの3つの柱、①電力の見える化、②高効率機器の導入、③全員参加の活動によって節電30%を達成した。

見える化は、本社監視システムが構築され、所内でも従来のデマンドの監視状態をイントラネット上に公開、各部門の閲覧を可能にした。高効率機器は社内の協力を得て、電力制限令の適用開始日までに設置・稼働した。全員参加

は節電・省エネルギー意識向上を主な狙いとしてキャンペーンを展開する中で種々の活動を実施した。

さらに、2012年度はピーク抑制から、エネルギーの総量削減に目標を変え、見える化の手段として、ビル管理システムと、産業／工場向け監視制御システムを導入し、工場の建屋ごと、部分的にはラインごと、設備ごとに省エネルギーを行った。この活動の主体は、群馬製作所JIT(Just In Time)改善活動の体制強化に伴い設定した“電力見える化サブWG”であり、現場を良く知る第一人者をメンバーとして召集した。見える化によって休日の電力消費や、エネルギー消費量の異常値を発見でき、設備故障や経年劣化も改善できている。



節電30%の取組みと見える化による省エネルギー

2011年の電力制限令への対応として、群馬製作所は30%削減を目標として活動を展開した。“見える化改善”“高効率機器の導入”“全員参加による改善活動”の取組みを実行することで目標を達成した。この活動で、省エネ大賞資源エネルギー庁長官賞(節電賞)を受賞した。2012年以降は節電から省エネルギーへと改善活動を変革し、見える化による改善を進め、CO₂削減を実現している。

1. ま え が き

当社の“環境ビジョン2021”の中期計画である第6次環境計画(2009～2011年度)で、群馬製作所では637tの生産時CO₂削減が必要であった。2009～2010年度の削減実績は377tにとどまり、残り1年で目標の4割に当たる260tを削減しなければならず、削減施策に行き詰まりを感じていた時、東日本大震災が発生し、夏季の電力不足への懸念から、政府によって電力制限令が発動された。ピーク電力15%抑制の制限令に対し、三菱電機グループ全体で制限令を上回る25%削減を目標とし、電力監視(見える化)を開始した。一方、群馬製作所は“三菱エコキュート^(注2)”の製造拠点であり、独自の目標、ピーク電力30%削減(節電30%)を掲げて活動し、目標を達成した。

また、この取組みで2012年度省エネ大賞資源エネルギー庁長官賞(節電賞)を受賞している。

2012年度は、節電(kW)から省エネルギー(kWh)へと取組みを変革した。既設工場の省エネルギーモデル工場化を実現する方針によって、電力見える化システム“Facima”“SA1-Ⅲ”を導入した。建屋別、設備別の電力をリアルタイムに把握することによって、設備が常時通電されていることのムダや、チョコ停と原単位悪化の関連等、新たな気づきが出て改善に結び付けている。

本稿では、一連の取組みとその効果について述べる。

(注2) エコキュートは、関西電力㈱の登録商標である。

2. 節電30%への取組みと実現

2.1 ピーク電力の見える化

群馬製作所で従来運用している所内のデマンド監視システムのデータを本社に伝送、本社ではデマンド監視システム⁽¹⁾で状況を判断して、緊急時には電力の抑制要求警報を発令する。所内でも警戒レベルを段階的に設定し、緊急時には空調機器を遠隔で停止する措置も講じた。各部門には“空調の遠隔停止につながる警報を発令させないように！”と節電をアピールし、照明・パソコンの消し忘れ防止、非稼働設備の通電停止等、ムダの徹底排除を要望した。

電力デマンドの状況は管理部門に置かれた専用のパソコンだけで閲覧可能であったが、各部門でも把握可能にするため、パソコン画面を撮影して所内イントラネット上で公開する手段を用いた。工場全体の電力デマンドを監視し、自部門の空調を抑制し合う効果があったと考えている。

また、各部門で空調を抑制する負担を軽減するため、非常用発電機3台(合計1,055kVA、燃料：重油)を併用したが、天気予報を毎日参照して翌日の稼働パターンを会議で決めて、運転を極力抑制する方策を取った。

一方、本社のデマンド監視システムでは各拠点間の調整が盛り込まれていたため、ほかの拠点が夏季の休日で稼働

していない日は当所の抑制を緩和する措置も講じられた。

2.2 全員参加の改善活動(省エネルギーキャンペーン)

エネルギー削減で大きな成果を創出したのは、全従業員参加型の改善活動であった。

従業員全員の意識改革を目的に、省エネルギーキャンペーン“EneダイエットMADEN”を展開した。“MADEN(=馬電)”は社内での群馬製作所の略称である。構内に省エネルギーのアイデアと標語の応募ポストを設置、多数の案が寄せられた。

さらに、省エネルギー取組み状況を省エネルギーパトロールによって相互点検することで、一層の改善を図った。

2.2.1 省エネアイデアコンテスト

省エネルギー改善のテーマ抽出と省エネルギー意識の向上を目的とした“省エネアイデアコンテスト”を実施した。2011年度は応募総数439件、優秀賞として8件を表彰し、リフロー炉等の設備の断熱やエアコンに帯をつけての運転見える化等、即実行可能なものを構内全域に水平展開した。

2.2.2 省エネ標語コンテスト

従業員の省エネルギー意識向上を目的として、省エネルギーをテーマとした標語の募集を実施した。2011年度は応募総数1,333件、このうち優秀作品7件を表彰した。また、一部を“太田市環境を守ろう標語コンクール”に応募し、1点が佳作に入選した。なお、2012年以降も毎年この活動を継続している。

2.2.3 省エネ相互パトロール

各部門には環境改善の推進役である環境キーマンを配置して、これまでも廃棄物の分別促進や省エネルギーの推進に取り組んでいたが、省エネキャンペーン“EneダイエットMADEN”でも、この環境キーマンが節電・省エネルギーの推進原動力として活躍した。

2011年度から、環境キーマンによる定期的な“省エネ相互パトロール”(図1)を行い、事務所・工場の照明の消し忘れ等、エネルギーロスのチェックと改善指導を実施した。その後も“課長巡視”“倉庫等のパトロール範囲拡大”など、進化しつつ取組みを継続している。



図1. 省エネ相互パトロールの様子

3. 高効率機器の導入

2011年の電力制限令への対応として、太陽光発電設備や高効率機器(照明, エアコン, 給湯設備など)を制限令発令までに導入して稼働を開始した。特に太陽光発電システム導入については、古い工場であるため建屋強度等の課題も懸念されたが、特に問題なく設置することができた。

- (1) 太陽光発電設備：740kW(パネル3,200枚)
- (2) 非常用発電機：3台(340kVA×2台, 375kVA×1台)
- (3) 高効率エアコン：23台(約90%高効率化完了)
- (4) エアー搬送ファン：18台
- (5) ヒートポンプ式給湯機：6台
- (6) LED照明：57台(2011～2013年度実績)

3.1 太陽光発電システムの導入

ピーク電力の削減及び生産時CO₂削減に向けた総エネルギー削減の取り組みとして、木造で築70年のゲストホールを始め、給湯機組立のメイン工場の屋根上など図2のように合計740kWの太陽光パネルを設置した。

その発電実効値は晴天時で600kW前後(発電効率80%)となり、夏季のピーク電力の約20%を削減、また年間総電力量でも10%を賄うことができるようになり、CO₂削減にも貢献した。

3.2 LED照明化及び空調改善

固定電力の削減策として、工場内の蛍光灯や水銀灯からLED照明への切り換えを開始したが、工場内全ての切り換えは、工期とコストへの制約があった。そこで、①稼働時間大、②共有施設、③老朽化を優先に省エネルギー効果が大きい箇所から順次切り換えを開始した。

空調については、設置後10年以上経過しているエアコンを順次更新することで、大きな省エネルギー効果となった。また、天井が高く、広い工場内では、温度むらがあるため過剰に低い温度設定をされることが多く、この改善として“エアー搬送ファン”を導入した。この機器の導入によって、エアコンでは届けにくい所まで風を送ることで室内の温度むらを解消し、温度設定を改善することができた。さらに冬場の暖房についても、天井へ昇る暖気を作業エリアへ吹き降ろすことで、空調負荷の低減が図れた。

3.3 三菱エコキュートの工場利用拡大

給湯設備については、群馬製作所で生産するヒートポンプ式電気給湯機“三菱エコキュート”の工場利用を推進した。

手始めに、給湯機を連結した“小型業務用エコキュート”に従業員食堂の厨房(ちゅうぼう)に導入した(図3)。従来、食堂の食器洗浄には、重油燃料のボイラー蒸気から熱交換した湯を使用していた。これを給湯機に置き換えて電力へのエネルギーシフト(燃料転換)を実施することで重油使用量を削減し、CO₂排出量削減を実現した。なお、給湯機は深夜電力を使用するため、昼間のピーク電力への影響もな



図2. 設置した太陽光パネル



図3. 小型業務用エコキュート(食堂厨房設置)

く、さらに蒸気配管の撤去も実現し、メンテナンス性も改善される結果となった。

この活動は、当社全体に波及し、各製作所にある代替可能な製造設備、福利厚生設備の更新が行われている。

4. 見える化による省エネルギー改善

4.1 電力見える化システムの構築

2012年度以降は、活動をピーク電力削減(kW)から電力量削減(kWh)へと変革してCO₂の削減を図った。

この活動を行うに当たり、リアルタイムのエネルギー把握が重要と考え、見える化システムの導入を実施した。省エネルギーモデル工場化を図るために、ビル管理システム“Facima”(当社製)と、産業/工場向け監視制御システム“SA1-Ⅲ”(三菱電機システムサービス(株)製)の2つのシステムを導入した。

“Facima”は、構内イントラネットによって従業員全員が閲覧できる環境とし、従業員の省エネルギー意識向上を図った。また、電力系統別での電力量把握が可能となったことで、基板、プラスチック成形工場では、生産ラインごと、設備ごとの電力量の見える化を実現した。一方、ほかの工場では建屋単位の電力量となっており、この弱点を補い、また、生産原単位改善の視点で“チョコ停”や“不良”発生によるエネルギーロスを改善するため、鏡板製造ラインに“SA1-Ⅲ”を導入した。

4.2 JIT改善活動と見える化省エネルギー

JIT改善活動は、当社全体で取り組むあらゆるムダ取り活動の総称であり、各製作所の特色に応じて、全社的に展開している。

群馬製作所でも7つのJIT改善活動に取り組み、この改善活動が更なる省エネルギー活動と連携することで、活動活性化と電力削減を図ることができた。



図 5. パイプNC旋盤

蒸気バルブの
シール部が劣化
(凹部分)

要因を調査した。ボイラー、蒸気配管など供給経路に不具合はなく、設備内を点検した結果、図6の蒸気バルブの劣化によって蒸気が漏洩(ろうえい)していることが判明した。直ちにバルブ交換を実施することで灯油の削減を図ることができた。

これまでの改善活動は、従業員全員の節電・省エネルギー意識向上と、それを活用した草の根運動、高効率機器の導入／更新、エネルギー見える化の活用であるが、今後も基本的な方向性は変わらない。

意識の更なる向上も図り、機器の更新を順次継続する。見える化の活用については発展の余地があり、対象とする工場と設備の拡張、また、試験設備への適用も重要である。活動の形態としては設備技術者の活動から、現場主体の活動にレベルアップすることを目標としている。

また、省エネルギー・CO₂の削減は、生産性改善や品質改善、設備保全など日々の改善業務と一体であり、改善の結果として省エネルギー・CO₂削減も期待できる。このことを従業員全員の意識に定着させ、全員参加型の活動を継続していく。

(1) 事例-1：加工設備の待機電力削減

工場で休日の電力消費があることに気づき、メンバーによる対象機器の調査を実施した。その結果、パイプNC旋盤(図5)が非稼働時に常時通電状況であることが判明した。この設備のオペレータに確認したところ、電源を切ると再立上時にチョコ停が頻発するため、非稼働時でも待機状態としていることが分かった。この原因を調査した結果、シャフトの老朽化が発覚し、これを交換することで再立上時のチョコ停も改善された。電力見える化によって省エネルギーだけでなく、設備不具合の改善となった事例である。

(2) 事例-2：洗浄設備の灯油削減

見える化システムは電力だけでなく、燃料の見える化も実施している。部品の洗浄設備では、灯油ボイラーから供給される蒸気熱源による温水洗浄、乾燥などの工程があり、この灯油消費量が年々増加傾向であることに着目し、増加

再生可能エネルギーの系統接続技術

小島康弘*
高野富裕**
泉井良夫***

Technologies for Renewable Energy Resources to Grid Connection

Yasuhiro Kojima, Tomihiro Takano, Yoshio Izui

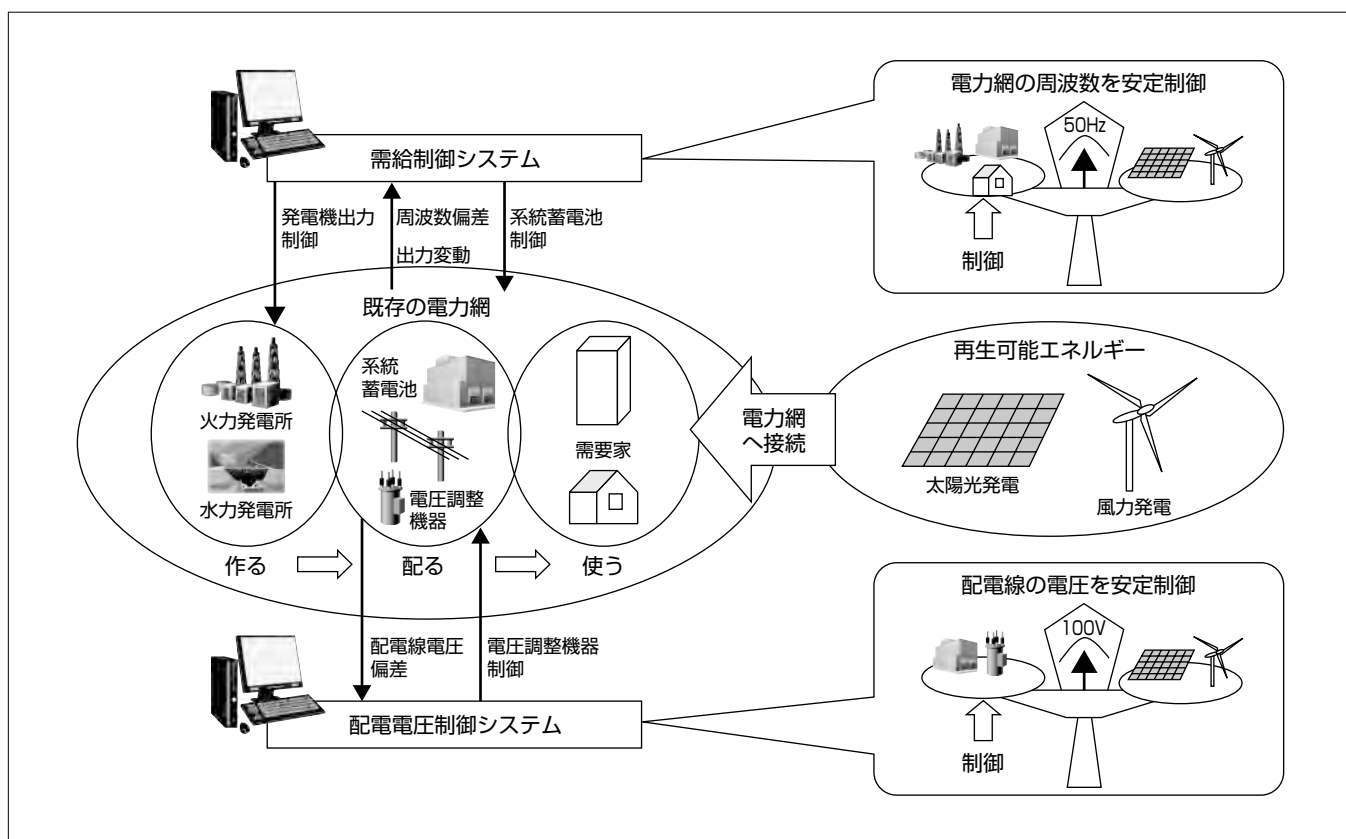
要 旨

低炭素社会の実現を目的として、世界的に太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が拡大している。日本でも固定価格買取制度が導入され、この制度の認定容量は71.5GWと国内総需要の1/3を超過し、既に10GW以上が導入されている(2014年9月時点)。

一方、電力網はリアルタイムシステムであり、瞬時の高度な制御によって、電力網全体での周波数や配電電圧は規定値に維持されている。このため、不安定な電源が電力網に大量に導入されると、そのままでは周波数や配電線電圧が規定値に維持できず、最悪の場合は大規模停電を引き起こす可能性がある。すなわち、再生可能エネルギー導入拡

大については、既存の電力網との接続に際し、様々な課題を解決する必要がある。

そこで、我々は、最重要課題である、周波数の安定化制御と配電線電圧の安定化制御を実現するため、再生可能エネルギー導入拡大に対応した、需給制御システムと配電電圧制御システムを開発した。さらに、自社実証実験設備で実地に検証を行い、所望の性能が得られることを確認している。これらのシステムを適用することによって、今後、さらに再生可能エネルギーの導入が拡大されても、電力網を安定制御することができ、安全・安心な電力供給を維持するとともに、低炭素化社会の実現に貢献できると考える。



需給制御と配電電圧制御による電力網の安定化制御

太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは出力変動が不安定であり、大量・集中導入時には、周波数変動や電圧変動などによって電力網に悪影響を与える。このため、新たに、再生可能エネルギー導入拡大に対応した需給制御システムや配電電圧制御システムを開発し、自社実証実験設備を用いて性能検証を行っている。

1. ま え が き

近年、低炭素社会実現に向けた供給力の1つ、また日本のエネルギー安全保障を担う供給力の1つとして、太陽光発電(PhotoVoltaics：PV)、風力発電(Wind Turbine：WT)などの再生可能エネルギーの系統連系が加速している。一方、再生可能エネルギーは天候の影響を受けやすく発電量の変動が大きいと、電力品質の低下が懸念されている。図1に再生可能エネルギー導入時の課題をまとめる。

本稿では、周波数の安定化制御と配電線電圧の安定化制御を実現するため、再生可能エネルギー導入拡大に対応した、需給制御システムと配電電圧制御システムについて述べる。需給制御は、系統全体の需要と供給のバランスを制御し、電力網の周波数を一定に保つ。配電電圧制御は、局所的な発電と消費のバランスを制御し、配電線の電圧を一定に保つ。いずれも自社実証実験設備で動作を検証し、一部は実系統に導入済みである。

2. 需給制御システム

2.1 システムの概要

需給制御では、需要の変動に対して火力発電・揚水発電など制御可能な発電機の運転台数と発電量を制御する。これによって需要と供給のバランスを取り、周波数の変動を適正範囲に維持してきた。この制御を実現するため、需給制御システムは、大きく分けると需要予測機能、需給計画機能、需給制御機能で構成される。需要予測は、気象・地域特性に基づいた実績から回帰分析モデル等によって翌日の需要を予測する。この予測情報に基づいて、需給計画で1日を通じた発電機の起動停止を決定、さらに時々刻々と変化する需要に基づいてリアルタイムの需給制御が行われる。

しかし、電力系統に発電出力が不安定なPVやWTが大

量に連系した状況では、需要の予測・監視に加え、PVやWTに対する発電出力の予測・監視、これらの変動に備えた需給制御が必要となる。また近年、可変速揚水発電機や系統用蓄電池などPVやWTの発電出力変動の補償を目的とした大規模なエネルギー貯蔵装置の開発が進んでおり、従来、制御対象としていた発電機と、新たなエネルギー貯蔵装置や需要側との協調を取りながらPVやWTの発電を最大限活用できる、より高度な需給制御の実現が求められている。次に、再生可能エネルギー大量導入に対応するための、蓄電池を用いた需給制御技術を述べる⁽¹⁾。

2.2 蓄電システムによる系統安定化制御

再生可能エネルギーの変動には、瞬時の短周期の問題と、1日を通じた長周期の問題がある。このような不確定な需給バランスに対応する対策として、蓄電池そのものの低コスト化という課題はあるものの、建設候補地の確保のしやすさ、着工から運用開始までのリードタイムの短さ等から、揚水発電機の代替として蓄電システムが期待される。蓄電池の選定は、電池の特性に応じて、短周期であればリチウム電池、長周期であればNAS^(注1)電池が有望である。

そこで離島などの小規模系統の電力品質を運用目標値内に維持するために、蓄電池の有効電力制御として、従来の周波数変動を検出する ΔF 方式に追加して、新たに、連系線潮流変動を検出する ΔP 制御を開発した。各制御の概要を次に示す。

(1) ΔF 制御

基準周波数との偏差に応じたフィードバック制御であり、従来の制御手法である。この方式は、周波数偏差が需給アンバランスによって発生することに基づいている。どのようなケースでも正しく動作するというメリットがあるものの、周波数偏差が発生しなければ制御できないため、後述の ΔP 制御に比べると制御動作は遅くなる課題があった。

(2) 連系線 ΔP 制御

離島系統に連系された再生可能エネルギーの出力変動は、離島系統の供給力である内燃力発電機の出力を変化させる。一方、発電機の燃料供給量は即座には変化しないため、内燃力発電機では機械入力と電気出力のアンバランスが発生し回転速度が変化する。その結果、周波数変動が発生する。 ΔP 制御は、このアンバランス量を直接とらえる方法で、発電機が接続する送電線潮流を計測、その短周期変動分を蓄電池で分担する。

(注1) NASは、日本硝子(株)の登録商標である。

2.3 実証結果

この安定化制御の実証結果について述べる。離島への再生可能エネルギー導入拡大に向け、経済産業省補助事業“平成24年度風力系統連系量拡大実証事業”の補助を受け、九州電力が同社の芦辺変電所(長崎県壱岐)に蓄電システムを導入した⁽²⁾。壱岐の系統規模は約35,000kWの離島であ

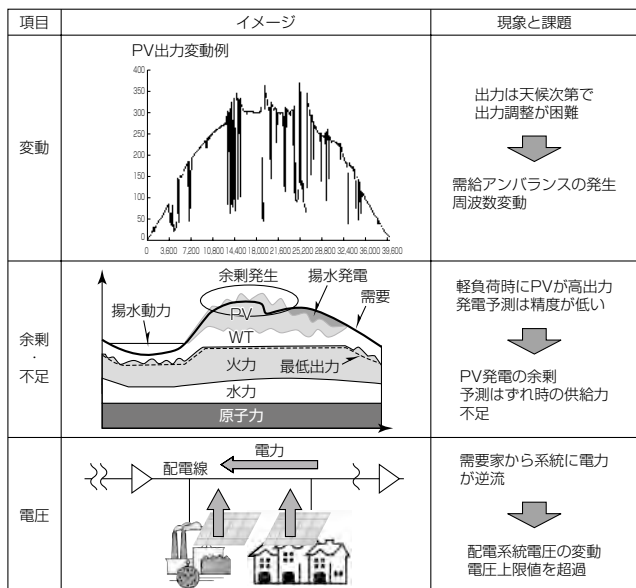


図1. 再生可能エネルギー導入時の課題

り、2つの内燃力発電所によって電力を供給しているが、2013年3月時点で、既に連系しているWTによって周波数調整力が限界に達していた。導入された蓄電システムは、500kWのPCS(Power Conditioning System)と200kWhのリチウムイオン電池とからなる蓄電池ユニット8並列(4,000kW, 1,600kWh)で構成される(図2)。

系統安定化方式には ΔF 制御、 ΔP 制御以外に、様々なケースで安定動作するよう両者を組み合わせた $\Delta P + \Delta F$ 制御も採用された(図3)。2012年度から実施中の実証試験では、 $\Delta P + \Delta F$ 制御によって連系線潮流の変動と併せ、内燃力発電機の出力変動も抑制されることが示され、導入した蓄電システムの有効性が確認されている(図4)。

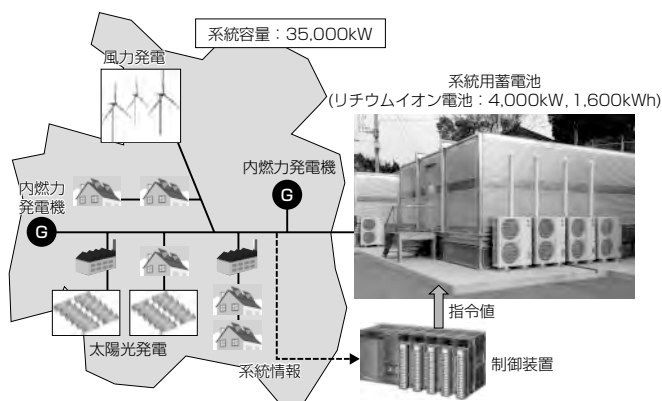


図2. 離島向け蓄電システム(短周期対策)

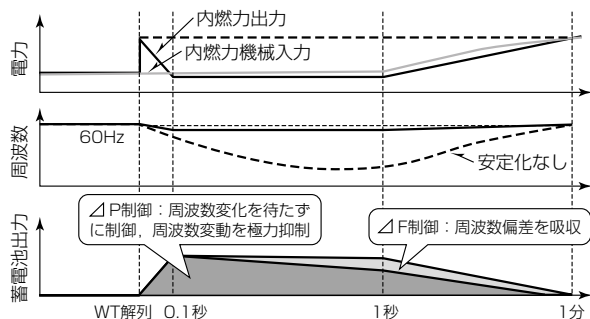


図3. $\Delta P + \Delta F$ 制御方式の概要

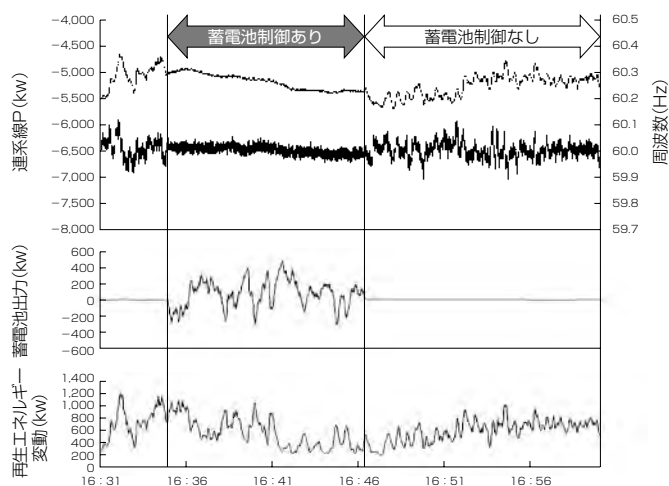


図4. 離島での実証実験結果の一例

3. 配電電圧制御システム

3.1 システムの概要

PVに代表される分散型電源が配電系統へ大量導入されると、逆潮流に伴う電圧上昇や天候変化に伴う電圧変動などの電圧問題が懸念される。これら配電系統での電圧問題を解決するための、集中制御とローカル制御を組み合わせた2階層制御の配電電圧制御システムを開発した(図5)。

このシステムでは、通信網を介して、配電系統に設置したセンサ付開閉器から電流・電圧計測値を取り込み、配電自動化システム上に実装した最適潮流計算(Optimal Power Flow: OPF)を用いて、各制御対象の最適制御指令を決定する⁽³⁾。

ここで、配電機器と配電自動化システムと間の通信は、膨大な通信トラフィックの中、データ加工しつつ複数ネットワークを経るため、分レベルの時間を要する。一方でPVの出力変動に起因する電圧変動は秒レベルで発生するため、配電自動化システムから配電機器に直接制御指令を出す集中制御方式だけでは、電圧変動に追従できない可能性がある。そこで集中制御による全体最適化と、パワーエレクトロニクス機器の高速ローカル制御を組み合わせた2階層制御方式を開発した。

3.2 2階層制御方式

配電電圧制御に用いる機器は、次の2種類に大別できる。

(1) 機械式タップ切換え型電圧調整器(分散制御型)

配電変電所のLRT(Load Ratio control Transformer)と配電線路上のSVR(Step Voltage Regulator)がある。これらは一種の変圧器であり、巻線比をタップ制御によって変更することで二次側電圧を上げ下げする。

(2) パワーエレクトロニクス式無効電力制御電圧調整器(連続制御型)

配電線路上のSVC(Static Var Compensator)と産業用PVのパワコン(PV-PCS)の2種類を考える。これらは、無効電力を配電線から出し入れすることによって、電圧を上げ下げする。

両者には次の特長がある。(1)は機械式のため制御回数が

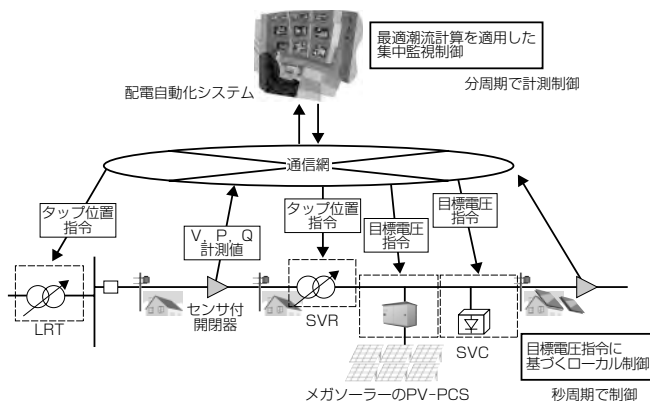


図5. 2階層制御の配電電圧制御システムの枠組み

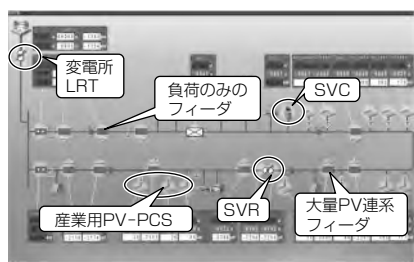
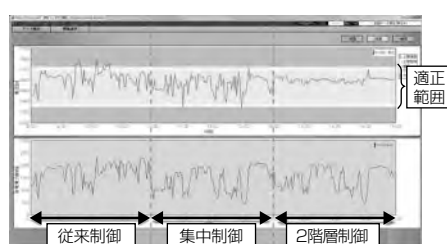
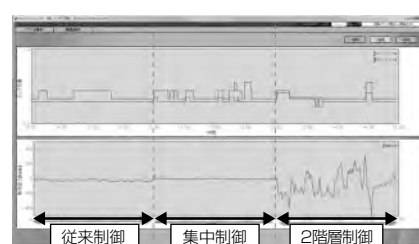


図 6. 尼崎地区実証配電システムの系統図画面



(a) 上: PV連系フィーダ末端電圧,
下: PV出力総計



(b) 上: LRT, SVRタップ動作,
下: 無効電力出力

図 7. 配電電圧制御の実証結果

1日20回程度に制限されるが、電力ロスが少ないという長所がある。(2)は(1)に比べて電力ロスが大きい、高速応答という長所がある。これらの特長を踏まえて2階層制御では、短周期の瞬発的な電圧変動は(2)のローカル制御でいったん吸収し、中長期の電圧変動は集中制御によって(1)に持ち替えることで、電力ロスを抑えつつ、電圧を適正維持することを目指す。このためOPFでは、目的関数を、(a)電圧逸脱量、(b)タップ動作回数、(c)無効電力制御による電力ロスの3要素とし、重みを(a) \gg (b) \geq (c)としている。

分周期の制御で、OPFは配電線各点の計測情報(V:電圧, P:有効電力, Q:無効電力)を基に、目的関数が最小となる、(1)と(2)との制御の組合せを最適計算によって求め、その結果得られるはずの電圧分布(制御後電圧分布)を潮流計算によって求める。決定した(1)の制御量(タップ位置)は、直接指令としてLRT, SVRへ送出する。一方(2)に対しては、制御後電圧分布の中、各機器の設置点電圧を目標電圧として与える。(2)のローカル制御では、与えられた目標電圧と現系統電圧との偏差をなくすように、PI(Proportional Integral)制御によって無効電力を1秒周期で制御する。したがって系統電圧変動が無ければ、(2)の各機器は、OPFで決定した無効電力量を一定出力することになるが、実際には次のOPF制御周期までの間に電圧変動が発生するため、その変動に応じてOPFが決定した電圧分布を維持するための、無効電力出力を随時変更することになる。

3.3 実証結果

開発システムの妥当性を、三菱電機尼崎地区スマートグリッド実証実験設備を用いて評価した。図6は、実証配電系統図画面であり、画面左上がLRTのある変電所である。負荷のみのフィーダ(画面上側境界点までの線)と、3MWのPVを大量連係した10kmと長めのフィーダ(画面下側から回り込んで上側境界点までの線)の2フィーダ構成とし、フィーダ間の末端電圧差が大きい系統を模擬した。PV大量連系フィーダには電圧調整器として変電所にLRT、フィーダ中間地点にSVR、末端地点にSVCのほか、産業用PV-PCSを分散配置している。実証では、次の3制御方式を比較評価した。

- (1) 従来制御: LRT, SVRによるローカル制御
- (2) 集中制御: LRT, SVRへの集中制御

- (3) 2階層制御: LRT, SVR, SVC, PV-PCSへの2階層制御

従来制御, 集中制御, 2階層制御の順に2時間ずつ実施した実証結果を図7に示す。図7(a)上部の系統電圧は、最も電圧上昇・変動が大きいPV大量連系フィーダの末端電圧である。中央の適正範囲に電圧を維持することが制御目的となる。

実証結果から、集中制御では従来制御と比較して、LRTとSVRのタップ動作回数が増加するものの、電圧上限逸脱の改善が確認できる。ただし大幅なPV出力変動に対しては、電圧制御が追従できず、微少な電圧逸脱が発生している。一方SVC, PV-PCSの無効電力制御(総容量450kVar)を活用した2階層制御では、電圧逸脱が完全に解消され、かつ電圧変動幅も約70%低減できた。また図7(b)上のタップ動作履歴から、集中制御と比較してLRTとSVRのタップ動作回数の抑制効果が確認できる。

この実証結果から、2階層制御による電圧逸脱改善効果とタップ動作抑制効果が確認できた。

4. む す び

再生可能エネルギーの系統接続によって発生する系統運用上の課題に対し、需給制御、配電電圧制御の観点からその対策と実証結果をまとめた。いずれも所望の結果が得られており、再生可能エネルギーの導入拡大に対して電力網を安定に制御し、安全・安心な電力供給の維持と低炭素社会の実現に貢献できると考えている。

参 考 文 献

- (1) 小島康弘: スマートグリッド／スマートコミュニティを支えるEMS技術、計測と制御, 53, No.1, 56～61 (2014)
- (2) Nomiyama, F., et al.: Demonstration Test of Frequency Fluctuation Suppression using a Storage Battery in Isolated Island System, CIGRE AORC Technical Meeting (2014)
- (3) 大野哲史, ほか: スマートグリッド対応の配電系統向け最適制御技術, 電気学会B部門大会, 271 (2010)

SiCパワー半導体がリードする省エネルギー

佐藤克己*
山田順治**

SiC Power Semiconductor Technologies Catering for Energy Saving

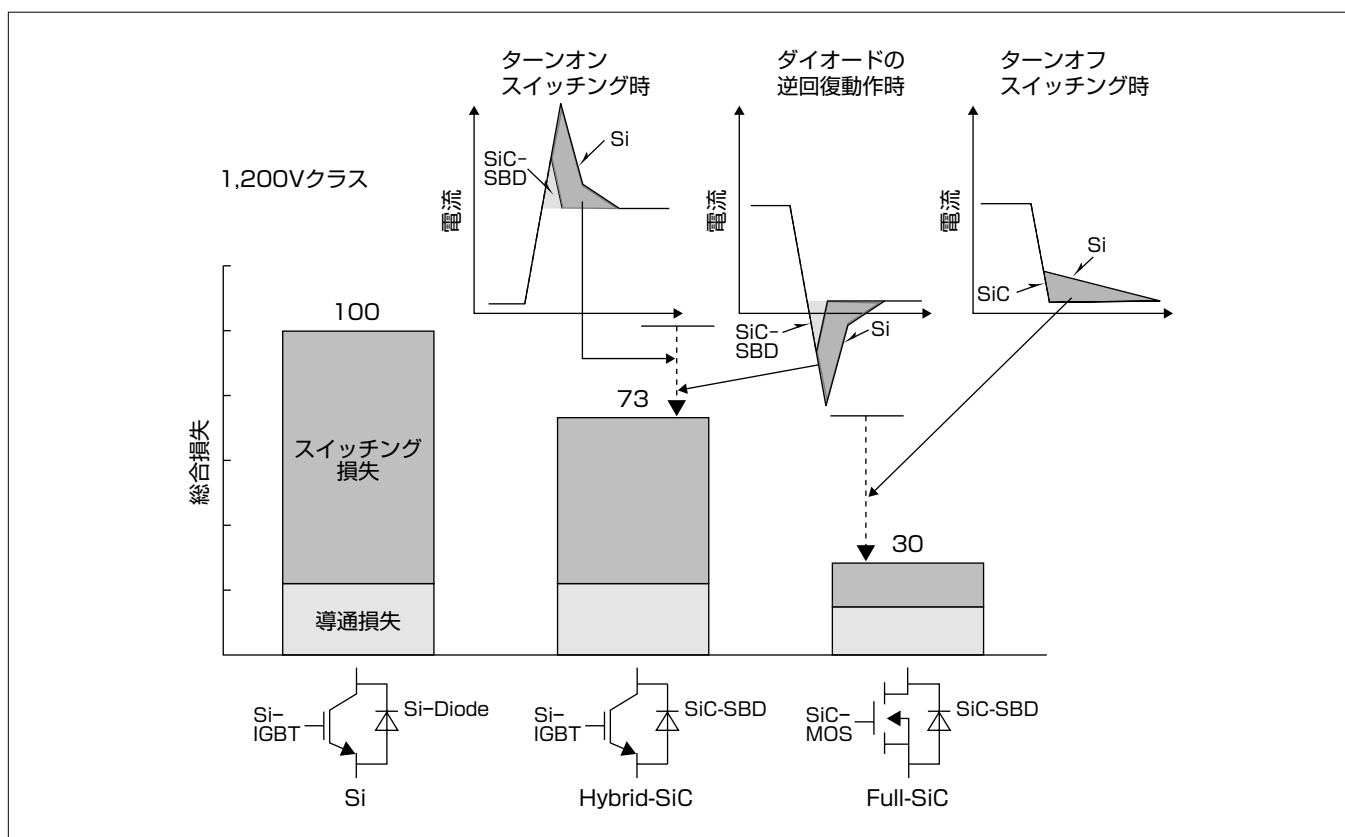
Katsumi Sato, Junji Yamada

要 旨

資源・エネルギーは人間が生活する上で必要不可欠なものであるが、それらの消費は適切な措置をとらない場合、オゾン層の破壊、地球温暖化や酸性雨など、環境に様々な悪影響を及ぼすことが知られている。

また、新興国を中心にエネルギー消費量は増加傾向を強めており、低炭素社会の実現に向けて、パワーエレクトロニクス(以下“PE”という。)機器の一層の高性能化・高機能化に対する期待がますます高まってきている。特に1次エネルギーの40%が電気エネルギーに変換される日本では、1次エネルギーから電気エネルギーへの変換や、電気エネルギーから使用機器に適合した電気エネルギーへの変換にPEが用いられ、省エネルギー化に、更には環境保護に寄与している。

そのためPE機器のキーパーツであるパワーデバイスでも、低損失化、小型・軽量化が強く要求されており、従来のSi(Silicon)と比較して、低損失化や高周波動作を可能にするSiC(Silicon Carbide)などのWBG(Wide Band Gap)半導体の研究が精力的に進められている。三菱電機もSiC-SBD(Schottky Barrier Diode)を搭載したHybrid-SiCモジュールを、また、SiC-MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)とSiC-SBDを搭載したFull-SiCモジュールを製品化し、市場に投入している。これらのSiCデバイスの性能改善を継続していくとともに、PE機器サイドと連携して応用領域を拡大することで、一層の環境負荷軽減に努めていく。



SiCパワーモジュール(Hybrid-SiCモジュール、Full-SiCモジュール)の損失改善効果

SiベースIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)とダイオードを組み合わせたIGBTモジュールに対して、ダイオードをSiC-SBD化したHybrid-SiCモジュールでは、ダイオードの逆回復損失とIGBTのターンオン損失が低減され、当社シミュレーションで総合損失が73%に低減した。さらにIGBTをSiC-MOSFET化したFull-SiCモジュールではターンオフ損失及びDC損失が低減され、総合損失はIGBTモジュール比で30%にまで低減できる。

1. ま え が き

当社のSiCデバイス開発の歴史は古く、1990年代から基礎開発を開始し、2000年代の実証評価を経て、2010年から量産化を目指したサンプル供給を開始した。一部の製品は既に量産化し、PE機器の省エネルギー化、小型化、軽量化に貢献している。

本稿では、当社のSiCモジュールの現状とそれらの応用について述べる。

2. SiCチップ

2.1 SiCチップ開発状況

当社が最初に市場に投入したのは、耐電圧600VのSBDチップである。SiC固有のプロセスと当社既存の半導体ノウハウを融合し、品質要求に応え得るプロセスフローを構築した。これらチップは当社のHybrid-SiCモジュール等に搭載し、実アプリケーションでの検証結果をフィードバックすることで、特性と品質を磨きあげ、現在は耐電圧600Vから3,300V、電流定格は75AまでのSBDを製品化している。

現状のSiC-SBDはSiCウェーハ及びエピタキシャル層に存在する欠陥のため大面積化が難しい。そのため、300Aレベルの電流定格ラインアップがあるSiダイオードに比べて、SiC-SBDは電流定格が小さい。当社はSiダイオード同等の電流定格を目標に、継続的にウェーハ及びエピタキシャル層の品質向上に努めている。

次にSiC-MOSFETは平面ゲート構造で、耐電圧は600V、1,200Vと3,300Vを製品化している。電流定格は100A(1,200V)が現状の最大で、SBDと同様に電流定格の向上を進めている。

図1に代表的な1,200V耐電圧のMSOFETの外観及びオン特性を示す。電流センスと温度センスを内蔵し、有効面積は1cm²である。

150℃におけるオン抵抗は8.6mΩが実現できている。図2にターンオフ動作波形を示す。SiC-MOSFETはSi-IGBTがターンオフ動作時に持つテール電流が小さいことが分かる。また、RBSOA(Reverse Bias Safety Operation Area)評価では、2,500A/cm²の電流密度が安全に遮断でき、ユニポーラデバイスの特長である強固なロバスト性を持つことを確認できている。

2.2 技術開発動向

1,200VのSBD及びMOSFETに続いて、高耐電圧化のシリーズ展開を進めている。3,300V耐電圧MOSFETでは、1,200V品と比較してエピタキシャル層の厚さ及びエピタキシャル層の比抵抗がほぼ耐圧比となる。高耐電圧デバイスのオン抵抗は、エピタキシャル層の抵抗値が支配的なことから、3,300V MOSFETのオン抵抗率は一般的に

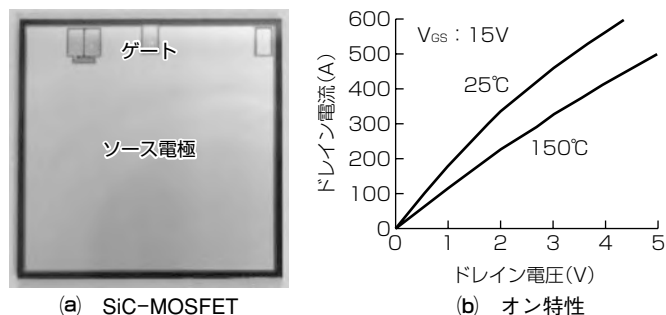


図1. 耐電圧1,200V、有効面積1cm²のSiC-MOSFETの外観とオン特性

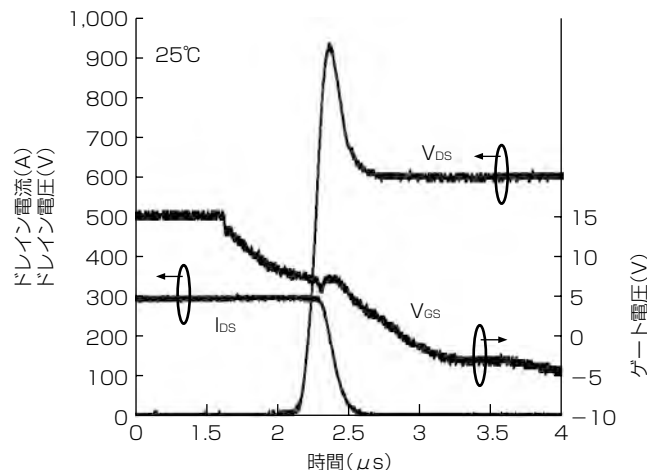


図2. 耐電圧1,200VのSiC-MOSFET(有効面積1cm²)のターンオフスイッチング動作波形

1,200V MOSFETに比較して10倍近く大きくなる。そこで、高耐電圧品はオン抵抗の低減が重要な課題となる。3,300V MOSFETでは、オン抵抗の低減のために、JFET(Junction Field Effect Transistor)部へのn型イオン注入によってJFET抵抗を低減するなどの工夫をしており、150℃におけるオン抵抗として39mΩcm²の値が得られた。これは1,200V MOSFETの5倍以下であり、未対策の場合に対して約半分のオン抵抗が達成できた。現在開発中の3,300V MOSFETの構造断面概略とオン特性、オフ特性を図3に示す。

高耐電圧MOSFETの寄生ダイオードは、通電によってオン特性が劣化するため、一般的にFWD(Free Wheeling Diode)として使用することができない。当社の3,300V SiC-MOSFETは、エピタキシャル層の高品質化によって、FWDとして使用可能とするための開発を進めており、モジュールの小型化・軽量化が実現できる見込みである。

高耐電圧化と並行して、更なる低抵抗化に向けて、トレンチゲート構造のMOSFETの開発も進めている。トレンチゲート構造にすることで平面ゲート構造でのJFET部の抵抗をなくすことができ、オン抵抗に占めるJFET部の抵抗の割合が大きい600Vから1,200Vの低中電圧のMOSFETへの適用を計画している。

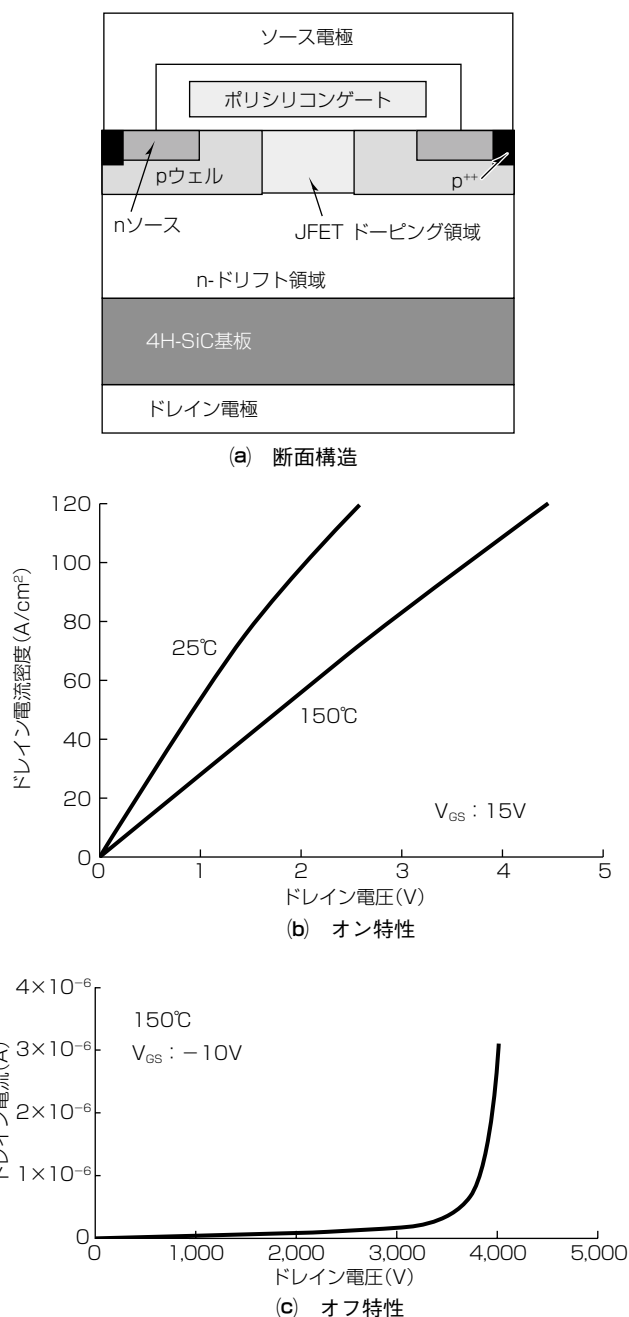


図3. 耐圧3,300VのSiC-MOSFETの断面構造とオン特性、オフ特性

3. SiCモジュール

3.1 SiCモジュールの製品展開状況

当社は、電鉄用途向けの1,700V/1,200A Hybrid-SiCモジュール、昇降機用途向けの1,200V/1,200A Full-SiCモジュール、モータコントロール用途向けの75A/1,200V 6素子Full-SiC-IPM(Intelligent Power Module)、エアコン用途向けのHybrid-DIPIPM(Transfer Mod IPM)等を製品化し、装置の省エネルギー化と小型化・軽量化に貢献してきた。当社のSiCモジュールはSiC-MOSFETやSiC-SBD、Si-IGBT、高速スイッチングIGBT等を自由に組み合わせることで、用途に合わせたコストパフォーマンスの高いモジュールを製品化できる特長がある。

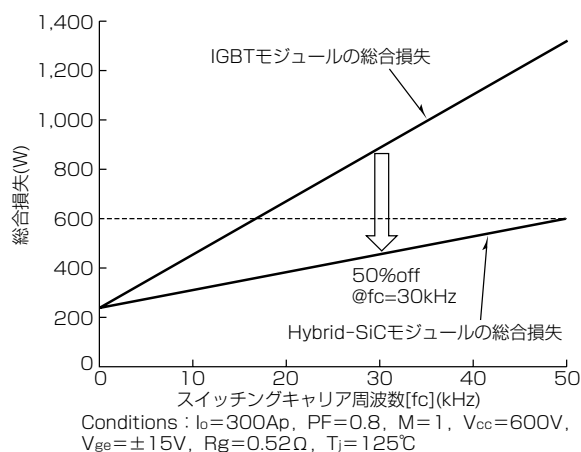


図4. モジュールの総合損失とスイッチング周波数の関係

3.2 Hybrid-SiCモジュール

Hybrid-SiCモジュールは、Si-IGBTとSiC-SBDを組み合わせたモジュールで、従来のIGBTモジュール同様に使用することができる。IGBTモジュールと比較してFWDの逆回復損失とIGBTのターンオンスイッチング損失の低減ができる特長を持つ。

当社の産業用高周波モジュール“NFHシリーズ”は現状のIGBTモジュールと同じ定格電流・電圧、同じパッケージでHybrid-SiCモジュールラインアップを開発中である。そのため現行のNFHシリーズのユーザーはブスバー配線や周辺回路を変更することなくHybrid-SiCモジュールを使用することができる。Hybrid-SiCモジュールを現行のIGBTモジュールと同じ条件で使用した場合は、例えばスイッチング周波数30kHzで使用した場合、現状のIGBTモジュールに対して、Hybrid-SiCモジュールは約50%総合損失を削減することができる(図4)。この損失低減によってユーザーは冷却フィンやファンの削減による筐体(きょうたい)の小型化・軽量化が可能になる。また、別の手法として、IGBTモジュールのスイッチング周波数が17kHzの場合と、Hybrid-SiCモジュールの50kHzの場合とがほぼ同等の総合損失となることから(図4)、放熱系を維持して、高周波化による回路内のコイルなどのインダクターの小型化も可能となる。

3.3 Full-SiCモジュール

Full-SiCモジュールは、SiC-MOSFETとSiC-SBDの組合せ、又はSiC-MOSFET単体を搭載したモジュールである。当社は標準的なFull-SiCモジュールと、駆動回路・保護回路等を内蔵したFull-SiC IPMをラインアップ中である。ユニポーラデバイスであるMOSFETを搭載することで、Hybrid-SiCモジュールに対して、更に損失を半分以下に低減できる。

SiC-MOSFETは多くの場合、ゲート電圧しきい値がSi-IGBTに対して小さいこと、駆動時のゲート電圧値が高いことなどから、特殊なゲート駆動回路が要求さる、あるいはノイズ誤動作耐量が小さいなどの問題点があった。

当社のFull-SiCモジュールはIGBTモジュールからの切換えの容易性を考慮し、従来のIGBTモジュールと同じ駆動電圧（15V）のドライバーが継続使用可能である。

4. SiCモジュール製品の応用事例

4.1 Hybrid-SiCモジュールの電鉄への応用事例

当社は電鉄車両用インバータ装置に搭載されるIGBTモジュールで高いシェアを持っているが、SiCモジュールの開発、量産化でも業界をリードしている。世界初^(注1)の電鉄車両用SiCモジュールは1,700V／1,200A×2素子のHybrid-SiCモジュール(図5)で、2011年10月に当社伊丹製作所で生産した世界初^(注1)のSiCモジュール鉄道車両用インバータ装置に搭載した。SiC化したことによってインバータ装置は、従来装置に対して30%の損失低減と40%の体積・質量の低減に成功した。次に開発した電鉄車両用SiCモジュールは3,300V／1,500A×2素子のFull-SiCモジュールで、直流1,500V架線対応VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ装置に搭載し、現在実走試験運転を行っている。従来装置と比較して約55%の発生損失を低減、モータを含めた車両システム全体でも約30%の省エネルギーを実現した。さらに従来品比較で体積・質量ともに約65%低減している。

(注1) 2011年10月3日現在、当社調べ

4.2 Full-SiCモジュールのエレベーターへの応用事例

高信頼性産業用途として、エレベーターの制御装置へのSiCモジュールの導入が進んでいる。エレベーターの制御装置は一般的に建物の最上部の機械室にモータとともに設置されることが多い。スペースや強度の関係から機械室の小型化・軽量化が要求されており、さらに省エネルギー化も重要な課題である。これらの課題をクリアするため、世界最大容量^(注2)である1,200V／1,200A×2素子のFull-SiCモジュール(図6)を業界初として当社高速エレベーター制御装置に採用された。現在量産に向けたエレベーター実証実験を行っている。この用途に対してFull-SiCモジュールはパワー半導体部の電力損失を約65%低減し、さらに高周波スイッチング駆動によって電源リアクトルの小型化も可能にし、制御装置の体積と設置面積を約40%低減した。

(注2) 2013年2月現在、当社調べ

5. SiCモジュールの課題と今後の応用

SiCデバイスは、Siベースのデバイスと比較して、高耐電圧でも電力損失が小さい、高温動作が可能、高速スイッチングが可能、熱抵抗が小さいなどの特性から、今後更に

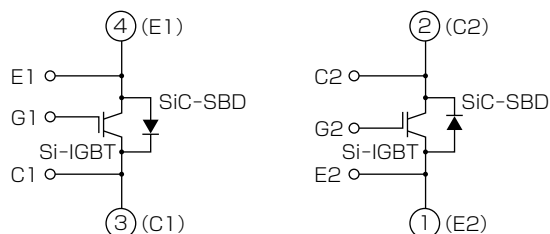


図5. 電鉄車両用Hybrid-SiCモジュール1,700V／1,200A×2素子

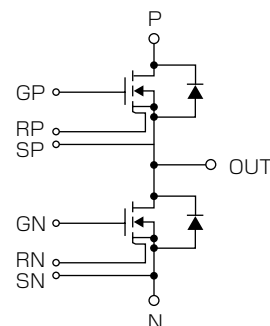
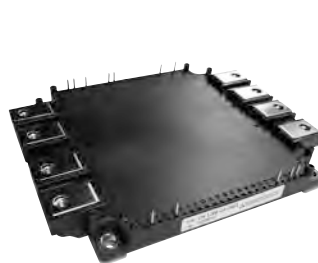


図6. 高信頼性産業用Full-SiCモジュール1,200V／1,200A×2素子

応用範囲の拡大が期待される。高耐電圧、低電力損失の特性を生かした電力送電用途や鉄道用途への応用、高速スイッチング性能を生かした医療用電源装置、太陽光パワーコンバータ装置への応用は既に進んでいる。

さらに、高温動作の特性を生かすには、チップの高温化に合わせたパッケージ技術の進歩が欠かせない。ここでも当社は先行した技術を持ってチップの高温化に対応する計画である。それぞれの要素技術は既に一部では量産化しており、次世代のSiCモジュールへの採用を計画している。

6. む す び

当社は長年培ってきたウェーハ技術とパッケージング技術を融合させ、SiCモジュールの更なる性能改善を行うことでパワーエレクトロニクスの省エネルギー化に貢献し、低炭素社会、持続可能な社会の実現に貢献していく。

本稿の内容は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託研究成果の一部を活用している。

モータの高効率化と適用拡大による 環境負荷低減

大穀晃裕*

Environmental Load-reduction by High Efficiency Motors and Expanding Motor Applications

Akihiro Daikoku

要 旨

日本の電力の半分以上はモータで消費され、モータの高効率化による消費電力削減は環境負荷低減に大きな効果がある。また高効率、高応答という利点を活用したモータ駆動システムの適用拡大、すなわち従来の内燃機関や油圧システムの電動化、ギヤ駆動システムのダイレクトドライブ化もまた、消費エネルギーや排気ガスが削減され、環境負荷の低減につながる。

三菱電機は産業用や車載用など多くのモータを量産しており、独自の“ポキポキモータ”に代表される高密度巻線技術と、これらを活用する磁気設計技術を核として、環境負荷を低減する高性能モータの開発や設計・製造に取り組んでいる。

本稿では、当社のモータ及び駆動システムの環境負荷低

減への取組みとして、2つの観点から最近の取組み事例を述べる。高効率化の観点では、国際的な効率クラスの規格化と国内トップランナ基準の法規制に対応して開発した産業用高効率モータを、また次世代のパワー半導体デバイスであるSiC (Silicon Carbide)を活用した高効率化の例として鉄道車両用モータ駆動システムについて述べる。次に適用拡大の観点では、内燃機関の電動化拡大に貢献するために開発中の電気自動車／ハイブリッド車用駆動モータと、油圧システムの電動化によって燃費を改善する電動パワーステアリング用モータコントローラユニット、及びダイレクトドライブ化によってシステムの省エネルギー化を実現するエレベーター巻上機用モータについて述べる。



環境負荷低減に向けて開発／製品化された各種モータ

当社は、社会の様々な場面で用いられるモータを開発／製品化しており、これらのモータの高性能化と適用拡大によって環境負荷低減に貢献している。この図では、環境負荷低減に向けた当社モータの代表的な事例として、産業用モータ、鉄道車両用モータ、電気自動車／ハイブリッド車用駆動モータ、エレベーター巻上機用モータを取り上げた。

1. ま え が き

日本の電力の半分以上はモータで消費されており⁽¹⁾、モータの高効率化は消費電力削減に大きく貢献する。また高効率で高応答なモータ駆動システムの利点を活用し、従来の内燃機関や油圧システムの電動化、機械損失が付加されるギヤ駆動システムのダイレクトドライブ化によって消費エネルギーや排気ガスが削減され、環境負荷低減につながる。

当社は産業用や車載用など多くのモータを量産しており、独自の高密度巻線技術と磁気設計技術によってモータの高効率化を図るとともに、最新のSiCパワーデバイスの適用によって駆動システム全体の効率向上を図っている。三菱電機技報2009年10月号の論文⁽²⁾では回転機の高効率化に向けた当社の技術開発と製品化事例を述べた。

本稿ではその後の取組みとして、モータ／駆動システムの高効率化の観点から、産業用モータの効率規制への対応とSiCインバータ駆動鉄道車両用モータについて、電動化やダイレクトドライブ化の拡大によるシステムの省エネルギー化の観点から、電気自動車／ハイブリッド車用駆動モータと電動パワーステアリング用モータコントローラユニット、エレベーター巻上機用モータについて述べる。

2. モータ・駆動システムの高効率化

2.1 産業用モータの高効率化

世界的に環境意識が高まる中、工場の生産設備における省エネルギーが求められている。当社の代表的な工場でエネルギー消費要素を調査した結果、ほとんどの生産設備にモータが使用されており、産業用モータの高効率化が重要課題であることが改めて確認された⁽³⁾。一方、2008年10月制定のIEC(International Electrotechnical Commission) 60034-30によって誘導モータの効率クラスが規格化され、各国で高効率モータ普及拡大のための法規制化が加速している。日本国内でも法律が施行され、2015年度からトップランナ基準値で法規制が開始される。

このような背景の下、当社はIE4(スーパープレミアム効率)相当の高効率IPM(Interior Permanent Magnet)モータ“MM-EFSシリーズ”を2011年に、IE3対応の高性能省エネルギーモータ“スーパーラインプレミアムシリーズ(以下“プレミアム効率モータ”という。)SF-PR形”を2013年に製品化した。

2.1.1 IE4相当の高効率を実現したIPMモータ

高効率IPMモータMM-EFSシリーズ⁽⁴⁾は、IE4相当の高効率を実現し、当社の標準効率誘導モータ“SF-JR形”、従来型IPMモータ“MM-EFシリーズ”に比べて損失を各々60%、33%低減(22kWにおける定格負荷時の比較)しつつ、当社誘導モータ“SF-JR/SF-HR(4極)形”と同一枠番で取り付け互換とし、誘導モータからの置き換えが容易である。図1に外観を、図2に定格運転時のモータ効率を示す。

全機種でIE4基準値を上回る高効率を実現している。高効率化のポイントは、①高性能磁石及び高性能鉄心材料の採用、②磁気回路(鉄損/銅損比や磁束密度分布)の最適化である。対応インバータは、誘導モータの商用電源駆動からインバータ駆動、さらにIPMモータへの置き換えといった段階的リニューアルを推進するために、設定1つで誘導モータとIPMモータの切り換えを可能としている。

2.1.2 IE3に対応した誘導モータ

プレミアム効率モータSF-PR形⁽⁵⁾は、モータの各損失を徹底的に低減して1台のモータで国内と米国の法規制に対応し、取付寸法や保護装置の互換性も維持した製品である。図3にSF-PR形の外観を、図4に定格運転時のモータ効率を示す。従来機種に対して各機種平均で39%の損失低減を実現している。高効率化実現のための代表的な技術項目は、①高密度巻線技術によって巻線の導体断面積を増



図1. 高効率IPMモータMM-EFSシリーズ

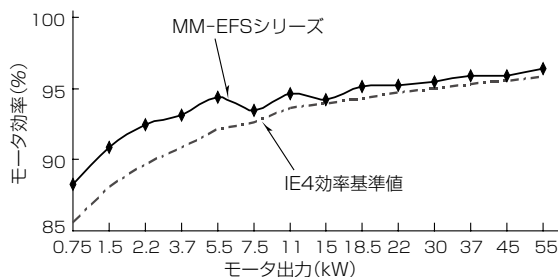


図2. MM-EFSシリーズ定格運転時のモータ効率



図3. プレミアム効率モータSF-PR形

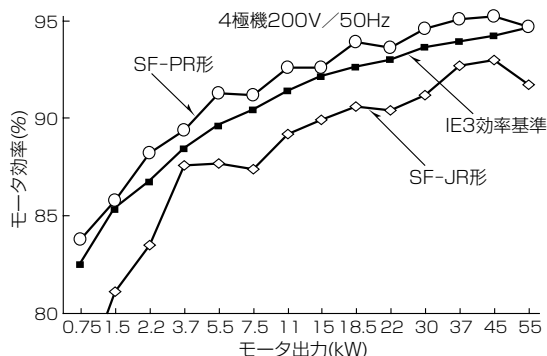


図4. SF-PR形の定格運転時のモータ効率

加させて固定子銅損を低減、②回転子溝形状の最適化によって始動電流増大やすべり減少を抑制しつつ回転子銅損を低減、③鉄心材料とスロット形状の最適化によって鉄損を低減、④①～③による損失低減を踏まえて風量を低減した小型外扇ファンを採用することによって機械損(風損)を低減、である。

2.2 SiCインバータ適用による 鉄道車両用駆動システムの高効率化

近年の性能向上が著しいSiCデバイスはSiに代わるキーデバイスであり、低損失・高温動作の特長を持つ。SiCはSiに比べ高温動作が可能で、絶縁破壊電界強度が約10倍あり半導体を薄くできるため、大幅にオン抵抗が低減できる。また、絶縁破壊電界強度が高いことから逆回復電流の少ないショットキーバリアダイオードの適用が可能となり、その結果、ダイオードのターンオフ損失を大幅に低減でき、メインスイッチであるIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)やMOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)のスイッチング損失も低減する。当社はSiCインバータの鉄道車両用、エアコン用、産業用などへの適用開発に早くから取り組み、一部既に市場投入済みである。ここではSiCデバイスを世界に先駆けて^(注1)適用し、主回路システム全体を省エネルギー化した鉄道車両用インバータシステムを述べる⁽⁶⁾。

このシステムではインバータに比べモータの損失が大きいため、単にデバイスを置き換えるのではなくモータ損失の低減に着目して開発・設計を行った。図5に従来型とSiC適用インバータの回生動作時の性能曲線比較を示す。回生動作領域の拡大には、高速時のブレーキ力上限値(停動トルク)を増加させるため低インピーダンスモータ設計が必要となる。そこで今回、モータ電圧/速度比(V/F)を

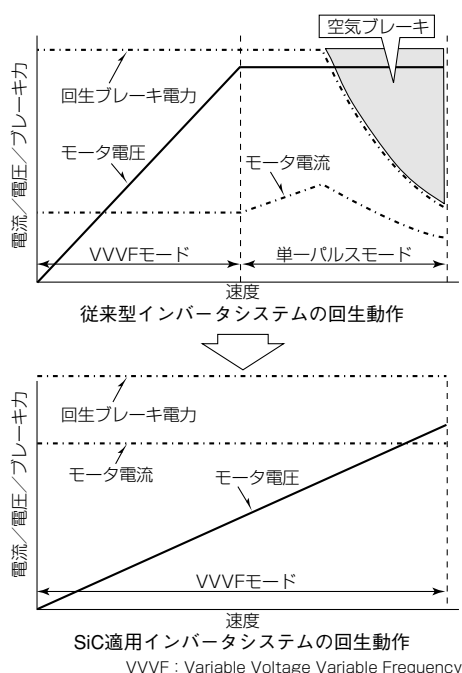


図5. 従来型とSiC適用インバータシステムの回生動作時の性能曲線

低く設計した。この場合、従来よりもモータ電流が大きくなるが、低損失であるSiCの特長を生かして素子面積増大を抑制し、さらにスイッチング周波数を高くすることでモータ高調波損失も低減した。図6にモータの外観を、図7に損失比較を示す。インバータ損失低減に加え、電力回生、ブレーキ領域の拡大、高周波スイッチングによるモータ損失の低減を併せ、トータル電力損失を約30%低減した。

(注1) 2011年10月3日現在、当社調べ

3. 電動化の拡大とダイレクトドライブ化

3.1 電気自動車/ハイブリッド車用駆動モータ

世界的な原油の需要拡大による価格高騰や燃費規制強化を背景に、電気自動車(EV)やハイブリッド車(HEV)に代表される原動機の電動化が進んでいる。このようなニーズに応えるため、EV/HEV用モータを開発している⁽⁷⁾。当社独自の高密度巻線技術をベースに、集中巻き・分割コア方式を採用し、コイル巻数変更に対して生産設備を共用化することで、図8に示すように広範囲なコア径とコア長に対応可能な標準



図6. SiC適用インバータ対応全閉型モータ

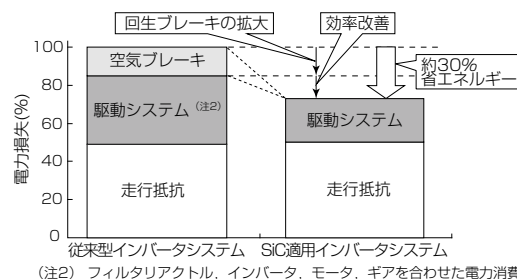


図7. 従来型とSiC適用インバータシステムの損失比較

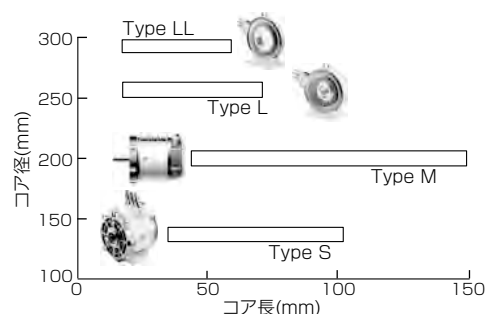


図8. EV/HEV用駆動モータのラインアップ

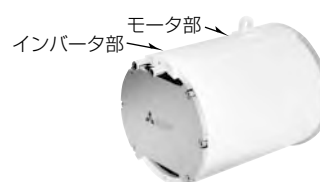


図9. SiCインバータ内蔵モータ駆動システム

ラインアップ化を実現した。このほか、将来に向けた研究開発の例として、EV用を想定したSiCインバータ内蔵モータ駆動システム⁽⁸⁾を図9に示す。モータ軸端部にSiCインバータを配置して両者間の電気配線や冷却配管をなくすことで、コンパクト化と省エネルギー化を両立させている。

3.2 電動パワーステアリング用モータコントローラユニット

電動パワーステアリング(EPS)はドライバーの操舵負荷トルクをモータでアシストするシステムで、従来の油圧システムに対し燃費が改善できるため市場が急拡大しており、世界で新車の約60%に搭載されている。当社は1988年からEPS用モータを量産化し、累計生産台数は約1億台に達する。EPSシステムはモータとECU(Electronic Control Unit)とから構成され、従来はこれらを別個に配置していたが、近年はこれらを一体化したモータコントローラユニット(MCU)として製品化している。2013年に量産化した第2世代MCUは、“ポキポキモータ”技術、10極12スロット、△結線、セグメント磁石をモータ部に採用し、ECUを軸方向端部に配置することで、図10に示すように当社第1世代に比べ大幅な小型化(体積50%、質量30%減)を実現した。これによって装着性が改善され、燃費改善効果の高いEPSシステムの更なる普及拡大に貢献している⁽⁹⁾。

3.3 エレベーター巻上機用モータ

持続可能な社会の実現に向け、ビルの建設から取壊しにいたるまでの消費エネルギーを総合的に削減する“グリーンビルディング”が世界で広まっており、エレベーターにも環境への配慮が求められている。当社の取組みの一例として、小型、軽量、省資源、省エネルギーを追求した海外市場向け標準エレベーター“NEXIEZ-MR(機械室あり、2010年発売)”，“NEXIEZ-MRL(機械室なし、2011年発売)”について述べる。従来のギヤードモータに代えて効率の高い永久磁石(PM)モータを採用し、歯車を用いずにロープを直接巻き上げるPMギヤレス巻上機を標準搭載している。

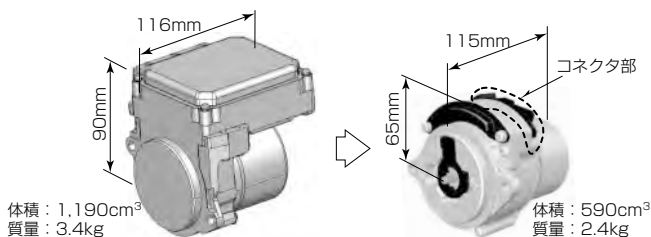


図10. 電動パワーステアリング用MCU(第1／第2世代の比較)

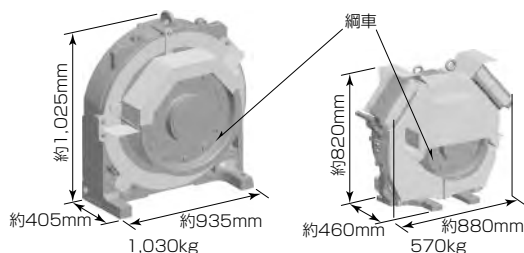


図11. 海外向け標準エレベーター用巻上機(従来型との比較)

モータには巻線密度を高めて効率を更に向上させる独自の“ポキポキモータ”技術を適用し、小型化と省エネルギー運転を実現している。2013年発売の新シリーズでは積載量のラインアップを大幅に強化するために、大容量領域に適用する巻上機“PM018S/025S”を新規開発した⁽¹⁰⁾。図11に従来機種と比較して示す。綱車の小径化に伴いモータの小型化(当社従来体積比61%)と大幅な軽量化(当社従来比55%)を実現し、同時にグリス使用量を削減(当社従来比40%)するなど、使用材料削減の観点でも環境負荷低減に配慮している。

このほか、国内向け標準エレベーターや高速／超高速エレベーターにも高効率のPMギヤレス巻上機を幅広く展開し、エレベーターシステムの省エネルギー化に貢献している。

4. む す び

当社でのモータの高効率化、適用拡大による環境負荷低減の代表的な取組み事例を述べた。今回は紙面の都合で割愛したが、エアコン、冷蔵庫、換気扇、クリーナーなど家電製品用のモータも同様に環境負荷低減に向け絶えず取り組んでいる。今後もモータの高効率化と適用拡大を行い、更なる環境負荷低減に努めていく。

参 考 文 献

- (1) 電力使用機器の消費電力量に関する現状と近未来の動向調査，財団法人新機能素子研究開発協会（2009）
- (2) 大穀晃裕：回転機の高性能化による環境負荷低減，三菱電機技報，**83**，No.10，595～598（2009）
- (3) 山口 博：生産時のCO₂排出量削減に向けて，三菱電機技報，**85**，No.12，675～679（2011）
- (4) 木村友和，ほか：プレミアム高効率モータ“MM-EFS”と省エネルギーインバータFREQROL-F700P／F700PJ”，三菱電機技報，**85**，No.4，232～235（2011）
- (5) 長谷川裕之，ほか：高性能省エネルギーモータ“スーパーラインプレミアムシリーズSF-PR形”，三菱電機技報，**88**，No.4，249～252（2014）
- (6) 中嶋幸夫，ほか：環境配慮型鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器の最新動向～SiC適用インバータシステム，補助電源装置～，三菱電機技報，**86**，No.9，511～515（2012）
- (7) 加古 一：自動車機器の変遷と今後の展望，三菱電機技報，**88**，No.9，576～583（2014）
- (8) EV用SiCインバータ内蔵モータシステム，三菱電機技報，**87**，No.1，5（2013）
- (9) 浅尾淑人，ほか：EPS用次世代モータコントローラユニット，三菱電機技報，**87**，No.8，452～455（2013）
- (10) 丸藻英昭，ほか：海外向け標準エレベーター“NEXIEZ-MR／MRL”の仕様拡充，三菱電機技報，**88**，No.3，173～176（2014）

宇宙システムの環境課題への貢献

迎 久幸* 小畑俊裕**
野口龍宏**
辻 雅生**

Contribution of Space Systems to Environmental Affairs

Hisayuki Mukae, Tatsuhiro Noguchi, Masao Tsuji, Toshihiro Obata

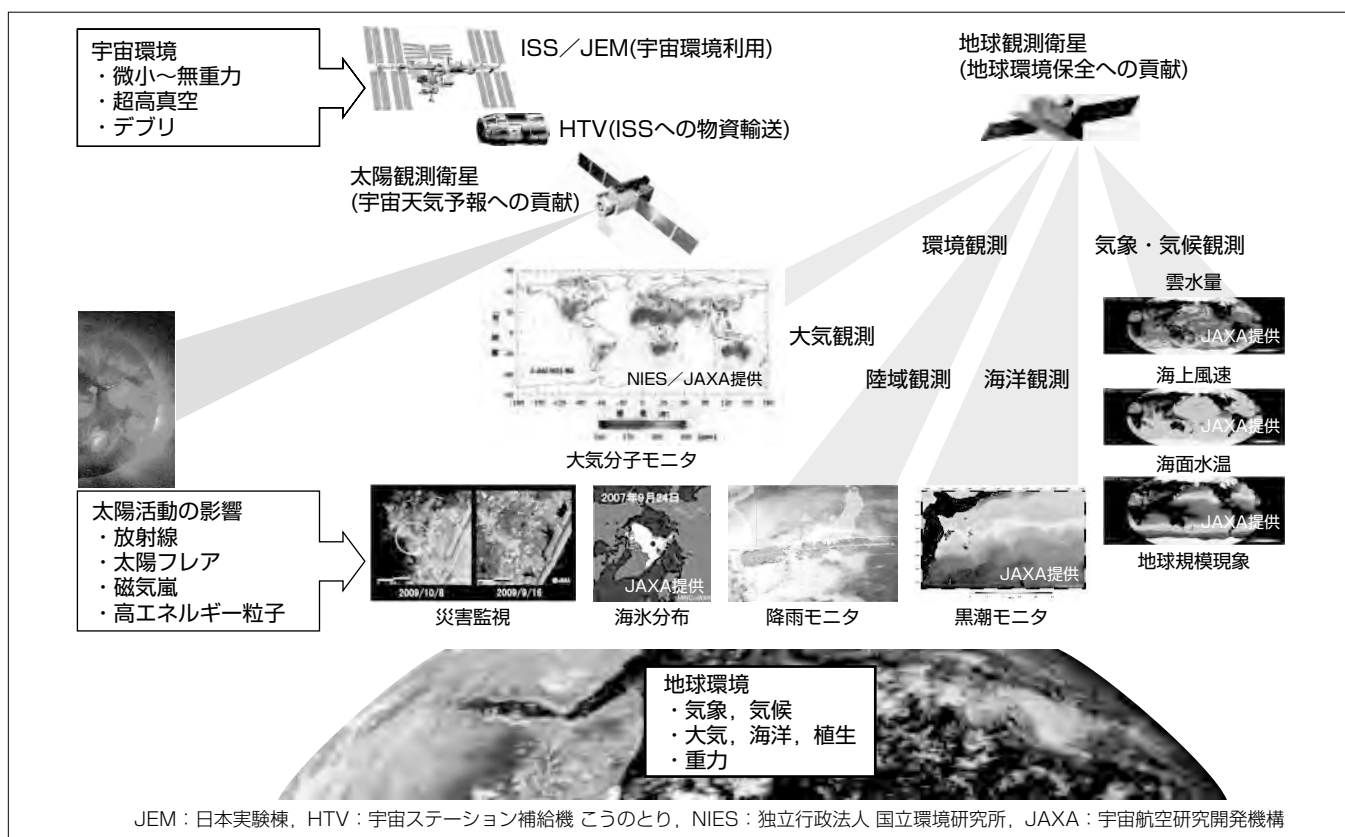
要 旨

三菱電機が取り組む宇宙システム事業は、人工衛星による地球環境の観測と、宇宙環境の利用と保全という2つの側面で“環境”の課題に貢献している。

地球環境の観測としては、人工衛星による広域観測能力と継続性の特徴を生かして、気象・気候、大気、海洋、陸域など、各種の地球環境観測に活用されている。気象衛星ひまわりシリーズは静止軌道上から常時気象情報を配信している一方で、低軌道周回衛星による水循環変動観測衛星“しずく(GCOM-W)”に搭載したマイクロ波放射計(AMSR2)では気候・気象にかかわる水蒸気や海象データを配信している。また温室効果ガス観測技術衛星“いぶき(GOSAT)”は温室効果ガスの地球規模の分布把握に貢献している。

人工衛星が飛翔(ひしょう)する宇宙空間は、微小重力、真空など地球上とは異なる特徴があり、国際宇宙ステーション(ISS)では積極的に宇宙環境を利用する研究がなされる一方で、宇宙飛翔物体の増加が宇宙ごみ(デブリ)として問題視され、宇宙環境保全のための宇宙監視(Space Situational Awareness: SSA)への取り組みが始まっている。

また太陽活動の影響に伴う磁気嵐などの宇宙環境変化に起因して人工衛星が故障する場合や、衛星による通信・放送に影響を及ぼす可能性があることから、宇宙天気情報センターが設立され、宇宙天気予報が公表されている。太陽観測衛星“ひので(SOLAR-B)”は太陽活動の観測によって宇宙天気予報に貢献している。



宇宙システムと各種環境の相関

当社が取り組む宇宙システム事業は、人工衛星による地球環境の観測と、宇宙環境の利用と保全という2つの側面で“環境”の課題に貢献している。気象・気候、大気、海洋、陸域など各種の地球環境観測に人工衛星が活用されている。一方、宇宙環境を利用する手段として国際宇宙ステーション(ISS)が活躍し、さらに太陽活動の影響に伴う宇宙環境変化を宇宙天気予報として公表する上で、太陽観測衛星が活躍している。

1. ま え が き

当社が取り組む宇宙システム事業は、人工衛星による地球環境の観測と、宇宙環境の利用と保全という2つの側面で“環境”の課題に貢献している。

地球環境の観測としては、人工衛星による広域観測能力、及びその継続性の特徴を生かして、気象衛星や、陸域、海洋、大気など、各種の地球環境観測に活用されている。

人工衛星が飛翔する宇宙空間は、無重力、真空など地球上とは異なる特徴があり、国際宇宙ステーション(ISS)では積極的に宇宙環境を利用する研究がなされる一方で、宇宙飛翔物体の増加が宇宙ごみ(デブリ)として問題視され、SSAへの取組みが始まっている。また太陽活動の影響に伴う磁気嵐などの宇宙環境変化に起因して人工衛星が故障する場合や、衛星による通信・放送に影響を及ぼす可能性があることから、宇宙天気情報センターが設立され、宇宙天気予報が公表されている。

本稿では2章で地球環境の観測について、3章で宇宙環境の利用と保全について、それぞれ当社の取組み状況を述べる。

2. 地球環境の観測

2.1 地球環境保全での宇宙システムの貢献

この章では衛星による地球環境モニタ、及び環境保全に資する活動の事例として、マイクロ波放射計(AMSR2)による気象観測、及び炭酸ガスセンサ(TANSO-2)による温室効果ガスモニタリング、Lバンド合成開口レーダ(PALSAR-2)による植生状況把握の事例について述べる。

2.2 気 象 観 測

宇宙からの気象観測として、静止気象衛星ひまわりは日常生活に定着しており、現在運用中のひまわり7号の後継機として、ひまわり8号が2014年10月に打ち上げられ、さらに9号を気象庁が整備を進めており、当社が衛星システムプライムを担当している。

これに加えてローカル気象を精密に把握するという観点では、周回気象衛星に搭載したAMSR2も気象観測に有効なセンサである。AMSR2は、水循環に関連するグローバルな水蒸気量、降水量、海面水温等を観測する受動型の電波センサであり、地球規模の水循環のモニタリングとモデリングに全世界で有効利用されている。図1にAMSR2を搭載した第1期水循環変動観測衛星“しずく(GCOM-W)”の外観を、表1に観測周波数と観測対象を示す。

AMSR2からの観測データに関しては、2013年5月17日から降水量、海面水温等の物理プロダクトの提供が開始され、同年6月13日からJAXA地球観測研究センター(EORC)でAMSR2による台風速報等のアプリケーション(図2)が開始された⁽¹⁾。ユーザーである気象庁でも、同年5月27日から海面温度の解析システムへ上記AMSR2の海面水温

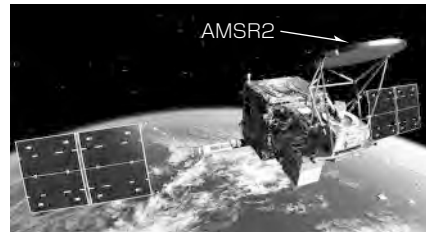
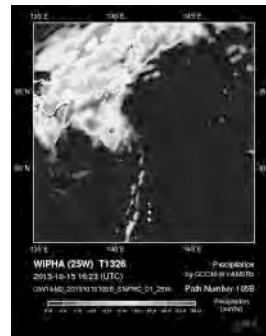


図1. しずく(JAXA提供)

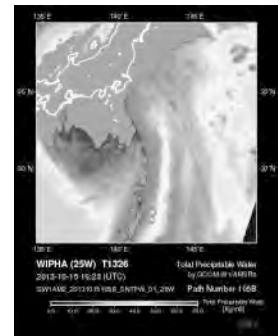
表1. AMSR2の観測周波数と観測対象

周波数	7 GHz帯	10GHz帯	18GHz帯	23GHz帯	36GHz帯	89GHz帯
観測対象						
積算水蒸気量			○	◎	○	
積算雲水量			○	○	◎	
降水量		○	◎	○	○	◎
海上風速	○	○		○	◎	
海面水温	◎	○		○	○	
海水氷接度	○		◎	○	◎	◎
積雪水量		○	◎	○	◎	○
土壌水分	◎	◎	○	○	○	○

◎：最重要周波数

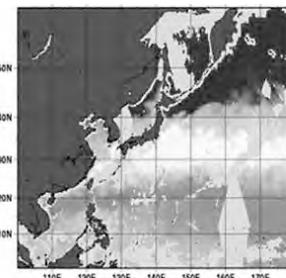


(a) 降水量

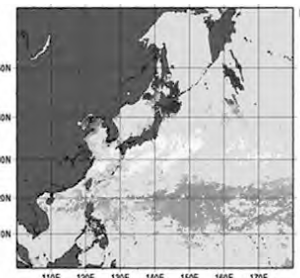


(b) 水蒸気画像

図2. AMSR2データによる台風26号情報(JAXA提供)



(a) しずく搭載のAMSR2



(b) NOAA衛星19号搭載のAVHRR

図3. 海面水温の分布(AMSR2と海外センサの比較)(JAXA/気象庁提供)

プロダクトの利用を開始し(図3)、同年9月12日からは天気予報の数値予報システムにAMSR2プロダクトの利用を開始する等、予測/予報精度の向上に貢献している。

またNASA(National Aeronautics and Space Administration)の衛星Aquaに搭載されたAMSR-E及びAMSR2のデータによって北極圏の海水分布の状況が観測・解析され、2012年の北極海の海水は観測史上最も小さい面積を記録したことが確認されており、地球環境モニタリングの手段として貢献している⁽²⁾。なお、環境モニタの経済的な効果として、一般社団法人 漁業情報サービスセンター(JAFIC)

ではAMSR-Eからの海面水温情報を利用した漁場推定と漁船の燃料消費量約250億円分の削減、それに伴うCO₂排出量の削減効果が得られたことから、AMSR2も漁業管理の定常インフラとして組み込まれている。

さらに、JAXA/EORCでは、同種の電波センサを搭載する複数の衛星からの観測データを用いて世界の雨分布を準リアルタイムで配信するGSMaPサービス(図4)を提供しており、この情報をベースとしたアジアの洪水予報アプリケーションのサービスも開始されている。またNOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)でも定常的な気象予報での利用が開始され⁽³⁾、既にAMSRは世界的には極軌道の気象衛星の位置付けで利用されている。これらのサービスを継続して精度を上げていく上でも、今後も複数のセンサによる長期的な観測を継続することが期待されている。

2.3 温室効果ガスモニタリング

温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化は地球環境保全の重要課題の1つであり、CO₂、NO_x等温室効果ガスの分布や濃度に関する地球規模のモニタリング手法確立は世界中の研究者のテーマともなっている。日本ではJAXA/環境省/国立環境研究所が開発して当社が衛星プライムを担当した温室効果ガス観測技術衛星“いぶき(GOSAT)”が2009年に打ち上げられ、世界に先駆けて地球規模の計測に成功した。現在後継機GOSAT-2の整備を進めている。図5にGOSAT-2の外観を示す。

GOSATシリーズでは現状で亜大陸レベルのモニタリングを継続しつつ、将来的にはCO₂吸排出権取引のエビデンスとして衛星データが活用される可能性も視野に研究開発を進めている。一方で、当該データの空間分解能と精度の向上は、単に衛星システム及び搭載センサシステムの性能向上のみならず、地球上の全生態系のモデリングの空間分解能と精度向上を同時に進める必要があり、また衛星からの温室効果ガス観測が、エアロソルモニタリング等地上観測評価システムとの連携なしには成立しないことから、将来の期待を含めたミッション目的実現を目指す上で、長期に及ぶ継続観測のロードマップの中で、衛星システム、地上モデル、地上検証システムの空間分解能と精度向上を進めていくべきものと考えられている。GOSAT-2では、まずGOSATの研究開発成果と知見に立脚して、雲・エアロソ

ルの影響を抑制し、有効観測データ量を増し、地球全域にわたる継続観測環境を構築することの要請に応えるため、観測センサシステムの高性能化、及びコマンド、テレメトリの高速化によって大容量の観測データを少ない可視でダウンリンク可能とする。またGOSAT-2はGOSATとの継続性を担保するため、短期間で、高信頼性の衛星を製作する必要があり、フライト実績を持つバスシステムの流用設計によって、短期間で、信頼性の高いシステムを構築する。また新規開発する雲センサによって、将来につながるGOSATシリーズ衛星に必要な技術の取得を可能としている。

2.4 植生状況把握

先に述べた温室効果ガスとも関連して、アマゾンやブラジルの森林伐採状況など、植生状況の把握は環境保全上重要なファクタの1つである。衛星搭載合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar:SAR)によって継続してモニタすると、その差分評価によって森林伐採状況を地球規模で継続的にモニタリング可能となる。JAXAが開発してきた地球資源衛星“ふよう1号(JERS-1:1992年打上)”, 陸域観測技術衛星“だいち(ALOS:2006年打上)”, 同2号“だいち2号(ALOS-2:2014年打上)”にはそれぞれLバンドSARが搭載されており、ブラジル森林伐採の継続監視などに貢献している。SARでは利用目的に応じてCバンド、Xバンドなど各種の衛星搭載SARが世界的に実現されているが、植生状況把握の目的に優れるLバンドSARは日本が最先端を走り続けている。

“だいち2号”に搭載された合成開口レーダ(PALSAR-2)は、Lバンドの電波を送受信して、昼夜・天候を問わず、地表から約630kmの高度から、地表の状態を非常に高い分解能(最高で3m)で観測可能なセンサである。前号機の“だいち”に搭載されたPALSARの機能を継承しつつ、従来の性能(分解能10m)より、飛躍的に性能改善を図っている。図6にPALSAR-2の外観を、表2に、PALSAR-2の観測性能を示す。

PALSAR-2は、LバンドSARであり、雲の影響を受けない上に、植生を透過する特性を持っていることから、雲に覆われることが多い熱帯雨林の観測に非常に有効である。PALSAR-2が捉えたアマゾンの森林減少の例を図7に示す。観測範囲の広さと相まって、今後、森林伐採などの継続監視への貢献が期待されている。また、LバンドSARは、水面と植生のコントラストが非常に強く、水稻の作付面積を捉えることが可能である。そのため、PALSAR-2は、

広範囲な作付面積を把握することで、食糧安全保障上の基礎データとして使われることが期待されている。

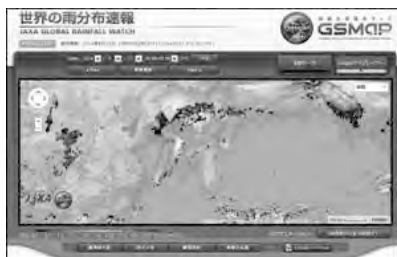


図4. GSMapサービス画面(JAXA提供)

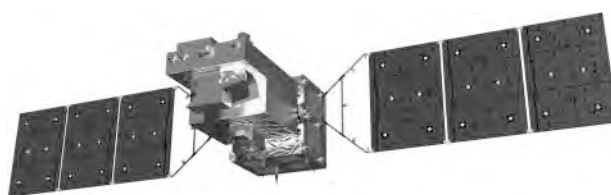


図5. GOSAT-2

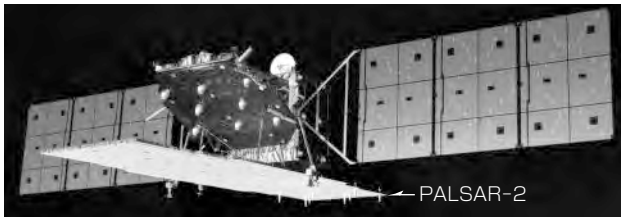


図6. “だいち2号”に搭載された
PALSAR-2(JAXA提供)

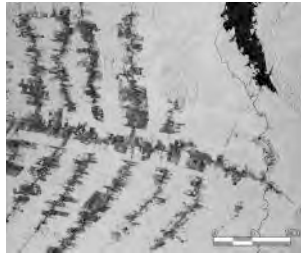


図7. PALSAR-2が捉えた
アマゾンの森林減少
(JAXA提供)



図8. ひので

表2. PALSAR-2の観測性能

	スポット ライト	Ultra Fine	High sensitive	Fine	ScanSAR nominal		ScanSAR wide
周波数帯域	84MHz	84MHz	42MHz	28MHz	14MHz	28MHz	14MHz
空間分解能	Rg×Az: 3×1m	3m	6m	10m	100m		60m
観測幅	Rg×Az: 25×25km	50km	50km	70km	350km 5scan		490km 7scan
偏波	SP	SP/DP	SP/DP/FP/CP	SP/DP			
NESZ	-24dB	-24dB	-28dB	-26dB	-26dB	-23dB	-23dB
S/A	Rg	25dB	23dB	25dB	25dB		20dB
	Az	20dB	25dB	20dB	23dB		20dB

NESZ : Noise Equivalent Sigma Zero

S/A : Signal to Ambiguity ratio

3. 宇宙環境の利用と保全

3.1 宇宙環境の利用

宇宙環境の微小重力、高真空、宇宙放射線、太陽などからの高エネルギー粒子といった、地球上とは異なる特徴を積極的に利用する活動として、国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟“きぼう”では化学、工学、医学、生物学、天文物理学のほか各種科学研究・実験が行われている。

当社では“きぼう”の電源系を担当したほか、宇宙ステーション補給機“こうのとり(HTV)”の開発に参画しており、既に4機のHTVの補給ミッションを成功裏に終え、現在5～7号機の開発を進めている。

3.2 宇宙環境の監視

人工衛星が飛翔する“宇宙環境”では、宇宙ごみとしてのデブリの増加が問題視されている。人類初の人工衛星打ち上げから半世紀以上経って、今や地球周辺の宇宙空間には人工衛星やロケットの破片などの残骸がデブリとなってあふれている。その数は観測できるものだけでも16,000個以上である。わずか1cmのデブリでも運用中の衛星にぶつかれば全機能を停止させる威力を持つ。デブリを出さないことはもちろん、既にあるデブリから運用中の衛星をどう守るか、早急に解決すべき大きな問題となっている。

近年SSAとして地上の光学望遠鏡やレーダによって宇宙を飛翔する物体を監視する活動を、諸外国と連携する構想の実現が始まっており、当社の高性能レーダや、すばる望遠鏡など高性能望遠鏡の開発で培った技術を適用したシステム構築が期待されている。

3.3 太陽活動と宇宙天気予報

太陽活動が活発になり、大規模なフレアなどの太陽面現象が発生すると、地上で通信障害や電力異常の原因となるほか、人工衛星の異常動作や宇宙飛行士の船外活動の制約になることが知られている。

そこで情報通信研究機構(NICT)傘下で1998年に設立された宇宙天気情報センター(SWC)⁽⁴⁾では、太陽活動に起因する太陽フレア、太陽プロトン現象、磁気嵐などの状況を観測・把握し、それに伴う影響を予測して地球上の天気予報と同様に宇宙天気予報としてWebで公表している。このための情報源の1つとして太陽望遠鏡衛星“ひので(SOLAR-B)”(図8)が活用されており、当社が開発を担当した口径50cmの可視光磁場望遠鏡(SOT)が太陽面現象把握や太陽活動の継続的モニタリングに役立っている。

4. む す び

地球は世界中の人々の公共財であるとともに、子孫に健全な状態で渡していくべき人類共通の宝でもある。宇宙インフラや衛星に搭載されるセンサは地球全体を網羅的に監視できる稀有(けう)の手段であり、また地球をとりまく宇宙環境との重要な接点でもある。地球環境を守り、保全していくために、これからも様々な宇宙事業を通じて貢献していきたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) JAXA/EORC台風速報データベース
http://sharaku.eorc.jaxa.jp/TYP_DB/index_j.shtml
- (2) 北極海海水の観測データ解析結果について
http://www.jaxa.jp/press/2012/08/20120825_arctic_sea_j.html
- (3) 水循環変動観測衛星「しずく」の米国海洋大気庁(NOAA)での利用開始について
http://www.jaxa.jp/press/2014/09/20140905_shizuku_j.html
- (4) SWC宇宙天気情報センターのホームページ
<http://swc.nict.go.jp/forecast/>

高濃度オゾンによる水環境浄化

安永 望*
 山内登起子**
 古川誠司***

Purification of Water Environment by Higher Concentration Ozone

Nozomu Yasunaga, Tokiko Yamauchi, Seiji Furukawa

要 旨

オゾンガスを使用した水処理は、オゾンの強い酸化力を利用して水中の難分解性有機物を分解する技術である。浄水処理分野では、オゾンは発ガン性物質であるトリハロメタンやかび臭物質の低減に有効である。一方、下 wastewater 処理分野ではオゾンによって臭気や色度の除去や殺菌効果が期待でき、下 wastewater の再利用が可能になるとともに水環境浄化に有効な処理方法である。さらにオゾンは使用后、自然に酸素に分解されるため、環境負荷が小さい。

三菱電機のオゾナイザは、優れた放電技術によって、高効率に高濃度のオゾンガスを発生できることを特長とする。オゾンガス濃度が高いほど必要なガス流量を小さくできるため、周辺機器も含めたオゾン発生システムのコンパクト化や原料ガス量の低減による省コスト化が期待される。そ

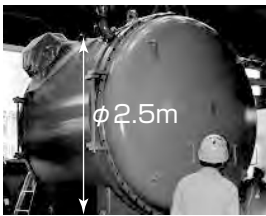
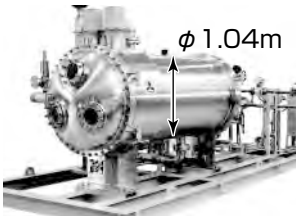
こで、高濃度オゾンガスを水処理へ適用した場合の特性について、その効果をラボスケールの実験で確認した。その結果、高濃度オゾンガスによってオゾンの吸収効率が上がり、有効にオゾンガスを使用できるとともに、健康への影響が懸念される副生成物である臭素酸の生成量を低減できることが明らかとなった。したがって高濃度オゾンガスの使用によって、オゾン処理をより効果的に実施できる可能性が示唆された。

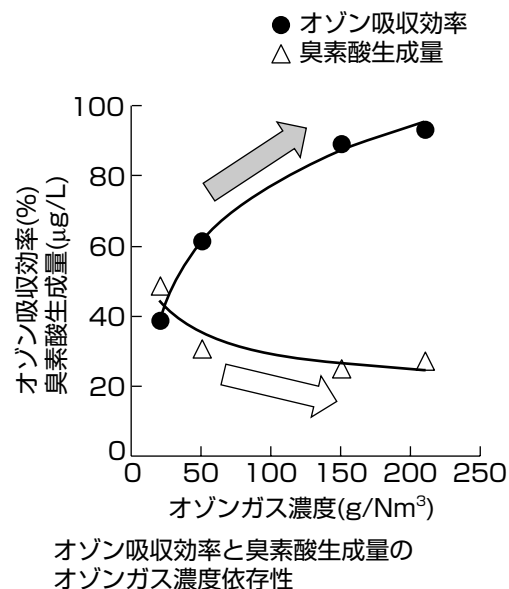
多くの国で水不足が発生し、より一層深刻化している状況で、水処理市場は今後も成長が続くと考えられる。当社は、高濃度オゾンガスを用いた水処理技術によってグローバルな水環境浄化に貢献したい。

高濃度オゾンガス発生の特長

- (1) 原料ガス低減によるシステムコンパクト化と省コスト化
- (2) オゾン吸収効率の増大
- (3) 副生成物(臭素酸)の低減

オゾナイザの新旧比較

	従来	開発
外観		
設置面積	100%	約35%
容積	100%	約13%
消費電力	100%	約90%



高濃度オゾンガスのメリット

当社のオゾナイザの特長は高効率な高濃度オゾンガスの発生であり、必要な原料ガス量を低減できるとともにコンパクトなシステムを構築できる。さらに高濃度オゾンガスを水処理に適用することで、オゾンガスの溶解効率が高まってオゾンを実効的に利用できるとともに、健康への影響が懸念される副生成物(臭素酸)の生成量を低減できる。

1. ま え が き

オゾンガスを使用した水処理は、オゾンの強い酸化力によって水中の難分解性有機物を分解する技術である。浄水分野では、オゾン高度浄水処理として異臭物質の除去やTHMFP(TriHaloMethane Formation Potential)の低減に利用されている。またオゾン処理は殺菌や脱色にも効果があるため、下水放流水の水質向上に利用でき、水環境浄化や下水再生水生成に有効な手段である。一方、副生成物として生成される臭素酸や高コストが懸念されている。上下水道でオゾン処理を広く普及させて健全な水環境を維持するためには、処理水質の安全性向上及びコスト低減が必要である。

近年、オゾナイザの高効率化及び高濃度化によって、オゾン処理システムの小型化及び低コスト化が進んでいる⁽¹⁾。当社オゾナイザのオゾン発生方式は無声放電である。酸素又は空気を放電空間に供給し、そこに交流高電圧を印加させることによってオゾンが発生する。オゾナイザ及び放電管の構造を図1に示す。タンク内に複数の放電管を収納し、これらの本数の増減によって所定のオゾン発生能力を確保する。片端を封止したガラス管の内側には、高压電極となる金属導電膜を形成している。ガラス管は接地電極との間に均一なギャップを維持した状態で挿入し、接地電極の外側を流れる冷却水によって放電による発熱を抑制している。

図2に示すように、電極の直径を当社従来比で約1/4に小型化した。これによって1本当たりの電極表面積は1/4となるが、同一タンク内に16倍の電極を挿入可能となるため、全電極表面積は4倍となる。オゾン発生量は電極表面積に比例するため、同一のオゾン発生量ではタンク断面積を1/4、すなわちタンク径を1/2に小型化できる。さらに、短ギャップ化によって冷却性能を向上できるため、高温で分解しやすいオゾンを効率的に発生させることができる。また、放電電力密度を高めることも可能となり、オゾナイザを小型化できる。

さらに短ギャップ化によって電界強度を高められるため、高濃度のオゾンガスを効率的に発生できる。当社は、高精度の電極製造技術及び高精度ギャップ保持技術等の開発によって、従来比1/5以下の短ギャップ化を実現し、製品レベルで業界最高レベルのオゾンガス濃度240g/Nm³を達成した。

このようにオゾン発生技術が高度化する中で、高濃度オゾンガスを使用した水処理特性についてはオゾン吸収効率及び有機物分解率の向上が明らかになりつつあるが⁽²⁾、健康への影響が懸念される臭素酸等の副生成物の生成特性については不明な点が多い。

本稿では、オゾンガス濃度をパラメータとして、オゾン吸収効率、臭素酸生成及び有機物分解特性について評価した結果について述べる。

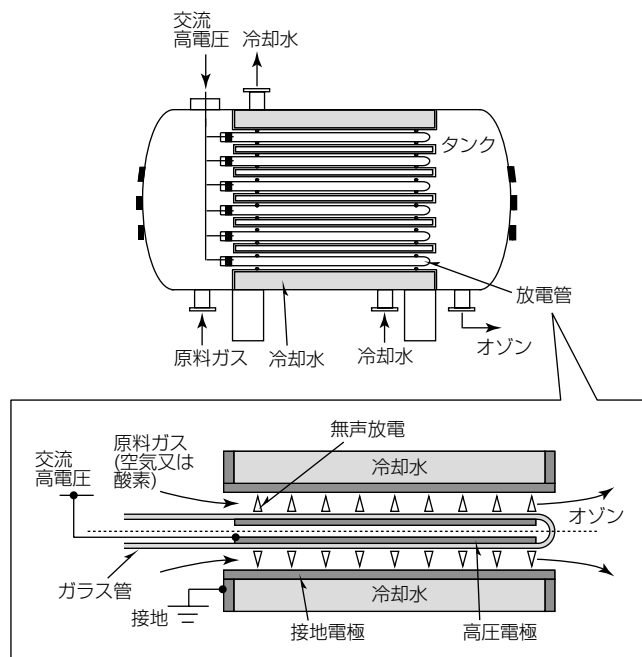


図1. オゾナイザと放電管の構造

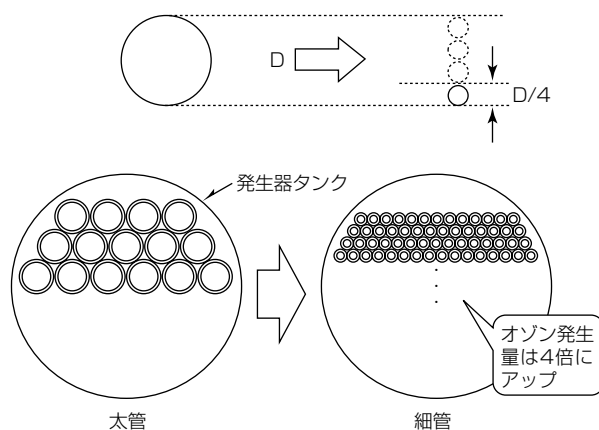


図2. 電極細管化によるタンクの小型化

2. 実験方法及び実験条件

実験装置のフローを図3、実験条件を表1にそれぞれ示す。所内工業用水(淀川水源表流水の凝集沈殿処理水)に所定量の臭化カリウムKBrを添加して被処理水とした。対向流型連続水処理反応槽(内径50mm、有効容量2.95L)に反応槽内の被処理水を循環する経路を設け、オゾンガス流量によらず反応槽内の流動状態を完全混合とした。被処理水は流量0.59L/minで反応槽に通水し、滞留時間は5分とした。同時にこの循環経路でエジェクタを用いて濃度20, 50, 150及び210g/Nm³のオゾンガス(酸素原料)を所定流量で被処理水に注入した。オゾンガスの注入を開始して30分以上経過後、排オゾンガス濃度及び溶存オゾン濃度が安定したことを確認し、処理水を採取して水質分析に供した。主な水質分析項目は有機物指標の1つである波長254nmの吸光度(UV254)、臭素酸(BrO₃⁻)及び臭化物イオン(Br⁻)濃度である。

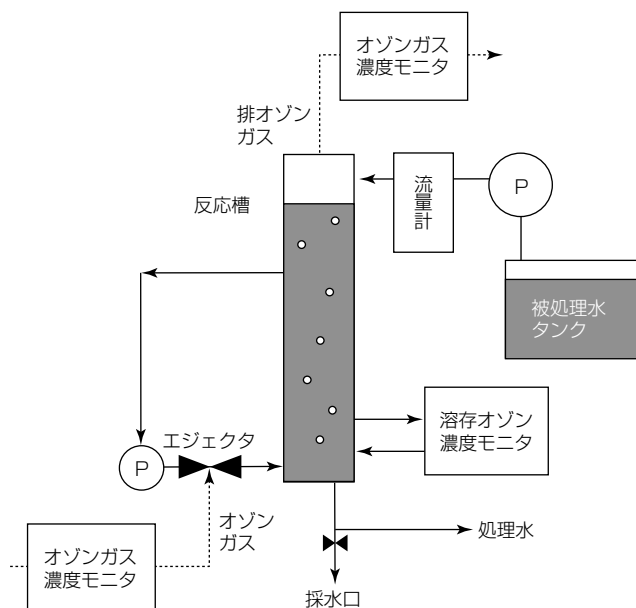


図3. 実験装置のフロー

表1. 実験条件

項目	超高濃度	高濃度	中濃度	低濃度
オゾンガス濃度 (g/Nm ³)	210	150	50	20
オゾンガス流量 (mL/min)	13~42	18~60	40~360	60~450
G/L	0.02~0.07	0.03~0.10	0.07~0.60	0.10~0.76
オゾン注入率 (mg/L)	4.4~14	4.5~15	3.3~30	2.1~14
被処理水 水温(℃), pH	20~22, 7.3~7.5			
被処理水 Br ⁻ 濃度(μg/L)	192~194			

3. 実験結果及び考察

3.1 オゾン関連指標

オゾンガス濃度及びガス液比(G/L)に対するオゾン吸収効率の変化をそれぞれ図4, 図5に示す。図4に示すように、オゾン注入率10mg/Lでオゾンガス濃度が高いほどオゾン吸収効率が高かった。また図5に示すように、オゾン吸収効率はオゾンガス濃度によらずG/Lが小さいほど高かった。これは、同じオゾン注入率ではオゾンガス濃度が高いほどG/Lが小さいため、オゾン吸収効率が高くなることを示している。

この結果から、オゾンガス濃度が高いほどオゾンを有効に利用できることが分かった。

図6にオゾン吸収量4mg/Lでのオゾンガス濃度に対する溶存オゾン濃度及びオゾン消費量の変化を示す。オゾン消費量は、反応槽内の被処理水1Lに吸収されたオゾン量(オゾン吸収量)から溶存オゾン濃度を差し引いて算出した(オゾン消費量=オゾン吸収量-溶存オゾン濃度)。同図からオゾンガス濃度が高いほど溶存オゾン濃度が低下し、オ

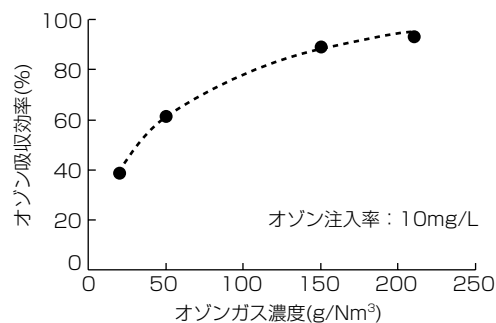


図4. オゾンガス濃度に対するオゾン吸収効率の変化

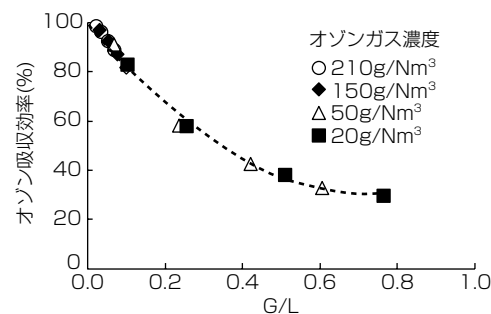


図5. G/Lに対するオゾン吸収効率の変化

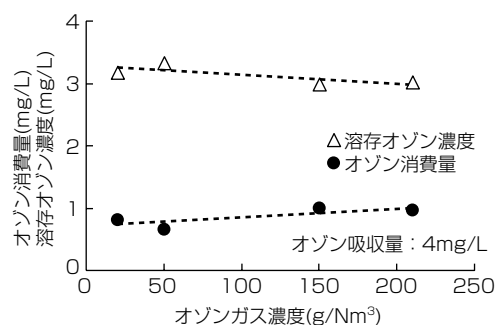


図6. オゾンガス濃度に対するオゾン消費量, 溶存オゾン濃度の変化

ゾン消費量が増大することが分かった。すなわちヘンリーの法則^(注1)とは異なる傾向が確認された。オゾンは非常に不安定な物質のため、自己分解してOHラジカルを生成しつつ最終的には酸素になる。すなわち、オゾンガス濃度が高いほどオゾンの自己分解によるOHラジカルの生成が促進されてオゾン消費量が大きくなり、その結果、溶存オゾン濃度が低下したと推察される。

(注1) 揮発性の溶質を含む希薄溶液が気相と平衡にあるとき、気相内の溶質の分圧は、溶液中の溶質の濃度に比例する。この論文の場合、溶質=オゾンとなる。

3.2 臭素酸生成及び有機物分解特性

図7にオゾン吸収量4mg/Lにおけるオゾンガス濃度に対する臭素酸生成量及びBr⁻濃度の変化を示す。臭素酸はBr⁻がオゾンによって酸化されることで次亜臭素酸イオン等の中間体を経て生成され、溶存オゾン濃度が高いほどその生成量が多くなる傾向がある。同図から、オゾンガス濃度が高いほど臭素酸生成量が少ない傾向があった。このように高濃度オゾンガスによって臭素酸生成量が少なくなっ

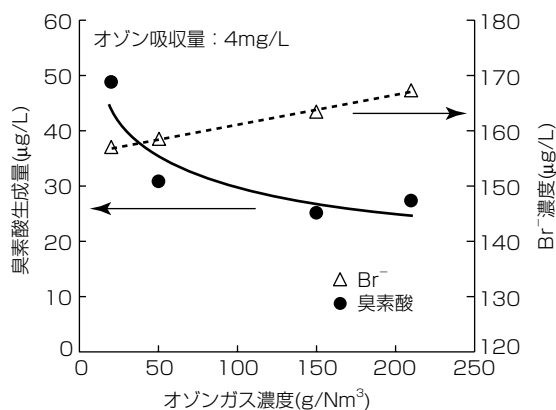


図7. オゾンガス濃度に対する臭素酸及びBr⁻濃度の変化

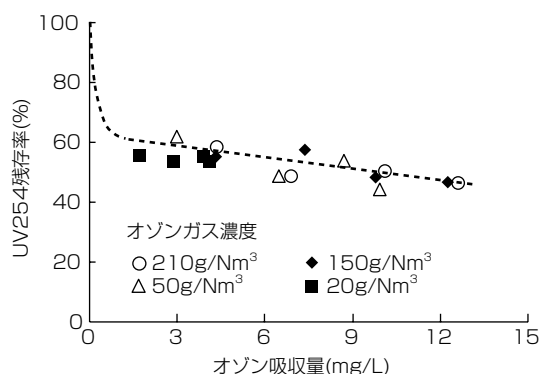


図8. オゾン吸収量に対するUV254残存率の変化

た要因として、図6に示したようにオゾンガス濃度が高いほどオゾン消費量が増大して溶存オゾン濃度が低くなったためと考えられ、その際に消費されたオゾンは臭素酸の生成に寄与しなかったと推察される。また、オゾンガス濃度が高いほど処理水のBr⁻濃度は高かった。純水系の実験でも処理水のBr⁻濃度が高く臭素酸の中間体が少ない傾向があった⁽³⁾。したがって、この実験でも同様に臭素酸の中間体が少なく、その結果、臭素酸の生成量が低減したと推察される。

図8にオゾン吸収量に対するUV254残存率の変化を示す。UV254はオゾンと反応する有機物の指標であり、その値が高いほど有機物濃度が高いと考えられる。UV254残存率は、被処理水UV254に対する処理水UV254の比である。同図に示すように、UV254残存率はオゾン吸収量2 mg/Lで約60%まで急激に低下し、オゾン吸収量2～13 mg/Lでは44%まで徐々に低下した。これは、オゾン吸収量2 mg/Lまでにオゾンと反応しやすい有機物が分解され、それ以上のオゾン吸収量ではオゾンと反応しにくい有機物が緩やかに分解されたためと考えられる。また処理水

のUV254残存率の低下に伴うTOC (Total Organic Carbon：総有機炭素) 濃度の変化はなかったことから(図示せず)、無機化までは進行しなかったと考えられる。さらにUV254残存率にはばらつきがあり、オゾンガス濃度依存性は見られなかった。これは、被処理水のUV254値の変動は小さかったもののオゾンと反応する有機物の質が異なったためと推察される。

4. む す び

高濃度オゾンガスを水処理に適用した場合の効果について検討した結果を次にまとめる。

- (1) 同じオゾン注入率ではオゾンガス濃度が高いほどガス液比G/Lが小さいため、オゾン吸収効率が高かった。したがってオゾンガス濃度が高いほど、オゾンを有効に利用できる。
- (2) オゾンガス濃度が高いほどオゾン吸収量に対する臭素酸生成量が少なかった。これはオゾンガス濃度が高いほどオゾン消費量が増大して溶存オゾン濃度が低くなったためと考えられ、その際に消費されたオゾンは臭素酸生成に寄与しなかったと推察される。
- (3) UV254の分解についてはオゾンガス濃度によらずほぼ一様であり、有機物の除去性能について、オゾンガス濃度による差異は見られなかった。

これらから、得られた結果は学術的にも興味深い現象であることから、今後はオゾンを含むラジカル反応モデルを用いた計算機シミュレーション等を駆使して、オゾンガスの高濃度化による水処理への効果について解析を進める。この方法は深刻化する水不足を解消できる技術として有望であるため、今後もより効果的にオゾンを使用できる水処理技術の開発を進め、グローバルな水環境浄化に貢献したい。

参 考 文 献

- (1) 近石匡裕, ほか：貴金属触媒を利用したオゾン発生特性, 第21回日本オゾン協会年次研究講演会講演集, 57～60 (2012)
- (2) Hart, J., et al.: The Use Of High Concentration Ozone For Water Treatment, Ozone Science and Engineering, **17**, 485～497 (1995)
- (3) 安永 望, ほか：高濃度オゾンガス適用によるオゾン水処理特性—臭素酸生成抑制効果の検証—, 平成25年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 140～141 (2013)