

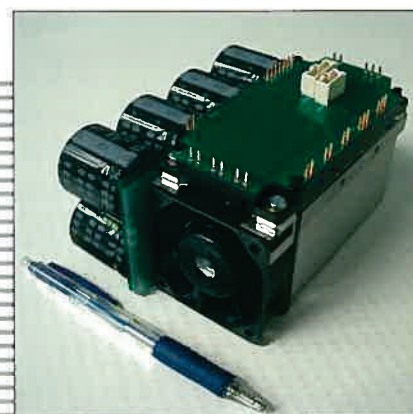
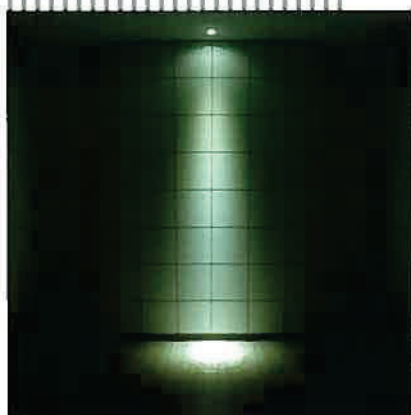
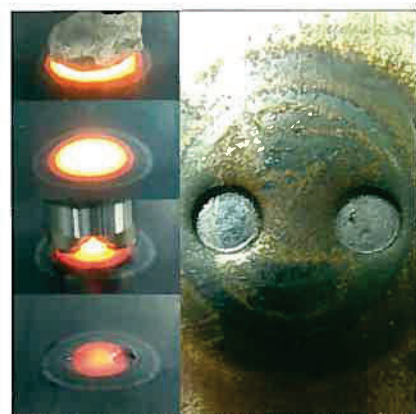
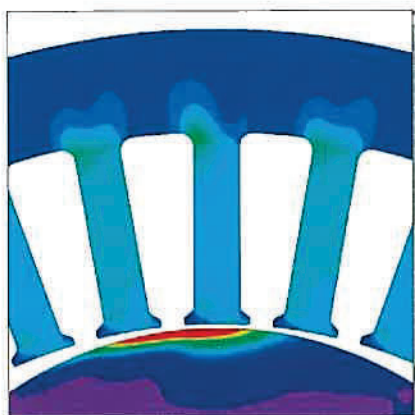
MITSUBISHI

三菱電機技報

Vol.83 No.10

2009 10

特集「低炭素・高度循環型社会のコア・テクノロジー」



目次

特集「低炭素・高度循環型社会のコア・テクノロジー」	
持続可能なものづくりに向けて	1
梅田 靖	
第6次環境計画と「生産ライン改善」による	
生産時CO ₂ 削減	2
塩田 久	
回転機の高性能化による環境負荷低減	7
大殺見裕	
太陽光発電システム—セル製造技術の高度化—	11
石原 隆・森川浩昭	
太陽光発電システム	
—高効率パワーコンディショナの技術—	15
浦壁隆浩・藤原賢司・川上知之・西尾直樹	
Air To Waterヒートポンプ	19
高橋佳宏・石川憲和・高橋建吾・南迫博和・内野進一	
パワーモジュールの電力損失低減と小型化技術	23
加柴良裕・小野山 歩・林 建一・マジュムダール ゴーラフ	
SiCインバータによる省エネルギー・省資源	27
木ノ内伸一・中田修平	
LED照明の実用化技術	31
石井健吾・伴 和生・中村 潔	
混合プラスチックの素材化と事業化	35
菱 孝・松村光家・椋田宗明	
ルームエアコンの環境配慮設計	39
斎藤 直	
ビルまるごと省エネに役立つ	
“ビル設備運用システム&プランニングFacima”	43
吉川 寛・渡邊啓嗣・斉藤 薫	
“e-F@ctory”による工場省エネルギー	47
河田 薫・伊藤恭敏・木田幸夫	
パーフェクト・ゼロエミッション	
—廃棄物最終処分量の徹底削減—	51
小野裕樹・谷 尚記	

Core Technologies for a Low-carbon and Advanced Recycling-based Society
Toward Sustainable Manufacturing
Yasushi Umeda
Aims and Targets of the 6th Environmental Plan and Reduction of CO ₂ from Production by Improving Production Lines
Hisashi Shiota
Environmental Load Reduction by Performance Advances in Rotating Machines
Akihiro Daikoku
Photovoltaic Power Generation System—Advanced Technologies in Production of Solar Cells
Takashi Ishihara, Hiroaki Morikawa
Photovoltaic Power Generation System—Technology of High Efficiency Power Conditioner
Takahiro Urakabe, Kenji Fujiwara, Tomoyuki Kawakami, Naoki Nishio
Space Heating and Domestic Water Heating Heat Pump
Yoshihiro Takahashi, Norikazu Ishikawa, Kengo Takahashi, Hirokazu Minamisako, Shinichi Uchino
Improvement in Total Loss of Power Devices and Miniaturization of Transfer-molded Power Modules
Yoshihiro Kashiba, Ayumu Onoyama, Kenichi Hayashi, Gourab Majumdar
Energy Conservation and Resource Saving by SiC Inverter
Shinichi Kinouchi, Shuhei Nakata
Technology for Practical Use of LED Luminaires
Kengo Ishii, Kazuo Ban, Kiyoshi Nakamura
Making a Business out of Producing High Quality Materials from Mixed Plastic
Takashi Hishi, Mitsuie Matsumura, Muneaki Mukuda
Environmentally Conscious Design for Room Air Conditioners
Tadashi Saito
"Building Equipment Operation System & Planning Facima" for Energy Conservation of Entire Building
Hiroshi Yoshikawa, Yoshitsugu Watanabe, Kaoru Saitoh
Energy Saving in Factory by Utilizing "e-F@ctory"
Kaoru Kawata, Yasutoshi Ito, Yukio Kida
Perfect・Zero-emission-Recycling All Industrial Waste
Yuuki Ono, Naoki Tani

特許と新案

「パワーデバイスの制御装置及びモータの駆動制御装置」	
「リード形電子部品実装プリント配線基板及び空気調和機」	55
「微量含有物の分析方法」	56

スポットライト

ビルまるごと エコチェンジ



表紙：環境ステートメント「エコチェンジ」と、低炭素社会実現に向けたコア技術

三菱電機グループの長期ビジョン“環境ビジョン2021”及びそれに基づく中期計画“第6次環境計画”を受け、2009年6月、三菱電機はグループの環境ステートメント“eco changes(エコチェンジ)”を策定した(中央③)。家庭から宇宙まで、あらゆる事業を通じて環境貢献を志して行動する。

①は、回転機(モータ)の高性能化に不可欠な、解析技術を駆使したバランス設計の一つ“インバータ駆動時の高周波損失を高精度に定量化する連成解析”の様子。②は、新ロータリ圧縮機を実現した生産技術“熱かしめ固定”の様子。④は、新光源であるLED(Light Emitting Diode)独自の光学設計によって有効性を高めたダウンライト照明。⑤は、次世代として期待されるSiC(Silicon Carbide)パワーデバイスを用いて電力損失70%低減を実現した11kWインバータである。

巻/頭/言

持続可能なものづくりに向けて

Toward Sustainable Manufacturing



梅田 靖
Yasushi Umeda

製造業にとって地球環境問題への対応は必要不可欠ということは、すでに言い古された言葉である。しかし、環境への“対応”“配慮”といった言葉には、ものづくりや経営と環境は別物で、環境の方にも少し配慮してあげましょうねというニュアンスが含まれている。しかしこれら対応、配慮では済まされない、まさにものづくりそのものと環境問題解決を一体的に考え、ものづくりを通じてどのような価値を提供するのか、それをどのように作るかが、地球環境の持続性の死命を制する新しい段階に入ったのではないだろうか。地球環境問題の大きな原因は、よく言われるように大量生産・大量販売・大量廃棄パラダイムにある。これは往々にして製造業悪者説に陥る可能性もあるし、そう言われても仕方がない大メーカーの動きもときに見られるが、ここでは、だからこそ、大量生産の駆動力であった、そして製品のことを一番知っている製造業こそが、大量消費・大量廃棄の担い手であった使う側との協力のもとで、地球環境問題を解決する一番の担い手になり得るし、その責務があると考えます。

資源が乏しく、人口が多く、仕組みビジネスが必ずしも得意でない我が国は、中国などの発展途上国との厳しいグローバル競争にさらされながらも、今後もハードウェアやサービスを含めた広い意味でのものづくりで生きて行くしかない。一方で、我が国は、2050年にCO₂排出量を60～80%削減することを目標として掲げている。とすると、この低炭素社会において製造業はどのような姿となるのだろうか。それは、現在とは大きく違う姿になるのではないか。この姿を模索することが、“持続可能なものづくり”の本質的な課題である。この課題に対して確たる答えを持ち合わせている訳ではないが、それは日々の効率向上、省エネルギーの積み重ねだけでは到達できるものでもないで

あろうし、逆に、原子力発電所の大規模な展開、燃料電池の飛躍的な性能向上といった少数のキラーテクノロジーの飛躍的發展によって問題が一挙に片付くといった話でもないであろう。技術的には、この特集号にあるように、要素技術開発とシステム技術(設計技術、生産システム、リサイクルシステム、ゼロエミッション、ビル省エネルギーなど)の開発を有機的に積み重ね、技術的な総合力で勝負するしかないであろう。しかし我が国の製造業には、もうひと味何かが足りない気がしてならない。それが何か明確に言うことは難しいが、現在の延長線上にない持続可能な製造業をねらう戦略、それを日常的に志向したモチベーションなのか、高度なものを新しいビジネスに結びつけるシステム構想力なのか、リスクをテイクする環境ビジネスの展開力なのか、そういったものが足りない気がしている。

家電リサイクルプラントを例にとると、これは、ヨーロッパ、アメリカ、中国と比較しても、後払い方式にも関わらず50%も使用済み家電が戻ってくる国民性に裏打ちされ、高い再商品化率、高品質で日々“カイゼンマインド”に溢(あふ)れた生産ライン、自己循環プラスチックなど新しい展開の実施など、ものづくりマインドに溢れた世界に冠たるリサイクルプラントであることは間違いない。これは、良い意味でのガラパゴス化、つまり、ガラパゴス諸島における独自の生物進化のように、技術やサービスなどが日本市場で独自の進化を遂げて世界標準から掛け離れてしまう現象なのではないかと思う。そして、多くの海外の専門家がこのプラントを見学すると、こういうやり方があり得るのかと感嘆する。いっそのこと、製造業自体も良い意味でガラパゴス化して、世界があっと驚くショールームのような持続可能な製造業にならないであろうか。

巻頭論文

第6次環境計画と“生産ライン改善”による 生産時CO₂削減



塩田 久*

Aims and Targets of the 6th Environmental Plan and Reduction of CO₂ from Production by Improving Production Lines
Hisashi Shiota

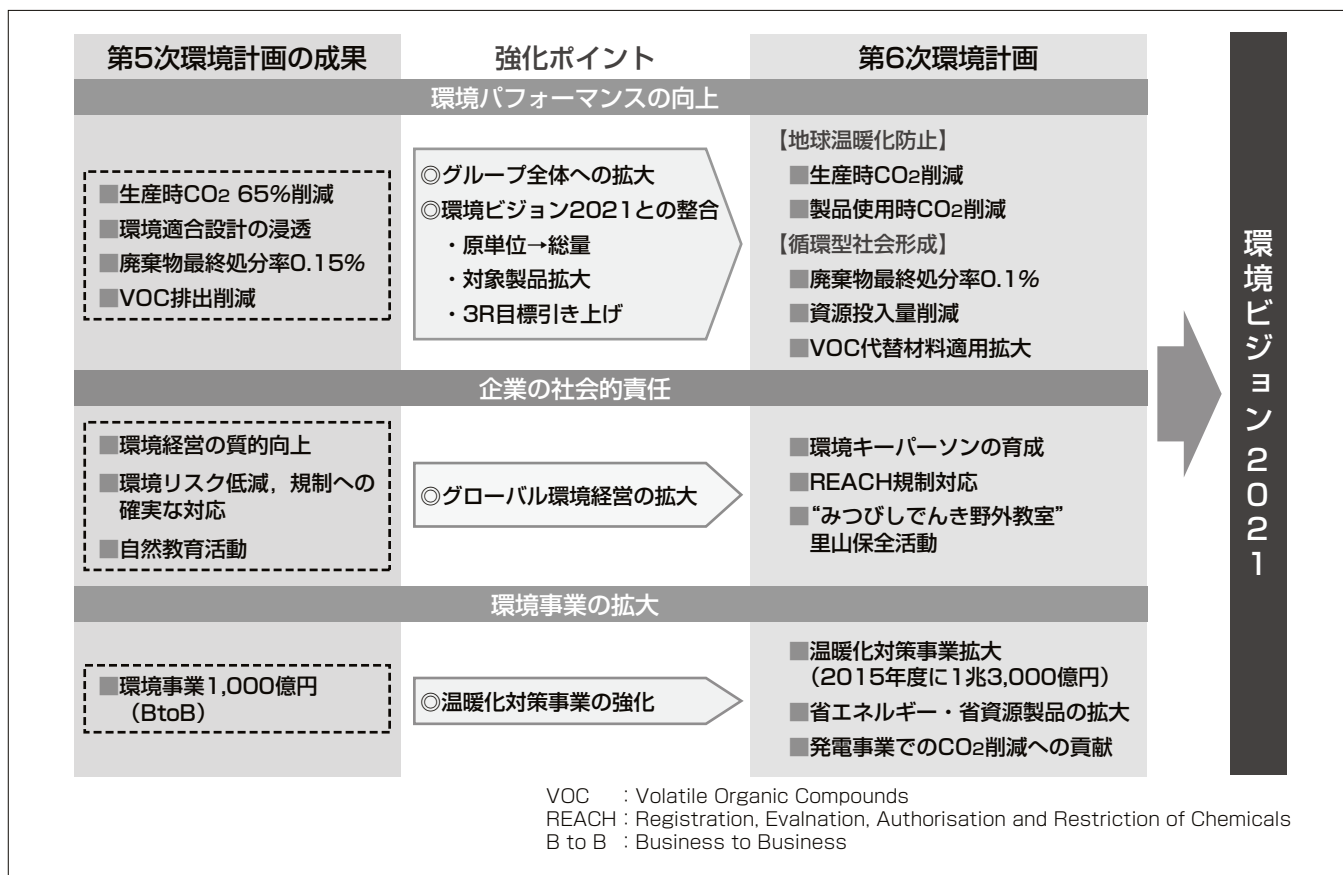
要 旨

三菱電機グループでは、1993年度から具体的な目標を定めた“環境計画”を立案し、第1次から第5次までの15年にわたり環境活動を推進してきた。2009年4月から開始した“第6次環境計画”は、これまでの環境活動の積み重ねに加え、2021年(2020年度)に目標を置いた“環境ビジョン2021”(2007年10月策定)の実現に向け、2009～2011年度までの3年間の目標と活動計画を定めたものである。

重点活動の一つである、地球温暖化防止に向けた生産時CO₂削減の目標値には、これまでの“原単位での削減”ではなく“総量での削減”を掲げている。環境ビジョン2021で掲げた目標の実現に向け、ユーティリティ機器の高効率化・

運用改善に加え、生産プロセスに潜むエネルギーロスを発見し解消する生産ライン改善施策の拡大に取り組む。製品使用時CO₂削減、資源投入量の削減では、対象製品での計画的な削減と対象の拡大を図っている。

より少ない資源・エネルギーでの生産に取り組むことは、“生産性の向上”“企業体質強化”そのものであるとの考えに立ち、環境と両立する経営を目指している。グローバルに事業を展開する企業グループとしての責任を確実に果たすため、環境経営レベルの向上に取り組むほか、温暖化対策事業を強化するなど環境関連事業の拡大を通じた持続可能な社会づくりへの貢献を実現していく。



第6次環境計画での強化ポイント

2009年4月から開始した“第6次環境計画”は、第5次環境計画での成果を踏まえ、2021年(2020年度)に目標を置いた“環境ビジョン2021”の実現に向け、2009～2011年度までの3年間の目標と活動計画を定めたものである。

環境パフォーマンス目標の環境ビジョン2021との整合、グローバル環境経営の拡大、温暖化対策事業を強化ポイントとしている。

1. ま え が き

2009年7月のラクイラ・サミットのG8(先進8か国)首脳宣言は、“産業革命による工業化以前の水準から世界全体の平均気温の上昇が2℃を超えないようにすべき”という認識を共有した。2050年までに“世界全体”で温暖化ガスを少なくとも“50%以上”削減するという、2008年の洞爺湖サミットの合意を再確認した上で、“先進国全体が80%以上削減する”という新たな長期目標を明記した。しかしながら、引き続き開催された、温暖化ガスの主要排出国が参加する“主要経済国フォーラム(MEF)”では、“気温上昇を産業革命以前の水準から2℃以内にすべき”との認識を共有するものの、“2050年までに世界全体で半減以上”は自らの排出削減に抵抗する中国、インドなど新興国側が受け入れなかった。

今回世界共通の認識となった“気温上昇を産業革命以前の水準から2℃以内に抑える”という目標は、国連の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)で整理したシナリオ⁽¹⁾に基づくものである。世界平均気温が産業革命以前に比べて2～2.4℃上昇するときの大気中の二酸化炭素濃度は、350～400ppmと考えられている。

世界の年間CO₂排出量は約275億トン、大気への年間蓄積量は約165億トン⁽²⁾、大気中のCO₂濃度は1998～2005年の平均で年間約2ppm増加⁽³⁾し、現在約380ppmである。400ppmまでのCO₂蓄積を許すとしても、この濃度レベルで安定化させるためには、今後2015年までにCO₂排出ピークに達し、2050年における世界のCO₂排出量を2000年比で-85%～-50%とすべきと算出している。すなわち“2050年までに世界全体でCO₂排出半減以上”である。

単純に考えても、海洋や植物の吸収量約110億トン(炭素換算31億トン)相当以下⁽⁴⁾へ向けてCO₂排出量を削減するか、CO₂吸収量を増やしていかなければ、大気中のCO₂蓄積量は増加し続けることになる。つまり、“人間の排出するCO₂<地球の吸収するCO₂”にするためには、世界全体で60%の削減が必要である。

このように考えると、“気温上昇を産業革命以前の水準から2℃以内に抑えるという世界共通認識”は“世界が全体でのCO₂排出量総量制限に向かうという認識”を持ったといえる。どこが、どれだけの“CO₂排出の権利”をどのように獲得するかは、多分に国家間の政治的競争によることとなるが、我々製造業にとっては、“より少ないCO₂排出での生産(事業)競争”に勝ち抜かねばならないということである。言い換えれば“より少ないCO₂排出での生産”をすることは、“少ない資源・エネルギーでの生産”に取り組むことであり、“生産性の向上”“企業体質強化”そのものである。

2007年10月に策定した三菱電機グループ“環境ビジョン2021”は、“地球温暖化防止”と“循環型社会の形成”に向け

て三菱電機グループの目指すべき環境経営の長期的方向性を示したものである。“2050年までに世界全体でCO₂排出半減”を念頭に策定した“2021年(2020年度)までに生産時CO₂排出総量30%削減”などを目標に置いており、“環境に配慮した経営”とともに“環境と両立する経営”を目指すものである。そして2009年4月からは、環境ビジョン2021の実現に向けた環境パフォーマンスの目標設定と活動計画、環境問題を取りまく社会的変化・要請への対応や環境事業の拡大を通じた持続可能な社会づくりへの貢献を策定の視点に置いた、“第6次環境計画(2009～2011年度)”を進めている。

本稿では、“第6次環境計画”の強化ポイントと、現在注力している生産時CO₂削減に向けた“生産ライン改善”について要点を述べる。

2. 第6次環境計画の強化ポイント

三菱電機グループでは、1993年度から3年ごとに具体的な環境活動目標を定めた“環境計画”を立案し、第1次から第5次まで15年にわたって遂行してきた。2009年4月から開始した第6次環境計画は、これまでの活動の成果を踏まえるとともに、“環境ビジョン2021”の実現に向け、図1に示す強化ポイントを中心に策定した。地球温暖化防止に向けた生産時CO₂排出量削減の目標値には、これまでの“原単位での削減”ではなく“総量での削減”を掲げた。次に各項目別の詳細について述べる。

2.1 環境パフォーマンスの向上

2.1.1 生産時CO₂排出量の削減

図2に、基準年度、第6次環境計画目標(2011年度)及び環境ビジョン2021目標(2020年度)の当社単独、国内関係会社、海外関係会社それぞれのCO₂排出量を積み上げたグループ全体でのCO₂排出総量計画値を示す。第6次環境計画では基準年度に対し、18%減の93万tを計画している。内訳は、当社単独24%減の51万t、国内関係会社は18%減の19万t、海外関係会社は4%減の23万tである。2008年後半の大きな景気後退に伴う生産減や、太陽光発電システム等環境関連事業の成長予測等を加味したCO₂排出量増減見込み、及び保有設備や事業形態別のCO₂削減見込みを踏まえている。

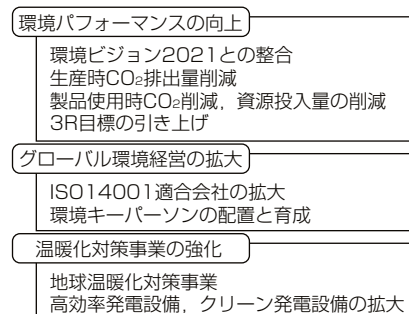


図1. 第6次環境計画における強化ポイント

2.1.2 製品使用時CO₂削減，資源投入量の削減

2008年度に出荷した環境適合設計対象製品が，顧客のところで使用されるときに消費するエネルギーから換算される製品使用時CO₂排出量は，年間約360万tと推計される。製品寿命を平均15年とすると，5,400万tのCO₂が使用時に排出される計算である。

三菱電機グループの生産時CO₂排出量は，2008年度実績94.8万tであるから，製品使用時のCO₂排出量は，生産時CO₂排出量よりはるかに大きい。すなわち，我々が提供する製品の使用時CO₂排出量(消費エネルギー量)を削減することは，世界のCO₂排出抑制に貢献するものである。三菱電機グループでは，ライフサイクル全体での製品の環境負荷低減のため環境適合設計(DfE)に取り組んできた。図3に製品使用時CO₂排出量削減を進める製品と削減技術の例を示す。製品種によって削減技術の適用時期等が異なるため，使用時CO₂排出量の基準年度比率の2011年度目標は異なる。これを考慮し，対象製品が基準年度の使用時CO₂排出量のままであったと仮定して算出した使用時CO₂排出量の積算値と，目標年度での使用時CO₂排出量の積算値を用いて算出する削減率を，対象製品全体の“平均削減率”とし

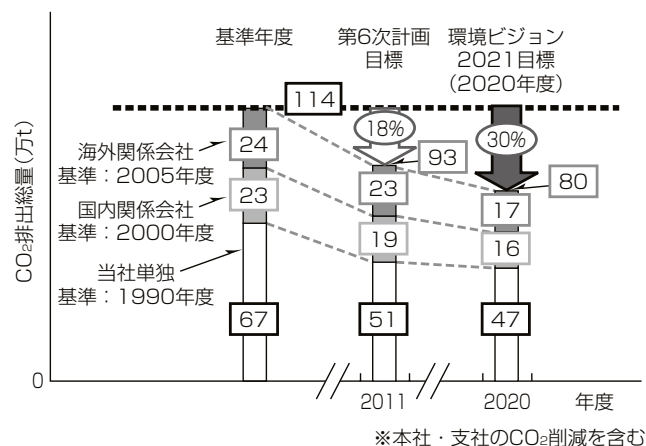


図2. グループ全体での生産時CO₂削減計画

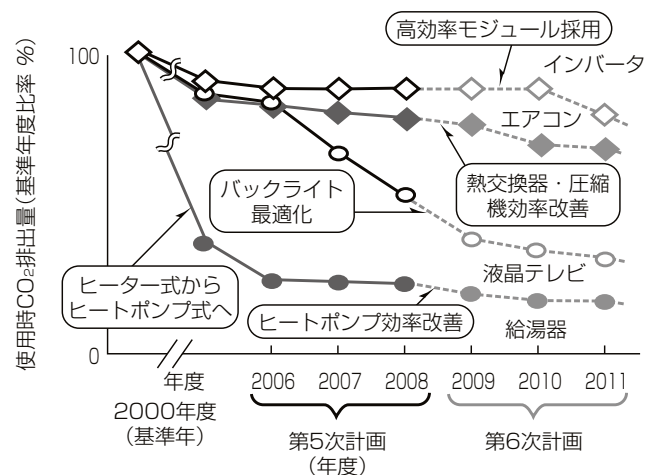


図3. 製品使用時CO₂排出量削減製品と削減技術の例

て，2011年度の目標を策定した。図4に第6次環境計画での製品使用時のCO₂削減計画を示す。

2000年度を基準年とする環境ビジョン2021の製品使用時のCO₂削減目標(2020年度30%減)に向け，2011年度に対象製品の使用時CO₂平均削減率を25%とすること，対象製品数を現状の43から80へ拡大することが，第6次環境計画の目標である。

原油や鉱石といった天然資源の減少・枯渇に対処するため再生資源を多用するとしても，再生(リサイクル)自体にエネルギーが必要である。すなわち製品生産に必要な原材料等を生産するためにエネルギーは必要であるため，素材生産時CO₂排出抑制の観点からも，素材生産量が制限されることが考えられる。これに対処する方法の一つが，製品の小型・軽量化である。環境ビジョン2021では，2000年度を基準年とし資源投入量の30%削減を目標としている。これに向けた第6次環境計画での製品の小型・軽量化による資源投入量削減計画を図5に示す。対象製品に使われている資源量の平均削減率を指標とし，2011年度18%削減を目標としている。

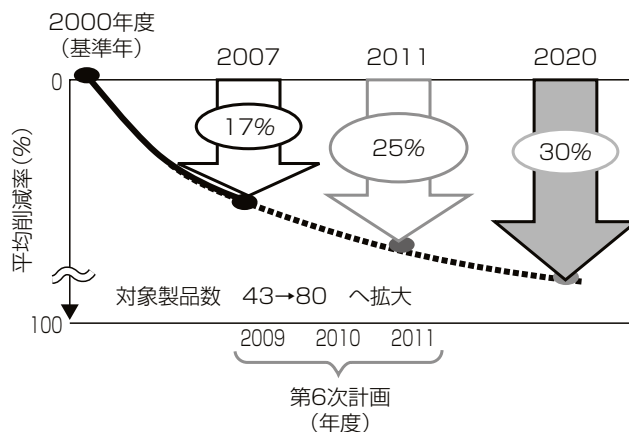


図4. 製品使用時のCO₂削減計画

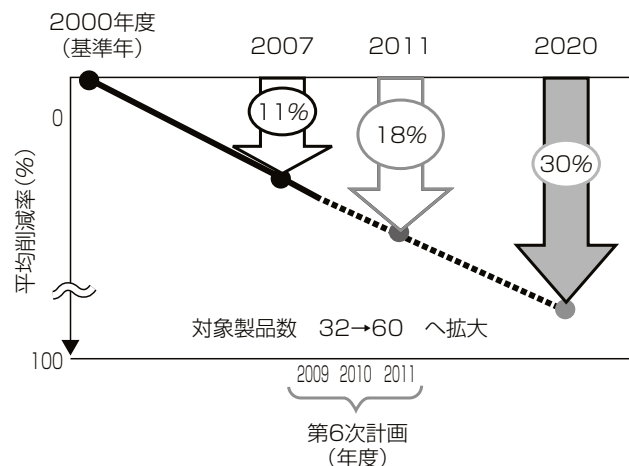


図5. 製品小型軽量化による資源投入量削減計画

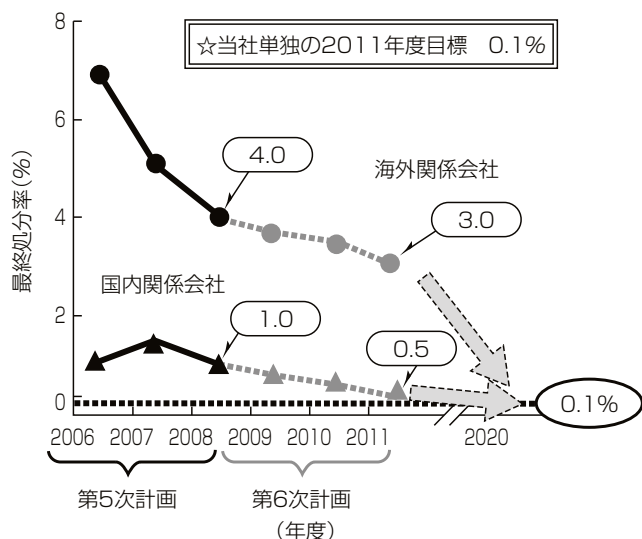


図6. 廃棄物最終処分率の削減

2.1.3 3R目標の引上げ

三菱電機グループでは、廃棄物最終処分率を指標として3R(Reduce, Reuse, Recycle)目標を定め、資源の有効利用を推進してきた。ここでの最終処分とは、廃棄物を再利用・再資源化せずに埋め立て処分することである。当社単独と国内関係会社、海外関係会社では、取り扱う材料・製品の性状の違いや処理業者の能力の違いによって、図6に示すように最終処分率が異なる。このため第6次環境計画では、当社単独0.1%未満、国内関係会社は0.5%未満、海外関係会社は3%未満を2011年度目標に置き、2020年度グループ全拠点で最終処分率0.1%未満を目指す。

2.2 グローバル環境経営の拡大

2.2.1 ISO14001適合会社の拡大

環境経営を推進する上で有効な仕組みが環境マネジメントシステム(EMS)であり、その国際規格がISO(International Organization for Standardization)14001である。これまでに本社・支社を含め当社全拠点で規格適合の第三者認証を取得し、国内関係会社67社、海外関係会社31社でも取得している。第6次環境計画では、グループ企業として環境管理、環境経営の更なるレベル向上を目的として、グループ経営上重要な連結対象会社のEMSについて第三者認証取得推進に加え、自己適合宣言と当社による適合確認を実施し、ISO14001適合会社の拡大を進める。

2.2.2 環境キーパーソンの配置と育成

現場での環境管理を確実に進めるためには、EMSに加えて的確に管理実務を進める“環境キーパーソン”を育成し、各拠点に配置していくことが重要である。第6次環境計画では、国内拠点で実施している環境キーパーソンの配置と育成教育に続き、中国・アジアといった海外の拠点へも環境キーパーソンの配置と教育活動を計画している。

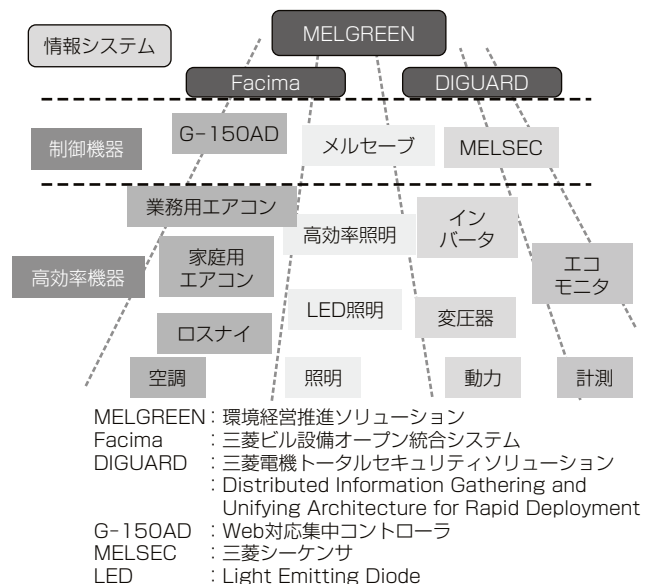


図7. CO₂削減に貢献する製品・サービス例

2.3 温暖化対策事業の強化

2.3.1 地球温暖化対策事業

空調、照明、動力といった分野の高効率機器や制御機器、環境情報管理・分析支援を行う情報システム等(図7)は、世の中のCO₂排出抑制に貢献しうる製品・サービス例であり、これらの事業が“地球温暖化対策事業”である。地球温暖化対策事業は、2015年度売上高1兆3,000億円超を目指して拡大を進めるが、これによって世の中でCO₂削減が510万t(単年度分)可能と試算している。このうち太陽光発電システムは売上高2,500億円、35万tのCO₂削減である。

2.3.2 高効率発電設備、クリーン発電設備の拡大

原子力発電、コンバインドサイクル火力発電、水力発電、太陽光発電といった高効率、クリーン(CO₂排出の少ない)発電設備の供給を拡大し、発電事業でのCO₂削減への貢献を進める。高効率設備納入が始まった2000年度以降、納入設備による2020年度のCO₂削減貢献見込みは、約9,000万tである。

3. 生産時CO₂削減に向けた“生産ライン改善”

生産時CO₂削減活動は、空調や照明、ボイラ、コンプレッサ、受変電設備などのいわゆる“ユーティリティ機器”の高効率化・運用改善と、塗装やめっきなどの表面処理、切断・切削加工、焼鈍、焼入などの熱処理、溶接、ロウ付け、はんだ付け、組立て、搬送、試験・検査など様々なプロセスの改善を総称した“生産ライン改善”に大別される。当社の2005年から2007年の3年間の削減実績をみると、“生産ライン改善”によるCO₂削減は、“ユーティリティ機器の高効率化・運用改善”による削減の1/2~1/3程度であった。第6次環境計画では、生産ライン改善施策拡大によって生産時CO₂削減の加速を進める。

生産ライン改善と一口にいても対象とするプロセスは多種多様であり、それぞれに改善の方法がある。図8に空気圧や油圧で駆動するプレスなどでの設定圧を低減する工夫(例えば、リークをなくす、配管を短くするなど圧損を減らす)による出力レベル(基準値)の見直し、冷却ポンプやファン等のモータのON-OFF制御をインバータ制御へ変更、電気炉の待機電力の停止などの例を挙げる。

これらは、生産プロセスをエネルギー使用の目で観察し、生産数等との対比からムダを見つけ出したものである。このように生産ラインの改善によるCO₂削減は、生産プロセスに潜むエネルギー使用のムダをなくすことで得られる。また生産性が向上・安定し不良品の発生が低減すれば、不良品製造や手直しに掛かったエネルギーが削減できるわけである。生産性改善やCO₂削減のため生産プロセス条件を触ることになる場合、経験則から選定されてきた条件、特に品質維持にかかわる部分を変更するには十分な準備が求められる。エネルギー使用量が多い焼成、焼鈍、焼入、乾燥、固化など熱がかかわるプロセスを重点に、品質と生産性改善の目も持ってムダ取りのメスを入れていく。

4. む す び

環境(ecology)と経済(economy)に共通するecoは古代ギリシャ語のoikos(家)に語源を持つという。世界を家と考えることが環境と経済の両立のはじまりかも知れない。

三菱電機グループは環境ビジョンの実現に向け一丸となってグローバルに環境計画を推進し、環境と両立する経営を目指している。本稿では強化ポイントを中心に第6次環境計画について述べた。紙面の都合上割愛した環境マインドの育成など、第6次環境計画のほかのテーマについては、三菱電機ホームページ⁽⁵⁾を参照願う。

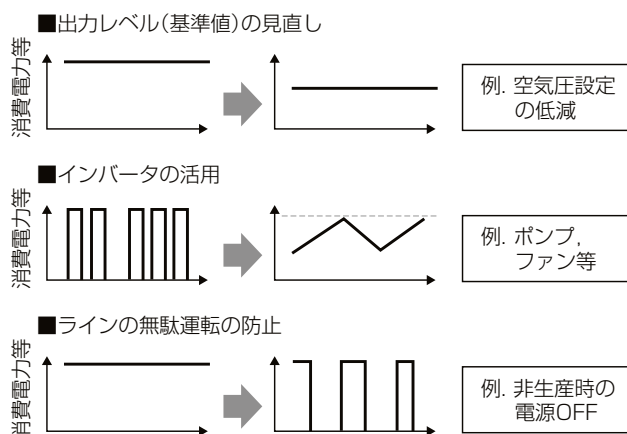


図8. CO₂削減につながる生産ライン改善例

参 考 文 献

- (1) 気候変動に関する政府間パネル 第4次評価報告書に対する第3作業部会の報告技術要約(経済産業省訳)
- (2) 山本良一, ほか: エコイノベーション—持続可能性経済への挑戦—, 生産性出版(2008)
- (3) 気象庁ホームページ, 二酸化炭素濃度の経年変化
<http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/ghghp/21co2.html>
- (4) イーズ調査レポートNo.3「企業の温室効果ガス削減目標についての調査」報告
http://daily-ondanka.com/report/data/ondanka_081119.pdf
- (5) 三菱電機ホームページ, 第6次環境計画(2009~2011年度)の活動目標
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/eco/sixth/index.html>

回転機の高性能化による環境負荷低減

大穀晃裕*

Environmental Load Reduction by Performance Advances in Rotating Machines

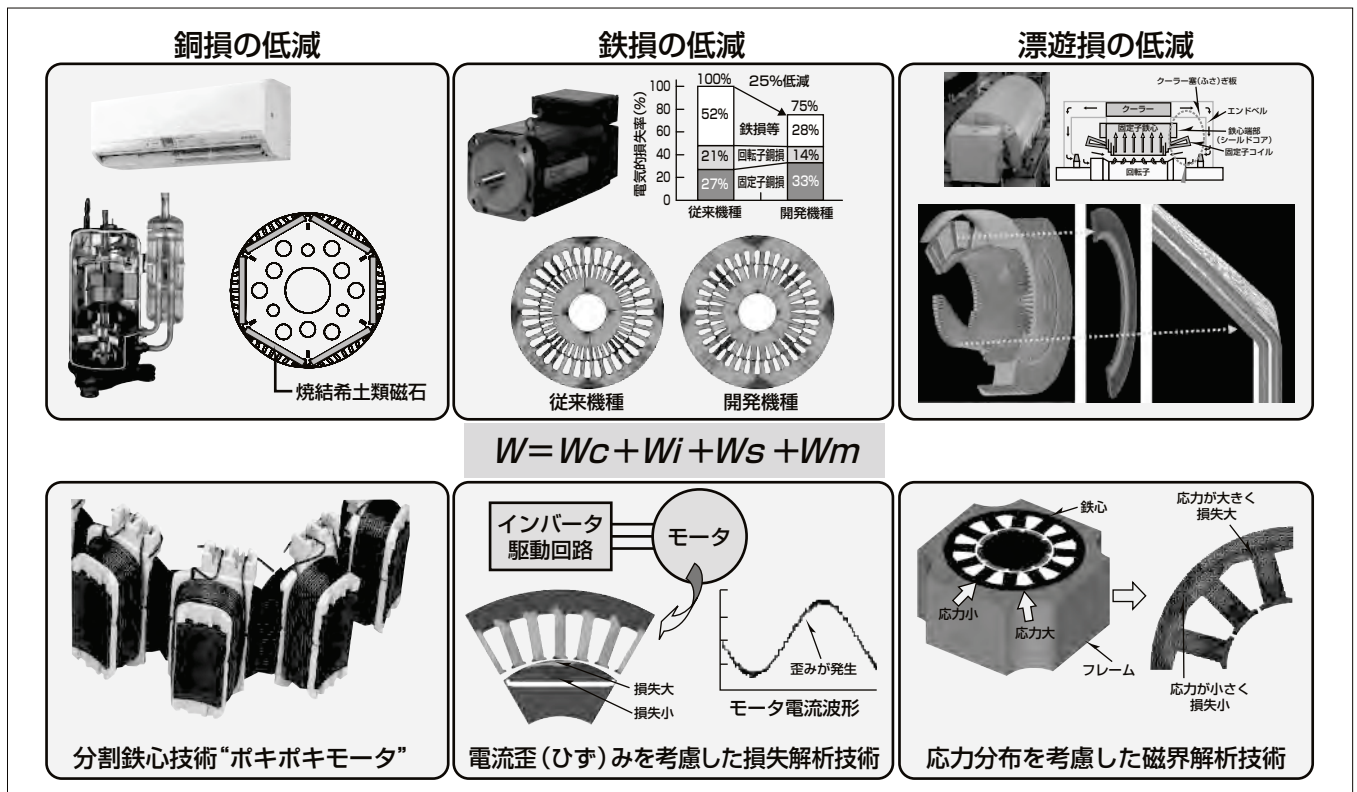
Akihiro Daikoku

要 旨

電気は現代生活で最も重要なエネルギーインフラの一つである。日本では全電力消費量の半分以上をモータで消費していると言われており、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く貢献する。また、従来は油圧駆動を行っていた分野を電動化(モータ駆動化)することで、待機時の消費エネルギーを削減することができる。その一方で、電気エネルギーを作り出す側に注目すると、発電所における発電機の高効率化も非常に重要である。大型発電機の基本的な磁気回路はすでに完成の域に達しており、効率も約99%となっているが、出力が数百MWにも及ぶため、効率が非常に高く損失の割合が小さくても、損失量としては非常に大きい。そのため構造部材での損失低減など地道な効率改善活動が必要である。

三菱電機では、家電から産業用、社会インフラ、車載に

至る様々な分野で回転機応用製品を展開しており、各々について環境負荷低減を目指した高性能化開発を行い、製品を世に送り出している。中小型回転機では、高効率化のための磁気構造設計と生産設計の両面を考慮した製品開発を進めており、極数/スロット数や永久磁石形状などの基本設計面での高効率化技術に加え、当社独自の製造技術“ボキボキモータ”による巻線の占積率向上・銅線長削減でモータの銅損低減を実現している。一方、高速・大型回転機では、鉄心に発生する鉄損や端部構造部材・回転子表面などに発生する漂遊損の割合も大きく、各損失のバランス設計が重要となる。本稿では、当社におけるモータ高効率化のための要素技術である、解析技術の高度化を中心とした設計技術について述べた後、各種製品における高効率化事例、モータ適用拡大事例について概説する。



回転機の損失低減事例及び損失低減のための要素技術

回転機の損失は、銅損、鉄損、漂遊損、機械損に分類される。損失低減には、これら損失のバランス設計が必要であり、発生損失の高精度予測技術が重要となる。当社では、独自の分割鉄心構造であるボキボキモータなどの生産技術とともに、三次元解析技術、駆動回路との連成解析技術、応力を考慮した解析技術などの要素技術開発を行い、多くの回転機の損失低減を実現し、環境負荷低減に貢献している。

1. ま え が き

我が国の全電力消費量の50%以上がモータで消費されると言われており、環境負荷低減の観点からは、モータの高効率化によるエネルギー消費削減への期待は非常に大きい。モータの応用範囲は広く、電気で動くもののほとんどにモータが搭載されていると言っても過言ではないが、その適用範囲は更に拡大しており、自動車や産業機器などの分野で高応答・高効率で駆動時に温暖化ガスを排出しないモータ駆動方式が、従来の内燃機関や油圧駆動方式に代わって広がりを見せている。この置き換えをさらに進めていくには、従来の駆動方式に負けない高性能モータの開発を行う必要がある。一方、消費される電力のほとんどは、発電所で回転型の発電機によって生み出される。発電時の損失低減も合わせて重要となる。

当社では現在、多くのモータ製品・モータ搭載製品を販売しており、また発電機も製造している。本稿では、当社のモータ製品とそれに適用されている高効率化技術について述べ、代表的な数機種について具体的な取り組みを述べる。

2. モータ・発電機の高効率化の動向

2.1 モータ・発電機の高効率化の取り組み

モータの損失は次の式で表現される。

$$W = W_c + W_i + W_s + W_m \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 W_c ：銅損、 W_i ：鉄損、 W_s ：漂遊損、 W_m ：機械損である。モータの効率を向上させるには、これらの損失を低減する必要がある。このうち銅損とは、巻線で発生するジュール損のことであり、鉄損とは、鉄心内部の磁束が変化することで生じるヒステリシス損と渦電流損の和を指す。また漂遊損とは端部構造部材で発生する渦電流などが原因で生じる損失のことである。

銅損低減には、巻線の占積率を高めたり、トルクに寄与しないコイル端部の銅線をできるだけ減らしたりすることで抵抗を下げるのが有効である。当社独自の製造技術であるポキポキモータは、銅損を低減する技術の代表であり、それ以外の様々な高密度巻線技術もこの銅損を低減するのに有効である。一方、銅損は巻線を通る電流を低減することでも低減できる。モータのトルクは鎖交磁束と電流の積で表されるため、鎖交磁束を増加させることで銅損を減らすことができる。磁束を増やすには、従来の誘導モータに代えて永久磁石モータを採用したり、永久磁石の高グレード化を行うほか、巻線の配置を工夫し、磁束の利用率を高める(巻線係数を高める)ことでも実現できる。

鉄損を低減するには、鉄心に使用する電磁鋼板の高グレード化、又は薄板化が有効であるほか、鉄心の磁束密度を低減するのが有効である。しかし、一般に寸法制約のある

中でモータを設計した場合、銅損と鉄損とはトレードオフの関係になる場合が多く、それらのバランスをとった設計を行うことが必要である。

漂遊損については、従来は発生部位の特定やその定量化ができなかったが、近年、三次元解析をはじめとする解析技術の進展によって、漂遊損の発生部位と発生量を予測可能となり、有効な対策を講じることが可能となった。

永久磁石モータ(ブラシレスDCモータ)は、一般に広く用いられている誘導モータと比較して、回転子での二次銅損がないために一般に高効率とされる。しかし永久磁石による界磁磁束が常に存在するため、高速駆動時間が長い場合には界磁磁束の制御が容易な誘導モータなどが有利な場合もある。このように、適用する製品の特性に応じてモータの種類を適宜選択する必要がある。

2.2 高効率化のための磁気設計要素技術の開発

2.1節で述べたように、近年における損失低減の実現には、高度磁界解析を用いた磁気設計が不可欠となっている。当社の解析技術の高度化事例として、高度三次元磁界解析技術を用いた磁気設計のほか、インバータ駆動時の高周波損失を高精度に算出する統合開発環境の開発(図1)、あるいは焼きばめによる応力や打ち抜き歪みなど製造時の加工劣化の影響を定量化し、これを考慮した設計技術(図2)を独自開発し、製品設計に生かしている。

2.3 モータ駆動システムの高効率化の取り組み

これまでモータ自身を高効率化するための取り組みについて述べたが、インバータ駆動モータについては、駆動技術の高度化による効率向上も同時に行っている。

商用電源駆動のモータと比べて、インバータ駆動のモータでは、モータの負荷状況に応じて最適な運転ポイントで駆動できるため、一般に効率改善が可能である。またモー

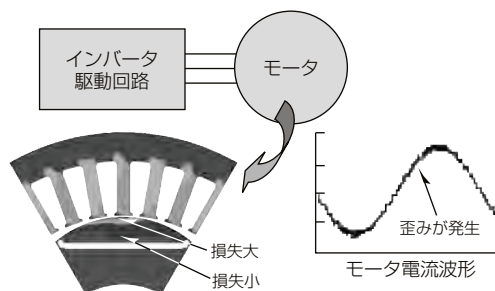


図1. インバータ駆動時の損失を定量化する連成解析技術

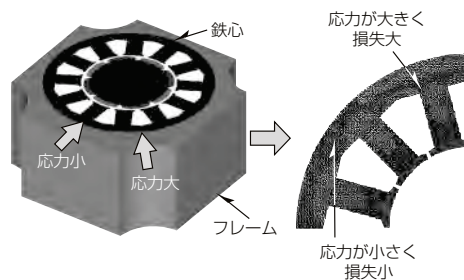


図2. 応力の影響を考慮した解析技術

タ高効率化のための制御技術として、PWM(Pulse Width Modulation)の高周波化などが行われているが、インバータ回路損失とトレードオフの関係にあり、両者のバランス設計が行われる。また、駆動システム全体としての高効率化には、駆動時(力行時)の効率だけではなく、電力回生が有効である。一例として、電車の主電動機ではブレーキ力を電源に回生することでシステム効率を高めているほか、エレベーターシステムでは、減速時のエネルギーをバッテリーに蓄え、次回加速時に再利用することで効率を高めるエレセーブシステムがオプションとして用意されている。産業用のインバータモータシステムでも同様に回生オプションが用意されている。

3. 高効率化・環境負荷低減の具体例

3.1 当社のモータ・発電機応用製品

当社が発売しているモータ・発電機とその応用製品の代表例を表1に示す。FA(Factory Automation)、車載、家電、社会インフラなど幅広い分野に製品を送り出している。

以下に、モータ・発電機の高効率化事例、及びモータの適用拡大による環境負荷低減事例を述べる。

3.2 エアコン圧縮機

住環境機器では、環境意識の高まりの中、主に省エネルギーの観点からインバータ駆動化、誘導モータに代わる高効率なブラシレスDCモータ化が行われてきた。特にルームエアコンは家庭用電力の約1/4を占めるとされ、省エネルギー化が急速に進展した。図3に当社のエアコン圧縮機用モータを、図4に設計と効率向上の変遷を示す。量産としてのコストを維持しつつ、PM化、集中巻モータの採用、希土類磁石の採用などによって、効率を向上させてきた。

3.3 主軸モータ

工作機の工具駆動などに用いられる主軸モータに対して

表1. 当社の主なモータ・発電機適用製品

分野	適用製品
FA	汎用三相モータ、サーボモータ、リニアモータ、主軸モータ、ギヤードモータ
車載	電動パワーステアリング用モータ、スタータ、燃料ポンプ用モータ、オルタネータ
家電、業務用電気品	エアコン、換気扇、掃除機、ジェットタオル
社会インフラ	電車用主電動機、エレベーター巻上機モータ、タービン発電機、水車発電機

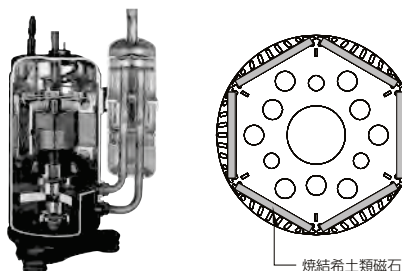


図3. エアコン圧縮機用モータ

も、省エネルギー、省資源、軽量、高信頼性を実現できる製品が求められるようになってきた。主軸モータは8,000～数万rpmの高速駆動が求められる一方、実際の加工時には低速までの幅広い回転数で駆動することが求められる。そのため、銅損と鉄損のバランス設計が非常に重要となる。これに対し、当社では普及タイプの工作機械に向けた枠付主軸モータの新シリーズ“SJ-D”を開発し、発売を開始した。図5に外観とその効率改善結果を、図6に損失分布比較を示す。

これ以外にも、例えば40,000rpm以上の高速駆動を行う掃除機用モータにおいても、鉄心材料の薄板化による鉄損低減を行い、銅損／鉄損のバランス設計を行うことで、高効率化を実現している。

3.4 産業用モータ

工場のファンやポンプを駆動する用途には、堅牢(けんろう)で安価な商用電源駆動の汎用(はんよう)三相誘導モータが一般に用いられる。この誘導モータをインバータ駆動することで、通常の商用電源駆動に比べて大幅な効率向上ができる。しかし誘導モータは回転子に磁石を持たないため、モータを運転するには、回転子の磁束を作るための励磁電流を流す必要がある。これに対し磁石を回転子に埋め込んだIPM(Interior Permanent Magnet)モータは、こ

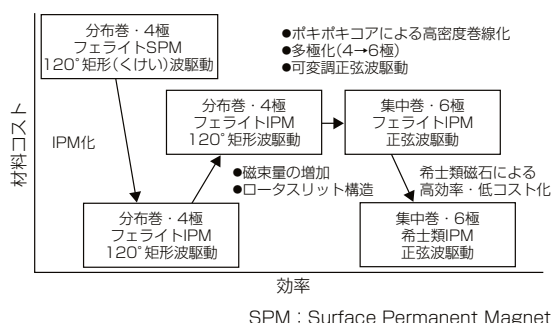


図4. エアコン圧縮機用モータの変遷

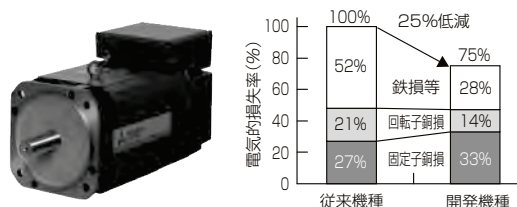


図5. 主軸用モータとその効率改善

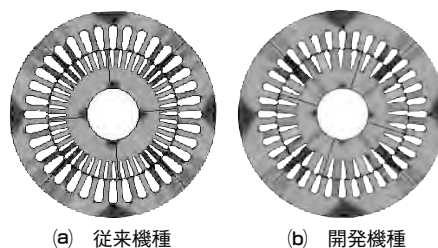


図6. 主軸用モータの鉄損分布の比較

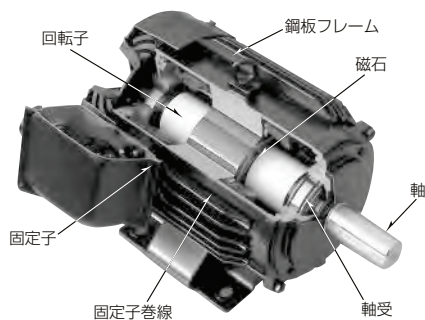


図7. 汎用IPMモータ

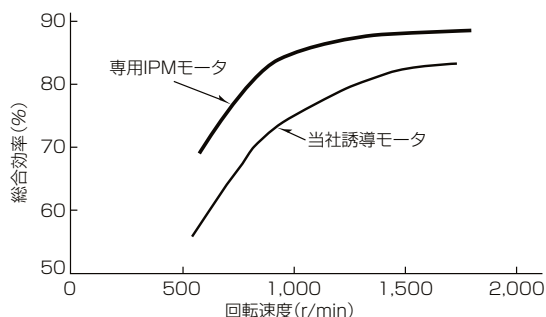


図8. 汎用IPMモータの効率

の励磁電流を流す必要がなく回転子の損失がないため、誘導モータよりも高効率化が実現できる。当社のIPMモータを図7に、誘導モータとの効率比較を図8に示す。

3.5 タービン発電機

タービン発電機の損失のうち漂遊負荷損は、銅損試験時に発電機内部で発生する渦電流損、ヒステリシス損の合計値に対応しており、低損失化には各部位の損失分布と損失低減策の効果を定量的に把握する必要がある。近年の三次元電磁界数値解析技術の向上によって、構造や起磁力分布を正確に考慮した高精度解析が可能となっており、損失をほぼ正確に予測できるようになった。タービン発電機の外観と内部構造、端部での損失分布解析結果を図9に示す。

3.6 電動パワーステアリング

モータの適用拡大による環境負荷低減の代表例として、電動パワーステアリングを採り上げる。自動車のパワーステアリング装置は、操舵(そうだ)のアシスト力を発生させる方式によって油圧方式と電動式に大別される。油圧式はポンプをエンジンで駆動するため、常にエンジンの出力を消費する。一方、電動式はアシスト力をモータで発生させるため、必要なときだけ駆動させることが可能であり、自動車の燃料消費を大幅に低減できる。当社は1988年に世界で初めて電動パワーステアリング用モータ・コントローラを量産化して以来、その普及に努めてきた。普通車向けのブラシレスタイプのモータの外観を図10に示す。設計のポイントは油圧式に匹敵する操舵フィーリングをモータで実現することであり、コギングトルク・トルク脈動及び騒音・振動の低減が重要となる。

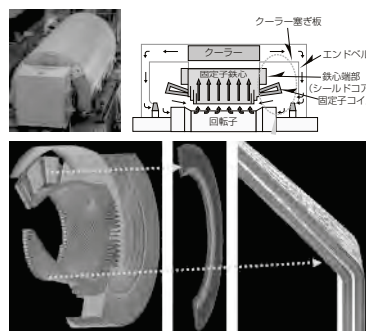


図9. タービン発電機と端部漂遊損失の分布



図10. 電動パワーステアリング用モータ

4. む す び

当社の回転機の高性能化による環境負荷低減への取り組み、それを実現するための要素技術開発と具体的事例について述べた。今後も引き続きモータの高効率化と適用拡大、発電機の低損失化に努め、更なる環境負荷低減に努めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 秋田裕之：ポキポキモータによる省エネルギー・省資源，三菱電機技報，**79**，No.5，329～332（2005）
- (2) 大穀晃裕，ほか：鉄心の詳細な磁気特性を考慮したモータ設計技術，三菱電機技報，**79**，No.11，703～706（2005）
- (3) 寺田 啓，ほか：駆動制御機器の連成シミュレーション，三菱電機技報，**79**，No.11，715～718（2005）
- (4) 馬場和彦，ほか：ルームエアコン用ブラシレスDCモータの高性能化，三菱電機技報，**79**，No.11，727～730（2005）
- (5) 小川 徹，ほか：新枠付主軸モータ“SJ-Dシリーズ”，三菱電機技報，**83**，No.4，263～266（2009）
- (6) 谷本政則，ほか：省エネルギードライブ“FREQROL-FP500J+IPMモータ”，三菱電機技報，**79**，No.11，739～742（2005）
- (7) 前田 進，ほか：タービン発電機への最新電磁界解析技術の適用，三菱電機技報，**81**，No.10，704～707（2007）
- (8) 田中俊則：電動パワーステアリング用モータ，三菱電機技報，**76**，No.6，387～390（2002）

太陽光発電システム —セル製造技術の高度化—

石原 隆*
森川浩昭**

Photovoltaic Power Generation System—Advanced Technologies in Production of Solar Cells

Takashi Ishihara, Hiroaki Morikawa

要 旨

1970年代の石油ショックの経験から開発・普及を期待され、開発が続けられてきた太陽光発電システムは、30年を経て21世紀に入り、世界的な環境意識の高まりとともに急速に普及してきている。

システムのキーデバイスである太陽電池は、半導体の中で太陽の光を直接電気に変換するため、運転時にCO₂など排出物を全く出さないクリーンなエネルギー源である。しかしながら、製造時にはエネルギーを消費し、寿命全う時には廃棄物として処理されなければならない。このため、少ない投入エネルギーで大きな発電量を得るよう、光-電気の変換効率の高いデバイスの開発にしのぎが削られてい

る。また廃棄時の環境負荷まで考えた材料の選定も、クリーンエネルギーを標榜(ひょうぼう)する太陽電池には重要となる。

三菱電機では、材料として枯渇の心配がなく、廃棄時の環境負荷も低いシリコンを選び量産技術を開発し、量産規模の拡張を推進してきている。一方で、更なる高性能化を目指した開発も量産につなげるために進めている。

本稿では、現在量産を行っている結晶シリコン太陽電池製造技術の高度化について現状をまとめ、今後の方向について述べる。



当社の太陽電池工場(第二棟)完成予想図

当社では、増大する需要と要求される高効率太陽電池の製造に対応するため、380MW/年の生産規模を持つ太陽電池工場第二棟を、従来の第一棟に隣接して建設中である。

1. ま え が き

太陽電池の総生産量を材料の種類別に分類すると、単結晶シリコン太陽電池、多結晶シリコン太陽電池を合わせたシリコン結晶系太陽電池の生産量が全生産量の約9割を占め、中でも多結晶シリコン太陽電池は6割を占めている。

このように多結晶シリコンが太陽電池で最も多く用いられているのは、最も簡略化された製造工程を適用しながら、高効率で低コストな太陽電池の製造が可能だからである。多結晶シリコン太陽電池の高効率化手法は20年以上前から研究が行われている。例えばゲッターリング、ドライ・テクスチャ、セレクトティブ・エミッターや水素パッシベーションといったものが挙げられるが、これら高効率化の手法がすべて量産に適用できるのではなく、実際に量産に用いられているのは生産性や装置コストの観点から最適化されたものである。

図1に示すように、現在量産工場で適用している製造工程は6工程でセルが完成する⁽¹⁾。いずれの工程もシリコン結晶系の太陽電池の製造には不可欠な工程であるが、とりわけ多結晶シリコンを材料とした場合のセル高効率化に必要不可欠である水素パッシベーションにかかわる技術を中心に、水素パッシベーションの効果を左右する製造工程である反射防止膜形成、電極の焼成について述べる。

2. 太陽電池セル高効率化技術

2.1 反射防止膜とパッシベーション効果

熱プロセスはいずれも、多結晶シリコンウェーハの品質を評価する指標となる少数キャリア拡散長(以下“拡散長”という。)に影響を与える。このため、拡散長の熱プロセス依存性の理解は高効率化にとって重要である。図1のプロセス・フローでは、リン拡散、プラズマCVD (Chemical Vapor Deposition)、電極焼成の三つの加熱を伴うプロセスが拡散長に影響を与える。そこで各熱工程を経たあとの、製造メーカーが異なる3種類のウェーハについて拡散長を評価した。拡散長の評価は次の4つの状態、①初期状態(プロセス投入前)、②リン拡散後、③反射防止膜形成(PECVD)

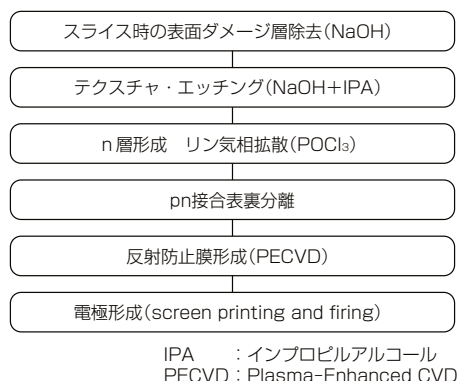


図1. セル製造プロセスフロー

後、④電極焼成後、のウェーハ表面をエッチングしSPV (Surface Photovoltage)法によって行った。図2は各プロセスと拡散長の関係である。拡散長はすべての製造メーカーのウェーハで最初の熱工程であるリン拡散で低下し、反射防止膜形成でやや改善し、更に電極焼成工程によって大きく改善する。反射防止膜にはプラズマCVD法によってシランガスとアンモニアガスを分解してできるSiN膜を採用しており、この膜中に含まれる水素原子がパッシベーション効果に大きな影響を与えることが知られている。

次に水素パッシベーションに不可欠なSiN膜について、変換効率を最大にする水素パッシベーションに必要な膜厚を明確にするために、IQE (Internal Quantum Efficiency : 内部量子効率)のSiN膜厚依存性を調べた。図3はSiN膜の厚さとIQE及び反射率(R)との関係を示したものである。

まず400nm未満の短波長領域では、IQEを最大にするSiN膜の膜厚は35nmとなった。これまでの基礎検討結果

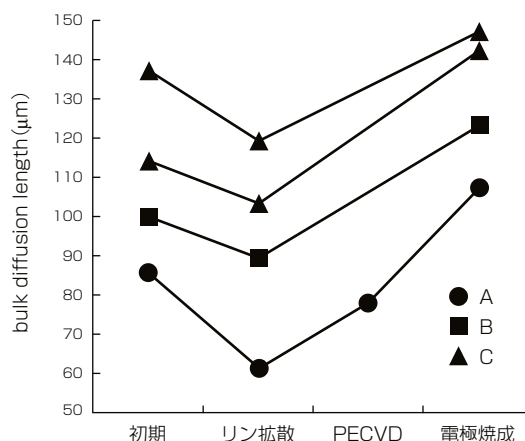


図2. 製造を経るごとの基板拡散長の変化

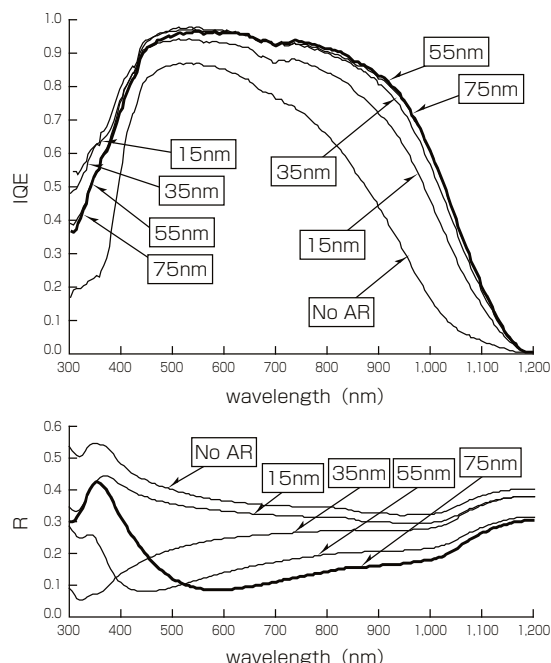


図3. 反射防止膜の膜厚に対する内部量子効率と反射率の関係

から、屈折率 $n=2.2$ のSiN膜で、35nmより膜厚が厚い場合、SiN膜の吸収によってIQEが低下することが明らかとなっている。一方800nmより長波長領域では、IQEは55nmでほぼ最大となっている。これらの結果から水素パッシベーションの効果を最大化するには、55nmあれば十分であることが分かる。一方、太陽電池にとって表面での光反射を抑制し、セル内へ入射する光量を最大にする最適なSiN膜厚は75nm程度である。これらの結果では、光学的な最適膜厚(75nm)と水素パッシベーションの効果を最大にする膜厚(55nm)は一致しない。しかしモジュール構造まで含めて考えると、400nm未満の波長領域の光は、モジュールの封止材料であるEVA(エチレン酢酸ビニル共重合樹脂)及び強化ガラスの吸収によってセル内部にはほとんど入射せず、モジュール出力にはほとんど影響しない。したがって、最適なSiN膜の厚さは、水素パッシベーションの効果が最大となり、かつ光学的にも高効率を得られる反射率が最も低くなる75nm程度となることが実験で明らかとなった。

2.2 電極焼成条件とセル特性

図2に示したように、電極の焼成プロセスを経て大きく拡散長が改善される。そこで、電極焼成プロセスについて詳細に理解するために、拡散長の改善をもたらすプラズマCVDと電極焼成プロセスによる拡散長の変化を、次の4仕様の太陽電池のIQEを調べることによって評価した。図4は各仕様に対するIQEとRの変化を示したものである。

- ①反射防止膜はなく、電極には印刷ペーストを用い800℃以上で焼成したもの(図中のシンボルA)
- ②反射防止膜はなく、電極にはスパッタで形成した電極を用い300℃でシンターしたもの(図中のシンボルB)
- ③反射防止膜を形成し、電極にはスパッタで形成した電

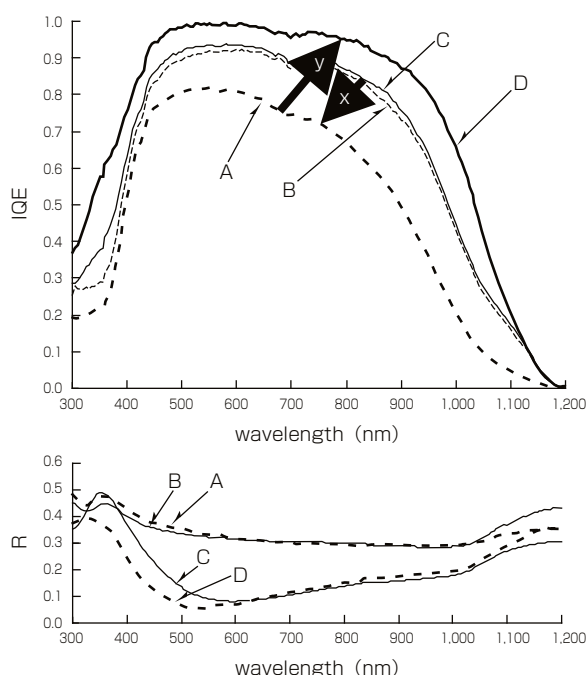


図4. 電極形成プロセスの拡散長への影響

- 極を用い300℃でシンターしたもの(図中のシンボルC)
- ④反射防止膜を形成し、電極には印刷ペーストを用い800℃以上で焼成したもの(図中のシンボルD)

反射防止膜を形成しない場合、B仕様のIQEはA仕様のIQEより大きい。すなわち、反射防止膜がない状態では、印刷電極の800℃を超える温度は大きなIQEの減少(gap x)を引き起こしている。

一方、反射防止膜を形成している場合、D仕様の800℃を超える焼成温度で、IQEはC仕様の300℃の熱処理によるIQEより大きくなっている。先の反射防止膜を形成しない場合の結果を考慮すると、反射防止膜がなければ熱の影響によってA仕様の状態にあるものが、反射防止膜の存在、すなわち水素パッシベーションの作用によってAからD(gap y)に改善されたと考えることができる。これらの関係を説明する一つの解釈として、電極焼成プロセスで熱による劣化(gap x)と、反射防止膜に存在する水素による水素パッシベーションによる改善(gap y)が同時に生じていると考えることができる。現時点では推察にすぎないが、gap xをもたらす劣化とgap yをもたらすものが異なるのであれば、例えばgap xが結晶粒界に偏析している重金属の電極焼成温度による再拡散に起因するとすれば、この熱による劣化を抑え込めれば更に拡散長を高める可能性が出てくる。そこで水素パッシベーションの効果を最大限に引き出す可能性を持つ高速焼成に取り組んできた。

図5は、従来の焼成プロファイルと高速焼成プロファイルと比較したものである。実験に用いた高速焼成条件は、焼成温度のピーク時間を数秒未満と短くし、昇降温度速度30℃/秒以上としたものである。

図6には、高速焼成と従来焼成における短絡電流密度(J_{sc})と開放電圧(V_{oc})の関係を示した。高速焼成と従来焼成の比較には異なる3社から供給されたシスターウェーハ(多結晶で拡散長などの電気的な特性がほぼ一致するように、できる限りインゴットの近接した場所から切り出したウェーハ)を用いた。図中の点線は、異なる比抵抗ごとに拡散長のみ変化パラメータとした場合の、短絡電流密度と開放電圧の関係をPC-1D(太陽電池セルの一次元デバ

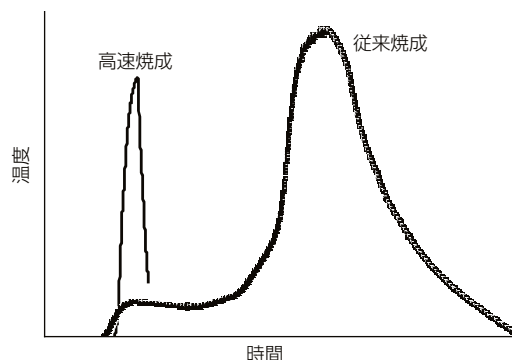


図5. 電極焼成プロファイルの比較

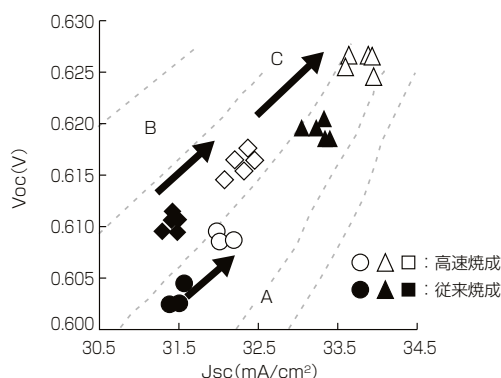


図 6. Voc, Jsc, 高速焼成, 従来焼成の比較

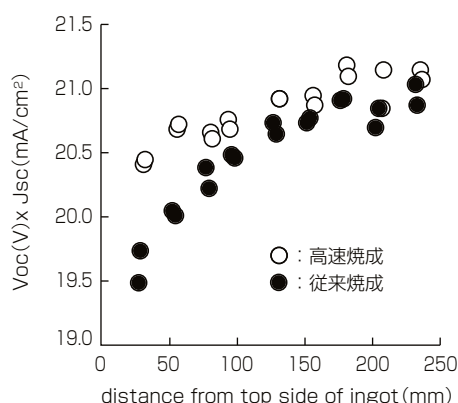


図 7. Voc×Jscのインゴット位置依存性

イスシミュレータ)で調べたものである。拡散長が向上すると、短絡電流密度と開放電圧は同時に向上する。異なるウェーハ・メーカーのシスターウェーハであるA, B, Cのいずれの仕様でも、従来焼成から高速焼成にすることによって短絡電流密度並びに開放電圧が向上し、その傾向はPC-1Dの計算の傾向と一致した。これらの関係から高速焼成によって拡散長が向上することが確認された。

一方図7は、インゴットのトップ側からボトム側にかけての位置と、短絡電流密度と開放電圧の積の関係を示したものである。

こちらもシスターウェーハを用い、従来焼成と高速焼成を比較した。インゴットのトップ側での改善効果が著しいことから、インゴットのトップ側に偏析する重金属の再拡散抑制に、高速焼成が有効であることが推察される。

このような高速焼成の新規な焼成条件に対し高効率化、高信頼性を確立するために、表電極(Agペースト)の最適化も同時に進めてきた。高効率化に関して、入射光量の増大に直接効果のあるグリッド電極の細線化は、スクリーン印刷時におけるパラメータとなるメッシュ径、メッシュ番手、乳剤厚等のスクリーンマスク、印圧やマスクとウェーハのギャップ等の印刷条件、及び粘度やレオロジーといっ

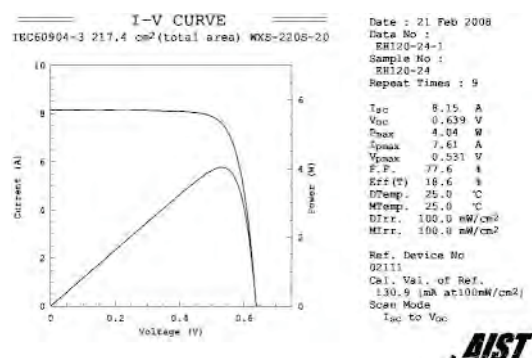


図 8. 高効率多結晶シリコンセルのI-V特性

た金属ペーストなどの最適化と多重印刷を適用することによって、グリッド幅として60μm幅を実現した。

一方、このプロセス・フローで信頼性を高めるには、表電極に用いるAgペーストと焼成条件の最適化が不可欠であることは三菱電機技報2003年5月号⁽²⁾で詳細に述べた。今回の高速焼成仕様についても、信頼性の観点から最適化を重ね、従来仕様よりも更に信頼性を向上させることが可能になった。

先に述べた水素パッシベーション、高速焼成、表面電極細線化など、太陽電池セルの高度化技術とともに、ハニカムテクスチャ、エミッター層高シート抵抗化などの多結晶シリコン太陽電池の高度化技術を適用することによって、図8に示すように実用的な150mm角の多結晶シリコンで18.6%の変換効率が得られた。

3. む す び

結晶系太陽電池の高効率化技術について述べた。今後さらに単結晶や小面積のセルで実証されている裏面側の絶縁膜によるパッシベーション構造、裏面反射の活用やウェーハの比抵抗最適化によって、表側にバスやグリッドが形成された量産に適した通常構造セルにおいても更なる効率改善ができるものと確信している。

参 考 文 献

- (1) Arimoto, S., et. al : SIMPLIFIED MASS-PRODUCTION PROCESS FOR 16% EFFICIENCY MULTI-CRYSTALLINE Si SOLAR CELLS, Proceeding of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, 188~193 (2000)
- (2) 森川浩昭, ほか: 太陽電池セル・モジュール鉛フリー化, 三菱電機技報, 77, No.5, 310~312 (2003)

太陽光発電システム —高効率パワーコンディショナの技術—

浦壁隆浩* 西尾直樹†
藤原賢司**
川上知之***

Photovoltaic Power Generation System—Technology of High Efficiency Power Conditioner

Takahiro Urakabe, Kenji Fujiwara, Tomoyuki Kawakami, Naoki Nishio

要 旨

地球温暖化防止が喫緊の課題となる中、省エネ法の制定や世界的に広がる新エネルギーの導入増加など、CO₂排出削減のための高効率化が強く求められている。太陽光発電は発電時にCO₂を発生しない発電方式であることから、その市場は欧州を中心とした各国で急速に拡大している⁽¹⁾。太陽光発電システムは、複数枚の太陽電池セルから成るモジュールと、発電された直流電力を交流電力に変換するパワーコンディショナから構成されている。

パワーコンディショナは、最も重要な機能として電力を効率よく直流から交流に変換することが要求される。本稿では、高効率な電力変換を実現する階調制御型パワーコンディショナの技術について述べる。このパワーコンディショナは、チョッパ回路、インバータ、出力フィルタから構成

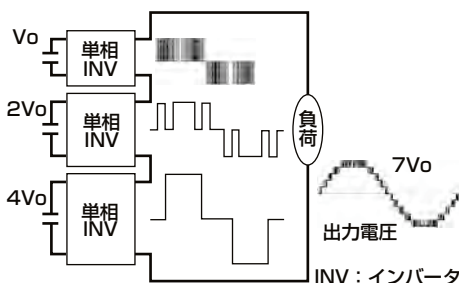
成され、インバータ部は主インバータと二つのサブインバータの直列回路から成る階調制御型インバータの構成となっている。このパワーコンディショナには、階調制御型インバータ技術、専用のMOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) パワーモジュール、主インバータからサブインバータへの電力供給を可能とする技術が適用されている。

これらの技術を適用したパワーコンディショナ“PV-PN40G”は、①業界最高の電力変換効率97.5%^(注1)、②密閉構造なので脱衣室・洗面所への設置が可能、③業界トップクラスの静音性(30dB)といった特長を備えている。

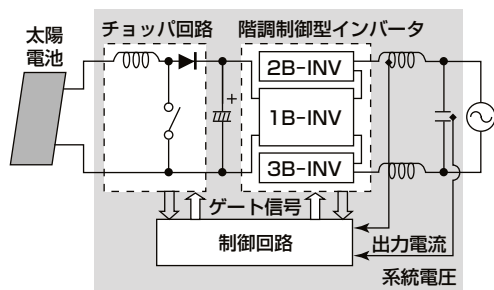
(注1) 2009年2月現在、当社調べ。PV-PN40GのJIS8961で規定する定格負荷効率。国内用パワーコンディショナの電力変換効率において。



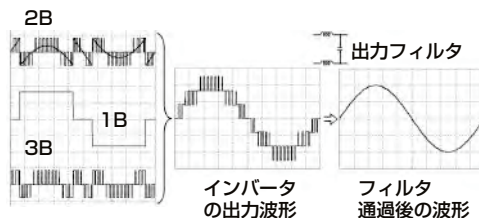
太陽光発電システム



階調制御方式の原理図



階調制御型パワーコンディショナの構成



階調制御型パワーコンディショナの
波形形成方法

太陽光発電システムの高効率パワーコンディショナ

太陽光発電システムは、複数枚の太陽電池セルから成るモジュールと、発電直流電力を交流に変換するパワーコンディショナから構成される。階調制御型パワーコンディショナは、チョッパ回路、階調制御型インバータ、出力フィルタから構成され、階調制御型インバータは、各々電圧の異なる主インバータと二つのサブインバータを直列に接続し、段階的な擬似正弦波を生成する。

1. ま え が き

地球温暖化防止が喫緊の課題となる中、省エネ法の制定や世界的に広がる新エネルギーの導入増加など、CO₂排出削減のための高効率化が強く求められている。太陽光発電は発電時にCO₂を発生しない発電方式であることから、その市場は欧州を中心とした各国で急速に拡大している⁽¹⁾。図1に示すように、一般的な太陽光発電システムは、複数枚の太陽電池セルから成るモジュールと、発電された直流電力を交流電力に変換するパワーコンディショナから構成されている。

パワーコンディショナは、電力を効率よく取り出し有効活用する機能を果たす。パワーコンディショナの基本機能は次のとおりである。

- ①太陽電池の発電電力を無駄なく取り出す(MPPT(Maximum Power Point Tracking)制御^(注2))
- ②直流電力を効率よく交流電力に変換する(インバータ)
- ③電力を系統に送り出す(系統連系)
- ④系統の異常を検出して発電を停止する(系統連系保護)

図2にパワーコンディショナの構成を示す。太陽電池の電力はチョッパ回路部に入力され、太陽電池の電力を効率よく取り出すと同時にインバータに必要な電圧に変換する。インバータ部では、入力された直流電力を交流電力に変換する。系統連系インバータではインバータの出力電流が所

(注2) 太陽電池の最大電力点を追従する制御



図1. 太陽光発電システム

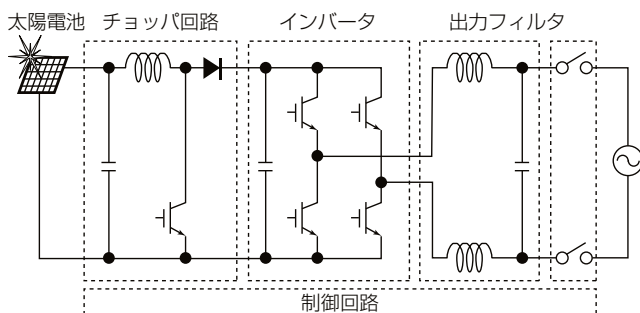


図2. パワーコンディショナの構成

望の波形となるように電流制御する。インバータの出力はパルス状の波形をしているため、コイル及びコンデンサで構成される出力フィルタで滑らかな正弦波に変換する。出力フィルタと系統との間には、必要に応じて系統とインバータを接続する連系開閉器を装備している。また制御回路によって各部をコントロールする。

本稿では、直流電力を効率よく交流電力に変換するインバータ技術としての階調制御方式について述べ、その技術を適用した階調制御型パワーコンディショナについて述べる。また、この技術を適用したパワーコンディショナ“PV-PN40G”が、業界最高の電力変換効率97.5%と、業界トップクラスの静音性を実現したことについても述べる。

2. 階調制御型インバータ技術

階調制御型インバータは、電圧の異なる複数のインバータを直列に接続し、それらの出力を組み合わせることで擬似正弦波電圧を得る方式である。これら複数のインバータはサブインバータと呼ばれ、各サブインバータの電圧は、2進数、又は3進数などの関係となっている。階調制御型インバータの出力波形は階段状であり、それらの各レベルを階調と呼んでいる。例えば2進数3ビットの階調制御型インバータの場合は両極15階調、また3進数3ビットの場合は両極27階調の出力を得ることができる⁽²⁾ (図3)。

階調制御型インバータの特長は、①スイッチング周波数を大幅に低減できることから、低損失・低ノイズであること、②電圧振幅が小さいことから、出力フィルタを小さく設計でき小型化できること、③各インバータが発生する電圧の総和で出力電圧が得られることから、入力される電圧よりも高い交流電圧を発生できることである。また③の特長から、直流母線電圧を従来方式よりも低く設定でき、インバータ前段のチョッパ回路の損失低減効果もある。

3. 階調制御型パワーコンディショナ

3.1 階調制御型パワーコンディショナ

階調制御型パワーコンディショナの回路構成を図4に、

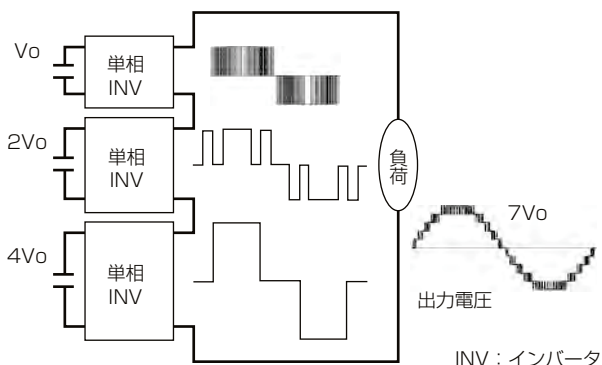


図3. 階調制御型インバータの原理

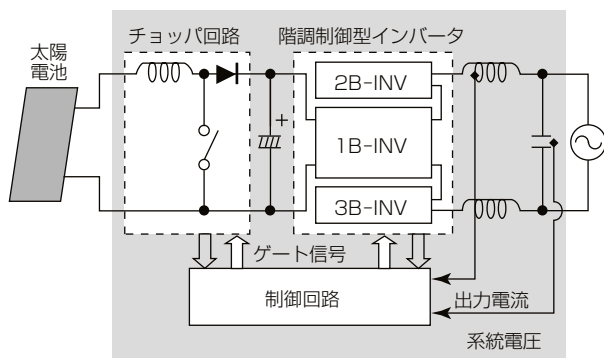


図 4. 階調制御型パワーコンディショナの回路構成

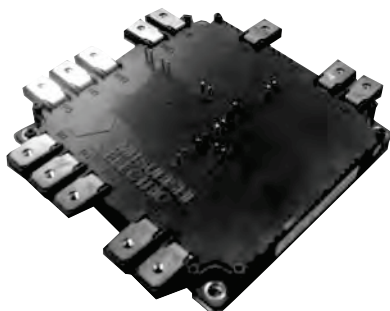


図 5. 専用のMOSFETパワーモジュール

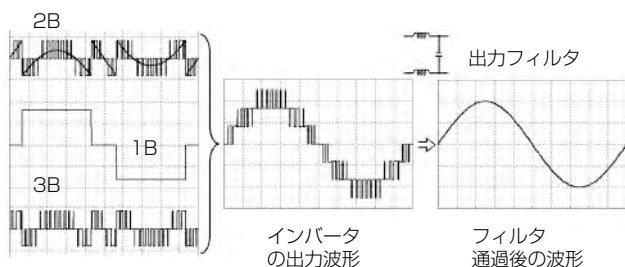


図 6. 階調制御型パワーコンディショナの波形形成方法

新たに専用に開発したパワーモジュールを図 5 に示す。インバータ部は異なる 3 台のインバータで構成し、入力される直流電圧をスイッチングする主インバータ (1B) と、それに直列に接続したサブインバータ (2B, 3B) で構成している。一般に、太陽電池で発電した直流電力をパワーコンディショナのインバータ部で交流電力に変換する際、電力損失が発生する。従来のインバータは、1 台のインバータを使って矩形 (くけい) 波を生成し、フィルタ回路を通過させて正弦波に整えていたが、階調制御型インバータ方式は、電圧の異なる 3 台のインバータを組み合わせることで、段階的な擬似正弦波を生成する (図 6)。これによって、フィルタ回路の小型化を実現し、電力変換時の損失を大幅に低減することが可能となる。

3.2 サブインバータへの電力供給方法

階調制御型パワーコンディショナは、3 台のインバータを直列に接続している。太陽電池から得られた電力は、入力電圧が最大である主インバータ 1B-INV へ送られるが、その他のサブインバータ 2B-INV, 3B-INV へは別途電力

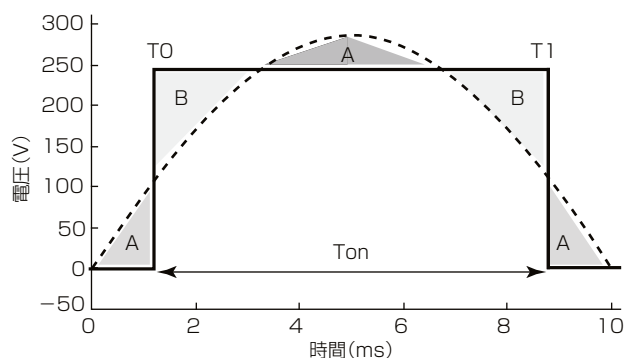


図 7. 目標の出力電圧と 1B-INV の出力電圧波形

供給が必要となる。ここでは、サブインバータへの電力供給方法について述べる。

1B-INV の出力電圧波形は、図 7 に示すように正弦波の半周期に一度出力する 1 パルス波形である。一方、2B-INV と 3B-INV の出力電圧は等しく、目標の出力電圧と 1B-INV の出力電圧との差分を補うように PWM (Pulse Width Modulation) 制御によって出力している。

各インバータ 1B-INV, 2B-INV, 3B-INV が扱う電力を $P1B$, $P2B$, $P3B$, 出力有効電力 Po , 各インバータの入力電圧 $Vc1$, $Vc2$, $Vc3$, 出力正弦波電流のピーク値 Im , 交流電圧の周波数 fs とすると、各電力は次式のように表せる。パワーコンディショナに接続される負荷には、正弦波で力率 1 の電流が流れている場合を想定している。

$$P1B = 4 \times \int_{To}^{1/4 fs} Vc1 Im \sin(2\pi fs t) dt \times fs$$

$$= 4 \times Vc1 \times Im \times \cos(2\pi fs To) / 2\pi \dots \dots \dots (1)$$

$$P2B = P3B = (Po - P1B) / 2 \dots \dots \dots (2)$$

また、1B-INV は電圧指令値 $Vref$ の絶対値が閾値 (しきいち) 電圧 Vth よりも大きい場合に電圧を出力し、その立ち上がり時間 To は次式の条件から決定する。 $\angle V$ は電圧変動分を表している。

$$|Vref| > Vth = Vc1 - (Vc2 + Vc3) + \Delta V \dots \dots \dots (3)$$

$$To = \sin^{-1}(Vth / Vm) / (2\pi fs) \dots \dots \dots (4)$$

(2) 式からわかるように、1B-INV が扱う電力 $P1B$ が出力電力 Po と等しければ、2B-INV, 3B-INV の総合電力量は 0 となる。したがって、1B-INV の出力パルス幅を増減することによって、2B-INV, 3B-INV の総変動電力量を制御できる。

ここでは、各サブインバータへの電力伝送手段としてトランスを用いないため、漏れインダクタンスや励磁インダクタンスによる効率低下を抑えることができ、効率の高い電力供給を実現している。

4. 階調制御型パワーコンディショナの特長

3 章で述べた技術を適用した階調制御型パワーコンディショナ PV-PN40G の特長について述べる。このパワーコ

ンディショナは、電力変換時の損失を従来比44%低減、業界最高の電力変換効率97.5%を達成した。また、広範囲な出力電力域で、定格効率よりもさらに高変換効率（97.5%以上）を実現し（図8）、太陽電池で発電した直流電力を有効に利用できる。

電力変換時の損失によって発生する熱が大幅に低減したことで、放熱用の空気流入口が不要となり、密閉度が高まった。これによって、耐湿性能が大幅に向上し、従来設置できなかった脱衣室・洗面所への設置が可能となった。また、電圧振幅の低減で、フィルタ回路のコイルから発生する音も抑制され、実運転状態で業界トップクラスとなる低騒音30dBを実現している。

さらに、入力電圧範囲は従来のDC115～380VからDC50～380Vに拡大したことによって、従来マルチアレーコンバータ（昇圧機能内蔵接続箱）が必要であった3～6枚のモジュール直列配置も、昇圧機能のない標準接続箱で対応可能となり、配置設計が容易になるとともにシステム価格の低減が可能となった。表1に、階調制御型パワーコンディショナPV-PN40Gの製品仕様を示す。

5. む す び

太陽光発電用階調制御型パワーコンディショナに適用した階調制御方式、サブインバータへの電力供給方法について述べた。また、この技術を適用した階調制御型パワーコンディショナPV-PN40Gの特長についても述べた。この製品は業界トップレベルの効率と静音性を実現している。効率の良い大きな出力電力と高信頼性の太陽光発電システムの提供によって、太陽光発電の普及拡大に努めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 黒川浩助：太陽光発電に関する最近の状況と展望，電気学会論文誌(B)，128，No.7，904～907（2008）
- (2) 岩田明彦，ほか：階調制御型インバータとその応用，三菱電機技報，79，No.7，439～442（2005）

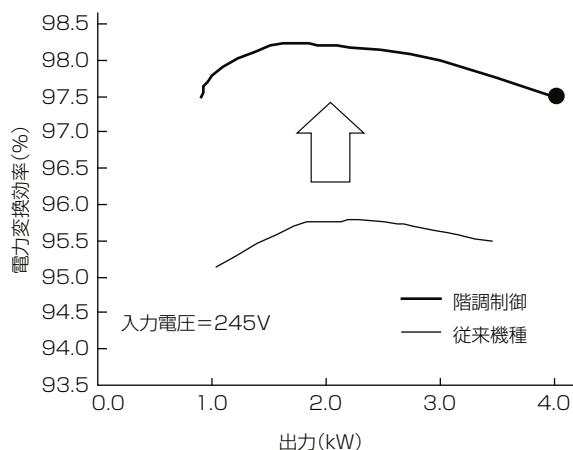


図8．パワーコンディショナの電力変換効率

表1．PV-PN40Gの製品仕様

設置場所	屋内	
使用環境条件	0～40℃	
入力回路数	1回路	
定格入力電圧	DC245V	
入力電圧範囲	DC50～380V	
定格出力電圧，周波数	AC202V，50／60Hz	
定格出力電力	4.0kVA	
電力変換効率	97.5%	
出力基本波力率	0.95以上	
高調波歪(ひず)み率	総合 5 % 以下，各次 3 % 以下	
運転時騒音値	30dB	
回路方式	インバータ方式	階調制御インバータ方式
	スイッチング方式	正弦波PWM方式
	絶縁方式	トランスレス方式
	電気方式	単相 2 線式
保護	連系保護	OV，UV，OF，UF
	単独運転検出	受動の方式，能動の方式
質量	14.7kg	
外形寸法(W×D×H)	460×140×240(mm)	

Air To Waterヒートポンプ

高橋佳宏* 南迫博和*
 石川憲和* 内野進一*
 高橋建吾*

Space Heating and Domestic Water Heating Heat Pump

Yoshihiro Takahashi, Norikazu Ishikawa, Kengo Takahashi, Hirokazu Minamisako, Shinichi Uchino

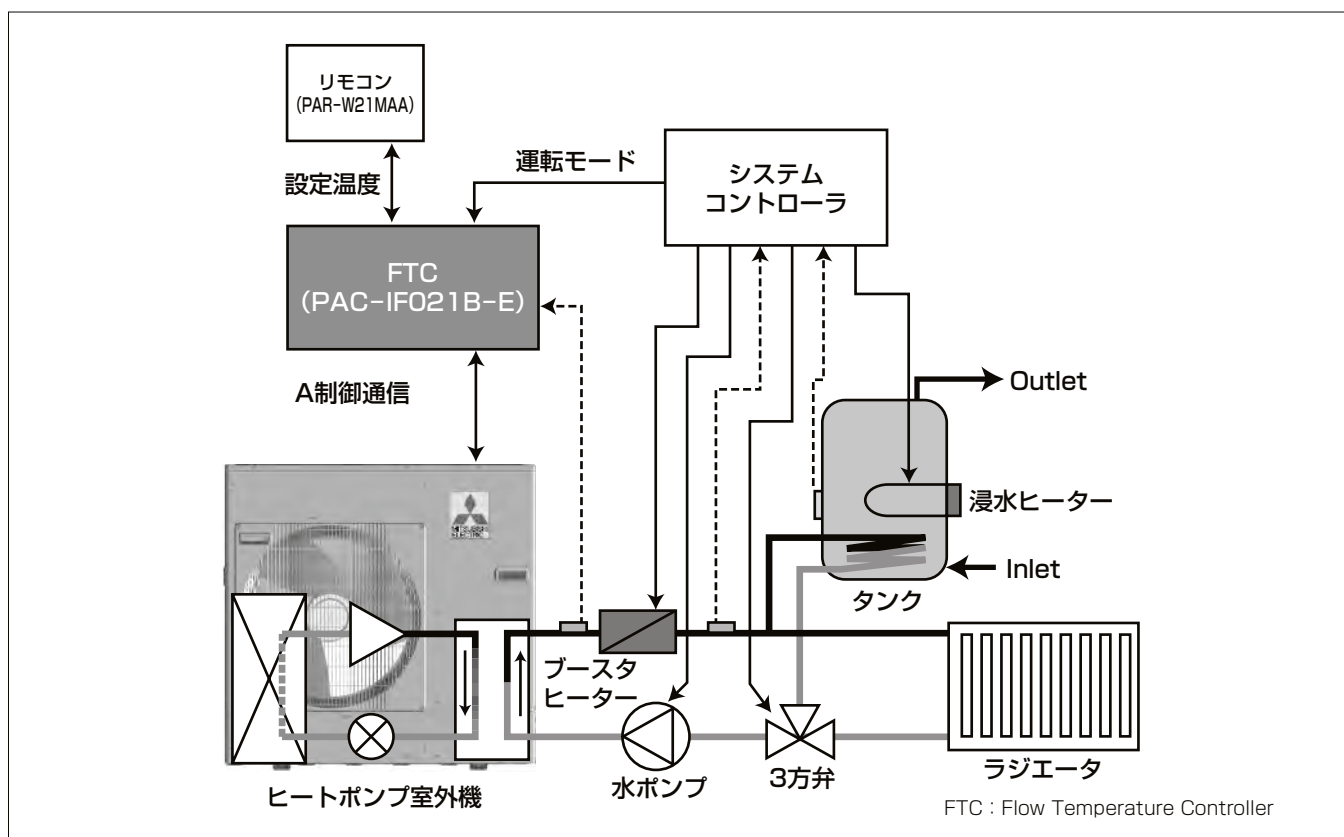
要 旨

欧州各国政府による省エネルギー・CO₂排出量削減政策（新築住宅の省エネルギー基準強化・高効率暖房機器へのインセンティブ等）の推進によって、従来のガス／灯油／電気ボイラ・ヒーターに代わる省エネルギー&クリーン熱源として、ヒートポンプ室外機に注目が集まっている。欧州の暖房システムは、燃焼系ボイラによる温水暖房、給湯が主流であったが、ヒートポンプへの変換が拡大している。三菱電機は2007年度に、空調機で培ったヒートポンプ技術を活用し、Air To Water (ATW) 専用室外機を開発し、ATW事業へ参入した。それ以降、特に従来のボイラ代替という観点から、ヒートポンプの弱点である低外気温度での暖房能力低下を克服するインジェクション技術を適用し

た“ズバ暖”，低温時の熱交換器の着霜による効率低下を抑制する低温能力改善技術による省エネルギー性改善などの性能向上を図るとともに、現地の温水暖房・給湯システムとの通信上のマッチングを実現するためのインタフェース開発を推進し、販路の拡大に寄与することでATW事業規模を拡大することができた。

本稿では、欧州のATWシステム，それに対応する当社の製品及び投入技術について述べる。

今後は，他社との競争に打ち勝つため，省エネルギー性・低騒音化などの基本性能の向上とともに，差別化技術開発を合わせて推進していく。



欧州ATWシステム

欧州のATWシステムは給湯回路と暖房回路が並列に形成され、循環する温水熱源として、燃焼系ボイラ又はヒートポンプ室外機を用いる。当社はヒートポンプ室外機と、給湯タンクやラジエータなどの水回路を含めたシステム制御を行う現地のシステムコントローラとのマッチングを図るためのインタフェース（上図例FTC）を提供している。

1. ま え が き

近年、欧州での省エネルギー暖房商品は、予想を上回る勢いで需要が伸長している。この背景には、CO₂排出量削減・環境保護及びエネルギー補償の観点からエネルギーコスト抑制(省エネルギー)の動きが本格化し、各国の省エネルギー規制強化が推進されるとともに、省エネルギー機器購買奨励策(各種インセンティブスキーム)が実施、又は制定されつつある状況がある。当社は、空調機で培ったヒートポンプ技術を活用し、欧州各国で一般的なラジエータ暖房や床暖房や給湯の熱源として、従来の燃焼系ボイラ(ガス・石油等)に代わる空気熱を利用したAir to Water(以下“ATW”という。)ヒートポンプ熱源機及び現地システム構築が可能となるインタフェースを開発した。本稿では、この製品の概要と特徴について述べる。

2. 欧州のATWシステム

欧州では、ボイラ又はヒートポンプで加熱した温水をラジエータ、床暖房に供給して暖房する輻射(ふくしゃ)暖房が主流である。欧州のATWシステムの一般的な構成を図1に示す。

2.1 システム回路構成

給湯タンクが二重タンク又はコイル内蔵タンクとなっており、生活用水とヒートポンプを循環する水は分離されて構成される。給湯回路と暖房回路は並列に接続されており、ヒートポンプ(又はボイラ等)で加熱した温水を、バルブを切り換えて使用する。したがって、朝方給湯タンクを加熱して生活用水を確保し、昼は暖房機器に温水を供給といった使い方をを行う。また、システムの制御を司(つかさど)るシステムコントローラを持ち、熱源であるヒートポンプ及び水回路内のポンプ、バルブなどを水温、室温などをモニタすることでシステム全体の制御を行う。

2.2 ヒートポンプ室外機タイプ

欧州のATWヒートポンプシステムには大きく分けて、一体型と分離型の二つの室外機タイプが存在する。その構成を図2に示す。一体型は水熱交換器を室外機に内蔵し、欧州メーカーの多くがこの方式を採用しており、特徴として冷媒配管工事が不要となり、水道管工事のみで据付けで

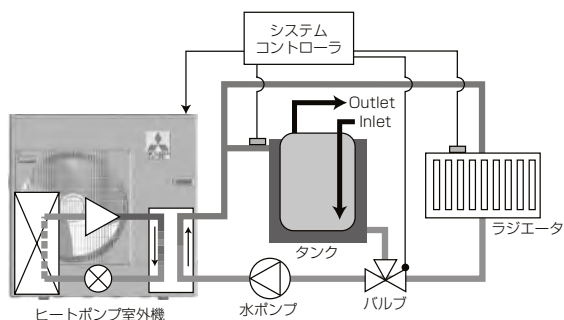


図1. 欧州の一般的ATWシステム

きるという利点がある。一方、分離型はハイドロボックスと呼ばれる水熱交を内蔵したユニットが必要となる。日系メーカーの多くがこの方式で、標準の空調用室外機を流用できるという利点がある。このシステムでは、通常のエアコンと同様に水道管工事に加え冷媒配管工事が必要となる。

3. ATWヒートポンプの有効性

2007年10～11月に、イギリスの一軒家に当社のATWヒートポンプ(能力3HP(Horse Power))を設置し、実証試験を実施した。図3に実証試験を実施した建物内のラジエータ、床暖房の設置状況、表1にその実証試験結果を示す。従来使用していたガスボイラと比較し、CO₂排出量で49%

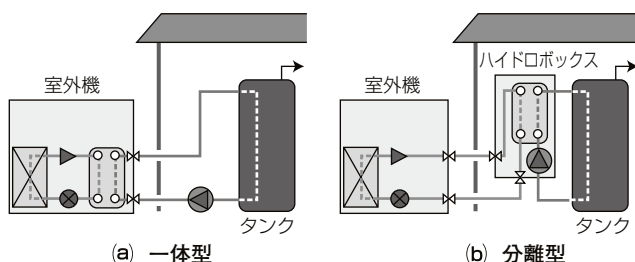


図2. ATW室外機タイプ

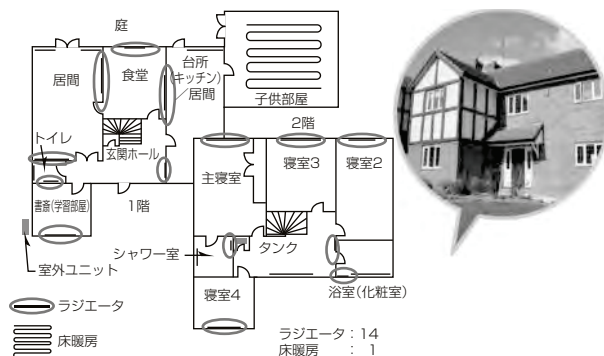


図3. 実証試験のレイアウト

表1. 実証試験結果

システム合計	暖房能力 (kWh)	2.216
	消費電力量 (kWh)	630
	COP	3.52
	電気代 (£)	53.55
外気温度(℃)	最低	3.4
	平均	7.2
	最高	11.4
室内温度(℃)	最低	19.7
	平均	21.1
	最高	22.5
CO ₂ 排出量 (kg)	ヒートポンプ	@0.43kg per kWh 270.9
	旧来ガスボイラ	80%, @0.19kg per kWh 526.3
	削減率	49%
ランニングコスト (£)	ヒートポンプ	(8.50p/kWh) 53.55
	旧来ガスボイラ	Eff 80% (3.18p/kWh) 88.1
	省エネルギー率	39%

※電気代・ガス代は2007年12月時点

の削減、ランニングコストで39%の削減効果があり、ヒートポンプの有効性を確認した。

4. 製品の特徴

4.1 製品のラインアップ

当社は2007年度に3HPの一体型を開発しATW事業に参入したが、その後、2HP、4HP、5HPの一体型、分離型の2～10HPのパワーインバータ、ズバ暖を追加するなど、室外機ラインアップの拡充を図ってきた。2009年度のATWヒートポンプ室外機の製品ラインアップを表2に示す。

4.2 高暖房能力

図4に、今回採用した5HPの冷媒回路を示す。このヒートポンプ室外機はフラッシュインジェクション、高効率DCモータ採用インジェクション圧縮機、パワーレシーバ+ツインLEV(電動膨張弁)など多彩な技術を搭載している。パワーレシーバ前後のLEVに加え、インジェクションラインにもLEVを備え、負荷条件・運転モードに応じ最適な冷媒状態を実現するための制御を実施している。そのインジェクション暖房時のLEV制御対象及び制御方法を図5に示す。

図6に、外気温度変化に伴う暖房能力特性を示す(出湯温度35℃時)。通常、ヒートポンプは外気温度低下に伴い、暖房能力が低下する特性を持つが、ズバ暖はインジェクションによってその低下を抑制し、特に外気温度によらず一定の能力を得られるボイラに対し、その弱点を克服することができた。

4.3 暖房低温効率向上

一般的にヒートポンプは暖房運転時、外気温度が低下すると熱交換器に着霜が発生するため、着霜の発生しない高い外気温度に比べ、大きく運転効率(COP)が低下する。

表2. ATWヒートポンプ室外機のラインアップ

		2HP	3HP	4HP	5HP	6HP	8HP	10HP
一体型	パワーインバータ	○	○					
	ズバ暖			○	○			
分離型	パワーインバータ	○	○	○	○	○	○	○
	ズバ暖		○	○	○	○	○	

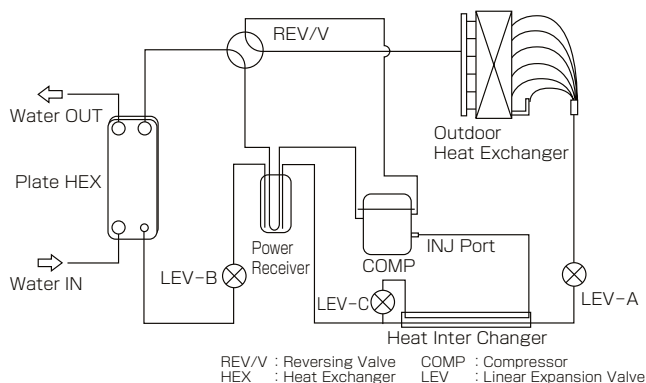


図4. 冷媒回路

ATW機は暖房用途主体であり、通常の冷房と暖房を兼ねる空調機と比較し、暖房によって適用した専用設計を行っている。その主な適用技術は次のとおりである。

(1) 熱交換器の目詰まり改善

熱交換器の着霜目詰まりによる効率低下を抑制するため、フィンピッチを広げ、効率低下を遅延させた。

(2) 熱交換器の暖房主体設計

蒸発器となる熱交換器設計を暖房主体のパス数、パスパターンとし、熱交換器性能及び圧力損失を低減した。

(3) 霜取制御の改善

外気温度と冷媒蒸発温度との温度差によって着霜有無を正確に検知し、極低外気条件での問題点であった無着霜状態での除霜運転を回避した。その結果、暖房運転率(暖房運転時間/トータル運転時間)の拡大が図られ、極低温条件での効率改善を図ることができた。

4.4 インタフェース

ATWシステム全体の制御をシステムコントローラが行い、ヒートポンプ室外機がその指令に基づき動作することは先に述べたとおりであるが、実際には現地のシステムコントローラと当社のヒートポンプ室外機の通信を成立させるためのインタフェースが不可欠となる。当社はそのインタフェースの開発を室外機と並行して行い、客先、用途に応じて複数のインタフェースを用意することで、室外機の販路拡大に寄与することができた。

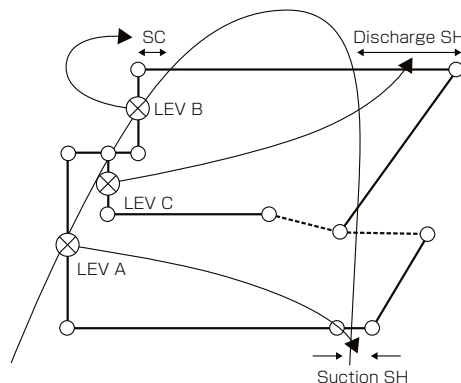


図5. インジェクション時のLEV制御

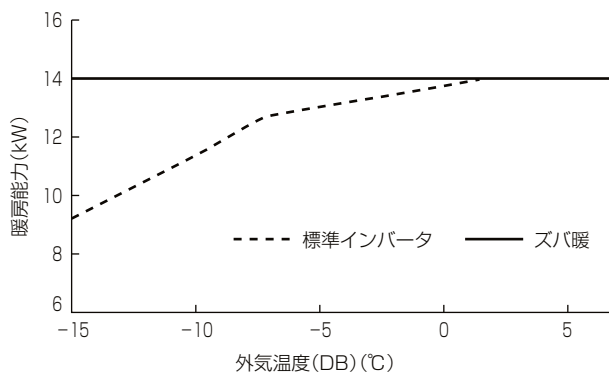


図6. ズバ暖の暖房能力特性

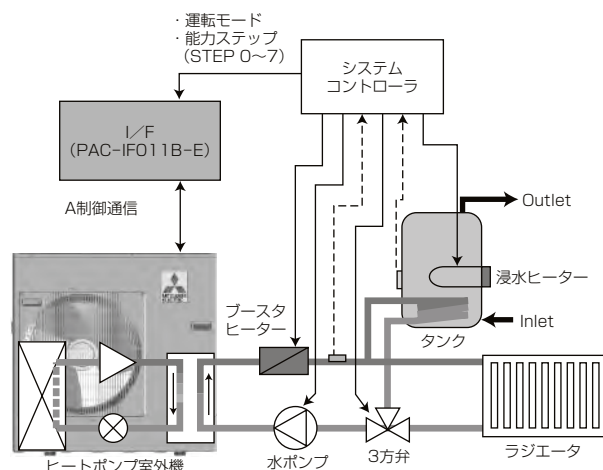


図7. I/FによるATWシステム

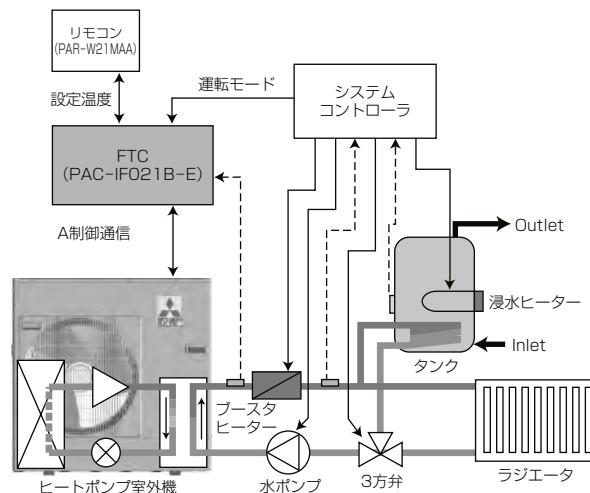


図8. FTCによるATWシステム

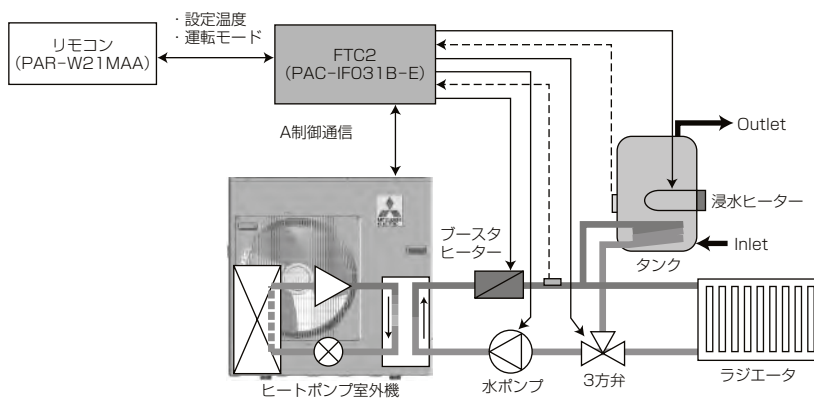


図9. FTC2によるATWシステム

(1) I/F (型名：PAC-IF011B-E)

I/Fはシステムコントローラから送信された運転モード／能力ステップ (0～7) を受信し、要求モード／能力を室外機に当社制御であるA制御に変換して通信する (図7)。ただし、I/Fを利用したシステム構築は、熱源の能力をコントロールする制御構築が可能な比較的技术力の高いメーカーに限られる。

(2) FTC (型名：PAC-IF021B-E)

FTCはシステムコントローラから運転モードを受信するのみで、実出湯温度を取り込み、当社リモコンで設定した設定出湯温度に近づくように当社の室外機側で周波数を制御する (図8)。ヒートポンプの能力をコントロールできないシステムコントローラでもインバータ室外機が制御可能となり、技術のないメーカーでもシステム構築が可能となる。

(3) FTC2 (型名：PAC-IF031B-E)

水回路側のタンク温度データ、出湯温度データをFTC2

に取り込み、水回路の各部品をFTC2で制御する (図9)。システムコントローラを必要とせず、室外機の制御だけでなく水回路の各部品の制御が可能となるため、FTC2とリモコンでATWシステムが構築可能となる。

5. む す び

2007年のATW専用室外機の開発を皮切りにATW事業に参入後、室外機、インタフェース等の拡充開発を進め、ほぼ市場に対応できる製品ラインアップをそろえることができた。今後は他社との厳しい競争に打ち勝つため、ATW機の最重要課題である省エネルギー性アップ、家庭用途拡大のための室外機の低騒音化などの基本性能向上を図るとともに、メリットアップ等の差別化を検討していく必要がある。研究所との新技術開発、現地の情報収集・調査、営業・販社との製品企画立案など、他部門との密接な協力体制を基に事業拡大に貢献できる製品開発を進める所存である。

パワーモジュールの 電力損失低減と小型化技術

加柴良裕* マジウムダール ゴーラブ***
小野山 歩**
林 建一**

Improvement in Total Loss of Power Devices and Miniaturization of Transfer-molded Power Modules

Yoshihiro Kashiba, Ayumu Onoyama, Kenichi Hayashi, Gourab Majumdar

要 旨

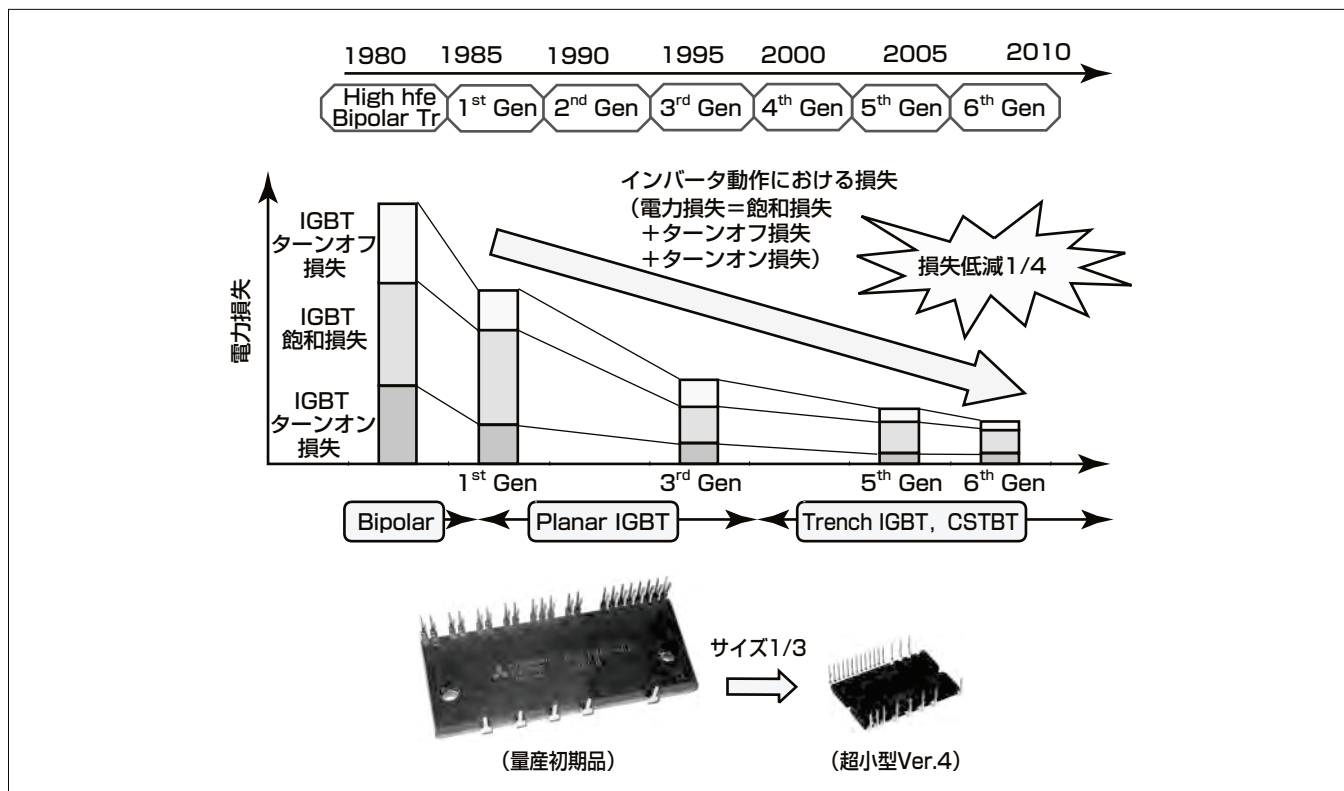
地球温暖化による環境対策の高まりとともに、モータを効率良く駆動するために必要なインバータが広く浸透してきている。このインバータは、家電製品から、産業用機器、自動車・電鉄用機器までの各分野で、省エネルギーのためには不可欠な技術となっている。また、インバータ機器には高効率化や小型化が要求されており、低電力損失かつ小型のパワーモジュールが必要となる。

インバータの心臓部であるパワーデバイスは、数kVに及ぶ耐電圧の高さと、数Aから千Aクラスまでの幅広い電流制御が必要となるため、これに対応したデバイス構造設計・プロセス技術開発を進めてきた。その結果、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) のデバイス性能としての電力損失低減に関しては、第1世代に対して第6世代は1/4まで大幅に低減している。すなわち、電力変換のた

めに無駄に放出される熱エネルギーは、デバイスの進化とともに1/4まで減少している。

また、パワーデバイスを複数搭載したDIIPM (Dual In-line Package-Intelligent Power Module) は、三菱電機独自の高熱伝導シートを用いたトランスファーモールド構造をシリーズ展開することによって、ユーザーからの小型・低熱抵抗化の要求にこたえ、エアコン等のインバータ化推進をサポートしている。超小型Ver.4は小型Ver.3に対して40%の小型化と30%の低熱抵抗化を実現している。

これら環境負荷を低減した製品を実現するにあたっては、パワーデバイス、パワーモジュール及びインバータ実装について、構造・材料・プロセスを全体最適解に落とし込むことが重要である。



IGBT素子の電力損失低減とDIIPMの小型化

IGBT素子の電力損失は、世代を重ねるごとにデザインルールの微細化とデバイス構造の革新を進めることで、電力損失の低減を実現してきた。DIIPM (10・20A品) はデバイスの電力損失の低減と合わせてパッケージング技術の革新によって、そのサイズを量産初期品に対して約1/3に小型化した。これらのパワーデバイスとパワーモジュールを用いたインバータは、環境負荷低減の社会的要請に合わせ、広く浸透している。

1. ま え が き

近年、地球温暖化による環境問題は深刻さを増しており、社会全体の省エネルギー（CO₂削減）化がますます重要になってきている。電力エネルギーを変換・制御するパワーエレクトロニクス機器では、モータを効率良く駆動するために必要なインバータが広く浸透してきており、家電製品から、産業用機器、自動車・電鉄用機器までの各分野での省エネルギー技術として、極めて重要な技術となっている。

インバータの心臓部にあたるパワーデバイス（パワー半導体）は、数kVに及ぶ耐電圧の高さと、数Aから千Aクラスまでの幅広い電流を制御する必要があるため、ロジックICやメモリICとは異なるデバイス構造設計とプロセス技術が必要となる。また、このパワーデバイスを複数搭載するパワーモジュールは、処理するパワー密度の高まりとともに、パッケージ材料面まで遡及（そきゅう）した革新が必要となってきている。さらにはパワーモジュールを搭載するインバータ基板は、製品の特性に合わせて小型化や高効率化が要求される。したがって、これら三つのキー技術であるパワーデバイス、パワーモジュール、インバータ実装を全体最適に落とし込む技術の追求が、環境負荷を低減した製品につながっていくと考えられている。本稿では、それらの取り組みについて述べる。

2. パワーデバイスの電力損失低減技術

パワーモジュールのキーデバイスであるIGBTに対して、幅広いパワーエレクトロニクス市場から最も要求される性能は、動作時に発生する熱を減らすこと、すなわち“電力損失の低減”である。1980年代のパワーデバイスであるバイポーラトランジスタの動作時の電力損失に対して、IGBTは世代を重ねるごとに電力損失の低減を実現してきた⁽¹⁾。図1にIGBTの性能指数であるFOM (Figure Of

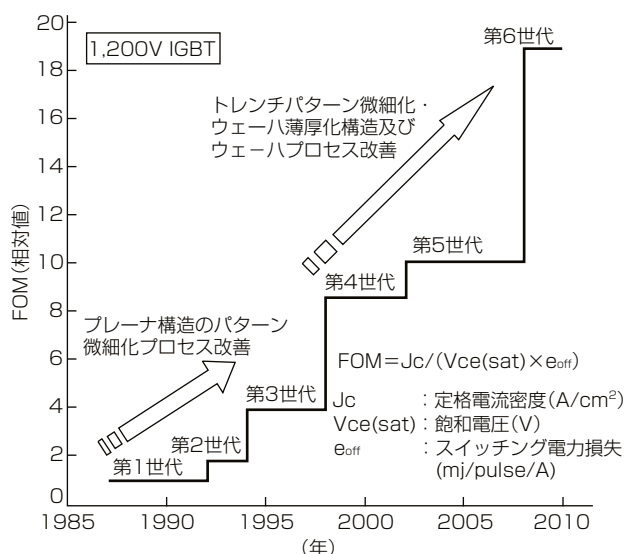


図1. デバイス構造の進化によるIGBT性能向上

Merit)の値を、第1世代を基準として各世代の改善状況とそのためのキーテクノロジーを示す。FOMはパワーデバイスに流せる定格電流密度を導通時の電圧（飽和電圧）とスイッチング時の電力損失で割ったものである。第1世代から第3世代のセル構造はプレーナ構造で、パターンの微細化が進められた。第4世代でセル構造を溝（トレンチ）を形成するトレンチ構造とし、セルサイズを大幅に縮小させた。第5世代では、濃度プロファイルを進化させたCSTBT (Carrier Stored Trench Gate Bipolar Transistor) 構造とした⁽²⁾。さらに第6世代では、トレンチ間隔の狭ピッチ化及び薄ウェーハ化を行った⁽³⁾。このような構造の改善によって、デバイス性能は大幅に向上した。

図2に、第5世代のCSTBTと第6世代のCSTBTのセル構造を示す。構造上の大きな変化点は、飽和電圧の低減を目的として、トレンチ間隔を第5世代の2/3以下に狭めていることと、薄ウェーハ化したことである。

ますます微細化が進むトレンチ構造はウェーハプロセスで形成するが、IGBTの性能を確保するためのシリコン基板の深い溝は、ドライエッチングプロセスを用いる。そのため、ドライエッチング装置でのプロセス時間が、LSIよりも非常に長くなり、異物が発塵（はつじん）しやすいプロセスになる。このドライエッチング装置の電極やチャンバの材料には、表面にアルマイト処理を施したアルミを使用している。しかし、アルマイト皮膜はドライエッチング中に熱・化学的ダメージを受け、経時劣化を起こす。また、エッチング時に発生する反応生成物がアルマイト上に堆積（たいせき）して、異物の発塵源となる。この異物を除去するには、洗浄処理を定期的に行わなければならないが、この洗浄処理でアルマイト皮膜は化学的ダメージを受け、その結果、エッチングガスに含まれるフッ素とアルミが反応し異物が発生する。このように、IGBT特有の発塵しやすいプロセスに対する対策として、アルマイト皮膜の高品質化、アルマイト部品の交換頻度見直し、洗浄プロセスの適

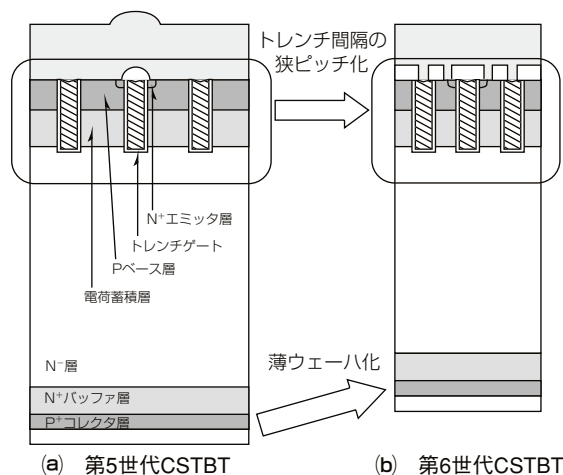


図2. 第5世代CSTBTと第6世代CSTBTのセル構造

正化などを行い、異物発塵を抑制している。

また、薄ウェーハ化は、次のプロセスで行う。

- ①ウェーハ裏面からの機械研削
- ②機械研削時に発生する結晶欠陥が高密度に存在するダメージ層の除去
- ③ウェーハ裏面にpn接合を形成するための不純物注入と活性化アニール
- ④IGBTをプリント基板やヒートスプレッドにはんだ付けするためのメタル多層膜の形成

これらのプロセスで薄ウェーハ化すると、製造プロセス起因のウェーハ厚みのばらつきが、アナログデバイス特有の電気特性ばらつきの要因となる。そこで、機械研削プロセスとダメージ層除去プロセスを組み合わせることで、加工精度を向上させている。

このように、デバイス構造の進化に対応するには、ウェーハプロセスの複雑化と高度化が必要となる。特にデバイスに欠陥をもたらすウェーハ上の異物の低減技術と、デバイスの電気特性の安定化につながるプロセスの加工精度向上技術が不可欠となる。

3. パワーモジュールの小型化技術

パワーモジュールのパッケージ構造は、電流容量・電圧や使用用途によって、ケース型とトランスファーモールド型に分類できる。ここではエアコン等の家電製品のインバータ化技術に欠かせない、トランスファーモールド型のDIIPMの展開について述べる。DIIPMは図3に示す“All-Silicon-Solution”コンセプトを特長として、世界に先駆け1997年に製品化され、白物インバータ家電の普及に欠かせないキーパーツとして誕生した。

その後、図4に示すように、小型・大容量化に向けてのシリーズ展開を行っている。開発当初は10・20A用の1種類のパッケージで製品化を行ったが、現在ではVer.4シリーズとして75Aまで3種類のパッケージ形状で量産してい

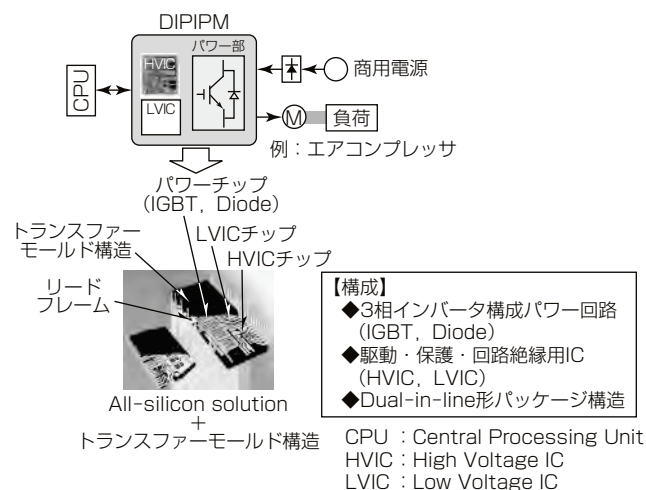


図3. DIIPMのコンセプトと特長

る⁽⁴⁾。このような展開では2章で述べたパワーデバイスの低損失化と合わせて、パッケージの放熱特性の改善が重要な役割を果たしている。

初期のDIIPMのパッケージでは、リードフレームの下に封止材料であるモールド樹脂の薄い層が形成されている。この層は、外部との絶縁を確保するとともに、熱伝導路として機能するものである。図5はこの構造の概要を示すパッケージ断面図であるが、パッケージ全体がモールド樹脂で被覆されている。このパッケージでは、発熱するパワーデバイス下のモールド樹脂層表面が、グリースを介して外付けのフィン(ヒートシンク)と熱的に接続される放熱面となっている。熱抵抗の観点から、モールド樹脂層はできるだけ薄くなることが望ましいが、この層が薄いほどモールド樹脂の流動が抑制され、被覆が不完全になりやすい。その結果、樹脂層の厚さや樹脂の物性に制限を受け、このようなモールド樹脂で被覆された構造のパッケージでは、9割以上がモールド樹脂の熱抵抗となっており、高放熱化の妨げとなっていた。

こうした放熱構造の困難性を克服するため、新たな放熱系を持つパッケージとして、絶縁性のシート部材をフレームに貼(は)り付ける方式を開発してきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。これは、放熱面にモールド樹脂とは異なるシート状の材料を配置し、モールド樹脂の流動性に対する制約を回避することをねらったものである。図6に、この考えに基づいたパッケージの概略構造を示す。高熱伝導の絶縁シートは、熱硬化性樹脂をバインダとして、高熱伝導性フィラーを高密度に充填(じゅうてん)させる方法を採用した。個別に絶縁シート



図4. DIIPM Ver.4のシリーズ展開

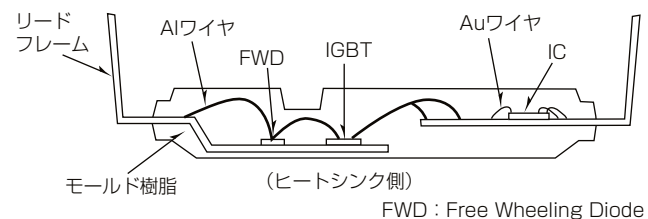


図5. 小型DIIPM Ver.3の断面構造

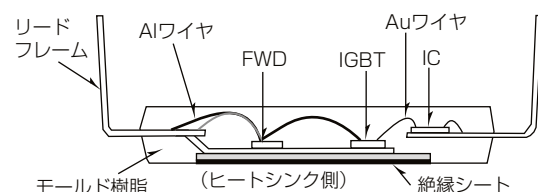


図6. DIIPM Ver.4シリーズの断面構造

を製作するため、モールド樹脂と比較してボイドの少ない、高品質の絶縁体を作りこむことができる。また、絶縁シートでは、フィラーの充填密度や材質を変更することで熱伝導率をコントロールすることが可能である。例えば、シリカやアルミナを主成分とすれば、 $2\sim 3\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の熱伝導率が得られるはずであり、窒化ホウ素や窒化アルミニウムを用いれば更に高い熱伝導率が期待される。その結果、モジュールの熱抵抗値は大幅に低減できることがわかった。なお、絶縁シート中の樹脂の体積割合は、フィラーの高充填によって低くなっているが、製品使用時の熱応力は吸収可能であり、高い信頼性を持っていることが別途明らかになっている。

このように絶縁シートを用いたVer.4構造を採用することによって、超小型Ver.4は小型Ver.3に対して40%の小型化と30%の低熱抵抗化を実現している。

なお、この技術を適用したパッケージ群はすべて、鉛フリー化にも対応している。

また、絶縁シートを用いたトランスファーモールド構造のパワーモジュールは、その小型軽量、高信頼性の特徴を生かして、家電製品だけではなく、300A級の産業用途への展開もすでに行っている⁽⁷⁾。

4. インバータ実装への適用

パワーモジュールはエアコン、冷蔵庫など家電製品をはじめ、産業用インバータや電鉄・自動車用と幅広く用いられている。特に省エネルギーの観点で、インバータ駆動が幅広く用いられている。このような状況で、製品の小型化・高信頼化に合わせて、インバータ実装とパワーモジュールの最適設計を進めている。

IH(Induction Heating)インバータでは、従来のディスクリットIGBTに替えてDIPIPMを用い、また回路方式をハーフブリッジ方式からフルブリッジ方式に変更することで、損失を30%削減するとともに、実装面積も57%削減している。図7にDIPIPMを搭載したインバータ基板を示すが、このような最適化によって、オープンの横幅を広くし、かつ中央に配置したIHクッキングヒーターを実現している⁽⁸⁾。

また、太陽光発電用のパワーコンディショナではIGBTに替えてMOSFET(Metal Oxide Semiconductor-Field Effect Transistor)を用いた階調制御方式によって、変換効率を95.5%から97.5%に向上させている。この方式では多数のMOSFETを実装するパッケージング技術に課題があったが、新たに専用パワーモジュールを開発することによって、小型・高効率の階調制御方式パワーコンディショナを実現している。

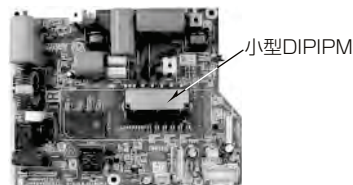


図7. DIPIPMを搭載したIHクッキングヒーター用インバータ基板

5. む す び

パワーデバイスの低損失化とパッケージング技術の革新によって、インバータ機器の高効率・小型化は飛躍的に進んできた。今後は、更なる低損失化に向けて、パワーデバイスの世代交代が進むとともに、次世代パワーデバイスとして期待されているSiCデバイスの実現によって、その流れは続いていくものと考えられる。また、これら環境負荷を大幅に低減可能な製品は、デバイスの進化に合わせたパッケージング技術やインバータ実装技術の全体的な最適設計によって、更に革新が進むものと考えられる。

参 考 文 献

- (1) 片岡正行, ほか: 新デバイスで拓くパワーエレクトロニクス, 三菱電機技報, **81**, No.5, 308~312 (2007)
- (2) Takahashi, H., et al.: Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor(CSTBT) - A Novel Power Device for High Voltage Application -, Proc. of the 8th ISPSD (1996)
- (3) Takahashi, T., et al.: CSTBTTM (Ⅲ) as the next generation IGBT, Proc. of the 20th ISPSD (2008)
- (4) 長原輝明, ほか: DIP-IPM Ver.4シリーズ展開, 三菱電機技報, **81**, No.5, 349~352 (2007)
- (5) 佐野 耕, ほか: パワーモジュール用トランスファーモールド超小型パッケージの開発, Microjoining and Assembly Technology in Electronics, **14**, 327~330 (2008)
- (6) 菊池 巧, ほか: モールド型パワーモジュール用絶縁シート, 三菱電機技報, **81**, No.5, 365~368 (2007)
- (7) 中島 泰, ほか: リード接合を用いた大容量樹脂封止型パワーモジュール, Microjoining and Assembly Technology in Electronics, **11**, 433~436 (2005)
- (8) “トリプルリング加熱”による均一加熱を実現したビルトインIHクッキングヒーター, 三菱電機技報, **82**, No.1, 30 (2008)

SiCインバータによる省エネルギー・省資源

木ノ内伸一*
中田修平**

Energy Conservation and Resource Saving by SiC Inverter

Shinichi Kinouchi, Shuhei Nakata

要 旨

半導体パワーデバイスとは、電力を効率よく制御する重要な役割を果たしており、家電製品から産業、宇宙製品に至る広い分野で使用されている。

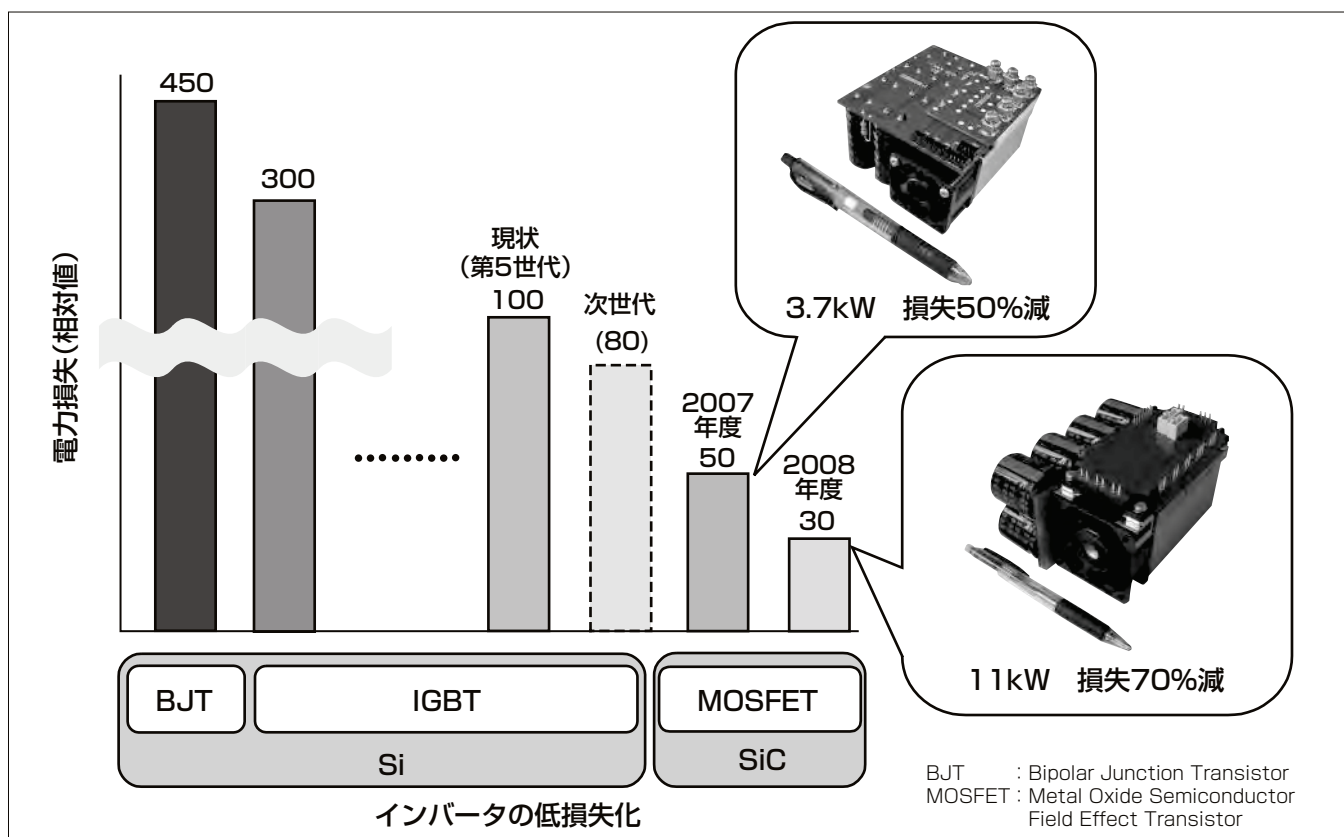
半導体SiC(Silicon Carbide)を使用したSiCパワーデバイスは、電力変換器の省エネルギー・省資源を進める次世代パワーデバイスとして期待されている。試算ではSiCデバイスが広く普及した場合、2030年にはCO₂換算で8,300万トンの省エネルギー効果があるとされている⁽¹⁾。

三菱電機は、SiCパワーデバイスの開発を進めてその基

本特性の向上を目指すとともに、応用技術開発を行っている。

2007年度には、電力損失を従来のSi-IGBT(Silicon-Insulated Gate Bipolar Transistor)を用いたインバータと比較して50%低減でき、さらにパワー密度を9W/cm³に向上した小型3.7kW SiCインバータを試作した。また2008年度には、パワー密度10W/cm³の11kW SiCインバータを試作して、電力損失を70%低減できることを示した。

今後SiCデバイスを応用する上での信頼性技術を更に高め、早期実用化によって省エネルギー・省資源に貢献する。



インバータの低損失化の変遷

1980年初頭に、Si-BJTを用いたインバータが世に出てからインバータの電力損失の低減が進み、現在使用されているSi-IGBTを用いたインバータでは当初の約1/5の損失である。しかし、損失の低減率が飽和傾向にあり、SiCデバイスの実用化が期待されている。2008年度に試作した11kW-SiCインバータでは、現状の第5世代IGBTを使用したSiインバータと比較し70%の損失低減が可能である。

1. ま え が き

ワイドギャップ半導体であるSiCを主材料とするSiCパワーデバイス、次世代パワーデバイスとして期待されており、それを応用したインバータの実現が切望されている。

SiCデバイスは、Siデバイスではユニポーラ動作が困難な高電圧領域で使用可能であり、デバイスのオン、オフスイッチング時に発生するスイッチング損失を大きく減らすことができる。電力変換器であるインバータにSiCデバイスを使用することによって、電力損失の大きな低減が可能になる⁽²⁾⁽³⁾。SiCインバータによる損失の低減は、機器の小型化及び冷却系の簡素化を可能にするため、省エネルギー・省資源に貢献できる。

当社はユニポーラデバイスであるSiC-MOSFETとSiC-SBD(Schottky Barrier Diode)の開発を同時に進めてその基本特性の向上を目指すとともに、モジュール化及びインバータ駆動などの応用技術開発を行い、SiCデバイスの実用化を目指した開発を進めている。

2008年度に試作した11kW SiCインバータでは、小型化の指標であるパワー密度 $10\text{W}/\text{cm}^3$ を実現し、電力損失が従来のSi-IGBTインバータと比較して70%低減できることを示した。

本稿では、当社におけるSiCデバイス応用技術開発の状況、特に試作したインバータの特性と効果について述べる。

2. 小型3.7kW SiCインバータの試作と評価

2.1 小型3.7kW SiCインバータ

2007年度にSiCデバイスの変換器応用での低損失効果を確認するため、400V/3.7kW SiCインバータを試作してその性能を評価した。事前のスイッチング試験結果から、電力損失がSiインバータの50%以下になることが予測され、同容量のSiインバータに対し約4倍のパワー密度を目標としてSiCインバータを設計した。

図1に、試作した400V/3.7kW級SiCインバータとSiCモジュールを示す。SiCインバータの全体サイズは $81\times 98\times 55(\text{mm})$ であり、パワー密度にしておよそ $9\text{W}/\text{cm}^3$ となる。

図2に、SiCインバータとSiインバータの空冷システム(フィンとファン)の体積比較を示す。比較にあたっては、SiインバータのフィンとSiCインバータのフィンとは同一の基本構造であり、材質は同じ純アルミであると仮定した。SiCデバイスの損失低減効果で空冷システム体積を65%低減できることが分かる。

2.2 3.7kW SiCインバータの特性

モータ駆動による3.7kW SiCインバータの電力損失の出力依存性を図3に示す。キャリア周波数は10kHzである。比較のために、Siインバータの計算による損失結果も図に

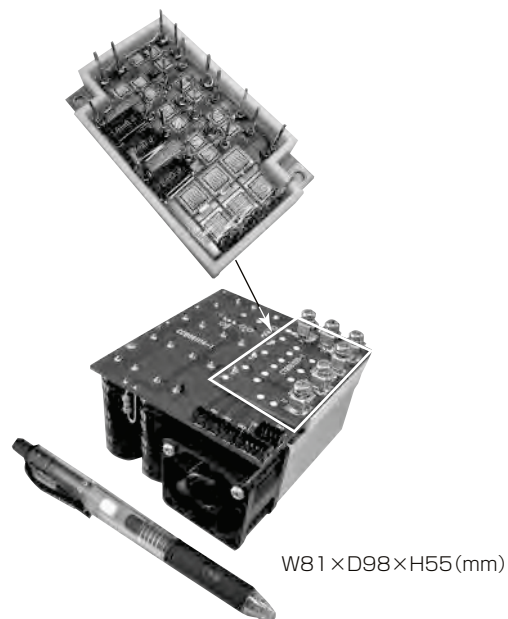


図1. 400V/3.7kW級SiCインバータ(下)とSiCモジュール(上)

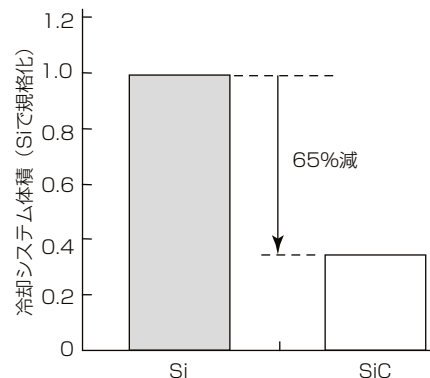


図2. SiCインバータとSiインバータの空冷システム(フィンとファン)の体積比較

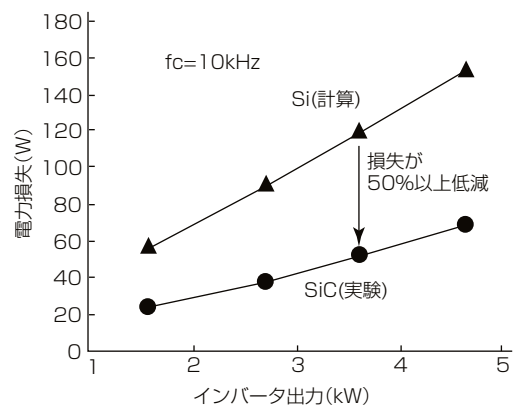


図3. SiCインバータのインバータ全損失の出力依存性

示している。インバータ出力3.7kWで比較した場合、SiCインバータの電力損失はSiの50%以下である。図4に、出力3.7kW時の電力損失のPWM(Pulse Width Modulation)キャリア周波数依存性を示す。キャリア周波数15kHzでのSiCの損失と、キャリア周波数5kHzでのSiの損失がほぼ

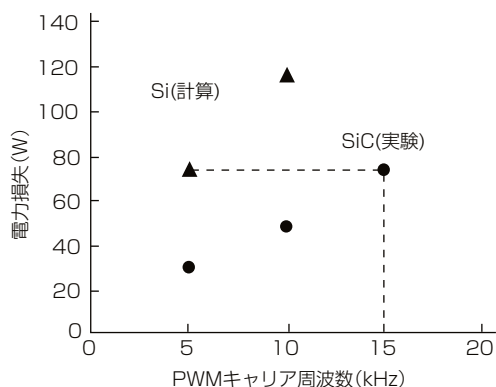


図4. 出力3.7kW時の電力損失のPWMキャリア周波数依存性

同等であることが分かる。フィルタリアクトルの大きさはキャリア周波数に大きく依存するため、SiCインバータを用いることによってフィルタリアクトルの大きさを大幅に減少できる。

3. 小型11kW SiCインバータの試作と評価

3.1 小型11kW SiCインバータ

図5に、試作した400V/11kW SiCインバータを示す。SiCインバータの体積は1.1Lであり、パワー密度にしておよそ10W/cm³となる。同容量のSiインバータに対し約4倍のパワー密度である。このSiCインバータに搭載されているSiC-MOSとSiC-SBDのデバイスサイズはいずれも5mm角であり、耐圧は1,200Vである。

3.2 11kW SiCインバータの特性

図6に、SiCインバータの静特性及び動特性評価結果を基に導出したインバータ動作時の電力損失を示す。導出条件は、キャリア周波数15kHz、力率0.8、実効電流23Aである。損失が大幅に低減され、従来のSiインバータと比較して70%低減となる。また、SiCインバータでは過渡的な損失であるスイッチング損失(SW損)の低減効果が大きく、SW損で比較した場合83%の低減効果がある。

スイッチング損失が大きく低減できることは、SiCインバータは高キャリア周波化に有利であることを示唆する。図7に、出力11kW時のインバータ電力損失のPWMキャリア周波数依存性を示す。キャリア周波数30kHzでのSiCの損失が、キャリア周波数5kHzでのSiの損失と同等以下であることが分かる。キャリア周波数を従来の6倍に上げることができれば、フィルタリアクトルを大きく低減することが可能になる。

4. SiCインバータによる省エネルギー・省資源

パワーデバイスは広い分野で使用されており、SiCデバイスも様々な機器での適用が期待できる。現在使用されている国内のエアコン、冷蔵庫のインバータがすべてSiCイ



図5. 400V/11kW SiCインバータ

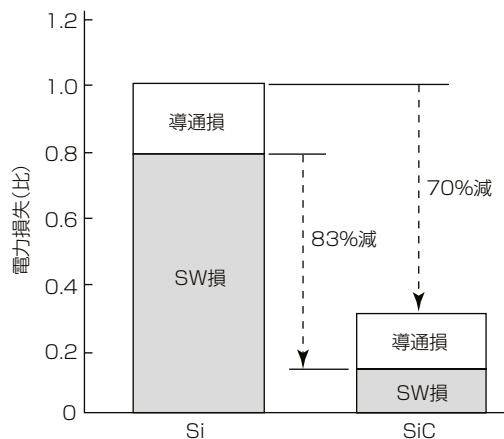


図6. SiCインバータとSiインバータの損失比較

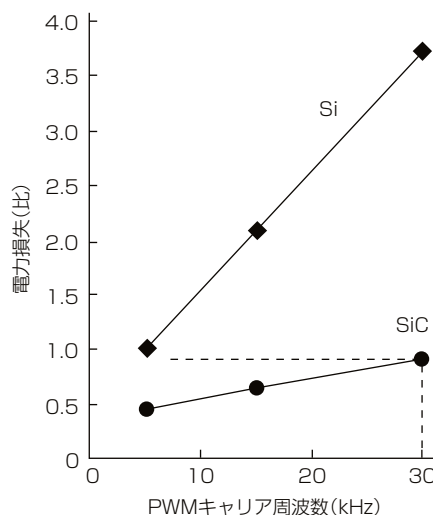


図7. 出力11kW時のインバータ回路部損失のPWMキャリア周波数依存性

ンバータに置き換わった場合、CO₂換算で100万トンの省エネルギー効果があるとされている。太陽光発電で使用されている電力変換器の変換効率、現在最大で97.5%程度であるが、SiCデバイスを使用することによって99%近い効率が可能であるという報告がある。ハイブリット自動車の普及が急速に広がっているが、インバータにSiCデバイスを使用することで燃費が約10%改善できるという試算もある⁽¹⁾。

インバータ損失の低減は機器の小型化を可能にするため省資源に寄与する。一方、SiCデバイスを用いることでインバータの高キャリア化を行えば、フィルタリアクトル等の小型化によって省資源に貢献できる。

SiCの普及は省エネルギー・省資源に大きく貢献することが期待できるため、早期の実用化が望まれる。SiCインバータの実用化と普及には、デバイスの性能向上と低コスト化が重要であるが、SiCインバータが搭載されるそれぞれの機器の特徴に応じてSiCデバイスの特性を最大限に生かす使用方法の検討と信頼性技術の確立が重要である。

5. む す び

当社はSiCパワーデバイスの開発を進めてその基本特性の向上を目指すとともに、応用技術開発を行っている。

2007年度には、パワー密度 9 W/cm^2 の小型3.7kW SiCインバータを試作して、電力損失がSi比で50%低減できることを示した。2008年度には、パワー密度 10 W/cm^2 の11kW SiCインバータを試作して、電力損失がSi比で70%低減できることを示し、インバータ動作の高キャリア周波数化に

よって、インバータに接続されるフィルタなどを小型化することができることを示した。

今後SiCデバイスを応用する上での信頼性技術を更に高め、早期実用化によって省エネルギー・省資源に貢献する。

この研究は経済産業省／NEDO((独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)から委託された“パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発”の成果である。

参 考 文 献

- (1) 産業競争力懇談会(COCN)報告会資料：グリーンパワーエレ技術 (2009)
- (2) Kinouchi, S., et al.: High Power Density SiC Converter, Matreial Science Forum Vols. 600-603, 1223~1226 (2009)
- (3) Nakata, S., et.al: Substantial Reduction of Power Loss in a14kVA Inverter Using Paralleled SiC-MOSFETs and SiC-SBDs, Silicon Carbide and Related Materials 2008, 903~906 (2009)

LED照明の実用化技術

石井健吾*
伴 和生*
中村 潔*

Technology for Practical Use of LED Luminaires

Kengo Ishii, Kazuo Ban, Kiyoshi Nakamura

要 旨

これまで照明は、1810年代にガス灯が発明されて以来、白熱灯(1879年)、蛍光灯(1938年)と、約60年ごとに光源を進化させてきた。そして1996年の白色LED(Light Emitting Diode)の登場で、照明は新たな時代に入っている。成熟産業といわれる照明事業で、LED化は大きな転機であり、国内だけでなく海外からの市場参入も激しさを増すことが予想される。

LED光源は、効率向上とともに光量アップも実現し、当初は部分照明に限られていた用途も、オフィスビル・商

業施設や公共空間から住空間まで様々な用途に拡大している。LED照明を拡大していくため、市場に投入する新商品には従来光源同等の明るさ(代替性)、及び経済性(消費効率とコスト)を兼ね備えていることが求められている。

しかし、現時点ではLEDの光束あたりの光源単価は従来光源と比べまだまだ高い。そこで、高価な光源から出る光を有効に利用するため、LED照明器具は従来の白熱灯や蛍光灯器具にはない放熱設計や配光制御技術を用い、LEDの特徴を最大限に生かした設計で製品化した。



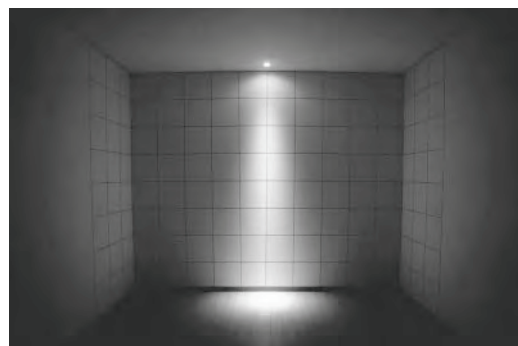
AKLD3200W/N



AKLD1009W/15D



AKLD3200W/N 正面



AKLD1009W/15D スポット光イメージ

LEDダウンライト照明器具：“AKLD3200W/N”(写真左)，“AKLD1009W/15D”(写真右)

AKLD3200W/N：高効率反射板設計と電源効率の改善によって、業界最高水準の器具総合効率83lm/Wを実現した。消費電力はコンパクト蛍光灯に比べ約40%削減、寿命も40,000時間と長く、CO₂排出量は約18.1kg削減した(CO₂排出係数：0.39kg-CO₂/kWh・年間点灯時間3,000時間の場合)。

AKLD1009W/15D：光学設計されたレンズによって配光制御する。10.2Wの消費電力でハロゲンランプ50Wと同様のスポット光を実現した。

1. ま え が き

1997年、日本は京都議定書で、2008年から2012年までに1990年比で温室効果ガス排出量を6%削減することを約束し、目標達成に向け様々な取り組みを行ってきた。

現在、オフィスの電力消費量のうち、約21%が照明といわれており(図1)、省エネルギー照明の普及促進が今後も期待されている。

これまで、三菱電機照明(株)の照明器具は、白熱灯に加えて蛍光灯への展開、インバータ導入による高効率かつ省エネルギー化、インバータ化率の向上、照度センサ・人感センサ・制御ネットワークによる省エネルギー制御等、省エネルギー技術で業界をリードしてきた。

次世代光源LEDの光束と発光効率は今々向上しており、2009年には100(lm/個)・100(lm/W)に到達している(図2)。現状、既存の白熱灯照明器具をLED照明器具へ切り替えることで、省エネルギーが大幅に図れるが、ここ数年で蛍光灯器具の効率も追いつき、住宅・店舗・オフィスの主照明としての普及が加速すると考えられている。

LED照明器具の特徴として、長寿命、小型・軽量、点滅性能に優れる、可視光以外の放射がほとんどない、水銀等の環境に有害な物質を含まないなどが挙げられるが、本稿では、最近のLED照明器具のトレンドと開発品の特長である省エネルギー性について述べる。

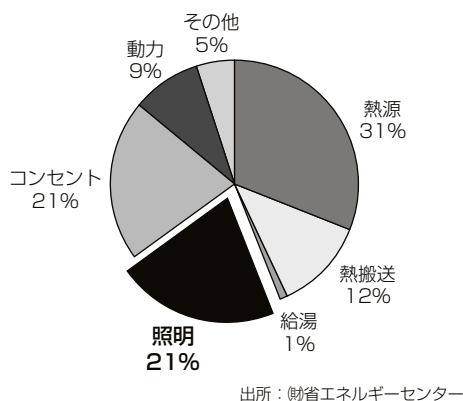


図1. オフィスビルの用途別エネルギー消費割合⁽¹⁾

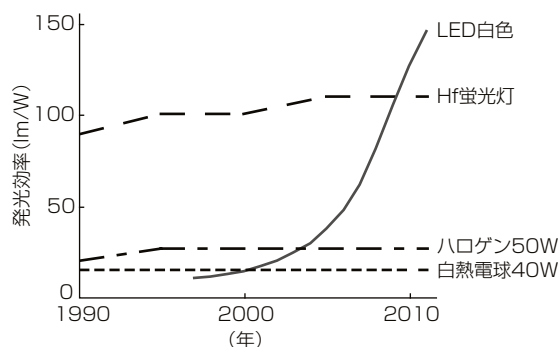


図2. 白色LEDと従来光源との発光効率の推移

2. 最近のLED照明

2.1 高演色器具の実現

LEDの光は、数年前まで一般的な照明用途としては使いづらさがあった。これは、一般的な蛍光灯と比べて演色性が低かったからである。演色性とは、色の見え方(再現性)を表す指標で、8種類の定められた物体色を、試験光源と基準光源とで比較し、その色の違いの度合いを調べ(特殊演色評価数)、その平均値が平均演色評価数Raである。

$$Ri = 100 - 4.6\Delta Ei \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Ra = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 Ri \quad \dots\dots\dots(2)$$

ΔEi : 色ずれの大きさ

Ri : 特殊演色評価数

Ra : 平均演色評価数

例えば、白熱灯はRa=100、事務所で一般的に使用されている三波長形蛍光灯でRa=84ほどであるのに対し、従来の一般的なLEDはRa70程度であった(図3)。CIE(国際照明委員会)の推奨基準では、住宅、ホテル、店舗、事務所、病院等の施設ではRa>80であり、Ra70では適さない。

そこで近年、従来白色LED照明の“青色LED+黄色蛍光体”から“青色LED+赤・黄・緑色蛍光体”にすることで演色性を向上させた、高演色タイプのLEDが実用化されている。

2009年に入りLED電球の価格が大きく下がり、いよいよ普及に向けた動きが出てきている。そのLED電球でも、色の見え方が自然となるようRaを80レベルにするなど、LEDの特長である省エネルギー・長寿命はもちろん、家庭や店舗などでも違和感なく使用できるよう、あかりの“質”も重視されてきている。

2.2 連続調光による省エネルギー制御

LED光源も蛍光灯と同様に、点灯時間とともに緩やかに明るさが落ちる。また、器具の汚れによって器具効率が低下するため、オフィスや商業施設ではこれらを見込んで、適正照度となるように器具を選定し台数を設定して

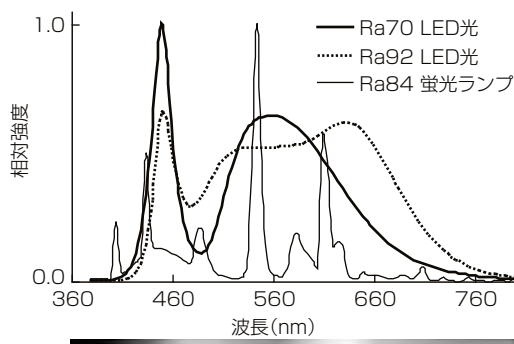


図3. 発光スペクトルの違い

いる。つまり、設置当初は設定照度よりも明るく、その分、無駄に電力を消費していることになる。また、昼間は窓からの昼光がプラスされる。この無駄な電力消費を抑制するのが、連続調光形照明器具と照明制御システムとの組合せであり、LED照明器具でも今後、連続調光形の普及が進むと予想される。

2.3 新しいデザイン

LEDの特長は省エネルギー・長寿命だけではない。点光源なので、これまでの白熱灯や蛍光灯器具とは異なり、デザイン的な自由度を持っている。図4のLED照明器具は、LED光源を平面的に配置することで、画期的に薄く、シンプルな外観を実現できている。照明器具の存在感を低減、室内に溶け込ませることができ、従来のシリンダ形のスポットライトと違い、視線方向からは薄い板が浮いているような印象を与え、空間のテイストや照射物を邪魔しない光環境が実現可能である。

3. 省エネルギー性の実現

3.1 LED照明器具の構成と消費効率

LED照明器具は、LEDモジュール(LEDパッケージが実装された配線用プリント基板)と照明器具筐体(きょうたい)と電源回路からなる。

LED照明器具の消費効率は、光束/消費電力で表す。

消費効率(器具総合効率)を決める構成要素は、①LEDの発光効率、②電源回路の効率、③温度依存効率、④光学系効率である。

$$\begin{aligned}
 & \text{器具総合効率} \\
 & = \text{①LEDの発光効率} \times \text{②電源回路の効率} \\
 & \quad (\text{lm/W}) \quad \% \\
 & \quad \times \text{③温度依存効率} \times \text{④光学系効率} \quad \dots\dots\dots (3) \\
 & \quad \% \quad \%
 \end{aligned}$$

ここでは器具総合効率の構成要素である、③温度依存効率と、④光学系効率について述べる。

3.2 温度依存効率(熱特性)について

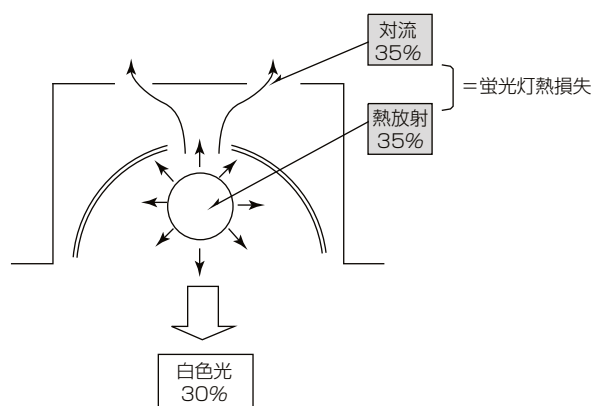
白熱灯や蛍光灯等の従来光源では、可視光に変換されなかった余分なエネルギーを次のように放熱している。

例えば、白熱灯は主に赤外線(熱線)として放射し、蛍光灯は発光管の表面積が大きいので、空気の流れを利用して

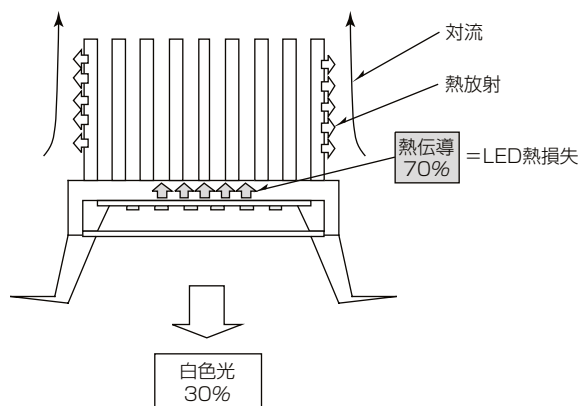
放熱することができている。

一方、LEDは赤外線をほとんど放射せず、表面積が小さいため、従来光源用器具と同じ設計では放熱は非常に困難である。LEDはチップの温度が上昇すると光束が落ちることから、チップから発生する熱を効率良く伝熱し、LED照明器具を構成する要素全体で熱抵抗を最小化することによって放熱することが重要である。図5に蛍光灯とLEDダウンライトの放熱構造の概略図を示す。

また、開発品については、アルミ基板を用いることで、LEDパッケージと筐体との熱抵抗を極めて小さく抑え、筐体から空気への放熱については、熱流体解析によってアルミダイカスト製の放熱フィン形状・配列を最適に設計している(図6)。

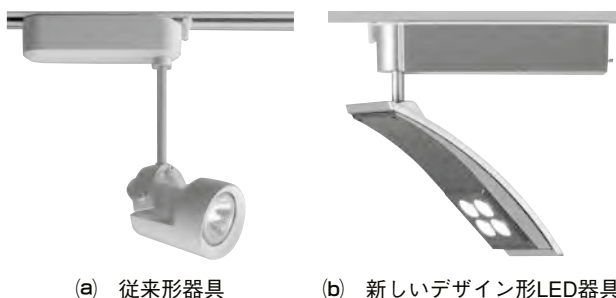


(a) 蛍光灯照明器具の場合



(b) LED照明器具の場合

図5. ダウンライトの放熱構造概略図



(a) 従来形器具 (b) 新しいデザイン形LED器具

図4. 従来形器具と新しいデザイン形LED器具

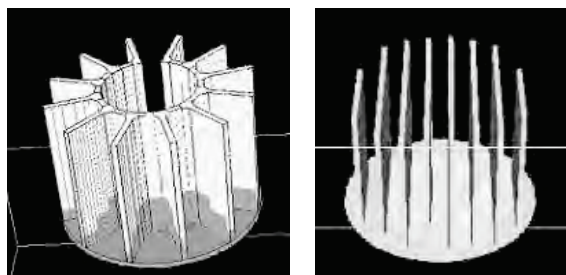


図6. LEDダウンライトの放熱フィン

3.3 光学系効率(光特性)について

LED光源の特徴として、発光部が小さいことと、光の指向性を持つことが挙げられる。この2点はいずれもLED光源を照明器具にする上で、従来光源より効率良く光を取り出すことに寄与している。

図7に白熱灯とLED光源の各配光と、光源の光を制御する反射板を用いた配光の概略図を示す。白熱灯は配光が全方位なのに対し、LED光源は下方のみの指向性を持っている。白熱灯の場合、全光量のうち約33%が直接下面に出射されるのに対し、LED光源の場合は76%が直接下面に出射されるため、反射ロスが少なく効率が良い(下方120°範囲への直接出射比率)。

また、白熱灯は発光部が器具と比較し大きいため、効率の良い反射板の設計が難しい。白熱灯では光源への再入射が多くなるため、光学系効率が70%程度であるのに対し、LEDの発光部は3mm角程度(1W級)と小さく、反射板の最適設計によって高効率が期待できる。

ダウンライトでは、LED光源ごとに設けた反射板と天井埋め込み枠との組合せで遮光をとる光学設計や、高反射率の材料を採用することで、光学系効率94%の高効率と枠部の輝度むら、被照射面の照度むらを抑制している(図8)。

また、スポット光(集光)タイプでは、より効率良く光を集光するため、レンズで配光制御をする。レンズの屈折を利用し、反射板方式では制御できなかった正面方向の光を任意の方向に制御することができ、より細やかな配光制御が可能になる(図9)。

4. む す び

LED照明分野で、放熱設計と高効率反射板設計によって、業界最高水準の器具総合効率83lm/Wを実現し、長寿命でコンパクトな器具を開発した。さらに、高演色タイプ、連続調光タイプをラインアップに加えることで、幅広いニーズにこたえる機種をそろえることができた。その省エネルギー性によって、ランニングコストが低く抑えられ、またLED光源は長寿命であることから広く普及が期待される。

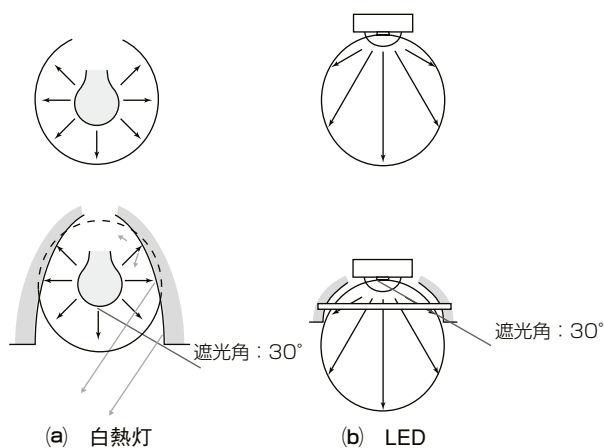


図7. 光源の配光と反射板を用いた配光

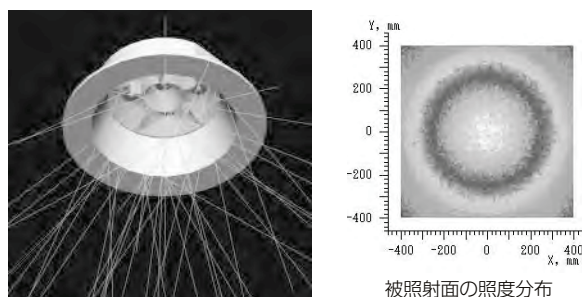


図8. LEDダウンライトの光学シミュレーションの例

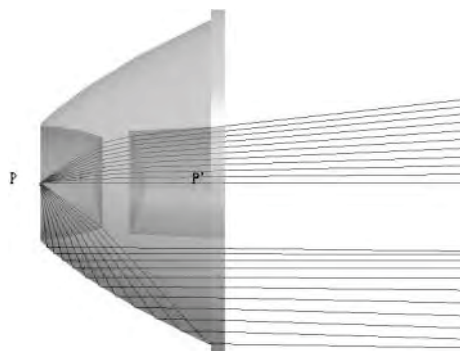


図9. LED用レンズの光学シミュレーションの例

参考文献

- (1) 財省エネルギーセンター オフィスビルの省エネルギー
http://www.eccj.or.jp/office_bldg/index.html

混合プラスチックの素材化と事業化

菱 孝*
松村光家**
棕田宗明**

Making a Business out of Producing High Quality Materials from Mixed Plastic

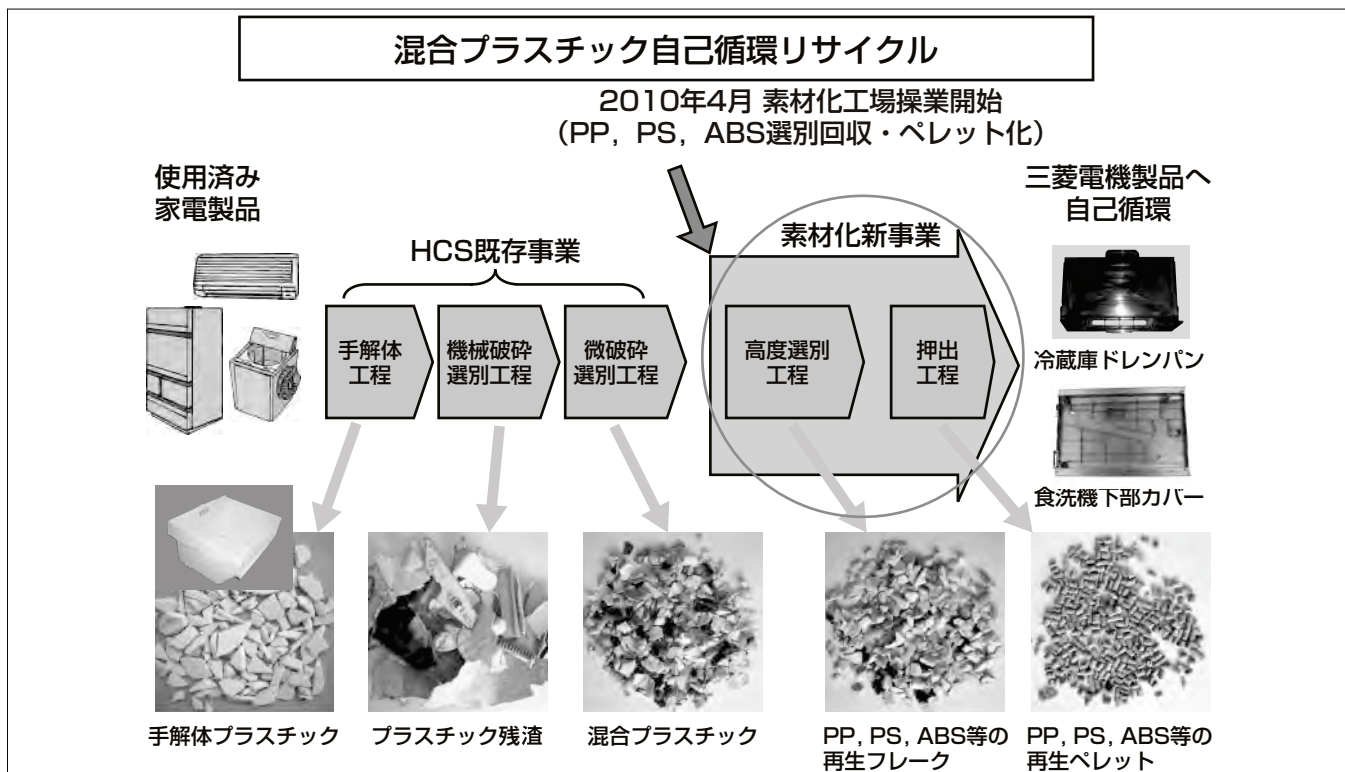
Takashi Hishi, Mitsue Matsumura, Muneaki Mukuda

要 旨

使用済みの特定家電4品目(エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機)から従来のインフラで環境汚染物質や素材を安全かつ効率的に回収することが技術面及び投資コスト面で困難であることから、2001年4月に施行された“特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)”によって、メーカー主導でリサイクルを行うことになった。都市鉱山と言われて久しいが、集められた使用済みの特定家電製品から素材回収を行い、再生素材として市場に還流することや、有害物を回収して適正に無害化処理を行うことは、素材延命・地球環境改善を通して“持続型社会”構築に必要なことである。1999年4月に三菱電機は千葉縣市川市で業界初の家電リサイクル工場である(株)ハイパーサイクルシステムズ(HCS)の運営を開始し、千葉県を含む首都圏の東地区から集められた特定家電製品から金属類やプラスチックを回収し、再生素材として市場に還流している。大きなプラスチック類は手解体で回収され、粉碎処理後、使用中に経年

劣化した材料特性を家電製品の部品に必要なレベルまで改善する改質剤を加え、三菱電機の家電製品に再生素材として使用している。

しかしながらその他の多くのプラスチックは、機械破碎によって粉碎され微少な金属を含む数種類のプラスチックの混合残渣(ざんさ)となり、素材としての利用が困難であった。三菱電機はHCS創業初期からこの残渣の素材化を目指してプラスチック残渣微破碎選別装置を導入し、金属類を高度に除去した混合プラスチックとして回収し、外部に素材として出荷してきた。このたびこの混合プラスチックからポリプロピレン(PP)、ポリスチレン(PS)、アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン(ABS)として高純度素材を選別回収する技術を完成し、千葉市に事業化工場を作るようになった。この素材化技術の状況と今後の課題について述べる。



混合プラスチック自己循環リサイクル

使用済み家電製品からプラスチックが回収される工程を表している。手解体工程では大きなプラスチック類を回収し粉碎処理後、PP・PS等の単一プラスチック粒として出荷している。機械破碎選別工程で回収されるプラスチック残渣は、プラスチック残渣微破碎選別装置によって高純度の混合プラスチックとして回収される。さらに三菱電機が開発に成功した選別回収技術による素材化新事業を推進することで、高純度な再生PP・PS・ABSの家電製品への大量適用が可能になる。

* (株)ハイパーサイクルシステムズ **三菱電機(株) 先端技術総合研究所

1. ま え が き

HCSは、使用済み家電製品の解体・素材回収に対して、家電製品の生産工場に比肩しうる近代化を進めることで、“再生素材生産工場”という新しい業態を作り上げることを目指してきた。その結果、3Kの払拭(ふっしょく)・徹底した塵埃(じんあい)除去・集中冷暖房・高効率でかつ低コストの素材化設備など近代的な工場を構築している。素材化する際の基本的な考え方は、次の5項目である。

- ①環境汚染物質の拡散を最小化
- ②資源の回収を最大化(廃棄物を最小にする)
- ③処理のしやすい製品設計情報を提供
- ④処理コストを最小化(手分解と機械破碎・選別を融合)
- ⑤近代化(家電製造工場と同等以上の環境・設備化対策)

家電4品目の素材構成を表1に示す。高性能プラスチックや鉄・銅・アルミニウム等を含んでおり、高純度で回収できれば再利用可能な素材が多く含まれる。

本稿では、HCSでの素材回収、主としてプラスチックの高純度回収と製品適用の状況、課題について述べる。

2. HCSの概要

HCSでは、素材回収量と素材純度の向上に向けて、三菱電機と共同で技術開発を行っている。この素材回収処理フローを図1に示す。フロー図に示される機械破碎・素材

表1. 家電4品目の製品別素材構成(HCS)

	エアコン	テレビ	冷蔵庫	洗濯機
鉄	48	5	49	51
銅	17	3	5	5
アルミニウム	15	1	4	1
ガラス	—	64	—	—
プラスチック	11	18	32	29
フロン	1	—	1	—
塩水	—	—	—	3
ほか	8	9	9	11

単位: %

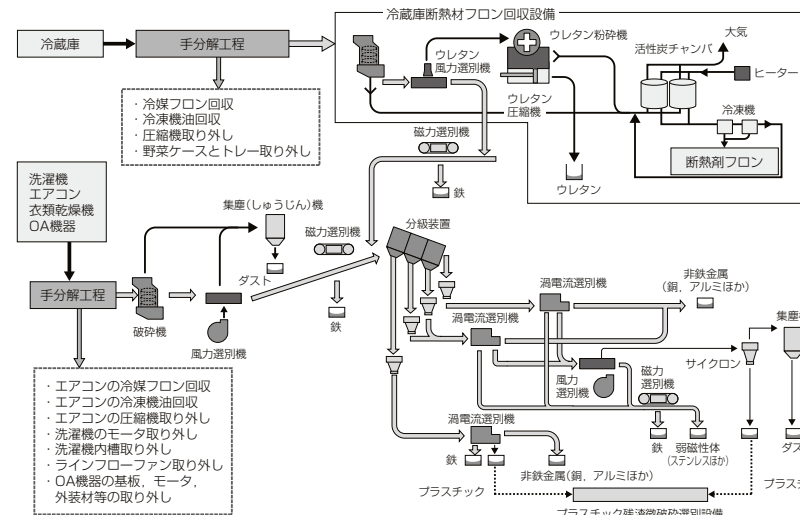


図1. 素材化フロー(HCS)

選別・異物除去等の設備の開発/改善、各種選別機の運用条件や機器配置等の改良による選別精度の向上など、高度な技術の投入と徹底した改良が図られている。これらの開発によって、素材回収のコストが安く、量が多く、質が高く、廃棄物の少ない工場を実現している。HCSでは単に素材回収を行うだけでなく、“再生素材生産工場”という運営方針を掲げ、作業環境についても徹底的な改善を行っている。作業環境が改善されるにつれて作業効率が上がり、コスト改善にも寄与していることは留意すべきである。

3. HCSでの素材化処理

手解体と機械化の組合せによって、素材の効率的な回収を進めている。

3.1 手 解 体

使用済み家電製品の処理は、メーカーや年代の異なる様々な品目に対応するため機械化が難しく、最初に人手で素材や有害物の回収を行う。3.2節で述べる機械破碎・選別工程よりも回収素材の純度が高いが、人件費等による素材回収コストが高くなる。

手解体ラインは、1999～2001年に1次ラインを導入したが、作業環境改善・効率改善・最大処理能力改善に限界が見られたため、これらを1段以上レベルアップさせる目的で、2004～2006年に2次ラインに入れ替えた。この手解体ラインで回収できるプラスチックは、コストを考慮すると1,000トン/年程度(表2)であるが、回収されたプラスチックは品種別に10mm程度に粉砕をし、この材料を元に三菱電機では年間600トン程度を新たな家電製品に利用している。

3.2 機械破碎・選別

機械破碎機で破碎したあと、風力・磁力・静電気力・比重差等の乾式選別技術を利用して、金属やプラスチック等の素材を回収する。この実現には、機械化のための高度な

技術開発と大きな初期投資が必要となる。手解体に比べると素材回収コストが安くなるが、選別設備に工夫がないと回収純度が低下する。機械破碎後のプラスチックは、図2で示す工程によって混合プラスチックとして回収される。このプラスチックはHCSでは4,600トン/年(表2)になり、素材活用が課題であるが、これまでは主として外部に出荷され既存選別手段によって雑貨品や増量材に使用されるなど、適用先はダウングレードユース主体であった。

4. プラスチックの高純度回収

4.1 高純度選別プロセス

混合プラスチックを家電製品に再利用する

表2. 家電製品のプラスチック回収(HCS)

2008年度実績		プラスチック質量(単位:トン)			備考
		機械破砕選別	手解体		
品名		混合プラスチック	主として粉砕	手解体品名	
	エアコン	600	100	ラインフローファン	
	冷蔵庫	2,000	700	野菜ケース等	
	洗濯機	2,000	200	洗濯槽	
	小計	4,600	1,000		
	テレビ	0	1,600	キャビネット等	難燃グレード主
	家電合計	4,600	2,600		

※ 家電製品由来のプラスチックのみを集計

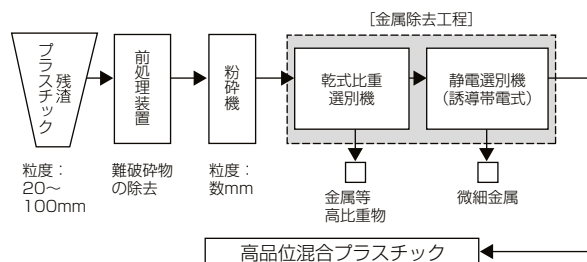


図2. プラスチック残渣微破碎選別装置

高度なりサイクルを目指し、プラスチックの高純度選別プロセス⁽¹⁾を開発した(図3)。混合プラスチックの代表的な混合組成を比重で整理すると、比重が水より軽いPPが35%(比重<1.0)、水よりやや重いPS、ABSが合計で30%(1.0<比重<1.1)、更に重い重比重プラスチックが35%(比重≥1.1)である。ここで重比重プラスチックとは、難燃剤、ガラス繊維等の添加剤を含有するプラスチック、微量のエンブラ、塩化ビニルなどである。この中で、添加剤を含まないため再利用が容易でかつ家電製品で広く使用されるPP、PS、ABSフレーク(混合プラスチックの約65%)が、このプロセスでの回収対象である。比重差では除去できないゴム等の異物は異物除去装置で除去される。同じく比重差が小さく比重選別では分離が困難なPS/ABS混合物は、静電選別装置で分離回収する。この選別プロセスの特長は、コストや環境負荷面で有利な乾式の選別装置を積極的に採用した点にある。

4.2 静電選別技術⁽²⁾

静電選別は図4に示すとおり、異種プラスチック同士を摩擦すると互いに異なる極性に摩擦帯電する性質を用い、帯電したプラスチックフレークを電界空間に自由落下させ、軌跡の差異で選別する技術である。リサイクルプラスチックを新材相当の素材として再利用するには純度99%レベルの選別が必要であるが、静電選別で上記純度が達成可能なことはすでに報告されている。その後実用的な見地から純度/回収率を高める開発を進め、帯電/選別条件の最適化による帯電量の増大/安定化や計算モデル検討によって、純度99%/回収率70%以上を実証した(図5)。

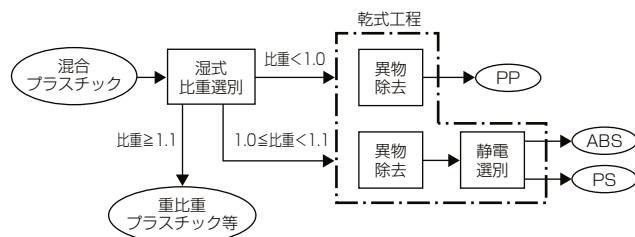


図3. 高純度選別プロセス

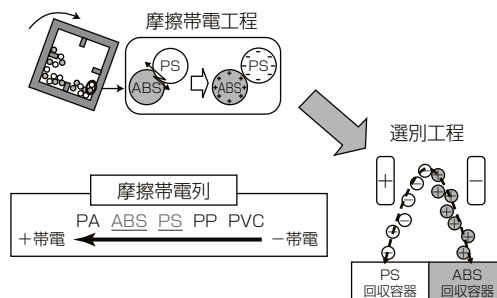


図4. 静電選別の原理

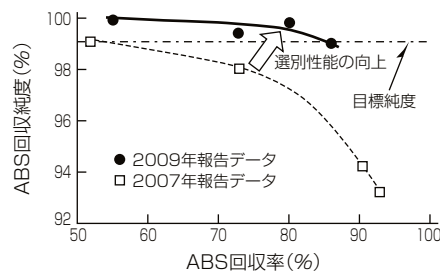


図5. 選別性能の向上

5. 製品適用技術

5.1 リサイクル材の機械特性評価⁽³⁾

高純度選別プロセスで回収した純度99%以上のフレークを押出機で押出加工することによって、再生ペレットを得る。押出機には、残存するシリコンゴムやウレタン樹脂等の異物を除くため、スクリーンメッシュが取り付けられている。表3にスクリーンメッシュの有無によるPPリサイクル材の機械特性の違いを示す。スクリーンメッシュによって、引張破断伸び、シャルピー衝撃強度を約3倍に改善できる。スクリーンメッシュの目開きを細かくするほど、ペレットの残存異物が減少し、機械特性が改善される。残存異物量を定量化するため異物残存率を定義した。異物残存率は、ペレットを圧縮成形機によってフィルム状にした場合に観察される異物の占める面積割合である。図6に、シャルピー衝撃強度と異物残存率の相関を示す。異物残存率が低いほどシャルピー衝撃値が高くなる。機械特性を新材相当にまで高めるには、異物残存率を0.2%以下にする必要がある。

5.2 RoHS指令対策⁽⁴⁾

リサイクル材を家電製品に適用するには、RoHS指令

表3. PPリサイクル材の機械特性

物性項目	材料	PPリサイクル材		新材PP
		メッシュなし	メッシュあり	
MFR(g/10min)		24	24	30
引張強度(MPa)		25	26	28
引張破断伸び(%)		14	42	22
曲げ弾性率(MPa)		1,120	1,120	1,200
曲げ強度(MPa)		29	30	31
シャルピー衝撃強度(kJ/m ²)		22	74	61
異物残存率(%)		0.96	0.13	—

MFR: Melt Flow Rate

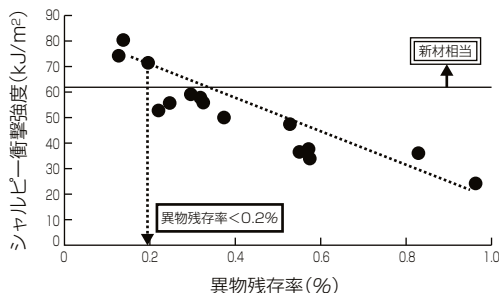


図6. シャルピー衝撃強度と異物残存率の関係

(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)への対応が不可欠である。家電から回収したプラスチックでは、RoHS指令対象物質のうち臭素系難燃剤の混入防止が必要である。このため、臭素含有プラスチックの的確な除去を目的として、臭素含有プラスチックの高速検知・除去装置を開発した。装置の概要を図7に示す。この装置は、臭素のX線吸収効果を利用して臭素の含有／非含有を高速に検知し、臭素含有フレークのみを除去するものである。

5.3 製品適用化

家電製品に使用するプラスチックは、使用環境下での酸化劣化を防ぐため酸化防止剤が添加されている。そのため使用済み家電製品のプラスチックは、回収時点では添加した酸化防止剤が消費されている。さらに自己循環リサイクルによって繰り返し使用する場合、酸化防止剤の消耗によって材料特性が製品寿命前に低下するリスクがある。それを防ぐため、再製品化の際に消費した以上の酸化防止剤を添加する。またリサイクル材は破砕、選別等の回収過程で極微量の金属が混入する可能性があり、プラスチックの酸化劣化が想定より早まる懸念がある。そのため金属不活性剤を用いて耐熱寿命を安定化させる。これらの改質を施したPPリサイクル材(成形品)によって、新材相当の耐熱性、外観、性能等を確認し、冷蔵庫ドレンパン(図8)等の製品に適用した。静電選別によって回収したABS、PSについても同様の評価を進めている。

6. む す び

“持続型社会”の実現には、使用済み製品を適正に処理し

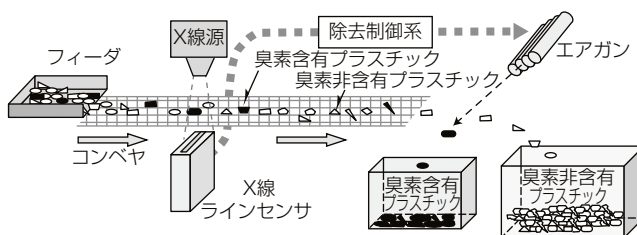


図7. 臭素含有プラスチック除去装置



図8. 冷蔵庫ドレンパン

素材として社会に還流する“再生素材生産工場”の役割が重要になる。その中で更に質の高い素材化を実現するには、金属類では、手分解で発生するコンプレッサ等の複合部品や、機械選別工程で発生する混合非鉄金属を単一素材化する安価な機械選別技術を開発する必要がある。プラスチックの素材化では、更なる低コストを志向することになるが、原料である混合プラスチックの処理量の拡大と選別効率の向上を目指し、各装置の改良と装置相互の連携性を高めるシステム運用が重要である。さらに、処理量の拡大では、より高度な品質管理技術が不可欠であるとともに、これまでリサイクル材の適用が困難と考えられていた意匠部品などへの用途拡大を目指した再生・製品適用技術の開発が重要である。HCSは、遵法・安全・環境汚染拡散等のリスク管理を怠らず、高純度な素材を社会に最大限還流し、“持続型社会”構築に貢献する。

参 考 文 献

- (1) 井関康人：使用済み家電破砕混合プラスチックの自己循環リサイクル技術，プラスチックエージ，54，No.12，67～72（2008）
- (2) 松村光家，ほか：廃棄物資源循環学会 リサイクルシステム・技術研究部会第3回講演会予稿集，35～40（2009）
- (3) 松尾雄一，ほか：廃棄物学会 リサイクルシステム・技術研究部会講演会予稿集，1～6（2006）
- (4) 真下麻里子，ほか：リサイクルプラスチックのRoHS適合化技術，三菱電機技報，83，No8，473～476（2009）

ルームエアコンの環境配慮設計

齋藤 直*

Environmentally Conscious Design for Room Air Conditioners

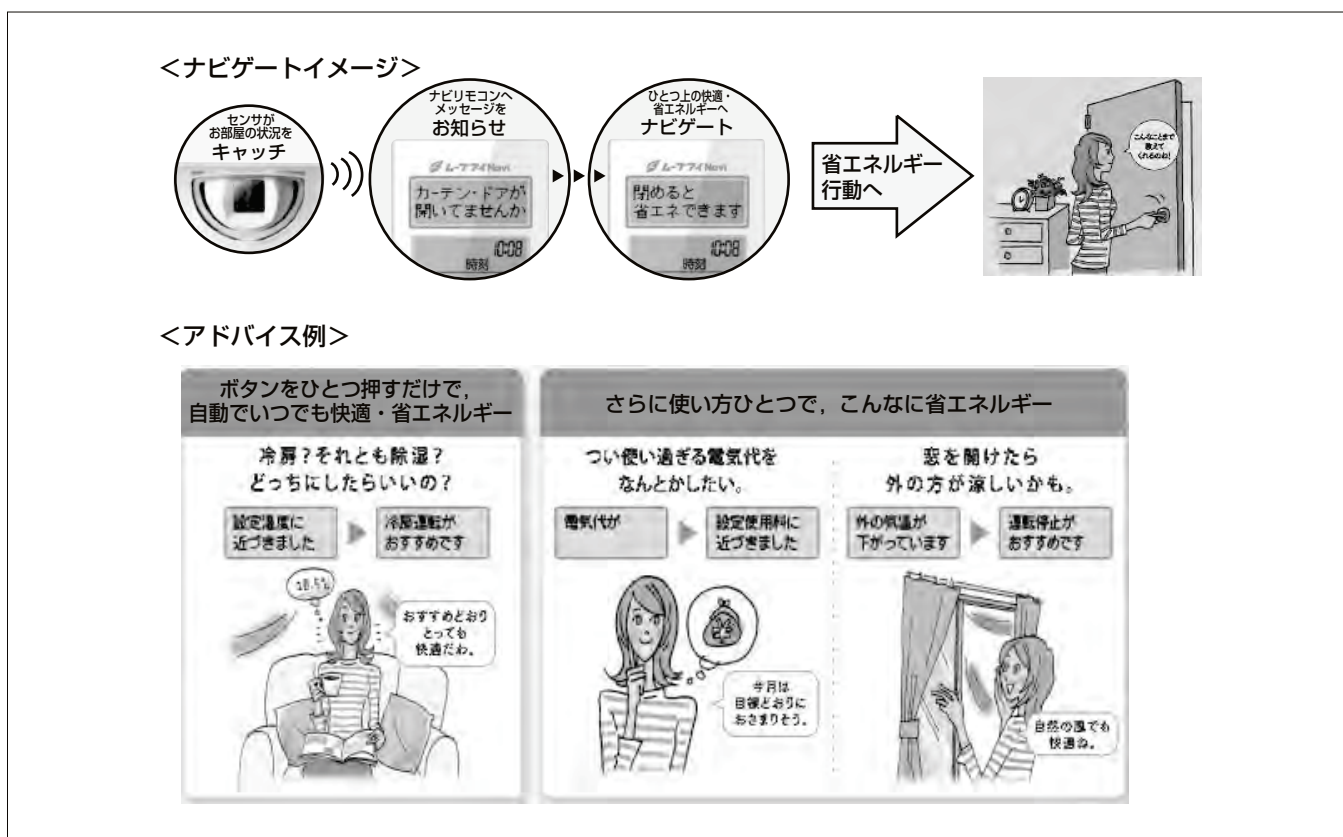
Tadashi Saito

要 旨

地球温暖化問題の解決のため、世界が協力して作った京都議定書が2005年2月16日に発効され、さらに2008年からは、京都議定書で定められた削減目標の第一約束期間に入った。1990年に比べ温室効果ガス排出量を6%削減することが、日本に課せられた目標である。しかしながら、1990年に比べ2008年に公式発表された2006年度の総排出量は、逆に6.2%上回っているのが現状である。家庭内の電力消費量で最も多い電化機器はエアコンであり、エアコンの消費電力の削減が、家庭から排出される温室効果ガスの削減に最も効果的である。

そこで三菱電機は、エアコン機器の省エネルギー技術の推進はもちろん、独自のセンシング技術を駆使し使用実態

における無駄な電力消費を抑制する省エネルギー技術を業界に先駆けて投入し、当社の“環境ビジョン2021”の柱である地球温暖化対策を推進してきた。さらに2010年度の新製品では、今までユーザーに任されていた使い方の工夫を、エアコンが教えてくれる機能“おしらせナビ”を搭載することで、使う人に省エネルギー行動を促し、エアコン性能を最大限発揮できるようにした。また、環境ビジョン2021に掲げたもう一本の柱である循環型社会形成に向けた取り組みとして、業界に先駆けた混合プラスチックの自己循環リサイクルや、長期使用促進(リデュース)のための新技術開発を行った。



省エネルギー・快適へやさしくアドバイスするナビゲーション機能“おしらせナビ”搭載

家電品の中で、特にエアコンは使い方の工夫次第でより省エネルギー効果を高めることができる。しかしながら、省エネルギー効果があると分かりながらも工夫の仕方やタイミングが分からず、結果としてエアコンに任せっきりになっている。8つの赤外線センサを持つ“ムーブアイNavi”が部屋や人の状況を熱画像として分析し、カーテンやドアを開閉などのメッセージをリモコンに表示させ、使う人の省エネルギー行動をナビゲートする。

1. ま え が き

京都議定書の目標実現に向け、政府はチームマイナス6%などで温室効果ガス削減のためのアクションプランを設定している。エアコンについては、次の①～⑤を上手な使い方として推奨している。

- ①室内温度設定(夏は28度以上、冬は20度以下)
- ②風向き調節(暖房時は下向き、冷房時は上向き)
- ③カーテンの有効利用
- ④フィルタのこまめな清掃
- ⑤必要なときだけ運転する

当社独自のムーブアイによって、人の居場所や環境条件によって最適な風向をエアコンが自動で調節し、無駄な暖め過ぎや冷やし過ぎを抑制する。また、フィルタ自動清掃機構の搭載によって、エアコンが定期的にフィルタを清掃し、埃(ほこり)の目詰まりによる性能低下を抑制する。室内温度設定については、ムーブアイのセンシング技術によって設定温度と同じに感じるような補正(体感温度制御)を行ってはいるが、推奨温度(夏は28度以上、冬は20度以下)までの変更は行っていない。つまり室内設定温度、カーテンの有効利用、必要なときだけ運転するという項目については、今までユーザー自身の行動に委(ゆだ)ねられてきた。更なる温室効果ガスの削減に向けては、このようなユーザーの意識に任されていた部分についてもエアコンがサポートできるような機能が要求される。省エネ法(エネルギーの使用の合理化に関する法律)が2010年度に達成年を迎えるため、省エネルギー性能の改善技術が不可欠であり、省エネルギー基準値を大幅に超えるための省エネルギー技術を開発した。さらに省エネルギー性能の改善だけでなく循環型社会の形成に向けた3R(Reduce Reuse Recycle)の強化も推進した。

本稿では、機器の省エネルギー技術、使用実態を踏まえた省エネルギー技術、環境配慮設計について事例を挙げて述べる。

2. エアコンの上手な使い方を教えてくれる機能

2.1 センシング技術の進化

ムーブアイ(図1)は、垂直方向に直配列された8素子内蔵のサーモパイル形赤外線センサが、温度測定しながらステッピングモータで左右方向に細かく回転往復駆動させることによって、室内の温度分布を94回に分けて測定し、合計752か所(8×94列)の二次元の熱画像を30秒に1回取得



図1. ムーブアイの構造

する。得られた熱画像データからソフトウェア処理を行い、人の位置、在・不在や人の活動量、人の存在位置の累積情報と据付け位置情報などから、床と壁の位置など様々な情報を把握する。さらに壁面の温度変化情報と外気温度情報などから窓・ドアの位置を検出し、窓のカーテンの開けっ放しやドアの開けっ放しまで検出できるようにセンシング技術が進化してきた。ムーブアイ以外にも、室内温度センサ、室内湿度センサ、室外温度センサを駆使し、刻々と変化する環境条件をリアルタイムに検出する。

2.2 おしらせナビ

2.1節で述べたセンシング情報をユーザーに伝える手段が必要となる。そこで“おしらせナビ”という独自のシステムを開発した。例えば、“窓のカーテンが開いている”“ドアが開けっ放しになっている”“しばらくエアコンを使っていない”などを検出した場合、エアコン側は本体にある“ナビランプ”を点灯させる。ランプを確認したユーザーはリモコン側にある“ナビボタン”を押すと、リモコンの液晶表示部の“おしらせ画面”にメッセージが現れる仕組みとなっている(図2)。

エアコンの上手な使い方①(冷房28度以上、暖房20度以下)については、室温が設定温度に安定し政府推奨温度から大きく離れていない場合に、政府推奨温度へ変更した場合の電気代節約額を表示させることで、ユーザーへの設定温度変更を促す(図3)。このような設定変更を促す場合、従来はその機能のボタンがどこにあるのか分からず設定できないことがあったが、“おしらせナビ”では“おしらせナビボタン”一つで設定変更ができるよう、ユニバーサルデザインについても配慮している。

エアコンの上手な使い方③(カーテンの有効利用)についても同様に“ナビランプ”が点灯し、リモコン表示でユーザーへ知らせる(図4)。

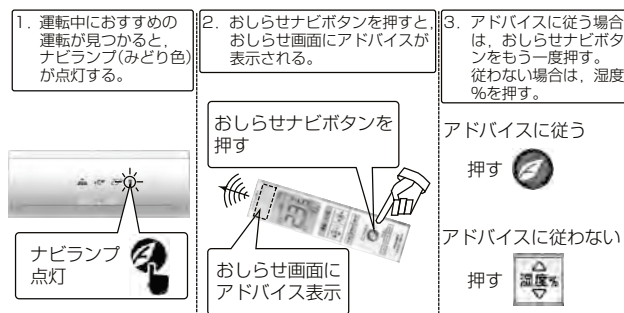


図2. “おしらせナビ”機能

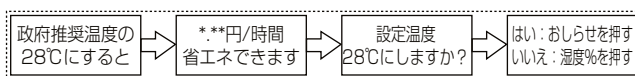


図3. “おしらせ画面”表示例1

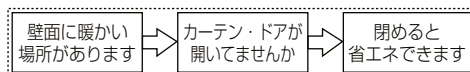


図4. “おしらせ画面”表示例2

エアコンの上手な使い方⑤(必要なときだけ運転する)については、“ムーブアイ”によって人が一定時間部屋にいないと判断すると自動的に運転を停止する(リモコンによる不在省エネルギーモード設定時)。

更なる省エネルギー行動のユーザーへの提案として、室内設定温度と外気温度の環境を見ながら、エアコンの送風運転への切替えや、エアコンの運転を停止して窓を開けても快適であるというアドバイスも表示する(図5)。

このように、今まではユーザーの意識行動に任されていた省エネルギー行動(上手な使い方)までもエアコンがサポートできる画期的な“おしらせナビ”機能を開発した。

3. 基本性能の向上

2010年に達成年度を迎える省エネ法は、従来のCOP(冷暖房平均エネルギー消費効率)から、より実態に合ったAPF(通年エネルギー消費効率)へ変更される。COPとは定格能力を発揮する冷房・暖房の定点での効率であり、APFとは年間を通じた運転(インバータでの圧縮機周波数可変運転)の効率を示す。APFへ変更された場合、特にキーマンである圧縮機、室内ファンモータ、室外ファンモータの効率をいかに向上させるかが他社に対する優位性確保となる。次に圧縮機とファンモータの当社独自技術について述べる。

3.1 高効率圧縮機の開発

圧縮機構部を密閉容器に固定する製造工程で一般的であった“アークスポット固定”に代わり、固定時の圧縮機構部の歪(ひず)みを半減できる独自の生産技術“熱かしめ固定”を実用化した。その特性を圧縮機構部の寸法設計に活用し、“省資源・高効率・高出力”化を追求した新たなロータリ圧縮機を開発した。図6に圧縮機のカットモデルと“熱かしめ固定”の工法、図7に従来の“アークスポット固定”と“熱かしめ固定”との圧縮部への作用反力の方向の違いを示す。

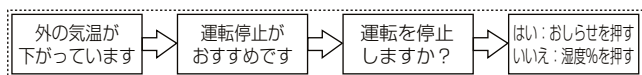


図5. “おしらせ画面”表示例3

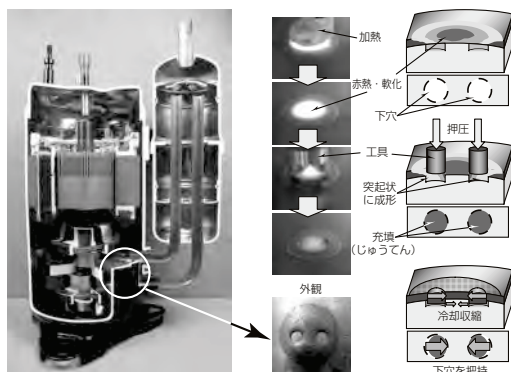


図6. 熱かしめ固定の工法

“アークスポット固定”では、溶接による反力がシリンダの径方向に作用するため、シリンダに一定以上の剛性を確保し内径側への歪みを抑制する必要がある、剛性低下を伴うシリンダの内径拡大は困難であった。“熱かしめ固定”では熱収縮による周方向への把持力で圧縮機構部を固定するため、シリンダの変形が小さく、シリンダの内径拡大による排除容積拡大が可能となった。この技術の採用によって、能力に応じた最適なメカ設計が可能となり、エアコン能力2.2~7.1kWの範囲の中で4種類もの圧縮機シリンダ容量のラインアップ(7.3cc, 9.2cc, 14.0cc, 17.2cc)を使い分け、性能改善を実現した。

3.2 樹脂鉄心ロータ搭載ファンモータ

室内機・室外機に使われるファンモータに、当社独自の薄肉連結コア集中巻きステータと、世界で初めて強磁性粉末複合樹脂(以下、樹脂鉄心材料という。)を射出成形してバックヨークを形成し、プラスチックマグネットを一体成形する“樹脂鉄心ロータ”を搭載することで高効率化を実現した。従来のファンモータのロータは希土類マグネットを用い、周方向にN極とS極が交互に並ぶ円筒形状をしている。“樹脂鉄心ロータ”は射出成形可能な樹脂鉄心材料を用いて、厚みを連続的に変化させたマグネットの形状(偏肉形状)に合わせたバックヨークを形成することによって、磁極の中心に磁束を集中させることを可能にし、モータの高効率化を実現した。図8に従来ロータと樹脂鉄心ロータの比較を示す。

4. 3Rの強化

4.1 自己循環型再生プラスチックの利用促進

千葉県市川市の(株)ハイパーサイクルシステムズによるリ

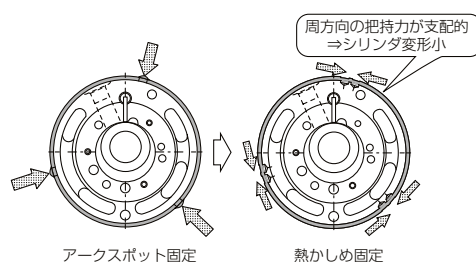


図7. 固定方式と作用反力

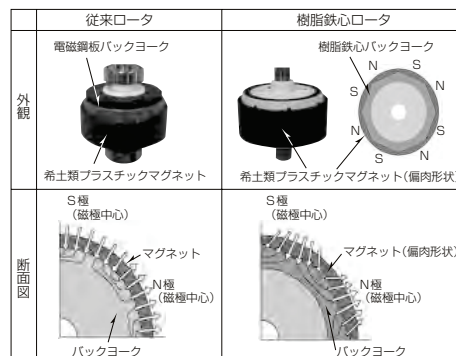


図8. 従来ロータと樹脂鉄心ロータの比較

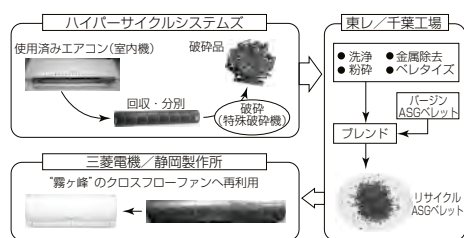


図9. クロスフローファンの自己循環リサイクル

サイクルプラントで、使用済みエアコン室内機のクロスフローファンに使用される“ガラス繊維強化AS樹脂(ASG)”を分別・再生し、新たにクロスフローファン材料として再利用する技術をプラスチックメーカー(東レ(株))と共同開発し、実用化した(図9)。また梱包(こんぼう)材の発砲スチロールにも自己循環リサイクル材を適用した(株JSPと共同開発)。

さらに使用済み家電製品のリサイクルで破砕した複数のプラスチックが混在する混合プラスチックから、年に約6,400トンの主要3大プラスチック(ポリプロピレン、ポリスチレン、アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン)を高純度で選別・回収して、当社家電製品に自己循環リサイクルする“大規模・高純度プラスチックリサイクル”を2009年度中に開始する予定である。混合プラスチックから主要3大プラスチックを99%以上の高純度で回収し再利用するのは、日本で初めて(注1)である。この技術を利用し、ルームエアコンでは混合プラスチックから採取したリサイクル樹脂をエアコン内部の主要部品に利用する。

このように当社家電製品の中でもルームエアコンは、新しいリサイクルプラントが立ち上がると同時に混合プラスチックのリサイクル材の利用を開始することで、自己循環リサイクルを促進し、資源の有効活用を図っている。

4.2 長期使用促進のための技術開発

エアコンの買い替えサイクルは約11年であるが、買い替え理由の第一位は内部汚れによる不満である(図10)。そこで長期使用の促進(リデュース)のため、あらゆる汚れに対応したコーティング材を開発し、エアコンの室内機内部部品に塗布した。

汚れが付着すると、見た目のきれいさを損なうだけでなく、メンテナンスを怠れば雑菌の繁殖や性能低下の原因になるなど、様々な影響を及ぼす。また、汚れには砂塵(さじん)や埃などの親水性汚れと、すすや油煙などの疎水性汚れがあり、これらの汚れが付着することによって静電気が発生して、更なる汚れを助長する。防汚コーティングは、砂塵や埃をはじく疎水性のフッ素コーティングや、油汚れをはじき帯電防止効果もある親水性コーティングなどが広く実用化されているが、いずれもどちらか一方の性質汚れにしかならない。そこで、性質の相反する親水性汚れと

(注1) 2008年8月20日現在、当社調査による。

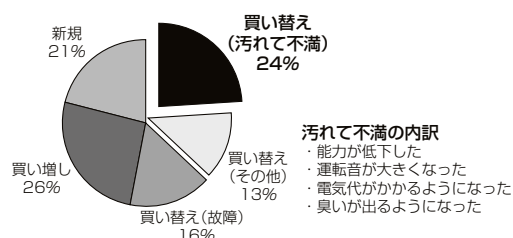


図10. エアコン購入の内訳

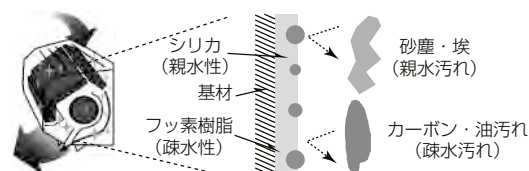


図11. ハイブリッドナノコーティングの概念図

疎水性汚れの双方に効果を得るため、親水性シリカの薄膜に、疎水性樹脂の微粒子を汚れの粒子よりも小さな間隔で分散させて構成した“ハイブリッドナノコーティング”を開発した(図11)。このコーティング塗布によって、汚れの付着量を約10分の1に低減することができる。

この“ハイブリッドナノコーティング”をエアコンの内部で最も汚れやすい熱交換器とファン、風路に塗布し、汚れによる性能低下を防ぐことで使用期間の延長につなげることができる。

また、古い冷凍機油が混入しても、劣化の少ない当社独自の冷凍機油(アルキルベンゼン油)採用によって、既設配管をそのまま利用できるリユースについても配慮している。

5. む す び

省エネ法による規制である機器の省エネルギー性向上に関してはもちろん、これまでユーザーの省エネルギー行動に任されていた、エアコン使用時の無駄のない上手な使い方までもエアコンがサポートする機能、“おしらせナビ”を開発した。このように、使用実態を踏まえた省エネルギー技術開発を図り、新たな視点で地球温暖化防止に取り組んだ。さらに業界で初めて混合プラスチックから採取したリサイクル樹脂をエアコン内部の主要部品に採用する自己循環型リサイクルや、独自のコーティング技術によって、エアコンの汚れによる性能低下を抑制するとともに、いつまでも清潔性を保つことで、長期使用促進にも取り組んだ。

今後も、ユーザーの価値向上を高めた技術開発を進めつつ、更に環境配慮技術を高めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 三菱電機ニュースリリース：日本初の「大規模・高純度プラスチックリサイクル」を開始，No.0836（2008）
- (2) 三菱電機ニュースリリース：プラスチックにも適用できる「ハイブリッドナノコーティング」を世界で初めて開発，No.0912（2009）

ビルまるごと省エネに役立つ “ビル設備運用システム&プランニング Facima”

吉川 寛*
渡邊啓嗣**
斉藤 薫***

"Building Equipment Operation System & Planning Facima" for Energy Conservation of Entire Building

Hiroshi Yoshikawa, Yoshitsugu Watanabe, Kaoru Saitoh

要 旨

地球温暖化や環境問題が叫ばれる中，“ビル”でも“省エネルギー”に対する要求は、改正省エネ法などの施行によって、近年ますます厳しくなっている。

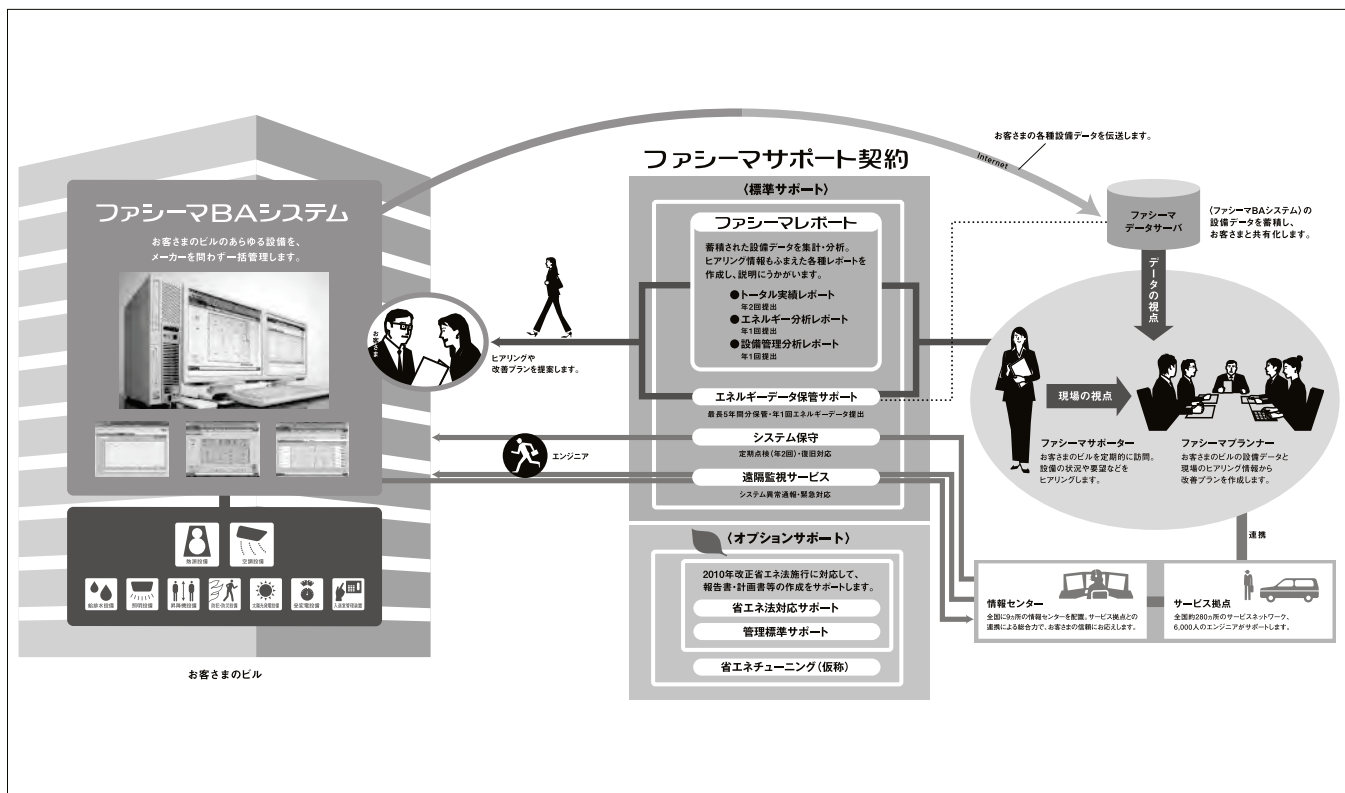
近年ビルの省エネルギーは、ビルに付加価値をつけるための要素にもなっており、特にテナントビルでは、テナント確保にもつながる重要な要素である。

三菱電機グループでは“ビルまるごと省エネ”に対して、省エネルギーに有効な機能を持つ中央監視装置の“三菱ビル設備オープン統合システム Facima BA-system”と、従来のシステム保守に加え省エネルギーに対する改善提案なども行う新保守サービス“ファシーマサポート契約(三菱電機ビルテクノサービス㈱が提供)”とからなる，“ビル設備運用システム&プランニングFacima(ファシーマ)”を提案・推進している。

“Facima BA-system”の省エネルギー機能には、運転／停止のほかに、設定温度なども同一画面で設定可能なスケジュール制御、複数のトレンドデータを同一グラフに表示することによって省エネルギー分析も可能なトレンドグラフなどがある。また、紙へ印刷する代わりにPDF (Portable Document Format) ファイルへ出力することで、環境に優しく省資源のペーパーレス機能もある。

“ファシーマサポート契約”では、インターネットを通じて収集したデータから省エネルギー分析などを行い、効果的な対策を提案するとともに、オプションサービスでは、改正省エネ法への対応(管理標準の運用や国への定期報告)を全面的にサポートする。

三菱電機グループでは、中央監視というハードと保守サービスというソフトの両面から省エネルギーをサポートする。



“ビル設備運用システム&プランニング Facima”の概念図

“Facima”は、中央監視装置の“三菱ビル設備オープン統合システム Facima BA-system”と提案型保守サービスの“ファシーマサポート契約”から構成される。Facima BA-systemは、標準通信への対応によって様々な設備とも容易に接続できる。またWeb対応によってどこからでもアクセス可能である。ファシーマサポート契約では、改正省エネ法への対応を顧客に代わり行うサービスなど、省エネルギーに有効なサービスが充実している。

1. ま え が き

地球温暖化が進行する中、“エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネ法)”の改正など、エネルギー管理についての法規制が厳しくなっている。

今回の改正では、エネルギーの年間使用量が、従来は事業場(ビルや工場など)単位でまとめ、その使用量によって当該事業場が管理規制の対象となるかを決定していたものを、改正後は事業者(企業)単位でまとめ、その使用量によって当該事業者が管理規制の対象となるかを決定するように変更された。例えば、エネルギー使用量の少ない小さな支社のビルでも、本社と全国の支社ビルの年間エネルギー使用量を企業単位としてまとめると、規制対象となる場合も出てくる。

このような状況の中、三菱電機グループでは“ビルまるごと省エネ”に対して、“ビル設備運用システム&プランニング Facima(ファシーマ)”を提案・推進している。

このファシーマは、ビルの設備を監視・制御する中央監視装置の“三菱ビル設備オープン統合システムFacima BA-system”と、この中央監視装置からのビル設備データを収集・分析し、効果的なビル設備の運用などを提案する“ファシーマサポート契約”という、ハードとソフトの両面から構成される。

ビルの省エネルギーには、照明のLED(Light Emitting Diode)化やエネルギー消費効率の高い空調機器の使用など、設備単位での省エネルギー化も当然重要であるが、今ある設備に対して、最適な運転などを行う自動制御や、使用エネルギーのトレンドを表示する見える化機能を持つ中央監視装置や、そこから得られるビル設備のデータを解析し、ビル設備の最適な運用を提案するなどのサービスを提供することも、省エネルギーに有効であると考えられる。

本稿では“ビルまるごと省エネ”に対しての、ファシーマの有用性について述べる。

2. Facima BA-systemの特長

2.1 システム構成と機能概要

Facima BA-systemのシステム構成を図1に示す。このシステムの中核となるサーバのFMS(Facility Management System)では、ビル設備のすべてのデータを管理するとともに、Webサーバとして、監視パソコンにそのデータを提供する。このデータはまた、あとで述べるファシーマサポート契約で利用するために、ファシーマデータサーバからもインターネットを通じて収集可能である。

監視パソコンは、Webブラウザを搭載する通常のパソコンで、専用ソフトを必要とせず、グラフィカルな画面で監視・制御操作が可能となっている。したがって、ネットワークにつながっているパソコンであれば、どこからでも監視・制御することができる。また汎用(はんよう)パソコンも使用可能なため、客先が準備したパソコンからも操作可能となっている。

FCP(Facility Control Processor)では、受変電などの設備機器と接点ベースで接続した三菱電機製ローカルコントローラ(LCP)を管理している。一方FMSからは、ビル管理システムで世界標準の通信手順であるBACnet^(注1)を使用し、アクセス可能となっている。

また、CC-Linkなどによって接続・構成するシーケンサのサブシステムとは、BACnet通信へ変換するシーケンサユニットを開発し、システム化可能としている。他社の設備システムとも、BACnet通信によって直接接続可能となっている。

このようにFacima BA-systemでは、BACnetやCC-Linkなど世界標準の通信手順を活用することによって、

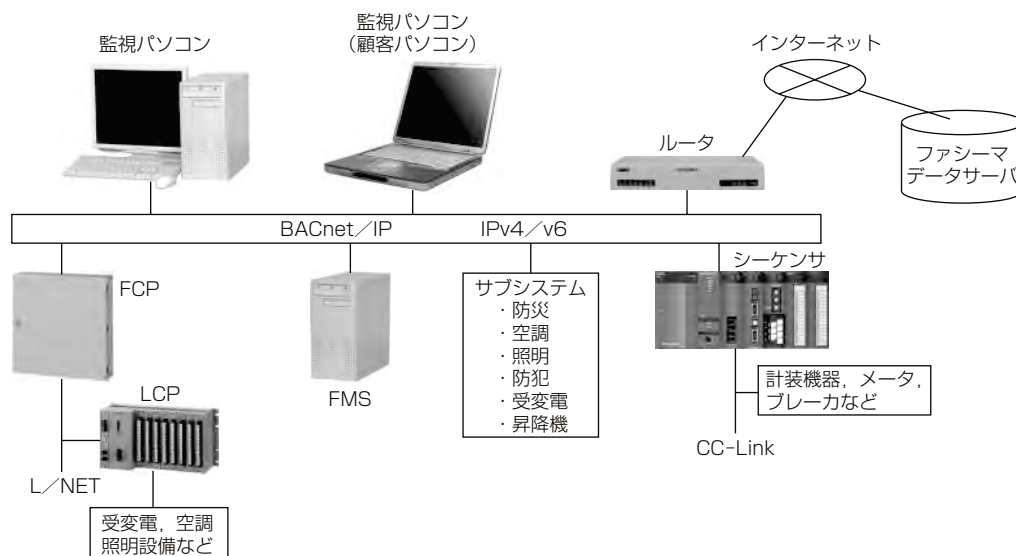


図1. Facima BA-systemのシステム構成

様々なビル設備と容易に接続することを可能としている。

2.2 省エネルギー機能

Facima BA-systemの仕様を表1に示す。省エネルギーに対して有効な機能として、設備機器のスケジュール制御、トレンドグラフ表示やデマンド監視・制御機能などがある。また省資源という意味では、環境に優しいペーパーレス機能もある。

2.2.1 スケジュール制御

スケジュール制御による空調や照明など、機器の自動運転によって省エネルギーを実現することができる。

空調のスケジュール設定画面例を図2に示しているが、Facima BA-systemでは、運転／停止だけでなく、設定温度のスケジュールも設定可能で、よりきめ細かなスケジュール制御による省エネルギー化を実現可能としている。

またこれら運転／停止や温度など値の設定パラメータは、同一画面で設定可能としており、優れた操作性を実現している。

2.2.2 トrendグラフ

すべての管理点のデータを、タイムスタンプとともに自動的に保存可能である。保存期間については表1に示す。

管理点の種類には、計測値や計量値のほか、設備機器の運転状態や運転時間などもある。これらのデータは、最大8個まで色分けし、トレンドグラフとして表示可能である。

例えば、空調機の運転状態、外気温度、設定温度と室内温度のトレンドグラフを図3に示す。設定温度の変更状態や空調機の運転状況によって、室内温度が一定で無駄な運転状況になっていないかなど確認することができる。

2.2.3 ペーパーレス機能

日報・月報・年報などの帳票を紙で印刷する代わりに、PDF形式の電子データも表示・保存可能である。これらのデータは、検索条件を設定することによって、必要なデータのみ高速に検索表示することも可能で、省資源で環境に優しい機能である。

3. ファシーマサポート契約による省エネルギーサービス

Facima BA-systemで蓄積した各ビルの設備(空調、照明や受変電設備など)データは、遠隔にあるファシーマデータサーバに一括集約される。

提案型保守サービスのファシーマサポート契約では、ビル設備の運営ノウハウを持つ“ファシーマプランナー”が、ファシーマデータサーバに集約されたデータを分析するとともに、顧客担当者の“ファシーマサポーター”が、客先ビルの現場でヒアリングしたビル設備の運用情報なども考慮し、当該ビル設備の最適運用など改善プランを提案する。つまり、二つの視点(“データの視点”と“現場の視点”)に基づく改善提案が特長となっている。

(注1) BACnetは、米国冷暖房空調工業会の登録商標である。

表1. Facima BA-systemの仕様

項目	仕様
管理点数	30,000(点)
トレンドデータ	30,000トレンド/システム 保存期間 1分周期 : 40日 1時間周期: 400日 1日周期 : 10年 1か月周期: 10年
日報・月報・年報	150ページ/システム 保存期間 日報: 400日 月報: 10年 年報: 10年
自動検針	50ページ/システム 保存期間: 10年



図2. スケジュール設定画面の例(抜粋)

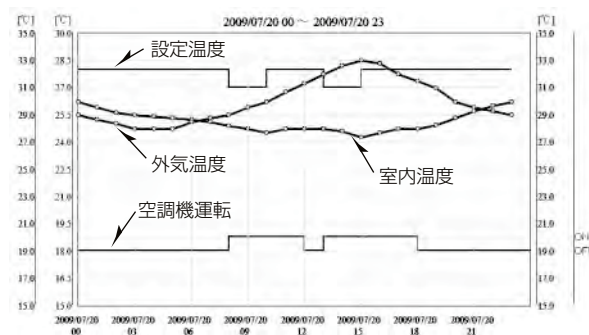


図3. Trendグラフ画面の例

ファシーマサポート契約には、標準サポートの“ファシーマレポート”“エネルギーデータ保管サポート”“システム保守”や“遠隔監視サービス”とオプションサポートの“省エネ法対応サポート”や“管理標準サポート”などがある。次に、その概要について述べる。

3.1 ファシーマレポート

ファシーマレポートには、次の三つがある。

(1) トータル実績レポート(年2回)

ビル設備の運用状況を把握するため、エネルギーの使用実績や設備稼働実績から、ビル設備の総合的な分析・判定を報告する。また、設備ごとの分析結果(判定)によって、運用改善や設備機器の修繕・更新要否なども提案する。分析結果の詳細は、次のエネルギー分析レポートや、設備管理分析レポートで報告する。

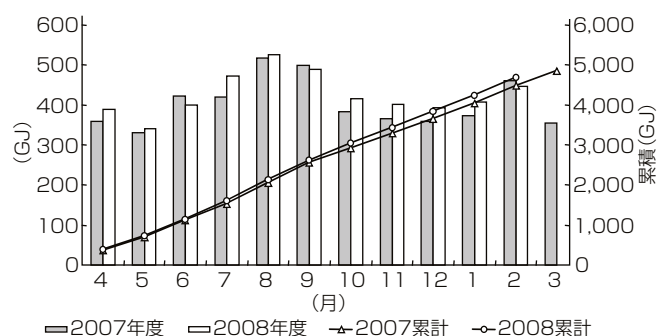


図4. エネルギー使用実績のグラフ(例)

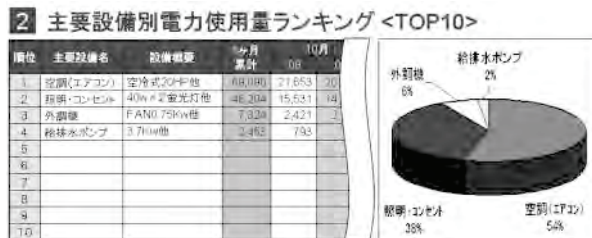


図5. 実績ランキング(例)

図4と図5に、エネルギー使用実績のグラフ例(抜粋)と、実績ランキングの表示例(抜粋)を示す。

エネルギー使用実績では、電気、ガスや油などのエネルギー種別の使用実績や、建物全体のエネルギー消費実績と省エネルギー目標や評価基準との比較結果などを報告する。

実績ランキングでは、フロア別や主要設備別の電力などのエネルギー使用量をランキングで報告する。これによって、エネルギーの過剰消費など運用上の問題点を明らかにする。

(2) エネルギー分析レポート(年1回)

効果的な省エネルギー対策を立案するためのレポートで、エネルギー使用量の急激な増加などの特異ポイントを抽出する。またその要因を分析し、建物の運用状況に応じた効果的な改善提案も実施する。

(3) 設備管理分析レポート(年1回)

ビル設備の運用・修繕・更新を最適化するためのレポートで、運転時間や故障回数の急激な増加などの、設備の運用に関する特異ポイントを抽出する。また、その要因を分析し、効率的な設備運用につながる改善提案も実施する。

3.2 エネルギーデータ保管サポート

改正省エネ法で要求があるエネルギーデータの保管を、顧客に代わり実施するサービスであり、保管データ(最長

5年間)は、いつでも顧客に提供可能で、また年1回データファイルとしてまとめ提出する。

3.3 システム保守と遠隔監視サービス

システムを構成する各機器の定期点検(年2回)などのシステム保守サービスと、システム異常を24時間・365日遠隔にある情報センターで監視し、システム障害発生時に、駆けつけ復旧対応する。

3.4 オプションサポート

(1) 省エネ法対応サポート(年1回)

改正省エネ法に対応した書類(定期報告書や中長期計画書)の作成や、管理標準の運用をサポートするサービスである。

また、小規模ビル向けの遠隔管理サービス“メルセントリーWis”(管理点数12点まで)などと組み合わせることによって、特定事業者として必要な国への定期報告書の作成支援も提供可能である。

(2) 管理標準サポート(年1回)

エネルギー管理の最適化を目的に、省エネルギー推進のための“管理標準”(運転マニュアル)を顧客に代わり作成するサービスで、管理値や設備の運転方法の見直し・変更など、“管理標準”の最適化をサポートする。

4. む す び

“ビルまるごと省エネ”に役立つ“ビル設備運用システム&プランニング Facima”について述べた。

中央監視装置であるFacima BA-systemでは、操作性に優れたスケジュール制御による、きめ細かな省エネルギーの実現、トレンドグラフによる省エネルギーの見える化や、環境に優しいペーパーレス機能などについて述べた。

提案型保守サービスであるファシーマサポート契約では、省エネルギーを実現したい顧客に代わり、省エネルギーに対する様々な作業を全面的にサポートする顧客に有益な提案型保守サービスについて述べた。この省エネルギーに対する作業のアウトソーシングは、特に改正省エネ法によって新たにエネルギー管理対象となる企業にとっては、有効なサービスとなる。

今後は、中央監視装置のFacima BA-systemにおける省エネルギー機能の充実化と、提案型保守サービスのファシーマサポート契約における省エネルギーサービスメニューの拡大・充実化を目指し、更なる省エネルギー化へ対応していく。

“e-F@ctory”による工場省エネルギー

河田 薫*
伊藤恭敏*
木田幸夫**

Energy Saving in Factory by Utilizing “e-F@ctory”

Kaoru Kawata, Yasutoshi Ito, Yukio Kida

要 旨

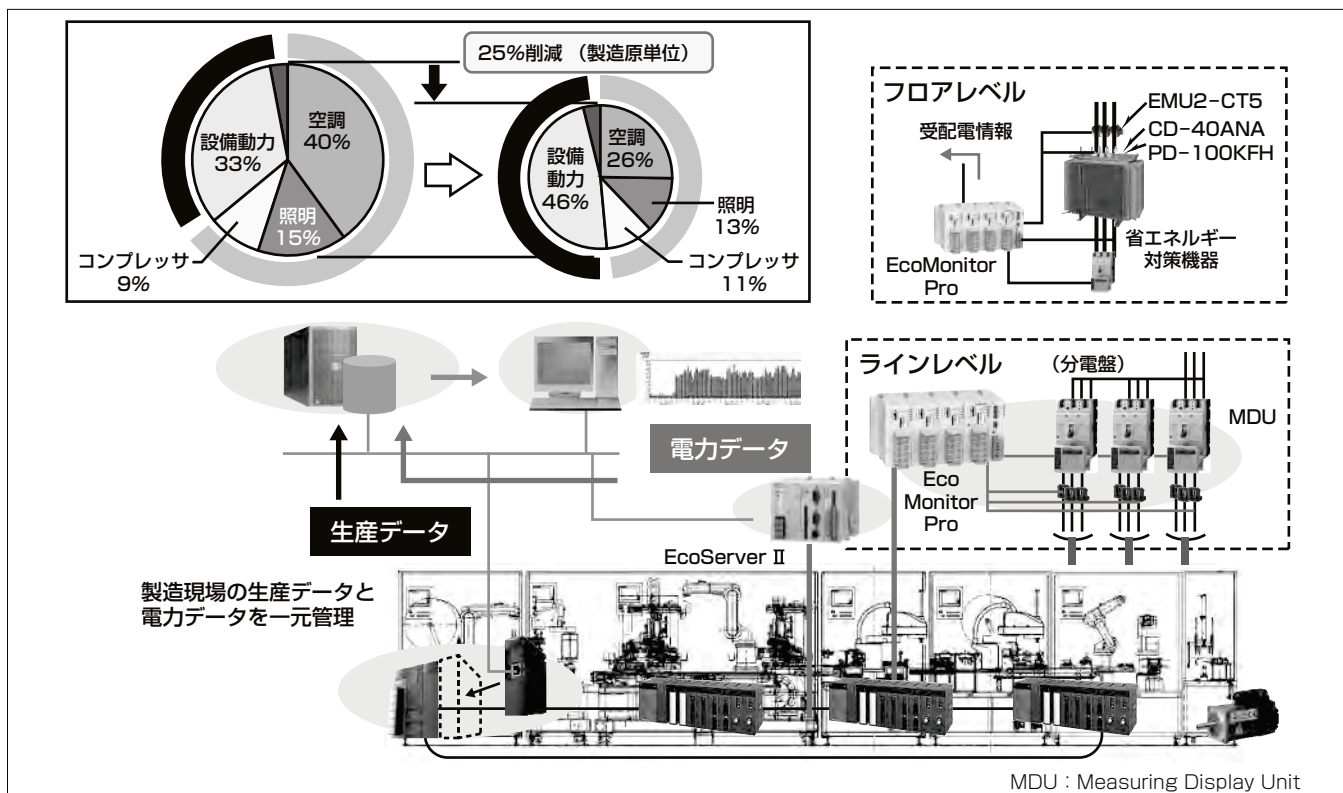
工場における省エネルギーとは、ものづくりにおけるムダ削減と言い換えることができる。人・もの・設備・方法などの複合要因によって生じる製造現場の“ムダ”に対して、設備の高性能化、作業員の教育レベル向上などに代表されるファンダメンタルの強化と、それらの安定稼働を実現する運営・維持管理によって削減の取り組みがなされている。

三菱電機は、製造業ユーザーのTCO (Total Cost of Ownership) 削減に必要な品質・コスト・納期・環境の改善を図るため、製造現場向けの機器、ネットワーク、設計・運用環境を統合したソリューションを提案してきた。機器レベルで省エネルギー対策をするインバータ、高効率モータ、スーパー高効率トランスなどの省エネルギー対策機器の提供とともに、製造現場と情報システム間の連携を強化する情報連携製品によって、運用・管理の面から製造

現場の安定稼働を支援する仕組みとして“e-F@ctory”を提案している。

e-F@ctoryは、“今”を管理する制御システムの中に、製造現場で“今”何が起きているかを把握する機能に加え、データ解析を担う情報システムとの連携機能を持たせることで、エネルギー消費を含めた生産にかかわるデータの一元管理を実現し、製造現場におけるムダ削減を支援する。

設備・ユーティリティ単体レベルでのエネルギー消費挙動の解析結果から、省エネルギー対策機器への更新を促すことに加え、生産活動に寄与しないエネルギー消費を抽出することによって、設備・機器の運用並びに生産形態の改善を図るエネルギー・ロス・ミニマム (EM) 活動を支援する。



e-F@ctoryを活用した“見える化”システム

製造現場における生産実績など直接的に生産活動にかかわるデータと、各設備のエネルギー消費データを一元管理する仕組みを提供する。“フロア単位”“ライン単位”“設備単位”ごとに生産活動とエネルギー消費を関連付けた原単位による管理を実現することで、“設備面でのムダ”に加え、各工程間での段取り作業を含めた“製造過程におけるムダ”を“見える化”し、工場省エネルギーの推進を支援する仕組みを実現する。

1. ま え が き

工場における省エネルギーとは、ものづくりにおけるムダ削減の取り組みと言い換えることができる。マクロ的には生産計画に対する追従性として評価されるこの取り組みは、製造現場における人・もの・設備・方法などの複合要因がもたらす事象の結果であり、設備の高性能化、作業員の教育レベル向上などに代表される製造現場のファンダメンタル強化と、強化された製造現場の安定稼働を実現する運営・維持管理の取り組みからなる。

当社は、製造業ユーザーのTCO削減に必要な品質・コスト・納期・環境の改善に向け、製造設備の高性能化を支える制御機器とフィールドネットワーク、機器レベルでエネルギーのムダ削減を直接的に実現するインバータ、サーボ、高効率モータ、スーパー高効率トランスなどの省エネルギー対策機器、そして全体システムの設計を効率化する統合エンジニアリング環境を提供することによって、製造現場のファンダメンタル強化を支援してきた。

さらに、製造現場と情報システム間の連携を強化する情報連携製品によって、運用・管理の面から製造現場の安定稼働を支援する仕組みとしてe-F@ctory⁽¹⁾を提案している(図1)。

2. e-F@ctoryが提供する機能

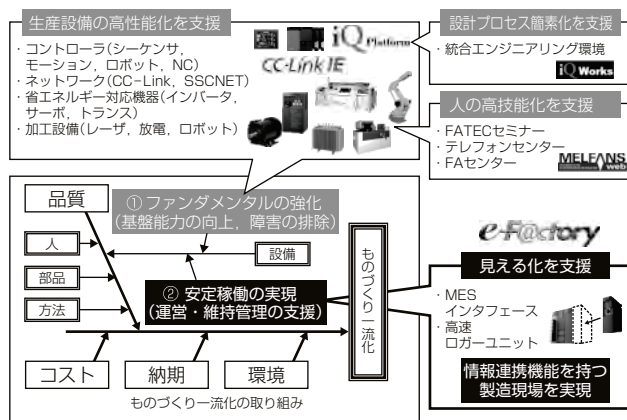
e-F@ctoryは、“今”を管理する制御システムの中に、製造現場で“今”何が起きているかを把握する機能に加え、データ解析を担う情報システムとの連携機能を持たせることで、エネルギー消費を含めた生産にかかわるデータの一元管理を実現し、ものづくり一環化に向けた製造現場におけるムダ削減を支援する(図2)。

MES(Manufacturing Execution System)インタフェース、高速データロガーユニットなどに代表される情報連携製品⁽²⁾は、装置の状態監視、稼働率管理、生産実績管理など様々な目的で活用される製造現場のデータを、作業着手・完了、設備異常の発生など、製造現場における状態変化をトリガーとして簡単に検出・収集する機能を製造現場に付与する。

情報システムとの連携形態についても、MESインタフェースでは、トレーサビリティや品質管理での活用を想定することで、データ間の紐(ひも)付け・関連性を重要視し、検索性の高いデータベースとの直接連携機能を提供する。

高速データロガーユニットでは、設備の状態監視用途などを想定し、より高速のデータ収集機能を持たせるなど、用途に応じた機器を展開している。

これらの情報連携製品が提供する生産現場での状態変化を検出し関連するデータを収集・伝達する機能は、従来実施されてきた設備・ユーティリティ単体レベルでのエネ



製造現場の状態変化を自分で教えてくれる製造現場を実現

図1. 製造現場の安定稼働を支援するe-F@ctory

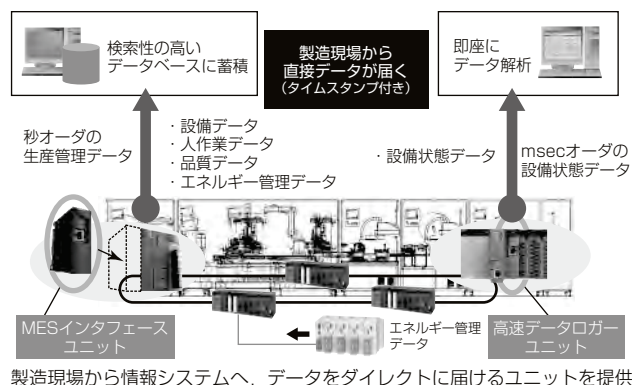


図2. 制御システムの中で自動収集

ギー消費挙動の解析結果を基に省エネルギー対策機器への更新を促す活動に加え、生産にかかわる情報との相関関係から生産活動に寄与しないエネルギー消費を抽出することによって、人・もの・設備・方法の点から設備・機器の運用並びに生産形態の改善を図るエネルギーロス・ミニマム(EM)活動を支援する。

3. EM活動におけるe-F@ctory

EM活動におけるe-F@ctoryの役割は、生産活動とエネルギー消費の相関を“見える化”することによって、建屋単位などのマクロなレベルでの省エネルギーだけでなく、設備の運用や段取り時間削減による製造ライン内の工程改善など、製造現場におけるムダ削減を基本としたミクロなレベルでの省エネルギー・EMを実現するための仕組みを提供することである。

本稿では、e-F@ctoryが提供する“見える化”の仕組みを活用し、省エネルギーを実現した当社の名古屋製作所(サーボモータ工場)と福山製作所(電子モジュール工場)における活動事例について述べる。

3.1 設備更新と運用改善による省エネルギー

今回の事例では、既設工場を対象に導入した“見える化”の仕組みと計測結果について述べ、その結果を基に実施し

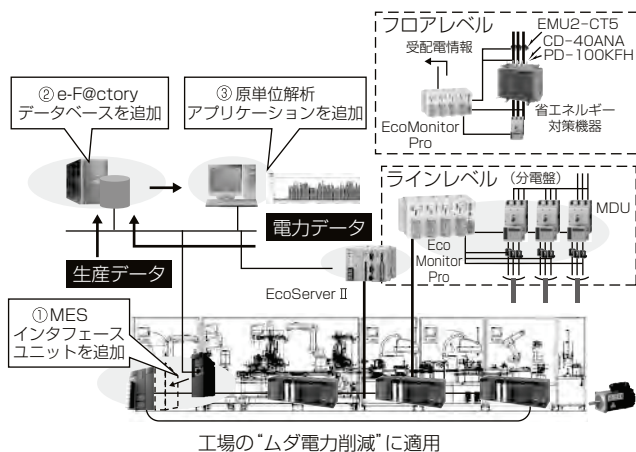


図3. 生産活動とエネルギー消費データの一元管理

た省エネルギー対策機器への更新と運用改善による省エネルギー効果について述べる。

3.1.1 “見える化”の仕組みとしてのe-F@ctory

従来、工場単位での電力計測しか行われていなかった工場で、ユーティリティ（空調、照明、コンプレッサ）の消費電力と、実際の生産活動に使用する製造設備の消費電力を項目別の電力量として計測し、同時に生産活動実績との相関を“見える化”するためのシステムを構築した（図3）。

工場の一次受電部におけるトランスと、各ラインへつながる分電盤のそれぞれに電流センサを取り付けることによって計測されるフロアレベル、ラインレベルでの電力データは、省エネルギー支援機器（“EcoMonitorPro”，“EcoServer II”）を介してサーバに集約される。電力データは、MESインタフェースを介して収集される生産実績などの生産データとともにデータベース上で一元管理されることによって、総電力とユーティリティ、設備などの項目別の電力を“見える化”し、電力の原単位管理を実現する。

3.1.2 ユーティリティ設備の更新と運用改善

名古屋製作所・サーボモータ工場における、製品一個あたりの製造に必要な電力（2.4kWh/個）の計測結果内訳は、ユーティリティ電力64%，設備動力33%となった。

この結果を基にユーティリティ電力の削減を優先課題と設定し、設備ごとに省エネルギー対応機器への更新と運用改善を実施することによって次の効果を得た（図4）。

① エネルギー原単位：25%削減（2.4→1.8kWh/個）

② 生産時のCO₂削減：192t-CO₂/年削減

それぞれの具体的な取り組み内容は次のとおりである。

(1) 受配電設備

① スーパー高効率トランスへの更新

(2) 空調

① インバータ制御空調機への更新

② エリア温度分布測定結果を基に設定温度見直し

③ 熱交換器の清掃頻度見直し など

(3) 照明

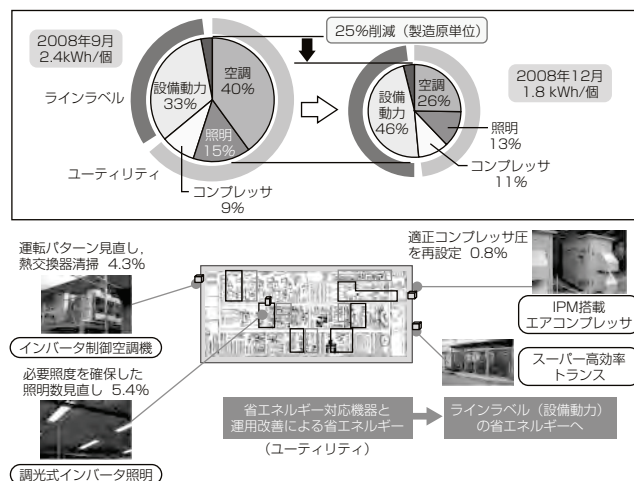


図4. 設備更新と運用改善による省エネルギー

① 調光式インバータ照明への更新

② 照度測定結果に基づく照明数の見直し など

(4) コンプレッサ

① IPM (Internal Permanent Magnet：永久磁石内蔵) モータ搭載コンプレッサへの更新

② コンプレッサ圧の最適化

3.2 製造過程におけるムダ削減

生産活動とエネルギー消費を関連付けた原単位を管理することによって、製造現場に潜むムダを、先の事例で挙げたユーティリティ設備でのムダに加え、各工程間での段取り作業を含めた“製造過程におけるムダ”として“見える化”することができる。

ムダの発生時間・場所・工程が明らかになることで、改善項目の“抽出”→“改善実施”→“効果把握”を行うPDCA (Plan Do Check Action) サイクルを高速に回すことが可能となり、生産性と品質を阻害するムダ削減の効率化を図ることができる。

3.2.1 生産活動に潜むムダ削減による省エネルギー

福山製作所・電子モジュール工場では、当社の省エネルギー支援機器を用い、ラインとライン内の個々の設備を対象とした原単位管理システムを構築した。

生産活動とエネルギー消費の関係を“ライン単位”と“設備単位”の二つの視点から“見える化”する環境を整備することによって、改善課題の抽出範囲を明確化することが可能となる（図5）。

このシステム環境によって、“工程間段取り”“設備運用”そして“人的要因”を課題とした改善を実施することで次の効果を得た。

① 設備稼働率：12%向上（75→87%）

② 段取り時間短縮：50%向上（40→20分/回）

③ エネルギー原単位：41%改善（0.65→0.38kWh/個）

④ 生産時のCO₂削減：29.5t-CO₂/年削減

それぞれの具体的な取り組み内容は次のとおりである。

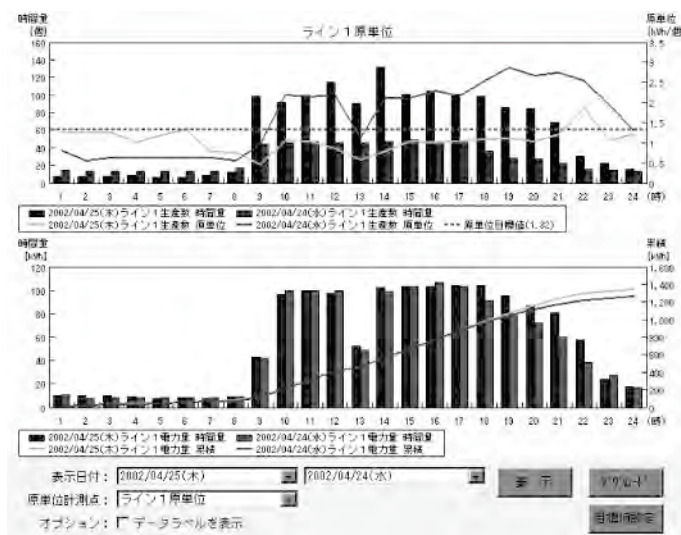


図5. エネルギー原単位グラフの例

(1) 段取り改善

①実装機の固定カセット見直し拡充 など

(2) 設備改善

①実装機の定期メンテナンス化

②絶縁処理装置ヒーター温度変更 (60→40℃)

③リフロー後の冷却ファン制御改善 など

(3) 作業教育

①復旧時間短縮をねらったメンテナンス研修

3.2.2 原因究明までのムダ削減による品質改善

サーボモータ巻線工程の断線、巻乱れによる品質(歩留)改善では、設備の異常停止原因(エラー信号)を履歴管理した静的情報を基に、ビデオによる動的解析が可能なシステムを構築し、原因究明までの時間短縮を図ることで、品質向上を実現し次の効果を得た(図6)。

①ステータ歩留 : 5%向上(92→97%)

②エネルギーの原単位: 5%改善(1.30→1.23kWh/個)

③生産時のCO₂削減 : 5.5t-CO₂/年削減

それぞれの具体的な取り組み内容は次のとおりである。

(1) 断線対策

①ハンド部への電線屑(くず)残り防止対策

②ノズル内径の面粗度改善

③ノズル洗浄方法の見直し など

(2) 巻乱れ対策

①治具(ノズルなど)取付けの再現性向上 など

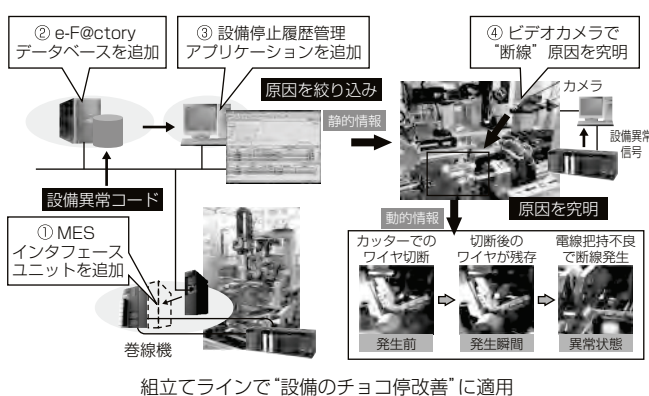


図6. 設備の停止原因究明までの時間短縮

4. 今後の取り組み

環境にかかわるニーズが高まる中で、工場省エネルギーは今後も“設備”“運用”の両面から進むものとする。

e-F@ctoryは、製造現場の“見える化”を支援する仕組みとして、単なる個々のエネルギー計測システムではなく、生産活動と密接に関連付けられたデータを一元管理するシステム実現に必要な機能を強化していく。

ユーザーの自主研究・QC(Quality Control)活動など地道な改善活動によるムダ排除を支援し、生産性向上・品質改善を実現することで、当社自身も生産時のCO₂削減の活動を強化していく。

5. む す び

生産高を基準とした原単位改善からCO₂総量削減へと大きく舵(かじ)をきる“第6次環境計画”がスタートした。

環境に対する企業の社会的責任が重要度を増す中で、工場の省エネルギーには“結果”が求められている。従来のような表面的な省エネルギーだけでは届かない高い目標に対して、工場における“設備”“運用”両面からの省エネルギーを図り、“地球温暖化防止”に向けた積極的な取り組みを当社自身としても推進する所存である。

参 考 文 献

- (1) 渡部裕二, ほか: 製造現場の情報化に向けた取り組み～MESインタフェースによる情報の有機的連携, 計装, 50, No.6, 30～34 (2007)
- (2) 河田 薫: 高速データロギングによる生産設備からのデータ収集ソリューション, 計装, 52, No.8, 50～53 (2009)

パーフェクト・ゼロエミッション —廃棄物最終処分量の徹底削減—

小野裕樹*
谷 尚記*

Perfect・Zero-emission—Recycling All Industrial Waste

Yuuki Ono, Naoki Tani

要 旨

三菱電機グループでは、創立100周年に向けた“環境ビジョン2021”を2007年に策定し、環境経営を推進している。具体的には“製品使用時と生産時のCO₂の排出量削減”“資源の有効利用(3R；Reduce：廃棄物の発生抑制, Reuse：再使用, Recycle：再資源化)の推進”及び“環境マインドの向上”を3本柱とした総合的な活動で、現在グループ一丸となって推進中である。

我が国の廃棄物の再資源化対策は、温暖化対策と比べると具体策やインセンティブに乏しく、再資源物価格の下落もあり、重要との認識はあるものの、停滞気味の感がある。

しかし、資源の有効利用と地球温暖化等の諸問題は一見別々の活動に見えていて、実は非常に密接に関係する。例えばプラスチックを国内で循環利用すると、材料の原油だけでなく原油輸送の燃料、精油やペレット成形のエネルギーまでも削減でき、原料採取～廃棄までのすべてのライフサイクルで地球温暖化防止に寄与できる。また、膨大な廃電子機器や廃自動車は有望な“都市鉱山”と目されており、日本は実は世界有数のレアメタル保有国である。

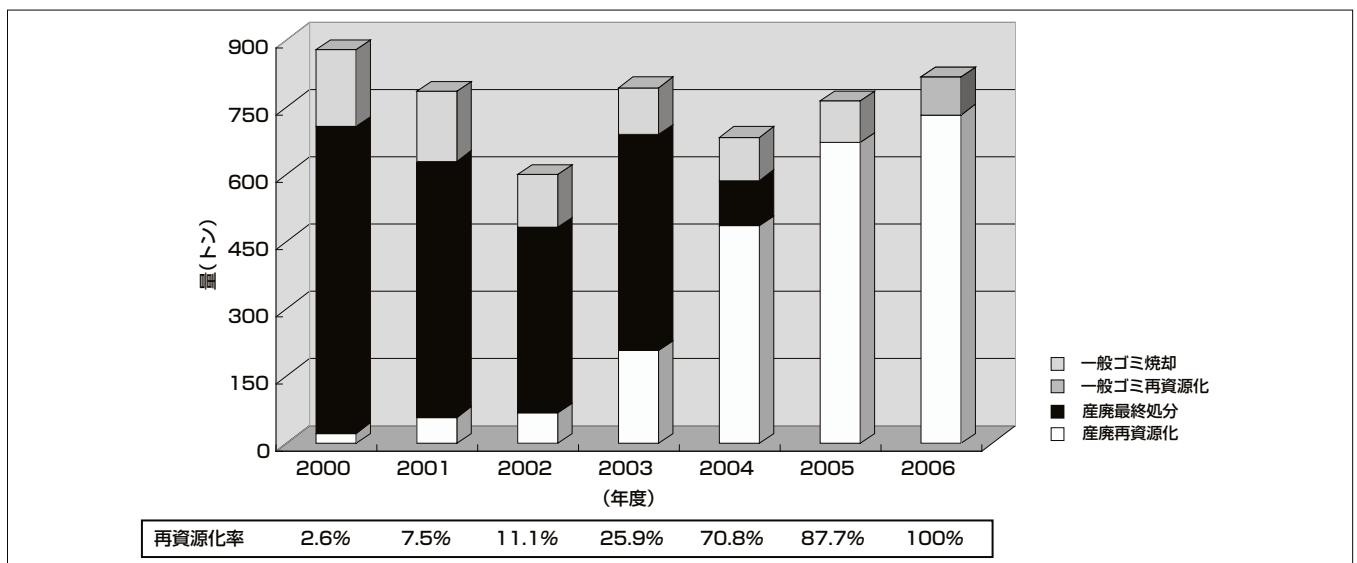
これらを考えると、廃棄物は有用な二次的資源であり、いかに有効に使うか、どう循環させるかは温暖化対策やレ

アメタル確保といった国家戦略とも関係する重要な課題といえる。

三菱電機では1993年からの3年ごとの環境計画で、ゼロエミッション目標を設定し廃棄物削減を推進してきた(当社単独の目標は直接埋立率(直接埋立量/総排出量)0.5%以下、国内関係会社の目標は1%)。2008年度実績は当社単独0.15%、国内関係会社0.99%で目標を達成、当社単独の“ゼロエミッション”達成は5年連続となった。今後は目標を引き上げる。

しかし、当社を含めた世の中の“ゼロエミッション”の考え方は直接埋立てのみを対象としており、例えば“破碎”→“埋立て”や“焼却”→“埋立て”のような処理でも定義上は“直接埋立てなし=ゼロエミッション”となり、本来の資源循環の姿を示した指標とはいえない面もある。

そこで当社長崎製作所は更なる資源循環を目指し、中間処理後も含めた埋立て“ゼロ”の、完全なゼロエミッションとなる“パーフェクト・ゼロエミッション”に取り組み、2006年度末に達成することができた。本稿では、その経緯や再資源化にかかわる種々の取り組み事例について述べる。



長崎製作所 廃棄物発生量及び再資源化量推移

2000年時点では再資源化は廃油等わずかで、“ゼロ・3R”とでもいうべき状況であったが、2002年度に課金制度と産業廃棄物の再資源化加速で再資源化率は上昇する。同じく2002年度の長崎製作所内焼却炉の廃止で総排出量は増加したが、製作所内焼却していた廃棄物の再資源化対策も同時に加速した。それ以後、廃木材、処理困難物(石綿、感染性廃棄物^(注1)等)、一般廃棄物と再資源化を達成し、2006年度で“パーフェクト・ゼロエミッション”を達成した。

(注1) 感染性廃棄物とは、医療行為に伴い排出される注射針、ガーゼ、医療器具等の廃棄物で、感染性があり、取扱いが危険で無害化処理が必要

1. ま え が き

当社長崎製作所は、オーロラビジョン等の“大型映像情報表示装置”，鉄道車両用やビル等で用いる“産業用冷熱・空調機器”，非常用発電機やプラント設備等の“施設環境システム”，鉄道駅等に設置される“可動ホーム柵(さく)”等，様々な個産品を製造する，関係会社を含めると約3,000名の従業員を擁する事業所である(図1)。

その一方で，このように用途の異なる多品種の個産機器を製造しているため，廃棄物の排出も少量多品種の傾向で，量産系の工場と比較すると廃棄物の再資源化活動が困難であったが，保有していた焼却炉の廃止計画を機に2001年度から総合的な3R活動を展開し，“直接委託の最終処分ゼロ”の“ゼロエミッション”ではなく，中間処理後の最終処分までを含めた最終処分ゼロの“パーフェクト・ゼロエミッション”を達成した。本稿では，その活動内容について述べる。

2. 活動概要と経緯

2.1 “ゼロ・3R”から“ゼロエミッション”へ(2001～2003年度)

最初に注力したのが，当時埋立て及び焼却がほとんどであった“産業廃棄物”の再資源化であるが，当時は地元で再資源化に取り組む施設や業者が少なく，検討は行き詰まっていた。しかし，視点を変え，県外(主に福岡，北九州)での環境ビジネス，3Rの見本市，展示会，3R施設に積極的に足を運び，技術や再資源化施設の運用等を学び，これを活用して“長崎から北九州，山口地区との広域運用”で再資源化促進の糸口をつかみ，それ以降プラスチック類を皮切りに，汚泥，木材，処理困難な感染性廃棄物等も含め，ほぼすべての産業廃棄物の再資源化を達成した。同時に一般的な管理・啓発活動だけでなく，製作所内に対して“廃棄物処理費の課金制度”を順次適用し，廃棄物発生抑制を図った。

2.2 一般廃棄物の再資源化と“ゼロエミッション”の更なる追求(2004～2005年度)

次に取り組んだのは“一般廃棄物”の再資源化である。当



図1. 三菱電機 長崎製作所

製作所の“パーフェクト・ゼロエミッション”のためには，一般廃棄物の再資源化が必要であるが，3Rに積極的な廃棄物業者と連携・協力して，数社が再資源化に限った“一般廃棄物処理の許可”を行政から取得することを促し，当製作所の“一般廃棄物”を許可取得業者に順次委託を切り替えて，再資源化を実現した。

また，同時期に中間処理業者に対して，中間処理後の処分先を順次サーマルリサイクルや高炉熔融，建材化等へ転換することを促した。さらに，3R視点の設計部門への遡及(そきゅう)によって，包装・梱包(こんぼう)材の改善や，DFE(Design for Environment)^(注2)の視点で構造の変更，部品輸送の改善等も実施した。

2.3 “パーフェクト・ゼロエミッション”達成と全方位の廃棄物処理の改善展開(2006年度以降)

さらに再資源化を追求し，熔融処理や無害化処理等を活用して埋立て最終処分をなくし，すべての廃棄物の再資源化を達成した。同時に，サーマルからマテリアルに変更する等リサイクルの“質”の改善も実施した。また，従来連携がなかった地元と北九州・山口地区の処分業者間を仲介し連携させ，地域としての再資源化ルートを開拓し，また改正省エネ法の廃棄物物流CO₂削減を見据えた，回収便の他用途活用，ロット大型化及び周回運用等による廃棄物物流の改善も実施した。

これらの活動で，完全再資源化のほか年間約1,300万円の処理費用を削減(2002～2006年度平均)するとともに，この管理や改善活動の経験，ノウハウを全社の技術委員会等を通じて他製作所及び関連会社に展開し，契約業者の共通巡視スキーム立案，業者の管理強化，業務効率化活動を実施した。製作所内では環境及び廃棄物関連の規程整備や教育実施，廃棄物関連資格者の整備や製作所内広報紙“かわら版”での社員啓発等を幅広く展開している(図2)。

(注2) 環境適合設計，環境に影響の少ない製品やサービスの設計



図2. 所内広報誌“かわら版”による周知

3. 活動の特色とポイント

3.1 “パーフェクト・ゼロエミッション”を達成

一般的な“ゼロエミッション”の定義は“直接最終処分ゼロ”であるが、実際は中間処理が単純焼却であったり、中間処理後に焼却や埋立てがあったりする場合が多い。当製作所が目指したのは、中間処理後の最終処分までを含めた単純焼却や埋立てレスの“最終処分なし”であり、当製作所では“パーフェクト・ゼロエミッション”と呼び、これを達成した。

3.2 廃棄物業者、行政と連携した一般廃棄物の再資源化

“一般廃棄物”は通常、行政での処理（通常は単純焼却処理）が一般的で、法的な制約もあり、排出事業者側での再資源化が非常に困難でゼロエミッション推進上の“高いハードル”である。一方の行政側も施設の老朽化と処理量の大幅増加で、“一般廃棄物”処理は廃棄物行政上の難題になっていた。

そこでリサイクル施設を導入し、3Rに積極的な廃棄物業者と連携し、“一般廃棄物処理の許可”を行政から取得するための、事業計画、再資源化計画、行政との折衝の様々な項目を支援し、長崎県及び市内で数社が再資源化に限った“一般廃棄物処理の許可”を取得した。これに合わせ、当製作所の“一般廃棄物”をそうした許可業者に順次委託、再資源化した。

3.3 廃棄物物流の改善

往路空車便の活用（資材運搬等）（図3(a)）、長距離便の集

約（図3(b)）、他社運送の往・復路便（空車）の有効活用（図3(c)）、またロット大型化及び周回運用、数工場で大規模トラックを運行する“連携共同運行”（図3(d)）等を実施し、“輸送便の最適化”による廃棄物物流の改善を行った。

現在では事前に運行情報が業者から寄せられ、相乗りやロットの調整を行っている。

3.4 課金制度によるムダ取りや排出抑制

当製作所のような製造業では、生産管理部門が工場を一括管理して費用も含め廃棄物管理を実施するが、このスキームを大改革し、“排出への責任と相応の費用負担”いわゆる廃棄物処理法（廃掃法）の原則を踏まえ、部門ごとの“従量課金制度”とした。使用量に対し管理責任を持ってもらうとともに、各部門の工夫や努力を促した。その結果、廃棄物排出量の大きな削減に結びついた。

3.5 廃棄物担当から、設計など物作りの上流にさかのぼった、3R活動の実施

当製作所へ輸送される部品や半完成のユニット等の輸送梱包を、設計部門や生産管理部門と協力して改善し、梱包、廃却とのトータルコストの削減につなげた。また、当製作所製品の梱包や輸送形態を見直し、物流CO₂削減、現地での廃棄物削減、再資源化容易性向上を図った。現在では、設計・生産部門との連携したDFE活動の中で、製品開発時のチェック項目としている。

3.6 廃棄物に関連する諸問題を見据えたリスク回避

廃棄物処理は法規制、行政、業者、社会問題に大きく左右される。また、不法投棄等での排出者責任遡及もあり、

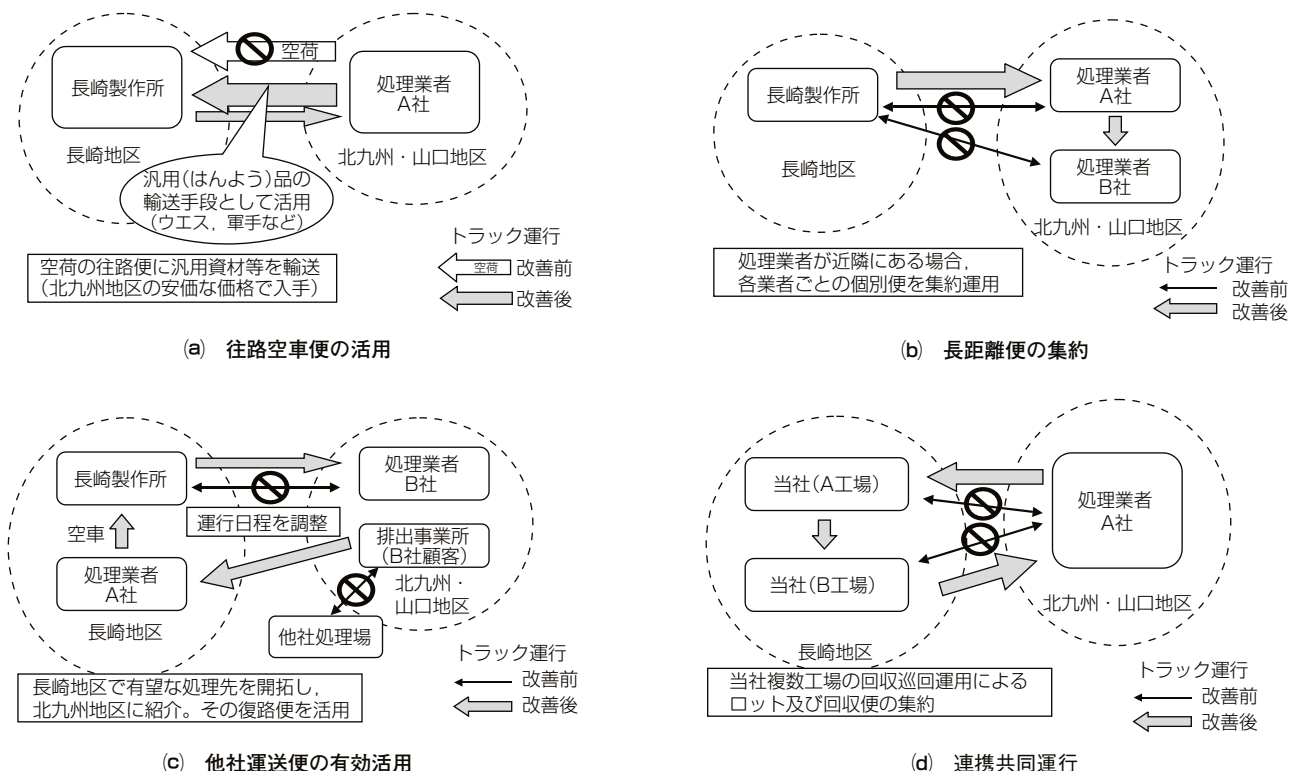


図3. 廃棄物物流の改善

これらのリスクを事前に予見するための、要因となる諸動向を常にウォッチし、兆候をとらえたらすみやかな回避処置(業者の切替え、最終処分先の変更、収集運搬方式の指示など)を実施している。この結果、焼却炉・石綿・廃木材対策、産廃税や値上げ回避、問題のある業者への委託回避等で、管理上の措置や単純値上げなどの負担増を事前に回避した。

3.7 再資源化と処理コスト削減の改善両立

間接費用である廃棄物処理費用の削減は企業の命題である。環境面と経営両面への貢献を図るため、処理技術の使い分け、費用相場の熟知、税制・法規制を見据えた処理変更、運用効率アップを図り、費用削減と再資源化を両立させた改善を実施し、年間平均1,300万円(2002～2006年度平均)の費用削減で経営に貢献した。

3.8 社内の技術委員会活動を通じた諸活動

ローカル性のある廃棄物管理は他の分野のように基準類やマニュアル類が整備しづらいが、2007年問題やベテラン層の退職に対応するための、廃棄物管理業務における標準類(業務マニュアル、業者評価、巡視ポイント等)を整備し、同時に担当者同士が業務上の疑問、難問、業者情報を相談・解決できる社内ネットワークを関係者と協力し構築した。関西地区を皮切りに、現在は社内廃棄物分科会の下で地区ごとの廃棄物ワーキンググループが始動しつつある。

3.9 ドキュメント類のセキュリティ対策と再資源化両立

近年、企業機密、個人情報流出問題が多発する中、ドキュメント類の古紙扱い(再資源化)をやめ、裁断や焼却によって機密確保する事例が増えているが、当製作所では再資源化可能な機密書類の裁断処理をオンサイトで実施し、裁断紙を再生紙へと再資源化し、文書セキュリティ強化後も機密保持と再資源化を両立させている。

3.10 廃棄物業者との協力、ガバナンス

廃棄物業界では一部に旧態依然の業者もあり、円滑なコミュニケーション、指導等が難しい面があるが、単に“業者の管理”ではなく大手から個人経営まで様々な規模・レベルに目線を合わせた、個別の改善、管理面の指導(図4)、連携の提案・橋渡し、他の地区の再資源化業者紹介等、廃棄物業者への支援も日常的に行っている。



図4. 廃棄物業者への訪問

4. む す び

今回の改善は、単に“当製作所だけ”の利益・都合を考えるとなく地域、社会、環境問題としてどうあるべきかを念頭に置き、行政、地元及び遠方の廃棄物業者、運搬業者等、広域かつ様々な役割のステークホルダーと対話し、協力を得て達成できたものであり、この場を借りてすべての関係者に御礼申し上げる。

最後に、この活動を通じて、廃棄物、環境の諸活動に必要な原動力は、“スキル”や“知識”“経験”よりも重要な要素として、自然、生態系や生活環境そして地球を守ろうとする“心”，いわゆる“環境マインド”を挙げたい。担当者だけでなく、組織全体としていかに醸成し、種々の行動につなげていくかが大切であり、環境経営やCSR(Corporate Social Responsibility)等が謳(うた)われるようになった今日でも、原点はやはりこの“環境マインド”ではないかと考える。

今後もこの“環境マインド”を育(はぐく)みつつ、三菱電機グループが掲げるコーポレートステートメント“Changes for the Better(常により良いものを目指して変革していく)”にのっとり、更に高い次元での環境並びに廃棄物処理の改善活動を展開していきたいと考えている。