

# MITSUBISHI

## 三菱電機技報 Vol.82 No.3

2008 **3**

特集Ⅰ「空調,給湯機器の省エネルギーと高機能化」  
特集Ⅱ「産業加工機」



## 目次

### 特集Ⅰ「空調，給湯機器の省エネルギーと高機能化」

冷媒選択と事業戦略……………1 飛原英治
空調・給湯機器の省エネルギー化技術の開発状況……………2 飯嶋 等・榎本寿彦・幸田利秀
圧縮機構造“熱かめ固定”採用高効率ツインロータリ圧縮機 ……7 加藤太郎・新井聡経
プロペラファンの高効率・低騒音化技術……………11 中島誠治・山田彰二
寒冷地向けエアコンの暖房能力向上技術……………15 齊藤 信
ルームエアコン“霧ヶ峰ZWシリーズ”……………19 牧野浩招
10馬力ワイドリプレースインバータの 省エネルギー・コンパクト化……………23 馬場正信・四十宮正人・本村耕二郎
設備用インバータエアコンの高機能化……………27 松浦雄司・青山 豊・堀本武志
業務用エコキュート……………31 大林誠善・阿部敏郎・矢野賢司・岡崎多佳志・加藤央平

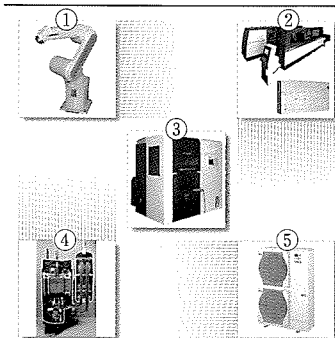
### 特集Ⅱ「産業加工機」

ものづくりへの回帰……………35 正垣信雄
産業加工機におけるコア技術の現状と将来動向……………36 今井祥人
新型産業用ロボット“RV-SQ/SDシリーズ”の特長……………41 石川高文
新型ロボットコントローラに搭載したモーション制御機能……………45 前川清石
航空機エンジン部品対応“MSCoating”……………49 岡根正裕・後藤昭弘・寺本浩行・中村和司
高品位超硬加工システム“A.S.C”……………53 中島洋二・石原秀一郎・瓦井久勝
新型炭酸ガス二次元レーザ加工機“ML3015NX-60CF-R”……………57 杉原和郎・井上 孝・北川岳史
プリント基板用新型レーザ加工機“ML605GTWⅡ-5150U”……………61 金田充弘・鉦館俊之・内山研吾

Heat Pump Technologies Development for Energy Conservation and High Performance of Air-conditioner and How-water-system Business Strategy for a Selection of Refrigerants Eiji Hihara
Recent Heat Pump Technologies for Energy Saving Hitoshi Iijima, Toshihiko Enomoto, Toshihide Kouda
Twin Rotary Compressor with Caulking Assembly Innovation Taro Kato, Toshinori Arai
Technologies of Improving Efficiency and Noise Decreasing of Propeller Fan Seiji Nakashima, Shoji Yamada
Improvement of the Heating Capacity of Air Conditioners for Cold Region Makoto Saito
Room Air Conditioner “Kirigamine ZW Series” Hiroaki Makino
10HP Business Use Air Conditioner for Energy Saving and Compactification Masanobu Baba, Masato Yosomiya, Kojiro Motomura
Functional Enhancement of Air Conditioning System Yuji Matsuura, Yutaka Aoyama, Takeshi Horimoto
Heat Pump Water Heater Using CO <sub>2</sub> for Commercial Use Tomoyoshi Oobayashi, Toshiro Abe, Kenji Yano, Takashi Okazaki, Yohei Kato
Mechatronics “Monozukuri” Renaissance Nobuo Shogaki
Present and Future Trend of the Core Technologies in the Industrial Processing Machine Yoshihito Imai
Feature of New Industrial Robot “RV-SQ/SD Series” Takafumi Ishikawa
Motion Control Functions for Industrial Robots Kiyoshi Maekawa
“MSCoating” for Aircraft Engine Parts Masahiro Okane, Akihiro Goto, Hiroyuki Teramoto, Kazushi Nakamura
High Quality Hard Metals (WC-Co) Machining System “A.S.C” Yoji Nakajima, Shuichiro Ishihara, Hisakatsu Kawarai
CO <sub>2</sub> 2D Laser Processing System “ML3015NX-60CF-R” Kazuo Sugihara, Takashi Inoue, Takeshi Kitagawa
Laser Drilling System “ML605GTWⅡ-5150U” Atsuhiko Kaneda, Toshiyuki Hokodate, Kengo Uchiyama

### 特許と新案

「放電加工装置用電源装置」「産業用ロボット」……………65
「給湯器」「貯湯式給湯器及びその浴槽追焚き制御方法」……………66



#### 表紙：産業加工機

この特集は、三菱電機の最新の産業加工機を紹介したものである。

表紙の写真は、それぞれ、①新型ロボットコントローラ“RV-12SQ”，②二次元高生産板金レーザ加工機“ML3015NX-60CF-R”，③超高精度ワイヤ放電加工機“PA05S”である。

#### 表紙：空調，給湯機器の省エネルギーと高機能化

この特集は、三菱電機におけるヒートポンプ応用製品である空調機と給湯器の省エネルギー化や高機能化に関する技術開発状況について述べたものである。

表紙の写真は、④パッケージエアコンに搭載した高効率ツインロータリ圧縮機，⑤暖房能力を向上した店舗用パッケージエアコンの外観である。

# 空調・給湯機器の省エネルギー化 技術の開発状況



飯嶋 等\*



榎本寿彦\*\*



幸田利秀\*\*\*

Recent Heat Pump Technologies for Energy Saving

Hitoshi Iijima, Toshihiko Enomoto, Toshihide Kouda

## 要旨

地球環境保護の観点から温暖化防止、省資源化は世界的規模で積極的に取り組まれており、空調・給湯機器でもこれらの要求にこたえて行くことが必要不可欠となっている。

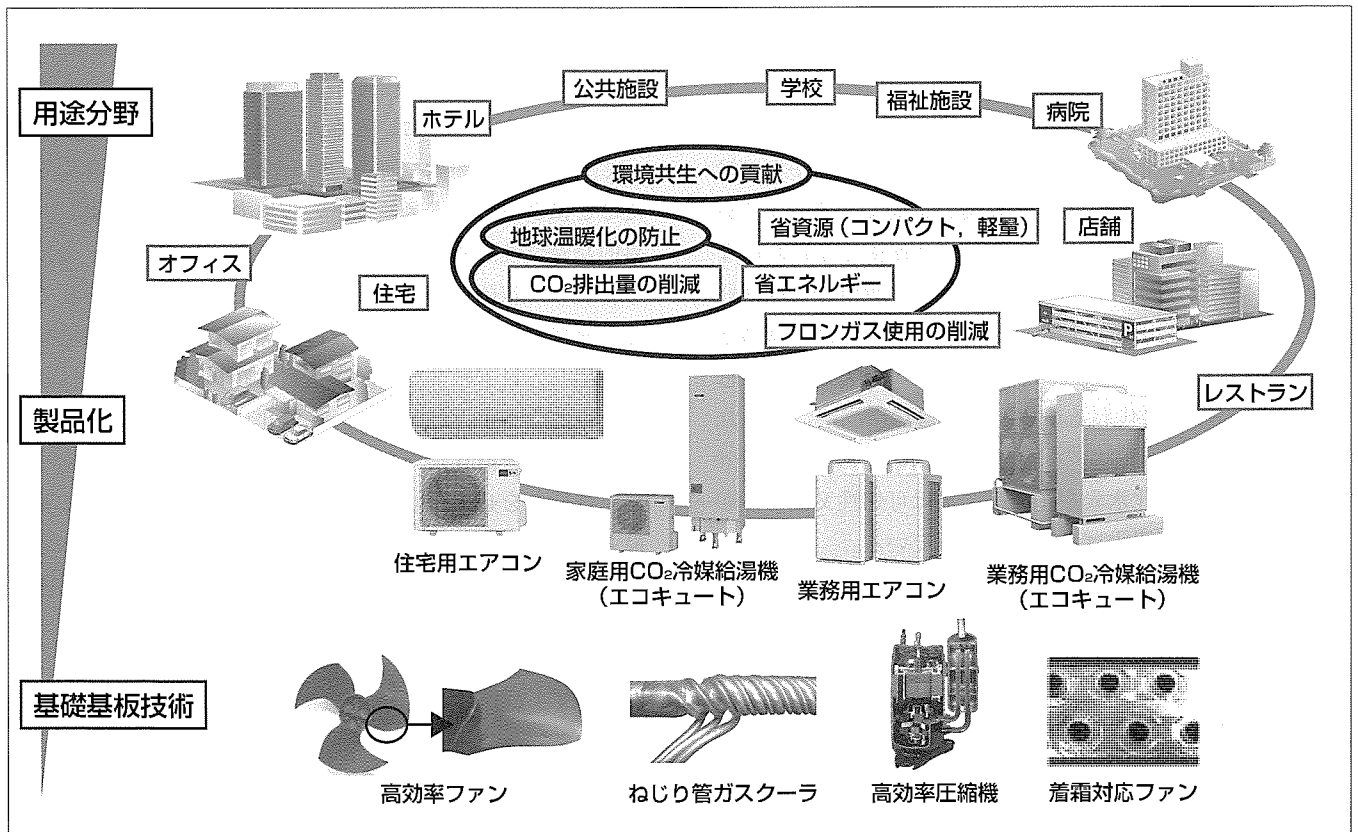
日本国内の温暖化対策としてエアコンでは省エネルギー規制として目標達成年度と目標基準値、COP(Coefficient Of Performance)及びAPF(Annual Performance Factor)を設定し省エネルギー化が推進されている。この目標基準値は運転時のエネルギー消費効率を規制するものであるが、三菱電機では機器製造、メンテナンス、リニューアルといった多面での省エネルギー化、省資源化に対する技術開発を進めている。

具体的には製造段階では機器の高効率化によってコンパクト化・軽量化(省エネルギー、省資源化)、運転時ではセ

ンサ技術による人の在不在検知によるエアコンのON-OFFや室温設定値変更、位置検知に基づくエリア空調による省エネルギー運転、メンテナンスでは冷媒漏れ検知などによる効率低下を運転監視、早期に修理保全(省エネルギー)、リニューアル時では既設配管利用を可能とするリプレース技術(省資源)を開発し製品化している。また、京都議定書による温室効果ガスの排出規制として指定された冷媒の充填(じゅうてん)量低減及び自然冷媒へ転換する適用技術を開発中である。

本稿では、省エネルギー規制動向、脱フロンとしてのFガス規制動向と、当社における空調・給湯機器の省エネルギー化技術開発について述べる。

特集  
I



## 空調・給湯機器の省エネルギー、省資源化に対する当社の技術開発の取り組み

空調・給湯機器の省エネルギー、省資源化に対し、圧縮機、送風機、熱交換器など要素機器の高効率化、メンテナンスでの運転監視による効率低下運転の監視、リニューアルにおける既設配管を可能とするリプレース技術を開発した。また、温室効果ガスの充填量低減、自然冷媒化などの技術開発を展開し製品化を行っている。

## I 冷媒選択と事業戦略

## Business Strategy for a Selection of Refrigerants

飛原英治  
Eiji Hihara

民生用機器の中でエネルギーを最も多く消費する機器でもある空調・冷凍機器は、化石燃料資源の節約やエネルギー消費に伴う温室効果ガスの排出量の削減のために、効率の向上や環境負荷の小さい冷媒への転換が求められてきた。

環境負荷を定量的に見積もるには、ライフサイクルアセスメントという手法が使われる。冷凍・空調機器を対象として地球温暖化に注目した評価法にTEWI(総等価温暖化影響)やLCCP(ライフサイクル温暖化特性)があり、冷媒選択を定量的に検討するときに使われる。冷凍・空調機器では、使用時のエネルギー消費が多いため、製造時や廃棄時の環境負荷が小さい冷媒より使用時のエネルギー消費効率の高い冷媒を選択すべきだと言われる。

現在、地球温暖化防止のために特に空調関係(定置用、自動車用を含む)の冷媒の将来が各方面で議論されている。空調用の冷媒として最も使われているHFC(ハイドロフルオロカーボン)のGWP(地球温暖化係数)は1,000程度と大きい。エネルギー消費効率が高いため、廃棄機器からの冷媒回収を適切に行えば、今後も使用を継続できるとする見方と、いずれはGWPの小さい冷媒へと転換しなければならないという見方が存在する。後者は、廃棄時の冷媒回収には限界があることと、使用時やメンテナンス時の機器からの漏洩(ろうえい)(スローリークという)が大きいことに由来する。HFCに代わる冷媒として自然冷媒が注目されているが、自然冷媒の中の二酸化炭素はエネルギー消費率が低いこと、炭化水素やアンモニアは可燃性又は毒性があることなど、克服すべき欠点を持っている。

EU(欧州連合)では、2006年MAC指令(Directive 2006/40/EC)によって、カーエアコン用冷媒として、

GWPが150を超える冷媒は2011年から新型車への使用が禁止されることになった。現在のR134aは使用できなくなり、代替冷媒として二酸化炭素か低GWP冷媒(フッ素系化合物でGWPが150以下の冷媒)か、目下大論争中である。低GWP冷媒は、HFCと同程度のエネルギー消費効率を得られるが、人工化合物であるという点で、欧州の環境団体は反対している。このような規制はいずれは定置用空調機へも拡大するだろう。そのとき、企業はどのように対応すべきであろうか。企業の開発負担を軽減するためには、現在のHFC規制に反対し、それでも規制を阻止できないときには、フッ素系の低GWP冷媒を使用すべきだと主張するのだろうか。

私の考えは少し異なる。空調機用冷媒の歴史を思い返すと、オゾン層保護のために塩素を含む冷媒が禁止され、R407CやR410AなどのHFC系混合冷媒が開発された。混合冷媒を使用するために、日本のメーカーは世界の先陣を切って多くの技術開発投資を迫られたが、その困難を克服したことによって日本メーカーの技術力は格段に向上し、世界的な優位性を確立することができた。現在は、その技術も普及し、韓国や中国のメーカーに価格競争を迫られている。価格競争の中に埋没しないためには、次なる環境制約を利用し、日本のメーカーの技術的優位性を継続すべきではないだろうか。たとえば、二酸化炭素を使いこなして高いエネルギー消費効率を実現するのは極めて困難で、一層高い技術力を必要とする。二酸化炭素を使いこなすことに最も近いところにいるのは日本のメーカーだろうから、環境規制に反対するのではなく、それを利用するのが技術戦略と思える。これは暴論だろうか？

## 1. ま え が き

地球環境保護の観点から温暖化防止、省資源化は世界的規模で積極的に取り組まれており、空調・給湯機器でもこれらの要求にこたえて行くことが必要不可欠となっている。

これらの温暖化防止や省資源化の要求に対応し、当社では機器製造時から使用時、メンテナンス、リニューアルの多面で取り組みを行っている。

機器製造時では機器の高効率化によるコンパクト化・軽量化(省エネルギー、省資源)、使用時はセンサ技術による人の不在検知によるエアコンのON-OFFや温度設定変更、位置検知に基づくエリア空調による省エネルギー運転、メンテナンスでは冷媒漏れ検知など効率低下を運転監視(省エネルギー)、リニューアル時では既設配管利用を可能とするリプレース技術(省資源)を開発し製品化している。また京都議定書で温室効果ガスとして指定された冷媒の低減では、機器の高効率化による充填量低減及び設置時の最適充填量検知技術を開発、CO<sub>2</sub>業務用ヒートポンプ給湯機を開発し既に製品化、そしてさらに、現在、業務用エアコンの自然冷媒適用技術を開発中である。

本稿では、省エネルギー規制動向、脱フロンとしてのFガス規制動向、当社における空調・給湯機器の省エネルギー、省資源、脱フロン化の技術開発について述べる。

## 2. 空調・給湯機器の環境変化

### (1) 省エネルギー規制

家庭用エアコンの省エネルギー規制は2004冷凍年度及び2007冷凍年度の冷暖兼用機は冷暖平均エネルギー消費効率(冷暖平均COP)で目標基準値が設定されていたが、2010冷凍年度以降の各年度では表1に示す通年エネルギー消費効率(APF)で基準値が設定され、エアコンは通年で使用されるため使用実態により合った形の基準に変更された。また、業務用エアコンは、現在、表2に示す冷暖平均エネルギー消費効率COPで目標基準値が設定されているが、

表1. 家庭用エアコンのAPF基準値(冷暖兼用)

冷房能力	区 分		APF
	室内機寸法のタイプ	区分名	
3.0kW以下	寸法規定タイプ	A	5.8
	寸法フリータイプ	B	6.6
3.2kW超4.0kW	寸法規定タイプ	C	4.9
	寸法フリータイプ	D	6

表2. 業務用エアコンのCOP規制値(冷暖兼用)

区 分	冷房能力		
	~4kW	~7.1kW	~28kW
壁掛け	3.65	3.17	3.1
直吹き・その他	3.2	3.12	3.06
ダクト接続	3.02	3.02	3.02
マルチタイプ	4.12	3.23	3.07

家庭用と同様のAPFに変更するため検討が行われている。

### (2) 欧州Fガス規制

規制の目的は京都議定書の対象であるフッ素化温室効果ガス、HFC(ハイドロフルオロカーボン)、PFC(パーフルオロカーボン)、SF<sub>6</sub>(フッ素化硫黄)を封じ込め、削減することである。このため、フッ素化温室効果ガスの封じ込めとして、固定式の冷凍機、空調、ヒートポンプ機器については、2007年7月4日から、地球温暖化係数GWPが150以上のガスに対し、次の①~④が義務付けられている。②のラベル表示では使用冷媒名、工場出荷時の機器への冷媒充填量、現地で据付時の追加充填量、合計充填量が記載される。

- ① 認定されたオペレータによる定期的な冷媒の漏洩(ろうえい)検査、漏洩検知時の早急修理漏洩を阻止
- ② 機器へのラベル表示(フッ素化温室効果ガスの使用と量の明記)
- ③ フッ素化温室効果ガスの回収、再生、破壊
- ④ フッ素化温室効果ガスの生産者、輸入者、輸出者は欧州委員会への報告と当該メンバー当局への情報送付

## 3. 基盤技術開発状況

### 3.1 冷媒回路

冷媒回路の効率向上に有力な手段の一つに過冷却回路がある。この方式は、凝縮器で適当な過冷却度まで冷却された液冷媒を冷媒回路の低温部分と熱交換することによって外気温度以下まで追加冷却し、蒸発器で利用できるエンタルピを拡大する方式である。これによって少ない冷媒流量で同一の冷暖房能力を出せるため圧縮機の動力が減少し、効率が向上する。追加冷却によるエンタルピ拡大効果は、液冷媒の比熱が大きな冷媒ほど大きくなり、CO<sub>2</sub>もこの方式に適した冷媒である。当社の高効率機器に製品導入した過冷却回路は、次の4種類に分類できる。

#### (1) 高低圧熱交換(図1(a))

凝縮器出口の高圧の液冷媒を低温の圧縮機吸入配管で冷却する方式であり、家庭用及び業務用のCO<sub>2</sub>冷媒給湯機に導入した。過冷却による省エネルギー効果だけでなく、CO<sub>2</sub>冷媒に必要な蒸発器のドライアウト防止と圧縮機の吸入過熱度維持を両立する方式として有効に機能する。

#### (2) 過冷却インジェクション(図1(b))

凝縮器出口の液冷媒を分岐、減圧した低温冷媒によって冷却し、同時に分岐した低温冷媒を二相状態で圧縮機へインジェクションする方式であり、寒冷地向けパッケージエアコン<sup>(1)</sup>、ビル用マルチエアコンに導入した。過冷却拡大効果と低外気の高圧縮比運転の吐出温度制御によって外気温度-20℃の暖房能力を従来比で2倍に増強した。また、チラー<sup>(2)</sup>ではデュアル過冷却によって効率が20%向上し、COP4.0を実現した。

(3) サブ過冷却回路(図1(c))

メイン回路の凝縮器出口をサブ過冷却回路の蒸発器で冷却する方式であり、店舗改装に伴う冷却器増設に対応した冷凍機能力増強システム<sup>(3)</sup>に導入した。冷媒は、メイン回路が低温用のR404A、サブ過冷却回路は空調用のR410Aを用いることによって、メイン回路の冷凍能力は、35HPから45HPに拡大し、システムCOPは冷凍条件(蒸発温度-40℃)で20%、冷蔵条件(蒸発温度-10℃)で6%向上した。

(4) 系統間熱移動(図1(d))

空調機の低温配管を冷凍機の凝縮器出口の高温配管で加熱し、冷凍機の排熱を空調機の暖房能力へ回収する方式であり、コンビニエンスストア向け冷凍・空調複合システムへ導入した<sup>(4)</sup>。暖房運転では冷凍機の排熱回収によって27%、冷房運転でも冷凍機の過冷却拡大効果によって11%、年間で17%の省エネルギー効果が得られた。

このように過冷却回路は、省エネルギー技術のなかで重要な位置付けにあり、今後も自然冷媒の冷媒回路、熱回収・熱移動システムで冷媒制御と組み合わせた方式を開発する。

3.2 熱交換器

熱交換器の解析手法は、熱回路網法や冷媒回路と組み合わせたシミュレーションが確立され、精度良く性能を推定することが可能となり、様々なフィン形状やスリットパターンを開発した。しかし外気温度の低い暖房運転でフィン表面へ着霜を生じる場合の性能推定は、精度が不十分である。特に寒冷地に対応した空調機の場合、室外熱交換器の着霜による性能低下の抑制は重要な課題である。

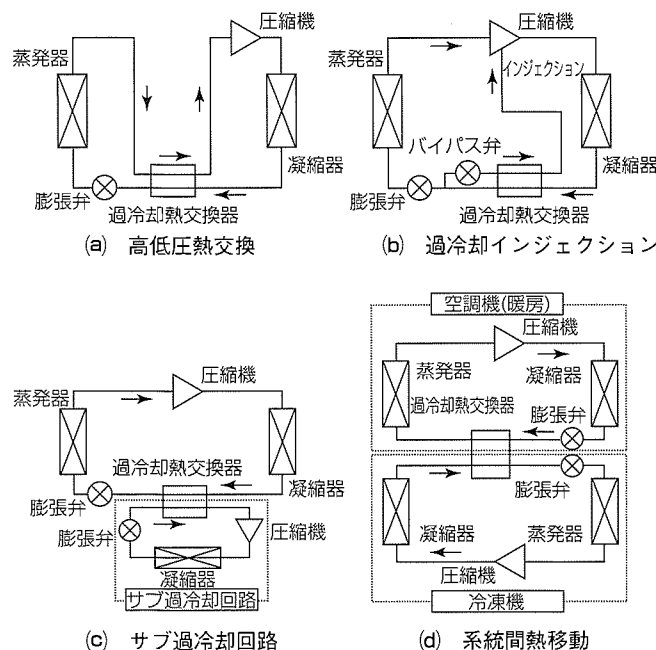


図1. 過冷却回路の種類

この着霜現象を汎用流体解析の三次元非定常計算を用いて比較的精度良く解析した例について述べる<sup>(5)</sup>。図2は、霜の密度及び熱伝導率を霜層温度の関数と仮定し、均一着霜の条件で計算した熱交換器単位面積あたりの着霜量と空気側圧力損失の経時変化の関係を示す。計算値は、図に示す実測値と空調機における着霜運転時間の80%の範囲(着霜量0.057kg/m<sup>2</sup>以下)で8%以内の精度で一致し、非着霜の解析と同等の精度が得られた。スリットフィンには、フラットフィンに比べ着霜の進行が早いことが計算で再現された。また、図3は非着霜時と着霜時のフィンの風速分布を示す。着霜時のスリットフィンは、着霜によってスリット部の流路が狭まり、管の後流とスリット立ち上げ部に流れが集中するため局所風速が高まり、圧力損失増大の要因となることがわかる。

この解析手法は、着霜を考慮した熱交換器の開発に有力なツールであり、寒冷地対応空調機、冷凍機や冷蔵庫の冷却器の開発に活用している。

3.3 冷媒圧縮機

近年の冷媒圧縮機に関する開発の動向として特筆すべき点は、CO<sub>2</sub>冷媒を作動媒体とする圧縮機に関する研究開発が活発化していることである。この背景には、CO<sub>2</sub>冷媒を適用したヒートポンプ給湯機“エコキュート<sup>(6)</sup>”が製品化されたこと、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)プロジェクトによるヒートポンプ機器のノンフロン化開発が開始されたことが挙げられる。CO<sub>2</sub>冷媒はHFC冷媒R410Aに比べ動作圧力が約3倍あり、機器の信頼性向上が

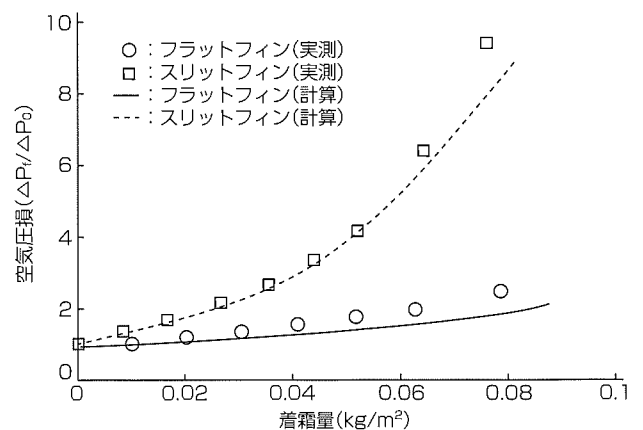


図2. 着霜量と空気圧損の関係

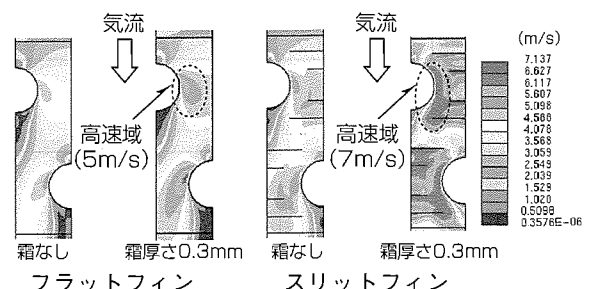


図3. フィンの速度分布(計算値)

不可欠であるため、当社でもロータリ圧縮機の高信頼化に関する研究を実施した<sup>(7)(8)</sup>。

高信頼化に合わせて圧縮機の高効率化の開発も進展がある。CO<sub>2</sub>冷媒では高圧・高密度で動作するため、圧縮過程で漏れ損失が発生しやすく、さらにはヒートポンプを外気温度の低い寒冷地で運転する場合、高圧縮比運転となり、圧縮機効率が低下する。この問題に対して当社では、ロータリ圧縮機の漏れ損失の改善を目的として、圧縮機内部隙間(すきま)の影響をHFC冷媒R410AとCO<sub>2</sub>冷媒とで比較分析し、高効率化に対する知見として、給油量及び漏れ隙間と漏れ損失の関係を明らかにした<sup>(9)</sup>。また、ロータリ圧縮機の圧縮比と圧縮機効率の関係を二段機と単段機とで比較し、二段機の優位性と課題を明らかにした<sup>(10)(11)</sup>。図4は圧縮比に対する比圧縮機効率を二段機と単段機で比較した一例である。図4から高圧縮比条件で二段機が圧縮機効率で優位であり、さらに、気液二相冷媒を中間インジェクションすると液冷媒インジェクションの場合より、圧縮機効率が改善できることなど、二段機の特長を明らかにした。

また、CO<sub>2</sub>冷媒大容量スクロール圧縮機では、高効率化を目的として、CO<sub>2</sub>冷媒運転時の圧縮機の内部損失解析法を開発した<sup>(12)</sup>。

### 3.4 送風機

空調機(ルームエアコン)に適用されるプロペラファンについて、当社の近年の開発状況について述べる。プロペラファンは室外機に適用されているが、騒音を発生するため、社会的に低騒音化に対する要望が高い。従来、当社では基本的な翼設計パラメータを最適化することによって、ファン特性の高性能化と低騒音化を行ってきた。今後、よりいっそうの低騒音化を実現するためには、騒音源と発生メカニズムの解明が不可欠となった。このため、LES(Large Eddy Simulation)数値解析を空調機室外機に組み込まれているプロペラファンに適用し<sup>(13)</sup>、騒音の数値解析に着手

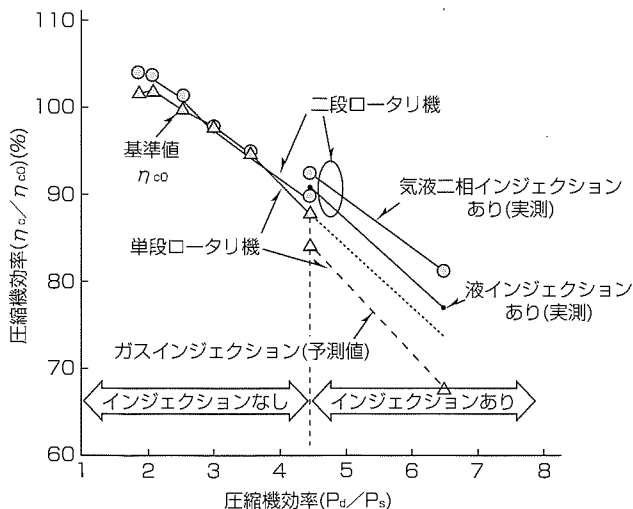


図4. CO<sub>2</sub>ロータリ圧縮機の性能比較 二段機—単段機

した。図5にLES法を適用した空力騒音解析結果と実測結果を比較評価した結果を示す。図5から分かるように、100~1,000Hzではおおむね一致する結果を得たが、100Hz以下では差異があり課題を残している。また、このような高度なシミュレーション法の開発とともに翼端流れの挙動と空力騒音の相関を実験解析的に解明し、低騒音化に寄与している<sup>(14)</sup>。今後も送風機技術の深化によって、送風機の更なる高効率、低騒音化を図っていく。

### 3.5 モータ/インバータ

冷熱、空調、ヒートポンプ給湯機器の熱源機で入力電力の大半が圧縮機モータやファンモータの電力であることから、そのモータ及びインバータの性能改善が機器の省エネルギー化に大きく貢献する。当社では1993年ルームエアコン用圧縮機のブラシレスDCモータ化が起点となりモータ/インバータの高効率化が加速した。ブラシレスDCモータはロータに数極対の磁石が組み込まれており、ステータからロータ磁極に同期した回転磁界を与えることで駆動する。従来使用されてきた誘導モータに比べロータ2次電流用の励磁電流を流す必要がない分、本来効率がよい。1994年から磁石をロータ内部に埋め込んだ埋込磁石形(Interior Permanent Magnet: IPM)を採用し従来ロータ(誘導モータ)の渦電流損を改善した。2001年にはステータ巻線を分布巻から当社が独自に開発した関節型ボキボキコアで集中巻化し巻線周長を整列巻化によって極限まで低減、最大効率を96%とした。さらに2005年には磁石をフェライト磁石から高性能な希土類磁石にすることでモータサイズを40%小型化し、低中速運転時の効率を改善した。一方、ブラシレスDCモータ搭載圧縮機のインバータ制御では圧縮機内部が高温・高圧・冷媒ガス雰囲気といった特殊環境下であり、ロータ磁極位置センサの配置が困難であるため位置センサレス駆動方式が不可欠となる。当初は制御の簡易性からステータ巻線端子に誘起される電圧からロータ位置を把握し通電タイミングを決定する矩形(くけい)波駆動を採用していた。しかし、モータ電流に多くの高調波成分

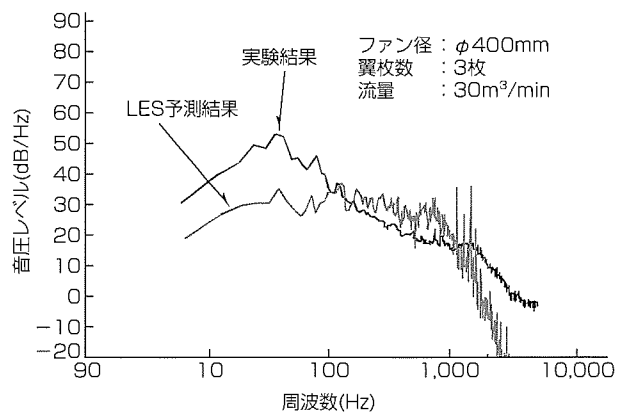


図5. プロペラファン騒音予測結果と実測結果

を含むため、モータ鉄損やトルクリップルの面で改善課題があった。2003年から一次磁束一定とするベクトル制御でモータ電流波形を正弦波状にする正弦波駆動を採用し損失改善するとともに電圧利用率を10%向上させる過変調PWM(Pulse Width Modulation)方式や弱め界磁制御でモータ電流を低減してインバータ効率を向上させた。2007年にはヒートポンプ給湯機へ圧縮機負荷脈動によるモータ電流脈動を抑制し高効率化するスムーズウェーブインバータを搭載。近年、年間消費電力にかかわるモータ/インバータ総合効率の改善を実施している。

#### 4. む す び

地球環境保護の観点からの温暖化防止、省資源化に対応した空調・給湯機器の開発が必要不可欠となっている。

当社では、機器製造時から使用時、メンテナンス、リニューアルの多面で取り組みを行っている。本稿では、省エネルギー規制動向、脱フロンとしてのFガス規制動向と、当社における空調・給湯機器の省エネルギー、省資源、脱フロン化の技術開発状況について述べた。

#### 参 考 文 献

- (1) 齊藤 信, ほか: 寒冷地向けパッケージエアコンの開発, 2005年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, B202 (2005)
- (2) 伊東拓也, ほか: 高効率コンパクト空冷ヒートポンプチャラーの開発, 第41回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, 69~72 (2007)
- (3) 田中航祐, ほか: 冷凍機能力増強システムの開発, 第41回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, 77~80 (2007)
- (4) 山下浩司, ほか: コンビニエンスストア向け冷凍・空調複合システム, 日本機械学会第16回環境工学総合シンポジウム2006講演論文集, 325~328 (2006)
- (5) 石橋晃, ほか: スリット付フィンチューブ室外熱交換器の管外伝熱・圧損特性, 第40回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 491~492 (2003)
- (6) 岡田哲治: CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機“エコキュート”, 三菱電機技報, 81, No.3, 185~188 (2007)
- (7) 前山英明, ほか: CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機用ロータリ圧縮機, 三菱電機技報, 81, No.3, 189~192 (2007)
- (8) 中尾英人, ほか: CO<sub>2</sub>冷媒ロータリ圧縮機ベーン先端部の摩耗抑制技術, 三菱電機技報, 81, No.3, 193~196 (2007)
- (9) 横山哲英, ほか: CO<sub>2</sub>冷媒ロータリ圧縮機の性能解析と高効率化の検討, 日本冷凍空調学会年次大会, C304 (2005)
- (10) 横山哲英, ほか: 寒冷地対応CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯用二段ロータリ圧縮機, 日本冷凍空調学会年次大会, C309 (2006)
- (11) 横山哲英, ほか: CO<sub>2</sub>冷媒インジェクション対応二段ロータリ圧縮機の開発, 日本機械学会熱工学コンファレンス, 401~402 (2007)
- (12) 下地美保子, ほか: CO<sub>2</sub>冷媒対応スクロール圧縮機の性能解析, 三菱電機技報, 81, No.3, 197~200 (2007)
- (13) Hamada,S.,et al.: AERODYNAMIC NOISE SIMULATION OF PROPELLER FAN BY LARGE EDDY SIMULATION, 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference, FEDSM2007-37145 (2007)
- (14) 中島誠治, ほか: プロペラファンの動作点と翼端流れ挙動の関係に関する実験的研究, 日本機械学会講演論文集, 7, 97~98 (2007)



# 圧縮機構部“熱かしめ固定”採用 高効率ツインロータリ圧縮機

加藤太郎\*  
新井聡経\*

Twin Rotary Compressor with Caulking Assembly Innovation

Taro Kato, Toshinori Arai

## 要旨

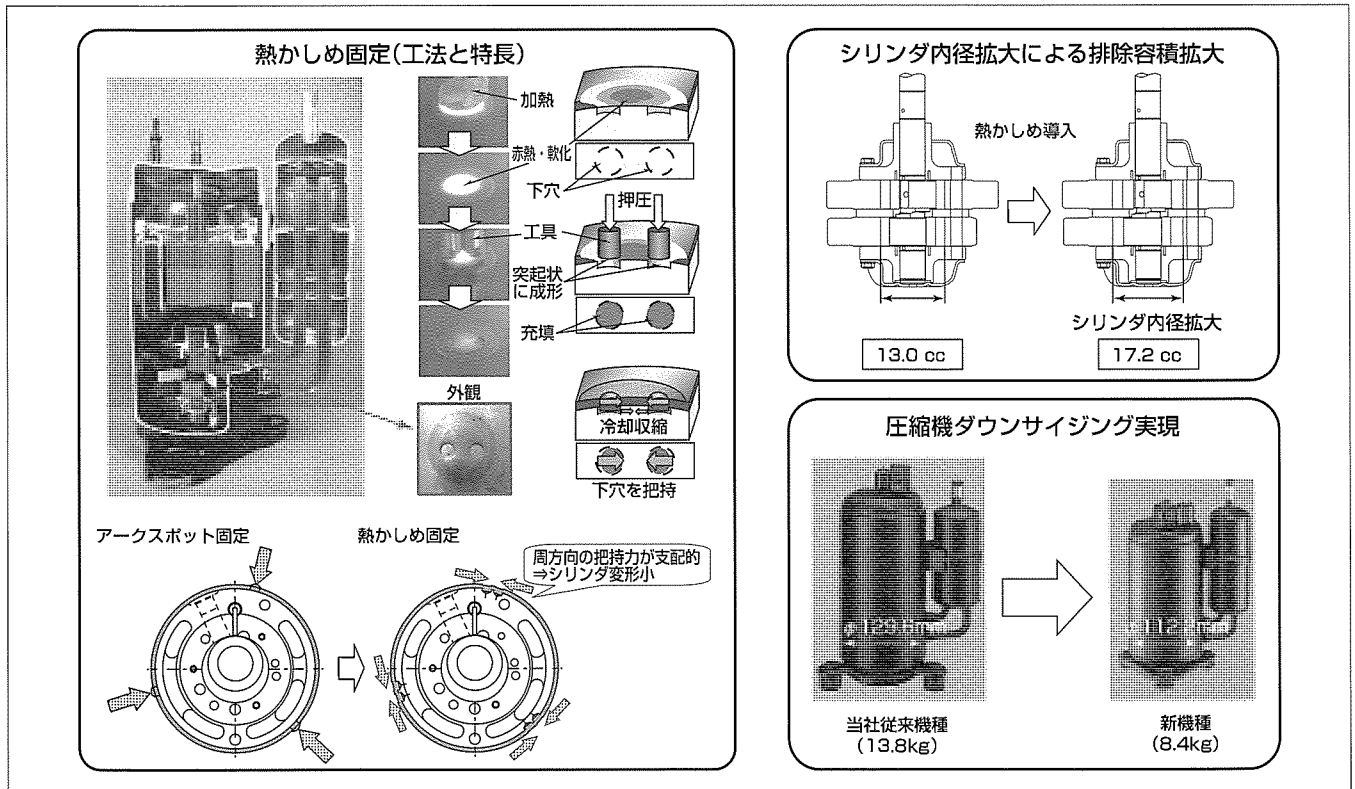
地球環境保護意識の高まりによって、省エネルギー・省資源化は基本的価値観として市場に共有されつつある。冷凍サイクル機器に対する市場の期待度は高く、一般的な空調用途はもとより、燃焼系の加熱・暖房機器の代替としても注目されている。こうした冷凍サイクル機器に対する省エネルギー技術・省資源化技術の追及は、メーカーに課せられた重要な使命である。特にキーデバイスである圧縮機が果たす役割は大きく、最先端の生産技術を圧縮機仕様の有効に活用することは、そうした課題にこたえる方法の一つである。

三菱電機生産技術センターは、独自の生産技術“CASIMEL”(Caulking Assembly Innovation by Mitsubishi Electric)を考案した。これは圧縮機構部を密閉容器に固定

する工程における革新的技術であり、世界初の熱かしめ工法である。従来のアークスポット溶接による固定では避けられなかったシリンダのひずみを抑制できる。

この圧縮機構部“熱かしめ固定”が従来の設計上の制約を解放し、圧縮機に新たな付加価値を創出する技術シーズとなった。圧縮機外形サイズを維持したまま、従来13ccが上限であった排除容積を30%以上拡大し、排除容積17.2ccのコンパクト・高効率のツインロータリ圧縮機を開発することができた。この圧縮機は2006年10月から当社パッケージエアコンに搭載されている。

本稿では“熱かしめ固定”のメカニズムと、開発した高効率ツインロータリ圧縮機について述べる。



## 熱かしめ工法を活用した新ツインロータリ圧縮機

従来のアークスポット固定では、径方向に作用する反力に対してひずみを抑制するためにシリンダに一定以上の剛性が必要であったが、熱かしめ固定によってその制約から解放された。シリンダ内径の拡大によって排除容積を13ccから17.2ccまで拡大、従来の同等能力機に対する大幅なダウンサイジングを実現した。

1. ま え が き

ルームエアコン等の空調機器に用いられる圧縮機のモータには、フェライト磁石に代わり、磁束密度が高くモータをコンパクトに設計できる希土類磁石を使用したブラシレスDCモータが使用されるようになってきた。当社ではボキボキモータによる巻線の高密度化技術をベースに、6極集中巻モータに希土類磁石を採用し、圧縮機の高効率化とコンパクト化を実現している<sup>(1)</sup>。

一方で、希土類磁石の高出力の特性を活用する方向性として、出力を据え置いたコンパクト化ではなく、外形寸法を維持した高出力化を図ることも当然考えられる。排除容積の拡大による圧縮機の高出力化は、空調機器の高能力化による付加価値向上や、筐体(きょうたい)のダウンサイジングによる省資源化に直結し、大きなメリットがある。

しかし、従来の技術では設計上の制約があり、圧縮機排除容積の拡大は困難であった。その要因の一つが、圧縮機を密閉容器内に固定する工程におけるアークスポット溶接であった。本稿では、今回実用化されたアークスポット固定に代わる独自技術“熱かしめ固定”がもたらした、ブレークスルー効果について述べる。

2. ツインロータリ圧縮機

図1に当社ルームエアコン5.0kWクラスに搭載される圧縮機の断面図を示す。密閉容器の内部に圧縮機構部とモータが固定されている。吸入マフラを介して吸入された冷媒ガスは、圧縮機構部で圧縮され、密閉容器内に放出される。その後モータの空隙(くうげき)部を通過し密閉容器上部の吐出管から空調機器の冷媒回路へと圧送される。密閉容器底部には冷凍機油が封入されており、圧縮時の部品間のシ

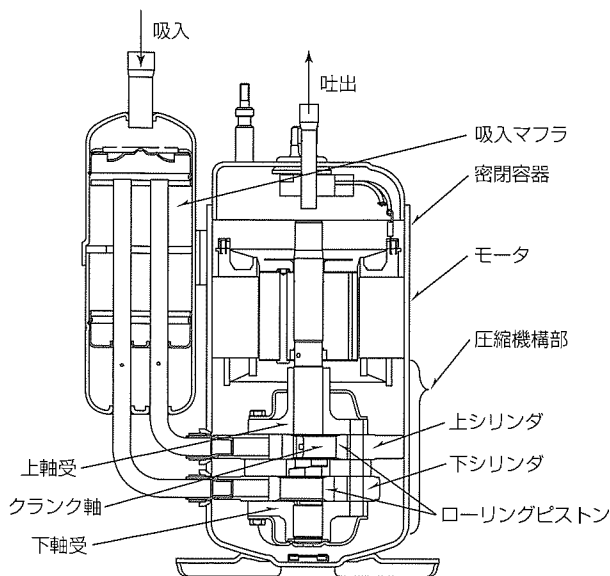


図1. ツインロータリ圧縮機

ール効果と摺動(しゅうどう)部への潤滑効果が得られるようになっている。

図2に、ロータリ圧縮機の圧縮過程を示す。ロータリ圧縮機は、シリンダの中でローリングピストンが偏心回転し、シリンダに設けられたベーン溝内に設置されたベーンがローリングピストンの外周に沿うようにベーン溝内を往復運動することで、シリンダ内には吸入室と圧縮室の2つの部屋が形成され、その容積がクランク軸の回転とともに変化することで圧縮動作を行う。

なお、図1の圧縮機は、互いに180°方向の異なる2箇所の偏心軸を持つクランク軸がモータによって回転し、2つのシリンダで交互に圧縮を行うツインロータリ方式となっている。

3. 圧縮機排除容積拡大の課題

3.1 排除容積拡大の方法

次に、ロータリ圧縮機で排除容積拡大をする際の技術課題について、図3を用いて述べる。

ロータリ圧縮機の排除容積は、シリンダ内に吸入可能な最大容積として、次式で定義される。

$$V_{st} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) h$$

ここで、 $V_{st}$ は排除容積、 $D$ はシリンダ内径、 $d$ はローリングピストン外径、 $h$ はシリンダ高さである。ツインロータリの場合はさらに2倍して算出する。排除容積の拡大の方向性としては、①シリンダ内径拡大、②ローリングピストン外径縮小、③シリンダ高さ拡大、の3通りがあることが分かる。

圧縮中の冷媒の代表的な流れ流路を図3に併記した。排除容積を拡大するためにピストン外径 $d$ を縮小することは、

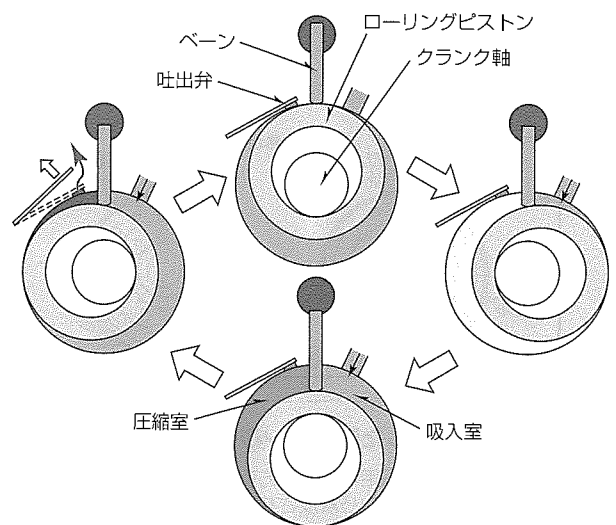


図2. ロータリ圧縮機構の動作原理

ピストン高さ隙間(すきま)からの“端面漏れ”に対するシール長の不足を招き、シリンダ高さ $h$ の拡大はピストンとシリンダの半径隙間からの“半径漏れ”流路の拡大につながる。シリンダ内径 $D$ の拡大による排除容積拡大はそうした不具合はなく、機能面からは最も理想的である。しかし、次に述べる課題があった。

### 3.2 シリンダ内径拡大の課題

圧縮機構部を密閉容器内に固定するには、圧縮機構部を密閉容器に対しあらかじめ調心保持し、その状態を維持したまま固定することが必要である。そうした要求を満足する工法として、シリンダのアークスポット固定が広く用いられている。

しかしアークスポット固定は、密閉容器とシリンダの間に溶接部材が侵入するため、径方向に反力が発生することが避けられない。この反力がベーン溝や内径をひずませる要因になる(図4)。

シリンダの剛性が不足するとひずみが大きくなるため、部品がロックしないよう隙間に過大なマージンを設定しなくてはならなくなり、漏れ損失の増加による性能低下を招く。したがって、シリンダには一定以上の剛性が必要である。

前述のように、排除容積を拡大するためにはシリンダ内径の拡大が機能面からは理想的であるが、アークスポット

固定に対して十分なシリンダ剛性を確保したまま内径拡大することは困難であった。

### 4. 熱かしめ固定

このアークスポット固定に対し、原理的にひずみ発生を抑制することを可能とした革新的生産技術が“熱かしめ固定”である。次に、図5を用いて熱かしめの固定メカニズムについて述べる。

- ①圧縮機構部品の密閉容器との固定部には、あらかじめ所定の下穴が2個1組で穿(うが)たれている。
- ②容器の固定部を加熱し、赤熱・軟化させようえて、所定の工具で容器を押圧する。
- ③軟化した容器材は、押圧によって下穴部に充填(じゅうてん)されるように移動し、突起状に成形される。
- ④容器の冷却時の収縮力によって、成形された突起は2個1組の下穴を把持する。

熱かしめ固定では、図6に示すようにメカニズムに作用するのはシェルのかしめ部の熱収縮による周方向の把持力が支配的であるため、原理的にひずみを抑制できる。剛性同一のシリンダによる実験でベーン溝幅の変形量が半減することが確認された。

### 5. 排除容積上限拡大の実現

シリンダ内径の拡大によって、従来の上限13ccに対して17.2ccへの排除容積拡大を実現した。これは密閉容器径が一回り大きい機種シリーズの排除容積に匹敵し、大幅なダウンサイジングと高効率化を実現した(表1)。

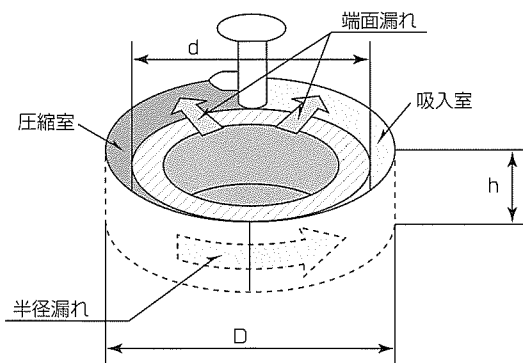


図3. 圧縮室主要寸法と漏れ流路

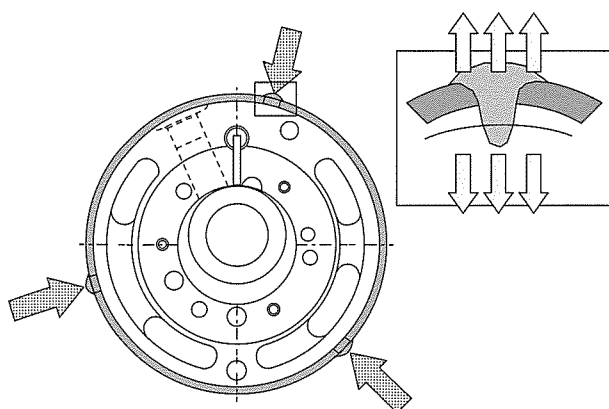


図4. アークスポット固定の作用反力

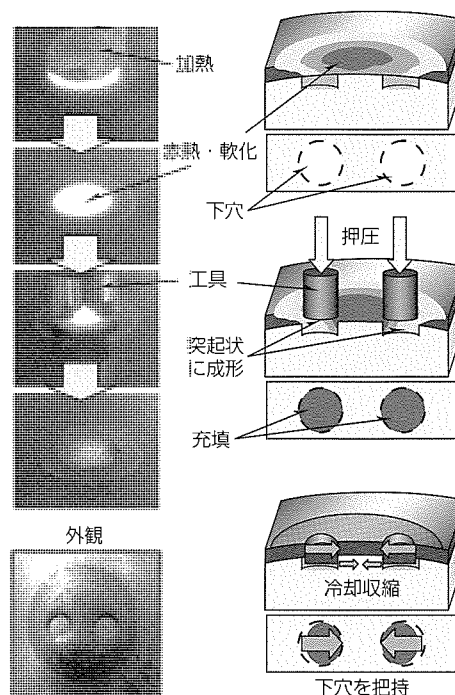


図5. 熱かしめ固定

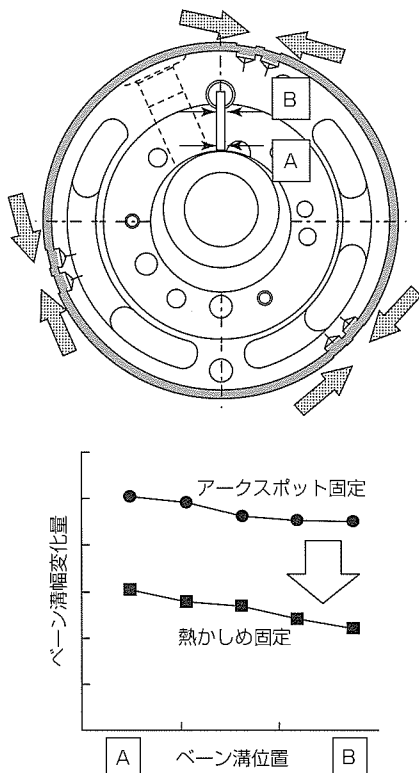


図6. 熱かしめ固定の作用反力とひずみ抑制効果

## 6. む す び

革新的生産技術“熱かしめ固定”をシーズに、圧縮機の排

表1. 従来機種との比較

	新機種	従来機種	
排除容積	17.2cc	17.5cc	13.0cc
密閉容器外径	φ112.2	φ129.6	φ112.2
質量	8.4kg	13.8kg	8.4kg
圧縮機効率比	107%	基準	-

除容積拡大を実現し、上限17.2ccを持つコンパクト・高効率ツイロータリ圧縮機を開発した。

この圧縮機は、2006年10月から当社パッケージエアコンに搭載を開始し、8.0kWクラスでは業界最高となる通年エネルギー消費効率(APF)5.5を達成(2007年10月現在)、市場から高い評価を得ている。さらに2007年からは、寒冷地用ルームエアコンや融雪用ヒートポンプユニット<sup>(2)</sup>など、ヒートポンプ応用製品の高付加価値化のキーデバイスとしても広く搭載されている。

## 参 考 文 献

- (1) Oikawa, T., et al.: "Development of High Efficiency Brushless DC Motor with New Manufacturing Method of Stator for Compressors," International Compressor Engineering Conference at Purdue (2002)
- (2) 融雪用ヒートポンプユニット“MELSNOW”, 三菱電機技報, 82, No.1, 31 (2008)

# プロペラファンの高効率・低騒音化技術

中島誠治\*  
山田彰二\*

Technologies of Improving Efficiency and Noise Decreasing of Propeller Fan

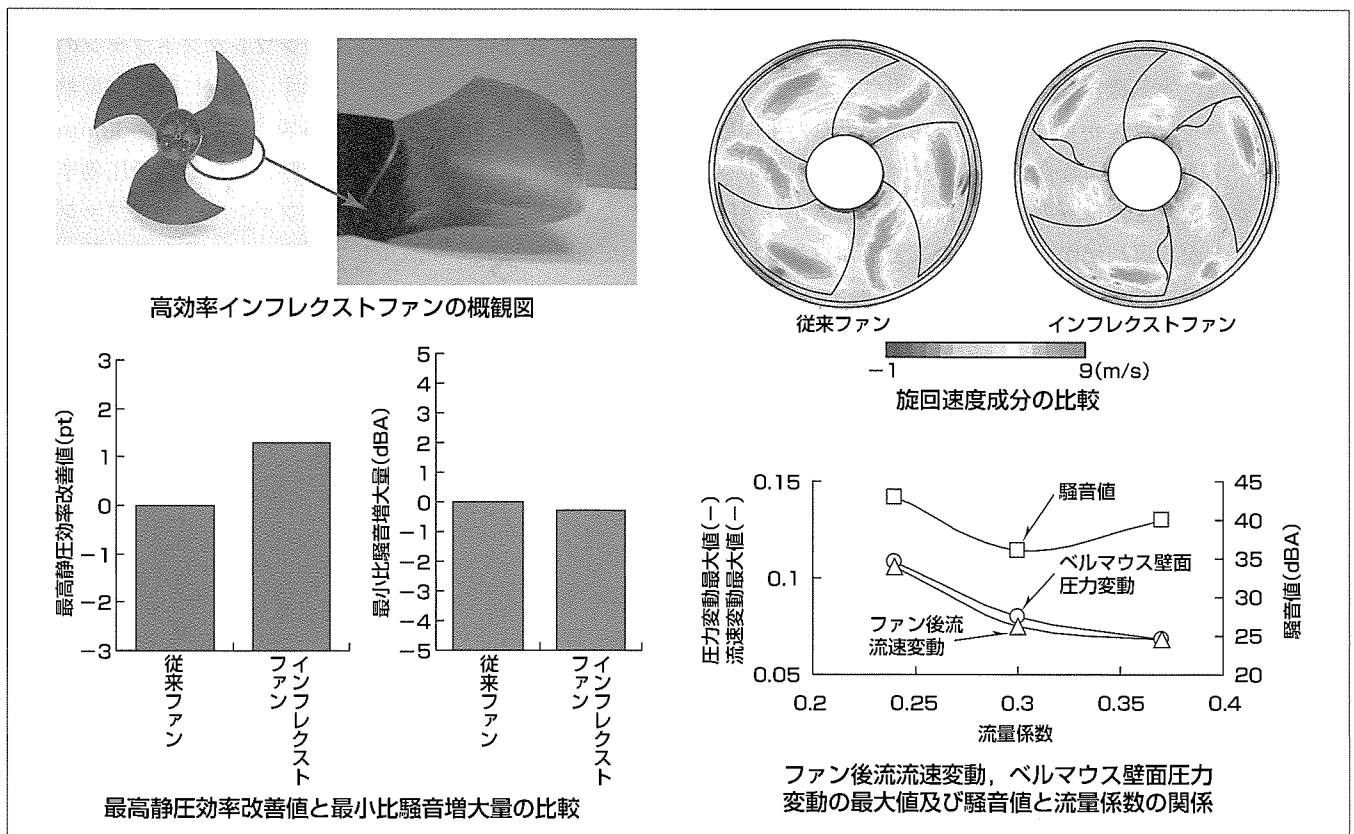
Seiji Nakashima, Shoji Yamada

## 要旨

プロペラファンは、換気機器や空調機器に広く用いられている。これらの機器は省電力化や低騒音化の要求が強くなり、プロペラファンの高効率化・低騒音化は重要な課題となっている。三菱電機では、まず、プロペラファンの高効率化に関して、旋回動圧損失の低減に着眼して開発を進めた。旋回動圧はファンの回転方向に沿って生じる動圧成分であり、プロペラファンの損失の中で大きな比率を占めている。この旋回動圧を効果的に低減できる高効率プロペラファンとして、翼中央後縁部を部分的に気流の上流側へ逆張りさせたインフレクストファンを開発し、ルームエアコン室外機、ビル用マルチエアコン室外機、チラーユニットなどに

搭載した。更なる効率の向上や騒音の低減を目指すため、ファンの後流計測やベルマウス圧力変動計測によって、ファンの内部流れの解明に取り組んだ。動作点と内部流れ、特に翼端渦の挙動では、その効率、騒音との関係が明らかにされていないことから、動作点と翼端渦挙動及び騒音発生量との関係解明に着眼点をおいて検討した。その結果、翼端渦と騒音の相関は高圧損動作点で高く、低圧損動作点では低いことが分かり、空調機の室外機など比較的高圧損機器に搭載されるプロペラファンについては、翼端渦を制御することで大きな騒音低減効果が得られる可能性を示した。

特集  
I



## プロペラファンの高効率・低騒音化技術

翼中央後縁部を部分的に気流の上流側へ逆張りさせた高効率インフレクストファン(図左上)は、旋回動圧の効果的な低減(図右上)によって、騒音増大を伴うことなく、高効率化を実現した(図左下)。さらに、詳細な流れ場計測技術を用いてファン後流流速変動やベルマウス壁面圧力変動、騒音値と動作点の関係を解明(図右下)し、新たな低騒音化の指針を得た。

1. ま え が き

プロペラファンは、換気機器や空調機器に広く用いられている。これらの機器は省電力化や低騒音化の要求が強くなり、プロペラファンの高効率化・低騒音化は重要な課題となっている。

当社では、まず、プロペラファンの高効率化に関して、旋回動圧損失の低減に着目して開発を進めた。旋回動圧はファンの回転方向に沿って生じる動圧成分であり、プロペラファンの損失の中で大きな比率を占めている。この旋回動圧を効果的に低減することによる高効率プロペラファン（インフレクストファン）を開発し、ルームエアコン室外機、ビル用マルチエアコン室外機、チラーユニットなどに搭載した。

更なる効率の向上、騒音の低減を目指すためには、損失や音源となる乱流現象を制御する必要がある。そこで、詳細な流れ場を計測する技術を用いてファンの内部流れの解明に取り組んだ。ファンの動作点は搭載する機器によって異なる。例えば、換気扇ではファンとベルマウスのみが主な構成部品であるためプロペラファンは低圧損領域で動作するが、ルームエアコン室外機では熱交換器などが存在するため、比較的高圧損領域で動作する。動作点が異なると内部流れ構造も異なり、流れ場の制御手法も異なるため、動作点と内部流れ構造の関係を詳細に把握することが重要である。また、換気機器や空調機器に使用されるプロペラファンは、ベルマウスから翼先端の一部が突出した半開放型が主流である。このようなプロペラファンでは、翼のベルマウスから突出した部分の外周端部に圧力面側から負圧面側へ巻き上がる翼端渦が形成されることが知られているが、その挙動の詳細や効率、騒音との関連性については明らかにされていない。ここでは、ファンの動作点と翼端渦挙動及び騒音発生量との関係について述べる。

2. 旋回動圧損失低減による高効率化

図1にルームエアコン室外機に搭載しているインフレクストファンの概観図を示す。従来のファンは、翼の周方向断面形状が径方向全体にわたって円弧状に構成されているが、インフレクストファンでは翼中央後縁部を部分的に気

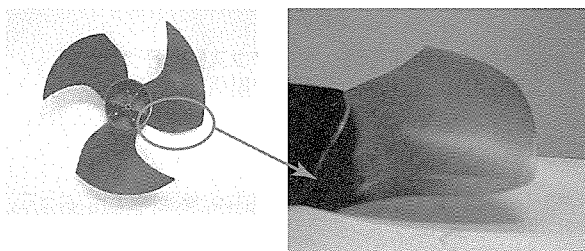


図1. インフレクストファンの概観図

流の上流側へ逆反りさせた形状をしている。旋回動圧を低減する手段としては、翼の取付角を大きくする(羽根を寝かせる)などの方法もあるが、そのとき翼前縁での気流の流入角が大きくなり、翼面上での流速が増加するため騒音が増大してしまう問題がある。しかし、インフレクストファンでは翼後縁を部分的に逆反りさせることで、気流の流入角を一定に保ちつつ旋回動圧を効果的に低減できるため、騒音増大を伴うことなくファンを高効率化することができた。

図2に従来ファンとインフレクストファンの最高静圧効率改善値及び最小比騒音増大量の比較を示す。最高静圧効率改善値は従来ファンに対する単体最高静圧効率の改善値を、最小比騒音増大量は従来ファンからの単体最小比騒音レベルの増大量を示す。ここで、比騒音レベルは、以下の式で定義している。

$$K_s = SPL - 10 \log \left\{ \left( \frac{P}{9.8} \right)^{25} Q \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここで $K_s$ ,  $SPL$ ,  $P$ ,  $Q$ はそれぞれ比騒音レベル(dBA), 騒音レベル(dBA), ファン静圧(Pa), 風量( $m^3/min$ )である。図から、インフレクストファンは従来ファンに比べて、騒音同等のまま効率が約1.3pt改善していることが分かる。

次に、開発したファンがねらいとしている旋回動圧低減効果を具体的に確認するため、ファン後流の流速分布を測定した。図3に従来ファンとインフレクストファンの旋回速度成分の比較をコンターで示す。測定には傾斜型熱線プローブを用い、測定平面は翼外周後縁端部から30mm下流の軸方向垂直平面とした。測定動作点は最高静圧効率点とした。図から、インフレクストファンでは従来ファンに比べて旋回速度成分が減少していることが分かる。特に、後縁を逆反り形状としている径方向中央部付近で大きな減少が見られ、これが後縁を逆反り形状とした効果によるものであることが分かる。

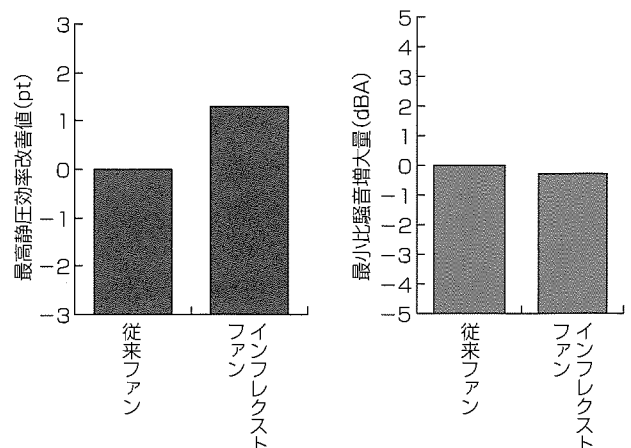


図2. 最高静圧効率改善値及び最小比騒音増大量の比較

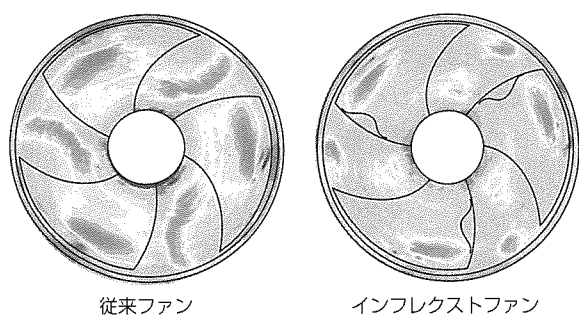


図3. 旋回速度成分の比較

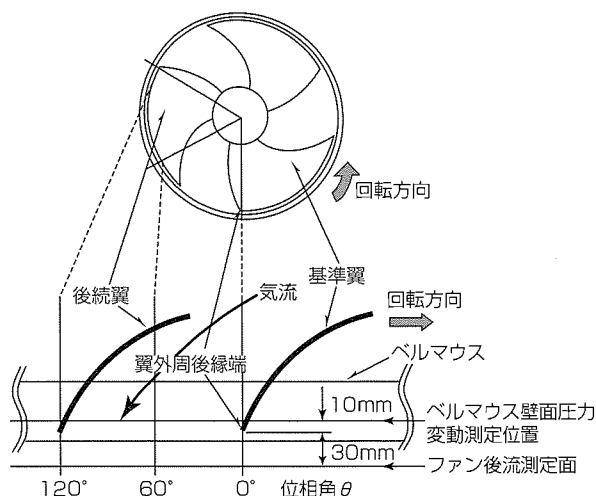


図4. 測定概略図

### 3. 翼端渦挙動と騒音の関係解明

#### 3.1 翼端渦挙動の把握

さらなるプロペラファンの高性能化を図るため、ファン後流測定とベルマウス壁面圧力変動計測による翼端渦挙動の把握を実施した。図4にこれらの測定概略図を示す。図上段にはファンを上流側から見た図、下段には要部側面展開図を示している。ファン後流測定平面は翼外周後縁端から30mm下流の軸方向垂直平面とした。ベルマウス壁面圧力変動は、翼外周後縁端から10mm上流のベルマウス壁面に直径1mmの穴をあけ、圧力センサを接続することによって測定した。測定動作点はいずれも $\phi=0.37, 0.30, 0.24$ の3点とした。ここで、 $\phi$ は流量係数であり、流量係数が大きいほど低圧損領域であることを示す。図5及び図6にファン後流測定面での軸方向渦度分布及び流速変動分布をそれぞれ示す。渦度、流速変動はともにチップ速度で無次元化し、渦度は絶対値で示している。翼端渦に着目するため、測定値は $0.8 \leq R/R_t \leq 1.075$ での平均値で示している。ここで、 $R/R_t$ はチップ半径に対する半径比である。横軸 $\theta$ は翼周方向の位置を角度で表した位相角を示し、 $\theta=0^\circ, 120^\circ$ はそれぞれ図4に示す基準翼及び後続翼の翼外周後縁端の位置を示す。図5で、各流量係数で $60^\circ < \theta < 120^\circ$ の範囲に渦度の極大部が見られるが、これはこの位置で基準翼から放出された翼端渦が測定面を通過していることを示している( $\theta=10^\circ$ の位置での極大部はウェーク流の影響)。その翼端渦の通過位置は、流量係数が大きいほど基準翼に近くなっていることが分かる。また、図6で、流速変動は各流量係数において翼端渦の通過位置で最大値を示しており、翼端渦が大きな流速変動を伴っていることが分かる。

図7にベルマウス壁面圧力変動を示す。圧力変動はチップ速度の動圧で無次元化している。各流量係数で圧力変動が局部的に最大値を示しているが、これはこの位置で翼端渦がベルマウス壁面に干渉している影響と考えられる。

これらから、ファン後流流速変動及びベルマウス壁面圧力変動の最大値が翼端渦の規模と相関するといえる。

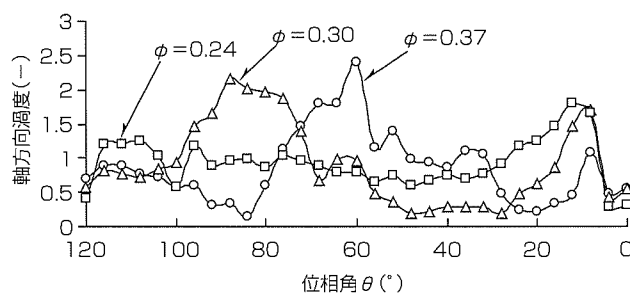


図5. 軸方向渦度分布

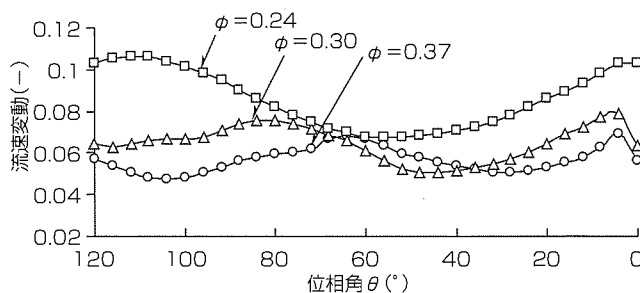


図6. 流速変動分布

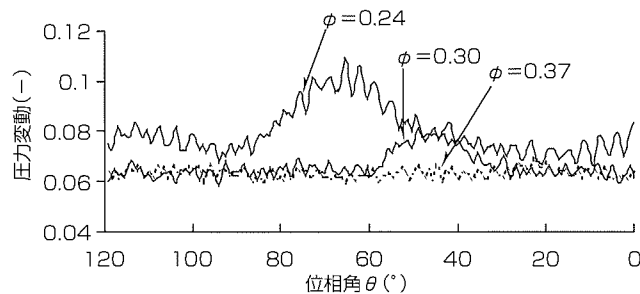


図7. ベルマウス壁面圧力変動

#### 3.2 翼端渦と騒音の関係

図8にファン後流流速変動最大値、ベルマウス壁面圧力変動最大値及び騒音値と流量係数の関係を示す。騒音値はファン下流正面1mの位置でマイクロフォンにウィンドス

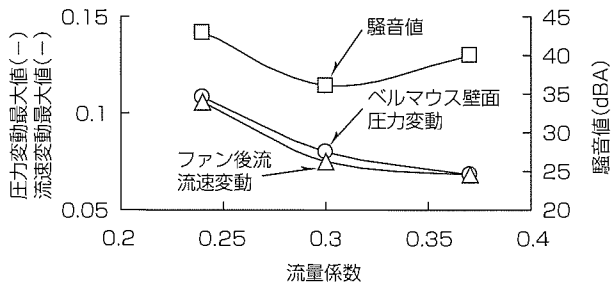


図8. 各測定値と流量係数の関係

特集  
I

クリーンを設置した状態で測定した。ファン後流流速変動最大値とベルマウス壁面圧力変動最大値はともに、流量係数が大きくなるにしたがって小さくなる傾向がみられる。このことから、翼端渦の規模は流量係数が大きいほど小さくなっていると考えられる。一方、騒音値に関しては、流量係数の小さい領域( $\phi < 0.3$ )ではファン後流流速変動最大値とベルマウス壁面圧力変動最大値と同じく流量係数が大きくなるとともに低減しているが、流量係数の大きい領域( $\phi > 0.3$ )ではファン後流流速変動最大値やベルマウス壁面圧力変動最大値の傾向とは異なり、流量係数が大きくなるとともに増大している。このことから、翼端渦と騒音の相

関は高圧損動作点で高く、低圧損動作点では低いことが分かった。したがって、空調機の室外機など比較的高圧損機器に搭載されるプロペラファンでは、翼端渦を制御することによって大きな騒音低減効果が得られる可能性を示した。

#### 4. むすび

翼中央後縁部を部分的に気流の上流側へ逆張りさせた高効率インフレクストファンを開発し、ファン後流計測によってその効果が旋回動圧の低減によるものであることを確認した。また、ファン後流計測やベルマウス壁面圧力変動計測によって動作点と翼端渦挙動及び騒音発生量との関係の解明を図り、新たな低騒音化への指針を得た。今後、更なるプロペラファンの高効率・低騒音化を図っていく。

#### 参考文献

- (1) 九郎丸元雄, ほか: 周期的多点抽出法による羽根車後方の三次元流れ場測定, 日本機械学会論文集, 48-427B (1982)
- (2) 中島誠治, ほか: プロペラファンの動作点と翼端流れ挙動の関係に関する実験的研究, 日本機械学会講演論文集, 7, 97~98 (2007)



# 寒冷地向けエアコンの暖房能力向上技術

齊藤 信\*

Improvement of the Heating Capacity of Air Conditioners for Cold Region

Makoto Saito

## 要 旨

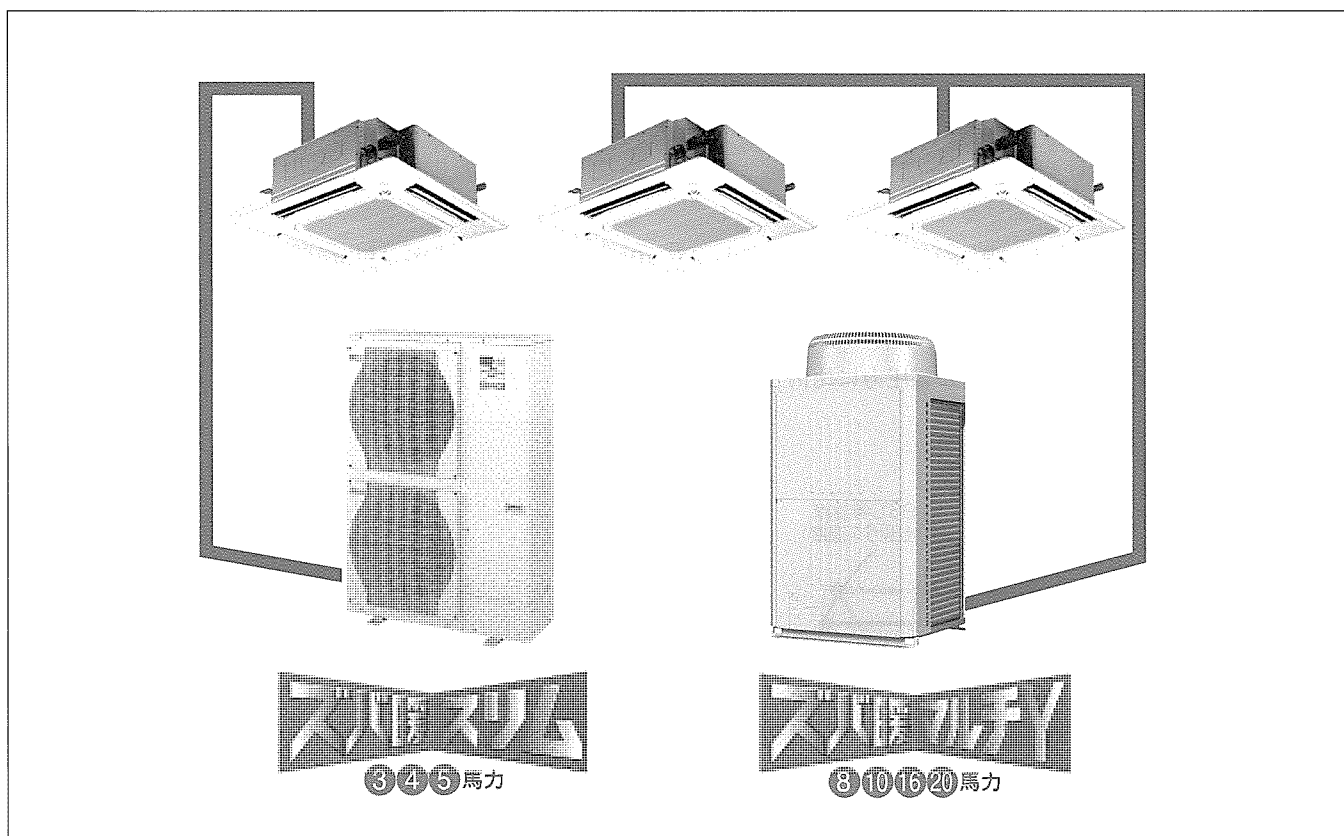
電気式ヒートポンプ暖房は、外気から熱をもらうという動作によって電気入力の数倍の暖房能力が得られることから“環境にやさしい”また、火を使わないところから“安全安心”“メンテナンスフリー”というイメージが定着し、市場に広く受け入れられている。しかしながら、外気温が低くなるほど暖房能力が低下し、効率も悪化するという原理的な欠点があり、北海道をはじめとする寒冷地域では暖房用熱源としての認識は薄く、普及が進んでいなかった。

三菱電機は、外気が $-15^{\circ}\text{C}$ まで暖房能力が低下しないフラッシュインジェクション回路を開発し、“ズバ暖シリーズ”

ズ”として店舗用パッケージエアコン、ビル用マルチエアコンに展開した。ズバ暖シリーズは次の3項目を共通の特長としており、寒冷地のヒートポンプ空調機ユーザーから好評を得ている。

- (1) 外気 $-15^{\circ}\text{C}$ で定格暖房能力を発揮
- (2) 外気 $-25^{\circ}\text{C}$ まで暖房運転可能
- (3) 着霜量に対応した高効率除霜(無駄除霜の抑制)

本稿では、この寒冷地対応冷媒回路“フラッシュインジェクション”の特性と効果について述べる。



## 寒冷地向けエアコン“ズバ暖シリーズ”

低外気暖房能力を増大させる当社独自技術“フラッシュインジェクション回路”を採用した“ズバ暖シリーズ”は、標準機と全く変わらない省エネルギー性、コンパクト性、操作性を備え、店舗用パッケージエアコン3～5馬力、ビル用マルチエアコン8～20馬力に展開している。

## 1. ま え が き

近年、年間を通じて使用できる電気式ヒートポンプ空調機(Electric Heat Pump : EHP)が業務用、家庭用を問わず広く普及しているが、冬期の最低気温が $-15^{\circ}\text{C}$ 以下となるような寒冷地域では依然として灯油やガス等の燃焼熱を利用する暖房器具が一般的である。これは、EHPは低外気になるほど暖房能力が低下していく特性を持つことによる。寒冷地でEHPを用いる場合、その能力不足を補うために室内機に電気ヒーターを組み込むことが多いが、ヒーター利用では運転効率が著しく低下することから寒冷地への普及は進んでいなかった。

その一方でEHPは安全性、設置の容易性、メンテナンス性で燃焼式暖房器より優れており、寒冷地域にも対応できるEHPへの市場要求が大きい。当社は店舗用パッケージエアコン(Packaged Air Conditioner : PAC)で、高乾き度の気液二相冷媒を圧縮工程に注入するフラッシュインジェクション回路を採用し、外気 $-15^{\circ}\text{C}$ でも暖房能力が低下しない高効率なヒートポンプ暖房を実現した。この技術は、2005年に店舗用PAC(8~14kWクラス)に採用後、2006年にビル用マルチエアコン(22.4~56kWクラス)、2007年に設備用PAC(~80kWクラス)に順次拡張されている。本稿では、この寒冷地対応冷媒回路“フラッシュインジェクション”の能力向上原理及び実機特性について述べる。

## 2. 暖房能力増強技術

### 2.1 通常冷媒回路における課題

図1は一般的な冷媒回路における暖房運転時の冷凍サイクル動作を、外気温度 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ の2通りについて示したP-h線図である。外気から採熱するヒートポンプ暖房の蒸発圧力は外気温度に支配され、外気 $-20^{\circ}\text{C}$ の蒸発圧力は外気 $0^{\circ}\text{C}$ のときの半分程度となる。冷媒圧力に比例してガ

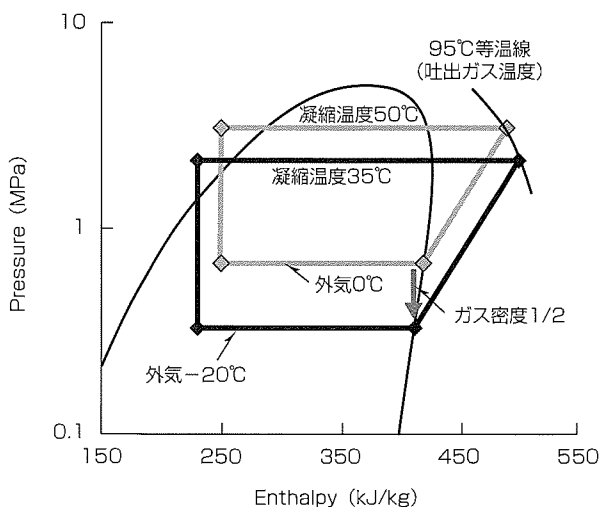


図1. 暖房運転時の冷凍サイクル動作

ス密度も変化し、外気 $-20^{\circ}\text{C}$ における圧縮機冷媒流量は外気 $0^{\circ}\text{C}$ 時の1/2になる。これが低外気で能力不足となる原因の一つである。このとき大容量圧縮機を用いて冷媒流量増大を試みても、吐出温度による制約(例えば $95^{\circ}\text{C}$ )を受け、凝縮圧力を外気 $0^{\circ}\text{C}$ 時のレベルに上昇させることができず、所望の暖房能力を発揮することができない。

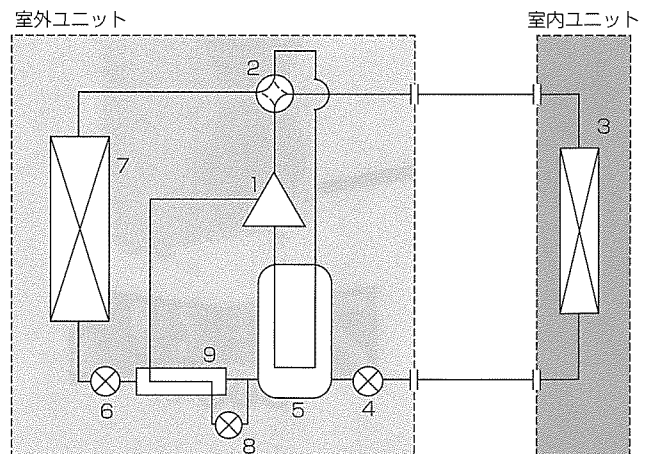
### 2.2 フラッシュインジェクション回路

図2は、寒冷地向けに開発した店舗用PAC“ズバ暖スリム”の冷媒回路構成である。室外ユニットには、吸入冷媒によって中圧液冷媒を冷却する熱回収型中圧レシーバと、中圧レシーバを流出した液冷媒をインジェクション冷媒で冷却する内部熱交換器(Heat Inter Changer : HIC)を備える。圧縮機は高効率DCモータ搭載のスクロール型インジェクション圧縮機、膨張弁A、B、Cはすべて電動膨張弁(Linear Expansion Valve : LEV)であり、負荷変動や運転モードに応じて冷媒状態を常に最適に制御する。この冷媒回路を、インジェクション冷媒が高乾き度の気液二相となることから“フラッシュインジェクション回路”と呼ぶ。

### 2.3 フラッシュインジェクションの効果

図3はフラッシュインジェクションの動作を示すP-h線図である。フラッシュインジェクションは、圧縮途中への二相冷媒注入量によって吐出ガス温度を調整できるため、低外気であっても吐出ガス温度上限に制約されることがなく、圧縮機回転数をその圧縮機に許容される上限まで増加させることができる。

フラッシュインジェクションの2段階の熱回収作用はインジェクション冷媒、吸入冷媒双方の比エンタルピを増加させる。この作用はインジェクション量の増大に対して吐出冷媒の比エンタルピ(吐出温度)を極力高い状態に維持し、凝縮器エンタルピ差の縮小による暖房能力低下を抑制する。



- 1 : インジェクション圧縮機
- 2 : 四方弁
- 3 : 室内熱交換器
- 4 : 電動膨張弁A
- 5 : 熱回収型レシーバ
- 6 : 電動膨張弁B
- 7 : 室外熱交換器
- 8 : 電動膨張弁C
- 9 : 内部熱交換器 (HIC)

図2. フラッシュインジェクション回路(店舗用PAC)

また、暖房能力は圧縮機入力と蒸発器熱交換量の総和であるから、運転効率の面からみると蒸発器側の熱交換量を大きくすることが望ましい。HIC及び熱回収型レシーバによる蒸発器エンタルピ差拡大作用は、蒸発器熱交換量の増大に寄与する。

以上のように、フラッシュインジェクションは圧縮機回転数の増加、凝縮器エンタルピ差の維持、蒸発器エンタルピ差の拡大の作用によって、低外気でも高効率を維持しながら暖房能力を増大させることができる。

### 3. 実機特性と制御

#### 3.1 外気温度特性

##### (1) 店舗用PAC

図4に、外気温度変化に伴う従来機と寒冷地対応機との最大暖房能力を示す。フラッシュインジェクションは、同一圧縮機回転数でも約30%の暖房能力向上効果があり、さらに、圧縮機回転数を最大限まで増速することで外気

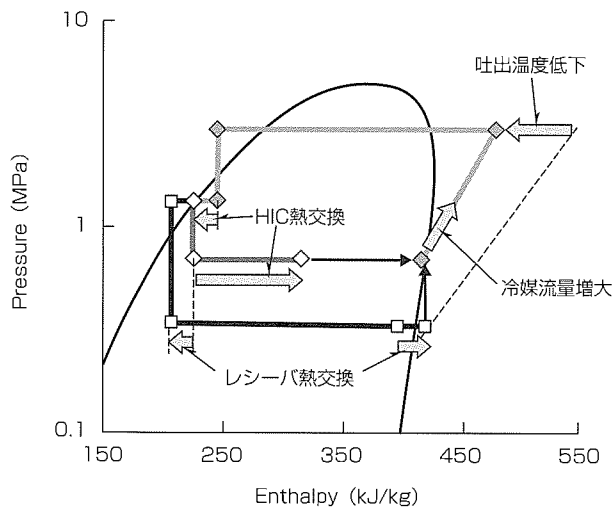


図3. フラッシュインジェクションの暖房能力増大作用

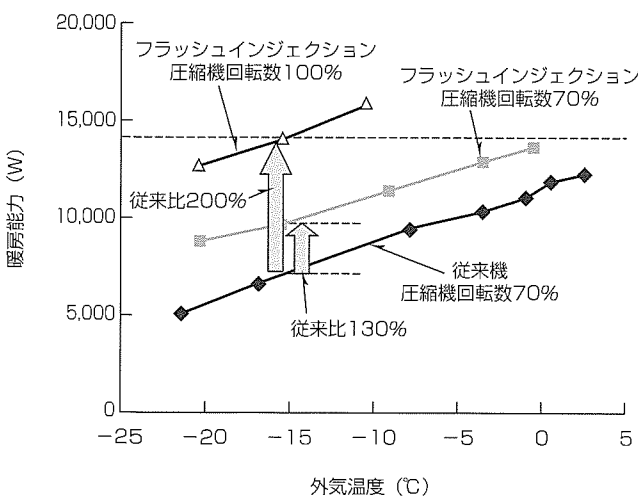


図4. 寒冷地PAC(14kWクラス)の外気温度特性

-15~-20°C付近で従来比約2倍の暖房能力増大効果を得ることができる。

一般に、寒冷地域における機種選定は低外気での暖房能力低下を見込んで設計されるため、夏季の冷房負荷に対して過大な容量となる場合が多く、部分負荷特性を悪化させる状況が発生するが、この製品は低外気での能力低下を見込む必要がなく、年間を通じて発生負荷に合わせた容量選定が可能となる。

##### (2) ビル用マルチエアコン

ビル用マルチエアコン(以下“ビルマルチ”という。)でもフラッシュインジェクション回路を採用した寒冷地対応機“ズバ暖マルチY”を製品化している。図5に採用した冷媒回路、図6に外気温度特性を示す。

冷媒回路の特徴は、新たに開発した大容量インジェクション圧縮機と、室外側にLEV Aを新規に配置したことである。従来ビルマルチは膨張弁が室内側にしか存在せず、

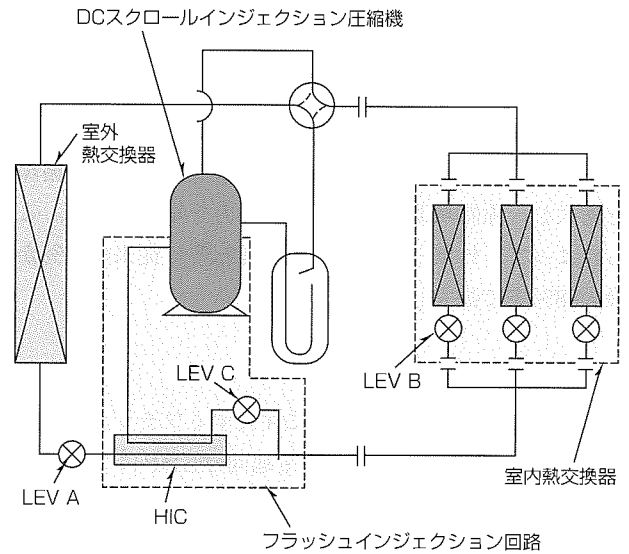


図5. ズバ暖マルチYの冷媒回路

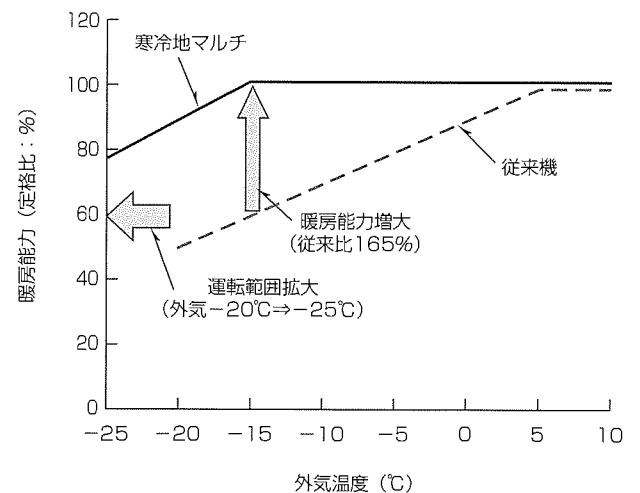


図6. ズバ暖マルチYの外気温度特性

暖房運転では液管が低圧となるため、インジェクションのための圧力差が得られないという問題があった。そこで、LEV Aを新設して暖房サイクルでも液管をほぼ高圧に維持する制御を構築している。

寒冷地向けビルマルチの最大暖房能力は店舗用PAC同様、外気 $-15^{\circ}\text{C}$ まで定格暖房能力を維持し、従来比165%の能力増大効果が得られている。

### 3.2 冷凍サイクル制御

フラッシュインジェクション回路(店舗用PAC)の冷凍サイクル制御は、吐出過熱度(SHd)、吸入過熱度(SHs)、凝縮器出口過冷却度(SC)の3つを制御対象として膨張弁を操作する。膨張弁それぞれの制御対象(模式図)を図7に示す。

ビルマルチでは、暖房運転で生じる余剰冷媒をアキュムレータに格納するため、LEV Aの開度に対して吸入過熱度が変化しない。LEV Aの制御対象を液管圧力(Pm)としている。

### 3.3 除霜制御

寒冷地向けEHPでは、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、極低外気条件で問題とされる無着霜状態での除霜運転を回避している。さらに、除霜中にLEV Cを開放することで圧縮機の冷媒循環量を増大し、除霜熱源である圧縮機入力を増加させた。これらによって、外気 $-20^{\circ}\text{C}$ での暖房運転率は従来の94%から最大98%まで拡大した<sup>(2)</sup>。

## 4. む す び

乾き度の二相冷媒を圧縮途中に注入するフラッシュインジェクション回路を採用した寒冷地向けEHPについて、その暖房能力増大原理と得られた効果について述べた。

- (1) フラッシュインジェクションの暖房能力向上原理は、2段階の熱回収がもたらす凝縮器、蒸発器双方のエンタルピー差拡大と、吐出温度過昇抑制効果による圧縮機回転

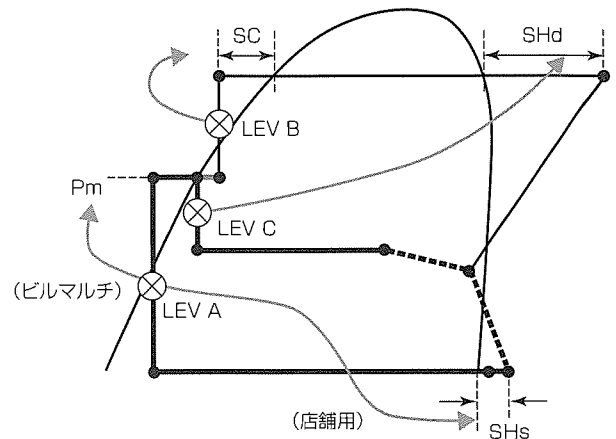


図7. 電動膨張弁A, B, Cの制御対象

数の上限拡大である。

- (2) 店舗用PAC、ビルマルチにフラッシュインジェクションを採用することで、外気 $-15^{\circ}\text{C}$ で従来比2倍以上の暖房能力を発揮できる。

寒冷地向けEHPは、“ズバ暖シリーズ”として、店舗用、ビル用、設備用、更には住宅用へと展開予定であり、この高い省エネルギー性を備えたEHPが、日本、海外を問わず寒冷地におけるエネルギー消費削減の一助となることを期待している。今後も、地球環境にやさしく、顧客にも満足してもらえる製品の開発を行っていく所存である。

## 参考文献

- (1) 齊藤 信：寒冷地向けパッケージエアコンの開発(第1報)，日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，B202(2005)  
 (2) 青木正則：寒冷地向けパッケージエアコンの開発(第2報)，日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，B203(2005)

# ルームエアコン“霧ヶ峰ZWシリーズ”

牧野浩招\*

Room Air Conditioner “Kirigamine ZW Series”

Hiroaki Makino

## 要 旨

地球温暖化対策として省エネルギー化の取り組みが必要となっている中で、機器の効率改善に加えて使い方の工夫による節電も注目されている。また、リビングの大型化などによって、エアコン需要は大容量機種へと拡大している。そこで、様々な生活シーンが存在するリビングで、使い方の工夫を自動的に行い大幅な省エネルギー化を実現するために、可動式8素子サーモパイル赤外線センサ“新・人感ムーブアイ”を搭載した。赤外線センサで測定した室内の熱画像を分析することによって室内の温度分布、人のいる位置や活動量まで検知する。これによって、人のいるエリアを中心にした無駄のない快適な空調を行うとともに、人の

動きが多いときの暖めすぎ(暖房)、くつろぎ時の冷やしすぎ(冷房)を抑制し、最大50%の省エネルギーを実現する。また、人のいる位置の情報を蓄積、分析し人の生活エリアを学習する。床面の温度むらをなくす運転の際は、部屋全体ではなく生活エリア内の温度むらをなくすように制御することで、不要なエリアを空調する無駄を抑える。そして、省エネルギー設定やエリア空調の動作状態、体感温度を室内機に大きく表示することで状態が一目で分かり、省エネルギー動作を実感できるようにした。また、設定温度変更時には本体に大きな文字で設定温度を表示するなど、ユニバーサルデザインにも取り組んでいる。



## “霧ヶ峰ZWシリーズ”室内機

裏面塗装した透明樹脂の奥から白色LED (Light Emitting Diode) で塗装面に図形や文字を光らせることで、消灯時は表示部がないスッキリしたデザインを実現するとともに、点灯時は省エネルギーの設定や状態を大きく表示することで、使い方の工夫による省エネルギーをアピールしている。

## 1. ま え が き

家庭用ルームエアコンは各部屋への設置率の高まりに伴い、家庭内で使用される電力消費量のうち約25%を占め、最も電力消費量の多い電気機器と言われるようになった。一方で地球温暖化の大きな要因である二酸化炭素の排出を減らすために、京都議定書で2008～2012年の目標期間中に1990年と比較して、6%低減することで合意している。この目標を達成するためにも家庭でできるだけ少ないエネルギーで生活することが求められている。

家庭における電力消費量を低減させるには、エアコンの機器効率を上げて同じ能力でも消費電力を低減させることや、エアコンの使い方を工夫して上手に消費電力を抑制することの両面からの取り組みが重要である。機器効率向上促進のために、家庭用ルームエアコンとしては、トップランナー方式による省エネルギー規制や、日本冷凍空調工業会規格である期間消費電力量を基軸とした基本性能の改善によって機器の省エネルギー化を強力に推進し、これまで大きな成果を上げてきている。

しかし近年、その改善度は横ばいの状況に変化し、かつてのような大幅な改善が望めない状況となっており、機器の効率化の推進を図りつつも新たな消費電力の削減手段が必要となっている。

エアコンの省エネルギー化を推進するに当たって、機器の効率化に視点が向きがちであるが、その改善度合いが横ばいとなってきている現状では、エアコンユーザーの使用方法的な面からの省エネルギー推進がこれからの課題となっている。

## 2. 体感温度制御

エアコンの使用方法によって省エネルギー性に大きく影響を及ぼす項目として、リモコン設定温度がある。政府は省エネルギー化を推進するために、推奨設定温度として暖房時の設定温度を20℃以下、冷房時の設定温度を28℃以上としている。

しかしながら、ユーザーの設定温度使用調査を行ったところ、政府推奨温度での運転は暖房で9%、冷房で44%しか実施されていなかった。そこで、政府推奨温度の実施率低迷を招いている要因を明らかにするために、エアコン使用時の不満点を調査したところ、最も多い不満内容は“部屋が均一に空調できない”“温度むらが不快”であった。近年の住宅はリビングの大型化が進み、快適性に対する不満はさらに大きくなってきている。従来のエアコンでは吸込温度だけで温度調節することから、エアコンから離れた床付近の温度が分からないために、エアコンからの温風や冷風の最適な温度制御が困難で、快適な温冷風を適切な気流風速で届けることができない。このため、必要以上にユー

ザーは暖房時に設定温度を上げすぎたり、冷房時に設定温度を下げすぎたりしている。

赤外線センサを搭載することで、エアコンから離れた人のまわりの床や壁の温度(輻射(ふくしゃ)温度)を検知し、吸込温度だけでなく検出した床温度に応じて吹出温度や風速を制御(体感温度制御)する。これによって、従来と同じ体感温度ながら平均室温を抑えることができ、省エネルギー化が可能となった。設定温度(室温)23℃に設定し、従来のエアコンに見立てて、赤外線センサを用いた体感温度制御を無効にした場合の暖房運転時の温度分布を図1(a)に示す。また、設定温度を20℃に設定し、床温度を検知するサーモパイル赤外線センサを用いた体感温度制御を有効にした場合の暖房運転時の温度分布を図1(b)に示す。

従来のエアコンの場合は、吸込温度のみで温度調節されるため、設定温度を23℃にした場合、温風は着座した人の胸や顔付近までは到達するものの床面には到達せず、足元は冷えたままの状態となることから体感温度は低く感じられる。しかし、体感温度制御を有効とした場合には、床温度を検知して床面まで温風が届いて足元がしっかり暖まるように、吹出し温度及び風速を制御するために、設定温度20℃でも体感温度は従来のエアコンと比べても同等以上の温度に感じられる。

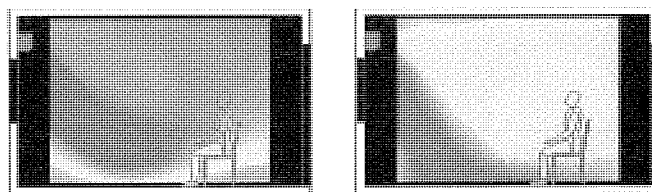
従来のエアコンとサーモパイル赤外線センサを用いた体感温度制御を行った場合を比較すると、設定温度を23℃から20℃に変更しても体感温度はほぼ同等となり、約30%の省エネルギー効果が得られる。

## 3. 人位置検出によるエリア空調

近年需要が増加してきている広いリビング対応用エアコンでは、体感温度に大きな影響を与える人のまわりの床面の温度を検知し、床面温度に応じて人のまわりにしっかりと気流を届けることが快適性や省エネルギー性を向上させるには不可欠な機能である。

そこで、エアコンから見た場合の人の位置と床面の温度分布を同時に見分けることが可能なセンシングシステムを搭載した。

図2は、搭載しているセンサ部である。垂直方向に8素子が一列に配列されたサーモパイル赤外線センサによって、



(a) 体感温度制御無効時の温度分布 (設定温度23℃, 当社体感ラボで) (b) 体感温度制御有効時の温度分布 (設定温度20℃, 当社体感ラボで)

図1. 体感温度制御有無での温度分布比較

エアコンから離れた8箇所の温度を測定しながら、ステップモータで回転往復駆動させることによって、左右160°を94分割して室内の温度分布を測定し、752画素の二次元の熱画像化する。センサは1分間で1往復するため、1分ごとに1枚の熱画像が得られる。図3は子供を抱いた人が部屋にいるときのサーモパイル赤外線センサによって得られた熱画像を示す。人がいる部分(実線で囲んだ部分)は周囲よりも高い温度として検知される。今回測定した熱画像と前回測定した熱画像との差分演算を用いて分析することによって、人の位置を検知することができる。

人の位置を検知すると同時に、得られた熱画像を奥行き方向に3分割、左右方向に5分割することで、全体を15のエリアに分割し、各エリアの平均温度を算出する。各エリアの温度のうち、人がいるエリアの温度のみを用いて体感温度制御を行うことによって、人がいるエリアが快適な温度になるように制御するため、人がいないエリアを無駄に暖めることがなくなり、人が感じる快適性はそのままに、省エネルギーな運転ができる。また、人を快適にするためには、人のまわりにしっかりと気流を届けることが必要であるため、分割した各エリアに人がいるかないかの組み合わせに応じて極力人のまわりに気流を届けるように上下左右の風向を決定している。気流を届けたいエリアの組み合わせは2の15乗個のパターンがあり、この中には1組の上下・左右風向フラップでは一度に対応できない組み合わせが多数存在する。これを解決するため、上下風向フラップを左右に2分割し、左右風向フラップとともに左右独立で

動かすことができる機構を搭載することで、タスキ掛けの位置に人がいるような、従来のエアコンでは対応できない場合(図4)でも、両方のエリアにいる人が快適になるように、気流を届けることができるようにした。このように、人のいるエリアを検知できる赤外線センサを搭載して体感温度制御を行うとともに、検知した人のまわりのエリアにしっかりと気流を届けられるフラップを搭載することで快適と省エネルギーを両立したエリア空調を行う。そして、人が一つのエリアだけにいる場合には、体感温度制御とエリアを絞る効果で、快適性はそのまま、従来のエアコンに比べて約40%の省エネルギー効果が得られる。

#### 4. 活動量検知制御

人の位置を検知して、人のまわりの床面の温度を測ることによって体感温度を検知し快適性を高めてきたが、人が感じる体感温度は活動量(代謝量)によっても変化する。例えば、ゆっくり歩き回っているときは安静時に比べて体感温度が上昇する。2008年度のモデルは2007年度のモデルよりもさらに、高精度な熱画像が得られるようになったため、人のいる位置を詳細に検知でき、人の位置の違いを分析できるようになった。検知した人の位置を記憶することで、人の位置がどの程度変化したかを分析し、所定の距離以上を所定の時間以上移動している場合には、人の体感温度が上昇する“活動量大”であると判定し、現在の体感温度をプラス補正する。暖房運転の場合、体感温度がプラス補正されると制御に使われる現在の体感温度が高めになるため、暖房能力を抑える方向に制御が働き、エアコンの消費電力が抑えられる。このため、人が動き回って体感温度が高くなっているときには、活動量を考慮しない場合に比べて省エネルギーな運転を行うことができる。

一方、うたた寝をしたような場合には人の位置が変化しないため“活動量小”であると判定し、体感温度をマイナス補正する。冷房運転の場合、体感温度がマイナス補正されると、現在の体感温度が低めになるため、冷房能力を抑える方向に制御が働く。これによって、冷え過ぎを抑えるとともに、消費電力を抑えられる。

このように、足元の温度まで考慮した体感温度制御に加えて、人の活動量まで検知して運転を制御することによって、より人の状態に合わせた運転になり、快適性と省エネ

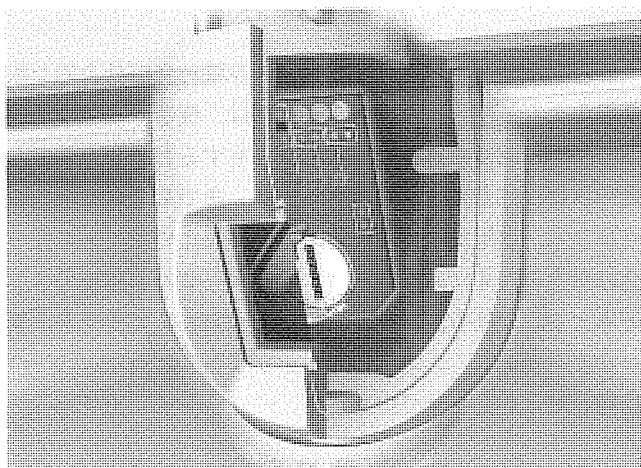


図2. 8素子サーモパイル赤外線センサ

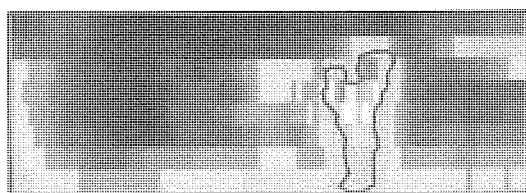


図3. 赤外線センサで測定した熱画像

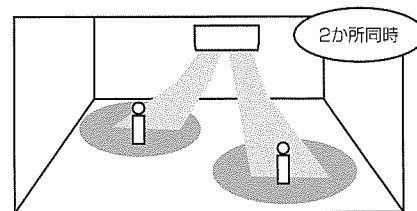


図4. タスキ吹き分け

ルギー性をさらに高めることができ、従来のエアコンに比べて約50%の省エネルギー効果が得られる。

これまでに述べた体感温度制御、人の位置検知によるエリア空調、活動量検知を働かせた制御と、従来のエアコン制御で運転した場合との同一体感温度での4時間の積算電力を測定した結果の比較を図5に示す。

### 5. 生活エリア学習制御

新・人感ムーブアイを搭載したエアコンでは、人のいる位置に合わせて、人のまわりが快適になるように吹出し温度や風速を制御する運転が初期設定となっているが、今、人がいる以外のエリアも快適な温度にしておきたいという場合がある。このような場合に選ぶ運転として、“むらなし運転”がある。“むらなし運転”では床面の温度差がなくなるように、暖房では、他のエリアに比べて温度が低いエリアを暖めるように気流を調整する。しかし、実際には部屋の中で人がほとんど行かないエリアもあるため、このようなエリアまで暖めることは電力の無駄になってしまう。

2008年度のモデルでは人がよくいるエリア(生活エリア)を学習して、空調範囲を自動的に設定する。これによって、“むらなし運転”を選んだ場合、2007年度モデルでは床全体の温度むらがなくなるように風向制御していたが、2008年度のモデルでは学習した生活エリア内の温度むらをなくするように制御することで、普段人がいないエリアを空調する無駄を省くことができる。

### 6. 見える化の推進

ここまで、使い方の工夫による省エネルギーについて述べてきたが、2008年度のZWシリーズでは正面のパネルに各種のモニタ表示を浮かび上がらせることで、運転状態の見える化も進めている。

センサを使って、人の位置まで見分けて高度な自動運転を行っているが、エアコンがどのように動いているのかが分からないという不満の声もあった。そこで、2008年度のZWシリーズでは正面のパネルに各種のモニタ表示を浮かび上がらせることで、運転状態の見える化を進めた。省エネルギー設定やエリア空調の動作状態、体感温度を室内機に大きく表示することで状態が一目で分かり、省エネルギー動作を実感できるようにした。

ここで、表示の内容を簡単に述べる(図6)。ECOモニタは葉っぱの枚数で省エネルギー設定を表し、1枚ならむらなし運転、2枚は人位置検知によるエリア空調、3枚は

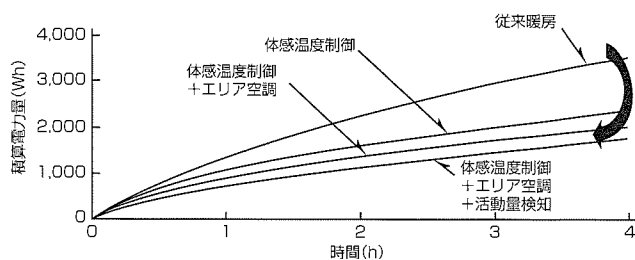


図5. 省エネルギー効果の比較

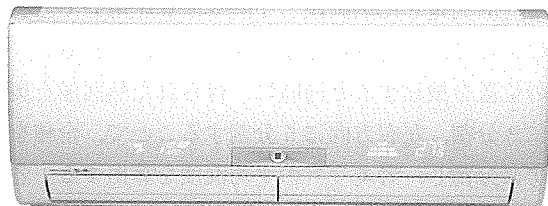


図6. 本体表示

エリア空調+活動量検知制御が働く設定であることを示している。葉っぱの枚数の設定はユーザーがリモコンで選ぶことができる。エリアモニタにはセンサが検知した人のいるエリアが表示され、エリア空調の状態が分かる。温度モニタには現在の体感温度が表示され、今の温度を確認できる。また、リモコンで設定温度を調整したときには、設定温度が温度モニタに表示されるため、本体の大きな文字で設定温度を確認することができる。また、リモコンからの信号を受信したときの受信音には従来の4kHzの代わりに高齢者にも聞き取りやすい2kHzの音を用いるなど、ユニバーサルデザインにも配慮した。

### 7. むすび

地球温暖化への対応として省エネルギー化が社会的な取り組みとなっているが、省エネ法では、機器の基本性能に関する規制を図っているため、ともすると機器の効率改善のみに視点が向きがちである。あくまでもユーザーの視点に立ち、使用実態を踏まえた幅広い視点で省エネルギー化の推進を行えば、更なる省エネルギー改善が期待できると考える。今後も、誰もが使いやすく安心して使えるエアコンを目指し、“ユニバーサルデザイン”&“エコロジー”技術を更に進化させていきたい。

### 参考文献

- (1) 日本冷凍空調工業会規格 JRA4046(ルームエアコンディショナの期間消費電力量算出基準)



# 10馬力ワイドリプレースインバータの 省エネルギー・コンパクト化

馬場正信\*  
四十宮正人\*  
本村耕二郎\*

10HP Business Use Air Conditioner for Energy Saving and Compactification

Masanobu Baba, Masato Yosomiya, Kojiro Motomura

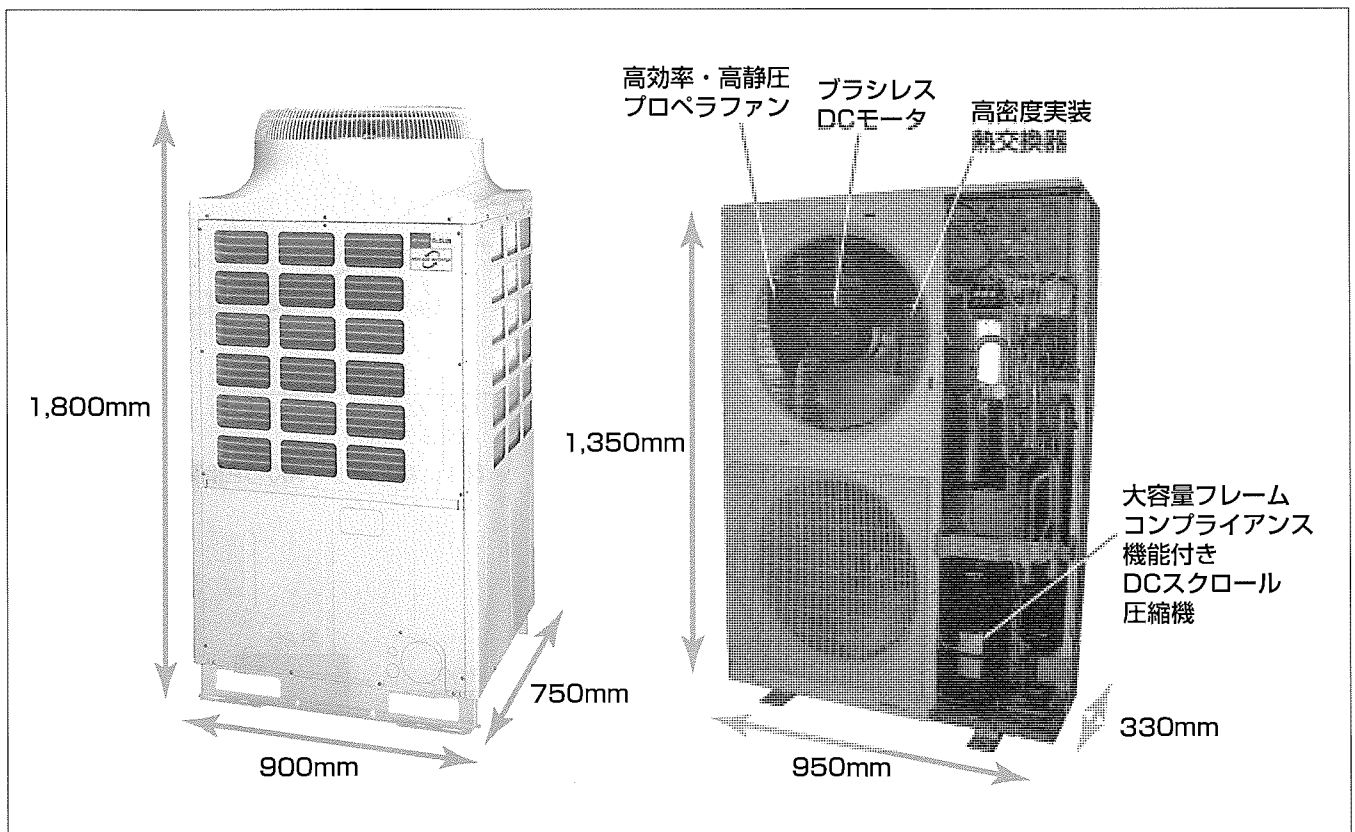
## 要 旨

業務用エアコンは省資源化の観点から、省エネルギーとコンパクト化の両立が業界のトレンドとなっている。一方で既設配管の流用を可能とする配管リプレース技術も、省資源・省コストの面で重視されるポイントとなっている。

三菱電機では従来省エネルギー・コンパクト・リプレースを訴求するワイドリプレースインバータシリーズを1.5～10馬力の能力帯で発売してきた。

今回、更なる省エネルギー・コンパクト化と既設配管流用時に配管長が不明でも冷媒量を判定できる新機能を搭載した10馬力ワイドリプレースインバータの開発成果を中心に述べる。主な特長を次に示す。

- (1) トップフロータイプからサイドフローへ形状変更し、業界トップの軽量コンパクト化を実現
- (2) ブラシレスDCファンモータ、大容量フレームコンプライアンス機構付きDCスクロール圧縮機、室内機アシスト熱交換器を開発・搭載することで、業界トップクラスのAPF(Annual Performance Factor：通年エネルギー消費効率)を達成
- (3) 既設配管流用時に配管長が不明でも適正冷媒量を充填(じゅうてん)可能とする冷媒量判定機能を搭載(業界初)
- (4) コンパクト化による省材料・省コスト化を実現



## 10馬力室外ユニット新旧外観サイズ変動と新要素

従来ユニット(左側)は側面吸い込みー上方吹き出しのトップフローであったのを、新規ユニットは背面吸い込みー前面吹き出しのサイドフローとして容積を大幅に削減した。熱交換器面積減少・風量の低下を図中に挙げた性能改善技術によってリカバーした。

1. ま え が き

電化製品の中でも総消費電力量に占める割合の高い空調機は、地球環境問題の観点から省エネルギー性が強く求められている。一方で業務用エアコンは施工性・運搬性が重視されること、また省資源化の観点も含め室外ユニットのコンパクト化及び既設配管等の部材の流用を可能とするリプレース技術も重要である。

当社は2002年に既設配管を配管洗浄レスで流用できるリプレースインバータを発売した。以降2004年に軽量・コンパクト化を訴求ポイントとするスリムインバータを発売し、その後も圧縮機が故障していても既設配管を洗浄レスで流用可能としたワイドリプレースインバータを発売し、その中で省エネルギー・コンパクト化の相反する特性を満足するために開発を行ってきた。

本稿では、省エネルギー・コンパクト化と既設配管流用時に配管長が不明でも冷媒量を判定できる新機能を搭載した10馬力ワイドリプレースインバータの開発成果を中心に述べる。主な特長を次に示す。

- (1) 風路形態を側面吸い込み・上方吹き出し(トップフロー)タイプから背面吸い込み・前面吹き出し(サイドフロー)への形状変更によって容積効率を向上、業界最コンパクト化・最軽量を実現
- (2) ブラシレスDCファンモータ、大容量フレームコンプレリアンス機構付きDCスクロール圧縮機、室内ユニットアシスト熱交換器を開発・搭載することで、業界トップクラスのAPFを達成(当社従来機種比15%向上)
- (3) 既設配管流用時に配管長が不明でも適正冷媒量を充填可能とする冷媒量判定機能を搭載(業界初)
- (4) コンパクト化による省材料・省コスト化を実現(コスト従来比13.6%低減)

2. 軽量・コンパクト・低コスト化

ここ2~3年来、業務用エアコンの室外ユニットは軽量・コンパクト化が業界トレンドとなっている。例えば、当社では4・5・6馬力の室外ユニットの高さを低減し、容積を当社従来機種比で30~45%低減している。一方で高性能な熱交換器や圧縮機を開発し、性能はほぼ従来機同等を維持してきた。

今回開発した10馬力室外ユニットでは、従来はトップフローであったのを、家庭用エアコンと類似したサイドフローとして、容積は65%低減(従来：幅900mm×奥行き750mm×高さ1,800mm=1.215m<sup>3</sup>を、今回：幅950mm×奥行き330mm×高さ1,350mm=0.423m<sup>3</sup>)、質量も35%低減(198kgを129kg)を実現している。その結果、製造コストも13.6%低減を達成している。

室外ユニットのコンパクト化による性能低下のリカバリ

一手段としては、熱交換器の高密度化実装と新規プロペラファンの開発による静圧改善・入力低減によって達成した。次にそれぞれの改善項目及び効果について述べる。

2.1 熱交換器の高密度化実装

表1に従来と新規の10馬力室外ユニットの熱交換器の比較を示す。従来は伝熱管径φ9.52mmの2列を2枚搭載していたのを新たに伝熱管径φ7.94mmの3列を1枚としている。伝熱管は性能・コストを考慮してφ7mm、φ7.94mm、φ9.52mmの管径から最適な仕様を選択している。選択の仕方としては図1、図2に示すように性能指標をAK/ΔP、コスト指標を(AK/ΔP)/(熱交コスト)とした。このAK/ΔPは熱交換器面積と熱通過率を通風圧損で割った値で、面積と風速一定での性能を表す。図1では列ピッチをあらかじめ管径ごとに固定し、段ピッチを変動させて性能ピークとなるポイントを探している。図2ではAK/ΔPを熱交コストで割ることで、単位コストあたりの性能の比較をしている。図1のAK/ΔPピークとなるポイントを見る

表1. 10馬力室外ユニットの新旧熱交換器比較

	従来	新規
伝熱管径	φ9.52mm	φ7.94mm
列数/段数/積幅	2列, 32段, 1,240mm	3列, 64段, 880mm
列/段/フィンピッチ	22.2/25.4/1.6mm	17.7/20.4/1.8mm
使用枚数	2枚	1枚

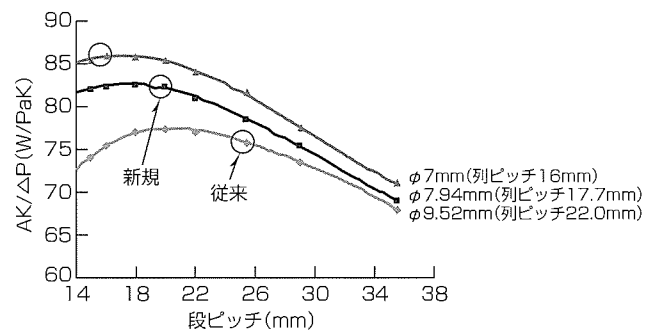


図1. 段ピッチ-AK/ΔP相関

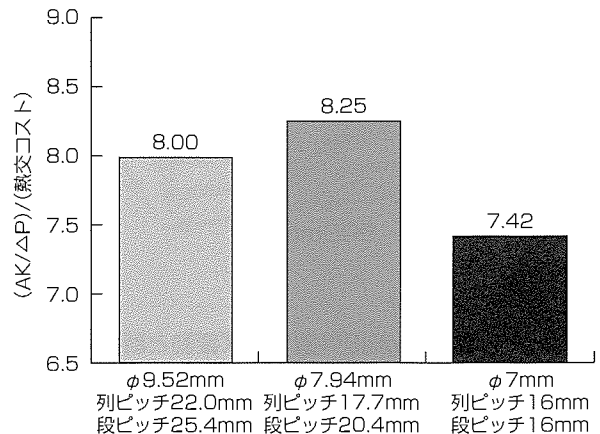


図2. 配管径ごとのコストパフォーマンス

と性能だけを考慮するとφ7mmの管径が最も優れているが、図2でコストパフォーマンスを考慮するとφ7.94mmが優位となる。これは細管化すれば前面面積あたりの熱通過率を上げやすいが、一方細管化は管内流速が上がることによる圧力損失を低減させるため、流路パス数を増やすことが必要となりコストアップとなることを表している。この結果からφ7.94mmを伝熱管の最適品として選定している。前面面積が低下したため風量は150m<sup>3</sup>/minから130m<sup>3</sup>/minへ、管外面積も31%減とそれぞれ減少しているが、熱交換器性能としては同等を維持している。

### 2.2 新規プロペラファンの開発による静圧改善

前節で熱交換器を3列化したことによって、通風抵抗が約25%増加する結果となっており、ファンモータ入力増大・暖房時蒸発器として濡(ぬ)れ面で動作するときの風量低下による蒸発温度低下が懸念された。高静圧条件下での風量の確保、入力の低減を目的として新規プロペラファンを開発した。

翼の食い違い角を大きく(翼を寝かせる方向)・弦長を長く(翼を大きくする)・翼後縁部を逆反り化することで高静圧対応・入力低減を図り、結果として12%の入力低減・濡れ面時の風量について従来ファン比15%向上を達成することができた。

## 3. 高性能化

業務用エアコン業界では、2006年10月からAPF表記開始、2012年又は2013年にトップランナー方式による新省エネルギー規制が検討されている。これに向けて従来の一点性能のCOP(Coefficient Of Performance)から通年性能のAPFの向上に目標を変えて性能改善を図っている。ここでは、室内ユニットのアシスト熱交換器によるAPF改善の事例について述べる。

### 3.1 室内ユニットアシスト熱交換器

通年性能を表すAPFに対し従来のカタログ性能は冷房定格COPが5%、暖房定格COPが22%、冷房中間COPが31%、暖房中間COPが42%のように寄与している(当社試算)。このことから定格一点での性能(COP)を上げても、APFの向上に有効でないことが分かる。APFへの寄与率の高い中間COPを向上させることが重要となる。今回は4方向カセット形室内ユニットにアシスト熱交換器を新たに搭載し、APFへの寄与率の高い暖房の定格・中間COPの向上を図っており、その内容及び効果について述べる。

図3は4方向カセットの断面図を示している。既存の本体熱交換器を通った冷媒がアシスト熱交換器で一つのパスに合流し高速流れとなりサブクールを確保する。このアシスト熱交換器ありの状態ではサブクールを規定値になるように制御し、本体熱交換器の熱伝達率の高い二相流れ部面積

を多く取ることがねらいである。図4にアシスト熱交換器あり・なしでの暖房凝縮器内部冷媒温度の比較をしている。アシスト熱交換器なしの状態では本体熱交換器内部でサブクールを確保するため、液相流れ部面積が多く必要となり効率が悪くなるのに対し、アシスト熱交換器ありではサブクールを同じだけ確保しても本体熱交換器はほぼ二相流れとなり、暖房定格では約2℃の凝縮温度の低下が可能となった。

あわせて図3のアシスト熱交換器の配置をファンの吹き出し空気流速の低い位置とすることで、ファン入力の増加を抑制し、ファン入力の寄与が大きい暖房中間COPが悪化することを防いでいる。さらに冷房時には冷媒流れ方向が逆になり、蒸発器としてアシスト熱交換器が動作するが、蒸発器の場合はアシスト熱交換器の圧力損失が冷凍サイクル全体の性能を悪化させるため、アシスト熱交換器と並行に配置した逆止弁で冷媒がバイパスするようにし、冷房時の性能低下を防いでいる。

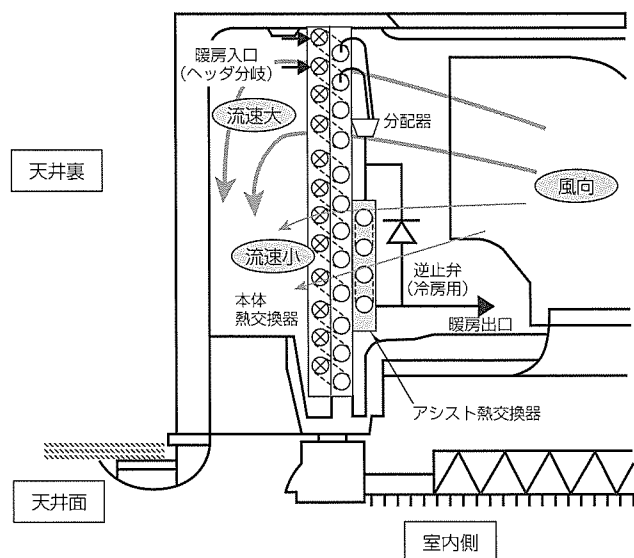


図3. 4方向カセット断面図

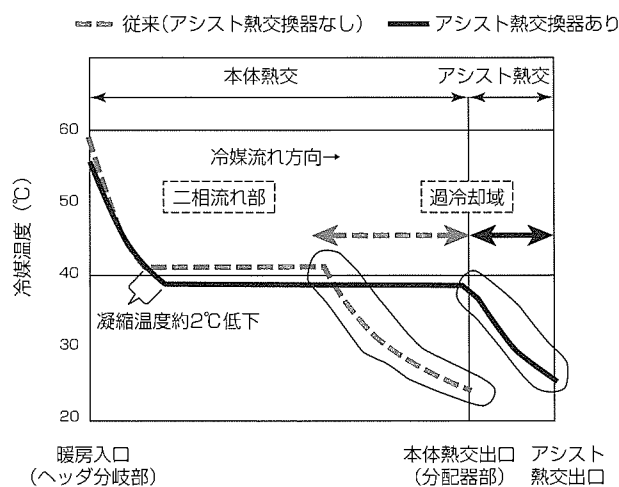


図4. 凝縮器内部冷媒温度の比較

表2. 4方向カセット組合せ時新旧カタログ性能比較

		従来10馬力	新規10馬力	
冷房標準	能力 (kW)	25.0	25.0	
	入力 (kW)	8.17	9.24	
	COP	3.06	2.71	▲11.4%
冷房中間	中間能力 (kW)	11.3	11.3	
	中間入力 (kW)	3.17	2.48	+28.1%
	中間COP	3.56	4.56	
暖房標準	能力 (kW)	28.0	28.0	
	入力 (kW)	7.00	8.00	▲12.5%
	COP	4.0	3.50	
暖房中間	中間能力 (kW)	12.6	12.6	
	中間入力 (kW)	2.91	2.36	+23.3%
	中間COP	4.33	5.34	
暖房低温	能力 (kW)	25.0	23.6	
	入力 (kW)	10.18	9.52	
COP (冷暖平均)		3.53	3.11	▲11.9%
CSPF		4.2	5.1	
HSPF		3.9	4.3	
APF		4.0	4.6	+15.0%

CSPF : Cooling Seasonal Performance Factor  
HSPF : Heating Seasonal Performance Factor

### 3.2 APFの変動

4方向カセット組み合わせでの従来・新規のカタログ性能を表2に示す。標準定格COPでは悪化(冷暖平均で▲11.9%)しているものの、前節のアシスト熱交換器に加えて室内ユニットにブラシレスDCファンモータ・ブラシレスDC圧縮機を採用することによって中間性能を大幅に(冷暖平均で+26%)改善することでAPFは従来比15%改善を実現している。このAPF値は業界トップクラスとなっており、業界最コンパクト・最省エネルギーとなる。

### 4. 冷媒量判定機能

この機種はビル等に敷設され旧冷媒(R22)で使用していた既設の室内外接続配管を、配管洗浄なしで使用できるという訴求をしているが、既設配管の配管長が正確に分からず、冷媒を追加充填する際の量が分からないというケースがしばしばあった。

今回新たな試みとして、ユニット据付時に運転状態から冷媒充填量を判定し、延長配管の情報が不明でも室内機の機種・台数に応じて適正な冷媒充填量の判定を可能としている。

冷媒量判定機能の基本的な考え方は次のとおりである。

(1) 冷媒は①液・ガス延長配管、②室外熱交換器及び③室

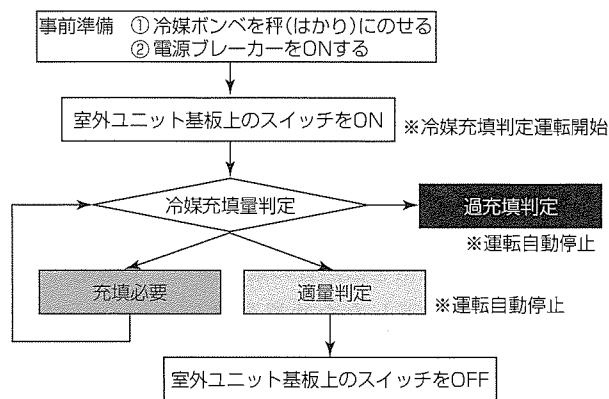


図5. 冷媒充填量判定フロー

内熱交換器に存在することを前提とする。

(2) 判定運転中は①液・ガス延長配管②室外熱交換器の冷媒密度が目標値となるよう圧縮機周波数・電子膨張弁を制御し、③室内熱交換器の冷媒密度が目標値になったら適量と判定する。

具体的な使用方法は図5に示すようなフローで行われる。室外ユニット基板上的スイッチによって冷媒量判定運転を開始、運転が安定したところで冷媒の充填状況を(充填必要(不足量大))(充填必要(不足量小))(適量)(過充填)の区分けで基板上的LED(Light Emitting Diode)に表示する。徐々に冷媒を充填していき充填状況が(適量)になった時点で圧縮機が自動停止、冷媒充填を終了とする。

室外ユニットのコンパクト化による冷媒充填量の削減とあわせて、不必要な冷媒充填を避けることができるようになり、また定期的に冷媒量のチェックを行うことで冷媒漏れを早めに発見することを可能とし、ライフサイクルで使用する冷媒量を減量化することができる。

### 5. むすび

10馬力4方向カセット組み合わせとしては業界トップクラスとなるAPF4.6を業界最コンパクトな室外ユニットサイズで実現した。

冷媒充填量判定機能を採用することで、サービス・メンテナンス性を向上させ、ライフサイクルで使用する冷媒量を削減することができた。

今後も更なる性能改善とサービス性向上を図っていく。

# 設備用インバータエアコンの高機能化

松浦雄司\*  
青山 豊\*  
堀本武志\*

Functional Enhancement of Air Conditioning System

Yuji Matsuura, Yutaka Aoyama, Takeshi Horimoto

## 要 旨

改正省エネ法の2006年4月からの施行によって、エネルギー使用やCO<sub>2</sub>排出量削減の徹底が図られている中、工場を中心に省エネルギー機器のニーズが高まっている。また、エアコンに限らず、すべての製品について地球環境に配慮した材料の使用を要求する声も高くなっている。さらに、過酷な環境下で使用されることの多い設備用エアコンでは、性能維持のため工場の設備管理者が空調設備の日常点検やメンテナンスをすることが多く、ユーザーメンテナンス性に優れたエアコンの開発が望まれている。そこで、これらの要求にこたえるために高い省エネルギー性を達成し、かつそれを継続的に維持できるようにリモコンからエアコンの運転状態を確認できる機能(データモニタリング機能)

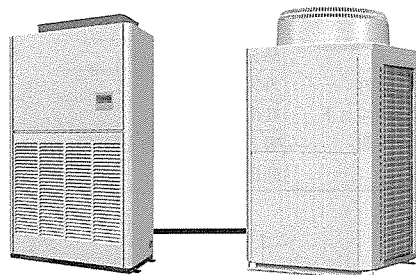
を備えた新モデル“R410A設備用パッケージエアコン”を開発した。

また、空調器本体の性能面以外からも地球環境保全に貢献するため、木材を使用しない梱包(こんぼう)材の採用を目指し、段ボールを使った輸送用パレットの検討を実施した。

輸送用パレットに木材より強度の低い段ボールを使用するためには、十分な強度を確保する必要がある。段ボール輸送用パレットの強度計算をした結果、段ボールを積層構造にすることで十分な強度の輸送用パレットが実現できることを確認した。

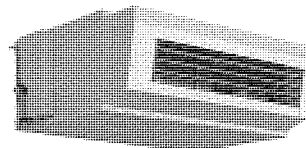
### 設備用インバータエアコンの主な特長

ラインアップ	一般空調用床置タイプ(5~60馬力)、オールフレッシュ用床置タイプ(5~50馬力) 一般空調用天吊タイプ(5~20馬力)
データモニタリング機能	室内外の運転データや保守データをリモコンで確認可能
清掃性の向上	床置タイプ16・20馬力の熱交換器をV字熱交換器から一枚熱交換器へ変更
設置面積の低減	8・10馬力室外ユニットで設置面積を約15%低減
搬入性の向上	床置タイプ20馬力室内ユニットで最大高さを約40%減、最大重量を約60%減
環境への配慮	梱包材に段ボール及びMDF(中質繊維材)を採用し、木材レスを実現



床置タイプ室内ユニット

室外ユニット



天吊タイプ室内ユニット

### 設備用インバータエアコン

三菱電機の設備用インバータエアコンは、一般空調用床置タイプ、オールフレッシュ用床置タイプ、一般空調用天吊(つり)タイプがあり、負荷や設置環境に応じて広く使い分けできるラインアップとなっている。

## 1. ま え が き

改正省エネ法の2006年4月からの施行によって、エネルギー使用やCO<sub>2</sub>排出量削減の徹底が図られている中、工場を中心に省エネルギー機器のニーズが高まっている。また、エアコンに限らず、すべての製品について地球環境に配慮した材料の使用を要求する声も高くなっている。さらに、設備用エアコンでは、性能維持のため工場の設備管理者が空調設備の日常点検やメンテナンスをすることが多く、ユーザーメンテナンス性に優れたエアコンの開発が望まれている。そこで、高い省エネルギー性を達成し、かつそれを継続的に維持できるようにリモコンからエアコンの運転状態を確認できる機能を備えた新モデル“R410A設備用パッケージエアコン”を開発した。

また、地球環境保全への貢献と木材廃棄物を低減するため、木材を使用しない梱包材の採用を目指し、段ボールを使った輸送用パレットの検討を実施した。

輸送用パレットに木材より強度の低い段ボールを使用するためには、十分な強度を確保する必要がある。段ボール輸送用パレットの強度計算をした結果、段ボールを積層構造にすることで十分な強度の輸送用パレットが実現できることを確認した。

## 2. 設備用インバータエアコンの特長

### 2.1 省エネルギー性

新モデルでは、省エネルギー機器のニーズにこたえるために、従来モデルからさらに省エネルギー性を向上させている。

室外ユニットに内蔵する圧縮機は、小型・軽量のDCブラシレスモータ駆動スクロール圧縮機を採用し、インバータ駆動によって高い省エネルギー性と低騒音化を両立している。また、室外ユニットの熱交換器の伝熱管を細管化し、溝形状を見直すことで、更なる高性能化を図り、一般空調用床置タイプ10馬力ユニットで冷暖平均COP (Coefficient Of Performance) 3.76/3.77 (50Hz/60Hz) を達成している。

室内ユニットに搭載しているリモコンには設定温度範囲を制限する機能が組み込まれている。一般に、暑い夏の日中や寒い冬は、冷暖房を強めにしがちであるが、設定温度範囲を制限することで省エネルギー化が図れる。

さらに、新モデルの空調システムには室内/室外ユニットへの外部入力によって、圧縮機の最大運転周波数を制御することで、エアコンの消費電力を4段階(100%-75%-50%-0%)に制御でき、省エネルギー化が図れる機能を搭載している。

### 2.2 ユーザーメンテナンス性の向上

#### 2.2.1 データモニタリング機能

先に述べたとおり、設備用エアコンの場合、設備管理者

が空調設備の維持管理のために運転データや保守データの確認を日常的に実施していることが多い。しかし、室外ユニットが離れていたり、アクセスしにくい場所にある場合や室内ユニットが天吊機種の場合などは、点検に時間や労力がかかっていた。

そこで新モデルでは、室内にいながら室内外の運転データや保守データをリモコンで的確かつ効率的に確認できる、“データモニタリング機能”を搭載した。

新モデルに搭載のデータモニタリング機能で確認できる項目を表1、リモコンへの表示例を図1に示す。この機能を使うと複数の室外ユニットや室内ユニットを持つシステムでも、アドレスを指定することで確認したいユニットの情報を的確に得ることができる。

リモコンでは、新モデルからドット液晶採用の設備用“MAスムーズリモコン”を採用し、データモニタリング項目を漢字・カタカナで表示でき、視認性を向上させている。

また、室内ユニットのフィルタ使用時間、送風機運転時間、ベルト運転時間は、清掃や交換時に各項目個別にリセット操作ができるようにしている。

#### 2.2.2 熱交換器形状の変更

従来モデルの床置タイプ16・20馬力の熱交換器はV字形であったが、新モデルでは1枚の熱交換器へ変更し、前面からの熱交換器清掃性の向上とフィルタ取り外しを容易にしている(図2)。

#### 2.2.3 異常時連絡先表示

リモコンには異常発生時に連絡するサービス会社などの連絡先をあらかじめ登録できる機能を搭載している。異常が発生した場合は連絡先が自動で表示されるため、スムーズに連絡が可能となる(図3)。

表1. データモニタリング項目

圧縮機情報	積算運転時間	室内 ユニット 情報	熱交換器温度
	ON-OFF回数		吸込温度
	運転電流		フィルタ使用時間
室外 ユニット 情報	熱交換器温度	送風機運転時間	
	外気温度	ベルト運転時間	
	吐出圧力		
	吸入圧力(5馬力を除く)		
	吐出温度		

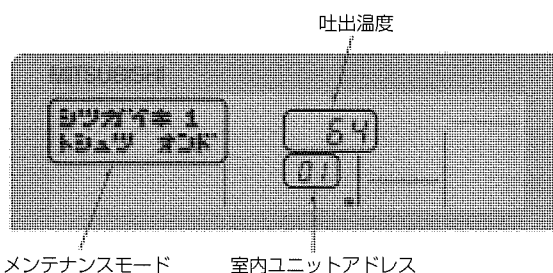
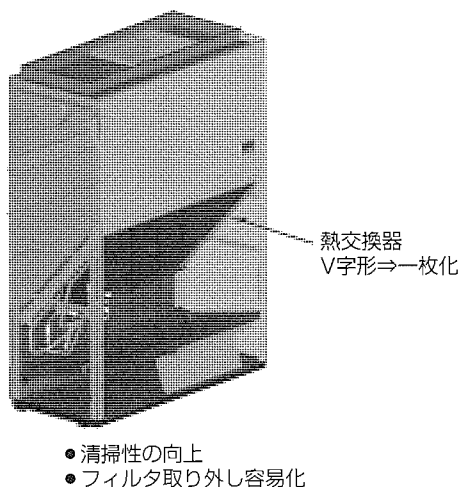


図1. リモコンへの表示例(吐出温度64℃)

### 2.3 設置環境に適した室内ユニットの選択

室内ユニットには、床置タイプと天吊タイプを用意している。床に設置スペースがない場合や、設備機器などが設置されているため床置タイプでは気流が到達しない場合、部屋の高い場所に吹出し口がある天吊タイプを採用することで、床置タイプでは気流が到達しない場所まで空調可能となる(図4)。



- 清掃性の向上
- フィルタ取り外し容易化

図2. 熱交換器形状の変更

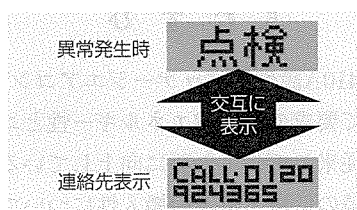
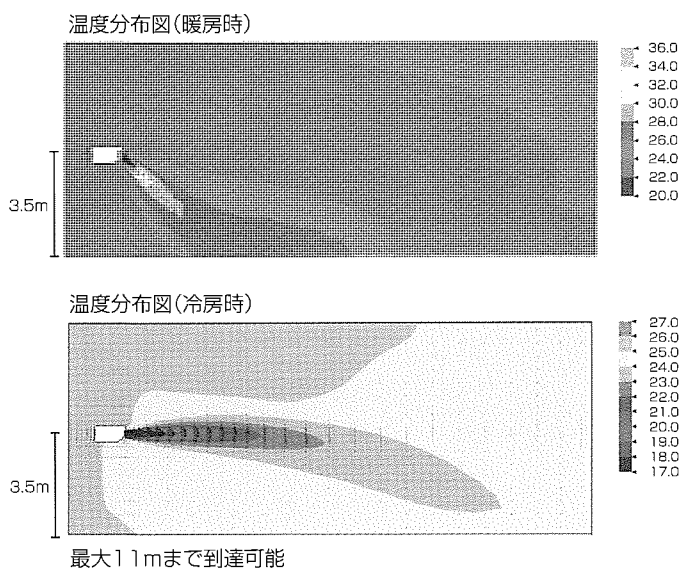


図3. 異常連絡先表示



最大1.1mまで到達可能

図4. 天吊タイプの温度分布

### 3. コンパクト化

#### 3.1 ユニット設置面積の低減

設備用エアコンでも室外や屋上の設置スペースの制限が厳しくなっており、省スペース化の要求が高い。新モデルの室外ユニットでは圧縮機・熱交換器・送風機へ新技術を搭載したことで、大幅なコンパクト化を実現し、8・10馬力室外ユニットで横幅920mm，奥行き760mmと従来モデルに対してユニット設置面積を約15%低減した(図5)。また、20~50馬力の室外ユニットは、前述のコンパクト化した室外ユニットの複数の組み合わせで構成するため、大型ゾーンでも設置面積を改善している。

#### 3.2 機器搬入性の向上

室外ユニットを屋上へ搬入する場合、一般的にクレーン車で吊り上げる必要がある。しかし、クレーン作業には周囲の交通規制申請や搬入路の確保が必要となり、多大な費用と時間・手間がかかる。このような場合、エレベーターでの機器搬入が有効である。

新モデルの室外ユニット(8・10・14馬力ユニット)は、性能維持のため必要最低限の筐体(きょうたい)容積を維持しつつ、コンパクト化し、更に四隅を斜めにカットすることで、国内最小の6人乗りエレベーターでも機器回転によ

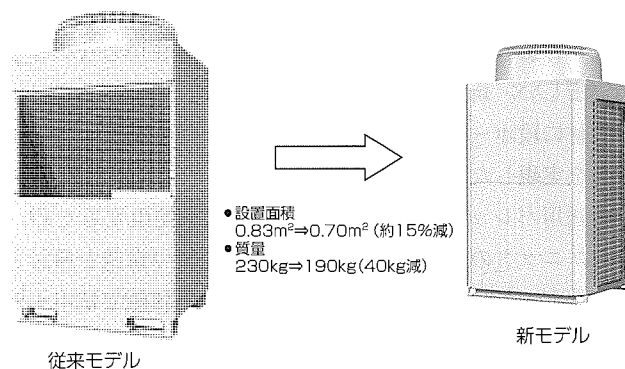
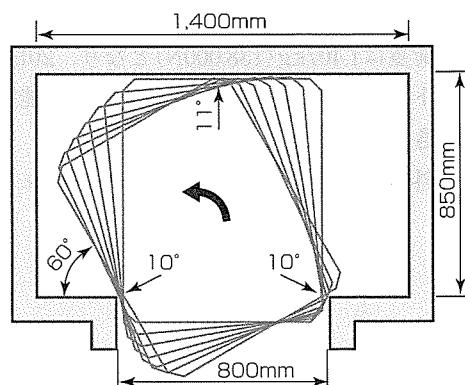


図5. 10馬力室外ユニット新旧比較



- 6人乗りのエレベーターにも回転させて搬入可能(8・10・14馬力タイプ)

図6. エレベーター搬入方法

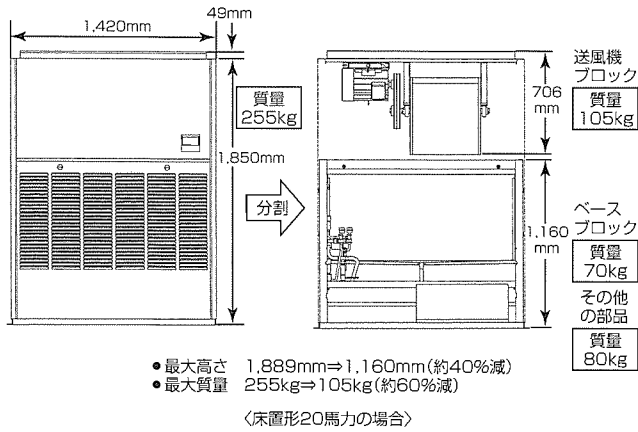


図7. 室内ユニット分割搬入寸法・重量

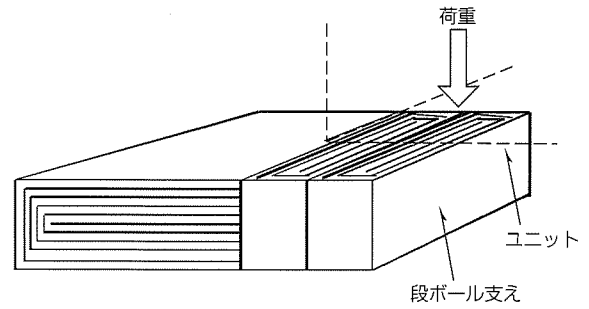


図8. 段ボールパレット(ユニットコーナー部)

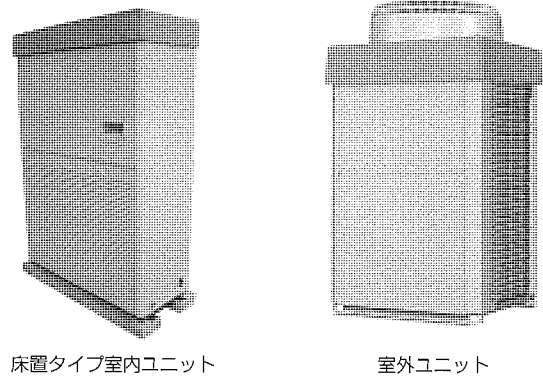


図9. 室内/室外ユニットの梱包外観

って搬入が可能となった(図6)。

また、室内ユニットでは搬入口に大型の室内ユニット(床置タイプ16~60馬力)がそのまま入らない場合を想定し、分割搬入ができる構造を採用した。筐体をベースブロック、送風機ブロック、その他の部品に分割することで、床置タイプ20馬力で最大高さを約40%、最大質量を約60%低減し、機器搬入性を向上させた(図7)。

#### 4. 環境への配慮

空調機の梱包材には木材を使用することが多いが、地球環境への影響を考えると、梱包材に木材を使用しないことが望ましい。新モデルの室内ユニット(5~20馬力)では、梱包材に段ボール及びMDF(中質繊維材)を採用し、木材レスを実現した。

輸送用パレットに段ボール及びMDFを使用するため、室内ユニットの質量に耐えられる強度を持つ構造を検討した。段ボールを図8に示すように積層した状態で使用すると、室内ユニットから受ける面圧によって、段ボール支えは11,500Nで座屈する。今回の開発では、ユニットコーナー部及び中央部に計12個の段ボール支えを使用しており、合計の耐荷重は138,000Nとなる。安全係数を5とし、2段積み可能な仕様と考えた場合、積層段ボールを採用したパレットの耐荷重は1,407kg(138,000N)となり、20HPの床置室内ユニット(製品質量:255kg)を十分支持可能であることが確認できた。

また、室外ユニットはパレットがなくてもフォークリフ

トで輸送可能な構造にしている。これによって、木材廃棄物を減らし、地球環境保全に貢献する(図9)。

#### 5. むすび

新モデル“R410A設備用パッケージエアコン”は、設備用エアコンとして要求の高い省エネルギー性とユーザーメンテナンス性を従来モデルより更に向上している。また、ユニット設置面積の低減・機器の搬入性について大きく改善したこと及び、梱包材の木材レス化によって木材廃棄物を低減したことから、顧客の要求にこたえられたものと確信している。今後も市場のニーズを吸収し、ユーザーの使いやすさを追求した製品開発を進めていく所存である。

#### 参考文献

- (1) 日本工業規格, JIS Z0403 第一部: 平面圧縮強さ試験方法及び第二部: 垂直圧縮強さ試験方法 (1999)
- (2) 津村利光, ほか: 強度設計データブック, 裳華房 (1962)



# 業務用エコキュート

大林誠善\* 岡崎多佳志\*\*  
阿部敏郎\* 加藤央平\*\*\*  
矢野賢司\*

## Heat Pump Water Heater Using CO<sub>2</sub> for Commercial Use

Tomoyoshi Oobayashi, Toshiro Abe, Kenji Yano, Takashi Okazaki, Yohei Kato

### 要旨

ヒートポンプ式給湯機は、安全性や自動制御による利便性の高さに加えて省エネルギーやCO<sub>2</sub>排出量削減効果が評価され、急速に普及が進んでいる。中でも自然冷媒CO<sub>2</sub>を採用したヒートポンプ給湯機 エコキュート<sup>(注1)</sup>は、CO<sub>2</sub>冷媒の特性を生かした極めて高効率な商品が数多く開発されている。業務用分野でも大容量の量産機種が開発され、福祉施設や宿泊施設の給湯設備に採用されている。三菱電機が新たに開発した業務用エコキュートは、業界初の高効率大型スクロール圧縮機とCO<sub>2</sub>冷媒の特性を生かした低入水温度での運転を主体としたシステムによって、中間期条件で従来機COP(Coefficient of Performance)2.6に対して

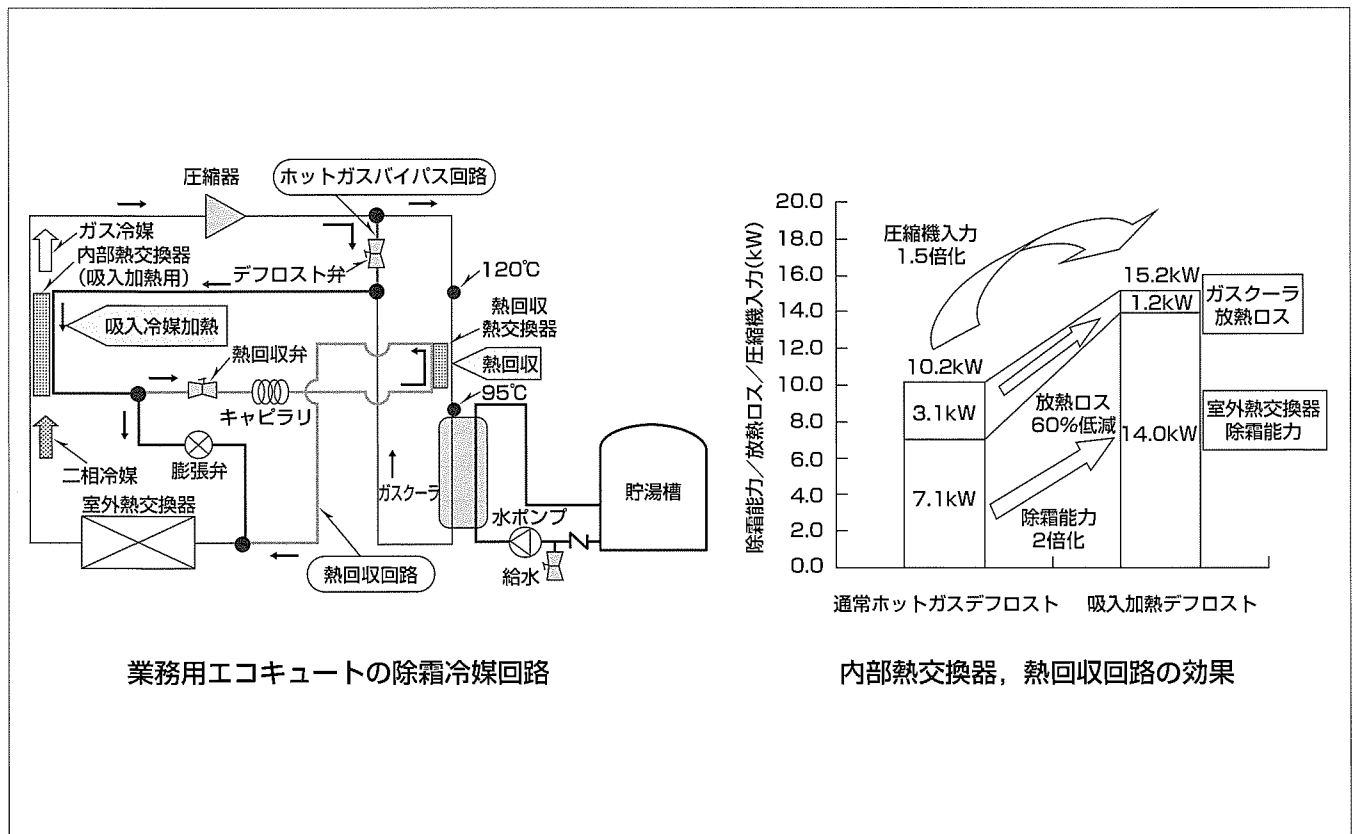
(注1) エコキュートは、電力会社や給湯機メーカーが、自然冷媒を採用したヒートポンプ給湯機を総称する愛称。

COP4.1を達成した。

この製品の冷媒回路の主な特長としては、アキュムレータを用いることなく広い使用範囲に対応するために、余剰冷媒を処理する内部熱交換器(吸入加熱回路)を設けたこと、また冬期の除霜運転では従来のような貯湯槽の温水を熱源とした除霜サイクル(リバースサイクル)に代えて、除霜能力と圧縮機の信頼性を確保するため、ホットガスデフロストを採用したことである。除霜方式の特長を次に示す。

- ①吸入加熱回路による信頼性確保
- ②熱回収回路による高速デフロスト

本稿では、上記特長を持つ冷媒回路と、除霜性能のほか、製品仕様について述べる。



業務用エコキュートの除霜冷媒回路

内部熱交換器，熱回収回路の効果

### 業務用エコキュートの除霜冷媒回路及び評価結果

圧縮機入力のみによるホットガスデフロスト方式を採用し、ホットガスデフロスト方式の課題であった除霜能力と信頼性の確保について、内部熱交換器(吸入加熱回路)の採用によって除霜運転時に余剰冷媒を処理することで圧縮機吸入への液戻りを回避(信頼性確保)し、熱回収回路を採用したことによる除霜能力の低減防止を図った。

1. ま え が き

ヒートポンプ式給湯機は、安全性や自動制御による利便性の高さに加えて省エネルギーやCO<sub>2</sub>排出量削減効果が評価され、急速に普及が進んでいる。中でも自然冷媒CO<sub>2</sub>を採用したヒートポンプ給湯機 エコキュートは、CO<sub>2</sub>冷媒の特性を生かして極めて高効率な商品が数多く開発されている。業務用分野でも大容量の量産機種が開発され、福祉施設や宿泊施設の給湯設備に採用されている。本稿では、新開発業務用エコキュートの製品仕様と特長について述べる。

2. 熱源機の仕様と特長

2.1 熱源機の主要仕様

図1に当社業務用エコキュート“サニーパックQ ECO”の概観を、表1に熱源機の主要仕様を示す。

2.2 熱源機の特長

2.2.1 高 効 率

新開発大型DCブラシレスインバータスクロール圧縮機(図2)を搭載し、定格COP4.1を達成した。外気温度条件、

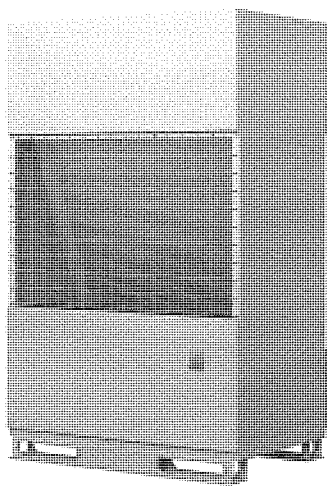


図1. 業務用エコキュートQAHV-N560A

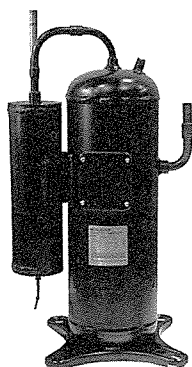


図2. 新開発大型DCブラシレスインバータスクロール圧縮機 (CO<sub>2</sub>冷媒用)

入水温度条件に応じて圧縮機回転数を30~100rpsの範囲で制御し、年間を通じて効率の良い運転を実現している。これによって燃焼系給湯機と比較して、ランニングコストは約3分の1<sup>(注2)</sup>と大幅な低減が図れる。

2.2.2 内部熱交換器を活用した余剰冷媒処理

この冷媒回路はガスクーラ出口部と吸入配管を熱交換する内部熱交換器を搭載している。この内部熱交換器の作用でガスクーラ出口部(蒸発器入口部)の冷媒温度を低下させて蒸発器入口の乾き度を下げる(液冷媒量を増やす)ことができる。したがって、入水温度が高い加熱運転やデフロスト運転でもアキュムレータを用いることなく余剰冷媒を蒸発器内に貯留することができる。

(注2) 中規模福祉施設の給湯負荷を想定し、夜間電力利用蓄熱システムでガスボイラと比較(当社試算条件による)

表1. 熱源機の仕様

型名	QAHV-N560A	
電源	三相200V 50/60Hz	
定格性能*1	加熱能力	40.0kW
	水流量	11.9L/min
	消費電力	9.76kW
	COP	4.10
保温運転*2	加熱能力	19.0kW
	水流量	17.0L/min
	消費電力	10.2kW
	COP	1.86
使用温度範囲	外気温度	-15~40℃
	入水温度	5~63℃
	出湯温度	60~90℃(上限値は外気温度によって制約を受ける)
圧縮機	型式×個数	全密閉インバータスクロール×1
	呼称出力	9.4kW
	1日の冷凍能力	4.8法定トン
送風機	0.6kW×1	
水ポンプ	0.1kW×1(非自吸渦巻き形、インバータ制御)	
空気側熱交換器	強制空冷プレートフィンチューブ式	
水側熱交換器	銅管コイル式	
冷媒	R744(CO <sub>2</sub> )	
油	PAG(ポアルキレングリコール)	
霜取り方式	ホットガス方式	
水配管接続口	R3/4(青銅製20Aオス)	
騒音値*3	57dB(A)	
外形寸法	高さ	2,086mm
	幅	1,290mm
	奥行き	840mm
高圧ガス保安法区分	届出(冷凍保安責任者の選任不要)	
製品質量	482kg	

\*1 外気温度：16℃DB/12℃WB, 入水温度：17℃, 出湯温度：65℃

\*2 外気温度：16℃DB/12℃WB, 入水温度：55℃, 出湯温度：75℃

\*3 製品から1m離れて1.5mの高さの点で測定した無響音室基準の値

### 2.2.3 熱回収回路による高速デフロスト

#### (1) 吸入加熱回路による信頼性確保

業務用エコキュートは冷媒封入量が多いため、除霜(空気熱交換器の霜取)運転時に圧縮機への冷媒の液戻りが発生して信頼性を低下させることが考えられる。この製品では、ホットガスバイパス回路内に内部熱交換器を設けて、120℃の吐出ガスと圧縮機へ吸入する液冷媒を熱交換してガス化することで液戻りを防止し、アキュムレータを用いることなく圧縮機の信頼性を確保した(図3)。

#### (2) 熱回収回路による高速デフロスト(除霜)

デフロスト運転時、デフロスト弁を介して内部熱交換器、室外熱交換器に流れる冷媒回路と、ガスクーラに流れる冷媒回路が形成される。このとき100℃以上の高温の吐出ガスがガスクーラに流れて滞留水が沸騰するのを防止するため圧縮機の回転数を抑える必要があった。この場合、除霜能力(加熱力)が低下するため、ガスクーラ入口部に当社独自の熱回収熱交換器を設けてガスクーラに流入する95~120℃の吐出ガスの熱量を除霜熱量として有効に回収し、回路を持たない場合に比べて放熱ロスを60%低減した。その結果、ガスクーラに流入する冷媒ガス温度は70~95℃に

低下して滞留水の沸騰を防止でき、圧縮機回転数を従来の上限であった70rpsから100rpsに40%増速することが可能になった。これによって除霜能力を7.1kWから14kWに2倍化し、除霜時間を通常ホットガス方式の20分から10分に半減した(図4)。

図5に運転データを示す。貯湯運転時間61分に対して除霜運転時間12分であり、全運転時間に占める貯湯運転割合は84%を確保している。また除霜運転中は、95℃の冷媒を熱回収回路で70℃前後に冷却することで、滞留水の沸騰を防止し、除霜熱量として利用している。

### 2.2.4 省スペース

CO<sub>2</sub>冷媒の高密度特性を生かして、冷媒回路は従来2系統であった冷媒回路を1系統の構成として製品の小型軽量化を実現した。また、設置面積を抑制して熱交換器を高さ方向に大型化した。さらに、配管取り出し方向を背面にして隣接設置を連続3台まで可能とした。この結果、表2に示すようにフロン冷媒を使用した同容量の当社ヒートポンプ給湯機“CAH-P500CQ-H”に対して、据付け面積(通風・サービススペース含む)50%低減を実現した。これによって、これまで設置スペースの問題から採用が難しかった顧客への提案も容易となる。

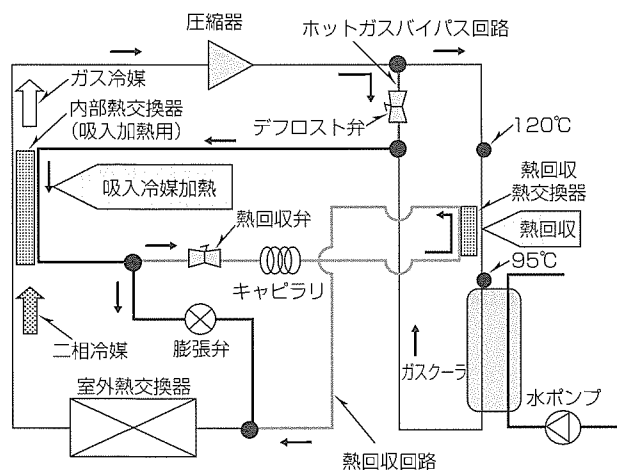


図3. 高速デフロスト回路の構成

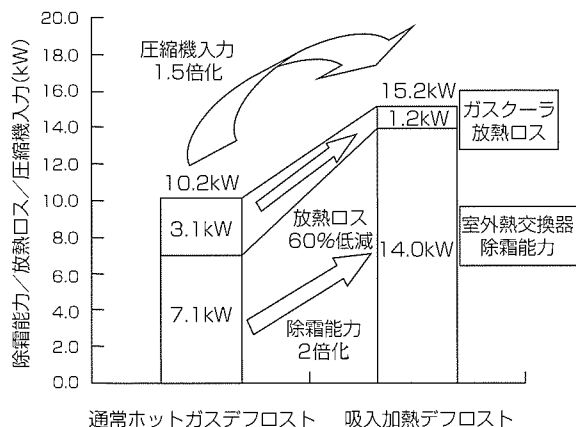


図4. 高速デフロスト回路の効果

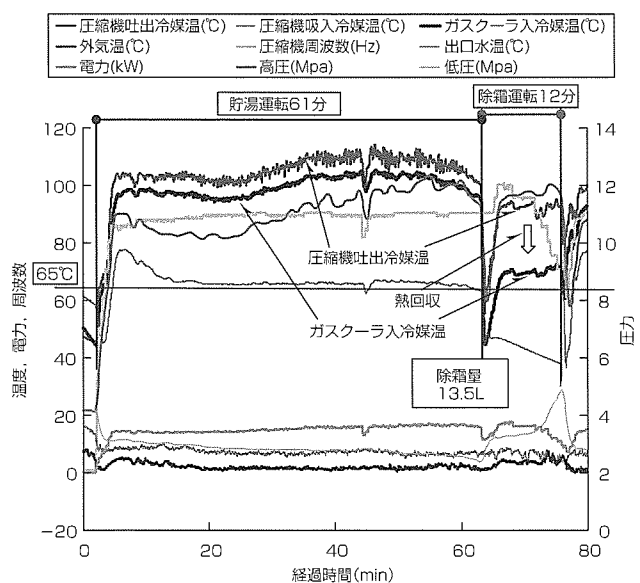


図5. 運転データ

表2. 製品のコンパクト化

	業務用エコキュート QAHV-N560A	当社フロン給湯機 CAH-P500CQ-Hに 対する減少比率
幅	1,290mm	35%
据付面積	2.24m <sup>2</sup>	50%
質量	482kg	20%

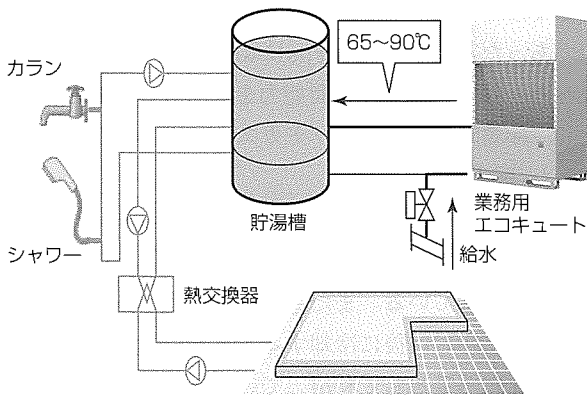


図6. 夜間貯湯運転のイメージ

### 2.2.5 年間安定運転

空気側熱交換器の大型化と独自の除霜制御技術によって着霜除霜を含めた平均加熱性能を確保するとともに、CO<sub>2</sub>冷媒の特性を生かして、外気温-15℃でも最高90℃出湯運転を可能としており、給湯負荷の大きい寒冷地でも安心して使用できる。

### 2.2.6 循環加熱機能装備

入水温度上限は63℃と高く、貯湯槽温度が負荷側循環回路等の放熱によって温度低下した場合にも補助熱源機をつけることなく貯湯槽の湯水を循環加熱する機能を持つ。冷媒回路に設けた内部熱交換器と圧縮機インバータ制御によって、入水温度が高く性能低下が避けられない条件でも効率優先の最適化運転を行う。

### 2.2.7 省工事

水配管サイズは同容量の大流量循環加熱形ヒートポンプの50Aに比べて20Aと細く工事が容易である。この製品はCO<sub>2</sub>冷媒の特性を生かした一過昇温形、つまり給水を小流量にして高温の湯に昇温する製品である。また、リモコンは熱源機最大8台を一括操作できる仕様であり、無極性2線配線のため工事も容易である。

## 3. 貯湯システム

### 3.1 夜間貯湯運転

図6に夜間貯湯運転のイメージを示す。電力量料金の安価な時間帯(22~8時)を中心に、給水(5~30℃)を一気に65~90℃まで昇温して貯湯槽に貯める。このとき出湯温度は、残湯温度、残湯量と目標貯湯温度(例えば65℃)、目標貯湯量から自動算出する。貯湯量が目標水位に達すると貯湯運転を終了する。

### 3.2 昼間保温運転

夜間蓄熱貯湯したお湯は、カラン、シャワーなどに使用

する。カランやシャワーで使うお湯は給湯配管を循環しているため、給湯栓を開けばすぐにお湯の出る即湯システムが電気ヒーターなどの補助電源なしに構成できる。湯の消費とともに貯湯量水位は低下する。昼間でも所定量まで水位が低下したら湯切れ防止のため夜間同様の貯湯運転を行う。貯湯量がこの所定水位以上ある状態で給湯配管や貯湯槽の放熱によって貯湯温度が所定温度(例えば60℃)以下まで低下した場合には貯湯槽・エコキュート間で循環保温運転を行う。循環保温運転では熱源機で入水温度から約20℃上昇させて貯湯槽に戻す。貯湯槽温度が所定温度(例えば62℃)まで上昇したら循環保温運転を停止する。

## 4. エコキュート導入予想効果

### 4.1 エネルギー消費量

老人福祉施設(東京)で月別給湯負荷を想定し、夜間電力利用エコキュートシステム、夜間電力利用フロン給湯機システム、ガス真空ヒータシステムの年間エネルギー消費量を試算した。フロン機に対して45GJ/年(24%)削減、ガス真空ヒータに対して年間300GJ/年(68%)削減の効果が期待できる。

### 4.2 エネルギーコスト

前節の条件でエネルギーコストはフロン機に対して146千円/年(25%)、ガス真空ヒータに対して883千円/年(67%)削減が見込める。

### 4.3 CO<sub>2</sub>排出量

CO<sub>2</sub>排出量原単位を電力0.339kg-CO<sub>2</sub>/kWh、ガス2.29kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>として、年間CO<sub>2</sub>排出量は4.1節の条件でフロン機に対して4.2t/年(24%)、ガス真空ヒータに対して13.8t/年(50%)の削減が見込める。

## 5. むすび

福祉施設、スポーツ施設、ビジネスホテル等の給湯設備に適用できる業務用エコキュート“サニーバックQ ECO”について、概要と特長を述べた。その省エネルギー性、経済性、環境性及び安全性のメリットによって今後の普及拡大が期待される。今後、機器及びシステムの更なる改良に努める。

## 参考文献

- (1) 片岡昌樹：業務用大型自然冷媒ヒートポンプ給湯機の紹介，冷凍，82，No.951，4~7 (2007)
- (2) 財ヒートポンプ・蓄熱センター：ノンフロン技術-自然冷媒の新潮流，オーム社，東京 (2004)



正垣信雄  
Nobuo Shogaki

昨今、“ものづくり”がずいぶん元気になった。1990年代のバブル崩壊後の失われた10年は、ITの製品への組み込みを中心として、何のためらいもなく技術が進んだ時期であったが、一方、製造業の現場にとっては悩みと迷いの10年間であった。安価なオペレーションコストを求めた製造の海外シフトや、IT化偏重志向が、この期間を象徴しているが、2000年のいわゆる突発型ITバブルとその後の反動が、この迷いを吹っ切った。

製造の海外シフトは、安価なオペレーションコストから、その地域向けの生産、地域固有の仕様を織り込んだ製品作りに視点が変化している。一方、進化し続ける高付加価値製品や変種変量生産品は、国内での生産を刷新することによるグローバル競争力強化への指向が強まっている。ここに再び健全で本質的な“ものづくり”への再チャレンジが始まった。また、“ものづくり”に求められるものは製品の品質・納期・コストのみならず、地球環境・資源に配慮することも不可欠の時代となった。三菱電機の産業メカトロニクス事業部は、より社会的価値の高い生産財を顧客に提供することを目指している。

1980年から急速に普及してきた産業用ロボットは、約25年の歴史の中で、技術も市場も質的に大きく変化してきた。かつては日欧米に偏っていた市場も中国をはじめ、より広い地域に拡大している。特に最近では、日本製造業国内回帰の切り札としての期待が市場の好調さにつながっている。ロボット自身の高性能化・インテリジェント化のみならず、千差万別な自動化ニーズに対応できる製品としての仕掛けやオプションの充実を進めている。FAトータルソリューションを目指した製品を新たにリリースしたのも、その一

例である。

放電加工機は、約50年の歴史の中で、主に金型製作のマザーマシンとして普及、拡大してきた。近年は金型の複雑・微細化や型材の高硬度化などの高付加価値化が進んでおり、これらの潮流に対応した放電加工の新技術を強化している。また、チタンなどの難切削材の加工が課題となる航空、エネルギー、医療産業などの分野では、部品加工への適用が拡大している。さらに、放電を利用した金属表面への厚膜コーティングの画期的な新技術“マイクロ・スパーク・コーティング(Micro Spark Coating)”は、本格的な普及実用段階を目前にしている。

レーザが板金切断分野で使われ始めて約25年となる。切断の高速・高精度化とともに、対象板厚も増大の一途をたどってきた。今や、国内総需要が年間1,000台の時代となり、“ものづくり”に不可欠な加工機に成長しており、更なる高速・高精度化、加工品質の向上、省人化を進めている。また、1995年頃から、携帯電話などの高密度実装プリント基板穴あけ用のマイクロレーザ加工がスタートした。携帯電話や半導体・電子部品分野で使われている。今や、1秒間に約2,000個もの穴あけが可能な時代となっている。

これらの加工機の性能向上には、電源・発振器といったキーパーツとともに制御装置(CNC)の役割が大きく、そのリソースを持っているという当社独自の強みを生かした製品開発を進めている。

当社は、これからも製造業の社会的価値をより高めるために国内外での新たな“ものづくり”の場面で顧客と一緒に考え、その都度答えを見出すという姿勢を貫いていく所存である。

# 産業加工機におけるコア技術の現状と将来動向



今井祥人\*

Present and Future Trend of the Core Technologies in the Industrial Processing Machine

Yoshihito Imai

## 要 旨

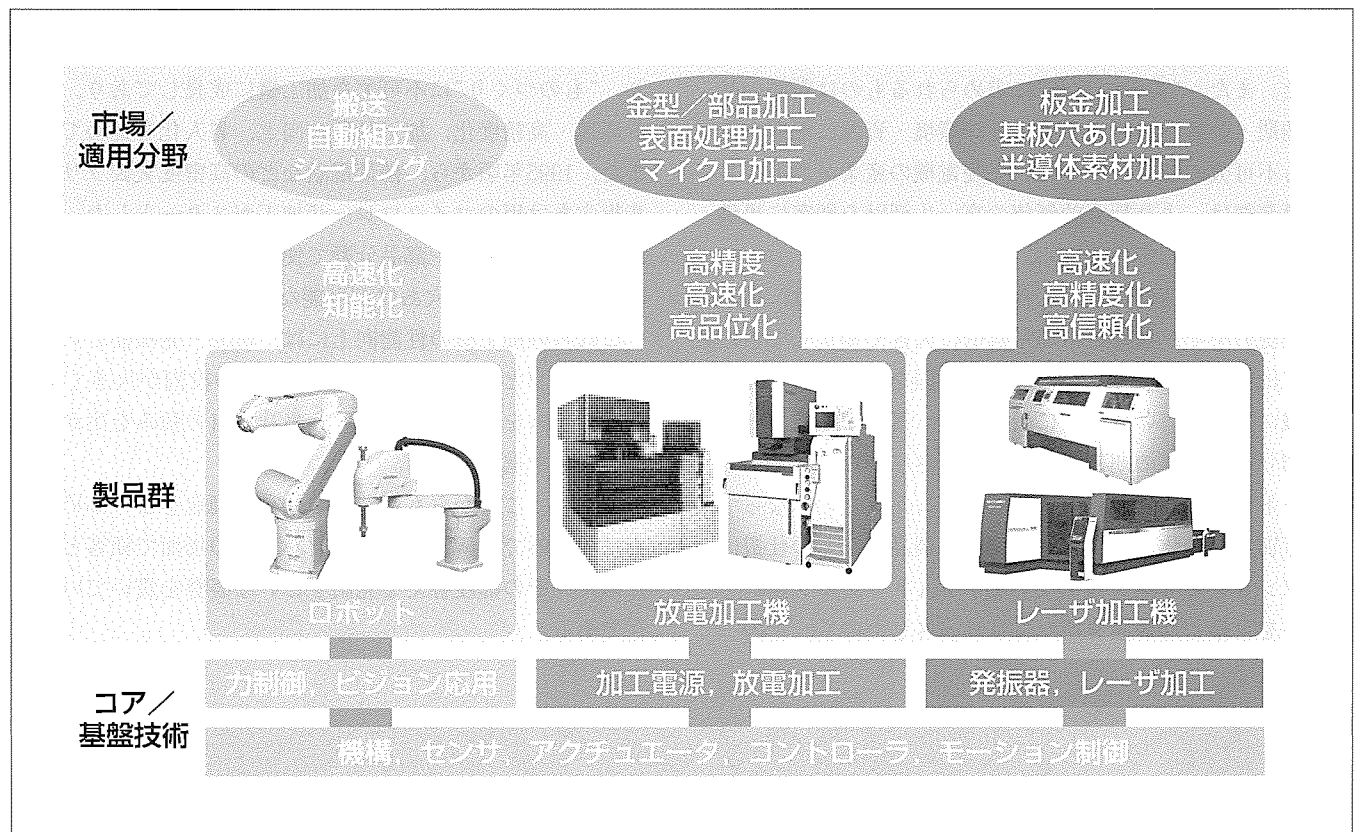
近年、国内での“ものづくり”を評価し、海外と国内での生産の位置づけや役割を明確にし、グローバル競争力を強化する傾向は着実に強まっている。そこでは、付加価値の高い製品を高生産性で即時性をもってつくることが望まれている。三菱電機は、これらの要求を“ものづくりの工場そのものの高付加価値化”にとらえ、最新鋭のロボット、放電加工機、レーザ加工機などの産業加工機、高性能なプログラマブルコントローラ等の制御系機器、そして工場全体を最適化するFA統合ソリューション“e-F@ctory<sup>(注1)</sup>”や“iQ Platform”などの提供を行ってきている。そのような状況で、製品をつくる源流に近い産業加工機の性能によって、製品の差別化、付加価値がおおよそ決まることから、加工機の高性能化への要求は留まることがない。

下図に当社が提供する産業加工機とそれを支えるコア技術、及び市場／適用分野を示す。ロボットでは力制御やビジョン応用によって知能化が進み、自動組み立て作業の適用範囲が大きく広がると推察される。放電加工機では加工電源や加工技術の高度化によって、部品加工、マイクロ加工、さらには放電表面処理技術のような新しい適用分野が期待できる。レーザ加工機では発振器技術やレーザ加工技術の革新によって、様々な波長が選択できる波長変換レーザが出現し、半導体素材の微細加工分野などが急速に進展すると思われる。

本稿では、このような産業加工機を支える当社のコア技術と今後の新分野開拓に向けた開発動向について述べる。

(注1) e-F@ctoryは、三菱電機株式の登録商標である。

特集  
II



## 新たなニーズにこたえる三菱電機の産業加工機

当社の産業加工機であるロボット、放電加工機、レーザ加工機と、それらを支えるコア／基盤技術、要求される性能、及び市場／適用分野を示す。

## 1. ま え が き

産業加工機であるロボット、放電加工機、レーザ加工機で、高速化、高精度化は共通の技術課題である。ロボットではロボットの機構・駆動部の改良と更なるモーション制御技術の性能向上、また、放電加工機やレーザ加工機ではそれらのモーション制御技術に加えて、それぞれ高度な放電加工制御技術、レーザ技術が不可欠となる。さらに、これらの加工機を新分野へ適用するためには、新規の技術開発が必要とされる。本稿では、それぞれの加工機を支えるコア技術の開発動向と、新分野へ適用するための技術開発動向について述べる。

## 2. ロボット技術／開発動向

産業用ロボットの性能は年々向上している。CAE (Computer Aided Engineering) を駆使した高剛性化、動作範囲拡大などのロボット本体の改良に加えて、コントローラの機能・性能の向上と同時に低コスト化が要求されている。また、ユーザーの嗜好(しこう)の多様化に対応するため、多品種変量生産が必要になってきており、これらに対応するためにロボットシステムの知能化が不可欠となっている。この章では、ロボットコントローラとモーション制御技術、及びセンサ応用ロボット組立てセルについて述べる。

### 2.1 ロボットコントローラとモーション制御技術

ロボットシステムでは、図1のように周辺装置も含めた制御をシーケンサによって行っていた。ロボットコントローラとシーケンサが独立している従来のシステムでは、I/O点数分だけ配線が必要となり配線数が多い、シーケンサ-ロボット間が高速通信できずI/O処理に時間がかかるなどの問題があった。そこで、新しいコントローラプラットフォームとして、iQ Platform対応のロボットコントローラを開発した。iQ Platformではシーケンサベース上にロボットコントローラが装着され、追加ユニット・オプション、I/O点数分の配線が不要となりシステムコス

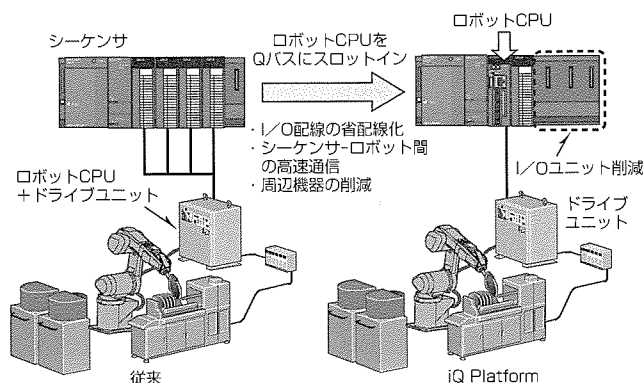


図1. iQ Platformを用いたロボットシステム

トが大きく低減される。また専用バス機能によってデータ通信時間を短縮するとともに高速CPU (Central Processing Unit) の採用によって制御性能も大幅に向上した。

モーション制御機能としては高速・高精度化、使い勝手向上、アプリケーション特化機能の開発に注力し、製品搭載してきた。

まず、高速・高精度を実現する機能としては、最適加減速機能、最適軌道接続機能、たわみ補正機能を備えている。最適加減速機能は、小型垂直多関節ロボット分野で業界トップの高速性を実現している機能であり、ロボットの動作位置・姿勢・手先負荷に応じて最適な加減速時間を自動的に設定する。最適軌道接続機能は、2つ以上の動作を滑らかに接続することによって動作時間の短縮を図る。たわみ補正機能は、重力によるロボットのたわみを補正し、位置決め精度を向上させる。

また、使い勝手向上のためには、衝突検知機能、位置復旧支援機能、メンテナンス予測機能があり、当社“RV-S, RH-Sシリーズ”から搭載している。衝突検知機能は、教示中又は自動運転中のロボットの衝突を付加的なセンサなしで検知し、ロボットを停止させることでロボット本体や対象物の損傷を軽減する。位置復旧支援機能は、ロボットハンドにズレが発生した場合やモータ、ベルト交換時、ロボット交換時の再教示作業を低減する。メンテナンス予測機能は、実際のロボット稼働状況に応じた負荷状況を解析し、給油やベルト交換時期を算出して提示する。さらに、RV-Sシリーズには、従来ロボットが直線補間(手先を直線で動かす動作)では通過できなかった特異点及びその近傍を通過できる特異点通過機能も搭載している。

さらに、アプリケーション特化機能としては、直交コンプライアンス機能、コンベアトラッキング機能などを“RV-A, RH-Aシリーズ”から備えている。直交コンプライアンス機能では、旋盤からの加工ワークのロード・アンロード作業等、外力にならってロボットを動作させることができる。コンベアトラッキング機能は、ロボットをコンベアに同期させてコンベア上の対象物をコンベアを停止させずに取り出すことを可能にする。

### 2.2 センサ応用ロボット組立てセル

多品種変量生産の要求に対し、これまでは人によるセル生産で対応してきた。しかし、人によるセル生産は、生産性、品質が作業者の能力・技能に依存する、少子高齢化による労働人口の減少によって国内で優秀な作業者の確保が困難になってくるなどの問題がある。

これらの問題を解決するためには、生産機種変更時に大半の設備が流用可能で、また、生産時には短時間で品種切り替え可能なロボットによるセル生産を実現する必要がある。ロボットを用いてセル生産を行うことによって、低コストで安定した品質、高い生産性を実現することが可能と

なる。産業用ロボットは、溶接、塗装などの現場には導入が進んでいるが、多品種変量生産の現場には次の理由から導入が進んでいない。

- ・ティーチングプレイバック方式が主流であり、新しい品種への対応に時間がかかる。
- ・部品の位置ずれなどの外乱に弱い。

そこで、組立て用ロボットシステムの知能化を図るためにセンサ応用制御技術の開発を進めてきた。図2にセンサ応用組立てセルの構築例を示す。このシステムでは、三次元センサを用いた長ねじピッキング機能、力覚制御による上下カバー組み付け機能、二次元センサによる平面バラ置きワークの取り出し機能を省スペースで実現しており、高価な長ねじ整列機器の不要化、教示時間や段取り替え時間の短縮を可能としている。今後、こうしたセンサ応用技術によって複数種の部品供給や組立て作業への適用が期待され、2007年の国際ロボット展に図に示すシステムを参考出品した。

また、これまでロボットシステムでは困難であった柔軟物ハンドリング・組み付け技術の確立を図るため、三次元センシング技術、組み付け制御技術、柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術、作業エラーからの自動復旧技術など、更なるロボットシステムの高度化技術の開発にも取り組んでいる<sup>(注2)</sup>。

### 3. 放電加工機技術／開発動向

放電加工機は、被加工材(導電性材)の硬度に関係なく加工が可能なことから主に金型加工に適用されてきた。近年、自動車関連や電子部品関連の金型で微細高精細化が進展し、ますます高精度な加工が求められている。また、放電加工の部品加工や表面処理加工への利用、更には半導体素材加工への適用も進みつつある。この章では、放電加工の高精度化への技術開発状況と、新分野に適用可能な放電加工技術について述べる。

(注2) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」で実施している。

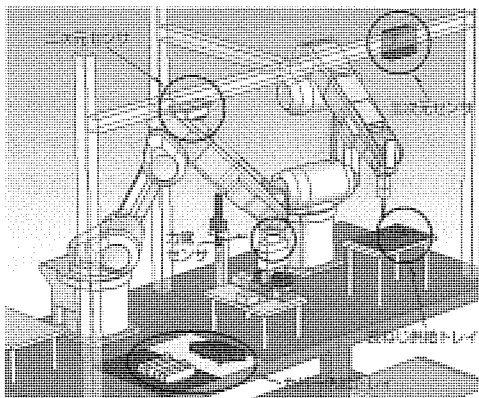


図2. センサ応用組立セル

### 3.1 放電加工における高精度化技術

放電加工の高精度化には、機械技術、加工電源・制御技術、情報処理技術、加工液処理技術など様々な技術が絡んでいる。まず、高精度加工を実現するうえで基本となるのは、工具電極と工作物の正確な位置決め技術である。さらに、放電加工は長時間を要することから、周囲環境の温度変化への対応が重要である。当社の超高精度放電加工機“PAシリーズ”では、機械周囲をキャビネットで覆うフルキャビネット構造として環境温度の影響を最小とし、また、一定温度に調節した加工液を所定の機械部位に循環させる相対変位抑制構造を採用、さらに機械温度変化に起因する姿勢誤差を補正する熱変位補正機能を搭載している。

ワイヤ放電加工では、黄銅ワイヤを工具電極として使用するため、ワイヤの振動によって工作物の中央部の加工面位置に加工形状誤差が生じやすい。この工作物の板厚方向の形状精度(真直精度)向上には、ワイヤ支持点の高精度位置決めだけでなく、加工現象を考慮した加工電源と制御技術が必要となる。当社は、電極ワイヤ上の放電位置制御によって加工板厚方向の加工量を制御し、荒加工時における高い真直精度を実現する業界初の形状制御電源(Digital-AE電源)を開発した。荒加工段階での真直精度が向上することによって、仕上げ加工量の減少に伴ってトータル加工時間も最大20%削減することができた。

一方、近年、著しい進歩を見せている情報処理技術、特に三次元CAD技術が高精度加工に利用できる。具体的には、三次元CADデータに基づいてあらかじめ認識した加工形状をもとに加工適応制御を実行することである。例えば、あらかじめ加工板厚の変化を予測できれば、事前に徐々に加工条件を切り替えて板厚変化に備えることによって板厚変化位置の加工面に生じるスジを抑制することが可能である。図3は、当社の最新技術である三次元CADデータに基づいた加工適応制御(3D-PM)を用いた場合、従来加工制御との加工結果を比較したものである。

脱イオン水を加工液として用い、超硬を対象としたワイヤ放電加工で、加工時間が数日以上に及ぶ超高精度加工では、腐食の問題を解決する必要がある。当社では加工液の

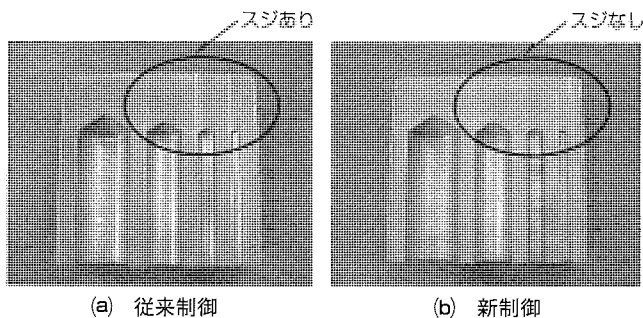


図3. 新加工適応制御による高品位加工



イオンバランスを調整してワーク表面を不活性化できる Aqua Surface機能を完成さ、その有効性を実証している。

### 3.2 新分野対応放電加工技術

放電を利用して工具電極材料を工作物表面に付着させる放電表面処理技術(MSCoating)や、半導体素材のような非金属材料を対象とする加工方法など、当社オンリーワン技術が開発されつつある。

MSCoatingは、母材全体の温度の上昇なしに被膜の形成が可能であり、特別な技能を必要とせず母材変形がない寸法精度の良い表面処理方法である。また、被膜部分は完全に溶解しているため母材と傾斜組成となり高い密着力が得られるなど、従来のめっき、溶射などの表面処理方法よりも優れた特長を持っている。現在、当社は航空機部品への適用を進めているが、多様な被膜形成技術を確立することで適用分野が更に広がると予測される。

特殊な加工電源を用いれば金属材料に制限されることなく半導体素材も加工可能であり、新たな展開を見せつつある。例えば、太陽電池用多結晶シリコンのスライス工程で、従来のマルチワイヤソーに替えて放電スライス加工を適用しようとする試みである。マルチワイヤソーは遊離砥粒を用いた機械的接触加工であるが、放電スライス加工は熱溶解的非接触加工である。したがって、放電加工の方が、ウェーハの破損や細線ワイヤの破断が生じにくく、ウェーハ薄肉化や切り代狭小化に有利であると推察される。当社は、太陽電池用多結晶シリコンブロック150mm角の放電スライスに成功し、スライスされたウェーハから太陽電池セルを試作し、従来と同等の変換効率が得られることを世界で初めて検証している<sup>(注3)</sup>。

放電加工が非接触加工であることは、微細工具を用いたマイクロ加工でも効果を発揮する。例えば、繊維ノズル、燃料噴射ノズル、インクジェットノズル、タービンブレードの冷却穴など、直径数十～数百 $\mu\text{m}$ の微細穴加工である。図4には板厚0.8mmのステンレス材に直径80 $\mu\text{m}$ の微細穴を連続加工した例を示す。今後は、穴加工だけでなく微細三次元形状加工など、マイクロ放電加工技術のニーズも大きく拡大すると思われる。

## 4. レーザ加工機技術／開発動向

極めて微小な空間へ光エネルギーを集中させることで、被照射物に溶解や蒸散などを発生させ、所望の加工を行うレーザー加工は、発振器技術、加工機技術、そしてレーザー加工技術が開発されることで進展を続けてきた。レーザー加工は発振波長やパルス変調、光学系の工夫によって、様々な加工のバリエーションを提供している。この章では、CO<sub>2</sub>レーザー加工機に関するコア技術、及び波長変換レーザーの技

(注3) NEDOの委託事業“太陽光発電システム未来技術研究開発”で実施している。

術動向について述べる。

### 4.1 CO<sub>2</sub>レーザー加工機

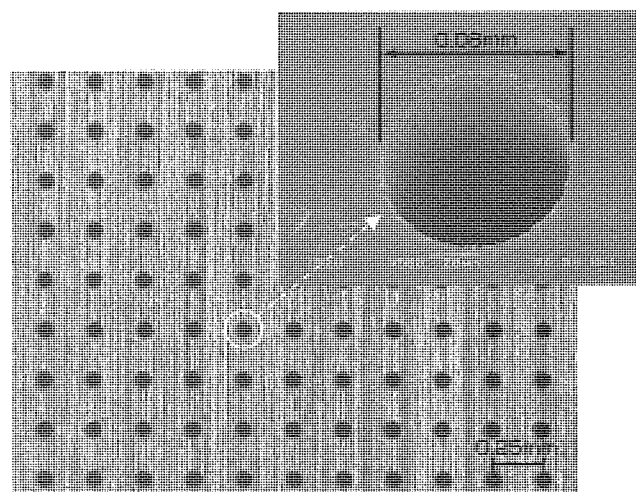
徹底的な生産性とコストパフォーマンスの追及によって、CO<sub>2</sub>レーザー加工機は今や板金加工分野をはじめとする製造現場で不可欠な製造ツールとして幅広く浸透している。かつては薄板の高速切断が主流であったCO<sub>2</sub>レーザー加工機も、発振器の高出力化に伴いより付加価値の高い厚板切断へ適用されるまでに至っている。当社の最新CO<sub>2</sub>レーザー発振器は出力6kWである。このレーザー発振器では、レーザー媒質内のエネルギー分布まで考慮した高度なビームシミュレーション技術に加え、共振器に対する熱影響を補償する最適構造設計を適用することで、高出力時でもロバスト性を持つ。また、励起放電の電気特性に整合した電源制御方式を開発することで出力の安定性を改善し、機械加工と同等レベルの切断面品質が得られる。

一方、加工機としては、高速制御装置やリアモータ駆動を採用することで高速化が進展している。さらに最先端の機械振動抑制型フィードフォワード制御技術や、加工時に発生するプラズマの影響を受けることなくワークの位置を正確に検知できるセンシング技術の開発によって、加工軌跡精度、加工品質の改善も着実に進められている。

これらの最新テクノロジーから生まれた当社のフラッグシップCO<sub>2</sub>レーザー加工機が“NXシリーズ”である。今後は、加工性能や品質面に加えて、例えば、不慣れな作業者を想定した簡易な操作性、故障箇所の自己診断機能、遠隔メンテナンス機能など、更に新たな付加価値を実現していく予定である。

### 4.2 波長変換レーザー

固体レーザーを基本波(赤外線)光源として使用する波長変換レーザーは、CO<sub>2</sub>レーザーやエキシマレーザーといったガスレーザーに比べコンパクトで取り扱いも容易であり、比較的簡



材質：ステンレス、加工時間：15秒/穴

図4. 微細穴の連続放電加工

単に可視域や紫外域のレーザー光が得られることから、加工用光源として注目を集めてきた。波長変換レーザーの最大の特長は、高調波や和周波、パラメトリック発振といった非線形光学過程を組み合わせることで、被加工物や加工用途に最適な波長を選定できることである。現在、波長変換レーザーは高出力化と短波長化を目指し、各メーカー、研究機関が開発を競っている。波長変換レーザーの実用化では、半導体レーザー(LD)励起固体レーザーの進展が果たした役割は大きい。励起光源がランプからLDへ替わることによって、固体レーザーの発振効率は飛躍的に向上し、集光性も大幅に改善された。この結果、LD励起固体レーザーを基本波光源とする波長変換レーザーも、ビーム発生効率が実用的なレベルにまで向上した。LD励起固体レーザーの高出力化は波長変換レーザーの高出力化に対する原動力にもなっている。さらに、波長変換結晶の品質改善、新結晶や擬似位相整合技術の開発によって、波長変換レーザーの実用化が一気に加速している。

当社は波長変換技術による高出力深紫外レーザーの開発を進めてきた。現在実用レベルにある紫外レーザーの波長は、Nd系媒質の第3高調波を利用した355nmが主流であるが、更に波長が短い第5高調波(波長：213nm)の発生を実現した。レーザー光の波長が短くなれば、より微細な加工が可能になる。さらに各種材料に対する吸収が良くなるため、ガラスのような透明体の微細加工も視野に入れることができる。図5に深紫外レーザーの構成例を示す。基本波光源は当社独自の均一励起方式を採用したNd：YAGレーザーで、出力300W以上の基本波光を回折限界に近いビーム品質で発生することができる。第5高調波は、2段階の波長変換過程を経て得られる第4高調波と基本波との和周波混合によって発生させる。紫外光である第4高調波、並びに第5高調波の発生に使用する波長変換結晶にはCLBO( $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ )を用いている。CLBOは大阪大学で発明された国産の波長変換結晶で、現在、高出力深紫光の発生では唯一、実用的な結晶である。大阪大学との連携によって、CLBO結晶中に含まれる不純物を徹底的に除去し、波長213nmでも極めて吸収が小さな高品質結晶を開発することで、従来比約10倍の出力10Wの第5高調波を安定に発生させることに成功した。図6は、透明材料であるホウ珪酸(けいさん)ガラスに深紫外光を照射し、直径約20 $\mu\text{m}$ の微細穴を加工した例である<sup>(注4)</sup>。

(注4) NEDOの委託事業“高出力全固体UVレーザー”で実施している。

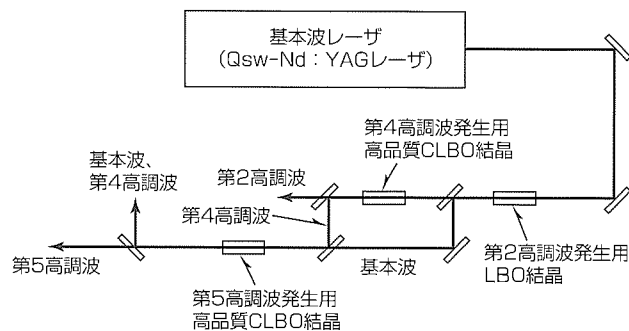


図5. 深紫外レーザーの構成(第5高調波)

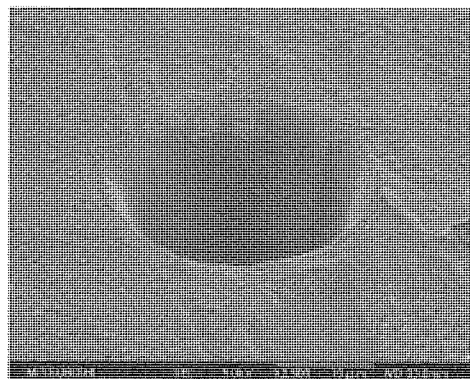


図6. ホウ珪酸ガラスのレーザー微細穴加工

波長変換レーザーは、太陽電池セル、シリコンウエーハなどの半導体素材や高密度実装基板の加工へ精力的に適用が試みられている。今後、それらの加工技術確立に加え、波長変換結晶の長寿命化や光学部品の信頼性確保など、製品としての完成度の向上が市場を拡大していくうえで重要な鍵(かぎ)となる。

## 5. む す び

産業加工機であるロボット、放電加工機、レーザー加工機におけるコア技術の開発動向と、新分野開拓のための技術開発動向について述べた。当社は、産業加工機の開発に加えて、これら加工機の性能を決めるキーパーツ、例えばリアモータ、サーボアンプ、制御系機器の開発、また、これら加工機を配置した工場全体を最適化するFA統合ソリューションe-FactoryやiQ Platformなどの開発も進めており、今後も“ものづくりの工場そのもの高付加価値化”を実現できる製品をトータルに提供していきたい。

# 新型産業用ロボット “RV-SQ/SDシリーズ”の特長

石川高文\*

## Feature of New Industrial Robot “RV-SQ/SD Series”

Takafumi Ishikawa

### 要旨

近年、製造業の国内回帰が進む中、産業用ロボットに対し、製品単体のみならず製造設備全体の高いスループットや拡張性といった付加価値が要求されている。同様に安全性に関しても、製品単体だけではなく製造設備全体におけるリスク回避能力が求められている。

これらの市場要求にこたえるために、2系列の新型ロボットを開発した。接続するコントローラによって分類される。

#### (1) “iQ Platform”対応“RV-SQシリーズ”

“MELSEC Q”シーケンサの基本ベースに追加した高速バスによってCPU(Central Processing Unit)間高速通信を実現したiQ Platformに対応したコントローラが接続される。基本ベースへのロボットCPU搭載が可能となり、製

造装置構築の柔軟性が向上した。

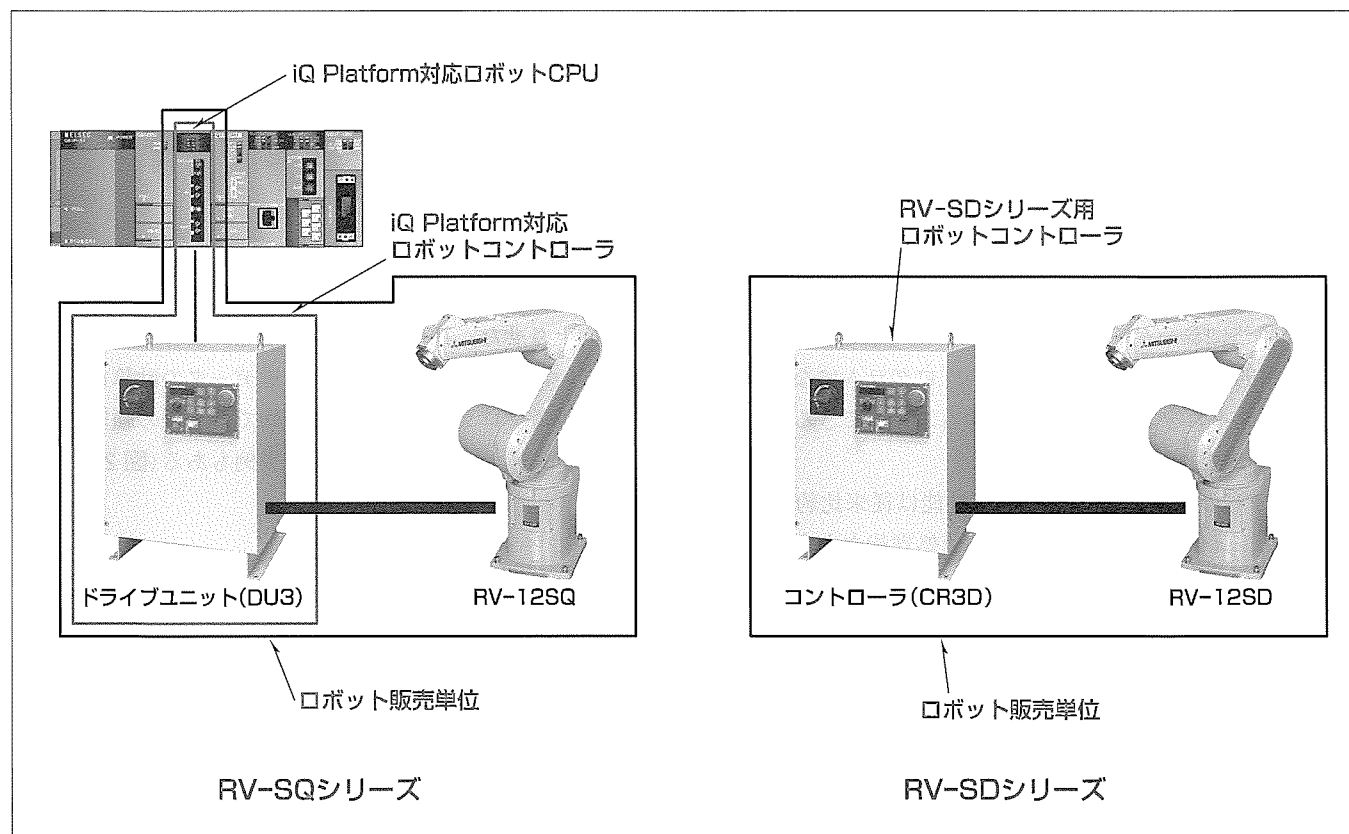
#### (2) スタンドアロン型“RV-SDシリーズ”

iQ Platformの共通アーキテクチャをロボット用にモデルファイした高性能コントローラが接続される。SQシリーズよりもリアルタイム性にすぐれ、多様な周辺機器との接続機能を標準搭載していることが特長である。

これら両シリーズに共通した特長は次のとおり。

- ① モーション処理性能を従来比約2倍に向上。位置決め精度も約5倍に向上(位置決め終了後0.3秒時)
  - ② 製造装置のタクトタイムを最大15%程度短縮
  - ③ ISO-10218(2006)への他社に先駆けての対応
- 本稿では、両シリーズのこれらの特長について述べる。

特集  
II



### “RV-SQシリーズ”と“RV-SDシリーズ”の製品構成の違い

iQ Platform対応ロボットコントローラを接続したSQシリーズと、スタンドアロン型でよりリアルタイム性にすぐれたコントローラを接続したSDシリーズは、コントローラの違いによって、製品構成が異なる。SQシリーズはシーケンサベースに搭載するCPU部+アンプ/安全機能を持つドライブユニットの形態であり、一方SDシリーズはスタンドアロン型のコントローラ形態となっている。

## 1. ま え が き

“シーケンサベース上にロボットコントローラを搭載！”インパクト絶大のキャッチコピーを実現できたのは、まさしく三菱電機の技術・製品群あつてのことである。

当社が提唱するiQ Platformというコンセプトを具現化したRV-SQシリーズ(以下“SQシリーズ”という。), また同一アーキテクチャでリアルタイム性に優れたRV-SDシリーズ(以下“SDシリーズ”という。), これら2系列の当社産業用ロボットの最新製品について述べる。

## 2. SQシリーズ

2007年春、生産現場の連携を図り、最適化するiQ Platformコンセプトを当社が発表した。

SQシリーズは、このiQ Platform対応ロボットコントローラが接続されるロボットラインアップである。

### 2.1 SQシリーズの特長

#### 2.1.1 システムコスト低減

従来のロボットは、シーケンサから独立しており、他の機器同様にI/Oレベルでのみ接続されていた。このときシーケンサ側に拡張ユニットが、ロボット側にも同様のオプションが必要であった(例: “CC-Link”インタフェース)

一方、iQ Platformの場合、シーケンサベース上にロボットコントローラが装着されるため、追加ユニット・オプションが不要となり、システムコストの低減に大きく貢献することができる(図1)。

#### 2.1.2 シーケンサとの通信高速化

iQ Platformの特長である専用バス機能(マルチCPU間高速通信機能)によって、シーケンサCPU~ロボット間のデータ通信時間を約1/2にした。これはロボットプログラム中で頻繁にシーケンサと通信(I/O処理含む)を行う場合に効果的であり、その比重が高いプログラムになるほどサイクルタイムをより大きく短縮することができる。

#### 2.1.3 制御性能の向上

高速CPUの採用によって、制御性能は従来比約2倍に向上した。具体的には言語処理、演算処理能力が向上した。

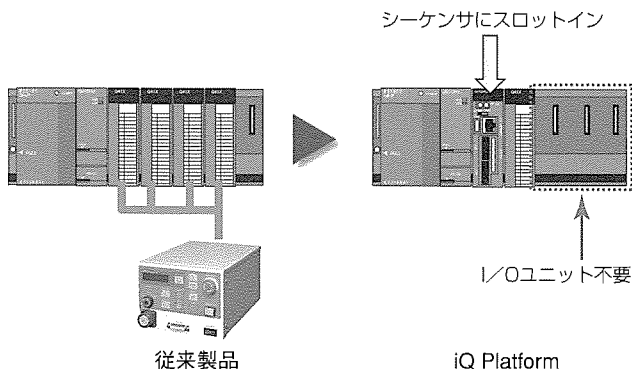


図1. システムコストの低減

複雑な数値演算、位置データの計算などが多く含まれるプログラムで特に有効で、対シーケンサ通信高速化とあわせ、実際の顧客設備でサイクルタイムが約10%短縮した事例もある(図2)。

#### 2.1.4 豊富な拡張機能

シーケンサとの一体化によって、その豊富な拡張機能を活用できるようになった。特に各種ネットワーク、特殊I/O等、製造設備の多様な要求に対し柔軟に対応できるようになった。同時に当社GOT(Graphic Operation Terminal)、汎用サーボアンプ等の業界をリードするFA機器製品とも接続される。このように製造設備に対するトータルソリューションの提案が容易となったことは、まさにiQ Platform最大の産物であり、総合FAメーカーとしての面目躍如である。

SQシリーズがFA製品としての特長を前面に押し出しているのに対し、一方のSDシリーズは、リアルタイム性の追求・各種インタフェースなどロボットとしての特長を備えたラインアップである。

## 3. SDシリーズ

### 3.1 SQシリーズとの関係

SQシリーズは、各種コントローラ共通のiQ Platform専用アーキテクチャによって構成されている。SDシリーズは、このアーキテクチャを流用し、またRTOS(Real-Time Operating System)活用によるリアルタイム性を向上したコントローラを持つ。

### 3.2 SDシリーズの特長

#### 3.2.1 制御性能の向上

筐体(きょうたい)の放熱設計によって、CPUの高速化に成功した。従来機種と比較して制御性能の実力値を約3倍に向上させた。具体的には言語処理、演算処理能力が向上している。複雑な数値演算、位置データの計算などが多く含まれるプログラムには特に有効で、実際の顧客設備でサイクルタイムが約16%短縮した事例もある(図2)。

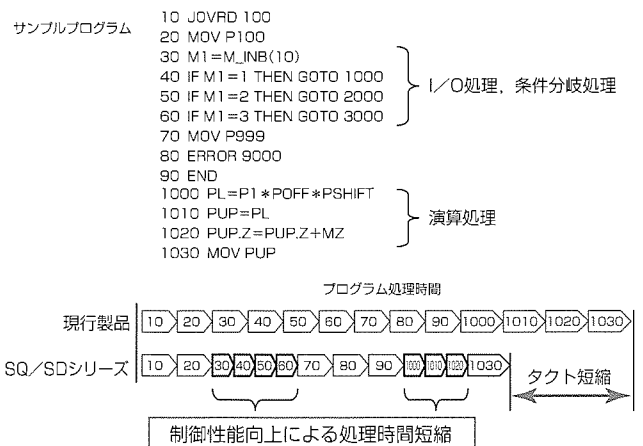


図2. 処理時間短縮の模式図

### 3.2.2 通信機能強化

従来オプションであったイーサネット<sup>(注1)</sup>を標準搭載した。従来機種における課題として通信負荷によってロボットプログラムのサイクルタイムが伸びる点が挙げられる。その対策として、通信専用モジュールを開発し、iQ Platform専用アーキテクチャ(以下“メイン制御部”という。)から切り離れた。これによって通信は専用モジュールに処理させ、メイン制御部はバックグラウンドで通信専用モジュールと擬似通信できるようになった。その結果、メイン制御部の負荷を上げることなく、通信機能を強化した。

### 3.2.3 リアルタイム性の向上

RTOS強化、DMA(Direct Memory Access)機能充実化、高速割り込み機能拡張などのソフトウェア、ハードウェア両側面からの支援によって、従来製品と比較してリアルタイム性能を向上することができた。これによって、今後拡張を計画している各種外界センサインタフェースによるロボットのリアルタイム制御や複数アーム同時制御等ロボットの智能化アイテムの実現を支援することができる。

## 4. ロボット動作性能向上

ここまでは2系列のコントローラの特長について述べてきた。この章では新型コントローラによって得られたロボット本体の動作性能向上について述べる。

### 4.1 ロボット動作モードの設定

新型コントローラで、ロボットの動作モードを次の3つに分け、アプリケーションによって性能を最大限発揮できるような仕組みを設けた(図3、図4、図5)。なお、これら3つのモードはロボットプログラム中のコマンドによって指定することができる。

- ①通常モード
- ②高速位置決めモード
- ③軌跡高精度モード

(注1) イーサネットは富士ゼロックス<sup>株</sup>の登録商標である。

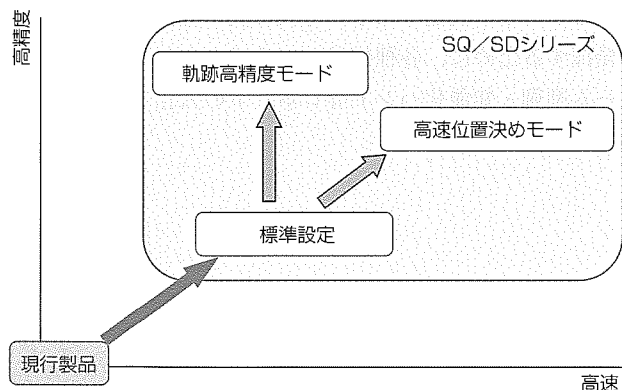


図3. SQ/SDシリーズ動作性能向上の模式図1

### 4.1.1 通常モード

出荷時設定のモードであり、加減速パターンは従来製品<sup>(注2)</sup>と同一である。従来製品と比較すると、電流制御周期が大幅に短縮されているため、より精度のよい電流制御が可能になる。これによって無効電流が抑制され、モータ実効電流の低減を実現した。これは同じ仕事(生産)をしてもモータの負荷率が下がることを表している。換言すると仕事量を増やすことで従来製品相当の負荷率となる。すなわち現在ロボットが導入されている製造設備に新型ロボットを導入すると、従来設備よりも多くの仕事をこなすことを可能(生産性向上)にする(図4、図5)。

### 4.1.2 高速位置決めモード

位置決め精度向上とモータ加減速時間短縮を特長とする。変化するロボットの荷重・姿勢に応じて、モータ制御ゲインを最適化することによって、通常モードと比較して機敏な動作が可能となる。また、新方式の動作指令生成方式(2段階加速)採用によって、モータのトルクを最大限に使い切ることが可能となった。これによって更なる高速動作を実現する。

- ①位置決め整定時間の短縮“より速く、より正確に”
- ②ロボット動作時間の短縮“より俊敏に”

いずれも顧客装置のサイクルタイムを短縮し、生産性を向上させる。なお、通常モードと比較して実効電流が大きくなるため、モータ負荷率は上がる(図4、図5)。

### 4.1.3 軌跡高精度モード

ロボットアーム先端の描く軌跡の指令値に対する追従性を最優先させるモードである。モータ制御のゲインは3モード中最大であり、指令値に対する追従性を高めている。一方、ゲインが高いため、急激な指令値の変化に対してオーバーシュートしやすくなる。これを回避するため、指令にフィルタをかけて急激な値の変化が発生しないような制

(注2) ここで言う従来製品とは当社“RV-Sシリーズ”であり、その後継機種がSQ/SDシリーズとなる。2系列は前述のとおり、接続されるコントローラによって分類される。

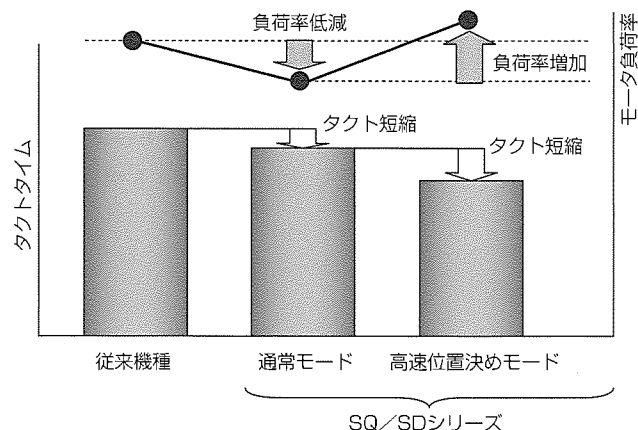


図4. SQ/SDシリーズ動作性能向上の模式図2

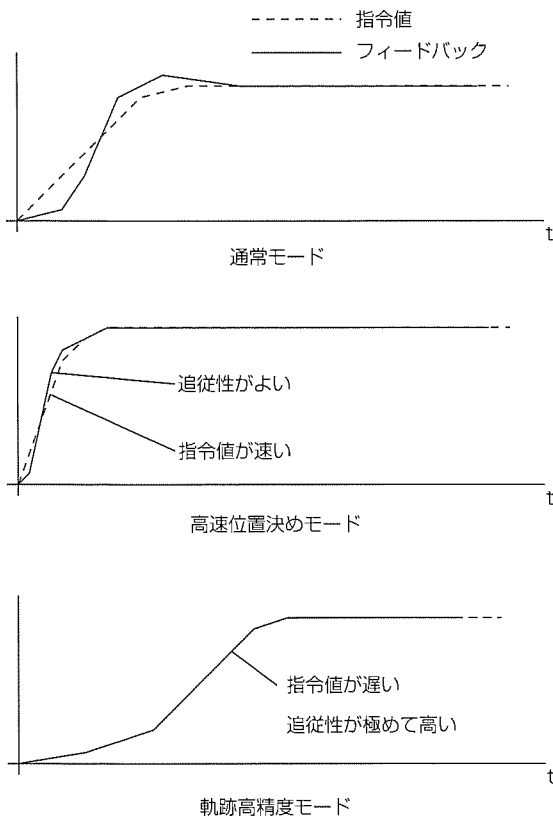
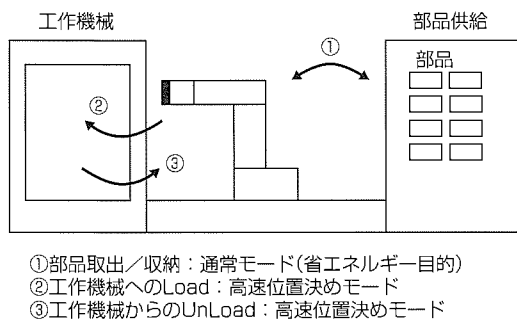


図5. SQ/SDシリーズ動作性能向上の模式図3



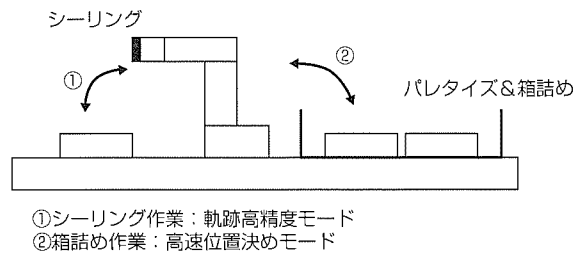
- ①部品取出/収納：通常モード(省エネルギー目的)
- ②工作機械へのLoad：高速位置決めモード
- ③工作機械からのUnLoad：高速位置決めモード

図6. ロボットプログラムによるモード使い分け1

御アルゴリズムとしている。この結果、指令値に対してオーバーシュートすることなく高い追従性を確保、軌跡精度が向上する。なお、指令値にフィルタがかかる分、他のモードよりもサイクルタイムは伸びる(図5)。

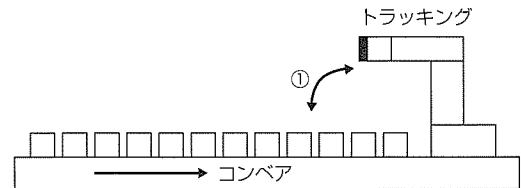
#### 4.2 動作性能向上

上述のとおり、SQ/SDシリーズは3つのモードを持つ。これらはそれぞれ排他的だが、同一のロボットプログラム



- ①シーリング作業：軌跡高精度モード
- ②箱詰め作業：高速位置決めモード

図7. ロボットプログラムによるモード使い分け2



- ①トラッキング：高速位置決めモード

図8. ロボットプログラムによるモード使い分け3

中で個別に設定することが可能であるため、顧客にとって最適な解決策を提供することができる(図6, 図7, 図8)。

### 5. 安全性強化

当社は、これまで他社に先駆けて安全性の向上に努めてきた。特に、向け先に関係なく安全カテゴリー3を満たす製品を販売していることは特長的である。SQ/SDシリーズでは、ロボットのC規格であるISO-10218の2006年度版に他社に先駆けて適合させた。この規格の特長はロボット単体の安全性だけでなく、顧客装置全体の安全性にまで踏み込んだことにある。この規格に沿うことで、顧客装置の安全性を強化し、装置全体の付加価値を高める効果が期待できる。

### 6. むすび

ここで述べたSQ/SDシリーズは、大幅に向上された性能によって今後の当社ロボット事業の柱となり、またその特長的な2系列のコントローラによって市場を牽引していくことができる製品である。今後は高い性能を余すことなく発揮するために、各種外界センサインタフェース・複数アーム制御・知能化ハンド等ロボットの人化アイテムの開発を推進していく。

# 新型ロボットコントローラに搭載した モーション制御機能

前川清石\*

*Motion Control Functions for Industrial Robots*

Kiyoshi Maekawa

## 要 旨

産業用ロボットの性能は年々向上している。三菱電機でもロボットの機構・駆動部の改良に加えて、コントローラの機能・性能の向上を進めている。特に高速・高精度、使い勝手向上、アプリケーション特化機能を実現するモーション制御機能の開発に注力している。

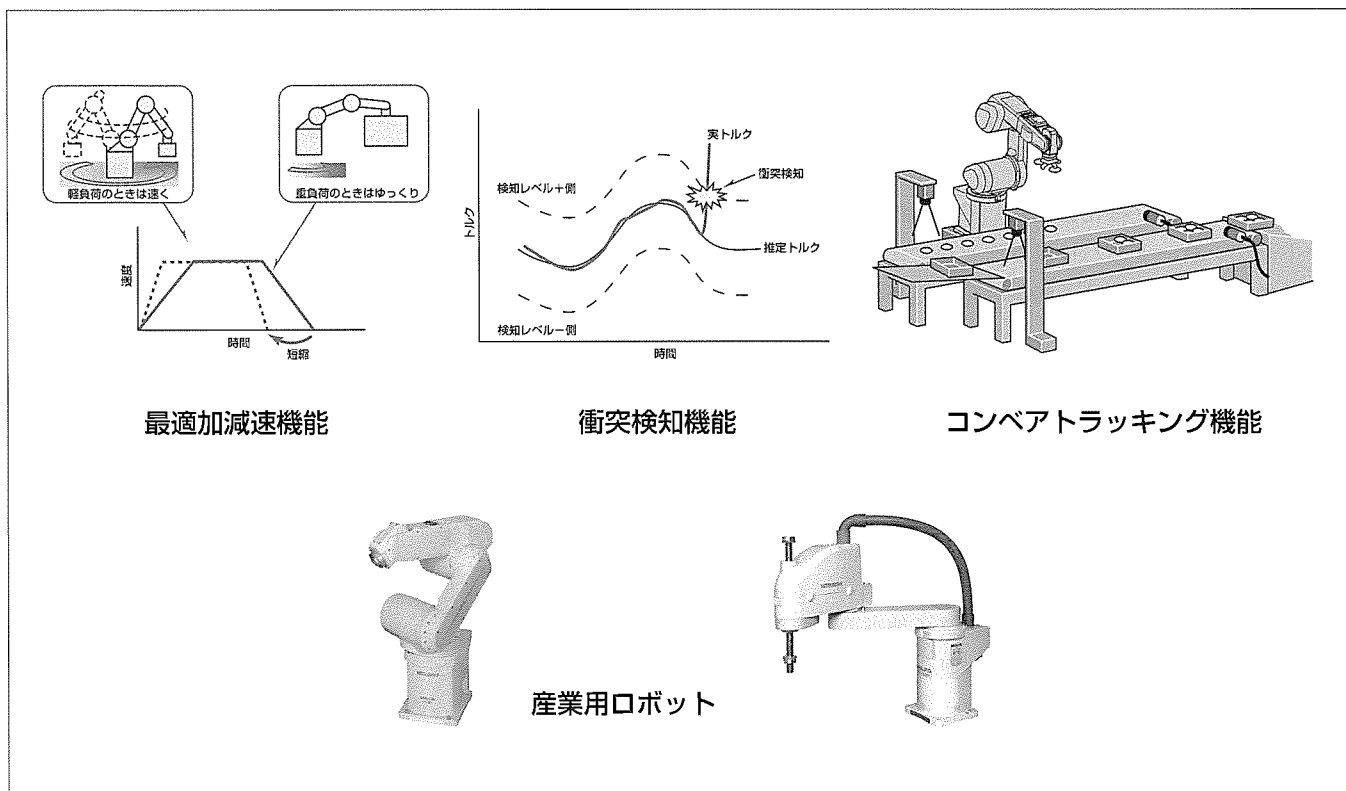
高速・高精度を実現する機能として、ロボットの動作位置・姿勢・手先負荷に応じて最適な加減速時間を自動的に設定する最適加減速機能、2つ以上の動作を滑らかに接続することによって動作時間の短縮を図る最適軌道接続機能を備えている。さらに高精度化を実現するため、重力によるロボットのたわみを補正するたわみ補正機能も備えている。

使い勝手向上のために教示中又は自動運転中のロボット

の衝突を付加的なセンサなしで検知しロボットを停止させることでロボット本体や対象物の損傷を軽減する衝突検知機能、ロボットハンドにズレが発生した場合やモータ・ベルト交換時、ロボット載せ換え時の再教示作業を低減する位置復旧支援機能、実際のロボット稼働状況に応じた負荷状況を解析し給油やベルト交換時期を算出するメンテナンス予測機能を備えている。

さらに、旋盤からの加工ワークのロード・アンロード作業を行う際に外力にならってロボットを動作させる直交コンプライアンス機能、コンベアにロボットを同期させてコンベア上の対象物を、コンベアを停止させずに取り出すコンベアトラッキング機能等をアプリケーション特化機能として備えている。

特集  
II



## モーション制御機能

高速化を実現する最適加減速機能、使い勝手を向上させる衝突検知機能、アプリケーション特化機能の一つであるコンベアトラッキング機能など多彩な制御機能を用意している。

\*先端技術総合研究所

## 1. ま え が き

当社の産業用ロボットは小型の垂直多関節ロボットと水平多関節ロボットを主力にしており、小型ロボットの高剛性化、モータなどの駆動部改良を進めるとともに、小型ロボット市場で年々要求が高まってきている高速・高精度化、使い勝手向上、アプリケーションに特化した機能などのモーション制御機能の開発に注力してきた。

高速化に関しては、駆動部改良による高速化、高加減速化を図るとともに、ロボットの位置姿勢、手先に取り付けた負荷の質量・重心位置に応じて動作時間を最短とする加減速時間を自動的に算出する最適加減速機能を導入している。また位置決めを行わない経由点では停止せず次の動作命令を開始することによって動作時間を短縮する軌道接続が行われるが、軌道接続を行う際に制約条件を満たしながら最短の接続を行う最適軌道接続機能も合わせて導入している。また高精度化に関しては重力による各軸のたわみを補正するたわみ補正機能を導入している。

使い勝手向上については、ロボットの手先又はアーム本体が周囲の対象物に衝突したことを付加的なセンサを用いることなく検出し、緊急に停止することによってロボット及び対象物の損傷を低減する衝突検知機能、衝突によってロボットハンドが変形した場合やメンテナンスによってモータ、ベルトなどの駆動要素を交換した場合、ロボットを据付直した場合に再教示点数を低減する位置復旧支援機能、実際のロボットの稼働状況を解析し給油やベルト交換などのメンテナンス時期を算出するメンテナンス予測機能を備えている。

アプリケーション特化機能としては旋盤からのワークのロード／アンロードやバリ取り作業などに有効な直交コンプライアンス機能、食品・薬品・化粧品等の分野でよく使用されているコンベアトラッキング機能を備えている。

本稿では、小型ロボット“RV-SQシリーズ”“RV-SDシリーズ”“RH-SDHシリーズ”に搭載しているモーション制御機能の概要及び特長について述べる。

## 2. 高速・高精度化機能

### 2.1 最適加減速機能

ロボットは動作開始地点及び動作終了地点の位置姿勢が異なると同じ加減速度、同じ速度で動作させても必要となる駆動トルクは変化する。同様にロボットの手先に取り付けた負荷の質量が変化した場合も必要となる駆動トルクは変化する。一方ロボットの各軸に使用されるモータ、減速機には許容トルクの制約が存在する。そのためモータ及び減速機の制約を満たす範囲でできる限りロボットを高速に動作させると、手先に重い負荷をつけている場合や、ロボットを伸びた姿勢で動作させるときは同じ加速度で大きな

駆動トルクが必要となるため、加速度を低くして動作させる必要がある。一方手先負荷が軽い場合や、ロボットを縮めた姿勢で動作させる場合は加速度を高くして動作させることができる(図1)。このようにロボットの位置姿勢や手先負荷に応じて、動作ごとに最適な加速度を設定する機能が最適加減速機能である。

ロボットの駆動トルクが位置姿勢や手先負荷に応じて変動するのは、ロボットの運動方程式が各軸の位置から構成されるベクトルを $q$ 、各軸の速度から構成されるベクトルを $v$ 、各軸の加速度から構成されるベクトルを $a$ 、慣性行列を $M(q)$ 、各軸の遠心・コリオリ力から構成されるベクトルを $h(q,v)$ 、各軸の重力から構成されるベクトルを $g(q)$ 、各軸の摩擦力から構成されるベクトルを $f(v)$ 、各軸の駆動トルクから構成されるベクトルを $\tau$ とした場合

$$\tau = M(q)a + h(q, v) + g(q) + f(v) \cdots \cdots (1)$$

と表現でき、慣性行列 $M(q)$ 、遠心・コリオリ力 $h(q,v)$ 、重力 $g(q)$ が各軸の位置姿勢の関数となっているためである。

そこで最適加減速機能では(1)式のロボットの運動方程式を用いて動作ごとにモータ及び減速機の制限を満たす範囲で最短の動作時間となるような加速時間及び減速時間を算出している。慣性行列は各軸位置の関数となっているため動作中にも変動するが、動作中のすべての地点で(1)式の運動方程式の計算を行うのは計算量の点から実用的ではない。そこで、各動作ごとに加速区間、減速区間の代表点を算出し、代表点で(1)式の運動方程式の計算を行うことを繰り返すことによって、計算量の増大を防止しながら各動作ごとにモータ及び減速機の制限を満たす範囲で最短の動作時間となるような加速時間及び減速時間を算出する。最適加減速における加速時間・減速時間の算出フローを図2に示す。

また、モータの制約はモータの回転速度に応じて変化する場合がある。具体的にはある速度までは一定の許容トルクを保ち、ある速度以上になるとトルクの制限値が低下す

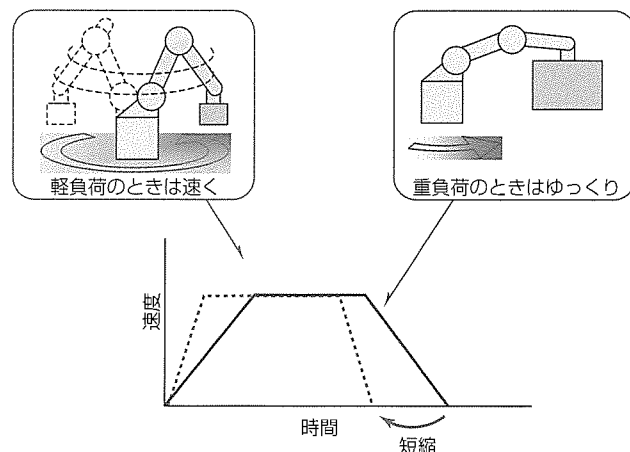


図1. 最適加減速機能



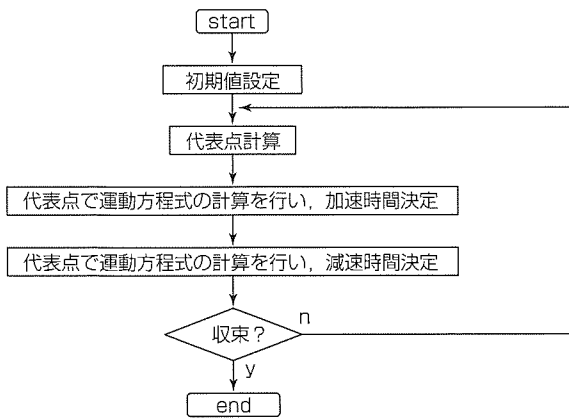


図2. 最適加減速処理フロー

る特性を持っている。ロボットで使用する速度範囲に上記のようなトルクが低下する領域が含まれる場合、加速区間及び減速区間で一定の加速度で加減速を行うと高速域でトルクが低下する特性の影響を大きく受け、低速域でも必要以上に加減速度を小さくする必要がある。そこで、一つの加減速区間で、速度が低い区間と高い区間で加減速度を個別に設定可能としている。

### 2.2 最適軌道接続機能

最適軌道接続機能を図3に示す。ロボットの動作では位置決めを要する地点と通過点の2種類がある。通過点では通過点への動作が終了する前に通過点から出発する動作を開始することによって最終目標地点(位置決めを要する地点)までの動作時間を短縮することが行われる。加速時間、減速時間をすべての動作で同一にしている場合は、1つ目の動作の減速を開始した時点で次の動作を開始しても速度超過は発生しない。しかし、動作ごとに最適な加減速時間を設定している場合は1つ目の動作と2つ目の動作の加減速時間が異なるため、軌道接続を行うことによって速度超過が発生することが考えられる。また、各動作ごとにモータ及び減速機の制限を満たす範囲でできるだけ加減速度を高くしているため、軌道接続を行うことによってモータ又は減速機の制限を超過することが考えられる。そこで、軌道接続時に速度超過及びモータ又は減速機の制限を超過することがないように軌道接続前後の動作の加減速度を修正して軌道接続を行う機能を導入している。

また、コントローラの操作パネルからロボットの動作速度を低速から高速に変化させ、作成したプログラムでのロボット動作の確認を行うことが多い。そこで軌道接続中の軌跡が操作パネルで設定する速度によらず常に一定となるアルゴリズムを導入し、プログラム確認を高精度に行うことを可能としている。

### 2.3 たわみ補正機能

垂直多関節ロボットでは図4に示すように重力によって各軸でたわみが発生する。そこで、(1)式の重力を用いて各軸のたわみを補正する機能を盛り込むことによって、ロボ

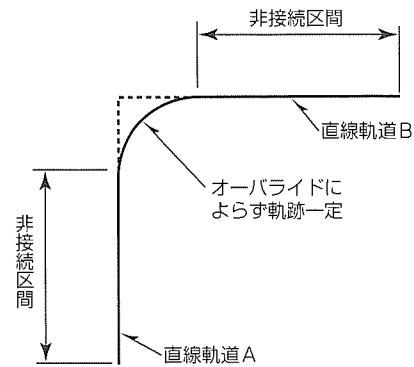


図3. 最適軌道接続機能

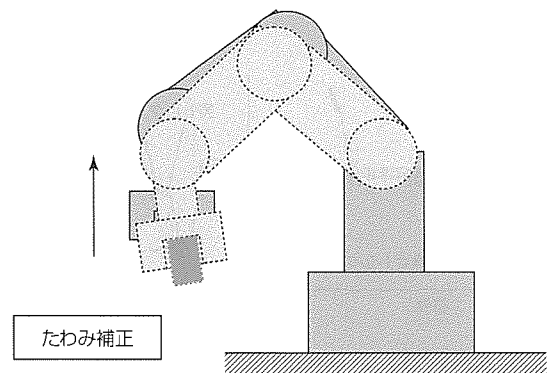


図4. たわみ補正機能

ットの位置決め精度を向上させている。

## 3. 使い勝手向上機能

### 3.1 衝突検知機能

ロボットの教示作業時やプログラムの確認時にはしばしばロボットを周辺の対象物に接触・衝突させる場合が発生する。そこでロボットが衝突したことを付加的なセンサを用いずに検出する衝突検知機能を導入した。衝突検知機能では(1)式のロボットの運動方程式に基づいて常時推定トルクを計算し、推定トルクと実トルクの差が閾(しきい)値以上となった場合に衝突と判定する(図5)。(1)式の運動方程式に含まれる摩擦力は温度に応じて変動する。そこで、高精度にトルクを推定可能とするため、摩擦係数をオンラインで同定し、同定した摩擦係数を用いて(1)式の運動方程式の計算を行っている。摩擦推定によって推定トルクの高精度化が実現できている例を図6に示す。また、ロボットの動作の激しさに応じて最適な閾値も異なる。そこでロボットの動作状態に応じて閾値をリアルタイムで変更している。

その他の使い勝手向上機能として、位置復旧支援機能、メンテナンス予測機能を用意している。

### 3.2 位置復旧支援機能

このようにロボットを衝突させてハンドが変形した場合、メンテナンスによってベルト、モータなどを交換した場合、ロボットを据付直した場合、従来であればすべての点を再

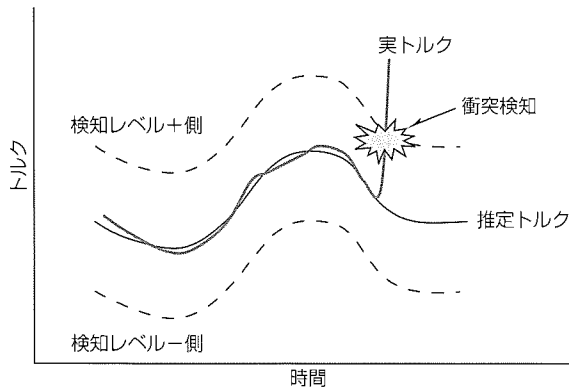


図5. 衝突検知機能

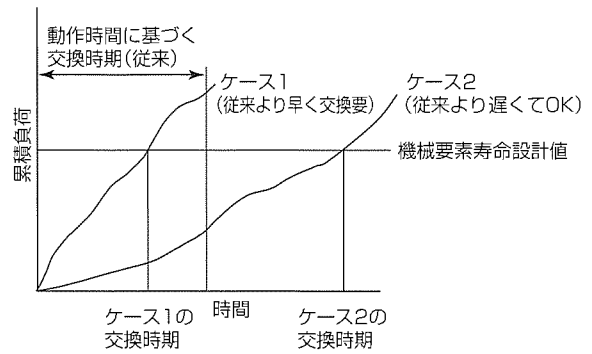


図7. メンテナンス予測機能

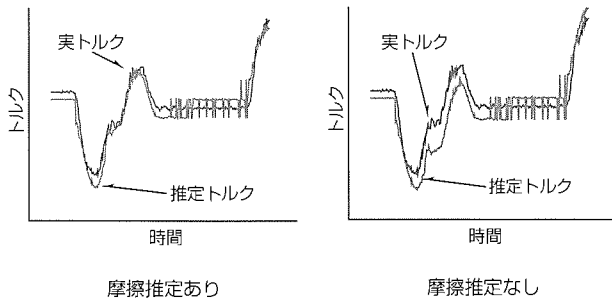


図6. 摩擦推定によるトルク推定精度向上

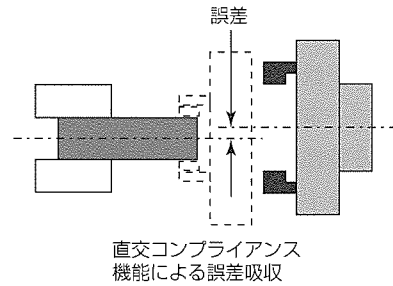


図8. 直交コンプライアンス機能

教示する必要があり、立ち上げに時間を要していた。位置復旧支援機能では、以前教示しておいた複数の地点のみを再教示することによって立ち上げを可能とする機能で、衝突時や据付直した場合の立ち上げ時間短縮を可能とする。

### 3.3 メンテナンス予測機能

従来、ベルト交換やグリースの給油は、ある一定時間を目安としていた。しかしロボットの負荷状況はロボットごとに異なるため、厳しい動作条件で使用されるロボットと緩い条件で使用されるロボットでは本来メンテナンスする時期が異なるにもかかわらず同一の時間基準でメンテナンスが行われていた。メンテナンス予測機能では、実際のロボットの稼働状況を解析し、その結果に基づいてメンテナンス時期を算出(図7)するため、ロボットの負荷状況に応じた時期にメンテナンスを行うことが可能となる。

### 4. アプリケーション特化機能

汎用的に使用する機能に加えてアプリケーションに特化した機能の開発も行っている。具体的には直交座標系で指定した方向のみロボットを柔軟に動作させる直交コンプライアンス機能(図8)、コンベアに追従してロボットを動作させるコンベアトラッキング機能(図9)を用意している。

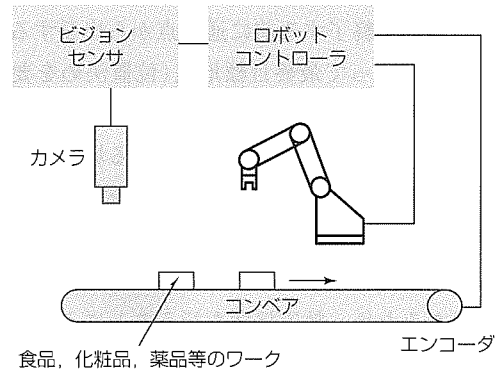


図9. コンベアトラッキング機能

## 5. むすび

高速・高精度化機能はロボットの基本性能を決定する機能であり、今後も研究・開発を進めていく。また、ロボットを使いやすいものにしていくためには、使い勝手向上機能も更に向上させていく必要がある。今後も注力していく。また、汎用的な機能ばかりではなく実際に使用されるアプリケーションに特化した機能に対する要求も高まっている。特に三次元センサ、力覚センサ、ビジョンセンサなどのセンサ応用制御は今後重要となろう。

# 航空機エンジン部品対応 “MSCoating”

岡根正裕\* 中村和司\*  
後藤昭弘\*\*  
寺本浩行\*

“MSCoating” for Aircraft Engine Parts

Masahiro Okane, Akihiro Goto, Hiroyuki Teramoto, Kazushi Nakamura

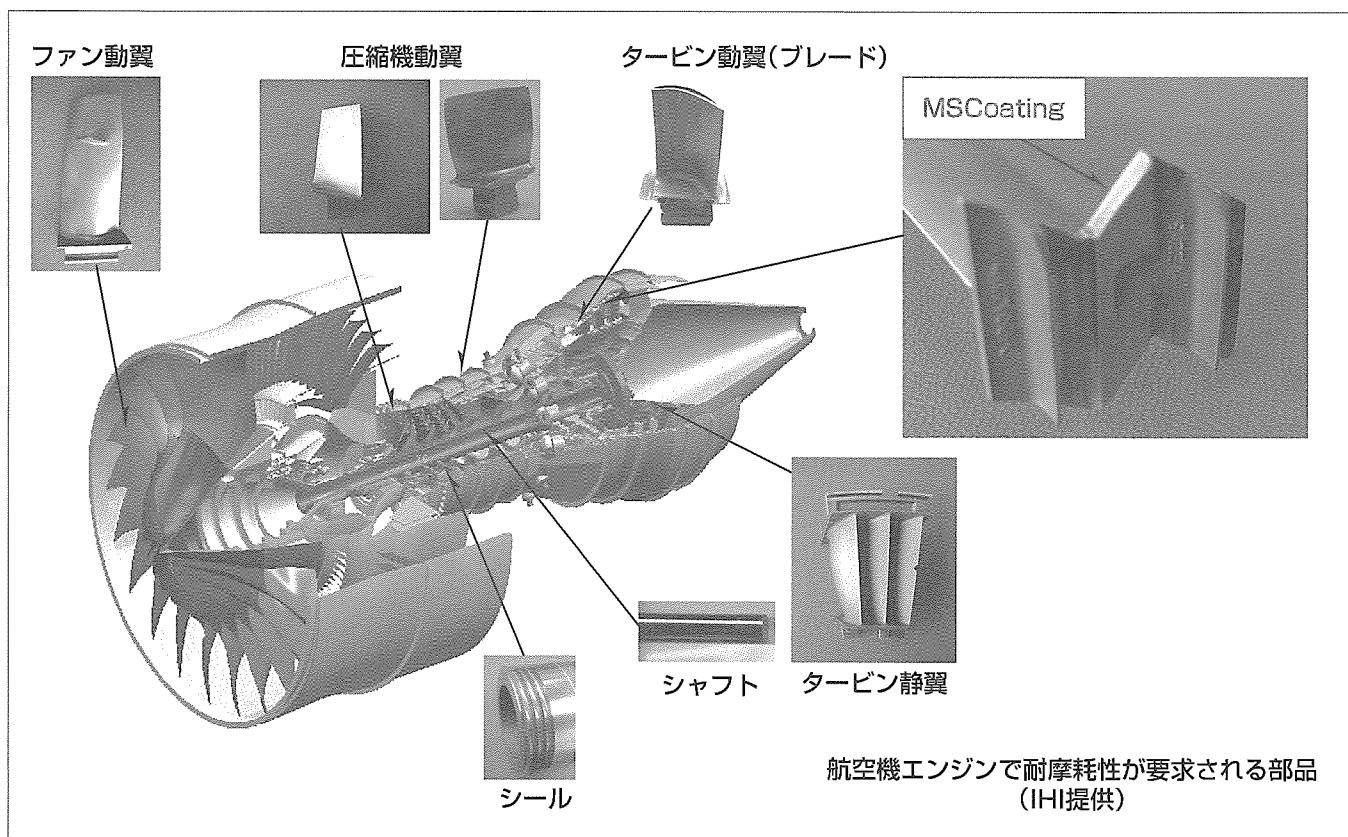
## 要旨

放電によって金属やセラミックスの被膜を形成する“MSCoating”技術を開発した。この技術は次の特長を持っている。

- ①基材と被膜とが混ざり合いながら溶融するため、被膜の密着力が高く、容易に剥離(はくり)しない。
- ②微細なパルス状の放電が、局所的に繰り返すことで被膜形成するため、基材にかかる熱影響は微小範囲に留まり、基材に割れやひずみが発生しない。
- ③専用の電極材料と基材との間で放電する場所のみコーティングするため、溶射やめっきで必要な加工前のマスクングは不要であり、溶接等で生じる余肉の心配もない。

- ④装置による自動的なコーティング技術のため、熟練技能者に頼ることなく、安定した被膜の品質が確保できる。また、NC制御によって、円柱表面や、円筒の内壁などの複雑形状に対してもコーティング可能である。
- ⑤溶射やめっきは生産ラインへの組み込みは困難であったが、MSCoatingの装置は小型であり、生産ラインへの組み込みが可能である。

本稿では、航空機エンジンのタービンブレードの耐摩耗性の向上を目的としたMSCoating技術について述べる。この技術によって、従来施されていた肉盛溶接と比較して磨耗量を大幅に低減させることができ、タービンブレードの耐久性向上が見込まれている。



## 航空機エンジン部品における“MSCoating”適用候補

航空機エンジンには高温化における耐摩耗性、耐腐食性等が要求される部品が多数存在する。MSCoatingでは、様々な機能性を備えたコーティングを行うことができるため、上図の部品への適用、更には従来技術では得られなかった機能性被膜の開発が期待されている。

## 1. ま え が き

近年、金属材料の強度向上、耐摩耗性の向上等の要求が強くなっている。特に、航空機エンジン分野では燃費や耐久性の向上などの観点から高温環境下における耐摩耗や耐腐食に対する要求が強くなり、特殊工程の技術開発が競争力向上のポイントとなっている。多くの航空機エンジンメーカーでは耐摩耗が要求される部位に対し、溶接、溶射、めっきなどのコーティングによって耐摩耗性の付与並びに摩耗した部位の補修を行ってきた。しかし、航空機エンジン部品では部品の一部分に対して耐摩耗コーティングや補修が要求される場合が多く、溶射やめっきではマスキングが必要なため、手間がかかる。溶接は熱が集中して基材に入るため、厚みの薄い材料や、単結晶合金・一方向凝固合金などの材料に対して肉盛りすると基材に変形や割れが発生しやすい等の問題がある。また、これらの技術は人手による作業であるためライン化することが困難であり、作業には熟練を要する。このような問題を解決するため、必要な箇所に必要な形状の被膜を精度良くコーティングできる技術を開発した。この技術は、微小なパルス放電を利用した技術であるため、Micro Spark Coating(以下“MSCoating”という。)と命名した。本稿では、MSCoatingの技術と、航空機エンジンへの適用技術について述べる。

## 2. MSCoating技術

### 2.1 MSCoatingの成膜プロセス

MSCoatingの成膜プロセスを図1に示す。この技術は、基材と被膜の原料となる電極の間にパルス状の放電を発生させて、電極材料を基材側に移行させることによって、基材表面に金属やセラミックスの被膜を形成する技術である。電極は粉末成形体からなり、放電パルスのエネルギーによって微小単位で崩落、溶融し、同じく放電パルスのエネルギーによって溶融された基材と混ざり合い、急冷され再凝固する。このプロセスが1秒間あたり約1万回の頻度で繰り返し起こることによって、電極材料が基材側に徐々に堆

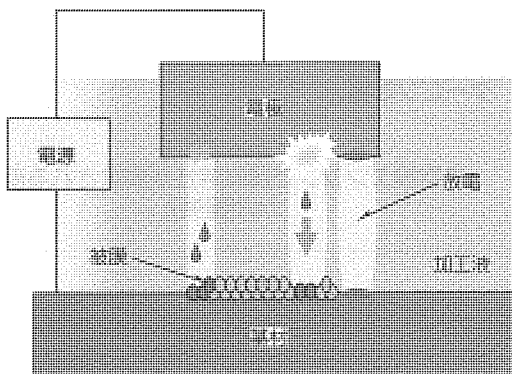


図1. MSCoatingの成膜プロセス

積(たいせき)して被膜となる。

### 2.2 MSCoatingの特長

#### 2.2.1 コーティング形状

被膜は、電極と基材との間の放電した部分にのみ形成される。したがって、電極の成形によって図2に示すような複雑形状の被膜をマスキングなしで容易にコーティングできる。また、NC制御によって駆動する放電加工機をベースにした装置を使用するため、図3に示すように、円形状の被膜形成や円筒の外周面、内周面等へのコーティングが可能である。他のコーティング技術では、これらの形状の基材に対する処理は容易でない。

#### 2.2.2 被膜の密着性

被膜は、溶射やめっきのように溶着しているだけでなく、基材も溶融された状態で混ざり合うため、基材と被膜の密着力は高く、めっきのように容易に剥離しない。図4に電極材料としてCo合金を用い、Ni製基材上に形成した被膜の界面の線分析結果を示す。電極材料であるCoと基材の

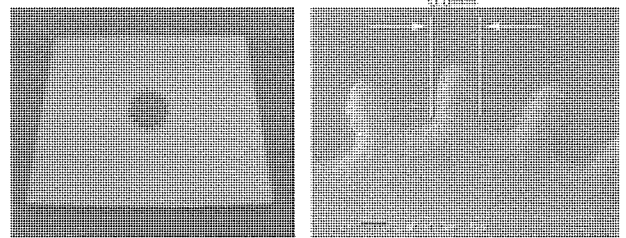


図2. 複雑形状のコーティング

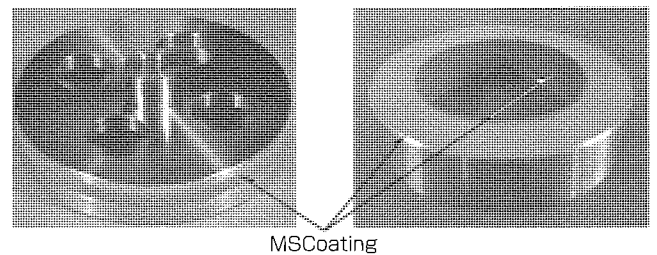


図3. 円筒外周, 内周へのコーティング

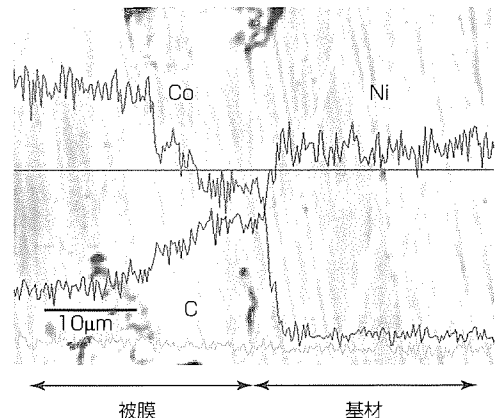


図4. 界面の線分析結果

Niとが10ミクロン程度の傾斜層を持つ組織となっており、微小範囲で溶け合ったことが確認できる。

### 2.2.3 基材の熱影響

熔融範囲が微小であることに加え、MSCoatingは通常、冷却効果の高い油の中で行うため、コーティング中も基材全体はほぼ常温を保つ。そのため、基材に割れやひずみが発生しにくく、板厚0.3mmの薄い基材にコーティングしても基材は変形しない(図5)。

### 2.2.4 被膜の組織

MSCoatingは放電パルスのエネルギーによって電極材料を崩落、熔融させる技術であるため、放電パルスの条件を調整することで、電極材料の崩れ方、熔融のされ方をコントロールして被膜の組織を変化させることができる。図6に示すように、緻密(ちみつ)な被膜からポーラスな被膜まで任意に形成することが可能で、様々な用途に適用可能である。

### 2.2.5 被膜の成分

油中でコーティングするため、油の成分と電極材料とが化学反応を起こし、被膜にはいくらか炭素が取り込まれる。炭化しやすい材料を電極に含んだ場合、油中の炭素と反応して炭化物を作る。例えば電極材料にTiを用いると、被膜はセラミックスであるTiCとなる。このようなセラミックス被膜では100ミクロン以上の厚膜を形成することはできないが、硬度が非常に高く、耐摩耗性に優れている。電極が炭化しにくい材料で構成されている場合は、被膜に取り込まれる炭素は微量に留まり、電極材料が金属のまま被膜となる。これらの被膜は厚く形成することが可能で、数ミクロン~数ミリまで任意に膜厚を調整できる。

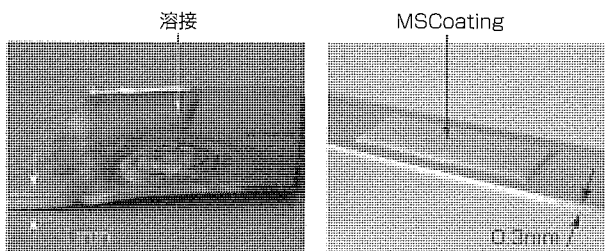


図5. 薄板材へのコーティング

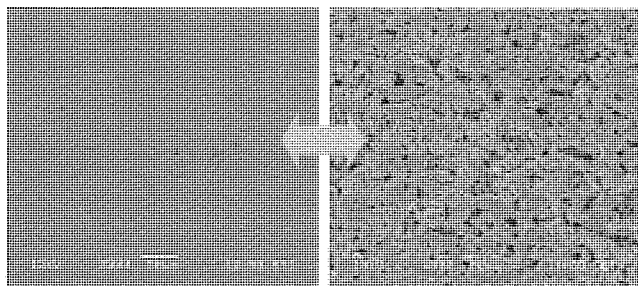


図6. 緻密な被膜とポーラスな被膜

## 3. 航空機エンジン対応技術

### 3.1 航空機エンジンの課題

航空機エンジンには高温下での耐摩耗が要求される部品が多数存在する。この章ではタービンブレードのZノッチと呼ばれる部位へのMSCoating適用技術について述べる。タービンは燃焼器から出た高温高圧ガスのエネルギーを機械エネルギーに変えて、圧縮機を駆動する部位である。図7に示すとおり、タービンは隣り合うブレードが円形に組み込まれた構造となっているが、ブレード同士が接着されていないため、エンジン回転中に隣り合うインターロック部で擦れ合い、非常に摩耗しやすい部品である。これまでは、インターロック部に耐摩耗材料を肉盛溶接していたが、余肉の発生や、熱影響による基材の割れやひずみの問題等があった。

### 3.2 耐摩耗被膜の開発

これらの課題を達成するため、耐摩耗性の高い材料を用いた電極を開発し、図8に示す被膜を得た。図は、被膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した像である。電

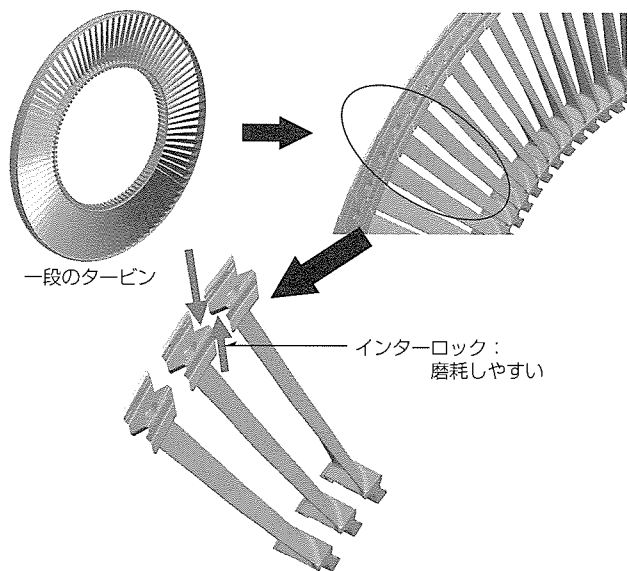


図7. タービンブレード

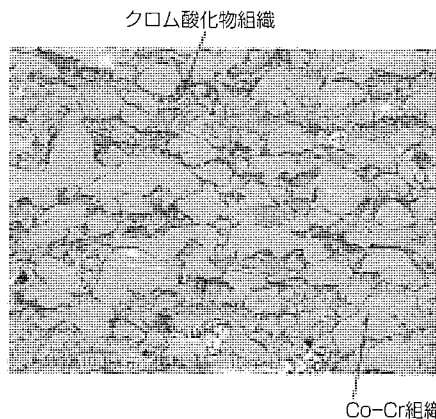


図8. 航空機エンジン用MSCoating被膜の断面SEM像

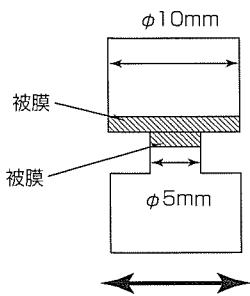


図9. 摩耗試験の概略図

表1. 摩耗試験条件

ストローク幅	0.5mm
試験圧力	3~7MPa
周波数	40Hz
繰り返し回数	10万回
試験温度	室温
	300℃
	480℃
	870℃ 930℃

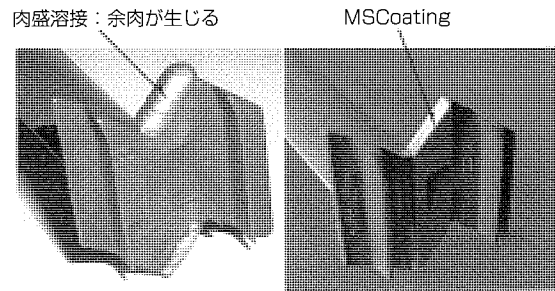


図11. タービンブレードZノッチへのコーティング

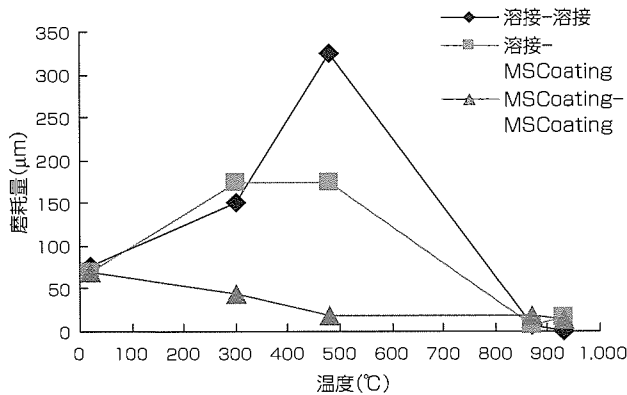


図10. 摩耗試験結果

極は、Crを含んだCo合金粉末をプレス、焼結して得た成形体である。この電極によって形成した被膜は数十ミクロンの大きさのCo-Cr組織の周辺に図では黒く見えるクロム酸化物組織が微細に分散した組織となっている。クロム酸化物は潤滑性に優れており、この組織が耐摩耗性を高めた要因と推測している。

### 3.3 摩耗試験

被膜の耐摩耗性を評価するため、図9に示すようなφ5mmの凸型試験片とφ10mmの円筒状試験片の表面に肉盛溶接とMSCoatingによって被膜を形成し、肉盛溶接同士、MSCoating同士、肉盛溶接とMSCoatingの組み合わせの3パターンを行い、磨耗量を比較した。なお、組み合わせは既存のタービンブレードが摩耗した際の補修を模擬したもので、補修する部品にはMSCoatingが適用されるが、補修が不要な部品は肉盛溶接のままとなることを想定して行った。試験条件を表1に、試験結果を図10に示す。試験は実機を模擬した内容で、航空機エンジンの稼働中は1,000℃近い高温に上がるため、常温から高温まで幅広い温度での評価が必要であった。肉盛溶接同士は航空機の安定飛行中の温度である350~480℃で著しく摩耗したが、MSCoating同士は、すべての温度域で磨耗量が非常に小さく、高い耐摩耗性と耐熱性を示した。また、補修を想定した組み合わせは、480℃での磨耗量は肉盛溶接に比べ大幅に低減し、他の温度域では同等程度の耐摩耗性を示した。

この結果が示すとおり、この開発によって得たMSCoating被膜は、高い耐摩耗性を持った被膜であり、航空機エンジンの耐久性向上が期待される。

### 3.4 作業工程の削減

MSCoatingの適用によって、耐摩耗性の向上に加え、作業時間短縮の効果を得ることができた。肉盛溶接では図11に示すとおり余肉が生じ、研削などの後工程が必要であったが、MSCoatingでは余肉がなく、均一にコーティングできるため、コーティングの前後工程を削減することができた。また、ライン化することが容易であり、前後工程を含めたコーティング全体にかかる時間は大幅に削減できた。

## 4. む す び

基材に熱影響を与えることなく、必要な箇所に必要な形状の被膜を精度良くコーティングできる技術を開発した。電極材料の開発と放電電気条件の最適化によって、高い耐摩耗性と耐熱性を持つ被膜を形成することができ、肉盛溶接と比較して耐摩耗性を大きく改善することができた。また、工作作業を容易にし、加工時間を大幅に短縮できた。

今後は、耐食性、潤滑性など様々な機能性を持つ被膜を開発し、自動車、医療、工作機械など幅広く展開していく所存である。

この技術の開発と適用に当たっては、(株)IHIの落合宏行氏をはじめとする多数の関係者にご協力頂きました。ここに敬意を表します。

### 参考文献

- (1) 岡根正裕, ほか: 放電によるコーティング技術の開発, 機械学会 第5回生産・工作機械部門講演会, No04-3, 281~282 (2004)
- (2) 寺本浩行, ほか: 放電によるコーティング技術の開発: 精密工学会学術講演会講演論文集, Vol.2005S, 825 (2005)
- (3) 岡根正裕, ほか: 放電を利用したコーティング技術“MSCoating”の開発, 型技術者会議2006講演論文集, 116~117 (2006)

# 高品位超硬加工システム“A.S.C”

中島洋二\*  
石原秀一郎\*  
瓦井久勝\*\*

High Quality Hard Metals (WC-Co) Machining System “A.S.C”

Yoji Nakajima, Shuichiro Ishihara, Hisakatsu Kawarai

## 要 旨

半導体関連プレス金型や小型コネクタ用モールド金型など微細・高精度な加工が求められる市場に対して、三菱電機では2004年から超高精度ワイヤ放電加工機“PAシリーズ”を販売し、好評を得ている。このシリーズは加工液に水(純水)を使用して、高精度金型を高速で加工できることが特長である。

上記のような金型には超硬材料が広く用いられており、水中での長時間加工では、材料中のコバルト(Co)が溶出することで腐食が発生するため、後工程での腐食層の除去時間の増加や金型寿命に影響を与えられている。当社ではこの課題に対して、無電解電源(AE電源)や超仕上げ電源(FS電源)による腐食層の除去加工や腐食防止仕様

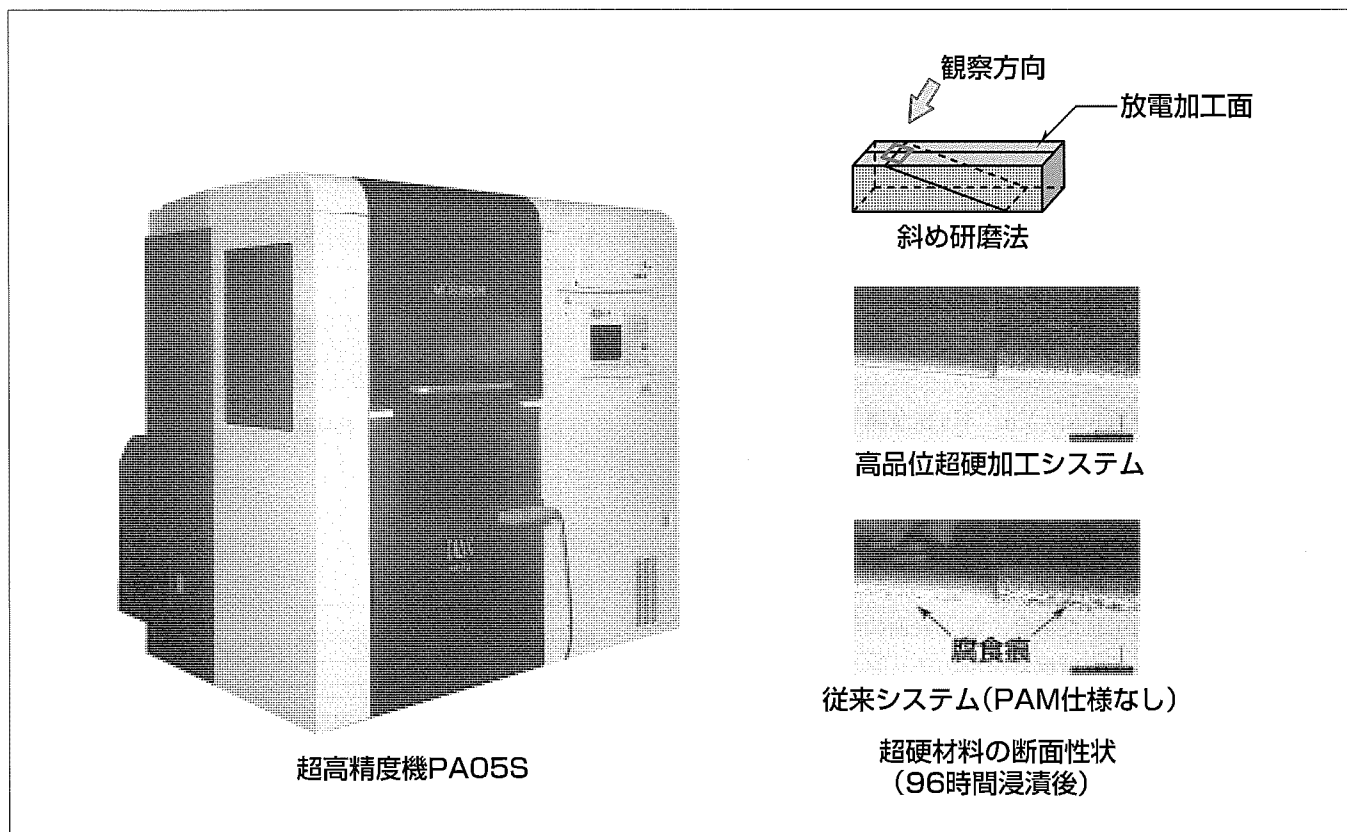
(PAM)による腐食層の生成の防止で対応してきた。

しかし、金型の微細高精度化による加工時間の増加で、超硬材料の更なる腐食防止の要求が高くなってきている。

そこで、当社では上記の要求に対応するために“超硬材料は水加工では腐食する”という固定概念を覆す腐食防止技術“高品位超硬加工システム(Aqua Surface Control : A.S.C)”を開発した。この技術は加工液中のイオンバランスを一定状態に制御し、超硬材料の表面を不活性化して腐食防止を実現するものである。

この技術によって、加工液に水を使用したワイヤ放電加工機の特長である高速加工を生かしながら、超硬材料の長時間加工でも腐食が生成されない金型加工を実現した。

特集  
II



超高精度機PA05S

観察方向

放電加工面

斜め研磨法

高品位超硬加工システム

腐食痕

従来システム(PAM仕様なし)

超硬材料の断面性状  
(96時間浸漬後)

## 高品位超硬加工システム“A.S.C”

高品位超硬加工システム(A.S.C)は超高精度機種“PA05S”“PA20”“FA20PS-A”にオプション搭載可能で、高精度金型に使用される超硬材料の腐食防止を実現した。加工液に水(純水)を使用したワイヤ放電加工機の特長である高速加工を生かしながら、超硬材料の腐食が生成されない金型加工を実現した。

## 1. ま え が き

近年、電子デバイス部品の小型化によって金型の微細化のニーズが高まり、電子デバイス関連ではICリードフレームに代表される高速スタンピング用金型やコネクタピンなどの精密モールド金型、また自動車関連では金型の高精度化に伴って、ファインブランピング金型や冷間鍛造金型が増加している。ワイヤ放電加工機は、他の工作機械では加工が困難な高硬度材料、例えば焼入れ後の鉄材料や超硬材料などを微細な形状に切断加工が可能なることから、その特長を生かして微細高精度金型加工の主要な工作機械としての地位を築いてきた。

一方、簡易な金型は工賃の安いアジア諸国へ発注される傾向が強まっており、国内金型産業界では高品位金型加工を追求しながら低価格・短納期に対応できる生産性の高いワイヤ放電加工機がこれまで以上に求められるようになってきている。

当社では、超高精度ワイヤ放電加工機PAシリーズを開発し、水(純水)の加工液の特徴を生かした高速高精度加工を実現してユーザーニーズにこたえてきたが、高精度金型に広く使用されている超硬材料の長時間加工では、超硬材料中のコバルト(Co)が溶出することで腐食が発生するため、金型のチップングや面品位の劣化などの課題があり、超硬材料の腐食を防止する要求が高くなってきている。

上記の要求にこたえるため、高品位超硬加工システムA.S.Cを開発し、水(純水)の加工液の特徴である高速加工を生かしながら、超硬材料の長時間加工でも腐食層が生成されない高品位な金型加工を可能にした。

本稿では高品位超硬加工システムの特長と効果について述べる。

## 2. 超硬材料加工の課題

超硬材料は周期律表IVa, Va, VIa族金属の炭化物を鉄系金属(Fe, Co, Ni)で焼結した複合材料で、中でも、タングステンカーバイド(WC)をCoで結合させたWC-Coが一般的だが、加工液(水)中に浸漬すると耐食性に乏しいCoが溶出するため腐食が発生する。また、ワイヤ放電加工機で超硬材料を加工した場合、加工表面に加工変質層が生成される。これらは超硬材料金型のチップングや割れの原因になり型寿命に影響を与えているとされている。

当社ではこれまで腐食防止仕様(PAM)を開発し、加工液中に24時間超硬材料を浸漬させても超硬材料に腐食層が生成されず、金型品質を劣化させずに加工することを可能にしてきた。また、無電解電源(AE電源)と超仕上げ電源(FS電源)を開発し、超硬材料の加工でも、加工変質層や腐食層を取り除くことを可能にしてきた。

図1にPAMの効果を示す。FS電源で仕上げた超硬材料を24時間と96時間加工液中に浸漬させたとき、PAMなしの場合は腐食が生成されたのに対して、PAMありの場合は24時間では腐食が発生していない。

そんな中、ICリードフレームなどの金型が微細高精度化するにつれて、ワイヤ放電加工の加工時間が増加するため、超硬材料が24時間以上の長時間にわたって加工液中で浸漬加工され、従来よりも腐食が進行しやすい状況になってきている。例えば、加工後に週末休みに入る場合では96時間にわたって加工液中に浸される可能性があり、図1から分かるように96時間ではPAMの効果が低下する。また、PAMは図2のような電気防食法であるので電極から離れた場所では腐食防止効果が薄れてしまうため、腐食防止範囲が制限されるという課題もあった。

そこで、高品位超硬加工システムは96時間(4日間)の加工時に、加工領域全域で超硬材料の腐食が防止可能であることをコンセプトに開発を進めた。

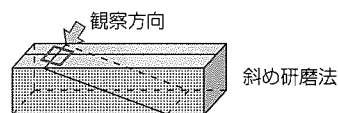
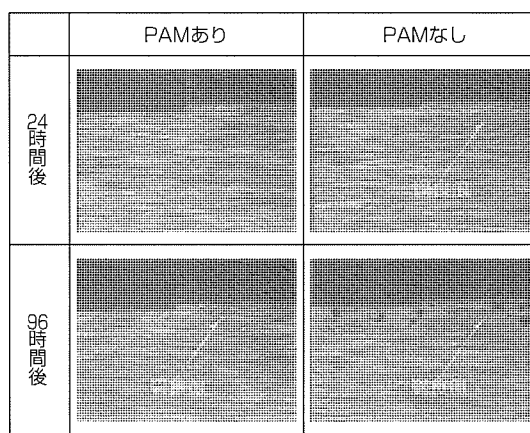


図1. PAMの効果

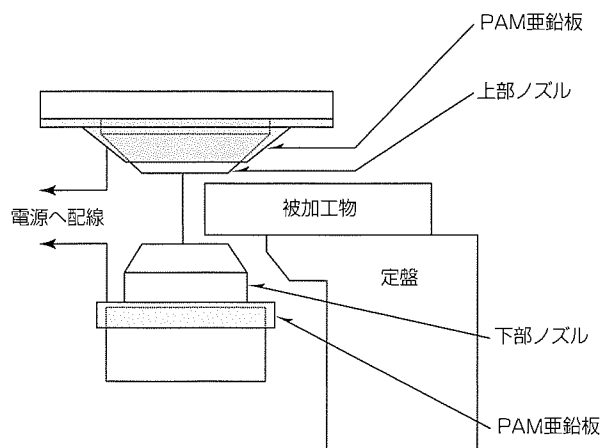


図2. PAMの概略図



### 3. 高品位超硬加工システム

#### 3.1 高品位超硬加工システムの概要

高品位超硬加工システムでは加工液中のイオンバランスを一定状態に保ち、超硬材料表面を不活性化することで腐食の発生原因であるCoの溶出を防止している。従来のワイヤ放電加工機に使用する水は比抵抗値を約10万Ω・cmに保つため、イオン交換樹脂に通水して制御しているが、A.S.Cでは図3のような構成になっており、イオンバランスを一定にするためのA.S.C樹脂(専用イオン交換樹脂)への加工液通水をセンサとコントローラによって自動制御している。

#### 3.2 高品位超硬加工システムの特長

##### (1) 水中浸漬における長時間の腐食防止効果

- 加工液中のイオンバランスを一定状態に制御し、超硬材料の表面を不活性化して腐食の防止を実現
- 全加工領域で腐食の防止を実現

##### (2) 生産性の大幅向上

- 無電解電源(AE電源)との組み合わせによる水加工の特徴を生かした高速加工、マイクロクラックのない高品位加工
- 腐食層除去の手間を省き、製造工程の短縮化
- 消防法の適用がないため、複数台の機械を昼夜無人可動が可能で自動化にも容易に対応可能

##### (3) 容易な管理

- 加工液の状態を自動で制御するため、防錆(ほうせい)剤のように濃度を気にする必要なし

#### 3.3 高品位超硬加工システムの効果

図4にA.S.Cの効果を示す。超硬材料を加工液中に96時間浸漬させたとき、標準仕様の場合には腐食痕(こん)が確認でき、バインダーであるCoの溶出によってWCが脱落していることが分かる。一方、A.S.Cによってイオンバランスを制御された加工液中に浸漬した場合はWCの脱落はなく、腐食を防止できていることが確認できる。

次に超硬材料を金型として使用することを想定して96時

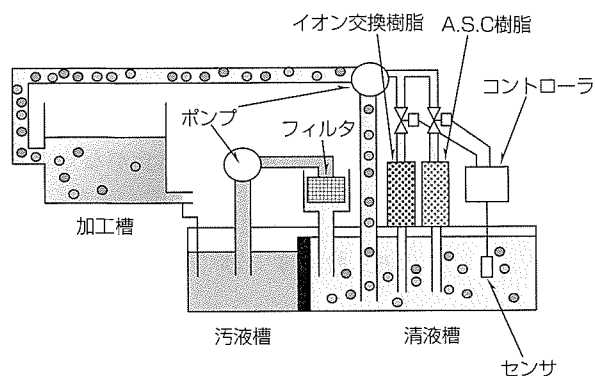


図3. A.S.Cの構成

間加工液中に超硬材料を浸漬したときの放電加工面の耐磨耗試験を実施した。図5に摩擦摩耗試験方法を示す。円筒形材料を超硬材料の放電加工面に押し当てて摺動(しゅうどう)させた。図6に試験結果を示す。標準の加工液ではWCの脱落が顕著に見られるが、A.S.Cでイオンバランスを制御された加工液ではWCの脱落はなく、耐磨耗性が劣化していないことが確認でき、腐食が発生していない油の

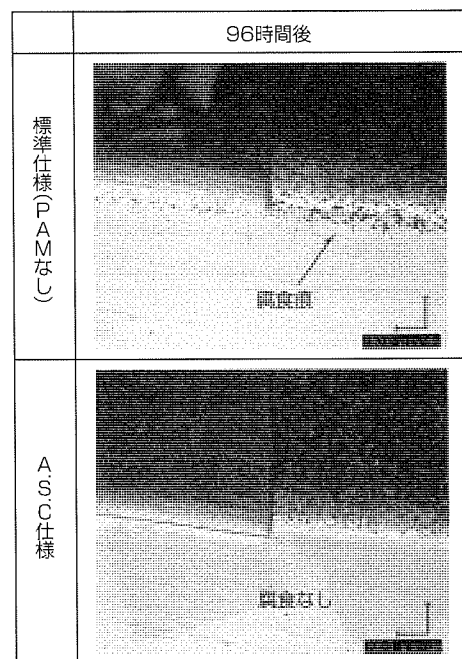
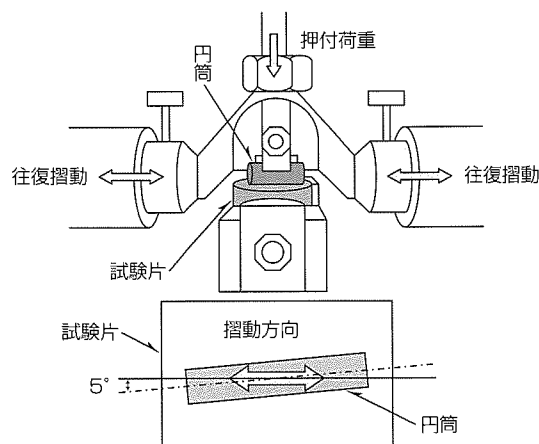


図4. A.S.Cの効果



- 試験条件
- 円筒の形状 : φ15×L22
  - 円筒側面の硬さ : HRC61
  - 負荷 : 28N
  - ストローク : 0.85±0.05mm
  - 速度 : 5Hz
  - 潤滑 : なし(アセトン脱脂)
  - 試験時間 : 5時間(18万ショット相当)
  - 試験片 : 超硬材料(JIS規格: V40相当)  
加工面粗さ1.0μmRz

図5. 摩擦摩耗試験方法

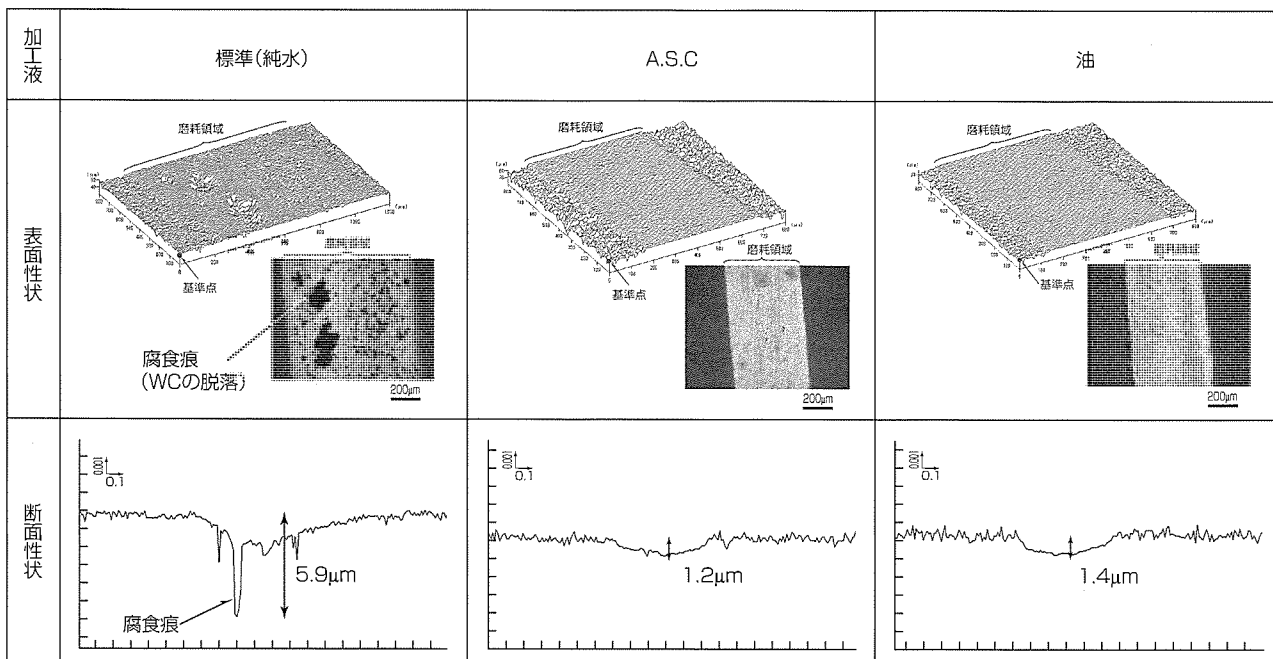
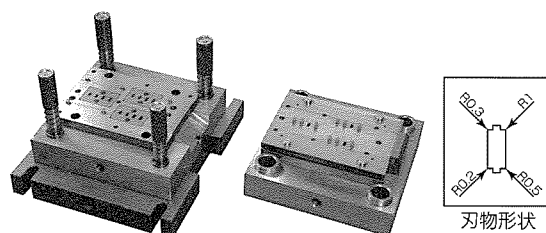


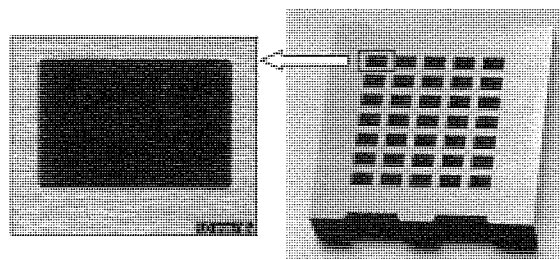
図6. 摩擦摩耗試験後の表面性状と断面性状

特集 II



試験条件

- 被打抜き材 : 珪素鋼板(35JNE300) t0.35
- 刃物材質 : 超硬材料(JIS規格: V40相当)
- クリアランス : 20.0µm(5.5%)
- 刃物形状 : モータコア形状
- 使用プレス : アイシス(ISIS)40tプレス
- 打抜きスピード : 200spm
- 打抜き回数 : 130万回



加工条件

- 工作物 : 超硬材料(JIS規格: V40相当)t5.0
- 使用機種 : PA05S(A.S.C仕様)
- 使用ワイヤ : φ0.1BS
- 加工条件 : 標準条件(10回加工/FS面)
- 加工形状 : □2×3mm×35箇所, 拡大コアレス加工

図8. 加工事例

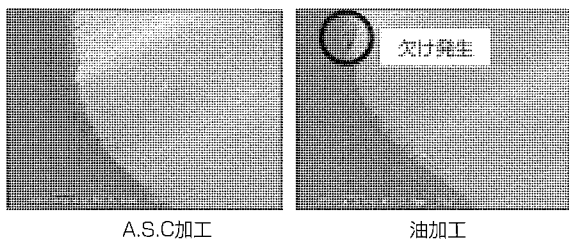


図7. 金型寿命評価方法とパンチ金型比較

加工液中で加工した試験片と同じ耐摩耗性であることが確認できる。

次に珪素(けいそ)鋼板を130万回プレスしたときの金型寿命試験の結果を図7に示す。油の加工液中で加工した場合、金型のエッジ部に欠けが見られるのに対して、A.S.Cによって加工した場合は腐食がなくマイクロクラックが発生していないため、欠けが発生していないことが確認できる。

以上の試験結果からA.S.Cによって水(純水)の加工液の特徴である高速度加工を生かしながら、超硬材料の長時間加工でも腐食層が生成されない高品位な金型を作製することが可能であると考えられる。

4. 加工事例

図8に高品位超硬加工システムによって超硬加工した事例を示す。合計96時間浸漬した場合でも腐食がなく高品位な加工を実現している。

5. むすび

高品位超硬加工システムは超硬材料を対象として開発したが、今後は一般的に金型材料に使用されている鉄系材料への用途拡大を目指して開発に取り組んでいく所存である。

# 新型炭酸ガス二次元レーザ加工機 “ML3015NX-60CF-R”

杉原和郎\*  
井上 孝\*  
北川岳史\*

CO<sub>2</sub> 2D Laser Processing System “ML3015NX-60CF-R”

Kazuo Sugihara, Takashi Inoue, Takeshi Kitagawa

## 要 旨

炭酸ガス二次元レーザ加工機は、金属板を特段の治工具なしに複雑な形状に切断加工できるため、自動車や電機機器などの開発や製造の現場で使われている。消費者ニーズの多様化と製品サイクルの短縮化がますます進む中、多品種小ロットの板金加工を短納期、低コストで行うことが求められており、二次元レーザ加工機には、高速化に伴う加工精度の低下、材料の反りや波などの変形に対する追従、加工時に発生するプラズマの影響などの課題を押えつつ更なる高速化と多品種連続加工の強い要望があった。

三菱電機はこのような要望にこたえて、2007年1月に加工性能・操作性・コストパフォーマンスを大幅に向上した炭酸ガス二次元レーザ加工機“NXシリーズ”(4kW発振器搭載)を発売し、好評を得ている。

今回、業界最先端の“NXシリーズ”に高出力・高ビーム品質の6kWレーザ発振器“ML60CF-R”を搭載した、世界

最高レベルの性能を持つ炭酸ガスレーザ加工機を開発した。

超高速切断とともに当社レーザ加工機のフラグシップ機としてNXシリーズの次の3つの開発コンセプト(連続稼働・加工性能向上・操作性向上)とコンセプトを実現するための技術開発の概略を示す。

### (1) 加工性能向上(High performance)

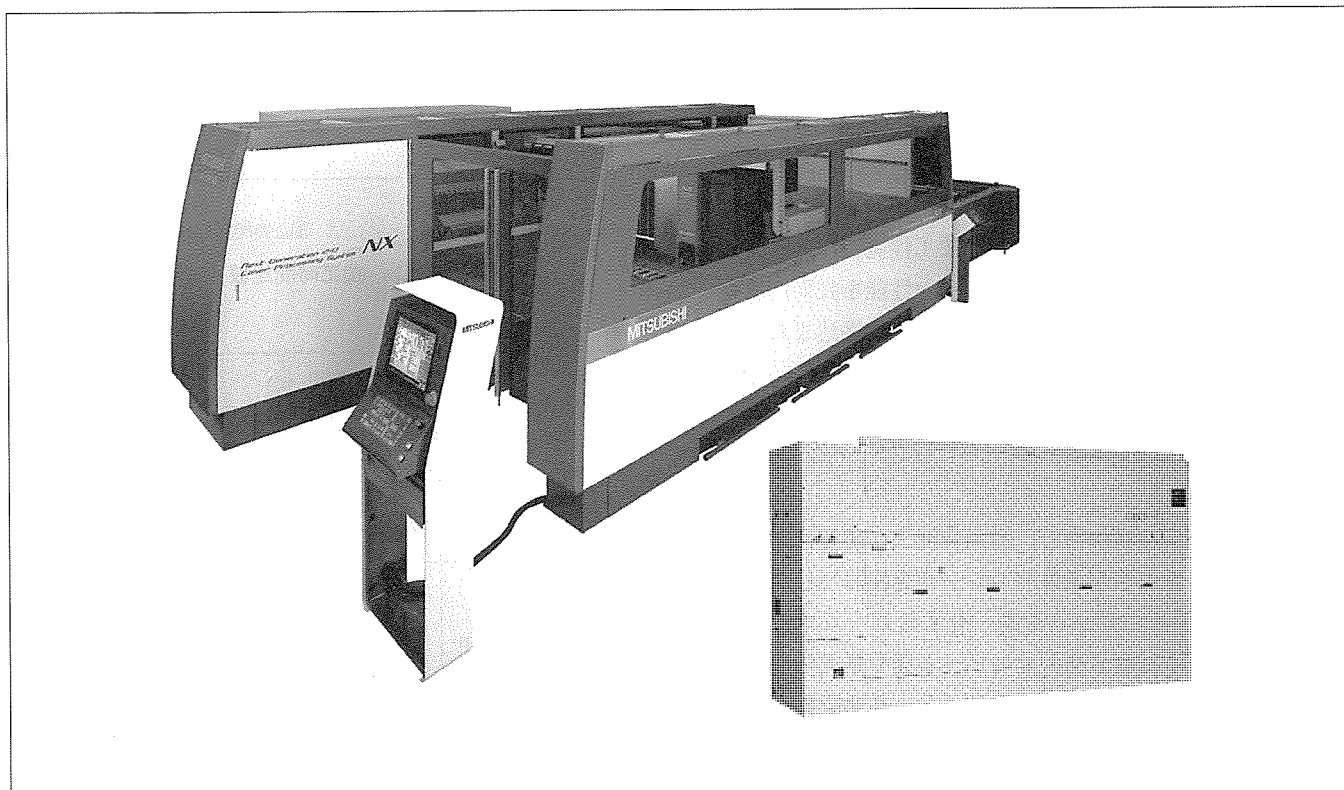
薄板から厚板まで高速でありながら比類なき高精度を実現

### (2) 連続稼働(Keep on running)

安定加工を可能とするビーム品質保持と交換部品の寿命把握のためのセルフチェック機能開発による信頼性の確立

### (3) 操作性向上(Think about less thing)

段取り作業効率化のためのガイダンス機能によって、使う人にやさしい操作性を追求



## 新型炭酸ガス二次元レーザ加工機“ML3015NX-60CF-R”の特長

新型発振器ML60CF-Rを搭載した加工機ML3015NXは、高出力、高ビーム品質の新型発振器と高速高精度加工機との組み合わせによって、ステンレス中厚板切断で機械加工(普通仕上げ)と同等なレベルまでに加工品質を向上させた。

1. ま え が き

近年、国内や米国、欧州主要国における板金切断用加工機で、レーザ加工機の年間導入台数が、タレットパンチプレス台数を大幅にしのぐ状況が続いている。

このようにレーザ加工機の導入台数が伸長した理由は、レーザ加工機の欠点であった大量生産性、ランニングコスト、厚板加工性などの技術分野で各種技術開発が進んだことによる。さらに、良好なレーザ切断品質によって、切断の前後工程を削減することが市場評価を得て、レーザ加工機の市場拡大につながった。

しかし、ここにきて製造業を取り巻く厳しい環境から、レーザ加工機へのさらなるブレークスルー技術の期待が高まっている。

ここでは、このような環境下で当社が投入したレーザ加工機“ML3015NX-60CF-R”について述べる。

2. NXシリーズの特長

レーザ加工機はロット数の多い加工ツールとして普及が進み、同一加工性能を長期間維持する能力(Keep on running)の要求が急速に増えている。この傾向は、特に加工ロット数2,000~3,000個の生産が標準的な欧米で顕著であり、機械的な信頼性や、光学的な信頼性を高める技術とともに、加工機の稼働率を高めるスケジュール管理、予期せぬ機械停止を防止する予防保全技術などの要求が高まっている。

これらの市場要求に対して、①加工性能の向上、②ランニングコスト低減、③連続加工性能向上、④操作性向上を開発コンセプトとしてレーザ出力6kW炭酸ガスレーザ発振器ML60CF-Rを搭載した“ML3015NX-60CF-R”を開発した。加工機の基本性能として高速加工性能追求の技術開発を優先するのは当然ではあるが、その性能を長期間維持する技術についても、様々な独自開発内容が盛り込まれている。以下に、各種機能向上の詳細を述べる。

3. 加工性能の向上

3.1 切断速度向上

高速加工に必要な高出力と、高品質加工に必要な高ビーム品質を両立させた新型炭酸ガスレーザ発振器“ML60CF-R”と、加工全領域のビームを均一化するビームスタビライザー、加工する材料にあわせてビーム径や焦点位置などを最適に制御するビーム最適化ユニット、高速駆動が可能なりニアモータ搭載の二次元レーザ加工機“NXシリーズ”との組み合わせで、広範囲な加工対象について加工速度の向上を実現した。軟鋼、ステンレス、アルミなど幅広い材料で約1.5倍の高い生産性を実現した。(当社“ML3015NX-40CF-R”比)特にステンレス(SUS304 板厚1mm)におい

ては30m/minと世界最高速を実現した。

図1は3m×1.5mのステンレス材(SUS304 板厚10mm)に部品を多数個切断する場合の加工時間を示したもののだが、加工速度が0.9m/minから1.6m/minへ向上することで、全加工時間を約40%短縮することが可能となり、ランニングコストを大幅に削減することができた。

3.2 切断加工板厚の向上

レーザ加工では、レーザ発振器の高出力化によって、薄板、中厚板領域での切断速度向上、厚板領域での板厚向上が見込まれる。“ML3015NX-60CF-R”では、最大出力6kWのハイパワーと、三軸直交型発振器で得られる高ビーム品質によって、従来のレーザ加工機と比較して大幅に切断加工板厚を向上させた。軟鋼で板厚25mm、アルミニウムで板厚15mm、特に市場性が高いステンレスの無酸化切断公称能力を板厚14mmから25mmへと拡大した。

図2に6kW発振器による各種材質の切断例を示す。

3.3 切断面品質の向上

炭酸ガスレーザ発振器“ML60CF-R”では新制御方式による新型電源搭載によって、パルス発振波形の応答性をさ

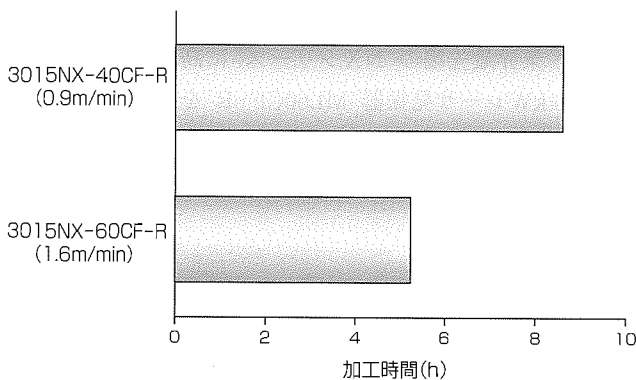


図1. 加工時間比較

材質	板厚	切断サンプル	切断面
SS400	25mm		
SUS304	16mm		
A5052	15mm		

図2. M3015NX-60CF-Rによる厚板加工性能

らに改善した高矩形(くけい)波パルス(従来CFシリーズからの改善率50%)(図3), モードスタビライザー搭載によるビームモードのボトムラインの均一化(図4), 最適光路設計, 新型加工ノズルとの相乗効果によって, ステンレス無酸化切断で機械加工普通仕上げ(Rz25 $\mu$ m)相当の切断面粗さを実現する“プリリアントカット”を実現した。“プリリアントカット”に関しては7.1節で詳しく述べる。

#### 4. ランニングコスト大幅低減

高ビーム品質とハイパワーを両立させた6kW発振器, 加工ヘッドの送り速度や退避及びアプローチ動作の高速化, 加工ガス切替短縮によって, 従来機に比べて大幅に加工時間を短縮し, 約40%のランニングコスト削減を実現した(SUS304 板厚12mm無酸化切断時)(図5)。

#### 5. 連続加工性能向上

NXシリーズに搭載の発振器ML60CF-Rは, 熱レンズ現象を緩和できる高冷却ミラーホルダーを採用することによって, 長期的に均一なビームモードを実現できるようになったことと, 発振器内部構造材の粉塵(ふんじん)を徹底排除した新開発のクリーンテクノロジーの採用によって, 光

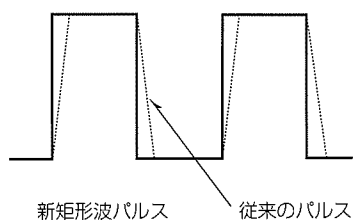


図3. 新型電源によるパルス発振波形

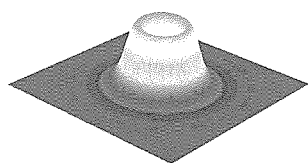


図4. 均一なビームモード

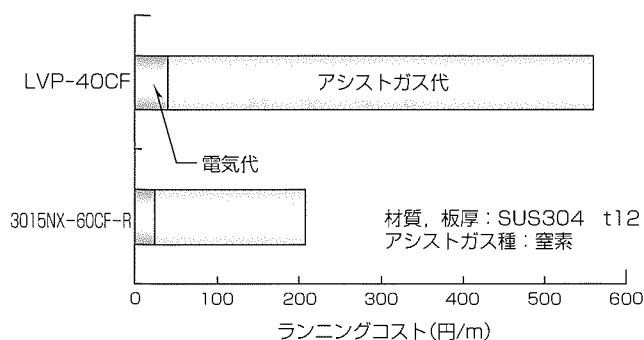


図5. ランニングコスト比較

学ミラー間の真空領域でのクリーン度5倍以上を達成し, 光学部品のメンテナンス周期を延長することで連続加工性能の向上を図った。

加工機はパレットチェンジャを標準装備するとともに材料載せ替え時の材料の傾きやズレを補正するシート位置検知機能を搭載しており, 材料の自動供給装置と組み合わせてレーザーシステムへ拡張することで, 長時間の連続加工も可能となる。異なる材料を連続して加工する場合でも, レーザ光の焦点位置やアシストガス圧などの条件を制御装置がデータベースに基づいて自動設定するため, 段取り替えすることなく連続加工ができる。

また, 発振器のミラーや静電センサの感度などの状態を監視し, 部品の交換時期を提示する図6のセルフチェック機能を開発したことによって, ユーザーがメンテナンス計画を事前に立てることを可能にし, 機械のダウンタイムを削減することが可能となる。

#### 6. 操作性向上

制御装置には高速CPUと15インチの大画面タッチパネル液晶を採用。NC関連製品群(レーザ, 放電, NC)でタブ表現及びアイコンの採用などの画面インタフェースを統一するとともに, 画面上でのチェック機能などの描画処理性能を向上させ, 操作性を改善した。

また, 従来の加工ガイダンス機能である試し加工及び加工ヘルプ機能を充実させ, 加工状態に対応して条件変更を容易とし, ユーザーの技量によらず, 最適な加工が可能となり, 使う人にやさしい操作性を実現している。

加工ストロークは鋼板などの定尺3,050 $\times$ 1,525(mm)に対して, 約5%拡大した3,200 $\times$ 1,600(mm)を確保した。これによって材料を載せる際の作業性を向上するとともに, 耳付材などの特殊寸法材料の加工を可能にし, 材料の歩留まり向上によるランニングコスト削減にも貢献する。

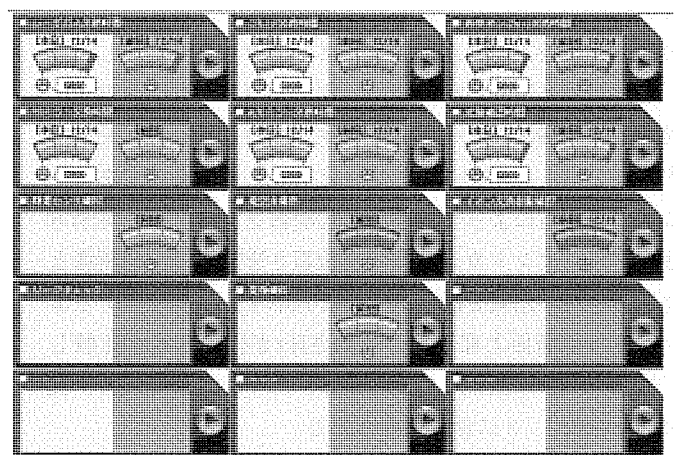


図6. セルフチェック画面

	切断面写真	面粗さRz(μm)	
		上面	下面
従来方法		18	25
ブリリアントカット		8	12

図7. ブリリアントカットの切断面粗さ

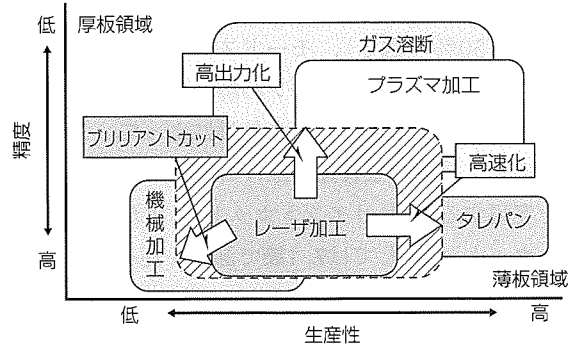


図9. 各種加工法の加工精度と生産性の関係

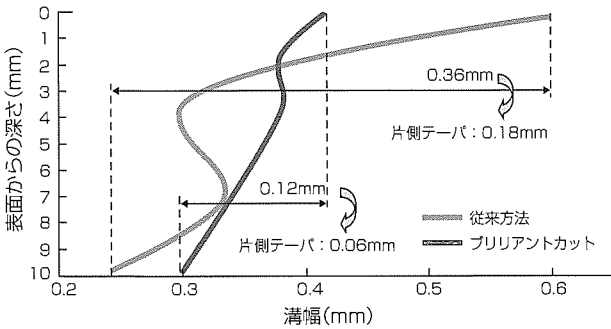
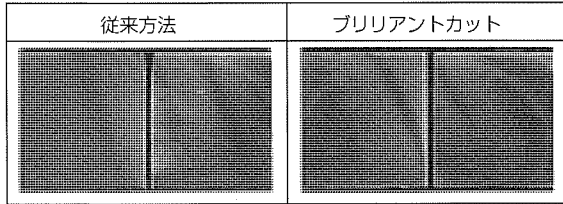


図8. 切断溝とテーパの比較

## 7. レーザ加工技術

### 7.1 ブリリアントカット

ステンレスのレーザー切断に関しては無酸化切断と呼ばれる窒素ガスをアシストガスとして使用する切断方法が一般化しており、裏面のバリ発生や切断面への酸化膜生成が抑制され、高品質な加工が実現している。しかしながら、板厚の増大に伴い切断面粗さやテーパが大きくなる傾向にあり、厚板領域における切断品質の改善が大きな課題となっていた。当社ではこの課題を解決するため、ステンレス鋼の高品位切断方法であるブリリアントカットを開発した。

この加工方法の技術構成は、高矩形パルスの制御方式に対応した発振器、ビーム特性を生かす最適光路設計を構成する加工機、適正化された加工ノズル、加工条件であり、これらの技術によって高品質な切断面を実現した。従来方法とブリリアントカットの切断面粗さを図7に、切断溝と片側テーパの比較を図8にそれぞれ示す。ブリリアントカットでは切断面上部下部の面粗さRzが従来切断と比較して約40～50%に低減される。また、テーパに関しても、従来切断の約1/3に低減可能となる。

図9は各種加工方法の加工精度と生産性の関係を示した

発振器	切断面品質	面粗さRz(μm)	
		上面	下面
40CF-R (速度: 1.6m/min)		19.9	41.9
60CF-R (速度: 2.2m/min)		6.3	14.5

図10. 軟鋼板厚12mm切断面比較

ものである。従来は困難とされていた機械加工に代替可能なレーザー加工方法としてブリリアントカットによる加工領域の拡大が期待される。

### 7.2 軟鋼高速切断

一般に軟鋼の酸素切断では加工速度2m/min前後を大きい値として切断現象が変化することが知られている。切断速度2m/min以下では、母材の溶融に用いられる熱量に対して鉄の燃焼反応による発熱が大きく寄与しており、十分な流量の酸素供給が必要とされる。一方、2m/min以上の加工では、レーザー出力が母材の溶融に大きく寄与するため、酸素ガスの流量を低減することが可能であり、切断面粗さも向上する傾向にある。当社4kW発振器であるML40CF-RとML60CF-Rによる、軟鋼12mmの高速切断面品質を比較した結果を図10に示す。6kW発振器では2m/min以上での加工を可能とし、切断面粗さについても4kW発振器と比較して大幅に向上していることが分かる。

## 8. むすび

以上、最新二次元レーザー加工機であるNXシリーズの主な特長と加工能力について述べた。

今後も総合レーザー加工機メーカーとして更なる性能向上も目指しつつ、自動車、電気産業をはじめとする生産現場の各種ニーズに積極的にこたえていく所存である。

# プリント基板用新型レーザ加工機 “ML605GTW II -5150U”

金田充弘\*  
銚館俊之\*  
内山研吾\*

Laser Drilling System “ML605GTW II -5150U”

Atsushi Kaneda, Toshiyuki Hokodate, Kengo Uchiyama

## 要 旨

携帯電話をはじめとする今日の電子機器の発展を支えるプリント基板の進歩で、レーザ穴あけは重要不可欠な工法となった。プリント基板の進歩は今後も一段と加速し、レーザ穴あけ工程で、生産性、高品質加工に対する要求が高まっている。その要求にこたえるため高生産性と高品質加工を実現した基板穴あけ用レーザ加工機“ML605GTW II -5150U”について述べる。

ML605GTW II -5150Uは、三菱電機の従来機で採用している、2枚の基板を同時に加工する2ヘッド2ワーク方式を踏襲し、新たに生産性を向上させる新技術を投入した。当社独自のデジタル制御ガルバノシステムで、コントローラ、アンプ、スキャナの主要構成部品すべてに改良を行い、

CO<sub>2</sub>レーザ発振器5150Uについても、パルス発振周波数で最大10kHzの安定した高繰返し動作を可能とした。その結果、従来比約1.3倍となる穴あけ速度を達成し、業界トップクラスの高生産性を実現している。

また、加工品質の面でも、当社独自の高ピーク短パルスのレーザ発振技術による銅ダイレクト加工や、集光性に優れた独自開発の高性能fθレンズによる微細穴加工等の様々な加工用途に応じて高品質加工を可能としている。

今後もプリント基板の高密度化・高精細化・薄型化は一段と加速していくと考えられるが、実装技術の発展に貢献するため新たなレーザ加工機の開発を進めていく。

特集  
II



プリント基板穴あけ用レーザ加工機 “ML605GTW II -5150U”

“ML605GTW II -5150U”では、高速ガルバノスキャナを新規開発することで従来機よりも大幅な生産性の向上を実現した。また、銅ダイレクト加工、微細穴加工等の様々な種類のプリント基板で、良質の穴加工を実現した。

## 1. ま え が き

プリント基板は1990年代中ごろからのビルドアップ方式の適用によって高密度化、高精細度化、薄型化が急速に進展し、携帯電話をはじめとする今日の電子機器の発展に大きく寄与している。そのビルドアップ方式でプリント基板の各層への穴あけ工程に適用されるレーザ穴あけ加工は今やスタンダードな工法と認知され、重要不可欠な工程となっている。その加工を行う基板穴あけ用レーザ加工機もこの10年ほどの間にプリント基板の多様な要求に対応するため性能向上を続けてきた。

最近のプリント基板は、基板の機械的特性や電気特性などの向上のため構造、材料面での改良が進んでおり、レーザ穴あけ工程でもこれらの基板側の改良に対して、より生産性を高く、より高品位に加工する要求が高まっている。

これらの要求にこたえるため、基板穴あけ用レーザ加工機ML605GTW II -5150U(以下“GTW II”という。)の開発を行った。本稿では、GTW IIの特長について述べる。

## 2. GTW IIの特長と新技術

GTW IIは、当社従来機“ML605GTW -5150U(以下“GTW”という。)”で採用している、2ビーム同時分光技術によって2枚の基板を左右の加工テーブルで同時に加工す



図1. ML605GTW II -5150U

る2ヘッド2ワーク方式を踏襲しつつ、新たに生産性を向上させる新技術を投入した。加工機の外観を図1、主な仕様を表1に示す。次にGTW IIの主な特長と新技術について述べる。

### 2.1 高生産性

当社のプリント基板穴あけレーザ加工機では、高速かつ高精度なレーザ加工での穴あけを行うためにデジタル制御ガルバノシステムを採用している。デジタル制御ガルバノシステムはガルバノ高速制御実現のための専用のコントローラ部分、アンプ部分と高速駆動するガルバノスキャナ部分の3つの主要部品で構成している。GTW IIでは図2に示すように、従来のデジタル制御ガルバノシステムに対して、コントローラ部分では、新規に開発した高速デジタルコントローラと新技術である高速高精度制御ソフトウェアを採用して、高分解能、高速演算処理を実現した。アンプ部分ではハイパワーアンプ、高応答性化を実現した。また、ガルバノスキャナ部分に対しても、低損出力化、高剛性化を行った。

このように、デジタル制御ガルバノシステムを構成するすべての主要部品で抜本的な改良を実施することで、高精度かつ大幅なガルバノ加工速度の向上を達成した。

また、従来独自開発しているCO<sub>2</sub>レーザ発振器5150Uについても改良を行い、パルス発振周波数で最大10kHzの安定した高繰返し動作を可能とし、1穴に連続してレーザパルスを入射するバースト加工方法でのレーザ照射時間の削減を実現した。

GTW IIで行ったデジタル制御ガルバノシステムの改良によるガルバノ速度の向上、及びレーザ発振器の10kHz化によるレーザ照射時間削減の結果、プリント基板に対する単位時間あたりの穴あけ速度の向上は、図3に示すとおり、最大で当社従来機のGTWに対して約1.3倍となる約3,000穴/秒にも及ぶ高い生産性を達成し、業界トップクラスの高生産性を実現している。

### 2.2 高品質加工

プリント基板の性能向上とコストダウンのために銅ダイ

表1. ML605GTW II -5150Uの仕様

項目		仕様
システム	外径寸法(mm)	加工機+発振器+制御装置+冷却装置+ワーク吸着装置+オプション(L/UL+集塵装置+エアドライヤ)
	質量(kg)	4,100(W)×2,550(D)×2,270(H) 9,090
加工機	XYテーブル	加工ワーク寸法(mm)
		最大送り速度(m/min)
発振器	レーザの種類	620×560 50
	出力(W)	CO <sub>2</sub> レーザ
	設定パルス周波数(Hz)	150 10~10,000



レクト加工のニーズが高まっている。今回開発したGTW IIでは安定した銅ダイレクト加工の提供が可能である。図4にGTW IIでの銅ダイレクト加工の加工実例を示す。

銅ダイレクト加工では表面の銅箔(はく)を安定して貫通するために高ピークパワーのレーザー光の照射が理想とされる。当社CO<sub>2</sub>レーザー発振器5150Uでは独自のレーザー発振技術によって図5に示すように、高ピーク短パルスと低ピーク長パルスの2種類のパルスを発生させることが可能である。したがって、銅ダイレクト加工に対して理想とされる高ピーク短パルスでの加工が可能である。また、2つの種類のパルスを組み合わせ、高ピーク短パルスのレーザー照射によって表面銅箔を安定に貫通し、続いて瞬時に低ピーク

長パルスのレーザーパルスに切り替えるレーザー加工方法によって、図4に示したような高品位な銅ダイレクト加工が実現可能となる。

一方、プリント基板を構成する樹脂材料では環境対応としてハロゲンフリー化が進むと同時に、機械的特性を向上するために多量のフィラーを混ぜた新しい材料が適用されはじめています。これらの樹脂材料の改良傾向は、レーザー加工の立場からすると加工がいっそう難しくなる方向であり、特に微細な穴あけ加工が要求されるパッケージ基板分野では、レーザー加工への要求がより厳しくなっている。

これに対して、GTW IIでは集光性に優れた独自開発の高性能f $\theta$ レンズを採用することで、レーザー加工が困難とされたパッケージ基板分野の新材料に対しても図6に示すように、微細穴径50 $\mu$ mでも安定して高品質なレーザー加工を実現している。

### 2.3 多種多様な要求に対応できるレーザー加工能力

このほか、GTW IIは従来機GTWからの特長である、図5に示す幅広いパルス設定領域と最適ビーム制御によって様々なプリント基板材料に対して小径から大径までの多種多様な要求に対応したレーザー加工能力を継承している。それらのレーザー加工応用事例を図7に示す。

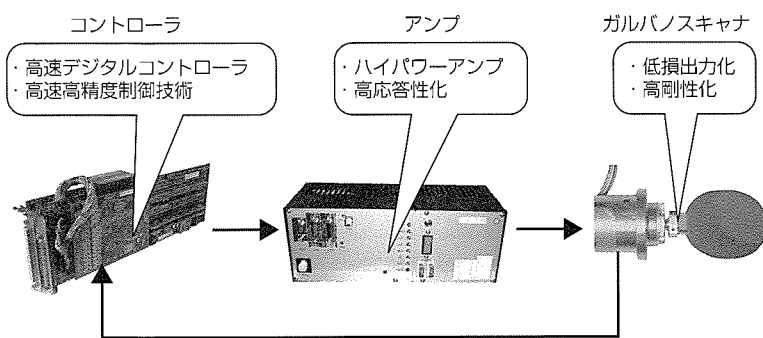


図2. デジタル制御ガルバノシステム主要構成部品

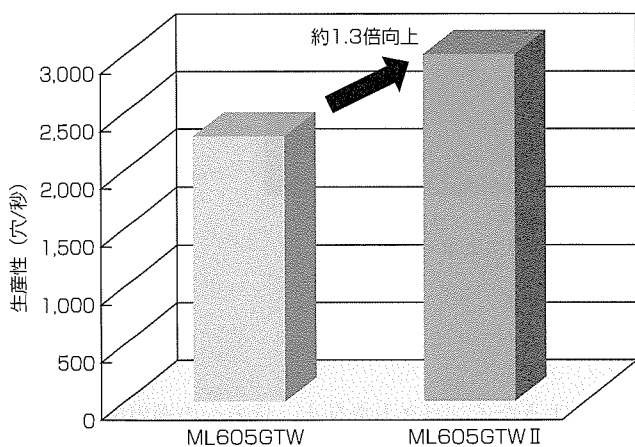


図3. 生産性の向上(当社従来機比)

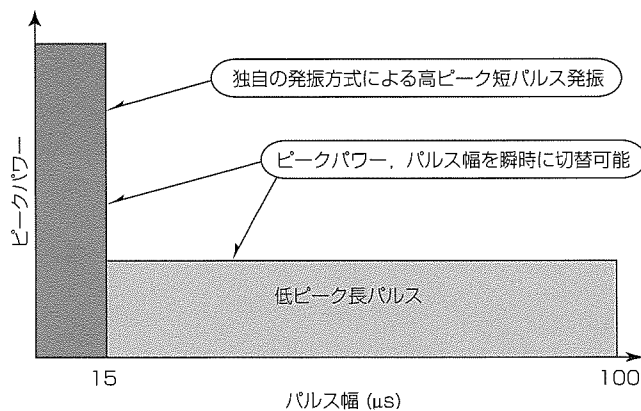
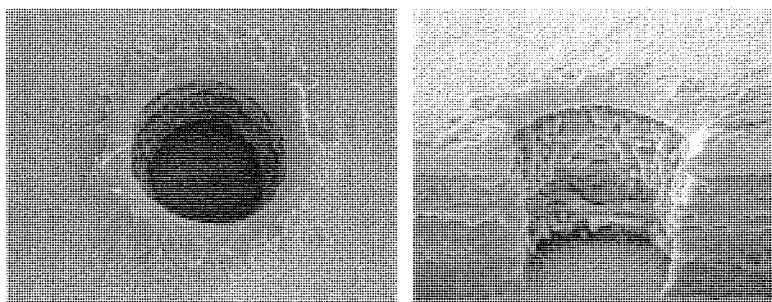
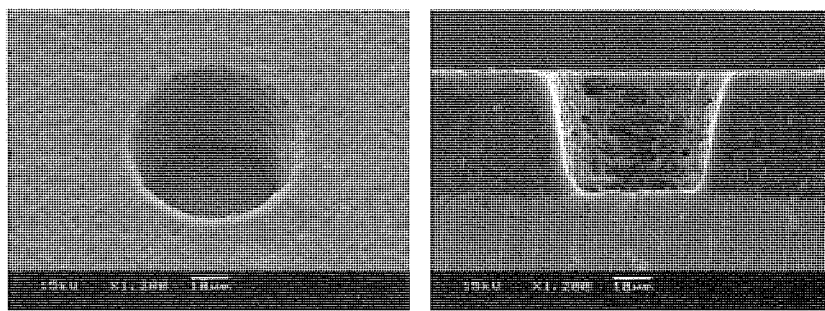


図5. レーザパルス波形の概念図



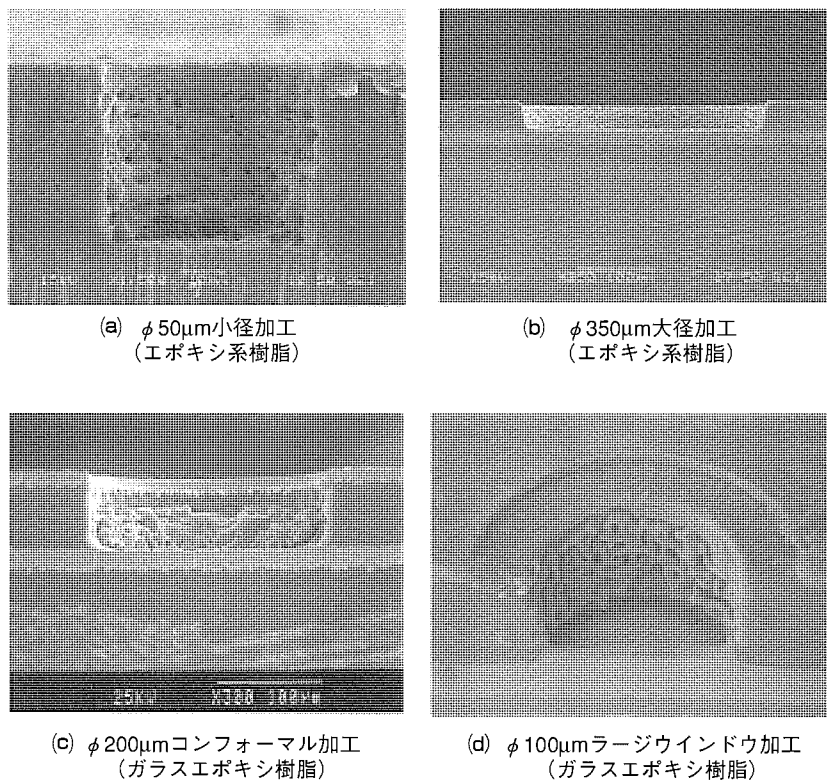
表面銅箔付きガラスエポキシ樹脂 穴径 $\phi$ 120 $\mu$ m

図4. 銅ダイレクト加工



フィラー入りエポキシ系樹脂 穴径 $\phi$ 50 $\mu$ m

図6. パッケージ基板材料への小径穴あけ加工



(a)  $\phi$  50 $\mu$ m小径加工  
(エポキシ系樹脂)

(b)  $\phi$  350 $\mu$ m大径加工  
(エポキシ系樹脂)

(c)  $\phi$  200 $\mu$ mコンフォーマル加工  
(ガラスエポキシ樹脂)

(d)  $\phi$  100 $\mu$ mラージウインドウ加工  
(ガラスエポキシ樹脂)

図7. 加工応用事例

### 3. む す び

以上、高生産性と高品質加工を実現した新開発のプリント基板穴あけ用レーザー加工機ML605GTW II-5150Uの特長について述べた。プリント基板の製造プロセスにおける新たな工法の出現は基板のデザインルールの変革や実装技術の発展を促し、より高度で便利な電子機器の出現につながる。プリント基板の製造工程へのレーザー穴あけ工法の適用

はこのようなインパクトを与え、量産への適用開始から10年余りが過ぎた。今後もプリント基板の高密度化・高精細度化・薄型化は一段と加速していくと考えられるが、その過程でレーザー加工の適用範囲は更に広がり、様々な新たなニーズが出てくるものと思われる。今後もそれらのニーズにこたえ、実装技術の発展に貢献するため新たなレーザー加工機の開発を進めて行く。



# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 放電加工装置用電源装置 特許第3245087号

発明者 佐藤清侍, 山田 久

この発明は、荒加工／仕上げ加工等、各加工に適した電流を供給しつつ加工を行う放電加工装置における電源装置に関するものである。

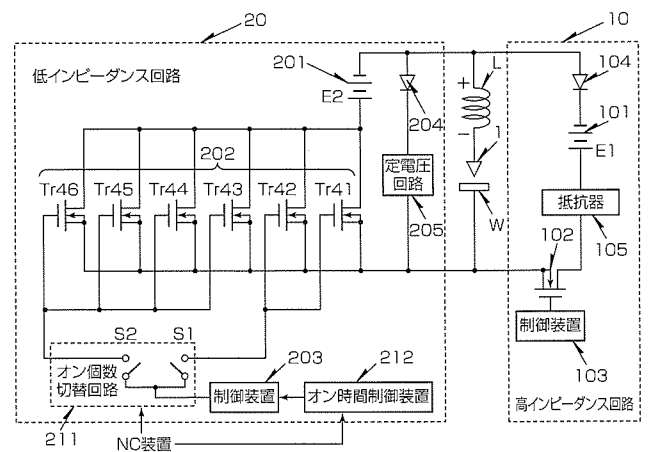
従来の放電加工装置用電源装置では、並列接続したスイッチング素子のオンオフ制御を行うことで電流ピーク値、パルス幅を制御しているが、スイッチング素子の同時オン個数に電流ピーク値が直線的に増加しないため、電流ピーク値が離散的となり加工条件を連続的に幅広くカバーできないという問題があった。

この発明は、電流ピークを連続的に制御するためには、電流パルス幅の制御とスイッチング素子数のオンオフ制御を同時に行うことが有効であることに着目し、“複数個のスイッチング素子を同時にオンさせる個数を制御する手段”“スイッチング素子のオン時間を可変制御する手段”を備え、両手段を組み合わせた制御を行う放電加工装置用電源装置である。

これによって、加工特性を悪化させることなく高ピーク

電流から低ピーク電流まで連続的に出力でき、多様な加工条件に対応可能な放電加工装置用電源装置を得ることができる。

また、電源の回路構成を大幅に簡略化させることができる。



## 産業用ロボット 特許第3403942号

発明者 佐川浩文

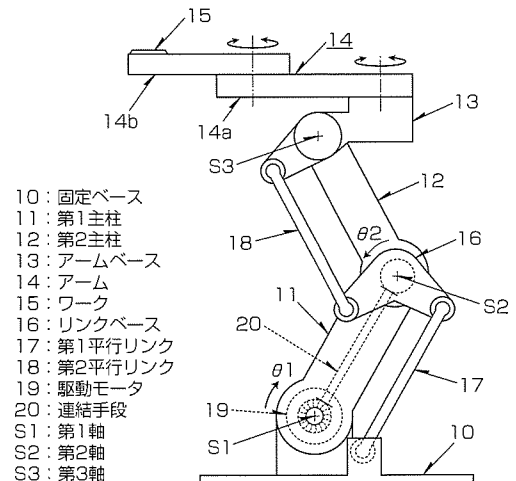
この発明は、物品を上下移動させる産業用ロボットに関するものである。

従来の産業用ロボットでは、固定ベースに立設された支柱に沿ってボールねじによって上下移動を行っていた。そのため、上下方向に長いストロークが必要な場合、相当分長い支柱が必要となり、運搬や搬入が困難という問題があった。また、ボールねじも長いものが必要となり、高価となる問題もあった。また、要求される上下ストロークに合わせてロボットが製造され、ロボットの種類が増えるという問題もあった。さらに、支柱との干渉によって、アームの回転範囲が制限されるという問題もあった。

この発明にかかわる産業用ロボットは、端部が固定ベースに軸支された第1支柱と、第1支柱の他端部に軸支された第2支柱と、第2支柱の他端部に軸支されたアームベースと、アームベースに横設されたアーム等から構成され、第1支柱と第2支柱を逆向きに回転させるとともに、アームを水平に保持するものである。

これによって、第1支柱と第2支柱を屈曲させて平伏状態にすることによって、上下ストロークの長いものであっても全高を低くすることができ、しかも屈曲によって平伏

したときの前後方向の寸法も限られたものとしてすることができる。そのため、コンパクト化が可能となって運搬・搬入時の便を図ることができるとともに、上下ストロークの仕様も変化しても、ロボットの種類を増やすことなく対応することができる。また、アームを第2支柱の他端部に設けているので、第2支柱に干渉することなくアームを回転させることができる。





# 特許と新案 \* \* \*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

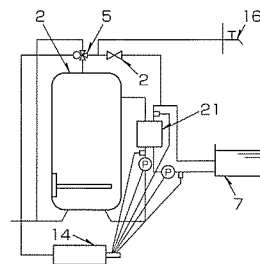
有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 給湯器 特許第3906408号(特開2004-37028)

この発明は、貯湯タンクを備えた追い焚き機能付きの給湯器に関するものである。貯湯タンク2内の高温湯を利用した場合、追い焚きに要するエネルギーが大量であったり、複数回の追い焚きを行ったりすると、貯湯タンク2内の高温湯の大半を使い切ってしまう、混合弁5での湯ばりや給湯経路16での給湯に必要な高温湯が得られなくなり、給湯に支障をきたすという問題があった。

この発明は、貯湯タンク側循環路の出口温度に上限値を設け、循環流量を制御して熱交換手段の貯湯タンクへの戻り湯温を低く抑え、貯湯熱量を確保する運転モードと、制

限を設けない運転モードの少なくとも2つの運転モードを設けるようにしたものである。この発明によれば、使用者が急速な追い焚きを意図した場合以外では、従来のように、貯湯タンク内の高温湯を大量に使用することなく追い焚きが可能となるため、追い焚き後に残る貯湯タンク内の湯温の低下を抑制し、他の給湯に使用可能な実質量を確保することができる。



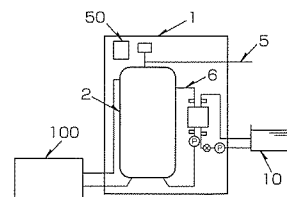
## 貯湯式給湯器及びその浴槽追い焚き制御方法 特許第3900009号(特開2003-336894)

発明者 友田伸一, 柳本 圭, 林 慎一郎, 平本立一, 野本 宗

この発明は、浴槽追い焚き機能を備えた電気温水器、ヒートポンプ給湯器等の貯湯式給湯器及びその浴槽追い焚き制御方法に関するものである。

この発明の浴槽追い焚き制御方法は風呂用熱交換器から出る貯湯水の出口温度、前記風呂用熱交換器へ入る浴槽水の入口温度、及び前記風呂用熱交換器から出る浴槽水の出口温度を検出し、前記貯湯水の出口温度、前記浴槽水の入口温度及び前記浴槽水の出口温度の検出値に基づき、追い焚き循環回路の貯湯水の循環流量を調整しながら追い焚きを行うようにしたものである。この発明制御によれば、循環流量調整手段を調整しながら浴槽の追い焚きを行い、浴

槽内のお湯の温度が一定温度(設定温度-10℃)以上になると、風呂用熱交換器の浴槽水出口温度を一定温度以下に抑えることができるため、浴槽に高温水が供給されることがなく、ユーザーに不快感を与えることはない。また、風呂用熱交換器の貯湯水出口温度を低く抑えることができ、貯湯タンク下部の水温が高くなることを防ぐことによって、この発明をヒートポンプ給湯器に実施した場合は、ヒートポンプ沸き上げ時の加熱効率を高くすることができる。



### <本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

### <次号予定> 三菱電機技報 Vol.82 No.4 特集「アドバンスト・ソリューション」

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 山口隆一</p> <p>委員 小林智里 増田正幸 滝田英徳 佐野康之 糸田 敬 世木逸雄 江頭 誠 河合清司 長谷勝弘 木槻純一 逸見和久 光永一正 河内浩明 橋高大造</p> <p>事務局 園田克己</p> <p>本号取りまとめ委員 飯嶋 等 鈴木正弘</p>	<p>三菱電機技報 82巻3号 (無断転載・複製を禁ず)</p> <p>編集人 山口隆一</p> <p>発行人 園田克己</p> <p>発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&amp;サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847</p> <p>印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス</p> <p>発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03)3233局0641</p> <p>定 価 1部945円(本体900円)送料別</p>	<p>2008年3月22日 印刷</p> <p>2008年3月25日 発行</p>
<p>三菱電機技報 URL</p> <p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先</p>	<p>URL <a href="http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/giho/">http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/giho/</a></p> <p>URL <a href="http://www.mitsubishielectric.co.jp/support/corporate/giho.html">http://www.mitsubishielectric.co.jp/support/corporate/giho.html</a></p>	
<p>英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」がご覧いただけます</p>	<p>URL <a href="http://global.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/">http://global.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/</a></p>	