

# IMITSUBISHI

## 三菱電機技報

Vol.84 No.2

2010 2

### 特集「最新のFAシステム —前編:配電制御機器と産業加工機—」



## 目 次

### 特集「最新のFAシステム—前編：配電制御機器と産業加工機—」

- “ものづくり”と“Easy to Use” ..... 1  
野中秀恭

#### 最新の配電制御機器

- 低圧遮断器の現状と展望 ..... 2  
谷辺俊幸

- 新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WS-Vシリーズ”的特長 ..... 7  
広常弘二・福谷和則・金川仁士

- 低圧遮断器“WS-Vシリーズ”的標準化・VA ..... 11  
伏見征浩・渡辺和昌・川上兼弘・黒崎剛史

- “WS-Vシリーズ”電子式遮断器・MDUブレーカの進化 ..... 15  
山崎晴彦・野村敏光・末澤博敏・塚本龍幸

- 低圧遮断器“WS-Vシリーズ”を支える生産技術 ..... 19  
妹尾 輝・馬場利靖・村井正俊・司城大輔

- “WS-Vシリーズ”的アーク走行遮断技術 ..... 23  
牧田 陽・中川 淳・黒崎剛史・飯塚貴士

- “WS-Vシリーズ”的2点切り高限流遮断技術 ..... 27  
小倉健太郎・伏見征浩・高橋 進

- “WS-Vシリーズ”的電子式・漏電遮断器用  
釈放リレーのタグチメソッドを用いた電磁力設計 ..... 31  
牧田 陽・中川隆文・春名一志・杉本康浩

- エネルギー計測ユニット“EMU3シリーズ” ..... 35  
大橋博章

#### 最新の産業加工機

- 三菱FAメカトロニクス技術開発の方向性 ..... 39  
真柄卓司

- 新普及機タイプCNC“M70Vシリーズ” ..... 43  
坂田晃宏・牧野幸寛

- インターネットを使った放電加工機の予防保全サービス  
“三菱EDMスマートサービス” ..... 47  
渡辺浩太郎・片田佳子・尾畠里佳

- 新型炭酸ガス二次元レーザ加工機“ML3015LVP-45CF-R” ..... 51  
城所仁志・加野潤二

### Latest Technologies of Factory Automation(FA)

—Low-voltage Circuit Breakers & Energy Measuring Devices/Mechatronics—

“Monodzukuri” & “Easy to Use”  
Hideyasu Nonaka

R&D Activities of Low-voltage Circuit-breakers in Mitsubishi Electric Corp.  
Toshiyuki Tanibe

Low-voltage Circuit Breaker "WS-V Series"  
Koji Hirotune, Kazunori Fukuya, Hitoshi Kanagawa

Standardization and Value Analysis for Low-voltage Circuit-breaker "WS-V Series"  
Masahiro Fushimi, Kazumasa Watanabe, Kanehiro Kawakami, Takeshi Kuroasaki

Evolution of Circuit Breaker with Electric Trip Relay  
Haruhiko Yamazaki, Toshimitsu Nomura, Hirotoshi Suezawa, Tatsuyuki Tsukamoto

Manufacturing Engineering Support for Low-voltage Circuit-breaker "WS-V Series"  
Akira Senoo, Toshiyasu Baba, Masatoshi Murai, Daisuke Sijyo

Arc Commutation Circuit Interruption Technologies for MCCB of "WS-V Series"  
Yo Makita, Jun Nakagawa, Takeshi Kuroasaki, Takashi Itsuka

Current Limiting Technologies Using Double-break Systems for "WS-V Series"  
Kentaro Kokura, Masahiro Fushimi, Susumu Takahashi

Design Technologies of Electromagnetic Relay Using Taguchi Method for MCCB and ELCB of  
"WS-V Series"  
Yo Makita, Takafumi Nakagawa, Kazushi Haruna, Yasuhiro Sugimoto

Energy Measuring Unit "EMU3 Series"  
Hiroaki Ohashi

Trend of Mitsubishi FA Mechatronics System Technology  
Takuji Magara

New Standard Type CNC "M70V Series"  
Akihiro Sakata, Yukihiko Makino

Preventive Maintenance Service for EDM : "Mitsubishi EDM Smart Service"  
Kotaro Watanabe, Yoshihiko Katada, Rika Obata

New CO<sub>2</sub> 2D Laser Processing System "ML3015LVP-45CF-R"  
Hitoshi Kidokoro, Junji Kano

#### 特許と新案

- 「回路遮断器」「多点切り回路遮断器」 ..... 55

- 「遮断器の不足電圧引外し装置」 ..... 56



#### 表紙：最新のFAシステム—配電制御機器と産業加工機—

FA機器は、市場ニーズの変化にタイムリーに対応する新製品の開発及びシステム化に取り組んでいる。

表紙写真はその一例を示す。①機械セット市場、受配電盤市場に適した新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WS-Vシリーズ”，②業界最小クラスの小型化を実現した、同“F Style”品のNV32-SVF形漏電遮断器，③CT・ZCTを内蔵し、オールインワンで計測機能を集約したエネルギー計測ユニット“EMU3”，④新普及タイプCNC M70Vシリーズ，⑤新型炭酸ガス二次元レーザ加工機ML3015LVP-45CF-Rである。

## 巻頭論文



## 低圧遮断器の現状と展望

R&amp;D Activities of Low-voltage Circuit-breakers in Mitsubishi Electric Corp.

Toshiyuki Tanibe

## 要 旨

ヒューズから始まった低電圧電気回路の過電流短絡保護には、今日ではヒューズよりも取扱いに数々の利点のある低圧遮断器が普及し、広く用いられている。

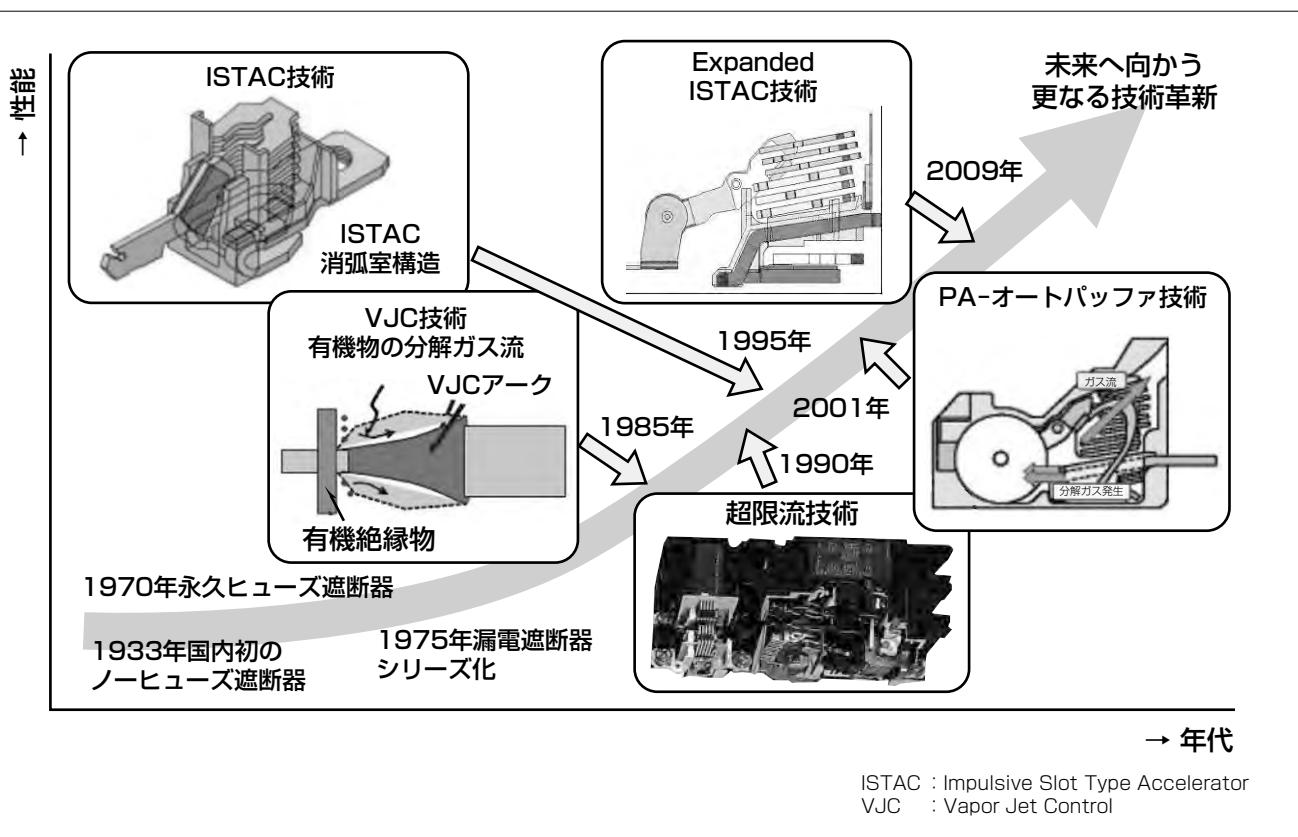
1933年に我が国で初めて三菱電機が“ノーヒューズ遮断器”的生産を開始して以来、小型化、大容量化、高性能化、高機能化を軸にした低圧遮断器の技術的発展はめざましい。当社における低圧遮断器の技術の変遷を俯瞰(ふかん)してもそのことがわかる。今日では、ヒューズからの置き換えのみならず、漏電遮断器、電子式遮断器、計測・表示・伝送機能付き遮断器などの幅広い製品群で低圧電気設備の発展に貢献している。

低圧遮断器の需要家市場を大別すると、建物や工場などの使用が顕著な事例である受電盤、配電盤、分電盤など

のいわゆる“受配電市場”と機械装置の電気装置としてとらえられる工業用制御盤のいわゆる“機械市場”とに分かれる。それぞれの分野では共通のニーズもあるが、また、各分野独自のニーズも大きい。

低圧遮断器への要求ニーズの代表として、受配電市場では①遮断容量の拡大、②アークスペースの縮小、③取付け・接続の省力化を、機械市場では①各国規格への適合、②外形寸法の小型化、③工業用制御盤の短絡性能(SCCR)を採り上げて述べる。

本稿では、低圧遮断器の技術動向、市場動向を踏まえ、今回開発した“WS-Vシリーズ”を紹介しながら、当社における低圧遮断器の事業展開の一端について述べる。



## 低圧遮断器技術の変遷

1933年に我が国で初めて“ノーヒューズ遮断器”を製品化して以来、継続的な遮断技術の開発と高度化によって、現在に至るまで性能や信頼性を向上させてきた。今後も更なる技術開発によって、世の中のニーズにこたえる製品を創出する。

## 1. まえがき

いつから電気エネルギーが利用されるようになったかについて、いろいろな始まりが考えられるが、現代文明社会に不可欠なものに成長してきたことは紛れもない事実である。特に、環境、エコの呼ばれる今日にあっては、クリーンエネルギーという面からも電気エネルギーの一層の活用発展が見込まれる。しかしこの便利なエネルギーも、一步取扱いを誤ると大きな事故につながるため、保護機器の使用を欠かすことができない。

低電圧電気回路で安全保護を行うには、感電、熱、過電流、短絡故障電流、過電圧、不足電圧などに対応する必要がある。その中で過電流短絡保護はヒューズから始まっているが、今日では、取扱いでヒューズよりも利点の多い低圧遮断器(Low-voltage Circuit-breaker) (以下“遮断器”という。)にその座を譲っている。また、先に挙げた項目のほとんどに低圧遮断器が何らかのかかわりを持つようになっている。

当社は、1933年に我が国で初めて“ノーヒューズ遮断器”的生産を開始したが、人間でいえば喜寿を迎えるまでに至ったこの間に、低圧遮断器の発展はめざましく、小型化、大容量化、高性能化、高機能化を軸にして、漏電遮断器、電子式遮断器、計測・表示・伝送機能付き遮断器など、電気設備技術の発展に貢献してきた。

本稿では、低圧遮断器の技術動向、市場動向を踏まえ、今回開発したWS-Vシリーズを紹介しながら、当社における低圧遮断器の事業展開の一端について述べる。

## 2. 遮断器の技術の変遷

### 2.1 遮断技術による高性能化

現在もなお、世界各国のほとんどの遮断器に採用されている“デアイオン(De-ion)消弧方式”は米国ウェスチングハウス社のJ. Slepian博士の発明によるものであり、1927年にはDe-ion Circuit Breakerとしてウェスチングハウス社から製品化された。これは、交流(AC)電流が必ず零点を通過するというタイミングで事故電流を速やかに遮断できるように、アーカの分断や冷却を図るものである。

その後、この方式をベースにしつつ、多くの遮断器メーカーが遮断容量や限流性能の拡大のための技術を開発し、製品化してきた。

当社も1933年に我が国で初めてデアイオン消弧方式の“ノーヒューズ遮断器”を発売して以来、金属ナトリウムを利用した自己復旧形限流素子“永久ヒューズ”付きのウルトラブレーカ(1970年)や、電磁反発による接点部の高速開極とアーカ駆動による高限流品(1971年)を開発した。また、現在につながる技術として、接点部周辺に絶縁物のアーカガス圧力反射板を配置した気中アーカ制御技術VJC

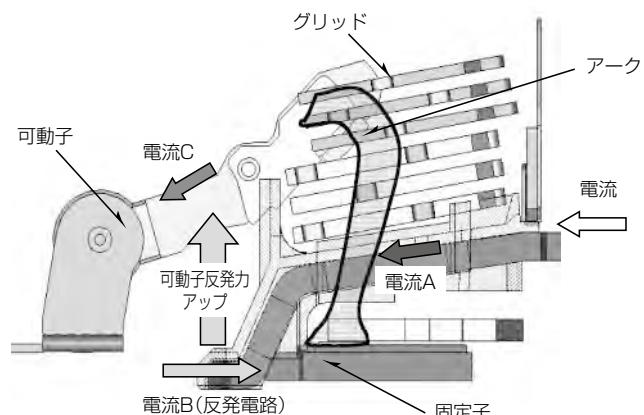


図1. Expanded ISTAC

(Vapor Jet Control)を搭載した遮断器(1985年)や、世界最大の遮断容量200kAを持つ高速転流式VJC(SJ-VJC)遮断方式の超限流ブレーカの開発(1990年)と続き、さらに、VJC遮断技術と磁気駆動を強化する導体配置を融合したISTAC(Impulsive Slot Type Accelerator)技術を採用(1995年)し、近年の開発として、PA-オートパッファ技術を採用した“WSシリーズ”(2001年)に至っている。

そして今回、Expanded ISTAC技術による遮断性能の向上やアーカ走行遮断方式による小型化を追求した新製品として、WS-Vシリーズを完成させた(図1)。

### 2.2 電子回路による複合機能化

当社の遮断器の電子化は、過電流引き外し装置をバイメタルや電磁石を使用した熱動電磁式に代わってアナログのディスクリート部品で構成した電子式のもので実現したことに始まる。また、電気回路の過電流保護に加えて、地絡保護、漏電保護の機能を持たせた漏電遮断器も電子回路による複合機能化製品といえよう。さらに、計測・表示・伝送機能を付加したMDU(Measuring Display Unit)ブレーカをはじめとして、各種の電子化製品を開発してきた。

WS-Vシリーズでは、計測項目の追加と計測精度の向上を図ったMDUブレーカを開発し、電気設備のインテリジェント化をより進めることに寄与している。

### 2.3 省施工など利便性の向上

遮断器を使用するシステム全体の機能を向上させるために、遮断器の内部や外部に付加する各種アクセサリー類や、多様な外部導体との接続方法や遮断器の取付け方法に対応する構造が準備されている。

補助スイッチ、警報スイッチ、電圧引き外し装置、不足電圧引き外し装置などの内部付属装置は、かつては遮断器本体への後付け設置ができなかった。あらかじめ付属装置付きとして遮断器を製作する必要があったため、ユーザーの利便性を損ねていた。1995年に開発した製品から付属装置を遮断器へ後付け可能とするようにカセット化したこと、仕様の決定や調達面の柔軟性が上がり、ユーザーの利便性は飛躍的に高まった(図2)。



図2. カセット化された内部付属装置

接続方法については、電源母線や分岐母線に直接接続可能とする製品を開発し、差し込み(プラグイン)構造のバリエーションが拡大してきたことで、盤内配線の面からも省施工化が図れ、ユーザーの利便性が高まった。

### 3. 遮断器の市場動向とその対応

今日の遮断器の需要家は、使用形態の面からは、ビルや工場建屋などに設置される受電盤、配電盤、分電盤に代表されるいわゆる“受配電市場”と、機械装置の電気装置としてとらえられる工業用制御盤に代表されるいわゆる“機械市場”とに大別される。遮断器に対して、共通のニーズもあるが、それぞれの分野独自のニーズも少なからずある。

また、世界市場を規格の面から見ると、IEC(International Electrotechnical Commission)整合規格系の市場と北米規格系の市場との違いが見受けられる。この違いは主として、電気インフラを規制する法基準、遮断器自体の製品規格や使用方法に関する各種アプリケーション規格、さらには各国に存在する認証制度などの違いによって生じるものである。

#### 3.1 受配電分野

受電盤、配電盤、分電盤などに適用していくとき、遮断器に関する主要事項は、定格値として遮断容量、性能面でアーカスベース、構造的には外形寸法、施工面から接続方式や付属装置、付加機能として情報伝送などが考えられる。次にいくつかの項目について述べる。

##### 3.1.1 遮断容量の拡大

電気エネルギーの消費量の増加に対応するため、設備仕様として変圧器容量を上げる場合がある。又は、同一容量の変圧器であっても、損失低減のためにインピーダンスの低い変圧器を使用する場合がある。これらの場合には、変圧器直下の短絡電流が増大することになる。このため、変圧器二次側に主幹遮断器として使用される遮断器には、従来以上に遮断容量値の向上が要求されることになる。負荷機器を内蔵する事なく、ほとんどが配線導体主体の盤構成の場合では、盤全体の回路インピーダンスが低いため、大きい遮断容量値を持った遮断器を選定しなければならな

い。

このような要求に対応するため、遮断器の同じアンペアフレームに対し遮断容量の異なる数種類のモデルを準備することが一般的に行われている。当社の場合も汎用(はんよう)品(Sクラス)、経済品(Cクラス)、高性能品(Hクラス)などの製品系列を準備している。

##### 3.1.2 アーカスベースの縮小

国土交通省監修“公共建築工事標準仕様書(電気設備工事編)”では、平成19年版から、“短絡電流を遮断したときに排出されるイオン化したガスの影響を受けるおそれのある遮断器の一次側の導体は、絶縁処理を施す”との注記が追加された。遮断器が短絡事故電流を遮断するとき、内部の接点間にアーカーが発生し、同時に内部気圧も急速に増大する。この内部圧力のため、アーカーによってイオン化したガスの一部が遮断器外部へ放出される。このガスの影響を受ける空間がアーカスベースと呼ばれており、盤の絶縁性能を高めるためには重要な項目である。

遮断器にとっては、アーカスベースを“ゼロ”にすることが究極の目標である。当社では超限流ブレーカでアーカスベース“ゼロ”を実現しているが、さらに各製品でのアーカスベース縮小を目指して研究を続けている。

##### 3.1.3 取付け・接続の省力化

遮断器の取付けや盤内配線(絶縁電線、ブスバー)の接続など、不可欠の作業項目で盤の付加価値を大きくすることが重要である。盤の付加価値向上策として組上(そじょう)に載せるものに、ねじ締結作業の合理化や廃止があるが、遮断器側でも改善に努めている。

遮断器の取付け方法には固定取付け、レール取付け、差し込み取付けがあり、接続方法には表面接続、裏面接続、差し込み(プラグイン)接続などがある。これらの中で、比較的最近に発売したものが、差し込み(プラグイン)接続の範疇(はんちゅう)の製品となる“配電盤用プラグイン形遮断器”であり、盤内母線への遮断器の接続がねじ締結不要となる。分電盤用途に対しては、分岐母線にねじ締結不要で接続できる“分電盤用電源側プラグイン遮断器”をラインアップしている。さらに分電盤用途として、速結端子付きの遮断器もあるなど、ねじ締結廃止に寄与できる遮断器の開発に取り組んでいる。

#### 3.2 機械分野

ここでは機械装置の電気装置を対象として述べるが、工業用制御盤に使用する遮断器に求められる主要事項は、仕様面で適合規格、構造的には外形寸法、施工面から付属装置、付加機能として情報伝送などである。次にいくつかの項目について述べる。

##### 3.2.1 各国規格への適合

機械装置メーカー及びその機械装置を使用するユーザーの事業は、近年ますますグローバル化している。したがつ

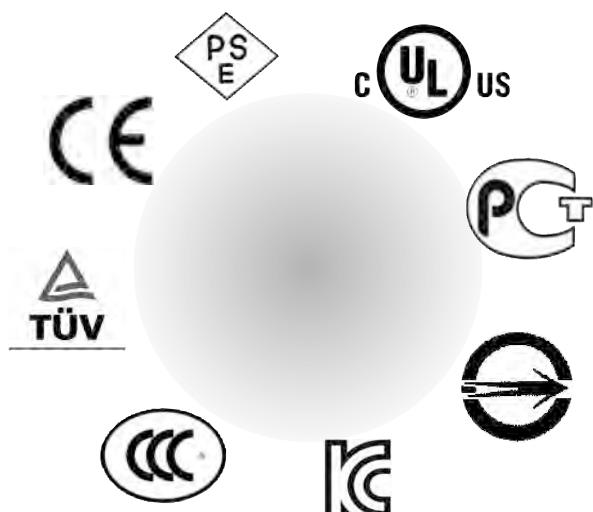


図3. 世界の主な認証マーク

て遮断器に対しても、グローバル対応が求められる。具体的には、各国規格へ適合することと、各国の認証制度に応じた認証の取得が必要になっている(図3)。

当社の遮断器は、欧州CE、米国UL、カナダCSA、韓国eK、中国CCC、台湾BSMI、ロシアGOST-Rなどの認証に対応し、顧客の製品のグローバル展開に寄与している。しかしながら、現状では1台の製品ですべての認証に対応することが困難であり、この点については今後の課題である。

遮断器の規格では、世界の製品規格の統一が困難な状況が継続している。これは、米国の遮断器の規格UL489が国際規格IEC60947-2と整合していないことが最大の原因である。世界の主要国で唯一の未加盟国であるロシアの加盟交渉の帰趨(きすう)が注目されているWTO(世界貿易機関)の一括協定であるTBT(Technical Barriers to Trade)協定は、加盟各国に対して“規格の整合”を求めている。しかし、米国における整合化の実態は、特に遮断器では進捗(しんちょく)がはかばかしくない。

UL489規格の要求事項とIEC60947-2規格のそれとは大きく異なる点があるので、現状ではUL489規格適合遮断器を他の規格適合品と別シリーズとした方が経済的である。“一製品全世界同一”が本来の意味でのグローバル製品であり、その実現は遮断器メーカーにとって大きな課題である。

### 3.2.2 外形寸法の小型化

機械装置では、装置全体へ電気を供給するための電気装置に対しては、機械装置全体の中で占めるスペースを少なくすることが求められており、その内部に収容される遮断器をはじめとした部品に対して小型化が要請される。

遮断器の開発の歴史は、小型化の歴史ということもできる。今回開発したWS-Vシリーズ遮断器は、幅寸法54mmという業界でも最小寸法の製品をラインアップしている。

従来の相当品が幅75mmであるから、約30%もの縮減となり、電気装置の小型化に大きく寄与できる。

### 3.2.3 工業用制御盤の短絡性能(SCCR)

米国NEC(米国電気設備規程)の2005年版から採り入れられた短絡電流定格SCCR(Short Circuit Current Rating)の要求は、関係諸方面に大きな影響を与えた。機械装置メーカーにとっては、工業用制御盤の短絡性能の意味が改めて問い合わせられることになり、機械装置を使用するユーザーでは、機械装置の電気仕様とそれを接続する電源設備仕様との協調が重要になってきた。さらに最も影響を受けたのは、遮断器のような部品メーカーであるといえる。

米国NECではSCCRを“定義された許容基準を超えて被害を受けることなく装置やシステムが接続できる公称電圧での推定事故電流対称値”と定義している。つまり短絡耐量である。なお、遮断機能を持つヒューズや遮断器にはSCCRの値がないので、便宜的に遮断容量をSCCR値として適用している。

電磁接触器やサーマルリレーなど、工業用制御盤の部品として使用される機器自体の電流遮断能力は一般的に小さいので、これらの機器のSCCR値を拡大するためには、組み合わせて使用される遮断器の限流性能が大きく影響する。

工業用制御盤にSCCR値を要求した規格に適合しようとする際、SCCR値をいくらにすればよいかという決定し難い問題が生じている。SCCR値が大きいほど望ましいようと思えるが、そうすればするほど経済性が損なわれるし、対応できる機器の選択肢が狭まる。今後のSCCRに関する規格動向を注視していくことが重要である。

いずれにしても、遮断器としてはその限流性能をより一層高めていくことが重要であり、更には被保護機器との組合せによってSCCR値を高めることも今後の課題である。

## 4. 遮断器WS-Vシリーズ

当社は、1969年に“SCHATシリーズ”，1977年に“SCRUMシリーズ”，1985年に“Super SCRUMシリーズ”，1995年に“Progressive Superシリーズ”，2001年に“World Superシリーズ”，そして直近では2006年に“White & World Superシリーズ”と、常に時代のニーズに対応した製品を開発し、発売してきた。

今回、より多様化したニーズに対応するために、市場ごとに最適な製品を品ぞろえしながらも、外形サイズは4種類にまとめることで全体の構成モジュールの標準化を図り、製品力の向上と生産性の向上とを同時に実現したWS-Vシリーズを開発した(図4)。次にその特長を列記する。それぞれの詳細については、この特集号の別論文で述べる。

### (1) 受配電市場向け

- ①外形寸法を維持し、遮断容量をアップ
- ②Icu=Icsを実現(Sクラス)



図4. WS-Vシリーズ

- ③電子式遮断器の進化
- ④125Aフレームに横幅75mm品追加
- ⑤内部付属装置共用化
- ⑥AC/DC共用の範囲拡大
- ⑦カセット付属装置の範囲拡大
- ⑧電流の歪(ひず)みによる不要トリップ軽減
- (2) 機械市場向け
  - ①業界最小寸法横幅54mm品
  - ②各種最新海外規格への対応
  - ③漏電遮断器にSHT(電圧引き外し装置)取付け可能
  - ④内部付属装置共用化
  - ⑤IEC35mmレール取付け標準対応(～125Aフレーム)
  - ⑥AC/DC共用の範囲拡大
  - ⑦カセット付属装置の範囲拡大
  - ⑧UL規格品ラインアップ拡充と性能向上

## 5. 今後の展望

今まで当社は、新遮断方式、新材料、並びに計測・通信技術の開発や生産技術の革新などを通じて、市場のニーズに対応した遮断器の製品開発に努めてきた。

今後は、これまでに開発した技術の洗練化はもとより、

遮断技術の更なる革新による高限流・省スペース化、インテリジェント機能複合・ネットワークによるシステムコンポーネント化、機能安全思想も加味した高度安全製品化、環境負荷の一層の低減を指向した製品などを開発し、高信頼電力供給システムに貢献することを追求するとともに、グローバル市場に受け入れられる製品を供給していくことが重要であると考えている。なお、環境負荷低減の追求に当たっては、製品のライフサイクル全体での環境負荷が最小となるように指向することが大切である。

## 6. むすび

遮断器の技術動向、市場動向を踏まえながら、新しい製品の紹介を交えて当社の遮断器事業の展望について述べた。市場のグローバル化はますます進展するものと思われる。このような経済環境や社会環境の変動に迅速に対応していくことが重要である。今後も優れた技術開発に基づいた、市場のニーズを的確にとらえた製品開発によって、世界市場に受け入れられる製品の提供に努める所存である。

遮断器の活用がユーザー各位の電気設備の価値向上につながっていくならば幸甚である。

# 新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器 “WS-Vシリーズ”の特長

広常弘二\*  
福谷和則\*  
金川仁士\*

Low-voltage Circuit Breaker "WS-V Series"

Koji Hirotsune, Kazunori Fukuya, Hitoshi Kanagawa

## 要旨

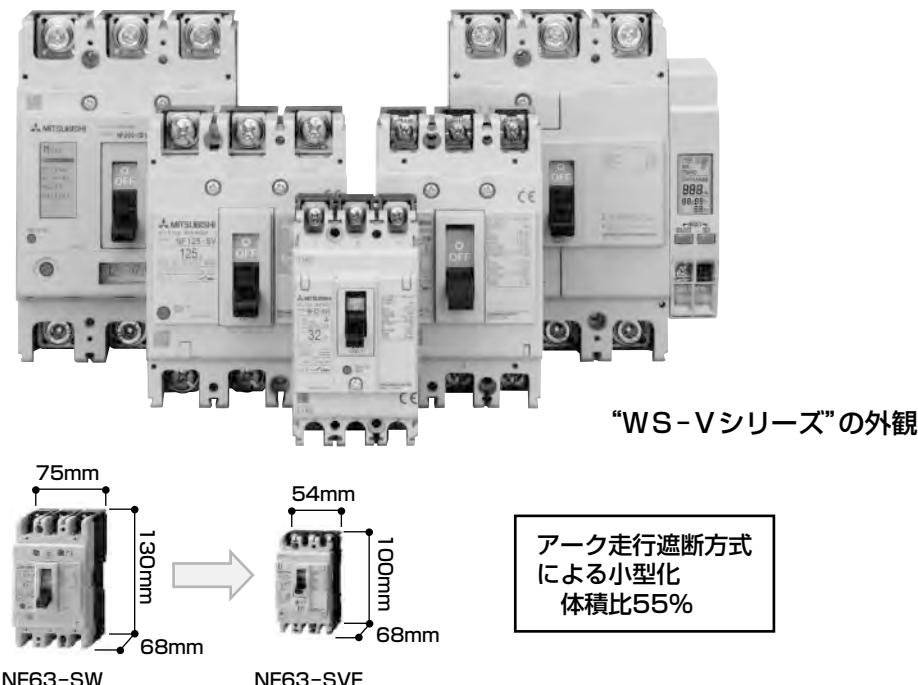
低圧遮断器には、使用される用途によって様々な機能・性能が要求されるようになってきた。受配電盤用途ではこれまで同様の信頼性や安全性のほか、近年の受配電容量の増大や給電連続性の必要などから、高い短絡遮断性能、各種警報や計測・通信など高機能のニーズが更に高まる一方、機械装置や制御盤内に用いられる場合には、小型化や取付け・接続の容易性、輸出向け先国・地域への規格適合性などの要求も強い。

このような要求に幅広くこたえるため、新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WS-Vシリーズ”(32~250Aフレーム)を開発した。

主な特長は次のとおりである。

- ①アーケ走行遮断方式による小型サイズ実現
- ②全機種熱動電磁式引き外し方式を採用
- ③“Expanded ISTAC(Impulsive Slot Type Accelerator)”による遮断性能向上
- ④2点切り遮断方式による超限流ブレーカ小型化
- ⑤電子式遮断器の進化
- ⑥付属装置共用化
- ⑦ロボットセルによる組立て自動化

これらの採用技術によって、機械装置・制御盤用途向には3極品幅54mmサイズの小型機種追加、受配電用途向には従来サイズでの遮断容量アップ、電子式による高機能化などを実現している。



## 新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WS-Vシリーズ”

新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器WS-Vシリーズでは、32Aフレームから250Aフレームまでを一新した。

従来機種より遮断性能向上、高機能化した機種群に加え、32A、63Aフレームではアーケ走行遮断方式によって、3極品幅54mmの小型新機種を追加した。

## 1. まえがき

電気エネルギーの需要増大、設備の大容量化で、低圧配電設備や各種機械装置に広く使用されるノーヒューズ遮断器・漏電遮断器は高遮断容量化が求められ、同等性能であれば外形寸法の小型化、同一外形寸法での通電容量格上げや遮断性能向上が求められる。

また、半導体製造装置や機械装置では、主機能部分のレイアウト設計を優先し、電源部はできる限りコンパクトに設計される。したがってノーヒューズ遮断器・漏電遮断器も、より小型なものが求められ、更にはカセット付属装置の充実や機種間での共用化なども選定の重要な要素となる。

このようなニーズにこたえるため、新型WS-Vシリーズでは小型外形F Styleのラインアップをはじめ、従来品との外形・取付け性の互換を持たせながら、通電容量・遮断性能のアップ、付属装置の機種間での共用化を実現している。本稿では、新型WS-Vシリーズに採用した技術と特長について述べる。

## 2. WS-Vシリーズの採用技術

### 2.1 アーク走行遮断方式

各種機械装置では、装置の小型化に伴い、パーツである遮断器にも小型化が求められている。

アーク走行遮断技術は、小スペースで遮断時の限流性能にも優れ、三菱電機でもMCB(Miniature Circuit Breaker)に採用している技術である。このアーク走行技術を3極品で54mm幅のMCCB(Molded Case Circuit Breaker)に採用した。

アーク走行遮断技術のMCCBへの採用は業界初であり、3相遮断における高速アーク走行、3極早入り・早切り開閉機構を採用、10kA(415V)の遮断容量を業界最小サイズ(幅54mm、高さ100mm、奥行き68mm)<sup>(注1)</sup>で実現した(図1)。開閉機構部は各極に配置されるMCBとは異なり、MCCBタイプの3極分を連結するクロスバー方式で、占有する機構は1極分で実現、同一外形での漏電遮断器のラインアップ、カセット付属も実現している。

(注1) 2009年11月20日現在、当社調べ

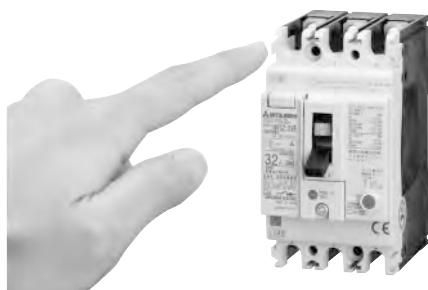


図1. NF32-SVF

### 2.2 全機種熱動電磁式引き外し方式を採用

32A、63Aフレームの過電流引き外し方式を完全電磁形から熱動電磁形に変更することによって、32~250Aフレームまで熱動電磁形と電子式の2方式とした。これによって電流の歪(ひずみ)により強くなり、不要トリップなどの可能性を軽減している。

また、32A、63AフレームでAC/DCの共用化範囲を拡大するなど、より選定しやすくなっている。

### 2.3 Expanded ISTAC

受配電盤用途の遮断器には、従来品との取付け・接続の互換性などから、小型化よりも外形サイズを維持したまでの遮断容量の向上が望まれている。

“ISTAC(Impulsive Slot Type Accelerator)”は、電流路による電磁力と遮断時のアークによって絶縁物から発生するガスの圧力効果とを融合させた当社独自の遮断技術であり、1995年発売の“PSS(Progressive Super Series)”から採用された。その後2001年発売の“WSシリーズ”では、電路の最適化と磁性体コアの使用で更に進化させた“Advanced ISTAC”として搭載され、遮断容量の向上に寄与してきた。今回WS-Vシリーズでは、これらの経験に基づく技術と解析技術を結集し、反発電路を延長した“Expanded ISTAC”として高性能品に搭載し、遮断容量を更に向上させた(図2)。

### 2.4 2点切り遮断方式

大型ビル物件などでの大容量受配電方式で要求される更に高い短絡遮断容量に対しては、これまで超限流ブレーカで対応してきた。超限流ブレーカは、1極2点切りの並行反発導体を内部に持つ限流ユニットを通常の遮断器本体の一方の端子に直列に付加し、本体と合わせて1極直列3点切り遮断とすることで、高いアーク電圧を発生させ、短絡電流を抑え込む限流性能に優れた構成となっている。

WS-Vシリーズでは、限流ユニットを用いずに遮断器本体内に2点切り遮断方式を採用した超限流ブレーカを新たに開発した。汎用(はんよう)品と同サイズまで小型化し

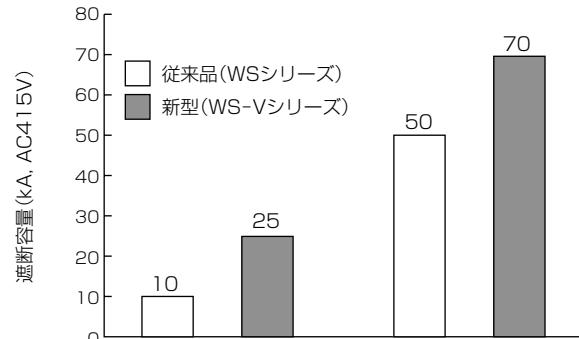


図2. Expanded ISTACによる遮断容量向上

たことで、付属装置の共用化、盤設計の標準化などに貢献している(図3)。

## 2.5 電子式遮断器の進化

電子式遮断器は過負荷・短絡保護特性や定格電流の可調整機能といった高機能化・多機能化の面で優れている。

WS-Vシリーズ125A、250Aフレームでは、従来の電子式遮断器の機能に加え、本体上に表示画面を搭載し電流値を表示する機能をオプションで追加し、電流計及び計測用CT(Current Transformer)を別個に設置する場合に比べ、省スペースと省配線による作業性向上を実現している(図4)。

また省エネルギー支援機器として、負荷電流、線間電圧、電力、電力量などの電路情報を計測・表示・伝送し、電路監視・予防・設備保全用途に最適なMDU(Measuring Display Unit)ブレーカについても、新型(250Aフレーム)では本体に電子式遮断器を採用し、より高機能化を実現した。同時に漏電遮断器、漏電アラーム遮断器をノーヒューズ遮断器と同一外形に小型化し、こちらも省スペース・盤設計標準化や付属装置共用化に貢献している。

## 2.6 付属装置の共用化

WSシリーズの内部付属装置は、ユーザー取付け可能なカセット付属装置を採用している。しかし、フレームごとに品ぞろえしているため、種類も多く煩雑であった。

外 形	限 流 ユ ニ ット	240	体積31%減	165
シリーズ 機種	WS NF250-RW		WS-V NF250-RV	
遮断容量 (AC415V)	125kA		150kA	

図3. 2点切り遮断方式による超限流ブレーカの小型化



図4. 電流表示付き電子式遮断器

今回WS-Vシリーズでは、このカセット付属装置を32Aフレーム(75mm幅)から250Aフレーム(105mm幅)間で共用化を実現した(図5)。これには遮断器本体設計のプラットフォーム化、最小フレームから最大フレームにおける荷重関係を成立させるためのバランス設計、それを実現するための生産技術との融合によって達成している。

フレーム間での共用によって、在庫点数の削減、納期短縮を図っており、小型F Style63Aフレームと合わせて2種類にモジュール化、漏電遮断器にもSHT(電圧引き外し装置)付属、250AフレームUVT(不足電圧引き外し装置)カセット付属化などWSシリーズからの改良も織り込み、ユーザーの利便性も大きく向上している。

## 2.7 ロボットセル組立て自動化

WS-Vシリーズは仕様面での特長のほかに、生産技術の進化が挙げられる。開発企画段階から徹底した自動化、省人化に取り組んできたが、その代表にロボットセル組立てが挙げられる。75mm幅品から105mm幅品機構部を対象に次のような点を考慮した設計を行った。

(1) 機種間での部品共用化・形状標準化の徹底

ロボットハンドや位置決め治具の種類削減に貢献

(2) はめ込み結合の多用と誘い込み形状の活用

組立ての高速化とチョコ停防止によるタクトアップ

(3) 位置決めの最適化によるばね組み込み時の付勢力低減  
設備や組立て途中ワークの変形防止と高寿命化

これらによって、ロボットを用いて部品供給から組立て完了まで全自動の組立てを実現した(図6)。

32, 63Aフレーム	125Aフレーム	250Aフレーム
AL①	AL②	AL③
AX①	AX②	AX③
SHT①	SHT②	SHT③
UVT①	UVT②	UVT③*

32A~250フレーム
AL
AX
SHT
UVT

AL : 警報スイッチ  
AX : 補助スイッチ  
SHT : 電圧引き外し装置  
UVT : 不足電圧引き外し装置  
\*は工場組込み出荷

図5. カセット付属装置の共用化

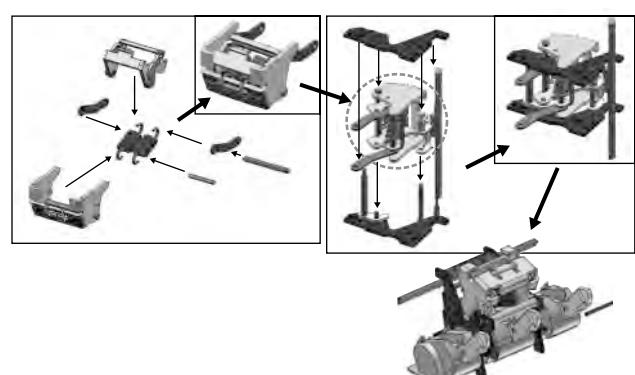


図6. ロボットセルに対応した機構部構成

寸法	フレームA			
54mm幅 (54×100×68)	32	63	125	250
75mm幅 (75×130×68)	NF32-SV	NF63-SV	NF125-SV	
90mm幅 (90×130×68)			NF125-SV	
105mm幅 (105×130×68)			NF125-SEV	NF250-SV NF250-SEV NF250-SEVM

従来外形

F Style

形名はNF, Sクラスのみ記載

図7. 外形寸法とフレーム

### 3. シリーズ機種構成

図7に機種構成を示す。F Styleの位置付けをとらえてもらえるよう外形寸法・フレーム別に表している。形名はノーヒューズ遮断器、汎用Sクラスを代表記載している。新たに追加される小型外形F Styleは、末尾に“F”が付加される。

また、WSシリーズと同様に、各種海外規格に対応し、機械装置、配電盤の輸出をグローバルにサポートしている。直近では中国GB規格が2009年6月に改定され、漏電遮断器の三相電源取りが義務付けられた。この改定にもWS-Vシリーズはいち早く対応している(表1)。

表2にWS-Vシリーズの構成を示す。機械装置・制御盤用途向けにはF Style小型機種追加、受配電用途向けには従来サイズでの短絡遮断性能アップ、さらに電子式遮断器による各種警報や計測・通信などの高機能化など、用途に適した選定が可能な機種構成とした。

### 4. むすび

新型WS-Vシリーズの特長である小型化、通電容量・遮断性能向上・標準化、それを達成するための技術について述べた。

配線用遮断器・漏電遮断器は歴史も長く、成熟域にある製品ではあるが、市場からの様々な要求にこたえるために、新技術開発・新方式の採用、又は材料技術、生産技術、解

表1. 主要規格への対応

WS-Vシリーズ 規格対応一覧	準拠規格				EC指令 CEマーキング 欧州
	JIS	IEC	EN	GB	
	日本	国際	欧州	中国	
ノーヒューズ遮断器	●	●	●	●	●
漏電	●	●	—	—	—
遮断器	CE, CCC認証品	●	●	●	●

表2. WS-Vシリーズの構成

フレームA シリーズ	32	63	125	250
NF-C 経済品		NF63-CVF NF63-CV	NF125-CVF NF125-CV	NF250-CV
NF-S 汎用品	NF32-SVF NF32-SV	NF63-SVF NF63-SV	NF125-SVF NF125-SV NF125-SEV	NF250-SV NF250-SEV
NF-H 高性能品		NF63-HV NF63-HRV	NF125-HV NF125-HEV	NF250-HV NF250-HEV
NF-U 超限流ブレーカ			NF125-RV NF125-UV	NF250-RV NF250-UV
NV-C 経済品		NV63-CVF NV63-CV	NV125-CVF NV125-CV	NV250-CV
NV-S 汎用品	NV32-SVF NV32-SV	NV63-SVF NV63-SV	NV125-SVF NV125-SV NV125-SEV	NV250-SV NV250-SEV
NV-H 高性能品		NV63-HV	NV125-HV NV125-HEV	NV250-HV NV250-HEV
CE NV-C 経済品		NV63-CVF NV63-CV	NV125-CVF NV125-CV	NV250-CV
CCC NV-S 汎用品	NV32-SVF NV32-SV	NV63-SVF NV63-SV	NV125-SVF NV125-SV	NV250-SV
NV-H 高性能品		NV63-HV	NV125-HV	NV250-HV
M D U ブ レ ー カ	計測表示ユニット付き ノーヒューズ遮断器			NF250-SEVM NF250-HEVM
	計測表示ユニット付き 漏電遮断器			NV250-SEVM NV250-HEVM
	計測表示ユニット付き漏電アラーム遮断器			NF250-ZEVM
漏電 表示付き	ノーヒューズ遮断器		NF125-SVL	NF250-SVL
	漏電遮断器		NV125-SVL	NV250-SVL

析技術の進歩とともに、たゆまぬ進化を続けている。

今後も市場からの様々な要求をより良い形で製品に反映させるよう、鋭意考えていきたい。

# 低圧遮断器“WS-Vシリーズ”的標準化・VA

伏見征浩\* 黒崎剛史\*  
渡辺和昌\*  
川上兼弘\*

Standardization and Value Analysis for Low-voltage Circuit-breaker "WS-V Series"

Masahiro Fushimi, Kazumasa Watanabe, Kanehiro Kawakami, Takeshi Kurosaki

## 要旨

ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器のニーズとして、近年二つの大きな流れがある。一つは外形小型化の追求、付属装置の拡充であり、主に機械装置、制御盤用途における装置の小型、効率化のためのものである。一方で、受配電盤用途では既存品の置き換えや、設計の簡素化のため従来製品との外形互換を維持しつつ、負荷の大容量化に対応するため通電容量格上げ、遮断性能向上が強く求められている。

これらのニーズにこたえるため、このたびノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WS-Vシリーズ”を新たに開発した。WS-Vシリーズでは、新たに小型化を推し進めた機械装置、制御盤用途に最適なF Style品をラインアップしつつ、従来外形互換品との部品標準化を実施することで生産効率を向上させており、その特長は次のとおりである。

### (1) 外形標準化

新遮断技術Expanded ISTAC(Impulsive Slot-Type Accelerator)搭載などによって外形互換を維持しつつ、通電容量、遮断容量の格上げを達成した。

### (2) 機構部標準化

3極75~105mm幅製品(32~250Aフレーム)で機構部の側面レイアウトを標準化し、部品共用、内部付属装置標準化を可能とした。

### (3) 小型化

3極54mm幅製品では、アーク走行方式を採用するとともに、内部レイアウト見直しによって63Aフレームまでラインアップした。

### (4) 内部付属装置標準化

3極幅75~105mm幅製品で内部付属装置を共用化し納期短縮や在庫削減に貢献した。



漏電遮断器  
NV32-SVF形



ノーヒューズ遮断器  
NF125-SVF形



ノーヒューズ遮断器  
NF125-SV形

機械装置用途  
(F Style品)

受配電盤用途  
(従来外形互換品)

## 機械装置用途(F Style品)と受配電盤用途のラインアップ

小型化ニーズ追求のため、アーク走行方式を採用し、内部レイアウトを最適化しているF Style品と、機構部、内部付属装置などで部品標準化を図り、従来品との外形互換を維持しながら、Expanded ISTACなどの新遮断技術によって更なる外形標準化、通電容量、遮断性能の向上を達成した受配電盤用途向けのラインアップとなっている。

## 1. まえがき

近年の機械装置の小型化の流れによって、搭載される低圧遮断器についても小型化に対するニーズが大きくなっている。その一方で、受配電盤、分電盤では、既存設計との互換が重要視されており、従来品の外形サイズ継承の要求が強く、近年の負荷容量のアップから通電容量、遮断性能の格上げも望まれている。

新しいノーヒューズ遮断器・漏電遮断器WS-Vシリーズでは、小型化ニーズに対応したF Style品の新たなラインアップとともに、受配電盤向け製品でもすべての機種で1ランク上の通電容量を確保しつつ、外形互換、遮断性能向上を図っている。表1にWS-Vシリーズの体系を示す。本稿では、これらの相反する要求に対応するために取り入れたWS-Vシリーズの標準化・VAに対する特長について述べる。

## 2. 外形標準化及びその適用技術

### 2.1 新遮断技術

3極75~105mm幅品のS/Hクラスに適用したExpanded ISTAC技術(図1)では、従来構造のISTAC固定子導体と比較して、下部導体(図1の電流B通電部分)を延長した新しい固定子形状を採用することで、短絡遮断時の可動子反発力を大幅に向上させている。これによって開極トルク、開極加速度が従来比2倍以上となり、遮断時の最大尖頭電流値を10%低減している。

これらによってWS-Vシリーズでは、次の点を達成している。

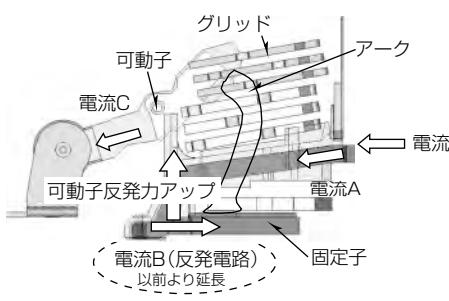
- (1) 3極75mm幅品で125AフレームSクラスの遮断容量達成、250Aフレームでの大幅な遮断性能向上
- (2) すべてのSクラスで $I_{cu}$ (2回遮断性能) =  $I_{cs}$ (3回遮断性能)対応
- (3) 従来では対応できていなかったHクラスの1ランク上の通電容量確保(3極90mm幅品125A定格対応、3極105mm幅品250A定格対応)

また、Rクラスには同様に新遮断技術であるブローアウト方式2点切りを採用することで、Cクラス同一外形でAC415V150kAの遮断を達成している。

### 2.2 機構部標準化

遮断器の開閉機構部(図2)の主な機能は、ハンドル操作と可動子の運動、過電流発生時に引き外し装置の動作を受け可動子を高速で開極、さらには、通電時に異常発熱や接触不良を起こさないよう接点同士を適切な力で押し付ける、などである。これらの機能を満足するための要求性能は定格電流や遮断容量などによって差があるため、従来の開閉機構部は外形サイズごとにまったく異なる設計となっていた。

WS-Vシリーズの3極75mm、90mm、105mm幅品では、三つの異なる外形サイズで開閉機構部の標準化を図るために新たに最適設計を行い、部品標準化、機構部側面レイアウトの統一を図っている(図3)。従来品とWS-Vシリーズにおける機構部品の共用化比較を図4に示す。3極75mm幅品と90mm幅品では完全共用、3極105mm幅品でも50%の部品共用化を達成している。



電磁界解析結果(従来品に対する倍率)

	開極トルク	開極加速度
従来ISTAC	1	1
Expanded ISTAC	2.5	2.2

図1. Expanded ISTAC遮断技術モデル



図2. 開閉機構部

表1. WS-Vシリーズの体系

Uクラスを除くノーヒューズ遮断器

フレームA	32	63			125				250			
クラス	C	C	S	H	C	S	H	R	C	S	H	R
機械装置用途 (F Style品)	7.5/7.5 54×100×68	7.5/7.5	15/15	—	30/15 75×130×68	50/50	—	—	36/27	85/85	100/100	150/150
受配電盤用途 (外形互換品)	7.5/7.5 75×130×68	7.5/7.5	15/15	25/19	30/15 90×130×68	50/50	100/75	150/150 105×165×68	105×165×68			
従来品	7.5/4 75×130×68	7.5/4	15/8	25/13	30/15 90×130×68	50/25	100/50	125/125 90×191×68	35/18 105×165×68	50/25 105×165×68	100/25 105×240×68	125/125

上段: AC230V遮断容量 Icu/Ics(kA), 下段: 外形寸法 幅×長さ×高さ(mm)

部品標準化の一例として、開閉機構部の大きさを決める主要因である内蔵ばねについて、従来品との比較結果を表2に示す。ばねの種類を8種類から4種類に半減している。さらに、これらすべてのばねで自由長を統一することで、開閉機構部のロボットによる自動組立てにも配慮している。

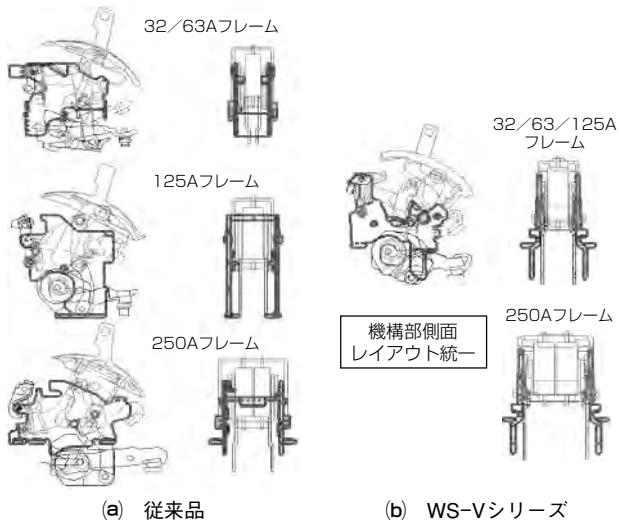


図3. 開閉機構部新旧外形比較

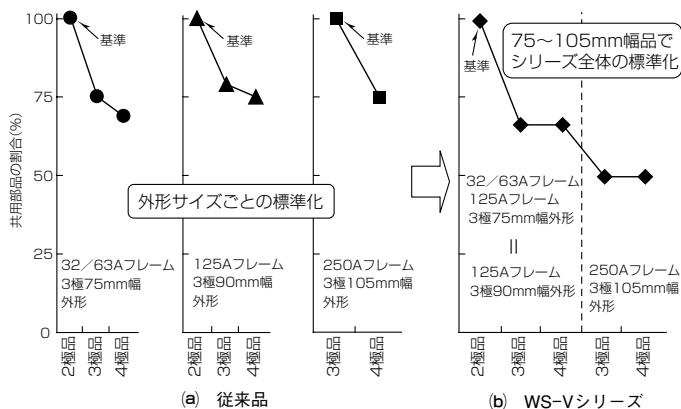


図4. 開閉機構部の部品共用化(基準に対する共用部品の割合)

表2. 開閉機構部のばね標準化

機種	3極75mm幅			3極90mm幅			3極105mm幅				
	定格電流	~63A	~125A	~250A	極数	2	3	4	2	3	4
従来品	a	1									
	b		1								
	c			1							
	d				1						
	e					1					
	f						1				
	g							2	2		
	h									2	

機種	3極75mm幅			3極90mm幅			3極105mm幅			
	定格電流	~32A	~125A	~125A	~125A	~250A	~125A	~125A	~125A	~250A
WS-V	A							2	2	
	B	1	1	1			1			2
	C			1	1		1			2
	D				1		1			2
	数字は、ばねの本数を示す。									

### 3. 小型化によるVA

WS-Vシリーズでは、機械装置・制御盤用途向けに以前より小型のF Style品(32/63Aフレーム・125Aフレーム)を新たにラインアップした。32/63Aフレームでは3極品の製品幅を54mm(図5)とすることで、製品体積の小型化によるベース、カバーなどのプラスチック材料、通電導体や接点などの金属材料の使用量を削減している。3極54mm幅品での小型化によるVAを実現した手段を次に述べる。

#### 3.1 アーク走行遮断方式の採用

3極54mm幅品では、幅方向寸法の縮減のためMCB(Miniature Circuit Breaker)で用いられているアーク走行遮断方式を採用している。アーク走行遮断方式は消弧グリッドを接点から離れた位置に配置しており、アークを接点から素早く離すため、接点消耗を低減できるという特長がある。ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器へ適用するため、流体解析、電磁界解析によるシミュレーションを駆使することで、アーク走行遮断方式採用の鍵(かぎ)となるグリッド、転流用ランナ形状、及び排気口形状の最適化を行った。アーク走行遮断方式の採用によって、従来品と比較して体積を55%に小型化しながら、3回遮断容量(I<sub>cs</sub>)を2倍に向上している(表3)。

#### 3.2 アーク走行遮断方式用の内部付属対応機構部

アーク走行遮断方式を用いているMCBでは、接点を開閉するための開閉機構部がすべての極に存在するため、付属装置の内蔵化ができず、漏電遮断器のノーヒューズ遮断器との外形統一も不可能である。この課題を解決するため、可動子・固定子はアーク走行遮断方式に最適なレイアウトとしながら、3極75mm幅品と同様に多極の可動子をクロスバーによって一つの開閉機構部で連動させる方式を採用

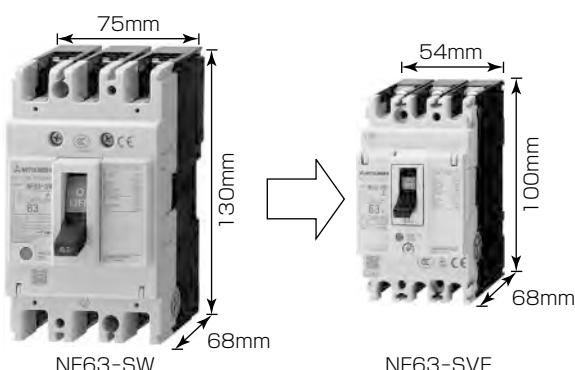


図5. F Style54mm幅品

表3. 新旧比較

	外形(mm)	3回遮断容量(kA)
従来品	75×130×68	8kA
新型	54×100×68	15kA
従来比	55%	2倍

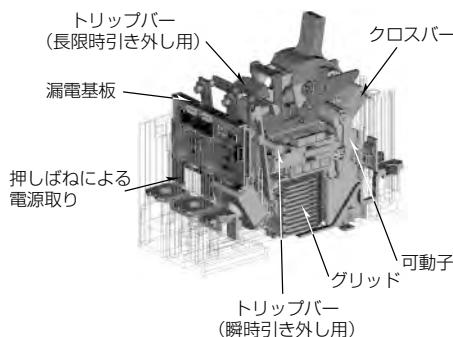


図6. F Style 3極54mm幅品の内部構造

している(図6)。また、プランジャーを用いた瞬時引き外し動作と、バイメタルを用いた長限時引き外し動作を両立するため、機構部を2段引き外し構造とした。これによつて、アーチ走行方式を採用しながら、ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器として不可欠である付属装置の内蔵化及び同一外形漏電遮断器への対応が可能となった。

### 3.3 漏電遮断器の小型化

漏電遮断器には、ZCT(Zero-phase Current Transformer)からの出力信号によって漏洩(ろうえい)電流の発生有無を検出するための電子回路が内蔵されている。この漏電検出用電子回路の電源取り方法を、従来機種では主回路端子にハーネスを圧着端子でねじ止め接続していたのに対し、3極54mm幅品では、主回路端子と漏電基板とを押しづねで接触させ、電源取りを行っている。この方式によつて、省配線スペース化、電源負荷方向の小型化に加え、漏電ユニットの組み付けワンタッチ化による組立て性の大改改善も達成している。

## 4. 内部付属装置の標準化

ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器の内部付属装置は、仕様変更への柔軟な対応、発注の簡素化を可能とするユーザー取付け可能なカセット付属を採用している。今回のWS-Vシリーズでは、更に短納期対応や在庫点数の削減につながるフレーム間の共用化範囲を3極75~105mm幅品に拡大し、ユーザーの利便性向上を図った。図7に32Aフレームから250Aフレームの共用内部付属装置を示す。

WS-Vシリーズの内部付属装置の特長は次のとおりである。

- (1) 同一ユニットで新JIS, IEC(国際標準会議規格), GB(中国国家規格)の各規格認証の取得
- (2) 250Aフレーム用UVT(不足電圧引き外し装置)のカセット付属対応
- (3) 漏電遮断器へのSHT(電圧引き外し装置)取付けが可能
- (4) EU環境規制であるRoHS(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)指令への適合

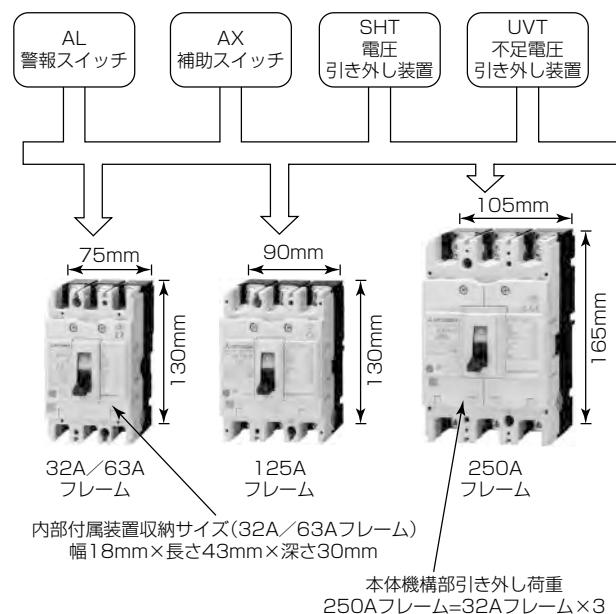


図7. 内部付属装置の共用化



図8. 電磁解析例

WS-Vシリーズ内部付属装置でフレーム間共用を行う際の課題は、最小外形である3極75mm幅品に収納でき、かつ最大外形である3極105mm幅品の本体引き外し荷重でも動作可能な引き外し装置の開発であった。

3極75mm幅品の内部付属装置収納サイズは、幅18mm×長さ43mm×深さ30mmであり、3極105mm幅品の本体開閉機構部の引き外し荷重は、3極75mm幅品の約3倍である。限られた容積で高い引き外し力を発生させる取り組みとして、次のことを実施した。

- (1) 電磁解析による磁力特性向上策の抽出(図8)
- (2) 荷重低減を図った最適構造設計
- (3) NC巻線機の採用による巻線の精度向上

また、業界最小<sup>(注1)</sup>ブレーカーである32A/63AフレームF Style品(3極54mm幅品)は、限られた内部付属収納スペースに納まるように、3極75mm幅以上対応の付属装置から約20%のサイズ低減を図っており、カセット付属対応を達成している。

(注1) 2009年8月現在、当社調べ。

## 5. むすび

低压遮断器WS-Vシリーズの標準化とVAに関する特長とそのために適用した技術について述べた。今後も顧客ニーズを意識した製品を開発していく所存である。

# “WS-Vシリーズ”電子式遮断器・MDUブレーカの進化

山崎晴彦\* 塚本龍幸\*\*  
野村敏光\*  
末澤博敏\*

*Evolution of Circuit Breaker with Electric Trip Relay*

Haruhiko Yamazaki, Toshimitsu Nomura, Hirotoshi Suezawa, Tatsuyuki Tsukamoto

## 要 旨

電子式遮断器は過負荷・短絡保護特性のマルチ可調整機能によって、電路の保護協調がとりやすく、またプレアラーム機能による予知予防保全が可能などの優れた機能を備えている。しかし近年では、より細かな保護特性設定や警報機能などの高機能・多機能化の要求が高まっている。

一方、遮断器本体内に計測用VT(Voltage Transformer)・CT(Current Transformer)を内蔵し、省施工・省スペースで電路のエネルギー使用量を監視できるMDU(Measuring Display Unit)ブレーカに対しても、省エネルギー活動の活発化に伴い、更なる省スペース化、多機能化の要求が高まっている。

“WS-Vシリーズ”では、これらの要求にこたえ、電子式遮断器及びMDUブレーカの性能向上を図り製品化した。

主な特長は次のとおりである。

- (1) ダイヤルによる過負荷・短絡保護特性設定は2項目に簡素化し、使いやすさを追求。その他の特性は専用スター及び表示器で、よりきめ細かに設定可能
- (2) 名板表示面にLCD(Liquid Crystal Display)表示器を搭載、各相の負荷電流を計測・表示可能とともに、警報・事故発生時は表示面を赤色に点灯し、視認性を向上
- (3) MDUブレーカでは、ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器・漏電アラーム遮断器の外形を統一し、省スペース性を向上
- (4) MDUブレーカの計測精度を向上させ、よりきめ細かなエネルギー監視が可能

### MDUブレーカ

- 表示画面を搭載し、電路情報をコンパクトに表示
- 125~250Aの範囲で定格電流の可調整が可能



### 電流表示付き電子式遮断器

- 表示画面を搭載し、電流値をコンパクトに表示
- 設定値を超える電流を計測すると表示画面が赤く点灯
- 表示画面上で詳細な特性設定が可能



### 電子式遮断器

- 特性設定を簡略化し、使いやすさを追求



## “WS-Vシリーズ”電子式遮断器・MDUブレーカ

WS-Vシリーズ電子式遮断器・MDUブレーカの特長と製品外観を示す。

## 1. まえがき

電子式遮断器は過負荷・短絡保護特性のマルチ可調整機能によって、電路の保護協調がとりやすく、またプレアラーム機能による予知予防保全が可能などの優れた機能を備えている。

しかし近年では、より細かな保護特性設定や警報機能などの高機能・多機能化の要求が高まっている。

一方、遮断器本体内に計測用VT・CTを内蔵し、省施工・省スペースで電路のエネルギー使用量を監視できるMDUブレーカに対しても、省エネルギー活動の活発化に伴い、更なる省スペース化、多機能化の要求が高まっている。

WS-Vシリーズでは、これらの要求にこたえ、電子式遮断器及びMDUブレーカの性能向上を図り製品化した。

主な特長は次のとおりである。

- (1) ダイヤルによる過負荷・短絡保護特性設定は2項目に簡素化し、使いやすさを追求。その他の特性は専用スター及び表示器で、よりきめ細かに設定可能
- (2) 名板表示面にLCD表示器を搭載、各相の負荷電流を計測・表示可能とともに、警報・事故発生時は表示面を赤色に点灯し、視認性を向上
- (3) MDUブレーカでは、ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器・漏電アラーム遮断器の外形を統一し、省スペース性を向上
- (4) MDUブレーカの計測精度を向上させ、よりきめ細かなエネルギー監視が可能

## 2. 過負荷・短絡保護特性

ノーヒューズ遮断器を動作方式と引き外し特性で分類したものを表1に示す。

熱動電磁形、完全電磁形は長限時引き外し、及び瞬時引き外しの2限特性で、その特性は通常変更できない。

一方電子式は、長限時引き外し、短限時引き外し、及び瞬時引き外しの3限特性であり、

- ①設定電流 :  $I_r$
- ②長限時引き外し時間 :  $T_L$
- ③短限時引き外し電流 :  $I_s$
- ④短限時引き外し時間 :  $T_s$
- ⑤瞬時引き外し電流 :  $I_i$
- ⑥プレアラーム電流 :  $I_p$

の6項目の特性が変更可能である。

表1. 動作方式一引き外し特性有無比較

特性	動作方式	熱動電磁形	完全電磁形	電子式
長限時引き外し		○	○	○
短限時引き外し		×	×	○
瞬時引き外し		○	○	○

これらの引き外し特性の比較を図1に示す。

電子式遮断器は各特性が変更できることによって、次のような特長を持っている。

- (1) 設定電流可調整機能によって、設備増設時の負荷増加へ容易に対応可能(遮断器の交換が不要)
- (2) 上位の保護機器の特性、及び下位の負荷特性(特に発電機の始動突入電流、変圧器の励磁突入電流)との協調が容易にとれ、連続給電性の確保が可能
- (3) プレアラーム(事前警報)機能による負荷状況把握が可能であり、遮断器が動作する前に停電回避処理を施すことが可能

しかし近年、設備のインテリジェント化に伴い負荷の特性も多様化し、より細かな保護協調特性を得たいという多機能化の要求が高まっている。

一方では、設定電流が変更できる利便性は認めつつも、設定項目が多く使いにくいとの簡素化を求める声も挙がっている。

これらの相反する市場ニーズにこたえるため、WS-Vシリーズ電子式遮断器で搭載した機能について次に述べる。

### 2.1 過負荷・短絡保護特性設定の簡素化

遮断器本体で設定できる項目(設定ダイヤル)を

- (1) 設定電流 :  $I_r$
  - (2) 瞬時引き外し電流 :  $I_i$
- ①設定電流( $I_r$ ) × 14倍固定  
②定格電流( $I_n$ ) × 2 ~ 14倍可変

の2項目に簡素化し、使いやすさを向上させた。

WS-Vシリーズ電子式遮断器の外観と特性設定部を図2に示す。

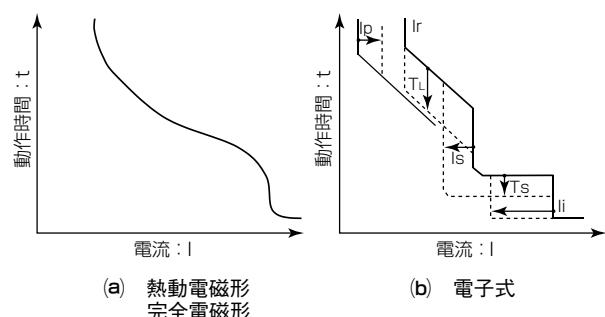


図1. 過負荷・短絡保護特性曲線

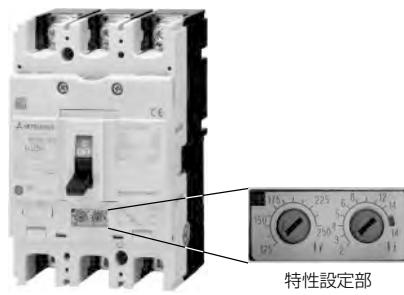


図2. WS-Vシリーズ電子式遮断器

## 2.2 引き外し特性設定の機能向上

- (1) 設定電流( $I_r$ )の約160%以下の領域における、 $I^6t$ 特性追加によって( $I^6t$ 特性も選択可能)、4限特性を実現、UPS(無停電電源装置)充電時の一時的な過負荷による誤動作防止に対応
  - (2) 発電機保護用の長限時引き外し時間、12s(at 200%)に対応
- などの機能向上を図り、特性設定の自由度を広げた。

$I^6t$ 特性追加による保護協調拡大の例を図3に示す。これらの特性は、専用テスター又は表示器から設定可能である。

## 3. 計測・表示機能

設備の予知予防保全のため、負荷電流が設定値以上になると警報を発生するプレアラーム機能は従来搭載しているが、

- (1) 設定値に対する余裕度を把握したい。
- (2) 省エネルギー活動のため、負荷電流を計測・表示させたい。

という市場ニーズがあり、負荷電流表示機能(オプション)に対応した。

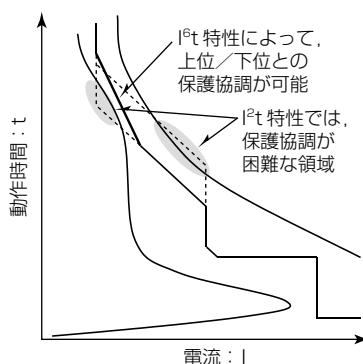


図3.  $I^6t$ 特性による保護協調例



図4. WS-Vシリーズ電流表示付き電子式遮断器

## 3.1 名板面表示機能

遮断器を盤に設置した場合、操作部及び形名・定格電流等が表示された名板面が見えるよう、表板に穴あけ加工をして取り付ける方法が一般的である。

このため、必要以上に穴あけ加工をしなくても計測値・警報状態が見えるよう、LCD表示器を名板面に搭載、省施工・省スペースで負荷電流の計測・表示を可能とした(図4)。

## 3.2 表示視認性向上

遮断器は電気室内の盤など、比較的暗所に設置されるのが一般的である。このため、LCDのバックライトLED(Light Emitting Diode)を白色とし見やすさを追求した。

また、各種警報発生時にはLCD全面を赤色表示とし、視認性を高めた。

## 4. 新形MDUブレーカ

MDUブレーカは、遮断器本体内に計測用CT・VTを内蔵し、負荷電流・線間電圧・電力・電力量等の各種電気量を計測・表示でき、

- ①省スペース・省施工
- ②高機能化・多機能化
- ③トータルコストメリットを追求

を3大特長として好評を博しているが、省エネルギー活動の活発化や計測点数の増加などによって、

- ①更なる省スペース化
- ②計測精度の向上

の市場ニーズがあり、これらにこたえるため性能向上を図った。

### 4.1 小形・高精度CTの開発

“WSシリーズ”のMDUブレーカの過負荷・短絡保護は熱動電磁式(250Aフレーム以下)で、負荷電流の計測には専用の計測用CTを搭載していた。

このため、過負荷・短絡電流検出と、負荷電流計測の両方が可能な小形・高精度のCTを開発し、両者を統一し、省スペース化を実現した。

過負荷・短絡保護検出は、次の点を考慮する必要がある。

- (1) 飽和領域(最大定格電流の十数倍までセンサとして機能する必要があるため)の出力波形歪(ひずみ)
- (2) 他の相に流れる大電流による磁界の影響

これらを効率的に行うため、今回新たに波形解析手法を開発した。CTの動作原理と支配方程式を図5に示す。

この支配方程式(磁気回路、電気回路)の連成解析手法を確立し、外形寸法及び鉄心材料などをパラメータとして出力波形、出力特性のCAE(Computer Aided Engineering)解析を行うことで最適化を図り、高精度CTを実現した。解析波形の一例を図6に示す。

この小形・高精度CTによる効果について次に述べる。

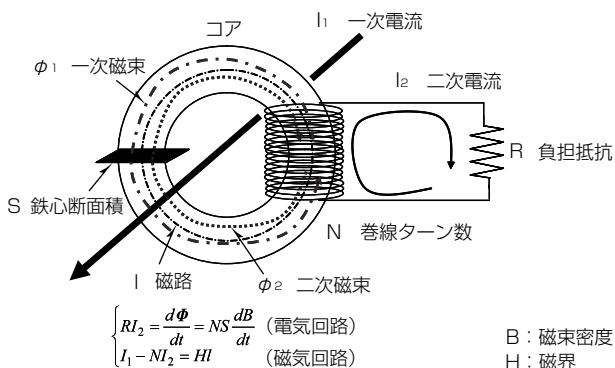


図 5. CT動作原理図と支配方程式

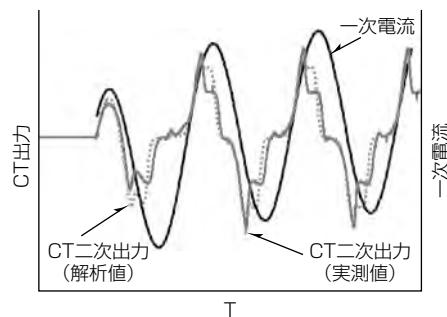


図 6. 3相・定格電流×20倍通電時CT二次出力

#### 4.1.1 ノーヒューズ／漏電／漏電アラーム遮断器の同一外形化

漏電遮断器・漏電アラーム遮断器は、漏洩(ろうえい)電流検出のため零相変流器(Zero-phase Current Transformer: ZCT)が必要であり、計測用CTの収納スペースの都合上、WSシリーズのMDUブレーカでは、ノーヒューズ遮断器と、漏電遮断器・漏電アラーム遮断器は外形を異にしていた。これを小形・高精度CTによって、内部のスペースを確保し、ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器・漏電アラーム遮断器の同一外形寸法化を実現した(図7)。

漏電遮断器・漏電アラーム遮断器では体積を30%削減でき、省スペース化が図れるとともに、取付け寸法統一によって盤設計も容易となり、トータルコストメリットも追求できた。

#### 4.1.2 計測精度の向上

小形・高精度CTによって、WS-VシリーズのMDUブレーカでは表2に示すような精度向上を実現した。

#### 4.2 表示部のコンパクト化

WS-VシリーズのMDUブレーカでは、電流表示機能付き電子式遮断器と同じく、LCDによる名板面表示機能を

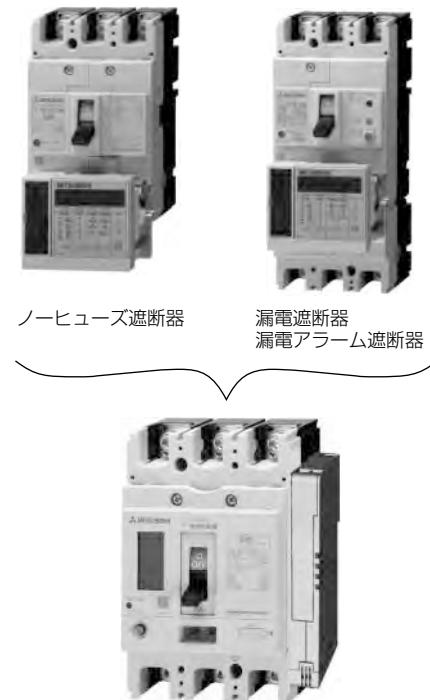


図 7. WS-VシリーズMDUブレーカ

表 2. 計測・警報機能比較

	WS-V	W&WS
計測機能	負荷電流 $\pm 1.0\%$	$\pm 2.5\%$
	線間電圧 $\pm 1.0\%$	$\pm 2.5\%$
	電力 $\pm 1.5\%$	$\pm 2.5\%$
	無効電力 $\pm 2.5\%$	なし
	電力量 $\pm 2.0\%$	$\pm 2.5\%$
	無効電力量 $\pm 2.5\%$	なし
	周波数 $\pm 2.5\%$	なし

搭載した(表示・通信部を別置きにしたパネル取付けにも対応可能)。

これによって、WSシリーズのMDUブレーカでは遮断器本体上に搭載されていた計測表示ユニットが不要となり、省スペース化を実現、また表板の穴あけ加工も容易となり、省施工化も実現している。

また、複数の計測項目を同時に表示可能とし(1相、2相、3相電流値の一括表示など)、表示項目の切替え頻度の省力化も図っている。

#### 5. むすび

WS-Vシリーズ電子式遮断器・MDUブレーカの特長について述べた。今後ともユーザーニーズに対応した製品開発に取り組んでいく所存である。

# 低圧遮断器“WS-Vシリーズ”を支える生産技術

妹尾 彰\* 司城大輔\*\*  
馬場利靖\*  
村井正俊\*\*

Manufacturing Engineering Support for Low-voltage Circuit-breaker "WS-V Series"

Akira Senoo, Toshiyasu Baba, Masatoshi Murai, Daisuke Sijyo

## 要 旨

近年の低圧遮断器事業では、グローバル化や競合他社の新機種投入による競争が激化している。このような状況に対応するためには、三菱電機の製品面での競争優位性の更なる向上が必要不可欠である。そこで、2009年度に製品力・コスト対応力を強化し、他社を凌駕(りょうが)する製品“WS-Vシリーズ”を開発し、市場投入した。WS-Vシリーズの開発・市場への投入に伴い、次の点を指向した生産体制を2008年度に着手し、2010年度までの3か年の計画で、生産規模に応じ段階的に設備の導入・立ち上げを行う。

### (1) 自動化・省人化

ロボット活用による自動化

### (2) リードタイム短縮

サブ組立ての内製化・自動化、小ロット多サイクル生産

### (3) 品質向上・省エネルギー

“e&eco-F@ctory”活用による品質“不良0”の追求、省エネルギー推進

本稿では、WS-Vシリーズの開発に伴い、部品加工～サブ組立て～総組立ての工程で開発初期から設計・工作・品管・研究所と連携し、技術開発を行い成果を得た、

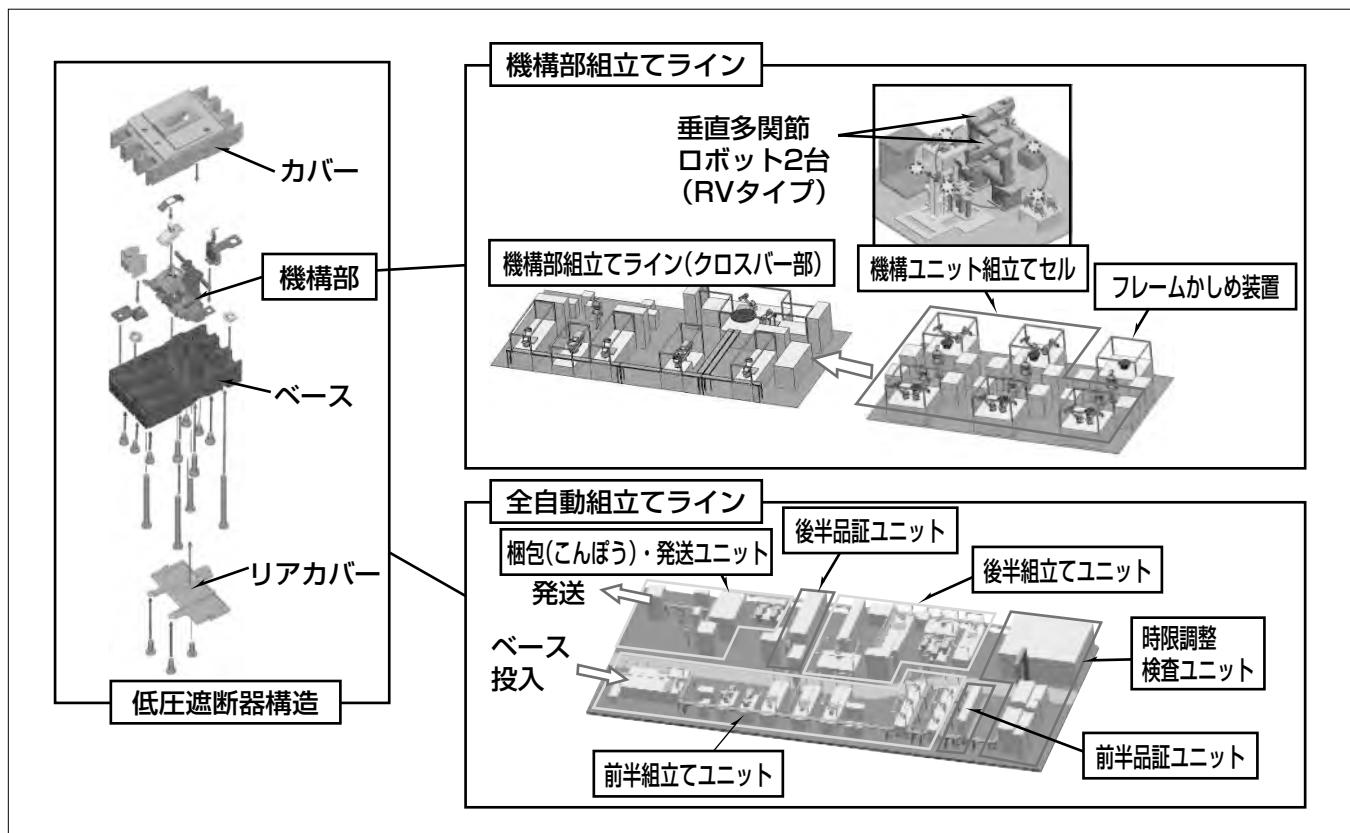
①サブ組立て工程の機構部自動組立て技術開発

②総組立てラインにおけるロボット活用

③e&eco-F@ctoryを活用した生産管理システム構築

④部品加工における材料歩留り・加工効率の向上

などについて述べる。



## 低圧遮断器の構造と導入設備・技術

導入中である設備・技術の概要を示す。

低圧遮断器は上図左に示す部品で構成され、部品加工～サブ組立て～総組立て・検査工程で最終製品となり出荷される。各工程で生産技術開発を実施し、自動化・省人化、リードタイム短縮、品質向上、省エネルギー化を指向する。

## 1. まえがき

低圧遮断器(以下“遮断器”という。)では、2001年にWSシリーズを市場投入し、製品力強化に努めてきたが、近年のグローバル競争の激化や競合他社の新機種投入によって、機械市場を中心に当社の製品面での競争優位性の更なる向上が必要不可欠である。そこで、2009年度に製品力・コスト対応力を強化し、他社を凌駕する製品“WS-Vシリーズ”を開発し市場投入した。WS-Vシリーズ生産体制整備では、ロボットを活用した設備を導入し、生産性・リードタイム・品質を徹底追求するため、次の点を指向した生産体制を2008年度から2010年度の3か年で構築する。

### (1) 自動化・省人化

ロボット活用による自動化

### (2) リードタイム短縮

サブ組立ての内製化・自動化、小ロット多サイクル生産

### (3) 品質向上・省エネルギー

e&eco-F@ctory活用による品質改善“不良0”的追求、省エネルギー推進

遮断器の生産工程は次の4工程で構成されており、本稿では、それぞれの工程で新規技術の開発・導入を実施した内容について述べる。

①モールド・プレス品などの部品加工工程

②動作機構を持つ機構部のサブ組立て工程

③導電部などのサブ組立て工程

④ケースなどに機構部ほかを組み込み、検査、出荷などを行う組立て工程

## 2. WS-Vシリーズを支える生産技術

### 2.1 サブ組立て(機構部組立て)

現行生産機種であるWSシリーズの生産体制構築で、サブ組立ての自動化を推進し機構部を除く標準部品のサブ組立ての自動化はほぼ技術確立を完了した。唯一、機構部については、構造の複雑さから外作でのマニュアル組立てで生産対応を行ってきた。今回、開発初期段階から自動組立てを指向した製品・生産技術開発に取り組み、組立て工程の自動化・内製化を図る。これに伴い、総組立てラインと同一フロアでの一貫・同期生産を行い、リードタイムの短縮、省人を実現する(図1)。

#### 2.1.1 機構ユニット組立て

機構部は、機構ユニットとクロスバー部によって構成される。ここでは機構ユニットで取り組んだ自動化技術開発について述べる。従来機構ユニットはU字部品で構成されており、一方向からの組立てが困難な構造であり、自動組立て化の推進を阻害してきた。この開発品でも一部部品を除きU字形状の部品を製品機能・コストの面から残さざる得ない状況となり、一方向からの組立ては実現困難であつ

た。そこで、組立て方法・ライン構成における発想の転換を図り、多方向からの組立てや複雑な形状の部品の組み合わせに対応するため、多関節ロボットを活用したセル設備による組立ての検討・技術開発を行い、多種・複雑な部品の組立て作業の自動化技術を確立した。この自動化によって、組立て作業の内製・合理化を実現した。また、組立て作業のロボットセル化によって、生産規模に応じたフレキシブルな生産体制の構築が可能となった。現在、生産規模に合わせた段階的な設備の導入を実施しており、2010年度までに計9セルを導入予定である。この設備は、計13部品の異部品をオートハンドチェンジャーと2台のロボットを交互に動作させ組立て作業の高速化・効率化を図っている(図2、図3)。

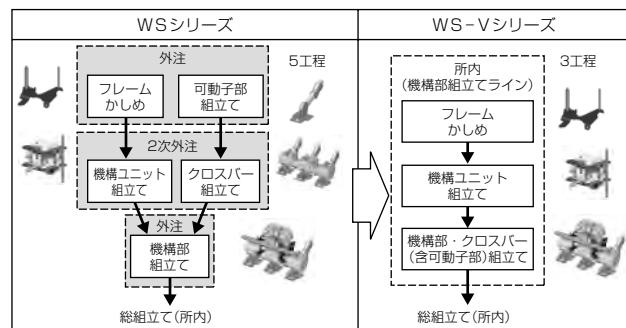


図1. 機構部組立て工程フロー比較

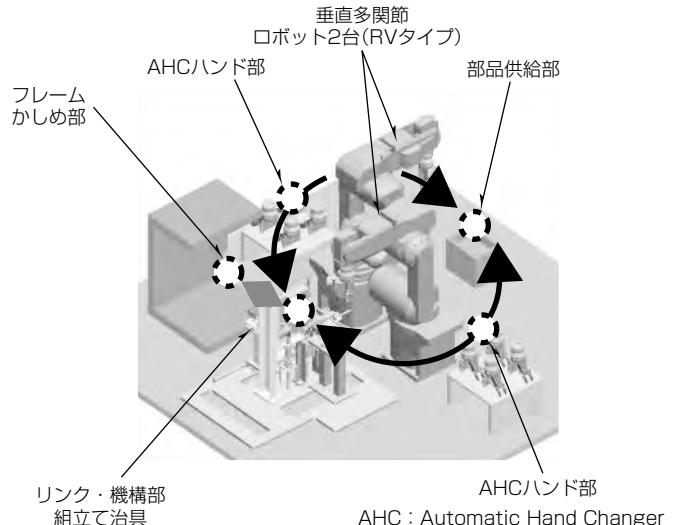


図2. 機構ユニット組立てセル

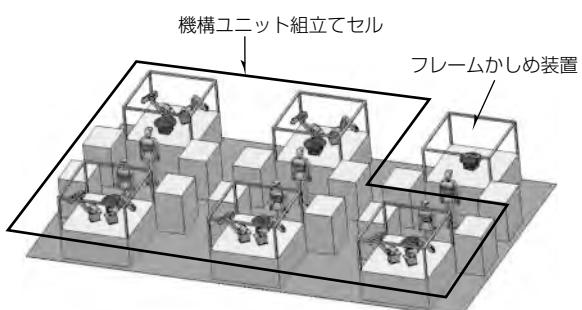


図3. 機構ユニット組立てセルエリア

## 2.1.2 機構部組立てライン

機構部のもう一つの構成部品であるクロスバー部でも、自動化のための製品・生産技術開発に取り組んだ。クロスバー部の構成部品についても多種の部品があり、供給・組立て設備へのロボットの活用を行い、フレキシブルな部品供給・組立て技術を開発し、クロスバー部組立て～クロスバー部と機構ユニットの組立て(連結)までの自動化を実現した。2.1.1項で述べた機構ユニットとクロスバー部の自動化によって、機構ユニット～機構部組立て(クロスバー部)までの所内内製化とともに組立てラインと同一フロアでの一貫・同期生産も行い、リードタイムの大幅な短縮を図った(図4)。

## 2.2 総組立て

総組立てでもユニット組立て同様に、多品種部品への対応と小ロット多サイクル生産への対応が課題である。また同時に、更なる品質・生産性の向上、ロット生産・管理からの脱却を図る必要があった。ここでは、これらの課題解決のために取り組み導入を行った技術について述べる。

### 2.2.1 全自動組立てライン

全自動組立てラインでも、多品種、異形状部品のフレキシブルな部品供給に対応するため、ロボットの活用を行った。また、個品ごとに張り付けたバーコードによる個品単位での機種切替え可能な方式を導入し、小ロット多サイク

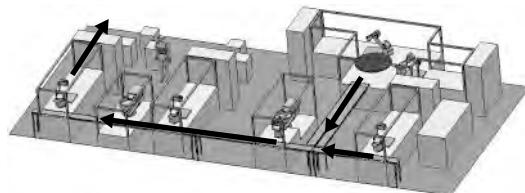


図4. 機構部組立てライン(クロスバー部)

ルな生産を実現し、仕掛かり削減、段取りロス削減を図る。ライン形態は、従来の直線ラインをU字ライン化し、ラインオペレート作業とラインへの部品供給の動線短縮に伴う効率化によって省人を図る(図5)。品質では、個品バーコードを活用し、従来のロット管理から個品管理へ移行し、品質管理・分析の充実を図る。

## 2.2.2 生産システム

生産システムとしては、従来は“MELSECNET”を採用し、全自動組立てラインの生産管理システムを構築していました。今回の生産体制整備では、生産情報の見える化、高度化とシステム構築の省力化、変更へのフレキシブルな対応をねらい、e&eco-F@ctoryを採用した。主に次の4項のシステムを構築し、全自動組立てラインの品質・生産性向上と省エネルギー推進を実現する。具体的には、①個品ごとの品質データを収集、②工程ごとの検査実施有無・良品確認、③最終出荷工程の全検査の実施・良品確認を行い、後工程への検査飛ばし品の流出と市場流出不具合品の撲滅を図る。

エネルギー管理に関しては、従来の複数設備のブロック単位の管理から設備単位での管理に変更し、更にきめ細かい管理と改善が可能なエネルギー管理システムを構築する(図6)。

(1) 生産管理：組立て指示、進捗(しんちょく)管理

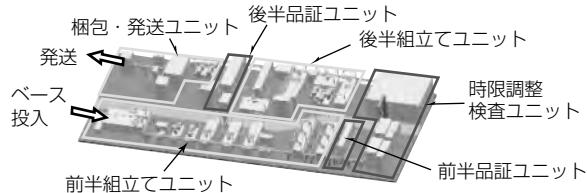


図5. 全自動組立てライン

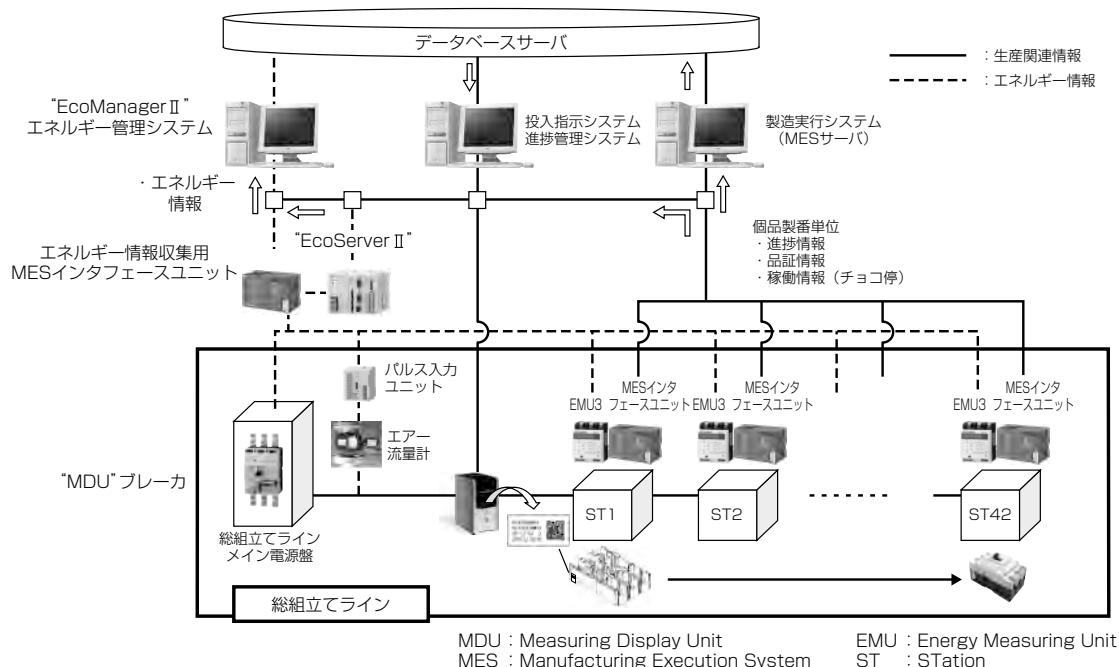


図6. 生産システム



図7. 生産設計例

- (2) 稼働管理：稼働率管理, 稼働分析
  - (3) 品質管理：個品履歴, 工程別検査情報, 品質分析
  - (4) エネルギー管理：原単位管理(ライン, 設備別)

## 2.3 部品加工

遮断器を構成する部品は、筐体(きょうたい)を主とするモールド成形品と鉄・銅(銅合金)材料の機構部・通電部などを主とするプレス加工品である。WS-Vシリーズでは、次の取り組みを実施し、部品の材料歩留りと加工効率の向上を図った。

### 2.3.1 モールド成形技術

### (1) 生産設計の徹底

製品の3Dモデルを作りながら、成形品形状チェッカー（当社福山製作所とCAD（Computer Aided Design）ベンダーとで共同開発）を使い、金型製作性・成形性を確認した。金型部門で14項目をチェックし、製品設計へのフィードバックを行い、金型製作性と成形性の向上を図った（図7）。

## (2) モニルドCAE(Computer

適型設計と冷却効率アップ  
金型設計に着手する前にモールドCAEと試作型での検証を実施し、金型のゲート位置・点数、冷却構造の最適化検討を行った。今回、コアへの吹上冷却構造を増やすことによって、冷却効率向上への有効性が確認できたため、量産型の標準構造として採用し、ハイサイクル成形を実現した(図8)。

### 2.3.2 プレス加工技術

### (1) 生産設計による材料歩留り向上

材料単価の高い銅・銅合金、バイメタルについては、部品単価に対する材料費比率が高いため、加工方法を検討しながら、歩留りを上げるための生産設計を実施した。

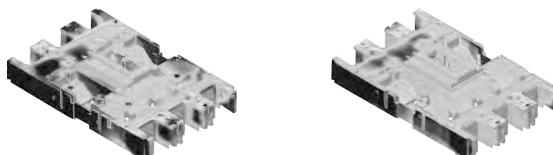
通常必要となる順送プレス加工での送り棧・縁棧を極力少なくできるよう製品形状を変更し、スクラップの量を削減し、材料歩留りの向上を図った(図9)。

## (2) 部分塗鍛順送プレス加工による部品一体化加工

順送プレス加工内で、板厚の潰(つぶ)し・R成形などの部分冷鍛加工を行い、部品の一体化・高機能化を図った(図10)。

### 3. ま す て

WS-Vシリーズの生産体制構築として、①自動化・省



通常冷却：冷却時間60s

高効率冷却：冷却時間20s

図8. 冷却効率と冷却時間によるソリの比較

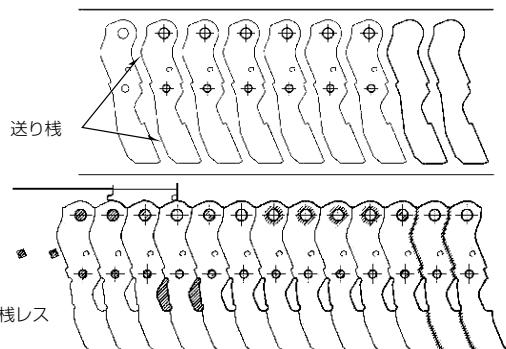


図9. 送り様レスの順送金型レイアウト例

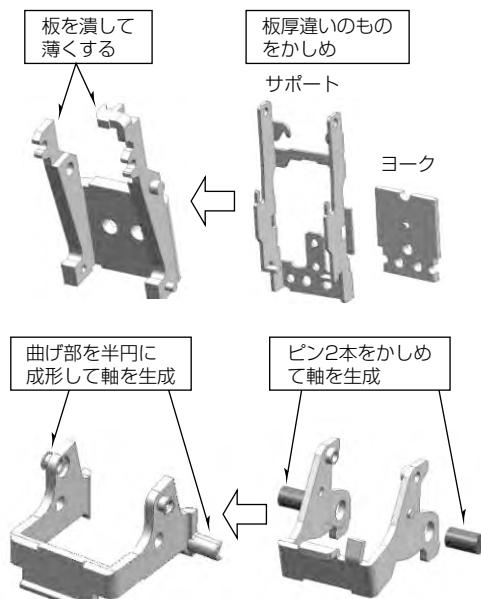


図10 部品一体化加工例

人化、②リードタイム短縮、③品質向上を指向し、2008年度から2010年度の3か年で生産規模に応じ段階的に導入中である生産技術項目について述べた。今回取り組んだ生産技術開発は、開発初期から設計・工作・品管・研究所と連携し行ったフロントローディング活動(生産設計・技術開発・ライン設計)による成果であると考える。今後も引き続き更なる製品力強化、生産技術力の向上のため、更に進化したフロントローディング活動に取り組み、顧客満足を得られる製品・モノづくりにつなげたい。WS-Vシリーズの生産体制は、2010年度に完了を予定しており、当初計画に掲げた目標の必達を目指すとともに、遮断器事業の規模拡大、シェアアップを実現し、重点事業としての強化に貢献する。

# “WS-Vシリーズ”のアーク走行遮断技術

*Arc Commutation Circuit Interruption Technologies for MCCB of "WS-V Series"*

Yo Makita, Jun Nakagawa, Takeshi Kurosaki, Takashi Iitsuka

牧田 陽\* 飯塚貴士\*\*\*  
中川 淳\*\* 黒崎剛史\*\*\*

## 要 旨

近年、機械装置・制御盤の小型・大容量化の進展に伴い、搭載する低圧遮断器にも小型・高遮断容量化のニーズが高まっている。“WS-Vシリーズ63Aフレームクラス”では新遮断技術“アーク走行遮断技術”を採用し、業界最小となる3極品での横幅54mmと遮断容量の格上げ( $I_{cs}^{(往1)}$ 三菱電機現行品：4→8 kA)の両立を実現した。

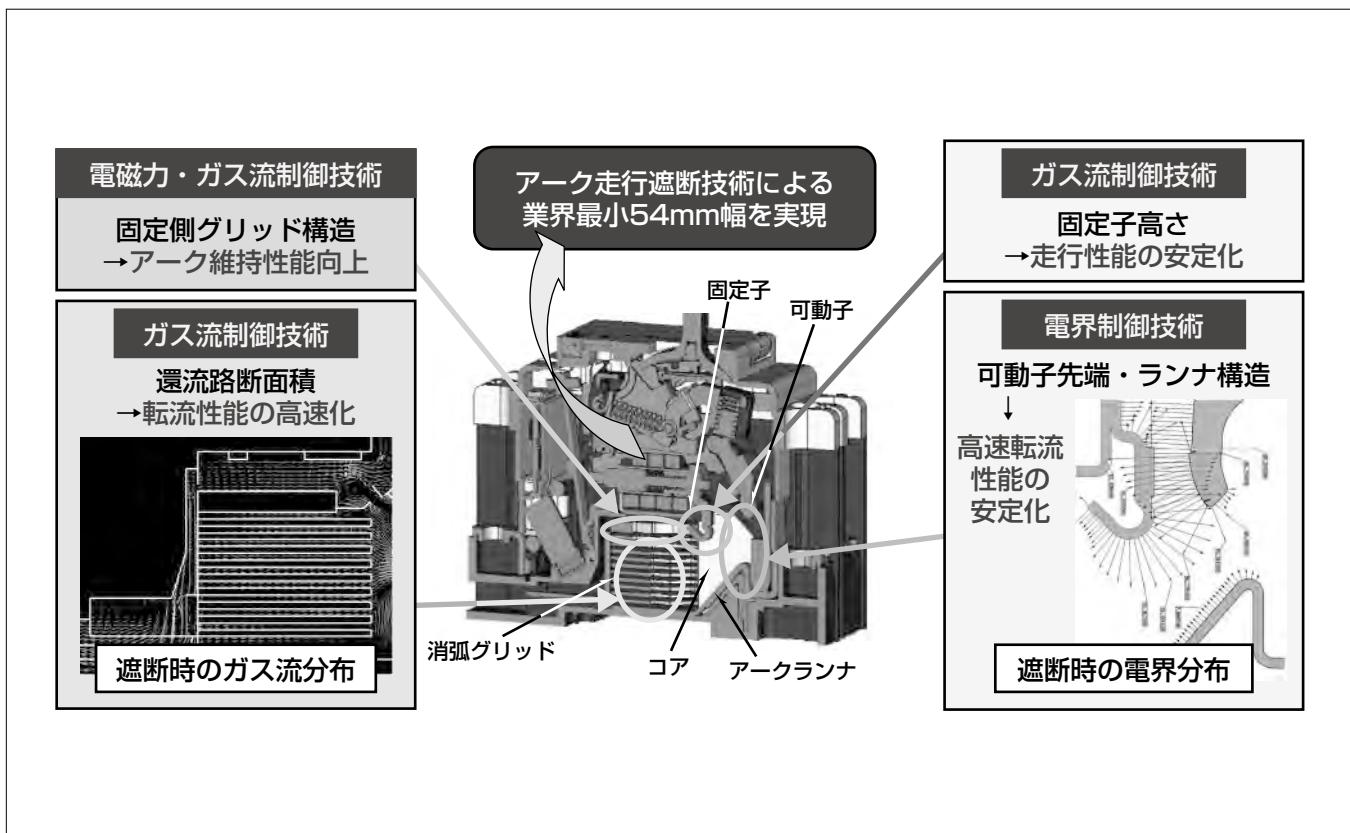
アーク走行遮断技術は、遮断初期の接点開離時に発生したアークを、接点からグリッド等の他の消弧が容易なエリアまで高速に転流・走行させる遮断技術であり、従来の1点切遮断技術と比較して、より小さなアークエネルギーで

(注1) 三回遮断容量

の遮断が可能となる。これまで主にMCB(Miniature Circuit Breaker)等の小型ブレーカに用いられてきた。今回、この方式を業界で初めてMCCB(Molded Case Circuit Breaker)へ採用し、63A定格機種F Styleとして新たにラインアップし、高遮断容量・小型化を図った。

アーク走行遮断技術の性能向上開発として、①アーク転流の高速化、②消弧グリッド内での消弧性能安定化、を指向した。とりわけ、アーク挙動に影響を与える電界、ガス流、及びアーク駆動電磁力の3因子に着目し、先に述べた①②に対して最も効果的な因子を制御する手法を開発した。

本稿では、これらのアーク走行遮断技術について述べる。



## 新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WS-Vシリーズ”のアーク走行遮断技術

WS-Vシリーズの新型ノーヒューズ遮断器“NF63-SVFシリーズ”では、新遮断技術“アーク走行遮断方式”的採用によって、機械装置・制御盤の小型化ニーズを満足した業界最小となる3極品での横幅54mmを実現した。

## 1. まえがき

近年、機械装置・制御盤の小型・大容量化が進展しており、搭載する低圧遮断器にも小型・高遮断容量化のニーズが高くなりつつある。このような背景から、当社ではWS-Vシリーズ63Aフレームクラスに新遮断技術“アーク走行遮断技術”を適用した小型・高遮断容量ノーヒューズ遮断器F Styleを製品化した。製品化に当たり、①アーク転流の高速化、②消弧グリッド内での消弧性能安定化を目指した。とりわけ、アーク挙動に影響を与える電界、ガス流、及びアーク駆動電磁力の3因子に着目し、先に述べた①②に対して最も効果的な因子を制御する手法を開発した。

これらの技術を駆使することで、63A定格機種でMCCB業界最小となる横幅54mmと遮断容量の4kAから8kAへの格上げを両立した。本稿ではこれらのアーク走行遮断技術について述べる。

## 2. NF63-SVFとアーク走行遮断技術の特徴

### 2.1 54幅63A定格F Styleの概要

NF-63SVFシリーズの製品仕様を表1に示す。今回新たにシリーズ化した63A定格F Styleは、現行製品に比べ

表1. 63A定格F Styleの製品仕様概略

フレームA		63	
形名		NF63-SVF	
定格電流A		63	
極数		2 3	
定格絶縁電圧V		440	
定格遮断容量(kA)	JIS C 8201-2-1 Ann1 JIS C 8201-2-1 Ann2 IEC 60947-2 EN 60947-2 (Icu/Ics)	690V -	
		500V -	
		440V 7.5/7.5	
		415V 10/8	
		400V 10/8	
		380V 10/8	
		230V 15/15	
	DC	250V -	
		125V 10/10	
外形寸法(mm)	GB 14048.2 (Icu/Ics)	415V 10/8	
		400V 10/8	
		380V 10/8	
		230V 15/15	
		250V -	
		125V 10/10	
	NK (Icu/Ics)	450V -	
		240V -	
		250V -	
電気用品安全法		適合	
CEマーキング		TUV認証	
CCC認証		適合	
JIS : 日本工業規格 IEC : 國際標準會議規格 EN : 欧州規格 GB : 中国規格		NK : 日本海事協会規格 CE : 欧州認証 TUV : テュフラインラント国際認証 CCC : 中国認証	

筐体(きょうたい)容積を約50%小型化(75×130×68mm→54×100×68mm)したとともに、遮断容量はIcsを4kAから8kAに格上げした。小型化しながら高遮断容量化を実現するため、同機種では、これまで主としてMCB<sup>(1)(2)</sup>等の小型ブレーカに用いられてきたアーク走行遮断技術を業界で初めてMCCBに適用した。

### 2.2 アーク走行遮断技術の特徴

アーク走行遮断技術は、接点開離時に発生したアークをグリッド等の消弧が容易な空間まで高速に転流・走行させることによって、従来の1点切よりも優れた限流性能を実現した遮断技術である。この方式におけるアーク挙動と遮断電流・電圧波形との対応を図1と図2に示す。消弧室は可動子、固定子、可動子側ランナ導体(可動ランナ)、消弧グリッドによって構成されている。図1、図2の①～④の過程でのアーク挙動について述べる。

- ①可動子が開極し始め、接点間でアークが発生すると、アークが磁気駆動力と筐体内の雰囲気圧力の上昇によって図1下方に引き伸ばされ、アーク電圧が上昇を始める。
- ②可動子上のアークが可動ランナに転流し、固定子と可動ランナの間に形成されたアークはグリッドに向かって走行を開始する。

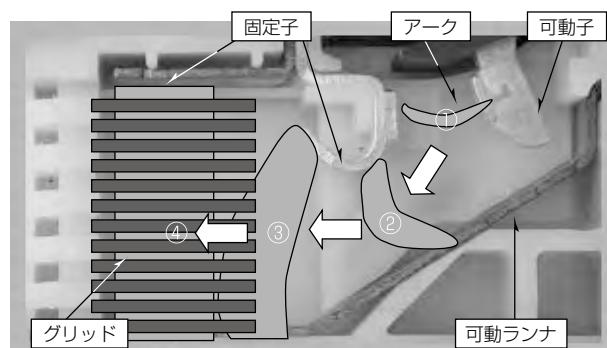


図1. アーク走行遮断時のアーク挙動

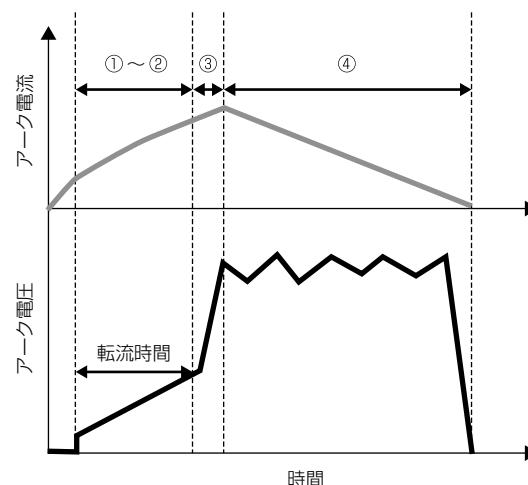


図2. アーク走行遮断時の電流・電圧波形一例

- ③アーケがグリッドに到達し、分断アーケが形成される、アーケ電圧は急激に上昇する。
- ④分断アーケがグリッド内部で冷却されアーケが維持できなくなり消弧する。

この方式では、開極から消弧まで、アーケを転流、走行させる高度なアーケ制御技術が不可欠となる。優れた遮断性能を得るために過程①～④の中でも、開極直後の転流過程とグリッド到達後の分断アーケを冷却する消弧過程の安定維持が重要となる。先に述べた性能を達成するために、3章で述べる遮断時の電界強度、ガス流分布やアーケ駆動電磁力に着目したアーケ制御技術を新たに開発し、性能向上を図った。

### 3. 電界、ガス流、及びアーケ駆動電磁力に着目したアーケ走行制御技術

#### 3.1 電界制御による転流高速化

開極初期のアーケ挙動について、電磁力や圧力によるアーケ駆動力に加え、可動子と固定子の間に形成される電界分布と電界ベクトルの方向が転流性能に影響すると考え、電界解析による接触子の形状最適化設計を実施した。図3に開発初期品の電界分布を示す。矢印は導体表面における電界ベクトルを示している。可動子表面の電界強度は接点表面上が最も高く、その方向は固定接点に向いている。開極直後の円滑なアーケの転流には可動接点から可動子先端

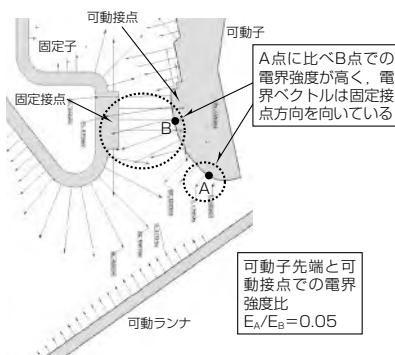


図3. 電界強度分布(開発初期品)

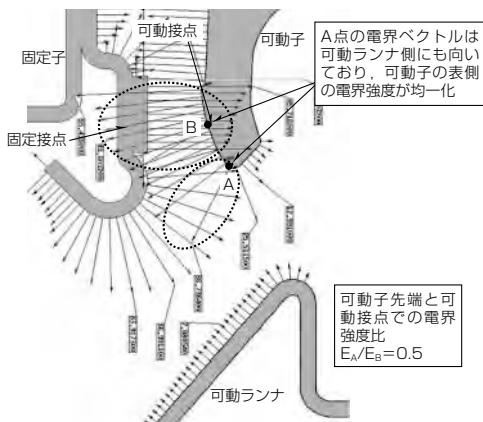


図4. 電界強度分布(改良モデル)

までの電界強度の均一化と、電界方向を転流先である可動ランナ側に向けることが必要であると考えた。そこで可動ランナの可動子近傍の形状をV字形化し可動子先端の電界をより集中させ、可動子先端形状自体も改良することで電界方向が可動ランナ側へ向くように最適化した。

改良形状での電界解析の結果を図4に示す。可動子上の電界強度の均一度を、可動子先端のA点と可動接点上のB点の電界強度比で定義すると、開発初期品が0.05であるのに対し改良品では0.5に改善した。さらに両形状でアーケ発生から可動ランナ・固定子間にアーケが転流するまでの時間を比較した結果、1.0msから0.6msに短縮した。このように可動子、固定子、可動ランナ間の電界分布の最適化によって、転流性能が向上することが確認できた。

#### 3.2 熱ガス流制御及び電磁駆動力強化による消弧性能安定化

アーケがグリッドへ到達し分断、冷却される消弧過程では、アーケがグリッド内でいかに安定維持できるかが優れた消弧性能を確保する上でのポイントとなる。一方で、グリッド内で分断アーケ状態を安定維持するには、電磁力や圧力勾配(こうばい)によるアーケ駆動力のバランス維持が重要となる。そこで、熱ガス流解析技術を用いて排気口の形状を最適化し、その上で、グリッド部の電磁力解析によるアーケ駆動電磁力の強化設計を実施した。次に解析手順について述べる。

図1、図2に示した遮断時のアーケ位置及び発熱量を考慮した発熱源を設定し、ガス流分布の時間変化を解析した。発熱量としてアーケエネルギーによるジュール熱(IV積)を設定し、熱伝導方程式及びNavier-Stokes方程式を解いた。排気口形状の最適パラメータの抽出ではタグチメソッドを適用し、グリッド入り口から排気口におけるガス流分布が均一になるように形状を最適化した。図5に最適化後のガス流分布を示す。この最適化設計によって固定子と可動ランナ近傍の流量比は0.3から0.8へと向上し、ガス流分布解析による流路形状設計の有効性を確認できた。

流路形状を最適化した上で、転流後のアーケがグリッド到達直前の位置にある状態を模擬してアーケの駆動電磁力

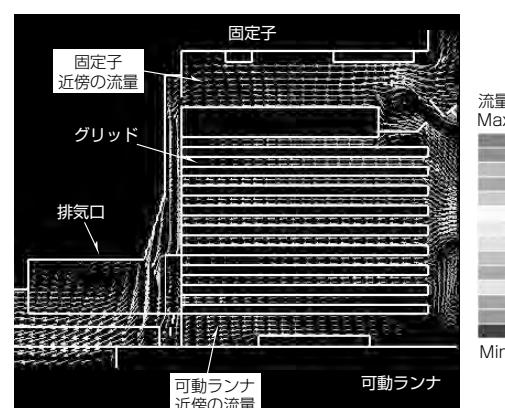


図5. 遮断時のガス流分布(改良モデル)

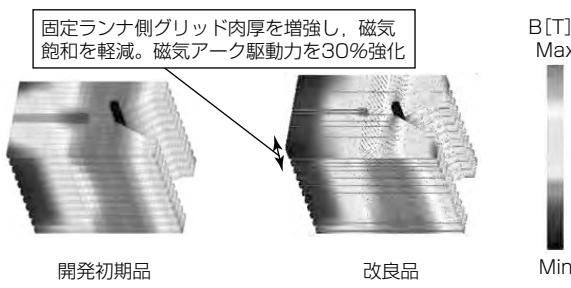


図 6. グリッドの磁束密度分布

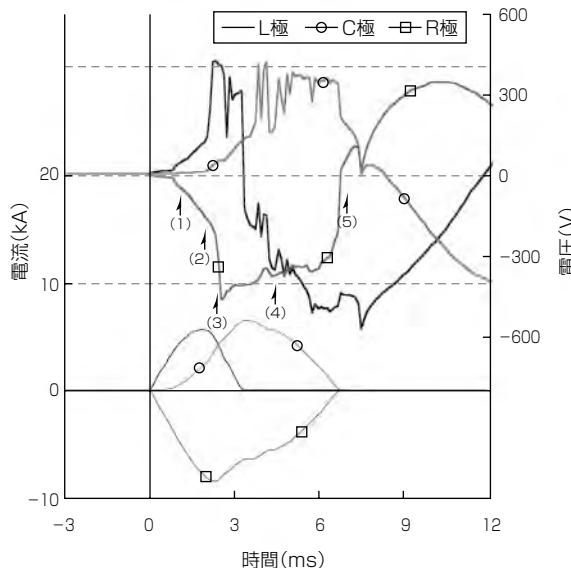


図 7. 3 相遮断波形の一例(AC415V, 10kA)

を解析した。その結果、図 6 に示すとおり固定子近傍のグリッド厚を 0.8mm から 2.4mm に増強することでアーケ駆動電磁力を約 3 割増強することができた。これらの結果を単極試作器の構造に反映し、遮断試験によってアーケがグリッドに到達してから遮断までの平均アーケ電圧を比較した結果、250V から 350V に上昇し、冷却性能向上を確認できた。

### 3.3 製品形態における遮断性能検証

図 7 と図 8 に、製品形態における遮断試験時の電流・電圧波形とアーケ観測画像の一例を示す(短絡電流 10kA)。図 7 中の(1)～(5)は図 8 の番号にそれぞれ対応している。(1)で接点間でアーケが発生し、(2), (3)で接点間のアーケが可動ランナへ転流し、グリッドへ走行している。さらに(4)でグリッド内でアーケが良好に維持され、(5)で消弧し 1/2 サイクルで良好に遮断完了している。また、図 9 に示した旧 WS シリーズと WS-V シリーズの性能比較では、電流ピーク ( $I_{pk}$ ) と注入アーケエネルギー ( $I^2t$ ) はそれぞれ 45%, 75% 削減しており、大幅な性能向上を実現した。これによって、

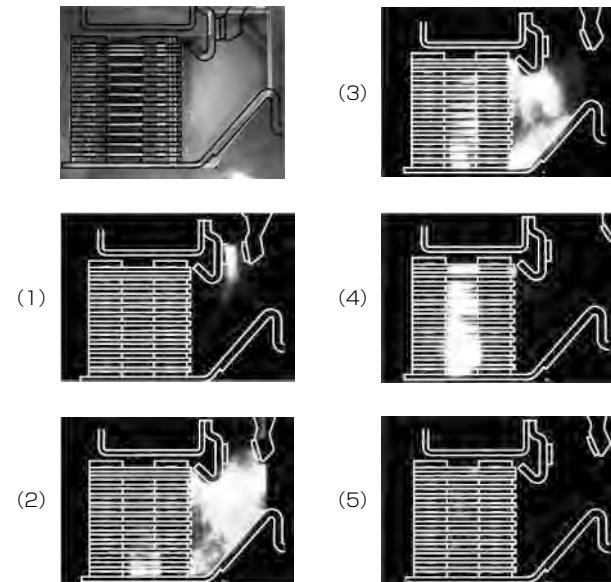


図 8. 3 相遮断時のアーケ観測画像

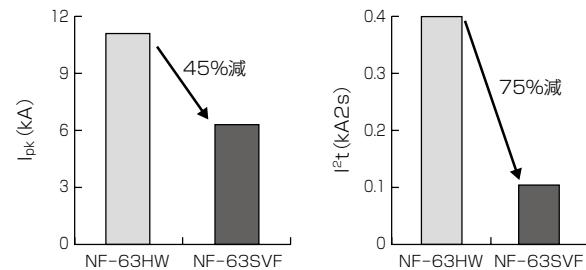


図 9. 旧モデルとの遮断性能比較

筐体容積の約 50% 削減と遮断容量を 2 倍向上 ( $I_{cs} = 4 \rightarrow 8$  kA) の両立を達成した。

## 4. む す び

63A フレームに新たにラインアップした F Style に搭載したアーケ走行遮断技術の特徴と、電界制御技術によるアーケ転流の高速化とガス流及びアーケ駆動電磁力制御による消弧性能安定化について述べた。今後更に適用機種の拡大と使用電圧範囲の拡大に取り組み、ユーザーニーズに対応した遮断技術開発に取り組んでいく。

## 参 考 文 献

- 石田 伸, ほか: UL489 対応ノーヒューズ遮断器 “NF50-SMU シリーズ”, 三菱電機技報, 79, No.6, 405～408 (2005)
- 三橋孝夫, ほか: UL489 対応ノーヒューズ遮断器 “NF50-SMU シリーズ” の遮断技術, 三菱電機技報, 79, No.6, 409～412 (2005)

# “WS-Vシリーズ”の2点切り高限流遮断技術

小倉健太郎\*  
伏見征浩\*\*  
高橋 進\*\*

Current Limiting Technologies Using Double-break Systems for "WS-V Series"

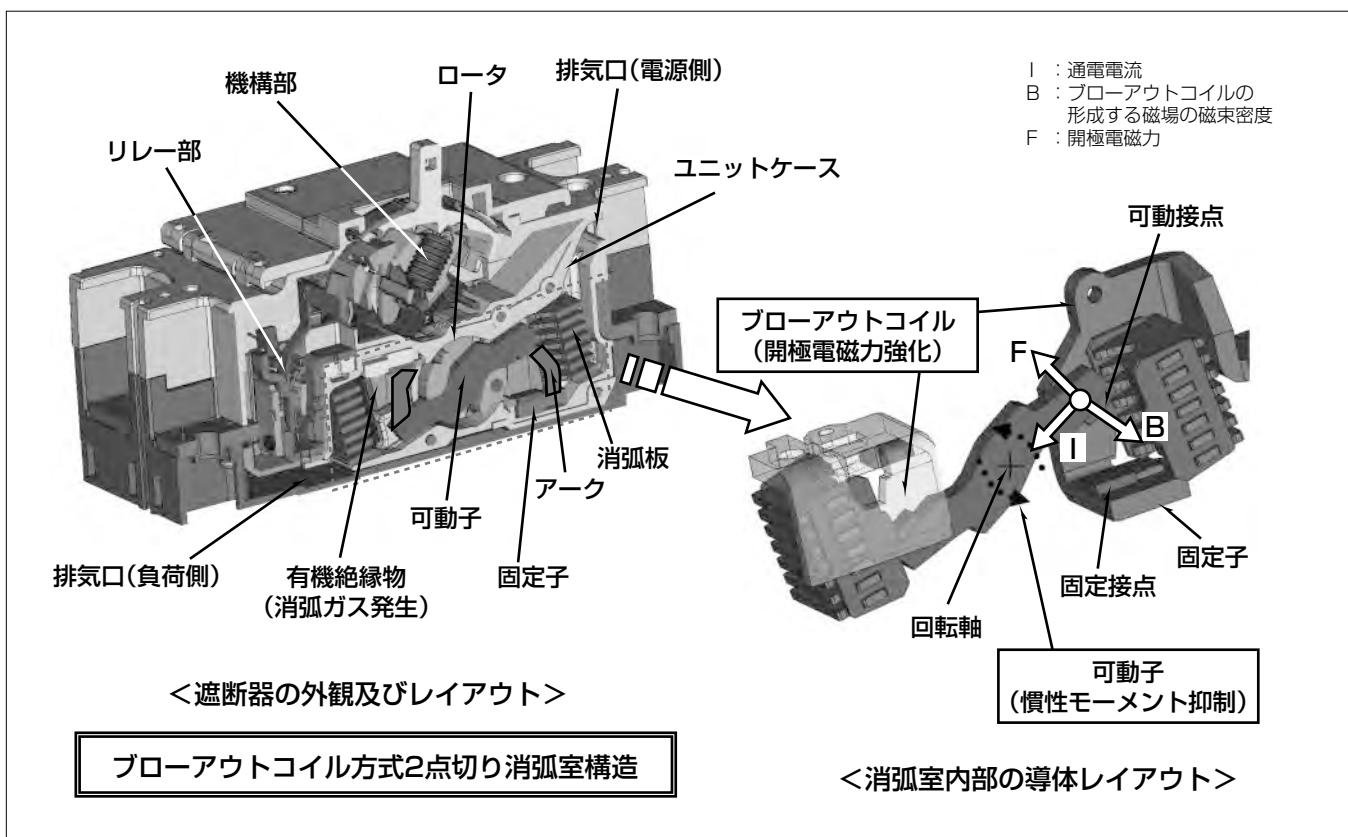
Kentaro Kokura, Masahiro Fushimi, Susumu Takahashi

## 要 旨

近年、受配電システムの高度化に伴う保護性能向上のニーズにこたえるため、高限流性能を備えた回路遮断器の要求が強くなっています。三菱電機では、VJC(Vapor Jet Control), ISTAC(Impulsive Slot Type Accelerator)などの、独自の1点切り遮断技術を開発し製品のラインアップ充実を図ってきた。今回、大容量品の更なるラインアップ充実化に当たり、構造的に可動子の慣性モーメントの低減が図りやすく、かつ開極直後の電極降下電圧が高い、限流性能向上が容易な2点切り方式を従来の技術に加えて採用し、遮断性能(遮断容量/外形寸法)の向上を指向した。本稿で述べる新型“WS-Vシリーズ”的“NF125-RV”, “NF250-RV”では、当社初となるブローアウトコイル方式の2点切り消弧室構造を採用し、世界トップクラスの遮

断性能を実現した。

高限流性能の確立に当たっては、ブローアウトコイル構造の固定導体適用によって可動子へ開極電磁力を付与し、可動子を高速開極させることで実現した。さらに、ブローアウトコイル構造は可動子側面に導体を配置するため、一般的なUターン構造の固定導体方式に対して、消弧室高さ方向への空間拡大を抑制できる。その結果、同一遮断容量の回路遮断器の外形寸法を、WS-Vシリーズでは従来の $105 \times 240 \times 68$ (mm)から $105 \times 165 \times 68$ (mm)に小型化することに成功した。これらの遮断技術は、導体構造をモデル化した電磁場解析などの基礎検討で得た知見に基づいており、より高限流性能が求められる遮断責務の厳しい上位機種への展開が可能である。



## “WS-Vシリーズ”の2点切り高限流遮断技術

新型WS-VシリーズのNF125-RV, NF250-RVでは、高限流性能の確立による高遮断性能化と外形寸法の小型化を実現するため、当社初となる新型2点切り消弧室構造を採用した。さらに固定子導体を可動子側面に配置するブローアウトコイル構造とすることで、高さ方向への筐体(きょうたい)寸法を拡大することなく、可動子に発生する開極磁気駆動力を強化して高速開極動作を可能にして、高遮断性能を実現した。

## 1. まえがき

近年の受配電システム高度化に伴う保護性能向上のニーズにこたえるため、低圧遮断器に対しては事故電流を抑制する限流性能の向上が求められている。この要求に対して、当社では1点切り遮断技術として、消弧室内部に発生する圧力上昇を利用したVJC<sup>(1)</sup>、ISTAC<sup>(2)</sup>などの独自の1点切り遮断技術を開発し、製品のラインアップ充実を図ってきた。今回、大容量品の更なるラインアップ充実化に当たり、構造的に可動子の慣性モーメントの低減が図りやすく、かつ開極直後の電極降下電圧が高い、限流性能向上が容易な2点切り方式を従来の技術に加えて採用し、遮断性能(遮断容量/外形寸法)の向上を指向した。

当社WS-VシリーズにおけるNF125-RV、NF250-RVでは、世界トップクラスの遮断性能(遮断容量/外形寸法)の実現に向けて、ブローアウトコイル方式を適用した2点切り遮断技術を開発した。本稿では、これらの機種に適用した高限流遮断技術、及び開発過程における基礎検討の結果について述べる。

## 2. 多接点方式での高限流遮断技術

### 2.1 ブローアウトコイル方式 2点切り消弧室構造

図1にブローアウトコイル方式の2点切り消弧室を搭載した新型回路遮断器の内部構造、図2に消弧室内部の導体引き回し構造を示す。図2から、導体中央部に回転軸、両端に可動接点を持つ可動子は、機構部とリンクピンによって連結されたロータによって保持されている。操作機構を動作させることでリンクピンを介してロータが回転動作し、同図中で可動子が反時計回りに開極動作するが、瞬時遮断などの大電流遮断時には可動子のみが電磁駆動力によって先行して開極動作する。この可動子の構造によって、慣性モーメントの抑制が可能となり、開極動作の高速化に有利に作用する。可動子の両端にはそれぞれ固定子が配置されており、固定導体は可動子の側面に配置されてブローアウトコイルを形成している。このため、電流通電時には上記コイルから発生する磁束が可動子の導体アーム部分に鎖交し、可動子に対して開極方向の電磁駆動力を付与する。可動子の慣性モーメント抑制に加え磁気駆動力を強化することで、開極速度の更なる向上が可能となる。また、ブローアウトコイルから発生する磁束は、遮断時、接点間に発生するアーカーに対しても鎖交する。この結果、アーカーには消弧板方向の駆動力が発生し、開極初期からアーカーが消弧板に到達して分断アーカーが形成され、限流性能の向上が可能となる。ここで、ブローアウトコイルは可動子の片側側面に、電源側と負荷側で互い違いに配置されている。片側配置に関しては、消弧板ボリュームの確保が目的である。これによって、I<sub>cs</sub>遮断(3回の動作を保証する短絡電流値に

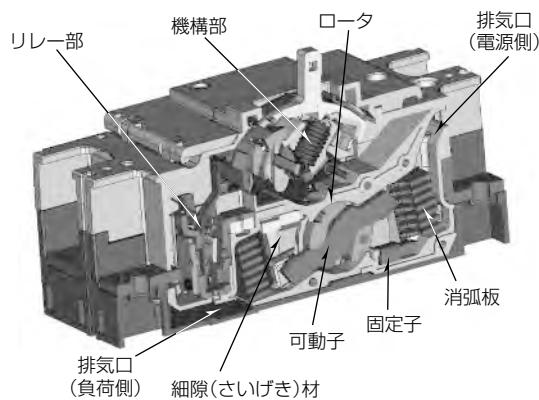


図1. ブローアウトコイル方式2点切り消弧室搭載の新型遮断器

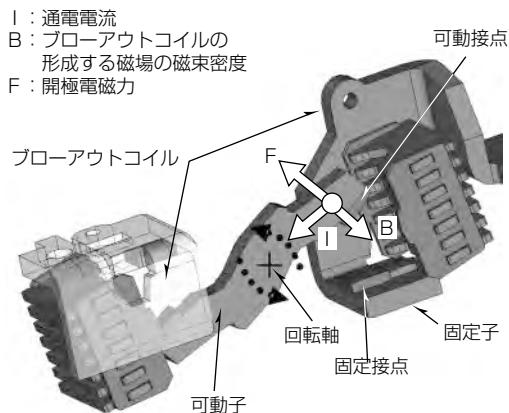


図2. ブローアウトコイル方式の2点切り導体構造

よる遮断)や大電流遮断などでの消弧板の耐消耗性向上を実現した。互い違い配置に関しては、ブローアウトコイルからの磁束は可動子を側面方向に押し付ける力も与えているため、この力を可動子回転軸を中心に打ち消すための構造である。これら可動子、固定子などはユニットケースによって保護され、機構部及びリレー部とは隔離された状態で遮断器筐体内部に配置されている。

ブローアウトコイル構造の採用に当たっては、開発前に複数の固定導体構造案を抽出した。抽出構造に対して、電磁場解析によって、通電時に可動子で発生する開極加速度の算出、及び簡易モデルを用いての実回路での限流性能検証をそれぞれ実施し、これらを比較、検討した。2. 2節での検討内容について述べる。

### 2.2 高速開極を実現する固定子構造の検討

高速開極の実現には、可動子に発生する開極方向の電磁駆動力を強化することが重要であり、電磁駆動力の強化は主に固定導体の引き回しレイアウトに依存する。そこで、電磁駆動力の強化が見込める固定子構造を複数個抽出し、静電磁界解析ソフトウェアTOSCAによる磁場計算を行い、可動子の開極加速度を算出した。表1に、モデル作成した代表的な消弧室内部構造を示す。それぞれ固定導体の構造が異なっており、①固定導体を折り返し可動子に反発電路を対向させるUターン構造(従来構造)、②可動子側面にコ

イルを配置し可動子に発生磁束を鎖交させるプローアウトコイル構造、及び他案として検討していた③固定子をロータ中心周辺まで差し込み、折り返し反発電路を可動子に近接させた切り起こし構造の3タイプを示す。3タイプの導体レイアウトを比較した場合、Uターン、及び切り起こしはいずれも消弧室の高さ方向への固定導体引き回しが必要であるが、プローアウトコイル構造は可動子の側面方向への展開であるという点が異なっている。これらのモデル作成では、内部の磁場分布に影響する消弧板及び、接点近傍のコアを適宜配置した。これらを基に解析を実施した結果、可動子の開極加速度はプローアウトコイル構造、切り起こし構造がUターン構造に対して約10%の向上効果があり、いずれも高速開極に優れているという見込みを得た。

### 2.3 遮断試験による各固定子構造の限流性能検証

図3は2.2節で述べた消弧室の簡易評価モデルを製作し、遮断試験評価した際のアーク電圧、電流、消弧室内部発生圧力の波形である。図4は限流性能についての比較結果でUターン構造を100%として示した(遮断試験の回路条件は1φ265V50kA、投入位相60°)。ここで、簡易評価モデル

に機構部はなく、可動子を機械的に保持する機能はないので、ここでは可動子の開極電磁力、つまり高速開極による電流ピークの抑制効果を検証することを目的とし、機構部の挙動や消弧板配置などの影響が大きい電流ピーク以降の現象に関しては言及しない。このような点を踏まえ、遮断試験の結果から次のことが判明した。限流性能に関しては、プローアウトコイル構造がUターン構造に比べ5.5%優れていることが分かる。これは図3の時間約2ms以降でアーク電圧のdV/dtが大きくなっていることから、開極動作が高速化されアークが伸張したものと考えられる。発生圧力に関しては、Uターン構造と比較しプローアウトコイル構造、切り起こし構造の2タイプが共に低い。原因として考えられるのは高分子材料から成る細隙(さいげき)材の位置である。細隙材はアーク自体の熱によって溶融、蒸発し、アークの温度を低下させるとともに消弧室内部の圧力を高めてアークを圧縮し、限流性能を向上させる効果を持つ。プローアウトコイル構造、切り起こし構造の2タイプは、Uターン構造に比べ細隙材が接点接触位置よりロータ側(消弧板の反対側)に配置されていたため、消弧板方向に移

表1. プローアウトコイル形2点切り導体構造の解析モデル(静電磁界解析ソフトウェア TOSCA)

名称	① Uターン(従来構造)	② プローアウトコイル	③ 切り起こし
消弧室 レイアウト			
開極加速度	1.0	1.16	1.12

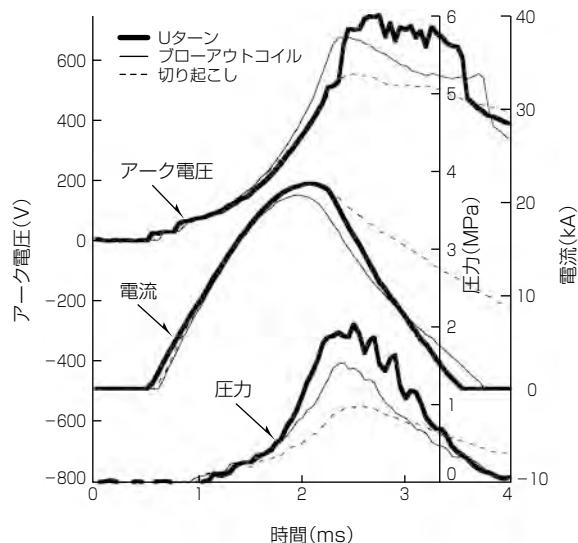


図3. 固定導体構造ごとの遮断波形  
(回路条件: 1φ 265V50kA, 投入位相60°)

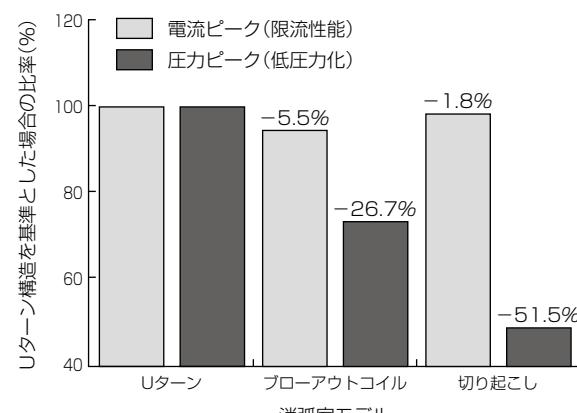


図4. 固定導体構造ごとの遮断試験結果  
(1φ 265V50kA, 投入位相60°)

動するアーカと細隙材の距離が遠く、発生圧力が低下したものと考えられる。この結果から、ブローアウトコイル構造、切り起こし構造の2タイプは、圧力依存ではなく高速開極に依存した限流性能向上技術であることが確認できた。

2.2節で述べた結果と合わせて、ブローアウトコイル構造、又は切り起こし構造を採用することで、低圧力での限流性能の向上が可能である見込みを得た。新型WS-Vシリーズでは、高限流性能と筐体の小型化を両立させた製品スペックが求められており、切り起こしは反発電路をロータ上下方向に配置する必要がある。このため小型化は消弧室高さ方向に空間を確保する必要がないブローアウトコイル構造の方が有利である。これらの理由から、この開発ではブローアウトコイル構造を採用した。

### 3. 3極品による遮断性能検証

図5に図1で示した製品形態での遮断試験結果(回路条件:  $3\phi 415V \times 1.1\ 150kA$ )の一例を示す。この図は3相遮断した中の電流最大相のアーカ電圧、電流のみを表示しており、通電後約4.2msで遮断に成功していることが分かる。この結果から、小型化した筐体で世界トップクラスの遮断性能を達成した。

### 4. むすび

新型WS-VシリーズのNF125-RV、NF250-RVに搭載する当社初のブローアウトコイル方式を適用した2点切り遮断器構造、及び要素技術開発として高限流技術について述べた。この高限流技術の実用化によって $3\phi 415V 150kA$ の遮断性能を実現することが可能となった。これらの技術

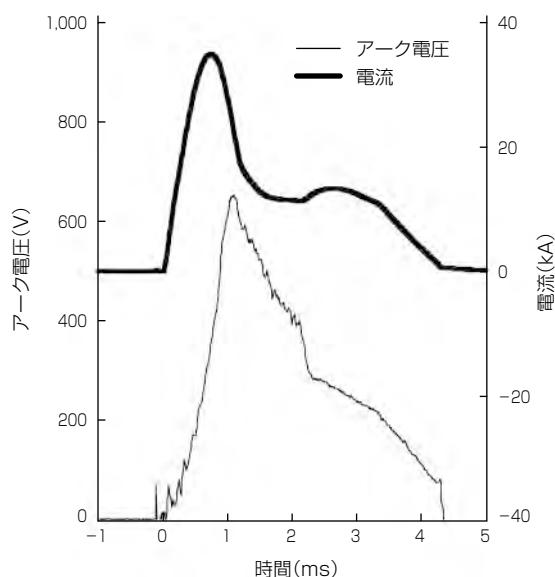


図5. 三相遮断試験における電流最大相の遮断波形  
(回路条件:  $3\phi 415V \times 1.1\ 150kA$ )

は、より高限流性能が求められる遮断責務の厳しい上位機種への展開が可能であり、今後も適用機種拡大に向けて検討を続ける予定である。

### 参考文献

- (1) 吉安 一, ほか: 新限流技術“VJC”, 三菱電機技報, **60**, No.4, 230~232 (1986)
- (2) 高橋 貢, ほか: 新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器の新遮断技術“ISTAC”, 三菱電機技報, **69**, No.4, 353~357 (1995)

# “WS-Vシリーズ”の電子式・漏電遮断器用 釈放リレーのタグチメソッドを用いた電磁力設計

牧田 陽\* 杉本康浩\*\*  
中川隆文\*  
春名一志\*

Design Technologies of Electromagnetic Relay Using Taguchi Method for MCCB and ELCB of "WS-V Series"  
Yo Makita, Takafumi Nakagawa, Kazushi Haruna, Yasuhiro Sugimoto

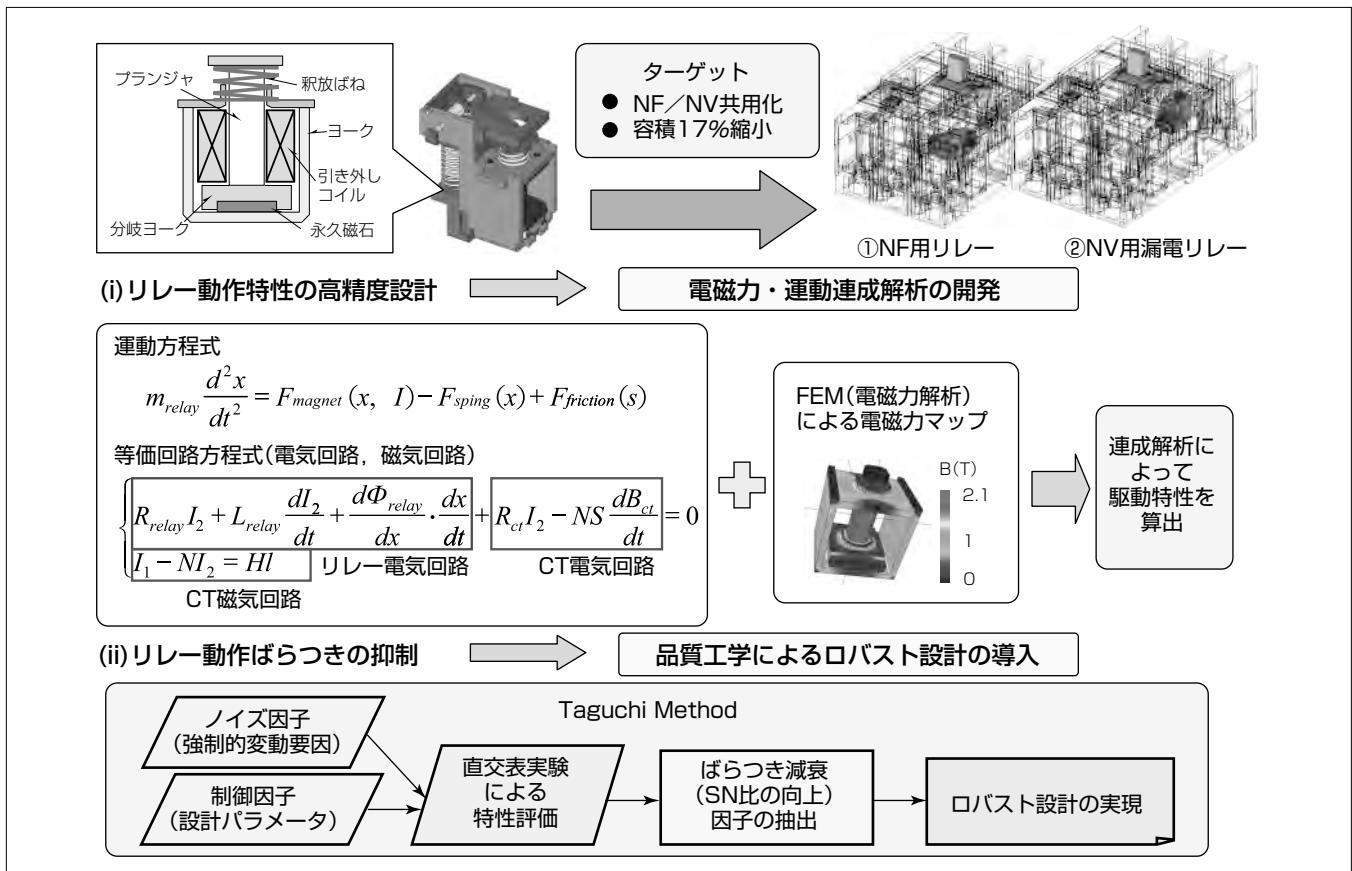
## 要 旨

電子式遮断器や漏電遮断器の引き外し機構のキーパーツの一つとして、釈放リレーが使われている。このリレーは外部信号によりリレーを動作させ、これをトリガーとして、短絡事故や漏電事故時のトリップ(引き外し操作)を行うもので、永久磁石により無電力で吸着保持し、引き外しコイルを励磁して吸着力を相殺する電磁力を加えると、ばね力により釈放動作する。

遮断器の小型化と動作信頼性を補償した設計を行うためには、釈放リレーの高効率化と過渡的な釈放動作を精度良く再現できる解析技術が重要となる。そこで、釈放リレーの動作特性を解析するために、電磁界運動連成解析による

電磁駆動設計技術を構築した。また、リレーの動作ばらつきを低減するために、タグチメソッド(品質工学)を用いて部品の公差と組立てばらつきや使用条件を考慮したロバスト設計を実施した。

その結果、開発初期品と比較してリレー容積を17%縮小し、動作電流ばらつきを5 mA以内(3σ値)に低減した。また、動作特性解析技術により動作時間の安定性を検証した。今回開発した設計技術を用いることにより、開発工程においても試作コスト低減や開発期間の短縮化を達成した。本稿では、構築した釈放リレーの駆動設計技術とタグチメソッドによる電磁力最適設計技術について述べる。



## 新型ノーヒューズ遮断器WS-Vシリーズの電子式・漏電遮断器用釈放リレーのタグチメソッドによるロバスト設計

動作特性の高精度解析手法として、電磁力と力学運動を連成解析した電磁駆動設計技術を構築し、タグチメソッド(品質工学)を適用した釈放リレーのロバスト電磁力設計を実施した。その結果、本体容積を17%縮小化し、電子式遮断器と漏電遮断器にも共用可能な動作電流ばらつきの小さいリレーを開発することができた。

## 1. まえがき

電子式遮断器や漏電遮断器の引き外し機構のキーパーツの一つとして、釀放リレーが使われている。釀放リレーは永久磁石と電磁石で構成されており、永久磁石を設けることで無電力で吸着状態を維持し、コイルを励磁して永久磁石による吸着保持力を相殺する電磁力を加えることで、短絡事故や漏電事故時のトリップ(引き外し操作)を行う。

遮断器の更なる小型化と動作信頼性向上を補償するためには、釀放リレーの高効率化と過渡的な動作解析が重要となる。そこで、リレーの動作特性を解析するために、電磁界運動連成解析による電磁駆動設計技術<sup>(1)</sup>を開発した。さらに、リレーの動作ばらつきを低減するために、タグチメソッド(品質工学)<sup>(2)</sup>を用いて部品の公差と組み立てばらつきや使用条件を考慮したロバスト設計を実施した。

これらの結果を“WS-Vシリーズ”電子式・漏電遮断器の釀放リレーの小型・高効率化設計に反映した。本稿では構築した釀放リレーの駆動設計技術とタグチメソッドによる電磁力最適設計技術について述べる。

## 2. 釀放リレー電磁駆動設計

### 2.1 釀放リレーの構造と動作原理

釀放リレーの断面図を図1に示す。釀放リレーは、プランジャ、ヨーク、分岐ヨーク、引き外しコイル及び永久磁石で構成される磁気回路部と、引き外し動作時の駆動力になる釀放ばねで構成される。

釀放リレーの動作原理について述べる。釀放動作時以外は永久磁石によってプランジャは吸着保持されている。釀放動作時は、プランジャに吸着保持時に通過する磁束と反対方向の磁束を発生させるよう引き外しコイルに通電し、プランジャの吸着力を減少させ、釀放ばね力が吸着保持力より大きくなると引き外される。

釀放リレーの小型化や動作の高効率化(動作ばらつき低減)を確立するためには、この動作原理を精度良く再現できる解析技術を構築する必要がある。また、ばね荷重や磁性材料の磁気特性のばらつき因子、さらに寸法公差等の製造上のばらつき要因を十分考慮した上で、最適設計値を抽出

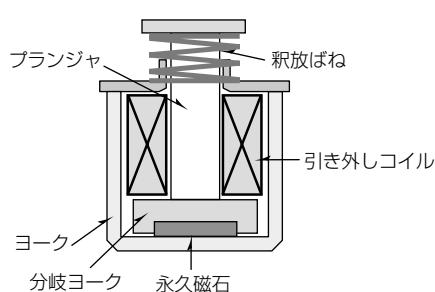


図1. 釀放リレー断面図(吸着状態)

することが重要となる。そこで解析技術の高度化として、2.2節で述べる電磁界運動連成解析を適用した。また、各種ばらつきの動作特性への影響を考慮した設計を実現するため、3章で述べるタグチメソッドによるロバスト設計を適用した。

### 2.2 電磁界運動連成解析技術の適用

有限要素法電磁界解析と運動を連成した釀放リレー電磁駆動解析技術について述べる。この手法は、まず釀放リレー磁気回路内のプランジャに発生する磁束 $\phi_{mrd}$ と電磁力 $F_{mrd}$ のコイル電流 $I_2$ 及びプランジャ位置 $x$ に対する依存性を、有限要素法三次元電磁界解析によって算出する。さらに、次に説明する式(1)～式(4)を連成解析することで、従来の有限要素法を用いた電磁界運動連成解析に比べ、計算時間の高速化を図る<sup>(3)</sup>。

式(1)は電気回路方程式であり、左辺2項目は釀放リレー駆動時の磁気特性の変化に伴うインピーダンス変化を示す。また、右辺は釀放リレー駆動電源であるブレーカ本体搭載の電流センサ(CT)の二次出力成分である。式(2)、式(3)はCTの磁気飽和による影響を考慮するための式である。

$$(R_{mrd} + R_{ct}) \cdot I_2 + \frac{d\phi_{mrd}(x(t), I_2(t))}{dt} = NS \frac{dB_{ct}}{dt} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$I_1 - NI_2 = HI \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$B_{ct} = \mu H \quad \dots \dots \dots (3)$$

$x$  : 釀放リレーストローク

$R_{mrd}$  : 釀放リレーコイル抵抗

$R_{ct}$  : CT抵抗

$\Phi_{mrd}$  : 釀放リレー鎖交磁束

$N$  : CT巻線ターン数

$S$  : CT鉄心断面積

$l$  : CT磁路長

$I_1$  : 1次電流(導体通電電流)

$I_2$  : 2次電流(CT出力)

$B_{ct}$  : CT内部磁束密度

$\mu$  : CT内部透磁率

$H$  : CT内部磁界

式(4)は運動方程式であり、駆動部質量 $m_{mrd}$ 、電磁力 $F_{mrd}$ 、ばね力 $F_{sp}$ 、及び摩擦力を $F_{fric}$ として、次のように表現できる。

$$m_{mrd} \frac{d^2x}{dt^2} = F_{mrd}(x, I_2) - F_{sp}(x) + F_{fric}(x) \quad \dots \dots \dots (4)$$

この駆動解析手法を用いた釀放リレー動作時のコイル電流と動作ストロークの解析結果と実測値の一例を図2に示す。コイル電流値並びに動作ストロークとも解析結果は実測値を精度良く再現しており、動作時間を考慮した釀放リレー駆動設計技術として、この解析技術が有効であることが確認できた。

### 3. タグチメソッドの適用

#### 3.1 評価特性の選定

今回の開発でタグチメソッドを適用したシステムは、釣放リレーの磁気回路構成である。動作電流と動作電流ばらつきがともに小さい(望目特性)ほど、理想的な磁気回路構成であるとした。

#### 3.2 制御因子とノイズ因子の抽出

制御因子は設計寸法等、対象とするシステムの中で設計者が自由に設定できるパラメータであり、最適水準が分かればそれを設計値に採用できる。一方、ノイズ因子は、環境変化や個体差等のシステムの中で設計者が制御できない因子として定義され、性能ばらつきの原因となる。図3は特性要因図と呼ばれるもので、両因子を構成する代表的な要因をそれぞれ表記した。

今回の設計では、制御因子として図3中の要因の中から電磁力特性に有効な設計寸法として表1中のA～Hの8因子を抽出した。ノイズ因子についてはばね荷重、永久磁石の着磁量(Br)等、表2中の4因子を抽出した。表1、表2には抽出した項目のほか、各項目における水準も示した。また表3にL18直交表における水準割り付けを示す。

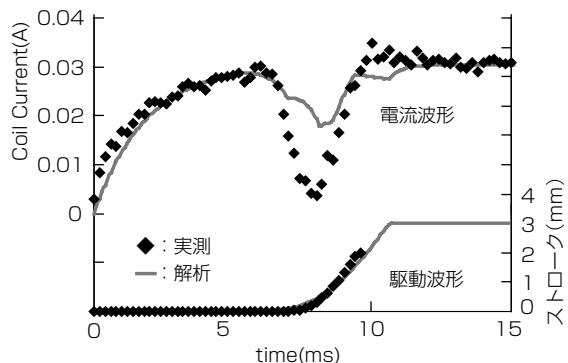


図2. 釣放リレー動作時の解析と実測の波形比較

表1. 制御因子

制御因子	水準1	水準2	水準3
A 可動子長	短	長	
B 永久磁石Br	減	標準	増
C 分岐ヨークgap	小	中	大
D 分岐ヨーク幅	小	中	大
E ヨーク厚	小	中	大
F 軸受け長	小	中	大
G 軸受けgap	小	中	大
H 可動子径	小	中	大

表2. ノイズ因子

ノイズ因子	水準1	水準2
寸法公差	+側	-側
摩擦力	小	大
ばね力	大	小
永久磁石Br	大	小

表3. L18直交表

実験	制御因子							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

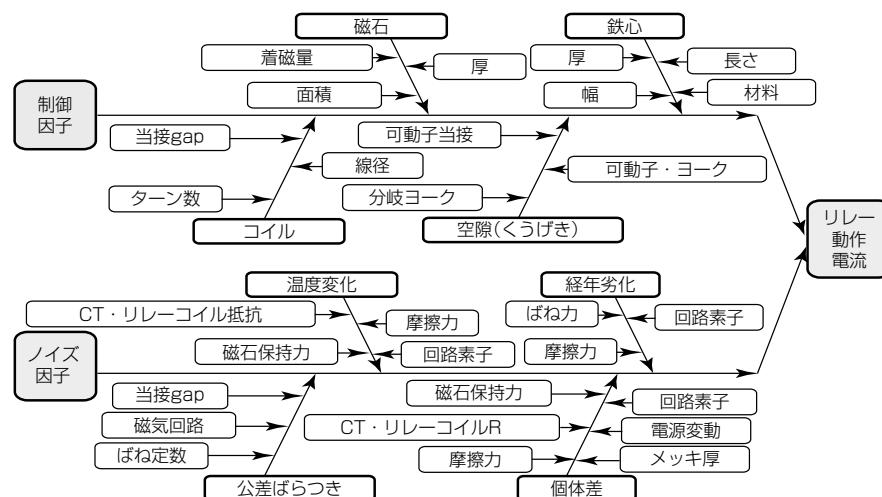


図3. 釣放リレーの特性要因図

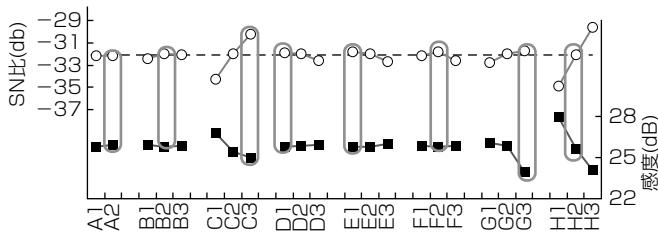


図4. 釈放リレーの要因効果図

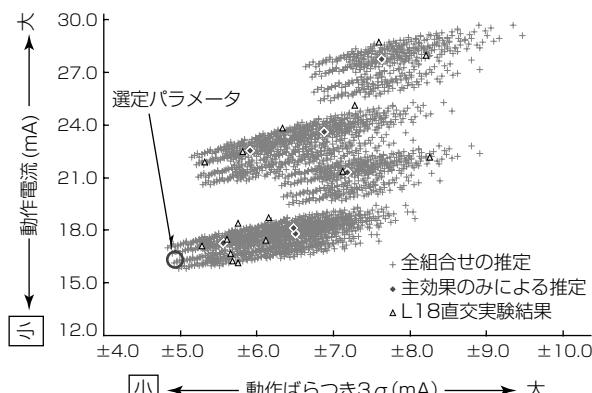


図5. 釈放リレーの特性分布図

### 3.3 L18直交表による設計パラメータの最適値抽出

図4はL18直交表に基づいて実施した解析結果から得られた要因効果図と呼ばれるもので、表1中の制御因子A～Hによる感度及びS/N比(Signal to Noise ratio)の変化を示している。図5は制御因子A～Hの全組合せの感度及びS/N比を、動作電流及び動作電流ばらつきに換算した特性分布図(Performance Robustness Map)である。図4の縦長の円で囲んだ水準が動作電流と動作ばらつきを最も小さくすることができる最適水準である。最適水準を選出することで動作電流が $16 \pm 5$  mA(図5中の丸の位置)まで低減可能であることを確認した。図4の最適水準を設計パラメータとした試作器を製作し、実測による性能評価を実施した。

### 3.4 確認実験

性能評価は4台の試作器を用いて試料ごとに各100回の釈放動作電流を実測し、動作電流の平均値とばらつき( $3\sigma$ 値)を計算した。実測とタグチメソッドによる推定値の比

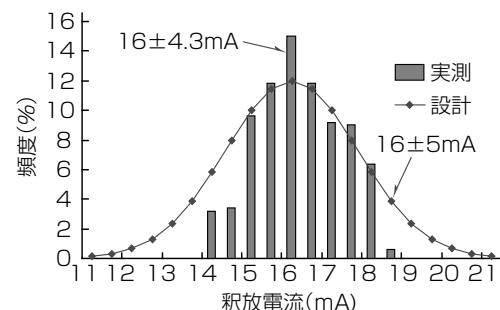


図6. 釈放リレーの動作電流ばらつき

較を図6に示す。推定値 $16 \pm 5$  mA(ばらつき $3\sigma$ 値)に対し、 $16 \pm 4.3$  mA(同)の実測結果が得られた。これらのことからタグチメソッドによるパラメータ設計によって、動作電流と動作電流ばらつきがともに低減できており、この設計手法による有効性を確認できた。

これらの結果をWS-Vシリーズ電子式・漏電遮断器に搭載する釈放リレー設計に反映し、小型・高効率化を図ることができた。

## 4. むすび

本稿では、WS-Vシリーズ電子式・漏電遮断器における釈放リレーの小型・高効率化(動作ばらつき低減)を目的として、タグチメソッド(品質工学)による電磁力設計を行った。その結果、開発初期品に対し、容積を17%縮小し、動作電流ばらつきを5 mA以内( $3\sigma$ 値)に低減できた。さらに、タグチメソッドの適用によって試作回数が減り、開発期間を縮小することができた。今後、この手法の適用拡大を進めていく。

## 参考文献

- (1) Takeuchi, T., et al.: An Electromagnetically actuated vacuum circuit breaker developed by electromagnetic analysis coupled with motion, IEEJ Trans. PE, **124**, No.2, 321～326 (2004)
- (2) 田口玄一：技術開発のための品質工学(品質工学応用講座), 日本規格協会 (1994)
- (3) 竹内敏恵：電磁界運動連成解析による電磁駆動設計技術, 三菱電機技報, **79**, No.11, 699～702 (2005)

## エネルギー計測ユニット“EMU3シリーズ”

大橋博章\*

## *Energy Measuring Unit "EMU3 Series"*

Hiroaki Ohashi

## 要旨

改正省エネ法の施行による省庁の指導強化や、ISO14001環境マネジメントシステム認証取得の加速化など、各事業所における省エネルギー活動は重要な課題となっている。また、生産設備ごとのエネルギー管理も謳(うた)われており、工場全体だけでなく、生産設備(群)単位での管理が求められている。このような市場のニーズに対応するために、きめ細かなエネルギー計測に加え、漏電計測機能や接点／パルス入出力機能など、より生産設備単位での計測に対応できるエネルギー計測ユニット“EMU3シリーズ”を開発した。主な特長は次のとおりである。

- (1) 本体にCT( Current Transformer)／ZCT(Zero Phase-sequence CT)を内蔵し、省配線・省施工を実現
  - (2) パルスカウント機能／接点入出力機能を搭載し、生産設備の稼働状態・稼働時間監視、及び警報発生時の外部接点出力と積算パルス出力を1台で実現
  - (3) 面実装タイプのLED( Light Emitting Diode)で7セグメント表示(6けた)を構成し、製品の小型化・長寿命化を実現
  - (4) 三菱電機で独自開発した計測ASIC( Application Specific Integrated Circuit)を搭載、電流センサ特性補正機能によって低負荷領域での計測精度を確保



### 通信機能なし



通信機能あり(CC-Link通信品)

## エネルギー計測ユニット“EMU3シリーズ”

従来機種からの計測要素・計測精度を踏襲し、またB/.NET・CC-Linkへのネットワークにも対応し、更に次に示す機能を付加したエネルギー計測ユニットである。①CT/ZCTを内蔵しており電流センサの選定・手配が不要、電源側／負荷側の接続端子に接続するだけで計測が可能、②パルスカウント機能が付いており原単位管理に必要な生産数量パルスを取り込み可能、③接点入出力機能を搭載し、生産設備の稼働状態・稼働時間監視及び警報発生時の外部接点出力と積算パルス出力が1台で可能、④ブレーカへ直接取付け可能とし、分電盤・制御盤の小型化に貢献

## 1. まえがき

省エネ法改正に伴い、熱と電気の一体管理による工場や事業場の省エネルギー対策の強化及びエネルギー使用の合理化の徹底が求められている。これに伴い、更なる省エネルギーのため、受電盤・配電盤から分電盤・生産設備への計測ポイントの拡大が予測される。このような背景から、盤の小型化に対応でき、生産情報・設備情報の一体管理が生産現場で可能な計測機器の開発が必要とされている。

当社ではすでに“EcoMonitorPro”“MDU(Measuring Display Unit)”などに代表される省エネルギー支援機器の計測端末を発売してきた。前者についてはラインアップが豊富で組み合わせに幅がある利点がある反面、オプション部品が細分化されており選定が煩雑、後者は基本的に225AF以上を対象とした製品であり、低定格電流の測定ポイントでは設置スペースが大きくなるという課題があった。

本稿では、今までの製品から得たノウハウと最新技術を基に製品化したエネルギー計測ユニット“EMU3シリーズ”について述べる。

## 2. EMU3シリーズの概要

### 2.1 製品コンセプト

エネルギー計測ユニットEMU3シリーズの製品コンセプトは次のとおりである。

### (1) オールインワン

複数の機能を1製品で実現、CT/ZCTを内蔵させ、電流センサの選定・手配を不要とした。またネットワークに対応し、上位での監視を可能とした。

### (2) 省エネルギー計測+安全監視

パルスカウント機能／接点入出力機能を搭載し、生産設備の稼働状態・稼働時間監視が可能、電力量と合わせて原単位管理まで実現できる。また漏電計測機能が付いており、負荷設備の漏電監視を可能とした。

### (3) 盤内にすっきり収納

CT/ZCTの取付け・配線が不要なので、分電盤／制御盤の計測をコンパクトに実現できる仕様とした。また100AFのブレーカ2次側へ直接取付け可能な構造とした(ただし機種及び使用条件に制約あり、詳細は表3参照)。

### 2.2 製品仕様

表1に、エネルギー計測ユニットEMU3シリーズの仕様を示す。一つの製品で定格電圧110V/220V/440V、定格電流60A/125Aを設定可能な仕様とし、選定の煩わしさを排除した。また接点入出力機能によって、パルスカウント・接点監視・稼働時間監視・上下限警報出力を実現した。上位通信については、従来機種と同様に“B/NET”伝送と“CC-Link”通信に対応しており、省エネルギー支援から生産情報・設備情報の一体管理まで可能な仕様とした。

表1. エネルギー計測ユニットEMU3シリーズの仕様

項目		仕様		
形名		EMU3-DP1-P	EMU3-DP1-B	EMU3-DP1-C
上位通信仕様		伝送なし	B/NET伝送	CC-Link通信
相線式		単相2線式、単相3線式、三相3線式(設定切換)		
定格	電圧	单相2線式、三相3線式	110V, 220V, 440V(設定切換)	
定格	回路	单相3線式	110V(1側-2側間, 2側-3側間), 220V(1側-3側間)	
入力	電流回路		60A, 125A(設定切換)	
入力	周波数		50/60Hz(周波数自動判別)	
本体許容差		電流、電圧、電力、無効電力、周波数	: ±1.0%(定格入力に対して)	
		力率	: ±3.0%	
		電力量、無効電力量	: ±2.0%(定格の5~100%範囲、力率=1)	
		高調波電流、漏洩電流	: ±2.5%	
		過電流	: ±15%	
外部 入力 仕様 (2入力それぞれ個別に設定可能)	外部 入力 仕様 機能 (2入力それぞれ個別に設定可能)	外部 入力 仕様 機能 (2入力それぞれ個別に設定可能)	無電圧 a接点 2入力(機能は次から選択) ・パルスカウント(0~999,999カウント) ・接点監視のみ ・接点監視+稼働時(接点ON時)の電力量計測 ・接点監視+稼働時(接点ON時)の時間計測(0~999,999分) ・接点監視+稼働時(接点ON時)の電力量計測+稼働時(接点ON時)の時間計測(0~999,999分)	
外部 出力 仕様 (3出力それぞれ個別に設定可能)	外部 出力 仕様 機能 (3出力それぞれ個別に設定可能)	無電圧 a接点 3出力(機能は次から設定) ・電流デマンド上下限監視 ・電圧上下限監視 ・電力デマンド上下限監視	・力率上下限監視 ・漏洩電流デマンド上限監視 ・パルスカウント上限監視 ・稼働時間上限監視	自動リセット／ 自己保持選択可能
パルス 出力 仕様	出力要素	電力量		
パルス 出力 仕様	出力信号形式	無電圧 a接点 1出力 ・パルス単位(kWh/pulse): 0.001, 0.01, 0.1, 1又は0.01, 0.1, 1, 10(設定切換)		

### 3. 特長及び製品化のための技術

#### 3.1 機能をオールインワン

##### 3.1.1 CT/ZCT内蔵

開発機種では、電流・漏洩(ろうえい)電流計測用のCT/ZCTを製品に内蔵することで、電流センサを選定する煩雑さを解消した。電流定格は125A/60Aをサポートし、ユーザー設定によって定格電流を変更可能な仕様とした。ここでCT/ZCTを内蔵することで製品内部が高密度化し、低寿命部品(特に電解コンデンサ)の温度上昇による寿命低下が懸念される。開発機種の構造・基板設計を実施するに当たっては、温度シミュレーションによる構造(通気孔の要否等)の事前検討を実施し、低寿命部品の配置位置に制約を設けた上で設計を行うことで、CT/ZCT内蔵と製品寿命確保の両方を実現した。図1に温度シミュレーションによる解析結果を示す。

開発当初の設計では、製品内部導体をすべてシャントワイヤで構成していたが、電源側-負荷側間の導体抵抗が高いため( $5.85 \times 10^{-4}\Omega$ )に負荷電流印加時(定格電流125A)の発熱が高く、低寿命部品の温度上昇に対し裕度のない設計となっていた。図2に示すように、開発過程で可能な部位(センター部及び負荷端子からCT貫通部まで)を銅バーへ変更することで導体抵抗を下げて( $4.30 \times 10^{-4}\Omega$ )発熱を抑え、低寿命部品の温度上昇判定基準に対する裕度を確保した。この対応によって作業性の向上にも貢献している。

低寿命品の配置可能エリアを確保、部品配置に制約を設けて基板設計を実施した。

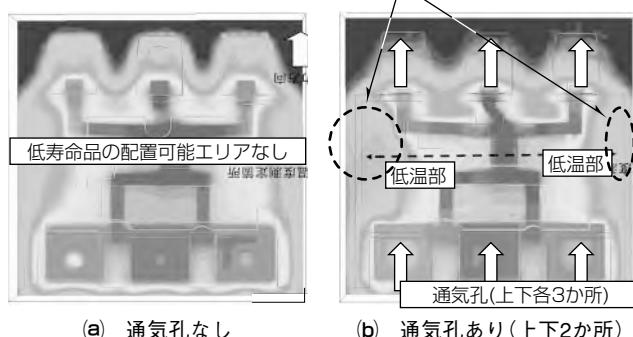


図1. 温度シミュレーションによる配置検討

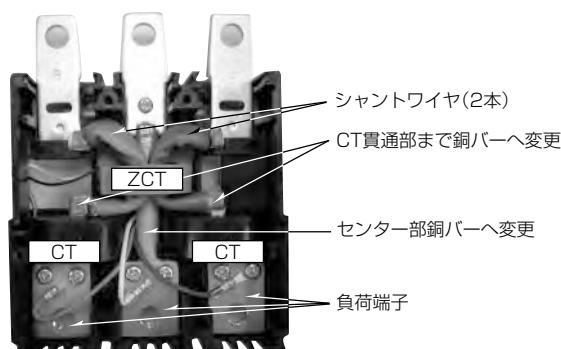


図2. 製品内部構成の外観

#### 3.1.2 接点入出力機能を搭載

開発機種では、従来機種と同様各種電気量の計測機能に加え、外部入力端子と外部出力端子を設けた。外部入力端子でパルスカウント機能、接点入力機能及び稼働時間監視機能を実現、また外部出力端子によって警報アラーム出力機能と積算電力量のパルス出力機能を実現した。この機能によって、設備の原単位管理から状態監視/設備保全まで開発機種1台で把握することができる仕様とした。開発機種を用いた場合の設置シーンを図3に示す。

#### 3.2 信頼性・視認性の高い表示部

製品の小型化、信頼性向上及び表示文字の視認性向上のため、面実装タイプLEDによる7セグメント表示を実施した。面実装タイプLEDによる表示を行うに当たり、採用した構成を図4に示す。導光用モールドからの光漏れによって文字がにじむ問題があったが、板ばねを付加することによって、導光用モールドを基板に押さえつける構成としたことで光漏れをなくし、十分な視認性を確保した。

#### 3.3 電流センサ特性補正機能による計測精度確保

開発機種では、電流定格125A/60Aをサポートし、ユーザー設定によってこの定格電流を変更可能な仕様とした。

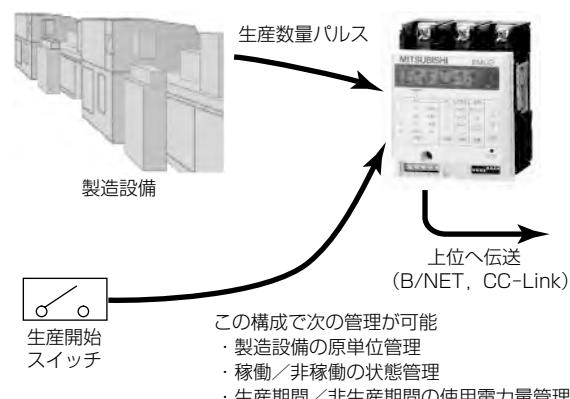


図3. 開発機種を用いた場合の設置シーン例

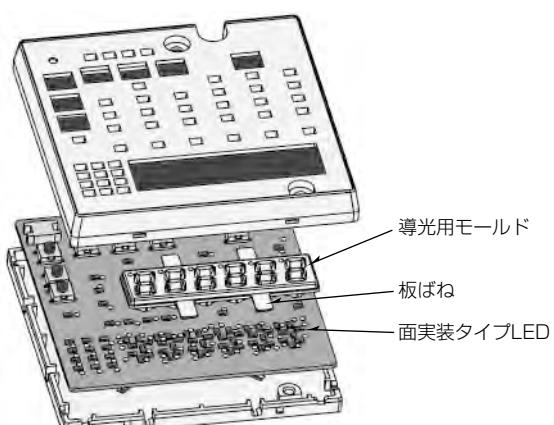


図4. 表示部の構成

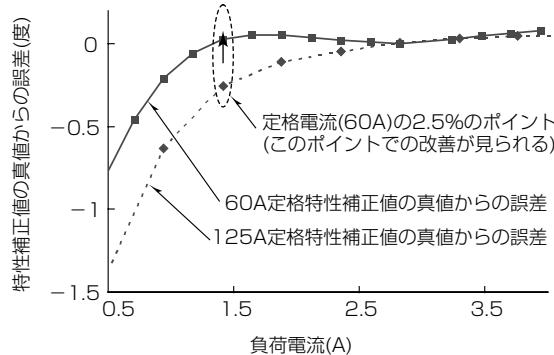


図5. 低負荷領域での特性補正誤差

表2. 誤差試験結果(定格電圧は220Vで比較)

計測要素	60A定格	125A定格
電力量(5~100%)	-1.07~0.81%	-1.10~0.45%
無効電力量(5~100%)	-0.79~0.74%	-0.85~0.89%
電流(0~100%)	0.00~0.20%	-0.08~0.32%

開発機種に内蔵した一つのCTで2種類の定格電流分の計測精度を確保するため、当社で独自開発した計測ASICの電流センサ特性補正機能を活用した。採用した計測ASICは、表面形電子式電力量計“M8UMシリーズ”等に搭載したものであり、次のような特長を持つ。

①A/D(Analogue/Digital)変換器ゲイン設定機能を搭載し、異なる定格電流・定格電圧を同一回路で取り込みを実現

②電流センサのゲイン特性・位相特性をリアルタイム補正する電流センサ特性補正機能を搭載し、補正值によって安価な電流センサでも安定した計量精度を実現

次に、どのようにして2定格分の計測精度を確保したかについて述べる。計測精度は定格の数%以下という定義であり、60A設定時の計測分解能は、125A設定より約2倍の精度を必要とする。まず、計測値を飽和させないために、電流センサは125A定格品を選定した。ここで電流センサには比誤差・位相誤差があり、それらを補正するための特性補正值(2次関数の近似式)が必要となる。このとき近似範囲が適切でないと誤差が大きくなるため、適正な範囲を設定する必要がある。今回は一つの電流センサで二つの定格電流をサポートする必要があり、特性補正值を0~125Aの領域で合わせ込んだが、計測精度評価を行った結果、60A定格設定のときの計測精度を確保できなかった(特に2.5%付近の低負荷領域)。原因として、低負荷領域における特性補正值の真値からの誤差が考えられる。この対策として、定格別に特性補正值を持たせることで、60A定格設定時の低負荷領域での計測精度を確保した。それぞれの定格別に近似した特性補正值の、真値からの誤差を図5に示す。この図から、定格別に特性補正值を持たせることで、低負荷領域での真値からの誤差が改善されていることが分かる。

また表2で、各定格電流に設定したときの誤差試験結果

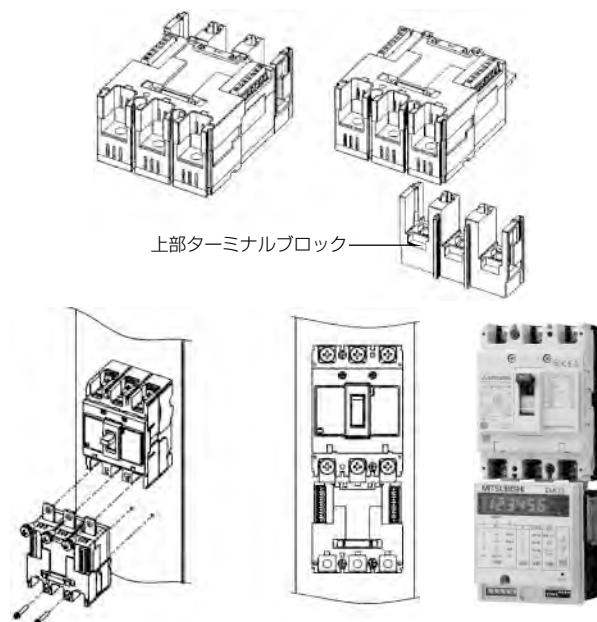


図6. ブレーカへの直接取付け

表3. 直接取付け可能なブレーカの一覧

形名	定格電流	備考
NF125-CW/SW	100A以下	ノーヒューズ遮断器 経済品/汎用品
NV125-CW/SW	(ブレーカ定格電流の80%以下で使用する制約あり)	漏電遮断器 経済品/汎用品
NF125-ZCW/ZSW		漏電アラーム遮断器 経済品/汎用品
NF125-NCW		単3中性線欠相保護付き
NV125-NCW		単3中性線欠相保護付き
DSN125-CW/SW		ノーヒューズスイッチ

を示す。電流センサ特性補正機能を用いて、それぞれの定格別に特性補正值を設定することによって、各定格を比較し同等の計測精度を確保できたことが確認できる。

### 3.4 ブレーカへの直接取付け可能

分電盤・制御盤の小型化を考慮し、開発機種では単独設置のほかに、当社製ブレーカ(製品内部部品の温度上昇、遮断器の遮断特性等への影響によって制約があるため機種を限定)に直接取付け可能な構造とした。ブレーカに直接取付けしたときの外観を図6に示す。また、直接接続可能なブレーカの一覧を表3に示す。

図6に示すとおり、上部ターミナルのモールドを取り外し可能な構造とし、ユーザー側で簡易にブレーカに直接取付けできる仕様とした。この構造によって、上位ブレーカと開発機種間の接続導体をなくすことができるため、作業性の向上のみならず盤内の省スペース化を図ることができ、分電盤・制御盤の小型化が期待できる。

## 4. む す び

盤の小型化や生産情報・設備情報の一元管理に柔軟に対応できるエネルギー計測ユニットEMU3シリーズの特長及び製品化のための技術について述べた。

今後とも顧客ニーズにこたえつつ、より使いやすい製品の拡充に努める所存である。

## 卷頭論文



## 三菱FAメカトロニクス技術開発の方向性

真柄卓司\*

Trend of Mitsubishi FA Mechatronics System Technology

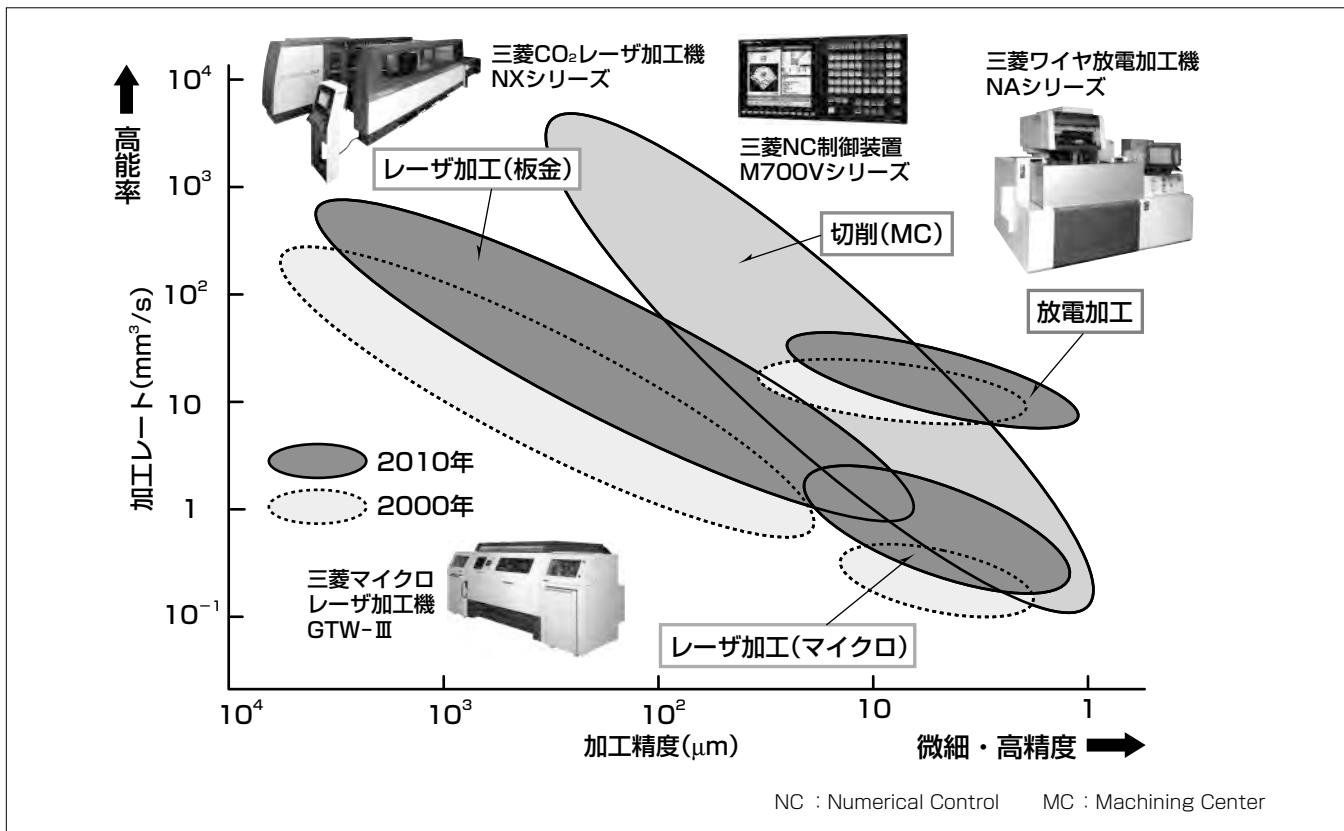
Takuji Magara

## 要 旨

ものづくりをベースとした先端製造立国を目指す日本として、世界的な技術開発競争の中で勝ち残るために、経済産業省では、ものづくり国家戦略ビジョンに基づき、产学研官連携で国内の技術戦略マップ作りを継続的に進めている。また財製造科学技術センターでは、(社)機械工業連合会の委託によって、2009年度に“ものづくり技術戦略ロードマップ”が策定された。

経済産業省“技術戦略マップ”に、2008年度から新たに追加された“設計・製造・加工分野”については、2009年度には重点技術としての具体的な課題抽出へと進展している。こうした課題は、事業環境側面の切り口から見ると、①グローバル化対応、②ミニマム化(低炭素化、省エネルギー化、小型化)対応、③高付加価値化対応に大別することができる。

グローバル化に際して今後ますます重要となる視点は、①使いやすさ、②ライフサイクル志向、③価格妥当性、④標準化対応と考えられ、加工システムについては特に、使いやすさ、トータルトレーサビリティ機能を製品にどう具体的に盛り込むかが差別化のポイントとなる。またミニマム化については、低炭素化／省エネルギー化という社会的課題解決に貢献する革新的技術をそれぞれの加工システムで実現することが、顧客に対する大きな訴求ポイントとなる。さらに、高付加価値化については、次代を担う新たな成長エンジン・成長事業を見据え、次世代のアプリケーション要求に合致した高付加価値性能の実現が必要であり、加工生産性・精度と操作性・メンテナンス性を高度に実現する加工システムの開発を行っていく。



## 各種加工プロセスの基本性能の変遷

三菱電機のFA(Factory Automation)メカトロニクス事業にかかる各種加工システムの基本性能の変遷を示す。

\*先端技術総合研究所 加工制御システム技術部長(工博)

## 1. まえがき

リーマンショックを発端とする世界的な経済の混乱の中で大きな影響を被った国内経済も、ようやく回復の途につき始めた。こうした中、経済産業省では、ものづくりをベースとした先端製造立国を目指す日本として、世界的な技術開発競争の中で勝ち残るために、産学官連携で国内の技術戦略マップ作りを継続的に進めている。また、(財)製造科学技術センターでは、(社)機械工業連合会の委託によって、2009年度に“ものづくり技術戦略ロードマップ”が策定された。

本稿では、こうした国内におけるものづくりの将来動向を踏まえ、今後求められると予想されるキー技術と、FAメカトロニクス事業(NC、レーザ、放電)における三菱電機の指向する技術の方向性、製品への適用事例について述べる。

## 2. 国内技術戦略ロードマップの動向

高度成長時代以降、国内産業は自動車・電子産業と、工作機械に代表される生産システム産業の両輪によって牽引(けんいん)されてきた。新たな市場、事業が生産技術イノベーションを生み、そこから得られる製品競争力の向上がまた新たな市場、事業、先進技術を生むという成長のスパイラルが形成され、継続的に大きな発展を遂げた。今、自動車業界は新たな構造変化リスクの中、環境対応へのシフトなど事業モデルの再考を迫られており、次世代の成長エンジンがどこにあるのか、大きな転換期を迎えている。

経済産業省“技術戦略マップ”に、2008年度から新たに追加された“設計・製造・加工分野”については、2008年度における骨格の構築から、2009年度には重点技術としての具体的な課題抽出へと進展している。具体的には、①生産システム、②加工技術、③設計技術の各分野での検討がなされた結果、図1に示すような課題が抽出されており、今後のメカトロニクス事業の方向を考える際にも、これらを意識した製品開発、事業モデルの検討が不可欠である。一方こうした課題は、事業環境側面の切り口から見ると、①グローバル化対応、②ミニマム化(低炭素化、省エネルギー化、小型化)対応、③高付加価値化対応に大別することができる。

次に、これらの将来技術動向を当社FAメカトロニクス事業に当てはめ、今後の方向性について述べる。

## 3. 当社FAメカトロニクス技術開発の方向性

### 3.1 グローバル化対応

日本の将来のあるべき姿として、“先端製造立国”が叫ばれ、グローバル化が急速に進展する中、海外生産シフトに伴う空洞化、携帯電話に代表される国内独自技術の技術面

での国際孤立化など、新たな課題に直面している。

グローバル化に際して今後ますます重要となる視点は、①使いやすさ(Easy-to-Use: ノウハウレス化、自動化)、②ライフサイクル志向(トータルトレーサビリティ: リモートサービスによる稼働状況監視システム、予防保全システムなど)、③アフォーダブル性(Affordable: ターゲット市場に対する価格妥当性)、④標準化対応、と考えられる。

特に、使いやすさに関しては、近年、加工制御の自動化、CAM(Computer Aided Manufacturing)との連携性向上、自動プログラミング機能を始め、ハードウェアに関するメンテナンス性向上などがポイントとなっている。

工作機械の制御装置である数値制御装置(NC)でも、十分な性能を備えながらもコンパクトで使いやすいNCが求められている。図2に示す最新の普及タイプ“CNC M70Vシリーズ”では、表示器と制御ユニットを一体型構造としたコンパクト設計ながらも、最小1 nmという高精度なCNC内部での位置制御演算と、PLC(Programmable Logic Controller)基本命令処理能力の大幅向上を実現した。また、マルチハイブリッドドライブ“MDS-DMシリーズ”では、主軸1軸、サーボ最大3軸を1台のドライブユニットに集約しコンパクト化を図りながらも、高度なサーボ制御と冷却ファン停止警告など保守性向上を実現した。

またトータルトレーサビリティに関しては、グローバル・サービスを指向したリモートサービスによる稼働状況監視システム、予防保全システムなどの開発に注力してい

- |                     |
|---------------------|
| 1. 生産システム           |
| ①パーキャラムニューファクチャーリング |
| ②人・ロボット協調生産         |
| ③動脈・静脈一体生産          |
| ④トータルトレーサビリティ       |
| ⑤ゼロエミッション工場         |
| ⑥グローバルネットワーク化       |
- |                  |
|------------------|
| 2. 加工技術          |
| ①先進的コア加工技術       |
| ②資源・エネルギー最小化加工技術 |
| ③オンデマンド加工技術      |
| ④ナノ精度・超安定加工技術    |
- |                            |
|----------------------------|
| 3. 設計技術                    |
| ①モデリング                     |
| ②現物融合技術                    |
| ③CAD/CAM/CAE/CATにおけるナレッジ管理 |
| ④CAE/シミュレーション              |

図1. 技術戦略マップ抽出課題



図2. M70VシリーズCNC

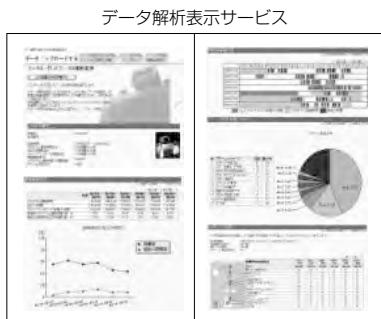


図3. リモートサービス(三菱EDMスマートサービス)

る。図3に、当社放電加工機(Electric Discharge Machine: EDM)におけるリモートサービスの一例を示す。この例では、加工機に現在の状況データを収集するとともに、データをネットワーク経由でメーカー・サービス側が入手できる仕組みとし、稼働状況情報をWeb“DIAX-NET”でユーザーに提供することでユーザー保守を支援するとともに、カルテ診断などの予防保全のサービスを提供することで顧客の利便性の向上を図っている。

### 3.2 ミニマム化対応(低炭素化/省エネルギー化/小型化)

経済産業省の平成22年度産業技術関連概算要求では、“低炭素社会実現などの社会的課題を解決する革新的技術開発の推進”が重点課題の第一に掲げられている。また、(財)レーザー技術総合研究所が取りまとめた“省エネルギー効果が期待されるレーザ加工に関する垂直統合型技術開発テーマ抽出のための調査報告書”では、生産性、省エネルギー、ランニングコストの低減( $\text{CO}_2$ レーザ)，高効率化(半導体レーザ)に加えて、事業の出口となる低炭素化に向けた新アプリケーションとして、太陽電池高効率化プロセス、次世代新素材(Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRP)の加工などが提案されている。

$\text{CO}_2$ レーザ加工機では、近年、消費電力やランニングコストの低減が進んでおり、また固体レーザについても高効率化に関する取り組みを行っている。図4は当社 $\text{CO}_2$ レーザ加工機の加工性能推移として、発振器消費電力とランニングコストの改善を示したものである。レーザ加工では、今後発振器の更なる高効率化・省電力化を進めるために開発を進めている。

また放電加工機でも、同様に省エネルギー化の要求に対応した新製品を投入している。図5に当社放電加工機の省エネルギー性能の向上を示す。最新機“NAシリーズ”では、上下の給電子それぞれに供給する電流を個別に調節することによって、被加工物の板厚方向の形状を制御可能とし、結果として加工時間、消費電力、ワイヤ電極消耗を大幅に低減することに成功し、 $\text{CO}_2$ 排出量換算消費電力で69%の削減を達成した。

省エネルギー関連デバイスや省エネルギー機器部品への電気加工の適用も進んでおり、エネルギー産業における省エネルギー貢献も期待される。最近では太陽電池セル表面

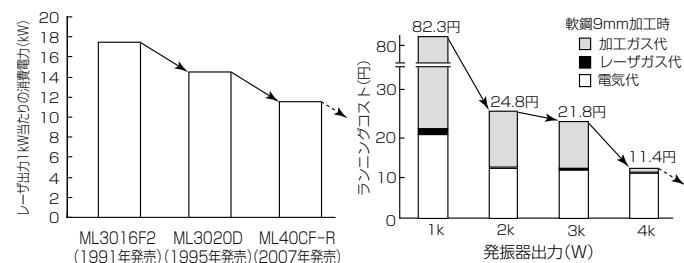
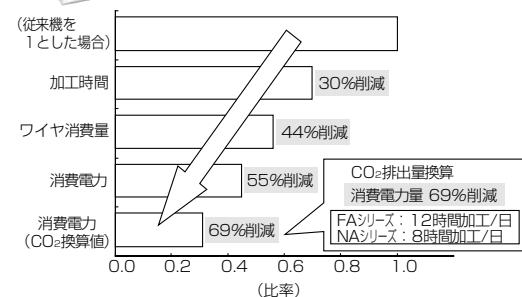
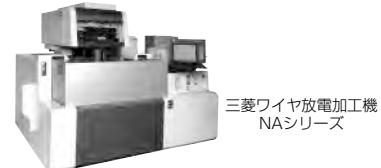
図4.  $\text{CO}_2$ レーザ加工機発振器消費電力、ランニングコスト

図5. 放電加工機の省エネルギー性能向上

へのレーザテキスチャリングによる太陽電池の高効率化技術を開発しており、レーザとエッティング処理の組合せによって、セル表面にハニカム形状を形成することで反射率を低減し、世界最高効率19.1%<sup>(注1)</sup>を達成している。

(注1) 2009年9月現在、(独)産業技術総合研究所太陽光発電研究センターでの測定値

### 3.3 高付加価値化対応

世界市場で4割のシェアを占める日本の工作機械の源泉は、高い加工精度と生産性にある。関連の金型製造や金属加工も含めると、国内の工作機械市場は受注額の6割が自動車関連であり、自動車業界全体を巻き込んだ世界規模での業界の再編、ハイブリッド・EV(Electric Vehicle)車へのシフトなどの新たな技術革新が進む中、工作機械や加工システムに求められる要求も今後大きく変わっていくものと推測される。

NCでは、航空機部品や一体化部品などの複雑形状部品の増加や、加工リードタイム短縮要求の高まりを背景として、5軸加工機や複合加工機の需要が拡大している。さらに金型や精密部品といった高い加工品位の必要な加工への5軸加工の適用も広がってきており、当社最新NCの“M700Vシリーズ”では、高速で高品位な同時5軸加工を実現するためのSSS-3G(Super Smooth Surface-3rd Generation)制御を開発した。図6に加工結果を示す。SSS-3G制御では、大域的な形状認識と回転軸の移動指令の平滑化によって、加工物に対する工具先端点の送り速度や工具姿勢の角速度を滑らかに制御することで、高品位な加工

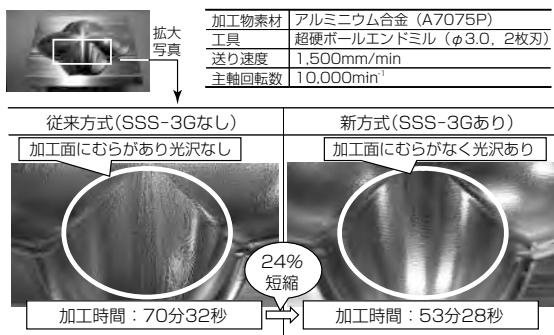


図6. SSS-3G制御による加工結果

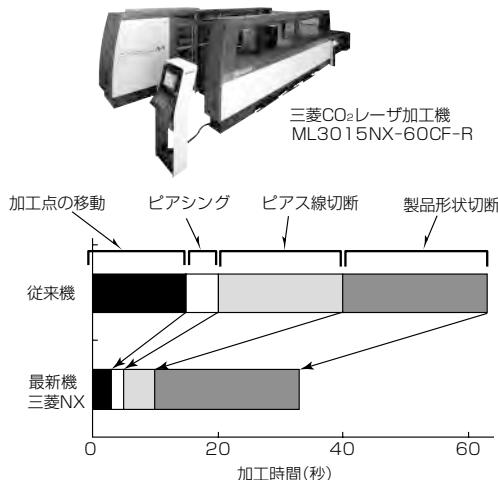


図7. 高性能板金レーザ加工機による生産性向上

面を得ることができる。また不要な減速をなくすように制御することで、加工時間が5~50%程度短縮される。

自動車関連の部品加工については、板金レーザ加工の生産性向上に対する要求も高い。図7に最新の高性能板金レーザ加工機による生産性向上例を示す。

転換期にある自動車産業に替わって、現在の設備投資を下支えしているのがエネルギー産業であり、火力発電のタービン、風力発電の風車やペアリングなどを加工する高付加価値工作機械の需要が伸びている。最近では、航空機エンジンや発電機タービンブレードに対して放電表面コーティング(Micro Spark Coating)を行う技術が開発されており、タービンブレードの摺動(しゅうどう)部に耐熱耐磨耗皮膜のコーティングを施すことによって、燃費性能、補修を含めたランニングコストの大幅な低減が可能となるものと期待される。

また電子産業に関しても、近年はレーザによるプリント基板や電子デバイスの高速・高品位加工が急速に普及しており、携帯電話やパソコンの高性能化につながるキーパーツの生産性向上に貢献している。図8にプリント基板や電子デバイスのパターン用穴あけ加工を高速に行うレーザ加工機“GTW III”を示す。高速ビーム駆動技術と高品位パルス発振器の技術開発によって大幅に高速加工性能が向上してきており、今後様々なプリント基板、デバイスへの展開が期待できる。

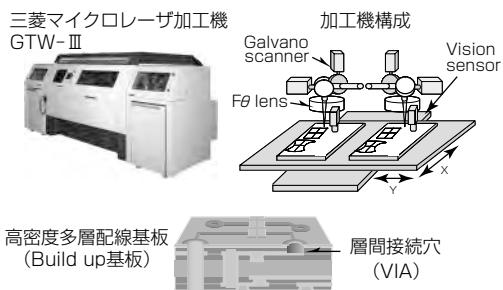


図8. プリント基板穴あけ加工用マイクロレーザ加工機

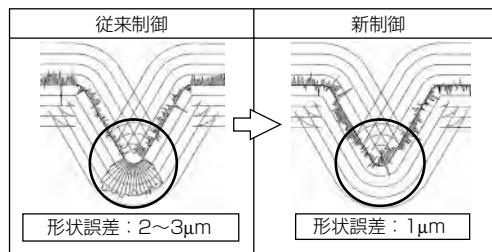


図9. 超高精度ワイヤ放電加工

金型については、汎用(はんよう)高精度金型の中国などへの海外流出が進展しているが、BGA(Ball Grid Array)/ファインピッチリードフレーム、ハイブリッド・EV用モータコア、光学部品用などの次世代超精密金型については、今後も国内の競争力の源泉となる。これらの高精度加工を高度に自動化する、インテリジェント高精度・高品位放電加工技術の開発が今後は求められることが予想される。図9に、近年の高精度ワイヤ放電加工における高精度コーナー加工制御の例を示す。コーナー部での除去量の変化にリアルタイムで対応する制御技術によって、サブミクロンオーダーの形状精度の加工を高度に自動化する機能開発が今後の高精度加工に求められる。

#### 4. む す び

国内におけるものづくりの将来動向を踏まえ、当社のFAメカトロニクス技術に関して今後指向すべき方向性、製品への適用事例について述べた。加工システムについては、グローバル化、ミニマム化(低炭素化、省エネルギー化、小型化)、高付加価値化に向けて、更に一段踏み込んだ開発が必要となるものと考えられ、生産性・精度と操作性・メンテナンス性を高度に実現する加工システムの開発を目指していく。

#### 参 考 文 献

- (1) (社)日本機械工業連合会、(財)製造科学技術センター：平成20年度ものづくり技術戦略マップ実現のための技術開発項目等調査報告書 (2009)
- (2) (財)レーザー技術総合研究所：省エネルギー効果が期待されるレーザ加工に関する垂直統合型技術開発テーマ抽出のための調査報告書 (2009)

# 新普及機タイプCNC “M70Vシリーズ”

坂田晃宏\*  
牧野幸寛\*

New Standard Type CNC "M70V Series"

Akihiro Sakata, Yukihiko Makino

## 要 旨

現在の工作機械市場では、日米欧などの先進国で多く需要のある高速高精度加工や5軸加工など付加価値の高い機能を備えた高性能機と、中国を中心としたアジア地域など工業新興国で多く用いられる廉価機、普及機との二極化の傾向が強くなっている。

しかしながら、中国などの新興国の技術力アップ、先進国機械メーカーが新興国市場へ参入するための普及機現地生産の流れによって、普及機タイプCNC(Computerized Numerical Control)への要求性能が高まってきている。

このような状況に対応するために、普及機タイプCNC市場では、コストパフォーマンスに優れ、高機能・高性能な製品を継続的に投入する必要がある。

三菱電機では、2006年から普及機向けCNCとして“M70シリーズ”を販売しており、性能と価格のバランスに優れたCNCとして高い評価を受けている。今回、最新のASIC(Application Specific Integrated Circuit)を採用することによって、M70シリーズから基本性能を向上させた新CNCである“M70Vシリーズ”を開発した。

本稿では、このM70Vシリーズの特長について述べる。



## “M70Vシリーズ”的前面図

CNC制御ユニットと表示装置が一体となったパネルインタイプCNCである。従来発売されている“M70シリーズ”，及び上位機種である“M700VSシリーズ”と取り付け、配線などに互換性があり、表示、操作についてもM70シリーズと上位互換となっており、従来機種からの変更が違和感なく行える。

## 1. まえがき

最新ASICを採用することによって、従来機種であるM70シリーズに対し基本性能を向上させたパネルインタイプの新CNC M70Vシリーズを開発した。

本稿では、このM70Vシリーズの特長について述べる。

## 2. M70Vシリーズ開発のねらい

現在の工作機械市場では、日米欧を中心とする先進国を中心に生産される高級機と、中国、台湾、韓国といった新興国を中心に生産・使用される廉価・普及機の二つの市場を中心に形成されている。高級機では“ナノレベル制御における高速高精度化”“高品位の同時5軸加工”“サイクルタイム短縮による生産性の向上”などの高付加価値化を要求されており、当社ではM700Vシリーズを2008年に開発して市場の要求にこたえている。

一方普及機向けとしては、2006年にM70シリーズを市場に投入し、表示器と制御装置を一体化したコンパクト設計と快適な操作性、10ナノメートル単位での制御などによって高い評価を受けている。

しかしながら、中国などの新興国の技術力アップ、先進国機械メーカーが新興国市場へ参入するための普及機現地生産の流れによって、普及機タイプCNCへの要求性能が高まっている。

これらの市場の要求にこたえるために、M70シリーズの基本性能を向上させた新型普及機タイプCNC M70Vシリーズを開発した(図1)。

## 3. M70Vシリーズの特長

### 3.1 最新ASICの採用による基本性能の向上

M70Vシリーズでは、上位機種M700Vシリーズと同じ最新ASICを採用した。これによって、PLC(Programmable

Logic Controller)処理性能を向上させるとともに、CPU(Central Processing Unit)クロック及びバスクロックの高速化、バス使用効率を向上させることで、データ処理能力の向上を実現した。この結果、M70Vシリーズは従来機種M70シリーズに対し、ナノ単位での補間制御への対応、最大制御系統数の拡大といった基本性能の向上を達成している。内蔵PLC処理性能については基本命令実行性能を10(ns/step)とし、M70シリーズ比で70%の性能アップを実現している。さらに、基本性能の向上によって要求される加工プログラムの大容量化にこたえるため、プログラム容量を従来比約2倍に拡張した(表1)。

### 3.2 従来機種及び上位機種との高い互換性

M70Vシリーズは、従来M70シリーズの後継機種としての使用法のほか、M700VSシリーズを採用している機械をシリーズ展開する際の選択肢として使用できるように、M70/M700VSとの高い互換性を実現している。

製品形状や外部I/O(Input/Output)インターフェースなどを、従来機種M70シリーズ、上位機種のM700VSと互換性を確保した。これによって、NCキーボード、リモートI/O、拡張ユニットを共用することが可能である。また、ラダープログラムやカスタム画面データなどのソフトウェア資産もM70/M700VSからの移行が容易となっている。

さらに画面操作性も同一となっており、機械の位置付けに応じ最適なCNCを選択することが可能である。

### 3.3 豊富に準備された周辺ソフトウェア

三菱CNCでは、顧客の機械設計をサポートするための周辺ソフトウェアを豊富に取りそろえており、M70Vシリーズでも従来機種同様にこれらを使用することができる。

#### (1) “GX Developer”

NC内蔵のPLC回路を作成するためのソフトウェアである。三菱シーケンサ用のソフトウェアを共用している。

#### (2) “NC Designer”

CNCの表示器で顧客独自の画面作成をサポートするためのソフトウェアである。

#### (3) “NC Monitor”

パソコンとCNCをネットワーク接続し、離れた場所から設定・表示を行う遠隔操作用ソフトウェアである。CNCのHMI(Human Machine Interface)画面と同じ表示を行うため、直接CNC画面を操作する感覚で使用できる。

表1. 主な性能向上項目

	M70シリーズ	M70Vシリーズ
最大制御系統数 (マシニングセンタ仕様)	1	2
最小制御単位	10nm	1 nm
PLC基本命令処理時間	17ns/step	10ns/step
内蔵加工プログラム容量	230KB	500KB

(注1) Windowsは、Microsoft Corp.の登録商標である。

図1. 三菱CNC製品ラインアップ

#### (4) “NC Explorer”

パソコンとCNCをネットワーク接続し、CNCのパラメータや加工プログラムの管理を容易にするソフトウェアである。

#### 3.4 豊富なインターフェースと拡張性

新興国では、NC工作機械よりも早くパソコンなどの情報機器が普及したため、工作機械メーカー、エンドユーザーとともにパソコンを使用したデータ管理を行っている例が多い。このため、M70Vシリーズではパソコンとの接続にも配慮しており、Ethernet<sup>(注2)</sup>、前面コンパクトフラッシュ(CF)<sup>(注3)</sup>インターフェースを標準装備し、大容量の加工プログラムや画面データの入出力もストレスなく行うことができる。また、前面コンパクトフラッシュ内の加工プログラムを直接運転することが可能であり、普及機でありながら大容量プログラムを使用した加工が可能となっている。

また、M70Vシリーズは上位機種M700VSシリーズと同様に背面に拡張カードスロットを準備しており、2枚の拡張カードを接続することが可能となっている(図2)。この拡張用スロットに“CC-Link”拡張ユニットを接続することによって、マスター局／ローカル局／インテリジェントバイス局として機能することができる。また、機械メーカーによる画面表示のカスタマイズ用に大容量メモリ拡張ユニットをラインアップした。このメモリ拡張カードを実装することによって、従来機種M70シリーズの2倍のカスタムデータを使用することができる。

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。  
(注3) コンパクトフラッシュは、米国サンディスク社又はその子会社の商標又は登録商標である。

#### 4. M70Vシリーズでの機能拡張

M70Vシリーズは普及タイプのCNCでありながら、2系統制御、ナノ補間機能を搭載し、1ランク上の機械への採用も可能な仕様としている。

ここでは、M70Vシリーズに搭載した機能について述べる。

##### 4.1 2系統制御機能

ここでの制御系統とは、EIA(Electronic Industries Alliance)フォーマットで記述される加工プログラムで制御される稼働軸の集合を意味する。制御系統数が複数あるCNCでは、その制御系統数分の加工プログラムを並列に処理することが可能である。

普及機レベルのマシニングセンタの場合、3から4軸程度の位置制御軸と1台の主軸に基本的な自動工具交換装置(ATC)で構成される機械が一般的である。ワークの実加工に関する機械構成を多系統化する例はほとんど見られない。しかしながら、ワークの搬送を行う簡易なガントリーローダなど加工以外の目的にCNCの制御系統を使用する例が見られるようになってきている(図3)。

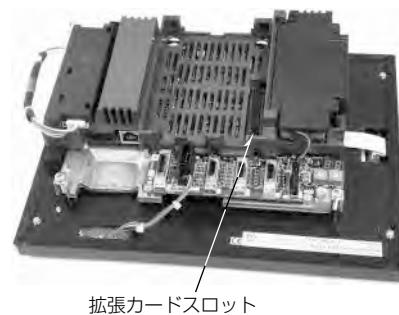


図2. M70Vユニット背面

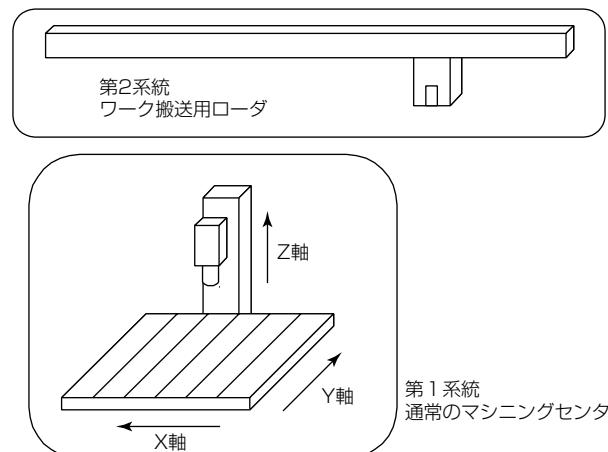


図3. 2系統マシニングセンタの構成例

ガントリーローダなどの自動搬送システムについては、以前から広く使用されており、非常に高性能なシステムも多く販売されているが、普及機タイプの工作機械では、搬送システムまで含めた全体の価格を抑えるために、CNCの加工プログラムによって制御する搬送システムを組み込むことがある。専用の搬送システムに比較すれば単純な構成となるが、CNCが持つ位置情報を共有することによってワークの位置を比較的簡単に把握することができること、搬送プログラムもEIAフォーマットの加工プログラムで記述できるため、エンドユーザーでの調整変更が容易なことなどのメリットがある。こういった市場要求にこたえるため、マシニングセンタ系システムでの2系統制御に対応した。

##### 4.2 最小制御単位 1 nm(ナノ補間システム)

上位機種であるM700Vシリーズで実現されていた、ナノ補間制御を採用した。従来のM70シリーズでは最小制御単位は10nmであったが、これを1nmとすることでCNC内部の制御情報の誤差を1/10にすることができる。

CNC工作機械では、サーボ駆動系を用いて軸の制御を行っている。この軸の制御を簡単に表すと、“一定時間後の位置”を一定周期ごとに指令し続けることで実現している。このため、加工プログラムでは一定速度による軸の移動を指令していても、CNC内部での計算過程では常にわずかな計算誤差分の速度変動が生じることになる。この速

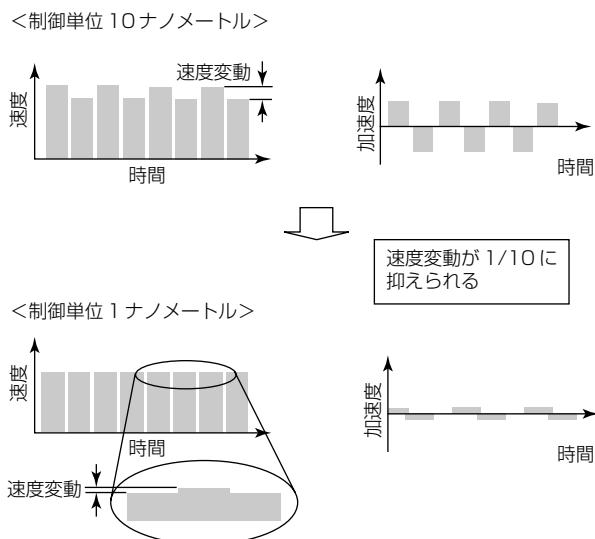


図4. 補間時における速度変動

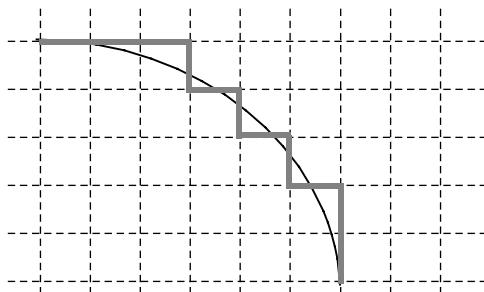


図5. 制御単位10ナノメートルでの円弧動作

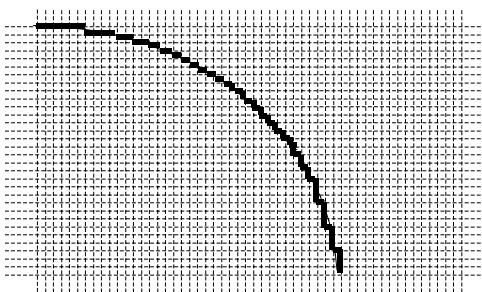


図6. 制御単位 1ナノメートルでの円弧動作

度変動が実際の機械の挙動に影響を与え、加工面の精度に影響を与える場合がある。

制御単位を従来のM70シリーズの1/10にすることによって、制御情報の誤差による速度変動など、機械動作への影響を抑え加工精度を向上させることができる(図4)。

また、円弧指令などの非直線移動では、CNC内部の計算で軸ごとの速度が細かく変動するため、特に内部計算精度の向上の効果が強く現れる(図5、図6)。

## 5. ハードウェアの長寿命化と耐環境性能の向上

工作機械は稼働期間が非常に長く、そこに搭載されるCNC装置にも長寿命が要求される。また工作機械の稼働停止はユーザーに大きな損失を与える可能性があり、メンテナンスを容易にすることも非常に重要である。

有寿命部品のうち、基板に実装されるため交換することができない電解コンデンサは最低限必要な部分のみに使用し、さらに長寿命品を採用することで、CNC装置の設計寿命を超えて容量抜けが発生した場合でも、外部電源が正常な範囲であれば問題なく動作する電源回路を構成している。

バッテリーについても、バックアップ対象のデバイスを低消費電力品に厳選、削減し、バッテリー容量計算上の期待寿命を5年以上(周囲温度40°C)としている。

冷却用のファンも有寿命品であるが、M70Vシリーズでは消費電力を低く抑え、筐体(きょうたい)の一部を放熱板として利用することで冷却用ファンを廃止している。

## 6. むすび

中国などの新興国のCNCメーカーの台頭によって、今後のCNC装置にはこれまで以上に高い性能・価格競争力が要求されていくことが予想される。

今後も継続して高品質な製品を発表し続け、多くの人々に使用してもらうことで世界的な貢献を続けていきたい。

# インターネットを使った放電加工機の予防保全サービス “三菱EDMスマートサービス”

渡辺浩太郎\*  
片田佳子\*  
尾畠里佳\*

Preventive Maintenance Service for EDM : "Mitsubishi EDM Smart Service"

Kotaro Watanabe, Yoshiko Katada, Rika Obata

## 要 旨

本稿では、2009年4月から開始した放電加工機(Electric Discharge Machine: EDM)の新しい予防保全サービス“三菱EDMスマートサービス”について述べる。このサービスは、顧客に納入した放電加工機の動作状況データを、インターネット経由で送ってもらい、そのデータを解析することによって、機械のメンテナンス必要箇所・交換必要部品を判断し、加工機が故障に至る前に予防的な保守を行う。また正確な情報把握によって問題解決の時間短縮ができる。このサービスで、機械の長期安定稼働を実現する。

このサービスは次の三つのサービスから構成されている。

### (1) データ解析・表示サービス

三菱電機の放電加工機サポートWebサイト“DIAX-NET.COM(<http://www.diax-net.com/>)”に、機械の動作状況データのファイルをアップロードすると、その場で解析して機械の稼働状況、アラーム発生状況、AT(ワイヤ自動供給装置)の動作状況、周囲温度の状況等を表示する。

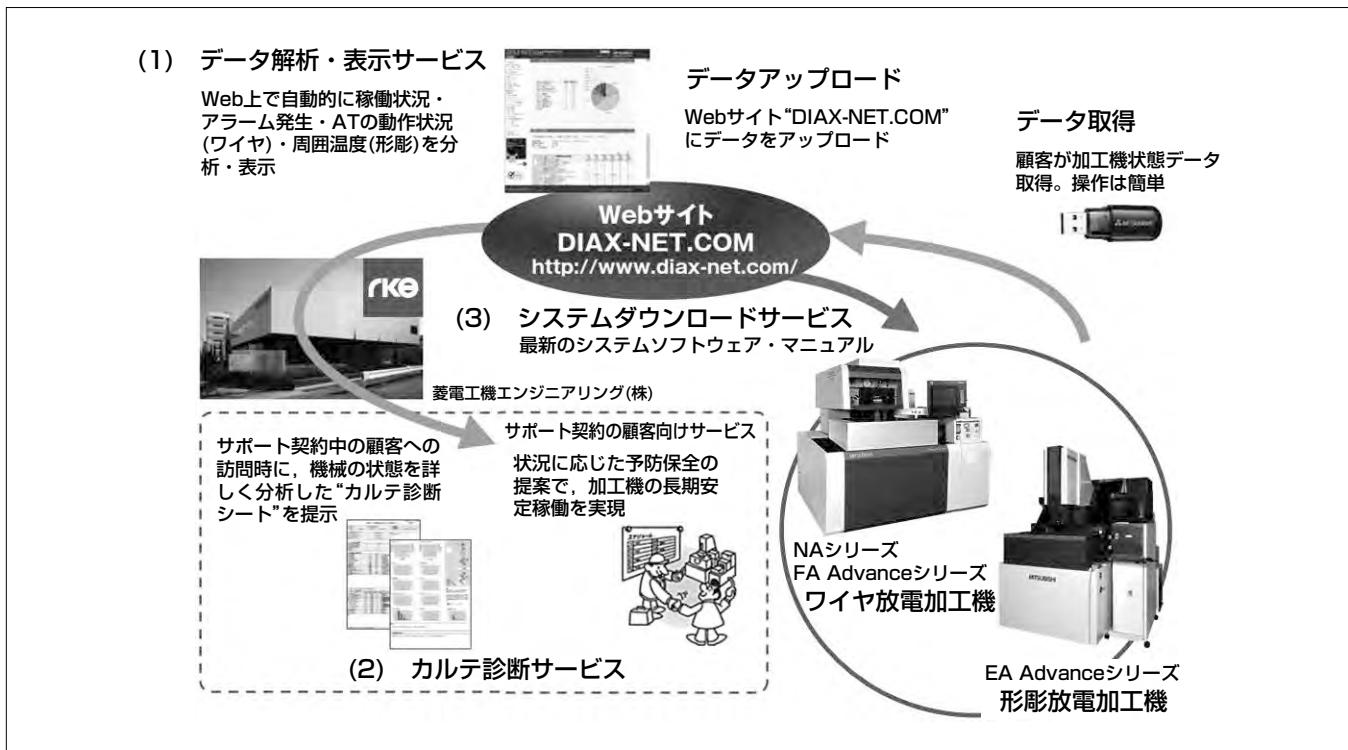
これらの情報は、顧客が自身で実施可能な基本的な機械メンテナンスのガイドとして役立つ。

### (2) カルテ診断サービス

当社放電加工機のサービス会社、菱電工機エンジニアリング株が提供する“サポート契約”への加入顧客向けのサービスである。(1)のデータを詳しく解析した“機械のカルテ”を作成し、定期訪問時に持参する。データに基づいた機械の問題箇所のチェック実施や、適切な時期での部品交換提案を行う。

### (3) システムダウンロードサービス

DIAX-NET.COMで、加工機の最新システムソフトウェアを提供する。顧客はシステムソフトウェアをダウンロードし、加工機をバージョンアップすることができる。設置済みの“Advanceシリーズ”的加工機でも、この仕組みを使うことで、スマートサービス用のデータ取得等、最新の機能を利用できる。



## 放電加工機の予防保全サービス“三菱EDMスマートサービス”

三菱EDMスマートサービスは、顧客が使用中の放電加工機の稼働データを収集・分析し、予防保全するサービスである。三つのサービス“データ解析・表示サービス”“カルテ診断サービス”“システムダウンロードサービス”として顧客に提供する。

## 1. まえがき

工作機械の保守サービスでは、故障時や部品交換時の対応をできる限り短時間で行い、故障等による稼働停止を最小限に留めることが求められる。一方、モノづくりの拠点は近年、中国等、海外へと広がっている。工作機械メーカーには、迅速で質の高い保守サービスを、広範なエリアで提供できることが求められるが、従来と同じ方法では時間もコストも膨大にかかってしまうことが予想される。放電加工機を提供している当社もこの課題に直面している。

この課題を解決するには、今までとは異なった、より効率の良いサービスが可能な、新しい仕組みの導入が必要である。そこで次のようなインターネットを利用した新しい保守の仕組みを構築した。まず加工機に、稼働状況のデータを採取できる機能を組み込んでおく。次にそのデータを顧客からインターネット経由で当社Webサイトに送付する仕組みを用意する。最後に、入手したデータを当社サービスマンが解析できる手段を用意する。

これらの仕組みによって故障の前兆を察知した場合、当社サービス側から先制的に保守することで、故障を予防し部品交換等の対応が計画的に行えるようになる。また問題発生時には、特に海外では言葉や距離のため時間がかかっていた情報把握について、機械から正確なデータ入手することで、大幅に時間短縮できる。これらの効果で、顧客の機械の稼働停止を最小限に留めることができる。この仕組みを“三菱EDMスマートサービス”と名付け、顧客満足度の向上と効率的なサービスの実現をめざし、2009年4月からサービスを開始した。

## 2. 三菱EDMスマートサービスの構成

図1に示すように、三菱EDMスマートサービスは、放電加工機でのデータ収集機能、Webサイトとデータ蓄積機能、サービス会社でのデータ解析機能の三つの部分から構成される。次に、それぞれの内容について詳しく述べる。

### 2.1 放電加工機でのデータ収集機能

放電加工機からのデータ収集機能は、次の3種類のデータを収集できるように構成した。一つ目の“定期監視データ”は、顧客の工場で加工機がいつ、どれぐらいの時間、

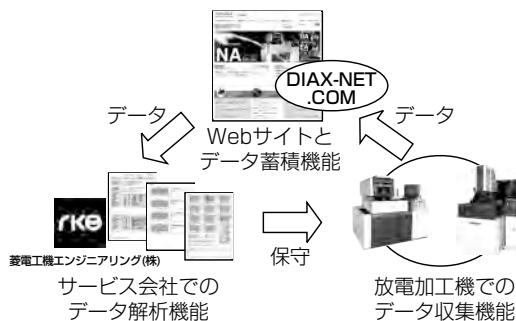


図1. 三菱EDMスマートサービスの構成

どのように使われていたか、どのようなアラームが発生していたかの情報を時系列的に保持する。またワイヤ放電加工機のAT(ワイヤ自動供給装置)が何度使われたかなど、特定の部品の稼働回数を記録している。二つ目の“現象再現データ”は、加工機の各種設定スイッチや、加工条件や使用したプログラムなどをまとめて収集するもので、顧客の機械で詳しく解析する必要がある事象が起きた場合の解析を容易にするために使用する。三つ目の“テストモードデータ”は、機械の経年変化を把握するために、機械に一定の動作をさせてデータを採取するものである。ワイヤ放電加工機のワイヤ走行系や、テーブル駆動系をチェックできる。

これら三つのデータは、加工機制御装置の保守画面(図2)から一つのファイルに保存され、USB(Universal Serial Bus)メモリやLAN(Local Area Network)経由で取り出しができる。通常の場合は、“定期監視データ”的みを採取し、目的に応じて他の2種類のデータも採取できる仕組みとなっている。

### 2.2 Webサイトとデータ蓄積機能

当社の放電加工機のWebによるサポートサービスは、従来DIAX-NET.COMで行っている。DIAX-NET.COMは、当社放電加工機の顧客に限定でID、パスワードを発行し、会員サービスを行っている。2.1節で述べた加工機から取得したデータファイルを受け取るため、今回、“データアップロード画面”を用意した。アップロードされたデータファイルは、セキュリティチェックされ、放電加工機から作成された正しいファイルであることが確認されると、ファイアウォールの内側のデータベースサーバに蓄積される。

顧客には数か月に1度、データをアップロードしてもらう。放電加工機の予防保全を行うという観点から、常時データを監視してコストをかける方法は必要なく、数か月に一度データを取得し、変化を観察するということで十分と判断した。

顧客は、データをアップロードした際に、すぐに簡単なデータ解析結果を見る能够である。解析結果として、取

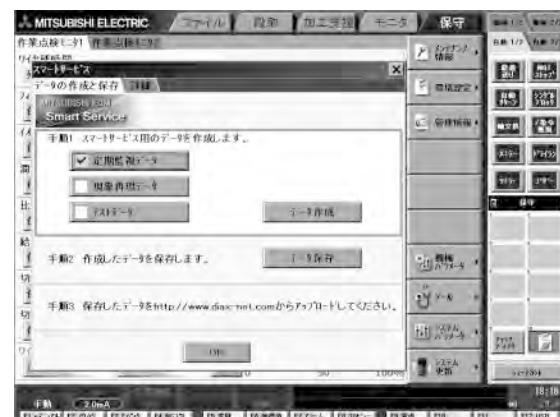


図2. データ採取用保守画面

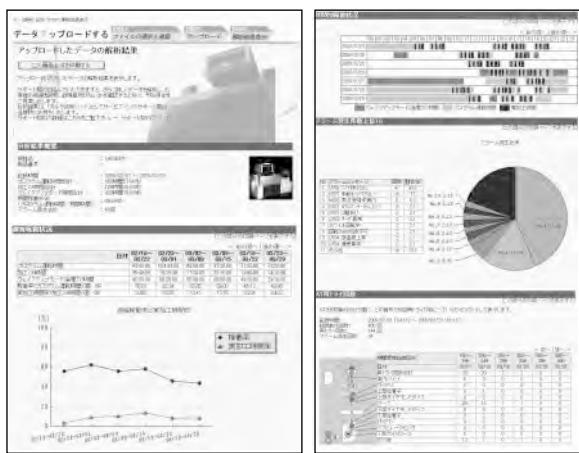


図3. DIAX-NET上でのデータ解析結果の例

得したデータ期間における加工機の稼働状況、アラーム発生履歴、AT装置の動作状況(ワイヤ放電加工機の場合)、加工機が設置された場所の周囲温度(形彫放電加工機の場合)などが表示される。解析結果の一例を図3に示す。

顧客自身でもこの情報から必要なメンテナンス箇所を判断することができる。

このほか、顧客は過去にアップロードしたデータの履歴を確認するための“顧客専用ページ”を利用することができるため、複数の機械を使用している場合、比較しながらデータを見ることが可能である。

### 2.3 サービス会社でのデータ解析機能

放電加工機のアフターサービスは、日本国内では菱電工機エンジニアリング(株)が実施している。同社と顧客が“サポート契約”という有料保守サービスを契約している場合は、サービスマンが年に数回顧客の工場を訪問し、機械をメンテナンスするという仕組みが従来からある。今回、この“サポート契約”に連動した形で、2.2節までに述べた加工機から採取したデータを利用し、より付加価値の高いサービスを提供できるようにした。

サービスマンに対しては、データベースサーバに蓄積されている、顧客の機械から取得したデータファイルをDIAX-NET.COM経由で入手できる仕組みを用意した。また、サービスマンがそのファイルを基に、より詳しい解析ができるよう、“カルテ作成ツール”を用意した。これは、データファイルを読み込ませ、機械の各部の動作回数等を数値化、グラフ化したシートを作成するものである。サービスマンはまずこのシートを作成した上で、一定の判断基準やこれまでの経験から、シートに機械の状況の診断コメントを記載する。もしメンテナンスや部品交換が必要と思われる状況のデータがあれば、その旨記載してこの“カルテ診断シート”を完成させる。このシートを顧客とのコミュニケーションツールとして使うことで、顧客に対して予防保全の必要性をデータに基づいて説明できるため、これまでよりわかりやすい形での提案が可能になる。また、訪

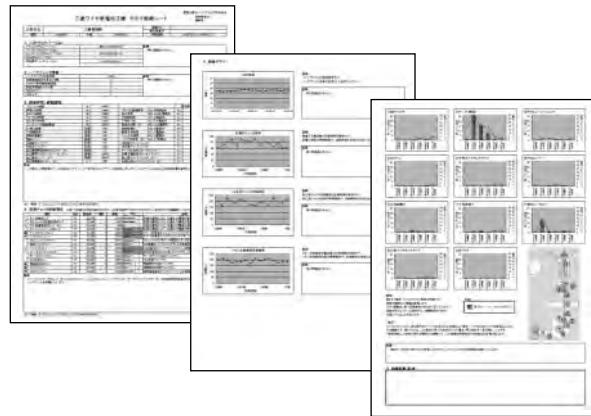


図4. カルテ診断シートの例

問前に部品交換が必要と判断すれば、事前に顧客に伝え交換部品を持参することによって、これまで2回出張しなければならなかつたのが1回で済む場合があり、出張コストを抑えることが可能になる。カルテ診断シートの例を図4に示す。

この“カルテ作成ツール”的ほかにも、サービスマンがデータを解析するのを助けるツールが用意されている。例えばワイヤ放電加工機のAT装置については、機械から取得したデータの中にある装置の動作ログ情報を基に、装置の動きを視覚的にシミュレーションする“ATログ解析ツール”や、ワイヤ走行系やテーブル駆動系のデータから振動周波数をFFT(Fast Fourier Transform)解析できる“グラフ化ツール”などを用意している。サービスマンはこれらのツールを駆使して顧客の機械の状況を解析し、適切なメンテナンスの判断をすることができる。

## 3. 三つのサービス

三菱EDMスマートサービスは2章で述べたように構成されているが、顧客に対しては次の三つのサービスの形に整理して提供することとした。

### 3.1 データ解析・表示サービス

当社の放電加工機サポートWebサイトDIAX-NET.COMに機械の動作状況データのファイルをアップロードすると、その場で解析して機械の稼働状況、アラーム発生状況、AT(ワイヤ自動供給装置)の動作状況、周囲温度の状況等を表示する無償のサービスである(図5)。解析結果として表示される情報は、顧客が自身で実施可能な基本的な機械メンテナンスのガイドとして役立つ。

### 3.2 カルテ診断サービス

菱電工機エンジニアリング(株)が提供する“サポート契約”に加入している顧客向けの有償サービスである(図6)。

3.1節で述べたデータを詳しく解析した“機械のカルテ”を作成し、定期訪問時に持参する。データに基づいた機械の問題箇所のチェック実施や、適切な時期での部品交換提案を行う。

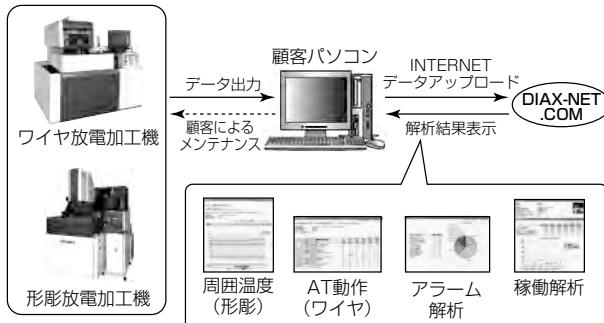


図5. データ解析・表示サービス

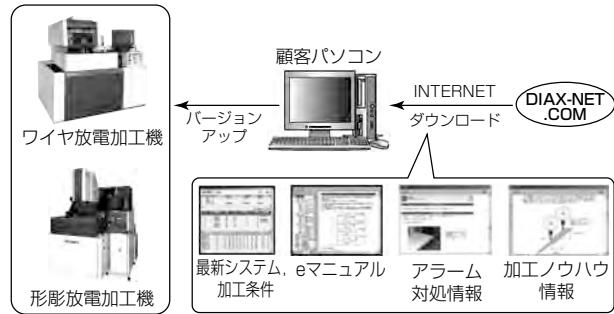


図7. システムダウンロードサービス

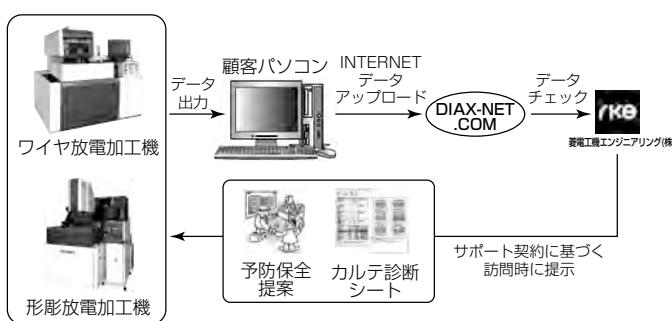


図6. カルテ診断サービス

### 3.3 システムダウンロードサービス

DIAX-NET.COMで、加工機の最新システムソフトウェアを提供し、顧客がダウンロードし加工機をバージョンアップすることができる無償のサービスである(図7)。

すでに顧客の工場で稼働している加工機に対して、このサービスを利用することで、常に最新版システムソフトウェアの機能を提供することができる。

不定期ではあるが、システムソフトウェアをバージョンアップし、顧客にとって有用な機能を追加している。

最近のシステムダウンロードサービスによる機能追加の例として、ワイヤ放電加工機では、ダイアルゲージでワーク上面を測定した結果からワークアライメント補正量を自動計算し、ワークの平面出し作業を不要にする“ワークアライメント機能”がある。また形彫放電加工機では、複数のプログラムをスケジュール運転し、夜間・休日などのアイドリングタイムに加工を実施し、機械の稼働率を高める“ビルトインスケジューラ”的機能がある。

## 4. む す び

三菱EDMスマートサービスは、2009年4月にワイヤ放電加工機の最新機種“NAシリーズ”を対象として開始した。2009年11月には、それよりも以前に出荷済みのワイヤ放電

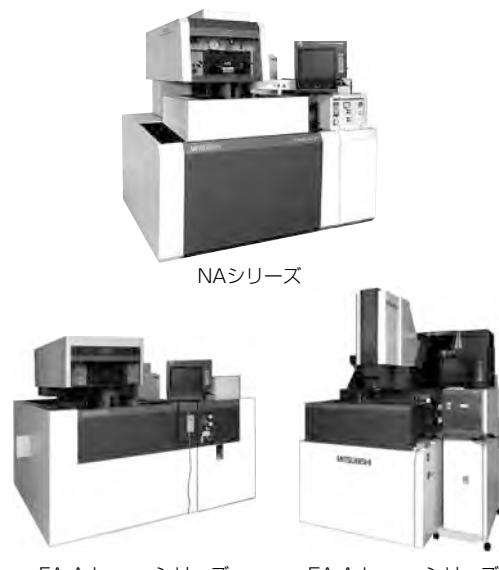


図8. 三菱EDMスマートサービスの対象機種

加工機“FA Advanceシリーズ”と、形彫放電加工機“EA Advanceシリーズ”へ対象機種を広げ、対象機械の台数を数倍に拡大した(図8)。すでに稼働済みの対象機種の機械を使用している顧客は、3.3節で述べた“システムダウンロードサービス”を利用して、加工機のシステムソフトウェアを最新版にバージョンアップすることで、加工機にデータ収集機能が追加され、“データ解析・表示サービス”や“カルテ診断サービス”的なデータを収集できるようになる。

現在は日本国内に設置された放電加工機だけを対象としている状況であるが、本来のねらいである海外を含む広い範囲で質の高いサービスを提供できるよう対応していく必要がある。今後、各国の言語対応や、国ごとに異なる放電加工機のサービス体制事情に合わせた改良を行い、対応範囲を拡大していく所存である。

# 新型炭酸ガス二次元レーザ加工機 “ML3015LVP-45CF-R”

城所仁志\*  
加野潤二\*

New CO<sub>2</sub> 2D Laser Processing System "ML3015LVP-45CF-R"

Hitoshi Kidokoro, Junji Kano

## 要 旨

炭酸ガス二次元レーザ加工機は、多種多様な材料を、複雑な形状に容易に高速かつ高品位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多く使用されている。近年、消費者ニーズの多様化と製品サイクルの短縮化が進む中、これらの製造現場で使用されるレーザ加工機には、更なる生産性向上や多品種小ロット生産への対応、消費電力削減によるランニングコストの低減、信頼性向上による長期間の安定稼働が求められている。

三菱電機はこのような市場要求に対して、次の点を特長とした新型炭酸ガス二次元レーザ加工機“ML3015LVP-45CF-R”を開発した。

### (1) 加工性能向上

レーザ発振器40CF-Rの効率を向上し、定格出力を4kWから4.5kWに高出力化したレーザ発振器45CF-Rを開発して、加工速度、加工板厚、加工面品質などの加工性能

向上を実現した。さらに軟鋼では、新ピアシング技術を採用してピアシング加工時間の短縮を図った。

### (2) ランニングコスト低減

レーザ発振器の効率向上及び加工性能向上によって加工時間を短縮し、ランニングコストの大幅低減を実現した。また、機械加工工程の一部代替を可能としたブリリアントカットによって、全体工程の短縮・コスト低減を可能とした。

### (3) 長期信頼性の向上

レーザ発振器を構成する主要部品について徹底した品質向上を実施することによって、信頼性を大幅に向上させ、国内初<sup>(注1)</sup>となるレーザ発振器の3年保証を実現した。

本稿では、ML3015LVP-45CF-Rにおける各種技術について述べる。

(注1) 2008年6月9日現在、当社調べ



## 新型炭酸ガス二次元レーザ加工機“ML3015LVP-45CF-R”

新型発振器“45CF-R”と高性能レーザ加工機“LVシリーズ”との組合せによって、加工性能の向上、ランニングコスト低減、長期信頼性の向上を実現した。

## 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の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。

一方、加工品種の増大と製品サイクルの短縮化が進む中、レーザ加工機には更なる生産性向上や多品種小ロット生産への対応、消費電力削減によるランニングコストの低減、信頼性向上による長期間の安定稼働が求められている。

本稿では、このような市場の要求に対して当社が開発した新型炭酸ガス二次元レーザ加工機ML3015LVP-45CF-Rについて述べる。

## 2. 特長

当社では、1章で述べたような市場要求に対して、①加工性能の向上、②ランニングコストの低減、③長期信頼性の向上をコンセプトとして新型炭酸ガス二次元レーザ加工機ML3015LVP-45CF-R(以下“LVP-45CF-R”という。)を製品化した。次にその詳細について述べる。

## 3. 加工性能の向上

### 3.1 加工速度向上による加工時間短縮

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、厚板領域での加工板厚拡大などの加工性能向上が見込まれるため、従来の4kWレーザ発振器40CF-R(以下“従来機”という。)の効率を向上して、4.5kWへの高出力化を実現した。

さらに、加工テーブル全領域のビームを均一化するビームスタビライザ、加工する材料に合わせてビーム特性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、高速加工時に材料表面との距離を高精度に制御する静電容量式値センサなどの制御方式と組み合わせることによって、軟鋼(SS400)中厚板、ステンレス(SUS304)、アルミニウム(A5052)など幅広い材料で加工速度が向上しており、従来機と比較して最大20%の向上を得た(図1)。

図2は、ステンレス加工時の加工時間を従来機と比較した例である。加工速度向上によって、従来機比約20%の加工時間短縮を実現している。

### 3.2 新ピアシング技術による軟鋼加工時間短縮

中厚板以上の軟鋼加工時では、ピアシング加工(開始点の穴あけ加工)時間が総加工時間に占める割合が大きくなる。そこでLVP-45CF-Rでは、板厚9mm以上の軟鋼で新ピアシング技術であるビートピアスを採用し、更なる加工時間短縮を図った。

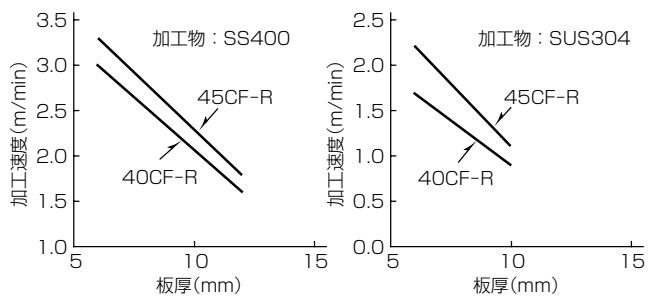


図1. 加工速度比較(材質：SS400及びSUS304)

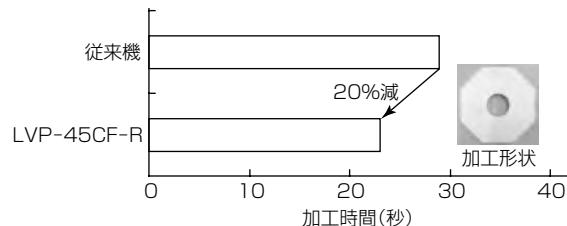


図2. 加工時間比較(材質・板厚：SUS304・t6mm)

ピアシング方法	従来ピアシング	ビートピアス
ピアシング部拡大写真		
ピアシング穴径	φ1mm	φ1mm
貫通時間	8秒	4秒

図3. ピアンシング穴径、貫通時間比較  
(材質・板厚：SS400・t12mm)

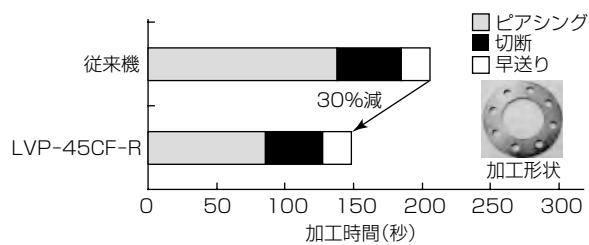


図4. 加工時間比較(材質・板厚：SS400・t12mm)

ビートピアスは、当社発振器の特長である出力応答特性を生かして、最適ピーク出力を段階的に制御することによって、ピアシング穴径φ1mm以下を維持しながら貫通時間を最大50%短縮した技術である。図3及び図4に、この技術を軟鋼12mmで適用し、従来機と比較した例を示す。高出力化による加工速度向上に加え、ピアシング時間短縮によって、従来機と比較して加工時間を約30%短縮した。

### 3.3 最大加工板厚の拡大

三軸直交型レーザ発振器で得られる高ビーム品質に加え、レーザを高出力化することで、切断可能な板厚を拡大した。図5に各種材質の切断例を示す。LVP-45CF-Rにおける切断公称能力は、軟鋼で板厚25mm、ステンレスで板厚12mm、アルミニウムで板厚12mmとなり、従来機と比較して最大加工板厚を約30%拡大した。

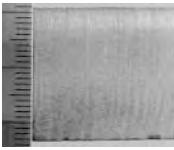
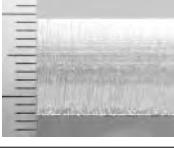
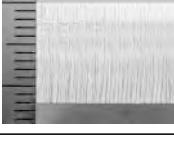
材質	板厚	切断サンプル	切断面
SS400	25mm		
SUS304	12mm		
A5052	12mm		

図5. LVP-45CF-Rによる厚板加工性能

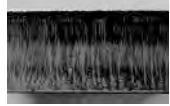
	従来機	LVP-45CF-R
出力(W)	4,000	4,500
加工速度(m/min)	1.6	1.8
切断面外観		
切断面粗さ(Rz)	26.3	14.5

図6. 切断面比較(材質・板厚: SUS304, t12mm)

### 3.4 切断面品質の向上

一般に軟鋼の酸素切断では、加工速度 2 m/min 前後をし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 2 m/min 以下では、母材の溶融に対して鉄の酸化燃焼反応によるエネルギー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、2 m/min 以上の加工では、レーザ出力が母材の溶融に大きく寄与するため、周期的な酸化燃焼反応によって形成される条痕が目立たなくなり、切断面粗さが低減する傾向にある。図6に軟鋼12mmの切断面を従来機とLVP-45CF-Rで比較した結果を示す。LVP-45CF-Rでは加工速度が約10%向上し、母材溶融に用いられる鉄の燃焼反応の寄与比率を下げることができるために、切断面粗さを大幅に低減し、切断面品質向上を実現した。

## 4. ランニングコスト低減

### 4.1 レーザ発振器効率向上による消費電力の削減

#### 4.1.1 発振効率の向上

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炭酸ガスレーザ発振器40CF-Rに対して、さらに中板厚に最適な集光特性を実験から策定し、必要な集光特性を安定的に効率良く取り出せる構成を品質工学を適用して共振器を設計することによって発振効率向上を達成した(図7)。

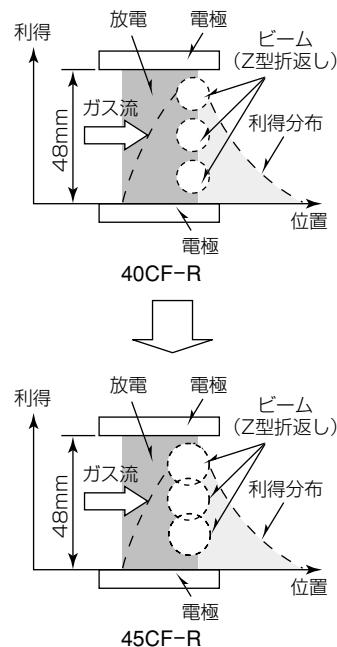


図7. レーザ発振効率の向上

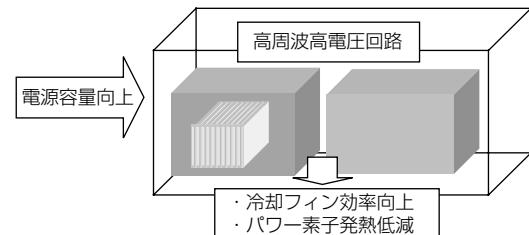


図8. 高周波高電圧回路の効率向上

#### 4.1.2 高周波高電圧回路の効率向上

レーザ出力を発生させるための励起空間に放電を発生させるレーザ発振器用高周波高電圧回路について、  
 ①冷却フィン構造見直しによる冷却効率向上  
 ②最適周波数制御によるパワー素子発熱低減  
 を実施し、冷却効率を向上することによって電源容量向上を実現した(図8)。

消費電力削減のため、加工待機時に消費電力を極力抑えて加工時に瞬時にレーザ出力を発生させるジャストオンタイム放電方式(加工待機時の消費電力50%削減)に加え、4.1.1項で述べた発振効率の向上及び高周波高電圧回路の効率向上によって、従来の4 kW発振器40CF-Rと同サイズでレーザ出力4.5kWの高出力化を達成し、トータル11%の消費電力削減を実現した。

### 4.2 加工速度向上によるランニングコスト低減

LVP-45CF-Rでは、消費電力削減に加え加工速度向上によって、レーザ加工時のランニングコスト低減を実現した。

アシストガスに窒素を用いたレーザ切断プロセスでは、加工対象を溶融するためのレーザ出力と、溶融物排出を主目的としたアシストガスが必要であるが、加工速度が向上

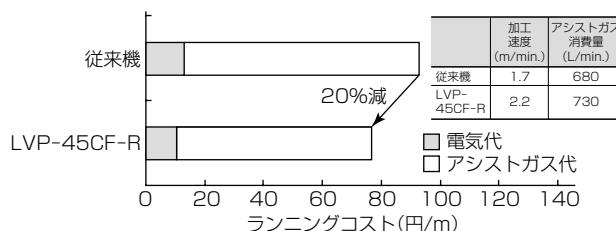


図9. ランニングコスト比較(材質・板厚:SUS304・t6mm)

することにより、アシストガス消費量を低減することができる。図9はLVP-45CF-Rにおけるレーザ加工時のランニングコストを従来機と比較した一例である。加工速度向上及び消費電力削減と合わせて、トータル約20%のランニングコスト低減を実現した。

#### 4.3 ブリリアントカットによる後工程削減

ステンレスの無酸化切断の技術確立によって、酸化被膜や裏面に付着するドロスの防止、硬化層の低減が可能となった。しかし、従来の無酸化切断では、板厚の増大に伴い切断面粗さやテーパが増大する傾向にあり、加工品の用途によっては、仕上げ加工、研磨加工といった後工程に多くの時間を費やす必要があった。そこでLVPシリーズでは、機械加工工程の削減、又は粗仕上げ、普通仕上げといった機械加工工程の一部代替を可能とした切断技術であるブリリアントカットを標準搭載し、全体工程の短縮、コスト低減を図った。

レーザ切断品質に影響する要因は多岐にわたるが、ブリリアントカットは①高矩形(くけい)パルスの新制御方式による被加工物の入熱抑制、②新型発振器のビーム品質に加え、最適なビーム伝播(でんぱ)長と加工対象に最適化されたビーム特性の提供、③冷却性に優れた反射ミラー構造、光路内のクリーン度向上による最適光路設計、④切断品質に対し最適化されたアシストガス流れを実現する新型ノズルの採用、⑤レーザ出力、加工速度、焦点位置、アシストガス圧力・流量等、多岐にわたるレーザ加工のパラメータ最適化によって構成されている。

	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10. 切断面比較(材質・板厚:SUS304・t10mm)

図10は、従来切断とブリリアントカットの切断面粗さを比較した一例である。従来方法に対しブリリアントカットでは、切断面粗さを約45%低減しており、機械加工工程の一部代替を可能とした。

#### 5. 長期信頼性の向上

近年のレーザ加工機は、加工性能の向上によって機械加工に代わる高速加工機として製造現場への導入が加速するとともに、材料の自動供給装置と組み合わせて連続稼働するケースが増えており、信頼性の観点から長期の保証を求める声が強くなっている。このような市場要求に対し、高出力レーザ発振器45CF-Rの製品化に当たり、信頼性向上についての取り組みも実施している。

約30年間レーザ発振器の開発、製造、保守すべてを自社で一貫して行ってきた実績と、その過程で培った技術ノウハウを生かし、レーザ発振器を構成する主要部品について徹底した品質向上活動を実施することによって信頼性を大幅に向上させ、国内初となるレーザ発振器の3年保証を実現した。

#### 6. むすび

新型炭酸ガス二次元レーザ加工機ML3015LVP-45CF-Rの主な特長と加工能力について述べた。今後も総合レーザ加工機メーカーとして更なる性能向上を目指し、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。