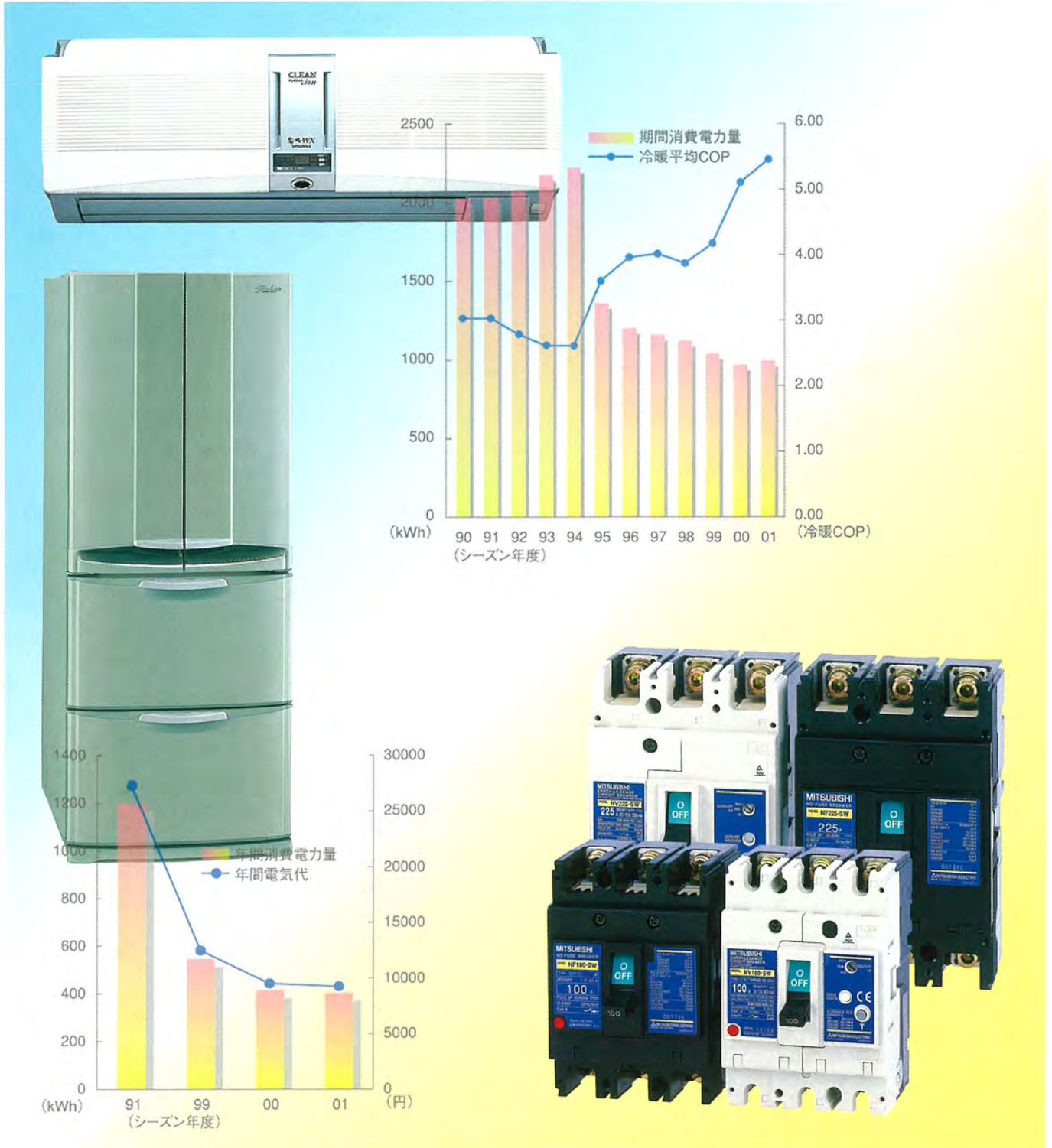


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.76 No.5

特集Ⅰ「省エネルギー機器・技術」
 特集Ⅱ「低圧遮断器の最新動向」

2002 **5**



目 次

特集Ⅰ「省エネルギー機器・技術」

「省エネルギー機器・技術」に寄せて 吉田邦夫	1
省エネルギー機器・技術の現状と展望 馬場文明	2
電力機器の省エネルギー 山本俊二・前田 進・村上 寛・南井良文・吉田康夫	6
エレベーターの省エネルギー技術 久保田猛彦・小松孝教・荒木博司	10
空調機の省エネルギー技術 古藤 悟・中山雅弘・七種哲二・加賀邦彦・若本慎一	14
省エネルギーに対応したパワーデバイスの動向 山元正則・福永匡則	18
インバータ技術と省エネルギー 木全政弘	22
省エネルギーをリードするシミュレーション技術 長尾政志・馬場和彦・川尻和彦・廣中康雄・岩村義巳・加藤康明	26

スポットライト

ライフエンドまでの省エネルギー性も考慮した 「快測センサー霧ヶ峰」WXシリーズ	30
--	----

特集Ⅱ「低圧遮断器の最新動向」

低圧遮断器の特集に寄せて 水谷照吉	31
低圧遮断器の現状と展望 井下雄右・矢木澤 守	32
新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器「WSシリーズ」 山県伸示・谷辺俊幸	36
最近の遮断器における新遮断技術 三橋孝夫・月間 満・伏見征浩	40
遮断器用モールドケースの衝撃解析技術 春名一志・安村賢二	44
WSシリーズ対応計測表示ユニット付きブレーカ 永久英夫	48
WSシリーズ漏洩電流表示付き遮断器 野村敏光・神谷慎太郎	52
小型気中遮断器「AE4000-SSA」 川上淳一・中出口真治・久森洋一・岡下広史	56
拡大する中国市場におけるMCBに求められる役割と動向 河上 正・池田龍典・池田清二	60

特許と新案

「空調和機の熱交換器」「開閉器」	64
「冷媒サイクル装置、及びその制御方法」	(表3)

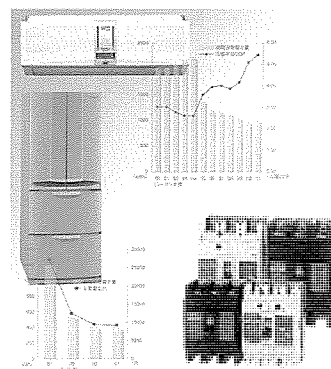
表紙

家電製品の低消費電力化

家庭における電気の2/3は、エアコン、冷蔵庫、照明器具、テレビの4機種に使用されている。消費電力量の多い機器の低消費電力化を着実に進めることが、家庭の大きな省エネルギーを実現する。インバータ搭載に加え、エアコンではセンサテクノロジーの高度化、冷蔵庫では各室の温度管理を独立させるなど、きめ細かな対応で消費電力量の削減に取り組んでいる。

新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器

三菱電機は、充実した配電制御機器群により、ビル・工場・機械装置分野などあらゆる場面で高度な保護を実現してきた。このたび、国際ニーズにこたえるグローバル化を実現した新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器WS(World Super)シリーズを発売した。写真はその一般品(黒色)と海外規格対応品(白色)を示す。



「省エネルギー機器・技術」に寄せて

アジア科学技術発展機構 理事
東京大学名誉教授

吉田邦夫

長年にわたって大きな省エネルギー成果を挙げて省エネルギー優等生と言われてきた日本が、行き詰まりを見せている。産業部門は消費の伸びが止まっているが、省エネルギー成果というより、不況による生産調整と製造業の海外移転がもたらした結果である。一方、民生と運輸部門のエネルギー消費量の伸びは著しい。エアコンは依然として売れ続け、家用車の台数も1990年から46%も増えている。

文部科学省が実施した技術予測調査においても、地球環境問題を解決するために最も有効な手段としては、経済的対応が最大の支持を得て、次いで倫理的対応、技術的対応の順となっている。環境税や自然エネルギーへの助成などの経済的施策が、新技術や省エネルギー技術よりも炭酸ガス排出の削減には有効だと多くの識者が考えていることになる。

省エネルギー技術の進展が必ずしも停滞しているわけではない。冷蔵庫の省エネルギー化は著しく、若干古いものは買い換えた方が得だとさえ言われる。車もハイブリッドカーのように低燃費、低公害化に向けた進歩は素晴らしい。ただ、燃料電池のように発電技術を大きく変える技術、コークス炉に導入されたCDQのようなスケールの大きい省エネルギー技術、そしてこれらを束ねるムーンライト計画のような夢のあるプロジェクトに続くものを見出せないでいることが人々に停滞感を与える要因になっている。

この現状を打破するにはどうすべきであろうか。省エネルギーを排熱の有効利用といった狭い枠の中で考えるセクショナリズムの排除と他業種からあふ(溢)れ出てくる技術の利用、いわゆるスピルオーバーの積極的活用の二つの重

要性を訴えたいと思う。

化学反応を促進するには高温が求められる。これを酵素を用いる生物化学反応に置き換えることができれば常温の反応となる。あるいは、バイオマスから繊維を作れば石油資源の節約になる。しかし、このような技術は省エネルギー担当部門のする仕事ではなく、バイオ技術の担当者の課題として退けられがちである。是非とも広い観点に立って省エネルギーの可能性を探ることの重要性を分かってほしい。

技術進歩は、自らの研究開発から得られる成果と、他者の技術成果を活用することの両者によってもたらされる。不況下にあつて、前者への投資は当然大きく減退したが、同様に後者の成果も減少している。日本の技術は周知のように外国のアイデアを取り込んで実用化にまで持ち込むことにな(長)けてきた。産学連携、研究人材の育成など現在進められている国家技術戦略は、あまりにも新しい技術を、それもすべて自前でという思いが強すぎるように思う。

燃料電池は容易に実用化に至らないが、その研究過程で生まれた膜技術が少量の水分除去に転用されてヒートポンプの効率向上に役立っている。例えば、酸素附加燃焼をキーワードとするのではなく、燃え難いものを燃やす方法の項を調べると酸素附加も一つの技術として見付け出せるようなデータベースの作成を是非とも考えてほしい。それがスピルオーバー効果を生み出すことに極めて有効だと考えるからである。

自由な発想から新しい省エネルギー技術が生み出されることを心から願っている。



馬場文明*

省エネルギー機器・技術の現状と展望

1. ま え が き

自然環境への影響をできる限り抑制し、限りある資源をより有効に循環させる“持続型社会”をつくり上げるため、地球温暖化や枯渇性資源など地球環境問題への取組が社会的使命である。

1997年2月に京都で開催された“第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)”で採択された京都議定書で、日本は、2008年から2012年の平均値で二酸化炭素(CO₂)等の温室効果ガスの排出量を'90年比で6%削減することに合意した。国内の温室効果ガス排出の約9割をCO₂が占め、そのほとんどがエネルギー消費による。CO₂排出量を削減するためには、エネルギー消費効率の改善(省エネ)を継続して行うことが必要であり、産業から家庭まで社会全般にわたる省エネの取組が重要である。

2. エネルギーを取り巻く環境

日本国内におけるCO₂排出量は、省エネ等の取組がないと2010年には373百万tまで増加し、COP3の目標を約30%オーバーすると予測されている⁽¹⁾。'96年のCO₂排出量は314百万tであり、基準となる'90年の287百万t目標を達成するためには、毎年0.6%以上のCO₂削減が必要となる。CO₂削減は、最終エネルギー消費の削減と密接に関係する。

2.1 エネルギー消費の削減

最終エネルギー消費(原油換算)の見通し⁽²⁾では、表1に示すように、民生分野の伸び率が他の分野に比較して大きく、省エネの対策を行った場合においても、'96年の消費量を上回る見込みである。最終エネルギー消費において、2010年度の目標を達成するためには、原油換算で約5,600万kℓの省エネが必要であり、表2に示すような対策が推進されている。

民生部門の大部分を占める家庭分野では、生活の利便性・快適性向上に向けて、エネルギー消費が堅調に伸びて

表1. 最終エネルギー消費(原油換算)の見通し

	1996年度		2010年度			
	原油換算 (億kℓ)	構成比 (%)	基準ケース		対策ケース	
			原油換算 (億kℓ)	構成比 (%)	原油換算 (億kℓ)	構成比 (%)
産業	1.95	49.6	2.13	46.7	1.92	47.9
民生	1.02	26.0	1.31	28.7	1.13	28.3
運輸	0.96	24.5	1.12	24.6	0.95	23.7
合計	3.03	100.0	4.56	100.0	4.00	100.0
原油換算	9,250kcal/ℓ					

いる。図1は'90年度から'95年度における家庭エネルギー消費の伸びの内訳⁽²⁾を示しているが、照明・電気製品と暖房の伸びが顕著である。図2⁽³⁾は、家庭における電力消費の内訳を示す。エアコン、冷蔵庫、照明、テレビの4機種で約2/3を占める。家庭における省エネの実現は、これらの4機種の省エネが大きな効果を示す。業務分野では、オフィスのOA化や床面積の増加により、動力・照明用のエネルギー消費が伸びている。

表2. 省エネルギー対策(概要)

項目	分野	省エネ対策
省エネ基準の強化	産業	省エネ対策実施
	民生	機器の効率改善の強化措置
	運輸	自動車の燃費改善の強化措置
省エネの誘導	産業	工場の省エネ
	民生	住宅の省エネ 建築物の省エネ
	運輸	クリーンエネルギー自動車 個別輸送機器のエネルギー消費効率向上
間接的な省エネ誘導	運輸	物流の効率化 交通対策 テレワークの推進
		国民のライフスタイルの変革
	運輸	駐停車時のアイドリングストップ 自動車利用の自粛

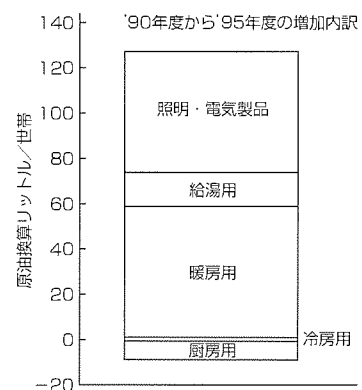


図1. 家庭消費エネルギーの伸びの内訳

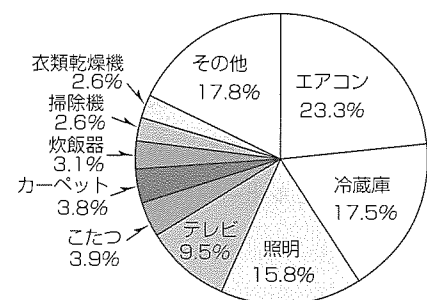


図2. 家庭における電力消費

産業分野では、エネルギー消費原単位の改善が'75年ごろから急速に進み、製造業全体では'73年度を100とすると'95年度では60にまで低下しているが、改善傾向が頭打ちであり、エネルギー消費原単位を低減する革新的な製造技術の開発が求められている。

運輸分野では、エネルギー消費の約1/2を自家用乗用車が占める。貨物自動車のエネルギー消費も増加傾向にあり、燃費の改善や渋滞を緩和する新しい交通制御システムなどの導入が省エネ実現に必要となる。

2.2 改正省エネ法

省エネ対策の約半分を占める省エネ基準の強化では、'99年に省エネ法が改正され、“トップランナー方式”などの新しい施策が盛り込まれた。従来の省エネ法では市場製品のエネルギー消費効率の平均値が目標の基準値であったが、トップランナー方式では、エネルギー消費効率の最も優れた製品の値が目標値となる。

具体的には、対象となる特定機器の区分に応じて、指標と目標基準値が設定されている。表3に示すように、ガソリン乗用車は質量、冷暖房エアコンは冷房能力、TVは画面のアスペクト比と機能、冷蔵庫は冷却方式と内容積である。図3は、冷暖房エアコンで汎用機種であるセパレート壁掛け型の目標基準値を示す。冷房能力の小さな小型機種ほど、指標であるCOP(Coefficiency of Performance)の値が大きく目標値が厳しい。

法律による規制強化は製品メーカーに高レベルの技術開発課題を負わせるが、従来から新しい技術開発の実現で目標をクリアしてきた。市場がグローバル化し地球環境問題に対する社会・消費者の意識が大きく変化していく中で、三菱電機は、社会の要請にこたえる省エネ製品を提供するために、関連するすべての分野でニーズを先取りした先行技術開発と革新的な新技術の開発を推進している。

3. 当社における省エネルギー技術開発

三菱電機グループでは、“循環型社会”を目指して、'93年度から環境に関する自主的な取組を“環境計画”として体系化し、自社の生産プロセスだけではなく、資材の調達や

使用時/使用後のリサイクル、さらには廃棄まで視野を広げ、製品のライフサイクル全体で“MET”を配慮した環境負荷低減に取り組んでいる。図4⁽⁴⁾に三菱電機グループにおける活動を示すが、M(Material:資源の有効利用)、E(Energy:エネルギーの効率利用)、T(Toxicity:環境リスク物質の排出回避)の三つの視点で、計画→実施→点検→見直しのサイクル活動を継続して展開している。

省エネルギー機器の開発においても、環境計画に基づき、エネルギーの生成・変換機器、産業機器、家庭用電気機器、デバイス、及びこれらの製品を支える設計・解析技術、CAE、材料技術、プロセス技術、評価技術の開発を進め

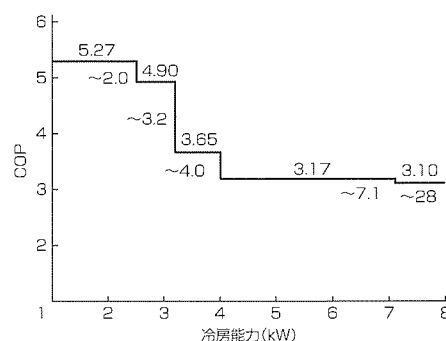


図3. 改正省エネ法の目標値(冷暖房兼用エアコン)

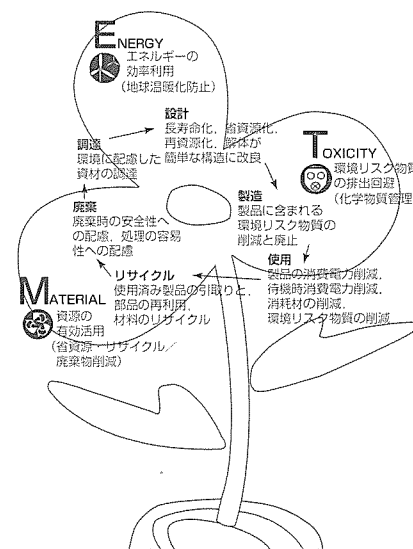


図4. 三菱電機グループの環境への取組“MET”

表3. 改正省エネ法の指標区分と省エネ効果

機器名	ガソリン自動車	エアコン	照明器具	テレビ	VTR	冷蔵庫
対象範囲	定員10人以下の乗用車	冷房専用、冷暖房兼用で25kW以下	蛍光灯	ブラウン管型で交流電源使用	デジタルを除く交流電源使用	JIS C 9607 (横置きを除く)
指標	10/15モード燃費	COP	全光束/消費電力	年間消費電力量	待機消費電力	年間消費電力量
区分	等価慣性質量	冷房能力	形状/スタート形式	サイズ/アスペクト比	画質タイプ	製品区分/冷却方式
目標基準値例	13.0km/ℓ 1,500kg	4.90 3.2超 4 kW以下 セパレート	82lm/W 環型区分62超72以下	136.9kW・h/年 ワイド29インチ	2.5W 高画質BSチューナー	(調整内容積)×定数 +定数
目標年度	2010年度	2004/2007年度	2005年度	2003年度	2003年度	2004年度
省エネ効果	23% ('95年度比)	63%(冷暖兼用) ('97冷凍年度)	16.6% ('97年度比)	16.4% ('97年度比)	58.7% ('97年度比)	23% ('98年度比)

ている。METの実現に向けて、製品開発において省エネを達成するとともに、世界市場を対象とした環境対応技術開発、国内外の規格・規制への適合、国際的な市場競争力の確保が重要となる。

次に、当社における代表的な省エネルギー機器・技術の開発について示す。

3.1 電力機器

発電、送変電、配電などの電力機器は、電力を常に供給していることから、省エネルギーに対する効果大きい。タービン発電機の省エネルギー化は、損失低減による高効率化が中心となる。流体解析に基づいたファン設計、通風設計による風損低減により、水素冷却タービン発電機の高効率大容量化、空気冷却タービン発電機の高効率化を実現している。

変圧器では、漏れ磁束、漂遊損失を低減し新絶縁構造を採用することにより、容積や据付面積を半減した外鉄形変圧器の開発に成功している。油入変圧器でも同様に、高性能材料の採用や損失低減技術開発により、30年前と比較して2倍以上の省エネルギー(損失低減)化を達成している。

3.2 昇降機(エレベーター)

エレベーターの省エネ化は、

- (1) サイリスタ制御→インバータ制御方式
- (2) ウォームギヤ巻上機→ヘリカルギヤ巻上機
- (3) ヘリカルギヤ巻上機→PM(永久磁石モータ)ギヤレス巻上機

などの、省エネ技術の開発適用が継続して行われてきた。最近では、かご室の下降時に巻上機に発生する電力を二次電池に蓄電し電力を有効利用する“回生電力蓄電システム”による省エネ化を実現している。従来は熱として放出されていた電力の有効利用による省エネである。

3.3 産業機器

メカトロニクス分野では、シーケンサの小型・省資源化とともに、低電圧駆動のICや出力ユニットにMOS FETを採用することで消費電力を1/2以下に低減した。また、電源部では、共振型コンバータの採用によって変換効率の向上による省エネと低ノイズ化を実現している。

レーザ加工機の心臓部であるYAGレーザ発信器では、ランプ励起方式からLD(レーザダイオード)励起方式に変換し、約6倍の変換効率向上を実現するとともに、加工時のみ励起する方式の採用により、消費電力量を1/10に低減している。

3.4 家庭用機器

改正省エネ法において対象機種に選定されたエアコン、TV、VTR、照明器具(蛍光灯)を始めとしてすべての機器で、省エネに取り組んでいる。エアコンと冷蔵庫の消費電力量推移を図5、図6に示すが、熱交換器、冷却器、ファンなどの効率向上により、10年前に比較してエアコンでは

約1/2、冷蔵庫では約1/3と大幅に消費電力を低減している。

家庭用機器では、使用時の電力消費に加え、リモコンなどの使用に備えた待機消費電力が家庭における消費電力の約10%を占め、待機消費電力の低減が重要となる。

表4は、代表的な家庭用機器の待機消費電力平均値⁽⁵⁾を示す。VTR、エアコン、電子レンジなど、よく使用する機器の消費電力が大きく、待機消費電力を限りなく0に近づける取組を進めている。当社のカラーTVの待機消費電力は、図7に示すように、'97年の6.0Wに対し、現在では0.1Wと低減している。

3.5 電力制御回路(インバータ)

電気製品では、ほとんどの製品でモータが使用されるため、モータ駆動回路の性能が製品の省エネと大きく関係する。最近のモータ駆動回路は、モータ効率を最大限に発揮させるために、電圧や周波数を自在に制御可能なインバータ制御が採用されている。製品の省エネ化を推進するため

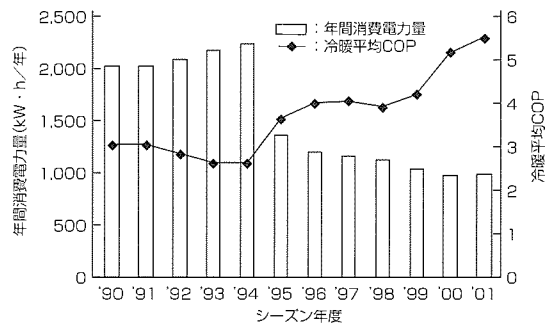


図5. エアコンの消費電力量推移

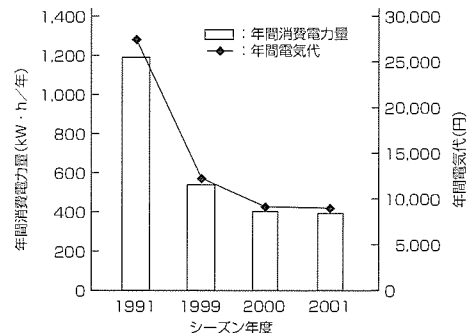


図6. 冷蔵庫の消費電力量推移

表4. 家庭用機器の待機消費電力

用途	機種	待機消費電力(W) (平均値)
AV	テレビ*	1.5
	VTR*	6.9
	CDラジカセ*	3.5
空調	エアコン*	4.6
	石油ファンヒーター	5.1
衛生	扇風機*	0.5
情報	洗濯機	1.2
厨房	パソコン	3.5
	炊飯器	2.2
	電子レンジ 食器乾燥機	4.8 1.6

*リモコン使用機種

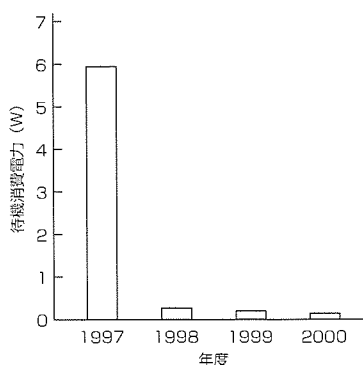


図7. テレビの待機消費電力推移

にはインバータ技術の革新が重要であり、次のような取組が行われている。

- (1) 負荷駆動効率向上(可変速範囲拡大, 出力トルク特性改善)
- (2) モータ効率向上(最適励磁制御, 磁束制御)
- (3) インバータ変換効率向上(スイッチング損失低減, 導通損失低減)
- (4) 回生電力利用(電源回生, 蓄電の充放電制御)

3.6 半導体デバイス

製品の省エネ化, IT化の進展とともに製品に搭載される半導体デバイスが増加し, 半導体デバイスの消費電力が製品の消費電力に大きな影響を与えている。デバイスの省エネルギー化に対しては,

- (1) 動作電圧の低減(5V→3V以下)
 - (2) デバイス構造の変更(バイポーラ型→CMOS型)
 - (3) デザインルール(最小配線幅)の微細化(0.1μm以下)
 - (4) 複数機能のワンチップ化
- などに取り組んでいる。

パワーデバイスでは, 構造, 材料の新規開発や適正化で, 内部消費電力の削減を実現している。デバイスの省エネ化は, 製品の小型・省資源化にも有効であり, 製品トータルとしての省エネ化にも貢献している。

3.7 シミュレーション技術

製品開発では, 性能向上や開発期間短縮に, CAEを始めとするシミュレーション技術が重要となっている。省エネに関しても, モータの電磁界解析, ファンや熱交換器の流体解析, 種々の熱伝導・伝達解析, 燃焼解析などのシミュレーション技術の開発適用を進め, 製品の性能向上と高効率化を実現している。

製品の小型化や省資源化に対しても強度解析, 樹脂流動解析, 金型設計, 寿命予測などのシミュレーション技術を適用し, 製品の信頼性向上とともに省エネ化を支えている。

4. 今後の展望と課題

トップランナー方式などで規制強化された省エネ基準を

待つまでもなく, 持続型社会を創り出すために, 省エネルギー機器・技術の開発は, 不断に継続していかなければならない。当社は, 電気機器の広範な分野にわたって, 幅広い技術を開発しながら, 省エネルギー機器の開発を進めてきている。今後は, 省エネルギー技術の向上を図るとともに, 総合力を発揮し, 世界をリードする革新的な省エネルギー機器の開発が今後の課題である。

当社では, 利便性や快適性を維持しながら省エネルギーとコスト削減を実現するESS(Energy Solution Service)を展開している。エネルギー効率を高めるコジェネレーションシステム, マイクロガスタービン, 新エネルギー利用発電システムなどにIT(情報技術)を融合し, 省エネルギーとコスト低減を両立させる新しい統合システムを社会に提案し提供している。これからの省エネルギー化は, 既存機器・技術の省エネルギー化及び新しい機器の開発と新エネルギーの導入を視野に入れたシステムソリューションが重要となる。

現在のエネルギー供給は原油や天然ガスなどの枯渇性資源に頼っているのが現状であり, 環境へ与える負荷が小さく資源制約のない新エネルギーの開発と導入が重要である。新エネルギーとしては再生可能エネルギーの利用促進が重要であり, EUにおいては, 導入割合を2010年度に11.6%(98年度5.3%)に引き上げることを公表している。

再生可能エネルギー導入では経済性(既存エネルギー比較), 利用効率(エネルギー変換効率, 設備利用率), 出力安定性(太陽光, 風力は自然条件の依存度大)などの課題があり, 当社では, 課題に対して積極的な技術開発を行い, 省エネルギーと地球環境保護に取り組んでいる。

5. むすび

21世紀は“環境の世紀”であり, 持続的な人類の発展と企業の経済活動を実現するためには, 地球環境問題に積極的に取り組まなければならない。“循環型社会”を社会とともに創り上げる“共創”に向けてリーダーシップを発揮していくことが当社の使命である。

参考文献

- (1) 省エネルギー技術動向調査委員会: 省エネルギー技術動向調査, (財)省エネルギーセンター (2000-3)
- (2) 省エネルギー部会報告書: 今後の省エネルギー対策のあり方について, 総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会 (2001-6)
- (3) 総合エネルギー調査会需給部会中間報告 (1998-6)
- (4) 環境レポート2001, 三菱電機株
- (5) 平成9年度電力需給の概要, 資源エネルギー庁

電力機器の省エネルギー

山本俊二* 南井良文†
 前田 進** 吉田康夫**
 村上 寛***

要 旨

電力系統における発電、送変電、配電それぞれについて、省エネルギー化の取組を三菱電機では広く行っており、ここでは、電力機器への取組例を述べる。

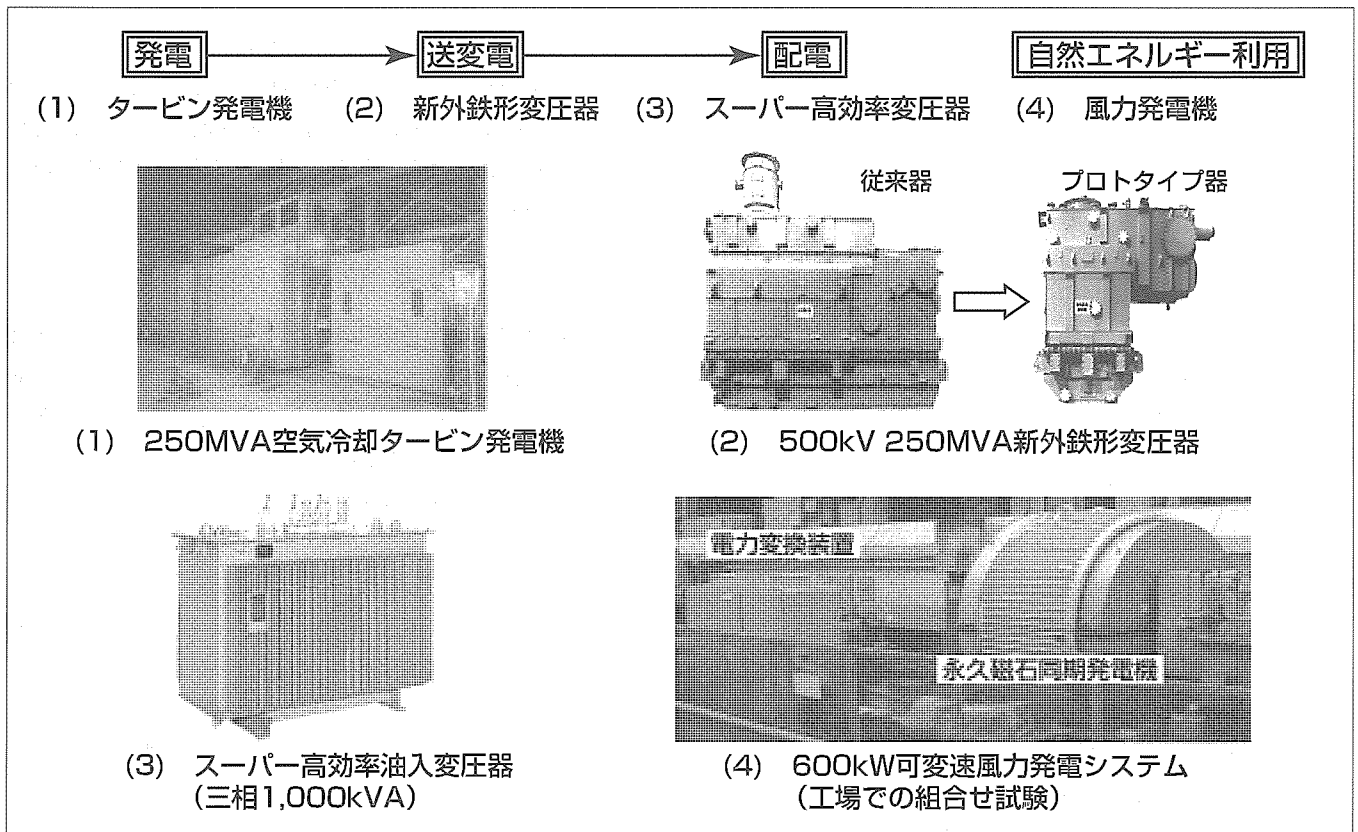
発電については、空気冷却及び水素冷却タービン発電機の効率向上によって省エネルギー化を目指している。当社では、世界最大級の空気冷却タービン発電機を製作し、水素冷却機とほぼ同等の効率の高いものを得ている。

送変電については、電力用大型変圧器の本体体積縮小、新絶縁構造の採用により、大型変圧器の据付面積を半減させ、損失の低減も実現させることができた。成熟機種と考えられる分野に対しても、新たな発想を持ち込むことにより、更なる改善が可能である。

配電分野については、電力の合理的使用や高効率変圧器の採用による電力削減などの必要性が見直されている。当社では、配電設備構成の一翼を担う、損失が極めて少ないスーパー高効率油入変圧器を開発し、配電分野で活用されている。

省エネルギーに向けた発電機の応用例の一つとして、自然エネルギーを利用する風力発電を挙げることができる。当社が開発し実用化している風力発電機は、回転子磁極に永久磁石を用いた同期発電機を用いており、励磁装置やギヤ機構を不要として、電気的／機械的の両損失を軽減させている。

特集
I



電力用省エネルギー機器

当社では、発電、送変電、配電の電力系統各部における省エネルギー機器を製品化している。図は、これらの製品の一例を示したものである。

1. ま え が き

ここ数年来の地球環境に関する世界的な意識高揚，特に地球温暖化防止への取組としての様々な省エネルギー活動が強化されている。当社では，様々な分野における省エネルギーの取組をこれまで実施しており，製品化によってお客様に活用していただいている。

我が国の産業や家庭へのエネルギー供給源にかかわる電力機器は，その稼働率の高さから省エネルギー化の効果は大きい。

電力機器には様々な形態があるが，ここでは，発電，送電，配電それぞれの省エネルギー化の取組について，幾つかの例を示して述べる。

2. タービン発電機

タービン発電機の開発の歴史は，冷却改善による大容量化の歴史でもある。これまで水素直接冷却機によって最大出力が更新されてきているが，近年では，空気冷却機，水素間接冷却機の大容量化が著しく，特に空気冷却機では，冷却改善と効率向上を併せて達成している。

本稿では，省エネルギーに関し，空気冷却機を中心に効率向上策の実機適用例を述べるとともに，高効率を実現可能な超電導発電機についても取組を説明する。

2.1 空気冷却タービン発電機⁽¹⁾

空気冷却方式のタービン発電機は，付帯設備が少なく運転操作が容易であることから，複合サイクルプラントに適用されている。当社では，複合サイクルプラントの大容量化に対応して，定格容量250MVA，最大容量286MVAの世界最大級の空気冷却タービン発電機を製作した。発電機の外観を要旨のページに掲載する。

一般に，空気冷却機では，水素冷却機に比べて風損が大きいと、発電機効率が低下する。このため，空気冷却機では風損低減が主要な技術課題の一つとなっており，本機の設計では，ファン効率の向上や回転子表面の摩擦損失の低減に配慮した。併せて，漂遊負荷損の低減にも取り組んだ。

大容量の空気冷却機では，ファン風圧が従来の空気冷却機の1.5倍以上であり，新たなファンの設計が必要となったため，動翼1段，静翼1段のファンを開発した。実機適用に際しては，実物大のファンを製作し，工場で風洞試験装置に組み込んでファンの圧力-風量特性を計測した。結果を図1に示す。静圧効率は60%と，設計目標である50%を超える高効率を達成した。回転子と固定子間の空げき(隙)における冷却空気の流れについて，数値流体解析(CFD)を実施し，回転子ウェッジの出口圧力損失を評価した。実機の1/3縮小モデルによる検証を併せて実施しており，ウェッジの出口損失係数を評価した。

固定子，回転子コイルエンドの漏れ磁束によって発電機端部で発生する漂遊損低減のため，三次元電磁界解析を実施して損失評価を行うとともに，構造物に高抵抗の非磁性材を適用することで漂遊損を低減した。

工場試験の結果，定格出力時の発電機効率が同容量の水素冷却タービン発電機に近い98.6%の高効率を達成した。

2.2 水素冷却タービン発電機，超電導発電機

水素冷却機に対しても効率向上技術の適用を図っている。ファン設計と通風設計へ数値流体解析を適用して風損の低減を図るとともに，電機子巻線・位相リング，回転子表面，発電機端部の交流損評価へ三次元電磁界解析を適用して，漂遊損の低減構成を検討し実機適用を図っている。

界磁巻線を超電導化した超電導発電機は，効率向上，電力系統安定度向上といった利点があり，現在，経済産業省の「超電導発電機基盤技術研究開発」プロジェクトとして開発が行われている。界磁巻線抵抗損が零であり，軸受損等が小さいため，60万kW級超電導発電機で99.5%程度の高効率が実現可能であり，今後とも開発に取り組んでいく。

3. 変 圧 器

3.1 新外鉄形変圧器⁽²⁾

電力用変圧器は，送電系統のかなめの機器であり，電力系統の発展とともに，大容量・高電圧化を実現してきた。当社はこれまで，高電圧・大容量変圧器には外鉄形を採用し，技術の進歩と新たな社会的要求を反映して独自の技術開発と改良に努めてきた。一方，世界的規模での電力業界を取り巻く社会情勢の変化により，変圧器を始めとした送電機器には，経済性の向上とともに省エネルギー・省資源が強く求められている。このニーズにこたえるため，従来の大容量外鉄形変圧器に絶縁・冷却・機械強度に大幅な技術向上策を取り入れることにより，本体体積，据付面積の大幅な縮小を実現した新外鉄形変圧器のプロトタイプ器(要旨のページに外観を掲載し，表1に仕様を示す。)を製作し，性能試験を含む信頼性検証試験を完了した。外鉄形変圧器は，容量増大に対し，コイル群数を増加することで漏れ磁束，漂遊損失，機械力の増大なく対応することが可能である。今回製作したプロトタイプ器は，本体体積縮小

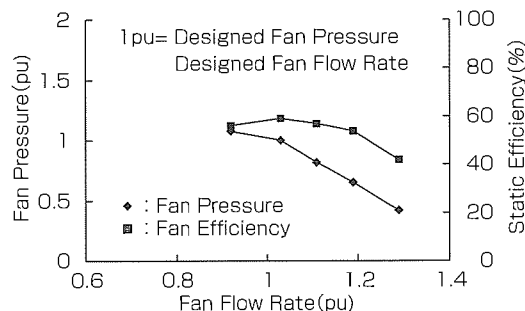


図1. ファンの風洞試験結果

のため新しく開発したコイル群数低減技術の適用によってコイル群数を増加することなく容量増大を実現し、さらに、新絶縁構造(ハーモニーコンボ絶縁)を適用した。

これにより、500kV 250MVAの単相・単巻変圧器で本体体積と据付面積を従来比50%(表2)に縮小するとともに、損失低減(表3)を図ることができた。今後、今回開発した技術の適用を進め、省エネルギー、省資源に寄与していく。

3.2 スーパー高効率油入変圧器⁽³⁾

配電用変圧器は、これまで時代の要請にこたえて低損失化、小型軽量化、高信頼性などの改善が進められてきたが、特に、近年、“改正省エネルギー法”の施行とあいまって、変圧器の低損失化に一段と拍車がかかってきた。

このような時代のニーズに対応し、更に低損失を追及した“スーパー高効率油入変圧器”について述べる。

表1. プロトタイプ器の仕様

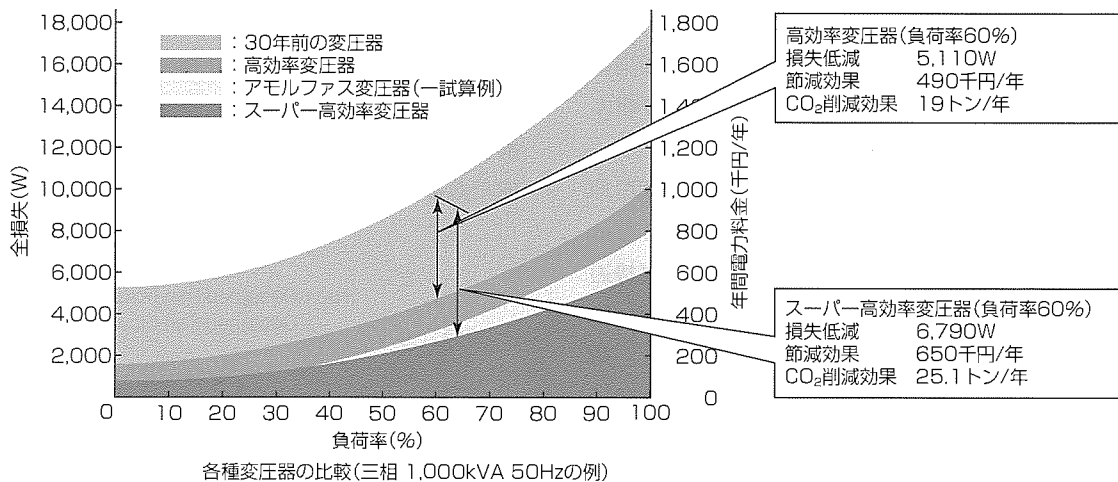
形式	単相単巻変圧器
電圧・容量	一次 500kV 250MVA
	二次 230±27.531kV 250MVA
	三次 36kV 80MVA
冷却方式	導油風冷
周波数	50Hz

表2. プロトタイプ器と従来器の諸元比較

項目	従来器	プロトタイプ器
主絶縁寸法	100%	70%
本体寸法(m)	(W)4.2×(L)3.2	(W)2.3×(L)2.9
本体体積(m ³)	55.1(100%)	28.0(51%)
本体平面積(m ²)	13.4(100%)	6.7(50%)

表3. 損失測定結果

	従来器	プロトタイプ器
鉄損	100%	85%
銅損	100%	100%



注1. 年間損失電力量料金(千円/年)=(無負荷損(W)+負荷損(W)×(負荷率)²)/1,000×365(日)×24(h)×単位電力量料金(11円/kW・h)/1,000

注2. CO₂の削減量(t/年): 1990年における電力受電端CO₂排出係数0.423[kg-CO₂/kW・h]によって算出

図2. 油入変圧器更新時の省エネルギー効果

3.2.1 シリーズ化範囲

容量 : 単相75~500kVA, 三相75~2,000kVA
 電圧・周波数: 一次電圧6.6kV, 二次電圧210V
 及び400V級, 50Hz及び60Hz

3.2.2 特長

スーパー高効率油入変圧器は、鉄心材に最高グレードの磁区制御けい素鋼帯を適用し、設計磁束密度の最適化、電流密度低減、漂遊損低減構造による低損失化を図り、無負荷損、負荷損を大幅に低減した変圧器であり、次の特長を持っている。

(1) 超低損失

JIS規格特性に対して約60%の全損失を低減

(2) 省スペース

三相1,000kVAで、標準変圧器に対して、床面積20%、体積約25%の小型化を実現(当社比)

(3) 低騒音

三相1,000kVAの測定例で約45dBの低騒音(JEM1118による1,000kVAの基準値は62dB)

(4) リサイクル性

けい素鋼帯を採用しており、従来の油入変圧器と同様のリサイクル性を確保

3.2.3 省エネルギー効果

スーパー高効率変圧器を30年前の変圧器の更新として導入した場合の損失低減効果、CO₂削減効果について、各種変圧器との比較を一試算例で図2に示す。

4. 風力発電機

地球環境問題に対する関心の高まりにより、世界的規模で風力発電設備の導入が加速している。

風力発電設備としては、従来は誘導発電機を用いた一定

速又は極数変換を用いた二速発電機が主流であったが、この方式は、系統への電力脈動の発生のほか、構造的にギアを使用することによる機械的損失、及び騒音発生等の問題点があった。

これに対し当社は、系統に影響を与えない、またメンテナンス性を向上した先進のシステムとして、風力発電用としては国内初の永久磁石式多極同期発電機を搭載した可変速ギアレス風力発電システムを開発し、まず300kW機で、三菱重工(株)のブレード、ナセルと組み合わせ、2000年7月からフィールドでの実証を行い、その性能を確認した。この結果、新しく開発したシステムは、省エネルギー性、メンテナンス性、出力電力の脈動軽減など、幾多の効果が認められ、徐々に導入実績を増やしつつある。この当社システムは、広く省エネルギー技術として知られている発電機とインバータとの組合せに似た構成であるが、回転子の磁極に永久磁石を用いた多極同期発電機と高効率電力変換器(発電機側コンバータと系統連系側インバータとの組合せで、その間の直流系をコンデンサで結合したもの)からなり、以下の技術的特長を持っている。

4.1 省エネルギー効果

永久磁石を使用することにより、励磁装置を不要とした。この結果、励磁装置及びこれに関連する配線内、コレクタリングとブラシ間しゅう(摺)動における電気損失を皆無とした。また、従来の誘導機方式では系統連系上一定速とするために増速ギアを必要としたが、可変速化によってその増速ギアが不要となり、当該部分で発生する機械的損失も皆無とし、発電機自体としての高効率化を図った。さらに、可変速運転により、常に風速に応じた最高効率点での運転が可能となり、誘導機方式に比較し同一風況下における出力アップが可能となった。

4.2 省メンテナンス性

誘導機方式では増速ギア及びその運用のための潤滑油系統が必要であったが、可変速化により、増速ギア・潤滑油系統ともに不要とした。また、永久磁石を使用しない他の同期方式で用いられるコレクタリングとその摺動部ブラシが不要となり、メンテナンス性を向上させただけでなく、従来トラブルの元となっていたこれら部位を皆無とし、製品そのものの信頼性の向上を図ることができた。

4.3 電力品質の向上

風力発電では、風力エネルギーから変換されたままの発生電力は風速の3乗に比例する。

誘導機方式では、この風速の変化に伴う脈動電力がそのまま系統に流出し、弱い系統においては周波数変動等の問題を引き起こす場合がある。これに対し可変速風力発電システムでは、風力エネルギーをいったんブレード及び発電機回転子の回転エネルギーとして蓄勢し、風速が弱まった時に電力エネルギーに変換し、これを平滑化した状態で系統に送出することが可能であるため、系統に与える影響は少ない。さらに系統側インバータは、力率1制御を行うことが可能であり、誘導機方式に比較し電力品質が向上でき、SVC(Static Var Compensator)等の付帯設備を必要としない利点がある。

4.4 騒音低減

風力発電の騒音の源は、主としてブレードの風切り音と増速ギアの機械音である。可変速風力発電システムでは増速ギアが不要であり、誘導機方式に比較して静粛性が大幅に向上し、設置環境面でも利点のあるシステムである。

要旨のページに、以上の特長を持つ定格容量600kWの可変速風力発電システム(永久磁石式同期発電機と電力変換器)の工場組合せ試験状況を示している。

5. む す び

本稿で述べた以外にも、自然エネルギーの利用やコジェネレーション等に見る既存エネルギーの高効率利用等、エネルギーの有効利用に対する関心はますます高まりつつある。各種分散電源の組合せをハイブリッド電源と呼ぶが、この代表的な例として風力発電と太陽光、ミニ水力発電又はコジェネレーション設備との組合せがある。当社では、分散電源分野における更なるエネルギーの高効率利用、省エネルギー推進に寄与できる機器及びシステム開発に取り組みしており、これらハイブリッド電源の提案についても積極的に進めている。

参 考 文 献

- (1) 前田 進, ほか: 501Gガスタービン複合サイクル発電プラント実証設備用250MVA空気冷却タービン発電機, 三菱電機技報, 71, No.8, 744~749 (1997)
- (2) 岸 章夫, ほか: 新外鉄形変圧器プロトタイプ器の完成, 三菱電機技報, 75, No.8, 549~552 (2001)
- (3) 藤井二郎, ほか: スーパー高効率油入変圧器, 三菱電機技報, 75, No.4, 269~272 (2001)

エレベーターの省エネルギー技術

久保田猛彦*
小松孝教*
荒木博司*

要 旨

近年、地球環境問題に大きな関心が払われ、特に地球温暖化防止の観点から、一層の省エネルギー化が各分野に求められている。三菱電機では、エレベーター分野においても、省エネルギー化技術の開発に従来から取り組み、推進してきた。

2001年4月から販売を開始した三菱新機械室レスエレベーター“ELEPAQ-i”においても省エネルギー化技術を新たに開発し、更なる省エネルギー化を図っている。

ELEPAQ-iに適用した主な省エネルギー技術は次のとおりである。

(1) 薄形PMギャレス巻上機

当社独自のモータ技術を用いた“薄形PMギャレス巻上

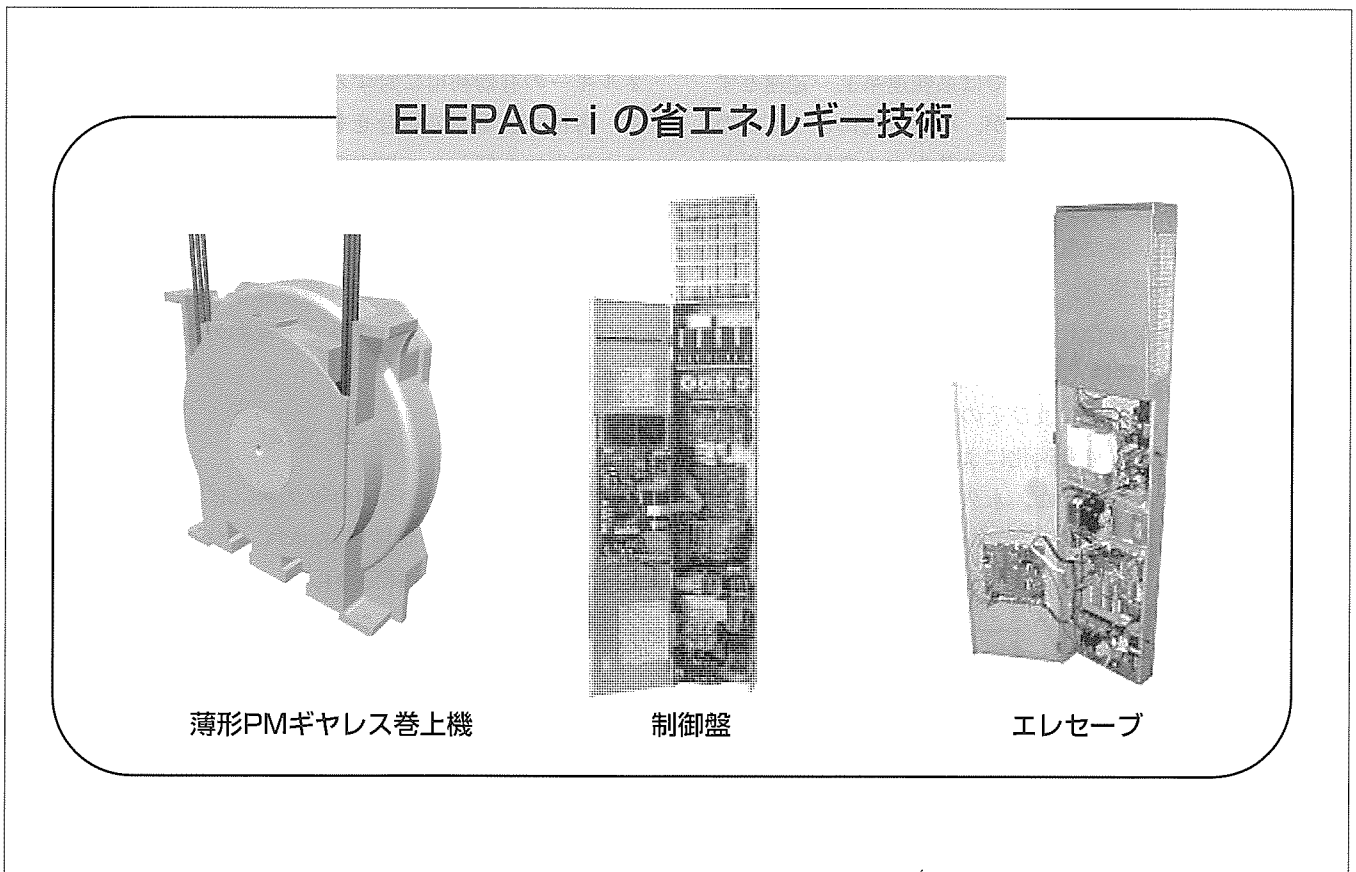
機”を開発し適用した。永久磁石式同期電動機(PMモータ)は、誘導電動機に比べ損失が少なく高効率であり、今後のエレベーター用電動機の主流となる。

(2) 制御盤

電源系統の見直しにより、電源変換ロスの削減を図った。ELEPAQ-iではPM巻上機の採用と併せ、従来油圧式機種比65%、ロープ式機種比10%の省エネルギーを達成している。

(3) 省エネルギー形停電時自動運転装置“エレセーブ”

エレベーターの回生運転時に発生する電力をニッケル水素電池に蓄電して力行運転時に再利用することにより、通常運転時の消費電力を20%以上低減可能とした。



三菱新機械室レスエレベーター“ELEPAQ-i”の省エネルギー技術

ELEPAQ-iに投入された新規開発の省エネルギー技術は、①薄形PMギャレス巻上機、②高効率制御装置、③三菱省エネルギー形停電時自動運転装置“エレセーブ”であり、標準システムで従来油圧式機種比65%、ロープ式機種比10%の省エネルギーを達成している。さらに、エレセーブを適用することにより、通常運転時20%以上の省エネルギーを達成する。

1. ま え が き

近年、地球環境問題に大きな関心が払われ、特に地球温暖化防止の観点から、一層の省エネルギー化が各分野に求められている。エレベーター分野においても、省エネルギー化技術の開発に従来から取り組んできた。ここでは、これまでの省エネルギー化への取組の変遷と当社の最新機種である“ELEPAQ-i”に投入した技術につき述べる。

2. エレベーターの変遷と省エネルギー化

2.1 高速エレベーター

表1に、当社のエレベーター駆動制御方式の変遷を示す。高速エレベーターでは、1975年ごろまで直流電動機をワードレオナード方式で駆動し、MG(Motor Generator)セットを必要とした。また、巻上機には減速用歯車がないギアレス方式が用いられてきた。このエレベーターでは、MGセットなど駆動部分で60%、リレーなどの制御回路で30%、照明などで10%の電力損失があった。

'70年代後半に、MGセットを廃止してサイリスタレオナード方式に変更し、また、リレーをマイクロプロセッサに置き換えて制御回路の電子化を推進した結果、制御性能が大幅に向上するとともに、約40%の省エネルギーを達成した。

続いて、サイリスタよりも制御特性の優れたパワートランジスタが出現し、インバータ制御方式の技術が飛躍的に進歩した。当社は世界に先駆けてエレベーター用インバータ制御技術を開発し、'83年に実用化に成功した。

インバータ制御方式は、省エネルギーに加え、電源力率を改善する特性を備え、約10%の省エネルギーと、約20%のビル電源設備容量の低減も図ることができた。

最近では、誘導電動機の代わりに永久磁石同期電動機(PMモータ)を用いたギヤレス巻上機を採用し、約5%の

省エネルギーを達成した。

2.2 低速エレベーター

'70年代前半までは、速度分速60m以下のエレベーターには誘導電動機を用いた交流二段速度制御方式が、速度分速90m、105mのエレベーターには直流電動機のワードレオナード制御が主流であった。また、巻上機にはウォーム減速機が使用されてきた。

'72年ごろに、サイリスタを用いて誘導電動機の一次電圧を制御する交流帰還一次電圧制御方式が実用化された。この方式では、定格速度以下の低速走行時の電動機効率が低く、リレーのマイクロプロセッサ化を含めても、従来タイプからの省エネルギーは20%程度であった。

'84年に、当社は、電動機を高効率で運転可能なインバータ制御方式を導入し、従来の一次電圧制御方式に比べ、約50%と、大幅な省エネルギーを達成することができた。

'90年には、ウォーム歯車式巻上機に替わって、効率の良いはず歯車式巻上機を開発した。これにより、15%の省エネルギーと、乗り心地の更なる向上を達成できた。

2.3 油圧エレベーター

油圧エレベーターは、従来、バルブによって油圧ジャッキへ流入又は流出する油の流量を制御する方式であった。このため、かご内の乗客数や油温によって加速/減速時間が変化したり、また着床精度を良好に保つために着床前に低速走行区間を設ける必要があった。

そこで、当社は、油圧ポンプ駆動用電動機をインバータで駆動することによってポンプから出る油の量を連続的に制御する方式を開発し、'90年に世界で初めて製品化した。このインバータ制御方式の採用により、低速走行区間の廃止や乗り心地性能の向上、さらには約15%の省エネルギーが達成できた。

2.4 機械室レス(低速)エレベーター

一般的なロープ式エレベーターは昇降路頂部に機械室設置が不可欠であり、日影規制を受ける都市部のビルには、従来、ビルの屋上に機械室を設ける必要のない油圧式エレベーターが適用されることが多かった。しかしながら、油圧式エレベーターは、その原理上、釣り合いおもりを設置することができないため、ロープ式エレベーターと比較すると、①消費電力が大きい、②電源設備容量が大きい等の問題があった。そこで現在では、昇降路内にすべての機器を収納した機械室レスエレベーターが主流となってきている。

当社では、'98年に機械室レスエレベーター“ELEPAQ(エレパック)”を市場投入した。巻上機にはPMモータを組み込んだギヤレス方式を採用し、油圧式エレベーターと比較し約65%、ロープ式エレベーターと比較して約10%の省エネルギー化を達成した(当社従来機種、9人乗り、60m/min、5停止との比較)(表2)。

表1. 駆動制御方式の変遷

機種	年代	'70	'75	'80	'85	'90	'95	'00
高速エレベーター	駆動方法	ワードレオナード	サイリスタレオナード	インバータ				
	制御回路	リレー回路	マイクロプロセッサ					
	巻上機(電動機)	一般	ギヤレス(直流電動機)	はずば歯車式(誘導電動機)			ギヤレス(永久磁石同期電動機)	
	消費エネルギー	100%	95%	72%	62%	57%		54%
低速エレベーター	駆動方法	交流二段速度制御	一次電圧制御	インバータ				
	制御回路	リレー回路	マイクロプロセッサ					
	巻上機(電動機)	ウォーム歯車式(誘導電動機)			はずば歯車式(誘導電動機)		ギヤレス(永久磁石同期電動機)	
	消費エネルギー	100%	93%	74%	37%	32%	29%	
油圧エレベーター	駆動方法	バルブによる流量制御			インバータによる流量制御			
	制御回路	リレー回路			マイクロプロセッサ			
	消費エネルギー	100%			70%	60%		

さらに2001年にはELEPAQを改良した“ELEPAQ-i”を開発し、販売開始している。

3. ELEPAQ-iの省エネルギー技術

3.1 薄形PMギヤレス巻上機

産業用として誘導電動機が最も多く使われているが、当社は、高速エレベーター用として国内で初めてPMモータを採用して以来、その省電力性能に着目して規格形エレベーターへ展開してきた。

誘導電動機は、図1に示すように、固定子側に電機子コイル、回転子側にかご形回路を持ち、両者で銅損を発生する。PMモータは回転子側永久磁石の発生磁束と固定子側の電機子電流によってトルクを発生するため、銅損は固定子側のみ生じ、回転子側の損失がない。したがって、同じ出力を得るための入力誘導電動機よりもPMモータの方が少なくて済む。

さらに、今回のELEPAQ-iでは、薄形集中巻構造にすることで従来の同容量機種(PMモータ)と比較して約50%の銅損低減を達成している。一般にモータは、磁気装荷、電気装荷、電流密度が同じであればトルク $\propto D^2L$ 、スロット内銅損 $\propto DL$ (D :ステータ内径、 L :コア長)となるので、スロット内銅損 \propto トルク/ D となり、径を上げて薄形化するほど銅損が小さくなる。さらに、集中巻方式を採用し、関節型ボキボキ鉄心技術を適用することで、図2に示すように短いコイルエンドと高密度巻線によって抵抗を小さくできる。これにより、大幅な銅損低減が可能となった。PMモータの損失低減という観点から見れば、永久磁石の性能が大きな要因となる。近年、エネルギー積の大きな希土類磁石の普及が大幅に進み、電動機の小型化に加えて損失低減設計にも寄与している。今後も磁石性能の進展が見込まれるので、更なる省エネルギーへの貢献が期待される。

3.2 制御盤

図3にELEPAQ-iの制御盤を示す。制御盤内部に収納する制御駆動用回路は、統合化パワーユニット(Integrated Power Unit: IPU)と制御プロセシングユニットで構成している。IPUは、エレベーター制御専用のDC/DCコンバータと、IPM(Intelligent Power Module)で構成したエレベーター駆動用インバータとを組み合わせることで単一ヒートシンク上に一体化し、電源部・駆動部の高集積化を図ることにより、制御盤内の配線を最小限に簡素化した。また、従来種々の電源電圧によって構成されていたエレベーターの電源系統を見直すことにより、電源の変換ロスを低減し、消費電力を削減している。

さらに、巻上機のブレーキを励磁する回路にPWMチョップ回路を採用し、ブレーキに印加する電圧を最適化することで、無駄な電力の削減を図っている。

3.3 三菱省エネルギー形停電時自動運転装置“エレセーブ”

3.3.1 エレベーターの瞬時消費電力

ELEPAQ-iではトラクション式の駆動方式が採用され、釣り合いおもりの質量は、かごに定格荷重の50%の負荷を載せた時の質量とほぼ等しくしている。すなわち、かご内に定格負荷が載った場合においても、上昇時には定格負荷の50%分の質量を持ち上げるだけのエネルギーしか必要とせず、下降時には定格負荷の50%分の質量に相当するエネルギーが巻上電動機側に戻り巻上電動機は発電機として働くことになる。このとき発生する電力のことを回生電力という。

図4に、定格負荷を積載した場合のエレベーターの瞬時消費電力を上昇時と下降時について示す。

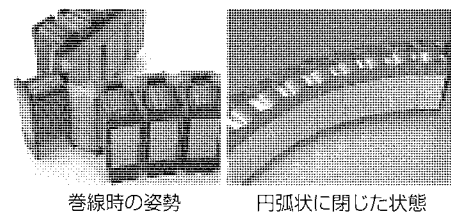


図2. ステータ鉄心

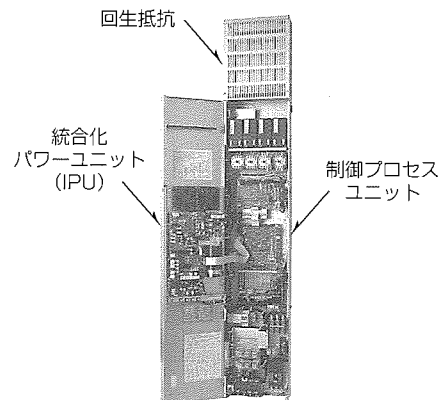


図3. 制御盤

表2. 消費エネルギー比較

機種	ELEPAQ ELEPAQ-i	当社油圧式	当社ロープ式
電動機容量(kW)	3.7	18.5	4.5
電源設備容量(kVA)	4	24	5
年間消費電力量(kW・h)	2,590	7,470	2,876

住宅用エレベーター、9人乗り、速度60m/min、5停止、同一使用条件での比較

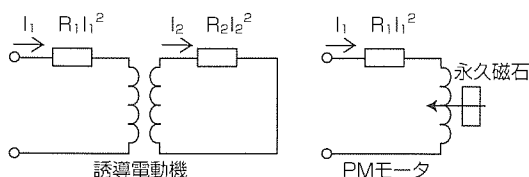


図1. 簡易等価回路

エレベーターの機械的・電氣的効率が100%であると仮定したときの定格負荷上昇時に使われる電力を①'に、また同条件での定格負荷下降時に再生される電力を②'に示す。ここで定格負荷上昇時の消費電力と定格負荷下降時の回生電力は等しいため、回生電力を有効に利用できた場合、一往復の合計で考えると、かごを動かすための電力は0であり、照明等で使われる電力のみがエレベーターの消費電力となる。

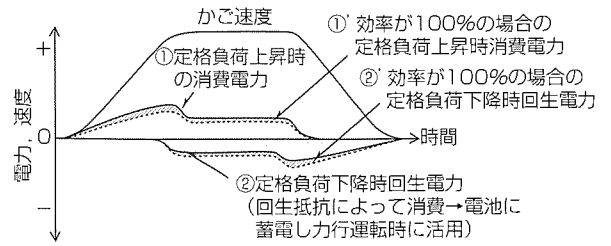


図4. エレベーターの瞬時消費電力

しかしながら実際はエレベーターの効率は80%程度であり、定格負荷上昇時には損失の分だけ電力が前記値よりも余分に消費され、定格負荷下降時には、損失の分だけ電力の回生量が少なくなる。すなわち、回生電力を100%活用できた場合の消費電力は①-①'及び②-②'の合計となる。しかしながら、低速エレベーターでは回生電力を活用することが困難なため、制御盤内に実装した回生抵抗によって熱として消費しており、実際の消費電力は①で示す定格負荷上昇時の消費電力と等しくなる。

3.3.2 エレセーブでの回生電力利用

前述のように回生電力を有効活用することでエレベーターの消費電力を大幅に削減することが可能である。今回当社が東京電力㈱と共同で開発し製品化した三菱省エネルギー形停電時自動運転装置“エレセーブ”は、回生電力をニッケル水素電池に蓄電力行運転時に再利用することによって通常運転時の消費電力を20%以上低減することを可能とするとともに、停電時においてはニッケル水素電池に蓄電した電力を利用することによって10分間程度継続して低速による自動運転を実現したシステムである。

3.3.3 システム構成

図5に、エレセーブに適用した回生電力蓄電システムの構成を示す。電力を蓄電するニッケル水素電池が充放電回路を介してエレベーター駆動用インバータ回路の直流母線間に接続されることによって構成されている。この充放電回路にはインバータ直流母線電圧よりもニッケル水素電池電圧の方が低いため双方向形DC/DCコンバータを用い、充電時には降圧チョッパ回路、放電時には昇圧チョッパ回路として動作させている。また、充放電制御部には主回路インバータ直流母線電圧値、電池電圧値、電池温度、充放電電流値をそれぞれ取り込み、ニッケル水素電池の充放電制御及び充電量管理を実施している。エレベーターの回生運転時には、回生電力によって主回路インバータ直流母線電圧が上昇したことを検出し、回生電力をニッケル水素電池に充電するようにDC/DCコンバータを降圧チョッパ回路として制御する。また、主回路インバータ直流母線電圧が上昇しない場合には、力行運転モードとしてニッケル水素電池からエレベーター主回路に対し所定の電力を供給するために、DC/DCコンバータを昇圧チョッパ回路として制御する。また、ニッケル水素電池は過充電・過放電状態

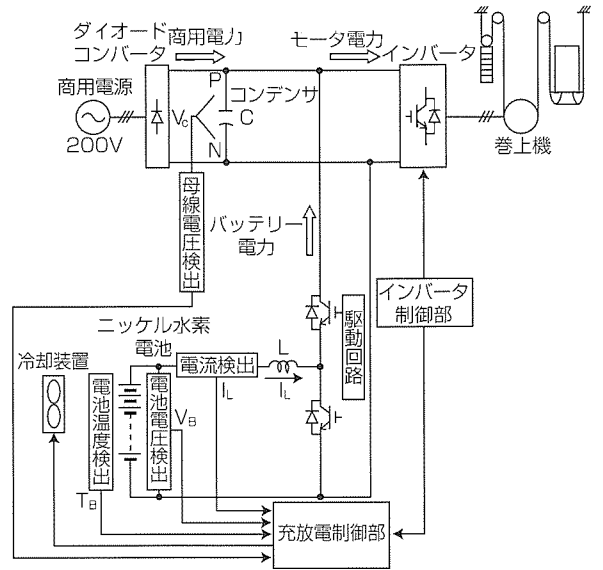


図5. 回生電力蓄電システム

が継続すると劣化するため、電池電圧や電池温度を検出することにより、過充電・過放電状態を防止する制御も実施している。

4. む す び

以上、エレベーターの省エネルギー化の変遷と、最新の機械室レスエレベーター“ELEPAQ-i”に適用した省エネルギー技術についてその概要を紹介した。

今後、永久磁石式電動機に代表される高効率モータの適用拡大、回生電力蓄電システムの大容量領域への適用、機器の軽量化による駆動エネルギーの低減、個々の機器の効率向上、さらには待機電力の削減等によって一層の省エネルギー化を推進し、社会に貢献する製品作りに取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 林 美克, ほか: 三菱新機械室レスエレベーター“ELEPAQ-i”, 三菱電機技報, 75, No.12, 766~771 (2001)
- (2) 池島宏行, ほか: 三菱省エネルギー形停電時自動運転装置“エレセーブ”, 三菱電機技報, 75, No.12, 782~785 (2001)

空調機の省エネルギー技術

古藤 悟* 加賀邦彦***
 中山雅弘** 若本慎一***
 七種哲二**

要 旨

トップランナー方式の導入に伴うルームエアコンの省エネルギー化への対応技術として、再熱除湿に用いられる低騒音再熱除湿弁の圧力損失低減のために開発した気液分離型冷凍サイクル、及び室内熱交換器の性能改善のために新たに開発した低通風抵抗で空気側熱伝達率の高い2本ワイドスリットフィンについて紹介する。

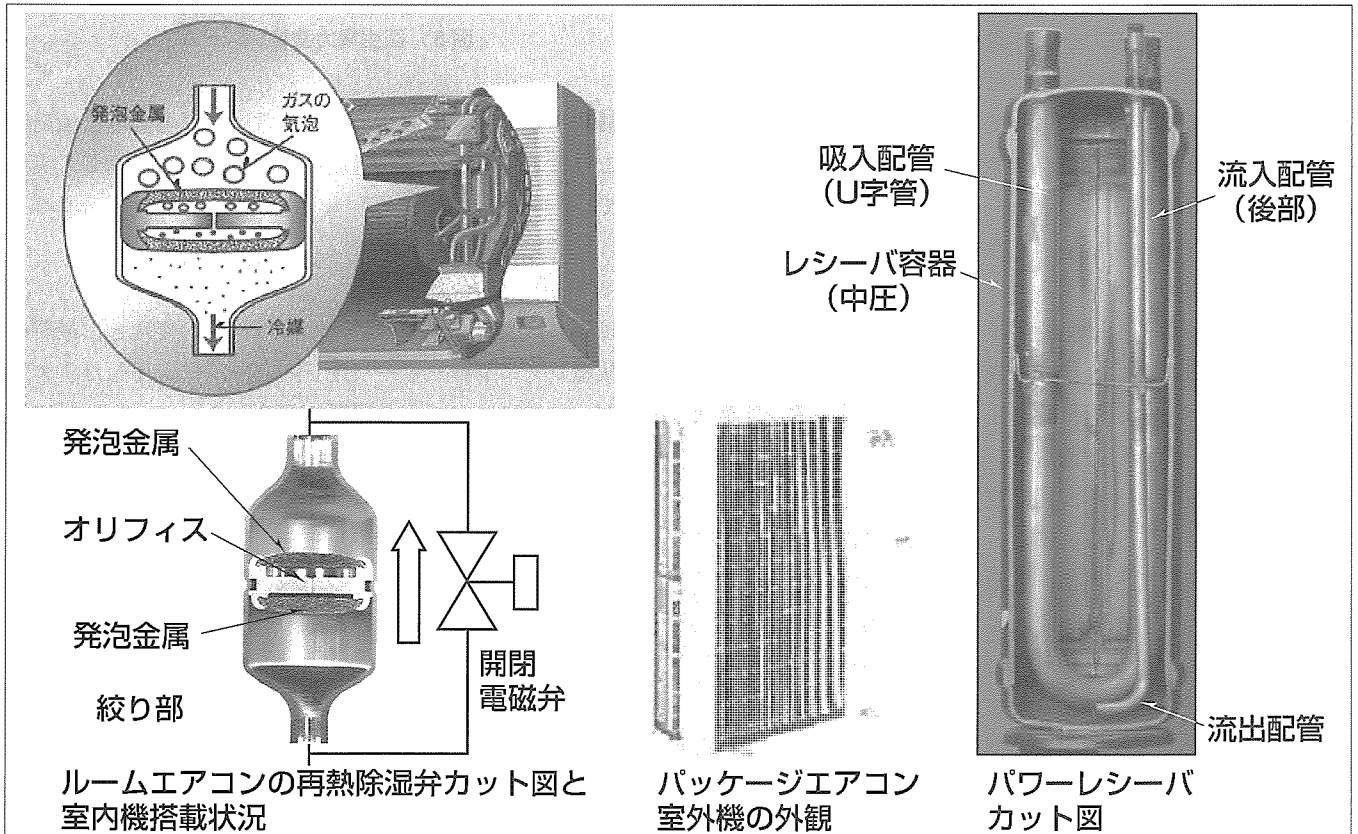
気液分離型冷凍サイクルは、冷房時に室内熱交換器で蒸発能力に寄与しないガス冷媒を気液分離器で分離してバイパスさせるので、室内熱交換器や接続配管内を流れる冷媒流量をガスバイパス分減少させて圧力損失を低減する。

2本ワイドスリットフィンは、フィンに設けたスリットの本数を従来の3本から2本に減じて通風抵抗を低減する

とともに、スリット切り起こし幅を従来よりも広くして、スリット本数の減に伴う伝熱面積の減少をカバーした。

また、パッケージエアコンに対するユーザーの省エネルギー志向の高まりに対応して新たに開発した中圧熱回収型レシーバ(パワーレシーバ)回路についても紹介する。

パワーレシーバ回路は、中圧レシーバ内部で蒸発器出口冷媒のエンタルピーを回収する独自の方式である。これにより、圧縮機吸入状態の適性化、圧縮機吸入圧力損失の低減、蒸発器の有効利用、冷凍サイクル制御の適性化を図り、従来のアキュムレータ回路に比較して大きな省エネルギー効果を得た。



再熱除湿弁とパワーレシーバ

写真左は、ルームエアコンの健康・快適志向の高まりに対応して開発した低騒音再熱除湿弁の室内機内部の搭載状況と再熱除湿弁内部構造を示す。これは、除湿器と再熱器の間のオリフィス部(絞り部)で発生する冷媒流動音を低減するためオリフィス前後に発泡金属を設けて気液二相冷媒の均質化を担う。

写真右は、パッケージエアコンの省エネルギー化のために開発した中圧熱回収型レシーバの内部構造である。中圧のレシーバ内に貯留された余剰冷媒は容器下部にたまり、低圧の吸入配管内冷媒と熱交換して蒸発器出口冷媒のエンタルピーを回収する。

1. ま え が き

ルームエアコンにおいては、トップランナー方式による2004年に達成すべきエネルギー消費効率(Coefficiency of Performance : COP)が規定されたことにより、省エネルギー化がより重要となっている。このため、圧縮機、送風機、熱交換器等の構成要素の高性能化や、冷媒圧力損失の低減等の冷凍サイクル効率改善が求められている。また、ユーザーの省エネルギー志向の高まりから、中小型業務用エアコンの分野においても、近年インバータ機の需要が伸びており、今後一層の省エネルギー化のためには、インバータ機に適したCOP向上技術の開発が重要な課題であり社会的責務ともなっている。

2. ルームエアコンの省エネルギー技術

2.1 気液分離型冷凍サイクル⁽¹⁾

ルームエアコンでは、省エネルギー要求のみならず健康・快適志向の高まりに対応し冷房中間期の快適性向上を図るため、再熱除湿冷凍サイクルが導入されている。しかし、室内熱交換器を再熱器と蒸発器に分割し絞り装置(除湿弁)を設けているため、冷媒回路や熱交換器構成が複雑化し冷媒圧力損失が増加傾向にあり、圧力損失低減が求められている。そこで、冷房時の室内熱交換器や接続配管において圧力損失低減による高効率化を目的として、気液分離型冷凍サイクルを導入した。

2.1.1 気液分離型冷凍サイクルの構成と動作

冷房時のこの冷凍サイクルの構成とP-h線図を図1及び図2に示す。室外熱交換器で凝縮した液冷媒(流量 G_c)は、絞り装置で減圧され乾き度 x の気液二相冷媒①となる。この二相冷媒は、気液分離器に流入してガス冷媒②と液冷媒

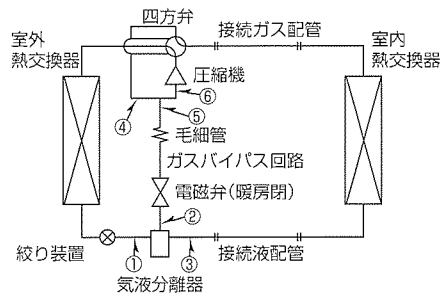


図1. 冷房気液分離型冷凍サイクルの構成

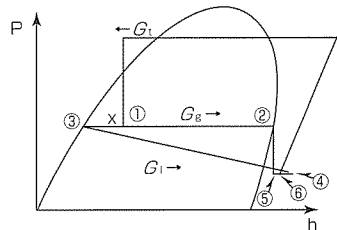


図2. 冷房気液分離型冷凍サイクルのP-h線図

③に分離される。液冷媒(流量 G_l)は、接続液配管を介して室内熱交換器に流入後蒸発し、接続ガス配管や四方弁を経て④となる。一方、蒸発能力に寄与しないガス冷媒(流量 G_g)は、ガスバイパス回路を通して毛細管で減圧されて⑤となり、④と合流して圧縮機吸入⑥へ至る。したがって、室内熱交換器や接続ガス配管を流れる流量がガスバイパス G_g 分減少するので、圧力損失が低減する。これにより、圧縮機吸入圧力が上昇して、冷房能力増加や冷凍サイクル理論COPが改善される。さらに通常サイクルと同一能力で比較すると、圧縮機回転数を低下させることができ更なるCOP改善が期待できる。

2.1.2 熱交換器冷媒パス長さ最適化

供試熱交換器は、冷房入口側が1パスで流路途中で2パスに分岐しており、全伝熱管流路長さに対する1パス部の伝熱管流路長さ割合 L_1 は0.36である。 L_1 は冷房と暖房のCOPや能力が最大となるよう最適化されているが、冷房気液分離型冷凍サイクルでは熱交換器の冷媒圧力損失が低減されるため、 L_1 の最適化検討を実施した。図3に熱交換器性能シミュレーションを用いた検討結果を示すが、 L_1 を0.50とすることにより、大幅な冷房能力改善(+6.5%)を図りつつ暖房能力の改善(+1.4%)も見込めることが分かる。

2.1.3 気液分離効率とCOP改善

気液分離効率 E を $G_g/(xG_c) \times 100(\%)$ と定義し冷凍サイクルシミュレーションによって冷房能力2.8kW時の E に対する冷房COP向上率を予測した(図4)。気液分離型冷凍

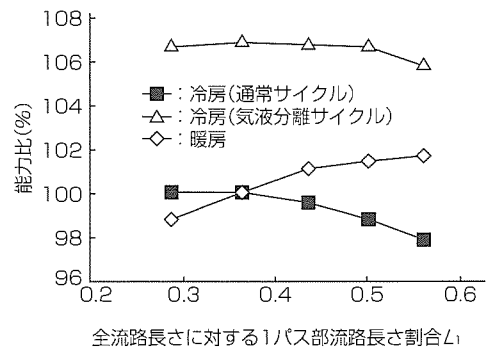


図3. 1パス部伝熱管長さの冷房・暖房能力に及ぼす影響

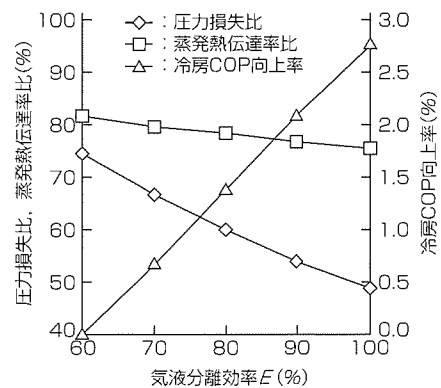


図4. 気液分離効率に対する圧力損失比, 蒸発熱伝達率比

サイクルの冷房COPは、 E の上昇とともに向上し、 $E=100\%$ でのCOP向上率は2.8%となった。一方 $E=60\%$ では、圧力損失低減によるCOP向上率と熱伝達率低下によるCOP低下率がほぼ同等となりCOP向上率はほぼ0%と予測される。

2.1.4 実機検証結果

実機試験では、容積200cc、冷房能力2.8kW時($G_t=60\text{kg/h}$)の気液分離効率 $E=92\%$ である気液分離器を使用した。表1に冷房時の実機試験結果を示す。冷房能力2.8kW時の通常サイクルに対する気液分離型サイクルでのCOPは2.3%向上し、能力が大きいほどCOP改善効果が大きくなった。また、表2に暖房時の実験結果を示す。COPは、 $L_1=0.36$ から $L_1=0.50$ とすることによって0.7%向上した。

2.2 室内熱交換器用2本ワイドスリットフィン

2.2.1 2本ワイドスリットフィンの概要

室内熱交換器の性能改善のため、新たに2本ワイドスリットフィンを開発した。従来からフィンに伝熱促進のためのスリットやルーバが設けられているが、これらによって通風抵抗も増加するため、送風機駆動動力の増加や騒音増加等の問題が生じる。したがって、低通風抵抗で空気側熱伝達率向上を図ることができるスリット形状を開発することが要求されている。2本ワイドスリットフィンを図5に、従来の3本スリットフィンを図6に各々示す。両者ともスリットによって伝熱促進を図っているが、新型フィンのスリットの本数を従来の3本から2本とし、かつスリット切り起し幅を従来よりも広くした。

表1. 気液分離型サイクルでの冷房能力変化時の試験結果

能力 (kW)	冷媒流量 (kg/h)	圧力損失 (MPa)	通常サイクルに対する	
			COP比率 (%)	圧力損失比率 (%)
1.4	25	0.024	99.8	52
2.8	60	0.101	102.3	55
4.0	86	0.190	104.2	58

表2. 暖房性能試験結果(暖房能力4.0kW)

L_1	圧縮機吐出圧力 (MPa)	熱交換器出口サブクール (°C)	COP向上率 (%)
0.36	2.383	14.8	100.0
0.50	2.370	14.7	100.7

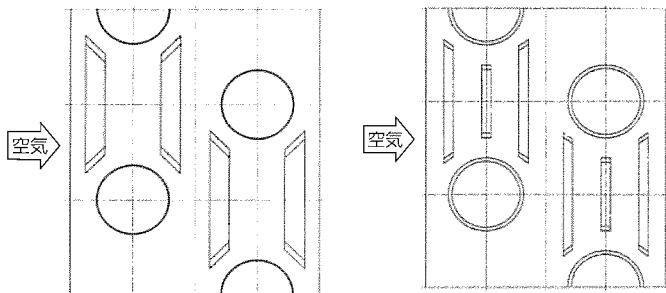


図5. 新型フィン (2本ワイドスリット)

図6. 従来フィン (3本スリット)

2.2.2 熱流体数値解析による効果検証

図7及び図8にフィン間中央の気流速度及び暖房時のフィン面上空気温度の分布の計算結果を示す。図中、濃色から淡色に向かい速度、温度ともに値が高くなる。

まず、通風抵抗について考察する。新型では管に最も近接した中央スリットを省いたので、空気の通過断面積を確保して局所的な増速域(図7の丸囲み部)が小さくなり通風抵抗が減少した。また、スリットの切り起し幅を広くして管背後へ気流を誘導し、管後流での剥離を抑えて死水域(図7の濃色部、矢印領域)が減少し、通風抵抗は低減された。

次に、伝熱促進について考察する。一般に伝熱促進効果はスリットの切り起し面積に比例するので、新型フィンはスリットの本数を減少させた半面スリットの切り起し幅を広くすることにより、従来フィンと同等のスリット切り起し面積を確保した。結果は、空気温度分布は新型・従来フィンともほぼ同じとなり同等の熱伝達率が得られた(図8)。

3. パッケージエアコンの省エネルギー技術⁽²⁾

3.1 パワーレシーバ回路の構成と動作

今回開発したパッケージエアコンは、中圧熱回収型レシーバ(パワーレシーバ)及び直流モータ駆動圧縮機等を搭載し、従来の当社インバータ機に比較してCOPを22%向上させた。このパワーレシーバは、中圧レシーバ内部で蒸発器出口冷媒のエンタルピーを回収する独自の方式である。図9にパワーレシーバを搭載した冷凍サイクルの構成、図10にそのP-h線図、図11にパワーレシーバの構造を示す。

以下にパワーレシーバ搭載冷凍サイクルの特長を述べる。

(1) 圧縮機吸入状態の適正化

余剰冷媒を中圧のレシーバに貯留して圧縮機吸入状態を湿り状態から乾き状態に変更し圧縮機効率を向上させた。

(2) 吸入圧損の低減

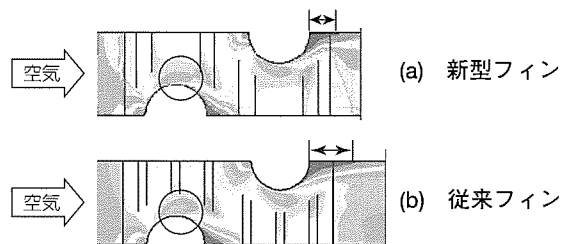


図7. フィン間中央の気流分布の数値解析結果

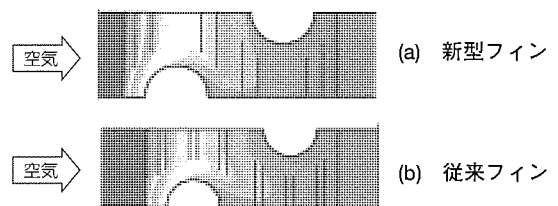


図8. フィン面上空気温度分布(暖房時)の数値解析結果

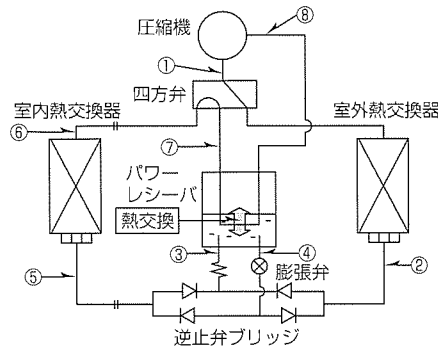


図9. パワーレシーバ搭載冷凍サイクルの構成

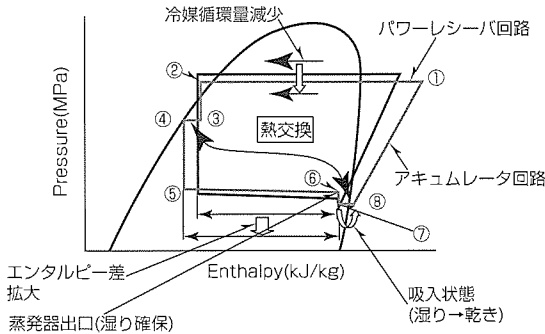


図10. パワーレシーバ搭載冷凍サイクルのP-h線図

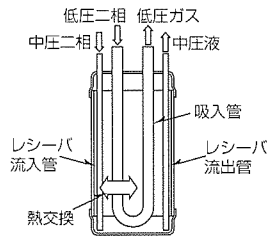


図11. パワーレシーバの構造

中圧のレシーバ内冷媒と低圧の吸入配管内冷媒を熱交換することによって蒸発器エンタルピーを拡大させ、冷媒流量を低減することによって蒸発器から圧縮機吸入配管までの圧力損失を低減してCOPを向上させた。

(3) 蒸発器の有効利用

蒸発器出口を湿り状態、圧縮機吸入を乾き状態とすることにより、蒸発器の平均管内熱伝達率を高くでき、さらに、蒸発器各パスへ高精度な冷媒分配を必要としない(図12)。

(4) 冷凍サイクル制御の適正化

凝縮器のサブクール、吸入ガスのスーパーヒートを個別に任意な値に制御できるので、常に最高のCOPで冷凍サイクルを運転することができる。一般的な従来の高圧レシーバではサブクールは制御できず常にゼロである。

3.2 実験検証結果

実機検証を行い、アキュムレータ回路とパワーレシーバ回路に対する低圧圧力損失の低減効果を図13に、COPを図14に各々示す。図13から、パワーレシーバ回路の低圧圧力損失は冷房時55%、暖房時80%に低減されていることが分かる。また、図14から、パワーレシーバ回路は、ア

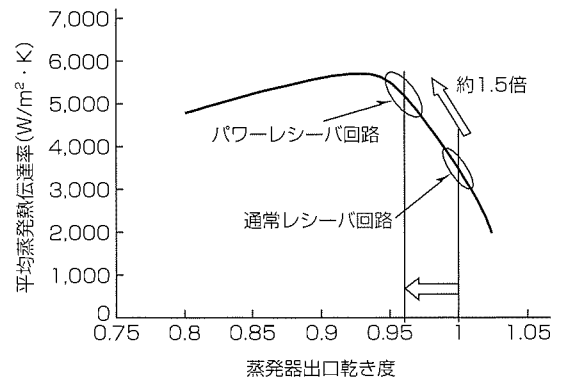


図12. 蒸発器出口乾き度と平均熱伝達率の関係

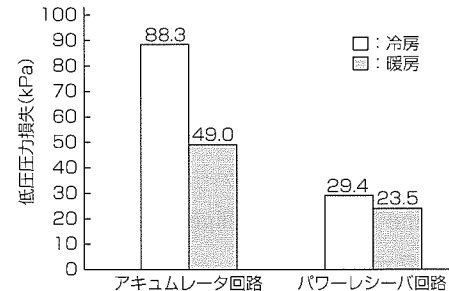


図13. 各回路方式に対する低圧圧力損失の比較

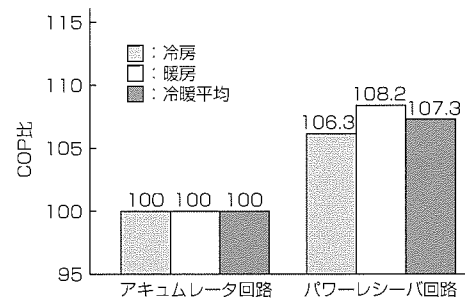


図14. 各回路方式に対するCOPの比較

キュムレータ回路に比べ、冷房運転時6.3%、暖房運転時8.2%COP向上効果があることが分かる。これは、アキュムレータ回路では圧縮機吸入冷媒が湿りとなっていたが、中圧レシーバ回路では圧縮機吸入冷媒過熱度を適正にし、圧縮機効率を向上できることに起因している。

4. むすび

ルームエアコン及びパッケージエアコンの最新の省エネルギー技術を紹介した。いずれの技術も2002冷凍年度製品に搭載済みである。

参考文献

- (1) 中山雅弘, ほか: 気液分離型冷凍サイクルを採用したルームエアコンの開発, 平成13年度日本冷凍空調学会学術講演会講演論文集, 81~84 (2001-10)
- (2) 浅井俊晶, ほか: パワーレシーバを搭載した冷凍サイクルの運転特性, 第35回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, 69~72 (2001-4)

省エネルギーに対応したパワーデバイスの動向

山元正則*
福永匡則*

要旨

応用機器の省エネルギー化は、地球環境保全のために強く求められている。パワーデバイスは家電・産業用や電鉄・電力用まで幅広い応用機器に適用され、その性能向上は、社会全体に非常に大きな影響を及ぼす。インバータ应用到に使用されて以来、パワーデバイスの低損失化については継続して多大な性能改善がなされてきた。各応用分野で適用されている最新のパワーデバイスは次のとおりである。

(1) 家電用パワーデバイス

トランスファモールドパッケージを採用したDIP-IPM (Dual In-line Package Intelligent Power Module)

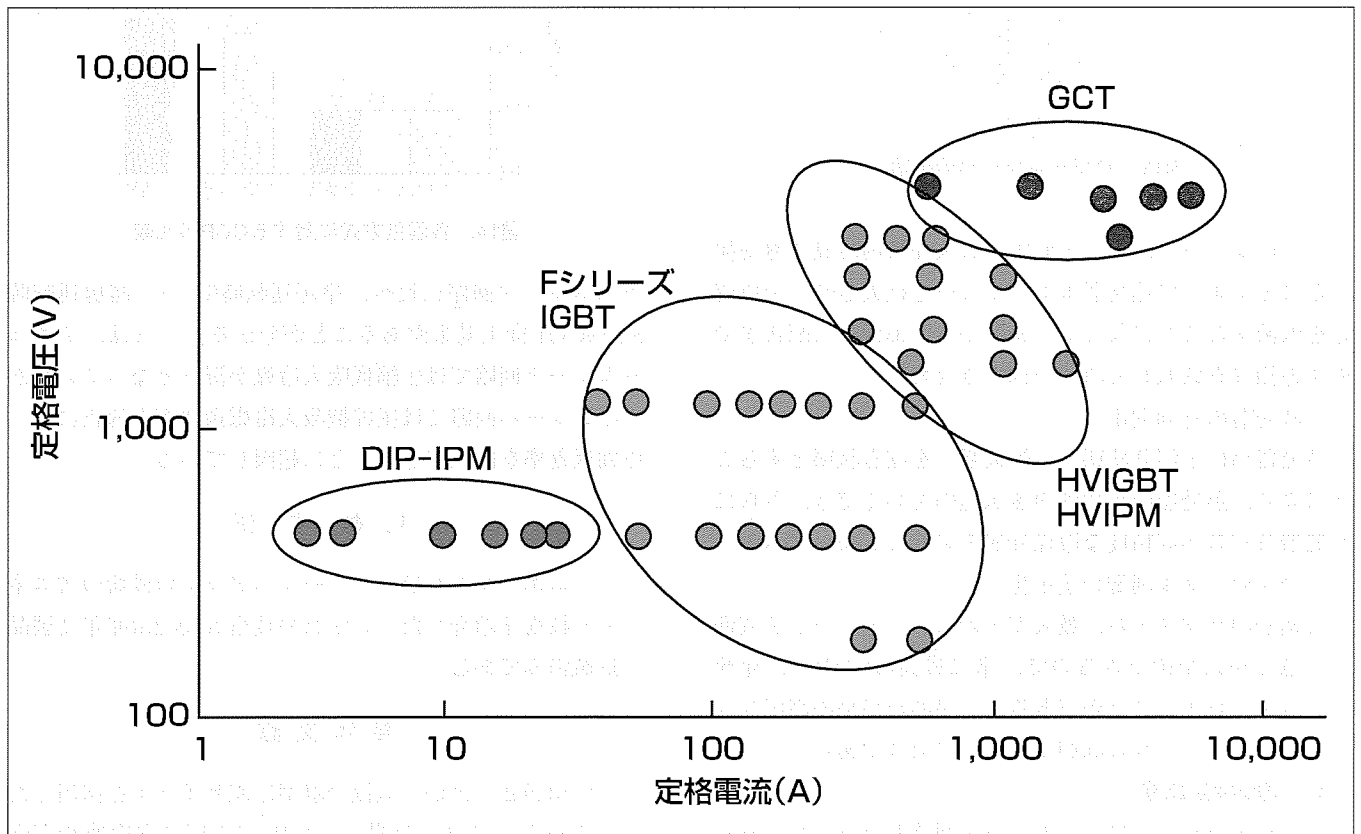
(2) 産業用パワーデバイス

トレンチゲート構造を採用したIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュール

(3) 電鉄・電力用パワーデバイス

GTOから大幅に低損失化を図ったHVIGBT (High Voltage IGBT) モジュール、HVIPM (High Voltage IPM) やGCT (Gate Commutated Turn-off) サイリスタ
これらパワーデバイスは、各種応用機器に適用され、大きな省エネルギー効果を出している。

本稿では、パワーデバイスの最新の製品動向について紹介する。



最新のパワーデバイスの電圧・電流定格

DIP-IPMからGCTまで広範囲な製品を保有する。電圧定格では10倍以上、電流定格では1,000倍以上にわたる。

1. ま え が き

地球環境の保全のために、応用機器の省エネルギー化は必ず(須)のアイテムであり、パワーデバイスはこの要求にこたえるため製品開発が行われている。家電用にはインバータエアコンなどに適用されているDIP-IPMが製品化され、産業用には汎用インバータ等に適用されているトレンチゲート構造を採用したFシリーズIGBTが開発された。大容量のパワーデバイスについては、電鉄・電力用としてHVIGBT、HVIPMやGCTサイリスタが製品化され、従来のGTOに比べ大幅な省エネルギー化が可能となっている。本稿では、これらの動向について述べる。

2. 家電用パワーデバイス

2.1 家電用パワーデバイスの動向

省エネルギーに対する意識の高まりにより、家電製品のインバータ化が急速に拡大している。また、改訂省エネルギー法の公布に伴い、2004冷凍年度に向けエアコン、冷蔵庫、洗濯機等のインバータ化が必須の技術となっている。パワーデバイスとしては、バイポーラトランジスタモジュールから始まり、現在は、IGBTと、その駆動保護にHVIC (High Voltage IC)を使用したDIP-IPM (600V, 3~25A)が主流になりつつある。

2.2 DIP-IPMの特長

DIP-IPMは、トランスファーマールド構造のパッケージを採用し、IGBTチップの最適化によって低損失化を図ることで省エネルギー化の推進に大きく寄与している。また、保護・自己診断機能を内蔵することによってパワーデバイスが壊れにくくなったこと、従来のバイポーラトランジスタモジュールやIGBTモジュールと比べ駆動回路・保護回路の内蔵による周辺回路の簡略化(単一電源駆動、ホットカプラレスなど)が図られて使いやすくなり、インバータの設計が容易になったことが特長として挙げられる。

従来のIPMから、さらに家電インバータ用としてのアイデアを盛り込み小電流領域にまで応用範囲を拡大している。図1に示すように2種類のパッケージがあり、大型パッケージは79×31×8 (mm)、小型パッケージは49×30.5×5 (mm)のサイズである。現在は、大型パッケージの製品は

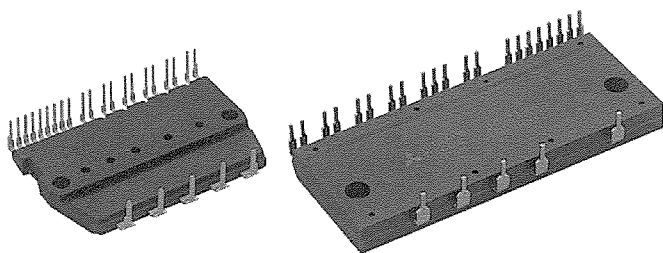


図1. DIP-IPMの外観

主としてエアコンのコンプレッサモータ制御に、小型パッケージの製品は洗濯機のメインモータと冷蔵庫のコンプレッサモータ制御に使用されている。また、応用分野によってインバータのPWM(Pulse Width Modulation)のキャリア(搬送)周波数が異なるため、低速(5kHz)と高速(15kHz)の動作でインバータ損失が低減できるよう2種類の製品展開を行っている。

図2にDIP-IPMの内部構成を示す。DIP-IPMの最大の特長は、高圧レベルシフト回路を内蔵した600V耐圧のHVICを採用していることである。従来のインバータ制御において必須であったマイコンとのインターフェースであるホットカプラが省略できる。また、ブートストラップ方式の電源を採用することで、三相インバータ結線の上アーム(P側)のIGBTを駆動するための3相分の独立した電源を省略でき、単電源での動作が可能になった。

2.3 DIP-IPMのパッケージ構造

図1で示したようにDIP-IPMは少し大きなLSIのようなパッケージであり、製造方式もLSIと同じトランスファーマールドを採用し、生産性の向上を図っている。内部に三相インバータ結線を構成する6個のIGBTと6個の還流ダイオード(FWD)及び4個の制御用のICの合計16個のシリコンチップのみを搭載したマルチチップパッケージである。大型パッケージの断面構造を図3に示す。フレーム上に

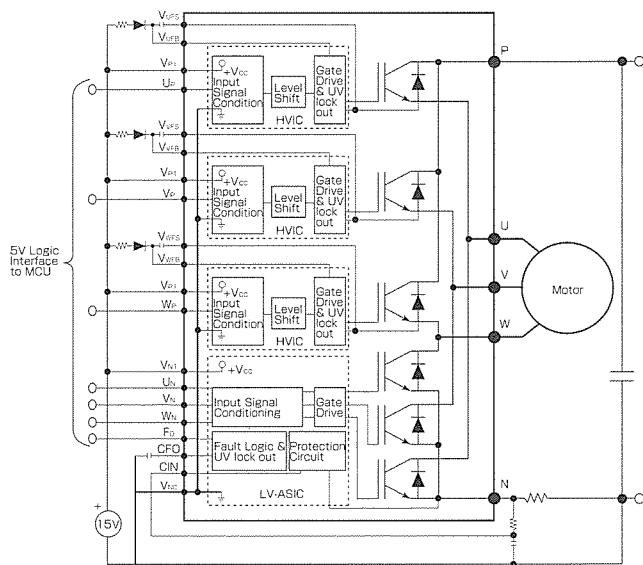


図2. DIP-IPMの内部構成

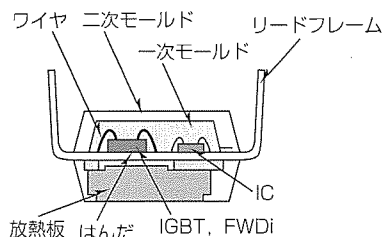


図3. DIP-IPMの内部構造(大型パッケージ)

パワーチップ(IGBTとFWD)と制御用のICをダイボンドした後、ワイヤで電気的に接続し、エポキシ樹脂でモールドしたものである。これまでのIPMで主流となっていた金属基板上への実装技術に対し、フレーム上へのマルチチップダイボンド技術及び異種ワイヤボンド技術を適用し、絶縁と放熱性を実現させるために高熱伝導エポキシ樹脂を開発し、その成形技術を確立した。大型パッケージでは、二重モールド構造によってフレームと放熱板間の絶縁層厚さを制御して、安定した放熱と絶縁を実現している。また、小容量対応の小型パッケージは、モールド技術の向上によって放熱板をなくすとともに、よりパッケージの小型化を図っている。

3. 産業用パワーデバイス

3.1 FシリーズトレンチゲートIGBT

産業用ではインバータ化が広く進んでおり、パワーデバイスは常に省エネルギー化のための低損失化開発が行われてきた。IGBTのチップを従来のプレーナ形構造からトレンチゲート形構造とすることで、大幅な低損失化を達成している。

図4にプレーナ形IGBTとトレンチゲート形IGBTの比較を示す。プレーナ形ではゲート電極がシリコン表面に形成されるのに対し、トレンチゲート形ではゲート電極がシリコン表面から n^- 層まで達するトレンチ内部に形成される。このため、セルの微細化が可能となり、プレーナ形に対し以下の特長を持っている。

- (1) チップ単位面積当たりのチャンネル幅が増加するので、チャンネル抵抗が低くできる。
- (2) J-FET領域がトレンチゲート形にはないため、飽和電圧がより小さくなる。
- (3) セル密度の増加により、1セル当たりの負担電流が低減でき、Reverse Bias Safe Operating Areaが向上する。

さらに、 n^- 層をより薄くできるPT(パンチスルー)構造を採用し、局所ライフタイムコントロール技術を適用することで、低オン電圧化を図っている。

3.2 RTC回路

前項で述べたように、トレンチゲート形IGBTは、プレーナ形と比べ、低オン電圧化が図れるメリットがあるが、

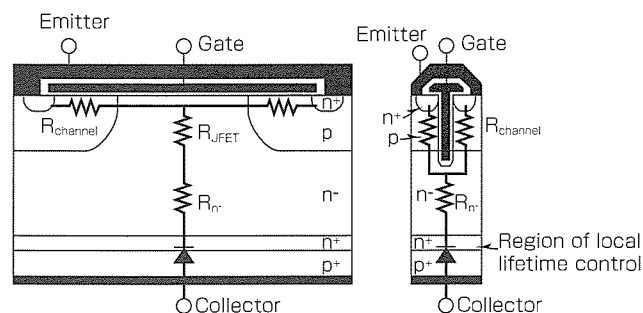


図4. プレーナ形IGBTとトレンチゲート形IGBTの比較

負荷短絡時の電流が大きくなり、負荷短絡耐量が低下するというデメリットがある。これを補いIGBTモジュールとして必要な短絡耐量を確保するために、短絡電流を検出した時に瞬時に保護をかけるRTC(Real Time Control)回路を開発した。この動作原理は、IGBTチップ上の電流センスが短絡電流を検出した時に瞬時にゲート-エミッタ間電圧を低下させ、コレクタ電流を抑制する。これにより、短絡耐量としては、プレーナ形IGBTと同等の $10\mu s$ 以上を確保できた。

3.3 IGBTの損失比較

図5にIGBTの損失比較を示す。FシリーズトレンチゲートIGBTは、Hシリーズプレーナ形IGBTに比べ、約20%の低損失化が達成できている。

3.4 CSTBT構造

トレンチゲート構造に対し、現在さらにCSTBT(Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor)構造が新しく開発されている。これは、キャリアの蓄積層を設け、エミッタ側の低下するキャリア濃度を上昇させ、シリコン全体のキャリア密度を上げられる構造である。図6に、

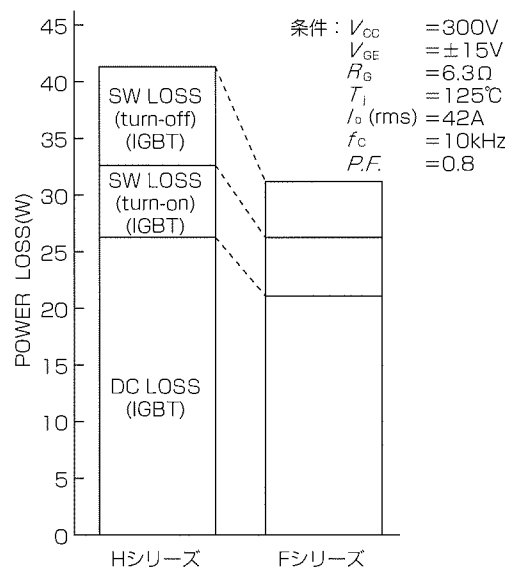


図5. IGBT(100A/600V)の損失比較

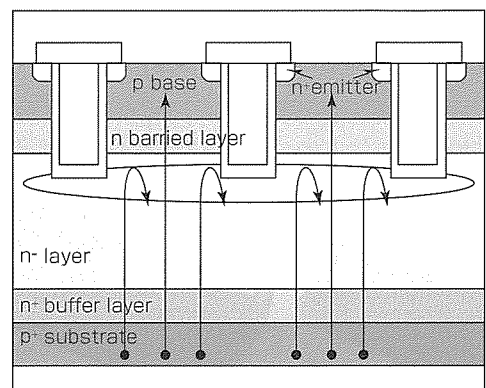


図6. CSTBTの断面構造とホール蓄積効果

CSTBTチップの断面構造とホールの蓄積効果を示す。CSTBTは、トレンチIGBTでの n^- 層からエミッタへのホールの通り抜けをキャリア蓄積 n^- 層の追加によって妨げ、素子内部、特にホール密度が希薄となるエミッタ付近の n^- 層のホール密度を増加させることによって n^- 層の通電時の抵抗を低減する。ホール密度が増加する部分はターンオフ時のコレクター-エミッタ間電圧(V_{CE})の増加によってまず最初に電界が発生する部分であり、キャリアは電界によって速やかに消失するため、スイッチングにはほとんど影響を与えない。このCSTBT構造は、従来のトレンチ構造を更に進めた、現在発表されているIGBTの中で最も低 $V_{CE(sat)}$ を実現できるチップ構造である。

4. 電鉄・電力用パワーデバイス

新幹線や地下鉄などの電鉄用、FACTSなどの電力用や産業用の大容量機器では従来GTOを使用していたが、大きなスナバ回路を必要とし、スナバ損失が大きい、装置のサイズが大きくなるなどの課題があった。これを改善するために、HVIGBT、HVIPMやGCTサイリスタが開発された。

4.1 HVIGBT, HVIPMの構造と特長

HVIGBTに適用されているチップは、PT構造の最適化によって低損失化を図っている。GTOに比べ、応用上スナバ回路やアノードリアクトルが不要となり、ゲート回路によって di/dt がコントロールできるなど制御性が良い。モジュール構造により、ラミネートブスバーを使用することで、インダクタンスの低減を図ることができ、コンパクトなアセンブリが可能となる。HVIPMは、HVIGBTに対し、さらに駆動回路及び保護回路を内蔵し、異常時に自己保護動作によって瞬時に保護が可能となる特長がある。

4.2 GCTサイリスタの構造と特長

GCTは、サイリスタ構造であり、オン状態時にはカソードからアノードまでキャリア密度を高くでき、高耐圧でもオン電圧を低減できる特長がある。パッケージはゲートを外周全体に持たせ、ゲート回路と積層基板によって低インダクタンスで接続することにより、ゲイン1で高速にターンオフできる。図7にGCTユニット(GCT+ゲートドライバ)の外観を示す。

図8にGTOとGCTの損失の比較を示す。GTOでは、大きなスナバ回路やアノードリアクトルが必要であり、素子周辺回路の損失が非常に大きかった。GCTの場合は、この損失を大幅に低減でき、フライホイールダイオードを含めた回路全体の損失で比較してもGTOの場合の約60%程度の損失となる。さらにGCTの場合は、サイリスタ構造のため、高耐圧、大電流領域まで、損失が比較的小さく抑

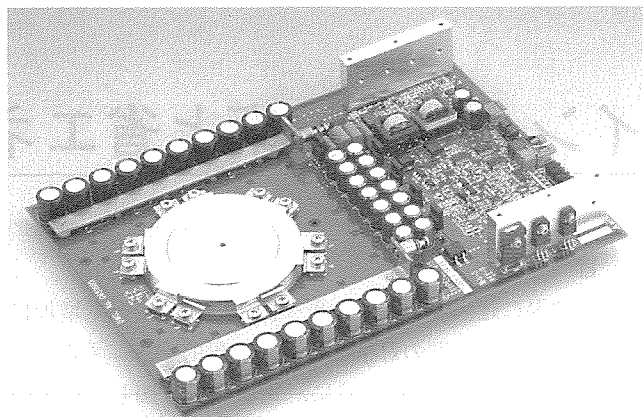
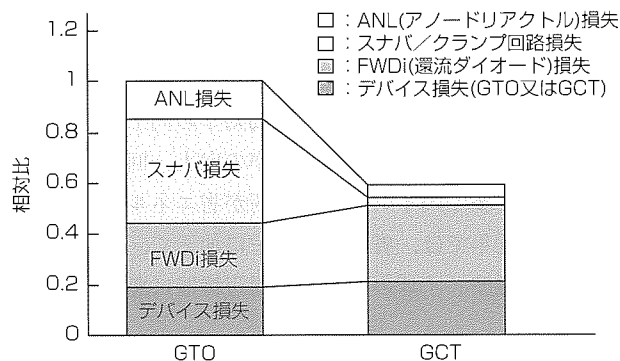


図7. GCTユニット(6.5kV/1.5kA)の外観



条件： $I_T=1,000A$, $V_D=2,250V$, $f=500Hz$, $duty=0.5$,
 GTO：スナバ回路, $di/dt=300A/\mu s$,
 GCT：クランプ回路, $di/dt=1,000A/\mu s$,

図8. GTOとGCT(4.5kV/4kA)の損失比較

えられるという特長がある。大容量装置の場合は、損失の低減効果が大きく利くため、装置の稼働コストを安くできる。6kV/6kA GCTを適用した鉄鋼プラントの圧延ラインなどに用いられる12MVA大容量インバータは、効率が98%以上を達成でき、第22回優秀省エネルギー機器表彰“経済産業大臣賞”を受賞するなど省エネルギー性が広く認められている。

5. むすび

パワーデバイスは応用機器に幅広く適用され、その省エネルギー化の要求を満足させるため、低損失化への開発が精力的に進められてきた。今後も、アプリケーションとの整合を図りつつ、更なる特性の向上を目指して製品開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 三菱電機技報, 特集「新たな飛躍段階を迎えたパワーデバイス」, 75, No.6 (2001)

インバータ技術と省エネルギー

木全政弘*

要旨

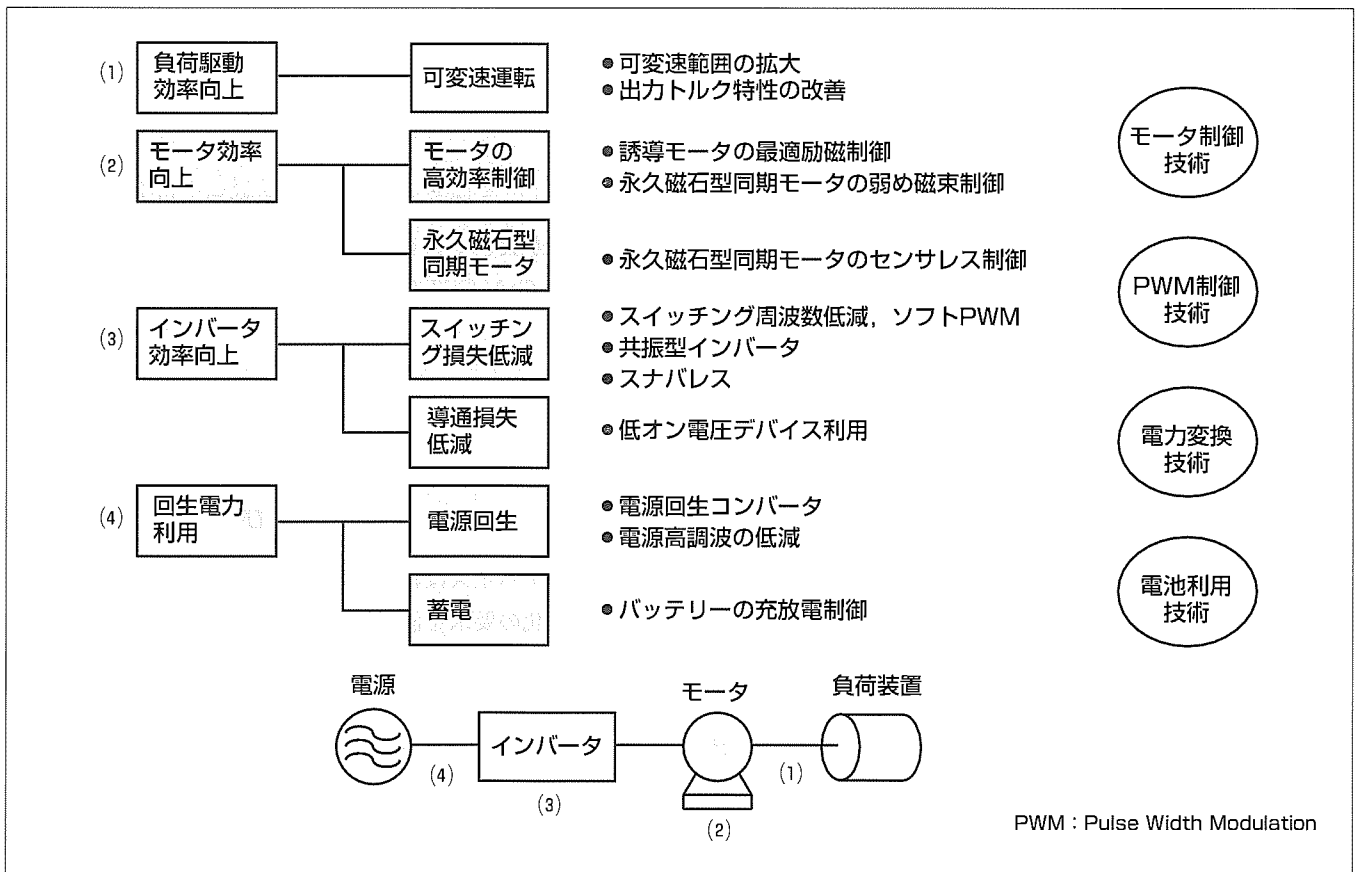
石油枯渇に起因するエネルギー問題とCO₂排出量増加に伴う地球温暖化問題の対策として、世界的な省エネルギー政策が推進されつつある。特に、電力利用に関して比率の高いモータ駆動用途では、インバータ機器が中心的な役割を果たす機器の一つとして注目されている。これは、インバータ機器が電圧や周波数を自在に変化できるため、例えばファン・ポンプ用のモータを可変速駆動して高効率に最適な風量・流量を得ることができるからである。

この可変速機能すなわち負荷駆動効率の向上以外にも、モータ効率の向上、インバータ効率の向上、回生電力の利用において、多くのインバータ技術が省エネルギーに貢献している。近年では、省エネルギーに加えて、電源高調波の低減、電磁波ノイズの低減など周辺機器に悪影響を与え

ない技術の開発も求められているが、一方、例えばIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)のスイッチング速度が速いほどスイッチング損失が低減しノイズが増加するように、両者は場合によっては相反する。改正省エネルギー法や、インバータ機器から発生する電磁波ノイズや電源高調波に対する各種の法規制・ガイドラインを共にクリアすることが求められるため、単なる損失削減のみではなく、システム的な観点から省エネルギーの研究開発を進める必要がある。

本稿では、これら省エネルギーに関係するインバータ技術について概観し、技術課題を説明するとともに、適用した成果と今後の動向について述べる。

特集
I



省エネルギーに貢献するインバータ技術

インバータによる省エネルギー対策としては、可変速運転によって負荷の要求に応じた回転数で負荷を運転することがまず挙げられる。しかし、これ以外にも、多くのインバータ技術が省エネルギーに貢献している。上図はこの関係を概観したものであり、可変速運転以外にも、モータの高効率制御、インバータ変換効率向上、回生電力利用が省エネルギーに貢献している。

1. ま え が き

石油枯渇に起因するエネルギー問題とCO₂排出量増加に伴う地球温暖化問題の対策として、世界的な省エネルギー政策が推進されつつある。特に、電力利用に関して比率の高いモータ駆動用途では、インバータ機器が中心的な役割を果たす機器の一つとして注目されている。これは、インバータ機器が電圧や周波数を自在に変化できるため、例えばファン・ポンプ用のモータを可変速駆動して高効率に最適な風量・流量を得ることができるからである。

この可変速機能のためインバータ機器は1980年代初頭から急速に普及してきたが、現在でも更なる省エネルギー化への取組が進められている。

本稿では、省エネルギーに貢献しているインバータ技術について述べる。

2. 省エネルギーにかかわるインバータ技術の分類

インバータ機器を適用した可変速駆動システムは、一般に、商用電源、インバータ機器、モータ、負荷からなる。このシステムにおける省エネルギーを損失の発生箇所によって分類すると、以下の4項目に分類できる。

2.1 負荷駆動効率向上

負荷駆動効率はモータ出力と実際の負荷出力との間の効率であり、負荷駆動効率の向上はインバータ機器の省エネルギー効果として古くから認知されている。例えば、商用電源によってポンプを一定速で駆動して流量をバルブで調整する場合、流量を下げてバルブでの損失が大きいため必要とされるモータ出力は余り低減できない。これに対して、インバータ機器によってポンプを可変速駆動した場合、流量は回転数に比例しモータ出力は回転数の3乗に比例するため、流量が少ないほどモータ出力を大幅に低減できる。

2.2 モータ効率向上

モータ効率は、モータ入力とモータ出力との間の効率である。モータ単体の効率改善だけではなく、モータを高効率で駆動するための制御方式も重要である。通常、モータ効率の良い埋め込み永久磁石同期モータを駆動するには回転子位置を知る必要があるため、位置センサレス制御やモータ定数のオートチューニング技術も省エネルギーに関係してくる。

2.3 インバータ効率向上

インバータ効率は、インバータ入力とインバータ出力との間の効率であり、インバータ自体の損失低減が課題となる。まず低損失なパワーデバイスの採用が考えられるが、これ以外にも、共振型回路方式の採用、配線インダクタンス低減などの実装技術が大きく関係している。また、電磁波ノイズに関しても考慮する必要がある。

2.4 回生電力利用

モータの減速/停止時や昇降機器用途での下降運転中はモータが発電機となり回生エネルギーが発生するため、この回生エネルギーを電源回生コンバータによって商用電源に戻すことで省エネルギー化が図れる。受電電力契約条件や設備の都合によって電源回生ができない場合、従来は抵抗器やモータで熱として消費していたが、二次電池及びその利用技術の進歩により、回生エネルギーを電池に蓄え力行時に再利用するシステムが可能になった⁽¹⁾。

3. 技術課題

前章で述べたとおり、インバータ機器を適用した可変速駆動システムにおいては、商用電源から負荷へのエネルギー伝達のあらゆる段階で、インバータ技術が省エネルギーに関係している。以下に、更なる省エネルギー化を推進するための技術課題を概観する。

3.1 負荷駆動効率向上

負荷駆動効率の向上に関しては、可変速範囲の拡大、出力トルク特性の改善が技術課題として挙げられる。ベクトル制御の適用や出力電圧精度の向上により、最近では速度制御範囲1:200、始動トルク150%が可能となり、ファン・ポンプなどの二乗低減トルク負荷だけではなく、より広範囲の負荷に対して省エネルギー効果が得られるようになった。これらは、インバータ機器の基本性能に関するものであり、今後も継続的に改良が進められる。

3.2 モータ効率向上

モータの高効率化に関しては、埋め込み永久磁石同期モータのセンサレス駆動が挙げられる。埋め込み永久磁石同期モータは、回転巻線を持たないため回転子での銅損が発生せずモータ効率が高い。このモータを高効率駆動するためには、回転子の位置情報が不可欠であるが、信頼性向上や低コスト化のためにセンサレスで駆動する制御方法が多く提案されている。現状では1:20程度の可変速範囲であるが、今後改善が進むと予測される。

モータ単体の効率向上に加えて、最大効率制御方法の開発も進んでいる。誘導モータは、固定子側と回転子側が変圧器を構成しており、この変圧器の励磁電流が流れるため、特に軽負荷時において効率が低下する。このため、インバータ機器の適用以前から、軽負荷時において電圧を低下させ励磁電流を減らす方法が知られていた。インバータ機器の適用により、常にモータ効率が最大になるように励磁電流を調整する最適励磁制御が可能となる。

また、埋め込み永久磁石同期モータは、励磁電流がないものの、高速回転域において永久磁石回転子の磁束による誘起電圧が増加し、インバータの最大出力電圧を上回るという問題がある。このため、固定子側から回転子磁束を弱める電流を流して誘起電圧を抑制する弱め磁束制御が提

案されており、今後適用が進むと予測される。

3.3 インバータ効率向上

インバータ効率の向上には多くの技術課題が含まれている。さらに、この課題は、電磁波ノイズによる周辺機器の誤動作等の環境問題と併せて考える必要がある。

以下に、技術課題を列挙する。

- (1) パワーデバイス技術：低オン電圧のダイオードやIGBT等、高効率化・低ノイズ化に適したデバイス特性の検討と開発
- (2) パワーデバイス駆動技術：パワーデバイスのソフト駆動技術等、電力素子駆動技術による高効率化・低ノイズ化の実現
- (3) 主回路技術：共振型に代表されるソフトスイッチング技術等、主回路面から高効率化・低ノイズ化を実現
ただし、共振型主回路に関してはDC/DC電源や蛍光灯用インバータ等の高周波化によるメリットが大きい用途への適用が主で、現在のところモータ駆動用インバータ機器での製品化例は見当たらない。
- (4) 実装技術：サージ電圧やパワーデバイス損失を抑制するための主回路インダクタンス最適化等、高効率化・低ノイズ化に有効な実装技術の実現
- (5) 制御技術：低周波かつ高応答なPWM方式等、制御技術による高効率化・低ノイズ化の実現

スイッチング損失、ノイズ共にスイッチング周波数を低減することで抑制することが可能である。このため、性能を落とさずにスイッチング周波数を低減するPWM手法の開発が進められている。

- (6) システム技術：接地、シャーシ、フレームの構成やフィルタ等の補助部品も含めて、高効率化・低ノイズ化に有効なシステム構成技術の実現
- (7) 解析・評価技術：CAEツールや試験装置等、ノイズ・効率を正確に解析・測定する技術や手法の実現

3.4 回生電力利用

回生電力の利用は、電源高調波の低減と関連している。電源高調波の低減に有効な三相フルブリッジ型のコンバータは、電源回生機能を併せ持っている。これに対して、パワーデバイスの数を減らすなどして広範囲の普及を目指す簡易回路方式の提案が学会などで続いている。これら簡易回路方式の多くは電源回生機能を持たないため、二次電池に回生電力を蓄え力行時に再利用するシステムが省エネルギー化に有効である。このシステムの実現には、二次電池の充放電回路や充放電制御方法など電池利用技術の開発が必要である。

4. 具体例

3章で述べた技術課題のうち、主要な成果を具体的に説明する。

4.1 最適励磁制御

最適励磁制御⁽²⁾は、誘導モータを高効率で駆動する制御方式であり、従来は常時一定に制御していた励磁電流を最適な値に加減することで常に効率最大点で動作させる。制御ブロック構成を図1に示す。モータ効率が最大となるように励磁電流を加減するために、モータ電流を検出し、三相→二相変換によって励磁相電流成分とトルク相電流成分を求め、励磁相電流成分の損失とトルク相電流成分の損失が等しくなるように励磁電流指令を計算及び制御する。現在はファン・ポンプ等の負荷急変の少ないシステム向きではあるが、今後は頻繁な可変速を行う機器への適用も推進されると予測される。

4.2 永久磁石型同期モータのセンサレス制御

永久磁石型同期モータのセンサレス制御方式⁽³⁾は、高効率な永久磁石型同期モータにおいて、従来の誘導モータ並みの使い勝手を実現するものである。図2に制御ブロック構成を示す。永久磁石型同期モータの駆動に必要な電圧は、電流に比例する項と速度に比例する項から計算できる。センサレス制御においても同様に、検出電流と出力周波数とから電圧指令を演算する。このとき、出力周波数は、速度指令に周波数補償器の出力である速度安定化項を加算して求められており、これによってトルクの過渡変化によって生じる脱調や乱調を防いでいる。周波数補償器の出力は

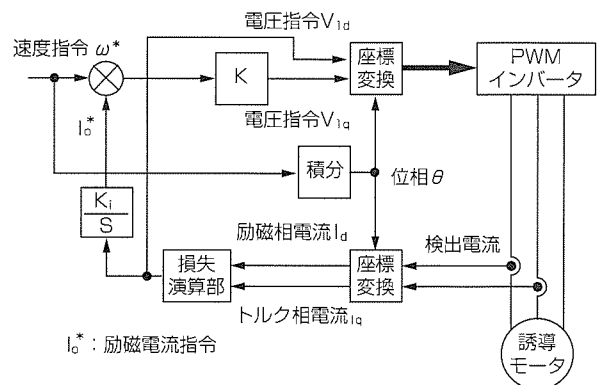


図1. 最適励磁制御ブロック構成

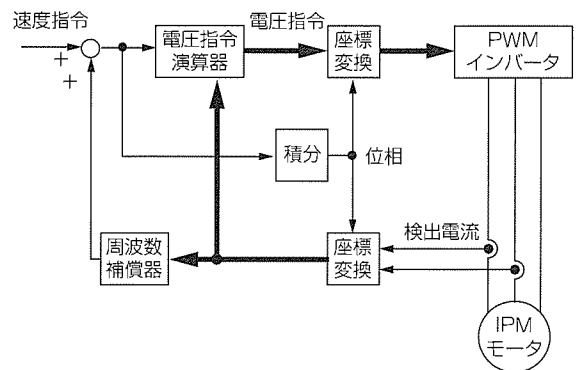


図2. 永久磁石型同期モータのセンサレス制御ブロック構成

定常的には零であり、永久磁石型同期モータは定常的には出力周波数と同期して回転する。

4.3 ソフトPWM

ソフトPWM⁽⁴⁾は、インバータ駆動時にモータから発生する耳障りな磁気音の周波数成分を分散して音質を変え、その結果スイッチング周波数を低下させてスイッチング損失と電磁波ノイズの低減を図る技術である。三相インバータのPWM制御方法として代表的な三角波比較方式を例に説明する。

図3に、電圧指令を一定値とした場合の三角波比較方式のスイッチングタイミングを示す。三角波信号と指令信号の比較から得られる各相の電圧は図に示すとおりパルス状の電圧となり、その時間平均値が電圧指令値に等しくなる。ここで、平均電圧を決めているのはパルスが出力されている期間 T_0 の幅であり、出力するタイミングすなわち期間 T_1 と T_2 の配分に依存しない。このため、期間 T_1 と T_2 の配分を時間的に変化させることで、インバータ出力電圧の平均値を変化させることなくモータからの磁気騒音の周波数成分を分散させることができる。

4.4 パワーデバイスのソフト駆動

パワーデバイスのソフト駆動技術⁽⁵⁾は、スイッチング損失の低減と電磁波ノイズの低減を両立させる技術である。一般に、IGBTを低ゲート抵抗で駆動した場合、スイッチング速度が速くなるため、スイッチング損失が減少する代わりにノイズが増加する。逆に、高ゲート抵抗で駆動した場合、スイッチング損失は増加するが、ノイズは減少する。このように、パワーデバイスの駆動に関しては、スイッチング損失低減とノイズ低減は相反する関係にある。ソフト駆動技術はこれを両立させるためにスイッチングの途上でIGBTのゲート抵抗を切り換える技術であり、制御回路を図4に示す。IGBTのスイッチングは、コレクタ電流が変化する期間と、コレクタ-エミッタ間電圧が変化する期間に分けられる。図では、コレクタ電流の変化率を検出し、コレクタ電流が変化する期間において高ゲート抵抗を用い、電流変化率を抑制してノイズを低減する。そして、コレクタ電流が変化しない期間、すなわちコレクタ-エミッタ間電圧が変化する期間において低ゲート抵抗を用い、電圧変化率を増加させ損失を低減する。この方式を応用して電圧変化率を抑制して電流変化率を増加させることもできるため、電流変化と電圧変化のどちらに起因するノイズが大きいかによって駆動方式を選択することができる。

5. むすび

以上、省エネルギーに貢献するインバータ技術について述べた。商用電源から負荷装置へのエネルギー伝達のあらゆる段階で、インバータ技術が省エネルギーに関係している。今後、更に高効率を実現するインバータ技術の開発を

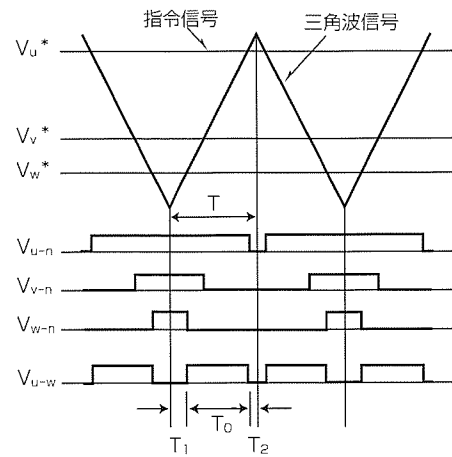


図3. ソフトPWMの概念

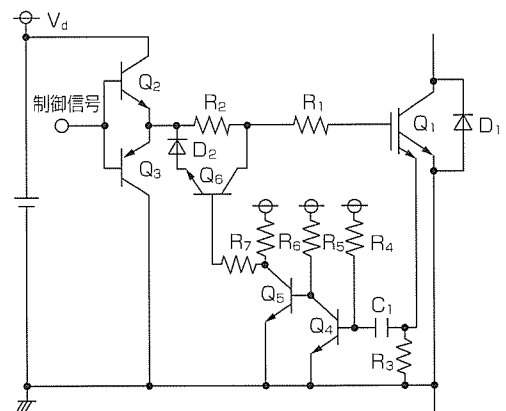


図4. ソフト駆動用ゲート制御回路

進めるとともに、これらの技術を製品に応用展開して、ユーザーの要求に十分こたえられるように努力していく所存である。

参考文献

- (1) 池島宏行, ほか: 省エネルギー形停電時自動運転装置“エレセーブ”, 三菱電機技報, 75, No.12, 782~785 (2001)
- (2) 桜井寿夫, ほか: ファン, ポンプ用省エネルギーインバータ“FREQROL-F500シリーズ”, 三菱電機技報, 73, No.9, 653~656 (1999)
- (3) 桜井寿夫, ほか: 次世代汎用インバータ“FREQROL-A500シリーズ”, 三菱電機技報, 72, No.5, 464~471 (1998)
- (4) 矢部正明, ほか: 可変調PWMを併用したIPMモータのセンサレス駆動, 回転機研究会, RM-01-160, 7~12 (2001)
- (5) 石井一史, ほか: 高耐压インテリジェントパワーモジュール, 三菱電機技報, 72, No.12, 1013~1016 (1998)

省エネルギーをリードする シミュレーション技術

長尾政志* 廣中康雄*
馬場和彦** 岩村義巳+
川尻和彦*** 加藤康明**

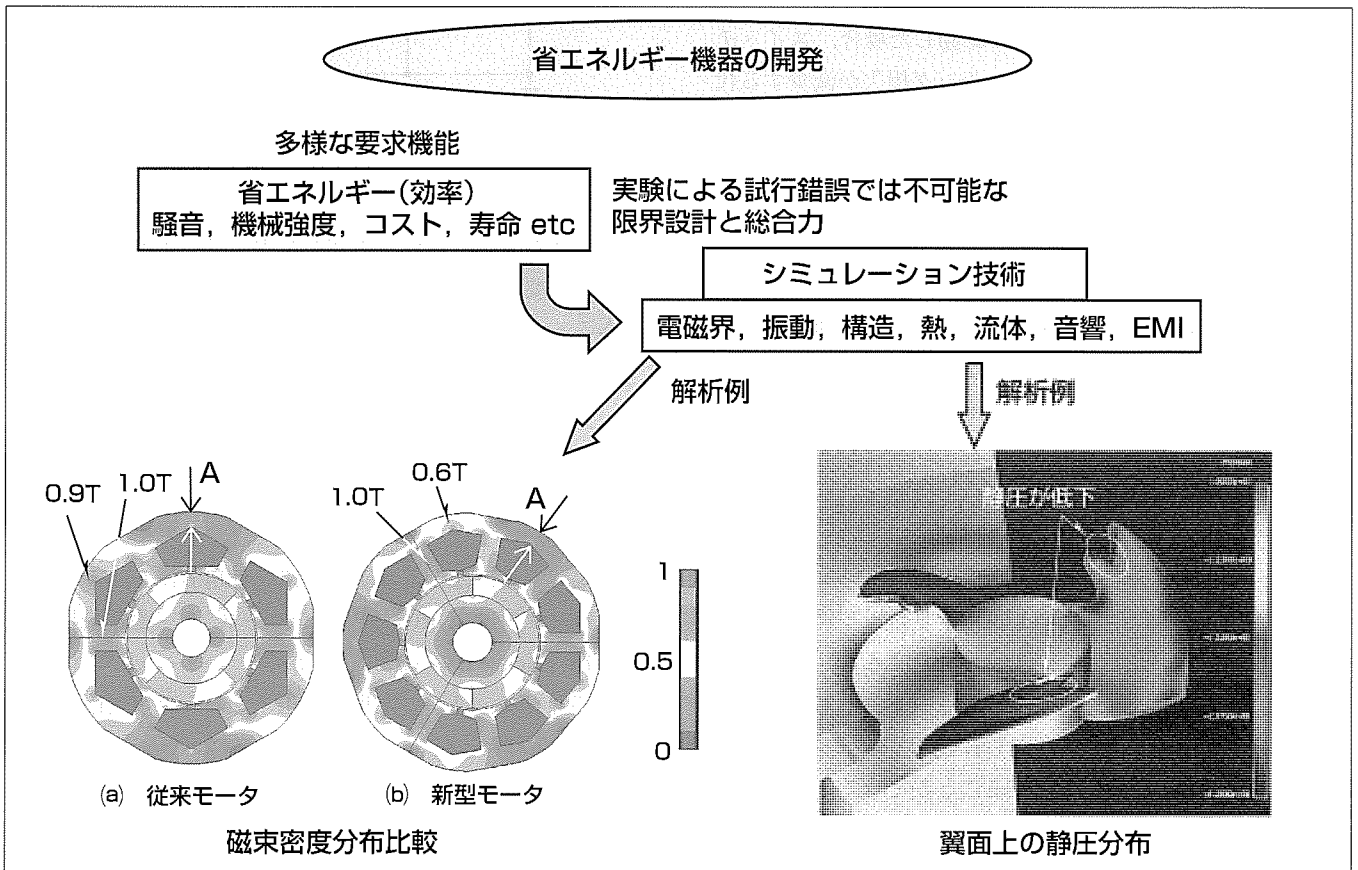
要旨

グローバル化時代に生き残るため、市場の要求にこたえる製品を迅速に開発し市場に投入する必要がある。最近の大きな市場の要求として省エネルギーがあるが、製品開発では、騒音や寿命、コストなど多様な市場要求を満たす必要がある。しかし、これらはトレードオフの関係がある場合が多く、魅力のあるバランスのとれた製品を短期間で開発するには、従来の試作と実験を中心とした方法では限界がある。三菱電機は、この限界を越えるために、種々の分野のシミュレーションを有機的に用い、優れた省エネルギー性の高い製品の開発を行っている。

本稿では、このような製品開発の最近のトピックスとして、①電磁界解析を駆使した最適化設計を行い業界最高効率を実現したルームエアコン用高効率ブラシレスDCモータ、②最近主流となりつつある直噴エンジンの特性を顧客固有のものに合わせてシミュレーションを行うことによって迅速な制御ユニットの開発が可能となった自動車機器、③換気扇や空調機の室外機などに用いられる静音性と効率を両立させたデルタエクストラファンを紹介する。

当社は、今後もシミュレーション技術を向上し、世界最高の性能を持つ省エネルギー機器を実現していく。

特集
I



省エネルギーとシミュレーション技術

ルームエアコン用高効率ブラシレスDCモータの従来機との磁束密度分布比較のシミュレーション例と、デルタエクストラファン翼面上の静圧分布のシミュレーション例を示す。ビジュアルな結果表示は、問題点の解明を容易にし、最適設計の大きな武器となる。

1. ま え が き

21世紀の持続可能な発展のためには、豊かな生活と環境維持の両立を図る必要がある。このため、より少ないエネルギー消費で同じパフォーマンスを得る機器の開発が必要になっている。この開発には、従来の試作と実験を中心とした方法では限界がある。この限界を越えるため、計算機の高速化と大容量化を背景としたシミュレーションが設計の大きな武器となっている。

当社は、総合電機メーカーとして幅広い機器の開発を行っているが、市場の要求にこたえる省エネルギー性の高い製品を生み出すため様々なシミュレーション技術を活用している。市場の要求には、省エネルギー性ととともに低騒音性や小型、軽量など多くの機能があるが、これらの機能はトレードオフの関係がある場合が多い。真に魅力のある商品開発には要求される機能をバランスよく満たす設計が求められ、このため、種々の分野のシミュレーションを有機的に用いる総合力が必要になる。以下に、当社の省エネルギー機器開発の最近のトピックスを紹介する。

2. ルームエアコン用高効率ブラシレスDCモータ

ルームエアコンは、家庭用電力の20%以上を消費している。この大半が圧縮機のモータで消費されるため、モータ効率の向上は省エネルギーに大きく貢献する。このため当社は、電磁界解析を用いて効率の高い新型モータ⁽¹⁾を開発した。

図1に新型モータと従来モータの構造の比較を示す。図の(a)は従来モータで、三相4極24スロットの分布巻ステータとIPM(Intelligent Power Module)ロータを組み合わせた構造となっている⁽²⁾。図の(b)の新型モータは、三相6極9スロットの集中巻ステータとIPMロータを組み合わせた構造で、ステータは1ティースごとに分割して連結した関節型連結分割コア構造とした。また、ロータは、6枚の両円弧形状のフェライト磁石を埋め込んだ表面配置型のIPM構造とした。モータ損失は、銅損と鉄損(ヒステリシス損、渦電流損)に大別される。新型モータは、集中巻きと連結コア構造を採用し銅損を低減した。しかし、分布巻きの正弦波の起磁力分布に対して集中巻きはく(矩)形波状の分布となるため、高次の高調波成分が大きく、損失が増

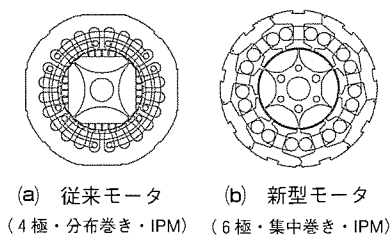


図1. モータの断面

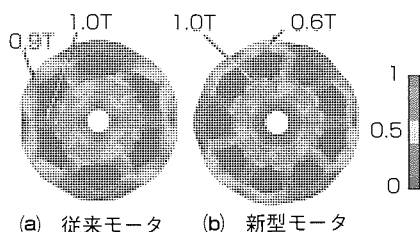


図2. 磁束密度分布比較

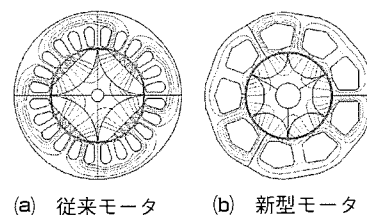


図3. 磁束線の比較

加する傾向にあり、構造の変更が必要になる。

2.1 ステータ構造

集中巻きによる鉄損の増大を改善するため、ステータの多極化による磁束密度の低減について検討を行った。図2は、4極の集中巻きと6極の集中巻きの100%定格負荷時の磁束密度分布を示したものである。この結果から、ティース部の最大磁束密度の差は小さいが、コアバック部中央部の磁束密度を代表値として比べると、4極から6極にすることで、磁束密度が分散されて0.9Tから0.6Tに低減していることが分かる。電気的な周波数が1.5倍(=6/4)に増加することによる鉄損の影響が生じるが、4極と6極の集中巻きSPMモータを試作して評価を行い、4極に対し6極モータの鉄損が11%低減することを確認した。

2.2 ロータ構造

従来のロータは、D型の永久磁石をロータ内部に埋め込み、ロータ表面鉄部に径方向に延びるスリットを入れることで、電機子反作用による磁束の集中を緩和させ鉄損の増加を抑制していた。しかし、ロータの外周コア部やティース部の磁束密度が理想よりも大きい。この改善のために、新型モータは、ロータ外周部まで永久磁石を配置した両円弧型永久磁石と低鉄損の電磁鋼板を採用した。図3に従来モータと新型モータの定格負荷時の磁束線を示す。電機子反作用によるティース部の磁束の集中が緩和されている。この効果で、従来モータに対して鉄損を20~30%低減できた。また、磁石の形状もトルク定数が最大となるように磁界解析を用いて最適化した。

2.3 効率特性

図4にモータ出力に対するモータの効率特性を示す。出力は、圧縮機の負荷ポイントに合わせて、200W~1.2kWの範囲で測定した。負荷ポイントは、冷房軽負荷条件、冷房定格条件、暖房低外気条件に分類され、回転数とトルクが変化する。図から、全域で従来の4極の集中巻き一体コアIPM(GD4ロータ)モータに比べて6極の集中巻き連結コアモータの効率が上回ることが理解される。この成果で、業界最高水準の省エネルギー性能を達成できた。

3. 直噴エンジン

エンジンは、各種シミュレーションがよく用いられる分

野の一つである。エンジンは、精密な制御技術を駆使し、究極の低燃費と排ガスのクリーン化の実現に向け進化しようとしている。エンジン筒内に直接ガソリンを噴射する技術は、空気を過剰に加えた状態でも少ない燃料で燃焼させることを可能にして燃費の向上に貢献した。しかし、そのために、従来の数十倍の圧力でガソリンを送り込む高圧燃料ポンプや精密で信頼性の高い高圧インジェクタを必要とする。当社は、これらの燃料系部品を開発するとともに、電子スロットル、エアフローセンサなどの吸気系部品の精密な制御を行うコンピュータユニットを開発し、カーメーカーに採用いただいている。

3.1 エンジンシステム

顧客のエンジンの特性に合わせて短時間で部品や制御方法を最適化することは容易なことではなく、シミュレーション解析技術を用いることで、開発の効率化を図り、実験による検証を補佐する形で設計や品質管理にも役立てようとしている。

図5に直噴エンジンでのシミュレーション解析の領域を示す模式図を示す。

当社の製品であるエンジン制御のためのコンピュータユニットでは、触媒コンバータについての排ガス制御も必要であり、時々刻々と容積の変化するエンジン筒内の燃料

の噴霧、空気との混合流動、燃焼の一連の動きの解析とともに、触媒コンバータのシミュレーションが必要である。

燃焼反応は極めて短時間に起きる現象で、どのような燃焼になるかは、噴霧後の燃料の微粒子化、蒸発や混合など比較的時間を要する過程に依存する。また、図6に示すように⁽²⁾、ピストン上部のキャビティと呼ばれる形状や、噴霧口の形状や燃料圧力、吸気口の位置などが大きく影響する。

一方、触媒反応は、NO、CO、HCなどがPt、PdやRhなどの触媒に吸着して起きる反応で、排気ガスの温度や酸素濃度によって大きく影響される。最近ではNO_x吸蔵型や選択還元型のアドバンストな触媒が出現し、クリーン排気の実現のため、触媒コンバータの使用状況に合わせて燃料系と空気系を精密に制御する必要がある。

エンジン筒内での燃焼反応制御は低燃費を、触媒コンバータでの触媒反応制御はクリーン排気を目指しているが、この二つにはトレードオフの関係もあり、うまく両立させた精密な制御が必要である。

3.2 シミュレーションの結果

図7と図8にエンジン筒内の指圧と燃焼割合についてのシミュレーション結果と実験結果との比較⁽²⁾を示す。両者は比較的よい一致を示しており、シミュレーションが有効な開発手段であることが理解される。

精密な制御のためには、様々な条件下において実験データと一致する信頼性の高いシミュレーションが必要で、実験データで検証を行いながらシミュレーション技術の向上を図っている。

4. デルタエクストラファン

プロペラファンは、換気扇を始め空調機の室外機などに幅広く使われ、使用台数が多い。このため、多くの電力を消費しており、高効率化が求められている。プロペラファンの効率は、一般的に翼の取付け角を小さくして、単位回転当たりの仕事量を少なくすると向上する。しかし、同一風量

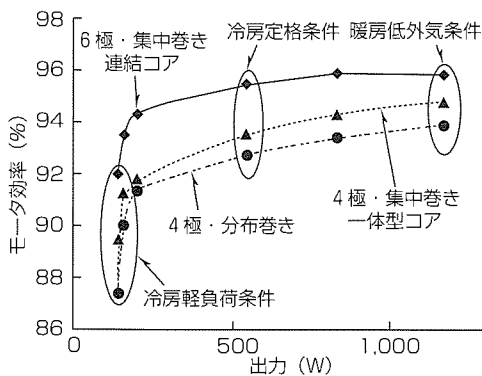


図4. モーター効率特性

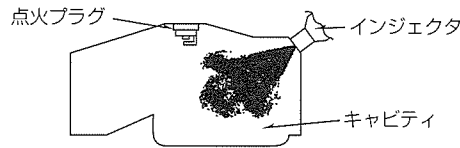


図6. 筒内直接噴射エンジンの概略構成

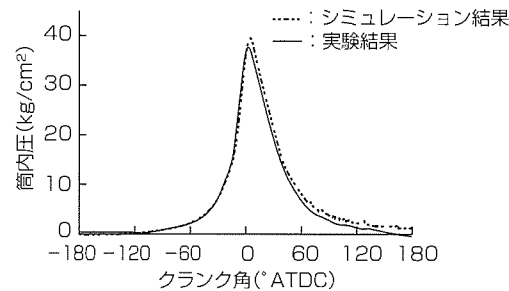


図7. 筒内指圧の計算結果と実験結果の比較

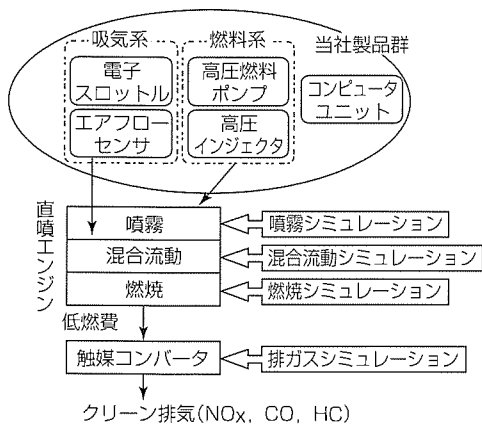


図5. 直噴エンジンのシミュレーション

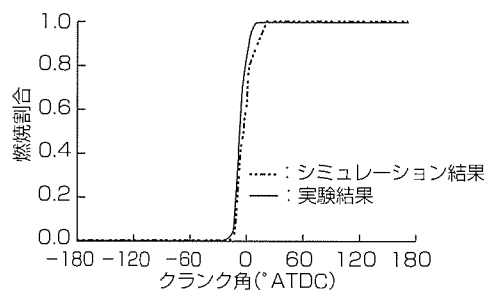


図8. 燃焼割合の計算結果と実験結果との比較

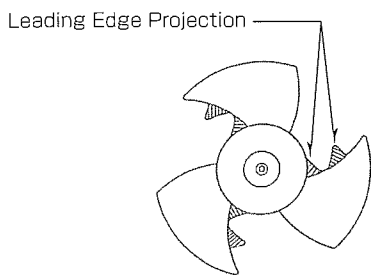


図9. デルタエクストラファン

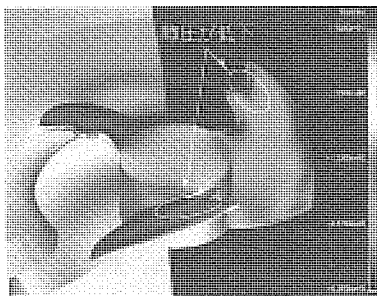


図10. 翼面上の静圧分布

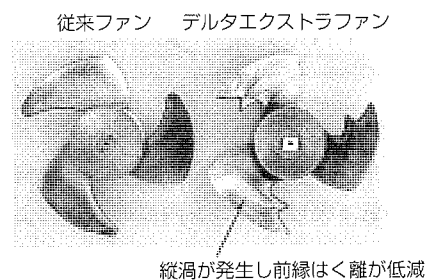


図11. 翼表面の流れの乱れの可視化結果

を出す際のファンの回転数が大きくなるため、ファン騒音が増加する。このため、高効率ファンの開発には騒音の低減が不可欠である。

4.1 高効率化と低騒音化の両立

ファン騒音の主なものに回転音と渦流出音がある。回転音は、回転に伴いスパン方向にコヒーレントな渦が発生し翼面上で大きな圧力変動となるため発生する。また渦流出音は、翼後縁から発生した渦の圧力変動がフィードバック現象を起こして増幅されることが原因である。そこで、図9に示すように、三角形の突起を縦渦発生器として前縁に付け、コヒーレントな渦構造を壊すことで高効率化と低騒音化の両立を実現する新しいファン（デルタエクストラファン）を考えた。

4.2 翼の開発

翼の試作は費用と時間が必要である。そこで、シミュレーションを用いて最適化を行った。図10にシミュレーションで求めた翼面上の静圧分布を示す。前縁突起の付け根で静圧が下がっており、縦渦が発生しやすい形状になっていることが分かる。次に、翼面上の乱れの可視化によって効果の確認を行った。図11にアセナフテン昇華法を用いた翼表面での乱れを比較した可視化結果を示す。黒い部分は乱れが大きな位置で、白い部分は逆に乱れが小さいことを示す。デルタエクストラファンは、突起から翼の後縁にかけて黒く線が伸びている。突起から縦渦が発生しているが、それ以外の位置は乱れが小さいことが分かる。従来ファンは前縁に沿った部分のみが白く残っており、前縁は離れが再付着し、その後乱れが発達していることが分かる。

4.3 騒音の比較

試作ファンで騒音の比較を行った。図12に騒音スペクトルを示す。グラフ中の白がデルタエクストラファン、黒が従来ファンである。デルタエクストラファンは、従来ファンに比べて、80Hzから125Hzの低い周波数帯域にある回転音と800Hz付近の広帯域周波数騒音が低減した。回転音が下がったのは、前縁は離れによる圧力変動が減少したためと考えられる。800Hzの騒音低減は、縦渦によって翼

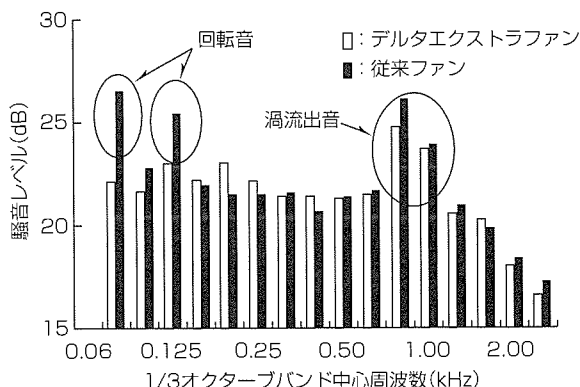


図12. 騒音スペクトル

面上のコヒーレントな渦構造が壊れ、後縁からの周期的な渦流出が起きにくくなったためと考えられる。デルタエクストラファンは、有圧換気扇や換気排熱ファンで使用されている。また、デルタエクストラファンを採用しモータ効率の最適ポイントで運転した業務用有圧換気扇は、従来の換気扇に対して平均で4.5dBの低騒音化、消費電力20%の低減を達成し、省エネバングード21（省エネルギーセンター会長賞）を受賞⁽³⁾した。

5. むすび

シミュレーションを用いて開発した省エネルギー機器を紹介した。今後、地球温暖化等の問題が深刻になるにつれて、省エネルギー機器の開発がますます重要になる。今後も、シミュレーション技術を向上し、世界最高の性能を持つ省エネルギー機器を実現していく所存である。

参考文献

- (1) 馬場和彦, ほか: ブラシレスDCモータの高性能化検討, 電気学会回転機研究会資料, RM-00-141 (2000)
- (2) 片柴秀昭, ほか: 筒内噴射システム開発へのCFD技術適用, 三菱電機技報, 74, No.9, 567~570 (2000)
- (3) 内田敏彦: 業務用有圧換気扇, 三菱電機技報, 73, No.5, 341~344 (1999)

現在、エアコンの買換え需要は総購入の半分以上を占めています。この買換え動機として、使い続けたことによる能力低下及びエアコン内部の汚れによる要因が非常に高くなっております。

以上のようなユーザーニーズや社会環境により、初期性能の改善はもちろん、長寿命化という観点を考慮して、ユーザーニーズの高い空気清浄機能とエアコン内部を汚さないことを両立した全く新しい空気清浄“イオンプラズマシールド”を開発し、吹き出す空気の清潔さとライフエンドまで初期性能を維持可能な省エネルギー性を実現しました。

さらに、人の快適要素である室温・湿度に加え床温度を検知する“快測センサー”を搭載し、快適性と省エネルギー性の両立を実現しました。

特長

1. 業界初！エアコン内部を汚さないイオンプラズマシールドにより、ライフエンドまでの省エネルギー性を改善

“イオンプラズマシールド”とは、強力な帯電力を持つマイクロ繊維によって細かい空気の汚れをキャッチする“大型イオン空清フィルター”と、プラズマ電極部と活性炭フィルターによってにおいや有害ガスを脱臭・分解する“イオンプラズマユニット”の組合せからなり、従来にない空気清浄性能を発揮できるようになりました。空気清浄フィルターで吸い込み口を広く覆うことは、目詰りによる能力の低下、電気代の悪化を招くため、従来難しいとされていました。しかし、空気は通しながら汚れはイオンの力によって吸着し除去させる新フィルター“大型イオン空清フィルター”の開発と、大口径ファンの採用と風路設計により、WXシリーズでは、エアフィルターに加え、熱交換器の97%をカバーする“イオンプラズマシールド”で微細なほこりや煙も除去し、熱交換器・送

風ファン・風路への汚れの付着を抑制し、清潔に保ちます。

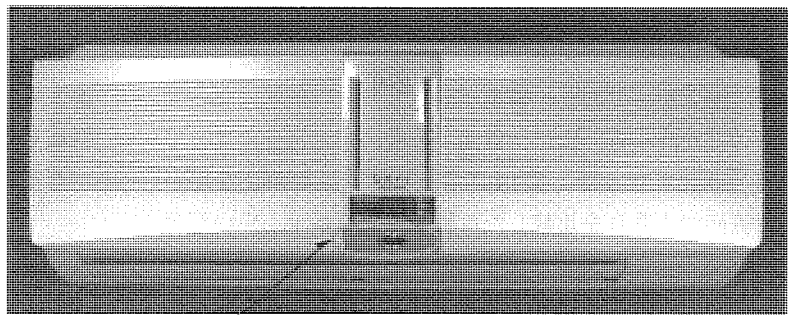
このエアコン内部を汚さない機能により、フィルターの汚れによる電気代の悪化を約15%抑制し、さらに、送風ファンで約25%、熱交換器で約5%とトータルでは約45%の省エネルギー性を改善することができます。

2. 快適性要素を測る独自のセンサ群搭載により、理想の快適空間を創造する“快測センサー霧ヶ峰”誕生

従来のエアコンは“足元が暖まらない”というエアコン暖房への不満を招いていました。そこで“快測センサー霧ヶ峰”WXシリーズでは、床面全体の温度を測ることのできる床温度センサを室内機に搭載することで、床面が冷えていれば強力に足元を暖め、暖まってきたら自動的に省エネルギー運転を行います。室温・湿度・床温度を測って運転制御をするため、無駄な暖め過ぎ・冷やし過ぎを抑え、約20%の省エネルギー効果を発揮します。

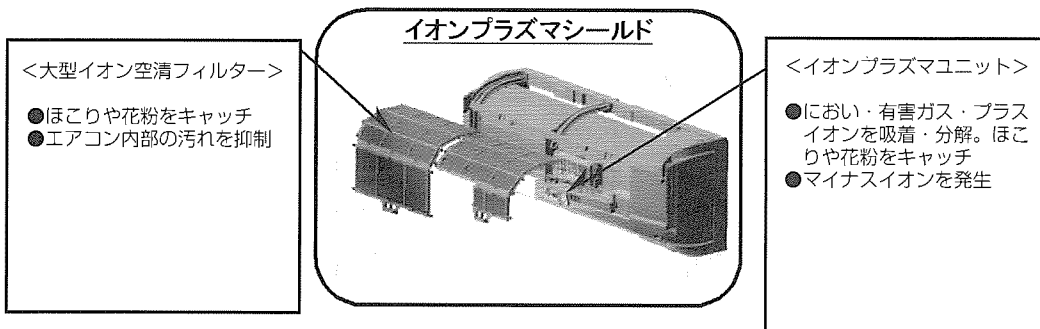
3. 主要部品の省エネルギー性向上による初期性能を改善

当社独自技術である圧縮機の連結コア型集中巻きモータと駆動回路の効率向上、熱交換器の切り起こし形状の最適化及び伝熱面積約5%の拡大など、主要部品の効率向上を図りました。これにより、省エネルギー法の規制値である冷暖平均COPの達成率は115%を実現しました。



床温度センサ

WXシリーズ外観と床温度センサ

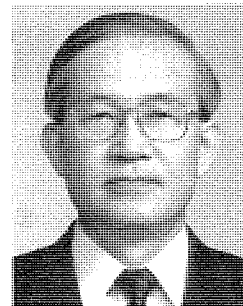


イオンプラズマシールドの外観

住 所：〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-2-3 (三菱電機ビル)

会社名：三菱電機株式会社 家電・デジタルメディア事業部 お問い合わせ先：販売グループ TEL 03-3218-9156

II 低圧遮断器の特集に寄せて

名古屋大学
工学研究科電気工学専攻

教授 水谷照吉

21世紀を迎え、産業界は世界的規模で再編、構造改革が進行し、激しい技術・価格競争にさらされている。我が国の電機産業界も、複数の企業が共存し、国内の競争をバネに技術力を付け共栄してきたが、この方式が世界的規模の再編と厳しい技術・価格競争の流れに通用するか否かが問われている。日本政府も、“産業技術力強化”“産学協力”を積極的に進め、高度先端技術による日本の産業競争力強化に努めているが、日本経済はなかなか不況から脱出する気配を見せない。正に、我が国の電機産業界全体が苦しい状況に置かれている。

しかし、もう少し長期の視点に立てば、この4半世紀に急速に立ち上がってきた高度情報化社会は、今後ますます進展し、世の中を大きく変えることは疑う余地がない。これに伴い、高品質な電気エネルギーの供給はますます重要となり、信頼性の高い電気・電子機器やシステムの開発は必要不可欠である。

三菱電機のノーヒューズ遮断器・漏電遮断器が、今年の電設工業展製品コンクールで大臣賞を受賞されたと聞いている。かかる低圧遮断器は、需要家の電気設備に近いところで、電気の安全と高品質を直接支えており、また数も多い。我が国の電気の事故が諸外国に比し著しく少ないのは、信頼性が高く、使い勝手のよい優れた製品を開発し、供給してきた技術者によるところが大きいと思われる。

低圧遮断器の開発は、超高压遮断器の開発に比し、一見地味に見えるが、各需要家の入り口を押さえていることを考慮すると、ビジネスとしては極めて重要で、面白い分野である。高度情報化社会の発展とともに低圧遮断器の高機

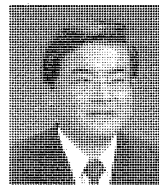
能化・インテリジェント化・ネットワーク化が進むと、工場・ビル・家庭・地域のインテリジェント化やセキュリティシステムの中心に躍り出ることとなり、これらを組み込んだ新しい製品やシステム開発が大きなビジネスとなることが十分期待される。

今までは、ハードウェアとしての遮断器単体の高性能化が開発の中心であったが、ハードウェアそのものの性能だけでは、いずれ開発途上国に追い付かれ、厳しい価格競争にさらされるであろう。体力があるうちに、高度な機能を組み込み、インテリジェント化・システム化して付加価値を高める方向等を含め新しい方向を模索しておく必要がある。

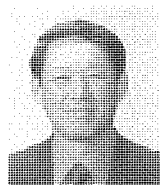
21世紀の日本の発展は、技術創造立国になれるかどうかにかかっているとよく言われる。先進国に追い付く追走者から、自ら目標を設定し、道を切り開く先導者となるよう意識転換をしなければならない。少なくとも、どこを目指すのか決めないと進めないであろうし、目標に達することができないおそれもないわけではない。低圧遮断器の目指す方向の一つにインテリジェント化・システム化・ネットワーク化があるとすれば、後はどんな機能を付加し、どのような製品を開発するか、周囲の状況をよくみてアイデアを出していく必要がある。

従来の技術の継承・発展に努めるとともに、国際競争に勝ち残るための新しい技術を開発し実用化することが容易なことではないことは十分承知している。それだけに、三菱電機には、この分野でも先導者となり、技術創造立国日本の一翼を担っていただけることを期待している。

低圧遮断器の現状と展望



井下雄右*



矢木澤 守**

1. ま え が き

1933年に我が国で初めて三菱電機が配線用遮断器の生産を開始してから約70年が経過しようとしている。

その間、市場環境は変化し、市場ニーズも大きく変化し多様化してきた。これらのニーズにこたえるために、製品も、多様化・高容量化・シリーズ化・標準化・電子化・インテリジェント化・ネットワーク化など変遷してきており、当社は幅広いラインアップで市場に対応してきた。

ここ数年の動きとして、我が国は、WTOが定めたTBT協定を批准し、規制緩和の具体策の一つとして、電気設備においてもJIS規格の国際規格整合化を推進している。IEC規格に対応した“新JIS規格”が整備されつつあり、電気設備技術基準の改正でIEC60364の建築電気設備の適用も可能になった。

さらに、諸外国においても、我が国と同様に国際規格整合化が進展している。また近年では、IT関連企業に代表されるようにグローバル経営が進展し各国の規格が必ず(須)となり、低圧遮断器の分野では国内海外ともにますます国際規格が重要になってきている。

一方、地球温暖化防止、地球環境保護に対するニーズである省エネルギー、環境設計も重要項目である。

このように、低圧遮断器に対し、国際化への対応、省エネルギー、環境のニーズが強まっている。このようなニーズに対応するために、新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WSシリーズ”を発売した。

本稿では、市場動向、規制・規格の変化、技術動向、今後の展望について述べる。

2. 低圧遮断器の市場・製品動向

低圧遮断器を取り巻く環境変化として、規制緩和・グローバル化に伴う規制・規格の変化がある。また、市場のグローバル化による単体機器のグローバル標準化指向も強まっている。

もう一つ大きい変化として、高度情報化社会の進展がある。ITという言葉で象徴されるように、電気を使用するビルや工場等のシステム化・インテリジェント化はますます進んでいる。そして、システムが高度化すればするほど電気を供給する設備には高い信頼性が求められる。

こうした環境の中で、遮断器単体としては、規格整合化への対応、グローバルスペックへの追従や、これまで以上

の信頼性や遮断性能の向上など、一層の性能向上が求められる。これに加えて、後述する環境変化に対応できるような、国際化に対応し安全や環境に配慮した製品が求められている。また、電気設備全体としては、複数の遮断器による遮断システムの信頼性向上、予知予防保全(連続給電の確保)、万一トラブルが発生したときの保全性向上(停電時間の極小化)が求められており、しかも、それらを人手を掛けずに実現することが求められる。そのためには電路情報の監視が必要であり、計測・伝送・分析機能が重要になっている。

3. 規制・規格の変化

我が国では規制緩和、グローバル化が一つの社会潮流となっており、今後も進展していくことが予想される。ここ数年来の社会状況の変化は、電気分野においても顕著になっている。その概要について以下に述べる。

3.1 国際規格への整合

'95年から始まった政府の規制緩和計画は、現在もなお進展している。

これら一連の規制緩和では、国内の規制・規格の国際整合化が図られてきた。その一つに、社会インフラとしての重要な電気設備に関する基準の国際整合化として、「電気設備技術基準」へのIEC60364の取り込みが行われた。電気設備技術基準(以下“電技”という)は、電気工作物のうち、発電所、変電所、配電線、屋内配線、電気使用機械器具のすべてを包含する電気設備に関する技術基準であり、電気事業法に基づく通商産業省令第61号として'65年に制定されて以来、今日まで幾多の改正を経ている。

IEC規格との整合化を図った改正作業は、電気設備技術基準国際化委員会(社)日本電気協会、(社)電気学会、(社)電気設備学会とで構成)で、諸外国と我が国の電力事情、気象条件、電気絶縁、配線接地方式、接地工事の種別などに対する考え方の違いを調査し、IEC60364(建築電気設備)の取り込みを検討した。'97年3月に最終答申として出され、その結果、同年3月27日通商産業省令第52号として改正された。

電技は法令であるため、IECとの整合化の実現に当たって、いわゆる翻訳規格の体裁をとることは困難であったため、まず、条項を整理・削減し簡略化し性能規定化(機能化)するよう条文が見直され大幅に改正された。そして、性能規定である電技への適合性を保証する手段として「電気設備技術基準の解釈」が制定され、おおむね、従来の電

技の規定をその「解釈」として継承された。つまり、電技は翻訳規格の体裁がとれないため省令と解釈に分離されたわけである。さらに、'99年11月に「解釈」を改正してIEC 60364の適用を可能にした(図1)。

IEC60364の取り込みは系統接地方式をTT, TN, ITから選択可能とし、また、感電保護の考え方、系統の過電圧保護すなわち低圧での絶縁協調の考え方の取り込みなど、従来からの設備設計思想とは異なった思想を理解していく必要がでてきている。

一方、個別機器では、IEC規格をJIS規格に取り入れる活動が行われ、低圧遮断器の場合、'98年にIEC60947に基づき新しい規格としてJIS C 8201-2が定められた。なお、現在は従来からのJIS規格(配線用遮断器JIS C 8370, 漏電遮断器JIS C 8371)と併行運用されているが、近い将来には二つのJIS規格を統合する形での一本化が見込まれている。新JIS規格(JIS C 8201)では従来以上に安全面の規則が充実しており、その主なものに「短絡遮断責務Icu, Icsの規程」「断路(アイソレーション)機能」「操作部のClass II絶縁(IEC60364)」などがある。

3.2 社会インフラの変化動向

家庭用の電圧引き上げについて、(社)日本電機工業会の検討委員会で議論を重ね、2001年3月に政府に対して提言をしてきた。

配電電圧を現在主流の6.6kVから22kV(33kV)に高め、それに伴って低圧系は400V三相4線系統とする(したがって、家庭用は単相230Vが主体になる)ことは、電力流通段階での送電効率が高まり、家庭用電圧の昇圧による家電製品の性能向上などの利点から、長期的には、電圧昇圧が望ましい方向といえる。

昇圧化によって、低圧分野においては、短絡電流が大きくなり高遮断容量の製品が要求され、感電保護に対する考え方も変わってきて、絶縁など安全面の取組が更に重要と

なってくる。

3.3 安全思想の拡大

機械産業分野では、前述の設備基準だけでなく、労働安全と表裏一体となった機械安全の考え方が新たに求められてきている。国際的なマネジメント規格である品質管理のISO9000や環境のISO14000が、産業界のみならず、我が国のあらゆる分野に影響を与えていることは周知のとおりである。これに加えて、第三のマネジメント規格ともいえる「安全」が重要になってきている。

その一面が労働安全である。英国BSIが中心となって制定した「OHSAS18001労働安全衛生マネジメントシステム」があるが、ISOにこのマネジメントシステムを導入する可能性は高い。

他面では機械安全がある。ISO12100「機械類の安全性」を頂点とする機械安全のための規格体系をISO, IECの両規格にわたって構築しつつあるのが現状である。図2に国際安全規格の階層化構成を示す。この機械安全と労働安全とは、いわば表裏一体のものとなって安全の向上を図っていくのである。

電気関係では、最も基本的なものとして、IEC60204-1「機械類の安全性-機械の電気装置-第1部:一般要求事項」がある。図3に示すように、この規格は、幾度か改訂

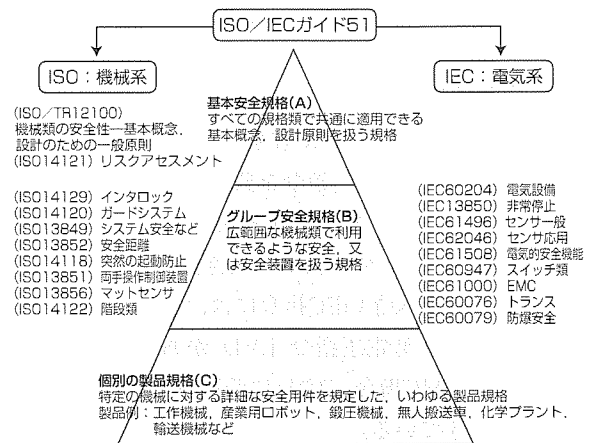


図2. 国際安全規格の階層化構成

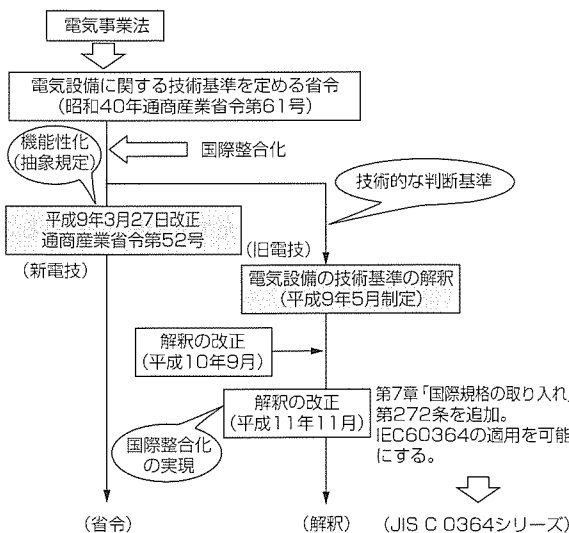


図1. 電気設備技術基準とIEC規格との整合

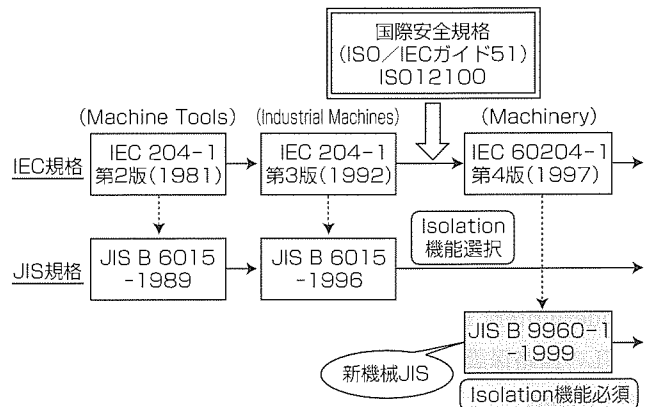


図3. 機械に関する電気規格のIEC整合

され、改訂のつど、その適用範囲が拡大されてきた。最新の第4版では、機械類全般の電気装置に対する安全規格として制定されている。

JIS規格は、従来から、IEC60204-1に基づいた規格を制定していた。工作機械の電気装置に適用されているJIS B 6015である。しかし、この規格は工作機械分野に限定したものであったので、機械類全般を対象とする規格整合化を図るため、'99年にIEC60204-1第4版の内容を取り込んだJIS B 9960-1が制定された。電気分野における機械安全の規格、いわゆる「新機械JIS」である。この規格で、電源引き込み口の電源断路装置として使用する回路遮断器はアイソレーション機能の適合を求めていることが特記できる。

3.4 第三者認証制度の拡大

3.4.1 日本の場合

'99年8月6日に従来の電気用品取締法が電気用品安全法として改正されたことが、我が国の規制緩和の一つとして挙げられる。すなわち、自己確認・第三者認証への移行によって政府の規制を最小限化すること、認証・検査業務へ競争原理を導入することなどを目的としたものである。

従来、甲種電気用品については通商産業大臣が行う型式認可を取得したものしか製造・販売ができなかったが、これを廃止して、通商産業大臣が認定又は承認する検査機関による適合性検査の受検を義務付けたものである。つまり、欧米並みに民間機関による第三者認証でよいとしたものである。

3.4.2 欧州の場合

欧州では、'85年5月、EC理事会は「技術的な整合と規格へのニューアプローチ」指令を発し、CEマーキング制度を定めた。安全又は健康に関する製品をEU域内で販売する際にはCEマーキングの表示を義務付けられた。低圧遮断器にかかわりが大きいEC指令には、EMC(電磁両立性)指令・機械指令・低電圧指令(LVD)がある。'95年に機械指令、'96年にEMC指令、'97年に低電圧指令がそれぞれ強制実施されてきている。

3.4.3 米国の場合

米国内で電気設備・機器を使用する際には、NEC(National Electrical Code: 米国電気工事規程)に適合することが必須となる。

米国の製品認証は、労働安全関係の政府官庁OSHA(Occupational Safety and Health Administration: 米国労働省労働安全衛生庁)が定めたNRTL(Nationally Recognized Testing Laboratory: 米国国家認定試験所)認証制度がある。その中で最も有名なものがUL(Underwriters Laboratories Inc.)である。

ULの回路保護機器の主な規格は下記のものがある。

(1) UL489

600V以下の低圧回路遮断器の規格で、“NECに従い電源

引き込み口、幹線、分岐回路の保護をするため特別に意図しているもの”と規定しているように、回路保護上最も重要な機器である。回路遮断器を意味する“Circuit breaker”は、低圧回路用では、ほぼこのUL489のものをいう。

(2) UL508

1,500V以下の工業用制御装置の規格であり、この規格を適用する製品カテゴリーは30以上にもものぼる。この規格を適用した製品はモータ負荷以外に使用できないことに注意が必要である。

(3) UL1077

補助的プロテクタという名前が示すように、回路遮断器やヒューズのバックアップを受けて使用するものである。器具や電気装置内に設置することを前提とし、分岐回路の過電流保護が既に別の機器で行われているか、過電流保護がなくてもよいようなところにしか使用できない。

(4) UL1053

対地150V以上、線間600V以下の回路の地絡検出リレーの規格であり、他の機器と連けい(繋)して地絡漏電保護を行う。回路遮断器の電圧引き外し装置などと組み合わせて漏電遮断器を構成できる。

表1に、欧州、日本、米国の電気設備・機器の規格の比較を示す。

3.5 環境側面

環境アセスメントを実施し環境負荷を低減していく取組も近年活発となっている。製品自体の長寿命化や小型化も材料使用量の削減などによって環境への負荷低減につながるものであるが、プラスチック材料のリサイクル性を考慮して、熱可塑性プラスチックを使用したり主要プラスチック部品に材料名を表示するなどの取組がなされている。

電気製品にある有害物質として鉄系材料のめっきに使用されるクロム、回路部品の接合に使用される鉛はんだ、プラスチック材の塩化ビニルなどがあるが、近年は、これらの有害物質に対する規制も浮上しており、これらの材料を使わない技術開発が進められている。これらについての規制化は、欧州が先行しているが、我が国も'99年7月に「特定化学物質の排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(PRTR法)」を制定している。

また、プラスチック材料には機械的・電氣的・熱的な性質を向上させるための各種基材を充てん(填)していること

表1. 電気設備・機器の規格の比較

区分	欧州	日本	米国
電気設備全般	EN60364 (IEC60364)	電気設備技術基準 内線規定	NFPA70 (NEC)
機械の電気設備	EN60204-1 (IEC60204-1)	JIS B 9960-1 JIS B 6015	NFPA79
個別機器の規格 (配線用遮断器の例)	EN60947-2 (IEC60947-2)	JIS C 8370 JIS C 8201-2	UL489

が多いが、特にグローワイヤ性能や高難燃グレード化のために添加されている難燃剤の中にはハロゲン系のものが存在しており、こうした添加剤にも有害物質を使わないように注意を払う必要がでてきている。

4. 技術動向

4.1 遮断技術の変遷

低圧遮断器の遮断技術は米国のウェスティングハウス社のJ.Slepian博士によって考案されたデアイオン消弧方式に端を発しているが、当社は、適用された電磁反発式遮断技術や、繰り返し使用できる自己復旧形限流素子の永久ヒューズを開発し、遮断容量拡大、限流性能向上を図ってきた。'85年には接点の周囲に絶縁物の圧力反射板を配置した気中アーク制御技術VJC(Vapor Jet Control)を搭載したスーパースクラムシリーズを開発し、'90年にはSJ-VJC(高速転流式VJC)遮断方式を採用した超限流遮断器で世界最大クラスの200kAの遮断容量を実現した。さらに、'95年に、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)技術を採用しPSSシリーズを開発した。今回、グローバル化に対応した高遮断性能を実現するために、新遮断技術(PA-オートパツファ、Advanced ISTAC、JPTメカ)を開発し、WSシリーズを完成させた。詳細についてはこの特集の別論文で紹介する。

4.2 電子化技術の変遷

低圧遮断器における電子化技術の変遷としては、過電流引き外し部の電子化が挙げられる。最初の電子式ノーヒューズ遮断器MELNIC形は、'74年に開発された。このシリーズの過電流引き外し回路は、アナログのディスクリート部品で構成されており、機能的にはピーク値検出で、ひずみ波形の影響を受けた。

その後'87年に開発したETR(Electronic Trip Relay)搭載のSuper SCRUMシリーズの過電流引き外し回路では、専用アナログASICを開発し、実効値検出方式を採用することにより、ひずみ波形の影響を受けなくなった。この実効値検出方式の実用化は、世界に衝撃を与え、業界の技術動向の流れを作った。

半導体技術のアナログからデジタルへの変化に伴い、'95年には、デジタルETR搭載のPSSシリーズの電子式ノーヒューズ遮断器を開発した。構成的にはアナログ専用ASICとマイコンを組み合わせたデジタル方式となり、機能としては、実効値検出はもちろんのこと、引き外し特性のマルチ可調整化や負荷電流のプリアラーム機能を実現した。

ここまでの電子化は過電流引き外し部についてであったが、'97年には、計測・表示・伝送機能を持つ初代MDU(Measuring Display Unit)ブレーカを開発した。この製品は、遮断器を流れる電流・電圧・電力・電力量等を計測し、その計測値を表示したり、ネットワークを使って伝送するという画期的なものであり、時代の省エネルギー機運にマッチした製品となった。今回のWSシリーズの中にもより進化したMDUブレーカがあり、詳細については、この特集の別論文で紹介する。

5. 今後の展望

現在まで当社は遮断技術、機構技術、電子技術、材料技術、生産技術をベースに、市場ニーズに対応した低圧遮断器の性能向上と小型化・シリーズ化・標準化・多機能化・高機能化を図ってきたが、今後は、高信頼電力供給を目指し、遮断技術の革新を図り、複合化・インテリジェント化・ネットワーク化による停電範囲の極小化、システムソリューションの提供、安全化のレベルアップ、自動化、省人化、環境負荷低減を指向した遮断器をグローバル化した市場に供給することが基本と考えている。

6. むすび

以上、低圧遮断器の現状と展望の概略を述べた。市場はますますグローバル化・IT化されることが予想されるが、今後は、さらに社会環境変化と市場ニーズを的確にとらえた技術開発を行い、世界市場に受け入れられる製品開発の提供によって低圧配電分野の発展に貢献していく所存である。

本稿が低圧遮断器を取り巻く環境について皆様方の理解の一助となれば幸甚である。

新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器 “WSシリーズ”

山県伸示*
谷辺俊幸*

要旨

低圧遮断器の高性能化・小形化・インテリジェント化に対する市場ニーズは根強い。さらに近年、国際化への対応、環境への配慮といったニーズが強まっている。これらのニーズに対応するため、“国際化に対応した、高性能&製品ラインアップ”をコンセプトとして、新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WSシリーズ(World Super Series)”の開発を行った。

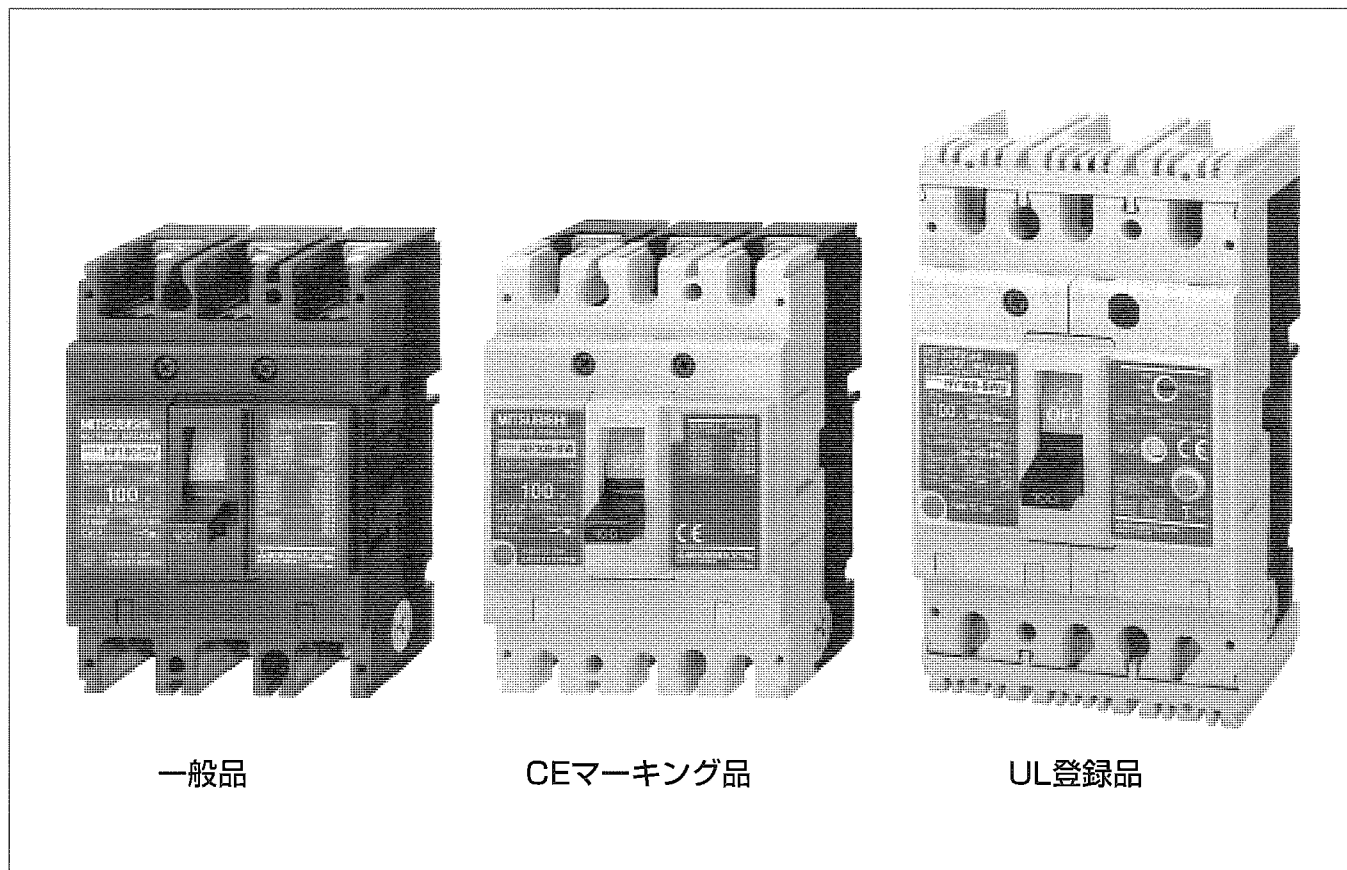
WSシリーズの主要な特長、及びそれを実現するために開発した新技術は、次のとおりである。

(1) 高遮断容量・高限流・小形・国際化を可能にした3つの新遮断技術“PA-オートパッファ(Polymer Ablation type Auto-Puffer)”, “JPTメカ(Jet Pressure Trip Mechanism)”, 及び“Advanced ISTAC(Inpulsive

Slot-Type ACcelerator)”

- (2) 長開閉寿命・小形・国際化(アイソレーション機能装備)を実現した新設計の機構部、そこに採用されている“シャントレス通電機構”
- (3) “一般品”, “CEマーキング品”, “UL登録品”の3本立てのワイドな品ぞろえで、国際化はもとより広範囲なニーズに対応
- (4) 標準化・小形化, フレキシビリティ向上で、更に使いやすく便利に
- (5) “MDUブレーカの機能アップ”, “漏洩電流表示付遮断器新登場”と、電路情報監視用遮断器の充実
- (6) 環境への配慮

本稿では、(1)~(6)のそれぞれについて述べる。



新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WSシリーズ”

新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WSシリーズ”は、“一般品”, “CEマーキング品”, “UL登録品”からなる機種ぞろえで、幅広いニーズに対応している。高性能・小形化、インテリジェント化を実現するとともに、JIS規格、IEC規格、UL/CSA規格に適合し、市場のグローバル化や安全性重視、環境負荷低減の流れを取り入れた仕様となっている。

1. ま え が き

低圧遮断器に対する市場ニーズとして、従来の要求に加えて、近年は“国際化への対応”が強く求められるようになってきている。これにこたえるため、“国際化に対応した、高性能&製品ラインアップ”をコンセプトとして、新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器WSシリーズの開発を行った。

本稿では、WSシリーズの主要な特長、及びそれを実現するために開発した新技術について述べる。

2. 先進の遮断技術

WSシリーズでは、これまで培ってきた遮断技術であるVJC(Vapor Jet Control)とISTACを発展統合させたAdvanced ISTACを開発するとともに、全く新しい概念の遮断技術PA-オートパuffァを開発した。さらに、高速遮断技術JPTメカを開発し、これらの相乗効果で遮断性能を飛躍的に向上させている(図1)。

2.1 PA-オートパuffァ

PA-オートパuffァとは、“アークの熱によって高分子(プラスチック)材から大量の蒸気を発生させて蓄圧空間圧を上げ、この蒸気ガスを電流零点近傍でアークに垂直方向に吹き付け消弧する”全く新しい概念の遮断技術である。高分子材の分解ガスで電極蒸気を吹き飛ばすことにより、電極間の絶縁回復速度が大幅に改善する。これにより、高い回路電圧(例えば690V)での遮断容量を向上させることができる。また、電圧の高い回路に用いる場合に、従来の遮断器が大きな隔離距離や多数の消弧板を必要としたのに対し、非常に単純な構成で高い遮断性能を得られるので、小形化が可能になる。

WSシリーズでは、電源端子側だけに排気口を設けたユニットケースを用いて、VJC絶縁物から発生する分解ガスを貯留する。短絡事故が発生してアーク電流が増加していく過程では、蓄圧空間にアークによって分解されたVJC絶縁物ガスが貯留される。続いて、電流がピークを過ぎてアークエネルギーが減少していくと、貯留された分解ガスがアークに対して垂直な方向から吹き付けられ、アークが湾曲・伸張し、消弧される。アークが消弧された後も、分解ガス流によって空間の絶縁回復が急速に進むので、回路電圧が高い場合でも再点弧が発生しない。

2.2 JPTメカ

JPTメカでは、短絡遮断時に、PA-オートパuffァ遮断技術によって蓄圧空間に貯留した高压の分解ガスの一部をジェットとしてユニットケースから吹き出させてJPTアクチュエータを動かす。これにより、電磁リレーの動作前に遮断器機構部をダイレクトに駆動して高速にトリップ動作をさせる。アークエ

ネルギーを利用するため、従来の電磁石方式に比べて、短絡電流領域でのトリップ動作が高速で、通過エネルギーの低減と遮断の信頼性向上を同時に実現している。

2.3 Advanced ISTAC

ISTAC技術とは、ISTAC電流路とそれを覆うVJC絶縁物で構成される限流遮断技術で、電流路が発生する電磁力とVJC絶縁物から発生するガス圧で可動子を高速開極させる。さらに開極初期において、接点間に発生したアークが固定子電流路から大きな電磁駆動力を与えられて引き伸ばされるので、アーク電圧が急速に立ち上がる。

WSシリーズでは、このISTAC技術によるアーク電圧の立ち上がりを一層急峻にするために、磁界がより効率的に可動子及びアークに作用するように、ISTAC電流路が作るループ内に磁性体コアを配置している。この磁性体コアにより、可動子に作用する電磁開極力は従来機種と比較して約40%、アークに作用する電磁駆動力は約10%それぞれ向上している。

さらに、ほとんど密閉されたユニットケースの中でVJC絶縁物蒸気を発生させ、非常に高压の雰囲気を作り出しているため、この効果によるアーク電圧の上昇もあいまって短絡事故電流の減衰を早め、通過エネルギー I^2t の低減を図っている。

以上3つの新遮断技術の作用をまとめると図2のとおりである。また、実現された高い限流性能のグラフを図3に示す。

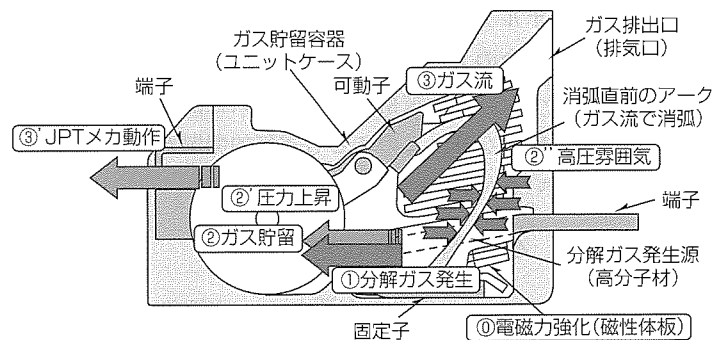


図1. WSシリーズ新遮断技術モデル

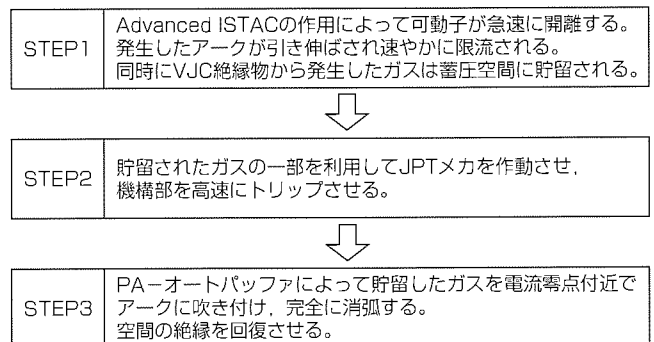


図2. WSシリーズの遮断メカニズム

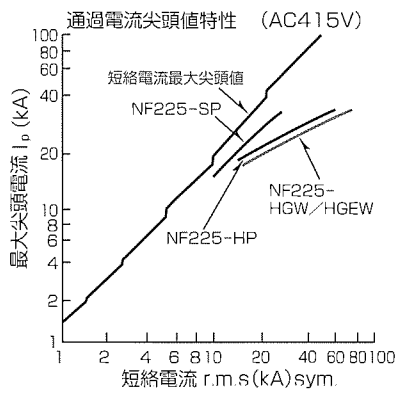


図3. 限流性能の向上

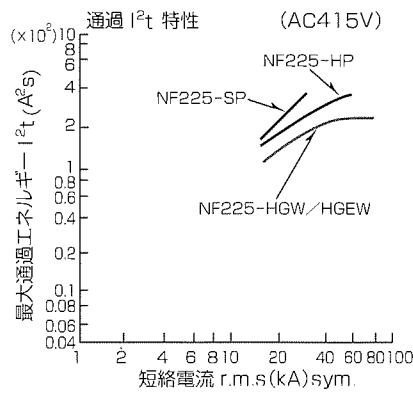


図4. シャントレス通電機構

3. 長開閉寿命を実現した新機構

遮断器の開閉寿命には、機械的開閉寿命と電気的開閉寿命がある。前者は、主に機構部の摩耗や損傷によって決まる。後者は、それらに加えて接点の消耗に支配され、通常、前者より短い。機構部の損傷としては、特にシャント(銅の平編線や薄板で可撓性を持たせて電気的接続を行う部品の)の疲労断線が、開閉寿命を制限する大きな要因である。

WSシリーズでは、国際化に対応するため、断路(アイソレーション)機能及び操作部のクラスII絶縁を装備するために新しい機構を開発したが、そこには開閉寿命アップの工夫も盛り込んだ。100Aフレーム品及びNF225-HGW/HGEWではシャントレス通電機構(図4)を採用し、可動子と可動子ホルダを摺動接触させることでシャントをなくして、開閉寿命の大幅な向上を実現している。

また2章で述べた新遮断技術の効果で耐久性能に優れた接点の使用が可能となり、このことも電気的開閉寿命のアップに寄与している(図5)。

4. 国際規格への適合

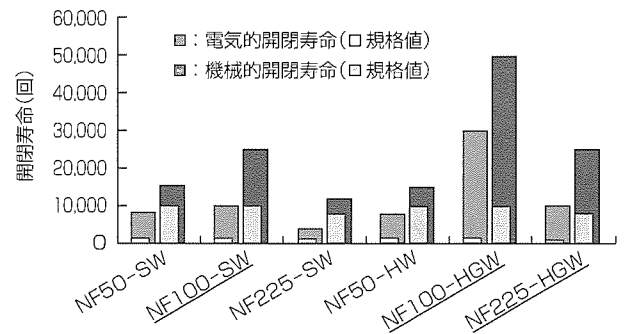
WSシリーズでは、“国際化に対応した、高性能&製品ラインアップ”というコンセプトに従い、日本市場のニーズにベストマッチした一般品と、国際化ニーズに対応した海外規格適合品をラインアップした。

4.1 一般品

幅広い市場ニーズにこたえることを主眼にしたシリーズで、黒を基調としたデザインとしている。従来からのJIS規格に加え新JIS規格にも適合し、各種船用規格(NK, LR, AB, GL)の認定を取得し、用途別遮断器も充実しており、様々な用途に使用できる。断路(アイソレーション)機能も標準装備している。さらにはIEC規格にも適合しており、海外でも使用できる。

4.2 海外規格適合品

CEマーキング品とUL登録品の2つのシリーズからなり、



(注) アンダーラインの付いている機種がシャントレス通電機構を搭載

図5. 開閉寿命の向上

機械装置に組み込まれることを想定して、アイボリー色を基調にした新デザインを採用している。

CEマーキング品は、新JIS規格とIEC規格に適合したCEマーク付のシリーズで、全機種、標準で断路(アイソレーション)機能を装備している。

UL登録品は、UL規格・CSA規格・IEC規格・新JIS規格のすべてに適合し、北米を含めた市場に対応した製品となっている。こちらも全機種標準で、断路(アイソレーション)機能を装備しているだけでなく、以下のような特長を持っている。

高性能品は、PA-オートパッファ遮断技術の効果で定格電圧AC600Vまで対応している。

- 小形品(50・100Aフレーム)を新規ラインアップ
- 漏電遮断器(50・100・225Aフレーム)の新規ラインアップ

5. 標準化・小形化、フレキシビリティ向上

“更に使いやすく”を具現化したWSシリーズの特長のうち、主なものを紹介する。

5.1 100Aフレームの縦寸法小形化

100Aフレーム品の縦寸法を155mmから130mmに小形化し、同時に30~100Aフレームの縦寸法・高さ寸法が統一され、盤設計の効率化を図っている(図6)。

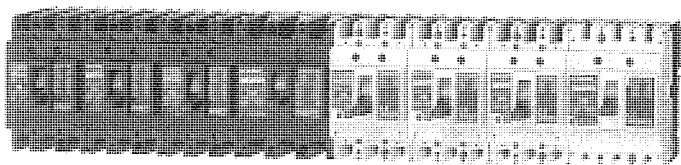


図 6. 外形の小形化 & 標準化

5.2 カセット付属装置が更に充実

仕様変更への柔軟な対応や発注の簡素化を可能にするカセット付属装置が更に充実した。警報スイッチ(AL)、補助スイッチ(AX)、電圧引き外し装置(SHT)に加え、不足電圧引き外し装置(UVT)もユーザー取付け可能となった。またUVTは、新たに漏電遮断器にも取付け可能になっている。さらに、SHTとUVTは電圧共用範囲が拡大し、種類が削減されている(図7)。

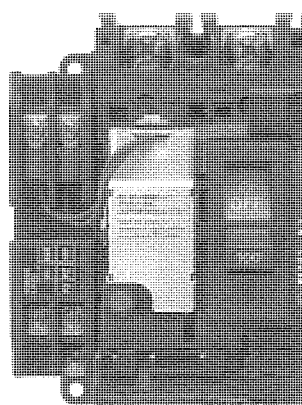


図 7. カセット付属UVT

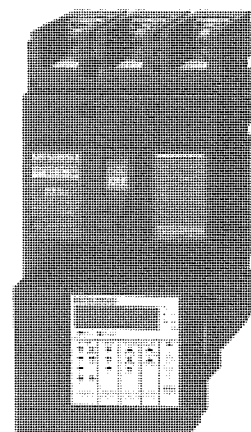


図 8. MDUブレーカ

6. 電路情報監視用遮断器の充実

WSシリーズでは、電路情報監視・省エネルギー支援というニーズに対応できる製品群の充実も図っている。

6.1 MDUブレーカの機能アップ

電路情報のデジタル表示・伝送機能で、省エネルギーのためのフィードごとの原単位管理に貢献しているMDUブレーカが、仕様を充実し一層使いやすくなった(NF225-SWM/ZSWM, NV225-SWM)。従来比体積約83%に小形化されたMDU表示部に、

- 高調波電流の計測・表示・伝送
- 高調波含有漏洩電流の計測・表示・伝送
- AL/AX信号の伝送

の各機能を追加した(図8)。

従来からの電流、電圧、電力、電力量、力率の計測・表示・伝送機能と合わせて、よりきめ細かなエネルギー管理を可能にした。

6.2 漏洩電流表示付ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器

小形・低コストの機器で手軽に電路の各種漏洩電流値を把握したいというニーズにこたえるため、新たに漏洩電流表示付ノーヒューズ遮断器・同漏電遮断器をラインアップした(図9)。以下のような機能で、日常の電路監視と、漏電事故発生時の原因究明をより容易なものとした。

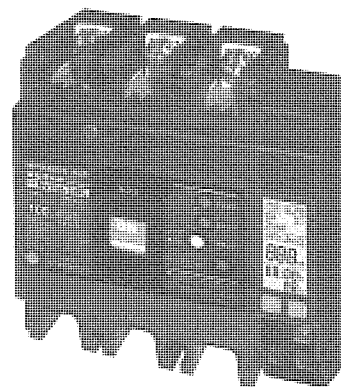


図 9. 漏洩電流表示付漏電遮断器

漏洩電流表示付ノーヒューズ遮断器：

(NF100-SWL形/NF225-SWL形)

- 細かな漏電警報感度の設定が可能(10~990mA)
- 漏電警報発生経過時間の表示

漏洩電流表示付漏電遮断器：

(NV100-SWL形/NV225-SWL形)

- 漏洩電流の現在値・最大値・デマンド現在値・デマンド最大値、及び最大値発生経過時間の表示
- 漏電トリップ時の事故電流値と経過時間の表示

7. む す び

以上、新たな技術の開発で時代のニーズにマッチした仕様を実現した新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器WSシリーズの特長と新技術について述べた。

最近の遮断器における新遮断技術

要 旨

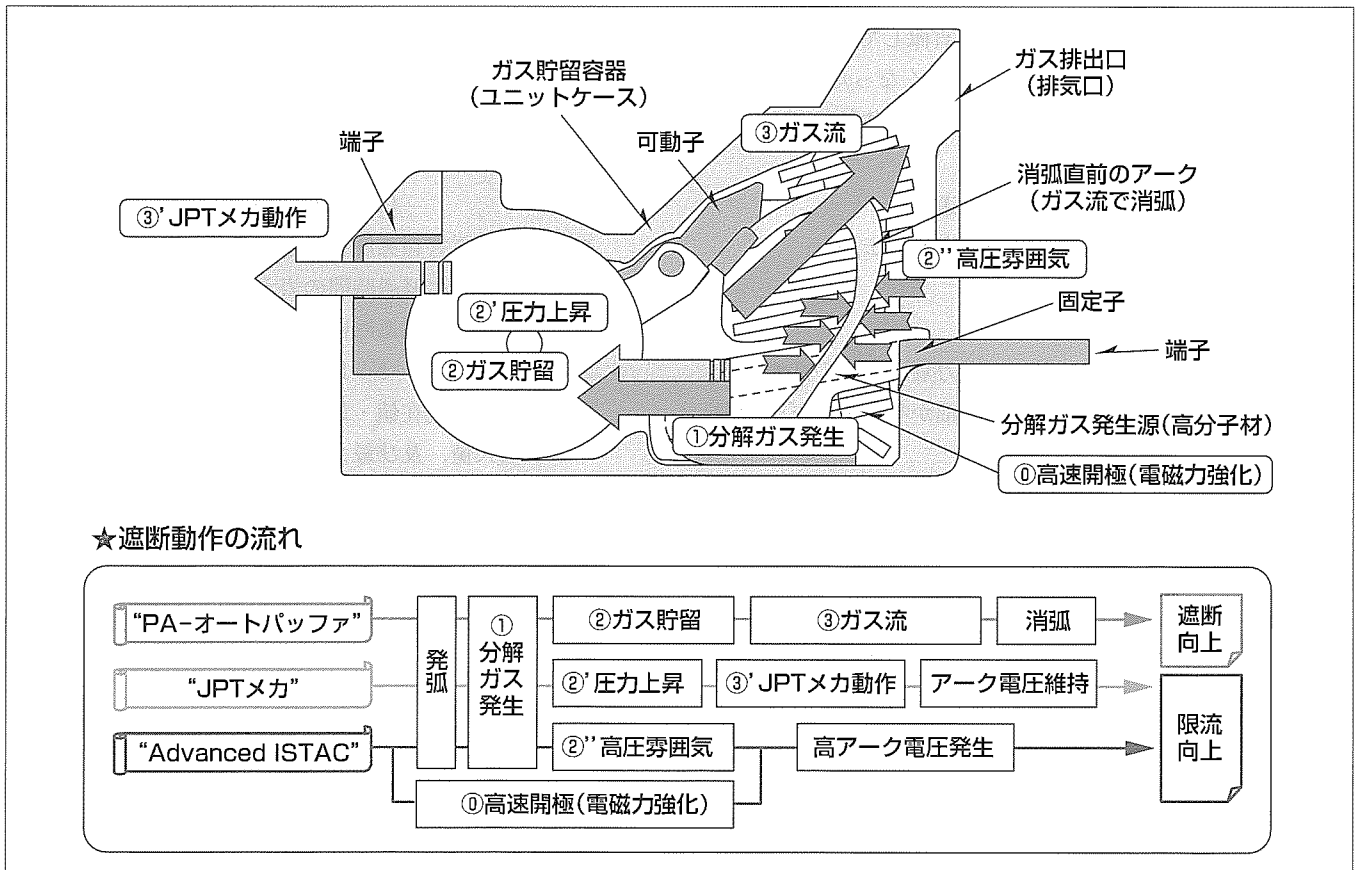
市場のグローバル化に伴い、低圧遮断器には、主に海外で用いられる比較的高い回路電圧(交流600/690V)での遮断性能向上の要求、及び限流性能向上(短絡遮断時の通過電流ピーク値、及び通過エネルギーの低減)の要求が高まっている。新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WSシリーズ(World Super Series)”では、これらの要求にこたえるため、新たに開発した“PA-オートパフファ(Polymer Ablation type Auto-Puffer)”“JPTメカ(Jet Pressure Trip Mechanism)”“Advanced ISTAC(Advanced Impulsive Slot-Type Accelerator)”などの新遮断技術が適用されている。

PA-オートパフファは、アークによって高分子材(プラ

スチック)から発生する分解ガスをユニットケース内に貯留し、この貯留分解ガスを電流零点近傍のアークに吹き付けて消弧する三菱電機独自の新しい概念の遮断技術であり、前述の比較的高い回路電圧での遮断性能向上に有効である。また、JPTメカは、貯留ガスの一部をアクチュエータに吹き付けて機構を直接動作させる装置で、短絡電流領域で高速に働き、通過エネルギーの低減に有効である。さらに、Advanced ISTACは、“PSS(Progressive Super Series)”に適用された“ISTAC技術”を進歩させたもので、通過電流ピーク値と通過エネルギーの低減に有効である。

これらの新遮断技術は、基礎的な研究で得られた知見に基いており、他の気中遮断器への展開が可能である。

特集
II



新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器の新遮断技術

新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WSシリーズ”では、遮断動作時に接点間に発生するアークの熱を利用して高分子材(プラスチック)から分解ガスを発生させ、この分解ガスをきょう(筐)体内に貯留してアーク吹き消しに利用するとともに、そのガス圧で高アーク電圧の発生と機構の高速動作を実現し、遮断及び限流性能を向上させている。

1. ま え が き

新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器“WSシリーズ”には、新遮断技術である“PA-オートパuffァ”“JPTメカ”“Advanced ISTAC”などが適用されている。これら新遮断技術は、アーク現象解明、可動子挙動解析、三次元電磁力解析などの基礎的な研究から得られた知見を基に開発された。

本稿では、これら新遮断技術の特長と、その技術開発について述べる。

2. PA-オートパuffァ

2.1 特 長

PA-オートパuffァとは、アークの熱によって高分子材(プラスチック)から大量の分解ガスを発生させて筐体内に貯留し、この分解ガスを電流零点近傍でアークに垂直方向に吹き付けて消弧する新しい概念の遮断技術である。高分子材の分解ガスは、プラズマの温度を急激に下げて電気伝導度を低下させる。したがって、この分解ガスで電極蒸気を吹き飛ばすことにより、電極間の絶縁回復速度を大幅に改善でき、高い回路電圧(例えば、交流600/690V)での遮断容量が向上する。

この技術の特長は、ガス遮断器で用いられている従来型オートパuffァのように、吹き付けガスを充てん(填)する密閉容器を必要としないこと、アークの熱によって大量に発生する分解ガスを利用するので蓄圧空間が小さくても効果が得られることである。また、従来のように大きな開離距離や多数の消弧板を用いることなく、非常に単純な構成で高い遮断性能が得られる。

2.2 原理実証実験⁽¹⁾

図1に原理実証実験に用いた基礎モデルを示す。実験では、単相交流600V、推定短絡電流10kA、周波数60Hz、力率0.24の回路に基礎モデルを接続し、ヒューズでアークを発弧させた。消弧室Aは、排気口以外の開口部がなく、アークによる側壁(ポリメチルメタクリレート樹脂)の分解ガスを電極下部空間に貯留し、電流零点近傍でアークに吹き付

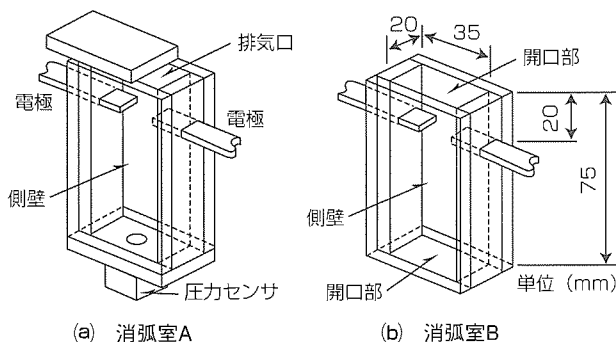


図1. 消弧室の基礎モデルAとB

ける構成とした。一方、消弧室Bは、上下に開口部を備え、分解ガスの貯留が生じない構成とした。

図2に電流・電圧波形の一例を、図3に高速ビデオカメラで観測した最初の電流零点直前(電流零点前約0.2ms、電流瞬時値約1kA)のアーク形態をそれぞれ示す。消弧室Aでは、最初の電流零点で遮断を完了しており、電圧波形に顕著な消弧ピークが現れる。一方、消弧室Bでは、電流を遮断できず消弧ピークも発生しない。この電流零点直前のアーク形態は、消弧室Bでは略直線的であるのに対して、消弧室Aでは排気口に向かって伸張された形状となっておりガス流の存在を示している。また、消弧室Aの底面に設置した圧力センサから、電流零点以降も消弧室内に残圧があり、電流遮断後もガス流が持続することが分かった。さらに、消弧室Aの側壁材料を高分子材から石英ガラスに変更すると遮断不能となることなどから、高い遮断性能を得

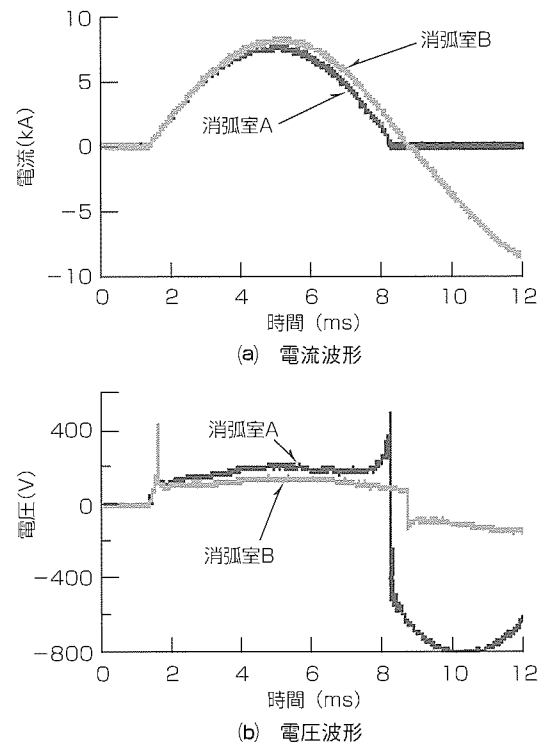


図2. 電流・電圧波形の比較

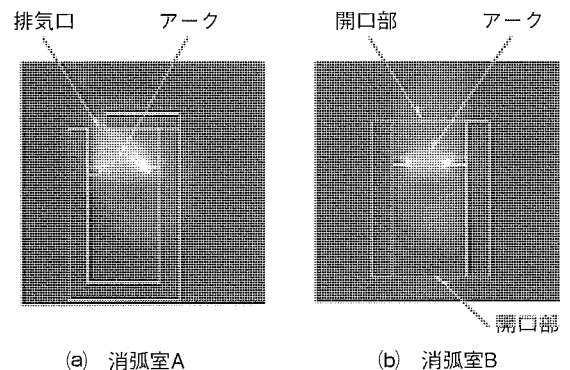


図3. 電流零点直前のアーク形態

るためには高分子材の分解ガスが不可欠であると言える。

図4、図5に、電流零点及び直後のアークの温度を電極材料の銅のスペクトルから算出した結果を示す。

図4は、電流零点での温度分布であり、y軸は電極高さ位置を零とした電極を結ぶ線に垂直な軸である。消弧室AとBの温度分布から、アークにガス流が作用すると温度分布の幅が縮小するとともにピーク温度が1.2倍に上昇することが分かる。すなわち、アークはその外周部が冷却され、その結果、電流は温度の高い(導電率の高い)アーク中心に集中して流れるためピーク温度は増大する。

図5は、電流零点直後(電流零点後約30~50μsの間)の温度分布である。ただし、遮断のできない消弧室Bでは別途回路に設けた遮断器で半サイクルにて遮断した。図から、電流零点直後では消弧室AとBのピーク温度はほぼ同じであることが分かる。電流零点まで消弧室Aの温度が高かったことを考慮すると、消弧室Aでは電流零点以後に電極間が急速に冷却されたことになる。以上から、分解ガスの吹き付けは、アークを伸張させるだけでなく、アーク径を収縮させ、かつ、電流零点以降では電極間を急速に冷却することが分かった。

ところで、大電流アークの電圧 U_{arc} は、アークを導体近似し、

$$U_{arc} = U_0 + \frac{l}{\sigma S} I_{arc}$$

と表現できる。ただし、 U_0 は電極降下電圧、 σ はアークの導電率、 l はアーク長、 S はアーク断面積、 I_{arc} はアーク電流である。この式から、図2に現れたアーク電圧の消弧ピークは、アークの伸張(l の増加)とアーク径の縮小(S の減少)とが原因と考えられる。また、数千K付近の高温ガスの導電率 $\sigma(T)$ は温度 T とともに急激に変化することから、電流零点以降の冷却は急速な絶縁耐力の回復につながる。

3. JPTメカ

3.1 特長

ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器では、短絡遮断時に接

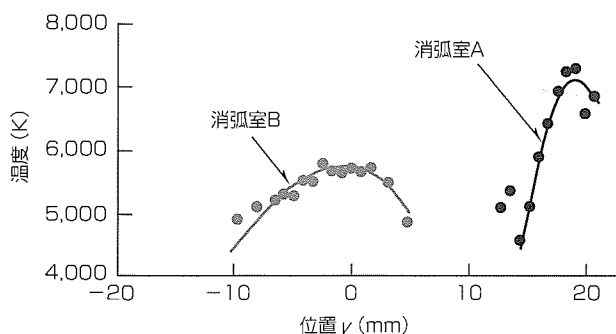


図4. 電流零点の温度分布

触子間に働く電磁力で高速開極し限流性能を高めている。しかし、限流性能に優れた遮断器では、通過電流ピーク値が抑えられるため開極方向の電磁力が素早く減衰し、機構が動作するまで最大開極位置を維持できず、可動子が固定子側へと戻り、アーク電圧が低下する。このアーク電圧低下は通過電流ピーク以降の遮断動作後半に発生するので、遮断時間が長くなり、限流性能指標の一つである通過エネルギーが大きくなる。また、最悪の場合、再点弧を発生することもある。このアーク電圧低下の度合いは、限流性能が高い遮断器ほど顕著である。

WSシリーズでは、この可動子戻り現象の限流及び遮断性能への悪影響を防止するため、JPTメカが適用されている。JPTメカでは、2章で述べたPA-オートパuffaによって蓄圧空間に貯留した高压分解ガスの一部をジェットとしてユニットケースから吹き出させてアクチュエータを動かし、機構部を直接トリップさせる。アークエネルギーを利用するため、遮断電流が大きいほど動作が速くなり、従来方式に比べ短絡電流領域で高速動作する。

3.2 可動子挙動解析⁽²⁾

3.1節で述べた可動子戻り現象の要因を特定するため、可動子の挙動解析を行った。可動子の開極力としては、接触子間の電磁力がある。一方、閉極力としては、接圧ばね力と、高速開極した可動子が筐体に当たり跳ね返る力とがある。そこで、実験によって各時刻における可動子の位置及び電流値を測定し、これを基に各時刻の各々の電磁力と接圧ばね力を算出し比較した。その結果を図6に示す。図から、可動子が最大開極位置にある電圧ピーク近傍では、可動子は電磁力によって筐体に押し付けられており、電流瞬時値が低下して電磁力が接圧ばね力より小さくなった時点で戻り動作を開始することが分かる。つまり、跳ね返りの力は可動子の戻りには影響を及ぼしておらず、電磁力と接圧ばね力のバランスで可動子の戻り開始時刻が決定される。また、限流性能が高い遮断器ほど電圧低下の度合いが大きいのは、電流瞬時値の減少がより速く、電磁力が接圧ばね力より小さくなる時刻が早いためである。

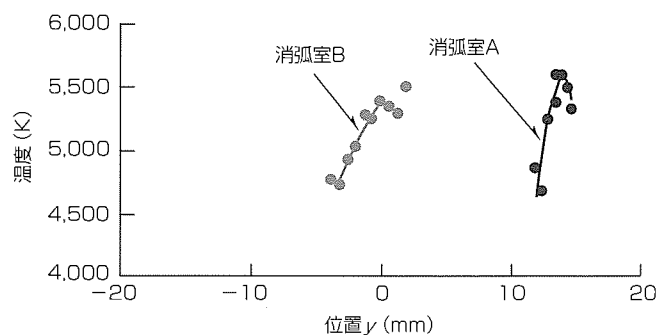
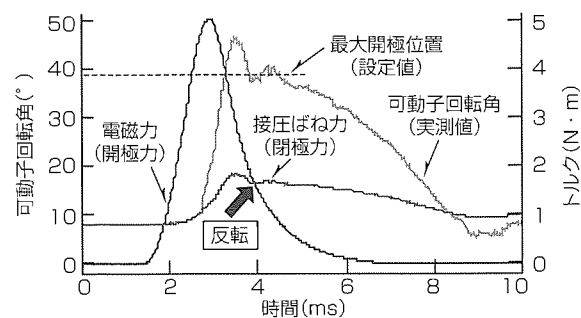
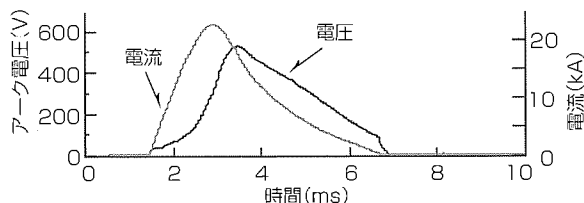


図5. 電流零点直後の温度分布



(a) 可動子挙動及び可動子に働く力の変化



(b) 電流及び電圧波形

図 6. 開極力と閉極力の時間変化

4. Advanced ISTAC

4.1 特長

PSSから適用されたISTAC技術⁽³⁾とは、ISTACの電流路とそれを覆うVJC(Vapor Jet Control)絶縁物⁽⁴⁾で構成される限流技術である。この技術では、開極初期において、固定子のすべての電流路が可動子に与える電磁開極力と、VJC絶縁物から発生するガス圧による開極力で、可動子を高速開極させる。さらに、開極初期のアークには、固定子のすべての電流路から電磁駆動力が与えられ、VJC絶縁物の細隙内で引き延ばされるので、アーク電圧が急速に立ち上がる。このISTACを更に発展させたのが“Advanced ISTAC”である。

Advanced ISTACでは、三次元非線形磁界解析を用いて消弧室内の磁界分布の最適化を図っている。具体的には、ISTAC電流路が作るループ内に磁性体板を配置することにより、可動子に働く電磁開極力及びアークに働く電磁駆動力をそれぞれ強化している。また、この電磁開極力強化による高速開極と、比較的小容積のユニットケース内でのアーク発生に伴い生じる高圧雰囲気との併用で、アーク電圧を効果的に高め、事故電流の減衰を早めて通過エネルギーの低減を図っている。

4.2 高圧雰囲気中での限流性能向上条件⁽⁵⁾

図7に、加圧密閉容器中で丸棒対向電極間に発生させたアーク形態を示す。アーク雰囲気圧力が上昇するとアーク陽光柱は外部圧力に押されて断面積が縮小し、アーク電圧が上昇する。しかし、短絡遮断時に発生する大電流アークの場合、アークスポットからの金属蒸気のジェットが強く、このジェットが激しくぶつかり合う短ギャップアーク(電極間が数ミリ程度の開極初期のアーク)領域では、雰囲気

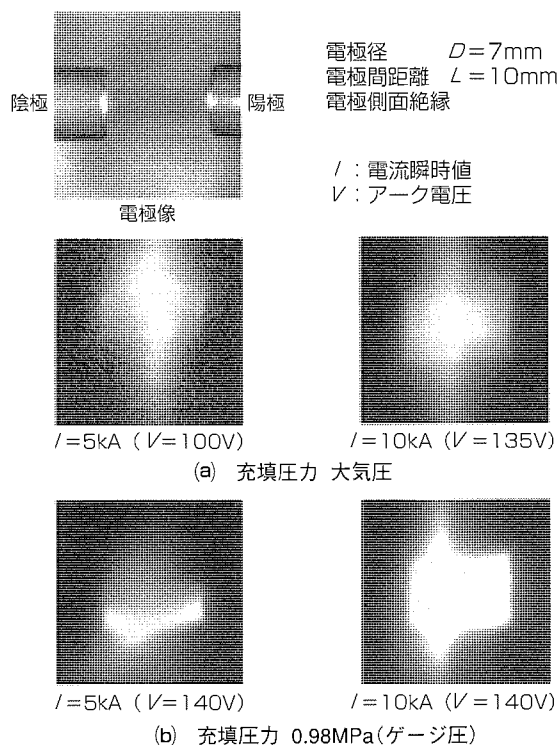


図 7. 加圧密閉容器中のアーク形態

圧を高めてもアーク電圧はほとんど上昇しない。雰囲気圧を高めてアーク電圧を上げるには、ジェットの影響が相対的に小さくなる、ある値以上のアーク長(開極距離)が必要となる。したがって、高い雰囲気圧を利用して限流性能を向上させるには、高速開極との併用が不可欠である。

5. むすび

新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器に適用された新遮断技術の技術開発について述べた。この技術開発で得られた知見は他の気中開閉器においても有用であり、今後、展開予定である。

参考文献

- (1) 月間 満, ほか: オートパuffers方式を利用した新型配線用遮断器の開発, 平成13年電気学会産業応用部門大会, 25 (2001)
- (2) 三橋孝夫, ほか: 配線用遮断器可動子戻り現象検討, 平成13年電気学会全国大会, 6-189 (2001)
- (3) 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)
- (4) 吉安 一, ほか: 新限流技術“VJC”, 三菱電機技報, 60, No.4, 230~232 (1986)
- (5) 三橋孝夫, ほか: 密閉容器中大電流アークの電圧特性の検討, プラズマ研究会資料, EP-98-68 (1998)

遮断器用モールドケースの 衝撃解析技術

春名一志*
安村賢二**

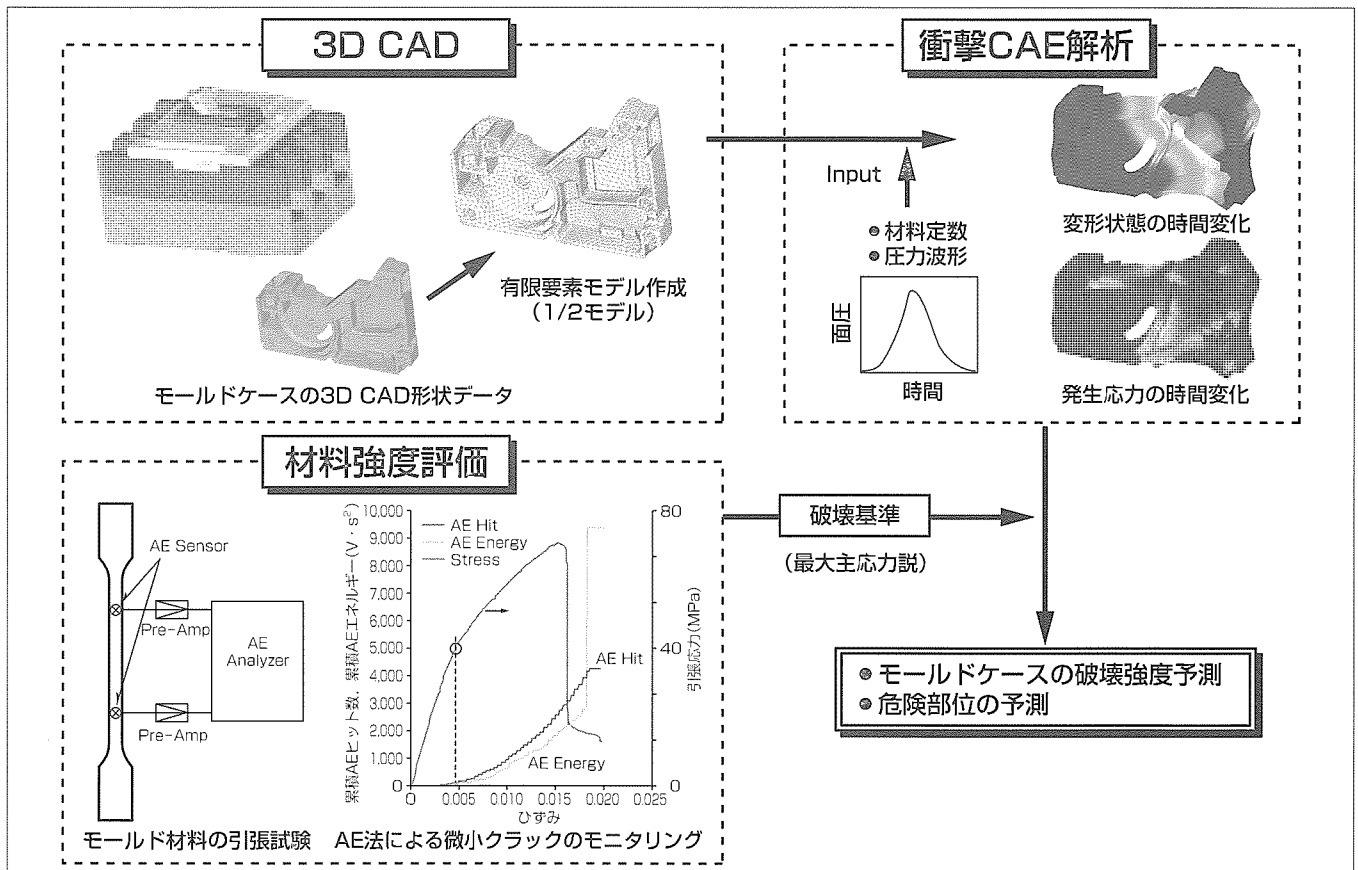
要旨

ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器用モールドケースは、短絡遮断時のアーク放電によるガス圧に耐える強度が要求される。短絡遮断時のモールドケース材料の変形挙動が過渡応答現象であることや、複雑なケース用複合材料の破壊挙動などから、CAE解析による強度予測が困難であった。

本稿では、コンピュータ利用による開発時間の短縮及び低コスト化を目的に開発した短絡遮断に対するモールドケースの強度予測技術を紹介する。短絡遮断時のガス圧によるケースの変形や発生応力の時間変化は、短絡遮断時の圧力波形や慣性力を考慮した有限要素法(Finite Element Method: FEM)過渡応答解析によって求めた。また、モールドケース用材料としてチョップドストランドガラス繊維強化不飽和ポリエステルを破壊挙動をAE (Acoustic Emission) 法併用引張試験によって評価した。静的引張荷

重下では、最終破壊強度の約40%付近から材料内部での微小クラックが発生し始め、それらの累積によって最終破壊が生じる。短絡遮断時のひずみ波形を測定することにより、遮断時のモールドケースに生じるひずみ速度を実測し、遮断時のひずみ速度と等価なひずみ速度下での引張試験を実施したが、静的引張試験結果と大差ないことを確認した。以上より、静的引張試験から求めた微小クラック発生開始応力 σ_k 及び最終破壊発生応力 σ_0 を材料強度とし、過渡応答解析から得られたモールドケース内の最大主応力に σ_k 、 σ_0 を破壊基準(最大主応力説)として適用した強度予測結果は、試作試験結果と一致した。

この技術により、モールドケースの迅速な仮想試作評価が可能である。



モールドケース短絡遮断を対象とした衝撃強度予測技術

設計部門で稼働中の三次元CADによって作成したモールドケースの有限要素モデルを基に、短絡遮断時のアークによる内圧波形を入力とした衝撃CAE解析(過渡応答解析)を実施する。AE法を併用したモールドケース用材料の引張試験により、最終破壊強度 σ_0 及び微小クラック発生開始応力 σ_k (弾性変形限界応力と一致)を取得する。CAEによって求めたモールドケース内発生応力に σ_0 、 σ_k を材料強度とする破壊基準(最大主応力説)を適用することにより、微小クラックを含むモールドケースの破壊強度及び破壊位置を予測できる。

1. ま え が き

ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器用モールドケースは、短絡遮断時のアーク放電によるガス圧(最大数十気圧)に耐える強度が要求される。短絡遮断に対するモールドケースの強度設計を試作試験によって行うためには、成形用金型などの費用が必要となるだけでなく、数箇月単位の時間を要することになる。そこで、有限要素法(FEM)応力解析を主とする強度予測技術を開発した。下記実施内容により、短絡遮断に対するモールドケースの強度予測が可能となり、モールドケースの迅速な仮想試作(Virtual Rapid Prototyping)が可能となった。

- (1) 短絡遮断時のガス圧波形測定結果を入力としたFEM過渡応答解析
- (2) AE法を併用した引張試験によるモールドケース材料の破壊挙動及び材料強度のひずみ測定依存性の解明
- (3) 最大主応力説を破壊基準とするモールドケースの強度予測
- (4) 試作モールドケースの短絡遮断試験結果との比較

2. 短絡遮断時の力学的挙動

2.1 圧力、ひずみ発生挙動

短絡遮断時のモールドケースの力学的挙動を評価するため、試作モールドケース(WSシリーズ NF225-HGW用ユニットケース：図1)短絡遮断時のアークによる内圧波形及び発生するひずみ波形を実測した。約3.8msの短時間内に最大2.5MPaの圧力が正弦半波的に負荷され、A点、B点では大差ないことが分かる(図2)。内圧波形は、アークのパワー波形(アーク電流とアーク電圧の積)に同期している。アークパワーに対し、内圧測定結果をプロットした結果を図3に示す。アークパワーと内圧は高い相関(単相関係数0.98)があり、内圧波形は、アークパワーから外挿できると言える。

短絡遮断時にケース表面に高電界用ひずみゲージを張り付けて測定したひずみ波形を図4に示す。短絡遮断時に生じるひずみ波形は、圧力波形と同期し、指数関数的に増加

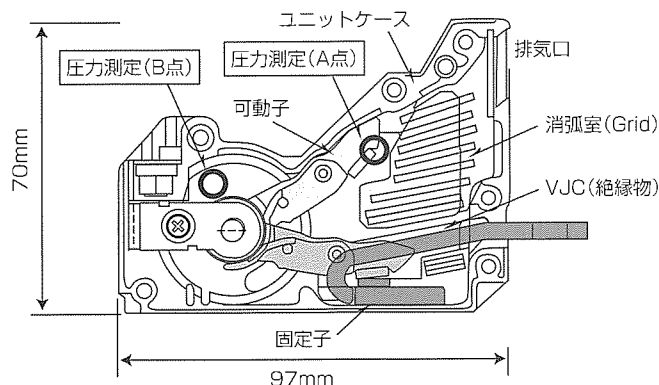


図1. 試験したモールドケース

する。得られたひずみ波形を指数関数で近似し、得られた指数関数を時間で微分することによって求めたひずみ速度の最大値は4.91/sである。

2.2 材料強度とAE特性

ケース材料の応力-ひずみ関係、引張強度、弾性率などを測定するため、JIS K 7113 6号型試験片の静的引張試験を行った(図5)。材料は、チョップドストランドガラス繊維マット強化不飽和ポリエステルを用いた。試験は、万能試験機(オートグラフAG-I10kN島津製作所)を用い、引張速度、測定温度はそれぞれ2mm/min、23℃とした。

最終破壊に至るまでの材料内部での微小クラックをモニタリングするため、AE法を併用した。AE測定・解析装置はMISTRAS(Physical Acoustic Corporation : PAC)を用い、しきい値は40dBとした。測定は2チャンネル計測とし、150kHz共振型AEセンサーR15(PAC)を試験片に圧着した。材料の内部での微小クラック発生数及びクラックの規模に対応するAEヒット、AEエネルギーに注目した(図5)。

最終破壊強度 σ_0 の平均値は76.4(MPa)であった。 σ_0 の約52%付近から応力-ひずみ関係に折れ曲がり(ニー点)が見られ、ニー点以降AEヒット数、AEエネルギー量の発生が活発化している。したがって、ニー点以降、材料内部で

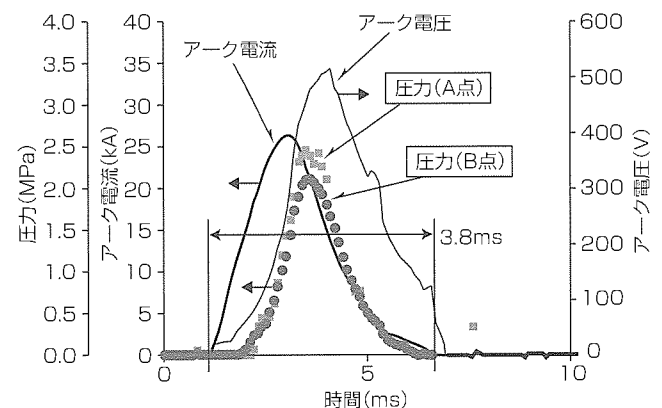


図2. 短絡遮断試験時のアーク電流、アーク電圧及び内圧波形(1相244V/50kA遮断)

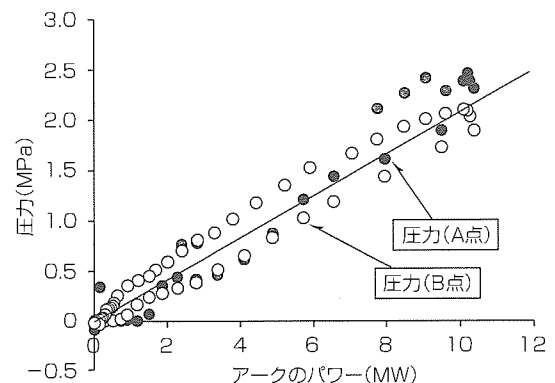


図3. アークパワーと発生内圧の相関

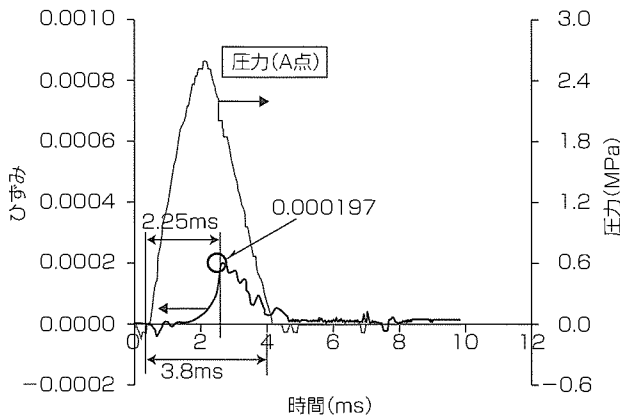


図4. 短絡遮断時のケースに生じるひずみ波形測定結果

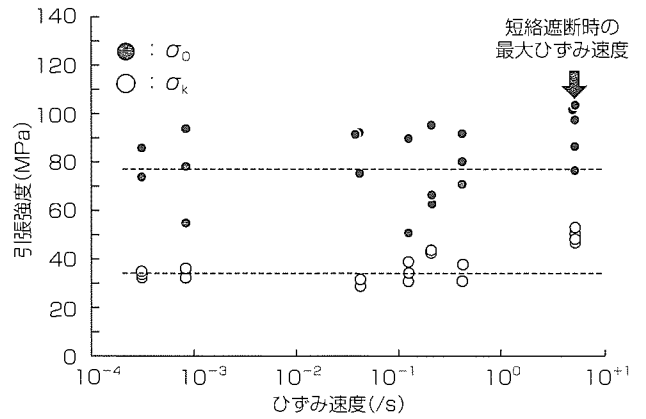


図6. ケース材料強度のひずみ速度依存性

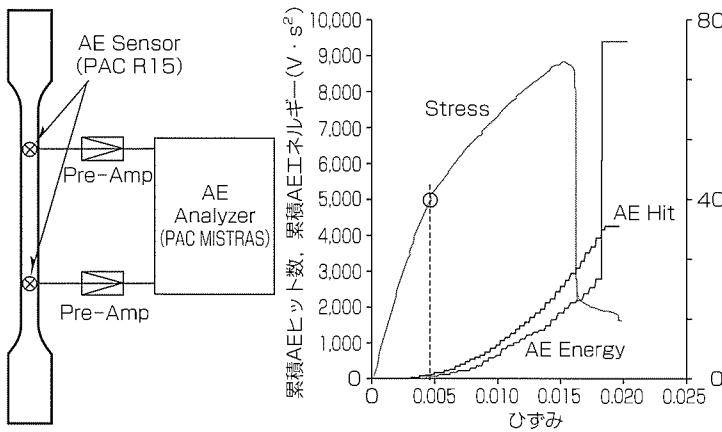


図5. 引張試験片及び引張試験結果の一例

の微小クラックが発生し始め、それらの累積によって破断に至ると言える⁽¹⁾。本稿では、ニ一点での引張応力を、微小クラック開始応力 σ_k として評価した(σ_k の平均値：33MPa)。

前述のように、短絡遮断時のひずみ速度は4.91/sであるが、上記静的引張試験時の試験片のひずみ速度は0.00031/sであり、実遮断時と大きな差がある。そのため、ケース材料強度のひずみ速度依存性を評価した(図6)。高速域では、高速引張試験機サーボパルサー(EHF-E05H-10L島津製作所)を用いた。評価したひずみ速度範囲内での σ_0 、 σ_k には大きなひずみ速度依存性がなく、材料強度として静的引張試験結果を採用すればよいと考えられる。

3. 動的FEM解析

短絡遮断時のケース内発生応力をシミュレートするため、実測した圧力波形(1相244V/50kA)を入力としたFEM解析を実施した。FEM解析用モデルは、設計部門で稼働中の三次元CAD⁽²⁾によって作成した三次元形状データをベースに自動生成した(約50,000要素)(図7)。

解析は、次式を支配方程式(2階微分方程式)とする過渡応答解析を行った。

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{P(t)\} \quad \dots(1)$$

ここで、 $[M]$ は質量マトリックス、 $\{u\}$ は変位、 $[K]$ は剛性マトリックスを表し、変位に関する2階微分は加速度を表している。左辺第一項は慣性項を表し、左辺第二項は剛性項を表している。材料定数は表1の値を用いた。

解析は時間増分でを行い、増分数、1区間内時間はそれぞれ80、0.1(ms)とした。図8に解析結果である変形状態の時間変化を示す。圧力波形に対する過渡応答がシミュレートできている。図9には、最大応力が発生した1.6ms経過時の最大主応力の分布を示す(図中矢印部が応力の高い部分)。

最大45MPaの応力が発生するが、 σ_0 以下であり、破壊が最大主応力説に従うとした場合、破断は生じないと考えられる。しかし、最大応力レベルが σ_k を超えていることから、微小クラックの発生が予測される。試作品の遮断試験結果では、ケース表面にクラックが観察されたが、破断には至らなかった。このことは上記解析結果の傾向と一致する。

次に、試作試験でケースの破断が観察された3相447V/72kA遮断に対する同FEM解析を実施した。FEM解析に負荷する圧力波形は、図3に示した関係から外挿した(図10)。

図11に、発生応力が最大となる1.6ms経過時の最大主応力分布を示す。応力の最大値(70MPa)は、ほぼ材料の最終破壊強度 σ_0 レベルであり、計算上、破断すると判断される。

図12に、試作品の3相447V/72kA遮断時に観察されたケースのクラックを示す。この試作レベルでは、図中に示すクラックが観察され、遮断試験に耐え得るものではなかった。以上の試作試験による破壊及びクラック発生箇所は、解析結果と一致している。ケース表面の小さなクラックは、発生応力が σ_k を上回った場合に発生すると考えられる。

この解析技術を用いた最終設計品の応力解析結果を図13に示す。発生応力の最大値は10MPa以下であり、十分な強度信頼性を持つケースであることが確認できる。

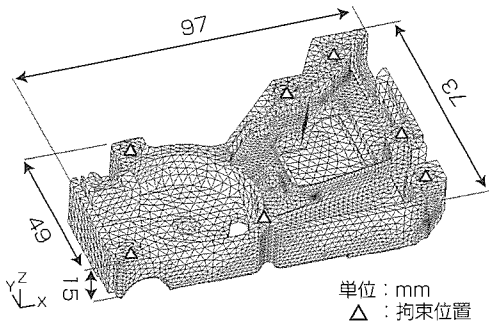


図7. 動的FEM解析用有限要素分割図(4面体ソリッド要素)

表1. 動的FEM解析に用いた材料定数

弾性率(GPa)	ポアソン比	質量密度(kg/mm ³)
8.82	0.29	1.73

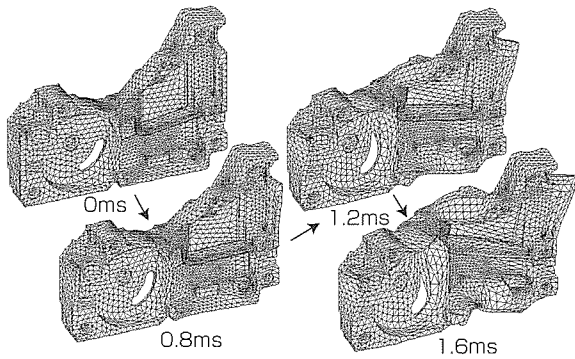


図8. 短絡遮断時のケース変形の時間変化シミュレート結果

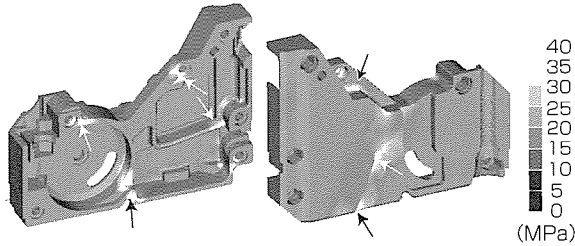


図9. 最大応力発生時の最大主応力分布(1相244V/50kA遮断)

4. む す び

遮断器用ケースに負荷される外力として最も厳しい短絡遮断を対象とした強度予測技術を開発し、迅速な仮想試作を実現した。短絡遮断時の圧力波形及び慣性力を考慮したFEM過渡応答解析並びにAE法による破壊挙動の把握などから精度の高い強度予測を可能とした。

設計部門で稼働中の三次元CADから作成した有限要素モデルによって短絡遮断時の発生応力をシミュレートし、本稿で示した破壊基準(最大主応力説)を適用することにより、微小破壊の発生及び最終破壊の発生を予測できる。

この技術により、短絡遮断に対するモールドケースの強

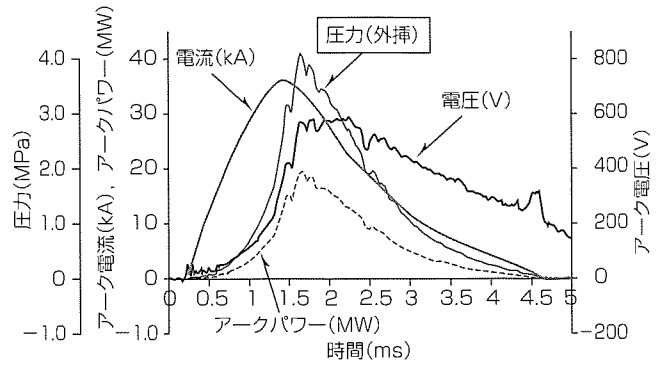


図10. 3相447V/72kA遮断時の発生圧力波形外挿結果

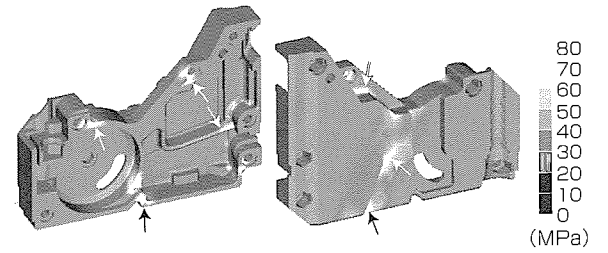


図11. 最大応力発生時の最大主応力分布(3相447V/72kA遮断)

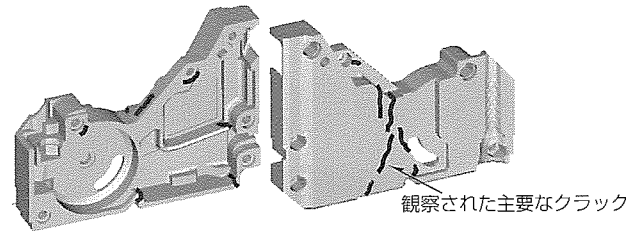


図12. 試作品短絡遮断試験時(3相447V/72kA)のクラック

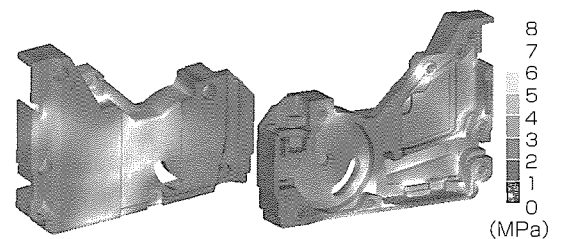


図13. 最終設計品への適用結果(3相447V/72kA)

度予測ができ、コンピュータ利用による仮想試作によって開発期間の短縮及び開発コストの削減が可能である。

参 考 文 献

- (1) Haruna, K., et al.: J. of Adhesion Science and Technology, **10**, No.10, 1089 (1996)
- (2) 今村 剛, ほか: 新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器の機構・構造設計におけるCAE技術, 三菱電機技報, **69**, No.4, 363~369 (1995)

WSシリーズ対応 計測表示ユニット付きブレーカ

永久英夫*

要旨

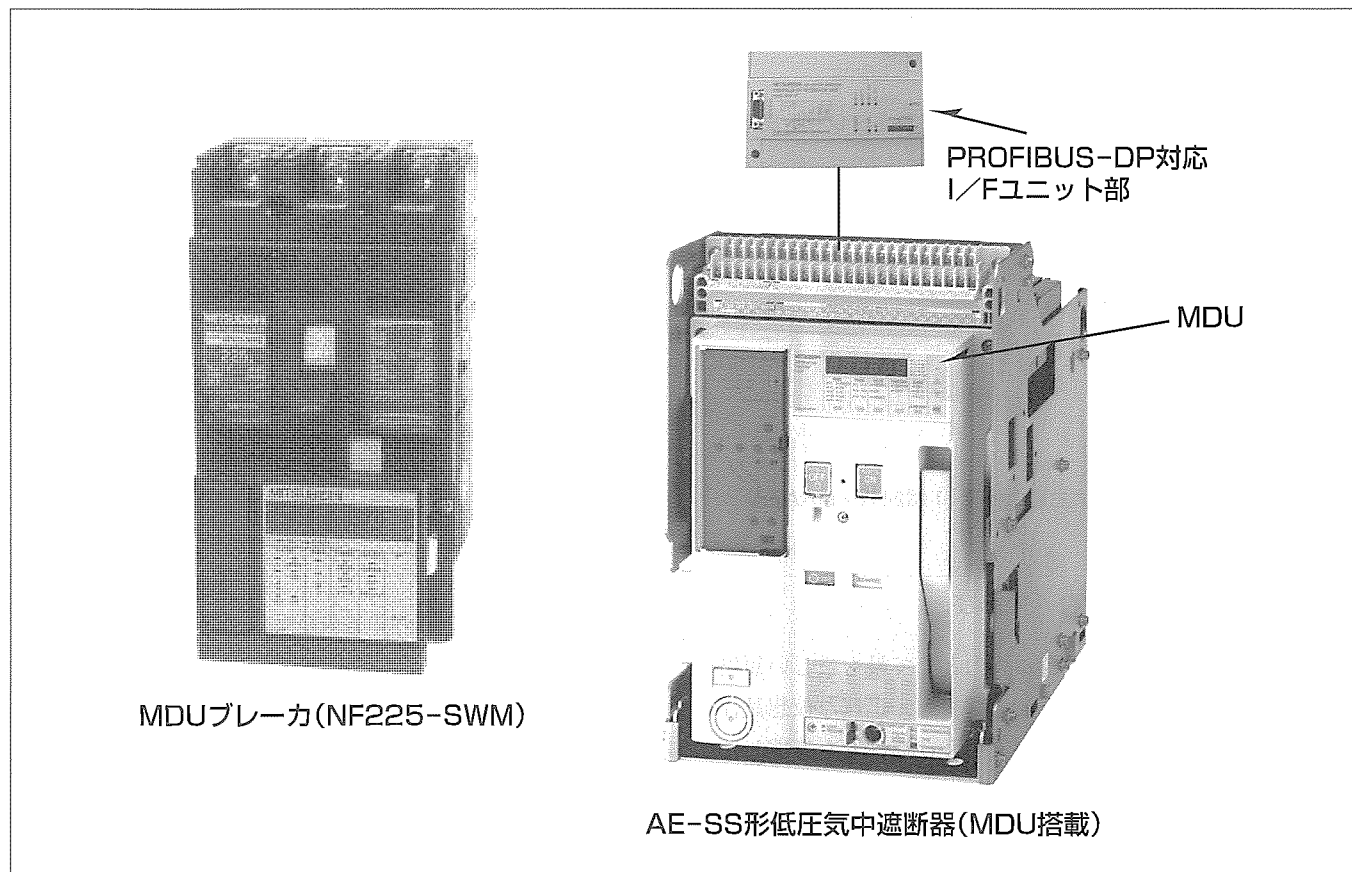
最近、地球温暖化対策を背景として省エネルギー活動が活発化する中、省エネルギー支援機器の一つで電路情報を計測・表示・伝送する計測表示ユニット(Measuring Display Unit)付きブレーカ(以下“MDUブレーカ”という。)を使用するケースが増大してきたが、今後さらに電気設備をより細かく監視する上で、計測精度の高精度化、電気設備の予防保全として遮断器警報信号等の伝送化等の要求が高まってきた。

これらの要求にこたえる製品として、当社の新型三菱ノーヒューズ遮断器WSシリーズに対応したMDUブレーカを開発した。

従来からの電流・電圧・電力・電力量・力率の計測に加えて、高調波電流計測、高調波含有漏えい(洩)電流計測、遮断器の警報信号であるAL(遮断器のトリップ状態)信号及びAX(遮断器のON/OFF状態)信号の伝送機能の各機能を追加し、より一層使いやすくした(NF225-SWM/ZSWM, NV225-SWM)。

本稿では、MDUブレーカの機能アップした内容を述べ、さらに、フィールドネットワークであるPROFIBUS-DPに対応したAE-SS形低圧気中遮断器(MDU搭載)を開発したので、その製品についても紹介する。

特集
II



MDUブレーカ(NF225-SWM)

AE-SS形低圧気中遮断器(MDU搭載)

MDUブレーカとAE-SS形低圧気中遮断器(MDU搭載)の外観

新型三菱ノーヒューズ遮断器WSシリーズに対応したMDUブレーカと、フィールドネットワークであるPROFIBUS-DPに対応したAE-SS形低圧気中遮断器(MDU搭載)の製品外観を示す。

1. ま え が き

MDUブレーカは、225Aフレーム～800Aフレームまでのノーヒューズ・漏電・漏電アラーム遮断器の幅広い製品群と、さらに、各種ネットワーク(B/NET伝送、CC-Link伝送、電力量パルス出力)への対応を実現してきた。最近では、監視する範囲が、配電盤(400A以上)から分電盤(225A以下)や機械装置等への少容量化へ移行しつつある。その場合、消費するエネルギー量が小さく、計測精度の高性能化が望まれている。さらに、エネルギー管理情報だけでなく、遮断器の保守情報等も必要となってきた。これらの要求を満たすため、当社の新型三菱ノーヒューズ遮断器WSシリーズに対応したMDUブレーカを開発したので紹介する。

2. 計測表示ユニット付きブレーカ

2.1 MDUブレーカ

今回、従来機種同様にMDUブレーカの3大特長を継承し、きめ細やかなエネルギー管理の実現を可能にした。

MDUブレーカの3大特長は次のとおりである。

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

今回開発したWSシリーズ対応MDUブレーカの特長として、次の項目が挙げられる。

(1) 計測精度の向上

リアルタイムAGC(Auto Gain Control)技術による高精度計測を実現した。

これにより、電流、電圧の計測サンプリング周期を従来の2秒から0.25秒へと約8倍の高速化を図るとともに、電力量の精度も飛躍的に向上させた。

電力量の精度(図1)は、計測定格5～100%の範囲で真値の±2.5%以下を可能にした。

MDUの電流計測精度は遮断器の最大定格電流(計測定格

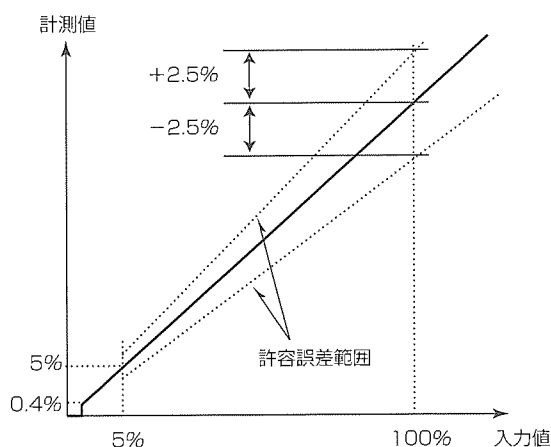


図1. 電力量計測精度

電流)の±2.5%は従来品と同レベルであるが、カットオフ電流を2.5%未満から2%未満へ変更した。

さらに、電流が2%未満の場合、電力の表示は0kWを表示するが、電流が定格の0.4%程度以上であれば電力量の計測を可能とし消費するエネルギー量が小さい場合でも省エネルギー管理が行えるようになった。

漏洩電流計測精度も従来計測定格500mAの±10%(±50mA)から±2.5%(±12.5mA)と向上させた。これにより、電路の絶縁劣化状態をより正確に把握することも可能となった。

(2) 遮断器監視機能の充実

遮断器の内部付属装置(オプション)であるMDU伝送用警報スイッチ(AL-2N)やMDU伝送用補助スイッチ(AX-2N)を搭載することで、遮断器のトリップ状態や遮断器のON/OFF状態をB/NET伝送又はCC-Link伝送で上位システムに伝送可能となった。さらに、遮断器が発生する各種警報信号をMDUユニット部(図2)のLEDでの表示や伝送することも可能である。

遮断器の各種警報信号の内容を表1に示す。

(3) 計測項目の追加(表2)

高調波抑制ガイドラインで要求している負荷電流の高調波電流計測(3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19次, 総合)を追加した。

漏洩電流計測においては高調波含有の有無の切換え機能があり、高調波含有なしの場合は、漏電遮断器の高調波・サージ対応ICと同じカットオフ周波数のアクティブフィルタで高調波成分を除去して計測する。

また、遮断器がトリップした場合、その事故原因や事故電流を不揮発性メモリに記憶しているので、事故の原因究明や復旧に役立つ。

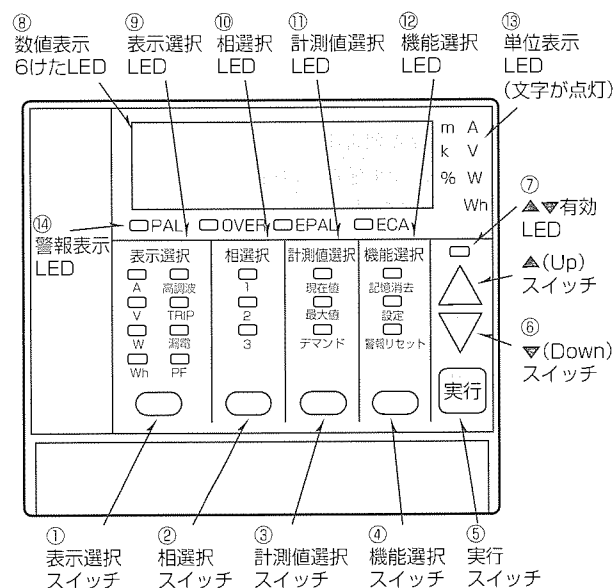


図2. MDUユニット部(NF225-ZSWM 3Pの場合)

例えば、事故原因が、

- 過電流 (AL) 遮断器がトリップし、“MDU伝送用 ALスイッチ”(オプション)が動作した場合
- 漏電 (E) 漏電遮断器及び漏電アラーム遮断器の ATU付き(オプション)において、漏電トリップし

た場合

事故電流表示は、

- 過電流 (AL) 時には定格電流の10倍まで表示
- 漏電 (E) 時には1,000mAまで表示

(4) 遮断器本体横取付け対応

遮断器本体取付仕様において、遮断器本体を横取付けする場合、遮断器の取付方向に合わせてMDUユニット部の表示部のみを読みやすい方向に回転させて取り付けることが可能となり、より使いやすくなった(MDUユニット部の表示部取付けねじ2本で対応)。

(5) MDUユニット部の小型化

MDUユニット部の外形寸法は従来の約90×90 (mm) から約90×75 (mm)へと小型化を実現した。

将来的には、MDUブレーカ(400~800Aフレーム)との共用化も検討中である。

2.2 AE-SS形低圧気中遮断器 (MDU搭載)

低圧配電の主幹(大容量)遮断器である低圧気中遮断器

表1. 遮断器の各種警報信号と警報内容

遮断器警報	警報内容
プレアラーム (PAL)	負荷電流がPAL設定値を超えると、PAL LEDを点灯する。 動作時間=40s 警報接点出力付きのとき、接点出力をする。
過電流警報 (OVER)	負荷電流が定格電流の105%を超えると、OVER LEDを点灯する。
漏電プレアラーム (EPAL)	漏洩電流がEPAL設定値を超えると、EPAL LEDを点灯する。 動作時間=3s 警報接点出力付きのとき、接点出力をする。
漏電アラーム (ECA)	遮断器本体の漏電アラーム出力時、ECA LEDを点灯する。

表2. WSシリーズ対応計測表示ユニット付きブレーカの計測・監視項目

項目	適用機種		漏電遮断器		漏電アラーム遮断器	
	NF225-SWM		NV225-SWM		NF225-ZSWM	
	50, 60, 75, 100A	125, 150, 175, 200, 225A	50, 60, 75, 100A	125, 150, 175, 200, 225A	50, 60, 75, 100A	125, 150, 175, 200, 225A
負荷電流(現在値, デマンド値, デマンド最大値)	○		○		○	
線間電圧(現在値, 最大値)	○		○		○	
高調波電流(現在値, デマンド値, デマンド最大値)	○		○		○	
電力(現在値, デマンド値, デマンド最大値)	○		○		○	
電力量(積算値), 時間電力量/最大値	○		○		○	
力率(現在値)	○		○		○	
漏洩電流(現在値, デマンド値, デマンド最大値) (高調波含有切換え機能あり)	—		○		○	
計測定格電流	100A	225A	100A	225A	100A	225A
電流計測精度(許容差)	±2.5A	±5.6A	±2.5A	±5.6A	±2.5A	±5.6A
計測定格電圧	AC440V					
電圧計測精度(許容差)	±11V					
電力量計測精度	電圧(AC100~440V)×電流(計測定格電流5~100%)で真値の2.5%					
計測定格漏洩電流	—		500mA			
漏洩電流計測精度(許容差)	—		±12.5mA			
計測負荷電流最大値(注1)	200A	450A	200A	450A	200A	450A
計測高調波電流最大値(注1)	100A	225A	100A	225A	100A	225A
計測電圧最大値(注1)	AC690V		AC484V			
計測漏洩電流最大値(注1)	—		1,000mA			
計測範囲力率	LEAD 0.0~100~0.0 LAG(%), 力率50%以下は参考値					
事故原因・事故電流表示(注1)	○					
警報LED	PAL, OVER		PAL, OVER, EPAL		PAL, OVER, EPAL, ECA	
相線式	3φ3W, 1φ3W(3極品に適用), 3φ4W(4極品に適用),					
伝送方式(いずれか一つ)	B/NET伝送, CC-Link伝送, 電力量パルス出力, 伝送なし(標準)					
MDU制御電源(許容電圧範囲 85~110%)	AC/DC100~240V共用 12VA					
警報接点(オプション)	PAL		PAL, EPAL, EAL		PAL, EPAL, ECA	

(注1) 電流, 電圧, 高調波電流, 漏洩電流, 事故電流は, 入力計測最大値以上となった場合, 計測最大値を点滅表示する。

表 3. AE-SS形低圧気中遮断器(MDU搭載)ラインアップ

リレー形名	特 性	機種(MDU搭載)
US3P	L+S+I+ ブアラーム	AE630-SS, AE1000-SS, AE1250-SS AE1600-SS, AE2000-SS, AE2500-SS AE3200-SS, AE4000-SSA, AE4000-SS AE5000-SS, AE6300-SS
US3G	L+S+I+ ブアラーム+ 地絡	
US3E	L+S+I+ ブアラーム+ 漏電	

L:長限時特性 S:短限時特性 I:臨時特性

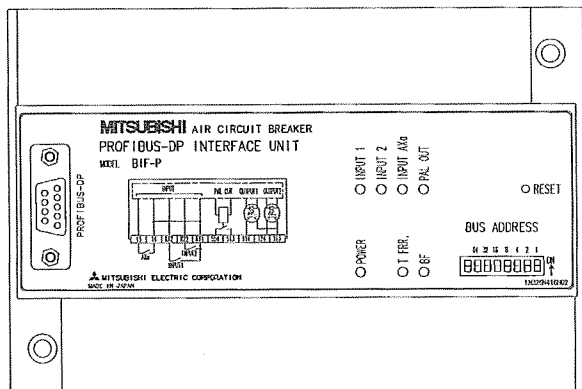


図 3. PROFIBUS-DP対応I/Fユニット部

ACB(Air Circuit Breaker)にMDU機能を搭載し、本来の低圧気中遮断器としての保護機能に加えて、電流・線間電圧・相電圧・高調波電流・電力・電力量(積算値)・無効電力・無効電力量(積算値)・力率・周波数等の計測と、事故原因・遮断器警報・遮断器状態(ON/OFF)監視機能、リレー設定伝送機能を備えている。

AE-SS形低圧気中遮断器(MDU搭載)のラインアップを表3に示す。

機器構成としては、低圧気中遮断器とMDU部(計測部+表示部)と本体外に設置する伝送インタフェースユニット部で構成される。

既に三菱電機が推進するオープンネットワークであるCC-Link伝送に対応し、上位シーケンサをコントローラにして最大42台まで接続が可能である。

今回、プロフィバス協会が推進しているフィールドネットワークであるPROFIBUS-DP(国際規格IEC61158とヨーロッパ規格EN50170で認定)伝送に対応したインタフェースユニット部を開発した。

従来のCC-Link伝送対応と同様に、監視、各種電気量の計測データをPROFIBUS-DP伝送経由で上位システムへ伝送することが可能となった。

表 4. PROFIBUS-DP伝送仕様と接続

項 目	仕 様
伝送速度	9.6k/19.2k/45.45k/93.75k/187.5k/500k/1.5M/3M/6M/12Mbpsから選択可能
最大接続台数 /1系統	32台
最大伝達距離	1.2km (9.6k/19.2k/45.45kbpsの場合)
伝送方式	トークンパッシング手法(マスタ側) ポーリング手法(マスタ/スレーブ側)
ユニットタイプ	スレーブ局
電氣的標準・特性	EIA・RS485に準拠

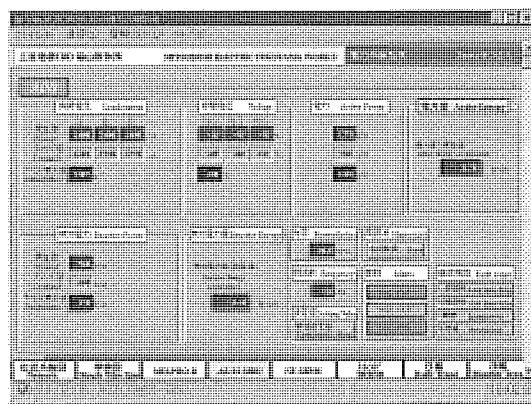


図 4. SCADAでの表示例

PROFIBUS-DP伝送部の外観を図3に、仕様と接続を表4に示す。

AE-SS形低圧気中遮断器(MDU搭載)の計測データをシーケンサ等でPROFIBUS-DP伝送し、SCADAシステム(Supervisory Control And Data Acquisition system)を使用してディスプレイに表示させた例を図4に示した。

3. む す び

以上、新型三菱ノーヒューズ遮断器WSシリーズに対応したMDUブレーカと、PROFIBUS-DPに対応したAE-SS形低圧気中遮断器(MDU搭載)の製品紹介をした。

今後、遮断器の基本性能の向上と配電設備監視機器としての更なる高性能化・小型化、及びより使いやすさを追求していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 川上淳一, ほか: ネットワーク対応計測表示ユニット付きブレーカ, 三菱電機技報, 75, No.4 253~256 (2001)

WSシリーズ漏洩電流表示付き遮断器

野村敏光*
神谷慎太郎**

要旨

感電保護・漏電火災保護として漏電遮断器が一般的に使用されているが、この漏電遮断器が漏電トリップした場合に、①漏電トリップが再現しない、②漏えい(洩)電流値が高調波の影響で測定が困難、などの理由から原因調査が困難な場合が多い。

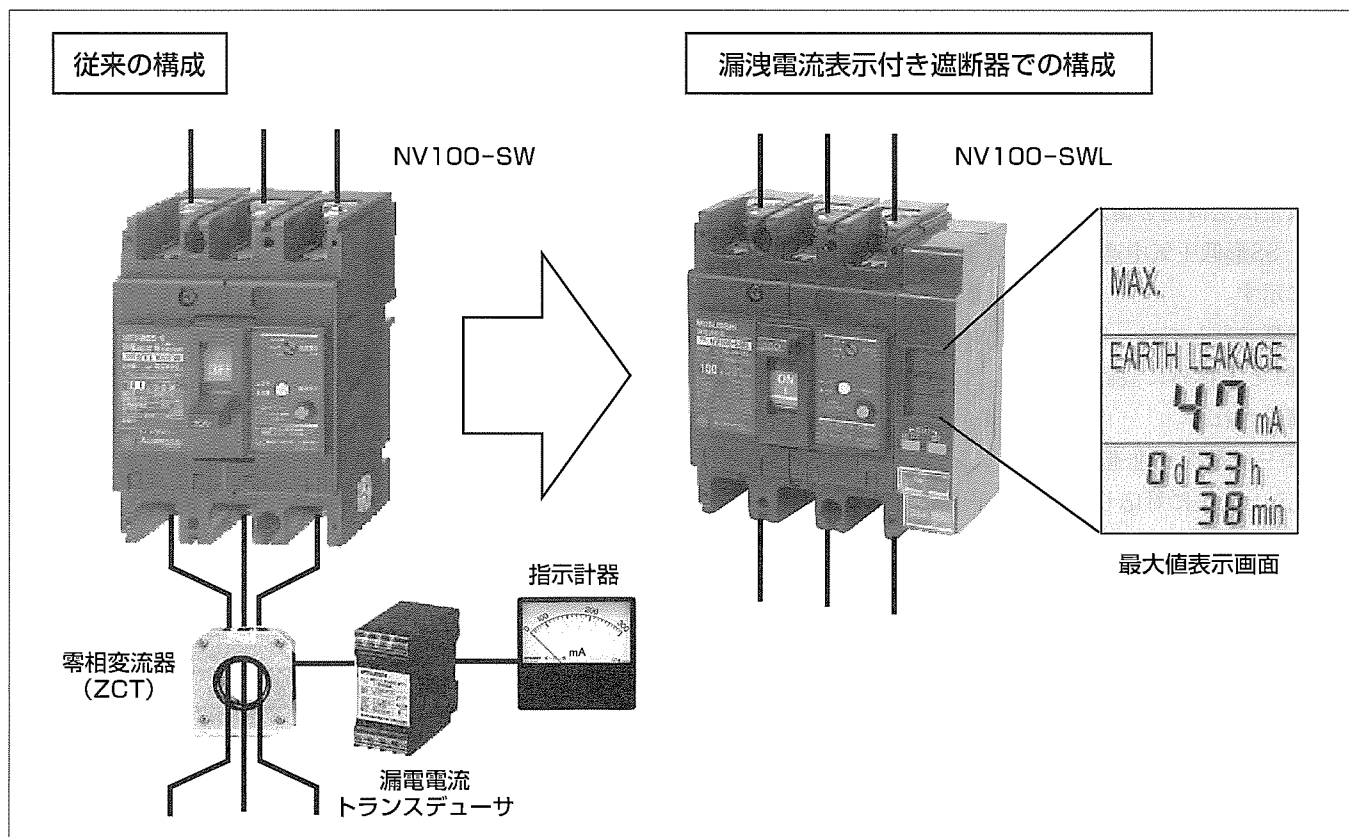
そこで、漏電遮断器の動作原因調査を支援する機器として、WSシリーズのノーヒューズ遮断器及び漏電遮断器に各種漏洩電流値の液晶表示ユニットを搭載した“漏洩電流表示付きノーヒューズ遮断器・漏電遮断器”を製品化した。

これにより、電路に零相変流器(ZCT)及び計測器等を設置することなく電路の絶縁劣化状態や漏電事故状況を簡単に把握できる。また、液晶表示ユニットの制御電源は遮断器内部から取っているため、特別な配線作業は不要である。この制御電源は遮断器がオフ状態又はトリップ状態では切れるが、内部へ電気二重層コンデンサを内蔵している

ため、各種漏洩電流情報を表示することが可能である(停電補償時間100時間)。

主な特長は次のとおりである。

- (1) 各種漏洩電流の計測と表示(現在値, 最大値, 移動平均値, 移動平均の最大値, 各最大値の発生経過時間)
- (2) 漏電警報の設定感度を細かく設定可能, さらに, 接点警報出力を標準搭載
- (3) 漏電トリップ発生時の漏電事故電流値及び漏電事故発生からの経過時間を表示(漏電遮断器のみ)
- (4) 三菱電機製漏電遮断器のアクティブフィルタと同じ特性のフィルタを内蔵しており, 漏電遮断器の動作特性に合った漏洩電流値を表示可能
- (5) 漏電警報のみで漏電トリップ動作しない漏洩電流表示付きノーヒューズ遮断器もラインアップ



漏洩電流表示付き漏電遮断器を使用した漏洩電流計測構成図

この構成図は、漏洩電流を計測するための従来の構成図と、漏洩電流表示付き漏電遮断器を使用した場合の構成図である。従来の構成例で示すように、漏電遮断器に流れる漏洩電流を計測するにはZCTとトランスデューサ等の計測機器を必要としたが、漏洩電流表示付き漏電遮断器を使用すれば、これらの周辺機器を接続することなく、容易に漏洩電流値を計測することができる。

1. ま え が き

現在、感電保護・漏電火災保護として漏電遮断器が一般的に使用されている。最近では、漏電遮断器の負荷機器として、コンピュータ及びインバータ機器などが多く使われている。これらの機器の電源に使用されているスイッチング電源内部のノイズフィルタによる対地静電容量の増加や高調波電流の発生によって、漏電遮断器が不要動作する場合があります。これらの漏電トリップ原因の調査には、下記のような問題がある。

- 漏電トリップが再現しない。
- 漏洩電流値が高調波の影響で測定が困難である。
- 分岐ごとの漏洩電流測定を必要とする場合がある。

そこで、原因調査の支援機器及び常時監視するための製品として“漏洩電流表示付きノーヒューズ遮断器・漏電遮断器”を製品化したので紹介する。

2. 漏洩電流表示付き遮断器

漏電遮断器の動作を分類すると、

- 漏電による正常動作
- 不適切な感度電流設定、誤結線などの漏電遮断器の選定又は使用方法に起因する不要動作
- サージ、電磁誘導、高調波などに起因する不要動作
- 分岐回路地絡事故による健全回路の不要動作

などに分類される。

ここで示した漏電遮断器の動作、特に不要動作の原因究明は、大変難しいものである。実際の調査の手段としてはクランプ形ZCTを回路へ挿入し漏洩電流計測機器を接続して測定を行う方法などがあるが、ある瞬間に漏洩する場合については、絶えず監視していない限り測定することができない。また、分岐回路での地絡事故による健全回路での不要動作の原因究明には、各分岐回路について漏洩電流値を測定する必要があり、かなりの労力を必要とする。

そこで、この漏電遮断器の動作原因調査、特に不要動作の原因調査を支援する機器として、回路の各種漏洩電流値の液晶表示ユニットを搭載した漏洩電流表示付きノーヒューズ遮断器及び漏電遮断器を開発した。

3. 漏洩電流表示付き遮断器の構成

漏洩電流表示付きノーヒューズ遮断器及び漏電遮断器は、遮断器本体部分と遮断器本体右側面の側面ユニットで構成されている(図1)。側面ユニットは、漏洩電流の現在値、最大値、事故電流値などの各種漏洩電流値及びアラーム設定などの設定値を表示するための液晶表示部(図2)、表示項目の切換えや各種設定時などに使用する操作スイッチ部、そして漏電アラーム(ノーヒューズ遮断器の場合)又は漏電プレアラーム(漏電遮断器の場合)などの警報を出力するた

めの警報接点出力端子部で構成されている。

漏洩電流表示付き遮断器のラインアップは表1に示すとおりであり、100AFと225AFのノーヒューズ遮断器及び漏電遮断器を品ぞろえしている。

4. 漏洩電流表示付き遮断器の製品仕様と特長

漏洩電流表示付き遮断器の製品仕様を表2に示す。

次に、製品の特長を以下に示す。

(1) 漏洩電流表示機能

遮断器に流れる漏洩電流を0.5秒ごとに計測演算し現在値表示を更新する。これにより、刻々と変化する漏洩電流値を容易に把握することができる。このときの表示画面例を図3に示す。

しかし、回路の漏洩電流値が変動した場合には、現在値表示のみでは実際の漏洩電流データを正確に把握できない。そこで、漏洩電流値の移動平均値を表示する漏洩電流のデマンド値表示も採用した(図4)。この移動平均の時限(以下“デマンド時間”という。)は1~15分(1分間隔)で任意の時間を選択可能とした。デマンド時間が長ければ長いほど漏洩電流値の増減がゆっくりと変化する。したがって、漏洩電流値に変化があった場合、徐々に変化するので漏洩

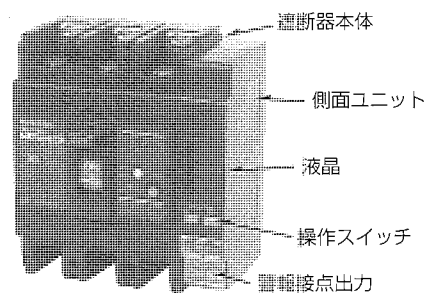


図1. NV100-SWL

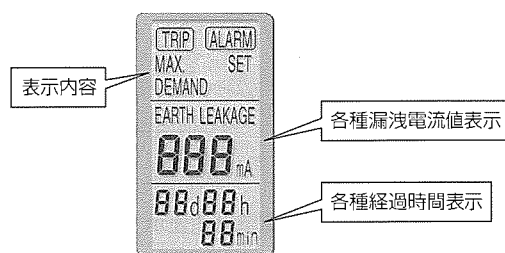


図2. 液晶表示(全点灯時)

表1. 漏洩電流表示付き遮断器のラインアップ

シリーズ	フレーム	極数	定格電流 A	形名
ノーヒューズ遮断器	100A	3	(15) (20) (30) (40) 50 60 75 100	NF100-SWL
	225A	3	125 150 175 200 225	NF225-SWL
漏電遮断器	100A	3	15 20 30 (40) 50 60 75 100	NV100-SWL

表 2. 漏洩電流表示付き遮断器の製品仕様

遮断器	形名	ノーヒューズ遮断器	漏電遮断器		
	感度電流 (mA)	—	—	30	100/200/500
動作時間 (s)	高速形	—	0.1以内	0.1以内	
	時延形	—	—	0.3/0.8/1.6切換え	
表示ユニット	計測定格漏洩電流 (mA)	500	30	500	
	漏洩電流値表示可能範囲 (mA)	2~999	3~60	5~999	
	漏洩電流値表示	現在値	○ 精度±25mA (計測定格超は真値の±5%)	○ 精度±2mA	○ 精度±25mA
		最大値	○	○	○
		デマンド値	○	○	○
		デマンド最大値	○	○	○
		漏電事故電流値 ()は計測定格超の精度	—	○ 精度±5mA (真値の±15%)	○ 精度±75mA (真値の±15%)
	経過時間表示	最大値発生	○	○	○
		デマンド最大値発生	○	○	○
		漏電アラーム出力発生	○	—	—
漏電プレアラーム出力発生		—	○	○	
漏電トリップ発生		—	○	○	
警報出力	警報内容	漏電アラーム	漏電プレアラーム	漏電プレアラーム	
	接点構成	1c	1c	1c	
	リセット方法	手動リセット	手動リセット	手動リセット	
	動作時間	3秒	3秒	3秒	
	警報設定感度電流	10~999mA間の10mAごと及びOFFに設定可能	5/10/15mA及びOFFに設定可能	10~250mA間の10mAごと及びOFFに設定可能	

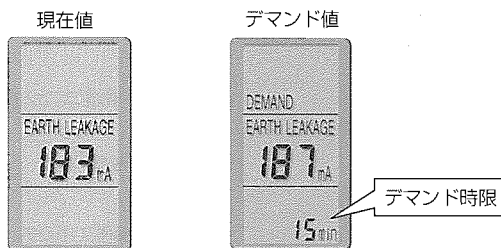


図 3. 漏洩電流表示画面

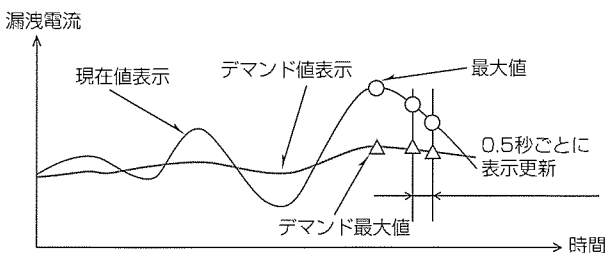


図 4. 漏洩電流計測表示

電流値が増減の傾向を把握することができる。

(2) 漏洩電流最大値表示機能

漏洩電流の現在値及びデマンド値について、常時監視によって内部で記憶している最大値よりも各漏洩電流計測値が上回った場合には、その最大値とこの最大値が発生してからの経過時間を表示更新する機能を搭載している(図5)。これにより、いつ漏洩電流が増加したかを把握することが可能である。また、遮断器のトリップ時又はオフ時におい

ても、この経過時間は内部のバックアップ電源によって100時間はカウントされる。この経過時間表示方法を採用することで、内部時計の時間合わせ作業は不要である。

(3) 漏電アラーム及び漏電プレアラーム表示機能と警報接点出力

漏洩電流の現在値があらかじめ設定しておいた任意の設定値(アラーム設定値)を3秒以上連続して超えた場合に、ノーヒューズ遮断器では漏電アラーム出力(ECA)を、漏電遮断器では漏電プレアラーム出力(EPAL)として、警報接点出力1cと液晶画面上でのアラーム表示(図6)をそれぞれ出力する機能を搭載した。さらに、このアラーム出力が発生してからの経過時間を液晶画面上へ同時に表示する。このアラーム設定値は、ノーヒューズ遮断器では10~990mA間(10mAごと)、漏電遮断器の30mA感度品では5, 10, 15mA切換え, 100, 200, 500mA感度品では10~250mA間(10mAごと)に設定することができるので細かい警報出力を設定することができる。また、いずれの仕様においても、アラーム出力のオフ機能を搭載しており、アラーム設定値を“OFF設定”にすることで、アラーム動作をオフ状態とすることも可能である。

(4) 漏電事故電流値表示機能

漏洩電流表示付き漏電遮断器の場合、定格不動作電流を超える漏洩電流が電路に流れると、漏電遮断器は漏電を検知して漏電トリップする。この漏電トリップ時の漏電事故電流値を計測して液晶画面へ表示する(図7)。停電補償時

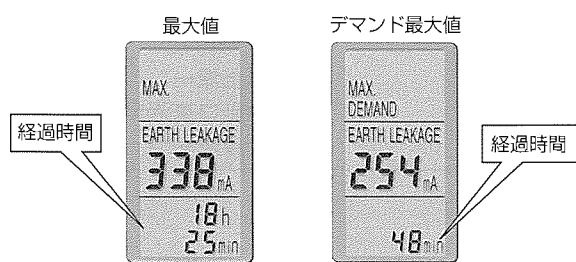


図 5. 最大値表示画面

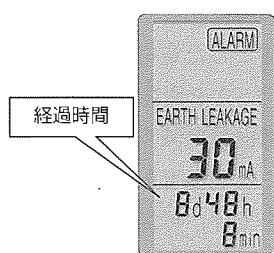


図 6. 漏電アラーム表示画面

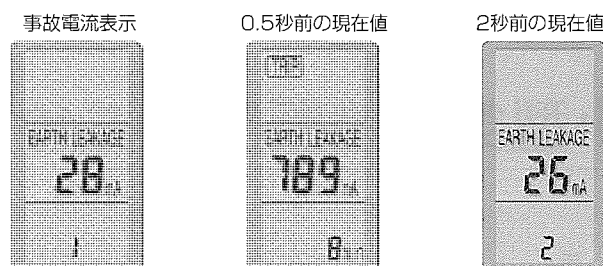


図 7. 漏電事故電流表示画面

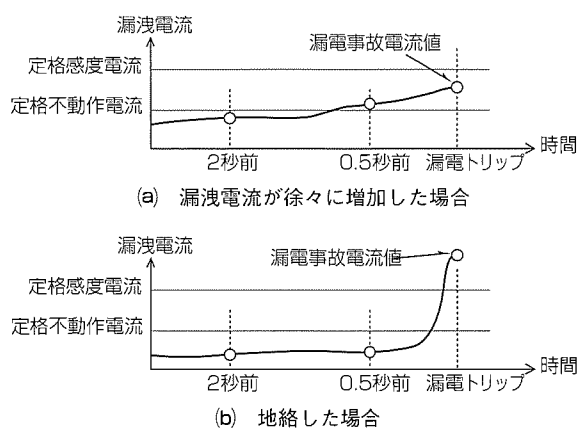


図 8. 事故電流値計測表示

間内であれば、漏電遮断器を再投入することなく、この漏電事故電流表示値の確認を行うことが可能である。

漏電事故電流の検出は、常時漏洩電流の検出とは独立した方法で行っている。事故電流値検出のサンプリングは常時1msごとにA/D変換しデータを取り込んでおり、漏電トリップ状態を検出することで、事故電流値を算出している。また、漏電トリップ時から0.5秒前及び2秒前の漏洩電流値(現在値)も同時に計測して表示する機能も搭載することで、漏電トリップ直前の漏洩電流値の変化を把握することができることより、徐々に増加したのか、地絡などによる事故なのかを容易に推測することが可能となる(図8)。

漏電遮断器のトリップ状態(電源オフ状態)又はオフ状態のまま100時間以内であれば、漏電トリップしてからの経過時間を計測して表示することができる。

(5) 漏電遮断器本体と同一なフィルタ特性内蔵

漏洩電流値は遮断器内のZCTで検出され、この信号を表示ユニット内に取り込み、“アクティブフィルタ”で高周波成分を取り除き基本波成分(50/60Hz)のみの信号に変換した後、A/D変換器によってデジタル信号へ変換したサンプリングデータを基に漏洩電流値、デマンド値等を算出している。このアクティブフィルタのフィルタ特性は当社製漏電遮断器の高調波・サージ対応形のフィルタ特性と同一特性としており、漏電遮断器の動作特性に合った漏洩電流値を表示可能としている。

(6) バックアップ電源の搭載

漏洩表示付き遮断器の表示ユニット部への電源供給方法として、遮断器の内部(負荷側)から供給する方式とすることで、外部電源接続を不要とした。これにより、電路への遮断器の接続のみで各種漏洩電流値の計測が可能となり、

表示ユニット部への制御電源配線工事が不要となる。

しかし、遮断器が漏電トリップやOFF状態になった場合には、遮断器の負荷側から表示ユニット部の電源供給を行っているために、電源供給されなくなり、漏電事故電流値などの各種漏洩電流値を表示することができなくなる問題がある。そこで、漏電トリップ状態でも事故電流値などを表示可能とするために、表示ユニット部用のバックアップ電源として“電気二重層コンデンサ”を使用することで停電時での表示を可能とした。また、表示ユニット部の低消費電流化を実現することで、停電時でのバックアップ補償時間100時間を可能とした。このバックアップ電源の充電は電路への通電状態(遮断器のオン状態)で行われるため、電池交換などの作業を必要としない。

なお、バックアップ電源がすべてなくなった場合でも、最大値、デマンド最大値及び漏電事故電流値(経過時間を除く)については、内部の不揮発性メモリに記憶しているため、再度電源投入することで表示可能とした。

5. む す び

以上、“漏洩電流値の測定や漏電事故原因究明が難しい”とのユーザーの声にこたえる形で製品化した“漏洩電流表示付きノーヒューズ遮断器・漏電遮断器”を紹介した。今回の製品化するための技術は他の負荷電流計測などにも流用可能であり、今後も客先ニーズに合った製品群の開発を行っていく所存である。

小型気中遮断器“AE4000-SSA”

川上淳一* 岡下広史*
中出口真治**
久森洋一**

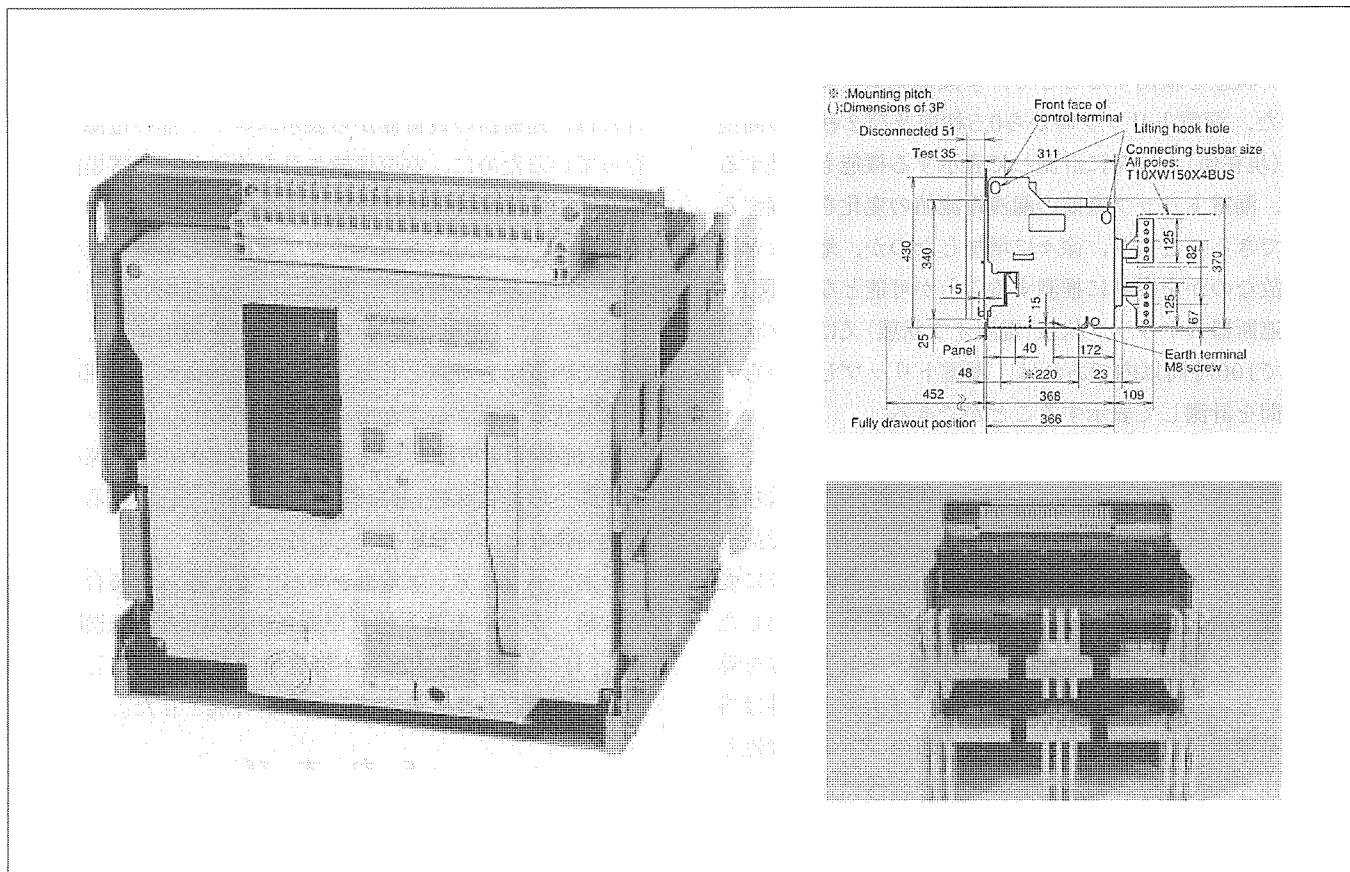
要旨

低圧気中遮断器(Air Circuit Breaker: ACB)は、主として低圧受配電システムや船舶用の主幹遮断器として使用されている。受配電設備は、昨今の国際規格ISO14001に基づいた省エネルギー活動のための環境マネジメントの導入により、高度な計測・伝送やきめの細かい制御が要求されるなど多様化している。また、IT関連企業においては、半導体製造装置を始めとして大容量の設備需要が増加してきている。三菱電機は、低圧受配電向けの大容量遮断器として、3200AF以下を量産機種、4000AF以上を受注対応として生産してきた。しかし、前述のような設備の大容量化

においては、4000AクラスのACBまでを量産機種とし、小型化・短納期化することが望まれている。

このような市場環境変化に対応するため、AE3200-SS形気中遮断器を母体とした定格電流4000A(IEC)の小型気中遮断器AE4000-SSAを開発し発売した。この開発では小型化のため導体断面積の減少に起因する遮断器本体の温度上昇を抑制することが不可欠であったが、接点部材料の接触部の形状精度を上げ、可動子支持をフレキシブル構造として接触面を最大状態で安定化させることにより、この問題を解決し、小型化・軽量化を実現させた。

特集
II



AE4000-SSA形気中遮断器

小型気中遮断器“AE4000-SSA”の外観を左に示し、外形寸法(側面図)と導帯接続端子(背面)を右に示した。

1. ま え が き

受配電システムは、IT関連企業における半導体製造装置等を始めとして設備容量が大きくなる傾向にあり、また、環境マネジメント活動等により、高度な計測・伝送やきめの細かい制御を低圧分岐回路にまで要求されるなど多様化・複雑化してきている。このため、大容量の低圧遮断器であった4000A (IEC)クラスの低圧気中遮断器(ACB)が多数使用されるケースも増加してきた。当社4000Aクラスは受注生産対応で、外形が大きく、製品質量も重いため、小型、軽量、短納期の4000Aクラスの遮断器が望まれていた。

このため、現行AE3200-SS形ACBを母体に、通電性能、遮断容量、短通性能を格上げし、小型で軽量の大容量遮断器として新形低圧気中遮断器“AE4000-SSA”を開発したので紹介する。

なお、各社4000Aクラス4極品の外形寸法比較を図1に示す。

2. 小型化・軽量化に対する課題と対策

小型化・軽量化に対する課題を表1に示した。

この製品の開発においては本体の温度上昇を抑制することが最も重要で困難な課題であり、特にこの部分を中心に次章に説明する。

3. 接点部の温度上昇

図2にACBの内部構造を示す。電流は、上部端子から上部ジャンクションを通過し、固定導体、固定/可動接点、可動子、シャント(薄銅板)、下側導体、下部ジャンクション、下部端子を通過して流れる(図3)。各部分はねじによる締結、接点はろう付けされている。接点は接圧ばね力により、ジャンクションは遮断器引き抜き時に断路できるよう

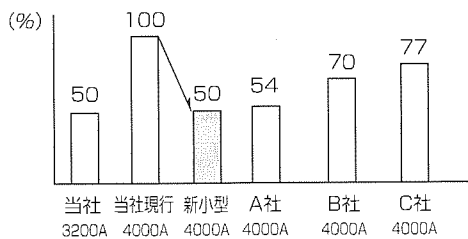


図1. 各社4000Aクラス4極品の外形寸法比較

表1. 小型化・軽量化に対する課題と対策のポイント

機能	課題	対策のポイント
大電流通電	温度上昇	接点温度上昇抑制 接点損傷抑制
短時間通電容量	接点間発弧	電磁反発力抑制 機構部品剛性向上
遮断	遮断後の温度上昇	接点消耗・損傷抑制

ばね圧力で導体に押さえ付けられている。

ACBの温度上昇の限度は、図2に示す絶縁モールドの耐熱温度以下になるように、通電時の温度上昇を抑制することと、端子温度上昇が基準値以下となるようにIEC規格に定められている。ACB各部の温度上昇は、各部品の固有抵抗と部品接続部の接触抵抗によって発生するジュール熱による。図4に通電部各部品の抵抗の変化(接触抵抗を含む)を示す。通電部の全抵抗に占める接触抵抗の割合は図5に示すように55%を占め、なかでも接点の接触抵抗は全抵抗の19%を占めており、この部分での発熱量が最も大きい。

このため、遮断器の温度上昇を抑制するには接点部の接触抵抗を低減することが不可欠である。

3.1 要因分析

接点の接触抵抗を低減するために、まず、感圧紙によって接点の接触状態を調査した。引張加圧試験機によって接点部材を垂直に加圧して得た接触面と実機から得た接触面を比較すると、実機は試験機による接触の約50%しか接触面積が得られておらず、点又は線接触到に近い状態で接触していることが分かった(図6)。

接触面積の低下には以下の要因が挙げられる。

- (1) 接点部材の接触面形状精度
- (2) 接点部材の組立精度

上記の要因を詳細に調べた結果、接点部材の組立精度が接触面積低下に与える影響が大きいことが分かった。

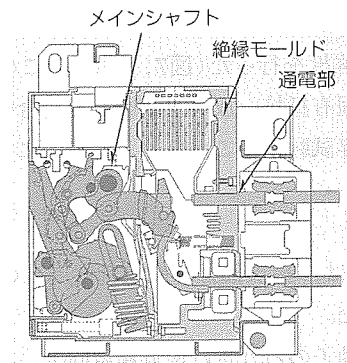


図2. ACBの内部構造

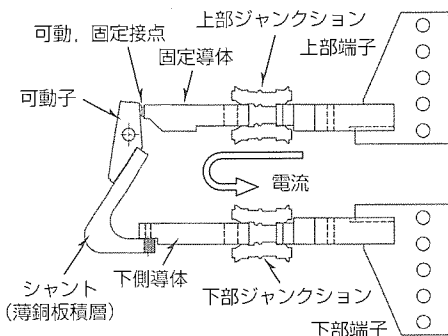


図3. ACBの通電部

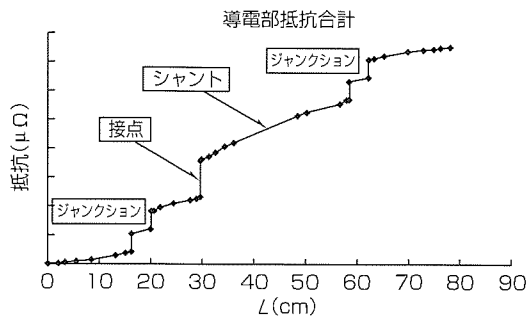


図4. 通電部の抵抗の変化

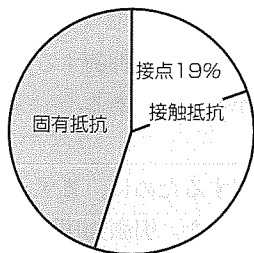


図5. ACBにおける接触抵抗の割合



図6. 感圧紙による主接点接触状態調査

同時に接触改良等の効果を定量的に把握するため、熱回路網による熱解析を行った(図7, 図8)。この結果、各部の接触抵抗, 固有抵抗, 放熱を改善した場合の温度上昇を, 実機で温度上昇試験することなく, 定量的に推測できるようになった。

3.2 対策

新型ACBでは、接点部材の組立精度向上のため、以下の点を改善した。

- (1) 接点と可動子のろう付け位置精度向上
- (2) 可動子の軸穴にセルフコンプライアンス構造を採用

これらの改善は固定接点の表面状態に合わせてフレキシブルに接点が接触するようにしたもので(図9, 図10), 接点に押圧された際、面接触に近い状態が得られた。

3.3 改善結果

図11に接点部の温度上昇試験結果を示す。

改善後は、接点の接触抵抗低減により、本体を小型化したにもかかわらず温度上昇が現行機種を下回った。また、上部及び下部ジャンクション接触抵抗の低減改善としてジャンクション接触面の寸法管理, せん断面粗度の改良, 導体に押し付ける接圧を約30%増加させる等の接触抵抗を安定させる改善を同時に行い, 規定値以下を達成した。

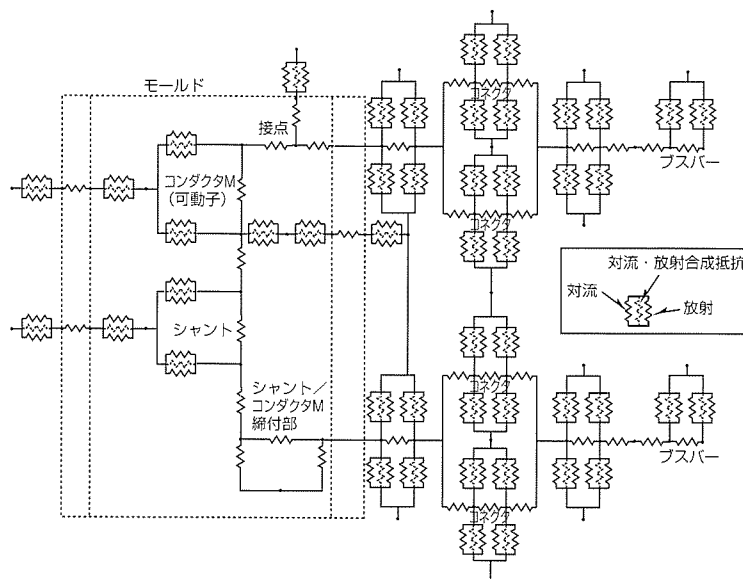


図7. AE4000-SSAの熱回路網

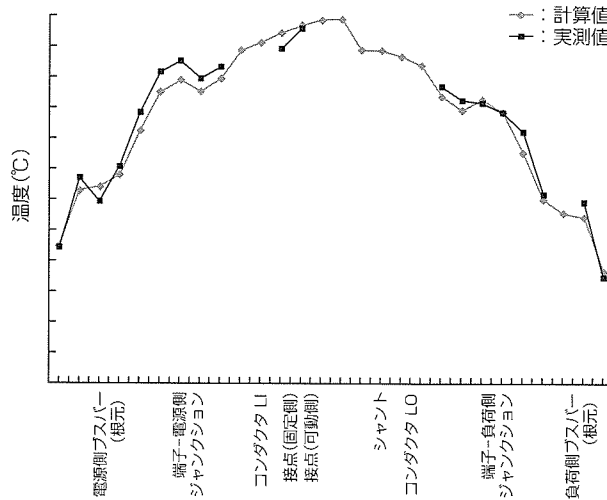


図8. 熱回路網計算結果と実測

4. 接点間の発弧

ACBには、事故時の短絡電流に短時間耐え損傷しない限界として、短時間通電容量(I_{cw})がある。主幹遮断器として容易に動作せず、事故回路のみを下位遮断器に遮断させる選択遮断を行うため、連続給電を可能にする。AE4000-SSAの I_{cw} は75kA 1秒であり、クラス最大級の性能を持っている。実際の遮断器に短絡などの大電流が流れると、接点間には、通過電流により、過大な電磁反発力が発生する。この反発力によって接点間が開極してしまうと、接点間で発弧してしまうので接点消耗は非常に大きくなってしまふ(図12)。このため、大電流通過時の接点反発力を押さえ込み I_{cw} を増大させるためには高剛性機構に改良することが必要であった。

実際に測定モデルを製作し可動子に加わる反発力を測定

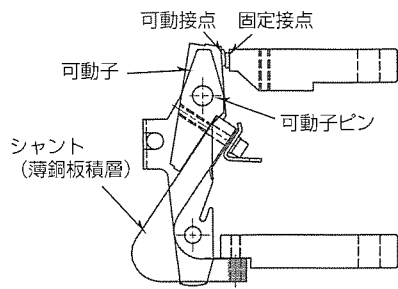
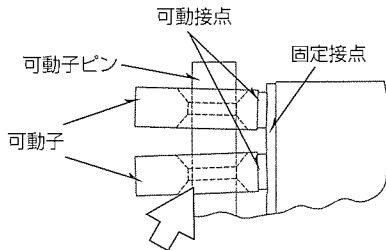


図9. ACB接点部の構造



可動子軸穴と可動子ピンをセルフコンプライアンス構造とし、可動接点は固定接点面に沿って接触する

図10. ACB接点部を上から見たところ

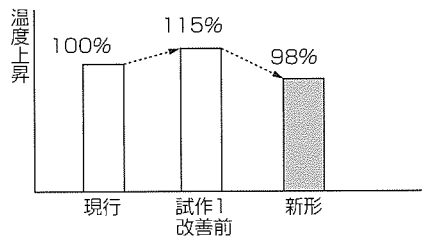


図11. 接点部温度上昇試験結果

したところ、数万N(数千kgf)程度の力が加わり、機構部が弾性変形していることが確認された。母体となったAE3200-SS形ACBは $I_{cw} = 65\text{kA}$ 1秒であるので、75kA(実効値)の通電容量を達成するためには接点保持部材の剛性を30%以上高める必要があった。剛性対策部品を調査するため変位計によって短時間通電時の部品変形を測定し、図2に示したメインシャフト(遮断器の投入駆動軸)の直径を増大し、また、機構取付部を補強することによって $I_{cw} = 75\text{kA}$ 1秒を達成した。

5. 遮断後の温度上昇

IEC規格の I_{cs} (定格使用遮断容量)遮断では、遮断(責務O-CO-CO)後の端子温度上昇を規定値以下にする必要がある。前述したように遮断(発弧)による主接点の損傷は非常に大きいため、小型化された今回の機種では、遮断時の接点消耗・損傷抑制が遮断後の温度上昇対策の重要点となった。通電時に接点が開極すれば(遮断すれば)、接点間は発弧するが、主接点以外で発弧させる、又はいかに早く接点からアークを移動させて接点損傷を少なくするかが重要となる。

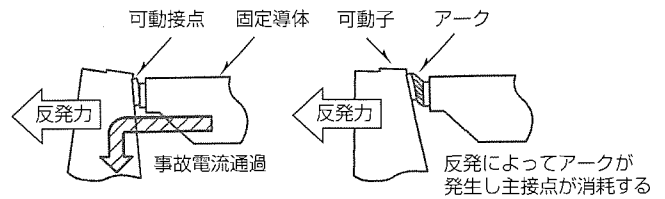


図12. 主接点反発時の挙動

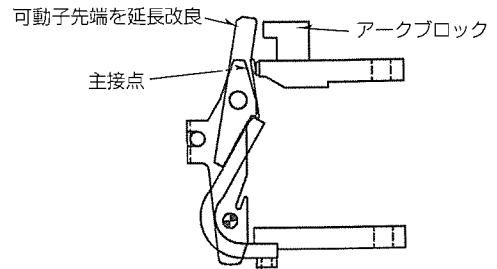


図13. AE4000-SSAの可動子部

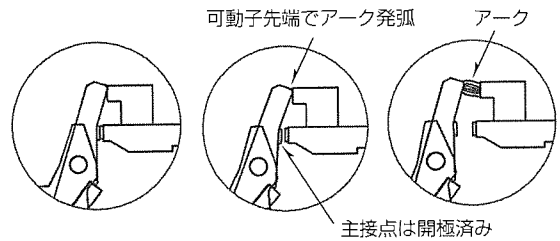


図14. 開極時の可動子の動き

この課題を解決するために、AE4000-SSAでは、新たに可動子先端を延長し、アークブロックを装備した(図13)。開極時は、主接点が開いた後に可動子先端でアーク発弧するので、主接点の発弧は小さく、消耗・損傷を抑えることができるようになった(図14)。

これにより、AC500V 85kAの定格電流遮断後の温度上昇を規定値以下に抑えることができた。

6. むすび

今回の開発における主な技術課題を解決することにより、市場要求の多かった、小型、軽量、短納期、大容量の低圧気中遮断器を開発し販売することができた。

受配電設備は今後ますます高度化・複雑化し、かつ大容量化が予測されている。SCADA等のシステム対応としては、既に、計測・伝送機能搭載のAE-SS MDU(Measuring Display Unit)付き(CC-Link伝送)の品ぞろえを完了している。他方、盤用機器であるACBは、引き続き更なる小型、軽量、短納期化が要求されている。この遮断器は、現行AE-SS形気中遮断器を母体として開発され、機種追加発売された。今後は、この開発で培った技術を応用し、さらにユーザーフレンドリで使いやすい製品作りを志向していく所存である。

拡大する中国市場における MCBに求められる役割と動向

河上 正*
池田龍典*
池田清二*

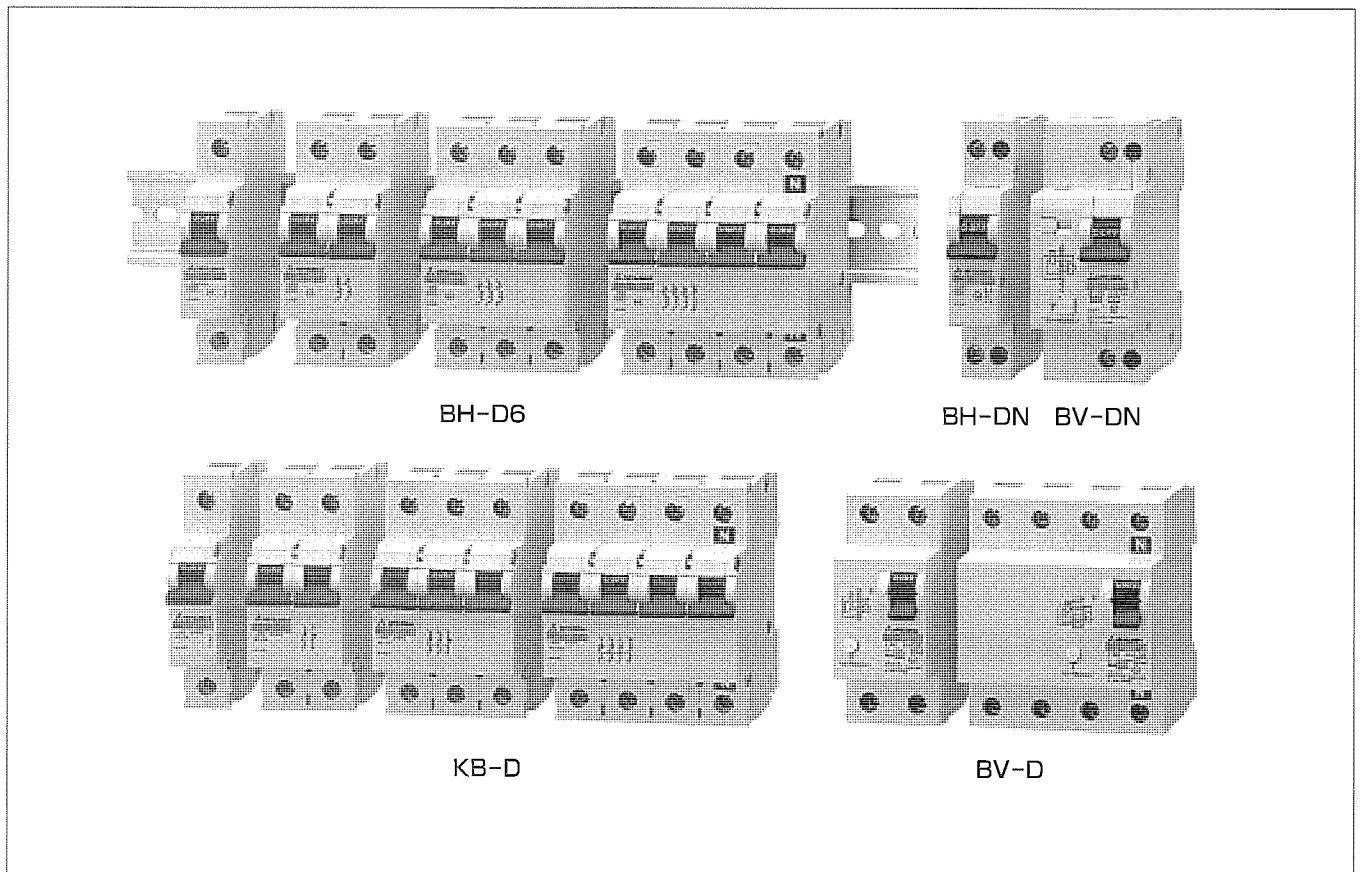
要 旨

近年、中国市場においては、住宅取得のブームが起きており、都市部の住宅物件の有効需要は今後3から5年で20%以上の伸びが確実視されていて、価格水準も上向いている。したがって、このブームにより、住宅用の回路遮断器の需要も伸びるであろうことは容易に予測可能である。

そこで、本稿では、中国における回路遮断器(Miniature Circuit Breaker : MCB)の対応規格構成について、国家規格・地方規格等の概略を説明する。また、その国家規格に適合する回路遮断器(MCB)の認証制度と安全認証を行う第三者機関であるCCEE, CCIBの両機関から強制認証品であり二重規制となっている回路遮断器(MCB)の現状と、最近になってこの両機関が統合されてCCC(中国強制認証)に変更されつつあることについて述べる。

また、住宅におけるMCBの設置基準等の国家規格及び地方規格等からみた市場の動向、例えば、相線と中性線の同時開極可能な遮断器の設置義務、住宅のコンセント回路への漏電遮断器(Residual current operated Circuit-Breakers with integral Overcurrent protection : RCBO)の設置義務、中国の電力事情を考慮するための過電圧保護等の概略を説明するとともに、三菱電機の製品の上記市場動向に対する対応と製品ラインアップ、今後の対応を紹介する。

拡大する中国市場に対し回路遮断器(MCB)に求められることは目まぐるしく変化しており、高機能化が進んでいる。この流れに乗って要求事項を満足することで、中国における遮断器事業を大きく発展させることができるであろう。



当社DIN MCB製品のラインアップ

上段左から、BH-D6 : 回路遮断器(MCB) 1P, 2P, 3P, 4P BH-DN : 回路遮断器(MCB) 1P+N BV-DN : 引き外し素子付き漏電遮断器(RCBO) 1P+N
下段左から、KB-D : 断路器(ISOLATOR) 1P, 2P, 3P, 4P BV-D : 引き外し素子なし漏電遮断器(Residual Current operated Circuit-Breakers without integral overcurrent protection : RCCB) 2P, 4P

1. ま え が き

近年、中国におけるMCB設置基準が安全性重視の観点から見直され、分岐回路のN極自動開極が義務付けされた。また、コンセント回路への漏電遮断器の設置に関しても、設置義務付けが浸透し、コンセント回路用として過電流保護付き漏電遮断器、さらには過電圧保護機能付き等が要求されてきている。

本稿では、中国におけるこうした規格、安全認証制度、市場変化に対するMCBに求められる機能や技術動向、及び三菱電機の商品ラインアップについて述べる。

2. MCBの中国における規格及び認証制度の概要

2.1 MCBの中国における規格

中国の規格制定は、中華人民共和国標準化法(中国標準化法)に基づいて制定されている。中国標準化法は電気・電子製品の安全に関しても規定がなされる。

(1) 国家規格

中国全土に関する事項について制定される。

(2) 業界規格

国家規格が制定されていない、業界内で全国規模の規定が必要な場合に制定される。制定された業界規格が全国規模で規定する必要がある場合、又は必要となった場合、その業界規格は国家規格として制定され、同時にその業界規格は廃止される。

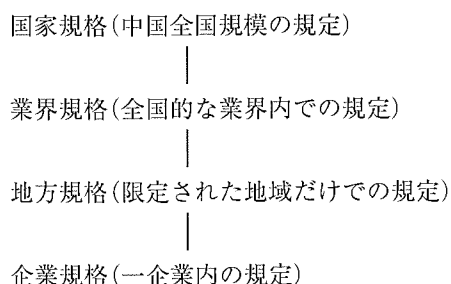
(3) 地方規格

国家規格も業界規格もないが、省、自治区、直轄地の範囲で統一する必要がある場合に制定される。

(4) 企業規格

企業で製造された製品で国家規格と業界規格がないものに制定される。

上記の中国の規格構成は以下のごとくである。



上述したように、中国における標準となる規格には、中国国家規格(GB)がある。回路遮断器についても、GB規格が制定してある。GB規格は、近年、国際標準(IEC, ISO)に整合されつつある。中国における電気・電子機器関連の基準数は約2,600あり、そのうち約300が国際標準に同一、約250が同等、約400が類似となっており、さらに整合化が進んでいくと考えられている。

表1に回路遮断器の中国における対応規格とそれに相当

表1. 回路遮断器の対応規格

	中国規格	国際規格
家庭用回路遮断器 MCB	GB10963	IEC60898
家庭用漏電遮断器 (引き外し素子なし) RCCB	GB16916	IEC61008
家庭用漏電遮断器 (引き外し素子あり) RCBO	GB16917	IEC61009
スイッチ断路器 ISOLATOR	GB14048.3	IEC60947.3

する国際規格を記す。これらのGB規格と国際規格(IEC)の内容は、すべて整合されている。

回路遮断器としても、中国において販売を行う上で、この規格に対応する必要がある。また、この規格を基にした安全認証(CCIB, CCEE)を取得する必要がある。

以下に、中国における認証制度について述べる。

2.2 MCBの中国における認証制度

中国における製品安全の法規制は、1993年に施行された「中華人民共和国国家製品品質安全法」に基づいて実施されている。

この製品品質法では、主に下記の内容が規定されている。

- (1) 市場での抜取り検査による管理を実施する。
- (2) 流通される製品は強制国家規格、強制業界規格に適合させなければならない。
- (3) 中国語による表示を行うこと。
- (4) 損害賠償規定及び罰則規定。

輸入商品検査に関して、中国政府は、'51年に「商品検査に関する暫定規制」、'54年に「輸出入製品の検査と試験を管理する規制」、'84年に「中華人民共和国輸出入商品検査規制」を公布し、'89年には「中華人民共和国輸出入商品検査法」を施行した。

現在の商品検査法は、中国の輸出入商品に関する基本的な法令である。この商品検査法には目的、管理方法、輸出入商品の検査と監督、法的責任が述べられており、国家輸出入商品検検局(SAIQ)が中国の輸出入商品を検査することが明記されている。

この法律では、輸出入商品は検査を受ける必要がある。輸出入商品に関する検査は、品質、仕様、量、質量、包装、安全及び公衆衛生の要求事項を含んでいる。

主な検査の基準となっているものは、貿易契約条項の下で同意された法律、管理規定及び強制規格である。

国際規格への整合に関しては、'89年に施行された「中国標準化法」に基づき実施されている。この法律では、「製品安全、製品性能などの技術要求に対して規格を制定すること」「国際規格を取り入れることを推奨する」が規定してあ

る。

2.2.1 認証制度

中国の電気・電子製品に関する安全認証機関は下記2機関が存在する。特定品目について、各機関が独自に認証を強制実施しており、安全認証の二重規制となっている。

(1) 中国電気製品安全認証委員会(CCEE)

輸入製品、中国製品を問わず、中国で流通・販売する電気製品が対象である。CCEEは、中国唯一のNAB(電気製品の認証機関)である。

(2) 中華人民共和国国家出入境検査検疫局(SAIQ)

一般にCCIBと呼ばれるもので、輸出入商品の検査、管理を任務としており、輸入製品が対象である。

2.2.2 MCBの安全認証

MCBは、CCEE、CCIBともに認証取得が強制認証となっている。したがって、日本から中国へ輸出する場合は、両機関の認証が必要となる。しかしながら、中国国内で生産を行い中国国内向けに生産する場合は、CCEEの認証のみでかまわない。当社MCBも中国生産・中国販売としている製品は、CCEEの認証のみとした製品がある。

現在、中国では、日本からの輸入品(CCEE、CCIBの両機関から強制品目に指定してある製品)に関しては、二重規制となっているが、CCEEとCCIBの相互データをそれぞれが認め、他方のデータを全面的に使用した認証を行い、手続きの簡略化を行っている。これによって、申請期間の短縮が図れる。また、申請期間が遅れがちな場合は、認証機関にフォローを行ったり協力的な態度をとることによって期間短縮が図れる場合がある。

2.2.3 CCC(中国強制認証)

上述のようにCCEEとCCIBの両機関から強制品目に指定してある製品(MCBも含まれる)について二重認証を行ってきたが、ここにきて、CCEEとCCIBの統合化が言われている。

2001年12月3日付けで、中国国家品質監督検査検疫総局と中国国家認証認可監督管理委員会の連名で発表された「2001年第33号公告」の中で「強制認証対象製品の第一次リスト」が発表になっている。MCBもその中に含まれているため、今後の動向に注目しなければならない。この制度は2002年5月1日実施開始で、現制度は2003年5月1日に廃止される予定である。

3. 中国の規格制定及びそれに伴う市場動向

3.1 中国の住宅関連の規格

中国の規格制定は前記のようであるが、MCBに関する規定として、家庭居住用住宅に関し国家規格又は地方規格が施行されつつある。以下にそれらの概要について述べる。

3.1.1 中国国家規格

国家規格に住宅設計規範(GB50096-1999)がある。この中に、次のような規定がなされている。

- (1) 各住宅の引込み口には配電箱を設置し、配電箱にメイン遮断器(過電流、短絡保護機能付き)を設置すること。
- (2) 分岐回路には、過負荷、短絡保護機能を持ち相線と中性線とを同時に開閉できる遮断器を設置すること。
- (3) 空調電源を除くコンセント回路には、漏電保護機能を持つ遮断器を使用すること。
- (4) 集合住宅の引込み口のメイン遮断器は、漏電保護機能を持つこと。
- (5) 空調、照明、その他コンセント回路は、単独回路とすること。

3.1.2 上海の住宅設計標準

上海市の地方規格として住宅設計標準(DGJ08-20-200)があり、上記国家規格である住宅設計規範(GB50096-1999)に対し、次の改定がなされている。

- (1) 空調電源を含め、コンセント回路には、漏電保護機能を持つ遮断器を使用すること(空調電源の追加)。
- (2) 厨房用、バスルーム用、空調、照明、その他コンセント回路は、単独回路とすること(厨房用、バスルーム用追加)。

3.1.3 昆明市の規格

昆明市の供電局が規定した地方規格の中に、メイン遮断器に対し、次の規定がなされている。

- (1) 280V±5%での過電圧保護機能を持ち、漏電保護(30mA感度)付き遮断器を設置すること。

3.2 中国における市場動向

従来、配電箱のメインには断路機能のみのスイッチ断路器や漏電機能+断路機能付きの装置も使用されていたが、これらは使用できなくなった。また、分岐回路においても、相線と中性線とを同時に開閉できる遮断器が規定され、単極品は使用できなくなった。コンセント回路には漏電遮断器の使用が規定され、その需要は高まっている。

現在中国では各家庭に電力計を設置するよう規定がなされ、昆明市では、その電力計負荷側の遮断器に過電圧保護が規定された。これは、中国の電力供給状況がまだ、特に地方では、安定しておらず、負荷の状況で容易に過電圧が発生する可能性があるという中国独特の事情が反映されているものと思われる。

このほかにも、上海等においては、高級マンション等での高遮断容量品(10kA以上)の要求、メイン遮断器として100A定格の要求がでており、これら市場の要求と、それに伴う規格の変化を早期に把握し、製品に反映させることが急務となっている。また、海外との合資メーカー、又は現地メーカーとの価格競争も厳しく、現地調達等での競争力強化もますます重要となっている。

表 2. 当社製品ラインアップ

	形名	極数 (P)	定格電流 (A)	遮断容量 (kA)	適合規格
MCB	BH-D6	1, 2, 3, 4	6~63	6	GB10963 IEC60898
	BH-DN	2	6, 10, 16, 20	4.5	GB10963 IEC60898
RCCB	BV-D	2, 4	25, 40, 63	—	GB16916 IEC61008
RCBO	BV-DN	2	6, 10, 16, 20	4.5	GB16917 IEC61009
ISOLATOR	KB-D	1, 2, 3, 4	32, 63	—	GB14048-3 IEC60947-3

4. 当社の製品ラインアップ

中国市場をターゲットに市場参入を行っている当社DIN製品を表 2 に示す。家庭用の過電流保護用回路遮断器 (MCB) としてBH-D6, 引き外し素子なし漏電遮断器 (RCCB) としてBV-D, スイッチ断路器 (ISOLATOR) としてKB-Dがある。

上述の中で相線・中性線の同時開極という市場要求に対応し、中性極を設けた過電流保護用回路遮断器 (MCB) としてBH-DNがある。また、コンセント回路には必ず (須) となってきた中性極を設けた引き外し素子付き漏電遮断器 (RCBO) としてBV-DNがある。BV-DNは、中国の電力事情を考慮した過電圧保護仕様も品ぞろえしている。

また、BH-DNとBV-DNは現行品の5倍となる開閉寿命20,000回を達成しており、BV-DNについては逆接防止機能追加による他社品との差別化も図った。

そして、高遮断容量品 (10kA化)、産業用規格 (IEC60947-2 対応)、付属装置の市場要求も高まってきており、現行機種の変更なる事業拡大のためにも、今後これらの開発が重

要となる。主な技術課題としては、小型、高速、高限流性能のアーク走行方式の開発、小型サイズで着脱容易な付属装置機構のAL, AXの開発などが挙げられる。

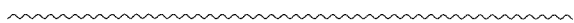
5. む す び

以上のように、中国におけるMCBの規格、及び設置基準が目まぐるしく変化しており、これに対応し、市場動向も変化が激しくなっている。この変化に乗り遅れることがないように、動向に注視し、素早い対応が必要になってきている。

今後は、前述の市場要求を基とした仕様充実により、一層の製品強化を図り、中国市場における当社MCB分野の更なる規模拡大をねらう。また、性能・品質の向上により、競合他社をしの (凌) ぐ魅力ある製品の開発に取り組む所存である。

参 考 文 献

- (1) 日本機械輸出組合：中国・香港・台湾における製品安全関連基準・認証の実態と動向，3～8 (1998)





特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは

三菱電機株式会社 知的財産渉外部

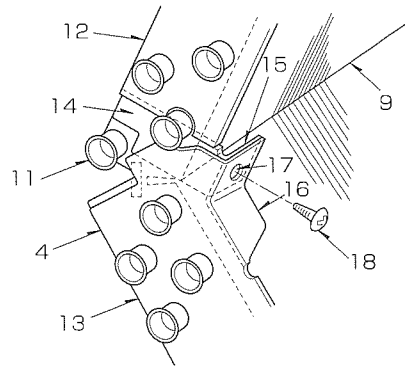
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

空気調和機の熱交換器 (特許 第2830558号, 特開平5-164347号)

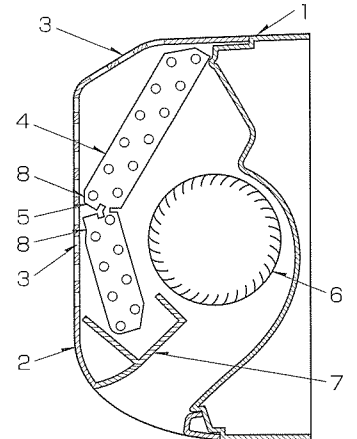
発明者 田邊義浩

この発明は、ルームエアコン等の空気調和機の熱交換器固定方法に関するものである。省エネルギー化を目的にセパレート型ルームエアコン等の限られた室内機スペース内により多くの熱交換器を搭載し伝熱性能の向上を図るため、熱交換器は多段に折り曲げる形態が主流となっている。これまで、熱交換器を多段に折り曲げると強度が弱くなり形状保持が難しいため、補強するための部品を取り付けたり折り曲げ角度等に制限を設けていた。この発明は、補強するための特別な部品を設けることなく、強度の確保を可能とした熱交換器の構成に関するものである。この発明は、多段熱交換器の熱交換器側面の鉄板(サイドプレート)において、サイドプレートの各々(12, 13)にフィンの折り曲げ部分において重なり合うフランジ部(14)を設け、この重なり合うフランジ部同士を固定したことを特長とする。

この発明の構造とすることにより、熱交換器を折り曲げた後の形状保持が確実にかつ堅固に行うことが可能となり、強度的、熱交換性能に優れた多段熱交換器が製造できる。



- | | |
|---------------|-------------|
| 4: 熱交換器 | 14: 重なり合う部分 |
| 9: フィン | 15: フランジ部 |
| 11: 熱交換パイプ | 16: フランジ部 |
| 12: 上部サイドプレート | 17: 固定用穴 |
| 13: 下部サイドプレート | 18: 固定用ねじ |



- | | |
|---------|----------|
| 1: 本体 | 5: 切り込み |
| 2: パネル | 6: ファン |
| 3: 吸込口 | 7: ドレンパン |
| 4: 熱交換器 | 8: 切り欠き部 |

図1

図2

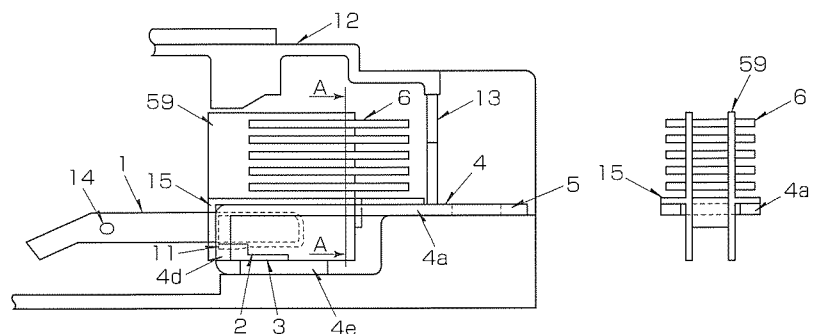
開閉器 (特許 第2996821号, 特開平6-162906号)

発明者 仁科健一, 福谷和則, 山県伸示, 高橋 貢, 三橋孝夫

この発明は、電流遮断する開閉接点の遮断性能を向上させるものである。

閉成状態の可動接点(2)が固定接点(3)から開離する方向を上方とした時、端子部(5)に連なる第1導体部(4a)と、この第1導体部(4a)の下方に離間位置して固定接点(3)が固着された第2導体部(4e)と、第1導体部(4a)と第2導体部(4e)を端子部(5)の反対側で上下方向に接続する第3導体部(4d)とからなり、第1導体部(4a)が接点閉成時に接点接触面よりも上方に位置し、かつ、接点開成時には可動接点(2)よりも下方に位置するように構成した固定接触子(4)と、接点開成時に可動接点(2)の表面から見渡せる第1導体部(4a)の部位を被覆する絶縁物(15)と、固定接点(3)と可動接点(2)を両側から挟み込む位置に対向配置され、可動接触子(1)の開閉動作を許容して接点開離時に発生するアークにさらされる絶縁体の細隙板(59)と、可動接

触子(1)の可動接点(2)の近傍を取り囲む圧力反射体(11)とを備えることにより、電流遮断時に固定接触子(4)のすべての電流経路が開閉接点間のアークを端子部側に引き延ばす電磁力を発生させ、さらに細隙板(59)と圧力反射体(11)とがアーク柱を絞るので優れた限流性能が得られる。



- | | | |
|----------|-----------|-----------|
| 1: 可動接触子 | 4a: 第1導体部 | 11: 圧力反射体 |
| 2: 可動接点 | 4d: 第3導体部 | 12: 容器 |
| 3: 固定接点 | 4e: 第2導体部 | 15: 絶縁物 |
| 4: 固定接触子 | 5: 端子部 | 59: 細隙板 |

図1

図2



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

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

冷媒サイクル装置、及びその制御方法 (特許 第2982588号, 特開平7-158937号)

発明者 山下浩司, 四十宮正人, 松岡文雄, 榎本寿彦, 柴田裕治, 吉田孝行

この発明は、冷媒サイクル装置の省エネルギー技術に関するものである。

冷媒サイクル装置は、圧縮機(1)を駆動する圧縮機駆動手段(4,32)と、冷媒を蒸発又は凝縮する熱交換器の少なくとも一方への送風を行うファンを駆動するファン駆動手段(28,29又は30,31)を持っている。また、冷媒サイクル装置は、圧縮機駆動手段及びファン駆動手段の駆動速度を変化させた際の熱交換器の熱交換能力及び圧縮機駆動手段と

ファン駆動手段の駆動力を演算する演算手段(33)と、前記圧縮機駆動手段及びファン駆動手段の駆動力が小さい駆動速度の組合せを選択する選択手段(34)を備え、その選択された駆動速度の組合せで圧縮機駆動手段(4,32)及びファン駆動手段(28,29又は30,31)を運転することを特徴とする。

圧縮機駆動手段及びファン駆動手段の駆動速度を変化させた際の熱交換器の熱交換能力及び圧縮機駆動手段とファン駆動手段の駆動力は、あらかじめ各駆動手段を別個に変化させた運転から得られて設定された定数を用いて演算する。前記圧縮機及びファンの駆動力が小さい駆動速度の組合せは、前記演算手段で演算された熱交換能力が所定範囲内にあるものの中から選択する。

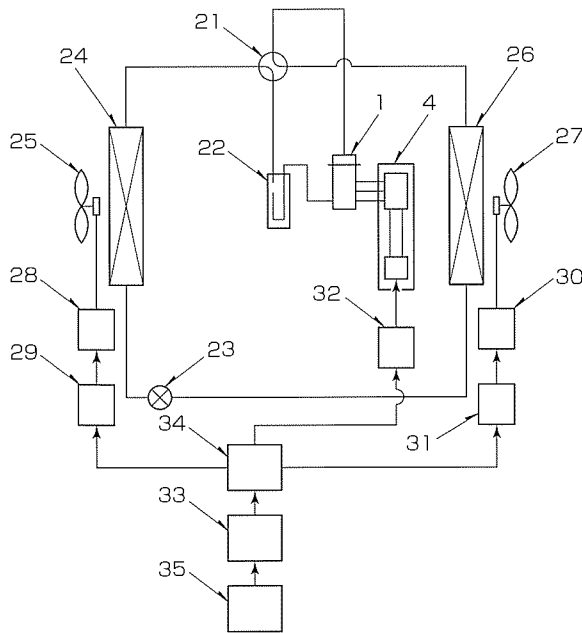
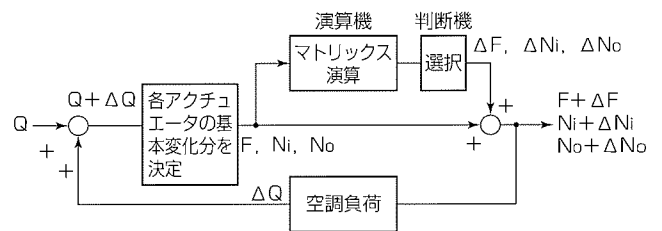


図1



マトリクス演算 (演算機)

$$\begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F \\ \Delta Ni \\ \Delta No \end{bmatrix}$$

選択 (判断機)

能力Qが一定で、かつ入力Wが最小のものを選択
($Q=Q_0 \pm \delta$ かつ $W \rightarrow \min$)

図2

〈本号記載の商標について〉

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

〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.76 No.6 「21世紀の生活と産業を支えるモータ技術」特集

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 井手 清</p> <p>委員 高橋 大 畑谷正雄 堤 清英</p> <p>榎原幸志 村松 洋 松本 修</p> <p>浜 敬三 石野 禎将 西谷 一治</p> <p>中島克人 荒木政敏</p> <p>黒畑幸雄 山本比呂志</p> <p>事務局 松本敬之</p> <p>本号取りまとめ委員 馬場 文明</p> <p>山県 伸示</p>	<p>三菱電機技報 76巻5号 2002年5月22日 印刷</p> <p>(無断転載・複製を禁ず) 2002年5月25日 発行</p> <p>編集人 井手 清</p> <p>発行人 福本 紀久男</p> <p>発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部</p> <p>〒105-0011 東京都港区芝公園二丁目4番1号</p> <p>秀和芝パークビルA館9階 電話 (03)3437局2692</p> <p>印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス</p> <p>発売元 株式会社 オーム社</p> <p>〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地</p> <p>電話 (03)3233局0641</p> <p>定 価 1部735円(本体700円)送料別</p>
<p>URL http://www.melco.co.jp/giho/</p>	<p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp</p>