

MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.68 No.9

特集 “無停電電源装置：UPS”

'94 **9**



特集 “無停電電源装置：UPS”

目 次

特集論文

UPS 特集に寄せて	1
深尾 正	
UPS の現状と展望	2
速水和夫・鹿野義郎・桑原秀夫	
大規模 UPS システム	6
榎井実好・黒田義隆・竹内三郎・中村英雄	
中小規模 UPS システム	12
守川哲郎・小笠原康司・中出哲也	
フル IGBT 大容量 UPS システム “MELUPS9200”	17
森 治義・押切恵一・山本融真・池田勝巳	
中容量コンパクト高性能 UPS “MELUPS8400V”	22
真田和法・島津 昇・嘉陽 覚・東 聖	
コンピュータネットワーク対応小容量 UPS “MELUPS8400N”	27
柳原康慈・佐志田伸夫・児嶋昭人・井川松雄・近野恭弘	
計装用 UPS	32
中村 透・池内謙二・野川智章	
UPS 用大容量 IGBT と IPM	37
由宇義珍・森 敏・ゴープ マジュームダール・村本雅博	
UPS の保全とリニューアル	42
本城健二・飯田恒司・橋本秀一	

普通論文

㈱ソルテック 1GeV 放射光装置の大電流化改造と現状	47
岸本 健・原口正文・飯田利昭・米島裕子・松井重明・阿刀田伸史	
GM 冷凍機を用いた伝導冷却方式超電導マグネット	51
湊 恒明・今井良夫・横山彰一・稲口 隆・金 太炫・梅村敏夫	
大容量 IGBT 応用アクティブフィルタ “MELACT-1100” シリーズ	55
守川哲郎・小林義幸・神山 功・杉山 隆	
量産用エキシマレーザ加工システム	59
江浦 隆・八木俊憲・出雲正雄・中谷 元・田中正明	
ファンモータ用チョッパ式可変速制御	66
岸添義彦・西尾直樹・春日井 誠・中込 靖・今城昭彦	
有機分子線蒸着法による薄膜の作製と高次構造	71
蔵田哲之・洲上宏幸・濱野浩司・久保田 繁	

特許と新案

「空気調和機」「対物レンズ駆動装置」	75
「パルスアーク溶接方法」	76

スポットライト

大容量 IGBT アクティブフィルタ “MELACT-1100L”	77
コンピュータネットワーク対応小容量 UPS “MELUPS8400N”	78
東京電力㈱新榛名変電所1,000kV 外鉄形実証用変圧器の現地組立完成	……(表 3)

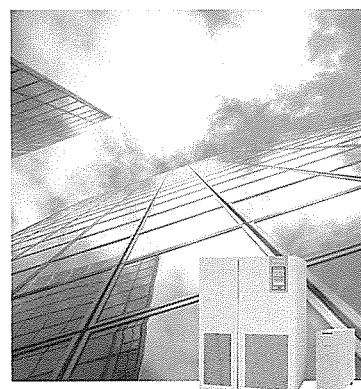
表紙

無停電電源装置：UPS

本格的な高度情報化社会を迎え、基盤となるコンピュータを中心とした情報通信システムは産業分野から家庭まであらゆる分野に広く浸透している。これらのコンピュータシステムを高い信頼性で維持するためには各種の安全対策が必要で、無停電電源装置(UPS)は電源における安全対策設備の内の最重要設備の一つとして位置づけられている。

三菱 UPS “MELUPS” シリーズは、数千 kVA の大規模システム用から数百 VA の小規模システム用まで、あらゆる用途にこたえられるようにラインアップしている。

製品写真は先端技術のパワーデバイス(IGBT, IPM)を使用した最新の UPS の例である。製品左は並列運転も可能な大規模システム用の MELUPS9200 (三相入出力)、製品右は中規模システム用の MELUPS8400V (単相入出力)である。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、国際単位“SI”〔SI 第2段階(換算値方式)を基本〕を使用しています。ただし、保安上、安全上等の理由で、従来単位を使用している場合があります。

アブストラクト

UPS の現状と展望

速水和夫・鹿野義郎・桑原秀夫

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.2～5 (1994)

今日の高度情報ネットワーク社会から、さらには21世紀の本格的マルチメディア時代を目指し、超高度情報化への動きが活発である。これを支える電源システムとして無停電電源装置(Uninterruptible Power Supply: UPS)は、その重要性を増してきている。当社では、IGBT や IPM 等の新しい電力半導体を応用した電力変換技術をタイムリに適用し、コンピュータを中心とする各種負荷に適合した大容量から小容量までの UPS を供給していくことにより、社会的ニーズにこたえていく。

コンピュータネットワーク対応小容量 UPS “MELUPS8400N”

柳原康慈・佐志田伸夫・児嶋昭人・井川松雄・近野恭弘

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.27～31 (1994)

コンピュータのダウンサイジングに伴い、従来の大型計算機に代わり、ワークステーションやパソコンをネットワークで接続し、重要な業務を実行する用途が増加している。このようなコンピュータネットワークに対応した小容量 UPS として、UNIX ワークステーションの自動シャットダウン・自動運転機能や、パソコン LAN 対応のインタフェースを内蔵した“MELUPS8400N”シリーズ(単相1～3kVA)を開発、製品化した。

大規模 UPS システム

萩井実好・黒田義隆・竹内三郎・中村英雄

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.6～11 (1994)

コンピュータシステムにおける安全対策は、高度情報化社会の進展とともに必要不可欠な事項となっている。無停電電源装置(Uninterruptible Power Supply: UPS)は、この安全対策の中でも重要設備に位置付けられており、かつ24時間・365日の連続稼働が要求されている。このため、UPS はコンピュータシステムとの融合が重要であるとともに、高機能性・高信頼性・高保全性が、構成機器のみならずシステム構築や維持管理にも求められている。

計装用 UPS

中村 透・池内謙二・野川智章

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.32～36 (1994)

工業プラント、水处理プラント、電力プラントなど、各種のプラント計装システム用の UPS として“MELUPS8400H”“NC-U”を開発・製品化した。いずれも IGBT インバータを使った単相出力の最新形 UPS であり、高クレストファクタ負荷に対して安定した給電性能を持っている。また、前者は40～100kVA をカバーし、広く一般にも適用可能である。後者は5～75kVA をカバーし、直流負荷への対応や直流入力のみのシステムにも対応が可能などの特長を持つ。

中小規模 UPS システム

守川哲郎・小笠原康司・中出哲也

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.12～16 (1994)

コンピュータシステムのダウンサイジング・分散処理化などの急速な進展に伴い、無停電電源装置(Uninterruptible Power Supply: UPS)も中小規模が大きく普及しつつある。当社としても、これに対応し、使いやすさを重点とした汎用的な製品をシリーズ化している。

各種業務の高度化や使用用途の拡大に伴って、汎用 UPS にも高信頼性・高保守性を主眼としたシステム構築や用途に応じた製品のバリエーションが求められている。

UPS 用大容量 IGBT と IPM

由宇義珍・森 敏・ゴープラ マジュームダール・村本雅博

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.37～41 (1994)

無停電電源装置(UPS)用パワーデバイスとは、従来はサイリスタやバイポーラデバイスであったが、現在は MOS 系デバイスとなっている。MOS 系デバイスは、BiMOS モジュールから IGBT モジュール及びインテリジェントパワーモジュール(IPM)へと性能や機能向上を目的として変遷を遂げている。なかでも、大容量 IGBT や IPM は、第三世代シリーズとして、飽和電圧、スイッチング時間及び SOA のトレードオフの改善によってパワー損失の低減を実現した。

フル IGBT 大容量 UPS システム “MELUPS9200”

森 治義・押切恵一・山本融真・池田勝己

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.17～21 (1994)

“MELUPS9200”は、単機容量で50kVA から1,400kVA までカバーし、高信頼度のシステム構成に必要な並列冗長運転も可能な高機能化・コンパクト化を実現した三相入出力の無停電電源装置(Uninterruptible Power Supply: UPS)である。高性能 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) インバータと瞬時波形制御による優れた出力特性及び IGBT 高力率コンバータによる低入力容量・低入力高調波特性を達成した。

UPS の保全とリニューアル

本城健二・飯田恒司・橋本秀一

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.42～46 (1994)

静止型のサイリスタインバータ式無停電電源装置(Uninterruptible Power Supply: UPS)では15年を経過したものもあり、更新時期を迎えている。設備のリニューアルに当たり高周波スイッチング制御を適用した最新型の機種採用により、負荷や受電側設備との協調性が向上する。また、システム構成として、商用バイパス無瞬断切換え・保守バイパス・個別蓄電池方式などを採用することにより、増量リプレース、信頼性・保守性の向上を図ることができる。

中容量コンパクト高性能 UPS “MELUPS8400V”

真田和法・島津 昇・嘉陽 覚・東 聖

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.22～26 (1994)

コンピュータのダウンサイジングにより、UPS もコンピュータの近くであるオフィスに設置されるケースが多く、小型・軽量・低騒音化が強く望まれている。

今回開発した“MELUPS8400V”(7.5～15kVA)は、IPM を用いた電力変換技術、DSP を用いたデジタル制御技術などの最先端技術により、画期的な小型化(従来機種比で体積33%、質量50%)と、高信頼性・高機能化を実現した。

(株)ソルテック1GeV 放射光装置の大電流化改造と現状

岸本 健・原口正文・飯田利昭・来島裕子・松井重明・阿刀田伸史

三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.47～50 (1994)

ソルテックに納めた放射光による半導体リソグラフィ研究用の電子エネルギー1GeV放射光源を構成する蓄積リングの蓄積電流を、改造前の200mA から500mA へ増強した。高周波加速系の出力を28kW に倍増、リングの脱ガスが多く排気速度の遅い部分の NEG ポンプによる増強、真空ダクトの温度対策等を行い、所期の成果を得た。ビーム調整開始後2週間で500mA を達成し、ビーム寿命も真空の枯れとともに伸びて、リソグラフィ研究用として最高級の25時間以上を達成し、順調に稼働中。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 27~31 (1994)

The MELUPS 8400N Series: Small-Capacity Uninterruptible Power Supplies for Computer Networks

by Koji Yanagihara, Nobuo Sashida, Akihito Kojima, Matsuo Igawa & Yasuhiro Chikano

Workstations and personal computers connected by networks are displacing mainframe computers as the platform in critical information systems. The corporation has developed MELUPS 8400N series single-phase small-capacity uninterruptible power supplies (UPSs) specifically for these distributed computing environments. With capacities of 1~3kVA, these UPSs feature a network interface and functions for automatic shutdown and scheduled control of UNIX workstations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 2~5 (1994)

The Present and Future Prospects for Uninterruptible Power Supplies

by Kazuo Hayami, Yoshio Shikano & Hideo Kuwabara

The market for uninterruptible power supplies (UPSs) is expected to increase due to demand for network servers, multimedia computers and other "mission-critical" electronic equipment. The corporation has developed a new line of UPSs from small- to large-capacity using modern power devices such as insulated-gate bipolar transistors (IGBTs) and intelligent power modules (IPMs) to accomplish voltage conversion.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 32~36 (1994)

Uninterruptible Power Supplies for Instrumentation Systems

by Tooru Nakamura, Kenji Ikeuchi & Tomoaki Nogawa

The corporation has developed MELUPS 8400H and NC-U series single-phase uninterruptible power supplies for instrumentation electronics in industrial plants, water-treatment facilities, and power-generation facilities. Both employ insulated-gate bipolar transistor (IGBT) inverters to maintain stable supplies to high crest-factor loads. With capacities of 40~100kVA, the MELUPS 8400H series is suited for general-purpose AC equipment. The NC-U offers capacities of 5~75kVA for AC loads, with optional provision of DC output.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 6~11 (1994)

Large-Scale Uninterruptible Power Supply Systems

by Miyoshi Momii, Yoshitaka Kuroda, Saburo Takeuchi & Hideo Nakamura

Uninterruptible power supply (UPS) equipment, including integrated systems with computer interface capabilities and management technology, are critically important to provide the functionality, reliability, and safety to support the required operation of computer installations around the clock, 365 days a year. The article reports on advances in UPS technology for large installations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 37~41 (1994)

Large-Capacity IGBTs and IPMs for Uninterruptible Power Supplies

by Yoshiharu Yu, Satoshi Mori, Gourab Majumdar & Masahiro Muramoto

MOS power devices — BiMOS modules, insulated-gate bipolar transistor (IGBT) modules and intelligent power modules (IPMs) are replacing thyristors and bipolar transistors in uninterruptible power supplies (UPSs) because they provide superior performance and versatility. The corporation has developed third-generation IGBTs and IPMs especially for UPS applications. The tradeoff between saturation voltage, switching time and safe-operating area has been optimized for minimum power loss.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 12~16 (1994)

Medium- and Small-Scale Uninterruptible Power Supply Systems

by Tetsuo Morikawa, Koji Ogasawara & Tetsuya Nakade

Trends toward downsizing and distributed networks have increased demand for medium- and small-scale uninterruptible power supply (UPS) systems. The corporation has developed a series of general-purpose UPS systems suitable for these applications with a priority on ease of use. The series offers high reliability and equipment options suitable for a wide variety of purposes.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 42~46 (1994)

Maintenance and Upgrading of Uninterruptible Power Supplies

by Kenji Honjo, Tsuneji Iida & Hidekazu Hashimoto

Now that thyristor-based uninterruptible power supplies (UPSs) have been on the market for more than 15 years, various improved technologies are being developed. New UPSs with high-frequency switching offer improved compatibility with substation equipment and loads. Commercial installations can raise their UPS capacity, increase reliability and simplify maintenance procedures by upgrading to new systems employing interrupt-free bypass, maintenance bypass and discrete storage battery configurations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 17~21 (1994)

The MELUPS 9200 Series: Large-Capacity Uninterruptible Power Supplies Utilizing IGBTs

by Haruyoshi Mori, Keiichi Dshikiri, Yuushin Yamamoto & Katsumi Ikeda

The MELUPS 9200 series is comprised of compact three-phase uninterruptible power supplies (UPSs) offering capacities of 50kVA~1.4MVA, with provisions for stand-alone and redundant configurations. These UPSs achieve low input capacitance and low input harmonics through use of insulated-gate bipolar transistor (IGBT) converter with an excellent power factor, and achieve excellent output characteristics through use of a high-performance IGBT inverter and instantaneous waveform control.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 47~50 (1994)

Stored Current Capacity Upgrade of the 1GeV Synchrotron Radiation Ring for Sortec Corporation

By Takeshi Kishimoto, Masafumi Haraguchi, Toshiaki Iida, Yuko Kijima, Jumei Matsui & Nobufumi Atoda

The corporation has upgraded the stored current capacity of the 1GeV synchrotron ring used for semiconductor lithography research by Sortec Corporation from 200 to 500mA. This was achieved by doubling the output of the radio frequency acceleration system to 28kW, upgrading the non-evaporable getter (NEG) vacuum pump, and modifying the vacuum duct for better toleration of increases in temperature. The 500mA current was achieved two weeks after beam adjustment began, and the improved vacuum has dramatically increased the beam lifetime to better than 25 hours.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 22~26 (1994)

The MELUPS 8400V Series: Compact Medium-Capacity Uninterruptible Power Supplies

by Kazunori Sanada, Noboru Shimazu, Satoru Kayou & Satoshi Azuma

Compact, lightweight and quiet uninterruptible power supplies (UPSs) have a growing market as downsizing brings more computers and their power systems into the office environment. The corporation has used intelligent power modules (IPMs) for voltage conversion with digital signal processor-based digital control technology in MELUPS 8400V series UPSs to reduce weight by 50% and volume to just one-third of previous equipment. These efficient and reliable UPSs cover capacities of 7.5~15kVA.

アブストラクト

GM 冷凍機を用いた伝導冷却方式超電導マグネット

湊 恒明・今井良夫・横山彰一・稲口 隆・金 太炫・梅村敏夫
三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.51～54 (1994)

最近の小型冷凍機の進歩によって、液体ヘリウムを使用しない、操作の容易な、伝導冷却方式超電導マグネットが製作可能になった。主要部品である GM 冷凍機と高温超電導電流リード及びコイルが伝導冷却方式超電導マグネットに適合することを確認した。応用として、直径 180mm の常温空間に 0.7T を発生するクライストロン用の収束電磁石を開発した。コイルは 4 K 以下まで冷却できており、コイルを交換すれば、7 から 8 T レベルの磁界も発生可能なことが判明した。

ファンモータ用チョップパ式可変速制御

岸添義彦・西尾直樹・春日井 誠・中込 靖・今城昭彦
三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.66～70 (1994)

小型送風機用誘導電動機(ここでは“ファンモータ”という。)の回転速度を制御する方法にはいろいろあるが、我々は商用交流電源を高速でスイッチングするチョップパ式制御に着目し、この実用化を進めてきた。その結果、これまでの主流である位相制御より騒音の発生が少なく、またインバータ方式ほど構成が複雑でない、ファンモータの制御に適した可変速技術を開発することができた。現在、この技術を応用したダクト用換気扇の製品化を進めており、10月に発売される予定である。

大容量 IGBT 応用アクティブフィルタ “MELACT-1100” シリーズ

守川哲郎・小林義幸・神山 功・杉山 隆
三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.55～58 (1994)

当社が業界に先駆けて開発・製品化を行ったアクティブフィルタ装置の最新機種“MELACT-1100”のシリーズ化を行った。

低損失・高性能 IGBT モジュールを用いた高周波 PWM 制御によって、一層の装置小型化、制御特性の向上を実現した。MELACT-1100H は高次数高調波抑制用で 2～25 次高調波電流を抑制、MELACT-1100L は大容量抑制用で標準装置容量は 400kVA から 1,200kVA である。

有機分子線蒸着法による薄膜の作製と高次構造

蔵田哲之・淵上宏幸・濱野浩司・久保田 繁
三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.71～74 (1994)

有機分子の機能を生かして新機能薄膜材料を創製するためには、薄膜の高次構造制御が重要である。その有力な方法である有機分子線蒸着法について、基礎的な検討を行った。分子の輸送過程に関係する分子ビームの空間分布においては、Kセルのつぼ形状の変化によってその指向性を制御できることを明らかにした。また、薄膜作製時の基板温度を変化させることによって、薄膜の構造として分子配向、結晶性、屈折率に異方性などの高次構造を制御できることを明らかにした。

量産用エキシマレーザ加工システム

江浦 隆・八木俊憲・出雲正雄・中谷 元・田中正明
三菱電機技報 Vol.68・No.9・p.59～65 (1994)

MCM(マルチチップモジュール)や FPC(フレキシブルプリント基板)等のプリント配線板(高密度多層基板)のアブレーション加工(微細穴あけ加工)に対応した量産用エキシマレーザ加工システムを製品化した。

当社独自の多重反射光学系、同期スキャン加工、高繰返し・長寿命エキシマレーザ発振器などの採用により、他社従来機に対して約 20 倍の生産性を達成した。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 66~70 (1994)

A Variable-Speed Chopper Control System for Fan Motors

by Yoshihiko Kishizoe, Naoki Nishio, Makoto Kasugai, Yasushi Nakagomi & Akihiko Imagi

The authors have developed a chopper control system that controls the speed of a fan motor by high-speed switching of the commercial AC power supply. The new system is quieter than single-phase control systems and is simpler than inverter-based systems. The system is being applied to develop a variable-speed duct fan, which will be marketed in October.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 51~54 (1994)

A Conduction-Cooled Superconducting Magnet Using a Gifford-McMahon Refrigerator

by Tsuneaki Minato, Yoshio Imai, Shoichi Yokoyama, Takashi Inaguchi, Tae Hyun Kim & Toshio Umemura

Advances in refrigeration technology have made it possible to manufacture conduction-cooled superconducting magnets that are easy to operate and do not need to use liquid helium. The authors have developed a conduction-cooled superconducting magnet employing a Gifford-McMahon refrigerator with the current leads of a high-temperature superconducting material. One application developed is a 0.7T klystron focusing magnet that occupies a 180mm diameter space maintained at room temperature. The coil was cooled below 4K, at which time magnetic fields of 7~8T were verified.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 71~74 (1994)

Production of Organic Thin Films and Superlattices by Organic Vapor Deposition

by Tetsuyuki Kurata, Hiroyuki Fuchigami, Kouji Hamano & Shigeru Kubota

The authors have conducted fundamental research on organic vapor deposition for forming thin films. They determined that the directivity (the spatial distribution) of the molecular beam used to transport the organic molecules can be controlled by varying the shape of the K-cell crucible. They also determined that the substrate temperature during deposition can be used to control structural characteristics such as molecular orientation, degree of crystallization and isotropy of refractive index.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 55~58 (1994)

The MELACT-1100 Series: Active Filters Using Large-Capacity IGBTs

by Tetsuro Morikawa, Yoshiyuki Kobayashi, Isao Kamiyama & Takashi Sugiyama

The corporation has developed a new series of its pioneering active power filters. Used with low-loss high-performance insulated-gate bipolar transistor (IGBT) modules and high-frequency pulse-width modulation, the MELACT-1100 series of filters realizes better control characteristics in more compact dimensions than previous equipment. MELACT-1100H harmonic filters suppress second- to 25th-order harmonic currents. Capacities range from 50~400kVA. MELACT-1100L large-capacity harmonic filters compensate harmonic currents up to the 13th order, with capacities of 400kVA~1.2MVA.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 9, pp. 59~65 (1994)

An Excimer Laser Processing System for Industrial Use

by Takashi Eura, Toshinori Yagi, Masao Izumo, Hajime Nakatani & Masaaki Tanaka

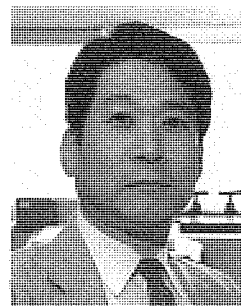
The corporation has developed an excimer laser processing system for commercial ablation processing of densely mounted multilayer substrates for multichip modules and flexible printed-circuit boards. The system achieves approximately 20 times the productivity of other vendors' products using original multiple reflection optics, synchronous scan processing and high-repetition, long-life excimer laser tubes.

UPS特集に寄せて

東京工業大学工学部

電気・電子工学科

教授 深尾 正



我が国の電力の質は極めて高く、電力の供給が長時間にわたって停止することなどほとんど考えられない。そこで、日常生活の上では電気の質で困ることはまずないであろう。

しかし、コンピュータは電源周期の数分の1サイクルの瞬間的な停電に対しても、機能の停止、誤動作を起こす恐れがあることから、その電源にはごく短時間の電圧低下すら許されない。もし、瞬間的な停電によってコンピュータが停止した場合、引き起こされる社会の混乱、損失は測り知れない。これを防ぐために、雷などの自然災害にも全く影響を受けないように商用の電源システムを強化しなければならないかという、それは余りにも不経済で現実的ではない。ここに、電源にいかなる異常が生じても常に一定電圧、一定周波数の電力を供給できる無停電電源装置(UPS)の必要性が生じる。UPSは情報化社会の急所を押さえていると言えよう。

一口にUPSといっても、金融機関や情報・通信用計算機等には、年中、点検や保守の際でも、定電圧、定周波を出力し続けられる極めて高い信頼性と機能を持つ装置が、一方、パーソナルコンピュータ用には、特に小型で取扱いが簡単で、安価な装置が要求される。

ところで、コンピュータのような電子機器の電源の電流には多くの高調波成分が含まれている。接続されるUPSの出力側から見れば、特性の悪い負荷である。このような負荷に対しても、電源の様々な障害を除去して、出力電圧波形は常にひずみの少ない一定振幅、一定周波数の正弦波に保たなければならない。しかも、電源に対しては、UPS自体から発生する高調波や無効電力はできる限り減ら

して、電源への悪影響を軽減しなければならない。その上、これらの装置が身近に使われるようになって、装置から発生する耳障りな騒音を減らさなければならないし、場所をとらず、かつ場所を選ばないように小型・軽量でなければならないというように要求は厳しい。

これらの条件を満たす理想的なUPSとは、存在が意識されない装置であるということになるのは、誠に皮肉なことである。

これからの我が国の産業にとって、若者の理工系離れが深刻な問題になるであろうと懸念されている。身の回りには高度なエレクトロニクス機器があふれており、これ以上の新しい技術や製品に対する必要性が感じられなくなっているからであるとか、技術が高度化するにつれて、装置がブラックボックス化して、もはや自分たちには手が届かなくなっているという感じを与えているからであるとか、その原因についてはいろいろ言われているとおりである。

科学・技術に興味を持ってもらうために、高度な技術を支える広い技術の裾野の重要性と魅力を理解してもらう努力が必要であろう。

この特集では、様々な要求を満たすためにスイッチングデバイス、回路、制御、さらにシステム構成から計装技術まで、いかに高度の技術が駆使されているか、UPSに関する現在知り得る最先端の技術が網羅されている。理工系に関心を持つ学生諸君にもぜひ読んでもらい、この技術の重要性を認識してもらいたいと思う次第である。

UPSの現状と展望

遠水と夫*
鹿野義郎*
桑原秀夫*

1. ま え が き

我が国の社会構造又は産業構造は、豊かな社会形成を目指した高度情報化社会への発展を加速している。金融オンラインシステム、通信・報道システム、交通・航空管制システム、発電・工業・水処理などの各種プラント制御システム、医療システムなどからオフィスオートメーションまで、すべてコンピュータを駆使した情報処理を基盤としている。これらのシステムは、それぞれの内部にとどまらず、同種の他システム又は異なるシステムとネットワークを介して有機的に結合され、高度情報ネットワーク社会へと進展しつつある。

さらに1994年5月、21世紀の本格的マルチメディア時代の到来の前提となる情報通信基盤整備答申最終案が、電気通信審議会（郵政大臣の諮問機関）から公表された。この答申案は、大量の情報を双方向でやりとりできる光ファイバ網を全国の家、事業所に張り巡らし、本格的なマルチメディア時代を実現し、国民生活と経済の改革を目指すことを提言している。金融オンラインシステムなど前述のほとんどのシステムが既にそうであるように、いよいよ各家庭までも含めて本格的な“情報は24時間、365日眠らない”時代の到来である。

この超高度情報化への動きは“物質・エネルギーの時代から、情報・知識の時代への転換”を加速するが、一方、情報通信システムが稼働するためにはエネルギー源としての電力が必要である。電力供給も24時間、365日安定であることが要求される。日本の電力系統は、供給信頼度が極めて高く安定であり、更なる安定供給化への努力も払われているが、落雷、台風、豪雪等の自然災害に起因する停電や瞬時電圧低下（瞬低）は避けることができないのが実状である。また、サージ等が電源に重畳されて電源障害を招くこともある。この電力系統の実状を補完し、停電や瞬低、サージ等のない安定した電力を情報通信システム等の重要負荷へ供給し続ける役割を担うのが無停電電源装置（Uninterruptible Power Supply：UPS、又はCVCFとも呼ばれる。）である。

当社は、1964年に静止形UPS1号機を製作・納入して以来、電力半導体からその応用であるUPS装置、さらにはUPSシステムの構築まで、常にUPSの技術革新に取り組んできた。この取組は、“高信頼度電源システムを経済的に提供し続ける”ことが当社の使命であるとの認識に基づいたものであり、その成果は並列冗長UPSシステム（1969年国内最初のシステムを納入）、完全個別並列制御方式、商用同期

無瞬断切換システムやフィード遮断切換システムの実用化などに代表される。

この特集は、当社のUPSについて、システム技術、機器技術、要素技術を中心に編集しており、本稿ではUPSのニーズとそれにこたえる当社のUPS製品シリーズを紹介し、さらに技術動向について概観する。

2. UPSの社会的ニーズ

2.1 情報通信システムと電源セキュリティ

24時間、365日連続稼働することが使命とされている情報通信システムの信頼性は、エネルギー源としての電源のセキュリティに大きく依存している。実際、電源の障害によって情報通信システムが意外な弱さを露呈した例が報告されている。日本の電源の品質は諸外国に比べても高いが、コンピュータ、通信機器などにはより品質の高い電源が要求されており、UPS等による電源セキュリティ対策が必要である。電源障害には次のような種類がある。

(1) 停電

文字どおり電気の供給が停止されてしまう現象であるが、現在では発生頻度は全国平均で約0.3回/年と低い。しかし、いったん停電が発生すると被害が大きいため、負荷機器の用途に応じた対策が必要である。

(2) 瞬低

ごく短い時間（70ms～2s間）発生する停電、又は電圧低下である。一般の照明などではほとんど影響を受けないが、コンピュータには致命的な問題が発生する。発生頻度は、全国平均で3～4回/年であるが、その主な原因は落雷であり、電力会社側での対策には限界がある⁽¹⁾。

(3) 電圧変動

需要家の受電点での電圧変動は、規定値に抑えられているが、需要家ビル内での配線が長かったり、変動の大きな負荷が同一回路に接続されていると、負荷接続点での電圧が大きく変動し、負荷機器の電源仕様を満足しないこともある。

(4) サージ

落雷や遮断器の開閉により、数百Vのサージ電圧が発生して電源に重畳されることがあり、負荷機器の故障・誤動作の原因になる。需要家の中での電源系統の分離が不十分のため、動力用電源から他の負荷にサージを与えることもある。

(5) 高調波

電力系統に流出する、電源周波数よりも高い周波数の電流

又は電圧である。(1)から(4)とは逆に、コンピュータ等の負荷機器が発生源となり、電力系統に接続された力率改善コンデンサ等に障害を与える。コンピュータ機器の増加に伴って高調波の発生量、障害の例も増えており、高調波を出さない対策が求められている⁽²⁾。

UPS は、これらの電源障害から重要な負荷機器を保護し、又は負荷機器の発生する高調波を電源に出さない対策を行う手段として、最も効果的である。

2.2 社会的ニーズにこたえる三菱UPS

UPS による保護が必要な機器は、コンピュータ、情報通信機器を中心として多岐にわたっており、それぞれに適合する UPS にも様々なバリエーションが必要である。当社は、UPS の総合メーカーとして、大規模電算センター用の大規模 UPS システムから、汎用コンピュータ用・計装用等の中容量 UPS、ワークステーション・パソコン用の小容量 UPS、さらに各種用途に応じた特殊仕様品まで、あらゆる要求にこたえられるラインアップ“MELUPS”シリーズをそろえている(図1)。

(1) 大容量 UPS (50～1,400kVA)

“MELUPS 9200”は、単機容量で 50 kVA から 1,400 kVA (業界最大容量) までをカバーする三相入出力の大容量シリーズである。インバータ回路及びコンバータ回路双方に IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor: 絶縁ゲート形バイポーラトランジスタ) を採用し、優れた出力特性と低入力容量・低入力高調波特性を実現している。大規模電算センター用等の並列冗長システム構成も可能なシリーズであり、UPS システム合計容量として 10,000 kVA 以上まで対応できる。

(2) 中容量 UPS (5～200kVA)

三相入出力の単機システム専用シリーズとして、“MELUPS 8700 M” (7.5～20 kVA)、“MELUPS 8700 T” (30～50 kVA) 及び“MELUPS 8700 H” (75～200 kVA) をライ

ンアップしている。単相出力 UPS としては、“MELUPS 8400 V” (7.5～15 kVA・単相入力)、“MELUPS 8400 T” (10～30 kVA・三相入力) 及び“MELUPS 8400 H” (40～100 kVA・三相入力) があり、特に“MELUPS 8400 V”は、インバータ回路及びコンバータ回路双方に IPM (Intelligent Power Module) を適用し、コンパクト・軽量・低騒音を達成したシリーズである。さらに、発電所や変電所又は水処理設備等の計装システム用として、IGBT インバータを適用した“NC-U”シリーズ (5～75 kVA、三相入力・単相出力) もラインアップしている。NC-U は、DC100 V のステーションバッテリーにも対応でき、計装用として高クレストファクタ負荷に対しても安定した給電性能を持っている。

(3) 小容量 UPS (0.5～5 kVA)

ワークステーション/パソコン/POS 等の端末用の小容量 UPS として、“MELUPS 840 X/8400 N” (1～5 kVA) 及び“MELUPS 500/500 L” (0.5 kVA) をラインアップしている。これらはオフィス等に設置されることを想定した、コンパクト・軽量、低騒音の UPS である。特に MELUPS 8400 N は、ワークステーションやパソコン LAN の自動運転・自動シャットダウン機能を内蔵したインテリジェントな UPS である。

3. UPSの将来展望と技術動向

これまでの UPS の変遷を技術的観点からまとめ、図2に示す。今後の UPS に対するニーズを展望してみると、次のような方向性が読みとれる。

(1) 信頼性

UPS の存在理由と負荷機器の重要性を考えれば、常に高い信頼性を追求することが、将来も変わらぬ UPS の第一の使命である。製品及びシステム自体の高信頼度化と、予防保全、保守サービスも含めた総合的な信頼性向上が必要である。

UPSの規模	出力相数	MELUPSシリーズ名及び定格容量 (kVA)	コンピュータ
大容量 (並列運転も可)	三相	9200 (50～1,400) 9100 (50～600)	超大型・大型
中容量	三相	8700H (75～200) 8700T (30～50)	汎用 コンピュータ
		8700M (7.5～20)	
	単相	8400H (40～100) 8400T (10～30)	中型・小型
		8400V (7.5～15) NC-U (5～75)	
小容量	単相	840X (1～5) 8400N (1～3) 500 (0.5) 500L (0.5)	オフコン・ミニコン 計装用コントローラ ワークステーション パソコン・端末

図1. 三菱UPSラインアップ

年代	1960		1970		1980		1990	
コンピュータ	第2世代 (トランジスタ)		第3世代 (IC)	第3.5世代 (LSI)	第4世代 (VLSI)		第5世代 (ULSI)	マルチ メディア
UPS技術の 変遷								
主回路技術	サイリスタインバータ				----- トランジスタインバータ		----- IGBTインバータ、コンバータ	
							IPM	
制御回路技術	トランジスタ		ディスクリートIC		LSI	マイクロプロセッサ・DSP		
三菱UPSの 技術動向	'64 静止形UPS 生産開始	'71 標準シリーズ 化完成	'74 400Hz 並列システム	'82 MELUPS シリーズ	'85 MELUPS シリーズ	'87 高力率コンバータ	'91 MELUPS シリーズ	'94 ワークステーション 自動シャットダウン 機能

図2. UPSの変遷

(2) 環境適合性

UPSがコンピュータに近い場所、すなわち電算センター、オフィス等のビル内に設置されることを考えれば、物理的な環境適合性(コンパクト・軽量化、低騒音化)と電気的な環境適合性(発生損失、発生高調波等の低減)とを更に追求していく必要がある。

(3) コンピュータシステムとの親和性

コンピュータに供給する電源の品質をより高めることと、コンピュータの自動運転に対応したUPSのインテリジェント化とがますます求められていく。

上述のような将来展望を実現していくための技術動向を紹介する。

3.1 信 頼 性

UPSシステムの信頼性向上は、静止形UPS開発当初からの課題であった。当社では複数台のUPS装置を並列接続して運転する並列冗長運転方式を、信頼性向上の決め手として採用した⁽³⁾。これは、並列運転中のいずれか1台のUPSが故障などで停止しても、残りの健全なUPSで負荷に必要な全電源容量を供給する方式である。そして、より高いシステム信頼性を得るために、並列運転UPS同士の独立性を高めた完全個別並列制御方式を開発した⁽⁴⁾。さらに、最近のPWM(Pulse Width Modulation)高性能瞬時電圧波形制御に対応し、制御回路に電流マイナーループを設けた並列制御をいち早く適用して大容量システムの信頼性を一層向上させている⁽⁵⁾。

UPS出力系での信頼性向上策として、並列冗長運転方式に加え、インバータ出力とバイパス電源(商用電源)とを静止形高速スイッチで切り換える無瞬断切換方式が採用されている。これは、インバータの耐量以上の過電流時や万一の故

障時等に、負荷給電をバイパス回路に無瞬断で切り換え、給電信頼性を向上させる方式である。UPS出力側の各分岐フィードごとに“過電流遮断+バイパス無瞬断切換方式”を採用し、フィードごとの保護性能を高めたフィード切換方式も採用される。また、無瞬断切換は、並列システムに限らず単機システムでも標準的に採用されている。今後も、大規模電算センター等の極めて高い信頼性が要求される用途では、並列冗長運転+無瞬断切換方式が、一般的な用途の単機システムでも無瞬断切換方式が標準的に採用されていく。

UPSシステムの信頼性を補完するものとして、モニタリングの充実によるMTTR(Mean Time To Repair:平均故障復旧時間)の短縮も必要である。当社では、UPS盤面のLCDディスプレイ表示による盤面モニタリングから、UPSシステムごとに設置するシステムモニタ、さらに公衆回線を通じて当社“24時間センター”と接続する遠隔オンラインモニタまで、幅広い対応を用意している。今後は、ますますモニタリングの重要性が高まり、自己診断機能の充実や、遠隔メンテナンスが求められるであろう。

3.2 環境適合性

UPSが設置される都市部のビル・オフィスでは、設置面積の縮小が強く求められており、エレベータでの搬入条件も含め、コンパクト・軽量化が大きなポイントである。また、特に中容量以下の機種では、オペレータなど人間が働いている空間にUPSが設置されるため、運転音が気にならないような低騒音化が必要である。当社では高速電力半導体を採用した高周波スイッチング方式をいち早く採用し、コンパクト・軽量化、低騒音化をリードしてきた⁽⁶⁾。今後も、より大容量の電力半導体や新しい回路方式を開発し、コンパクト・軽量化を一層進めていく必要がある。

一方、2.1節に示したように、コンピュータなどから電力系統に流出する高調波が問題となっており、対策が求められている。当社では、UPSの入力電流を正弦波に制御し、高調波を出さない高効率コンバータを業界に先駆けて採用した⁽⁷⁾。現在では、1,400 kVAの大容量機まで高効率コンバータのラインアップをそろえ、低高調波化を達成している。今後、UPSによる高調波対策は適用範囲が広がるものと考えられる。

3.3 コンピュータ等負荷との親和性

UPSの役割として、コンピュータに最適な安定した無瞬断の電源を供給することは当然であるが、電気的負荷としてみた場合コンピュータは“非線形負荷”であり、クレストファクタの高い電流を供給する必要がある。クレストファクタとは、電流ピーク値の実効値に対する割合であり、単相電源のコンピュータでは、この値が2.5から3にもなるピーク値の高い電流が流れる。当社の単相出力UPSは、クレストファクタ2.5から3まで対応できる設計のインバータとしている。三相出力UPSも、瞬時電圧波形制御により、非線形負荷に対してもひずみの小さな電圧を供給することができる。

一方、コンピュータの用途の広がりとともに、UPSとコンピュータとの信号インタフェースの必要性が増してきている。当初は、UPSから“停電”“蓄電池電圧低下”等の接点信号を出力し、これをコンピュータのコントローラに入力してコンピュータの自動運転制御を行っていた。その後、コンピュータの側でUPS用の標準インタフェースが用意され、UPSからその条件に合った信号を出力するようになった。

また、UNIX^(註1)ワークステーションではコンピュータ側には自動運転機能が用意されていないために、当社ではUPSとワークステーションをつなぐインタフェースと、ワークステーションを自動運転・自動シャットダウンするプログラムまでを供給している。今後コンピュータの用途が更に広がるにつれて、UPSによるコンピュータの自動運転機能や、コンピュータからUPSを介して電源状態を監視するモニタ機能の充実等のインテリジェント化が、ますます求められるものと考えられる。特に、数十台、数百台のワークステーションをネットワークで接続して重要な業務を実行するような用途では、UPS自体にネットワークに直接接続できるインタフェースを持たせ、ネットワーク管理ステーションから集中管理するようなシステムが必要となってくるであろう。

3.4 UPS用電力半導体とその応用技術

当社は、常に新しい電力半導体とその応用技術を開発し、UPSに適用してきた。現在UPS用として開発、応用している電力半導体は“MOS (Metal-Oxide on Semiconductor) ゲートデバイス”であり、その“インテリジェント化”が課題である。MOS ゲートデバイスの代表であるIGBTは

高速スイッチングが可能で、高耐圧・大容量化が比較的容易に実現できるので、今後もUPSのコンパクト・高効率化、低騒音化に大いに貢献するものと考えられる。

インテリジェント化の代表であるIPMは、IGBTチップの性能を最大限に発揮できるように駆動回路と保護回路とをモジュールに内蔵した素子であり、現在中容量UPSに適用し、高信頼度化と低損失化を実現している。今後、IPMの一層の高機能化と大容量化により、大容量UPSへの適用と信頼性の向上が期待される。

一方、これらの電力半導体を制御する電子回路については、マイクロプロセッサやDSP (Digital Signal Processor) を応用したDDC (Direct Digital Control) 化を行っており、UPSの高機能化・高信頼度化を達成している。

4. む す び

以上、UPSの現状と展望について述べた。当社はUPSのリーディングメーカとして、市場のニーズや社会的ニーズにこたえる新しいUPSを開発し続けることはもちろん、UPSの計画からアフタサービスまでのすべてにわたり、顧客と一体となって、21世紀をにらんだ超高度情報化社会を支える、より高信頼度で環境に優しい電源システムの実現に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 瞬時電圧低下対策専門委員会：瞬時電圧低下対策，電気協同研究，46，No.3 (1990)
- (2) 高調波対策専門委員会：電力系統における高調波とその対策，電気協同研究，46，No.2 (1990)
- (3) 黒田義隆，増尾好昭，竹内三郎，鳥越良治：最近のオンライン計算機用無停電電源装置，三菱電機技報，45，No.11，1488～1491 (1971)
- (4) Kawabata, T., Doi, S., Morikawa, T., Nakamura, T., Shigenobu, M.: Large Capacity Parallel Redundant Transistor UPS, Int. Power Electron. Conf. (IPEC) Rec., 1, 660～671, IEE of Japan (1983)
- (5) 山本融真，河井譲二，川畑隆夫，佐志田伸夫，森 治義：電流マイナーループを設けた大容量IGBT並列運転UPS，平成3年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集，No.108 (1991)
- (6) 宇高正晴，川岸賢至，矢野昌雄，森 治義：BI-MOS素子による無騒音インバータ，三菱電機技報，58，No.12，831～835 (1984)
- (7) 鹿野義郎，古野 徹，本城健二，中村 透，森 治義，山本融真：新シリーズコンパクト低騒音CVCF《MEL UPS 8400》，三菱電機技報，62，No.6，471～474 (1988)

(注1) “UNIX”は、X/Open Company Ltd. がライセンスしている米国及び他の国における登録商標である。

大規模UPSシステム

榎井実好* 中村英雄***
 黒田義隆*
 竹内三郎**

1. ま え が き

高度情報化社会は既に現実の世界に突入しており、この基盤となっているコンピュータシステムを中心とした情報通信システムは、産業分野から家庭まであらゆる分野へ多岐にわたり浸透している。現在では、もしコンピュータシステムが停止すると、経済・社会活動は混乱し、その影響が極めて広範囲に及ぶことは周知のとおりである。

高度情報化社会において、コンピュータシステムに対する安全対策は、必要不可欠な条件である。大規模でかつ高度な情報通信システムを備えた“電算センター”では、高度な安全対策を構じ、金融機関や公共機関などを中心として数多く運用されている。

電算センターにおける安全対策の中で、コンピュータシステム用の無停電電源装置 (Uninterruptible Power Supply: UPS) は、最重要設備の一つとして位置付けられており、高度な電源供給信頼性と24時間・365日の電源供給が要求されている。

本稿では、電算センターにおける大規模UPSシステムについて、システム構成例を中心にシステム構築の在り方、システム構成機器の考え方、留意点などを紹介する。

2. UPSシステムに要求される事項と基本条件

電算センターにおけるUPSシステムの最大の使命は、安定した電力を連続的に供給することにある。この観点を中心とした、電算センターにおけるUPSシステムへの要求事項と基本条件の概念を図1に示す。

3. コンピュータシステムとUPSシステム

3.1 コンピュータシステムとUPSシステムの構成

UPSがコンピュータシステム用の電源設備である以上、コンピュータシステムの運用を十分に把握した上でのシステム構築が必要である。表1にコンピュータシステムの構成とUPSシステムの構成の組合せの考え方と特徴を示す。

実際のシステム構築時では、コンピュータシステムが相互連系などにより、必ずしも明確な区分のできないケースも多い。また、UPSシステムとしても特に超大規模の場合には1システムとしての規模に制約を受けるケースもある。このような現実論により、必ずしも表1のように明確に区分できない例も発生するが、可能な限り方式Aを指向したシステム構築が大前提となる。

また、各電算室のフロアごとなどの、ある一定のエリア単位に電源設備を区分するケースもあるが、この場合にもコンピュータシステム側のシステム区分を十分に配慮したエリア区分であることが条件となる。

3.2 UPSシステムの規模

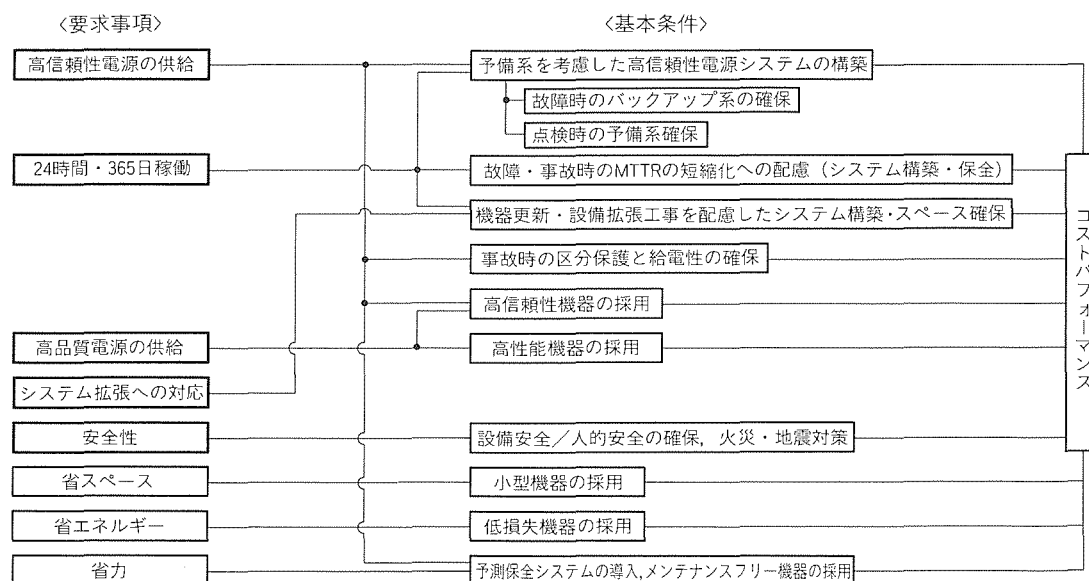


図1. UPSシステムの要求事項と基本条件

表 1. コンピュータシステムの構成と UPS システムの構成

	方式 A	方式 B	方式 C
構成例			
構成の考え方	コンピュータシステム区分ごとの UPS システムとした 1:1 対応の方式	各コンピュータシステム共通の UPS システム方式	一つのコンピュータシステムに複数の UPS システムから供給する方式
特徴	コンピュータシステムも原則的に各々独立した運用である場合、相互間の影響がないことから、全体の信頼性は高い。したがって、コンピュータシステムごとの独立性が重要である。	UPS システムの停止により、コンピュータシステム全体が停止する。したがって、電氣的協調・保守性の考え方を明確にする必要がある。	UPS システムの内の 1 システムの停止でコンピュータシステム全体が運用停止となる場合は好ましくない。UPS システムのうちの 1 システムの停止でもコンピュータシステムの半分の運用が可能な場合は、方式 A と同じレベルと考えられる。

コンピュータシステム側に供給する電圧は、一般的に 200 V 程度 (三相) の低圧電源が要求される。このため、UPS や UPS から電算室までの電源幹線などの電流容量的な制約から、UPS の 1 システムごとは一般的に 2,000 ~ 2,500 kVA 程度が限界と考えられている。

1 システムごとの電源容量を更に大規模にするために、UPS 出力電圧を 400 V などにし、5,000 kVA 程度とする例もある。この場合は、電算室側に変圧器を設置することにより、コンピュータシステムから要求される電圧に変換する必要があるため、電算室側での変圧器の設置スペース、荷重、発熱対策、点検及び故障対策などを十分に配慮する必要がある。

3.3 コンピュータシステム容量と

UPS システム容量

UPS システム容量は、当然のことながらコンピュータシステムが要求する電源容量を供給する必要があるが、電算センターの建設計画時点ではこのコンピュータシステムが要求する電源容量が明確でない場合が多い。したがって、UPS システム容量は、電算室の床面積と単位面積当たりの必要電力によって決定することが一般的となっている。

この単位面積当たりの必要電力は、従来 1 平方メートル当たり 0.4 ~ 0.7 kVA 程度が一般的であったが、近年のコンピュータ機器のハードウェア性能の向上により、1 平方メートル当たり 1.0 kVA 程度で UPS システム容量を計画するケースが増加している。

電算センター全体の UPS システム容量としては、中小規模システムで 200 kVA 程度から、超大規模システムでは合計で 10,000 kVA を超えるケースまで、多岐にわたっている。

3.4 UPS システムの複数構成

以上のような各種の条件から、電算センターにおける UPS システムとしては、特に大規模の場合には 1 システムでは

なく複数のシステムで構成されるケースが多い。

UPS システムの複数構成では、UPS システムから電源幹線を含めたコンピュータシステムまでの総合的な電源システムとしての信頼性向上の観点から、システム相互間での連係を行うことが一般的である。

4. 大規模 UPS システムの構成例

電算センターにおける大規模 UPS システムの構成例を図 2 に示す。この UPS システムの規模と運用の基本的な考え方を次に示す。

4.1 UPS システム容量

コンピュータシステム側での必要な電力容量を将来の所要電力の増加も含め、最大 5,000 kVA 程度と想定したものである。

これに対して、UPS システムは、1 システムごとの最大負荷容量を 2,400 kVA (運用開始当初は 1,800 kVA) とし、これを 2 システムとして、合計 4,800 kVA (運用開始当初は 3,600 kVA) の最大電力容量としている。

4.2 電算室の運用と UPS システムからの供給形態

電算室は、運用開始当初は 2 階から 4 階までの運用であり、最終的には 5 階も電算室として運用するものである。

これに対し、UPS システムからは運用開始当初は 1,800 kVA × 2 システムで 2 階電算室から 4 階電算室まで供給し、最終時点では 2,400 kVA × 2 システムで 2 階電算室から 5 階電算室までの供給としている。

5. UPS システムの構成機器とシステム構築

5.1 フル IGBT 式 UPS

UPS 単体は、基本的には交流 → 直流 → 交流の電力変換装置であり、UPS の技術的変遷は電力変換のための電力用半

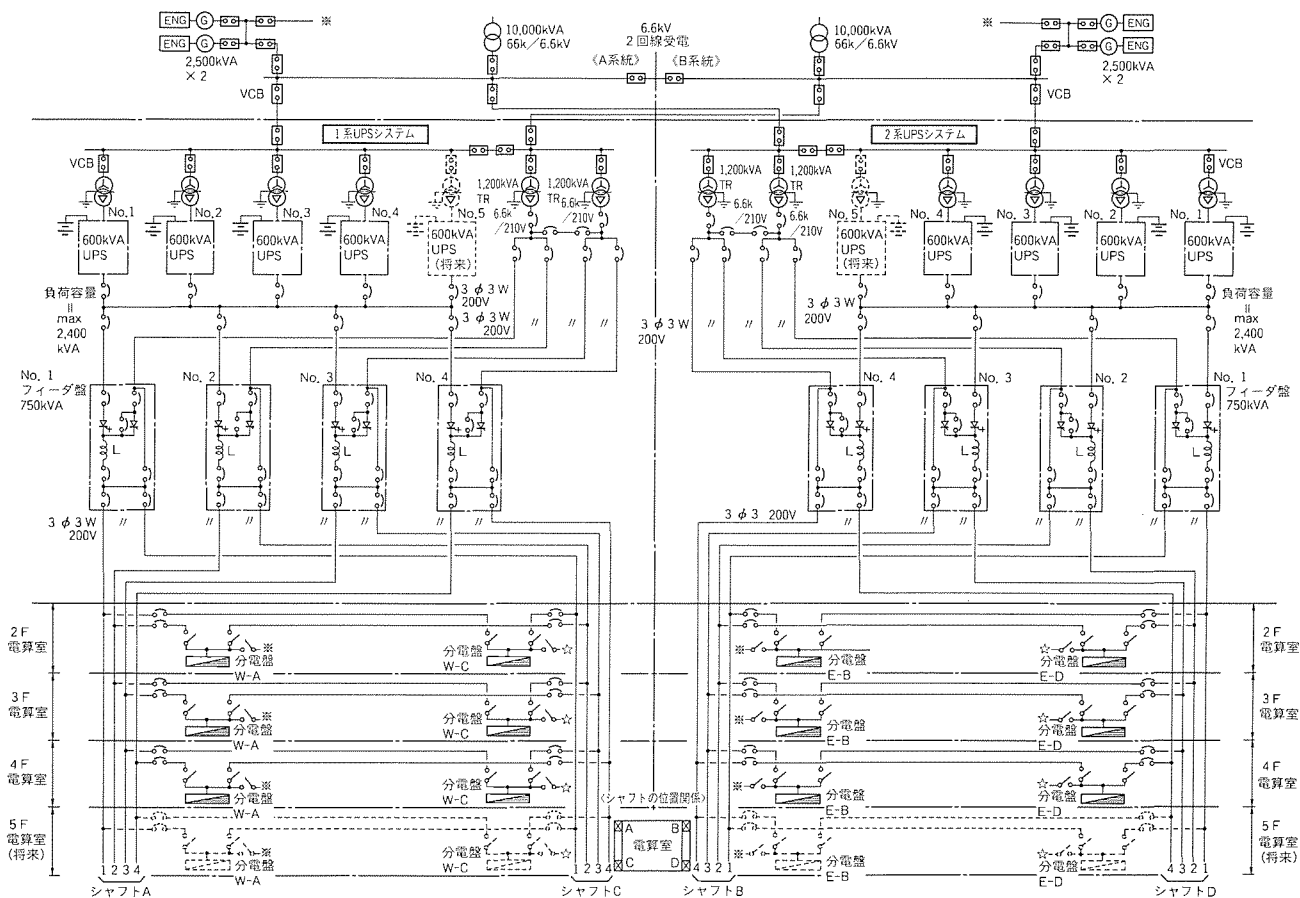


図 2. 大規模UPSシステムの構成例

導体素子とその制御技術の変遷につきると言っても過言ではない。

近年では、この電力用半導体素子に IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を使用し、瞬時波形制御などの高速制御を行うことにより、従来のバイポーラトランジスタやサイリスタ素子を使用した UPS と比較し、大幅な高性能化などが図られている。

特に最近では、直流→交流変換 (逆変換: インバータ) 部だけでなく、交流→直流変換 (順変換: コンバータ) 部にも IGBT + 瞬時波形制御方式を採用した、いわゆる“フル IGBT 式”の UPS が主流となっており、コンピュータシステム側に大きく関連する UPS 出力性能の向上だけでなく、交流→直流電力変換器の大きな課題であった交流入力側の高調波電流の発生や力率低下が排除されている。

また、前述のような超大規模 UPS システムに対応すべく、UPS 単体容量としても 1,000 kVA を超え、当社では 1,400 kVA の装置も製品化されている。

この最新の UPS は、商品名“MELUPS 9200”として実用化されており、平成 2 年に IGBT 式 UPS を単体容量として 600 kVA までシリーズ化し、IGBT 式 UPS の標準仕様を確立した MELUPS 9100 の画期的高性能を更に発展させた機種として、市場においても非常に高い評価を得ている。MELUPS 9200 の詳細については、この特集の別稿に取り

上げられているので、参照願いたい。

5.2 UPSシステムの並列冗長運転方式

電算センターにおける UPS システムは、システム信頼性の向上の点から、並列冗長運転方式が一般的に採用されている。

並列冗長運転方式とは、複数台の UPS を常時並列運転させ、並列運転中のいずれか 1 台の UPS が故障などで停止しても、残りの健全な UPS でコンピュータシステムに必要な全電源容量を供給することができるものである。なお、更に信頼性を向上させる観点から、2 台の UPS の故障などによる停止時もコンピュータシステムに必要な全電源容量を供給する方式とする場合もある。

並列冗長運転方式におけるシステム信頼性は、システム内の 1 台故障中つまり冗長ではなくなっている間の運転台数にほぼ反比例するため、1 システム内の並列運転台数が多くなるほど低下する。したがって、1 システムにおける並列運転台数は、システム信頼性の点からも一定台数以下に制約すべきであり、一般にシステムの運用開始当初で最大 4 台、最終形態で最大 6 台以下とすることが望ましい。なお、2 台の UPS の故障などによる停止時もコンピュータシステムに必要な全電源容量を供給する方式では、更に並列運転台数を増加させてもシステム信頼性の維持は可能である。

並列冗長運転方式は、コンピュータシステムの増強によっ

て必要電源容量が増加した場合でも UPS システム内の並列運転台数の増加で対応できるため、拡張性の高い方式である。

なお、図 2 のシステム構成例の場合、運転開始当初は 600 kVA UPS 4 台並列冗長運転で 1 システム当たりの最大供給可能負荷容量は 1,800 kVA、最終形態では 5 台並列冗長運転で 1 システム当たりの最大供給可能負荷容量は 2,400 kVA の構成となる。

5.3 UPS システム出力系の構成

UPS 出力系の構成は、前述の並列冗長運転方式に加え、バイパス電源（一般に商用電源）との無瞬断切換えを行う方式が一般的である。

バイパス電源との無瞬断切換え方式は、並列冗長運転方式を更にバックアップする目的のほか、コンピュータシステム側での事故などの UPS の耐量以上の過電流時における連続給電性の向上、システム点検時のバイパス給電などの目的で広く採用されている。

具体的な無瞬断切換え方式としては、UPS 出力一括で行う方式が一般的であるが、表 2 に示すように、通常は無瞬断切換方式と同様の方式を UPS 出力の分岐フィードごとに方式（表 2 の B）や、さらに UPS 出力の分岐フィードごとを“過電流遮断+バイパス無瞬断切換え”とすることにより、分岐フィードごとの区分保護性能を高めた方式（表 2 の A）がある。大規模システムでは、この分岐フィードごとに過電流遮断+バイパス無瞬断切換えとした方式が多く採用されつつある。

また、UPS システム出力からコンピュータシステムまでの電源幹線も、各種の二重化、UPS システムごとの連系、

電源幹線の布設ルートの物理的な分離などが行われている。

図 2 の UPS システム構成例における出力系の考え方は、次のとおりである。

- (1) UPS システムの各分岐フィードに過電流遮断+バイパス無瞬断切換方式を採用し、各分岐フィードの区分保護性能を高めている。
- (2) UPS システムからコンピュータシステムまでの電源幹線を二重化（本線/予備線）し、各々の布設ルートも分離（個別電源シャフト）することにより、電源幹線の事故時における連続給電性能を高めている。
- (3) 二つの UPS システム間を電算室側で連絡することにより、片方の UPS システム停止時のコンピュータシステムへの相互電力供給を可能としている。
- (4) UPS 出力系の電圧を 200 V とすることにより、電算室側での大容量の変圧器の設置に伴う各種の配慮を不要とした。

5.4 UPS システム交流入力系の構成

図 3 に UPS システムの交流入力系の構成の幾つかの例を示す。

機器の故障、電源幹線の事故などの対策はもちろんのこと、電気設備の法定点検時（一般に年間に 1 回）の連続電源供給（24 時間・365 日対応）を十分に考慮した方式であることが必要となる。

図 2 の UPS システム構成例における交流入力系は、図 3 の構成例 2 の方式であり、一般的にはこの方式が最も多く採用される。

なお、本稿ではコンピュータシステムと直結した部分の UPS システムとしての領域を述べているが、広義の UPS

表 2. UPS 出力系におけるフィードごとの無瞬断切換方式の比較

	A：フィードごとの過電流遮断+バイパス無瞬断切換方式	B：過電流時・一括無瞬断切換方式
システム構成例		
フィード保護の対応	<ul style="list-style-type: none"> ●フィードの過電流事故時（短絡等）には、該当フィードをUPS側遮断スイッチ（*印）によって高速遮断すると同時に、バイパス側への無瞬断切換えを行う。 ●したがって、事故フィード以外はUPS給電が継続できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ●フィードでの過電流事故時（短絡等）には、全フィード一括でバイパス側への無瞬断切換えを行う（UPS側遮断スイッチがないため、UPS全体の過電流検出となる。） ●したがって、特定のフィードの事故時にも全フィードがバイパス給電となる。
UPS出力系の点検	●フィード単位で、保守バイパス給電による実施が可能（該当フィードのみバイパス側で給電。他のフィードはUPSでの給電が可能）。	●同 左
設置面積	●一括無瞬断切換方式に比較して、多少増	●フィード遮断・無瞬断切換方式に比べて、多少減
総合評価	特に、フィード事故時の連続給電性・システム信頼性の向上を目的として、最近はこの方式の採用例が増加しつつあり、今後の主流の方式	フィードの過電流時は、全フィードをバイパス側へ無瞬断切換えにする方式。設置スペース・経済性の点が解決できる場合は、システム信頼性の向上の点から過電流遮断+バイパス無瞬断切換方式を採用するケースが増加している。

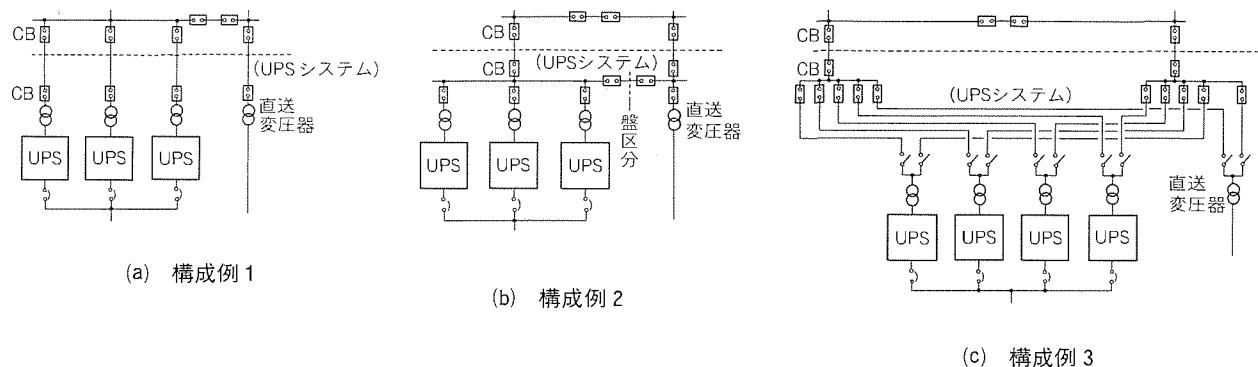


図 3. UPS交流入力系の構成例

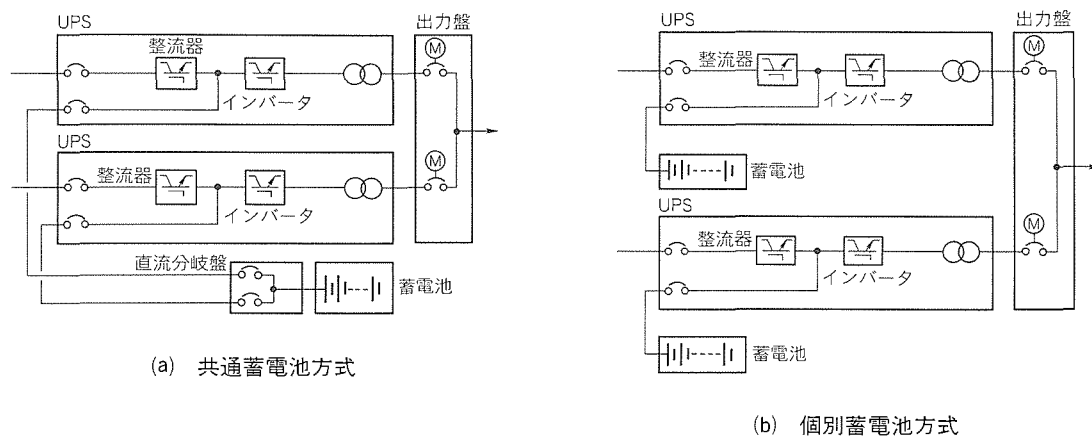


図 4. UPS直流回路の構成例

システムでは、電算センターの受配電設備及び非常用自家発電設備との連動も含めたシステム構築も必要である。

5.5 UPSシステムの直流回路方式

UPSシステムの直流回路方式の構成例を図4に示す。UPSシステムの直流回路方式としては、UPSの1システムに対して1群の蓄電池設備を設ける“共通蓄電池方式”（1群としては複数組の蓄電池とする場合も多い。）と、1システムのUPSごとに1台の蓄電池を設ける“個別蓄電池方式”に大別される。

UPSシステム内の共通回路を極力避けることによるシステム信頼性の向上の観点から、個別蓄電池方式が採用されるケースが増加しつつあるが、蓄電池群が分散することによる設置スペースや経済性などの面での難点があるため、費用対効果を十分に検討の上決定する必要がある。

図2のUPSシステム構成例では、個別蓄電池方式を採用している。

5.6 UPSシステムにおける蓄電池

電算センターにおける蓄電池の停電補償時間としては、電算センター内に設置される非常用自家発電設備（自家発）の商用電源の停電から給電までの時間遅れに対応するものとして、一般的には5分間から10分間程度が多く採用される。

自家発の始動・電圧確立時間は通常では1分間以下であるが、実際に自家発からUPSに給電されるまでの時間は、自家発の始動遅滞、自家発の複数台設置における並列同期投入

時間、配電系での順次投入時間などに対する考慮も必要である。

以上のような電算センター内でのUPS上位系の構成に起因する問題のほかに、商用電源の停電が短時間の間に複数回発生するケースも想定して10分間以上の停電補償時間とする場合もあるが、前述のように、一般的には5～10分間程度の停電補償時間が多く採用されている。

大規模UPSシステムにおける主な蓄電池の種類を表3に示すが、大規模UPSシステム用としては主に保守性、経済性及び設置スペースの点から、MSE形鉛蓄電池の採用が一般的になりつつある。

6. UPSシステムの維持管理

6.1 予防保全と点検

UPSシステムの高信頼性を維持するためには、予防保全が重要な要素となる。一般的には日常点検のほかに、ユーザとの間で年間保守契約を締結し、年間に2～3回の点検及び定期的な部品交換などを実施している。

ただ、24時間・365日の電源供給が要求されている状況下でのシステムの点検は、点検時のシステム停止範囲やシステム停止時間が制約されるために容易なことではない。このために、点検時におけるシステム停止範囲、そのバックアップ方式、停止可能時間などを十分に配慮したシステムが構築されている。

表3. 主な蓄電池の比較

	MSE形 鉛蓄電池	HS形 鉛蓄電池 (シール形)	AHH形 アルカリ蓄電池 (シール形)
期待寿命 (年)	7～9	5～7	12～15
初期投資額 (%)	100	70～90	200～300
設置スペース (%)	100	100～200	90～130
単電池の容量範囲	150～3,000Ah (10時間率)	30～2,500Ah (10時間率)	100～1,000Ah (1時間率)
保守性	メンテナンスフリー (右記がすべて不要)	●液面チェック, 補水 ●比重測定 ●均等充電 ●触媒栓の取替え	●液替え 4～5年 1回 ●活性化充電 4～5年 1回 ●液面チェック ●比重測定 ●均等充電 ●触媒栓の取替え
密閉化とガス発生	完全密閉 (陰極吸収式) ●ガス発生はほとんどなし	触媒栓 ●多少のガス発生あり ●寿命取替え必要	触媒栓 ●多少のガス発生あり ●寿命取替え必要
自己放電率 (20℃)	0.1%/日以下	0.5～1%/日	1%/日
公称電圧	2.0V/セル	2.0V/セル	1.2V/セル
充電電圧	浮動: 2.23V/セル 均等: 不要	浮動: 2.18V/セル 均等: 2.30V/セル	浮動: 1.36V/セル 均等: 1.47V/セル

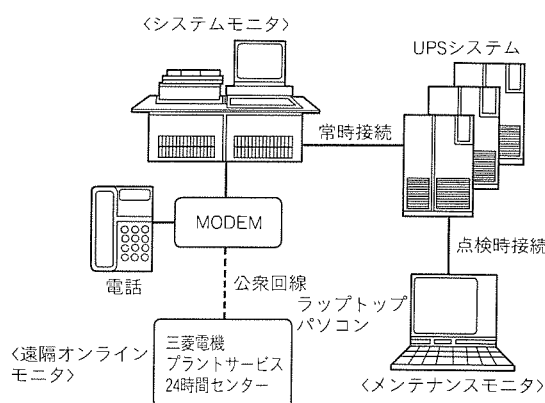


図5. UPSモニタリングシステムの構成例

6.2 監視・制御方式

UPSとしての総合信頼性の向上のためには、システムの動作信頼性をもとより、その保守性や監視・制御方式の整備も重要な要素である。

図5に、最近の採用例の多い、UPSシステムに特化した高度監視システムである“UPSモニタリングシステム”の構成例を示す。UPSモニタリングシステムは、各UPSの操作ガイダンスなどの各種のマニマシインタフェース機能、各種の保守情報の記憶機能などを持っている。保守情報は、UPSのディスプレイ上での表示のほか、メンテナンスモニタによる点検時のデータ収集と解析や、システムモニタによる高度なデータ処理による常時監視が可能となっている。

特に最近では“遠隔オンラインモニタ”として、ユーザと24時間対応のメーカのサービス拠点との間を公衆回線で結び、故障発生時の迅速な対応を可能とするとともに、遠隔で

の定期的な運転データの確認による予防保全も可能となっている。

また、UPSシステムを含む電源システム全体のための中央監視設備や、電算室側でのUPSシステム用の監視・制御盤なども同時に設置される。

6.3 UPSシステムの更新

UPSはその用途から、他の電気機器以上の信頼性が求められることは明白であり、この観点から一般的に15年が寿命更新時期とされている。

実際の更新時期としては、設備容量の不足による増量更新の例も多いが、電算センターにおける24時間・365日の電源供給の観点から、更新を考慮したシステム構築は当然のこと、更新スペースの確保なども重要な要素である。

なお、UPSの保全とリニューアルの具体的な考え方に關して、この特集の別稿に取り上げられているので、参照願いたい。

7. む す び

大規模UPSシステムに対して要求される機能、信頼性などの条件は、構成機器単体技術の向上だけで達成し得るものではなく、コンピュータシステムなども含めたシステム全体が有機的に結合されていることが必ず(須)である。この意味において、本稿では当社の大規模UPSシステムの豊富な実績に基づき、電算センターにおけるUPSのシステム構築の在り方を中心として紹介したが、今後のコンピュータシステムの変遷及びUPS技術の進歩を踏まえ、更なる集大成を図る所存である。

中小規模 UPS システム

守川哲郎*
小笠原康司*
中出哲也**

1. ま え が き

無停電電源装置 (Uninterruptible Power Supply : UPS) は、高度情報化社会を支えるキーコンポーネントとして多くの分野で普及してきたが、近年のコンピュータのダウンサイジングや LAN (Local Area Network) , WAN (Wide Area Network) などのネットワーク化による分散処理の進展に伴い、中小規模 UPS システムの利用が急速に進んできた。また、コンピュータを中心とした情報通信設備以外の動力用、医療用などにも広く採用されている。

当社の中小規模 UPS システムは、扱いやすさを重点とした汎用的な装置として設計・製造されているが、適用に当たっては UPS としての信頼性・保守性を十分に考慮する必要がある。

本稿では、中小規模 UPS システムのうち、汎用品としてラインアップしている UPS の主要な特長と仕様及び機種の概要並びに各種の適用例を紹介する。

2. 汎用UPSの概要

2.1 特長と仕様

普及を目指した汎用機ではあるが、主回路の電力半導体に

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) , BiMOS (Bipolar Metal-Oxide Semiconductor) , IPM (Intelligent Power Module) などの最新の電圧駆動形の高周波スイッチング素子を使用することにより、大容量 UPS とほぼ同等の良好な出力特性を得ている。

当社の汎用中小容量 UPS のシリーズとその主要仕様を表 1 に、主要な構成を図 1 に示す。

2.1.1 優れた出力特性

高周波スイッチング素子と瞬時波形制御方式の採用により、クレストファクタの大きな高調波を多く含む負荷電流の場合でも、出力電圧波形は、ほぼ正弦波を維持する。

また、負荷電流が 0 ⇄ 100 % の間で急変しても、出力電圧は、± 5 ~ 7 % とわずかな変動となっている。

2.1.2 三相出力機種は不平衡に強い

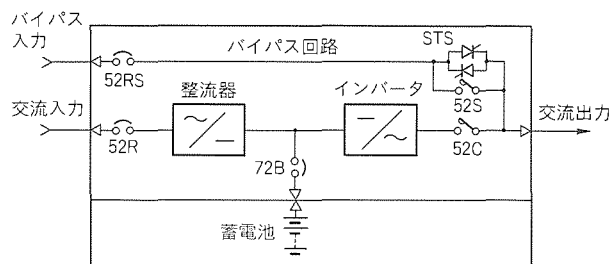
三相出力の UPS は、三相個別に瞬時波形制御を行っており、100 % の負荷不平衡でも、出力電圧は ± 1 ~ 2 % 以内とわずかな変動となっている。これにより、各相の負荷電流が過負荷にならない範囲であれば、負荷不平衡による出力電圧のアンバランスについて配慮しなくても使用できる。

2.1.3 設置の容易さ

通常の居住空間となるオフィスビルフロアやコンピュー

表 1. 汎用UPSの主要仕様

項 目		仕 様						
シリーズ名		500	MELUPS840X	MELUPS8400N	MELUPS8400V	MELUPS8400T MELUPS8400H	MELUPS8700M MELUPS8700T MELUPS8700H	
定格出力 (kVA)		0.5	1, 3, 5	1, 2, 3	7, 5, 10, 15	10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100	10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200	
運転方式		常時商用 給電	商用同期常時インバータ給電					
交流 入 力	相 数	単相 2 線				三相 3 線		
	定格電圧 (V)	100				200, 210, 220, 400, 440		
	周波数 (Hz)	50／60						
交流 出 力	相 数	単相 2 線					三相 3 線	
	定格電圧 (V)	100					200	
	周波数 (Hz)	50又は60						
	定格力率	0.6 (遅れ)	0.7 (遅れ)		0.8 (遅れ)			
	波形ひずみ率	く形波	3 %以下 (定格線形負荷時) 5 ～ 7 %以下 (100%整流負荷時)					
	過渡電圧変動	—	5 ～ 7 %以下 (負荷急変 0 ↔100%で) 2 ～ 5 %以下 (停電・復電時)					
	電圧不平衡率	—					1 ～ 2 %以下 (負荷 不平衡100%で)	



52R : 交流入力ブレーカ 72B : バッテリブレーカ
52RS : バイパス入力ブレーカ STS : サイリスタスイッチ

図1. UPSの主要な構成例

タ室に設置できることを想定して、小型・低騒音化を実現している。例えば、据付け面積は、出力容量10kVAの単相機種“MELUPS8400V”で当社従来比50%と画期的な小型化を達成している。

また、蓄電池内蔵タイプでは、出力容量20kVAまでを停電補償時間10分間としている。この内蔵電池は、4,800Ah・セル未満となっており、火災予防条例の設置(変更)届の対象外となるため設置上の制約が少ない。

2.1.4 使いやすさを重視した設計

デジタル計測、操作ガイダンスなど、液晶ディスプレイを使った日本語による各種のモニタリング・ガイダンス機能を標準装備しており、容易に操作できる。

また、使用している蓄電池は、シール形鉛蓄電池を標準としており、蓄電池の日常メンテナンスは不要である。

2.2 汎用UPS各機種の概要

前節で述べた特長を備えた当社汎用UPSの概要について、以下に紹介する。

2.2.1 “MELUPS8400X” “MELUPS8400N” “MELUPS8400V”

入力・出力ともに単相で停電補償時間10分間の蓄電池を内蔵している。

交流入力側の整流器には、高効率コンバータを採用し、入力効率をほぼ1とするとともに、高調波もほとんど発生しない方式としており、入力電源環境にも配慮している。

また、MELUPS8400Nは、分散処理システム・コンピュータネットワークに対応するために、UNIX^(注1)ワークステーション、各種パソコンLAN用OSとのインタフェースが可能である。特にUNIXワークステーション対応は、自動シャットダウン機能・スケジュール運転機能・UNIXワークステーション側でのUPSモニタ機能を備えている。今後の市場ニーズに、正に合致した製品といえる。

2.2.2 “MELUPS8400T” “MELUPS8400H”

出力は単相、入力三相とし、出力容量10kVAから100kVAまでをラインアップしている。10~30kVAが機種名

(注1) “UNIX”は、X/Open Company Ltd. がライセンスしている米国及び他の国における登録商標である。

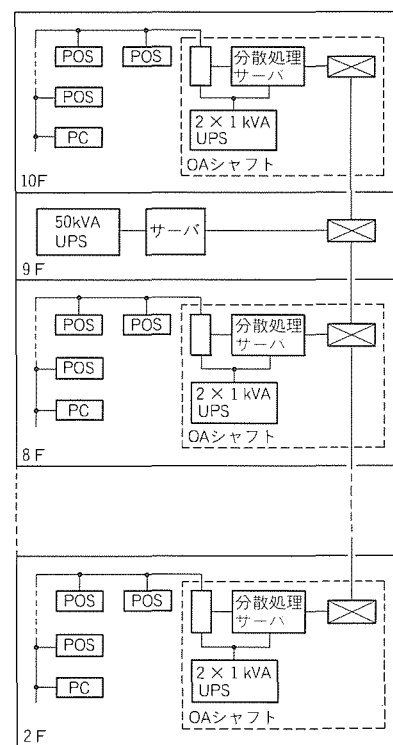


図2. UPSを適用したPOSシステムの例

MELUPS8400T、40~100kVAが機種名MELUPS8400Hとなっている。ほかに、汎用UPSではないが、計装システム用として“NC-U”5~75kVAもラインアップしている。

蓄電池は別盤設置で、停電補償時間5分間用と10分間用が標準として用意されている。もちろん、更に長時間の停電補償も可能である。

2.2.3 “MELUPS8700M” “MELUPS8700T” “MELUPS8700H”

入力・出力とも三相で、出力容量7.5kVAから200kVAまでをラインアップしている。出力容量7.5~20kVAのMELUPS8700Mは、停電補償時間10分間の蓄電池を内蔵している。出力容量30~50kVAのMELUPS8700T、出力容量75~200kVAのMELUPS8700Hは、蓄電池を別盤としている。

このシリーズは、コンピュータ用はもとより、電動機を持った各種動力負荷への適用にも最適である。

3. 分散処理システムへの適用例

3.1 大規模LANシステムへの適用例

小売業では、POS(Point of Sales)システムの導入による売れ筋商品の早期把握が、業態内競争の非常に重要な要因となっている。単品データの収集はもとより、クレジットカードの処理、発注・仕入れデータの入力など、店舗で発生するすべてのデータが取り扱われている。

ここでは、大規模小売店舗のPOSシステムを中核とした

大規模 LAN への適用例を紹介する。図 2 にシステム構成を示す。

システム全体は、中枢部分のサーバ・通信制御装置などは、50 kVA の UPS から電力の供給を受けている。また、各フロアの OA シャフト内に集配線盤ラックが置かれていて、この集配線盤ラック内の機器は、ラック内に組み込まれた 2×1 kVA UPS から電源供給を受けている。集配線盤ラック内に分散処理サーバ、コンセントレータが設置されていて、そのフロアの全 POS 端末パソコン等が接続されている。各フロアの分散処理サーバ間は、LAN を構成していて、上位にホストコンピュータが設置されている。

OA シャフト室に設置された UPS は、図 3 に示す常用予備の 2 台の UPS (1 kVA) で構成されている。常時の電力は、A 号機 (常用 UPS) から供給される。A 号機 (常用 UPS) に、何らかの異常が発生すると、その出力は、A 号機のバイパス回路に切り換わる。さらに、無瞬断で B 号機のバイパス回路を経由して、B 号機 (予備 UPS) からの UPS 給電となる。以上の動作は、すべて自動的に行われる。このように、このシステムは給電の連続性を失わない高信頼性システムとなっている。

3.2 列車運行管理システムへの適用例

公共性の高い都市交通システムは、大量輸送機関として安全性の確保、サービスの向上などが求められている。

ここでは、列車運行管理システムへの適用例を紹介する。図 4 にシステム全体の構成を示す。

総延長百数十 km に及ぶ大都市圏交通システムでは、列車の運行を管理するために、中央指令所で列車運行システム全体の情報を一元的に管理して、高度な運行管理を行うと同時に、制御装置は各駅に分散設置して、信頼性を高めるシステムとなっている。

中央指令所には、運行系ごとに 50 kVA の UPS が 3 台設置されている。数十箇所ある各駅には、駅制御装置用として、各々 5 ~ 10 kVA の単相出力 UPS が制御装置同様に分散設置されている。また、停電対策用の蓄電池は、コンピュータ側の対応を考慮して、停電補償時間を 30 分間としている。

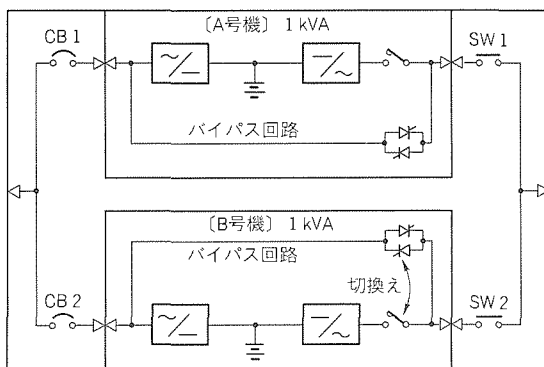


図 3. 2×1 kVA UPS の主回路

さらに、駅の計画停電 (制御機器も停止する。) に対して、UPS 用蓄電池の不要な放電を防止するために、計画停電前の UPS 停止及び復電後の再起動を自動制御で行うなど、運用の自動化と省力化を図っている。また、長時間の停電によって蓄電池が放電し、UPS が停止した場合でも同様に、復電後の再起動を自動的に行うことにより、システムの立ち上げの迅速化と省力化を図っている。

3.3 超高層ビルへの適用例

高さが 300 m に迫る超高層ビルの場合、電源設備の設置に当たっては、多くの考慮すべき事項がある。特に保守性、安全性、信頼性などが十分考慮される必要がある。

電源設備を考える場合、低層階から高層階までを区画単位に区分けして、高圧のサブ変電所を設けるが、そこに設置する各種電気機器は、エレベータで搬入・搬出が可能な外形・質量にするなどの工夫が必要である。また、各種システムは、個々の事故が全体に波及しないように、基本的に分散処理・分散設置が指向されている。

図 5 に、超高層ビルのビル管理設備へ適用された UPS の例を示す。

UPS の負荷となるビル管理システムは、管理総点数がおおむね 70,000 点にものぼる膨大なシステムであり、分散処理システムになっている。具体的には、数フロアごとに小さな区画単位に区切り、区画単位の監視制御を行うミニ管理システムを構築し、さらにこれらを併せて全体としての管理を行うフロア群管理システム (フロアコントロール方式) を構

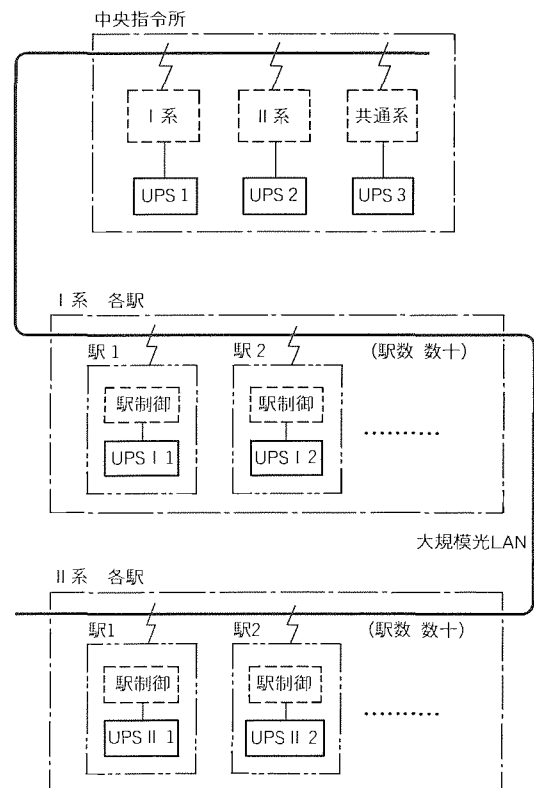


図 4. 列車運行管理システムへの適用例

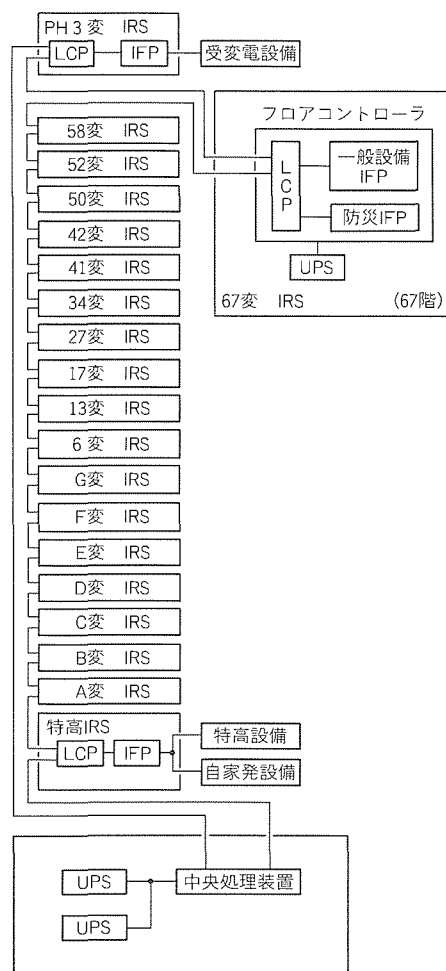


図5. 超高層ビルへの適用例

築している。これらの各区画単位の監視制御情報は、最終的には、中央処理装置に集められてビル全体を監視制御するシステムとなっている。

これらに対応するUPSの構成は、次のようになっている。中央処理装置用UPSは、システムの中核であり最も高い信頼性が要求されるため、2台並列冗長運転+商用バイパス無瞬断切換方式としている。また、各階層18か所の区画単位用のUPSは、出力容量30～50kVAの三相出力機種を適用し、1台構成の商用バイパス無瞬断切換方式としている。いずれのUPSについても、負荷側を停止させずに保守可能な保守バイパス回路を設置している。

中央処理装置及び各区画単位のUPS用蓄電池は、停電補償時間30分間としている。これは、負荷側に防災監視用コンピュータが接続されているためである。

4. コンピュータ以外への適用例

4.1 動力用への適用例

動力用への適用としては、負荷の電動機が直接接続される場合、インバータやサイリスタレオナードのような駆動装置を通して、UPSから電動機に電力を供給する場合などのケースがある。

この場合のUPS出力容量の選定に当たっての留意点は、

- (1) 電動機の始動電流
- (2) 回生電力の有無

の2点である。停電時に電動機の始動が必要な運用の場合は、電動機が要求する始動電流をUPSから供給しなければならない。かご形誘導電動機の場合、始動電流は、定格容量の6～8倍になる。したがって、UPSの出力容量を選定する場合、電動機入力容量の6～8倍が必要となるが、通常UPSは150%10秒程度の過負荷定格があるので、この150%過負荷定格を見込んで、実際は電動機容量の4～5倍程度の出力容量の選定で十分である。

さらに、停電時に電動機を始動しない運用の場合は、始動電流として商用バイパス電源を利用し、UPS容量を抑制することが可能となる。この場合、UPS給電状態で電動機を始動し、始動電流がUPSの電流供給能力を越えると商用バイパス電源に無瞬断切換えを行い、始動電流を商用バイパス電源から供給する。始動終了後、再びUPS供給モードに戻せば、UPS容量は電動機容量とほぼ等しく選定することが可能である。始動電流が発生してから商用バイパス電源への切換え及び始動電流期間が終了した後のUPSへの切換えは、すべて自動的に行われる（オートリトランスファ機能）。

クレーンなどで電動機側に回生モードがある場合は、UPSで回生電力を処理する必要がある。回生電力は、UPSの交流入力側整流器がサイリスタ・ダイオードなどの回生能力がない場合、UPSインバータ入力部の直流回路の電圧を上昇させ、蓄電池の過充電を引き起こすため、何らかの対策が必要となる。その方法としては、UPSのインバータ回路の入力となる直流回路部に回生電力消費回路を設置する方法や交流入力側整流器を高力率コンバータ方式など回生運転が可能な方式とする必要がある。

図6は、回生モードのあるサイリスタレオナードが負荷となった場合の例で、回生電力の処理は、UPSの直流回路に設置した回生電力吸収回路で行っている。負荷側で回生が起きるとUPSの直流回路部に設けた回生電力検出回路で回生電力を検出し、その検出信号でUPS直流回路部に接続された回生電力吸収回路のスイッチを投入し、そのスイッチに接続された抵抗器で回生電力を消費して、直流電圧の上昇及び蓄電池過充電を防止している。

4.2 医療設備への適用例

医療の高度化に伴い、医療現場で使われる医療機器も先端のエレクトロニクス技術を駆使した各種機器が使用されている。これらの機器は、短時間の停電も許容できないため、UPSが適用される。

医療機器は、ほとんどが単相入力で構成されているため、負荷容量が少ない場合は、単相出力のUPSを適用する。ただし、負荷容量の合計が75kVA以上となる場合、UPSの出力側を単相とすると、バイパス電源に大容量の単相電源が

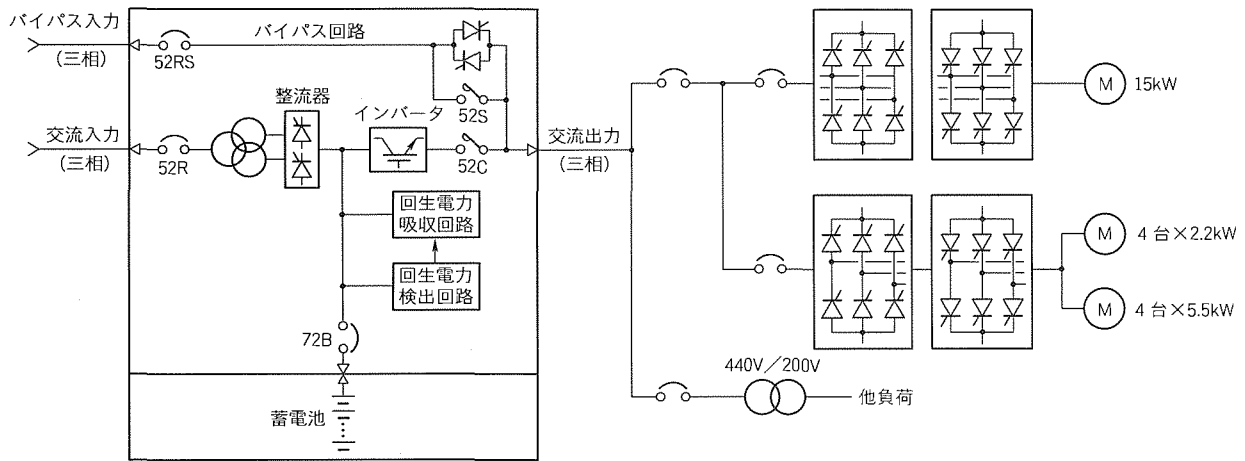


図 6. 動力用への適用例

必要となり、電源側には大きな不平衡となるため、好ましくない。そのため、三相出力のUPSを適用して、その出力側にスコット変圧器を設置して単相2(3)線式×2回路の方式とするか、通常の三相変圧器を設置して三相3線100V配電とする方式などが考えられる。

図7に医療設備に適用したUPSの例を示す。出力容量は、100kVAで出力側にスコット変圧器を設置して、単相3線式×2回路の構成としている。また、保守用のバイパス回路は、UPSの交流入力系統とは別の系統から引き込み、供給信頼性を高めている。UPSは医療設備に電力を供給するとともに、電力監視盤、中央監視盤などの電源としても使われている。

5. む す び

中小規模UPSの各機種概要と幾つかの適用例を紹介した。ネットワーク化を中心とした高度情報化社会の進展と各種業務の高度化に伴い、中小規模UPSは、各種の重要設備を支える必要不可欠な装置として、更に利用の拡大が予想さ

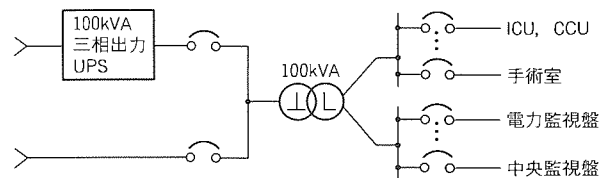


図 7. 医療設備への適用例

れる。今後とも、広くユーザのニーズにこたえる機種開発やシステムの構築を続けていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 石井 浩, 田中昭夫, 伊藤 仁, 八島耕司, 加藤知宏, 由良 隆: 横浜ランドマーク向けビル管理システム及びビル管理業務用通信システム, 三菱電機技報, **67**, No. 10, 979~985 (1993)
- (2) OHM編集部: UPS導入活用マニュアル, OHM, **79**, No.3別冊 (1992)

フルIGBT大容量UPSシステム “MELUPS9200”

森 治義* 池田勝己***
押切恵一**
山本融真*

1. ま え が き

無停電電源装置 (Uninterruptible Power Supply : UPS) は、各種コンピュータ・重要負荷に安定した電力を供給する電源装置として普及が進んでいる。特に、インテリジェントビルや各種オンライン用コンピュータの電源装置としては大容量・高信頼度のUPSが欠かせないものとなっている。

“MELUPS 9200”は、単機容量で50 kVA から1,400 kVA までカバーし、高性能IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) インバータと瞬時波形制御による優れた出力特性及びIGBT 高力率コンバータによる低入力容量・低入力高調波特性を達成するとともに、特に高信頼度のシステム構成に必要な並列冗長運転も可能な高機能化・コンパクト化を実現した三相入出力UPSである。

2. 特長と仕様

MELUPS 9200 の特長を以下に示す。

(1) コンピュータに適した出力特性

高調波成分が多くピーク電流の大きなコンピュータ負荷に対して、出力電圧を正弦波に保つ制御方式をインバータに採用した(100%整流器負荷時で出力電圧ひずみ率5%以下)。

(2) 不平衡負荷に強い

極端な三相不平衡負荷にも電圧不平衡率±2%以下とした。したがって、単相負荷・三相負荷が混在している場合でも負荷不平衡を気にせず使うことができる。

(3) 入力容量が小さく入力電流高調波が少ない

入力力率がほぼ1で入力電流高調波の少ない高力率コンバータを整流器部に採用し、入力容量及び入力電流高調波を低減した(当社従来比 入力容量:19%低減, 入力電流高調波:67%低減)。

(4) コンパクト

高力率コンバータの採用によって高機能化したにもかかわらず、盤幅を従来と同等以下にした(300 kVA 並列タイプ当社従来比78%)。

表1. MELUPS9200の標準仕様

定格出力容量 (kVA)		50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 750, 1,000, 1,400
交流入力	相 数	三相 3 線
	定 格 電 圧	200, 210, 220V(50～600kVA), 240V(750～1,000kVA), 250V(1,400kVA)
	電圧変動範囲	±10%
	定格周波数	50又は60Hz
	周波数変動範囲	±5%
	入 力 力 率	0.98以上
	入力電流ひずみ率*1	5 %以下
バイパス入力	相 数	三相 3 線又は三相 4 線
	定 格 電 圧	200, 208, 210, 220, 400, 415, 420, 440V
	定格周波数	50又は60Hz
直流入力	定 格 電 圧	400V(50～600kVA), 450V(750～1,000kVA), 480V(1,400kVA)
	相 数	三相 3 線又は三相 4 線
	定 格 電 圧	200, 208, 210, 220, 400, 415, 420, 440V
	電圧調整範囲	± 5 % (定格運転状態で)
	電 圧 精 度	±1.0%以下 (0 ～100%負荷で)
	定格周波数	50又は60Hz
	周波数精度	±0.01%以下 (バイパス非同期運転時)
	定格負荷力率	0.9 (遅れ)
	負荷力率変動範囲	0.7～1.0 (遅れ)
	電圧波形ひずみ率*1	2.5%以下 (線形負荷時)
		5 %以下 (100%整流器負荷時)
	過渡電圧変動	± 5 %以下 (負荷急変 0 ー100%で)
		± 2 %以下 (停電又は復電時)
		± 5 %以下 (出力切換え, 入出力定格時)
	過渡変動回復時間	50ms以下
電圧不平衡率*2	± 2 %以下 (負荷不平衡率*3100%で)	
インバータ過負荷耐量	125%10分間, 150% 1 分間	

注 *1 ひずみ率 = $\frac{\sqrt{\sum (\text{各高調波実効値})^2}}{\text{基本波実効値}}$

*2 電圧不平衡率 = $\frac{\text{各出力線間電圧} - \text{出力電圧算術平均値}}{\text{出力電圧算術平均値}}$

*3 負荷不平衡率 = $\frac{\text{最大負荷電流} - \text{最小負荷電流}}{\text{負荷電流算術平均値}}$

表1にMELUPS9200の標準仕様を示す。

3. 構成

3.1 主回路構成

図1にMELUPS9200の単機切替システム用及び並列システム用の主回路単線結線を示す。

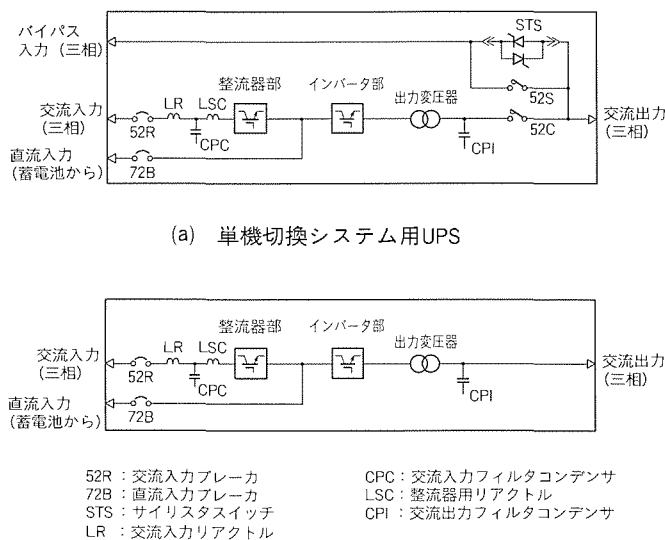
通常運転時、整流器部の高力率コンバータは、パルス幅制御 (Pulse Width Modulation : PWM) を行い、入力側に設けたリアクタンスと交流コンデンサからなる小容量のフィルタ回路でキャリア周波数成分の高周波を除去し、入力電流を力率1の正弦波に制御する。同時に、整流器部はインバータ部へパワーを供給しながら蓄電池を充電する (浮動充電方式)。

インバータ部は、高周波PWMを行って交流電圧を発生し、インバータ出力に設けたフィルタ回路によってキャリア周波数成分の高調波を除去するとともに絶縁し、負荷装置に正弦波電圧を供給する。

単機切替システムの場合は、バイパス回路側に設けたサイリスタスイッチ STS と機械スイッチ 52S からなるハイブリッドスイッチ及びインバータ側に設けた機械スイッチ 52C からなる無瞬断切替回路を内蔵している。無瞬断切替回路は、バイパス回路が規定の周波数範囲内であれば、交流出力電圧の周波数及び位相をバイパス回路と一致させて同期運転する。過負荷又は故障が発生したときにはバイパス回路側に無瞬断切替を行い、切替後原因が除去された後に自動的にインバータ給電に戻る (オートリトランスファ)。

3.2 主回路素子及び変換器方式

整流器部及びインバータ部の主回路スイッチング素子には、低駆動電力で大電力の高周波スイッチングが可能な三菱電機 (株) の高性能第三世代 IGBT⁽¹⁾ を採用した。これにより、ス



(b) 並列システム用UPS

図1. MELUPS9200の主回路単線結線

イッチング周波数の高周波化による制御性の向上と低騒音化を図るとともに、入出力フィルタの小型化によるコンパクト化を達成した。

整流器部及びインバータ部は、高周波スイッチングによって波形制御を行うので、多重方式は行わず、三相インバータとして回路の簡素化を図った。また、UPSの大容量化には、IGBTの多並列化によるインバータの大容量化及び大容量インバータの並列接続で対応した。

3.3 制御回路

図2に制御ブロック図を示す。制御回路は、マイクロプロセッサを整流器制御、インバータ制御、同期制御、シーケンス制御に適用し、高信頼度化・コンパクト化を実現した。

3.3.1 整流器制御

高力率コンバータを採用したこの装置は、受電側への高調波の流出を抑えるとともに入力容量の低減も図った。

整流器部の制御回路は、三相各々の電流が正弦波指令に従うように制御する瞬時波形制御を適用した力率1制御を行う。これにより、入力容量の低減と入力電流の低ひずみ特性を実現するとともに入力電圧波形がひずんでいる場合でも安定した動作を達成した。

さらに、整流器部の制御には、起動時に入力電流をソフトスタートさせるウォークイン機能、蓄電池の回復充電時に入力電流を設定値以内に制限するパワーデマンド機能などを持たせている。これにより、UPSが発電機に接続された場合にも容易にマッチングをとることができる。

3.3.2 インバータ制御

インバータの制御回路は、電流マイナーループ付きの瞬時電圧波形制御を各相に設け、出力電圧の低ひずみ率化、不平衡負荷特性の向上及び出力過電流に対する保護を実現した。これにより、負荷機器の特性やインラッシュなどに対しても特別の配慮をしないでUPSを適用することができるようにした。

インバータの並列制御には、並列運転に関する各部制御信号の二重化を図るとともに制御レベルでの監視を強化した

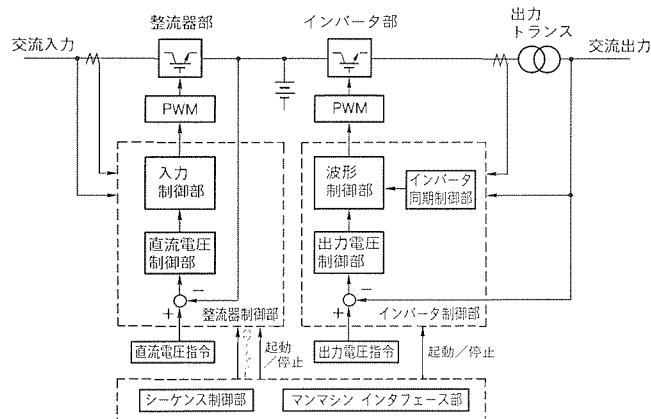


図2. 制御ブロック図

制御回路を適用した。これにより、並列冗長システムにおける安定した給電性能と給電信頼度を達成した。

3.4 モニタ

盤面におけるデジタルモニタの標準装備、大規模システムにおけるモニタリングシステムへの対応により、操作性及び保守性の向上を図った。

3.4.1 盤面モニタ (マンマシンインタフェース)

UPS の運転状態は、システム状態表示部の LED で表示している。液晶ディスプレイ (LCD) 部は、和文 15 文字 (英数字 30 文字) × 4 行であり、メニュー表示から簡単に選択できる下記の機能を持たせることにより、装置の操作性及び保守性の向上を図った (図 3)。

(1) 計測値表示

停電時には負荷率、蓄電池残量及び蓄電池運転時間を自動的に表示する。また、計測メニューから選択することにより、各部電圧・電流・周波数のほか、あらかじめ設定された時刻に記憶した計測値、計測値の最大・最小値を表示する。これらにより、停電時の負荷装置の停止操作を的確に行えるほか、保守性の向上を図ることができる。

(2) 操作ガイダンス及び運転記録

通常の運転操作は、起動/停止スイッチの操作だけで簡単にできるようにしている。また、装置の初期起動や全停止の場合は、装置内部に設けた配線用遮断器等の操作を伴うが、操作メニューから選択することにより、操作方法のガイダンスを自動的に表示する。また、遠方操作/直接操作の切換え、均等充電のオン・オフなどもガイダンスに従って操作できるようにした。これにより、間違いなく装置の操作ができる。

停電・過負荷等により、装置の状態が変化した場合は状態変化内容と発生時刻を記憶し、後で表示できるようにした。

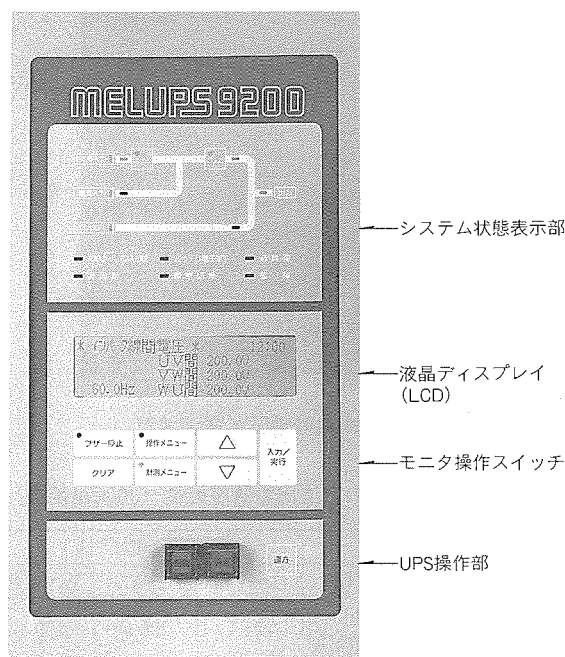


図 3. 盤面モニタ

また、装置の累積運転時間の表示も行えるようにし、保守性の向上を図った。

(3) 故障ガイダンス

異常が発生した場合は、異常発生時刻、異常内容及びそれに対する操作とを自動的に表示することにより、操作性及び保守性を一層向上させた。また、重故障が発生した場合は、先行して発生した軽故障とともに故障履歴を不揮発性メモリに記憶させることにより、故障原因の調査と修理を容易にできるようにした。

(4) 盤面設定

パワーデマンド値の設定、ウォークイン時間の設定、出力電圧の調整 (単機切換システム)、バイパス周波数同期追従範囲及び追従速度の設定などを盤面から簡単に実行できるようにして操作性の向上及び調整時間の短縮を図った。

3.4.2 モニタリングシステム

MELUPS 9200 は、UPS 盤の外部から UPS システムの状態監視を行うことのできるモニタリングシステム (図 4)

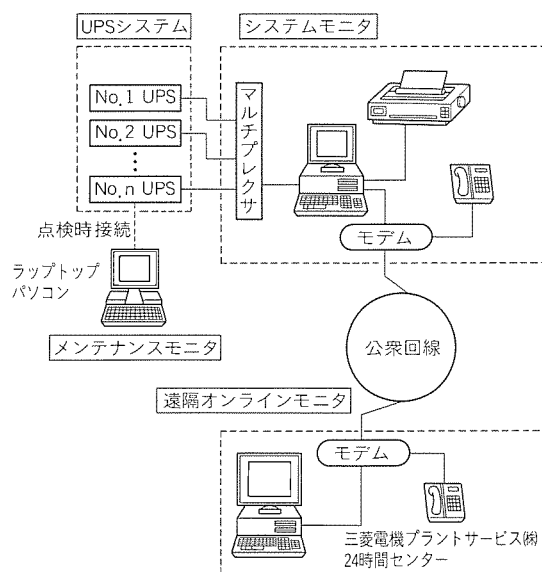


図 4. モニタリングシステム

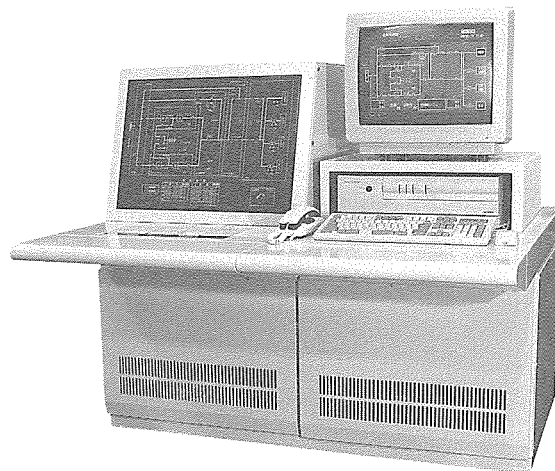


図 5. システムモニタ外観例

に対応している。

システムモニタを設けることにより、UPSシステムを構成する各UPS及び切換盤などから光ファイバで信号を伝送し、モニタ用パーソナルコンピュータで表示・プリントアウトを行い、UPSシステムの状態を一括して監視できる。さらに、電話回線を利用した遠隔オンラインモニタにより、サービス拠点での24時間対応の監視も行うことができる。

モニタ内容は、盤面モニタの内容を更に詳細に行えるほか、故障発生時には自動的に波形を伝送し、表示することができる。さらに、プログラマブルコントローラと接続し、他の周辺盤の状態を取り込むことができるので大規模システムにも容易に対応できる。これらにより、システムとしての保守性向上を図った。

図5にシステムモニタの外観例、図6にシステムモニタの表示画面例を示す。

3.5 外観と構造

300kVAまでは設置時の幅を抑えて設置スペースを低減できるように1面構成とし、400kVA以上は搬入時の制約条件を考慮して1,800mm幅以内となるように盤を分割した。また、1,000kVAまでは裏面からの保守が不要な構造とすることにより、レイアウトの自由度を高めている。

図7に静止型UPSでは国内最大クラスである1,400kVA装置(単機切換システム)の外観を示す。この容量クラスでは、高圧変圧器盤と列盤にすることを考慮して高さを2,300mmとした。

4. 運 転 特 性

この装置の代表的な諸特性について試験結果を示す。

4.1 交流出力特性

図8に、300kVA装置における100%整流器負荷時の交流出力電圧・電流波形を示す。瞬時波形制御により、ピーク値の大きな高調波含有率の高い電流に対しても電圧波形ひずみ率が3.5%と良好な結果になっている。これにより、コン

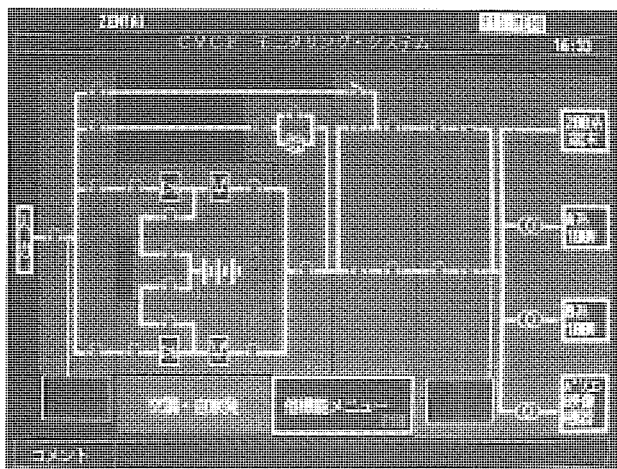


図6. システムモニタ表示例

ピュータに内蔵されているスイッチング電源のように高調波電流の多い負荷装置に対しても、ひずみの少ない安定した電圧を供給することができる。

4.2 不平衡負荷時交流出力特性

表2に、300kVA装置に単相負荷を接続したときの出力電圧特性を示す。単相負荷が接続された極端な不平衡負荷に対しても出力電圧の不平衡率は、 $\pm 0.5\%$ 以下となっている。これにより、三相負荷と単相負荷が混在したときでも負荷のアンバランスによる電圧のアンバランスを気にせず使用することができる。

4.3 負荷急変時交流出力特性

図9に、300kVA装置の負荷急変時の交流出力電圧・電流波形を示す。100%負荷急変に対しても出力電圧の変動は、1%以下となっている。これにより、UPSシステムに複数の負荷が接続されている場合でも、他の負荷に影響を与えることなくそれぞれの負荷オン・オフすることができるのでシステムの構成や運用上の制約を少なくすることができる。

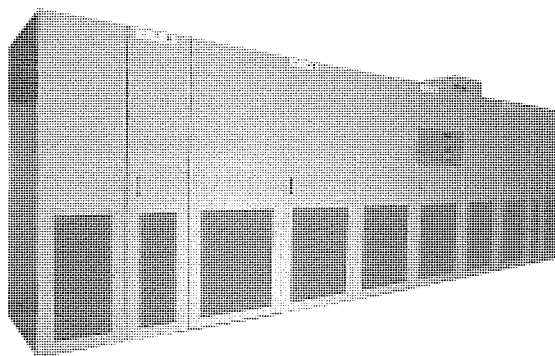


図7. MELUPS9200の外観(1,400kVA装置)

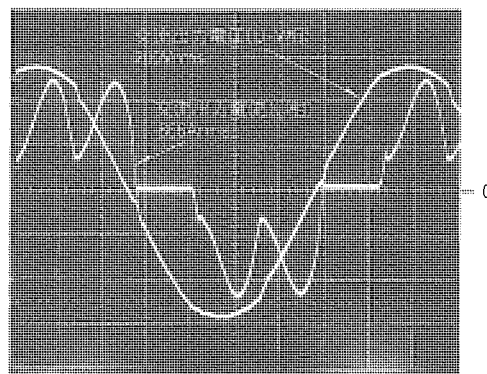


図8. 交流出力電圧・電流波形

表2. 不平衡負荷時の交流出力電圧特性(300kVA装置)

交流出力電流 (A)			交流出力電圧 (V)		
U相	V相	W相	U-V相	V-W相	W-U相
0 (0%)	866 (100%)	866 (100%)	201.1	200.0	199.4
負荷不平衡率 (%)			電圧不平衡率 (%)		
150			+0.47	-0.08	-0.38

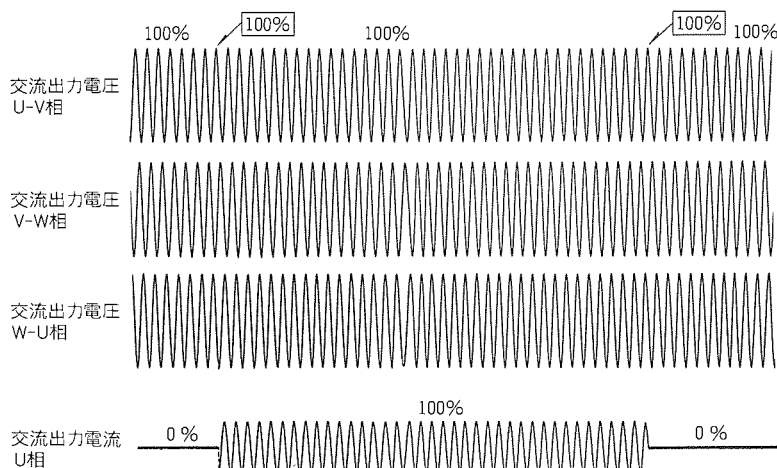


図9. 負荷急変時の交流出力特性 (0%→100%→0%)

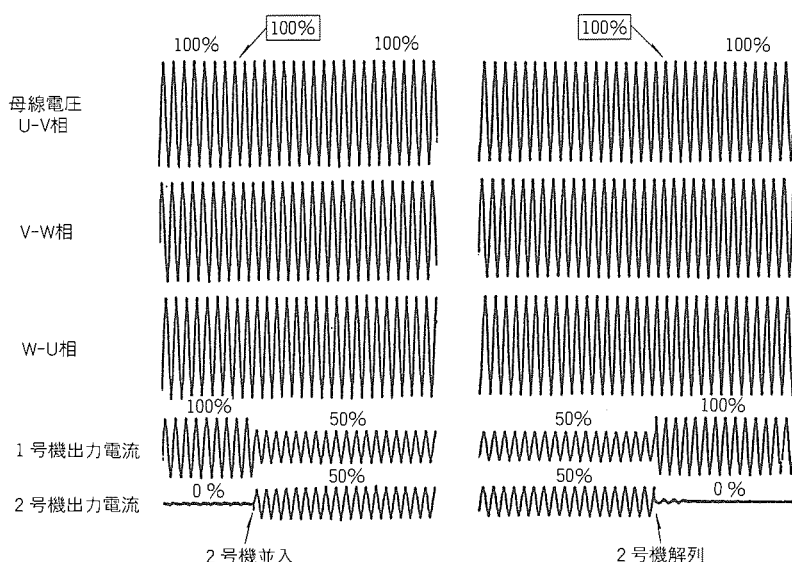


図10. 並列運転入り切り試験 (2台並列冗長システム)

4.4 並列運転特性

図10に、300kVA装置の並列運転入り切り試験結果を示す。2台並列冗長システムにおいて、1台が100%負荷運転中に2台目を並列投入、解列した場合でも出力電圧の変動は1%以下となっている。また、並列運転開始後、電流分担は瞬時に各々50%の良好な分担となっている。

これにより、保守点検前の並列解列及び保守点検後の並列投入の際にも、電圧変動がほとんど発生せず負荷装置に安定した電力を供給することができる。

4.5 交流入力特性

図11に300kVA装置における定格運転時の交流入力相電圧、電流波形を示す。入力電流波形ひずみ率は、1.6%と仕

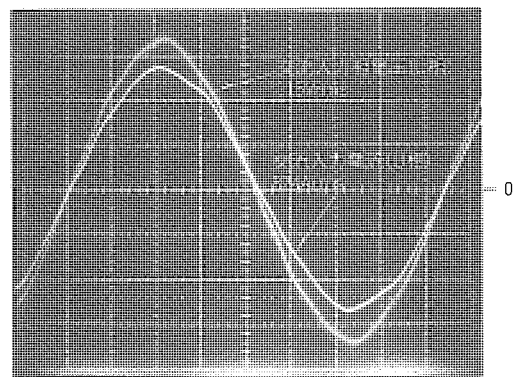


図11. 交流入力相電圧・電流波形

様値よりもはるかに良好な特性が得られており、負荷装置の種類に関わらず電源側へ流出する高調波を吸収し、入力電流を正弦波に保っている。さらに、入力力率は0.99の高力率になっており、定格負荷時の入力容量は303kVAと出力容量300kVAと同等となっている。これにより、高調波を吸収するための設備を設ける必要がなく、また受電側の設備容量を少なくすることができる。

4.6 騒音レベル

300kVA装置における騒音の実測値(前方1m)は60Hz運転時で63dB(A)となっている。高周波PWMを行うことにより、耳障りな磁気騒音を低減し、さらに、低騒音冷却ファンを採用したことにより、計算機室に隣接した区画に設置しても気にならない騒音レベルとした。

5. む す び

大容量高周波スイッチングの可能なIGBTと、マイクロプロセッサを適用したUPS MELUPS9200を紹介した。この装置は、高信頼度UPSシステムに欠かせない並列冗長システムに対応し、出力特性の向上を図るとともに入力容量及び入力電流高調波を抑制した大容量UPSとしてユーザーのニーズにこたえたものと確信する。

今後とも、新しい技術を取り入れ、より高信頼度なUPSの開発を続ける所存である。

参 考 文 献

- (1) 川上 明, 山田富久, 森 敏: パワーデバイスの現状と展望, 三菱電機技報, 67, No.9, 874~879 (1993)

中容量コンパクト高性能UPS

“MELUPS8400V”

真田和法* 東 聖⁺
島津 昇**
嘉陽 寛***

1. ま え が き

無停電電源装置 (Uninterruptible Power Supply : UPS) は、各種コンピュータ・重要設備に安定した電力を供給する電源装置として普及が進んでいる。特に、近年コンピュータの小型化・高性能化により、一般のオフィスや生産現場にもコンピュータが設置されるようになり、UPS も電気室だけでなく、オフィスやコンピュータールームにも設置されるようになってきている。

今回開発した“MELUPS8400V” (7.5 ~ 15kVA) は、IP M (Intelligent Power Module) ⁽¹⁾を用いた電力変換技術、DSP (Digital Signal Processor) を用いたデジタル制御

技術等の新しい技術により、画期的な小型化と高信頼性・高機能化を実現した。さらに、設置環境への適合性と取扱いやすさを追求し、据付け面積の最小化と簡単操作を実現した。

2. 特長と仕様

今回開発した MELUPS8400V の標準仕様を表 1 に示す。

(1) コンピュータ機器に適した出力特性

スイッチング電源など、高調波が多くピーク電流の大きなコンピュータ機器に対しても出力電圧を正弦波に保つことができる (100%整流器負荷時、出力電圧ひずみ率 5%以下)。

(2) 入力電流の高調波レス

入力電流をほとんどひずみのない正弦波 (ひずみ率 5%以

表 1. 標準仕様

項 目		仕 様			備 考
機 種 名		MELUPS 8407V	MELUPS 8410V	MELUPS 8415V	
運 転 方 式		商用同期常時インバータ給電			
定格出力容量		kVA kW	7.5 6	10 8	15 12
交流入力	相 数	単相 2 線			
	定 格 電 圧	100V			
	電圧変動範囲	±10%			
	定格周波数	50Hz又は60Hz			自動的に選択
	周波数変動範囲	± 5 %			
	入 力 力 率	0.98 (遅れ) 以上			入出力定格時
	入力電流波形ひずみ率	5 % 以下			入出力定格時
蓄電池	形 式	M形 (内蔵) … 寿命 3 年以下			長寿命形 (寿命 8 ~ 10 年) はオプション
	公 称 電 圧	216V			
	停電補償時間	10分間			25°C, 定格負荷時, 10分超は別盤 (オプション)
交流出力	相 数	単相 2 線			
	定 格 電 圧	100V			
	電 圧 精 度	± 1 %			
	定格周波数	50Hz又は60Hz			入力周波数と同一
	周波数精度	±0.01% (バイパス非同期運転時)			同期範囲 ± 5 % (± 3, ± 1 % を選択可) 非同期でバッテリー運転
	定格負荷力率	0.8 (遅れ)			
	負荷力率変動範囲	0.6 ~ 1.0 (遅れ)			0.8 ~ 1.0 (遅れ) では定格出力 kW 以内
	電圧波形ひずみ率	3 % 以下 (定格線形負荷時)			5 % 以下 (100%整流器負荷時)
	過渡電圧変動率	± 5 % 以下 (負荷急変 0 ~ 100% で) ± 2 % 以下 (停電・復電時) ± 5 % 以下 (出力切換え・入出力定格時)			
	過渡変動回復時間	50ms 以下			
	インバータ許容ピーク電流	定格電流実効値の 300 %			
	インバータ過負荷耐量	120% 1 分間, 150% 1 秒間			
	バイパス過電流耐量	1,000% 1 サイクル, 125% 10 分間			

下)とし、電源系統への高調波の流出をなくした。

(3) 高効率、低入力容量

装置の総合効率を90%以上としたこと及び入力高力率制御を行ったことで、入力容量を低減させた。通常の運転状態では、出力容量10kVAに対して入力容量9kVAとなる。

(4) 高信頼性・高機能

IPM採用とDSPによるデジタル制御によって大幅に部品点数を低減し、高信頼性・高機能化を実現した。

(5) コンパクト

当社従来比で据付け面積50% (体積67%減)、質量50%と画期的な小型化を実現した。また、作業空間の有効活用を図るために横幅寸法を最小化した。これにより、オフィスやコンピュータールームなどの限られたスペースにも設置できるようになった。

(6) 低騒音

オフィスやコンピュータールームへの設置を考慮し、低騒音運転特性とした(10kVAで50ホン以下)。

(7) オフィスに適したざん(斬) 新なデザイン

前面パネルの左右りょう(稜)線部に大きな丸みを施したことでスリムで柔らかなイメージを与えるデザインとした。また、当社OA機器標準色(アイボリーホワイト)を採用し、オフィス環境及び他のOA機器との調和を図った。

(8) コンピュータインタフェース機能

ミニコンなどに標準的に内蔵された電源障害時の自動シャットダウン機能及びUPSモニタリング機能とのインタフェースをサポートし、システムの信頼性を向上させた。

(9) 簡単操作

UPSの運転操作をメインブレーカとインバータ起動/停止キーのみとし、簡単に操作できるようにした。

3. 構成

3.1 主回路

図1に主回路単線結線を示す。整流器部は、入力電流を力率1の正弦波に制御する高力率コンバータで、インバータ部に電力を供給しながら蓄電池を充電する(フロート充電)。

直流部は、コンタクトとヒューズと蓄電池からなり、蓄電池を自動でオン・オフできるようにした。また、蓄電池は小

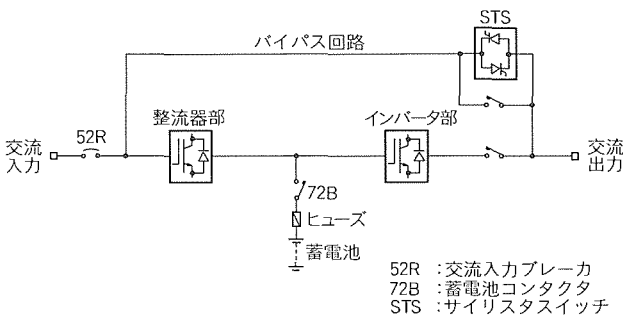


図1. 主回路単線結線

型シール鉛蓄電池を採用し、日常メンテナンスを不要とした。さらに、オプションとして長寿命蓄電池を内蔵することができる。

インバータ部は、瞬時波形制御を行い交流電圧を発生し、フィルタ回路によってキャリア周波数成分の高調波を除去し、きれいな交流正弦波電圧を負荷に供給する。交流出力電圧の周波数及び位相は、バイパス回路が規定の周波数範囲内であればバイパス回路と一致させて運転する。過負荷又はインバータ故障が発生した場合には、サイリスタスイッチSTSとバイパスコンタクト52Sで構成されるハイブリッド形バイパス切換スイッチによってバイパス回路に無瞬断切換えを行う。

3.2 スイッチング素子

主回路のスイッチング素子は、すべてIPMとした。図2に示すIPMとは、高性能高速形IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) にドライブ回路と各種異常検出回路(過電流、短絡電流、温度異常、ドライブ電圧低下)を内蔵した素子で、異常時には自己遮断を行うとともにその状態を外部に出力することができる。これにより、万一、主回路のスイッチング素子に異常が発生しても、速やかに検出し、無瞬断でバイパスに切り換えることができるなどシステムの信頼性がより一層向上した。

3.3 制御回路

制御回路は、主回路の制御、表示部の制御、外部とのインタフェースを行うもので、高信頼性・高機能・コンパクト化を実現するためDDC (Direct Digital Control) 方式とした。図3にその制御回路を示す。構成要素であるマイクロコン

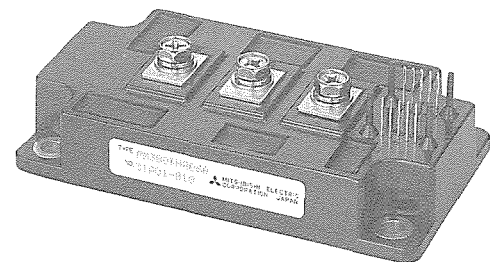


図2. IPMの外観

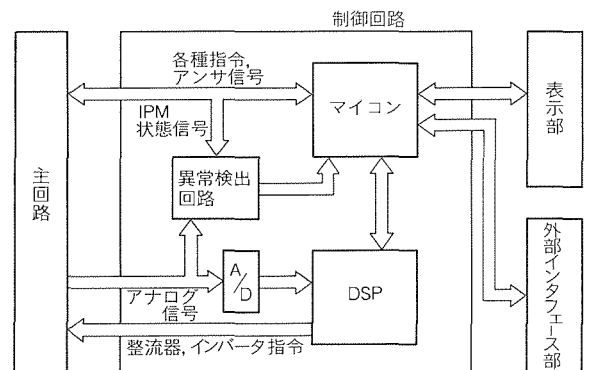


図3. 制御回路

ュータ (マイコン), 異常検出回路及び DSP について次に説明する。

(1) マイコン

コンタクタやサイリスタスイッチのオン・オフといった主回路シーケンス制御及びバイパスとインバータとの同期制御を行うとともに, 起動ガイダンス, 計測表示, 故障表示など装置の状態表示を行う。また, UPS の内部状態を外部インタフェース部 (外部接点, RS-232C, ネットワークコネクタ) を介して外部に送出する。

(2) 異常検出回路

制御回路内 (特にマイコンと DSP) や主回路の電圧・電流の異常を検出し, 異常時の処理を行う。この回路は, ほかから独立したハードウェアで構成している。

(3) DSP

アナログデータの取り込みと平均値, 実効値, 電力などの計算を行う。また, 高力率コンバータ制御, 蓄電池の充電制御, インバータ制御を行う。

3.4 制御方式

整流器部及びインバータ部共に DSP による瞬時波形制御を行い, 高周波 PWM (Pulse Width Modulation) 制御を

行うことで, 高性能を実現した (図 4)。

(1) 整流器制御

整流器制御は, 直流電圧制御部と入力電流制御部で構成した。直流電圧制御部は, 蓄電池のフロート充電制御, 入力電流の変化を滑らかに制御するウォークイン制御及び入力電力にリミットをかけるパワーデマンド制御を行う。また, 入力電流制御部は, 直流電圧制御部の出力である入力電流指令に従って高力率コンバータ制御を行うとともに, 高調波の流出を抑え入力容量の低減を図った。これにより, 交流入力電源にやさしい整流器制御を実現した。

(2) インバータ制御

インバータ制御は, 出力電圧制御部と波形制御部で構成した。出力電圧制御部は, 交流出力電圧の定電圧制御及び UPS と負荷機器間のケーブルによる電圧降下分を設定値に従い補償する制御を行う。また, 波形制御部では電流リミット付きの瞬時波形制御を行う。これにより, スwitching電源など高調波を多く含み, ピーク電流の大きなコンデンサインプット形の整流器を内蔵したコンピュータ機器に対しても電圧ひずみ率 5%以下, 電圧精度 1%以下を実現した。

3.5 表示部

表示部は図 5 に示すように発光ダイオードと液晶表示器 (バックライト付きで 20 文字 2 行) で構成した。

発光ダイオードで入力電圧の有無, UPS の運転状態, 過負荷, 警報が一目で分かるように表示した。また, 表示部の機能を図 6 に示す。

(1) 起動ガイダンス

起動方法, 遠方/直接操作の切換方法を表示する。これにより, 簡単に操作することができる。

(2) 故障表示

故障発生時, 異常内容とそれに対応するガイダンスを表示することにより, 操作性・保守性を一層向上させた。

(3) 蓄電池運転表示

蓄電池運転時に蓄電池運転時間と残量 (%) を表示する。

(4) 計測表示

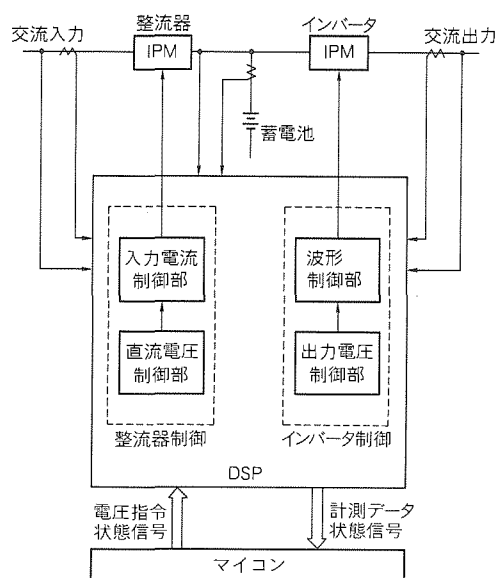


図 4. 制御方式

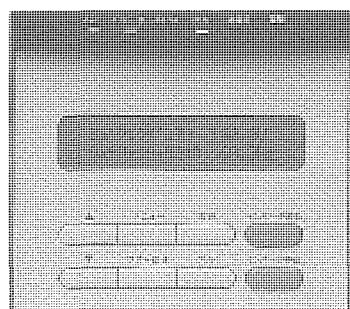


図 5. 表示部の外観

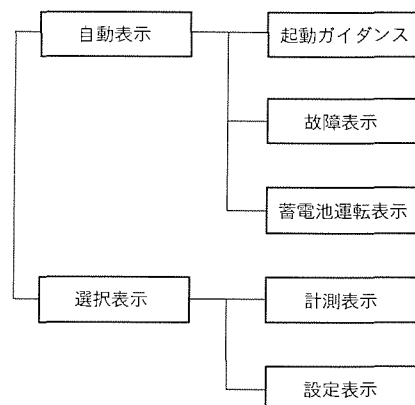


図 6. 表示部の機能

操作キーで選択することにより、インバータ電圧・周波数、出力電流実効値・ピーク値、負荷消費電力、蓄電池電圧・電流、入力電圧・電流を表示できる。

(5) 設定表示

UPS 運転中に出力電圧などの設定変更ができる。

4. 外観と構造

4.1 設置環境とシリーズ展開を考慮した

斬新なデザイン

表2に寸法と質量を、図7に外観を示す。オフィスやコンピュータールーム等への設置を考慮し、本体の横幅寸法を極力小さくスリムな形状にして省スペース化を図った。前面パネルの左右稜線部に大きな丸みを施し、柔らかなイメージを表現するとともに、緩やかな曲面を持つ表示・操作ユニットを共通化することにより、デザインイメージのシリーズ統一化を実現した。また、表示・操作部は、必要最小限のLEDのみを表面に配置し、LCD・プッシュボタンをスライドカバー内に収納した。これにより、シンプルなイメージの表現と誤操作の防止を図った。

4.2 省スペース化と据付け及び保守を考慮した構造

質量を当社従来機種比50%とし、全機種キャストを標準装備した。これにより、搬入及び据付けを容易にした。また、電源入出力端子台やインタフェース端子台への配線、蓄電池の交換を前面から行えるようにした。これにより、配線や保守が容易になり、設置環境の制約を大幅に低減した。

表2. 寸法と質量

定格出力容量 (kVA)	外形寸法(mm)			質 量(kg)
	W	D	H	
7.5	350	740	800	180
10	350	740	800	230
15	420	740	900	345

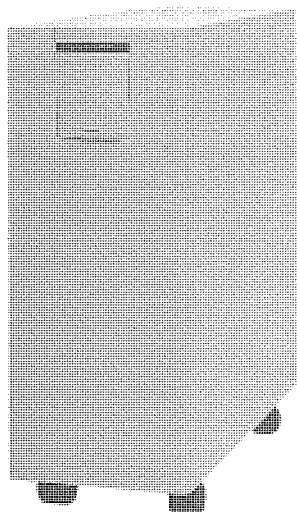


図7. 装置の外観

5. 運転特性

この装置の代表的な諸特性について試験結果を示す。

5.1 交流入力特性

図8に10kVA装置における定格負荷時の交流入力電圧・電流波形を示す。入力電圧は、入力電圧と位相が一致したひずみの少ない正弦波でひずみ率4.6%となり、良好な特性を得た。これにより、負荷機器で発生する高調波をUPSで吸収し、交流入力電流を正弦波に保っている。さらに、入力力率が0.99と高力率であるので、定格負荷時の入力容量を9.0kVAと出力容量10kVA(8kW時)以下に抑えている。これにより、例えば現在商用電源から給電を行っているコンピュータの電源としてUPSを導入する場合でも、上位電源の容量アップやサーキットブレーカの変更を行うことなく、そのままUPSを設置することが可能である。

5.2 交流出力特性

図9に10kVA装置に100%整流器負荷を接続した場合の交流出力電圧・電流波形を示す。出力電圧波形ひずみ率は、4.1%と良好な結果となっており、コンピュータや通信機器に内蔵されているコンデンサインプット形の整流器に対してもひずみの少ない安定した電力を供給することができる。

5.3 負荷急変時交流出力特性

図10に負荷急変時の交流出力電圧・電流波形を示す。100%負荷急変に対しても、出力電圧はほとんど変動していない。これにより、UPSに複数の機器が接続されている場合でも、ほかの機器へ影響を与えることなく、それぞれの機器の起動/停止をなんら問題なくできるので、システム構成上の配慮や運転上の制約をなくすることができる。

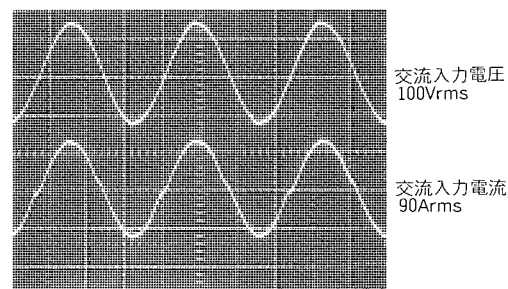


図8. 交流入力電圧・電流波形

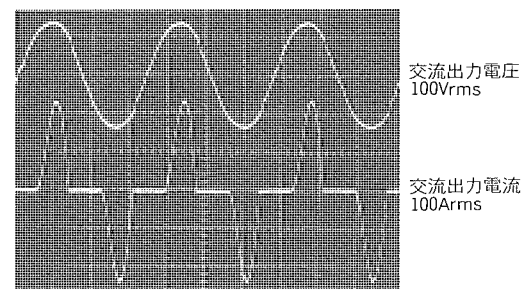


図9. 交流出力電圧・電流波形

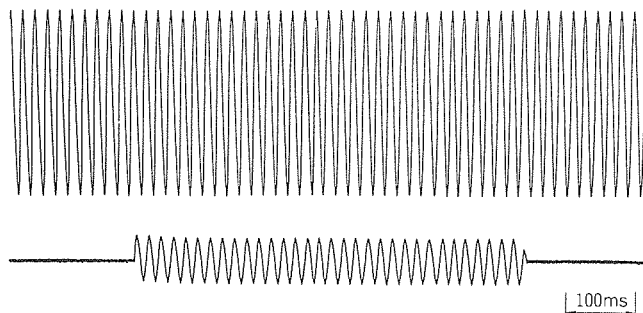


図10. 負荷急変試験 (0%→100%→0%)

5.4 停電・復電時交流入出力特性

図11に交流入力電源の停電・復電時の各部電圧・電流波形を示す。停電時においてもUPSの交流出力電圧の変動はほとんどなく、蓄電池を電源として無停電で負荷機器への電力供給を継続している。復電後は、整流器がウォークインを行うことによって交流入力電源へ与える影響をなくしている。これにより、交流入力電源の停電、電圧変動などをUPSが確実に吸収し、負荷機器に安定した電力を供給することができる。また、UPSの入力に発電機が接続された場合にも、入力電流の変動が緩やかであるため、発電機は安定した運転を継続することができる。

5.5 効 率

図12に10kVA装置の総合効率を示す。低消費電力の制御ドライブ回路を内蔵したIPMの採用と、高周波スイッチングによるフィルタ回路の小型化などにより、100%負荷時の総合効率が90%となり、このクラスでは画期的な高効率を達成した。これにより、電力料金の節減及び室内空調機の容量低減を図ることができる。

5.6 騒音レベル

10kVA装置の騒音の実測値(前方1m)は、高周波PWMとリアクトルの鉄心を工夫して磁気騒音を低減したことによって50dB(A)となった。これにより、オフィスやコンピュータールームに設置しても問題ない騒音レベルとした。

6. む す び

ドライブ回路と異常検出回路とを内蔵したIPMと、DSPによるDDC制御技術を適用したUPS MELUPS8400Vを紹介した。この製品は、ますます進展するコンピュータ社

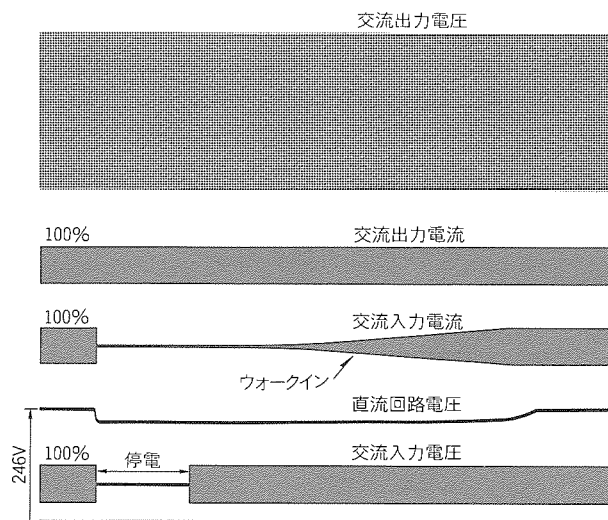


図11. 停電・復電試験

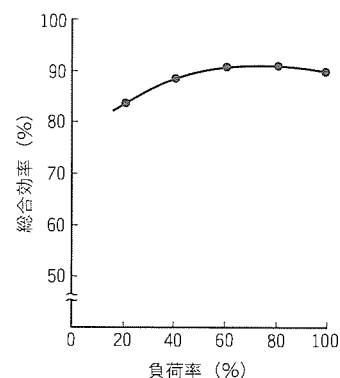


図12. 総合効率特性

会を支えるUPSとして、広くユーザのニーズにこたえるものと確信する。

今後とも、新しい技術を積極的に取り入れ、各種用途・ニーズにマッチした、より使いやすいUPS開発にまい進する所存である。

参 考 文 献

- (1) 高梨 健, 大島征一, ゴーラブ マジュームダール, 友松佳史: 第三世代インテリジェントパワーモジュール, 三菱電機技報, 67, No.9, 885~889 (1993)

コンピュータネットワーク対応 小容量UPS“MELUPS8400N”

柳原康慈* 井川松雄**
佐志田伸夫** 近野恭弘***
児嶋昭人**

1. ま え が き

コンピュータのダウンサイジング、分散化及びエンドユーザコンピューティング (EUC) の伸展に伴い、従来の大型計算機に代わって、ワークステーションやパーソナルコンピュータ (パソコン) をネットワーク (Local Area Network : LAN, Wide Area Network : WAN) で接続し、重要な業務を実行する用途が増加している。このようなネットワークに対応した小容量 UPS (Uninterruptible Power Supply) として、“MELUPS 8400 N” シリーズ (単相 1 ~ 3 kVA) を開発、製品化した。

MELUPS8400N は、UNIX^(注1) ワークステーションに最適な自動シャットダウン機能やスケジュールによる自動運転機能を持っており、煩雑な UNIX ワークステーションを簡単に安心して使用できるようにサポートしている。また、NetWare^(注2)、LAN Manager^(注3)等のパソコン LAN に対応したインタフェースも提供している。

2. コンピュータネットワークの電源セキュリティ

2.1 電源障害と電源セキュリティ

日本における電源の品質は、諸外国に比べて高い。しかし、コンピュータには、より品質の高い電源が要求されており、次のような電源障害が問題になるために、UPS (無停電電源装置) による電源セキュリティ対策が必要である。

(1) 停電

文字どおり電気の供給が停止されてしまう現象であるが、現在では発生頻度は全国平均で約 0.3 回/年と低い。しかし、いったん停電が発生すると被害が大きいため対策が必要である。

(2) 瞬停 (瞬時電圧低下)

ごく短い時間 (0.07 ~ 2 秒間) 発生する停電、又は電圧低下である。一般の照明などではほとんど影響を受けないが、コンピュータには致命的な問題が発生する。発生頻度は全国平均で 3 ~ 4 回/年であるが、その主な原因は落雷であり、電力会社側での対策には限界があるため、需要家側での UPS の設置が推奨されている⁽¹⁾。

(注 1) “UNIX” は、X/Open Company Ltd. がライセンスしている米国及び他の国における登録商標である。

(注 2) “NetWare” は、米国 Novell, Inc. の登録商標である。

(注 3) “LAN Manager” “Windows-NT” は、米国 Microsoft Corp. の登録商標である。

(3) 電圧変動

需要家の受電点での電圧変動は規定値に抑えられているが、需要家ビル内での配線が長かったり、変動の大きな負荷が同一回路に接続されていたりすると、負荷接続点での電圧が大きく変動し、コンピュータの電源仕様を満足しない場合がある。

2.2 コンピュータの電源セキュリティ

ワークステーションやパソコンの入力電源仕様は、大型計算機に比べると緩やかではあるが、停電や瞬低に対しては弱く、突然電源を遮断された場合にはデータの消失や、ハードウェアの障害が発生する。

特に UNIX システムでは、ディスクの読み書き回数を削減するために、ディスクファイルへの書き込み処理が完了してもすぐには書き込まずメインメモリ上に保存している。このため、運転中に電源を OFF するとメインメモリ上のデータが消失してしまい、書き込んだつもりでデータとディスク上のデータとの整合性がとれなくなり、システムのクラッシュが発生する。このような UNIX システム上の問題を解決するために、コンピュータ電源を OFF する前には、システムを保全するためのソフトウェア処理 (シャットダウン処理) が必要であるが、この操作は煩雑で難しいため、システムの管理者 (スーパーユーザ) が実行しなければならない。また、UNIX システム立ち上げ時には、外部メモリ等の周辺機器を先に立ち上げ、動作が安定した後で CPU を ON する必要がある、電源の投入手順にも制約がある。

また、パソコンをサーバとした LAN システムでは、電源が突然遮断されるとネットワークに障害が発生することがあり、電源を OFF する前にネットワークの停止処理が必要である。

2.3 コンピュータネットワーク対応UPS

UPS は、停電、瞬低の発生時に電源が途切れないようコンピュータ電源をバックアップし、2.2 節に述べた障害から保護するためのものである。ところが、蓄電池で保持できる時間 (バックアップ時間) よりも長時間にわたって停電が継続した場合には、UPS はバックアップを続けることができなくなってしまうので、その前にシャットダウン処理やネットワークの停止処理が必要である。処理が遅れると、システムのクラッシュを招くおそれがある。コンピュータネットワークの電源セキュリティを守り、さらにだれでも簡単に使えるように操作性を向上させるためには、コンピュータネッ

トワークに対応した機能を内蔵した UPS が不可欠である。

図 1 に、コンピュータネットワーク例を示す。

3. 構成・仕様

3.1 システムの構成

MELUPS8400 N シリーズのシステム構成を図 2 に示す。この装置は、UPS 部、コンピュータインタフェース部、出力制御部の 3 ブロックに分けることができる。

UPS 部は、整流器、インバータ、蓄電池で構成されている。整流器は、高効率コンバータで、インバータへ電力を供給しながら蓄電池を充電する。インバータは、高周波スイッチングによってパルス幅変調 (PWM) を行って直流電圧を交流電圧に変換し、フィルタ回路を通した後に出力に正弦波電圧を供給する。また、UPS の出力周波数は、入力周波数を自動的に検出し、入力周波数と同じ周波数となるよう制御する。蓄電池は、小型シール鉛蓄電池 (定格負荷時の蓄電池

保持時間 10 分間) を内蔵している。蓄電池部では、交流入力電源正常時に蓄電池を充電しておき、停電時にはインバータを介して負荷に電力を供給する。オプションで、蓄電池を外部に追加することにより、30 分、60 分等の長時間に対応することも可能である。

コンピュータインタフェース部は、ワークステーションに対応した RS-232C インタフェース及びパソコンに対応した接点インタフェースの 2 種類を用意している。インタフェースに応じたケーブルを使用してコンピュータと接続することにより、コンピュータとの通信を行う。

出力制御部は、3 系統の負荷へ電力を供給できる出力回路を用意している。出力 (連続) は、通常の UPS 出力で、負荷へ常時インバータ給電を行っている。出力 1、出力 2 にはリレーを設けていて、コンピュータインタフェース部からの指令で負荷への電力供給を ON/OFF する。ワークステーション対応時には、出力 (連続) にルータなどの常時給電の

必要な LAN 関係の周辺装置を、出力 1 にディスク装置など CPU に先立って電源供給の必要な装置を、出力 2 に CPU をそれぞれ接続する。制御可能な出力 1 と出力 2 に電源供給時間差を持たせることで、起動時の自動立ち上げとシャットダウン後の電源供給停止を可能とした。また、パソコン LAN 対応時には、UPS の盤面スイッチに連動して出力 1 と出力 2 の電源供給を“ON/OFF”し、出力 1 と出力 2 に接続した負荷を一斉に“ON/OFF”する。リモートスイッチコネクタには、オプションのリモートスイッチが接続できる。このスイッチの動きは、盤面スイッチと同じであるがオペレータの近くに設置でき、手で操作することができる。

3.2 仕様と外観

MELUPS8400 N シリーズの主な仕様を表 1 に、1 kVA の外観を図 3 に示す。交流出力単相 2 線式 100 V (1 ~ 3 kVA) と単相 3 線式 200/100 V (2, 3 kVA) をラインアップに持っており、サーバ、ディスクアレー等の入力電圧 200V の装置にも電源供給可能である。

また、UPS の外観は小型化を図るとともに、コンピュータと同じオフィス環境に設置されることを考慮したデザインとした。

4. ワークステーション対応 インタフェースの機能

MELUPS8400 N は、次の三つの機能を UNIX ワークステーションに提供している。

(1) 自動シャットダウン機能

停電発生時等にワークステーションのシャッ

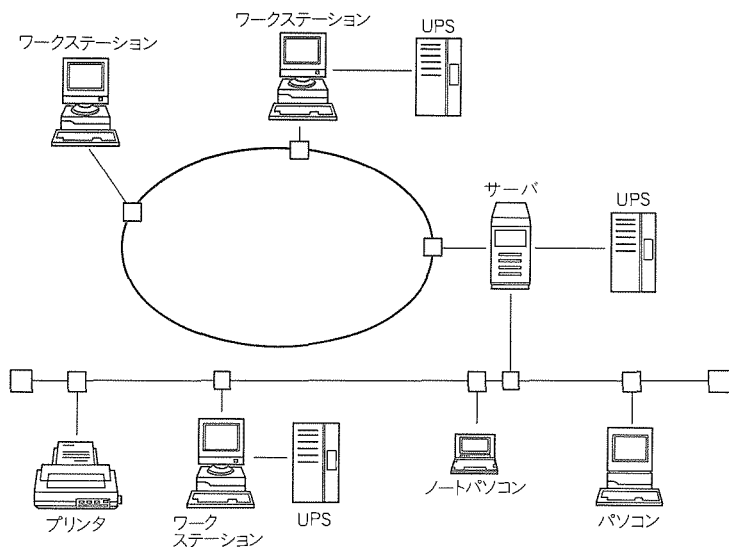


図 1. コンピュータネットワーク例

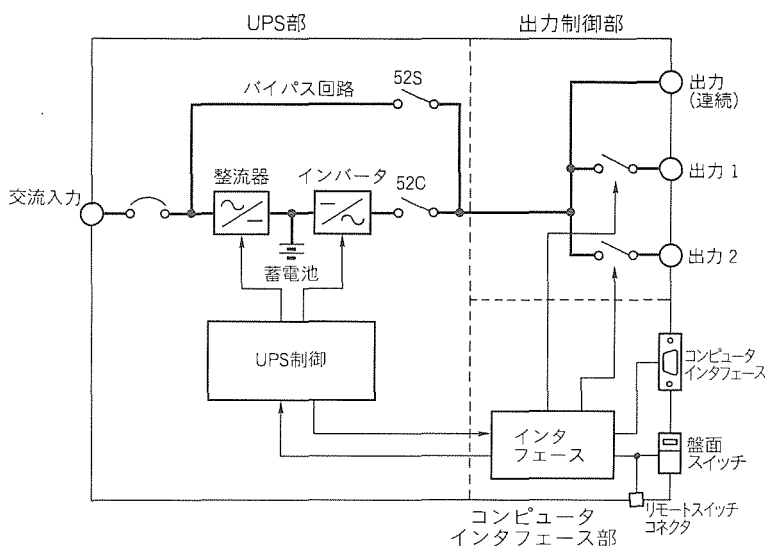


図 2. MELUPS8400N のシステム構成

表 1. MELUPS8400Nの仕様一覧

項 目		仕 様				
定格出力容量 (kVA／kW)		1／0.7	2／1.4	3／2.1	2／1.4	3／2.1
交 流 入 力	相 数	単相 2 線式				
	電 圧 (V)	100±10%			200±10%	
	周波数 (Hz)	50又は60± 5 %				
バッテリー保持時間		10分間 (定格出力・周囲温度25℃)				
交 流 出 力	相 数	単相 2 線式			単相 3 線式	
	電 圧 (V)	100± 2 %			200／100± 2 %	
	周波数 (Hz)	50又は60 (自動判別)				
外形寸法 (mm) W×D×H		140×450×410	250×550×600		250×700×600	
質 量 (kg)		25	60	70	110	120
コンピュータインタ フェース		UNIXワークステーション対応のRS-232C 又はパソコン対応の接点信号				

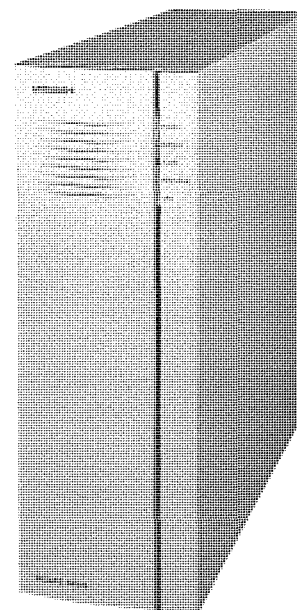


図 3. MELUPS8401N(1 kVA)の外観

トダウンを自動的に行う。

(2) 自動運転機能

ワークステーションの ON/OFF を UPS 内蔵カレンダーによって自動的に行う。

(3) UPS モニタ機能

ワークステーションから UPS の状態をモニタする。

以下に、それぞれの機能について説明する。

4.1 自動シャットダウン機能

従来のシステムでは、停電が発生した場合、これを検出してもシステムの管理者(スーパーユーザ)にその旨を通知することしかできなかった。したがって、管理者がこれを受けて停電継続を確認し、UPS のバックアップ時間内にシステムを安全に停止させる処置を行う必要があった。一方、最近では24時間連続稼働のワークステーションも増えてきているが、夜間まで管理者を常駐させているところはほとんどない。このようなところでは、夜間長時間の停電が発生し、朝出勤してみるとシステムがクラッシュしていたというケースが報告されている。

MELUPS8400 N は、バックアップ時間を越える長時間の停電からシステムを保護することが可能である。あらかじめ設定しておいた時間以上停電が継続した場合、これをシステム停止要求として認識し、ワークステーションのシャットダウンプロセスを起動して、システムを安全に停止させる機能を持っている。UPS とワークステーションの簡単な接続例を図 4 に、シャットダウンプロセスの概略フローを図 5 に示す。

(1) MELUPS8400 N は、システム停止要求を受け付けると、あらかじめ設定してあるスーパーユーザとしてワークステーションへログインする。

(2) スーパーユーザとしてログインした UPS は、所定のスクリプト(ユーザ定義による追加も可能)を実行し、最後にシャットダウンコマンドを起動する。

(3) UPS は、ワークステーション側でのシャットダウンコ

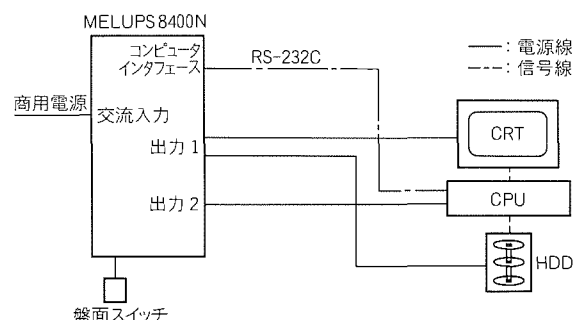


図 4. システム接続例

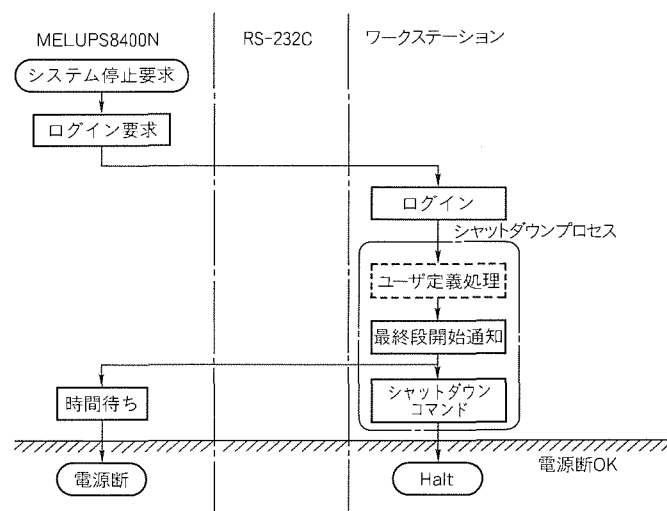


図 5. シャットダウンプロセス

マンドの起動を確認し、あらかじめ設定した時間待機した後、ワークステーションへの電源供給を停止し、一連のプロセスを完了する。

MELUPS8400 N は、停電以外にもシステムの運用を容易に行うために、表 2 のような条件で自動シャットダウンを

表 2. システム停止項目

システム停止項目	内 容
停電継続確認	(1) 停電発生から設定時間(デフォルト32秒:変更可)停電の継続を確認した場合、システム保護のためシャットダウンを行う。 (2) 設定時間にかかわらず、蓄電池残量が50%となった場合には強制的にシャットダウンを行う。
盤面スイッチ/リモートスイッチ	盤面スイッチ又はオプションのリモートスイッチのON/OFFによって、システムの立上げ、シャットダウンを行う。 システム管理者以外でも容易にシステムの運用が行える。
内蔵カレンダー	自動運転機能を実現するためのもので、指定時刻にON/OFFする。 (表 3 スケジュール機能参照)
ワークステーション側のコマンド	UPS本体と付属しているユーティリティソフトウェアに含まれるコマンドによるもの。シャットダウンコマンドを行うだけでなく、電源断も行うことができる。

表 3. スケジュール機能

スケジュール	説 明	優先順位	件 数
週間(Daily)スケジュール	各曜日ごとに独立にON/OFFの時刻を設定する。	最低	1 週間分
スケジュールの保留 (Suspend)	ある期間、週間スケジュールを保留することができる。 (ON/OFFともまとめて1日単位)	第 2 位	無制限
特別(Special)スケジュール	ある期間、ON時刻/OFF時刻をそれぞれ独立して設定する。	最高	

行うことができる。

自動シャットダウンのフローを簡単に言い直すと、MELUPS 8400 N は、あたかも人間の管理者がキーボードから行うように、RS-2 32C ポートからワークステーションの1 端末としてログイン、シャットダウンを行い、電源を切る操作を行う。UPS 本体とともに供給するワークステーション側のユーティリティ(ソフトウェア)は、そのほとんどがUNIX の標準コマンドシーケンス、すなわちシェルスクリプトで構成されている。したがって、異なるワークステーションや、オペレーティングシステム(OS) のバージョンごとでのソフトウェアの相違点はわずかであり、汎用性・保守性を大幅に向上させることができた。また、ユーザによるカスタマイズも極めて容易に行うことができる。

4.2 自動運転機能

MELUPS 8400 N は、ワークステーションの内部カレンダーとは独立したカレンダーを内蔵している。先に述べたシャットダウン機能と制御可能な出力 1, 出力 2 とを、この内蔵カレンダーで制御することにより、システムの自動運転を行うことができる。

自動運転機能は、表 3 に示す 3 種類のスケジュール機能を組み合わせることによって行うもので、図 6 のスケジュール設定例のように柔軟なスケジュールを簡単に設定することが可能である。

4.3 UPS モニタ機能

MELUPS 8400 N のユーティリティとして、UPS の現在のステータスや商用電源の状態などを確認するためのモニタ

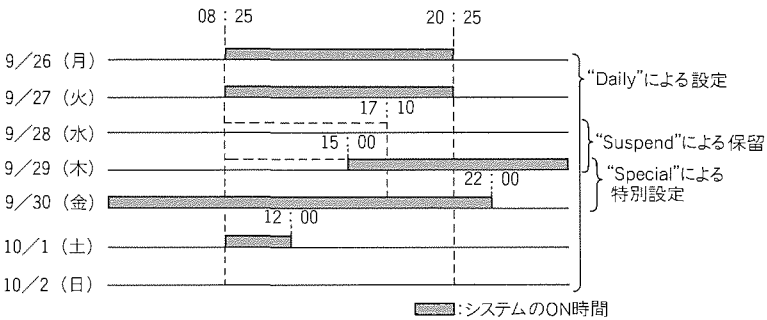


図 6. スケジュール設定例

プログラムを提供している。

- (1) 入力電圧、周波数、システム全体の負荷率、蓄電池の充電状況やバックアップ時間などを数値で表示する。
- (2) さらに、特に重要な入力電圧、負荷率及び蓄電池の充電状況をバークラフで表示する。
- (3) UPS とワークステーション間で交わした設定・動作情報の記録を表示する。

図 7 にモニタ画面例を示す。このモニタ機能は、UPS のインストール時や負荷の変更時などに、システムの電源状態をシステム管理者に把握しておいてもらうためのものである。

5. パソコン LAN への対応

NetWare, LAN Manager, Windows-NT^(注3) に代表されるパソコン LAN のネットワークオペレーティングシステム(NOS) は、停電時のデータの喪失、ハードディスクの破壊などを防ぐためにそれ自身で UPS モニタ機能をサポートしている。UPS をモニタリングするプログラムは、サーバにインストールし、サーバと UPS とは専用の信号ケー

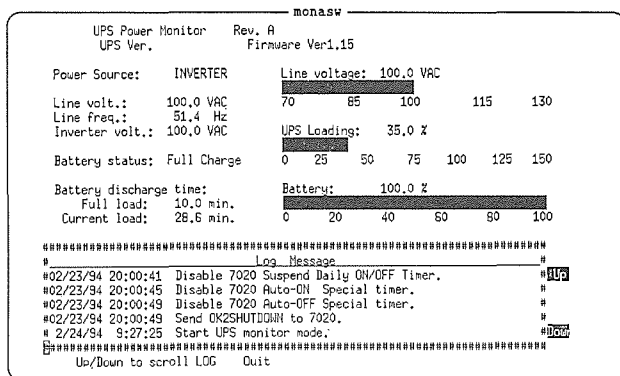


図 7. モニタ画面例

ブルで接続する。UPS モニタ機能は、UPS からの停電信号を受信したとき、警報メッセージをサーバコンソール画面とログインユーザにブロードキャストする。そして、サーバであらかじめ設定しておいた時間以内に復電しない場合、又は UPS からの蓄電池電圧低下の信号を受信した場合には、残っているすべてのユーザをログアウトさせ、オープンされているすべてのファイルをクローズしてサーバ自身を自動シャットダウンする。

MELUPS 8400 N は、このような UPS モニタ機能をサポートしたインタフェースを NOS に対応して準備している。

5.1 NetWareとの接続

5.1.1 UPSのインタフェース部

- (1) 停電
- (2) 蓄電池電圧低下

の二つの信号をそれぞれリレーの A 接点、及び B 接点の両方で出力している。A 接点と B 接点のどちらを使用するかは、サーバのパラメータの設定で選択できる。

5.1.2 サーバのインタフェース部

サーバの機種、又は NOS のバージョンによって使用するインタフェースポートは異なる。

- (1) RS-232C ポート (日本語版のみ)
- (2) マウスポート
- (3) UPS モニタリングボード

5.2 LAN Manager, Windows-NTとの接続

5.2.1 UPSインタフェース部

- (1) 停電
- (2) 蓄電池電圧低下
- (3) UPS 停止 (サーバから出力)

の三つの信号をそれぞれ RS-232C レベルの電圧信号で出力している。

5.2.2 サーバのインタフェース部

RS-232C ポートを使用する。

6. む す び

ワークステーションやパソコンを使用したコンピュータネットワークに最適な小容量 UPS MELUPS 8400 N シリーズを紹介した。この製品は、ますます伸展していくコンピュータのダウンサイジング、ネットワークの電源セキュリティを支えるものとして重要性を増していくものと確信する。

今後も、コンピュータの技術進歩に合わせ、より高度なインタフェース機能を持った製品をタイムリに開発していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 瞬時電圧低下対策専門委員会：瞬時電圧低下対策，電気協同研究，46，No.3 (1990)

計装用UPS

中村 透*
池内謙二*
野川智章**

1. ま え が き

工業プラント、水処理プラント、電力プラントなど、各種プラントの計装システムに安定した電源を供給するために、無停電電源装置 (Uninterruptible Power Supply : UPS) が適用されている。プラントの計装システムの電源に障害が発生するとプラントの制御に大きな影響が出るため、電源として適用される UPS には高い信頼性が要求されている。

ここに紹介する“MELUPS8400 H”“NC-U”は、プラントの計装システム用として開発された単相出力 UPS である。

2. MELUPS8400H

MELUPS8400 H は、工業プラント、石油・ガスプラントなどの計装システムに適用できるとともに、広く一般向けの単相中大容量 UPS として開発したシリーズである。

2.1 特長と仕様

MELUPS8400 H の特長は以下のとおりである。

(1) 大容量 IGBT 搭載

当社の電力用半導体技術を用いて開発された大容量 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) をインバータ部に搭載している。

(2) 計装システムに適した出力特性

計装システムの負荷にはスイッチングレギュレータに代表されるコンデンサインプット形の整流器負荷が多く含まれている。瞬時波形制御方式の採用により、このような高調波成分を多く含むピークの大きな電流を要求する負荷に対しても、出力電圧が正弦波となるように制御する。許容クレストファクタ (波高値倍率) は 2.5 である。

(3) 優れた過渡特性

0→100%という大きな負荷変動に対しても、出力電圧の過渡変動はわずか 5%以下と、負荷急変や突入電流に強い出力特性を持っている。

(4) デジタルモニタリング

盤面の液晶ディスプレイにデジタル計測、操作ガイダンス・故障モニタ・復旧ガイダンスなどを日本語表示する。なお、UPS の運転状態も LED によってグラフィック表示部に表示し、操作性・保守性を向上している。

(5) メンテナンスフリー

シール形鉛蓄電池を標準的に採用し、均等充電・液面レベルチェック・補水などの保守が不要である。もちろん他の蓄

電池も選択可能である。

(6) コンパクト化

大容量 IGBT、デジタル制御の採用などによる部品数の低減とともに、部品実装技術によってコンパクト化を実現している。

(7) その他の機能や方式

- 12相整流方式整流器
- ウォークイン機能付き整流器
- 過電流バイパス切換え
- オートリトランスファ機能
- ハイブリッド式サイリスタスイッチ
- 大きな過負荷・過電流耐量

表 1 に MELUPS8400 H の標準仕様を示す。

2.2 構 成

図 1 に MELUPS8400 H の単線接続例を示す。交流出力が単相 3 線式で、保守バイパス回路とバイパス用絶縁変圧器を設けた例を示している。

整流器部は、サイリスタによる 12 相整流を採用し、交流入力電源への流出高調波電流を低減するとともにコンパクト化を図っている。

インバータ部には IGBT を適用し、瞬時波形制御方式を採用して出力特性の向上を図っている。

インバータ盤にはバイパス切換え回路が内蔵されている。インバータが過負荷や故障で給電を継続できなくなった場合、自動的に無瞬断でバイパス回路に切り換え、商用バイパス電源によって負荷への給電を継続する。

過負荷が解除されたとき、又は故障復旧後インバータを再起動したときには、バイパス給電からインバータ給電に自動的に切り換える機能 (オートリトランスファ機能) を持っている。

なお、バイパス回路には、サイリスタスイッチ STS と機械スイッチ 52 S とから成るハイブリッドスイッチを用いて、自然冷却方式とすることにより、給電信頼性を向上している。

図 2 に MELUPS8400 H (50 kVA) の装置の外観を示す。

3. NC-U

NC-U は、主として水処理プラントや電力プラント向けの UPS として開発されたシリーズである。

3.1 特長と仕様

NC-U は、MELUPS8400 H と共通する部分が多く、2.1

表 1. MELUPS8400Hの標準仕様

項 目		仕 様				備 考
運 転 方 式		商用同期常時インバータ給電				
定格出力容量	kVA kW	40 32	50 40	75 60	100 80	
交 流 入 力	相 数	三相 3 線				
	定 格 電 圧	200V				210, 220, 400, 415, 440Vはオプション
	電圧変動範囲	±10%				
	定格周波数	50又は60Hz				
	周波数変動範囲	± 5 %				
バ イ パ ス 入 力	相 数	単相 2 線又は単相 3 線				
	定 格 電 圧	出力電圧と同じ				
	定格周波数	出力周波数と同じ				
蓄 電 池	形 式	シール形鉛蓄電池（別盤）				他の蓄電池はオプション
	公 称 電 圧	360V				
	停電補償時間	5 又は10分				25℃、定格負荷時（10分超も可能）
交 流 出 力	相 数	単相 2 線又は単相 3 線				
	定 格 電 圧	100, 200, 200-100V				110, 120, 220Vなどはオプション
	電 圧 精 度	± 1 %				
	定格周波数	50又は60Hz				
	周波数精度	±0.01%（バイパス非同期運転時）				± 1 %（バイパス同期運転時）
	定格負荷力率	0.8（遅れ）				
	負荷力率変動範囲	0.7～1.0（遅れ）				0.8～1.0（遅れ）では定格kW以内
	電圧波形ひずみ率	3 %以下（定格線形負荷時）				5 %以下（100%整流器負荷時）*
	過渡電圧変動率	± 5 %以下（負荷急変 0 ⇄ 100%で） ± 2 %以下（停電・復電時） ± 5 %以下（出力切換え・入出力定格時）				
	過渡変動回復時間	50ms				
	インバータ許容ピーク電流	定格電流実効値の250%				
	インバータ過負荷耐量	125%10分, 150% 1 分				
	バイパス過電流耐量	1,000% 1 サイクル, 125%10分				
そ の 他	冷 却 方 法	強制風冷式				天井面排気
	周 囲 温 度	0 ～40℃				20～30℃（推奨値）
	相 対 湿 度	30～90%				ただし、結露しないこと
	標 高	1,000m以下				
	設 置 環 境	屋内（腐食性ガス、じんあいのない場所）				
	塗 装 色	内外面 マンセル 5 Y 7 / 1（半つや塗色） 表示パネル マンセル 5 Y 4 / 0.5				

注* ひずみ率 = $\frac{\sqrt{\sum (\text{各高調波実効値})^2}}{\text{基本波実効値}}$

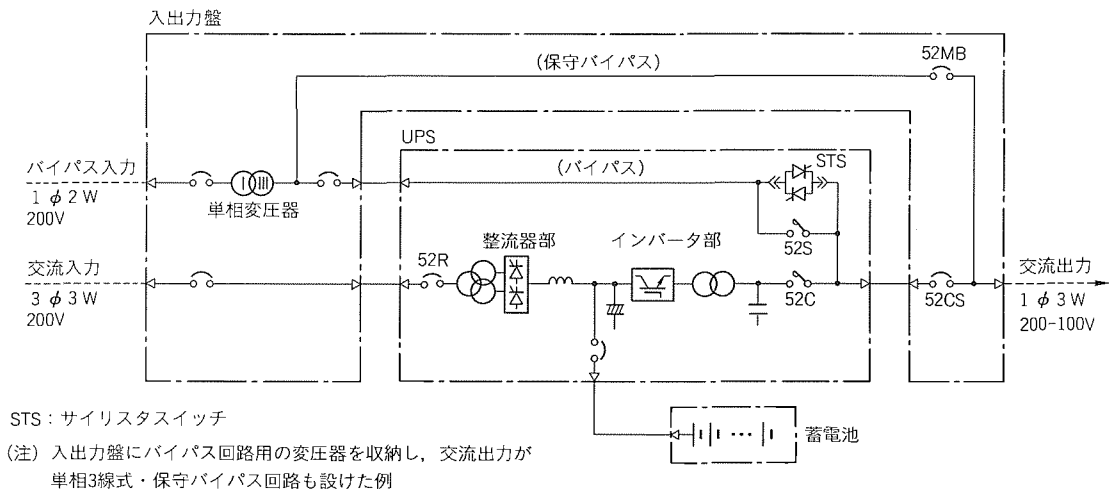


図 1. MELUPS8400Hの単線接続例

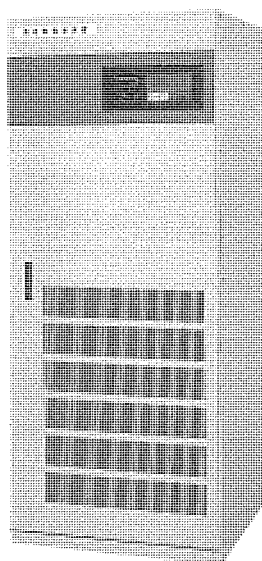


図 2. MELUPS8400Hの外観
(50kVA切換内蔵)

節の(1)～(3)及び(7)の特長については同様である。そのほかに、NC-Uには次のような特長がある。

(1) 直流負荷への対応

プラントの受配電設備へ操作電源・制御電源用の直流出力を供給することが可能である。

(2) ステーションバッテリーへの対応

装置の入力がDC 100 V 系の場合にも対応可能である。

(3) アナログメータの装備

水処理プラントや電力プラント向けのUPSでは、アナログメータを適用する場合が多く、NC-Uではアナログメータを標準装備している。

(4) 個別仕様への対応

各プラントごとの操作スイッチや表示灯の指定、特殊な塗装にも対応することができる。

表 2 に NC-U の標準仕様を示す。

3.2 構成

図 3 に NC-U の単線接続図の例を示す。充電器、蓄電池、インバータ、交流出力分電盤から構成されたUPSシステムを示している。

充電器には12相整流のサイリスタ整流器を適用し、MELUPS8400 H と同様に交流入力電源への流出高調波電流に配慮している。また、充電器には直流負荷へ給電するための直流分岐回路がある。

直流分岐回路は、蓄電池に直結された回路とシリコンドロ

表 2. NC-Uの標準仕様

項 目		仕 様
定格出力容量		5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75kVA
運 転 方 式		商用同期常時インバータ給電
交流入力充電器	相 数	三相 3 線
	定 格 電 圧	200, 210, 220, 400, 415, 440V
	電圧変動範囲	±10%
	定格周波数	50又は60Hz
	周波数変動範囲	± 5 %
入力バイパス	相 数	単相 2 線
	定 格 電 圧	100, 105, 110V
	定格周波数	50, 又は60Hz
蓄電池	形 式	陰極吸収式シール形鉛蓄電池 MSE形
	公 称 電 圧	108V (54セル) 又は216V (108セル)
	停電補償時間	30分 (5℃)
交流出力	相 数	単相 2 線
	定 格 電 圧	100, 105, 110V
	電 圧 精 度	± 2 %以下 (0～100%負荷で)
	定格周波数	50又は60Hz
	周波数精度	±0.01% (バイパス非同期運転時)
	定格負荷力率	0.8 (遅れ)
	負荷力率変動範囲	0.7～1.0 (遅れ) (0.8～1.0では定格kW以内)
	電圧波形ひずみ率	3 %以下 (定格線形負荷時), 7 %以下 (100%整流器負荷時)
	過渡電圧変動率	± 7 %以下 (負荷急変 0 →100%で) ± 2 %以下 (停電・復電時) ± 7 %以下 (出力切換時・入出力定格時)
	過渡変動回復時間	50ms以下
	インバータ許容ピーク電流	定格電流実効値の250%
	インバータ過負荷耐量	120% 1分, 150% 1秒
その他	冷 却 方 式	強制風冷式
	周 囲 温 度	0～40℃ (推奨値: 20～30℃)
	相 対 温 度	30～90% (ただし, 結露しないこと)
	標 高	1,000m以下
	設 置 環 境	屋内

ッパSDの二次側に設けられた回路とがある。前者は、受配電設備の遮断器の操作電源などに供給される直流出力である。後者は、受配電用機器のコントローラなどの制御電源として供給される直流出力で、90～110 V の範囲にシリコンドロップSDによって安定化される。

蓄電池は、鉛蓄電池が一般的であるが、小型、長寿命のアルカリ蓄電池が用いられることもある。いずれの場合でも水処理プラントの場合には、長時間の停電補償が要求され、30分以上の蓄電池を設置することが多い。

インバータ部は、直流入力電圧が最低で90 V まで運転するため MELUPS8400 H と比較すると、同じ出力容量を得ようとすれば3倍以上の通電能力を持ったインバータが必要となる。インバータの出力容量は、交流負荷の容量に応じて5～75 kVA を選定できる。

インバータ部に IGBT を適用し、瞬時波形制御方式を採用している点は MELUPS8400 H と共通しており、優れた出力特性を持っている。

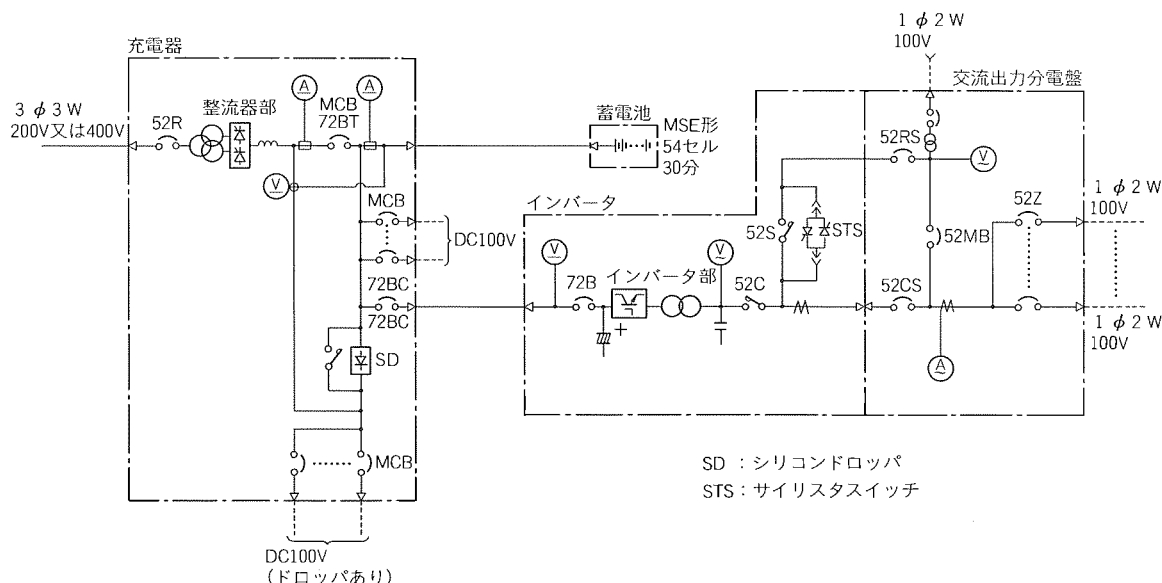


図 3. NC-Uの単線接続例

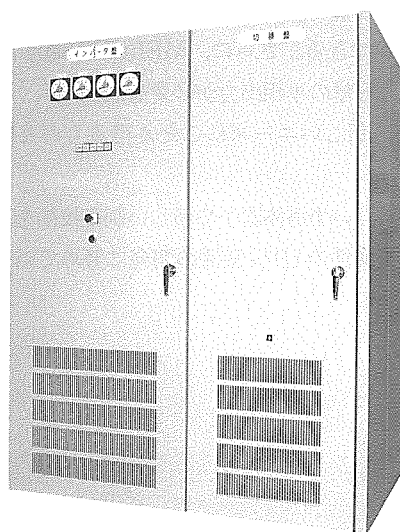


図 4. NC-U (40kVA) の外観

負荷がすべて交流負荷で100 V 回路の直流負荷が不要の場合には、直流電圧200 V でも製作可能である。

また、ステーションバッテリーからの直流入力のみの仕様にも対応することが可能である。この場合の構成は、図 3 におけるインバータ、交流出力分電盤のみのシステムとなる。

図 4 に NC-U (40 kVA) の装置の外観を示す。

4. 運 転 特 性

UPS の交流出力特性については、MELUPS 8400 H と NC-U とは同等の性能を持っている。ここでは、代表的な諸特性について NC-U (40 kVA, 50 Hz) の装置での試験結果を示す。

4.1 交流出力特性

図 5 に100%整流器負荷を接続した場合の交流出力電圧・電流波形を示す。負荷側にコンピュータや通信機器などコンデンサインプット形の整流器負荷を接続した場合でも、UP

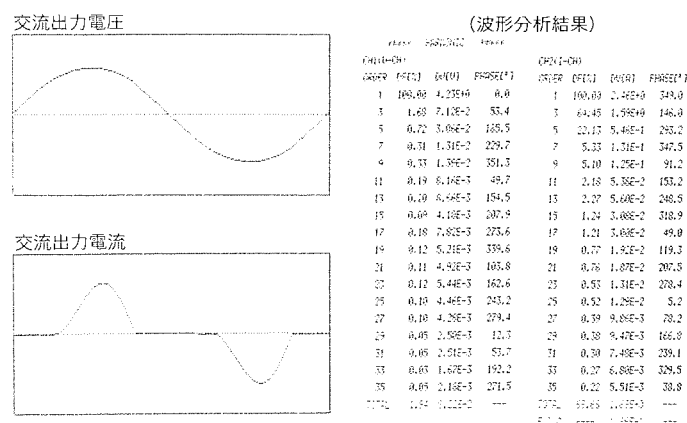


図 5. 交流出力波形

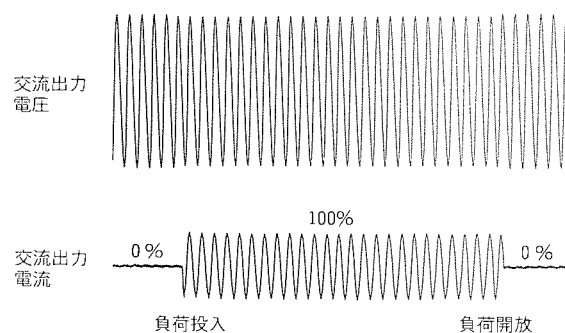


図 6. 負荷急変試験 (0%→100%→0%)

S 装置の出力電圧は、ほぼ正弦波となっている。

電流総合ひずみ率が68.7%の負荷に対しても、出力電圧総合ひずみ率が1.94%と良好な結果が得られている。

4.2 負荷急変時の交流出力特性

図 6 に負荷急変時の交流出力電圧・電流波形を示す。瞬時波形制御方式により、電圧の大きさも瞬時に制御するので、0 ↔ 100%という大きな負荷電流の急変に対しても出力電圧

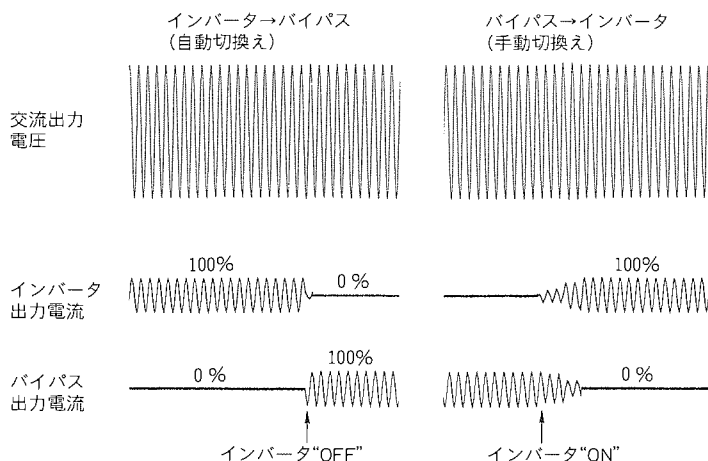


図7. 切替試験（インバータ→バイパス→インバータ）

の過渡的変動は1%と小さい。コンピュータ機器の電源の入／切に伴う電流の変化や突入電流にも瞬時に対応して、他の機器に影響を与えることがないため、システム構成上の配慮や運用上の制約をなくすることができる。

4.3 切替制御特性

図7にインバータ回路とバイパス回路の切替時の交流出力電圧・電流波形を示す。インバータ運転状態において、バイパス回路に自動切替を行った場合、UPS装置の交流出力電圧の変動はほとんどなく、無瞬断で切り換わり電力供給が続けられる。また、バイパス回路からインバータ運転に手動

切替を行った場合は、バイパス回路とインバータ回路の負荷分担を行いながら、スムーズな負荷電流移行が行われ、交流出力電圧の変動がほとんどなく負荷機器に安定した電力供給ができる。

4.4 騒音

同装置の騒音は、55dB(A) (前方1m) となっている。高周波PWM制御により、可聴周波数帯域の騒音が大幅に低減したこと、及び低騒音冷却ファンの採用による結果である。

5. むすび

計装用UPSとして開発したMELUPS8400H, NC-Uについて概要を紹介した。これまで単相出力の中大容量UPSとしては“MELUPS8300”“NC-B”などがあったが、これらに比べて飛躍的に高性能となり、最近の計装用機器とマッチングのとれた出力特性を持つUPSということができる。さらに、MELUPS8400Hは汎用機種としても大容量の単相出力が必要な設備に広く適用可能なUPSであり、新しいニーズにこたえ得るものと確信している。

今後とも新しい半導体素子や新しい制御技術を取り入れた高性能、高信頼性のUPS装置の開発に努めていく所存である。

UPS用大容量IGBTとIPM

由宇義珍* 村本雅博**
森 敏*
ゴープ マジュームダール*

1. ま え が き

パワーエレクトロニクスは、電気エネルギーの発生から輸送(伝達)更に消費の段階で適用され、その共通目的はエネルギーの有効活用である。いかに電気エネルギーを有効活用するかは、各電力変換装置の性能に左右され、中でもこれらの電力変換装置に使用されるパワーデバイスに依存するところ大である。言い換えれば、パワーデバイスはパワーエレクトロニクスを支えるキーデバイスであり、その性能向上がパワーエレクトロニクスの可能性を実現するための不可欠な要因の一つである。

本稿では、無停電電源装置(Uninterruptible Power Supply: UPS)用パワーデバイスについて現状及び将来動向を述べるが、その前に少し歴史的背景に触れておく。

図1にパワーデバイスの進展を示す。1960年代にサイリスタでパワーエレクトロニクスの第一世代を開き、その後1970年代後半にバイポーラトランジスタモジュールの出現により、各種電力変換装置の発展に大きなインパクトを与え、経済性に優れた汎用装置が急速に開発され第二世代の幕開けとなった。パワーデバイスの性能への要求はこれだけにとどまらず高周波化、低損失化へと導き、第三世代へと移行した。現在第三世代のパワーデバイスのキーワードは、“MOS (Metal-Oxide on Semiconductor) ゲートデバイス”と“インテリジェント化”である。

MOS系パワーデバイスの代表格として現在最も広く使用

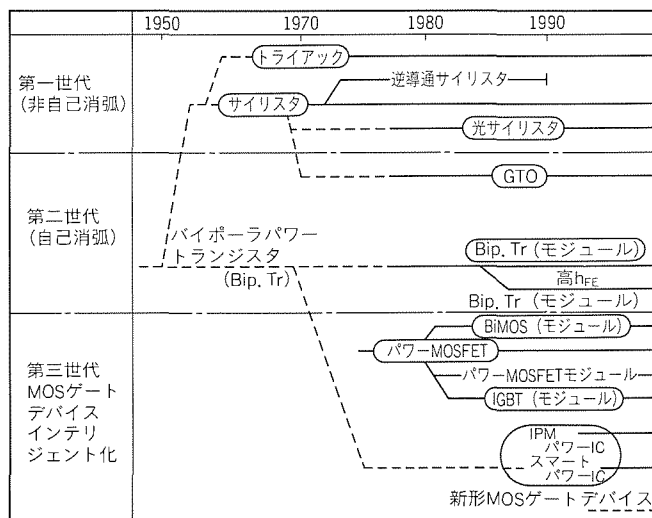


図1. パワーデバイスの進展

されている IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor : 絶縁ゲート形バイポーラトランジスタ) は高速スイッチングが可能で、比較的高耐圧・大容量化が容易に実現できるので、効率の良い装置を可能にする。

もう一つの動向としてパワーデバイスのインテリジェント化が進められ、より使いやすく、より高信頼度のパワーデバイスが実現されている。

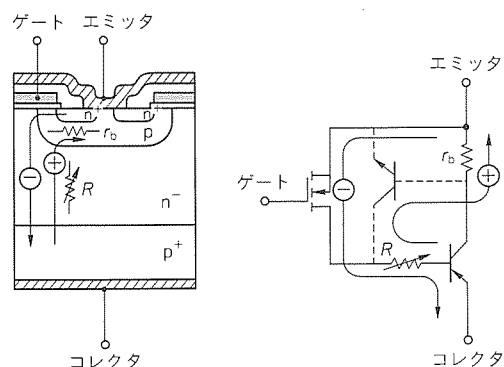
本稿では、これらの IGBT やインテリジェントパワーモジュール (Intelligent Power Module : IPM) について、その性質と技術動向について述べる。

2. パワーデバイスの性能向上と大容量化

UPS 等各種電源装置では高周波化と小型化が要求され、その要求に従って、パワーデバイスの高速化や駆動回路の簡素化を図った MOS ゲートデバイスが注目されている。特に高耐圧・大電流デバイスとして IGBT は非常に期待され、性能向上が進められている。

(1) IGBT の構成

IGBT は、1982年に発表された新しいパワーデバイスであり、その構造は図2に示すように MOSFET (MOS Field Effective Transistor) とバイポーラトランジスタを同一チップ上に集積した複合素子である。IGBT チップは、npn の4層構造で上部に MOS ゲートが形成され、コレクタ側の p^+ がなければ MOSFET と基本的に同じ構造である。図2(b)に IGBT の等価回路を示す。同図から明らかなように npn トランジスタと pnp トランジスタに MOSFET が接続された回路で、MOSFET のゲートに正のバイアスを与



(a) 断面構造

(b) 等価回路

図2. IGBTの構造

えると電子(⊖)がMOSFETの n^- 層へ流れ込み、この電子の流れはpnpトランジスタのベース電流となって p^+ 層から正孔(⊕)が注入される。この結果 n^- 層は少数キャリアの蓄積によって伝導度変調が生じ、 n^- 層の抵抗値 R は著しく低下する。また、npnトランジスタのベースとエミッタは低抵抗 r_b で短絡されているので、通常電流ではトランジスタとしての増幅作用は起こらないように設計されている。したがって、npnトランジスタとpnpトランジスタとの複合体はサイリスタとして動作しない。このようにIGBTは、MOSFETにバイポーラ構造を導入し、伝導度変調の効果を付加することによってオン電圧を低減し、ライフタイム制御により、高速スイッチング特性を実現した素子である。

一方、飽和電圧・耐圧とスイッチング性能の間にはトレードオフの関係がある。IGBTの性能向上を考えると、必ずこのトレードオフの壁を越えなければならない。

(2) IGBTの性能向上

IGBTをパワースイッチとして使用するとき、最も重要な性能は、パワー損失を最小にすることである。パワー損失は、飽和損失とスイッチング損失とに大別されるが、これら各々のパワー損失は、それぞれオン電圧とスイッチング時間に直接依存するため前述したようにトレードオフを考慮しな

ければならない。また、高耐圧化を考えるとこのトレードオフは、更に複雑な関係になる。図3に示すIGBTの高性能化でこれらのトレードオフ関係は説明される。同図に示すように、パワーデバイスに要求される性能は低オン電圧化、高耐圧化及び高速化がある。

低オン電圧化は、図2に示すドレイン抵抗 R の低減が必要である。一方、高耐圧化は n^- 層の厚みの増加を必要とし、高速化は正孔のライフタイムを短くする必要がある。しかし、 n^- 層の厚みを増加すること及び正孔のライフタイムを短縮することは n^- 層における p^+ 層からの正孔の注入効率を低下させ、伝導度変調を妨げることになる。そこで、この相反する関係を改善するためにIGBTのセル構造を微細化することが進められている。セルパターンの微細化を表すのにデザインルール(パターンの最小線幅)が用いられているが、図4に示すようにIGBTは現在 $3\mu m$ ルールでパターン設計されている。今後、更に微細化が進み $1\mu m$ ルールのIGBTチップが近い将来実現するであろう。パターンの微細化によるオン電圧と高耐圧化とのトレードオフの改善と同様に、図5に示すように、オン電圧とスイッチング時間(t_f)とのトレードオフの改善は、世代交代で進められている。

3. UPSに要求されるパワーデバイスの性能

図6に代表的なUPSの主回路構成を示す。同図に示すインバータ及び整流器にパワーデバイスが適用される。上記装置に要求される性能を満足するパワーデバイスとして、最近IGBTやIPMが採用されている。

これらのパワーデバイスに要求される主な性能を次に述べる。

(1) 高周波スイッチング特性

高調波電流を多く含む負荷装置に対して正弦波電圧を供給

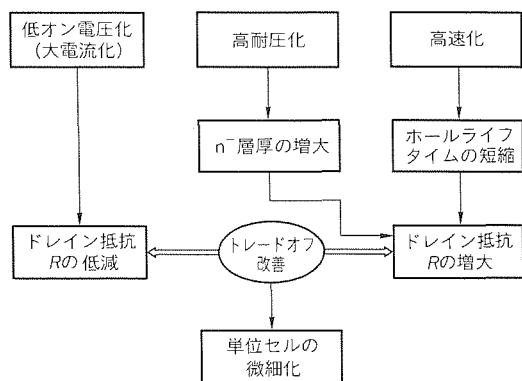


図3. IGBTの高性能化

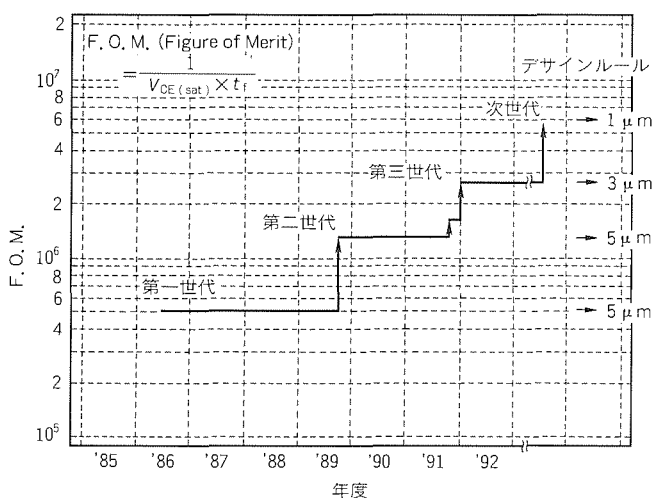


図4. IGBTの微細化

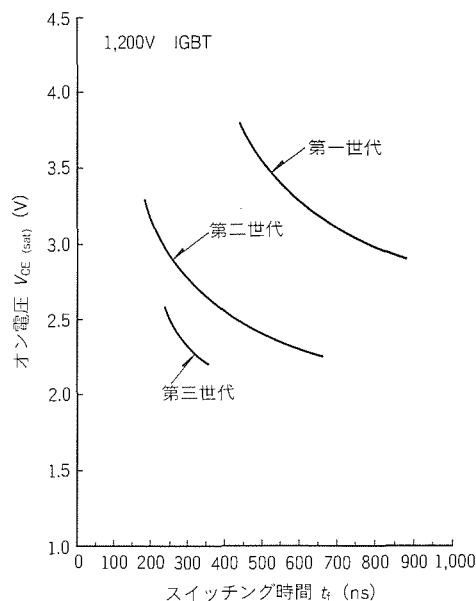


図5. オン電圧とスイッチング時間とのトレードオフ

するため及びフィルタリアクトルなどから発生する電磁騒音を可聴周波数以上として低騒音化を図るために、10 kHz以上のスイッチング動作を可能にする。

(2) パワー損失の低減

インバータの損失を低減するために、導通損失の低減とともに、高周波スイッチング時に増大するスイッチング損失を低減する。また、高効率コンバータに適用するに当たっては、ダイオードの損失がインバータに比べて大きくなるために、ダイオードの損失低減も重要である。

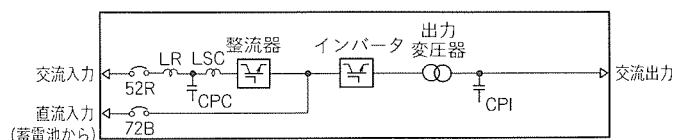
(3) 高機能化

ドライブ回路、過電流保護・過電圧保護機能、PWM (Pulse Width Modulation) 制御機能などを素子内に取り込むことによって小型化や高信頼性を図る。

(4) 並列接続の容易さ(大容量化)

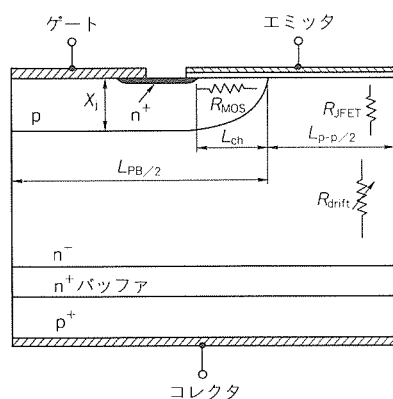
数百 kVA の大容量装置の場合、素子を複数個並列接続して大容量化を図るため、素子間の電流バランスを容易に実現できる特性を持っている。

4. 大容量IGBTモジュール



52R : 交流入力ブレーカ CPC : 交流入力フィルタコンデンサ
72B : 直流入力ブレーカ LSC : 整流器用リアクトル
LR : 交流入力リアクトル CPI : 交流出力フィルタコンデンサ

図6. UPSの主回路構成



(a) IGBTチップパラメータ

	L_{ch}	L_{pB}	L_{p-p}
従来品	1	1	1
三世代	0.5	0.5	0.9

(b) 構造(寸法)比

図7. IGBTチップ改善パラメータ

現在、性能の最も優れている当社第三世代 IGBT モジュール (H シリーズ) についてその特長を述べる。H シリーズ IGBT モジュールは、定格電流 10 ~ 1,000 A、定格電圧 600, 1,200 及び 1,400 V で、従来シリーズ (第二世代) に比べて飽和電圧で約 20 % の改善、スイッチング損失で約 30 % の低減を実現し、インバータ応用時のパワー損失を約 20 ~ 25 % 低減した。

一方、UPS 応用に必要なフリーホイールダイオード (Free Wheel Diode : FWD) についても電圧降下とリカバリ特性とのトレードオフを大幅に改善し、逆回復時間 (t_{rr}) 及び逆回復電流 (i_{rr}) を従来品の約 1/2 にしている。

4.1 IGBTチップの性能改善

IGBT の飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ は次式で表される。

$$V_{CE(sat)} = V_{FPIN} + \frac{2 \cdot (1 - \alpha_{pnp}) \cdot L_{ch} \cdot I_c}{\mu_u \cdot C_{ox} \cdot L_w \cdot (V_{GE} - V_{GE(th)})^2}$$

α_{pnp} : pnp トランジスタ部の電流伝導率

L_{ch} : チャネル長

I_c : 定格電流

μ_u : MOS 部の移動度

C_{ox} : ゲート容量

L_w : チャネル幅

V_{GE} : ゲート-エミッタ間電圧

$V_{GE(th)}$: ゲート-エミッタ間しきい値電圧

V_{FPIN} : ダイオード部電圧降下

V_{FPIN} は pin ($p^+n^+n^-$ 構造) ダイオードの順電圧降下で

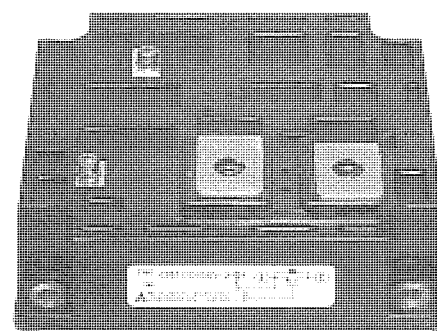


図8. 1,200V, 1,000A IGBTモジュールの外観

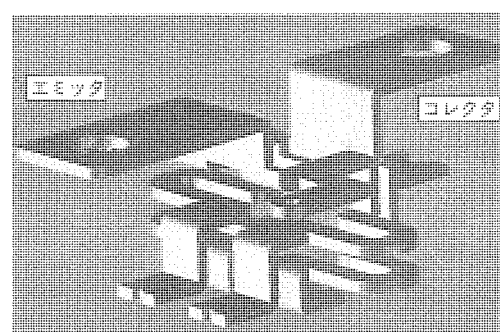


図9. IGBTモジュールの内部構造
(内部インダクタンス低減)

あり低減は難しく、 $V_{CE(sat)}$ の低下にはMOS部のオン抵抗が大きく影響する。そこで図7にIGBTチップのオン電圧改善のパラメータを示す。すなわち、次の3点をポイントにチップ構造を設計し、従来品に比較してオン電圧の低減と同時にスイッチング性能の大幅改善を実現した。

- (1) pベース間隔 (L_{p-p}) の最適化によるJFET抵抗 R_{JFET} の低減
- (2) セルバタンの微細化による L_w の増大
- (3) トレードオフの改善

上記以外に $V_{CE(sat)}$ 低減には α_{pnp} の増加も効果的であるが、短絡耐量の低下につながるため n^+ バッファ層の厚みやライフタイム制御を最適化し、そのトレードオフを改善している。

4.2 FWDチップの改善

実応用でターンオン時に発生するターンオンスイッチング損失は、FWDのリカバリ特性が影響を与えるので t_{rr} や i_{rr} の低減が必要である。また、リカバリサージ電圧の発生を抑えるために、ソフトリカバリ特性の実現も不可欠である。そこで、チップ構造や拡散プロファイルのシミュレーションから以下のパラメータの最適化が効果的であることが確認された。

- (1) アノード側のp層不純物濃度の低減
- (2) アノード側のp層をシャロー化

以上のパラメータを最適設計することにより、従来品より t_{rr} 及び i_{rr} を約1/2に改善した。

4.3 1,200V, 1,000A IGBTモジュール

以上のように第三世代IGBTチップとFWDチップをモジュール構造のパッケージに納めて1,200V, 1,000A IGBTモジュールが開発・製品化された(図8参照)。

その主要定格・特性を表1に示す。また、スイッチング時に発生するサージ電圧を抑制するために、内部電極のインダクタンスをCADを用いて最適化することによって従来の約1/2に低減した(図9参照)。

5. 大容量IPM

インテリジェントパワーモジュール(IPM)は、従来のパワーデバイスに比べて、より高性能で、より使いやすく、より小型化を目指したシステムニーズに最適なパワーデバイスとして設計されている。図10にIPMの設計コンセプトを示す。システムニーズに対し、IPMに要求される性能は、①高周波特性、②低損失、③高破壊耐量、④保護の容易性等が挙げられる。

2章2項で述べたように、IGBTチップは飽和電圧とスイッチング特性及びSOA(Safe Operating Area)との間に複雑なトレードオフがあり、IPMはこのようなトレードオフを更に改善してチップ性能を最大限に発揮できるように、最適な駆動回路と保護回路を内蔵している。図11にIPMの内部構成を示す。

5.1 IPMの性能・機能

第三世代IPMとしては、定格電流10～600A、定格電

表1. 1,200V, 1,000A IGBTモジュールの主要定格・特性

$(T_j=25^\circ\text{C})$			
記号	項目	条件	規格値
V_{CES}	コレクタ-エミッタ間電圧	G-E間短絡	1,200V
I_C	コレクタ電流		1,000A
$V_{CE(sat)}$	コレクタ-エミッタ間飽和電圧	$I_C=1,000\text{A}$, $V_{GE}=15\text{V}$	2.7V (Typ.)
t_f	ターンオフ下降時間	$V_{CC}=600\text{V}$, $I_C=1,000\text{A}$, $V_{GE}=\pm 15\text{V}$ $R_G=3.3\Omega$, 抵抗負荷スイッチング	350ns (max)
V_F	ダイオード順方向電圧	$I_E=1,000\text{A}$, $V_{GE}=0\text{V}$	2.5V (Typ.)
$R_{th(j-c)Q}$	接合ケース間熱抵抗	IGBT部	0.022 $^\circ\text{C}/\text{W}$ (max)
$R_{th(j-c)R}$		FWD部	0.05 $^\circ\text{C}/\text{W}$ (max)
$R_{th(j-f)}$	接触熱抵抗	ケース-フィン間, グリース塗布	0.018 $^\circ\text{C}/\text{W}$ (max)

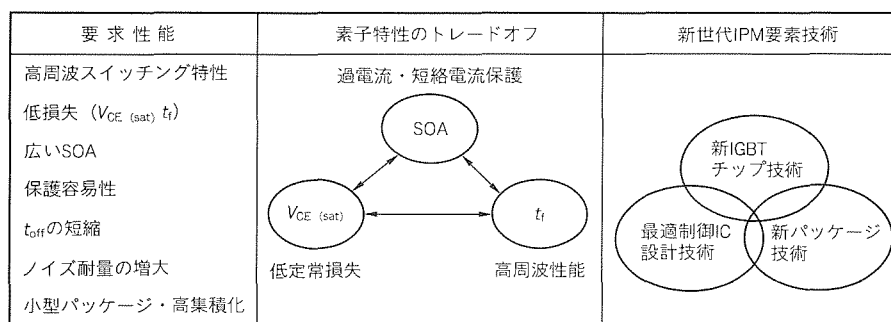


図10. IPMのコンセプト

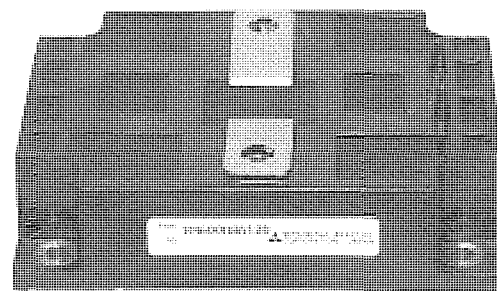
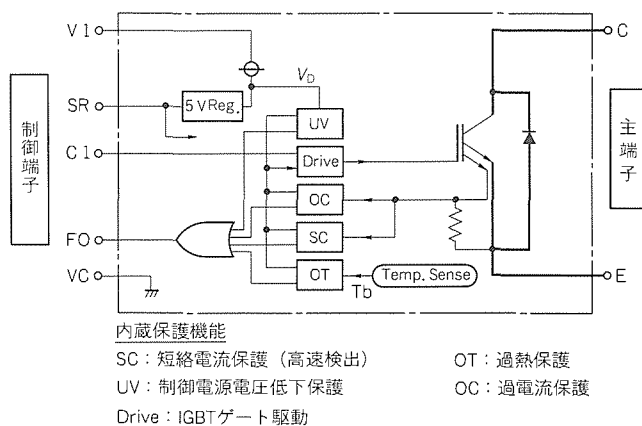


図12. 1,200V, 600A IPMの外観

図11. IPMの内部構成 (ブロック図)

表 2. 1,200V, 600A IPMの主要定格・特性

記 号	項 目	条 件	規 格 値
V_{CES}	コレクタ-エミッタ間電圧		1,200V
I_C	コレクタ電流		600A
$V_{CE(sat)}$	コレクタ-エミッタ間飽和電圧	$I_C=600A, V_D=15V, V_{CIN}=0V, T_j=25^\circ C$	2.3V (Typ.)
V_F	ダイオード順方向電圧	$-I_C=600A, V_{CIN}=5V$	2.5V (Typ.)
$R_{th(j-c)Q}$	接合ケース間熱抵抗	インバータIGBT部	0.036 $^\circ C/W$ (max)
$R_{th(j-c)F}$		インバータFWD i 部	0.072 $^\circ C/W$ (max)
$R_{th(j-f)}$	接触熱抵抗	ケース-フィン間, グリース塗布	0.02 $^\circ C/W$ (max)
制御(保護)部			
OC	過電流保護トリップレベル	$T_j \leq 125^\circ C, V_D=15V$	1,000A (Typ.)
SC	短絡保護トリップレベル	$T_j \leq 125^\circ C, V_D=15V$	1,400A (Typ.)
OT	過熱保護トリップレベル	$V_D=15V$, ベース板温度を検知	110 $^\circ C$ (Typ.)
UV	電源電圧低下保護トリップレベル	$T_j \leq 125^\circ C$	12V (Typ.)

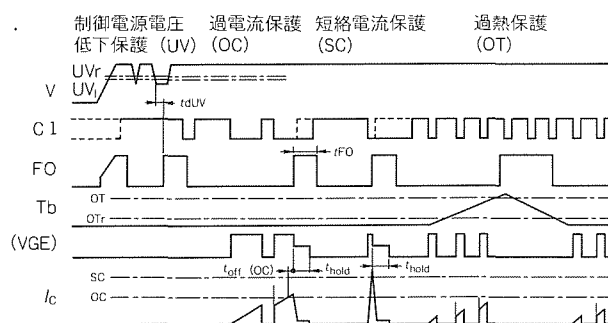


図13. 保護機能のタイミングチャート

- (4) P 及び N サイドからのエラー信号出力によって地絡、電源短絡、負荷短絡などの異常動作に即時対応

5.2 保護機能

IPM の保護機能は、① 過電流 (OC)、② 短絡電流 (SC)、③ 加熱 (OT) 及び④ 制御電源電圧低下 (UV) の各種保護回路を充実させた。図 13 に保護機能のタイミングチャートを示す。

また、OC、SC、OT 及び UV の各保護回路が動作した場合、1 ms 以上の間エラー信号 (FO) を出力し、外部制御回路に知らせる。

6. む す び

パワーエレクトロニクスのキーデバイスとして、IGBT モジュールや IPM について技術動向を踏まえながら説明した。特に UPS 用大容量 IGBT 及び IPM の第三世代シリーズにおける性能改善について詳述した。

今後、これらの MOS 系パワーデバイスは、さらにチップの性能改善と同時に、インテリジェント化が進むものと思われる。

圧 600 V, 1,200 V の製品化を実現した。図 12 に外観、表 2 に主要定格・特性を示す。その性能及び機能は次のとおりである。

- (1) 駆動回路及び保護回路の内蔵により、全機種を同一信号インタフェース回路で動作可能
- (2) 低損失の実現で、第二世代シリーズに比べて 20 % 損失低減
- (3) RTC (Real Time Current Control) 回路により、短絡時のピーク電流を抑制

UPSの保全とリニューアル

本城健二*
飯田恒司**
橋本秀一**

1. ま え が き

無停電電源装置 (Uninterruptible Power Supply : UPS) は、1960年代以降、公共性の高い銀行などのオンラインシステムや各種プラント制御などのバックアップ電源として使用されてきた。当初のUPSは、サイリスタインバータ式で導入後の適切な保全によって信頼性を維持してきているが、設備全体の耐用寿命に至り既に更新されたものも多い。しかし、1970年代後半に導入され、まだ稼働中のものについては、設備のリニューアルが課題となっている。

また、ここでいうリニューアルとは老朽化して寿命期に達した設備の更新(リプレース)であると同時に、最新技術を適用した電源システムを導入することにより、信頼性・効率・機能・特性が向上し、保守性に優れたシステムに置き換える

近代化(モダナイズ)を総合的に実現するものと位置付けている。

2. UPSにおける保全

2.1 保全による信頼性確保

UPSは電力半導体を主体とした電力変換部、これを制御するための制御回路など多数の部品で構成されている。また、電解コンデンサなど一定の寿命を持った部品も含まれる。特に、高信頼性を要求されるUPSでは、これらの点から運転信頼性を維持するために、部品の故障や寿命に至る前に適切な保全をして事故を未然に防止する予防保全が重要である。

2.2 保守点検

予防保全の中で基本的活動の一つである保守点検例を表1に示す。通常、メーカーのサービス部門で実施することが多い

表1. UPS装置定期点検項目表例

点 検 項 目	精密点検	普通点検	巡回点検
1. 目視点検			
1.1 主回路部品			
(1) ケミコン、オイルコンデンサの膨らみ、液漏れ、変色の有無	○	○	—
(2) 抵抗、トランス、リアクトル類の変色、変形、異臭、その他異常の有無	○	—	—
(3) 各部締付け部の緩み、変色の有無、点検及び増し締め	○	—	—
(4) 絶縁物の割れ、ひびの有無点検	○	—	—
1.2 制御回路			
(1) カード内部品(基板、トランジスタ、IC、抵抗、コンデンサ類)過熱、変色の有無	○	—	—
(2) ノイズキラー用ダイオード、コンデンサは異常ないか	○	○	—
(3) 計器類の零点その他指示不良の有無	○	○	○
(4) コネクタ部の点検	○	—	—
1.3 全般清掃	○	—	—
2. 絶縁抵抗測定	○	○	—
3. 制御回路点検(試験で制御回路のみ運転とする。)			
(1) 制御電源出力点検	○	○	—
(2) 起動シーケンス点検	○	○	—
(3) 整流器ゲートパルス及びインバータゲートパルス波形点検	○	—	—
4. 運転試験(単機)			
(1) 起動、停止5回以上実施、及びブレーカ類のトリップ機構の確認	○	○	—
(2) シーケンス保護連動試験及び表示回路の確認試験	○	○	—
(3) 停電試験を行う。	○	○	—
(4) 無負荷で各部ユニットの電圧及び波形チェック	○	○	—
(5) 運転中振動を与え異常の有無確認	○	○	—
5. 出力切換試験	○	○	—
6. その他			
(1) 運転状況調査及び記録	○	○	○
(2) 予備品及び付属品の保管状況の調査	○	○	○
(3) 運転中の振動、異臭発生の有無調査	○	○	○

が、巡回点検などユーザ側で実施している場合もある。

(1) 巡回点検

稼働中の装置の運転状態を点検する。

(2) 普通点検

装置を短時間停止して部品の点検や装置・システムの運転試験を実施する。

(3) 精密点検

装置又はシステムを停止して更に詳細な各部の点検や清掃・増し締め・部品交換・運転試験などを行う。

普通点検や精密点検において、負荷への無停電保守が考慮されていないシステムでは一定時間負荷への給電停止が必要

となる。

寿命部品の主なものには、電解コンデンサ（交換基準 8 年）、冷却ファン（交換基準 2 年：サイリスタ式 UPS の場合）、蓄電池（交換基準 7 年：HS 形鉛蓄電池の場合）などがあり、定期交換が必要である。これ以外の部品においても定期点検時の点検とその結果による保全が必要であるが、使用部品全体の劣化と信頼性を考慮した場合、本稿で対象とする UPS 装置の耐用寿命は 15 年である。

上記のような点検内容は、UPS の信頼性維持のための予防保全として重要である。しかし、各種のオンラインシステムなどで 24 時間・365 日の運用を求められているシステム

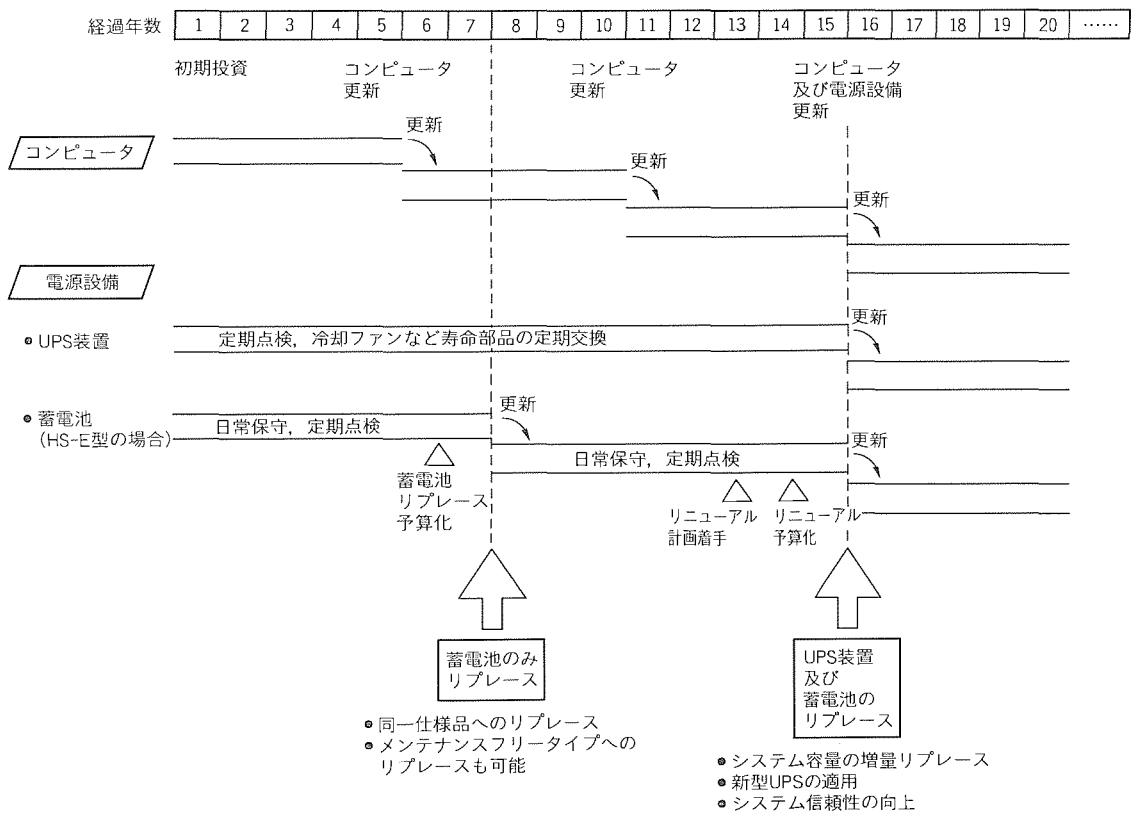


図1. コンピュータと電源設備の更新例

表2. 大容量UPSの変遷

年 代	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代
UPS型式 (製品名)	FC型	FC-E・FC-F・FC-K型	NC-A型 (MELUPS) FC-L型 (MELUPS8600)	NC-L・NC-N型 (MELUPS9100・9200)
インバータ素子	サイリスタ (強制転流回路付き)		バイポーラトランジスタ (自己消弧形)	
(整流器) コンバータ方式	ダイオード6相整流 (組合せ多相化のケースあり)			IGBT (自己消弧形)
バッテリー充電器	別置充電器方式		内蔵充電器 方式	整流器／充電器兼用方式
制御回路素子	トランジスタ	ディスクリートIC・LSI		マイクロプロセッサ・DSP
並列制御方式	個別制御方式 (共通発振器は2OUT OF 3冗長方式)		完全個別制御方式 (UPS間に共通の制御回路がない。)	
そ の 他	ランプ表示		LED表示 デジタルモニタリング メンテナンスモニタ 遠隔オンラインモニタ	

では、保守のために設備の停止を計画すること自体が難しく、また停止時間も極力短くすることが求められる。最近の製品やシステムでは、この点を考慮して点検・調整項目の低減やモニタリング機能による計測監視の自動化など保全性の向上が図られている。また、モニタリングシステムでは、故障時の各部波形記録など事後保全時の MTTR (Mean Time To Repair：平均修理時間) 短縮を図っている。

2.3 システム運用上の保全項目

機器自体の保全も重要であるが、UPS 導入後の負荷機器の増設や更新による UPS との容量・特性・運用面などのマッチングについても定期点検時などにチェックする必要がある。当初新設の設備として計画された時点では、一般的に定常的な負荷容量に対して 20～30% の余裕をみて UPS の容量を選定していることが多いが、負荷がその後増量されたり、新しい機種に更新されたりしている場合は、皮相容量 (kVA) だけでなく力率やピーク電流などについても確認する必要がある。コンピュータを始めとする電子機器ではシステム全体に占める整流器負荷の比率が高まる傾向にあり、力率やピーク電流などが UPS 導入当初から高くなっていることがあるからである。また、負荷側の増量や機器構成・運用方法の変化などにより、当初のシステムでは不都合の発生する場合があるので、この点からも負荷を含めたシステム全体としての保全管理が必要である。

UPS の負荷となるシステムに比べて、UPS 自体の更新周期が長い場合は特に保全活動を通じてこれらのデータや問題点を基に適時対策を講じるとともに、UPS のリニューアル時に役立てることが必要である。図 1 にコンピュータと電源設備の更新例を示す。

3. 大容量 UPS の変遷

1960 年代に静止型 UPS が開発された当初から現在に至るまでの大容量 UPS の製品と、これらの製品に適用されている主要な半導体や回路方式の変遷を表 2 に示す。UPS の

製品開発は、インバータに適用される電力半導体とこれを制御する制御用半導体の進歩とともに進展してきている。特に 1980 年代以降、スイッチングのための転流回路が必要であったサイリスタに代わって、バイポーラトランジスタや IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) など自己消弧形素子が開発されたことと、デジタル制御を採用したことにより、電力変換部のスイッチング周波数を kHz オーダに高周波化できるようになった。これにより、電力変換効率の向上、出力特性の向上 (電圧変動や電圧ひずみが小さい。)、入力特性の向上 (高力率、高調波電流レス)、小型化、低騒音化が急速に進展した。

4. リニューアルによるメリット

図 2 に 200 kVA クラスの UPS の効率の向上、外形寸法小型化の変遷を示す。効率向上はランニングコストの低減、小型化によって同一スペースでの増量リプレースや余剰スペースの他用途活用などが可能となる。表 3 にサイリスタ UP

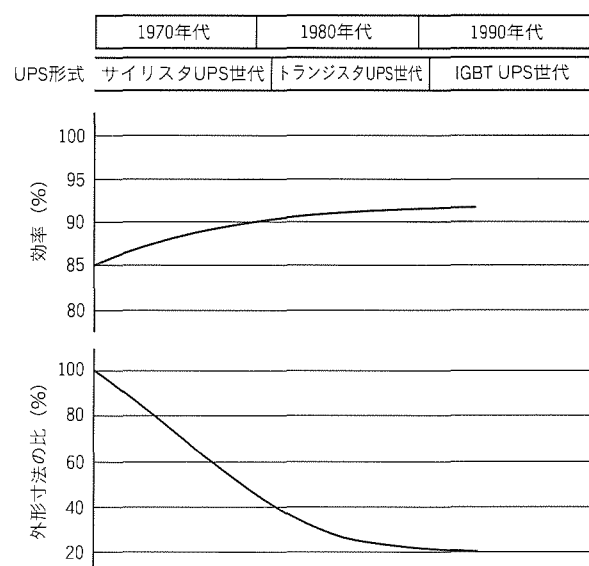


図 2. UPS 装置の効率・外形寸法の変遷例

表 3. UPS 装置の性能比較

区分	項目	サイリスタ UPS 世代	IGBT UPS 世代	ユーザ側のメリット
UPS 出力	過渡電圧変動	50% ↔ 80% 負荷急変で ± 8 ~ 10% 以下	0 ↔ 100% 負荷急変で ± 5% 以下	負荷の入切による出力電圧の変動が非常に小さい。
	電圧波形ひずみ率	線形負荷で 5% 以下	線形負荷で 2.5% 以下 100% 整流器負荷で 5% 以下	コンピュータの負荷は、ひずみ電流の割合が多いが、出力電圧へのひずみの影響が非常に少ない。
	電圧不平衡率	30% 負荷不平衡で ± 3% 以下	100% 負荷不平衡で ± 2% 以下	単相負荷による三相不平衡に対して強い。
	過負荷耐量	100% 連続のみ	125% 10 分, 150% 1 分	負荷の起動電流など、過負荷に強い。
UPS 入力	高調波電流含有率	(6 相整流) 25 ~ 30%	5% 以下	高調波レス・高力率入力となり、受配電設備への高調波の影響がほとんどない。
	入力力率	(ダイオード整流器) 93 ~ 95% (サイリスタ整流器) 75 ~ 88%	98% 以上	

Sと最新型のIGBT UPSの性能比較を示す。出力特性の向上により、負荷とのマッチング上の制約条件が緩和され、入力特性の向上によって受電側設備との協調がとりやすくなる。

また、システム面においても負荷側過電流時のバイパス切換えの対応や、負荷への給電を継続しながらの保守、さらにモニタリングシステムによる保守の省力化などサイリスタインバータ時代にはほとんど実現されていなかった機能を、設備のリニューアルを機会に実現することが可能である。

エレクトロニクス機器であるUPSのリニューアルは、最新型の機種に更新することによる保守の省力化や、通常UPSより短いピッチで増設・更新される負荷機器とのマッチングを遅滞なくとるためにも重要であるといえる。

つまりUPSのリニューアルは、使用期間中の適切な保全を実施して信頼性の維持を図った上で、製品全体としての耐用寿命に至ったものの更新というほかに、新しい製品やシステムを適用することによる保全性・効率・機能・特性などの向上を図る意味がある。これらの総合的な観点から、UPSの場合15年以内での全体更新(リノベーション)を推奨している。

5. リノベーションの計画手順と留意点

UPSは、オンラインコンピュータ用の例のように、連続稼働が一般的であるため、リノベーションに際し停電作業が頻繁にとれない特質がある。図3にリノベーションの計画手順と検討内容例を示す。負荷機器を含めたUPSシステムの運用条件・将来計画などの課題を明確にした上で、設置スペース・工期・停電作業量・予算などの制約条件を加味し、両者のバ

ランスをとったリノベーションの計画を進めていくことが重要である。また、UPSの1次側設備である受配電設備や自家発電設備、UPSの2次側設備である分電盤、さらにUPS

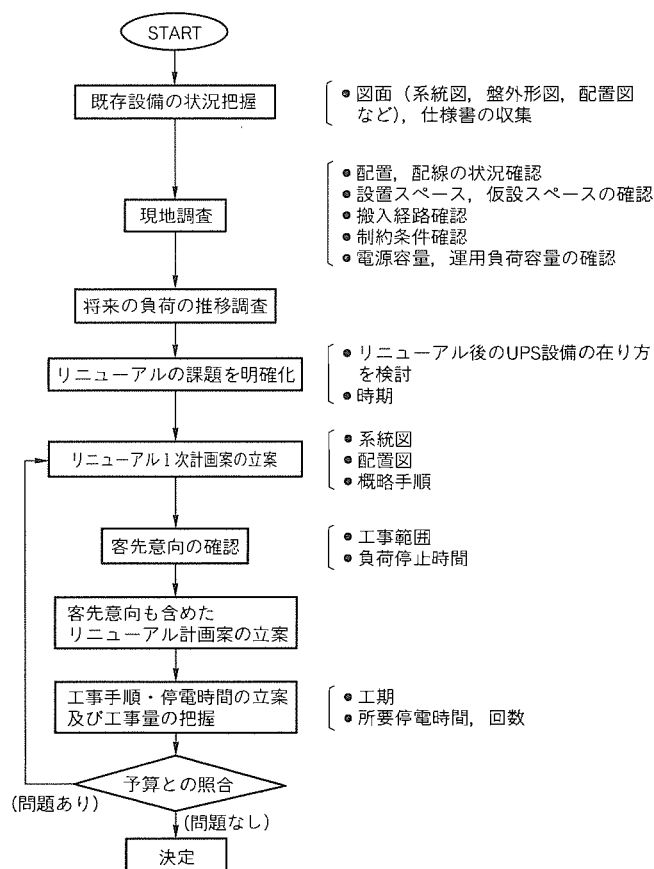


図3. リノベーション工事の計画手順と検討内容例

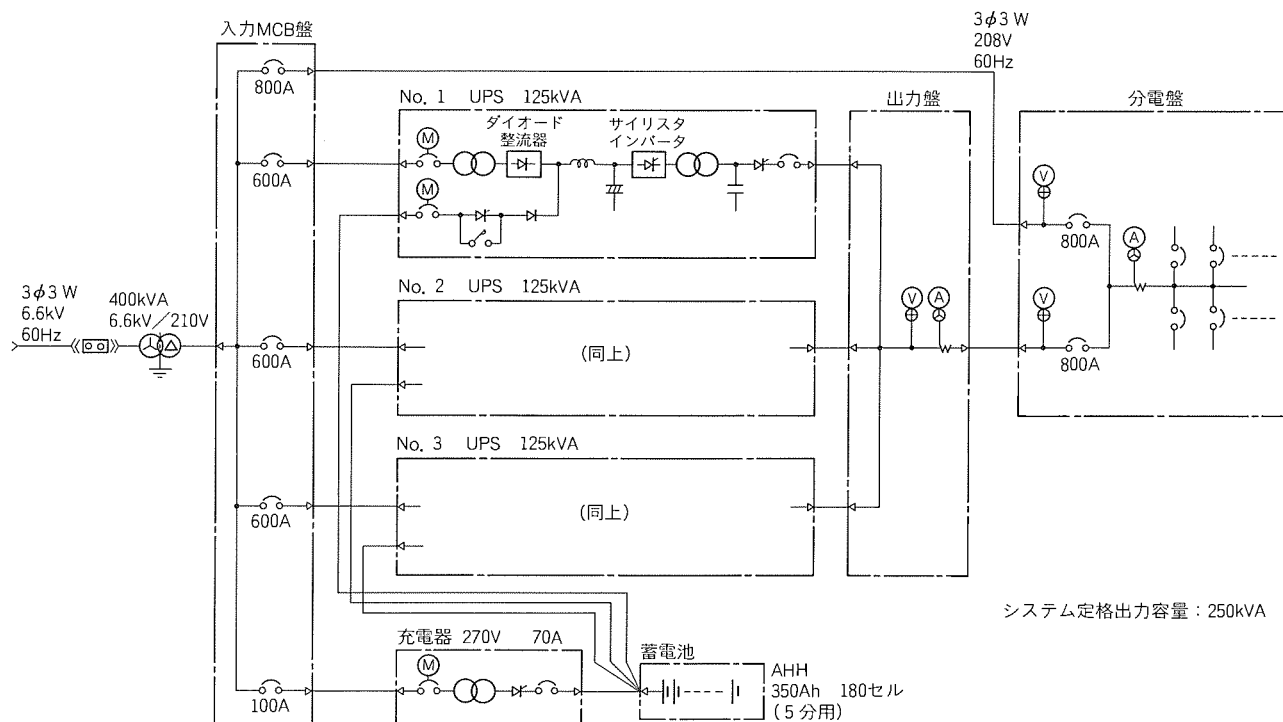


図4. 既設現状系統例

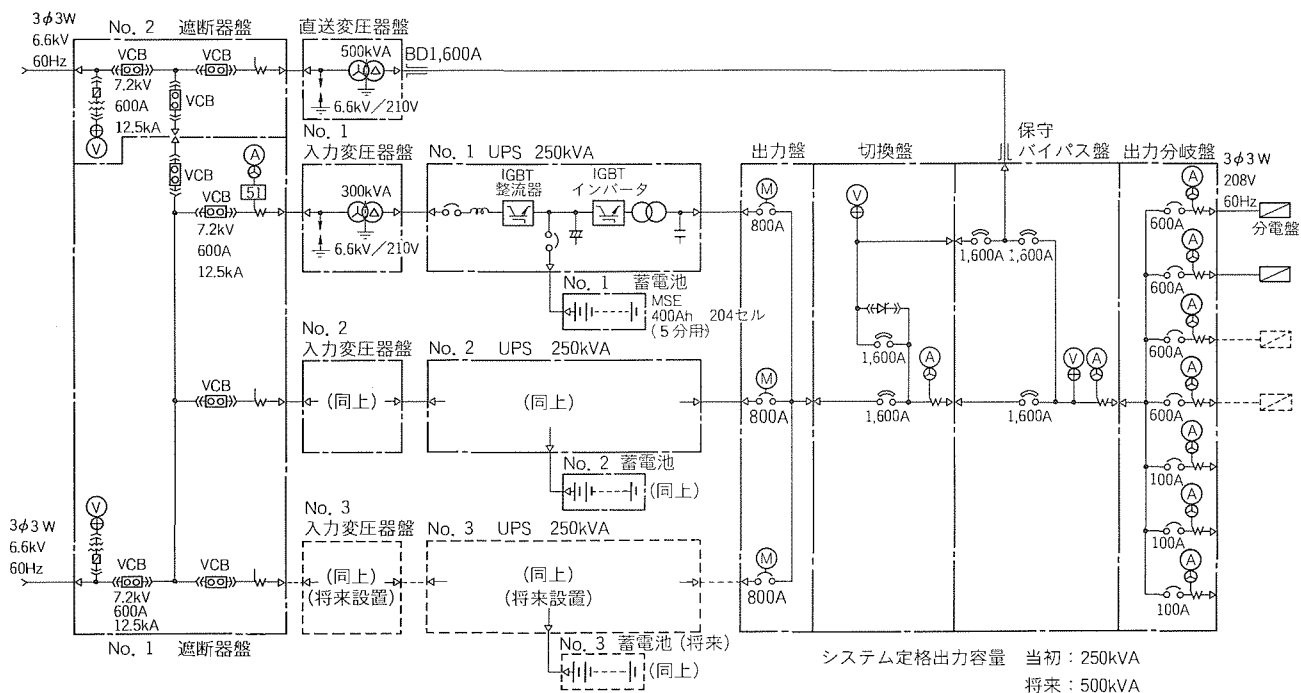


図5. リニューアル計画系統例

システムとこれらの設備をつなぐ配電系統などと協調をとった計画が必要である。

6. リニューアルの計画例

図4に既設設備の現状系統例を、図5にリニューアル計画の系統例を示す。この計画では、最新機種（MELUPS9200）への置き換えによる入出力特性の向上に加え、次の3点を実現している。

(1) 増量リプレース

現状システム $3 \times 125 \text{ kVA}$ 並列冗長システム（システム定格容量 250 kVA ）に対して、リニューアル案では将来の負荷増を考慮して、当初 $2 \times 250 \text{ kVA}$ （システム定格容量 250 kVA ）、将来 $3 \times 250 \text{ kVA}$ （システム定格容量 500 kVA ）としている。

(2) 電源供給信頼性の向上

並列冗長運転に加えて商用バイパスによる無瞬断切換回路を装備し、システムとしての信頼性を1けた向上させるとともに、万一の負荷側の過電流に対しても商用バイパス側へ無瞬断切換えにより、負荷側の運用も含めた電源供給の信頼性を向上している。また、入力系統もUPS系と商用バイパス系とも高圧入力を二重系として信頼性を高めている。

(3) 保守性の向上

完全個別制御方式（表2参照）の採用により、UPS1台ごとの保守が可能であるとともに、切換盤の保守時には保守バイパス回路からの負荷給電（商用）によって無停電保守が可能である。蓄電池は、UPS個別に装備する個別蓄電池方式を採用しUPS1台ごとの保守と連動して定期点検が可能である。なお、蓄電池にはMSE形陰極吸収式シール形鉛蓄電池を採用することで日常の保守を不要としている。

7. むすび

静止型UPSの30年にわたる各種分野での導入・運用経験から、UPSを含めた電源設備として信頼性を維持するための保全やリニューアルの重要性が増してきている。このためには、使用条件や使用環境に見合った設備ごとの適切な保全と、運用や将来計画を考慮したリニューアルが必要である。

UPSは、技術革新の速い製品であり、受配電設備など他の電源設備より更新周期が短い。導入後の保全やリニューアルのしやすさを考慮した製品の開発とシステム計画、メーカーとしての保全体制の充実、リニューアルに当たってのエンジニアリング協力に一層尽力していく所存である。

(株)ソルテック 1 GeV放射光装置の大電流化改造と現状

岸本 健* 原口正文** 飯田利昭** 来島裕子** 松井重明** 阿刀田伸史***

1. ま え が き

シンクロトロン放射光 (SR) を利用する SR リソグラフィの基礎技術確立を目的として、(株)ソルテックが1986年6月に設立された。三菱電機(株)は、SR 装置を構成する入射用電子ライナックと1 GeV の電子を蓄積する電流200 mA の電子蓄積リングの建設を担当し、1990年1月に(株)ソルテックへの引渡しを完了した⁽¹⁾。その後、装置は順調に稼働し、SR利用実験やマシンスタディに供されてきた。

このたび、(株)ソルテックにおいて、実用化を目指したより高強度のSRによるリソグラフィ実験を可能とするため、電子蓄積リングの蓄積電流を500 mA へ増強することが計画され、三菱電機(株)は改造工事を担当した。

以下、蓄積リングの大電流化改造の内容とそれ以降の稼働状況について報告する。

2. 大電流化改造

大電流蓄積に伴う改造項目と技術的課題を検討し、事前にR & Dを実施した。改造のポイントは次のとおりである⁽²⁾。

(1) 高周波加速空洞用電源 (以下“高周波電源”という。) 及び高周波加速空洞用パワーカップラ (以下“パワーカップラ”という。) 並びに同軸管の新設による500 mA 蓄積対応への高周波加速系の増強。

(2) NEG (Non Evaporable Getter) ポンプ及びイオン除去電極などの真空排気系の増強。

(3) バンプ電磁石部セラミックダクト (以下“セラミックダクト”という。) 及び偏向電磁石部真空ダクト (以下“偏向ダクト”という。) の冷却強化による温度上昇対策。

改造仕様決定のための検討を1991年8月末に完了し、10月から改造設計に着手した。

図1に蓄積リングの機器配置と改造箇所を、表1に改造前後の機器構成の比較を示す。改造内容と得られた性能について以下に示す。

2.1 高周波加速系⁽³⁾

高周波加速系において、高周波電源か

ら蓄積ビームに同期した高周波電力は、同軸管及びパワーカップラのアンテナループを介して空洞内に導入される。高周波電源に必要な電力 P_g は、SRとして失われるエネルギーを補給するための蓄積電流に比例した電力 P_b 、空洞壁で消費される損失 P_o 及び反射電力 P_r の和で与えられる。大電流蓄積に対応して下記の改造を行った。改造後の高周波加速装置の外観を図2に、新設したパワーカップラを図3に示す。

(1) 高周波電源

改造前は200 mA 蓄積時の P_b が6.37 kWであり、これに P_r 、 P_o を考慮して P_g を14 kWとした。改造後は500 mA 蓄積時の P_b が15.9 kWと増加するため、 P_r 、 P_o を考慮して P_g を28 kWと倍増した。

(2) パワーカップラと同軸管

同軸管は、28 kWの P_g を空洞へ導入するために、従来の直径77 mmから120 mmへ大容量化した。パワーカップラは、内導体に冷却用水冷パイプ導入のための水冷T分岐部を設けるとともに、セラミック窓を空洞本体から離し、旧カップラに比べて積極的に温度上昇の低減を図った。

アンテナの結合係数 $\beta = 4$ 程度で P_g と P_r を最適化した。図4に $\beta = 4$ 及び使用加速電圧 $V_c = 100$ kVにおける、蓄

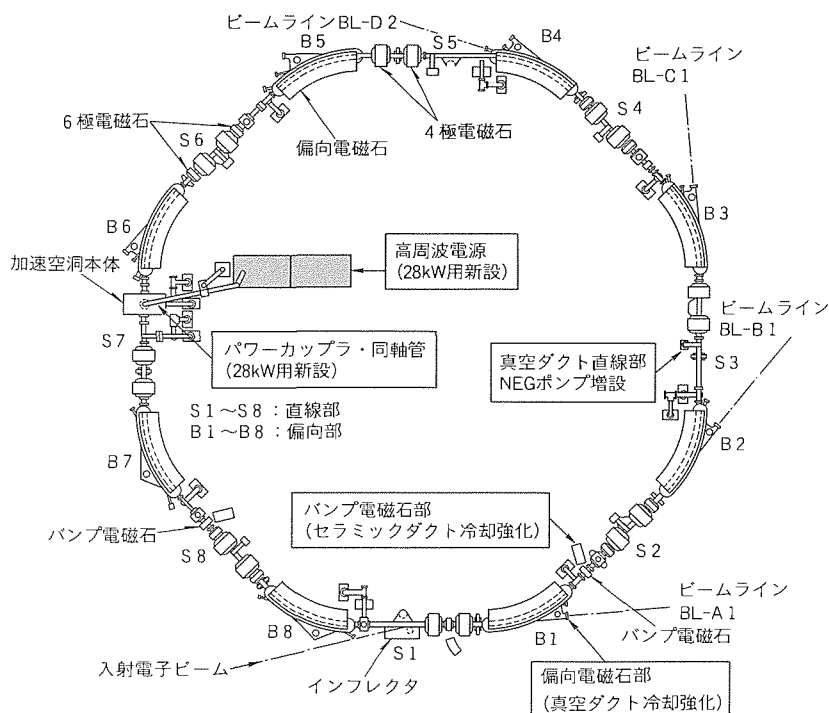


図1. 蓄積リングの機器配置と改造箇所

表 1. 蓄積リングの改造前後の機器構成比較

項 目	改 造 前	改 造 後 (個数)
高周波加速系		
高周波加速電源	14kW-CW	28kW-CW
主電力管	RS2012CJ (Siemens)	RS2058CJ (Siemens)
パワーカップラ	$\phi 77$ (14kW用)	$\phi 120$ (28kW用)
同軸管	WX-77DNF	WX-120DNF
真空排気系		
NEGポンプ	SIP内蔵型のみ	S 1 以外の各直線部に NEGモジュール増設
イオン除去電極 (直線部)	S 1 以外の 7 か所	S 1 に追加
冷却		
偏向ダクトSRポート	水冷	水冷強化
バンパ電磁石部	自然空冷	強制空冷 (ブロー)
セラミックダクト		

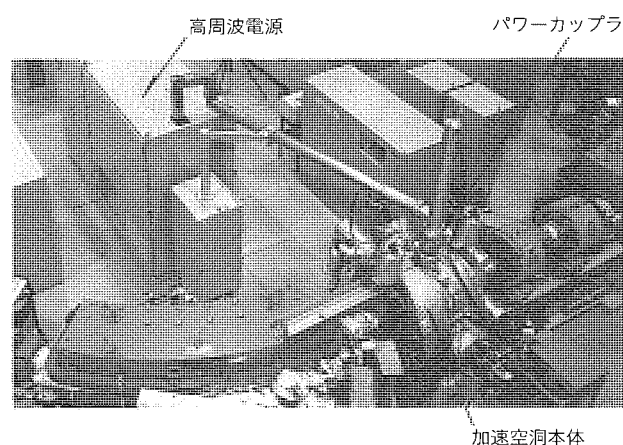


図 2. 改造高周波加速装置の外観

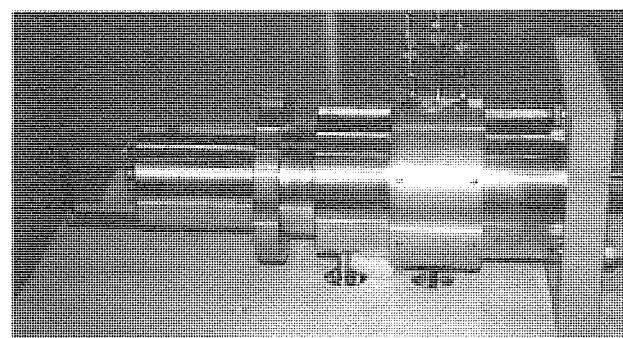


図 3. 新製パワーカップラ

積電流に対する P_g , P_r の理論値と, 500mA 達成後の同条件での実測値とを比較して示す。図より, 両者はよく一致し, 500mA 蓄積時の P_g の実測値は 22kW であり, 理論的には 600mA 蓄積可能 (P_g が最大値 28kW に達する。) な余裕のある性能が得られた⁽⁴⁾ ことが分かる。表 2 に高周波加速系の改造前後の主要パラメータを比較して示す⁽⁵⁾。

2.2 真空排気系

(1) NEG ポンプの増強

大電流化に伴いリング内圧力が増大するが, 特に, 直線部下流は SR の斜入射によるガス放出が多く, かつ, この部分

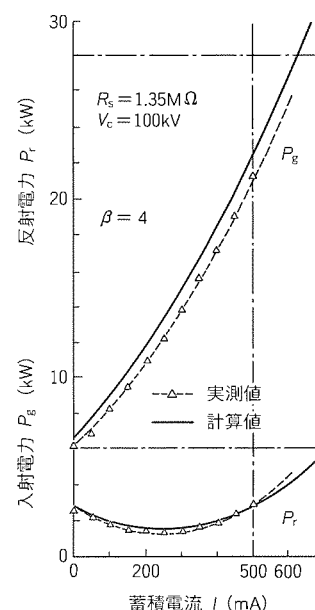


図 4. 蓄積電流と入射・反射電力の関係

表 2. 高周波加速系の改造前後の主要パラメータ比較

項 目	改 造 前	改 造 後
蓄積リングパラメータ		
ビームエネルギー (GeV)	1	1
蓄積電流 (mA)	200	500 (200)
ビーム寿命 (h)	70	> 25 (80)
放射出力 (keV/turn)	32	32
(kW)	6.37	15.9
バンチ数	18	18
エミッタンス ($\pi \text{ mm} \cdot \text{ mrad}$)	0.5	0.5
周長 (m)	45.7	45.7
RF加速空洞		
周波数 (MHz)	118	118
加速電圧 (kV)	90	90
型式	リエントラント型	リエントラント型
Q_0 (無負荷時のQ値) (測定値)	20,100	20,100
シャント抵抗 (MΩ)	1.35	1.35
(シンクロトン振動数からの評価値)		
パワーカップラ		
型式	ループカップリング	ループカップリング
結合係数 β	1.77	4.0
高周波電源		
出力 (kW)	14	28

の排気速度が小さいため圧力分布的に厳しい状況になる。そのため, 各直線部下流 7 か所に CO や H₂ に対して排気速度が大きい NEG ポンプを増設した。増設に当たり, NEG モジュール (SAES 製 ST 707) (図 5) が, 超高真空領域でも十分な排気速度を持っていることを工場試験において検証した⁽²⁾。

(2) イオン除去電極の増設と印加電圧の高電圧化

蓄積リングでは, 電子ビームと残留ガスが衝突して生じたイオンは, ビームの作るポテンシャルに捕獲され, ビームの周りに集まる。電子ビームは, 集められたイオンに衝突して失われる。これらのイオンを除去するため, 改造前には, ビーム軌道に沿ってリングの直線部のポテンシャルの極小部を

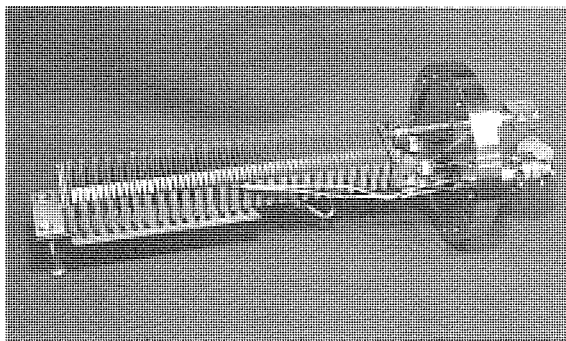


図 5. 増設NEGモジュールの外観

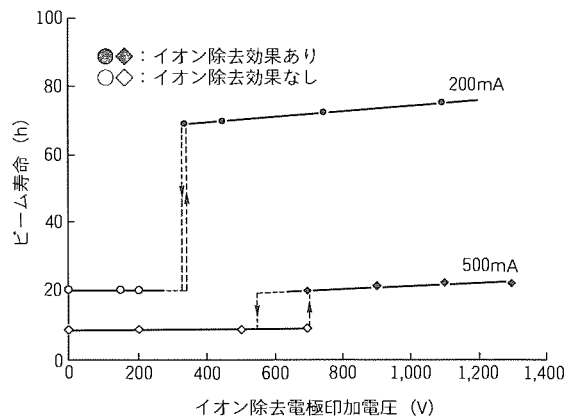


図 6. ビーム寿命とイオン除去電極印加電圧の関係

主体に7か所にイオン除去電極が設置されていたが、改造時に8か所増設して合計15か所とした。また、大電流化によって生成される更に低いビームポテンシャルに捕獲されたイオンを除去するため、電極の最大印加電圧を -500 V から $-1,500\text{ V}$ へ変更した。

電流 500 mA 蓄積時においては、図6に示すように約 -670 V の印加電圧によって寿命は 9 h から 22 h と大幅に向上し、効果が実証された⁽⁴⁾。

一方、枯れが十分に進んだ現状においても、いまだビーム寿命がイオンの捕獲によって大きく制限されることが、ビーム寿命の理論計算値と実測値を比較することによって推定できた。これを実証するため、ビームをRF励振してビーム寸法を拡大し、イオンの影響を除去した結果、1.5倍長寿命化(35 h at 500 mA)でき、ビーム寿命を制限する要因を明確化した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

(3) 真空の枯れ状況⁽⁶⁾

図7に初期立ち上げ時からのリング内の真空の枯れ状況を示す。蓄積電流で規格化した圧力上昇率 $\Delta P/I$ (Pa/mA)を積算蓄積電流に対してプロットしており、SRによるクリーニングは順調に進んでいる。

2.3 セラミックダクト及び偏向ダクトの冷却強化⁽²⁾⁽⁵⁾

(1) セラミックダクト

セラミック内面は数十nmのAu薄膜コーティングがされており、蓄積電流に対するイメージ電流(壁電流)が流れる。

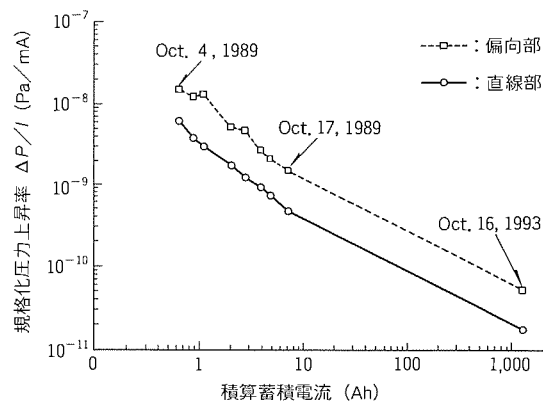


図 7. 積算蓄積電流に対する規格化圧力上昇率 $\Delta P/I$ の推移

この結果、大電流蓄積時のジュール損失による温度上昇が、セラミックダクトのろう付け部に与える影響が問題となる。そこで、直接セラミックダクトを強制空冷することとし、 500 mA 蓄積時の温度上昇を 35°C 程度とすることができた。

(2) 偏向ダクト

SRを直接受ける偏向ダクト部での温度上昇は、蓄積電流に比例して増加する。ダクト外側に冷却水管が設けられているが、SRポート部では 500 mA 蓄積時の温度上昇が問題となる。そこで、SRポート部に冷却水管を追加して温度上昇を抑制した。

3. 運転実績

3.1 立ち上げとビーム特性

改造工事は1992年4月から3か月をかけて行われ、順調に進ちよく(捗)した。7月15日にはビーム調整開始から約2週間で目標の電子エネルギー 1 GeV 、蓄積電流 500 mA (ビーム寿命約 10 h)を達成し、7月20日に(株)ソルテックへの引渡しを完了した。

利用運転の再開後、真空の枯れとともに寿命は順調に伸び続け、9月15日には 1 GeV 、 500 mA において寿命 20 h (ソルテックの最終目標値)に達した⁽⁷⁾。さらに、11月には、 200 mA における寿命が改造前の水準(約 70 h)に回復し、1993年3月末には、 500 mA での寿命は 25 h (200 mA では 80 h)に達した⁽⁵⁾。

蓄積電流 500 mA における全SRパワーは 15.9 kW ($2,535\text{ mW}/\text{mrad}$)、 1 nm における $\pm 0.5\text{ mrad}$ 内平均強度は $1,000\text{ mW}/\text{nm}/\text{mrad}$ (軌道平面上 $1,600\text{ mW}/\text{nm}/\text{mrad}$)とそれぞれ改造前の2.5倍に増強された。

図8に、改造後の運転特性例として、(株)ソルテックにおける最近の代表的な1日の運転データを示す。SR利用実験計画に基づき、前半最大蓄積電流 400 mA 、後半 500 mA で稼働する例であり、約 13 h の時間内に3回の追加入射を行い、起動・蓄積・追加入射の各期間を通じて安定に稼働している。蓄積電流 500 mA における寿命 26 h 、真空圧力(直線部の平均)は、 $4 \sim 5.1 \times 10^{-9}\text{ Pa}$ { $3 \sim 3.8 \times 10^{-11}\text{ Torr}$ }

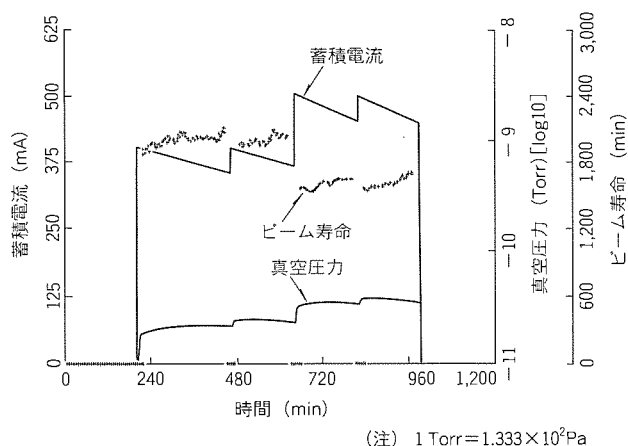


図 8. 1 日の運転特性例

である。オフビーム時は 10^{-10} Pa 台の超高真空中に達している⁽⁵⁾。

3.2 一月ごとの積算蓄積電流の推移⁽⁵⁾

(株)ソルテックにおけるリソグラフィ実験開始時の1990年4月から1993年11月までの一月ごとの積算蓄積電流を図9に示す。積算蓄積電流は、リソグラフィ実験のための利用運転と光源自身の研究等のための、マシンスタディの和を示す。図より、1992年4月からの大電流化改造時の休止期間や1993年4月や6月(定期点検)などの特定期間を除いて、一月ごとの積算蓄積電流は1990年4月以後順調に増加していることが分かる。特に1993年7月以降は80 Ah以上に達し、大電流化改造工事のため3か月半近く利用運転を休止したが、十分その見返りが得られたといえる。更に利用時間の増加が要求されたため、1994年5月から終夜運転が実施されている。

4. む す び

蓄積リングの大電流化改造が完了し、その後、極めて短期間に長寿命化を達成できた。それは、当初計画の段階から、真空や発熱対策などの重要事項に関しては500 mA 蓄積を見込んだ設計を行い、加えて、改造のための技術課題を事前に工場試験や現地のマシンスタディによって十分に把握し、これらの対策が行えたことによるところが大である。

このたびの大電流化改造の成功により、500 mA の蓄積電流と、25 h 以上の長寿命を実現し、世界最高級の性能を得るに至った。この成果が今後の(株)ソルテックにおけるSRリソグラフィ研究に一層寄与し得ることを期待する。

参 考 文 献

- (1) 浅井脩次, 中村史朗, 高仲政雄, 原口正文, 高橋成夫,

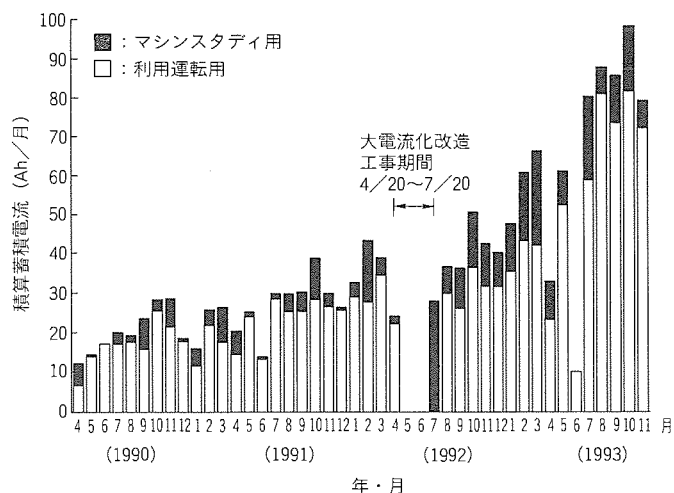


図 9. 一月ごとの積算電流値の伸びの経緯

小峰 淳, 水田典幸, 阿刀田伸史, 富增多喜夫: (株)ソルテック 1 GeV 放射光装置, 三菱電機技報, 65, No. 11, 1065~1070 (1991)

- (2) Awaji, N., Kodaira, M., Kishimoto, T., Tsuchidate, H., Iida, T.: Present Progress of SORTEC SR Ring, Proc. 8th Symp. Accel. Science and Tech., Saitama, 25~27 (1991)
- (3) 土館裕幸, 溝端正隆, 来島裕子, 飯田利昭, 椋木 健: 放射光装置用超高真空技術と高周波加速空洞技術, 三菱電機技報, 65, No.11, 1095~1099 (1991)
- (4) Kishimoto, T., Kodaira, M., Awaji, N., Mukugi, K., Araki, M., Kijima, Y., Haraguchi, M.: Performance of Upgraded SORTEC 1 GeV 500 mA SR Source Facility, Proc. of the 1993 Particle Accelerator Conference, 1518~1520 (1993)
- (5) 岸本 健, 椋木 健, 小平政宣, 淡路直樹, 渡邊牧夫, 荒木美次, 阿刀田伸史, 土館裕幸, 飯田利昭, 来島裕子, 浅井脩次: ソルテックにおける1 GeV SR光源の現状, 放射光, 7, No.1, 15~33 (1994)
- (6) 椋木 健, 岸本 健, 渡邊牧夫, 荒木美次, 淡路直樹, 小平政宣, 土館裕幸, 飯田利昭: ソルテック 1 GeV, 500 mA電子蓄積リング真空系の現状, 真空, 37, No. 3, 188~192 (1994)
- (7) Kodaira, M., Awaji, N., Kishimoto, T., Mukugi, K., Watanabe, M., Iida, T., Tsuchidate, H.: Upgrading to 500mA of the Stored Beam Current at SORTEC 1 GeV Source Facility, Proc. of the 1993 Particle Accelerator Conference, 1515 ~ 1517 (1993)

GM冷凍機を用いた伝導冷却方式 超電導マグネット

湊 恒明* 今井良夫** 横山彰一*** 稲口 隆*** 金 太炫*** 梅村敏夫†

1. ま え が き

超電導マグネットは、コイルを極低温に冷却することによって大きな磁界を発生できる。従来の超電導マグネットは、コイルを液体ヘリウムで冷却していた。しかし、液体ヘリウムは高価で、極低温の液化ガスであるので特殊な扱いが必要である。このため、超電導マグネットは特別な技能を持った人だけが使えるものであるという常識があった。最近、小型冷凍機の進歩⁽¹⁾によって液体ヘリウムを使用しない、乾いた“ドライ”な超電導マグネットが製作可能になった。つまり、超電導マグネットは、液体ヘリウムが使用可能な特殊な人々の装置ではなく、冷却水と電源だけで動作する、ごく一般的な装置になったといえる。

この論文では、伝導冷却方式超電導マグネットを実現するためのギフォード・マクマホンサイクル冷凍機（以下“GM冷凍機”という。）、高温超電導電流リード及び超電導コイルの技術的内容を報告する。さらに応用例として、Xバンドクライストロン用の収束電磁石について、冷凍機と電流リードの設計内容とマグネットの試験結果を述べる。

2. 伝導冷却方式超電導 マグネットの特徴

2.1 マグネットの構造・構成

12 K (0 K = -273.15 °C) 程度の低温を発生できる蓄冷材型の小型冷凍機を使用する伝導冷却方式超電導マグネットは、1983年に提案⁽²⁾されている。しかし、発生できる温度が12 Kの場合、超電導線として、高価でひずみによって特性の劣化するNb₃Sn等の化合物系の超電導線しか使用できない。そのため、適用例は少なかった⁽³⁾。最近、到達温度が4 Kを下回る小型冷凍機が開発され、超電導線として安価で、ひずみによる特性劣化が少なく、巻線の容易な合金系のNbTi超電導線を使用することが可能になった。

マグネットは通常、図1のような構成を持つ。冷凍機は2段の吸熱部を持ち、高温側吸熱部ではふく（幅）射シールドと電流リードの中間温度定点を、低温側吸熱部ではコイルと

電流リードの低温端を冷却する。輻射シールドは室温部からの熱輻射を遮り、能力の低い低温側吸熱部の熱負荷を軽減するものである。

2.2 マグネットの特徴

従来の液体ヘリウムで冷却する超電導マグネットの構成を図2に示す。従来の超電導マグネットと比較して、伝導冷却方式の超電導マグネットは、液体ヘリウム槽、液体窒素槽がないので構造が簡単で、液体窒素や液体ヘリウムが不要なため操作性が良いという長所がある。ただし、冷凍機の冷却能力と電流リード通電電流の限界から小型のマグネットに適用が限られ、初期冷却に要する時間は一般に伝導冷却方式の超電導マグネットの方が長くなる。表1にこれらの特徴をまとめて示す。

3. 冷 凍 機

図3に当社で開発した2段型GM冷凍機の外観を、図4

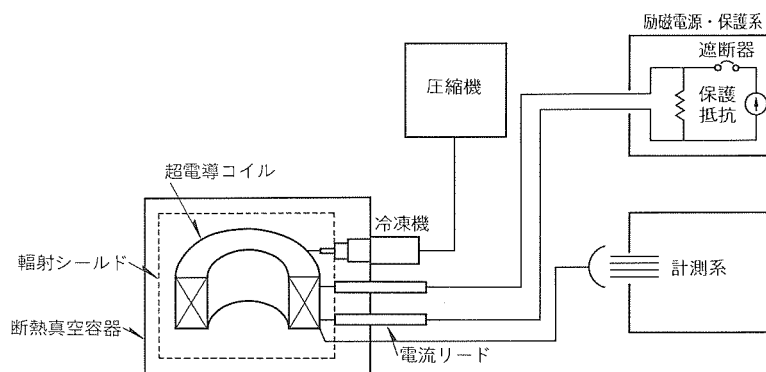


図1. 伝導冷却方式超電導マグネットのシステム構成

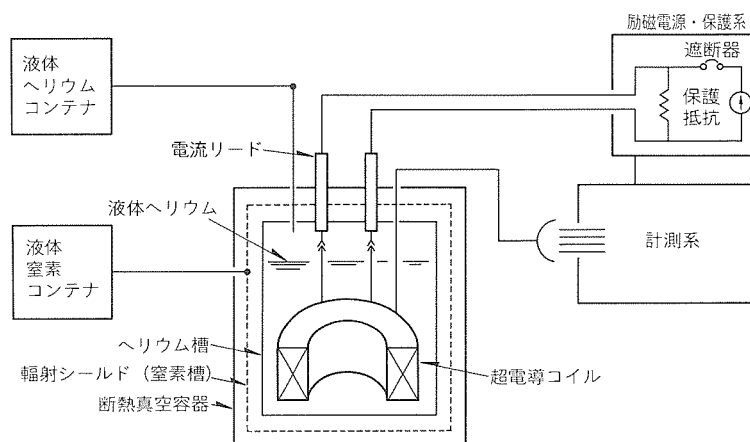


図2. 従来方式の超電導マグネットのシステム構成

表 1. 伝導冷却方式超伝導マグネットと従来型超伝導マグネットとの比較

項 目	伝導冷却型	液体ヘリウム冷却型
操 作	スイッチと弁のみで容易	液化ガス取扱いが必要で複雑
液体ヘリウム補給	不要	必要 (毎日～毎月)
保 守 点 検	電気系統及び冷却水のみ確認, 熟練不要	低温冷媒に関する知識を持つ担当者が必要
リークテスト 必要箇所	真空槽のみ (修理容易)	液体ヘリウム槽・液体窒素槽・真空槽
使 用 電 流	100A程度まで	自由 (1A～30kA)
信 頼 性	冷凍機の稼働実績を積み重ねる必要がある。	実績多く, 信頼性の高い例が多い。

にはその内部構造を示す。冷凍機の蓄冷器に充てん (填) した蓄冷材は, 第1段吸熱部にりん青銅の金網と鉛玉, 第2段吸熱部に極低温で比熱の大きい $\text{Ho}_{0.5}\text{Er}_{1.5}\text{Ru}$ を使用している。

GM 冷凍機の冷凍能力は, ディスプレーサとシリンダで囲まれた膨張空間の体積に比例する。冷凍機の冷凍能力を設定する際, それぞれの吸熱部に十分余裕を持たせて設定する必要がある。そのため, シリンダの口径を変化させることによって膨張空間の体積を変化させ, 冷凍能力に及ぼす影響を調べた。図 5 は, 1 段膨張空間のシリンダの口径を 62 mm に固定し, 2 段膨張空間のシリンダの口径を 25.4 mm から 45 mm まで変化させたときの第1段吸熱部と第2段吸熱部の冷凍能力を示したものである。

4. 高温超電導電流リード

伝導冷却マグネットは, 液体ヘリウムを使用しないため, 一般的に用いられている蒸発ガス冷却方式電流リードを使用できない。また, 小型冷凍機を使用することから, 極低温部への熱侵入量を極力抑える必要がある。ここでは, 輻射シールドとコイル間の電流リードの検討を示す。なお, 電流リードの中間温度定点は 60 K とした。

伝導冷却方式常電導電流リードの電流 I での最小熱侵入量 Q_{\min} は,

$$Q_{\min} = I \{ \lambda \alpha (T_h^2 - T_c^2) \}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

で表され, リードの形状によらない。ここで, 比抵抗 ρ は温度 T に α で比例すると仮定し, λ は熱伝導率, T_h , T_c はそれぞれ高温端, 低温端の温度である。また, ヴィーデマン・フランツの法則から, 純金属では極低温において $\lambda \alpha$ はほぼ一定であり, 材料によらず 60 K から 6 K への Q_{\min} は約 10 W/kA である。表 2 に銅で構成した場合の電流リードの最適設計例を示す。銅で構成した電流リードの熱侵入量は, 電流値 25 A で 1 本当たり 0.22 W となる。すなわち, 往復の電流リードの熱侵入量だけで冷凍機の冷凍能力と同レベルになってしまう。ところが, 熱伝導率が銅の 0.1 % 以下である Bi 系 2223 相高温超電導体⁽⁴⁾を用いれば, 表に示すように, 通電 25 A に対して通電時の電流リードの熱侵入量は, 銅製電流リードの約 1/10 となる。

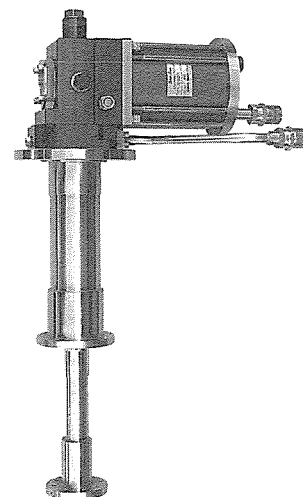


図 3. GM 冷凍機の外観

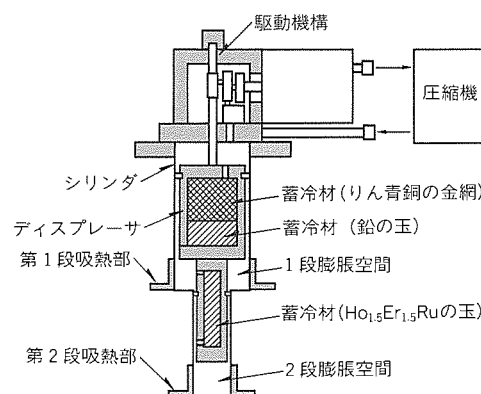


図 4. GM 冷凍機の構造

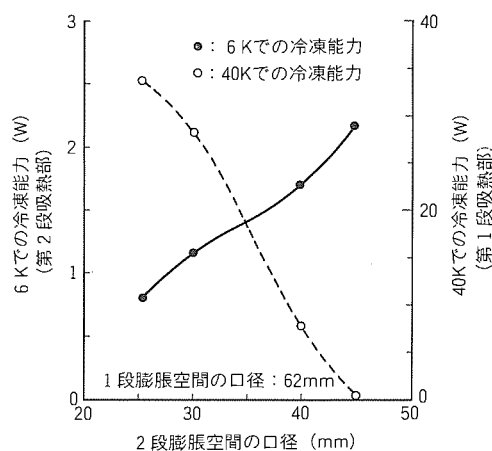


図 5. 2 段膨張空間の口径が冷凍能力に及ぼす影響

5. 伝導冷却方式超電導マグネット用コイル

伝導冷却方式超電導マグネットに使用するコイルは, 通常の超電導コイルに要求される事項に加えて,

- (1) コイル内部の伝熱特性が良好なこと
- (2) コイルと伝熱部材との熱的結合が確実であることが必要である。

表 2. 定格25Aの高温超電導電流リードと銅電流リード
の設計例 (60K熱シールド - 6 K部間)

項 目	高温超電導電流リード	銅電流リード*
形 状 (mm)	1×10×200**	φ0.8×200
サポート形状(mm)	2×16×200 (GFRP製)	—
熱侵入量 (W)		
I= 0 A	0.022	0.15
I=25A	0.023	0.22

注 *25Aで最適設計したもの

**臨界電流は70～100A (77K, 0 T)

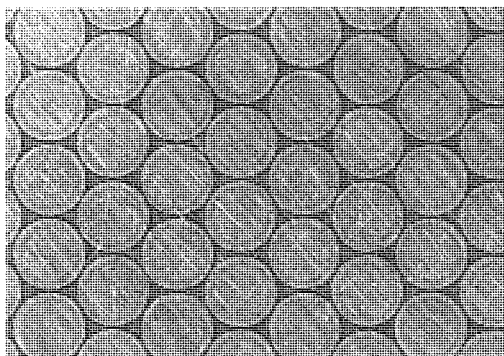


図 6. 試作コイルの断面拡大写真

このためには、コイル内の超電導線間及び超電導線と伝熱部材との接着が、エポキシ樹脂含浸によって良好になされている必要がある。

コイルの必要機能が満たされることを確認するために、実際に超電導線を使用して巻線・含浸を行い、断面を観察した。結果を図 6 に示す。コイルは正巻で巻線しており、コイルの 95 %以上の断面で図に示すように完全にエポキシ樹脂が含浸されていた。また、コイルと伝熱部材との接着も十分なされていた。コイルは冷却試験を行い、伝導冷却に必要な巻線方向に垂直な方向の熱伝導率 (液体窒素温度で約 0.2 W/(m・K)) を持つことを確認している。

6. 応用例 (クライストロン用超電導マグネット)

6.1 クライストロン用超電導マグネットの概要

上述した技術の応用として、伝導冷却方式超電導マグネットをクライストロンの電子収束用マグネットに適用した。このマグネットは当社が文部省高エネルギー物理学研究所から受注したものである。

従来から、クライストロンの電子収束用マグネットには常電導マグネットが使用されている。しかし、現在計画中の大型加速器に使用するクライストロンは周波数が高く、出力が大きい⁽⁵⁾。このため、収束電磁石の必要磁界は 0.7 T と大きくなっている。この磁界は常電導マグネットでも十分発生可能な磁界であるが、消費する電力は約 50 kW とかなり大きくなる。長時間マグネットを励磁する加速器において維持費を比較すると、明らかに超電導マグネットが常電導マグネ

表 3. クライストロン用マグネットの仕様比較

項 目	超電導マグネット	常電導マグネット
中心軸上最大磁界 (T)	0.7	0.7
定 格 電 流 (A)	18	500
寸 法 (mm)	(φ)600×(H)600	(φ)600×(H)600
質 量 (kg)	700	700
電源消費電力 (kW)	1	50
冷凍機消費電力 (kW)	6	—

表 4. 伝導冷却方式超電導マグネットの熱負荷

項 目	輻射シールドの熱負荷 (W)	コイルの熱負荷 (mW)
電流リード	5	50
幅 射	14	30
断熱支持棒	0.1	10
計 測 線	0.5	10
コイル励消磁時発熱	0	100
合 計	20	200

ットに比べて有利である。表 3 にクライストロン用マグネットに関する常電導マグネットと超電導マグネットの仕様比較を示す。

6.2 冷凍機の選定

表 4 はこの超電導マグネットの熱負荷設計結果である。ここで、輻射シールドの温度は 60 K, コイル温度は NbTi 超電導線を使用するため 6 K とした。伝導冷却マグネットの場合、冷却は冷凍機だけに頼ることになるから、冷凍機の冷凍能力を設定する際、十分余裕を持たせて設定する必要がある。そこで、熱負荷設計で想定した輻射シールド温度より 20 K 低く第 1 吸熱部温度を設定し、第 2 吸熱部では設計値の 2～5 倍の冷凍能力を設定した。つまり、冷凍機の冷凍能力の仕様値を 40 K で 20 W, 6 K で 0.5 W とした。さらに、第 2 吸熱部での冷凍能力の余裕を重視し、このマグネットに適合する冷凍機として図 5 から 2 段膨張空間の口径が 30.2 mm の冷凍機を選定した。

6.3 電流リードの設計

室温と輻射シールド部間の電流リードには、銅リードを用いた。電流リードの設計には、熱平衡状態モデルの解析プログラムを使用した。銅リードの形状は、電流 50 A において熱暴走しない長さ 300 mm, 断面積 5 mm² を選択した。また、輻射シールドとコイル間の電流リードには 4 章で述べた高温超電導電流リードを採用した。

図 7 に電流リードの温度分布計算結果を示す。また、図 8 に製作した電流リードの外観写真を示す。高温超電導部は、機械強度を上げるために往復導体を GFRP ケースに収納している。また、この電流リードは、真空フランジ、中間温度定点を含めて一体型の取扱いが容易な構成とした。

6.4 冷凍機と電流リードの組合せ試験結果

製作した高温超電導電流リードと GM 冷凍機との組合せ通電試験を行った。図 9 にこの試験の構成図を示す。この試

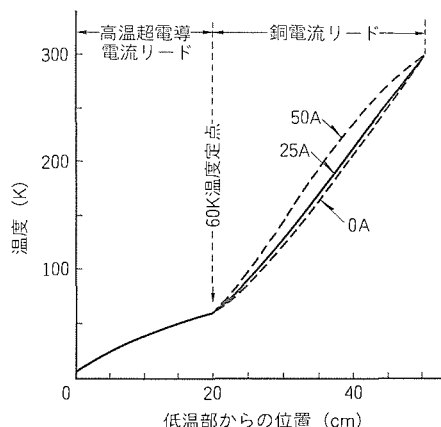


図7. 高温超電導電流リードの温度分布計算結果

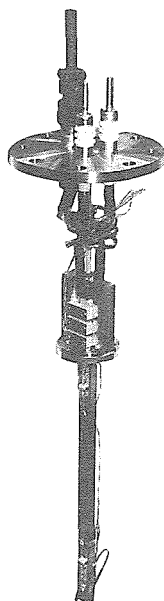


図8. 高温超電導電流リードの外観

験での低温吸熱部、輻射シールド部の到達温度はそれぞれ3.2 K, 19 Kであった。到達温度から低温吸熱部への熱侵入量は0.1 W以下と算定でき、高温超電導電流リードの低熱侵入が確認できた。さらに、コイル部からの熱侵入を模擬して、低温吸熱部、輻射シールドを加熱し、25 Aの連続通電試験を行い、異常のないことを確認した。この結果から、この電流リードは、クライストロン用超電導マグネットに適用できることが分かった。

6.5 総合試験結果

図10に製作したクライストロン用超電導マグネットのクライオスタットの外観を示す。マグネットは冷凍機・電流リード部とコイル部分に分かれており、コイル部分は鉄ヨーク中に挿入する。冷却励磁試験の結果、約100時間で励磁可能な状態になることが確認できた。マグネットは直径180mmの常温ボア中心軸上で最大0.7 Tを発生する。コイルは4 K以下まで冷却されており、コイルを交換すれば、7～8 Tレベルの磁界も実現可能なことが判明した。

7. む す び

取扱いの容易な伝導冷却方式超電導マグネットの主要要素である、GM冷凍機、高温超電導電流リード及びコイルについてその内容を報告した。また、この技術を中心軸上磁界0.7 Tのクライストロン用の収束電磁石に適用し、安定に磁界が発生することを確認した。

伝導冷却方式超電導マグネットは、液体ヘリウムを使用しないので、取扱いが容易である。今後、産業装置用マグネットや研究用の小型なマグネットは、この方式の超電導マグネットが主として使用されるようになって考えられる。

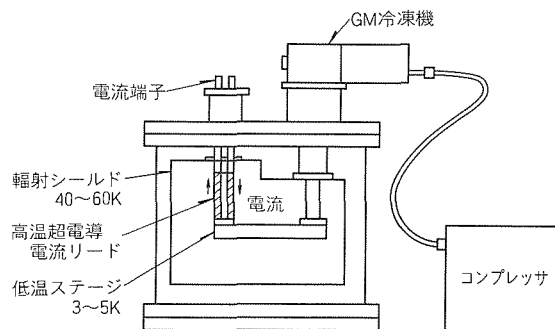


図9. 高温超電導電流リードの試験構成図

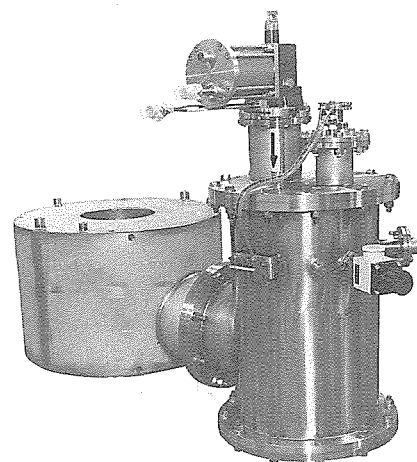


図10. クライストロン用超電導マグネットのクライオスタット外観

参 考 文 献

- (1) 吉村秀人, 長尾政志, 稲口 隆, 森津一樹, 松本隆博: 小型ヘリウム冷凍機技術, 三菱電機技報, **66**, No.5, 506～508 (1992)
- (2) Hoenig, M.O.: Design Concepts for a Mechanically Refrigerated 13K Superconducting Magnet System, IEEE Trans. Magn., **MAG-19**, No.3, 880～883 (1983)
- (3) Van der Laan, M.T.G., Tax, R.B., Ten Kate, H. H.J., Van de Klundert. L.J.M.: A 1 T, 0.33 m Bore Superconducting Magnet Operating with Cryocoolers at 12 K, IEEE Trans. Magn., **28**, 633～636 (1992)
- (4) Egawa, K., Umemura, T., Uchikawa, F., Sato, K., Yokoyama, S., Shimohata, K., Nakamura, S.: Application for Current Lead using Bi-Based Oxide Superconductor, Proc. of the 5th Int. Symp. on Superconductivity, 783～786 (1992)
- (5) JLC Group: JLC-I, KEK Report, **92-16**, 173～184 (1992)

大容量IGBT応用アクティブフィルタ “MELACT-1100”シリーズ

守川哲郎* 小林義幸** 神山 功** 杉山 隆**

1. ま え が き

従来から高調波対策機器として、一般にL-Cの共振特性を利用したパッシブフィルタが用いられてきたが、電源インピーダンスや負荷条件にフィルタ特性が左右され、電源側リアクタンスとの反共振現象によって高調波の拡大が生じる場合があるなどの制約条件があった。

このような問題点を解消するために、当社ではアクティブフィルタをいち早く開発・製品化し、積極的に市場投入を行ってきた⁽¹⁾。

アクティブフィルタは、従来のL-Cフィルタのような共振現象を利用していないため、電源・負荷条件に左右されず常に最適な高調波吸収特性が保たれ、同時に無効電力の補償を行うことも可能な、多機能な補償装置である。

また、最近の高度情報化への動きに対応して、インテリジェントビルなどの電源系統には波形ひずみや電圧変動の少ない高品質な電源が求められている。しかしながら、昨今のビル電源系統にはVVVF駆動エレベータや空調器、調光器などのインバータ応用機器が多く接続されており、これらの機器が発生する高調波電流が系統に流出し、これに起因する電源の電圧波形ひずみが問題となっている。このような実状に合わせて、高調波に対する規制のガイドラインが1994年中にも通達される予定である。

アクティブフィルタをビル電源系統の高調波補償に適用する場合、装置容量は数百kVAと比較的小さくなる反面、補償次数は25次程度の高い周波数領域までが要求され、装置の設置場所は電気室など限られたスペースとなる。したがって、より一層の制御応答性の向上、装置の小型化・低騒音化が望まれている。

一方、スキージフト、輪転機などの負荷に適用する場合は、負荷変動に伴う電源電圧変動抑制や13次程度までの低次高調波補償特性が要求され、一般に装置容量は比較的大きなものとなる。

このようなニーズにこたえて、当社は新シリーズアクティブフィルタ“MELACT-1100 H”(50～400 kVA)及び“MELACT-1100 L”(400～1,200 kVA)を開発、製品化した。

MELACT-1100シリーズは、当社製低損失IGBTモジュールを使用し、高周波PWM(Pulse Width Modulation)方式の採用によって基本波無効電力及び高調波電流の補償動

作を可能とし、コンパクト化、低騒音化を実現したアクティブフィルタである。

以下に新シリーズアクティブフィルタの特長と構成、補償特性について適用例を含めて紹介する。

2. MELACT-1100 Hの特長と仕様

2.1 装置構成

MELACT-1100 Hの特長を下記に示す。

(1) 25次までの高調波電流を補償

IGBTモジュールを用いた高周波PWM制御により、2～25次までの高調波電流の抑制制御が可能である。

(2) 電源力率を改善

高調波と同時に無効電力の出力制御を行うことにより、電源力率の補償動作が可能である。

(3) 負荷急変による電圧変動の抑制

モータ始動時などの負荷急変による電源電圧変動を補償し、電源電圧の安定化が可能である。

(4) 低騒音・コンパクト化

高周波PWM制御により、一層のコンパクト化、低騒音化を実現した。

MELACT-1100 Hの主回路構成を図1に示す。

インバータ部は電圧型インバータで構成され、瞬時電流比較を用いた高周波PWM制御によって負荷電流に含まれる高調波電流に対して高速追従が可能である。

インバータ部の主回路素子には、図2に示す当社製の高性能・低損失のIGBTモジュールを採用している。IGBTとは、Insulated Gate Bipolar Transistorの略称であり、MOS-FETの高速スイッチング特性とバイポーラトランジスタの大電流スイッチング特性を兼ね備えた素子である。

IGBTの素子特性は、高周波PWM制御を必要とする電力変換装置の要求を十分満足するものであり、素子の大容量

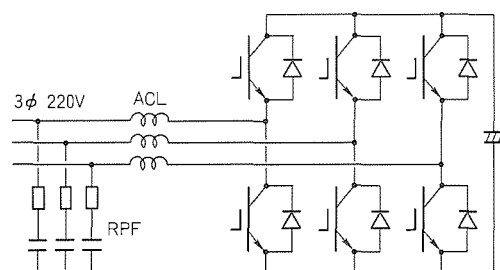


図1. MELACT-1100Hの主回路構成

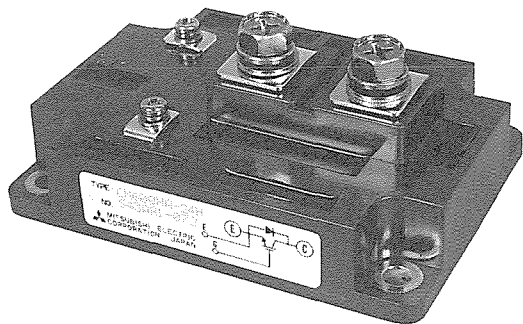


図 2. 主回路IGBTモジュール

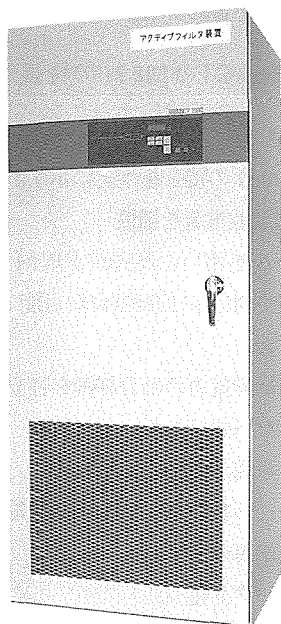


図 3. MELACT-1100Hの外観 (150kVA)

化に伴い、中小容量の装置から大容量装置に至るまで主回路素子の主流となりつつある。

装置のインバータ部は、リアクトルを介して電源系統と接続され、スイッチングのキャリア周波数成分を除去する小容量のフィルタコンデンサを持つ構成となっている。

2.2 外形寸法

装置外観を図3に示す。盤前面下部から冷却風を取り入れ、盤上部に備えた冷却ファンによって排気を行う風洞構造を利用した強制風冷方式を採用している。

盤面扉には計測表示用パネルを設け、デジタル表示で装置各部の電圧・電流を表示することも可能である。

アクティブフィルタの運転/停止操作は、表示パネル上の運転/停止スイッチによって行う。また、外部機器の接点出力で運転/停止操作を行うことも可能である。

表1に装置のシリーズ構成及び一般仕様を示す。50kVAから400kVAまでの幅広い装置容量をシリーズとして備え、多様な負荷に適用が可能である。

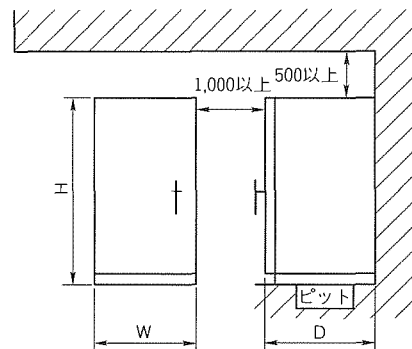
表2に、装置の盤寸法、質量を示す。各盤は前面メンテナンス構造とし、裏面の保守スペースを不要とした。また、I

表 1. MELACT-1100Hの一般仕様

型 式	MELACT-1100H
装置容量 (kVA)	50, 75, 100, 150, 200 (単機容量) 50~400kVA (シリーズ構成)
相 数	三相 3 線
定格出力電圧	220V
電圧変動範囲	±10%以内
定格周波数	50/60Hz
補 償 機 能	2 次~25 次 総合20%以下
変 換 方 式	三相ブリッジインバータ
冷 却 方 式	強制風冷
使用素子	IGBT
周囲温度・湿度	0~40℃, 30~85%
設置方式	屋内 1,000m以下
標準塗装色	マンセル 5 Y 7 / 1 (半つや)
準 拠 規 格	JIS, JEM, JEC

表 2. MELACT-1100Hの外形寸法・質量

補償容量 (kVA)	外 形 寸 法(mm)			質 量 (kg)
	幅(W)	奥行き (D)	高さ (H)	
50	700	735	1,950	500
75	700	735	1,950	550
100	700	735	1,950	600
150	800	735	1,950	900
200	1,200	735	1,950	1,300
300	2×800	735	1,950	2,200
400	2×1,200	735	1,950	3,100



GBT モジュールの採用によってインバータユニットのコンパクト化が図られ、装置の小型化を実現している。

2.3 高調波補償特性

MELACT-1100 H をフィールドにおいてオゾン設備の電源高調波補償に適用した例を示す。

図4は電源系統スケルトンである。定格出力 300 kW のオゾン設備に 200 kVA の装置容量を持つアクティブフィルタを1対1で適用している。

図5、図6にそれぞれ高調波補償前後の電流波形を、図7、図8にその周波数分析結果を示す。なお、オゾン設備及びアクティブフィルタの運転台数は各1台であり、電流は3.3kVラインで測定を行っている。補償前の負荷電流波形はく(矩)形波状であり、その高調波による電流波形ひずみ率は約24

%であった。これに対し、アクティブフィルタで高調波補償を行った場合には、その電流波形ひずみ率は約4%にまで改善されており、装置スペックである総合補償率80%以上を十分に満たす値となっている。

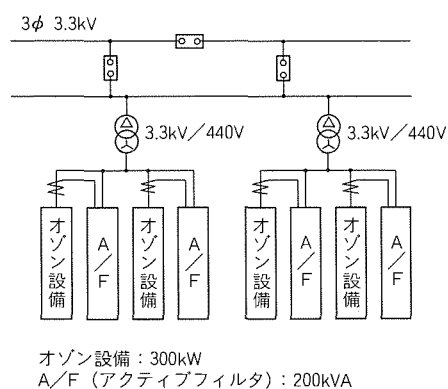


図4. MELACT-1100Hの適用例

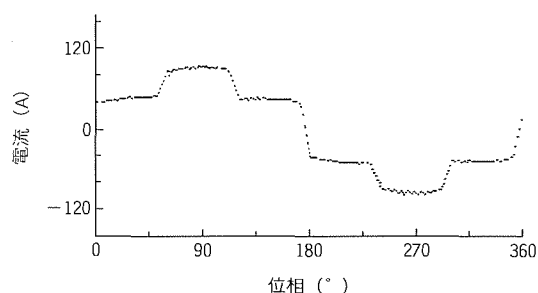


図5. 電源電流波形（補償前）

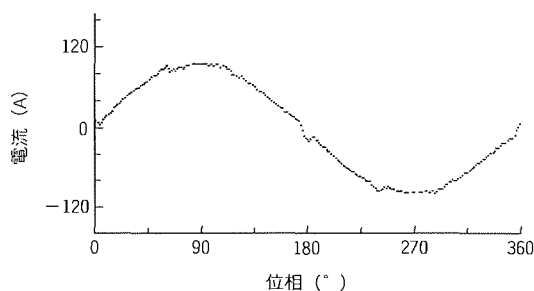


図6. 電源電流波形（補償後）

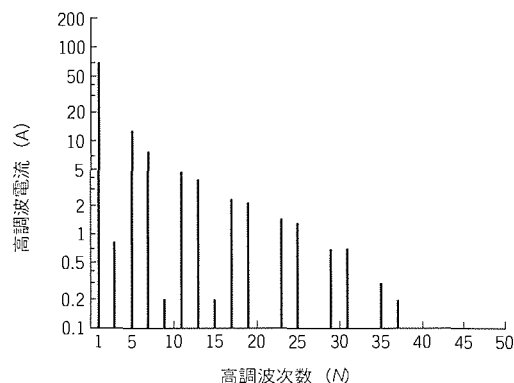


図7. 電源電流スペクトル（補償前）

3. MELACT-1100 L の特長と仕様

3.1 装置構成

次に、MELACT-1100 L の特長であるが、この装置はスキールフトや輪転機などの大容量負荷への適用を目的としている。したがって、IGBTをダイレクトパラ接続することによって装置単機容量を上げ、高調波補償特性を13次以下に抑える反面、電源電圧変動やフリッカの抑制、電源力率改善を主眼に置いた装置構成としている。

装置の特長は、高調波補償次数のほかはMELACT-1100 Hと同様である。

3.2 外形寸法

MELACT-1100 L の装置外観を図9に示す。

この装置の冷却方式は、MELACT-1100 Hと同様に、装置の風洞構造を利用した強制風冷方式である。

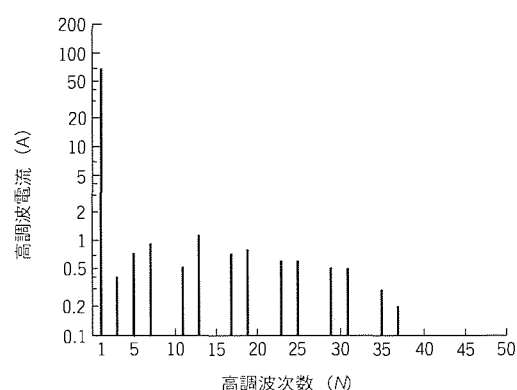


図8. 電源電流スペクトル（補償後）

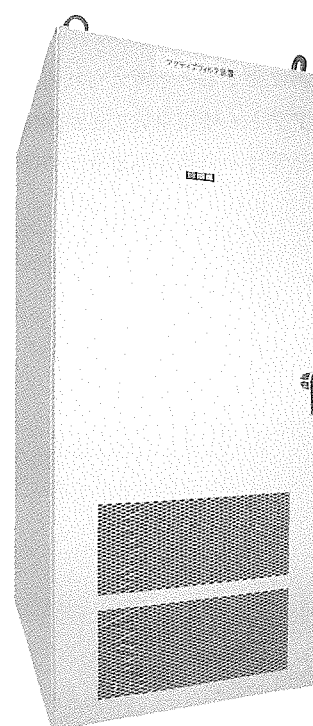


図9. MELACT-1100Lの外観（400kVA）

表 3. MELACT-1100Lの一般仕様

型 式	MELACT-1100L
装 置 容 量 (kVA)	400kVA (単機容量) 400～1,200kVA (シリーズ構成)
相 数	三相 3 線
定格出力電圧	6,600V, 440V (変圧器盤を介して接続)
電圧変動範囲	±10%以内
定格周波数	50/60Hz
補 償 機 能	2 次～13次 総合20%以下
変 換 方 式	三相ブリッジインバータ
冷 却 方 式	強制風冷
使用素子	IGBT
周囲温度・湿度	0～40℃, 30～85%
設 置 方 式	屋内 1,000m以下
標準塗装色	マンセル 5 Y 7 / 1 (半つや)
準 拠 規 格	JIS, JEM, JEC

装置の運転/停止操作は、前面扉上の運転/停止スイッチで行う。

表 3 に装置のシリーズ構成及び一般仕様を示す。400 kV A から 1,200 kVA までの幅広い標準装置容量を備え、さらに 1,200 kVA 以上についても単機容量 400 kVA を多重化することにより対応が可能である。

表 4 に装置の盤寸法、質量を示す。当社従来シリーズに対し、インバータユニットをより一層コンパクト化し、装置の小型化を実現している。

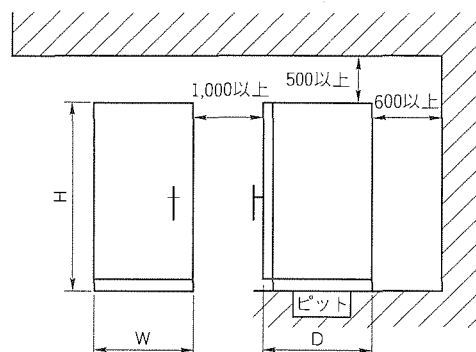
4. む す び

以上、新シリーズアクティブフィルタ“MELACT-1100”を紹介した。

近年、高調波障害によるものと考えられる力率改善コンデンサ設備の直列リアクトル焼損事故などが発生し、高調波に対する防止対策の必要性の認識が高まりつつある。

表 4. MELACT-1100Lの外形寸法・質量

補償容量 (kVA)	外形寸法 (mm)			質量 (kg)
	幅 (W)	奥行き (D)	高さ (H)	
400	1,000	1,400	2,350	1,400
800	2 × 1,000	1,400	2,350	—
1,200	3 × 1,000	1,400	2,350	—



この装置は、装置特性の向上と幅広い装置容量のシリーズ化により、今後のアクティブフィルタ需要の拡大に十分対応できるものであり、ユーザの期待にこたえるべく、一層その活用を図る。

参 考 文 献

- (1) 竹田正俊, 池田和郎, 深田雅一, 有塚智彦: アクティブフィルタとその応用, 三菱電機技報, **62**, No. 6, 475～480 (1988)
- (2) 山本 博, 宮下武司, 神山 功, 杉山 隆: 大容量 IGBT モジュールを適用したアクティブフィルタ, 電気学会半導体電力変換研究会, SPC-93-7, 57～62 (1993)
- (3) 竹田正俊, 朝枝健明, 山本 博, 溝畑文雄, 宮下武司: 新シリーズアクティブフィルタ《MELACT-1000》, 三菱電機技報, **63**, No.10, 829～832 (1989)

量産用エキシマレーザ加工システム

江浦 隆* 八木俊憲** 出雲正雄* 中谷 元*** 田中正明†

1. ま え が き⁽²⁾⁽⁸⁾

エキシマレーザ (Excimer Laser) は、CO₂レーザや YAG レーザに続く第三の加工用レーザとして、現在、R & D ステージからパイロットプラントステージへ着実に移行している。

表1は各種加工用レーザの波長と加工原理を比較したものであるが、エキシマレーザの特徴を簡単にまとめると次のことが言える。

- (1) パルスでのみ発振する紫外線レーザである。
- (2) レーザ発振は、希ガス (Ar, Kr 又は Xe) とハロゲンガス (F₂ 又は HCl) の混合ガス中での放電によって起きる。代表的な組合せは KrF で発振波長は 248nm (= 0.248μm) である。
- (3) エキシマレーザは“紫外領域の大出力・高輝度パルス光源”として、低熱損傷加工、例えばプリント配線板のアブレーション加工 (分解除去、多くは微細穴あけ) や半導体 (64 MDRAM ~) のリソグラフィ (露光) に適用されている。

今回、アブレーション加工を対象にした“量産用エキシマレーザ加工システム”を製品化した。ここでは加工プロセスを紹介するとともに、装置構成、基本性能及び特長、並びに開発された主要素技術、加工例についてそれらの特徴を述べる。

2. エキシマレーザアブレーション加工⁽¹⁾⁽⁸⁾

2.1 加工原理と特徴

光は電磁波の一種で、光子の持つエネルギーは次式で表される。

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 h はプランク定数、 ν は光の振動数、 c は光速、 λ は光の波長である。KrF エキシマレーザの光子エネルギー

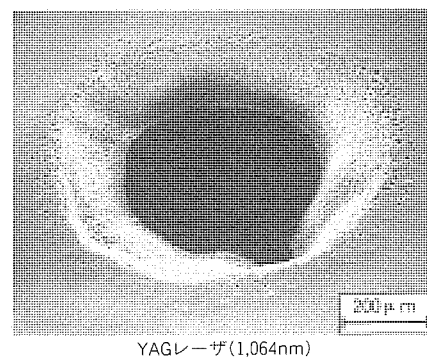
は約 5eV で、高分子材料 (ポリマ) の基本的な結合である C-C 結合 (約 3.5eV) や C-H 結合 (約 4.3eV) を容易に切ることができる。

エキシマレーザの発振パルス幅は 10ns 程度と極短で、熱拡散が小さい特徴がある。さらに、波長が短いので照射材料における吸収係数が大きく、侵入深さが浅くなる傾向がある。これらの特徴があいまって高分子材料の低熱損傷加工が実現され、図1に示すように、例えば YAG レーザのような熱加工に対して熱影響のないシャープな加工が得られる。

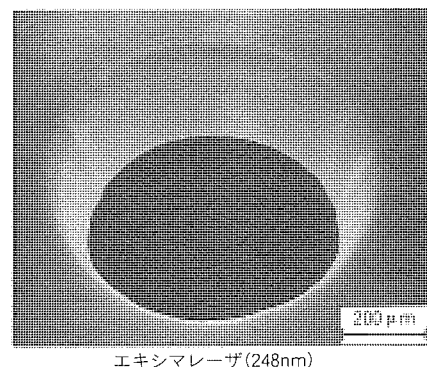
これがエキシマレーザアブレーション加工で、図2に示すように、結合解離された分解物がプラズマ状態となり、超音速で飛散していく。図中、↓はレーザ光を、●は高分子単体を、—は結合を表している。

2.2 アブレーションと分解物

プリント配線板などの層間絶縁材として用いられるポリイミドをエキシマレーザ光で加工すると、照射部近傍にすすが (たい) 堆積する。図3にポリイミド表面のすすの観察例を示す。この表面に堆積するすすの除去については、酸素プラズマによる除去が有効とされている。



YAGレーザ(1,064nm)



エキシマレーザ(248nm)

図1. ポリイミド加工例

表1. 各種加工用レーザの波長・加工原理

レーザの種類	エキシマレーザ					
	CO ₂ レーザ	YAGレーザ	Arレーザ	XeCl	KrF	ArF
	10.6	1.06	0.52	0.308	0.248	0.193
	赤 外		可 視	紫 外		
	加工原理					
	熱加工 ←————→ 光化学加工					

2.3 テーパ角とフルエンスの関係

エキシマレーザアブレーション加工は高分子材料の穴あけに有効とされているが、レーザの穴あけ加工においては、そのテーパ角のコントロールが問題になる。テーパ角が形成される理由は明確には理解されていないが、一般的にはフルエンス（被加工物上のエネルギー密度）が大きくなるとテーパ角が小さくなることが確認されている。図4にエンジニアリングプラスチック（ポリイミド相当）におけるテーパ角とフルエンスの関係を示す。

2.4 加工精度とフルエンスの関係

エキシマレーザを用いる加工には、プリント基板の穴あけのほか、インクジェットプリンタのノズル加工のような高精度が要求される加工がある。エキシマレーザでは直径30 μ m程度の穴あけにおいて、3 σ 値で $\pm 1\mu$ m以下の高精度加工が実現できる。図5に加工精度とフルエンスの関係を示す。

3. 三菱エキシマワークシステム^{(8)～(11)}

3.1 製品コンセプト

エキシマレーザ加工機が本格的に量産ラインに導入されるためには、スループットの大幅向上及びランニングコストの大幅低減が必要である。

これに対して、エキシマレーザ発振器のこれまでの製品傾向は大出力化がメインであり、装置寿命やランニングコストには限界があった。R & Dステージでは十分な仕様ではあるが、量産ラインでは生産性の観点から導入が困難であった。

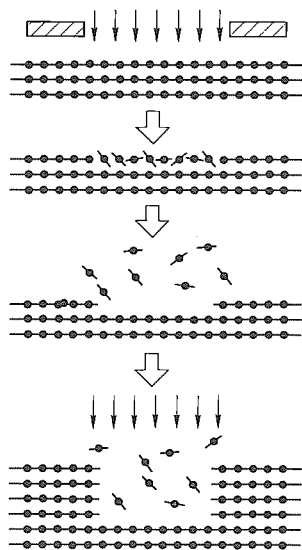


図2. エキシマレーザアブレーションの原理

エキシマレーザ加工機の本来の目的は生産性にあり、エキシマワークシステムは、以下のコンセプトで製品化したものである。

- (1) 小出力エキシマレーザ発振器（24 W）の採用により、装置の長寿命化を図り（従来機の10倍以上）、ランニングコストを大幅に低減する（従来機の1/10以下）。
- (2) 高効率転写光学系（多重反射光学系）の開発により、大出力発振器レベルの加工能力を達成する（300 W相当）。
- (3) 発振器の高繰返し化及び大面積基板加工方式（同期スキャン加工）の採用により、スループット（生産数量）を大幅に向上させる（従来機の20倍）。

3.2 装置構成

図6にエキシマワークシステムの外観を示す。ワークシステムはKrFエキシマレーザ発振器、加工装置本体、CNCコントローラから構成されている。

基本構成を図7に示す。発振器から出たレーザ光は、ビーム整形モジュールでシート状のビームに整形され、多重反射

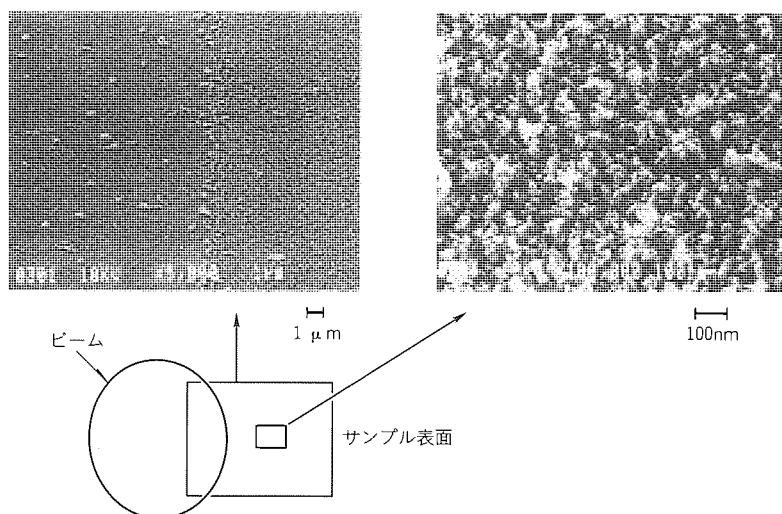


図3. ポリイミド表面のすず観察例

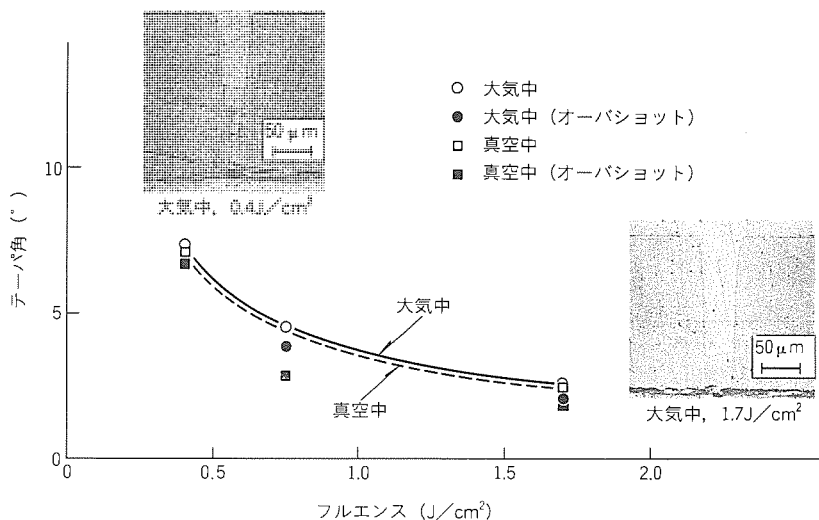


図4. テーパ角とフルエンスの関係

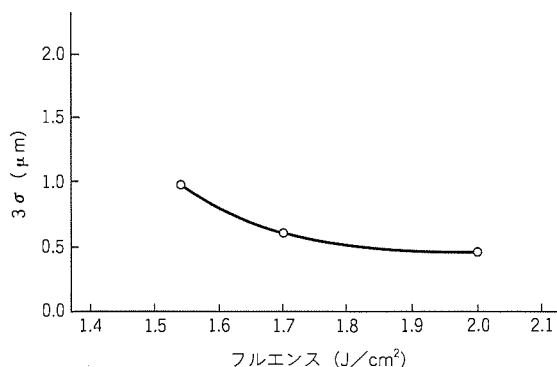


図 5. 加工精度とフルエンスの関係

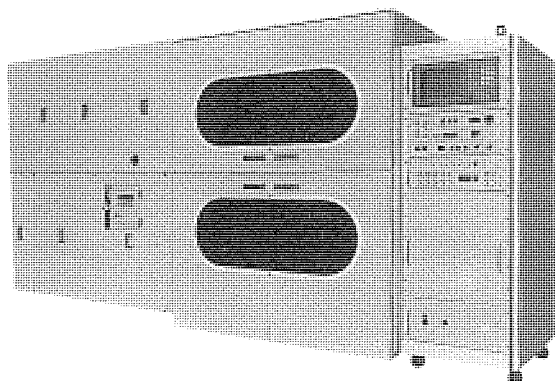


図 6. エキシマワークシステムの外観

光学系に入射する。多重反射光学系で往復反射しながら高反射マスクを通ったビームは、結像光学系で絞られ、ワーク面上に照射される。このとき、高反射マスクとワークとを同期駆動させることにより、大面積を連続的に加工することができる。

3.3 基本性能

以下にこのエキシマワークシステムの基本仕様を示す。

- (1) 加工対象物：ポリイミド、グリーンシート、ほか
- (2) 加工エリア：10cm 角（標準タイプ）
- (3) 加工穴径：10μm
- (4) 加工時間：1分（10cm 角、厚さ 25μm ポリイミドフィルムの全面微細穴あけ加工の場合）
- (5) 発振器：
 - 波長：KrF 248nm
 - パルスエネルギー：40mJ/パルス
 - 繰返し周波数：最大 600 Hz
 - 平均出力：最大 24 W
 - ガス寿命：5 × 10⁷ パルス
 - ウィンドウ寿命：5 × 10⁸ パルス（× 8 回転）
 - 電極寿命：4 × 10⁹ パルス
- (6) 加工光学系：多重反射光学系＋同期スキャン方式

図 8 に基本仕様によるポリイミドフィルムの全面微細穴あけ加工例を示す。各々一つの点に見えるが、実際は 5 種類の微細穴（直径 10 ～ 100μm）から構成されている（穴数はトー

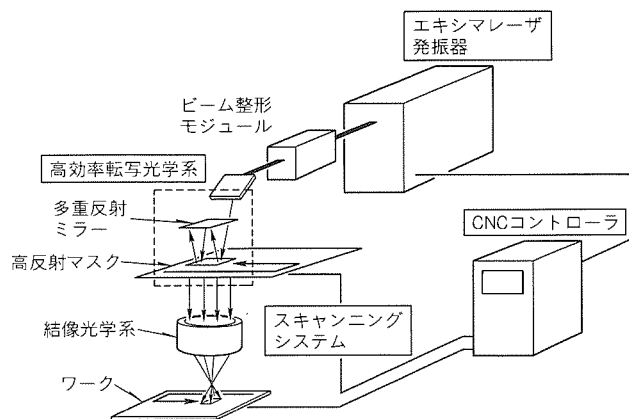


図 7. エキシマワークシステムの基本構成

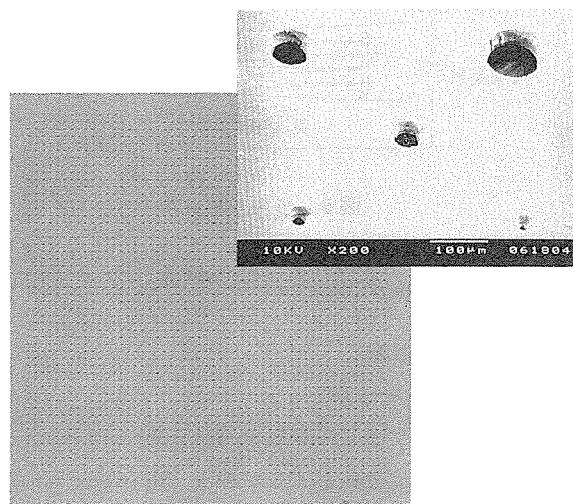


図 8. ポリイミドフィルムの全面微細穴あけ加工例

タルで約 14,000 個）。

3.4 装置の特長

装置の大きな特長として、以下の 3 点が挙げられる。

- (1) 多重反射ミラーと高反射マスクとの間でレーザビームを往復反射させる多重反射光学系により、光の利用効率を約 12 倍高める（24 W エキシマレーザ発振器⇨約 300 W 相当）（図 9、図 10）。
- (2) 高反射マスクとワークの同期スキャンにより、大面積加工を行う（例えば 10cm 角）（図 11、図 12）。
- (3) 新コロナ予備電離方式を採用した高繰返し・長寿命エキシマレーザ発振器は加工速度を向上させるとともに、ランニングコストを大幅に低減する（図 13 ～ 図 17）。

以上、当社独自の多重反射光学系の採用や同期スキャンにより、従来機に対し約 20 倍の生産性を達成するとともに、当社独自の新コロナ予備電離方式により、レーザ発振器の長寿命化とランニングコストの大幅な低減を実現した。

4 章では、上記仕様・特長を達成するために開発された要素技術のうち、多重反射光学系、同期スキャン加工、高繰返し・長寿命発振器についてそれらの特徴を述べる。

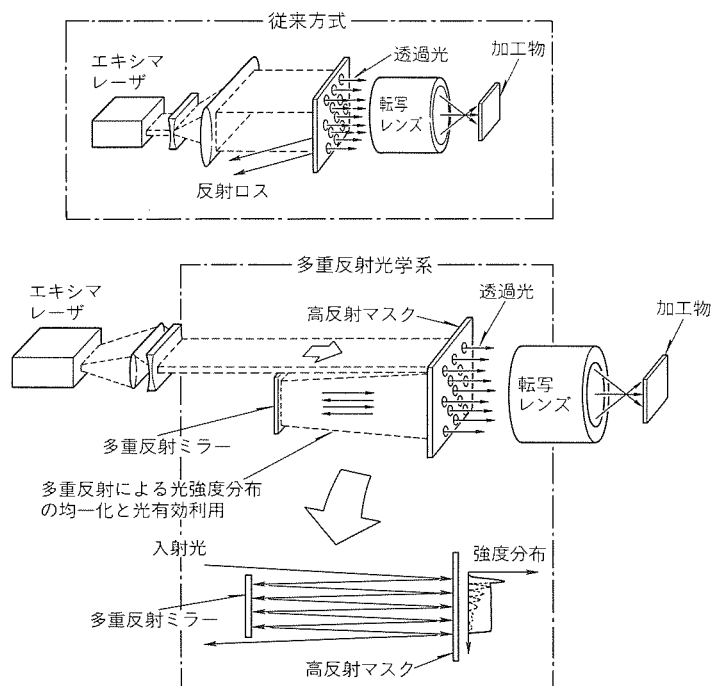


図9. 多重反射光学系

4. 要素技術の開発^{(3)~(5), (7)}

4.1 多重反射光学系

(高効率転写光学系)

エキシマレーザアブレーションの加工光学系には、集光方式と転写方式がある。集光方式は、CO₂レーザやYAGレーザの加工によく使われる光学系であり、レーザのエネルギーを焦点位置に集光させる方式である。これに対して転写方式は、パターンが描かれたマスクにレーザ光を照射して、マスクとレンズ、被加工物の距離から決定される転写倍率に応じた倍率で、被加工物上にパターンを投影(転写)する方式である。

加工プロセスの研究開発のためには、例えば1穴ごとの穴あけ加工で十分であるが、実用化の場合には、多数の穴あけ加工を生産性良く行うことが要求される。この点で、1穴ごとに加工する集光方式に比べて、多数の穴を一度に加工できる転写方式は生産性の高い方式といえる。

ところが、従来のマスク転写方式の欠点は、光の利用効率が低いことである。すなわち、光が通過するパターン開口部の面積がマスクの面積に比べて小さい(通常は1%以下)ため、実際に加工に寄与する光はごくわずかで、マスク面に照射されるレーザ光の大半が反射・吸収等の損失となっていた。

この課題を解決するために、従来マスク面で損失となつて

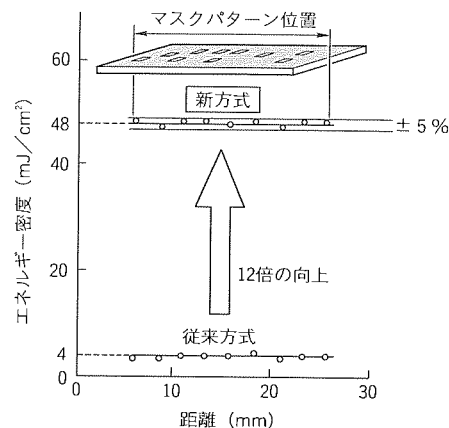


図10. 光強度分布の測定結果

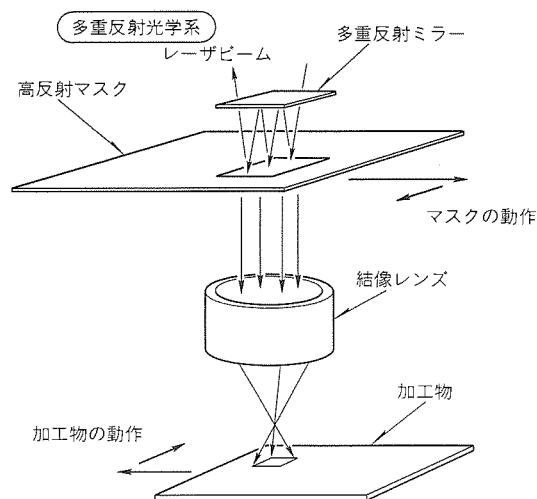


図11. 大面積基板加工方式

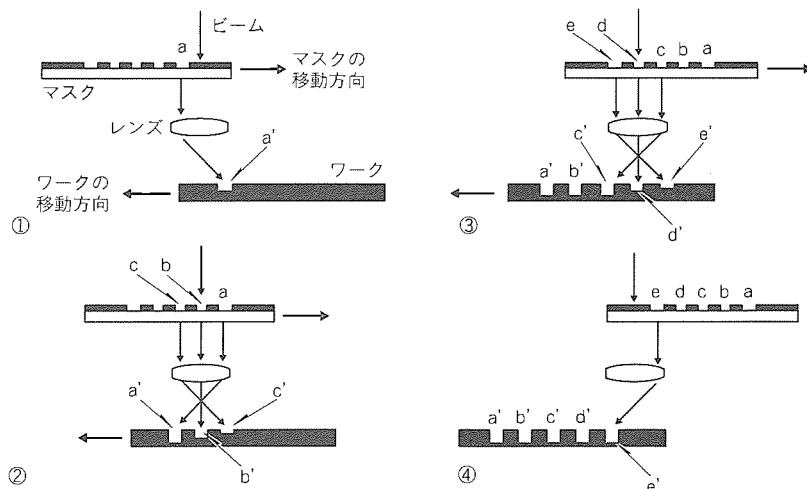


図12. 同期スキャンによる加工イメージ

いた光を高反射ミラーでマスク面に戻し、何回もマスクとミラー間で光を往復反射させて光をリサイクルする多重反射光学系を開発した(図9)。この光学系を組み込むと、図10に示すように従来よりも加工速度が12倍向上し、例えば24W出力のレーザで約300W相当の加工が実現できる。

4.2 同期スキャン加工(大面積基板加工方式)

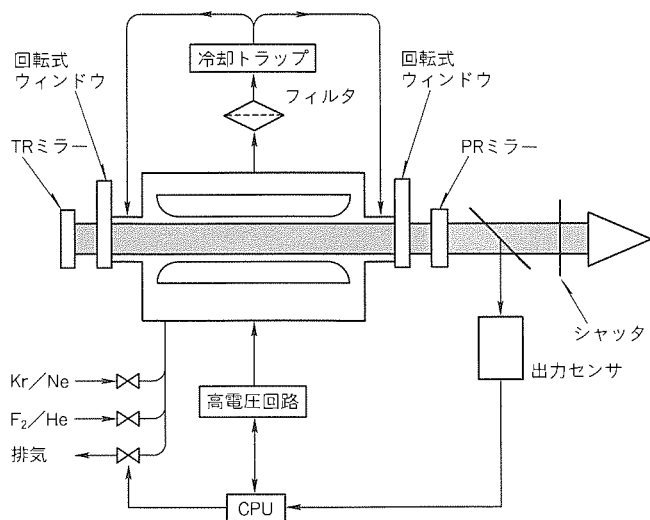


図13. レーザ発振器の構成

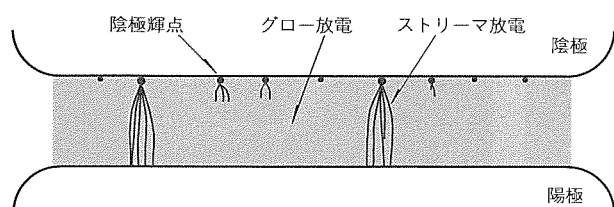


図14. レーザ放電の模式図

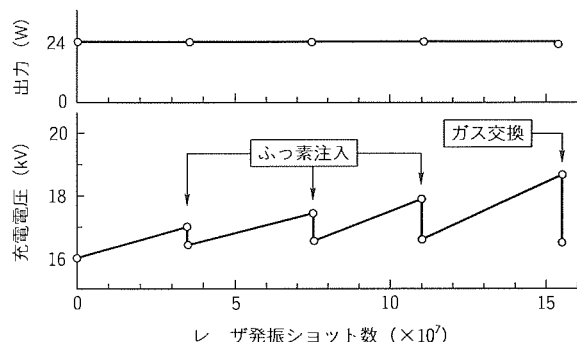


図15. ガス寿命特性

エキシマレーザ加工において一括加工できる面積は、レーザ発振器のパルスエネルギーと被加工物の加工エネルギー密度から一義的に決定される。したがって、一括加工面積を超える基板の加工を行うためには分割加工を行う必要がある。

従来の加工装置では、同一パターンの繰返しによって大面積化は可能であるが、大面積ランダムパターンの加工は困難であった。

この装置では大面積パターンの加工を実現するために、マスクと被加工物とを転写倍率に応じた速度で同期スキャンさせる方式を開発して、10cm角の大面積基板加工を実現した(図11)。なお、図12は同期スキャンによる加工イメージを表したものである。

4.3 高繰返し・長寿命エキシマレーザ発振器

エキシマレーザ発振器の基本構成を図13に示す。

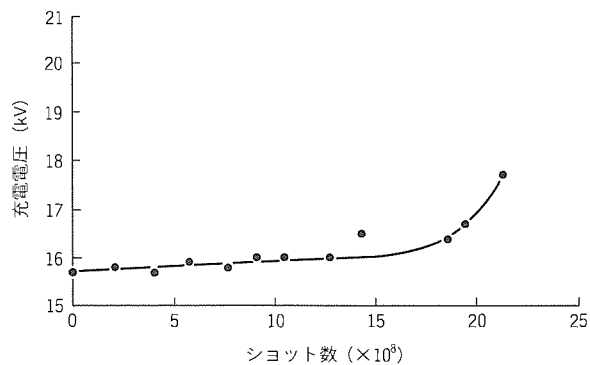


図16. 回転式ウィンドウ1か所の寿命特性

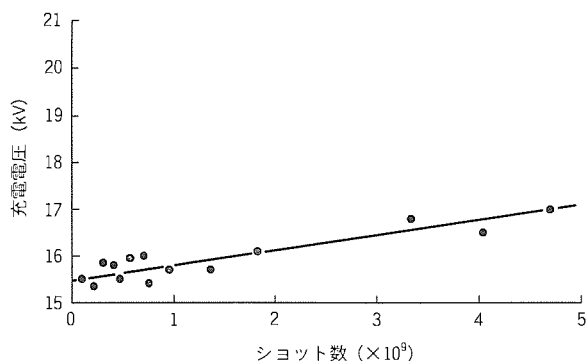


図17. 電極寿命特性

エキシマレーザは予備電離放電及び主放電の放電状態によって寿命が大きく左右される。市販されている多くのエキシマレーザは予備電離放電としてアーク放電を用いているが、当社ではコロナ放電を採用している。KrFレーザにコロナ放電を採用する場合、予備電離の発光量が少なくレーザ発振効率を上げられないという問題があった。今回、コロナ電極と印加電圧の最適化を図り、予備電離発光量を従来の50倍に高め、発振効率を3%以上に高めることができた。

主放電に関しては、図14の主放電模式図に示すストリーマ放電が発生すると主放電電極の消耗が激しくなる。ストリーマは放電空間への過大なエネルギー注入及びパルス回路からのアフタカレントの流れ込みにより発生するので、今回開発した電極系においては放電エネルギー密度の最適設計を行い、また、コンデンサ残留電荷の吸収回路を付加した。結果として、主放電状態は、グロー放電中に陰極輝点のみが存在する均一なグロー状放電とすることができた。今後更に電極寿命を伸ばすためには、陰極輝点をなくす必要がある。

製品プロト機で各種寿命検証を実施した。寿命検証はすべて定格条件下で、40mJ × 600Hz (24W) 一定で行った。図15はガス寿命特性で、定格出力24W一定で運転した場合の充電電圧の経時変化を示している(充電電圧は最大21kVまで印加可能)。これより、途中で3回のふっ素ガス注入を行うことにより、製品仕様の3倍に相当する1.5 × 10⁶ショットのガス寿命を達成していることが分かる。図16は回転式ウィンドウを1か所に固定した状態でウィンドウ寿命を測定

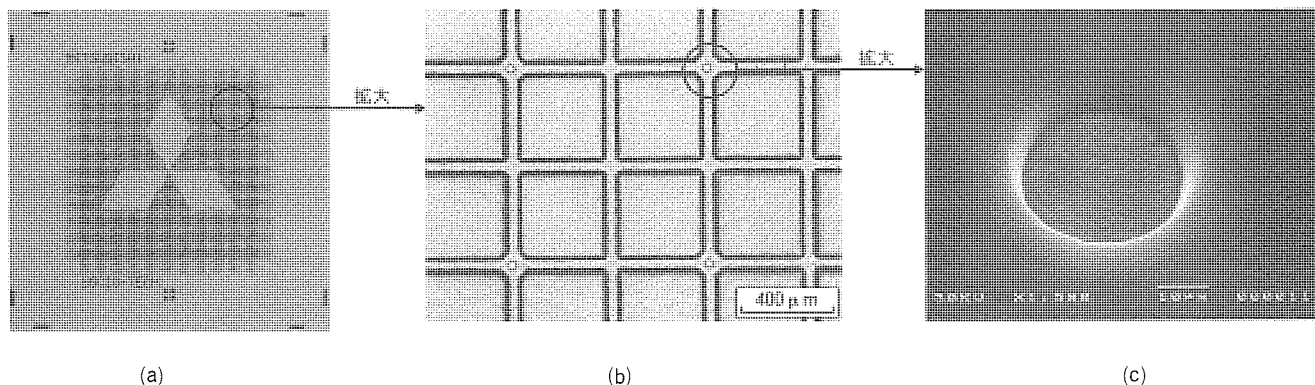


図18. MCMモデル基板の加工例

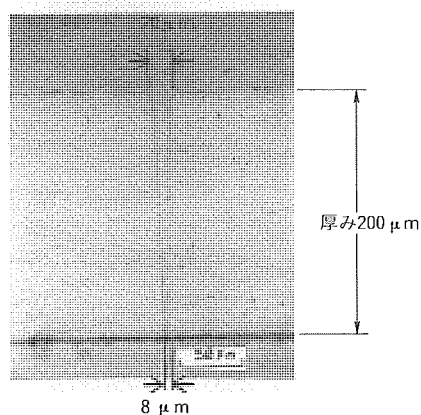


図19. エンジニアリングプラスチックの加工例

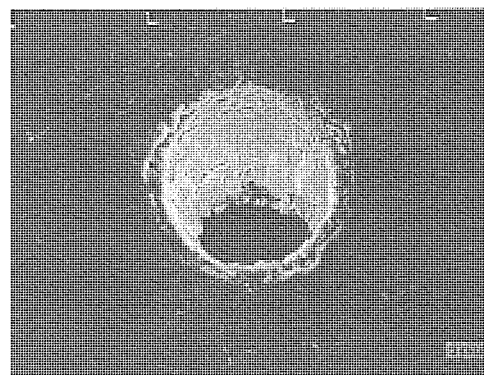
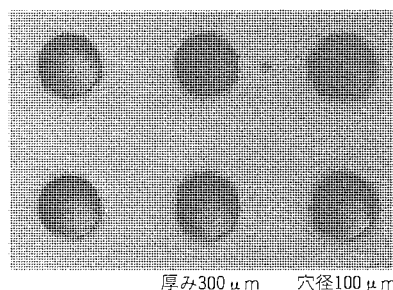


図20. グリーンシートの加工例

した結果である。これより、1か所当たりのウィンドウ寿命は製品仕様の4倍に相当する 2.1×10^9 ショットを達成している。図17に電極寿命特性を示す。電極寿命は 4.6×10^9 ショット以上であり、テスト期間中に加工性能に影響を及ぼすようなビーム性能の劣化は観測されなかった。

5. 加工例^{(6), (8), (11)}

3章で基本性能によるポリイミドフィルムの全面微細穴あけ加工例(図8)を紹介したが、ここではその他の代表的な加工例を紹介する。

5.1 MCM基板へのバイアホール加工

複数のLSIチップを小型の高密度多層基板に実装するMCM (Multi Chip Module) は、高速化・高信頼化・低価格化を実現する手段としてプリント回路業界では最も注目されている技術である。その中でも、バイアホール加工は必ず(須)の技術であり、エキシマレーザによる量産加工が強く要求されている。図18(a)～(c)はMCMモデル基板の加工例で、アルミナセラミックス基板上に形成された銅ポリイミド配線パターン(銅配線幅 $40 \mu\text{m}$ 、ピッチ $400 \mu\text{m}$ 、ランド径 $90 \mu\text{m}$)に直径 $40 \mu\text{m}$ のバイアホールを形成したものである。

5.2 その他の加工例

図19～図23にその他の加工例を示す。図19はエンジ

アリングプラスチック(高アスペクト比加工例)、図20はグリーンシート(焼成前のセラミックス)、図21は複合材料の加工例(ガラスエポキシ樹脂)、図22は難加工材の加工例(Siウェーハ、ソーダガラス、銅箔)である。図23はワイヤストリッピング(コンピュータ等に用いられている極細ケーブルの被覆むき)の加工例で、プリント配線板やインクジェットプリンタのノズル加工と並んで、現在、パイロットプラントステージに入っている。

6. むすび

以上、量産用エキシマレーザ加工システムの特徴を紹介してきたが、今後の展望について述べる。

スループットとランニングコストをブレイクスルーしたエキシマワークシステムは、MCMやFPC(フレキシブルプリント基板)を始めとするプリント配線板の高密度化や高機能化を一層加速するとともに、インクジェットプリンタのノズル加工やワイヤストリッピング等の生産性に大きく寄与するものと期待される。

加工プロセスを踏まえた加工光学系の実用化、加工光学系を支える発振器技術など、エキシマワークシステムは、当社の総合技術力を結集した量産用加工システムであり、超高速微細加工の頂点を極めるものである。

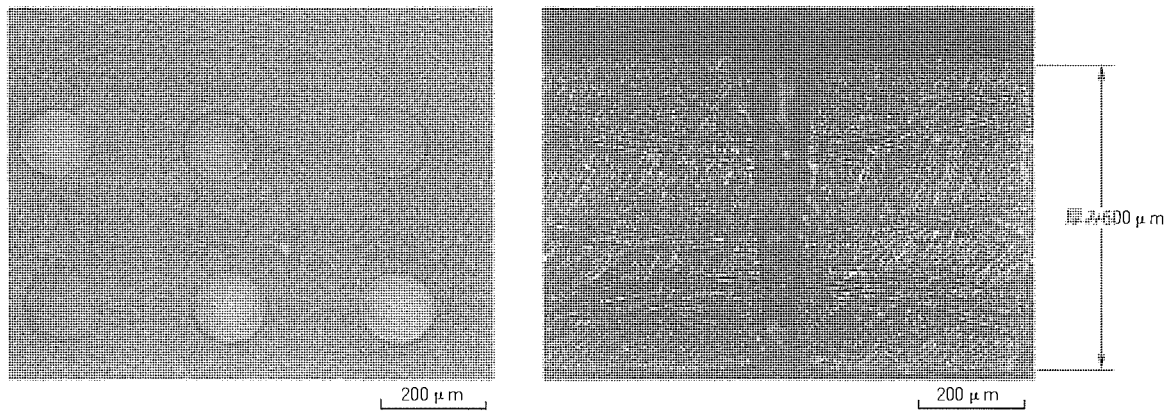


図21. 複合材料の加工例 (ガラスエポキシ樹脂)

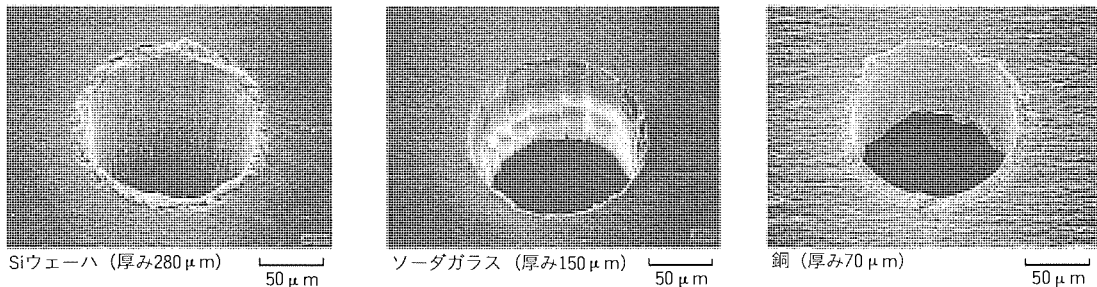


図22. 難加工材の加工例

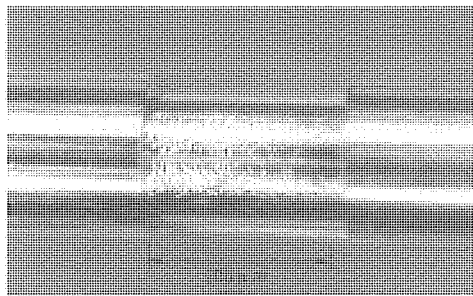


図23. ワイヤストリッピング

参 考 文 献

- (1) 伊藤慶子, 井上正巳, 森安雅治: 波長の異なる短パルスレーザによる高分子材料のアブレーション特性, 高分子論文集, **48**, No. 11, 725 ~ 735 (1991)
- (2) 町田一道, 田中正明: ビーム応用表層加工, 三菱電機技報, **66**, No. 3, 324 ~ 332 (1992)
- (3) 中谷 元, 杉立厚志, 松下嘉文, 皆川忠郎, 南谷靖史, 若田仁志, 木村唯人, 春田健雄: 量産用エキシマレーザ発振器の開発, 第28回レーザ熱加工研究会論文集, 43 ~ 49 (1992)
- (4) 八木俊憲, 頭本信行, 出雲正雄, 竹野祥瑞, 喜多秀樹, 江浦 隆, 田中正明: 量産用エキシマレーザ加工装置の開発, 第28回レーザ熱加工研究会論文集, 51 ~ 58 (1992)
- (5) 八木俊憲, 頭本信行, 出雲正雄, 竹野祥瑞, 喜多秀樹, 江浦 隆, 田中正明: エキシマレーザ高効率転写加工装置, レーザ学会研究会報告, RTM-92-38, 37 ~ 41 (1992)
- (6) Izumo, M., Takeno, S., Zumoto, N., Yagi, T., Myoi, Y., Tanaka, M.: Study of High Aspect Ratio Micro Drilling by Excimer Laser, Proceeding of LAMP, **92**, 1041 ~ 1045 (1992)
- (7) Zumoto, N., Izumo, M., Yagi, T., Myoi, Y., Tanaka, M.: Energy Efficient Optical System for Excimer Laser Ablation Apparatus, SPIE, **1869**, 26 ~ 33 (1993)
- (8) 江浦 隆: 高密度多層基板のエキシマレーザアブレーション加工, Optronics, No. 1, 73 ~ 78 (1994)
- (9) 田野倉保雄: 使われ始めたエキシマレーザ微細加工で生産ラインへの導入も, 日経メカニカル, **5-2**, 24 ~ 36 (1994)
- (10) 八木俊憲: エキシマレーザ, 表面実装技術, **4**, No. 6, 92 ~ 93 (1994)
- (11) 八木俊憲, 頭本信行, 西本 茂, 中嶋恵治, 伊藤慶子, 田中正明, 出雲正雄, 皆川忠郎, 松下嘉文, 喜多秀樹, 中谷 元, 江浦 隆: エキシマレーザによる高速微細穴明け加工とその装置, 第32回レーザ熱加工研究会論文集 (1994)

ファンモータ用チョッパ式可変速制御

岸添義彦* 西尾直樹* 春日井 誠* 中込 靖* 今城昭彦**

1. ま え が き

建物の高性能化(高気密・高断熱化)に伴い、換気及び空調分野でもシステム化が進んでいる。そして、このような用途に用いる送風機はよりきめ細かな風量設定が要求され、これに対応して種々のモータ可変速技術が開発されている。

送風機用誘導電動機(以下“ファンモータ”という。)の可変速技術として、位相制御やインバータ制御が知られている。しかし、位相制御ではモータにひずんだ波形の電流が流れるため、ファンモータの制御を行ったとき、問題が生じる場合がある。すなわち、モータから発生するトルクリプルや磁気吸引力による振動が羽根や構造体に伝わり、騒音が発生しやすく、その対策に悩まされる。

また、インバータ制御においては、人間の可聴域を越えるキャリア周波数で正弦波 PWM (Pulse Width Modulation) 制御を行えば、可聴周波数におけるモータの振動の発生が少なく、低騒音の送風機を構成できる。しかし、制御回路が複雑で高価になるという課題を抱えている。

我々は、比較的小型のファンモータについて、可変速制御を行う方式の一つとしてチョッパ制御に着目し技術開発を進めてきたが⁽¹⁾、このほど低騒音でかつ経済的な制御回路を得ることができ、この方式を採用したダクト用換気扇の製品化を進めている。

本稿では、誘導モータのチョッパ式可変速制御の原理、開発した回路の構成と動作、他の制御方式との特性比較、シミュレーションによるトルク挙動解析、ダクト用換気扇への応用例などについて述べる。

2. チョッパ制御

2.1 チョッパ制御の原理

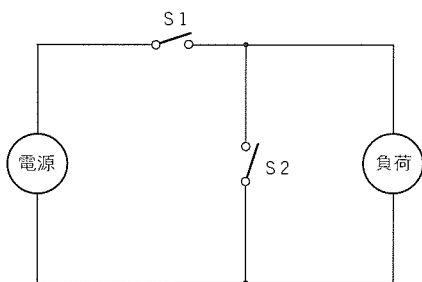


図1. チョッパ制御の原理

チョッパ制御の原理を図1に示す。

商用電源と負荷との間にスイッチS1を設けこれを高速でスイッチングすると、負荷に加わる電力はON/OFFの比に対応した値になる(この値は負荷の種類により異なる。)

抵抗負荷の場合は、スイッチS1のみで電力制御できる。しかし、モータのような誘導負荷の場合は、スイッチのOFF時にもコイル電流が流れ続けようとするため、このままでスイッチングすると大きなスパイク電圧が発生する。そこで、スイッチS2を設けて電流を還流(フリーホイーリング)させる回路を作る。そして、このような回路でスイッチS1とS2を交互にON/OFFすれば、モータコイルに流れる電流をとぎれさせることなく滑らかに制御できる。

ところでこのような回路では、S1とS2が同時にONする瞬間があると、電源をショートさせてしまう。また、S1とS2が同時にOFFする瞬間があると、負荷の両端に大きな逆起電圧が発生し、制御するための部品を破壊したり、ノイズが発生したりする。したがって、このようなチョッパ制御回路では、S1とS2の切換えをいかにタイミングよく行うかが設計上のポイントとなる。

図2に、チョッパ回路によってモータを制御したときの、負荷の電圧と電流波形の概略の形を示す。図において、電圧波形は入力電源電圧を切り刻んだ形状になっているが(実際はスイッチングが速く、電圧波形の切れ目はずっと細かい。)、これに対し、電流波形はモータの誘導成分により滑らかな連続した形状になっている。

2.2 開発した回路の構成と動作

図3に開発した回路の基本構成を示す。図において、MOS型FET(FET1)とダイオードブリッジ(DB1)は、交流電流をON/OFFするスイッチを構成する。また、NPN(Q1)とPNP(Q2)の一組のトランジスタとダイオード(D

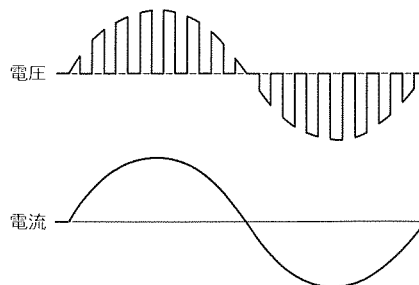


図2. モータの電圧、電流波形

1, D2) は、電流を還流させるフリーホイール回路を構成する。

回路の動作は、例えば電源電圧が正の半サイクルの場合は、トランジスタ Q1 のベースに DB1 と FET1 の電圧降下分だけ電圧がかかり、順方向にバイアスされる。この状態で FET1 が ON のときは、モータに電源電圧が印加され電流 I_1 が流れる。次に FET1 が OFF すると、モータと電源は切り離されるが、直前にモータに流れていた電流 I_1 が流れ続けようとするので、モータ両端には逆起電圧が発生する。ところが、このときトランジスタ Q1 のベースは順方向にバイアスされているので、モータの電流は D1 → Q1 を経由して還流し、モータ両端に発生する電圧は抑制される。

電源電圧が負の半サイクルの場合も、トランジスタ Q2 とダイオード D2 が同様に動作して、FET1 の OFF 時の電流 I_2 を還流させる。

以上のように構成することで、FET1 の ON/OFF 時のフリーホイール動作の切換えタイミングは、特別な調整が不要で、しかも確実に動作する回路が得られる。

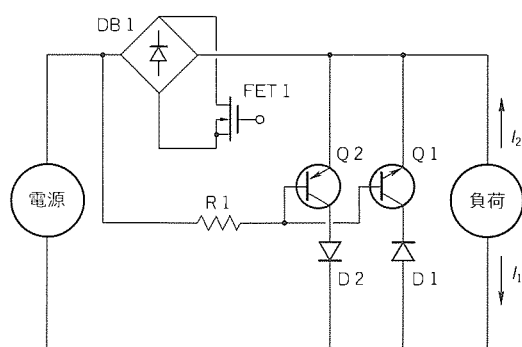


図3. 開発した回路の構成

表1. 各制御方式の比較

項 目	チョップパ制御	位相制御	インバータ制御
主回路構成			
電圧波形			
電流波形			
構成部品数	60	40	100
騒 音	○	×	○

2.3 制御方式の比較

チョップパ制御・位相制御・インバータ制御の各方式の、主な項目についての比較を表1にまとめた。表において構成部品数とあるのは、各制御方式で出力 100 W クラスの基本回路機能を、我々が設計したときのおおよその部品点数を示すものである。

位相制御方式は回路構成が簡単で、構成部品も少なくできる。しかし負荷に印加する電圧波形がひずみ、電源周波数の高調波成分を多く含んだ電流が流れるため、先に述べたようにモータから騒音が発生しやすい。

インバータ制御では、キャリア周波数を人間の可聴周波数以上に設定して正弦波 PWM 制御を行った場合、モータから発生する騒音は少ない。また、滑りが大きいと発熱が問題になるようなタイプのモータ負荷も制御可能であり、位相制御やチョップパ制御にない優れた特性を持つ。しかし、交流を一度直流に変換する回路や、高速のスイッチング素子が4個必要であるなど、回路構成が複雑で高価になりがちである。

一方、チョップパ制御は、スイッチング周波数を可聴周波数以上に設定すれば、インバータと同様に騒音の抑えることができる。また、小型のファンモータなど発熱の少ないタイプの負荷では、チョップパ制御で十分制御可能であり、回路構成も簡単にできる。

3. チョップパ制御の特長

3.1 騒 音

今回開発したファンモータ用チョップパ式制御は、スイッチ回路の FET を可聴周波数以上でスイッチングしているため（キャリア周波数 20 kHz）、基本的にモータからの騒音は聞こえない。

図4は、当社の天井埋込み形ダクト用換気扇（VD-23ZX2）を、チョップパ制御・位相制御・正弦波電圧制御（電圧可変トランスを使用）で駆動したときの、回転数に対する騒音値を示すものである。チョップパ制御では正弦波で駆動した場合と同様に低騒音であるが、位相制御で駆動した場合は低速時に騒音が発生している。

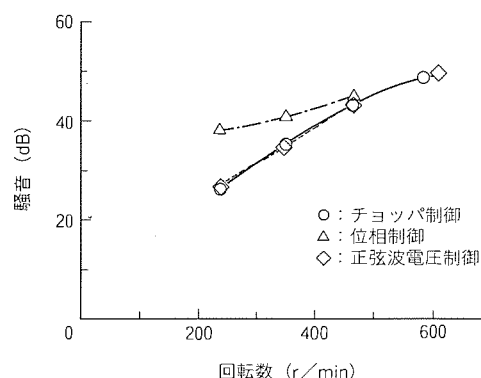


図4. 回転数と騒音の関係

3.2 効 率

チョップ制御・位相制御・インバータ制御でダクト用換気扇 (VD-23ZX2) を駆動したときの、回転数と入力電力の関係を図5に示す (入力電力には回路消費分を含めた。各制御回路は試験用に製作したものである。)

チョップ制御は、位相制御に比べて効率が良くなっている。これは、位相制御によって流れる電源周波数の高調波電流が、モータの回転トルク発生に効率良く寄与せず、損失となるためと考えられる。

一方インバータ制御は、電圧と周波数を同時に変化させるため、一般に低速制御時にもモータ効率の低下が少なく、電圧変化だけで制御するチョップ制御や位相制御よりも効率が良い。

しかし、試験に使用したような小型のファンモータでは、通常 50 Hz 及び 60 Hz 地区で、ほぼ等しくかつ適正な風量を得られるように設計される。このため、モータを滑りの大きい領域で使っており、インバータ制御とチョップ制御による効率の差はわずかとなっている。

また図6に示すように、モータの補コイルの途中から出したタップ (弱タップ) によって速度調節を行った場合 (強弱二段切換え付き換気扇でよく使われる方法、VD-23ZX2 の弱ノッチで測定) の値も、参考として載せる。この場合には、チョップ制御によって効率が改善できる。

3.3 カ 率

図7は、回転数に対する力率を測定した結果である。チョップ制御の場合は、回転数を変化させてもモータの持つ特性がそのまま現われ、制御による力率の低下はほとんどない。

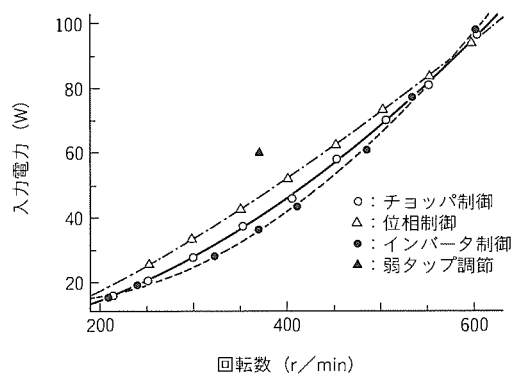


図5. 回転数と入力電力の関係

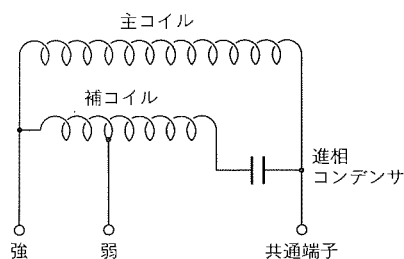


図6. モータの弱タップ

また、インバータ制御の場合は、入力コンデンサインプット型の整流回路になっており、一般に、この図に示すような傾向となる。

また、配電設備などに害を与えるということで規制が検討されている高調波電流 (2 ~ 40 次の奇数次、偶数次の高調波) についても、位相制御やインバータ制御と異なり、電源位相の全領域の電流を利用する高速スイッチングのチョップ制御では発生しにくい。

4. シミュレーションによる振動特性の確認

4.1 シミュレーション方法

振動特性を確認するため、チョップ制御・位相制御・正弦波電圧制御のそれぞれの場合について、加振源であるモータのトルクをシミュレーションによって比較した。

誘導モータ (コンデンサモータ) の回路モデルを図8に示す。この回路モデルより、主コイル、補コイル、ロータの a コイル、b コイルの経路で電圧方程式をたてる。また、モータの発生トルク T_m は電磁エネルギー W_m を電気角度 θ で偏微分したもので、以下のようになる⁽²⁾。

$$T_m = \partial W_m(i, \theta) / \partial \theta$$

$$= P \{ - (M_d \cdot i_{1d} \cdot i_{2d} + M_q \cdot i_{1q} \cdot i_{2q}) \sin \theta + (M_d \cdot i_{1d} \cdot i_{2q} - M_q \cdot i_{1q} \cdot i_{2d}) \cos \theta \}$$

..... (1)

M_d : d コイルと a, b コイルの相互インダクタンス

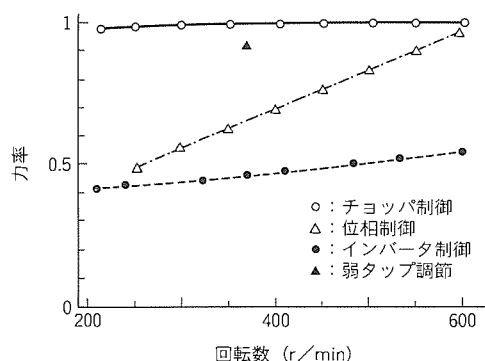


図7. 力率の変化

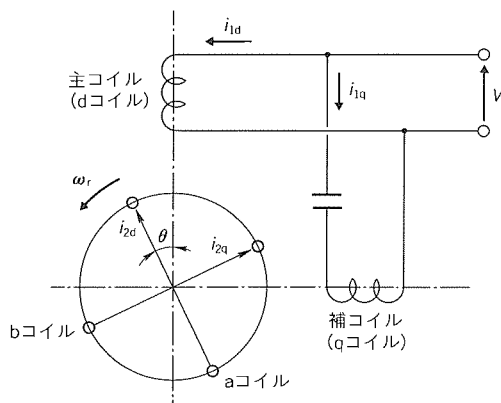


図8. コンデンサモータの回路モデル

M_q : q コイルと a, b コイルの相互インダクタンス

i_{1d} : d コイルの電流, i_{1q} : q コイルの電流

i_{2d} : a コイルの電流, i_{2q} : b コイルの電流

P : 極対数

次に、軸系の慣性モーメントを J とすると、ファンのように速度の二乗に比例する負荷があるときの運動方程式は、

$$J \cdot d \omega_r / dt + T_1 \cdot \omega_r^2 = T_m \dots\dots\dots (2)$$

T_1 : 二乗負荷トルク係数

ω_r : ロータの角速度

となるので、電圧方程式、式(1)、式(2)を数値積分することにより、モータの発生トルクを求めることができる。

4.2 シミュレーション結果

図9(a)～(c)に、チョップ制御・位相制御・正弦波電圧制御の、モータトルクのシミュレーション結果を示す。計算は、それぞれモータ駆動実効電圧を電源電圧の60%相当に制御した場合の値で行った。

図(b)に示すように、位相制御では、電源周波数の2倍の周波数(2f)のトルクリプルが大きく、高調波成分も含んでいるためこれが加振源となって振動が大きくなっている。また、前述した位相制御の騒音値が大きいことから、振動が騒音にも影響していると考えられる。

次に、図(c)の正弦波電圧制御では、トルクは2fの正弦波状となり、リップルの山の高さも位相制御に比べて低く、振動

は小さいと予想される。

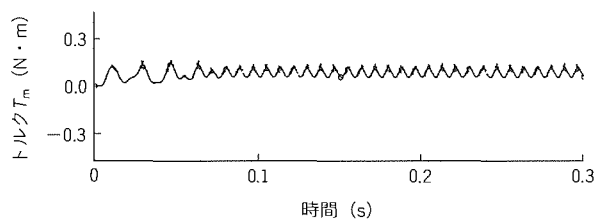
チョップ制御でのトルクは図(a)のようになり、キャリア周波数の影響が出ているが、トルクリプルの主成分は正弦波電圧制御の場合と似ている。なお、前述したチョップ制御と正弦波電圧制御の騒音特性に差がないことから、キャリア周波数が可聴周波数よりも高い場合は、トルクにキャリア成分が含まれていても振動や騒音に対する影響は少なく、正弦波電圧制御とほぼ同等の特性が得られると考えられる。

5. ダクト用換気扇への応用

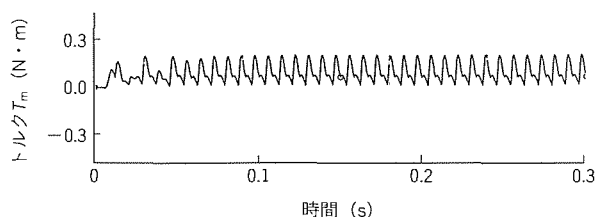
当社では、適切な風量と静かな換気の実現を目指し、状況に応じて適切な機種が選べるよう、用途別に多様な換気送風機の機種展開を図っている。

しかし、在室人員の変化や喫煙の有無によって適正換気量が変化するオフィスビルや、竣工時に用途が決まらず必要換気量が定まらないテナントビルなどにおいて、機種選定が困難な状況がしばしば起きている。このような状況に対応するための機種として、風量が自由に設定できる換気扇(フリーパワーコントロールタイプ)の製品化を進め、チョップ式可変速制御技術を応用した。

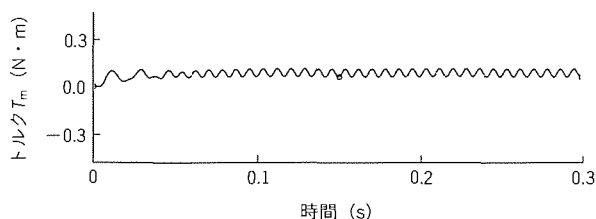
フリーパワーコントロールタイプの換気扇(VD-23ZR-X, 10月発売予定)の外観写真を図10に示す。この換気扇は天井に設置するダクト用タイプで、グリルから吸い込んだ空気



(a) チョップ制御



(b) 位相制御



(c) 正弦波電圧制御

図9. モータトルクのシミュレーション



図10. VD-23ZR-X換気扇の外観

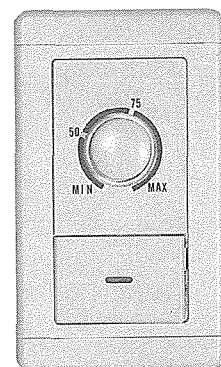


図11. 専用コントローラの外観

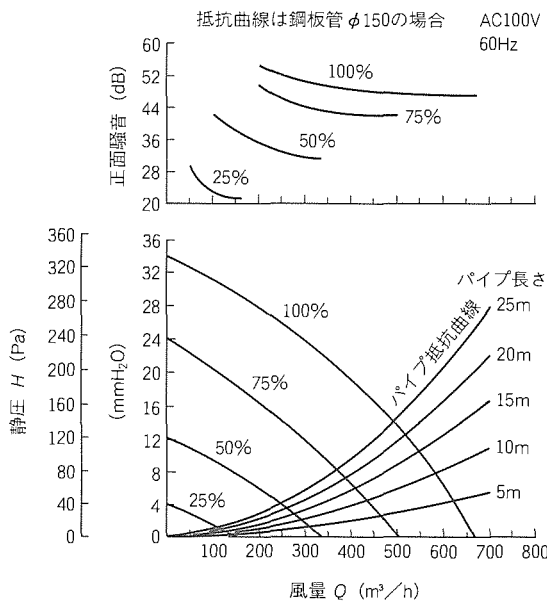


図12. 騒音と送風性能

は、本体に接続したダクト（パイプ）を通じて屋外に排出されるようになっている。

ダクト用換気扇 VD-23ZR-X は、回転数を調節するためのボリュームつまみが本体に付いており、天井に設置後も風量の設定変更が行える。

また、別売のシステム部材として、壁埋込み型のコントローラを用意しており、その外観写真を図11に示す。これと

可変速型換気扇を組み合わせることによって、前述のオフィスビルのように、適正換気量が状況によって変化する場所でも、ユーザが容易に風量の変更を行うことができる。

このタイプの換気扇の、騒音と送風性能 (Q-H カーブ) の一例を図12に示す。回転数調節用ボリュームの操作によって、図にあるような負荷曲線との交点で示される風量に、自由に設定できる。

6. む す び

今回開発したチョップ制御は、騒音の発生が少なく、かつ経済性にも優れ、ファン用の小型誘導モータを制御するのに適した技術である。また、予定されている電源の高調波規制への対応も有利に行える。

以上述べたように、チョップ制御は、従来の制御方式とは異なる長を備えており、換気及び空調機器のシステム化・高機能化を始めとして、多様な分野への応用が期待できる。

参 考 文 献

- (1) Mozdzer, A. JR., Bose, B. : Three-Phase AC Power Control using Power Transistors : IEEE Transactions on Industry Applications, IA-12, No. 5 (1976)
- (2) 宮入庄太：最新電気機器学，丸善（1979）

有機分子線蒸着法による薄膜の作製と高次構造

蔵田哲之* 洲上宏幸* 濱野浩司* 久保田 繁**

1. ま え が き

高度情報化社会の進展に伴い、情報の高速・大量処理に対応する各種デバイスの開発が活発化している。その一つとして、これまでのエレクトロニクスに代わる光を利用した情報処理が期待されている。これらに必要な新機能デバイス用の材料として、有機分子の持つ光・電子機能を利用した新規な材料の創製が注目されている。これら有機分子の機能を最大限に発揮させるためには、分子配向や結晶性などの高次構造を制御した薄膜の作製が重要な因子となる。

このような高次構造を制御できる薄膜作製技術として、我々は超高真空中での分子線蒸着法に注目している⁽¹⁾。有機分子線蒸着法の特長としては、①超高真空中で行うため、クリーンで不純物の混入が少ない、②分子オーダの厚さの薄膜を平滑性高く作製できる、③分子配向や結晶性などの高次構造を制御できる、④基板との格子整合したエピタキシャル成長の可能性がある、⑤異種材料との組合せによる新しい材料創出の可能性がある、などが挙げられる。

有機分子線蒸着法の技術開発としては、その素過程の把握と実際の薄膜作製とを行っている。分子線蒸着の素過程は大きく分けて分子の蒸発、輸送、たい(堆)積の3段階に分けられる。分子の蒸発⁽²⁾や成長の初期過程⁽³⁾についての報告は幾つか行われているが、輸送に関してはほとんど報告がない。そこで、我々は超高真空中での分子ビームの空間分布の

評価を行い、Kセルから発生する分子ビームの指向性の制御性について検討した。

また、実際の薄膜作製においては、薄膜成長時の成長速度、基板温度、基板種、前処理など種々のパラメータが高次構造制御の上で重要な因子となる。特に基板温度は、化合物半導体の分子線蒸着において薄膜の結晶成長を行うには、エピタキシャル温度よりも高くすることが必要であった⁽⁴⁾。しかし、有機分子線蒸着では、Forrestらが基板を液体窒素温度近くまで冷却して均一な薄膜を作製して以来⁽⁵⁾、基板の冷却についても検討の範囲が広がっている。そこで、今回は冷却も含めて成長時の基板温度の薄膜の高次構造に対する影響について検討を行った。

2. 分子ビームの空間分布

2.1 実 験

分子ビームの空間分布は、移動式の膜厚センサによって評価した。分子ビーム強度は堆積速度を用いている。材料としては耐熱性に優れ、安定な分子ビームの発生が可能なペリレン無水カルボン酸誘導体(以下“PTCDA”という。)を用いた。図1にPTCDAの分子構造を示す。

Kセル及び高真空($10^{-7} \sim 10^{-8}$ Torr)の成長室にはエィコーエンジニアリング製の分子線蒸着装置を用いて行った。移動式の膜厚センサには日本真空製ベークブルセンサ CRT S-35 Uを用いた。Kセルのるつぼは石英ガラス製で、図2に示す通常の形状と細長い形状の2種類を用いた。その形状パラメータ(セル長(L)/開口径(D)比)は通常の形状のものでは3.3で、細長い形状のものでは7.8である。

2.2 結果と考察

移動式膜厚センサによって測定した堆積速度から分子ビームの空間分布を求めるには、膜厚センサの空間配置を補正する必要がある。

Kセルと移動式膜厚センサの空間的配置は図3に示すとおりである。Kセルから発生する分子ビームや半球状の抵抗加熱セルから発生する分子ビームの空間配置は、微小平面蒸発源を仮定した指向性を持つ分布則に従うことが分かっている⁽⁶⁾。その基本式は次式のとおりとなる。

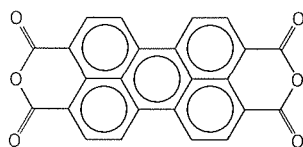


図1. PTCDAの分子構造

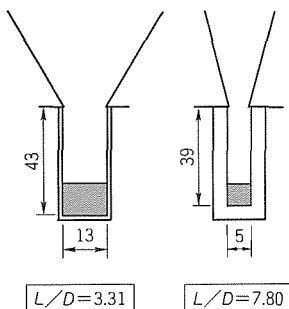


図2. るつぼの形状

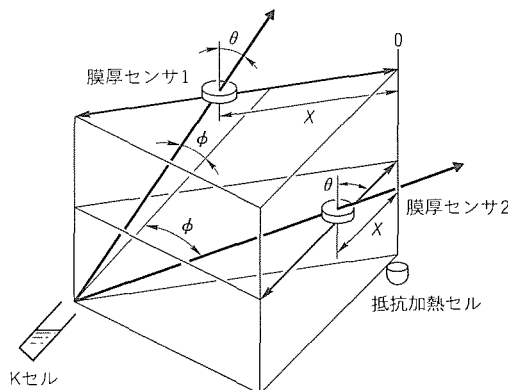


図3. Kセルと膜厚センサの空間的配置

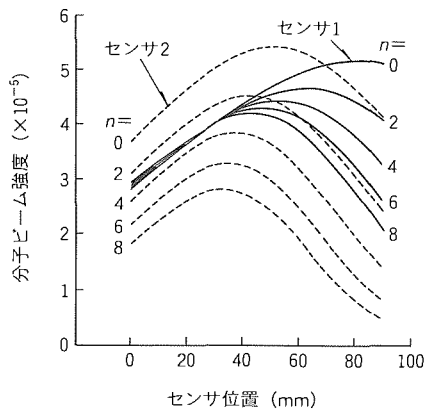
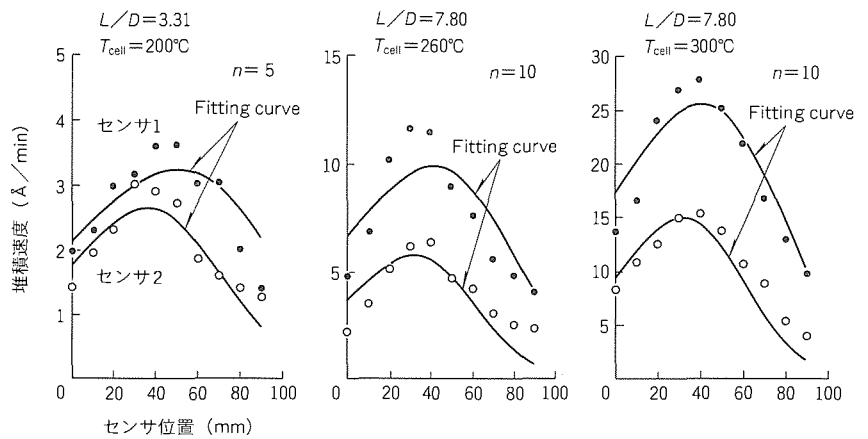


図4. 分子ビーム空間分布のシミュレーション



(a) 通常のるつぼ (b) 細長のるつぼ (c) 細長のるつぼ (高温)

図5. 分子ビーム空間分布の測定結果

$$I = \left[\frac{N}{4\pi L^2} \right] \cos \theta \cos^{n+1} \phi \dots\dots\dots (1)$$

I は単位時間当たりに立体角 $d\omega$ 中に蒸発分子が基板に入射する強度を表している。 N は全蒸発分子数である。距離 L はるつぼからセンサまでの距離、 θ は分子ビームのセンサに対する入射角度、 ϕ は分子ビームの出射角度である。 n は指向性を表すパラメータであり、分子ビームに指向性がない場合 n はゼロとなり、分子ビーム強度の出射角度依存性は $\cos \phi$ となる余弦則に従う。一方、分子ビームが指向性を示す場合は、この余弦則から外れて $\cos^{n+1} \phi$ ($n > 0$)に従う。図4には、図3の空間的配置による補正を行い、種々の n について計算した分子ビーム強度と移動式センサ位置 x の関係のシミュレーション結果を示す。

次に、実験結果を図5に示す。分布の形はシミュレーションの結果と同じ傾向を示しており、カーブフィッティングによって、各るつぼ形状について指向性パラメータを求めた。その結果、 $L/D = 3.3$ のセルでは $n = 5$ 、 $L/D = 7.8$ のセルでは $n = 10$ という値が得られた。したがって、るつぼ形状がより細長くなると指向性パラメータが大きくなる、すなわち、分子ビームの指向性が高くなっていることが分かった。

しかしながら、図5(a)と(b)に示すように、るつぼの形状を変化させると、るつぼ自身の熱容量の違いによって分子ビームが発生する温度が変化する。したがって、るつぼ温度変化による影響についても検討が必要である。図の(b)と(c)に、同じ形状($L/D = 7.8$)のるつぼで、温度を変えて分子ビーム空間分布の測定を行った結果を示す。図から分かるように、るつぼ温度上昇に伴い分子ビーム強度は増加するが、指向性パラメータは共に $n = 10$ となり、分子ビーム空間分布は、この温度領域ではるつぼ温度に依存しないことが分かった。このことから、分子ビームの空間分布を支配する主要な因子はるつぼ形状であり、その高い指向性は、分子の広がり方がKセルるつぼの内壁で遮へい(蔽)されることによって発現するものと考えられる。

表1. PTCDA薄膜の成長条件

蒸発分子	PTCDA (2回昇華精製)
真空度	10^{-9} Torr
Kセル温度	280°C
成長速度	10~20 Å/min
成長温度	-160~100°C
基板	Au(111)/LaSF ₉

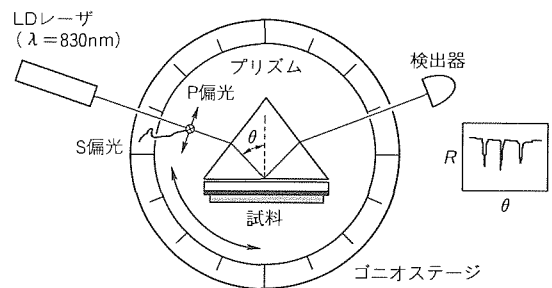


図6. プリズムATR法の測定系

以上の結果から、分子ビームの空間分布はKセル形状によって制御できることが明らかとなった。実際の薄膜成長において分子ビームの指向性が高い場合、ビームフラックスモニタを用いたときにベースとなる真空度が変化せず、正確なビーム強度が得られやすい。また、成長室の清浄度維持の観点からも分子ビーム強度の空間分布は高い方が望ましいといえる。ただし、今回の実験のように厚肉のるつぼを用いると、熱容量が変化するため、Kセル全体のバランスが崩れるという問題点がある。実際、厚肉のるつぼを用いたときはるつぼ口に蒸発した原料が再付着する傾向が見られており、るつぼの温度分布が変化しているものと考えられる。したがって、安定な分子ビームの発生を行うには、るつぼの形状に合わせて加熱源の設計も行う必要がある。

3. PTCDA薄膜の高次構造

3.1 実験

原料には、分子ビーム空間分布の測定と同様 PTCDA を用いた。薄膜の作製を行う超高真空 ($10^{-8} \sim 10^{-10}$ Torr) の

成長室と K セルには、エイコーエンジニアリング製の分子線蒸着装置を用いた。基板には、高屈折率ガラスである LaSF_9 に金を 500 Å 蒸着したものを用いた。薄膜の成長条件を表 1 にまとめて示す。基板温度を室温より低くする場合は、液体窒素を用いて冷却ができる基板マニピュレータを用いた。

作製した薄膜の高次構造評価は、RAS (高感度反射吸収) 赤外分光法、X 線回折及び屈折率の測定によって行った。赤外分光測定では日本電子製 JIR-5500、X 線回折では理学社製 RAD-r C を用いた。屈折率の測定には導波路モードの測定から屈折率を求めるプリズム ATR 法を用いて行った。図 6 にプリズム ATR 法の測定系を示す⁽⁷⁾。プリズムの底辺に光学的に密着させた基板上に 500 Å 程度の金薄膜、さらに有機薄膜が積層されている。金/有機薄膜/空気は有機薄膜を導波層とする光導波路を形成しており、プリズム側から導入した光の波数成分が導波モードと一致すると、通常は金薄膜部分で全反射している入射光が導波路部分へ移り、反射光強度が減少する。このときの入射角度から導波モードを決定し、導波路部分の膜厚と屈折率を決定することができる。このとき、光の偏光方向に従い、薄膜中に面内又は垂直方向の電場ベクトルを持つ導波モードが独立に励起できるので、これから薄膜の面内方向の屈折率 (n_{\parallel}) と垂直方向の屈折率 (n_{\perp}) を求めることができる。なお、測定波長としては 830 nm を用いた。

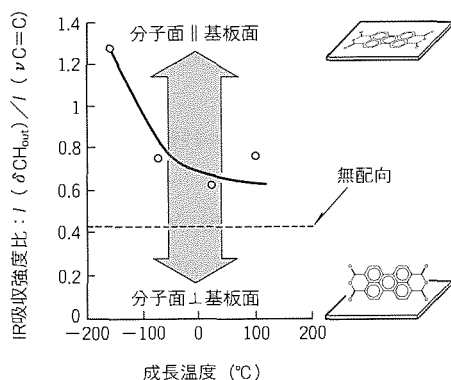


図 7. RAS 吸収強度比の成長温度依存性

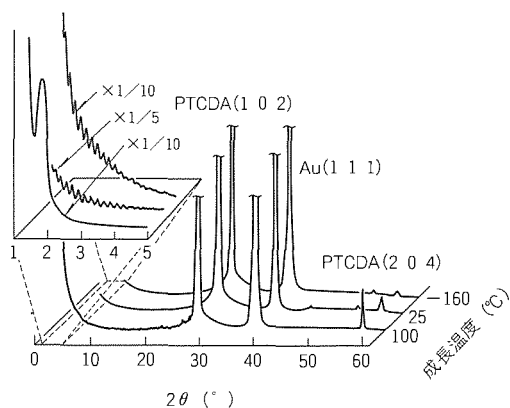


図 8. PTCDA 薄膜の X 線回折パターン

3.2 結果と考察

図 7 には、RAS スペクトルのペリレン環 CH 面外振動 (740 cm^{-1}) と $\text{C}=\text{C}$ 二重結合 (1592 cm^{-1}) の吸収強度比を示す。CH 面外振動の双極子モーメントは PTCDA の分子面に対して垂直方向にあり、 $\text{C}=\text{C}$ 二重結合の双極子モーメントは分子面内にある。RAS スペクトルでは基板面に対して垂直方向の遷移双極子モーメントを選択的に検知するから、上記の吸収強度比が大きいほど平面状の PTCDA の分子面は基板に平行に配向していることになる。図中に示す点線は KBr ペレットの無配向膜から得られた値であり、これよりも強度比が大きいときは分子面は基板面に対して平行配向であり、小さいときは垂直配向となることが分かる。実験結果からは、いずれの試料においても PTCDA 分子は基板に垂直方向に配向することが分かるが、基板温度が低いほど PTCDA 分子面が基板に対してより水平に堆積することが分かる。

次に、図 8 に X 線回折パターンを示す。下地である Au の (1 1 1) 反射と、PTCDA 結晶の (1 0 2) 反射がよく観測されている。回折パターンの低角度側では、膜厚に対する X 線反射による干渉パターンがみられる。この干渉パターンが大きいほど薄膜の平滑性が良いことを示しており、基板温度が高いほど平滑性が悪くなっていることが分かる。PTCDA 結晶からの (1 0 2) 反射の回折強度の成長温度依存性を図 9 に示す。この強度は、成長温度の上昇とともに増大し、結晶性が向上することが分かる。成長温度の上昇に伴って結晶性が向上することは、SEM 観察による膜表面のモルフォロジからも確認されている。また、触針式膜厚計を用いて測定した試料表面の膜厚粗さからも、薄膜成長時の基板温度が高いほど表面の平滑性が低下していることが分かり、X 線回折から得られた結果とよく対応している。

次に、膜の屈折率評価について示す。PTCDA は π 電子が面内に広がる平面型の分子構造であるため、屈折率は分子の面内方向に大きく、垂直方向に小さい。したがって、膜の

屈折率は分子の配向を反映して異方性を示すようになる。実際にプリズム ATR 法から求められた屈折率の結果を図 10 に示す。成長温度が低温の場合、面内方向の屈折率が大きく、垂直方向の値が小さいという大きな屈折率の異方性を示し、PTCDA 分子は基本的に面内方向に配向していることが分かる。この結果は、90 K で作製した PTCDA 膜の反射率測定から求めた屈折率異方性の結果とよく合っている⁽⁸⁾。しかし、成長温度が高くなると、分子面が基板に対して

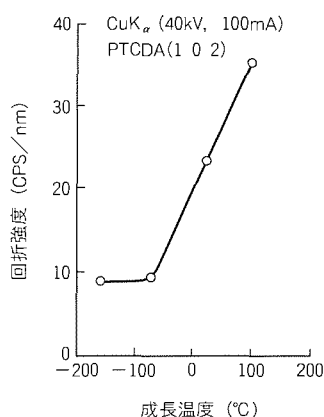


図 9. (1 0 2) 回折強度の成長温度依存性

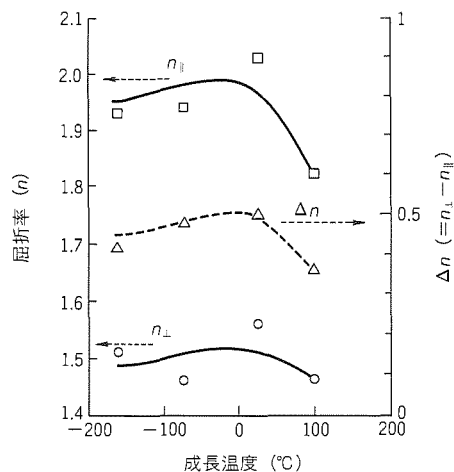


図10. 屈折率の成長温度依存性

平行から垂直方向に立つ成分が増えるために配向が乱れ、屈折率の異方性が小さくなっている。

得られた結果をまとめると表2のようになる。すべての結果は分子配向の観点で解釈することが可能であり、その模式図を図11に示す。成長時の基板温度が低いときは、PTCD A 分子は結晶性は低い、基板面に対して平行に配向するように堆積する。一方、基板温度が高いときは、結晶性は向上するが、分子面の配列は乱れ基板面に対して平行でない配向をする部分が増加しているものと考えられる。

4. む す び

今回は、分子線蒸着法の素過程の一つである分子ビームの指向性の制御性を見出し、また、薄膜中の分子配向についても、成長時の基板温度を変化させることによって制御できることが明らかになった。今後、これらの技術をより発展させることによって有機分子を用いた新規な機能性材料の創製が期待される。

この研究は、通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度に基づいて実施されている“先進機能創出加工技術の研究開発”の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から先進機能創出加工技術研究組合への委託事業によってまとめたものである。

参 考 文 献

- (1) 蔵田哲之, 瀧上宏幸, 久保田 繁: ペリレン誘導体の分子線蒸着におけるビーム空間分布と薄膜の高次構造, 電子情報通信学会技術研究報告, OME94-12, 19~24 (1994)
- (2) Takahashi, Y., Matsuzaki, K., Iijima, M., Fukuda, E., Tsukahara, S., Murakami, Y., Maesono, A.: Determination of Evaporation Rate and Vapor

表2. PTCD A 薄膜の成長条件, 膜構造, 光学特性

成長条件	低	成長温度	高
	低	分子の表面拡散	高
膜構造	低 (1 0 2)ラテラル	結晶性	高 (1 0 2)ラテラル
	平滑	膜表面	凹凸
光学特性	大	分子面ラテラル配向性	小
	優	光伝搬性	劣
	大	屈折率異方性	大 (低下傾向)

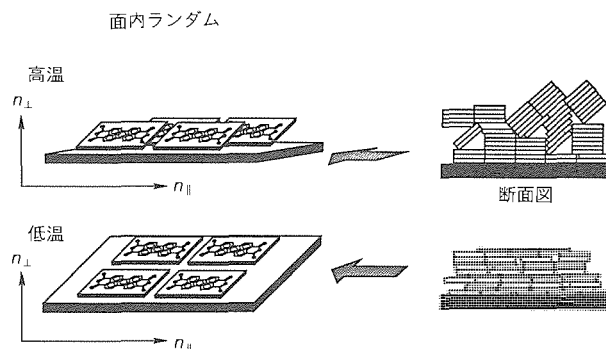


図11. PTCD A 薄膜の模式図

Pressure of Organic Monomers used for Vapor Deposition Polymerization, Jpn. J. Appl. Phys., **32**, Part 2, No.6B, L 875~L 878 (1993)

- (3) 八瀬清志, 荒 則彦, 河津 璋: 蒸着分子の表面拡散と結晶成長—C₆₀とTTFTCNQを例にして, Molecular Electronics and Bioelectronics, **4**, No.4, 262~265 (1993)
- (4) 高橋 清: 分子線エピタキシー技術, 25~56, 工業調査会 (1984)
- (5) So, F. F., Forrest, S. R., Shi, Y. Q., Steier, W. H.: Quasi-Epitaxial Growth of Organic Multiple Quantum Well Structures by Organic Molecular Beam Deposition, Appl. Phys. Lett., **56**, No.7, 674~676 (1990)
- (6) Jackson, S. C., Baron, B. N., Rocheleau, R. E., Russell, T. W. F.: Molecular Beam Distributions from High Rate Sources, J. Vac. Sci., Technol., **A3**, No.5, 1916~1920 (1985)
- (7) Ushioda, S., Sasaki, Y.: Raman Scattering Mediated by Surface-Plasmon Polariton Resonance, Phys. Rev., **B27**, No.2, 1401~1404 (1983)
- (8) Zang, D. Y., So, F. F., Forrest, S. R.: Giant Anisotropies in Quasi-Epitaxial Crystalline Organic Semiconductor Thin Films, Appl. Phys. Lett., **59**, No.7, 823~825 (1991)

空気調和機 (特許 第1718619号)

発明者 手塚興文, 原 正規, 菅原作雄, 梅村博之, 松田謙治, 磯野一明, 石岡秀哲

この発明は、使用者の意向に合わせた快適な環境を提供する空気調和機に関するものである。

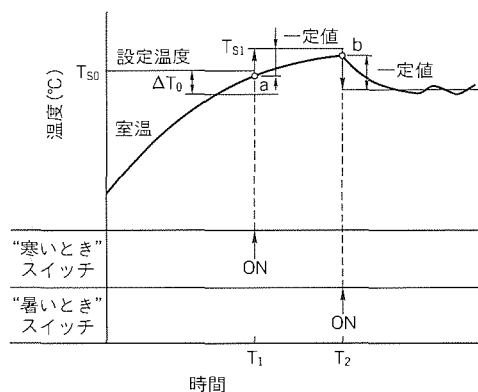
従来の空調機は設定温度を指定して室温を制御するため、“暑い”又は“寒い”と感じた時は、温熱感覚を適宜設定温度に置き換えて入力しなければならなかった。

この発明は、この問題を解決するためになされたもので、
 温冷感を示す“暑いとき”スイッチと“寒いとき”スイッチ
 を有し、該スイッチと温度検出器により、設定温度決定手段
 を持つものである。

この発明に基づき、暖房運転させた場合の室温変化特性を右図に示す。初期設定温度 T_{S0} を目標に暖房運転が開始し、設定温度 T_{S0} と室温との温度差が一定値 ΔT_0 以内になる以前に“寒いとき”スイッチが押されても設定温度は変化されずに初期設定温度のままで運転が継続される。次に、設定温度 T_{S0} と室温との温度差が一定値 ΔT_0 以内になったときに、“寒いとき”スイッチを押すと設定温度がその時の室温に対して一定値高く T_{S1} に設定され、室温を更に上昇すべく運転

が継続される。逆に“暑いとき”スイッチが押されると設定温度をその時の室温に対して一定値低めに設定され、室温が設定温度より下がるまで運転を停止する。

この発明による空気調和機は、使用者の温熱感覚を入力することにより自動的に設定温度を変更するようにしたため、より簡便に使用者の意向に合う快適な環境を提供することができる。



対物レンズ駆動装置 (特許 第1783866号)

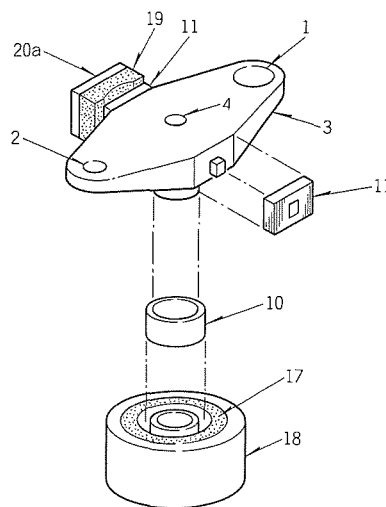
發明者 木目健治朗、阪部茂一、橋本 昭、的崎俊哉

この発明は光学式ディスクの情報記録面に集光される光スポットのトラックずれと焦点ずれを制御するようにした再生装置の対物レンズ駆動装置に関するものである。

従来の対物レンズ駆動装置の焦点制御用コイルはトラック制御用コイルに張り付けられていたので、集点制御とトラック制御で同一の磁気回路を利用することとなり、磁気回路の利用効率が悪く、また磁気回路のギャップが大きくなるため大きな永久磁石が必要となり、コストアップの要因となっており、また小型化が困難であった。

この発明はこの点にかんがみなされたもので、実施例の分解斜視図により説明する。しゅう(摺)動・回動自在に支承され、対物レンズ(1)を装着したレンズホルダ(3)の下面に、焦点制御用コイル(10)と、それと離れて左右の側面にトラック制御用コイル(11)が取り付けられている。焦点制御用コイル(10)は固定側の永久磁石(17)の、トラック制御用コイル(11)は固定側の永久磁石(19)の磁路中に配置され、各々の制御コイルに所望の電流を流すことにより、レンズホルダ(3)は摺動又は回動し、焦点制御・トラック制御をする。

以上のようにこの発明によれば、焦点制御装置とトラック制御装置を独立に設けたので、各装置ともレンズホルダの軸線に近い位置に配置することができ、対物レンズ駆動装置を小型化できる。





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
総合グループ Tel(03)3218-2137

パルスアーク溶接方法 (特許 第1506368号)

発明者 木谷 基, 田畑要一郎

この発明は、ワイヤ電極と溶接物との間に供給する直流電流(バックグラウンド電流)に周期的にパルス状のアーク電流を重畳させ、ワイヤ電極をパルス電流によって細粒化移行(スプレ移行)させて溶接するパルスアーク溶接方法に関するものである。

従来のパルスアーク溶接法では、パルス電源、バックグラウンド電源等で構成されており、バックグラウンド電流にパルス電流を重畳させて溶接していた。このようなパルスアーク溶接では手振れやワイヤ送給むらが大きいとしばしば短絡が生じ、アーク再生時にスパッタが発生するなどの不安定現象が発生する。

この発明は、上記のような欠点を除去するためになされたものである。すなわち、図1に示したように、パルス電源(21)、バックグラウンド電源(22)に新たに瞬時パルス電源(26)を設け、溶接電圧が所定値以下になったことを検出して瞬時パルスを供給するようにし

た。

以上のように、溶接電圧が所定値以下の時に瞬時パルスを供給するようにしたので、図2の動作説明図に示すように、手振れ等の外乱による短絡を瞬時パルス(31)で抑制若しくは短絡時間を短くすることができ、溶接品質が向上するとともに、溶接未熟者にも溶接が行える効果がある。

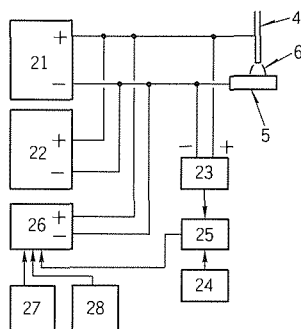


図1

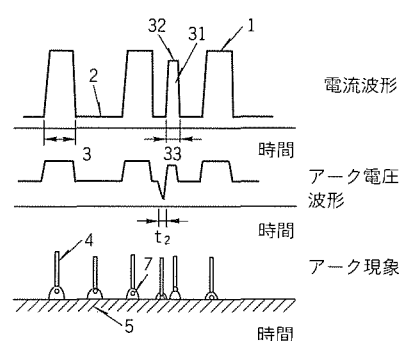


図2

〈次号予定〉三菱電機技報 Vol. 68 No. 10 特集“空港関連設備”

特集論文

- 空港関連設備特集に寄せて
- 空港関連設備の現状と展望
- ターミナルレーダ情報処理システム“ARTS”
- 空港面探知レーダ“ASDE”
- 空港気象ドップラーレーダシステム
- 航空機駐機位置表示装置 — 航空機地上誘導表示システム—
- 運輸省東京航空局納め東京国際空港ランプバス管理システム
- 航空機用静止形 400Hz 電源装置

- 関西国際空港納め旅客案内情報システム
- 空港映像情報システム
- 旅客ターミナル昇降機設備
- 日本航空(株)納めチェックインシステム“JALPAS/D-II”
- 全日本空輸(株)納め気象画像システム“MAGICS”
- 全日本空輸(株)納め空港系端末“ASCOT”
- 全日本空輸(株)納め飛行監視システム“ATRAS”
- 全日本空輸(株)納めスケジュールモニタリングシステム“SMS”
- 全日本空輸(株)納め整備作業管理システム“ADM”

三菱電機技報編集委員

委員長 田岡恒雄
委員 永田謙蔵 鈴木幹雄
都築 鎮 大井房武
尾関龍夫 江頭英隆
水野久隆 東條孝雄
畑谷正雄 才田敏和
中井良雄 鳥取 浩
幹事 長崎忠一
9月号特集担当 古野 徹

三菱電機技報68巻9号

(無断転載を禁ず)

1994年9月22日 印刷
1994年9月25日 発行

編集兼発行人 長崎 忠一
印刷所 千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01)
菱電印刷株式会社
発行所 東京都港区新橋六丁目4番地9号
北海ビル新橋 (〒105)
三菱電機エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」Tel. (03) 3437局2692
発売元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101)
株式会社 オーム社
Tel. (03) 3233局0641代, 振替口座東京6-20018
定価 1部721円(本体700円) 送料別

スポットライト

大容量IGBTアクティブフィルタ “MELACT-1100L”

三菱電機㈱は、このたび電圧変動補償及びフリッカ補償機能を持った大容量アクティブフィルタ“MELACT-1100Lシリーズ”を製品化しました。

アーク炉、溶接機、放電加工機等を使用している工場では、フリッカによる照明電源のちらつきや電子機器の誤動作、製品むら等の問題が発生しています。また、大容量電動機を使用する一般工業分野やスキー場では、電動機起動時に生じる電圧変動により、照明のちらつきや設備の誤動作の問題が発生しています。

これらの電源系統にアクティブフィルタMELACT-1100Lを適用いただくと、従来より安価に高性能な補償を行うことができます。

システム構成

アクティブフィルタMELACT-1100Lは、三相電圧形インバータで構成されています。電圧変動やフリッカの発生原因となる電源系統の無効電力を検出して、瞬時に逆位相の無効電流を出力することにより、電圧変動やフリッカを瞬時に抑制します。

特 長

(1) 高速応答

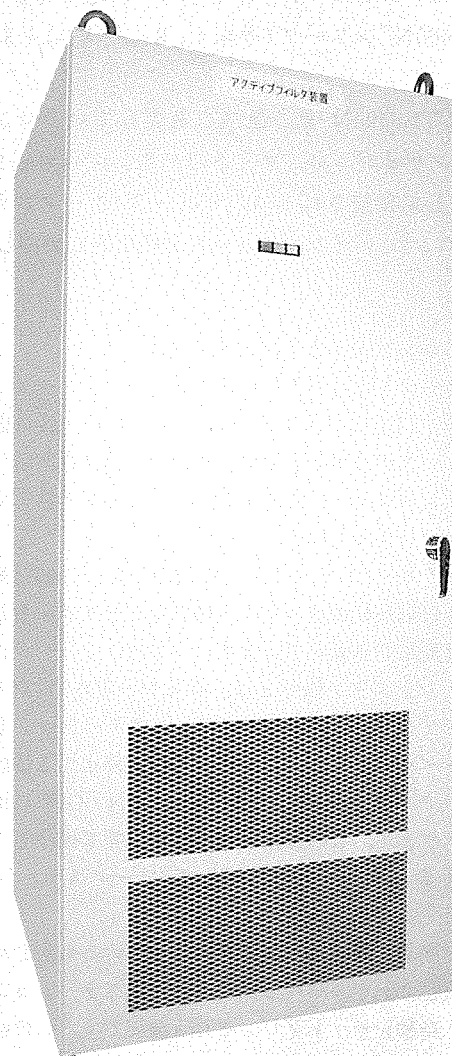
- 大容量IGBTを使用したインバータにより、瞬時の負荷変動に応答できる高速制御性能を実現しています。
- 溶接機、放電加工機等の電圧フリッカを抑制し、電力会社の規制値を守ることができます。
- 瞬時の負荷変動に追従し、設備の運転時の誤動作(起動失敗や停止)を防止します。

(2) 電源力率改善

- 進相容量から遅相容量まで無段階に制御できるので、常に電源力率を1.0とすることができ、電力料金の低減が図れます。
- 系統に進相負荷があっても、遅相出力によりこれを打ち消し、電源電圧の上昇を防ぐことができます。

(3) 小型化・大容量化

- 大容量IGBTの使用により、装置の小型化と大容量化を図っています。
- 工場スペースの有効活用が図れます。



アクティブフィルタ MELACT-1100L

概略仕様

項目	仕様
定格出力	±600、±1,200、±1,800 (kVAR)
相数	三相
入力電圧	6,600V又は440V
周波数	50/60Hz
形式	PWM電圧形インバータ方式
使用素子	IGBT
冷却方式	風冷
塗装色	JEM標準色 (5Y7/1)
使用環境	屋内

スポットライト

コンピュータネットワーク対応 小容量UPS “MELUPS8400N”

三菱無停電電源装置(UPS)“MELUPSシリーズ”のラインアップにコンピュータネットワーク対応小容量UPS“MELUPS8400N”シリーズ(単相1, 2, 3kVA)を新たに加えました。

“MELUPS8400N”は、急速に進展しているコンピュータのダウンサイジング、ネットワークに対応した小容量UPSとして接続されるコンピュータ(ワークステーション、パソコン)とのインタフェースを標準的に装備しました。

特 長

● 2種類のコンピュータインタフェース

コンピュータとのインタフェースとして、ワークステーション対応のRS-232CインタフェースとパソコンLAN対応の接点インタフェースの2種類を準備しました。機種選定時にどちらか一方のインタフェース機能を選択することができます。

● ワークステーション対応

UNIX^(注1)ワークステーションに対応した、自動シャットダウン機能・自動運転機能・モニタ機能などをサポートしたソフトウェアを標準で用意しています。

自動シャットダウン機能とは、停電が一定時間(システム運用に合わせて設定可能)継続後にワークステーションを自動的にシャットダウンさせ、その後電源供給を停止する機能です。また、ワークステーションには、電源のON/OFFに煩雑な操作手順があります。この操作をパソコン感覚で操作できるように、UPS前面にワンタッチスイッチ(ワークステーションの“ON/OFF”)を設けました。

自動運転機能とは、週間スケジュール等のあらかじめ設定しておいた業務スケジュールに従い、ワークステーションの自動立ち上げ、自動シャットダウンを行う機能です。この機能により、従来はオペレータが手動で行っていたワークステーションの立ち上げ、シャットダウン作業の必要性がなくなり、大幅な時間短縮及びシステム管理者の負担軽減になります。

モニタ機能とは、ワークステーションからUPSの運転状態



MELUPS8400N (1kVA)

(入力電圧、UPS負荷率、蓄電池の充電状態など)をモニタする機能です。

● 3系統の出力

UPSに3回路の出力を設けました。1回路は、常時インバータ給電を行います。他の2回路は、ワークステーションでの設定に従って投入時間差の制御が可能です。これらの回路にワークステーションを接続することで、自動立ち上げ、シャットダウン後の電源供給停止が可能になりました。

● パソコン対応

NetWare^(注2)、LAN Manager^(注3)、Windows NT^(注3)のUPSモニタリング機能に対応した接点信号を出力できます。

(注1)“UNIX”は、X/Open Company Ltd. がライセンスしている米国及び他の国における登録商標です。

(注2)“NetWare”は、米国Novell, Inc. の登録商標です。

(注3)“LAN Manager”“Windows NT”は、米国Microsoft Corp. の登録商標です。

MELUPS8400Nシリーズの標準仕様

項 目		仕 様				
定格出力容量 (kVA/kW)		1 / 0.7	2 / 1.4	3 / 2.1	2 / 1.4	3 / 2.1
交 流 入 力	相 数	単相 2 線式				
	電 圧	100V±10%			200V±10%	
	周 波 数	50又は60Hz± 5 %				
バッテリー保持時間		10分間 (定格出力・周囲温度25℃)				
交 流 出 力	相 数	単相 2 線式			単相 3 線式	
	電 圧	100V± 2 %			200/100V± 2 %	
	周 波 数	50又は60Hz (自動判別)				
外形寸法 W×D×H (mm)		140×450×410	250×550×600		250×700×600	
質 量		25kg	60kg	70kg	100kg	120kg
コンピュータ インタフェース		UNIXワークステーション対応のRS-232C 又はパソコン対応の接点信号				

我が国初の1,000kV送電導入に向けて、平成7年から実施予定の実証試験のために、1,000kV外鉄形実証用変圧器(1相分)を当社赤穂製作所で製作し、平成6年3月に東京電力(株)新榛名変電所構内に据付けを完了しました。

1,000kV変圧器は、500kV変圧器に比べ電圧・容量共に2倍という超大型変圧器であるため、輸送上の制約から1相を2分割した2タンク構造を採用しました。

変圧器は平成5年10月に工場から出荷し、約1,000kmの道程を海路、陸路(鉄道・トレーラ)を経て、現地まで輸送しました。2分割した変圧器の大きさは幅3.1m×高さ4.1m×長さ8m、輸送重量は約200トンあるため、変圧器の前後を2台の大型特殊トレーラで挟むようにして、時速約2kmという超低速で運行しました。特に変電所入口近くの坂道は最大約13%の登り勾配にもかかわらず、難なく登坂することができました。

変電所構内ではスライドレールを用いて、工場でもって組み立てた共通台枠の上に2分割した変圧器をオンベスしました。次に、輸送カバーを取り外し、上部タンクを取り付け、ブッシングを内蔵したT形接続ダクトで2台の変圧器を接続し、外装部品を取り付けました。完成した変

圧器はコンパクトで、外鉄形変圧器の特長を十分に発揮しております。

据付後の試験結果はすべて良好で、工場試験結果と比較しても差異はなく、輸送及び据付けにおいて問題のないことを確認しました。

1,000kV外鉄形変圧器の特長(輸送・組立て)

●1,000kV変圧器の輸送方法及び現地組立工法の確立

- 輸送上の制約から1相を2分割した2タンク構造の採用
- 共通台枠、高精度位置決めピン、ゲージストッパなどを使用することにより工場組立状態を現地で精度良く再現
- ブッシングを内蔵したT形接続ダクトで上部タンクを接続する方式を採用することにより、2タンクドッキング時の現地作業の効率化
- 組立てを考慮した分割型防音壁による工程短縮

●現地品質管理技術の確立

- 変圧器の周囲に設置した防塵ネットによる防塵管理の徹底
- 変圧器入口に設置した前室ユニット(エアシャワーを設けたクリーンハウス及び内部作業者の着衣室)による変圧器内部作業時の品質管理の徹底
- 変圧器開口部に取り付けた防塵シートによる防塵管理の徹底



1,000kV変圧器の外観

1,000kV変圧器の基本仕様

項目	仕様
形式	外鉄形 単相単巻変圧器 (負荷時電圧調整器付き)
定格容量	3,000 / 3 MVA
三次容量	1,200 / 3 MVA (40%)
定格電圧	一次 1,050 / $\sqrt{3}$ kV
	二次 525 / $\sqrt{3}$ kV
	三次 147kV
一次電圧調整幅	±7% (タップ点数 27点)
試験電圧	LIWL 一次 1,950kV / 二次 1,300kV
	AC 1.5E ~ $\sqrt{3}$ E ~ 1.5E
	(1h) (5min) (1h) (E=1100 / $\sqrt{3}$ kV)
インピーダンス	18%
冷却方式	送油風冷式
騒音	65dB

