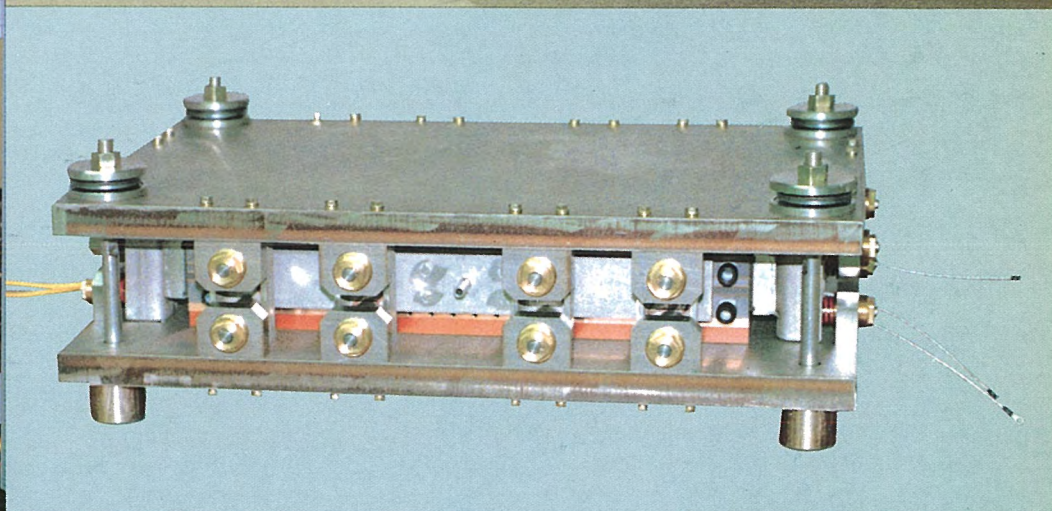
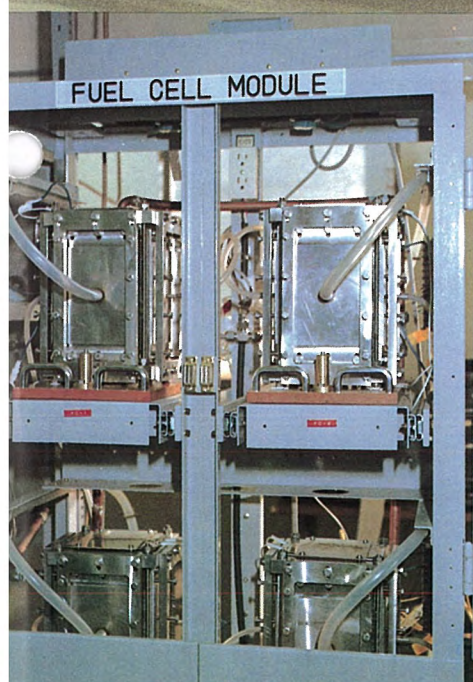
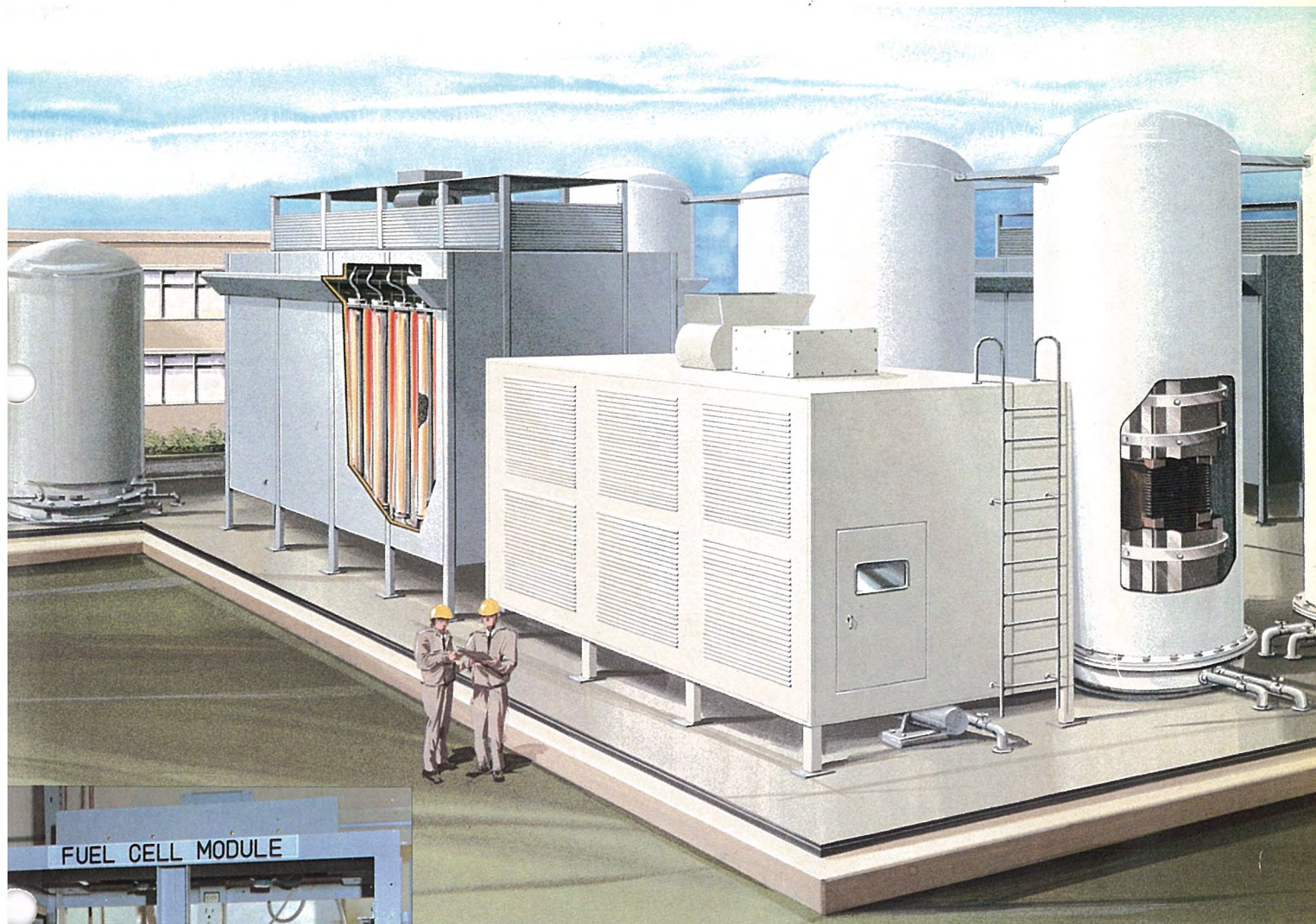


MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.55 No.7

新・省エネルギー特集

新・省エネルギー特集

目次

特集論文

エネルギー技術開発の動向……………	1
高月 一・岸田公治	
太陽熱利用冷暖房・給湯システム……………	2
小原英一・井上信吾・大坪道夫・柏村和生	
ダリウス形風力発電装置……………	7
高月 一・武藤 浄・市川 晃・堀江将人・鳥谷隆夫	
りん酸形燃料電池発電システム……………	11
岸田公治・西山 槐・平田郁之・水本洋一・平林俊彦	
三菱加圧水型原子力発電所の最近の動向……………	16
小倉成美・井上 通	
三菱複合サイクル発電プラントの最近の動向……………	20
玉井幸久・森 義孝・岩田清光・井上 通・久保博和	
系統電力貯蔵におけるフライホイールの応用……………	26
小貝一夫・河野 廣・堀江将人・矢野昌雄・朝枝健明	
電線電力貯蔵におけるフライホイールの応用……………	30
丸山信昭・浅越泰男・河村寿三・木村好男・菅波拓也	
超電導発電機……………	33
岩本雅民・大石紀夫	
核融合における超電導マグネットシステム……………	37
森川鉄也・佐藤 隆・荻野 治・山田忠利・橋本康男	

普通論文

《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》の素子実装技術……………	45
今村貞良・有賀幾夫・吉岡 猛・尾形友博・岩橋秀雄	
《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》のハードウェア……………	49
今村貞良・杉本満信・金子 昭・田中立夫・朝比奈 保	
SF ₆ ガスしゃ断器国内第1号機の15年間10,000回操作運転実績……………	54
土屋喜英・中西 弘・合志宏道・村上正昇・松岡勝己	
カーラジオにおける受信局自動切換システム……………	59
平田誠一郎・白谷優次・友広 良・田浦賢一	
デジタル式超音波探傷装置 FD-7000……………	63
中村泰而・羽深嘉郎・山本征二・須賀哲弥・迎里信夫	

特許と新案

エレベータ乗場の到着予報装置	43
表面検査装置	
密閉形電動圧縮機の圧縮機本体支持装置	

当社の登録特許一覧……………	72
----------------	----

スポットライト

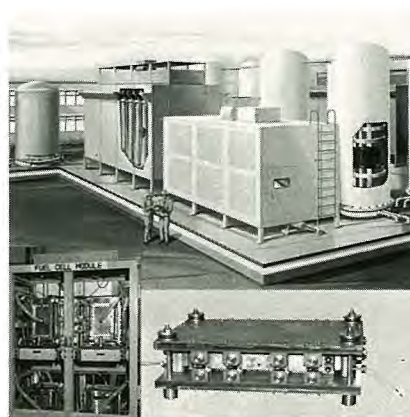
三菱ガス瞬間式給湯機CB-13S形……………	68
三菱クオートタイムスイッチTSQ-1DKP形……………	69
三菱OCR M2483-N形……………	70
車両推進システム総合試験場……………	71
三菱白熱灯ダウンライト……………	(表3)

表紙

燃料電池発電システム

新しい高効率で無公害の発電システムとしてりん酸形燃料電池発電システムの開発が進められている。燃料電池発電システムは天然ガスなどを燃料として水素を生成する燃料改質装置と幾つかの電池モジュールから成る発電部とインバータ及び制御装置などから構成される。1例として、都市近傍の分散形発電所に設置した発電システムの予想図を示した。

写真左は当社が開発した500W燃料電池発電システムのうちの電池モジュール、写真右は将来実用規模の半分程度の電池有効面積をもつ液冷方式の積層電池であり、現在、長時間運転が行われている。



アブストラクト

太陽熱利用冷暖房・給湯システム

小原英一・井上信吾・大坪道夫・柏村和生

三菱電機技報 Vol.55・No.7・P2～6

ランキンサイクルエンジン駆動冷凍機を用いた太陽熱利用冷暖房・給湯システムについて、当社商品研究所ベターリビングセンターに設置したシステムをモデルにシステム構成とその主要機器であるランキンサイクルエンジン駆動冷凍機と集熱器について述べ、そのシステムの運転結果の解析から省エネルギーに言及した。

三菱複合サイクル発電プラントの最近の動向

玉井幸久・森 義孝・岩田清光・井上 通・久保博和

三菱電機技報 Vol.55・No.7・P20～25

エネルギー資源は有限であるとの認識のもとに、有効的に多くの電気エネルギーに変換できる複合サイクル発電プラントが省エネルギーのになり手として注目をあびている。三菱グループが開発した三菱MPCP複合サイクル発電プラント(Mitsubishi Packaged Combind Plant)について、その特長並びに電気系統と運転制御システムの主要事項を紹介する。

ダリウス形風力発電装置

高月 一・武藤 浄・市川 晃・堀江将人・鳥谷隆夫

三菱電機技報 Vol.55・No.7・P7～10

自然エネルギー利用の1方法として風力発電装置が注目されているが、当社が最近開発したダリウス形の1kW及び5kWの風力発電装置の仕様とそれらの試験結果の一部を述べる。1kW機は、照明・給湯用で、5kW機は、電飾用でそれぞれ蓄電池を備える。別の5kW機は、電力系統と連系するための研究用である。各機ともにケーシング支持構造・3重の制動機構などに留意し信頼性を高め、風向に無関係なダリウス形の特長を生かした。

系統電力貯蔵におけるフライホイールの応用

小貝一夫・河野 廣・堀江将人・矢野昌雄・朝枝健明

三菱電機技報 Vol.55・No.7・P26～29

系統電力の貯蔵方式の1つとしてフライホイールシステムがあるが、10kWh小形モデルとして周波数変換器と誘導発電電動機によりフライホイールを駆動する方式を技術開発した。この方式は実機にも十分適用できるもので、本稿ではこのシステムの概要、運転特性を述べ電気系統に関する試験結果を中心に紹介する。

りん酸形燃料電池発電システム

岸田公治・西山 槐・平田郁之・水本洋一・平林俊彦

三菱電機技報 Vol.55・No.7・P11～15

出力500Wのりん酸形燃料電池発電システムの試作・運転を行い、発電システムの基本特性を把握した。これを基に、実用プラントにおいては装置の高性能化、大規模化、熱回収システムの採用などにより発電効率40%が達成できる見通しを得た。電池本体については、電池要素の改良と動作温度、圧力の上昇により実用規模の電池においては、電流密度を約倍増し、発電効率も44%に達する見通しを得た。

電車線電力貯蔵におけるフライホイールの応用

丸山信昭・浅越泰男・河村寿三・木村好男・菅波拓也

三菱電機技報 Vol.55・No.7・P30～32

チョップ制御電気車両の普及に伴って、電車線に余剰の回生電力が生ずるために回生失効が問題になっている。インバークで付帯電力設備へ電力供給することは既に実施されているが、ここに述べるものはいったんフライホイールに貯えておいて、次の力行車に供給しようとするものである。装置は、直流機、磁気軸受懸架されたフライホイール、真空脱気されたケーシング、これらの制御及び補助機器から成っている。

三菱加圧水型原子力発電所の最近の動向

小倉成美・井上 通

三菱電機技報 Vol.55・No.7・P16～19

石油代替エネルギーとしては、世界的に見て大規模な開発実績と運転経験を積んだ原子力発電が最も有望である。三菱グループは加圧水型原子力発電所のより一層の信頼性向上のため総力を結集して各種の技術開発・改良を実施し新規建設プラントへの適用はもちろん既設置プラントへの反映を図っている。本稿ではこの内主要な技術開発・改良内容及び活動状況について紹介する。

超電導発電機

岩本雅民・大石紀夫

三菱電機技報 Vol.55・No.7・P33～36

通商産業省重要技術開発費補助金の交付を受けて、6MVA超電導発電機の研究試作を実施し、引き続き30MVA超電導同期調相機を研究試作中である（いずれも、富士電機㈱と共同開発）。この研究状況・海外の動向・超電導発電機の特長と経済効果などについてレビューした。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 20~25 (1981)

The Current Status of Mitsubishi Combined-Cycle Power Plants

by Yukihisa Tamai, Yoshitaka Mori, Kiyomitsu Iwata, Toru Inoue & Hirokazu Kubo

Combined-cycle power plants are attracting widespread attention as an effective, energy-saving means of converting limited energy resources to electrical energy. The article introduces the special features, power system, and operational control system of the Mitsubishi Group's packaged combined-cycle power (MPCP) plants.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 2~6 (1981)

A Solar Heating, Cooling, and Hot-Water System

by Eiichi Ohara, Shingo Inoue, Michio Otsubo & Kazuo Kashiwamura

The article describes the system configuration for a solar heating, cooling, and hot-water system installed in the Better Living Center of the Mitsubishi Consumer Products Research Laboratory, and introduces the Rankine-cycle engine-driven refrigerator and solar collector that form the major components. Energy conservation is discussed with reference to an analysis of the test results for the system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 26~29 (1981)

The Application of Flywheel for Energy Storage to Electricity-Supply Systems

by Kazuo Kogai, Hiroshi Kono, Masato Horie, Masao Yano & Takeaki Asaeda

A method of driving flywheels has been developed using a frequency converter and an induction motor for energy-storage applications in electricity-supply systems. Although the application of this method is currently limited to small-capacity systems of the order of 10kWh, it appears viable for full-scale practical systems. The article describes the flywheel-drive system and its operational characteristics, focusing on test results with a power system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 7~10 (1981)

A Wind-Power Generator with a Darrieus Rotor

by Hajime Takatsuki, Kiyoshi Taketo, Akira Ichikawa, Masato Horie & Takao Toriya

The article gives the specifications of the 1kW and 5kW wind-power generators with Darrieus rotors recently developed by Mitsubishi Electric, together with their test results. These units have attracted considerable attention for their effective use of a renewable energy resource. One 1kW unit, intended primarily for lighting and water-heating equipment, and one 5kW unit, intended for a complete illumination system, are used with batteries. Another, 5kW prototype unit is intended for tests linking the generator to an electrical-utility supply network. Each generator achieves excellent reliability by paying special attention to the structural design of the cage-type frame, with triple overspeed-protection and braking systems, and employs Darrieus-type wind turbines that operate independent of wind direction.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 30~32 (1981)

The Application of Flywheels for Energy Storage to Railway Electrical Systems

by Nobuaki Maruyama, Yasuo Asagoe, Toshimi Kawamura, Yoshio Kimura & Takuya Suganami

With the increasingly widespread use of chopper-controlled electric cars, the problem of regenerative brake failure has arisen due to the excesses of regenerative power that occur in the car power lines. The conventional method has been to supply the power generated by regenerative braking to auxiliary equipment via an inverter, but the method described in this article supplies the dumped regenerative power to a subsequent car after temporary storage in a flywheel. The equipment for this railway electrical-power system includes DC machines, flywheels suspended on magnetic bearings in vacuum-sealed casings, and the necessary controllers and auxiliary devices.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 11~15 (1981)

A Phosphoric-Acid Fuel-Cell Power System

by Koji Kishida, Enji Nishiyama, Ikuyuki Hirata, Yoichi Mizumoto & Toshihiko Hirabayashi

Mitsubishi Electric has operated an experimental phosphoric-acid fuel-cell power system with a 500W generating capacity and has established its fundamental operating characteristics. Overall thermal efficiencies of the order of 40% appear feasible for practical systems comprising high-performance, large-capacity equipment and a heat-recovery system. Improvements in cell elements and increases in the operational temperature and pressure have enabled doubling of current densities and power efficiencies of 44% to be obtained in cells of practical scale.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 33~36 (1981)

A Superconducting Generator

by Masatami Iwamoto & Norio Oishi

Mitsubishi Electric, in cooperation with Fuji Electric Co., has developed a 6MVA superconducting generator and is implementing an on-going research program for a 30MVA superconducting synchronous reactor (phase shifter) under a subsidy provided by the Ministry of International Trade and Industry for important technological developments. The article reviews the research activities, international trends, and the special features and economic advantages of a superconducting generator.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 16~19 (1981)

The Current Status of Mitsubishi PWR Power Plants

by Shigeyoshi Ogura & Toru Inoue

Nuclear power has attracted worldwide attention as a potential replacement for oil, based on the accumulation of extensive development work and ample operational experience. The Mitsubishi Group has devoted a major effort to increasing the reliability of pressurized-water-reactor (PWR) nuclear-power plants, developing new and improved technology not only for adoption in future plants but also for incorporation in existing plants. The article outlines these activities and introduces the main new technological developments and the improvements made to Mitsubishi PWR nuclear-power plants.

アブストラクト

核融合における超電導マグネットシステム
森川鉄也・佐藤 隆・荻野 治・山田忠利・橋本康男
三菱電機技報 Vol.55・No.7・P37～42

この論文は当社における超電導導体・コイル・He冷却システムの研究開発状況を、核融合の分野に絞って述べたものである。NbTiTa高磁界導体、内部拡散法Nb₃Sn導体の開発、コイルの安定化技術について述べる。大形コイルCTCの開発、超臨界He強制冷却方式の超電導コイルの開発について報告する。また、ボロイダルコイル用のパルスコイルの研究開発にも触れる。更に、大形極低温He冷却設備を使用した、冷却法の多様化に対応した研究も紹介する。

SF₆ガスしゃ断器国内第1号機の15年間10,000回操作
運転実績

土屋喜英・中西 弘・合志宏道・村上正昇・松岡勝己
三菱電機技報 Vol.55・No.7・P54～58

今日のSF₆ガス機器発展の出発点となった国内第1号ガスしゃ断器は、昭和40年新神戸変電所で運転を開始して満15年を経過し、操作回数が1万回を越えたので特別点検を実施し、ガスしゃ断器の貴重な運転実績のデータを得た。長期間、多数回の操作ながら開発当初の各種試験結果で予測したとおり接触子の損耗がなく、ガスの劣化がないこと及びガスシールに使用しているOリングが長期間使用できることなど、満足できる状態であったことを確認した。

《MELCOM-COSMO 800III/800S》の素子実装技術
今村貞良・有賀幾夫・吉岡 猛・尾形友博・岩撫秀雄
三菱電機技報 Vol.55・No.7・P45～48

《MELCOM-COSMO 800III/800S》は、1000ゲートのECLゲートアレー、多層セラミックモジュール実装、64KビットMOSメモリなどの新しい素子・実装技術を使用して、高性能・小形化を達成している。本文ではこれらの新しいテクノロジーを紹介するとともに、高性能化・高密度化のために配慮した点について述べる。

カーラジオにおける受信局自動切換システム

平田誠一郎・白谷優次・友広 良・田浦賢一
三菱電機技報 Vol.55・No.7・P59～62

車での移動範囲が広がるにつれ再選局操作を必要としないカーラジオの出現が強く望まれていた。今回あらかじめメモリされた複数局の中の最良局に自動的に切換わり、再選局操作を不要にした受信局自動切換システム(MSS)カーラジオを開発した。試作セットで走行試験の結果AM/FM両バンド共、日本や米国のみならず、特に電波の密集地域である欧州においても確実に動作し、極めて有用性が高いことを確認したのでここにその概要を述べる。

《MELCOM-COSMO 800III/800S》のハードウェア
今村貞良・杉本満信・金子 昭・田中立夫・朝比奈 保
三菱電機技報 Vol.55・No.7・P49～53

《MELCOM-COSMO 800III/800S》は《MELCOM-COSMOシリーズ》の新機種であり、従来からある《MELCOM-COSMO 700III/700S》の上位機種として位置付けられる高性能はん(汎)用計算機である。本文では本体装置のハードウェアの特長及び構成について述べるとともに、性能・機能向上のために配慮した点について述べる。

ディジタル式超音波探傷装置 FD-7000
中村泰而・羽深嘉郎・山本征二・須賀哲弥・迎里信夫
三菱電機技報 Vol.55・No.7・P63～67

この装置は比較的小規模な超音波自動探傷装置用として開発したもので、一般の超音波探傷のほかに超音波厚さ測定や精密探傷にも適用できるものである。データ処理用として各探傷ユニットごとにマイクロコンピュータを装備し、あらかじめ標準化した探傷方式のソフトウェアと組合せることにより各ユニットが各々独立した探傷データ処理を発揮することができる。この装置は最大8チャンネルまで拡大でき、すべての探傷ユニットを総括制御するとともに自己点検機能を制御するマスタマイコンを装備したディジタル式の超音波探傷装置である。

Abstracts

Mitsubishi Dinki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 54~58 (1981)

The 10,000-Operation Field Experience Since 1965 of Japan's First SF₆-Gas Circuit Breakers

by Yoshihide Tsuchiya, Hiromu Nakanishi, Hiromichi Koshi, Masanori Murakami & Katsumi Matsuoka

Mitsubishi Electric's—and Japan's—first SF₆-gas circuit breakers, the origin of the Corporation's current SF₆-gas-insulated equipment, have operated continuously since 1965 in the Shin-Kobe substation of the Kansai Electric Power Co., and have now yielded important data on 10,000-operation field experience after a special inspection. Despite the long operational period and the large number of operations, the wear of the main contacts and the deterioration of the SF₆-gas were not as high as expected from the initial test results, and it was also confirmed that the O-ring for the gas seal was perfectly suitable for refitting for continued use.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 37~42 (1981)

A Superconducting-Magnetic System for Fusion Reactors

by Tetsuya Morikawa, Takashi Sato, Osamu Ogino, Tadatoshi Yamada & Yasuo Hashimoto

The article describes the research and development work for a superconductor, coil, and He refrigeration system specifically built for fusion reactors. It details the development of an NbTiTa superconductor for high field strengths, an Nb₃Sn conductor manufactured using the internal tin-diffusion process, and the stabilization of the coil. It also reports on the development of a large CTC coil, a superconducting coil cooled by a forced flow of supercritical He, and a pulse coil for use with a toroidal coil. Research into possible diversification of the means of refrigeration is also introduced, and a description of a large, ultralow-temperature He refrigeration system is given.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 59~62 (1981)

An Automatic Tuning System for Car-Radio Receivers

by Seichiro Hirata, Yuji Shiratani, Ryo Tomohiro & Ken'ichi Taura

The long distances traveled by cars today raise the need for a means of eliminating the frequent, troublesome repetition of retuning the car-radio receiver as stations go out of range. To meet this need, Mitsubishi Electric has developed a microcomputer automatic station selector (MSS) for car-radio receivers that enables automatic retuning to the best station among many memorized stations without having to repeat the tuning operation. As a result of running tests performed with a prototype receiver, the automatic station selector was shown to operate effectively over the AM and FM bands not only in Japan and the U.S.A. but also in regions, like Europe, with a wide variety of stations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 45~48 (1981)

The Packaging and Technology of MELCOM-COSMO 800III and 800S Computers

by Sada-yoshi Imamura, Ikuro Aruga, Takeshi Yoshioka, Tomohiro Ogata & Hideo Iwanade

The very high performance and compact size of the MELCOM-COSMO 800III and 800S computers are achieved by employing 1,000-gate ECL arrays, multilayer ceramic modules, new elements like 64K-bit MOS memories, and the latest packaging technology. The article introduces this new technology and also details the Corporation's investigations into high performance and high density.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 63~67 (1981)

The Model FD-7000: The Latest Digitalized Ultrasonic Testing Equipment

by Taiji Nakamura, Yoshio Habuka, Seiji Yamamoto, Tetsuya Suga & Nobuo Mukaizato

The Model FD-700 is a relatively compact automatic ultrasonic tester unit that is not confined to general ultrasonic fault testing but can also be used as an ultrasonic thickness meter and for ultrasonic precision testing. Each tester unit has its own microcomputer for independent data processing with standardized interfacing software for each testing method. This digitalized ultrasonic test equipment can be expanded to handle eight channels, giving overall control of all individual units, with automatic self-diagnosis by a master microcomputer.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 7, pp. 49~53 (1981)

The Hardware of the MELCOM-COSMO 800III and 800S Computers

by Sada-yoshi Imamura, Mitsunobu Sugimoto, Akira Kaneko, Tatsuo Tanaka & Tamotsu Asahina

The MELCOM-COSMO 800III and 800S are new additions to Mitsubishi Electric's range of computers. They are high-performance general-purpose computers and offer further performance enhancements over the existing MELCOM-COSMO 700III and 700S. The article describes the features and configuration of the main-frame hardware, and also reports on the technical considerations affecting the improvements in performance and operating functions.

エネルギー技術開発の動向

高月 一*・岸田 公治**

1980年代の最大の技術的課題はエネルギー対策に関する技術開発であり、電機業界にとってもそれは大きな責務の1つである。石油の97%を輸入に依存している我が国の場合は、あらゆる努力を尽して石油からの脱却を図ることが急務であり、省資源、エネルギー源の多様化及び新エネルギーの利用を促進しなければならない。

石油代替エネルギーとしては、原子力と石炭がその巨峰としての地位にあることは明白であるが、前者は安全性の確保と使用済燃料及び放射性廃棄物の処理などにまだ多くの難問が山積している。後者には、原子力の背負う核アレルギー的抵抗は見られないが、石炭燃焼に伴う排ガス及び灰に関して、原子力と同様に多くの技術開発上の課題が存在している。しかし、原子力と石炭の利用は、量的観点からもエネルギー供給における石油代替の枢軸となるものであり、それぞれの有する技術的課題について解決のための最大限の努力を払わなければならない。

原子力と石炭火力は、既に大容量プラントが建設・運転され、その基礎技術は確立されているから、今後の技術的課題は信頼度向上、公害防止などの分野の技術開発とその実証である。また、両者共に資源であるウランも石炭もそのほとんどを海外に依存するものであるから、原子力については燃料サイクル問題が極めて重要な課題として残されているし、石炭の場合は、産炭地による組成の相違に対処する技術、輸送問題あるいは脱硫、ガス化、液化技術などが今後の技術的中心課題となるであろう。

省エネルギーについては、近年極めて広い範ちゅう(嚙)において技術開発が進められている。第1はエネルギー変換における効率の向上によって損失を少なくする手段であり、これらの積み重ねのもたらす効果は大きい。発電段階で、その効率を上げる方式として、燃料電池発電システムが脚光を浴びて開発されつつあるし、超電導発電機の有用性も注目され、今後の重要な開発の1つとして推進されている。複合サイクル火力発電も高効率の発電方式として台頭しつつある。たとえ、1%の効率利得があっても、特に大容量発電装置の場合は、年間では膨大な燃料節減に結び付くことは言をまたない。

電力輸送とその消費端においても、損失の低減、高性能化が進められている。例えば、電力輸送においては、超超高压化の技術開発が進められているし、電動機類については効率改善に向ってあらゆる努力が払われている。

蓄エネルギーも、等価的に省エネルギーでありその効用は大きい。しかし、電力そのものの貯蔵は容易なことではなく、蓄電池、超電導コイルなどを利用する方法が研究されつつはあるが、大容量貯蔵の実用化までの道は遠い。フライホイール、揚水、空気圧貯圧など機械的エネルギーとしての貯蔵方式が研究開発されつつあり、揚水は大容量化も進んで実用化が最も先行しているが、そのほかはまだ研究段階、あるいは実験機による試験段階にある。

新エネルギーと称されるものの代表は、太陽エネルギーから直接及び間接的に得られる光、熱、風及び波などの自然エネルギーである。これらを利用する考えは昔から存在していたわけであるが、希薄でかつ変動のはげしい自然エネルギー源を実用化するには技術的にも難問が多い。しかし、無尽蔵かつクリーンであるという面から、積極的に研究開発が進められており、これからは加速度的に導入が進むものと思われる。自然エネルギーとしては、地熱、海洋温度差、潮力などもあるが、これらはそれぞれの賦存量と利用システムによって実用の可能性をもち、地域性の強いものといえよう。

以上述べたように、エネルギー技術の研究開発にあたっては、諸種の分野で解決すべき問題が多いが、これらに挑戦し、技術的課題を解決し、経済性を追求して今後のエネルギー需給の安定化を図ることが今世紀の人類に与えられた最大の課題である。

当社もエネルギー関連の技術開発を最重点課題として取上げており、原子力の安全性向上のための技術開発から、各分野における省エネルギー関連の研究、及び新エネルギー利用技術の開発にいたるまで、広範囲にわたって積極的に取り組んでいる。

本号においては、その代表的なテーマについて研究開発の現状を報告する。

太陽熱利用冷暖房・給湯システム

小原 英一*・井上 信吾**・大坪 道夫***・柏村 和生+

1. ま え が き

現在の日本の石油事情は、約 110 日分の備蓄があるとはいえ切迫した環境にあるといえる。石油を燃料として消費することは非常に惜しまれることであり、特に暖房や給湯、できれば冷房にも他のエネルギーを期待した方がよく、また、民生分野で最も効果的な転換用途であろう。

太陽熱エネルギーは希薄であるために集めにくい難点はあるが、水にも岩石などの固体にも蓄熱できる点は利点であろう。この利点を利用して太陽熱を有効に集めて効率よく蓄熱し、必要なときに必要な量を取出して、給湯や暖房に、又は冷房に使うようにすることが求められている。

政府は昭和 65 年度に太陽熱、石炭液化燃料などによる「その他の石油代替エネルギー」の数量を、石炭や原子力などの「石油代替エネルギー」の供給目標数の 11.1%，3,850 万 kJ 相当を見込んでいる。

また、ソーラーシステムの普及目標を補助金や低利融資制度などの総合普及対策の実施により昭和 65 年度には住宅 780 万戸、その他の施設 25,500 件（石油換算 520 万 kJ の節約）、昭和 70 年度には住宅 1,000 万戸、その他の施設 35,500 件（同じく 670 万 kJ の節約）と設定している。

これらの目標に向って通商産業省の昭和 56 年度の政府助成策は公的施設の建設時ソーラーシステムを設置するときの半額補助金として 36 億円、低利融資制度として住宅用、事業用を含めての融資規模を 110 億円としている。これらは昭和 55 年度よりもそれぞれ 6 億円、10 億円増額されている。

このような政府施策に先導されてソーラーシステムはようやく進展をみせているが、ある予測によると、太陽熱温水器は昭和 57 年までは生産は上向き、その後下向するが昭和 57 年のピークは 99 万 3,000 台、昭和 58 年は 97 万 3,000 台、昭和 59 年は 98 万 6,000 台で昭和 60 年には 95 万台になるとしている。また強制循環式の本格的ソーラーシステムは昭和 60 年には昭和 55 年の約 10 倍の年間 26 万 5,000 台になるとみている。

太陽熱温水器 1 セットの平均価格は約 15 万円、強制循環式ソーラーシステムの住宅用、業務用、暖房給湯などを考えた平均価格を 90 万円としてその 60% を機器費とすれば、昭和 60 年には前者は約 1,425 億円、後者は約 1,431 億円、合計 2,856 億円程度の市場となる。この新しい市場は空調冷凍設備や住宅設備機器の伸びが停滞する現状のなかでは大きな伸びが期待できるものの 1 つとして見逃すことはできない。

現在、ほぼ安定した伸びをみせているものは太陽熱利用給湯システムである。特に住宅での利用はこれがほとんどであり、業務用の大形システムでもスポーツセンターや老人福祉センターのシャワー、ふろ（風呂）給湯、厨房用給湯などが多い。昭和 55 年度補助金で設備された公的施設のソーラーシステム（大形～中形）では 255 件中約 180 件が給湯のみのシステムであった。これは太陽熱利用の冷暖房・給湯システム

が複雑であり高価なためでもあるが、公的施設においては給湯システムに次いで冷暖房システムが多い。このことは、冷房の必要性が高いことを示し、将来は人間の生活からは欠かすことができないと思われる。

太陽熱を利用して冷房をすることは、ますます激しくなる電力需要の夏ピーク形から逃れるためにも急いで完成しなければならない。太陽熱冷房の良さは、特に夏の暑い日、電力需要にピークの立つ日に冷房能力が増加して個人の要求を満たすと同時に社会的役割をも果たすことである。現在、太陽熱利用冷房に役立つものは低温作動形吸収式冷凍機の利用とランキンサイクルエンジン駆動冷凍機が知られており、吸収式冷凍機は各地で実用に供されている。

ランキンサイクルエンジン駆動冷凍機による冷房システムは、各国、各社で研究開発されているが、いまだ商品化はされていない。これは長期間、無事故で高性能を保ったまま運転を続けることを保証する製品とするためにはいまだ運転試験の時間が不足しているためなどである。現在は今までの研究の結果から得られた数々の改良の実施やシステム運転の解析とを行っており完成も間近かである。

以下にランキンサイクルエンジン駆動冷凍機とそのシステム、及び太陽熱集熱器について述べる。

2. ランキンサイクルエンジン駆動冷凍機による 冷暖房・給湯システム

現在までランキンサイクルエンジン駆動冷凍機を利用した冷暖房・給湯システムが数社から研究開発中として発表されている。ここでは当社が昭和 53 年に既設の中小規模建物に設置して実証運転中の冷暖房・給湯システムについて述べることにしたい。

このシステムは「サンシャイン計画」に引続いて通商産業省工業技術院の主導による大形省エネルギー技術開発プロジェクト「ムーンライト計画」として、補助金を受けて神奈川県鎌倉市にある当社商品研究所ペタリービングセンターに設置された（図 1.）。

運転は昭和 53 年冬から始まり、現在まで順調に冷暖房・給湯に

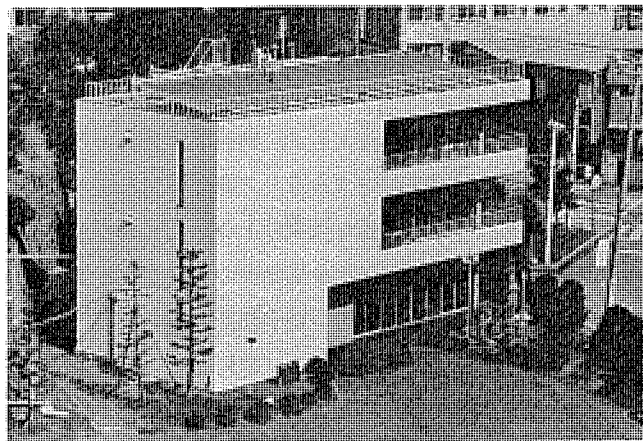


図 1. 建物外観

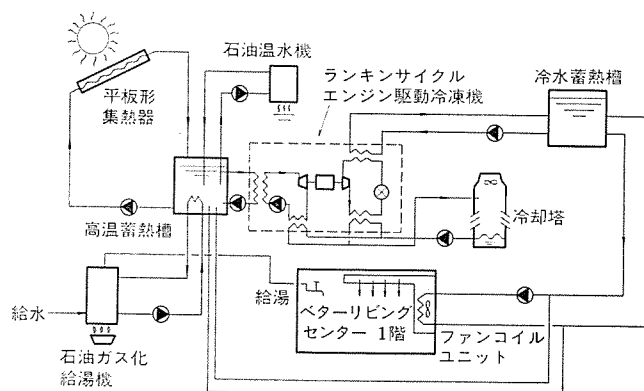


図 2. システム 構成

表 1. 設備機器仕様

設備機器名	仕 様	備 考
集 熱 器 (平 板 形)	材 質: 銅管・アルミニウムプレート 積 積: 3.19 m ² × 15 枚 (47.8 m ²) 力 パー: 厚さ 3 mm 強力ガラス 1 枚 断 熱 材: 裏面グラスウール 厚さ 50 mm 側面グラスウール 厚さ 20 mm 枠 : アルミニウム押出型材 電着アルマイト処理 外形寸法 (1 枚): 3,340(L) × 1,030(W) × 95(H) mm 重 量 (1 枚): 空 70 kg 通水 72.5 kg	選択吸収膜 (アルミ 2 次電解被膜処理) ・吸収率 0.9 ・放射率 0.1 据付傾斜角度 10 度 据付方位 真南
高 温 蓄 熱 槽	蓄 熱 材: 水 2,000 l 外 形 寸 法: 1,400(L) × 1,000(W) × 1,800(H) mm	ステンレス製 容量 2 m ³ 夏 95°C 冬 60°C
ランキンサイクルエンジン 駆 動 冷 凍 機	能 力: 9,000 kcal/h 熱 入 力: 20,000 kcal/h 循 環 冷 水 量: 60 l/min	
冷 水 蓄 熱 槽	蓄 熱 材: 水 外 形 寸 法: φ 1,300 × 1,000(H) mm	FRP 製 容量 1 m ³ 夏 5~10°C
石 油 ガ ス 化 給 湯 機	容 量: 200 l 能 力: 6,000 kcal/h	形 名 CB-200
石 油 温 水 機	能 力: 30,000 kcal/h 容 量: 53 l	形 名 PB-EH30
冷 却 塔	放 熱 量: 39,000 kcal/h 冷 却 水 循 環 量: 120 l/min	形 名 HT-10 AQ
フ ァ ン コ イ ル ユ ニ ッ ト	冷 房 能 力: 9,000 kcal/h 暖 房 能 力: 13,500 kcal/h	形 名 LV-30 PE-B

供している。

このシステムの基本構成を図 2. に示す。冷房シーズンには、平板形集熱器で集熱した太陽熱を水を用いた高温蓄熱槽(槽)に蓄熱し、夏の晴天日の午後の電力需要ピーク時間までの間に槽を加熱し、設定時間帯にランキンサイクルエンジンに熱を供給する。そして、エンジンの駆動力により圧縮機を駆動し、通常の冷凍サイクルによって冷水をつくる。太陽熱が不足してランキンサイクルエンジンの駆動力が十分に得られない場合には同軸の電動機を運転して冷水をつくる。

暖房シーズンには、集熱器で集熱した太陽熱を高温蓄熱槽に蓄えるとともに、この温水を直接室内の空調機に送り暖房する。太陽熱が得られないときには石油温水器で高温蓄熱槽を加熱する。

給湯に関しては、200 l の容量をもつ三菱石油 ガス 化給湯機 (CB-200) を別に備え、高温蓄熱槽内の給湯コイルへ水を循環して間接的に加熱する。太陽熱が不足して設定温度の温水が得られないときには石油 ガス 化給湯機で加熱する。

主要機器の仕様を表 1. に示す。集熱器は選択吸収膜付 1 枚 ガラス平板形で 1 枚 3.19 m² のものを 15 枚約 48 m² を使用し、夏用に傾斜角 10 度で設置している。

高温蓄熱槽は集熱器からの太陽熱を蓄え、ランキンサイクルエンジンに長

時間 95~85°C の安定した温度で熱供給を行う。集熱器面積がランキンサイクルエンジンの熱入力に比べ小さいため蓄熱槽の蓄熱分を十分とる必要があるため 2 m³ の容量となる。

ランキンサイクルエンジン 駆動冷凍機は冷凍出力 9,000 kcal/h (3 RT) で熱入力 20,000 kcal/h, COP は 0.45 である。冷水蓄熱槽はランキンサイクルエンジン 駆動冷凍機の過度の ON/OFF を避けるためにバッファとして使用し、容量は 1 m³ である。

その他の石油温水機、石油 ガス 化給湯機、冷却塔、ファンコイルユニットは従来の機器を使用している。

3. ランキンサイクル駆動冷凍機

太陽熱利用 ランキンサイクル 駆動冷凍機は図 3. に示すように、太陽熱を集熱する集熱部、熱エネルギーを軸動力に変換するランキンサイクル、得られた軸動力によって圧縮機を駆動して冷凍を発生する蒸気圧縮式冷凍サイクルから構成されている。

ランキンサイクルは太陽熱から高温高圧蒸気を作る蒸気発生器、高圧蒸気を低圧まで膨張させて軸動力を取出す膨張機、膨張機の排気を冷却液化する凝縮器、液化した作動流体を昇圧し蒸気発生器へ送り込むポンプ、膨張機の排気熱を回収する再生熱交換器から、また冷凍サイクルは周知のように、圧縮機、凝縮器、蒸発器、膨張弁など多くの機器の組合せから作られ、これらを図 4. に示す 1 つのユニットにまとめている。ランキンサイクルの作動流体には、圧力レベル、熱安定性、熱伝達特性、サイクル効率、単位体積流量あたりの出力、対材料特性、飽和蒸気線のこう(勾)配などの評価を行った結果で R 114 を選択し、冷凍サイクルの作動流体は機器の小形化、サイクル効率を優先して R22 を採用した。蒸気発生温度は集熱器とランキンサイクルの組合せ効率が高くなるよう 90°C に選んだ。

一方、凝縮温度は低い程望ましいので水冷式としたが、クーリングタワの補機損失及び熱交換器寸法を考慮して 38°C に設定した。

ランキンサイクル 冷凍機を組み込んだ実際のシステムでの運転状況について

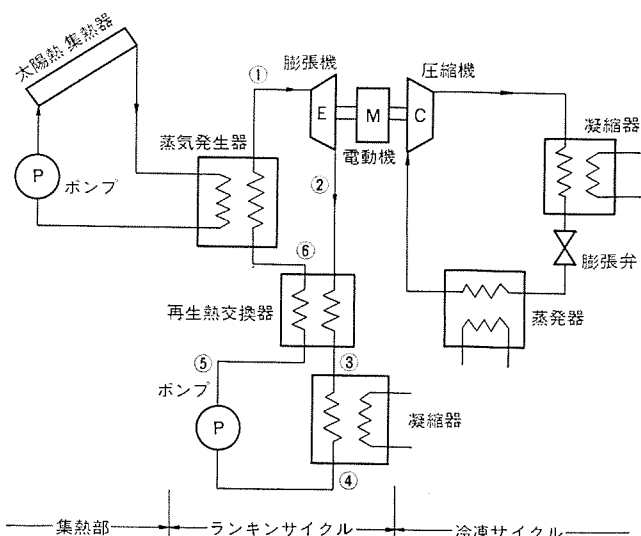


図 3. 太陽熱利用 ランキンサイクル 駆動冷凍機の構成

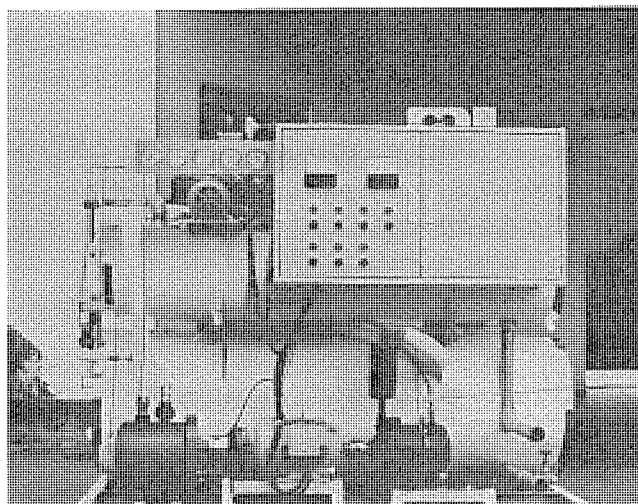


図 4. 太陽熱利用 ランキンサイクル 駆動冷凍機 (3 RT) の外観

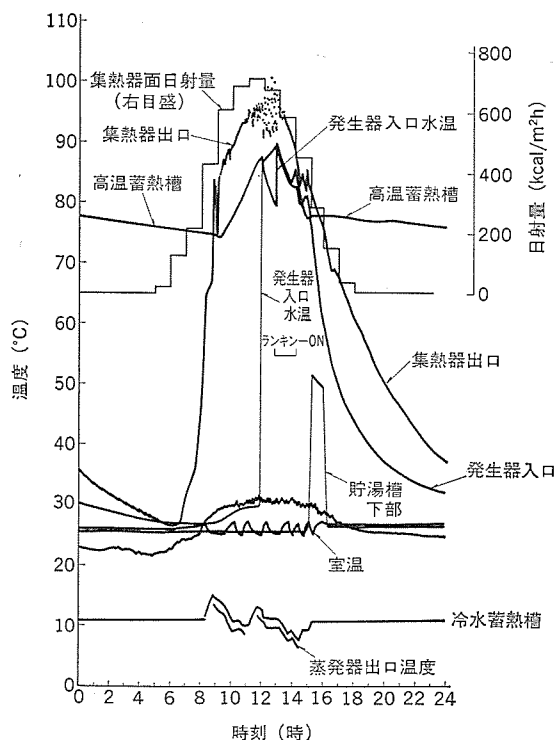


図 5. 9月4日各部温度変化

て述べる。昭和55年9月4日の快晴日における各部温度変化は図5. に示すようになっている。

朝9時頃から集熱器出口の温度が日照により急激に上昇し、集熱ポンプがONする。高温蓄熱槽は75°Cから太陽熱で加熱されて12時には約87°Cに達する。12時には午後からのランキンサイクルエンジン

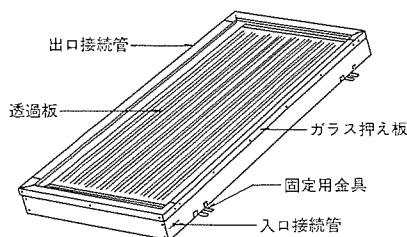


図 6. MSS-20 FCB 形集熱器外観

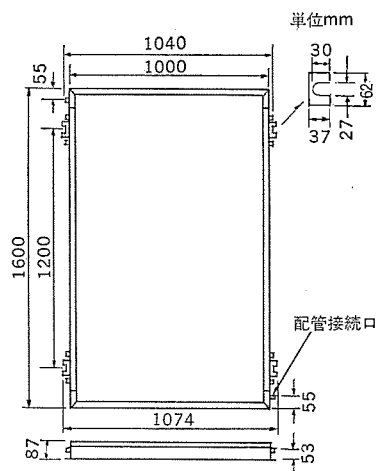


図 7. MSS-16 FC 形集熱器外形図

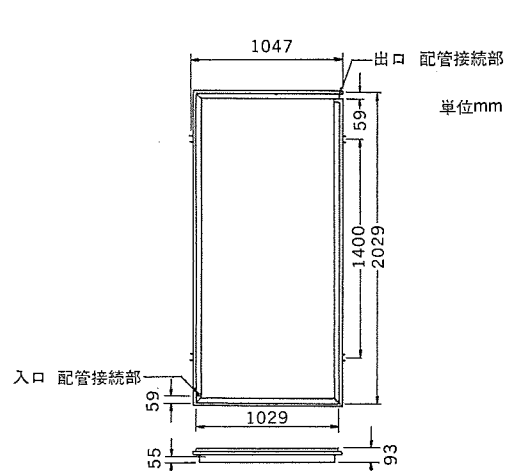


図 8. MSS-20 FCB 形集熱器外形図

運転を予測してエキスパンダ内部のオイル加熱が開始される。このため12時から発生器入口水温が急上昇し、高温蓄熱槽温度がやや低下する。

13時から電力ピーク低減のために太陽熱駆動によりランキンサイクルエンジンを運転するが、このとき現時点では回転数制御(2,800 rpm)のため補助モータにも通電されているので電気入力はず〇とはならない。将来は回転数変動方式として、より大幅な電気入力低減を可能とする予定である。約1.5時間、ランキンサイクルエンジンで圧縮機を駆動した後、高温蓄熱槽温度が80°Cになったときに冷凍機を停止する。このとき冷水蓄熱槽温度は7°Cまで低下し、蓄冷されている。

冷凍機の制御方式は、このシステムが午後の電力ピークカットを目標としているため、通常冷水蓄熱槽温度を10°C以上として冷房を行い、13時以降たとえ冷房負荷がなくても安定して冷凍機が運転されるようになっている。

また給湯槽加熱については、ランキンサイクルエンジンが運転停止した15時以降に一举に行うことにより、ランキンサイクルエンジン発生器への熱源温度を出来るだけ高くする制御を行い、ランキンサイクルエンジンの高COP運転を目指している。

4. 太陽熱集熱器

太陽熱集熱器は太陽光線を吸収して熱エネルギーに変換することにより熱媒体を加熱する一種の熱交換器であり、蓄熱槽・集熱ポンプなどシステムを構成する部品の中でもシステム性能上最も重要な機器の1つである。エネルギー密度の低い太陽エネルギー(約1kW/m²)を効率良く集熱して太陽熱冷暖房・給湯システムの経済性を高めるには、この集熱器をより安価に市場に供給する必要がある。

近年太陽熱利用システムが普及、実用化されるに伴い種々の集熱器が開発されてきたが、その中でも平板形がその性能向上、経済性の観点から一般的に用いられている。

4.1 平板形太陽熱集熱器の種類

当社の平板形太陽熱集熱器には、その性能を最も左右する集熱板の表面処理方法で大別して、家庭用(主として給湯用)と設備用がある。

家庭用の集熱器はその用途より低温集熱用(30~60°C)として開発され、集熱板材質には耐食性、溶接性を考慮して低炭素フェライト系ステンレス鋼板を採用し、更に熱媒体として不凍液(プロピレングリコール含腐食抑制剤)を併用することにより耐久性の向上を目指している。集熱板表面の吸収面には太陽光吸収率 $\alpha=0.95$ の黒色塗装

を施している。黒色塗装による集熱板は 20~30 deg 程度の家庭用給湯を目的とした集熱において優れた性能を発揮する。

また、設備用の集熱器には集熱管材料として加工性、耐食性、熱伝導性などの特長をもつ銅管を採用し、集熱板は選択吸収膜処理を行うことにより、太陽光をよく吸収し ($\alpha=0.93$)、集熱板からの再放射を極力少なく (放射率 $\varepsilon=0.15$ 以下) することで高温集熱レベル (60~100°C) での集熱効率を高めている。

4.2 平板形集熱器の外観・仕様

三菱太陽熱集熱器の外観・外形図及び仕様を図 6., 図 7., 図 8., 表 2. 及び表 3. に示した。

4.3 太陽熱集熱器の集熱効率

安定状態にある集熱器の瞬時集熱効率は式(1)により表すことができるが、図 9. は屋外において太陽光のもとで測定した集熱効率線図である。熱媒体入口温度を変化させて多数点の測定をし最小二乗法により効率の線を求めている。最近、1980 年まで採用されていた日射量スケールが世界気象機構の改訂により新たに世界放射基準 (WRR) として制定されることになった。このデータは新しい基準に基づき作成したものである。

$$\eta = F'(\tau\alpha) - F' \cdot U_L \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right) \quad (1)$$

T_m : 熱媒平均温度 η : 集熱器瞬時集熱効率
 T_a : 外気温度 F' : コレクタファクタ
 I : 集熱器面全天日射量 $\tau\alpha$: 有効透過率吸収率積

太陽熱システムにおける集熱量を算出する場合、刻々変化する日射量、外気温度及び集熱温度から瞬時集熱量の積算により求めることが可能であるが、許算を簡易化するために図 10. の当社平板式集熱器の快晴日全日集熱効率線図を使用する。

4.4 集熱システム

集熱器内の温水温度を高温側 サーミスタ (T_H)、蓄熱槽内水温を低温側 サーミスタ (T_L) で検知し、差温 ($T_H - T_L$) が一定温度 (7 deg) 以上のとき差温 サーモスタットにより循環ポンプを運転し、差温が一定温

表 2. MSS-16 FC 形集熱器仕様

名 称	三菱強制循環形太陽熱集熱器
形 式	チューブインシート形
形 名	MSS-16 FC
外 形 寸 法 (mm)	1,000×1,600×87
有効集熱面積 (m ²)	1.50
容 量 (l)	2.0
重量 (kg)	空 水 時 32.0
	運 転 時 34.0
配 管 径	PT 3/8 雄ねじ
最大許容圧力 (kg/cm ²)	1.5
最大許容流量 (l/h)	1,000
材 質	集 熱 板 ステンレス銅板 黒色塗装
	通 過 板 半強化ガラス 厚さ 3.2 mm 太陽光線透過率 0.876
	断 熱 材 グラスウール
	受 熱 箱 両面塩ビ銅板 マンセル 10 Y 7/4
	ガラスシール材 ポリ塩化ビニル発泡体
架 台 取 付	ピッチ (mm) 1,040×1,200
	穴 径 φ 10 (M8 ボルト用)
付 属 部 品	M8 ボルト、ナット、ワッシャ、スプリングワッシャ、取付金具

表 3. MSS-20 FCB 形集熱器仕様

名 称	三菱強制循環形太陽熱集熱器
形 式	チューブオンシート形
形 名	MSS-20 FCB
外 形 寸 法 (mm)	1,029×2,029×93
有効集熱面積 (m ²)	1.91
容 量 (l)	1.5
重量 (kg)	空 水 時 38
	運 転 時 39.5
最大許容圧力 (kg/cm ²)	5.0
最大許容流量 (l/h)	1,000
材 質	集 熱 板 選択吸収膜付 Al 合金押出形材
	集 熱 管 銅管 (φ 9.52×0.41 t) 8 本
	ヘ ッ ダ 管 銅管 (φ 15.88×0.71 t)
	通 過 管 半強化ガラス 3.2 mm 透過率 0.876
	断 熱 材 グラスウール
吸 収 膜	受 熱 箱 Al 合金押出形状アルマイト処理
	吸 収 率 α 標準性能 0.93
放 射 率 ε	標準性能 0.15
	取付金具 M8 ボルト、M8 ナット、スプリングワッシャ、平ワッシャ

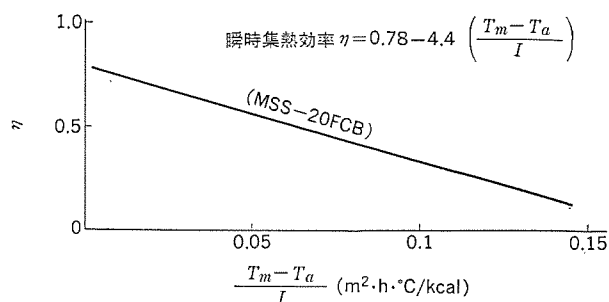


図 9. 太陽熱集熱器の瞬時集熱効率

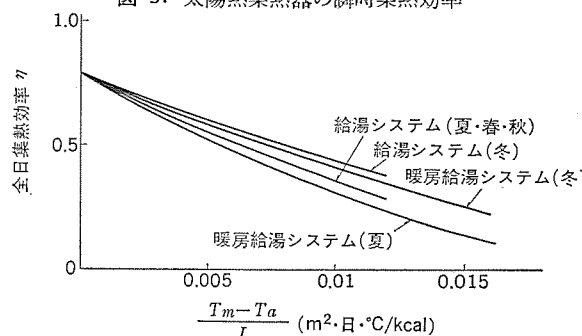


図 10. 全日集熱効率線図 (MSS-20 FCB)

度 (4 deg) 以下になると循環ポンプをとめ、配管中の水を蓄熱槽に回収する。また、蓄熱槽内の温水が沸騰直前になった場合は、沸騰防止サーモにより循環ポンプをとめる。

システムを考える場合、凍結防止策の方式の選定が重要である。凍結防止法には不凍液による方法、蓄熱槽に集熱器内の水をもどす方法、排水方法又は蓄熱槽内の温水を集熱回路に循環させる方法などがあるが、それぞれ長所・短所があるので気象条件、システムの規模などにより決定する必要がある。このシステムでは排水する方法を採用している。

太陽熱冷暖房・給湯システムでは夏期の冷房のために集熱温度を高く設定しランキンサイクルを運転するが、中間期は給湯のみとなり、

集熱温度をやや低目に設定する。また、冬期は暖房給湯となるために再び高目に設定しなおすことが必要である。

夏期の冷房に重点をおく場合には高温集熱に効率の高い真空管形集熱器を選ぶこともあるが、年間の集熱とイニシャルコストを重視する場合には比較的安価な平板形集熱器を用いることが多い。前述の冷暖房・給湯システムにおいても平板形集熱器を用いて構成した 1 例である。

5. システム性能と省エネルギー

ランキンサイクルエンジン駆動冷凍機を用いた冷暖房・給湯システムの省エネルギー効果、運転性能などについて、従来のシ

システムと比較しつつ述べる。

太陽熱利用（熱源温度 95℃）ランキンサイクルエンジン 運転時の エネルギーフローを図 11. に示す。図 11. (b) はランキンサイクルエンジン 駆動冷凍機を補助 モータ のみで駆動した場合のエネルギーフローを示しており、これは従来のシステムに相当する。両者共冷房負荷 100 を発生するのに必要なエネルギーを示している。図 11. (a) で機器効率の設計値は集熱効率 0.4、太陽熱駆動時のランキンサイクルエンジン 駆動冷凍機の COP 0.45（冷凍出力／熱入力）、電気入力基準 COP 7.58（冷凍出力／電気入力）である。すなわち、太陽熱駆動による冷凍機の運転にも約 12 の電気入力が必要である。この内訳は回転数制御用補助電動機 35％、ポンプ 35％、熱源ポンプ 30％である。

ここで補助電動機入力とは太陽熱源水温によって変化する。補助電動機単独運転時の電気入力を 100％とした場合の電気入力低減率と熱源水温の関係を図 12. に示す。ポンプ・熱源ポンプ 入力の変動はないが、今後ポンプ効率の改善により入力は更に低減可能である。補助電動機入力は熱源温度が低下するにつれて急激に増加する。これは熱源温度低下に伴うランキンサイクルエンジンの軸出力低下を補助電動機が補償するように働くためである。このシステムではこうして冷凍出力を一定に制御するようになっている。将来、回転数可変方式に変更したときには補助電動機入力はゼロとなるので電気入力を 30％程度に低減可能である。

実際のシステムに組み入れられたときの運転性能について、3 章で述べた昭和 55 年 9 月 4 日のデータについて報告する。

この日のランキンサイクルエンジンの運転は電力需要がピークを迎える午後 1 時から ON しており、このときの熱源温度は 90～80℃ くらいの範囲で変動している。補助電動機の入力値の低減率は補助電動機単体運転の 30～40％くらいとなっており、この時間変化を図 13. に示す。この結果はほぼ設計値通りの電気入力低減を実証することができた。

夏季晴天日 1 日の熱バランスを 9 月 4 日についてみると、集熱器面全天日射量 232.7 M cal (4,863 kcal/m²)、集熱量 54.8 M cal で集熱

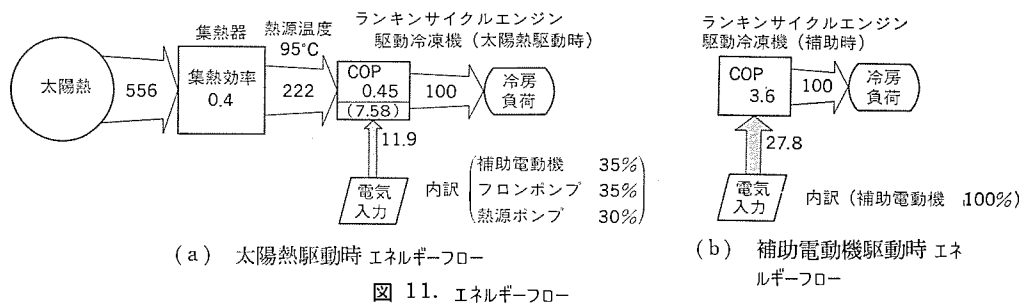


図 11. エネルギーフロー

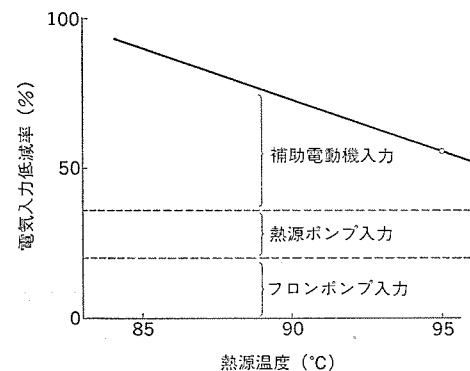


図 12. 電気入力低減率

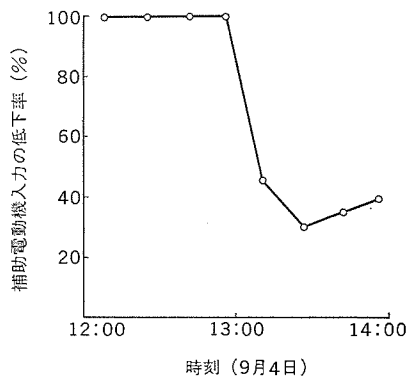


図 13. 補助電動機入力低下率

効率 24％、集熱量のうちランキンサイクルエンジンの熱入力として 25.8 M cal と給湯用に 3.4 M cal が実際に有効利用された（有効利用率 53％）。これらの値はシステムの設計によりかなり変わるもので、ランキンサイクルエンジンの太陽熱駆動時間を集熱器面積を広くするなどして長くすることにより省エネルギー率は図 11. の値に近づくことになる。

このシステムの場合、集熱器集熱能力（面積）がランキンサイクルエンジンの必要熱入力に比べて約 50％と低いため蓄熱を必要とし、高温蓄熱槽を設けたので、この槽からの夜間へかけての放熱損失などの問題が生じ熱の有効利用の面からは不利であった。

ここでは夏期晴天日における性能について述べたが、中間期など熱が余るときには太陽熱利用ランキンサイクルエンジンにより発電機を回して発電することも可能であり、年間性能は更に向上することになる。

6. む す び

太陽熱を冷暖房・給湯システムに利用して電気入力や石油などの燃料を節約することについて述べたが、節約量は集熱器の集熱量とその利用効率によるところが大きく、システム設計の基本構想や設計ポイントによってきまる。すなわち、上に述べた冷暖房・給湯システムは、夜間はこれらの負荷がなく、昼間は断熱材の使用により負荷の少ない小事務所を対象とし、冬期の暖房負荷には太陽熱集熱量が無駄にならない程度に十分にあり、夏期の冷房負荷には不十分であっても電力ピークには十分に対応できるようにしている。また、この間の給湯はその負荷量が用途上少量であるために、随時石油ボイラで再加熱してもよいとしている。これらが設計ポイントであって、システムの基本構想によるものである。

考え方をかえて、夏期の冷房負荷に十分に対応できるシステムにも設計は可能である。しかし、この場合は冬期の集熱量ばかりでなく、中間期も多大な熱量が余ってしまうことになり、この設計では集熱器の面積は大きくなることからすえ（据）付面積も建設費も増大する

ことになる。これを避けるためには、冷暖房機のそれぞれの出力が負荷とバランスする特性をもつことが望まれる。現在のランキンサイクルエンジン 駆動冷凍機では残念ながら対応するのに不十分である。これは今後のシステム開発・機器改良で改善しなければならない事項である。

このシステムは太陽熱利用部分の規模が大きくなると高価なシステムとなる。従来の冷暖房・給湯システムと対抗するには太陽熱集熱部分及び蓄熱部分の効率化を図り、この経費を下げ、利用熱量を大にすることを考えれば運転費も軽減し、資本回収年の早い良いシステムにすることができるのである。

太陽熱利用冷暖房・給湯システムは将来に備え、効率化制御も含めて完成しなければならない。これに向ってなお一層の努力をするつもりである。

ダリウス形風力発電装置

高 月 一*・武 藤 浄**・市 川 晃**・堀 江 将 人***・鳥 谷 隆 夫***

1. ま え が き

風力エネルギー利用の歴史は古いが、発電への有効利用を目的とした本格的な研究開発が開始されたのは、いわゆるエネルギー危機が深刻になってからである。最近の研究開発は、エネルギー変換効率の向上と大規模化を目的とし、空気力学・材料及び電子制御技術を大幅に導入して、各国で活発に進められている。特に欧米では、政府機関主導の下に既存電力網に接続する大規模システムの開発が強力に進められており、数百kWからMW級の大形風力発電装置の建設・試運転・実用運転が行われている。一方、我が国では、サンシャイン計画で100kW機の建設計画が進められているものの、数十kW以下の中小規模風力発電装置の開発例が多い。

当社は、自然エネルギー利用技術開発の一環として、昭和53年からダリウス形風力発電装置の開発を進めている。昭和54年、55年に1kW及び5kWの装置を客先に納入した。前者は東京海上火災保険(株)高崎支社の建物屋上に、後者は神戸市(釜山)の山頂にそれぞれ設置され、両者とも実用運転中である。

また、当社は関西電力(株)総合技術研究所と風力発電に関する共同研究を実施しており、和歌山県串本町潮岬に電力系統への併入を目的としたダリウス形5kW風力発電設備を建設した。

本稿では、開発したダリウス形1kW、5kW風力発電装置の概要及びこれらの試験結果の一部について述べる。

2. 風力発電装置の仕様と構成

開発したダリウス形風力発電装置の主要仕様を表1に示す。運転範囲、発電機、制御方式は目的、用途、設置場所などに応じて変える。装置は図1に示すように3つの部によって構成されている。第1は発電部で、風力タービン、発電機、制動機構などからなり、風力エネルギーを電気エネルギーに変換する部分である。第2は発生した電気エネルギーを利用しやすい形に変換・貯蔵する電源部である。第3は制御部であり、風速計、回転計などの各種検出器からの信号を入力として、発電機・制動装置・蓄電池・充電器の制御など装置全体の

表 1. ダリウス形風力発電装置の仕様

項 目	機 種	1kW 機	5kW 機
定 格 出 力 (W)		450	5,000
定 格 風 速 (m/s)		8	10
定格タービン回転速度 (rpm)		180	100
増 速 比		1:15	1:15.7
運 転 風 速 (m/s)		3~15	3~20
耐 風 速 (m/s)		60	60
タービン直径 (m)		4	8
タービン高さ (m)		4	8
ブレード枚数		2	2
ブレード材質		アルミニウム合金	アルミニウム合金
翼 形		NACA 0012	NACA 0015
翼 弦 長 (m)		0.2	0.3
制 動 機 構		スボイラ 電磁ブレーキ 機械ブレーキ	同 左

制御・保護・監視を行う。

図2及び図3に東京海上火災保険(株)高崎支社納めの1kW機(以下高崎支社向け1kW機という)、神戸市(釜山)納めの5kW機(以下釜山向け5kW機という)をそれぞれ示す。両者とも8本の支柱により風力タービンの上端部を支持する構造とし、振動の低減を図っている。5kW機にはブレードと同じ翼形のストラットを設け、タービンの振動、空気抵抗を低減している。

我が国の風況は、風力エネルギー利用の立場からすると必ずしも有利とは言えない⁽¹⁾。すなわち、一般的に風速及び風向の変化が激しく、また年間の平均風速が低いにもかかわらず台風時など一時的に強風が発生するなど、風力エネルギー利用促進を阻害する要因が比較的多いといえる。これらを克服することがこの利用技術を実用化するためのかぎ(鍵)である。当社はこの点に十分な考慮を払い、風力発電装置の研究開発を続けているが、上記の1kW機及び5kW機はこの過程における1つの成果である。これらのダリウス形風力発電装置の特長を次に示す。

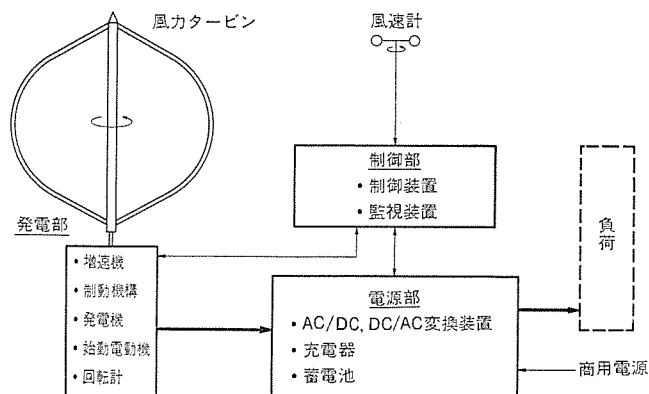


図 1. 風力発電装置の構成



図 2. 1kW風力発電装置（高崎支社向け）

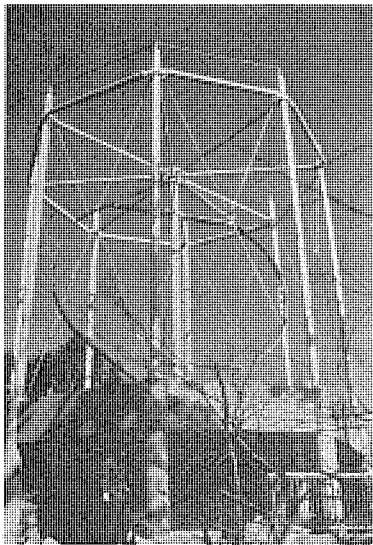


図 3. 5 kW 風力発電装置（錨山向け）

- (1) 風力エネルギーの変化に応じて発電出力を制御することにより、弱風から強風までの広い範囲にわたって、また変動の大きい風速下において、高効率発電を可能にした。
- (2) 風力タービンを8本の支柱により支持することにより、装置の振動低減及び耐風性の向上を図り、また多重制動機構を採用してタービンの過回転防止に万全をつくすなど、装置全体の信頼性を高めた。
- (3) 要素機器及び補機類の形状、配置などについて十分な検討を行い、保守及び点検が容易な機器構成とした。

1 kW 機、5 kW 機の設置場所はそれぞれ市街地及び国立公園内の道路・遊歩道に近接しているため、装置の設計にあたっては高効率化はもとより安全性の確保について十分注意した。

3. 風力タービン

ダリウス形風力タービンは、フランス人 G. J. M. ダリウスが発明し、1931年に特許を取った。これは風向追従機構が不要で、軽量であるなどの特長をもつ。また、垂直軸であり、発電機・増速機などの機械部分が地上近くに設置できるため、プロペラ形などの水平軸のものより保守が容易である。

風力タービンは風力エネルギーを回転エネルギーに変換する部分であり、高い変換効率をもつと同時に、厳しい自然環境に耐えるものでなければならない。タービン及びその支持構造の決定にあたっては、空気力学的性能・振動・強度について十分な計算を行うとともに、縮小モデルによる風洞試験を実施し、予想される種々の状況・条件に適合するよう慎重な検討を重ねた。

3.1 風力タービンの空気力学的性能

風力タービンの性能はブレード枚数、翼形などに依存する。図4. は多流管理論⁽²⁾に基づくダリウス形風力タービンの性能曲線の1計算結果で、縦軸の出力係数は効率に相当し、横軸の周速比はタービン最大径部のブレード周速と風速との比を表す。

ブレード形状は製作の容易さを考えて、直線と円弧からなる近似トロポスキエン（縄とびの綱）曲線とした。実機のブレードは表1. の翼形の中空のアルミニウム合金製であり、同じく中空のアルミニウム合金製の主軸にその両端が固定されている。ブレード中央部には図5. に示すスポイラを取付けた。これは、タービンの回転数が設定値を超えると遠心力によって自動的に開く。5 kW 機のブレードは振動、強度上の観

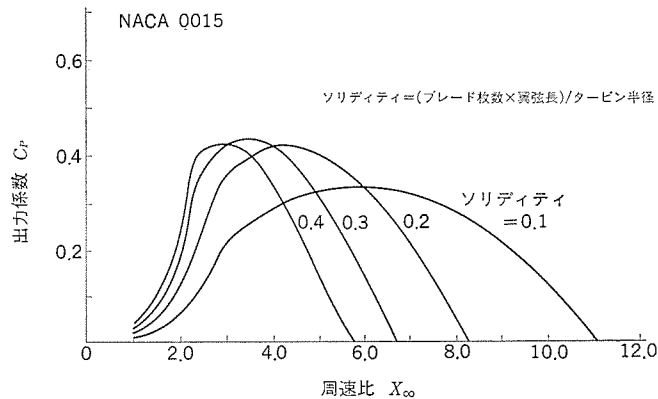


図 4. ダリウス形風力タービンの出力係数（計算値）

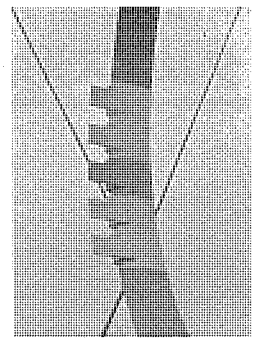


図 5. スポイラ

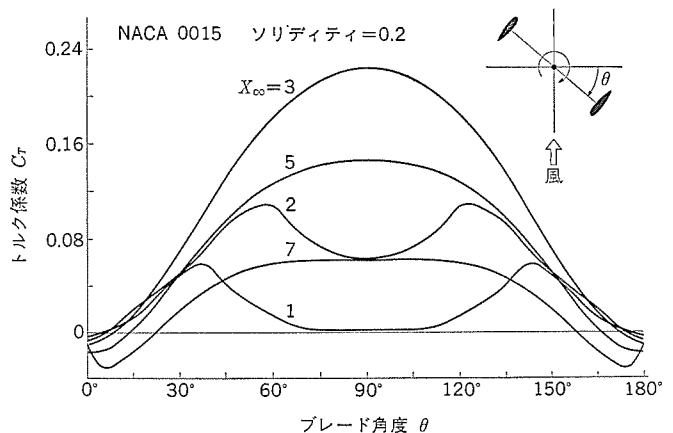


図 6. ダリウス形風力タービンのトルク変動（計算値）

点からストラットを設けるとともに、1 kW 機より厚い翼形を採用した。

タービンは変動する風によって加振されるだけでなく、回転に伴ってブレード位置が風向に対して変化するため、トルク変動を受ける。このことはタービン系の構造を決定する上で是非とも考慮に入れなければならない点である。図6. はトルク変動の計算結果の1例を示しており、縦軸にはトルクを表す無次元量、横軸には風向に対するブレードの角度をとっており、パラメータはブレードの周速比である。トルクが周速比によって変化することがわかる。

3.2 風力タービンの支持構造

カナダ、米国などではダリウス形風力タービンの上部支持法として、ワイヤによる方式を採用している⁽³⁾。この方式は簡単で、工事也容易であるが、タービン振動が大きく、広い設置面積を必要とする上に、支持材としてのワイヤは信頼性があまり高くない。我が国の場合、風力発電設備を設置する場所は比較的人家に近いか、あるいは容易に人が近づく地点が多いと考えられるので、ワイヤ方式は上記の理由により採用し難い。

当社は、周囲に配置した8本の支柱によりタービンを支持する方式を用いて、上記の種々の問題点を解消した。また、これらの支柱はタービン下部支持部と共通の基礎の上に固定し、地盤の不同沈下などに対しても装置全体が安全性を保つようにしている。これらの寸法諸元を決定するにあたっては、系の固有振動数が、タービンの運転によって発生する種々の励振振動数よりも、十分高くなるよう配慮した。図7. はタービンと支柱系の振動についての有限要素法による計算結果の1例を示す。実機のすえ（据）付け、試験時には加振試験・回転試験により、設計計算の妥当性及び回転体・構造物としての安

----- 変形前
 ——— 変形後 (7.4Hz)

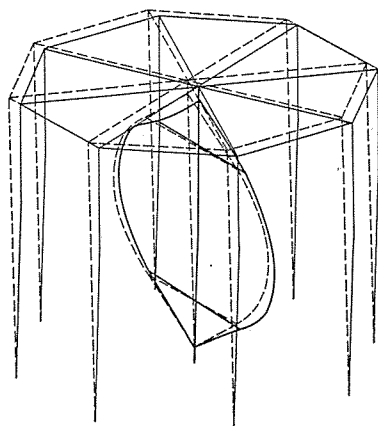


図 7. タービンと支柱系の振動モード計算例

全性を確認した。

3. 3 制動機構

風力発電装置が損傷を受ける場合、それらのほとんどが強風に起因し、強風より直接的にあるいは過回転の結果により間接的にタービンに機能障害が生じるといわれている。当社は風力タービンをこのような災害から守るため、次の2つの機構を設けている。

第1はタービン固定機構で、風力発電装置の運転を完全に停止しておきたい場合に使用する。

第2は3重の制動機構で、これによってタービンの過回転を抑える。タービンの回転速度が設定値を超えると、ブレードに装置したスポイルが作動し、タービンの回転トルクを空気力学的に打消して回転速度を設定値以下に保つ。もし何かの理由で、このスポイルが作動不能になった場合には、電磁ブレーキと若干高い回転数で純機械ブレーキが作動する。この機械ブレーキは遠心力を利用したディスク形であり、電源など外部からのエネルギーを必要としない信頼性の高い構造としている。なお、現地での人工故障試験によりその信頼性を確かめた。

4. 電気設備

風力発電装置は自然界の風力エネルギーを利用するので、無風から強風までエネルギー入力が広範囲に変化すること、タービンブレード周速と風速との関係で出力係数が異なるので、有効利用面から風速に見合う回転速度で運転する必要があるなどの特殊性をもつ。電気品の仕様決定にあたっては、発電装置の設置目的、負荷の種類及び特性、タービン特性、風の状況及び設備費用などを考慮して決める必要がある。

風力発電の電気設備についての一般的な構成とその方式及び実施例につき記述する。

4. 1 電力変換法の分類

分類方法は種々あるが、風力発電の運用面、風力タービンの回転形態、発電形式から分類すると、図 8. のものが考えられる。

4. 2 高崎支社向け 1 kW 機

発電機は自動車の充電用発電機を使用し、直流 24 V の出力はけい光灯、温水器、蓄電池充電用の電源として利用し、風速に見合う負荷を ON-OFF 制御する単独負荷運転方式である。

タービン速度は可変で、風速により負荷を段階的に制御し、高い出力係数域で運用される。

系統との
並列運転

- 可変速度 同期発電機(コンバータ・インバータが必要、インバータで同期並入)
- 一定速度 同期発電機(同期投入のため風車の調速機構が必要)
- 誘導発電機(系統からの無効電力供給が条件)

単独負荷
運転

- 可変速度 同期発電機
 - コンバータ → 直流負荷 ON-OFF 制御
 - コンバータ・蓄電池 → 直流一定負荷
 - 電圧制御 → 直流定抵抗負荷
- 一定速度 同期発電機
 - 交流負荷 ON-OFF 制御
 - コンバータ・蓄電池・インバータ → 交流一定負荷
 - 電圧制御 → 交流定抵抗負荷

備考 ※ 印発電機形式として充電用発電機も考えられる。

図 8. 電力変換方式の分類

4. 3 錨山向け 5 kW 機

神戸市のシンボルマーク(市章及び錨マーク)の照明電源として、錨山に設置したもので、夕刻の時間帯に点灯させる単独負荷用の風力発電装置である。単独負荷で数時間の点灯負荷のため、発電電力の貯蔵用として蓄電池を置き、点灯しないときは、充電専用の発電装置として運用される。

タービンは風速により回転速度が変化する可変速度方式で、発電機は交流同期発電機を使用し、その交流出力を直流に整流して、蓄電池及び照明負荷に給電する構成としている。

励磁装置はタービン回転速度に関係なく必要電圧を発生させるために他励磁方式とし、発電機電圧を風速により制御して出力の増減を図っている。

蓄電池は充放電の繰返し運用のため、40% 放電で点灯できる容量とし、満充電、40% 放電、過放電などの保護回路を設け風力発電装置との協調を行っている。

4. 4 潮岬向け 5 kW 機

電力系統と連携する風力発電装置で、誘導発電機で系統側へ送電する AC リンク方式と、同期発電機出力を直流・交流に再変換して系統側へ送電する DC リンク方式とが切替えて使用できる。

AC リンク方式は、風力タービン始動用に設けた誘導電動機を同期速度以上に回転させ誘導発電機として使用するもので、タービン出力によって誘導発電機のすべりが変わり、風速変化による出力の増減は自動的に行われる。したがって、タービン回転速度はほぼ一定速度であり、風力エネルギーの有効利用の面では不利であるが総発電量では直流交流変換装置がないので、損失の減少、設備費の低減など有利な面もある。

DC リンク方式(同期発電機使用)は、風力エネルギーを有効に利用するため、タービン回転速度を可変とし、最高出力係数での運転を目標とした出力制御を行う。励磁装置は他励磁方式で発電機交流電圧は一定値になるよう制御する。発電機交流出力を直流に変換し、更にインバータにより交流に変換して系統へ送電する。このインバータは同期投入機能と風速による出力制御機能を有し、他励方式である。

系統との並列運転は技術者が現地駐在中のみ実施し、不在時は単独運転とし遠方にて監視する。単独運転の場合、負荷は温水器で、出力制御は風速に応じて温水器への供給電圧を制御する方式としている。

図 9. に以上の3例の概略系統図を示す。

5. 試験結果

5. 1 高崎支社向け 1 kW 機

自然風による運転状態において、発電機に適当な負荷(段階的な模

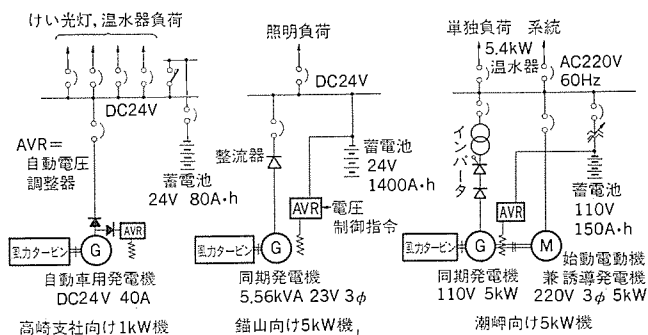


図 9. 概略系統図

擬負荷)を加え、風速と発電出力の関係を計測した。図 10. に実測結果を示す。計測点が最高効率点とは限らないので、ある程度のばらつきはあるが、風速 8 m/s で高効率運転時 500 W の発電出力を得た。

5.2 錨山向け 5 kW 機

自然の変動風速中における運転特性(自動運転中の例)を図 11. に示す。タービンを最高出力係数の近傍で運転するため、風速に見合っ

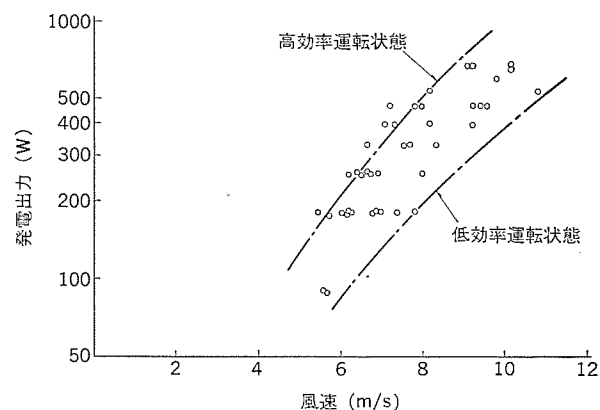


図 10. 高崎支社向け 1 kW 機の発電出力特性実測値

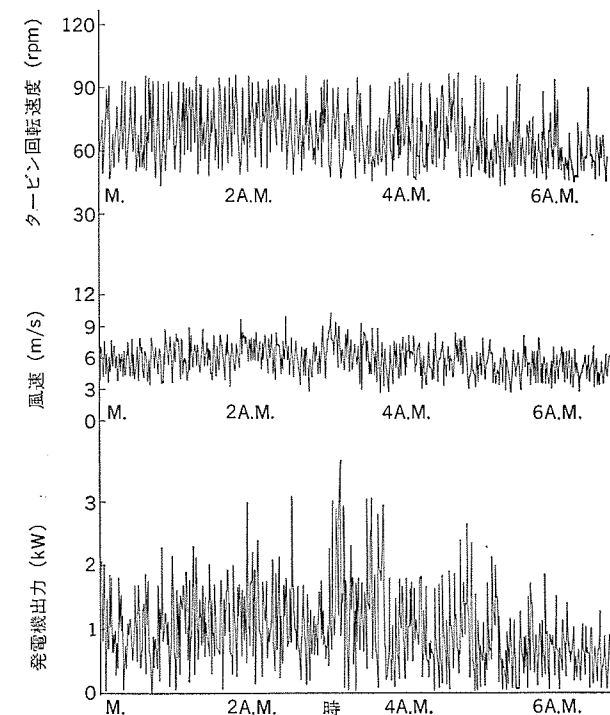


図 11. 変動風速中における運転特性実測例(錨山向け 5 kW 機)

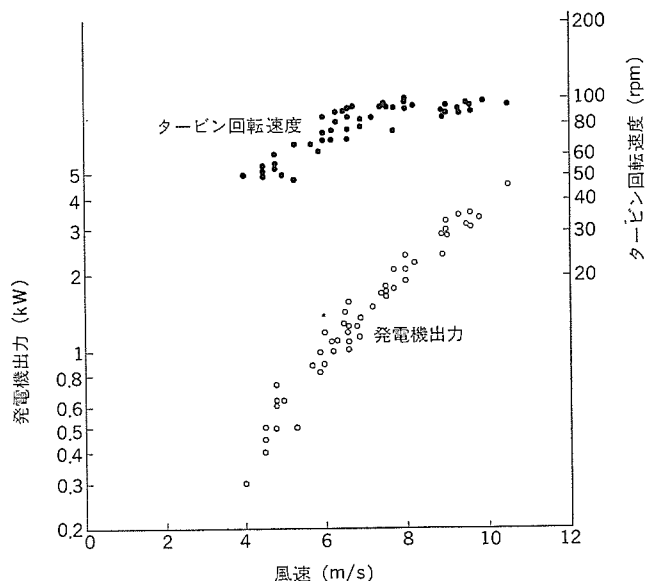


図 12. 錨山向け 5 kW 機の発電出力特性実測値

た出力制御を行っているが、かなり良い追随性を示している。

図 12. に風速と発電出力及びタービン回転速度の関係の実測結果を示す。発電出力は、ほぼ計画値通りの値が得られている。特に低風速(4~6 m/s)における軽負荷時の効率改善を図った効果が見られる。タービン回転速度が約 95 rpm 以上でスプイアが作動するため、100 rpm 以下の回転速度に保持されていることがわかる。また、タービンブレードの回転中の応力をひずみゲージにより測定した。タービン回転速度 110 rpm、風速 11.2 m/s において、平均応力は 3.5 kgf/mm²、変動応力は ± 1 kgf/mm² 以下であり、運転条件、使用材質から判断して十分安全であることを確認した。

騒音の実測値は、距離 4 m の地点にて、タービン回転速度 110 rpm のとき 68 dB(A) であり、市街地近くの設置に際しても騒音の心配のないことがわかった。

6. む す び

当社の開発した 1 kW 及び 5 kW のダリウス形風力発電装置の概要とそれらの試験結果の一部を述べた。これらの装置は実用運転中で、種々のデータが集まりつつある。今後更に長時間の現地試験結果を検討し信頼性を確認したい。当社は、ダリウス形のほかサボウス形、プロペラ形の風力発電装置の電気部分の担当経験があり、風力発電についての広範な技術を習得した。

ダリウス形の次期課題は、自己始動方式の導入、複合材採用による軽量高剛性ブレードの開発などである。

終わりに、ダリウス形風力発電装置の開発にあたって、御指導、御意見、御協力をいただいた東京海上火災保険(株)殿、関西電力(株)殿、神戸市の関係者の各位に深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 例えば、科学技術庁資源調査所監修、風エネルギーの利用、日本風力エネルギー協会(昭53-3)
- (2) J. H. Strickland: The Darrieus Turbine; A Performance Prediction Model Using Multiple Streamtubes, Sandia Laboratories, SAND 75-0431 (1975-10)
- (3) R. D. McConnell et al: Proceedings of 11th IECEC, p. 1798 (1976-1)

りん酸形燃料電池発電システム

岸田 公 治*・西山 槐**・平田 郁 之**・水本 洋 一*・平林 俊 彦*

1. ま え が き

近年、エネルギー価格の高騰と石油供給の不安定性から、発電効率の向上とエネルギー源の多様化が求められている。燃料電池発電システムは、発電効率が40～50%、熱利用も含めた総合熱効率は80%以上の高効率が期待できる。燃料電池には、第1世代と呼ばれるアルカリ形やりん酸形、第2世代の熔融炭酸塩形、第3世代の固体電解質形などの種類があり使用可能な燃料が水素、天然ガス、メタノール、石炭ガスなどへ順次拡大し、エネルギー源の多様化が実現できる。更に、燃料電池発電システムは小規模でも効率がよく、部分負荷特性及び環境安全性が良好であるから、小規模分散型エネルギーシステムとして優れた特性を有する。

現在、天然ガスを燃料とするりん酸形燃料電池が実用化の面で最も早いと考えられており、各方面で精力的な研究開発が進められている。当社では、メガワット級りん酸形燃料電池発電システムに重点をおいて、電池本体、燃料改質装置、インバータ及び制御装置よりなるトータルシステムの研究開発を進めてきた。これまでに、トータルシステムとして、500W発電システムの試作・運転を完了している。これはシステムとしての動作確認を主目標としたものであるが、実用化のためには、規模の拡大のほか各構成要素の効率や信頼性の向上及び発電システムとしての最適制御法の開発など今後の開発課題もまだ多い。この報告においては電池の大形化・高性能化のための電池要素技術の開発と大形電池による電池特性の実証及び500W発電システムについて述べる。

2. 電 池 技 術

2.1 構成要素

燃料電池は燃料となる改質ガス中の水素と酸化剤である空気中の酸素との反応 $\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ を電気化学的に行わせて、反応による自由エネルギー変化を電気エネルギーに変換して取出す装置である。理論的には、水素2gと酸素16gから53.6A・hの電力を1.23V(25℃)で取出することができる⁽¹⁾。りん酸を電解質として用いた燃料電池の場合には、水素はアノード(負極)で H^+ と電子に解離し、電子(電流)は負荷に導かれ、電力として利用される。一方、 H^+ はイオン電導によってりん酸中を伝わり、カソード(陽極)で酸素及び電子と結合して水となる。したがって、燃料と酸化剤を連続して供給することにより、定常的に電力を発生することができる。基本となる電池は単電池(単セル)と呼ばれ、実用的には負荷時電圧0.5～0.7V、電流密度0.1～0.3A/cm²の出力を得ることができる。大きな電圧と電流を得るためには、電池の大面積化と積層化が行われる。積層化した電池をスタックと呼び、更に大容量とするためにスタックを集合させたものをモジュールと呼んでいる。

筆者らが小形用電池として最初に用いた燃料電池の基本構造を図1に示す。電極はカーボンペーパーを基材として、りん酸が過度に浸透するのを防ぐために発水処理を行い、その上に触媒層を塗布したガス拡散電極である。空気極の触媒には、白金を電極1cm²当たり約1mg用いた。燃料極に対しては、一酸化炭素被毒による出力低下を防ぐために、ルテニウムを添加した白金触媒を1cm²当たり0.5mg用いた。電極の発水処理にはポリテトラフルオロエチレン(PTFE)を用いた。電極の厚さは約0.6mmである。りん酸電解液を保持するマトリクス層には、フェノール系繊維の不織布又はSiC(炭化けい素)の微粒子からなる多孔質膜を用いた。その厚さは約0.4mmである。SiCは180℃での特性を測定するための高温用電池に用いた。これらの部材によって構成された単電池は、片面に燃料を、他の面に空気をそ

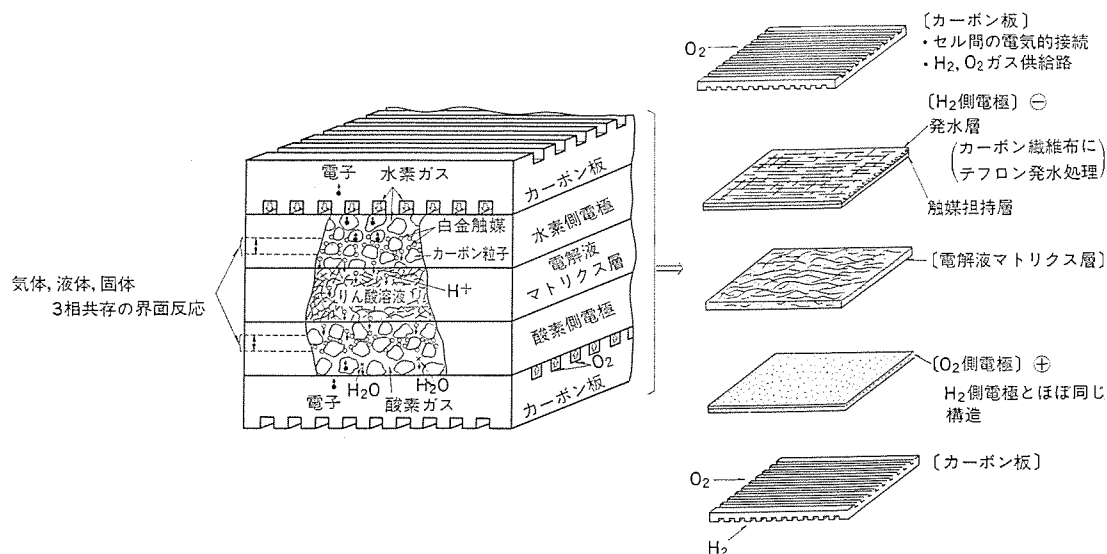


図 1. りん酸形燃料電池の基本構造

それぞれ電極へ供給するためのガス流路を設けたカーボン板を使って積層される。このカーボン板は各々の単電池を電気的に直列に接続する役目も果している。電極における反応は水素(又は酸素)、触媒、りん酸が共存する。すなわち、気体—固体—液体の3相共存下の界面反応であり、その界面の維持・制御が重要な技術的課題である。このほかに単電池及びスタックに関する技術的課題には次の事項がある。

- (1) 長期間にわたって特性の経時変化が少ない。
- (2) 高い効率を得る。
- (3) 触媒量を低減する。
- (4) 電池特性のばらつきを少なくする。

第1項の経時変化は触媒の劣化、りん酸の消失、りん酸による電極の過度のぬ(濡)れなどによって生ずる電極反応の低下が主原因であり、他に反応ガス及びりん酸に対するシール性の劣化などの構造上の問題もある。特にりん酸は吸湿・乾燥しやすく、それに伴って大きな体積変化が起こり、りん酸の消失、電極の濡れなどの問題が生じ、電池の寿命を短くする。これを防ぐために、筆者らはりん酸を補給する役目のリザーバを設けた大形単電池を試作し、その機能を調べ、長寿命化を図ることを検討している。第2項の効率を高めるには動作温度、圧力を高くする必要があり、筆者らはまずSiCマトリクスを用いて180°Cの高温化を図った。第3項の触媒量の低減は担持カーボンの種類、触媒の焼結条件、電極構造などの検討によって両極の触媒の合計を1cm²当たり1mg以下に減らすことを目標としている。第4項の電池の特性のばらつきは製造技術の最適化と品質管理によって数%以下とすることを目標としている。

筆者らは、これらの課題を解決するために表1に示す有効電極面積16cm²、100cm²、900cm²、2,500cm²の7種類の単電池を試作し、その特性を検討した。一部の電池についてはスタック化を行いその問題点を検討した。

表1. 試作電池一覧

電池の種類	有効電極面積 (cm ²)	マトリクス材料	動作温度* (°C)
A	16	フェノール系	140
B	16	SiC	180
C	100	フェノール系	140
D	100	SiC	180
E	900	フェノール系	140
F	900	SiC	180
G	2,500	フェノール系	140
H	Cの電池を20組用いたスタック	フェノール系	140

注 *印フェノール系マトリクスを用いた電池については120~180°C、SiCの場合には120~200°Cの温度で試験を行った。

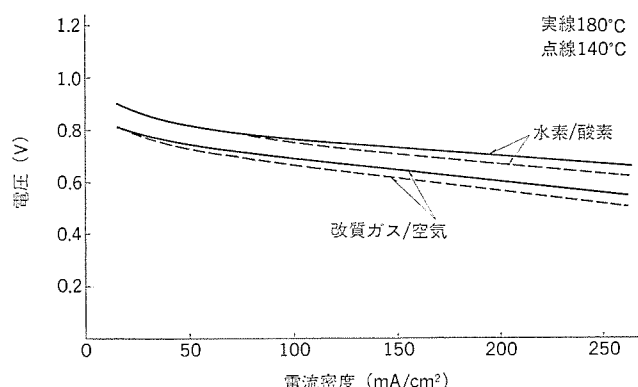


図2. 電池の電流・電圧特性

2.2 単電池特性

有効電極面積が100cm²の単電池にほぼ1気圧の反応ガスを供給し、140°C及び180°Cで動作させたときの電流—電圧特性を図2に示す。反応ガスには水素—酸素、水素—空気、改質ガス—空気の組合せを用いた。改質ガスはH₂ 80%、CO₂ 18%、CO 2%相当の混合ガスがある。水素—空気をを用いたときの特性は水素—酸素のときに比べ、電圧が電流にあまり関係なくほぼ100mV低下する。改質ガス—空気の場合には電流の増加と共に電圧低下の程度は大きくなるが、180°Cで動作させた場合電流密度160mA/cm²において0.6Vが得られた。動作温度が180°Cにおける電圧は140°Cに比べて約30mVの電圧上昇が得られ、高温化による特性向上の効果の大きいことがわかった。有効電極面積が16cm²と900cm²の場合にも100cm²の電極特性とほぼ等しく電極面積の大形化の影響はみられなかった。

なお、反応に必要なガス供給量については、水素—空気の場合には水素が理論量の約20%以上、空気については約2倍以上なければ安定した特性が得られないことも明らかとなった。

2.3 スタック特性

前節で述べた有効電極面積100cm²の単電池を20組積層したスタックを試作し、その動作特性を調べた。外部マニホールドの一部をはずしたスタックの外観を図3に示す。反応ガスには3.2節で述べる燃料改質装置によって改質したガスを用い、外部マニホールドから供給した。加熱は上下の電気ヒータによって行い、放電時の自己加熱による温度上昇は供給する空気量を増やすことによって冷却した。反応ガスとしてH₂ 80%、CO₂ 18.3%、CO 1.7%の組成の改質ガスと空気を使用したとき、電流値10Aで12.2V、122Wの直流出力が得られ、目標値10A、12V、120Wを達成することができた。この値は単電池の特性から予想された値とほぼ一致する。スタック内の各単電池の出力電圧のばらつきは約±3%以内であった。特性の悪い電池が混入すると、スタックの運転時にその電池は過負荷状態となり、特性の劣化が速くなる。また、発熱の不均一から温度の均一性もくずれる。したがって、特性のそろった電池を製作することは重要な技術的課題となっていたが、今回の試験はこの要求を十分に満足するものであった。

2.4 大形電池の特性

将来、実用化が計画されている数百kW以上の電池モジュールには電池の大形化と積層数の増大が必要である。筆者らは電池の大形化を検討するために、有効電極面積900cm²と2,500cm²の2つの大形

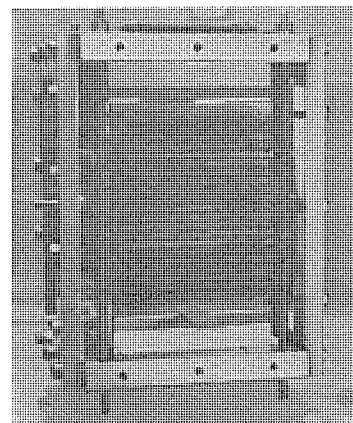


図3. 20セル積層スタック外観

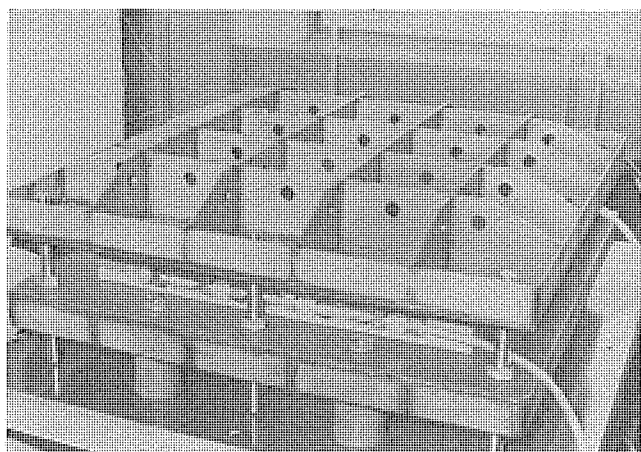


図 4. 大形単電池試験装置 (有効面積 2,500 cm²)

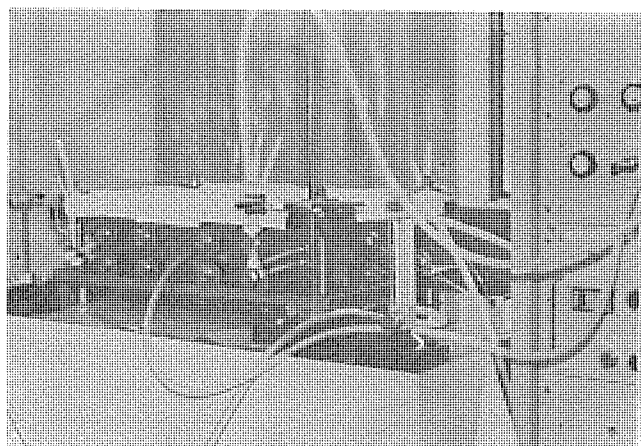


図 5. リザーバ 構造の大形電池積層試験装置 (有効面積 900 cm²)

単電池を試作した。前者は電池の長寿命化を図るためにりん酸をためておくリザーバを設けた電池である。リザーバはマトリクス層に含浸されている量の 1/2 程度のりん酸を貯えておき、マトリクスのりん酸が消失し不足したときにリザーバから供給される構造となっている。この大形単電池の特性は有効電極面積が 16 cm²、100 cm² の電池の特性とほぼ同じ値であり、大面積化によっても特性の劣化は見られなかった。次に有効電極面積 2,500 cm² の単電池について水素—酸素のときの特性を 140°C で測定した。電流密度 100 mA/cm² で 0.66V の電圧を得ることができたが、これまでの電池に比べて若干低い値となっている。大面積化に伴う面圧の不均一により内部抵抗が大きくなったこと、温度の不均一による電極反応の低下などが原因と考えられ、これらの改善を進めている。図 4. に有効面積 2,500 cm² の大形単電池試験装置を、図 5. に有効面積 900 cm² のリザーバ構造の大形電池積層試験装置を示す。現在、後者の装置を用いてリザーバを備えた電池を積層し、長期連続運転及び始動—停止のサイクル運転に対するリザーバ機能の確認と大形電池の積層化の問題の検討を行っている。

3. 燃料電池発電システム

3.1 システム構成

500 W 級燃料電池発電システムを試作し、発電システムとしての運転特性の測定など基礎実験を行った。今回試作した発電システムの構成を図 6. に、その主要な仕様を表 2. に示す。発電システムは、燃料改質装置、燃料電池、インバータ及び制御装置から構成されており、

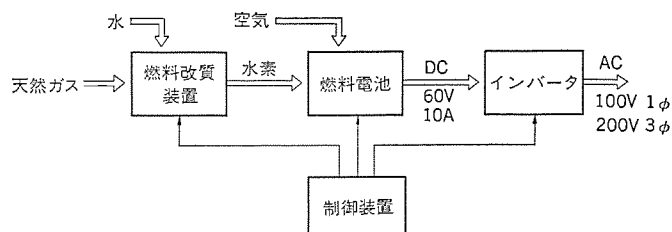


図 6. 500 W 燃料電池発電システムの構成

表 2. 500 W 発電システムの主な仕様

燃料改質装置 プロセス スチーム/カーボン比 改質反応温度 転化反応温度 生成水素量	水蒸気改質 3.5~5 800°C 350°C 1 Nm³/h
電池モジュール 有効電極面積 単電池数 触媒水素極 酸素極 反応温度 定格出力	100 cm² 20×5 セル Pt+Ru Pt 140°C 60 V~10 A
インバータ 方式 起動/停止 出力定格電圧 最大変換容量	自励式 ソフトスタート/ストップ 200 V AC 3相 100 V AC 単相 1 kVA

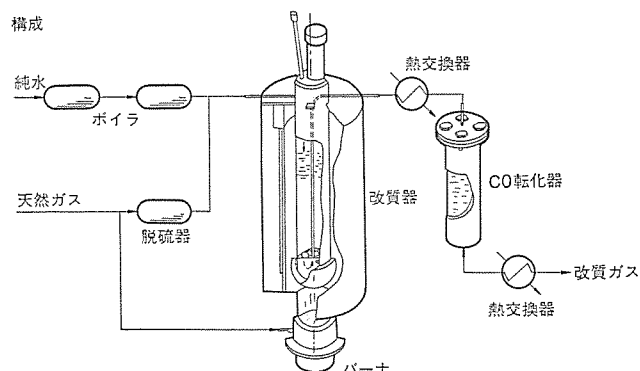


図 7. 燃料改質装置の構成

天然ガスを改質して燃料である水素ガスを製造し、酸化剤として空気中の酸素ガスを使用し、燃料電池の直流出力 600 W、インバータの交流出力 500 W を得るものである。また、制御装置によって、主要な箇所のガス圧力、流量、温度、電流、電圧、電力などの監視及び操作・制御が可能な構成になっている。

3.2 燃料改質装置

燃料改質装置は、天然ガス(主成分 CH₄)を水蒸気と反応させ、水素成分に富むガスに改質する装置であり、混合器、改質器、CO 転化器の 3 つの主要部分から構成されている。その構成を図 7. に示す。

混合器は水蒸気と天然ガスを所定の割合に混合するものである。この装置では、スチーム/カーボン比が 3.5~5 の可変範囲で混合した後、次段の改質器に混合ガスを送る。

改質器は、ニッケル触媒が充てん(填)されており、800°C の反応温度で次の反応を行って、CH₄ を H₂ と CO に分解する。

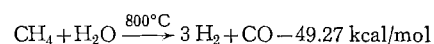
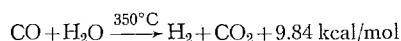


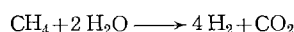
表 3. 燃料改質装置の改質性能

反 応 条 件	メ タ ン 流 量 284 L/h ス チ ーム / カ ー ボ ン 比 5 生 成 ガ ス 流 量 1,410 L/h			
	CH ₄	H ₂	CO	CO ₂
改 質 装 置 入 口	99.0	—	—	0.5
改 質 器 出 口	0	77.2	13.4	9.4
CO 転 化 器 出 口	0	80.0	1.7	18.3

CO 転化器は、酸化鉄触媒によって、350°C の反応温度で次の反応を行い、CO を CO₂ に転化する。



したがって、この装置全体としては、次の改質反応を行って、天然ガスを水素成分に富む混合ガスに改質している。



今回試作した燃料改質装置の改質特性の測定は、燃料ガスとしてメタンガス（純度 99%）を使用して、入口側ガス、改質器出口側ガス、CO 転化器出口側ガスの組成比について、ガスクロマトグラフによって行った。実験ではガス流量、スチーム/カーボン比、圧力、反応温度などの条件を変えて行った。その結果の 1 例を表 3. に示す。CO 転化器出口側ガスの組成は、H₂ 80%、CO 1.7%であり、CH₄ は 100%分解されて出口側ガスからは検出されなかった。また、りん酸形燃料電池の特性から、CO の値は 2% 以下にする必要があり、今回の実験では高温シフトの一段の転化反応のみで達成した。

3.3 電池モジュール

燃料電池は有効電極面積 100 cm² の単電池を 20 個直列に積層してスタック化し、このスタックを 5 個直列に接続して発電ユニットを構成している。この電池モジュールを室温から反応温度まで昇温するのは電気ヒータで行い、動作中の冷却は空冷方式を採用した。

今回試作した電池モジュールのように、多数の単電池を積層して使用する場合、単電池各々の特性が均一であることが必要となる。この電池モジュールにおいては、電極・マトリクス製の製作及びスタック組立作業の各段階における技術の確立を図り、発電ユニット中の単電池全数について、定格電流時の出力電圧のばらつきを ±3% 以内にした。

発電ユニットの出力特性については、燃料として水素又は改質ガス、酸化剤として酸素又は空気を使用して、反応温度 140°C、反応圧力をほぼ大気圧において、電流—電圧特性を測定した。その結果の 1 例を図 8. に示す。この発電システムで通常使用する改質ガスを燃料、空気を酸化剤とする場合、電流 10 A において、電圧 63 V、直流出力 630 W の結果を得た。これは、設計目標値の 10 A—60 V を十分達成した性能である。

3.4 インバータ

インバータ回路は、燃料電池の独立電源や小規模分散形電源への適用を想定して、自励方式を採用している。今回試作したインバータは、入力の直流電圧の定格値が 60 V と低く、最大変換容量も 1 kVA と小さいので、変換素子としてパワートランジスタを用いて回路を構成した。

インバータの主な回路は、燃料電池の電流—電圧の垂下特性を考慮して、チョップ回路とインバータ回路とで構成して、定電圧・定電力制御を行った。また、ソフトスタート/ストップの制御方式とし、独立運転/系統併入運転が可能になっている。

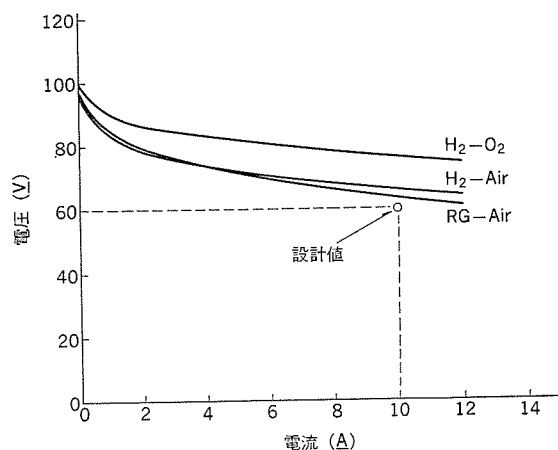


図 8. 500 W 電池モジュールの電流・電圧特性

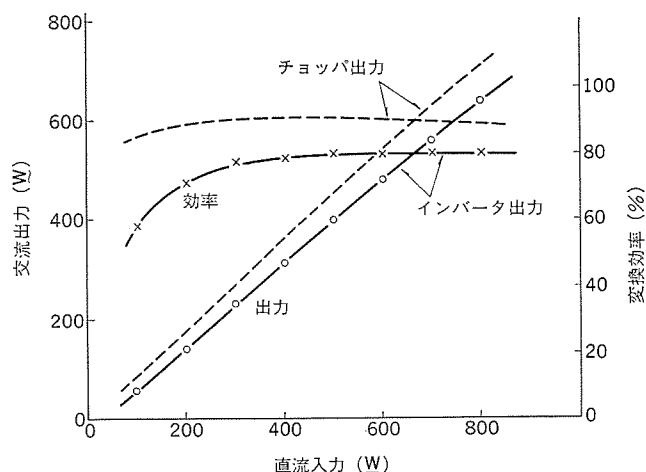


図 9. インバータの変換効率

インバータ回路は 12 相構成であり、今回特別な高調波対策はしていないので、電圧ひずみ(歪)率は 14.7% であった。これは、回路の多相化やフィルタの設置によって、容易に低歪化が可能である。

チョップ回路とインバータ回路の入出力特性を図 9. に示す。インバータ全体の変換効率は、300 W から 700 W までの交流出力範囲内において、78% 以上の高効率を得た。

3.5 システム特性

発電システムの全系統を実施し、起動/停止特性、定常運転特性、過渡特性、熱効率などについて測定した。なお、今回の全系統においては、改質ガス・空気のガス系の制御は手動方式なので、負荷変動時の過渡特性については電気系が主体である。

起動/停止において、燃料改質装置の常温から運転時の定常状態までの所要時間が数時間であり、一方電池モジュールが数十分程度、インバータが数秒程度であり、起動/停止時間はガス系によって決定されている。定常状態に達した後は、燃料改質装置、電池モジュール、インバータの各項目で述べた特性が得られ、負荷応答は早く、かつ安定した特性が確認された。

燃料電池を電源として使用する場合、負荷投入、しゃ(遮)断、変動などにおける過渡特性が重要な一因子となる。試作発電システムにおいて、燃料電池の直流出力端及びインバータの交流出力端にて、それらの過渡応答波形をオシログラフで測定した。その波形の 1 例を図 10. に示す。燃料電池単体では、負荷投入・変動に対しては、1 ミリ秒以下で追従し、負荷の完全遮断に対してのみ 1 秒程度で開放電

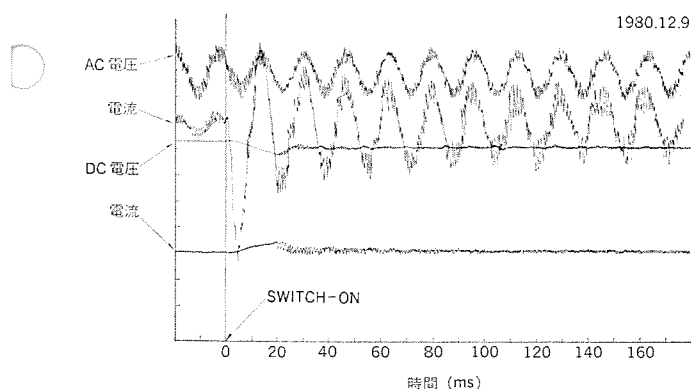


図 10. 発電 システム の応答特性

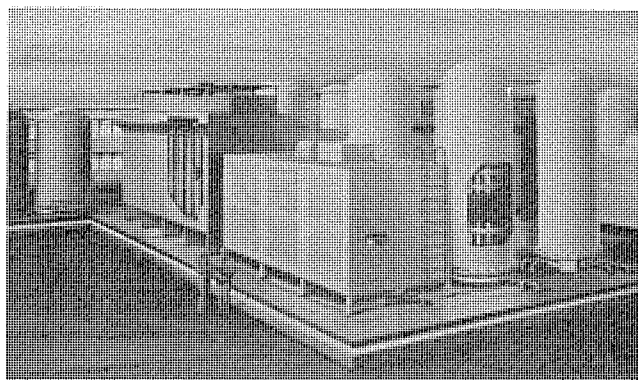


図 11. 10 MW 燃料電池発電所完成予想図

圧に到達した。インバータの交流出力端では、回路の構成から、10 ミリ秒程度の時定数で負荷に応答している。

発電システムとしては、運転特性とともに、熱効率の値が重要な因子である。今回試作した発電システムは、小形実験装置であって熱損失と補機動力が大きく、また最適設計したシステム構成ではないので、熱効率は高くない。例えば、交流出力 500 W の定常運転時において、燃料改質装置 25 %、電池モジュール 42 %、インバータ 81 %であった。

3. 6 商用燃料電池発電システムの概念設計

りん酸形燃料電池は、現在、産業用・民生用の オンサイト 熱併給発電装置や電気事業用の中小分散発電システムが開発の主対象となっている。原料は今後の有力な石油代替エネルギー源である LNG を第 1 候補として、システム検討を行っている。オンサイト 熱併給発電装置として、35 kW 電池モジュール 3 台から成る電気出力 100 kW の熱併給発電システムを考え、改質器バーナの廃熱、プロセスガスの廃熱及び電池の発生熱から、スチーム及び温水の形で熱回収を行っている。インバータの出力は、3 相 AC 220 V、システムの発電効率は、燃料電池本体が 44 %、燃料系、インバータを含め総合発電効率は 33 % であるが、熱利用も含めると総合熱効率は 80 % を越える。

中小分散発電用としては、420 kW モジュール 24 台より成る 10 MW 発電システムの概念設計を行った。このシステムでは、燃料電池本体を压力容器内に設置して、動作圧力を高め、燃料電池の発電効率を

47 % まで向上させる。この燃料電池発電所の完成予想図を図 11. に示した。

4. 今後の開発課題

りん酸形燃料電池発電システムの商用化までには、電池、燃料改質装置、インバータなどの各構成機器の特性向上とシステム構成や制御に関する幾つかの開発課題がある。機器の特性向上に関して、具体的な課題をあげると、電池では、

- (1) 電池の動作温度、動作圧力の上昇による発電効率の向上
- (2) 電極・マトリクスなどの要素材料の研究及び電池構造の改良による電池の長寿命化
- (3) 電極触媒量の低減によるコストダウン

燃料改質装置では、

- (4) 改質温度の低下や廃熱の有効利用による熱効率の向上
- (5) 負荷追従性の向上

などがあり、システムの効率向上と制御の最適化については、

- (6) 電池で消費されない余剰燃料の燃焼への利用などによるシステムの効率向上
 - (7) 電池本体の廃熱や改質ガス及び燃焼廃ガスから有効かつ安定に熱回収できるシステムの開発
 - (8) システムの最適制御による負荷応答性・追従性の向上
- などがある。

5. む す び

りん酸形燃料電池発電システムの開発の現状と今後の見通しについて述べた。500 W 発電システムの試作・運転によってシステム運転特性の基礎データが得られ、これをもとに実用規模の発電システムの発電効率は約 40 %、蒸気・温水利用を考慮すると、総合熱効率は 80 % 以上になることがわかった。このためには電池、燃料改質装置、インバータなどの主要構成要素の規模拡大と特性向上及びシステム制御技術の開発が必要である。電池本体については、電池要素技術の開発により、電池の動作温度を 180°C 以上に上昇させるとともに、燃料及び空気の供給圧力を高めることによって電流密度を増加させることができ、高い出力密度において高効率特性が得られることがわかった。

すなわち、りん酸形燃料電池発電システムの技術開発は、電池本体をはじめ、各要素の高性能化、高信頼度化と、トータルシステムとしての特性・性能の向上という 2 つの中核技術を確立する必要がある。更に、大容量化に際しても工学的な確性試験が必要であり、これらのすべての技術的課題について、今後も引き続き鋭意研究開発を進める。

参 考 文 献

- (1) 電気学会技術報告(Ⅱ部), 38 号, p. 4 (昭 50-10)
- (2) 平田ほか: 電気化学協会第 48 回大会, 講演要旨集, E 107 (昭 56-3)

三菱加圧水型原子力発電所の最近の動向

小倉 成美*・井上 通**

1. ま え が き

世界的な石油供給の不安定と価格高騰情勢下において、エネルギー資源の少ない我が国がエネルギーの安定供給を図っていくためには、石油代替エネルギーの開発利用を進めねばならない。原子力発電はその燃料の発電コストに占める比率が小さいこと、ウランの安定供給が期待できること、燃料の輸送備蓄が容易であることなど、経済的に有利であるばかりではなく、国産エネルギーに準じた供給の安定性を有している。このため、原子力発電は最も有望な石油代替エネルギーとして期待されている。現在我が国の原子力発電は23基、1,567万kWで全発電設備の約12%を占めるに至っているが、更に昭和65年度においては、5,100万kWないし5,300万kW、22.1~22.9%を占めることが目標とされている、この原子力発電の推進のためには、原子力発電の安全運転の実績を積み上げ、信頼性のある原子力発電の

確立を図ることが最も重要なことである。

このため三菱グループにおいても原子力発電所の、か(稼)働率向上、信頼性向上、定期検査合理化、安全性向上、被ばく(曝)低減、運転性能向上を5本柱として広範囲な技術開発・改良を続け、新規建設プラントへの適用はもちろん既設置プラントへの反映を図り、より信頼性の高い加圧水型(PWR)原子力発電所の実現に努めている。

本稿ではこの内、主要な技術開発・改良内容及び活動状況について紹介する。

2. 三菱 PWR 原子力発電所の歴史

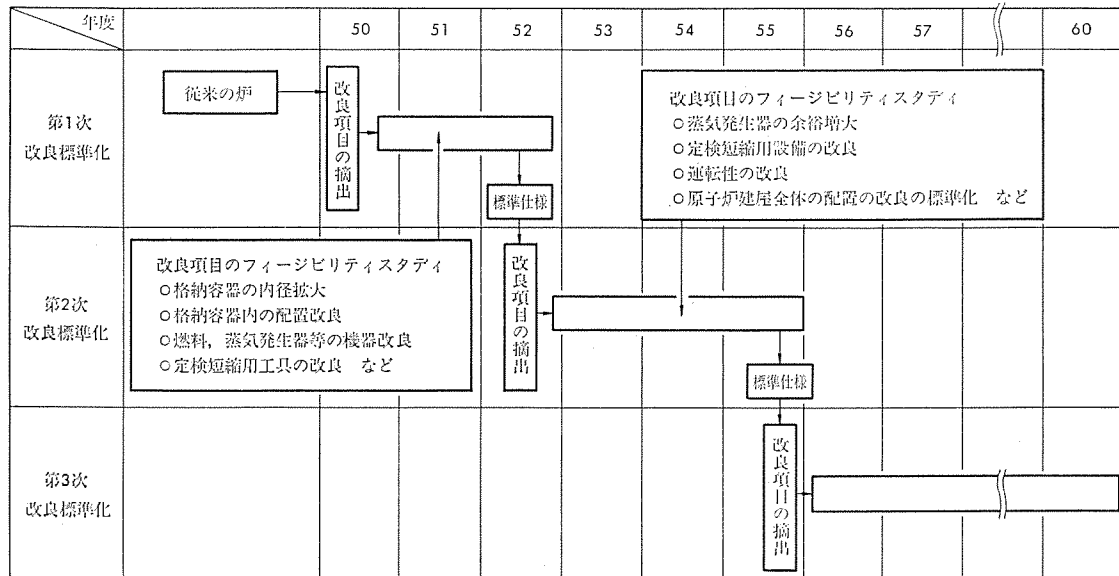
三菱グループが我が国最初のPWR原子力発電所として関西電力(株)美浜発電所1号機の建設に参画して以来、10基のPWR原子力発電所が運転に入っている。この間、原子力蒸気発生設備については、米国ウェスチングハウス社の先進技術をベースに国産技術の確立に努めた

表 1. 三菱 PWR 原子力発電所の建設・運転状況

昭和56年3月30日現在

発電所名	ループ数	定格出力(MWe)	メーカー		基盤検査、運転並びに定期検査 (昭和・年)																積算発電量 10 ⁶ MWh
			1次系	2次系	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	
美浜1号機	2	340	WH	三菱		▶	▶	▶	▶	▽		▽	▽								7.06
美浜2号機	2	500	三菱	三菱			▶	▶	▶	▶		▽		▽		▽	▽	▽	▽		19.09
高浜1号機	3	826	WH	三菱					▶	▶	▶	▶	▶	▽		▽	▽	▽	▽		19.16
玄海1号機	2	559	三菱	三菱						▶	▶	▶	▶	▽		▽	▽	▽	▽		19.81
高浜2号機	3	826	三菱	三菱						▶	▶	▶	▶	▽		▽	▽	▽	▽		22.15
美浜3号機	3	826	三菱	三菱							▶	▶	▶	▶	▽		▽	▽	▽		16.92
伊方1号機	2	566	三菱	三菱								▶	▶	▶	▶	▽	▽	▽	▽		11.47
大飯1号機	4	1,175	WH	三菱			▶ 基盤検査 ▼ 運転				▶	▶	▶	▶	▶	▽	▽	▽	▽		8.81
大飯2号機	4	1,175	WH	三菱			▽ 定期検査				▶	▶	▶	▶	▶	▶	▽	▽	▽		8.84
玄海2号機	2	559	三菱	三菱												▶	▶	▶	▶		
伊方2号機	2	566	三菱	三菱													▶	▶	▶		
川内1号機	3	890	三菱	三菱														▶	▶		
高浜3号機	3	870	三菱	三菱															▶		
高浜4号機	3	870	三菱	三菱																▶	

表 2. PWR 改良標準化計画のスケジュール



結果、現在では、設計段階からすべて国産技術で供給できる体制となっている。一方、タービン・発電機設備については、豊富な火力発電所の経験により美浜発電所1号機以来国産で対応している。表1.に三菱 PWR 原子力発電所の建設・運転状況を示す。これらプラントによる技術蓄積をもとにシステム設計、機器・燃料の設計・製作、プラント運転、並びにアフターサービスまで、一貫してプラント全体に対し、常に最新技術で対応できる体制を確立している。

更に、昭和50年、国の主導により自主技術による軽水炉改良標準化計画が推進されたことに呼応し、

- (1) 点検保守の円滑化及び従業員被曝低減のための改良
- (2) 定期検査の合理化及び期間短縮のための改良
- (3) 信頼性及び稼働率向上のための改良
- (4) システム運用上の運転特性の向上

を目的とした改良方針を策定し、積極的に活動が続けている。この改良標準化計画のスケジュールを表2.に示すが、現在は第2次計画を終了し炉心サイクル寿命長期化、熱効率向上、日間負荷追従運転などに余裕を持って対応できる日本型PWRの実現を主眼とした第3次改良標準化計画を推進中である。なお、これらの改良標準化の成果は、今後のPWR原子力発電所に逐次適用してゆく。

3. 三菱PWR原子力発電所の技術開発・改良

前述のように、三菱PWR原子力発電所は自主技術の開発、改良標準化を経て、既に信頼性の高い原子力発電所としての地位を得ているが、なお一層の向上を目指して下記のような主要目標を定め広範囲な技術開発・改良を推進している。

(1) 信頼性向上策

定期検査から定期検査までの無事故連続運転による高稼働率の達成

(2) 定期検査合理化策

作業手順改善と専用工具、機器の開発改良による合理的定期検査の達成

(3) 安全性向上策

安全設計の強化、高耐度地点向耐震設計の完備

(4) 被曝低減策

作業環境の改善、遠隔自動装置などによる従業員の被曝低減の追求

(5) 運転性能向上策

誤操作防止と運転操作性の改良、並びにプラント運転自由度の向上
これらの目標を追求するにあたり、三菱グループでは特に原子力蒸気発生設備とタービン・発電機設備の協調設計に留意している。

PWR原子力発電所の場合、原子力蒸気発生設備とタービン・発電機設備は、蒸気発生器を介して分離されているが、蒸気発生器のタービン側の水質管理、蒸気発生器給水制御系の安定性向上、原子炉への仮想飛来物対策など、相互の技術的関連性を理解した協調設計が必要であり、原子力蒸気発生設備とタービン・発電機設備との総合的システム設計によって初めて信頼性のある設計が可能であるとの認識によるものである。

3.1 信頼性向上策

信頼性の高い原子力発電所の実現のためには、原子力発電の安全運転の実績を積むことが最も大切であり、このために発電所の稼働率向上、信頼性向上を最重点項目として技術開発に取り組んでいる。原子力発電所の信頼性向上の研究は蒸気発生器、燃料、炉内構造物を始めとする主要機器及び制御設備などのハードウェアを対象とする技術改良並びにプラント配置・配管設計手法等ソフトウェアに関する技術改良を含み総合的な信頼性向上を図っている。

(1) 原子力蒸気発生設備

燃料については、三菱製燃料が優れていることは1次冷却材中の放射能濃度が海外プラントに比べ2けた(桁)以上小さいことから、かねて実証されているところである。しかしながら、ウラン資源の有効利用の観点から装荷燃料の燃焼期間を延長する長期サイクル運転が将来必要となることを予想して、燃料サイクル評価や、高燃焼燃料の家証試験などの研究を海外の研究機関と共に実施している。

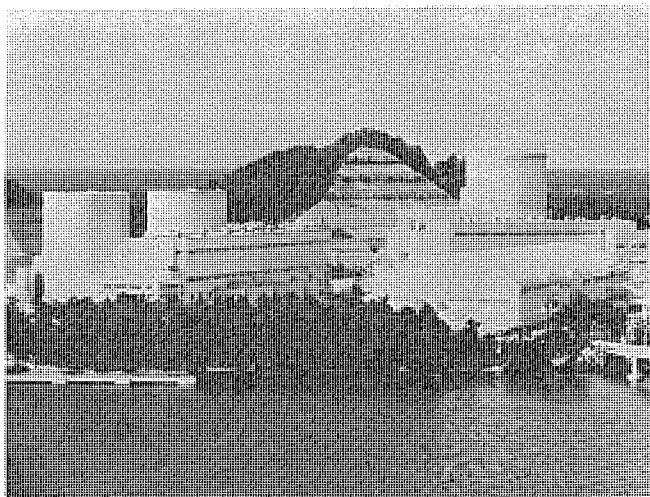
一方、蒸気発生器、ポンプなどの重量機器については、不具合発生頻度は極く低いものの一旦不具合が発生すると、プラント停止期間が長く、プラント稼働率に与える影響が大きいところから、重点的に蒸気発生器の伝熱管材質の改良、管支持板の材質の改良及び設計改善、並びにポンプケーシング及びロータ等主要部の厚肉化による強度改善等の対策を実施している。

(2) タービン・発電機設備

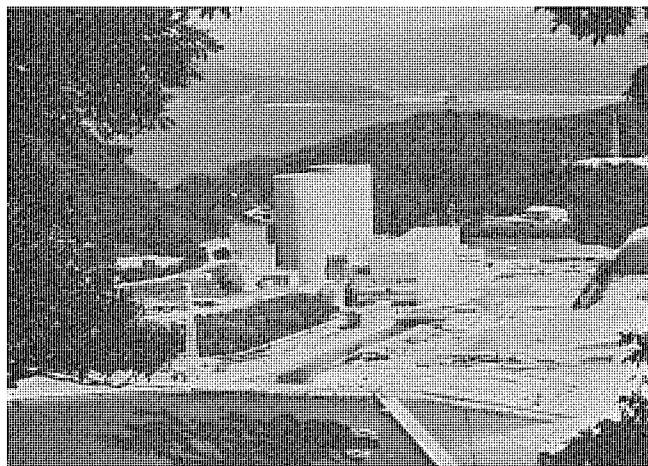
タービン・発電機設備については、火力発電所での豊富な経験や国内

PWR 原子力発電所をすべて国産で対応してきた技術蓄積により、既に十分信頼性の高い設備となっているが、設備の一層の耐力向上を目的として、低圧タービン焼ばめディスクと車軸とを一体とした一体形ロータの採用や低圧タービン長翼の強化を図っている。同時に、系統安定化のための高速再閉路を考慮したタービン・発電機軸系の設計に関する技術開発を完了し、新規設置プラントへの適用を図っている。給水の水質改善は復水器の健全性向上の各種対策、溶存酸素除去対策としての脱気器の設置、並びに運転中の系統浄化装置として

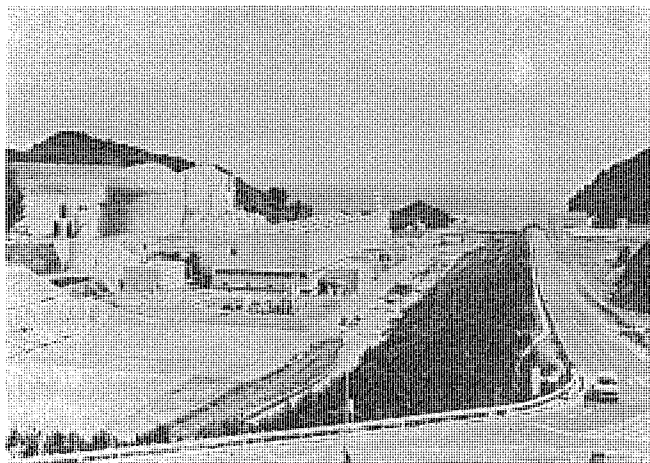
の復水脱塩装置の効率的運用により達成し、蒸気発生器の健全性維持に大きく寄与している。このため我が国では諸外国にて発生している蒸気発生器伝熱管支持部にへこみを起こすデント現象、並びに低圧タービンロータの応力腐食割れなどの現象は見られない。更に、より高度な水質維持のため、ALAP (As Low As Practicable) の思想を取入れ努力中である。発電機については、発電機軸受オイルリフト装置を設置し低速回転時のメタルの保護を行うとともに、負荷変化による振動変化の防止を図るなどの信頼性向上策を行っている。



(a) 関西電力(株)美浜発電所



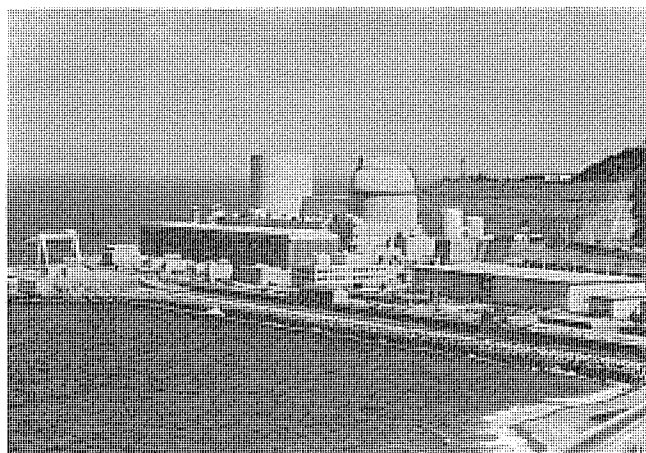
(b) 関西電力(株)高浜発電所



(c) 関西電力(株)大飯発電所



(d) 九州電力(株)玄海原子力発電所



(e) 四国電力(株)伊方発電所

図 1. 三菱 PWR 原子力発電所の建設・運転状況

(3) 制御設備

制御設備については、不具合発生時のプラント停止時間は短く、発電所の稼働率に与える影響は少ないものの、使用部品数が膨大なためプラント停止原因の上位を占めている。このためシステムの多重化により信頼性と稼働率の向上を図っている。PWRの原子炉制御保護系は、多重系で構成し、プラント運転中にその健全性を調べる事が可能なシステムとして設計されているが、更に自己診断機能を持つとともに、1系統故障時でも残り3系統で信頼性のある制御保護機能を発揮し、かつ、プラント運転中に故障系統の修理可能なシステムを開発している。また、タービンプラントの制御装置についても、電気式タービンガバナや自動電圧調整装置(AVR)などの重要制御系について、故障検出回路、多重化されたバックアップ回路への切換え、運転中補修可能な機能などを備えた制御系の開発を完了した。更に、タービン駆動給水ポンプ制御装置及び湿分分離加熱制御装置のデジタル化を行い柔軟な制御性能とバックアップ機能を備えることにより信頼性向上を実現した。

(4) 設計手法

設計作業の信頼性向上という観点から、特に配置・配管設計では、エンジニアリングモデルと電算機を利用した対話形設計システムを開発導入し、視覚的効果を取り入れた安全性向上、定検作業合理化、被曝低減などの観点からの総合的検討と、電算機による適正ルート検討、機器配管相互の干渉チェック、応力評価、自動作図などを実現し、現地工程短縮と設計の品質向上を推進している。製作したモデルは、発電所運転開始後には保守計画の立案、運転員・保守員の教育訓練用としても有効に活用できる。

3.2 定期検査の合理化策

発電所の解体後併入までの定期検査は、現状では長い場合数か月を要しているが、これを検査作業の効率化、検査工具改善による作業の迅速化、クレーン等プラント各種サービス設備の増強による作業時間の短縮等多方面から改善し、検査期間の短縮を図ることは、発電所の稼働率の向上並びに放射線被曝低減の改善に有効である。このため定期検査工程上主要な部分を占め、クリティカルパスの1つとなり得る燃料交換作業と蒸気発生器伝熱管検査作業を並行して実施するため、原子炉キャビティ側と蒸気発生器水室内を隔離する蒸気発生器水室用ノズル蓋の設置や蒸気発生器伝熱管検査作業を遠隔操作で行うマニピュレータを開発し、既に定期検査に採用し目的を達している。また、検査時の原子力容器蓋の開放及び復旧作業の効率化のため、ふた(蓋)及びその上部構造物を一体化した原子炉容器の開発、並びに、燃料交換作業の効率化のための燃料マニピュレータクレーンの改良開発などを進めている。

3.3 安全性向上策

安全性向上策としては、原子力発電所の安全性を解析評価するための解析手法に関する開発と設備面での改善を合わせて実施している。解析手法については、火災発生を想定した場合の発電所の安全性を評価する火災解析手順の確立と新耐震設計手法の開発が主な項目である。最近ではサイトの確保が困難になり、高震度地点も対象とせざるを得ないため、500 gal 地点でも設計できるよう新耐震設計手法を開発した。また、設備改善としては、原子炉格納容器の板厚を厚くすることによって設計圧力を高くし、格納容器の高さを低くして耐震性を増強したことが挙げられる。更に環境への放出放射能を減らすために、放射性廃棄物処理設備などを改良した。

3.4 被曝低減策

PWR原子力発電所は蒸気発生器を介して原子力蒸気発生設備とタービン・発電機設備が分離しているため、放射能を含む1次冷却材に触れる機器・配管の範囲が狭く、放射性廃棄物も比較的少ないため被曝量も少ない原子力発電所であるが、定期検査時原子炉格納容器内の機器の点検作業を容易にして一層の被曝低減を図るため、作業環境の改善、点検工具の開発改良、設備の改善並びに、補修箇所の減少などを進めている。例えば、原子炉圧力容器蓋一体化により開放及び復旧作業工数を削減し被曝低減に寄与し得る見通しであるが、その他1次冷却材ポンプ取扱い用ジブクレーンの設置による作業改善やスラッジランシング装置の遠隔自動化など工具の改良により、現実的な被曝低減策を推進している。

3.5 運転性能向上策

(1) 運転操作性向上策

原子力発電所のユニット容量の増大、各種システムの大規模化高度化につれて、中央制御盤の監視、操作性がますます重視されており、PWR原子力発電所の第2次改良標準化でも運転操作性の改良を図ってきた。その間、米国スリーマイル島発電所事故の原因究明が進むにつれ、発電所の運転操作性、特にマンマシンインタフェースの向上が強く求められるようになった。このため、発電所を総合的に監視するとともに、マンマシンインタフェースの改善を目指した新型中央制御盤の開発を更に強力に推進することとした。この新しいタイプの中央制御盤では、高信頼性・高性能計算機システムを採用し、カラーブラウン管による情報の整理、集約化を行うとともに、パネル及びパネル取付器具を人間工学に基づく配置とし、運転員の発電所全体に関する状況は(把握)を助け、運転操作性の向上を図っている。更に異常な状態が発生した場合に運転員が容易にプラントの状況を認識すると同時に適切な対応措置がとれるよう、また日常の運転管理では運転員の負担を軽減するよう、操作ガイダンスを行うインストラクションシステムの開発を進めている。

(2) プラント運転自由度向上策

PWR原子力発電所は元来固有の優れた負荷追従運転性能を持っており、日間負荷追従運転が可能であるが、更に制御棒の作動のみで容易に即時高出力への復帰が可能な制御システムを開発したことにより急激な電力負荷変動にも即応できるプラントとなっている。

また、従来から50%の外部負荷の急減に対して発電所をトリップすることなく運転を継続できる設計としているが、更に運転上及び安全上の裕度を増すために全出力運転時に系統から解列された場合でもプラントをトリップせずに所内単独負荷運転に移行することが可能である設計としている。更に自動周波数応答運転(AFC)も可能なプラントも開発している。

4. む す び

以上、三菱PWR原子力発電所の現状と技術開発・改良の動向について紹介した。現在の軽水炉発電所の運転性能及び運転の信頼性を更に改善するよう技術開発を続けることが取りも直さず次世代の原子力発電としての高速炉、核融合の技術進歩に直結するものであること、またこのような技術進歩によってのみ日本のエネルギー問題が解決し得るものであることを認識して、今後も一層の努力を傾注する所存である。

三菱複合サイクル発電プラントの最近の動向

玉井 幸久*・森 義孝*・岩田 清光*・井上 通**・久保 博和**

1. ま え が き

近年石油エネルギーへの依存度の見直しを迫られている我が国では、エネルギー資源の多様活用化、新エネルギーの開発と共に省エネルギー化が重要かつ緊急課題として取上げられている。多量のエネルギー資源を取扱う火力発電プラントに対しても、プラントの高熱効率化、石炭、LNG、LPGなど多種多様な燃料への転換、無公害化などの一連の諸対策の早期実現の重要性が認識され、各種新発電方式の提案、評価検討、技術研究開発が進められている。

このような情勢の中で、在来形火力発電プラントの熱効率を上回り、中間負荷火力としても運用特性の優れたガスタービンと蒸気タービンを組合わせる、いわゆる“複合サイクル発電”プラントが注目されている。

この論文では、ガスタービンと蒸気タービンをとを組合わせて得られる複合サイクル発電として、三菱パッケージコンバインドプラント MPCP (Mitsubishi Packaged Combined Plant) の概要を紹介するとともに、電気系統、運転制御システムについてその特長の一端を述べたい。

2. 複合サイクル発電の変遷

ガスタービンと蒸気タービンを組合わせ、効率向上を図るいわゆる“複合サイクル発電”はガスタービンの技術進歩とともに各種の方式が試みられてきた。

ガス・蒸気複合方式の実用化への試みは、まずガスタービンの排ガスで蒸気タービンプラントの給水を加熱する簡単な給水加熱サイクル方式で着手された。その後、ガスタービンの排ガスの有する熱を利用するとともに、排ガス中の残存酸素をボイラ燃料の燃焼に利用する排気再燃サイクル方式へと移行した。

日本においては1968年に自家用の32,900 kWプラント（丸住製紙（株）川之江工場）、1970年に事業用の225,000 kWプラント（四国電力（株）坂田発電所）がいずれも三菱グループの排気再燃サイクルを採用して運転を開始し、今日まで10余年に及ぶ運転実績を経ている。

続いて1970年代に入りアメリカでは、ガス温度1,000°C級のガスタービンの出現によって排気再燃サイクル方式から排熱回収サイクル方式へ移行し、本格的な実用初号機としては1973年運転開始のPublic Service of Oklahoma社のComanche発電所の240,000 kWプラント（ウェスチングハウス社（以下WH社）納入のPACE 260）が挙げられる。

複合サイクル発電の性能は、ガスタービン性能に負うところが大きい。最近のガスタービンの高温・高圧化による性能向上により、排熱回収サイクルでは、その熱効率向上は極めて顕著となっており、在来形火力発電を上回る優れたプラント熱効率が得られるようになった。

更に将来高温ガスタービンの開発が進み、ガス温度1,500°C級のガスタービンが出現すれば、50%を超える高プラント熱効率が期待できる。また、排熱回収サイクル複合発電プラントは、短工期、運用のフレキシビリティ性などの特長があり、今後の斯界の期待に十分こたえられるシステムと考えられる。

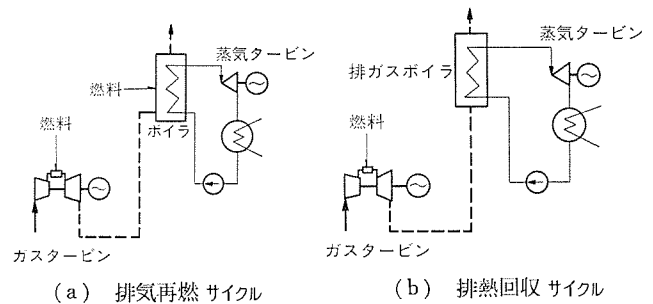


図 1. 代表的なコンバインドサイクル

以下複合サイクルプラントの基本的な変遷について述べる。図1.は代表的なコンバインドサイクルの系統である。

(1) 排気再燃サイクル

WH社系のガスタービンは、比較的早くから大容量化へ進んでおり、1961年には容量30 MW、発電機直結の301形が運転を開始しているが、今日のレベルと比べれば中容量であり、またタービン入口温度も850°Cを超えないものであった。したがって、ガスタービンの範ちゅうとしては、中容量、無冷却の時代と区分できよう。

この時代における複合プラントとしては、ガスタービンの排ガスを高圧高温の蒸気タービンサイクルのボイラ燃焼に利用する排気再燃サイクルが最も経済的であった。

(2) 排熱回収サイクル（その1）単圧タービンプラントPACE

1971年にWH社系のガスタービンは当時世界最大級の50 MW容量機が出現した。1973年にはタービン部の冷却機能を強化することにより、タービン入口温度は約1,000°C、タービン排ガス温度も500°Cに達するようになり、この熱量を利用して比較的低温・低圧の蒸気タービンで発電する排熱回収サイクルの有利性が発揮できるようになってきた。このサイクルにおいてはガスタービン出力が全出力の約70%を占めており、ガスタービン単独では熱効率約30%のものがその排ガスによって蒸気タービン発電を行うことによりプラント効率は最高効率の火力発電に匹敵する値となる。ガスタービンの排ガスタクトには助燃装置があって排ガス温度を高め、排ガスボイラの蒸気発生量の増加を図り、蒸気タービン出力の増分によってプラント出力に柔軟性を与えている。

(3) 排熱回収サイクル（その2）混圧タービンプラントMPCP

我が国では燃料転換政策の一環として、LNG、LPGのようなクリーン燃料がとりあげられるようになり、この効率的使用と同時にベース負荷用であり、かつ中間負荷の運用にも耐える発電方式への必要性は一層高くなっている。このようなニーズに直接対応できるように計画されたものがMPCPであり、高効率化をめざしガスタービンの高温化に伴い排ガスボイラへの助燃をやめ、蒸気タービンは混圧タービンとしている。

MPCPは現在建設されている火力発電と同じく立地条件に適した計画上のフレキシビリティを増し、かつその効率は火力発電の場合より数%高いところをねらったものである。詳細については後章にお

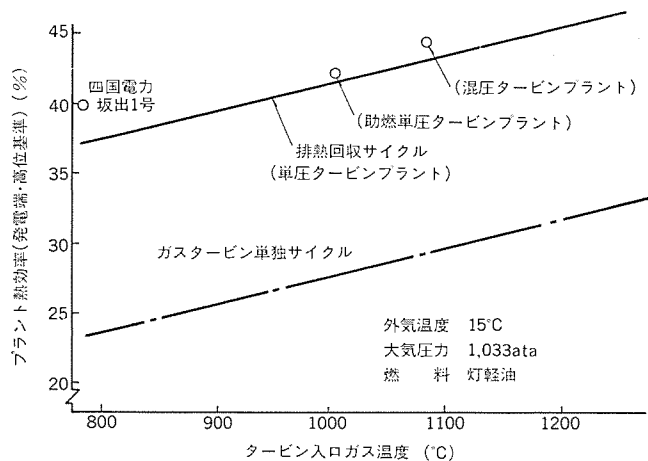


図 2. ガスタービンのガス温度とプラント熱効率の傾向

いて紹介したい。

(4) ガスタービン入口ガス温度とプラント熱効率の変遷

複合プラントにおいては、プラントの熱効率の向上はその熱サイクル上ガスタービン入口ガス温度によって大きく左右される。これらの傾向をまとめたものが図 2. であって、ガスタービン入口ガス温度に対応して採用された各種のプラント形式の変遷がうかがわれる。

3. 三菱パッケージコンバインドプラント MPCP

3.1 MPCP の特長

三菱パッケージコンバインドプラント MPCP は最新の大容量ガスタービン MW-501D 形 (60 Hz 用)、MW-701D 形 (50 Hz 用) を使用する排熱回収方式の複合サイクル発電プラントである。ガスタービン単独では熱効率は 30% 程度であるが、複合サイクル発電プラントとしては 42~43% の総合熱効率を発揮し、最新鋭超臨界圧火力発電プラントの熱効率を相対的に 6~8% 上回っている。燃料転換政策として LNG、LPG のようなガス燃料が取上げられているが、MPCP は高価なクリーン燃料の導入に対し格好の最新省エネルギー形発電プラントと言える。

ガスタービンと簡素な蒸気サイクルを組合わせた MPCP は在来形火力発電に比し、次のとおり多くの特長をもっている。

(1) 現有ガスタービンとの組合わせで、最新鋭在来形火力発電を上回るプラント熱効率を得られ、所内率は約 1.2% で在来火力に比して少ない。ガスタービンの高性能化に伴い、更に性能の向上が確保され省エネルギー発電設備として囑望されている。

(2) 通常起動 (daily start) では約 60 分で定格出力が確保でき、夜間停止の必要なモデル負荷用として適している。

(3) プラント自動化により、1 直 1~2 名の運転員でプラントの起動・停止運用ができる。

(4) 最低負荷を 15% 以下と低くとことができ、またガスタービンの運転台数を順次切換えることにより部分負荷時においても定格負荷運転時とほとんど変わらない熱効率を得ることができる。

(5) 標準化されたコンポーネントを組合わせるため信頼性に優れ、また製作期間が短縮される。

(6) 軽油、灯油、ナフサあるいは LNG、LPG などのクリーン燃料の使用により、SOx 及びばいじんの排出量を少なくできる。また、低 NOx 形ガスタービン燃焼器の採用と乾式脱硝装置との併用、更に

表 1. 三菱コンバインドプラント (MPCP) 標準シリーズ

60 Hz 用 (ガスタービン形式: MW-501D 形)

名 称	プラント出力 (MW)	ガスタービン台数	蒸気タービン台数
MPCP 1 (501D)	147	1	1
MPCP 2 (501D)	296	2	1
MPCP 3 (501D)	444	3	1
MPCP 4 (501D)	594	4	1

50 Hz 用 (ガスタービン形式: MW-701D 形)

名 称	プラント出力 (MW)	ガスタービン台数	蒸気タービン台数
MPCP 1 (701D)	182	1	1
MPCP 2 (701D)	367	2	1
MPCP 3 (701D)	550	3	1
MPCP 4 (701D)	736	4	1

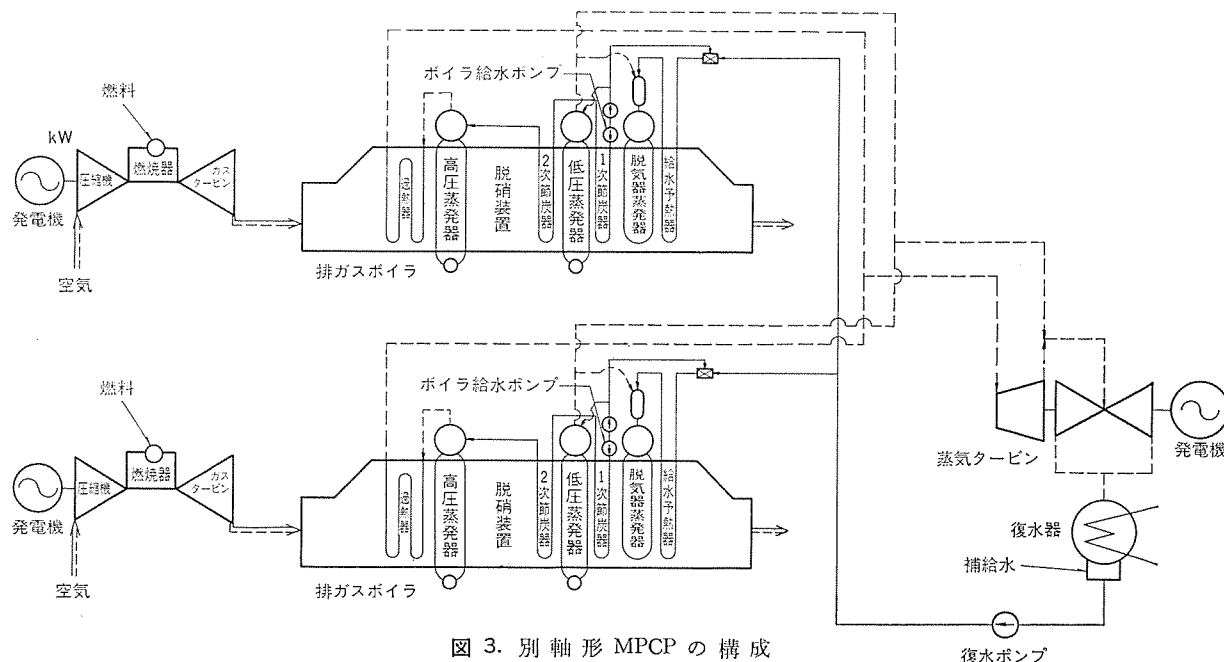


図 3. 別軸形 MPCP の構成

は燃焼器への蒸気噴射を行うことによって NOx の排出量を効果的に減少させることができる。

(7) 温排水の少ないガスタービンの出力がプラント出力の約 70% を占めるため、在来形火力発電に比し温排水が大幅に減少する。

3.2 MPCP の標準形式とプラント構成

(1) 標準形式

表 1. に 60 Hz 用及び 50 Hz 用の MPCP の標準形式と出力を示す。ガスタービンの構成台数により、プラント出力は約 140 MW から約 700 MW と広く選択できるが、各プラント形式の特性及び性能は基本的には同一である。MW-501 D 形あるいは MW-701 D 形ガスタービンを使用する MPCP では、プラント熱効率高位発熱量基準で 42~43%、低位発熱量基準で 46~47% (大気温度 15°C、ガスタービンベース定格、ガス燃料、発電機端) となっている。

(2) プラント構成

図 3. 及び図 4. に MPCP の構成を、図 5. に MPCP の機器配置例を示す。

排熱回収方式複合サイクル発電プラントは複数台のガスタービン、それ

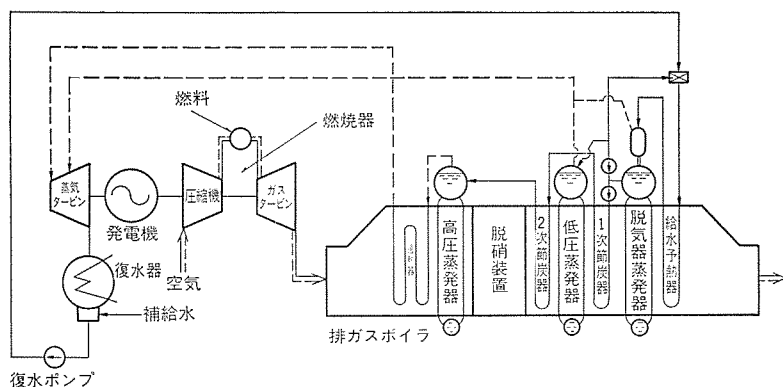


図 4. 同軸形 MPCP の構成

ぞれのガスタービンに対応する排ガスボイラ及び 1 台の蒸気タービンによる構成 (別軸形…図 3.) と、ガスタービンと蒸気タービンを共用の発電機を介して同軸に連結する構成を必要系列設置する構成 (同軸形…図 4.) の 2 方式が考えられる。

前者を MPCP 2 以上の MPCP X (ただし X はガスタービンの台数に相当する数) と称し、後者を MPCP 1 と称している。

図 5. は MPCP 1 の機器配置の 1 例を示すもので、左端は電動機駆動のユニット起動装置である。ユニット起動時、十分な蒸気を得られる場合には、蒸気タービンを起動に使用することもできる。

プラント容量の選定に際しては、ガスタービンの定格出力に見合った複合サイクルの標準出力によるとプラント効率上有利である。これらの主要機器の諸元のうち、60 Hz 用のものを表 2. に示した。

4. MPCP の電気系統

4.1 発電主回路

複合サイクル発電プラントは比較的中容量の発電機が複数台で構成されることが多く、したがって主回路系統は在来形火力発電プラントの場合と趣を異にするところが多い。発電主回路の系統構成の考え方を 2, 3 のケースについて比較検討したので、MPCP 3 (プラント出力 400~500 MW) を 1 例として紹介する。

(1) 単機昇圧方式

表 3. のケース I に示すもので、従来のユニット式と同様各発電機電圧をそれぞれの昇圧変圧器 (主変) を経由送電電圧に昇圧したあと、並列するケースである。この場合主変以前の主回路事故では他機への波及が最も少なく、またプラント運用面でも簡素化となるなどの特長を有するが、一方プラント総出力が大きい場合変圧器台数が多くなり、機器配置、騒音対策などの点で不利となる。ま

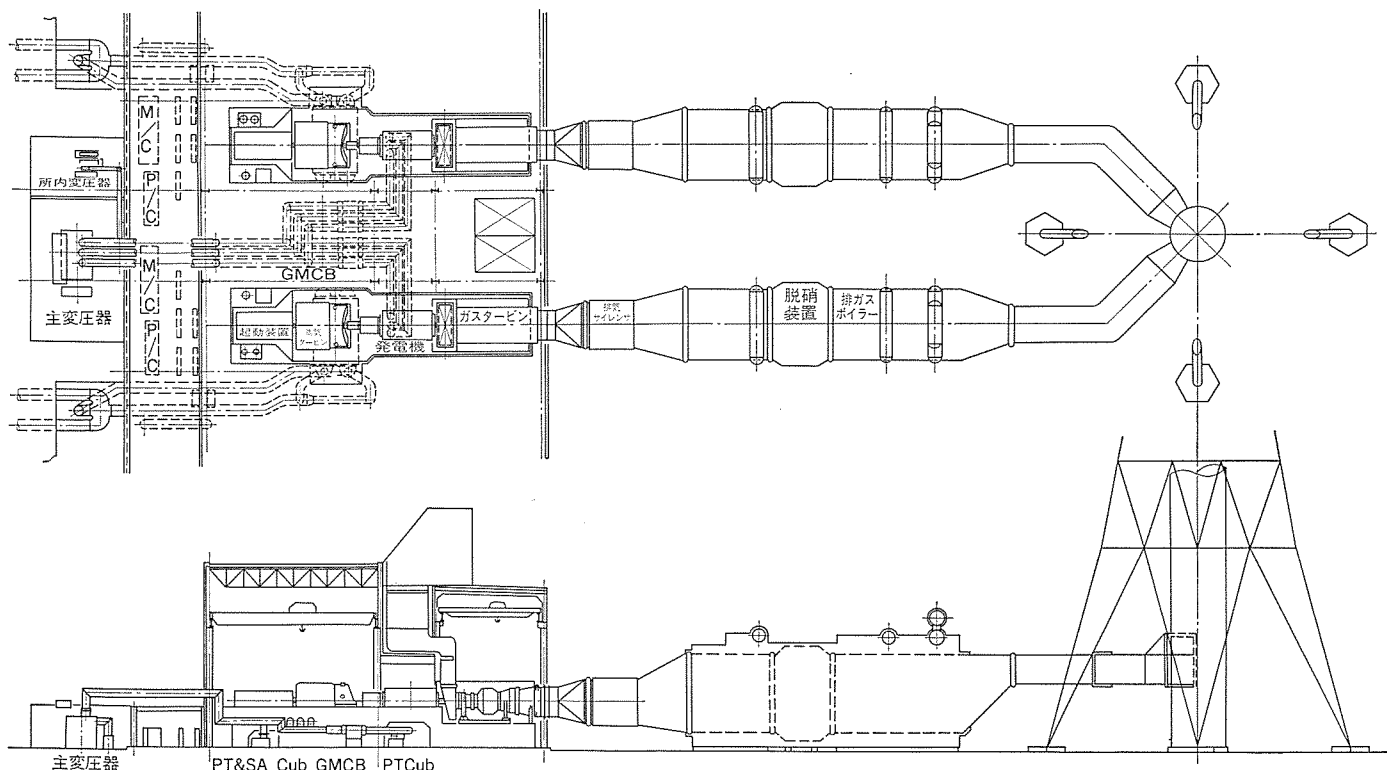


図 5. MPCP 機器配置例

た、特高開閉所の位置によっては OF ケーブルが多くなり、主変、特高しゃ断器の台数などを加えると経済性が良くない場合もあり得る。

(2) 3 巻線主変方式 (その 1)

表 3. のケース II に示すもので、発電機主変間に発電主回路しゃ断

器(GMCB)を設け、ケース I の主変 2 台を 3 巻線変圧器 1 台にまとめた方式である。

当社は発電主回路に最適の定格電流とししゃ断容量をもつ GMCB を持っているため、GMCB を使用すれば各発電機系列の事故の場

表 2. 三菱コンバインドプラント主要仕様 (60 Hz)

プラント形式	MPCP 1 (501 D) 同軸形	MPCP 2 (501 D) 別軸形	MPCP 3 (501 D) 別軸形
ガスタービン			
形式	開放単純サイクル式 MW-501 D 形	開放単純サイクル式 MW-501 D 形	開放単純サイクル式 MW-501 D 形
数量	1 基	2 基	3 基
出力	98 MW	98 MW	98 MW
燃焼器出口ガス温度	1,154 °C	1,154 °C	1,154 °C
タービン出口ガス温度	526 °C	526 °C	526 °C
発電機			
形式	水素冷却発電機	水素冷却発電機	水素冷却発電機
数量	1 基	1 基	1 基
容量	164 MVA	109 MVA	109 MVA
排熱回収交換器			
形式	複圧排熱回収式 (助燃なし)	複圧排熱回収式 (助燃なし)	複圧排熱回収式 (助燃なし)
数量	1 基	2 基	3 基
蒸気条件 (タービン入口)	(高圧) 60 kg/cm ² g×500 °C (低圧) 4.5 kg/cm ² g×177 °C	(高圧) 60 kg/cm ² g×500 °C (低圧) 4.5 kg/cm ² g×177 °C	(高圧) 60 kg/cm ² g×500 °C (低圧) 4.5 kg/cm ² g×177 °C
蒸発量	(高圧) 145.2 ton/h (低圧) 40.7 ton/h	(高圧) 145.2 ton/h (低圧) 40.7 ton/h	(高圧) 145.2 ton/h (低圧) 40.7 ton/h
排ガス温度	110 °C	110 °C	110 °C
蒸気タービン			
形式	混圧式 SC1 F-25	混圧式 TC2 F-28.5	混圧式 TC2 F-31
数量	1 基	1 基	1 基
出力	49 MW	100 MW	150 MW
復水器真空度	722 mmHg	722 mmHg	722 mmHg
発電機			
形式	ガスタービンと共用	水素冷却発電機	水素冷却発電機
数量		1 基	1 基
容量		112 MVA	167 MVA

備考 上記性能数値は外気温度 15°C、ガスタービンベース定格運転時を示す。

表 3. 発電主回路系統の比較

	ケース I	ケース II	ケース III
単線図 (MPC3の1ユニット分)			
特長	1. 主回路事故での他機への波及が最も少ない 2. GMCBが不要。	1. GMCBをしゃ断器として使用可能であり、各発電機～GMCB間事故の場合には当該発電機をしゃ断し、他機は運転継続可能。 2. GMCB～変圧器間事故でも健全側変圧器接続の発電機は運転継続可能。 3. 配置、騒音対策上「I 案」よりも有利。	1. 変圧器台数が最も少なく、配置、騒音対策上最も有利。 2. 経済性は I 案よりも期待できる。
問題点	1. 変圧器台数が多いため配置、騒音対策上不利となる。 2. 経済性は良いとは言えない。 (変圧器台数、特高しゃ断器台数、OFケーブル) 3. 所内回路構成は簡素でない。 4. 別に起動電源 (変圧器) が必要 起動電源が取れない場合はGMCBが各機ごとに必要となる。	1. III案に比して主変～特高開閉所間設備は2倍となる。	1. S/T用とG/T用発電機の端子電圧を揃える必要がある。 2. 所変及び主変～GMCB間事故でユニットが停止となる。 3. GMCBをしゃ断器でなく負荷開閉器としてしか使用できないケースがある。

注 GMCB：発電主回路用しゃ断器
S/T：蒸気タービン用発電機
G/T：ガスタービン用発電機

合には当該発電機をしゃ断し、他機は運転継続が可能である。また配置、騒音対策上でもケースⅠよりも有利である。

(3) 3巻線主変方式(その2)

前項のケースⅡにおける主変2台を1台にしたもので、表3.のケースⅢに示すものである。これは主変低圧巻線の1つに2台の発電機を接続するもので、変圧器台数が最も少なく配置、騒音対策上最も有利である。また、特高機器、ケーブルの数量の点からも経済性は期待できる。しかし、S/T用発電機とG/T用発電機は同一端子電圧とする必要があり、それらの容量差が大きい場合には発電機的设计上考慮を要する必要がある。また、保護方式を検討する際、各ユニットの発電機回路の選択地絡検出には零相過電圧方式ではなく、地絡電流方向検出方式を用いる必要がある。

(4) 中間電圧方式

この方式は各発電機それぞれに主変を設け、発電機電圧を中間的な電圧(66kV, 77kV, 又は110kV, 154kVなど)に昇圧したあと並列し、更に275kV又は500kVなどの特高、超高压に昇圧するための連系変圧器をおく方式である。これは送電線回線数、開閉所の母線構成、送電線電圧などにより連系変圧器の台数、巻線数が決めるため、前述のケースⅠ～Ⅲに示す直接昇圧方式との経済比較は一概に論じられない。一方発電機電圧から500kVに直接昇圧する3巻線変圧器を設けることは技術的には十分可能である。当社では原子力発電所の起動変圧器などで数多くの実績を有していることから、特に中間電圧を採用する必然性も少ないことが多い。

4.2 所内主回路

所内主回路の構成は、複合サイクル発電プラントが、

- (1) ガスタービンと蒸気タービンが同軸形か別軸形か
- (2) 何台の発電ユニットによって構成されるか

によって大きく影響される。すなわち、前者は運用性に、後者は経済性に著しく影響するためである。上記2点に次いで複合サイクル発電プラントの定期点検の計画が重要な決定要因となる。在来形大容量火力発電プラントでは定期的に関連機器をすべて同時に停止して点検することが可能であるので、所内主回路構成は母線構成上も、実機配置上についても集中させる傾向が強い。一方、複合サイクル発電プラントでは、蒸気タービン発電機の定検(2年ごと)が行われない年にはガスタービン発電機を順次定期点検することとして、全発電設備の同時点検は行わないので、母線構成並びに配置は経済的に不利にならぬ範囲で分散させる必要が生じる。以上より所内回路の構成を計画する上では何台の発電ユニットをまとめて1複合サイクル発電プラントと見るかが重要なかぎ(鍵)となる。

運用性・保守性・経済性の外に在来形火力発電プラントと同様に、所内電源の信頼性、プラント機器配置との適応性などを考慮して所内主回路の構成が決定される。MPCP2を1単位とする複合サイクル発電プラントの所内主回路の1例を図6.に示す。発電主回路用しゃ断器(GMCR)を採用して起動変圧器回路を設けていないが、ユニットメタラ(M/C)・ユニットパワーセンター(P/C)にはバックアップ電源を確保し、所内変圧器(HTr)・所内動力変圧器(PTr)の事故時にも複合サイクル発電プラントを安全に停止させ、かつ修復前でもプラントの運転を可能にすることが望ましい。バックアップ電源には他のMPCP2のユニット電源・隣接する既設発電プラントの所内電源などが使用される。低圧所内回路のうち共通コントロールセンター(C/C)・照明用電源分電盤(D/P)等定期点検でユニットパワーセンターの母線を停止しているときにも使用したい回路は他ユニットよりも電源の供給を受ける2電源方式

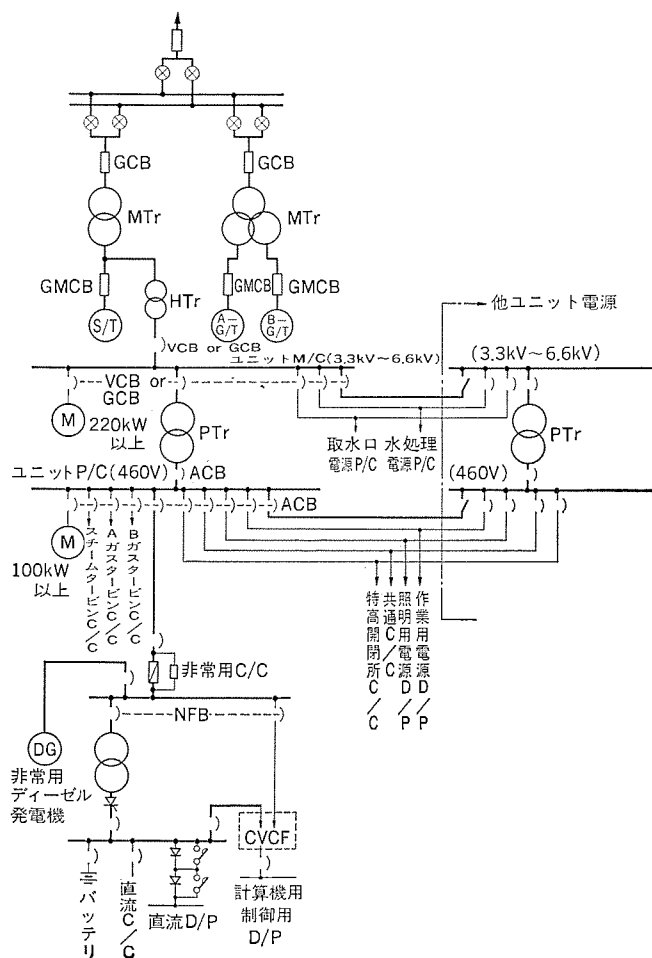


図6. MPCP2 所内主回路構成例

とするなどの配慮が必要となる。

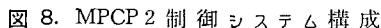
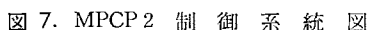
5. MPCPの運転制御システム

図7.にMPCP2の場合の主要な制御系統図を、図8.にMPCP2の場合の制御システムの構成について基本的な考え方を示す。

MPCPの運転制御システムは、全負荷・部分負荷にあっても高熱効率運転ができること、負荷の追従性が良いこと、起動時間が短く起動・停止のひんぱんなモドル運転にも適していることなどの複合サイクル発電プラントの特長を十分に生かすことを基本としている。

MPCPが備えている複合サイクル発電プラントの制御として特長づけられる機能の要点は次のとおりである。

- (1) ガスタービン空気圧縮機の入口案内翼(IGV)制御を組入れ、部分負荷性能の向上を図っている。
- (2) 排ガスボイラには過熱器バイパス制御を採用して部分負荷運転時の蒸気温度制御を行い、また節炭器再循環制御を設け、いかなる運転状態においても節炭器内で蒸発が起こらないように配慮している。
- (3) 蒸気系にはタービンバイパス制御を設けているので、起動時のメタルマッチングあるいはガスタービン運転台数切換え時の蒸気温度変化を最少とすることができる。MPCPはシステム自体が在来形火力発電プラントに比較して簡素化されている上、各種制御装置と計算機を組合せた給排監視制御方式を採用した自動化システムによるプラントの起動準備過程から規定負荷に至るまでの起動、並びに通常負荷運転中におけるガスタービンの運転台数切換え及び規定負荷からプラント停止に至るすべての過程を自動化しているので、運転操作は極めて容易となっている。



必ず(須)な今日、石炭ガス化複合サイクル発電方式の開発も積極的に進められており、近年の発電業界において複合サイクル発電プラントがその使命を果すことを期待するものである。

とった安全運転を行うためのプラットフォーム協調制御装置をおき、下位機能としてはコントローラとシーケンサを各発電ユニットごとに、更に主要機器ごとに分散配置を行っている。以上の階層化・分散化に合わせて重要システムの多量化を図り、信頼性の高いシステム構成となっている。

6. む す び

ガスタービンの高性能化とともに、複合サイクル発電プラントの熱効率が著しく向上し、在来形火力発電プラントを上回るものが期待できるようになった。また、省エネルギー並びにエネルギー資源の多様化利用が

系統電力貯蔵におけるフライホイールの応用

小 貝 一 夫*・河 野 廣**・堀 江 将 人***・矢 野 昌 雄+・朝 枝 健 明+

1. ま え が き

電力需要の増大に伴い大形火力プラント及び原子力プラントが電力供給の基底となっているが、昼間の電力需要と夜間のそれとの差が非常に大きくなっており、夜間の余剰電力利用の方策が大きな課題となりつつある。この余剰電力を貯蔵しておき、昼間のピーク時に有効に利用するために種々の方式が考えられるが、経済的にも成功している方式は揚水発電である。しかし、揚水発電はその建設立地条件が次第に悪くなりつつあるので、これに代わる有望な方式を検討する必要がある。種々の方式の中でフライホイールによる電力の貯蔵も有力手段の1つと考えられている。

このような観点から、東京電力(株)、三菱重工業(株)及び三菱電機(株)では共同でフライホイールによる電力貯蔵に関する研究を昭和50年に開始した。昭和50年度から52年度にかけて実施した100 MWh電力貯蔵用フライホイールシステムのフィージビリティスタディの結果から、10 kWh程度の小形モデルの試作試験を実施することになり、フライホイールシステムの技術開発を行った。ここではこの小形モデルを中心にフライホイールシステムの概要を説明する。

2. フライホイールシステムの概要

2.1 実機想定フライホイールシステムの概要

100 MWhのフライホイールプラントでは、運転パターンとして夜間の余剰電力で5時間エネルギーを貯蔵し、7時間保持した後、5時間放出し、再び7時間保持する24時間/サイクルを考慮したもので、ロータとし

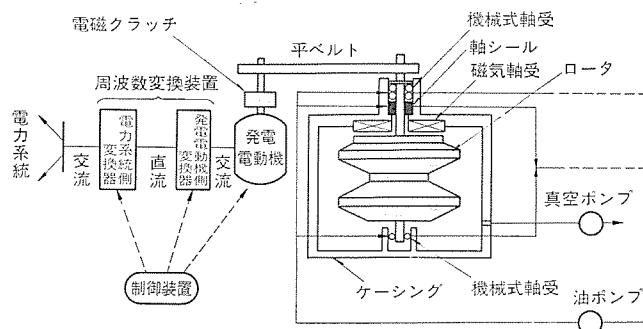


図 2. フライホイールシステムの構成

てFRPを使用した場合の電気系統図を図1に示す。ロータの単機容量は各種の制限から4,000 kWhのものを多数台運転する方式とした。フライホイールはエネルギーの出入によって回転数が変化するため、電力システムと接続するには周波数変換が必要となるが、このためサイリスタ式変換器を使用して、静止形とした。

この変換器の方式としては各種のものが考えられるが、発電電動機として誘導機を使用し、また周波数変換器として他励式コンバータ+自励式多重電圧形インバータを使用した。このシステムの場合には、発電電動機の多数台並列運転ができ、この発電電動機の軸トルクの脈動の発生を低減するためにインバータの多相化が容易であり、また広範囲の回転数領域において定出力運転が安定に行うことができ、更にシステムとして経済的であるなどの特長をもっている。

2.2 10 kWh 小形モデルの概要

小形モデルのフライホイールシステムは、系統電力を周波数変換装置で周波数変換してフライホイールに結合した発電電動機を駆動し貯蔵運転時には系統電力をフライホイールの回転エネルギーとして貯え、発電運転時にはこの回転エネルギーを系統側へ返還するもので、このシステムの構成を図2に示す。周波数変換装置は逆並列接続された6相他励式の系統側変換器(コンバータ)と12相多重自励式の発電電動機側変換器(インバータ)からなり、直流中間回路部を経由して異周波の交流間で電力の変換を行う。発電電動機はかご形誘導機でたて形に設置され、フライホイールとの結合はベルト駆動により変速する方式とし、また軸端部には電磁クラッチを設けてフライホイール本体との切離しを可能にしている。フライホイールのロータは低合金鋼のたて形ロータで、最大貯蔵エネルギーは最高回転

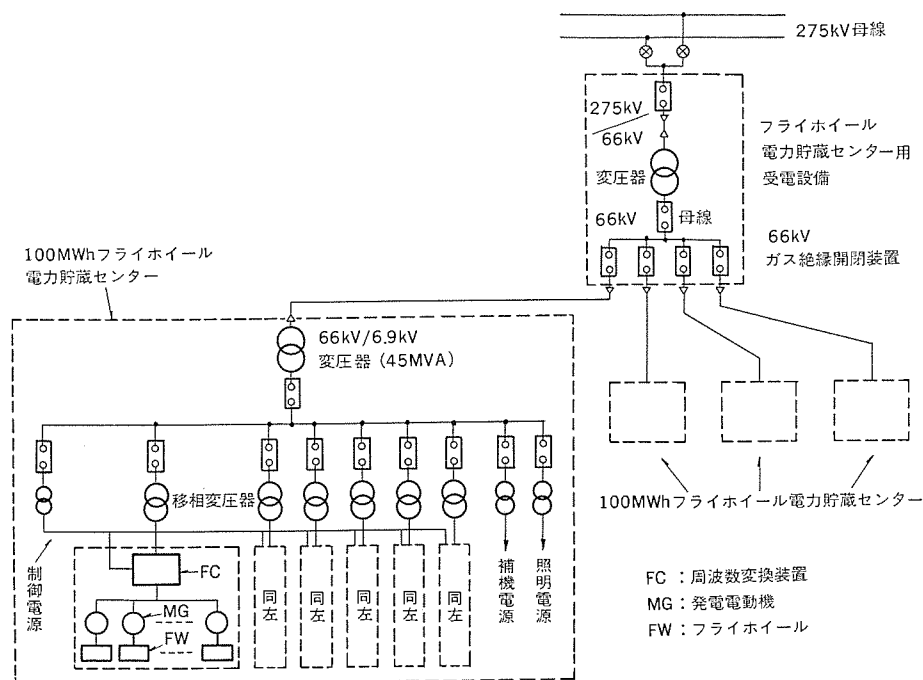


図 1. 100 MWh フライホイールプラントの構想図

表 1. フライホイール 装置の仕様

ケーシング	概略寸法	外径 1,090 mm, 高さ 1,390mm
ロータ	最大貯蔵エネルギー	10.74 kWh
	運転回転数	2,400~7,200 rpm
	形状	くし形鼓頭円板形 (2枚)
	回転円板外径	1,000 mm
	回転円板高さ	360 mm
	ロータ全重量	1,443 kgf (軸を含む)
軸	材質	低合金鋼 (Ni, Cr, Mo, V)
受	磁気軸受	ロータ全重量の 90% を支持
	機械式軸受	球軸受 (異常時, ロータ全重量の支持も可能)
発電電動機	形式	3 相かご形誘導機
	定格	220 V, 10 kW
	運転回転数	1,000~3,000 rpm
	寸法	400(D)×700(H)mm
増減速装置	形式	平ベルト式
	増減速比	2.4 : 1
周波数変換装置	系統側	入力電圧 AC 220 V±10%, 3 相, 60 Hz
		入力容量 20 kVA
		構成 3 相全波ブリッジ, 逆並列接続 (他励式)
	MG 側	出力電圧 AC 220 V, 3 相, 33.3~100 Hz
		出力容量 13 kVA
		構成 3 相全波ブリッジ, 2 重 12 相形 (自励式)

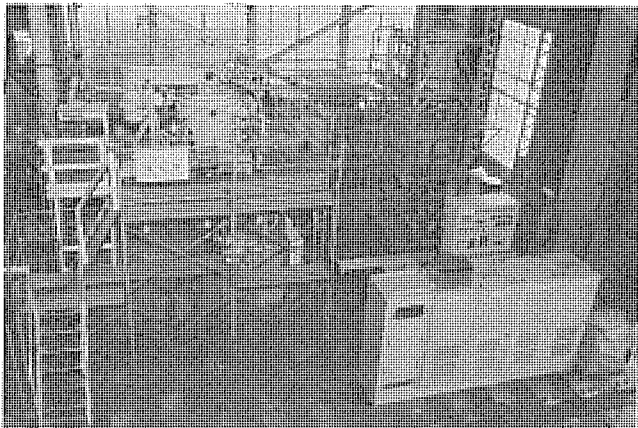


図 3. フライホイールの試験状況

数 7,200 rpm のときに, 10.74 kWh となる。ロータの支持方式として広範囲の回転 (2,400~7,200 rpm) を安定に行うために, 特殊な鼓形ボルトでロータの支持剛性を調整し, 更に油圧ダンパを設けている。また, 軸受損失を低減させるために, 磁気軸受でロータ全重量の 90% の荷重をつ(吊)り上げている。フライホイールのケーシング内はロータの回転風損を少なくするために真空中に保持されており, 軸貫通部にはフローティングリング形のオイルフィルムシールを設けている。この装置の概略仕様を表 1. に, またフライホイールの試験状況を図 3. に示す。

3. システム構成と動作原理

3.1 システム構成

電気系統のシステム構成を図 4. に示す。発電電動機側変換器は 6 相インバータ A, B をトランスで結合して 12 相に構成している。直流直間回路部には バッテリー を設けて, 系統側が停電時には直流中間回路部の電圧を保持する一方, 磁気軸受 コイル を励磁するようにしている。また, インバータ A, B を出力側 コンタクト により トランスとの接続を切離し, インバータ A を発電電動機に接続し, 他方 インバータ B を補機のポンプ駆動用電動機に接続してフライホイールの貯蔵エネルギーで補機のポンプを駆動するようなシステム構成にしている。直流中間回路

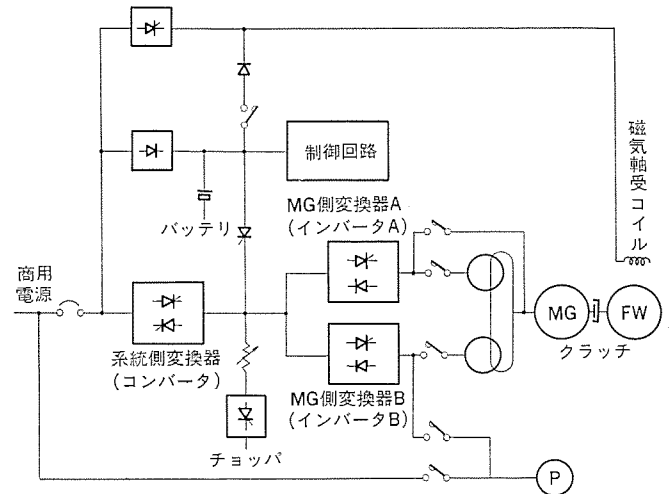


図 4. 電気系統のシステム構成

部のチョップは余分なエネルギーを抵抗で消費させるために動作し, フライホイールを早く安全速度まで減速させている。

3.2 動作原理

発電電動機の運転特性を図 5. に示す。1,000 rpm までは定トルク領域で, 電圧/周波数が一定になるように制御され, 1,000~3,000 rpm の間は定出力領域で, 電圧が一定になるように制御される。制御システムを図 6. に示す。コンバータ (CONV) は直流出力電圧が一定になるように電圧制御し, インバータ (INV) は電力制御 (PC) ループの中に速度制御 (SC) ループを含む制御ループで電圧と周波数を制御する。定トルク領域では電力制御ループの動作は停止され, インバータは PWM (パルス幅変調) 制御により発電電動機のすべりが一定になるように

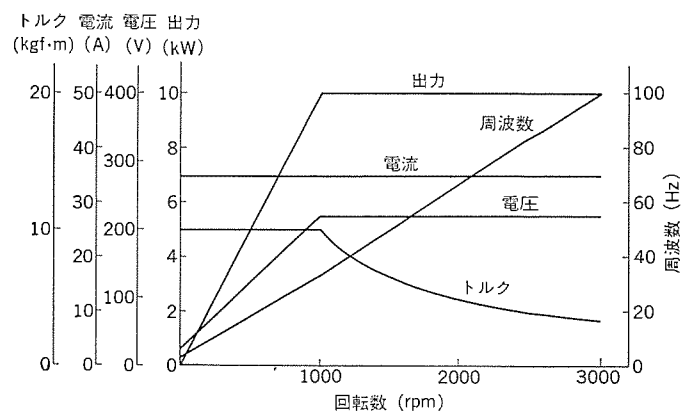


図 5. 発電電動機の運転特性

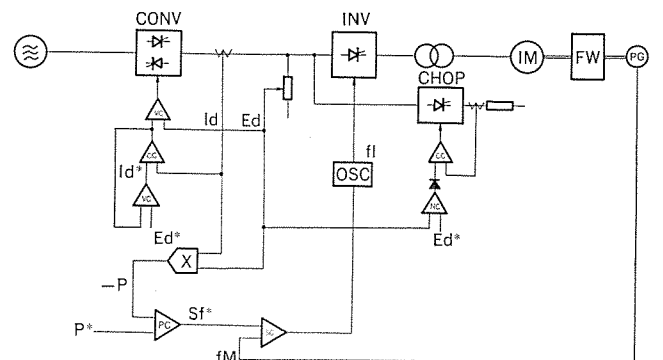
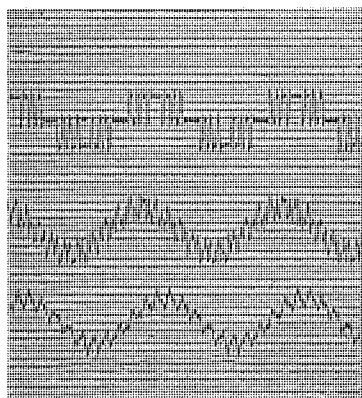


図 6. 制 御 系 統

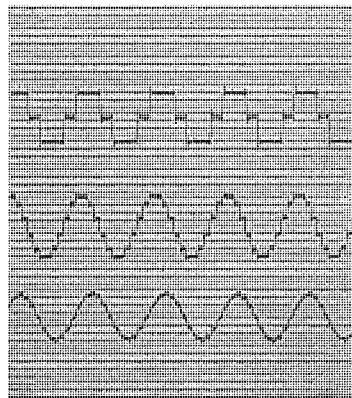
インバータユニット
出力電圧

MG入力電圧

MG入力電流



(a) 定トルク領域 (25Hz)



(b) 定出力領域 (50Hz)

図 7. インバータの動作波形

制御される。定出力領域ではインバータの出力電圧は一定で、電力制御により周波数を制御する。この動作波形を図 7. に示す。

エネルギーの変換効率は系統側からみると次のようになる。

$$\frac{P_S' \times t'}{P_S \times t} = \frac{P_F - P_{LC}' - P_{LI}' - P_{LMG}' - P_{LF}'}{P_F + P_{LC} + P_{LI} + P_{LMG} + P_{LF}} \times \frac{t'}{t}$$

ここで P_S 及び P_S' は貯蔵及び発電運転時の系統電力を、 P_{LC} 、 P_{LI} 、 P_{LMG} 、 P_{LF} 及び P_{LC}' 、 P_{LI}' 、 P_{LMG}' 、 P_{LF}' はそれぞれ貯蔵及び発電運転時のコンバータ損失・インバータ損失・発電電動機損失・フライホイール損失を示し、 P_F はフライホイールのエネルギーの電力換算値である。 t は貯蔵運転時、 t' は発電運転時に、フライホイールの回転数が 2,400 rpm から 7,200 rpm の間で消費される時間を示す。

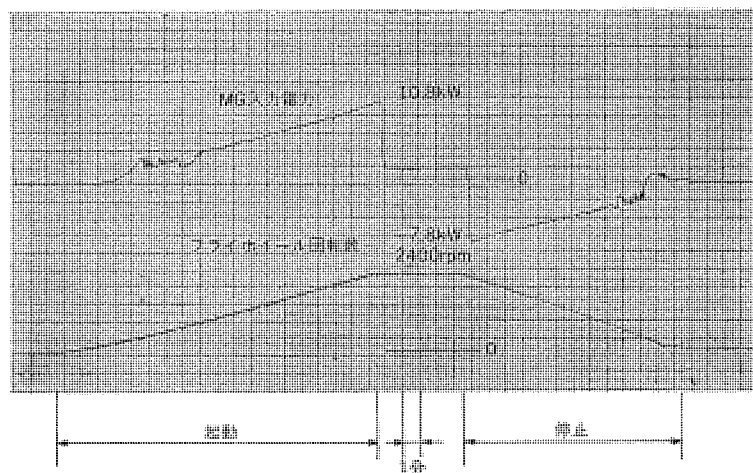


図 8. フライホイールの起動、停止

MG入力電力

電力指令

フライホイール
回転数

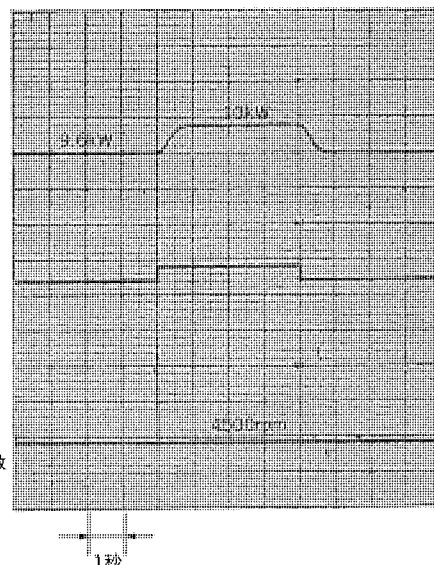


図 10. 電力応答特性

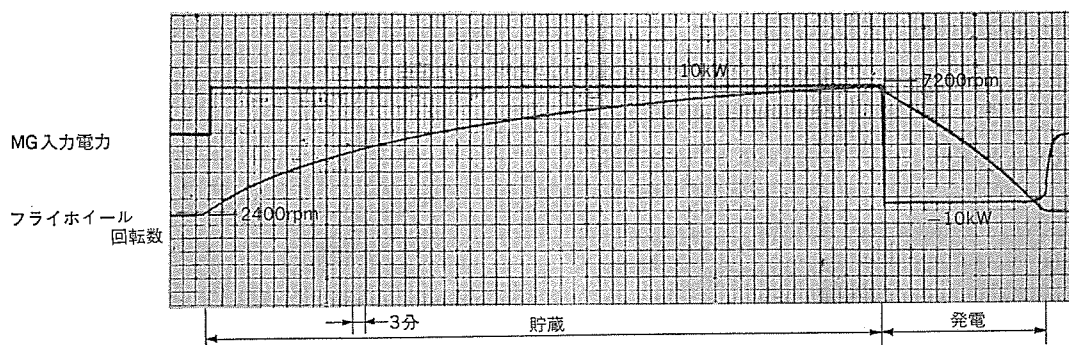


図 9. フライホイールの貯蔵、発電運転

4. フライホイール システムの運転

4. 1 フライホイールの起動、停止

フライホイールの回転数が 2,400 rpm までは一定のトルクで加速されるが、このときのオシログラムを図 8. に示す。発電電動機の入力電力は直線的に増加しており、フライホイールの回転数も直線的に増加している。なおこの入力電力が階段波状に変化しているのは ROM に記憶させた 64 ステップの PWM モードで制御しているためであり、また低回転数領域では周波数が低くなるため、CT

の飽和等により波形が乱れているが、直流中間回路部で計測した電力では低速領域でも直線的に変化することを確認している。

4. 2 貯蔵、発電運転

フライホイールの回転数 2,400~7,200 rpm の間で発電電動機の入力電力が 10 kW 一定となるように電力制御して、貯蔵、発電運転を行ったときの動作波形を図 9. に示す。貯蔵運転に 2.5 時間、発電運転に 0.6 時間消費しており、系統側におけるエネルギー変換効率は約 20 % である。フライホイールが小形モデルであり、機械損失が比較的大きくなったため、エネルギー変換効率は低くなったが、実機では 80 % 程

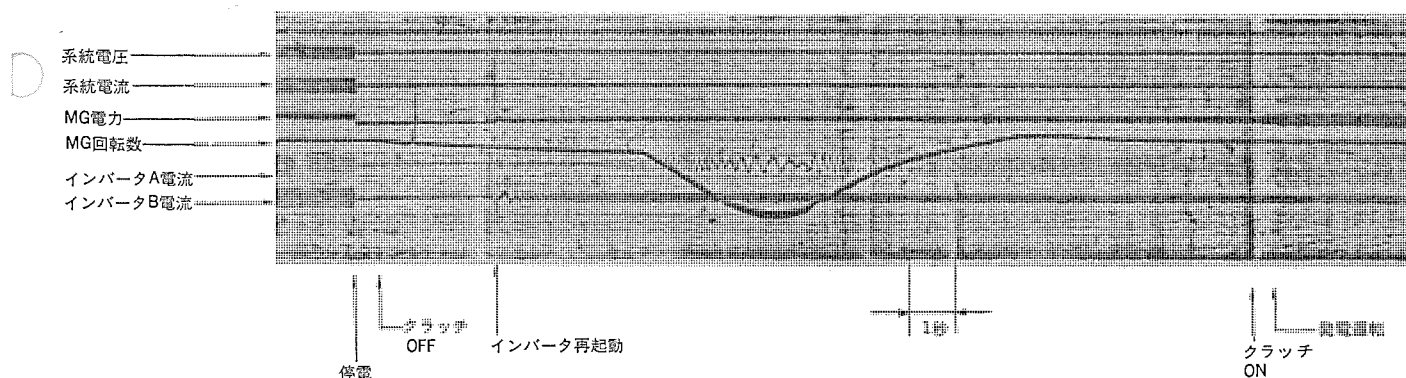


図 11. 停電時の運転

度のものが期待できる。

4.3 電力応答特性

定出力領域における、電力指令の微小変化に対する電力の応答特性を測定した結果を図 10. に示す。貯蔵運転モードにおいて 0.4 kW の電力変化指令を入力したとき約 0.5 秒で応答しているが、コンバータの貯蔵、発電の切替時間を短縮化することにより更に応答を向上させることは可能である。

4.4 停電時の運転

系統側が停電した場合にはコンバータの運転はできなくなるため、フライホイールを安全速度まで減速させる手段として、インバータユニットを切換えてフライホイールのエネルギーで補機を駆動するシステムを開発した。この停電試験の結果を図 11. に示す。停電が生じるとインバータとコンバータを 1 度ゲートオフして無電流にした後、インバータユニットを切換え、更に電磁クラッチを OFF する。その後、インバータ A と B を個別に再起動し、インバータ A はフライホイールから切離された発電電動機をフライホイールの回転数まで再加速する。他方、インバータ B はバッテリーにより補機を駆動する。発電電動機とフライホイールの回転数が一致すると電磁クラッチを ON にして、インバータ A により発電運転を行い、フライホイールのエネルギーはインバータ B により直流中間回路を経由して補機へ供給される。瞬時停電の場合にはインバータとコンバータを 1 度ゲートオフし、復電するとそれらを再起動して以前の運転モードに復帰させる。

5. む す び

フライホイールによる貯蔵、発電システムの周波数変換装置は各種の用途

におけるパワーエレクトロニクスの実績を生かして開発されたので信頼性も高く、効率も優れている。また安定に電力の出入を制御することができ、経済性も満足できるようになったため、実機のフライホイールシステムにも十分適用できる。

今後、フライホイールシステムの実現のためには、比強度が大きくて高速回転が可能なロータ材料として FRP の開発が必要で、今後の研究が望まれる。また、高速回転時の機械損失の低減については小形モデルの試験結果を解析することにより実機に対して十分対処できる。このフライホイールシステム的应用として系統の安定化対策への適用が考えられ、周波数変換装置の高速電力制御方式の開発も今後の課題である。

最後に、フライホイールシステムの研究に多大な御指導と御協力をいただいた関係者各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 松野：フライホイールによるエネルギーの貯蔵，電気協会雑誌（昭 53-4）
- (2) William M. Brobeck：FLYWHEEL ENERGY STORAGE FOR UTILITY APPLICATIONS, IEEE, A 77 652-1(1977-4)
- (3) 伊能ほか：フライホイール駆動システム，電気学会全国大会，551（昭 56）

電車線電力貯蔵におけるフライホイールの応用

丸山 信昭*・浅越 泰男**・河村 寿三***・木村 好男+・菅波 拓也++

1. ま え が き

回生電気車両の近年における普及には見るべきものがあり、チョップによる制御の容易さと乗心地の改善に加えて、省エネルギー運転という要素も見直されている。一方、ある車両が回生しようとしても、近辺に力行車がないと回生失効（いわゆる回生から振り）を生じ、省エネルギーのメリットが一部失われる。簡単なシミュレーションによると、回生失効により失われた電力は変電所全送り出し電力の5～15%にも及びこれを救済する手段としてインバータを設置した回生変電所もかなり建設されている。しかしインバータにより発生した交流電力は電鉄自身で消費する必要がある、例えば地下鉄のように付帯電力の多い電鉄でないと有効でなく、一時的に貯蔵して次の力行用に利用する方式の出現が待たれていた。

三菱電機(株)では、この電車線に余剰の電力をフライホイールに蓄えて省エネルギーの実をあげるシステムの開発を試み、昭和54年度に(財)日本船舶振興会より補助を得、(社)日本鉄道技術協会の受託により研究を進め⁽¹⁾、このシステムの有効なことを示した⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。以下にこのシステムの考え方及び開発成果について述べる(図1.)。

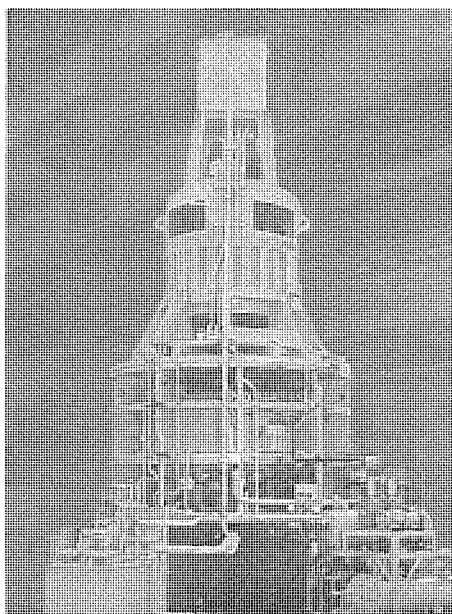


図 1. フライホイール 装置

2. フライホイール システムの概要

2.1 フライホイール システムの必要性

現在、電気鉄道における一般的な車両運用として特急・急行車は抵抗制御車、起動・加速・減速の激しい各駅停車（以下各停という）の列車にチョップが装備されることが多い。これらの列車の必要電力は図2. のようになっており、実際には各列車は運行ダイヤに従って運行しているため、この電力パターンを同時刻について変電所におい

て代数和（例えば力行を正、回生を負）として求める。1例として京浜急行電鉄(株)運行ダイヤ（平日用 No. 135）で上大岡を中心とし、杉田～保土ヶ谷間で13時29分から13時49分までについて求めてみた。

その結果は図3. に示すように、かなりの回生電力が変電所（この場合、上大岡）に返還されてくる。もしこの余剰の回生電力が処理できなければ、直ちに回生失効となり、また電力損失となることを示している。これをフライホイールで吸収し、再び力行に振り向けられればエネルギー経済上有利である可能性がある。この中で最大の回生サイクルの電力量は15 kWhであり、また電流の実効値からみてフライ

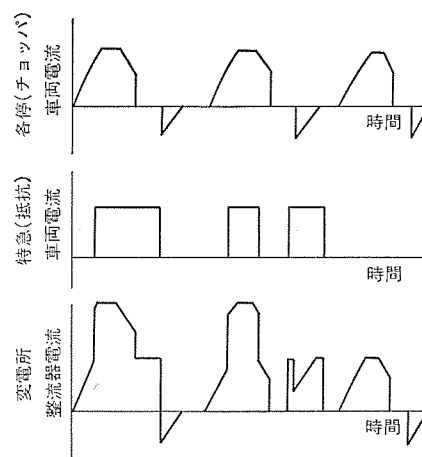


図 2. 電力シミュレーション 概念図

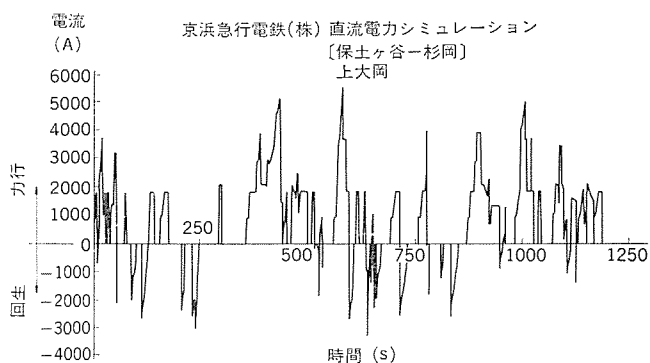


図 3. 電力シミュレーション 結果

表 1. 電力シミュレーション 結果

項 目	結 果
架線より装置へ流入する回生電力合計	75.8 kWh (平均 227 kW)
装置に蓄勢される蓄勢量総量	69.1 kWh
装置より電車線へ供給される放勢量総量	59.6 kWh
装置の補機並びに待機電力量	8.3 kWh
有効放勢量	51.3 kWh
総合効率	68 %
1回の最大蓄勢量	15 kWh

ホイールを駆動する発電電動機（以下フライホイールモータという）の容量は750 kWが適当と考えられた。これで実際に機械を設計し、制御や補助機器に必要な電力などを差引いた、いわゆる総合効率は表1.に示すように68%に達し、この種のシステムとしては有効性の高いことを示している。

2.2 フライホイールシステムの開発仕様

基本仕様は前節に示したように、15 kWhの電力を出し入れできるフライホイールを750 kWのフライホイールモータを連結するものである。ここでは、フライホイールモータには電線が直流であるところから直流機を選んだ。直流機にはその性質から出力限界があり、余り高い回転速度では運転できないので、基底回転速度800 rpm、最高回転速度1,600 rpmとし、この速度間で15 kWhのエネルギーを蓄えるには、フライホイール効果として20.5 t・m²が必要である。

フライホイールモータの逆起電力並びに回転速度の制御は、その界磁電流を制御することにより行った。フライホイールの回転損失を最小限にするために、フライホイールは真空のケーシングに納め、かつ磁気軸受で吸引懸架した。そのために軸シールと磁気軸受とが本機の開発要素となった。軸シールは1/10 atm以下を実現でき、また磁気軸受は全回転重量の80%以上を吸引して機械的軸受の負担を減らすことを考えたが、結果はこれを上回るものが得られた。

3. フライホイールシステムの構成

3.1 フライホイール電力蓄積装置本体

本体の構造を図4.に示す。全体の配置は立軸形とし、フライホイールモータを上部に、中実円板形のフライホイールを下部に置き、その間はフランジで直結した。回転部の全重量は中央の軸受で支え、上側の案内軸受はころがり軸受とし、下側は回転振動のダンパの作用を持たせて静圧式のジャーナルとスラスト軸受とした。中央軸受は磁気軸受と組合せて、正常時は磁気軸受にほとんどの重量をかけることとした。フライホイールのケーシングは、真空脱気したため、軸の貫通部には油膜式の真空シールを1対設けた。

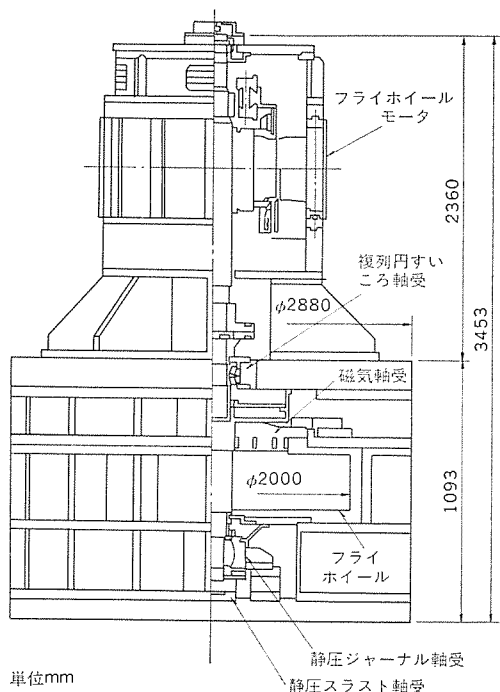


図4. フライホイール及びフライホイールモータ

3.2 フライホイール電力蓄放勢制御

電線は直流であり、フライホイールモータも直流であるために、両者の電圧の差があると電流が流出入する。したがって、フライホイールモータの逆起電力を適正に制御することが必要で、しかも回生余剰電力を蓄えた場合には一時的に流出しないように、すなわち回転速度が下がらないように制御しなければならない。このために、フライホイールモータの界磁制御を行って、電流対端子電圧特性を単一の垂下特性にしないで、零電流近辺に不感帯を設けるようにした（図6.参照）。

また、多少制御パラメータを変更してこの不感帯をなくし、通常の電線電圧では最高回転速度で待機するようにすれば、変電所のピークカットや末端電圧降下救済にも使用することができる。これは変電所の容量減や変電所間隔の延長に資することができ、省資源の目的にも使用可能である。

3.3 磁気軸受の制御

磁気軸受の制御は、それに掛っている負荷力を検出して、これが所定の値となるように制御した。帰還量を適当に選ぶことにより、この制御系は安定であった。

制御系が停電すると磁気軸受は動作しなくなるので、機械軸受には一時的に十分耐えられる負荷容量のスラスト耐量を持たせたことは勿論であるが、機械軸受に必要な給油は上部のグラビティタンクに常時油をた（溜）めておいて、これを放出することにより行った。

4. 装置の試験結果

各要素についての基本的な動作チェックの後、組合せ試験を行った。開発は（社）日本鉄道技術協会に設けられた開発委員会（委員長 植村東大教授）の御指導を仰ぎ、最終的に委員会立会をいただいて試験を実施した。試験時の全回路図は図5.に見るとおりである。

主な試験成果は次のとおりである。

- (1) このシステムの電力蓄放勢特性は図6.に示すように、いわゆる回生モード、電圧降下補償モードとも満足すべきものであった。
- (2) 車両の力行並びに回生を想定しての実負荷試験も同様に、図7.に示すように、回生モード、電圧降下補償モードともに円滑であった。
- (3) 磁気軸受の吸引力特性は図8.に示すようにほぼ計算通りの

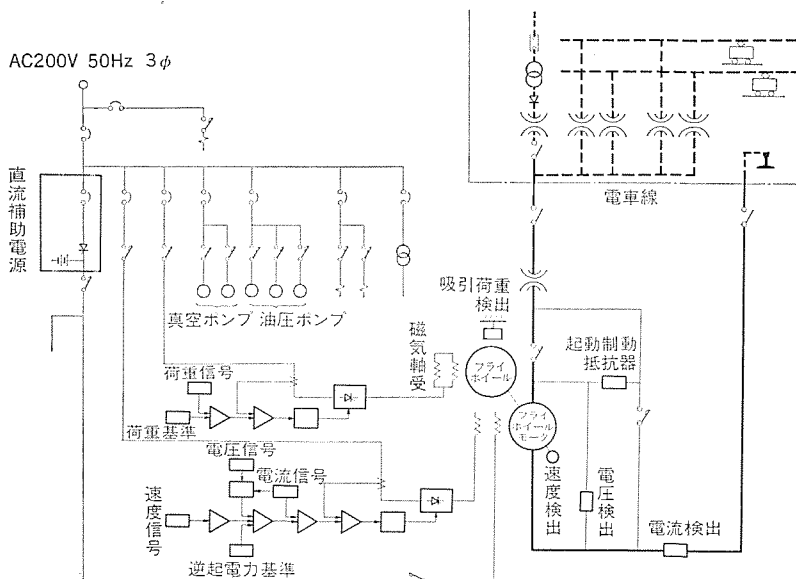


図5. フライホイールシステム運転接続図

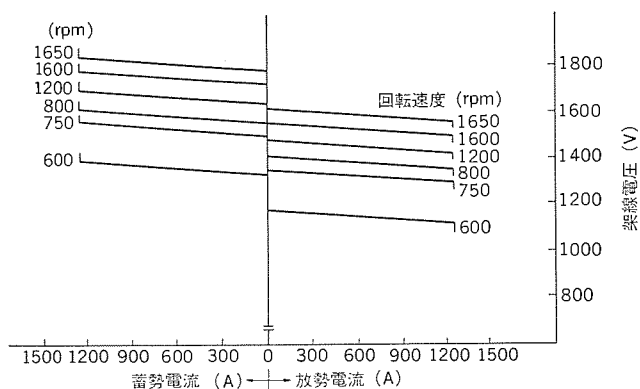


図 6. (a) 回生モード電圧電流特性

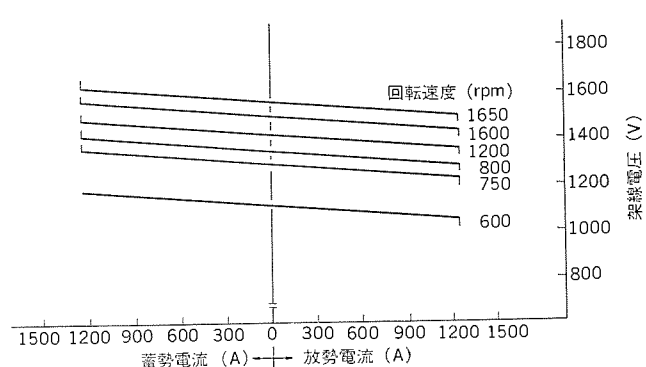


図 6. (b) 電圧降下補償モード電圧電流特性

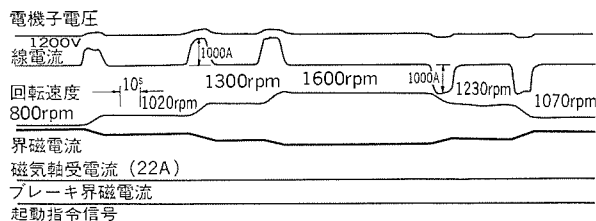


図 7. (a) 回生モード試験オシログラム波形

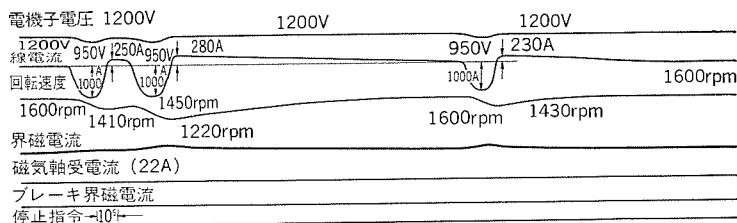


図 7. (b) 電圧降下補償モード試験オシログラム波形

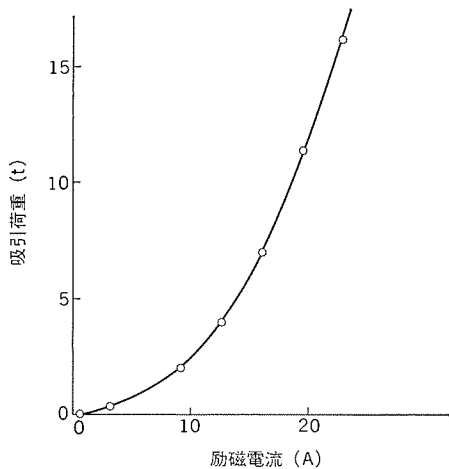


図 8. 磁気軸受吸引荷重特性

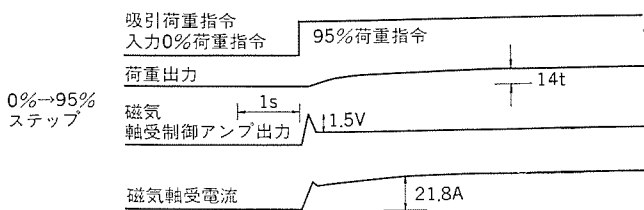


図 9. 吸引荷重指令 ステップ変化時の過渡応答オシログラム波形

ものが得られた。

(4) 磁気軸受の動的試験を行ったが、図 9. に示すように安定であり、回転部全重量の 95% までを吸引懸架して運転したところ全く問題がなかった。

5. む す び

この種のエネルギー貯蔵システムの最大の問題点はいかに貯蔵中の回転損失を減らすかということであり、またシステムの動作がいかに安定であるかということである。

上述のように開発要素としての軸シールを伴った真空ケーシング並びに磁気軸受は所期の試験結果を示し、電力の流出入制御も極めて円滑であった。

今年度は現地（京浜急行電鉄(株)瀬戸変電所）に設置して、実際に回生車を走行させることにより、

- (1) 回生電力が所期のように円滑に吸収できるか。
- (2) 末端電圧降下救済が十分に可能であるか。
- (3) エネルギー収支ないし総合効率率は所期の成果が得られるか。
- (4) 本体の運転、各制御のハード、補助機器の運転などの安定性は実地においても満足すべきものが得られるか。
- (5) 今後の開発テーマとして取上げるべきものは何か。

等々につき、十分のデータを取りこのシステムの完成を図る所存である。

このシステムはいまだ要素開発を終わったばかりであるので、その将来像が明確にビジョン化された訳ではないが、基本的にはエネルギー貯蔵密度を上げること、ユーザーの立場からは信頼性・保全性のよいことが提起されよう。

最後に、この開発に当たって親しく御指導いただいた(社)日本鉄道技術協会の関係者各位、並びに委員会の委員各位に厚く御礼申し上げる次第である。(昭和 56-5-6 受付)

参 考 文 献

- (1) 日本鉄道技術協会：電車線電力蓄勢装置の開発研究報告書 (昭 55-3)
- (2) 河村ほか：フライホイール技術の電鉄変電所への応用、電気四学会連合大会 11-3 (昭 55)
- (3) 星野ほか：フライホイール式電車線電力蓄勢システム、鉄道サイバネ利用シンポジウム、第 17 回、517 (昭 55)
- (4) 木村ほか：フライホイール式エネルギー蓄積装置の電鉄変電所への応用、計測と制御、20, No. 3 (昭 56)

1. ま え が き

我が国では、通商産業省の補助金による研究をはじめとして、大規模な超電導発電機に関する試作研究が進められており、この分野の開発競争で世界をリードしている。また、我が国の積極的な研究姿勢に刺激されてか、米国でも商用プロトタイプ開発と称する 300 MVA 機の開発プロジェクトがスタートし、またドイツ及びフランスの各国でも巨大な超電導モデルロータの開発を実施している。

超電導発電機は、単に発電機としての電気特性が優れているだけでなく、経済上の効果も大きいと期待されている。それは、今後のエネルギーや資材の高騰に伴って、その重要性はますます増大するであろう。一方、超電導発電機には Scientific Break Through を必要とするような克服困難な技術課題は存在しない。しかし、新技術・新材料を駆使した新構成の発電機となるから、着実かつ大規模な開発ステップと、実証ステップが必要なことは言うまでもない。

最近のトピックスをまとめると次のようである。

- (1) 我が国で、現在世界最大級の 6,250 kVA 機の研究試作が実施された。引き続き、30 MVA 機（同期調相機）の研究試作が進められている。
- (2) 超電導発電機の経済上の利点・省エネルギー・省占有地性が注目され始めた。
- (3) 米国では 300 MVA 商用プロトタイプ超電導発電機の開発プロジェクトがスタートしている。また、ソ連でも 300 MVA 機の開発計画

が決定されている模様である。

- (4) フランスとドイツでは各々直径 1 m 級の大形の超電導モデルロータの開発が進められている。

2. 研究のねらい

超電導発電機の特長をまとめると次のようになる。

- (1) 省エネルギー（効率が絶対値で 0.5～1.0% 高くなる。換言すれば、損失が 1/2～1/3 と小さくなる）。
- (2) 経済性（省エネルギーによる経済性のほかに、発電機が小形軽量になることによる省資材・省占有地効果など）。
- (3) 発電機の電磁的な性能の改善（同期リアクタンスが小さくなり、システムの安定性が改善される）。
- (4) 発電機の出力電圧を高く選定できる可能性がある（空けき（隙）巻線式ステータの採用による）。

このほかに、単機容量の増大効果もある。しかし、最近では省エネルギー効果や経済効果が注目されている。

図 1. には、超電導発電機の経済効果を分析してみた。1,000 MW 級の発電プラントの発電機を超電導化したとすると、1 年間の石油節約量は数万バレルにも達する。これは石油高騰とともに大きな経済上のメリットとなろう。

発電機が小形になるから、輸送・すえ（掘）付け・建屋などの費用の軽減は期待できる。発電機本体の製造上のコストは、諸外国の試算では数 100 MW 以上で従来機と競合できるようになろうとして

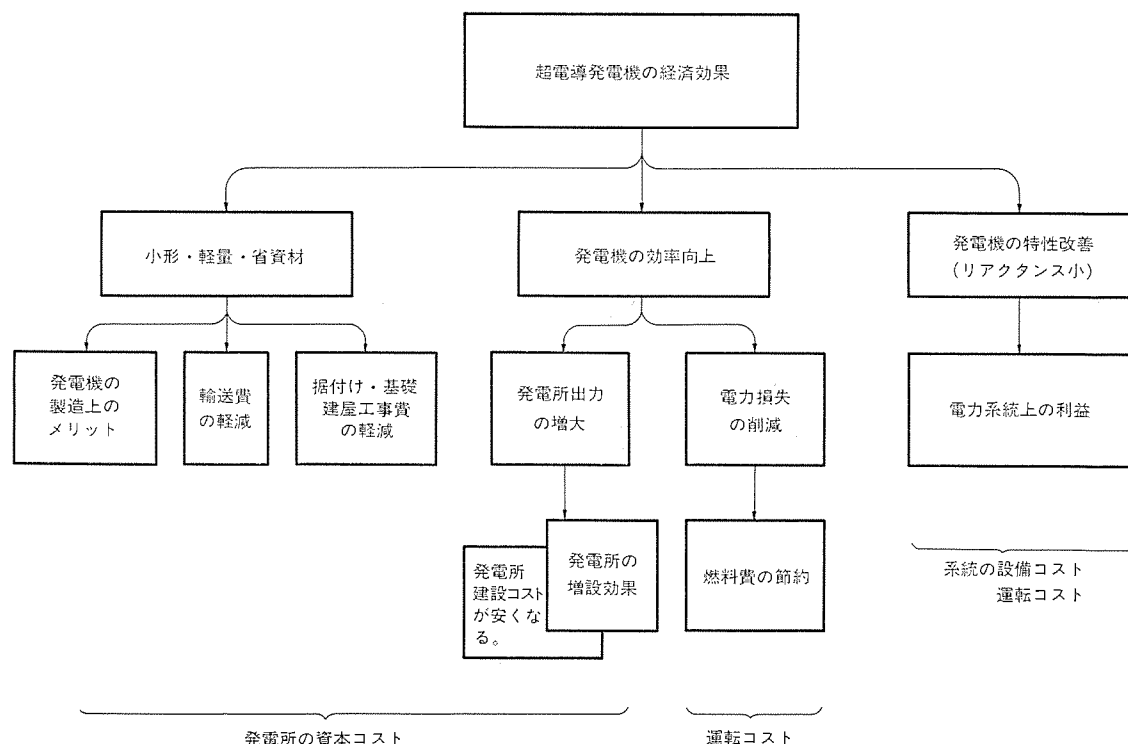


図 1. 超電導発電機の経済効果の分析

いるのが多い⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、超電導発電機は新技術・新材料による新構造の発電機となるから、現段階で将来のコストの議論は厳密には難しい。

超電導発電機は同期リアクタンスが大幅に小さくなり、短絡比が大きくなるという特長がある。この特長は電力系統の設備や運転コスト上の利益をもたらすと予想されるが、これに関する議論はまだ余りなされていないので今後の研究課題として残されている。

3. 三菱電機における研究状況

我が国では、通商産業省重要技術開発費補助金の交付を受けて、当社と富士電機(株)が共同で試作研究を実施している。6 MVA 発電機と 30 MVA 同期調相機の研究試作がそれであるが、いずれも世界最大級の研究であり、各方面から注目されている。この研究の概要について紹介する。

3.1 6 MVA 超電導発電機の研究試作

昭和 49 年度から 3 年計画で研究試作したも

ので、超電導発電機の原理の実証と問題点摘出及びその基本的解決を意図した研究である⁽³⁾。試作機の容量は 6,250 kVA であって、超電導機としては世界最大の試作機である。図 2. に、全体の構造及び主要諸元をまとめて示した。発電機の本体は従来機と比較して、寸法は 1/2、重量は 1/3 と大幅に小形・軽量となっている。またリアクタンスは $x_d=40\%$ であり、ここでも超電導機としての特長が表れている。この試作機は単に原理実証機であるため、ヘリウム冷却系をもっていない。しかし、必要なヘリウム冷却系について机上検討して、その冷却動力損失まで含めた発電機の効率を推定してみると 95.8% となった。したがって、この程度の規模の試作機では、超電導発電機としての効率上の有利性は表れない。

この 6 MVA 試作機は、専用のクローズドサイクルヘリウム冷却系(次の 30 MVA 調相機用のもの)と組合せて、長期の実験運転研究をスタートしている。その状況を図 3. に示しておく。

3.2 30 MVA 超電導同期調相機の研究試作

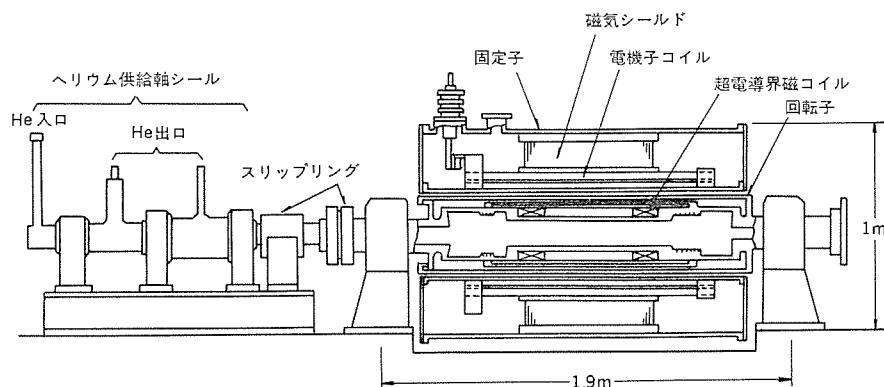
研究の第 2 ステップとして、昭和 52 年度から 5 年計画で、30 MVA 超電導同期調相機を研究試作中である。今回の試作目標として同期調相機を選んだ理由は次のとおりである。すなわち、超電導機は、

(1) 同期リアクタンスが小さく短絡比が大きいため低励磁時の運転容量が大きい。

(2) 界磁 AT を大きくとれるから低励磁運転が容易となる。

(3) 空隙巻線固定子となるため低励磁運転時の端部加熱の問題がない。

という特長がある。これらの特長は、同期調相機として適したもの



容 量	6,250 kVA
極 数	2
回転数 (周波数)	3,600 rpm (60 Hz)
電圧・電流	2,640 V × 1,375 A
同期リアクタンス	40%
回転子	方式 超電導回転界磁形 2重ダンパ (常温及び低温) 付き 磁性流体式ヘリウム供給軸シールド付き
寸 法	外 径 39 cm 有効長 45 cm 軸受間長さ 190 cm
重 量	700 kg
固定子	方式 常電導空隙巻線電磁子、磁気シールド付き 油浸強制冷却
寸 法	外 径 110 cm 内 径 40 cm 全 長 168 cm
重 量	4,500 kg

図 2. 6 MVA 超電導発電機

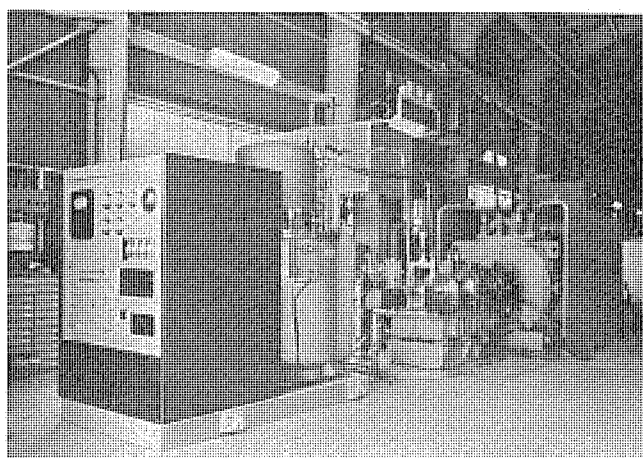


図 3. ヘリウム冷却系と組合せられた 6 MVA 超電導発電機

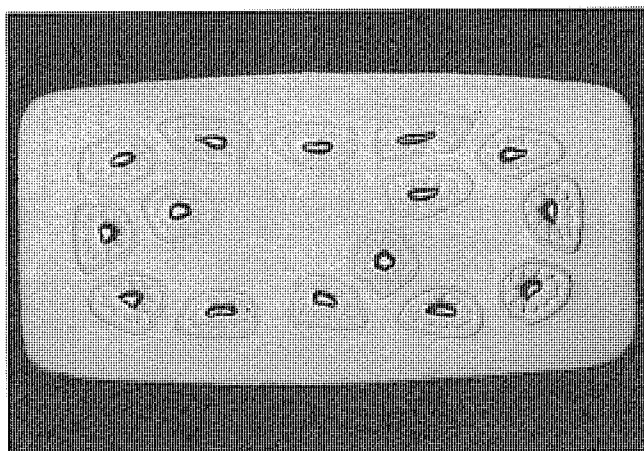


図 4. 30 MVA 機の界磁コイルの一部に適用した Nb₃Sn 超電導線の断面

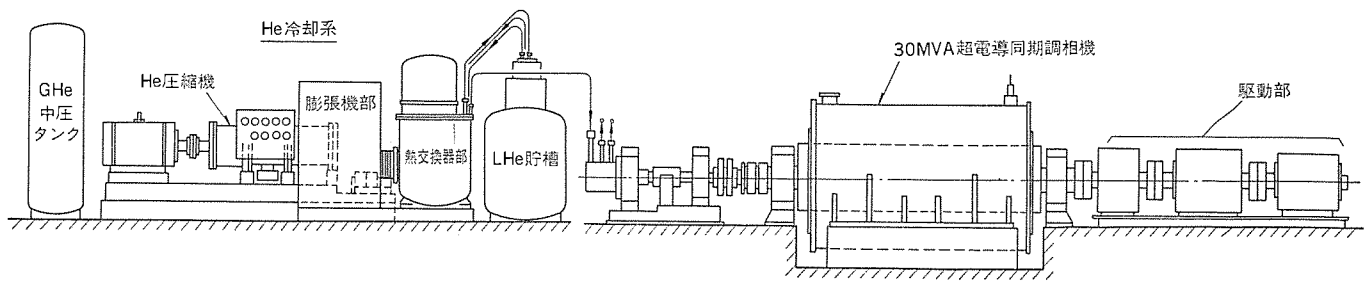


図 5. 30 MVA 超電導同期調相機の実験レイアウトの構想

昭和49～51年



昭和52～53年



昭和54
～56年

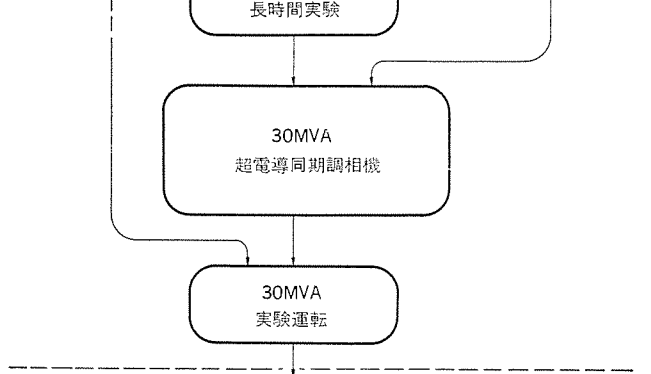


図 6. 超電導発電機の研究の歩み

である。また、同期調相機は発電機と異なり原動機が不要であるため、試験が容易となるという開発プロセス上の利点もある。

この5年計画では、まず最初の2年間で専用クローズサイクルヘリウム冷却系を研究試作した。この冷却系は図3に示すように6 MVA機と組合せて長時間実験中である。

30 MVA 同期調相機の本体のハードウェアの試作は昭和54年度から実施しており、今年度(昭和56年)に完成の予定である。この試作研究では、アプリオリに、ロータの直径を70 cm以上にする方針とした。この方針によって、将来の実機と同じ程度の高い遠心力条件のもとに研究試作することになる。これから、試作機はモデルロータの意味をもたせることもできた。また、化合物系の超電導材料であるNb₃Snを界磁コイルの一部に適用している。図4はそのNb₃Sn超電導線の断面写真であり、三菱電機独自の内部拡散法(Inner Diffusion Process)で製造されたものである。更に、ロータ全体がチタン又はチタン合金で作られている。このように、数多くの新機軸や新しい技術課題を取込んで、将来の大形機の開発に必要な技術の研究と習得をめざしている。同時に、超電導コイルについてはスロ

ットウェッジやリティニングリング方式を採用するなど、従来機のロータで実証された構造を採用しようとしている。

なお、この試作機は調相機として30 MVAの容量をもつものである。このため、発電機とすると30 MVAよりかなり大きな容量のものに対応することになる。

図5は、30 MVA 超電導同期調相機の実験レイアウトの構想を示したものである。

3.3 研究のフロー

以上に紹介した筆者らの研究のフローを図式的にまとめると、図6のようになる。

4. 海外の状況

CIGREには超電導発電機を主テーマとする分科会WG 11-05が発足しており、その第1回目の会議が昭和54年9月にソ連のレニングラードで開催された。この会議で入手した情報を中心に海外の研究状況を紹介する。

米国のWH社はEPRIの支援を得て、商用プロトタイプと銘うった試作計画をスタートしている。これは容量300 MVA、力率0.9、極数2、周波数60 Hz、回転数3,600 rpm、電圧24 kVで、効率は99.4%以上とされている。研究期間は5年間であるが、300 MVA機の本体の試作は1981～1983年の3年間で実施される。実負荷試験は1984年以降に計画されている。また、GE社は20 MVA機を試作中であり、近々、調相機としてフィールドテストするとしている。更に、MIT大学では10 MW機を試作中で、これはガスタービン発電機として実負荷テストされる計画になっている。

ソ連のオールユニオン電気機械研究所では20 MVA機を試作中であり、近々、同所内で調相機としてフィールドテストする計画である。また、ソ連では300 MVA機の開発計画が決定している模様であり、レニングラードのエレクトロシエラが開発を担当するようである。

フランスでは、EDFのサブリエ博士の主導的支援によって、アルストム社で直径1 m、長さ4 mの大形の超電導モデルロータが完成しており、試験に入っている。

ドイツのKWUとシーメンス社は共同で、1,000 MVAの試作を最終目標とする開発プログラムを推進中である。最近の情報によれば、直径1 mの大形の超電導モデルロータの製作に着手した模様である。

なお、各国の研究計画をみると、(a)段々と大きな超電導発電機を試作しながら、その技術開発と実証を行いつつ実機レベルに到達しようとする考え方(“スケールアップ方式”)と、(b)実機相当の直径のモデルロータを開発試験し、その結果を直接実機試作に適用する考え方(“モデルロータ方式”)の2種類のアプローチがあることが分かる。前者の考え方で進めている国には米国・ソ連・日本があり、後者の考え方で進めている国にはドイツとフランスがある。しかし、いずれ

のアプローチにしても、現在既に大規模な試作段階に突入している。

5. む す び

超電導発電機の研究を始めて既に数年が経過した。研究は確実に進歩しており、実用化に一步一步近づいている。昨今のエネルギー事情のひっ(逼)迫ぶりによって、超電導発電機の開発の重要性はますます高まってきた。我が国では幸いにして、通商産業省の重要技術開発費補助金テーマに採用され、6 MVA 機、30 MVA 機と世界をリードする研究を続けてきた。これは世界的に注目されている。

超電導発電機の開発の問題点の1つとして大容量システムでしかその効果が出にくいことがある。これは超電導が液体ヘリウム冷却を必要とするというペナルティがあるからで、いわば超電導の原罪のようなものである。一方、大容量システムほどより高い信頼性と無保守性が要求される。

超電導発電機の開発上の問題は新技術を適用する点よりも、むしろ

大容量システムの開発である点にあると考えられる。当社としても今後ともこの開発を進めて行きたいと考えており、関係各位のなお一層の御支援・ごべんたつをお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) J. S. Joyce, W. Engelka, and D. Lambrecht : Will large turbine-generators of the future require superconducting-field turbogenerators? American Power Conference, Chicago, Illinois (April 18, 1977)
- (2) J. S. Edmonds and W. R. McCown : Large superconducting generators for electric utility, applications-the prospects, American Power Conference, Chicago, Illinois (April, 1980)
- (3) 岩本, 藤野 : 6 MVA 超電導発電機の試作研究, 低温工学, 10, No. 5, 169~179 (1975)

核融合における超電導マグネットシステム

森川 鉄也*・佐藤 隆**・荻野 治***・山田 忠利+・橋本 康男**

1. ま え が き

トカマクなどの磁気閉じ込め核融合装置、各種の核物理実験装置では巨大な高磁界発生装置を必要とする。

これらの装置では、高効率化、コンパクト化などの要求からいかに少ないエネルギー消費で高磁界を発生させるかが重要な課題となる。特に、磁気閉じ込め核融合装置では、プラズマを閉じ込めるための磁界発生装置に銅マグネットを使用した場合、その励磁電力が膨大なものとなりエネルギーバランスの点から実用炉として成立しない可能性が極めて大きい。すなわち、核融合炉の実現には超電導マグネットが不可欠の要素となる。

当社は、昭和30年中期から超電導材料、超電導マグネット及びヘリウム液化冷却システムの研究開発に着手、大形、高磁界化に向けて、その開発を基礎研究の上になって推進している。以下にこれらの成果の一端を紹介する。

2. 開発上の技術的課題

超電導マグネットの研究開発の進展は目覚ましいものがあり、各種の電気機器へ応用されつつある。しかしながら、核融合装置の場合には、規模、性能ともに現状の技術水準をはるかに超えるものであり、今後解決していかなければならない多くの技術的課題が山積している。これらの技術的課題を列挙すると次のようになる。

(1) 高磁界：実用炉では10 T以上の高磁界が要求される。これは超電導材料として Nb_3Sn に代表される化合物系線材を必要とし、化合物系特有のぜい(脆)性にもとづく取扱いの難しさ、応力ひずみ(歪)による特性劣化などへの対策が必要である。

(2) 強力な電磁力：実用炉でのマグネットの規模は磁気エネルギーの点で現在の実績より1~2けた(桁)大きくなる。これは高磁界、コイル形状の複雑さ(非対称性)と相まって電磁力を強大なものとし、その支持構造を複雑にする。

(3) 大電流導体と安定性：電磁力、クエンチ時の発生電圧などの点から大電流導体を使用する必要がある。大電流導体の開発とともに超電導安定性を確保するための冷却法の確立、クエンチ時の保護に対する十分な配慮が必要である。

(4) パルス運転：プラズマ加熱及びプラズマ制御用のポロイダルコイルはパルス的に励磁されるため、交流損失の少ない超電導導体の開発とともに繰返し応力に耐えるコイル構造にする必要がある。

その他、磁界発生装置として性能と信頼性を確保するために、励磁電源、大形ヘリウム液化機、冷却システムなどの開発が必要となる。また、核融合炉特有の問題として、中性子及びγ線に対する対策も重要な課題になる。

3. 大形高磁界超電導マグネットの開発

3.1 超電導導体

3.1.1 NbTiTa 合金系線材

当社は、合金系線材として、NbTi 2元合金とともにNbTiTa 3元合金系線材を開発し、その製造法を確立した⁽¹⁾。

NbTiTa 合金は、適正な加工と時効熱処理により、高磁界での臨界電流密度が9 T (4.2 K) で $6 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 以上と合金系として非常に高く、特に温度が1.9 K以下のときには臨界磁界とともに臨界電流密度が著しく増大する。例えば、図1.に示すように、1.9 Kでの臨界電流密度は10 T以上でNbTi 合金系及び Nb_3Sn 化合物系よりも高い値を示す。しかもコイル特性が安定で、加工性も良好であるために、最近10~12 Tの高磁界マグネットへの適用が検討されている。

当社はNbTiTa 合金系線材をいち早く開発し、昭和41年に国産第1号の超電導マグネットに、引続きMHD発電研究用7.5 T、大形マグネット、6 MVA超電導発電機等に適用し、安定な特性を得ることができた。特に7.5 T大形マグネットでは、世界で初めて溶接方式による安定化複合導体を開発し採用している⁽²⁾。6 MVA超電導発電機用として開発した極細多心線を図2.に示す⁽³⁾。

また、高磁界マグネットについても、高磁界での線材の特性向上と超流動ヘリウム冷却システムの開発をめざして研究を進めている。

3.1.2 Nb_3Sn 化合物系線材

Nb_3Sn 化合物系線材は4.2 Kでの高磁界特性が優れており、10 T

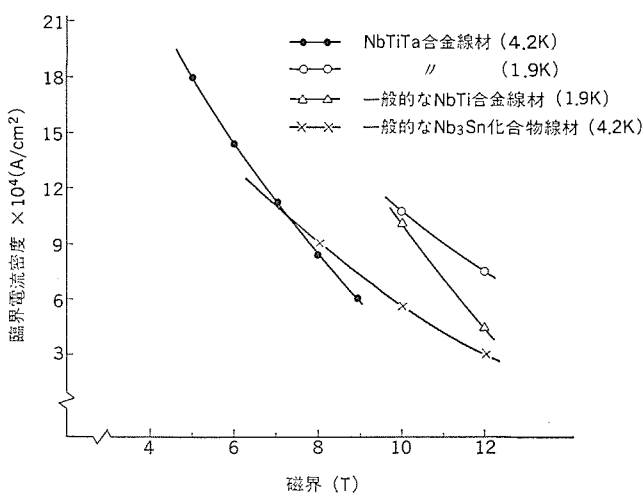


図 1. NbTiTa 合金系線材の磁界-電流特性

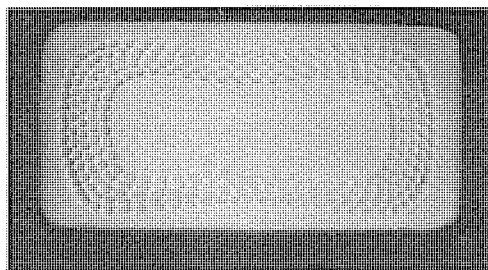
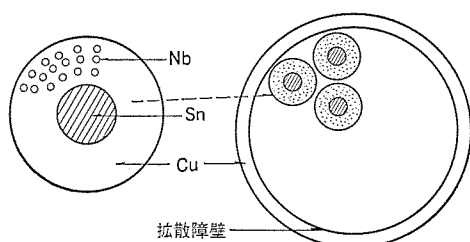


図 2. NbTiTa 合金系線材 (1.6 mm×3.2 mm)

以上の高磁界 マグネット で使用される。

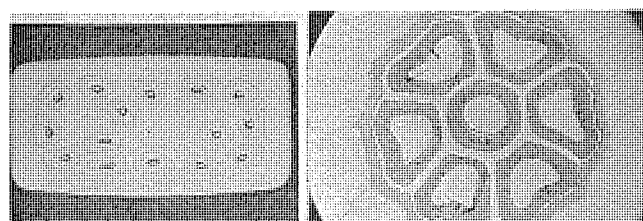
当社は内部拡散法による Nb_3Sn 極細多心線を開発し、その製造法を確立した⁽⁴⁾。内部拡散法は、図 3. に示すように Cu マトリックスのなかに Nb, Sn を埋設、伸線加工を冷間で行い、最終工程で熱処理して Nb_3Sn 層を生成させる方法で、一般に行われている ブロンズ法に比べて次のような特長をもっている。

- (1) ブロンズ法のように加工による Sn 濃度の制限 (最高 14 wt/o Sn) を受けないので、 Nb_3Sn 量を多くとれる。
- (2) 伸線加工をすべて冷間で行うことができ、中間の焼鈍熱処理が必要でない。
- (3) 加工性が良好であるためフィラメント径を細くできる。
- (4) 高い臨界電流密度が得られる。



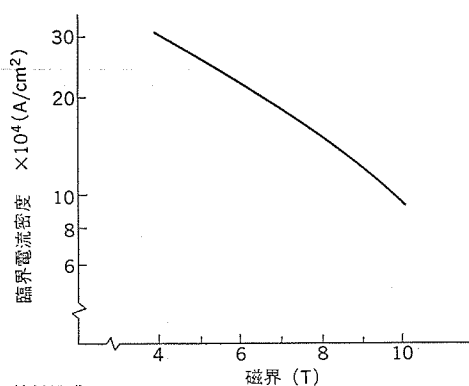
項目	内部拡散法	ブロンズ法
高濃度 Sn ブロンズインゴット	不必要	必要
構成 Sn 濃度 (対 Cu)	17wt/o 以上	14wt/o 以上
押出回数	1 回	2~3 回
中間焼鈍回数	0 回	20~30 回
Nb_3Sn フィラメント径	1~3 μm	4~5 μm

図 3. 内部拡散法による Nb_3Sn 線材の製造法とその特長



(a) 30 MVA 超電導発電機用線材 (1.6 mm x 3.2 mm) (b) 高電流密度線材

図 4. Nb_3Sn 極細多心線断面



線材構成

線径	安定化銅量	フィラメント径, 本数
0.59mm	67vol/o	1.8 μm , 9100 本

図 5. 内部拡散法による Nb_3Sn 極細多心線の磁界 - 臨界電流特性

- (5) 線材製造の信頼性が高く、製造費用が低い。

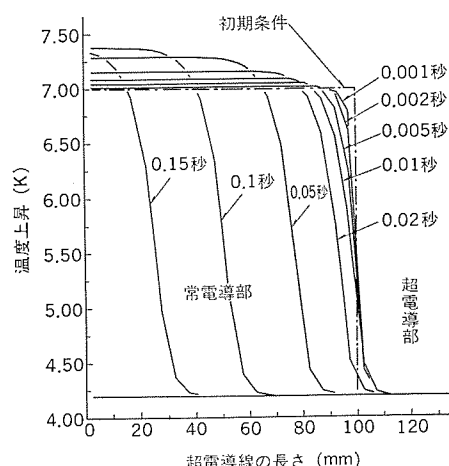
図 4. (a) 及び (b) に内部拡散法による Nb_3Sn 極細多心線の横断面を示す。図 4. (a) は 30 MVA 超電導発電機用に開発したもので、断面、 Nb_3Sn フィラメントの平均直径及び本数はそれぞれ $1.6 \times 3.2 \text{ mm}$, 約 $2.7 \mu\text{m}$, 約 30,000 本である⁽⁵⁾。図 5. に代表的な Nb_3Sn 極細多心線の構成と磁界 - 臨界電流特性を示す。10 T (4.2 K) で $9 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ (ブロンズ Nb_3Sn 当たり) という高い臨界電流密度が得られている。現在、更に臨界電流密度の向上と大電流化をめざし開発に取り組んでいる。

3. 2 安定化

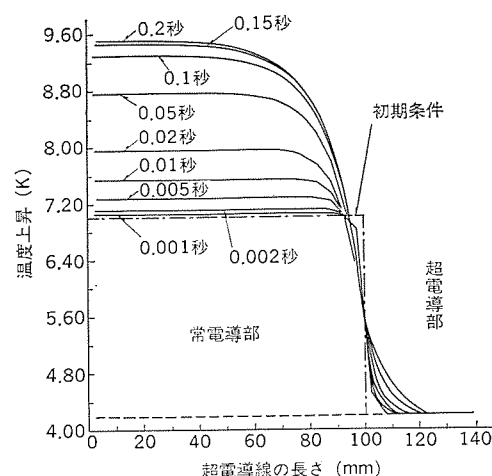
大形超電導マグネットでは、蓄積エネルギーが大きいためにクエンチした場合膨大な液体ヘリウムを消費するとともに、再運転する場合冷却までに長期間を要する。したがってクエンチまでに至らないように回路的に保護するとともに超電導マグネットとして完全安定化する必要がある。超電導マグネットの完全安定化条件は Stekly, Maddock らによって提案されているが⁽⁶⁾⁽⁷⁾、いずれもかなり安全サイドの設計になり電流密度が低下するので、大形超電導マグネットの場合問題となる。

筆者らは、常電導の芽の長さをパラメータにし、完全安定化条件を求め、設計に適用している⁽⁸⁾。基礎式は

$$AC \delta \frac{\partial T}{\partial t} = A \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q - G$$



(a) $I=2,200 \text{ A}$ の場合



(b) $I=2,400 \text{ A}$ の場合

図 6. 常電導部過渡特性図の 1 例

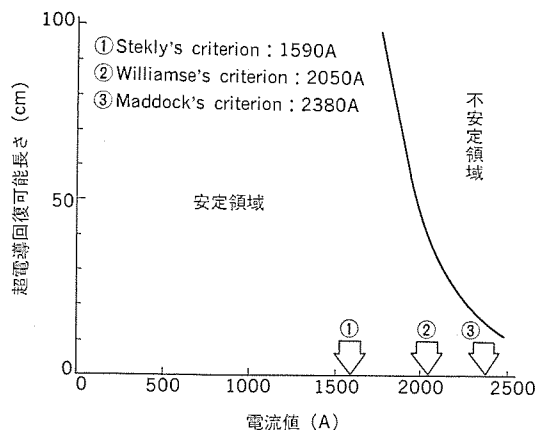


図 7. 安定化条件の計算結果と各評価式との比較の 1 例

となる。ここで A (cm^2) は基材断面積, C ($\text{J/g}\cdot\text{K}$) は比熱, δ (g/cm^3) は密度, T (K) は温度, t (s) は時間, λ ($\text{W}/\text{cm}\cdot\text{K}$) は熱伝導度, Q (W/cm) は発熱量, G (W/cm) は放熱量である。

図 6. (a) 及び (b) に 1 例として後述の クラスター・テスト・コイル (CTC) の場合の計算例を示す。 $I=2,200$ A の場合, 常電導部 (20 cm) は時間と共に消滅していくが, $I=2,400$ A では常電導部の温度が時間と共に上昇し, 常電導部が伝ば (播) しクインシしていく様子を示している。図 7. に超電導回復可能長さの計算結果 (実曲線) を示す。なお, 図中には参考のため Stekly, Maddock, Williams⁽⁹⁾ の各安定化評価の式より求めた安定化電流値を示す。これらの結果は, 後述の CTC での モデルコイル 実験と一致しているといえる。

3. 3 液体ヘリウム中の熱伝達

大電流超電導体では, その断面積に対する冷却表面積の割合が小さく, 完全安定化条件により決まる導体の電流密度は一般に小さくなる。電流密度の低下を防ぐ 1 つの方法は, 導体表面から液体ヘリウム中への熱伝達を増加させることである。筆者らは熱伝達を増加させる一方法として, 図 8. に示すように導体の冷却面に細みぞ (溝) を設ける方法を試み, 優れた性能をもつことを確認した⁽¹⁰⁾。図 9. に細溝の形状と寸法を変えて冷却表面積を増加させた場合の熱伝達特性を示す。ここで q_n は最大核沸とう (騰) 熱流束, q_f は最小膜沸騰熱流束である。 q_n 及び q_f はそれぞれ全冷却表面積の 1/2 乗及びほぼ 1 乗に比例して増加することが明らかになった。なお完全安定化電流に最も大きく影響する因子は q_f である。

また, 冷却面に設ける溝の形状, 寸法などによっては表面積の増加以上に熱伝達が増加することが明らかになった。例えば, 30° V 字断面交差溝の場合 (全冷却表面積は平滑面の場合の 4 倍になっている) の熱流束とピッチとの関係を示したものが図 10. である。ピッチを変えても表面積は変化しないが, ピッチが 1 mm の場合, q_f は最大となり $0.8\sim 1 \text{ W}/\text{cm}^2$ になる。

3. 4 超電導マグネットの開発

当社は大形, 高磁界化に向けて多くの超電導 マグネット を開発してい

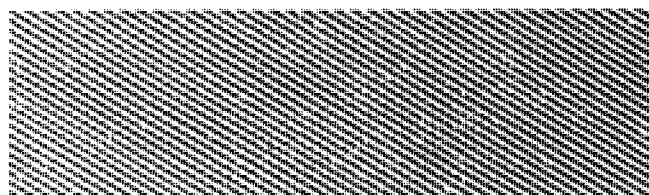


図 8. 導体モデル (細溝付表面)

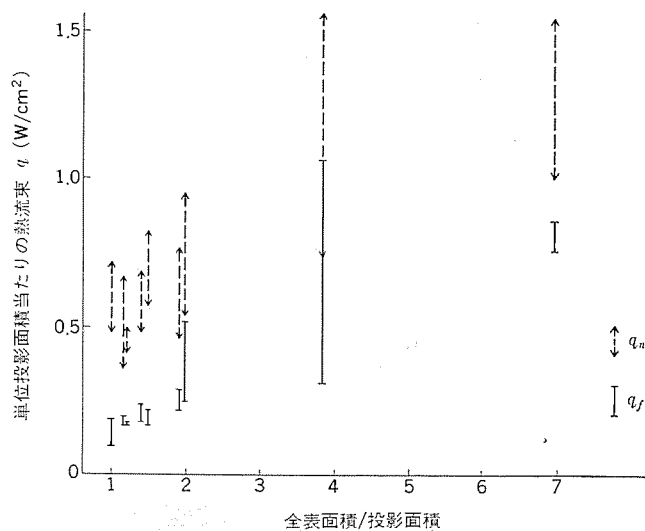


図 9. 熱伝達特性

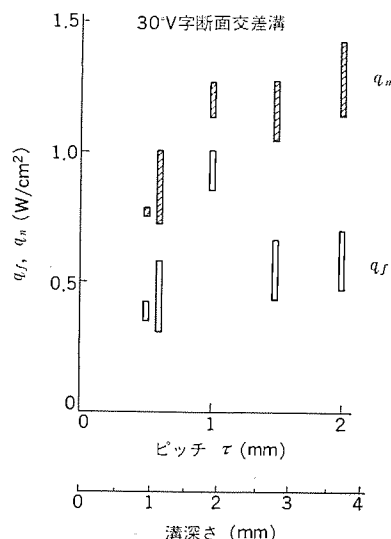


図 10. q_n , q_f のピッチ依存性 (30°V)

る。ここでは, 核融合に絞ってその成果の 2, 3 について述べる。

3. 4. 1 超電導トロイダルマグネットの開発

当社は超電導 トロイダルマグネット として日本原子力研究所に クラスター・テスト・コイル (CTC) 1 個を製作納入した。

CTC は円形の大形超電導 マグネット で, 日本原子力研究所により超電導 トロイダルマグネット 開発の第 1 段階として計画されたもので, 真空容器内に 2 個扇状に配置し被試験コイルに トロイダル 磁界を発生するものである。

図 11. にヘリウム容器に収納された CTC を, また 表 1. に CTC の主要諸元を示す。コイルは超電導体をパンケーキ状に巻線し積層したもので, 電磁力支持構造兼用のヘリウム容器に収納されている。また超電導体の機械強度を向上させるために, 安定化基材として半硬 Cu 基材を使用している。

CTC の製作に先だって, CTC の使用超電導体によりモデルパンケーキコイルを試作し, 超電導特性及びコイルの応力を測定した⁽¹¹⁾。モデルコイルは内径 200 mm, 外径 380 mm, ターン数 10 のパンケーキコイルを 3 枚積層したもので, 中心のパンケーキに常電導部分の発生のために長さ 50 mm のヒータが埋込まれている。図 12. にコイル電流と SN 遷移時のヒータ電力との関係を示す。超電導回復電流は $N \rightarrow S$ 遷移可能な最大ヒータ電力が零となる電流値で, この値は約 2,150 A

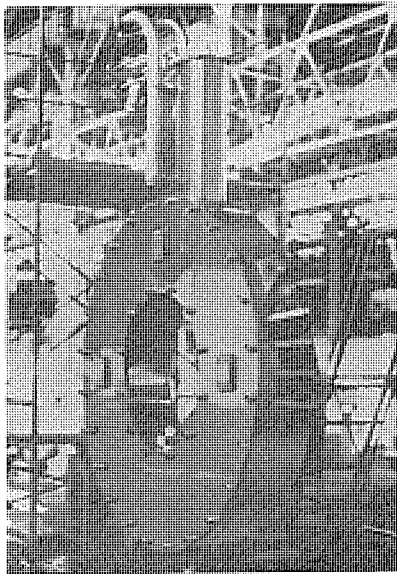


図 11. ヘリウム容器に収納したクラスター・テスト・コイル

表 1. クラスター・テスト・コイルの諸元

巻線寸法 (内径)	1,054 mm
(外径)	1,946 mm
(長さ)	250 mm
方式	シングルバンケーキ
ターン数	60 ターン×26 層
起磁力	3,346.2 kA・T
コイル冷却方式	LHe 直接浸漬冷却
定格電流	2,145 A
コイル平均電流密度	30 A/mm ²
最大磁界 (CTC 単体)	5.2 T
(CTC 2 個直列)	5.9 T
(テストモジュールコイルと組合せる場合)	7.0 T
蓄積エネルギー (単体)	8.9 MJ
(2 個直列)	21 MJ
超電導線寸法	7×7 mm
方式	NbTi 極細多心・半硬 Cu 基材モノリス
臨界電流 (4.2 K)	2,900 A 以上/7 T

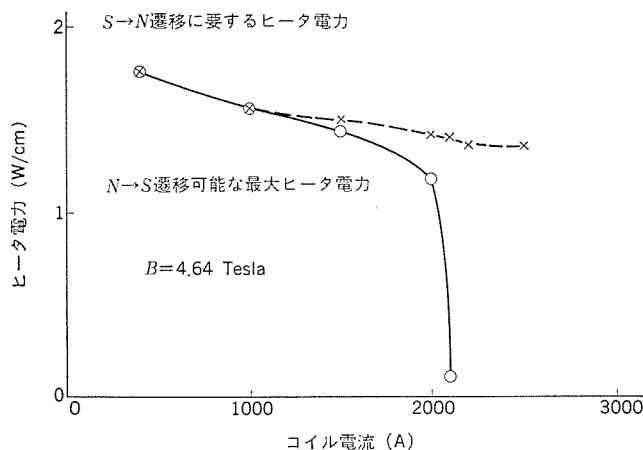


図 12. コイル電流と SN 遷移時のヒータ電力

であった。またコイルは線材単位長さ当たり 0.9 W までの外乱に対して超電導破壊しないことが明らかになった (ヒータ電力 1.35 W/cm のうち 1/3 は隣のターンに逃がっている)。CTC は前述の安定化の検討とこれらの結果を考慮して設計された。またバンケーキコイルに働く応力は巻線内側で 4.5 kg/mm²、外側で 2.5 kg/mm² であり、コイルを厚肉円筒と近似した場合の計算値とよく一致した。したがって、CTC の巻線構造ではコイルをほぼ一体物とみなせる構造になっている

表 2. CTC 社内試験による主要特性

予冷時の最大温度差 (280→80 K 冷却のとき)	60 K
巻線部 ヘリウム容器	30 K
LHe 蒸発量 (平均)	23 l/h
励磁電流	2,145 A (励磁速度 23 A/min)
応力 (定格励磁時) 巻線外側 ヘリウム容器内周	6.8 kg/mm ² 1.3 kg/mm ²

ることが明らかになった。

納入前に CTC 単体特性を確認する目的で社内試験用クライオスタットに収納して冷却、定格励磁試験を実施した。表 2. に CTC 社内試験による主要特性を示す。コイル電圧にスパイクが重畳していないこと、発生磁界と計算値が 1 % 以内の精度で一致していることなどが確認された。なお納入された CTC は冷却励磁試験によって、単体及び 2 個組合せの場合、それぞれ定格運転特性を得ることができた^{(12)~(15)}。

3. 4. 2 超電導ポロイダルマグネットの開発

ポロイダルコイルで問題となる超電導導体の交流損失について基礎研究を行い、核融合用ポロイダルマグネットを目標とするパルス超電導マグネットを開発、製作している。

表 3. に交流損失の測定例を、表 4. 及び表 5. に電子技術総合研究所納め 78 kJ 及び 402 kJ 超電導パルスマグネット及び超電導導体の諸元を、また図 13. に 402 kJ 超電導パルスマグネットを示す。

78 kJ パルスマグネットは^{(16) (17)}、超電導導体として NbTi-Cu モノリス導体の成形より (撚) 線を Sn-Ag ソルダ・ディップしたものを使用し、撚線をノメクス・スパイラル巻きしてコイルに巻線し、軸方向にコイルを圧縮して固定している。このマグネットの励磁特性は極めて良好で、電源の制限のため 1 秒で 4 T 及び 3 秒で 4 T から 6 T までのパルス運転を数 10 回行ったが全くクエンチしなかった。交流損失も小さく 1 サイクルで約 100 J であった。

402 kJ パルスマグネットは^{(18) (19)}、超電導導体として NbTi-Cu-CuNi モノリス導体の成形撚線を Sn-Ag ソルダ・コーティングしたもので、巻線及び固定法は 78 kJ パルスマグネットの場合と同じである。パルス運転は

表 3. 導体の交流損失測定結果の 1 例

磁界波形	B_p (T)	f (Hz)	\dot{B} (T/s)	交流損失 (mw)
	0.5	0.5	0.5	195
	0.5	1	1	432
	0.5	0.125	0.33	146~148
	0.5	0.25	0.66	343~352
	0.5	0.5	1.33	829~868

被測定コイル、内径 40 mm 2 層ソレノイドコイル (線材長 = 4.6 m 両端開放)、超電導線、寸法 1.4 mm × 2.8 mm 撚線 (ストランド数 = 8)

表 4. 78 kJ 及び 402 kJ 超電導 パルスマグネット の諸元

	78 kJ	402 kJ
コイル形式	スプリットコイル ソレノイド・バンケーキ	単一コイル ソレノイド
有効内径 (mm)	100	200
巻線内径 (mm)	111.5	220
巻線外径 (mm)	265.7	399
巻線長さ (mm)	93.6×2	345
定格中心磁界 (T)	6.0	6.0
定格最大磁界 (T)	6.5	6.4
定格電流 (A)	697	2,510
定格コイル平均電流密度 (A/mm ²)	96	71.9
インダクタンス (H)	0.32	0.119
到達最大磁界 (T)	6.5 No quench	6.6 quench
到達蓄積エネルギー (kJ)	78	402

表 5. 78 kJ 及び 402 kJ 超電導 パルスマグネット の使用
超電導導体の諸元

	78 kJ	402 kJ
導体形式	成形燃線	成形燃線
寸法 (mm)	1.4×2.8	1.94×11.64
燃線		
ストランド数	8	23
ストランド・ピッチ (mm)	28	100
Ic(A)	1,750/6 T	5,200/6 T
索線		
直径 (mm)	0.71	1.0
Cu/CuNi/NbTi	2/0/1	3.35/0.97/1
NbTi 心線直径 (μm)	33	20
本数	150	456
ツイストピッチ (mm)	14	12.5

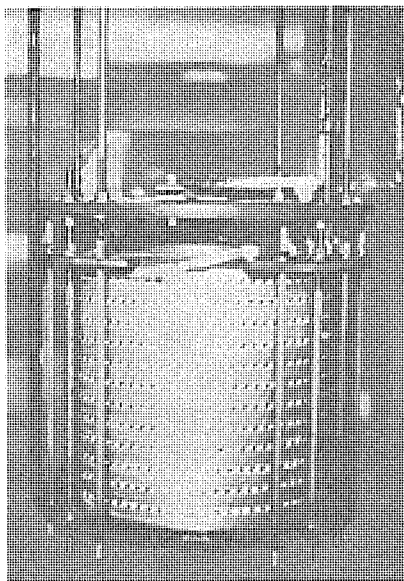


図 13. 402 kJ 超電導 パルスマグネット

1.5 T/s で定格電流 2,510 A まで、更に 3.5 T/s で 2,260 A までの急速励磁を安定に行うことができた⁽¹⁹⁾。大容量の パルス 電源を用いれば、更に高い dB/dt 特性を得ることができると考えられる。

当社は、上記以外に日本原子力研究所納め 10 kA パルス 導体モデルコイル 及び平行 パルス 磁界印加用 マグネット、高 エネルギー 物理学研究所納め シールドマグネットなどを製作した。また、大阪大学納め 500 kJ 級パルスマグネットを製作中である。

3. 4. 3 強制冷却方式 マグネット

超電導 マグネット の大形化に伴い、冷却方式も液体ヘリウム浸し(漬)冷

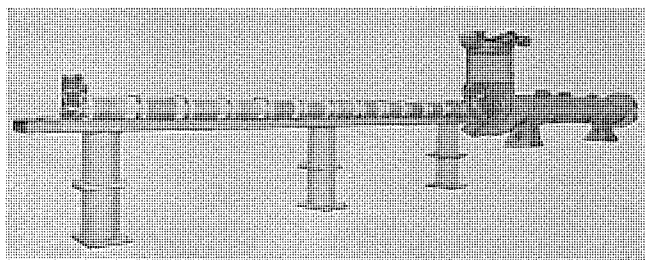


図 14. ミュオンチャネル 用超電導 ソレノイド

表 6. ミュオンチャネル 用超電導 ソレノイド の主要諸元

超 電 導 線 構 成 寸 法 Ic (4.2 K, 5 T)	NbTi-Cu モノリス 1.6×3.2 1,750 A
コイルユニット 長 さ 外 径	500 mm 210 mm
インダクタンス (全コイル)	4.3 H
蓄積エネルギー	1.14 MJ
ソレノイド冷却 SHE 流量 SHE 温度	5 g/s 4.5 K
パワーリード冷却 冷 媒 流 量	LHe 0.2 g/s
クライオスタット 真 空 容 器 熱シールド	鉄シールド兼用 LN ₂ シールド及び 6 K SHE シールド

却だけでなく強制冷却の採用が考えられている。当社は強制冷却の一方式である超臨界ヘリウム(SHE)冷却について、東京大学納めミュオンチャネル用超電導ソレノイドの開発により多くの経験を得ている。

図 14. 及び表 6. にそれぞれミュオンチャネル用超電導ソレノイド及びその主要諸元を示す。このソレノイドはわが国初の本格的な超電導マグネットシステムであり、内径 120 mm、長さ 6 m のエポキシ含浸超電導コイルで電流 730 A で中心磁界 5 T を発生することができる。コイルはコイル外筒の冷却管に超臨界ヘリウムを供給して伝導により冷却されている。

また、NbTi 線及び Nb₃Sn 線の強制冷却モデルコイルを製作し、日本原子力研究所に納入している。

3. 5 ヘリウム冷却システム

超電導 マグネット の大形、高磁界化に伴って、極低温冷却法も液体ヘリウム浸漬冷却とともに超臨界ヘリウムによる強制循環冷却や超流動ヘリウム冷却などもますます多様化してきた。このような極低温冷却法の新しい要求は、ヘリウム冷却システムに対して単なる液体ヘリウムの供給だけでなく、冷凍効率の向上、ヘリウムガスの自動回収、高信頼運転など超電導マグネットと組合せシステムとして合理的な運転機能を有することが要求されてきた。

当社は超電導極低温技術に関する実験研究を更に充実させるために、重量 10 t 級の大型超電導マグネットを冷却できる極低温冷却設備を設置した。図 15. に極低温冷却設備 液化速度 100 l/h、液体ヘリウムコンテナ容量 1,000 l の設置状況を示す。図 16. は全体構成図であり、次の運転機能を備えている。

- (1) 超電導 マグネット を 20 K 以下に予冷する。
- (2) 超電導 マグネット に液体ヘリウムを連続的に供給する。
- (3) 蒸発したヘリウムを常温にして回収する。
- (4) 回収したヘリウムガスを精製して貯蔵する。

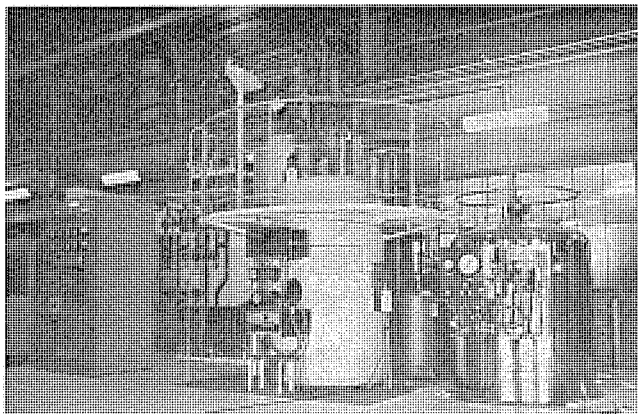


図 15. 100 L/h ヘリウム 液化装置及び 1,000 L 液体 ヘリウム コンテナ (昭 54 年)

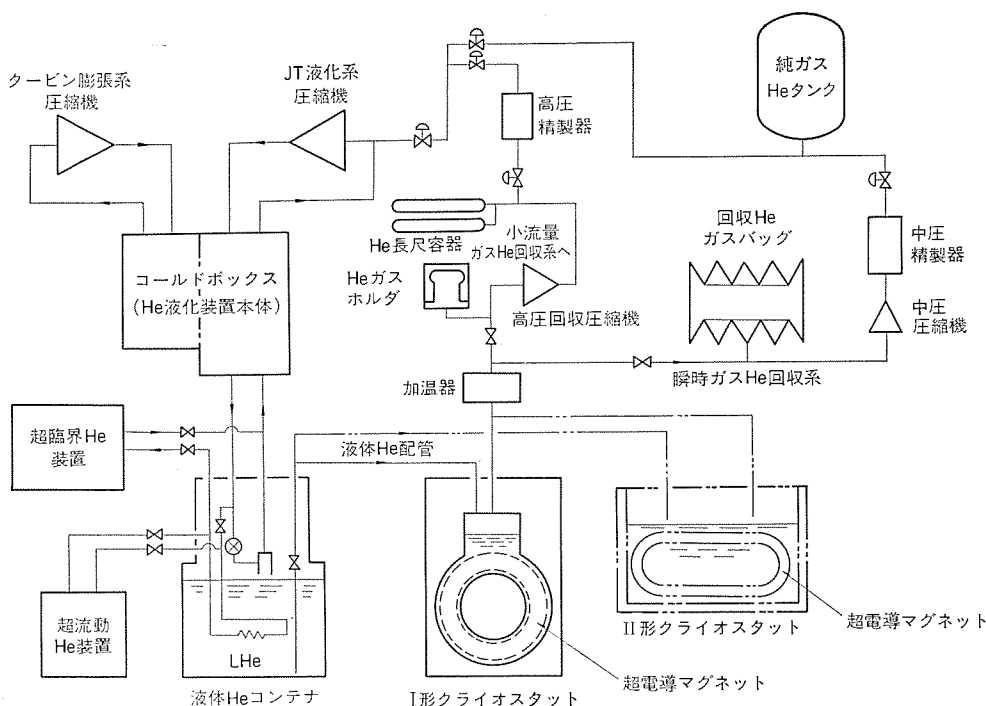


図 16. ヘリウム 冷却 システム 全体構成図

(5) 超電導 マグネット を常温に昇温する。

以上の定格運転は大形大重量のクライオスタット (超電導 コイル を収納する極低温容器) に直結し、いわゆる閉サイクル運転となる。また、この設備は専用冷却装置を付属させて超臨界 ヘリウム 及び超流動 ヘリウム を生成することができる。更に超電導 コイル のトレーニング 実験が可能な瞬時蒸発 ガス 回収能力をもっており、液体ヘリウム 換算で毎回 150 L 以上の ヘリウム を連続回収できる。

当社はこの設備により各種の超電導 マグネット を試験するとともに、新しい冷却方式である超臨界 ヘリウム 冷却及び超流動ヘリウム 冷却の研究を行っている。

4. む す び

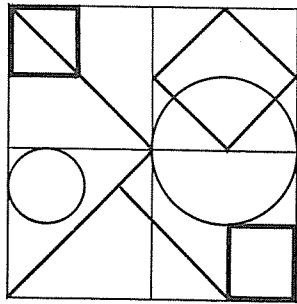
以上、核融合に絞って大形高磁界超電導 マグネット の技術的課題と当社の開発の現状について述べた。これらの大形高磁界超電導 マグネット は日本原子力研究所、電子技術総合研究所、各大学等が中心になり開発を推進している。当社はこれらの各研究機関の御指導のもと技術の蓄積を図り、その開発を進めており、今後とも超電導技術、極低温技術の確立をめざし取組んでゆく所存である。

終わりに、超電導 マグネット の開発について御指導、御協力をいただいている関係各位に対し、心から謝意を表する次第である。

(昭和 56-5-6 受付)

参 考 文 献

- (1) USA Patent No. 3671226, 日本特許 登録番号 558581
- (2) 石原ほか：三菱電機技報, 43, No. 12, p. 1599 (昭 44)
- (3) 岩本ほか：三菱電機技報, 52, No. 11, p. 779 (昭 53)
- (4) USA Patent No. 3905839, 日本特許 登録番号 989142
- (5) T. Yamada et al. : 7th International Conference on Magnet Technology, FA-5, Karlsruhe (1981)
- (6) Z. J. J. Stekly : NS-12 IEE E Tans of N. S 367 (1965)
- (7) B. J. Maddock et al. : Cryogenics, 9, 261 (1969)
- (8) 服部ほか：第 20 回低温工学研究発表会, A1-10, 10 (昭 53)
- (9) J. E. Williams : Phys. Lett., 19, 96 (1965)
- (10) 山田ほか：第 22 回低温工学研究発表会 B1-7 (昭 54)
- (11) 島本ほか：第 22 回低温工学研究発表会 A1-7 (昭 54)
- (12) 島本ほか：第 25 回低温工学研究発表会 A1-10 (昭 55)
- (13) 松山ほか：同上 A1-11
- (14) 茨木ほか：同上 A1-12
- (15) 小泉ほか：同上 A1-13
- (16) Onishi et al. : Experiment of pulsed superconductive energy storage, Int'l Symp. SC Energy Strage (1979)
- (17) 小山ほか：電気学会東京支部大会, 291 (昭 55)
- (18) 小山ほか：第 25 回低温工学研究発表会 B1-2 (昭 55)
- (19) 大西ほか：同上 B1-4



特許と新案

エレベータ乗場の到着予報装置 (特許 第 940230 号)

発明者 鈴木 修

この発明は乗場呼びに最も早く応答するかごを予測して、到着予報灯を点灯する装置に関するものである。

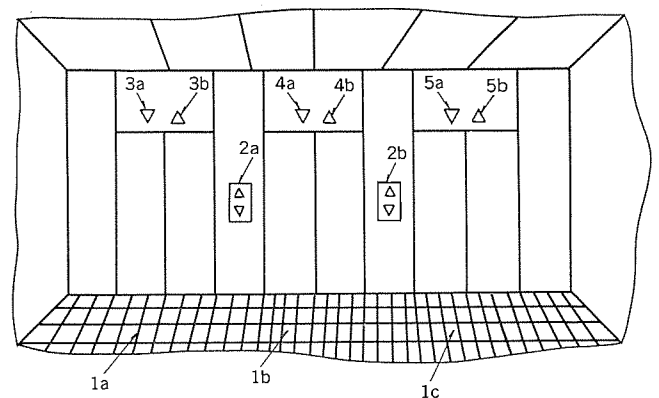
図において、(1a)～(1c)は1～3号機のエレベータの乗場、(2a)、(2b)は乗場ボタン、(3a)、(3b)、(4a)、(4b)、(5a)、(5b)は1～3号機の到着予報灯の上り灯及び下り灯である。

乗場ボタン(2a)、(2b)により、例えば下り呼びが登録されると、予測装置(図示しない)が動作し、上記乗場呼びに最も早く応答するかごを予測演算する。今、1号機のかごが予測されたとすると、1号機の到着予報灯の下り灯(3a)は点灯し、乗場の待客に知らせる。その後交通状態の変化があって上記予測装置の予測が他号機に変更されても、下り灯(3a)の点灯は維持され他号機に変更されることはない。

1号機の下り灯(3a)が点灯しているとき、2号機のかごがこの階床に停止を決定すると、1号機の下り灯(3a)は消灯して2号機の下り灯(4a)が点灯する。そして1号機の下り灯(3a)は、もはや点灯しない。

このようにして、到着予報灯が点灯した後は、他のかごがその階

に到着を決定する場合以外に変更されることはない。したがって、到着予報灯の点灯変更は1回限りとなるから、乗場の待客は乗場を再々移動してむだ足を運ばされることなく、能率よく乗り込みができる。



表面検査装置 (特許 第 921210 号)

発明者 稲荷 隆彦・高嶋 和夫

この発明は物体の表面状態、例えば傷の有無などを検出する表面検査装置に関する。

従来の装置では、被検査物体表面に光を投射し、その反射光(又

は透過光)の強度と基準強度とを比較し、表面の傷を検出していたが、反射光の強度の検出のみに頼っているため、例えば光沢のある金属表面上のわずかな傷の場合、その傷による光の強度変化が小さいため十分な信号対雑音比を望めず、又被検査物体表面の光沢や色、光の照射角度、更に外部光などの影響を受け易いという欠点があった。

この発明はこのような従来装置の欠点を解消するものであり、以

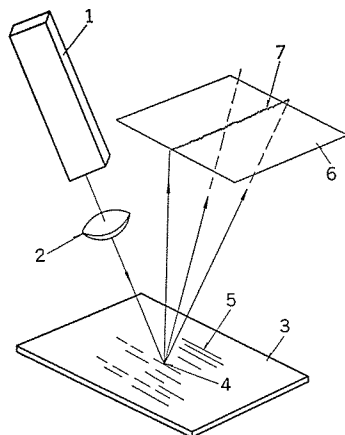


図 1

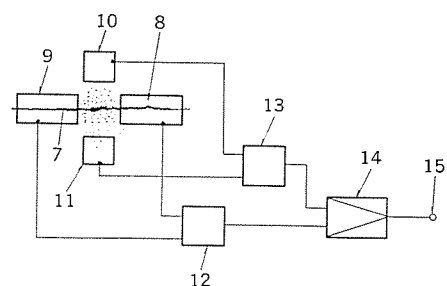


図 2

特許と新案

下、図 1. 及び図 2. を用いて説明する。

今、被検査物体面(3)が金属であり、製品の品質には無関係な微細な圧延傷(5)が一定方向に一面にある場合を例にとる。レーザ光源(1)からコヒーレントなレーザ光線が、レンズ(2)を通して、被検査物体面(3)に照射されると、観測面(6)には図示された回折パターン(7)が圧延傷の方向(5)と直角に形成される。この観測面(6)上には図 2. に示すように一対の光検出器(8), (9)が回折パターン(7)方向に位置するように、また一対の光検出器(10), (11)が回折パターン(7)方向と直角方向に位置するように配置されている。一方の光検出器(8), (9)の両出力は回路(12)で加算され、差動回路(14)に入力される。他方の光検出器(10), (11)の両出力も回路(13)によって加算され、差動回路(14)に入力される。そしてこの差動回路(14)に入力された両出力は、比較され差出力となって出力端(15)に現れる。

もし被検査物体面(3)上に傷がなく、微細な一方向性の圧延傷(5)のみがあるとすれば、光検出器(8), (9)の出力の和は、光信号のほとんど入っていない光検出器(10), (11)の出力の和に比べて極めて大きい。このため差動回路(14)により両出力の差をとると、所定値以上の信号が出力端(15)に発生する。

また逆に被検査物体面(3)上に圧延傷とは異なる傷があれば、回折パターン(7)の形は大きくくずれて全体的に広がるので、反射光が光検出器(10), (11)に入ることになり、その出力の和は、光検出器(8), (9)の出力の和に比べて相対的に増加し、所定値以下の低い信号が出力端(15)に発生する。

すなわち、出力端(15)の信号が所定値以上であるか否かにより傷の有無を判定できる。このとき回折パターンを利用しているため、傷の有無による検出力変化が大であり、小さな傷でも精度よく検出できる。

密閉形電動圧縮機の圧縮機本体支持装置 (実用新案 第 1230069 号)

考案者 竹田 茂・土屋 邦彦

この考案は圧縮機本体をその重量を下方より支える縦ばねと、その回転軸まわりの振動を吸収する横ばねとで密閉外被内に弾性的に支持する支持装置の改良に関し、特に横ばねに引張り力やねじり力が加わらないようにしたものである。

図 1. において、(1)は上容器(2)と下容器(3)とからなる密閉外被、(4)は圧縮機本体、(5)は下容器(3)内底部に固着された縦ばねである。(6)はこの考案のばね金具で、図 2., 3. のように固定基部(7)と逆L状の係合片部(8)からなり、この係合片部(8)にはばね(9)を保持する一対のつと(凸)部(10)、(10)を有する穴(11)が設けられている。(12)は圧縮機本体(4)の側壁部に固着された支持金具で、ばね金具(6)に保持されたコイルばね(9)の両端が当接するような側壁を有し、かつ上記ばね金具(6)の係合片部(8)が挿

入される切込み溝(15)を備えている。

組立てに際しては、支持金具(12)を固着した圧縮機本体(4)を下容器(3)に載置した後、ばね金具(6)を固着した上容器(2)を係合片部(8)が切込み溝(15)に挿入されるように組合せる。

このように構成したこの考案によれば、圧縮機本体の半径方向の振動は支持金具の切込み溝(15)とばね金具の係合片部(8)との係合によって規制され、ばね(9)が受ける力は圧縮機本体の円周方向、つまり回転軸まわりの振動に対して支持金具(12)がばね(9)の両端部を押す圧縮力だけとなり、したがって従来のもののようにねじり力や引張り等の複雑な力が加わることがなく、ばねの折損事故が起りにくいという長所がある。また、組立作業性においてもすぐれており実用効果が高いものである。

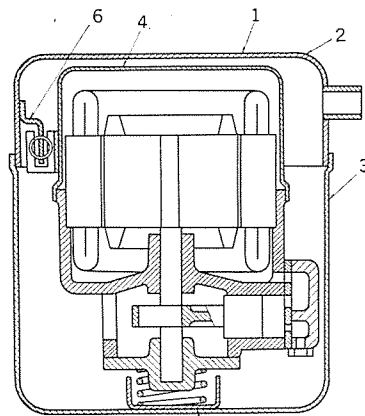


図 1

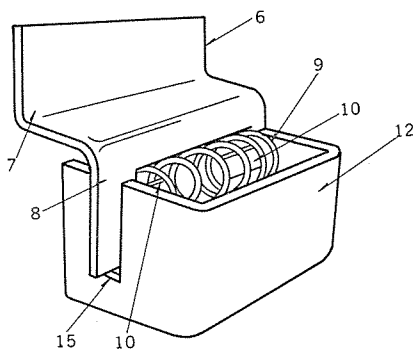


図 2

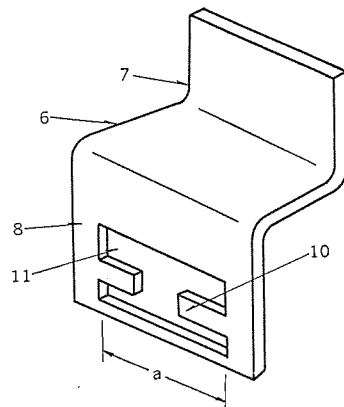


図 3

《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》の素子実装技術

今村 貞良*・有賀 幾夫*・吉岡 猛*・尾形 友博*・岩撫 秀雄*

1. ま え が き

《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》(以下800Ⅲ/Sと記す)は、《MELCOM-COSMO 700Ⅲ/700S》(以下700Ⅲ/Sと記す)の上位機種として開発した高性能はん(汎)用計算機である。従来の《MELCOM-COSMO シリーズ》の持つ特長はすべて包含しているとともに、更にハードウェアテクノロジーの点では以下のような特長を有している。

(1) 64Kビットの記憶素子を採用し、かつ高密度実装技術により主記憶の容量をユニプロセッサ構成で8Mバイト、マルチプロセッサ構成で16Mバイトに拡大しシステムの大形化に対応している。

(2) 高速のECL(Emitter Coupled Logic)パツファミリ方式の採用と以下に述べる高速ECLゲートアレーの採用により、700Ⅲ/Sの約2倍のハードウェア性能を実現している。

(3) 1000ゲート/チップ、0.9ns(ナノ秒)/ゲートという高集積、高性能のECLゲートアレーを基本処理装置のみならず主記憶装置、チャンネル制御装置、浮動小数点演算処理装置に至るまで採用し、かつリードレスパッケージと多層セラミック基板を組合せた新しい実装方式の採用により、システムの小形化・高性能化を達成している。

(4) 以上に述べたような新しいテクノロジーの成果により、主記憶8Mバイトを含む本体部と磁気ディスク/磁気テープ制御装置、カード読取装置/ラインプリンタ装置などの中低速入出力制御装置、通信制御処理装置などの入出力制御装置を含めたシステムが、キャビネット(幅850mm、奥行725mm、高さ1,610mm)1本に収容され、ミニコンなみの設置スペースを実現した。

本文では800Ⅲ/Sで採用した新しい素子技術・実装技術について、開発設計時に配慮した点を中心に述べる。

2. ECL LSI

800Ⅲ/Sのハードウェア技術の基本となっているのはECL LSIであ

る。800Ⅲ/Sではマスタスライス方式のECLゲートアレーを採用し、約100品種の専用ゲートアレーを使用している⁽¹⁾。このような多品種のゲートアレーを使用する場合、ゲートアレー共通の電氣的・構造的仕様を如何に設定するかは極めて重要である。この仕様によってLSI化の効果は大きく左右される。800Ⅲ/Sで採用したECLゲートアレーの仕様を決定するにあたっては以下の点を配慮した。

(1) 集積度と入出力ピン数のバランス

1チップ内のゲート数をいかに大きくしても、そのチップの入出力ピン数が少ない場合は、内部ゲートの使用効率が低下し無駄となる。また逆に入出力ピンが多い場合はより多くの内部ゲートが欲しいということになる。ゲート数とそれに適合した入出力ピン数の関係は、計算機の論理構成法による差、論理演算部分と制御部分による差などにより変わってくる。800Ⅲ/Sでは概略設計段階で図1.のような関係であることが分かり、ゲート数を約1,000(内部900、出力パツファミリ98)、入出力信号ピン116に選んだ。ここで言うゲート数とは実際のECL回路数を意味しており、ワイアードロジックを使用したゲート数も含めると更に15~20%増大している。

(2) 集積度、消費電力と速度のバランス

一般に高速をねらうと消費電力が増大する。また集積度を上げると消費電力も増大する。消費電力の増大は信頼性の低下又は冷却コストの増大の原因となる。消費電力を抑えながら集積度を上げると速度の低下をもたらす。消費電力と速度の問題は半導体技術(回路設計と製造プロセス)の進歩により大幅に改善されてきたが、更に効果的なLSIを得るためには、両者のバランスを配慮する必要がある。

今回採用したECLゲートアレーの基本回路を図2.に示す。図3.は集積度と速度の関係消費電力をパラメータとして示している。800Ⅲ/Sの性能の点から内部ゲートの遅延時間は0.9ns/ゲート、空冷方式で容易に冷却可能という点から消費電力は約2W/チップが妥当と判断した。

(3) 出力パツファゲート

ゲートアレーチップ間の信号布線容量は、チップ内の布線容量よりも約2けた(桁)大きい値となるため、出力には駆動能力の大きいパツファゲートを設けている。入出力特性は市販されているECL素子(ECL

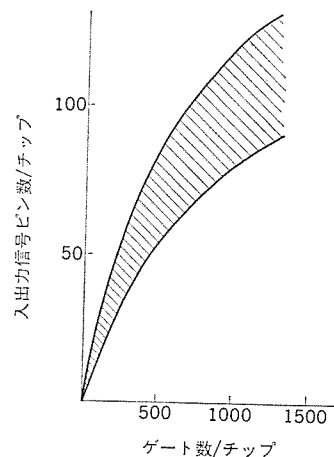


図1. 《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》主要論理部の入出力信号ピン数とゲート数の関係

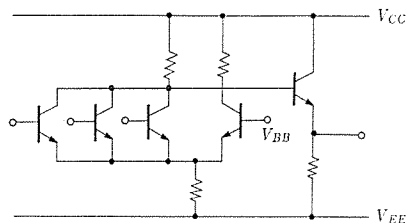


図2. ECLゲートアレー基本回路

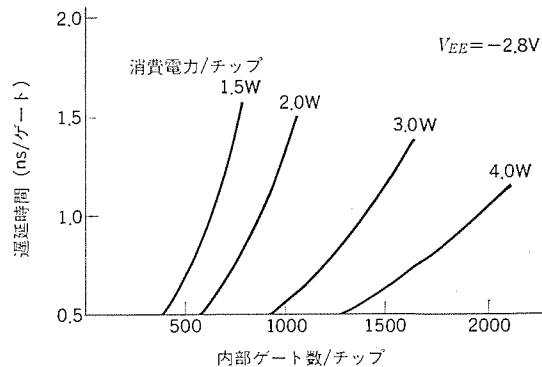
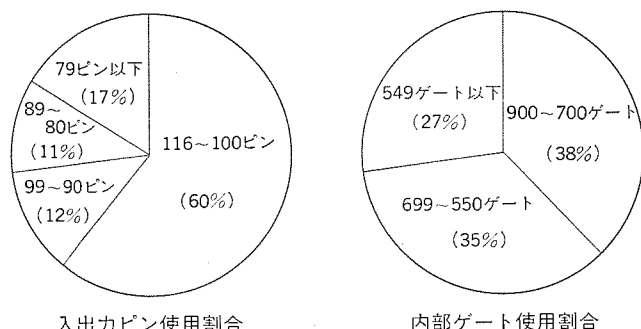


図3. 集積度と遅延時間

表 1. ECL ゲートアレー 概略仕様

項 目	仕 様
基 本 回 路	ECL
ゲ ー ト 数/チ ャ ッ プ	998 {内部ゲート 900 出力バッファゲート 98}
入 出 力 ピ ン 数/チ ャ ッ プ	124 {信号 116 $V_{CC} \cdot V_{EE}$ 8}
電 源 電 圧	-2.8 V 単一電源
消 費 電 力/チ ャ ッ プ	Typ. 2.0 W



入出力ピン使用割合 内部ゲート使用割合
図 4. ゲートアレーの入出力ピン及び内部ゲートの使用割合

10K など) との コンパチビリティ を持たせているが、出力バッファゲートの駆動能力を必要以上に大きく設定すると、消費電力及び バッファゲート自体の遅れの両面から不利となるため、駆動可能なラインインピーダンスは 100Ω 程度に抑えた。

表 1. に ECL ゲートアレー の仕様を示す。図 4. は 800Ⅲ/S の基本部に使用している約 80 品種の ECL ゲートアレー の入出力信号ピン及びゲートの使用割合を示す。

3. 多層セラミックモジュール実装

800Ⅲ/S の実装方式の特長は、124 ピンの リードレスパッケージと多層セラミック基板とを組合せたいわゆる セラミックモジュール 実装にある。

LSI パッケージサイズを小さくするため、ピンピッチが約 0.76 mm の リードレスパッケージを採用し、また リードレスパッケージを効率良く実装する方式として、外形寸法 71 mm×66 mm の多層 (12 層) セラミック基板を用いたセラミックモジュール実装方式を採用した。セラミックモジュールからは約 300 の入出力ピンが出ており大形 (450 mm×420 mm) のガラスエポキシ多層プリント基板に実装している。

表 2. にセラミックプリント基板の仕様を、図 5. にセラミックモジュール外觀を示す。

セラミックモジュール実装方式の効果を、1 例としてフラットパッケージ (1.27 mm ピッチのリードのもの) をガラスエポキシプリント基板に取付けた実装方式と比較すると、リードレスパッケージはフラットパッケージよりも外形寸法が小さいこと (約 2/3)、パッケージ間の信号配線がセラミック基板内で処理されていること (信号配線長は約 4 m/枚) 及びこのため大形プリント基板上で接続される信号数が減少していること (約 40% 減) などにより、実装密度は約 3 倍になる。

セラミックモジュール実装に関して、開発設計時点で配慮した点を以下に述べる。

(1) リードレスパッケージ⁽²⁾

124 ピンのパッケージを例えば 1.27 mm ピッチのフラットパッケージにした場合、パッケージ本体の外形寸法は約 40 mm×40 mm となり、更にリード長を加算すると 50 mm×50 mm 以上の大きさとなる。リードは

表 2. セラミックプリント基板仕様

項 目	仕 様
外 形 寸 法 (mm)	71×66
厚 さ (mm)	2.2
基 本 格 子 (mm)	2.54 (100 ミル)
ス ル ホ ー ル ピ ッ チ (mm)	1.27
最 小 導 体 間 隔 (mm)	0.2
ス ル ホ ー ル 径 (mm)	0.2
入 出 力 ピ ン 数	299 ピン
リードレスパッケージ搭載数	124 ピンのもの最大 4 個
層 数	12

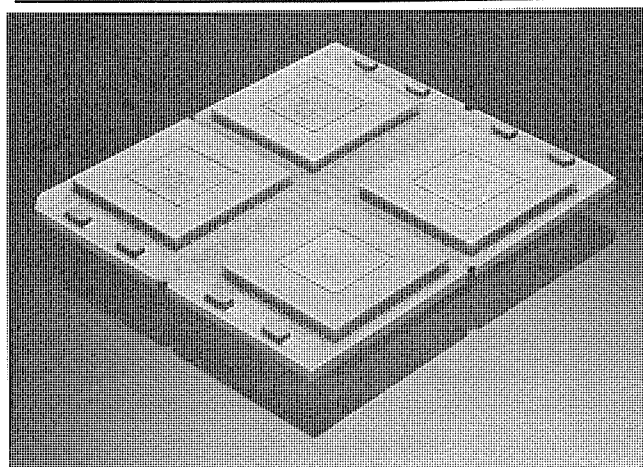


図 5. セラミックモジュール

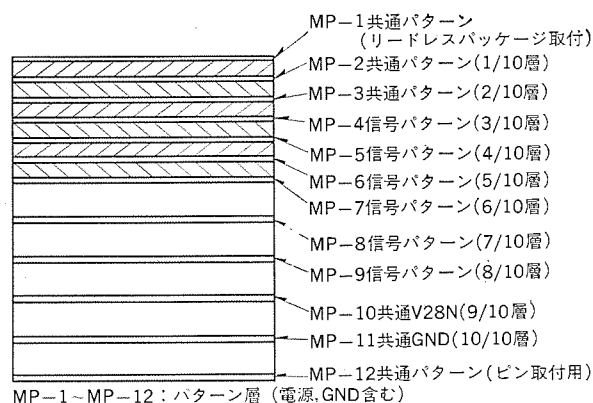


図 6. セラミック基板の層構成

パッケージ自体のコストを高くする要因ともなっているが、更にプリント基板への組立工程においてリードのフォーミング加工が必要であり、加工後の取扱いの注意も必要である。リードレスパッケージは以上のようなリードの欠点を無くし、かつ高密度実装という点から採用した。リードレスパッケージのピンピッチはセラミックモジュールの組立及びゲートアレー素子エージングやテスト用に必ず (須) の IC ソケットの実現性を考慮して、0.76 mm に設定した。この結果パッケージの大きさは約 29 mm×29 mm になっている。

(2) 多層セラミック基板

セラミック基板の大きさは、製造上の歩留りを考慮して 100 mm×100 mm 以下に抑えることにした。結局 LSI 4 個をと (搭) 載するために必要最小限の寸法として 71 mm×66 mm を選んだ。セラミックモジュールが従来の dual in line パッケージと混在して大形プリント基板に取付けられるように、セラミック基板のリードはプラグインタイプとし、リードピッチは 100 ミル及びその整数倍にした。

セラミック基板の層構成は図 6. に示すように、最外層の 2 層（ゲートアレー 取付用 パッド と入出力ピンリード部）及び内層の 4 層（給電層とゲートアレーパッドからの展開層）を完全に共通化して設計の効率化を図った。個別の信号層はフィルムの自動作画及び設計の自動チェックを行い設計期間の短縮及び質の向上を図った。

(3) 階層的実装構造に対応した実装設計

800Ⅲ/S の実装方式では信号配線が以下のような階層構成となっている。

ゲートアレーチップ 内配線（ゲート 間の接続）

セラミックモジュール 内配線（ゲートアレーチップ 間の接続）

大形カード 内配線（セラミックモジュール 間の接続）

マザーボード による配線（大形カード 間の接続）

800Ⅲ/S の実装設計では、既略論理設計（LSI 分割）が終了した段階で、特に高性能を必要とする基本処理装置（BPU）、主記憶装置（MMU）及びチャネル制御装置（CHC）間のバス信号配線が最短になるようマザーボードの構造設計をした。更にこれらの装置内（大形カード内）のセラミックモジュールの配置を行い、速度上クリティカルな論理信号布線が最短になるよう留意した。速度上最適化するように同一セラミック基板上に搭載するゲートアレーの組合せを選択し、セラミックモジュールのピン割付け及びリードレスパッケージ（ゲートアレー）のピン割付けを行った。したがって、ゲートアレーチップ内の配置・配線設計は大部分の入出力信号ピンアサインをあらかじめ指定して行うという方式にした。言い換えれば、各ゲートアレーがどのカードのどのセラミックモジュールのどこに実装されるかは、ゲートアレー設計が行われる前に決めていたわけであり、したがってゲートアレー出力パッファのエミッタ抵抗を何Ωにすればよいかを、各信号ラインの布線容量の大小及び必要速度に対応して決めることができた。このような設計手順により、エミッタ抵抗が大きくてもよい（700Ω）場合は、その抵抗をゲートアレーに内蔵して外部に付加する抵抗を不要とし、速度上エミッタ抵抗を小さくする必要がある場合のみ、外部にその抵抗を付加してゲートアレー内部での消費電力を抑えるようにした。

800Ⅲ/S の各階層の信号配線長は、1 例として基本処理装置のカードでは表 3. のような結果となっている。

表 3. 信号配線の長さ—基本処理装置のカード例

	LSI チップ内	セラミックモジュール	大形カード
1 信号当たりの平均線長 (mm)	1.1	14.0	46.0
1 チップ又は 1 枚当たりの配線長 (m)	0.784	6.3	400
総配線長 (m)	42	100	—

4. カード実装及びボード実装

800Ⅲ/S のカード及びボード実装方式は、外観的には従来の《MELCOM-COSMO シリーズ》とほぼ同一であるが、内容は少し異っている。以下に 800Ⅲ/S のカード及びボード実装方式の特長について述べる。

(1) 大形カードの採用

装置が全面的に LSI 化され、セラミックモジュール実装に統一されたが、800Ⅲ/S のカード実装仕様はこのセラミックモジュールを効率良く実装するという観点から大形のカードを採用した。高集積度のゲートアレー実装でよく問題となるのは、ゲートアレー内部のゲート速度は高くても、

表 4. 大形カードプリント基板仕様

項	目	仕 様
外 形 寸 法 (mm)		450×420
層 数 (層)		12
標準スルホール径 (mm)		0.8
基本格子 (mm)		2.54 (100 ミル)
セラミックモジュール搭載可能数		最大 25 枚
標準入出力ピン数		500
材 料		ガラス基材エポキシ

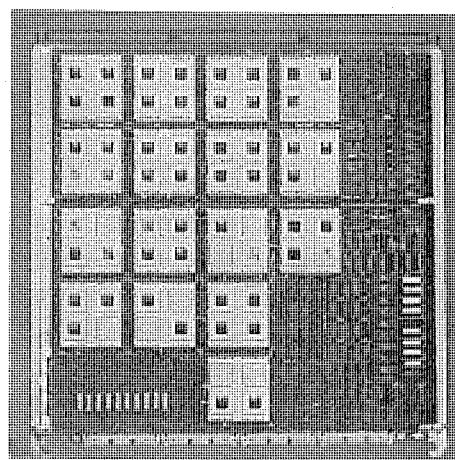


図 7. セラミック搭載の大形カード

ゲートアレーチップ間の布線によって全体の速度が低下することである。布線による遅れを少なくするために、ゲートアレーの出力パッファの駆動能力を上げると、出力パッファ回路の消費電力が増大し、LSI チップ全体の消費電力が増大する。ゲートアレーチップの許容消費電力が一定という条件のもとに、出力パッファの駆動能力を上げると、内部ゲートの消費電力（=ECL のスイッチ電流）を下げる必要があり結果として内部ゲートの速度を落とすという矛盾が生ずる。

800Ⅲ/S では同一装置に必要なセラミックモジュールは 1 枚のカード内にすべて実装するという方針を貫き、表 4. に示すようなカード仕様を採用した。この結果、カードが複数枚に分割されることによる損失を抑えることができ、実際 800Ⅲ/S の基本処理装置の主要論理回路部、主記憶装置（制御部+1 Mバイト）、チャネル制御装置などは 1 枚のカードで実現している。図 7. にセラミックモジュールを搭載したカードの 1 例を示す。

(2) ワイヤリング無しのボード実装

800Ⅲ/S のボードの給電方式は、従来の《MELCOM-COSMO シリーズ》とほぼ同一方式であり、冷却方式も従来同様強制空冷方式である⁽³⁾。高速・高集積の ECL ゲートアレーを使用しているが特殊な放熱フィンや冷却器は全く使用していない。

ゲートアレー及びセラミックモジュール実装方式の採用、大形カードの採用などにより、システム本体部がコンパクトになったため、本体内部のバス信号はすべてボード内のプリント配線によって接続されるようになった。その結果ボードにはワイヤリング及びケーブルが無くなり、バス信号長はわずか 300 mm 程度となり、800Ⅲ/S の高速性に適応したボード実装方式となっている。

454 mm×450 mm のボードに下記の装置のカードが実装可能である。

基本処理装置 1 台、システム制御処理装置 1 台、

チャンネル制御装置1台，入出力処理装置4台，
主記憶装置8Mバイト，高速バッファメモリ8Kバイト，高速浮
動小数点演算処理装置1台

5. 主記憶装置の実装

(1) 64Kメモリチップの採用

主記憶装置のメモリ素子としては，+5V単一電源の64Kダイナミックメモリを採用し，装置の大容量化，小形化，低消費電力化，高信頼度化を実現している。表5.には従来の《MELCOM-COSMOシリーズ》の主記憶装置に使用されている16Kダイナミックメモリとの比較を示した。

800Ⅲ/Sではキャビネット1本で8Mバイトの大容量のメモリを持つ基本システムが構成でき，従来に比べて大幅な高密度実装が可能となっている。

(2) 主記憶装置の構成

主記憶装置は記憶部(BMU)とその制御部(MCU)で構成する。記憶部は1つのバンク当たり最小1Mバイトから最大4Mバイトまで実装できる。800Ⅲ/Sシステムでは，高速バッファメモリを設けており，バンクの2ウェイ又は4ウェイのインタリーブにより最大4バンク，16Mバイトの大容量のメモリを持ち，かつ高速化を図っている。

制御部は全面的にECLゲートアレーを採用しており，1バンク当たり24品種約30個のゲートアレーで構成している。LSI化の効果と64Kメモリの採用により，多層プリント基板(10層)に制御部と記憶部(1Mバイト)を一体化して1枚の基板でメモリ装置の基本部を実現することができた。このカードを図8.に示す。これは従来の主記憶装置の8～10倍の高密度実装となっている。増設用のメモリカードは，

同一サイズのプリント基板(6層)により2Mバイトのメモリ素子を実装でき，この2種類のカードの組合せにより最大16Mバイトまで実装可能となっている。

(3) メモリカードの実装

メモリカードには制御部のECLゲートアレー，タイミング生成のためのECL10KロジックIC，ECL-TTL変換素子及び高速のTTLICからなる記憶部を実装している。このため設計において以下の点を配慮した。

(a) 信号系の実装

クロストーク(漏話)，反射，遅延などの対策として制御信号，アドレス信号とデータ信号の分離，平行線長及び分岐線長の制限，クリティカルパスの最短配線などを行うとともに，線路長及び駆動負荷条件によって終端方式も変えている。

(b) 熱設計の配慮

消費電力の大きいゲートアレーはもちろん各メモリ素子のジャンクション温度及びカードの温度分布をシミュレートし最適な配置により信頼性の向上を図っている⁽⁴⁾。

(c) 停電対策

停電時のメモリ内容の保護のために必要最小限の部分は，別系統からの給電を行いバッテリーバックアップをしている。この点を考慮して各機能別の分割配置を行った。

(d) テスト及び保守性の向上

記憶部は大容量のメモリ素子を実装しているため，システムレベルで記憶部の各種のテストを実行するのは効率が悪い。したがって，制御部とは切り離して記憶部の機能テスト及び動作マージンテストなどができるように別のインタフェースを付加している。

6. む す び

ECLゲートアレー，セラミックモジュール実装，64Kビットメモリ素子の採用などにより高密度・高性能の実装ができた。ECLゲートアレーは許容消費電力をもっと大きくすれば，集積度も速度も上がるが，特殊な放熱フィンや冷却器が必要となること及び電源自体が大きくなることから装置全体の実装密度とかコスト面で不利となる。800Ⅲ/Sでは必要最小限に消費電力を抑えるということに主眼を置いて，ECLゲートアレーの仕様や実装仕様を決めたが，それでもキャビネット内に占有する電源の容積比率は大きくなっている。計算機のLSI化及び高密度実装が進むに伴って，今後ますます電源の大きさは問題にされるところであり，電源自体の効率向上はもちろん使用素子の低消費電力化が必要と思われる。

参 考 文 献

- (1) 堀場ほか：高速ECLゲートアレー，三菱電機技報，54，No. 12 (昭55-12)
- (2) 番條ほか：“高密度実装技術”LSIのパッケージング技術，三菱電機技報，54，No. 12 (昭55-12)
- (3) 今村ほか：《MELCOM-COSMO 900Ⅱ》の素子実装，三菱電機技報，54，No. 9 (昭55-9)
- (4) 木村ほか：電子機器実装のための定常熱解析シミュレータ“ST-AC”三菱電機技報，52，No. 10 (昭53-10)

表 5. 16Kチップと64Kチップの比較

	16Kチップ素子	64Kチップ素子
使用機種	従来機種	800Ⅲ/S
集積度	16Kビット/チップ	64Kビット/チップ
アクセスタイム (ns)	200	150
消費電力 (mW)	460	250
使用電源 (V)	+12, ±5	+5
パッケージ	16ピンDIL	16ピンDIL

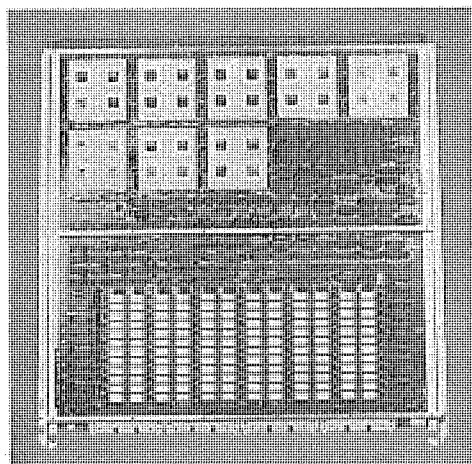


図 8. 主記憶装置カード(制御部+1Mバイト)

《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》のハードウェア

今村 貞良*・杉本 満信*・金子 昭*・田中 立夫*・朝比奈 保*

1. ま え が き

《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800S》(以下 800Ⅲ/S と記す)は、既に開発し販売中の《MELCOM-COSMO 900Ⅱ》と《MELCOM-COSMO 700Ⅲ》の中間に位置付けされる《MELCOM-COSMO シリーズ》の新モデルである。

近年注目されている分散処理、日本語処理、イメージ処理への対応を一層推進するとともに、《MELCOM-COSMO シリーズ》としての互換性を保ちながら、高速化のために最大 16 K バイトの高速バッファメモリ、主記憶装置への 2 ウェイ又は 4 ウェイのインタリーブの多重アクセス制御機能、高速テーブル変換バッファ (TTB)、高速乗算機構 (《MELCOM-COSMO 800Ⅲ》のみ)、ファンクショナルエンジン (機能別高速化機構) を装備している。更に高速・高集積度の ECL ゲートアレー、64



図 1. 《MELCOM-COSMO 800S》本体装置

K ビットメモリ素子、高密度セラミックモジュール実装などの新しい技術を採用して優れた性能/価格比を実現している。

本文では 800Ⅲ/S のシステム概要、本体装置ハードウェアの特長及び機能・構成について述べる。

図 1. に《MELCOM-COSMO 800S》(以下 800S と記す) 本体装置の外観を示す。

2. ハードウェアの特長

(1) 高速演算性能

基本処理装置は 8 K バイト/16 K バイト (KB) の高速バッファメモリ、2 ウェイ又は 4 ウェイのインタリーブ制御、動的アドレス変換バッファ機構などの方式、主記憶装置を共有する密結合マルチプロセッサなどにより高速演算性能を達成している。

(2) 主記憶容量の拡大

主記憶装置は 2 M バイト (MB) から最大 16 M バイトまでの記憶容量が可能で幅広い構成を実現している。

(3) 高密度化・高性能化

集積度ワンチップ 1000 ゲート、ゲート 1 段当たりの遅延時間 0.9 ns (ナノ秒) の高速・高集積 ECL-LSI を基本処理装置、主記憶制御装置チャンネル制御装置にとう (搭) 載し、また主記憶装置にはアクセス 150 ns の 64 K ビット (Kb) メモリ素子を採用している。ECL としては最高集積度の 4 K ビット RAM、1 K ビット ROM を使用することにより、性能の向上を実現するとともに高密度化を達成している。

(4) 可用性・保守性の向上

本体部と独立したシステム全体の制御を行うためのシステム制御処理装置を装備し、動作状態を監視するとともに障害時の記録をとることができ、また障害発生時にオンライン診断が可能で可用性・保守性の向上を図っている。

3. システム構成

図 2. に 800Ⅲ/S のシステム構成を示す。本体装置は基本処理装置、

主記憶装置、チャンネル制御装置、システム制御処理装置、入出力処理装置 (LIOP, GIOP) で構成している。800Ⅲには浮動小数点演算処理装置と内蔵アレー処理装置が組込まれている。

(1) 基本処理装置 (BPU)

これは命令の解釈と実行、割込処理などシステムの中核となる各種の機能を実行する装置で、命令の先取り制御、主記憶装置への多種リクエストなどの制御方式、動的アドレス変

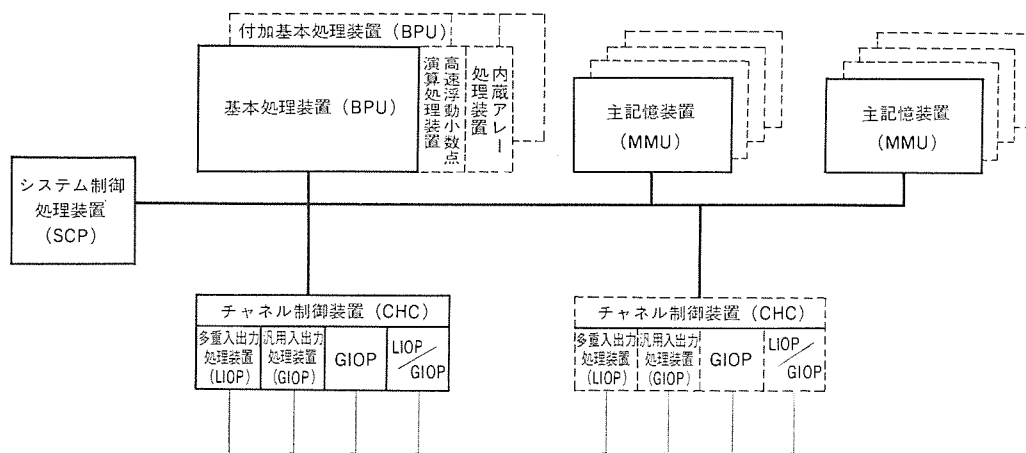


図 2. 《MELCOM-COSMO 800Ⅲ/S》システム構成

換バッファ、高速バッファメモリなどの機能を取り入れている。

(2) 主記憶装置 (MMU)

主記憶容量はユニプロセッサ構成 (UP 構成) 時 2 M バイトから 8 M バイト、マルチプロセッサ構成 (MP 構成) 時 4 M バイトから 16 M バイトの構成が可能である。

(3) チャンネル制御装置 (CHC)

チャンネル制御装置は主記憶装置と各入出力処理装置間のデータ転送を制御するもので、チャンネル制御装置 1 台当たり最大 4 台の多重入出力処理装置、はん(汎)用入出力処理装置が制御できる。システムとしては最大 8 台の多重入出力処理装置汎用入出力処理装置が制御できる。

(4) システム制御処理装置 (SCP)

システム制御処理装置はシステムの運転、操作のための基本的な制御を行う独立した処理装置であり、システム運転の監視、故障時のエラーの記録などを行うサービスプロセッサと割込処理、タイムオブディックロックなどの機能をもつシステムファンクションで構成する。

表 1. にシステム概略仕様を示す。

表 1. システム概略仕様

● 基本処理装置 (BPU)		
素 子	1000 ゲート／チップ ECL LSI ECL-ROM, ECL-RAM	
制 御	水平形マイクロプログラム制御 命令先取り制御	
命 令 数	213 種	
データ形式	固定小数点	16／32／64 ビット
	浮動小数点	32／64／128
	論 理	8／16／32／64
動的アドレス変換	256 エントリ セグメントテーブルポインタ 8	
高速バッファメモリ	UP: 8KB	MP: 16KB
● 主記憶装置 (MMU)		
素 子	64 Kb N チャンネル MOS	
記 憶 容 量	UP: 2 M～8 MB MP: 4 M～16 MB	
アクセス単位	64 ビット+8 ビット (ECC)	
インタリーブ	2, 4 ウェイ	
エラーチェック	1 ビット誤り訂正, 2 ビット誤り検出	
バ ッ テ リ	オプション	
● チャンネル制御装置 (CHC)		
構 成	最大 2 CHC 入出力処理装置 4/CHC サブチャンネル 128	
転送レート	5.0 MB/s/CHC	
● システム制御処理装置 (SCP)		
機 能	システムコンソール ハードウェアコンソール 保守コンソール	
監 視 機 能	エラーログ, エラー解析 計時機構 割込制御	

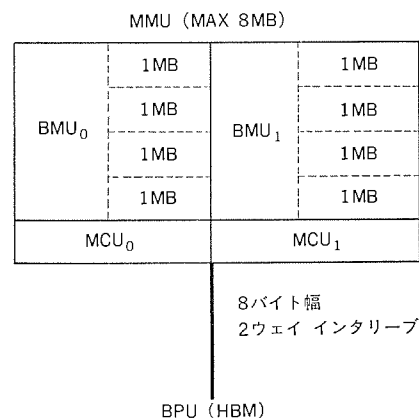


図 3. 主記憶装置 (MMU) の構成 (UP 構成時)

4. 主記憶装置

4.1 構 成

主記憶装置は図 3. に示すように 2 組の制御部 MCU (MCU₀ と MCU₁) 及び 2 組の記憶部 BMU (BMU₀ と BMU₁) で構成している。

BMU₀ 及び BMU₁ は各々 1 M バイト×(1~4) ブロックで構成し、主記憶容量はブロック数により最小 2 M バイトから最大 8 M バイトまでの構成が可能である。

MCU₀ 及び MCU₁ は高速バッファメモリからのリクエストにより各々 BMU₀ 及び BMU₁ との間の読出し・書き込みを 8 バイト幅で制御し、エラー検知、エラー情報の保持、エラー報告などの制御機能を持っている。また MCU₀ 及び MCU₁ は各々 2 重のリクエスト受け付けが可能である。

主記憶装置と高速バッファメモリは 8 バイト幅、2 ウェイインタリーブ方式で接続されており、高速バッファメモリで 1 回のフェッチノードが発生すると 16 バイトのデータを主記憶装置から転送する必要があるため、2 組の制御部が同時に動作して 8 バイト×2 回の読出データの転送を行う。仮に高速バッファメモリで 2 重にフェッチノードが発生しても、主記憶装置は 2 重のリクエスト受け付けと読出データの逐次転送を行うことができる。

4.2 エラー検知・処理

制御部ではリクエストデータのパリティチェックと記憶部からの読出データの ECC チェック (1 ビット誤りの自動訂正, 2 ビット誤りの検出) を行い、更に各記憶部ではメモリ素子の入力ピンにおけるアドレス信号のパリティチェックを行っている。各制御部では上記のエラーチェックに基づくエラー検出情報とそのときの動作情報を合計 40 バイトで保持しているため、障害の解析と修復を容易に行うことができる。これらの情報のログアウトは通常基本処理装置が行い、基本処理装置によるログアウトが不可能な場合には、サービスプロセッサ (SVP) が行う。記憶部の 1 つのブロックで障害が発生した場合は、そのブロックをシステムから分離し、2 組の記憶部を等しい記憶容量にして縮退運転が可能である。

5. 基本処理装置

5.1 基本処理装置の特長

(1) 高速バッファメモリ (HBM)

基本処理装置内に 8 K バイトの高速バッファメモリを装備し演算処理の高速化を図っている。制御方式は 1 ブロック 16 バイト (主記憶からデータの写しを転送する単位)、カラム数 64, 1 カラム 8 ローで構成した

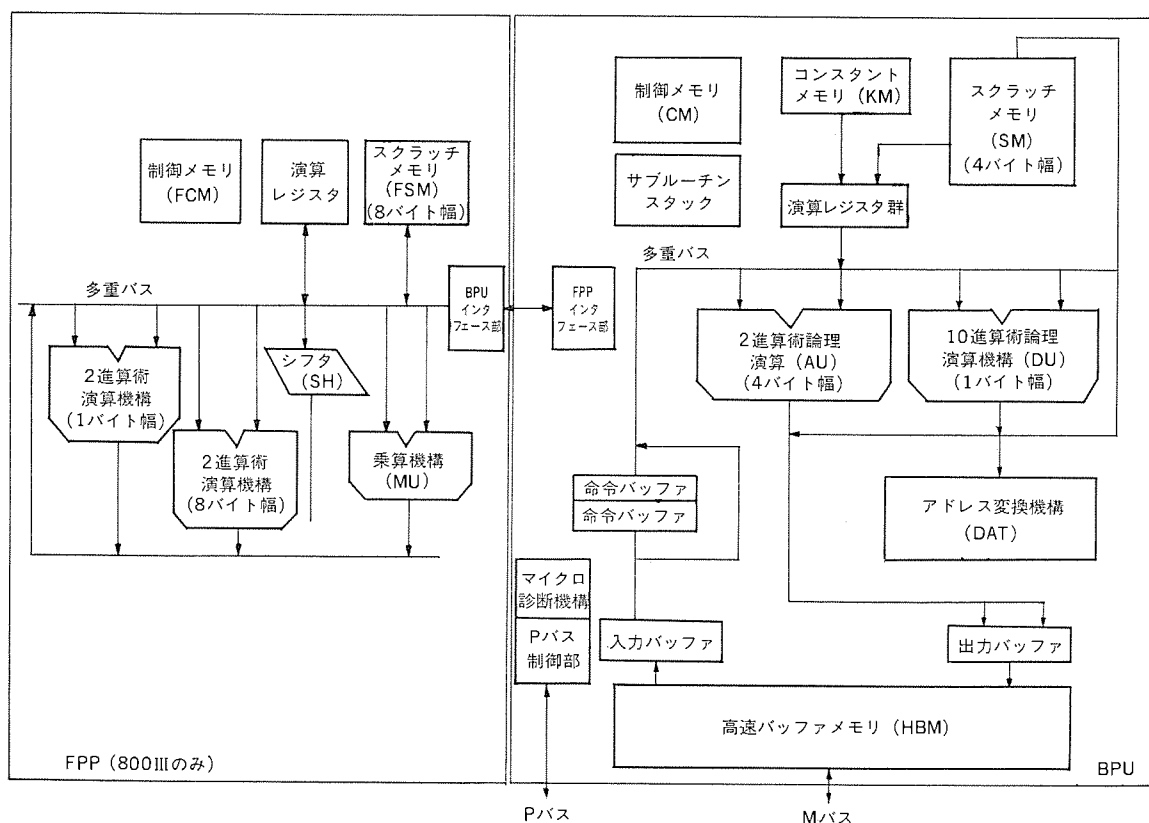


図 4. 基本処理装置 (BPU) の構成

Set Associative 方式を採用し、リプレースアルゴリズムには 8 ウェイの LRU (Least Recently Used) 制御を行い、ヒット率の向上を図っている。

(2) 高速アドレス変換バッファ (TTB)

論理アドレスから実アドレスへの変換を高速で行うため、256 対の高速アドレス変換バッファを内蔵している。アドレス変換のメモリ素子にはアクセスタイムが 12 ns の ECL メモリ素子を使用し、高速化を図っている。

(3) 機能別高速化機構 (ファンクショナルエンジン)

2 K ワード (K 語) の WCS (Writable Control Store) 及びこれを制御するハードウェア機能の強化により、UTS/VS エンジンをはじめとする各種機能別高速化機構を複数個装備可能とし、システム性能の向上を図っている。

(4) 浮動小数点演算処理装置 (FPP)

800 III は 64 ビットの演算器、56 ビット×8 ビットの高速乗算器などで構成した浮動小数点演算処理装置を内蔵しており、基本処理装置との並列処理により実行性能を向上している。

5.2 基本処理装置の構成

図 4. に示すように、基本処理装置は 2 進演算器 (AU)、10 進演算

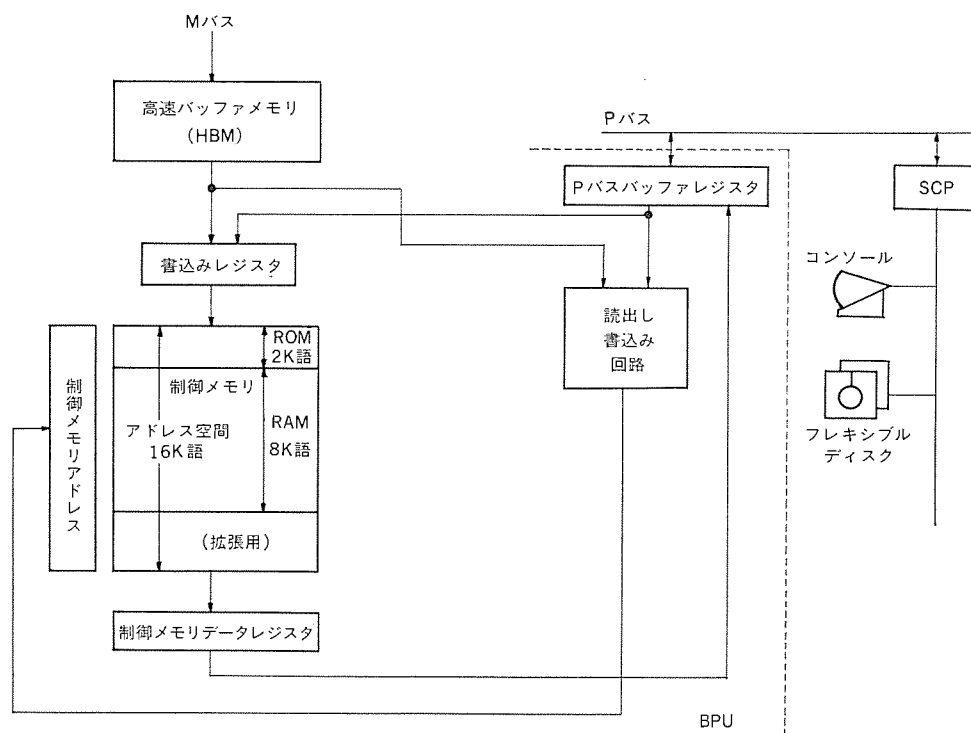


図 5. 基本処理装置の制御メモリの構成

器 (DU)、スクラッチメモリ (SM)、アドレス変換機構 (DAT)、高速バッファメモリ (HBM)、制御メモリ (CM) などで構成している。

2 進演算器は 2 進の加減算と論理演算を行うほか、10 進演算器の出力を任意のバイト位置にそう (挿) 入する機能を持っている。10 進演算器は 10 進加減算、ディジットチェンジなどの機能を持つ。この演算器の組合せにより、特に PACK、UNPACK 命令、10 進関連の命

令を高速化している。

スクラッチメモリは32ビット×256ワードの構成で、4組の汎用レジスタ、ベースレジスタ、ワークレジスタ用に使用している。

アドレス変換機構は256対の高速アドレス変換バッファ及び7レベルのSTP(Segment Table Pointer)スタックを持ち、最も新しく使われた7個までの異なるアドレス空間の変換対を同時に高速アドレス変換バッファに登録することができる。更に高速アドレス変換バッファの空間単位の消去機能、空間の中のページ単位の消去機能、共通領域の指定機能により、高速アドレス変換バッファの使用効率を高めている。

制御メモリは、1ワードが80ビット幅の2KワードのROM及び8KワードのRAMで構成している。

図5.に示すように、RAMへの書き込みには、コンソールのフレキシブルディスク又はコンソールディスプレイのキー入力からシステム制御処理装置により書き込む機能と、機械語命令により主記憶装置から書き込む機能を装備している。

800Ⅲでは、2進演算器(FAU)、乗算器(MU)、シフタ(SH)、スクラッチメモリ(FSM)、制御メモリ(FCM)などで構成される浮動小数点演算処理装置を内蔵している。2進演算器は、主に指数部の演算用の8ビット幅の演算器及び仮数部演算用の64ビット幅の演算器で構成する。

乗算器は、56ビット×8ビットで構成し、64ビットの2進演算器との組合せで、56ビット×8ビットの乗算を1クロックで実行する。

スクラッチメモリは、64ビット×8ワードで構成し、演算のワークレジスタとして使用する。

制御メモリ(FCM)も、浮動小数点命令の高速化及び基本処理装置との並列処理を可能とするため、基本処理装置の制御メモリとは別に装備している。

5.3 高速バッファメモリの制御

高速バッファメモリは、基本処理装置内における主記憶の参照あるいはチャネル制御装置と主記憶装置間のデータ転送のためのリクエストを受付けて、高速バッファメモリの制御、主記憶リクエスト制御、記憶保護関係の制御を行う。

表2. 高速バッファメモリ(HBM)におけるリクエストの種類と制御

リクエストの種類 状態	フェッチ	ストア
ヒット	○ 高速バッファメモリから該当データを送出	□ 主記憶へリクエスト ○ 高速バッファメモリの該当データを書換え
ノーヒット	□ 主記憶へリクエスト ○ 主記憶からのデータを高速バッファメモリに書き込み	□ 主記憶へリクエスト

注 ヒット/ノーヒット：高速バッファメモリに該当データが有る場合/無い場合
○：高速バッファメモリ制御に関するもの
□：主記憶制御に関するもの

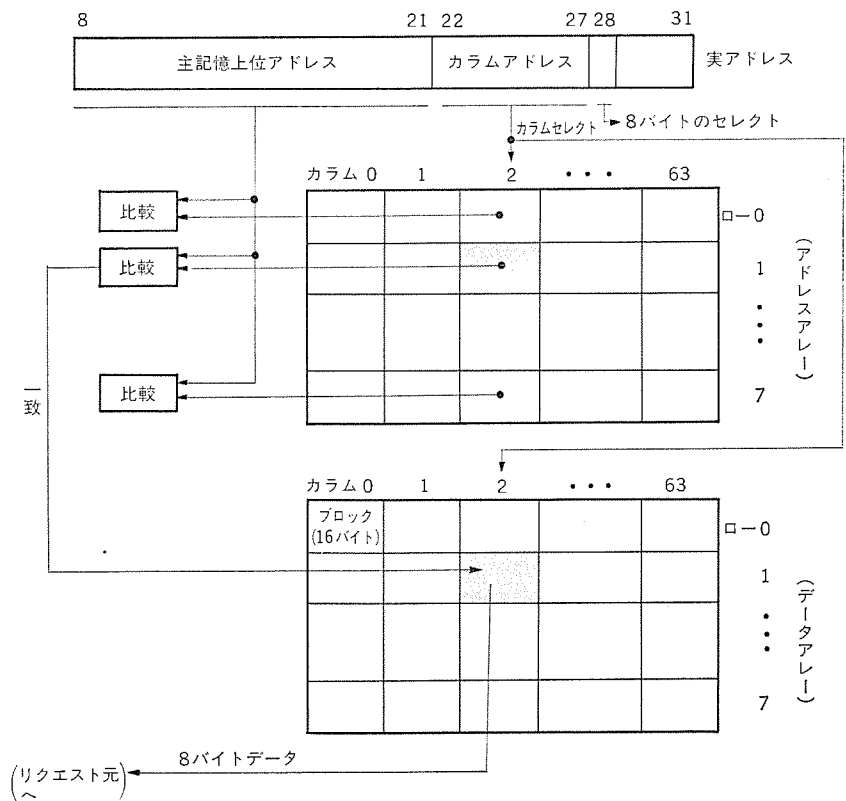


図6. 高速バッファメモリ制御におけるフェッチヒット動作

表2.に高速バッファメモリにおけるフェッチとストアの制御方式を示す。表2.において基本処理装置の主記憶参照時間を短くするため、基本処理装置と高速バッファメモリの接続は、フェッチノーヒット以外の動作時は直ちに切離される。高速バッファメモリは、ストア及びフェッチノーヒットのとき主記憶装置へリクエストをかける。高速バッファメモリは2重にリクエストを受付けることが可能であり、主記憶装置にリクエストをかけている間に、他方でリクエストを受付けることができる。また、フェッチノーヒットのため主記憶装置へリクエスト中に、更にフェッチノーヒットとなる場合でも主記憶装置へリクエストすることが可能であり、システム性能の向上を図っている。

高速バッファメモリにはブロック長16バイト、64カラム×8ローの合計8Kバイトのデータアレイ及びアドレスアレイのほかに、新規データをデータアレイに置くときのリプレースメントアレイを装備している。図6.に高速バッファメモリのフェッチヒット動作を示す。リクエスト時の実アドレスからアドレスアレイの読出しと比較し、一致したローを見出して、これに対応するデータアレイのブロックから8バイトを送出する。

リプレースメントアレイにおけるリプレースアルゴリズムとしては、1つのカラムの中で最も古いブロックに新規データを置く、いわゆるLRU方式を採用している。

高速バッファメモリには、ロックメモリを装備しており、主記憶装置の全アドレス領域に対して、1ページ(2Kバイト単位)ごとにロック情報を保持している。ストアリクエストのときキー情報と比較し、違反があればデータアレイあるいは主記憶の書換えを行わない。ロックメモリには同時に主記憶の参照・書換えを示すビットがあり、OS(Operating System)におけるプログラムのページ管理が行えるようになっている。

システムがマルチプロセッサ構成の場合は、高速バッファメモリが2台となり、2台の基本処理装置が2台の高速バッファメモリを交錯して使用可能となっている。

6. システム制御処理装置

システム制御処理装置は、割込処理などを行うシステムファンクション(SF)部と、システムの運転・保守を支援するサービスプロセッサ部とから構成する。

システムファンクションは、割込処理機構、タイムオフディックロック(TOD)、ダイレクト入出力機構(DIO)、パネル入出力機構(PIO)、計算機間結合機構(IPC)で構成する。割込処理機構は、システムグループ(6レベル)、カウンタゼログループ(4レベル)、入出力グループ(4レベル)、外部グループ(12レベル)を含む外部グループは、更にオプションで3グループ(36レベル)が付加できる。ダイレクト入出力機構、パネル入出力機構、計算機間結合機構は、それぞれ外部装置、外部制御パネル、他計算機システムとの接続を可能にするものでオプションで付加することができる。

サービスプロセッサは図7.に示すようにプロセッサと周辺装置からなる1つの独立したサブシステムである。システムの入出力装置としてオペレータとのコミュニケーションを行うオペレータコンソール機能、システムの起動・停止、初期プログラムロード(IPL)などを行うシステム制御機能、電源の投入・切断、状態表示を行う制御パネル機能及び保守、診断のための保守コンソール機能などがある。更に、定期保守あるいは、ハードウェア又はソフトウェア要因によるシステム障害の原因追求と障害の回避処置をMERIT(MELcom Remote Instruction by Telecommunication)センターから可能とするための通信回線インタフェースを含む。

7. RAS 機能

800 III/S では信頼性の向上、障害修復時間の短縮、ログアウト情報の充実による間欠障害箇所の指摘を目的とし、以下に示すRAS機能を備えている。

(1) 故障検知

障害を検知するためのパリティチェック、演算回路の2重化、命令実行時間の監視などにより処理結果の正当性の保証と障害が発生した場合には障害箇所の指摘を行う。

(2) 故障回復

命令の再試行、主記憶装置、DISK装置での誤りビットの自動訂正、ソフトウェアによるシステムの自動回復、サービスプロセッサによるABR(Alternate BPU Recovery)などを行う。

(3) ログアウト

障害を検出すると障害情報と、回復に必要な情報がプログラムに知らされる。重障害の場合には、サービスプロセッサのフレキシブルディスクの中に障害情報が格納される。

(4) 縮退

高速アドレス変換バッファ及び高速浮動小数点演算機構に回復不可能な障害が発生した場合、切離して運転を継続できる。

(5) 診断機能

オンライン診断、システム診断、機能診断、マイクロ診断と使用状況に合わせて診断プログラムが完備されている。

従来の保守サービスに加え、診断に必要な情報及び経験豊富な人材を有するMERITセンターから上記機能を使うことにより、広範囲なサービス網を確立し、即時処理による均一な保守サービスをユーザーに提供する。

8. む す び

800 III/S では約100品種のECLゲートアレーを開発し、使用した。このような多品種の開発は初めてであり、論理分割、論理設計、論理の検証、デバッグなどすべて多品種を前提とした新しい手法を採り入れた。この貴重な体験は更に今後の開発に生かしていく所存である。

全LSI化計算機800 III/Sの評価は、今後の実績を待ちたいが、800 III/Sで実現した最新の技術及びこの技術によって達成した性能/価格比は、ユーザーの期待にこたえるものと確信する。

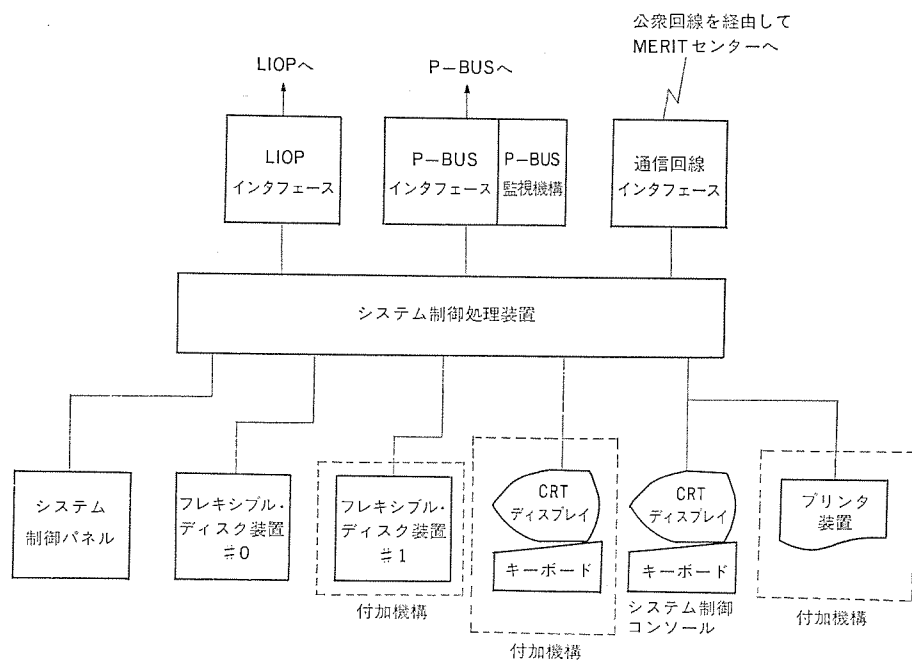


図7. SVPのハードウェア構成

SF₆ガスしゃ断器国内第1号機の 15年間10,000回操作運転実績

土屋喜英*・中西 弘*・合志宏道**・村上正昇**・松岡勝己**

1. ま え が き

電力系統容量の増大に伴う短絡しゃ断容量増大あるいは低騒音化などの社会的要請にこたえるものとして登場した SF₆ガスしゃ断器は、その責務を十分に果たすと同時に、実用性においても種々の優れた特性を有していたことによって、しゃ断器単体にとどまらず変電所技術革命ともいふべきガス絶縁開閉装置 (GIS) への発展をとげている。その技術革新の第1頁となった我が国における SF₆ガスしゃ断器の第1号機は、昭和40年に関西電力(株)新神戸変電所において運転を開始し、昭和55年11月に10,000回操作を達成するにいたった⁽¹⁾⁽²⁾(図1.)。

このたび、同しゃ断器の15年間の運転実績をふりかえり、ガスしゃ断器の保守基準の確立を目的とする特別点検を実施して、各種の調査を進める機会を得た。長期間、多数回の操作となったが、開発当初に実施された個々の部品や材料試験結果で予測していたとおり、実用性において全く問題がなく満足な状態に保持されていることが確認できた。SF₆ガスしゃ断器の登場にあたって、その特長として注目されていたように、接触子の損耗が少ないこと、SF₆ガスの分解がほとんどなく劣化がないため半永久的な使用に耐えること、その結果本質的に無保守しゃ断器への可能性を有することなどが実証されたといえる。

また合成ゴム質のOリングによるガス密封技術はその適用方式の妥当性が実証された。

これらの項目を中心に調査結果の第1報をまとめて紹介する。

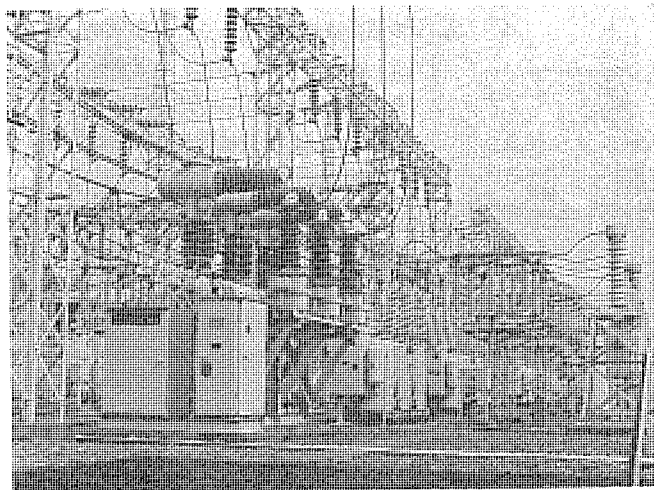


図1. 運 転 状 況

2. しゃ断器の適用

我が国最初のガスしゃ断器は昭和40年7月、関西電力(株)新神戸変電所に調相設備77kV、40MVAのリアクトルバンク開閉用として、いわゆる多ひん(頻)度操作の課せられる回路に採用され、運転を開

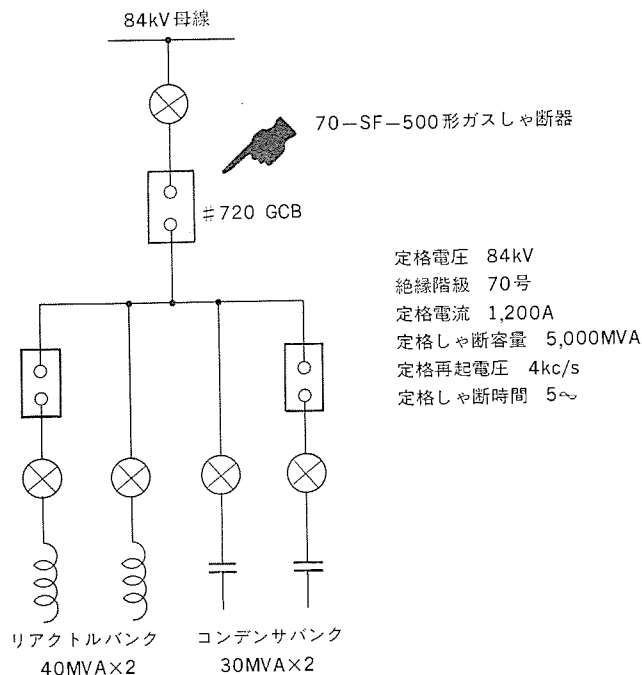


図2. 運 転 系 統 図

始した。その後、この調相設備はリアクトルバンク40MVA×2バンク、コンデンサバンク30MVA×2バンクとなったため、系統運用上200~600Aの負荷電流を開閉することになった(図2.)。

このしゃ断器は系統の効率的運用のために通常、朝・昼・夕に開閉操作されることが多かったために、1日の開閉操作が3回となり、15年間では10,000回を越える操作回数を達成するところとなった。

3. しゃ断器の構造

3.1 構造全般

このしゃ断器には大電流しゃ断に有利といわれる高圧側15kg/cm²、低圧側3kg/cm²の2重気圧吹付方式を採用している。

低圧ガスタンクの上に送気及び排気の2本のがい(碍)管で大地から絶縁支持した高圧ガスタンクが充電部にあり、この高圧ガスタンク内に接触子、排気弁の引きはずしばねとこれらを連結する機構などを取付けている。低圧ガスタンクの横に取付けた油圧操作シリンダに約320kg/cm²の油を送排油し、絶縁操作ロッドを介して可動接触子を駆動する構造となっている(図3.)。

この本体に付属して図4.に示すOH形油圧操作機構⁽³⁾としゃ断に使用したガスを再び圧縮して、高圧ガスタンクにもど(戻)すための圧縮機とその制御装置を収納するガス制御ハウジングを設けている。

3.2 本体構造と動作

油圧操作シリンダの操作力は油-ガス間の直線シール部を経て低圧ガスタンク内のレバーに伝え、更に送気碍管内にそう(挿)入している絶縁操作ロッドによって、高圧ガスタンク内の機構に伝達する。

しゃ断操作は油圧操作シリンダ内の高圧油を排油し、投入時に蓄勢

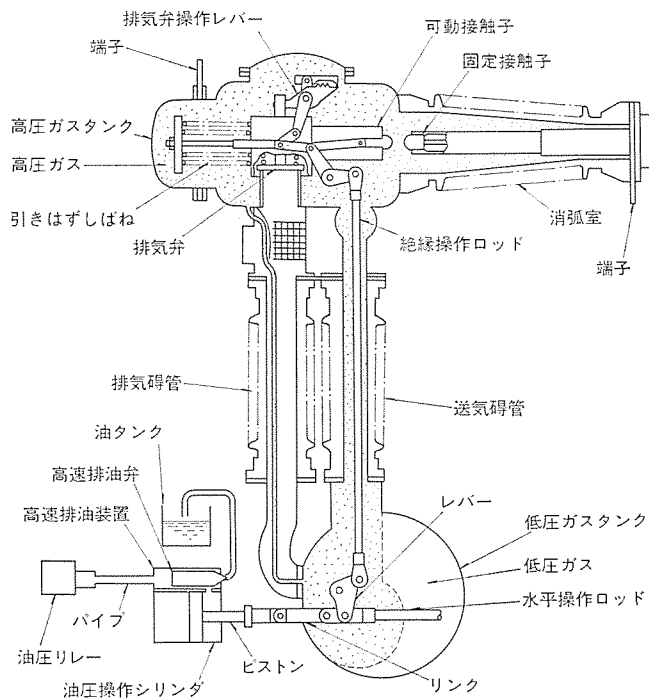


図 3. 70-SF-500 形 GCB 構造図

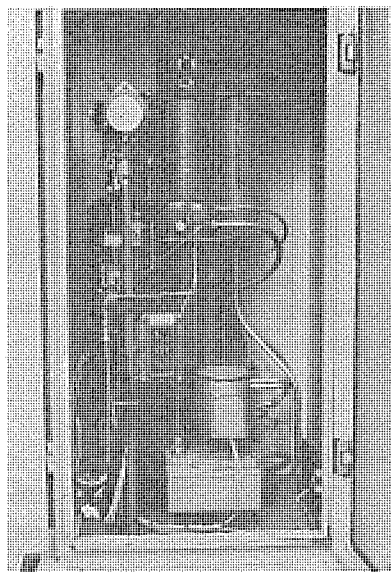


図 4. OH 形油圧操作機構

された引きはずしばねを開放し、可動接触子が開離するのに連動して排気弁が数サイクルの間ひらき、接触子部分に高速のガス流をつくりアークをしゃ断する構造となっている。

3.3 操作機構

操作機構には油圧操作機構を採用している。この操作機構は操作音が小さく、応動性がよい、円滑な速度制御ができ、小形で大きな操作用力が得られ、しかも信頼性が高いなど多くの長を有し、都市周辺に設置するしゃ断器には最適な操作機構であると評価されている。

この油圧操作機構は、現在では超超高压 550 kV までのガスしゃ断器に適用しているが、実系統での運転実績を反映させ、ブロック化など⁽⁴⁾⁽⁵⁾の実用性能面の改良を加えている。

3.4 ガス系統

15 kg/cm² の高压ガスは約 8℃ で液化するため、液化防止策として

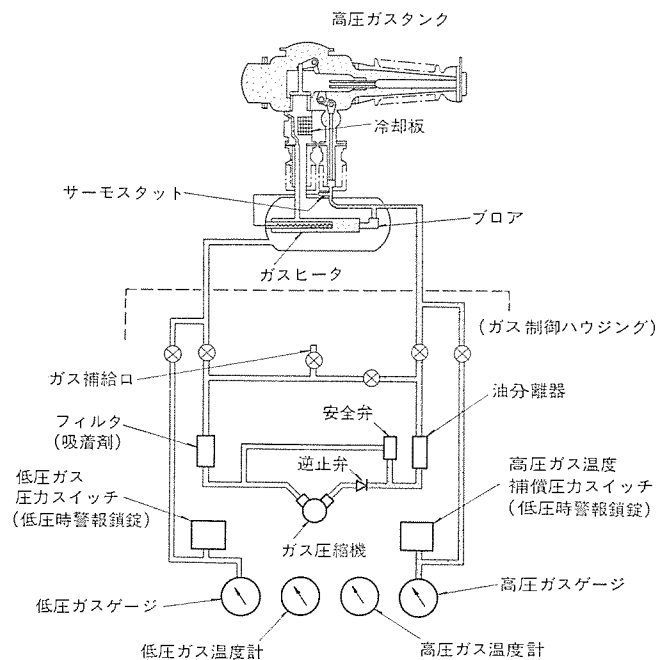


図 5. ガス系統図

ガスヒータによって暖められたガスをブロアにより、高圧ガスタンク中を循環させるシステムを採用している。なお、ガスサイクル内のガス圧縮機のフィルタ部に吸着剤を分解ガスと水分の吸収を目的に封入している(図 5.)。

ガス制御ハウジングにはガス圧縮機のほかに、SF₆ガスを密度管理する温度補償圧力スイッチ、圧力計など付属品類を収納している。ガスしゃ断器の基本技術の1つであるガスシールは、構造的にはしゅう(摺)動シールと固定シールに分け摺動シールは油圧ピストンと低圧ガスタンク内機構とを連結する部分の直線シール部と高圧ガスタンク内排気弁部で高低圧間のガスシールを行うパルシート、Yパッキンがある。フランジ接合部分などの固定シールはシール面の加工方法、ガスシールとして使用するリングの材質と形状、寸法及び液体パッキン併用方式⁽⁶⁾は現在のガスしゃ断器と同じになっている。

4. 運転実績

表 1. にすえ(据)付時から 15 年間にわたる運転、点検及び不具合・改修内容をまとめて示す、「ガスもれ」の不具合は全く記録されておらず、第 1 号ガスしゃ断器においてのこの実績は Oリングの寿命に対する不安を一掃するとともに、ガスしゃ断器を開発した当初から、固定部及び摺動部のガスシール技術が十分に確立されていたことを実証している。

当該ガスしゃ断器はいくつかの不具合及び改修を経験しているが、それらのほとんどは約 320 kg/cm² の油圧を使用する油圧操作機構の配管継手部などに発生した実用上ほとんど問題のない程度の「油にじみ」であった。

運転開始 1 年経過後、接触子の損耗状態とガス中部品の状態についての確認を主眼とする初回点検を実施した。点検の結果は当初予想されたとおり、負荷電流開閉による接触子類の損傷はなかったことが記録されている。

外観及び操作機構を中心とした普通点検を昭和 43 年に行い、運転 6 年目(昭和 45 年)に細密点検を実施した。操作回数が 5,000 回に達した昭和 47 年には普通点検と接触子の損耗状態確認のために

表 1. 運 転 経 歴

年 (昭和)	点 検 記 録	不 具 合 及 び 改 修			しゃ断器操作回数	備 考
		油 圧 系 統	ガ ス 系 統	本 体		
1965 (40)					0	1. 据付・運転開始：1965年(昭和40年)7月 2. 用途：調相設備開閉用 3. 調相設備容量：リアクトルバンク40MVA×2, コンデンサバンク30MVA×2 4. 事故電流のしゃ断なし 5. 特別点検：1980年(昭和55年)11月
1966 (41)	初回点検 (細密点検相当)			コンタクト軸受部改修	600	
1967 (42)					1,000	
1968 (43)	普通点検	油にじみ修理			1,800	
1969 (44)		油にじみ修理			2,500	
1970 (45)	細密点検				4,000	
1971 (46)		油にじみ修理			4,900	
1972 (47)	普通点検 (本体1相抜き点検)				5,800	
1973 (48)		油ポンプ吐出口に逆止弁取付け			6,800	
1974 (49)	細密点検	油にじみ修理	電磁開閉器サーマル動作修理(フロア取替)		7,800	
1975 (50)					8,300	
1976 (51)		油圧スイッチ改修 (新形に取替え)			8,700	
1977 (52)	細密点検				9,400	
1978 (53)		油にじみ修理			9,900	
1979 (54)					10,506	
1980 (55)	特別点検				10,970	

1相抜き取りで内部点検を実施した、このときはその結果から判断して他相の内部点検は行う必要はないとして実施していない。

昭和49年に内部点検(全相)を含む細密点検を実施し、異常のないことを確認した。運転期間が満12年となった昭和52年、同様の定期点検を行って良好な運転状態にあることを確認した。

昭和55年11月には、この種のしゃ断器の目標と考えられている10,000回の操作回数に達したので特別点検を実施することにしたものである。

この間の同しゃ断器の運転記録によれば事故電流しゃ断の記録は

なく、すべて前述の負荷電流(200～600A、進み及び遅れ電流)の開閉であったと記録されている。

5. 点 検 結 果

分解点検前に外観点検、ガス系統・油圧系統のリーク試験、開閉操作試験、ガス系・油圧系の圧力スイッチなど補機類の試験、油ポンプの特性試験、ガス圧縮機特性試験、ガス中水分量の測定及び接触抵抗の測定を実施した。

開閉極時間をはじめほとんどの特性が据付時の記録と比較して変

表 2. 各 機 器 の 特 性 記 録

区 分	項 目	据 付 時 (昭和40年)	初 回 点 検 (昭和41年)	細 密 点 検 (昭和45年)	細 密 点 検 (昭和49年)	細 密 点 検 (昭和52年)	特 別 点 検 (昭和55年)
しゃ断器開閉特性	投 入 時 間 (秒)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	開 極 時 間 (秒)	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
	操 作 回 数 (回)	0	809	3,762	7,779	9,383	10,970
油ポンプの特性	昇 圧 時 間 (秒)* (油圧 220→320 kg/cm ²)	130	137	126	140	135	125
	充 油 能 力 (kg/cm ² /s)*	0.77	0.73	0.79	0.71	0.74	0.80
	運 転 回 数 (回)	0	1,677	22,667	34,245	40,226	44,399
ガス圧縮機特性	昇 圧 時 間 (秒)* (ガス圧 10→14 kg/cm ²)	173	187	167	190	175	156
	充 気 能 力 (kg/cm ² /s)*	0.023	0.021	0.024	0.021	0.023	0.026
	運 転 回 数 (回)	0	1,274	4,198	25,824	30,159	37,214
	運 転 時 間 (分)	0	517	3,368	15,916	27,724	31,530

注 * 印は20℃換算値

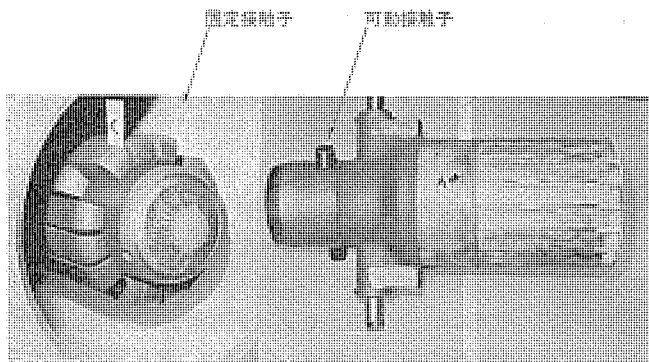


図 6. 10,000 回操作後の接触子 (A 相)

化が極めて少ないことが確認された。これらの試験結果を据付時から定期的に行った細密点検ごとに表 2. にまとめて示す。

今後引き続いて機能試験などを計画しているが、今回の点検はこれらに支障をきたさぬような箇所を最少限に限定した内部分解点検と接触子点検を主体に行った。

5. 1 外観点検結果

しゃ断器本体及び各ハウジングの内・外部とも塗装状態は良好で、発しよう(錆)箇所はほとんどみられなかった。また、10,000 回の開閉操作が繰返されながら、ボルト・ナットなどのゆるみは全く認められなかった。

5. 2 接触子点検結果

固定・可動接触子の損耗状態は図 6. にみられるように極めて軽微であり、更に引き続いて十分使用に耐える状態にある。アークのこん(痕)跡は均等にひろがり、耐弧メタルの損耗量は少ないため、計量が困難である。接触子の摺動部は“かじり”などの機械的損傷もなく、接触面の銀めっき部も良好な状態にあり、接触抵抗の測定結果については据付時とほとんど変化はみられなかった。これらの結果から判断して通電性能に変化がないことが容易に推定される。

5. 3 内部点検結果

高圧ガスタンク内の機構については発錆などはみられず、グリース塗布状態も正常で機械的損傷がない。タンク内機構に使用されているボルト類に異常はなく締付けは完全な状態にあり、ナット・ピン・とめ輪類の脱落は皆無であった。

5. 4 その他

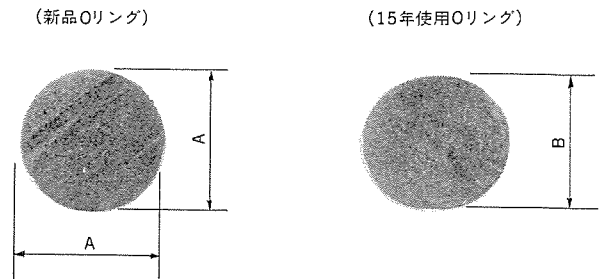
ガス系・油圧系の圧力計は許容誤差を越える差異を発生していない。ガス系及び油圧系の各々の圧力スイッチの動作値は許容範囲内にあることが確認できた。

6. 状態検査結果

6. 1 Oリング

前述したように、15 年間でガス漏れのトラブルは運転実績上全く認められていないため、約 150 箇所及ぶ Oリングのシール機能は完全であったといえる。途中の点検で取りはずす部分の Oリングに関してはその時点で新しい Oリングとの交換が義務づけられているため 15 年間の実績にはならない。したがって、特に今回は通常の点検では解体しない部分の Oリングを取出しその状態を調査した。一般に Oリングは圧縮されたつぶし量の永久ひずみ(歪)率でもってシール

表 3. Oリングの寸法測定と外観検査結果



試料	経年 (年)	使用前 寸法(A) (mm)	使用后 寸法(B) (mm)	圧縮永久 歪率 (%)	外観検査
A	15	3.1	2.95	21	きず、形状異常なし
B	15	3.1	2.90	29	〃
C	15	3.1	2.95	21	〃
D	15	3.1	2.95	21	〃
E	15	3.1	2.80	36	〃

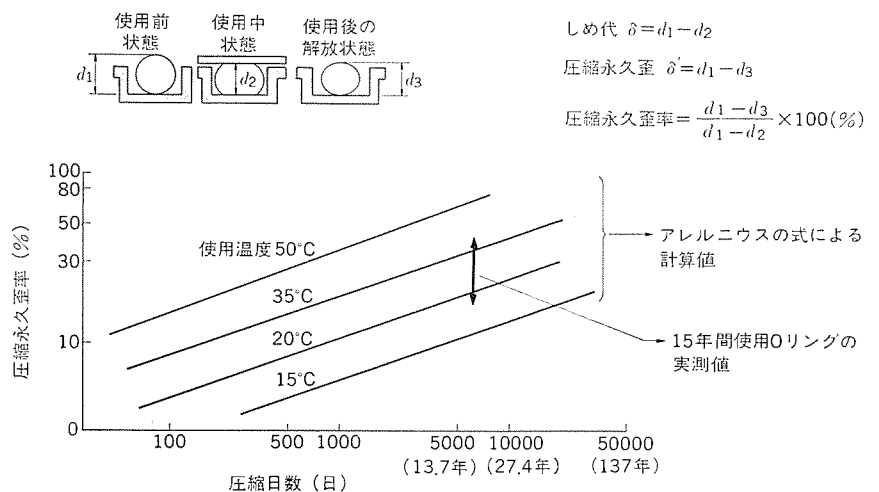


図 7. Oリングの寿命評価

性能が判定される。永久歪率は 80% 以上になるとシール効果が信頼おけないものと考えられているが⁽⁷⁾、今回の試料はいずれも 40% 以下であった(表 3. 参照)。

試料 Oリングの 5 本は締め代と使用箇所の条件がいくらかづつ異なるがいずれも永久歪率は 20~40% の範囲内であり、極端なばらつきはないと考えられる。図 7. にみるようにアレニウスの式で推定すれば更に長期間にわたる使用が期待できることがわかる⁽⁸⁾。

ガスシール面には Oリングのオゾン劣化やシール面の腐食防止対策のために液状パッキンが併用されているが、その状態も極めて良好に保たれていることが確認できた。また Oリングみぞ(溝)やフランジ面もこの液状パッキンの効果で防錆された良好な状態にあることも確認できた。

6. 2 SF₆ ガス

SF₆ ガスの分析結果を表 4. 示す。15 年間における変化の度合は実用上全く無視し得る程度である。

分析結果では純度においてほとんど変化がなく新しいガス同然の評価ができた。通常アークしゃ断に伴う分解ガスは加水分解性ふっ化物と CF₄ の量が検出されるが、表 4. に見るようにその量が極め

表 4. SF₆ ガスの分析結果

分 析 項 目	採 集 品	新 ガ ス	規 格 値 (IEC)	管 理 値
	(注) 15年経過時			
純 度 (Wt. %)	99.7	99.9	99.5 以上	97 以上
CF ₄ (Wt. %)	0.018	0.000 以下	0.05 以下	—
加水分解性 ふっ化物 (Wt. ppm as HF)	0.03	0.00 以下	1 以下	—
油 分 量 (Wt. ppm)	0.4	0.5	10 以下	—
水 分 量 (vol. ppm)	30	4.9	122 以下	150 以下

注 定検時の回収作業ごとに数%程度は新ガスと入替えられている。

表 5. 吸着剤の分析結果

分 析 項 目	採 集 品		新 品	購入規格
	3 年 間 使用 品	6 年 間 使用 品		
水 分 含 有 量 (Wt. %)	0.76	1.1	0.1	2 以下
ふ っ 素 (Wt. %)	0.43	0.6	0.05	—

備考 許容吸着量 20 Wt. %

表 6. 作動油の分析結果

分 析 項 目		採 集 品		新 品	規 格 値 (MIL)
		3 年 間 使用 品	6 年 間 使用 品		
比 重 (at 25°C)		0.875	—	0.879	—
動 粘 度 (cst)	(at 54.5°C)	11.0	12.0	13.1	10 以上
	(at -40°C)	395	420	460	500 以下
全 酸 価 (KOHmg/g)		0.04	0.2	0.18	0.2 以下

て少ないことが注目される。これはしゃ断器のしゃ断電流が比較的に小さいことにもよるが、ガスの循環系に設けた吸着剤が当初の期待どおり有効的に機能したためである。

吸着剤に関しては表 5. に分析結果を示すが、水分含有量や不純物としてのふっ素吸着量も極めて少ない。これは水分管理値を 150 ppm として、十分な裕度をもつように設計していることから、極めて満足する値となっている。

なお、分解点検に際して回収する SF₆ ガスは 100% 回収が出来ないため、未回収分の数 % が新しいガスと入替わっているが、そのほとんどのガスは 15 年前封入されたガスの繰返し使用である。こ

のガスを使用して更にしゃ断器の機能試験として絶縁耐圧特性及びしゃ断特性の確認試験を計画しているが、これらの特性は SF₆ ガスに影響されないことは既にこの時点で明らかといえよう。

6. 3 その他

しゃ断器内部検査で特に注目されるのは、消弧室のある上部タンク内部においてタンク内面はもちろん、接触子を動かす機構の部品すべてが、表面上全く変化が認められないことである。これはもちろん SF₆ ガスの化学的な特性によるもので、当初から予想していたことであるが、現実に部品類の色合やタンク内面塗装の状態に 15 年後において全く変化がないことを確認した。たまた、密封構造のため当然なことではあるが、タンク内に“ごみ”や異物類は発見していない。操作機構に使用している作動油は途中で油にじみなどの修理を実施したため作動油の入替えを行っており、3 年間で 6 年間の使用実績あるものを分析しているが、表 6. に示すとおり劣化が認められなかった。

7. む す び

以上述べたとおり、SF₆ ガスしゃ断器の 15 年間における実績をふりかえるとともに調査を行った結果、ガスしゃ断器が初めて登場した時点で期待され予測されたことがらをすべて満足のいく状態に保持していることが分かった。この状態から判断して当時次々と運転に入ったガスしゃ断器、及び最近のガス機器の新しい点検基準を確立することが期時できる。また SF₆ ガス機器の基本技術として確立できる多くの要因を実際には(把握)できるところとなった。今後の計画としてしゃ断器の各種機能及び使用材料の劣化度合を分析調査することを進めるがこれらの項目に関しては別の機会に発表する予定である。

最後に、現代の電力設備機器として最も適合していると言われる今日の SF₆ ガス機器の発展の契機となった SF₆ ガスしゃ断器の開発を行い、その製品第 1 号機を世に問うた諸先輩の先見性と努力に対して、あらためて敬意をはらうとともに我々はこの貴重な実績を今後有効に生かしていきたいと決意している次第である。

参 考 文 献

- (1) 潮：三菱電機技報，39，No. 8，p. 936 (昭 40)
- (2) 富永ほか：三菱電機技報，39，No. 8，p. 971 (昭 40)
- (3) 富永ほか：三菱電機技報，39，No. 8，p. 980 (昭 40)
- (4) 阿澄ほか：三菱電機技報，52，No. 5，p. 360 (昭 53)
- (5) 富永ほか：三菱電機技報，52，No. 5，p. 350 (昭 53)
- (6) 松田ほか：三菱電機技報，51，No. 9，p. 616 (昭 52)
- (7) 佐藤ほか：大日本電線時報，第 58 号
- (8) SF₆ ガス絶縁機器保守基準，SF₆ ガス絶縁機器保守基準専門委員会

カーラジオにおける受信局自動切換システム

平田誠一郎*・白谷優次*・友広 良*・田浦賢一**

1. ま え が き

当社がマイクロコンピュータを応用したPLL（位相同期ループ）シンセサイザ方式の電子同調カーラジオを他社に先んじて市場に送り出したのは、昭和53年春であった。以来、既にカセットデッキ付タイプやコンポタイプなど多くのモデルに展開されている。

このPLLシンセサイザ方式は、その同調精度を、また、ソフトタッチの選局ボタンは、その操作性を著しく改善した。しかし、移動受信機という特徴をもつカーラジオとしては、走行中に受信中のサービスエリアをはずれてきたときの再選局操作の面倒さをいかに改善すべきかという操作性の面で、未解決の問題があった。これは、マイクロコンピュータ制御という高度にインテリジェンス化された製品に対して、その機能がメモリ選局あるいはオートサーチ選局のような単に機械式チューナーを電子化しただけの電子同調カーラジオでは不満足であるということの表れでもあった。

近年、電子同調カーラジオを欧州市場に導入展開する過程で西欧諸国における電波事情からこの問題がクローズアップされ、解決が急がれた。

当社では受信中の局が弱くなると、あらかじめメモリされた数局のうち相対的に受信レベルの強い局に自動的に切換わっていく受信局自動切換システム(MSS: Microcomputer Station Selector)を開発し、再選局操作を不要にした。今回、試作セット実装の走行試験の結果、FM、AM両バンド共極めて実用性の高いことを確認したので、このMSSシステムの概要を報告する。

2. MSS システムの特長

2.1 操作性及びその機能

このシステムが最も有効に機能する例として、図1.に示すような分散した数局の放送局が互いに一部に共通のサービスエリアを持って配置されている場合について説明する。

図1.のAからBに至る線を走行コースとする。このシステムでの

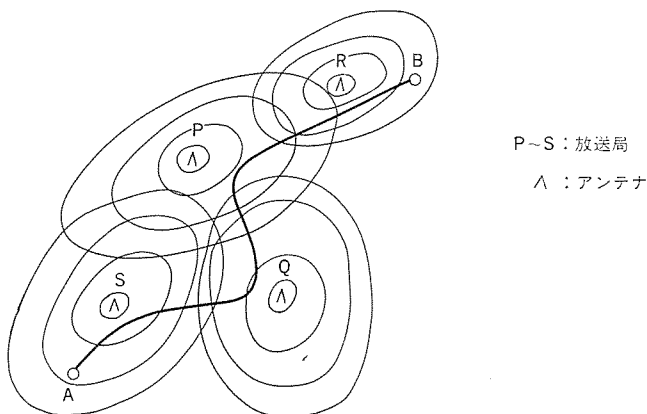


図 1.

操作としては、図のP、Q、R、Sの各局の周波数をあらかじめメモリしておくだけでよく、あとは一切操作を必要としない。こうして、A地点からB地点へ移動して行くとき受信局は自動的にS→Q→P→Rと切換わっていく。特に、これらP～S局が同一プログラムの局であった場合、同じ番組を中断なく連続して、かつ常に良好な受信状態で聴くことができる。また、B地点からA地点に引き返すときは逆に、R→P→Q→Sと自動的に切換わる。言い換えれば、従来1局分のサービスエリアしか選局できなかったものが、数局のサービスエリアをまとめて選局できるようにしたと言えよう。したがって高速道路を突っ走るときなど非常に威力を発揮する。

高速道路の発達した西欧諸国では、比較的広い地区にわたって同一のプログラム内容の放送局が数局～数十局異なった周波数で分散して設置されており、このシステムを適用するのに格好である。これは、日本におけるNHKのFM放送、AMの第1、第2放送及び一部の民間放送の事情に相似している。

2.2 方式における特長

(1) チューナー

ある局を受信中に他の局の受信状態を知るには、チューナーを2台装備し一方を受信専用とし、他方を他局のモニター専用とするのが最も簡便である。しかし、一台のセットに2台分のチューナー及びその制御部を備えることは、スペース面及びコスト面で非常に不利となる。このシステムの特長は1台のチューナーでチューナー2台分の機能と性能を実現していることである。

(2) PLLシンセサイザ方式

同調は、基準周波数に水晶発振器を用いたPLLシンセサイザ方式のため、同調精度が極めて高く環境変化に強い。また、このため電界のレベル判定が正確に行える。

(3) 時分割処理

このシステムは端的に言えば、時分割処理で受信中に他局の受信状態のチェックを行い、常に相対的に受信状態の良好な局を受信局とするシステムである。かつ、本機の最大の特長はいつ他局の受信状態がチェックされたかを全く感じさせることなく、いつのまにか強い局に切換わっているということである。このシステムを実現するためにはさまざまな問題があったが、時分割により非常に短い時間に時々音声の中断を行い、その間に他局の受信状態をチェックする技術を確認したことで、これらの問題を解消した。

(4) 電界レベルの判定

受信状態のは(把)握にミスがあると、逆にかえって受信状態の悪い局に切換わってしまうという誤動作をする可能性がある。電界変動の比較的激しいFMでは瞬時に判定した電界レベルはあまりあてにならない。このシステムではある期間の瞬時レベルの積算で受信中の局の電界レベルを判定し、他局の電界レベルはチェック時間の短縮から許され得る最大の時定数回路で平均化された瞬時レベルで判定している。この比較は経験的に得た一定のギャップを設けて行い、ある程度のヒステリシス特性を持たせて誤動作を防止している。

3. MSS システムの概要

3.1 構成

図 2. にこのシステム 評価のための試作機の外観、図 3. にこのシステムのブロック図を示す。図 3. に示すようにこのシステムは AM, FM 共各 1 台のチューナ部を有する PLL シンセサイザ方式の受信機構成とした。このシステムでは時分割処理により音声を中断させてその間に他局の電界レベルのチェックを行っているが、この動作を行うのはミュート回路及び電界判定器である。一方、ミュートパルスの発生、電界判定器のレベルを取り込み処理する機能 PLL シンセサイザ内の分周比制御、表示処理などはマイクロコンピュータに受けもたせている。時分割処理における PLL の引き込み時間を小さくするために、図 4. に示す PLL シンセサイザを構成した。

3.2 動作

3.2.1 動作原理

このシステムを実現するにはある放送局の受信中に他局の受信レベルを知る必要があり、1つのチューナでこれを行うには一時的に他局を受信して、その受信レベルを検出するという動作を行わねばなら

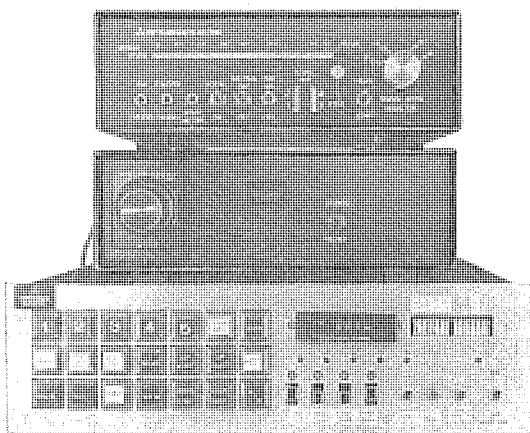


図 2. 試作機外観

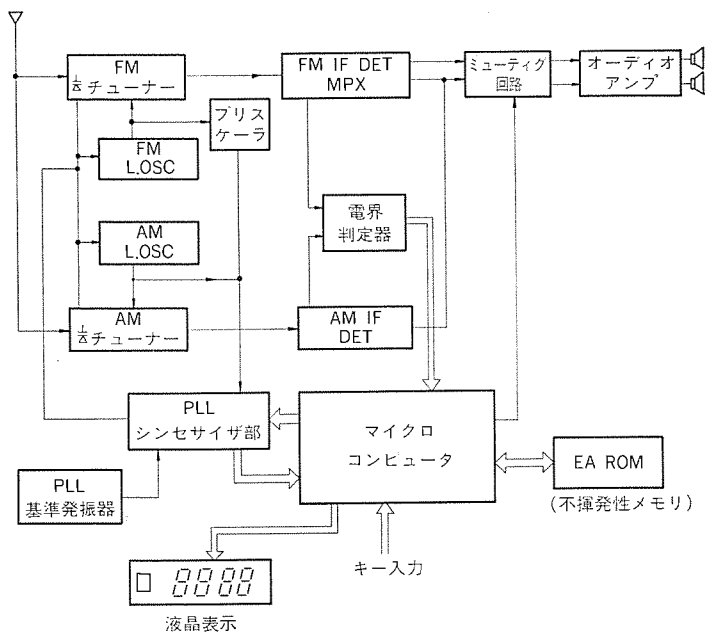


図 3. MSS システムブロック図

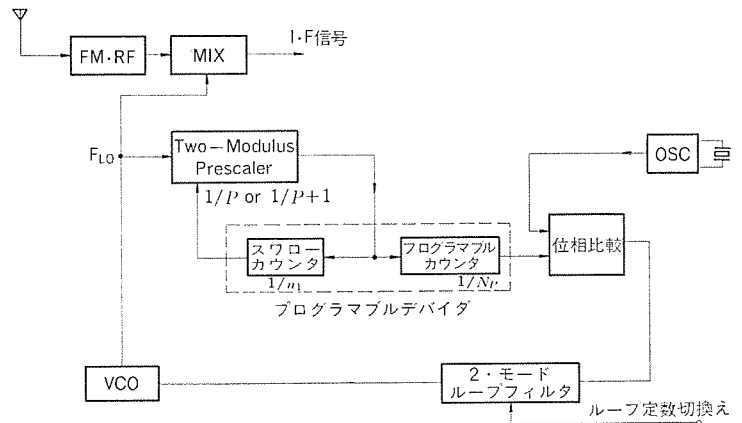


図 4. PLL 周波数シンセサイザブロック図

ない。実験によると、約 1 秒以上のインターバルで 10 ms 以下の信号とぎれを生じさせても、正弦波のような単音波形でない通常の放送内容（音楽、人声、背景音など）では聴感上ほとんど音とぎれ感や異和感がないという結果を得た。これは聴感の錯覚現象と思われる、このシステムはこの現象を巧みに利用している。このシステムでは各プリセットボタンに複数の局を記憶させており、各局の電界レベルを知るために約 1 秒ごとに各局の電界レベルをチェックしている。チェック時間は約 10 ms で、この間ミュートをかけ PLL 分周比を変化させて他局受信に切換え、電界判定器により電界レベルをチェックし、受信局を変えるべきか否かを判断している。各タイミングを図 5. に示す。

10 ms の間に確実に電界レベルを判定するためには、PLL の応答をできるだけ早くする必要がある。PLL の LOOP FILTER には図 6. のような 2 次アクティブフィルタ (HIGH GAIN) を使用した。自然角周波数 ω_n 及びダンピング定数 ζ の状態により、その応答は図 7. のようになる。

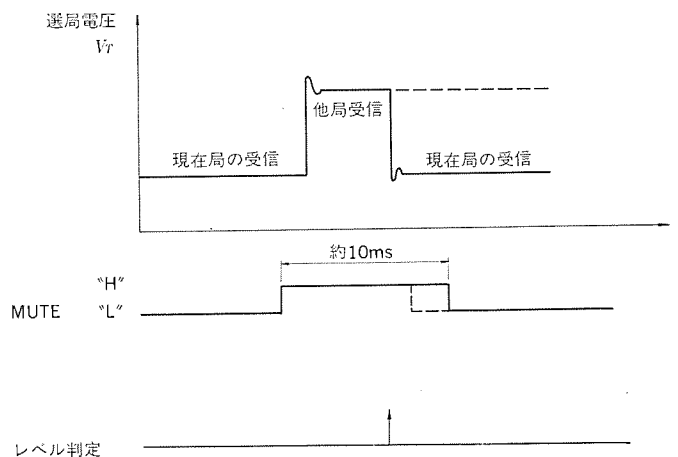


図 5. MSS 動作のタイミング

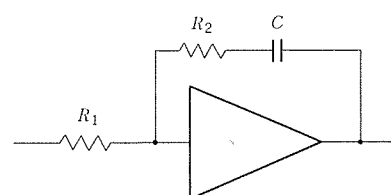


図 6. PLL フィルタ

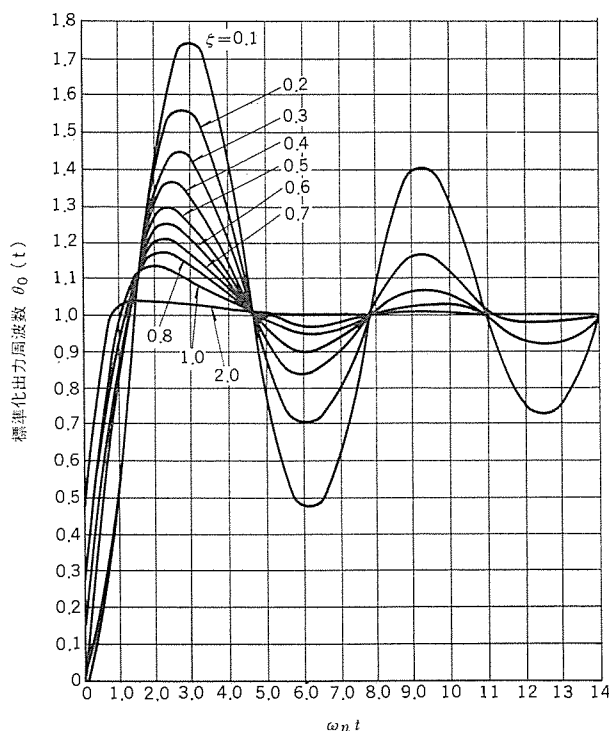


図 7. 2 形制御系 2 次遅れ要素温度特性

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{\tau_1 N(n_1)}} \quad (1)$$

$$\xi = \frac{\tau_2}{2} \sqrt{\frac{K}{\tau_1 N(n_1)}} \quad (2)$$

但し K : ルーゲイン, $N(n_1)$: プログラマブルデバイダの分周比
 $\tau_1: CR_1$, $\tau_2: CR_2$

図 7. において引き込み時間を小さくするためには, ω_n を大にしないといけないが, ω_n を大にすると VCO 出力の S/N が劣化して受信中の S/N が悪くなる。そこでこのシステムでは, 受信中は ω_n を小にして S/N を良好に保ち, 他局の電界チェック時は ω_n を大にして引き込み時間を最小にして短時間に確実な電界チェックを行っている。一方 VCO 出力周波数及びステップ周波数は次のような式で表される。

$$\text{VCO 出力周波数} = N(n_1) \times F_{REF} \quad (3)$$

F_{REF} : 位相比較器の基準周波数

$$\text{ステップ周波数} = [N(n_1+1) - N(n_1)] \cdot F_{REF} \quad (4)$$

ステップ周波数は放送バンドにより決まり, 例えばヨーロッパの FM バンドでは 50 kHz である。式(1), (2)より ω_n を大にすることは即ち F_{REF} を大きくすることである。

PLL の応答を早めるためには図 4. に示す Two-Modulus Prescaler を用いたパルススロー方式が有効である。これはこの方式が, 位相比較器への基準周波数を高くとることができるという特長を持つためである。今プログラマブルデバイダの分周比を N とすると,

$$N = n_1 + PN_P \dots P \text{ は Modulo (法)}$$

変形すると

$$N = (N_P - n_1)P + n_1(P+1) \quad (5)$$

即ち, Two-Modulus Prescaler に $n_1(P+1)$ 個のパルスが入力されるとスローカウンタ(n_1 カウンタ)からパルスが出力されて Two-Modulus Prescaler は P 分周器となり $(N_P - n_1) \cdot P$ 個のパルスが更に加えられるとプログラマブルカウンタ(N_P カウンタ)により 1 発パルスが出力される。

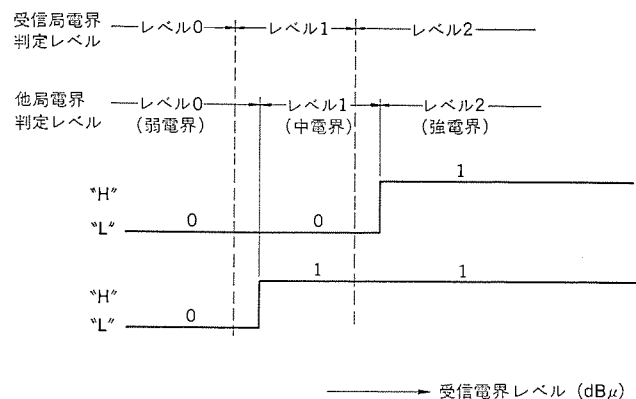


図 8. 受信電界レベル対受信電界レベル信号

位相比較器の基準周波数を F_{REF} , プログラマブルデバイダの分周比 $N(n_1)$, VCO 出力周波数 $F(n_1)$ とおくと

$$F(n_1+1) - F(n_1) = F_{REF} \{N(n_1+1) - N(n_1)\}$$

$$\text{式(5)より } N(n_1+1) - N(n_1) = 1$$

$$\therefore F(n_1+1) - F(n_1) = F_{REF}$$

この結果をヨーロッパの FM 放送バンド(周波数ステップは 50 kHz)に適用すると $F_{REF} = 50 \text{ kHz}$ となる。実際には Two-Modulus Prescaler 出力とプログラマブルデバイダの間に 1/2 固定分周器をそう(挿入)しており, この場合は $F(n_1+1) - F(n_1) = 2 \cdot F_{REF}$ となる。

3. 2. 2 受信電界レベルの判定

このシステムでは受信局の電界レベル判定のため 2 本の電界レベルラインを設け, 他局の電界チェック動作の直前約 1 秒間に 10 回このラインの状態を読み取り, これを平均化して, 3 段階のレベルのどのレベルに相当するかを判定している。この様子を図 8. に示す。他局の電界レベルの判定は動作の時間的制約のため瞬時電界レベルによらざるを得ないが, 許容される範囲内での時定数を設けてレベルの平均化を行うとともに, 他局の電界判定レベルを受信局判定レベルに対し相対的に高くとることにより平均的な受信状態のより悪い局への切換えがおこることを防いでいる。各判定レベルの切換点は実験室でのシミュレーション及び実走行テストを繰返して最適値に設定している。

3. 2. 3 制御回路

このシステムの制御には, 主マイクロコンピュータと PLL 内蔵マイクロコンピュータの 2 個のマイコンを使用し, 各マイコンの特長を生かして多くの機能を効率良く実現させている。

主マイコンは, 2K ワード×10 ビットの ROM, 160 ワード×4 ビットの RAM を備える 4 ビットマイコンでキー操作入力を受けて, これに対応する処理, すなわち受信バンド切換え, 手動/自動選局, MSS 受信動作などの受信処理とこれに伴う EA ROM への周波数データ, リード/ライト処理, PLL マイコンへの命令, データの送付, 時計計数処理, 液晶表示器ドライバへの時刻/周波数データのセットなどを行わせている。

PLL マイコンは, PLL 周波数シンセサイザを内蔵した 760 ワード×16 ビットの ROM, 64 ワード×4 ビットの RAM を備える 4 ビットマイコンで次の機能をもたせている。

- (1) 主マイコンから与えられる周波数データを PLL 分周比に変換する。
- (2) チャンネルインジケータの点滅
- (3) 時計基準信号の発生と送出
- (4) PLL シンセサイザの状態検出と PLL-LOCK 信号送出

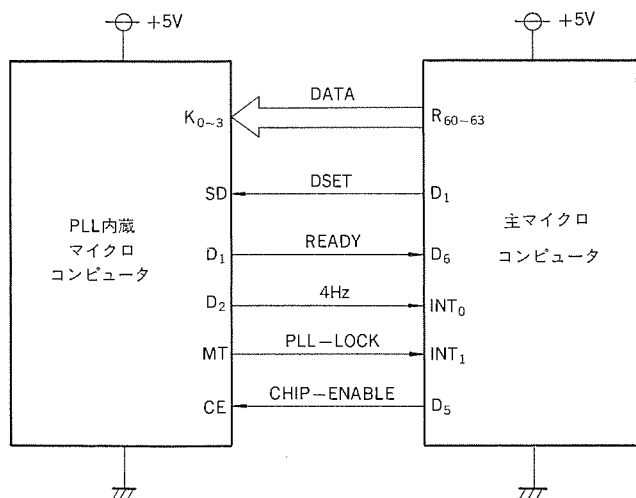


図 9. 主マイコンと PLL マイコンの接続

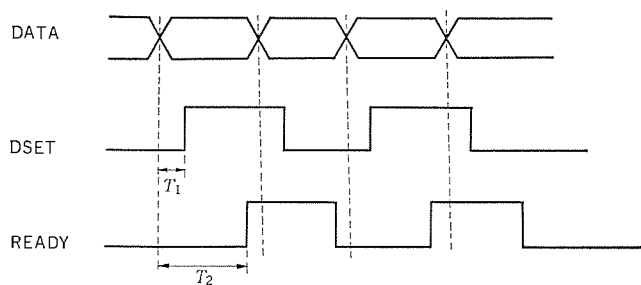


図 10. PLL マイコン への データ 送出 タイミングチャート

分周比変換は主マイコンからの命令によりヨーロッパ、米国、日本の各 AM、FM 受信バンドのすべてに対処できるようにしてある。また、MSS 動作時には分周比レジスタを2個設けて、一方を受信局、他方を他局に対応させ、受信局の他局と周波数切換えに要する処理時間を短縮して、他局電界レベル判定の所要時間の短縮を図っている。

図 9. に主マイコンと PLL マイコンの接続を、図 10. に PLL マイコンへの命令データ送出タイミングを示す。命令/データは4ビット並列に送出されているタイミングを2本のシェイクハンドライン BEST、READY で制御している。送出された命令/データは最初の1ワード(4ビット)が命令、続く、1ワード、若しくは、3ワードがデータである。

3. 2. 4 機能及び操作

このシステムでは、これまで述べてきた MSS 機能のほか、従来の電子同調ラジオにあったすべての機能、すなわち、Up/Down 手動選局及びこれの早送り、Up/Down 自動選局、LW/MW/FM 3 バンド各6局のプリセット選局、時計などの機能を有している。MSS 機能のための操作キーとして新たに、MSS、ERASE、CLEAR の3種のキーを追加するとともに、プリセットキーには従来のプリセット局選択の機能に加え、MSS 動作中に5秒以内の間隔で同一チャンネルキーを繰返し押すことにより、そのチャンネルに記憶された複数局を順次読出すという、メモリ読出し機能をもたせた。

MSS キーは MSS 動作の選択キーである。ERASE キーはチャンネルキー操作によるメモリ読出し状態でのみ受けられるキーであり、その時点で読出し中の MSS 局を消去する機能をもつ。CLEAR キーは、MSS 動作中に受けられるキーであり、その時点で受信中の局を一時退避させ、残りの局による MSS 動作を続行させる機能を

もつ。これは受信中の局にマルチパスひずみ(歪)、混信妨害など電界レベルには現れない受信状態劣化がある場合、あるいは地理的に離れた異種番組局に同一の周波数が割当てられている場合などに非常に便利な機能である。一時退避された局の復帰は、MSS キーを再度押すことにより行うようにした。

4. 走行テスト結果

図 2. に示した試作機を車に実装し国内をはじめ欧州(西独)、米国において走行テストを行い、特に西独においてその実用性の極めて高いことを確認した。西独の FM 放送はプログラム 1、プログラム 2、プログラム 3 の3つに分類され、各々同一内容でネットワーク放送されているため、アウトバーンを 200 km/h 程度のスピードで走り続けると従来ラジオでは数10分ごとに再選局操作を余儀なくされるのに比べ、この試作機では何等操作を行うことなく、同じ放送を連続して受信でき、快適なドライブを楽しむことができた。また西独では FM 放送波のチャンネルスペースは 50 kHz であり、特に電波の密集した地域において隣接局の強い電波の影響を受けないかが懸念されたが、本機は PLL 周波数シンセサイザのシステムを採用しているため、隣接局の影響を受けることなく、極めて安定に電界レベルの判定を行って最良電界の局に自動切換が行われ、その性能の優秀さが実証された。また、走行テスト中に相隣接するサービスエリアで、同一周波数で異種番組を放送している局が存在したが、このようなときには CLEAR KEY を押すことによって元の受信局にもどすことができ、その機能の有効性をも確認した。

米国の放送事情は欧州のそれとは異なり、局は多数あるが放送内容は全く異なっており、例えば Beautiful Music、Country Western、Jazz などプログラムフォーマットで分類されている。したがって、米国では受信局と切換局とのレベル差を大きくとること及び必要メモリ数は少なくてもよいことなど、欧州のものと若干仕様面では変更が必要であるが基本的にはこのシステムの有効性を確認した。

一方、国内では NHK の FM 放送、AM の第1、第2放送及び一部の民間放送が同一放送内容でヨーロッパの放送事情と似ている。日本の場合は局数が少ないため、必要メモリ数は少なくてもよく、同一放送内容局を複数個記憶させると欧州と同様の動作をさせることになり、放送内容が異なる局を複数個記憶させると米国と同様の動作をさせることになる。国内では地形の関係から都市を少し離れると比較的電力の小さな局が散在しており、このような地域の走行時にこのシステムの有用性を改めて痛感した。

5. む す び

MSS カーラジオは、多岐にわたるサービスエリアを広範囲にわたって移動する場合に非常に有効な受信局自動切換システムであり、あらかじめメモリされた複数局のうちから切換音を感じさせることなく自動的に最良局を選び出し、したがって同一の放送内容を常に最良の状態で見聞き続けることを可能にし、走行中における選局操作を不必要とした。日本や米国のみならず、特に電波の密集地域である欧州の走行テストにおいても確実に動作し、極めて高性能で有用性の高いことを確認した。

マルチパス妨害発生時における最良受信局への自動切換えの方法、操作の一層の簡易化といった点を今後の課題としてハード、ソフト両面から改善改良の努力を続けたい。

デジタル式超音波探傷装置 FD-7000

中村 泰 而*・羽 深 嘉 郎*・山 本 征 二*・須 賀 哲 弥*・迎 里 信 夫*

1. ま え が き

通常の超音波探傷器では、探傷条件の設定は人の手により“つまみ”を操作することによって行われるのが普通である。また、探傷情報はブラウン管 (CRT) 上の波形を観測することによって得られるものである。

これらの行為は独立したものではなく、装置の“つまみ”と“CRT”との間に人間の眼 (センサ)、頭脳 (判断能力、メモリ) 及び手 (アクチュエータ) が組合わされた1つのクローズドループにより行われているので、操作者の経験と知識によりその探傷情報の判断にはどうしても人為的誤差が混入することは避けられない。しかも、探傷操作は必ず繰返し時間をかけて判断しているので、1人の操作者が数台の探傷器を同時に操作したり波形を観測することは困難である。

ところで、今日では一度その機能や性能を失うと企業的、社会的に大きな損失を被るため、高い信頼性を保持しなければならない製品がごく日常的に製造されているが、その原材料の品質保証に対する顧客の要求は厳しいものがある。この要求を満たす方法として非破壊試験の実施が常識的となっているが、種々の非破壊試験の手法の中で試験処理能力やランニングコストなどの点で優れた超音波探傷が今日広く使用されている。特に、現在製鋼分野では探傷の自動化という傾向が著しく、十数チャンネルから数百チャンネルにも及ぶ超音波自動探傷設備が用いられるようになってきた。

このような多チャンネルのシステムでは、感度校正、保守点検、複雑な探傷条件の設定及び探傷データの処理は、もはや人間の能力では不可能であり、必然的に自動化しなければならなくなった。また、品質保証のためまえから正常な試験が行われたことを証明できる必要があり、これらの諸条件を満たすために人的な誤差を排除し、自動感度校正、自動距離感度補正、自動自己点検、探傷条件の自動設定ができ、また外部からの電気雑音に対しても強いデジタル技術を広範囲に用いた超音波自動探傷装置を数年前から開発・製品化してきた。この装置は製品の品質保証に深い認識を持つ製鋼各社をはじめ多数の顧客に採用され、既に数十システムに達している。

今回開発したFD-7000形超音波探傷装置は大規模なシステムの持つ品質保証に不可欠な機能や性能を1～8チャンネルまでの小規模システムにも容易に適用できるようにしたものである。本稿ではその内容及び応用例について述べる。

2. 開発の基本方針

- (1) 顧客の使用条件に容易に対応できること。
- (2) フレキシビリティのあるシステム構成ができること。
- (3) 探傷ユニットの増設が新たなソフトウェアの変更を伴わずに行えること。

これらを開発の基本方針とした。以下その詳細を説明する。

3. FD-7000 の概要

3.1 構 成

この装置の外観を図1.及び図2.に示す。即ち、(1)電源ユニット、(2)セットモニタユニット、(3)CRTモニタユニット、(4)探傷ユニット(各ユニットに2チャンネル実装可能)から構成されている。探傷ユニットの数は、顧客の設備の規模、欠陥検出能力及び検査処理能力などから適宜選択される。

3.2 機 能

ハードウェアの系統図を図3.に示す。FD-7000はこの図に示すように最大9個のマイクロプロセッサから成るマルチCPUシステムである。

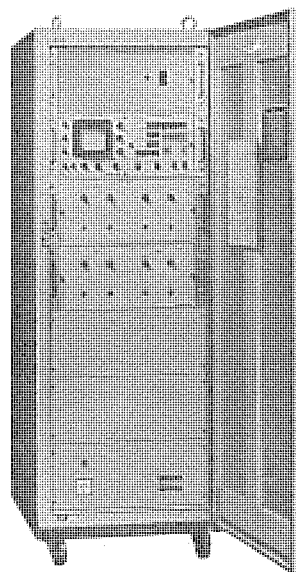


図 1. デジタル式超音波探傷装置FD-7000 本体

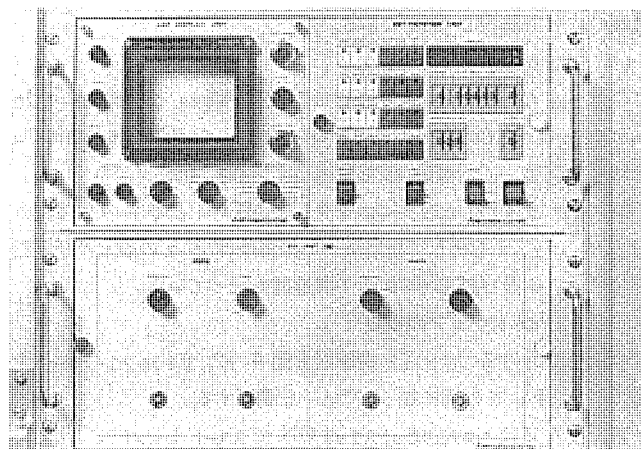


図 2. CRT モニタユニット、セットモニタユニット
及び探傷ユニットの前面パネル

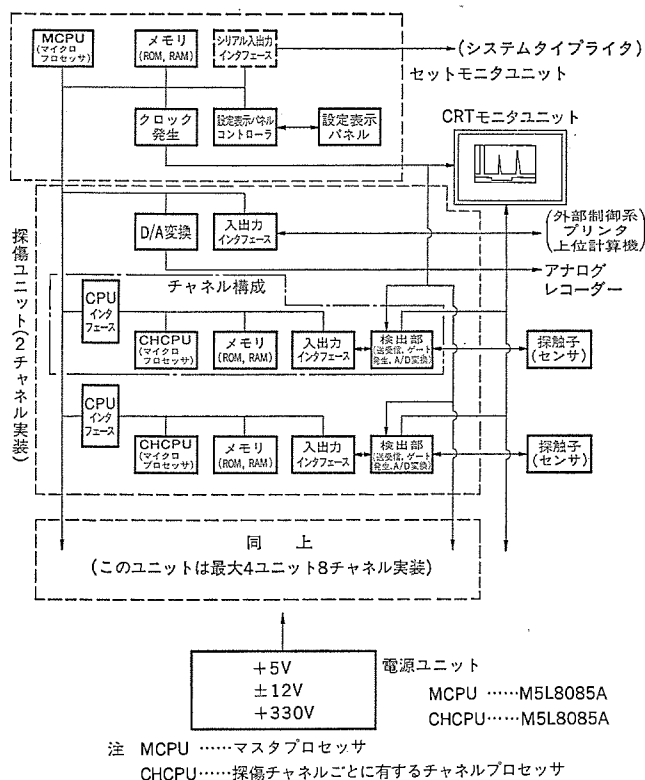


図 3. ハードウェア 系統図

3. 2. 1 各部ハードウェアの機能

(1) 電源 ユニット

このユニットは各ユニットで使用する各種電源を供給する。

(2) セットモニタユニット

マスタプロセッサである MCPU (M5L8085A) は 8ビットの高速形マイクロプロセッサを使用し、各探傷ユニット内のマイクロプロセッサ (CHCPU) に対する一連のデータ処理をつかさどっている。また MCPU は IO デバイスコントロールとして、設定表示パネル、レコーダー、プリンタなどの外部機器との入出力制御、探傷に必要な各種タイミング信号を発生するクロック発生回路の制御を行っている。

(3) CRT モニタユニット

このユニットは、手探傷にも応用できるように装備したもので各探傷ユニットの検出部から出力される探傷波形及びゲート波形を選択してブラウン管上に 2 現象表示する。探傷波形は VIDEO 波形 (全波) 及び AC 波形の選択ができる。また、探傷ゲート波形としては最大 12 種類の波形を選択しモニタできる。

(4) 探傷 ユニット

このユニットは 2チャンネル実装可能であり、各チャンネルごとにスレーブプロセッサであるチャンネルプロセッサ (CHCPU) を擁し、CHCPU には MCPU と同じ高速形マイクロプロセッサを使用している。

CHCPU は CPU インタフェースを介して MCPU とのデータ授受、入出力インタフェースを介して検出部への探傷条件データの設定及び探傷データのモニタ及び探傷データの 1 次処理を行っている。

3. 2. 2 ソフトウェアの機能

この装置におけるソフトウェア構成図を図 4. に、ゼネラルフローチャートを図 5. に示す。この図に従ってフローを説明する。

電源投入又はシステムリセットスイッチ ON でスタートし、メモリ、IO デバイス、探傷条件データなどの初期設定を行う。次いで、プログラム内容のチェック、検出部の回路の自動自己診断、新しく入ってくる探傷条件

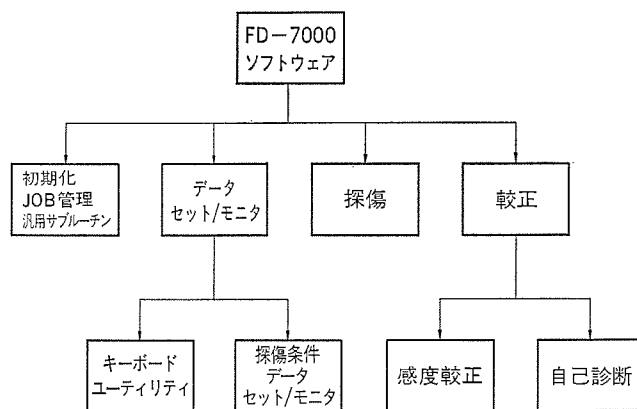


図 4. ソフトウェア 構成図

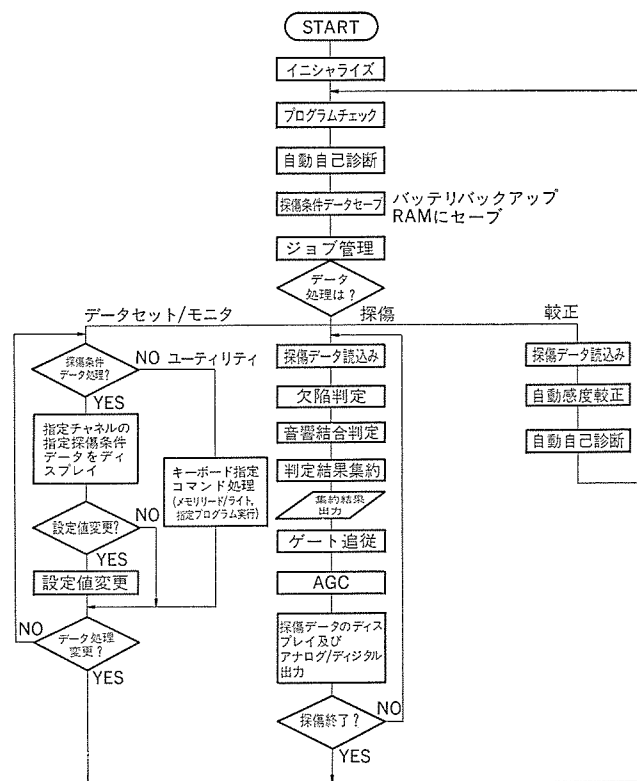


図 5. ゼネラルフローチャート

データのバッテリーバックアップされた RAM への転送を行う。探傷条件データは前述のセット・モニタユニットのキーボード操作により初期値から変更して使用する場合もある。

このような場合、電源がシャ断された時、通常の RAM では消失してしまい、電源再投入時に再設定しなければならない煩わしさがあり、この煩わしさを避けるためにセットモニタユニット内の RAM にバッテリーバックアップ機能を付加し、探傷条件データを保持している。勿論、全データを一度に初期値に再設定することも可能である。

次いで、処理すべき仕事を判断して各々のデータ処理へ分岐する。データセット/モニタ処理には 2 種類の処理モードがあり、1 つは探傷条件データのモニタ及び設定変更、もう 1 つはメモリのリード/ライト及び任意のプログラムの実行であり、それぞれ設定表示パネル上のデジタル表示及びキーボード操作によりできる。

探傷処理は検出部で A/D 変換された探傷情報、即ちエコー高さとビーム路程を読み込み、これらの情報より欠陥の大小、有無、音響結合状態などを判定集約して外部へ警報信号として出力する。続い

て、これらの情報よりゲート追従（被検材表面エコー位置及び被検材肉厚の変動に対するゲート位置及びゲート幅の追従）、自動感度補正、デジタル表示器、記録器へのアナログ／デジタル出力変換などを行う。

較正処理は、探傷処理と同様に検出部より探傷データを読み込み、あらかじめ規定された感度になるように自動的にゲインを較正する。次いで、検出部のハードウェア自己診断を行う。自己診断内容は送受信機能、A/D変換機能、ゲート発生機能などを探傷条件データの設定及びモニタ、探傷データのモニタなどでの総合的な判断である。また、不良チャネル、不良カード及び不良機能がわかるようにしている。

表 1. FD-7000 主要性能

項目	仕様性能
増幅直線性	JIS Z 2344 1 級相当
遠距離分解能	JIS Z 2344 A 級相当
近距離分解能	5 C 10 N で 2 mm 銅板分解
時間軸直線性	CRT 上 ± 1 % 以下
試験周波数	0.4 ~ 10 MHz
測定範囲	10 ~ 10,000 mm
波衰器	50 dB 以上（更に外部に非校正の約 20 ~ 26 dB 減衰器を有する。但し、一入力 COM 1 のみ）
CRT 表示方式	A スコープビデオ表示（全波）／RF 表示選択及び各種ゲート（最大 12 種）表示選択の 2 現象表示方式
CRT 寸法	横軸：68 mm、縦軸：60 mm
探傷法	1 探法（2 段）／2 探法
送信繰返し周波数	62.5 / 125 / 250 / 500 / 1 k / 2 k / 4 k / 8 k / 16 kHz
ゲート	起点設定値 0.1 ~ 10,000 mm 幅設定値 0.1 ~ 10,000 mm
判定レベル	CRT 上 10 ~ 100 %
リジェクション	CRT 上 40 % 以上
遠距離振幅補償	補償量 20 dB、起点 0.1 ~ 10,000 mm、スロープ 0 ~ 255（約 10 ~ 265 μs/20 dB）
近距離振幅補償	補償量 8 dB、起点 0.1 ~ 10,000 mm、スロープ 0 ~ 15（約 1.6 ~ 19 μs/8 dB）
自動感度較正	ゲート内のエコー高さを CAL レベルになるよう自動感度較正できる。
自動感度補正制御 (AGC)	ON/OFF 選択可能
ゲート追従	入射点同期、ゲート幅肉厚追従 ON/OFF 選択可能
記録出力	アナログ：最大 16 点（エコー高さ、エコー深さ、欠陥判定／カップリング判定） デジタル：印字出力（オプション）
警報出力（イベント出力）	欠陥判定出力 最大 8 点（8 チャネル分） 音響結合判定出力 最大 8 点（8 チャネル分）
時分割送信	可能（但し、送信繰返し周波数の 1/2 繰返しとなる）時分割位相は、各チャネル独立に 0° / 180° 選択可能
チャネル数	最大 8 チャネル
ゲート数	各チャネル最大 3 ゲート
電源、消費電力	AC 100 V 50 / 60 Hz、500 VA 以下（入力電圧はオプショントランス付加により一般的各種電圧受電可能）
環境条件	周囲温度 0 ~ 40°C 相対湿度 90 % RH 以下 40°C において
外形寸法	570 W × 1,500 H × 710 D mm
マイクロプロセッサ	MCPU : M 5 L 8085 A（インテル 8085 A 相当） CHCPU : M 5 L 8085 A（インテル 8085 A 相当）
メモリ容量	セットモニタユニット ROM 8 K バイト（最大 24 K バイトまで増設可） RAM 4 K バイト（最大 28 K バイトまで増設可） 探傷ユニット 1 チャネル ROM 6 K バイト（但し、すべて RAM に置換可） RAM 0.5 K バイト

る。

3.3 主要性能

この装置の主要性能を表 1. に示す。

4. 特 長

FD-7000 は、次のような特長を有する。

- （1）探傷ユニットごとに独立したマルチ CPU 方式を採用しているの
で、探傷目的に対して最適な標準ソフトウェアモジュールが完備できる。
このため処理能力、機能拡張などの柔軟性がある。
- （2）チャネルの増設が 1 ~ 8 の範囲で容易にできる。
- （3）自動感度較正機能を有している。感度設定は、手動の場合チャ
ネル数が増えるほど時間がかかり人的誤差が混入する。この機能に
より大幅な設定時間節減と人的誤差の混入防止ができる。
- （4）ハードウェアの自動自己診断機能、ソフトウェア点検機能などによ
り信頼性、保守性の向上を図った。
- （5）被検材に関する表面エコー位置及び肉厚の変動に対してゲート
位置及びゲート幅がソフトウェア処理により追従する機能を有している
ため、様々な被検材の探傷、計測にも適応しやすい。
- （6）探傷エコーの A/D 変換は特に外来雑音に強い方式を採用し
ている。
- （7）MOS IC 及びローパワーショットキー TTL を全面的に採用した省
エネルギー時代にふさわしい低消費電力タイプである。
- （8）出力機能はアナログ及びデジタルディスプレイ出力を標準機能とし
て有し、特別注文によりプリンタ印字記録、上位コンピュータとのデー
タリンクも可能であり、多様なデータ管理ができる。また、その他の
システムインタフェース特別仕様についてもオプションのハードウェア及びソフ
トウェア追加で容易に対応できる。

表 2. アナログ式超音波探傷装置とデジタル式
超音波探傷装置の比較

	比較項目	アナログ式	デジタル式
1	操作の容易さと正確さ	操作する人は探傷について高度な知識を必要。 したがってその人の能力技量によって、左右される要素が大。 特にラインに設置され、検査人が交代する場合は品質評価基準を一定にすることは困難。チャネル数が多い場合、自動化も困難。	探傷についての基礎知識程度を持っていれば十分使用可。 この方式の場合は検査する人が判断する部分をマイクロコンピュータで処理。したがって操作手順、欠陥判定基準、データ処理方式はすべてプログラム化されているので品質評価基準一定。自動化が容易。
2	被検材の種類 の交換時の問題	被検材が変わる毎に探傷感度、ゲート位置、距離感度補正、その他探傷条件の“つまみ”を定められた時間内に全て再調整要。誤設定の可能性有。	被検材が変わっても、被検材の指定を行うだけで、探傷条件をすべて自動的にプログラム通りに設定できるので、操作はきわめて簡単。誤設定によるミスは皆無。またライン設置の探傷装置としても最適。
3	耐雑音性	送信繰返しに非同期の一定帯域フィルタのため弱い。	送信繰返しに同期した一種のデジタル・フィルタ手法を用い外来電気雑音に強い回路方式を採用。
4	自動感度較正機能	困難	人工欠陥付きの被検材を用い、あらかじめ入力しておいた感度に一括設定可。
5	自動距離感度補正	〃	被検材の厚み、材質による感度差をあらかじめ入力しておき、自動感度較正時に自動補正可。
6	自動自己点検	〃	探触子を除く電子回路系の自動点検可。
7	探傷条件の自動設定	〃	探傷に必要な条件設定は全て自動的に設定可。

5. この装置を自動探傷システムに採用した効果

1～8チャンネルの超音波自動探傷装置において、従来のはん(汎)用探傷器とデジタル超音波探傷装置との比較を表2.に示す。

6. 応用例

この探傷装置の特長を生かした探傷、計測システムへの応用例として鉄鋼、自動車部品、材料解析の3分野について紹介する。

6.1 鉄鋼分野における超音波自動探傷装置

図6.に代表的な超音波自動探傷装置の構成を示す。このシステムはパスラインを搬送される被検材を操作盤からの指令に基づいて自動的に探傷し、探傷結果を記録器に、また上位計算機がある場合は上位にも出力する。被検材の具体的な応用例としては次のようなものがある。

- (1) 角ビレット用超音波自動探傷装置
- (2) ブルーム用超音波自動探傷装置
- (3) 丸棒鋼用超音波自動探傷装置
- (4) 連続铸造スラブ用超音波自動探傷装置
- (5) 極厚鋼板用超音波自動探傷装置
- (6) 鋼管用(シームレス管、電縫管、アップセット管)超音波自動探傷装置
- (7) 薄鋼板用超音波自動探傷装置

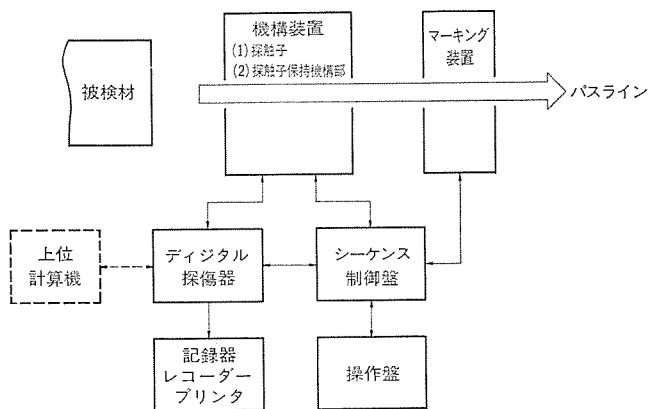


図6. 鉄鋼ラインにおける超音波自動探傷装置の構成例

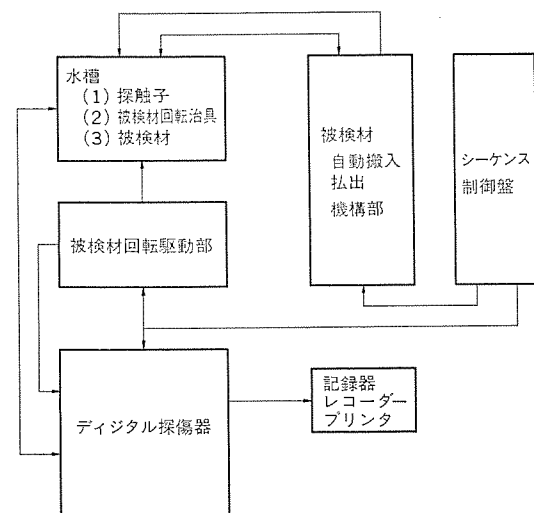


図7. 自動車部品に用いた超音波自動探傷装置の構成例

6.2 自動車部品の超音波自動探傷装置(電子ビーム溶接による微小溶接部の探傷)

自動車部品は、形状が小形のものも多く、また特に溶接部の熱ひずみを避けるために最近電子ビーム溶接が多く採用されている。この部分の探傷に超音波探傷装置が用いられているので、その1例を紹介する。

6.2.1 装置構成

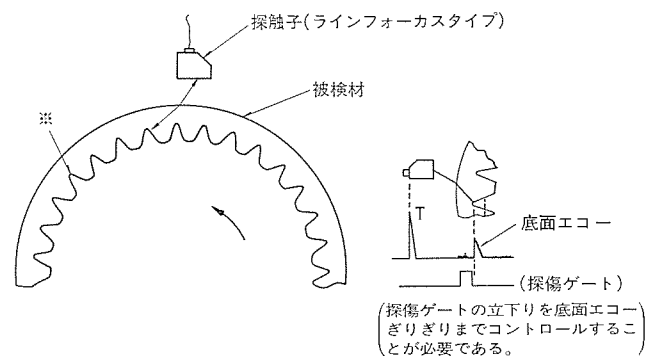
図7.に自動車部品の超音波探傷に使用された超音波自動探傷装置の構成例を示す。この装置は、水浸探傷法を用い水そう(槽)内に搬入される被検材を回転させて探傷し、探傷結果を探傷装置の表示パネルへのデジタル表示、記録器出力及び良品/不良品ラインへの仕分け作業を行うシステムである。

6.2.2 具体的探傷例

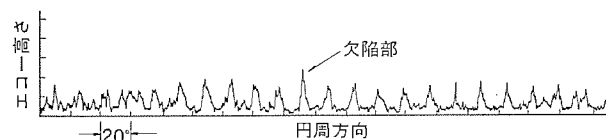
対象となる自動車部品のうちで動力伝達機構などは比較的複雑な形状の被検材で、この探傷目的に沿った特殊な探触子を用いなければ満足な探傷は困難である。この探触子と本装置を組合せて複雑な形状の被検材を探傷した例を紹介する。

(1) パターン認識法

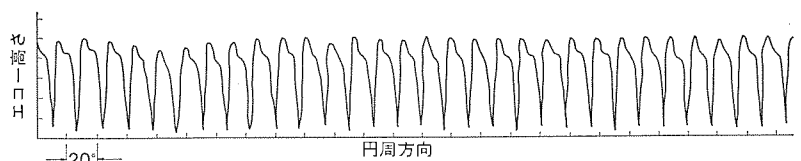
図8.(a)に示すような被検材では欠陥検出用ゲートを探傷領域に最適にかけることは非常に困難であり、通常の探傷法ではゲート幅を



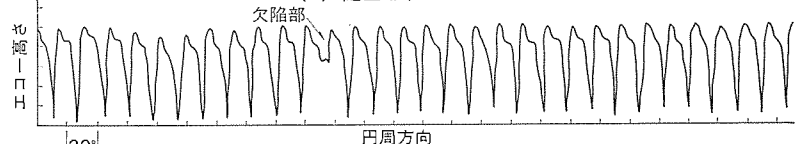
(a) 探傷概念図(ギヤ内面の割れ、亀裂(※印部)の検出)



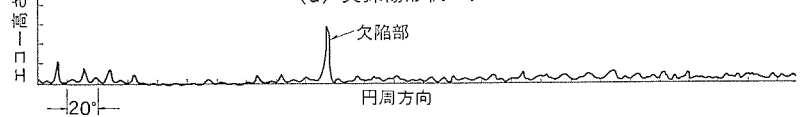
(b) 従来方式によるアナログパターン



(c) 健全形状パターン

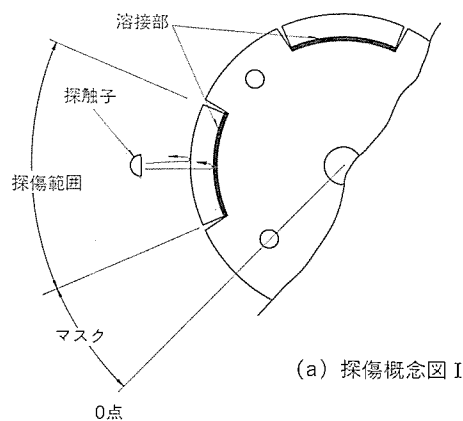


(d) 実探傷形状パターン

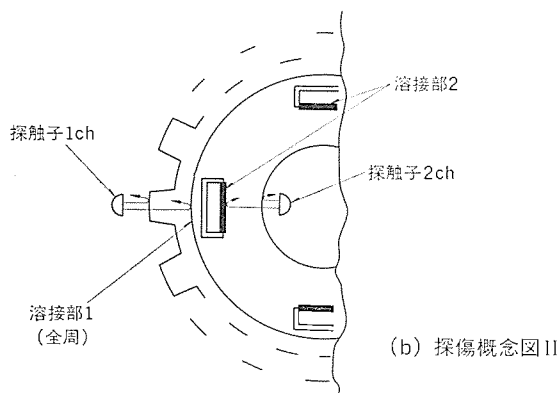


(e) 差異パターン

図8. パターン認識による探傷例



(a) 探傷概念図 I



(b) 探傷概念図 II

図 9. 探傷データマスクによる探傷例

狭めざるを得ず、図 8. (b) に示すような探傷パターンとなり、欠陥部に対する S/N が極めて悪く欠陥の識別が不可能に近い。そこで、被検材の健全部と欠陥部の欠陥エコーが出る位置の前後のエコー高さの変化に着目し、あらかじめ被検材と同一形状の試験片の健全部にゲート幅を広めに掛けて探傷し、図 8. (c) に示すような 1 周分の健全形状パターンを収集記憶し、実際の被検材を探傷して得た形状パターン (図 8. (d)) と比較し、その差異パターン (図 8. (e)) より識別する方法を採用した。この結果図 8. (e) に示すように欠陥部に対して極めて S/N の良い探傷法が確立できた。

(2) 探傷データマスク法

図 9. (a) に示すような被検材では 4 箇所の溶接部のみが探傷範囲で、その他の部分は探傷する必要がない。したがって、被検材回転駆動部より回転パルスクロックを入力し、あらかじめ被検材と同一形状のマスタワークにより探傷マスク範囲を算出して記憶し、実際の被検材探傷時に記憶している探傷マスク範囲に基づいて探傷範囲とそうでない部分を識別して探傷する方法を採用した。

図 9. (b) は、全周溶接された部分と数箇所溶接部を持つ複合部品の被検材で、内側と外側から 2 チャンネルで探傷するシステムである。外側から探傷するチャンネル 1 は、全周溶接部をギヤの山谷に応じてゲートを追従させ探傷する。内側から探傷するチャンネル 2 は 4 箇所の溶接部を上記探傷データマスク法を用いて探傷する。このように 2 つのチャンネルが異なった探傷法で処理できるのは、FD-7000 のマルチ CPU 方式の大きな特長である。

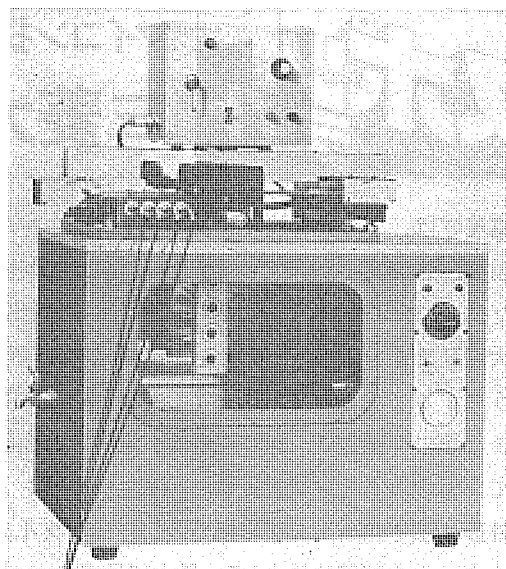


図 10. 被検材走査機構部

6.3 超音波材料解析装置

次に材料の物性及び強度を解析する上で重要な要素となる音速及び減衰量を測定する装置の応用例について紹介する。この装置の構成は図 7. に示す構成とほぼ同様であるが、被検材回転駆動部及び被検材回転治具の代わりに被検材走査駆動部及び被検材走査治具が付いており、被検材が左右に横行する機構となっている。図 10. に機構部の外観を示す。

この装置は、音速測定の場合水浸一探反射法を用いて固定の基準音速におけるビーム路程 0.1 mm 換算クロックにより、被検材の肉厚を測定して平均化した肉厚測定値と既知の実肉厚値及び基準音速値から実音速を算出し、探傷器本体の表示パネルに表示するとともに X-Y レコーダーに被検材走査距離に対応して記録する。また、減衰量測定の場合透過法を用いて透過波高値を音速と同様に表示、記録するシステムである。

7. む す び

ディジタル超音波探傷装置 FD-7000 について紹介したが、この装置は以上述べたように人間の眼や頭脳の代わりにマイクロコンピュータを用いて、極めて短時間に各種制御と処理を行っている。また、手探傷にも応用できるように CRT モニタの装備など機能面や操作面においても配慮している。したがって、従来の装置より格段に使いやすいものになっていることから、この種の装置はますます需要が拡大されていくと予想される。

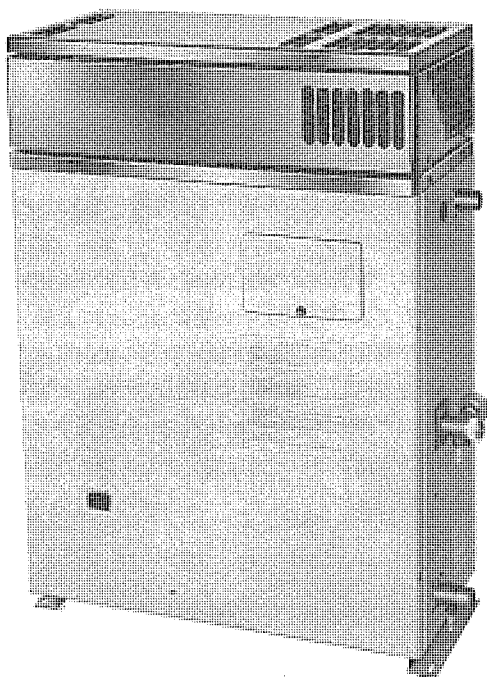
今後各探傷、計測分野の自動化の推進及び手探傷への応用を図るために、基本ソフトウェア及び目的に応じたソフトウェアモジュールを標準化して完備し、顧客の特別仕様によるアプリケーションソフトウェア以外は上記基本ソフトウェアと目的に応じたソフトウェアモジュールを組合せて対応できるようシステムの機能を充実させ、更に適用分野の拡大を図る計画である。

スポットライト

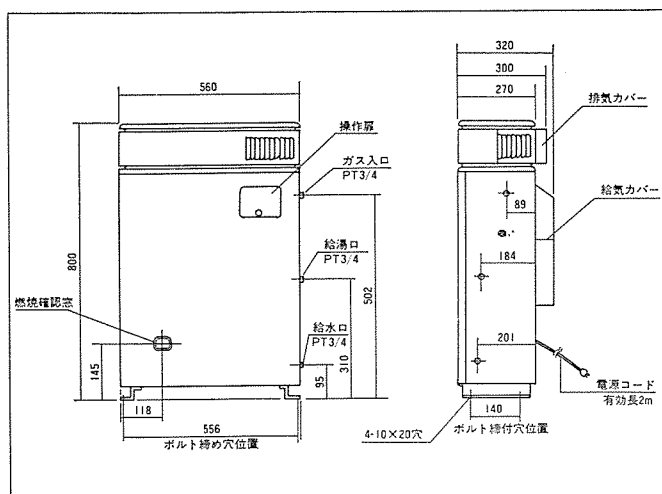
マイコン採用でさらに使いやすさ向上

三菱ガス瞬間式給湯機CB-13S形

三菱電機では、ガス給湯機として従来の省エネルギー形貯湯式給湯機CB-200G、300Gに加え、このたび比例制御方式を搭載したCB-13Sを新発売しました。この製品は給湯出力最小3.5～最大13号までの入力制御を行い、出湯温度をほぼ一定に保つようにするとともに、少流量まで湯量を絞ることが出来ます。また蛇口の操作で、40℃程度の湯と80℃の高温の湯を切換えて使用することが出来ます。バリエーションとして、同一の外形寸法で給湯出力16号相当のCB-16もラインアップしています。入力制御は最小4.5～最大16号です。



外形寸法



特長

- 湯温切換は給湯栓操作のみ
給湯栓を1回ひねれば設定湯温に、給湯栓を3秒以内に2回ひねれば80℃の高温の湯が得られます。設定温度は30℃～80℃までの可変タイプ。リモコン工事が不要です。
- 太陽熱温水器の接続が可能(CB-13S)
給水温度検知により、バーナの点着火、入力制御を行い、従来の瞬間式に対してより省エネルギー化が図れます。
- 熱量比例制御
使用量に見合ったガス量に自動調節。特にシャワー使用時の湯温変動を小さくするとともに、少量低温給湯を実現します。
- 全自動運転
給湯栓を閉じている時は、種火も消火している省エネルギータイプです。蛇口を開けば点火、入力制御などを自動的に行います。
- 屋外設置
排気工事が不要で、設置場所の選択が容易です。ガスに対する不安感をやわらげます。
- 熱効率が向上
熱交換効率83%。特に低入力時の効率を向上し、省エネルギー化を図ります。
- 低水压動作
0.1kg/cm²の低水压でも動作するため、水道圧の低い所でも使用できます。
- マイコン制御
電子回路の集約化により、信頼性、サービス性を向上しました。

標準仕様

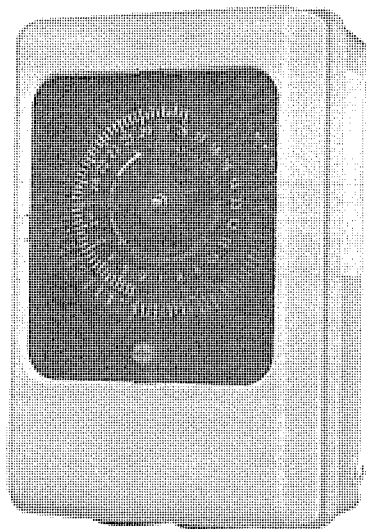
形 名	CB-13S	CB-16
ガス消費量(kcal/h)	(最大)24,000(2.0)	30,000(2.5)
〔()はLPG(kg/h)]	(最小)6,533(0.544)	8,438(0.703)
能 力(号数/h)	(最大)13(最小)3.5	(最大)16(最小)4.5
出湯量(ℓ/分)	25℃上昇 (最大)13 40℃上昇 (最大)8.3	(最大)16 (最大)10.8
湯 温 設 定 温 度 範 囲	30℃～80℃	
湯 温 制 御 方 式	入力比例制御	
最 低 動 作 水 圧	0.1kg/cm ²	
給 水 方 式	水道直結	
給 湯 方 式	先止め方式	
給 排 方 式	屋外設置セミバランス式	
管 ガ ス 管	20A (PT $\frac{3}{4}$)	
給 水 管	20A (PT $\frac{3}{4}$)	
給 湯 管	20A (PT $\frac{3}{4}$)	
電 源	AC 100V	
消 費 電 力	14W/14W (50Hz/60Hz)	
点 火 方 式	連続放電点火	
操 作 部	電源スイッチ、電源ランプ、湯温調節	
安 パイロット安全装置	フレーム、ロッド方式	
メインバーナ安全装置	フレーム、ロッド方式	
全 空 だ き 安 全 装 置	流量スイッチ(3.7ℓ/分ON)	
湯 温 過 昇 防 止 装 置	電子回路+サーミスター(90℃OFF)オートカット(90℃OFF)	
熱 交 換 器 安 全 装 置	温度ヒューズ139℃ OFF(2個)	
過 圧 防 止 装 置	過圧逃し弁(12.5±4 kg/cm ²)	
自 動 凍 結 防 止 装 置	低温動作弁(2℃動作 150cc/分)	
外 形 寸 法	800×560×270(320) ()内は給気カバーを含む方法	
製 品 重 量	27	27.5
付 属 部 品	アース棒	

スポットライト

高精度・長時間停電補償付

三菱 クォーツ タイムスイッチ TSQ-1DKP 形

三菱電機ではこのたび、クォーツ式のタイムスイッチであるTSQ-1DKP形を発売しました。省エネルギー化が叫ばれる現在、安価で簡便な手段としてのタイムスイッチの人気は根強いものがありますが、さらに高精度化・使いやすさが望まれています。このTSQ-1DKP形は、従来の方式(常時は同期電動機で動作し、停電時にはゼンマイと調速器で動作する方式)とは異なり、安定性の高い水晶発振でステップモータを駆動する方式で、従来にない数々の特長を有しています。例えば長時間停電補償が必要な工場などの設備機械の制御、据付後の保守保全が行いにくい街路灯・広告灯などの制御、電圧・周波数の変動が大きい自家発電機器の制御に最適です。また、機種を減らして在庫管理を簡単にすることができますので、電材店・盤メーカー・セットメーカーにとっても非常に有益なタイムスイッチであり、幅広い応用が期待されます。



標準仕様

形 名		TSQ-1DKP
取 付 け 方 式		表面
ON	プログラム周期	24時間
OFF	ON・OFF最小間隔(A)	15分
ス	動 作 回 数	ON・OFF 1~48回(96動作) (15分の倍数でセットできます)
イ	接 点 の 構 成	1P2T(単極双投)
容	AC(抵抗負荷)	100V 15A, 200V 10A
量	電 熱 負 荷	100V 1500W 200V 2000W
	白熱灯負荷	100V 100W
	モータ負荷	100V 200W 200V 200W
	DC	100V 0.04A
電 定 格	(AC)	100~200V、50~60Hz 両用
源	時計部が正しく動く電圧範囲(AC)	85~270V
	電源回路とスイッチ回路の構成	別回路(わたり線により同一回路も可能)
	時 計 精 度	月差10秒以内(周囲温度25℃において)
	スイッチの切換精度(分)	±5
	停 電 補 償	360時間(15日)以上
	消 費 電 力 (VA)	AC100V時 1VA, AC 200V時 2VA
	動作する周囲温度(℃)	-10~+50
	外 形 寸 法 (mm)	164×99×77

特長

●高い精度

従来の同期電動機式が電源の周波数に同期して動作するのに対し、TSQ-1DKP形は水晶発振式であるため、自家発電源を使用する場所など電源の周波数精度が良くない場合でもきわめて高い精度で動作します。さらに時計が正しく動作する電圧範囲もAC85V~270Vと非常に広いため、そのような場所でも安心して使用できます。

●電圧・周波数を両用化

電子回路内蔵により、定格電圧AC100V-200V、また周波数50Hz-60Hzのすべてに対して1台のTSQ-1DKPでまかなうことができます。使用する地域別、定格電圧別に従来4種類必要であったのに対し、わずか1種類のタイムスイッチを用意するだけでよく、在庫管理や工事のわずらわしさを一挙に解消します。

●長時間停電補償

従来24時間程度であった停電補償時間もNi-Cd電池を使用することにより、360時間(15日)以上の停電補償を実現しました。従って週休2日制や連休でメインの遮断器を切っても、時刻修正は全く必要ありません。また停電補償の回復も速やかに行われ、1時間の通電で10時間の停電補償が可能です。さらにNi-Cd電池もカセット化しており、その交換(Ni-Cd電池には寿命があります)も抜き差しするだけで簡単に行えます。

●ステップモータ

十二分に余裕を持った出力トルクを有する自起動形のステップモータで、確実かつ正確にタイムスイッチを駆動します。ロータおよび減速器は密閉構造であり、チリやホコリからの保護も確実です。また回転表示窓を備えており、外部よりステップモータの動作状態が一目で判り、試運転時などでも動作確認が容易に行えます。

●高い安全性

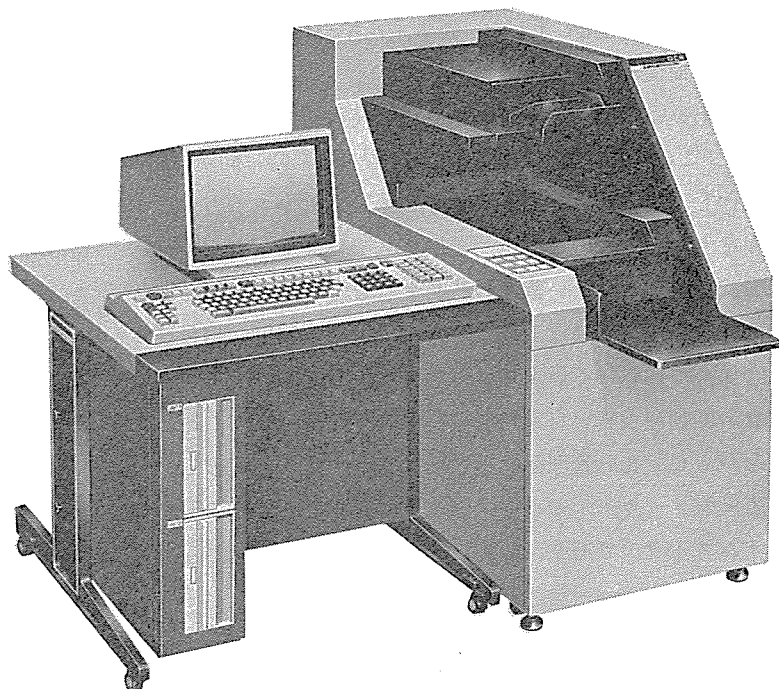
電源部への通電は、発光ダイオード点灯で確認できるだけでなく、使用電圧により発光色が自動的に切換わります(AC100V時はグリーン、AC200V時はレッド)から、使用電圧も一目で判ります。また接続端子部の空間も広く結線作業も簡単に行え、さらにその空間全面を被う大形端子カバー採用で、操作部と充電部を完全隔離。安心して使用できます。

●信頼性の高い金属切換爪

切換爪は金属製で、経時的・熱的に安定しており、長時間にわたって高精度・高信頼性を維持します。また切換爪は全数(96個)標準装備されており、設定回数が多くても切換爪を別途準備する必要はありません。また引出し方式ですから操作が簡単で、しかも切換爪を紛失する心配もありません。

プログラムシートの読取りも可能な 三菱OCR M2483-N形

三菱電機ではこのたび、新形のOCR M2483-N形の発売を開始しました。コンピュータへのデータ入力装置としてOCRが出現して以来、装置の飛躍的な性能向上と低価格化によって普及が急速に進んでおり、その利用業種も、官公庁、地方自治体をはじめ、製造業、金融業、流通業、サービス業などのあらゆる分野に及んでいます。また、ユーザーがデータ入力装置を検討する場合には、OCRの導入をまず第一に考えるまでに至りました。三菱電機は、1979年4月発表のM2483 OCRにより本格的にOCR市場に参入しましたが、このほど発表のM2483-N OCRは上位モデルとして、機能・性能を大幅に強化したものであり、OCRの利用分野を大きく拡大するものと期待されます。



特長

- ① 読取りデータのデュープや登録データのエミット機能などによる各種データ編集機能を充実したことにより、記入データを簡略化できるとともに記入者の負担を軽減することができます。
- ② 装置が標準的に用意している文字セットの他に、ユーザーが使用する文字種内容を任意に定義することも可能なため、無用な読取り不能文字や誤読文字を減らし、高精度な読取りができます。
- ③ 見やすい大形ディスプレイを採用し、しかも見出し機能や罫線の表示によって読取り帳票イメージでのデータ表示を可能にしているため、入力データの修正や変更がきわめて容易になっています。
- ④ 入力帳票の読取りと読取り不能文字の修正を並行動作させることにより、スループットの向上を図っており、読取り不能文字が少ない場合にはデータ修正時間を無視することができます。
- ⑤ 1行81欄帳票が読取り可能であり、一般データのほかにプログラムや設計データの入力が可能になり、OCRの利用分野を一層拡大させています。
- ⑥ ドロップアウトカラーを豊富に用意し、帳票の管理を容易にしたほか、市販のボールペン文字を読取り可能なモデルも用意しました。複写が必要な業務や、改ざんを防止したい業務にも、安心してご使用いただけます。
- ⑦ ドット文字の読取りが可能であり、安価なターンアラウンドシステムを構築することができます。
- ⑧ 出力フォーマットの編集機能により、出力コードや各種付加情報を任意に定義可能にしたことにより、ホストコンピュータとのインターフェイスも柔軟にとることができます。

標準仕様

形 式	ページ式(多数行読取り)
帳票サイズ	(1)通常帳票 89×89~364×297(mm) (2)81欄帳票 297×420(mm)
読取文字種	手書文字: 常用手書文字 数字、英字、カナ、記号(26種) 活 字: JIS OCR-B 数字、英字、記号(24種) 旧 OCR-B 数字、英字、記号(21種) JIS OCR-K カナ 407 数字 ドットプリント 数字 マルチフォント 数字(JIS OCR-B、IHOOCR-B、407) マ ー ク
読取文字数	(1)通常帳票: 手書54字/行(最大) 活字96字/行(最大) (2)81欄帳票: 81字/行
読 取 行 数	(1)通常帳票: 最大40行(1/2インチピッチ) (2)81欄帳票: 25行
読 取 速 度	(1)通常帳票: 37枚/分(最高) (2)81欄帳票: カード換算 平均50枚/分
ホッパ/スタック	ホッパ300枚/スタック300枚×2
電 源	AC100V、50/60Hz、1.0kVA(基本構成)
外 形 寸 法	幅1500×奥行1270×高さ1170(mm)
出 力 機 器	標 準: フレキシブルディスク(1Mバイト) オプション: 磁気テープ(JIS8単位/EBCDIC、800/1600BPI) 紙テープ(JIS7単位+1パリティ、60字/秒) カードパンチ(26±2枚/分、ホッパ/スタック約500枚) 通信回線(1,200~4,800BPS、BSC方式)

スポット ライト

総合的な組み合わせ試験を可能にした 車両推進システム総合試験場

このほど三菱電機では、伊丹製作所内に車両走行模擬試験が可能な試験設備を新設し、稼動を開始しました。これは、今までのような電機品だけの組み合わせ試験ではなく、走行装置（駆動装置や台車）までを含めた総合的な組み合わせ試験を可能にしたものです。これによって、当社電鉄部門の総合試験能力が大幅に向上し、車両推進システム全体として各種の試験が行えるようになりました。

試験装置概要

●搭載可能な台車

ゲージ……………1,067～1,435mm
輪軸間距離……………1,650～2,300mm
最大総重量……荷重を含め30トン
最大トルク……各軸1,300kg-m

●走行最高速度

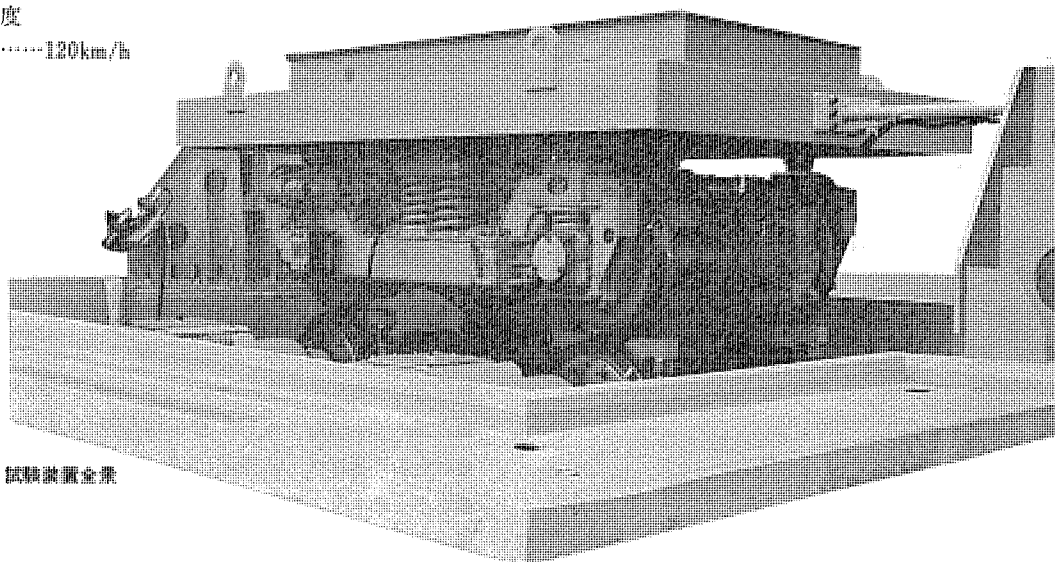
軌条輪周速……………120km/h

特長

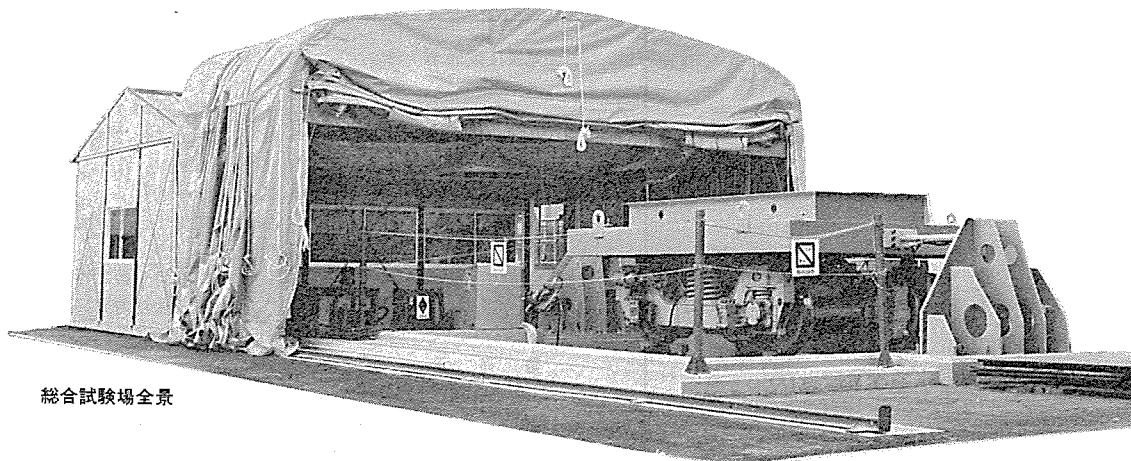
●電機品から走行装置までを総合的に組み合わせ、現車の状況に相当する種々の試験を行うことにより、車両推進システム全体の性能を確認することができます。

〔現車走行模擬試験内容〕

- 走行装置の加振試験
- 空転、滑走試験
- 粘着性能試験
- 車輪径差試験——等
- VVVFインバータによる誘導電動機駆動にみられるような新方式の駆動車両の開発に際し、電機品が走行装置に与える影響を確認、検証することができます。
- 走行装置を切離すことによって、従来通りの電機品単体の組み合わせ試験も行うことができます。



試験装置全貌



総合試験場全景

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
896210	熱硬化性樹脂組成物	{不可三晃・江藤昌平 山本 泰・中島博行	898793	交流発電機の自動負荷分担制御装置	加来政博
896211	励磁制御装置	石川 徹	898794	ラジアル 磁気軸受	{萩原史朗・森川鉄也 岸本 健
896212	絶縁形電力制御装置	松本圭二	898795	磁気軸受装置	{森川鉄也・岸本 健 萩原史朗
896213	窒素酸化物除去装置	吾妻健国	898796	磁気軸受の制御装置	{森川鉄也・岸本 健 萩原史朗
896214	ブラシレス 同期機	{赤松昌彦・片岡正博 岡部繁康	898797	磁気軸受の制御装置	{森川鉄也・岸本 健 萩原史朗
896215	沸騰冷却半導体装置	{木村好男・光岡 宏 細野 勇	898798	速度制御装置	岡本清秀・堀 幸輝
896216	蓄熱装置	{甲斐潤二郎・武藤勝俊 木村 寛・小浜秀子	898799	磁性粒子式連結装置の磁性粒子交換方法	{車戸秀男・井上 馨 堀 幸輝
896217	蓄熱装置	{甲斐潤二郎・武藤勝俊 木村 寛・小浜秀子	898800	半導体発光装置	{中尾佳生・平野昌彦 内海良和
896218	対数増巾器	上田敏晴	898801	半導体増巾器	中野隆生
896219	螢光体	粟津健三・松永 数	898802	振幅制限装置	岡野 晃・藤田清志
896220	ネマチック 液晶組成物	柴山恭一・小野 博	898803	回転体の定位置停止装置	横山昌弘
898012	成層鉄心の塗装絶縁法	杉原治達	898804	磁気軸受装置	{松倉欣孝・萩原史郎 古石喜郎
898013	電波的測角装置	{渡部 優・山内信治 橋本直樹・玉真哲雄	898805	燃焼装置	大畑晃一
898791	磁性粒子 クラッチ	車戸秀男・佐藤信介	898806	位相変調器	藤野 忠
898792	磁気連結装置の残留磁気消去装置	岡本清秀・浜田富美雄			

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 55 No. 8 情報処理機器特集

特集論文

- 色彩図形認識システム
- MILESTONE コンピュータ利用の教育システム
- 新形光学文字読取装置 (M 2483-N)
- イメージデータ処理システム
- 音声応答システム
- CAD 用分散図形処理システム
- 《MELCOM-COSMO シリーズ》による集中形高性能データエントリシステム

普通論文

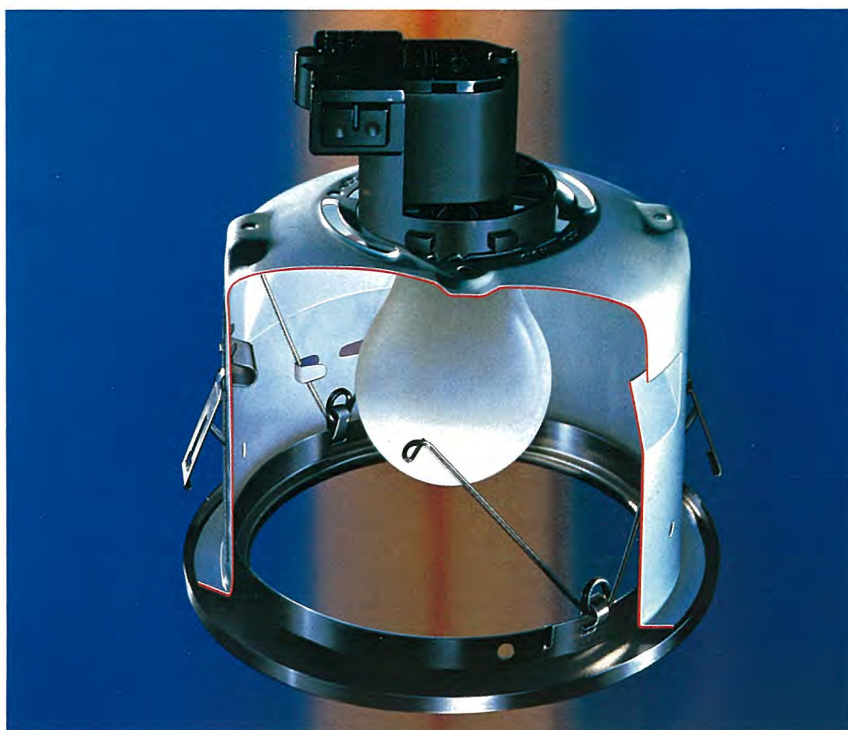
- 北欧自動車電話システム用基地局装置
- 電気ホイス用過負荷検出装置
- 最近の真空スイッチ負荷時タップ切換器の動向とその適用
- 店舗内売上情報システム《MELPOS》SDP システム
- 最近の棒鋼線材圧延設備用制御システム
- 水平・鉛直 2 方向同時加振による耐震試験
- 最近の大容量ディーゼル発電機

三菱電機技報編集委員				三菱電機技報 55 巻 7 号			
委員長	志岐守哉	委 員	柴田 謹三				
副委員長	大谷秀雄	"	樋口 昭				
"	横 浜 博	"	柳下昌平				
常任委員	三 輪 進	"	立川清兵衛				
"	唐仁原孝之	"	中里裕臣				
"	木 内 孝	"	柴山 恭一				
"	葛野 信一	"	福井 三郎				
"	三 浦 宏	"	杉 山 睦				
"	阿 部 修	"	瀬辺 国昭				
"	桐生悠一	"	倉橋浩一郎				
"	野畑昭夫	"	竹内守久				
"	的 場 徹	幹 事	諸住康平				
"	尾形善弘	"	足立健郎				
		7 号特集担当	岸田公治				
				昭和 56 年 7 月 22 日 印刷 (無断転載を禁ず) 昭和 56 年 7 月 25 日 発行			
				編集兼発行人	諸 住 康 平		
				印 刷 所	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地 大日本印刷株式会社		
				発 行 所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 1 番 2 号 (〒100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」Tel. (03) 218 局 2045		
				発 売 元	東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 233 局 0643(代), 振替口座 東京 6-20018		
				定 価	1 部 500 円送料別 (年間予約は送料共 6,700 円)		

スポットライト

高効率・ワンタッチ取付の 三菱白熱灯ダウンライト

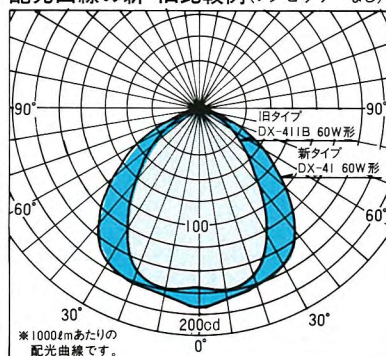
三菱電機では、器具効率・取付性・器具埋込寸法などすべての面でユニークな白熱灯ダウンライトを開発、56年4月より発売を開始しました。従来機種に比べ24～56%の効率アップと5%の節電化を実現し(当社比)、また器具取付と電源接続をワンタッチ化、さらに天井ふところの狭い最近の建築に対応して器具埋込高さを13～42mm低くしました。本体とアクセサリーの組合せて181種類ものバリエーションを持っているため、幅広いニーズに対応できます。



特長

- 反射面の高効率設計により、当社従来品に比べて器具効率が24～56%もアップ。このクラスでは群を抜く器具効率です。
- 省電力形電球の採用により5%(当社比)の節電化を実現。
- 天井への取付をワンタッチ式に、また電源接続を速結式にするなど、取付工事が大幅に容易になりました。
- 器具埋込高さを13～42mm低くしましたので、狭い天井ふところにも取付可能です。このタイプでは最も薄形の設計です。

配光曲線の新・旧比較例(アクセサリーなし)



器具効率比較例

器具形名	旧タイプ DX-411B	新タイプ DX-41
	従来の電球 60W	省電力形電球 60W形(57W)
ランプ	従来の電球 60W	省電力形電球 60W形(57W)
ランプ光束	810lm	810lm
器具効率 ※	31% (100)	45% (145)
器具光束 ※ (ランプ光束×器具効率)	251lm (100)	365lm (145)
総合効率 ※ (器具光束÷消費電力)	4.2lm/W (100)	6.4lm/W (152)

※本体に枠を取り付けた状態(アクセサリーなし)での比較です。

用途

一般家庭の応接間、居間、寝室、廊下、玄関、その他店舗やビルの全般照明・補助照明。

仕様

- 電源：100V 50/60Hz
- 白熱灯：省電力形電球40W形(38W)、60W形(57W)、100W形(95W)
- 種類と仕上：本体22機種、アクセサリー53種類で、総組合せ数は181種類。アクセサリーには反射板、バフフル、プラスチックルーバ、木製ルーバ、アクリル平板、ペン皿、ガラスなどがあります。

枠の 仕上(種類)	使用電球 埋込穴	40W形		60W形		100W形	
		φ100mm	□100mm	φ150mm	□150mm	φ200mm	□200mm
白 色 塗 装		DX-21	DX-31	DX-41	DX-51	DX-61	DX-71
ホワイトブロンズ仕上		DX-22	DX-32	DX-42	DX-52	DX-62	DX-72
銅 メ ッ キ		DX-23	DX-33	DX-43	DX-53	DX-63	DX-73
金 色 仕 上		—	—	DX-44	—	—	—
木 製		—	DX-35	—	DX-55	—	DX-75
対応アクセサリー数		10	6	16	8	7	6
組 合 せ 機 種 数		30	24	56	26	21	24
総 組 合 せ 機 種 数		181機種					