

MITSUBISHI

三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.66 No. 11

11
1992

特集 “燃料電池”



特集 “燃料電池”

目 次

特集論文

燃料電池特集に寄せて	笛木和雄	1
三菱電機における燃料電池開発の現状と展望	河村博敏・西山 槐	2
リン酸型燃料電池の製品化	河村博敏・宇佐見一雄・留井英明・水本洋一・大谷 徹	8
リン酸型燃料電池のセル技術	松本正昭・三好英明・光永達雄・光田憲朗・荒金 淳・塙田 久	12
リン酸型燃料電池の燃料改質装置	土居邦宏・藤本路奥・都留 潔・橋本照男・佐々木 明	17
燃料電池用インバータと連系装置	留井英明・武田 淳・朝枝健明・宮下武司	22
オンライン用燃料電池発電システム	田熊良行・飯田博文・池田辰弥・糸山 保	26
分散配置用燃料電池発電システム	水本洋一・田熊良行・武田 淳・福本和美	32
溶融炭酸塩型燃料電池のセル技術	吉岡省二・西村 隆・藤田洋司・細川純一・漆畠広明・村橋健明	38
溶融炭酸塩型燃料電池の内部改質スタック技術	井出 弘・松村光家・岡田達典・宮崎政行・言上佳秀・向井正啓	43
内部改質溶融炭酸塩型燃料電池のシステム化技術	佐々木 明・松本秀一・藤塚正史・篠木俊雄	48

普通論文

送電線点検作業への画像処理技術の適用——電線異常箇所自動判定装置——	外岡宏章・小林益一・竹中俊夫・山本健司	52
ファームバンキング専用端末機	斎藤 弘・加藤祥一	57
三菱B／NET電力エネルギー管理システム・集中自動検針システム	有信一郎・川口真由・鎌田一郎・山崎清熊・岩崎清光	62
オートフォーカス制御用16ビットマイコン M37708E4AGP	大西賢治・原田大次郎・上水流 政利・尚永幸久・玉木浩子	68
三菱統合ネットワーク管理システム	青野英樹・村田 篤・原田 優・河村浩光・鬼塚裕一郎	74
国際標準テレビ会議端末を収容する多地点テレビ会議システム	中井教詞・松田茂信・秋田康貴・岡 進・佐藤美穂子	77
TFT負荷型第二世代1Mビット中速(低消費電力)SRAM	池田和也・有田 豊・山下正之・小久保信幸・南 ふゆみ	82
地球資源衛星1号搭載合成開口レーダ用アンテナ	水溜仁士・赤石 明・尾形慶照・久田安正・根本幸昭	88

特許と新案

燃料電池、移動電話装置	97
半導体発光素子	98

スポットライト

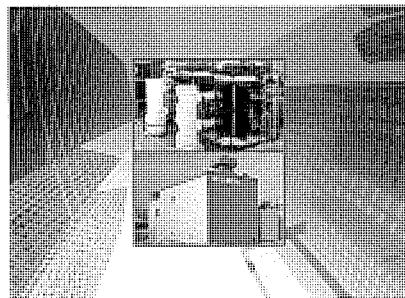
新型電気操作式ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器	96
PC-CAD対応21インチ0.28mmドットピッチオートトラッキングモニタ	99
BS内蔵S-VHS VTR HV-BS63	100
高画質くっきりファインダー搭載S-VHS-Cムービー MV-S55	(表3)

表紙

燃料電池実証試験

写真上は、内部改質方式の溶融炭酸塩型燃料電池スタックで、社内の開発工場に設置し、スタック技術及びシステムの検証を行っている。平成4年7月には、世界最大出力109kWを達成した。

写真下は、六甲アイランド(神戸市)にある関西電力㈱六甲新エネルギー実験センターに設置したリン酸型200kW燃料電池である。本機は最新のセル技術を取り入れ、機器構成を簡素化している。新エネルギーを電力系統へ連系した場合の技術課題を研究するために、平成3年12月20日から運転中である。



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

アブストラクト

三菱電機における燃料電池開発の現状と展望

河村博敏・西山 槐

三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 2~7

燃料電池はクリーンで高い発電効率をもつ優れた発電システムであり、この早期実用化が期待されている。昭和56年から通産省のムーンライト計画の一環として取り上げられ、各社で開発に取り組んできている。

三菱電機はリン酸型及び溶融炭酸塩型を主体に開発を進めて来ており、特に、リン酸型は実用化が間近になっている。

本稿では、当社の開発の現状及び今後の課題などにつき、その概要を紹介する。

リン酸型燃料電池の製品化

河村博敏・宇佐見一雄・留井英明・水本洋一・大谷 徹

三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 8~11

リン酸型燃料電池はコージェネレーションシステムに適しており、オンライン用に200kW、500kW、1,000kWパッケージ及び分散配置用に5,000kWユニットの製品化を計画している。現在、信頼性向上、コスト低減のために、電池スタック、改質器、インバータの要素技術開発及び200kW級プラント実証運転を実施しており、1996年以降から本格量産に入る予定である。

リン酸型燃料電池のセル技術

松本正昭・三好英明・光永達雄・光田憲朗・荒金 淳・塙田 久
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 12~16

リン酸型燃料電池発電システムの実用化のためには、セルの高性能化によるコスト低減と長寿命化による信頼性の向上が不可欠である。セルの高性能化のため、触媒の活性向上とセル内部抵抗低減の開発を行った。また、寿命特性向上のため、ガスフロー方式の検討及びリン酸無補給運動が可能なセル構造の開発を行った。

開発は、着実に進歩しており、現在、コストの課題を除き基礎技術開発はほぼ完了している。

リン酸型燃料電池の燃料改質装置

土居邦宏・藤本路奥・都留 潔・橋本照男・佐々木 明
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 17~21

天然ガスやメタノールを燃料とする改質装置のシステム簡略化、機器のコンパクト化のための要素開発や実証試験結果について概説した。新型バーナーの開発、改質反応管への伝熱・反応特性の最適化により、天然ガス改質器のコンパクト化を達成した。また、システム構成を簡略化できる脱硫器、CO変成器の特性を検証し、実用化の見通しを得た。

メタノール改質器では、実証試験によって改質装置としての目標性能の確認と特性向上策の検討を行った。

燃料電池用インバータと連系装置

留井英明・武田 淳・朝枝健明・宮下武司
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 22~25

本稿では、燃料電池用インバータと連系装置に求められる要件、特徴及び回路構成例について述べる。

インバータでは500kW級まではIGBTの多パルスPWM方式、それ以上の大容量級ではGTOの低パルスPWM方式が主流となる。

連系装置では連系・単独の両運転モードの切替えや、系統事故時の無瞬断単独モード移行を実現するにはサイリスタスイッチ等の高速遮断器を組み込んだ回路構成が必要となる。

オンライン用燃料電池発電システム

田熊良行・飯田博文・池田辰弥・糸山 保

三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 26~31

オンライン用燃料電池発電システムは、熱供給を含めたエネルギー利用効率が高いため、ホテル、病院などの電気と熱の需要が併存する施設を対象に、早い市場導入が期待されている。当社は、ムーンライト計画のもとで(株)ホテルプラザ向け業務用燃料電池を開発し、実証試験を行ってその実用性を確認した。この実績をもとに燃料電池の商用化に向け、コスト低減、コンパクト化及び熱利用の効率向上の課題に取り組んでいる。

分散配置用燃料電池発電システム

水本洋一・田熊良行・武田 淳・福本和美

三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 32~37

最近のエネルギー事情から、電気事業用として分散配置用燃料電池発電システムの導入が期待されている。導入の形態を考慮すれば、常圧型5MW級を基本ユニットに構成するのが適当である。常圧型採用により、システムは簡素化され、信頼性向上・保守性向上が期待される。高位排熱を含めた効率は高く、コージェネレーションとして最適であるほか、ボトミング発電も有効である。当社では、製品化を目指して要素開発・システム開発を進めている。

溶融炭酸塩型燃料電池のセル技術

吉岡省二・西村 隆・藤田洋司・細川純一・漆畠広明・村橋俊明
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 38~42

溶融炭酸塩型燃料電池の製造技術・性能・寿命について開発現状と課題を報告した。電極、マトリクスの製造技術は0.5m²級量産プロセスを確立した。セル性能は現状で150mA/cm²-780mVを実現し、寿命は世界初の2万時間運転を達成した。今後、製造面では1m²級への拡大を図ること、セル性能面では内部抵抗低減とカソードの改良によって特性を820mVに向上し、3~4万時間の寿命を実証することを目標に開発を進めること。

溶融炭酸塩型燃料電池の内部改質 STACK技術

井出 弘・松村光家・岡田達典・宮崎政行・言上佳秀・向井正啓
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 43~47

溶融炭酸塩型燃料電池の内部改質STACKについて、その特長と開発経緯を中心まとめた。改質反応を行わせる触媒領域と電池の組合せ方により、“直接方式”と“間接方式”に分けられる。直接方式では5,000時間を超える長時間運転及び大面積化並びに高燃料利用率運転を達成した。間接方式ではガスの流れ方式と改質触媒の充填方式を改良し、熱バランス特性を向上させ、100kW級STACKの運転研究を行った。

内部改質溶融炭酸塩型燃料電池のシステム化技術

佐々木 明・松本秀一・藤塚正史・篠木俊雄
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 48~51

内部改質溶融炭酸塩型燃料電池のシステム化技術として、システム構築技術とガスリサイクル技術をまとめた。計算機シミュレーションの結果から、内部改質システムが燃料を有効に使用し、冷却負荷が小さいため高効率であることを示した。また、カソードガスリサイクル及びPSA (Pressure Swing Adsorption) を例とした炭酸ガスリサイクルが、電池STACKの運転に適合することを、試験データを基に示した。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.26~31 (1992)

An On-site Fuel-Cell Power System

by Yoshiyuki Takuma, Hirofumi Handa, Tatsuya Ikeda & Tamotsu Itoyama

On-site fuel-cell power systems are soon expected to make their debut on the market, and will provide high efficiency electricity and heat cogeneration for hotels, hospitals and similar facilities. Mitsubishi Electric has contracted to develop a fuel-cell power system for business use under the MITI Moonlight Project. The system has proven practical in test operation. The corporation is currently addressing issues of cost, equipment size reduction, and thermal efficiency needed for a commercial implementation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.32~37 (1992)

A Fuel-Cell Power System for Dispersed Use

by Yoichi Mizumoto, Yoshiyuki Takuma, Jun Takeda & Kazumi Fukumoto

Dispersed fuel-cell power-generation systems have a promising future. They have the potential to reduce dependence on large centralized power-generation facilities and lower power transmission costs. Atmospheric-pressure systems based on 5MW-class units appear to be most suitable considering installation requirements. Such operations will allow a simpler system configuration, improve reliability and facilitate maintenance. High electrical efficiency, inclusive of effective heat recovery, is excellent for co-generation and bottoming-cycle applications. Mitsubishi Electric is developing technologies and systems, and plans to release commercial products.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.38~42 (1992)

Cell Technologies for Molten Carbonate Fuel Cells

by Shoji Yoshioka, Takashi Nishimura, Yoji Fujita, Jun'ichi Hosokawa, Hiroaki Urushibata & Toshiaki Murahashi

The article reports on the current state of development and technical issues involving production technology, performance, and operating life of molten carbonate fuel cells. The corporation has established mass production technology for electrodes and matrix material with an area of 0.5m². It has also realized cell performance of 150mA/cm² at 780mV, and a cell operating life of 20,000 hours, the longest value yet reported. Development is continuing with goals of producing 1m² cell components, raising cell voltage to 820mV by reducing cell internal-resistance and improving cathode design, and extending operating life to 30-40,000 hours.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp. 43 ~ 47 (1992)

Molten Carbonate Fuel-Cell Stacks with Internal Fuel-Reforming Capability

by Hiromu Ide, Mitsue Matsumura, Tatsunori Okada, Masayuki Miyazaki, Yoshihide Gonjo & Masahiro Mukai

The article reports on the characteristics and development history of molten carbonate fuel-cell stacks with internal fuel-reforming capability. Direct and indirect reforming stacks differ in the relationship between the catalyst area where the reforming and cell reactions take place. The corporation has developed a direct internal reforming stack with a long, 5,000-hour operating life, an enlarged effective cell area, and high fuel utilization efficiency. It has also tested a 100kW-class indirect reforming stack incorporating an improved gas flow method, improved catalyst loading, and better heat balance characteristics.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp. 48 ~ 51 (1992)

System Technology for Internal-Reforming Molten Carbonate Fuel Cells

by Akira Sasaki, Shuichi Matsumoto, Masashi Fujitsuka & Toshio Shinoki

The corporation has developed system configuration and gas recycle technologies suitable for systematic application to molten carbonate fuel cells with internal fuel-reforming capability. Use of computer simulations helped improve the cell efficiency by raising fuel utilization in the reforming system and reducing cooling duty. In addition, test data showed that cathode gas recycling technologies and CO₂ recycling technologies using pressure swing adsorption are compatible with normal operation of the fuel-cell stack.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp. 2 ~ 7 (1992)

The Present Status and Future Trends for Fuel Cell Technology at Mitsubishi Electric

by Hirotoshi Kawamura & Enju Nishiyama

Fuelcells are a clean, high-efficiency power generation source, and they are soon expected to enter commercial use. A number of companies in Japan have been developing fuel-cell technology since MITI initiated the Moonlight Project (for conservation and alternative-energy-source technology development) in 1981. Mitsubishi Electric has mainly conducted R&D on phosphoric acid and molten carbonate fuel cells, and phosphoric acid technology is nearly ready for commercial implementation. The article summarizes the present status and future trends of this technology at Mitsubishi Electric.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.8~11 (1992)

The Commercialization of Phosphoric Acid Fuel Cells

by Hirotoshi Kawamura, Kazuo Usami, Hideaki Tomei, Yoichi Mizumoto & Toru Otani

Phosphoric acid fuel cells are suitable for cogeneration systems. Mitsubishi Electric is planning to commercialize 200kW, 500kW and 1,000kW packages for on-site applications, and a 5,000kW unit for dispersed applications. The corporation is currently developing fuel-cell stacks, fuel reformers, and inverters with higher reliability and lower cost, and is operating a 200kW class prototype plant. Commercial production is scheduled to begin in 1996.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.12~16 (1992)

Cell Technologies for Phosphoric Acid Fuel Cells

by Masaaki Matsumoto, Hideaki Miyoshi, Tatsuo Mitsunaga, Kenro Mitsuda, Jun Aragane & Hisashi Shiota

Practical phosphoric acid fuel-cell power generation systems will require development of cells with higher performance (which will lower costs) and longer life (which will improve reliability). Cell performance has been raised by improving the efficiency of catalysts and reducing cell internal resistance. Gas flow systems have also been studied, and cell configurations have been developed that operate without requiring acid addition; thus improving cell reliability. Development is progressing steadily. All basic technology issues except for cost have been addressed.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.17~21 (1992)

Fuel-Reforming Apparatuses for Phosphoric Acid Fuel Cells

by Kunihiro Doi, Ro'oku Fujimoto, Kiyoshi Tsuru, Teruo Sugimoto & Akira Sasaki

The article summarizes newly developed component technologies and prototype test results for compact, simplified fuel-reforming apparatuses for natural gas and methanol fuels. A new burner combined with optimizations of reaction characteristics and thermal transfer to the reforming reaction tube has made it possible to produce a compact natural gas reformer. The corporation has also investigated the characteristics of simpler desulfurizers and carbon monoxide shift converters, and practical implementation now appears possible. A methanol reforming apparatus is currently under testing to verify that it meets performance targets and to research possible improvements.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.22~25 (1992)

An Inverter and Power Connecting System for Fuel-Cell Power Plants

by Hideaki Tomei, Jun Takeda, Tateaki Asaeda & Takeshi Miyashita

The article reports on the requirements, features, and typical circuit configurations of inverters and power connecting equipment for fuel-cell power plants. Inverters with capacities up to approximately 500kW employ insulated gate bipolar transistors and a high-frequency PWM inversion method. Larger capacity inverters are realized using GTO thyristors and a low-frequency PWM method. The power connecting equipment employs circuits with high-speed breakers, such as thyristor switches, to realize connecting and independent operation modes, and to enable an independent uninterrupted mode when system faults occur.

アブストラクト

送電線点検作業への画像処理技術の適用 —電線異常箇所自動判定装置—

外岡宏章・小林益一・竹中俊夫・山本健司
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 52~56

送電線の点検は、現在自走式点検機やヘリコプターにテレビカメラを搭載し、VTRに記録した映像を帰還後再生して人手によって確認しているが、多大な時間と労力を要している。このため、中部電力(株)・中電工事(株)・三菱電機㈱では送電線点検業務の効率化・作業改善等の観点から、画像処理技術を応用して電線の異常を自動判定する装置の開発を行い、1コマ約0.4秒で処理できる実用レベルの装置が実現できた。

ファームバンキング専用端末機

斎藤 弘・加藤祥一
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 57~61

銀行窓口に出向くことがなく、総合振込、給与振込などを行うことができるファームバンキング端末を導入する企業が増えている。また、各銀行も営業戦略として、ファームバンキングの普及に力を入れている。これらの状況下で、低価格、コンパクト、それに操作性のよいファームバンキング専用端末“ふあびい”的開発・製品化を行ったので紹介する。

三菱B/NET電力エネルギー管理システム・ 集中自動検針システム

有信一郎・川口真由・鎌田一郎・山崎清熊・岩崎清光
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 62~67

“B/NET”とは、ノーヒューズ遮断器・電磁接触器・電力量計などの配電制御機器をネットワークし、これらの機器を統合化するために用いられる配電制御機器のための伝送用機器の総称である。このたび、ビル・工場等の電気設備管理や、電気・水道・ガス等の各種メータの集中自動検針を行うため、“B/NET”を応用した“電力エネルギー管理システム”と“集中自動検針システム”を開発したのでその概要を報告する。

オートフォーカス制御用16ビットマイコン M37708E4AGP

大西賢治・原田大次郎・上水流 政利・尚永幸久・玉木浩子
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 68~73

近年、8mmカメラ、ムービー等カメラ一体型VTR市場の拡大、市場製品の高機能化に伴い、マイクロコンピュータ(マイコン)にも小型パッケージで内蔵メモリの大容量化やデータ処理速度の高速化、高機能化への要求が高くなっている。これらの要求にこたえ、0.65mmピッチパッケージにモータ制御機能や高機能シリアルI/O等の周辺機能とROM32Kバイト、RAM1.5Kバイトを内蔵したオートフォーカス制御用16ビットマイコン M37708E4AGPを開発した。

三菱統合ネットワーク管理システム

青野英樹・村田 篤・原田 優・河村浩光・鬼塚裕一郎
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 74~76

統合ネットワーク管理システムは、大規模、複雑、マルチベンダ化するネットワークシステムにおいて、ネットワーク全体の管理を目的としている。専用線、パケット交換網、ローカルエリアネットワークが相互接続する複合通信網において、このシステムは従来行うことのできなかった各個別のネットワークがもつ管理データを組み合わせた管理を行うことができる。またマルチベンダネットワークにも適応できる特長をもっている。

国際標準テレビ会議端末を収容する 多地点テレビ会議システム

中井教詞・松田茂信・秋田康貴・岡 進・佐藤美穂子
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 77~81

国際標準に準拠したテレビ会議端末を、ISDN等のデジタル通信網を介して収容する多地点通信制御装置(MCU)を開発し、このMCUと複数の端末からなる多地点テレビ会議システムを実現した。上記の端末の外に従来の当社テレビ会議端末や電話端末も収容でき、また16地点までの多地点会議や128地点までの同報会議を行うことができる。最大8つの会議を互いに異なる通信速度で同時に開催することができる。

TFT負荷型第二世代1Mビット中速(低消費電力)SRAM

池田和也・有田 豊・山下正之・小久保信幸・南 ふゆみ
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 82~87

0.7μmルールを用いてTFT負荷型のメモリセルを採用した第二世代1Mビット中速(低消費電力)SRAMを開発した。アクセスタイム70ns以上の第一世代品と完全互換性をもつアクセスタイム55nsの高速品を実現した。最新の回路技術及びTFT負荷型のセルを用いることにより、低消費電力化が図られている。バーンイン時には特殊モードに入ることにより、時間短縮が図られている。ソフトエラー発生率も非常に少なくなっている。

地球資源衛星1号搭載合成開口レーダ用アンテナ

水溜仁士・赤石 明・尾形慶照・久田安正・根本幸昭
三菱電機技報 Vol. 66・No. 11・P 88~95

地球資源衛星1号(ERS-1)に搭載する合成開口レーダアンテナを開発した。アンテナは8枚のアンテナパネルで構成された開口寸法約12m×2mの大型平面アンテナであり、衛星の打ち上げ時には折り畳まれて搭載されており、軌道上で展開する。アンテナは薄型軽量化の観点からハニカムサンドイッチ板を用いたマイクロストリップアレーランテナを採用し、NFAM法によって放射特性試験を行った。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.74~76 (1992)

The Mitsubishi Integrated Network Management System

by Hideki Aono, Atsushi Murata, Suguru Harada, Hiromitsu Kawamura & Yuichiro Onizuka

The Mitsubishi Integrated Network Management System supports management of large, complicated multivendor network systems. Unlike the corporation's previous network management systems, the new system is capable of integrating management data from each of the various leased lines, packet-switching networks and local area networks in a large composite network. It is also designed to be suitable for use in multivendor network environments.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp. 77 ~ 81 (1992)

A Multipoint Teleconferencing System for International Standard Conformant Terminals

by Kyoji Nakai, Shigenobu Matsuda, Yasutaka Akita, Susumu Oka & Mihoko Sato

The corporation has developed a multipoint control unit (MCU) for teleconferencing applications. The unit is designed to support multiple teleconferencing terminals conforming to CCITT recommendations, connected by ISDN or other digital networks. The unit is also compatible with the corporation's proprietary teleconferencing terminals and telephone terminals. It connects up to 16 terminals in conference mode, and up to 128 terminals in broadcast mode by interconnecting other units. It supports up to eight simultaneous conferences that can be conducted at various data transmission rates.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.82~87 (1992)

Second-Generation, Medium-Speed, 1Mbit TFT SRAM

by Kazuya Ikeda, Yutaka Arita, Masayuki Yamashita, Nobuyuki Kokubo & Fuyumi Minami

The corporation has developed second-generation, medium-speed low-power 1Mbit SRAM devices employing a 0.7 μ m design rule and TFT-loaded memory cells. Two access time modes are now available through bonding options: 55ns using second-generation devices and 70ns using first-generation devices. Lower power consumption is achieved by the use of recent circuit technologies and TFT-loaded memory cells. The devices also feature a special operating mode that shortens the time required for burn-in, and the soft error rate is very low.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.88~95 (1992)

A Synthetic Aperture Radar Antenna for the Japanese Earth Resources Satellite 1

by Hitoshi Mizutamari, Akira Akaishi, Yoshiteru Ogata, Yasumasa Hisada & Yoshiaki Nemoto

The corporation has developed a synthetic aperture radar for Japanese Earth Resources Satellite 1 (JERS-1). The microstrip antenna is comprised of eight honeycomb sandwich panels forming a large flat antenna approximately 12 × 2m, which is designed to be folded during launch and deployed once the satellite is in orbit. Radiation characteristics were tested using the NFAM method.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.52~56 (1992)

Image Processing Technology for Automatic Power Line Inspection

by Hiroaki Tono'oka, Masukazu Kobayashi, Toshio Takenaka & Kenji Yamamoto

To visually inspect power lines for damage is a labor-intensive and time-consuming task whether it is done directly by road vehicle, or by inspecting a video record shot from a helicopter. Mitsubishi Electric, working with the Chubu Electric Power Co., Inc. and Chuden Construction Co., Inc., has developed an automatic power line inspection system that applies image-processing technology to simplify and improve the efficiency of line inspection operations. The article reports on this design and test results of this system, which can process one video frame in approximately 0.4s.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.57~61 (1992)

A Remote Banking Terminal

by Hiroshi Saito & Shoichi Kato

Many businesses are installing remote banking terminals to enable them to handle payroll operations and other funds transfers without making a trip to a bank office. Banks are also promoting these services in order to expand their business. The article introduces a compact, low-cost, easy-to-use remote banking terminal developed and commercially produced at Mitsubishi Electric to meet the specific requirements of remote banking applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp. 62 ~ 67 (1992)

The Mitsubishi B/Net Electric Energy Management and Centralized Automatic Metering Systems

by Ichiro Arinobu, Masayoshi Kawaguchi, Ichiro Kamada, Seikuma Yamasaki & Kiyomitsu Iwasaki

B/Net is the corporation's name for data transmission equipment used between network-capable no-fuse breakers, electromagnetic contacters, power meters and power distribution control equipment. The corporation recently developed an electric energy management and centralized automatic metering system employing B/Net. The system is suitable for supervising and controlling electrical power equipment in buildings and factories, and for automatic centralized metering of electricity, water and gas usage.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 11, pp.68~73 (1992)

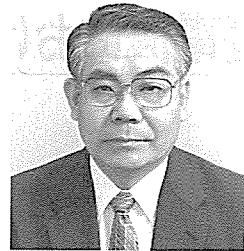
The M37708E4AGP Auto-Focus Control Microcomputer

by Kenji Onishi, Daijiro Harada, Masatoshi Kamizuru, Yukihisa Naoe & Hiroko Tamaki

The growing market for video movie cameras has created demand for powerful, compact microcomputers with large on-chip memory capacity and sophisticated functions. The corporation has developed a 16-bit microcomputer for auto-focus applications that features on-chip peripheral interface functions (motor-control and serial I/O), 32kB internal ROM and 1.5kB internal RAM, and a small package with a 0.65mm lead pitch.

燃料電池特集に寄せて

東京大学 名誉教授
東京理科大学 理工学部
教授 笛木 和雄



燃料電池は電池原理に基づいて燃料と酸素の反応の自由エネルギーを電力に直接変換する装置である。火力発電方式では化学→熱→機械→電気の三段階のエネルギー変換過程を経ることと、熱→機械のエネルギー変換過程がカルノー効率の制約を受けるために、発電効率が40%程度で、これ以上あまり向上する見込みがない。これに対し、燃料電池による発電は、熱エネルギーを経ない直接発電なので、原理的に高い発電効率が可能である。また、高い発電効率は規模によらないという特徴もある。さらに、燃料を精製して用いること、NO_xを発生するような高温部分がないことから、SO_x、NO_xなどの大気汚染物質の発生が極めて少ない上、機械部分が少ないので低騒音でもある。したがって市街地にも設置しやすく、廃熱を暖房、給湯などに利用でき、燃料の総合利用効率は一層高まる。このことはCO₂の発生量が少なくなることを意味する。以上のように燃料電池は、地球にやさしく、化石燃料資源に対して消費節約型の発電設備である。

燃料電池は通常電解質の種類によってりん酸型、溶融炭酸塩型、固体電解質型の三つに大別される。最も開発の進んでいるのはりん酸型で、運転温度は200°C前後である。この型の電池は1967年アメリカで開発が始まられ、12.5kW、40kW、4.5MWの試験運転が終了、現在11MWのものが試験運転中である。4.5MW、11MWの発電プラントの試験運転は我が国で最初に成功したことと付記しておく。ムーンライト計画でも燃料電池がプロジェクトに取り上げられ、1,000kW 2基が試作されて1989年まで運転が行われた。現在は、メーカー、ユーザーそれぞれに実用化のための努力が続けられている。

ムーンライト計画では、りん酸型に引き続いだ溶融炭酸塩型（運転温度650°C）も開発が推進されており、現在100kW級発電システムが建設中である。来年度の中間評価を経て1,000kW級に進む計画となっている。固体電解質型（運転温度1,000°C）の研究開発は初期段階にある。

上述の燃料電池発電設備の開発状況からわかるように、りん酸型は実用段階に入っている。実用化のために今後解決すべき課題としてはコストと寿命がある。コストについては実用化の目安とされる価格よりもまだ数倍高い。量産効果と技術改良によって大幅なコストダウンが可能といわれているが、需要を増すためには価格を下げる必要があり、どのような手段で実用化に持ち込んだらよいか、その方法が現在論じられている。もう一つの課題である寿命については、一応40,000時間が目途とされているが、開発後、日も浅いことあって実用規模ではまだこの時間まで運転された実績はない。一日も早くこの課題についても実証を得たいものである。

さて、地球環境とエネルギー資源の両面から人類は大きな転機を迎えており、先進国の経済成長はエネルギー多消費の結果、NO_x、SO_xによる酸性雨問題や、CO₂による地球温暖化問題を生じることとなった。一方、資源の面からみれば、化石燃料資源は有限であり単位熱量当たりCO₂の発生量の少ない天然ガス、石油は21世紀半ばには資源も枯渇するといわれている。地球環境と資源の両面からみて、限られた化石燃料を有効に利用しなければならないことはいうまでもない。燃料電池はこの点からみて、最も適合したエネルギー技術である。一日も早い実用化を期待している。

三菱電機における燃料電池開発の現状と展望

河村博敏*
西山 槐**

1. まえがき

燃料電池は天然ガス、メタノールなどの原燃料から機械的エネルギーへの変換を伴わずに、電気化学反応を利用して、直接、電気をつくる発電システムである。

この燃料電池発電システムは、省エネルギー指向、地球環境へのやさしさという時代の要請に合致するものとして、その早期実用化が期待されている。

昭和56年から通産省のムーンライト計画の一環として燃料電池の開発が取り上げられ、当社も燃料電池をエネルギー分野での重要戦略製品として位置付け、多くの開発資源を投入して開発を進めてきた。

燃料電池は、リン酸型、溶融炭酸塩型、固体電解質型、固体高分子型などがあり、当社は電気・熱供給として運用されるオンサイト電源及び分散配置型電源に有望なリン酸型と、将来の火力代替電源として有望な溶融炭酸塩型の開発に注力しており、固体電解質型や固体高分子型に関してもコンポーネントやセルなどの基礎的な研究を実施している。

以下に、リン酸型及び溶融炭酸塩型を主体に、当社における燃料電池への取組、開発状況及び今後の展望について述べる。

2. 燃料電池への当社の取組

燃料電池には電極の燃料極と空気極を媒介する電解質の違いから、表1に示すような種類がある。

リン酸型(Phosphoric Acid Fuel Cell: PAFC)は、電極に白金を主体とした触媒を使用しており、この固体と電解質のリン酸である液体、さらに燃料及び酸化剤の気体の、いわゆる三相界面をいかに効率良く形成するかが基本的な課題である。この課題の解決による電極の高性能化の成否が、

PAFCの実用化のかぎ(鍵)であると考え、開発に取り組んでいる。

また、PAFCは発電効率が40%程度で、既存のガスエンジン、ガスタービン、ディーゼルエンジンよりは高いが、システムタービンと同程度であり、発電を主体とした場合はメリットは大きくない。したがって、排熱を有効に利用する必要がある。高圧にすれば、発電効率は4~5%高まるが、システムの簡素化、コンパクト性を考慮すると常圧型が現実的である。

したがって、当社はPAFCに関しては、排熱を有効に利用するオンサイト型及び分散型電源を指向した常圧型を主体に開発を進めている。

溶融炭酸塩型燃料電池(Molten Carbonate Fuel Cell: MCFC)は炭酸塩がその融点以上でイオン導電性をもつ液体となることを利用している。現在、一般に用いられているのは、リチウムとカリウムの割合が62/38の混合塩で、融点は488°Cであるが、通常650°Cで運転される。MCFCでは、天然ガスから石炭ガス化ガスまで多様な燃料を使用できること、高温動作のため電池の内部で燃料ガスの改質が可能(内部改質)などの特徴をもっている。内部改質方式は、電池で発生する熱やスチームを効果的に利用するので、外部改質方式に比べて高い発電効率が得られる。

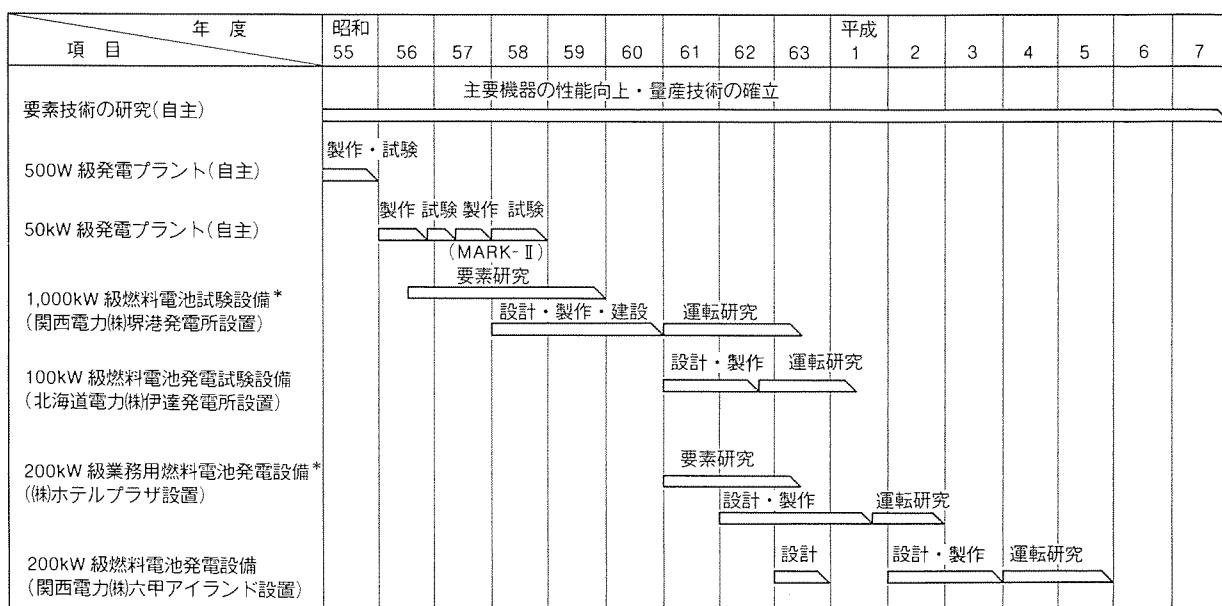
MCFCの適用対象としては、分散電源から大規模集中発電まで対応可能といえる。電力用としては、加圧タイプの外部改質方式で54~55%，内部改質方式で約60%の発電効率が予想されている⁽¹⁾。一方、オンサイトタイプのシステムの検討では、常圧タイプが望ましいとされており、外部改質方式で発電効率が43~44%⁽²⁾、内部改質で約50%の発電効率が期待されている。

以上のことから、当社は高効率でコンパクト化が期待できる内部改質方式に重点をおいて開発を進めている。

固体高分子型燃料電池(Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC)はH⁺イオンを電荷担体としており、リン酸型と同じであるが、大きく異なる点は、固体のフッ素樹脂系イオン交換膜を電解質として用いる点である。電解質が固体のため、電池動作中に電解質の蒸散、移動などによる電解質ロスが発生しない。動作温度はおよそ80°C

表1. 燃料電池の種類

	リン酸型	溶融炭酸塩型	固体電解質型	固体高分子型
燃 料	天然ガス メタノール ナフサ	天然ガス メタノール ナフサ 石炭ガス化ガス	天然ガス メタノール ナフサ 石炭ガス化ガス	メタノール 天然ガス
	リン酸	炭酸リチウム/ 炭酸カリウム	安定化ジルコニア	H ⁺ 導電高分子膜
	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻	H ⁺
運転温度(℃)	200程度	600~700	800~1,000	80程度
発電効率(%)	40~45	50~60	50~60	40程度



注：*印は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託研究を示す。

図1. 三菱電機におけるリン酸型燃料電池発電システムの開発実績

表2. 開発の現状と計画

対象機器	技術課題	ホテルプラザ200kW	六甲200kW	次期200kW	量産200kW
		平成元年	3年	4～5年	7年～
電池スタック	(1)特性向上 (mA/cm ²) (2)長寿命化 (h) (3)信頼性向上	150 13,038(実績)	200 (運転継続中)	250	300
改質器	(1)コンパクト化 (Nm ³ /h/m ³) (2)信頼性向上 (3)低スチーム/カーボン比	35 3.5	35 3.5	60 3.0	70 2.5
発電システム全体	(1)コンパクト化 (m ² /kW) (2)信頼性向上 (3)運転制御性、保守性 (4)高位排熱利用 (℃) (回収率)	0.16 発電システム全自動 170 スチーム (18%)	0.15 発電システム全自動 —	0.12 コージェネシステム全自動 170 スチーム (21%)	0.08 コージェネシステム全自動 170 スチーム (25%)

であるので、触媒のシントリシング及び溶出の問題が少なく、常温での起動が容易という特徴をもっている。

PEFCは、ジェミニ宇宙船にも搭載され古い歴史をもっていたが、最近、膜及び膜と電極接合面の改良により、飛躍的な特性の向上が見られ注目を集めている。当社は、PEFCの電極技術がリン酸型技術の延長上にあること、及びその優れた高出力密度特性に着目してコンパクト電源への適用を想定し、開発を進めている。

3. 開発の現状

3.1 P A F C

当社は昭和50年代に開発を開始して以来、主要構成機器であるセルスタック及び改質器に関する技術、さらに燃料電池全体システムを構築する技術を確立すべく、要素技術とシステム技術の両者につきステップを踏んで開発を進めてきている^{(3)～(5)}。図1に示すように、容量の小さい段階からフルシステムを構築し、技術の積み上げを図ってきた。(株)ホテルプラザ(大阪市)での国産機による最長運転実績及び六甲新

エネルギー実験センター(神戸市)での順調な運転継続により、ほぼ技術的な見通しがつき、次は信頼性を確保しつつコスト低減を行い、製品に仕上げて行く段階であると考えている。

以下に、技術開発の現状、プラントの運転実績及び今後の展望について述べる。

3.1.1 技術開発の現状

技術課題とその達成状況及び今後の計画を表2に示す。電池スタックに関する主な課題は特性向上と長寿命化である。触媒を中心とする材料の改良、製法の開発、リン酸移動メカニズムの解明、特性シミュレーション技術の開発などを行ながら着実に特性向上及び長寿命化を達成してきている。図2に特性向上の状況をセルの電流-電圧特性として示す。

また、実機と同じ電極面積をもつセルを18～21セル積層したスタックでの長期運転試験、さらに(株)ホテルプラザでの運転実績から、当社のセルはリン酸無補給で4万時間以上の運転可能の見通しを得ている。

改質器は原燃料を水素リッチなガスに変換する装置で、主

重要な技術課題は改質器のコンパクト化である。これを達成するため、反応に必要な熱を触媒に伝える伝熱の技術と、その熱をセルスタックからの余剰ガスから得るための燃焼に関する技術が必要である。

改質器特性試験装置による反応試験、バーナの燃焼試験及びシミュレーションを行いながら、コンパクトな改質器の開発を進めている。

発電システム全体としての技術課題は運転制御性及び保守性の最適化であり、また高品位の排熱をより多く回収するためのシステム最適化などである。

排熱の品位向上や回収量向上、排熱利用システムとの協調制御の採用、高性能熱交換器の採用や機器の複合化によるコンパクト化、起動用ボイラ採用による起動時の消費電力の低減などが具体的な技術課題であり、コンパクト化や高位排熱利用などは着実に向かっている。

3.1.2 プラントの運転実績

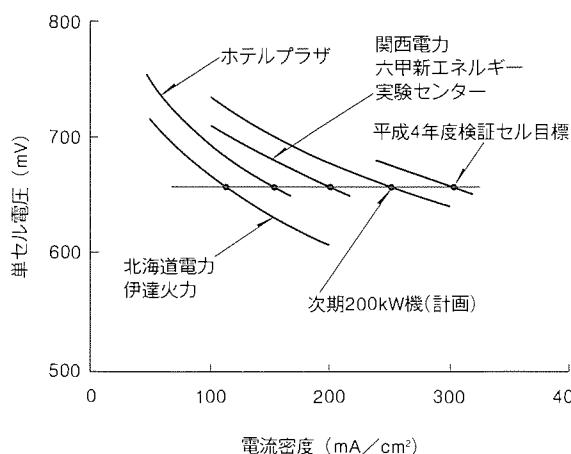


図2. 常圧動作セルの電流-電圧特性

当社はこれまで表3に示すようなプラントを製作し、納入してきた。燃料が天然ガス、都市ガス又はメタノールなど多様であり、電池動作圧力も常圧、高圧の二つの場合を製作した。それぞれのプラントの製作及び運転で得た貴重な経験を次のプラントへ生かして着実に実績を積み上げてきた。

特に(株)ホテルプラザへ設置した200kWの発電システムは、大阪ガス(株)及び関西電力(株)の協力を得て、累積発電時間13,038時間に達し、国産で最長の記録を作り、またコージェネレーションシステムとして世界で初めて燃料電池を実用した実績を残した。

また、100~200kW級のプラント工事実績を見ると、据付け工事期間が9~15日と短期間で完了している例が多く、また初発電までも1か月足らずと、燃料電池の特長の一つである建設期間の短縮を実現している。

現在、これらのプラントに引き続き、200kW級を3機設計・製作中であり、これまでのプラントの運転経験と技術開発の成果を反映させ、さらに最終目標に近づいたプラントにするつもりである。

3.1.3 今後の課題

PAFCは、システムとしての信頼性を高めつつコストをいかに下げるかが今後の課題である。そのためにも、更なる技術開発と運転による実証が必要であると考えている。

主な技術課題と今後の目標は表2に示すとおりで、電池スタックの電流密度を高めること、反応管の伝熱を改善して改質器をコンパクトにすること、スチーム/カーボン比を小さくして高位排熱の利用を高めるなど、すべてがコスト低減に直接結びつく技術開発である。

このような主要機器の開発に加え、小さな改良、工夫の積み重ねもコスト低減には必要で、これらは工場内の検証設備

表3. リン酸型燃料電池プラント実績

プラント設置場所		関西電力(株) 堺港火力発電所	北海道電力(株) 伊達火力発電所	(株)ホテルプラザ (大阪)	関西電力(株) 六甲新エネルギー 実験センター
定格 事項	発電容量 (kW)	1,000	100	200	200
	燃 料	天然ガス	メタノール	都市ガス	都市ガス
	動作圧力	392kPa [4 kg/cm ² G]	常 圧	常 圧	常 圧
	動作温度 (°C)	190	190	205	205
	セル電流密度 (mA/cm ²)	200	139	150	200
経緯	据付け工事開始	昭和60年11月	昭和62年9月22日	平成元年7月23日	平成3年11月26日
	据付け工事完了	昭和61年4月30日	昭和62年9月30日	平成元年8月20日	平成3年12月10日
	初発電日	昭和62年6月18日	昭和62年10月14日	平成元年8月26日	平成3年12月20日
運転 実績	運転試験終了日	昭和63年10月31日	平成元年5月10日	平成3年10月31日	—
	累積発電時間 (h)	2,046	4,575	13,038	3,401
	累計発電電力量 (MWh)	697	330	1,797	676
	最長連続発電時間 (h)	705	1,008	2,656	1,272
備 考		新エネルギー・産業 技術総合開発機構 (NEDO)委託研究		新エネルギー・産業 技術総合開発機構 (NEDO)委託研究	運転実績は平成4年 7月3日0時時点

で確認しつつ、実機へ適用し、改良実証機、初期導入機の長期運転による実績を積み重ねていく。

あわせて、標準化技術、量産化技術の開発を進めているところである。

3.2 MCFC

当社は、昭和30年代の先駆的研究⁽⁶⁾に引き続き、昭和50年代の後半から、本格的な研究を再開した⁽⁷⁾⁽⁸⁾。その経緯は図3に示すとおりであるが、内部改質方式に重点をおいて開発を進めている。

現在、ムーンライト計画の一環として、開発が計画されている1,000kWパイロットプラントは、燃料を天然ガスとし、既存の火力発電以上の性能を目指した外部改質方式であり、技術研究組合がシステム周辺技術を開発中である。当社は千代田化工建設(株)と共同で熱交換器型の燃料改質系の開発を担当している。

3.2.1 技術開発の現状

(1) 電池技術

セルはリン酸型と同じように、電解質である炭酸塩をセラミックス製電解質板に含浸して保持し、これをアノード(燃料極)とカソード(空気極)の1組の電極で挟み、さらにガ

ス流路をもった金属製のセパレータで挟んだ構成になっている。これまで寿命の観点からカソードの酸化ニッケルの電解質への溶出が問題とされてきた。この対策としては電界質組成の変更、微量成分の添加及び炭酸ガス分圧の低下を試み、40,000時間の常圧運転長寿命化の目표(処)がつきつつある。実セルでは、20,000時間を超える安定運転の実績が得られている。

前述のセル構成要素を必要数積層してスタックを構成する。当社では、内部改質電池を中心に開発を進めているが、スタック技術は内部改質、外部改質で基本的に差異はなく、外部改質方式にも十分対応できる。セルサイズは5,000cm²級を当面の標準的な大きさとして、スタック開発を進めている。

内部改質方式は触媒の充てん(填)方法により、直接内部改質方式と間接内部改質方式がある。図4は各方式の概念的説明図である。前者はムーンライト計画の一環として、後者は関西電力(株)との共同研究によって開発を進めている。

直接内部改質方式は発電効率が高い反面、改質触媒が微量の炭酸塩蒸気によって劣化するという課題を解決しなければならない。この方式で、最近開発した5kWスタックの発電特性のレベルは、ムーンライト計画の中間目標値に相当して

年度 項目	昭和 57	58	59	60	61	62	63	平成 1	2	3	4	5
セル技術			コンポーネント生成技術				高効率、長寿命化、大面積化					
スタック技術				1,000cm ² ~kW級	2,000cm ² 5~10kW級							
関西電力(株)共同研究 間接内部改質方式										100kW級スタック		
内部改質技術 ガス3社共同研究					500W級スタック			内部改質電池開発		30kW級スタック		
システム技術 MCFC研究組合 燃料系					触媒研究					要素技術		サブシステム運転

図3. 三菱電機における溶融炭酸塩型燃料電池の開発実績

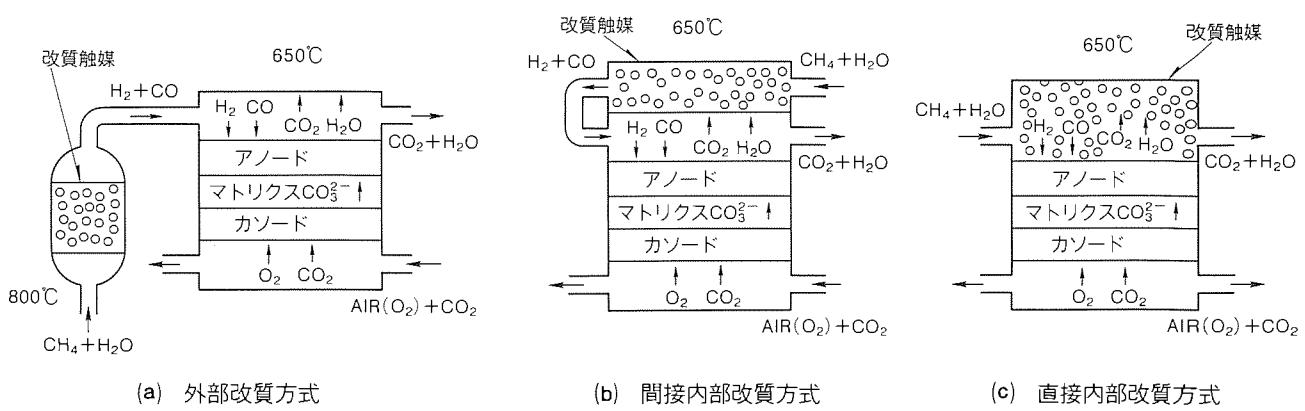


図4. 各種改質方式の比較

いる。

間接内部改質方式は、改質触媒を別の容器に入れて積層電池間に挟んだ方式である。発電効率は幾分低くなるが、触媒の劣化の問題はなく実用時期は早いと考えられる。この方式の電池

では、年度を追って容量ア

ップを進めており、30 kW 級のスタックに引き続き、5,000 cm² 級192 セルから成る100 kW 級スタックの運転を開始し、世界最大の109 kW の出力を達成した。直接方式、間接方式を問わず経時劣化は、1,000 時間当たり5~7 mVと安定した特性が得られている。なお、特性向上には改質反応と電池反応のマッチングによる温度分布の改善が必要であるが、内部改質方式の有効性が実証されたと考えている。

(2) システム技術

当社は1,000 kW プラント建設に先立つ周辺系の開発では、千代田化工建設(株)と共同で熱交換器型の燃料改質器の開発を担当している。MCFC の燃料改質系は超低カロリーガスの燃料によって、天然ガスの改質を行なう必要があるが、この条件下でプラントの起動、負荷変動に対応する制御方式を開発中である。

また、内部改質方式の発電システム技術の開発に関しては、電池の運転を実施する中で、必要な技術開発を行っている。その主のものは、電池の冷却のためのカソードガスリサイクル技術や、MCFC に特有の炭酸ガスをアノード排ガスからカソード側に供給する炭酸ガスリサイクル技術などである。

3.2.2 今後の課題

以上のように、内部改質電池は実用規模のスタックにおいてもその優れた動作特性が確認されたが、今後実用化に向けて高積層技術、大容量化技術の開発を進める予定である。

電池本体の技術課題には以下のものがある。

- (a) 電池の動作電流密度アップ
- (b) 電池の長寿命化
- (c) 触媒の長寿命化と内部改質方式の最適化
- (d) 電池のコンパクト化と単機大容量化

システム技術に関する主な課題は以下のとおりである。

- (a) 触媒燃焼又はPSA^(注1)によるCO₂リサイクル技術
- (b) 高温ガスリサイクル技術と補機動力の低減

3.3 PEFC

最近、PEFC は膜及び膜と電極接合面の改良により、飛躍的な特性の向上が見られた。例えば、カナダのBPS 社から、水素と酸素を反応ガスとして4 A/cm² という高電流密度で

(注1) PSA は、ゼオライトなどの吸着材を用い圧力を変化させ、吸着サイクルと脱着サイクルを繰り返すことを利用してガスを分離する方法。

表4. 燃料電池の適用分野

種別	適用分野		分散配置型 電気事業用 (5~30MW)	集中型 電気事業用 (20~300MW)	コンパクト電源 (~50kW)
	業務用 (200~1,000kW)	産業用 (500kW~5MW)			
リン酸型	◎	◎	◎ (熱供給事業含む)		
溶融炭酸塩型		○	○	○	
固体電解質型		○	○	○	
固体高分子型					◎

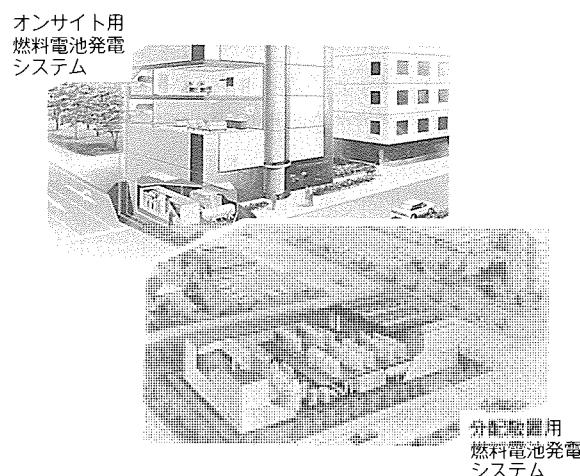


図5. リン酸型燃料電池発電システムの概念

0.6V 程度の出力が報告されている⁽⁹⁾。

PEFC の応用としては、その優れた高出力密度特性を生かした移動用電源、分散配置又はオンサイト型電源などが考えられている。この場合、燃料である水素をどのように得るかがシステムとしては重要なポイントである。上記の移動用ではメタノール改質が有望視されており、電力用では天然ガス改質も検討されている。

当社においても PEFC の高出力密度特性に注目し、上述の応用を念頭に開発を進めている。電極はカーボン基材の上に白金触媒を塗布しており、材料、形状共にリン酸型に類似している。電解質は固体であり、電解質の蒸散、移動などによる電解質ロスは発生しないが、電解質膜が二次元的な平板状であるため、いわゆる反応の三相界面を確保するために、膜と電極の接合面に特別の工夫を必要とする。現在、膜と電極接合体の改良を進めており、ナフィオン膜を用いたセル特性はBPS 社の同等セルの特性を上回る特性を得ている。

今後の課題としては更に高出力化を図るとともに、スタック化と長時間運転の実現を検証する計画である。さらに、改質ガスを用いたときの安定化、システム化など応用を念頭においた課題も、鋭意つめていく予定である。

4. 今後の展望

各種燃料電池の適用分野を表4 のように想定し、開発を進めている。

PAFC は前述したように、発電効率だけでは既存機種を

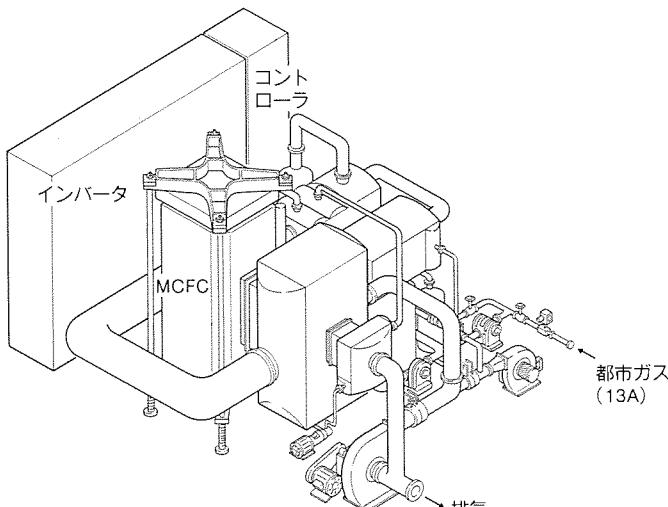


図6. 200kW 内部改質電池発電システム

超えないが、総合効率は高く、排熱を有効に利用すれば、省エネルギーに大きな効果が期待できる。また、騒音が小さく排出ガスもクリーンで、環境保全性も良好であり、新しい電源として有望である。商品化には信頼性の向上とコストの低減が鍵となるが、コストが下がれば一気に普及する可能性を秘めている。

市場は、まず業務用を主体に立ち上がり、容量的には1,000kW級までを想定している。

現在、200kW級の開発が最も進み、技術の見通しがついたところであるが、1,000kW級までは、ほぼ現状の技術で製作可能と考えている。

さらに、容量の大きい分散型でも発電効率とシステムの簡便さを考慮すると常圧型が最も現実的と考えている。しかし、容量が大きくなつた場合は、その排熱の消費がポイントとなろう。地域熱供給やボトミングサイクル発電(燃料電池の排熱でスチームタービンを駆動し発電する方式)で、熱が十分使える場合に有望と考えている。

図5に適用構想例を概念図として示す。

MCFCは電池スタックの技術開発の段階である。電池特性及び寿命についてはコンポーネント及びセルレベルでの目処はついており、今後はスタック技術での実証がポイントと考えている。技術は着実に進展しており、周辺技術の開発も含め、今後も段階を踏んでプラント開発を進めていく必要がある。この1ステップとして実証開発を提案している常圧動作の200kW内部改質発電プラントの構造を図6に示す。発電効率47%を目指している。

MCFCもオンサイト的な利用が過渡的にはあると考えている。しかし、MCFCの特徴である発電効率の高さを生かすのは分散又は火力代替の電気事業用であり、今後のプラント実証のステップを考えると、本格的に市場に導入されるのは21世紀初頭であろう。電気事業用のプラント構成については、ユニットの大きさは20~30MWで発電所の容量によ

って、ユニット数を複数系列設けるのが適切であろう。

固体高分子型燃料電池は高エネルギー密度という特徴を生かしてコンパクト電源、特に電気自動車の電源への適用が試みられよう。

5. む す び

以上、“三菱電機における燃料電池開発の現状と展望”につき述べた。エネルギーに関して地球環境問題を考えるとき、燃料電池はクリーンで効率の高い発電システムとして、その早期実用化が期待されているところである。これまで国家プロジェクトを中心に電池の基本技術開発及びプラント実証が進められ、その結果、リン酸型は実用化一歩手前まで近づいてきた。また、溶融炭酸塩型、固体電解質型及び固体高分子型については引き続き技術開発が必要な段階である。

当社は、このような技術開発の状況に対応し、社会の要請にこたえるために、総力をあげて燃料電池の開発に注力する所存である。関係各方面の御指導、御支援をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) Abe, T., Izaki, Y., Watanabe, T., Mugikura, Y., Shimizu, K. : Trends and Prospects in the Development of Molten Carbonate Fuel Cells in Japan, Proc. of 2nd Symp. on MCFC Technology, 16~34 (1990)
- (2) Washio, S., Hikita, T., Nakagawa, S., Hatari, S. : Feasibility Study on MCFC On-site Cogeneration System, Proc. of IFCC, 239~242 (1992)
- (3) 岸田公治, 西山 梶, 平田郁之, 水本洋一, 平林俊彦: リン酸形燃料電池発電システム, 三菱電機技報, 55, No. 7, 475~579 (1981)
- (4) 岸田公治, 西山 梶, 平田郁之, 浜崎晏行: 50kW リン酸形燃料電池, 三菱電機技報, 57, No. 5, 362~366 (1983)
- (5) 佐々木 明, 水木洋一, 日比野 学, 大西俊一郎: 燃料電池発電プラント制御システム, 三菱電機技報, 58, No. 6, 433~438 (1984)
- (6) 秦 卓也, 村山邦彦: 高温燃料電池, 三菱電機技報, 37, No. 9, 808~813 (1963)
- (7) 村橋俊明, 佐藤一直, 漆畠広明, 松村光家: 溶融炭酸塩型燃料電池, 三菱電機技報, 58, No. 9, 653~657 (1984)
- (8) 村橋俊明, 佐藤一直, 松村光家, 漆畠広明: 1kW 溶融炭酸塩型燃料電池 三菱電機技報, 59, No. 11, 779~783 (1985)
- (9) Watkins, D., Dircks, K., Epp, D. : Canadian Solid Polymer Fuel Cell Development, Abstracts of 1988 Fuel Cell Seminar, 350~355 (1988)

リン酸型燃料電池の製品化

河村博敏* 水本洋一*
宇佐見一雄* 大谷徹*
留井英明**

1. まえがき

リン酸型燃料電池は、コージェネレーションシステムとして適した特性をもっており、オンサイト用から分散配置用まで幅広い分野で導入可能な発電システムである。

当社では、ここ10年以上リン酸型燃料電池の製品化に向けての研究開発を推進し、性能向上はもとより、信頼性向上、コスト低減、保安規制確保を図るために、要素技術開発・量産技術確立・プラント実証運転を行ってきた。近年のプラント実証運転の実績から、製品としての性能・信頼性を達成できる技術的見通しを得た。これらの成果により、実用化が一層近づいており、コスト低減、量産技術確立を中心に製品開発を着実に推進していくことが必要である。

この論文では、リン酸型燃料電池の製品化の構想・課題・取組状況について報告する。

2. 製品化の構想

2.1 リン酸型燃料電池の市場

リン酸型燃料電池の熱収支の代表例を図1に示す。この発電システムの例は、出力1,000kW級で常圧動作の場合であるが、送電端発電効率38%、スチームによる高位排熱22%，温水による低位排熱22%であり、排熱利用も含めた総合効率は82%と高い効率が期待できる。また、燃料は主として都市ガス(13A)で取扱いが容易であり、排ガス中の窒素酸化物は10ppm以下、硫黄酸化物は1ppm以下と環境規制を

十分達成し、騒音は本来静止形発電装置であり、60dB以下と極めて良好である。

これらの特長から、発電だけでなく、スチームや温水の熱利用も行うコージェネレーションシステムとして最適である。具体的な市場分野を表1に示すが、冷暖房の空調や給湯需要が多いビル・ホテルの業務用電源とスチームや温水を利用する工場の産業用電源及び地域熱供給や分散配置の事業用電源である。電源規模は、他の発電設備から推定すると、業務用・産業用電源が200~5,000kW級、事業用電源では5~30MW級が数多く導入されるものと考える。

2.2 製品化計画

業務用・産業用電源としては、オンサイト用システム及び事業用電源としては分散配置用システムの製品系列を計画している。オンサイト用システムの基本仕様を表2に、分散配置用システムの基本仕様を表3に示す。

オンサイト用システムは、規模として単機容量200kW級、500kW級、1,000kW級であり、これらの単機から複数台で構成する。排熱は170°C蒸気と65°C温水が利用でき、熱利用システムは設置場所の用途に応じて構成できる。形態は輸送・据付けを容易にし、試運転期間を短縮するため、パッケージ型であり、他の発電方式と同等のコンパクト化を図る。

分散配置用システムは、陸上輸送の制限条件を考慮して、単機容量5MW級であり、これを1~6台程度で構成する。排熱は、冷・温水の地域供給やボトミング発電として利用する。システムは常圧動作として、操作・保守を容易にし、コンパクト化を図るとともに、ユニット化によって現地組立てを容易な構成とした。

製品化のスケジュールを図2に示す。200kW級が先行し、各々の容量の実証導入機による段階を経て、1990年代後半に商用機の段階となる計画である。

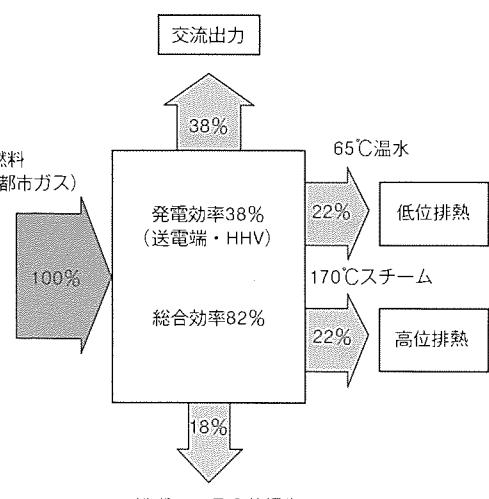


図1. リン酸型燃料電池の熱収支例

表1. リン酸型燃料電池の市場分野

	オンサイト用		分散配置用	
	業務用	産業用	熱供給事業	電気事業
容 量	200~1,000kW	500kW~5MW	5~30MW	5~30MW
熱 利 用	給湯、空調	温水・スチーム利用	冷・温水、スチーム供給	冷・温水、スチーム供給、ボトミング発電

3. 製品化の課題

3.1 信頼性向上

リン酸型燃料電池は、200kW級プラントの実証運転を中心に、発電特性・排熱特性・起動特性・環境特性などの性能が基本仕様を満足している。しかし、信頼性においては、特に主要機器の寿命についてまだ十分実証されてはいない。リン酸型燃料電池を製品として実現したとき、主要機器の寿命目標と開発状況を表4に示す。寿命目標を大別すると、電池本体は40,000時間、機器類は15年と考えている。また、機器の定期点検は1年間で1回とし、運用上の計画停止を除いて1年間無停止であることが望まれる。

3.2 コスト低減

リン酸型燃料電池が導入されるためには、他の発電方式のシステム、特にガスタービンやガスエンジンなどのコーチェネレーションシステムと比較した場合、性能の優位性を考慮しても、コスト低減が最重要課題である。リン酸型燃料電池の発電設備本体のコスト低減の見通しを図3に示す。現状は実証導入機の段階であるが、今後主要機器の性能向上、システムの簡素化・コンパクト化などの技術開発により、商用機

の初期段階で現状コストの1/2以下を目指している。さらに、製作面での標準化と量産化を推進し、商用機の量産期段階で現状コストの1/5以下を達成し、他の発電方式のシステムと競合し得るコストである30万円/kW以下とする必要がある。

3.3 保安規制確保

燃料電池発電、太陽電池発電及び風力発電の新エネルギーについては、安全性を確保しつつ円滑な導入を図るために、電気事業法及び関係政省令等が改正され、平成2年6月1日から施行された。このうち、リン酸型燃料電池の製品化と関連した電気事業に基づく保安規制の要点を表5に示す。出力は直流発電端出力で500kW未満及び500kW以上に区分され、さらに最高使用圧力は改質器の動作圧力において98kPa $\{1\text{kg}/\text{cm}^2\}$ 未満及び98kPa $\{1\text{kg}/\text{cm}^2\}$ 以上に区分されている。この区分により、許認可・溶接検査・定期検査・主任技術者・監視制御方式などの適用が異なるので、リン酸型燃料電池の市場分野及び規模を考慮して、システムの基本仕様を設定する必要がある。表2及び表3に示したシステムは、性能、信頼性、コスト及び保安規制などの面から、総合的に最適な製品系列であると考える。

一方、燃料電池発電は、系統連系又は単独の運転が可能であるが、システムの簡素化、運転の安定性、高い負荷率の維持などから系統連系運転が適している。

4. 製品化への取組状況

4.1 要素技術開発

信頼性向上、コスト低減、保安規制確保などの課題を達成し、表2及び表3に示したシステムを早期に製品として提供していくためには、電池スタックを始めとする主要機器やシステムの要素技術を、着実に継続的に開発していくことが必要である。リン酸型燃料電池の製品開発

表2. オンサイト用システムの基本仕様

	200kW級	500kW級	1,000kW級
定格出力 (送電端, kW)	200	450	1,000
出力電圧 (V)	440又は220	440又は220	6,600
発電端効率 (HHV, %)	38.0	38.5	39.4
送電端効率 (HHV, %)	36.0	36.6	37.7
排熱回収 170℃蒸気(%)	22	22	22
65℃温水(%)	22	22	22
起動時間 冷 機 (h)	3	3	3
暖 機 (h)	1	1	1
負荷変化速度 (%/min)	100	100	100
燃 料 (標準)	都市ガス(13A)	都市ガス(13A)	都市ガス(13A)
設置場所	屋内又は屋外	屋内又は屋外	屋内又は屋外
所要面積 (m ² /kW)	0.08	0.08	0.06

表3. 分散配置用システムの基本仕様

構 成	5~30MW級	
	5MW級ユニット複数台	5,000/ユニット
定格出力 (送電端, kW)		6,600
出力電圧 (V)		40.4
発電端効率 (HHV, %)		38.5
送電端効率 (HHV, %)		27
排熱回収 170℃蒸気(%)		18
65℃温水(%)		1
起動時間 冷 機 (h)		3
暖 機 (h)		100
負荷変化速度 (%/min)		都市ガス(13A)又はLNG
燃 料 (標準)		屋内
設置場所		0.06以下
所要面積 (m ² /kW)		

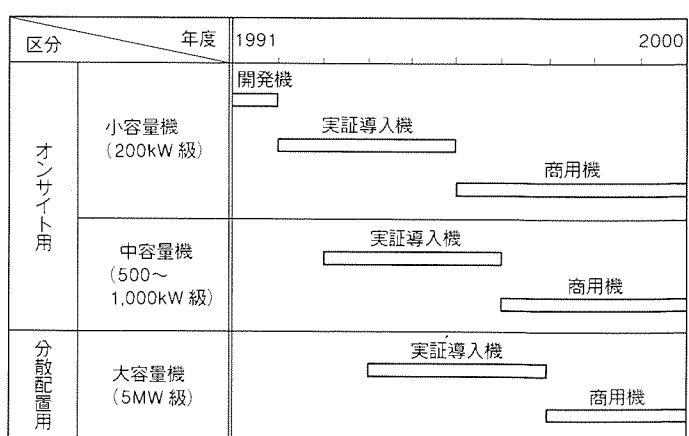


図2. 製品化のスケジュール

表4. 主要機器の寿命目標と開発状況

	寿命目標	開発状況	
電池スタック	40,000時間以上	●セル、スタックで実証試験中	
改質器	15年以上	●コンパクト化開発と併せモデル機試作検証中 ●熱応力解析によるWSS寿命評価	
他の反応器、容器	15年以上	●従来技術の延長で製作可	
熱交、その他のプラント機器	15年以上	●信頼性の高い市販品を使用 ●耐熱性能向上品の追求	
触媒	改質器 CO変成器 脱硫器	5年以上 2~4年以上 1年以上	●触媒寿命評価を実施中 ●同上 ●同上

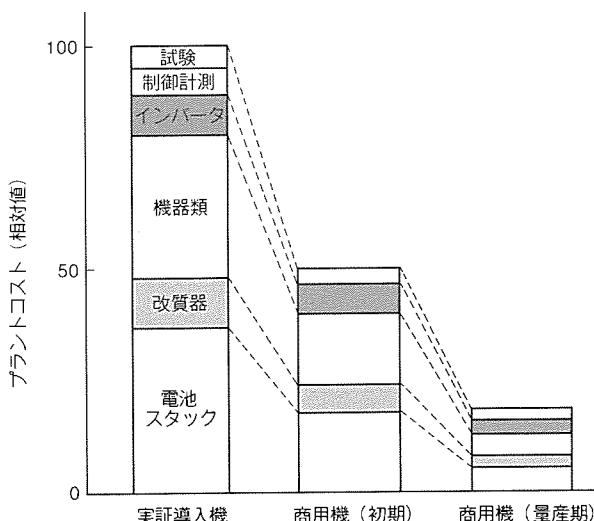


図3. コスト低減の見通し

表5. 電気事業法に基づく保安規制の要点

出力	500kW未満		500kW以上	
	最高使用圧力 98kPa未満 1kg/cm ²	98kPa以上 1kg/cm ²	98kPa未満 1kg/cm ²	98kPa以上 1kg/cm ²
許認可	届出		認可	
定期検査	対象なし	改質器	対象なし	改質器
主任技術者	電気主任技術者 なお、自家用では不専任も可	電気主任技術者 ボイラ・タービン主任技術者	電気主任技術者	電気主任技術者 ボイラ・タービン主任技術者
監視制御方式	常時 遠隔常時 随時 随時巡回		常時	

表6. 製品化への技術開発項目

機器	開発項目
電池スタック	●リン酸無補給・長寿命化の実証 ●特性向上・高電流密度化(セル数低減) ●冷却性能向上、冷却板枚数低減 ●構造部材のコンパクト化
改質器	●高活性・長寿命触媒の選定(スチームカーボン比低減) ●反応管伝熱負荷向上 ●燃焼空間コンパクト化
脱硫器	●高活性・長寿命触媒の選定(触媒量削減) ●触媒交換性の向上
CO変成器	●高活性・長寿命触媒の選定(触媒量削減) ●内部熱交換機能向上 ●触媒交換性の向上
熱交換器	●低圧損・高性能熱交換器の開発
直交変換装置	●低電圧大電流インバータの高効率化
配管	●配管・機器のコンパクト化 ●レイアウト最適化
パッケージ	●パッケージ間接続の削減、簡素化 ●パッケージ架台、パネルの軽量化

で実施している技術開発項目を表6に示す。

技術開発の要点としては、電池スタックでは、リン酸無補給・長寿命化の実証及び特性向上・高電流密度化である。改質器、脱硫器、CO変成器の反応器は、触媒の高活性・長寿命化による触媒量低減及び熱交換機能向上による機器のコンパクト化である。直交変換装置は、電池本体の高電流密度化に対応して、低電圧・大電流インバータの高効率化である。熱交換器、配管、パッケージは、コンパクト化及び3D-CA D技術の適用によるレイアウトの最適化である。

4.2 製造技術と工場計画

リン酸型燃料電池の製造については、電池スタックのマトリクス・電極のセル製造技術及び設備能力によって決定する。現在稼働している工場は、製作可能な最大セル寸法が1m幅、年生産能力が5MWである。工場試験設備を図4に、セル製造設備を図5に示す。

商用機の量産としては、オンサイト用200kW級システムから始まり、順次500kW級、1,000kW級及び分散配置用システムへと急速に拡大していく見通しである。この市場に対応し、年生産能力50~100MWの量産工場の設備・体制

の計画を行っている。この工場計画では、マトリクス・電極製造はライン化・自動化を行い、省力化と品質確保を図る。また、電池本体の組立てやプラントの組立て・試験も、標準

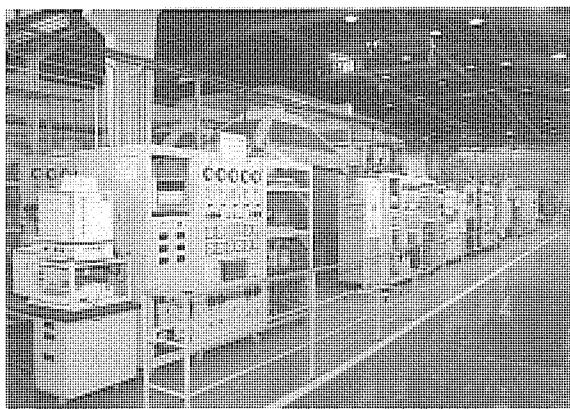


図4. 燃料電池の工場試験設備

化と自動化により、工程短縮と生産性向上を図る。現在、電池スタックを中心とした量産技術の検証及び量産設備の導入計画を検討しており、急速に市場拡大すると予想される1996年ごろ稼働を目指して計画を進めている。

4.3 プラント実証運転

リン酸型燃料電池発電システムについては、プラントとして信頼性向上、保安規制確保など解決しなければならない課題も多くあり、1995年までは製品開発の段階と位置付けていた。今まで、200kW級の小容量機を中心に、要素技術開発と平行してプラント実証運転を実施し、各々国産機として特性、信頼性などに顕著な記録を残してきた。

今後は、オンサイト用200kW級システムの実証導入機を提供し、製品としての完成度を高めていく。また、500kW、1,000kW及び5MW級システムについては、電池スタック、改質器、プラント等の技術開発を進めており、200kW級システムの実証運転成果も反映し、製品としてプラントの開



図5. 燃料電池のセル製造設備

発・実証をしていく計画である。

5. む す び

リン酸型燃料電池発電システムについて、製品化の構想、課題、取組状況を報告した。リン酸型燃料電池の市場は、コージェネレーションシステムとして最適な特性をもっていることにより、オンサイト用200kW級、500kW級、1,000kW級システム及び分散配置用5MW級システムの製品化構想を示した。これらを製品として実現するには、性能向上はもとより、信頼性向上、コスト低減、保安規制確保の課題が残っており、引き続き要素技術開発、製造技術確立、プラント実証運転を着実に継続して実施していることを述べた。

今後とも、リン酸型燃料電池の早期製品化のために、信頼性向上、コスト低減とともに、量産技術と体制の確立が必要であり、これらの技術的課題について引き続き鋭意研究開発を進める所存である。

リン酸型燃料電池のセル技術

松本正昭* 光田憲朗 **
三好英明* 荒金 淳 ***
光永達雄* 塩田 久 ***

1. まえがき

リン酸型燃料電池発電システムの実用化のためには、セルの高性能化によるコスト低減と長寿命化による信頼性の向上が重要な課題である。

これまで、セル要素技術として特性の向上、長寿命化、大面积化、構造・材料の改善、量産のためのプロセスなどの開発に取り組んできている。

この中でもセル特性の向上は、コスト低減効果が大きく、また、同時にシステムとして要求される小型化の課題も達成し得るため、最重点課題の一つとして重点をおき、電流密度300 mA/cm² セル電圧0.65 V を目標に開発してきた。

長寿命化による信頼性の向上についても、セルの構成要素が各々に独立して検査が容易であること、燃料電池に期待される起動停止・負荷変化などの条件にも安定に動作すること、化学反応に伴う特性低下が小さいこと、そして、目標としている寿命4万時間にわたって電解質であるリン酸の補給が必要であることをねらって開発を進めてきた。

要素開発の結果は、小型セルで試験した後、電極面積3,600~8,000 cm²級、セル数4~20セルのショートスタックで実運転条件を模擬した試験を行って検証した。その結果、次の成果を得ている。

(1) セル特性

現在までのセル出力特性の向上を図1に示す。年々、確実に特性の向上を進め、ほぼ目標値を達成するところまできている。また、大容量発電システムのための大面積セル（電極面積8,000 cm²級、図2）については、従来の3,600 cm²級のセルと同等の特性を得ている。

(2) 寿命特性

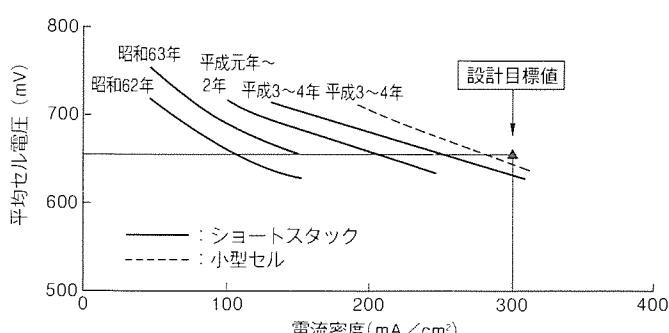


図1. ヤル出力特性の向上

最近のショートスタックの経時特性を図3に示す。運転期間中起動停止を繰り返しても長期にわたり安定に動作し、特性低下量も目標の4万時間で初期特性の10%以下の見通しを得ている。また、長時間運転後ショートスタックの分解調査をし、4万時間の運転が期待できるリン酸残量が確認されており、寿命特性の目標を達成できる見通しを得ている。

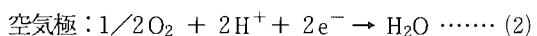
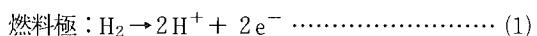
以下、要素技術の開発成果と今後の見通しについて述べる。

2. 発電の原理とセル構造の特徴

2.1 発電の原理

リン酸型燃料電池は、図4に示すように空気極と燃料極がリン酸を含浸したマトリクス層を挟み空気極と燃料極が配置され、さらに、各々の電極にガスを供給する流路をもったセパレータが挟むように構成をしている。マトリクス層は電子絶縁性の粉末が、燃料極・空気極には白金などの貴金属微粒子をカーボンに担持した触媒が、セパレータにはガス不透過性のカーボン板が用いられている。

空気極、燃料極で起こる電極反応は次式で示される。



燃料極に供給された水素は燃料極中で電子と水素イオンになつて電子は外部回路を通り、水素イオンはマトリクス層のリン酸中を通り空気極に移動し、そこへ供給された酸素とこれらが反応し電気と水を発生する。理論的に得られる起電力は、約1.2Vであるが、発電時のセルの電圧は、電流を取り出すとともに図4に示すように、構成部材中を流れる電子の抵抗及び電解質中を流れる水素イオンの抵抗(抵抗分極)、電極反応点の数及び電極触媒の活性(活性化分極)、電極反応点へのガスの拡散性(濃度分極)に支配される。

セルの出力特性の向上を図るには、マトリクス層を薄肉化

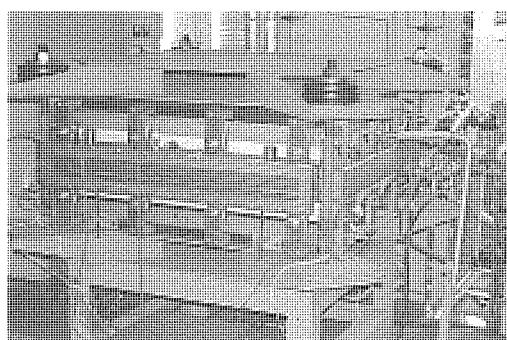


図2. 大面積(8,000cm²級)ショートスタック

し電解質中のイオン伝導抵抗を下げたり、構成する材料の固有抵抗及び接触抵抗を下げるなどして抵抗分極を、活性の高い合金触媒の使用と反応点である気層・液層・固層のいわゆる三層界面を効果的に存在させるなど活性化分極を、気層・液層で反応種が拡散しやすく電極構造を適正化するなど濃度分極ができるだけ小さくする必要がある。また、寿命特性の向上を図るには、電極などの微細な腐食を抑制してリン酸を電極反応点の適正な位置に保つことと、マトリクス中及び電極反応点にリン酸欠乏を起こさないように寿命期間に必要なリン酸を貯蔵することが重要である。

2.2 セル構造の特徴

セル構造は一般にリブ付きセパレータ型とリブ付き電極型に大別されている。当社では、リブ付きセパレータ型を原型としてリン酸保持機能をもたせた図5に示すセル構造を採用している。以下にその特徴を述べる。

(1) 触媒層シート

空気極、燃料極は、共に基材層を除いて触媒層単独のシート電極としている。基材層を除いたことにより、ガスの供給が電極触媒層へ直接行われる。また、独立したシート構成にしているので、従来の電極触媒層の上に電解質マトリクスを形成するものに比べ、マトリクス性能への影響を考慮する必要がなく、電極に適した熱処理ができる。また、電極及びマトリクスの欠陥検査が容易になるとともに不良率の低減が図れるなどの特徴をもつ。

(2) マトリクスシート

マトリクスは、電極から独立した単独のシートとしている。このため、電極製造に付随する焼成工程がなくなり、バインダの加熱溶融によるはつ(機)水性の発現がないのでマトリクスに必要な電解質の保持性が高められる。また、十分な量のバインダを添加して

欠陥のない強度の高いマトリクスができる。

(3) セパレータ

セパレータは、隣接するセル間で反応ガスと電解質を完全に遮断分離できるち(緻)密で耐食性の高いグラッシー質カーボンでリブのない平板としている。

(4) リブ付き多孔体

従来のリブ付きセパレータのガス流路部分を多孔質カーボンで構成し、電解質の貯蔵部としている。電極へのガス拡散性が良好で、より多くのリン酸が貯蔵できるようになっている。

(5) リン酸の管理

セル間でのリン酸の分離及びセル構成部材である電極、マトリクス、リブ付き多孔体の間でのリン酸保持力のバランスを適正化している。

(4), (5)の詳細は4.2節で述べる。

3. 出力特性の向上

3.1 電極触媒の高活性化

セルの活性化分極を低減するためには、電極触媒の高活性化が必要である。リン酸型燃料電池では、空気極における活性化分極が大きいため、特に空気極触媒の高活性化が重要となる。

空気極触媒には、一般にカーボンに白金合金を担持したも

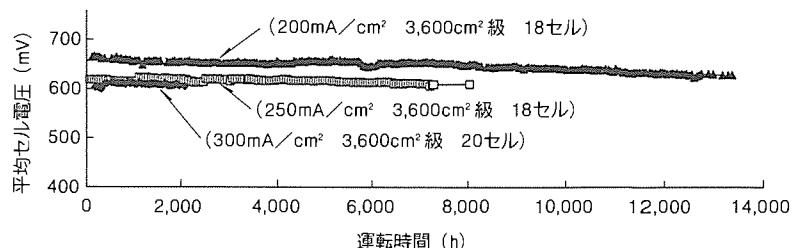


図3. ショートスタックの経時特性

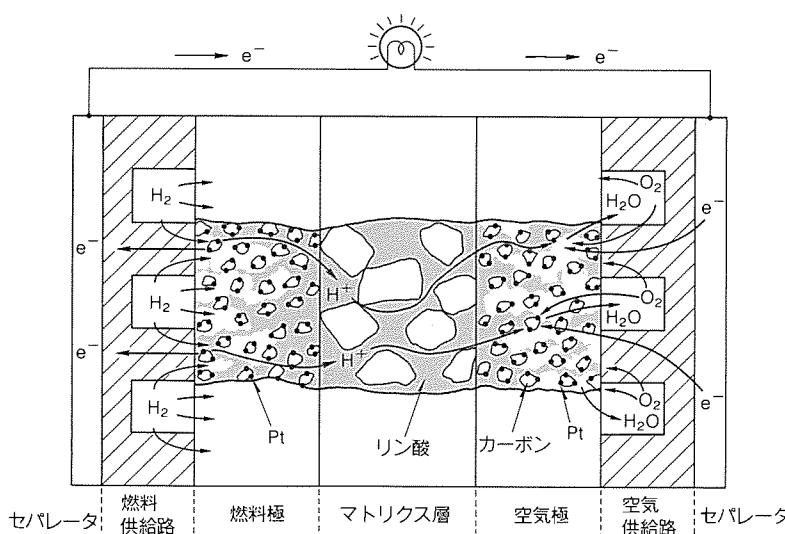


図4. リン酸型燃料電池の原理

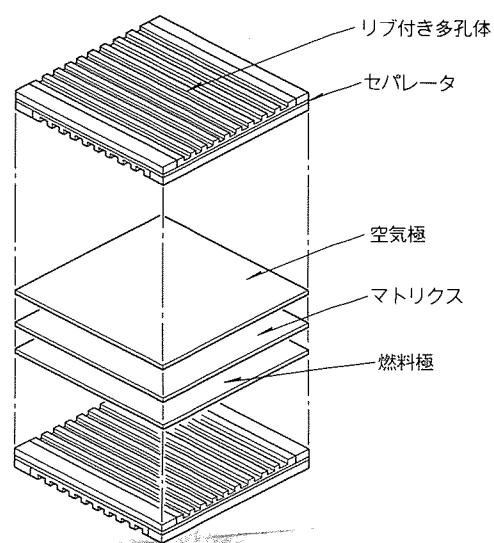


図5. セル構造

のが使用されているが、高活性かつ性能低下の少ないことが触媒に求められている。担持カーボンとしては熱リン酸中の耐食性に優れ、高電導度で高比表面積の黒鉛化処理カーボンを用いる。白金合金としては酸素還元活性が高く、かつ熱リン酸中の耐溶解性に優れている多元系合金触媒を用いている。

図6はセル特性に及ぼす空気極触媒種の影響を示したものである。電池スタックの動作点は発電効率を考慮し、セル電圧を約0.65Vに設定しているため、セル特性の向上分は電流密度を高くすることができる。

セル特性の向上に対しては、高活性の電極触媒の開発とともに電極化技術も重要である。電極触媒のもつている活性を最大限に引き出すとともに、性能を維持するためには電極の撥水性の最適化が重要な課題である⁽¹⁾⁽²⁾。一般的に、撥水性が弱いと电解質のリン酸によって電極内細孔の反応ガス通路が濡れすぎ、濃度分極が大きくなり特性が低下する。逆に撥水性が強い場合には反応部となる白金合金表面へのリン酸が不足し、有効反応面積が小さくなるため活性化過電圧が大きくなり、特性が低下する。

図7に電極撥水性のセル特性への影響を示す。電極の撥水性は、電池スタックの信頼性重視の観点から特性低下率を一定以下に抑え、初期特性を最大限に得られるよう適正化を図っている。

3.2 セル内部抵抗の低減

セル内部抵抗による電圧降下は電流密度に比例するので、この低減が高電流密度化のために特に重要である。

セルはセパレータ、リブ付き多孔体、電極、マトリクスシート等の部材によって構成しているので、構成部材の抵抗率、厚さ及び各構成部材接触界面の接触抵抗を低減してセル全体の抵抗を低減する必要がある。このため、次のような技術開発を行った。

(1) セパレータは、良好なガスシール性が要求されているので、緻密で低抵抗率・高機械強度のカーボン板を採用して、厚さを低減した。

(2) リブ付き多孔体は、多孔質カーボン材で形成されており、

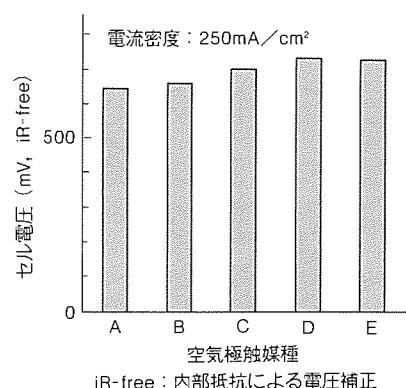


図6. セル特性に及ぼす空気極触媒種の影響

ガス流路、ガス拡散層、リン酸貯蔵層、集電板としての機能を要求されるので、これらの機能の相互間のバランスが重要である。一般にカーボン材は、抵抗率と気孔率が比例の関係にあるので低抵抗率・高機械強度の多孔質カーボン材を採用して適正な気孔を維持することにより、ガス拡散層・リン酸貯蔵層等の機能を損なうことなくリブ付き多孔体の抵抗率及び厚さを低減した。

(3) 電極触媒層は主としてカーボン担持白金触媒粉末及び非導電性の撥水剤などで形成された多孔質カーボン層であるので抵抗が高くなりやすい。最近では電極活性向上のため多元系合金触媒の採用により、触媒粉末中の担持カーボンの比率が低くなり、抵抗率が高くなる傾向にある。担持カーボンの導電性向上と撥水剤の改良によって抵抗率を低減し、電極触媒の高活性化と触媒層の気孔率の適正化により、電極全体の厚さを低減した。

(4) マトリクスシートは電子伝導絶縁性が必要であり、この中に入れるリン酸にイオン伝導性をもたせるようにしている。マトリクスシートを薄くすると、ピンホールを生じやすくガスリークや電子伝導短絡の危険性が問題となってくるが、原材料・調整方法・成膜方法などを検討して高強度で欠陥のできないマトリクスシートを開発し、リン酸保持性やガスシール性を損なうことなく厚さを低減した。

(5) セパレータ・リブ付き多孔体間、リブ付き多孔体・電極間、及び電極・マトリクスシート間の接触界面に柔軟性をもたせて接触抵抗を低減する方法を開発した。

以上の技術開発により、セル構成部材の抵抗率及び厚さ並びに構成部材間の接触抵抗を低減して表1に示すようにセル全体の内部抵抗を従来の2/3に低減できた。

また、セルの高電流密度化によってセルの発熱量が増加するので、セル構成部材の熱抵抗を低減させセルの温度上昇を抑制する必要があるが、セル内部の電気抵抗は熱抵抗と密接な関係にあり、電気抵抗を低減することにより、熱抵抗も低減できた。さらに、セパレータ、リブ付き多孔体、電極、マトリクスシートの薄肉化は、セル及びスタックのコンパクト化にも寄与する。

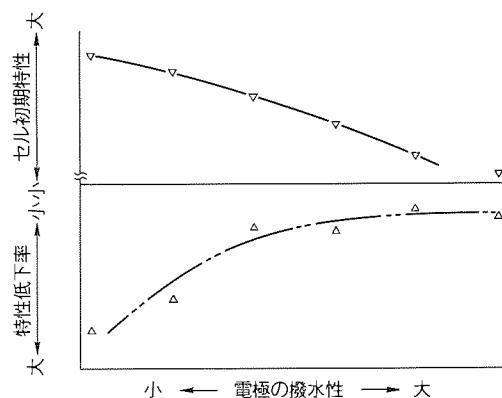


図7. セル特性に及ぼす電極撥水性の影響

4. 寿命特性の向上

セルの寿命特性を支配する主要な要因は、

- 触媒金属の粒径増大による電極反応面積の低下
- カーボン材料の腐食に伴うガス拡散性の低下と電極反応面積の低下
- リン酸の欠乏によるセル内部抵抗の増加とマトリクスを通してのガスの直接反応
- ガスシール性の低下

などと考えられる。

セルの寿命特性を改善するには、セルの構成部材の耐食性向上及びセル動作中の腐食環境の緩和と並んで適正なリン酸管理が必要である。

4.1 ガスフローによるセル動作環境の改善

セル内のカーボンの腐食は、主として電位の高い空気極側で起こる。腐食は、セルの反応種である燃料の欠乏、腐食の反応種である水蒸気の増加、燃料欠乏に伴う電流密度の低下による電位上昇などによって加速される。

こうした観点からセル面内の腐食されやすさをシミュレーション計算又は参照極付きのセルを作り、試験解析をした。この結果、腐食環境の厳しい部分は、従来の一方から入り他方に抜けていくガスの流れ(パラレルフロー)方式のセルにおいて、運転条件を厳しくした場合に経験される腐食の分布とよく一致した。

燃料欠乏改善のため、いったん排出したガスの一部をもう一度入口から供給するリサイクルフロー方式と、いったん排出したガスを別のセルに供給するシリアルフロー方式につい

表1. セル内部抵抗の低減結果

	低減前	低減後
抵抗分担(%)		
マトリクス	56	31
電極	28	22
セパレータ リップ付き多孔体	16	9
その他		
合計	100	62

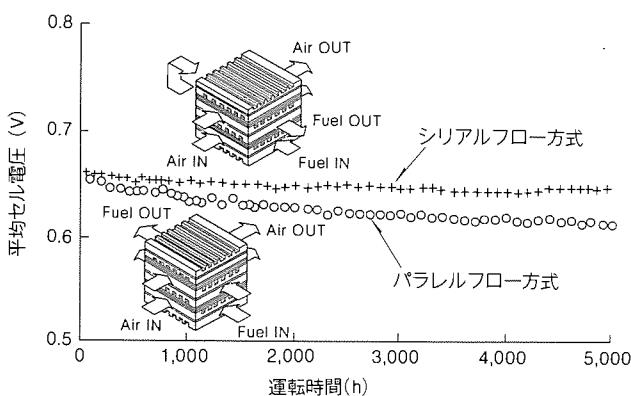


図8. セル経時特性に及ぼすガスフロー方式の影響

てシミュレーション計算及びセル試験で評価した。この結果、シリアルフロー方式が前段・後段セルの個別にみた実効ガス利用率を低下させることができ、ガス欠乏の防止に効果的であることが分かった^{(3)～(5)}。

シリアルフローの前段と後段のセル数の比率は、腐食防止の観点に加えて、ガス流路圧損や流れの後段で高くなるCO濃度の問題を検討して1:1を選んだ。図8にショートスタック(電極面積3,600 cm²級、約20セル)で試験した結果を示す。

4.2 リン酸の管理

リン酸の管理には、セルの運転寿命確保のために不可欠なセル全体のリン酸貯蔵量管理と経時特性改善のためのセル部材間のリン酸量分布の管理がある。

セル全体のリン酸貯蔵量管理については、多量のリン酸貯蔵が可能なセル構成の開発により(図10参照)，実用化の目標とされている4万時間はリン酸補給せずに運転できる見込みであるが、設計及び運転条件の適正化によって運転中のリン酸飛散を抑制し、寿命に対する信頼性をより高めるよう技術開発を進めている。

セル構成部材間のリン酸量分布の管理については、セル構成部材内のリン酸量分布が経時に大きく変化しないようにする必要があり、図9に示すようにマトリクス、電極触媒層及びリップ付き多孔体の細孔径の相対的大小関係、言い換れば、毛管吸引力の大小関係が重要であり次のような技術開発を行った。

- セパレータには、リン酸をほとんど吸収しない緻密なカーボン板を採用した。
- リップ付き多孔体は主なるリン酸貯蔵部なのでリン酸保持性を良くするために、親水性で比表面積の大きい多孔質カーボン材を採用した。
- マトリクシートはリン酸が欠乏すると極間でガスのクロスオーバーを生じるので、親水性で細孔径が小さくリン酸保持性の高いものを開発した。
- 電極触媒層の担持カーボンは、比表面積が非常に大きく毛管吸引力が強いので他の構成部材中のリン酸を吸収しやすい。担持カーボンの撥水性、撥水剤の量、触媒層の細孔径、熱処理条件などを適正化して、運転中に他の構成部材から触媒層がリン酸を吸収し過ぎないようにして、ガス拡散性阻害

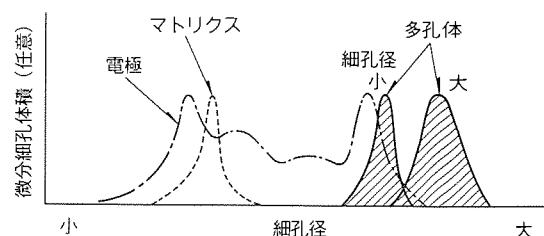
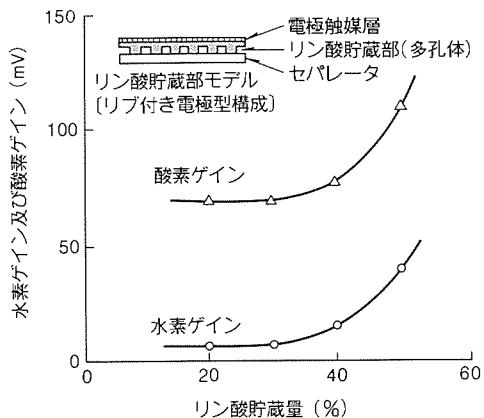
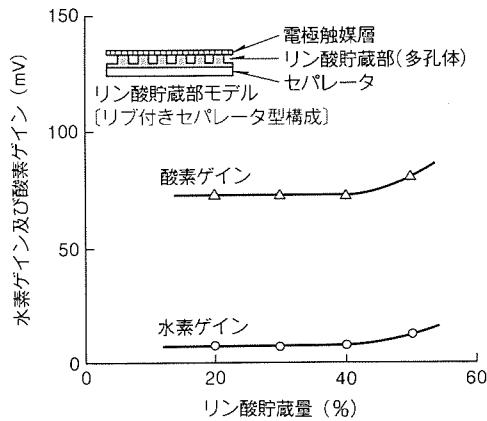


図9. セル部材の細孔径分布



(a) リブ付き電極型構成



(b) リブ付きセパレータ型構成

図10. ガス拡散性に及ぼすセル構造と
リン酸貯蔵量の影響

によってセル特性が経時に低下しないようにした。

(5) また、セパレータ、リブ付き多孔体、マトリクスシート、電極触媒層等は腐食するとリン酸の分布が変化してくるので、いずれの構成部材もリン酸に対する耐食性の高い材料を選んだ。

以上の技術開発の例として、セル構成とリブ付き多孔体の試験評価例を図10、図11に示す。

図10にはリブ付き多孔体をリブ付き電極型構成をとった場合と、当方式（リブ付きセパレータ型構成）のリン酸貯蔵量のガス拡散性に及ぼす影響を示した。ガス拡散性の指標として酸素ゲイン及び水素ゲイン（反応ガスの空気と純酸素とを入れ替えたときの出力電圧の差、及び改質模擬ガスと純水素と入れ替えたときの出力電圧の差）を測定した。この結果、このセル構造であるリブ付きセパレータ型構成の方が、酸素ゲイン、水素ゲインの増大（ガス拡散性の低下）を起こさず、より多くのリン酸が貯蔵できることが分かる。

図11はリブ付き多孔体のリン酸貯蔵部の機能を評価したもので、リブ付き多孔体の細孔径を変化させてセルの経時特

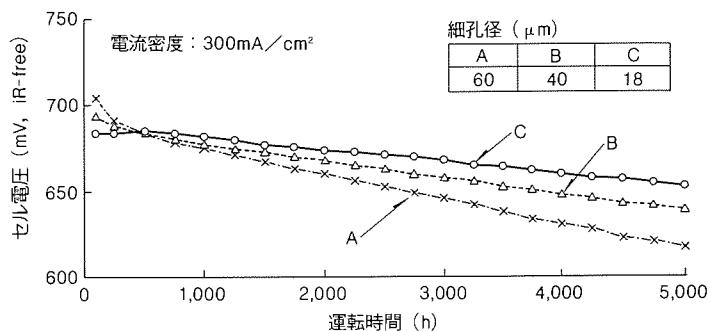


図11. セル経時特性に及ぼす多孔体細孔径の影響

性に及ぼす影響について調べたものである。

リン酸貯蔵量が同じならリン酸貯蔵部である多孔体の細孔径が小さいほどセル特性の経時低下は小さい。これは、電極触媒層へのリン酸吸収を抑制できガス拡散性を維持できるためである。燃料電池の実用化を考えるとリン酸を貯蔵する多孔体の細孔径は小さい方が好ましく、継続して小細孔径の多孔体の開発を進めている。

5. むすび

リン酸型燃料電池の実用化にとって重要なセルの特性向上と長寿命化に関する要素技術について最近の開発成果を述べた。現在、コストを除く基礎技術開発はほぼ完了したと考えられる。今後、最も重要な課題は、商用化に向けての技術開発であり、セルの性能向上とともに量産化の技術開発に、なお一層の努力をし、早期商用化を目指す所存である。

参考文献

- (1) Mitsuda, K., Kimura, H., Murahasi, T. : Evaporation and Decomposition of Triton X-100 under Various Gases and Temperatures, Journal of Materials Science, 24, 413~419 (1989)
- (2) Mitsuda, K., Shiota, H., Kimura, H., Murahasi, T. : Influence of the Temperature of Heat Treatment on Phosphoric Acid Fuel Cell Cathodes, Journal of Materials Science, 26, 6436~6442 (1991)
- (3) 光田憲朗、井出弘、村橋俊明：リン酸型燃料電池の腐食危険域のシミュレーションによる予想と量化、平成元年電気学会全国大会、要旨集、11-213
- (4) Mitsuda, K., Shiota, H., Murahasi, T. : Corrosion Simulation Tests of Phosphoric Acid Fuel Cells, Corrosion, 46, No. 8, 628~633 (1990)
- (5) 光田憲朗、村橋俊明、松本正昭、留井英明：多極参照電極付き単セルによるリン酸型燃料電池の分極挙動の解析、三菱電機技報、64, No. 12, 1070~1074 (1990)

リン酸型燃料電池の燃料改質装置

土居邦宏* 梶本照男**
藤本路奥* 佐々木 明**
都留 潔*

1. まえがき

リン酸型燃料電池用の燃料改質装置は、天然ガスやメタノール等の炭化水素を水蒸気改質して電池反応用燃料の水素を製造・供給するシステムである。

当社では、天然ガス、メタノール等を燃料とするリン酸型燃料電池の商用化を目指してオンサイト型、分散配置型の発電設備用改質系機器の開発を進めている。

燃料改質装置の主要な構成機器は、原料の炭化水素中に微量含まれる改質触媒被毒成分である硫黄化合物を除去する脱硫器、炭化水素を水蒸気で改質して水素を生成する改質器、改質ガス中に含まれる電池触媒被毒成分の一酸化炭素(CO)を低減し、水素に変換するCO変成器等である。

改質器は、電池スタックとともに発電設備の性能を決定する重要な機器である。天然ガス用改質器では、コンパクト化をターゲットとした開発を行い、コンパクトな新型バーナの開発、改質触媒の性能評価、改質器特性試験装置による反応管への伝熱特性、改質反応特性の評価・改良と改質器シミュレーションソフトによる反応管寸法、伝熱促進構造の最適化等を進めた。メタノール改質器では、実証試験を通じて改質性能の評価、運転制御性の検証を行い、オンサイト用改質器としてのコンパクト性、性能向上策を検討してきた。

一方、機器の削減・複合化や制御系の簡略化による改質装置のシステム簡素化のために、常温吸着式の脱硫器、熱交換型のCO変成器等の要素開発を進め、システム検証設備に組み込んで性能や信頼性の検証を行ったので、それらの概要を紹介する。

2. 天然ガス用改質器の開発

2.1 改質器の構造と開発課題

当社の改質器は、バーナ火炎が反応管を内側から加熱するので、内型改質器と呼んでいる。改質器の構造を図1に示す。反応管は三重管構造で、中心のセンタースリーブと触媒充てん(填)した反応管内管との間を燃焼ガスが流れる。この流路には、触媒層への伝熱促進のため部分的にセラミック粒子が充填されている。

原料ガスは、燃焼ガスと対向方向に触媒充填層を流れて改質される。改質ガスは、内管上部で向きを変え、触媒層に熱を与えるながら外管内を流れ、改質器から出していく。改質反応熱は、燃焼ガスや改質ガスとの熱交換によって触媒層に与え

られる。

オンサイト用又は分散配置用改質器に必要な開発課題には、次のようなものがある。

- (1) 電力負荷に応じた起動、停止及び負荷変動性の良い運転ができること。
- (2) 小規模でもエネルギー効率が高く、投入された熱が改質反応に有効利用されること。
- (3) 常圧タイプの燃料電池発電システムに適用できるよう常圧、低発熱量の電池オフガスの安定燃焼が可能であること。
- (4) パッケージ又は単機として、陸上輸送が可能なコンパクト性をもつこと。
- (5) 商用化のため信頼性が高く、低価格であること。

すなわち、コンパクトで、高性能な信頼性の高い改質器の開発が必要である。具体的には、燃焼範囲が広く燃焼室空間負荷の大きなバーナの開発、改質反応管へのバーナ燃焼熱の最適な伝熱を可能とする改質器構造の具体化、改質反応条件が、高位排熱量の増加に有効な低スチーム／カーボン比(S/C)で、かつ、低価格の反応管材料が採用できる低い温度で安定した改質が可能な改質触媒の採用等である。

2.2 改質触媒の評価

天然ガス改質触媒には、アルミニナやマグネシアを担体とするニッケル(Ni)系や貴金属系の触媒がある。貴金属系触媒

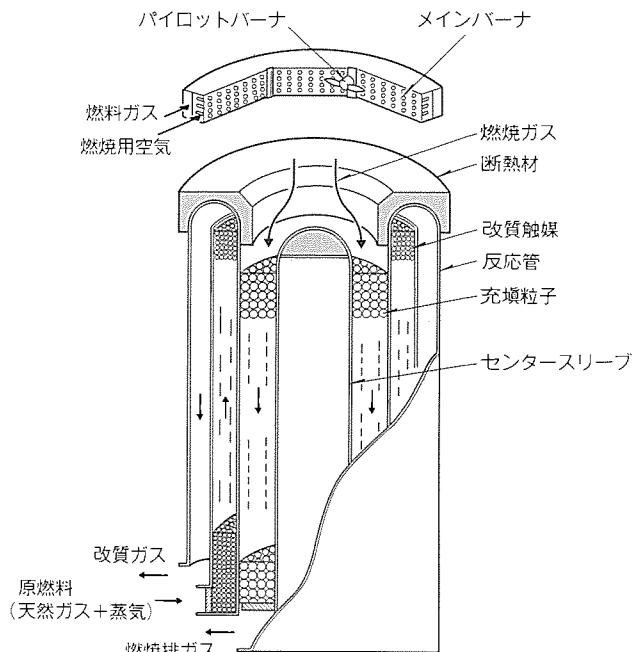


図1. 天然ガス用改質器の構造

は、改質反応の低温活性に優れ、 $S/C = 2$ 以下でもカーボンは析出しないと言われているが、Ni系に比べて高価である。

当社では、安価なNi系触媒を中心に、触媒評価試験装置により反応温度と S/C をパラメータとして変化させて、メタン転化率を評価した。

電池常圧運転を想定した実機定格負荷相当の空間速度(SV)条件下で行った結果の一例を図2に示す。

$S/C=2$ においても炭素析出はみられず、750℃ではメタン転化率(改質ガス中の $\text{CH}_4/(CO+CO_2+\text{CH}_4)$ のモル%)が約95.6%となる。改質反応は伝熱律速と考えられ、伝熱促進の対策をとることにより、予定している $S/C=2.5$ での改質器運転に十分適用できる見通しを得た。今後、更に寿命・物性変化等の評価を行い、信頼性を確認する。

2.3 改質器用新型バーナの開発

当社では、改質器のコンパクト化のために、燃焼室空間負荷(燃焼室単位容積・単位時間当たりの燃焼熱量)の大きい高密度燃焼の可能なバーナの開発を進めてきた。

2.3.1 バーナの構造

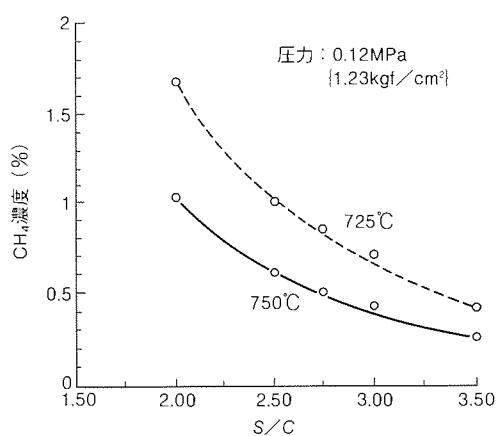


図2. ニッケル系触媒の改質特性例

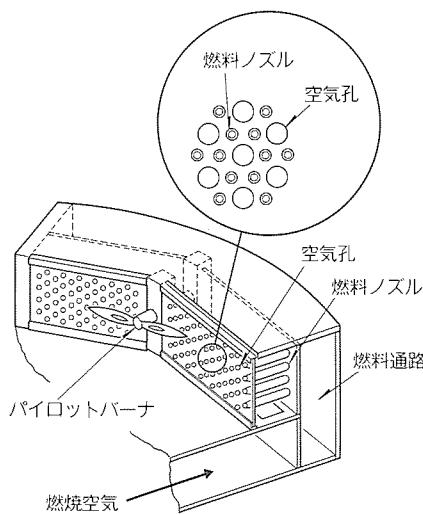


図3. 新型バーナの構造

主バーナは、く(矩)形のバーナユニット、燃料及び空気マニホールドからなり、規則正しく配列された多数の燃料ノズルが燃料マニホールドから空気マニホールド部を貫通してバーナユニット面に接続された多管式分散バーナである。バーナの構造を図3に示す。燃料・空気流量の均一分配によって高密度均一燃焼が可能である。

パイロットバーナは、主炎の流速を上げても火炎が吹き消えないように主炎孔のまわりに複数個の補助炎孔を設けた保炎性の高いバーナとした。

2.3.2 バーナモデルによる燃焼試験

パイロットバーナを挟んでバーナユニット2個からなる部分バーナモデルを試作し、燃焼特性試験を行った。バーナを大型化したため、バーナユニット面内の均一燃焼性及びバーナユニット面に十分到達できるパイロットバーナ火炎長の確保が必要である。

(1) パイロットバーナの燃焼特性

燃焼特性試験の結果、燃焼範囲は、従来のバーナに比較して飛躍的に広くなり、燃焼条件を調節することにより、140mmの安定した火炎長が確保できることが分かった。

(2) メインバーナの燃焼特性

燃焼試験に先立って実施したバーナユニット内流量分布試験で、燃焼空気のユニット下部への流量分配の均一化を空気供給部の圧損を調整して達成し、均一燃焼が可能となった。

都市ガス燃焼の試験結果では、燃焼負荷25~75%で一次空気(天然ガスの燃焼に必要な予混合空気)比0.3~0.6、二次空気(火炎後流で供給する空気)比2.0で良好な燃焼特性が得られた。また、オフガス燃焼の結果(図4)によると、燃焼負荷25~115%、空気比1.2以上で良好な燃焼特性が得られた。改質器定格負荷運転時の燃焼室負荷の大きいコンパクトなバーナを改質器へ組み込むことが可能であることを確認した。

2.4 改質器特性試験と伝熱・反応シミュレーション

内炎型改質器をコンパクト化するためには、燃焼ガスの保有熱を改質触媒層へ移動させる伝熱特性を向上し、反応管長

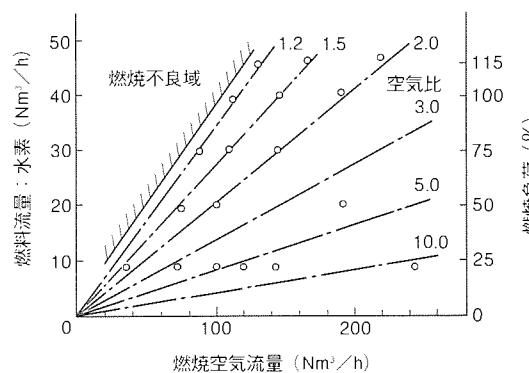


図4. メインバーナのオフガス燃焼特性
(模擬オフガス組成: 40%H₂+60%CO₂)

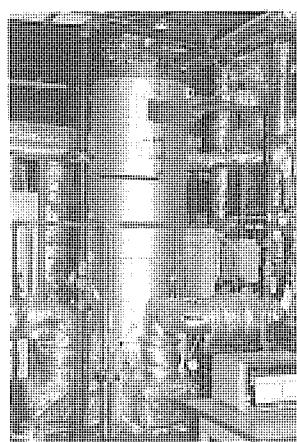


図5. 改質器特性試験装置

を短くすることも有効である。そこで、改質器の反応プロセスと伝熱を合わせて解析できるシミュレーションソフトを開発し、改質器特性試験装置によって採取した改質器特性データを用いて、充填粒子による燃焼ガスから改質反応管への伝熱、反応解析を行い、反応管寸法と充填粒子層長さの最適化を検討している。

2.4.1 改質器特性試験装置

試作した改質器の特性（触媒層及び反応管各部の温度分布や反応特性）を検証するために、脱硫器や改質用スチーム供給設備を備えた改質器特性試験装置（図5）を製作し、試験を行った。バーナ燃料には燃料極出口ガスを模擬した模擬オフガスを使用した。改質反応条件（反応温度、S/C）や燃焼ガス流路へのセラミックボールの充填条件（粒子径、充填層長）を変化させて、触媒層及び反応管の軸方向温度分布と改質ガス組成の関係を調べ、セラミックボールを充填した燃焼ガス通路構成の最適化を検討した。

電池は常圧運転を想定し、燃焼ガス流路圧損の制約から採用できるセラミックボールの最小粒子径を選定した。そのため、充填物の粒径が十分小さいときに成立する一般の充填粒子層の伝熱計算式は適用できず、試験によって伝熱特性の検証を行った。充填粒子層長や粒子径を変えた試験の結果、伝熱特性は充填物の粒径にはあまり依存しないこと、充填粒子層長には最適値があること等が分かった。

2.4.2 改質器伝熱・反応シミュレーション

改質器の構造を図6に示すようにモデル化し、シミュレーションソフトを開発した。以下にシミュレーション手法の概要を示す。

(1) 軸対称二次元座標の採用

改質器モデルの管軸方向を複数（最大20個）に分割（メッシュ化）するとともに、各メッシュを集中定数系として取り扱った。

(2) 管部の熱伝導の考慮

管部の内外面温度差を表現するため、径方向に対する熱伝導を考慮した。なお、管軸方向への熱伝導は無視した。

(3) 反応管面とガス流路充填粒子間の伝熱

充填層における伝熱は、伝熱相当直径を充填粒子径とし、

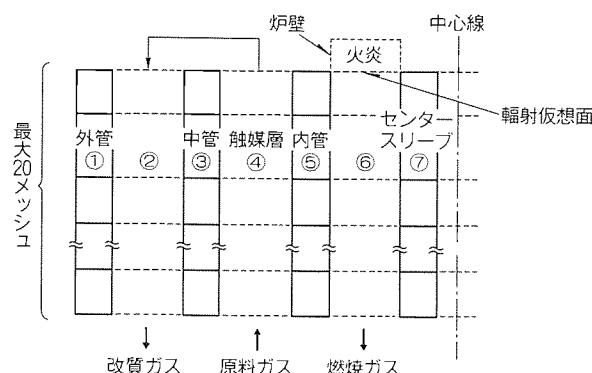


図6. 改質器シミュレーションモデル

対流と固体ふく（輻射）射を考慮した複合熱伝達を用いた。

(4) 反応管面とガス流路（空間）間の伝熱

対流と輻射伝熱の単純和で表現した。輻射伝熱は、自メッシュだけでの輻射熱平衡だけでなく、火炎からの輻射の効果を輻射仮想面を想定して算出した。

(5) 水蒸気改質反応

メタン以外のエタン、プロパン及びブタンについては、すべて第1メッシュでメタンに分解されるとし、改質反応、転化反応共に反応速度式を用いて組成を算出した。

(6) 圧力損失

固体粒子が充填されているガス流路の圧力損失は、各メッシュごとに算出した。

開発したシミュレーションソフトを用いて、充填粒子層長や粒子径のパラメータを変えて燃焼ガスから内管触媒層への伝熱量、改質ガス組成を計算した。反応管軸方向における各部の温度分布について得られた計算結果と実測値をプロットした一例を図7に示す。計算結果は、実測値と良く一致した。また、図8は管軸方向の熱流束分布の計算結果を示したもので、燃焼ガスから触媒層への伝熱量は、充填粒子層入口付近で最大となるが、触媒層温度は低下しており、この部分で急激に改質反応が進むことが予想される。

3. メタノール改質器

3.1 メタノール改質燃料電池の特徴

メタノール改質燃料電池発電システムと天然ガス燃料電池発電システムとの相違点は、改質装置の構成にある。メタノール改質装置のシステムフローを図9(a)に、天然ガス改質装置のフローを(b)に示す。メタノールには硫黄化合物が含まれず、低温(250~300°C)で容易に改質されるため、改質ガス中のCO濃度が低く、脱硫器、CO変成器が不要である。

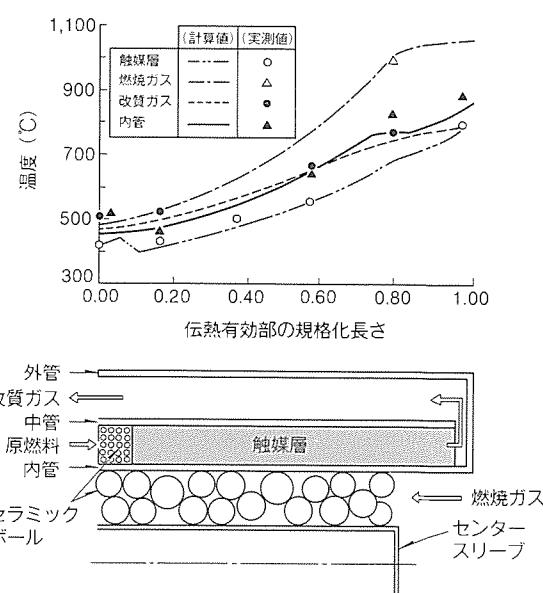


図7. 改質器温度分布

また、他の炭化水素(天然ガス、LPG、ナフサ等)と比べて起動昇温時(メタノール直接燃焼時)のNO_x低減が期待でき、改質反応管材料に高価な耐熱合金を使用する必要がない等の利点がある。

一方、天然ガスは付臭剤が添加され、都市ガスとして使用されるため脱硫が必要である。また、700~800℃の高温で改質反応が進むためCO濃度が高く、CO変成器が必要となる。

メタノールの改質反応は、実際には極めて複雑な機構で進むと考えられるが、見かけ上、メタノールの熱分解反応、シフト反応及びメタノールの直接改質反応が併行して進む。

改質触媒には、Cu-Zn系触媒を使用するが、温度変動の影響を受けやすいので低い動作温度を安定に制御できる熱媒体加熱方式が採用される。改質触媒は、250~330℃の範囲で使用でき、活性が低下すれば徐々に昇温して再活性化を行うが、燃料電池の電極触媒の被毒に支障のないCO濃度(1%以下)に保つ必要性から、最高使用温度は280℃程度に制限している。

さらに、熱媒体加熱炉用バーナは、メタノール(液体)と燃料極出口ガスを合わせて燃焼する必要がある等の特徴がある。

3.2 実証試験の結果と課題

当社では、北海道電力(株)との共同研究により、100kW級メタノール改質燃料電池発電設備の実証試験を行い、運転性能の評価、保守・保安・信頼性の確認、系統連系・所内単独運転の確認、環境性評価、排熱利用試験等を行った⁽¹⁾。

熱媒体加熱炉と熱媒体から改質反応管への伝熱性能向上を図った多管熱交換型のメタノール改質器から構成されるメタノール改質系について以下の結果を得た。

(1) 改質性能

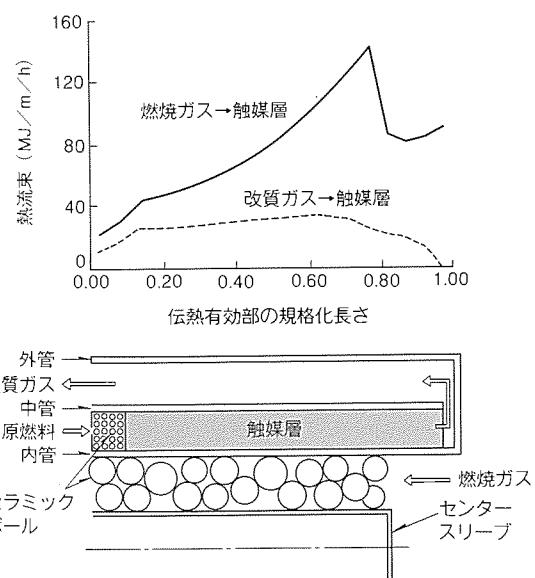


図8. 改質器熱流束分布

メタノール改質器は、S/C=2、熱媒体温度260℃、反応圧力約0.327 MPa [3.333 kgf/cm²]で運転した。改質反応に伴うメタノール転化率は、98.9~99.1%と、ほぼ設計値(99%)どおり、CO濃度は、約0.5%であった。

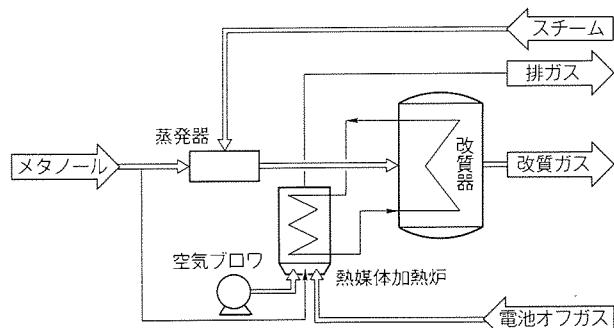
メタノールスリップ量が一定値以上に増えると、電池性能や改質系の熱バランスに影響するため、熱媒温度を上昇させて触媒を再活性化したり、改質ガス中の水分分離条件を変えて未反応メタノールを一定値以下に抑制する。しかし、運転調整後の改質性能は安定しており、運転試験終了までの約4,000時間の間、未反応メタノール量はほとんど変化なく、熱媒体温度(260℃)は全く変化させる必要がなかった。

(2) バーナ燃焼性

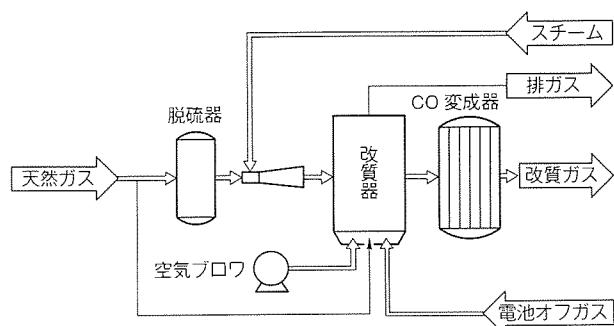
熱媒体加熱炉のバーナは、空気で霧状にしたメタノールと燃料極電池出口ガス(オフガス)を燃焼させる。起動時はメタノール燃焼を行い、発電開始後は混焼状態を経てオフガス燃焼に切り替える。電池極間差圧制御の影響でオフガスラインのバーナ部圧力損失が大きく変動すると、燃焼が不安定となった。そこで、差圧制御の感度を低くしてバーナ部の圧力変動を抑制することにより、すべての条件下で安定な燃焼ができる事を確認した。

(3) 発電効率

メタノールの消費量をできるだけ少なくすれば、発電効率は向上する。そのため、電池冷却水ラインで生成されたスチームを改質原料であるメタノール水の蒸発に有効利用するのが効果的であった。熱媒体加熱炉の炉効率が低いにもかか



(a) メタノール改質装置



(b) 天然ガス改質装置

図9. 改質装置のシステムフロー

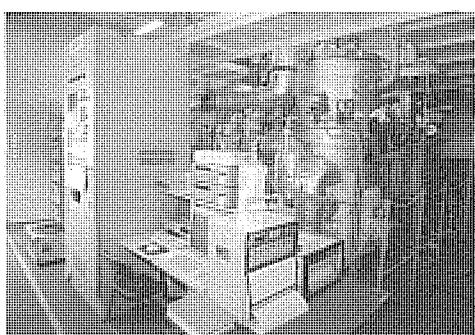


図10. システム検証設備

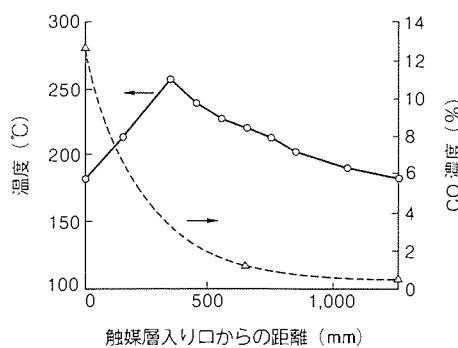


図11. CO 变成器触媒層内の温度・CO 濃度分布

わらず運転初期、発電端での発電効率は、37.1%（目標36%）を達成した。

(4) 負荷追従性

25→100%/5分の目標に対し、2.5分の実績であった。メタノール水の蒸発に熱交換性能の優れた熱交換器を使用し、改質系の放熱量を低減することにより、更に負荷追従性向上できる見通しを得た。

3.3 今後の開発課題

改質触媒は、熱的に劣化しやすいため、熱媒体による間接加熱方式が採用されることが多い。しかし、この方式は、バーナ直接加熱方式に比べて装置が複雑になり、スペース的にも不利である。熱媒体加熱炉のコンパクト化を進めるか、耐熱性の良い活性の安定した触媒の開発が必要である。

また、熱媒体加熱炉のバーナは、メタノールとオフガスを安定燃焼する必要がある。バーナ部圧損が大きくとれるほど安定燃焼ができるが、低圧損でオフガスの圧力変動を抑えて安定燃焼できるバーナの開発が望まれる。

実証試験により、電池の性能に影響を及ぼさないためのメタノールスリップ量やCO濃度を1%以下に保つための改質反応温度等の制限値を明らかにするとともに、改質器の開発課題を抽出し、システム構成の簡素化・制御方式の簡略化・発電効率の向上策等の検討を行った。

当社では、次期実証機の製作に向けて、これらの検討結果を十分反映させた最適設計を進めている。

4. 改質系反応器の開発

改質装置のシステム簡素化のため、従来の水添脱硫方式に比べて機器の大幅な削減可能な常温吸着方式の脱硫器、また断熱型CO変成器の反応温度制御のため必要であった入口の熱交換器を省略できる熱交換型CO変成器の要素開発を行った。

4.1 脱 硫 器

都市ガスに付臭剤として添加されているt-ブチルメルカプタン(TBM)や硫化メチル(DMS)等の除去手段として、従来の水添脱硫方式は有効な方法であるが、機器数が多くシステムが複雑である。比較的発電容量の小さいオンサイト用

の燃料電池発電設備用としては、コンパクト性、起動特性、メンテナンス性に優れた方式の採用、が不可欠である。

当社では常温で使用できる種々の脱硫剤について性能評価を実施し、TBM除去能力とDMS酸化能力を併せもつ有望な新脱硫剤を見いだし実証発電設備に採用している。

TBMは、活性炭などでも容

易に除去されるが、DMSの除去が困難である。この脱硫剤でも入口部の硫黄吸着量は多いが、硫黄の吸着帯は時間とともにのびる傾向にある。

脱硫器の除去性能には寿命があるので二塔切替えを前提とし、脱硫器形状の最適設計を進めている。

4.2 CO 变 成 器

オンサイト用としては、改質ガス中のCOを低温CO変成器で1%以下まで低減させる構成としている。冷却管と触媒層間の伝熱及び反応解析を行い、触媒層最高温度が300°Cを超えないよう熱交換部構成の最適化を実施し、コンパクト化を達成した。

性能確認のため1/4容量の変成器を製作し、図10に示すシステム検証設備に組み込んで実証試験を行った。結果を図11に示す。115%過負荷においても、CO変成器出口のCO濃度は、0.6%であった。この変成器は、200kW級とすれば、当社従来器の約1/2の容積となる。

5. む す び

リン酸型燃料電池用の燃料改質装置の開発の状況について概説した。天然ガス用改質器については、低スチーム/ carbon比、低温(700°C付近)で安定な改質ができる触媒の採用、新型バーナの開発、伝熱促進を図った内炎型改質器構造の最適化を行い、大幅なコンパクト化を達成した。メタノール改質器でも実証試験によりメタノールスリップ量やCO濃度を1%以下に保つための改質反応温度等の制限値を明らかにするとともに改質器の開発課題を抽出し、システム構成の簡素化、発電効率向上策の検討を行った。

今後、リン酸型燃料電池発電設備の事業化を目指して要素技術の開発を充実させ、製作コストの低減、性能及び信頼性の向上を図っていく予定である。

参 考 文 献

- (1) 菅伸之、加藤俊一、留井英明、水本洋一：メタノール改質100kW級燃料電池発電システム、三菱電機技報、63、No.4、311~314 (1989)

留井英明* 宮下武司*
武田 淳*
朝枝健明*

燃料電池用インバータと連系装置

1. まえがき

燃料電池プラントにおいてインバータは燃料電池の直流出力を交流に変換し、系統連系した上で送電する機能を担っている。

一方、系統と連系していることで、系統に異常状態を波及拡大させないための保護措置が必要で、そのための装置が連系装置である。さらに、燃料電池プラントはいったん起動して系統並列した後は、系統と連系したままで運転するか(連系運転モード)、系統と解列して運転するか(単独運転モード)のいずれかの運転モードが選択できるが、その送電回路の切替えについても連系装置で実施している。

本稿では燃料電池プラントを商用系統と連系して運用する場合に必要なインバータと連系装置について、その要件と回路構成について述べる。

2. インバータ

2.1 インバータの要件

燃料電池用のインバータに要求される特徴的な仕様は以下のとおりである。

- (1) 低電圧大電流化した燃料電池への適応
- (2) 部分負荷時の電池電圧変動への追従
- (3) 発電プラント機器としての高変換効率
- (4) 系統電圧、周波数への追従性

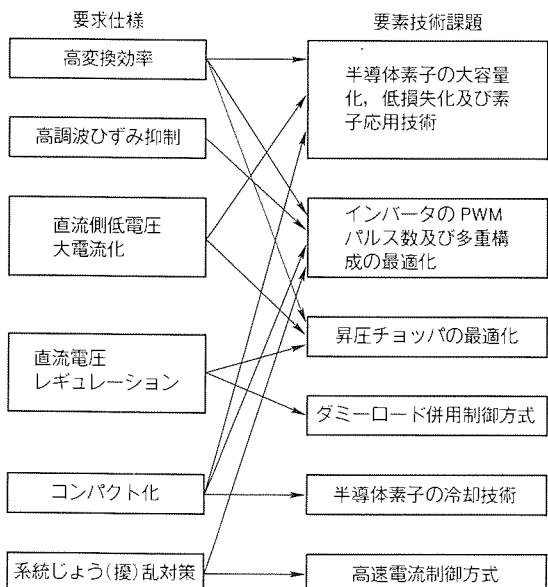


図1. 燃料電池用インバータの要素技術課題

- (5) 系統連系のための同期検定機能
- (6) 系統品質確保のための高調波ひずみ率制限、力率制限
- (7) 連系運転モード時の有効・無効電力制御と単独運転モード時の定電圧・定周波数制御の切替え
- (8) オンサイト用電源機器としてのコンパクト性

これらの要求仕様を満足するための技術課題及び回路構成例について節を改め詳述する。

2.2 インバータの要素技術課題

直交電力変換の機能をもつインバータの種類には、一般にGTO (Gate-Turn-Off Thyristor)などの自己消弧型半導体素子を使用した自励式と、サイリスタを使用した他励式があるが、連系運転と単独運転の両モードの運転の要求から自励式が採用され、連系時には高効率運転が可能である。さらに、自励式インバータの種類には電圧形と電流形があるが、インバータ及び素子自体の汎用性と単独運転の容易性から電圧形が採用される⁽¹⁾。

図1に燃料電池用自励式電圧形インバータの要素技術課題を示す。各種の要求仕様を満足するような高性能でコンパクトなインバータを実現するための基本的技術は、適用する半導体素子の特性に大きく依存しており、できるだけ大容量で低損失特性をもち、かつ汎用性があることが望ましい。GTOやIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)などは有望な半導体素子であり、インバータ容量に応じて使い分けられるが、その半導体素子の応用技術として、素子並列接続技術、スナバ技術、ゲートドライブ技術、冷却技術などの課題が付属する。制御技術としては、インバータの多重化、PWM (Pulse-Width Modulation) 制御、高速電流制御などの技術が挙げられ、インバータ容量及び適用素子特性に応じて各技術の方式の最適化が必要になる。

また、電池特性に依存する直流電圧の低電圧化やレギュレーションの対策として、昇圧チョッパを設けて電池電圧を昇

表1. プラント容量とインバータ方式

プラント容量	100~500kW	500kW~数MW	数MW~数十MW
適用素子 (素子耐圧)	大容量IGBT (600V~1.2kV)	高周波GTO (1.6~2.5kV)	大容量GTO (4.5~6kV)
変換器方式	一重インバータ + 多重チョッパ	多重インバータ容 量に応じて多重数 は変わる。	多重インバータ容 量に応じて多重数 は変わる。
スイッチング 周波数 (上限値)	~5kHz	~500Hz	~200Hz

圧してインバータの素子電圧と整合性をとったり⁽¹⁾、ダミーロード制御によって無負荷開放電圧でのインバータ運転を避けるように配慮すべきである。なお、昇圧チョッパを使用する場合には電池電流のリップルを低減するために並列多重化が課題になる。

2.3 プラント容量とインバータ方式

図1に示すインバータの要素技術開発の将来動向を考慮して燃料電池のプラント容量に対して適用されるインバータ方式を検討した結果を表1に示す。約500kW級まではIGBTの多パルスPWMインバータ方式が採用され、それ以上の大容量級では電池電圧特性との最適化検討が必要ではあるが、IGBTよりも高耐圧素子であるGTOを使った低パルスPWMの多重インバータ方式が採用される。

2.4 インバータシステム構成例

以下に、オンサイト用及び分散配置用の場合の燃料電池インバータシステムの構成例を示す。

(1) 200kW 燃料電池用インバータ（オンサイト用）

図2に200kW燃料電池用インバータの主回路構成を示す。この装置はIGBTを用いた昇圧チョッパと高周波PWMインバータから構成される。

昇圧チョッパは燃料電池の電圧が負荷量に応じて変化してもインバータの直流電圧を一定にする機能をもつ。

一方、インバータは連系運転と単独運転の切替えが可能で

あり、連系運転時には有効電力と無効電力の制御を行って系統への有効電力の出力及び系統との無効電力の授受を調整する。また、単独運転時にはインバータ出力電圧の定電圧、定周波数制御を行い、負荷に電力を供給する。

(2) 5MW 燃料電池用インバータ（分散配置用）

図3に5MW燃料電池用インバータの主回路構成を示す。インバータ主回路はGTOを1S1P接続した単相ブリッジ回路から成り、出力変圧器を用いて三相出力に変換するとともに直列多重化することにより、大容量化及び出力ひずみの低減を達成している。

3. 連系装置

3.1 連系装置の要件

連系装置は、系統保護することが目的であり、連系点での異常現象を検知して速やかに系統から解列することが要求される。そのために“系統連系技術要件ガイドライン”（以下“ガイドライン”という。）を遵守する必要がある。

また、連系・単独の両運転モードの切替え時に要求される機能としては、燃料電池プラントに負荷変動が加わらないような出力調整機能と構内単独運転系統の分離が可能な回路構成が必要である。

以下、これらの要件に対応する設備構成例について概要を述べる。

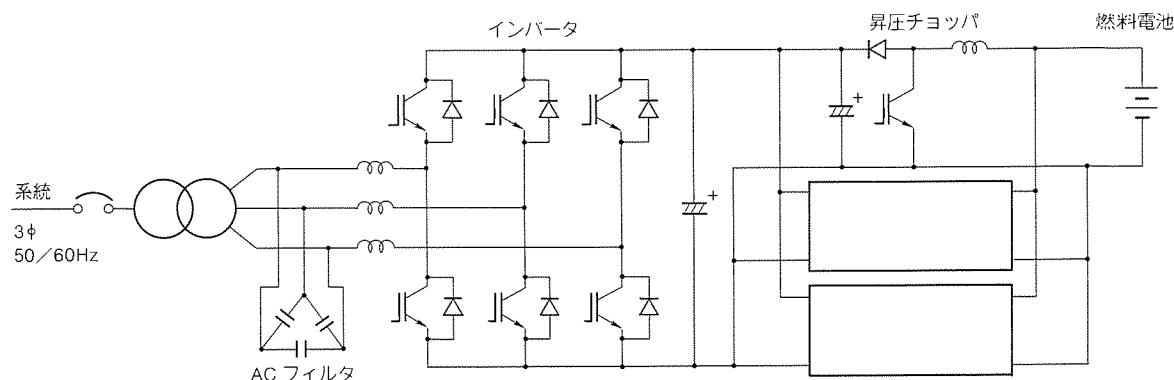


図2. 200kW 燃料電池用インバータ主回路構成

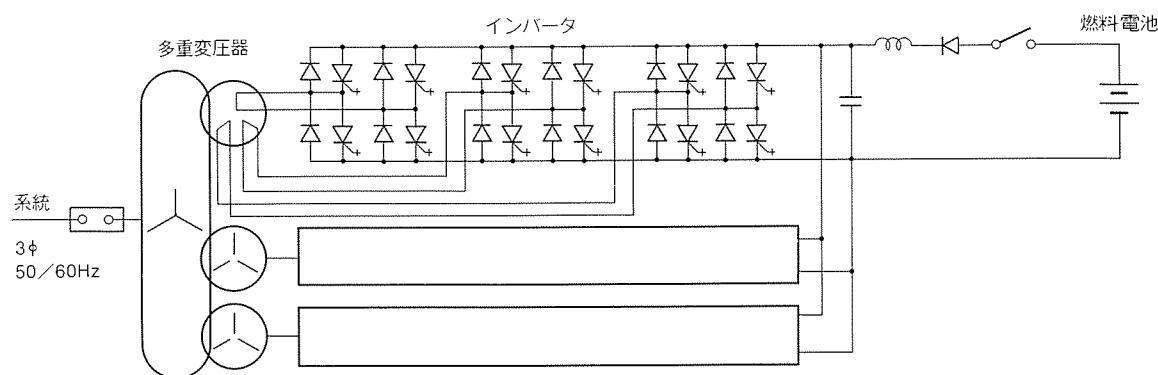


図3. 5MW 燃料電池用インバータ主回路構成

3.2 連系に必要な保護システム

連系点にはガイドラインに規定される保護絶電器を設置して、連系点での異常を検知したときには、連系点の遮断器を

直ちに開放しなければならない。ただし、逆潮流なしの場合には逆電力絶電器 (RPR) による逆潮流防止措置が必要であり、逆潮流ありの場合には上位系統遮断器の開放に連動して

動作する転送遮断装置 (TTR) を設けて、系統事故時の線路無充電を確保しなければならない。高圧配電線と連系する場合の保護装置構成例⁽²⁾について図4に示す。

3.3 運転モード別回路構成

燃料電池プラントでは、連系運転モードと単独運転モードの運用をどのように行うかにより、連系装置内の回路構成も異なってくる。

(1) 連系運転モードのみの場合

連系運転モードだけしかプラント運用しない場合には、系統との併列用遮断器はプラント起動時の系統併列点にのみ配すればよい。図4に示す回路構成例では52M2遮断器がそれに該当し、系統併列時の同期検定用PTもPT2のみでよい。後述する52M1、PT1は不要である。

(2) 連系運転モード、単独運転モード併用の場合

連系、単独両モードを使い分ける場合には3.3節(1)の場合に加えて、単独負荷と燃料電池プラントで構成される構内単独運転ブロックを系統と併解列するために別途遮断器が必要である。図4に示す例では、52M1がそれに該当し、同期検定用PTについてもPT1が更に必要となる。

(3) 連系、単独モード併用に系統事故時単独モード移行機能を付加した場合

3.3節(2)の場合は、連系から単独へのモード移行は燃料電池プラントに負荷変動を与えないよう、連系時のプラント出力を単独負荷量に合わせた上で、52M1を開放して単独モードに計画的に移行する場合であるが、系統事故時にもこのモード移行が可能であれば、系統停電の有無にかかわらず、負荷に連続給電ができる。ただし、この系統事故時のモード移行に際しては、系統電圧及び周波数の低下に伴い、燃料電池プラントから系統側へ向かって過電流が流出するので、過電流レベルに至るまでに、高速に系統から解列する必要があり、52M1には高速遮断が可能なサイリスタスイッチ等を採用しなければならない。

さらに、モード移行時には3.3節(2)のよ

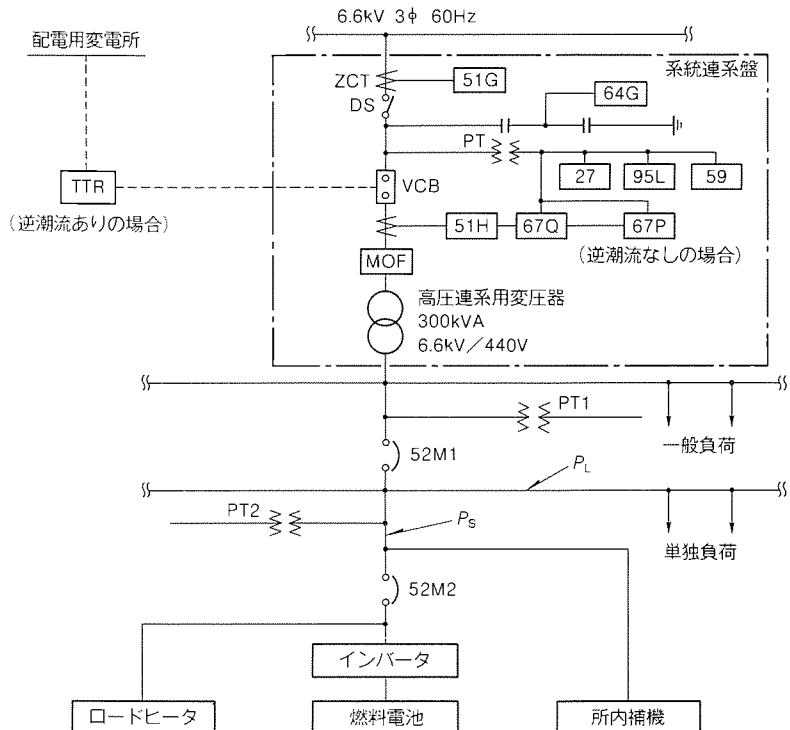


図4. 高圧配電線と連系する燃料電池プラント主回路構成例

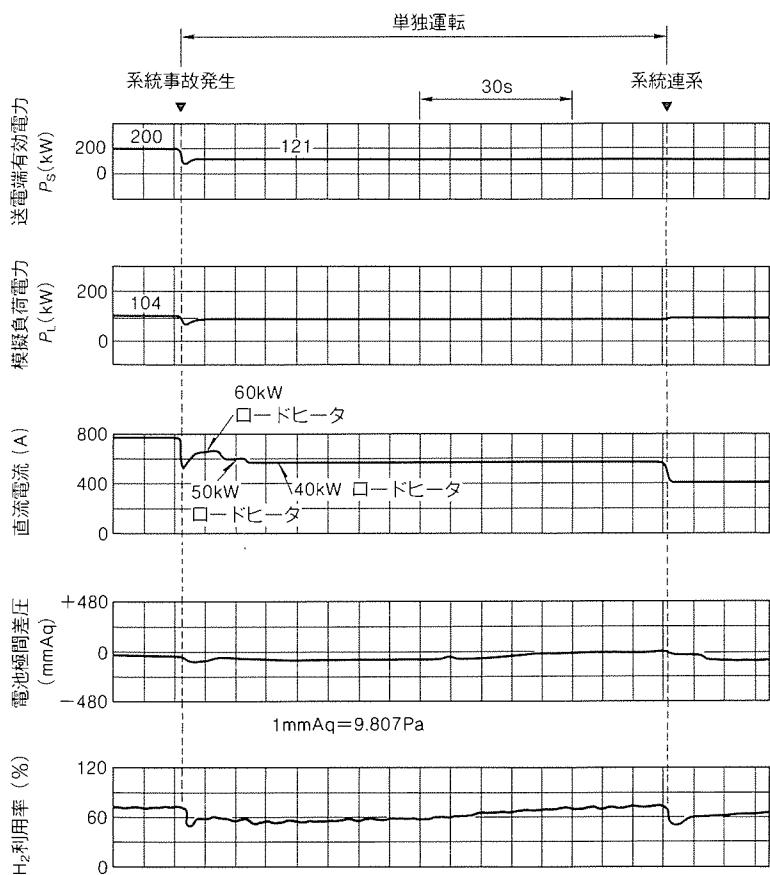


図5. 系統事故模擬試験結果(送電時)($\Delta P = P_S - P_L = 79\text{kW}$ の場合)

うなプラントの出力調整をしている時間的余裕がないことから、移行前にプラント出力が単独負荷量を下回っている際には、移行後に過負荷となるため、プラントトリップに至る。したがって、系統事故時に単独モード移行可能なケースは移行前にプラント出力が単独負荷量を上回っている場合のみである。ただしこの場合、移行後に発生する余剰出力補償策が必要で、ダミーロードで電力として消費させるか、余剰燃料ガスを燃焼によって消費させ、単独負荷量相当の適正ガス量に絞り込む方法が考えられる。

3.4 系統事故模擬試験結果

前述の系統事故時に単独モードへ移行する機能を関西電力(株)六甲新エネルギー実験センターに納めた200kWプラントに搭載した。系統事故を模擬発生させて、モード移行状態を確認試験した結果⁽³⁾を図5に示す。単独負荷に連続して給電されている状態や、余剰出力補償策として、ロードヒータによって徐々に余剰出力が低減されており、燃料電池の極間差圧やH₂利用率に異常をきたさず、モード移行している様子が確認できた。

3.5 フィールドテスト計画

燃料電池プラントを含む新発電システムの系統連系技術を実証する試験が新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託により、関西電力(株)六甲新エネルギー実験センターで計画され、現在進行中である。その主な試験項目は以下のとおりである。

(1) 逆充電に関する試験

線路逆充電防止の確認。

(2) 系統故障に関する試験

系統故障(短絡、地絡等)が発生したときの新発電システムの挙動確認(系統解列後、プラント停止又は単独運転継続)。

(3) 系統連系に関する試験

連系時の系統側電圧変動、高調波含有率の変化の確認。

これらの試験によって得られた知見をもとに、逆潮流ありの場合について高圧一般配電線への系統連系に関する技術指針が整備される予定である。

4. む す び

燃料電池プラントに採用されるインバータと連系装置の特徴及び構成例について述べた。今後は、更に信頼性の高いシステムを低コストで提供できるよう、最適な回路構成を検討していく所存である。

最後に本稿の執筆に当たって御指導、御協力をいたいたいた関西電力(株)総合技術研究所 北村章夫氏に心から感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) Asaeda, T., Yutani, T., Kawabata, T., Hamasaki, Y. : DC -to -AC Power Converter for Fuel Cell System, Intelec 83, 84~91 (1983)
- (2) 日本コージェネレーション研究会：コージェネレーションの系統連系技術要件 ガイドライン解説書 (1990)
- (3) 北村章夫、太田泰賢、水本洋一、武田淳：リン酸型燃料電池発電設備の運転方法について、平成4年電気学会全国大会予稿集, 12-182 (1992)

田熊良行* 糸山 保*
飯田博文*
池田辰弥*

オンサイト用燃料電池発電システム

1. まえがき

オンサイト用燃料電池発電システムは、ホテル・病院・工場などの電気と熱の需要が並存する施設を対象に、早い市場導入が期待され、実用化のための開発が進められている。この中で当社は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託により、関西電力(株)及び大阪ガス(株)と共同で業務用200kW燃料電池の開発・実証運転を行ってきた。発電設備は大阪市内の(株)ホテルプラザに設置され、約1.5年間にわたりホテルに電気と熱を供給し、優れた運転性能、環境性を実証した。平成3年10月運転終了までの累積発電時間は約13,000hに達した。

オンサイト用燃料電池は、性能と信頼性に関してほぼ実用レベルに達したと判断されるが、今後市場導入を図るために、コスト低減とコンパクト化の面で一層の技術開発を必要とする。また、コーディネーションとしての利用価値を高める工夫も必要である。当社は、現在を初期市場導入期と位置付け、実証機製作の機会を得ながら、商品化に向けての開発に取り組んでいる。

ここでは、ホテルプラザ向け業務用200kW燃料電池の運転実績を述べるとともに、当社のオンサイト用燃料電池発電システム開発の取組状況を述べる。

2. ホテルプラザ向け業務用200kW燃料電池

業務用200kW燃料電池発電設備を、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託のもとに開発・製作し、大阪市内のホテルプラザで実証運転を行った⁽¹⁾⁽²⁾。発電設備は、国産初のパッケージタイプで、電気と熱を併給するコーディネ

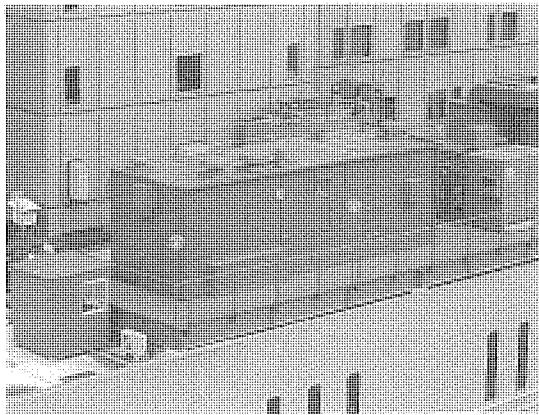


図1. ホテルプラザ向け業務用200kW燃料電池

ーションとして製作した。図1にホテルプラザ向け業務用200kW燃料電池の外観を示す。

2.1 発電設備の機器構成と仕様の特長

発電設備は、都市ガス(天然ガス)と水蒸気から水素を発生する燃料改質装置、この水素と空気中の酸素を電気化学的に反応させて直流の電気を発生する電池スタック、直流電気を交流に変換して系統に併入するインバータ、電池スタックの反応熱及び設備の排ガスの熱を回収する排熱回収装置から構成される。発電設備の仕様は表1に示すとおりである。

発電設備は系統独立運転と系統連系運転の両方に対応できる。送電端の発電効率は36%、熱と併せた総合効率は80%(いずれもHHV基準)で、発電設備が供給する電力と熱はホテル全体の電力需要の約10%、熱需要の約5%をカバーする。排熱として170℃のスチームと70℃の温水が取り出せるのが特長であり、この排熱はホテルの冷房、暖房及び給湯に利用した。起動時の電池スタック昇温手段として、起動用ボイラを配置し、起動時の消費電力低減と併せて起動時間の短縮を図っている。水蒸気分離器には、20%負荷相当のロードヒータを設置し、20%以下の部分負荷においても、電池負荷が20%相当を維持できるように、ヒータに電力を消費させ、その分を熱回収できるようにした。また、熱交換器にはプレートフィン型を採用し、コンパクト化を図っている。図2に燃料電池発電設備のシステムフローを示す。

2.2 主要機器の特長

(1) 電池スタック

セル特性向上、長寿命化を目標とし、リブ付きセパレータのリブ部を多孔質にし、リン酸貯蔵機能をもたせたセパレー

表1. ホテルプラザ向け業務用燃料電池仕様

項目	仕 様
燃 料	低圧都市ガス
定格出力(送電端)	AC200kW
発電効率(HHV基準)	36%以上
総合効率(HHV基準)	80%以上
電圧・周波数	440V, 3φ, 60Hz
高調波	5%以下(系統独立時) 2%以下(系統連系時)
運転方式	系統独立及び系統連系
起動時間	3h
排熱温度条件	高位排熱: 170℃ 低位排熱: 70℃
外形寸法	10(幅) × 3.1(奥行) × 3.2(高さ)(m)

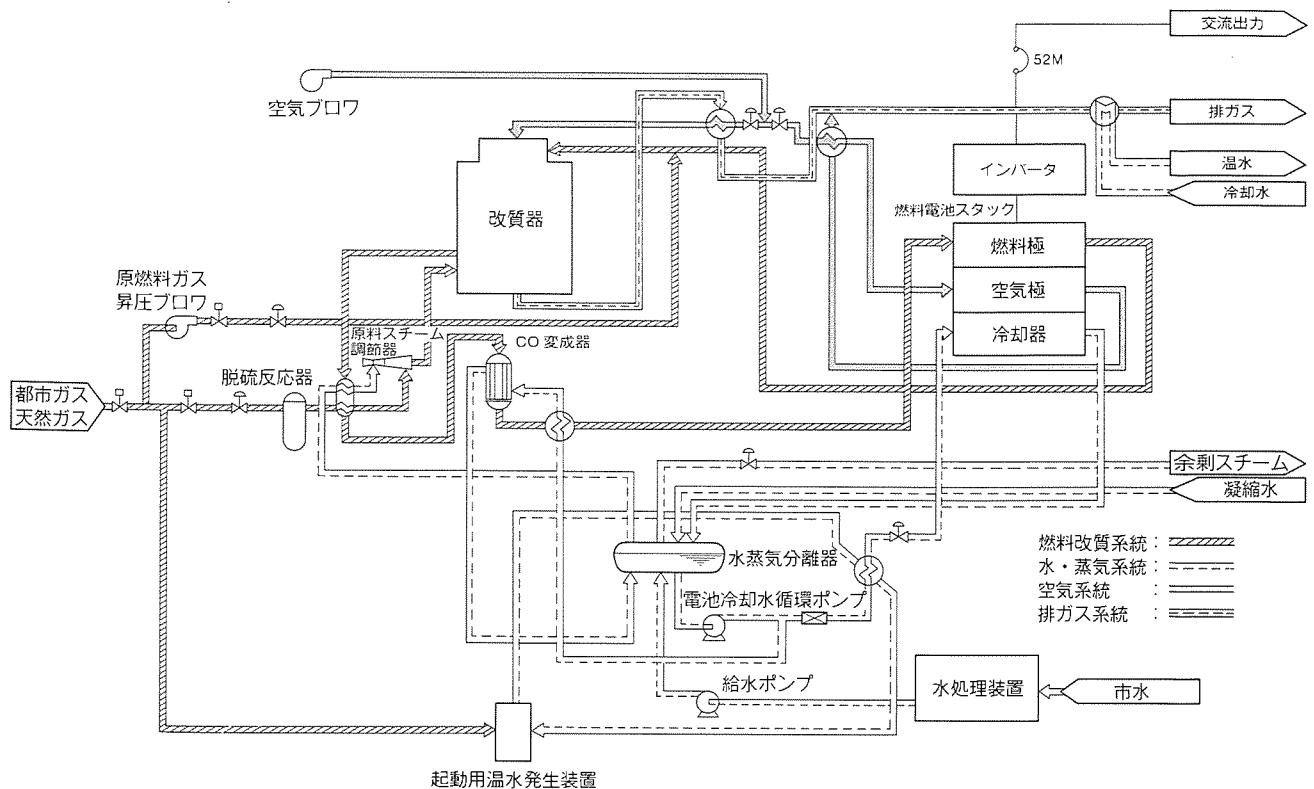


図2. 燃料電池システムのフロー

タ構造、電極の信頼性向上をねらったシート化電極構造を採用している。

(2) 改質系

脱硫器・改質器・CO変成器から構成される。改質器はオンライン用として、コンパクトで低圧損プロセスに適した内炎型反応管、多管式分散バーナ構造を採用している。脱硫器は常温吸着型を採用し、簡素化、起動時間短縮を図っている。CO変成器は内部熱交換型の低温CO変成器1段の構成とし、コンパクト化を図った。

(3) インバータ

変換素子としてパワートランジスタを、制御方式には多パルスPWM方式を採用して系統変動に対する追従性を高めている。盤は出力トランス盤を含む3面から成り、設置面積3.6×0.6(m)程度のコンパクトな構成である。

2.3 運転制御法の特長

(1) 運転方法

発電設備の運転モードは、待機・発電・停止の3種類を基本とし、この間のモード移行は押しボタン操作のみで、全自动を可能とした。停止中は保温モードとなり、電池スタックの保温処置が自動で行われる。起動時は、待機又は発電の押しボタン操作により、自動的に発電待機状態又は負荷運転状態に移行する。また、停止ボタン操作によって設備は安全に停止し、停止動作完了後は自動的に保温モードに移行する。表2に運転モードを示す。

表2. 運転モード

モード	プラントの状態	備考
完全停止	●改質系常温常圧 ●電池ヒータ保温及び通水保温(50~60℃)	●改質系、電池両極N ₂ バージ ●電池保温ヒータ及び電池冷却水ポンプによる保温
停止(保温運転)	●改質系常温常圧 ●電池保温(65~90℃)	●改質系、電池両極N ₂ バージ ●電池冷却水ポンプ発熱による水温保持
待機	●ロードヒータ(40kW) +補機動力相当発電	●ロードヒータ消費電力40kW(送電端0kW)
発電	●0~100%負荷運転	●送電端出力0~200kW

(2) 制御方式と保護

発電設備は、制御装置のほかにインバータ、水処理装置、排熱利用設備が各々制御機能をもっており、これらの装置を制御装置で統括制御する方式を探っている。

制御は、外的条件の変化、又は経時変化に対して本質的にシステムの安定化を図るために、フィードバックコントロールを基本に構成した。主な制御ループは、出力制御、改質器燃焼制御等である。出力制御では、電池電流による燃料、空気のコントロールを行い、空気のコントロールは空気プロワの回転数制御にて行った。各負荷での燃料流量の設定は、電池スタックの燃料利用率の設定によって行われる。改質器の燃焼量はこの設定値に依存するため、燃焼空気量の制御を行って改質器温度の調整を行っている。コージェネレーションとしての制御は、電力主、熱負荷従であり、設定出力に応じて得られる排熱を利用する方式としている。発電設備から得

られる排熱量と熱需要との差は、排熱利用設備側で放熱と組み合わせて自動調整され、水蒸気分離器の圧力変動等、発電設備側への影響をなくしている。

プラント停止の際は、自動的にシステム内の可燃性ガスを窒素で置換する。また、可燃性ガスラインの緊急遮断弁、窒素供給弁には、スプリングリターン弁を採用し、電源喪失時にも安全に停止できるようにした。

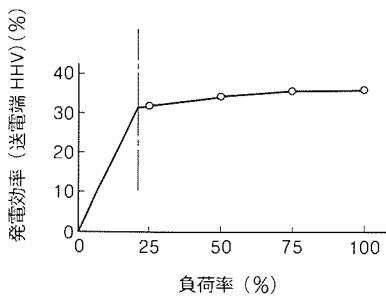
2.4 発電設備の運転実績

実証運転では、効率、起動時間、環境性等に関して開発目標を達成する良好な結果が得られた。また、長期にわたり安定した運転が確認され、オンサイト業務用としての実用性が立証された。表3に運転実績を示す。

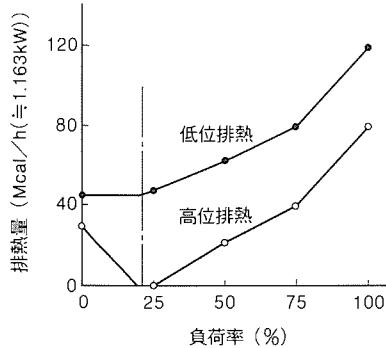
(1) 効率

表3. 200kW 燃料電池の運転実績

特性	
● 発電効率(送電端 HHV 基準)	36.0%
● 热回収率(HHV 基準)	高位排熱(170°C) 18.1% 低位排熱(70°C) 26.1%
● 総合効率(HHV 基準)	80.2%
● 起動時間	3.0h(冷起動)
● 負荷応答	±20%瞬時
● NO _x 値	4ppm(O ₂ 7%換算)
運転記録	
● 累積発電時間	13,038h
● 最長連続発電時間	2,656h
● 累積発電電力量	1,797MWh
● 起動回数	60回
● 吸収式冷温水機運転時間	2,214h



(a) 発電効率の負荷特性



(b) 排熱量の負荷特性

図3. 発電効率と排熱量の負荷特性

発電効率は、定格負荷で送電端 36% (HHV 基準) の目標値を達成した。また、部分負荷においても空気プロワにインバータ制御を採用して、補機動力を低減させるなどによって高い効率を維持した。40 kW 以下の負荷では、ロードヒータに電力を消費させ、電池スタック負荷を 40 kW 一定に保持するため、高位排熱が回収できる。図3に発電効率と排熱量の負荷特性の実測値を示す。

(2) 起動特性

冷起動時間は目標の3時間を達成した。起動時間は、改質器とCO変成器の昇温時間に依存するため、昇温時には窒素とスチームを通気し、改質器の均一加熱とCO変成器の昇温の短縮化を行っている。今後、改質器の昇温速度の上昇により、更に起動時間が短縮される見通しである。図4に起動特性を示す。

(3) 電池スタック特性経時変化

図5に電池スタック電圧の経時変化を示す。同図に示すとおり、電圧低下率は最終3~4%／1万h程度であり、4万hの運転で電圧低下率10%以下の目標を達成する見通しである。

(4) 環境性

環境性に関しては、NO_x:4 ppm (O₂ 7%値), SO_x・ばいじんともに検出なしと、極めて良好な結果が得られた。このような低NO_x特性は、改質器バーナが電池のオフガス(水素を主成分とする)を燃料とする基本的に発熱量の少ない燃焼であることが関係する。騒音も周囲の暗騒音(60 dB(A)程度)以下のレベルであった。この良好な環境性は、オンサイト用燃料電池の有用性を高めるものである。

2.5 排熱利用

排熱利用システムの構成を図6に示す。燃料電池からの排熱として、主に電池スタックの反応熱から得られる高位排熱と、設備の排ガスから得られる低位排熱の2種類が利用される。この設備では、高位排熱として余剰スチームを直接外部に取り出し、二重効用吸収式冷温水機の熱源に利用しているのが特長である。これは、燃料電池では初めての試みであつ

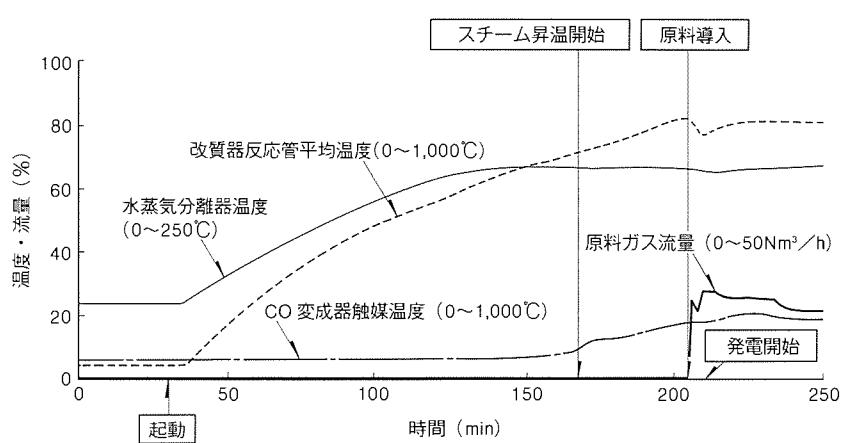


図4. 起動特性

たが、実証運転を通じ、実際にホテル客室に安定した空調用冷熱を供給することができた。低位排熱は70°C温水で回収され、熱交換器を通してホテルの貯湯槽に供給される。定格負荷における熱回収率は、高位：18.1%，低位：26.1%で、発電を含めた総合効率は80.2%を達成した。高位排熱からの供給冷熱は、約30冷凍トン（RT）が得られている。排熱利用設備は、発電設備と組み合わせて自動運転を行った。また、負荷変化に対しても、安定した排熱利用のコントロールが可能であることを確認した。

2.6 安全性・保守性

営業中のホテルに燃料電池を設置し、約1.5年間にわたる実証運転を通じ、コーディネレーションとしての実用性を検証した。この間、運転研究のため研究員は駐在したが、夜間、休日は無人運転を行い、保安上なんら支障ないことを確認した。保守面では、2か月ごとの水処理装置イオン交換樹脂交換、フィルタ類の点検のほか、1年に1回定期点検を行えばよいことを確認した。

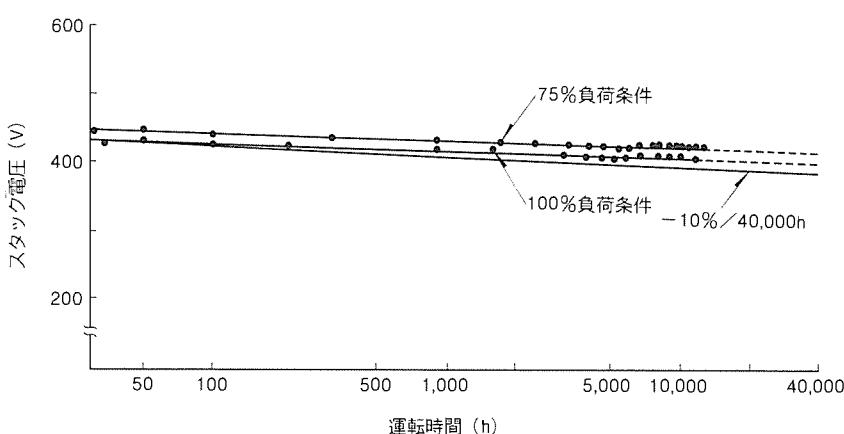


図5. 電池スタック電圧の経時変化

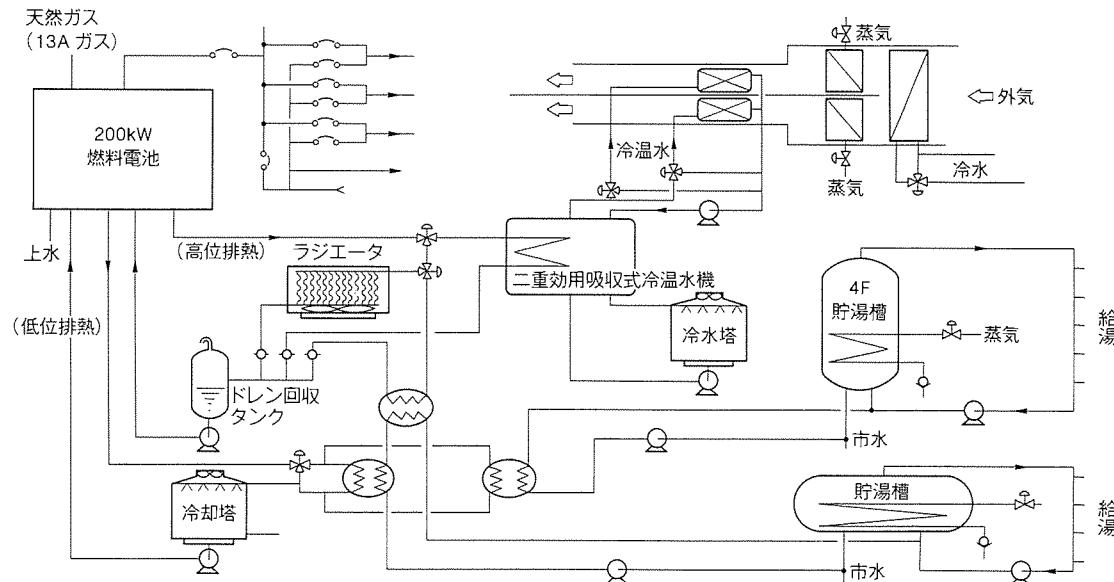


図6. ホテルプラザ向け業務用燃料電池の排熱利用システム

3. オンサイト用燃料電池の今後の開発

ホテルプラザ向け業務用200kW燃料電池の実績をもとに、システムの信頼性向上及びコスト低減とコンパクト化の開発に取り組んでいる。また、併せてシステムの経済性を高める排熱の有効利用についても取り組んでいる。以下に当社のオンサイト用燃料電池の開発計画を述べる。

3.1 基本仕様

ホテルプラザ機をもととして、高位排熱量の増加と排熱の有効利用を図る。

(1) 高位排熱量の増加

電池スタックで発生した熱は、水蒸気分離器で蒸気として回収されるが、その一部が改質用に消費されたあと、残りが高位排熱として利用される。ホテルプラザ機では、改質用に消費する蒸気はスチーム／カーボン比（S/C）3.5であったが、これを下げることによって系外に取り出せる高位排熱量が増加する。S/Cを減少させたときの高位排熱量の増加を図7に示す。S/Cを2.5にすれば、高位排熱量は18%から

24%に増加し、200kWの設備で得られる空調冷熱も30 RTから40 RTに増加する。このような低S/C運転の実現のためには、改質器においてカーボン析出を生じない触媒の技術が必要で、このための開発を行っている。

(2) 排熱の有効利用

高位排熱が空調負荷を始めとする広い範囲の需要に対応できるのに対し、低い温度の低位排熱は、ホテル等の一部を除いて利用価値が低いと考えられてきた。しかし、70°C程度の温水から

冷熱を得る冷凍機の開発が行われており、これを利用すれば低位排熱からも冷房が可能となり、燃料電池の利用価値は高まる。当社でも低温排熱利用の冷凍機として、化学反応に伴う吸放熱を利用するケミカルヒートポンプの開発を行っている⁽³⁾。70℃温水で、成績係数0.38の冷房出力が得られており、燃料電池と組み合わせた実証試験も行っている。このような熱利用機器を用いて燃料電池の排熱を有効に利用するための組合せを図8に示す。

3.2 システム構成

システム構成は、基本的にホテルプラザ機と同一であるが、改質器・電池スタック等主要機器の特性向上によるコンパクト化を達成し、さらに弁・計装品の削減を行い、発電設備全体のコンパクト化、簡素化を図る計画である。図9に発電設備外形を示す。設置面積は現在の商用プロト機で0.12m²/kWであるが量産機では0.08m²/kW以下に縮小する計画である。

3.3 点検・保守

表4に発電設備の点検・保守内容を示す。発電設備は基本的に全自動運転であるが、点検は1日1回の日常点検と、一定周期ごとの点検を基本とする。実績の集積によって将来的には、保守点検の軽減を図る計画である。

4. 今後の課題

平成2年6月に総合エネルギー調査会及び電気事業審議会により、我が国の長期電力需給見通しか報告され、燃料電池の導入目標が設定された。また、法的規制の緩和等、燃料電池導入に向けての条件整備がなされつつある。この中で特に、

コーチェネレーションを前提としたオンサイト用燃料電池の早い立ち上がりが想定されている。以下にオンサイト用燃料電池の商品化に向けた今後の技術課題を述べる。

(1) コストの低減・コンパクト化

オンサイト用燃料電池は、地価の高い都市部への設置を前提とするためコスト低減と併せてコンパクト化、特に設置面積の縮小が重要な課題である。基本的には必要機能見直しによる容器・機器の削減及び制御の簡素化を行ってコンパクト

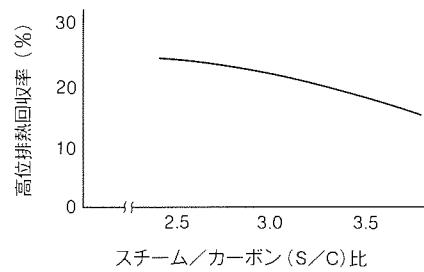


図7. 高位排熱回収率

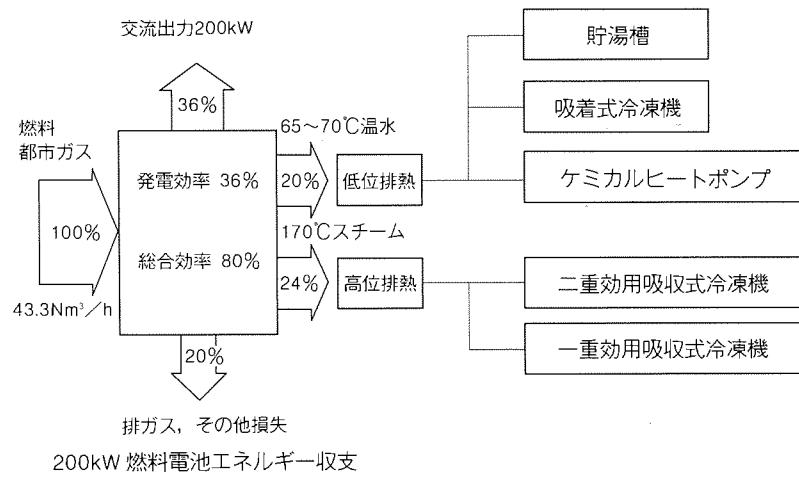


図8. 燃料電池と排熱利用の組合せ

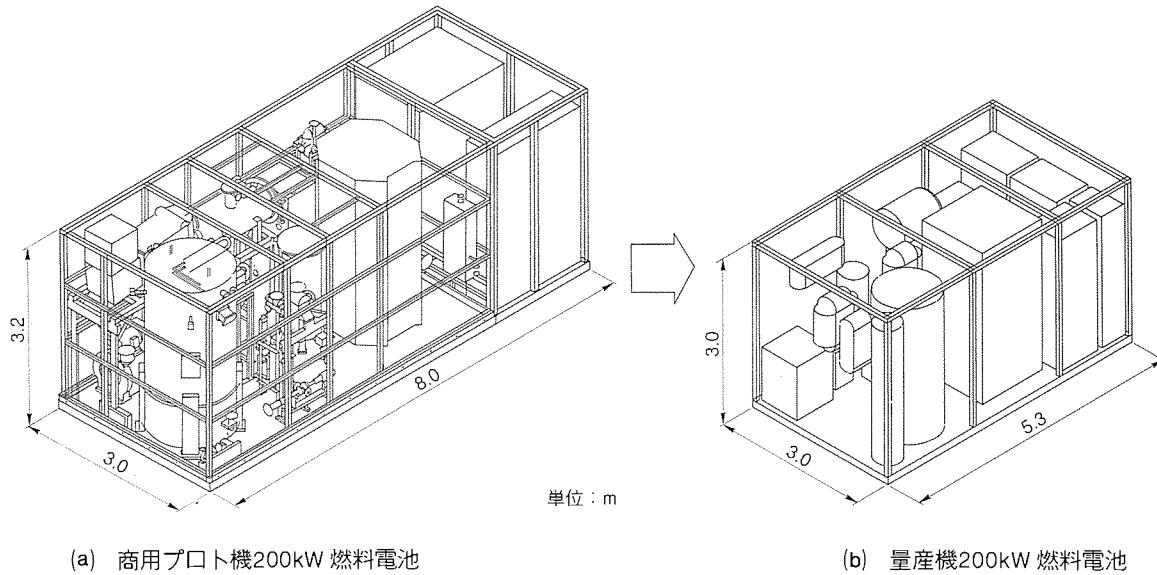


図9. 燃料電池発電設備の外形

表4. 燃料電池発電設備の点検・保守

項目		点検周期	備考
発電設備・排熱利用設備の日常点検		毎日 (パトロール)	異常の有無チェック
運転中	(1)フィルタ類の点検	3か月ごと	清掃又は交換
	(2)水処理装置イオン交換樹脂交換	2~3か月ごと	
	(3)脱硫器吸着材交換	6か月ごと	バイパスへ切替え
	(4)ばい煙測定	6か月ごと	法定
定期点検停止中	(1)定期点検 (a)ポンプ・プロワ点検 (b)弁・計装品点検(較正) (c)水処理装置点検 (d)起動用ボイラ点検 (e)インバータ点検 (f)改質器燃焼系点検 (g)電池スタック点検	1年ごと	
	(2)CO変成器触媒交換	2~3年ごと	
	(3)改質器触媒交換	5年ごと	
	(4)電池スタック交換	5年ごと	

化を達成し、その上で標準化、自動化を折り込み、コスト低減を図る。また、用途に応じた発電設備の仕様の選別も必要で、このため発電効率、排熱回収量等の仕様の評価を含めた総合的な経済性評価を行って、発電設備としての商品価値向上を目指す。

(2) 熱利用効率の向上

コーディネーションとして熱利用効率向上のための課題を以下に示す。

- 低S/Cプロセスの開発による高位排熱量の増加
 - 低S/C改質触媒の開発
- 高排熱回収プロセスの開発
 - 経済的で効率的な系内熱回収
- 機器・配管のコンパクト化による設備の放熱低減
- 低温水利用冷凍機の開発

(3) システムと運用の最適化

発電設備と排熱利用設備を最適に構成し、最適に運用することが必要である。具体的課題を以下に示す。

- 発電設備の出力と熱負荷の整合のとれた排熱利用システムの構成
 - 冷熱・温熱の有効利用
- 熱供給設備としての信頼性向上
 - 系統電源とバランスのとれた熱供給の信頼性
- 発電設備の熱負荷追従制御、電力負荷追従制御の組合せによる最適運用

5. むすび

当社のオンライン用燃料電池発電システムの開発は、(株)ホテルプラザ向け業務用、関西電力(株)六甲新エネルギー実験センター向けの運転研究における実績をもとに、事業化開発へと推移している。オンライン用燃料電池の早い実用化を目指し、今後一層の技術開発に取り組んでいく所存である。

最後に、このシステムの開発及び運転研究推進に当たって、御指導、御協力をいたさった工業技術院、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、大阪ガス(株)、関西電力(株)の関係各位に心から感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) 尾本敏孝、松本芳一、留井英明：日本電気協会第70回通常総会研究発表会論文、6~7 (1992)
- (2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)：平成2年度「燃料電池発電技術開発」研究成果、4~12
- (3) 土井 全：ヒートポンプ普及促進連絡会第2回近畿ブロック会議講演集、15~19 (1992)

分散配置用燃料電池発電システム

水本洋一* 福本和美*
田熊良行*
武田 淳*

1. まえがき

分散配置用燃料電池発電システムは、電源立地事情や地球環境問題に関連する省エネルギーの問題を背景に、事業用電源の一部を構成するものとして導入が期待されている。分散型電源の利点は、需要家近接による送配電コストの低減、コージェネレーションによるエネルギーの有効利用などである。これに燃料電池が期待されるのは、他の発電設備に比べて優れた環境性と高い発電効率をもっている点が挙げられる。導入分野として、最近の都市開発に伴う個別電力需要の大規模化に対応した都市エネルギーセンター用の熱併給電源、又は都市近郊の配電変電所に設置し熱を併せて利用する分散型電源などが想定されている。

国内における分散配置用燃料電池発電システムの開発は、昭和56年に発足したムーンライト計画の中で行われたのが最初で、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託により、当社と富士電機(株)が加圧型の1MW発電設備を製作し、関西電力(株)で実証運転が行われた⁽¹⁾。このプラントの経験を通じ、燃料電池実用化の技術見通しを得ることができたが、併せてこのクラスの加圧型の利害得失について多くの技術的知見が得られた。

分散配置用燃料電池発電システムは、想定される用途と燃料電池の特性から、適正な発電容量、基本仕様が定められる。スケールメリットの点で単機容量を大きくするのが望ましいが、プラントの設置条件・輸送条件のほか、運転操作性、保守性などを考慮する必要がある。要素技術に関しては、大面積電池スタックの開発、常圧大容量改質器の開発など、大容量化に伴う開発課題がある。

当社は、今後の分散配置用燃料電池の普及を想定し、発電システムの適用化検討と併せて、これらの要素技術の開発を進めている。

本稿では、分散配置用燃料電池発電システムの形態についての当社の考え方を示すとともに、標準ユニットとしての5MWプラントの仕様と特徴、及び排熱利用の概要を述べる。また、今後の課題と開発の計画について述べる。

2. 分散配置用燃料電池発電システムの形態

2.1 導入分野

分散配置用燃料電池発電システムは、次のような分野への導入が想定される。

(1) 都市エネルギーセンター用

都市開発に伴って新たに地域で発生する電力需要と熱需要に対し、コージェネレーション設備を集中的に配置するエネルギーセンターの構想があり、ここに燃料電池の適用が期待されている。燃料電池が期待されるのは、環境性、効率が良いことのほか、利用価値のある高品位の排熱が得られる点が挙げられる。開発の規模から、1地域の設備規模として、数MWから数十MWの範囲が想定される。

(2) 配電変電所用

電気事業用としてのリン酸型燃料電池の市場は、火力代替型よりも、需要家に近い配電変電所に設置する分散配置型が主になると予想される。その理由は次のとおりである。

- (a) 分散配置により、送変電コスト(設備費、維持費)及び送電ロスがなくなること。
 - (b) 近傍に熱需要が期待され、コージェネレーションが可能であること。
 - (c) 環境負荷が極めて低く、立地の制約がないこと。
- 配電変電所の1バンクの容量は、20~30MWである。

2.2 単機容量

分散配置用としての電源容量は1地域最大数十MWの規模であるが、リン酸型燃料電池の導入を想定する場合、次のような観点から、ユニット容量は5MW程度が適切と考えられる。

(1) 輸送制限

機器組立て又はパッケージ単位の輸送により、建設期間を短くできるのが燃料電池の特長である。スケールメリットの点で単機容量の大きい方が望ましいが、陸送の制限で最大容量が決められる。プラントの中で最も大型の改質器の陸送制限により、単機では5MW程度に抑える必要がある。

(2) 常圧型の適用範囲

次節に述べるように、5MW級の燃料電池は常圧型が適用できる範囲である。常圧型採用により、システムは簡素化され、信頼性向上と併せて運転操作性、保守性の向上が期待される。また、このクラスは市販の機器を適用できる範囲でもある。

(3) 容量の標準化

エネルギーセンター用、配電変電所用として、5MW程度を基本単位とすれば多くの需要が望め、標準化を行うことができる。必要に応じて、5MWユニットを複数台設置することにより、種々の設備規模に対応することができる。標準

化により、設備のコスト低減、信頼性向上を図ることができ

2.3 常圧型と加圧型の比較

常圧型と加圧型は、電池スタックの動作圧力の違いを示し、前者が大気圧付近の圧力(数 kPa {数百 mmAq})で動作するのに対し、後者は例えば 0.59 MPa {6 kgf/cm²} 程度の加圧下で動作する。加圧型は、電池スタックの特性向上による発電効率の向上を目的とするものであるが、このためにタービン圧縮機を必要としたり、電池スタックの差圧制御を必要と

するなど、システム構成上に基本的な相違を生ずる。加圧型か常圧型かの選択は、プラントの性能面・運用面・コスト面等で総合的な利害得失評価が必要である。

5 MW クラスの燃料電池について、常圧型と加圧型を比較検討したものを表 1 に示す。総合的には常圧型が有利であると判断されるが、評価の要点は次のとおりである。

(1) システム構成

加圧型では、タービン圧縮機を含む加圧空気系統、高圧容器及び関連する制御装置の追加が必要となり、発電効率向上

表 1. 5MW 級リン酸型燃料電池の常圧型と加圧型の比較

(a) システム構成

項目	加圧型	常圧型
(1)空気系	<ul style="list-style-type: none"> ● タービン圧縮機(TC)必要 ● 関連装置：補助バーナ、起動装置、中間冷却器 	<ul style="list-style-type: none"> ● 電動プロワ使用
(2)容器関係	<ul style="list-style-type: none"> ● 高圧容器必要 (改質器、電池筐体、熱交換器ほか) ● 改質ガス冷却器必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 基本的に常圧の容器 (電池筐体不要) ● 改質ガス冷却器不要
(3)制御システム	<ul style="list-style-type: none"> ● TC 制御、電池差圧制御が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高圧に比べ簡単
(4)レイアウト	<ul style="list-style-type: none"> ● 配管の占めるスペース小 	<ul style="list-style-type: none"> ● 配管サイズ大 ● ただし、TC 不要、電池筐体不要のため全体レイアウトは加圧型と同等

(b) プラント性能

項目	加圧型	常圧型
(1)発電効率 η_e	<ul style="list-style-type: none"> ● TC 効率70%で $\eta_e = 42\sim43\%$ (常圧に比べ4%程度高い) ● TC 効率60%では常圧と同等 	<ul style="list-style-type: none"> ● $\eta_e = 38\sim39\%$
(2)排熱回収		<ul style="list-style-type: none"> ●高位排熱回収率大 (高圧に比べ4%程度増加)
(3)起動時間	<ul style="list-style-type: none"> ● 5 時間以上 空気系昇圧、燃料電池ガス切替え等に要する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 3 時間以下
(4)負荷追従速度	<ul style="list-style-type: none"> ● 負荷追従速度が低い。 電池差圧制御、空気系の応答の制約 	<ul style="list-style-type: none"> ● 負荷追従速度100%/分が可能
(5)部分負荷特性	<ul style="list-style-type: none"> ● セル電圧上限値により負荷範囲が狭い。 ● 部分負荷効率が悪い。 部分負荷において TC 動力不足を補助バーナ燃焼で補う必要あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 20~100%の範囲で可能 ● 部分負荷効率が良い。
(6)環境性	<ul style="list-style-type: none"> ● 驚音 ● NO_x 	<ul style="list-style-type: none"> ● 55~60dB(A)程度(装置周辺) ● 負荷にかかわらず4 ppm程度

(c) 信頼性・保守性

項目	加圧型	常圧型
(1)信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ● 機器、部品が基本的に多い。 特に高速回転である TC の信頼性 ● 高圧運転に対する電池への影響 起動停止、負荷変化等の影響 ● 流量分配の均一化に工夫が必要 改質器、電池スタック流量分配 	<ul style="list-style-type: none"> ● 加圧型に比べ基本的に信頼性が高い。
(2)保守性	<ul style="list-style-type: none"> ● 機器、部品の増加に伴う保守作業増加 	<ul style="list-style-type: none"> ● 加圧型に比べ保守性は良い。
(3)N ₂ 消費	<ul style="list-style-type: none"> ● N₂消費量大 運転中も電池筐体パージ用 N₂必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● N₂消費量小 運転中は消費量0

による経済的有利性があまり出てこない。また、加圧による機器・配管サイズ縮小の効果があっても、追加の装置によってプラント全体のサイズにもメリットが出てこない。

(2) システムの性能と信頼性

加圧型の発電効率は、常圧型に比べて4%程度高い(効率の絶対値で)。これには、高効率で信頼性の高いタービン圧縮機が必要であるが、市販のものではなく開発を必要とする。一方、常圧型の高位排熱(170°Cスチーム)の回収量は、加圧型に対して4%程度高く、コーチェネレーションとしての利用価値はそん(遙)色がない。騒音等の環境性、設備の信頼性・保守性の点でも常圧型が有利である。

3. 5 MW 級常圧リン酸型燃料電池

5 MW 級常圧リン酸型燃料電池についてシステム設計を進めている。発電システムの仕様と特長は次のとおりである。

3.1 基本仕様とシステム構成

5 MW 級常圧リン酸型燃料電池の基本仕様を表2に、システムフローを図1に示す。発電効率は送電端 HHV で38%以上、高位排熱は常圧型の特長を生かして27%以上の回収量が得られる見通しである。システムは、実績のあるオンサイト用200 kWをベースにした簡素な構成であり、大容量ながらも200 kWと同等のシンプルな制御システムが適用される。スチーム/カーボン比の低減、空気極出口ガス冷却器の採用などにより、高位排熱回収量の増加を図っている。また、改質ガス冷却器の省略により、高位排熱の増加が得られるのも常圧型の特長である。170°Cの高位排熱は、水蒸気分離器か

ら直接取り出す方式である。起動時の昇温に使用する起動用ボイラは、市販のボイラの適用が可能で、システムの熱容量低減により、プラントの起動時間は3時間以内の見通しである。電動弁、ポンプ、プロワ等も市販品が適用される。

3.2 主要機器の特徴

主要な機器の特徴は次に示すとおりである。

表2. 5MW 級常圧リン酸型燃料電池の基本仕様

項目	仕 様
1. 型 式	水冷式常圧リン酸型燃料電池
2. 定格出力(送電端)	5MW
3. 発電出力範囲	20~100%
4. 出力電圧・力率	6.6kV, PF 0.85
5. 発電効率(送電端)	38%以上(HHV基準)
6. 運転方式	全自動 系統連系及び単独運転
7. 排熱回収	高位排熱: 170°C飽和水蒸気 回収率27%以上 低位排熱: 65°C温水
8. 燃 料	都市ガス13A 供給圧: 中圧B (0.1MPa±1.0kgf/cm ²)
9. 電池スタック	常圧, 205°C 1m ² 級 (1)動作圧力・温度 (2)セルサイズ (3)セル電圧, 電流密度 (4)スタック構成
10. 改質器	2.5 39kPa±0.4kgf/cm ² , 750°C
11. 起動時間	冷起動: 3時間以内
12. 環境性	NO _x : 10ppm以下 騒音: 55dB(A)以下(発電設備境界)

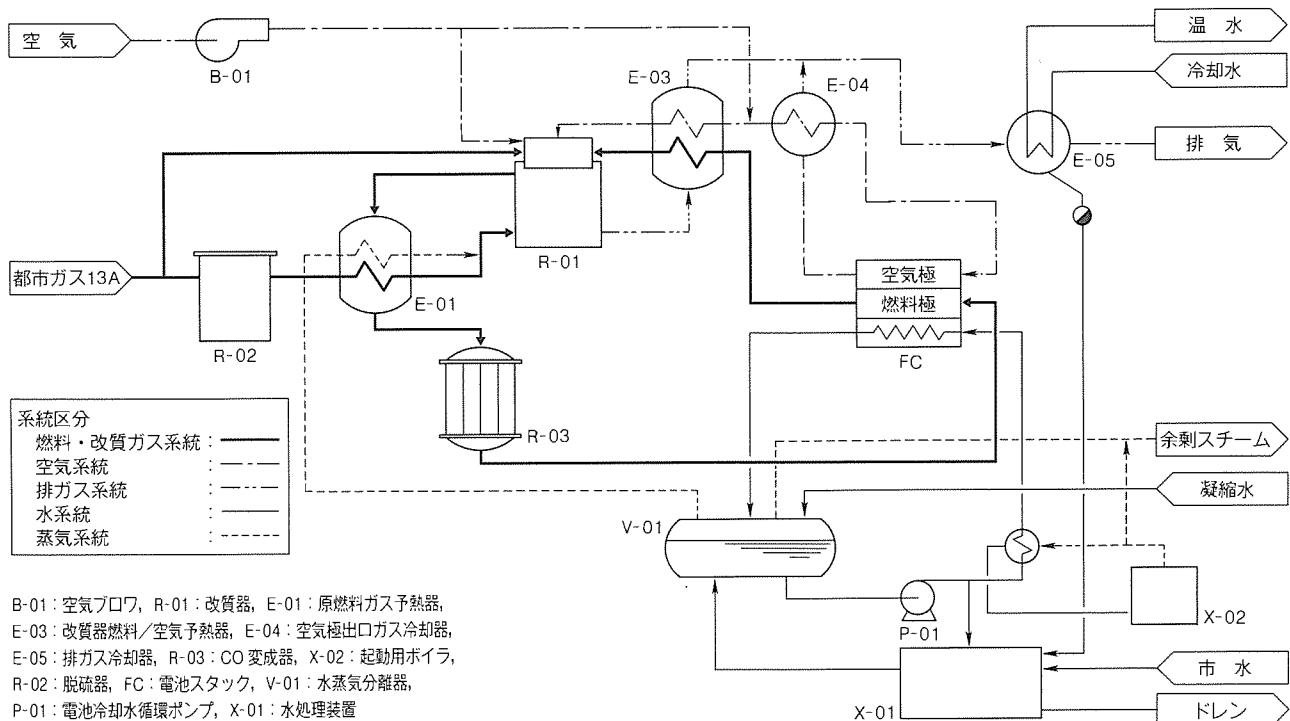


図1. 5MW 級常圧リン酸型燃料電池のシステムフロー

(1) 電池スタック

高電流密度化、大面積セルの開発により、高さ3m程度に納まる単基675kW級のスタックが可能で、8スタック構成の計画である。常圧動作であり、基本的なセル技術は、オンライン用の現行技術の延長で対処可能な範囲である。また、常圧型のためきょう（筐）体は不要で、電池スタック周りは簡素なレイアウトとなる。

(2) 改質器

反応管基本構造は、当社技術の内炎型構造をベースにした多管式を採用し、コンパクト化を図る計画である。輸送制限から直径が制限され、高さが大きくなるため、横倒し輸送、現地組立てを想定している。

(3) インバータ

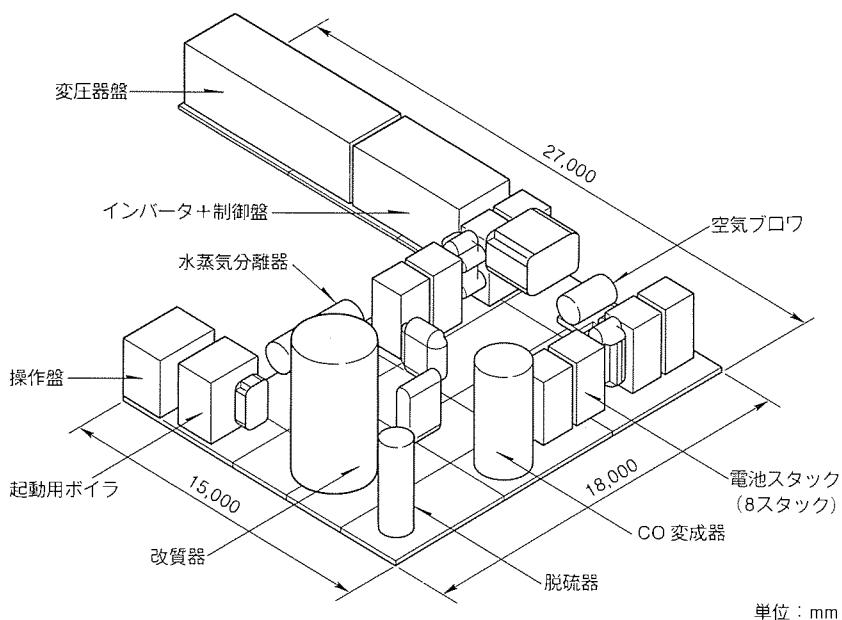


図2. 5MW プラントの配置計画

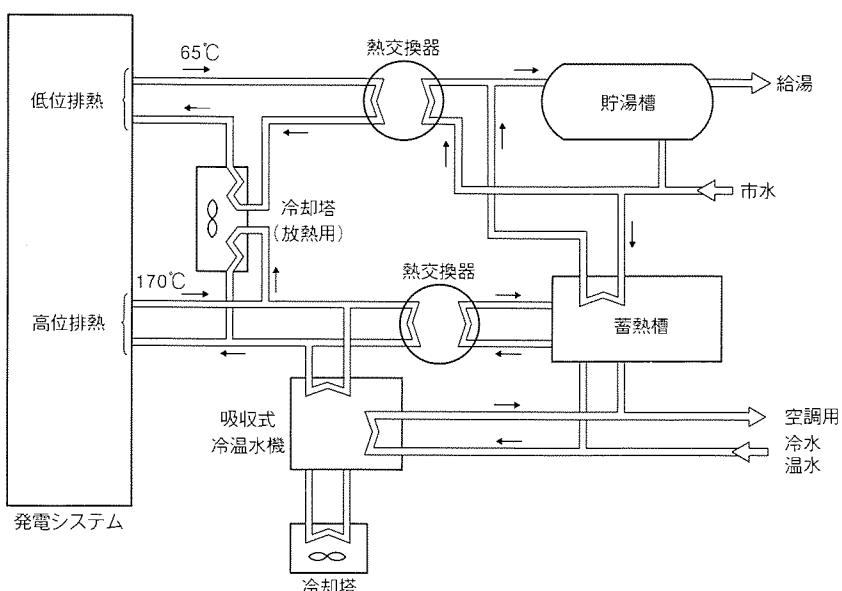


図3. 燃料電池の排熱利用システム

インバータ素子は、直流大電流に対応して大容量GTOによる三相3段直列多重方式を採用する。系統電圧変動への追従性を高めるため、制御方式には多パルス多重PWMを採用する計画である。

3.3 プラントレイアウト

図2に5MWプラントの配置計画を示す。プラント設置面積は、ネット $0.06\text{ m}^2/\text{kW}$ 以下とコンパクトになる見通しであり、これはスケールメリットの効果である。常圧型の特長を生かした簡素な機器配置が可能である。レイアウトの特長、考慮点は、次に示すとおりである。

(1) セミパッケージ方式とし、機器・配管はできるだけパッケージに納め、低床トレーラで陸送可能な寸法とした。

(2) 電池スタック、改質器、CO変成器などの大型機器は、单品輸送、現地据付けとした。

(3) 全体をコの字型に配し、機器へのアクセス性を高めるとともに、メンテナンス空間の有効利用を図った。サイズの大きい排ガス配管、空気配管は、最短ルートをねらう配置とした。

これは一つの例を示すもので、設置条件に応じて多くのバリエーションが考えられる。例えば、高さの制約がない場合、階層構成とし、さらに設置面積を減らすことも可能である。

4. 排熱利用

燃料電池の排熱は、主に電池スタックの発生熱を回収する高位排熱と、プラント排ガスの熱を回収する低位排熱の2系統が利用できる。発電と併せた総合効率は高く、コーチェネレーションとしての利用価値は高い。ここでは、5MW級リシン酸型燃料電池について、熱供給設備と組み合わせたシステムの特長と排熱回収の特性、及びボトミング発電と組み合わせたシステムの特長について述べる。

4.1 排熱利用システム

燃料電池コーチェネレーションの排熱利用システムの例を図3に示す。高位排熱は170°C蒸気として、発電設備の水蒸気分離器から直接外部に取り出される。高位排熱は、熱供給設備の二重効用吸収式冷温水機の熱源に利用され、そこから空調用の冷水、温水が供給される。低位排熱は、65°Cの温水として回収され、熱交換器を介して貯湯槽に供給される。熱需要の形態に応じて、蓄熱槽が組み合わ

される。熱負荷がないときにも、発電設備の運転のために排熱の処理は必要で、放熱用の冷却塔が設置される。エネルギーセンター用の場合、特に熱供給の信頼性が大切であり、発電設備とは切り離した熱供給設備の運転維持を考慮する必

要がある。このために、発電設備の停止時にもスチームの供給が受けられるように、発電設備の起動用ボイラから、システムをバックアップする回路が設けられる。

また、起動用ボイラが必要なのは、発電設備の起動時のみ

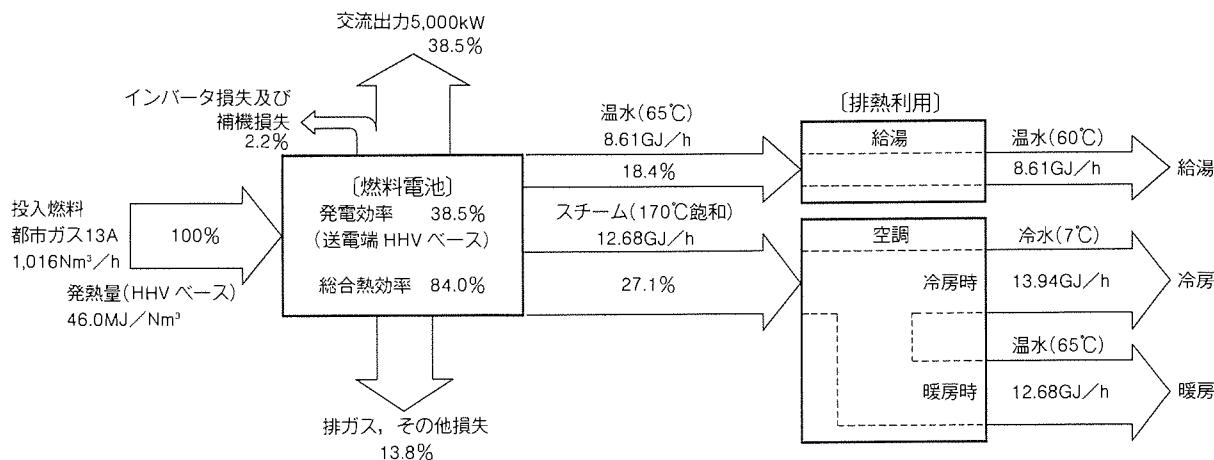
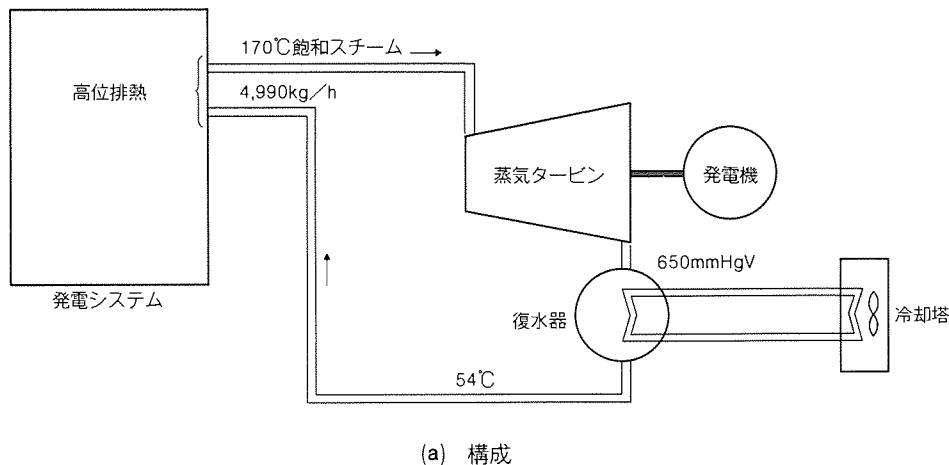


図4. 排熱利用熱収支



(a) 構成

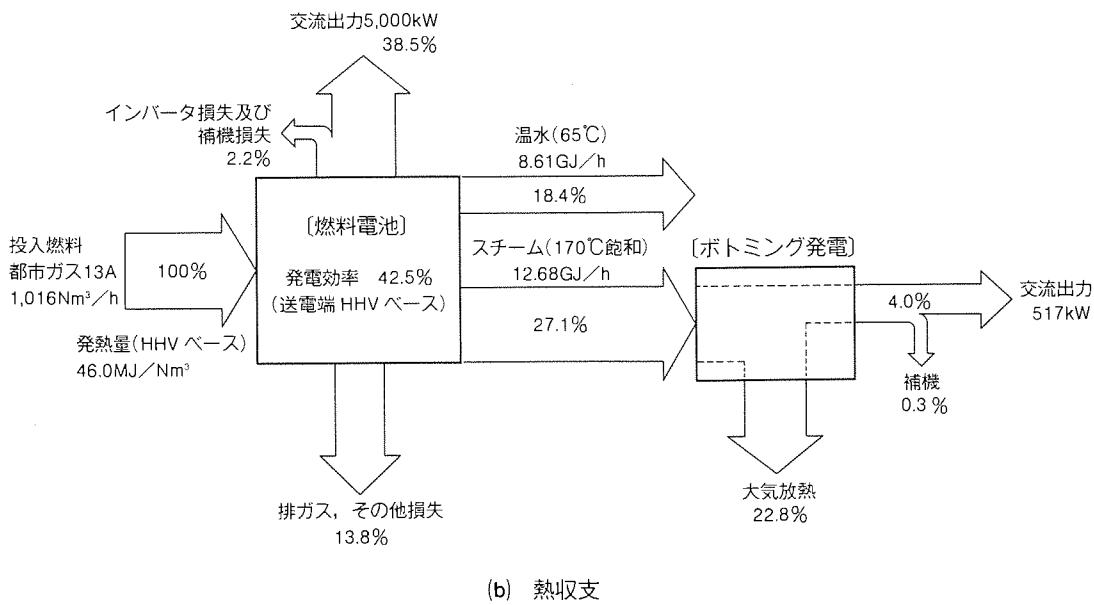


図5. ボトミング発電の構成と熱収支

であることから、起動用ボイラのスチームを當時熱供給設備の熱源に利用するか、又は熱供給設備のボイラからのスチームを発電設備の起動用に利用するなど、設備の有効利用を図ることも考えられる。

4.2 排熱回収特性

排熱利用を含めた燃料電池発電システムの熱收支を図4に示す。高位排熱回収率は約27%であり、空調用冷熱として約13.8GJ/h{3,300Mcal/h}(1,100冷凍トン(RT)相当)が得られる見通しである。この冷熱は、一般事務所の空調面積で、5万m²程度をカバーするのに相当する。発電と高位排熱を併せた回収効率は、65%以上である。温水の回収熱量は8.4GJ/h{2,000Mcal/h}程度、回収率で約18%である。温水は給湯、暖房が主な用途であるが、高位排熱に対して比較的利用先が限られる。排熱利用の計画では、燃料電池の特性と需要家の負荷パターンの整合を考慮し、最適に構成し最適に運用することが経済性において重要であり、今後の課題でもある。

4.3 ボトミング発電

熱を遠距離輸送することが経済的に困難であることから、コーディネレーションは、熱需要家が近くに存在することが前提となる。しかし、変電所設置燃料電池において、近くに熱需要がなく電力供給主体となる場合も考えられる。この場合、排熱スチームの動力回収によるボトミング発電を採用することが、システムの発電効率を高めるのに有効である。

5MWリン酸型燃料電池にボトミング発電を適用したときの構成と、システム全体の熱收支を図5に示す。蒸気タービンは復水タービン式で、蒸気タービン設備・復水器・給水ポンプ・冷却塔などから構成される。ボトミング発電で得られる交流出力は、補機動力を除いて517kWである。これはシステムの発電効率(送電端)を4%上昇させるのに相当する。したがってボトミング発電により、加圧型と同等の高い発電効率が得られることになる。このクラスの蒸気タービンには、コンパクトで信頼性の高い市販品の適用が可能である。蒸気タービンとして背圧式を採用することも考えられるが、排熱スチームの用途が想定されないことと、発電出力が小さいことから、この用途には復水式が適当である。

5. 今後の課題

常圧大容量の分散配置用燃料電池発電システムの製品化を

目指し、要素開発・システム開発を進めている。大容量化に関連する主な技術課題を述べる。

(1) 電池スタック技術

セル大面積化の技術開発を進め、スタックのコンパクト化、信頼性向上、寿命向上を図る。

- (a) 大面積セルとしての特性向上と寿命向上
- (b) 大面積セルの製造技術の確立、品質安定化
- (c) 大面積化積層材料、構造の開発

(2) 改質器技術

単機最大5MW級の常圧型改質器の開発を目指す。

- (a) 反応管の伝熱密度向上及びバーナ燃焼負荷向上によるコンパクト化
- (b) ガス流量分配及び加熱の均一化
- (c) コンパクト化構造に対する信頼性の向上

(3) システム技術

システムの簡素化と最適化により、コンパクト化、低コスト化を図る。分散型事業用として、特に電力・熱の供給信頼性を指向したシステムを目指す。運転操作性、保守性に関して、基本的にオンサイト用と同レベルの簡易さを目標とする。

6. むすび

分散配置用燃料電池に対する当社の取組を述べた。リン酸型燃料電池の開発に関しては、オンサイト用が既に実用レベルに達し、商用化開発を行う段階にあるが、一方で分散配置用燃料電池もその後を追う形で開発が進められている。分散配置用燃料電池は、5MW級を最大ユニットとして常圧型で構成するのが適当であると考えられる。したがって、基本的には常圧オンサイト用の技術の延長で対処できるものと考える。しかし、実用化を目指すには、システム技術の開発と併せて、電池スタック、改質器について、大容量化のための技術開発が必要である。

今後、これらの開発を進める中で、実証プラント製作の機会を得て、早期に実用化を図っていきたい。関係ユーザーの御指導と御支援をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 伊藤 登：燃料電池開発の現状と将来、火力原子力発電, 40, No.1, 4~14 (1989)

吉岡省二* 細川純一*
西村 隆* 漆畠広明**
藤田洋司* 村橋俊明**

溶融炭酸塩型燃料電池のセル技術

1. まえがき

溶融炭酸塩型燃料電池 (Molten Carbonate Fuel Cell : MFC) による将来の高効率発電システムの実現を目指して昭和56年からセル技術の開発を開始した。以後、電池スタックからプラントシステムまでのトータル発電システムの開発努力を懸命に続けてきており、現在は世界に先駆けて100kWスタックの試験を行なった。

セル特性に関しては電極のクリープ強度の改善、多孔質電極／マトリクスにおける電解質の挙動解析とその結果に基づく電解質マネジメントの最適化、及び反応解析をベースにした電極構造の最適化等を進め、将来の高電流密度運転への目処をつけつつある。一方、寿命・信頼性については当社は实用化の最大課題としてこれまで精力的に取り組み、電解質ロス、電解質移動、カソード溶出について単セル・スタックのデータを集積・解析し、ほぼその内容を把握、その対策を含めて実用化の見通しを得つつある。ここにコンポーネント(電極、マトリクス)技術、セル特性、セル寿命の現状をまとめるとともに将来への改良の展望を述べる。

2. 電極、マトリクスの要素技術開発

2.1 アノード

溶融炭酸塩型燃料電池のアノードには現在ニッケルがベースの多孔材料が用いられている。ニッケルの多孔体は650°Cにおける強度が小さいために、面圧によって厚みが縮むという問題があった。この問題を解決するために酸化物分散強化型合金の多孔体をニッケルとアルミの合金の内部酸化によって製造し、その強化を図っている。

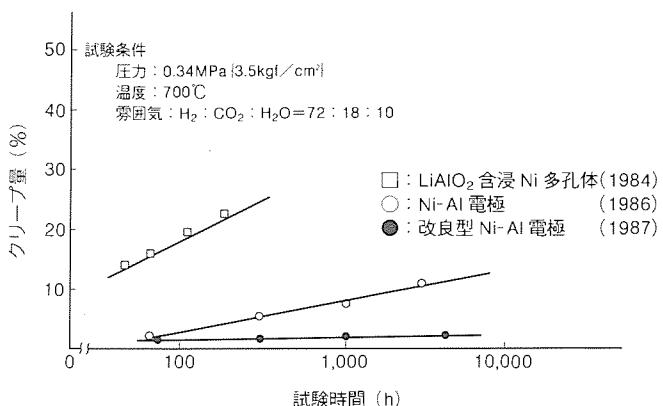


図1. アノードクリープ特性の改善

図1に700°Cのアノード雰囲気中(水素72%、炭酸ガス18%、水蒸気10%)において0.34 MPa [3.5 kgf/cm²]の圧力で長期間圧縮した場合の電極の縮みを示す。ニッケル多孔体にLiAlO₂を含浸させた場合、又は導入初期のNi-Al電極に比べて、製造プロセスを最適化した改良型Ni-Alアノードの収縮は1/10以下に抑えられている。1万時間までの試験の結果、電極の縮み量は試験時間の対数に比例することが分かった。この関係を外挿すると4万時間後アノードの縮みは5%以下と予想され、アノードの縮みの問題は解決されたと考えている。

2.2 カソード

溶融炭酸塩型燃料電池のカソードにはリチウム化酸化ニッケルの多孔体が用いられる。このカソードは運転開始前に未酸化の状態でスタックに組み込まれ、セル運転中にカソードガス中の酸素及び電解質中の炭酸リチウムと反応してリチウム化酸化ニッケルに変化する。

このカソードの問題点の一つは分極が大きいことである。カソード特性を向上させるために、未酸化ニッケル多孔体の表面積、ポロシティ等をパラメータとしてカソードの細孔構造を制御する方法を検討している。一例として、図2にニッケル多孔体のポロシティを変えた場合の細孔構造の変化を示す。ポロシティが小さくなると平均細孔径が狭くなる方向に構造が変化することが分かる。これらのカソードを用いた単セル試験の結果、ポロシティが75から80%の範囲ではセル特性の変化は小さいが、ポロシティ70%では75%に比較して10mV程度特性が低下することが分かった。これはニッケル多孔体の細孔径が小さくなり、ガス拡散性が悪くなつたためと考えている。現在、カソードの構造モデルとこれらの単セル試験の結果を組み合わせてカソードの構造を最適化す

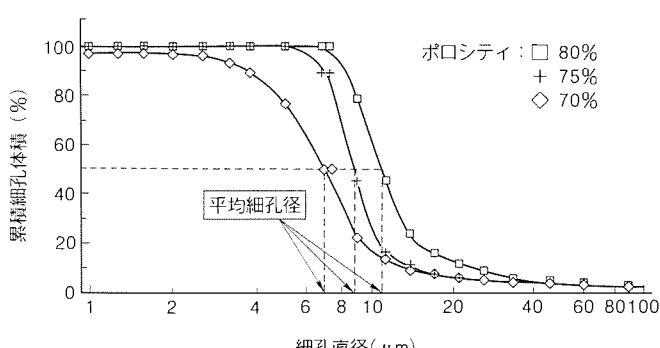


図2. ポロシティの違いが細孔構造に与える影響

る研究を進めている。

2.3 マトリクス

マトリクスは電解質保持粉末である γ -LiAlO₂粉末を有機溶媒及び成形助剤と混合してテープキャスティング法によってシート化したものである。この成形されたマトリクスは有機物を燃焼除去した後、生成した細孔に電解質である融溶炭酸塩が含浸されて、初めてイオン導電性・ガス隔壁性等の機能をもつようになる。現在当社では、ガス隔壁性と熱サイクルによるクラック発生機構の関係に注目しており、保持粉末と形状の異なる(大粒子・繊維等)セラミックスを添加材として加えることにより、機械的性質の改良を進めている。

この機械的強度の評価法の一つとして、成形助剤除去後マトリクスの曲げ試験を行っている。図3にその応力-ひずみ曲線を示す。添加材を加えないものは弾性変形の後、クラックが生じると同時に破断する。一方、添加材を含むものは弾性変形の後、クラックが生じてから完全に破断するまでしばらく変形することが分かる。完全破断までの変形量は、添加材を加えることにより、無添加の5~7倍にまで向上できることが明らかとなった。要素評価試験では、添加材を加えたマトリクスは50回の熱サイクルを行ってもガス隔壁性の劣化はなく良好な結果が得られた。現在は添加材の形状と添加量の最適化を図るとともに、実セルによる検証を進めている。

2.4 品質管理

MCFCは現在大容量化が進められ、セルの大面積化・高積層化が要求されている。当社では、1988年度から大面積コンポーネントの開発に着手し、1991年度には5,000cm²級

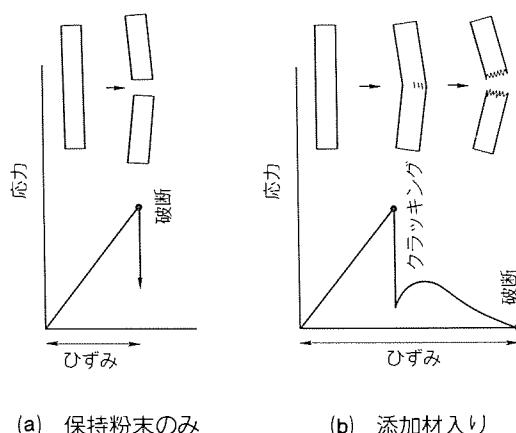


図3. マトリクスの曲げ試験による応力-ひずみ曲線

表1. 100kWスタックに使用したコンポーネントの品質

	アノード	カソード	マトリクス
平均厚み (μm)	管理基準 ±40 実測値 ±25	±40 ±23	±50 ±37
ポロシティ (%)	管理基準 ±2 実測値 ±1.8	±2 ±1.1	±3 ±2.4

注 サンプル数: 192 サイズ: 5,000cm²

平均厚み値は25点の平均

192セルスタック(100kW)のコンポーネント製作を終えている。

電極、マトリクス等のコンポーネントの膜厚精度とポロシティは電池特性を左右する重要な因子である。よって、良好なスタック特性を得るためにには、膜厚とポロシティが均一となる大面積コンポーネント量産技術と品質管理が不可欠である。

開発着手当初は品質に若干のばらつきがあったものの、シート成形法等の改善により、品質の安定性は大きく向上した。表1に100kWスタックに使用したコンポーネントの厚み及びポロシティの品質管理基準と実測値を示す。すべて管理基準を満たしており、大容量スタックにおいても均一なコンポーネントが供給可能となっている。現在、次の段階として1m²級コンポーネントの製作準備を進めている。

3. セル特性

3.1 常圧下のセル特性

MCFC単セルの特性は図4に示すように、水素利用率80%, 電流密度150mA/cm²の運転条件で780mVを達成している。また図5から分かるように单セル電圧はガス利用率によって変化し、その依存性は燃料ガスの場合1.7mV/%、酸化剤ガスの場合0.2mV/%である。利用率増加に従ってセル電圧が低下するのは、供給ガスが消費されることにより、濃度が変化するために起きた電圧ロスすなわちネルンストロスが増大するためであり、後に述べるように図6のネルンストロスの計算値と図5の利用率特性の傾向は一致してい

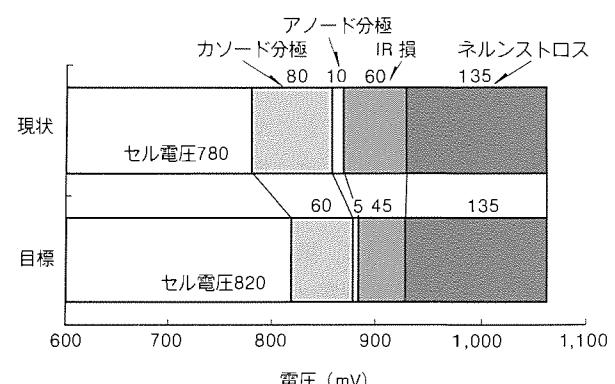


図4. 単セルの特性と分極の解析

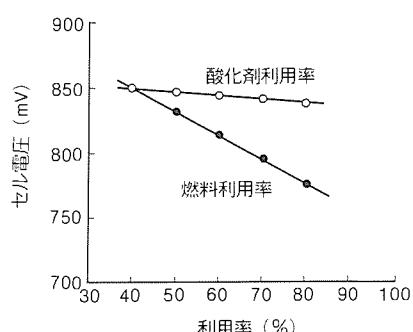
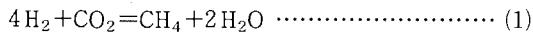


図5. 燃料ガス、酸化剤ガス利用率と単セル電圧

る。また、燃料側のネルンストロスは反応生成物が発生するために酸化剤側よりも大きくなる。

3.2 加圧下のセル特性

加圧による電池特性の増加(電圧ゲイン)を図7に示す。運転圧力の増加に伴ってセル電圧は高くなる。これは平衡電圧の増大とカソード分極の減少によるもので、このため加圧下では常圧よりも高効率で運転することが可能となる。しかし、高圧下では燃料ガス中で式(1)の反応の平衡が右方向に移動するため、メタン生成が起き水素濃度が低下し、セル電圧の増加が飽和する傾向を示す。



一方、例えばH₂O分圧を高めてメタン生成を抑える運転条件下では図7のように圧力ゲインは $\Delta V = 76.5 \log P$ に従う⁽¹⁾ことを確認している。

3.3 セル特性の分極解析

MCFC のセル特性を決定している電極の分極は図 4 に示すように、ネルンストロス、IR ロス、カソード分極、そしてアノード分極に分解することができる。

ネルンストロスは負荷電流によるガス濃度変化に起因する分極成分でセル面内を複数個に分解し、逐次計算によって求めることが可能である。これは、全分極の47%を占める。図6の理論計算値120 mVと図4の実測値135 mVとの差は約15 mVと小さく、ほとんど改善の余地はないと考えられる。

IR ロスは図 4 から分かるように全体の分極の 21 % (60 mV) を占めているが、これは電解質マトリクスのバルクの抵抗と部材間の接触抵抗によるロスに分離され、式(2)で表すことができる。

$$R = R_0 + \frac{L\tau}{\sigma SP} \dots \dots \dots \quad (2)$$

R_0 : 接触抵抗 L : マトリクス厚さ

τ : 屈曲率 σ : 電解液イオン導電率

S : 電極面積 P : マトリクスプロシティ

この式から分かるように、抵抗低減のためには部材間の接觸を良好にすることと電解質マトリクスのポロシティを上げる。

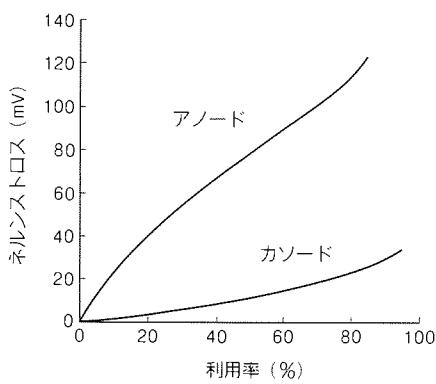


図6. 燃料ガス、酸化剤ガス利用率と
ネルンストロスの計算値

屈曲率を下げる、厚さを薄くすることが必要である。現在、高ポロシティ化の研究を進めており10%ポロシティを上げることにより、10~15 mVのIR低減は可能であると考えている。

カソード分極は全分極の約 28% (80 mV) を占めており、改善を最も要求される項目である。カソード分極を改善するには Selman⁽²⁾, Kunz⁽³⁾ らが解析しているようにアグロメレートモデルに基づいた電極構造・電解質フィルレベルの検討が必要である。これらをベースにして、現在、カソード電極表面積を増大させる検討を進めており、これによってカソード分極は更に 15~20 mV 程度低減できる可能性があると考えている。

アノード分極はカソードに比べて小さく、全分極の4%にすぎない。しかし、アノード反応は炭酸ガス、水蒸気の生成を伴うので細孔構造の最適化により、5mV程度の特性向上の可能性はあると考えている。

3.4 特性向上の見通しと高電流密度化の可能性

以上の検討により、将来的には燃料利用率80%における現状の特性780 mV を820 mV まで向上することが可能であると考えている。この特性(820 mV, 150 mA/cm²)が達成できれば電流密度を15%上昇させて、173 mA/cm²においてもムーンライト計画の目標である800 mV での運転が可能になる。さらに、次節で述べるカソード溶解の問題が解決すれば、0.7 MPa の加圧運転下でセル特性は約65 mV 上昇するため、電流密度を現状より73%増やした260 mA/cm² においても目標値である800 mV のセル特性を達成できると考えている。

4. セル寿命

4.1 寿命制限要因について

MCFC の目標とする 4 万時間の運転寿命達成のためには腐食、電解質ロス、カソード(酸化ニッケル)溶解による短絡発生等の材料面での問題を解決する必要がある。腐食は電解質ロスと深く関係している。すなわち、部材が運転条件下で酸化され、この酸化スケール層と溶融炭酸塩(Li_xKCO₃;

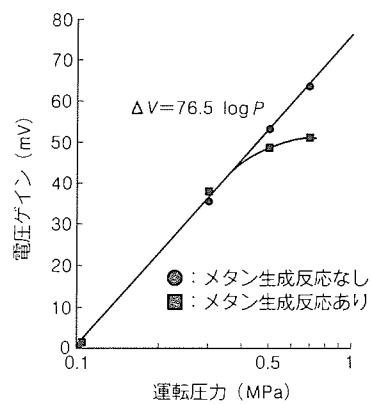
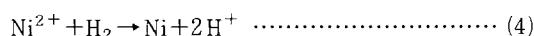
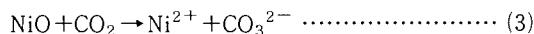


図7. 運転圧力と電圧ゲイン

62/38 mol%) が反応して電解質のロスが起きる。これが内部抵抗の上昇、クロスオーバーの発生の原因となる。

カソードの溶解機構は式(3)で示され溶融炭酸塩の酸性度の尺度となる CO_2 分圧が高いほど溶解度が増加する。溶解したニッケルイオンは式(4)により、マトリクス内で H_2 によって還元されニッケル金属として析出するため電解質中のニッケルイオン濃度は飽和溶解状態に至らず酸化ニッケルの溶解が継続して起きる。



4.2 寿命因子の解析

図8に0.5 mm マトリクスでの短絡発生時間と CO_2 分圧の関係を示した。この図から短絡発生時間は CO_2 分圧にはほぼ逆比例し、 CO_2 分圧が高いほどニッケル析出量が多く短時間で短絡が発生することが分かる。図9にマトリクスの厚さと CO_2 分圧を関数として短絡発生時間の関係を示した。ニッケル析出速度はマトリクス厚さに無関係であるので約1 mm マトリクスを使うと CO_2 分圧が0.01 MPa であれば目標値4万時間に近い3万時間以上の寿命が期待できることが分かる。

一方、腐食はステンレス材の高温酸化が避けられないため、空気側ガス雰囲気で問題となる。図10のように酸化スケールの生成による部材の厚さ減少速度は時間の1/2乗則に従い

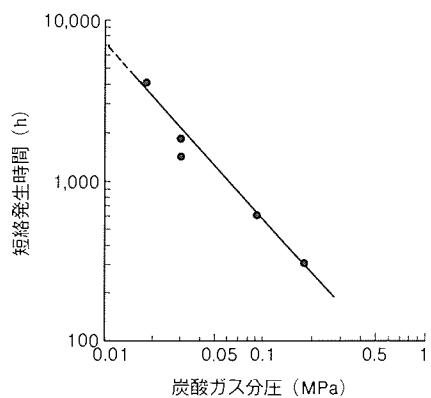


図8. 短絡発生時間の炭酸ガス分圧依存性

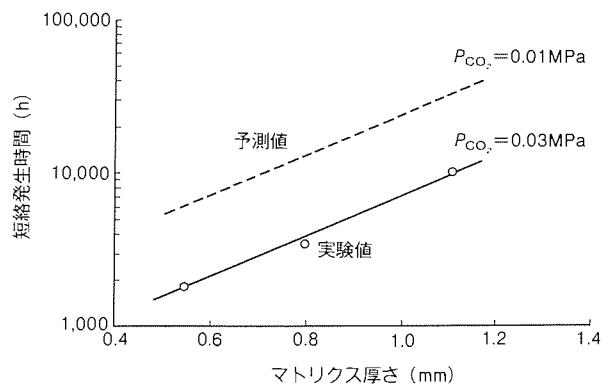


図9. 短絡発生寿命の予測

高温酸化の現象と一致する。生成した酸化スケールは溶融電解液と反応し電解質ロスの原因となる。図11に示すように、この電解質ロスは腐食層への Li_2CO_3 の取り込みが主な反応であり、そのロス速度は Li_2CO_3 が $0.38 \mu\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$ でやはり $1/2$ 乗則に従う。 K_2CO_3 ロスは $2 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ で時間に依存しない。図12にこのようなセル金属部材の電解質ロス速度から求めたセル内の全電解質量の減少過程を示した。セル内電解質量の下限値をマトリクスの電解質保持量が空体積の100%から低下し始め、クロスオーバーが発生する時点と仮定すると、電極とマトリクスの細孔径分布から全電解質量が初期値の約67%に減少した時点で寿命に達すると考えられる。図から分かるように、現状の金属部材を使った場合でも約2万時間以上の寿命は期待できることが分かる。また、ロス量を現状の半分に減少できれば4万時間の寿命も十分達成可能である。

4.3 長時間運転試験の実績

コンポーネント評価を目的としたセル寿命試験の結果を図13に示す。世界で初めて2万時間の運転を達成することができた。特性劣化率は約 $5 \text{ mV}/1,000 \text{ h}$ でこれは $0.6\% / 1,000 \text{ h}$ に相当し、国の大目標である1,000時間当たり1%以下の低下率を実現した。短絡発生時間に影響する酸化剤ガスの CO_2 分圧は、初期1万時間は0.03 MPa、後半1万時間は

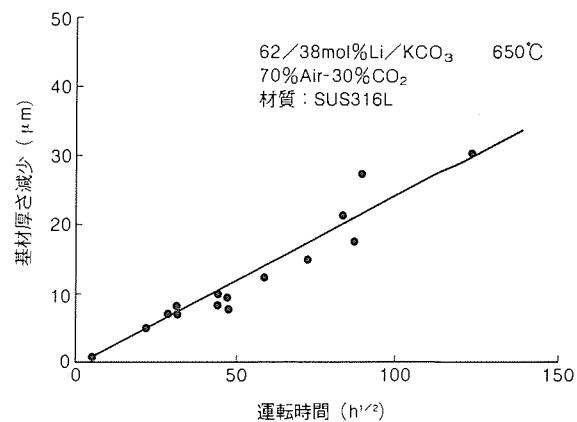


図10. 集電板の腐食速度

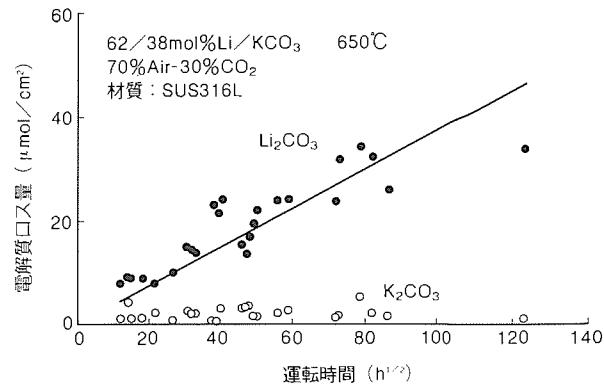


図11. 集電板の電解質口入速度

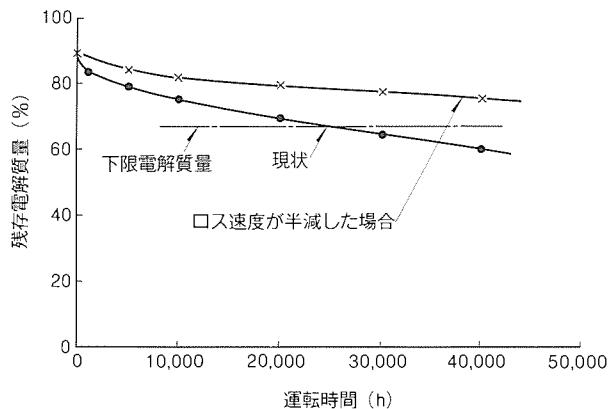


図12. 電解質ロスによる寿命予測

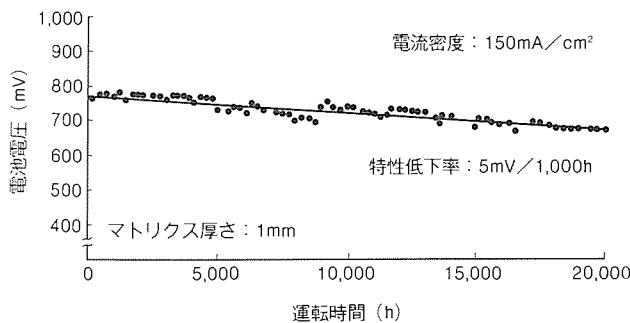


図13. 単セルの長寿命運転試験結果

0.01 MPa のシステム条件で運転した。したがって、全運転期間をこのシステム条件に換算すると 4 万時間の寿命が期待できる。

4.4 寿命向上の方策と見通し

上述のようにコンポーネント技術は 2 万時間の運転実績を達成し、今後特性劣化率を 0.5% 以下に下げるとともに 4 万時間の運転を目標に寿命因子の対策を実施する。

カソード溶解については、1 mm マトリクスでは 4 万時間の寿命達成の可能性があるが、内部抵抗低減のためマトリクス厚さは薄くする必要がある。そこで、NiO 溶解量を更に低減するため電解質系の改良と短絡発生を防止するマトリクス構造の開発が必要である。また、高 CO₂ 分圧下(加圧運転)ではカソード溶解量を 1/10 に減少させる必要があり、

NiO 代替材料の開発が重要である。腐食については、耐食性向上のためのアルミコーティング膜の品質向上と、電解質ロスを半減させるため集電板、流路板等の構造検討により、金属表面積を減少させることが重要な課題と考えられる。

5. むすび

溶融炭酸塩型燃料電池のコンポーネント、セル技術について開発状況と今後の課題を報告した。電極及びマトリクスの構造については、5,000 cm² 級のコンポーネントを安定に量産できるプロセスを確立した。性能面ではマトリクスの機械的強度は大粒径の粒子を添加することによって大きく改善されることが分かった。また、セル特性に影響するマトリクスのイオン伝導度を向上するためポロシティを高める研究を進めている。電極については、アノードはほぼ開発目標を達成し、カソードの細孔構造の改良による分極の低減を目標に開発を進めている。

現在、セル性能は燃料利用率 80 %、電流密度 150 mA/cm² で 780 mV を実現しているが、先に述べた電極、マトリクスの改良により、820 mV に特性を向上できると考えている。電池寿命については世界で初めて 2 万時間の連続負荷運転を達成した。今後、目標である 4 万時間の運転を実現するために腐食による電解質ロスを半減することと、高圧下の運転ではカソード溶解を抑えるため代替材料及び低炭酸ガス分圧下での運転方法の検討を進めている。

参考文献

- (1) 島津謙二、麦倉良啓、渡辺隆夫、伊崎慶之、阿部俊夫、漆畠広明、前田秀雄、佐藤一直、村橋俊明：電力中央研究所報告、W90004、(財)電力中央研究所 (1990)
- (2) Yuh, C. Y., Selman, J. R. : Polarization of the Molten Carbonate Fuel Cell Anode and Cathode, J. Electrochem. Soc., 131, No. 9, 2062~2069 (1984)
- (3) Kunz, H. R., Bregoli, L. J., Szymanski, S. T. : A Homogeneous / Agglomerate Model for Molten Carbonate Fuel Cell Cathode, J. Electrochem. Soc., 131, No. 12, 2815~2821 (1984)

溶融炭酸塩型燃料電池の 内部改質 STACK 技術

井出 弘* 宮崎政行*
松村光家* 言上佳秀*
岡田達典* 向井正啓**

1. まえがき

溶融炭酸塩型燃料電池の原燃料として天然ガスを考えた場合、このガスは改質器中で水蒸気改質反応によって水素を主成分とするガスに変換されて、電池に供給される。この化学反応は吸熱反応である。一方、電池反応は発熱反応である。この点に着目し、従来、電池とは独立していた改質器中の触媒反応を電池内部に組み込むことを試みた。これを内部改質方式と呼び、発電効率は50~60%が期待でき⁽¹⁾、プラントの簡素化が図れるなど優れた特長をもっている。

内部改質方式溶融炭酸塩型燃料電池（以下“内部改質電池”という。）には、改質触媒を電池セル近傍に直接設置する“直接内部方式”と、触媒をセルとは独立した改質器に充てん（填）する“間接内部方式”と考えられている。これらの開発において、直接内部方式では平成3年度に5kW級、間接内部方式では平成4年度に100kW級のSTACK技術レベルに達した。

2. 内部改質電池の構造と動作原理

図1に溶融炭酸塩型燃料電池を、原燃料に天然ガスを例にとって改質方式の違いによって分類し、動作原理を示した。外部改質方式では、原燃料を電池とは独立した改質器に通して水蒸気改質反応によって改質した後、電池に供給する。また、内部改質電池は電池STACK内部に設けられた改質部に、原燃料と水蒸気を供給し、電池反応の熱をその場で改質反応に利用するものである。外部改質方式に比べ、内部改質方式は以下のようないくつかの特長がある。

(1) 電池反応の発熱を改質反応に有効利用するため、発電効率が高くなる（外部改質方式が45%以上に対し、内部改質方式は50~60%が期待できる⁽¹⁾）。

(2) 電池と改質器の一体化により、プラントの簡素化が実現できる。

内部改質方式のうち、“直接内部方式”は通常の電池セル構成部のアノードガス室に触媒を設置して水蒸気改質反応と電極反応を同時に進行させるもので、さらに以下の特長をもっている。

(a) 改質反応で生成した水素が同時に電極反応で消費されるため、外部改質の800℃の温度に比べて650℃という低い温度でも十分な改質反応が行える。

(b) 電池反応で生成する水は、再び改質反応に利用できるため、水蒸気の供給量を減らすことができる。

これら多くの特長をもつ直接内部方式であるが、問題点として、電解質が飛散して触媒に付着することにより、触媒の活性が落ち、電池の寿命が短くなることが挙げられる。この対策として、触媒の改良、触媒充填構造の改良を行っているが、その一つの手法に“間接内部方式”がある。

間接内部方式は、触媒を充填した改質器を数枚の電池セルごとに挟み込み、電池反応の熱を有効に利用して改質反応を起こさせるものである。この方式では改質反応で生成する水素が直ちに電池反応で消費されないので、改質能力は直接方式に比べ多少落ち、水蒸気も直接方式より多く必要である。したがって、発電効率は直接方式に比べ落ちるが、触媒に電解質が付着する問題を解決でき、電池の長寿命化が期待できる。

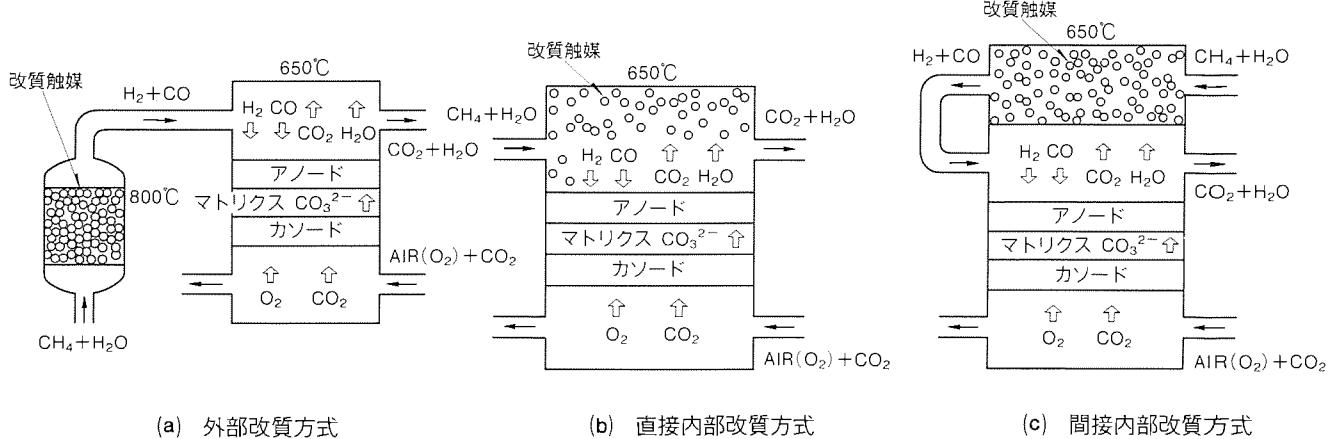


図1. 溶融炭酸塩型燃料電池の改質方式

3. 直接内部改質電池の開発状況

直接内部改質電池 (Direct Internal Reforming : DIR) の開発は、昭和57年に単セル電池の試作と運転によって開始した。昭和59年度からムーンライト計画第Ⅰ期に参画し、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託で内部改質触媒の開発を進めた。並行して、昭和59年度からは東京ガス(株)、大阪ガス(株)、東邦ガス(株)との共同研究として内部改質電池の開発を行い、昭和61年度には600W級スタック (DIR 10-1) を開発した。これらの成果は、昭和62年度からムーンライト計画第Ⅱ期に引き継がれ、NEDO 委託によって高性能化を目指して開発を進めている。

直接内部改質電池の構成を図2に示す。アノード電極の下にはアノードガスを流す流路を構成する波板があり、この波板の溝に細かな触媒を充填している。天然ガスと水蒸気はこの流路に流れ込み、改質反応によって水素リッチなガスとなってアノードに供給される。一方、カソードガスはカソード電極の上に積層された波板で構成される流路に流れ込み、アノードガスとカソードガスは電極を挟んで直交するように流れている。アノードとカソードの流路、電極及び電解質層 (マトリクス) を合わせたものがセルとしての1構成単位である。

表1に今まで運転した直接内部改質電池スタックの主な仕様と、試験結果の一部を示す。DIR 10-1 スタックの開発以来、以下の課題を重点的に研究開発を行ってきた。

- (1) セルコンポーネント (構成要素) の高性能化、大面積化
- (2) 触媒充填構造とガスの均一分配
- (3) 改質反応の進行制御による温度分布の均一化
- (4) 改質触媒の長寿命化

(1)(2)(3)は、大面積化、高積層化を目指した大容量直接内部改質スタックの開発に不可欠な課題である。これらについて、表1に示すように複数のスタック試験で検証・検討を行ってきた。その結果、良好な5,000cm²級セルコンポーネントの開発、及び均一なガス分配・温度分布の得られるスタック構造の開発を達成してきた。具体的にはDIR 50-2スタックでは、燃料ガスを同一セル内でリターンさせる流し方、燃料ガスの入口部分での改質反応の制御を採用し、高い燃料ガス利用率 (80%) での連続発電試験が可能になった。

平均的なスタック特性についても、コンポーネントの高性能化、ガス分配及び温度分布の均一化によって改善を行ってきた。昭和61年度 DIR 10-1 スタックでは、燃料利用率60%で平均セル電圧715mVであったが、平成3年度のDIR 50-2スタックでは、燃料利用率60%で平均セル電圧808mVを達成した。この電池特性は、現時点での当社の小型単セルの標準特性にほぼ等しいものである。

改質触媒の長寿命化については、改質触媒の劣化機構の解明、長寿命化対策の評価を、単セル試験を中心に行ってきた。DIR 50-2 スタックでは改質触媒の寿命評価も試験項目の一

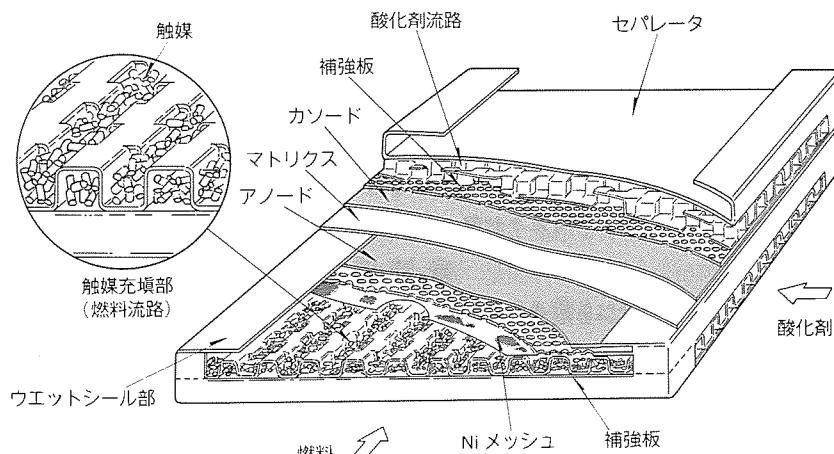


図2. 直接内部改質電池の構成

表1. 直接内部改質電池スタックの運転評価実績

項目	コードネーム	DIR10-1	DIR20-1	DIR 3-1	DIR50-1	DIR10-2	DIR50-2
主目的	スタックの基本性能の検証	大面積化へのステップ	高密度触媒充填	大面積化長時間運転	高積層化による熱制御	長時間運転と熱制御の総合検討	
構成	定格容量(kW) 電極面積(cm ²) セル数(枚)	0.6 961 5	1.2 2,000 5	0.09 252 3	3.0 5,016 5	5.0 899 50	5.0 5,016 10
条件	燃料ガス 燃料利用率(%) スチーム・カーボン比(S/C)	高純度メタン 40 2.0	高純度メタン 60 2.5	高純度メタン 60 2.5	高純度メタン 60 2.0	Pureメタン 40 2.0	Pureメタン 80 2.5
データ	運転時間(h) 運転期間 平均セル電圧(mV)	5,018 '86/12~'87/7 808	900 '88/12~'89/1 740	3,500 '89/4~'89/11 720	5,070 '90/1~'90/11 799	4,000 '91/1~'91/9 766	3,000以上 '92/1~ 778
備考	東京ガス、大阪ガス 東邦ガス共同研究所	NEDO委託	NEDO委託	NEDO委託	NEDO委託	NEDO委託	

表2. 間接内部改質電池スタックの運転評価実績

項目	コードネーム	IIR50-1	IIR50-2	IIR50-3	IIR50-4
主目的	スタックの基本動作特性	スタック内の熱制御(ガス流れ方式)	スタック内の熱制御(触媒充填要領)	スタック内の熱制御高積層化	
構成	定格容量(kW級) 電極面積(cm ²) セル数(枚) 改質器(個)	3.6 5,016 6 1	10 5,016 20 3	30 4,864 62 10	100 4,864 192 32
条件	燃料ガス 燃料利用率(%) スチーム・カーボン比(S/C)	高純度メタン 60 3~5	高純度メタン 60 3~5	燃料メタン(都市ガス) 60 3~5	燃料メタン(都市ガス) 60 3~5
データ	運転時間(h) 運転期間 最大出力(kW) 平均セル電圧(mV) セル面内温度差(℃) 経時特性(%/1,000h)	2,185 '89/3~'89/7 3.6 790 120 3.3	2,052 '90/3~'90/7 11 750 93 0.7	2,131 '91/3~'91/9 35 750 80 1.4	'92/5~
備考	関西電力(株)共同研究	関西電力(株)共同研究	関西電力(株)共同研究	関西電力(株)共同研究	

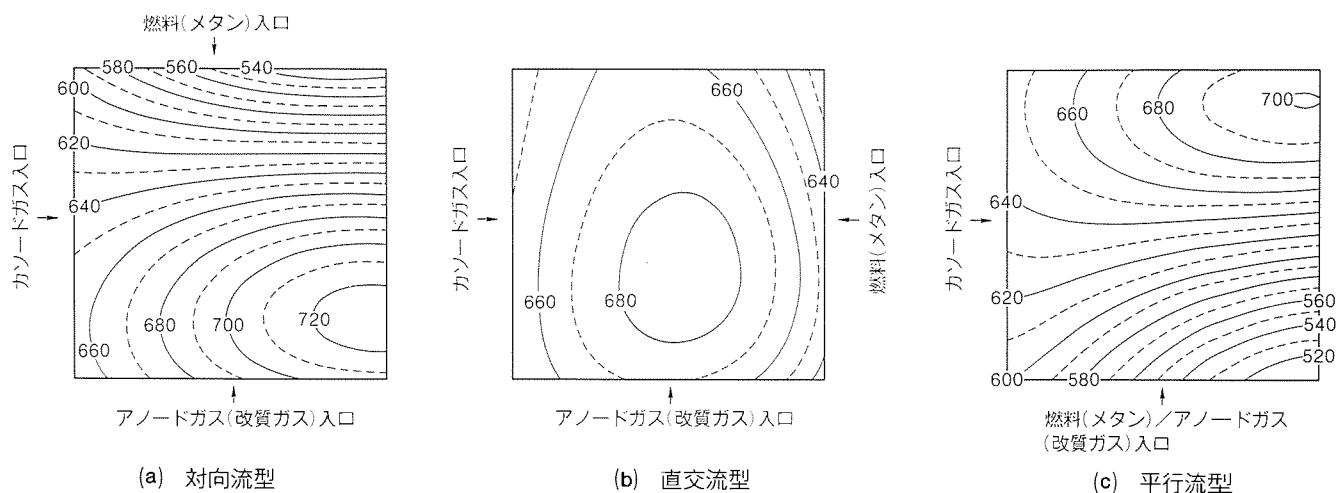


図3. ガスの流れ方式と面内温度分布計算値 (単位: °C)

つとしている。

以上、紹介した一連のスタック試験の総括として、NEDO委託研究のなかで、平成4年度に30kW級スタックの設計・製作、平成5年度にその運転評価を予定している。

4. 間接内部改質電池の開発状況

間接内部改質電池(Indirect Internal Reforming: IIR)の開発は、関西電力(株)との共同研究で進めており、昭和63年度から4年計画で100kW級スタックの開発を目指している。表2に今まで運転した間接内部改質電池スタックの主な仕様と試験結果の一部を示した。間接内部改質電池は前述のように、電解質の被毒を受けない構造を探っているが、電池反応の熱を有効に利用する観点から、触媒を改質器内に最適分布させる課題がある。IIRスタックの第1号は5,016cm²-6セルと一つの改質器を組み合わせた3kW級スタック(IIR50-1)であった。その特性は改質機能を十分に把握できるものであったが、触媒反応の分布が偏ったため、セル面内の最大温度差が120°C以上になった。スタック運転制御からはセ

表3. 流れ方式の解析条件と結果

解析条件	6セルと上下の改質器2台を対象 スチーム・カーボン比=4.0 電流密度=150mA/cm ² 燃料利用率=60% 酸化剤利用率=20% カソードガスと改質器で冷却
流れ方式	(1)対向流型 (2)直交流型 (3)平行流型
中央セル面内平均温度(℃)	646
中央セル面内最大温度差(℃)	186

ルの温度が650°C付近に均一になっていることが望ましいが、セル面内の温度差が大きいとセル面内最高温度が700°Cを超えてしまい、電池の寿命を著しく短くしてしまう。これを改善するために、以後のスタックでは計算機によるガスの流れの解析と触媒の最適充填構造の検討を行った。

解析はスタックをモデル化し、数セルとその上下の改質器を一つのブロックと考えて小さなメッシュに分割し、各メッシュ間の熱抵抗を等価電気抵抗に置き換え、ガスの流れと反

応に伴う物質収支、熱収支を三次元的に解いた。

まず、ガスの流れ方向の最適化を図った⁽³⁾。図3にメタンガスと改質後のガス(アノード)の流れ方向の関係によって三つのタイプに分けて、各ガスの入口を矢印で示した(ただし、アノードガスとカソードガスはどれも直交する)。また、ブロックの中央セルの面内温度分布も等温線で示した。これらの解析条件と中央セルの面内温度の計算結果を表3にまとめた。解析条件によって平均温度は変化するが、セル面内の最大温度差が相対的に一番小さくなるものは、メタンガスとアノードガスが直交するものであること(直交流型)が判明した。この結果を反映させたものが平成元年度の10kW級スタック(IIR 50-2)である。このスタック構成の一部を図4に示した。メタンガスは改質器に流れ込み、直角に方向転換し、カソードガスと対向するように反応が進む。改質されたガスは再び直角に方向を変え、改質器を出た後、アノードガス(改質ガス)としてセルに分布される。このアノードガスと改質器内のメタンガスの流れ方向は直交している。運

転の結果、スタックの面内最大温度差は93°Cに低減され、2,052時間にわたる発電試験終了時の特性低下率も5mV/1,000h(0.7%/1,000h)と安定していた。

次のスタックに向けての解析は触媒充填領域について行った⁽⁴⁾。触媒充填領域を変えた二つのタイプを模式的に図5に示した。解析の結果、触媒を改質器の中央付近に集中させると、より温度差が小さくなることが予想された。実機の改質器には、触媒の濃度分布や熱伝導を考慮して、触媒に加えアルミニナ球を混合充填し、4,864cm²-62セルの30kW球スタック(IIR 50-3)を試作・運転した。この結果、セル面内最大温度差は80°Cまで改善できた。このスタックは最大35kWの出力を達成しており、2,131時間の安定な運転を実証した。

平成3年度から100kW級スタックの設計・製作を開始し、平成4年3月に組立てが完了した。スタック運転用周辺装置の製造・調整も同時に進め、平成4年6月に発電を開始した。100kW級スタックは、30kW級スタックの仕様を改良した

25kW級モジュール4基で構成されている。図6にその外観を示した。手前が100kWスタック(50kW級×2基)である。7月初めに溶融炭酸塩型燃料電池としては世界で初めて出力100kW(最大出力109kW)を達成した。

5. むすび

内部改質電池の開発において、改質触媒の寿命の点からは間接方式が有利であるが、発電効率は直接方式の方が高い。今後は、両者の特長を共に生かした構造を開発していく必要がある。また、ムーンライト計画第Ⅱ期の前期では、発電特性(燃料利用率80%で平均セル電圧800mV以上)、運転時間(5,000時間)、特性低下率(1%/1,000h以下)の目標が設定されている。それぞれの目標に対して、直接方式、間接方式ともに到達しているが、実用化プラントに向け更に高い目標達成が必要である。

内部改質電池は、常圧動作でも比較的高い発電効率が得られることから、開発ステップとして、まず常圧動作200kW程度のパイロットプラントを運転し、プラント機能と45%以上の発電効率を実証する。また、これと並行して、発電効率が高くなる高圧動作内部改質電池スタックを実証し、高

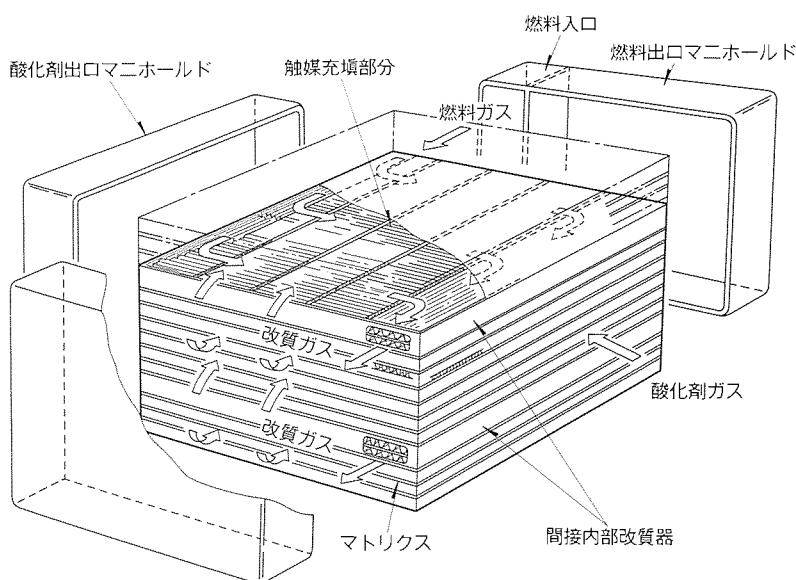


図4. 間接内部改質方式スタック構造

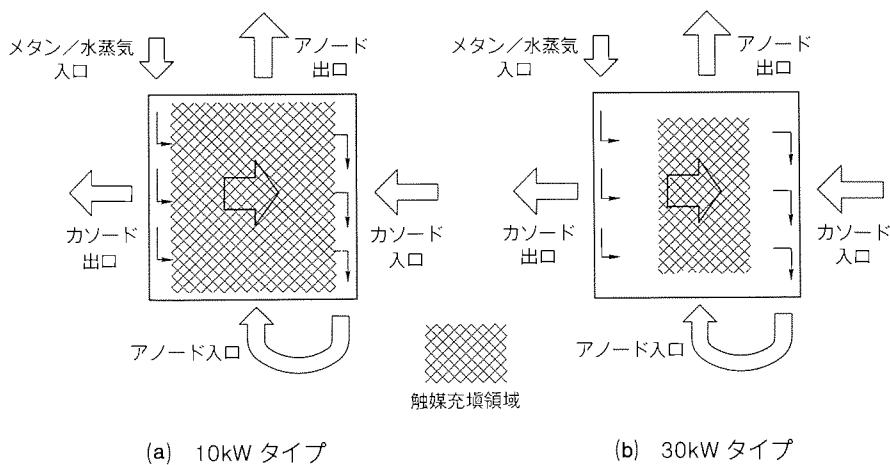


図5. 触媒充填領域の違い

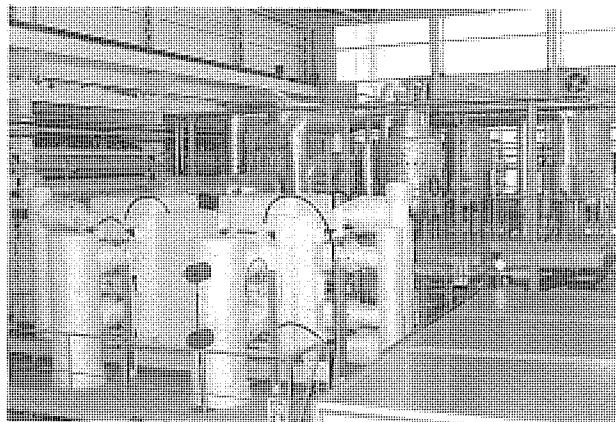


図 6 . 100kW 級スタッツ運転装置外観

圧下で起こる電極の寿命特性等を向上させる。高圧プラントの実証には、システム構成機器の変換効率がある程度以上になる規模、例えばMW級以上が必要であり、時期的には常圧動作の200kW級パイロットプラントの実証試験結果と、高圧動作スタッツの開発結果を用いて、MW級高圧動作内部改質電池発電プラントを計画する。

また将来は、常圧動作で数MW級の産業用及び分散配置電力事業用として、また高圧動作で数10MW級分散配置及び火力代替用の高効率発電プラントの実用化を目指して研究を進めている。

なお、この研究において、直接内部改質電池の開発は通商産業省工業技術院ムーンライト計画の一環として新エネルギー・産業技術総合開発機構から委託を受けて実施、間接内部改質電池の開発は、関西電力(株)との共同研究として実施しているもので、ここに謝意を表す。

参考文献

- (1) Tanaka, T., Matsumura, M., Nishiyama, E., Hirata, I. : Molten Carbonate Fuel Cell Development and System Analysis, Proc. of IECEC, 21, 1100~1105 (1986)
- (2) Tanaka, T., Matsumura, M., Gonjo, Y., Miyazaki, M., Sasaki, A., Sato, K., Urushibata, H., Murahashi, T. : Development of Internal Reforming Molten Carbonate Fuel Cell Stack, Proc. of IECEC, 26, No. 3, 583 ~ 588 (1991)
- (3) Okada, T., Ide, H., Miyazaki, M., Tanaka, T. : Study of Temperature Control in Indirect Internal Reforming MCFC Stack, Proc. of IECEC, 25, No. 3, 207 ~ 212 (1990)
- (4) 井出 弘, 岡田達典, 宮崎政行, 大槻実治: 内部改質溶融炭酸塩型燃料電池の温度分布, 第29回伝熱シンポジウム講演論文集, E 163, 250~251 (1992)

内部改質溶融炭酸塩型燃料電池の システム化技術

佐々木 明* 篠木俊雄*
松本秀一*
藤塚正史*

1. まえがき

溶融炭酸塩型燃料電池(MCFC)は、国内だけでなく、最も研究開発が先行する米国においても、発電システムとしての運転実証を目指す計画が進行中である。すなわち、MCFCは電池スタックでの機能実証から、トータルシステムとしての研究開発へ大きく前進しようとしている。既に実用化段階を迎えるあるリン酸型燃料電池(PAFC)発電システムと比較した場合、MCFC発電システムは以下に示す技術的特長をもつ。

- (1) 燃料の改質(水素製造)方式が、PAFCと同じ構成の外部改質方式と、電池スタック内部に改質機能を組み込んだ内部改質方式に大別される。
- (2) 電池スタック周囲にガスリサイクル系統を必要とする。すなわち、電池スタック冷却のためのカソードガスリサイクルとアノード出口の炭酸ガスをカソード入口へ供給する炭酸ガスリサイクルである。

当社は、内部改質方式を採用したMCFC発電システムこそ、MCFCの高効率性を最大限に発揮できると考えている。この論文では、まず、計算機シミュレーションにより、内部改質MCFCシステムの特性を、外部改質MCFCシステムと比較する⁽¹⁾。次に、MCFCのガスリサイクル系設計上の最も重要な課題となる、電池スタックの温度制御性能と炭酸ガスの回収性能について、要素試験データの解析結果をもとに説明する。

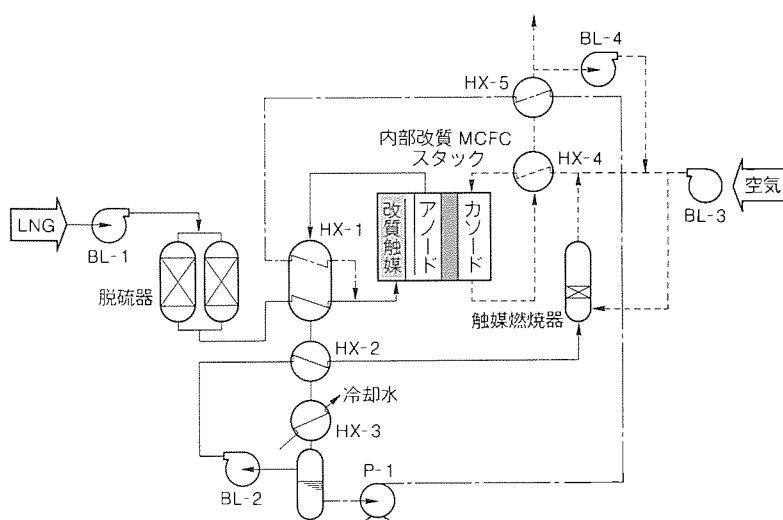


図1. 内部改質 MCFC システム構成

2. システム構築技術

内部改質 MCFC システムが最も発電効率の高い発電システムを実現できる理由を、外部改質 MCFC システムと検討条件を共通にした計算機シミュレーション結果で説明する。

2.1 システム構成と計算条件

MCFC システム構成に影響を与える因子は、改質方式(外部／内部)、動作圧力(常圧／高圧)、炭酸ガス回収方式(燃焼／分離)である。内部改質 MCFC システムの典型的な構成例を図1に示す。図のシステムは常圧動作である。システム構成機器は、内部改質 MCFC スタック、触媒燃焼器、脱硫器、熱交換器、ブロワ及びポンプである。

原料として想定した天然ガス組成を表1に示す。また、シミュレーションで使用した電池特性を表2に示す。これらの条件は、MCFC 研究組合がシステム仕様書で提示しているものである。

以上の条件で、外部改質 MCFC システム、間接内部改質 MCFC システム及び直接内部改質 MCFC システムの3構成について、システム特性を求めた。各改質方式におけるシミ

表1. 天然ガスの条件

種類	LNG 気化ガス
組成	CH ₄ 89.38 Vol.%
	C ₂ H ₆ 5.92
	C ₃ H ₈ 3.21
	C ₄ H ₁₀ 1.39
	C ₅ H ₁₂ 0.07
	N ₂ 0.03
総発熱量	44,744 kJ/Nm ³ {10,689 kcal/Nm ³ }

表2. 電池の基準条件と基準特性

基準条件	運転温度	650°C
	運転圧力	101kPa
	燃料組成	H ₂ 72.0 Vol.%
		CO ₂ 18.0
		H ₂ O 10.0
	酸化剤組成	O ₂ 14.7 Vol.%
基準特性		CO ₂ 30.0
		N ₂ 55.3
	燃料利用率	80%
	酸素利用率	30%
基準特性	電池電圧	0.8V
	電流密度	150mA/cm ²

ュレーション時の設定条件を表3にまとめた。システム構成による特性の差異を評価する目的のため、改質方式に関するスチームカーボン比及び動作温度以外は、できる限り共通条件を採用した。また、システムレイアウトを決定しないフローシート段階での特性比較のため、改質方式にかかわらず補機損失は3%と仮定し、放熱は無視した。

2.2 システム特性

2.2.1 アノードガス利用率依存性

常圧動作のMCFC発電システムにおける送電端効率のアノードガス利用率依存性を図2に示す。ここで、アノードガス利用率(U_H)及び送電端効率(η_P)の定義式を以下に示す。

$$U_H = \frac{\text{電池アノードで消費される } H_2 + CO \text{ 量}}{\text{電池アノードに供給される } H_2 + CO \text{ 量}} \quad \dots (1)$$

$$\eta_P = \frac{\text{送電量(発電量 - 補機損)の熱量換算値}}{\text{供給した原料の総発熱量(HHV)}} \dots (2)$$

図2において、実線は内部改質(直接方式)を示し、破線は外部改質を示す。内部改質MCFCシステムのアノードガス利用率依存性は単調増加である。つまり、アノードガス(燃料)を使いきる努力がそのまま発電効率の上昇につながる。一方、外部改質MCFCシステムのアノードガス利用率依存性は上に凸の最大値をもつ曲線である。必ずしもアノードガス(燃料)を使いきることが効率上昇につながらない。

この差異が、内部改質と外部改質に関するシステム特性の本質を端的に表現している。外部改質システムでは、天然ガ

表3. システム特性計算時の設定条件

	外部改質	間接内部改質	直接内部改質
スチーム天然ガス比	3.0	3.5	2.5
スチームカーボン比	2.57	3.00	2.14
改質反応温度	800°C	650°C	650°C
バーナ空気過剰率		1.2	
スタック動作圧力		101kPa	
定格電流密度		150mA/cm ²	
スタック入口温度		600°C	
スタック出口温度		650°C	
インバータ効率		96%	
補機損失		送電量の3%	
放熱損失		無視	

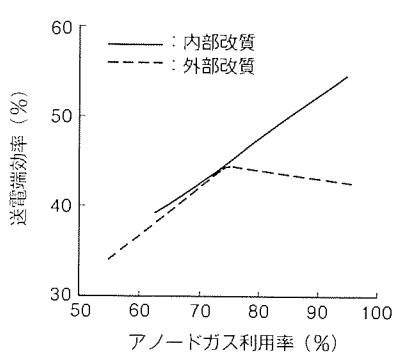


図2. 送電端効率のアノードガス利用率依存性

スを確実に水素へ変換する目的で、外部改質器を800°Cで動作させる。一方、電池スタックは650°Cで動作するため、2個の動作温度の異なる反応器について、個別にエネルギー収支をとる必要がある。したがって、電池スタックで燃料を使い過ぎると、外部改質器で必要な燃料が不足する。結果としてシステムに投入する燃料が増加するため、発電効率が低下する。一方、内部改質システムでは650°Cで動作する電池スタック内で、単独のエネルギー収支を考慮すればよい。燃料を有効に使いきることが、単純に発電効率を上昇させる。つまり、アノードガス利用率を高く設定すればするほど、内部改質システムは、外部改質システムより高効率となる。

2.2.2 カソードガスリサイクル流量

MCFCスタックを連続動作させるためには、直流電力に変換できなかったエネルギーを電池スタックから除去する必要がある。通常、カソードガスリサイクルによるガス冷却を採用する。カソードガスリサイクル流量のアノードガス利用率依存性を、内部改質と外部改質について図3に示す。内部改質MCFCスタックの場合、改質反応による吸熱作用のため、ガス冷却負荷が小さい。図から明らかのように、内部改質システムで必要なカソードガスリサイクル流量は、外部改質システムの40%程度である。これはプロワ運動の15~30%低減を意味し、この結果、発電効率が1~2%上昇すると推定される。

2.2.3 改質方式とシステム特性

表4に改質方式によるシステム特性のシミュレーション結果を示す。外部改質システムのアノードガス利用率は、効率

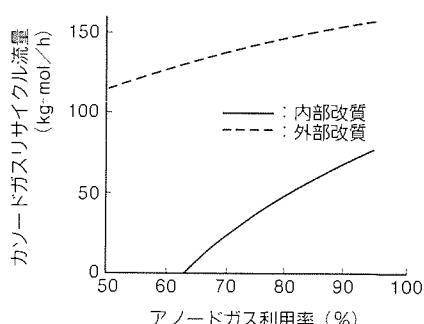


図3. カソードガスリサイクル流量のアノードガス利用率依存性

表4. 改質方式によるシステム特性の比較

	外部改質	間接内部改質	直接内部改質
スチーム/天然ガス比	3.0	3.5	2.5
フレッシュ空気利用率(%)	55	60	60
アノードガス利用率(%)	75	85	85
送電端効率(%)	43.9	44.3	49.9
動作時平均セル電圧(mV)	734	724	728
動作圧力(kPa)	101	101	101
発電量(正味)(kW)	100	100	100
補機動力(kW)	3	3	3

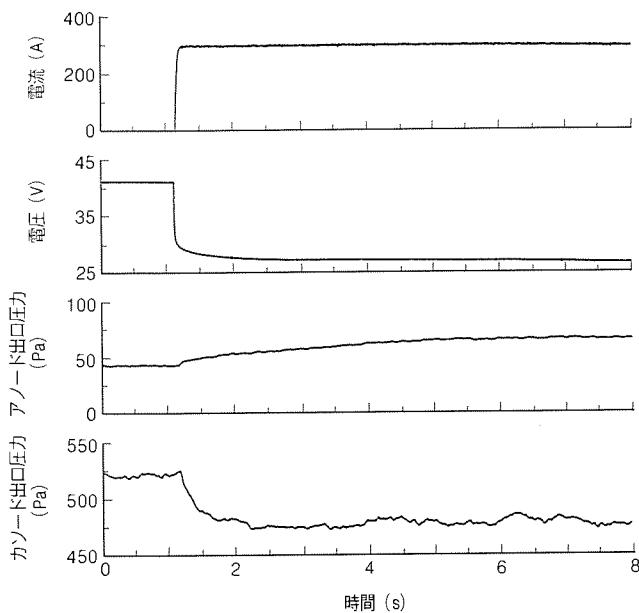


図4. 負荷投入時のMCFCの応答

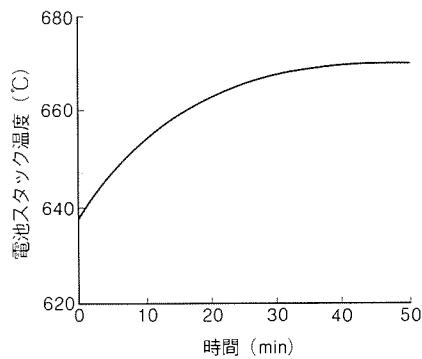


図5. 負荷投入時の温度応答

最大点である。内部改質システムでは、大型電池スタック内での流量分布を考慮した最大値として、85%を採用した。表4の内容は、あくまで表3で示した共通条件での結果であり、前節で述べた補機動力の差を考慮すると、内部改質システムの優位性が明白である。

3. ガスリサイクル技術

MCFCシステムを設計するには、電池スタック周辺のガスリサイクル技術を開発しなければならない。すなわち、カソードガスリサイクル技術及び炭酸ガスリサイクル技術である。これらのガスリサイクルが所要の性能を実現するとともに、圧力変動がMCFC動作に適合することを確認する必要がある。

3.1 カソードガスリサイクル技術⁽²⁾

電池スタックの発電量(電流)が変化した場合に、カソードガスリサイクル流量を調節することで電池スタックの動作温度を一定にできるかどうかを評価するため、動特性試験を実施した。使用した電池スタックは、面積2,000cm²のセルを40枚積層したもので、定格出力は10kWである。また、

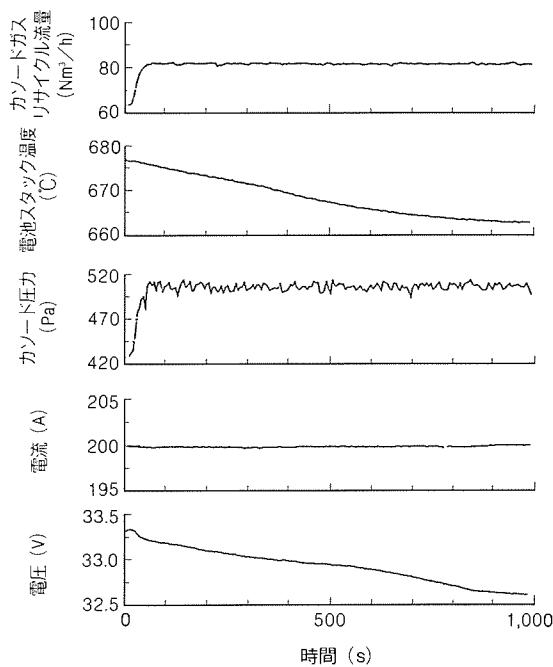


図6. カソードガスリサイクル流量変化時の応答

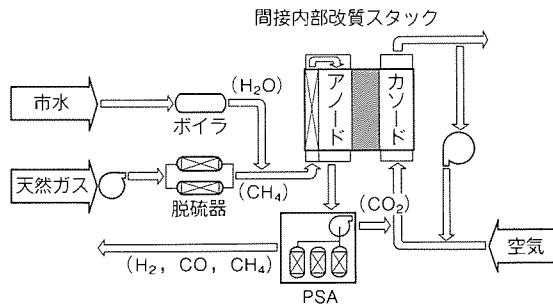


図7. PSA炭酸ガスリサイクル試験装置

発電による発熱特性を純粹に評価するため、この電池スタックは内部改質ではない通常のモード、すなわち、改質ガスを模擬した試験ガスを供給した状態で動作させた。

図4に電池スタックが瞬時に発電を開始した場合の、電池スタック電流、電圧、アノード出口圧力及びカソード出口圧力の応答を示す。また、図5に電池スタックが瞬時に発電を開始した場合の温度の応答を示す。このときカソードガスリサイクル流量は一定とした。図4から明らかなように、電流はほぼステップ状に立ち上がり、電圧は内部抵抗部分でステップ状に低下した後、更に一次遅れで低下した。発電開始に伴い、アノードでは水素から同量の炭酸ガス及びスチームが生成されるため、圧力は上昇した。また、カソードでは水素と同量の炭酸ガス及び半分の酸素が消費されるため、圧力は低下した。圧力変動は許容値以下であった。図5から明らかのように、電池スタック温度は数十分にわたって上昇した。

電池スタックの電流を一定とし、カソードガスリサイクル流量を増加させた場合の応答を図6に示す。電池スタック温度の低下に伴い、電池反応の温度特性から電圧も低下した。また、カソードガスリサイクル流量の増加に伴い、カソード

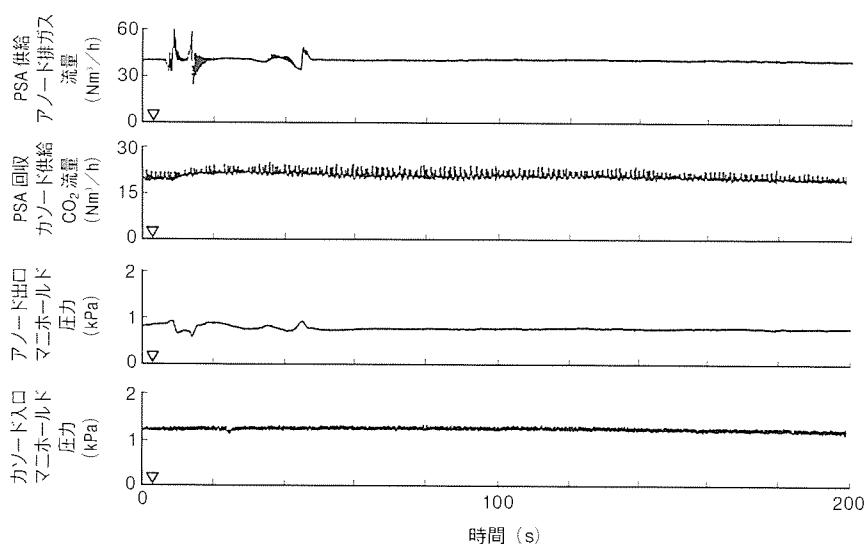


図 8 . PSA 炭酸ガスリサイクル系の運転特性

表 5 . 連係運転での PSA 性能

炭酸ガス回収流量	22~25 Nm ³ /h	
炭酸ガス回収率	80~90%	
回収炭酸ガス純度	99%以上	
アノード出口圧変動	±250Pa 以下	
カソード入口圧変動	±50Pa 以下	
所要動力	0.26~0.29 kW / CO ₂ -Nm ³	
MCFC 性能	PSA 停止	PSA 運転
平均セル電圧	705mV	722mV
出 力	31.9kW	32.6kW

圧力は増加したが、電池スタックの耐圧には問題はなかった。

これらの応答データを、電池スタック温度に対し、無駄時間と一次遅れの伝達関数として整理した。その結果、カソードガスリサイクル流量が電池スタック温度を変動させる割合(ゲイン)は、電池スタック電流が電池スタック温度を変動させる割合(ゲイン)の9倍であった。また、カソードガスリサイクル流量の時定数は、電池スタック電流の時定数の60%であった。すなわち、電池スタックの発電量を外乱とみなした場合、カソードガスリサイクル流量によって電池スタック温度は、ゲインの差だけ9倍も敏感に、さらに時定数の差だけ40%も速く制御できることを示している。ただし、無駄時間については、電池スタック電流が0秒であるのに対し、プロワの回転数変化速度及びリサイクル系統の配管長の理由で、カソードガスリサイクル流量に25秒認められた。つまり、温度制御の効果がすぐに現れないため、特にフィードバック制御系を設計するとき注意を要することを示唆している。

3.2 炭酸ガスリサイクル技術⁽³⁾

MCFC 発電システムにおける炭酸ガスリサイクル方式は、燃焼と分離に大別される。ここでは、炭酸ガス分離の典型例として圧力変動吸着(Pressure Swing Adsorption: PSA)装置の適用試験状況を示す。

試験装置の系統を図7に示す。炭酸ガス PSA は、3槽構成とした。3槽はそれぞれ、吸着工程、洗浄工程、脱着工程を分担する。また、各槽は出入口の遮断弁を操作することで、吸着→洗浄→脱着の各工程を周期的に繰り返す。各工程は200秒、すなわち1周期を600秒に設定した。圧力変動幅は、絶対圧で101 kPa [1 atm] から8.08 kPa [0.08 atm] に設定した。なお、連係試験を実施した電池スタックは、30 kW 級間接内部改質方式で、面積4,864 cm² のセルを62枚積層した。

電池スタックと PSA 炭酸ガスリサイクル系を連係させた場合の、1工程(200秒)におけるアノード出口圧力、カソード入口圧力、アノード排気流量及び炭酸ガスリサイクル流量の応答を図8に示す。また、連係試験時の性能を表5にまとめる。炭酸ガス回収率と電池スタック圧力変動値の結果をみると、PSA 炭酸ガスリサイクルが MCFC の運転に適合することが分かる。ただし、所要補機動力はまだ大きく、MCFC システムの要素機器とするためには、PSA のみならず周辺機器の最適化が必要である。

4. む す び

MCFC のシステム化技術として、システム構築技術とガスリサイクル技術をまとめた。システムシミュレーションの結果から、内部改質 MCFC システムが燃料を有効に使用し、冷却負荷が小さいため、高効率であることを示した。また、カソードガスリサイクル及び PSA を例とした炭酸ガスリサイクルが、MCFC の運転に適合することを、試験データをもとに示した。

内部改質 MCFC システム設計には、ここで述べた技術以外に、スチーム回収技術、硫黄処理技術、カーボン析出防止技術など種々の要素技術が必要である。当社は、今後、200 kW 級のベンチスケールシステムを目指して、これらのシステム要素技術を開発する予定である。

最後に、この論文に述べた研究成果は、関西電力(株)との共同研究で得られたもので、ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) Tanaka, T., et al. : Proc. of 21st IECEC, 2, 1100~1105 (1986)
- (2) Sasaki, A., et al. : Proc. of 27th IEEE CDC, 2, 1044~1049 (1988)
- (3) Sasaki, A., et al. : Proc. of IEEE PES Winter Meeting, 92 WM 010-9 EC (1992)

送電線点検作業への画像処理技術の適用 ——電線異常箇所自動判定装置——

外岡宏章* 小林益一** 竹中俊夫*** 山本健司⁺

1. まえがき

電力供給のかなめとなる送電線は、屋外での長時間運用に耐える設計となっているが、雷撃等によって損傷を受ける可能性がある。このため、事故に至る前に異常箇所を発見して処置することが、電力の安定供給上求められる。広い範囲に分布している送電線を点検するために、中部電力(株)ではヘリコプタ及び自走式点検機を適宜使用して点検している。いずれの場合も、テレビカメラで撮影した電線映像をVTRに記録し、帰還後再生して人手によって検査している。異常箇所の発見にはスロー再生したモニタの映像を長時間にわたって確認していく必要があり、多大な時間と労力を要している。

このため、送電線点検業務の効率化・作業改善・点検精度向上の観点から、最近プラントの点検業務の自動化に適用して注目されている画像処理技術⁽¹⁾⁽²⁾を応用し、送電線点検における画像判定業務を自動化することを試みた。

その結果、ほぼ人間並みの異常検出能力をもち、1コマ約0.4秒で処理できる実用レベルの画像処理装置を実現することができた。この論文では、開発した装置の概要と評価試験結果について報告する。

2. 対象画像

電線に発生する異常は、素線切れ・キンク(折れ)・溶こん(痕)・笑いなどがあり、当初は小さな症状であるが将来事故に発展する可能性があるため、見落すことができない。

図1は、ヘリコプタ撮影でとらえた異常画像のサンプルである。ビデオ映像は1秒間に60フィールド(以下“コマ”という)撮影され、異常を確実に捕えるために、半分程度重複した画面となるようヘリ移動速度を設定している。したが

って、1時間撮影すると総コマ数は216,000コマにのぼり、この中から通常2~3コマの異常を見付け出すことになる。現在は、これをVTRで1/10スロー再生し、人がモニタ画面を注視して点検しているが、このスロー再生でも1コマわずか0.16秒のチェック時間であり、かつ1時間の撮影物に対して10時間もの長時間にわたって画面を見続ける必要があるという極めて厳しい作業である。作業人工としても、見落し防止のため二人でダブルチェックを行っているので、1時間の撮影に対して20人・時を要している。

3. システム構成

開発した装置では、上記のように人がモニタ画面を見て判定する部分をイメージプロセッサとホストコンピュータによる画像処理によって実行する。

この装置のシステム構成は、図2のように再生用VTR、イメージプロセッサ及びEWS(エンジニアリングワークステーション)によって構成され、EWSからの指令でVTRを起動してコマ送りを行い、イメージプロセッサが逐次画像を取り込んで処理し、EWSで判定を行う。

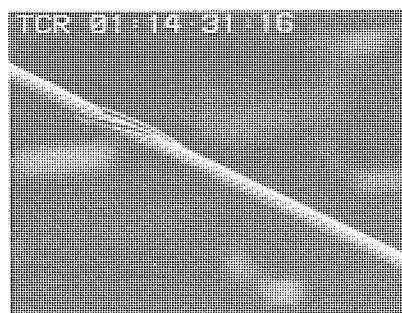
システムの構成機器の仕様を表1に、装置の外観を図3に示す。

4. 画像処理アルゴリズム

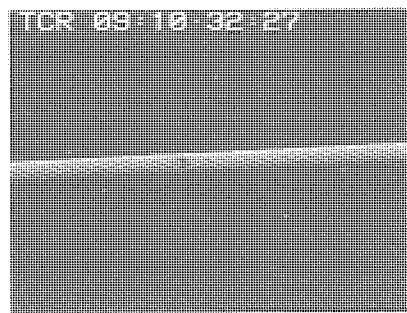
4.1 電線検出法

ヘリコプタ撮影では、画面内の電線位置や方位は一定していない。このため、最初に画面内の電線位置を検出する必要がある。

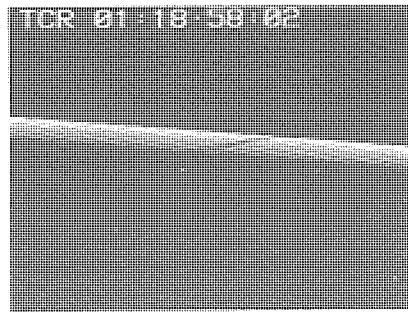
電線位置の検出は、電線の上下のエッジを検出することによって行う。すなわち、入力画像に対して平滑化処理によっ



(a) 素線切れ



(b) 溶痕



(c) 笑い

図1. 異常画像サンプル

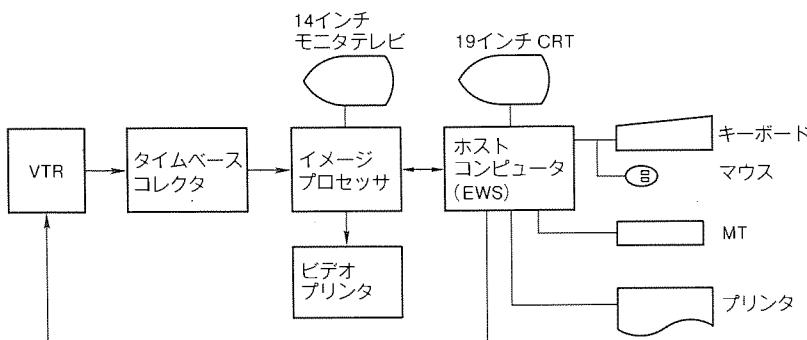


図2. 電線異常箇所自動判定装置のシステム構成



表1. ハードウェア機器仕様

機 器	仕 様	
イメージ プロセッサ	入力信号規格	NTSC コンポジット信号
	分解能	512×512×8 ビット
	フレームメモリ	4 ブレーン
	モニタ出力	RGB(フレームメモリ任意割付け可能)
	画像演算機能	四則／論理／コンボリューション等 リアルタイム演算モジュール付き
EWS	処理速度	28.5MIPS
	主メモリ容量	16M バイト
	ディスク容量	414M バイト
VTR	記録方式	S-VHS
	特殊機能	フィールドコマ送り再生可能
	外部インターフェース	RS-232C

てノイズ成分を除去した後、各垂直ラインについて差分列を求め、そのピーク検出によって図4(a)のように上下のエッジ位置を求める。こうして求めた上下のエッジ位置の差が、電線幅の許容範囲にあるデータを有効データとして、最小自乗近似で直線を当てはめ、同図(b)のように電線位置とした。

有効データ数が所定数に満たないとき、又は求めた上下のエッジラインの平行度が不良のとき、電線が存在しないか又は検出不能と判断する。

なお、上記電線検出は画面全体を処理するため時間がかかるので、初期電線検出を終えたあとは1画面前との位置の変化が小さいことを利用して、前回のエッジラインから上下に一定範囲を探索領域として、この領域内でエッジ検出を行うようにしている。

4.2 異常検出法

電線の異常には、素線切れやキンクのように電線の上下の輪郭に異常が出る場合と、溶痕や笑いのように電線の内側に明るさ(濃度)変化として現れる場合がある。そこで、異常検出法としては、電線の上下の輪郭を求めて、その直線性を検定する“輪郭線検定法”と電線内側の濃度分布を求め、その変化部分を検出する“内部濃度検定法”的二つの組合せとした。

(1) 輪郭線検定法

図3. 電線異常箇所自動判定装置の外観

輪郭線検定法は、図5(a)のように前回のエッジ位置から定めた探索領域内で前述の電線検出と同様の方法で上下のエッジ位置を求める、同図(b)のように最小自乗近似でエッジラインを推定し、各エッジのエッジラインからの距離を求めて、これが一定値以上の領域が一定長さ以上続くとき、エッジ異常とした。

(2) 内部濃度検定法

内部濃度検定法は、輪郭線検定で求めたエッジラインとともに図6(a)のように電線内側に領域を設定し、領域内の各垂直ラインごとの平均濃度を求める。こうして求めた内部濃度の分布に対して、同図(b)のようにその平均と分散とから設定される許容範囲を逸脱する部分が一定長さ以上続くとき、内部異常とした。

4.3 自動判定処理フロー

以上のような検査手法を用い、図7のようなフローによって自動判定を行うようにした。すなわち、VTRをスタートしてスチル(静止)モードとし、画像を取り込んで電線検出を行う。ここで、電線が見つからないときは“スキップ”リストに登録し、VTRをコマ送りして電線検出を繰り返す。電線検出に成功すると次の検査ループに進む。

検査ループでは、画像を取り込み、VTRのコマ送り指令を出す。ここで、すぐにコマ送り指令を出しているのは、VTRの応答に0.2~0.3秒要するため、検査中に次の画面の準備をしておくものである。

次に、輪郭線検定を行う。ここで電線を見失ったときは、最初の電線検出に戻る。輪郭線検定で異常がなければ、次に内部濃度検定を行う。輪郭線検定又は内部濃度検定で異常が見つかれば、2コマ連続して発生することを確認の上、異常内容(“上エッジ”“下エッジ”“内部”)をリストに登録し、異常検出部位を枠表示した画像をディスクにセーブして検査を続行する。ここで、異常が2回連続発生することを確認しているのは、VTRのコマ送りの不良等によって画面にノイ

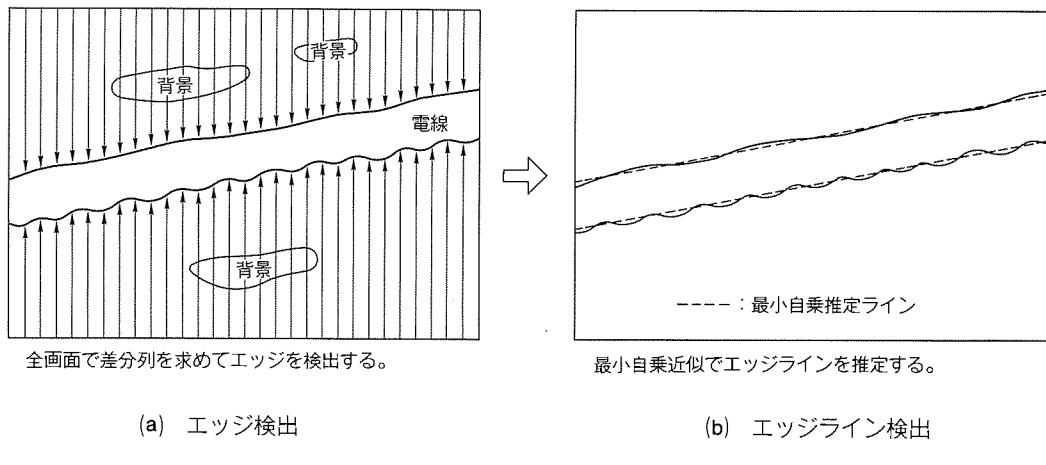


図4. 電線検出原理

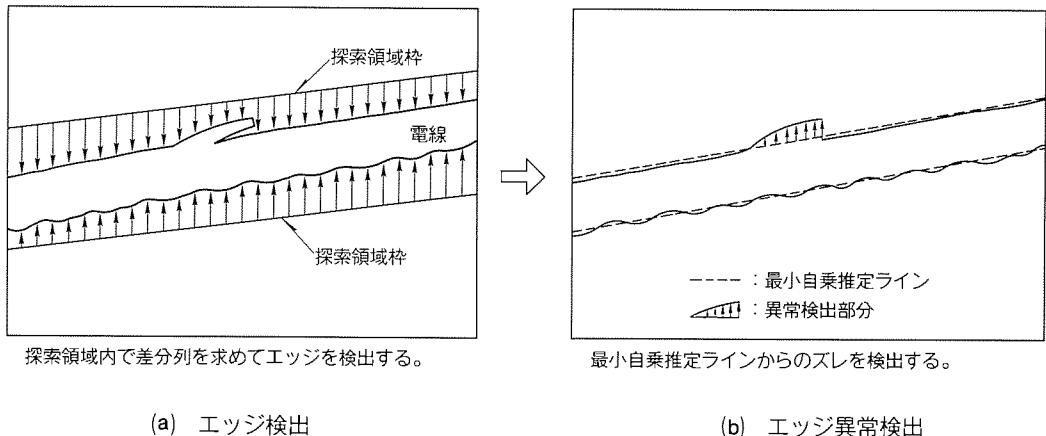


図5. 輪郭線検定原理

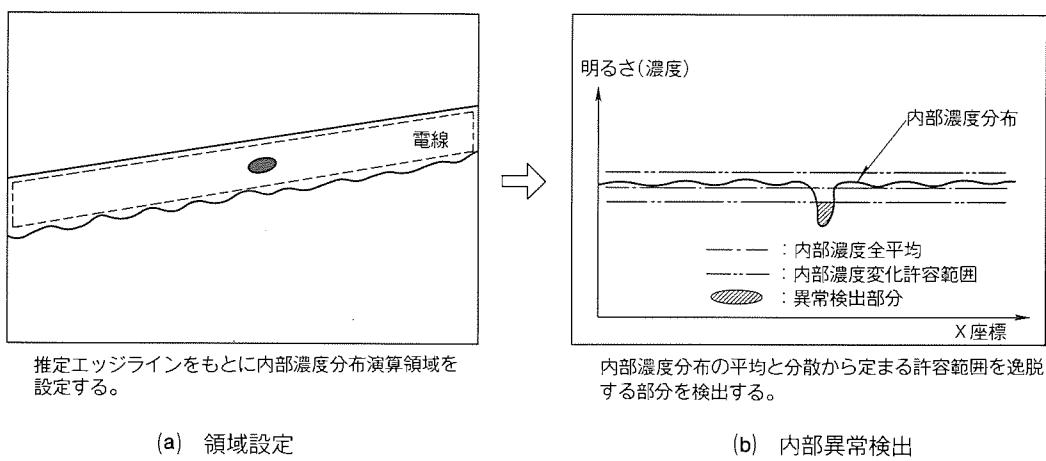


図6. 内部濃度検定原理

ズが入ることがあり、これを電線の異常としないためで、このようなノイズはほとんどの場合次のコマで解消されるのに対し、真の電線の異常はフィールド単位でコマ送りする限り必ず2コマ以上連続することから、このような方式とした。

4.4 画像確認ツール

上記自動判定処理により、異常内容のリストとともに異常画像がディスクに自動記録されるが、判定結果には必ずしも真の異常でないもの（誤検出という）が含まれている。これは、例えば鉄塔付近の金物（ダンパ、スリーブ等）を異常と

判断したり、背景模様によって電線輪郭を正しく認識できずに異常とするなどであり、現状では対応困難と考えられるものである。

この装置では、このような誤検出をあとで人間系で簡単に選別できるように、記録されている画像を確認するための画像確認ツールを準備した。作成したツールは次のような機能をもち、画像1枚当たり1秒以下で処理可能である。

- (1) 異常内容リストの番号で画像の検索が可能であり、モニタ画面に表示して確認できる。

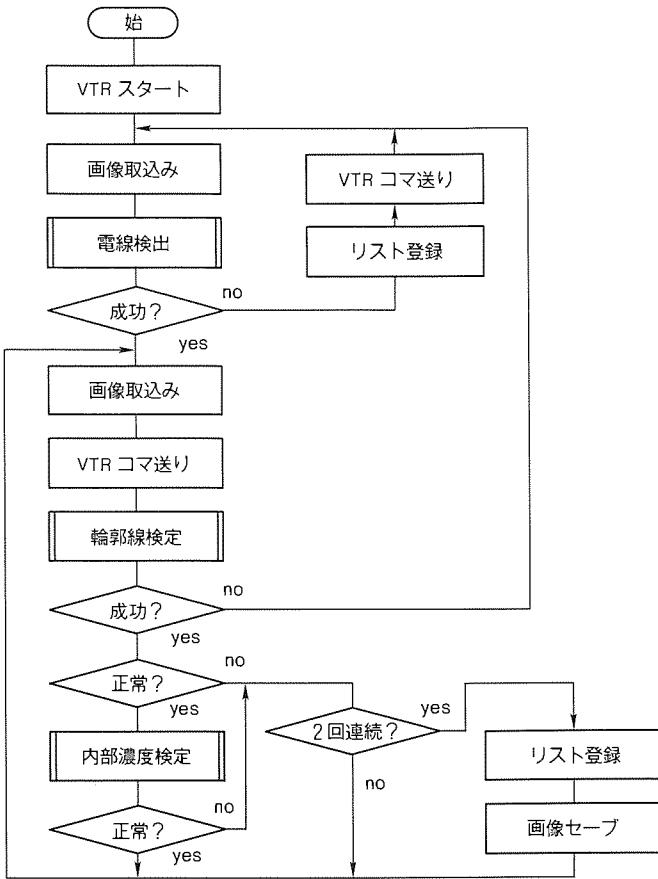


図 7. 自動判定処理フロー

(2) 保存されている画像を次々とモニタ画面に表示し、不要なものは指定すれば削除できる。

5. 評価試験結果

5.1 異常判定例

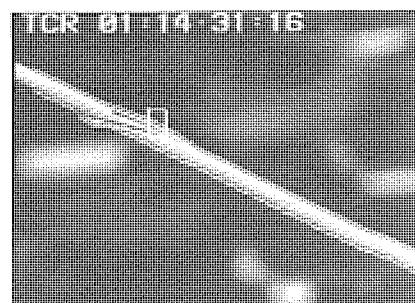
異常画像サンプルとして提示した画像(図1)について、この装置によって自動判定させた結果を図8に示す。この図では、白い枠が異常検出箇所を示しており、輪郭線検定でのエッジ検出結果及び内部濃度検定での濃度分布(図(b)(c)のみ)を同一画面に重ね書きしている。図(a)のように、周囲に背景があっても正しくエッジ検出が行え、素線切れのような輪郭上の異常は輪郭線検定によって検出され、溶痕・笑いのような電線内側の異常は、図(b)(c)のように内部濃度検定法によって検出されていることが分かる。

5.2 認識率

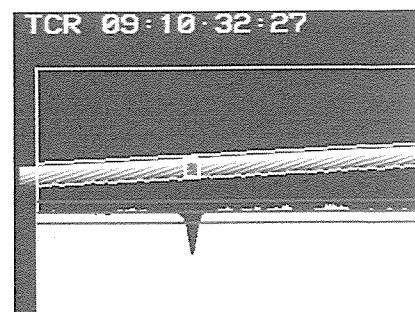
人がモニタ画面を見て異常と判定した画像について、この装置で判定させた結果を表2に示す。このように、電線の補修を要すと判断されるランクAでは100%、再点検を要すと判断されるランクBでも極めて微小でランクCとしても良いと考えられる笑い(小)の1サンプルを除いて、人間と同等の判定結果が得られている。

5.3 処理時間

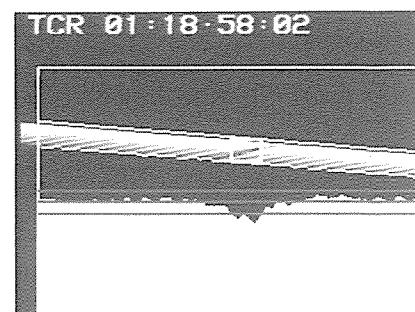
処理時間は、扱う電線の太さによって多少変わるが、1コ



(a) 素線切れ



(b) 溶痕



(c) 笑い

図 8. 異常検出画像サンプル

マ当たり平均約0.4秒で処理できている。人が目視で検査する場合は、1/10スロー再生してダブルチェックするため、1コマ当たり0.3秒要しており、この装置では休憩時間が不要なことなどを考慮すれば、ほぼ人間並みといえる。

5.4 連續判定処理結果

次に、異常を含む3径間分の画像テープについて、鉄塔部を含めて連続処理を行い、誤検出・スキップの発生状況を調べてみた。その結果を表3に示す。

通常、スキップは鉄塔部で電線を見失ったとき発生するが、電線部でもヘリコプタの追尾不良で電線が画面から外れる場合があり、この場合輪郭線検定でエッジ検出失敗となり、電線検出に戻り、再度電線が現れるまでスキップを繰り返すことになる。

誤検出については、総合で0.88%であり、1時間テープを処理した場合、約1,900枚の誤検出画像が発生することになるが、画像確認ツールを使えば約30分で処理でき、人手で処理した場合10時間を要していたことから考えれば、大幅な省力化となっている。さらに、画像テープの編集時に鉄

表2. 認識率評価結果
(人が異常と判定したものに対する正判定率)

分類	サンプル数	異常検出数	認識率(%)	備考
ランク A	素線切れ	6	6	100
	溶損	22	22	100
	笑い(大)	4	4	100
ランク B	アーク跡	16	16	100
	笑い(小)	9	8	89
ランク C	変色	7	6	86

表3. 連続判定処理結果

区分	No.1 電線	鉄塔	No.2 電線	鉄塔	No.3 電線	鉄塔	総合	電線のみ
テープ時間(分:秒)	1:12	0:05	1:21	0:04	1:18	0:02	4:02	3:51
判定結果	上エッジ異常	0	22	3	41	0	27	93
	下エッジ異常	5	11	2	7	0	4	29
	内部異常	2	3	1	2	0	1	9
分析結果	スキップ	1	75	15	16	13	0	120
	真の異常	0	0	4	0	0	0	4
	誤検出	7	36	2	50	0	32	127
評価	全コマ数	4,320	300	4,860	240	4,680	120	14,520
	スキップコマ数	1	75	15	16	13	0	120
	有効コマ数	4,319	225	4,845	224	4,667	120	14,400
誤検出率(%)	0.16	16.0	0.04	22.0	0.0	26.7	0.88	0.065
スキップ率(%)	0.02	25.0	0.31	6.67	0.28	0	0.83	0.21

塔部分を除外しておくようにすれば、誤検出率は0.065%と低減され、画像確認枚数も140枚となるので約2分で処理でき、極めて効率的な作業となる。

6. むすび

以上のように、送電線点検業務の効率化・作業改善・点検精度向上の観点から、画像処理技術を応用して電線の異常を自動判定する装置を開発し、1コマ約0.4秒で処理できる实用レベルの装置を実現した。

この装置の導入による期待効果は、次のようにまとめられる。

(1) 省力化効果

(1時間テープに対する画像確認時間で評価)

<人が処理した場合> → <この装置で処理した場合>

20人・時

約0.5人・時

(鉄塔部を含めて処理したとき)

約0.03人・時

(鉄塔部をあらかじめ除外したとき)

(2) 作業改善

- (a) 長時間モニタ画面を凝視する作業から解放される。
- (b) 異常内容の帳票作成が機械化される。

(3) 点検精度向上

人が処理した場合に比べて見落しや判定むら等の問題が解消され、点検品質が安定化する。

この装置は、今後現場での試運用評価を行い、実用化を図っていく計画である。

最後に、この装置の開発に当たり御指導・御協力いただいた関係各位に対して深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 竹中俊夫、大屋 正：巡視点検ロボット、三菱電機技報、64、No 3、242～247 (1990)
- (2) 広岡美和子、八木康史、川戸慎二郎：碍子検査用画像処理技術の開発、電子情報通信学会 PRU 研究会資料、PRU 90-56 (1990)

ファームバンキング専用端末機

斎藤 弘* 加藤祥一**

1. まえがき

情報通信技術の発展は、金融分野でも大きな影響をもたらしている。都市銀行を始めとする第3次オンラインシステムの稼働により、従来の自動取引装置(CD/ATM)を中心とした金融サービスのネットワークとともに、取引企業や個人が金融機関とデータ通信を行う“ファームバンキング(FB)”, “ホームバンキング(HB)”の利用者は、着実に拡大してきている。

特にエレクトロニクスバンキングの発展に伴い、ファームバンキングサービスは、取引先企業と金融機関との間で欠かすことのできないものとなってきており、その導入は、個人事業主等まで対象となってきた。

しかし、今までのファームバンキング端末は、パソコンをベースにしていたために、ファームバンキング機能に加えワープロ等のOA機能をもつ多機能となり、高価で操作が難しく、それに設置面積が大きい等の問題が指摘されており、利用層の更なる拡大には今一歩という実態であった。これらの事項を解決すべく、低価格でかつコンパクトで、操作性の良いファームバンキング専用端末“ふあびい”の開発・製品化を行ったので紹介する。

2. ファームバンキングシステムの概要

2.1 概 要

ファームバンキングとは、企業のコンピュータ又はパソコン等と銀行のコンピュータを通信回線で接続することにより、総合振込・給与振込などを取引銀行窓口に向いて処理していたものを、自分のオフィスで銀行取引を行うことを可能とするものである。

2.2 ファームバンキング専用端末機の利用者

(1) 銀行取引先のうち、小企業・個人事業主・個人商店など。

(2) 小規模ながらも、総合振込・給与振込等のデータエントリーサービス(一括データ伝送)を必要とする企業など。

2.3 ファームバンキングシステムの形態

ファームバンキング及びホームバンキングシステムの形態を図1に、ファームバンキングの区分及び特長を表1に示す。

3. ファームバンキングシステム構成

3.1 システム構成

ファームバンキングシステムの構成を、図2に示す。

(1) NTTデータ通信ANSERセンター

(銀行ANSERパソコンサービス)

(a) 接続回線：公衆電話回線網

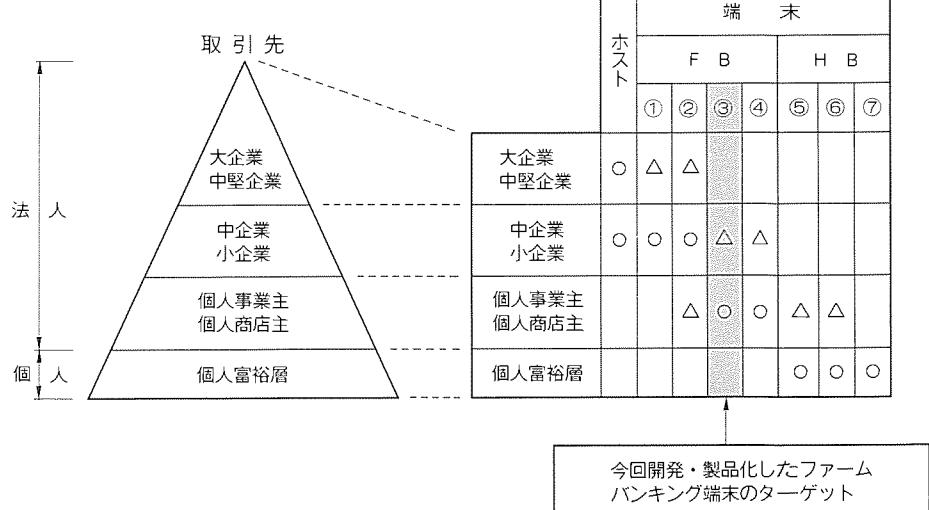
(b) 伝送手順：ANSER手順

(c) 伝送方式：同期式半二重2,400 bps

(CCITT V 26 bis準拠)

(2) 銀行センター

(a) 接続回線：公衆電話回線網



〈ファームバンキング端末機のサービス内容〉

- ① パソコンFBサービス：パッケージFBソフトウェアをパソコンで使用
- ② FB端末サービス：パソコンをベースとするFB端末
- ③ FB端末サービス：専用FB端末
- ④ FAXデータサービス
- ⑤ 多機能電話型サービス
- ⑥ FAX型端末機
- ⑦ テレビゲーム機

図1. ファームバンキング及びホームバンキングの形態

表1. フームバンキングの区分及び特長

区分	特長
F	①パソコン ↓ パソコン FBサービス
	②FB端末 ↓ FB端末サービス
	③FB専用端末 ↓ FB端末サービス
B	④ファクシミリ ↓ FAXデータ 処理サービス
	⑤多機能 電話型端末機
H	⑥FAX型端末機
	⑦テレビゲーム機

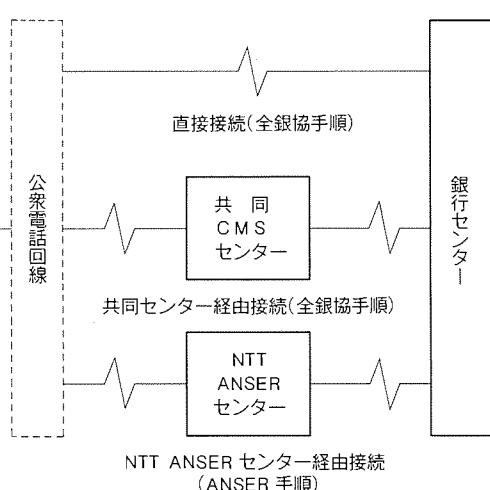


図2. システム構成

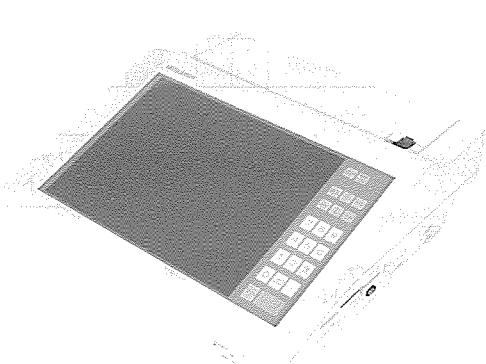


図3. フームバンキング端末“ふあびい”的外観

(b) 伝送手順: 全銀協手順

(パソコン用)

(c) 伝送方式: 同期式半二重 2,400 bps

(CCITT V 26 bis 準拠)

3.2 システムの機能

(1) ANSER 機能

この機能は、NTTのANSERセンターを経由して、銀行センターに接続してデータの送受信を行うものであり、以下のサービス機能がある。

(a) 会計情報サービス

(b) 資金移動サービス

(2) 一括データ伝送機能

この機能は、銀行センターに直接接続してデータの送受信を行うものであり、以下のサービス機能がある。

(a) データエントリサービス

(b) マルチバンクレポート

4. 製品の特長

フームバンキング端末“ふあびい”的特長を次に示す。

(1) 大型液晶画面、高速サーマルプリンタ及びモデム (NCU内蔵)などを同一筐体に納めたオールインワンのコンパクト設計。

(2) 画面に表示されるガイドに従い、タッチパネルに触れるだけの簡単操作。

(3) 55字/秒の高速サーマルプリンタを搭載。

(4) 電話との自動切替装置を内蔵しているので、電話、FAXの共用使用が可能。

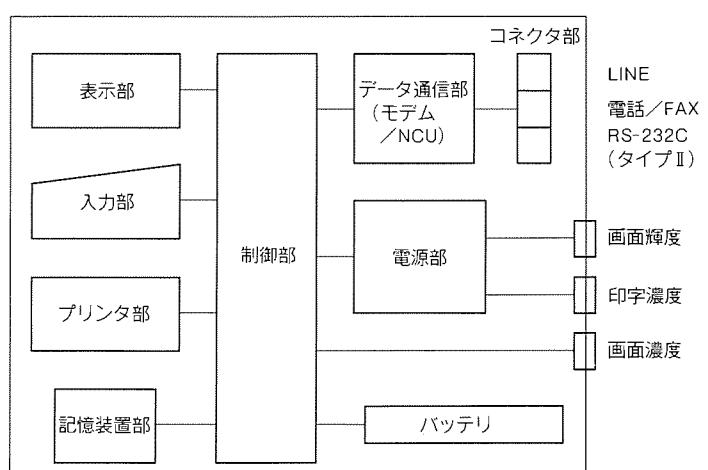


図4. ハードウェアブロック構成

(5) タイマ内蔵により、タイマ照会機能(タイマによって自動的に起動、実行)がある。また、事前登録による自動実行が可能。

(6) パスワードによるセキュリティ機能により、外部からの無断使用や不正入力などを防止。

5. ハードウェア構成と基本仕様

5.1 ハードウェア構成

ファームバンキング端末“ふあびい”的外観を図3に、ハードウェアブロック構成を図4に示す。ハードウェアの構成部として、各モジュールの制御、内部処理等を行う制御部、液晶ディスプレイを使用した表示部、タッチパネルを使用した入力部、サーマルプリンタを使用したプリンタ部、FDDを使用した記憶装置部、モデム/NCUを内蔵したデータ通信部、及び電源部によって構成されている。

5.2 ハードウェア基本仕様

制御部、表示部、入力部、プリンタ部、記憶装置部、及びデータ通信部の各々のハードウェア基本仕様を表2に示す。

5.3 制御部の構成

制御部の概略ブロック図を図5に示す。メインCPUの16ビットマイクロプロセッサが全体の制御を行い、タッチパネル及びプリンタの制御をサブCPU(1 Chip CPU)が行うようにして、メインCPUの負荷を軽減するとともに、入力及びプリンタ出力の性能を向上させている。

さらに、256KバイトのROM(Read Only Memory)を搭載し、ROM BIOS(Basic I/O System)のほかにOS(Operating System)のDR-DOS^(注1)もROM化を行い、立ち上げ時間の短縮、FDシートのアプリケーションソフトウェア/データ領域の拡大及びRAM(Random Access Memory)の使用領域を広くできる等を実現している。

また、データ通信のためのSCC(Serial Communication Control)のほかに、外部インターフェースとしてRS-232Cを1チャネル内蔵している。このインターフェースに

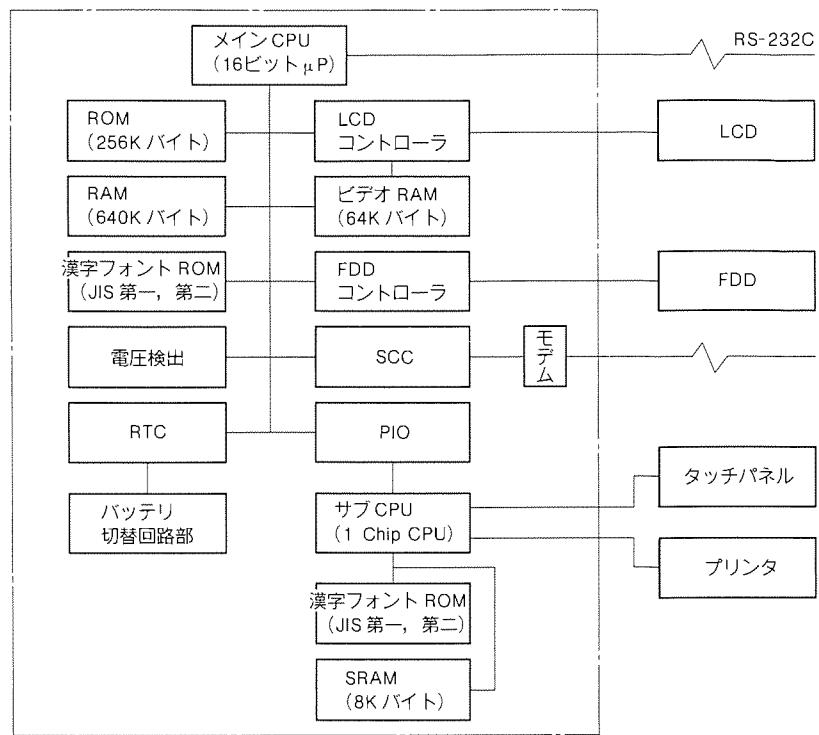


図5. 制御部ブロック図

表2. 基本仕様

項目		仕様
制御部	CPU	16ビットマイクロプロセッサ
	RAM	640K バイト
	ROM	256K バイト(OS)
表示部	表示素子	LCD(バックライト付き)
	表示ドット数	640×400
	ドット寸法	0.30×0.365(mm)
	ドットピッチ	0.33×0.395(mm)
	有効表示範囲	約220×約168(mm)
	表示形態	透過型
	表示文字数	全角文字: 40字×25行 半角文字: 80字×25行
入力部	表示文字種	英数字, かな, 記号, 漢字(JIS第一, 第二水準)
	タッチパネル	240キー(横20×縦12)
	テンキー	24キー(0~9, ほか)
ブザー	ブザー音種類	キー入力音, 警告音
プリンタ部	印字方式	感熱(サーマル)方式
	印字ヘッド	24ドット縦1列薄膜サーマル
	ドットサイズ	0.121(縦)×0.175(横)(mm)
	ドットピッチ	1/180"(0.141mm)
	一行印字総ドット数	24(縦)×1,281(横)
	印字速度	約55字/秒(全角文字)
	印字方向	キャラクタ印字時: 双方向印字 グラフィック印字時: 片方向印字(左→右)
	改行ピッチ	n/180"(n×0.141mm)
	一行改行時間	103.34ms

(次ページにつづく)

(注1) DR-DOSは、米国デジタル・リサーチ社の登録商標である。

表2. 基本仕様(つづき)

項目	仕 様
プリンタ部	用紙送り機構 フリクションフィード
	印字文字種 英数字, かな, 記号, 漢字(JIS第一, 第二水準)
	文字構成 全角文字: 24(横) × 24(縦) ドット 半角文字: 12(横) × 24(縦) ドット
	プリンタ用紙 感熱ロール紙(216mm × 20m)
記憶装置部 (FDD)	サイズ 3.5" 薄型
	記憶容量 1.44Mバイト(フォーマット時)
データ通信部	適用回線 公衆電話回線網
	モデム 適用規格 CCITT V.26bis
	同期方式 同期式
	送信レベル DIPスイッチ 2ビットで4レベルから選択
	受信レベル -43dBm
	発信方式 オートダイヤル
	N C U ダイヤル方式 DP(10pps) / DP(20pps) / PB 切替可能
	電話との切替え 自動切替器内蔵
	被呼側応答検知 アンサートーン / RBT / キャリア
	自動発着信制御 CCITT V.25bis
時計	時刻 時(24時間制), 分, 秒
	カレンダー 年, 月, 日, 曜日(うるう年対応)
バッテリ	種類 単3型乾電池2本
	バックアップ対象 時計
電源部	入力電源 AC100V ±10%, 50/60Hz
	消費電力 約30W
外形寸法	(W)約320×(H)約120×(D)約328 (mm)
質量	約4.5kg

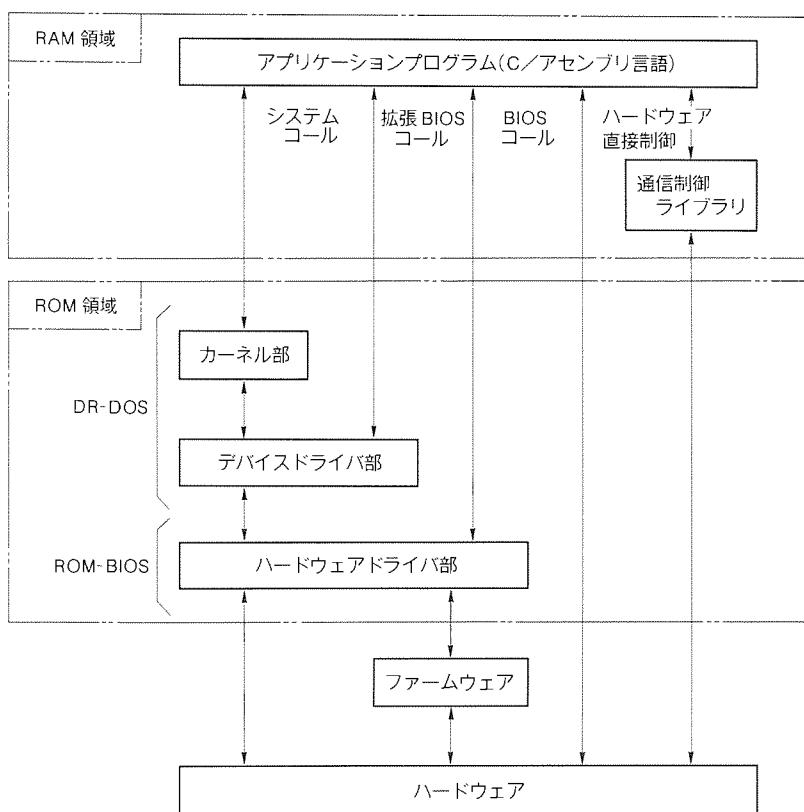


図6. ソフトウェアインターフェースの概念

各種入出力装置を接続して、ファームバンキング以外の他用途の端末(例:バーコードリーダを接続して流通端末など)として使用できるように考慮している。

6. ソフトウェアの構成

通常、専用機の場合のオペレーティングシステム(OS)は、汎用性のない独自のOSを使用するのが通常であるが、今回は拡張性等を考慮してパソコン用汎用OS(DR-DOS)を採用している。また、アプリケーション開発は、大部分がC言語を使用し、開発効率の向上を図っている。

6.1 ソフトウェアインターフェース

この装置のソフトウェアインターフェースの概念を図6に示す。

6.2 OS

OSとして、シングルユーザー、シングルタスクのDOS互換で、かつROM化が可能な日本語DR-DOSを採用し、OSコード時間の削減、アプリケーションソフトウェア/データ領域の拡大、及び空きRAM領域の拡大を行っている。

6.3 通信制御ライブラリ

データ通信制御ライブラリであり、汎用のパッケージソフトウェアをファームバンキング端末“ふあびい”的ハードウェアに合わせて専用化しており、以下のモジュールから構成されている。

- (1) ANSER手順通信制御ライブラリ
- (2) 全銀協手順通信制御ライブラリ

6.4 アプリケーションソフトウェアの構成

アプリケーションソフトウェアは、サービス内容により、大別して次の2種類から構成されている。

- (1) ANSER系
- (2) 一括データ伝送系

各々のアプリケーションソフトウェアは、別々のFDシートにデータとともに納められ、どちらのシートからも起動することができるなど、操作性を特に重視した設計で、使い勝手のよい構造としている。

表3にアプリケーションソフトウェアの機能を示す。また、画面表示(初期メニュー)例を図7に示す。

表3. アプリケーションソフトウェアの機能

区分	項目	内容
ANSER系	利用サービス	V0201相当(情報案内利用可)
	処理方式	メニュー選択方式
	事前登録による自動実行機能	すべて自動実行 ・残高照会、入出金等の業務単位で複数口座へのサービスが可能 ・登録した口座を利用、業務内容もタッチキーで選択すれば、後は自動的に処理
	タイム照会	あり
	照会結果の保存	受信後画面表示、任意に選択して自動プリント再出力も可能
	照会結果保存	上書き方式 ・残高照会、入出金等の業務単位で保存する。
一括データ伝送系	利用サービス	・総合振込(手数料自動計算付き) ・給与・賞与振込 ・預金口座振替依頼 ・預金口座振替結果明細照会 ・特別徴収地方税納付
	データ作成	マスタから抽出 金額を一覧表形式で入力が可能ためデータ入力作業が簡単
	送信方法	マスタ抽出時、自動的に送信ファイルを作成
	データ件数	総合振込、給与振込等 ・各業務ごとに依頼人 : 8件 ・各依頼人ごとにデータ : 999件 ・合計データ件数 : 6,000件
	接続金融機関	最大12行
	その他	・引渡票の自動印刷 ・特別徴収地方税データの保存
共通項目	システムシート構成	2枚構成(ANSER系、一括系)
	データシート	システムシートに登録
	起動方法	ANSER系、一括系どちらのシートでも起動可

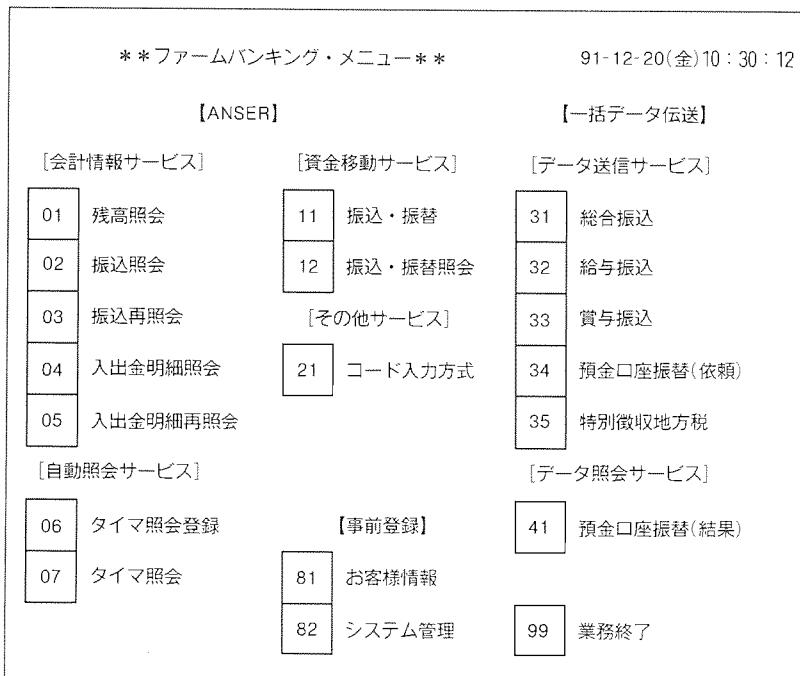


図7. メニュー画面

7. むすび

低価格でコンパクト、それに操作性の良いファームバンキング専用端末機“ふあびい”について紹介した。今後は、ファームバンキング端末機としての機能拡大、及び他用途用端末としての整備が必要である。今後の課題として、

- (1) 当社標準版のアプリケーションソフトウェアの整備。
- (2) ファームバンキング端末機以外への展開(例えは流通用端末など)を行うため、バーコードリーダ等の入出力機器を接続するためのハードウェア、ソフトウェアの整備。

以上、今後の課題を解決、実現すべく努力する所存であるが、関係各位の御意見などをいただければ幸いである。

参考文献

- (1) 吉田幸作:OSの歴史とDR-DOS,トランジスタ技術,28, No.2, 507~516(1991)
- (2) 本番!ホームバンキングのインパクト,週刊ダイヤモンド, 112~117(1991-2-23)
- (3) FBは中小企業取引の切り札だ,金融財政事情, 16~19 (1990-10-1)

三菱 B/NET 電力エネルギー管理システム・集中自動検針システム

有信一郎* 川口真由* 鎌田一郎* 山崎清熊* 岩崎清光*

1. まえがき

配電制御ネットワーク機器〈B/NET〉とは、リモコンリレー、リモコンブレーカ、ノーヒューズ遮断器、電磁接触器、電磁開閉器、電力量計、トランステューサなどの配電制御機器をネットワークし、これらの機器を総合的に監視制御することによって配電設備の高度化を図るために用いられる配電制御機器のためのネットワーク（伝送用）機器の総称である。この〈B/NET〉の応用システムとして、既に“B/NET 照明制御システム”を開発し、市場で好評を得ている。

このたび、上記“B/NET 照明制御システム”に加えてビル・工場等の電気設備管理と各種メータの集中自動検針を行うシステムとして、“B/NET 電力エネルギー管理システム”（以下“エネ管システム”という。）と、“B/NET 集中自動検針システム”（以下“検針システム”という。）を開発した。以下このシステムの構成、機能について述べる。

2. 新システム構築の技術課題と対応

エネ管システムと検針システムを開発するに際して、以下のような課題を解決することにより、新システムの構築を達成した。

2.1 伝送距離の長距離化

エネ管システムはビル・工場、検針システムは高層マンション・市場等、ネットワークを図る対象機器が広域に分散することが多い。したがって、表1に示すB/NET標準の伝送距離500mでは十分とはいえない、伝送距離の長距離化を図る必要がある。

2.1.1 伝送距離の伸長

B/NET伝送はB/NET専用の伝送プロセッサを使用し

表1. 〈B/NET〉の伝送仕様

項目	仕様
伝送速度	9,600bps
伝送距離	最大500m(64局接続したとき)
端末局	64台(親局含む。)
使用電線	CPEVS 径1.2mm相当品
伝送路構成	バス方式
制御方式	CSMA/CD(勝ち残り方式)
同期方式	調歩同期(データ8ビット、パリティ1ビット)
データ転送量	最大16バイト
エラー制御	偶数パリティ、サムチェック
給電電源	伝送専用電圧電流特性 DC24V 0.4A

て行っているが、伝送距離の伸長に対して信号の遅延が問題となっていた。この信号の遅延は、500mで20μs、1,000mで40μsである。この伝送プロセッサのゲートアレー部を以下の(1)(2)に述べるように改良し、伝送距離を500mから1,000mへの伸長を達成した。

(1) ビット検定の変更による伝送遅延の改良

信号のビット検定位置は、従来形ではデータサンプリングタイミングとして、1ビット長104μsに対して70μs後13μs間隔で3回サンプリングとなっており、サンプリング位置は伝送符号形式としてNRZ(Non Return to Zero)符号とAMI(Alternate Mark Inversion)符号の2種類のサポートを考慮したものである。改良形ではNRZ符号のみを使用することでデータサンプリングタイミングを65μs後6.5μs間隔で3回サンプリングとし、18μsの裕度をとった。

(2) 正常応答電文の受信タイミング改良

B/NET伝送では受信側は信号を受信すると正常応答電文(ACK信号)を返信する。送信側での、このACK受信のタイミング裕度が改良前では1,468μsの時間待ちに対して-50～+100μsであったが改良後-100～+200μsとし、裕度を150μs改善した。

2.1.2 アドレス拡張ユニットの採用

上記2.1.1項で伸長された伝送距離1,000mを、照明制御

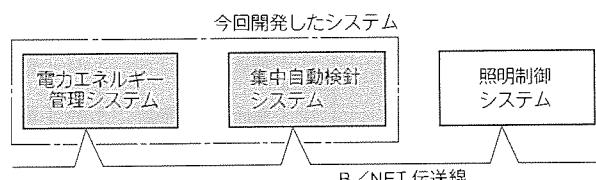


図1. 伝送線共用によるシステム構成

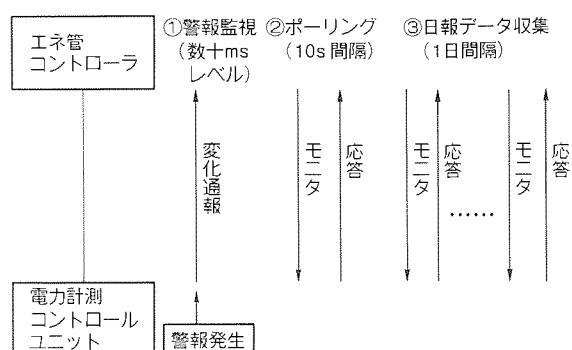


図2. 監視データの階層化

システム用に開発されたアドレス拡張ユニットを採用することで更に2倍に伸ばし、伝送距離を2,000m にすることができる。

2.1.3 B/NET 系統数の追加による広域化

B/NET 系統数をエネ管システムは4系統、検針システムは2系統として対応可能面積比で4倍と2倍に拡張できるようにし、対応可能面積で広域化を図った。

2.2 分散処理化

B/NET 伝送の特長である通信制御方式 CSMA/CD (勝ち残り方式) を生かし、以下の対応を図ることで、図1に示すように各々独立のシステムであるエネ管システム、検針システム、照明制御システムが同一の伝送線で同時に動作することを可能とした。

(1) 伝送タイミングの設定

伝送路を一つのシステムで独占しないように、各々のシステムごとに伝送タイミングを設定した。設定に際し、それぞれに重み付けを行い、エネ管システムで伝送最小間隔10ms、検針システムで伝送最小間隔500ms、照明制御システムで伝送最小間隔50ms としている。

(2) エネ管システムの伝送ターミナル数

エネ管システムはポーリングが頻繁となるため、1系統当たりの伝送ターミナル数を63台とする制限を行った。

2.3 データ処理の階層化

伝送データを、図2に示すように要求される処理スピードによって3段階に階層化した。この階層化により、緊急度を要求される警報監視を最も高速化し、大量データとなる日報データを少ない頻度で取り込むようにすることで、高速データと大量データの取り込みを可能にした。

(1) 警報監視の方式

警報監視の高速処理のため、警報発生点からの変化通報による警報データの送信を採用した(応答時間: 数十 ms)。

(2) ポーリング方式

常時監視データは、ポーリングによる収集方式を採用している(数十 s 間隔)。

(3) 日報データの収集方式

コントロールユニットに保持している日報データを一括収集する(1日間隔)。

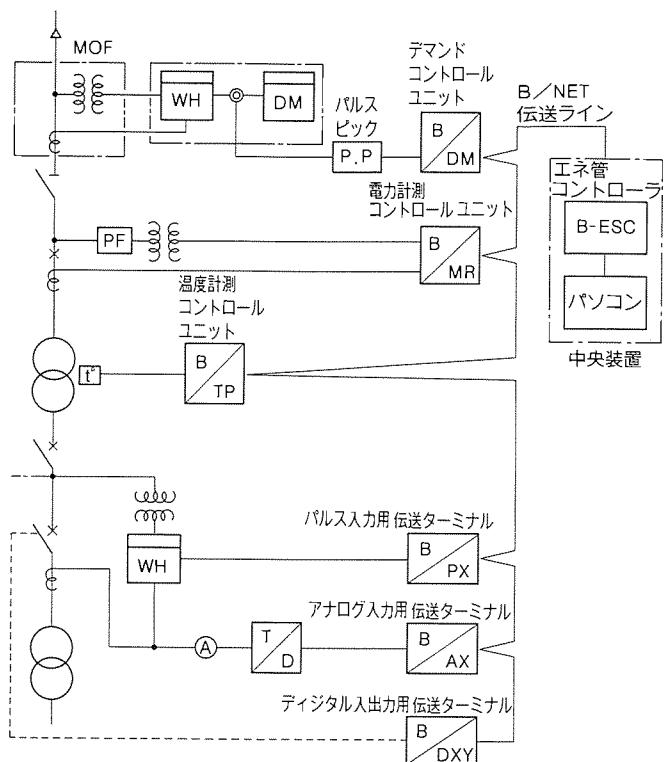


図3. 工エネシステムの全体構成例

表2. システム構成と仕様(電力エネルギー管理システム)

モデル	S			F			P		
	システム	B-ES100S	B-ES300S	B-ES500S	B-ES100F	B-ES300F	B-ES500F	B-ES100P	B-ES300P
入出力点数	100	300	500	100	300	500	100	300	500
警報監視	故障監視 状態監視 操作運転監視 発停失敗 上下限監視	○ ○ ○ ○			○ ○ ○			○ ○ ○	
表示機能	系統図表示 警報履歴表示 警報発生状況表示 データ表示 (接点、アナログ、パルス) デマンド表示 トレンド表示		○モノクロ ○モノクロ ○モノクロ ○モノクロ ○モノクロ ○モノクロ		○モノクロ ○モノクロ ○モノクロ			○最大20枚 ○カラ ○カラ	
機制機能	発停制御 (個別、グループ) スケジュール制御 力率監視制御 デマンド監視制御	○ ○ ○8系統 ○8系統		○ ○ ○8系統	○ ○ ○8系統			○ ○カラーグラフィック ○カラーグラフィック	
補助機能	メンテナンスガイダンス HELP機能							○	
記録機能	警報記録 状態変化記録 発停/発停失敗記録 デマンド制御記録	○ ○ ○ ○		○ ○ ○	○ ○ ○			○ ○ ○	
機能	日月報記録 警報状況清算記録 ハードコピー 設定値記録	○各最大7枚 ○各最大19枚 ○各最大32枚	○各最大19枚	○各最大32枚	○各最大7枚 ○各最大19枚 ○各最大32枚	○各最大7枚 ○各最大19枚 ○各最大32枚	○各最大7枚 ○各最大19枚 ○各最大32枚	○ ○ ○	
設定機能	システム登録 回路名称登録 日月報 フォーマット登録 系統図登録 演算式登録 定数設定	○専用設定器による。 ○専用設定器による。 ○専用設定器による。 ○専用設定器による。 ○専用設定器による。 ○専用設定器による。 ○専用設定器による。						○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
外部接続	上位伝送 フロッピードライブ記録 汎用ファイル出力	△			△		△	○ ○	○Lotus 1-2-3 テキストファイル

注 (○: 標準, △: オプション)

3. B/NET 電力エネルギー管理システム

3.1 B/NET 電力エネルギー管理システムの構成

エネ管システムの全体構成例を図3に、システム構成と仕様を表2に示す。このシステムは、ビル・工場内の受変電設備や機器の接点データ、アナログデータ、パルスデータを収集計測し、常時監視を行うとともに日報月報を作成する。中央装置からの個別発停及びグループ発停、スケジュール制御、力率監視制御、デマンド監視制御などの制御機能ももつている。B/NET機器は、監視制御を行う中央装置と各種配制機器に接続されたコントロールユニット及び伝送ターミナルから構成される。

3.1.1 中央装置(コントローラ)

中央装置はシステムの機能により、エネ管コントローラ単独システム(モデルS)、エネ管コントローラにフロッピーディスクを追加したシステム(モデルF)、プルダウン・ウインドウによる設定操作と、グラフィック処理による状態表示を行うパソコンと、主として監視制御を行うエネ管コントローラで構成されるシステム(モデルP)の3種類のモデルからなる。エネ管コントローラ(B-ESC 100, B-ESC 300, B-ESC 500)を図4に示す。エネ管コントローラは、B/NETによって各種コントロールユニットと伝送ターミナルに接続

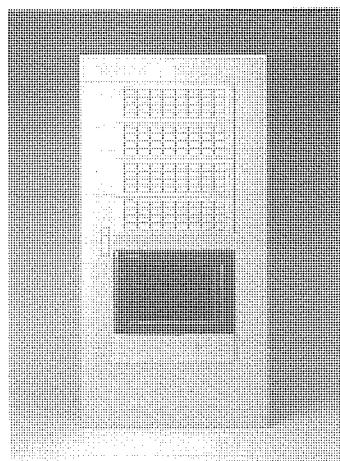


図4. 電力エネルギー管理コントローラ(中央装置)



図6. 電力計測コントロール
ユニット(B-MRU1)

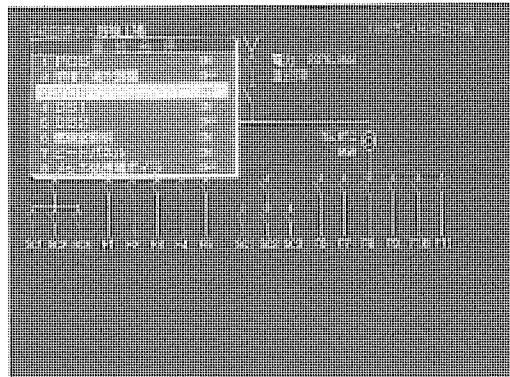


図5. スケルトン表示での個別発停ウインドウによる
制御画面例

され、システムの規模によってB/NET伝送線の系統数を2系統から4系統までとすることができる。操作表示は640×400ドットの大型のLCD表示器とLCD表示器上に配置されたタッチパネルによって容易に行うことができる。また、モデルPでは図5に示すようにパソコンのプルダウン・ウインドウによる操作と設定により、使いやすいマンマシンとグラフィック処理による状態表示を行う。

3.1.2 コントロールユニット

エネ管システム構築のために、電力計測コントロールユニット(B-MRU1)、温度計測コントロールユニット(B-TPU4)、デマンドコントロールユニット(B-DMU1)の3種類の新たなコントロールユニットを開発した。各コントロールユニットを図6～図8に、概略仕様を表3～表5に示す。

電力計測コントロールユニットは、図9のブロック図で示すようにVT、CT入力を絶縁トランジスタ、シグナルコンディショニングを行う入力回路、アンチエイリアシング用フィルタであるLFP回路を通してA/D変換器でデジタル化を行い、CPUでデジタル演算処理を行う。デジタル演算処理を行うことにより、電力計測で要求される各種信号を1台の機器で表示及び記憶することが可能となった。信号の種類は、デジタル演算処理の特徴を生かして、瞬時値とデマンド値(電圧・電流・電力・無効電力・力率・周波数・高調波電流)、積算値(電力量・無効電力量)があり、瞬時値とデマンド値についてはそれぞれ最大値、最小値を記憶し、また上下限値の監視も実行する。このコントロールユニット(次の温度計測コントロールユニットも同様)は、JISに準拠した精度となっており、これまでのトランスデューサと同様に計測用の機器として使用できる。

温度計測コントロールユニットは、4種類の測温抵抗体が使用可能で、-100～+300°Cの温度範囲で測定ができる。また、入力回路数は4回路で、それぞれ異

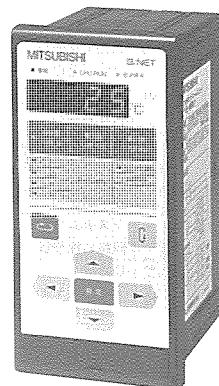


図7. 温度計測コントロール
ユニット(B-TPU4)

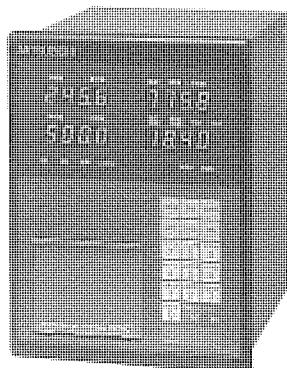


図8. デマンドコントロール
ユニット(B-DMU1)

なる測温抵抗体が使用できる。

デマンドコントロールユニットは、単体でのデマンドコントロールが可能であり、またエネ管システムに接続することにより、エネ管コントローラにデマンド計測データを送信するデマンド用伝送ターミナルとして動作を行う。エネ管システムでは、エネ管コントローラのLCD画面によってグラフィックのデマンド表示を行う。デマンド制御は制御回路数が、デマンドコントロールユニット単体の2回路出力から8回路出力となり、制御を中央装置から設定されたB／NET伝送ターミナルに対して行うことで制御範囲の拡張を図っている。

3.2 システム機能

表2に示すエネ管システムのシステム機能のうち、特長となる項目について述べる。

3.2.1 記録機能

従来のシステムに比べて、各種コントロールユニットを使用することにより、記録する項目となる計測内容の高度化を図っている。

(1) 計測項目の充実

表3. 電力計測コントロールユニット(B-MRU1)仕様

項目	仕様
適用回路	三相3W・単相3W・単相2W(共用)
計測入力	AC100~220V(0.3VA), 5A(0.1VA)
表示データ	各相電圧・各相電流・電力・無効電力・力率・周波数・高調波電流(2~15次・総合)・電力量・無効電力量(アナログは現在値のほか、最大値・最小値・デマンド値も表示可)
精度	アナログ±1%(力率は±2%), 電力量(普通級)・無効電力量
上下限監視	各アナログ値ごとに設定可、無電圧1a出力(一括)
電源	AC100~240V 11VA
外形寸法	72(W)×144(H)×110(D)(mm)

表4. 温度計測コントロールユニット(B-TPU4)仕様

項目	仕様
計測入力	Pt100Ω, Pt50Ω, JPt100Ω(-100~300°C), Ni508 4Ω(-50~250°C) 全4点
表示データ	温度(現在値、最大値、最小値)
精度	±1°C
上下限監視	各点ごとに設定可、無電圧1a出力(一括)
電源	AC100~240V 11VA
外形寸法	72(W)×144(H)×110(D)(mm)

新規開発した電力計測コントロールユニットを使用することにより、1台で多くの計測を実現しており、新しい機能も充実させている。例えば、高調波電流を15次まで測定でき、電源状態の管理に利用できる。また、瞬時値とデマンド値が容易に測定できるよう対応し、負荷の状況に応じた計測を可能とした。

(2) 警報監視の高速化

コントロールユニット、B／NET伝送ターミナルとも中央装置からのポーリングで警報を送信するのではなく、警報が発生すると同時に通報を中央装置に送信することで、警報監視の高速化を図っている。

(3) 日報・月報データの演算、印字

計測値の演算データを日報・月報で印字することができる。演算はモデルPでは四則演算のほか平方根などを演算する。例えば、フィーダ電流の平均値や電力量の合計などが簡単に演算でき、日報・月報に印字できる。

(4) 管理日報・月報

管理日報・月報により、各合計・最大・最小・平均の算出と負荷率・需要率・夜間率・力率等を、電力管理用データとして印字出力できる。

3.2.2 警報監視機能

(1) 警報内容

接点入力での重故障・軽故障・状態変化・発停失敗・アナログ入力での上下限警報、パルス入力での上限警報、デマンドでのデマンド警報の各種警報監視ができる、中央装置での表示、リレー接点出力のほか、警報各々について伝送ターミナルから出力ができる。

(2) 警報設定

警報状態の設定は各入力ごとにでき、以下に述べるように

表5. デマンドコントロールユニット(B-DMU1)仕様

項目	仕様
計測入力	無電圧a接点信号・オープンコレクタ(50,000パルス/kWh以下), K1形(9,000パルス/kWh)
表示データ	デマンド値(予測・年最大・現在・目標), 調整電力・許容電力・残り時間・月日・時刻ほか
制御出力	2回路 無電圧a接点
警報出力	1段・2段・限界・システム警報、無電圧1a出力(一括)
電源	AC100V 25VA
外形寸法	144(W)×192(H)×212(D)(mm)

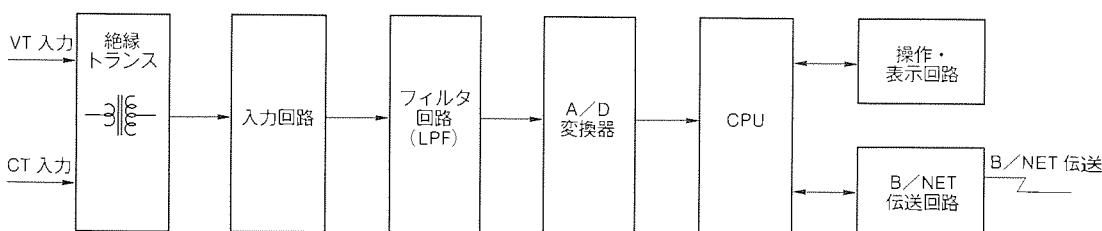


図9. 電力計測コントロールユニット(B-MRU1)のブロック図

各システムに対応したきめ細かい設定による警報動作が可能である。接点入力では、監視の有無、表示内容（あらかじめ登録された表示の中から最適なものを選択する。

例えば、ON/OFF、発生/復旧等）、またアナログ・パルス入力では警報発生の有無を上限/下限、発生/復旧で各々の独立に選択、表示が可能である。

4. B/NET 集中自動検針システム

4.1 B/NET 集中自動検針システムの構成

検針システムの全体構成例を図10に、システム構成と仕様を表6に示す。このシステムは、ビル、マンション、集合アパート等に設置された電気・水道・ガス等の計量を行う発信装置付きメータの計量値を収集して、各月別の使用量を演算し、使用量によって各テナントの料金演算を行い、請求書発行を行う。また、各種台帳の印字も可能である。

4.1.1 中央装置(コントローラ)

中央装置はエネ管システムと同様に、システム規模に応じた三つのモデルからなり、簡易請求書を印字する漢字対応ミニプリンタ内蔵の検針コントローラ単独システム（モデルS）、検針コントローラに15インチ漢字プリンタを追加したシステム（モデルK）、請求書・領収書の発行を行う検針コントローラとパソコンで構成されるシステム（モデルP）の3種類のモデルがある。

検針コントローラを図11に示す。検針コントローラはエネ管コントローラと同一構成をとり、B/NETシステムとしての統一性をとっている。検針専用の仕様として24ドットの漢字印字を行うサーマル方式ラインプリンタを組込み用ミニプリンタとして採用した。

4.1.2 検針カウンタ

検針用の伝送ターミナルとして検針カウンタ（B-MPX 24 A）を開発した。検針カウンタを図12に、概略仕様を表7に示す。24点のパルス入力としてa接点又はc接点をカウントし、B/NET伝送によって検針コントローラにカウント値を送信する。a接点、c接点の設定は各入力ごとに設定でき、水道メータ、ガスマータに使用されるc接点対応の設定として1パルス

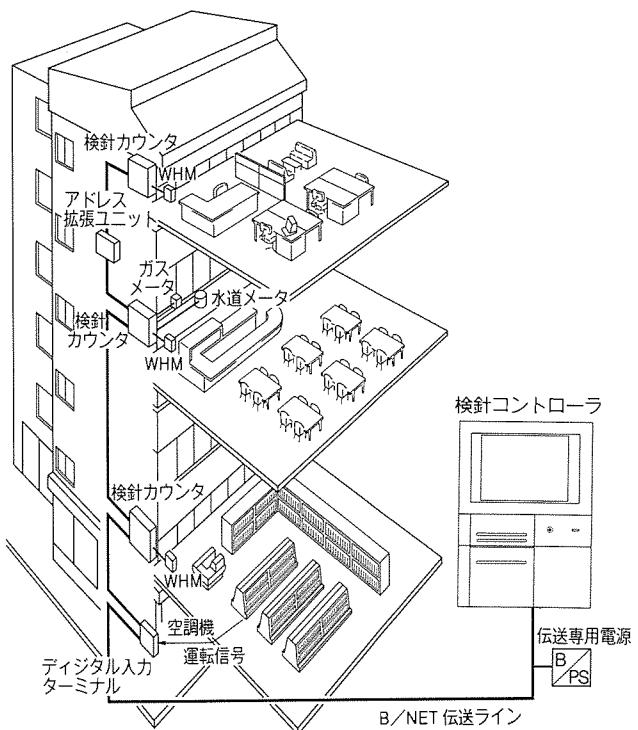


図10. 検針システムの全体構成例

表6. システム構成と仕様(集中自動検針システム)

モ デ ル シ ス テ ム		S			K			P		
項目		B-AM 100S	B-AM 300S	B-AM 500S	B-AM 100K	B-AM 300K	B-AM 500K	B-AM 100P	B-AM 300P	B-AM 500P
検針	全点検針	○				○				○
	ワンタッチ検針	○			○				○	
	1回検針	○			○				○	
	予約検針	○			○				○	
	毎月検針	○			○				○	
	隔月検針	○			○				○	
	種別検針	○			○				○	
	個別検針、テナント検針	○			○				○	
	メンテナンス検針	○			○				○	
	検針点数 稼働時間計測点数	合 計	100点 300点 500点		100点 300点 500点		100点 300点 500点		100点 300点 500点	
印字機能	検針結果印字		○			○			○	
	簡易請求書発行		○			○			○	
	台帳更新メモ印字		○			○			○	
	検針エラー印字		○			○			○	
	メータ台帳印字		○			○			○	
	テナント台帳印字		○			○			○	
	料金台帳印字		○			○			○	
	テナントリスト印字		○			○			○	
	テナント集計印字		○			○			○	
	メンテナンス検針印字		○			○			○	
計算機能	稼働時間データ印字		○			○			○	
	15インチ漢字プリンタ印字				○				○	
	請求書・領収書発行 (当社標準フォーマット)								○	
	請求書・領収書発行 (お客様ご指定フォーマット)								△	
	メータごと使用量		○			○			○	
	対前回比率 = $\frac{\text{今回使用量}}{\text{前回使用量}} \times 100$		○			○			○	
	メータ種別ごと使用量合計		○			○			○	
	メータごと料金 = 基本料金 + Σ (使用量 V_i × 単価 C_i)		○			○			○	
	テナント別 合計		○			○			○	
	料金合計		○			○			○	
算定機能	メータ種別ごと料金合計		○			○			○	
	総合計料金		○			○			○	
	共用部の 使用料金 のあん分		○			○			○	
	テナントの面積率		○			○			○	
	テナントの使用量率		○			○			○	
	テナントの稼働時間率		○			○			○	
	メータ台帳設定		○			○			○	
	テナント台帳設定		○			○			○	
	RS-232C+モ뎀		△			△			△	
	FDDによるデータ渡し									△

注 (○:標準、△:オプション)

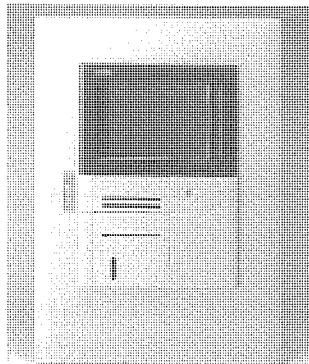


図11. 集中自動検針コントローラ
(モデル S)

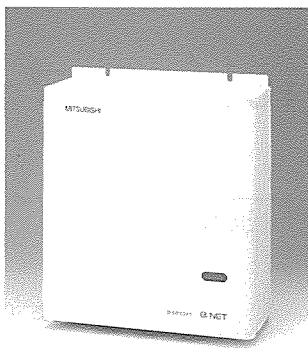


図12. 検針カウンタ(B-MPX24A)

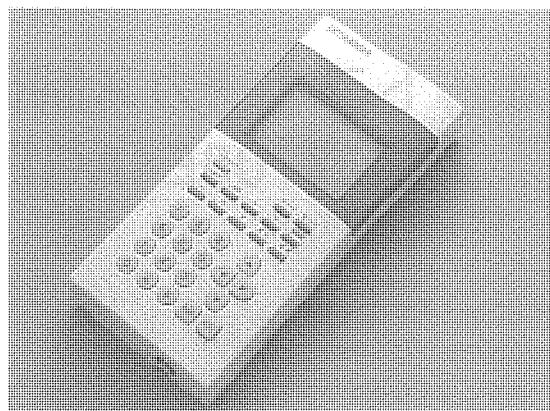


図13. 検針チェック (B-DSMO2)

表7. 検針カウンタ(B-MPX24A)仕様

項目	仕様
入力点数	24点
入力信号	無電圧 c 接点又は a 接点(DC12V 1mA) ON 時間 30ms 以上, OFF 時間 1s 以上, チャタリング10ms 以下
停電補償	計数動作16時間(ニッカド電池内蔵), 72h 充電後
電源	AC100-240V 15VA
外形寸法	260(W)×310(H)×110(D)(mm)

の乗率を×1又は×5に設定できるようにした。また、検針カウンタの伝送仕様は汎用のB／NET伝送ターミナルに準じているため、汎用のパルス入力ターミナルとして使用することもできる。

4.1.3 検針チェック

検針カウンタにカウント値を設定する検針チェック (B-DSMO2)を開発した。検針チェックを図13に、概略仕様を表8に示す。

4.2 システム機能

表6に示すシステム機能のうち、特長となる項目について述べる。

4.2.1 共用部使用料金のあん分

共用場所等の料金を各テナントに割り振るあん分方式として、以下の多様な方式を可能とした。

(1) 固定値でのあん分

テナントのフロア面積や在籍人員等の数値を使用して共用料金を各テナントごとにあん分する。固定値の設定はフロア面積や在籍人員等の数値をそのまま設定入力として使用する。

(2) 配分比でのあん分

各テナントごとの共用料金のあん分を共用料金に対する%(百分率)で直接設定する。

(3) 使用量でのあん分

実際の各テナントの使用量で共用料金のあん分を行う。この方式は、例えばビルの全体の使用量を計測するメータの値と各テナントでの使用量の合計が、配電ロス等で一致しないようなときに使用できる。ビルの全体の使用量を計測するメ

表8. 検針チェック (B-DSMO2)仕様

項目	仕様
表示	液晶表示 7 文字×4 けた
操作	専用キー・テンキー
電源	検針カウンタ又は AC アダプタ(付属品)から給電
外形寸法	93(W)×203(H)×35(D)(mm)

ータの値で計算した使用料金を、各テナントでの使用量であん分することにより、全体の使用料金に対応した各テナントの使用料金を算出できる。

4.2.2 印字の高品位化

印字は、漢字出力が可能なフルグラフィックのミニプリンタを使用することによって高品位を達成し、鮮明な簡易請求書の発行など印字内容も充実させている。

4.2.3 テナントの稼働時間率(空調料金のあん分)

ビルの空調で、空調機室外機はビル一括での運転を行い、各テナントで空調機室内機を自由に運転するような場合、空調機室内機の稼働時間によって空調機使用料金をあん分する必要がある。この場合、空調機室内機の稼働状態を接点入力でB／NET伝送ターミナルに入力することにより、空調機室内機の稼働時間を計測し、計測した稼働時間によって空調機使用料金を各テナントにあん分する機能を実現させた。空調機使用料金は空調機室外機を計量するメータを検針することによって求められる。

5. むすび

配電制御ネットワーク機器(B／NET)の新しいシステムである“B／NET電力エネルギー管理システム”と“B／NET集中自動検針システム”について述べた。このシステムは、ますます高度化するビル・工場等の配制機器システムとして非常に有効なものとなることを確信している。今後、このシステムの上位との伝送による他システムとのネットワーク化等、一層の機能の充実を図っていく。また、配電制御ネットワーク機器(B／NET)を中心とした各種システムをニーズに直結した分野から順次実現していく所存である。

オートフォーカス制御用16ビットマイコン M37708E4AGP

大西賢治* 原田大次郎* 上水流 政利** 尚永幸久* 玉木浩子**

1. まえがき

近年、民生分野では様々な用途にマイクロコンピュータが応用されている。これらの応用機器の高性能化に伴い、高速でかつ高機能なワンチップマイクロコンピュータの要求が高まっている。

当社では、4ビット、8ビットマイクロコンピュータを民生機器制御用、16ビットマイクロコンピュータをOA／産業機器制御用として位置づけ、開発・量産を行っている。当社オリジナル16ビットワンチップマイクロコンピュータ“MELPS 7700”は、独自のアーキテクチャと最先端CMOSプロセスの採用などにより、高性能・高速化を図っている。しかし、民生分野でも16ビットマイクロコンピュータによる高速処理が必要とされている。そして、今回、民生機器制御用として、MELPS 7700の新製品であるM37708E4AGPを開発したので紹介する。

2. 開発の背景

近年、8mmカメラ、ムービー等カメラ一体型VTR市場の拡大、市場製品の高機能化は目覚ましく、それに伴い、それらの製品に使用されるマイクロコンピュータに対しても小型パッケージで内蔵メモリの大容量化やデータ処理速度の高速化、又は応用されるシステムの周辺機能の取り込みなど、市場からの要求はますます多様化している。このような要求にこたえて、“MELPS 7700”的民生分野への応用として、“MELPS 7700”的多彩な周辺装置に加え、モータ制御機能を内蔵し、シリアルI/Oに自動転送機能をもたらした高機能16ビットシングルチップマイクロコンピュータM37708E4AGPを開発した。

3. M37708E4AGPの概要

M37708E4AGPの性能概要を表1に、ブロック図を図1に、ピン配置を図2に示す。M37708E4AGPの特長は“MELPS 7700”に共通の周辺機能に加え、以下の二つの機能を追加している点である。

- (1) クロック同期型シリアルI/O自動転送機能(8ビット×8のFIFO RAM内蔵)
- (2) パルス出力ポート2チャネル(4ビット×8段のバッファ内蔵)

上記の機能については、4章、5章で詳述する。

パッケージは、0.65mmピッチ80ピンプラスチックモールドフラットパッケージ(80ピンQFP)に収められており、そのピン配置は、現在量産中のM37702グループの0.65mmピッチフラットパッケージ品と同一配置である。

3.1 中央演算処理装置

中央演算処理装置は16ビット構成である。そのため16ビットデータの処理が一度に行える。また、必要に応じて処理ビット数を8ビットにも切り替えることが可能である。“MELPS 7700”では、メモリアクセスの効率化のため、バスインターフェースユニットを内蔵している。バスインターフェースユニットは、命令コードの先取りを行う3バイトの命令キューバッファと、データの読み出し・書き込みを行う2バイトのデータバッファをもっている。メモリのアクセスはこのバ

表1. M37708E4AGPの性能概要

項目	性能	
基本命令数	103	
命令実行時間	250ns(最短命令、外部クロック入力周波数16MHz時)	
メモリ容量	ROM	32Kバイト
	RAM	1,536バイト
入出力ポート	P0～P2, P4～P8	8ビット×8
	P3	4ビット×1
多機能タイマ	TA0, TA1, TA2, TA3, TA4	16ビット×5
	TB0, TB1, TB2	16ビット×3
パルス出力ポート	4ビット×2 (UART又はクロック同期形)×2 クロック同期形は8バイトバッファ(FIFO形式)付き	
シリアルI/O	8ビット×1(8チャネル)	
A-D変換器	12ビット×1	
監視タイマ	外部3要因、内部16要因。各割り込みごとにレベル0～7までの割り込み優先レベルが設定可能	
割り込み	内蔵(セラミック共振子又は水晶共振子外付け)	
クロック発生回路	5V±10%	
電源電圧	60mW	
消費電力	入出力耐電圧 5V	
入出力特性	出力電流	5mA
	メモリ拡張	可能(最大16Mバイト)
動作周囲温度	-20～+85°C	
素子構造	CMOS高性能シリコンゲート	
パッケージ	80ピンプラスチックモールドQFP	

スインターフェースユニットが行い、中央演算処理装置はメモリを直接アクセスすることなく、バスインターフェースユニットとのデータのやりとりをすればよいため、メモリをアクセスするために起こる中央演算処理装置の速度の低下を抑えている。基本命令数は103命令あり、アドレッシングモードは28種類ある。

内蔵ROMは32Kバイト、内蔵RAMは1,536バイトもっている。PROM、RAM、I/O、タイマ、シリアルI/Oなどの周辺装置は、すべてバンク0内に配置している。

3.2 A-D変換器

8ビット逐次比較方式のA-D変換器を内蔵しており、入力は8チャネルである。変換結果は各入力チャネルに対応したレジスタに格納される。変換モードは、単発、繰り返し、单掃引、繰り返し掃引の4種類あり、单掃引と繰り返し掃引の場合は掃引するチャネル数を2, 4, 6, 8チャネルの中から選択できる。

3.3 タイマ

M37708E4AGPは“MELPS 7700”に共通の16ビットタイマを8本もっており、入出力機能をもつタイマAが5本と、入力機能をもつタイマBが3本に分けられる。タイマAは、タイマモード、イベントカウンタモード、ワンショットパルスモード、8ビット長又は16ビット長パルス幅変調モード

の4種類の機能をもっている。また、タイマAのうち3本は、2相パルス処理機能をもっている。さらに、そのうち1本は4倍速タイプの2相パルス処理機能である。タイマBは、タイマモード、イベントカウンタモード、パルス周期測定/パルス幅測定モードの3種類の機能をもっている。

新規に追加した機能として、タイマA4に12(8+4)ビットパルス幅変調モードをもっている。図3に12ビットパルス幅変調モードのタイミングを示す。このモードは8ビット長パルス幅変調によって作られる小区間16個の集まりを一つの繰り返し周期とし、表2に示すルールに従って小区間に1クロック分の長さのパルスを付加することにより、繰り返し周期の分解能を12ビットにするモードである。小区間の周期は(クロックの周期)×(2⁸-1)、繰り返し周期は(クロックの周期)×(2⁸-1)×16となる。

4. シリアルI/O

シリアルI/Oは2本内蔵しており、それぞれ非同期型(UART)とクロック同期型の二つのモードが選択できる。図4にシリアルI/Oのブロック図を示す。送信側、受信側ともバッファレジスタをもっている。非同期型では送信と受信とは独立して行え、データフォーマットは、7ビット、8ビット、9ビットフォーマットが選択できる。また、ストップ

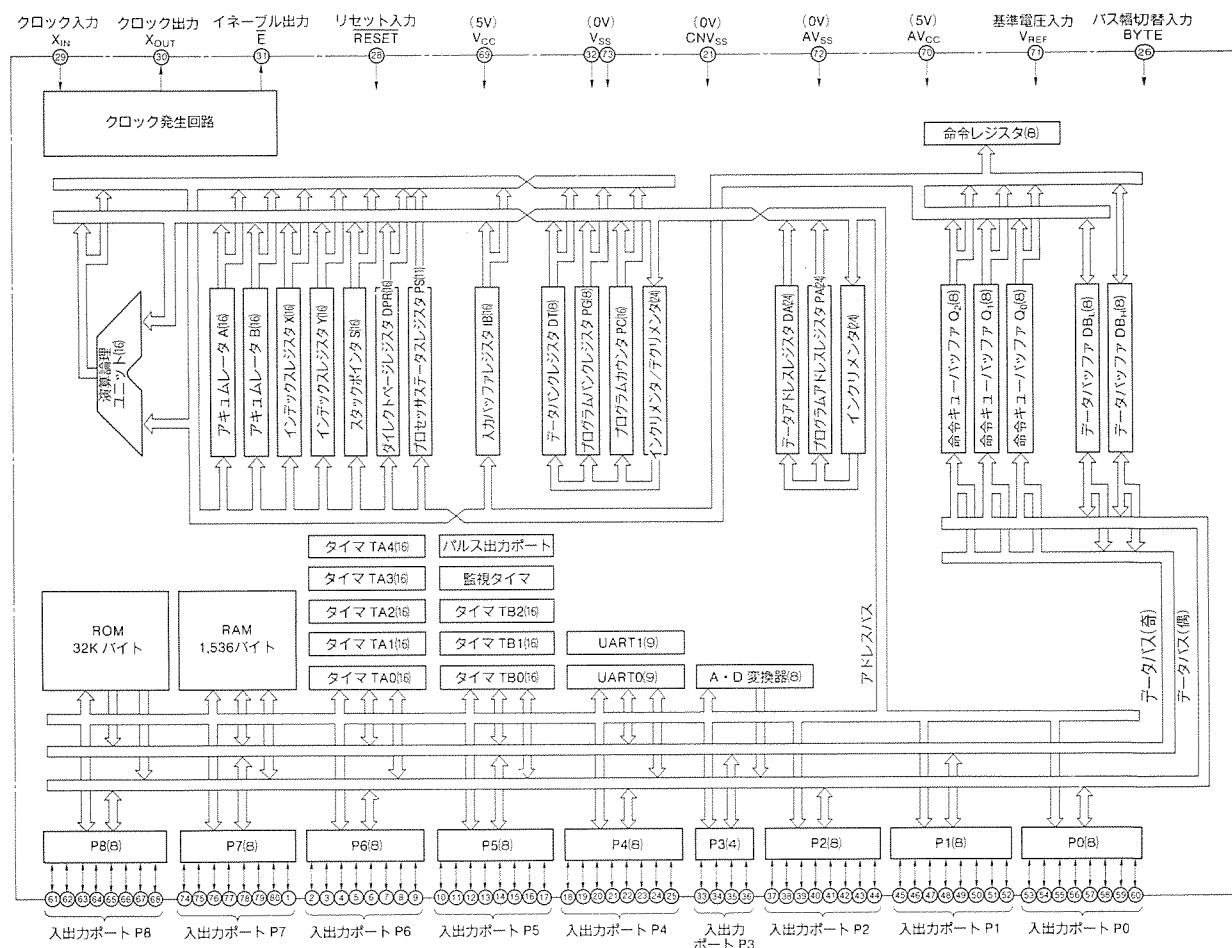


図1. M37708E4AGPのブロック図

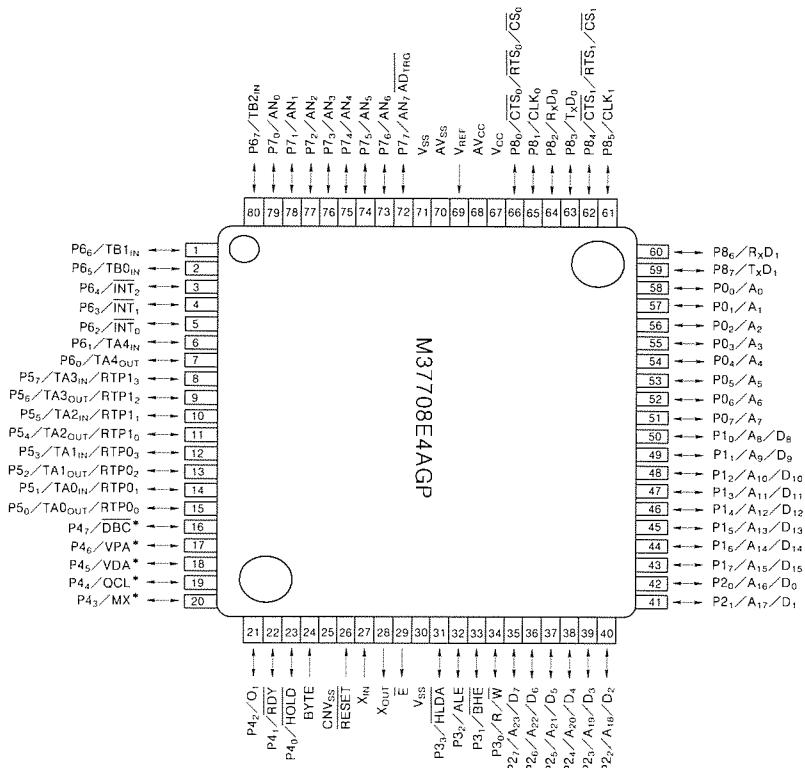


図2. M37708E4AGPのピン配置

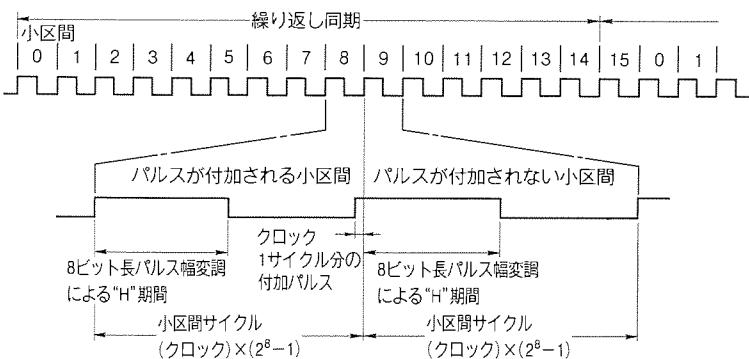


図3. 12ビットパルス幅変調モードのタイミング

表2. パルスが付加される小区間の位置

4ビットの値	パルスが付加される小区間の位置	付加パルスの個数
0000	なし	0
0001	8	1
0010	4, 12	2
0011	4, 8, 12	3
0100	2, 6, 10, 14	4
0101	2, 6, 8, 10, 14	5
0110	2, 4, 6, 10, 12, 14	6
0111	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14	7
1000	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15	8
1001	1, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 15	9
1010	1, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 15	10
1011	1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15	11
1100	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15	12
1101	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	13
1110	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	14
1111	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	15

1ビットを1ストップビットとするか、2ストップビットとするかの選択や、パリティビットの有無、奇数パリティとするか、偶数パリティとするかの選択も可能である。

クロック同期型では8ビット×8のFIFO RAMを使用する自動転送機能が選択できる。FIFO RAMのメモリ効率を上げるために、送信データと受信データを同一のメモリを使用して記憶する構成としている。自動転送を行うデータ数は1バイトから8バイトまで1バイト単位で設定可能である。FIFO RAMへの読み出し・書き込み・転送データは、それぞれ読み出しポインタ・書き込みポインタ・転送ポインタで制御している。FIFO RAMへのアクセスは16ビット単位で行うことができる。自動転送スタートビットを“1”にすると自動転送がスタートする。自動転送をスタートさせると、転送ポインタによって指定されるFIFO RAM内のメモリのデータが送信レジスタに転送される。転送が終了すると転送ポインタはインクリメントし、次の送信データが格納されているメモリの位置を指定する。1バイトの送受信が完了すると、受信されたデータは転送ポインタがインクリメントする前のメモリに転送される。また、転送ポインタによって指定されるメモリ内のデータが送信レジスタに転送され、次の送受信が可能となる。

このように送信データを転送するメモリと受信データを転送するメモリを異なるメモリとすることで、送信データの転送と受信データの転送を同時に実行することができるため、シリアル送受信を行なうデータ間の間隔を短くすることができる。これにより、連続する送信クロックによって64ビット(8ビット×8)長のデータのシリアル送受信も可能である。設定されたデータ数の送受信が完了すると、自動転送スタートビットが“0”になり、自動転送は終了する。送信データと受信データを同一のFIFO RAMに記憶するため、受信したデータをそのまま送信することも可能である。データ出力端子(R_xD_i , $i=1, 2$)の形態をCMOS出力とするか、Nチャネルオープンドレイン出力とするかを選択できる。

また、送受信制御信号入出力端子の機能を、設定されたデータ数に達するまで、入力“L”レベルを検出するごとに1バイト単位で送受信を行うCTS入力とし、単位で送受信可能状態

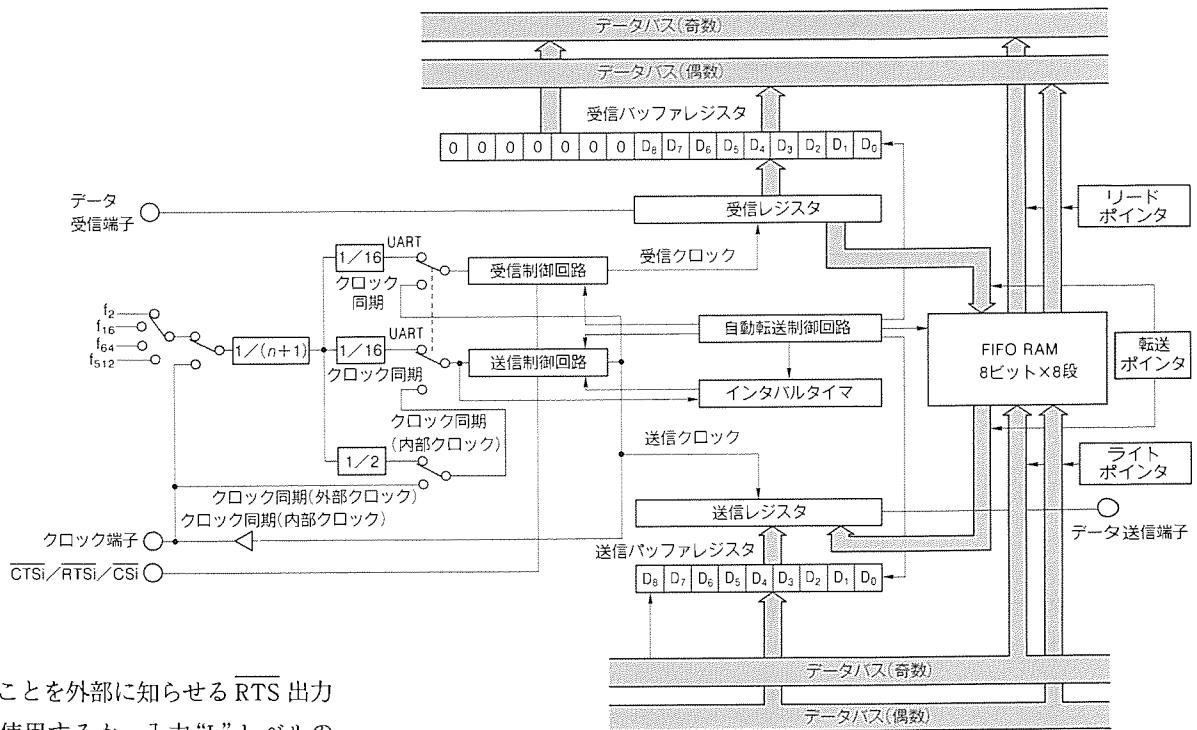


図4. シリアルI/Oブロック図

D であることを外部に知らせる \overline{RTS} 出力として使用するか、入力 “L” レベルの期間中連続して送受信を行う \overline{CS} 入力として使用するか、又は入出力ポートとして使用するかを選択することができる。

図5に \overline{CS} 入力を選択した場合のタイミング図を示す。 \overline{CS} 入力又は入出力ポート機能を選択し、内部クロックで使用する場合は、8ビットのインターバルタイマにより、シリアル送受信を行うデータ間のインターバル時間を設定することができる。送信クロック1ビット分の長さを T_c 、インターバルタイマの設定値を m とすると、転送間隔 T_i は $T_i = T_c \times m$

D となる。クロック端子とデータ送信端子

は、ハイインピーダンス制御ビットにより、ハイインピーダンス状態にすることが可能である。 \overline{CS} 入力を選択している場合は、 \overline{CS} 入力を “L” レベルにすることで外部からハイインピーダンス状態を解除することができる。自動転送中に \overline{CS} 入力を “H” にすることにより、自動転送を強制的に終了させることができる。また、自動転送スタートビットを “0” にすることでソフトウェアによって終了させることも可能である。

5. パルス出力ポート

パルス出力ポートのブロック図を図6に示す。M37708E4AGPは4ビット×8段のパルス出力データレジスタを内蔵した4ビットのパルス出力ポートを二組もっている。一組は、ポートP5₇～P5₄であり、もう一組はポートP5₃～P5₀である。使用的なタイマはタイマAで、モードはタイマモードに設定する。ポートP5₇～P5₄を制御するのはタイマA2

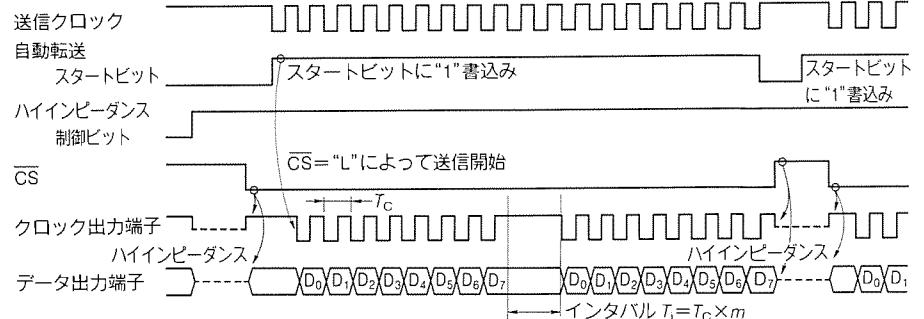


図5. クロック同期シリアルI/Oのタイミング

であり、ポートP5₃～P5₀を制御するのはタイマA0である。各パルス出力ポートに対応するタイマAの内容がダウンカウントされ0000₁₆になる(オーバフローする)とパルス出力データレジスタの内容がビット対応でポートに出力される。パルス出力データレジスタのビットの内容が“0”であれば対応するポートの出力は “L” レベルとなり、“1”であればポートの出力は “H” レベルとなる。

パルス出力は、パルス幅変調選択ビットにより、パルス幅変調がかけられる。ポートP5₇～P5₄の4ビットに対してはタイマA3によるパルス幅変調が、ポートP5₃～P5₀の4ビットに対してはタイマA1によるパルス幅変調がかけられる。また、ワンショットパルス幅変調選択ビットにより、パルス出力ポートに内蔵する8ビットのワンショットタイマの設定期間だけパルス幅変調がかけられる。対応するタイマAがオーバフローするとワンショットタイマがダウンカウントを開始する。このとき、“L” → “H”に変化したポートに対

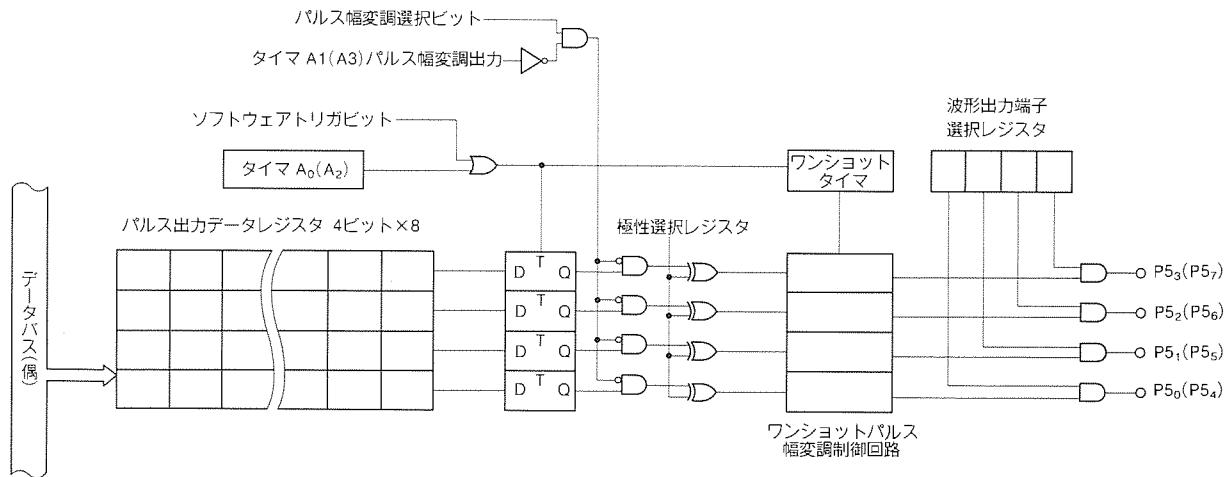


図6. パルス出力ポートのブロック図

してはタイマA3、タイマA1によるパルス幅変調がかけられ、“L”→“H”に変化したポートに対してはタイマA3、タイマA1の出力波形の反転波形によるパルス幅変調がかけられる。

ワンショットタイマがオーバーフローするとパルス幅変調は解除される。また、極性選択ビットにより、パルス出力データレジスタの内容を反転して出力することができる。パルス幅変調をかけた場合にも、そのパルス幅変調出力の逆極性の出力が得られる。ソフトウェアトリガビットにより、タイマAのカウント値に関係なくパルス出力データレジスタの内容をポートに出力することができる。これらパルス出力ポートの波形例を図7に示す。

データレジスタ機能選択ビットにより、パルス出力データレジスタの機能を4ビット×1段のバッファとして使用するか、4ビット×8段のバッファとして使用するかを選択できる。パルス出力データレジスタを8段のバッファとして使用する場合、パルス出力データレジスタへのデータの書き込み・読み出しがリード・ライトポインタによって制御される。リード・ライトポインタは書き込み・読み出しによって自動的に移動するため、パルス出力データレジスタはFIFO RAMと同様の取扱いができる。

また、ポートに出力されるデータはパルス出力データレジスタの転送ポインタによって制御される。ポインタU/D選択ビットにより、リード・ライトポインタ、転送ポインタをアップカウントするか、ダウンカウントするかを選択できる。パルス出力ポートを動作させると、対応するタイマAがオーバーフローしたとき、転送ポインタの示すバッファ内のレジスタからデータがポートに出力され、転送ポインタが“1”アップカウント又はダウンカウントする。リード・ライトポインタ、転送ポインタはソフトウェアによって移動させることも可能である。

図8にワンショットパルス幅変調を用いたステッピングモータの制御例を示す。タイマA0の設定値を t_0 、ワンショッ



図7. パルス出力ポートの波形例

トタイマの設定値を $t_0/2$ とし、タイマA1のパルス幅変調のデューティを50%に設定する。パルス出力データレジスタを8段バッファとして使用し、表3に示すデータを設定する。タイマA0がオーバーフローするたびに、パルス出力データレジスタに設定された内容がデータ0→データ7の順番でポートに出力される。このとき、“H”→“L”に変化したポートに対しては $t_0/2$ の期間タイマA1によってデューティを50%パルス幅変調がかけられ、“L”→“H”に変化したポートに対しても同様にデューティを50%パルス幅変調がかけ

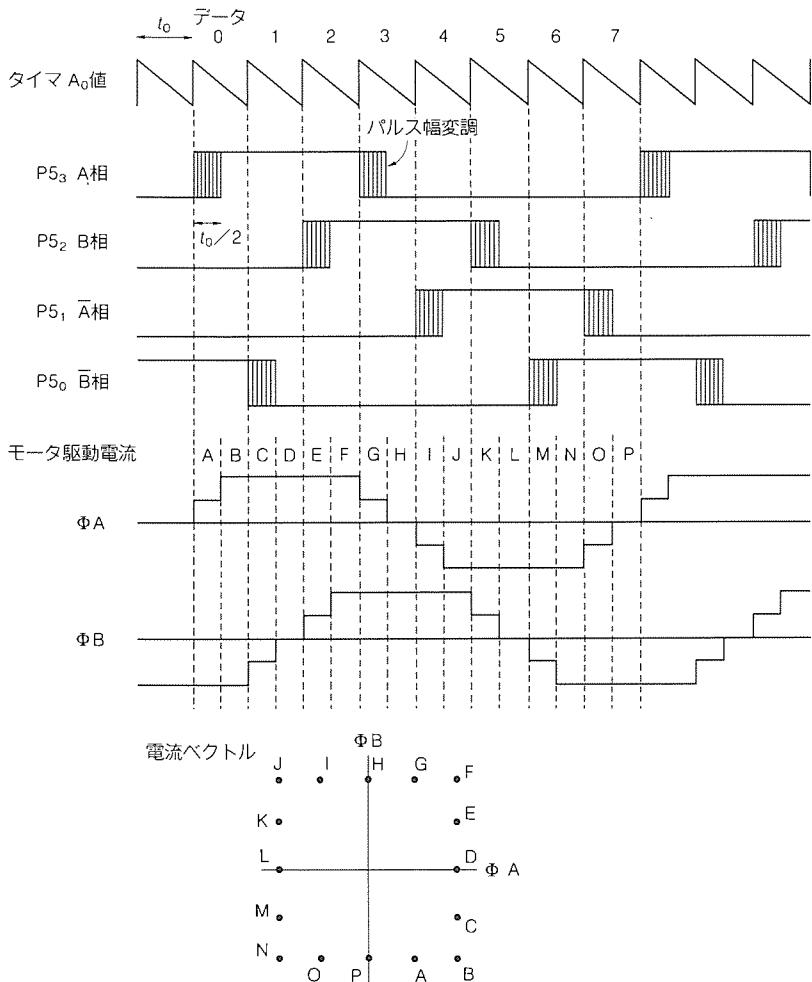


図8. パルス出力ポートによるステッピングモータ制御例

られる。P₅₃, P₅₂, P₅₁, P₅₀をそれぞれA相, B相, A相, B相とし、外付けされるドライバに入力すると、ΦA, ΦBに示すモータ駆動電流が得られる。A～Pで示す電流ベクトルがステッピングモータの回転角度と駆動トルクとなる。また、ポインタU/D選択ビットにより、出力するデータをデータ7→データ0とすることでモータを逆回転させることも可能である。

6. ウエーハプロセス

図9にM 37708 E4AGPのチップ写真を示す。ウェーハプロセスは、先端プロセスである1.0 μm ルール CMOS プロセスを採用することにより、4.95 mm × 9.87 mm のチップサイズに約41万個のトランジスタを集積した。チップ写真から分かるように、パターンレイアウトは、各機能ブロックごとに分離しやすく考えているので、メモリ容量の変更や周辺装置の変更など製品展開も容易に行えるように考慮している。また、内蔵 EPROM にM 37702 E4BFP で開発した超高速 EPROM を採用するなど、高速化への配慮を行っている。

7. 応用

民生分野の応用範囲を拡大するため開発したM 37708 E4

表3. ステッピングモータ制御データ例

データ	P5 ₀	P5 ₁	P5 ₂	P5 ₃
0	1	0	0	1
1	0	0	0	1
2	0	0	1	1
3	0	0	1	0
4	0	1	1	0
5	0	1	0	0
6	1	1	0	0
7	1	0	0	0

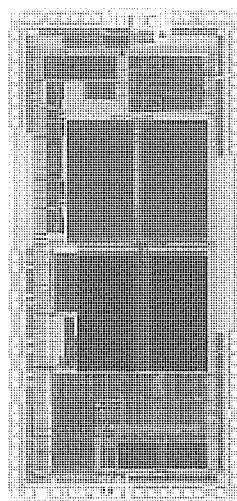


図9. チップ写真

AGPは、AF制御に限らず、モータ制御や大量のシリアルデータ通信を行う必要がある民生分野、産業分野にも適しており、幅広い応用が実現できる。特にモータ制御を要する応用システムでは、モータ制御装置の一部をマイクロコンピュータ内部に取り込んでいるため、システムのコスト低減、小型化が可能となる。

応用の例としては、複写機、プリンタ、FAX、ワードプロセッサ、パーソナルコンピュータなどのOA機器、ME、NC工作機、通信機、計測機などの産業機器、及びカメラ一体型VTR等のAV機器などが考えられる。

8. むすび

民生分野への応用として、AF制御のための周辺機能を内蔵した16ビットワンチップマイクロコンピュータ M 37708 E4AGPを開発した。この製品に続き、M 37708 E4AGPの内蔵 PROM 部をマスク ROM に置き換えたマスク ROM 版を開発中であり、大量生産に対応できるよう考えている。

今後も、“MELPS 7700”的開発を通じ、メモリ容量の変更や他の周辺機能の取り込みにより、応用システムの高度化、コスト低減などに貢献していきたい。さらにまた、産業用、民生用を問わず広範な分野に適合できる、高速・高性能なマイクロコンピュータの開発を行い、市場の要求にこたえていく所存である。

三菱統合ネットワーク管理システム

青野英樹* 村田 篤* 原田 優* 河村浩光* 鬼塚裕一郎*

1. まえがき

ネットワークシステムが、大規模、複雑、マルチベンダー化し、ネットワークシステムが企業の情報通信の基盤として重要な位置を占めるようになってきた。

こうした背景のもと、ネットワーク管理システムの重要性が叫ばれている。このシステムはこういった要求にこたえるシステムであり、管理プロトコルとして OSI (Open Systems Interconnection) 管理プロトコルである CMIP (Common Management Information Protocol) を採用し、マルチベンダー管理システムが構築可能である。

従来、デジタル多重化装置、回線交換装置、パケット交換装置、LAN システム等のネットワークの管理は個別対応であった。これらすべてのネットワーク管理システムがもつ管理データを融合して初めて行うことのできる構成管理、障害管理、性能管理などのネットワーク管理を行うのが統合ネットワーク管理システムである。

本稿では、このシステムの構成、提供機能、特長について説明する。

2. システムの特長

(1) 複合通信ネットワークの管理を統合

高速デジタル専用線、パケット交換網、ローカルエリアネットワーク (LAN) など多種のネットワークが相互接続された複合通信網で、多重化装置 (MUX)、パケット交換装置 (PSE)、構内交換機 (PBX)、構内通信網 (LAN) などがもつ

すべてのネットワークデータを融合して初めて行うことができる物理ネットワーク構成管理、ネットワーク障害切り分け、性能管理を行うことができる。

(2) マルチベンダー対応

ネットワーク管理プロトコルとして OSI 標準管理プロトコルである CMIP、管理データとして OSI 標準及び標準化団体である NMF (Network Management Forum) で決められた管理データを採用している。また、管理データを定義ファイルとしてプログラムから分離し、管理データにフレキシビリティをもたらすことにより、マルチベンダー間での相互通信が可能である。

(3) ユーザーカスタマイズを可能とするオープンなインターフェース

ユーザーインターフェースのカスタマイズを容易に行うことができる。また、ユーザー対応の管理アプリケーションを追加できるインターフェースを公開している。

(4) OSI ネットワーク管理

OSI ネットワーク管理装置としても位置付けることができる。

(5) 地域分散されたローカルエリアネットワーク (LAN) の統合管理

各地域に分散された複数の LAN システムの管理装置を、1か所から集中管理を行うことができる。

(6) マルチプロトコル対応

管理通信プロトコルとして CMIP を標準サポートするが、他の管理通信プロトコルにも対応できるインターフェースをも

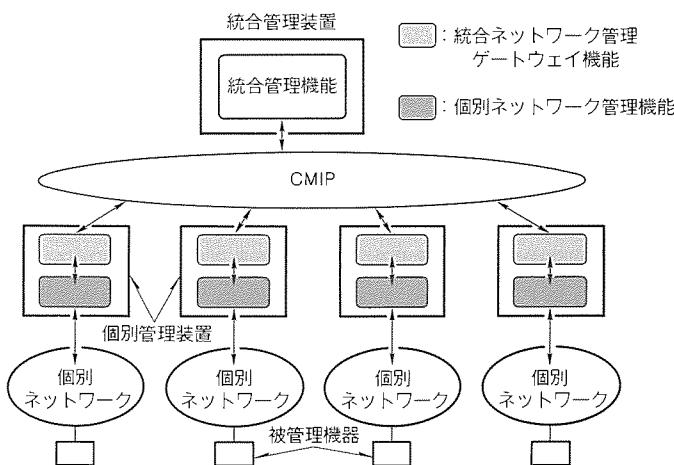


図1. 統合管理システム機能構成

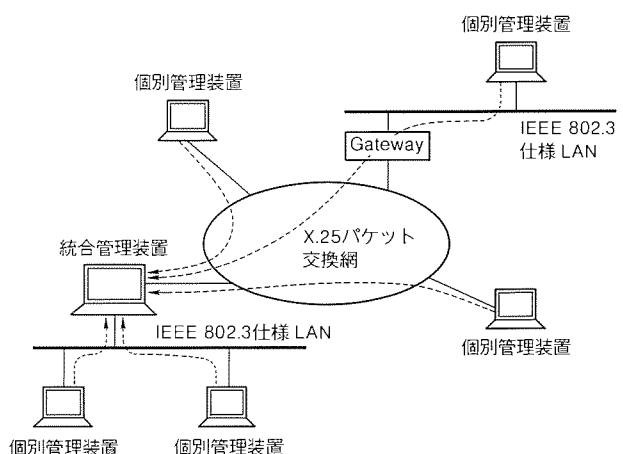


図2. ネットワーク構成

つため、CMIP をサポートしない管理装置の収容も可能である。

3. システム構成

3.1 機能構成

図1に統合ネットワーク管理システムの機能構成を示す。統合ネットワーク管理システムは以下の機能で構成されている。

(1) 統合管理機能

各個別管理装置のネットワーク管理機能、管理データを融合してネットワークの管理を統合する機能。

(2) 個別ネットワーク管理機能

各個別ネットワークを管理する機能。

(3) 統合ネットワーク管理ゲートウェイ機能

各個別ネットワーク管理と統合管理機能(OSI管理)の変換を行う機能。

(4) 統合管理装置

統合管理機能が実装される機器。

(5) 個別管理装置

個別ネットワーク管理機能、統合ネットワーク管理ゲートウェイ機能が実装される機器。

(6) 個別ネットワーク

各個別管理装置が管理するネットワーク。

(7) 被管理機器

個別ネットワーク上に存在する機器は、統合管理装置から、個別管理装置経由にて管理される。被管理機器はMUX、PBX、PSE、LAN構成機器などである。

3.2 ネットワーク構成

図2に統合ネットワーク管理システムのネットワーク構成図を示す。統合ネットワーク管理システムネットワーク構成は、以下の特長をもっている。

(1) ローカルエリアネットワーク(LAN)、パケット交換網をサポートし、広域網経由においても管理システム構築が可

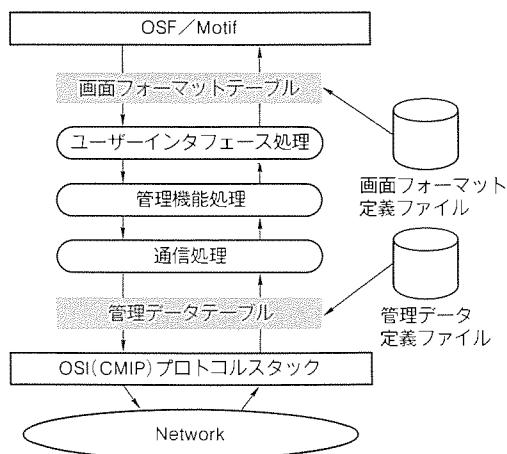


図3. 統合ネットワーク管理装置のソフトウェア構成

能である。

- (2) 既存のネットワーク上に管理システムが構築可能である。
- (3) 各機器固有の設備情報(機器管理者、資産番号、設置場所など)の管理が可能である。

4. ソフトウェア構成

(1) 統合ネットワーク管理装置

図3は統合ネットワーク管理装置のソフトウェア構成を示す。統合ネットワーク管理装置は、画面フォーマットと管理データを定義ファイルにすることにより、マルチベンダー接続、画面フォーマットの変更を可能にしている。

(2) 個別管理装置

図4は個別管理装置のソフトウェア構成を示す。個別管理装置は、プロトコル変換テーブルを定義ファイルにし、システムから浮かせることにより、マルチベンダー接続、管理データ変更／追加／削除を可能にしている。

5. 統合ネットワーク管理システムの機能

5.1 監視機能

(1) ネットワーク構成監視

ネットワークのトポロジマップ(図5)を自動的に表示／更新する。各個別ネットワークすべてを融合したトポロ

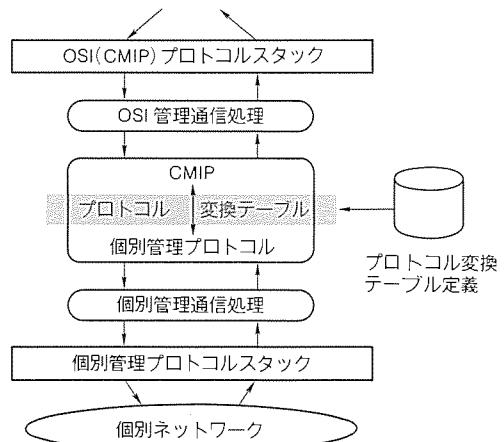


図4. 個別ネットワーク管理装置のソフトウェア構成

表1. 統合ネットワーク管理システムの機能一覧

管 理 機能	機能概要
監視機能	ネットワーク構成監視 各ネットワークの論理接続、物理接続のトポロジマップを絵で表示する。
	障害監視 障害情報をマップの色、アラームメッセージ、障害報告コマンドで報告する。
	性能監視 被管理装置、ネットワークの負荷状態を測定する。
制御機能	診断制御 統合管理装置から個別管理装置経由で、被管理装置に対して診断。
	カスタマイザブル機能 マルチベンダー接続に対応する生成パラメータ機能。 カスタマ対応に管理画面を変更できる機能。

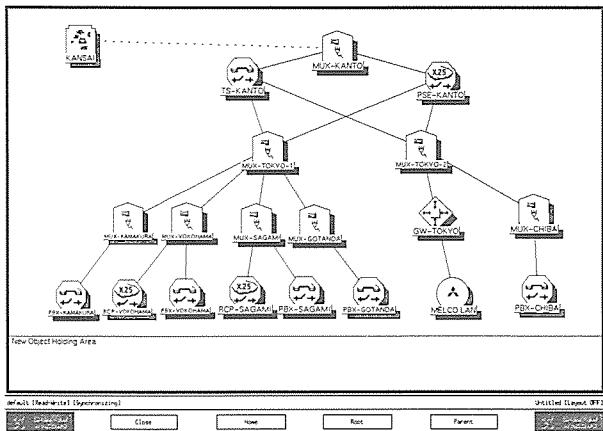


図 5. 統合管理装置のトポロジーマップ(例)

ジーマップを作成することができる。この機能により、次の情報が管理者に提供される。

- (a) 個別管理装置だけでは分からなかった個別ネットワーク機器の相互接続状況(TDMとPBXの接続関係など)。
- (b) End-to-End の経路で、どのようなネットワークが間に介在しているか。

(2) 障害監視

被管理装置に発生した障害を、個別管理装置経由でリアルタイムに受信することができる。統合管理装置は、各個別ネットワークを融合したトポロジーデータをもっているため、発生した障害がどのネットワーク、どのユーザーに影響を与えるかを知ることができる。障害情報は以下の方法で管理者に報告される。

- (a) 障害の発生した箇所をトポロジーマップ上で色を変えて表示する。
- (b) 個別管理装置から報告された障害情報をリアルタイムに表示する。
- (c) 障害内容に応じたアクション(緊急連絡先に電話をかけるなど)を自動実行する(アクションはユーザーによって定義される)。
- (d) トラブルチケットにより、障害履歴を1件1葉形式で、データベースに保管することができる。

(3) 性能監視

ネットワーク管理者がトポロジーマップ上で指定した機器、ネットワークの負荷状況を監視することができる。結果はグラフにて表示される。

- (a) 統合管理装置から異なった機器間(例: MUX と PSE 間)の性能測定を行うことにより、ネットワーク上のどの機器がネックとなり、ネットワーク全体のスループットに影響が出ているかを知ることができる(図 6)。
- (b) 性能監視のデータ履歴をとることにより、ネットワーク拡張時の参考データとすることができます。

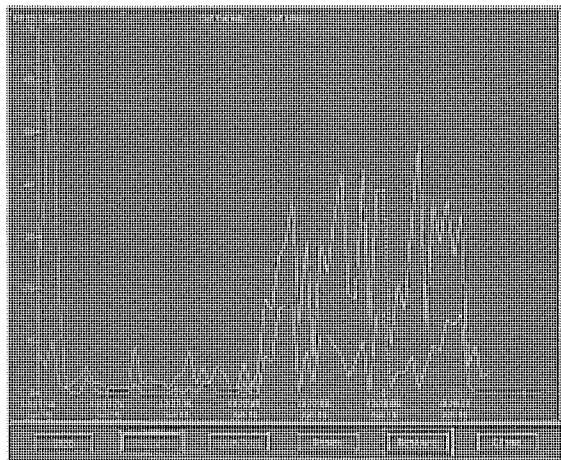


図 6. 統合管理装置の性能測定画面(例)

5.2 制御機能

障害監視機能で発見した障害箇所に対して診断制御を行うことにより、真の障害箇所を切り分けることができる。

- (1) 一つの要因にて複数の障害が報告された場合においても、統合管理装置から診断機能を行うことにより、障害箇所の特定を行うことができる。

- (2) 被管理装置に対して、定期的に診断機能をかけることにより、障害の予防保全ができる。

5.3 ユーザーカスタマイズ機能

前述したように、画面フォーマット定義、管理データ定義、プロトコル変換テーブル定義を生成ファイルとしてプログラムから切り離すことにより、以下の拡張性を実現した。

- (1) 他社個別管理装置独自の管理データを拡張して管理することができる。
- (2) 他社統合管理装置が要求する管理データに合わせることができます。
- (3) カスタマーの要求に対して、画面フォーマットを自由に変更することができる。

6. むすび

大規模、複雑化、マルチベンダー化するネットワークシステムの管理システムに対して、OSI 管理プロトコルを採用し対応できるシステムの開発を行った。ネットワークシステムのマルチベンダー化、ネットワーク管理に対するユーザニーズの調査から、特にマルチベンダー管理、ユーザーカスタマイズ性を重視したシステムとなっているのが特長である。また、今後 OSI ネットワークが普及するに従い、OSI 管理装置としての需要も多くなると考えられる。

今後、ネットワーク構築支援、ネットワークシミュレーション、障害自動切り分けなどの分野にエキスパートシステム技術の応用を行っていく予定である。

国際標準テレビ会議端末を収容する 多地点テレビ会議システム

中井教詞* 松田茂信* 秋田康貴** 岡 進** 佐藤美穂子**

1. まえがき

近年、会議出席に伴う移動時間の有効活用、又は出張経費削減のために、テレビ会議システムを導入する企業が増えている。その理由として、

- ISDN等のデジタル通信網が普及し、画像通信システムを容易かつ経済的に構築できるようになってきたこと。
- 1990年12月に国際電信電話諮問委員会(CCITT)でテレビ会議端末に関する国際標準(表1)が勧告化され、テレビ会議システムの普及に拍車がかかったこと。
- LSI技術の進歩によってテレビ会議端末の小型化・低廉化が進んだこと。

などが挙げられる。

テレビ会議システムの普及に伴い、本社・支店・営業所・工場など複数地点を同時に結ぶ多地点テレビ会議システムに対するニーズが強まり、CCITTにおいても1993年春の勧告化に向けて標準化作業が活発に行われている。

このような動きを受けて、当社では国際標準に準拠したテレビ会議端末を収容する多地点通信制御装置(Multipoint Control Unit:MCU)MP-2000(図1)を開発し、多地点テレビ会議システムの提供を実現した。

本稿では、この多地点テレビ会議システムの提供サービス、機能及び構成等について紹介する。

2. MP-2000の概要

MP-2000の主要諸元を表2に示す。主な特長は以下のとおりである。

(1) 複数種類の端末を収容

- 国際標準に当社独自仕様を加えたテレビ会議端末(MELFACE 800シリーズ)⁽¹⁾⁽²⁾を収容し、高度なサービスを提供する。
- 当社の従来のテレビ会議端末(MELFACE 700シリーズ)⁽³⁾も収容できるので、ユーザリソースの有効活用が図れる。
- 一般的な電話機(アナログ

電話やディジタル電話)を端末として収容し、音声による会議への参加が可能である。

- (2) 豊富な収容端末数
 - 多地点会議では、最大16台の端末を収容できる。
 - 同報会議では、MCUを複数接続することにより、最大128台の端末を収容できる。
- (3) 複数会議の開催
 - 最大8グループの多地点会議の同時開催が可能である。
 - 各会議グループは、互いに異なる通信速度で会議開催が可能である。
- (4) 予約機能の実装
 - 会議予約管理機能を内蔵し、予約管理のための専用設備が不要である。

3. システム構成

このシステム⁽⁴⁾⁽⁵⁾では、MCUと端末はISDN(基本又は一次群インターフェース)又はデジタル専用線網を経由して接続される。これまで導入された多地点テレビ会議システムの利用状況によると、3~4地点で開催される多地点会議が大半を占めている。しかし、多くの端末から構成される大規模システムでは、複数の会議が同時に進行する場合が想定されるため、最大8グループの会議の同時開催を可能とした。図2(a)に4会議同時開催の場合のシステム構成例を示す。

一方、全国各地に分散した支店等に、社長メッセージや講演を伝達する放送型の同報会議では、通常の多地点会議に比べて収容端末数が圧倒的に増加する。これにも対応するため、このシステムでは複数MCUのスター状接続方式を採用した。

表1. テレビ会議端末に関するCCITT勧告

勧告番号	名 称	主な規定項目
H.221	オーディオビジュアルテレサービスにおける64kbpsから1,920kbpsチャネルのフレーム構造	・伝送フレーム構造 ・ビットレート割当信号(BAS)
H.230	オーディオビジュアルシステムのためのフレーム同期の制御信号と通知信号	・映像／音声／メンテナンス／多地点会議に関するC&I符号
H.242	2Mbpsまでのデジタルチャネルを使用したオーディオビジュアル端末間の通信を設定する方式	・インチャネル相互接続手順
H.261	p×64kbpsオーディオビジュアルサービス用ビデオ符号化方式	・ビデオ符号化アルゴリズム
H.320	狭帯域テレビ電話・会議システムとその端末装置	・システム構成 ・端末条件 ・他端末との相互接続条件

すなわち、講演者端末を収容する MCU をマスタとし、聴講者端末を収容する他の MCU (スレーブ MCU) をマスター MC U が収容するようにした(図 2(b))。これにより、一つの同報会議に最大 128 台の端末を収容できる。

4. 主な提供サービス

4.1 会議開催

このシステムが提供する会議サービスには、前もって会議室と MCU の利用を予約する予約会議と、緊急に会議を開催することを想定した即時会議がある。

このシステムは、テレビ会議端末又は専用の予約端末からの操作による予約会議を基本としている。MCU は、内部の会議予約管理テーブルに基づき、会議に必要な回線、端末及び MCU 内部のリソースをチェックして予約登録を行う。そして予約時刻になると、該当するテレビ会議端末を呼び出し、会議を開催する。

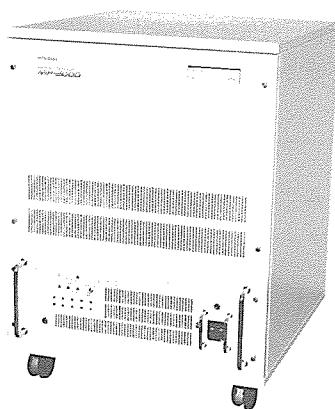


図 1. 多地点通信制御装置 MP-2000 の外観

一方、即時会議の場合、他の会議用にリソースが予約されていなければ、任意時点で会議開催が可能である。

4.2 3 モードの同報会議

同報会議では、音声のミキシングと分配、映像の切替え等に関して以下に示す 3 種類のモードを設け、ユーザーの多様なニーズに対応できるようにした。

(1) 講演モード (mode A)

講演者の音声と映像を聴講者へ一斉に分配する。

(2) 質問モード (mode B)

表 2. MP-2000 の主要諸元

項目	内 容
会議運用形態	多地点会議／同報会議
収容端末	国際標準テレビ会議端末 (MELFACE800 シリーズ等) 当社従来テレビ会議端末 (MELFACE700 シリーズ) 電話端末 (アナログ電話、デジタル電話)
収容端末数	最大 16 台 (多地点会議時) / 最大 128 台 (同報会議時)
同時開催会議数	最大 8 会議 (ISDN 接続時は伝送速度の異なる会議の混在可能)
適用網	ISDN (INS ネット 64, INS ネット 1500) 高速デジタル専用線 (RS-422/449)
内蔵 ISDN インタフェース	基本インターフェース 一次群速度インターフェース
チャネル速度	64k~1.5Mbps
伝送制御	フレーム構成.....H.221準拠 手順.....H.242準拠 制御と通知 (C & I)H.230準拠
使用メディア	音声.....デジタルミキシング • 16kbps APC-AB • 56k/64kbps A 则 / μ 则 PCM (G.711) • 56kbps SB-ADPCM (G.722) 映像.....音声検出切替え / マニュアル切替え データ.....1 対 N の分配 (1.2~64kbps)
会議予約	予約管理機能内蔵 設定時刻に参加端末を自動呼出し

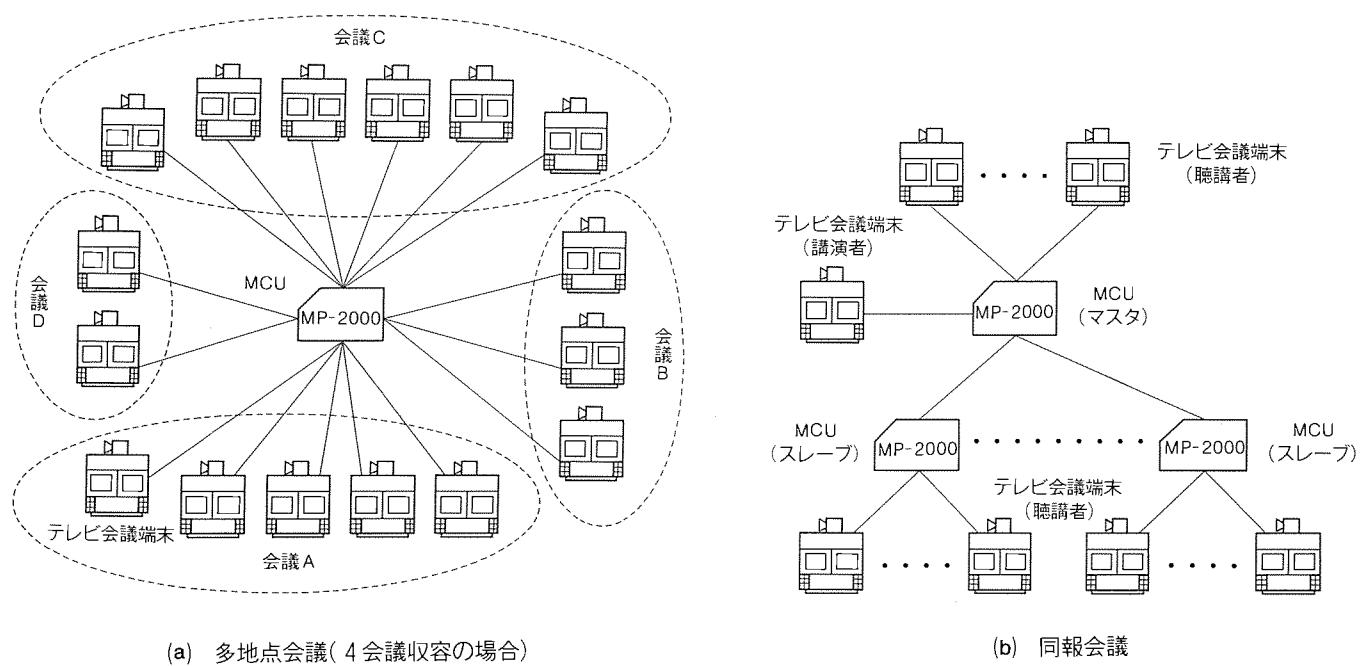


図 2. 多地点テレビ会議システム構成例

講演者と質問者のミキシング音声を他の端末へ分配する。各端末に表示される映像は、講演者によって適宜切り替えられる。

(3) 議論モード (mode C)

全会議参加者の音声をミキシングして分配する。また、各端末に表示される映像は、講演者によって適宜切り替えられる。

4.3 メディア処理

(1) 音声

テレビ会議で扱う音声は、臨場感を向上させるために高品質であることが望ましい。そのために音声符号化方式として、CCITT勧告（以下“勧告”という。）G.722で規定されている7kHz帯域のSB-ADPCMを採用した。さらに、各会議室の環境による背景雑音や発言者の声の大小の差異に対応するため、各端末からの符号化音声データをミキシングする際に、各端末ごとに適応型の音声検出と自動ゲインコントロールを行

行い⁽⁶⁾、聞き取りやすい高品質な音声を提供可能としている。

多地点会議では、各端末に他の参加端末のミキシング音声を送信するが、同報会議では、講演者の音声だけを聴講者へ分配したり、講演者と質問者のミキシング音声を聴講者端末へ分配するなど、会議の種類やモードによって多様な動作が可能である。

(2) 映像

各端末に表示される映像を切り替える方法として、音声検出によって発言者を特定し、その映像を全参加端末に分配するオートモード（図3）と、議長端末が参加端末の一つを選択してその映像を分配するか、又は各参加端末が受信映像をリクエストできるマニュアルモードがある。

同報会議では、基本的に講演者の映像を聴講者端末に分配するが、質問者の映像を分配するモードもある。また、講演者は自端末に表示される映像を任意に選択できるなど、様々なサービスを提供する。

(3) ユーザーデータ

ユーザーが電子ボードやパソコン等のユーザーデータを送信する場合には、勧告H.221で規定されているLSD（Low Speed Data）又はHSD（High Speed Data）のパスを利用してデータを分配する。ユーザーデータを送信できるのは1会議の中で同時に1端末である。このため、複数の端末からの送信要求が競合する場合を考慮し、送信権制御を行って送信端末を決定している。

5. ハードウェア構成

MP-2000のハードウェア構成を図4に示す。

(1) 回線制御部

ISDN（INSネット64／1500）インターフェースを収容し、呼

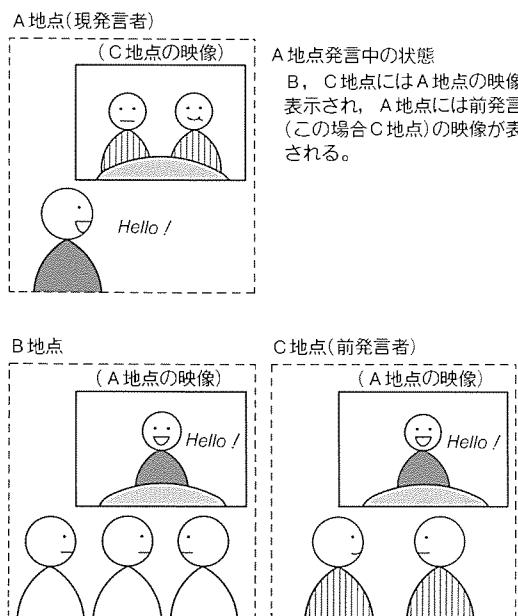


図3. オートモード時の映像表示例

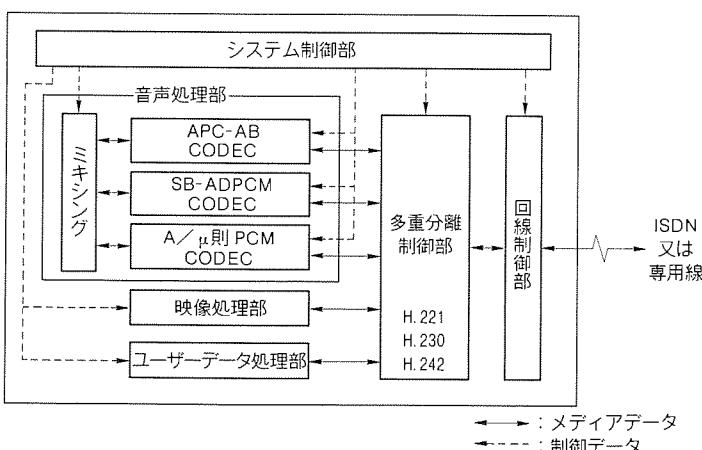


図4. MP-2000のハードウェア構成

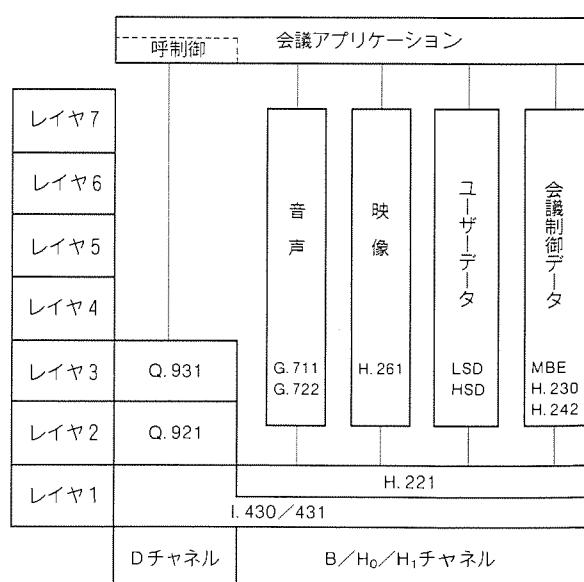


図5. MCU-端末間のプロトコル構成

制御等を行う。また、RS-422/449 インタフェースによる専用線モードでの接続も可能である。

(2) 多重分離制御部

勧告 H.221 で規定されている伝送フレーム構成に従って、音声、映像、ユーザーデータ等を各チャネルごとに多重分離する。また、勧告 H.242 に従って、接続される端末との間で能力ネゴシエーションや動作モードの指定、さらに勧告 H.230 で規定されている C&I (Control & Indication) 信号の送受信処理を行う。

(3) 音声処理部

各符号化方式に対応した音声コーデック、ミキシング制御部で構成される。多重分離制御部で分離された各端末からの

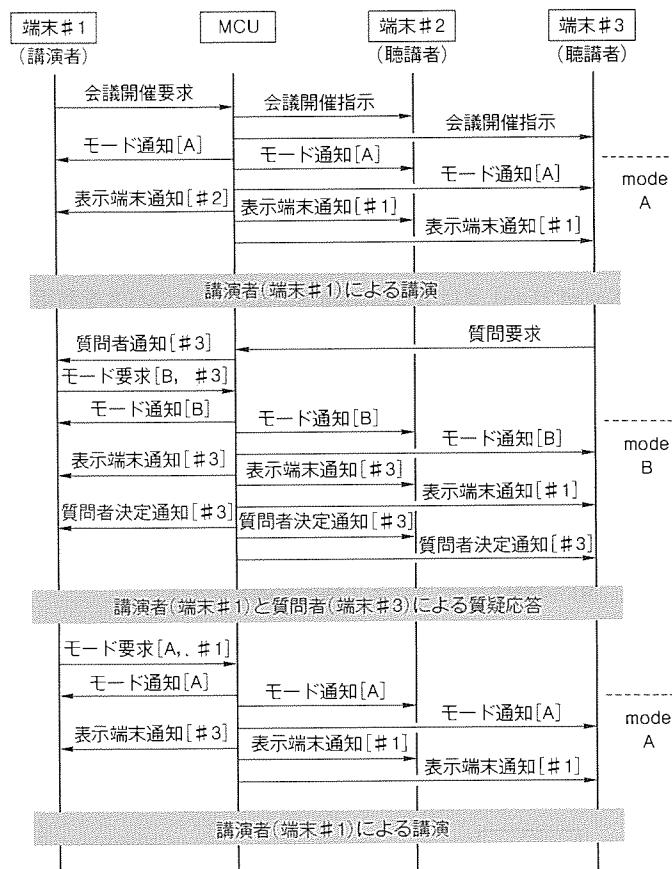


図 6. 同報会議でのモード切替シーケンス例

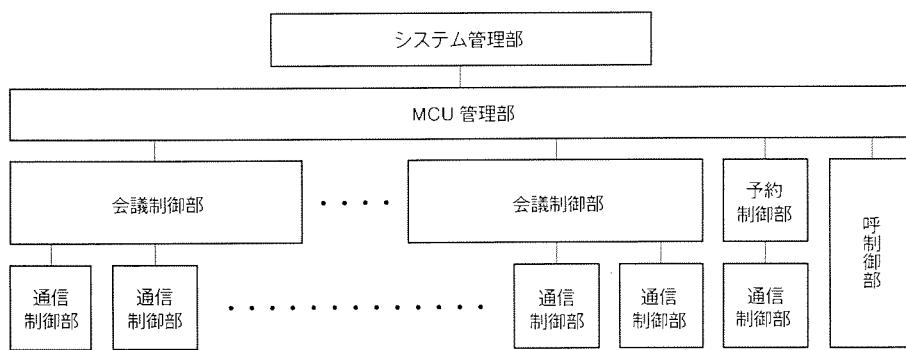


図 7. MP-2000のソフトウェア構成

音声信号を復号してミキシングし、再び符号化した後、多重分離制御部へ分配する。また、各端末ごとにゲインコントロールや音声検出も行う。

(4) 映像処理部

多重分離制御部で分離された各端末からの映像信号を、システム制御部からの指示に従って選択し、多重分離制御部へ分配する。

(5) ユーザーデータ処理部

多重分離制御部で分離された送信権保持端末からのユーザーデータを、他の多重分離制御部へ分配する。

(6) システム制御部

上記の各ブロックの制御を行い、会議全体の制御を行う。複数会議が開催されているときには、各会議ごとに独立した制御を行う。また、会議予約やシステム保守等のシステム管理も行う。

6. 会議制御

6.1 通信プロトコル

多地点テレビ会議システムは、多種のメディアを扱う端末を数多く収容し、様々なユーザニーズに対応しなければならない。このようなシステムを実現するために、テレビ会議端末に関する勧告をベースにして独自の通信プロトコル体系を構築した(図5)。

会議制御データとして、勧告 H.230 で規定されている基本的なコマンドと、より高機能なサービスを提供するために独自に規定したコマンドを使用している。独自コマンドは勧告 H.221 で規定されている MBE (Multiple Byte Extension) 機能を利用して転送される。その一例として、図6 に同報会議におけるモード切替シーケンスを示す。

6.2 ソフトウェア構成

MP-2000 のソフトウェア構成を図7 に示す。また、各構成部の機能を表3 に示す。

上述の通信プロトコルを実現するために、MCU と端末間の 1 リンクに閉じた処理を行う通信制御部、1 会議グループに収容する各端末を統括して制御する会議制御部、各会議グループを統括して MCU 全体を管理する MCU 管理部、端末と MCU から構成される多地点テレビ会議システム全体を管理するシステム管理部を階層的に構成した。また、端末との呼制御を行う呼制御部と、予約管理を行う予約制御部を MCU 管理部の下位に配置した。

7. 導入事例

代表的な導入事例である大東建託(株)のシステムについて概要を

表3. MP-2000のソフトウェア機能

機能部	主な機能
システム管理部	MCU／端末の登録／更新／削除 予約管理 通信履歴管理 リモート診断制御
MCU管理部	リソース管理 複数会議の管理
会議制御部	各会議の開催／終了制御 各メディア処理部制御
通信制御部	会議制御部との情報送受信制御 MBEによるコマンド送受信制御(独自プロトコル) 勧告(H.221/230/242)対応の通信制御
予約制御部	予約の登録／照会／キャンセルに関する制御
呼制御部	各リンクの呼設定／解放に関する制御

紹介する。

このシステムは、本社(東京)と全国の各支店83か所(地域センター10か所を含む。)を結ぶものであり、順次支店を増設して1995年度には総計120か所を結ぶ計画である。地域センターは、全国を10の地域ブロックに分割した各地域の拠点となる支店で、各地域センターの傘下にそれぞれ数か所の支店がある。システム構成は図2(b)に準じており、本社と各地域センターにそれぞれマスタMCUとスレーブMCUを設置し、これらのMCUと本社及び各支店に設置されたテレビ会議端末とを接続する構成である。また本社では、各支店からの映像を30台のモニタにそれぞれ4分割して表示する(図8)。本社からの同報会議、本社と各地域センター間会議、地域センターと傘下の各支店間会議等の様々な運用が可能であり、世界でも類を見ない大規模なシステムである。

8. むすび

本稿では、国際標準テレビ会議端末を収容する多地点テレビ会議システムについて述べた。このシステムは、国際標準テレビ会議端末とMCUとを接続し、音声、映像、ユーザーデータ等を使用して多地点会議及び同報会議を実現するものである。

開発・製品化に当たっては、テレビ会議端末に関する勧告をベースとし、また多地点テレビ会議システムに関する標準化作業の動向を踏まえている。これにより、勧告化された時点での仕様変更・追加への迅速な対応が可能である。また、1993年春にG.728として勧告化予定の16kbps LD-CELP(Low Delay Code Excited Linear Prediction)音声符号化

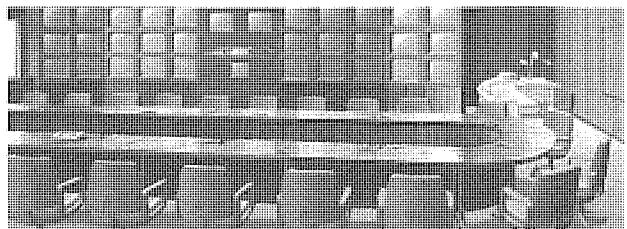


図8. 大東建託(株)多地点テレビ会議システム・
本社スタジオ

方式や、現在標準化作業が行われている MLP(Multilayer Protocol)にも対応する予定である。

今後、端末の低価格化・小型化・高機能化が進むにつれて、テレビ会議システムを導入する企業が増え、それに伴って多地点テレビ会議の要望などシステムに対するニーズの多様化・高度化が進むものと予想される。当社としても、国際標準化動向を注視しながらこのようなニーズに対応し、さらにユーザーフレンドリーで付加価値の高い多地点テレビ会議システムを提供していく所存である。

参考文献

- (1) 日和佐憲道、中井教詞、服部伸一、田中浩一、鈴木光義、浅野研一、大和真二、村上篤道：国際標準化対応ビデオコーデックを用いたテレビ会議システム、電子情報通信学会技術研究報告、91, No. 219, 33~40 (1991)
- (2) 合田尚史、内田光治、秋好清巳、村上晃彦、高野広志：国際標準化対応TV会議用ビデオコーデック MVC-8100、三菱電機技報、65, No. 7, 662~666 (1991)
- (3) 山口哲成、布野健二、高野広志、神原隆宏、松室昌宏：テレビ会議システム、三菱電機技報、64, No. 8, 657~661 (1990)
- (4) 岡 進、秋田康貴、茂木一男、三澤康雄：H.320端末に対応した多地点テレビ会議システム、第127回研究会講演予稿、91-06-05, 23~28 (1992)
- (5) 秋田康貴、馬場昌之、岡 進、松室昌宏、三澤康雄：多地点テレビ会議システムにおける同報会議制御方式、1992年テレビジョン学会年次大会講演予稿 (1992)
- (6) 平野美穂子、鈴木茂明、海老沢秀明、内藤悠史：7kHz帯域音声会議用 ALCの一検討、1990年電子情報通信学会秋季全国大会予稿、B-647 (1990)

TFT 負荷型第二世代 1M ビット中速(低消費電力)SRAM

池田和也* 有田 豊* 山下正之* 小久保信幸* 南 ふゆみ*

1. まえがき

半導体メモリは、大型コンピュータを始め、パソコンなど各種OA機器・通信機器・端末機器等におけるキーデバイスとして広く用いられている。また同時に、最先端技術の結集ともいえるこの半導体メモリは、これらシステムの高性能化の原動力として進歩を遂げており、その記憶容量はVLSI技術の進歩に伴い、3~4年ごとに4倍と高集積化が進んでいる。

このような状況の中で、特に中速(低消費電力)SRAMは、動作タイミングが簡単で使いやすい、スタンバイ時の消費電力が少なくバッテリバックアップが可能である。低電圧でも動作し、動作時の消費電力も少なく電池駆動が可能である等多くの利点があり、ICカードを始め、電子手帳、ハンディ端末やノートパソコン、OA機器等の分野で軽量化、低消費電力化、コンパクト化のトレンドにのって幅広く使用されている。

当社では、現在×8構成の汎用中速(低消費電力)品として64Kビット、256Kビット更に最大アクセス時間70nsを実現した128K×8ビット構成の第一世代1Mビット中速(低消費電力)SRAM⁽¹⁾(M5M51008)を製品化している。これに対し、市場からの更なる高性能化の要求として、ICカードや電子手帳等バッテリバックアップを利用する分野ではスタンバイ電流を低減して電池の長寿命化、ハンディ端末等の低電圧動作の分野ではアクセスタイムの高速化やソフトエラーに対する信頼性の向上、また5V動作においてもアクセスタイムの更なる高速化によって画像処理装置等の新しいアプリケーションでの利用などが挙げられる。

これらの要求に対応するため、最新の回路設計技術と0.7μmのプロセス技術を駆使し、大容量高速アクセスを実現するとともに、TFT(Thin Film Transistor、薄膜ポリシリコントランジスタ)負荷を採用して超低消費電力

化を実現したTFT負荷型第二世代1Mビット中速(低消費電力)SRAM(M5M51008A-XXSL)を開発した。

本稿では、このSRAMの製品概要、製造技術及び電気的特性について紹介する。

2. 開発のねらい

M5M51008Aの開発は、以下の目標に従い実行した。

(1) 動作消費電力の低減

オートパワーダウン回路の最適化、回路ディメンションの最適化、及びDTD(Data Transition Detection)の採用によって動作時の消費電力を低減する。

(2) アクセスタイムの高速化

アクセスタイム70ns以上の製品については、第一世代品と同等の実力値をもち完全互換性を保つとともに、ボンディング切替えによってアクセスタイム55nsの高速品を製品化する。

表1. 第二世代、第一世代の製品概要及びプロセス比較

	第二世代		第一世代	
形名	M5M51008AP/FP/VP/RV -XXL, -XXLL	-XXSL	M5M51008P/FP/VP/RV -XX, -XXL, -XXLL	
ビット構成	×8		×8	
セル構造	高抵抗負荷型	TFT負荷型	高抵抗負荷型	
デザインルール	0.7μm		0.8μm	
方式	N基板ツインウェル 3層ポリシリコン	3層ポリシリコン 4層ポリシリコン	N基板ツインウェル 3層ポリシリコン	
プロセス	ゲート酸化膜 トランジスタ スティック ワード線 ビット線	1層Al SiO ₂ (18nm 180Å) Nch L=0.8μm <LDD, 45°回転斜め注入> Pch L=1.0μm i線 WSi Al	1層Al SiO ₂ (18nm 180Å) Nch L=1.05μm <LDD> Pch L=1.25μm g線 WSi Al	
メモリセルサイズ (μm)	5.1×7.225		6.0×8.5	
チップサイズ (mm)	5.50×13.92		6.01×15.72	
アクセス時間 (5V動作時) (ns)	70/85/100/120 55…ボンディング切替え		70/85/100/120	
電源 電流	動作時(mA)	40(Typ)		
	スタンバイ (μA)	0.3(Typ)	0.05(Typ)	0.3
動作電源電圧(V)	2.7~5.5(t _{acc} =100, 120, 150ns) 3V動作可		2.7~5.5(t _{acc} =150ns) 3V動作可	

(3) 動作マージンの拡大

メモリセルの動作電圧の下限マージンを拡大することにより、3V以下での動作保証品を得る。

(4) テスト効率改善

バーンイン時に特殊モードに入ることにより、バーンイン時間を短縮させる。

(5) スタンドバイ電流の低減

メモリセル構造をTFT負荷型とすることにより、スタンバイ時の消費電力を低減する。

(6) 高信頼性

メモリセル構造をTFT負荷型とすることにより、耐ソフ

トエラー性の向上を図る。

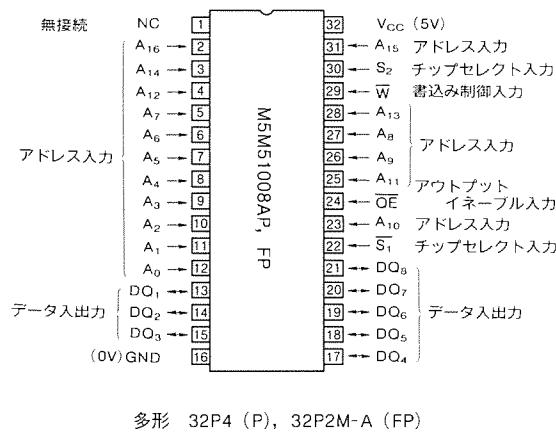
3. 製品概要

M5M51008A-XXSLの製品概要及びプロセスを第一世代品と比較して表1に示す。アクセスタイム70ns以上(5V動作時)及び150ns(3V動作時)の製品については、タイミングスペックも第一世代品と全く同じであり、第一世代品からの置き換えが可能となっている。さらに高速品として、アクセスタイム55ns(5V動作時)及び100ns(3V動作時)の製品がボンディングオプションによって実現できた。また、スタンバイ時の電源電流もTFT負荷型メモリセルの使用により、大幅に低減された。

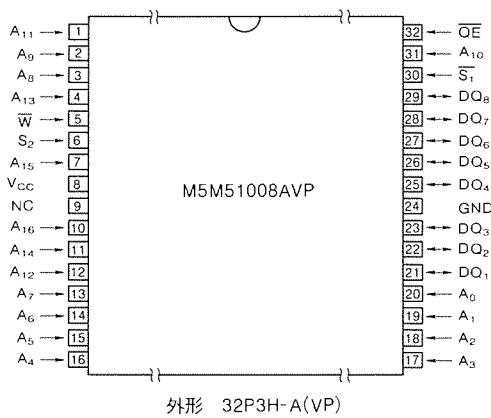
図1にM5M51008A-XXSLの各パッケージのピン接続を示す。いずれも第一世代品と全く同じピン接続になっており、第一世代品からの置き換えが可能となっている。

4. 電気的特性

図2にM5M51008A-XXSLの70ns品の、図3に55ns品のアクセスタイムと電源電圧との関係を示したシェムプロットを示す。70ns品はほぼ第一世代と同じ値を示している。また、図4には電源電圧4.5Vでのアクセスタイムの温度依存性を示す。図5にはスタンバイ電流の周囲温度依存性を



(a) DIP, SOP



(b) TSOP

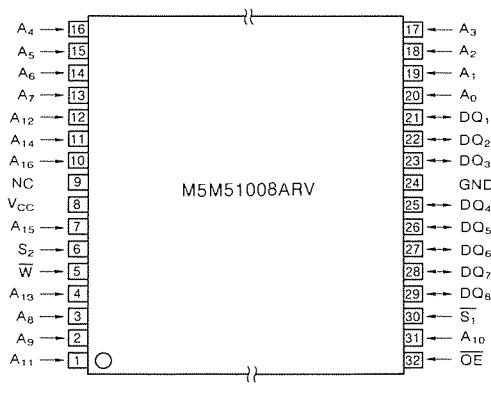


図1. ピン接続図(上面図)

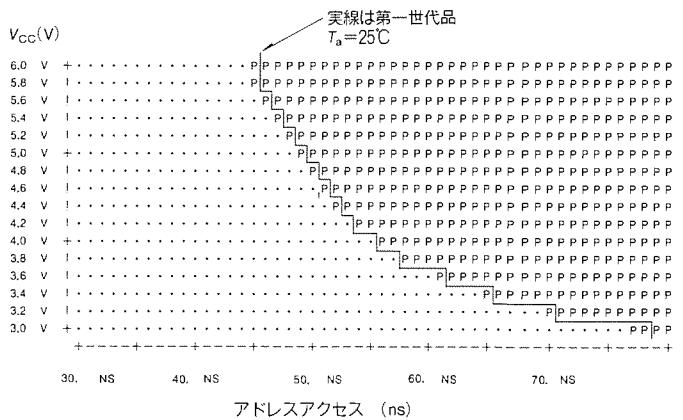


図2. アクセスタイムの電源電圧依存性(70~120ns品対応時)

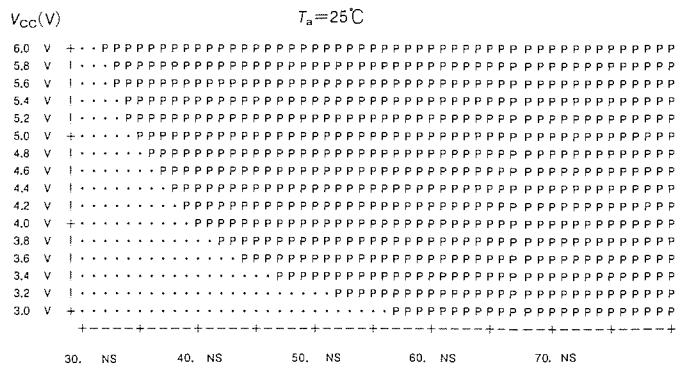


図3. アクセスタイムの電源電圧依存性(55ns品対応時)

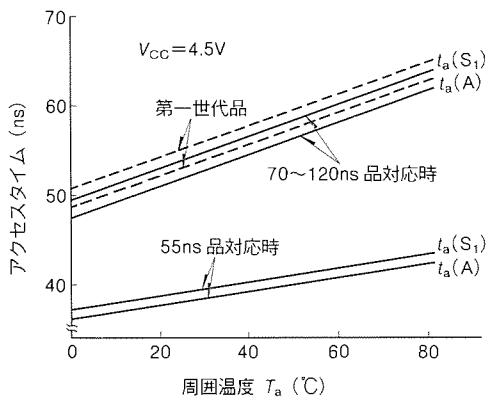


図4. アクセスタイムの周囲温度依存性

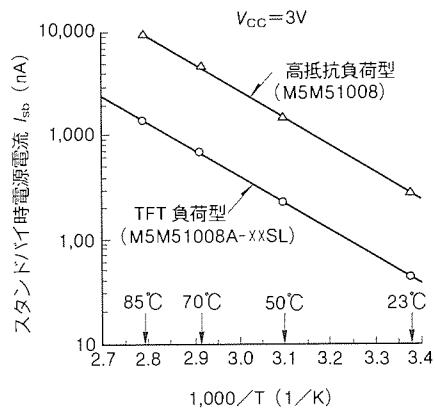


図5. スタンドバイ電流の周囲温度依存性

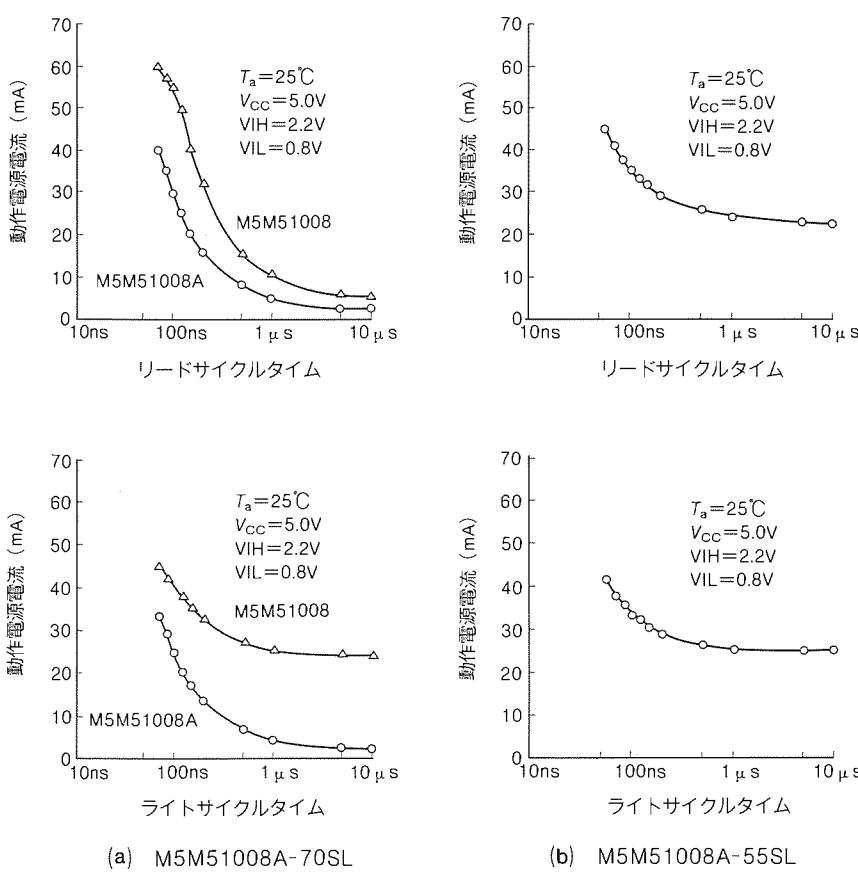


図6. 動作電流のサイクルタイム依存性

示す。M5M51008A-XXSLではスタンバイ電流値は、従来の第一世代品等の高抵抗負荷型と比較して大幅に減少している。図6には動作電源電流のサイクルタイム依存性を示す。動作電源電流は第一世代品と比較し、低減されている。特にライト時のロングサイクルでの電流が大幅に減少している。

5. 設計技術

5.1 チップ構成

M5M51008A-XXSLのチップ写真を図7に示す。メモリセルアレーは、8個の行デコーダにより、512行×128列を1ブロックとした16ブロックに分割されている。さらに、この1ブロックが8ビット構成に対応するように、512行×16列のサブブロックに分割され、各サブブロックにセンサアンプと書き込みドライバが設けられている。動作時は、ブロックアドレスによって選択される1ブロックのみが活性化されるので、ビット線を流れるカラム電流が低減され、低消費電力化に寄与している。また、各ブロックに2行×2列の冗長回路を設け、レーザトリミングによって不良アドレスと置き換えることによって、歩留りの向上を図っている。

5.2 メモリセル

図8に第二世代品M5M51008A-XXSLと第一世代品M5M51008のメモリセルのパターン比較を示す。メモリセルのパターンを第一世代品から図示のように変更することにより、ドライバトランジスタのチャネル幅を相対的に大きくした。

これにより、ドライバトランジスタとアクセストランジスタの電流駆動能力の比、すなわち β 比を大きくすることができた。低電圧でのメモリセルの安定性は、 β 比が大きいほど良くなる。したがって、メモリセルの低電圧動作の安定性を確保することができた。また、ドライバトランジスタのチャネル幅が大きいと記憶ノード容量が大きくなるため、ソフトエラーにも強くなる。さらに、TFT負荷型のメモリセルを用いることにより、図9に示すように動作時のソフトエラー発生率を2倍程度改善することができた。

5.3 内部同期回路

M5M51008A-XXSLは、外部クロックを必要としない完全非同期式RAMとして使用できる。しかし、チップ内部では、読み出し時にアドレス変化を検知して発生するATD(Address Transition Detection)信号と、書き込み時にライトパルス変化又は入力データ変化を検知して発生するDTD(Data

Transition Detection) 信号を基準クロックとして各回路を制御する内部同期方式を採用している。

図10に内部動作波形のタイミングチャートを示す。読み出し時、アドレス変化後、ATD信号によってワード線立ち上がり前にビット線とセンスアンプ及びデータバスが中間電位にプリチャージされ、ワード線立ち上がりからデータ出力までの時間を短縮している。また、オートパワーダウンと呼ばれる方式、すなわちセンス及びデータラッチが完了すると、ワード線とセンスアンプを非活性化するよう ATD 信号により制御することで消費電力の低減を図っている。

さらに書き込み時も、DTD 信号によってライトパルス変化又は入力データ変化後、一定期間のみ RAM を活性状態にするオートパワーダウン方式により書き込み時の消費電力も低減されている。したがって、読み出し時も書き込み時もサイクル時間が長くなればなるほど、動作電流は大幅に低減される。

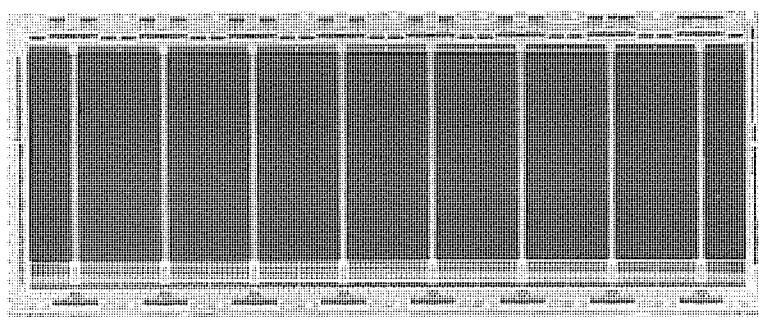


図7 . M5M51008A-XXSL チップ写真

5.4 低速／高速切替回路(ボンディング切替え)

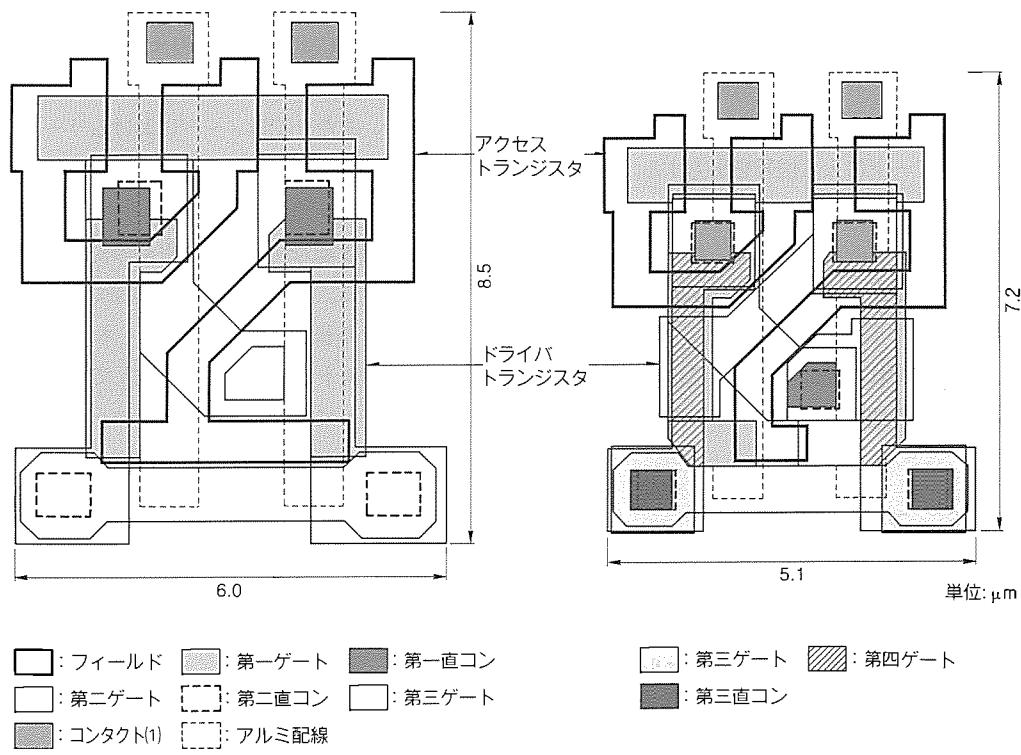
M5M51008 A-XXSL の最大アクセス時間は 55/70/85/100/120 ns であるが、アクセス時間 70 ns 以上の製品については、従来品とのノイズマージン的互換性を保つため実力的にもほぼ同等のタイミング特性をもつことが求められる。そこで、この製品ではアクセス時間 55 ns の高速品を実現するためにボンディング切替えを用いることにした。

ボンディング切替回路のブロック図を図11に示す。切替信号により、アドレスバッファと出力トランジスタは、高速モードではより高速化するためディメンションを大きくし、低速モードではディメンションを小さくし、ノイズに対してより鈍感になるように切り替えていた。また、ATD・DTD 回路ではパルス幅を決定する容量を変化させ、高速モードではより細いパルスを出すとともにオートパワーダウンせず常に活性化するようにしている。さらに、内部遅延回路に接続

された容量の値を変化させることにより、リードライトバッファではライトパルス幅、OE バッファでは出力イネーブル時間を変化させるようになっている。

5.5 バーンインモード回路

半導体メモリでは信頼性向上のため、テスト中に高温高電圧で動作させ不良発生を加速することにより、初期不良をスクリーニングするバーンインと呼ばれる工程がある。このバーンイン工程では、メモリセルに高電圧を印加することによって不良発生を



(a) 第一世代品(M5M51008)

(b) 第二世代品(TFT 負荷型)(M5M51008A-XXSL)

図8 . メモリセル

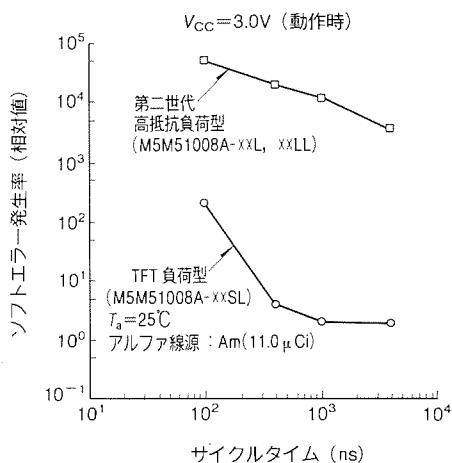


図9. ソフトエラー発生率のサイクルタイム依存性

加速するのだが、M5M51008A-XXSLではメモリセルはATD及びDTDによるオートパワーダウン機能によって、1サイクル中にある一定期間しか活性化されていない。また一方で、バーンイン炉は1個のドライバで多くのデバイスを駆動するため、オートパワーダウンしないような速いサイクルタイムでデバイスを動作させることはできない。実際にはパワーダウントイムの数十～数百倍のサイクルタイムとなってしまう。したがって、オートパワーダウン機能をもったままデバイスをバーンインしても、有効な時間はバーンイン時間の数十分の1～数百分の1となってしまい、バーンインの効率を落とすことになる。

M5M51008A-XXSLでは、バーンイン時間の短縮を図るためにバーンイン工程に入ったことを検出する回路を設けて、バーンイン時にオートパワーダウン機能を停止し、常にメモリセルを活性化し、加速性を有効にする機能を備えている。バーンイン検出回路は、以下の3条件を満たしたときにデバイス内部がバーンインモードに入る信号を出力する。

- (1) バーンインを行う高温になる。
 - (2) バーンインを行う高い電源電圧が印加される。
 - (3) リードライト信号が“L”(ライト状態)のままで、アドレスを切り替える。
- (1)～(3)の3条件は、いずれも通常の使用時には起こりえない条件であるため、通常の使用時にバーンインモードに入ることは絶対にない。

6. プロセス技術

6.1 メモリセル

SRAMのメモリセルには、高抵抗負荷型とCMOS型がある。図12に高抵抗負荷型とCMOS型のメモリセルを示す。高抵抗負荷型メモリセルは、従来から用いられており、定常的にセルに流れる電流を制限するため、すなわちスタンバイ電流を低減させるために高い抵抗値の負荷抵抗を使用している。しかしながら、記憶ノードにおけるリーク電流による

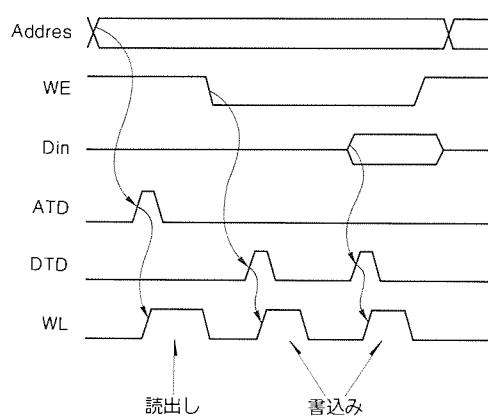


図10. 内部動作波形のタイミングチャート

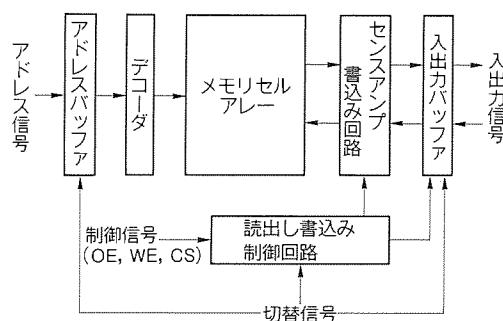


図11. ボンディング切替回路のブロック図

ノードの電位降下を補うための電流を得るには、負荷抵抗の抵抗値は限界なく高くすることはできない。したがって、高抵抗負荷型のSRAMでは、スタンバイ電流の低減には限界がある。

一方、CMOS型メモリセルの場合、メモリセル当たりの記憶電流は負荷のPチャネルトランジスタのOFF電流で決まる。また、記憶ノードにおけるリーク電流によるノードの電位降下を補うための電流は、負荷のPチャネルトランジスタのON電流で決まる。そのため、CMOS型メモリセルは低消費電力とデータ保持の安定性を両立したメモリセルといえる。しかしながら、従来は図12(b)に示すように、シリコン基板上に4個のNチャネルトランジスタと2個のPチャネルトランジスタを形成していたため、高抵抗負荷型メモリセルに比べてメモリセルのパターン面積が大きくなり、大容量SRAMでは用いられなかった。

M5M51008A-XXSLでは、PチャネルトランジスタとしてTFTを用いNチャネルのドライバトランジスタの上に配置することにより、高抵抗負荷型メモリセルと同一面積に収まるCMOS型メモリセルを実現した。

6.2 デバイス構造

プロセス一覧を表1に示す。第一世代品では写真製版装置としてg線ステッパーを用いていたが、M5M51008A-XXSLではi線ステッパーを用いることにより、0.7μmルールを用いた微細加工が可能になり、0.85倍のサイズ縮小が可能と

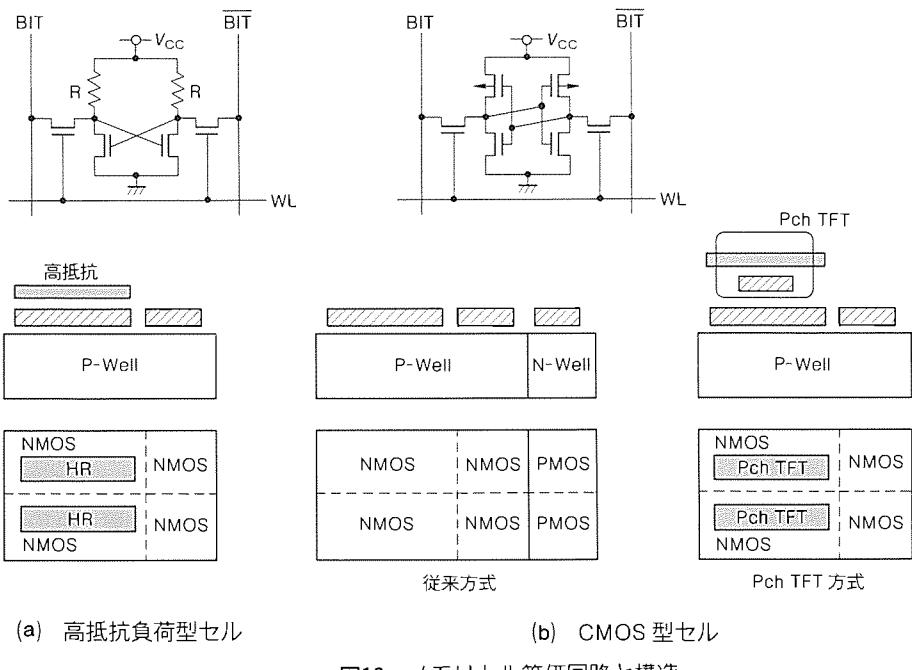


図12. メモリセル等価回路と構造

なった。M5M51008A-XXSLではN型基板ツインウェルCMOSプロセス、及び4層ポリシリコン、1層アルミ配線等の最先端微細加工技術を用いている。1層目のポリシリコンはワード線とゲート電極に、2層目のポリシリコンは V_{cc} 線とクロスカップル線に、3層目のポリシリコンはTFTのゲート電極に、4層目のポリシリコンはTFTのソースチャネルドレインに用いている。さらに、Nチャネルトランジスタは5V動作時の耐ホットエレクトロン性に優れ、かつ3V動作時でも高駆動性をもつゲートオーバラップLDD構造を採用している。

以上のようなプロセス技術で製造することによって、メモリセルサイズは $36.8\mu\text{m}^2$ 、チップサイズは 76.6mm^2 を実現した。

7. むすび

最新の回路設計技術と $0.7\mu\text{m}$ のプロセス技術を駆使し、

TFT負荷型第二世代1Mビット低消費電力SRAM(M5M51008A-XXSL)を開発した。

微細化プロセスと新たな内部同期方式等の利用により、生産性の向上及び高性能化を達成できた。

また、TFT負荷型メモリセルの利用により、超低消費電力化及び高信頼性化を達成できた。これにより、バッテリバックアップでの電池寿命が延び、電池交換時の補助電池をなくすことも可能であり、また信頼性の必要な分野でも低電圧での使用が可能となる。したがって、この製品の市場投入により、従来か

ら低消費電力SRAMを使用しているICカード、電子手帳、ハンディ端末、HDD、ノートパソコン、OA機器等の更なる高性能化が可能であるとともに新たな利用分野も生じると考えられる。

低消費電力SRAMの市場では、その中心品種が256Kから1Mへと徐々に変わりつつあるが、高度情報化社会の進展に伴う情報処理量の増大に対応して、低消費電力SRAMに対する高性能化や多機能化、大容量化等の要求はますます強くなっている。これらの市場要求に対応すべく、今後も回路技術やプロセス技術における技術革新を進め、高性能低消費電力SRAMを開発していく予定である。

参考文献

- (1) 広瀬愛彦、河野芳雄、和田知久、杠幸次郎、穴見健治：1MビットCMOSスタティックRAM、三菱電機技報、62、No.6、541～544（1988）

地球資源衛星1号搭載合成開口レーダ用アンテナ

水溜仁士* 赤石 明* 尾形慶照* 久田安正** 根本幸昭**

1. まえがき

資源探査用観測システム研究開発機構 (JAROS) では1992年2月に打ち上げた地球資源衛星1号 (ERS-1: 図1参照) に搭載した合成開口レーダ (SAR) を開発した。この SAR システムに用いられているアンテナは、全体の開口寸法が約 12m × 2m の大型平面アンテナで電気的に同一設計の8枚のアンテナパネルで構成されている。8枚のアンテナパネルは衛星の打上げ時に折り畳まれて搭載されており、軌道上でバネの力でびょう (屏) 風状に展開して、1枚の平面アンテ

ナとなる⁽¹⁾。アンテナ形式は薄型・軽量化の観点からマイクロストリップアレーランテナを採用している。

アンテナの開発は昭和56年から開始された。開発は、各種クリティカルコンポーネント、展開モデル、熱構造モデル及びエンジニアリングモデルを経て、プロトフライトモデル (PFM) を製作するという手順で進められ、この間、約10年の歳月を要した⁽²⁾⁽³⁾。

この報告はアンテナの概要と最終形態の設計諸元及び衛星に搭載した PFM の試験結果について述べる。

2. 要求条件

SAR アンテナに対する電気的要求条件と機械的要求条件をそれぞれ表1及び表2に示す。電気的要求条件は、SAR のシステム解析によって、また機械的要求条件は打上げロケット及び衛星とのインターフェース条件によって決定されたものである。電気的要求条件で、偏波のH-Hとは直線偏波が地表面に水平に入射し、反射した波の水平偏波成分を受けることを意味している。また、機械的要求条件では展開方式のアンテナを採用しているために、衛星に収納した打上げ時と軌道上における展開後の二つの場合の条件を規定している。

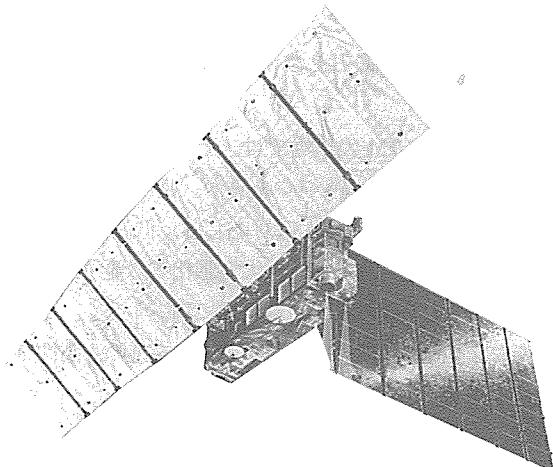


図1. ERS-1の外観

表1. 電気的要求条件

項目	仕様値	備考
1. 中心周波数	1,275MHz	
2. 帯域幅	15MHz 以上	
3. 偏 波	H-H	直 線
4. 利 得	33.5dBi 以上	
5. ビーム幅		
E 面	1.05°以下	アジマス方向
H 面	5.6°以下	レンジ方向
6. サイドロープ		
E 面	-11.5dB 以下	アジマス方向
H 面	-11.5dB 以下	レンジ方向
7. VSWR	1.5 以下	
8. 耐電力	1.5kW 以下	ピーク
9. オフナディア	35°	
10. 開口寸法	11.92m × 2.2m	電気寸法

表2. 機械的要求条件

項目	仕様値	備考
1. 収納寸法	≤ 3 m (L), ≤ 0.3m (H)	
2. 質 量	132.6 ± 3.0kg	インターフェースケーブルを除く。
3. 固有振動数	35Hz 以上 0.22Hz 以上	収納時 展開時
4. 平面度	3mm rms 以下 25mm 以下	各パネル 全開口面
5. 加速度		
リストオフ	+5.4/-2.3G 6G	機軸方向 機軸直交方向
MECO/POGO	+17.5G 3G	機軸方向 機軸直交方向
6. 正弦波振動	2.25G (5~15Hz) 6G (15~21Hz) 2.25G (21~30Hz) 6G (30~100Hz) 6G (5~35Hz) 3G (35~100Hz)	機軸方向 機軸直交方向
7. ランダム振動	19.6G rms	60s/軸
8. 音 響	145dB オーバオール 60s	

注 1G = 9.8 m/s²

3. 構成

SAR アンテナの放射パネル寸法は、各アンテナパネル間のクリアランスを考慮して、 $1.39\text{ m} \times 2.2\text{ m}$ としている。アンテナの形式は薄型及び軽量化の観点からマイクロストリップアレー アンテナを採用している。図 2 はアンテナの電気的構成を示す。アンテナは 8 枚のパネルから成り、各パネルはこの図に示すように 128 素子のアレー アンテナで、さらにアレーは 16 素子のサブアレー 8 個で構成されている。アンテナ素子は各パネルの表面に接着形成された銅はく(箔)をエッティングして製作したく(矩)形のパッチアンテナである。偏波の方向は図 2において左右方向が E 面(電界ベクトルを含む面)、上下方向が H 面(電界に直交する磁界ベクトルを含む面)である。

各素子の励振振幅分布は E 面、H 面とも均一である。

パネル内の給電には、サブアレー内がパッチアンテナと同一面に形成したマイクロストリップライン、サブアレー間が低損失同軸ケーブルを用いている。各パネル間の給電には、低損失、高耐電力及び薄型化の観点から、箱型のサスペンション方式の線路を採用している。この線路を同軸管と称しており、軽量化のために外導体には CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) を用いている。パネルとパネルの間の線路は、アンテナの展開を妨げないよう可能な同軸管として、外導体が蛇腹構造をしている。これをフレキシブルジョイントと称している。図 3 に同軸管を、図 4 にフレキシブルジョイントを示す。

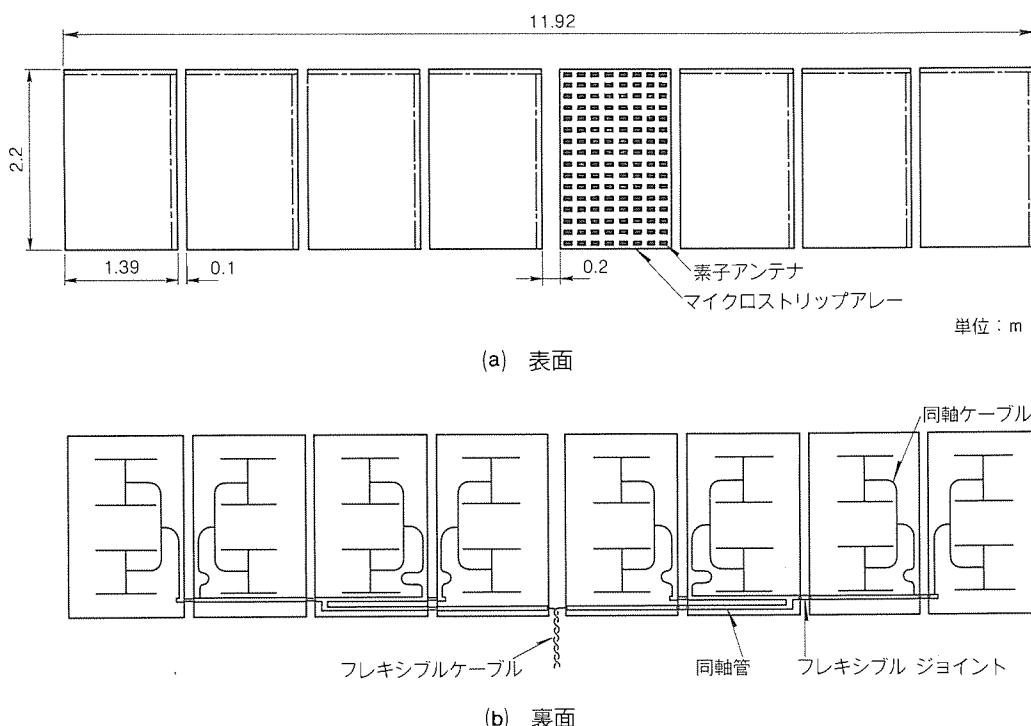


図 2. アンテナの電気的構成

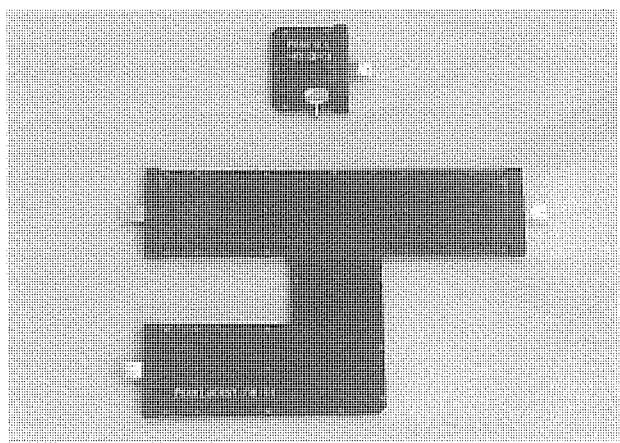


図 3. 同軸管

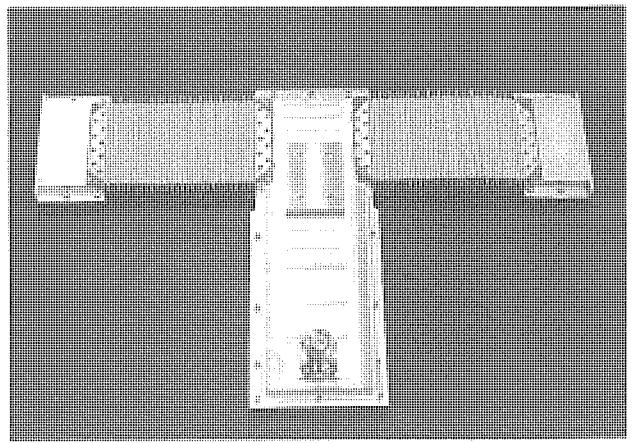


図 4. フレキシブルジョイント

図5はアンテナが展開した状態を示しており、アンテナの裏側から見た図である。図6はアンテナ中央部とアンテナパネルの断面を示す。アンテナパネルは厚さ6mmの放射パネルと厚さ15.8mmのサポートパネルによって構成されている。放射パネルは一方がケブラー表皮、他方がCFRP表皮を用いたノーメックスハニカムサンドイッチ構造をしており、アンテナの放射面を形成している。サポートパネルはCFRP表皮のアルミハニカムサンドイッチ構造をしており、アンテナパネルとして必要な機械的強度を確保している⁽³⁾。

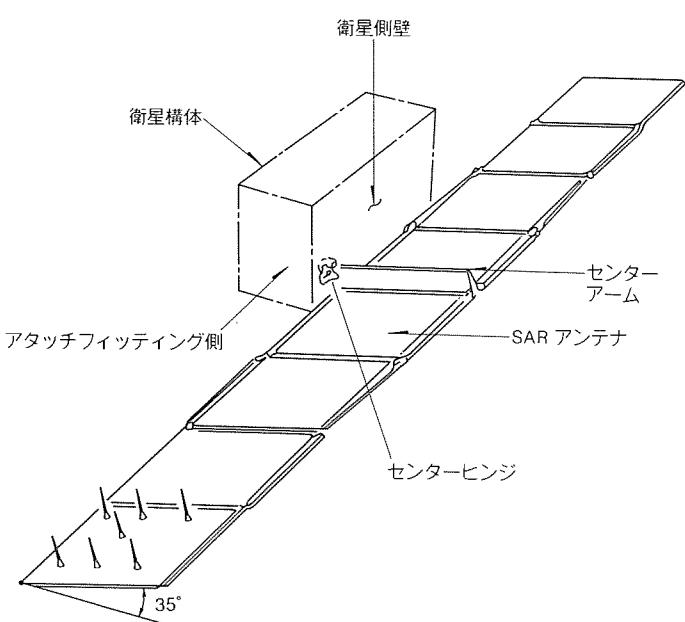


図5. SARアンテナ

4. 機能

このアンテナの基本機能は電気的には送信波の放射と地表からの反射波の受信である。送信機からの送信波は図2においてフレキシブルケーブルを通り、同軸管とフレキシブルジョイントで構成された分配回路によって8枚のアンテナパネルに分配される。各パネルに給電された送信波は低損失同軸ケーブルで構成される分配回路で更に8分配され、16素子のパッチアレーで構成されるサブアレーに給電される。サブアレーの中の給電は、マイクロストリップラインによる16分配回路で行われる。各アンテナ素子で受信された受信波は送信と逆の順序で伝送される。この場合、分配回路は合成回路となる。

機械的機能は、まず打上げ時はアンテナ収納状態で、その時の環境条件に耐え、次に軌道上でアンテナを展開させて、所定の面精度を実現することである。アンテナの展開は図7に示すように3段階にわたって行われる。各展開は直前まで各保持機構によって拘束されているのを、火薬を備えた各解放機構で解放し、各ヒンジに内蔵された渦巻バネの力によって行われる。このヒンジは各パネルを機械的に結合しているとともに、渦巻バネとラッチアップ機構を内蔵しており、展開のエネルギーを与えることと展開後のアンテナの形状の保持を行う。また、この図中の展開同期ケーブルは展開時に各パネル間の展開角度の同期をとるための機構である。センターハンジは展開後のアンテナと衛星の側壁を結合している部分であり、展開の第1ステップである90°回転と第3ステップであるオフナディア傾斜を行う機能をもっている。軌道上の運用ではアンテナを熱的に安定させる必要があり、アンテ

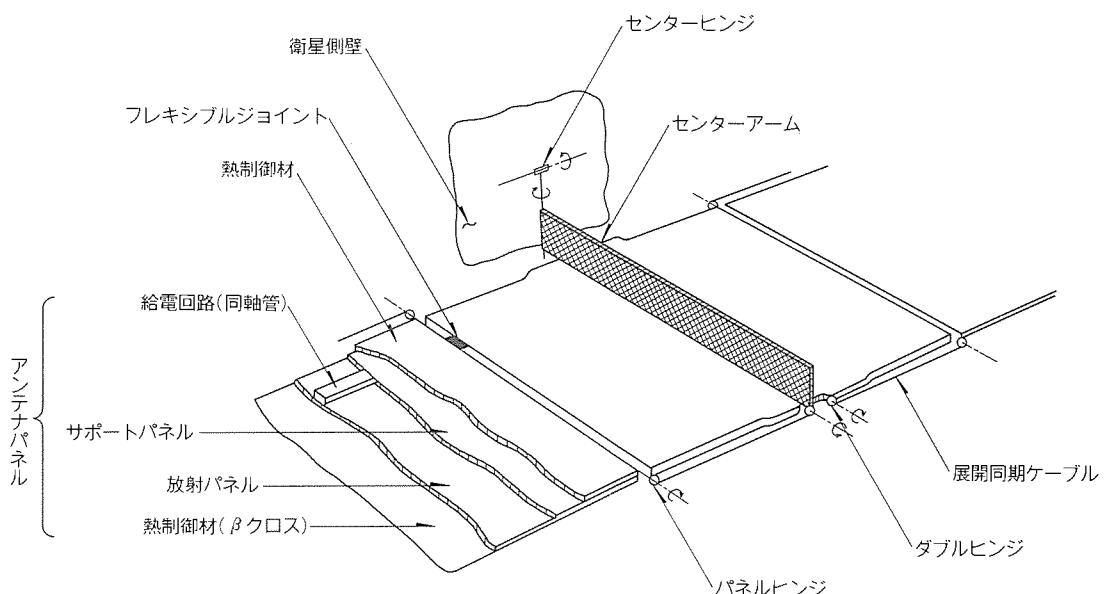


図6. アンテナ構成

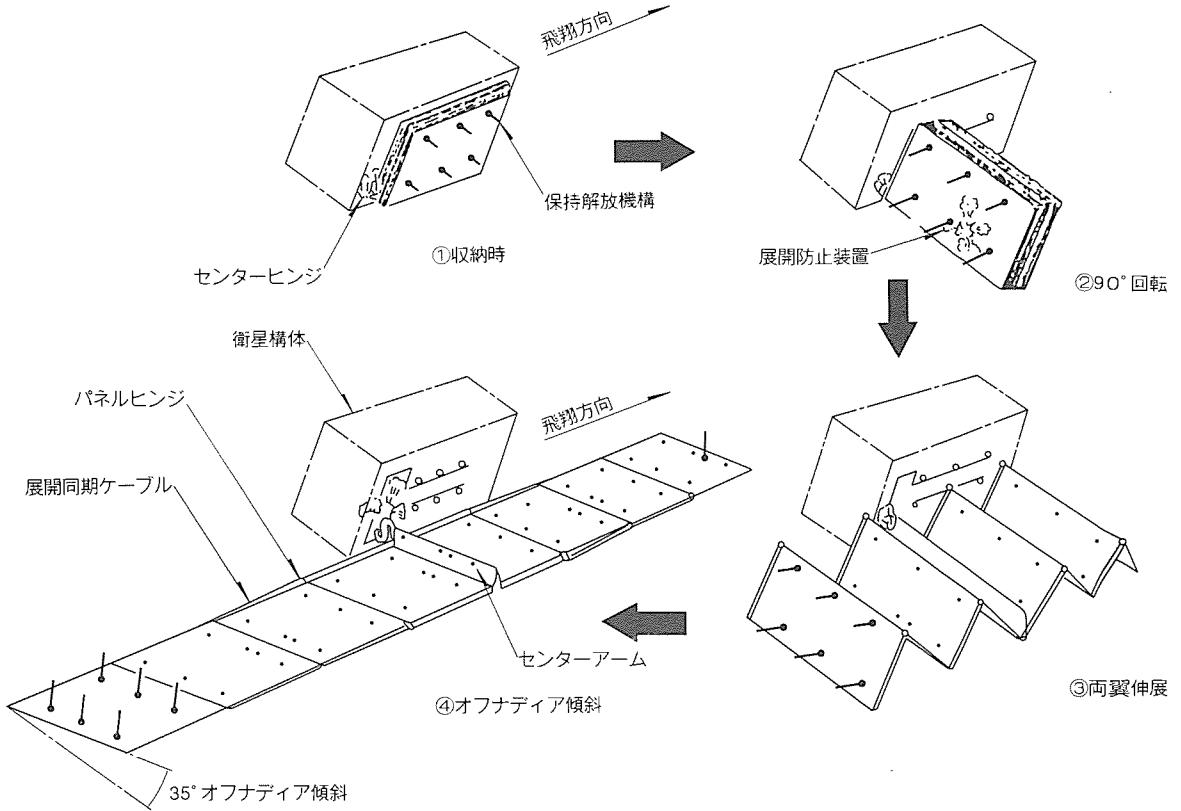


図 7. 展開シーケンス

ナは熱制御材によって覆われている。熱制御材はアンテナ放射面側は電波を透過させる必要からガラスクロスを用い、アンテナ裏面は多層サーマルインシュレーション (MLI) を用いている。

5. 解析

5.1 理想放射パターン及び指向性利得

アンテナに、ひずみ、変形がなく、給電の振幅分布が設計どおりで、しかも給電位相が均一である理想的な状態の放射パターンを図 8 に示す。この状態における帯域内の下限、中心、上限周波数における半値ビーム幅及び第 1 サイドローブレベルを表 3 に示す。

5.2 アンテナ熱変形時の放射パターン

衛星軌道上の熱環境による SAR アンテナの変形モードはアンテナの機械的構造から図 9 に示す 3 ケースが考えられる。同図(a)はアンテナが E 面内で放物面状に変形した場合、(b)は各アンテナパネルごとに E 面内で放物面状に波形の変形をした場合、(c)はアンテナが H 面内で放物面状に変形した場合である。

アンテナの熱変形を含む構造的な変形はアンテナの利得、サイドローブ特性等に影響するため、アンテナ変形量の設計要求値として次の二つを規定した。

- (1) 平均二次曲面上で測ったアンテナの翼端変位量が 25 mm 以下

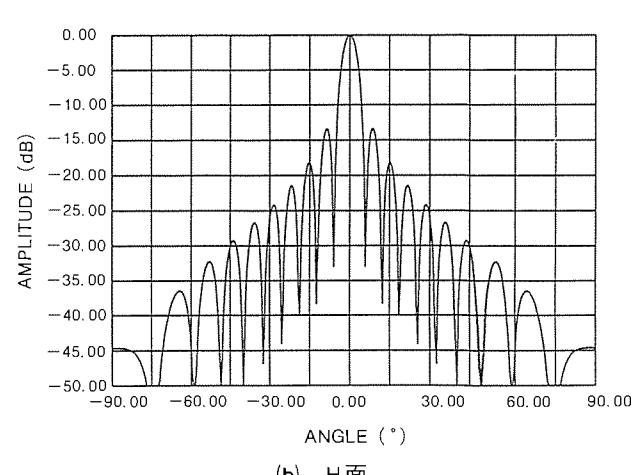
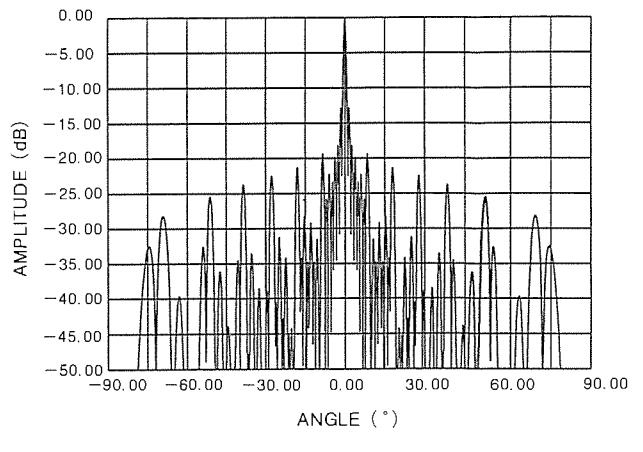


図 8. 理想状態のアンテナ放射パターン(1,275MHz)

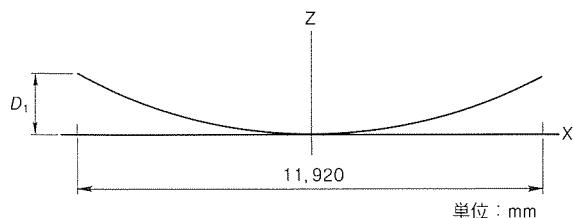
表3. 理想状態におけるアンテナ性能

周波数 (MHz)	指向性利得 ^{*3} (dBi)	3dBビーム幅(°)		第1サイドローブ(dB)	
		E面 ^{*1}	H面 ^{*2}	E面 ^{*1}	H面 ^{*2}
1,267.5	37.47	0.994	5.446	-12.80	-13.29
1,268.4	37.47	0.993	5.442	-12.80	-13.29
1,275.0	37.52	0.988	5.414	-12.80	-13.29
1,281.6	37.56	0.983	5.386	-12.80	-13.28
1,282.5	37.57	0.982	5.382	-12.80	-13.28

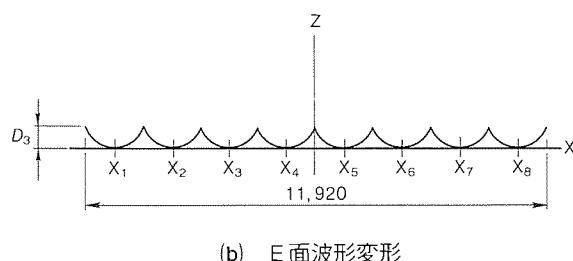
注 *1 E面: アジマス方向

*2 H面: レンジ(エレベーション)方向

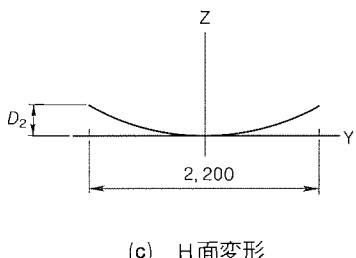
*3 給電損失を含まない。



(a) E面変形



(b) E面波形変形



(c) H面変形

$$Z = AX^2 + BY^2 + C(X - X_n)^2 + D |X| \cdot Y$$

$$A \cdot X_{\max}^2 = D_1, \quad B \cdot Y_{\max}^2 = D_2$$

$$C \cdot (X_{\text{submax}} - X_n)^2 = D_3$$

$$D \cdot |X_{\max}| \cdot Y = D_4$$

図9. アンテナ変形モード

(2) 各アンテナパネルについては、平均平面を基準に測った変化の二乗平均(rms)値が3mm以下

上記の第1番目の条件はE面変形に相当し、第2番目の条件はH面又はE面波形変形に相当する。第2番目の条件については最大変位をrms値の3倍として計算する。以上の各ケースに対する性能劣化の計算結果を表4に示す。上記の二つの条件内であれば、利得の低下量は0.2dB以下に抑えられる。

表4. アンテナの変形による放射特性劣化

変形モード	利得低下量 (dB)	第1サイドローブ(dB)	
		E面	H面
無変形	0	-12.80	-13.29
E面変形($D=25\text{mm}$)	0.177	-11.97	-13.30
H面変形($D=9\text{mm}$)	0.022	-12.80	-13.18
E面波形変形($D=9\text{mm}$)	0.021	-12.80	-13.30
E面変形($D=25\text{mm}$) + H面変形($D=9\text{mm}$)	0.199	-11.97	-13.18
E面変形($D=25\text{mm}$) + H面変形($D=-9\text{mm}$)	0.199	-11.97	-13.18
E面変形($D=25\text{mm}$) + E面波形変形($D=9\text{mm}$)	0.199	-11.97	-13.30
E面変形($D=25\text{mm}$) + E面波形変形($D=-9\text{mm}$)	0.196	-11.97	-13.30

5.3 利得解析

アンテナ利得を低下させる要因は、次のとおりである。

- (1) アンテナパネル利得低下分
- (2) 給電回路損失
- (3) 給電振幅位相誤差
- (4) 反射損失(VSWR)
- (5) 周波数特性

- (6) アンテナ変形(翼端25mm, パネル内3mm rms)
- (7) 热シールド
- (8) 測定誤差

以上を考慮したアンテナ利得の設計値を表5に示す。アンテナパネルの利得低下分については16素子サブアレー(パネル)の試作試験の実績による-1.2dB(76%)を用いた。軌道上におけるアンテナの変形を考慮したアンテナ利得は33.55dBiであり、設計要求値を満足している。

6. 試験結果

6.1 試験方法

アンテナの電気性能試験は図10に示すように環境試験の前後で実施し、初期電気性能試験により、その設計の妥当性を確認するとともに、最終電気性能試験によって衛星搭載用

表5. SARアンテナ利得

項	項目	地上試験時	衛星軌道上	備考
1	指向性利得	37.52dBi	37.52dBi	$f_0=1,275\text{MHz}$
2	アンテナパネル 利得低下分	-1.2 dB	-1.2 dB	16素子サブアレー効果, CFRP 地導体
3	給電回路損失	-2.0 dB	-2.0 dB	RF インタフェースケーブルを含む。
4	給電振幅位相誤差	-0.07dB	-0.07dB	2 dB(pp), 10°(pp) (16素子サブアレー)
5	反射損失	-0.18dB	-0.18dB	VSWR=1.5
6	周波数特性	-0.05dB	-0.05dB	$f_0 \pm 7.5\text{MHz}$
7	アンテナ変形	-0.05dB	-0.20dB	翼端変位25mm, パネル内 3 mm rms 地上試験時翼端変位14mm
8	熱シールド	-0.05dB	-0.05dB	測定値
9	測定誤差	-0.22dB	-0.22dB	
	アンテナ利得	33.70dBi	33.55dBi	

アンテナとしての耐環境性の確認を行った。

SAR アンテナは大型展開アンテナであり、打上げロケットの能力を考慮して十分な薄型・軽量化を図っているため、地上試験時には特別な支持装置を必要とする。このような柔構造の展開アンテナを通常の屋外レンジで試験することは、その支持方法の困難さ、宇宙用としての清浄度の問題等から実現が困難であり、電波暗室内で供試体を動かさずに実施できる平面走査型のアンテナ近傍界測定（以下“平面 NFAM”という。）が適している。

平面 NFAM では、測定されたアンテナ近傍界にプローブの特性が含まれるため、被測定アンテナの特性を正確に求めるためにプローブの影響を取り除く、いわゆるプローブ補正が必要となる。ここでは、Kerns⁽⁴⁾ らによって確立された“平面波散乱行列法”の理論に基づいて、近傍界-遠方界変換を行っている。

図11に示す座標系において、被測定アンテナを送信側、プローブを受信側とした場合について考える。被測定アンテナの送信関数を $t_{10}(K)$ 、プローブの受信関数を $s_{02}(K)$ とすると、測定時のプローブの受信出力 $b_0(P)$ は次式で表される。

$$b_0(P) = Fa_0 \int t_{10}(K) \cdot s_{02}(K) e^{-j\gamma d} e^{-jk \cdot P} dK \quad \dots(1)$$

ここで、

$$F = 1 / (1 - \Gamma_1 \Gamma_p) \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Γ_1 : 受信機側反射係数

Γ_p : プローブ反射係数

a_0 : アンテナ入力電力

K : 波数ベクトルの x-y 面内投影ベクトル

γ : 波数ベクトルの z 方向成分

P : プローブの x-y 面内ベクトル

d : アンテナ-プローブ間距離

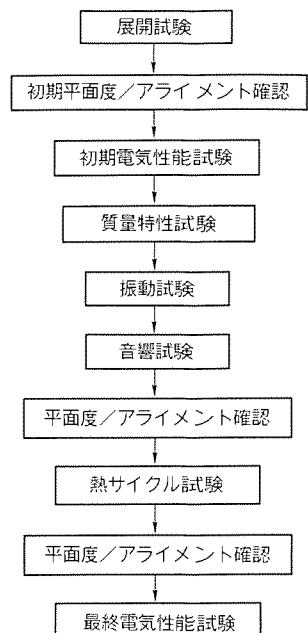


図10. プロトフレイト試験フロー

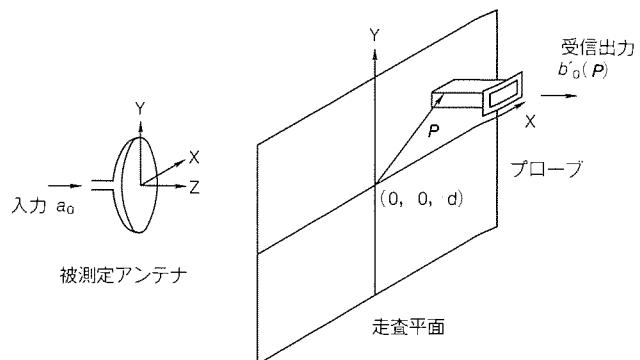


図11. 座標系

である。積分範囲は波数ベクトル K の全空間である。プローブを $x-y$ 面内でアンテナ開口より十分大きく、アンテナ近傍界のほとんどの放射電力を含む範囲で走査して得た式(1)の受信出力 $b_0(P)$ をフーリエ変換すると、

$$\frac{e^{j\gamma d}}{4\pi^2 Fa_0} \int b_0(P) e^{jK \cdot P} dP \dots \dots \dots \quad (3)$$

が得られる。プローブの受信関数 $s_{02}(K)$ は既知であるから、式(3)から被測定アンテナの送信関数 $t_{10}(K)$ を求めることができる。

$t_{10}(K)$ が求められれば、アンテナ遠方界は、

$$E(r, \theta, \phi) = j\gamma a_0 \frac{e^{-jkR}}{r} t_{10}(K) \dots \dots \dots (4)$$

で求められる。

アンテナの絶対利得 $G(K)$ は先に求めた送信関数 $t_{10}(K)$ を用いて次式で表せる⁽⁵⁾。

$$G(K) = \frac{4\pi y_0 \gamma |t_{10}(K)|^2}{\eta_0 (1 - |\Gamma_a|^2)} \dots \quad (5)$$

ここで、 γ_0 ：媒質の固有アドミタンス

η_0 : 伝送線路の特性インピーダンス

Γ_a : 被測定アンテナの反射係数

である。 $t_{10}(K)$ を求めるためには、入力 a_0 を知る必要がある。 a_0 を知るために、図12に示すように近傍界測定時と全く同じ系において、送信機と受信機を直結してレベル校正を行う。受信出力を d_0 、送信機側の反射係数を Γg 、受信機側の反射係数を Γ_1 とすれば入力 a_0 は、

$$a_0 = \frac{(1 - |\Gamma_g|^2)(1 - |\Gamma_1|^2)}{|1 - \Gamma_g \Gamma_1|^2} d_0 \dots \quad (6)$$

から求められる。

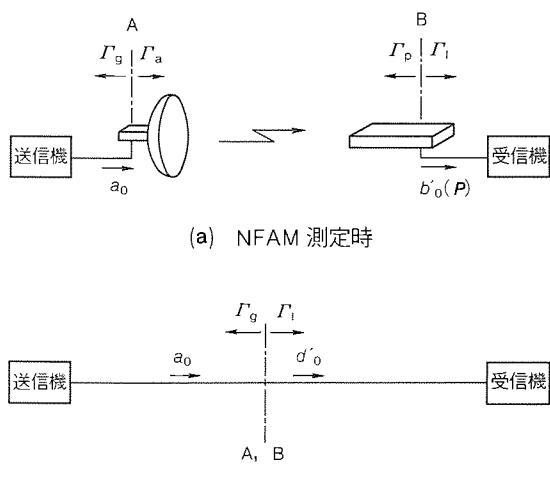


図12. レベル校正法

6.2 試 驗 結 果

図13にSARアンテナのNFAM試験時の状態を示す。マイクロストリップアンテナの表面を覆っているのは、熱制御材である。図14はスキャナ装置とSARアンテナの試験時の配置を示している。

6.2.1 放射パターン

SAR アンテナの NFAM では図14に示す $12.6\text{ m} \times 4\text{ m}$ の範囲で平面走査を行った。プローブは切り放し導波管とし、プローブと被測定アンテナの距離は 1 m (約4.2波長), サンプリング間隔は x 方向 y 方向とも 100 mm とした。1回(1周波数)当たりの測定時間は約2時間である。図15はプローブパターンの理論値を用いて、プローブ補正を行った場合の計算値と測定値を比較したものである。測定値と計算値はよく一致している。

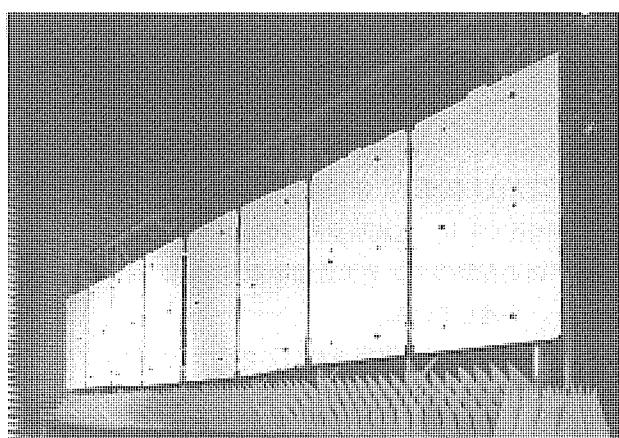


図13. NFAM 試験時の SAR アンテナ

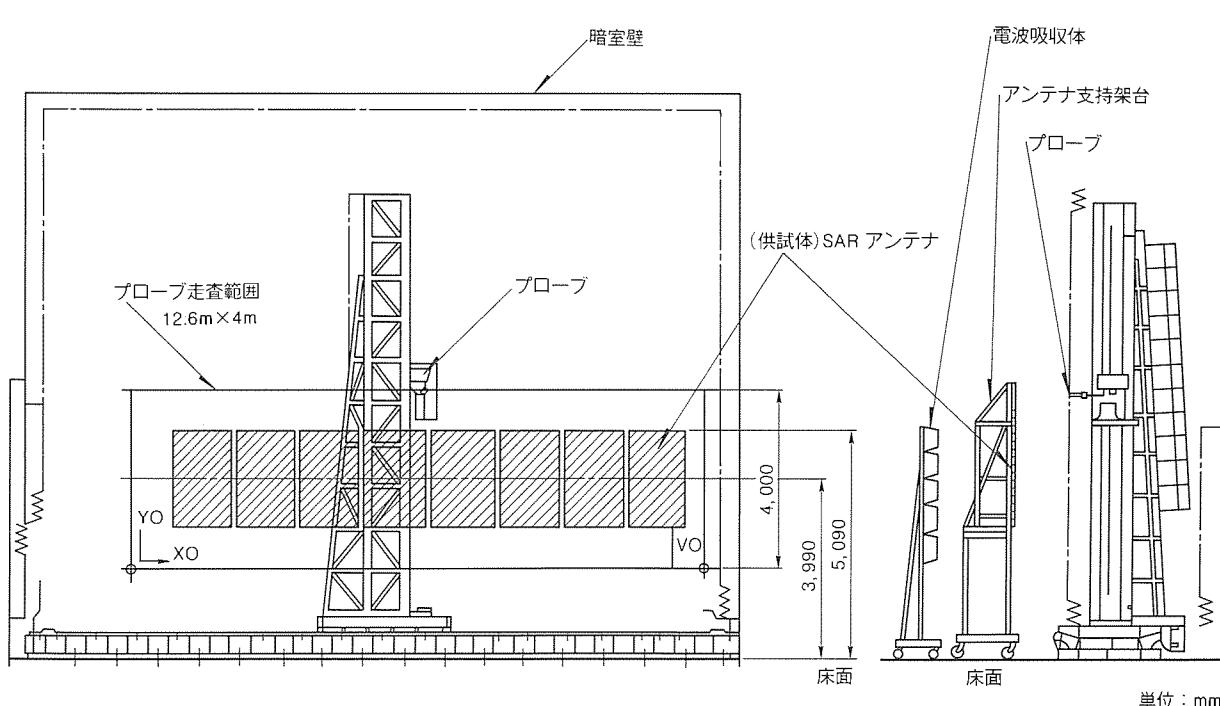


図14. NFAM 測定状況

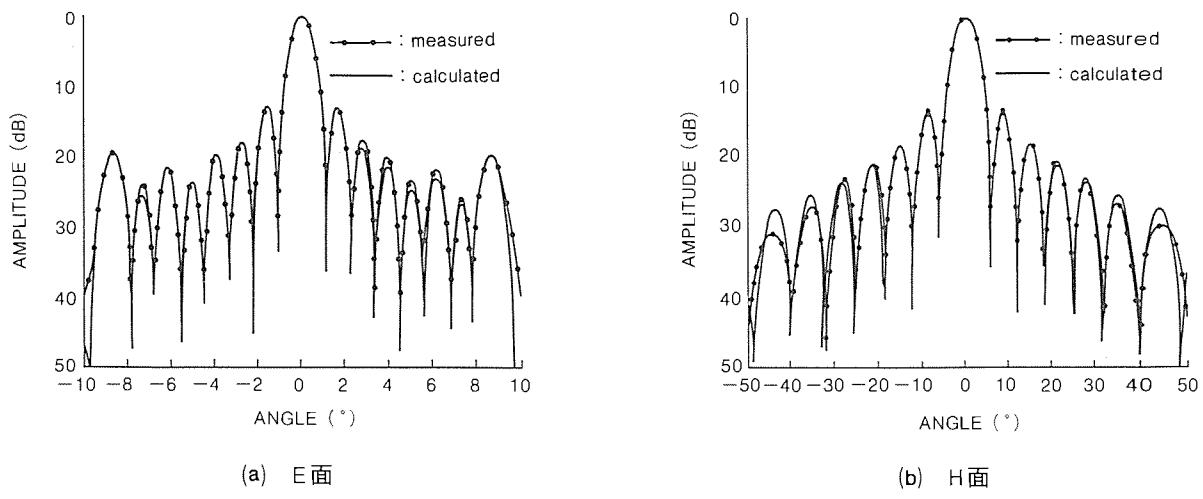


図15. 放射パターン(1,275MHz)

表6. 放射パターン・利得試験結果

試験検査項目		規格値	1,267.5MHz	1,275.0MHz	1,282.5MHz
VSWR		1.5以下	1.43	1.26	1.44
ビーム幅(°)	H面	5.6以下	5.41	5.41	5.35
	E面	1.05以下	0.98	0.98	0.97
サイドローブ レベル(dB)	H面	-11.5以下	-13.51	-13.50	-13.72
	E面	-11.5以下	-11.74	-11.58	-11.57
利得(dBi)		33.5以上	34.15	34.13	34.14

6.2.2 利得

前述した直接測定法により、SAR アンテナの利得を求めた。この測定法では、プローブとして用いた切り放し導波管の利得が必要になる。ここでは、全く同一特性のプローブを二つ用意し、両者を十分な距離だけ離して対向させ、一方を送信、他方を受信とした場合の送信入力 A_0 、受信出力 B_0 を測定し、次式によって求めた。

$$2G = B_0 - A_0 + 20 \log (4\pi R / \lambda) \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

この測定で得られたプローブの利得は、1,275 MHzにおいて 5.66 dBi であった⁽⁶⁾。このプローブ利得を用いて NFAM で得た SAR アンテナの平面波スペクトルの $K=0$ の成分から式(5)により、利得を求めた。

SAR アンテナ プロトトライモデル (PFM) の放射パターンの測定結果と利得の測定結果を表6に示す。アンテナの利得要求値 33.5 dBi 以上に対して、測定値は仕様帯域内で 34 dBi 以上であり、仕様を十分満足している。また、環境試験の前後における性能は変化しておらず、搭載用アンテナとして打上げ環境や軌道上の熱環境にも耐えることを確認した。

7. むすび

ERS-1 搭載 SAR アンテナの概要と設計諸元及び衛星に搭載した PFM の試験結果について示した。また、このアンテナの電気性能試験に用いた平面 NFAM について、利得の

測定法として今回実施した直接法の概要を説明した。測定したアンテナの放射パターン、利得は設計した計算値とよく一致しており、仕様値をすべて満足した。

SAR アンテナの開発に際して、開発の初期段階から御指導いただいた、文部省宇宙科学研究所三浦公亮教授、京都大学鷹尾和昭助教授に感謝の意を表す。

参考文献

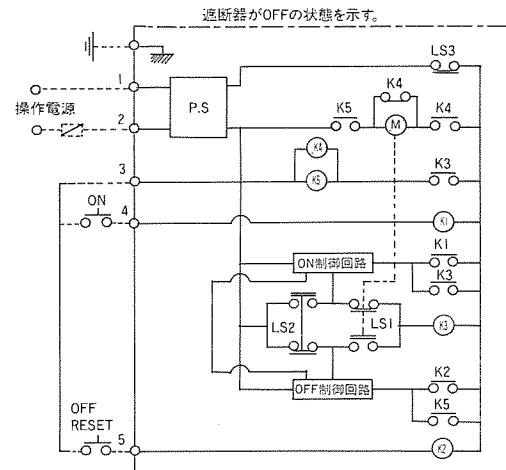
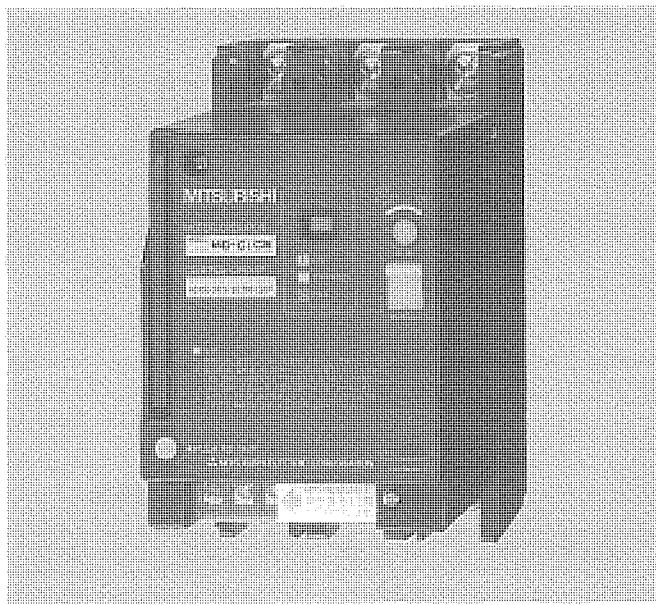
- (1) Brejcha, G. A., Keeler, H. L., Sanford, G. G. : The Seasat-A Synthetic Aperture Radar Antenna, Synthetic Aperture Radar Technology Conference, Las Cruces, NM (1978-3)
- (2) 久田安正, 伊東康之, 赤石 明, 水溜仁士 : 合成開口レーダ・アンテナ系の試作試験結果(その2), 昭59信学全大44 (1984)
- (3) 尾形慶照, 根本幸昭 : 大型および展開型アンテナとその構造工学 SAR アレーランテナ, 平成3年電気・情報関連学会連合大会講演集, S 19-5 (1991)
- (4) Kerns, M. D. : Plane-Wave Scattering-Matrix Theory of Antennas and Antenna-Antenna Interactions, Nat. Bur. Stand. Monograph 162 (1981-6)
- (5) Newell, C. A., Ward, D. R., Mcfarlane, J. E. : Gain and Power Parameter Measurements Using Planer Near-Field Techniques, IEEE Trans. Antennas Propagation, 792~803 (1988-6)
- (6) 日野秀男, 根本幸昭, 水溜仁士, 茶谷嘉之, 蝋子井 貴, 折目晋啓, 片木孝至 : ERS-1 搭載合成開口レーダアンテナのNFAM 結果, 1989年信学技報 AP 88-148 (1988)

新形電気操作式 ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器

低压配電制御分野におけるリモート制御の進展に対応し、小型計量で高機能な新形電気操作式ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器を開発しました。

特長

- 電気操作装置は小型計量（従来比体積47%、質量31%）で、省操作電源容量（従来比17%）です。
- 定格操作電圧は、AC100-240/DC100-220Vの範囲で共用化しました。
- 外郭をモールドケース化し、安全性を向上しました。
- 操作回路は、シーケンサ等の接点出力でのダイレクト駆動が可能です。
- ON、OFF操作信号が同時に印加された場合、OFF優先の安全設計です。
- 手動操作時には、自動/手動の切替スイッチにより、電気的操作を禁止します。



P.S. : シーリング電源
 LS1 : リミットスイッチ (カム位置検出用)
 LS2 : リミットスイッチ (遮断器ハンドルの位置検出用)
 LSM : リミットスイッチ (手動一自動切替え)
 M : モータ
 R1 : リレー (ON用)
 R2 : リレー (OFF用)
 R3 : リレー (モータ用)
 R4 : リレー (モータ用)
 R5 : リレー (モータ用)

操作回路図

仕様

		ノーヒューズ遮断器	漏電遮断器
形名	50Aフレーム	NF50-HC, NF50-HR, MB50-HC	—
	100Aフレーム	NF100-CS, NF100-SS, NF100-SH NF100-RS, MB100-SS	NV100-CF, NV100-SF, MN100-SF
	225Aフレーム	NF225-CS, NF225-SS, NF225-SH NF225-RS, MB225-SS	NV225-CF, NV225-SF, MN225-SF
電気操作方式		電動式	
定格操作電圧		AC100-240V/DC100-220V共用、DC24V (許容操作電圧範囲85~110%)	
操作時間 (定格電圧印加時)	ON 操作	0.5秒以下 (自己保持式)	
	OFF 操作		
	RESET操作		
操作電源の必要VA		100	
耐電圧		操作電源回路(端子番号1,2)と大地間のみ:1500V	
接続方式	表面形	<input checked="" type="radio"/>	
	裏面形	<input checked="" type="radio"/>	
	埋込形	<input checked="" type="radio"/>	
	差込形	<input checked="" type="radio"/> (NV100-SS4P, NV225-SS4Pを除く)	



特許と新案* * *

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産専門部
特許営業グループ Tel(03)3218-2137

燃料電池 (特許 第1470441号)

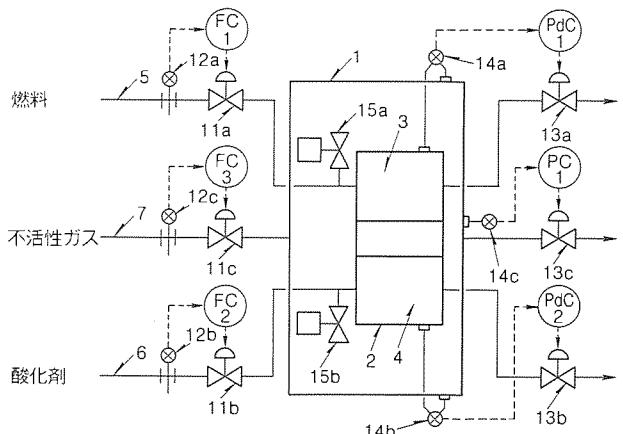
発明者 佐々木 明, 水本洋一

この発明は、起動時又は停止時の圧力サージを軽減することを目的とする燃料電池に関するものである。

従来の燃料電池は不活性ガス系統から燃料室・酸化剤室に不活性ガスを供給しているので、起動・停止時、燃料及び酸化剤と不活性ガスとの切換時に圧力サージが発生しやすく、電池筐体と燃料室又は酸化剤室とのシール等を破壊する危険があった。また、電池筐体と燃料室又は酸化剤室との差圧を一定値以内に保持してガス切換えを行うと、起動・停止に長時間を必要とするなどの欠点があった。

この発明はこのような欠点を改良するためになされたもので、図の実施例に示すように、電池筐体(1)内の燃料系統(5)に開閉弁(15a), 酸化剤系統(6)に開閉弁(15b)を設け、燃料電池の起動時又は停止時に、電池筐体(1)内の不活性ガスを燃料室(3)と酸化剤室(4)に供給することにより、電池筐体と燃料室(又は酸化剤室)との圧力差をほとんど発生させずに、不活性ガスを供給可能とするように構成したものである。

以上のように、この発明によれば、ガス切換時に発生する圧力サージを軽減し、起動・停止に要する時間を短縮できる燃料電池を提供できる。



移動電話装置 (米国特許 第5,054,052号)

発明者 野並隆之

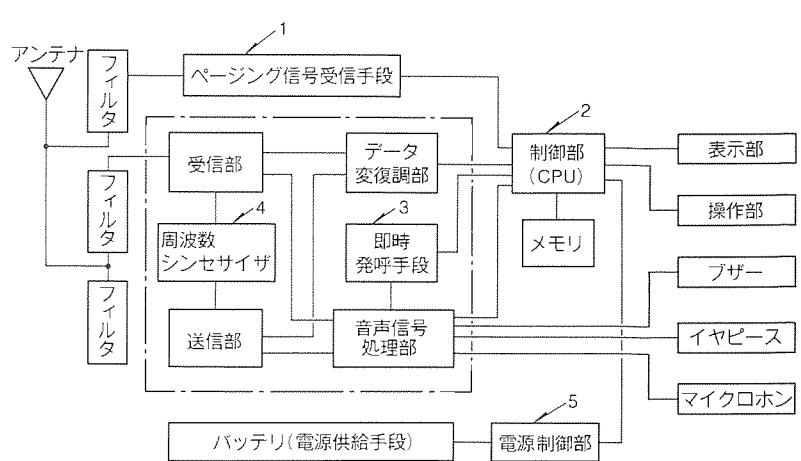
この発明は、ペーディングシステム用受信機能を内蔵した移動電話装置に関するものである。

従来の携帯電話機は、常時呼出し信号を監視することができるよう周波数シンセサイザに常に電源供給をしていたためバッテリの使用可能時間が短く、他方従来のペーディング受信機はバッテリの使用可能時間は長いものの、他の通信手段を用いて呼出し相手先電話番号を入力する必要があった。

この発明は上記課題を解消するためになされたもので、図に示すように一般の移動電話機能に加え、ペーディング信号受信手段(1)を有し、さらに制御部(2)にペーディング信号に基づいて発呼処理を行う即時発呼手段(3)を設け、発呼前は周波数シンセサイザ(4)等への電源供給を遮断する電源制御部(5)を備えるものである(発呼前は、図の鎖線部以外のみ電源供給される)。また、即時発呼手段(3)に代えて、ペーディングされた電話番号を音声出力あるいは

表示出力する実施態様も可能である。

以上のように、この発明によればバッテリ使用可能時間が長くなり、かつ呼出しを受けた装置で通話が可能になり、併せて呼出し信号受信後直ちに相手先へ発呼できる移動電話装置を提供することができる。





特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産部
特許営業グループ Tel(03)3218-2137

半導体発光素子 (特許 第1196293号)

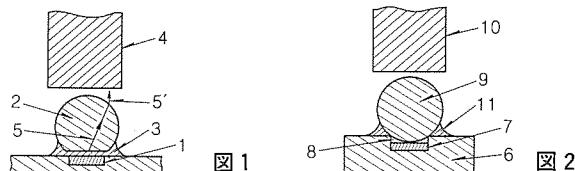
この発明は半導体素子、特に発光出力の有効な利用により、光ファイバとの高効率な結合が可能な発光ダイオード(以下“LED”という。)に関するものである。

図1に示す従来の発光素子は、LED発光領域(1)からの出力光(5)を、透明な接着剤(3)を通過後、レンズ体(2)の表面で屈折させて矢印(5')の方向へ進ませて有効に光ファイバ(4)に入射させて、高効率の結合が得られるような構造にしている。しかし、上記構造を実現するにはレンズ体(2)をLED発光領域(1)の中心に高精度に位置合わせして固定せねばならず、微小であるため指向性が大きく狂いやすく、製作が困難であった。

この発明はこのような欠点を改良するためになされたもので、図2の実施例に示すように本発明の半導体発光素子は、

発明者 堀内茂樹、須崎 渉、池田健志
LED発光領域(7)の中央を中心として、半導体基板(6)に円形の嵌合穴(8)を形成し、これに内接して球状レンズ体(9)を嵌合させ、球状レンズ体(9)とLED発光領域(7)の中心の位置合わせが容易に、かつ高精度に実現可能となるように構成されている。

以上のようにこの発明によれば、発光領域の出力光の指向性が優れた半導体発光素子を得ることができるので、特に低損失光ファイバとの高効率な結合が容易に可能となる。



〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 66 No. 12 特集“原子力電気計装”／“変電機器の予測保全”

特集論文 “原子力電気計装”

- 安全運転のための計装システムの構築
 - 次期原子力プラント電気計装設備に向けての取組
 - 新型中央計装システム
 - 次期原子力プラント向け計装制御保護システム
 - 原子力保全業務
 - 原子力業務技術支援管理システム
 - 統合制御監視システム MELTAC-CJ
- 特集論文 “変電機器の予測保全”
- 変電機器の予測保全技術への期待と将来展望
 - 変電設備予測保全の展望
 - 変圧器の予測保全技術
 - ガス絶縁開閉機器の予測保全技術

●受変電用開閉機器の診断技術

- 次期変電所における予測保全と監視制御システム
- ニューラルネットワークによるGISの異常診断への適用

普通論文

- 日新製鋼株式会社向け熱間圧延プラント制御システム
- “MELCOM80”販売のための情報サービスシステム
総合販売情報支援システム (DS-LAND)
- 全日本空輸株式会社向けスケジュールモニタリングシステム
- 超高速5秒電送G3 ファクシミリ MELFAS F1
- 16kbps LD-CELP 音声コーデックモジュール
- 零レンジサイドロープバルス圧縮超音波探傷法

三菱電機技報編集委員

委員長 山田郁夫
委員 永田譲蔵
白井健三
谷豊文
風呂功
大原啓治
松村恒男
鈴木幹雄
小野修一
鳥取浩
岡田久雄
幹事 長崎忠一
11月号特集担当 宇佐見一雄

三菱電機技報 66巻11号

(無断転載を禁ず)

1992年11月22日 印刷
1992年11月25日 発行

編集兼発行人	長崎忠一
印刷所	千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01) 菱電印刷株式会社
発行所	東京都港区新橋六丁目4番地9号 北海ビル新橋 (〒105) 三菱電機エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報」 Tel.(03) 3437局2692
発売元	東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel.(03) 3233局0641代、振替口座東京6-20018
定価	1部 721円 (本体 700円) 送料別 年間予約は送料共 9,373円 (本体 9,100円)

PC-CAD対応21インチ スポットライト 0.28mmドットピッチオートトラッキングモニタ



国内PC-CAD対応の、水平偏向周波数が24kHzから50kHzを自動追従できる21インチディスプレイモニタを製品化しました。0.28mm変形ドットトリオピッチのCRTにより、モアレのほとんどない高精細な画面の表示が可能です。また、マイコン搭載によりユーザーフレンドリな操作性を実現させ、PC-CADのアプリケーションに幅広く対応できます。信号入力は、D-sub15ピンシュリンクコネクタを採用し、各種のパソコンに対応できるようオプションケーブルを準備しています。

特長

●オートトラッキング機能

水平偏向周波数24~50kHz、垂直偏向周波数50~120Hzの広範囲な周波数に自動追従できます。

●マルチタイミングストアード機能

マイコン搭載のデジタル回路により、最大10個の異なるビデオ信号を記憶することができます。うち5個は、国内大手のPC-CADタイミングを工場にてプリセットしております。

●帯電防止付きアンチリフレクションパネル

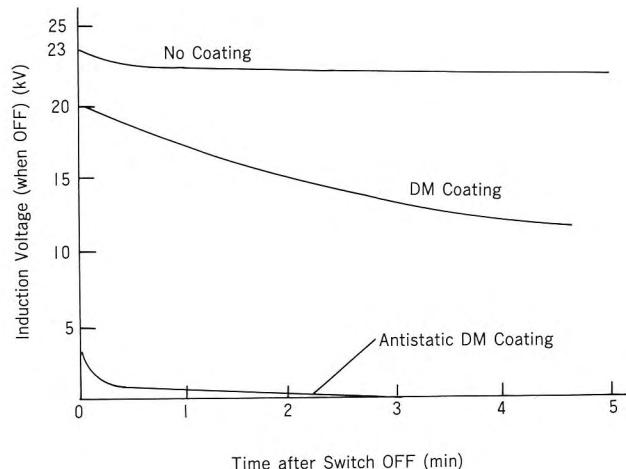
アンチリフレクションパネル(ARパネル)を採用し、画質を損うことなく外光の写り込みを防いでいます。また、帯電防止コーティング処理を施しており、管面にゴミやほこりが付着しにくい特長をもっています。

●21インチ高精細CRT

DBF(ダイナミックビームフォーミング)電子銃の採用により全画面で良好なフォーカス特性を実現させ、水平最大解像度1,120ドット。垂直最大解像度768ラインの高精細な画面を表示できます。また、0.28mmの変形ドットピッチCRTの採用により、モアレの少ない高画質の画面が表示できます。

●色温度切替機能

9,300Kのノーマルホワイトと6,550Kのペーパーホワイトの2種類の色温度をスイッチで選択でき、PC-CADのほか、DTP(デスクトップパブリッシング)のアプリケーションにも対応できます。



仕様

CRT	0.28mmドット DBF電子銃	
入力電圧	AC100V±10% 50/60Hz	
消費電力	150W以下	
信号入力	映像信号	R.G.B.アナログ 0.7Vp-p
	同期信号	セパレート 1.5~5.0Vp-p コンポジット 1.5~5.0Vp-p シンクオングリーン
	コネクタ	D-sub15ピン シュリンクタイプ
動作周波数	水平	24~50kHz
	垂直	50~120Hz
ビデオ帯域	80MHz typ.	

BS内蔵S-VHS VTR

スポットライ HV-BS63



本格的なBS時代を迎え、最近のVTRは、長時間モードも含めた高画質化への要求が強くなっています。今回、3倍モードの長時間録画・再生がより高画質になる“19ミクロンJヘッド”、どんなテープにも最適に記録する“テープシミュレータ機能”、だれでも簡単に録画予約ができる“ビデオプラスシステム”を搭載したBSチューナー内蔵S-VHSビデオHV-BS63を開発しました。

特長

●19ミクロンJヘッド

多結晶と単結晶のフェライトを接合し、低ノイズ、高出力を実現した19ミクロンJヘッドを搭載したことにより、3倍モードの高画質長時間録画・再生が楽しめます。19ミクロンJヘッドは、テープ摺動部には単結晶フェライトを用いて、耐摩耗性、磁気特性、加工性を確保し、その他の大部分のコアは多結晶フェライトを用いて摺動ノイズを大幅に低減しました。また、他機との3倍モード互換再生等において、19ミクロンヘッド出力を測定し互換が悪いと判断したときには、自動的に特殊再生用3倍モードヘッド（26ミクロン）に切り替えます。

●テープシミュレータ機能

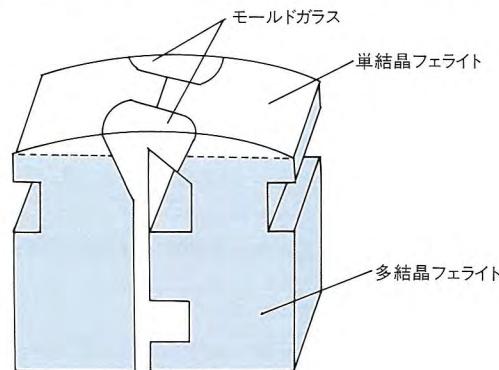
廉価なノーマルテープを始め、HGテープ、HIFIテープ等、各種高性能テープが現在市販されていますが、一般にVTRは、どの様なテープに対しても、ヤブレ防止やS/N確保を図っているため、高性能テープでは必ずしも十分にその性能を引き出し録画しているとは言えません。テープシミュレータ機能は、あらかじめ自動的に内部で発生した2周波を約3秒記録・再生することにより、テープの出力特性、周波数特性を判別し、それに応じて、記録のディテールを補正するのです。これにより高性能テープを用いた場合には、再生のノイキヤン等で失われやすい小振幅のディテールが補正され、より鮮明な記録状態を得ることができます。

●ビデオ・プラス（ジェムスター社の商標）システム

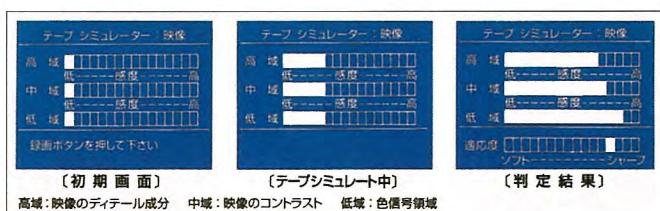
新聞等のテレビ番組欄に掲載されている、各番組の予約番号（Gコード）を入力するだけで、機械操作の苦手な方も手軽に録画予約できます。Gコードは、録画予約に必要な日付、受信チャンネル、録画開始時間、終了時間を最大8桁までの数字に変換したコードであり、リモコンにて入力すると、VTR本体にて、録画予約情報に自動的に変換されます。予約内容はテレビの予約設定画面で確認できますので、確実な予約が行なえます。また、新聞等に掲載のGコードを見やすくする予約ルーペをリモコンに搭載しました。

●オートカットポジション（CM自動カット）

洋画などの2か国語放送や音声多重放送、あるいはモノラル放送を録画するときにCMをカットして、本編だけを録画します。さらに衛星放送のBモード録画機能も採用しました。



19ミクロンJヘッド構造図



高画質くつきりファインダー搭載 スポットライト S-VHS-Cムービー MV-S55

ムービーの需要が幅広い層に広がるなか、手軽で確実に撮影ができるカラービューファインダーの必要性が急速に高まっています。しかし、現状の液晶カラー方式ビューファインダーでは液晶画素の粗さから映像の細部まで忠実に再現することが不可能でした。今回、映像の細部まで忠実に再現可能な白黒ブラウン管とカラーフィルタを使った新カラーディスプレイ方式を開発しました。また、この新カラーディスプレイ方式の採用で画期的な高精細映像の再現が可能となった“高画質くつきりファインダー”を搭載した小型軽量 S-VHS-Cムービー MV-S55を商品化しました。

新カラーディスプレイ方式

●システム説明

映像信号を3原色(R・G・B)成分に分解し、フィールドメモリーを用いたディジタル画像圧縮回路によりR・G・B信号を時間圧縮し、同時信号から時分割RGB信号に変換し、白黒ブラウン管で表示します。白黒ブラウン管の前面には、R・G・B3種類のカラーフィルタを配置し、RGB時分割のタイミングに合わせてフィルタの種類を切り替えることにより映像のカラー化を行います。



特長

●高い色再現性

カラーフィルタと白黒ブラウン管の組み合わせにより忠実な色再現性を得ることができます。

●高精細映像

シャドウマスクのない白黒ブラウン管による映像は、滑らかで自然な映像の再現が可能です。

(液晶カラー方式の画素換算約38万画素相当)

●高い視認性

白黒ブラウン管の前面に配置されたカラーフィルタによりブラウン管の管面で反射される外光は減衰され、屋外での使用でも映像が白けにくく、コントラストの高い映像が再現できます。

小型軽量ムービー MV-S55の特長

●38万画素相当高画質くつきりファインダー搭載

●1/3インチ高画質41万画素CCDの採用

●うっかり防止機能

通常の撮影とは違う「うっかり撮影」独特の揺れを手振れセンサーで検出し自動的に電源をオフにします。

●高画質シーンセレクト

従来のフルオートでは、綺麗に撮影しにくい7つのシーンをあらかじめ設定し最適なカメラ設定を自動的に行います。

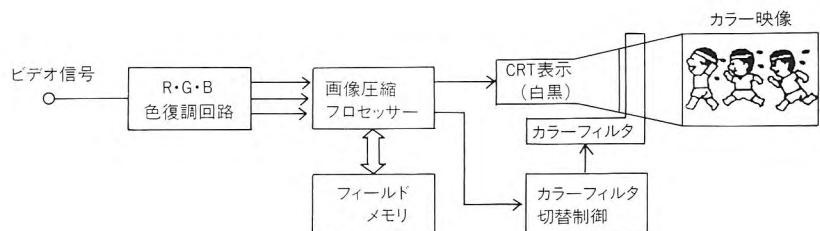
- ・スキー（海水浴）・運動会・結婚式・ゴルフ
- ・夕焼け・ポートレイト・夜景

●高画質手振れ補正

ツインジャイロセンサーによりムービー本体の揺れを検出し補正します。

●小型軽量ムービー

本体重量は、わずか670gほどです。



新カラーディスプレイシステムブロック図

