

# MITSUBISHI

# 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.62 No.10

10  
1988

## ソフトウェア生産技術特集



## ソフトウェア生産技術特集

### 目次

#### 特集論文

ソフトウェア生産技術特集に寄せて	1
花田收悦	
ソフトウェア生産技術の現状と動向	2
鶴田敬二	
ソフトウェア設計支援システム	5
高野 彰・北畠重信・堀川博史・寿原則彦・加藤英子・藤掛 遵	
ソフトウェアテスト支援システム	9
明智憲三郎・飛山哲幸・小川文男・吉田郁子・藤澤幹子	
ソフトウェア保守支援システム	13
高見紀二・石井敏郎・堀之内 浩・藤岡 卓・飛山哲幸	
ソフトウェアの再利用と支援ツール	21
高見紀二・後藤卯一郎・林 桂子・船坂誠市	
ソフトウェアの品質管理	27
中根 勇・小林 博・土屋哲男・増田幹夫	
通信ソフトウェア開発支援環境	33
水野忠則・宗森 純・勝山光太郎・中川路哲男・佐藤文明	
知識処理のソフトウェア開発支援環境	37
平塚 尚・秋田興一郎	

#### 普通論文

光LANを用いた変電所全ディジタル保護制御システム	43
大橋信富美・鈴木 守・前田隆文・吉田敬史・柳瀬秀史・安斉俊夫	
光ファイバ伝送による多端子送電線保護システム	49
吉川元庸・園原和夫・東 信一・松永完三・光岡正隆	
写真植字機ROBO15XY II	53
末兼多好保・加川廣光・日野岡高行・神田隆司・補永伸行	
文献データベース知的検索システム	59
小林健三・佐々木道雄・梁田和彦・小泉裕一・平松 齊	
データベースのユーザーフレンドリ インタフェース MELQUERY	63
和田雄次・中川路のぞみ・金森卓郎	
高速64Kビット CMOS EEPROM	69
野口健二・外山 豊・小林真一・中島盛義・長田隆弘	
超高速64K SRAM	73
木原雄治・木下 淳・南 ふゆみ・古賀 剛	
マルチギガビット伝送用アイソレータ内蔵DFB・LDモジュール	77
山下純一郎・中村 猛・菅沼ルミ子・伊東 尚・柿本昇一	
3 kW級スターリングエンジン	81
菅波拓也・藤原通雄・酒井正博・幸田利秀・野間口 有	

#### 特許と新案

半導体装置、半導体装置の製造方法	85
半導体装置	86

#### スポットライト

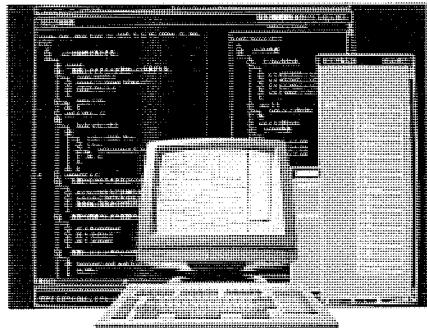
総合制御システム《MACTUS 620》タイプE	87
関西電力(株)加古川変電所納め84kVガス絶縁開閉装置(GIS)	88
《MELCOM PSI II》カラーバージョン	(表3)

#### 表紙

ソフトウェアエンジニアリング ワークステーション

高性能のワークステーションの出現等により、ソフトウェア生産の上流工程を支援するツールの実用化が始まり、CASE (Computer Aided Software Engineering) が再び注目されている。

表紙は、ソフトウェア生産の上流工程を支援するツールとして、当社エンジニアリングワークステーション《MELCOM MEシリーズ》上に開発したデータフロー図エディタ、プログラム図エディタ／コンパイラを紹介したものである。これらはメニューによる操作など高度なマンマシンインターフェースを持ったツールである。



## アブストラクト

### ソフトウェア生産技術の現状と動向

鶴田敬二

三菱電機技報 Vol.62・No.10・P2~4

情報処理産業の成長に伴い、ソフトウェアの生産量は急増し、ソフトウェア技術者の需給ギャップが問題となっている。この問題を解決するためには、高品質のソフトウェアを効率良く生産する必要がある。当社では、ソフトウェア生産技術が重要であると認識し、ツールの開発を中心とした諸活動を推進してきた。本稿では、ソフトウェア生産性及び品質向上に対する基本的考え方と現状を紹介するとともに、ソフトウェア生産技術の今後の動向についても論じる。

### ソフトウェア設計支援システム

高野 彰・北畠重信・堀川博史・寿原則彦・加藤英子・藤掛 遼  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P5~8

ソフトウェア設計作業をエンジニアリング ワークステーション『MELCOM MEシリーズ』上で可能にする支援システムについて述べる。このシステムは、データフロー図、モジュール構成、モジュール仕様、プログラム図などの作成を支援するものであり、これらの図式からソースコードを生成する機能も持っている。

### ソフトウェアテスト支援システム

明智憲三郎・飛山哲幸・小川文男・吉田郁子・藤澤幹子  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P9~12

コンピュータ ソフトウェアの品質向上を図るために、設計段階で初めてからバグの入り込まない作り方をすることと、テスト段階で徹底的かつ効率的にバグを検出するテストをすることがポイントとなる。当社では、設計における構造化技法の採用とともに、この技法と協調をとったテスト技術とテスト支援システムを構築し、実用化してきた。本稿では、このテスト技術とテスト支援システムの概要、及びこれらの適用事例での評価について述べる。

### ソフトウェア保守支援システム

高見紀二・石井敏郎・堀之内 浩・藤岡 卓・飛山哲幸  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P13~20

この論文では、ソフトウェア生産における保守作業について、その目的、作業内容、注意すべき点などを述べるとともに、その作業の重要性について言及する。その上で、ソフトウェア保守支援ツールの幾つかについて、機能、特長とともに具体例を示しながら、これらのツールがソフトウェア保守作業の効率化に寄与するものであることを紹介する。

### ソフトウェアの再利用と支援ツール

高見紀二・後藤卯一郎・林 桂子・船坂誠市  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P21~26

この論文では、ソフトウェア生産活動における再利用の目的と位置付けについて述べ、再利用を阻害している要因を分析する。阻害要因を除去して、ツール面から再利用を支援するために必要な機能は何かを考え、“モジュール再利用支援ツール”で実現した機能について述べる。さらに、このツールを利用した再利用体制のあり方、及びツール適用効果について述べる。

### ソフトウェアの品質管理

中根 勇・小林 博・土屋哲男・増田幹夫

三菱電機技報 Vol.62・No.10・P27~32

計算機ソフトウェアの品質管理標準要綱（品質管理プログラム）を紹介する。この標準要綱は、ソフトウェアの品質管理を有効かつ経済的に実施するために、その方針と手順を規定しており、品質管理組織、方針管理、各生産段階での品質保証および保守管理から構成している。

本稿では、この標準要綱の内容概要、各生産段階で品質保証するための品質管理活動およびこれらを支援するシステムの概要を紹介する。

### 通信ソフトウェア開発支援環境

水野忠則・宗森 純・勝山光太郎・中川路哲男・佐藤文明  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P33~36

通信ソフトウェアの体系的な開発支援環境をワークステーション上で統一的に開発した。この通信ソフトウェア開発支援環境は、設計、製作、試験設計及び試験の各段階を、SDLグラフィックエディタSGE、オブジェクト指向言語superC、試験系列生成ツールTENT、そしてセッションミューレータSSIMの各ツールで支援する。この開発支援環境を利用することによって、通信ソフトウェアの効率的な開発が可能となった。

### 知識処理のソフトウェア開発支援環境

平塚 尚・秋田興一郎

三菱電機技報 Vol.62・No.10・P37~42

情報処理の世界に新たな価値と視点を与える知識処理は、ようやく実用化の段階を迎つつある。この論文では、まず、知識処理という新しいプログラミング方式の特質を明らかにし、知識処理の開発支援環境に対する要求条件を考察する。次に、これらの要求条件を満たす開発支援環境の具体的な事例として当社の《MELCOM PSI II》を取り上げ、その知識処理言語ESP及び知識処理向けアーキテクチャの先進性を論じ、開発支援ツール類を紹介する。

### 光LANを用いた変電所全デジタル保護制御システム

大橋信富美・鈴木 守・前田隆文・吉田敬史・柳瀬秀史・安斎俊夫  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P43~48

変電所全デジタル保護制御装置を、屋外機器近傍に分散配置し、その装置間を光LANで結合したシステムを開発した。光LANのプロトコルにはIEEE802.4トーカンバスを採用し、媒体は光ファイバケーブルとスターカプラを用いて構成した。光LANは異メーカー間で接続し、問題なく情報交換が行われることが確認された。このシステムは、東京電力㈱の今後の変電所に適用される予定である。

### 光ファイバ伝送による多端子送電線保護システム

吉川元庸・園原和夫・東 信一・松永完三・光岡正隆  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P49~52

電力系統の多端子化に伴い発生する送電線保護上の諸問題を解決し、電力供給の安定度向上を図るために、デジタルリレー技術に光ファイバケーブルによるデータ伝送技術を組み合わせ、多端子送電線保護システムを開発した。このシステムは、送電線各端におかれた装置間を1心の光ファイバによりループ状に接続するシンプルな構成ながら、最大8端子までの送電線を高感度・高信頼度に保護可能としている。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 27 ~ 32 (1988)

## A Software Quality-Control Program

by Isamu Nakane, Hiroshi Kobayashi, Tetsuo Tsuchiya & Mikio Masuda

The overall standards of this program stipulate policies and procedures for implementing economical yet efficient software quality control. The program is designed for quality-control organization and policy control as well as quality assurance and maintenance control at each phase of development.

The article introduces the program contents, quality-control activities for quality assurance at each phase of development, and outlines the system for supporting these activities.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 2 ~ 4 (1988)

## The Present Situation and Future Trends in Software Engineering

by Keiji Tsuruta

The expanding information industry, with its heavy software-development demands, is experiencing a shortage of software engineers. The Corporation has recognized the importance of software engineering to efficiently develop high-quality software, and is developing a variety of software-development tools. The article summarizes the Corporation's philosophy toward improvement of software productivity and quality, introduces the current state of the art, and comments on future trends.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 33 ~ 36 (1988)

## A Support Environment for the Development of Communication Software

by Tadanori Mizuno, Jun Munemori, Kotaro Katsuyama, Tetsuo Nakakawaji & Fumiaki Sato

The article reports on an integrated support environment for the development of communication software that has been implemented on a workstation. The environment includes the specification and description language (SDL), the SDL graphic editor (SGE), Super C object-oriented language, the TENT test-sequence generation tool, and the SSIM session simulator. By supporting software design, programming, test design, and testing, the environment enables communication software to be developed efficiently.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 5 ~ 8 (1988)

## A Software Design-Support System

by Akira Takano, Shigenobu Kitabatake, Hiroshi Horikawa, Norihiko Suhara, Eiko Kato & Jun Fujikake

The article reports on a system that supports software design operations on MELCOM ME Series engineering workstations. The user generates data-flow diagrams, module structure charts, module specification sheets, and program charts, which the system converts to the program source code.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 37 ~ 42 (1988)

## A Software-Development Support Environment for Knowledge Processing

by Takashi Hiratsuka & Koichiro Arita

Knowledge processing is changing both our attitudes to information processing and our assessments of it, and knowledge-processing technology is fast approaching practical implementation. The article clarifies the new programming paradigm that knowledge processing requires, and explores the requirements of a development-support environment for knowledge processing. The article presents the MELCOM PSI II, an AI workstation that is one of the Corporation's possible answers to these needs. The article introduces the major features of the PSI II, including the Extended Self-Contained Prolog (ESP) knowledge-processing language, advanced architecture tailored to knowledge processing, and development-support tools.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 9 ~ 12 (1988)

## A Software Test-Support System

by Kenzaburo Akechi, Tetsuyuki Tobiyama, Fumio Ogawa, Ikuko Yoshida & Mikiko Fujisawa

To raise the quality of computer software, it is necessary to prevent bugs right from the design stage, and to develop testing procedures that effectively detect program bugs. Mitsubishi Electric has developed and implemented testing techniques and a test-support system and applied them in conjunction with the structured techniques used in software design. The article reports on the test technology and test-support system, and several examples of their evaluation.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 43 ~ 48 (1988)

## The Development of a Digital Protection and Control System Using a Fiber-Optic Local-Area Network for Substations

by Takashi Yoshida, Shuji Yanase & Toshio Anzai

This system consists of distributed units installed at outdoor GIS and transformer facilities and linked in a local-area network (LAN). The optical LAN employs the IEEE802.4 token passing-bus protocol. Its media consist of fiber-optic cable and fiber-optic star couplers. The system was tested and found capable of linking the substation equipment of different manufacturers. The system will be used in the substations of the Tokyo Electric Power Co.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 13 ~ 20 (1988)

## A Software Maintenance-Support System

by Toshiji Takami, Toshio Ishii, Hiroshi Horinouchi, Suguru Fujioka & Tetsuyuki Tobiyama

The article examines the maintenance operations associated with software production, defining their purpose, content, and principal concerns. After explaining the importance of software maintenance, the article introduces the functions, features, and practical applications of several maintenance-support tools, showing how they raise the efficiency of software maintenance operations.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 49 ~ 52 (1988)

## A Digital PCM Current-Differential Relaying Scheme for Multiterminal Lines Using Optical Fiber

by Motonobu Yoshikawa, Kazuo Sonohara, Shin'ichi Azuma, Kanzo Matsunaga & Masataka Mitsuoka

This scheme transmits data over optical fiber, and is intended to solve the protection problems that arise in modern power grids employing multiterminal power-transmission lines. It employs a single-strand optical-fiber cable to connect units at each terminal of the transmission line in a simple-loop configuration. It provides reliable, high-sensitivity protection for transmission lines having up to eight terminals.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 21 ~ 26 (1988)

## A Software Reuse and Support Tool

by Toshiji Takami, Uichiro Goto, Keiko Hayashi & Seiichi Funasaka

An introduction outlining the purpose of software reuse provides orientation for the article, which then analyzes the factors restricting the reuse of software. The article next considers the functions required of software reuse and support tools, and describes the functions realized with a module-reuse support tool. The project organization required for software reuse with this tool and the efficiencies of software reuse are also reported.

## アブストラクト

### 写真植字機ROBO15XYII

末兼 多好保・加川廣光・日野岡 高行・神田隆司・補永伸行  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P53~58

写真植字機は活字に代わり、印刷物の版下やテレビのテロップの作成にと広く利用されている。本機は従来にない表示機能（写植内容、ガイドラインなどのモニタ表示）、作図機能（直線、円弧、だ円などの作図）、高度な組版機能（円組、空打・JSTなど）を搭載した高性能写真植字機である。これにより、写真工程で作図や円形組みなどの高度な版下製作が可能となり、写真植字機の新世代を築くことができた。

### 文献データベース知的検索システム

小林健三・佐々木道雄・梁田和彦・小泉裕一・平松 齊  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P59~62

この論文は、文献検索システムへのアクセスを初心者でも容易に行えることを目的とし、検索端末のフロントエンドに知的システムを構築することにより実現した成果に関するものである。この開発により、ユーザーと端末との対話は日本語文章で可能となり、検索キーワードを明確に記憶していない場合も、文献システムのディスクリプタへ到達可能にした。さらに、文献システムへのアクセスを効率的に行うために、希望文献数に応じて、検索論理式の自動生成を実現した。

### データベースのユーザーフレンドリ インタフェース MELQUERY

和田雄次・中川路のぞみ・金森卓郎  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P63~68

MELQUERYは、三菱マルチメディア エンジニアリング ステーション“ME1000シリーズ”上で実現され、リレーショナル データベースに対するデータ操作が視覚的なマンマシン インタフェースを用いて、対象先行形式で行えることを特長とするデータベースのユーザーフレンドリ インタフェースである。MELQUERYは、データ操作内容を国際標準データベース言語SQLに変換し、リレーショナル データベースをアクセスする。

### 高速64KビットCMOS EEPROM

野口健二・外山 毅・小林真一・中島盛義・長田隆弘  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P69~72

EEPROMは、システムに組んだまま情報の書換えができる不揮発性メモリであり、幅広い応用分野を持っており、高速・多機能・高信頼性の要求に対応している。今回、最新のプロセス技術と回路設計技術を駆使し、64KビットCMOS EEPROM M5M28C64APを開発したので、その回路構成、プロセス技術、動作特性などについて報告する。

### 超高速64K SRAM

木原雄治・木下 淳・南 ふゆみ・古賀 剛  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P73~76

最大アクセスタイム15nsの64K CMOS SRAMを開発した。高速アクセスを実現するために、プロセス面で、MoSiワード線、NチャネルトランジスタのLDD、Pチャネルトランジスタのサイドウォール拡散を用いて、トランジスタの高性能かつ高信頼度化を図った。設計面では、回路設計、パターン設計をコンピュータ シミュレーションを用いて最適化した。プロセスと設計のマッチングをとり、画期的高速アクセスを実現した。

### マルチギガビット伝送用アイソレータ内蔵DFB・LDモジュール

山下純一郎・中村 猛・菅沼ルミ子・伊東 尚・柿本昇一  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P77~80

マルチギガビット級の高速光ファイバ伝送用として、光アイソレータとLD温度制御用の熱電子素子を内蔵したDFB・LDモジュールを開発した。このモジュールの特長は次のとおりである。① 5GHz以上までの平坦な周波数特性を持つ、②相対雑音強度(RIN)は、-145dB/Hz以下である、③高速パルス変調時においてもサイドモード抑圧比は35dB以上確保できる、④ 0~60°Cの周囲温度変化に対する出力変動は0.2dB以下であり、また高効率な温度制御が可能である。

### 3kW級スターリングエンジン

菅波拓也・藤原通雄・酒井正博・幸田利秀・野間口 有  
三菱電機技報 Vol.62・No.10・P81~84

当社はムーンライト計画に参画し、3kW級ディスプレーサ型スターリングエンジンの開発に取り組んだ。計画の最終年度に当たり、3kW級のエンジンとしては世界最高の37.3%の熱効率を実現し、夢のエンジンといわれたスターリングエンジンの高効率性と低騒音・清浄な排ガスなど、その低公害性の実証に成功した。さらに、スターリングエンジン駆動ヒートポンプの開発を行い、高い省エネ効果とエンジンがヒートポンプ駆動用に適することを実証した。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 73 ~ 76 (1988)

## An Ultrahigh-Speed 64Kb CMOS Static RAM

by Yuji Kihara, Atsushi Kinoshita, Fuyumi Minami & Tsuyoshi Koga

The article describes the functions and structure of these SRAMs, which feature a 15ns access time. High speed and reliability were achieved by using MoSi word lines, n-channel transistors with a lightly doped drain (LDD) and side-wall-diffused p-channel transistors. In addition, computer simulations were used to optimize the circuit design and layout patterns, and steps were taken to match the design to the fabrication processes.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 77 ~ 80 (1988)

## A Distributed-Feedback Laser-Diode Module with an Optical Isolator for Multigigabit Optical Transmission

by Jun'ichiro Yamashita, Takeshi Nakamura, Rumiko Saganuma, Sho Ito & Shiochi Kakimoto

This module, which has a thermoelectric cooler, has the following advantages: a smooth frequency response up to 5GHz, relative intensity noise less than -145dB/Hz, side-mode suppression ratio better than 35dB during high-bit-rate modulation, high output-power stability ( $\leq 0.2\text{dB}$ ) over a wide 0~60°C operating-temperature range, and efficient cooling.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 81 ~ 84 (1988)

## Research and Development on a 3kW-Class Stirling Engine

by Takuuya Saganami, Michio Fujiwara, Masahiro Sakai, Toshihide Koda & Tamotsu Nomaguchi

The Corporation has developed a 3kW-class displacer-type Stirling engine for the Moonlight Project (an energy-conservation project funded by the Japanese Ministry of International Trade and Industry). The engine, completed in the last year of the project, boasts a thermal efficiency of 37.3%, the world's highest. It has been established as a high-efficiency, low-noise engine with clean, low-pollution exhaust. The Corporation has also developed a Stirling-engine-driven heat pump that is highly efficient, demonstrating the suitability of the Stirling engine for such applications.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 53 ~ 58 (1988)

## The ROBO15XYII Phototypesetter

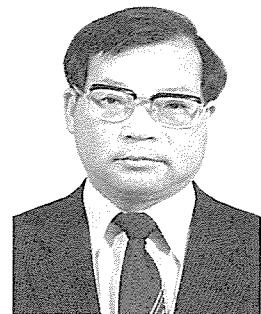
by Tamayasu Suekane, Hiromitsu Kagawa, Takayuki Hino'oka, Takashi Kanda & Nobuyuki Honaga

The article describes a sophisticated phototypesetter with new display functions not found in previous equipment. These include monitor functions to display the content of the typesetting, guidelines, etc. The drafting functions produce lines, arcs, ellipses, and other graphic elements. The typesetter also has advanced layout functions including framing, nonprinting mode, and line justification. These new functions make it possible for the operator to handle such high-level tasks as preparing printers' mechanicals and complex tabular material, and mark the birth of a new generation of phototypesetters.

<p>Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 73 ~ 76 (1988)</p> <p>An Ultrahigh-Speed 64Kb CMOS Static RAM</p> <p>by Yuji Kihara, Atsushi Kinoshita, Fuyumi Minami &amp; Tsuyoshi Koga</p> <p>The article describes the functions and structure of these SRAMs, which feature a 15ns access time. High speed and reliability were achieved by using MoSi word lines, n-channel transistors with a lightly doped drain (LDD) and side-wall-diffused p-channel transistors. In addition, computer simulations were used to optimize the circuit design and layout patterns, and steps were taken to match the design to the fabrication processes.</p>	<p>Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 53 ~ 58 (1988)</p> <p>The ROBO15XYII Phototypesetter</p> <p>by Tamayasu Suekane, Hiromitsu Kagawa, Takayuki Hino'oka, Takashi Kanda &amp; Nobuyuki Honaga</p> <p>The article describes a sophisticated phototypesetter with new display functions not found in previous equipment. These include monitor functions to display the content of the typesetting, guidelines, etc. The drafting functions produce lines, arcs, ellipses, and other graphic elements. The typesetter also has advanced layout functions including framing, nonprinting mode, and line justification. These new functions make it possible for the operator to handle such high-level tasks as preparing printers' mechanicals and complex tabular material, and mark the birth of a new generation of phototypesetters.</p>
<p>Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 77 ~ 80 (1988)</p> <p>A Distributed-Feedback Laser-Diode Module with an Optical Isolator for Multigigabit Optical Transmission</p> <p>by Jun'ichiro Yamashita, Takeshi Nakamura, Rumiko Saganuma, Sho Ito &amp; Shiochi Kakimoto</p> <p>This module, which has a thermoelectric cooler, has the following advantages: a smooth frequency response up to 5GHz, relative intensity noise less than -145dB/Hz, side-mode suppression ratio better than 35dB during high-bit-rate modulation, high output-power stability (<math>\leq 0.2\text{dB}</math>) over a wide 0~60°C operating-temperature range, and efficient cooling.</p>	<p>Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 59 ~ 62 (1988)</p> <p>An Intelligent Referencing System for Databases of Academic and Technical Literature</p> <p>by Kenzo Kobayashi, Michio Sasaki, Kazuhiko Yanada, Yuichi Koizumi &amp; Hitoshi Hiramatsu</p> <p>The article reports on a database-referencing system with an intelligent front end designed to provide novice users with easy access to databases. The system lets the user query the database using conventional Japanese sentences, and it is possible to reach the referencing system's descriptors even when keywords are not remembered clearly. The referencing logic for the system is generated automatically based on the number of desired retrievals—a step that further simplifies access.</p>
<p>Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 81 ~ 84 (1988)</p> <p>Research and Development on a 3kW-Class Stirling Engine</p> <p>by Takuuya Saganami, Michio Fujiwara, Masahiro Sakai, Toshihide Koda &amp; Tamotsu Nomaguchi</p> <p>The Corporation has developed a 3kW-class displacer-type Stirling engine for the Moonlight Project (an energy-conservation project funded by the Japanese Ministry of International Trade and Industry). The engine, completed in the last year of the project, boasts a thermal efficiency of 37.3%, the world's highest. It has been established as a high-efficiency, low-noise engine with clean, low-pollution exhaust. The Corporation has also developed a Stirling-engine-driven heat pump that is highly efficient, demonstrating the suitability of the Stirling engine for such applications.</p>	<p>Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 63 ~ 68 (1988)</p> <p>MELQUERY—A User-Friendly Interface for Relational Databases</p> <p>by Yuji Wada, Nozomi Nakakawaji &amp; Takuro Kanamori</p> <p>MELQUERY is a user-friendly visual interface for performing object-oriented manipulations of relational databases on the ME1000 multimedia engineering workstation. MELQUERY converts the user inputs to SQL, an international-standard database-query language, which is then used to access the database.</p>
	<p>Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 62, No. 10, pp. 69 ~ 72 (1988)</p> <p>A High-Speed 64K-Bit CMOS EEPROM</p> <p>by Kenji Noguchi, Tsuyoshi Toyama, Shin'ichi Kobayashi, Moriyoshi Nakajima &amp; Takahiro Nagata</p> <p>EEPROMs are nonvolatile memories that can be reprogrammed <i>in situ</i>. They have many applications, and high-speed, multifunction, and highly reliable devices have been developed to satisfy specialized requirements. The Corporation has employed the latest process and circuit-design technologies to develop the M5M28C64AP, a high-speed (150ns) 64K-bit CMOS EEPROM. The article reports on the circuit configuration, process technology, operating characteristics, and related information.</p>

## 卷頭言

### ソフトウェア生産技術特集に寄せて



日本電信電話株式会社  
ソフトウェア研究所  
所長 花田 收悦

ソフトウェアの生産技術は、主として生産の効率化に寄与する側面と、主として工期の短縮に寄与する側面とをあわせ持っております。

ソフトウェアの生産事象を、(要求の発生⇒仕様書⇒設計書⇒ソースコード⇒オブジェクトコード) という一連の変換活動であると促え、このなかの思考活動を支援することにより工期の短縮に、作業活動を支援することにより効率向上に寄与するものと考えてみます。思考活動例としては、利用者要求の仕様化、プロジェクト計画の策定、設計、テスト項目の選定、バグの原因解析・修正方法の究明、品質の推定、出荷時期の決定などが該当します。一方の作業活動例としては、文書（仕様書、計画書、設計書など）の作成、進捗管理、テストデータの作成、テストの実施・結果の判定、ソースコードの編集・修正確認・配布、構成管理などが想定されましょう。

工期の短縮と生産の効率化は、それぞれ生産物（プロダクト）の市場鮮度と価格に影響する要因であり、競争力の源泉を構成します。両者（工期短縮と生産の効率化）の関係は、未だ解明されておりませんが、どうやら相反するのではないかという意見が強いようです。すなわち、ソフトウェアの生産現場においては、工期の短縮を最優先課題として取り組むプロジェクトが多いわけですが、普通には生産対象のプロダクトを分解して並行作業を増加させることによって達成しようとします。このような開発形態においては生産資源（担当者、設備など）が集中的に増大し、経験的に生産コストが膨張するケースが計量されるようになりました。

したがって、プロダクトのみを観察していたのでは、生産性向上の程度や使用した生産技術の有効性を的確に判断するうえで誤りを犯すことになりかねません。このような

反省から最近のソフトウェア生産においてはプロダクトの観察に加えて、プロダクトの生産過程（プロセス）を観察することによって生産方法を改善していくこうという姿勢が顕著になってきました。いわゆるプロセス指向（重視）の生産管理が浸透しつつあるわけです。

プロセス指向の生産方法の最初の兆しは、今から15年前から現われ始めたと見做すことができます。すなわち、それまではプログラムという最終形態のプロダクトのみが生産物であると認定され、途中の過程で作成される種々の生産物（仕様書、設計書など）は捨てられるか付属物の位置付けでした。それがソフトウェアの変換過程における一つの姿として認知されるようになった経緯は、プロセス指向の具体的な第一歩と考えることができます。

「將を射んとすれば先ず馬を射よ」のたと（喻）えのように、優れた品質のプロダクトを恒常に供給するためには、先ずしっかりと生産のプロセスを確立することが肝要であるということを我々は再認なくてはなりません。

ソフトウェアの生産プロセス、特に上流工程である要求分析・定義、設計等の各作業を支援する生産技術の開発に際して、工期の短縮と作業の効率化の両面から、今一度じっくりと思索することが必須かと思われます。

貴社が、日本におけるこの分野の技術を先導して下さることを期待しております。

# ソフトウェア生産技術の現状と動向

鶴田敬二\*

## 1. まえがき

近年における計算機、マイクロコンピュータ（以下、マイコン）の高性能化・小型化・低価格化によって、ソフトウェアの大規模化・多様化が進み、次のような現象が発生している。

- (1) ソフトウェア需要の急増によるソフトウェア技術者の需給ギャップの拡大
- (2) コンピュータシステムにおける高品質ソフトウェアの要求
- (3) コンピュータシステムに占めるソフトウェアコストの増大

特に、ソフトウェア技術者の需給ギャップの拡大は著しく、通産省の産業構造審議会情報産業部会により、図1に示すように2000年には、プログラム54.3万人、SE42.2万人、合計約97万人のソフトウェア技術者が不足すると報告されている<sup>(1)</sup>。この解消のためには、熟練度の低いソフトウェア技術者にも熟練技術者並みの高品質のソフトウェアを効率良く生産できるようにすることが重要で、そのためのソフトウェア生産技術を提供するのが急務である。通産省では、この問題に対処するためにシグマ（Σ）計画を推進し、Σネットワーク、Σツールなどによるソフトウェア生産の工業化に取り組んでいく

る。

当社においても、ソフトウェア生産技術の重要性を認識し全社的な諸活動を展開してきた。本稿では、当社がこれまでに実施してきたソフトウェア生産技術関連の開発成果について述べるとともに、今後注目すべき技術の動向について述べる。

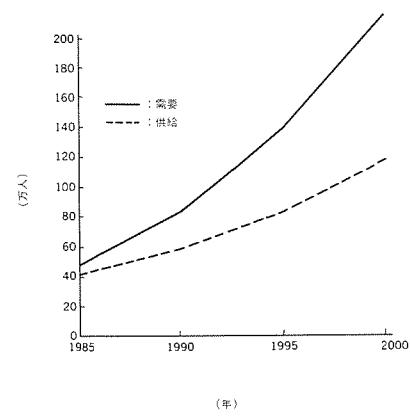


図1. ソフトウェア技術者の需給見通し<sup>(1)</sup>

## 2. ソフトウェア生産技術の現状

### 2.1 ソフトウェア品質・生産性向上へのアプローチ

ソフトウェアにおいても、ハードウェアと同様に品質向上、工期短縮、原価低減を実現するためには、次の課題解決が必要である。

- (1) ソフトウェア技術者の育成
- (2) ソフトウェア生産環境の改善
- (3) ソフトウェア生産技法、支援ツールの開発・改良
- (4) ソフトウェア生産の標準化の推進
- (5) ソフトウェア生産管理の充実

これら課題を解決する共通基盤としてソフトウェア生産方法論を位置付け、図2のような諸施策を展開している。ソフトウェア生産

方法論の目的は次のとおりである。

- 組織のメンバーが共通の概念のもとに、“正しく”生産活動が行えるようにする。
- 個人の基本的能力を一定水準以上に押し上げ、組織の能力をレベルアップする。
- 生産管理の対象を明確にし、管理水準を一定に保つ。
- 生産技術の開発・蓄積・伝承の枠組を与える。
- 生産物、生産方法の標準化を図る。

ソフトウェア生産方法論には、視覚化、単純化、定量化などの基本理念を持たせている。

### 2.2 ソフトウェア生産支援システム

当社では、ソフトウェア生産方法論を基盤とし、品質管理プログラム等<sup>(2)</sup>を整備するとともに、ミニコン及びマイコンの応用ソフトウェアを主対象としたソフトウェア生産支援ツール群からなる汎用的なソフトウェア生産支援システムの開発・普及を行ってきた。一方、事務処理<sup>(3)(4)</sup>・通信・知識処理などの各分野に特化したソフトウェア生産支援システムも構築している。これらのシステムの具体的な内容はこの特集号で紹介する。

ここでは、ソフトウェア生産支援システムの基本思想、支援モデル及びシステム構成について述べる。

#### 2.2.1 基本思想

ソフトウェア生産支援システムを構築するにあたり、次の方針を設定した。

##### (1) ソフトウェア ライフサイクルの一貫支援

従来の生産支援の対象は、プログラムの製作・試験段階を中心としていたため、局所的な生産性向上にとどまっていた。より一層の品質・生産性の向上を目指すためには、プロジェクト管理も含めて

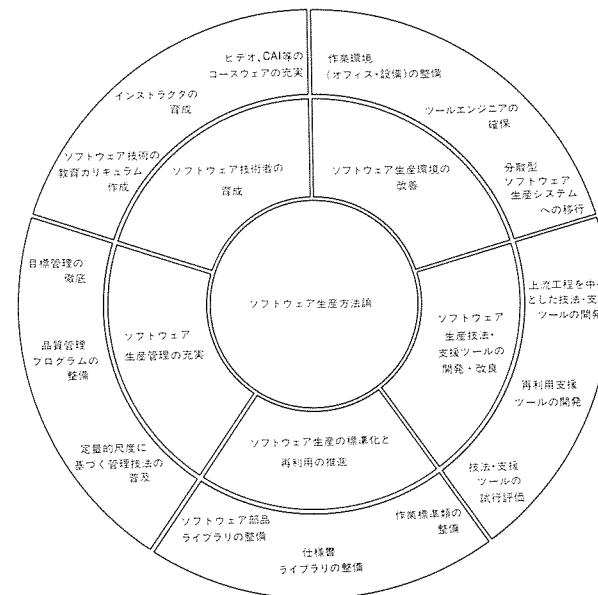


図2. ソフトウェア品質・生産性向上のアプローチ

運用・保守までのソフトウェア ライフサイクル全体を一貫して支援する必要がある。

#### (2) 応答性の確保

特にマンマシン インタフェース部分をより高度化し、計算機が人間の思考を中断させないようにすることは重要である。そこで処理を分散させることにより、応答性能を維持向上させる。

#### (3) プログラミングの視覚化

人間と計算機の協調作業をより円滑にするために、ソフトウェア生産作業及びその結果得られる生産物を日本語表現、図式表現を用いて極力視覚化する。

#### (4) ソフトウェア財産の蓄積・再利用

品質を確保しつつソフトウェアの生産性を向上させる一つのポイントは、できるだけ新規にソフトウェアを作らないことである。そのため、過去のソフトウェア財産を確実に蓄積し再利用することができるようとする。

#### (5) ソフトウェア文書作成の効率化

ソフトウェア生産における文書は、人間並びに計算機間の情報伝達のための中核的役割を果たすことからこの効率化は重要である。そこで、大量の文書作成を計算機支援により効率化し、同時に文書の品質も向上させる。

#### 2.2.2 ソフトウェア生産支援モデル

ソフトウェアの生産工程を、自然語で書かれたユーザー要求から機械語表現のプログラムコードに至る各レベルの言語で表現された生産物の変換過程としてとらえる。その結果、各工程での生産物の表現レベルは異なるものの、それらに対する処理機能は共通的にとらえることができる。そこで、計算機によるソフトウェア生産支援を図3のように、マンマシン インタフェース系、編集・表示系、解析・評価系、生成・変換系、データベース管理系にモデル化している<sup>(5)</sup>。各系の機能の概略は以下のとおりである。

##### (1) マンマシン インタフェース系

応答性の確保、操作方法の統一など、作業者と計算機の間の親和性を向上させる機能を果たす。

##### (2) 編集・表示系

ソフトウェア生産過程における各種生産物を視覚化及び編集する機能を果たす。文書及びソースプログラムの編集作業支援などは、ここに位置付けられる。

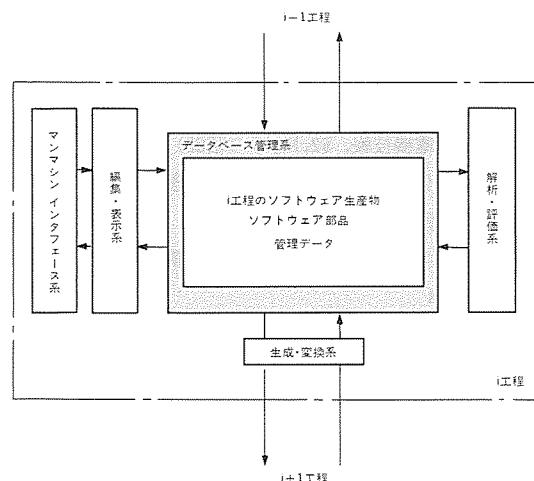


図3. ソフトウェア生産支援モデル

#### (3) 解析・評価系

ソフトウェア生産工程における各種生産物の内容を解析し、仕様どおりに誤りなく作られているかどうかを確認する機能を果たす。文書及びソースプログラムのレビュー作業支援などが、ここに位置付けられる。

#### (4) 生成・変換系

ソフトウェア生産工程において、正しさが確認された生産物から次工程の生産物あるいはそのスケルトンを生成する機能を果たす。ソースプログラムからオブジェクト プログラムを生成するコンパイラなどがここに位置付けられる。

#### (5) データベース管理系

ソフトウェア生産物及び生産管理情報などを一元管理する機能を果たす。これにより、生産物の構成管理・ツール間の融合を図る。また、前述の各系で収集したソフトウェア管理情報等に対しても、編集、解析あるいは次の工程の管理情報の生成といった処理が行われるので、図3に示すモデルはソフトウェアの生産管理支援にも適用できる。

#### 2.2.3 システム構成

ソフトウェア生産支援システムは、図4に示すようにサーバ、エンジニアリング ワークステーション、データベース、高性能印刷装置などで構成される分散型の計算機システムと前述のモデルに基づいて作成されたソフトウェア生産支援ツール群から構成される。これらは、TCP/IPにてLAN接続され、必要に応じマイコンソフトウェア開発装置及びターゲットシステムとも接続できる。サーバ及びエンジニアリング ワークステーションのオペレーティング システムにUNIX\*を採用し、サーバ上にプロジェクトレベルのデータベースを、エンジニアリング ワークステーション上に個人レベルのデータベースを設置している。これに加えサーバ上では、大容量のデータを扱うプロジェクト管理ツール及びバッチ処理型のソフトウェア生産支援ツールを稼働させ、またエンジニアリング ワークステーション上では高度な応答性、マンマシン インタフェースを必要とする会話型のソフトウェア生産支援ツールを稼働させることで、サーバとエンジニアリング ワークステーションの機能分散を実現している。

#### 2.3 ソフトウェア生産技法、支援ツールの普及・評価

生産技法・支援ツールは、実際の生産で使用することによって効果をあげ、真に評価できる。単に操作説明書とソフトウェア生産支援ツールを提供するだけではソフトウェア生産支援ツールを普及さ

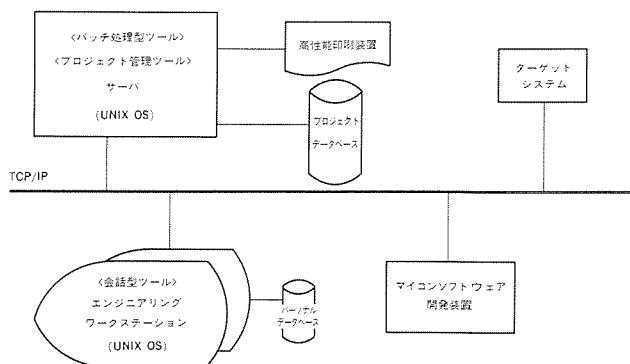


図4. ソフトウェア生産支援システムの構成

注 \*印 UNIXは米国AT&Tベル研究所が開発したオペレーティングシステムです。

せ、その効果を評価することは困難である。そこで、ソフトウェア生産支援ツールの普及を促進するために、ソフトウェア生産支援ツールの紹介用ビデオの作成、講習会の実施などの普及活動を行うとともに、試行評価を組織的に行い、その結果を生産技術開発にフィードバックしている。これらの普及活動において、次のような普及度・効果の定量的評価方法<sup>(6)</sup>を適用している。

#### (1) 普及度の測定

普及度を定量的に把握し、かつ極力自動収集できるように、実使用数と使用可能数の比率（例えば、ツールを使用した作業者とツールの使用が可能な技術者数の比率）で算出している。

#### (2) 効果の測定

ツールを使用することによって得られると想定される作業時間低減率を効果設計値と定義し、ツールの使用の対象となる作業アイテムのソフトウェア生産作業全体に占める作業時間比率と、ツールによって得られる作業アイテムに対する作業低減比率の積で算出している。この効果設計値に前述の普及度を乗じたものを効果具現値として、ツールの使用効果の評価に用いている。

### 3. ソフトウェア生産技術の動向

#### 3.1 CASE環境

高性能のワークステーションの出現などにより、ソフトウェア生産の上流工程を支援するツールの実用化が始まり、CASE (Computer Aided Software Engineering) が実用的な見地から再び注目されている<sup>(7)</sup>。

ソフトウェア生産の各段階における作業を、一貫して支援するツール群及びプロジェクト管理作業を支援するツール群とを統合化して、より高度な支援を実現することを目的としている。そのためには、支援機能を前述の生産支援モデルの各系のうち、編集・表示から解析・評価、そして更に生成・変換というように順次高度化させていくとともに、

- ◎ マンマシン インタフェースの統一

- ◎ ソフトウェア生産物の一元管理

などの統合化要件を支える技術の研究開発が重要である。

#### 3.2 ソフトウェア生産プロセス

現在、企業におけるソフトウェア生産のプロセスは、ウォーターフォール モデルに基づくものが中心になっているが、種々の観点からの見直しがされ、改良モデルの提案がされている<sup>(8)</sup>。

システムの実現性が不確定な場合、会話型ソフトウェアのように試行錯誤的に仕様を決めていくことが望まれる場合などは、各段階での生産物が完全にできていることを前提としたウォーターフォール モデルではうまく扱えない。そこで、リスク管理及びプロトタイピングなどの考え方を採用したモデルに基づく生産プロセスの試行評価が行われている。一方、ソフトウェア生産システムをより高度化し、実効的なものにしていくために人工知能技術の活用が考えられる。ソフトウェア生産プロセスにおける人間の思考活動及び作業行動を詳細に分析し、それらを反映したモデル及び生産プロセスの研究が今後ますます重要になるであろう。

#### 3.3 人工知能技術の応用

プログラム自動合成あるいはプログラムの検証などは、古くから人工知能 (AI) の研究対象であるが、実用化には至っていない。し

かし、近年、知識ベースと推論機構により問題解決を行う知識工学分野の発展に伴い、ソフトウェア生産技術へのAI技術の応用がいろいろな局面で検討され、一部実用化されつつある。当社においても、日本語仕様からプログラムを生成するシステムへのAI技術の応用<sup>(9)</sup>などの開発を行っている。今後、特にソフトウェア生産管理、プログラム診断、生産作業のガイダンス、保守などの領域での実用化が進展すると考えられる。

知識ベースのアプローチにより、生産活動で得られるノウハウが蓄積され、ソフトウェア生産システムが自己成長していくメカニズムが実現されることが、この分野の最も期待されるところである。

#### 3.4 エンジニアリング システムの統合

ソフトウェア生産システムに限らず、種々の分野でCAE、CADなどのエンジニアリング システムが構築されており、それらシステム間の融合を図り、統合化していく方向にある。ソフトウェアCADとカスタムLSI CADの融合などが検討されている。

当社では、エンジニアリング部門における業務の効率化を図るために、EOA (Engineering OA) システムを基盤としたエンジニアリング システムの統合化を目指している。技術文書の作成・蓄積・検索、技術情報ネットワークなどの機能を持ったEOAシステムとソフトウェア生産システムの統合は当面の重要な課題の一つである。

### 4. むすび

本稿では、ソフトウェア生産技術に関する現状と動向について述べた。当社においては、品質・生産性向上のための、諸々の施策を展開して、その成果が得られている。シグマシステムなど業界標準システムとの融合も含めて、今後更にソフトウェア生産技術の開発を行い、実用的・実践的な改良を重ねていきたい。継続的に地道な活動を続けていくことによって、職人的で手工業的なソフトウェア生産からツールを活用した工業的なソフトウェア生産へのレベルアップが図れると確信する。

### 参考文献

- (1) 通商産業省機械情報産業局：2000年のソフトウェア人材、コンピュータエージ社 (1987)
- (2) 中根ほか：ソフトウェアの品質管理、三菱電機技報、62, No. 10 (昭63)
- (3) 宮西ほか：汎用計算機《MELCOM EXシリーズ》のソフトウェア生産支援システム《SWEET》，三菱電機技報、59, No. 7 (昭60)
- (4) 富沢ほか：オフィスコンピュータにおけるシステム開発支援ツール、三菱電機技報、62, No. 5 (昭63)
- (5) 春原ほか：分散型ソフトウェア開発支援システム (1) 情報処理学会第34回全国大会 3 T-1
- (6) 渡邊ほか：テスト支援ツールの評価、情報処理学会第34回全国大会 2 S-4
- (7) IEEE Software, 5, No. 2 (1988-3)
- (8) B.W.Boehm : A Spiral Model of Software Development and Enhancement, IEEE COMPUTER, p.61 (1988-5)
- (9) 上原ほか：プログラム自動生成システム SAGE, 情報処理学会第58回ソフトウェア工学研究会資料 (1988)

# ソフトウェア設計支援システム

高野 彰\* 寿原則彦\*  
北畠重信\* 加藤英子\*\*  
堀川博史\* 藤掛 遵\*\*

## 1. まえがき

より高品質のソフトウェアをライフサイクル全体にわたって効率よく開発し、保守していくためには、ソフトウェア開発の前段階、すなわち、要求定義・設計段階の効率化が重要である。この段階は、実現方式、データ構造の創造など人間の思考による部分が主体だが、この思考過程を支援する機能を提供することにより、効率良くソフトウェア開発を進めていくことが可能になる。特に、高度なインターフェースをもつワークステーションの普及に伴い、CASE (Computer Aided Software Engineering) ツールに対する関心が高まり、ツールも普及し始めている。

要求定義・設計作業は、基本的に前段階の設計情報を編集しながら詳細化し、それを解析・評価して、次段階の設計情報にまとめるという流れで進められる。本稿では、この作業要素の中で特に編集作業を、UNIX\*を搭載したワークステーション《MELCOM MEシリーズ》上で支援して設計情報を視覚化するソフトウェア設計支援システムについて述べる<sup>(1)-(6)</sup>。

注 \*印 UNIXは米国AT&Tベル研究所が開発したオペレーティングシステムです。

## 2. ソフトウェア設計の流れ

ソフトウェアの適用分野や難易度などにより、その開発形態は異なるが、概略、次のように要求定義・設計作業を進める（図1）。

### (1) 要求の抽出

種々の観点から出てくるユーザーの要求や問題点を洗い出し、それを関心項目表にまとめる。これをまとめるに先立ち、現システム

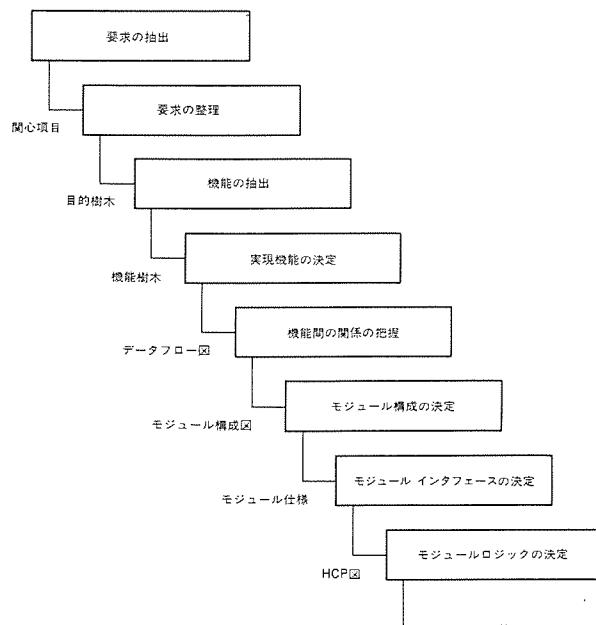


図1. ソフトウェア設計の流れ

の機能構成、開発するものに関与する対象ユーザー（エンドユーザー、操作員、保守員など）とその人たちのレベル（教育レベル、経験年数、技術力など）、開発するもののおおまかな目的・機能を同定する。

### (2) 要求の整理

各機能に対する対象ユーザーの関心項目という形式でまとめた関心項目表の項目を目的樹木にまとめる。まず、関心項目をKJ法やNM法を用いてグループ化し、各グループ内の項目間に目的とその手段という関係が成立するかを確かめながら、必要ならば項目を追加して目的樹木にまとめる。この過程で参加者の共通の理解を得ることができる。

### (3) 機能の抽出

目的樹木は目的と手段の関係で階層化されているので、樹木の下位の部分には、ユーザーにみえる多くの機能項目を含んでいる。それらを抽出し、必要ならば代替案を追加する。この機能項目を項目間の包含関係によって整理し、機能樹木にまとめる。そして、目的樹木の項目と機能樹木の項目を対応づけることによって、要求を満足する機能というユーザーの観点から、機能の過不足を検査する。

### (4) 実現機能の決定

周囲の制約条件（ハードウェア制限、通信インターフェース、他ソフトウェアとのインターフェースなど）を考慮しながら、各機能をVA的に評価する。すなわち、各機能の見積り開発量などからC(コスト)及び5段階評価などでF(機能コスト)を与え、 $V = F/C$ によりV(価値)を求ることにより、実現機能の選択を行う。

### (5) 機能間の関係の把握

各機能の入出力データを同定し、機能間の入出力データの関係をデータフロー図にまとめる。この過程で、ユーザーの作業（機能）の流れをデータの観点から検査する。機能樹木の階層に従い、階層ごとのデータフロー図を作成し、必要ならば機能樹木の見直しを行う。この時点で、一つの物理的な動作単位（プログラム）の決定と主要データ構造の設計を行う。

### (6) モジュール構成の決定

階層化したデータフロー図をもとに、モジュール構成を決定していく。ここでは、構造化設計での変換分析（入力の流れ→中央処理部分→出力の流れという三つのモジュールに分解）や処理分析（一つ一つの処理をモジュールに分解）の手法を利用する<sup>(7)</sup>。

### (7) モジュールインターフェースの決定

各モジュールの入出力データの型や受け渡し方法を決定する。このとき同時に、1行の文章で表された機能を数行に詳細化したり、エラー処理やマンマシンインターフェース上の特殊な処理などを考慮したりして機能の正当性を再確認する。

### (8) モジュールロジックの決定

機能を表現する文章を段階的に詳細化して、その実現ロジックを決定していく。ここでは基本的に、この詳細化と構造化設計での3種類の制御構造（接続、選択、繰り返し）をコンパクトに表現でき

るHCP図<sup>(8)</sup>を利用する。

### 3. 設計支援機能

前述の作業の流れを支援し、その作業の生産物（各種図式）をまとめて仕様書にするソフトウェア設計支援システムの支援機能について述べる（図2）。

#### 3.1 要求定義支援ツール<sup>(6)</sup>

要求の抽出、整理、機能の抽出、及び実現機能の決定作業を支援するツールである。要求定義支援ツールRASは関心項目の入力に始まり、機能効果の算出までの次の機能を提供している。

##### (1) 項目群成機能

データベース中に項目を入力する。

##### (2) 樹木作成機能

入力した項目をグルーピングして目的樹木（図3）及び機能樹木を作成する。

##### (3) 目的－機能関連表作成機能

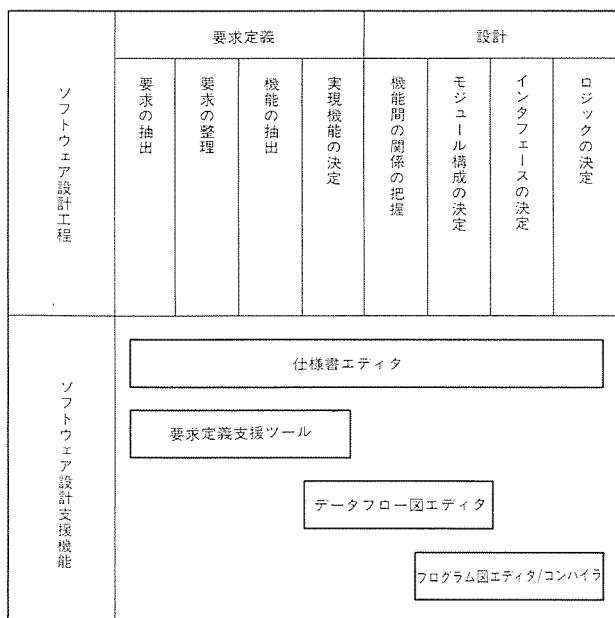


図2. ソフトウェア設計支援システム

目的と機能の関係をマトリクスにして出力する。

#### (4) 機能効果算出機能

機能樹木の末端項目に与えられたC（コスト）とF（機能コスト）から、すべての項目のC, F, Vを算出する。

#### 3.2 データフロー図エディタ<sup>(2)</sup>

実現すべき機能だけからなる機能樹木を参考にして、データフロー図を作成する。データフロー図とは機能を箱で、その機能に対する入出力データをその箱への矢印で表現したものを作成した図である（図4）。データフロー図エディタspiderは、機能の詳細化及びモジュール構成の決定のために、次の機能を用意している。

##### (1) 詳細化機能

あるデータフロー図中の一つの箱を詳細化して、別のデータフロー図を作成する機能であり、ワークステーションのマルチウインドウ機能を利用して同時に参照したりできる。階層化したデータフロー図間の関係をエディタが管理しているので、下位の図や上位の図への編集指示の移動は、マウスにより対応する箱を指示することなどで簡単に実行ができる。

##### (2) 再構成機能

あるデータフロー図中の複数の箱を一つの箱に変換し、まとめられた複数の箱

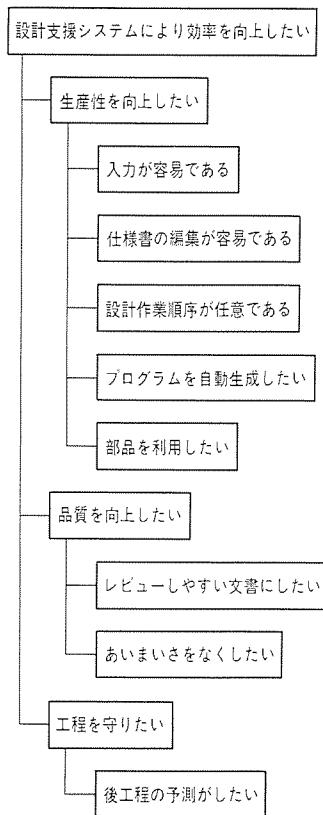


図3. 目的樹木の例

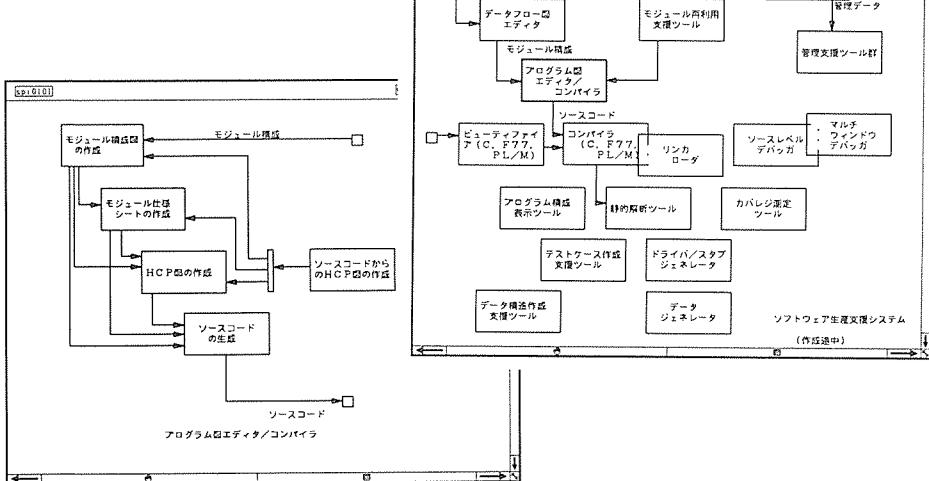


図4. データフロー図の例

（と関連する入出力データ）を別のデータフロー図にする機能である（図5）。この機能は、データフロー図の階層構造のバランスを調整することのほかに、構造化設計での変換分析や処理分析によるモジュール構成への変換を行うために利用する。再構成の指示は、データフロー図の複数の箱をく（矩形）形カーソルで囲むだけで行うことができる。

##### (3) 構成管理機能

再構成した一つの箱をもとのいくつかの箱に戻したり、詳細化した箱を別の部分で再利用することができる。その結果、機能のバランスをみながらモジュール構成を決

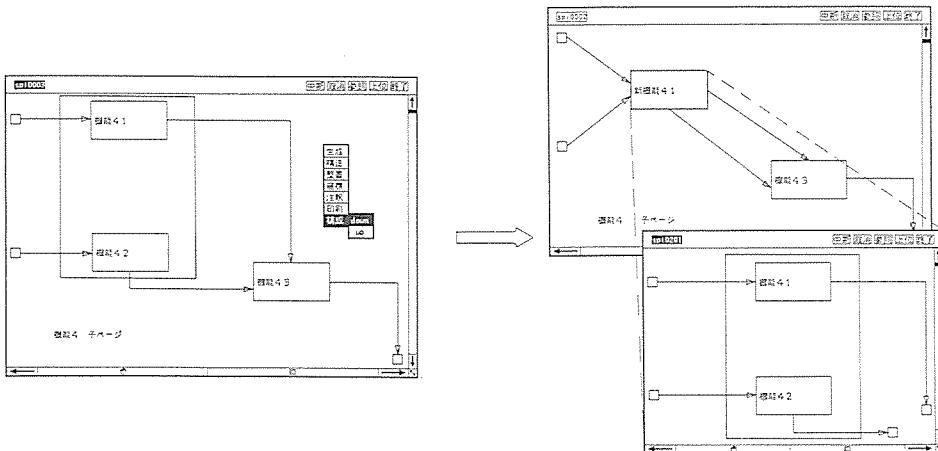


図 5. 再構成機能

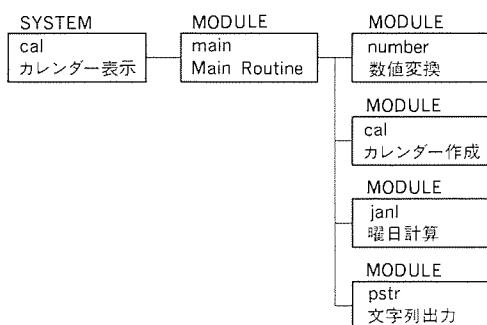


図 6. モジュール構成図の例

定していく過程を十分に支援することが可能となる。

これらの機能のほかに、一つのデータフロー図を編集する基本機能として、箱や矢印の生成・削除・複写・移動・文字列付加、図に対するコメント付加などの機能を持っている。

### 3.3 プログラム図エディタ／コンパイラ<sup>(3)</sup>

モジュール構成、モジュールインターフェース、モジュールロジックの決定及びソースコードの作成作業を支援するツールであり、ユーザーはデータフロー図から導出したモジュール構成をもとにして作業を開始する。プログラム図エディタ／コンパイラ MELPECは、モジュール構成図の作成に始まり、ソースコード生成までの次の機能を提供している。

#### (1) モジュール構成図の作成

モジュール構成図とは、モジュールの呼出し関係(又はモジュールをどのようにファイル化するかを示した静的な関係)を木構造で表現したものである(図6)。このエディタはこの図の作成を支援する。この図はモジュール仕様シート、HCP図作成時などの木構造メニューの役目をしているので、図中のモジュールをマウスで指示することにより、容易にそのHCP図の編集などの作業に移ることができる。

#### (2) モジュール仕様シートの作成

モジュール仕様シートとは、一つの関数や手続きを示すモジュールを他モジュールが使用するときのインターフェースを記述する定型用紙である(図7)。ここには、モジュール名のほかに、機能概要、

記述言語、パラメータインターフェース、外部変数などこのモジュールを利用する人のための情報を記述する。これらの情報は、ソースコードの生成時にヘッダコメント及び宣言文に変換される。

#### (3) HCP図の作成

まず、処理の順序を考慮しながら、何を(what)するかをHCPの記法に従って、日本語で入力する。次に、それをいかに(how)実現するかを同様に入力する。これらの操作を繰り返して段階的に詳細化して、最後にソースコードを入力

カレンダー表示		数値変換		number
関数名	ID	版名	A00	
概要	数値変換	関数属性	FUNCTION	
ページ属性	MODULE	翻訳	Y	
		漢字ソース	Y	
		記述言語	C	
文字列を数値に変換する。				
機能				
形式	number(str) char *str;			
外部変数	なし			
メッセージ	なし			
入出力情報	なし	名前	モード	意味
使用モジュール				
作成日付	88/04/04	修正日付	88/05/23	作成者 三菱花子

図 7. モジュール仕様シートの例

する(図8)。HCP図の各記号が制御構造を表現しているので、それを示す言語キーワードは入力する必要がない。他のHCP図を引用して再利用することも可能である。

#### (4) ソースコードの生成

モジュール仕様シート及びHCP図の情報から、シート中に示された記述言語のソースコードを生成する。

あるプログラムを開発していくとき、HCP図の部品になっていないソースコードを再利用したいことはよくある。そのときは例えば、モジュール再利用支援ツール<sup>(9)</sup>を利用して他計算機からソースコー

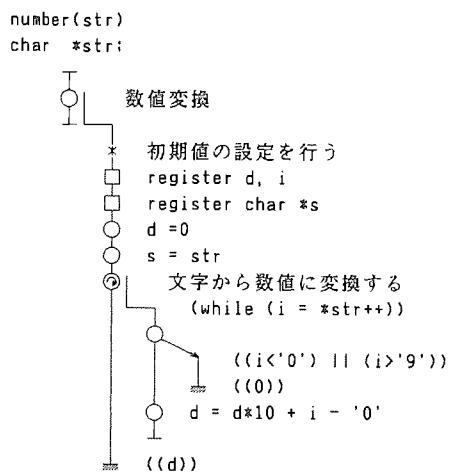


図 8 . HCP図の例

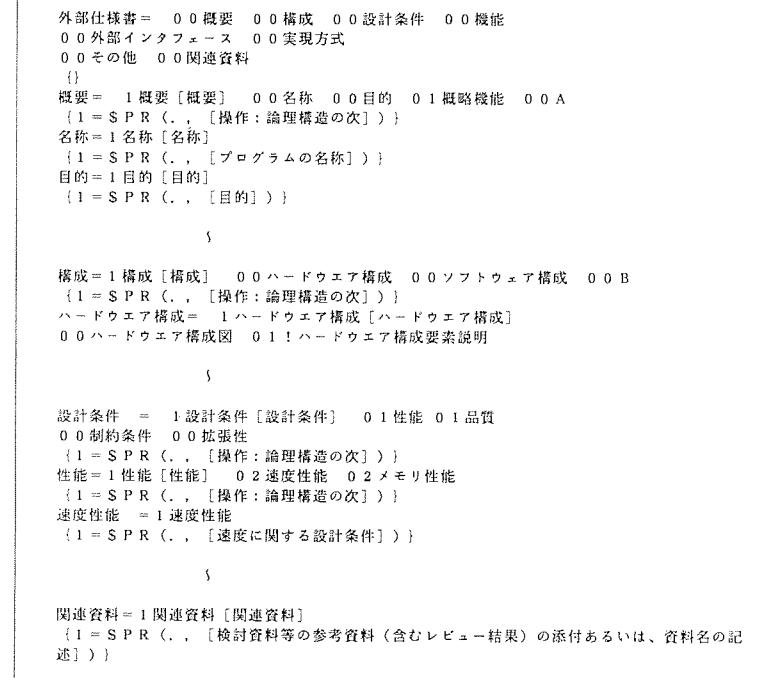


図 9 . 仕様書定義の例

ドを入手して、このエディタでそれをHCP図などに変換する機能を用いて容易に再利用できる。また、これらの図式の書式(HCP図面の大きさ、コメントの位置など)を変更する機能も提供しているので、見やすい図式を作成することができる。

#### 3.4 仕様書エディタ<sup>(2)</sup>

設計作業は前述の流れで進むが、そこで作られた情報をまとめて、仕様書の形式にまとめることは重要である。一方、仕様書の形式は、対象分野の違いや各組織での規約などにより統一することはできない。そこで、事前に定義した仕様書の形式に従って動作する仕様書エディタspecを開発した。仕様書エディタは、以下の機能を提供する。

##### (1) 仕様書定義

仕様書の章・節などの構造を形式言語(拡張BNF記法)で定義すると、この構造に従った仕様書の骨格を生成する。また、この定義の中には以下で説明するガイド機能や自動複写機能のための情報、すなわちこのエディタの動作方法の定義を与えることができる(図9)。

##### (2) ガイド機能

上記の定義の中に指定されたガイド文を適切なタイミングで出力するので、設計技法や仕様書形式に適合した仕様書を容易に作成できる。

##### (3) 自動記述機能

章や節のタイトル、各章節の文章の始まりは決まっていることが多い。そこで、それらの情報を定義の中や上位の仕様書の中から自動的に取り込むことにより、仕様書入力の効率化を図る。

##### (4) 図式作成機能

前述のエディタを仕様書エディタから起動することにより、データフロー図などを仕様書中に取り込むことができる。

##### (5) 仕様書作成状況管理機能

仕様書の作成状況をページ数だけでなく、記述すべき項目数に対する作成比率などを出力するので、仕様書の作成状況を定量的に把握できる。

## 4. む す び

設計作業の流れとその流れをエンジニアリングワークステーション《MELCOM MEシリーズ》上で支援するシステムについて述べた。このワークステーションの基本機能であるマルチウインドウ、文書処理・作図機能を利用して、高度なインターフェースをもつシステムを構築することができた。このシステムを利用するにより、ソフトウェアの視覚化を促進し、ユーザー要求を的確に把握し、効率良く設計を進めることができる。今後、これらツールの評価改良、現状の図式の解析機能の充実及び設計作業の流れをより融通性のあるものにするための各種図式(状態遷移図、ペトリネットなど)作成の支援を検討していきたい。

## 参 考 文 献

- 高野ほか：ソフトウェアエンジニアリングにおけるワークステーション、三菱電機技報、61, No.7, p.29 (昭62)
- 高野ほか：分散型開発システムで仕様書作成からプログラム生成までを支援する、日経エレクトロニクス、No.425, p.179 (1987)
- 鈴木ほか：ソフトウェア設計ツール、三菱電機技報、60, No.7, p.56 (昭61)
- 春原ほか：分散型ソフトウェア開発支援システム、情報処理学会第34回全国大会、3T-1～6, 4T-1～5 (1987)
- 真野ほか：ソフト生産システムの評価、情報処理学会第34回全国大会、2S-1～6 (1987)
- 金山ほか：ソフトウェア開発における要求分析定義作業の機械化、情報処理学会第33回全国大会、3G-9 (1986)
- Tom DeMarco (高梨ほか訳)：構造化分析とシステム仕様、日経マグロウヒル社 (1986)
- 花田：プログラム設計図法、企画センター (1983)
- 高見ほか：ソフトウェアの再利用と支援ツール、三菱電機技報、62, No.10 (昭63)

# ソフトウェアテスト支援システム

明智憲三郎\* 吉田郁子\*  
飛山哲幸\* 藤澤幹子\*  
小川文男\*

## 1. まえがき

ソフトウェアの品質の確保は、ユーザーに対するメーカーの当然の責任であるとともに、メーカー自身のソフトウェアの生産性向上のために最も最善・最短の道である。ソフトウェアの品質向上のために第一に成すべきことは、設計での品質の作り込みであり、第二に成すべきことはテストによるその品質の確実な確認である。ソフトウェア生産において徹底的に追求されるべきことは、この二つのことをいかに効果的かつ効率的に行うかである。

この観点に立ち、当社では設計技術とテスト技術は一貫したものであるべきという思想のもとにテストの概念と技法を整理し、設計における構造化技法<sup>(1)(2)</sup>との一貫性を持った“構造化テスト技術”とテストを効率的に行うための“テスト支援システム”<sup>(3)</sup>を開発・整備し実用化してきた。また、この技術とシステムの普及を図るために評価システム<sup>(4)</sup>を開発し、定常的に普及状況の計測・監視を続けてきている。本稿では、この構造化テスト技術とテスト支援システムについて述べるとともに、その適用による効果についての事例を紹介する。

## 2. 構造化テスト技術

設計においては、構造化技法としてその技術の整備が行われてきた。構造化技法とは、設計における複雑さを減らすことをねらいとして、設計対象を階層的構造としてとらえ、構成要素間の独立性を高め、構成要素間の結合関係を簡潔・明確にする技法であり、設計の各段階に応じて以下の個別の技法に展開されている。

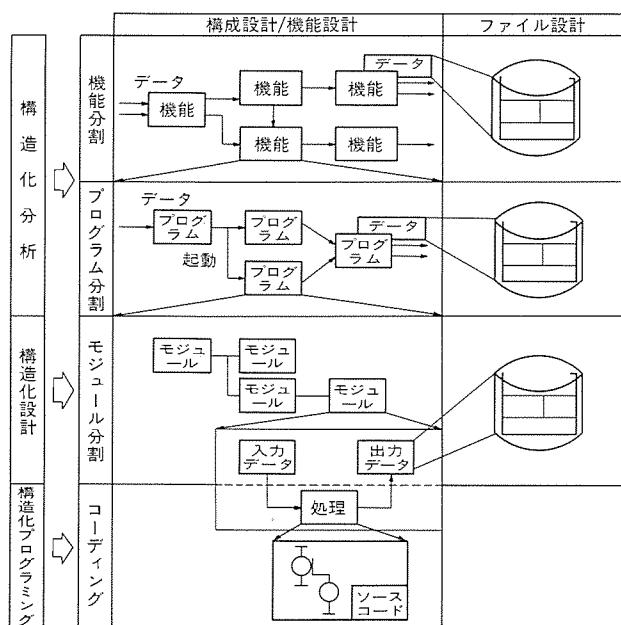


図1. 設計の階層構造

- (1) 構造化分析：システムの機能をデータフロー図を中心とした図法を用い階層的かつトップダウンに分析・定義していく技法
- (2) 構造化設計：プログラム内部のモジュール構成をモジュールの強度と結合度という尺度に基づきトップダウンに決定していく技法
- (3) 構造化プログラミング：モジュールの論理を三つの構造（連続、選択、繰り返し）で構成する技法

構造化技法で設計されたソフトウェアは、

- (1) 機能単位（例えばサブシステムであり、プログラムであり、モジュール）がトップダウン設計に基づいて階層化されており、個々の機能及びその入出力が明確に定義されている。
  - (2) 機能単位の独立性が高く、他の機能単位とのインターフェースが単純化されている。
  - (3) 機能単位の実現において論理パスが単純化されている。
- といった特長を持っている。したがって、初めからバグが入りにくく、テスト以前に高品質のプログラムが作られており、またデバッグも効率的に行える。

当社では、設計における構造化技法が設計段階だけでなく、テスト段階においても効果をもたらす技法であることに着目し、従来のテスト技法と合わせて設計からテストまでの一貫した技術としての確立を図り、“構造化テスト技術”としてテスト技術を整備した。

構造化技法で設計されたソフトウェアのテストにおける特長は、以下のとおりである。

- 機能単位ごとの独立したテストが容易
- ブラックボックス手法によるテスト設計が容易
- ホワイトボックス手法によるテスト分析が容易

構造化テスト技術はこの特長に着目し、以下のテスト基準を採用している。

### 2.1 設計の階層に合わせたテストの階層の明確化と省略化

構造化テスト技術でのテスト階層は以下の基準としている。

- (1) 共通モジュールなどのプログラム全体への影響の大きい特定モジュールに対するモジュールテスト
- (2) 上記でテストしたモジュールとモジュールテストを省略した、その他のモジュールを集積してのプログラムテスト
- (3) ポイントとなる機能階層でのプログラム結合テスト（サブシステムテスト）
- (4) 全機能階層を統合しての総合テスト（システムテスト）

一方、特定のモジュール（群）に対するモジュールテストは、構造化設計の結果各モジュールの独立性が高く、モジュールインターフェースが単純なため、テスト対象モジュールを呼ぶ仮のモジュール（ドライバ）やテスト対象モジュールから呼ばれる仮のモジュール（スタブ）の作成が極めて容易なことにより効率的に実施できる。

ここで、モジュールテストを特定のモジュールに絞ったのは、通常のモジュールは構造化技法の適用によりテスト以前に十分なモジュール品質が得られており、プログラムテストをしきなり実施した方が効率的なためである。

## 2.2 機能網羅度100%のテスト設計

テスト設計においては、機能網羅度100%(機能の条件となる入力のすべての境界値を確認)を基準としている。設計段階で機能及びその入出力が明確に定義されているため、ブラックボックス手法での同値分割／境界値分析及び入出力の論理的な組合せ技法により、必要最小限の効果的なテストケースの設計が可能である。

## 2.3 網羅度測定によるテスト結果の分析評価

機能網羅度100%を基準としたテスト設計に対し、テストを実施した結果を評価・検証し、基準が満足されていなければテスト設計へのフィードバックが必要である。このため、従来テストケース設計のために用いられていたホワイトボックス手法をテストの結果分析技法として位置付け、プログラムテストでのC0カバレッジ(命令網羅度)、C1カバレッジ(分岐網羅度)100%を基準としている。

## 3. テスト支援システム

### 3.1 テスト支援システムの概要

テストを効率的かつ効果的に行うためには、構造化テスト技術を強力に支援するシステムが必要となる。

このシステムは構造化テスト技術に基づき、以下の特長を持っている。

- (1) ブラックボックス手法によるテストケース生成が容易にできる。
- (2) 必要に応じてプログラムの任意のモジュール(群)のテストから、全体のテストまでを行うためのドライバ／スタブ生成が容易にできる。
- (3) ホワイトボックス手法による解析を行うカバレッジ測定が容易にできる。
- (4) テストデータや会話モードの操作入力データを記憶することにより、バグ修正後の全テストケースの再確認テスト(リグレッションテスト)やカバレッジ測定のための再実行を自動的に行える。
- (5) 使用言語(C, FORTRAN, PL/Mなど)に依存しない共通のマンマシンインターフェースでテスト操作が行える。
- (6) テスト対象モジュールのソースコードをテストのために修正する必要が一切ない。
- (7) テストデータの生成が容易である。

このシステムは、当社開発のツール群とUNIX\*標準コマンド群から構成されており、標準的ソフトウェア生産用OSであるUNIX上に、UNIX標準コマンド群の機能を最大限に生かしたテスト支援システムとして構築されている。

実現に当たっては、今後更に高度な支援ツールが開発された場合のシステムの発展性を考慮して、ツールの目的をテスト設計／テスト実行／デバッグ／テスト結果評価のいずれであるか明確に分離し、各ツールの単機能化・独立化を図った。これにより、個々のツールの高度化や新たなツールの追加が容易に可能となるとともに、それによってもシステムの全体系が崩れることなく、ユーザーの利用技術の蓄積・発展が可能な“進化型システム”となっている。また、ユーザーにとってUNIXオペレーティングシステムの持つ豊富なコマンド群と組み合わせることができ、ユーザーの工夫が可能な、言い換えればユーザーの利用技術の発展に対して“開放的なシステム”となっている。

注 \*印 UNIXは米国AT&Tベル研究所が開発したオペレーティングシステムです。

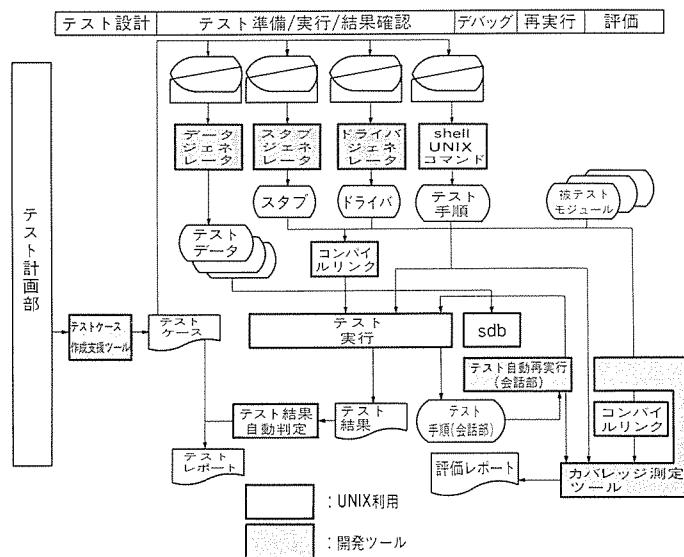


図2. テスト支援システムの全体構成図

このシステムは、当社スーパーミニコン《MELCOM70 MXシリーズ》及びエンジニアリングワークステーション《MELCOM MEシリーズ》で動作し、広く活用されてきている。

図2にテスト支援システムの全体構成を示す。

### 3.2 テストケース作成支援ツール

ブラックボックス手法の一つである原因結果グラフによるテストケース設計を支援している。原因と結果の関係を論理式の形式で入力することにより、テストケース作成を自動的に行う。原因結果グラフの持っているよさを生かした系統的な方法で、バグ検出能力が高くかつ網羅的なテストケース作成を支援している。

### 3.3 テストデータ ジェネレータ

テストケース設計時に決定されたテストデータの生成を支援する。テストデータのセット／ダンプは、バッチ形式と会話形式の両方で効率良く行える。また、このデータの構造をいちいち入力する必要がなく、そのデータをアクセスしているプログラムから自動的に抽出され、会話形式によるテストデータ入力画面へデータ構造に合わせた入力ガイドが自動表示される。

データのダンプ結果は、ファイルとして保存可能なため、UNIXコマンドを利用してのテスト結果の自動判定が容易に行える。

### 3.4 ドライバ／スタブ ジェネレータ

ドライバ／スタブ生成を支援するこのツールは、操作を容易にするために以下の工夫がなされている。

- (1) すべての操作がスクリーン入力での会話形式でモジュールの名前と引数のみを入力するだけで、簡単にドライバやスタブを生成することができる。
- (2) 生成されるドライバやスタブは、被テストプログラムで使用している言語と同じ言語で記述されているため、生成した後でviなどのエディタを用いて容易に任意の論理を追加することができる。
- (3) スタブではNOP(呼ばれたら確認メッセージの出力のみでリターン)、固定値(呼ばれたら決まった値をパラメータに設定してリターン)、問合せ(呼ばれたら会話モードで入力された値をパラメータに設定してリターン)、条件判定(呼ばれたらあらかじめ指定された条件式に従った値をパラメータに設定してリターン)の4種類が用意されているので、ユーザーがそれぞれのテスト形式に合わせて最

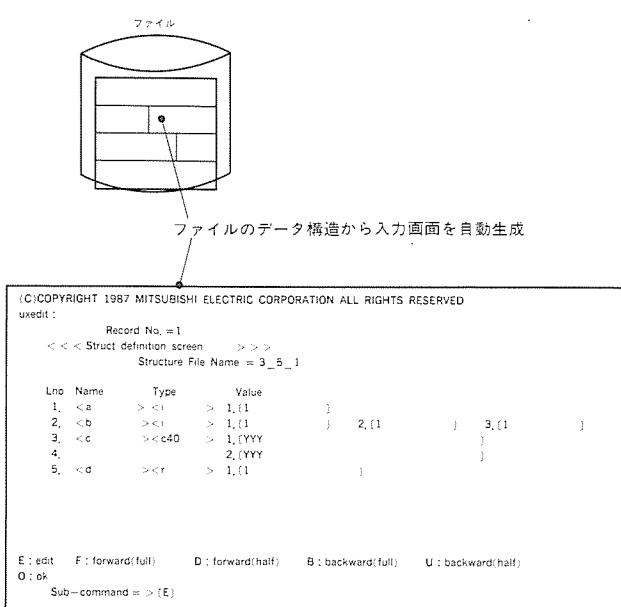


図3. データジェネレータ入力画面例

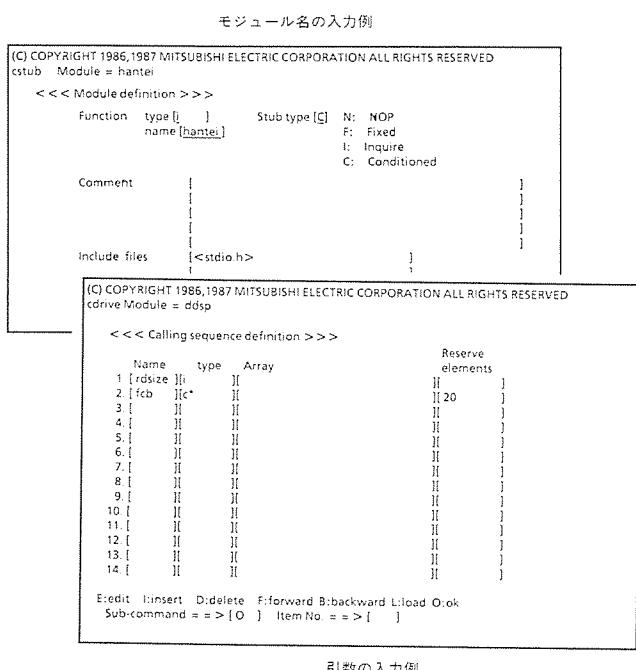


図4. スタブジェネレータ入力画面例

適なスタブを生成することがきる。

(4) 生成時の入力情報を呼び出し、これに修正入力することにより類似のドライバ/タブを次々と生成することができる。

### 3.5 カバレッジ測定ツール

被テストプログラムのC0, C1カバレッジ及び各実行文ごとの実行回数（プロファイル）の測定をする。テスト実行やデバッグでの環境を一切変えることなく、また任意のモジュール（群）あるいはプログラム全体に対する測定を行うことが可能である。測定結果はソースリストとともに出力されるため、未実行文や未実行パスの確認

```

*** (C) COPYRIGHT 1986 MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION : ALL RIGHTS RESERVED
*** COVERAGE LOGGING *** <sankaku.c>
LN - SN COUNT CI LINE----- SOURCE LIST -----
1 #include <stdio.h>
2 int sankaku(a,b,c)
3 int a;
4 int b;
5 int c;
6
7 int SSrtnS = NULL;
8 if ((a + b) <= c) SSrtnS = 0;
9 else if ((b + c) <= a) SSrtnS = 0;
10 else if ((c + a) <= b) SSrtnS = 0;
11 else if ((a == b) && (b == c)) SSrtnS = 3;
12 else if (a == b) SSrtnS = 2;
13 else if (b == c) SSrtnS = 2;
14 else if (c == a) SSrtnS = 2;
15 else if (!1) SSrtnS = 1;
16 return SSrtnS;
17 }

-----< FILE REPORT >-----
RUNNING COUNT = 3
COMMENT STATEMENT = 0
DECLARATION STATEMENT = 4
EXECUTABLE STATEMENT = 17
COVERAGE PROPORTION = 52.9 % ( 9 / 17 )
COVERED STATEMENT = 17

```

図5. カバレッジ測定レポート出力例

が容易であり、合わせて実行回数も出力されるため性能解析も行える。

従来、この種のツールは、①カバレッジ測定のための環境設定が面倒、②未実行箇所をソースリスト上で探し出すのが面倒、③測定のためのディスク容量が大量に必要、④測定のために本来のプログラム論理が変わってしまう場合があるなどの欠点があり、有効性は認識されていても使われない傾向があった。このツールはこれらの問題を解消することにより、容易にカバレッジ測定の行えるツールとなっている。

### 3.6 テスト自動再実行／テスト結果自動判定支援

テストを自動的に実行させること及びテスト結果の良否を自動的に判定させることができ、カバレッジ測定やリグレッションテストの作業効率化の大きなポイントである。

このシステムでは、shellプロシージャなどのUNIX機能の活用を行い、テストの自動実行、自動再実行、テスト結果の自動判定が可能なシステムとしている。これにより、バグ修正後のリグレッションテストでは、前回のテスト結果との変わった部分のみがリスト出力され、膨大なテスト結果のチェック漏れの防止とチェック作業の効率化が行える。

#### 4. テスト技術普及・評価の仕組み

新しい技術がソフトウェアの生産現場に受け入れられ、実際の生産活動において実効を挙げていくためには、生産現場にとっては「生産方式を変える」という壁の乗り越えが必要である。技術普及のためにはこれを支援する仕組みが必要であり、当社では以下の仕組みによりテスト技術の普及を図ってきている。

#### 4.1 パイロット プロジェクトによる導入・評価

部門ごとにパイロットプロジェクトを選定し、プロジェクト担当者とテスト技術普及推進スタッフが協力してテスト支援システムの導入と実用評価を行うパイロットプロジェクト制度を採用し実施してきた。いずれのプロジェクトでも顕著な品質向上効果を生むとともに、テスト支援システムの具体的な適用を通じてプロジェクト担当者のテスト技術習得がなされた。こうしたプロジェクト担当者が核となって部門内への新しいテスト技術の浸透が進みつつある。

#### 4.2 ツール使用状況計測による評価・普及

部門別、個人別にテスト支援システムのコマンド／ツールの使用状況を計測することにより、テストの自動再実行やカバレッジ測定

などの実施の状況を常時監視・分析する評価システムを構築した。この結果は、該当部門、個人にフィードバックするとともに、効果や活用技術の事例を掘り起こして水平展開を図って効果を挙げている。

### 5. テスト支援システム適用による効果の事例

ソフトウェア生産の概念や技法の普及は、各種の教育制度や日常業務の遂行を通じてのOJTにより、トップダウンにもボトムアップにも進められ、技術者への浸透が図られているが、日常的に技術者の使用する道具（ツールや設備など）や、準拠すべき作業ルールからの普及効果が極めて大きい。頭で理解したものと現実に実践できるかどうか、絶えず道具やルールによりレビューされることになるからである。

テスト支援システムについてその実例の幾つかを以下に紹介する。

#### 5.1 プログラムテストの確立

テスト支援システムを活用しようとすることにより、おのずから実システム環境から離れたテスト環境の構築が必要になる。従来、実システム環境上でのテストは、プログラムテスト、サブシステムテスト、システムテストというテストの階層を持っていたものの、テスト環境の連続性からその境界のけじめが失われがちであり、プログラムテストで検出しておくべきバグを後段のテストに持ち越す傾向があった。使い慣れた実システム環境から新しいテスト支援環境へ移行するには、技術構築という壁を乗り越えねばならないが、パイロットプロジェクト制度を通じ、当初はプロジェクト担当者には十分認識できなかつたテスト階層概念の理解とプログラムテストの確立が着実になされてきている。

#### 5.2 構造化設計技術へのフィードバック

パイロットプロジェクトにおいて、まずプロジェクト担当者側から起こったのはドライバジェネレータやスタブジェネレータがうまく使えないという声である。その原因是、プログラムの設計において構造化が考慮されていないため、もともとドライバやスタブを作

りにくいプログラム構造になっていたことにあった。技術者にとっては、これが初めて構造化設計の必要性を実感する機会となり、その認識が広まった。

#### 5.3 リグレッションテストの常識化

すべてのテストの実行とデバッグのうちにテストカバレッジを測定するためには、必然的にすべてのテストの実行を自動的に行えるテスト実行環境の設定が必要になる。テスト結果の自動チェックも含めたテスト自動再実行の設定を行うことにより、カバレッジの測定だけでなく、バグ修正後のリグレッションテストが容易となり、リグレッションテストの実行が常識化してきている。

## 6. むすび

構造化テスト技術とテスト支援システムの適用により、ソフトウェア生産における品質の向上、生産性の向上、更にはそのための技術力の向上を進めてきた。テストの概念の整理、基準の確立、技法の構築、テスト支援システムの構築とともに、テスト技術普及・評価の仕組みを構築したことが極めて有効であり、今後更にこの仕組みを生かし、テスト技術(合わせて設計技術)向上のPDCAサイクルを回していく。また、更にテスト作業の効率化を図るためのテスト支援システム改良開発を進めていきたい。

## 参考文献

- (1) Edward Yourdon(黒田ほか訳)：構造化手法によるソフトウェア開発、日経マグロウヒル社 (1986)
- (2) Tom DeMarco(高梨ほか訳)：構造化分析とシステム仕様、日経マグロウヒル社 (1986)
- (3) 飛山ほか：UNIXでのテスト支援環境の構築、情報処理学会第33回全国大会、4G-3～4 (1986)
- (4) 渡邊ほか：テスト支援ツールの評価、情報処理学会第34回全国大会、2S-4 (1987)

# ソフトウェア保守支援システム

高見紀二\* 藤岡 卓\*\*  
石井敏郎\* 飛山哲幸\*\*\*  
堀之内 浩\*

## 1. まえがき

一般に、多額の投資を行って完成したシステムは、そのシステムを永続的に安定して使用するため、ニーズの変化や環境変化に対応して必要な保守作業が行われている。ソフトウェアの保守作業は、ソフトウェア製品の信頼性・品質を保証する上で重要な作業であるとともに、そのソフトウェア製品（システム）が有用である限り継続して行われるべき作業である。

これまで保守作業は、開発作業の後始末を行う業務という程度にしかみなされていなかった。しかしながら、ソフトウェア製品の急激な増加に伴い、これら製品の保守にかかるコストや工数が膨大になるにつれて、保守作業そのものが見直されるようになってきた。大規模ソフトウェアにおけるライフサイクルでの費用比率で、保守作業コストが全体の50~60%を占めるとか<sup>(1)</sup>、システムエンジニアやプログラマの総工数のうち50%強が保守作業に費やされている<sup>(2)</sup>、などの調査報告がある。

新しいソフトウェア製品の創出と、既存システムの保守の問題は、コンピュータ部門に当面課せられている重要な問題であり、中でも保守作業の効率化、保守費用の低減は緊急の課題となりつつある。

本稿では、保守の目的、保守のための留意点について触れ、保守作業支援ツールの幾つかについて紹介する。

## 2. ソフトウェア生産における保守作業

多くのソフトウェア生産において、システムエンジニアやプログラマは決して十分とはいえない期間内に、限られたマンパワーで、ユーザーの種々の要件をできる限り多く盛り込んだシステムを開発せざるを得ない。

そのような状況下にあっても、システム開発段階における品質管理に重点をおいて、保守性の良いシステムを開発すべきである。

以下に、保守の目的、ソフトウェアの保守性とその評価方法などについて述べる。

### 2.1 ソフトウェアの保守とは

ソフトウェア開発に変更はつきものであり、変更作業はソフトウェア開発期間内だけでなく、システム稼働後もしばしば行われる。変更が生じる原因としては、ユーザーの要求仕様が不確定のまま開発を行う（要求分析の不完全さ、調査不足）、課題に対する認識のあまさ（経験不足からくる仕様設計の不備）、多人数による並列作業での意志疎通の不完全さ、プログラマの単純なミスなどがある。さらに、システム稼働後は、時代の要求変化に伴う利用者からの仕様変更や機能追加なども変更が生じる原因となる。

ソフトウェアの保守作業の目的は、これらの原因から生じる障害や機能不足を取り除き、システムが利用者の要求にこたえて常に効果かつ安定な状態で稼働し続けるようにすることといえる。

保守作業の対象となるものは、プログラム/データのみでなく、ソフトウェア関連の仕様書、設計書やユーザー用マニュアルなどのド

キュメント類、更には、ソフトウェアをテストする環境（テストデータ、テストケース、テスト結果など）や、修正履歴情報なども含まれる。

### 2.2 ソフトウェアの保守性

ソフトウェアの保守性とは、ソフトウェア品質の重要な要因である。Boehmによれば、ソフトウェアの品質は図1に示すような階層構造で示すことができる<sup>(3)</sup>。

同図から、保守性の高いソフトウェアとは、テストがしやすく（テスト容易性）、内容の理解がたやすくて（理解容易性）、変更が容易に行える（更新容易性）ソフトウェアであるといえる。

また、これらの品質特性は、次のような諸特性に影響されるともいわれている。

- (1) 無矛盾性：ソフトウェア関連の用語、記号や表記法などが統一されており、矛盾がないこと。
- (2) 計測性：プログラムの動きを観察するための仕掛けが盛り込まれていること。
- (3) 伝達性：入出力の形式や内容が統一されていること。
- (4) アクセス可能性：機能や装置を自由に選ぶことができることと、それらが自由に使えるようになっていること。
- (5) 自己記述性：プログラム自身が目的、仮定条件、要素、入力・出力、改訂情報などについて、詳細に記述していること。
- (6) 構造性：プログラムを理解しやすくするために、また変更修正を局所化するために、プログラムの構造化がなされていること。
- (7) 簡潔性：不要な情報をなくし、意味ある情報のみが明確に記述され、示されていること。
- (8) 明りょう（瞭）性：プログラムは読みやすく、理解しやすいこと。
- (9) 拡張性：機能拡大をしやすいように工夫されていること。

これらの諸特性は、単にプログラム自体のみでなく、システムデータやシステムアーキテクチャ及び各種ドキュメント類についても、プログラムと同様に扱うことのできる特性である。

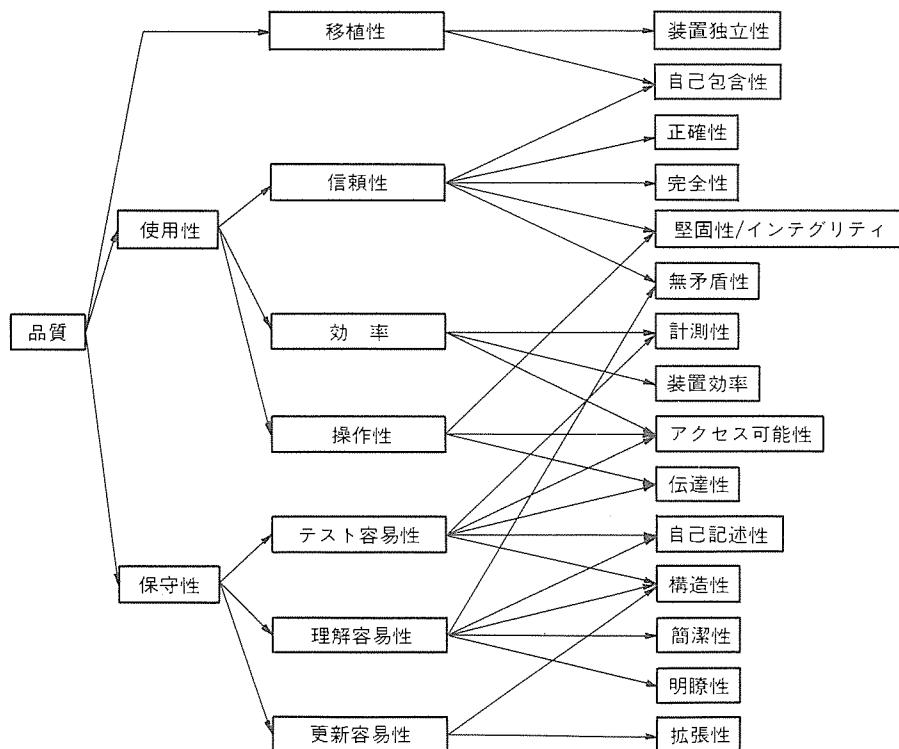
### 2.3 保守性の評価尺度

上でも述べたように、保守性とはいいかに少ない手間でかつ短時間にソフトウェアの修正・変更・機能追加が行えるかということを示す尺度であるといえる。しかしながら、現時点においてこの保守性を一義的に示し得る尺度はない。それゆえに、何らかの方法を採り入れて、様々な面から保守性を評価するしかないといえる。次に、幾つかの評価尺度について紹介する。

#### 2.3.1 データ名称の一元性

プログラムの流れとともに、それに関係するデータがソフトウェアの理解を助ける一つのキー項目となりつつある。最近ではプログラムフローと同様にデータフローも重要視されてきており、データの流れを記述するためのデータフロー図作成ツールなどが始めている。

機能は何らかの形でデータ項目と密接な関係を持っており、データ項目の名称が統一化されていれば、データ項目を媒介として機能間

図1. ソフトウェアの品質特性関連図<sup>(3)</sup> (Boehm)

の関連を知ることができる。データ名称の一元化がなされたソフトウェアは、その意味で保守性に優れているといえる。さらに、変更・修正を行った場合の影響の範囲もデータ項目を媒介として容易に知り得ることになる。

### 2.3.2 ソースプログラムの理解容易性

保守性を高めるためには、何といってもプログラム自体が理解しやすいように記述されていなければならない。一般的に、次のような条件が満足されていれば良いとされている。

- (1) 機能単位にプログラムが階層化・構造化されている。
- (2) データにはデータの意味を端的に表現する名称が付けられている。
- (3) プログラム中には、その処理過程にふさわしいコメントが適当な量で付けられており、プログラムの流れや処理内容が容易に理解できるようになっている。
- (4) プログラム内部構造が目視的に把握できるよう段落付けなどの工夫がなされている。

要は、ソースプログラムの記述においては、単純明快な表現と必要最小限の情報が付加されており、記述法についても統一化されていることが、保守性を高める上で重要といえる。

### 2.3.3 ドキュメントの充実度

開発段階では多くのドキュメントが作成されるが、これらのドキュメントはそれ自体が保守の対象でもあり、また、保守作業を支援するものもある。評価項目としては次のものが挙げられる。

- (1) 保守に必要なドキュメントは明らかであるか、またそれらのドキュメントは作成整備されているか。
- (2) ドキュメントとプログラムの同一性は保証されているか。
- (3) ドキュメントには保守に必要な情報が追加記入されているか、また修正履歴なども正しく記述されているか。
- (4) プログラム流用の際のドキュメントも同様に整備されており、

原プログラムに変更が生じたとき、その履歴を容易に知ることは可能か。

### 2.3.4 再テストの容易性

ソフトウェア保守を行う場合の大きな問題の一つに、再テストがある。ある機能を一部修正したとき、その機能修正の部分だけをテストし確認するだけでは十分とはいえない。多くの場合、一部のプログラム変更が他の機能へ影響を与えることがある。そこで、保守性の向上を図る意味でも再テストの容易性を考慮し実現しておかねばならない。基本的には開発時のテスト環境をそのまま残しておくことが理想である。保存しておくべきものとしては、以下のものがある。

- テスト項目表
- テストデータ、テスト結果
- テストに用いたツールなど<sup>(4)</sup>

### 2.3.5 その他の評価尺度

上で述べた4項目以外にも保守性を評価するための尺度がある。次にそれらの項目を列記する。

- (1) 構造性：システム開発はユーザー要求の分析に始まり、要求機能の概略分割、実現手段の検討、詳細機能分割を行いつつ設計・製作・試験を実施する。機能の階層的な構造化は保守作業を容易にする上で重要である。
- (2) モジュール性：機能を実現している部分を局所化しておくことは保守を容易にする。その意味で、ソフトウェアを可能な限り小さな構成単位（モジュール）に分割しておくとよい。
- (3) プログラムの複雑度：プログラムの実行時性能を追求すると、高度なテクニックを駆使したプログラムになりやすい。複雑さと性能とのトレードオフにも注意を向ける必要がある。

### 3. ソフトウェア保守支援ツール

これまでにも述べたように、ソフトウェアの修正変更はシステム稼働後のユーザー要求変更や時代の変化などに起因して発生する場合と、システム開発時の品質不足が原因で発生する場合などが考えられる。

ここでは、システム開発工程及び保守工程を通じて利用可能な保守支援ツールの幾つかについて紹介する。これらのツールはいずれも、ソフトウェアの保守性を向上させるためにも、また、保守性を評価するためにも有効なツールである。

現在、これらのツールは当社製ミニコンピュータ《MELCOM 70 MXシリーズ》上のUNIX\*環境下で使用が可能となっており、多くのソフトウェア製品の開発・保守に活用しているものである。

注 \*印 UNIXは米国AT&Tベル研究所が開発したオペレーティングシステムです。

#### 3.1 静的解析ツール

一般に、静的解析ツールは開発工程における製作・試験段階を支援するツールと言われている。それらが持つ機能から見て、ソフトウェア（特にプログラムやデータ）の保守性を評価するためにも十分な機能を持っているものである。

以下に、静的解析ツール群の機能について述べる。

##### 3.1.1 静的解析ツール群の構成と目的

静的解析ツール群MELCAT (Melcom Static Analysis Tools) の概略構成を図2に示す。このツール群は、基本的にFORTRAN言語、PL/M言語、C言語の3種類の言語で記述されたソースプログラムの解析を行うものである。このツール群には、

●構文解析ツール

●コーディング規約違反検査ツール

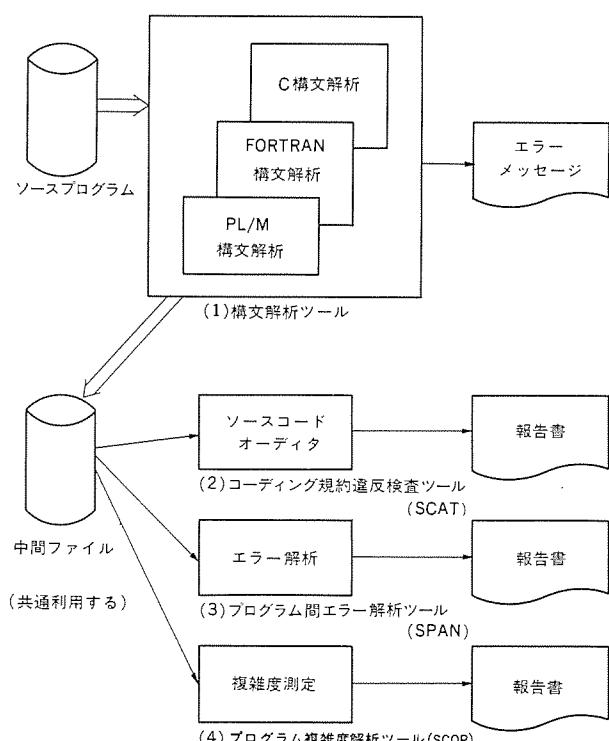


図2. 静的解析ツール群の概略構成

#### ●プログラム間エラー解析ツール

#### ●プログラム複雑度解析ツール

また、このツール群は次の目的を達成するために開発した。

- (1) コーディング規約に違反したプログラムを検出し、修正を促すことにより、プログラムの標準化、再利用性を高める。さらに、ソースプログラムの無矛盾性、伝達性、自己記述性、簡潔性、明瞭性、拡張性などの諸項目にわたってチェックすることで、理解容易性や更新容易性などのソフトウェア保守性の向上も図る。
- (2) プログラムを静的に解析することにより、動的テスト以前にプログラムの誤りを検出する。さらに、計測性、伝達性、構造性などをチェックすることで保守の容易さの向上を図る。
- (3) プログラムの再利用性の検討、移植改良時の作業量と工程の予測を行うためにプログラムの複雑度を測定し、保守の容易さの向上を図る。

#### 3.1.2 構文解析ツール

構文解析ツールは、ソースプログラム中に含まれる名称、定義体、参照情報、トークンなどの諸情報を解読分析し、中間語ファイルを生成するツールである。

このツールは、静的解析ツールの共通部ともいえるもので、コーディング規約違反検査ツールなど他のツール群は、このツールによって生成された中間語ファイルを基に、ソースプログラムの解析を行っている。対象とする3種類の言語は、それぞれ言語仕様が異なっていることから、このツールはそれぞれの言語に対応して整備されている。ただし、中間語ファイルの形式は3言語に対し共通の形式となっている。

#### 3.1.3 コーディング規約違反検査ツール

静的解析ツール群の一つに、コーディング規約違反検査ツールSCAT (Source Code Auditor) がある。このツールは、ソースプログラムを入力とし、あらかじめ設定されたコーディング規約に基づいてプログラムのチェックを行い、規約違反の検出と分析及びレポート出力を実行するものである。

このツールでチェックするコーディング規約項目としては、次にあげるものがある。

- (1) ファイルの構成に関する規約
- (2) プリプロセス文に関する規約
- (3) データの名前付けに関する規約
- (4) 宣言部に関する規約
- (5) 処理部に関する規約
- (6) コメントに関する規約
- (7) 互換性、移植性に関する規約

このツールでチェックする項目としては、上記規約関係で計77項目ある。このツールの利用者が、これらの項目の中からプロジェクトの目的に合った規約項目を選択して、規約違反検査が行えるよう自由度を持たせている。

表1には、ファイルの構成に関する規約チェック項目の例を示している。同表の中にも示したように、規約項目の中には利用者が任意の値でもってチェック可能な項目もある。

コーディング規約とは、本来はプログラムのコード作成時の標準化を進めるためのものである。規約に従ってコーディングされたソースプログラムは読みやすく、理解しやすいものとなり、プログラムの再利用時の理解を助け、変更・修正作業をも容易にさせ得るものである。その意味でこのツールは、2章で述べたソフトウェア保

表1. ファイルの構成に関する規約項目例

NO.	規 約	パラメータ範囲
1	File should not exceed [1000] line. 1ファイルのサイズは、[1000] ラインを越えないこと。	1-999
2	Procedure should not exceed [500] line. 1手続きのサイズは、[500] ラインを越えないこと。	1-999
3	File should not exceed [100] procedure definition. 1ファイル内の手続きの定義は、[100] 個を越えないこと。	1-999
4	Statement should not exceed [80] column. 文は、1カラム目から [80] カラム目までに記述すること。	1-99
5	Statement should not exceed [50] line. 1文の行数は、[50] ラインを越えないこと。	1-99
6	Token of statement should not exceed [500] pieces. 1文のトークンの数は、[500] 個を越えないこと。	1-500
7	Don't use multi-statement. 1行に複数の文を記述しないこと。	
8	Line should not exceed [80] bytes. 1行の長さは、[80] バイトを越えないこと。	1-99
9	String should not exceed [80] bytes. ストリングの長さは、[80] バイトを越えないこと。	1-99

注：パラメータ範囲とは、「[]」で囲まれた値の設定可能な値の範囲を示す。

守性のうち、理解容易性、更新容易性などについて開発工程における検査を可能とするものである。

### 3.1.4 プログラム間エラー解析ツール

プログラム間エラー解析ツールSPAN (Static Program Analyzer) は、ソースプログラムを入力とし、ソースプログラム中に存在する

- (1) 内部変数の定義、使用の矛盾
- (2) 外部変数の定義、使用の矛盾
- (3) 手続きの構造の矛盾
- (4) 引数の矛盾

などについて、エラー解析を行い利用者に警告を与えるためのツールである。

一般に、プログラム中の記述誤りや矛盾については、コンパイラがその大半をチェックし警告を発してくれる。しかしながら、これはコンパイル単位内でのことであり、コンパイル単位間についてはチェックされない。多くの場合、プログラマの犯しやすい誤りは、プログラム間受け渡し情報の誤りや変数定義の矛盾から生じている。このツールは、これらの誤りを動的テストに入る前にソースプログラムから検出しようとするものである。

表2に外部変数に対する警告メッセージ例とその意味を示す。

### 3.1.5 プログラム複雑度解析ツール

プログラム複雑度解析ツールSCOP (Static Complexity Collector) は、ソースプログラムを入力とし、次の5種類の複雑度を測定し、その測定結果を出力する。

- (1) データ情報
- (2) プログラムのサイズ
- (3) プログラムの情報量
- (4) プログラムの制御情報
- (5) 手続き呼出し情報

プログラムの複雑度を示す指標としては、McCabeの複雑度<sup>(5)</sup>や

表2. 外部変数に対する警告メッセージ例とその意味

NO.	警告メッセージ	意 味
1	no REF declared	外部定義されているが、外部参照されていない。
2	no DEF declared	外部参照されているが、外部定義されていない。
3	multiple DEF declared	外部変数が多重定義されている。
4	value type declared inconsistently	外部定義と外部参照の型が矛盾している。
5	defined but not used	宣言されているが、使用されていない。
6	value set but not used	値が代入されているが、参照されていない。
7	used but not value defined	値が参照されているが、代入されていない。

Halsteadの複雑度<sup>(6)</sup>が有名である。

このツールは、上記の5種類、合計31項目についてソースプログラムを解析し、複雑度を求めるものである。現在、当社内においては、このツールによって得られた個々のプログラムの複雑度と、そのプログラムのコンパイル回数や障害発生件数などとの相関関係を求めて、複雑度をソフトウェアの保守性評価の尺度とする試みを行っている<sup>(7)(8)</sup>。図3に、測定結果の一例を示す。

筆者らは、当初、McCabeの複雑度が高ければ、コンパイル回数も多くなると予想したが、測定結果によれば、McCabeの複雑度が低くてもステップ数が多くれば、コンパイル回数が多くなる傾向があるなどのデータを得ている。表3に、このツールで測定される項目の一例を示す。

以上、製作・試験工程におけるソフトウェア生産支援ツールとして開発した静的解析ツール群について、その機能の概要を紹介した。これらのツール群は、その機能からソフトウェアの保守性をなすわち理解容易性(無矛盾性、自己記述性、構造性、簡潔性、明瞭性など)や更新容易性(構造性、拡張性など)などの評価のためのツールとして十分に役立つものである。

現在、社内におけるソフトウェア生産過程での利用のみならず、外部に発注したソフトウェアの受入れ品質評価にも適用している。

### 3.2 プログラム図生成ツール

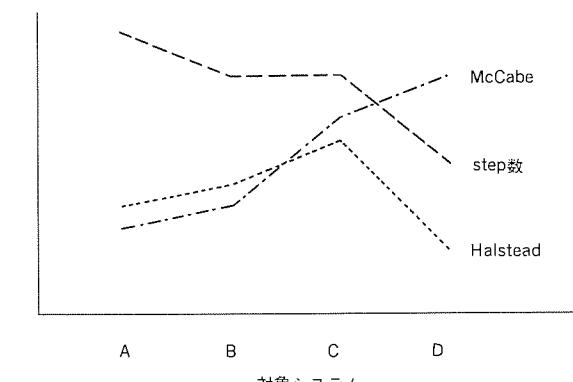


図3. システム単位でのプログラムの複雑度 (1ファイル当たり)

表3. プログラム複雑度の測定項目例

プログラムの情報量（オペレータやオペランドの数など）

NO.	内 容
1	オペレータの種類数
2	オペレータの出現数
3	オペランドの種類数
4	オペランドの出現数
5	Halsteadの複雑度

プログラムの制御情報（分岐命令や分岐数など）

NO.	内 容
1	分岐命令の出現数
2	分岐の総数
3	最大分岐数
4	McCabeの複雑度
5	GOTO文の数

ソースプログラムからプログラム図を自動生成することにより、修正されたソースプログラムの内容を確実に仕様書類に反映し、保守作業の効率化を図ること、また、詳細なドキュメントが入手困難なプログラム（例えば購入ソフトウェアなど）に対し、プログラム図やモジュール構成図及び共通データの相互参照表などを自動生成し、その理解と解析を支援するなどの目的で、プログラム図生成ツ

ールDIG (Diagram Generator) を開発した。

プログラム開発工程においても種々の要因で変更・修正作業が頻繁に行われていることは前にも述べた。そして、修正作業が繰り返し行われる間に、仕様書や設計書などの記述内容とプログラムやデータ構造が異なってしまい、両者間の同一性が保証されなくなる場合がある。このような状況になると、そのプログラムの保守作業は困難を極めることになる。

このツールは、プログラム図やモジュール構成図及び相互参照表などのドキュメントを、試験の完了したソースプログラムを解析することで、自動的に得ようとするものである。図4に、ツールの機能構成を示す。このツールの利用によって、プログラムと仕様書の同一性が常に保証されるとともに、関連ドキュメント作成工数の大幅な短縮という効果も得られる。

プログラム図生成ツールは、静的解析ツール群と同様に、FORTRAN言語、PL/M言語、C言語の3種類の言語を対象としている。

以下に、機能の概要について述べる。

### 3.2.1 プログラム図出力機能

上記3種類の言語のいずれかで記述された各ソースプログラムから、次の4種類のプログラム図のいずれかを出力する。なお、出力する図は利用者が自由に選択することが可能である。

- (1) HCPチャート<sup>(9)</sup>
- (2) PADチャート<sup>(10)</sup>
- (3) フローチャート
- (4) NSチャート

また、プログラム図中の情報としては、単に命令コードのみでなく、ソースプログラム中のコメントや行番号なども併せて出力できる。図5に、PL/M言語で書かれたソースプログラムと、そのプログラム図出力の例を示す。

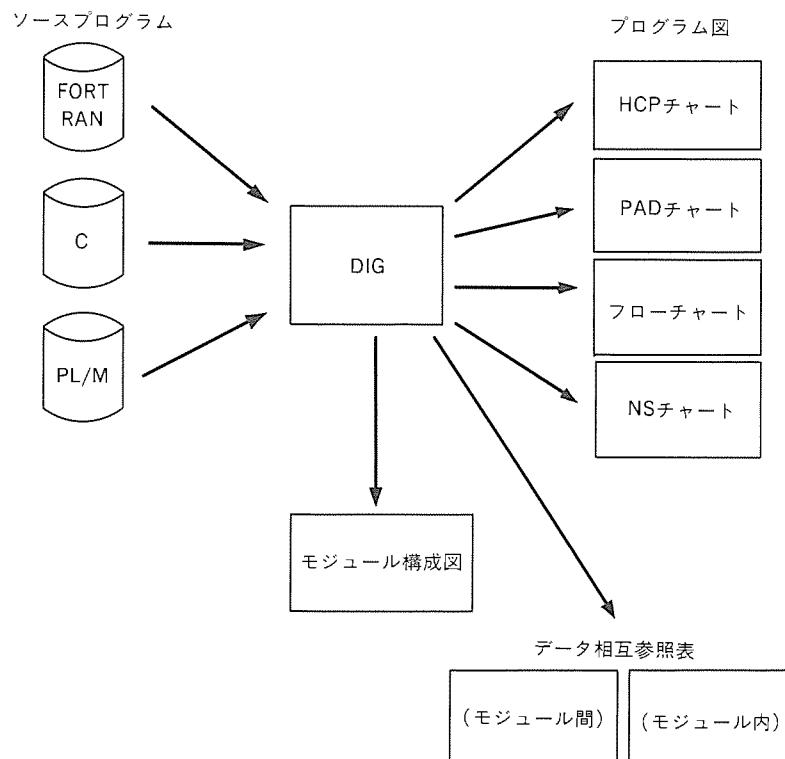


図4. プログラム図生成ツールDIGの機能構成

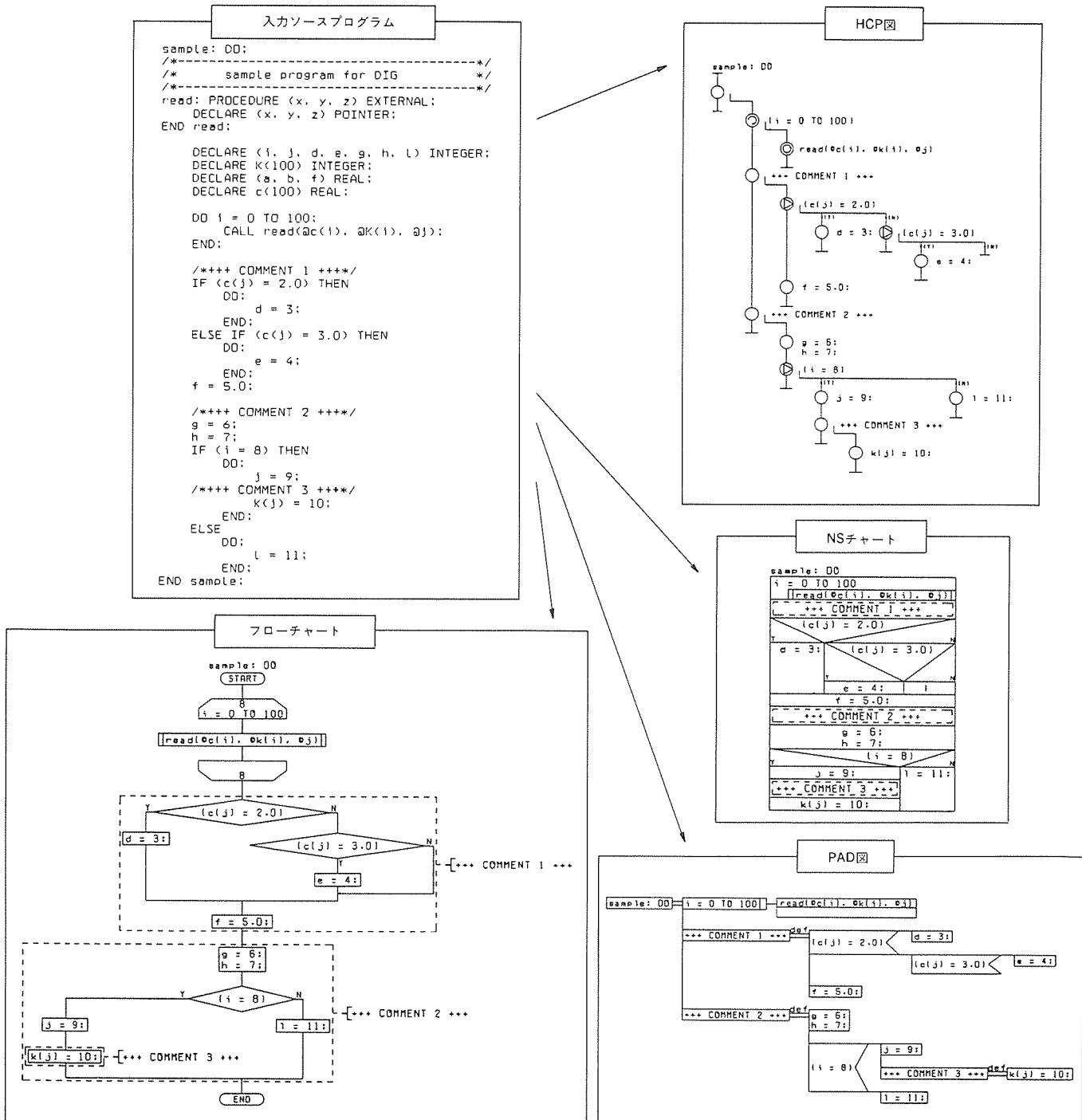


図 5. プログラム図生成ツールDIGの出力例

### 3.2.2 モジュール構成図出力機能

各コンパイル単位内、あるいは複数のコンパイル単位から成るプログラム内の、モジュール間の呼び出し関係を図示する機能である。呼び出し関係には、副プログラムとしての使用と、関数としての使用の二通りがあるが、これらは識別して表示を行っている。図6に出力例を示す。機能としては、次の工夫もなされている。

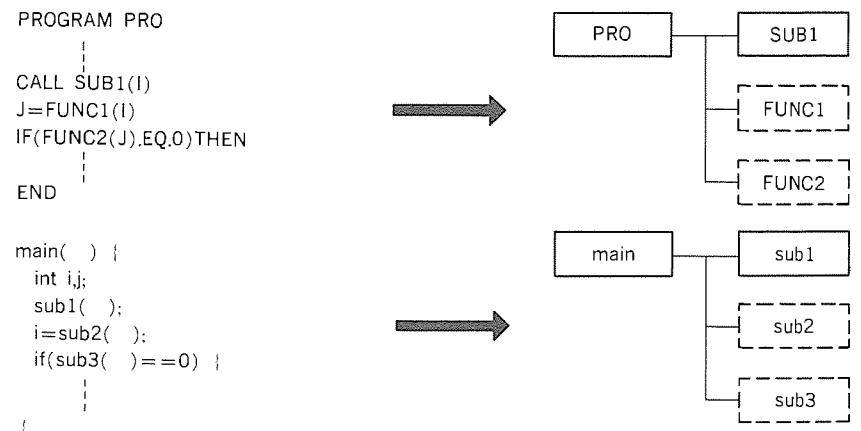
- (1) 既にに出力されたモジュールについては、モジュールの番号を付けて出力し、それより詳細な（深いレベル）図を出力しないことで、見やすい図にする。
- (2) 複数のモジュール構成図を出力する場合は、最上位のモジュール名のアルファベット順に出力する。

(3) FORTRANとCをリンクエージ サブルーチンを用いて結合しているプログラムの場合、リンクエージ サブルーチンは出力せず、実際に呼ばれているモジュール名を出力する。

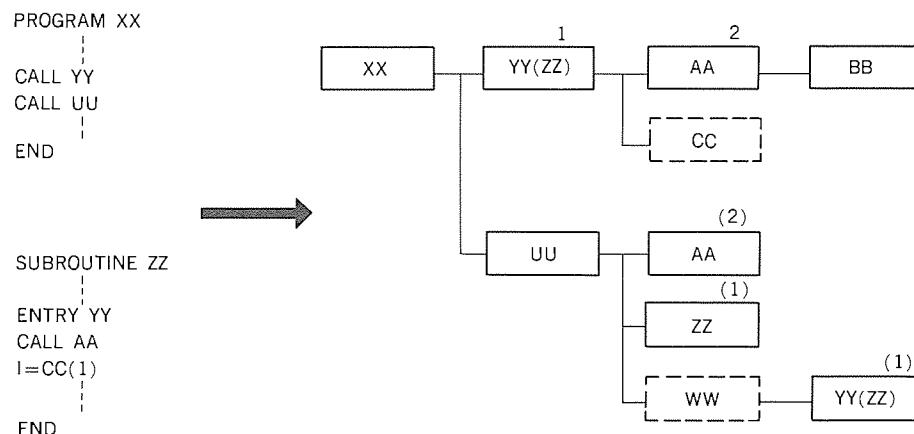
### 3.2.3 データ相互参照表出力機能

各モジュール内におけるすべてのデータ、あるいは複数のコンパイル単位を含むプログラム内のモジュール間における共通データに関する相互参照表を出力する機能である。相互参照表には、以下の情報が含まれている。

- (1) データ名：データ名をアルファベット順に出力する。構造体の場合は、それが認識できる形で出力する。
- (2) コメント：ソースプログラムの宣言文において書かれた各変数



(a) 副プログラム、関数呼出しの表示例



(b) 既呼出しモジュールの表示例

図 6. モジュール構成図出力の例

に対するコメントを出力する。

- (3) 属性：各データの属性（データ・タイプ）を出力する。  
(4) 参照情報：参照タイプ、定義場所及び参照場所の参照情報を出力する。参照タイプとしては、参照・代入・更新の3タイプを識別する。

データ相互参照表は、プログラム変更・修正時に影響範囲を調査する上で、重要な情報を提供している。

以上、保守支援ツールとしてのプログラム図生成ツールの機能概要を紹介した。このツールがソースプログラムを基に各種の情報を自動生成することからも、保守を行う上で最低限必要な条件すなわちプログラムとドキュメントの同一性を保証するために有効であり、さらに、保守作業を行う上で必要となる種々の情報を利用者に提供してくれる点でも優れた保守支援ツールである。

### 3.3 プログラム清書化ツール

次に、コーディングスタイルの画一化を図ることによって、ソースプログラムを読みやすく、また理解しやすくし、ソフトウェアの生産性、保守性及び信頼性を向上させるプログラム清書化ツールについて説明する。

このツールには、FORTRAN言語で記述したソースプログラムの清書を行うFB(FORTRAN Beautifier)とPL/M言語を対象としたPB(PL/M Beautifier)がある。C言語については、UNIXにcbがあり、これを利用している。

以下に、FBを例に機能概要、特長などを紹介する。

#### 3.3.1 FBの機能

FBは、FORTRAN言語で記述されたソースプログラムを、ある種の規則に基づいて整形し、標準装置へ出力する。整形の内容は、以下に示す11項目から成っている。なお、利用者は整形項目及び整形条件を自由に選択し指定することが可能となっている。

- (1) スペースの調整
- (2) 文の字下げ
- (3) 繰続行の結合
- (4) 長い行の継続分割
- (5) ラベルの右詰め
- (6) “/\*”コメントの位置そろえ
- (7) Format文の移動
- (8) 選択的コンパイル行の整形指定、又は削除
- (9) シーケンスナンバの保存、削除
- (10) 大文字・小文字の統一
- (11) タブコードの展開

#### 3.3.2 FBの特長

今回開発したFBは、以下に示す特長を持っている。

- (1) 基本的な整形項目及び整形条件以外は、利用者が選択し指定することができる。
- (2) 利用者の利便性を考慮して、オプション指定ファイルを設けて

<pre> 100 READ (5, 100) ((A (I, J), J=1, N+1), I=1, N)      /* comment 1 FORMAT (4F10.0)   /* comment 2    DO 40 K=1, N   /* comment 3   DO 10 J=K+1, N+1                                     /* comment 4     A (K, J)=A (K, J)/A (K, K)                         /* comment 5     CONTINUE  /* comment 6      DO 30 I=1, N       IF (I, NE, K) THEN                                /* comment 7         DO 20 J=K+1, N+1           A (I, J)=A (I, J)-A (I, K)*A (K, J)           /* comment 8         CONTINUE       ENDIF       CONTINUE       CONTINUE        WRITE (6, 200) ('X (' , I, ')=' , A (I, N+1), I=1, N) /* comment 9 FORMAT (' , A, I1, A, F10.4)                           /* comment 10 </pre>	<pre> READ (5, 100) ((A(I, J), J=1, N+1), I=1, N) /* comment 1 FORMAT (4F10.0)   /* comment 2  DO 40 K=1, N   /* comment 3 DO 10 J=K+1, N+1                                     /* comment 4   A (K, J)=A (K, J)/A (K, K)                         /* comment 5 CONTINUE  /* comment 6  DO 30 I=1, N   IF (I, NE, K) THEN                                /* comment 7     DO 20 J=K+1, N+1       A (I, J)=A (I, J)-A (I, K)*A (K, J)           /* comment 8     CONTINUE   ENDIF   CONTINUE CONTINUE  WRITE (6, 200) ('X (' , I, ')=' , A (I, N+1), I=1, N) /* comment 9 FORMAT (' , A, I1, A, F10.4)                           /* comment 10 </pre>
---	---

(a) 整形前のソースプログラムリスト

(b) 整形後のソースプログラムリスト

図7. FBによるソースプログラム整形の例

おり、利用者はこれにオプションを登録することで起動時の煩わしさから逃がれられる。

(3) IF-THEN-ELSE, DO, DO-WHILEなどの制御ブロックに対して字下げをするため、制御構造が明確になる。これにより、ソースプログラムの構造が理解しやすくなる。

(4) 規則性をもってスペースの調整をするため、ソースコードが明確になり、ソースプログラムが読みやすくなる。

多くの場合、コーディング作業は人手で行われているが、各個人によってコーディングスタイルが異なっているために、他人の作成したプログラムを読み、理解することが困難な作業となっている。プロジェクトによっては、作業に入る前にコーディング規約を設けておき、プロジェクトメンバーにその規約を守らせるよう指導している。しかしながら、この方法も少人数のプロジェクトの場合は有効であっても、50～100人を超えるようなプログラマを投入する大きなプロジェクトでは、決して有効とは言えない。これほどの人数になると、どうしてもプログラマの個性が部分的にも出てくる。その結果としてコーディングスタイルが守られなくなる。

このツールは、どのような場合においてもコーディングスタイルの統一と出力の標準化を機械的に行うものである。図7に、このツールの適用例を示す。

同図から明らかなように、このツールを用いればソースプログラムリストとして読みやすく、理解しやすいものを容易に得ることができる。その意味で、ソフトウェア保守性の中でも理解容易性を実現する手段として、このツールが有効な保守支援ツールであることがわかる。

#### 4. む す び

ソフトウェアの保守作業の重要性と、その作業を支援するための幾つかのツールについて述べた。

ソフトウェア生産量の急激な増大、膨大なソフトウェア資産の蓄積、これらに対応するソフトウェア要員の絶対数の不足と質の低下、

更には、かかる状況下で生じているバックログ増加傾向などに対処するためには、システムエンジニアやプログラマは、新規のソフトウェア開発工程において、保守作業の効率化を意図した設計・製作・試験を実施しなければならない。一方、ツール技術者は、保守の効率化を実現し得るソフトウェア生産環境の構築に努めなければならない。

今回紹介した保守支援ツールが、その機能を有効に發揮することで、ソフトウェア保守に関する課題解決の一助となると確信している。

#### 参 考 文 献

- (1) G.J.Myers (有澤 訳) : ソフトウェア信頼性—ソフトウェア・エンジニアリング概説, 近代科学社 (1977)
- (2) 道下ほか : ソフトウェア開発・運用の高度化・効率化方法に関する調査研究報告書 (III) —運用・保守-, (財)日本情報処理開発協会 (1986)
- (3) B.W.Boehm et al. : Quantitative Evaluation of Software Quality, Proc. 2nd Int. Conf. Eng., p.592 (1976)
- (4) 明智ほか : ソフトウェアテスト支援システム, 三菱電機技報, 62, No.10 (昭63)
- (5) T.J.McCabe : A Complexity Measure, IEEE Trans. on Software Eng. SE-2, p.308 (1976)
- (6) M.H.Halstead : Elements of Software Science, Elsevier North-Holland Pub., N.Y. (1977)
- (7) T.Sunoharaほか : Program Complexity Measure for Software Development Management, IEEE 5th ICSE Proc., p.100 (1981)
- (8) 石井ほか : 静的解析ツールの評価—普及活動を通じて-, 情報処理学会第34回全国大会 2 S-3 (1987)
- (9) 花田 : プログラム設計図法, 企画センター (1983)
- (10) 二村 : プログラム技法, オーム社 (1984)

# ソフトウェアの再利用と支援ツール

高見紀二\* 船坂誠市\*\*  
後藤卯一郎\* 林桂子\*

## 1. まえがき

製品の電子化・情報化の進展につれて、ソフトウェア生産量が増大し、ソフトウェア生産に要する費用が増加する傾向にある。これに対し、投入資源（人・物・金）は制限されるため、ソフトウェア生産性向上、ソフトウェア品質向上を行なうことが緊急の課題となっている。この課題を解決するための一つの手段として、ソフトウェア再利用が重要視されている<sup>(1)</sup>。

しかし、ソフトウェア再利用は、期待されているほどには進んでいないのが現状である。再利用促進を阻害する要因としていろいろ考えられるが、各阻害要因を分析して、それぞれの阻害要因を除去するための対策をたてる必要がある。設備・ツールの面から、再利用を促進するための手段として、モジュール再利用支援ツール(WORKS)を開発した。本稿では、再利用を阻害している要因とモジュール再利用支援ツールの機能について述べ、さらにこのツールを利用した再利用体制のあり方、及びツール適用効果について述べる。

## 2. 再利用の目的

ソフトウェアの再利用とは、「過去のソフトウェア生産で得られた生産物を、新しいソフトウェアの生産に利用すること」と定義できる。ここで生産物とは、最終的な製品であるプログラムコードから、ソフトウェア生産ライフサイクルの各フェーズで生産される各種仕様書、知識及びノウハウまですべての生産物を指す。

再利用を促進することにより、

- コストの低減
- 工期の短縮
- 高品質の確保

を行うことができる。これにより、ソフトウェア生産性及び品質の向上を実現するのが、再利用の目的である。

## 3. 再利用の阻害要因

ソフトウェアの再利用による効果が大きいことは認識されているが、実際のソフトウェア生産過程の中では、なかなか定着していないのが現状である。その原因として、考えられる点を整理してまとめる以下のようになる。

### 3.1 ソフトウェアの部品化が不十分

- (1) 再利用を意識した設計・製作がなされていないため、ソフトウェア部品として活用するのが困難である。
- (2) 標準化が十分に行われていないため、ソフトウェア部品を使おうとしても、そのままの形で簡単に使うことができない。

### 3.2 ソフトウェア資産の管理が不十分

- (1) ソフトウェア部品の品質保証及び保守責任が明らかでない。
- (2) 使いたいソフトウェア部品が、どこに、どのような形で保管されているのかが不明である。

(3) 保管されているソフトウェア部品の改定や変更が正しく管理されていないため、利用する場合に混乱が起きる。

(4) ソフトウェア部品に対する説明書などのドキュメントがそろっていない、又はドキュメントがあっても、改定などの管理が十分にされていないことが多い。

### 3.3 ソフトウェア部品の運用体制が整っていない

(1) ソフトウェア部品の登録・検索・供給を支援するシステムの運用が十分になされていない。

(2) ソフトウェア部品の開発、供給、技術コンサルタントを行う共通組織がないため、ソフトウェア部品の蓄積と再利用促進がなされない。

(3) ソフト製品も含めたソフト資産の一元管理を行う組織がないため、ソフト資産が活用されにくく。

### 3.4 再利用に対する適切な評価がされていない

(1) 再利用による効果を評価する指標が設定されていない。また、中立的に評価するための支援システムがない。

(2) ソフト生産に関する生産実績把握が十分になされていない。これは、生産実績データ及び再利用実績データを自動的に収集する支援システムがなく、データ収集体制がとられていないためである。

## 4. 再利用支援ツール

上記、ソフトウェア再利用を阻害する要因に対し、ツールとして再利用を促進する手段を提供するために、モジュール再利用支援ツールを開発した。以下、その機能について述べる。

### 4.1 機能概要

モジュール再利用支援ツールは、ソフトウェア部品の管理と再利用を支援するツールであり、部品データベースを中心にして、ソフトウェア部品の登録・検索・取り出しを行う多数のコマンド群から成り立っている。このツールは、UNIX<sup>\*</sup>搭載のミニコン《MELCOM 70 MXシリーズ》上で動作する。図1にこのツールの利用イメージを示す。

このツールの利用者は、ソフトウェア部品を開発・登録する側と、登録されたソフトウェア部品を、検索、取り出し機能を使って参照する側に分けられる。登録する側は、このツールの提供する全コマンドを使用することができるが、参照する側は、データベースの内容を変更するコマンドの使用が制限されている。このツールの持つ主な機能を次に示す。

注 \*印 UNIXは米国AT&Tベル研究所が開発したオペレーティングシステムです。

### (1) ソフトウェア部品の登録機能

ソフトウェア部品を登録するには、ソフトウェア部品だけでなく、その機能やサイズなど部品の内容を示す管理情報を同時に登録してソフトウェア部品利用者の検索・取り出しを容易にする必要がある。このため、ソフトウェア部品の管理情報を簡単に登録するための機能をもっている。

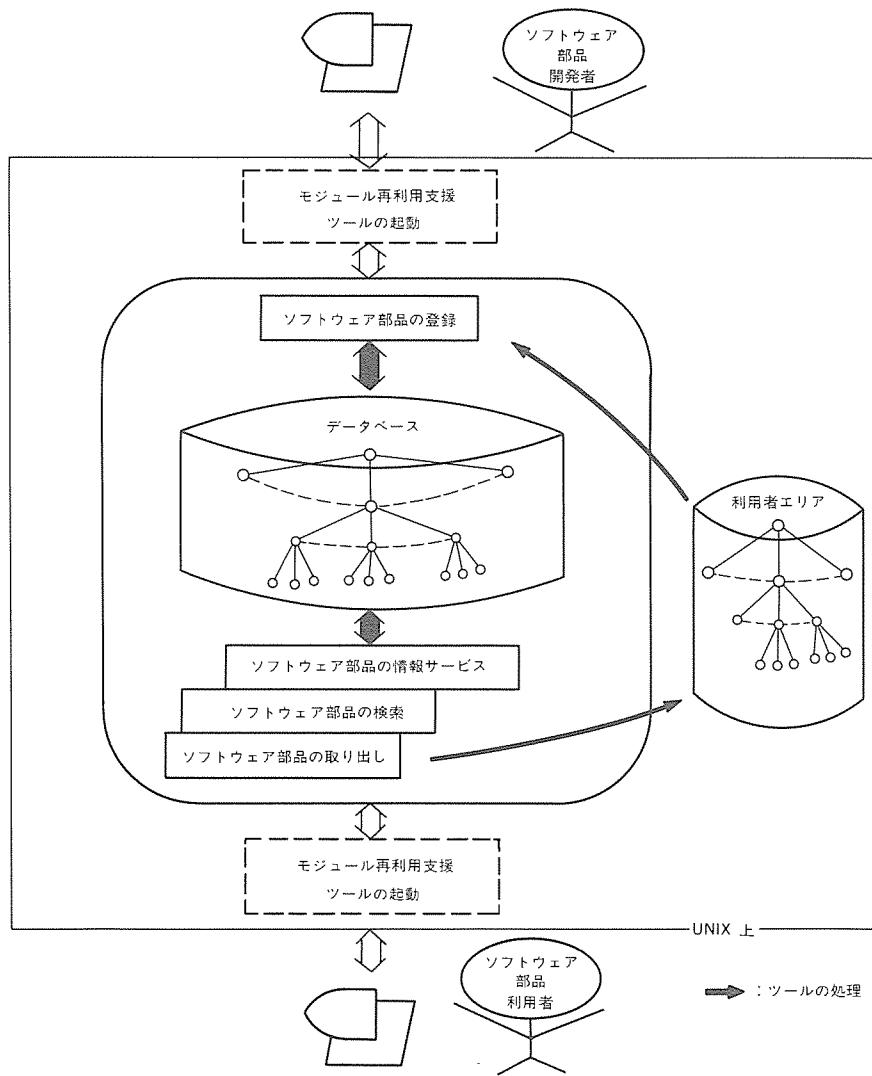


図1. ツールの利用イメージ

#### (2) ソフトウェア部品の検索機能

従来の再利用は、個人の記憶に頼って過去に作った自分のプログラムを、フロッピーやディスクの中から探し出して利用するという方法をとっていた。このため、再利用の範囲は、個人のレベルにとどまっていた。このツールでは、登録時にソフトウェア部品と一緒に登録した管理情報を、検索のキーワードとして検索を行うことができる。このため、自分の欲しいソフトウェア部品を、他人の作ったものも含めて広い範囲から簡単に探し出すことができる。

#### (3) ソフトウェア部品の取り出し機能

検索機能を使って探し出したソフトウェア部品を、この機能を使って利用者エリアに取り出す。このとき、取り出されたソフトウェア部品は、いつ、だれが取り出したかを利用履歴として残しておく仕組みとなっている。この仕組みにより、ソフトウェア部品ごとの利用実績を簡単に把握することができる。また、ソフトウェア部品の改訂があったときに、改訂情報をどこに通知したらよいかを容易に知ることができる。

#### (4) 情報サービス機能

登録されているソフトウェア部品の管理情報や、利用履歴、改訂履歴を、利用者へ見やすい形で出力する機能である。また、ソフトウェア部品の仕様・性能・使用方法を示す部品説明書を、登録・管理し、要求に応じて出力する機能も備えている。

#### 4.2 ソフトウェア部品の登録機能

登録されたソフトウェア部品にとって重要なことは、安全性の確保である。不用意な操作ミスから、大切なソフトウェア部品が破壊されたり、消去されるのを防ぐために、パスワード方式によりデータベースへの書き込み許可の管理をしている。

次に、登録機能について説明する。登録方法には、ソフトウェア部品の管理情報の定義のやり方により、次の二つの方法がある。

##### (1) 対話形式による登録

対話形式で管理情報を定義する方法である。図2に画面例を示す。この方式は、対話形式で容易に入力データの変更ができるため、少量の部品登録時や、一度登録した部品の管理情報修正時に便利な方法である。

##### (2) バッチ形式による登録

あらかじめ、管理情報定義ファイルを作成しておき、ソフトウェア部品と一緒に登録する方法である。この方法は、大量のソフトウェア部品を登録する場合に有効な方法である。

#### 4.3 ソフトウェア部品の検索機能

##### (1) 検索項目指定

ソフトウェア部品の検索は、表1に示す26項目の管理情報を検索のキーワードとして、論理和や論理積の組合せを使って行うことができる。このとき、漢字を使用している管理情報については、漢字

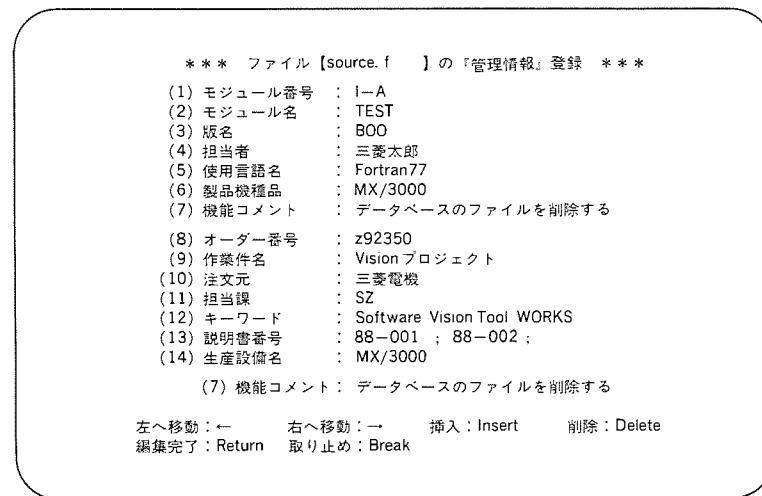


図2. 対話形式による登録の画面例

表1. 検索に使用する管理情報

① S/W部品名(ファイル名)	② 登録日付	③ 改訂日付
④ 利用日付	⑤ 利用回数	⑥ 改訂回数
⑦ 行 数	⑧ サイズ(バイト数)	⑨ R/W属性
⑩ ファイル種別	⑪ モジュール番号	⑫ モジュール名
⑬ 版 名	⑭ 担当者	⑮ 使用言語
⑯ 製品機種名	⑰ 機能コメント	⑯ オーダー番号
⑰ 作業件名	⑱ 注文元	⑰ 担当課
⑲ 技術モードキーワード	⑲ 説明書番号	⑱ 生産整備名
⑳ ファイル形式	⑳ アクセス日付	

による指定も可能である。

#### (2) 検索範囲指定

計算機内には、複数個の部品データベースが存在する。検索範囲は、計算機内の全部品データベースを指定することもできるし、各部品データベースを指定することもできる。さらに、ある部品データベース内の特定のディレクトリ下という指定も可能である。

#### (3) 他機能との組合せ

検索機能と情報サービス機能を組み合わせて、検索した部品の管理情報や利用履歴を表示することも可能である。この例を図3に示す。

#### 4.4 ソフトウェア部品の取り出し機能

この機能は、指定されたソフトウェア部品を、部品データベースから自分のエリアへ取り出すために用意された機能である。取り出し方法としては、単に指定されたソフトウェア部品のみを取り出す方法と、関連するソフトウェア部品すべてを取り出す方法がある。後者の場合は、どのソフトウェア部品が関連しているかを、登録時に規定しておくことが必要である。

前記いずれの方法で取り出しても、図4に示す利用履歴が残り、いつ、だれが取り出したかが分かるようになっている。

#### 4.5 情報サービス機能

部品データベースで管理している種々の情報を利用者へサービスする機能である。

##### (1) 管理情報表示

ソフトウェア部品に定義されている管理情報を、一覧表形式で表示する。これにより、利用者はソフトウェア部品の概略を知ることができる。

##### (2) 利用実績報告

いつ、だれに使われたかを要求に応じて表示する。これにより、利用者はソフトウェア部品の利用実績を知り、その部品の適用性を把握できる。

```
% pwd
[1] WORKS://Tool
[2] UNIX ://UMX004/z92350
% find. ¥(-func "入力" -0 -func "出力" ¥) -exec report \| ¥;

【検索条件の評価結果】
+-- AND -+- OR --+-- func 入力
          |           +-- func 出力
          |
          +-- exec report \|
```

【ファイル://Tool/v88/asm2.sの利用履歴】					
回数	ホスト名	利用者名	利用日付	利用時刻	利用時の改訂状況
(1)			88-01-09	09:18:33	0

【ファイル://Tool/v88/digit1.oの利用履歴】					
回数	ホスト名	利用者名	利用日付	利用時刻	利用時の改訂状況
(1)			88-03-12	10:37:23	0
(2)			88-04-25	14:28:23	88-04-23 20:17:57 1
(3)			88-05-20	13:28:23	88-04-23 20:17:57 1

図3. 検索と他機能の組み合わせ例

% report Xwindow, c 【ファイル「//Xwindow/source/Xwindow, c」の利用履歴】							
回数	ホスト名	利用者名	利用日付	利用時刻	利用時の改訂状況		
(1)		z92350	87-12-25	16:08:10			0
(2)		z92350	88-04-25	16:10:32	88-03-03	15:10:10	1

図4. 利用履歴の出力例

## (3) 部品説明書表示

ソフトウェア部品の仕様・性能・使用方法など、部品に対する説明書を部品とともに管理する機能がある。この説明書により、ソフトウェア部品のより詳細な情報を利用者は得ることができる。この説明書の表示例を図5に示す。

## 4.6 部品管理機能

部品の管理は、図6に示すような階層構造を持つ部品データベースに基づいている。各階層のディレクトリ下に、ソフトウェア部品として、ソースコード、オブジェクトコード、及び部品説明書を登録できる。部品データベースは階層構造となっているため、ソフトウェア部品を整理・分類して管理するのに便利である。

## 5. 再利用支援ツールの運用

このツールを導入して、再利用を促進していくための組織・体制

のあり方、部品データベースの運用方法、再利用による効果の評価について述べる。

## 5.1 組織化

再利用を効果的に進めるために、組織・運用体制をどのようにすべきかという検討がなされ、現在、検討結果に基づいて組織化が進められている。以下に、その内容を述べる。

## (1) ソフトウェア部品開発部門の組織化

ソフトウェア部品の開発・供給部品に対するコンサルタント、及びソフトウェア部品の保守を行う専門集団を組織化する。

## (2) 再利用支援環境整備部門の組織化

再利用を支援するための支援環境（ツール、設備）を整備する専門家集団を組織化する。

## (3) ソフト管理部門の組織化

ソフト管理として、

% spec source.f							
ファイル名	source.f	登録日付	88-05-22 (88-05-22)	改訂日付	( )	0	
モジュール名	TEST	モジュール番号	1-A	版名	BOO		
製品機種	MX/3000	担当者			三菱太郎		
使用言語	Fortran77	提供形態			src (10621 bytes)		
<<< 機能概要 >>>							
UNIX側のディレクトリから、データベースへS/W部品の部品カタログを登録する。							
<<< 呼び出し形式 >>>							
TEST ( I TABLE, I BUF, I E, n*)							
<<< 引数説明 >>>							
I TABLE	I *4 (1024)	部品カタログ名のテーブル					
I BUF	I *4 ( 256)	バッファ・エリア					
I E	I *4 ( 4)	エラー・コード					
n*	I *4	(1) エラー (2) ディスクアクセス・エラー (3) キュータイフ・エラー					
<<< 挿足説明 >>>							
このモジュールを使用する際の条件							
(1) スーパユーザー・モードであること (2) S/W部品が登録されていること (3) 部品カタログが未登録であること (4) UNIX側のカレント・ディレクトリに「部品名. S」: という名前の部品カタログ・ファイルが存在すること (5) 部品カタログ・ファイルの形式が正しいこと							
<<< 注意事項 >>>							
部品カタログ・ファイルの作成には、「msc」などの日本語エディタか、統合化ソフトウェア「AI」を用いるとよい。							

図5. 部品説明書の表示例

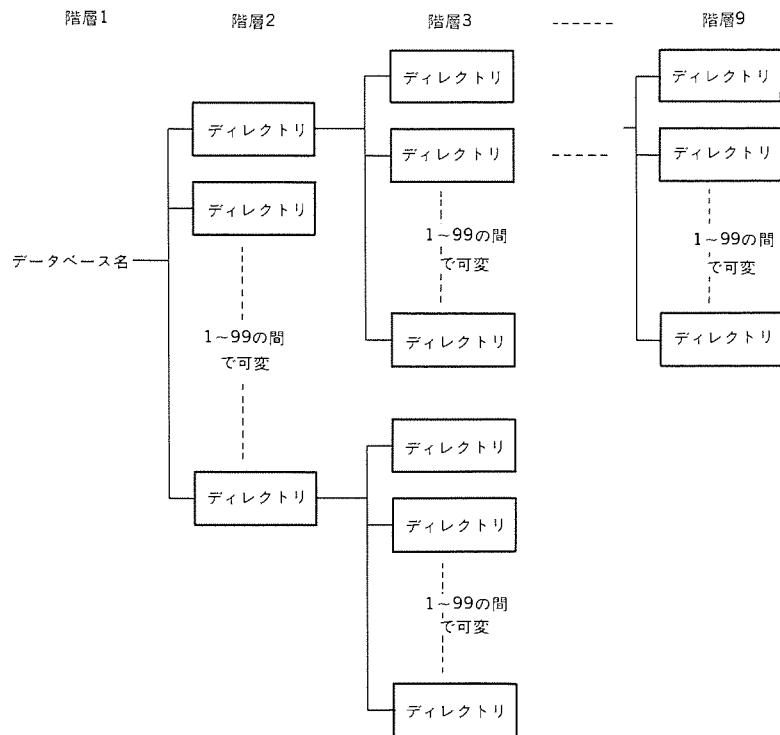


図 6. 部品データベース構造

- (a) ソフト資産（ソフトウェア部品を含む）の保守と活性化を目的とした技術面からの管理。
  - (b) 再利用促進による効果を把握し、より高い生産性・品質を目標とした活動へと高揚させることを目的とした経営面からの管理。を行うための組織化を行う。

## 5.2 部品データベースの運用

このツールで扱う部品データベースは、ネットワークでつながった複数計算機に分散配置して運用することができる<sup>(2)</sup>。部品データベースは、次の3階層に分けて運用することが望ましい。部品データベースの運用例を図7に示す。

#### (1) プロジェクト内レベルの部品データベース

このデータベースは、個人又はプロジェクト内での再利用を図る

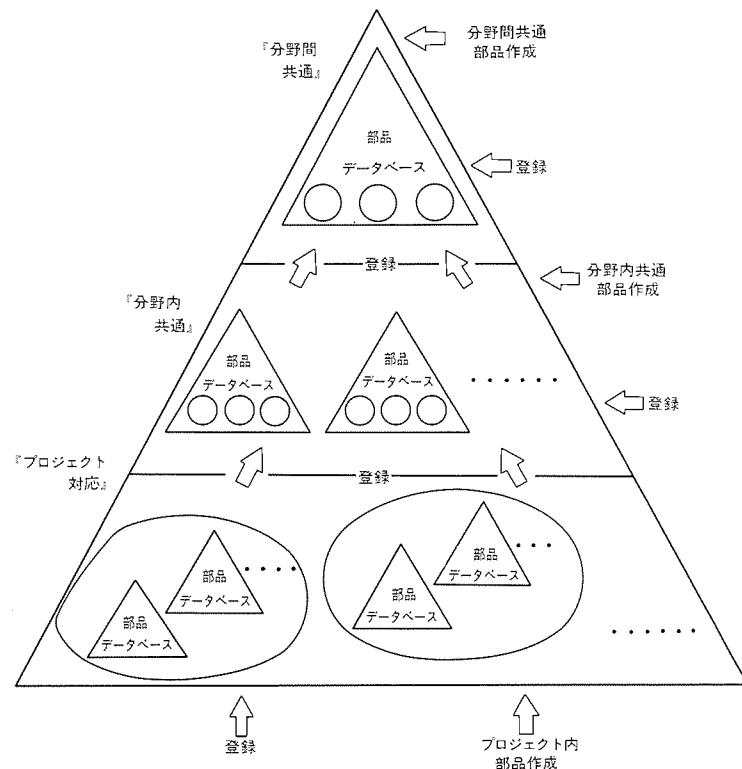


図1. 部品データベースの運用例

ためのデータベースである。このデータベースは、プロジェクトの開始時点で作成し、プロジェクトの終了時に消去する。データベースを消去する時点で、使用頻度の高いソフトウェア部品を選別し、1レベル上の分野内共通レベルの部品データベースへ登録する。

### (2) 分野内共通レベルの部品データベース

このデータベースは、電力分野、公共分野などの分野内共通部品を蓄えるデータベースである。このデータベースへは、次の二つの登録ルートがある。

(a) プロジェクト内レベルの部品のうち、使用頻度の高いものを格上げして登録する。

(b) 分野内共通の専門家集団を組織して、分野内共通となるソフトウェア部品を開発して登録する。

この分野内共通部品のうち、他の分野でも使用できるソフトウェア部品は、更に上のレベルの分野間共通部品として登録する。

### (3) 分野間共通レベルの部品データベース

このデータベースは、分野間にまたがる共通部品を蓄えるデータベースである。このデータベースへは、次の二つの登録ルートがある。

(a) 分野内共通部品のうち、他の分野でも使用できるソフトウェア部品を選別して、格上げして登録する。

(b) 分野間共通の専門集団を組織して、共通となるソフトウェア部品を開発して登録する。

上記(1), (2), (3)の部品データベースを運用していく過程で、使用頻度が高く、有効で品質の高いソフトウェア部品を収集・蓄積して、再利用の効果を高めていく。

## 5.3 再利用の効果

部品データベースにソフトウェア部品を蓄積し、再利用することにより、得られる効果と実際のソフトウェア生産に適用した例を以下に示す。

### (1) 標準化の推進

モジュール再利用支援ツールと他の支援ツールを組み合わせて、ソフトウェア部品の再利用を行うことにより、設計、製作、試験段階での作業の標準化を推進できる。図8に、このツールと設計・製作支援ツール“プログラム図エディタ／コンパイラ”及び“テスト支援システム”を組み合わせた使用例を示す。

### (2) 生産性向上

ソフトウェア部品の管理・検索・取り出しを、このツールを使って行うことにより、作業時間を削減し、作業の効率化が図れる。また、部品データベースに蓄えられたソフトウェア部品を再利用することにより、開発工数、試験工数、手直し工数を大幅に削減することができ工数低減を図ることができる。

### (3) 品質向上

再利用が繰り返されたソフトウェア部品を使用することにより、バグの混入を少なくすることができる。また、試験箇所を部品を使用していない箇所へ局所化できるため、試験時の障害件数が減少し、全体としての品質向上を図ることができる。

### (4) ソフトウェア生産への適用例

部品再利用により得られた効果の実績例を以下に示す。表2は、Aシステムで製作された二重系運転管理ソフトウェアをBシステムへ適用時に部品化して整備し、流用率90%でC, Dシステムへ適用したときの工数低減状況を示す。表3は、各システムの試験時に発生した障害状況を示す。工数低減と品質向上が顕著に表れているのが

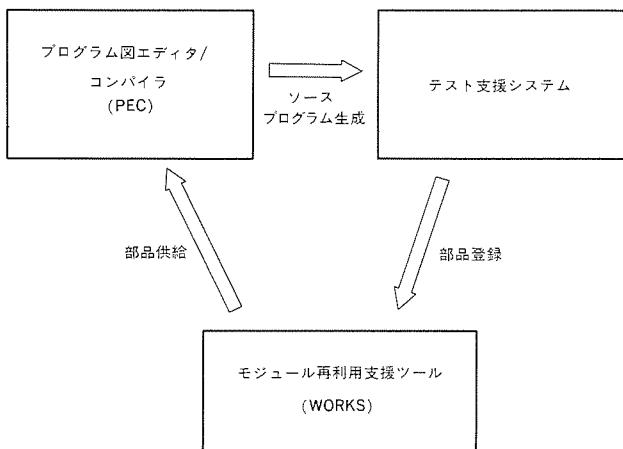


図8. 他ツールと組み合わせた使用例

表2. ソフトウェア生産に要した作業工数

システム名	作業工(h)	S/W量(kline)	S/W生産性(kline/kh)
A システム	6,800	30	4. <sup>4</sup>
B システム	3,700	30	8. <sup>1</sup>
C システム	1,400	30	21. <sup>4</sup>
D システム	1,250	28	22. <sup>4</sup>

注 Aシステム：新規作成  
Bシステム：Aシステムを80%流用  
Cシステム：Bシステムを90%流用  
Dシステム：Cシステムを90%流用

表3. ソフトウェア障害発生状況

システム名	障害件数
Aシステム	76件
Bシステム	24件
Cシステム	13件
Dシステム	13件

分かる。

## 6. むすび

再利用の目的と阻害要因について述べ、その阻害要因をツールの面から除去すべく開発されたモジュール再利用支援ツールの機能と、適用時に期待される効果について述べた。

今後は、このツールの普及拡大を図り、ソフトウェア部品を蓄積して再利用を促進し、再利用による効果を定量的に把握する活動を展開していく必要がある。

## 参考文献

- (1) IEEE Trans. on Software Eng. SE-10 September (1984)
- (2) 春原ほか：分散型ソフトウェア開発支援システム、情報処理学会第34回全国大会3T-1 (1987)

# ソフトウェアの品質管理

中根 勇\* 増田幹夫\*  
小林 博\*  
土屋哲男\*

## 1. まえがき

ソフトウェアの品質管理に関して、「ソフトウェアをハードウェアと同様に、工業製品として、一貫した品質管理制度のもとで生産する」ことを基本的な考え方とし、この考え方に基づきソフトウェア品質管理標準要綱（以下、標準SQCP：Software Quality Control Program）を制定し、改良を加えつつソフトウェアの品質管理を実施している。

本稿では、標準SQCPとこれを支援するシステムツールの概要を述べる。

## 2. 標準SQCPの改良によるソフトウェア製品の高品質化

標準SQCPの制定に当たっては、

●誤りの入り込み低減

●誤りの早期発見

を基本方針とした。この基本方針に基づき、その施策として、

(1) 設計段階を中心とした源流管理の実施

(a) ソフトウェアの設計段階を中心とした作業品質の確保

(b) 生産の各段階ごとの第三者による品質審査、検査の実施

(2) 品質管理サイクルをよく回す体制の確立

(3) 品質データ（生産の各段階及びフィールドでのデータ）に基づく品質改善、再発防止対策の実施

を具体的に展開するために、方針管理、各生産段階におけるデザインレビュー・品質審査、保守管理、製品管理、外注管理、技術標準管理、設備管理、教育、小集団活動などを標準SQCPとして盛り込み、これを更にソフトウェア製品の一層の高品質化のために、改良してきた。この結果、ソフトウェア製品の品質を大幅に改善することができた。例えば、フィールドにおけるソフトウェア製品の誤り発生度を半減することができた。

標準SQCPの実践・改良のための品質管理組織と、標準SQCPの方針管理、各生産段階における品質審査について概要を述べる。本稿で使用する用語を次のように定義する。

●障害：ソフトウェア製品に潜在する誤りや、その他の誤りが原因で規定の機能が失われる現象。

●クレーム：フィールドにて発生するユーザーからの苦情。

### 2.1 品質管理組織

標準SQCPで設定した、一貫した品質保証の実現のための品質管理組織を図1に、その特徴を次に示す。

(a) 方針管理の設定・展開の最高機関として品質会議を、各部展開のために部の品質会議を設置している。

(b) 各生産段階におけるデザインレビュー・品質審査の実施・徹底のために、ソフトウェア品質管理部門を配置している。

(c) ソフトウェア製品のフィールドにおけるクレームに対して、漏れなく、早く、正確に対処するために、フィールド管理部門を

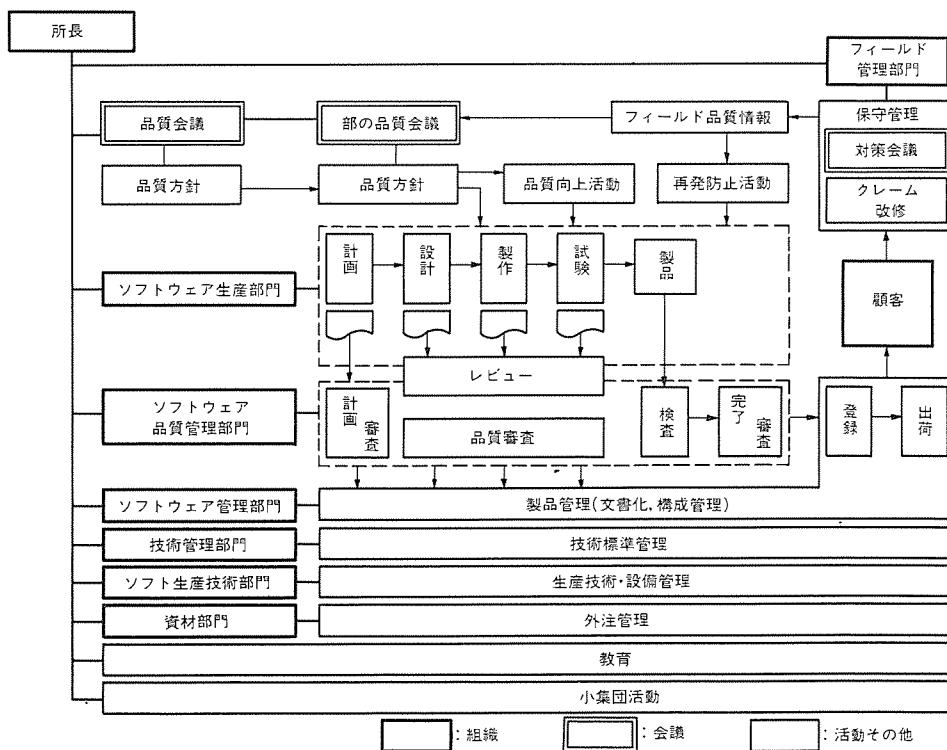


図1. 品質管理組織

配置している。

また、ソフトウェアの製品管理、生産技術標準の整備・充実、設備の整備・充実、品質管理制度・標準類の整備・充実、技術標準管理を実施する部門を置いている。

## 2.2 方針管理

方針管理の推進においては、品質指標を定義した上での品質目標管理の徹底を基本にし、方針の設定・展開をしている。

### 2.2.1 品質指標と品質目標

#### (1) 品質指標

品質指標にユーザー視点／メーカー視点、製品品質／作業品質の分類とに分けた指標を取り入れており、これらの分類の中で特にユーザー視点の指標、作業品質指標の充実を図っている。指標の概要を表1に示す。

##### (a) ユーザー視点の指標／メーカー視点の指標

表1. 品質指標の概要

	ユーザー視点の指標	メーカー視点の指標
製品品質指標	機能変更要求度 安定度：システム ：製品 など	誤り発生度（フィールド） 信頼性検査合格度 性能検査合格度 説明書検査合格度 など
作業品質指標	フィールド障害処置期間 など	説明書早期作成度 デザインレビュー実施度 デザインレビュー指摘度 試験網羅度 試験時誤り検出度 など

段階ごとに定義している。

#### (2) 品質目標

品質目標は段階的に次の3種類を設定している。

##### (a) 長期品質目標

長期計画に対応して、ユーザー視点の指標、及びメーカー視点の主要指標について設定している。

##### (b) 年度品質目標

長期品質向上計画の中間年度として、当該年度の目標を前述の指標すべてに対して設定している。

##### (c) 生産プロジェクト単位の品質目標

年度品質目標を達成するため、個々の生産プロジェクトに対しても、その特性に応じて各段階の作業品質各々の目標にまで展開している。

### 2.2.2 品質方針の設定

長期計画、前年度の実績などをふまえ品質方針（品質目標とその達成方策）を製品系列ごとに、製作所レベルから部レベルへ、部レベルから課レベルへと展開している。部レベルの品質方針は、品質会議での審査を経て所長の承認を受け、課レベルの品質方針は部の品質会議での審査を経て部長の承認を受けている。

品質目標は、重点目標と日常管理目標とに分けている。重点目標は、ユーザー視点の指標及びメーカー視点の主要指標に対応して定め、その達成方策を品質向上重点施策として設定している。

一方、既に品質の向上の成果が見られ、従来の活動の継続で可能と判断できる項目は、日常管理のレベルとし目標・実績管理のみを行っている。

表2. 品質方針の設定と展開

品質方針		設定		展開	
レベル	内容	審査	承認	フォロー	管理資料
部	重点目標、重点施策	品質会議	所長	品質会議 所長診断	重点施策計画・実績表 品質月報、品質期報
	日常管理目標	部の品質会議	部長	部の品質会議	品質月報、品質期報
課	重点目標、重点施策	部の品質会議	部長	部の品質会議	重点施策計画・実績表 品質月報、品質期報
	日常管理目標	部の品質会議	部長	部の品質会議	品質月報、品質期報
個別生産 プロジェクト	品質目標（製品品質、 作業品質） 品質向上施策	個別プロジェクト 計画審査会	部長	各生産段階の審査 プロジェクト完了 審査会	各生産段階の完了報告 プロジェクト完了 報告書

ユーザー視点の指標とは、ユーザーが使用している状況で、ユーザーが業務への影響度などの現象から実感する品質を表す指標である。メーカー視点の指標とは、生産に起因する品質を表す指標である。

#### (b) 製品品質指標／作業品質指標

製品品質指標とは、製品自体の品質を表す指標であり、次の品質特性ごとに定義している。

- 信頼性
- 保守性
- 性能
- 操作性
- 再利用性

作業品質指標とは、デザインレビュー実施度、試験網羅度などのソフトウェア生産作業自体の品質を表す指標であり、生産の各

表3. 品質管理段階

生産段階	品質段階	品質管理段階
計画	品質設定	計画
外部設計		設計
内部設計		
コードィング		製作
モジュール試験		
プログラム試験		
システム試験		
検査		試験
完了評価	品質保証	検証・評価
登録		
出荷		
保守	品質維持	登録・出荷
		保守

### 2.2.3 品質方針の展開

上記で設定した部レベルの品質方針に関しては、品質会議で重点施策の推進状況と品質監視結果をもとに目標達成度をフォローし、また課レベルの品質方針については部の品質会議で同様のフォローをしている。このようにして、施策実施の徹底と所期目標の達成を図っている。品質方針の設定・展開と管理階層との関係を表2に示す。

### 2.3 各生産段階における品質審査

品質管理段階を生産段階と対応させ、品質審査をするのに適切なチェックポイントを得られるよう設置し、かつ品質審査の実施方式を規定した。品質管理段階を表3に、実施方式については計画段階の例を表4に示す。

ソフトウェア品質管理部門は、この品質管理段階ごとに、品質保証を目的として品質審査を実施している。品質設定の段階では、基本仕様、納期、費用などはもちろん品質に関しても年度品質目標に沿って当該製品の製品品質目標が設定されているか、またこの製品品質目標達成のための品質向上方策及び各生産段階での作業品質目標が適切に設定されているかを審査している。以降の各段階では、品質向上方策の実施状況及び作業品質目標の達成状況を審査するとともに、製品品質目標の達成度を予測し、所期の製品品質目標達成

のために品質向上方策を見直す必要があれば、ソフトウェア品質管理部門は生産部門に対策を指示する。特に、検証・評価段階ではソフトウェア品質管理部門が製品検査を実施し、この結果及び各段階での作業品質目標の達成状況を踏まえ、製品の登録の可否を審査している。

このようにして、早期に目標達成のための手を打つとともに、製品品質目標の達成を図っている。

## 3. ソフトウェア品質管理支援システム

これまで述べた品質管理活動を確実に行うためには、生産段階、保守段階での品質データを一元的に蓄積・管理し、これらを種々の角度から集計・分析・評価・レポートし、フィードバックすることが重要である。このために、図2に示すようにソフトウェア品質管理支援システムを構築し運用している。以下に、主なシステムの概要を紹介する。

### 3.1 ソフトウェア品質評価支援システム “SQUARE”

SQUAREは、方針管理・目標管理、品質向上活動、再発防止活動、個別プロジェクト計画の充実・促進、及び各種標準類の整備・充実のため図3に示すように、

#### (1) 品質目標管理支援

表4. 計画段階での品質審査

品質管理段階	審査目的	審査時期	審査部門	承認者	審査内容	審査対象物	審査方法
計画	基本仕様、納期、費用、品質目標などのオーソライズ	計画原案完了時 又は 計画書提出時	営業部門 品質管理部門	所長	基本仕様、納期、費用、品質目標などの妥当性	計画書	レビュー会 個別計画審査会議

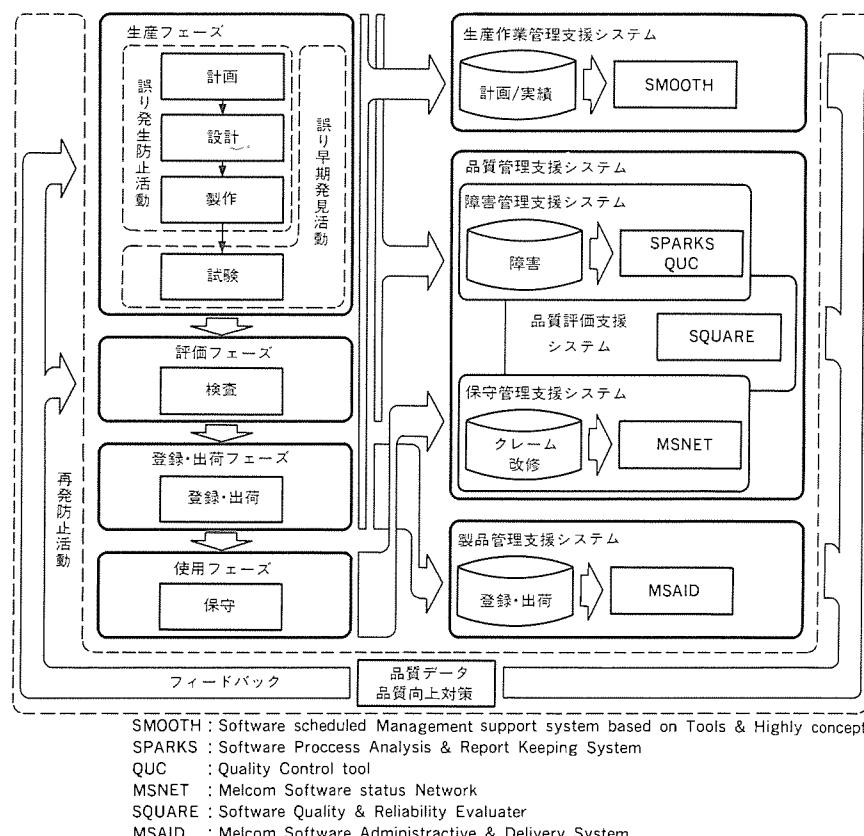


図2. ソフトウェア品質管理支援システム

品質方針の設定時に立てた目標値に対して実績を監視する。

段階、要因の洗い出し。

## (2) 品質分析支援

重点的に品質強化すべき機種、製品、部門、及び改善すべき作業

## (3) 計画支援

前版／流用母体／同種製品の品質実績・傾向に基づくプロジェクト

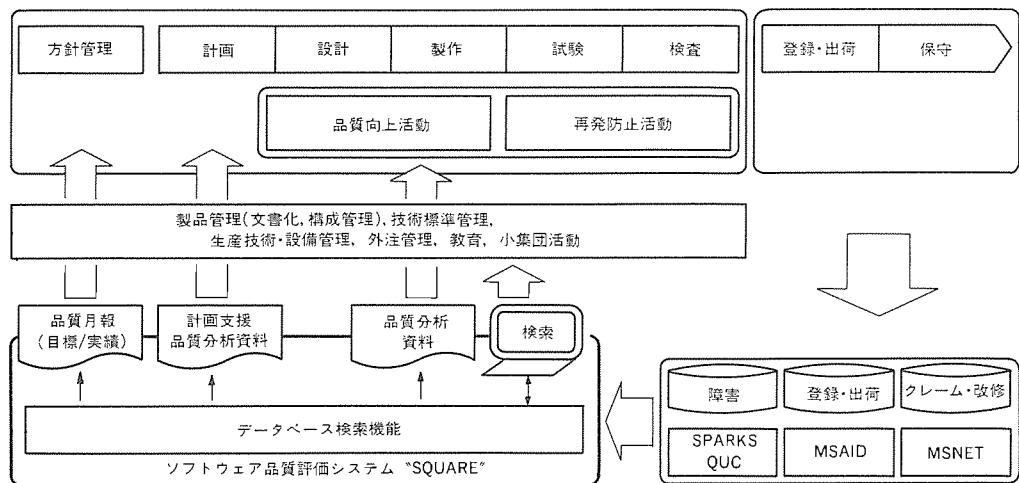


図3. SQUAREの概要

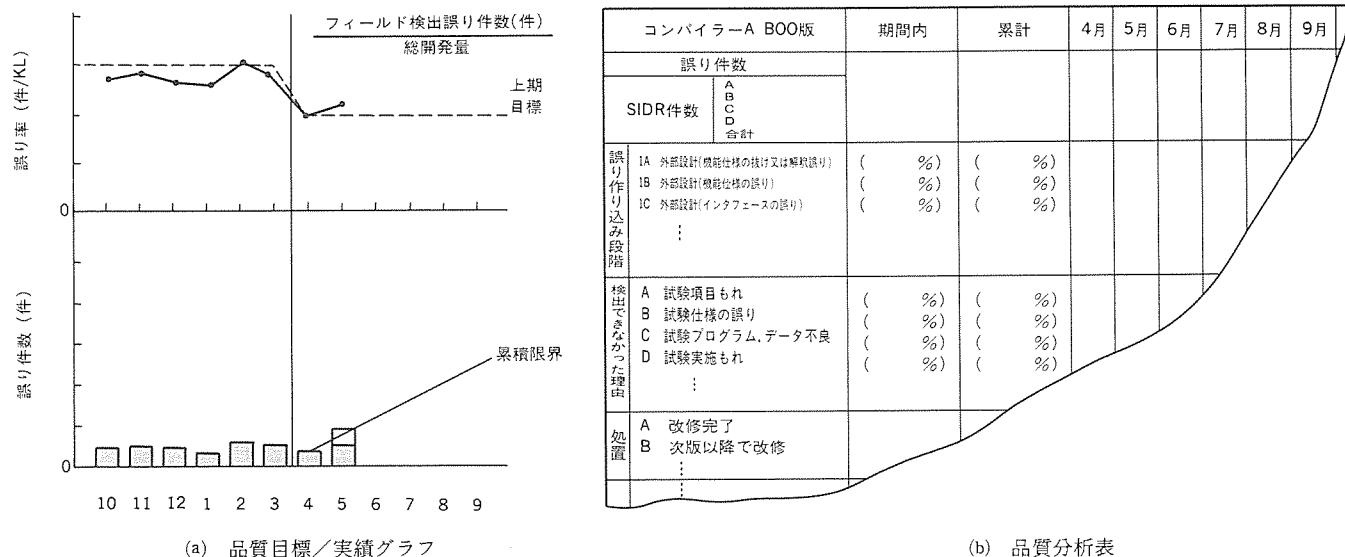


図4. SQUAREの出力例

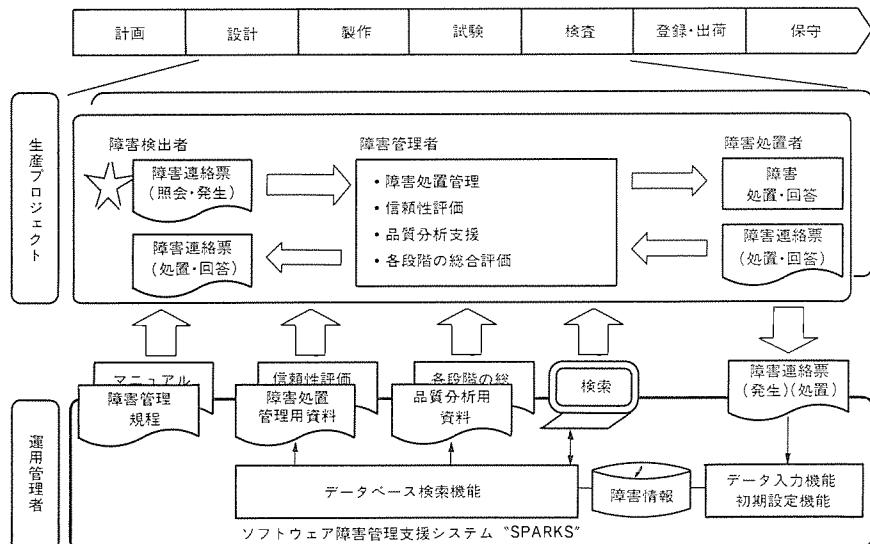


図5. SPARKSの概要

ト計画／試験計画の策定。

の機能を実現している。

SQUAREでは、部門、プログラム種別、製品系列別、全製品などの単位で、品質目標値と実績値との比較、誤りの作り込まれた段階、見逃し段階などの集計を、製品の登録・出荷情報、クレーム・改修情報をもとに行っている。この出力例を図4に示す。

### 3.2 ソフトウェア障害管理支援システム“SPARKS”の概要

SPARKSは、個別生産プロジェクトの各段階における品質審査をはじめとする品質管理の充実のため図5に示すように、

#### (1) 障害処置管理支援

障害発生状況の把握と納期確保のための障害処置の推進。

#### (2) 信頼性評価支援

信頼性の予測・評価（潜在誤り数の推定、収束時期の予測）。

#### (3) 品質分析支援

重点的に品質強化すべき弱点部分の洗い出し。

#### (4) 各段階の総合評価支援

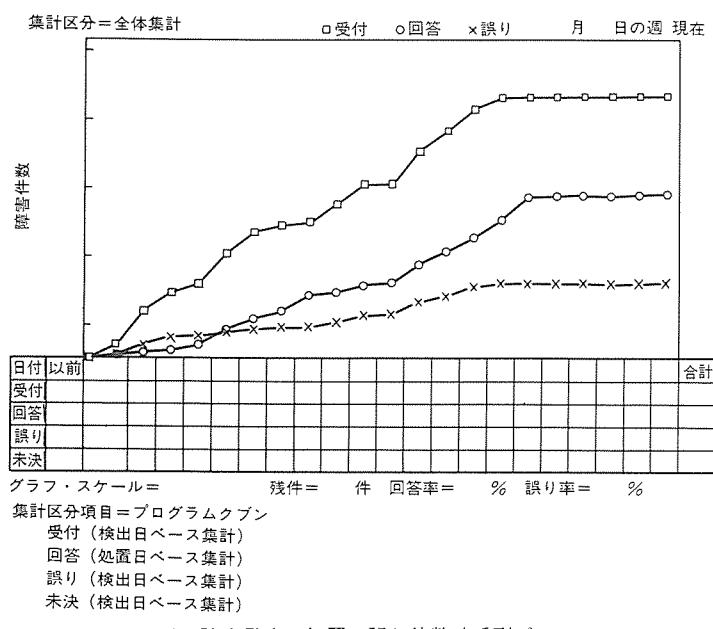
各段階の作業品質の分析・評価と作業改善点の検討・整理

の機能を実現している。SPARKSを活用することにより、個別生産プロジェクトの担当者は、障害1件1件の発生(照会)・処置(回答)情報をSPARKS運用管理者に提出しておこなうだけで、必要なときに必要な管理資料を得ることができる。

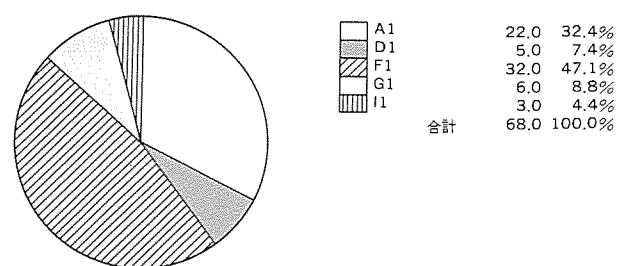
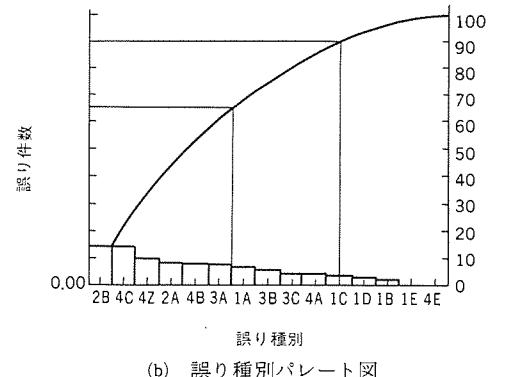
このシステムでは、各プロジェクトにおける障害管理の徹底と管理水準の適正化をねらいとし、障害管理レベルのメニューを3ランク用意しており、障害管理レベルに対応して標準的な管理資料を定めている。各プロジェクトでは、製品の規模、新規度、複雑度などを考慮し管理レベルを選択する。表5に障害管理レベルと標準的な管理資料の対応を、図6に障害処置管理支援・信頼性評価支援のための管理資料の例として“障害発生・処置、誤り件数時系列グラフ”，品質分析支援の例として“誤り種別パレート図”“障害現象区分円グラフ”を示す。

表5. 障害管理レベルと管理資料の対応

障害管理資料 レベル	障害管理機能			障害処置管理支援			信頼性評価支援			品質分析支援			各段階の総合評価支援		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1. 未処置障害一覧リスト	○	○	○										○	○	○
2. 障害発生・処置一覧リスト	○	○											○	○	○
3. 障害発生・処置 誤り件数時系列グラフ	○	○	○	○	○	○							○	○	○
4. プログラム別誤り一覧リスト		○											○	○	○
5. 障害原因区分パレート図		○													○
6. 障害処置区分パレート図		○													○
7. ゴンベルツ曲線グラフ				○	○								○	○	
8. 重大度別障害件数時系列グラフ				○	○								○	○	
9. 誤り存在部位別件数時系列グラフ				○									○		
10. 検出段階別誤り件数グラフ				○									○		
11. その他							○	○	○				○	○	



(a) 障害発生・処置、誤り件数時系列グラフ



(c) 障害現象区分円グラフ

図6. SPARKSの出力例

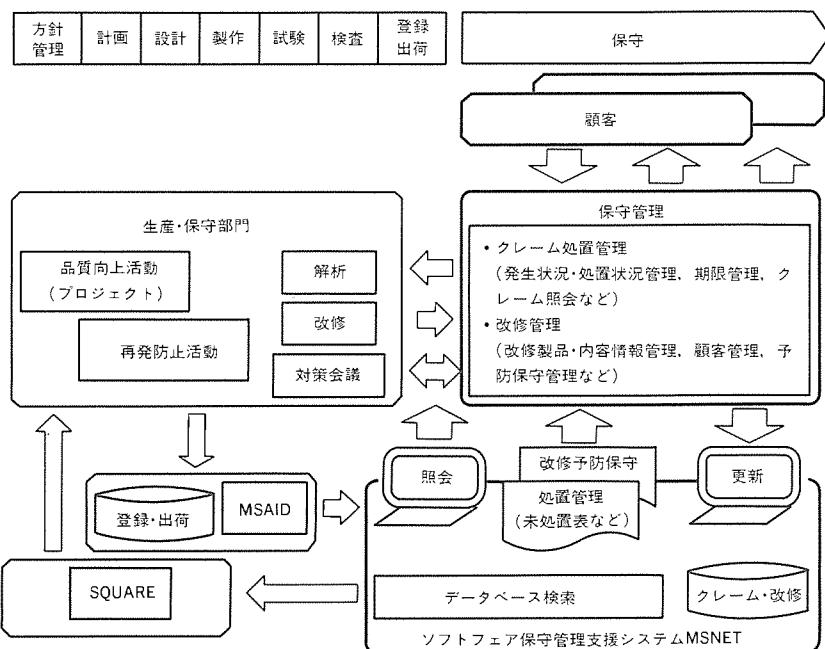


図7. MSNETの概要

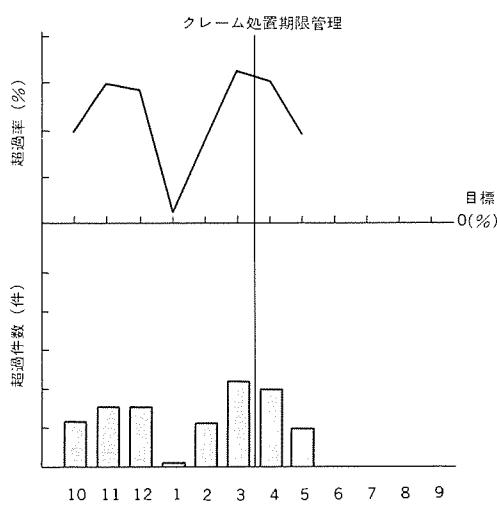


図8. MSNETの出力例

また、客先での運用試験などの事情でローカルな環境で障害管理をすることが必要な人のために、パソコン《MULTI 16》上の品質管理ツール“QUC”を用意している。

### 3.3 ソフトウェア保守管理支援システム “MSNET”

MSNETは、保守段階におけるクレームを漏れなく、早く、正確に処置するため図7に示すように、

#### (1) クレーム処置管理支援

クレーム発生状況の把握と、早期解決のための処置の推進。

#### (2) 改修履歴管理支援

構成管理の一環として製品の改修履歴の管理、予防保守の実施の機能を実現している。

フィールド管理部門は、MSNETを活用し、製品保守部門に対してクレームの通知、解析・処置の督促、クレーム処置期限・期間の目標管理、処置内容のチェック・改善、及び同種クレームの有無・処置内容などの照会に役立てている。MSNETの出力例を図8に示す。

## 4. む す び

以上、標準SQCPとソフトウェア品質管理支援システムについて紹介した。これらにより品質方針を関係者全員に認識させ、方針展開を徹底させる、いわゆる品質目標管理を徹底させるというねらいが達成でき、ソフトウェア製品の高品質化に役立っている。

今後は、標準SQCPを“誤りの早期発見”はもちろん、“誤りの入り込み低減”に重点をおき、生産技術標準、外注管理、生産設備・ツールを主な課題ととらえ、努力していきたいと考えている。

## 参 考 文 献

- (1) 中山・佐伯：ソフトウェア品質評価支援システム“SQUARE”，三菱電機技報，57, No.4, p.321 (昭58)
- (2) 桜井ほか：ソフトウェア品質管理標準要綱，三菱電機技報，58, No.6, p.399 (昭59)

# 通信ソフトウェア開発支援環境

水野忠則\* 中川路哲男\*\*  
宗森 純\* 佐藤文明\*\*  
勝山光太郎\*\*

## 1. まえがき

通信システムの規模の増大、サービスの多様化に伴って、通信ソフトウェアの開発コストも増加している。また、OSI(Open Systems Interconnection)の標準化の進展は、新たな通信システムの応用分野を拡大し、通信ソフトウェアの開発に拍車をかける傾向がある。そのため、通信システムの開発者には通信ソフトウェアの効率的な開発が求められている。

通信ソフトウェアは、基本的には汎用ソフトウェアと同一の性格を持っているが、次に示す特徴をもっている。

- (1) 異機種で並列的に同時に実装するため高い移植性が必要。
- (2) 高速な応答が要求されるため高い実行速度が必要。
- (3) 複数のプロセスを並列的に処理しなければならないため並列処理に強い記述言語が必要。
- (4) 物理的な通信媒体によって情報の送受を行って、媒体で異常事態が発生する可能性が高く静的な検証では不十分で動的な検証が必要。

これらの要求を満たす通信ソフトウェアを効率的に開発するため、筆者らは通信ソフトウェアの開発サイクル全体を対象とする開発支援環境をUNIX\*を搭載したエンジニアリング ワークステーション上で実現した。この開発支援環境では、通信ソフトウェアを体系的に支援するために、開発サイクルを、(1)設計、(2)製作、(3)試験設計及び(4)試験の4段階に分け、各段階において、SDLグラフィックエディタSGE、オブジェクト指向言語superC、試験系列生成ツールTENT及びセッションシミュレータSSIMを開発した。

以下、2章で通信ソフトウェアの体系的な開発支援環境の概要について述べる。3章ではこの開発支援環境が提供するツール群について紹介する。

注 \*印 UNIXは米国AT&Tベル研究所が開発したオペレーティングシステムです。

## 2. 開発支援環境

1章で述べた背景にもあるように、筆者らは通信ソフトウェアの

開発を、一つの体系的な目的を持った支援系の結合体によって行うこととした。そして、次のような基本的な目標を達成する環境を目指している。

- (1) 通信ソフトウェアの開発サイクルでの上流から下流までの全体の支援
- (2) 完全なソフトウェアの部品化、再利用
- (3) プログラミングの視覚化
- (4) 作業の自動化

以上の考え方に基づいて、通信ソフトウェアの開発を、図1のような手順で行う。まず、通信ソフトウェアの要求定義から詳細設計までの設計段階を経て、製作段階まで至る。それとともに試験設計を行う。そして、試験段階の後、運用保守段階となる。したがって、開発支援環境では、図1に示すように設計段階に対してはデータ通信システムのサービス機能を定義し、設計していく上で並列処理の記述に適したSDL(Specification and Description Language)<sup>(1)</sup>の編集を行うSDLグラフィックエディタ<sup>(2)</sup>による仕様記述の支援を行っている。そして製作の段階に対しては、通信ソフトウェアの効率的なプログラミングのためにC言語にオブジェクト指向をとりいれ、高い移植性と実行速度を考慮したオブジェクト指向プログラミング言語superCを用いる。試験設計段階に対しては、誤り検出能力が高い試験系列生成ツールTENTによって、テスト系列を自動的に生成し、試験効率を高めている。また、セッションシミュレータによってOSIセッション層以下の動的な模擬を行い、通信ソフトウェアのデバッギングや試験の支援を行っている。

## 3. 支援ツール

### 3.1 SDLグラフィックエディタSGE

通信システム向けの形式的仕様記述言語として、Estelle、LOTOS及びSDLが標準化されている<sup>(3)</sup>。ここでは、通信システムの記述に最も標準化が進み、また広く実際に使われているCCITT (International Telegraph and Telephone Consultation Committee)勧告のSDLを仕様記述言語に採用した。SDLグラフィックエディタSGE (SDL Graphic Editor)は、SDLを用いて通信システムの仕様記述を

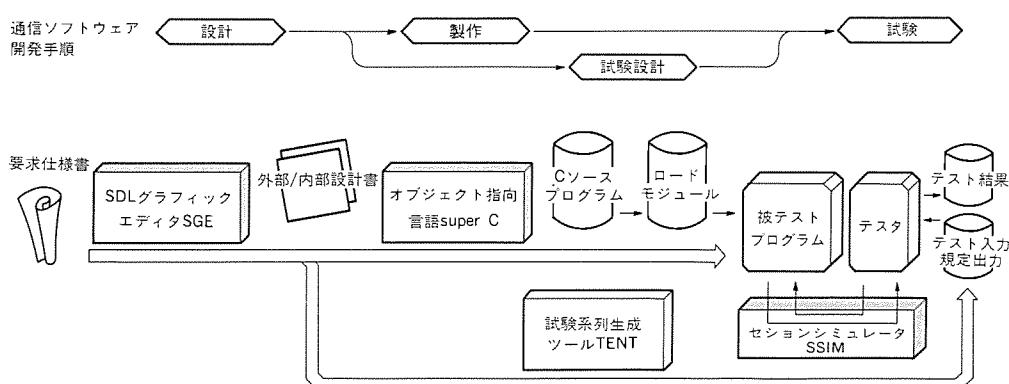


図1. 通信ソフトウェアの開発手順と支援体系

迅速でかつ正確に行うための図形エディタである。SGEは、仕様書の作成のために四つのフェーズから構成されている。入力、編集、チェック及び印刷フェーズである。SGEの主な特徴を以下に示す。

### 3.1.1 入力フェーズ

#### (1) SDL/GR及びSDL/PR入力方法

SGEはSDLの図式表現SDL/GRとテキスト表現SDL/PRを入力方法として備えている。SDL/GRとSDL/PRは、相互に変換が可能である。

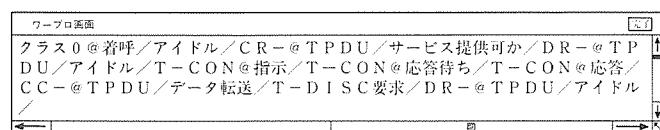
#### (2) SDL/GR補助入力方法

SDL/GR補助入力方法は発想の段階を支援し、プロセスグラフの記述を迅速にするものである。この方法の使用法は、日本語ワードプロセッサに類似しており、キーボードから入力された文章から図を直接作成する。具体的には図2(a)に示したようにキーボードから文字列を入力して、これをディスプレイに表示し、スラッシュによってその内容を分離する。文字列の編集が終わると図2(b)に示したように、各文字列は自動的にタスクシンボルに変換される。一つの文字列が一つのタスクシンボルにあたる。次に、タスクシンボルは適当な種類のシンボルに置き換えられ、SGEの編集機能を用いて図2(c)に示すように目的とするプロセスグラフを完成する。

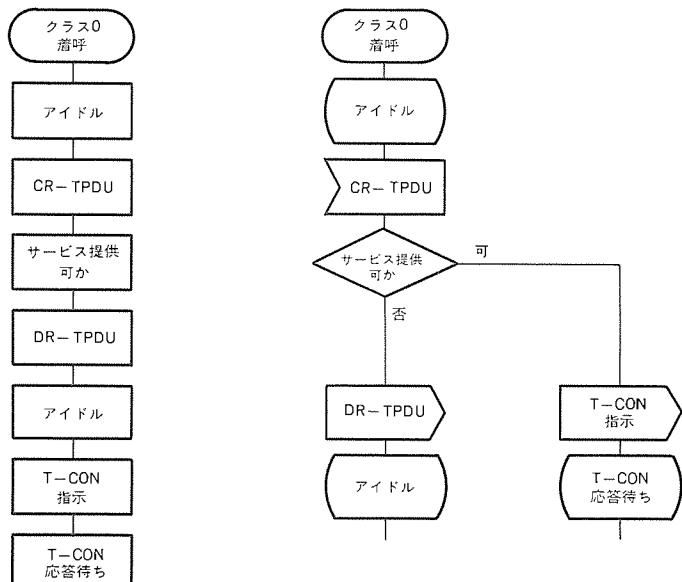
### 3.1.2 編集フェーズ

#### (1) ツリー図

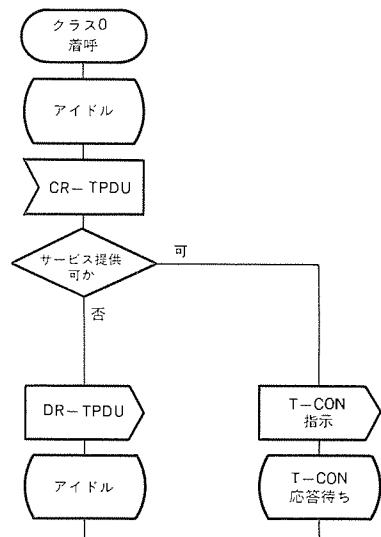
ツリー図はプロセスグラフの階層関係を表現する。ツリー図から直接プロセスグラフを編集できる。ツリー図に関してはCCITTは勧告していないが、視覚的に階層を表現するために採用した。ツリー



(a)



(b)



(c)

図2. SDL補助入力方法による入力手順の例

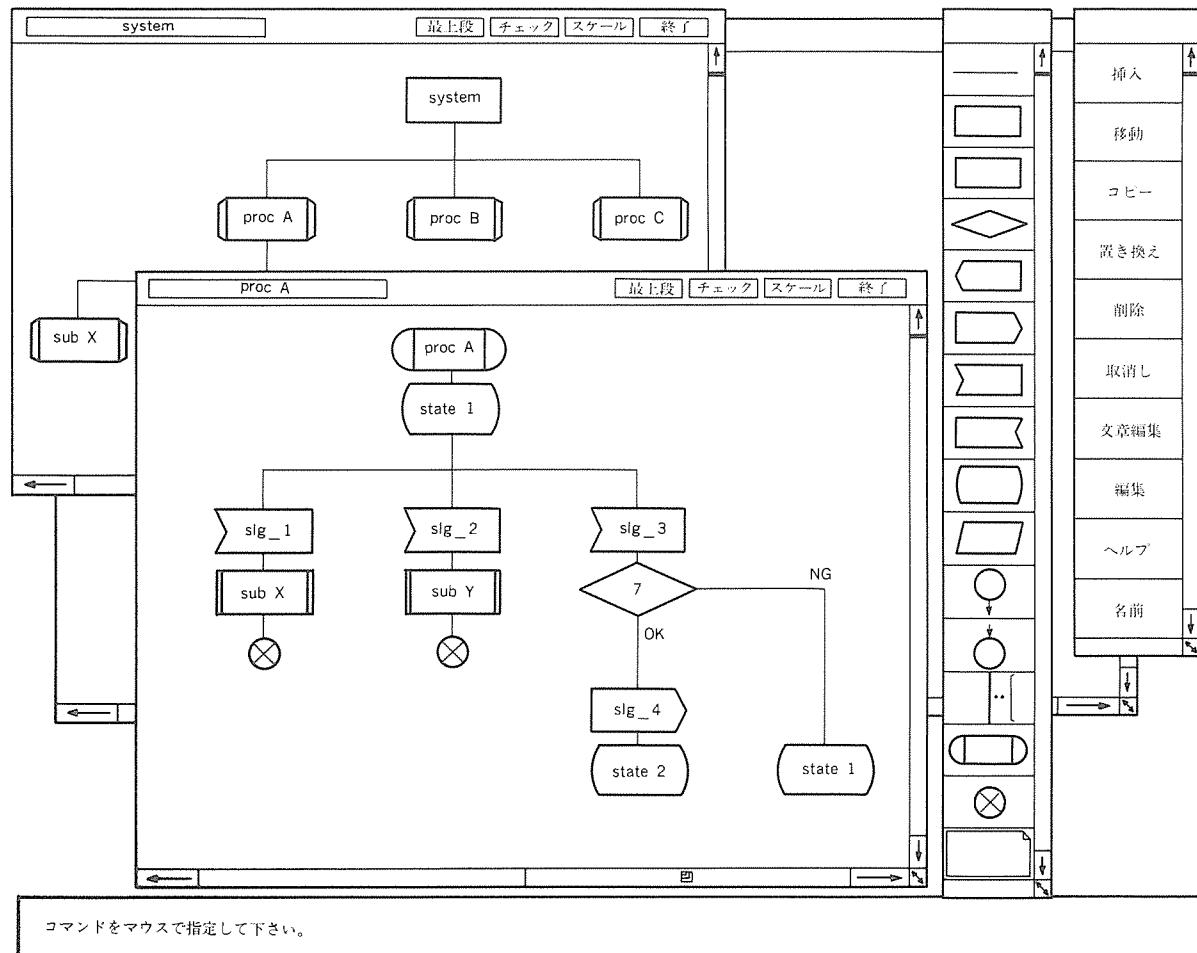


図3. ツリー図（後）とそれから呼び出されたプロセスグラフ（前）

図の例を図3に示す。

## (2) 格子画面

格子画面はSGEの実装を簡素化するために採用した。シンボルが削除若しくは追加されるとき、その下のすべてのシンボルは自動的に移動する。

### 3.1.3 チェックフェーズ

#### (1) 自動的な記述のチェック

シンボル間のチェックは、CCITT勧告に準拠して行われる。スクリーン上に誤ったシンボルが反転してエラーであることが表示される。

#### (2) 関連するプロセスグラフの同時表示

並列処理の記述において、入力シンボルとそれに対応する出力シンボルの欠落や同一プロセス内で呼び出されたプロセスグラフの論理的な誤りを見つけるために、複数のプロセスグラフを同時に表示することができる。

### 3.1.4 印刷フェーズ

印刷領域は自動若しくは手動で選ぶことができる。用紙の大きさは、A4、B4、若しくはA3が選べる。プロセスグラフが紙の大きさより大きい場合は自動的に分割し、指定の用紙に出力する。

## 3.2 オブジェクト指向言語superC

通信ソフトウェアのプログラミングを支援する言語として、superCとその処理系scを開発した。これは、システム記述について定評のあるプログラミング言語Cに対して、オブジェクト指向プログラミングの機能を拡張したものである。superCの特徴として次の点がある。

#### (1) 移植性

superCの処理系sc自体がC言語で記述してあるため、C言語のコンパイラが動作する環境であれば移植可能である。また、scのコンパイル出力も移植性の良いC言語となっている。

#### (2) C言語との融和性

superCでの文法規則がC言語との混合記述を許しているため、関数を使いたいときは、関数の定義をクラス定義と混合して使うことができる。

#### (3) オブジェクト指向性

superCのオブジェクトは、その内部状態に関する情報を外部にまったく見せないため、外部からオブジェクトに影響を与えるには“メッセージ”を送るという方法のみが有効である（情報隠ぺい）。

また、クラスの継承、メソッドの動的束縛（実行時にメッセージを送るべきメソッドを検索、決定する方法）といったオブジェクト指向言語の性質から、ソフトウェアの部品化、プロトタイピングなどの要求にもこたえることができる。

#### (4) 実行性能

superCによって記述されたプログラムは、scによってC言語へ変換されるため、C言語となった時点でプログラムの最適化が可能である。また、オブジェクト指向言語で特徴的なメソッドの動的束縛は、多くの場合実行性能の低下を招くが、superCではメソッドの束縛をコンパイル時に静的束縛をも支援しているため、実行性能を要求されているプログラムにも対応できる。superCのプログラム例を図4に示す。

## 3.3 試験系列生成ツールTENT

試験設計を担当するTENTは、TENTトランスレータと、TENTジェネレータからなる。入力として、SDL仕様か又は図5に示した

遷移表を簡単に記述するための簡易言語を使用できる。出力としては、試験のためのプロトコル系列を生成する。

以下、TENTトランスレータ及びTENTジェネレータの構成と機能について述べる。

#### (1) TENTトランスレータ

TENTトランスレータは、SDL又は状態遷移表から内部状態遷移ファイルへの変換を行う。SDLの表記においては、内部状態遷移ファイルに変換可能とするため、ループの表現などにおいて、幾つかの制約を設けている。

#### (2) TENTジェネレータ

TENTジェネレータは、トランスレータにより生成された内部状態遷移ファイルから、FSM(Finite State Machine)の同定方法を用いた四つの試験系列生成方法を使って、試験の目的に合った系列長、誤り検出能力をもつ試験系列を生成する。

四つの生成方法とは、Transition-Tour(TT)法、PW法、DS法及びSW法である。TT法は、4手法の中で最短の系列を生成するが、誤り検出能力がやや不足している。PW法、DS法及びSW法は、TT法よりは長い系列となるが、誤り検出能力が高い。

SW法は筆者らの提案している手法であり、試験系列の存在性が確保されている点と、系列長が短縮されている点に特徴がある。

## 3.4 セッションシミュレータSSIM

セッションシミュレータは、OSI参照モデルのセッション層のサービス機能を動的に模擬することにより、セッション層より上位の通信ソフトウェアの試験を支援するものである。図6にSSIMの表示例を示す。このセッションシミュレータは、次に示すような試験を支援する機能を持っている。

#### (1) トレースログ機能

```

1  reference           sampledb;      17
2  externclass         bClass;        18  main( )
3                                19  {
4  class    aClass      root   { int a; } 20      object   aObj;
5  {                           21      object   bObj;
6      method1(x)          22
7      int     x;           23      aObj = (object)aClass<new>;
8      {                     24      aObj-<method1: 10>;
9          a = a + x;       25
10     }                   26      bObj = (object)bClass<new>;
11     method2(y)          27      bClass::bObj-<bmethod>;
12     int     y;           28
13     {                     29      aObj-<purge>;
14         a = a - y;       30      bObj-<purge>;
15     }                   31
16 }
```

図4. super Cのプログラム例

状態\_1 :

（事象\_1、次状態、出力 [変数]）

（事象\_2、次状態、出力 [変数]）

⋮

（事象\_m、次状態、出力 [変数]）

⋮

状態\_n :

（事象\_1、次状態、出力 [変数]）

（事象\_2、次状態、出力 [変数]）

⋮

（事象\_m、次状態、出力 [変数]）

⋮

図5. TENT用簡易言語

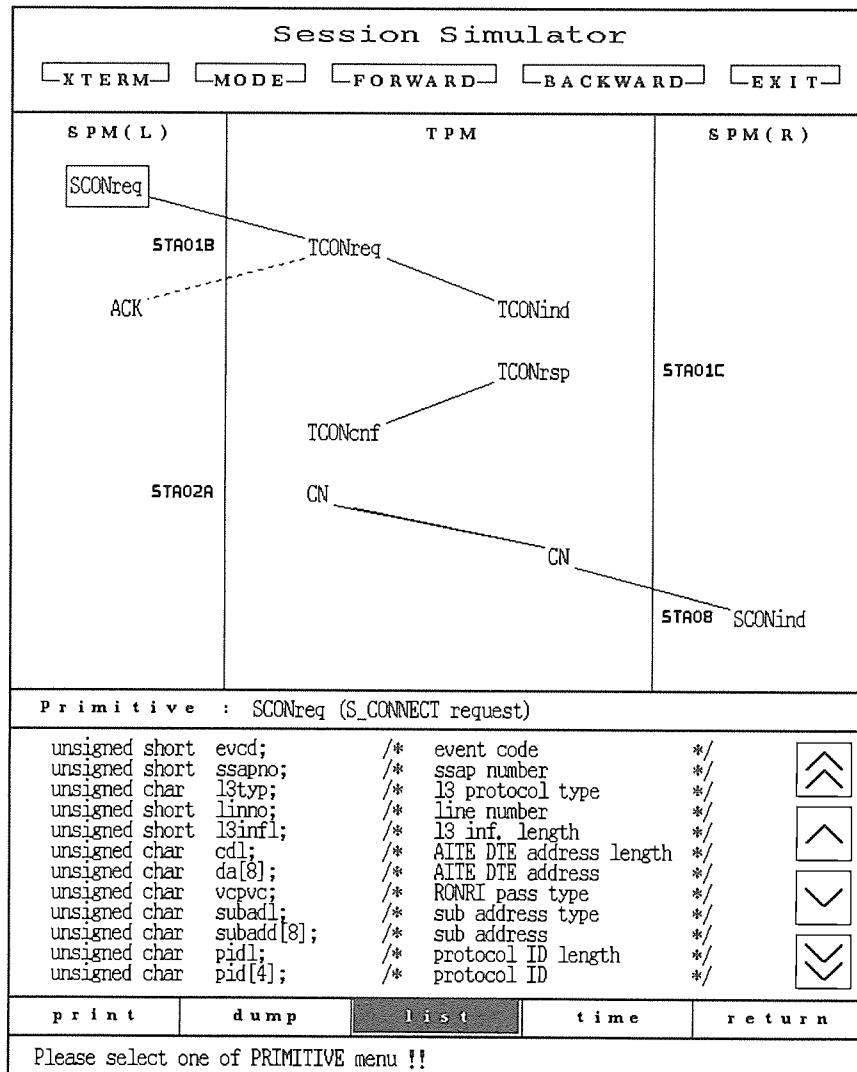


図6. SSIMの表示例

被試験プログラムとシミュレータとの間でやりとりされるデータをロギングする。

#### (2) 逐次、連続実行機能

逐次実行モードは、シミュレータのユーザーから入力を受けながらサービスプリミティブごとにパラメータ、データを確認しつつ、実行を行う。また、連続実行モードは、状態遷移表に従った一連の動作を行う。

#### (3) 異常シーケンス発生機能

同期点番号の異常やタイムアウト、トークン制御の異常などをシミュレートする。これによって、正常な受信データの場合のみならず、異常データ受信の場合の試験が可能となる。

#### (4) パスルーサービス機能

セッション層を素通りして直接データをそのまま相手のセッションユーザーに届ける機能を提供する。

#### (5) 機能単位の選択機能

セッション層がもつ機能単位のうち、どの機能を使うかあらかじめ選択し設定しておくことで、セッション層の幾つかのサブセットを設定できる。

#### 4. むすび

エンジニアリングワークステーションを用いた通信ソフトウェア開発支援環境について述べた。現在、この支援環境のツール群を用いて、OSIなどの通信ソフトウェアを実際に開発している。これらの開発において、SGE、superC、TENT、SSIMなどのツールを用いることにより、従来の人手中心の手法よりも通信ソフトウェアが効率的に開発できることが実証されている。今後は、この開発支援環境をより有効なものとするため、SGEでのウォークスルー機能、SDL/PRからsuperC若しくはC言語への自動変換、superCプログラミング環境の整備などの拡充が課題である。

#### 参考文献

- (1) CCITT: Specification and Description Language(1988)
- (2) 宗森、水野:SDLグラフィックエディタの設計と製作、情報処理学会誌, 29, No.7 (1988)
- (3) 水野:プロトコルの形式記述とコンフォーマンス試験、情報処理, 26, No.4 (1985)

# 知識処理のソフトウェア開発支援環境

平塚 尚\*  
秋田興一郎\*\*

## 1. まえがき

人工知能（AI）を追求する科学者及び技術者の熱意と探究心は、コンピュータを生み、情報処理の世界に新たな視点と価値を与えてきた。第二次大戦末期に、フォンノイマンがコンピュータのアーキテクチャを世に問うたときには、「機械による人間の知的能力の実現が可能になった」といわれた。しかし、そのとき、すでにフォンノイマン自身は、自らの発表したアーキテクチャの限界を感じ、新たな情報処理のアーキテクチャを探り始めていた。以来、より人間に近い情報処理への道が追究されてきているが、我が国の第五世代コンピュータプロジェクトも、その代表的な試みの一つである<sup>(1)</sup>。

より人間に近い情報処理へのアプローチの一つとして、“知識処理”という考え方方が登場してからまだ20年にならないが<sup>(2)</sup>、この論文では知識処理のソフトウェア開発支援環境（以下“開発支援環境”）について論ずる。まず、知識処理という新しいプログラミング方式の特質を明らかにし、知識処理の開発支援環境に対する要求条件を考察する。次に、これらの要求条件を満たす開発支援環境の具体的な事例として、当社の人工知能（AI）向けワークステーション《MELCOM PSI II》を取り上げ、その知識処理言語ESPと知識処理向けアーキテクチャの先進性を論じ、開発支援ツール類を紹介し、開発支援環境としての特長を幾つか述べる。

## 2. 知識処理のプログラミング方式

知識処理は新しいプログラミング方式（プログラミングパラダイム）である。この新しいプログラミング方式を、従来のプログラミング方式と比較してその特質を明らかにする。

### 2.1 新しいプログラム構造

プログラムは、いわゆるデータ部と処理部とに分けることができるが、従来型プログラムと新しいプログラム（この論文では“知識型プログラム”と呼ぶ。）とを図示するとそれぞれ図1のようになる<sup>(3)</sup>。

#### (1) 従来型プログラムの構造

従来型プログラムは、データ部と手続部とに分けられる。データ

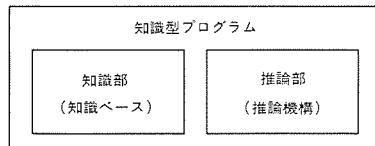
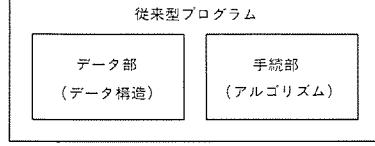


図1. 知識型プログラムの構造

部は、使用するたびに型（タイプ）を指定するデータ構造（データストラクチャ）を持ち、手続部は、詳細かつ複雑に入り組んだ処理手順（アルゴリズム）を持つ。

#### (2) 知識型プログラムの構造

知識型プログラムは、知識部と推論部とに分けることができる。知識部は、無機質（フラット）なデータとは異なり、事実とか規則といった知識を検索可能な知識ベースとして持ち、推論部は、例えば三段論法のような論理的な推論機構を持つ。

### 2.2 新しいプログラミング方式

従来型と知識型のプログラミング方式を比べると次のようになる<sup>(3)</sup>。

#### (1) 従来型のプログラミング方式

従来型のプログラミングでは、いわゆるデータ処理を主目的として、問題の解法を一点のあいまいさもなく、決定的な手続として詳細に記述しなければならなかった。したがって、得られる答の性格や目標はあらかじめ定まっており、新しい事実（解）の発見はなく、プログラムはプログラマの能力を越えることはできなかった。また、データは、実行時に手続によって指定され、選ばれ、解釈され、判定され、利用される、という意味で完全に手続に支配されていた（このあい路をフォンノイマンのボトルネックと呼ぶこともある。）。

こうしたプログラミング方式で解ける問題の種類や範囲は、人が日常処理している問題の種類や範囲に比べてはるかに少なく、また狭いことは、NP完全問題などを引き合いに出すまでもなく明らかである<sup>(1)</sup>。

#### (2) 知識型のプログラミング方式

知識型のプログラミングでは、推論機構は知識処理システム構築支援ツールや高位知識処理言語（例えばProlog）に組み込まれ内蔵されているので、プログラムは記述しなくてよい。もちろん、独自の推論機構を構築したい場合には、低位知識処理言語（例えばLISP）を用いて、プログラムが記述することもできる。知識型のプログラミングでは、したがって、エキスパートシステムのような応用システムの構築目的として知識ベースを構築すればよい。ここでは、むしろ知識の獲得が最大の課題となる（このあい路をファインバウムのボトルネックと呼ぶこともある。）。

言い換えると、プログラムは詳細かつ複雑な手続を書く必要はなく、経験的知識や事実を宣言的に書き下していくだけでよい。問題の解法とその詳細手順（アルゴリズム）が分からなくとも、知識に基づいて推論を繰り返せば問題が解け、答が得られるからである。さらに、従来型と異なり、目標がない場合の問題解決も可能であり、思わず新しい事実（解）の発見を期待することもできる。この意味で、プログラムがプログラマの能力を越えることができる。このことは、しかし、逆にプログラムの動作を不透明にし、プログラムの開発・検証を困難にする。したがって、知識処理においては、ソフトウェアの開発支援環境が従来にも増して重要となる。

### 3. 知識処理の開発支援環境

知識処理のプログラミング方式の特質を前提に、知識型プログラムの開発手順の特長を整理し、知識処理の開発支援環境に対する要求条件を考察する。

#### 3.1 知識型プログラムの開発手順

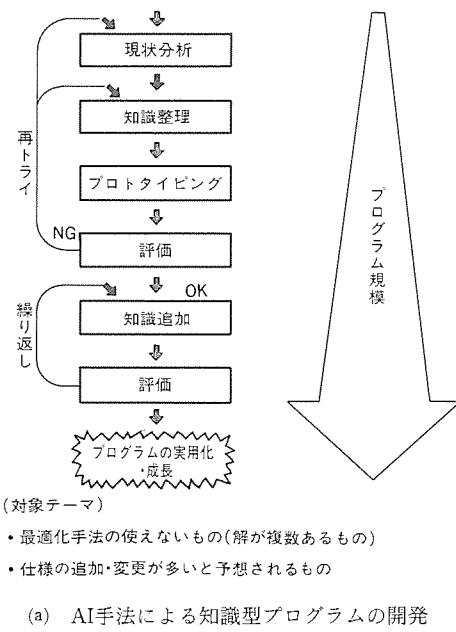
知識型プログラムの開発手順を、従来型の標準的プログラムの開発手順と比べると図2のようになる。

##### (1) 従来型プログラムの開発手順

前述したように、仕様の明確なものを対象としており、設計時にあいまいさを残すことなく仕様が定まり、この仕様に従って製作・試験・評価を逐次的に実施していく。プログラム規模は設計時に定まり、設計の変更がない限り規模の変動はない。

##### (2) 知識型プログラムの開発手順

前述したように、仕様があいまいでアルゴリズムが非決定的であり、プログラムの変更・追加が多く発生するため、プロトタイピング方式による試行錯誤的開発手法が有効である。プログラムの開発



(a) AI手法による知識型プログラムの開発

億を消費するため、動的型判定機構や、動的大容量主記憶管理機構などもアーキテクチャに求められることになる。

##### (3) 知識型プログラムの試行・修正のために

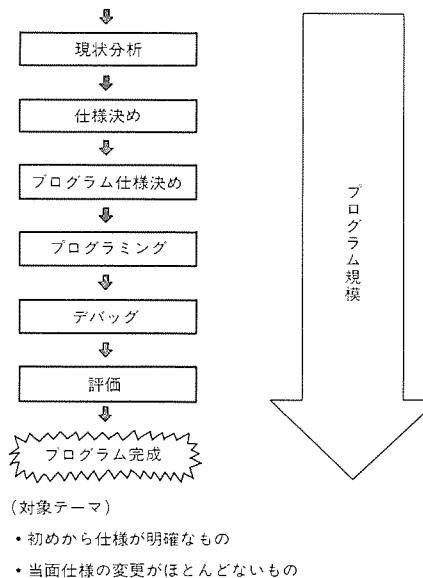
推論の実行制御は複雑であるため、実行時の振る舞いや内部状態の変化も複雑である。これらをプログラムが分かりやすく見たり操作したりすることができるような開発支援ツール類もまた必要不可欠である。そのような開発支援ツール類として、例えばエディタ、プログラム管理ライブラリ、デバッガなどがある。

### 4. 知識処理開発支援環境《MELCOM PSI II》

前述の諸条件を満たす知識処理開発支援環境の事例として、当社の人工知能（AI）向けワークステーション《MELCOM PSI II》を取り上げ、その構成を図示すると図4のようになる。

##### (1) 知識型プログラムの記述のために

まず、知識処理言語としては、Prologを拡張したESPを持ち、また、知識処理システム構築支援ツールとしてEXTKERNELやAcekitを持っている。



(b) 従来の標準的プログラムの開発

途上、スマールスタートで追加・変更を重ねていく結果、プログラム規模は開発の進展とともに成長・拡大していく。

#### 3.2 開発支援環境に対する要求条件

コンピュータで問題を解決するためには、その問題をプログラムとして記述することができ、そのプログラムを実用上十分短い時間内に実行できることが必要である。知識処理の開発支援環境としても、これらの条件を満たすために、図3に示す各要素が必要である。

##### (1) 知識型プログラムの記述のために

まず、知識ベースや推論機構を記述することができる言語（例えばLISP, Prolog, ESPなど）が必要である。実際的には、知識型プログラムの記述を容易にするために、より高位の記述能力を持つ、知識処理システム構築支援ツールが必要不可欠であろう。

##### (2) 知識型プログラムの高速実行のために

上述したように、知識型プログラムの開発には試行錯誤を繰り返すため、高速実行のアーキテクチャが必要である。また、“記号”という動的に型や大きさが変化するデータを取り扱い、大容量の主記

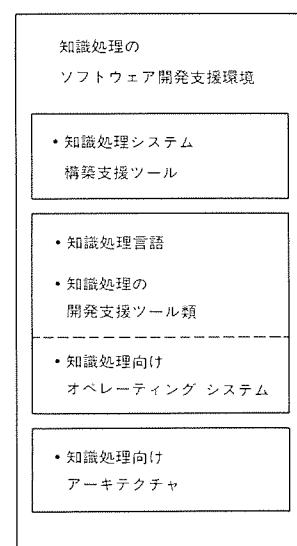


図3. 知識処理のソフトウェア開発支援環境

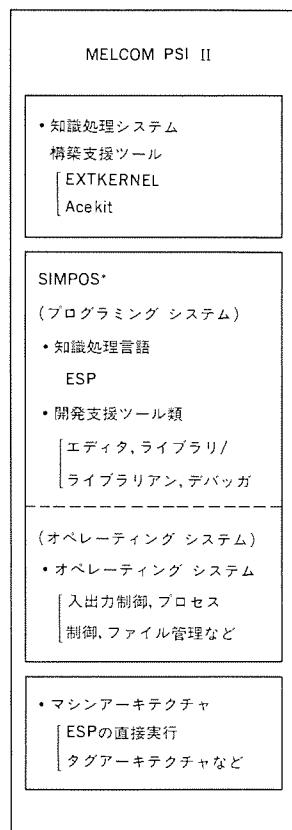
## (2) 知識型プログラムの高速実行のために

知識処理向けの専用のマシンアーキテクチャを持っている。

## (3) 知識型プログラムの試行・修正のために

エディタ、プログラム管理ライブラリ、デバッガなどの開発支援ツール類を持っている。また、知識処理向けのオペレーティングシステムも、プログラムの試行・修正のために各種の機能を提供する。

図4において、プログラミングシステム(言語、開発支援ツール



\* Sequential  
Inference Machine  
Programming and  
Operating System

図4. 開発支援環境《MELCOM PSI II》の構成

類)とオペレーティングシステム(制御プログラム類)とを合わせた部分をSIMPOS (Sequential Inference Machine Programming and Operating System)と呼ぶ。《MELCOM PSI II》では、主にこのSIMPOSの各種プログラム類が、統合的な知識処理開発支援環境を構築している<sup>(4)</sup>。

## 5. 《MELCOM PSI II》の言語とアーキテクチャ

知識処理の開発支援環境である《MELCOM PSI II》の、知識処理言語ESPと、知識処理向けのアーキテクチャの先進性について論ずる。

5.1 知識処理言語ESP<sup>(5)(6)</sup>

知識処理言語ESP (Extended Self-contained Prolog) の成り立ちは図5に示すとおりである。

まず、推論を一階述語論理で記述することができる言語としてPrologがよく知られている。しかし、Prologにはモジュール化の機能がなく、大規模プログラムの記述に適さない。また、知識ベースの記述には、知識を再利用可能な形に整理し、体系化できることが求められる。このような、プログラム及び知識のモジュール化、体系化に適した考え方方にオブジェクト指向方式がある。オブジェクト指向方式によれば、プログラムであれ知識であれ、概念の階層構造化や、オブジェクトというモジュール間の性質の継承が容易となる。

Prologを拡張してオブジェクト指向機能を組み込んだ言語がESPである。ESPは、したがって、述語論理に基づいて推論を記述

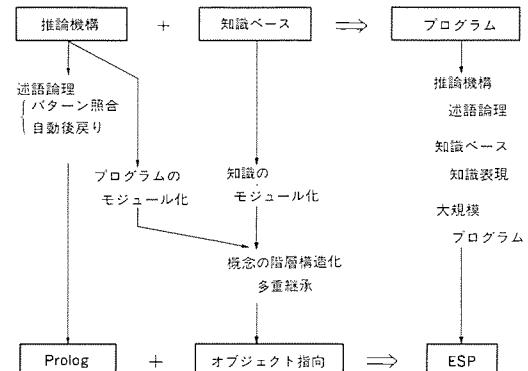


図5. 知識処理言語ESP

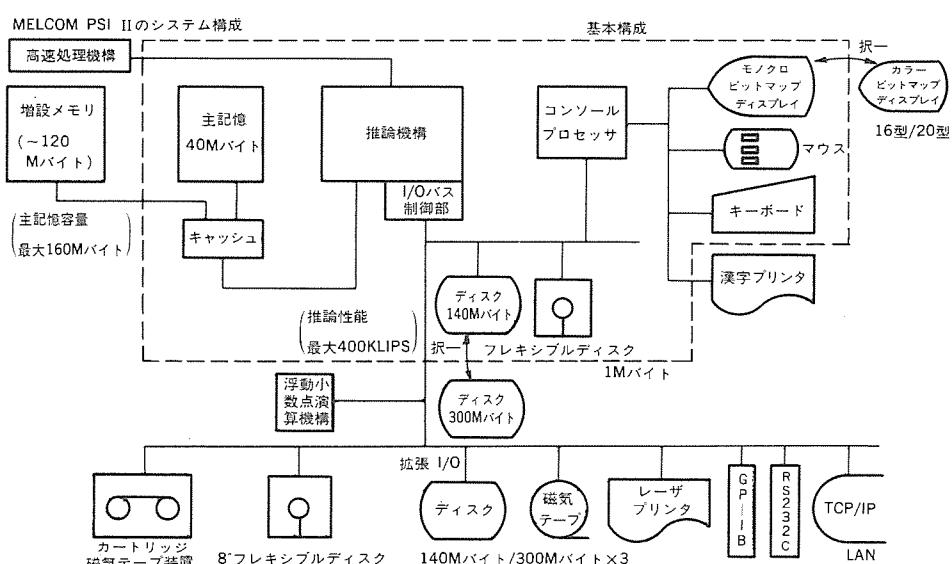


図6. 《MELCOM PSI II》のハードウェア構成

することができ、大規模なプログラムを構築することができ、さらに大量の知識を体系的に記述することができる。ESPは、新しいプログラミング方式を具現する、高機能の知識処理言語である。

従来、ESPは《MELCOM PSIシリーズ》の上でしか動かなかつた。しかし、昭和63年3月に設立された(株)AI言語研究所(AIR)では、ESPを汎用機上に搭載し、高度化し標準化して“Common ESP”を作ることを目標としている。ESPが《MELCOM PSI》以外の機種、例えばUNIXマシンの上で動く日が来るのも遠くないと期待される。

### 5.2 知識処理向けアーキテクチャ<sup>(7)(8)</sup>

《MELCOM PSI II》は、これまでに述べてきたような特質を持つ知識型プログラムの高速実行を可能にするために、ハードウェア(及びファームウェア)のレベルで、次のようなアーキテクチャを実現している。

#### (1) 知識処理言語ESPの直接実行

知識処理言語ESPを直接実行する高位言語マシンである。そのために、パターン照合機構(ユニフィケーション)、自動後戻り機構(バックトラッキング)、オブジェクト間通信機構(メッセージパッシング)などの諸機構を装備している。

#### (2) 動的データ型判定機構(タグアーキテクチャ)

タグアーキテクチャによる動的データ型判定と、その結果に基づく動的処理内容選定機構などの諸機構を備えている。

#### (3) 大容量主記憶管理機構

大容量主記憶(最大160Mバイト)を実装することができ、これを動的に割り付けたり、スタックなどの構造体を管理したりする機構を持つ。

#### (4) 主記憶ごみ集め機構(ガーベジコレクション)

主記憶に累積したごみを収集し、再利用可能とする機構を持つ。

《MELCOM PSI II》のハードウェアの構成を図6に示す。主記憶容量は最大160Mバイト、推論性能は最大400KLIPS(単位時間当たりの論理推論回数)である。

## 6. 《MELCOM PSI II》の開発支援ツール類

知識処理の開発支援環境である《MELCOM PSI II》におけるESPプログラムの開発手順と、この開発を支援する各種のツール類について述べる。

### 6.1 ESPプログラムの開発手順

ESPプログラムの開発手順を図示すると図7のようになる。図に現れるモジュール類及び開発支援ツール類を、従来型のものとそれ対応させるとほぼ表1のようになる(ただし、これらは完全に1対1に対応するわけではなく、大略の対応である。)。

プログラムは、まずエディタを利用してクラスソース(ソースモジュール)を入力し、次にライブラリアンを利用してこれを翻訳し、登録する。ライブラリアンは、内部的にコンパイラーを呼び出し、コンパイラーはクラスソースを翻訳してクラステンプレート(オブジェクトモジュール)とする。ライブラリアンは、次にオブジェクトコンポーザ(リンクエディタ)を呼び出し、プログラムベースを参照してクラス間の継承関係を解決しつつ、クラステンプレートをクラスオブジェクト(ロードモジュール)とする。ライブラリは、クラスソース及びクラステンプレートをプログラムベース上に登録し、一元的に管理する。

プログラムは、デバッガ/インスペクタを利用して、複数クラス

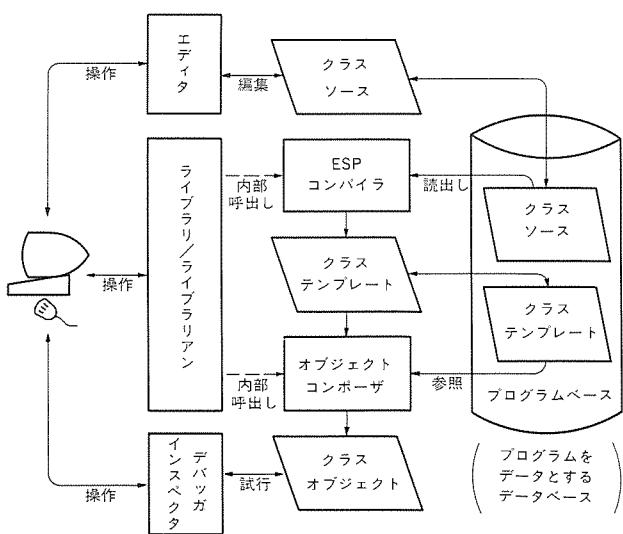


図7. ESPプログラムの開発手順

表1. ESPプログラムと従来型プログラムとの対応

ESPプログラム		従来型プログラム
モジュール類	クラス	モジュール
クラスソース	ソースモジュール	オブジェクトモジュール
クラステンプレート	オブジェクトモジュール	ロードモジュール
クラスオブジェクト	インスペクタ	エディタ
開発支援ツール類	ライブラリ/ライブラリアン	(ソースコード管理システムなどに一部機能あり)
	コンパイラー	コンパイラー
	オブジェクトコンポーザ	リンクエディタ
	デバッガ	デバッガ
	インスペクタ	(デバッガに一部機能あり)

群から成るESPプログラムの試験実行を行う。バグがあれば先頭に戻って問題のクラスソースを修正し、これをインクリメンタルコンパイルして上記の手順を繰り返す。バグがなくなった時点でプログラムは完成ということになる。

### 6.2 ESPの開発支援ツール類

《MELCOM PSI II》の利用者は、上記の開発支援ツール類を、ビットマップ表示装置上のマルチウインドウに同時に表示し、同時に実行することができる。その様子を図示すると図8のようになる。スクリーン上に同時に表示したウインドウ間でのデータの受け渡しを行うために、“ホワイトボード”的機能も用意されている。すなわち、開発支援ツール類の間に相互に有機的な関連を持たせながら、並行して実行することができる。これらの開発支援ツール類の主な機能について以下に簡単に述べる。

#### (1) エディタPmacs

Pmacsはスクリーン上で対話型に入力・編集を行うことができるエディタである。主記憶上に複数のテキストバッファを持ち、そのバッファの個数分だけ別々のファイルを同時に編集することができる。また、テキストバッファはプロセス間で共用が可能であり、例えばエディタとデバッガ(後述)の間でプログラムやデータをやりとりすることができ、デバッガにも大いに力を発揮する。

#### (2) ライブラリ/ライブラリアン

ライブラリ/ライブラリアンは、SIMPOSの下のすべてのプログラムをプログラムベースとして管理するプログラム管理サブシステムであり、前述の機能を含めて次のような諸機能を持つ。

##### (a) クラス間の継承関係を解決する。

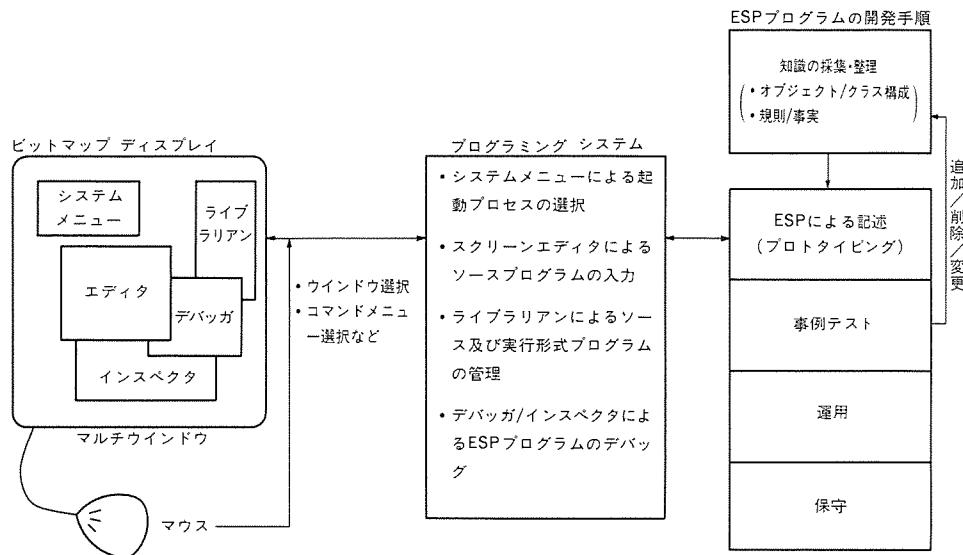


図8.《MELCOM PSI II》の開発支援ツール類

- (b) インクリメンタル コンパイルを行うことができる。すなわち、プログラムは変更が必要なクラスだけを修正してプログラムベースを更新すればよい。
- (c) クラスの動的呼出しができる。すなわち、メッセージパッシングによりクラスが動的に呼び出され、結合され、実行される。
- (d) シンボリックデバッグを可能にするシンボル管理を行う。
- (3) デバッガ／インスペクタ
- (a) デバッガは、ESPの述語単位での実行のトレース、中断／再開、後戻り／再実行、変数の表示／変更、などの機能を提供し、複雑な実行の試行・デバッグを支援する。
- (b) インスペクタは、“クラス”的な内部状態を分かりやすく表示したり、変更したりする機能を持つ。また、“記号”的なサイズや値、あるいはヒープ、スタック、ストリングといった“構造体”的な動的な構造やその内容、などを分かりやすく表示したり、値を変更したりする機能を提供し、プログラムのデバッグを支援する。

## 7. 《MELCOM PSI II》のその他の特長

知識処理の開発支援環境として《MELCOM PSI II》は、知識処理システム構築支援ツール類を持つなど、幾つかの特長を持っており、以下にこれらについて簡単に述べる。

### 7.1 知識処理システム構築支援ツール類

知識処理システム構築支援ツール類としてEXTKERNELとAcekitを取り上げ、それらの特長をそれぞれ簡単に記す。

#### (1) EXTKERNELシリーズ

エキスパートシステム構築支援ツールであるEXTKERNELは、図9に示すように3機種に搭載され、機種間で知識ベースを共用しやすくするよう、機種間共通インターフェースの一端を担っている。 $\mu$ -EXTKERNELとEXTKERNEL-Rの機能は、基本的にEXTKERNEL IIのサブセットになっている。これら三つのEXTKERNELの機能の比較をまとめると表2のようになる。

#### (2) Acekit

Acekitは、スプレッドシートに知識処理を適用し、知的にしたツールである。Acekitでは、図10に示すように、すべての知識を「階層的に構造化された表」と「その表の中の項目間に成立する関係」

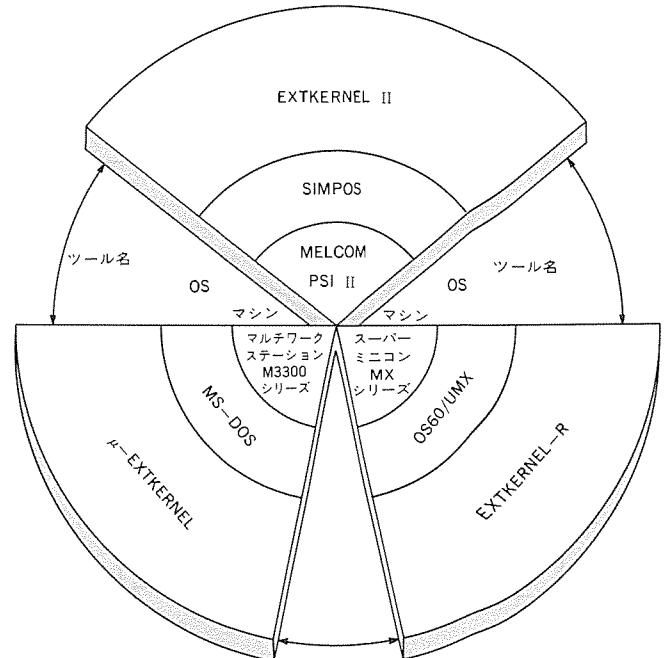


図9. EXTKERNELシリーズ

として表現する。項目間の関係は数式でも規則でもよい。知識を表という単位で扱い、問題解決機構を表操作の中に組み込む。図10の例では、各表を部品とした部分問題の解決を、part-of関係の階層構造を介して全体問題の解決へとリンクしている。

### 7.2 開発支援環境と実行運用環境

さらに、その他の特長の中から、開発支援環境と実行運用環境との連携(繋)、及び知識処理と従来の情報処理との融合について簡単に述べる。

#### (1) 開発支援環境と実行運用環境との連繋

《MELCOM PSI II》は、それ自身が開発支援環境にも実行運用環境にもなる。さらに、例えば《MELCOM PSI II》上で開発したESPプログラムをPrologプログラムに変換して他機種の実行運用環境に移行するなど、各種の連繋手段を持つ。

#### (2) 従来の情報処理との融合

《MELCOM PSI II》からは、いろいろな経路を通じて既存の情報処理の世界にアクセスすることができる。

表2. EXTKERNELシリーズの機能比較

1 全体 <EXTKERNEL II> <EXTKERNEL-R> < $\mu$ -EXTKERNEL>			
(1)コンピュータ	PSI	M X	MWS
(2)ルール・セット	メタルール : 1 個 前向きルールセット : n 個 後ろ向きルールセット : 1 個	メタルール : 1 個 前向きルールセット : n 個 後ろ向きルールセット : 1 個	メタルール : 1 個 前向きルールセット : n 個 後ろ向きルールセット : 0 個
(3)衝突ルール解消	優先順 最新WAE ユーザー指定 ユーザー定義(ESP呼び出し)	優先順 最新WAE ユーザー指定 ユーザー定義(Prolog呼び出し)	優先順 ユーザー指定
(4)外部関数	ESP	Prolog (Prolog 経由 FORTRAN,C)	C
(5)スキーマ	あり	なし	あり(CWAEに対しては必ず定義要/デーモン, ルール継承なし)
(6)事実データベース	あり (スキーマ同等機能含む)	あり (FACTを入れるのみ)	あり (スキーマ同等機能含む)
2 マンマシン インタフェース <EXTKERNEL II> <EXTKERNEL-R> < $\mu$ -EXTKERNEL>			
(1)ルールエディタ	汎用エディタを利用	汎用エディタを利用	汎用エディタを利用
(2)スキーマエディタ	あり(テキスト入力でも可)	なし	なし(テキスト入力)
(3)実行形式変換	メニュー方式	コマンド方式	コマンド方式
(4)実行時サポート (デバッグ機能)	実行モード (ノーマル/ステップ/スパイ) トレース (適用ルール名/作業領域 /衝突ルール) 状態変更 (バックトラック/クリア) 作業領域変更 (追加/削除) 推論過程木	実行モード (ノーマル/ステップ/スパイ) トレース (適用ルール名/作業領域 /衝突ルール) 作業領域変更 (追加/削除)	実行モード (ノーマル/ステップ/スパイ) トレース (適用ルール名/作業領域)

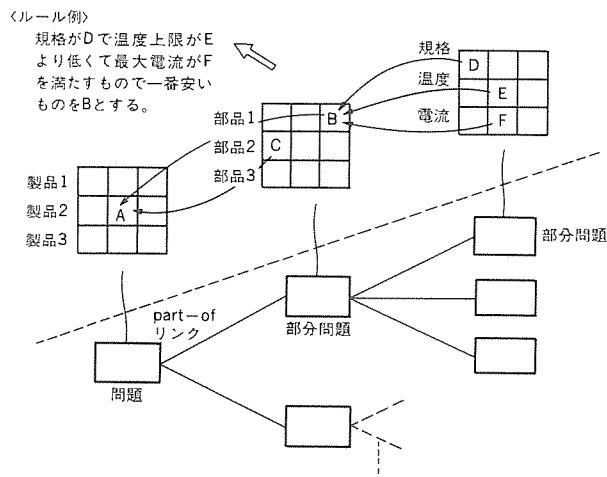


図10. Acekitにおける知識と問題の階層構造

- (a) 通信：世界的な事実上の標準であるTCP/IP (LAN), GPIB, SCSI, 回線接続,などを通じて既存の世界にアクセスすることができる。
- (b) 機種間インタオペラビリティ：前述のEXTKERNELのほかに、言語Prologをも《MELCOM PSI II》を含む複数の機種に搭載し、知識ベースや知識型プログラムの移行性を高めるべく、機種間共通インターフェースを整備しつつある。

## 8. むすび

以上、知識処理の特質とそのソフトウェア開発支援環境について述べてきた。知識処理のソフトウェア開発支援環境の具体的な事例として当社の人工知能(AI)向けワークステーション《MELCOM PSI II》を取り上げ、その知識処理言語ESP及び知識処理向けアーキテクチャの先進性を論じ、開発支援ツール類を概観し、ソフトウェア開発支援環境としての特長を幾つか紹介した。

今後の課題として次のような点が考えられる。

- (1) 従来型のソフトウェア開発支援環境への知識処理の活用  
従来型情報処理の「ソフトウェア危機」への対策の一つとして知識処理を活用する(例えばプログラムの自動合成など)。
- (2) 知識処理のソフトウェア開発支援環境への知識処理の活用  
知識処理のソフトウェア開発支援環境そのものを知的にするために知識処理を活用する(例えば学習による知識獲得の活用など)。  
筆者らは、知識処理と従来の情報処理との融合を目指して、当社の研究所群と協調しつつこれらの諸課題に取り組んでいく考えである。  
なお、《MELCOM PSI II》とその関連製品の一部は、(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)の研究成果を当社が製品化したものである。

## 参考文献

- (1) 渕、廣瀬：第五世代コンピュータの計画、海鳴社、(昭59)
- (2) E.A.Feigenbaum : The Art of Artificial Intelligence—Themes and Case Studies of Knowledge Engineering, Proc. IJCAI-77 (1977)
- (3) 上野：知識工学入門、オーム社 (昭60)
- (4) 高木ほか：SIMPOSのプログラミング環境、情報処理学会、オペレーティング・システム研究会資料、27-2 (昭60)
- (5) T. Chikayama : ESP Reference Manual, ICOT Technical Report, TR-044 (1984)
- (6) T. Chikayama : Unique Features of ESP, Proc. FGCS'84, p.292 (1984)
- (7) 京ほか：LSI化高性能AIワークステーション《MELCOM PSI II》、三菱電機技報、62, No.2 (昭63)
- (8) T.Ueda et al. : The MELCOM PSI II Workstation, Mitsubishi Electric ADVANCE, 41 (1987)

# 光LANを用いた変電所全デジタル保護制御システム

大橋信富美\* 鈴木 守\* 前田隆文\* 吉田敬史\*\* 柳瀬秀史\*\* 安斎俊夫\*\*

## 1. まえがき

変電所の保護・制御システムは、従来から高性能、高信頼性が要求されていたが、近年これらに対する要求が、より一層高度なものになってきた。

東京電力㈱では、1980年の従来型アナログリレーと一対一で置き換わる事故除去専用型のデジタルリレーの適用を始めとして、今日では、高性能化、低消費・高信頼度デジタルリレーの標準化、本格適用を進めているが、リレー装置数の増加・多様化、装置間接続ケーブルの増大・ふくそう（輻輳）化などにより、工事・運転・保守面の複雑さが増大して、より合理的なシステム構築が望まれるようになってきた。また、監視制御面では、集中・遠方制御機能の向上、系統総合自動化の推進、更には運転・保守のより高度化のため、設備監視機能の向上などの観点から、監視制御システムを統合したデジタル化の必要性が生じてきている。

このため、光LAN（Local Area Network）の適用と、保護・制御装置の屋外開閉機器近傍への分散配置による、全デジタル保護制御システムを、東京電力㈱と3メーカー共同で、1984年から開発着手し、装置試作・機能検証試験段階まで行い、実用化に向け推進中である。

以下、このシステムの概要と適用技術について述べる。

## 2. システム概要

### 2.1 システム構成

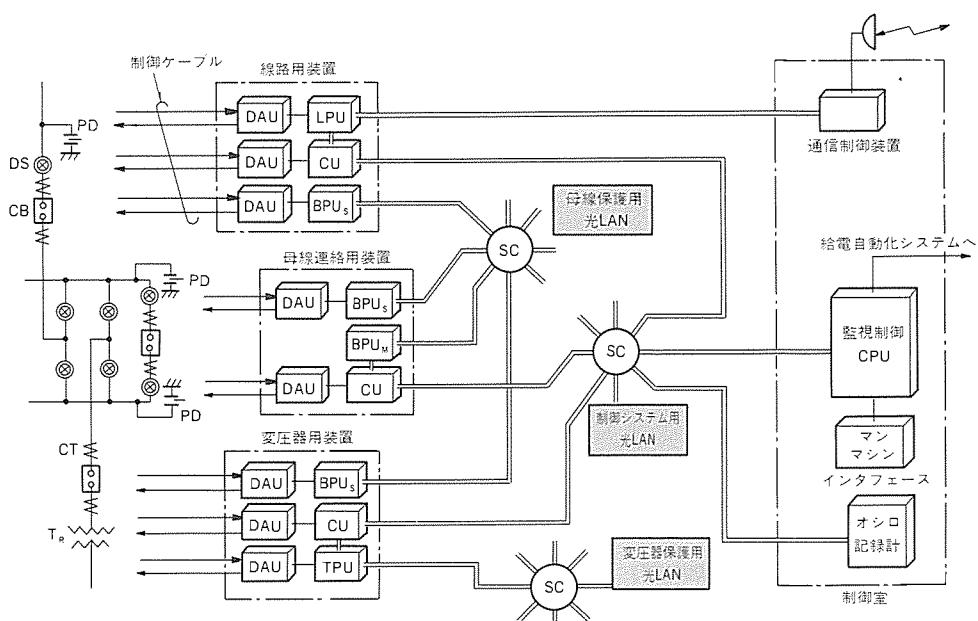
システム全体の構成を図1に示す。なお、このシステムは完全2系列であり、図では1系列のみを示す。このシステムは、送電線、母線、変圧器などの現場機器近傍に、設備別に端末装置を設置し、制御室に監視制御用CPU、非常用監視装置、オシロ記録装置などを設置した分散配置となっており、母線保護システムや制御システムなどの機能ごとに独立したスター型のLANで結合する構成となっている。各端末装置には、保護ユニット、制御ユニット、入出力ユニットをそれぞれ収納している。スター形のLANは、信頼性・運用性・保守性の面で変電所構内の情報伝送に適している。

システムの構築にあたっては、次の事項を基本としている。

- (1) 屋外設置に伴う、サージ・ノイズ・環境対策の徹底実施と、装

表1. システム各部の機能

項目	機能
監視制御用CPU	<ul style="list-style-type: none"><li>状態監視 主回路開閉状態、母線電圧、潮流(I, P, Q)、保護リレー動作、設備異常</li><li>シーケンス制御</li><li>機器操作（主回路機器、補機など）指令</li><li>VQ制御</li><li>保護リレー等の使用、ロック（中継）</li><li>保護リレー整定、VQプログラム設定（中継）</li><li>故障点標定記録</li></ul>
自動オシロ	<ul style="list-style-type: none"><li>自動オシロ（出力）</li><li>記憶部制御（起動、停止）</li></ul>
非常用監視制御装置	<ul style="list-style-type: none"><li>状態監視</li><li>機器操作指令</li><li>保護リレー等の使用、ロック</li></ul>
分散型保護装置	<ul style="list-style-type: none"><li>送電線、母線、機器の保護（AD変換、事故検出、再閉路）</li><li>保護リレーの自動監視（常時監視自動点検）</li><li>保護リレー整定</li><li>保護リレー使用、ロック</li><li>保護リレートリップロック</li><li>故障点標定</li></ul>
分散型制御装置（制御端末）	<ul style="list-style-type: none"><li>計測データ作成（AD変換、I, V実効値、P, Q, f演算）</li><li>同期検定</li><li>自動オシロ（データ記憶）</li><li>データの編集、伝送制御</li><li>機器操作</li><li>保護リレー等の使用、ロック（中継）</li><li>母線無電圧検出</li><li>線路無電圧検出</li><li>欠相検出（母線）</li><li>LS/ESインタロック（ソフトにて作成）</li></ul>



SC: スターカプラ（光LAN結合器）、DAU: データ取得部、CU: 制御ユニット、LPU: 線路保護ユニット、TPU: 変圧器保護ユニット、BPU<sub>M</sub>: 母線保護ユニット（主装置）、BPU<sub>S</sub>: 母線保護ユニット（端末装置）

図1. システム構成

## 置間情報伝送の光化による通信線サージ・ノイズの遮断

- (2) システム完全2系列化による故障発生時の機能喪失防止
- (3) 保護リレーと監視制御システムの分離、及び保護リレーの機能別分離・独立設置によるシステム故障時の運用性確保と光伝送系の伝送効率向上

### 2.2 システム機能

このシステムは、変電所における監視・制御・保護の各機能を持っており、各演算部の処理量の偏在の防止、伝送効率の向上の面から機能分散を図っている。各部の機能は表1に示すとおりである。

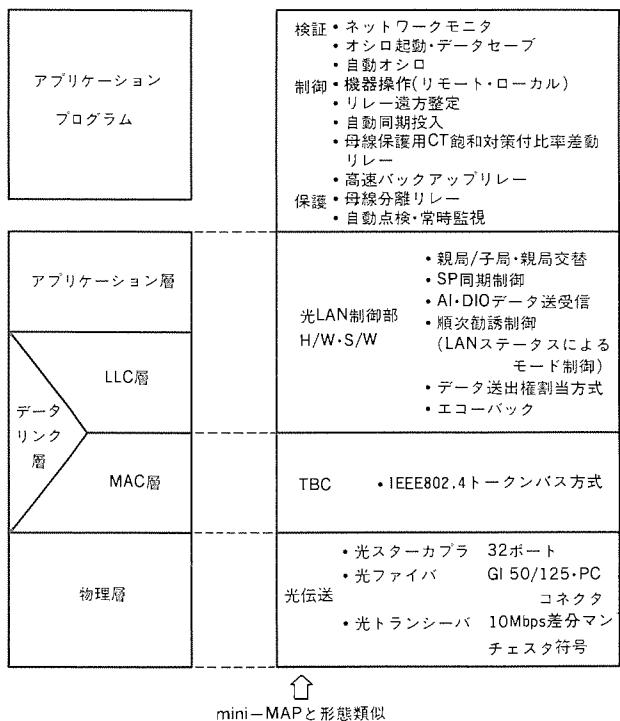
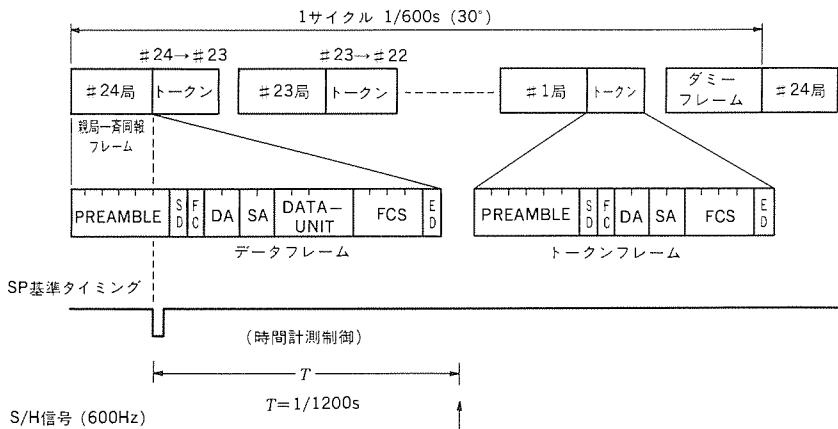


図2. トーケンバス方式光LANとOSIモデル



PREAMBLE ..... フレーム同期 [固定パターン6 oct以上]  
 SD(START DELIMITER) ..... フレームの開始 [固定パターン1 oct]  
 FC(FRAME CONTROL) ..... フレーム制御 [1 oct]  
 DA(DESTINATION ADDRESS) ..... 宛先番地(局) [2 oct]  
 SA(SOURCE ADDRESS) ..... 発信元番地(局) [2 oct]  
 FCS(FRAME CHECK SEQUENCE) ..... フレーム検査シーケンス [4 oct]  
 ED(END DELIMITER) ..... フレームの終了 [固定パターン1 oct]  
 DATA-UNIT ..... 電流・電圧データ・機器・リレーON-OFF情報  
 及びLANステータスで構成

図3. サンプリング同期方式

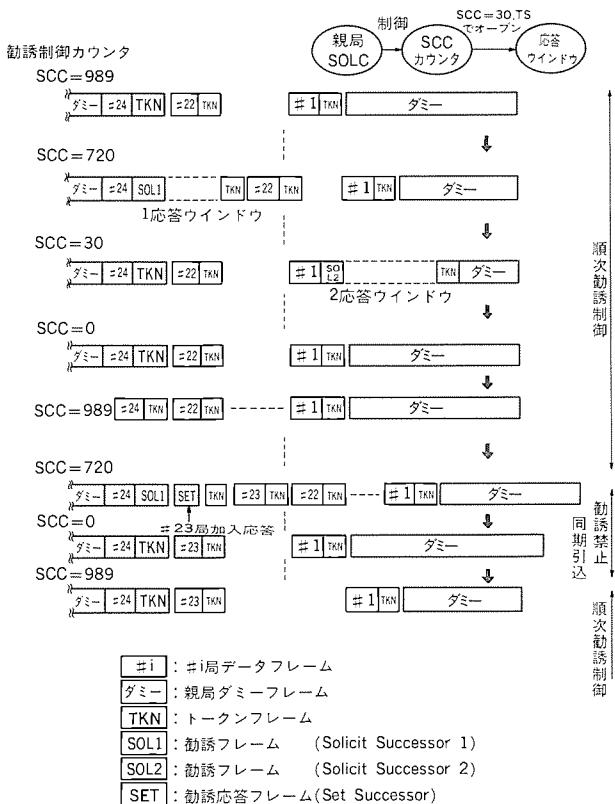


図4. 順次勧誘制御方式

### 3. 情報伝送方式

#### 3.1 トーケンバス方式光LAN

##### 3.1.1 トポロジー

構内光LANの形態としては、バス型とリング型が一般的であるが、次の理由でバス型(特にスターカプラを用いたスター型)を採用した。

- 特定局の障害が全系に波及する事がない。
- スターカプラのポート数の範囲内で端末局の新規増設が容易である。
- 伝送遅延がほぼ一定でサンプリング同期に有利である。

##### 3.1.2 光LAN仕様(図2, 図3)

光LANの伝送方式は、信頼性・保守性の向上の観点から、OSIの参照モデルを考慮し、各階層ごとに標準化を行った。特に、媒体アクセス制御(MAC: Media Access Control)層には国際的に標準化が進められているトーケンパッシングバス方式(IEEE802.4準拠)を採用し、さらに保護・制御システムには不可欠なサンプリング同期機能(全端末同時にアナログ量をサンプリングする機能)及び耐サージ・ノイズ対策としての光ファイバ伝送機能を追加して、変電所構内に適した伝送方式を実現している。

- (1) MAC方式 トーケン パッシングバス  
 トーケンバス方式はMAP (Manufacturing Automation Protocol) で世界的に普及しつつあるが、アドレスの大きい局から小さい局へ、

トーカン（送信権）を順次受け渡していく決定論的アルゴリズムにより、次の特長を持っている。

- 信号の衝突及び衝突による再送がない。
- 一斉同報、グループ同報により $N : N$ のデータ通信が可能である。
- ネットワーク維持機能により新局加入・離脱が容易である。

#### (2) サンプリング同期方式

保護・制御システムを実現するためには、高速のデータ伝送(1/600秒周期)と全端末一斉のサンプリング同期が必要である。そのため、次の機能を新たに追加した。

##### (a) 親局ダミー長制御

ネットワークの親局(通常リレー局)が一定周期(1/600秒)で自局の内部タイミングに合わせて一斉同報フレームを送信できるように、随時長さを調整したダミーフレームを送信する。

##### (b) 子局APC制御

親局の一斉同報フレームの受信タイミングに自局の内部タイミングを合わせる(APC制御)。

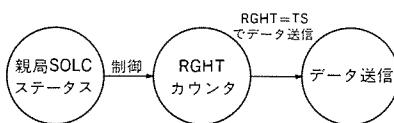
##### (c) 順次勧誘制御

親局がLANステータスにより各局の勧誘制御カウンタを制御し、各局の新局勧誘が順次定期的に実行される。これによりサンプリング同期制御が簡易になる(図4)。

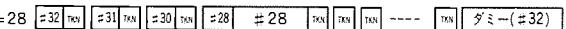
さらに、制御システムの場合、自動同期演算のための高速データと機器操作情報などの低速データと相異なる実時間性をもつ情報伝送が必要となるため、低速情報は子局が30サイクルに1回のみデータを送信するデータ送出権割当方式を適用した(図5)。

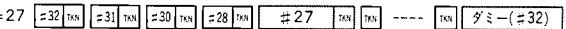
また、付加機能として、伝送系の簡易的なチェックのために、親局から特定パターンを送信し、子局から同一パターンが返送されることをチェックするエコーバック機能も具備している。

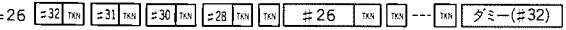
#### (3) 物理層仕様

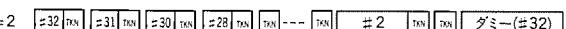


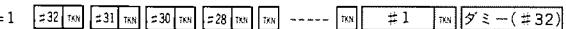
RGHT = 29  ダミー( #32 )

RGHT = 28  ダミー( #32 )

RGHT = 27  ダミー( #32 )

RGHT = 26  ダミー( #32 )

RGHT = 2  ダミー( #32 )

RGHT = 1  ダミー( #32 )

RGHT = 0  ダミー( #32 )

RGHT = 29 同上

 : #i局データフレーム  
 : 親局ダミーフレーム  
 : トーカンフレーム

図5. データ送出権割当方式

IEEE802.4規格では、メディアの仕様として同軸ケーブル上のプロードバンド及びキャリアバンド方式が規定されているが、光ファイバ伝送は審議中であるため、光伝送路仕様は独自に決定した。ただし、異メーカー製端末を光伝送路上で相互接続するために、詳細な仕様の統一化を実施した。表3に光LANの物理層仕様を示す。

#### 3.1.3 構成

光LANのハードウェアは図6のように構成される。ハードウェアは、系統保護制御装置の標準システムバスに適用できるものとし、光送受信器、伝送プロトコル制御部、サンプリング同期制御部から成る。図中TBC(トーカンバスコントローラ)は、市販のVLSIでMAC層をフルサポートする。また、サンプリング同期制御部では、親局の一斉同報フレームを検出し、自局のサンプリング信号との時間差を計測し、サンプリング信号に対しAPC制御することにより、サンプリング同期が達成される。

#### 3.1.4 特徴性能

このトーカンバス方式光LANは、次のような特徴性能を持っている。

- 電源ON-OFF又は伝送路断により、特定局ダウン又は新規加入の際も、即座にサンプリング同期が回復し正常なデータ送受信が可能
- 高速レスポンス伝送により、1/600s周期内に全局のデータ送受信が可能
- サンプリング同期誤差は±5μs以下の実力

表2. 光LAN基本仕様

項目	仕様
最大端局間距離	2km(端局-SC間 1km)
伝送路媒体	光ファイバケーブル
伝送路トポロジー	光スター・カプラによるバス型
伝送制御方式	IEEE 802.4トーカンバス方式
伝送速度	10Mbps

表3. 物理層仕様

項目	仕様
発光素子	LED 中心波長 $850 \pm 10\text{nm}$ ファイバ内入力電力 -13~-15dBm
受光素子	APD 受光電力範囲 -28~-45dBm
符号形式	差分マンチェスタ符号 伝送速度 10Mbps ± 100ppm 光波形 幅ひずみ ± 5ns以下 立ち上がり 10ns以下 立ち下がり 10ns以下
光ファイバケーブル	GI 50/125 伝送損失 3dB/km以下
光スター・カプラ	32×32型 挿入損失 17~21.2dB

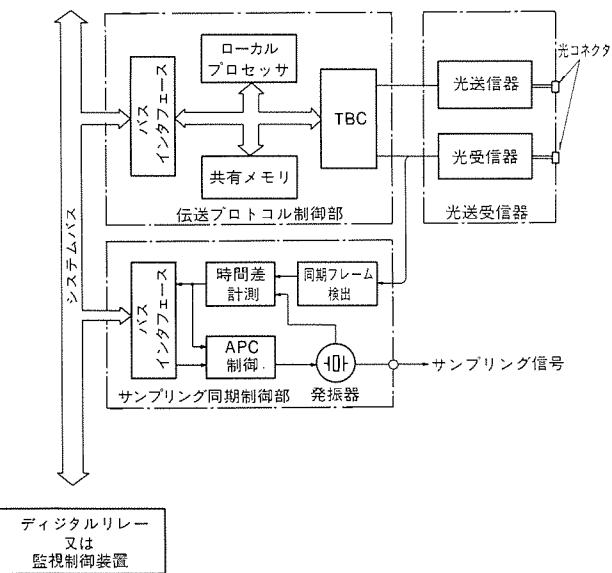


図 6. トーカンバス方式光LAN回路構成

以上保護制御システムに適用上十分な性能が得られている。

### 3.2 制御-保護インターフェース

保護システムと制御システムは、リレー端末と計測制御端末において情報伝送インターフェースにより接続される。このインターフェースは、PCM電流差動リレー装置に使用されるサイクリックシリアル伝送方式を採用し、やはり光ファイバ伝送である。制御システムからはリレー動作や保護端末装置故障などの情報、保護システムからはリレー動作や保護端末装置故障などの情報が伝送される。さらに、このインターフェースにより、保護システム-制御システム間のサンプリング連系同期が可能となる。

## 4. 母線保護システム

### 4.1 システム構成

光LANを適用した母線保護リレーシステムの一例を図7に示す。保護リレーシステムは、リレー端末とデータ端末により構成され、各々分散配置された屋外キューピクル内に収納される。各端末間は、前述(3章)のトーカンバス方式光LANで結合され、データ端末からは電流電圧情報や監視情報、リレー端末からはトリップ指令・点検指令などの情報が伝送される。また、屋外キューピクルは二重構造で、盤内のダーティ部・クリーン部完全分離、光インターフェースの多用など耐環境性・耐ノイズ性の各種対策が施されている。リレー方式は母線保護として、CT飽和対策付き比率差動リレー(一括・分割共)を採用し、その他母線分離リレー、高速後備リレーなどの機能が具備される。また、フェイルセーフとして各端末ごとに事故検出リレーが実装され、リレー端末からの選択トリップ指令と自端末の事故検出リレーの動作条件の論理積で遮断器引外し指令を出すことにより、動作信頼度の向上を図っている。

母線保護リレー機能は、将来のUHV系統にも適用できるディジタルリレー特有のアルゴリズムを開発し、図8に示すような厳しい系統現象(外部事故時の当該端子CT飽和)でも正常応動(誤動作しない)できる性能を得た。さらに、断路器条件による電流の該当母線選択をソフトウェアで行うことにより、従来の補助リレー接点による切替回路を大幅に削減し、信頼度向上に努めた。また、静止化トリップの採用により25msの動作時間(装置仕上がり)を実現した。

## 5. 制御システム

制御システムは、図1に示す制御室に設置された、監視制御用CPUやオシロ記録装置などと、機器近傍に分散配置された端末装置

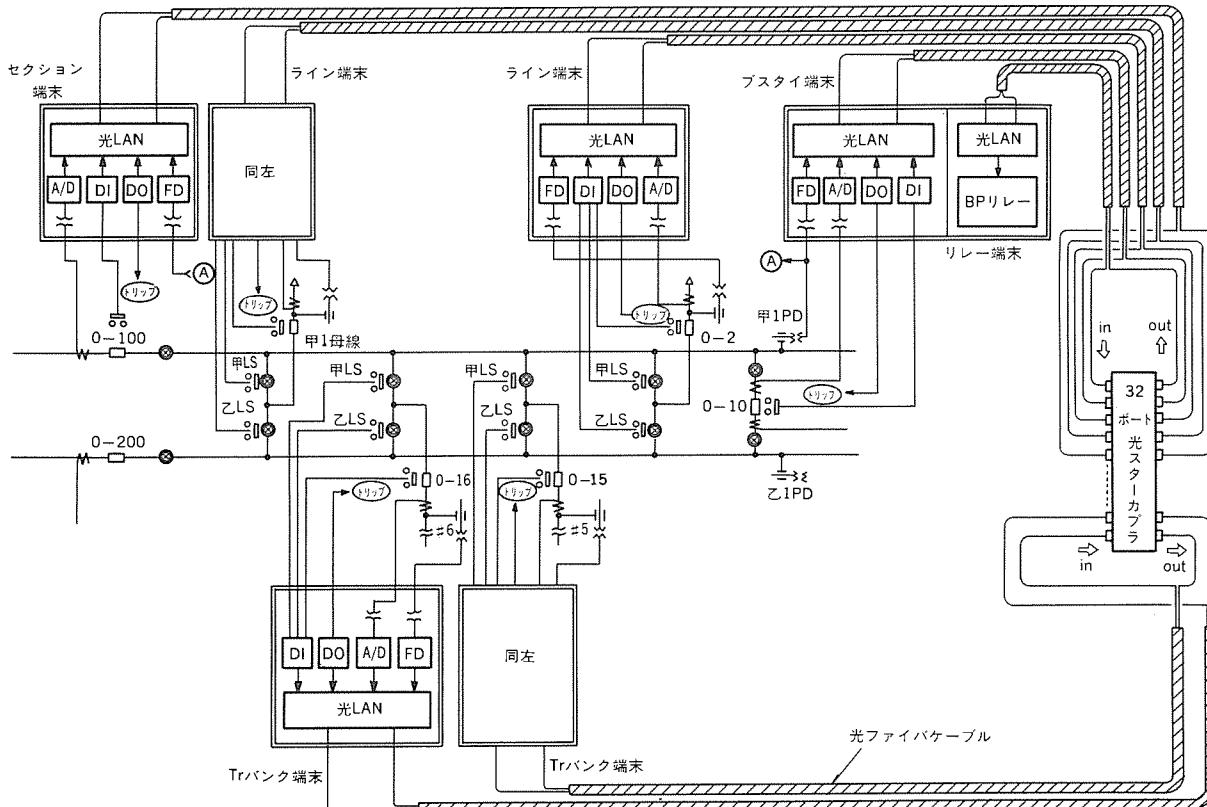


図 7. 全ディジタル母線保護リレーシステム

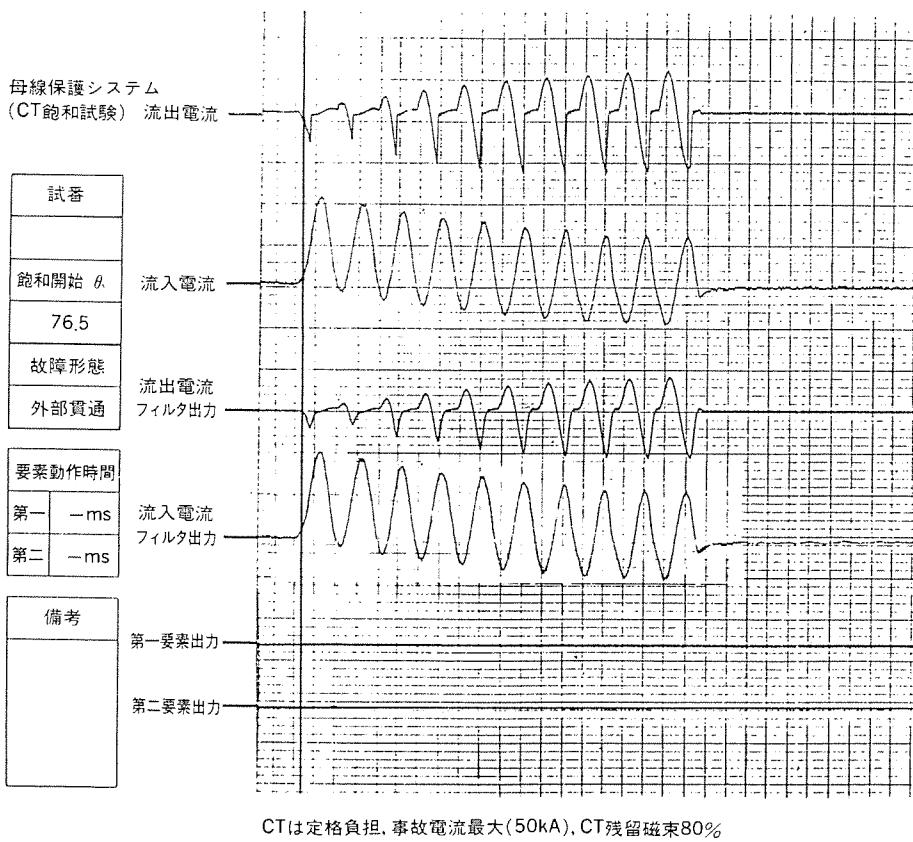


図 8. 母線保護リーアルゴリズムの応動（外部事故による片端CT飽和）

の制御ユニットを、光スター構造を介し光LANで結合している。光LANは、3章で述べたように、トーカン パッシングバス アクセス方式のLANで、制御システムにおいては、端末局が多いこと、高速情報が限定されることからデータ送出権割当方式を採用している。監視制御用CPUは、端末装置とは  $1:N$  の関係にあり、操作機器に対し、早く操作指令を伝達する必要があることから、 $1/600$ 秒ごと

組まれて送出される。機器の操作指令を監視制御用CPUから受けた際は、選択を確認してから選択完了をいったんCPUに打ち返し、次に操作指令を受け操作出力する2段階方式となっている。遮断器を投入する場合は、制御端末で同期検定演算を行い最適投入点で投入指令を送出するようにしている。また、このシステムでは分散配置での運用を考え、保護リレーの遠方整定機能を設け、制御室から、各端末にある保護リレーの整定ができるようになっている。

以上のように制御系の機能を実現しているが、情報の信頼性を確保するため、機器操作の際は、監視制御用CPUと制御端末装置間で、情報の確認をしっかりと行えるよう、応答信号を確認するハンドシェークなプロセスを経て実行に移したり、本来1ビットですむ情報を $C_2$ のコードとして伝送するなどの対応をとっている。

## 6. 検証システム

実用システムの機能検証を主な目的として、検証システムを試作し異メーカー間結合を行い、東京電力新秦野変電所で検証中である。

検証システム構成を図9に示す。検証システムは、端末数が少ない点を除けば、機能・性能とも実用システムと同じであり、模擬機器を定期的に操作すること、定時

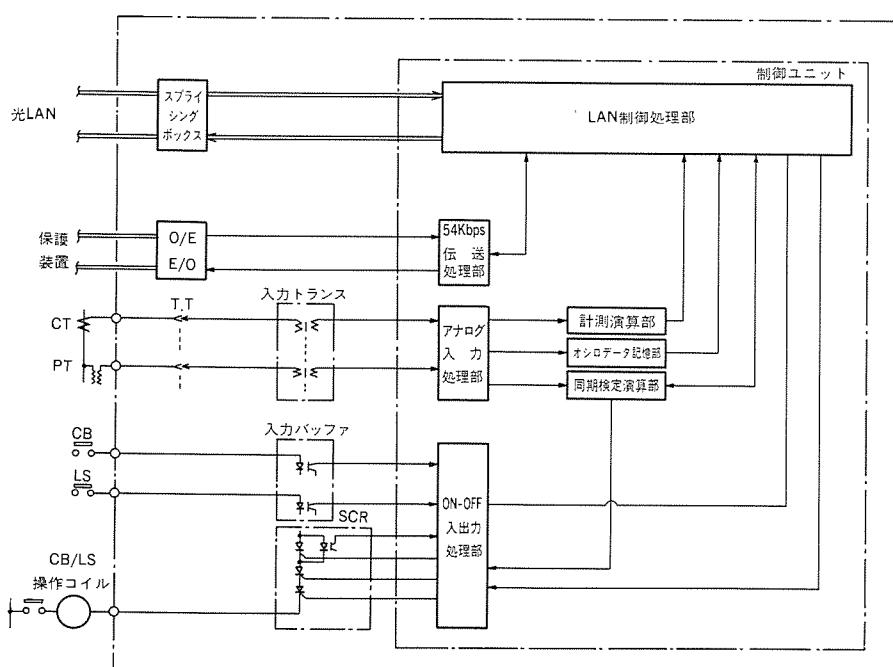


図 9. 制御端末装置の構成

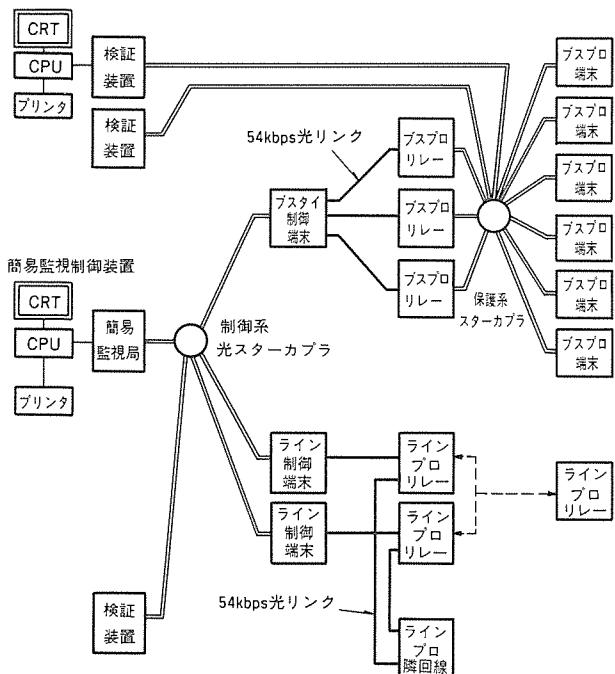


図10. 検証システム構成

計測を行うことで性能の確認を行っている。また、光LANの監視を行うため、検証装置（LANモニタ）を設置している。この検証装置はLAN端局とパソコンからなっており、光LANの状態をモニタリングし、サンプリング同期ずれや母線保護リレー動作時に、0.5秒間分のLANステータス及びLANによって伝送されているCT電流データを記憶し、印字することができる。これにより、増設時のLAN状態の検証や、異メーカー間結合時の整合性確認が容易となる。なお、検証装置はデータ取り込み専用のリスナとして扱われている。

図11に検証運転中の端末装置の外観を示す。

## 7. む す び

以上、光LANを用いた全ディジタル保護・制御システムの概要について述べた。このシステムの適用により、高性能化、高信頼度化、建設コストの低減、保守運用業務の合理化が期待でき、電力変電分野のみならず、リアルタイム性を要する制御分野に広く適用可能である。



図11. 端末装置の外観

今後の実用システムへの適用については、端末装置のコンパクト化、標準化など、更なる課題を克服せねばならないが、高性能部品の採用、回路の簡素化などの技術革新により、早期実現を図る所存である。

最後にこのシステムの完成に御指導、御協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 大浦ほか：光LANによる変電所全ディジタル保護制御システムの動向、OHM (1987-9)
- (2) 鈴木ほか：変電所全デジタル保護制御システム用トークンバス方式光LAN、63年電気学会全国大会論文
- (3) 高橋ほか：屋外分散形変電所全デジタル保護制御システムの開発(2)母線保護リレーシステム、63年電気学会全国大会論文
- (4) 大橋ほか：屋外分散形変電所全デジタル保護制御システムの開発(3)制御システム、63年電気学会全国大会論文
- (5) 吉田ほか：屋外分散形変電所全デジタル保護制御システムの開発(4)送電線保護リレー装置、63年電気学会全国大会論文
- (6) 吉田ほか：屋外分散形変電所構内光LANモニターの開発、63年電気学会全国大会論文

# 光ファイバ伝送による多端子送電線保護システム

吉川元庸\* 園原和夫\* 東信一\*\* 松永完三\*\* 光岡正隆\*\*

## 1. まえがき

近年、電力系統においては、鉄塔用地確保難・送電線敷設費用の高騰といった理由から、送電線の多端子化に対する要望が強くなっている。一方、パソコンなど瞬時停電の影響を受けやすい機器が一般需要家へ普及するにつれ、電力の供給信頼度向上に対する要求は一層高まっている。

超高压送電線の保護に適用されている電流差動リレー方式は、原理的には、多端子系統への適用が可能であるが、端子間における大容量の情報伝送を必要とするため、伝送路を含めた総合的なコストを低くすることができず、高抵抗接地系への適用は進んでいなかった。現在、高抵抗接地系の保護には、

- (1) 方向比較キャリヤリレー方式
- (2) パイロット ウイヤリレー方式
- (3) 回線選択リレー方式

といった方式が用いられているが、これらの方には表1に示す問題点が存在し、その適用には多くの限界があった。しかし、近年の

表1. 従来保護方式の問題点

方 式	問 題 点
方向比較キャリヤリレー	(1) 内部故障時に流出電流がある場合に動作できない。 (2) 端子間での動作時間協調が必要で、シーケンスが複雑である。
パイロット ウイヤリレー	(1) 長距離送電線には適用できない(表示線の亘長制限)。 (2) 零相循環電流により感度低下を生じる。 (3) 端子によりリレー動作特性が異なる。
回線選択リレー	(1) シリーズトリップにより故障除去の遅れる場合がある。 (2) 2回線同相故障・多重故障は保護できない。 (3) 1回線運用時は保護できない。 (4) 極短距離送電線には適用できない。

電力分野における信号伝送技術の適用拡大、特に、光ファイバを使用した大容量情報伝送技術の普及に伴い、伝送路の条件による大きな制約は除外できるようになってきた。

こうした背景のもとで、関西電力㈱と三菱電機㈱は共同研究を行い、光ファイバによる光PCM伝送に、ディジタルリレーによる電流差動演算を組み合わせ、最大8端子系統までの保護を可能とした多端子送電線保護システムを開発し、試作機によりフィールドテストを開始した。

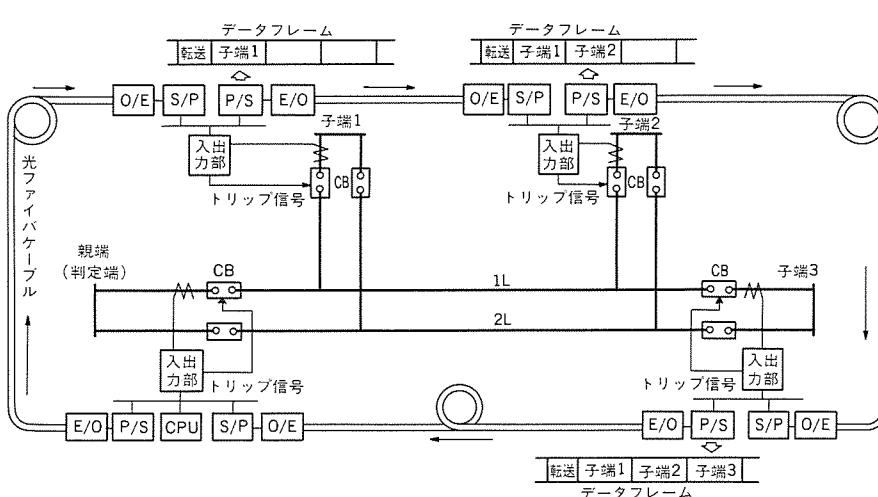
ここでは、システム構成及びフィールドテストの概要について報告する。

## 2. システム構成

### 2.1 伝送方式

このシステムを4端子系に適用した場合のシステム構成を図1に、システムの仕様を表2に示す。このシステムは、リレー演算を行う親端装置、親端装置に対し電流情報を伝送するとともに、親端装置からの転送遮断指令により遮断器を引き外す子端装置、及び親端装置・子端装置間を接続する光ファイバにより構成される。

送電線各端に設置された装置間は、1心の光ファイバケーブルによりループ状に接続されており、各端の電流情報は、この光ファイバを通して時分割直列伝送される。まず、親端から電流データの書き込まれていない、空のデータフレームが子端1に対して伝送される。子端1では、光・電気変換、直列・並列変換の後、データフレーム中の子端1用フレームに電流データを書き込み、並列・直列変換、電気・光変換を行い、子端2へデータフレームを転送する。以下の子端についても同様の動作が行われ、親端には、すべての端子の電流データが書かれたデータフレームが伝送される。親端のCPUでは、これらの子端電流情報と、自端電流情報とを用い電流差動演算を行う。演算結果により内部故障と判定した場合、親端は自端の遮断器を動作させるとともに、データフレーム内の親端用フレーム



E/O : 電気→光変換器  
O/E : 光→電気変換器  
S/P : 直列→並列変換器  
P/S : 並列→直列変換器  
CPU : 中央処理装置  
CB : 遮断器

図1. システム構成

表 2. システム仕様

保護方式	デジタル式各相・零相電流差動継電方式
判定方式	代表端判定+転送遮断方式
適用系統	最大8端子系統
伝送速度	1.544Mbps
多重化方式	時分割多重タイムスロット方式
サンプリング周期	720Hz (電気各30度相当)
サンプリング同期制御	固定同期方式
データ検定方式	隣接位相反転照合・奇数パリティ検定 固定パターン検定・フラグ検定
発光素子	レーザダイオード (LD)
光伝送部	発光波長 1.3μm 発光レベル -6.5dBm 受光素子 アバランシェフォトダイオード (APD) 最低受光レベル -50dBm

に転送遮断用データを書き込み、子端遮断器を動作させる。

## 2.2 ハードウェア構成

親端、子端各装置のハードウェア構成を図2に示す。差動リレー演算を親端のみで行っているため、子端の構成は非常にシンプルなものとなっている。

伝送フォーマットを図3に示す。各端における電流情報サンプリング周期は、リレー演算に都合のよいよう電気角30°相当(1.39ms)としており、データ伝送もこの周期で行われる。

1フレームは37のワードから構成されており、第0ワードは、親

端から各子端への転送遮断指令に使用している。第1ワードから第35ワードまでは、5ワード単位に区切られ、各子端から親端へのデータ伝送(電流データ4ワード、監視情報1ワード)に使用している。第36ワードは空きワードである。

1ワードは、隣接位相反転符号(SPRC符号：“1”を10、“0”を01の、各2ビットにより表現する)により記述されたアドレス(8ビット×2)、データ(16ビット×2)、パリティ(1ビット×2)に対しスタート(4ビット)、フィックス(2ビット)、エンド(2ビット)を付加した58ビットで構成される。

## 2.3 サンプリング同期制御

このシステムにおけるサンプリング同期制御は、各端子間における伝送遅延時間を固定的に補償する固定同期方式によっている。各端子におけるワード受信タイミングは、端子間でのデータ伝送に必要な時間だけずれており、この値は伝送路のこう(亘)長により決定される。電流データのサンプリングは、このワード受信タイミングに応じて行われており、上記遅延時間に対応したワード数だけ設定ワードをずらすことにより、各端子で同時刻のサンプリングを実現している。

図4は、各端子間における伝送遅延時間が、1ワード分(37.6μs)となった場合のサンプリングタイミング例である。

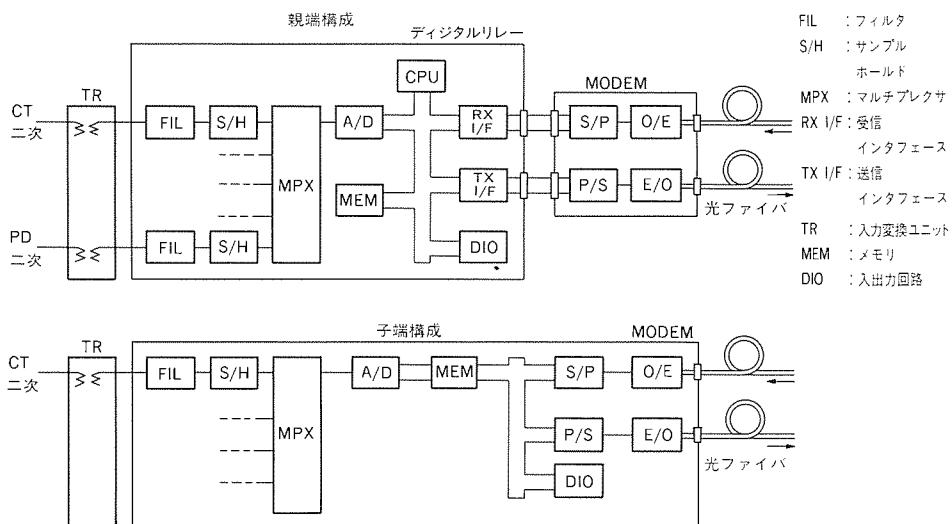
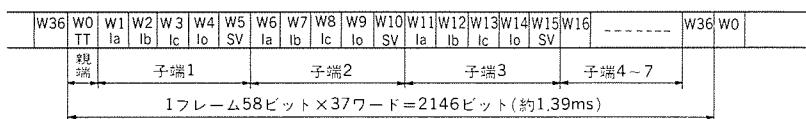
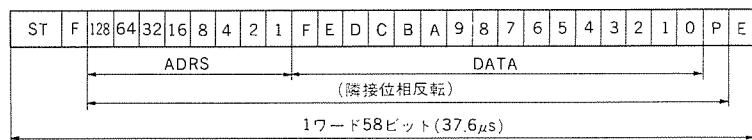


図2. ハードウェア構成



(a) フレーム構成



隣接位相反転符号「0」：“01”  
「1」：“10”  
ST：“1111”(スタート)  
P：パリティ  
F：“01”(固定)  
E：“00”(エンド)

(b) ワード構成

図3. 伝送フォーマット

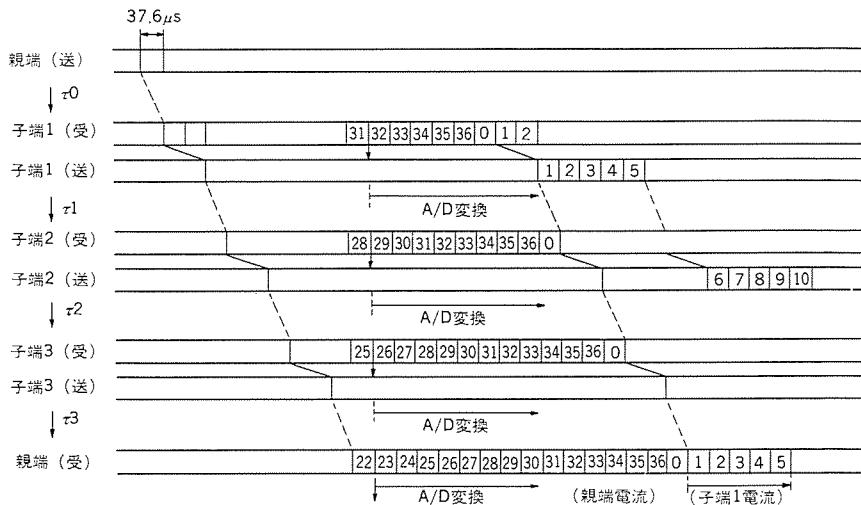


図 4. 固定期方式

### 3. 動作原理

### 3.1 電流差動リレー

電流差動リレーは、送電線において各端子から流入する電流の和が、送電線健全時には常に零であり、故障発生時には零でなくなるという、キルヒホフの第一法則に基づいた故障判定を行うものである(図5)。このため、内部故障時に大きな流出電流を発生する多端子系統、また大きな潮流の流出する系統など、従来の方式では保護が困難であった系統に対しても適用が可能である。

### 3.2 比 率 特 性

差動判定には、大電流域でのCT誤差の増大を考慮し、図6に示すような比率抑制を付加した特性を採用している。動作判定式を次に示す。

$$\text{小電流域動作判定: } |\Sigma I_i| - \frac{1}{9} \Sigma |I_i| \geq \frac{8}{9} K$$

$$\text{大電流域動作判定: } |\sum I_i| - \frac{3}{5} \sum |I_i| \geq -\frac{2}{5} K_o$$

小電流域特性は、CT誤差・リレー誤差による誤動作を避けるとともに、負荷電流の流出がある場合にも、高感度に故障を検出できるものとしている。また、大電流域特性は、CT誤差の増大を考慮した

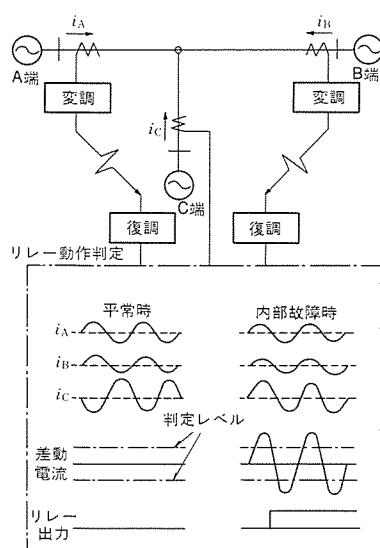


図5. 電流差動リレーの原理

ものとし、全体として流出電流を伴う内部故障に対して確実に動作でき、CT飽和を伴う外部故障に対しては、十分に不動作となるようしている。さらに、これら二つの特性は各々独立に整定できるため、系統条件、適用CT条件に対して、フレキシブルな対応が可能である。

### 3.3 充電電流対策

ケーブル系統において地絡故障時に発生する充電電流は、零相差動リレーにとって誤差として作用するため、このシステムでは、次式に示す充電電流補償を行っている。

さらに、CB開時の外部故障に対する誤動作を防止するため、図7に示す位相特性を付加している。

### 3.4 CT比整合处理

低位系多端子送電線においては、すべての端子でCT比を統一することは困難である。このため、電流差動リレーを適用するためには、各端の電流情報に対してCT比整合処理を実施する必要がある。このシステムでは、親端のデジタルリレーにおいて、親端・子端の各CT比を入力し、ソフトウェア処理によりCT比整合を行っている。

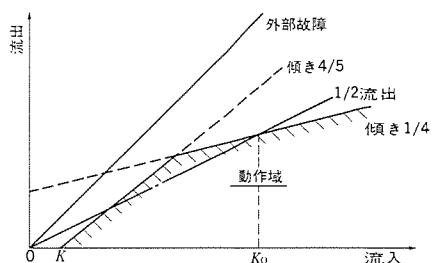


図 6. 電流差動リレーの比率特性

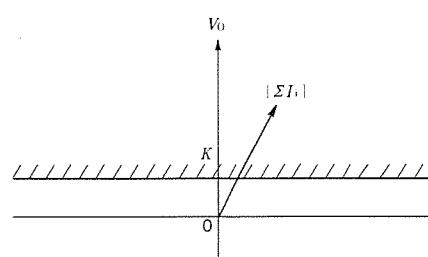


図 7 霧相差動リレーの位相特性

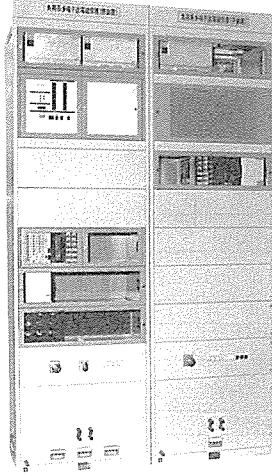


図 8. フィールド試験機の外観

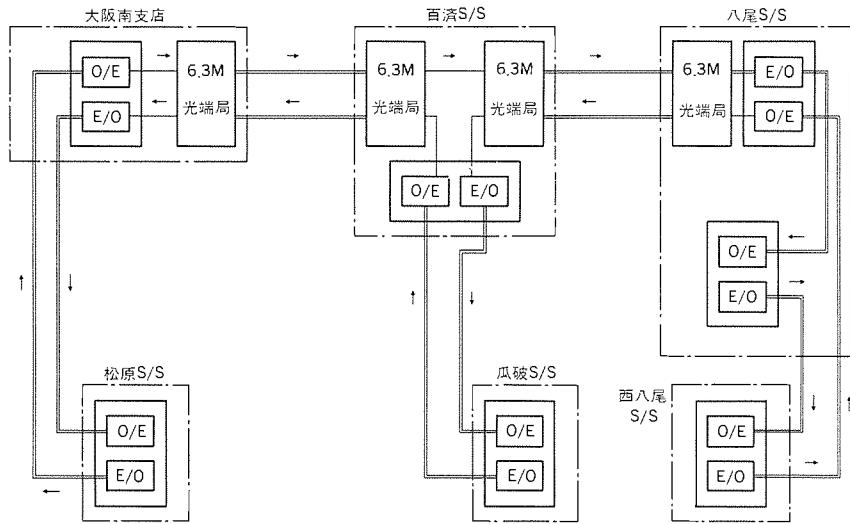


図 9. フィールドテストにおける伝送系の構成

#### 4. 常時監視機能

伝送路を含めたシステムの不良を速やかに検出し、システムの稼働信頼度を向上させるために、このシステムでは、以下に示す常時監視を行っている。このシステムにおける監視項目は、デジタルリレーの自己診断機能を活用した「親端装置監視」とこのシステムに特徴的な「子端装置を含めた伝送系監視」とに分類される。ここでは、後者について述べる。

なお、すべての不良は、親端に設置されたCPUにおいて不良内容と不良部位を認識できるようにしている。

##### (1) 直列伝送監視

伝送路不良、及び各端装置の送受信回路などに不良が発生した場合に、不良発生を他の端子へ知らせるとともに、不良発生区間を明確にするものである。検出は各子端及び親端の受信回路での光レベル低下検出・データ検定により行い、不良検出した場合には、検出端がマスタ局となり、データフレームの作成・送信を行う。

##### (2) データ重畠監視

各子端において、データフレーム上へのデータ書き込み処理が正しく行われているか否かを、最終的に親端で検定することにより、子端ハードウェアの不良を検出している。

##### (3) 子端A/D精度監視

各子端において、A/D変換回路にDC基準電圧を印加、変換データの値が所定の範囲内にあることをチェックすることにより、子端入力部ハードウェアの監視を行う。

##### (4) 差動監視

各端電流データの和は、常時は 0 となることを利用し、この値がリレー動作値の100%相当になった場合に不良とするもので、リレー入力部・伝送部を含めた、システムの総合的な監視を行う。

#### 5. フィールドテスト

以上の設計思想に基づき、システム性能検証用の試作機を製作、工場内での保護性能検証を終了し、関西電力㈱大阪南支店管内77kV金田線（八尾変電所、西八尾変電所、瓜破変電所、松原変電所の4端子系統）においてフィールドテストを実施している（図 8）。

#### 5.1 工場内試験結果

模擬送電設備を使用した試験では、循環電流・充電電流を発生する系統での単純故障・多重故障に対して、正確なリレー応動を示し、多端子送電線保護リレーとしての十分な性能を確認できた。また、動作時間は子端転送トリップまで含め、短絡故障時50ms以内、地絡故障時80ms以内と所期の性能を満足している。

#### 5.2 フィールドテストの概要

##### (1) 期間

昭和63年4月～昭和64年3月の1年間

##### (2) 伝送系構成

フィールドテストにおける伝送系の構成を図 9 に示す。トータルでの伝送距離(1ループ)は89.0kmであり、八尾制御所～百済制御所、百済制御所～大阪南支店の2区間では、6.3Mbpsに多重化し、光伝送している。

##### (3) 検証項目

- (a) 多端子系統での故障に対する保護性能の確認
- (b) 長距離直列伝送状態での伝送品質の検証
- (c) ループ状伝送路におけるサンプリング同期制御性能の確認

#### 6. む す び

以上、光ファイバ伝送による多端子送電線保護システムの、システム構成・仕様・動作原理・フィールドテストについて報告した。OPGW(光ファイバ複合架空地線)の実用化が進むとともに、光ファイバ及び発光・受光素子の性能・信頼度向上により、電力分野における光情報伝送技術の普及は今後一段と進み、このシステムも幅広く適用されていくものと思われる。

最後に、このシステムの開発に当たり御指導・御協力いただいた関係各位に感謝の意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 東ほか：負荷系多端子送電線保護システムの開発、昭和62年電気学会全国大会、No.1356
- (2) 東ほか：負荷系多端子送電線保護システムの開発、昭和63年電気学会全国大会、No.1230

# 写真植字機ROBO15XY II

末兼 多好保\* 加川廣光\*\* 日野岡 高行\*\* 神田隆司\*\* 補永伸行\*\*\*

## 1. まえがき

写真植字機(写植機)は活字に代わり、印刷物の版下に、テレビのテロップの作成にと、幅広く利用されている。印刷物にもタイムリーで高度な情報が求められている今日、写植機においても、単に版下用文字を作り出すだけでなく、より美しく高度な組版を、効率的に作成できることが要求されている。

三菱電機㈱は、この要求を満たすべく、㈱モリサワとともに、高性能写植機ROBO15XY IIの開発・製品化を行った。ROBO15XY IIは、従来の写植機にない表示機能・作図機能・高度な組版機能を搭載しており、これまでの写植工程ではできなかった“作図組版”“円組などの複雑な特殊組版”を初めて可能にした。

本稿では、ROBO15XY IIの機能・構成及び使用例などを中心に紹介する。

## 2. ROBO15XY IIの仕様と特長

写植機の原理は、光源から出た光が文字盤上の文字の部分だけを通り、シャッタを切ることにより、マガジンドラム上に巻き付けてある感材(フィルム又は印画紙)に文字を写し込むというものである。この際、光軸上に各種レンズ(主レンズや変形レンズ)を置くことにより、写る文字の大小・形を変えることができる。字間・行間は、操作パネルからの指示により、マガジンドラム及びミラー位置を移動させる。つまり、感材を移動させることで行っている。

図1にROBO15XY IIの外観を示す。また、本機の特長を以下に示す。

### (1) 写植内容のモニタ表示

ビデオカメラと15インチCRTを備えており、“写植組版内容(文字

のつめ具合など)を目で確認しながら”の写植作業を実現している。

### (2) 感材の斜め・曲線移動

感材駆動パルスモータの制御に高速CPUを使用し、従来、縦横の移動しかできなかつた感材移動(写植位置移動)に、斜め及び曲線方向の二次元移動を加えた。

### (3) 多彩な機能

従来の写植機能に加え、表1に示す組版用新機能を搭載し、複雑な写植組版を可能にしている。このような特長により、以下の効果を生み出している。

(1) 写植工程における“作図組版”，“円組などの特殊組版”の実現

(2) 写植作業のビジュアル化による大幅な効率アップ

(3) 切りは(貼)りなしの完全版下実現による、版下作業の大幅な効率アップ

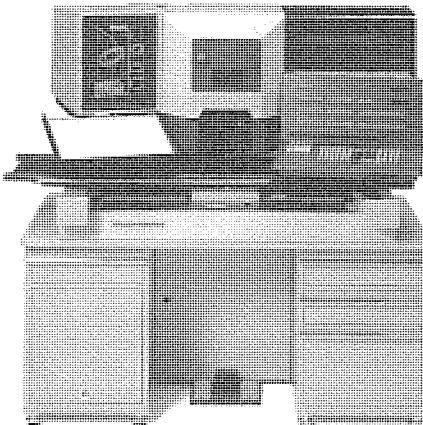


図1. ROBO15XY IIの外観

表1. ROBO15XY IIの主要機能一覧

画面表示倍率	等倍, 2倍, 4倍, 1/2倍 (4種)
記憶文字数	無限
ガイドライン表示	直線(斜線), 円, 円弧, だ円, く形, 破線／採字文字拡大(16倍まで)／斜体ガイドライン
分割ガイド表示	円, 円弧 1～360分割
マス目表示	○
採字窓表示	○
コメント表示	座標, 送り量, 表示倍率, 残余量, 使用レンズ, 使用変形レンズ, 像回転角度, 印字数 自動送り文字盤番号
エラー表示	チャイム, 日本語, エラー番号
作図機能	直線(斜線), 円, 円弧, だ円, く形, ラウンドコーナーく形
だ円・く形回転作図機能	○
破線作図機能	○
円・円弧組JST印字機能	○ 文字角度, 欧文センター位置自動補正
斜め組JST印字機能	○
仮写植機能	空I, 空II(FQ), 空III(FQ, 変形)／空印字の挿入, 削除, 訂正／空印字の確認半輝度表示
仮写植記憶文字数	最高900文字
カーサ機能	○
ファンクションキー	登録数126×4
ビジュアルジャスト	○
FQレンズ	+5, 10, 15%

(4) 感材に写す前に、CRT上で仕上がり体裁の確認・修正ができるため、感材の無駄がなくなり、低ランニングコストを実現

### 3. ROBO15XY II の構成

図2に全体構成図を示す。光源から文字盤・各種レンズを通り感材に文字を写す“光学部”と、パルスモータ、ソレノイド及び各種センサからなる“メカ部”，並びに写植動作制御、メカ制御及びディスプレイ制御を行う“制御部”からなっている。

#### 3.1 制御部の構成

制御部は、主CPUである“ホストCPU (HOST)”，HOST指示によりメカ部を制御する“駆動制御CPU (PMC)”，写植内容のモニタ表示を行う“表示制御CPU (SIP)”から構成されている。

##### 3.1.1 ホストCPU (HOST)

ROBO15XY II の主CPUで、操作パネルからの操作データに基づき、写植機動作を演算制御する。以下に働きと特長を述べる。

(1) 新たに開発した写植制御ソフト (HSS) を搭載し、円組や空打・JSTなどの高度な組版機能を実現している。

(2) 写植演算結果に基づき、SIP、PMCに動作指令を出す。

(3) 電源断に対し、メモリバックアップ機能を持っている。

その他、オプション機能として、

(4) ピコフロッピー制御を行い、写植データの保存が可能である。

(5) RS-232C を1CH備え、パソコンなどへの接続が可能である。

##### 3.1.2 駆動制御CPU (PMC)

PMCはレンズや感材を動かすパルスモータの駆動制御、文字盤やレンズ固定用ソレノイドの駆動制御を行っており、以下の働きと特

長を持つ。

(1) HOST間 I/Fはコマンドパケット形式をとっており、他システムへの流用が可能である。

(2) CPUに高速データ シグナルプロセッサ (DSP) を用い、パルスモータ コントロール ソフトウェア (PCS) により、パルスモータ駆動のリアルタイム制御を行っている。これにより、

(a) 感材の二次元駆動

(b) 作図時のスポット光の一定速度走査

(c) 半径315mmの大きな円・だ円でも、高精度の図形作図

(d) 表2に示す豊富な図形種類

を実現している。

##### 3.1.3 表示制御CPU (SIP)

SIPはCRT及びカメラの同期信号を発生すると同時に、カメラからの文字像をメモリに記憶し、写植内容のモニタ表示を行っている。SIPは以下の働きと特長をもっている。

(1) HOST間 I/Fはコマンドパケット形式をとっており、他のシステムへの流用が可能である。

(2) ディスプレイメモリは、図3に示す構成になっており、感材上のイメージをそのまま表示する全輝度表示に加え、半輝度表示、ガイドライン表示などを実現している。

(3) スムーズな表示を実現するため、複数のDSPを用いて画面処理を行っている。

(4) 表示データのバックアップを行っており、電源再投入しても以前の表示内容を保持する。

#### 3.2 光学部の構成

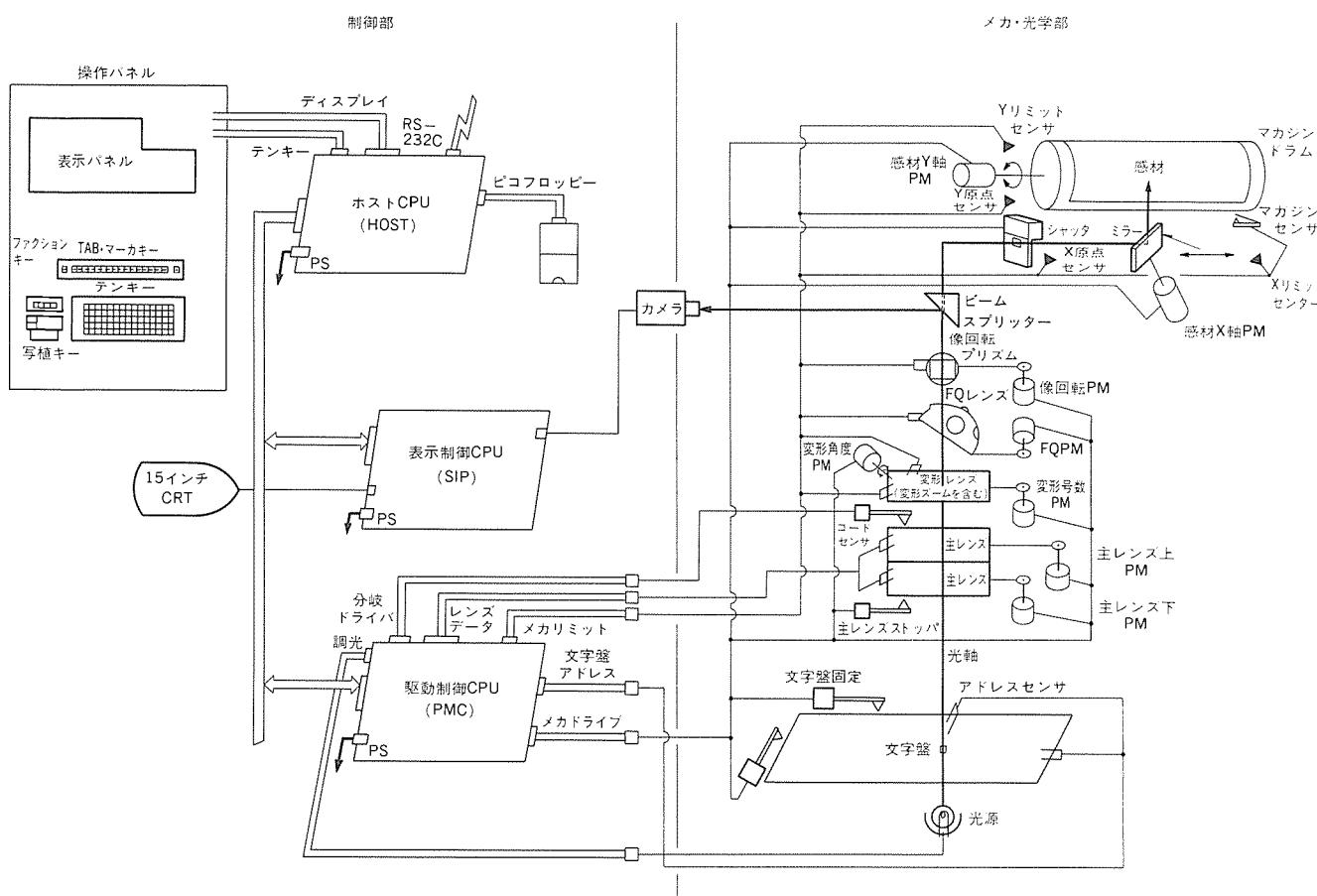


図2. ROBO15XY II の構成

表2. 作図图形種類

		実線	破線	回転 (破線は不可)	自動復改
1	斜線			×	○
2	連続斜線			×	○
3	く形				○(回転は不可)
4	円			×	○
5	だ円				○(回転は不可)
6	円弧			×	○
7	連続図形			×	○
8	ラウンドコーナー			×	×
9	TAB間破線	けい線1で印字 TABm	TABn	×	○
10	入力長破線	けい線2で印字	入力長	×	○

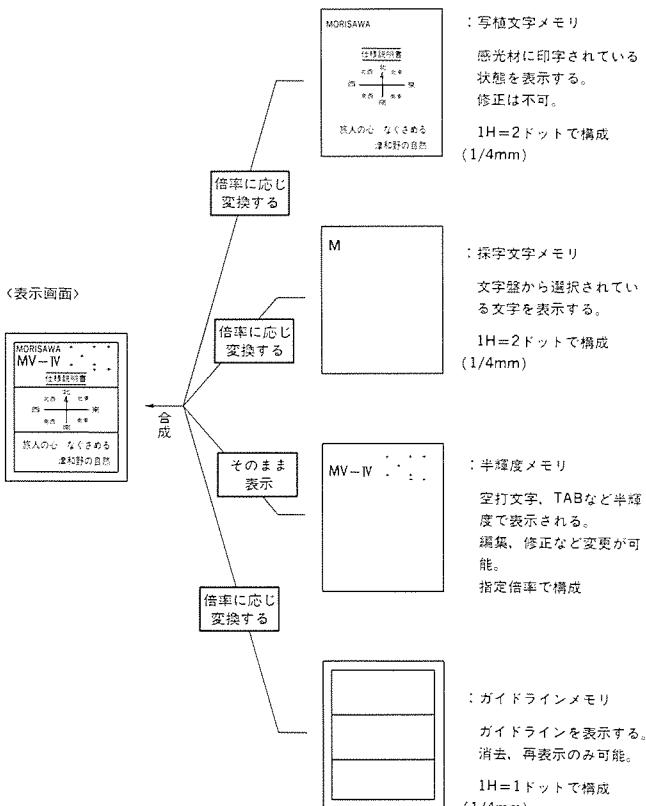


図3. SIPのメモリ構成

光学部の仕様を以下に述べる。

- (1) 主レンズ: 24本のレンズで構成され、7~100級(24種)の文字サイズを作り出す。
- (2) 変形レンズ: 1・2・3・4・5(又は変形ズーム)号のレンズ5本からなり、平体/長体/斜体を作り出す。1~5号の各レンズで10, 20, 30, 40, 50%の変形がかかる(平体3号ならば、文字の天地が30%縮小)。また、斜体傾きは5度単位である。
- (3) 光源: 100Wハロゲンランプを使用し、文字サイズ、変形率及び書体(明朝/ゴシック)により光量自動調整を行っている。

#### 4. ROBO15XYIIの機能

本機は、HSSソフトの搭載、PMCやSIP部設置により、数多くの新機能を実現しているが、その主たるものについて以下に述べる。

##### 4.1 モニタ表示機能

###### (1) 4種の表示倍率

写植内容表示は、等倍、2倍、4倍及び1/2倍(レイアウト表示)表示の4種類を設けた。2、4倍表示により、小サイズ文字(小級数数字)の微妙な差も、目で見ながら行える。

###### (2) ガイドライン表示

表3に示すガイドライン图形をCRT上に表示することができる。これらの图形で写植領域を表示することによって、“高度な写植スペース取り”が簡単にできる。また、円分割表示などにより、“写植の正確な位置決め”を可能にしている。

###### (3) 半輝度表示機能

感材に書いた文字(本写植文字)は全輝度で表示。感材への書き込みなしに取り込んだ文字(空打文字)は、半輝度で表示を行っている。これにより、感材への書き込み前に、組版の仕上がり体裁をビジュアルに確認できる。同時に、不都合があれば修正を行えるので、写植ミスによる時間のロスや高価な感材の無駄をなくすことができる。

###### (4) 充実したコメント・補助パターン

コメントは22ポイントの大型文字で、CRT上部にまとめて表示し、オペレーターが一目でわかるようにしている。また、補助パターンも、“50mm間隔の座標表示マス目”, “現在位置を示す採字窓枠”, “感材の大きさを示す紙端ライン”及び“位置カーサ”などを設けている。これにより効率的な写植操作を実現している。

#### 4.2 作図機能

感材にスポット光をあてながら、感材を二次元移動させることにより、表2に示す作図機能を実現している。

以下に作図機能の仕様・特色を述べる。

###### (1) 豊富な图形種類

表3. ガイドライン图形種類

		実線	破線	回転
1	斜線			×
2	連続斜線			×
3	く形			
4	円			×
5	だ円			
6	円弧			×
7	連続図形			×
8	ラウンドコーナー			×
9	円の分割表示			最大360分割
10	円弧の分割表示			最大360分割
11	斜体ガイド			32文字分
12	拡大表示			1~16倍

表2に示すように、破線や回転图形をも含む豊富な图形種類を備え、スムーズな作図作業を実現している。見出しや表の縁取りに多く用いられる連続图形やラウンドコーナもサポートしている。

#### (2) ガイドラインによる印字前確認

ガイドライン表示のパラメータを記憶しており、作図スイッチ押し下げにより、同一图形を感材上に作図することができる。ガイドライン→作図の手順で、印字前に图形の確認・修正ができる、失敗のない作図作業ができる。

#### (3) 作図速度

スポット光走査速度は、円やだ円でも常に20mm／秒の一定速度を保っている。これにより、感材への露光量は均一となり、むらのない美しい图形を作り出している。

#### (4) 作図範囲

300mm×290mmの作図範囲を実現すると同時に、円などの图形が作図範囲をオーバーした場合でも、エラーとせず、作図範囲内の图形部分は描画を行っており、紙面を有効に用いた作図を可能にしている。

#### (5) 線の太さ

作図用文字盤上のスポットパターンを選ぶことにより、線の太さを変えることができ、標準0.10～2.00mmの太さが選択可能である。また、破線の線長・線間長もスイッチで指定でき、いろいろなパターンの破線作図形が可能である（線長、線間長共：0.25～2.25mm）。さらに、中途破線で作図が終わらぬよう、图形の全長を基に、破線長の補正も行っている。

### 4.3 高度な組版機能

表示・作図機能以外にも、以下に示す機能を持ち、複雑な写植組版をサポートしている。

#### 4.3.1 文字回転機能

文字回転用光学プリズムを備えており、角度の指定により、文字像の360度任意回転が可能である。また、1度ごとの連続回転もできる。

#### 4.3.2 円組機能

印章やワッペンなど、写植には文字の円形組みを行う場合が多い。この要求に対し、以下に述べる円組をサポートしている。

##### (1) 文字の傾き自動補正

文字が円中心を向くよう自動的に文字回転を行う。また、文字ごとに字幅が異なるアルファベットや数字に対しても、その文字幅に従って、文字がまっすぐ中心を向くように傾き、位置補正を行っている（欧文文字傾き補正）。

##### (2) 円周・半径方向移動

縦横方向への文字移動の代わりに、円周又は半径方向への移動を行っている。円周方向への移動は、角度指定（1度単位）に加え、長さ（周長）指定による移動（1/104mm単位）もサポートしている。これにより、半径の大きな円でも、円周方向の微妙な文字づめを可能としている。

##### (3) 空打・JST印字機能

円組でも4.3.5項で述べる空打・JST印字機能が可能であり、指定した角度や円周の範囲に、最適な文字配置・文字サイズの自動セットを行っている。また、半輝度表示で文字の円形組み具合を事前確認できる。

##### (4) 作図機能

円組においても作図機能を有効にした。これにより、作図パラメータの角度指定ができ、多角形などの图形も正確に作図できる。

#### 4.3.3 斜め組機能

回転角度と回転方向を指定することで、あたかも感材が回転したかのように斜め方向の文字組みが可能である。

#### 4.3.4 FQレンズ、変形ズームレンズ

主レンズに加え、FQレンズ、変形ズームレンズを搭載し、より細かい文字サイズを作る。主レンズの文字サイズに対し、

(1) FQレンズ： $\times 1.05, \times 1.10, \times 1.15$ 倍のサイズ補正を自動セット

(2) 変形ズームレンズ： $\times 1.01 \sim \times 1.10$ 倍の無段階補正を手動セット

#### 4.3.5 空打・JST印字

行長指定した後、その行長内に文字を空打入力する。次いでJST演算により、指定行長に対し、最適な文字配置及びサイズを求め、本写植を行う。以上を空打・JST印字という。本機は、表4に示す空打・JST機能を設け、面倒な位置計算や文字サイズ計算作業の軽減を図っている。また、空打・JSTの全工程は、CRT上に半輝度表示され、文字配置や誤字のチェックができる。文字配置修正は、文字指定カーサにより、該当文字の位置修正後、再JSTを行うことによりできる。誤字に関しても、空打文字の変更・挿入・削除機能を設けており、速やかに修正できる。

#### 4.3.6 ファンクションキー

ファンクションメモリに、あらかじめ動作データを登録することにより、そのキーを押すだけで、同一写植動作の繰り返しが可能である。印鑑などの同一图形を何個も作図する場合など、图形パラメータを登録することにより、作図を効率的に行うことができる。

#### 4.3.7 ピコフロッピー

ピコフロッピーをオプション搭載しており、タブ位置、ファンクションキーデータを3インチフロッピーに保存することが可能である。各ユーザーの写植フォーマットデータをフロッピーに登録し、再写植依頼時に、そのフォーマットデータを読み出すことで、簡単に同一フォーマットの再写植ができる。

### 5. 使用例

この章ではROBO15XY IIを用いた組版例について紹介する。図4はデザイナーが作る原稿で、これを基に写植組版作業を行い、版下を作る。従来、このような图形を含む複雑な原稿の版下は、写植作業のみで作り出すことが不可能であり、

(1) 所定の大きさの文字を、適当な間隔で写植する。

(2) 原稿のラフスケッチを版下台紙にトレースする。

(3) (1)で写植した文字を切り取り、原稿に添って貼り込む。

などの手間のかかる作業を必要とする。また、トレースなどは高い技術と時間を必要としていた。しかも、出来上がった版下は、貼り込みのある不完全なものである。

これに対し、ROBO15XY IIでは以下の手順により、图形の描画も含め、写植工程で完全な版下を作ることができる。しかも、ガイドラインや空打機能により、完成イメージをCRT上で事前に確認ができるので、一発で完全版下の作成が可能となった。

(1) 原稿を基に、ガイドライン图形を描く（図5(a)）。

(2) 円組、空打機能などを用い写植組版を行い、仕上がり状態をCRT上で確認する。このとき不具合があれば、変更・修正をする（図5(b)）。

(3) OKなら、記憶データに基づき自動設定される写植位置や文字

表 4. 空打JST印字種類

	JST1	JST2	JST3	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>●指定長間に文字を割り振る。</li> <li>●文字の位置修正、変更、削除、追加、可能</li> <li>●再JST1可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●指定長間に文字がぴったり納まるよう文字サイズを演算し、主レンズ、FQレンズを自動セット</li> <li>●再JST2可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●指定長間に文字がぴったり納まるよう文字サイズを演算し、主レンズ、FQレンズを自動セット</li> <li>●文字高が変わらないよう変形レンズも自動セット</li> <li>●再JST3可能</li> </ul>	
空打1	<ul style="list-style-type: none"> <li>●JST後の本印字は空打と同じ順序</li> <li>●JST後の文字サイズ(主レンズ、FQレンズ)、傾き、位置は記憶され、本印字時は自動セットされる。</li> <li>●JST割り振り結果は半輝度表示される。</li> </ul>	<p>空打1</p> <p>JST1 ↓本印字</p>	<p>空打1</p> <p>JST2 ↓本印字</p>	<p>空打1</p> <p>JST3 ↓本印字</p>
空打2	<ul style="list-style-type: none"> <li>●JST後の本印字は、文字、あき、SPの順序が自由</li> <li>●JST後半輝度表示なし。</li> </ul>	<p>空打2</p> <p>テンキー入力↑ 写植キー入力 JST1 4分 (空打文字は消去される)</p> <p>本印字</p> <p>SP 株式会社 □ モリサワ SP</p>	<p>空打2</p> <p>JST2 (空打文字は消去される) ↓本印字</p>	<p>空打2</p> <p>JST2 (空打文字は消去される) ↓本印字</p>
空打3 [フリー] 空打	<ul style="list-style-type: none"> <li>●自由な位置に空打可能</li> <li>●JST演算なし、空打時の文字サイズ、傾き、位置は記憶され、本印字時は自動セットされる。</li> <li>●JST後も空打文字は半輝度表示される。</li> </ul>	<p>空打3</p> <p>JST1 ↓本印字</p>	—	—

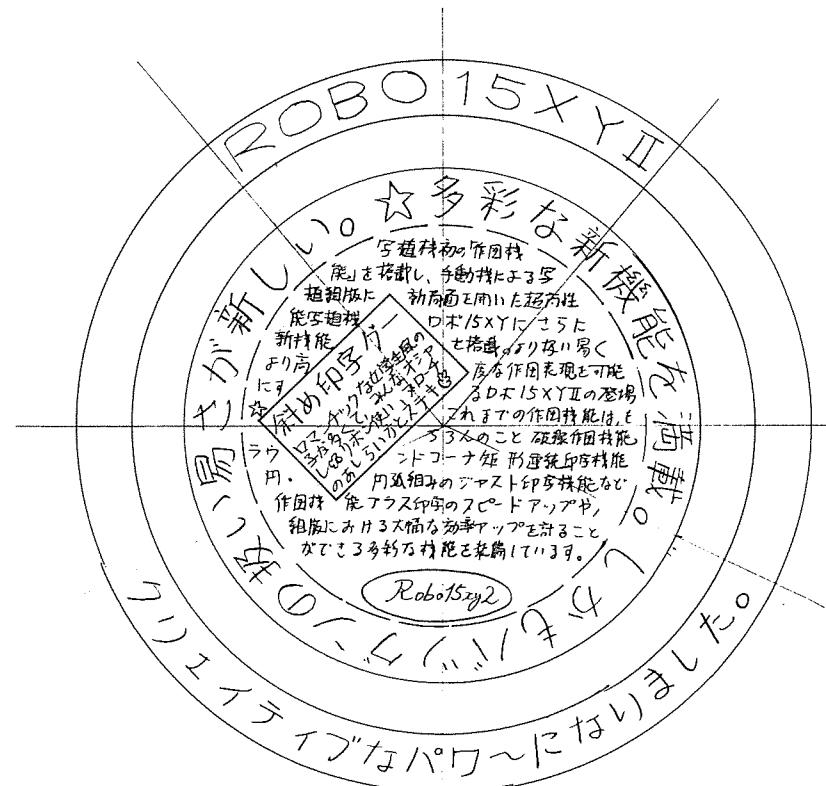
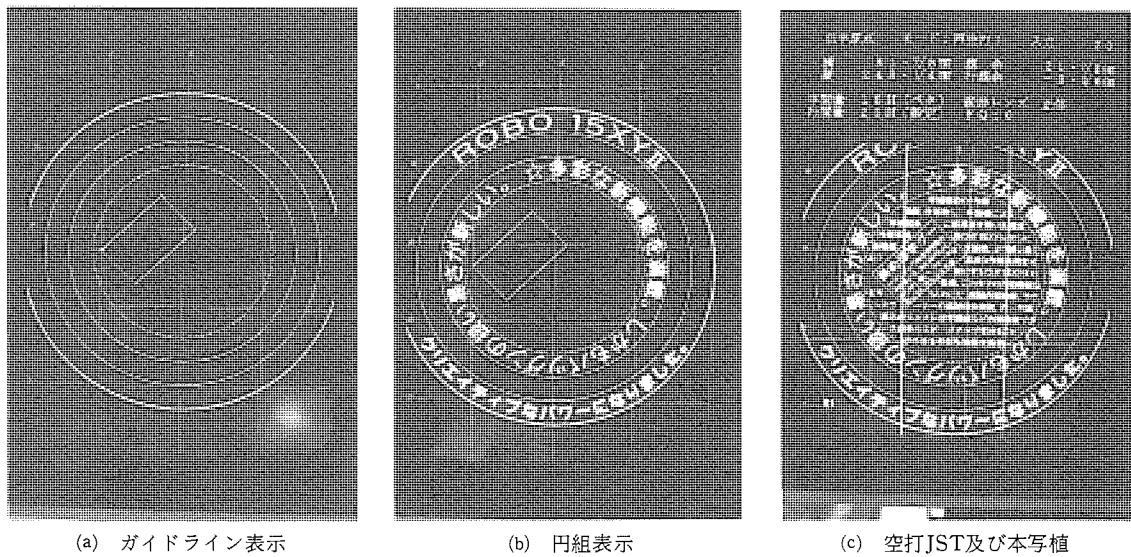


図 4. 版下原稿例



(a) ガイドライン表示

(b) 円組表示

(c) 空打JST及び本写植

図 5. 写植内容のモニタ表示



図 6. 版下結果

サイズに従って、CRT上で確認したと同一の図形・文字を感材上に写植していく(図 5(c))。

図 6 にその写植組版による版下出力結果を示す。

## 6. むすび

以上、表示機能・作図機能・高度な組版機能を備えた高性能写植機ROBO15XYIIについて紹介した。

本機により、初めて可能となった“写植工程での高度な組版”、“作

図も含んだ完全版下の作成”は、付加価値の高い高級写植組版分野を開拓したとして、発売以来、ユーザーから大きな評価をいただいている。今後、多種にわたるユーザーの声をもとに、機能のグレードアップ、電算写植との結合などによるシステム化を図っていきたい。

最後に、ROBO15XYIIの共同開発に当たり、御指導・御尽力を賜った関係者各位に深く感謝の意を表す次第である。

# 文献データベース知的検索システム

小林健三\* 佐々木道雄\*\* 梁田和彦\*\* 小泉裕一\*\* 平松 齊\*\*\*

## 1. まえがき

文献データベース知的検索システム（以下、本システムという。）は、三菱電機（株）機械システム振興協会から委託研究として受けた知的OA向けエキスパートシステムの具体例であり、三菱AIワークステーション《MELCOM PSI》上で昭和63年3月にプロトタイプの開発を完了したものである。

本システムは、この研究課題（知的OA向けエキスパートシステムの開発）に対して既存の文献検索システム上に、知的な付加価値を追加することにより、より高度で容易に利用可能な文献検索システムの実現を目的としている。

本システムの開発に当たっては、既存のデータベースとしての、情報量と利用実績を考えて、日本科学技術情報センターが提供する文献情報並びに研究開発情報に関するオンライン検索システム（JOIS）を選定した。

この論文では、文献データベース知的検索システムの基本思想と概要及びシステムの構成と機能について述べる。

## 2. 基本思想とシステム概要

従来型の情報処理方式では、明示的な問題しか扱えなかった。エキスパートシステムは、限定された専門分野における専門家の知識をコンピュータ上に知識ベースとして移植し、その専門分野の問題解決方法を非専門家に提供し、支援するシステムである。エキスパートシステムでは、専門家の持つ知識による問題解決方法も組み込まれるので、従来技術では実現の難しかった処理が可能である。このような概念を、OA業務の一つである文献検索システムに適用したのが本システムである。

現状の文献検索システムは、図1に示すような構成であり、ユーザーは端末装置から検索に必要なコマンド列の入力を繰り返し、目的とする情報を検索する。しかし、コマンド列の選定などシステムを利用する方法にもノウハウがあるので、オペレーションに不慣れな者と慣れている者の作業効率には大きな差がある。そこで本システムでは、図2に示すような構成をとり、このような作業効率の差を解消することを目的としている。

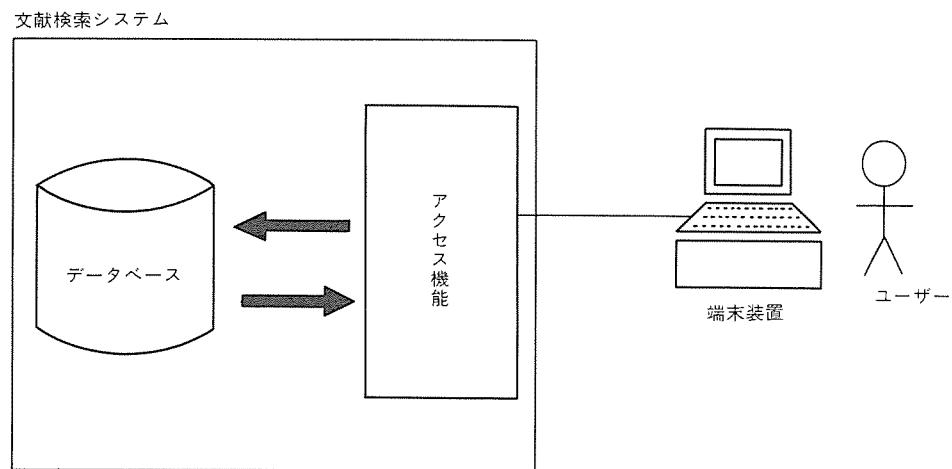


図1. 従来型の文献検索システムの構成

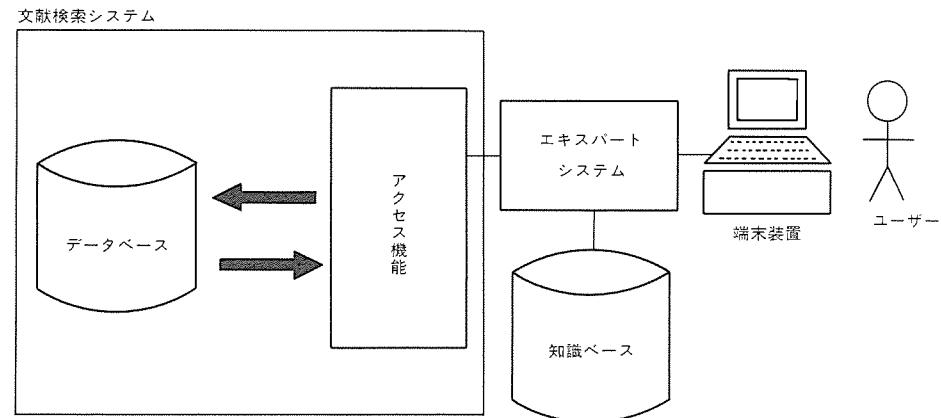


図2. 知的文献検索システムの構成

\*三菱電機(株)本社 \*\*同コンピュータ製作所 \*\*\*三菱電機東部コンピュータシステム(株)

本システムの開発に当たっては、まずこのような現状の文献検索システムでは何が不足しているのか、何を加えれば知的なシステムといえるのか、ということを検討するところから出発した。その結果、OA業務の性格と文献検索システムという二つの視点から以下のような開発テーマを抽出した。

## 2.1 初心者でも容易に扱えるシステム

### (1) 背景

現状のシステムの多くは、システムとしてのガイダンス機能が不十分であるために端末操作に対する訓練が必要となり、業務を専門化してしまっている。

### (2) 検討結果

文献検索システムとしての全体のシーケンスを、システムプランとして知識ベース化し、ユーザーの検索状況とシステムプランを照合することにより、ユーザーを検索終了まで誘導する知的ガイダンス機能を実現する。

## 2.2 あいまいな情報を扱えるシステム

### (1) 背景

現状の文献検索システムでは、操作方法、入力データがユニークなものが多い。したがって、システムを熟知したユーザーでないと扱えないのが現状である。特に、検索したい文献のテーマがあいまいな場合、それを実際の検索キーワードまで掘り下げる作業が重要なとなる。

### (2) 検討結果

あいまいな文献テーマを網羅する関連語を数多く抽出し、その関連語の関係とシステム内の表現を知識ベースとして定義しておくことにより、ユーザーのあいまいなデータ入力に対処する。

## 2.3 文献検索における業務の定型化

### (1) 背景

文献検索システムにおいては、2.2節でも述べた検索キーワードの選択作業や、検索キーワードの組合せによる検索論理式の生成作業及び検索過程での情報の絞り込み作業が人間の判断に任されていて、作業量的にも大半を占める。

### (2) 検討結果

検索キーワード選択作業については、2.2節の検討結果に加えて文献検索システム内の検索キーワードを普遍的知識として持つことにより対処し、論理式生成及び絞り込み作業についても、その検索業務の専門家のノウハウをルールとして知識ベース化することで対処することとした。

## 2.4 柔軟なマンマシン インタフェース

### (1) 背景

文献検索システムのみならず、OA全般においてもマンマシン インタフェースはまちまちであり、ある機種で覚えたものが他機種に通用しないという問題がハードウェア的にもソフトウェア的にもある。

### (2) 検討結果

メニューによる選択方式がユーザーにとっては扱いやすいものもあるが、メニュー方式にすると、システム全体としての柔軟性を欠いてしまうこと、前述した背景を解決していないこと、将来は音声入力などの専用インターフェースが開発されることなどの理由により、キーボードからの半自然言語（日本語文章）入力とマルチウインドウを利用したマンマシン インタフェースとした。

このような検討の末、我々が考えた文献データベース知的検索シ

ステムは、次章で示す構成と機能を持つものとなった。

## 3. システムの構成と機能

この章では、開発した本システムの全体構成とその機能について述べる。図3と表1は、システムの構成と表現する知識を示している。

### 3.1 ユーザー対話機能

この機能はユーザーと他の機能とのインターフェースをとるもので次の処理を行う。なお、この機能の実現に当たっては、ICOT（新世代コンピュータ技術開発機構）の研究開発成果である“知的対話システム”を使用させていただいている。

#### (1) 日本語文章処理

日本語文章の記号列から、文法（構文）、辞書を用いて構文解析を行い構文木に変換する。文法、辞書については対話機能用辞書に格納されており、その追加・変更に対してはテキストからの一括変換機能と会話的に辞書を生成する機能を備えている（図4）。

#### (2) 文脈処理

「それ」、「もの」といった代名詞を用いた入力文を、具体的な名詞に置き換える代名詞処理機能と、入力文中に明示されていないものも文章の前後関係から適宜補う省略処理機能を持っている。これら二つの機能は、ユーザーとの自然な会話を実現するために重要な要素技術となっている（図5）。

### 3.2 文献検索管理機能

本システム全体のシーケンス（システムプラン）は、この機能の内部に知識ベースの形で保持されている。さらに、会話が進むたびにその履歴をユーザープランとして生成していく。このシステムプランとユーザープランとの照合によって、ユーザーの意図の認識とチェック及び次アクション（会話）の誘導などを実現している（図6）。

具体的には以下の処理を行う。

#### (1) シーケンスチェック

ユーザーが入力した文章（アクション）が、システムプラン上許されるものなのか否かをチェックする。許されないものであった場合は、単にエラーとして返すのではなく、何故許されないので、本来何をすべきなのかをユーザーに提示する。

#### (2) ユーザープラン生成

ユーザー入力に対応したシステムの処理（検索）結果を履歴として登録し、ユーザープランを生成する。

#### (3) 誘導

システムプランとユーザープランをもとに今どこまで処理が進ん

表1. 本システムで表現する知識

対象	日本科学技術情報センター（JICST）文献抄録システムとしてはJOIS	
普 遍 的 の 知 識	対象知識	実現する機能（知識ベース）
	日本語文章構文解析のための辞書	対話機能用辞書
	JICSTのキーワードとその関連	電子化シソーラス データベース
	概念とJICSTのキーワード間の連想関係	連想キーワード データベース
専 門 的 の 知 識	文献検索のシステムプラン	文献検索管理機能
	検索キーワード抽出作業に関する知識	キーワード知的検索機能
	論理式生成作業に関する知識	検索論理式ルールベース
	情報の絞り込み作業に関する知識	検索論理式ルールベース

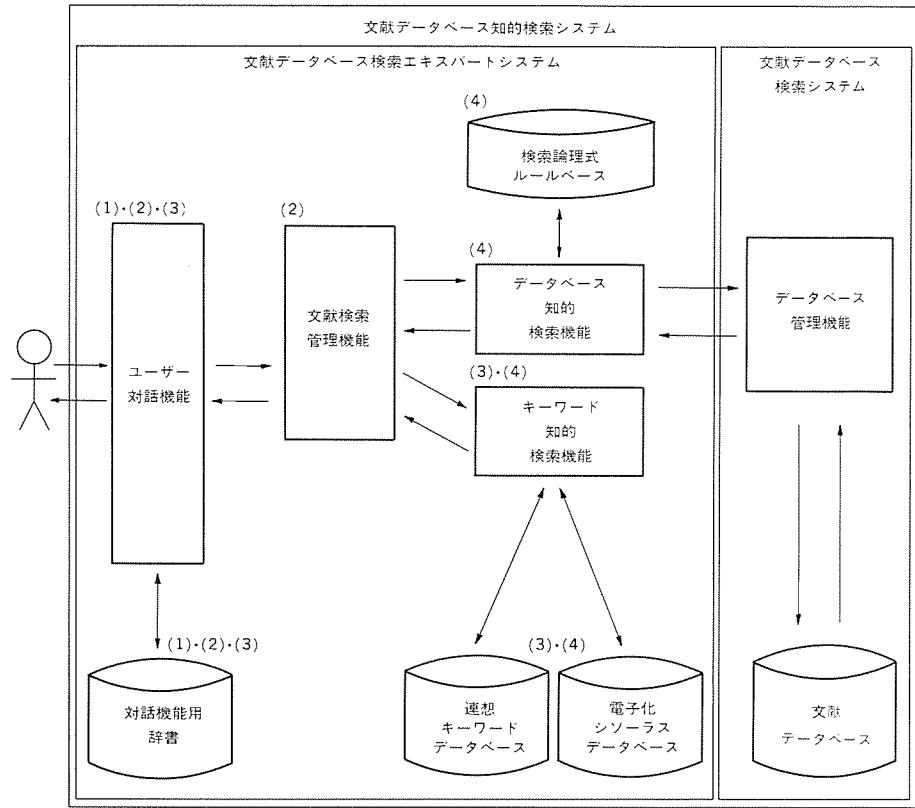


図3 文献データベース知的検索システム構成

でいるのかを判断し、システムとしての処理を進めていくに当たり、次にユーザーは何をすべきなのかを誘導という形で提示する

### 3.3 キーワード知的検索機能

シソーラス（文献検索システムのキーワード集）の検索キーワードと、概念の関係及びシソーラスの検索キーワードとそのキーワード間の関係は、連想キーワード データベース、電子化シソーラスデータベースとして本システム内に普遍的知識として表現されている。

この機能は、この二つの知識ベースを使用することにより、2.3節で述べた検索キーワード選択作業の定型化を実現する（図7）。

具体的には以下の処理を行う。

### (1) 連想キーワード検索

連想キーワード データベースを用いることにより、ユーザーの検索対象に対する概念的なイメージを実際の文献データベース検索のためのキーワード（ディスクリプタ）に置き換え、会話的に検索キーワードを選択していく。

## (2) 上下位語検索

(1)で置き換えられた検索キーワードについて、シソーラスの構造の、より上位あるいは下位へ焦点を移動することにより、本来ユーザーが選択したかった検索キーワードを会話的に挿し出す

ここでは、電子化シソーラス データベースが使用される

### 3.4 データベース知的検索機能

この機能は2.3節で述べた論理式生成及び文献の絞り込み作業の定型化を実現するものである。検索キーワードをどのように組み合わせればユーザーの意思及び希望件数に合った文献の論理式が生成できるのかという論理式生成に関する専門的知識と、生成した論理式では満足した結果が得られなかった場合に、どのように論理式を変更すればよいかという絞り込みに関する専門的知識は、検索論理式ルールベースにプロダクションルールの形式で表現されている。このプロダクションルールにより、検索論理式が自動生成されることにより、前述した専門的知識を持たないユーザーでも容易に希望する文献数への絞り込みが可能となり、目的の文献を検索し出すことができる。



図4 入力日本語文章処理の展開例

・代名詞処理

```

    └─発行年が1987年の文献は
        └─それが1985のものは
            (1)の下位語は
            └─(3)のそれは

```

・省略処理

```

    └─著者が鈴木で発行年が1987年の文献は
        └─その中で資料種別が学位論文のものは

```

図5. 代名詞処理と省略処理の例

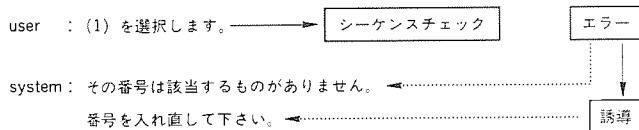


図6. 文献検索管理機能に関する対話例

・連想キーワード検索

```

user : 航空システムの信頼性に関する文献は。
system : 航空システム及び信頼性というキーワードはデータベース
        にありませんが、以下の類似したキーワードならあります。
        航空システム
        (1) aerospace_computer_control
        (2) aerospace_computing
        信頼性
        (3) reliability
        キーワードとしてどれを選択しますか？

```

・上下位語検索

```

user : (3)の下位語について知りたい。
system : reliabilityの下位語は以下の通りです。
        (4) circuit_reliability
        (5) operational_reliability
        キーワードとしてどれを選択しますか？

```

図7. キーワード知的検索機能の対話例

#### 4. むすび

以上、文献データベース知的検索システムについて、その基本思想から個々の機能について述べてきたが、システムの機能や性能については、ユーザー（文献検索の専門家3名を含む13名）に評価試験を行った。また、本システムの課題についても検討した。

(1) ユーザーによる評価試験結果

(a) 従来のシソーラスブックによるキーワードの抽出に比べ、本

表2. 性能面（応答性）のアンケート集計結果

	現状システム	本システム
キーワード選択	約20分 ※	約5分
検索論理式生成	約10分 ※	約5分
文献検索システムへのアクセス	約15分	
小計	約45分	約10分
文献情報の入手（件数は10件と想定）	約5分	約5分
総時間	約50分	約15分

注 ※は机上作業

システムでは端末操作により容易にキーワードを抽出できる。

- (b) ユーザー自身のイメージするテーマに合ったキーワードが連想キーワード データベースに登録されているため、ユーザーの知っている概念からキーワード（ディスクリプタ）に到達することができる。
- (c) 検索論理式を自動生成してくれる所以、従来のように絞り込みのために論理式の生成に労力を費やすことなく絞り込みが容易になった。ただし、生成ルールの充実など改善の余地はある。
- (d) 性能面（応答性）についても表2のとおり、操作時間が短縮されているなど、従来のシステムに比べ優れていると指摘されている反面、検索論理式の表示方法など改善点も指摘された。

(2) 今後の課題

本システムは現段階では、プロトタイプであり実用レベルのシステムを目指すためには次のことが検討課題となる。

- (a) 高効率かつ高速な辞書技術の選択と導入

本システムは、辞書に関してはその生産効率・速度などを重視しておらず、知的インターフェースの実現に重きをおいてきた。したがって、今後は、今現在も研究が続けられている辞書研究機関の成果を有効に利用していくことが必要である。

- (b) 日本語文章処理・文脈処理の強化

現状の日本語文章処理・文脈処理は、限定された分野のシステムには対処できるが、より大きなシステムを考えた場合その能力に懸念がある。この項目についても今後の自然言語研究の動向を常にとらえていく必要がある。

- (c) 概念・文型・専門的知識などの質的・量的充実

エキスパートシステムの良否は、その中に構築されている知識ベースの質と量に大きく左右される。この点は、本システムにおいても例外ではなく、徐々にそれらの知識を改良し、増やしていくなくてはならない。

今後更に、より良いシステムとし、実用化を目指すためには、上述した項目だけでなく、あらゆる方向からの評価・分析を行い改良していく必要があると考えている。

このプロジェクトの開発に当たっては、財機械システム振興協会及び同協会のAIエキスパートシステム分科会（委員長 電子技術総合研究所 諏訪 基氏）委員各位に御指導をいただき、この誌面を借りて感謝の意を表す。

# データベースのユーザーフレンドリ インタフェース MELQUERY

和田雄次\* 中川路のぞみ\* 金森卓郎\*

## 1. まえがき

エンドユーザーに対してデータベース管理システム(DBMS)を提供する際、DBMSの機能として必要なものの一つに「使いやすさ」がある。既存の商用DBMSでエンドユーザーが使用するものでは、キーボード(K/B)からコマンドを打ち込むコマンド型のユーザーインターフェースを持つものがほとんどである。K/B操作が多いので、入力ミスを引き起こしやすく、データベースの名称やデータ属性更にコマンドの構文を覚える煩雑さもある。

一方、エンドユーザーに対して提供されるDBMSとしては、そのデータモデルがユーザーにとってわかりやすく、かつ理論体系が整っているという点からリレーションナルモデルが世の中の主流となっており、データベース言語としてはISOとJISでSQLが規格化された<sup>(1)</sup>。

このような状況のもとで、当社においても三菱マルチメディア エンジニアリング ステーション“ME1000シリーズ”の持つマウス、アイコン、マルチウインドウの機能を用いて、視覚的かつ対話的にデータベースをアクセスするユーザーフレンドリ インタフェース MELQUERYを試作した。

## 2. 研究開発の背景

この章はデータベースのユーザーインターフェース技術に関する研究開発動向とその要求機能を整理する。

### 2.1 データベース ユーザーインターフェースの技術動向

最近、データベースのユーザーインターフェースを改善するための研究開発が盛んに行われている。その代表的な技術は、視覚的インターフェース、例示型インターフェース、自然言語、知的インターフェース、第四世代言語などである。

- (1) 視覚的インターフェースの特長は、操作の対象がアイコンやウインドウという形でユーザーの目に見えるようになっていること、視覚的な対象をポインティング デバイスで直接操作できることなどである<sup>(2)(3)</sup>。
- (2) 例示型インターフェースの特長は、データベース検索の例題を示しながら端末フルスクリーンモードでデータベース操作することである<sup>(4)</sup>。
- (3) 自然言語の特長は、自然言語が人間やシステムに対して柔軟であること、すなわちユーザーの持つ要求のあいまい性を吸収できることである<sup>(5)</sup>。具体的には、自然言語によるデータベース問い合わせ文をSQL文に変換する技術が研究されている。
- (4) 知的インターフェースは、知的ガイダンス機能や知情検索機能などが研究されている<sup>(6)</sup>。
- (5) 第四世代言語は、ソフトウェアの生産性向上を意図したプログラムレスツールであり、データベース機能、スプレッドシート機能、グラフィックス機能などが統合化されている点を特長としている。数多くの製品が市場に出回っている<sup>(5)</sup>。

以上まとめると、自然言語や知的インターフェースはまだ研究段階の技術であり、例示型インターフェースと第四世代言語はかなり成熟した技術であるが、視覚的インターフェースは研究段階から実用化レベルへと推移している段階の技術であると考えられる。一方、ビットマップ ディスプレイの最近の普及を考えると、上記のユーザーインターフェースの中で視覚的インターフェースが今後ますます重要な技術となっていくと思われる所以、当社においてもデータベースの視覚的ユーザーインターフェース技術の研究開発を進めている。

### 2.2 データベース ユーザーインターフェースに対する要求機能

データベースを用いる業務は、定型処理業務と非定型処理業務に分類できる。前者はデータベースに対するバッチ処理的な利用形態が中心であるが、一方後者は対話処理的な利用形態が多い。したがって、前者はCOBOLに代表される手続き型言語で作成した適用業務プログラムが適しているが、後者はワークステーションやパソコンなどを用いた対話形式の操作が適している。

一方、データベースアクセスの処理形態は集中処理型と分散処理型に分類できる。前者は大型ホスト計算機を用いる集中型データベースシステムであり、後者はワークステーションと大型ホスト計算機の組合せ、またはワークステーション同士の分散データベースシステムとして実現される。

この中で、今後の主流と予想されるワークステーションを基にした分散データベースシステムを用いて、非定型業務を処理するときに求められる使いやすいデータベース ユーザーインターフェースとしては、

- (1) 操作する対象が視覚的に認識できること。
  - (2) 操作の対象は機能に先行して選択できること。
  - (3) 操作方法は対象の内容や存在位置のいかんにかかわらず、機能ごとに統一化していること。
  - (4) データベース操作機能が孤立しないで、データ加工や報告書作成の機能と統合化していること。
- などが考えられる。

## 3. ユーザーフレンドリ インタフェース MELQUERY

この章は当社において試作したデータベースのユーザーフレンドリ インタフェース MELQUERYについて記述する。

### 3.1 位置付け

前章の2.2節に述べた要求を満足するために、2.1節に述べた技術動向の中で技術的完成度が高く、かつ実用化レベルに近づいているという点から視覚的インターフェースを選択し、データベースのユーザーフレンドリ インタフェース MELQUERYを試作した。具体的にはMELQUERYは三菱マルチメディア エンジニアリング ステーション“ME1000シリーズ”上に搭載し、“ME1000シリーズ”的提供するデスクトップ環境デスクトップ マネージャ<sup>(6)</sup>の下で動作する。

デスクトップ マネージャの下で動作する応用サービスには、文

書処理、電子ファイル、電子メール、ジオメトリック図形、グラフ処理などがあり、MELQUERYもこの応用サービスの一つ、すなわちデータベースサービスとして位置付けられる。

### 3.2 構成

図1はMELQUERYのソフトウェア構成であり、各構成要素の機能は次のとおりである。

#### (1) マンマシン インタフェース (MMI)

“ME1000シリーズ”のマウス、メニュー、マルチウインドウ、アイコンを介してユーザーからの入力を受けて、操作対象の内容を表示したり、あるいは実行結果をウインドウ上に表示したりする。

#### (2) SQLインターフェース (SQLi/f)

ユーザーの入力した操作内容をSQL文に変換し、RDBASEi/f(後述)にそのSQL文の処理を依頼し、その実行結果をMMIへ戻す。

#### (3) RDBASEインターフェース (RDBASEi/f)

SQLi/fから受け取ったSQL文を、RDBASE(後述)固有のデータ操作言語に変換し、RDBASEにそのデータ操作の実行を依頼し、その実行結果をSQLi/fへ戻す。

#### (4) リレーションナル データベースシステム RDBASE<sup>(7)</sup>

“ME1000シリーズ”上に提供するDBMSである。

#### (5) パーソナルテーブル管理システム (PTMS)

パーソナルテーブルは、MELQUERYで用いる個人用スプレッドシートのことである。PTMSでは、MMIからの入力内容を受けて、パーソナルテーブルのデータ加工(例えば、表計算)を行う。

### 3.3 機能

#### 3.3.1 特長

MELQUERYの第一の特長は、操作対象先行型のユーザーインターフェースであり、かつリレーションナル データベースのデータ操作とパーソナルテーブルのデータ加工を行うための統一化された視覚的なユーザーインターフェースを提供していることである。すなわち、データベースのデータ操作やパーソナルテーブルのデータ加工の際、表示されている操作対象の中から特定の操作対象をマウスでポインティング選択し、次に機能を選択した後実行へと進むので、ユーザーはデータベースやパーソナルテーブルの名称、内容、その中のデータ項目名、データ型、表示属性などを記憶してK/B入力しなくともよい利点がある。

MELQUERYの第二の特長は、データベース操作内容がいったん標準SQLに変換されて、リレーションナル データベースをアクセスすることである。したがって、MMIは下位のDBMSからのモジュール独立性が高いので、SQL言語を提供する任意のDBMSとの接続が

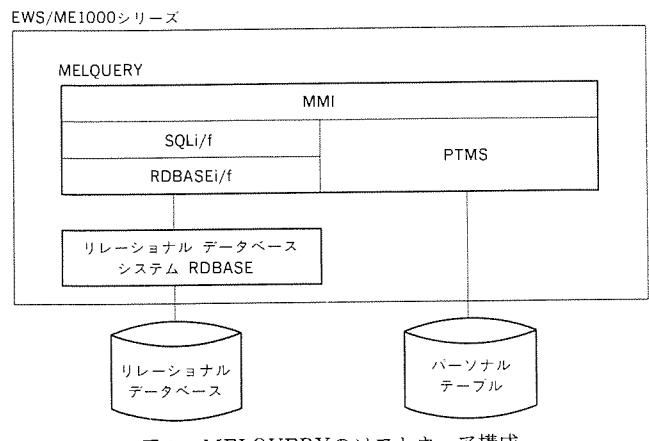


図1. MELQUERYのソフトウェア構成

容易となる利点がある。

#### 3.3.2 オブジェクト体系

MELQUERYの操作対象、すなわちオブジェクトは、リレーションナル データベースのリレーション全体集合を意味するDBBOXオブジェクト、パーソナルテーブルの全体集合を意味するPTBOXオブジェクト、個々のリレーションを意味するDBオブジェクト、個々のパーソナルテーブルを意味するPTオブジェクトがある。これらのオブジェクトは図2に示すようにアイコンとして表示される。

#### (1) DBオブジェクト

DBオブジェクトのリレーションは、RDBASEのリレーションと同一の概念である。すなわち、リレーションのアトリビュートに許されるデータ型は、日本語・文字型・整数型・実数型の4種類である<sup>(7)</sup>。

#### (2) PTオブジェクト

PTオブジェクトのパーソナルテーブルは、DBオブジェクトに対するリレーションナル演算の結果(導出表)として二次記憶上に格納され、簡単な表計算が可能である。

PTオブジェクトのパーソナルテーブルは、図3に示すような二次元表形式のデータ構造をしており、項目はデータ型に相当する物理属性、表示形式である表示属性などが定義される。

DBオブジェクトのリレーションは、アトリビュートやタップルの順序には意味がないが、PTオブジェクトのパーソナルテーブルは表計算の結果(例えば、合計値や平均値)を格納する項目や行を特定化する必要性が高いので、項目や行には識別番号を定義してその順序に意味を持たせている。例えば、PTオブジェクトのパーソナルテーブルの第一番目の行はL1、第二番目の行はL2、一方第一番目の項目はC1、第二番目の項目はC2のように識別番号を割り付ける。

すべてのオブジェクトは、リレーションの名称とアトリビュート名、パーソナルテーブルの名称と項目名などがマウスを用いたウインドウ間転送機能により、K/Bを介さずに指定できるので、誤入力の減少が大きな利点である。

#### 3.3.3 コマンド体系

MELQUERYのコマンドは、一般コマンドと基本コマンドに分類できる。一般コマンドは、データベースに対するリレーションナル演算機能とパーソナルテーブルに対する簡単な表計算機能を提供する。この一般コマンドは、MELQUERYの中心的な機能である。基本コ

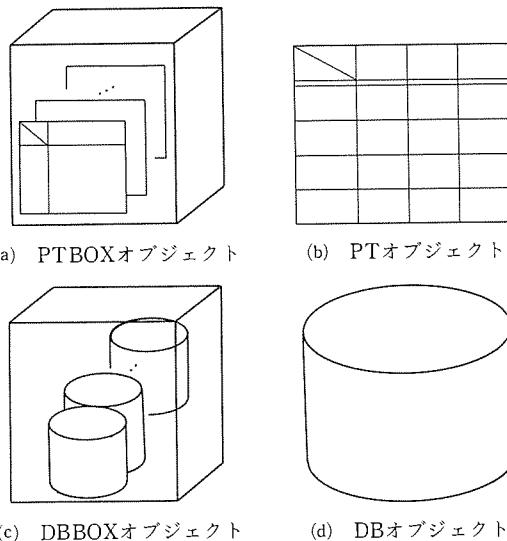


図2. オブジェクトのアイコン表示

部品 データ			
部品	部品テーブル		
↓			
	C1	C2	C3
部品コード	部品名	在庫量	
L1	1004	D	0
L2	2011	K	4
L3	1002	B	2
L4	1001	A	5
L5	1003	C	3
L6	0001	1	10

(a) データ

部品 属性			
部品	部品テーブル		
↓			
項目名	部品コード	部品名	在庫量
物理属性	5.5c	3.3c	5i
表示属性	RX	RX	RX
意味属性			
保護属性	RW	RW	RW

(b) 属性

図 3. パーソナルテーブル

マンドはリレーション名やパーソナルテーブル名の一覧表示や内容表示などの基本機能を提供する。表 1 にコマンド体系を示す。

基本コマンドと一般コマンドは同時実行可能であるが、一般コマンド同士は同時実行不可能である。

#### (1) 基本コマンド

基本コマンドは、一覧表示 (LIST), 表示 (DISPLAY), 削除 (DROP), 格納 (STORE) である。一覧表示コマンドは、DBBOX オブジェクトと PTBOX オブジェクトが操作対象であり、各々デー

タベースのリレーション名とパーソナルテーブルの名称などを一覧表示する。表示コマンドは、DBオブジェクト又はPTオブジェクトのデータと属性を表示する。削除コマンドは、DBオブジェクト又はPTオブジェクトを削除する。格納コマンドは、DBオブジェクトとPTオブジェクトを各々DBBOXとPTBOXへ収納する。

#### (2) 一般コマンド

一般コマンドは、DBオブジェクトに対するリレーション演算として選択 (SELECT), 射影 (PROJECT), 結合 (JOIN), 生成 (CREATE), 更新 (UPDATE), 挿入 (INSERT), 分類 (SORT), 及び索引の生成 (CREATE INDEX) と削除 (DROP INDEX) などの機能を提供する。一方、PTオブジェクトに対しては、簡易表計算 (CALCU) の機能を提供する。基本コマンドと一般コマンドは、既に選択したオブジェクトの種類や個数に対応したメニュー や フォームからマウスを用いて選択する。

#### (3) その他

DBオブジェクトのリレーションに対するアクセス権限定義 (ACCESS), 回復 (RECOVER), 印刷 (PRINT) の機能を提供する。印刷はDBオブジェクトのウインドウ上の出力ボタンをクリックして実行する。

#### 3.3.4 オブジェクトとコマンドの対応付け

オブジェクトとコマンドの間の対応付けを整理すると、図 4 に示すようになる。すなわち、DBオブジェクトの空リレーションを用いて新しいリレーションをCREATEすると、DBオブジェクトのリレーションとなる。DBBOXオブジェクトをLISTすると、存在するリレーション名がすべて一覧表示されるので、その中からリレーション名を指定するとDBオブジェクトが生成される。このDBオブジェクトに対するリレーション演算による導出結果はPTオブジェクトに変換して、PTBOXオブジェクトにSTOREできる。また、このPTオブジェクトはCALCUすることも可能であり、その結果もPTBOXオブジェクトへSTOREできる。一方、PTBOXオブジェクトをLISTすると、PTBOXオブジェクト内にのみ存在するパーソナ

表 1. MELQUERYのデータ操作コマンド

コマンド種類	コマンド名	コマンド機能	オブジェクト			
			DBBOX	PTBOX	D B	P T
基本コマンド	LIST	BOX内に存在するPTとリレーションの一覧表示	○	○	×	×
	DISPLAY	PTとリレーションの表示	×	×	○	○
	DROP	PTとリレーションの削除	×	×	○	○
	STORE	PTとリレーションのBOXへの格納	×	×	○	○
一般コマンド	SELECT	リレーションの検索	×	×	○	×
	PROJECT	リレーションの射影	×	×	○	×
	JOIN	リレーションの結合	×	×	○	×
	SORT	リレーションの分類	×	×	○	×
	CREATE	リレーションの生成	×	×	○	×
	INSERT	リレーションの挿入	×	×	○	×
	UPDATE	リレーションの更新	×	×	○	×
	CREATE INDEX	索引の生成	×	×	○	×
	DROP INDEX	索引の削除	×	×	○	×
その他	CALCU	PTの簡易表計算	×	×	×	○
	PRINT	リレーションの印刷	×	×	○	×
	ACCESS	リレーションのアクセス権限定義	×	×	○	×
	RECOVER	リレーションの回復	×	×	○	×

注 ○: オブジェクトとして指定可能  
×: オブジェクトとして指定不可能

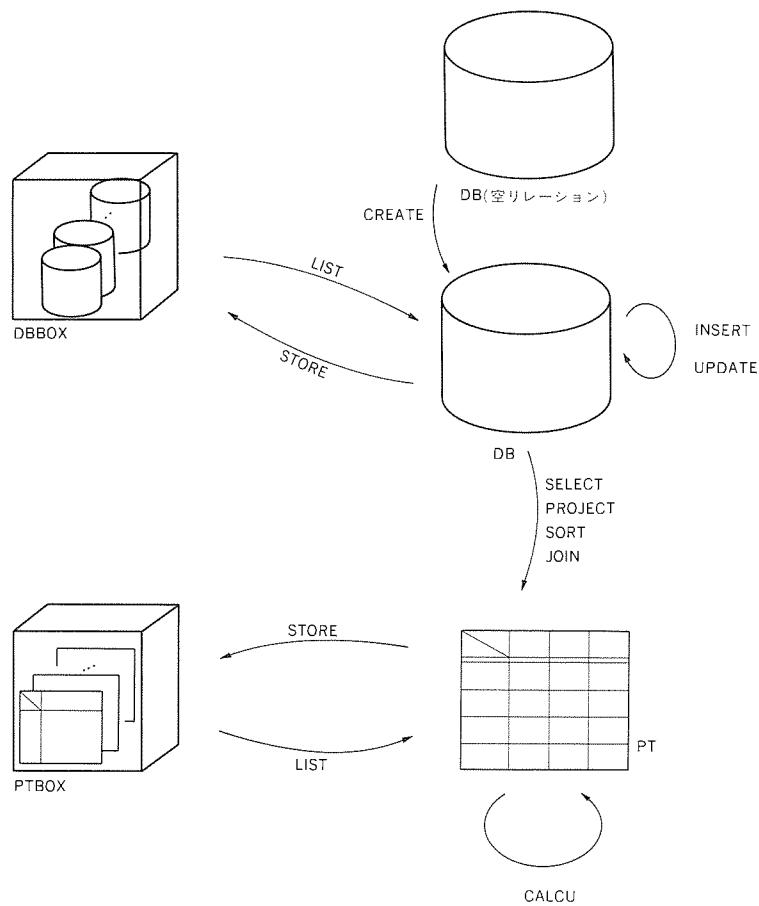


図4. オブジェクトとコマンドの関係

ルテーブル名がすべて一覧表示されるので、その中からパーソナルテーブル名を指定するとPTオブジェクトが生成される。このPTオブジェクトもCALCUすることが可能である。

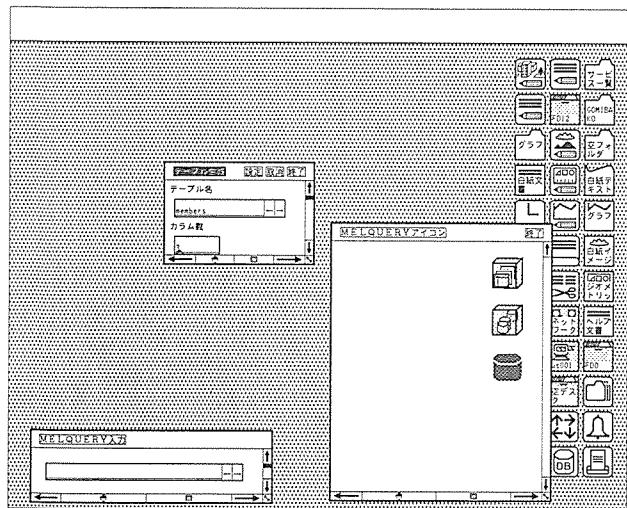
#### 4. 操作例

この章はデスクトップ環境からデータベースサービス MELQUERYを呼び出して、リレーションナルデータベースをアクセスする操作の例を示す。

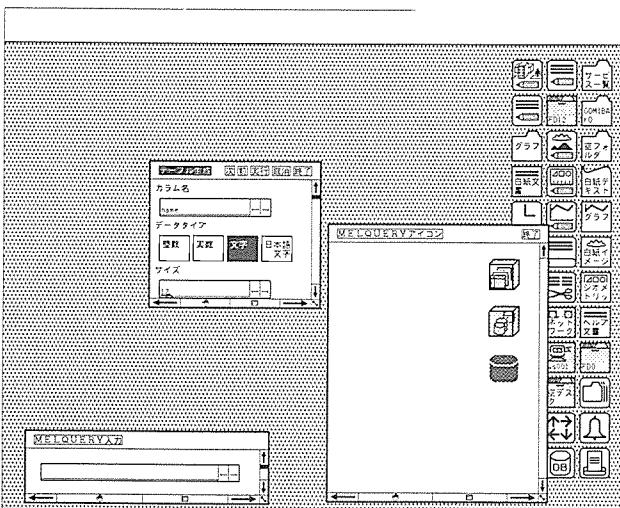
##### (1) リレーションの生成

アトリビュートがname, address, balanceから成るリレーションmembersを新規に生成する例を図5に示す。この例ではDBオブジェクトのアイコン（空リレーション）をマウスでクリックしてオブジェクト指定した後、リレーションの名称（テーブル名）、アトリビュートの個数（カラム数）、各アトリビュートの名称（カラム名）、データ型（データタイプ）、データ長（サイズ）を入力している。

##### (2) リレーションの挿入



(a) テーブル名の定義



(b) カラム名の定義

図5. リレーションの生成

リレーションmembersにアトリビュートnameがField,W., アトリビュートaddressが43Cherry La., アトリビュートbalanceが0.0であるタップルを挿入する例を図6に示す。この例ではDBオブジェクト

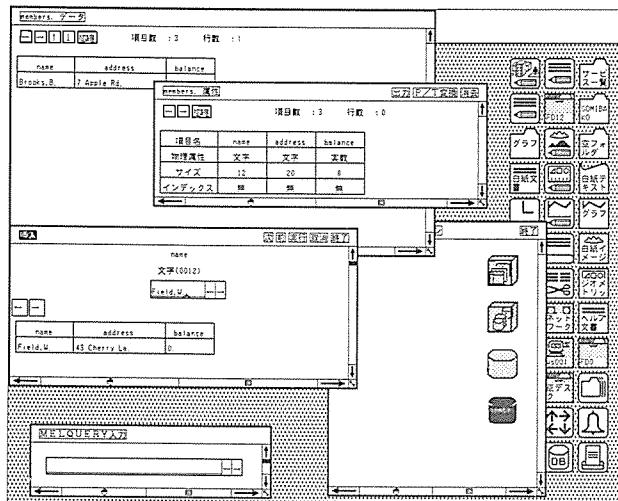


図6. リレーションの挿入

トのアイコン (members) をマウスでクリックしてオブジェクト指定した後、タップル値を入力している。

### (3) リレーションの更新

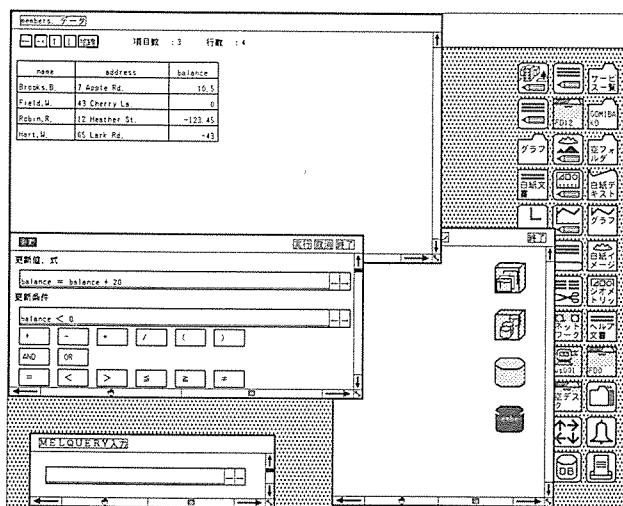
リレーションmembersのデータの中でアトリビュートbalanceの値が負であるデータを選び、そのアトリビュートbalanceの値に20を加算して更新する例を図7に示す。この例ではDBオブジェクトのアイコン (members) をマウスでクリックしてオブジェクト指定した後、更新条件式としてbalance < 0, また更新式としてbalance = balance + 20をマウスによるウインドウ間転送機能とK/Bにより入力している。

### (4) リレーションの検索

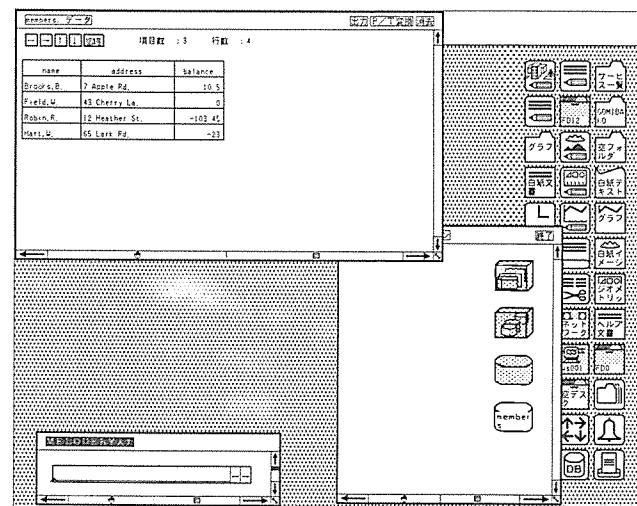
リレーションpublishから郵便番号が101番であるデータを検索する例を図8に示す。この例ではDBオブジェクトのアイコン (publish) をマウスでクリックしてオブジェクト指定した後、選択条件式としてpublish.郵便番号 = "101" をマウスによるウインドウ間転送機能とK/Bにより入力している。

### (5) リレーションの結合と射影

二つのリレーションlibraryとpublishを共通する出版社の名称で結合する例を図9に示す。この例ではDBオブジェクトのアイコン

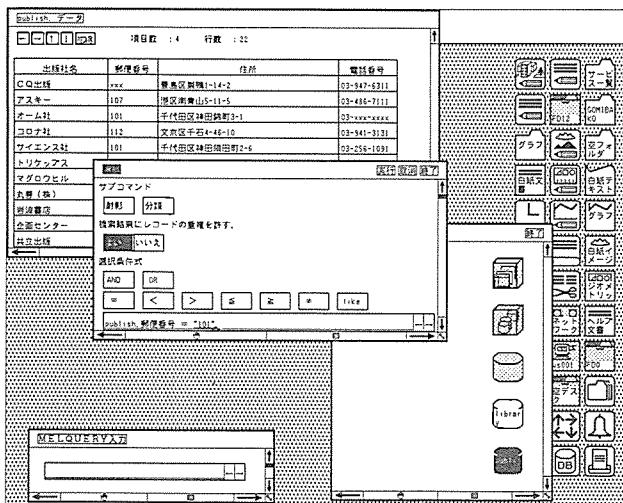


(a) 更新条件式の指定

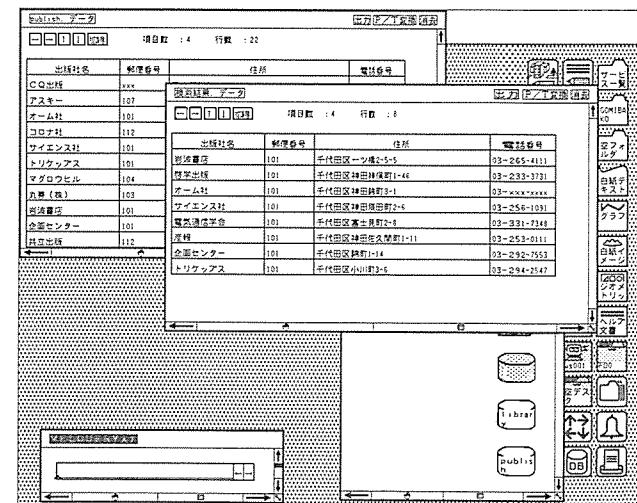


(b) 更新結果の表示

図7. リレーションの更新

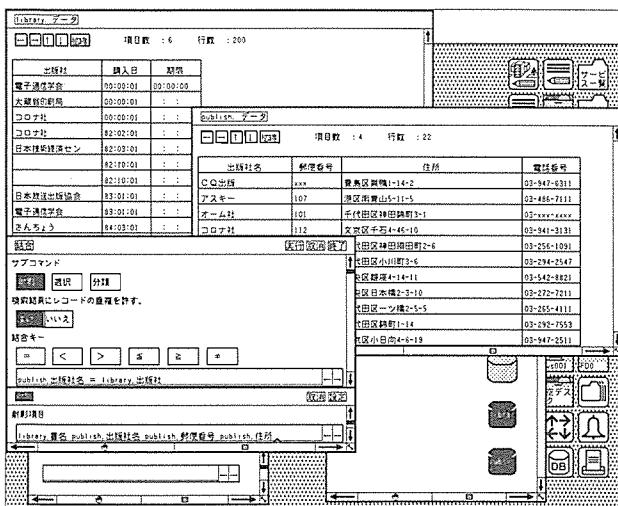


(a) 選択条件式の指定

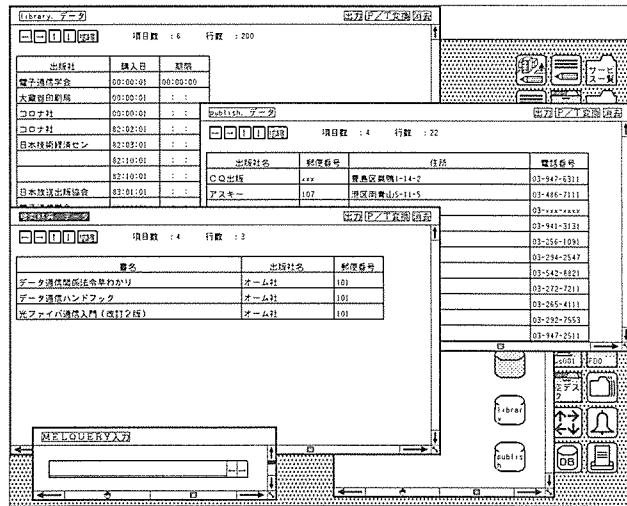


(b) 検索結果の表示

図8. リレーションの検索

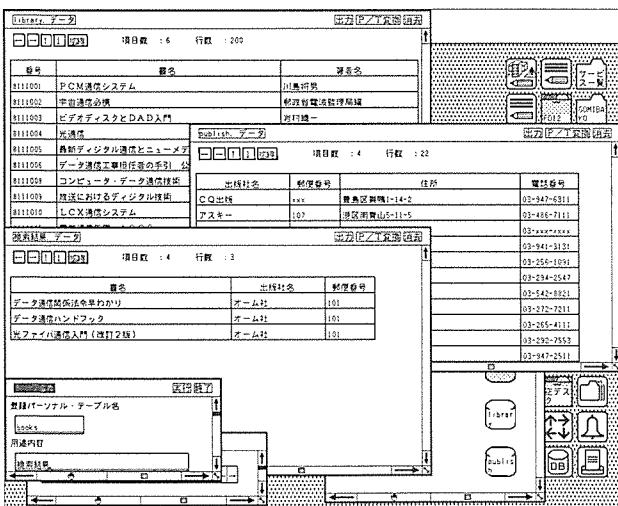


(a) 結合キーと射影項目の指定

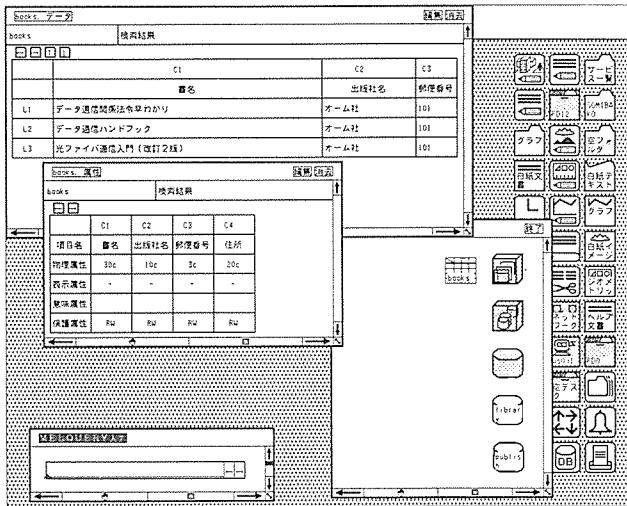


(b) 結合・射影の結果の表示

図9. リレーションの結合と射影



(a) パーソナルテーブル名の指定



(b) パーソナルテーブルの生成

図10. パーソナルテーブルへの変換

(libraryとpublish) をマウスでクリックしてオブジェクト指定した後、結合キーとして、publish.出版社名=library.出版社、また射影するアトリビュート名としてlibrary.書名、publish.出版社名、publish.郵便番号、publish.住所をマウスによるウインドウ間転送機能とK/Bにより入力している。

#### (6) パーソナルテーブルへの変換

図9に示した結合結果のリレーションをパーソナルテーブル(books)として保存する例を図10に示す。

## 5. む す び

“ME1000シリーズ”向けに試作したデータベース ユーザーフレンンドリ インタフェース MELQUERYについて紹介した。MELQUERYは操作対象先行型の視覚的ユーザーインターフェースである点が特長であり、リレーションナル データベースに対するリレーションナル演算をエンドユーザーにとって使いやすいインターフェースで提供している。

データベース技術の今後の課題としては、ユーザーインターフェ

スの使い勝手の向上だけではなく、分散処理環境における分散データベースシステム（例えば、分散透過性、並行制御など）もその一つであると考えられる。

## 参 考 文 献

- 日本規格協会：データベース言語SQL, JIS X 3005-1987
- 牧之内ほか：マルチメディアデータベースの利用者インターフェース, 情報処理, 28, No. 6, p.694 (1987-6)
- 加藤ほか：視覚情報を用いたオブジェクト指向によるRDB検索法, 情報処理学会研究報告 (データベースシステム) 87-DB-57-10 (1987-1)
- M.M.Zloof : Query By Example, Proc.NCC44 (1975-5)
- 日経コンピュータ：第四世代言語で開発効率の向上図る, NIKKEI COMPUTER, p.85 (1986-4-28)
- 三菱電機：MITSUBISHI ME1000シリーズ デスクトップマネージャー操作説明書
- 三菱電機：MITSUBISHI ME1000シリーズ リレーションナルデータベースシステムRDBASE説明書

# 高速64KビットCMOS EEPROM

野口健二\* 外山毅\* 小林真一\* 中島盛義\* 長田隆弘\*

## 1. まえがき

EEPROM(Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory)は、電気的に情報の消去・書き込みが可能な不揮発性メモリである。その最大の特長は、システムに組み込んだまま、情報の書き換えが可能なことである。これらの特長を生かし、電子機器、ICカードなど幅広い応用分野を持っており、高速・高信頼性のEEPROMへの要求に対応している。

当社では、従来不揮発性メモリとして、EPROM(Erasable and Programmable Read Only Memory)を開発量産してきたが、このたびEPROMで培った技術を基に、さらに最先端の超微細加工技術と回路設計技術を駆使し、150nsのアクセスタイムを実現した64KビットCMOS EEPROM M5M28C64APを開発した。

ここでは、高速64KビットCMOS EEPROM M5M28C64APについてその製品概要、技術的特長、動作特性などについて紹介する。

## 2. 製品概要

今回開発した64KビットCMOS EEPROM M5M28C64APの主な特長は次のとおりである。

- (1) 5V単一電源
- (2) 語構成 : 8,192語 × 8ビット
- (3) 高速アクセスタイム : 最大 150ns
- (4) 低消費電力 : 動作時最大 165mW  
待機時最大 5.5mW
- (5) 自動消去・書き込み時間 : 最大 10ms
- (6) ページモード書き込み方式採用 : 最大 32バイト可
- (7) データポーリング機能有り
- (8) Ready/Busy出力有り
- (9) チップ消去機能有り

M5M28C64APのピン接続図を図1に示す。1ピンはReady/

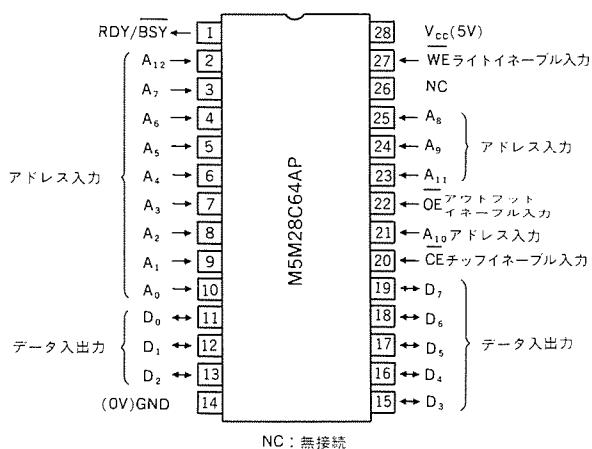


図1. ピン接続図（上面図）

Busy出力ピンに設計されている。Ready/Busy出力は自動消去、書き込みが実際に終了した時点を知る機能であり、書き込み状態のときはLOWを出力し、書き込みが終了するとHighフローティングになり、読み出し可能状態及び書き込み可能状態となる。

## 3. 回路構成と高性能化技術

### 3.1 回路構成

M5M28C64APのチップ写真を図2に示す。チップサイズは、5.74×5.95(mm<sup>2</sup>)である。周辺回路及びボンディングパッドはチップの上辺と下辺に集めるよう工夫し、メモリアレーの中央にXデコーダ、下辺にYデコーダが配置されている。メモリアレーは、縦方向256ビット、横方向256ビットで構成されている。

次にブロック回路図を図3に示す。データ入出力(D<sub>0</sub>~D<sub>7</sub>)は8ビット並列であり、アドレス入力は13本(A<sub>0</sub>~A<sub>12</sub>)である。チップイネーブル入力(CE)は、チップ内回路の起動・待機を制御し、アウトプットイネーブル入力(OE)は出力バッファをコントロールしバス競合を回避し、ライトイネーブル入力(WE)はアドレス及びデータをラッチするなど書き込み回路をコントロールしている。

メモリセルの構成図を図4に、読み出し、書き込み、消去時の各ノード電圧を表1に示す。EPROMと同様に、フローティングゲートとコントロールゲートを持ったダブルゲート構造であり、ドレインとフローティングゲートの間に薄いトンネル酸化膜が形成されている。消去時には、コントロールゲートに高電圧を印加し、フローティングゲートに電子を注入し、メモリトランジスタのしきい値をエンハンスメント側にシフトさせる。書き込み時は、ドレインに高電圧を印加し、フローティングゲートからドレインへ電子を引き抜き、メモリトランジスタのしきい値をデプレッション側へシフトさせる。読み出し時には、ドレインに1V程度の電圧を印加し、センサアンプでメモリトランジスタに流れる電流を感知し、出力バッファを経て出力する。

### 3.2 高性能化技術

#### 3.2.1 プロセス技術

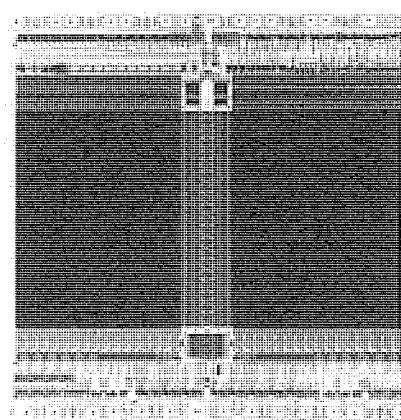


図2. チップ写真

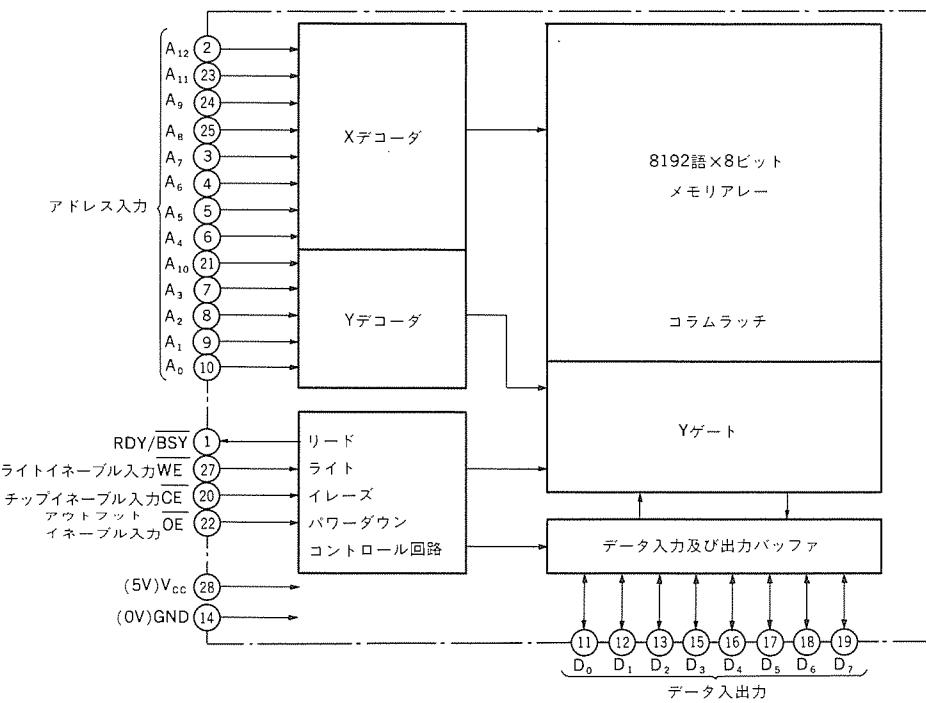


図3. ブロック図

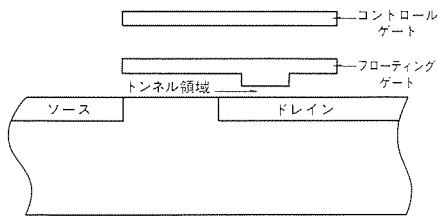


図4. EEPROMメモリセルの断面図

表1. EEPROMの各モード時のノード電位

ノード	書き込み	消去	読み出し
コントロールゲート	0V	$V_{PP}$	0V
ドレイン	$V_{PP}$	0V	1V
ソース	OPEN	0V	0V

注  $V_{PP}$ は約20Vの高電圧

M5M28C64APは、P型基板のnウェルCMOS方式を用いており、 $1.2\mu\text{m}$ ルールで設計されている。周辺回路にはCMOSを、メモリセルにはNチャネルFLOTOX (Floating Gate Tunnel Oxide) をそれぞれ採用している。メモリセルサイズは $11 \times 12 (\mu\text{m})$ である。トンネル酸化膜の形成には、膜厚の変動が書き込み深さに直接影響を与えるため、厳しい制御性が求められるが、精密希釈酸化法により、 $100 \pm 5 \text{ \AA}$ の高精度制御を達成している。また、フローティングゲートとその絶縁膜の形成条件は従来から実績のあるEPROMのプロセス条件を更に改善し、20V高電圧の連続した印加と10年以上のデータ保持に耐え得る膜の形成を実現している。また、従来の1/4の抵抗値を持つ配線材料を用いることにより、高速アクセスを実現している。

### 3.2.2 回路技術

EEPROMは、薄いトンネル酸化膜に高電界のストレスが印加されるため、書き換えと保持特性に高い信頼性が要求される。その対策として回路技術的には、ECC (Error Checking and Correcting)

回路の採用で対応することにした。ECC回路では、入力情報8ビットから検査ビットを4ビット生成し(符号器)，1バイトを12ビットで構成した1ビット訂正のハミング符号方式を採用している。この方式を採用すると、偶発的に起こるメモリセルの故障が、1バイトの中に1ビットだけであれば、読み出し時それを救済訂正し(復号器)，正しいデータとして出力される。図5にECC回路の有無によるチップ不良率の差を示す。ECC回路を内蔵することにより、チップ不良率で $10^3$ 程度の改善効果が見られ、より高信頼性を確保している。

また、EEPROMでは、1回の書き換えに10msという時間を要すため、64Kビットすべて書き換えると約80秒もかかってしまう。そこで、複数バイトを一括して書き換えるページモード書き込み方式を採用した。このページモード書き込み方式を用いると、64Kビット分の書き換えは、約2.6秒で完了する。ページモード書き込み方式のフローチャートを図6に示す。すなわち、最初のWEの立ち下がりでアドレスをラッチし、立ち上がりでデータをラッチし、バイトロードサイ

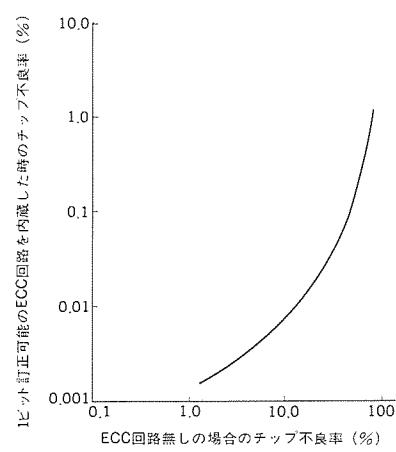


図5. ECC回路内蔵の効果

クルタイムである30μs以内に再びWEを立ち下げるとき2バイト目のアドレスがラッチされ、立ち上げるとデータがラッチされる。この動作をA<sub>0</sub>からA<sub>4</sub>で決められる最大32バイトまで繰り返し、バイトロードサイクルタイムの30μs以内にWEが立ち下がらなければ、自動的に消去・書き込みサイクルに入り、ラッチされたデータが一括して書き換えられ、この動作を10ms以内に完了する。こうして、実質的な1バイト当たりの書き換え時間の短縮を実現している。

M5M28C64APは5V單一電源で動作するため、誤ってデータの書き換えが行われないように、以下に示す回路工夫をしている。

#### (1) WEノイズ保護回路内蔵

20ns以下のWEパルスでは、書き込みサイクルには入らない。

#### (2) V<sub>cc</sub>電源電圧検出回路内蔵

V<sub>cc</sub>電源電圧が3.5V以下では、書き込みサイクルには入らない。

#### (3) 書き込み禁止機能内蔵

V<sub>cc</sub>電源投入時及び遮断時に、OE=LOW又はWE=High、又はCE=Highとすることにより書き込みサイクルには入らない。

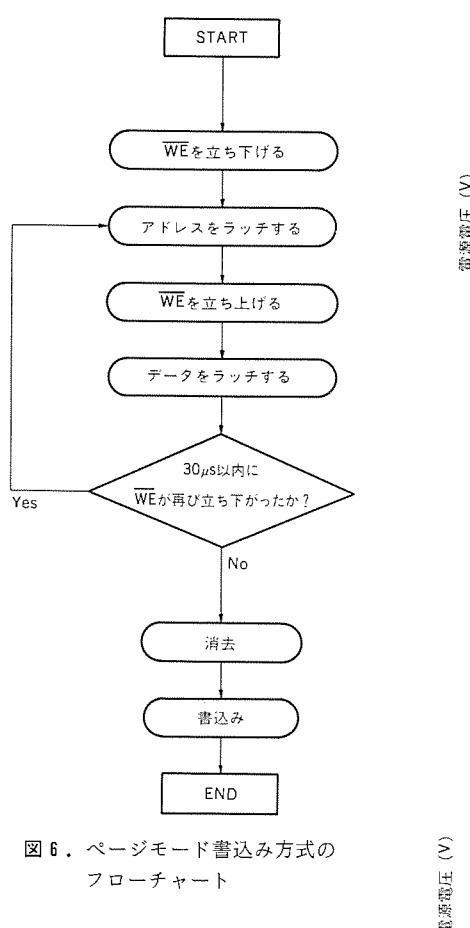


図6. ページモード書き込み方式のフローチャート

表2. 技術的ポイント

目的	使用技術
高速化	<ul style="list-style-type: none"> <li>●低抵抗配線材料</li> <li>●高速センスアンプ</li> <li>●ページモード書き込み方式</li> </ul>
高信頼性化	<ul style="list-style-type: none"> <li>●トンネル酸化膜生成法</li> <li>●ECC回路</li> <li>●誤書き込み防止機能</li> </ul>

高速化のための回路技術としては、EPROMで実績のあるCMOSで構成したセンスアンプ回路を採用した。このセンスアンプ回路は、メモリセルと結合したピット線の動作点を1V程度の低い電圧に設定しており、メモリセルの消去状態と書き込み状態に基づく微小なビット線の電位差を検出するので、高速で動作することができる。

以上の高速化、高信頼性化のための、プロセス技術及び回路技術をまとめると表2のようになる。

#### 4. 電気的諸特性

標準サンプルにおけるアドレスアクセスタイム、OEアクセスタイム、CEアクセスタイムの電源電圧依存性をそれぞれ図7、図8、図9に示す。図から電源電圧(V<sub>cc</sub>)5Vのアドレスアクセスタイムは66ns、OEアクセスタイムは32ns、CEアクセスタイムは74nsと高速かつ安定動作している(×印が動作領域T<sub>a</sub>=25°C)。図10にアドレスアクセスタイムとOEアクセスタイム、CEアクセスタイムの周囲温度依存性を示す。アドレスアクセスタイムの温度変化量は、約

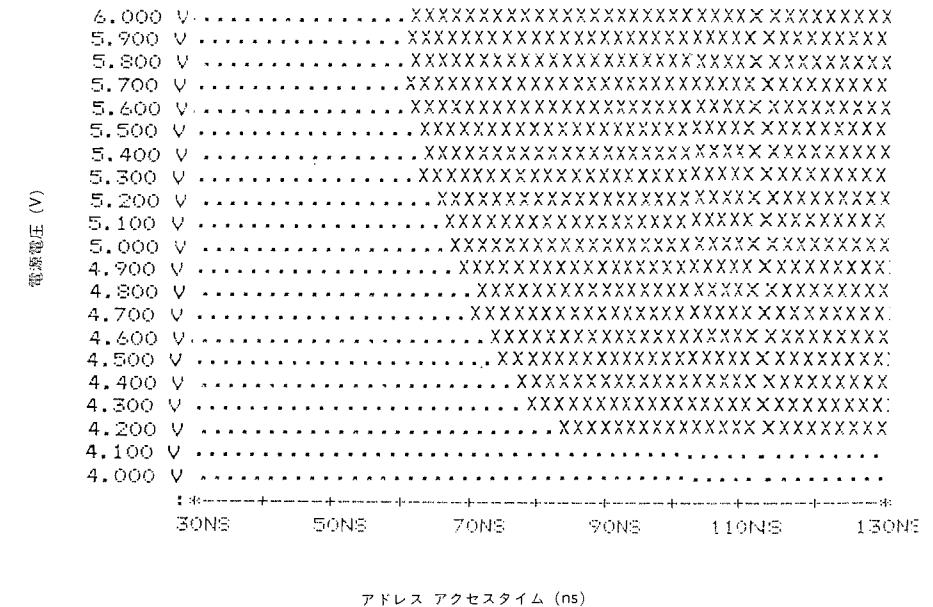


図7. アドレスアクセスタイムの電源電圧依存性

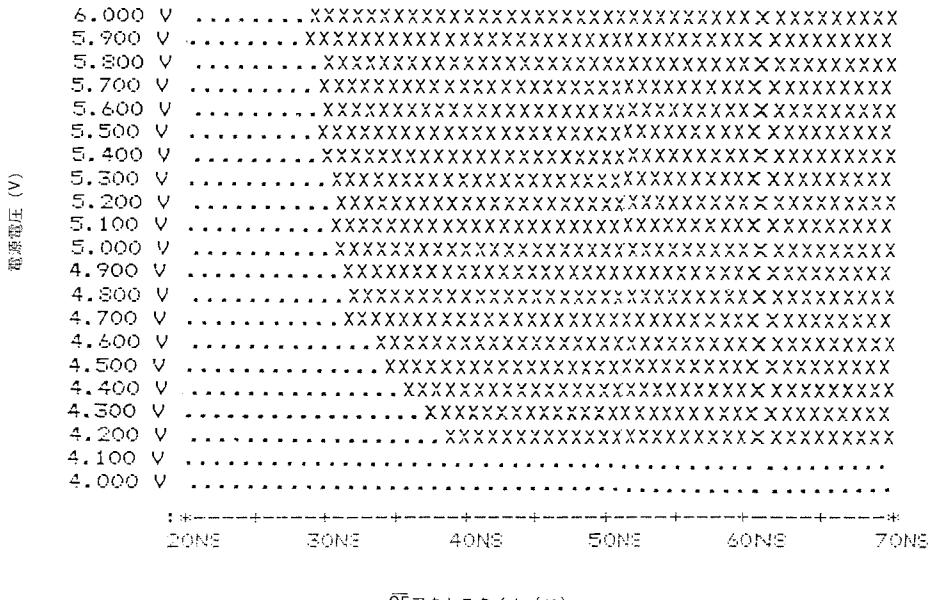


図8. OEアクセスタイムの電源電圧依存性

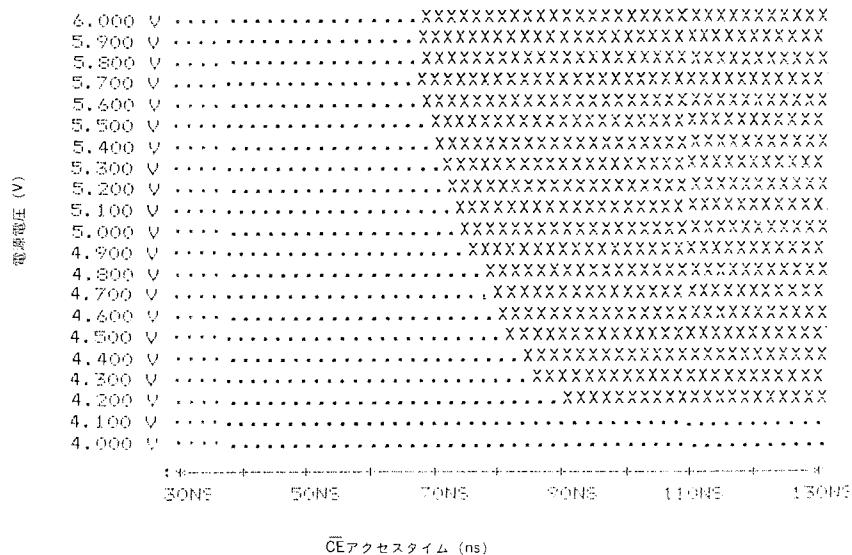


図9.  $\overline{\text{CE}}$ アクセスタイムの電源電圧依存性

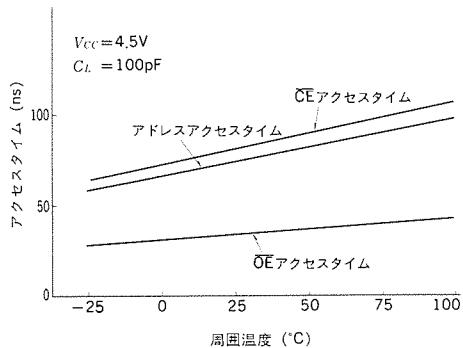


図10. アクセスタイムの周囲温度依存性

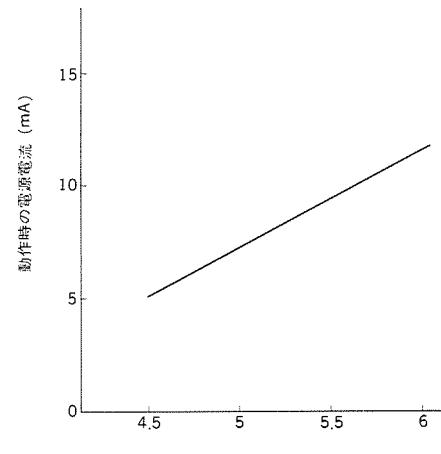


図11. 電源電流の電源電圧依存性

$0.3\text{ns}/^{\circ}\text{C}$ と高温になるほど遅くなる。

また、電源電流の電源電圧依存性を図11に示す。 $V_{cc} = 5\text{V}$ のとき  
7.5mAと非常に低消費電流になっている。

## 5. 信頼性

EEPROMの特性で最も重要なものは、記憶保持特性と書換え回数特性である。記憶保持特性は、薄いトンネル酸化膜のリークによる劣化によって決定される。また、書換え回数特性は、トンネル酸化膜の加わる高電界のストレスによる劣化及び書換え回数の増加について、酸化膜中の電子のトラップによりメモリトランジスタのしきい値のシフト量が減少していくことによる。いずれの場合も、個々のトンネル酸化膜によるものであり、プロセス改善及び回路対策(ECC回路)を施しており問題はない。

周辺回路をCMOS化していることによるラッチアップ現象についても、EEPROMと同様に高電圧を用いているCMOS EPROMで検討され導入された工夫を採用しており問題はない。

また、パッケージ材には低応力樹脂モールドを用いてデバイスの信頼性を向上させている。

## 6. むすび

EEPROMは、オンボードでの情報の書換えができ、電池なしで情

報の記憶ができる特長をもっている。今回開発した64KビットCMOS EEPROM M5M28C64APは、これらの特長に、アクセスタイムの高速化、書換え時間の短縮を導入し、高性能化が図られ、さらに高信頼性を得ている。このように、高機能化されていくに従い、EEPROMの市場は大きく広がっていくであろう。パッケージについても、現行のDIP(Dual In-line Package)形だけでなく、小型化、表面実装化の要求に対応したパッケージ展開が順次行われる。

今後もEEPROMの大容量化、高速化、多機能化、高信頼性化は急速に進められ、256Kビット更には1MビットEEPROMの製品化も近いうちに行われ、EPROM・マスクROMに次ぐ不揮発性メモリとしての地位を形成することになる。

## 参考文献

- (1) 神垣ほか：64KビットCMOS EEPROM “HN58C65”，日立評論，68，No.7（昭61-7）
- (2) 山本ほか：高速1MビットCMOS EPROM，三菱電機技報，61，No.9（昭62）
- (3) 高橋ほか：EEPROM内蔵TV用マイコン，三菱電機技報，62，No.3（昭63-3）

# 超高速64K SRAM

木原雄治\* 木下 淳\* 南 ふゆみ\* 古賀 剛\*

## 1. まえがき

CMOS SRAMには、一般に次のような特長がある。

- (1) 外部クロックによらず読み出し動作をするので、使いやすい。
- (2) 他のMOSメモリに比べてアクセスタイムが速い。
- (3) ごく小さな消費電流で、データリテンションが可能である。

これらの特性を発揮しながら、様々な電子機器に用いられてきた。最近の傾向としては、(1)と(3)の特長を追求したバイト構成の中速品と、(2)の特長を追求した高速品に2極化している。前者は大容量化が望まれ、最先端のDRAMの1/4の記憶容量のものが常に生産されてきた。後者は大容量化と、同一容量での高速化が要求され、1M高速SRAMを開発する一方で、アクセスタイム25nsの256K SRAMと、アクセスタイム15nsの64K SRAMを開発中である。このうち、アクセスタイム15nsの64K SRAMについて述べる。

64Kの高速SRAMは、メモリ容量とアクセスタイムの兼合いで、ミニコンのキャッシュメモリに用いられることが多かった。キャッシュメモリは、メインメモリの一部をあらかじめとりこんでおき、アクセスしたい内容がキャッシュメモリにある場合は、メインメモリまでアクセスしなくとも高速デバイスで構成してあるキャッシュメモリからアクセスするということで、システムの動作速度を上げるためにものである。メモリシステムは、このように階層をもって構成されており、これに用いるデバイスも、メインメモリは大容量

のDRAMが、キャッシュメモリは中容量の高速SRAMが用いられてきた。システム側の性能アップに伴い、各メモリの高速性能の要求も厳しくなる一方であった。

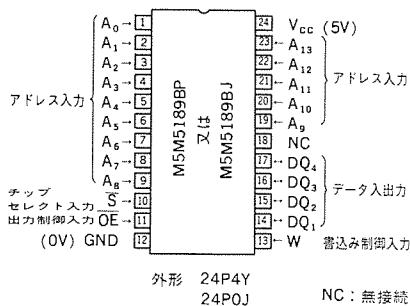
このような状況の中で、RISC型コンピュータなるものが注目を浴びるに至っては、64KのSRAMはアクセスタイム15nsを要求されるようになった。RISC (Reduced Instruction Set Computer) は、命令セット数を削減することにより、コンピュータのハード構成をシンプルにし、その分動作速度の向上を図ったコンピュータアーキテクチャのことで、命令セット数を削減したために、キャッシュメモリへのアクセスの速さが要求されることとなつた。このような背景のもとで、アクセスタイム15nsの64K SRAMを開発することとなつた。アクセスタイム15nsを実現するために用いた設計技術、製造技術、及び電気的特性を紹介する。

## 2. 開発のねらい

高速化の要求に対しこたえる意味と、現行の最先端CMOSプロセスにおいて得られるアクセスタイムの限界に挑戦するために、次の目標を設定した。

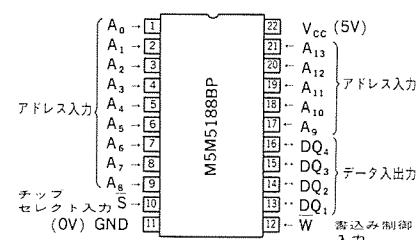
- (1) 15ns品が十分供給できるように、Typicalなアクセスタイムが10ns以下となるようにする。
- (2) 次の3品種をアルミ配線のマスク1工程のみで作り分ける(図1)。

ピン接続図(上面図)



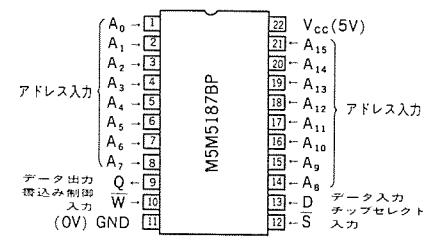
外形 24P4Y  
24P0J

ピン接続図(上面図)



外形 22P4H

ピン接続図(上面図)



外形 22P4H

(a) M5M5189BP, BJ

(b) M5M5188BP, BJ

(c) M5M5187BP, BJ

図1. ピン配置図

- 64K語 × 1 ビット構成で IOセパレート (M5M5187B)
  - 16K語 × 4 ビット構成で IOコモン (M5M5188B)
  - 16K語 × 4 ビット構成で IOコモン OE端子付き (M5M5189B)
- (3) パッケージは次の2種類とする。
- 300mil DIP
  - 300mil SOJ

### 3. 設計技術

#### 3.1 メモリセル

ビット線に速くデータを出力するように、メモリセルのディメンションを決定した。メモリセルは図2に示すような回路で、四つのトランジスタと二つの高抵抗からなる。インバータトランジスタのディメンションは数 $\mu\text{m}$ である。一方、ビット線は長さが数mm程度あるから、千倍程度ディメンションが異なる。この小さなトランジスタが長いビット線をどれだけ速く駆動できるかにより、アクセスタイムも大きく異なる。一般に、メモリセルからビット線へのデータ出力の速さは、アクセストランジスタのディメンションで決まる。これは、インバータトランジスタの電位をビット線に伝える際、アクセストランジスタは、電位の伝達を妨げる働きをするからである。したがって、アクセストランジスタのディメンションは、大きいほど高速なデバイスが得られる。

一方、メモリセル動作の安定性は、両トランジスタのディメンションの比で決まり、インバータトランジスタのディメンションを一定とした場合、アクセストランジスタのディメンションが小さいほど安定である。つまり、安定性と高速動作は逆比例する関係にある。

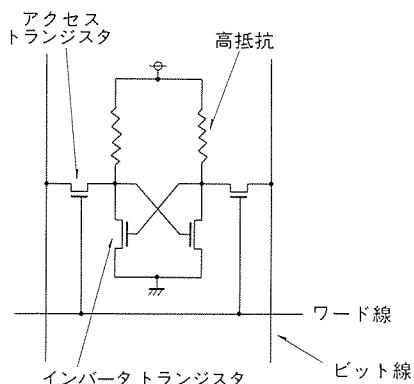


図2. メモリセル回路図

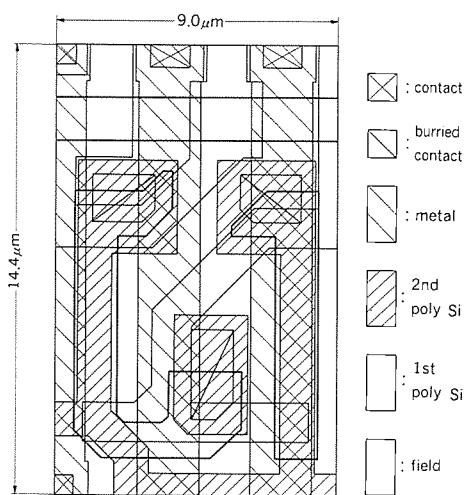


図3. メモリセルパターン図

安定性が高く、高速動作をするメモリセルを得るために、両トランジスタ、特にインバータトランジスタの大きいメモリセルを使うのが最もよいことになる。一方、インバータトランジスタの大きさは、メモリセルの大きさを決めてしまい、メモリセルの大きさはチップサイズを決めてしまう。つまり、ディメンションをむやみに大きくすることは、かなり不経済なこととなる。

今回、メモリセルを大きくしないで、インバータトランジスタのディメンションを大きくするために、メモリセルへの電源供給線(Vcc, GND)の配線の下を有効に活用し、配線によるデッドスペースを除去した。これにより、安定度が高く高速動作するメモリセルを経済的に得ることができた(図3)。

#### 3.2 ワード線ドライバ

SRAMにおいては、ワード線がポリシリコンの長い配線でできているために、ワード線を立ち上げるための遅延がかなり大きく、アクセスタイムのかなりの部分を占めていた。最近は、ワード線遅延を小さくするために、ポリサイドゲート又は多層配線によりワード線を低抵抗化する傾向が主流になった。これらの低抵抗ワード線を使用する際は、今まで以上にワード線の駆動能力が重要となる。駆動力が小さいワード線ドライバを使用していては、ワード線の容量分を駆動しきれないからである。

一方、ワード線ドライバは、各メモリセル列に1回路必要であるから、メモリセルの大きさによってその大きさも決まってしまう。また、二つのデコード系のANDでワード線信号をとる方法が一般的である。したがって、限られた領域で、二つの信号のANDをとり、かつ大きな駆動力を持たせることのできる回路とパターンが必要である。この問題を解決するために、図4に示すような回路でワード線ドライバを構成した。二つの信号のANDをとるのに、Aの信号をNチャネルトランジスタとPチャネルトランジスタのソースに入力する形をとり、直列回路を避けた形とした。また、共通信号のパターンを二つのワード線ドライバで共有し、小さな面積で十分な駆動力が得られるディメンションを実現した。

#### 3.3 ATD回路

ATD(Address Transition Detector)回路は、アドレスの変化を検知してパルスを発生し、このパルスを用いて各ノードのプリチ

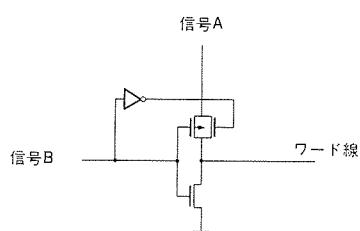


図4. ワード線ドライバ

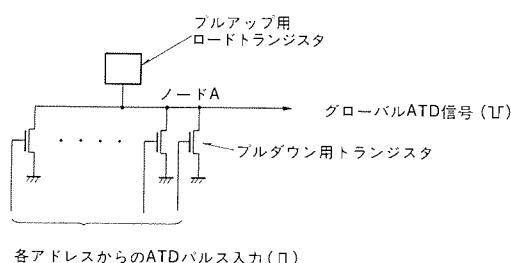


図5. グローバルATD発生回路

表1. プロセスパラメータ

項目	パラメータ
プロセス	2層ポリ1層A $\ell$
ゲート電極	MoSixポリサイド
ゲート長 (NMOS)	1.1μm
ゲート長 (PMOS)	1.2μm
ソース・ドレイン間隔 (NMOS)	0.9μm
ソース・ドレイン間隔 (PMOS)	1.0μm
ゲート酸化膜厚	180Å
多結晶シリコン (線幅/間隔)	1.1/1.1μm
コンタクトホール	1.2/1.2μm
アルミ配線 (線幅/間隔)	1.8/1.6μm

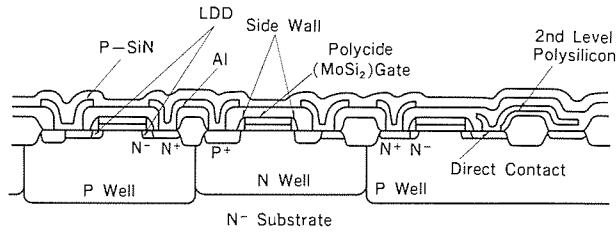


図6. 超高速64K SRAMの断面図

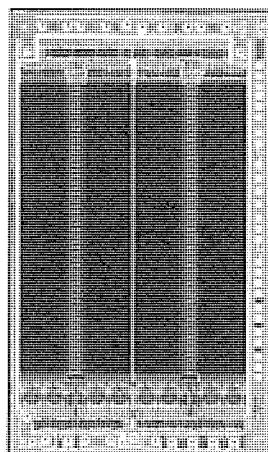
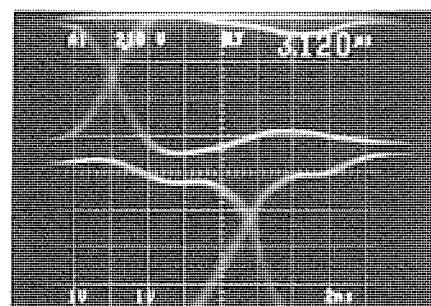


図7. チップ写真

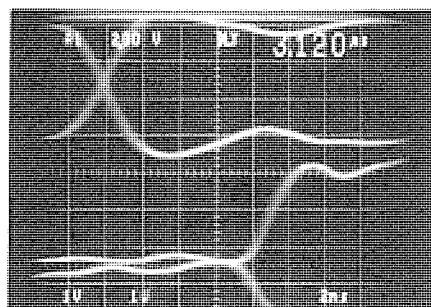
ヤージ、イコライズを行い、低消費電力化、高速化などを図るものである。高速化のために、ATD回路を用いる場合は、ATDパルスの幅、又はイコライズのタイミングなどが重要で、これを誤るとATD回路の効果がなくなってしまう。一方、高速化を推し進めると、ATDパルスの波形も重要なとなる。理想的な波形は、方形波であるが寄生容量等でなる傾向にある。ATDパルスを方形波に近づけるために回路的、パターン的に工夫した。アドレスは通常複数があるので、各アドレスのATDパルスを集めてグローバルなATDパルスを作る必要がある。この部分を示したのが図5である。図のノードAの寄生容量はATDパルスのなまりの要因になりうるので、配線長を極力短くしてこれを除去した。また、プルアップトランジスタのディメンション等を最適化してATDパルスが最も鋭い波形となるようにした。

#### 4. 製造プロセス

今回の高速SRAMの製造プロセスは、N基板Pウェル 2層ポリシリコン 1層アルミのCMOSプロセスで、従来のSRAMと基本的には同じである。2層のポリシリコンのうち、1層目はトランジスタのゲート電極に用いるためのもので、ワード線などの遅延防止のためポリシリコンとMoSixの2層構造として低抵抗化している。2層

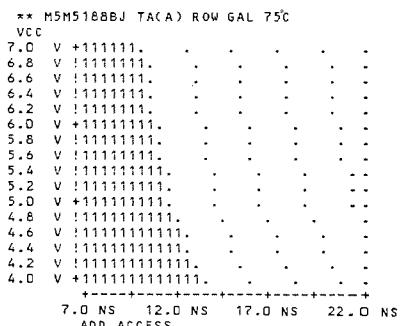


(a) アドレスアクセス

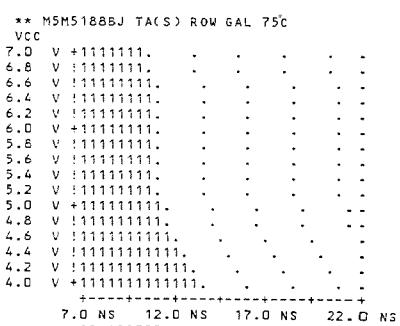


(b) CSアクセス

図8. 波形写真



(a) アドレスアクセスタイム



(b) CSアクセスタイム

図9. アクセスタイムshmoo

目のポリシリコンは、メモリセル等の高抵抗を形成するためのものである。設計基準は1.1μmルールを採用している。表1に主なプロセスパラメータを示し、図6に断面図を示す。

高速SRAMのウェーハプロセス技術において、最も重要な点は、駆動能力が大きく、かつ信頼性の高いトランジスタを形成することと、配線又は次段のトランジスタ等によって生じる浮遊容量を減少させることである。駆動能力が大きく、信頼性の高いトランジスタを得るために、ゲート酸化膜厚は180Åとし、ソース・ドレイン間隔

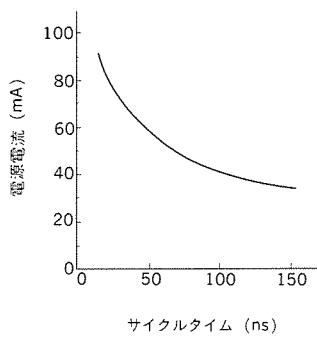


図10. 消費電流

表2. M5M5187B/M5M5188B/M5M5189Bの特長

構成	64K語×1ビット (M5M5187B) 16K語×4ビット (M5M5188B) 16K語×4ビット (M5M5189B)
メモリセル	高低抗負荷型NMOS
メモリセルサイズ	9.0×14.4 ( $\mu\text{m}$ )
チップサイズ	3.33×5.73 (mm)
使用電源	5V単一
入出力レベル	TTL
アドレス アクセスタイム	15/20ns (最大)
チップセレクト アクセスタイム	15/20ns (最大)
サイクルタイム	15/20ns (最小)
電源電流	120mA (最小サイクル)
スタンバイ電流	25mA (TTLレベル)

表3. 主要タイミング規格

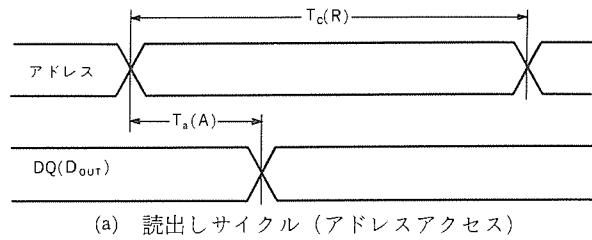
項目	M5M5187B			M5M5188B			M5M5189B			
	15ns		20ns		15ns		20ns		15ns	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
リードサイクルタイム	$T_{CR}$	15	20	15	20	15	20	15	20	20
アドレスアクセスタイム	$T_a(A)$	15	20	15	20	15	20	15	20	20
チップセレクトアクセスタイム	$T_a(S)$	15	20	15	20	15	20	15	20	20
ライトサイクルタイム	$T_{CW}$	15	20	15	20	15	20	15	20	20
ライトパルス幅	$T_W(W)$	12	17	12	17	12	17	12	17	17
アドレスセットアップタイム	$T_{SU}(A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
チップセレクトセットアップタイム	$T_{SU}(S)$	12	17	12	17	12	17	12	17	17
データセットアップタイム	$T_{SU}(D)$	8	10	8	10	8	10	8	10	10
データホールドタイム	$T_H(D)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ライトリカバリータイム	$T_{REC}(W)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

は、Nチャネルトランジスタ $0.9\mu\text{m}$ , Pチャネルトランジスタ $1.0\mu\text{m}$ を用いた。Nチャネルトランジスタは、ホットキャリア効果によるトランジスタ劣化防止のためにLDD構造としている。浮遊容量を減少させるために、 $1.1\mu\text{m}$ ルールを用いて配線容量を極力抑えるとともに、Pチャネルトランジスタをサイドウォール拡散法を用いて形成し、ゲート長を $1.2\mu\text{m}$ にできたことにより、ゲート容量を抑えた。一般に、Pチャネルトランジスタは、Nチャネルトランジスタに比べて駆動能力が小さく、これを補うために、ディメンションを大きくする必要があるので、サイドウォール拡散法の導入は、高速化に有効である。

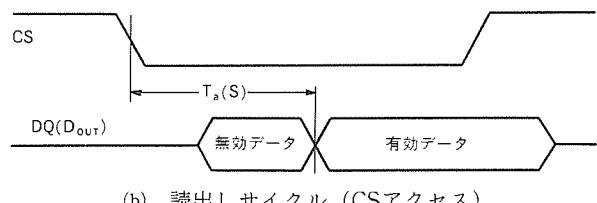
## 5. 電気的特性

超高速64K SRAMのチップ写真を図7に示す。チップサイズは、 $3.33\times5.73$  (mm) で22ピン又は24ピンのDIPと24ピンのSOJに収納可能である。図8は電源電圧4.5V、室温時の出力波形で、アクセスタイムが10ns以下であることが読み取れ、高速性能を示している。また、ワーストケースにおけるアクセスタイムの電源電圧依存性を図9に示す。動作保証電圧 $5\pm0.5$  (V) で、最大12ns程度である。

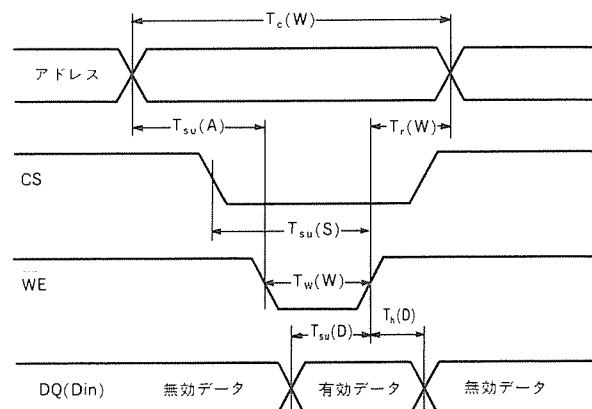
動作時における電源電流のサイクルタイム依存性を図10に示す。



(a) 読出しサイクル (アドレスアクセス)



(b) 読出しサイクル (CSアクセス)



(c) 書込みサイクル

図11. タイミングチャート

消費電力を抑えるため、4ブロック分割などを行っており、サイクルタイムを比較的大きくして使用する場合は、最小サイクル時の1/3程度となる。CMOSのデバイスでは、ラッチアップが問題となるが、パターンレイアウトの工夫により、電源電圧が10Vまではラッチアップが発生しない程度の耐量を示しており、動作保証電圧程度では、問題とする必要が全くない。

M5M5187B/M5M5188B/M5M5189Bの特長、主要タイミング規格、タイミングチャートをそれぞれ表2、表3、図11に示す。

## 6. むすび

高抵抗負荷型のメモリセルを用いたCMOS技術を用いて、64K SRAM M5M5187B, M5M5188B, M5M5189Bを開発した。 $1\mu\text{m}$  レベルの微細化プロセスと、ATDなどによる高速化回路技術を用いてアクセスタイム15nsという極めて高い高速性能を達成した。高速SRAMの大容量化と高速化の要求に対応して、今後も次世代品種の開発を進めていく予定である。

## 参考文献

- (1) 篠原ほか：三菱電機技報, 58, No. 8, p. 5 (昭59)
- (2) 一瀬ほか：三菱電機技報, 61, No. 4, p. 76 (昭62)

# マルチギガビット伝送用アイソレータ内蔵DFB・LDモジュール

山下純一郎\* 中村 猛\*\* 菅沼ルミ子\* 伊東 尚\* 柿本昇一\*\*\*

## 1. まえがき

光ファイバの広帯域性、低損失性を利用し、近年、長距離・大容量光通信システムの実用化が進んでいる<sup>(1)</sup>。このような光通信システムの送信用光源として用いられるレーザダイオード (LD) モジュールには、次のような特性が求められる。

- (1) 広帯域である。
- (2) 低雑音である。
- (3) 発光スペクトルの単色性に優れている。
- (4) 周囲温度の変化に対して特性が変化しない。

上記(1)(2)の特性は、広帯域な信号を十分な信号対雑音比で送るために、(3)の特性は長距離伝送後の光信号が光ファイバの波長分散によって劣化することを防ぐために必要な特性である。また、(4)の特性は、種々の温度環境において、発振波長、光・電気変換効率、入力インピーダンスなどのモジュール特性を安定に保ち、用いられる装置の伝送特性を維持するために必要な特性である。

本稿は、光アイソレータと熱電子素子とを内蔵し、上記の特性を兼ね備えたDFB (Distributed Feed Back : 分布帰還型)・LDモジュールの開発結果について述べるものである。

## 2. 構成と機能

### 2.1 外観

図1はこのモジュールの外観、また図2は主要寸法とピン配置で

ある。このモジュールは、バタフライ形パッケージを採用しており、駆動用高周波電子回路とは、50Ωの特性インピーダンスを持ったマイクロストリップラインを介して容易に接続できる。

### 2.2 構造

図3は、内部構造を示す図である。チップキャリアには、LD、ミニタフォトダイオード、サーミスター及び第1レンズが搭載されている。LDは、低しきい値、高信頼を特長とするPPIBH(P+substrate Partially Inverted Buried Heterostructure)構造<sup>(2)</sup>の1.55μm帯

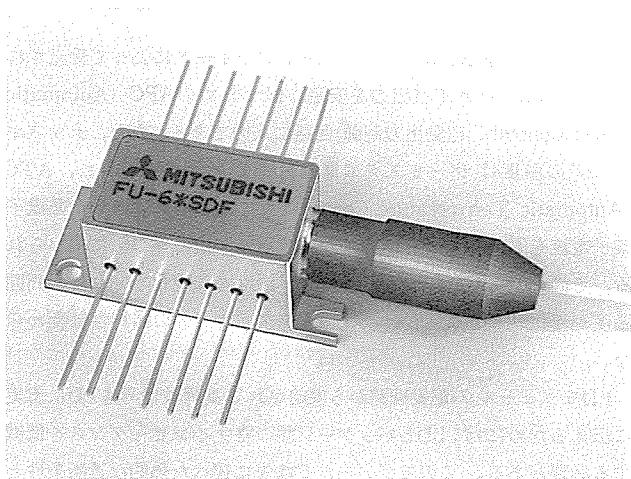


図1. モジュールの外観

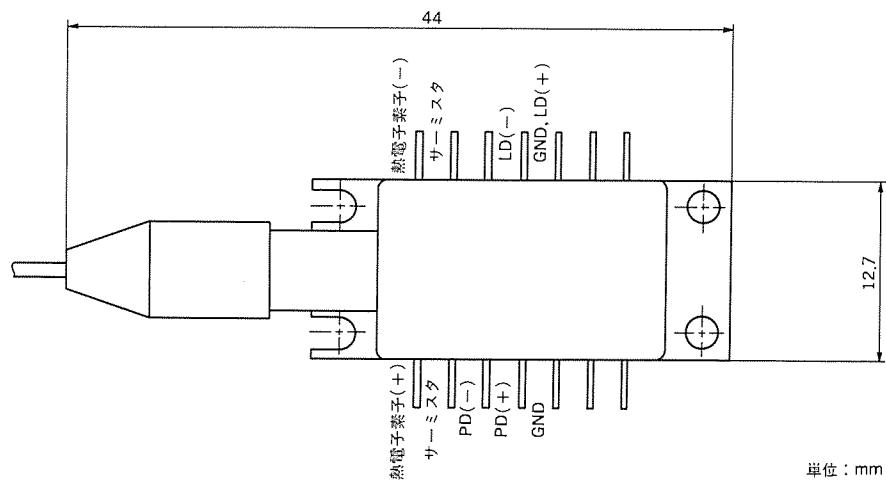
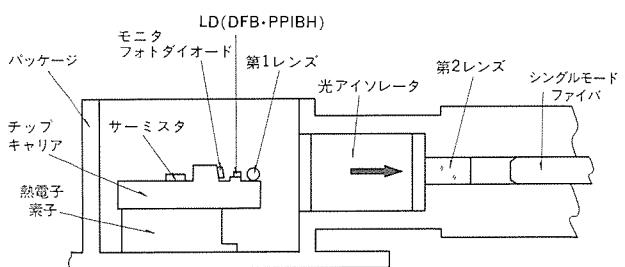


図2. 主要寸法とピン配置



### 図3. 内部構造

DFB・LDである。LDの前面放射光は、光アイソレータを介してシングルモード ファイバに結合される。LD温度を効率良く制御するために、チップキャリアとパッケージ間は熱的に遮断した構造となっている。また、この構造において、ファイバへのLD放射光の結合を安定に保つために、結合光学系には、チップキャリア上の第1レンズとパッケージ側の第2レンズで構成されるコリメート光学系を採用した。

LDの背面放射光は、モニタ フォトダイオードによって受光され、その出力は、ファイバ出力を安定に保つためのAPC (Automatic Power Control: 自動出力制御) 回路に入力できる。また、チップキャリアの温度はサーミスタの電気抵抗値として検出され、ATC (Automatic Temperature Control: 自動温度制御) 回路で熱電子素子電流を調整し、チップキャリア温度を一定に保つ際に用いられる。このようにして、チップキャリア温度を安定化させれば、周囲温度が変化してもLDとモニタ フォトダイオードの諸特性は変わらない。

LDモジュールの駆動回路から供給される高周波信号をLDに忠実に伝えるためには、LDとパッケージ間の寄生インピーダンスを低減する必要がある。このモジュールでは先に述べた熱的な遮断条件とこの電気的条件を両立させる結電系を採用した<sup>(3)(4)</sup>。

## 2.3 光アイソレータ

広域的な信号を十分な信号対雑音比で送るためには、送信器における雑音電力密度を低く抑えなければならない。LDモジュールにおける雑音電力密度を表す方法として、次式で表されるRIN (Relative Intensity Noise: 相対雑音強度) が広く用いられている。

ここで、 $B$ は測定帯域、 $P^2$ はLDモジュール出力揺らぎの二乗平均、 $P_0$ はLDモジュールの平均出力である。

図4は、パワーペナルティを0.5dB以下に抑えるために要求されるRINの伝送速度依存性を示したものである。同図から、伝送速度が速くなるほど光源のRINは低くなければならず、例えば、4 Gbps程度の場合には-135dB/Hz以下でなければならないことが分かる。

LDモジュール出力の揺らぎの原因は、LD自身の自然放出光と誘導放出光との結合に起因する内的なものと、遠端反射点からの戻り光に起因する外的なものに大別される。ファイバ端出力が1mWを超えるような発振状態では後者が支配的そのため、LDと光ファイバの間に遠端反射を阻止するアイソレータを設けなければならない。

図5は、DFB・PPIBH・LDに対する戻り光の割合とRINの関係を測定した例である。同図から、RINを-135dB/Hz以下にするには、LDへの戻り光割合を-48dB程度以下に抑える必要があることが分かる。図6に示すように、戻り光を生じる反射点の反射係数を

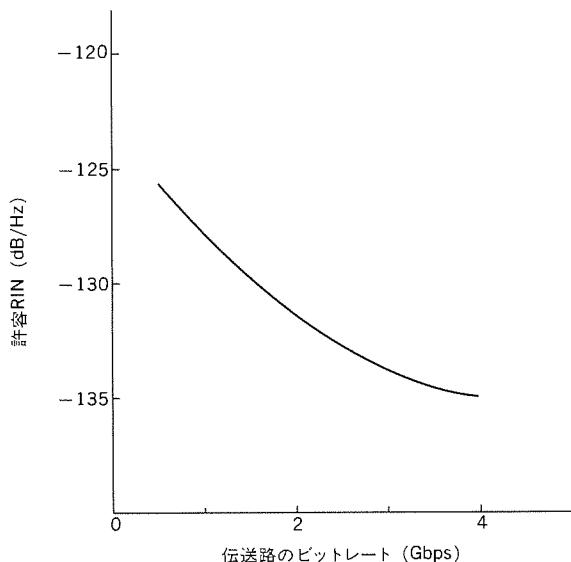


図4. 伝送路の各ビットレートに対するLDモジュールの許容RIN計算値

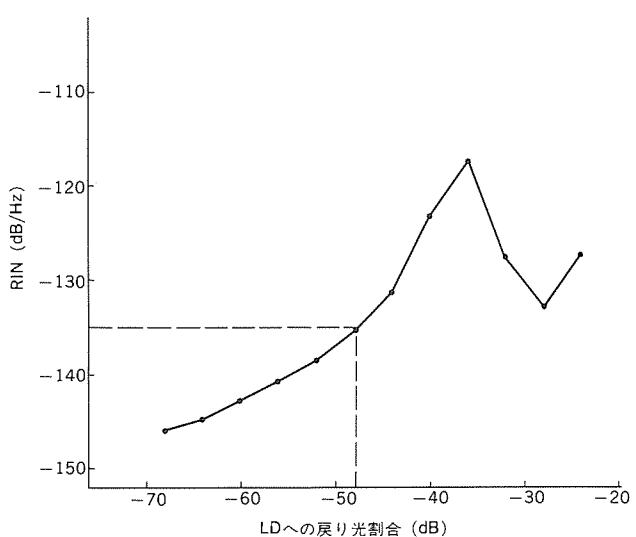


図5. PPIBH・DFB・LDへの戻り光割合とRINの関係（測定値）

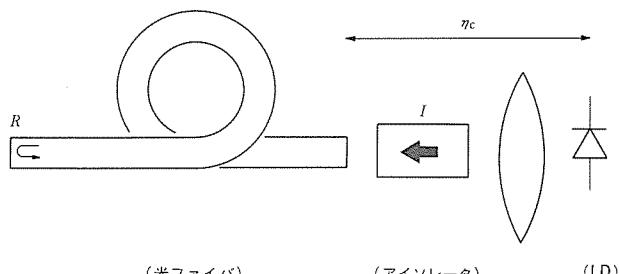


図 6 光ファイバ端で生じるLDへの戻り光

$R$ , LDと光ファイバとの結合効率を $\eta_C$ , 光アイソレータのアイソレーションを $I$ とすると, LDへの戻り光割合 $\eta_R$ は次式で表される。

反射点として光コネクタの接続点を想定し、 $R = -11\text{dB}$ 、 $\eta_C = -5\text{ dB}$ と仮定すると  $\eta_F \leq -48\text{dB}$  を満たすには、光アイソレータのアイソレーション  $I$  が  $27\text{dB}$  以上でなければならない。このモジュールにおいては、全使用温度範囲でこの条件が満たされる、温度特性に優れた光アイソレータを新たに開発し、結合光学系内に組み込んだ。

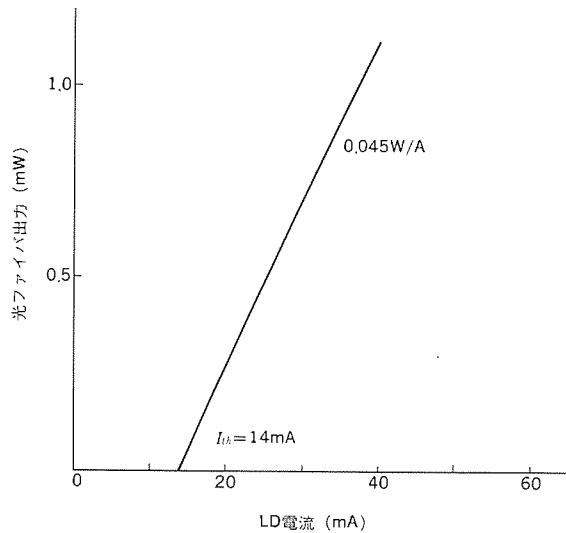


図7. 光出力特性

### 3. 特 性

#### (1) 光出力

図7は、LD電流に対する光ファイバ出力を測定した例である。微分効率は、 $0.045\text{W}/\text{A}$ 、定格LD電流40mAにおけるファイバ端出力1.2mWである。発振しきい値電流は14mAと低い。

図8はモニタ フォトダイオード出力が一定になるようLD電流を制御するAPC動作に加え、チップキャリア温度を一定に保つATC動作を行いながら、モジュールの周囲温度を変化させたときのファイバ出力を測定した例である。0~60°Cの周囲温度変化に対し、ファイバ出力変動は0.2dB以下であり、極めて安定である。

#### (2) 発光スペクトル

図9(a)(b)は、それぞれCW動作時と2 Gbps (RZ) 変調時の発光スペクトルの測定例である。いずれの場合においても、サイドモード抑圧比は35dB以上確保されており、またチャーピング幅も $0.2\text{nm}$ と小さい。

#### (3) 雑音特性

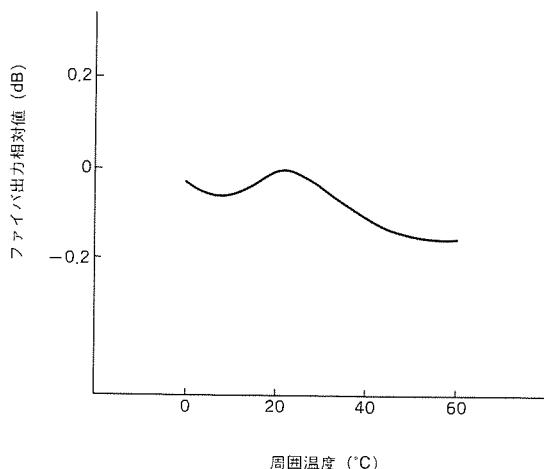
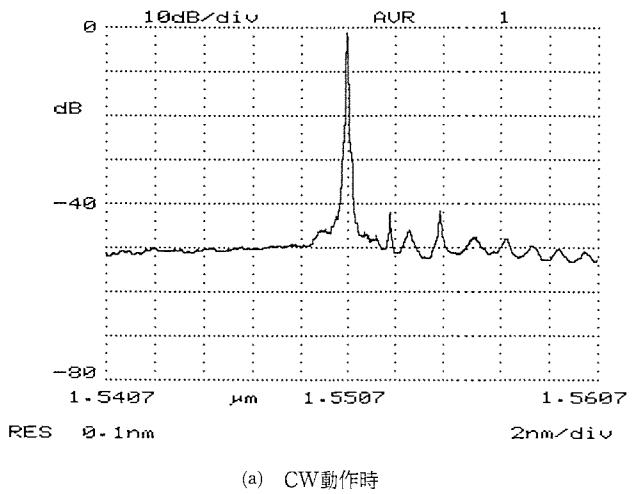
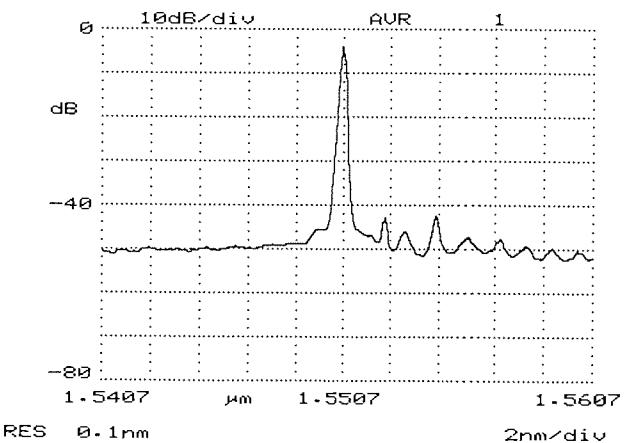


図8. APC, ATC動作時の周囲温度変化に対する  
ファイバ出力の変動



(a) CW動作時



(b) 2 Gbps (RZ) 変調時

図9. 発振スペクトル

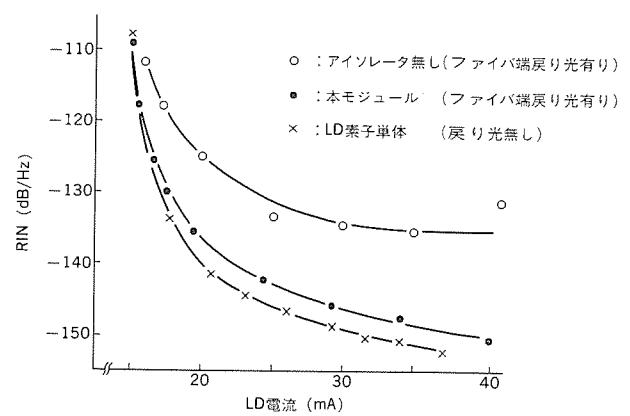


図10. RIN測定値

図10は、モジュールのビグティルファイバに光ファイバを接続し、LD電流を変えてRINを測定した例である。同図には、戻り光がないLD単体のRIN、及び光アイソレータがないモジュールにおけるRINの測定値も併せて示した。光アイソレータを設けないモジュールの場合には、光コネクタからの戻り光によりRINが増加しており、そのレベルは-130dB/Hz程度で飽和している。これに対し、このモジュールでは、ほぼ戻り光がない場合と同レベルまで雑音が押さえられており、LD電流が18mA以上の領域では先に2.3節で述べたRIN $\leq -135\text{dB}/\text{Hz}$ が満たされている。

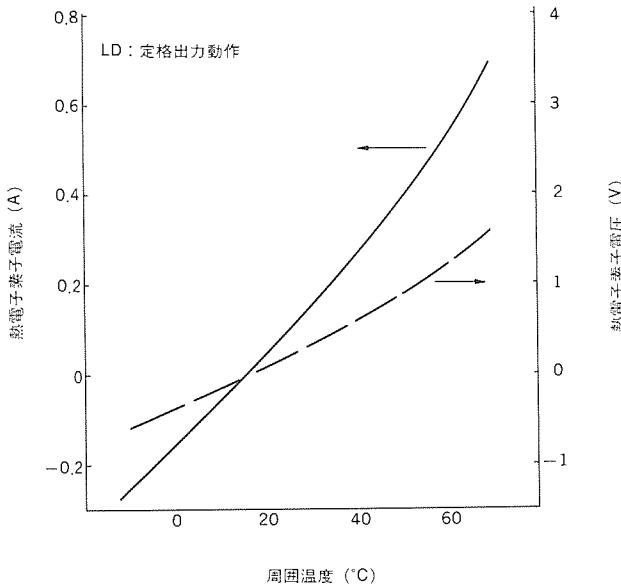


図11. ATC動作時の周囲温度に対する熱電子素子の電流・電圧測定値

#### (4) 冷却特性

図11は、LDを定格電流40mAで駆動するとともに、ATC動作を行うことによってチップキャリアの温度を室温に保ちながら、周囲温度を変化させたときの熱電子素子電流と電圧の測定例である。0～60°Cの周囲温度変化に対し、それぞれの値は0.53A、1.2V以下であり、このモジュールが効率良く温度制御されていることが確認できる。

#### (5) 周波数応答

図12は、周波数特性の測定例である。同図には、LDの緩和振動に伴う周波数応答の持ち上がりにより、遮断周波数が見掛け上高くなる効果が生じることを防ぐため、高バイアスレベル(LD電流が発振しきい値電流の4倍)の場合の結果を示した。-3dB遮断周波数は5.2GHzであり、全体に平たん性に優れた特性となっている。

#### (6) パルス応答

図13は、2Gbps、RZ変調時のアイパターンの測定例である。立ち上がり、立ち下がり時間はそれぞれ100ps、150psであり、良好なアイ開口を得ている。

## 4. むすび

マルチギガビット級の高速光ファイバ伝送に適した、光アイソレータとLD温度制御用熱電子素子を内蔵したDFB・LDモジュールを開発した。このモジュールの特長は、次のとおりである。

- (1) 5GHz以上まで平たんな周波数特性を持つ。
- (2) 相対雑音強度(RIN)は-145dB/Hz以下と低い。
- (3) マルチギガビットの高速パルス変調時においても、単一モード発振特性に優れており、そのサイドモード抑圧比は35dB以上である。

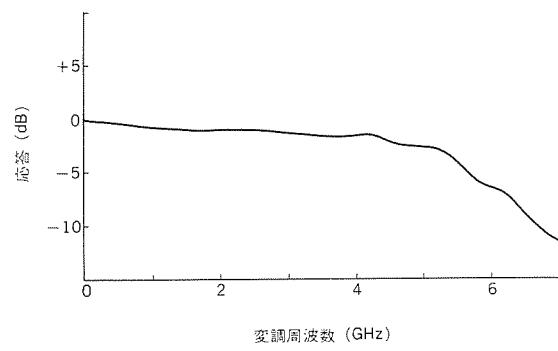


図12. 周波数応答特性 (LD電流 = 4  $I_{th}$ )

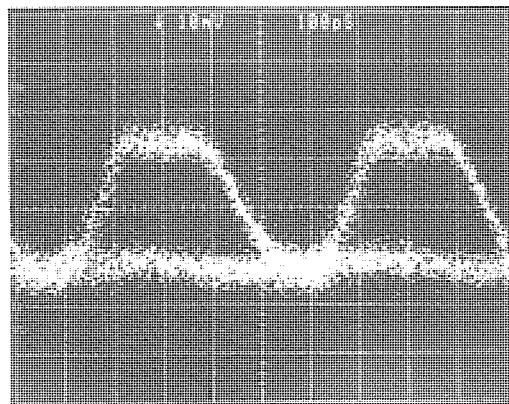


図13. 2 Gbps, RZ変調時のアイパターン

(4) 0～60°Cの周囲温度変化に対してLDの温度を室温に保つための熱電子素子電流と電圧は、それぞれ0.5A、1.2V以下である。また、その温度範囲における光ファイバ出力の変動は、0.2dB以下である。

## 参考文献

- (1) 木村ほか：F-1.6G方式の概要、研究実用化報告、36、No.2 (1987, NTT)
- (2) 柿本ほか：長距離光通信用単一モード半導体レーザ、三菱電機技報、61、No. 9 (昭62)
- (3) 山下ほか：ペルチェ素子冷却形LDモジュールの冷却系の等価回路、電子情報通信学会総合全国大会予稿、2353 (1987)
- (4) 仲川ほか：周波数応答に優れた冷却素子内蔵LDモジュール、電子情報通信学会春季全国大会予稿、C-450 (1988)

# 3 kW級スターリングエンジン

菅波拓也\* 藤原通雄\*\* 酒井正博\*\* 幸田利秀\*\* 野間口 有\*

## 1. まえがき

スターリングエンジンは、①外燃機関であり種々の燃料が使用できること、②理想的に作動すれば熱サイクルとして最も高いカルノー効率が期待でき高効率であること、③内燃機関のような爆発行程がなく低騒音であり、燃焼器の排ガス浄化も容易である、などの特長を持っている。このため、次世代の高性能・低公害エンジンとしてその開発が待望されていた。そして、近年の高温耐熱合金やテフロンなどの新しいシール材料の発展などこのエンジン実現のために必要な技術進歩を背景として、欧米でもその開発研究が加速されている状況にある。

我が国においては、1980年代の石油ショックを契機としてこのエンジンの研究開発が始まった。そして、昭和57年には通商産業省の推進するムーンライト計画のテーマの一つに取り上げられ、6か年計画で「汎用スターリングエンジンの研究開発」がスタートした。

当社は、スターリングエンジンを将来のエネルギー関連システムに必要な基本技術と位置付け、この研究開発に参画した。そして、新エネルギー総合開発機構(NEDO)から委託を受け、3 kW級ディスプレーサ型スターリングエンジンとこのエンジンを使用したエンジン駆動ヒートポンプシステム(以下、SEHPと称す)の研究開発を行ってきた。ムーンライト計画の目標に沿った技術開発が順調に推移し、昭和62年度にはエンジンの高性能化と併せ、小型・軽量化、信頼性向上などにおいて大きな進歩を得た。さらに、SEHPの開発においてもその有用性を実証することに成功した。この報告は、昭和62年度に行われた通産省工業技術院機械技術研究所の最終評価試験結果もふまえて、その技術開発の現状について報告する。

## 2. ムーンライト計画の概要と当社エンジンの構成

### 2.1 ムーンライト計画の目標

ムーンライト計画におけるスターリングエンジンの研究は、昭和57年から6か年計画でスタートした。この計画では、ヒートポンプ駆動用及び小型電源用の3 kW及び30kW級のエンジンの開発が取り上げられたが、その中で当社は3 kW級エンジン及びヒートポンプシステムの開発を担当した。表1に、当社担当分に関するこの計画の目標値を示す。

表中の熱効率と耐久性の実現が、特に難しい課題である。図1を

表1. 3 kW級スターリングエンジン及びSEHPの基本目標

区分	開発目標項目	目標	備考
エンジン	主燃料	天然ガス	
	熱効率	約32%	
	排気ガス	ボイラ規制値以下	
SEHP	冷房時 成績係数	0.92(1.43) 暖房時 1.49	( )は給湯を含む場合 排熱回収率70%
	耐久性	10年	
	メンテナンス	1回/年	
	騒音	45dB (A)	

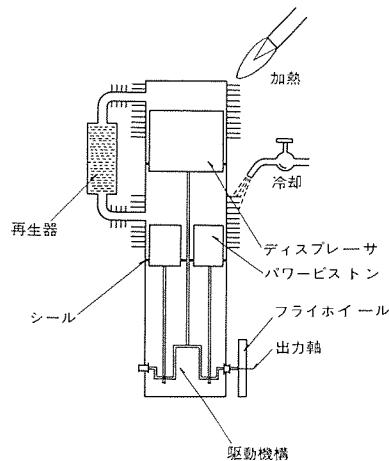


図1. ディスプレーサ型の作動原理

用いて、これら課題についてもう少し詳しく説明しよう。

ディスプレーサによって、作動ガス(ヘリウム)を高温側、低温側に移送すると、作動ガスの圧力は、温度に応じて高くなったり、低くなったりする。この圧力の変化によって動力ピストンが上下し、動力を取り出すのがスターリングエンジンの仕組みである。高い熱効率を得るために、燃焼熱をいかに無駄なく作動ガスに伝達するか、伝達された熱量をいかに効率的に動力に変換するかが重要な課題となる。長期にわたる信頼性を確保するためには、ディスプレーサや動力ピストンのシールをいかに長寿命なものにするかが重要な課題である。

### 2.2 当社エンジンの構成

上述したような課題を中心として検討を重ね、ムーンライト計画の最終年度に我々が到達したエンジンの構成を図2に示す。このエンジンの構成上の特長をあげると次のとおりである。

- (1) 加熱部・再生器・冷却部から成る熱交換器を軸対称(アニューラー型)に構成し、全体の小型軽量化、シンプル化を図った。
- (2) 加圧クラランク室、デュアルクラランク機構とすることによってシールの信頼性を高め、機械損失を小さくすることができた。
- (3) 低圧損の先混合ガスバーナを採用し、特別のブースターなしで都市ガスが使用でき、しかも高いターンダウン比を実現した。

主要構成部分の技術開発や設計フィロソフィー<sup>(1)</sup>を以下に簡単に述べる。

熱交換器の設計に当たっては、加熱部・再生器・冷却部などの熱交換器各部の熱伝達特性や圧力損失などのデータを蓄積して、スターリングサイクルシミュレーション技術の高精度化を図り、熱交換器各部のディメンジョンを最適化した。図3はスターリングエンジンのエネルギーフローを示すが、最終的には、このエネルギーフローにおける各種熱損失と圧力損失を計算してエンジン性能を正確に予測できるようにした。

また、熱交換器の高温部(加熱部及びシリンダヘッド部)は、700

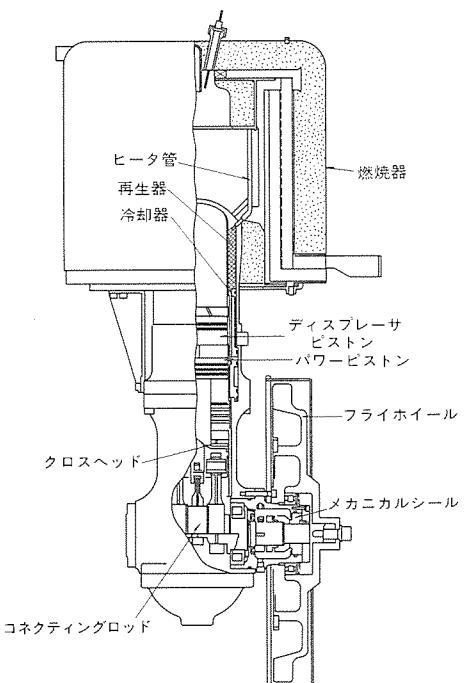


図2. 3 kW級ディスプレーサ型エンジンの構造

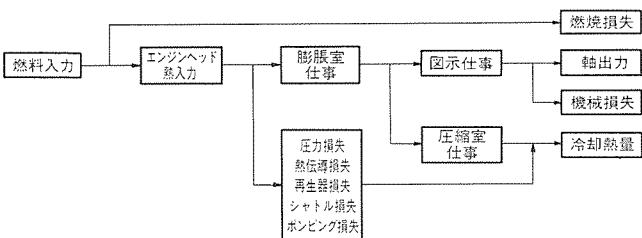


図3. スターリングエンジンのエネルギーフロー

~800°Cにまで加熱され、しかも熱交換器内部の作動ガスの圧力は数MP<sub>a</sub>に達している。このため、安全性、信頼性確保には特に留意し、高温耐熱材料の強度、クリープ、耐食性などの基礎データの集積を図った。

燃焼器の設計に当たっては、燃焼器の加熱効率の向上を図るために、特に各種空気予熱器の伝熱特性の検討を進め、最終的にはコルゲート構造を採用した。さらに、燃焼排ガスのボイラ規制値をクリアすること、高いターンダウン比を実現すること、などに関連して燃焼用空気の供給方法や燃料ノズルの位置などを最適化した。

ピストン及びディスプレーサ部のシールは、エンジンに圧力変動を起こさせ動力を取り出すために重要で、摩擦が小さく、ガス漏れの少ないことはもちろんのこと、無潤滑で動作することが要求される。このため、PTFEやポリイミドなどをベースとした各種しゅう動材料の摩擦・摩耗特性や各種型式のピストンリングのガス密封特性を調べ、PTFEをベースとしたステップカット型ピストンリングを開発した。

出力軸シールにはメカニカルシールを使用し、クランクケースの内部に封入した数MP<sub>a</sub>の高圧のヘリウムの漏えいを防止する必要がある。このメカニカルシールしゅう動面には潤滑油が満たされているが、その使用条件は高圧であるため厳しい。高密封性とシール面の潤滑性を確保するシール構造として、図4に示すようなスパイラルグループを持つメカニカルシールの開発に成功した。

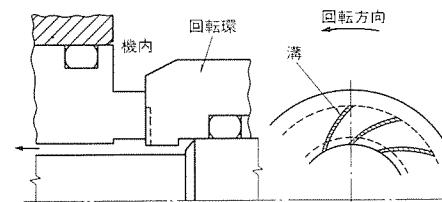


図4. スパイラルグループ付きメカニカルシール

出力取出し機構部の設計に当たっては、デュアルクランク機構を採用し、クランク軸、主軸受などのしゅう動部分には強制給油を行うことによって、低損失でコンパクトな構造を実現した。さらに、パワーピストンから上の空間には、油の浸入を防止することがエンジン性能を確保するうえで重要であった。このため、逆止弁を用いた油上がり防止機構を考案し、油上がりを実用上問題のないレベルとしている。

### 3. 試作エンジンの性能

図5は当社の試作したエンジンの外観を示す。エンジンは燃焼用プロワや起動用のスタータなどの補機が完全装備された状態を示している。エンジン本体重量は約60kg、エンジン高さ800mm、幅460mmの寸法となっている。

昭和62年10月に実施された機械技術研究所における最終評価試験や社内試験結果などからエンジンの性能に関して、その試作成果の現状を以下に述べる。

図6はエンジンの軸出力、熱効率に関する性能を示す。ここで、 $n_E$ は軸回転数、 $T_h$ はヒータ管温度、 $T_w$ は冷却水入口温度、 $\bar{P}_c$ は作動ガス（ヘリウム）の平均圧力である。エンジンの最高熱効率に関しては、目標32%に対して37.3%という驚異的に高い性能が実証できたことに着目することができよう。また、エンジン熱効率の冷却水温度依存性は、約0.08%/degである。

図7はエンジン型式と効率の関係について調査した結果を示す。他社エンジンの性能は、文献<sup>(2)(3)</sup>などから引用した。エンジン型式の詳細な説明は省略するが、フリーピストン型は基本的にはディスプレーサ型と同じ構成をとるものである。この図から、37.3%という熱効率は、この出力レベルのエンジンとしては世界最高レベルの性能であること、さらに数10kWレベルのエンジンと比較してもほぼ同等の性能であることがわかる。

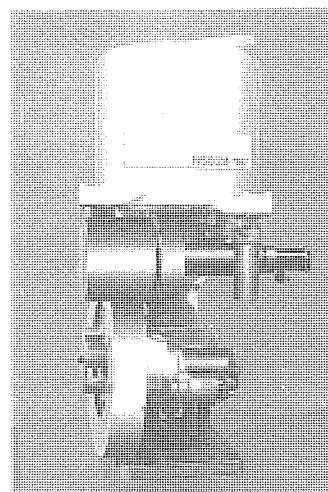
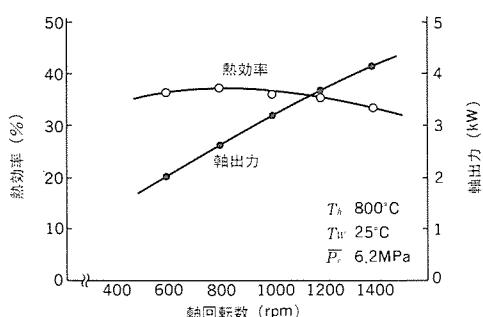
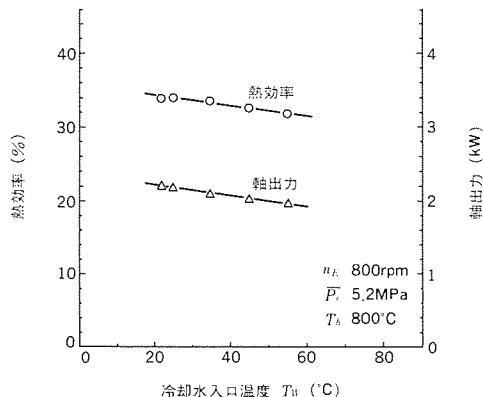


図5. 3 kW級ディスプレーサ型エンジンの外観



(a)軸出力・熱効率の回転数依存性



(b)軸出力・熱効率の冷却水温度依存性

図6. エンジン軸出力・熱効率特性

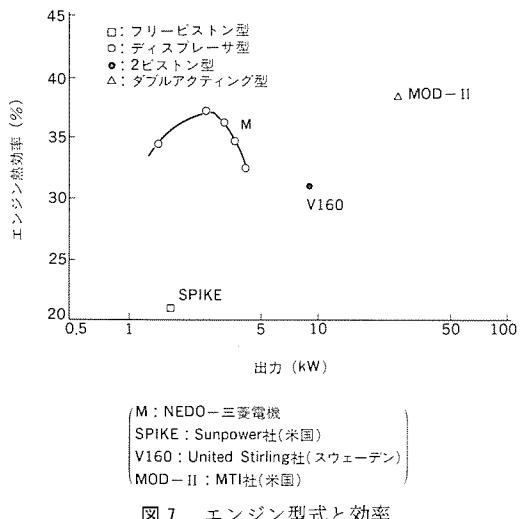


図7. エンジン型式と効率

排ガスのボイラ規制値 ( $O_2$  5 %換算において  $NO_x$  レベル 150 ppm 以下,  $CO$  レベル 100 ppm 以下,  $HC$  レベル 30 ppm 以下) をクリアするという目標に対しては、燃焼器に排ガス再循環法を採用することにより達成した。さらに、エンジン騒音は 60 dB(A) であった。

次に耐久性に関しては、始動、常用出力(連続 4 時間運転)、最高出力(連続 2 時間運転)、常用出力(連続 4 時間運転)を 1 サイクルとする合計 65 サイクル、650 時間の運転を行った。この間、性能の低下も特に見られず順調な運転が行われた。耐久性で特に重要なピストンリング、メカニカルシールなどのしゅう動部分の摩耗についても検査したが、ピストンリングの摩耗の程度もその寿命として 2 万時間以上が期待できることが確認できた。このような結果は、別途実施したピストンリングの単体耐久試験とよく一致しているものであった。さらに、エンジンのクラランク軸等の潤滑油は、高温にさら

されることもないので、劣化・変色は認められなかった。

#### 4. スターリングエンジン駆動ヒートポンプ(SEHP)の開発

##### 4.1 SEHPの省エネルギー性

スターリングエンジンの開発と並行して、昭和 60 年度からエンジンの利用システムとして SEHP の研究開発に着手した。このようなヒートポンプへの応用を検討した背景としては、①エンジンは出力可変時も含めて熱効率が高いこと、②エンジンの排熱が利用しやすく、給湯や低外気温時の暖房能力強化もできること、③清浄な排ガス、低騒音といったエンジンの低公害性の利点が生かせること、などを挙げることができる。しかしながら、その大きな意義は、①の高い省エネルギー性にあるといえよう。

SEHP は、スターリングエンジンで冷媒圧縮機を駆動して、冷暖房給湯を行うヒートポンプシステムであるが、これを内燃機関を改良したガスエンジン駆動型や電気モータ駆動型と効率の観点から比較した結果を表 2 に示す。この表から SEHP では、エンジンの熱効率が高い分だけ同一のエネルギー量の冷暖房給湯を行うのに必要な燃料は、少なくてすむことが明らかである。例えば、電気モータ駆動型ヒートポンプの冷房時(給湯含む)の必要燃料を 1 とすると、GHP では必要燃料量は 0.86 となる。さらに、SEHP では、必要燃料は 0.76 となり、約 25% の燃料の節約が可能となる。さらに、冷暖房システムにおける市場を展望するとき、ディスプレーサ型スターリングエンジンの適合する出力範囲として、2 ~ 10 HP の容量のヒートポンプシステムについてみると、その年間生産台数は 77 万台/年(昭和 62 年度)の規模であり、SEHP が実用化した場合の省エネルギー効果も大きい。

##### 4.2 試作 SEHP の性能

SEHP の開発課題としては、エンジンと圧縮機の負荷をマッチングさせるエンジンの出力制御が特に重要な課題であった。

図 8 はこのエンジン制御システムの構成について示す。エンジンの制御は、燃焼器における空気比制御、ヒータ管の温度一定制御、回転数制御の三つから構成した。また、回転数制御はエンジン筒内(熱交換器内部)のヘリウムガス圧力を変化させることにより、比較的速い応答性を得た。

SEHP の性能については、最終評価試験結果をもとに述べることとする。まず、この性能試験に供した SEHP の概略構成を図 9 に示す。この構成は、水冷チラーユニットの試験条件での冷暖房給湯性能の測定が可能となっている。したがって、蒸発器、凝縮器は、冷媒と水の熱交換器を用いている。一方、給湯はエンジン冷却水、燃焼排ガス及び冷凍サイクルでの凝縮熱からの熱回収により行う。また、図中には示していないが、圧縮機はエンジンによりベルト掛けで駆動されている。性能試験結果を表 3 に示す。表に示すとおり冷

表 2. SEHP の効率比較

	電気モータ駆動型 ヒートポンプ	ガスエンジン 駆動型 ( $\eta=25\%$ )	スターリングエンジン 駆動型 ( $\eta=35\%$ )
冷房	118	85	119
		52	36
		137	155
暖房	133	147	178

注 (1) 1 次エネルギー基準のインプット 100 に対する有効利用エネルギーとして示す。

(2) 電動の場合には、1 次エネルギー基準で 36% の発電効率とした。

(3) ヒートポンプ回路は軸入力基準で、冷房 COP 3.4、暖房 COP 3.8 とした。

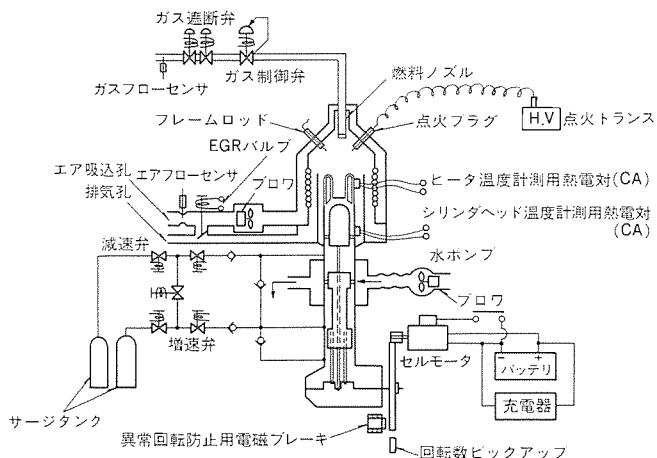


図8. 制御装置の構成図

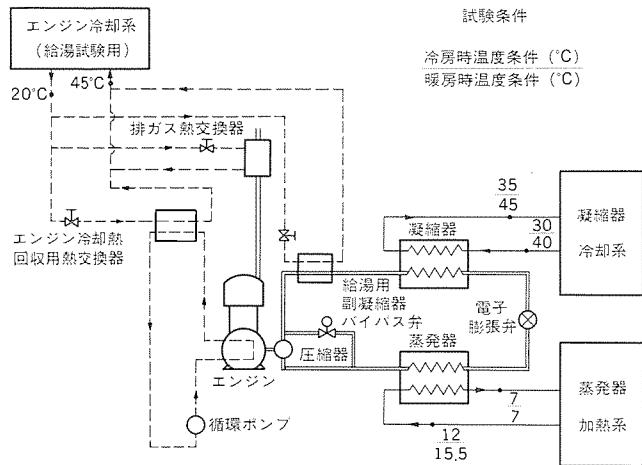


図9. 性能試験用システムの構成

表3. SEHPの性能試験結果

冷房性能	
常用特性	
冷房能力 (kcal/h)	6,110
給湯能力 (kcal/h)	4,460
冷房COP	1.25
冷房・給湯COP	2.16
能力可変範囲	
冷房能力 (kcal/h)	3,900～6,110～8,500
冷房COP	1.15～1.25～1.06
暖房性能	
常用特性	
暖房能力 (kcal/h)	10,460
内給湯分 (kcal/h)	2,960
暖房COP	1.79
内給湯分	0.51
能力可変範囲	
暖房能力 (kcal/h)	6,510～10,460～15,770
暖房COP	1.67～1.79～1.67

暖房とともに、その常用条件（エンジン回転数800rpmに対応）において、基本計画目標を大きく上回る性能が得られた。冷房時COPは1.25、給湯を含めるとCOP2.16となり、暖房COPは1.79である。さらに、騒音レベルは常用条件で約45dB(A)であった。また、制御性の面では、着火から常用回転数到達までの所要時間は132秒、停止に要する時間は約1秒である。

次に、SEHPの耐久性に関連し、実使用条件下での運転特性や信頼

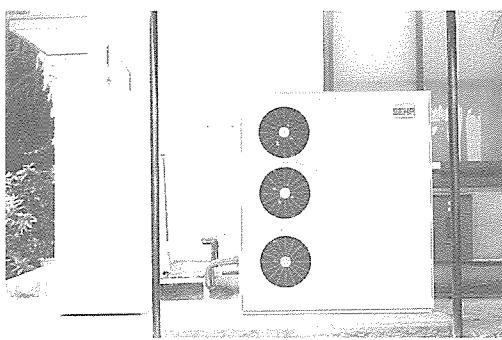


図10. 空冷パッケージSEHPの外観

性などを調べるための試験（以下、簡略化してフィールド試験と称す）について述べる。このフィールド試験には2台が供されており、1台は空冷チラー方式を採用、他の1台は空冷パッケージ方式を採用している。図10は空冷パッケージの外観を示す。この空冷パッケージの室外機は、高さ1,400mm、横幅1,210mm、奥行600mmの寸法である。これら2台のフィールド試験では、特に大きなトラブルもなく順調にそれぞれ1,000時間、300時間の運転が行われ、スターリングエンジンがヒートポンプ駆動用として制御性の面でも適合することが実証できた。

## 5. むすび

ムーンライト計画「汎用スターリングエンジンの研究開発」に参画し、スターリングエンジン及びSEHPに関し以下の成果を得た。

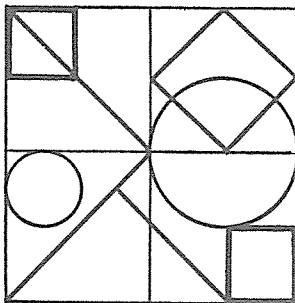
- (1) 3 kW級スターリングエンジンとして、最高熱効率37.3%という世界最高レベルの性能を得た。また、排ガスのボイラ規制値もクリアし、エンジン騒音も60dB(A)とその低公害性が実証できた。エンジンの信頼性・耐久性を確保するうえで重要な無潤滑ピストンリングの摩耗寿命についても、20,000時間以上が期待できた。
- (2) SEHPの性能として、排熱利用を含めたCOPで冷房時2.16、暖房時1.79の値を得た。さらに、SEHPの連続運転試験も1,000時間の実績を得て、スターリングエンジンがヒートポンプ駆動用として適していることが実証できた。

これらの開発成果は、スターリングエンジンとその利用システムであるSEHPの魅力を実証するに十分の性能であろう。今後は、コストパフォーマンス（経済性）の向上を図るとともに、実使用条件下的フィールド試験などによる耐久性・信頼性の実証を行い、SEHP実用化のための技術開発に取り組む所存である。

最後に、この研究開発の遂行に当たり、通産省工業技術院ムーンライト計画推進室並びに新エネルギー総合開発機構から多大の御指導をいただいたことに感謝の意を表す。さらに、昭和62年10月の最終評価試験では、機械技術研究所の方々に御指導いただきここに深く感謝する。

## 参考文献

- (1) 野間口、菅波：3 kW級冷暖房用ディスプレーサ型スターリングエンジン、スターリングエンジン及びヒートポンプシステム等への応用に関する国際シンポジウム（1986）
- (2) C.D.West : Principles and Applications of Stirling Engines, Van Nostrand Reinhold Company, p.100 (1986)
- (3) D.W.Karl : MOD II Engine Development, IECEC (1987)



# 特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 特許部 TEL (03) 218-2136

## 半導体装置 (特許 第1367207号)

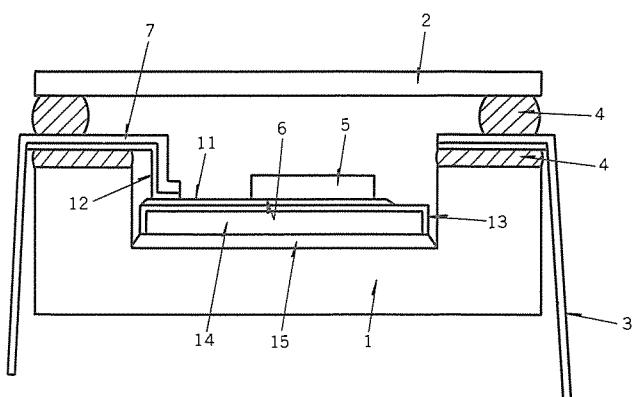
発明者 大坂修一, 上村俊一

この発明は、セラミック焼成体をパッケージ本体と蓋に用い、パッケージ本体と蓋の中間に金属フレームを置き、ガラスを封着材として用いた半導体装置に関するものである。

即ち、図に示す如く、セラミック焼成体のパッケージ本体(1)と蓋(2)、その中間に金属リードフレーム(3)を置き、封着用ガラス(4)で封着する半導体装置において、素子固着領域を、金属薄膜(13)を形成したFe-Ni系金属板(14)をガラス層(15)により固定したもので形成し、この金属薄膜(13)と金属リードフレーム(3)のある特定の端子(7)とを合金系又は化合物系金属(11)で接続する。この場合、合金系又は化合物系金属(11)との接合を容易にするため、金属製リードフレーム(3)の裏面側つまり金属薄膜(13)と接する側に選択的に合金系又は化合物系金属(11)となじみ易いPb-Sn系合金からなる金属被膜(12)を形成した。

従って、半導体素子(5)を合金系又は化合物系金属(11)に固着する際に、化合物系、合金系金属ろう材による作業がきわめて容易になり、自動化も容易になる。また、素子固着領域と金属製リードフレーム(3)の特定の端子(7)との接続も、特定の端子(7)の裏面に酸化を防止す

るような金属被膜(12)を形成したため、ろう材の接合性が良くなる。



## 半導体装置の製造方法 (特許 第1341695号)

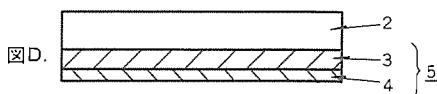
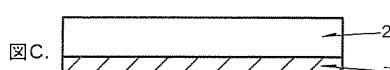
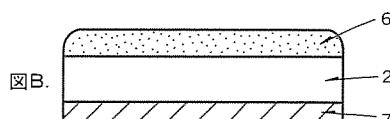
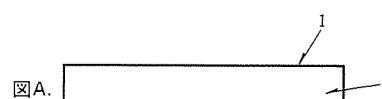
発明者 永井廣武, 前山出男, 田中 誠

この発明は、半導体装置の裏面電極の形成方法に関するものである。

従来、トランジスタ、ダイオード等の裏面電極としては、金属のみからなる構造、又は半導体基体の裏面側から順次、チタン層若しくはチタン合金層、ニッケル層および金層からなる構造が用いられていたが、動作時の順方向特性が悪く、又は熱抵抗が大きく、高周波高出力化、高性能化を図る上で不都合があった。

この発明は上記欠点を解消するため、先ず図Aに示すように、表面(1)に表面電極が完成した半導体基体(2)が所望の厚さになるようにその裏面をラッピングし、次に図Bの如く、半導体基体(2)の表面(1)にワックス(6)を塗布して保護した状態で、その裏面に無電解メッキ法で10 kÅの厚さのニッケル層(7)を形成する。続いて図Cの如く、半導体基体(2)の表面(1)上のワックス(6)を除去した後、400~600°Cの温度のシンター炉を用い、窒素雰囲気中でシンターリングを行い、半導体基体(2)とニッケル層(7)との間のオーミックコンタクトを得る。次に、図Dの如く、ニッケル層(7)の表面を数100 Åスパッタエッティングし、シンターリング時に酸化された表面層を除去してニッケル層(3)とし、引続いて銀層(4)をスパッタポジションによって3~6 kÅの厚さに形成する。

このようにして形成されたものは、裏面電極の構成が簡単であり、裏面電極と半導体基体の低抵抗オーミックコンタクトが得られる他、この半導体ウェハを用いて製作された半導体装置の電気的特性および信頼性の向上に役立つ。



# 特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 特許部 TEL (03) 218-2136

## 半導体装置 (特許 第1413279号)

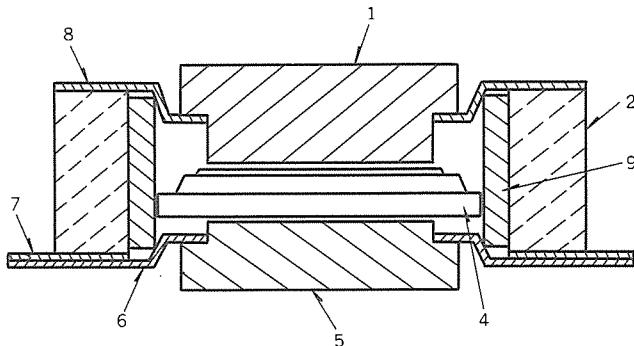
発明者 徳能 太

この発明は、半導体素子の外径よりも、半導体素子を収容する外装の内径の方が大きい半導体装置における半導体素子の位置決め構造に関するものである。

即ち、平形ダイオードなどのような高耐圧大容量半導体装置においては、断続通電時に発生する温度サイクルによるストレスを軽減するため、半導体素子(4)と外部電極(1)(5)を外部圧力により接触させて電流を取り出すことが多いが、従来は半導体素子(4)の位置決め部品として、セラミックス、フッ素樹脂等の耐熱性絶縁体を用いていたため、寸法精度を十分に上げることが難しく、更に高価なものとなるなどの欠点があった。

この発明は、図示の如く、半導体素子(4)の位置決め部品として、シリコンゴム、フッ素ゴム等の耐熱性ゴムよりなるガイドリング(9)を用いた。このため、半導体装置を組立てるに当たっては、まず半導体素子(4)にガイドリング(9)を嵌合し、次にカソード外部電極(1)、絶縁性筒体(2)、フランジ(7)(8)のろう付け完了部品に、上記半導体素子(4)とガイドリング(9)の組立品を挿入し、その後アノード外部電極(5)、フランジ(6)のろう付け完了部品を装着して、フランジ(6)、(7)を溶接する。ガイドリング(9)の内径を半導体素子(4)の外径よりも若干小さ

くし、また半導体素子(4)が嵌入された状態におけるガイドリング(9)の外径を、絶縁性筒体(2)の内径に対して同一又は若干大きくすれば、半導体素子(4)と絶縁性筒体(2)のクリアランスが無視できるため、カソード外部電極(1)及びアノード外部電極(5)と半導体素子(4)との正確な位置決めを行うことができる。



〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 62 No. 11 機器の電子化を推進する半導体特集

### 特集論文

- 情報化社会とLSI
- システムの動向と半導体の展望
- 電話機用音声録音／再生システム
- ホームディジタルビデオ用システムLSIキット
- OTP／SRAMをワンチップ化した多機能メモリ
- 自動車エンジン制御用オリジナル16ビットマイクロコンピュータ
- MOCVD法による825nm PSPB形高出力レーザダイオード
- 高性能トランジスタモジュール
- 高信頼性Al/TiN/PtSi/Si系電極
- アナログ・ディジタル混在ICのテスト技術
- LSIプロセス信頼性評価システム

### 普通論文

- 赤外線暗視装置用姿勢制御装置
- GPS利用技術—宇宙機の自律航法—
- 飛しょう体空力形状設計支援エキスパートシステム
- 多機能G3ファクシミリFA-6000シリーズ
- 垂直薄膜磁気記録ヘッド
- 知識処理に基づく配電図面自動入力システム

### 三菱電機技報編集委員

委員長 鶴田 敬二  
委員 奥松 雅登  
〃 目次 善孝  
〃 堀切 賢治  
〃 風呂 功  
〃 村田 豪  
〃 藤井 学  
〃 紅林 秀都司  
〃 高橋 誠一  
〃 田中輝一郎  
〃 柳下 和夫  
幹事 長崎 忠一  
10月号特集担当 春原 猛

### 三菱電機技報62巻10号

(無断転載を禁ず)  
1988年10月22日 印刷  
1988年10月25日 発行  
編集兼発行人 長崎 忠一  
印刷所 東京都新宿区榎町7  
大日本印刷株式会社  
発行所 東京都港区新橋六丁目4番地9号(〒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) 437局2338  
発売元 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地(〒101)  
株式会社 オーム社  
Tel.(03) 233局0641㈹, 振替口座東京6-20018  
定価 1部700円送料別(年間予約は送料共9,100円)

# 総合制御システム スポットライト《MACTUS620》タイプE



近年、工場の自動化の進展に伴ない、シーケンサやコントローラが多量に使用される様になりました。そしてこれらの監視・操作において、情報管理のリアルタイム化と機能向上——ビジュアル化に対するニーズが高まってきています。

三菱電機では、このようなニーズにお応えし、総合計装制御システムMACTUS620シリーズで培われたマンマシンインターフェースにおける豊富な経験を生かし、電気制御の分野に最適な総合制御システムMACTUS620〈タイプE〉を発売しました。〈タイプE〉はコーディネータステーション(CDS)を用いてシーケンサMELSECシリーズのMELSECNET、汎用通信手順RS-232CおよびMACTUSシリーズのMMバスと接続します。そして、これらから得た情報を自由にアレンジして20インチCRT(または37インチCRT)に表示します。点在するシーケンサの情報を一括し、トータルな管理・運営を計画される方、特にシーケンサMELSECシリーズをご使用中、あるいはご計画中の方に上質なマンマシンインターフェースとしておすすめします。

## 特長

- MELSECシリーズのMELSECNETとプログラムレスで結合するためのビルダを搭載し、欲しい情報を容易にCRT上に自由に表示します。
- グラフィックFIF(空欄記述方式)の採用により、ソフトウェアを意識せずに容易に画面の作成が行なえます。
- コーディネータステーション(CDS)との一体化、およびコンパクトなサイドデスク形のため狭いスペースでも機器の設置が可能です。
- 2倍画面(面積比)の採用により、より精密なグラフィック画面監視が可能です。
- 豊富な表示色(64色)と表示点数(ステータス×400点、データ×200点/画面)により、多くの情報を1つの画面に集約できます。
- マルチタスクBASICを標準装備、データ処理・帳票などがフレキシブルに行なえます。
- 画面展開機能の充実により、プロセスに応じた最適なオペレーションを実現します。

関西電力(株)加古川変電所納め

# スポットライト 84kVガス絶縁開閉装置(GIS)



関西電力(株)加古川変電所は、従来形機器による地中絶縁方式の変電所でしたが、機器の老朽化に伴なう改修工事が計画され、今回84kVガス絶縁開閉装置(GIS)を納入したものです。その規模は、送電線、13回線(将来、遮断器増設3回線含む)、母線連絡と補助ユニットなどで構成された二重母線方式で、その定格電流も3000Aと比較的大容量のもの。本変電所に適用したGISは、従来の全三相一括形GISに比べ、よりいっそうの縮小化と信頼度向上および万一の製品事故時における復旧性の向上を目指して開発、製品化を行なった縮小形GISです。この縮小形GISは、三菱電機の長年にわたる豊富なGIS製造技術をベースに、三次元電界解析をはじめとする設計解析技術や最新の製造技術を駆使し製品化を行なったものであり、従来、機器単独で区画されていたシステム構成を、母線側、遮断器、線路側の構成ブロックにまとめ縮小化をはかったものです。また、機器の複合化による部品点数の低減と電動ば

ね操作装置の採用によるエアーレス化の達成および配置構成の適正化などによってより信頼性の向上をはかっています。次に、この縮小形GISは、万一の事故時対応としてその構成ブロック単位にて単独解体が可能な構成とともに、移動用ケーブル接続部分の設置および応急的な不具合部分の切離しが行なえるように母線部分に簡易断路部を設置。さらに、開閉機器の操作装置を前後に分散配置し、操作の集中化をはかりながら地上レベルに配置することで床面からの手動操作や点検が可能となり、保守点検作業を安全かつ確実なものとしました。一方、遮断器のアークコンタクトの点検、取替作業を当該容器側面のマンホールから実施できるよう配置されています。この結果、従来の三相一括形GISと比較すると据付面積および容積とも60%、重量で80% (いずれも当社比較) に縮小され、今後の変電所建設費の低減に寄与するものと期待されています。

# 《MELCOM PSI II》

## スポットライト カラーバージョン



AI ワークステーション《MELCOM PSI II》<sup>ブサイ</sup>は、大形汎用機並みの極めて高い推論能力をもち、実用規模の人工知能応用ソフトウェアを実行できる大容量主記憶を備えたワークステーションで、通産省の推進する第5世代コンピュータ・プロジェクトの中間成果である小形化パーソナル逐次形推論マシンを三菱電機が製品化したものです。昨年発売開始以来、人工知能応用技術の研究開発や実用開発のそれぞれの場でご使用いただき、その性能と使いやすさにより、高い評価をいただいております。このたび、推論性能をさらに向上し、カラー・マルチウインドウ、TCP/IPネットワークなどの新機能を備えた《MELCOM PSI II カラーバージョン》を開発しました。この《MELCOM PSI II カラーバージョン》は、《MEMCOM PSI II》のもつ人工知能向き言語Extended Self-contained Prolog (ESP) とそのすぐれたプログラミング環境に対して、新しくカラー・マルチウインドウ機能を実現するとともに、その他の機能を強化・改良したもので、人工知能の応用領域を広げるワークステーションとして期待されます。

### 特長

- 専用LSIを利用した高速処理機構を付加することにより400 KLIPSの高速推論性能を発揮します。
- オブジェクト指向の機能を論理形言語に融合した人工知能向き言語Extended Self-contained Prolog (ESP) は知識情報処理ソフトウェアの記述に最適な言語です。
- マルチウインドウ・システムをマンマシン・インターフェースのベースとする、スクリーン・エディタPMACS、ライブラリアン、デバッガ/インスペクタなどのプログラミング・システムは統一的で使いやすいソフトウェア開発環境を提供します。

● カラーパレット、カラーペアの概念に基づくカラー・マルチウインドウ・システムはウインドウごとに独立した表示色セットの設定、親子ウインドウにおける表示色の共用ができるほか、モノクロ・ディスプレイ装置上のウインドウ・システムに対して上方互換性をもたらします。

● TCP/IPプロトコルをサポートするネットワーク機能は、高速大容量のPSI II推論能力を生かした機能分散システムの構築を可能とします。

● 浮動小数点演算機構により、倍精度浮動小数点数の四則および初等関数の演算を高速に実行します。

● このほかに新しい入出力装置として、つぎのものをサポートします。

- カートリッジ磁気テープ装置
- レーザビームプリンタ装置
- 300MBディスク装置

### MELCOM PSI II のシステム構成

