

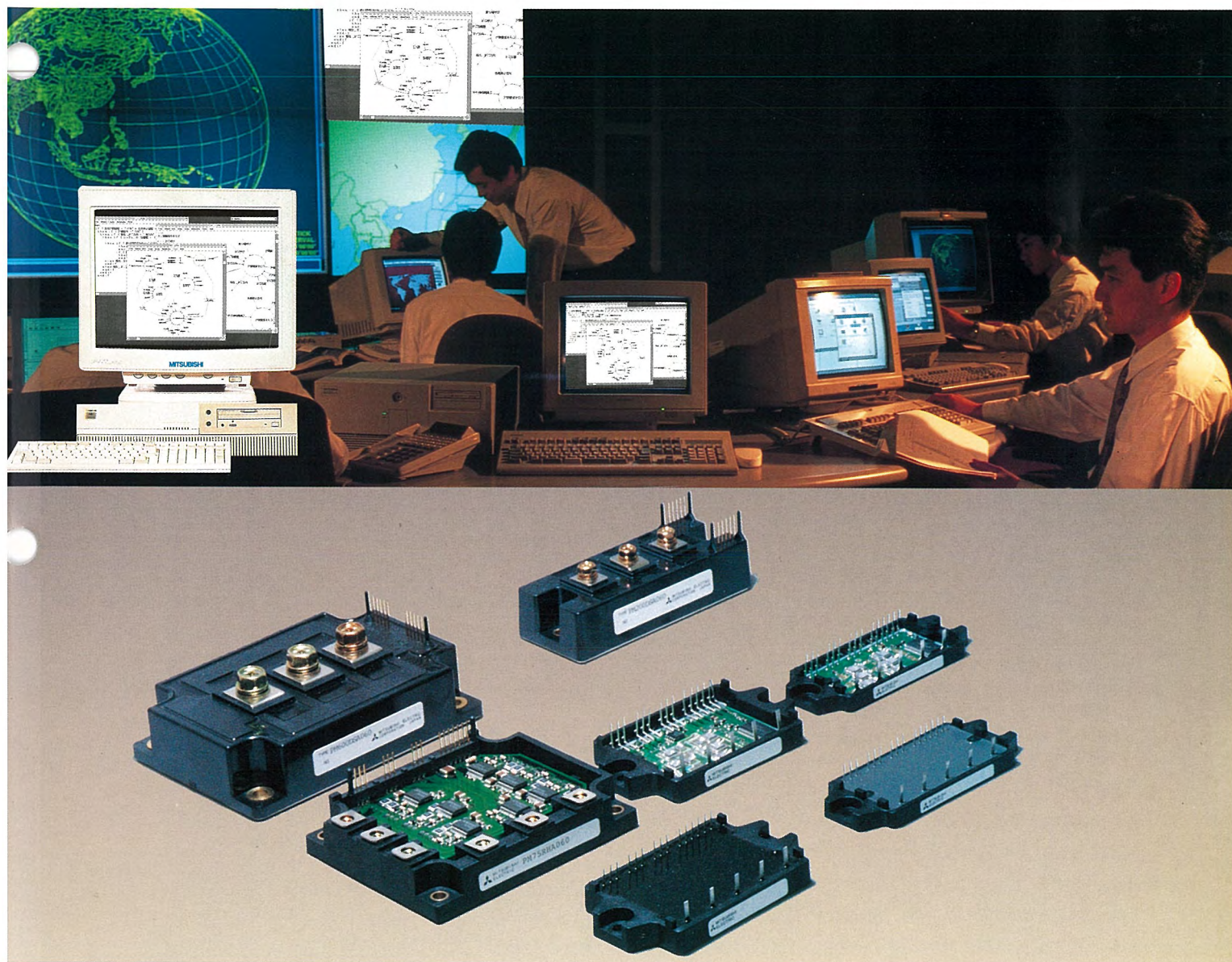
MITSUBISHI

三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.67 No.9

9
1993

特集 “ソフトウェア生産技術” “パワーデバイスの進歩”



特集 “ソフトウェア生産技術” / “パワーデバイスの進歩”

目 次

特集論文 “ソフトウェア生産技術”

今こそ、ソフトウェア工学の実践に向けた研究開発を	1
大野 豊	
ソフトウェア生産技術の現状と動向	2
春原 猛・山田郁夫・小泉寿男	
システム生産標準 “SPRINGAM”	5
小林 博・明智憲三郎・増田幹夫・木村哲雄・真野哲也・安田文男	
ソフトウェア生産の診断技術	11
内藤俊文・吉田見岳・八巻直一	
PPK 法に基づくソフトウェア設計プロセス支援	16
寿原則彦・田村直樹・中島 毅・澤本 潤	
オブジェクト指向ライブラリ GhostHouse による UI システム構築	21
中田秀男・北村操代・小島泰三・杉本 明	
事務処理分野向けクライアント・サーバ型ソフト生産システム	26
飛山哲幸・逢坂 仁・稲生紀和・土井日輝・山白康太郎	
プラント制御分野向け統合化生産システム	32
藤岡 卓・藤本卓也・加賀越寛・森岡雄二	
組込み分野向け統合化ソフトウェア生産システム	38
鈴木文雄・近藤耕一・青木理香・岩崎祥浩	
ソフトウェア品質管理システム	44
土屋哲男・吉田見岳・内藤俊文・井上幸美	
生産性向上を目指すソフトウェア技術者教育	50
井上幸美・吉田幸二・春原 猛	
大規模システム向けプロトタイピングシステム	54
土田耕彦・清水 聡・五十嵐 真	

特集論文 “パワーデバイスの進歩”

新しい応用を拓くパワーデバイス	57
正田英介	
パワーデバイスの現状と展望	58
川上 明・山田富久・森 敏	
大容量・高耐圧 IGBT モジュール	64
高柳周成・山口博史・高良正行・望月浩一・金澤健一	
第三世代インテリジェントパワーモジュール	69
高梨 健・大島征一・ゴープ マジウムダール・友松佳史	
低損失共振形インバータ用 IGBT	74
幡手一成・小野 隆・福持泰明	
大容量ゲートターンオフサイリスタ	80
千年原 望・中川 勉・山元正則・金田順一郎・竹田正俊	
GTO サイリスタパワーブリック	85
米田良忠・庭山和彦・山内義博・小尾秀夫・山口義弘	
高信頼度パワーモジュールパッケージ技術	90
神谷康夫・高木義夫・新井規由・中村光宏	
低損失ソフトリカバリダイオード	94
萩野浩靖・引地敏彰・副島顕幸・井上雅規・石沢慎一	
パワーデバイスのシミュレーション技術	98
上西明夫・近藤久雄	

特許と新案

「半導体装置」「半導体装置」	104
「高周波点灯蛍光灯照明装置」	105

スポットライト

プロジェクト管理ソフトウェア TIMELINE V5.0J	106
三菱インテリジェントパワーモジュール	107
NEW Super 漏電アラーム遮断器	108
三菱 UNIX ワークステーション “ME RISC シリーズ”	109
電気自動車用定置式多機能型充電装置 RECTIPAK-EV	110
発電プラント向け CRT オペレーション装置 “MELSEP2000”	(表 3)

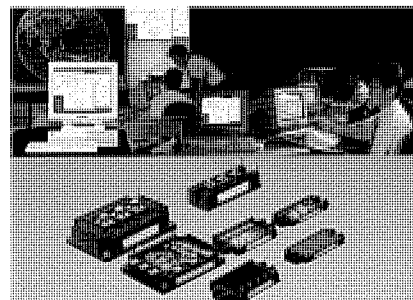
表紙

ソフト生産のリモート協調作業環境

遠隔地間での複数の作業による協調作業 (CSCW) が、ソフト生産現場にも利用可能となってきた。表紙上段は、当社のプロトタイピング設備での、ソフトウェア設計仕様のレビューを行っている場面である。遠隔地のワークステーションの画面を共有しながら、同時に、その情報を大画面に表示している。

インテリジェントパワーモジュール外観

パワーデバイスにおいては、駆動・保護・故障診断等の機能を備えたインテリジェントパワーモジュール (IPM) が急速に普及しつつある。表紙下段は、この IPM の一部樹脂封止前のものも含めたシリーズの外観写真である。現在、600V 耐圧を 10~600A までと、1,200V 耐圧を 10~300A までシリーズ化している。



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

アブストラクト

<p>ソフトウェア生産技術の現状と動向 春原 猛・山田郁夫・小泉寿男 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.2～4 (1993)</p> <p>ダウンサイジング、オープン化、ネットワーク化など情報処理システムの変革が、ソフトウェアの重要性を高めるとともに、生産技術にも大きな影響をもたらしている。ソフトウェア生産プロセスの確立、オブジェクト指向などのパラダイムシフト、統合化から知的生産システムへの移行、ソフトウェアの技術者育成など、ソフトウェアの生産性及び品質向上に対する基本的考え方、生産技術の現状と動向及び当社の取組について述べる。</p>	<p>事務処理分野向けクライアント・サーバ型 ソフト生産システム 飛山哲幸・逢坂 仁・稲生紀和・土井日輝・山白康太郎 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.26～31 (1993)</p> <p>業務システムのプラットフォームとして注目を集めている C/S(クライアント・サーバシステム)を生産支援に適用した事例として、汎用機向け SWEET II/WS と C/S 向け OPENBUILDER を紹介する。前者では項目辞書を中心とした設計情報の統合化とツール連携の実際について、後者では業務構築形態での生産支援の考え方と項目辞書による統合化や連携機能によるアプリケーション構築等の特長について述べる。</p>
<p>システム生産標準 “SPRINGAM” 小林 博・明智憲三郎・増田幹夫・木村哲雄・真野哲也・安田文男 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.5～10 (1993)</p> <p>情報通信システム事業分野におけるシステム構築の生産方式の変革に対応するために、その基盤として従来、機種・分野対応に育ってきた生産技術を、システムの多様化に対応し得る共通技術“システム生産標準 SPRINGAM(System Production and Integration Methodology)”として整理・再構築した。その SPRINGAM の特長、内容、適用方法、特にプロジェクトへの適用におけるシステム規模/プロジェクト特性に応じたカスタマイズ方法とプロジェクト適用事例などを述べる。</p>	<p>プラント制御分野向け統合化生産システム 藤岡 卓・藤本卓也・加賀起寛・森岡雄二 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.32～37 (1993)</p> <p>遠隔地に分散した複数人のソフト生産者が、実機同様ネットワークで接続されたクライアント・サーバ型の環境で、情報を交換・共有し、豊富なツールを活用して行う協調作業に注目して支援を行う“統合化ソフト生産システム”について、その特長的機能、すなわち、分散された生産拠点を結んだりモート協同作業の支援機能、ドキュメント作成の電子化、フレームワークソフトウェアによるツールの統合化及びソフトウェア再利用機能などについて述べる。</p>
<p>ソフトウェア生産の診断技術 内藤俊文・吉田見岳・八巻直一 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.11～15 (1993)</p> <p>近年の大規模化・複雑化したソフトウェア生産に関し、生産プロセスや組織的な体質を診断することと個別の生産プロジェクトの診断を両輪として活用することにより、ソフトウェアの生産性・品質向上を図ってきたので、その診断技術について述べる。</p>	<p>組込み分野向け統合化ソフトウェア生産システム 鈴木文雄・近藤耕一・青木理香・岩崎祥浩 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.38～43 (1993)</p> <p>組込み分野向け統合化ソフトウェア生産システムにおいて、生産性と品質の向上をねらいとした生産方式の革新と、それを支援する開発環境の整備及び作業標準の策定を行っている。</p> <p>この論文では組込みソフトウェアの生産方式として、作業標準 MESS ENGER の紹介と SA/SD 手法、オブジェクト指向、コデザイン等の設計手法及びソフトウェア検証システムを適用した製品開発の事例について述べる。</p>
<p>PPK 法に基づくソフトウェア設計プロセス支援 寿原則彦・田村直樹・中島 毅・澤本 潤 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.16～20 (1993)</p> <p>ソフトウェア生産活動支援の一つのアプローチとして、我々はソフトウェア設計プロセスに注目している。今までに、独自のプロセス記録・分析手法：(Problem Product Knowledge: PPK)法を用いて、プロセスから開発現場の独自性を考慮した設計手法を導き、開発現場ではその設計手法とオブジェクト指向技術を用いたシステム開発を進め成果を上げつつある。この論文ではプロセスの重要性、PPK 法の概要、PPK 法を用いて導いた設計手法の社内での適用事例について述べる。</p>	<p>ソフトウェア品質管理システム 土屋哲男・吉田見岳・内藤俊文・井上幸美 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.44～49 (1993)</p> <p>計算機システムのネットワーク化・オープン化により、ソフトウェア開発は複雑かつ多様化している。このような状況下で、ソフトウェアの品質の特徴を踏まえて築き、毎年改善してきた当社のソフトウェア品質管理システムについて述べる。</p>
<p>オブジェクト指向ライブラリ GhostHouse による UI システム構築 中田秀男・北村操代・小島泰三・杉本 明 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.21～25 (1993)</p> <p>近年、ソフトウェア再利用性向上のかぎ(鍵)として、オブジェクト指向に対する期待が大きい。しかし、大規模システムの開発では、多くのソフトウェア資産が蓄積されており、オブジェクト指向方式の全面的な適用は容易ではない。本稿では、既存のソフトウェア部品に取り付けオブジェクトを中心に構成される GhostHouse について述べ、オブジェクト指向によるアプリケーションフレームワークの実現と、既存ソフトウェア資産の利用を両立させる手法を提案する。</p>	<p>生産性向上を目指すソフトウェア技術者教育 井上幸美・吉田幸二・春原 猛 三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.50～53 (1993)</p> <p>ソフトウェア生産性向上のかなめは、開発ツールや管理システム導入以前に、技術者そのものであり、量より質が問われる今、技術者教育が極めて重要である。本稿では、担当職務とレベルに対応させたソフトウェア技術者教育カリキュラムについて検討し、併せて社内の教育の状況を当社技術研修所の技術ゼミナールにおける“ソフトウェア基礎総合技術講座”を例にとりて紹介し、実状と課題について述べる。</p>

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 26~31 (1993)

A Client-Server Software Development System for Business Applications

by Tetsuyuki Tobiyama, Hitoshi Osaka, Norikazu Inase, Hideru Doi & Kotaro Yamashiro

The article introduces "SWEET II/WS" and "OPENBUILDER" tools developed to support production of general-purpose workstation and client-server systems for business applications. In connection with SWEET II/WS, the authors describe the integration of design information centered around a data dictionary and tool linkage. Regarding OPENBUILDER, the authors describe production support under a new task integration model and such features as data-dictionary-based integration and application assembly using linkage functions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 2~4 (1993)

Trends and Present Situation of Software Production Technology

by Takeshi Sunohara, Ikuro Yamada & Hisao Koizumi

The revolution in information-processing technology, with its trends towards downsizing, open systems and networking, has increased the importance of software while greatly influencing software production technology. The article explains the basic philosophies of software productivity and quality improvement, and examines the present situation and trends in production technology. It covers the establishment of software production processes, the shift towards object-oriented programming paradigms, the move from integration to knowledge-intensive production systems, and the education of software engineers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 32~37 (1993)

An Integrated Production System for Plant Control Software

by Taku Fujioka, Takanari Fujimoto, Takehiro Kaga & Yuji Morioka

The article introduces an integrated software production system that supports software production by a plurality of physically distributed software engineers in a client-server environment that resembles the target system. The engineers can exchange or share information and have access to a rich variety of tools. The key features are described, including the cooperative work support functions that join distributed production sites, electronic documentation support, tool integration using framework software, and software reuse functions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 5~10 (1993)

SPRINGAM: A New System Production Standard

by Hiroshi Kobayashi, Kenzaburo Akechi, Mikio Masuda, Tetsuo Kimura, Tetsuya Mano & Fumio Yasuda

To implement application systems, there have been various ways specific to application-field and hardware-platform. Recent trends in the Information Technology industry show rapid change and vast diversification both in customer needs and computer technology. A unique and well-organized system integration methodology is required to correspond to this paradigm shift. SPRINGAM is the Mitsubishi Electric Corporation's methodology for system integration to cover the requirement. The article reports on the features, content and application methods of SPRINGAM, particularly on customization methods that can adapt to various system scales and project characteristics. Application examples are also discussed.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 38~43 (1993)

Software Engineering for Embedded System Integration

by Fumio Suzuki, Koichi Kondo, Rika Aoki & Yoshihiro Iwasaki

Innovations in software production methods, improvements in the software development environment, and the establishment of operations standards are being implemented with the aim of improving the productivity and quality of software for embedded system integration. The article discusses these embedded software production methods. It describes product development using such design methods as the MESSENGER operations standard, the SA/SD method, object-oriented coding, and a software verification system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 11~15 (1993)

Diagnostic Technology for Software Production

by Toshifumi Naito, Mitake Yoshida & Naichi Yamaki

The authors have raised software productivity and quality for large, complicated software projects by application of diagnostic technology to both production process and organization and to individual software production projects. The article reports on these diagnostic technologies and on simple diagnostic tools which have a knowledge acquisition mechanism.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 44~49 (1993)

The Mitsubishi Software Quality Management System

by Tetsuo Tsuchiya, Mitake Yoshida, Toshifumi Naito & Yukiyo Inoue

Software development has become a complicated and diversified process due to the use of networked computer systems and open systems. The article reports on the software quality management system at Mitsubishi Electric in this context. The system was developed based on an understanding of the characteristics of software quality, and has been upgraded every year.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 16~20 (1993)

Software Design Process Support Using the PPK Method

by Norihiko Suhara, Naoki Tamura, Tsuyoshi Nakajima & Jun Sawamoto

We have focused on software design processes in order to provide a design method and software development environment. We have developed an original method named Problem-Product-Knowledge (PPK) method to record and analyze actual software design processes. With this method, we have derived a domain-specific design method from the actual design processes, and applied the method to the development of a real-time system with object-orientation technologies. In this article, we discuss the importance of software design processes, outline the PPK method, and present in-house application examples using design methods derived with PPK.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 50~53 (1993)

Educating Software Engineers for Greater Productivity

by Yukiyo Inoue, Koji Yoshida & Takeshi Sunohara

The key to the most significant software productivity improvements lies in software engineer skills rather than the use of specific development tools or management systems. Education of software engineers is especially important at present, when quality takes precedence over quantity. The article explores the curriculum used for various fields and levels of skill at Mitsubishi Electric. It also introduces the present state and key issues in software engineer education through discussions in seminars titled "Basic, Comprehensive Software Engineering" held at Mitsubishi Electric's Institute of Technology.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 21~25 (1993)

GhostHouse: A Lively Object-Oriented Application for User Interface System Construction

by Hideo Nakata, Misayo Kitamura, Taizo Kojima & Akira Sugimoto

In recent years, object-oriented programming has been seen as the key to developing reusable software resources. However most large-scale systems already have extensive software resources in place, precluding exclusively object-oriented solutions. The article describes GhostHouse, which has been configured using objects that fit with existing software components. The authors propose a method that achieves the dual goals of employing object-oriented programming to realize the application framework and reusing existing software resources.

アブストラクト

大規模システム向けプロトタイピングシステム

土田耕彦・清水 聡・五十嵐 真

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.54～56 (1993)

このシステムは、高度化する情報システム開発の要求にこたえて、システムのコンセプト作りの段階から顧客と共にプロトタイピングを行うための統合環境である。プレゼンテーションシステム、ソフトウェア開発システム、評価システム、及び外部接続模擬装置等から構成し、(1)システムコンセプトのビジュアル化、(2)開発者間の意思統一、(3)実現可能性の早期評価の効果をねらいとして開発した。

大容量ゲートターンオフサイリスタ

千年原 望・中川 勉・山元正則・金田順一郎・竹田正俊

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.80～84 (1993)

大容量 GTO サイリスタの低ロス低スナバ化の要求に対応するため、今回 4.5 kV、4.0 kA の大容量 GTO サイリスタを開発した。開発に当たっては、n エミッタのファインパターン化、シリコンと熱緩衝板との非合金化、不純物拡散分布及びライフタイム制御技術の最適化を図ることにより、スナバ容量が従来の半になるなどの良好な結果が得られた。この開発品は、既にサンプル出荷が済み、客先から高い評価を得ている。

パワーデバイスの現状と展望

川上 明・山田富久・森 敏

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.58～63 (1993)

パワーデバイスはパワーエレクトロニクスのけん(牽)引役として日進月歩の発展をしている。特に MOS ゲートデバイスでは微細加工技術やシミュレーション技術等を導入することにより、高速・高性能化を実現した。また、駆動・保護・故障診断等の機能を備えたインテリジェントパワーモジュール (IPM) もパワーデバイスの主流となりつつある。

一方、GTO サイリスタやサイリスタも FACTS 等の要求で大口径化が進んでいる。

GTO サイリスタパワーブリック

米田良忠・庭山和彦・山内義博・小尾秀夫・山口義弘

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.85～89 (1993)

GTO サイリスタを使用した電力制御システムの軽量化とメンテナンスフリー化に対応するため、2,500V、2,000A の GTO サイリスタパワーブリックを量産製品化した。製品化に当たっては放熱と絶縁構造の改善と並んで GTO サイリスタエレメントやアルミ電極ブロック等内部部品のノンハーメチック対策が重点的に実施され、各種の信頼性試験においても良好な結果が得られた。この製品は特に通勤電車用 VVVF インバータ用として最適設計がなされており、好評を得ている。

大容量・高耐圧 IGBT モジュール

高柳周成・山口博史・高良正行・望月浩一・金澤健一

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.64～68 (1993)

定格 1,700V/400A の高耐圧・大容量 IGBT モジュールを開発した。これにより、鉄道車両用電力変換装置などの高電圧制御を必要とする分野への適用が期待でき、さらに、装置の小型・低騒音・高効率化などが可能となる。

また、この製品は高耐圧・大容量のみならず発生損失の低減、負荷短絡耐量の確保などトータル性能の向上にも成功した。本稿では、モジュールの構造、特徴及び応用などについて述べる。

高信頼度パワーモジュールパッケージ技術

神谷康夫・高木義夫・新井規由・中村光宏

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.90～93 (1993)

エレベーター・鉄道車両用電力変換装置などの分野に使用されるパワーモジュールには、高信頼度が要求されている。パワーモジュールの信頼度(寿命)評価は、パワーサイクル試験によって得られるパワーサイクル寿命曲線で行う。寿命曲線はパッケージ構造によって異なることから、寿命に着目したパッケージ技術が重要となる。ここでは、代表的なパワーモジュールの構造と寿命曲線について報告する。

第三世代インテリジェントパワーモジュール

高梨 健・大島征一・ゴラブ マジウムダール・友松佳史

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.69～73 (1993)

汎用インバータ、エアコン等の市場でインテリジェントパワーモジュール (IPM) の低損失化が強く要求されている。

今回、第三世代 IPM を開発し、第二世代 IPM と比べてインバータロスを約 20% 低減するのに成功した(当社比)。また、RTC (Real Time Control) 回路を内蔵し、短絡時の保護を容易にすることによって、IGBT の最適特性を最大限に引き出すようにした。第三世代 IPM の構造、特性等について述べる。

低損失ソフトリカバリダイオード

萩野浩靖・引地敏彰・副島顕幸・井上雅規・石沢慎一

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.94～97 (1993)

IGBT の採用等によるインバータの高性能化に伴い、フライホイールダイオードとして使用される高速ダイオードも高性能化が要求されている。リカバリ時のダイオードの内部状態を解析し、アノードプロファイル最適化することで、リカバリ電荷 Q_{rr} と順電圧降下 V_F のトレードオフ関係を改善し、 V_F の上昇を極力抑えた上で、 Q_{rr} 低減及びソフトリカバリ特性を実現した。この低損失ソフトリカバリダイオードを三菱電機第三世代 IGBT モジュール及び IPM に組み込み、製品化した。

低損失共振形インバータ用 IGBT

幡手一成・小野 隆・福持泰明

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.74～79 (1993)

60A/1,000V クラス電圧共振形インバータ用 IGBT の低損失化に成功した。 $V_{CE(sat)}$ の低減には、MOS 構造部と N^+ バッファ層の不純物濃度プロファイルの最適設計を行った。テール損失 (E_{tail}) の低減には、 N^- ドリフト層の抵抗値を高抵抗にした。パッケージは TO3 PL であり、沿面距離と空間距離を極限まで延ばし、ユーザーサイドでの安全規格の取得時に有利な構造とした。また、IGBT とダイオードチップの異種 2 チップ搭載も可能とした。

パワーデバイスのシミュレーション技術

上西明夫・近藤久雄

三菱電機技報 Vol.67・No.9・p.98～103 (1993)

耐圧シミュレーション(一次元、二次元及び擬似三次元)と実測値との整合性について述べるとともに、二次元デバイスシミュレーションによるバイポーラトランジスタのサステイニング移行電力損失、IGBT の負荷短絡スイッチング動作波形及び両者の内部電位分布の解析結果について概要を述べる。また、回路シミュレータ (SPICE) をパワーデバイスのスイッチング解析に適用する例として IGBT 及び GTO サイリスタの回路モデルと解析例を紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 80~84 (1993)

A High Power Gate-Turn-Off Thyristor

by Nozomu Sennenbara, Tsutomu Nakagawa, Masanori Yamamoto, Jun'ichiro Kaneda & Masatoshi Takeda

A 4.5kV, 4.0kA high power GTO thyristor that meets the demands for low-loss and low snubber capacity has been developed. The snubber capacity is reduced to half that of the previous devices through the use of a fine-pattern emitter without alloying between the silicon and the heat absorber, and by optimizing the control technology for diffusion profile and lifetime. Devices have already being shipped, and have received favorably reactions from customers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 54~56 (1993)

Prototyping System for Large-Scale Systems

by Kosaku Tsuchida, Satoshi Shimizu & Makoto Igarashi

This system is a comprehensive environment that answers needs for developing advanced information systems. It is useful from the stage of system concept definition through prototyping effort with the client. It comprises a presentation system, software development system, evaluation system, and external system simulator. It was developed to visualize the system concept, unify the developers' ideas, and permit early system feasibility assessment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 85~89 (1993)

A GTO Power Brick

by Yoshitada Yoneda, Kazuhiko Niwayama, Yoshihiro Yamauchi, Hideo Dbi & Yoshihiro Yamaguchi

The corporation has developed a mass-production 2,500V, 2,000A GTO-thyristor module (GTO power brick) for applications in lightweight, maintenance-free power-control systems. Significant developments include improved thermal performance and insulation structures, and measures to adapt the GTO thyristor element and aluminum electrode block to a non-hermetic package. The design has been optimized for variable-voltage variable-frequency inverters used in commuter trains. The device preformed well under accelerated reliability testing and has been well received by the industry.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 58~63 (1993)

Present Situation and Prospects of Power Devices

by Akira Kawakami, Tomihisa Yamada & Satoshi Mori

Improvements in power devices have driven an astonishing advance in the field of power electronics. Fine-pattern and simulation technology in the field of MOS gate devices has led to speed and performance improvements. Intelligent power modules (IPM) incorporating drive, protection and diagnostic functions are becoming popular. GTO and other thyristors devices continue to increase in diameter and capacity to meet the requirements of flexible AC transmission system (FACTS) and similar applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 90~93 (1993)

Highly Reliable Power-Module Packaging Technology

by Yasuo Kamitani, Yoshio Takagi, Kiyoshi Arai & Mitsuhiro Nakamura

Users of power modules have requested highly reliable products for power converters in elevators and railcars. Reliability (lifetime) is evaluated using the lifetime curves obtained during power-cycle testing. The authors' research shows that the device lifetime is substantially influenced by the package type. The article reports on the construction and lifetime curves of a representative power-module product.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 64~68 (1993)

Large-Capacity, High-Voltage IGBT Modules

by Kaneshige Takayanagi, Hiroshi Yamaguchi, Masayuki Koura, Koichi Mochizuki & Ken'ichi Kanazawa

The corporation has developed large-capacity, high-voltage IGBT modules rated at 1,700V and 400A. They are expected to bring smaller equipment size, lower noise, and higher efficiency to dual-use power converters for rail use and other high-voltage control equipment. The total performance improvement includes reduced generation loss and load shorting protection alongside higher voltage and current capacities. The article reports on the construction, features and applications of these devices.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 94~97 (1993)

A Low-Loss Soft-Recovery Diode

by Hiroyasu Hagino, Toshiaki Hikichi, Noriyuki Soejima, Masanori Inoue & Shin'ichi Ishizawa

Demand for high-performance high-speed flywheel diodes has followed the development of high-performance IGBTbased inverters. The authors analyzed the internal state of diodes during recovery and optimized the anode profile, thereby improving the relation of the Q_{rr} and V_F tradeoff. The V_F rise has been limited, Q_{rr} reduced, and soft-recovery characteristics achieved. The diode technology has been incorporated in the corporation's commercial third-generation IGBT modules and intelligent power modules.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 69~73 (1993)

The Third-Generation IPM

by Ken Takanashi, Seiichi Oshima, Gourab Majumdar & Yoshifumi Tomomatsu

There is strong industry demand for low-loss intelligent power modules (IPMs) for application in inverters and air conditioners. The corporation's newly developed third-generation IPMs have reduced inverter loss by 20% compared to the corporation's second-generation products. In addition, the IPMs have an internal realtime control (RTC) circuit that simplifies short-circuit protection, allowing equipment developers to make the best of IGBT capabilities. The article reports on the construction and characteristics of these devices.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 98~103 (1993)

Simulation Technology for Power Devices

by Akio Uenishi & Hisao Kondo

The article reports on the correlation between one-, two-, and quasi-three-dimensional breakdown-voltage simulations with measured values. It also reports on the results of two-dimensional device simulations used to analyze the critical power loss for a transistor leading to the sustaining and switching waveforms of a IGBT turned on under shorted-load condition, and to determine potential distributions for both devices. It also reports on the application of circuit simulation (SPICE) to power device switching analysis, specifically the modeling of IGBT and GTO thyristor circuits.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 67, No. 9, pp. 74~79 (1993)

An IGBT for Low-Loss Voltage-Resonant Inverters

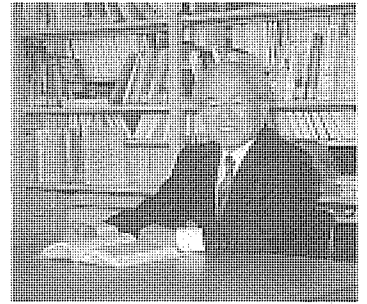
by Kazunari Hatade, Takashi Ono & Yasuaki Fukumochi

The corporation has developed a low-loss 1,000V, 60A-class IGBT for voltage-resonant inverters. Reduced $V_{CE(sat)}$ for the device was achieved by optimizing the MOS structure and the doping profiles of the n^+ buffer layer. The tail loss (E_{tail}) was reduced by raising the resistance of the n^- drift layer. The package is a T03PL type with the longest possible creepage distance and clearance distance, an advantageous structure for users seeking safety approval. This T03PL package allows the loading of IGBT and diode chips together.

今こそ、ソフトウェア工学の実践に向けた研究開発を

京都大学 名誉教授
立命館大学 理工学部長

大野 豊



国際社会と経済環境の激変があいついで起こってから、社会発展の基盤として最も期待され、そのゆるぎない進展が見込まれていた情報技術と情報産業に、いわば大きな地殻変動がやってきた。この変動は技術的にはシステムのダウンサイジングやオープン化が進められるとともに、情報システムの効率・数量主義から、処理の高度化・人間化指向の考え方への転換があり、それをバブル経済の突然の終えんが加速させた結果にほかならない。

この動向の中で、ソフトウェアやソフトウェア生産技術について見ると、確かにソフトウェアの環境は、大型集中システムからパソコン／ワークステーションのネットワーク分散型のシステム、更に進んで、システムのマルチメディア化やヒューマンインタフェースの高度化と急速に変換しつつあり、ソフトウェアの在り方もそれに対応して変ってきた、あるいは進歩してきたと言うべきかもしれない。

一方、ソフトウェア生産技術、あるいはそれを支えるソフトウェア工学はどうなっているであろうか。研究面では、著者にはかつての熱気は感じられない。ソフトウェア工学の当初は、ソフトウェアの生産に科学的／工学的手法を導入して生産性と信頼性を向上させようとして、多くのアイデアが出され、試みが行われた。次に、更にこれを進めて、ソフトウェアの生産の自動化を行い、品質も向上させようとした。そして、ここ数年来、開発環境と手法のツール化の問題が進められた。これらによって、ソフトウェア生産にどの程度貢献したのであろうか。ハードウェアの進歩に比して1桁も2桁も小さい進歩しか達成されなかった。その

理由はもちろん、ソフトウェアの特性にもよるが、手法やツールの供給側にあるだけでなく、生産現場への適用の不十分さにあることは申すまでもない。熱気が感じられないのもこの辺に原因はある。

ソフトウェア産業は現在のような経済環境になると、たちまち、いわゆる3K職場の実体を暴露して、採用の内定取消しや倒産という状況となった。これも長年積み上げられてきた技術の導入を怠ったばかりでなく、高度な技術者の育成を事業拡大の犠牲にしてきた結果にほかならない。現在のような時期こそ、ソフトウェア工学の実践を試み、技術者の育成に経営者は歯をくいしばっても努めるべきではないかと考える。

ソフトウェア工学は、最近では、目覚ましい新しいアイデアは余り聞かない。むしろ、今までの蓄積をいかにして実践に移行するかであり、環境やツールのオープン化と標準化を積極的に進めるべき時期である。さらに、マルチベンダで情報システムが開発されるようになったので、ソフトウェア開発プロセスの共通化や標準化は免れることができなくなり、開発の取引契約上からも強く要望されるようになった。

不幸にして、情報関係産業はかつてない不振に陥っているが、このような時期にこそ、対顧客・開発業務に追われることなく、ソフトウェア工学の実践に向けた研究開発と技術者の育成に精力を注ぐことが望まれる。上述のようにやるべきこと、やり残されていることが数多くあるのではなかろうか。

ソフトウェア生産技術の現状と動向

春原 猛*
山田郁夫*
小泉寿男**

1. ま え が き

現在、情報処理事業の世界は激しい変革の時を迎えている。なによりも大きな変革は、従来のハードウェアが主役の情報処理システム構築からソフトウェア又はシステムインテグレーションが主役となるシステム構築への移行であろう。高性能かつ低価格のパソコン、ワークステーション及びサーバをネットワークでつないで分散処理を行うクライアント・サーバシステムが情報処理システムの主要なインフラとなりつつある。

一方、OS 及びミドルソフトウェアの業界標準化によるオープン化の進展に伴ってパッケージソフトウェアの流通が盛んとなっている。通商産業省 産業構造審議会 情報産業部会では、情報産業の構造改革に向けて緊急提言を行い、市場メカニズムの確立とともに、ソフトウェア部門の技術力強化と人材育成の必要性を主張している。

ソフトウェア生産プロセスの革新を目指して当社では、種々の技術開発及び普及活動を展開している。ここでは、次の項目について、技術の現状と動向及び当社の取組について述べる。

- ソフトウェア生産プロセスの確立と標準化
- ソフトウェア生産のパラダイムシフト
- 統合化ソフト生産システムの構築
- ソフトウェア技術者教育

2. 生産プロセスの確立と標準化

2.1 生産プロセスへの着目

ソフトウェア生産の工業化を進展させ、生産技術を確実に進歩させるために、ソフトウェア生産プロセスの確立と標準化の重要性が再認識されている。その一つの契機となったのが、米国 SEI (Software Engineering Institute) の“プロセス成熟度”に基づくプロセス診断技術の提唱である⁽¹⁾。ソフトウェア生産プロセスを120個ほどの客観的なチェック項目で評価し、プロセスの成熟度を5段階で判定し、その結果に対応した適切な改善策を施して着実に生産プロセスを改善していこうというものである。また、品質保証及び品質管理に関する国際規格 ISO 9000 シリーズは生産過程での品質保証のプロセスを規定するもので、その審査・登録制度への産業界の取組はソフトウェア製品に対しても品質向上を促す大きな要因となろう。

一方、上述した産構審の提言では、ソフトウェアも含めた情報システムの市場メカニズム確立のため、開発作業のフレームワークの策定と標準化が必要であるとしている。現在、国内委員会により、ISO の“ソフトウェア ライフサイクル プロセス”の標準化作業と歩調を合わせた標準フレームワークの検討がなされている。

2.2 当社の取組

生産プロセスの基本となる生産手順 (開発方法論) の標準化のために、社内ソフトウェア技術委員会で“ソフトウェア生産手順作成指針” (技術要覧) を作成した。次に、各分野ごとにモデル製作所を選定し、生産手順を要覧に沿って整備、拡充した。他の製作所もそれらを“ひな型”として生産手順の確立と標準化の作業を推進している。この特集で述べる“SPRINGAM”などはその一例であり、後述する統合化ソフト生産システム構築の基盤となっている。

一方、プロセスの診断について、特に品質管理診断及びプロジェクト診断という視点で、上述の SEI の“プロセス診断”と同様な診断法を開発し適用している (この特集参照)。現在、診断支援ツールの改良、診断結果に基づくプロセス改善ガイダンスのための技術ノウハウの蓄積に取り組んでいる。

2.3 今後の動向

生産プロセスを対象とするソフトウェアシステムの規模、形態等に応じて効率的にカスタマイズする方法、また、それに応じた生産システムのカスタマイズ法の確立が求められている。そのために、生産プロセスの定義をいかに形式化するかが課題である。L. Osterweil らが提唱するプロセスプログラミング技術の研究の進展が期待される⁽²⁾。また、生産プロセスに関する国内及び国際標準化への対応も重要になる。

3. ソフトウェア生産のパラダイムシフト

3.1 構造化指向からオブジェクト指向

ソフトウェア生産技術での大きな動向の一つが従来の構造化指向の生産プロセスからオブジェクト指向のプロセスへの移行であろう。オブジェクト指向が評価されるポイントは、現実世界の情報処理システムへの写像が構造化指向に比べてより円滑に行える点にある。また、オブジェクト、クラス、継承、メッセージパッシングなどの基本メカニズムがソフトウェアの再利用に強力な枠組みを提供することにある。しかし、技法が20数種類も提案されており⁽³⁾、また、支援ツールも少ないなど、本格的活用に向けての課題も多い。

当社は、構造化分析／設計技法の普及をソフト生産性技術センターを中心に、全社的に推進してきた。また、4章で述べるプロジェクトで支援ツールの開発、社外ツールの評価・導入及び文書作成ツールなどとの統合化に取り組んでいる。共通の仕様記述法と分析・設計手順により、上流工程での品質向上による手戻り削減が生産性向上に結び付いている。オブジェクト指向分析／設計技法についても、各分野の選択された製品開発での適用をしている。適用事例でのノウハウに基づく技法の洗練化が課題の一つであるが、当社で開発した設計プロセスを記録、構造化するPPK法(この特集参照)が効果を上げている。また、オブジェクト指向によるGUI構築ツールGhostHouse(この特集参照)、クラスライブラリのブラウザツールの開発など、支援環境整備を図っている。

今後、オブジェクト指向技術をより実用的なものにしておくために、オブジェクトの抽出法、検証技術、並行処理制御機能の組み込み、仕様表現法の統一などの研究開発に注力していかなければならない。

3.2 再利用ベースのソフトウェア生産

ソフトウェア生産の生産性、品質向上の決め手の一つはソフトウェアの部品化、再利用である。再利用をもっと大きな枠組みでとらえるなら、流通パッケージソフトウェアの活用によるシステム構築も含まれる。

再利用推進の基礎は標準システムアーキテクチャの確立である。システム及びソフトウェア技術者がシステム構成について共通的・標準的な認識をもつことによって再利用が推進される。当社では、各製品分野において、標準システムアーキテクチャの確立とそこでのソフトウェア部品ライブラリの構築に取り組んでいる。このような作業を効率的に行うために、上記活動でのドメイン分析のノウハウを整理し、分析手順を再利用ベースの生産プロセスに組み込むことを目指している。

ソフトウェア部品ライブラリ構築を促進するツールとして、ソフトウェア部品の登録・検索ツールWORKSを開発し、共通ツールとして使っている。WORKSで記録されたソフトウェア部品の再利用履歴は部品の洗練化、再利用率向上活動の展開などに活用している。今後、オブジェクト指向のクラスライブラリ構築に基づく再利用環境整備が課題となる。

流通パッケージソフトウェアを活用してシステムを構築することにより、開発期間の短縮と開発費の削減が可能となる。日本では流通パッケージソフトウェアのソフトウェア市場での占有率が欧米と比較してまだ1/5程度であること、オープン化の波により今後優れたパッケージソフトウェアが多く流通することなどから、こうしたシステム構築がますます盛んになるであろう。

一方、これらのマルチベンダのパッケージソフトウェアと自社開発のソフトウェアとの組合せで効率良くシステムを作るために、パッケージソフトウェアの評価技術、システムの

診断技術などの確立が必要である。

3.3 ウォータフォール型からコンカレント型

ソフトウェア生産のコンカレントエンジニアリング技術が注目されている。複雑大規模なソフトウェアの開発において、各種の専門家が協調して作業し、かつ、可能な限り作業を並行化することにより、従来のウォータフォール型ソフトウェア開発の限界を越えて開発期間の短縮と品質の向上を目指すものである。図1は、ソフトウェア生産におけるコンカレントエンジニアリング技術の構成を概念的に示している。

当社では、この特集でも述べているように大規模システム向けプロトタイピングシステムの開発、組込みソフトウェア製品開発でのコデザイン技法の適用又はソフトウェア生産でのリモート協調作業支援などの要素技術の蓄積をしてきている。今後、ソフトウェアを複数の視点から視覚化する技術、プロジェクトに応じて、生産プロセスを自在に設定し、並行作業を効率良く管理する技術などの開発に取り組んでいく。

4. 統合化ソフトウェア生産システムの構築

4.1 当社の取組

当社ではソフトウェア生産システムの進展を図2のようにとらえ、それらの生産システムを実用化するための共通要素技術の開発を目的として、1984年以来全社プロジェクトを推進してきており、現在はその第2期に当たる。プロジェクト開始時に社内ソフトウェア技術委員会によって設定された1993年におけるソフトウェア生産システムに対するビジョン(Vision 93)の実現を目指して、統合化ソフト生産システムのための要素技術を開発し、その成果をベースとして各分野対応のパイロットシステム(この特集参照)を構築し運用している。

4.2 今後の動向

生産システムの統合化のレベルを上げていくためにそのかなめとなるリポジトリ技術の向上が必要である。特にマルチベンダのツール間でのデータ、制御インタフェース結合などを容易化するために、欧州のECMAから提案されたPCT

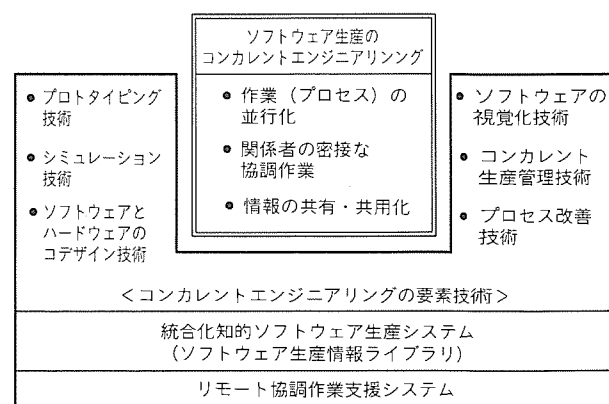


図1. ソフトウェア生産における
コンカレントエンジニアリング技術

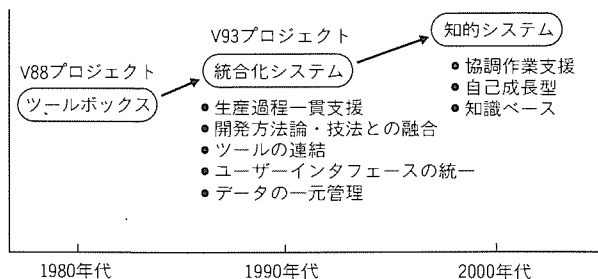


図2. ソフトウェア生産システムの進展

E (Portable Common Tool Environment) などに代表される CASE フレームワークの標準化の進展とリポジトリで管理するオブジェクト間の関係解明とそれに適合したデータベース技術の開発が必要である。

また、統合化に次いで、知的ソフト生産システムへの進展(図2参照)が始まっている。エキスパートシステム技術などによる各種の解析・診断機能、部品や技術ノウハウの取込みによる自己成長機能又は協調作業支援機能などをもったシステムの研究開発が進むと考えられる。

5. ソフトウェア技術者教育

高度で専門的な技術をもち、公的資格をもった専門家集団によって情報処理システム開発を行う方向にむけて、ソフトウェア技術者教育の向上はますます重要になってきている。通産省産構審では、これからの情報処理システム開発に従事する技術者像をシステムアナリストから研究開発エンジニアまで10の専門家に類型化している。そして、専門技術者を育てるための、学校教育、企業内教育の方向付けをしている⁽⁴⁾。

当社においても、この特集の“生産性向上を目指すソフトウェア技術者教育”で述べる活動を中心として、教育カリキュラム・教材の開発、新情報処理技術を駆使した教育方法、

情報リテラシー教育の充実、キャリアパス設定等の課題に取り組んでいる。マルチメディア、AI技術等の進展に伴い、情報処理工学・芸術・デザイン・心理学・人間工学などを融合した学際的な能力をもった技術者育成も重要となっている。

6. むすび

システムインテグレーション及びソフトウェア主導型の情報化の進展が急速に進むと考えられる。ソフトウェア生産技術の研究開発と生産プロセスの革新は、今後ますます重要になる。生産技術の向上は新しい技術の導入、評価、改善策立案及び実行というサイクルを着実に繰り返すことが肝要である。

一方、航空機搭載用ソフトウェアのような複雑で大規模、かつ超高信頼度が要求されるものについては、従来の延長線の技術だけでなく、形式的仕様記述と検証技術などの高度な技術とそれを使いこなす技術者の育成が今後必要になろう。

様々な情報処理システムを提供していく当社にとって、情報化の進展に貢献する高品質のソフトウェア又はシステムを効率良く生産することは重要課題の一つであり、ソフトウェア生産技術の革新に今後一層注力していく所存である。

参考文献

- (1) Humphrey, W. S.: ソフトウェアプロセス成熟度の改善, (株)日科技連出版社 (1991)
- (2) Osterweil, L.: Software Processes are Software too, ICSE 9, IEEE, 2~13 (1987)
- (3) Monarchi, D. E., Puhr, G. I.: A Research Typology for Object-Oriented Analysis and Design, C. ACM, 35, No.9, 34~47 (1992)
- (4) 通産産業省機械情報産業局編: 新情報革命を支える人材像, (株)コンピュータ・エージ社 (1993)

システム生産標準“SPRINGAM”

小林 博* 木村哲雄*
明智憲三郎* 真野哲也*
増田幹夫* 安田文男*

1. ま え が き

情報システムへの顧客ニーズの多様化、高品質・短納期の要求が強まるに伴い、システム製品は複雑化・多様化し、そのシステムを開発する作業の困難さも増大している。さらに、ダウンサイジング、オープンシステム化、ネットワーク化等により、従来のシステム構築技術では対応が難しくなっており、顧客のSI（システムインテグレーション）への期待・要望が更に高まってきている。

メーカーとして、これに対応するためには、システム構築の生産方式の変革が必要と認識し、その基盤として従来、機種・分野対応に育ってきた生産技術をシステムの多様化に対応し得る共通技術である“システム生産標準”として体系的に整理・再構築した。

この“システム生産標準 SPRINGAM (System Production and Integration Methodology)”を共通基盤として“人の育成”“ツールの整備”及び“新技術の取込み”といった“SI”力の強化を推進している。

この論文は、情報通信システム事業分野のシステム生産プロジェクトにおける生産手順、ドキュメント、プロジェクト管理、技法を定めた“SPRINGAM”について、その目的・構成・特長・内容・適用方法（プロジェクトへの適用におけ

るシステム規模／プロジェクト特性に応じたカスタマイズ方法とプロジェクト適用事例）などを述べる。

2. SPRINGAMの考え方

2.1 ね ら い

従来、システム生産の技術は、機種や分野に対応して蓄積されてきたが、SIを遂行するためには、特定の機種や分野にとらわれない共通の技術基盤が必要である。この基盤の上に、初めて各種の効率の良い改善が実現可能となる。

SPRINGAMのねらいは、この共通の技術基盤としてシステムにかかわるすべての人が、システム生産の良いやり方（手順、ドキュメント、プロジェクト管理、技法）について共通の認識をもち、共通の言葉を使い、効率的・効果的なコ

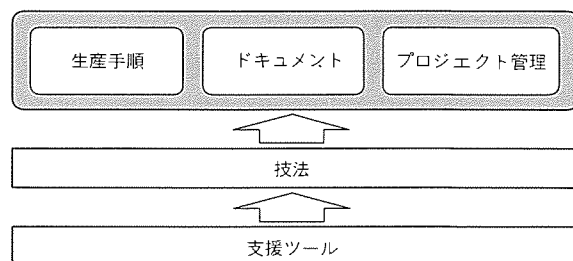


図1. SPRINGAMの体系



図2. SPRINGAMの充実

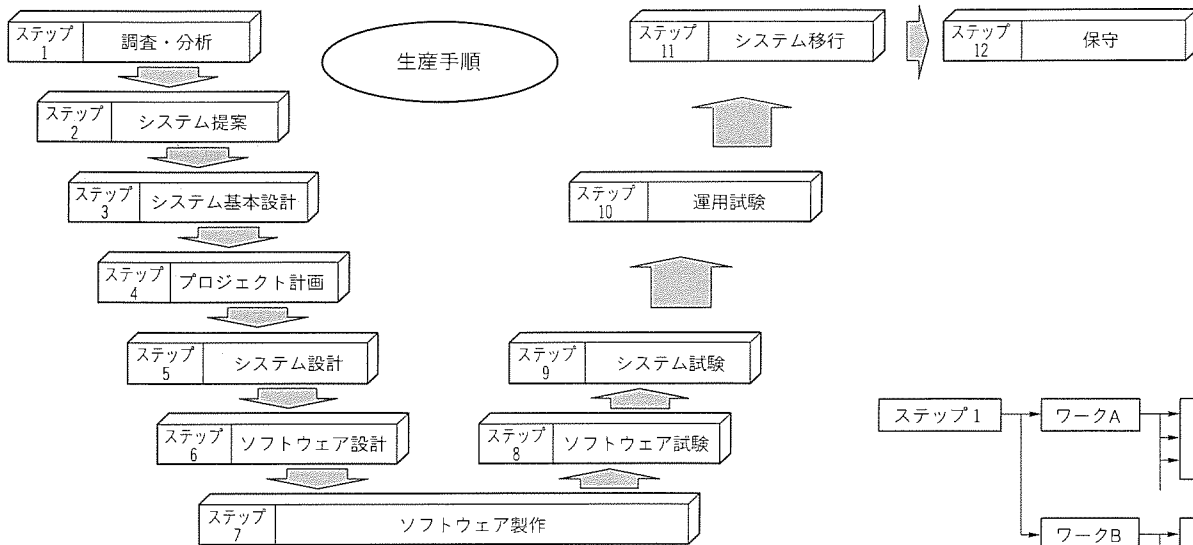
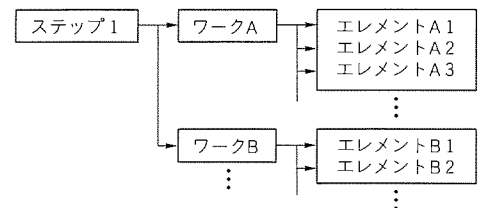


図 3. SPRINGAMの生産ステップ



(12ステップ → 約100ワーク → 約400エレメント)

図 4. 生産手順の階層

コミュニケーションを行うようにすることにある。

2.2 基本思想

SPRINGAMの開発に当たっては、品質の良いシステムを効率良く生産するためにはどうすればよいか、その基本思想を下記のように設定して、具体化を図った。

(1) 実践的な技術ノウハウの結集

実践的な技術を提供するために、機種や分野に対応して蓄積されてきた優れた実務ノウハウを収集・整理し、モデルプロジェクトでの適用を通じて一貫性のある技術ノウハウに磨きあげた。

(2) きめ細かく丁寧な標準化

業務への適用が容易なように、生産手順とプロジェクト管理業務をきめ細かくブレークダウンし、作業内容を丁寧に規定した。特に、プロジェクト管理は、プロジェクトメンバー全員で行うべき業務として業務内容を体系的に整備した。

(3) 効率的なドキュメンテーションの支援

適切なドキュメントを効率良く作成できるようにするため、ドキュメントの体系化、目次・様式の標準化や作成ツールによる支援を徹底して追究した。

(4) 技法の体系化

効率的に業務を進めるために、これまで蓄積されてきた計画・分析・設計・試験のノウハウを構造化技法の観点から体系的に整理した。

(5) 共通語としての翻訳可能性の追究

システム特性(分野・機種・システム規模など)に応じた生産手順・ドキュメントの最適化(カスタマイズ)により、多様なシステムへの対応を可能にするとともに、従来の各種のやり方のどれからも“翻訳可能な共通語”となるようにした。

3. SPRINGAMの概要

3.1 体系

SPRINGAMの体系は、図1に示すように生産手順、ドキュメント、プロジェクト管理、技法及び支援ツールから構成されている。

また、SPRINGAMの充実のために図2に示すように、生産技術及び管理技術に分けて、下記の“標準化”及び“教育普及”の観点でレベルアップを図っている。

(1) 標準化としては、“基盤構築から効率化”を目指した各説明書類、実際の業務を行う際にすぐに参考となる見本及び事例集、効率化のための支援ツールなどの充実。

(2) 教育普及としては、“基本教育から実践教育”を目指した広報用資料及び講座、コンサルティング支援などの充実。

3.2 生産手順

SPRINGAMでは、図3に示すような生産ステップを定めている。さらに、全体的なレベルから詳細レベルまで必要な階層での作業の計画と作業状況の把握管理を実施するために、図4のようにステップ、ワーク、エレメントの3階層に細分化している。

生産手順としては、図3に示す標準モデルに加え、システム化要件の状況などによってプロトタイピング手法を取り入れた作業項目を盛り込んだモデルも設定している。

また、顧客に満足していただけるシステム構築を実現する上で重要である“顧客とのインタフェース”を明確にするため、SPRINGAMに対応した契約手順も設定している。

3.3 ドキュメント

生産手順の各ステップに対応付けて成果物であるドキュメントの体系を定め、各ドキュメントごとにドキュメントの標準目次、標準様式を用意している。

さらに、ワーク/エレメントと対応付けて、ドキュメント

の章・節・項を定め、生産手順の各作業結果が確実にドキュメント化できるようにしている。

3.4 プロジェクト管理

生産手順（及びその成果物としてのドキュメント）は、システム生産における作業項目、作業順序、成果物を定めているが、それだけではプロジェクトを成功させることは難しい。プロジェクトを成功させるには、適切な計画、状況把握、問題解決によってシステム生産作業の円滑な推進を図るプロジェクト管理が必要である。すなわち、生産手順とプロジェクト管理は車の両輪であり、両方がそろって初めてプロジェクトを成功に導ける。

SPRINGAM では、次の2点をプロジェクト管理の基本的考え方として、だれが、いつ、何を行うべきかを定めている。

(1) PDCA によるプロジェクト管理の実施

プロジェクト管理における実施項目は、PDCA (Plan Do Check Action) の考え方に基づいて定めている。すなわち、プロジェクト全体を PDCA に対応付け、さらに、生産手順の各ステップで PDCA サイクルを回せるようにしている。

(2) 階層的プロジェクト管理

プロジェクト管理の実施体制を次のように定め、役割と責任を明確にしている。

(a) 管理責任者

プロジェクトマネージャー以外にプロジェクト管理の各管理機能（品質管理、工程管理など）に対して管理責任者をおき、責任の所在を明らかにする。プロジェクトマネージャーから委譲された責任と権限のもとで、各管理責任者がそれぞれの管理機能を実施する。

(b) メンバーの階層に応じた作業の規定

職制の長（プロジェクトが属する部門や組織の長）、プロジェクトマネージャー、各管理責任者、プロジェクト内のチームリーダー、担当者といったメンバーの階層に応じて行うべき作業を規定している。

SPRINGAM では、実施すべき業務を明確にするために、プロジェクト管理を表1に示す10個の管理機能に分類している。また、この管理機能ごとに生産手順に対応した実施項目（約200項目）を定めており、図5にその一部を示す。さらに、各種管理資料や管理要領書ひな型を標準様式として提供し、実プロジェクトでの管理計画立案の合理化を図っている。特に、工程管理要領書のヒナ型は、あらゆる規模のプロジェクト向けにカスタマイズできるように作られており、その方法を細かく説明している。

3.5 技 法

生産手順、ドキュメント、プロジェクト管理の標準は、いつ (WHEN)、何をするか (WHAT) を示しているが、どのように行うか (HOW) の部分については“技法”として提供している。技法は表2のように構成されている。特に、工程管理技法には、混乱期（問題発生時）の工程管理法として

表1. プロジェクト管理の管理機能一覧

管 理 機 能		説 明
総 合 管 理		各管理機能の整合をとり、最適なバランスを保つ
品質系	仕 様 管 理	仕様の検討、作成、変更、問い合わせ、確認
	品 質 管 理	品質目標値設定、レビュー、障害管理、品質評価
工程系	工 程 管 理	工程計画、進捗度把握、工程評価
原価系	原 価 管 理	目標原価設定、監視、コントロール
製品系	ドキュメント管理	作成方針、作成方法、登録・保管・配布ルール設定
	プログラム管理	登録・保管・更新・バックアップルール設定
資源系	体 制 管 理	体制・要員計画、要員確保、体制維持
	外 注 管 理	外注計画、手配、フォロー、納品管理
	設 備 管 理	設備計画・整備、試験環境、現地作業場所

ステップ 管理機能	3 システム基本設計	4 プロジェクト計画	5 システム設計	6 ソフトウェア設計
仕様管理	仕様管理手続決定	プロジェクト計画書作成	仕様変更事項顧客提出	
	仕様原本管理			
		仕様管理実施		
品質管理	品質管理の実施計画設定		レビューに対する品質管理実施	
工程管理	総合工程表作成	工程管理手続決定 工程管理表作成		
	詳細工程表作成		詳細工程表作成	
	進捗フォロー		進捗フォロー	
		工程管理表進捗フォロー（月次）		
	総合工程表進捗フォロー（月次）			

図5. ステップ別プロジェクト管理実施項目（抜粋）

の事例を述べるとともに、危険予知法としてのチェックリストと判定表を提供している⁽¹⁾⁽²⁾。

3.6 支援ツール

SPRINGAMに基づくシステム生産の各ステップで利用できる生産支援ツール(例えばSWEETII/WSなど)と、プロジェクト管理支援ツール(例えばSPARKSなど)を用意している。詳細は、この特集号の“事務処理分野向けクライアント・サーバ型ソフト生産システム”及び“ソフトウェア品質管理システム”に記載している。

4. SPRINGAMの適用

4.1 カスタマイズの考え方

4.1.1 カスタマイズの観点

プロジェクトマネージャーは、プロジェクト計画時点ですべてプロジェクトの基本方針(プロジェクトの重点、進め方に関するプロジェクトマネージャーの意志)、システムの特長(規模、分野、新規性等)、プロジェクトの特長(体制、工期、生産形態、メンバーの経験度等)を明確にし、その上でシステム生産標準をカスタマイズする(図6)。

4.1.2 カスタマイズ実施の考え方

(1) ドキュメントから決めるアプローチ

システムを構築する上で必要とする情報を整理し、ドキュメント体系・内容をカスタマイズし、生産手順、プロジェクト管理との対応を設定する。システム実現方式等の技術的見通しが比較的高いプロジェクトでは、通常このアプローチを採用する。

(2) 生産手順から決めるアプローチ

システムを構築する上で解決すべき技術的課題を整理し、生産手順をカスタマイズし、ドキュメント、プロジェクト管理との対応を設定する。システム実現方式等の技術的課題があり、プロトタイプの開発・実現方式の先行評価等を必要とするプロジェクトにおいて、このアプローチを採用する。

4.2 カスタマイズ事例

(1) 基本方針によるカスタマイズ事例

SPRINGAMの標準生産手順では、設計ステップの目的を一般化し、またシステムは、機能を階層的に分解するように定めている。プロジェクトへの適用に当たっては、基本方針として、各ステップの目的を明らかにし、その上で目的を達成するために階層の数、各階層の名称、ステップとの対応を設定する。その事例を図7に示す。

(2) 小規模システム向けカスタマイズ事例

SPRINGAMは、中規模以上のシステムの構築を想定した標準を定めている。小規模システムの構築に適用する場合

表2. SPRINGAM技法

システム 生産技法	計画技法	経営戦略に基づいて情報システム化計画を立案するための技法
	分析技法	現状調査、問題点分析、課題設定を中心にしたシステム分析の技法
	設計技法	機能設計技術を中心にした設計の技法
	試験技法	試験設計を中心にした試験の技法
プロジェクト 管理技法	品質管理技法	品質向上のポイント、品質目標管理、レビュー/試験時の品質管理などの技法
	工程管理技法	工程管理のポイント、階層的工程管理、問題発生時の対処方法などの技法

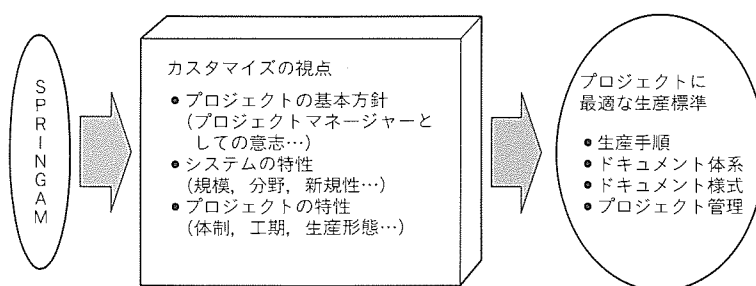


図6. カスタマイズの視点

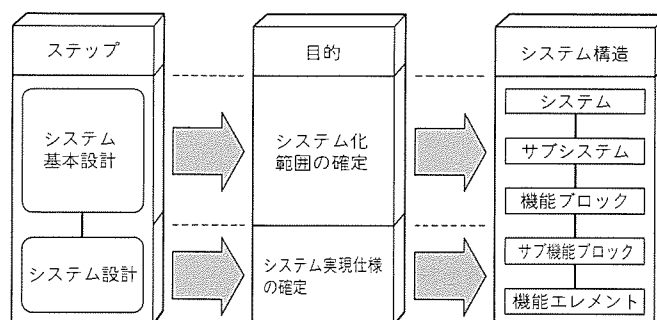


図7. ステップの目的とシステム構造との対応事例

には、生産手順・ドキュメントを統合化して最適化する。その事例を図8に示す。

(3) 体制に合わせたカスタマイズ事例

大・中規模プロジェクトでは、複数チームが並行して設計をするのが一般的である。このようなプロジェクトではチームの担当・責任範囲を明確にし、推進することが重要である。担当・責任範囲を明確にするためのドキュメント体系のカスタマイズ事例を図9に示す。

4.3 適用効果

SPRINGAMは、1991年4月から普及拡大の活動を継続してきている。1993年3月時点では、適用率が約70%とかなりのプロジェクトで適用されている。また、適用した効果に関して様々な声が社内及び関連会社だけでなく、顧客からも寄せられている。代表的な効果を以下に示す。

(1) 複数部門での共通語として活用

メーカーだけでなく、顧客やソフトハウスと共同でシステムを構築するプロジェクトでは、複数部門での作業のため、いかに作業分担範囲の抜けや重複がないように作業手順・役

割分担をお互いが認識し、協調をとって進めていくかがポイントである。そのために SPRINGAM を“共通の言葉”として活用した。また、作業内容を丁寧に規定したマニュアルを提供したことによって顧客自ら設計・製作に参画してもらえ、顧客からは各ステップの成果をドキュメント化したのでエンドユーザーへの説明・承認が容易なこと、財産として蓄積できたことに好評を得た。

(2) 体制移行の円滑化

ドキュメントが体系に基づいて均質に作成できたことにより、製作・試験ステップ等での新規参画メンバーの短期立ち

上げが可能となった。

(3) システム完成見通し・プロジェクト進行状況の明確化

システムの構造を明確化できただけでなく、その構造に照らし仕様確定範囲、製作完了範囲、試験完了範囲を各ステップにおいて逐次整理することができた。これにより、システムの完成見通し、プロジェクト進行状況を的確に判断することができた。

5. SPRINGAMの教育

SPRINGAM の教育は、当社の情報通信システム教育セ

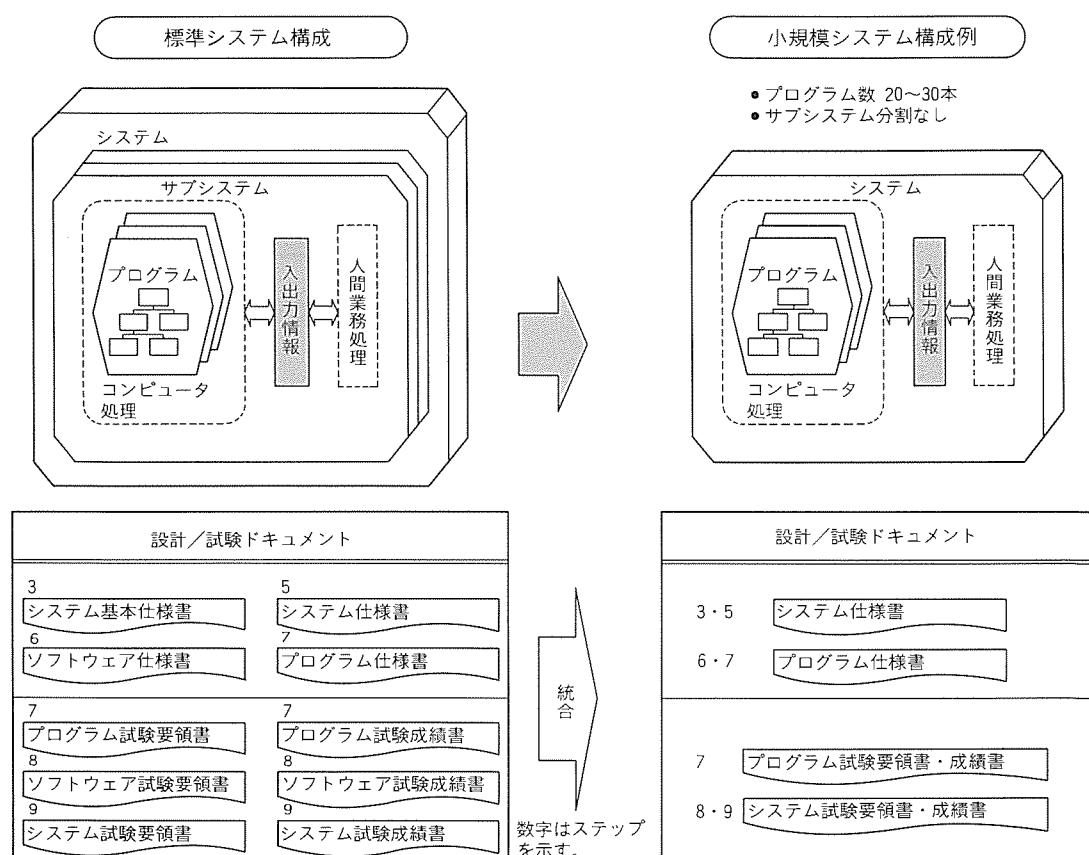


図 8. 生産手順・ドキュメント統合事例

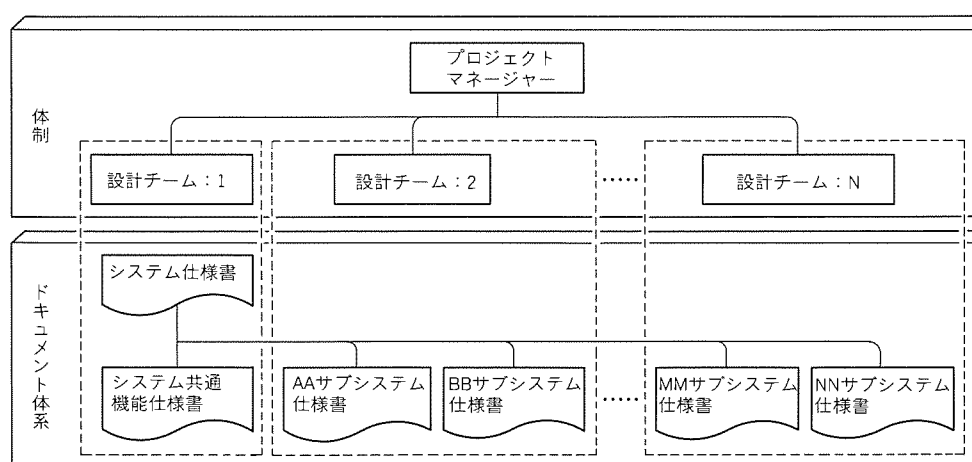


図 9. 体制に合わせたドキュメント体系事例

ンターが組織的に実施している。同センターには顧客教育、ディーラ教育、技術者教育の3系統の教育体系がある。衛星放送教育などを含む技術者教育体系のシステム技術分野の中核講座として表3の教育体系を組み込み体系的に進めている。SPRINGAM教育体系は、受講クラスに合わせて新入社員から管理者向けまで用意している。特に、SPRINGAMの普及と要員の技術力向上をねらいとした“コンセプト講座”“設計技法講座”“試験技法講座”“工程管理講座”，管理者・リーダーへの浸透をねらいとした“管理者向け講座”，及び事例・ケーススタディを取り入れた“カスタマイズ講座”が特徴的な講座である。また、SPRINGAMの生産支援ツールの教育も取り入れ、講座の充実を図っている。

6. む す び

SPRINGAMを今後も継続的に普及・定着・改善していくために、実際に適用したプロジェクトからの生の意見を収集し、改善サイクルを地道に回していくことがポイントである。また、国際標準化動向(ISO/IECのSLCP“ソフトウェアライフサイクルプロセス”⁽³⁾など)への対応、オブジェクト指向技術への対応など、絶えず新しい技術を取り込み、開発方法論の変革に対応していく必要がある。

今後とも、SIの共通基盤としてのSPRINGAMを組織

表3. SPRINGAM教育体系

クラス	講 座	概 要
研修	SPRINGAM紹介	新入社員等を対象にSPRINGAMの背景・目的・体系・基本思想・手順とドキュメントの概要を紹介する講座
基幹基礎	SPRINGAMコンセプト	システム生産する上で、必ず知っておくべき生産手順の考え方、プロジェクト管理としてやるべきことを説明する講座
	SPRINGAM設計技法	システム構造のとりえ方、手順とドキュメントの対応、設計の文書化、機能定義のポイント等の演習を含めた講座
	SPRINGAM試験技法	試験の考え方や進め方、同値分割・限界値分析による試験項目の設計、試験ケースの設計等の演習を含めた講座
	SPRINGAMドキュメント技法	SPRINGAMにおける仕様書や要領書等の作成方法を、何をどのように記述するかをポイントに演習を含めた講座
中級	SPRINGAM工程管理	階層的工程管理法、各階層での工程管理とフォローのポイント、工程計画と実績表記法等の演習を含めた講座
	SPRINGAMソフトウェア品質管理	応用ソフトウェアの品質管理の考え方、データに基づく品質評価等を実際の品質データを使った演習を含めた講座
	SPRINGAM事例研究	SPRINGAMの各生産ステップごとの適用事例を紹介し、ツールによるドキュメントの作成方法を事例研究する講座
上級	SPRINGAMカスタマイズ	SPRINGAMのカスタマイズの考え方を理解し、その具体的方法を課題プロジェクトによって演習する講座
管理者	SPRINGAM管理者向け	管理者・リーダーを対象にプロジェクト診断結果に基づく課題と対策、ツールの活用方法、適用事例を講義する講座

的に内容の充実を図っていきたい。

参 考 文 献

- (1) 明智憲三郎，飛山哲幸，小川文男，吉田郁子，藤澤幹子：ソフトウェアテスト支援システム，三菱電機技報，62，No.10，851～854（1988）
- (2) 高根宏士：ソフトウェア工程管理技法——進め方と実践的手法——，ソフト・リサーチ・センター（1991）
- (3) 平成4年度マンマシンインタフェース及びソフトウェア評価の標準化に関する調査研究報告書，リファレンスモデル標準化調査研究委員会，(社)日本機械工業連合会，(財)日本規格協会（1993）

ソフトウェア生産の診断技術

1. ま え が き

近年、三菱電機(株)においてもソフトウェア開発プロジェクトの大規模化・複雑化に伴い、多くの開発要員を抱えた開発が行われている。そして直系ソフト会社、更には協力会社を含めた構成での分散開発が多く行われている。

このような開発環境下でいかに開発手順、プロジェクト管理などを徹底させ生産性及び品質向上を図るかが、三菱電機(株)にとっても大きな課題になっている。

最近、特にソフトウェアの世界でもプロジェクト管理技術の確立と併せ、生産プロセスに着目したアプローチが盛んになっている。米国カーネギーメロン大学のソフトウェア工学研究所(SEI)のプロセスアセスメント手法^{(1)~(3)}、さらには、品質管理・保証に関するISO標準(ISO 9000-3)⁽⁴⁾がある。特に、SEIのモデルでは、診断によって改善の過程(プロセス成熟度)と目標が明確に設定され、改善の方向が明示されるため自己改善などに適用の効果が大きいと考えられる。

三菱電機(株)においても、CS(Customer Satisfaction)活動の一環として、従来からこのようなアプローチに挑戦しており、上記の生産プロセスや組織的な体質診断などを品質管理の観点を中心とした診断(以下“QC診断”という。)と個別のプロジェクトの診断(以下“プロジェクト診断”という。)とを併用して効果を上げている。ここでは、この二つの診断法について述べるとともに、それらの診断の精度を上げる知識獲得機構を具備した簡易診断エンジンについて述べる。

2. 診断の体系

2.1 診断の目的とねらい

診断の目的は、個々のプロジェクトを成功(裡)に完遂させることと併せ、組織としての品質保証に関する体質及び活動状況を評価し、適切に改善を図っていくための手段として活用することである。したがって、自部門及び第三者が客観的に評価し改善するための仕組み、仕掛けが確立されていることが重要である。

また、診断を効果的に運用させるためには、継続的な組織的活動が重要であり、開発部門と管理者層との双方の十分な診断に対する理解と積極的な取組が不可欠である。

その結果として以下の効果をねらいとしている。

- (1) 顧客満足度の向上(競合力ある高信頼性の製品開発)
- (2) ライフサイクルを通してのコスト削減

- (3) 職場におけるソフトウェア開発環境の改善

2.2 診断の種類

上記の主旨を背景に三菱電機(株)では、診断を①ソフトウェア品質保証活動の診断(QC診断)と②プロジェクト診断の二つを設け、両輪として運用している(図1参照)。

3. ソフトウェア品質保証診断(組織体質診断)

3.1 目的と位置付け

ソフトウェア品質保証診断(組織体質診断)とは社内ではQC診断とも呼ばれ、“組織としてのソフトウェア品質保証活動”を段階的に充実・強化するために、職制における①品質管理に関する考え方、②取組方、及び③実施状況を診断し、その適切性への助言と改善実施を推進することを目的に実施されている。

3.2 診断のポイントと内容

診断は、以下に挙げる項目を始めとして、あらゆる角度から総括的に組織対応の品質保証活動を診断できるように考慮されている。

- (1) 方針展開の実施状況
- (2) 作業の進め方(プロセス)の実施状況
- (3) 職制としての管理の実施状況
- (4) 人材育成・教育の実施状況
- (5) 未然防止・再発防止の実施状況

診断項目に対応して、どういった観点から診断するかについては、表1のとおりであり、これらは診断チェックリスト(項目など)等に反映されている。

3.3 評価方法及び活用について

診断項目の体系は図2に示すとおりであり、これらの項目

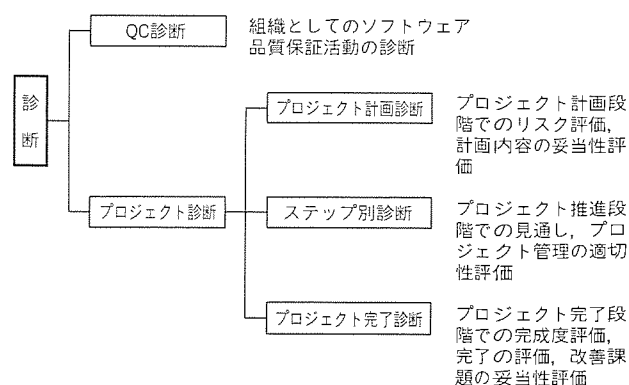


図1. 診断の体系

に基づき診断を行う。これらの評価項目は、大／中／小の3階層化されている。評価は5段階の品質管理水準を設定し評価する。

診断を受けた職制は、診断結果をもとに改善部分について、改善対策の年度計画を作成し、実施を図る。この改善サイクルを上手に回すことによって、職制単位の品質管理水準の向上を実現する(図3参照)。

4. プロジェクト診断

4.1 目的と位置付け

プロジェクト診断は、ソフトウェア開発の標準 SPRINGAM (この特集号 システム生産標準“SPRINGAM”参照)における開発手順、プロジェクト管理に沿って設定された診断項目により、第三者の診断チームが進行中のプロジェクトを診断するものである。

診断チームは、診断項目に沿って設定されているチェックリストにより、プロジェクトを客観的に評価し、具体的な大きなリスク、問題点を洗い出し、リスク回避、問題点の解決を助言する。

さらに、各プロジェクト診断の結果として、組織、ツール、SPRINGAM 自体の改善に水平展開することをねらいとしている(図4参照)。

4.2 診断のポイント

診断は、図5に示すように、①プロジェクト計画診断、②ステップ別診断、③プロジェクト完了診断に3分類される。そして、各診断ごとに診断ポイントを図6のように定めている。

(1) プロジェクト計画診断

プロジェクトの特性、前提条件、状態を踏まえたリスク要因を分析評価するとともに、これを受けてプロジェクト推進のための目標をもった計画内容となっているか、その妥当性を評価する。

(2) ステップ別診断

システム生産標準 (SPRINGAM) における作業の進め方、各プロジェクト管理項目に対応して適切にプロジェクト管理を推進しているか評価する。また、その管理が見通しをもった地に付いた効果的なものとなっているかを評価する。

(3) プロジェクト完了診断

表1. QC診断の内容

診断項目		診断内容
●方針展開		●管理方針の展開と徹底
●作業の進め方	●標準	●標準類 (SPRINGAM等) の遵守状況
	●ルール	●内規の整備状況
	●計画と実績データ収集	●プロジェクト計画書/完了報告書の作成状況
	●ツールの活用	●ツールの利用状況
●職制としての管理	●仕様管理	●仕様の確定、仕様変更管理、追加見積りの実施
	●品質管理	●品質把握、品質目標管理、障害管理の実施
	●工程管理	●進捗把握とフォロー状況
	●原価管理	●原価実績把握とフォロー状況
	●体制管理	●要員負荷管理の実施
	●外注管理	●発注条件・検収条件、管理実態把握、検収状況
●人材育成と教育		●技術ノウハウの蓄積と活用状況
●未然防止と再発防止		●品質データの分析評価と対策実施状況

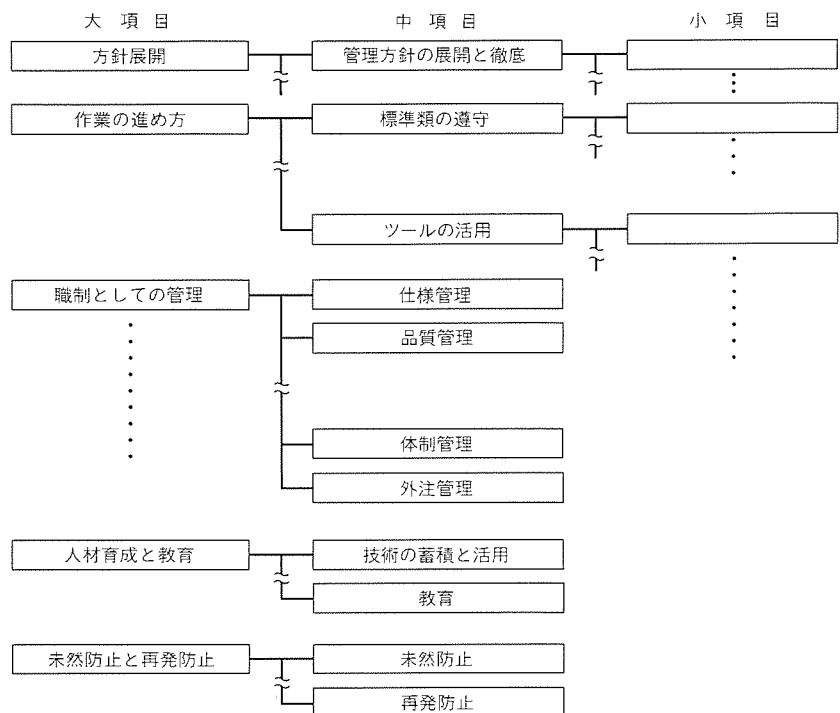


図2. QC診断項目の体系

プロジェクトを振り返って、計画が妥当であったかどうかを診断する。特に、計画と進捗よく(捗)状況、実績からプロジェクトリーダーの明確な意志をもった計画であり、形式化されていないかを確認する。さらに、プロジェクトを自ら評価し、次回プロジェクト、自部門に問題点の再発防止、改善の水平展開がいかに行われているかを確認する。

4.3 診断内容

診断項目の体系は、それぞれ診断分類に対応して図7～図9のようになっており、各々の診断にチェックリストがこの各診断項目に沿って用意されている。

4.4 評価方法及び活用について

各評価は、5段階となっており、具体的には図3のようになっている。この評価基準は応用ソフトウェアの開発の実情に合わせて設定したものである。

この診断はプロジェクトのリスク、問題点を早期に検出し

(1)品質管理水準

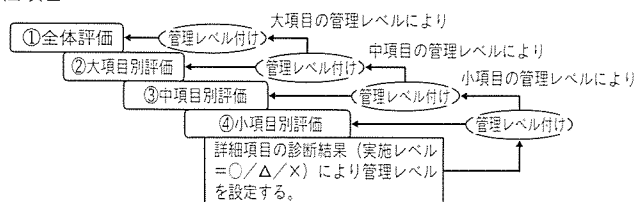
(5段階の品質管理水準を設定する。)

評価欄の記入要領

各診断項目の詳細項目に対して下表のとおり3段階で実施状況进行评估する。

実施レベル	実施状況
○	定期的によく実施している。
△	随時実施している。
×	ほとんど実施していない。

(2)評価項目



(3)活用方法

作業プロセス改善サイクルによる職制単位の品質管理水準の向上

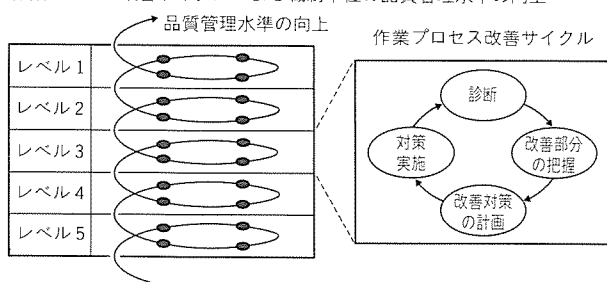


図3. QC診断の評価方法及び品質管理水準の向上

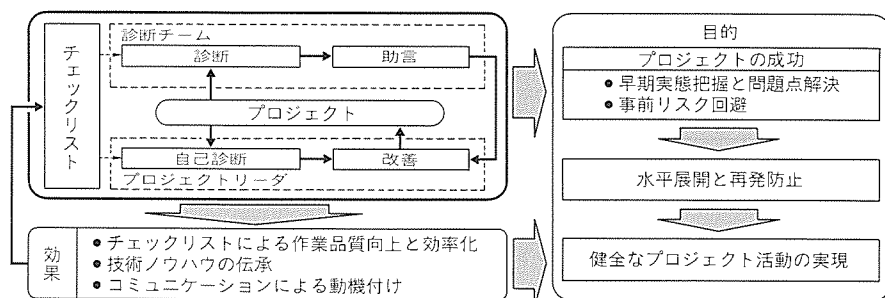


図4. プロジェクト診断の考え方とねらい

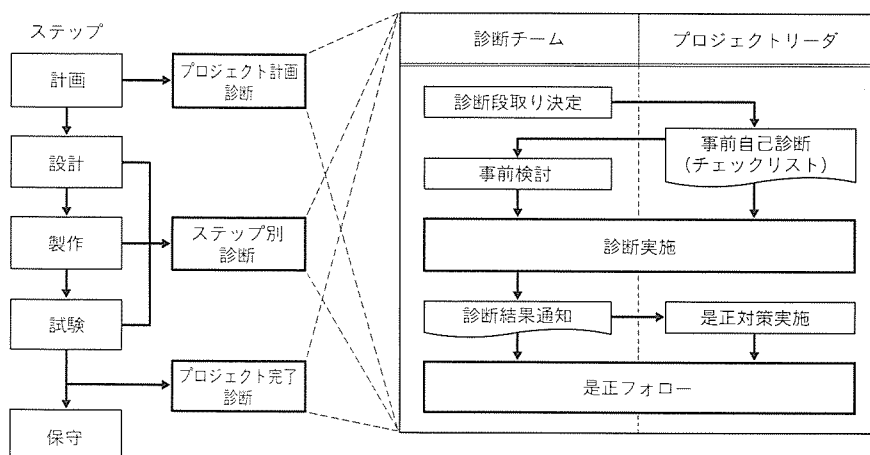


図5. プロジェクト診断手順

必要なりスク回避, 問題解決を実施するのに直接的効果がある。さらに, 図4で示すとおり, 問題点の再発防止, 改善の水平展開が部門内に行われ, その共通部分については組織全体に改善展開され, 健全なプロジェクト活動を実現する効果がある。診断の対象となるプロジェクトがすべて計画どおりの実績となるまでには至っていないが, ある特定の分野を担う特定の部門における診断結果の経過を見ると徐々に評価が上っている。最近の顕著な例では, 1年間で総合評価点が倍近く改善した例がある。

診断が効果を上げるためには, 診断そのものの目的, 方式を明確にし, 診断がソフトウェア開発活動の仕組みの中に組み込まれており, 経験豊富なメンバーによる適切な診断がされることが必ず(須)である。さらに, 診断自体の技術・能力・仕組みも改善展開されることが重要である。

5. 支援ツール

今まで述べてきた診断法を支援するツールをパソコン上に試作して使用中であるが, さらに診断の精度を上げる目的で知識獲得機能を具備した簡易診断エンジン⁽³⁾を開発した。

簡易診断エンジンは, 診断したいカテゴリに対する評価項目の結合度を推定するものである。前述したQC診断では, 5段階の品質管理水準を“診断したいカテゴリ”とし, QC診断項目を“評価項目”としている。

また, プロジェクト診断では, 4.4節で示した評価基準を“診断したいカテゴリ”とし, 4.3節で示した診断項目に関する各種の質問を“評価項目”としている。図10に, この簡易診断エンジンの仕組みと応用を示す。

知識行列 W は, 各々の評価項目と診断したいカテゴリの結合度を数値化したものである。 n 個の評価項目をもつ状態ベクトル $x = (x^1, x^2, \dots, x^n)^T$ が与えられたとき, m 個のレベルから成る確信度ベクトル $s = (s^1, s^2, \dots, s^m)^T$ が W を使って次式によって決定される。

$$s = W^T x$$

ただし, $x \geq 0$, $c_n^T x = 1$, W は $n \times m$ 行列であり, $Wc_m = c_n$ である。

この確信度ベクトルの最も値の大きい要素に対応するカテゴリが推定結果となる。

この知識行列 W の信頼性を向上させる手段として, 簡易診断エンジンには学習機能を付加している。これは, 推定結果と事後の評価結果の組

合せ(事実)を与えることで、知識行列 W の更新を行うものである。

学習の方法は、事実(先駆的知識)の数量によって、四つのステップに分けられる。“事実の数”を k ，“評価項目の数”を n ，“診断カテゴリーの数”を m ，また学習の履歴を蓄積する知識変更履歴行列を Q とすると、次のとおりである。

(1) $k = 0$ の場合で、これは先駆的知識が全くないことを表し、知識行列 W の初期化に相当する。

$$Q_0 = I, \quad W_0 = \frac{1}{m} c_n c_m$$

(2) $k < n$ の場合で、これは先駆的知識が比較的少ない条件下での改訂である。

$$W_{k+1} = W_k + \frac{Q_k x_{k+1}}{x_{k+1}^T Q_k x_{k+1}} [p_{k+1} - W_k^T x_{k+1}]^T$$

また、

$$Q_{k+1} = Q_k - \frac{Q_k x_{k+1} x_{k+1}^T Q_k}{x_{k+1}^T Q_k x_{k+1}}$$

(3) $k = n$ の場合で、これは先駆的知識からの改訂解が一意に決定できる。

$$Q_n = (X_n X_n^T)^{-1}$$

(4) $k > n$ の場合で、これは先駆的知識が多い条件下での改訂である。

$$W_{k+1} = W_k + \frac{Q_k x_{k+1}}{1 + x_{k+1}^T Q_k x_{k+1}} [p_{k+1} - W_k^T x_{k+1}]^T$$

と表される。

また、

$$Q_{k+1} = Q_k - \frac{Q_k x_{k+1} x_{k+1}^T Q_k}{1 + x_{k+1}^T Q_k x_{k+1}}$$

この診断エンジンは、表計算ソフトウェアに容易に組み込み可能なものとして汎用性をもったものとして開発した。そして、特別な AI の知識や手法を用いることなく広く応用が可能なものとなっている。例えば、拡張性や移植性などの品質要件を評価項目とし、工数の見積りを推定結果とするようなモデルにも応用している。

6. む す び

三菱電機(株)も ISO 9000 シリーズに対応すべく活動を展

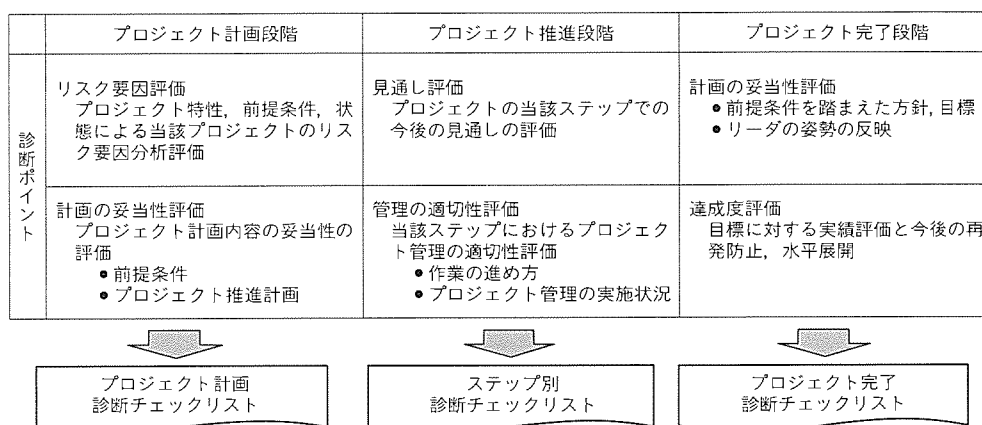


図 6. プロジェクト診断ポイント

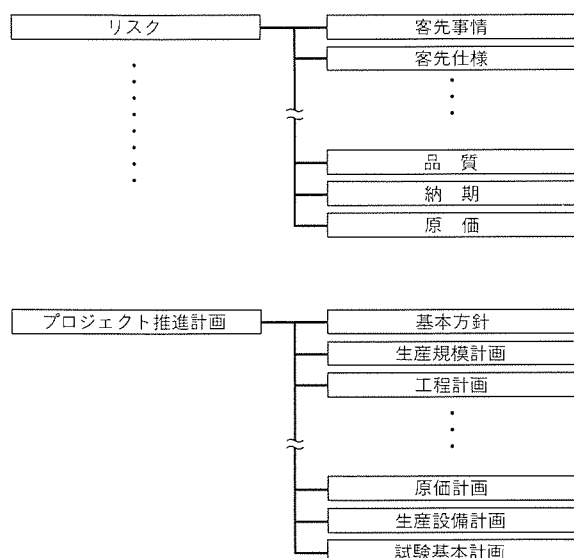


図 7. プロジェクト計画診断項目の体系

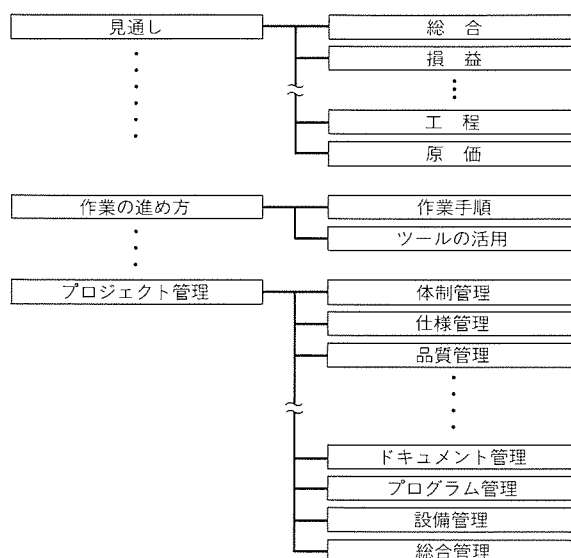


図 8. ステップ別診断項目の体系

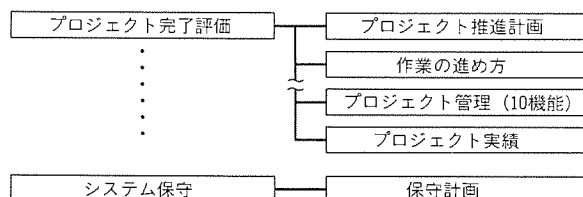


図9. プロジェクト完了診断項目の体系

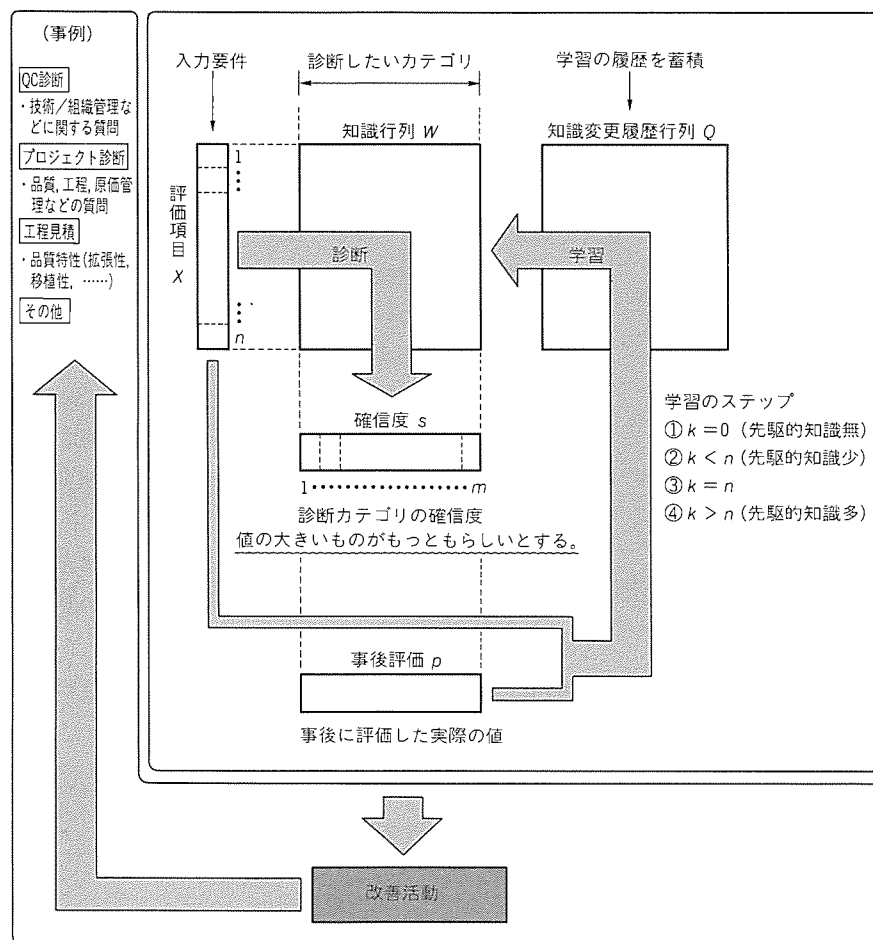


図10. 簡易診断エンジンの仕組みと応用

開中であるが、これらの活動と整合性をとり診断技術を向上させることによって、生産プロセスの改善が着実に実施できる。

ここで述べた診断技術は、まだ限られた製作所で確立され運用されている段階であり、現在以下に挙げるような課題の解決に向けて活動を展開中である。

- (1) ソフトウェア生産分野対応のきめ細かい診断項目設定が必要である。
- (2) ISO 9000 シリーズとの整合を図る必要がある。
- (3) 診断を通して得られたノウハウを診断方式にフィードバックし、絶えず実情に合った診断を実施可能とする。

参考文献

- (1) Humphrey, W. S., Snyder, T., Wills, R.: Software Process Improvement of Hughes Aircraft, IEEE Software (1991-7)
- (2) ソフトウェア開発に関するプロセス・モデルについての調査研究, 情報処理サービス産業協会, 2-007 (平成2年度), 3-J005 (平成3年度)
- (3) W. S. ハンフリー (藤野喜一 監訳): ソフトウェアプロセス成熟度の改善, 日科技連出版社
- (4) 飯塚悦功 編: ソフトウェアの品質保証 (ISO 9000-3 対訳と解説), 日本規格協会
- (5) 八巻直一, 寺畑圭吾: 逐次学習機能を持つ簡便な診断エンジンについて, 日本 OR 学会予稿集 (春期) (1993)

PPK法に基づく ソフトウェア設計プロセス支援

寿原則彦* 澤本 潤*
田村直樹*
中島 毅*

1. ま え が き

近年ソフトウェアの生産活動は、多くの問題点が挙げられているにもかかわらず、適切な解決策が見いだせないまま従来と変わらない製造法を続けざるを得ない状況にある。特に、

- ソフトウェアの大規模化、高度・複雑化傾向が顕著であり、従来の設計作業の進め方では対処に限界がある。
- 上のような高度なシステムの設計が、一部の経験豊富な技術者のもつ高度なノウハウに基づいて行われることが多く、それらが第三者に分かる形式になっていないため、技術者間での技術の伝搬が難しい。
- 汎用的な手法やツールが導入されても、実際の設計作業とのギャップが大きいため普及・定着が進まず、導入効果があまり上がらない。

といった問題は早急に解決する必要がある。

我々はこれらの問題を、ソフトウェア設計プロセス（以下“ソフトウェアプロセス”又は単に“プロセス”という。）に着目することで解決するアプローチをとっている。すなわち、実際のソフトウェア分析・設計作業をソフトウェアプロセスとしてとらえ、これらを記録・分析することで、高度なシステムを作る際の手順やノウハウを第三者に分かる形にまとめ、これらを既存の手法と置き換えるか又は併合し、以後の開発に手法として用いることで、上で挙げたソフトウェアの複雑化と技術伝搬の問題に対処し、また設計手法と実際の作業とのギャップを埋め、より実用的な手法にする。さらに、このソフトウェアプロセスから導いた手法を支援する環境（ツール群）を整備することで、得られた手法に適合する効率の良い設計支援を提供することを目指す。

この論文では、まず2章においてソフトウェアプロセスの重要性とそれらを記録・分析する際の強力なツールとなる当社独自のPPK法⁽¹⁾について述べる。3章ではソフトウェアプロセスに着目したソフトウェア開発作業の支援方法について述べ、その中で重要な役割を果たすオブジェクト指向（以下“OO”という。）技術についてソフトウェアプロセスとの関係を明確化する。4章では、3章で述べた方針に基づいた、社内での適用事例についてふれる。最後の5章ではむすびとして、今後の課題等について述べる。

2. ソフトウェアプロセス

2.1 ソフトウェアプロセスとは

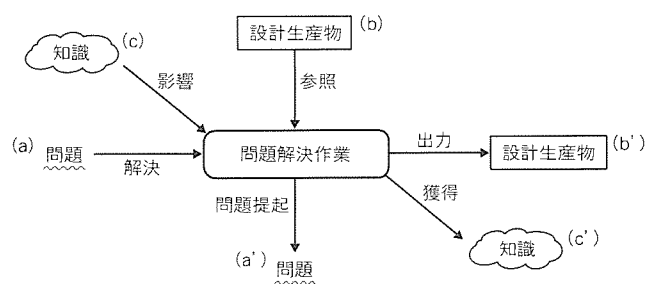
ここでいうソフトウェアプロセスとは、ソフトウェアを開発する際に、設計者が実際にどんな文書を参照し、どんな手順で設計作業を行い、その際どんなノウハウ、経験則を用いて設計上の重要な意思決定を行い、最終的な設計生産物（仕様書又はその中の設計図）を作ったかという詳細な活動を意味する。我々がソフトウェアプロセスに注目したのは、

- 仕様書等の生産物はあくまで結果であり、そこからどんな根拠に基づいてどんな手順で設計を行ったかを汲み取ることは事実上不可能である。
- ソフトウェア開発作業の実用的な支援を行うためにはアプリケーションドメインごとの独自性を考慮する必要があり、プロセスに注目することでそれが明らかになる。
- プロセスを記録・分析することで設計作業自体を客観的に見ることができ、それによって設計作業の評価、改善が可能になる。

等の理由による。プロセスを考慮することで、よりきめの細かいソフトウェア開発支援を行うことが可能になる。

PPK(Problem-Product-Knowledge) 法
実設計プロセスの記録の手法
整理・分析の手法
記述の枠組→PPKモデル

PPKモデル



入力

- (a) 問題 解決すべき問題や動機
- (b) 設計生産物 以前の設計の出力で、この作業で参照が起きたもの
- (c) 知識 この作業に影響を与えた頭の中の考え
例：設計手法や以前の設計経験など

出力

- (a') 問題 作業中に生じた問題点や次の作業への動機
- (b') 設計生産物 作業で生成された生産物
- (c') 知識 作業で得た生産物にならない考え
例：システムのイメージや達成感など

図1. PPK法の概要

2.2 PPK法の概要

PPKは問題(Problem)、生産物(Product)、知識(Knowledge)という観点からソフトウェアプロセスをとらえる考えである(図1)。ソフトウェア設計作業を問題解決活動としてとらえ、入力として解くべき問題、参照する生産物、利用する知識があり、活動の結果、出力として新たな問題、生産物、獲得された知識が生じるという形でソフトウェアプロセスを記録する。この記録を分析し、冗長な作業の削除、作業手順の変更等を施して最適化し、プロセスを洗練化することによって、実際の作業から設計手法を導くものである。

2.3 PPK法での設計手法の枠組

2.2節で述べた考えに基づき、手法をソフトウェアプロセスから抽出する際、我々はプロセスをより詳細に記述するためにオブジェクト(仕様書中に格納される図や表といった設計情報の塊)、アクティビティ(既存オブジェクトを参照し、新規オブジェクトを生成するプリミティブな設計作業)を記述単位とし、次の四つの枠組みを導入した⁽²⁾。

(1) アクティビティ-オブジェクトフロー図(AOD)

設計プロセス全体をアクティビティ(バブル)とその間で生成、参照されるオブジェクト(データフロー)で表したものの(図2)。ソフトウェアプロセスを構成するアクティビティの種類、遂行順序、アクティビティ間の依存関係の把握に用いる。

(2) アクティビティ-コンテキスト図(ACD)

個々のアクティビティ(バブル)を、それに対する入出力オブジェクト(のイメージ)で表したものの(図3)。

(3) アクティビティ記述シート(ADS)

各アクティビティの詳細を記述したもの(図4)。プロセスから導いた設計手法を利用する場合、設計作業に必要な情報はすべてADSに記述されている。ADSを用いて実際に設計作業を行う手順を次に示す。

- アクティビティ内容と意義の把握
- アクティビティの概観理解
- アクティビティの詳細理解及び設計作業の実行(オブジェクトの作成)
- 作成したオブジェクトの評価・検証

設計作業自体は、図4中の“作業内容”各項目に沿って、“手法”に書かれたノウハウや経験則、過去の設計意思決定の事例を適宜参照しながら行う。

(4) オブジェクト記述シート(ODS)

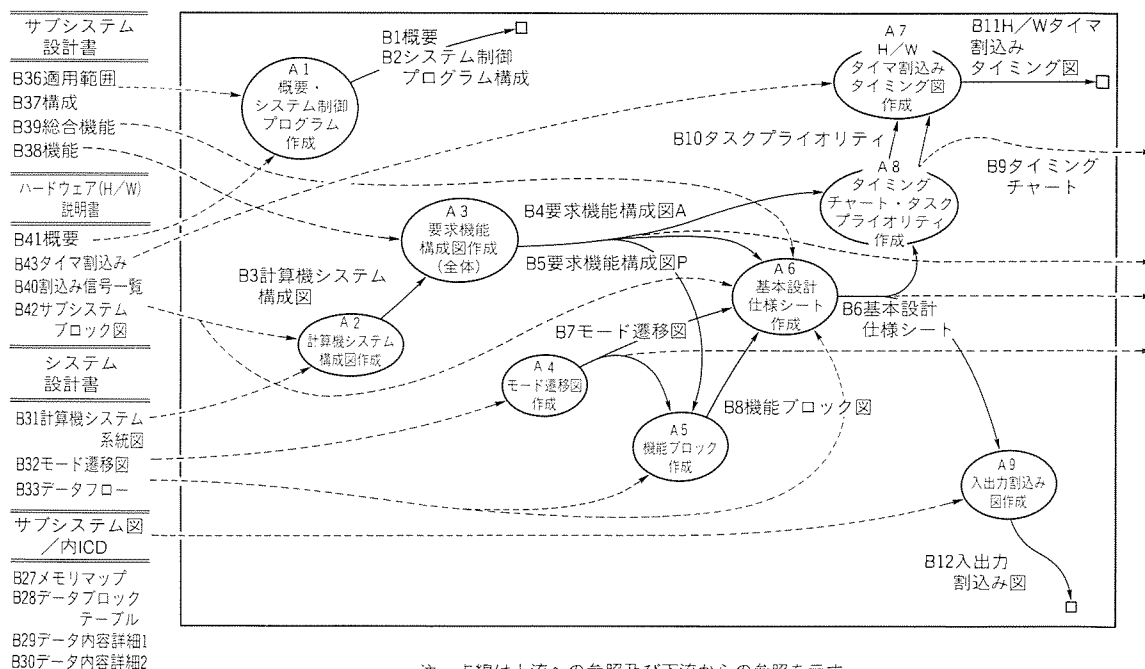
アクティビティで参照/作成される各オブジェクトの内容の詳細を記述したもの(図5)。設計作業を生産物の観点で記述しているので、ADSと重複する部分も含まれる。これら四つの枠組み間の対応関係を図6に示す。この枠組みでプロセスを記録・分析・洗練化して手法とする。手法の利用者はこれら四つの枠組みに書かれた情報を適宜利用して設計作業を行う。ここで図2～図5に示した例は、4章で示す実際の開発への適用例で作成され、また手法として現場で使用されたものである。

3. ソフトウェア開発作業の支援

3.1 ね ら い

これまでに述べてきたように、ソフトウェアプロセスを基に手法を抽出するというアプローチでは、汎用的な手法と比

上流過程の仕様書群



注 点線は上流への参照及び下流からの参照を示す。

図2. アクティビティ-オブジェクトフロー図(AOD)

べてアプリケーションドメインの特徴や属人的なノウハウを考慮したより実用的な手法が得られるとともに、設計作業の評価・改善が図れるという効果がある。特に後者に関しては、一つの開発プロセスを分析した結果得られた手法を次の開発で使用し、その開発プロセスを分析した結果得られた改良版手法を次の開発で利用するというように開発組織の手法や技術力等のプロセス成熟度⁽³⁾を改善していく体質が作られるこ

と、また開発形態が自然に再利用ベースになっていくという、長期的視野で見た場合に二つの大きなメリットがある。

3.2 オブジェクト指向(OO)技術の導入

プロセスに着目したソフトウェア開発支援では、従来の開発作業の良い部分を伸ばし、悪い部分を削る、又は別のものに置き換えることでソフトウェアプロセスの改善を図るため、プロセスの再利用が自然に促進される。

再利用ベースのソフトウェアプロセスの効果を大きなものとするには、開発で用いる手法や言語も再利用を推進する効果のあるものでなければならない。OO技術の導入とプロセスの洗練化を併せて進めることで、アプリケーションドメインに適した部品(クラス)定義基準の明確化・洗練化、分析の質の向上、またこれらの分析結果を基に設計した高品質な部品の蓄積による再利用性の向上が期待できる。

そこで我々はOO技術をソフトウェアプロセスに基づいた開発支援の中核の技術として位置付け、次の二つのOO技術の導入を進めている。

(1) OO分析/設計技術(OOA/OOD)

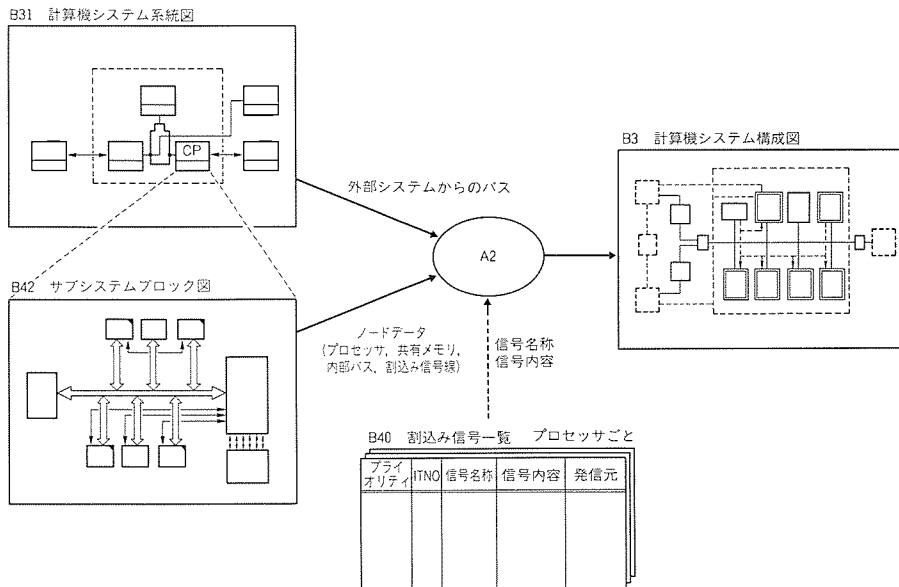


図3. アクティビティ-コンテキスト図 (ACD)

アクティビティNo. A2		仕 様 書	基本設計書
アクティビティ名	計算機システム構成図作成		手 法
アクティビティ内容	サブシステムをプロセッサ、共有メモリ、バスで記述する。		
設計動機	サブシステムH/Wの構成を、H/W主体からS/W主体に置き換える。 S/Wを作る上で必要となる部分を抜き出し、後のS/W設計の見通しを良くする。 (→S/Wに関する部分を抽出し再構成する)		
前提条件	サブシステムのH/W構成が決定している。		
参照オブジェクト	作業内容	作成オブジェクト	
●H/W説明書 B42 サブシステム ブロック図 プロセッサ バス 割込み信号 ●システム設計書 B31 計算機システム 系統図 サブシステム バス ●H/W説明書 B40 割込み信号一覧 名称 内容 発信元	1. 2, 3は同時に行ってもよい。 4, 5, 6は同時に行ってもよい。 1. プロセッサを抜き出す。[B42:(a):B3] 2. 内部バスを抜き出し、プロセッサ間を結び基本的な図を作る。[B42:(a):B3] 3. 共有メモリを抜き出し、図に加える。[B42::B3] 4. 同期用H/Wタイマと割込み信号を抜き出し図に加える。[B42, B40::B3] 5. インタフェース用のH/Wを図に加える。[B42::B3] 6. 外部(サブシステム)とのインタフェースを図に加える。[B31::B3] 7. サブシステムの範囲を点線で囲って明示する。[B31::B3]	B3 計算機システム 構成図 プロセッサ バス 割込み信号等	
終了条件	S/Wの立場から考慮の必要があるH/W要素を網羅している。		評価基準 1. 失敗例 表現のレベルが同じなのに、思い入れで異なって書いてしまう。→B3の実線の箱と点線の箱の混同 2. レビュー項目 E プロセッサの種類 E プロセッサのバス構成 E 割込み、メモリ E 内部境界線 E インタフェース部 A 他サブシステムとの接続関係 3. Eが満たされなかった場合 サブシステム設計段階(H/W構成が不適性)経験者に聞く(設計者自身の経験・能力不足)
備 考	このアクティビティ遂行能力が、サブシステムのS/Wに関する取りまとめができるかどうかの判断材料になる。 改訂 '90. 9. 17		

図4. アクティビティ記述シート (ADS)

OMT⁽⁴⁾やShlaer/Mellor法⁽⁵⁾等の代表的手法を、部品定義のための強力な指針として、従来の分析手法にかえて導入・定着させる。

(2) 00言語

上記の OOA/OOD の結果がプログラミング言語に自然にマッピングされるよう、C++、Ada 等の OO 言語を導

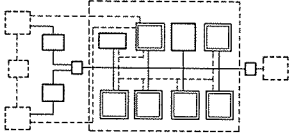





オブジェクト番号	オブジェクト名	仕様書対応		アクティビティ
B3	計算機システム構成図	仕様書名 基本設計書	位置 3章 計算機システム構成	A2
内容				
エンティティ説明		クラス H/W構成図		
 プロセッサ → バス名 → バス		構文・意味 ノードとリンクをもつデータフロー図 ノード→プロセッサ・タイマ・メモリ 入出力変換器・外部サブシステム リンカーバス・割込み信号 外部サブシステム間との接続関係 特殊点 ・入出力を共有するマルチバスの場合、特定の方向性がないので、矢印を特に明示しない。 規則 ・サブシステムから外部へ出ていくバスは、入出力変換器を通らなければならない。		
 タイマメモリ ----- 割込み信号				
 入出力変換器 ----- 他システム同接続関係				
 他サブシステム				
 サブシステム境界				
参照オブジェクトと制約				
B42 サブシステムブロック図 サブシステム内部の詳細なH/W構成図を記述している。B3に現れるノードはB42にも必ず存在する。				
B31 計算機システム系統図 サブシステム間インタフェースを規定している。B31中に現れる他のサブシステムからのバスは、すべてB3に含まれていなければならない。				
B40 割込み信号一覧 (B42の割込み信号線に現れた)B40中の「信号名称」に対応する「信号内容」と、B3に現れる各プロセッサと他のサブシステムとの間の割込み信号リンクに矛盾があってはならない。				

図 5. オブジェクト記述シート (ODS)

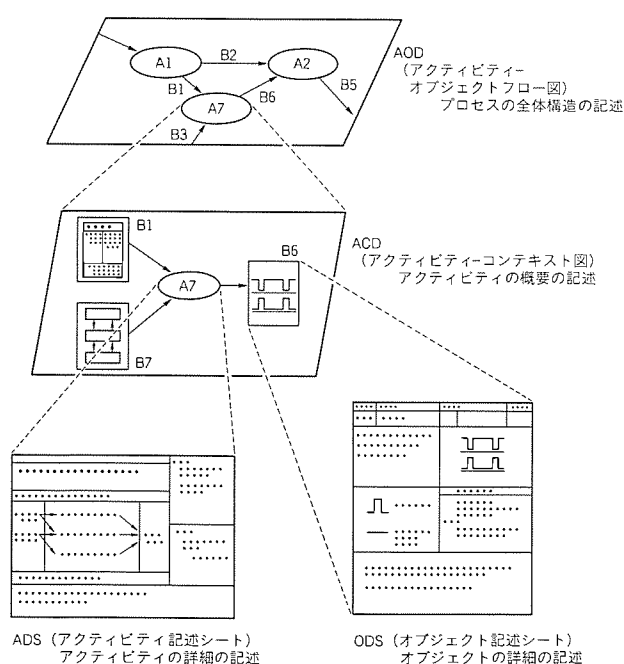


図 6. 設計手法の構造

入・定着させる。

このようにソフトウェアプロセスと OO 技術はソフトウェアの開発支援を進める上で必要不可欠な 2 大要素であり、二つをうまく組み合わせることで初めて大きな効果が得られる。

3.3 支援環境

設計手法がソフトウェアプロセスから抽出されたものか、汎用的なものにかかわらず、実際の開発に使用され定着するにはツール支援が必ず(須)である。とりわけ前者の場合はアプリケーションドメインの独自性が、手法の出力となる生産物に大きく反映されている場合が多く、ツールによる支援を考える場合、ツールの高度なカスタマイズ性が必要になる。この場合、次に示す二つのアプローチがある。

- カスタマイズ性が高く、新たに特定の手法を支援するエディタの定義も可能なメタツールを利用する。
- GUI 構築用ツールキット (アプリケーションフレームワーク) を用いて特定の手法を支援するエディタを製作する。

我々は、より柔軟なカスタマイズ性、先進的な機能（データ共有、ツール連携、仕様の検証等）を今後実現するために、C++のクラスライブラリとして実現したCASE ツール構築用アプリケーションフレームワーク CASEmaker⁽⁶⁾を開発した。今後、この2種類のアプローチを、状況によって使い分けることを考えている。

4. 社内における適用事例

ここでは、社内の一つのプロジェクトに対し、約5年間継続して行っている PPK 法適用の実例について、その作業内容、現れてきた効果などを簡潔に述べる。

4.1 作業内容

現在までに行った作業を次に示す。

既に開発が終了しているプロジェクトの中で、

- 今後同種のシステムを作る計画がある
- 技術レベルが高いと評価されている

ものを選択し、そのソフトウェアプロセスを PPK 法で記録・分析し、

- プロセスの再利用可能な部分については手法化し、
- プロセスの再利用が難しい部分については、新規手法をアプリケーションドメインの独自性を補ってカスタマイズし、

これらをマージしたものをプロセスに基づく手法としてまとめた。次に、この手法を次期システム開発時に使用し、開発終了後、このソフトウェアプロセスを

- プロセスに基づく手法の有効性の検証
- 新たな手法の抽出作業

のために再び PPK 法で記録・分析する作業を行った。現在、プロセスから手法抽出→開発に適用→新たなプロセスから

手法抽出→開発に適用，というサイクルの2周目に入った段階である。なお，対象となったアプリケーションは，リアルタイム要求の厳しい大規模組込型システムである。

4.2 結 果

4.2.1 第1サイクルのプロセス記録・分析・手法化

プロセスを記録・分析した結果，上流部分（SA：構造化分析+リアルタイムシステム設計）は完成度が高く，手法としてまとめることができた。下流部分（SD：構造化設計ほか）に関しては，次期システムではOO技術の導入に伴うソフトウェアプロセスの大きな変更が予想されるため実プロセスに基づく手法抽出は行わず，新規に手法を導入しそれをカスタマイズするという方法をとった。具体的には，プロセス記録・分析の対象となったシステムの一部を，代表的なOOA/ODD手法の一つであるShlaer/Mellor法を用いて分析し直し，そのプロセスを基に，アプリケーションドメインの独自性を考慮して手法の詳細な手順を補うカスタマイズを行った。

4.2.2 導出された設計手法の評価

上流に関しては，（リアルタイムシステム実現のための）ノウハウが手順化され，それがこの手法を使うことによって経験の浅い技術者に定着したと，現場での評価を受けている。また，この部分の手法は，今回の開発とは別に経験の浅い技術者用の教育用としても用いられた。

下流に関しては，既存手法をアプリケーションドメインに特化したため，最適なオブジェクトを切り出すことができ，高品質な部品が設計できたと，現場での評価を受けている。また，今回開発した部品のうちで，約80%が次期開発で再利用可能，約15%が類似システムで再利用可能と開発現場では予想している。

4.2.3 第2サイクルのプロセス記録・分析

現在の段階で15個のアクティビティが同定され，各アクティビティについてADSの定義を進めている（第1サイクルではアクティビティは9個）。第1サイクルのときとの大きな違いは次のとおり。

- 開発規模が数倍になることで開発方法も変化した。
- プロセス記録・分析・手法化の対象範囲が広い。
- 複数の作業者のプロセスを併合する必要がある。
- OOA/ODD適用部分がプロセスの中核を占める。

この記録を材料として今回のプロセス分析・手法抽出作業でねらうのは，

- OOA/ODDとリアルタイム設計の両立
- 上流からプログラムレベルまでの広範囲なOO化

であり，今後この第2サイクルで導かれる改良された手法は，類似システムの開発に適用する計画である。

5. む す び

この論文で，ソフトウェアプロセスに基づいたPPK法によるソフトウェア開発支援の方式及び実プロジェクトにおける適用例について述べた。今後引き続き第2サイクルのソフトウェアプロセスの分析作業を続けていく計画である。

また，この作業と関連して今後重要になるであろうテーマとしては，このようなアプローチの効果を定量的に測るメトリクス，とりわけプロセスの洗練化による設計結果の再利用性を計測するメトリクスの設定がある。また，OO技術の側からは，OOAで得られる仕様記述の実行・検証法の確立があり，今後，これらの技術とプロセスに着目した支援との有機的な融合を目指す予定である。

参 考 文 献

- (1) 中島 毅，田村直樹，藤岡 卓，上原憲二，高野 彰：PPK：ソフトウェア設計プロセスの記録と分析の手法，SE67，No.2，1～8（1989）
- (2) 寿原則彦，田村直樹，中島 毅，澤本 潤：ドメイン分析に基づくソフトウェア開発環境の構築，KBSE92，No.7，9～16（1992）
- (3) Humphrey, W. S. : Managing the Software Process, Addison-Wesley（1989）
- (4) Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., Lorensen, W. : Object-Oriented Modeling and Design, Prentice-Hall（1991）
- (5) Shlaer, S., Mellor, S. J. : Object Lifecycles-Modeling the World in States, Prentice-Hall（1992）
- (6) 田村直樹，中島 毅，上原憲二：CASE環境構築用ツールキットの開発，第44回情処全大，No.3J-3，199～200（1992）

オブジェクト指向ライブラリ GhostHouseによるUIシステム構築

中田秀男* 杉本 明**
北村操代*
小島泰三*

1. ま え が き

最初に商用化されたオブジェクト指向言語である Small-talk-80⁽¹⁾の発表から13年が経過した。この間、LISP 言語やC言語などの既存のプログラミング言語に対してもオブジェクト指向拡張が行われ、数多くの実績をもとに、プログラミング手法としての成熟化がなされてきた。一方、オブジェクト指向方式の適用技術分野も広がりを見せている。今やプログラミング言語だけではなく、ソフトウェアの分析や設計、データベース及び分散OSに至るまで、オブジェクト指向による方式が研究され、実用化されようとしている。

しかしながら、大規模なシステム開発にオブジェクト指向方式が本格的に適用された例は少ない。システム開発部門にオブジェクト指向への期待がないわけではない。逆に、ソフトウェアの再利用性向上のかぎ(鍵)となる技術として、オブジェクト指向方式はシステム開発部門の注目を集めている。そして、確かにソフトウェアのカプセル化により、これまでの水準を越えた再利用ソフトウェア部品がオブジェクト指向技術により構築できる。

問題点は、オブジェクト指向方式を生かすためには、従来のソフトウェア構築の枠組みを変革しなければならないことにある。単にオブジェクト指向言語を用いてライブラリを作成するだけでは、ソフトウェアの再利用性は向上しない。ソフトウェアの再利用性を高めようとするれば、オブジェクト指向によるソフトウェア部品構築の枠組みを定めなければならない。すなわち、応用分野に対して、そこでどういった種類の部品(オブジェクト)が存在し、それら部品がどのように組み合わせられるかといった基本的枠組み(アプリケーションフレームワークと呼ばれる。)をまず確立しなければならない。これをもとにしてライブラリを構築して初めて、部品の再利用性が高まる。そして、オブジェクト指向言語の利点は、このようなアプリケーションフレームワークを実現するのに適していることにある。

ところが、大規模なシステム開発では、既に多くのソフトウェア資産が構築されており、一部変更しながらも流用すべき既存ソフトウェアライブラリが多数存在する。これらのライブラリを、オブジェクト指向方式によって全面的に再構築することはコスト的に問題がある。また、データベースやグラフィカルユーザーインタフェース(GUI)などについては、オープンシステム化の観点から、既存の標準パッケージを使

用しなければならないこともある。これらの条件が、大規模開発に対してオブジェクト指向方式を適用する場合の妨げとなっていた。

この問題に対処するため、当社では、オブジェクト指向によるアプリケーションフレームワークの実現と、既存パッケージやライブラリの利用を両立させる研究を行っている。この研究において試作している GhostHouse と呼ぶオブジェクト指向ライブラリは、既存のソフトウェア部品に取り付け Ghost と呼ぶオブジェクトを中心に構成されている。個々の部品の機能は既存部品で実行するが、そこに付加された Ghost は、互いの関係のもとに、既存部品をオブジェクト指向によるアプリケーションフレームワークに従って協調動作させる働きを行う。その結果、個々に開発された部品が容易に組み合わせられるようになり、再利用性の向上を実現した。さらに、GhostHouse を用いてユーザーインタフェース(UI)システムを試作したところ、システム実行時にも部品を置き換えて UI をカスタマイズすることができる、従来にない柔軟なシステムが構築された。

この論文では、2章において GhostHouse の概要について述べた後、3章では UI システム構築例として監視制御システムや帳票システム、設備データ管理システムの Ghost House による試作例について述べ、その効果を明らかにする。

2. GhostHouseの概要

この章では、アプリケーションフレームワークの重要性について述べた後、オブジェクト指向によるアプリケーションフレームワークの実現と、既存パッケージやライブラリの利用を両立させる GhostHouse について概要を述べる。

2.1 アプリケーションフレームワーク

従来から、ソフトウェアの再利用を目的として、多くのソフトウェアに必要な共通部品を整備し、ツールキットの形で供給することが行われてきた。ツールキットを利用することによって、ある程度の生産性の向上を図ることができる。例えば、X ツールキットは、X ウィンドウにおけるアプリケーション開発の生産性を上げるためのツールキットである。しかし、ツールキットでは、個々の部品についてその使い方を修得する必要がある、部品の組合せ方も一様ではない。したがって、一般の人がツールキットを使いこなすためには、長期間にわたる教育が必要となる。

アプリケーションフレームワークは、特定分野におけるアプリケーションの基本的な構造を定義する。従来のツールキットとは異なり、部品間の結合方式を定義し、アプリケーションの制御構造を定義することによって、部品に対する特別な知識を必要とする部品の組合せフェーズを省略する。アプリケーションフレームワークを用いて、ソフトウェアのアウトラインを定義することにより、再利用性を上げ、プログラミング量を減少させることができる。ソフトウェア開発者は、部品間の結合方式が定義された基本部品を基に必要な部品を作成していくため、個々のアプリケーションに特有な部分のプログラミングを必要とするだけである。

オブジェクト指向方式は、このようなアプリケーションフレームワークの実現に適している。オブジェクト指向言語では、抽象的な部品を定義し、その特殊化として具体的な部品を定義する。すなわち、抽象的な部品を定義する段階で部品の種類を特定し、オブジェクト間のメッセージ通信の形で、アプリケーションフレームワークにおける部品間の結合を実現する。具体的なソフトウェア部品はこれらの抽象部品からの継承によって定義される。新たに導入した部品も継承により、抽象部品における通信形式に従うので、個々の部品を一緒に組み合わせることができる。

2.2 UIシステムのアプリケーションフレームワーク

図1に、我々が用いているUIシステムに対するアプリケーションフレームワークの概略を示す。

図1では、UIシステムを構成する部品を、モデルとビューの2種類に分けている。モデルは、UIシステムに必要なデータを保持し、そのデータに対する入出力、演算などの手段をもつ。一方、ビューは、画面上に様々な形式でデータを表示し、キーボードやマウスなどの入力デバイスによるユーザーのデータ入力を処理する。

UIシステムは、これらモデルとビューの相互作用によって実現される。図1では、モデルとビューは、リンクによって相互に接続されている。モデルが保持するデータが変更されると、リンクされているビューにデータの変更を通知する。通知を受けたビューは、そのデータを画面上に表示する。一方、ユーザーによってビューの表示データが変更されると、

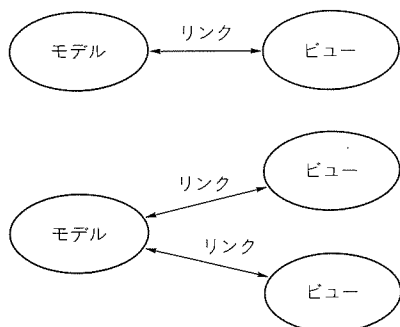


図1. UIシステムのアプリケーションフレームワーク

ビューはデータの変更をリンクされているモデルに要求する。要求を受けてモデルは、保持するデータを変更する。

我々は、柔軟なUIシステムの構築を目的として、モデルとビューが自由に結合できるようリンク上の通信形式を設計した。また、実行時におけるダイナミックなGUIの編集機能を実現するために、リンクの付け替えも常時可能とした。さらに、一つのデータに対して複数のビューによる表示・操作を可能とするために、一つのモデルと複数のビューとの結合を許した。

2.3 GhostHouseによる実現方式

図2は、実際に対象とするUIシステムの構成である。ユーザーは、EWSのディスプレイ上に表示された監視画面や図面、表、グラフなどを通して、システム内のデータの入出力を行う。監視画面や図面などは、Xツールキットの部品やXウィンドウの描画関数を直接用いて実装した表示部品など、多様なGUI部品によって構成される。実際のシステム開発では、これらのGUI部品が既に多く開発、提供されている。

一方、システムの保持するデータも様々な格納形態をもつ。例えば、リレーショナルデータベース内に格納されることもあれば、ファイルを利用することもある。さらには、処理の高速化のため共有メモリ上に格納される場合もある。

UIシステムは、こうした既存のGUI部品と様々な格納形式をもつデータ間の橋渡しを行わなければならない。すなわち、データが変更されればGUI部品の表示を変更し、GUI部品に対する操作があれば、これに応じてデータの変更を行わなければならない。

GhostHouseは、このようなUIシステムを対象として、2.1節で述べたアプリケーションフレームワークを実現するために試作したオブジェクト指向ライブラリである。GhostHouseでは、個々のGUI部品やデータに取り付くGhostと呼ぶオブジェクトを中心にクラスを構成する⁽²⁾。Ghostは、既存のGUI部品と外部データとの橋渡しを行う。

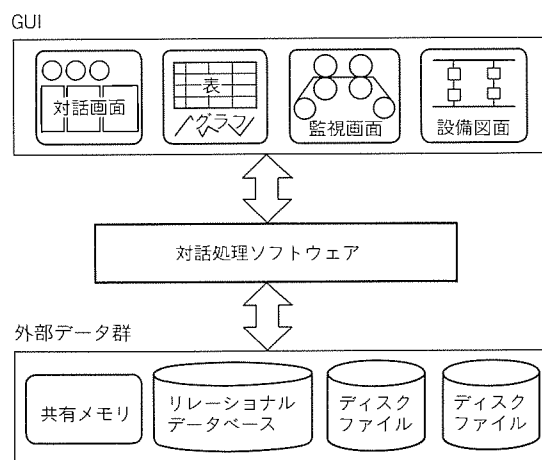


図2. 対象とするUIシステム

図3に、GhostHouseの実現方式を示す。モデルゴーストはデータを管理するオブジェクトであり、ビューゴーストはGUI 部品の操作を行うオブジェクトである。GhostHouseでは、これらのGhostが図のように個々のデータとGUI 部品の背後に取り付き、データとGUI 部品間の相互作用を実現する。

Ghostは基本的な機能として相互に結合するリンク機能をもつ。データの変更がモデルゴーストを通じて行われると、モデルゴーストは結合したビューゴーストによってデータ変更を通知する。ビューゴーストは通知を受けると、その受け持つGUI 部品の所定の方式に従って表示を変更する。逆にユーザーのGUI 部品に対する操作は、ビューゴーストによってモデルゴーストに伝えられる。

ビューゴーストとモデルゴーストは結合されると、あらかじめ決められた様な通信手段によって通信を行う。すなわち、モデルゴーストから見ると、GUI 部品は所定の操作手段をもつビューゴーストによって仮想化され、ビューゴーストから見ると、データは様なアクセス手段を実現したモデルゴーストによって仮想化されることになる。このため、既存のGUI 部品の操作の差異を吸収するビューゴースト、及び主記憶、ファイル、リレーショナルデータベースといったデータの格納形式の差異を吸収できるモデルゴーストを実現した。

3. GhostHouseによるUIシステム試作例

この章では、GhostHouseを適用して、前述のアプリケーションフレームワークを実現することにより、従来にない柔軟なUIシステムを構築できることを示す。

3.1 監視制御システム

監視制御システムは、図4のように対話処理ソフトウェア

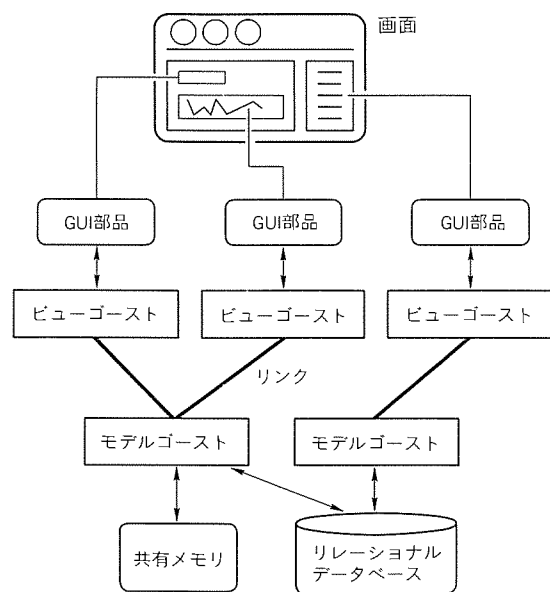


図3. GhostHouseによるUIシステム実現方式

と制御ソフトウェアに分けられる。対話処理ソフトウェアは監視画面の制御を行い、画面とデータベース間のやりとりを行う。制御ソフトウェアは、プラントのデータを収集してデータベースに格納したり、データベース上に登録された監視者設定のデータを用いてプラントの制御を行う。

対話処理ソフトウェアの構築には、GUIに対する高度な知識が必要である。また、システムの大規模化に伴い対話処理ソフトウェアは複雑化し、その変更、保守は容易ではない。このような問題に対処するため、我々は以下の手順による構築手法を提案している⁽²⁾。

(1) プラントのデータ定義

監視制御システムの対象となるプラントのデータの種類、格納場所を記述する。

(2) データの視覚化

定義したデータの可視化を自動的に行う。すなわち、定義されたプラントのデータに対し、その種類に応じた暫定的なGUI 部品を割り当てる。

(3) GUIの対話的な編集

マウスを用いた対話的な編集操作により、暫定的なGUIを要求仕様に合う形に編集する。

図5は、GhostHouseを用いて試作した鉄鋼プラントの監視制御システムの画面例である⁽³⁾。このシステムでは、プラントデータを定義すると、数値フィールドの形で暫定的に可視化される。これらをマウスを用いて監視画面上に配置し、あらかじめ用意したメータやトレンドグラフなどと置き換えることによって編集を行う。この手順による監視制御システムの対話処理ソフトウェアの構築には、GUIに対する特別の知識は必要ない。

GhostHouseでは、この構築方法を次のようにして実現した。まず(1)の段階で、プラントのデータを管理するモデルゴーストを定義する。そして(2)では、モデルゴーストの管理するデータの表示・操作に適したビューゴーストを生成することにより、プラントデータの視覚化が可能となる。(3)の機能は、前述したアプリケーションフレームワークの特徴

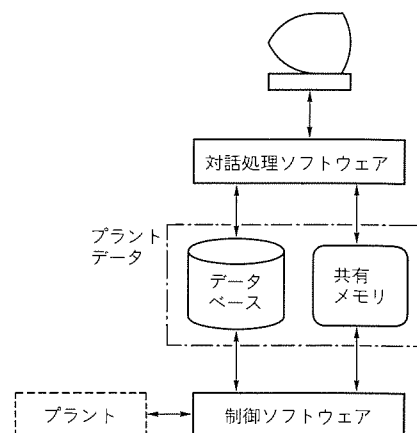


図4. 監視制御システム概略

である、モデル、ビュー間のリンクの動的な切替機構によって実現した。ビューである表示部品を置き換えても、モデルとのリンクはそのまま保たれる。したがって、置き換えられた各種のメータやトレンドグラフは、もとの数値フィールドにリンクされていたプラントデータを異なった形式で表示する。ビューとしては、ほかにプラントにおける制御点の移動をアニメーション表示させる部品も用意している。

3.2 帳票システム

プラント制御に用いられる帳票システムは、図6のように、帳票処理ソフトウェアとデータ収集ソフトウェアに分けられる。図では、データ収集ソフトウェアによって時系列データが収集される。帳票処理ソフトウェアはそのデータを参照し、検索した結果を帳票フォーマットに従って、ディスプレイ又はプリンタに表示する。

従来、帳票フォーマットの作成はオフラインで提供されており、オンラインでの検索表示時には帳票フォーマットの変更はできなかった。しかしながら、エンドユーザーからは、実際のデータを見ながら対話的に編集することができる柔軟な帳票システムが求められている。そこで、オンライン時に帳票フォーマットの修正を行えるオンライン帳票ビルダを試

作した。

オンライン帳票ビルダでは、3.1節で述べた監視制御システムの構築と同様に、まず、時系列データの定義を行った後、これをもとに暫定的な帳票の生成を行う。そして、これをマウスを用いて最終的な帳票に修正する。

図7は、GhostHouseを用いて試作した帳票システムの画面例である⁽⁴⁾。GhostHouseにおける実行時のGUI編集機能により、帳票システムのユーザー自身がオンライン時に帳票の編集を行うことが可能となった。

また、GhostHouseの方式が既存GUI部品の高機能化にも有効であることが明らかになった。例えば、既存のラベル部品に取り付けビューゴーストに、合計、平均などの計算を行う機能を付加することによって、高機能な計算ラベル部品として提供することができた。さらに、円グラフ、棒グラフ、折れ線グラフなどの各種のグラフ部品も、既存GUI部品に容易に追加できた。

3.3 設備データ管理システム

電力系統や工業プラントなどの大規模プラント制御におけ

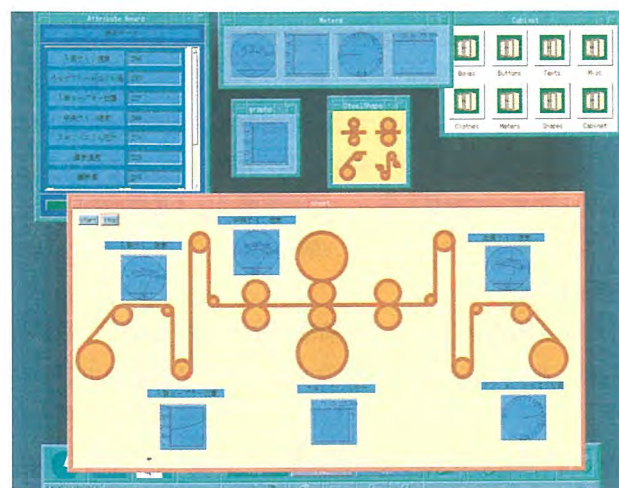


図5. 監視制御システムへの適用例

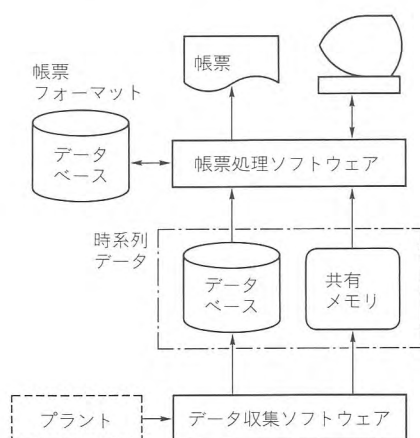


図6. 帳票システム概略

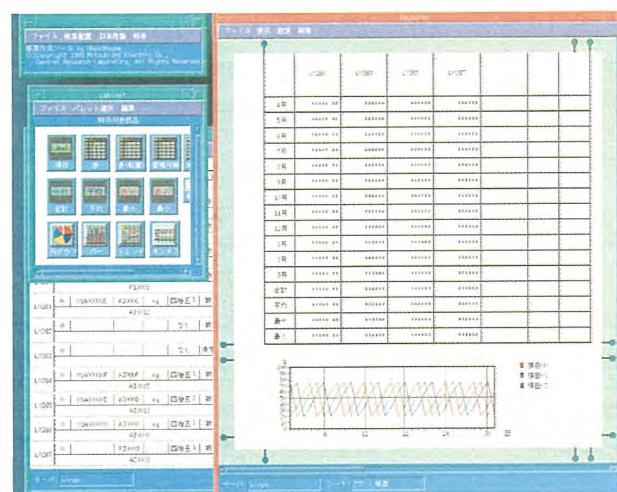


図7. 帳票システムへの適用例

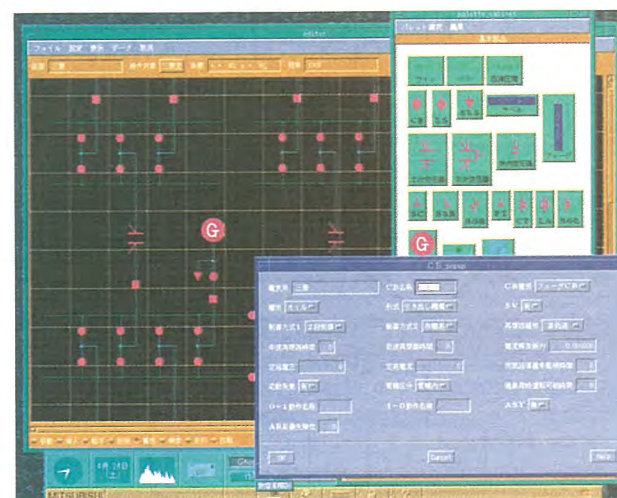


図8. 設備データ管理システムへの適用例

る設備データ管理システムでは、制御対象の設備を記述する図面の作成が大きな要素となる。設備図面の作成は、グラフィカルエディタを使用して、設備を表すシンボルを配置し、接続をすることによって行う。設備シンボルは、設備の状態による色、形の変更機能、他のシンボルとの接続機能をもつ。

従来から、設備図面の作成にはオブジェクト指向方式が有効だと考えられてきた。設備図では、多種類の設備シンボルを作成する必要がある。しかし、これらの設備シンボルの編集操作機能は、ほぼ共通している。したがって、オブジェクト指向により、抽象的なシンボル部品を考え、それに編集操作機能を実現すると、具体的な設備シンボルは、表示部分を再定義してだけで追加可能である。

ところが、設備データ管理システムでは、図面のみだけではなく、設備シンボルに関連した設備属性や設備間の接続情報などをデータベースに保存する必要がある。このデータベースは、各種アプリケーションによって利用される。そこで、オープンシステム化の観点から、汎用のリレーショナルデータベースを採用した。

オブジェクト指向によるデータ構造とリレーショナルデータベースにおけるデータ格納方式には、大きな隔りがある。しかし、GhostHouse ではリレーショナルデータベースに対応したモデルゴーストを実現することによって、両者の隔りを埋めることができる⁽⁵⁾。

図 8 は、GhostHouse を用いて作成した電力系統監視制御システムにおける設備図面メンテナンスツールの画面例である。モデルゴーストによるデータの格納形式の統一化により、様々な形式のデータを一様に扱うことができる。この結果、設備属性の入出力を行う対話用部品の再利用性を高めることができた。

4. む す び

GhostHouse による UI システムの構築について述べた。GhostHouse では、データ操作機能と対話処理機能を分離

し、それぞれを既存のデータ管理部品と GUI 部品に取り付けオブジェクトとして実現した。このことにより、既存ソフトウェアライブラリを流用しながら、オブジェクト指向の考え方を自然に取り入れることができる。多くのソフトウェア資産が構築されている大規模システムの開発では、このようなアプローチが有効であると考えられる。

本稿では、三つの UI システムの試作例を述べたが、多くの部品の共通化を実現できた。今後は、制御情報システムにおける対話処理部の開発を総合的に支援するソフトウェア開発自動化ツールの実現を図っていきたい。

参 考 文 献

- (1) Goldberg, A., Robson, D.: Smalltalk-80, The Language and its Implementation, Addison-Wesley (1983)
- (2) 杉本 明, 北村操代, 中田秀男, 川岸元彦, 小島泰三: 対話的システム視覚的構築用クラスライブラリ: Ghost House (I) —— 設計方針と概要 ——, 情報処理学会第 46 回全国大会講演論文集 (1993)
- (3) 中田秀男, 北村操代, 川岸元彦, 小島泰三, 杉本 明, 上原 拓: 対話的システム視覚的構築用クラスライブラリ: GhostHouse (II) —— 監視制御システムへの適用 ——, 情報処理学会第 46 回全国大会講演論文集 (1993)
- (4) 北村操代, 中田秀男, 杉本 明, 勝間保夫, 岡田叔之: 対話的システム視覚的構築用クラスライブラリ: Ghost House (III) —— オンライン帳票ビルダへの適用 ——, 情報処理学会第 46 回全国大会講演論文集 (1993)
- (5) 川岸元彦, 小島泰三, 杉本 明: 対話的システム視覚的構築用クラスライブラリ: GhostHouse (IV) —— 外部データアクセスの仮想化 ——, 情報処理学会第 46 回全国大会講演論文集 (1993)

事務処理分野向けクライアント・サーバ型ソフト生産システム

飛山哲幸* 土井日輝**
逢坂 仁* 山白康太郎**
稲生紀和*

1. ま え が き

事務処理分野では、従来から汎用機・オフコン等をプラットフォームに用いて業務システムを実現する方式が一般的であった。しかし、近年になってクライアント・サーバコンピュータが新たなプラットフォームとして加わり、新しい形態の業務システムとして注目を集めている。

当社では早くから生産支援システムにクライアント・サーバコンピュータを適用し、支援環境の分散化を進めてきた。また、現在では新しいシステム形態に合わせて、クライアント・サーバをプラットフォームとする業務システム構築に対しても生産支援システムを整備しつつある。

本稿では、クライアント・サーバコンピュータを適用した事例として当社の汎用機向け生産支援システム SWEET II/WS とクライアント・サーバ向け生産支援システム“OPENBUILDER”を取り上げ、SWEET II/WS では支援

環境の統合化を中心に、また OPENBUILDER では支援システムの位置付けと生産支援の考え方を中心に紹介する。

2. 汎用機向け事務処理分野生産支援システム (SWEET II/WS)

2.1 SWEET II/WS のねらいと特長

(1) クライアント・サーバコンピュータを用いた分散開発支援環境

SWEET II/WS は、これまでのホスト中心の開発環境から、支援機能・支援範囲の一層の強化のために、クライアント・サーバコンピュータ利用によるシステムの分散化を進めてきた。

分散化の背景は、開発作業によるホストマシンの負荷の軽減、ホストに依存しない開発環境の提供による作業の効率化、PC (パソコン)・WS (ワークステーション) の分野で急激に発展してきた GUI (グラフィカルユーザーインターフェース)

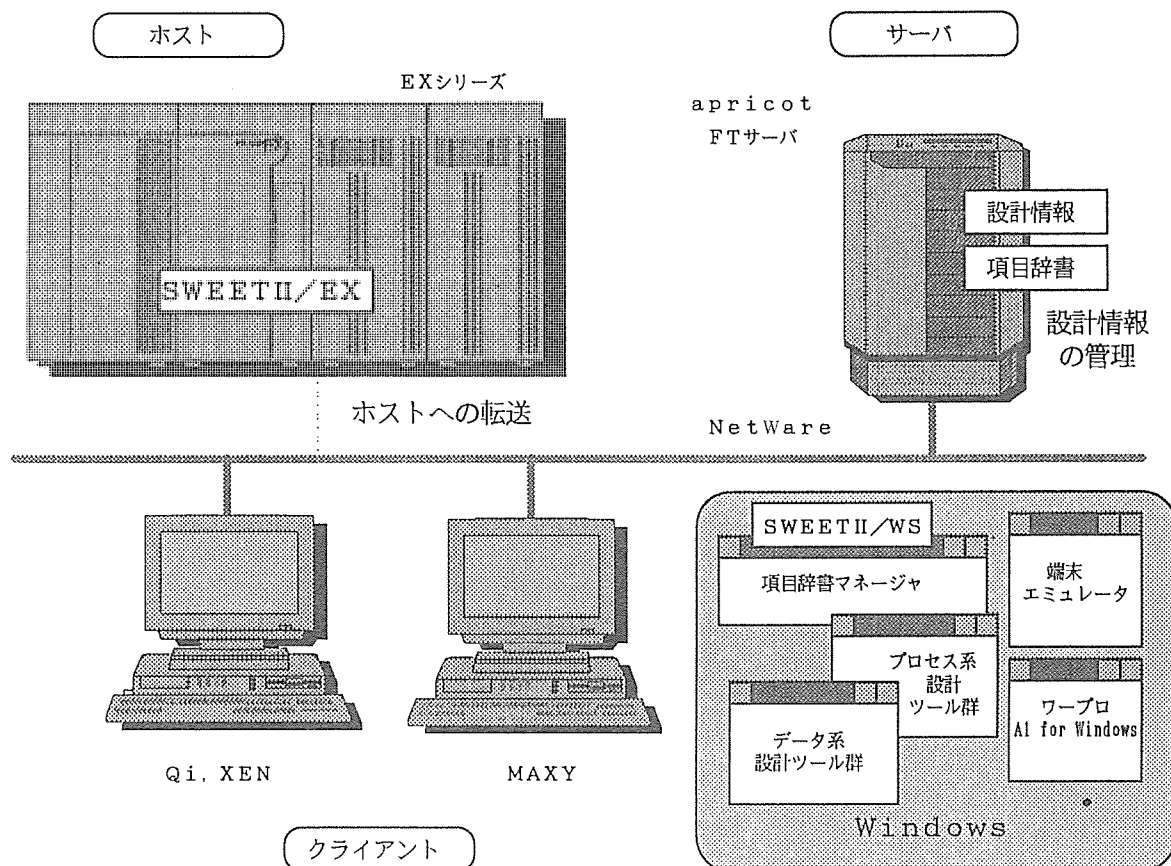


図1. クライアント・サーバコンピュータを用いた分散開発支援環境

による優れたマンマシンインタフェースの技術を活用した強力な開発支援ツールの実現の3点である。

PC・WSのパーソナルな開発環境を利用し、多人数でのシステム開発の効率を高めるためには、複数の開発メンバーがシステム開発の共通リソースを参照しつつ、設計作業を進めていける環境の提供が必ず(須)となる。

当社では、“apricot”FTサーバを中心にQi, XEN-LSII, “MAXY”等のワークステーションをクライアントに用いたクライアント・サーバシステムを提供している。SWEET II/WSはこの環境を利用し、サーバに格納された項目辞書、各種設計情報、ソースファイルやドキュメント等を、クライアントから随時アクセスできる開発環境の提供が特長の一つとなっている(図1)。

(2) 設計情報の統合化とツールの連携

ツールは、システム設計の作業を効率良く支援するだけでなく、さらに設計者の思考や作業の連続性を妨げないように、各ツールが連携して全体として統合化されている必要がある。

SWEET II/WSでは、主に以下の三つの観点から統合化が図られている。

- 項目辞書による設計情報の統合化
- 下流フェーズへの設計情報の展開
- ツール間の制御連携

この統合化の詳細については、2.3節で改めて述べることにする。

(3) GUIによる優れたユーザーインタフェース

コンピュータの支援による設計過程は、設計者(人間)と支援ツールとの対話による協同作業である。このような環境では、人間の思考をできるだけ直接支援ツールに伝え、支援ツールは人間の思考により近い形で

表1. SWEET II/WS支援ツール一覧

支援ツール名	略 称	機 能 概 要
項目辞書マネージャ	DCSERVER	項目辞書の内容や各種設計情報を一括して操作するためのウインドウ(ブラウザ)を介して項目辞書の作成、整理、検索、設計情報への引用、設計支援ツールの起動等の作業が行える。
画面設計支援ツール	SCREEN	画面イメージを作成するためのレイアウト編集を支援する。ホスト端末のシミュレーションや画面ソースの生成(逆生成も可)が行える。
帳票設計支援ツール	REPORT	画面設計支援ツールと同様。特に、帳票特有の漢字印刷ピッチを正確にレイアウト編集画面上にシミュレートしている点が特長である。
帳票フォームオーバーレイ設計支援ツール	OVLAY	帳票設計支援ツールと連動してオーバーレイイメージの作成を行うツールである。オーバーレイ制御文を生成する(逆生成も可)。
ファイル設計支援ツール	FILE	ファイル情報、レコード情報、項目情報を表形式で入力することにより、ファイルレイアウト図やファイル定義ソースを生成する(逆生成も可)。
機能詳細化支援ツール	DESIGNNOTE	システムの機能を段階的に詳細化していく作業を支援する。機能とデータの関係を表わす図(機能関連図)の作成・編集、詳細化、機能階層間の整合性チェック等が行える。
ランチャートエディタ	RUNCHART	ランチャート(ジョブフロー図)の作成・編集を支援するツール。作成したランチャートからJCLの生成が行える(逆生成も可)。
プログラム設計支援ツール	DIAGNR	帳票作成を中心としたバッチプログラム用4GLである。設計済みのファイルと帳票のレイアウト間で行うべきデータ処理仕様を定義することにより、プログラム(AII)ソースを生成する。
高生産性言語	AII	部品化・再利用技術によって生産性向上を図る高生産性言語。92種の標準部品(及びユーザー固有の部品)とAIIコンパイラから構成され、COBOLソースプログラムを生成する。

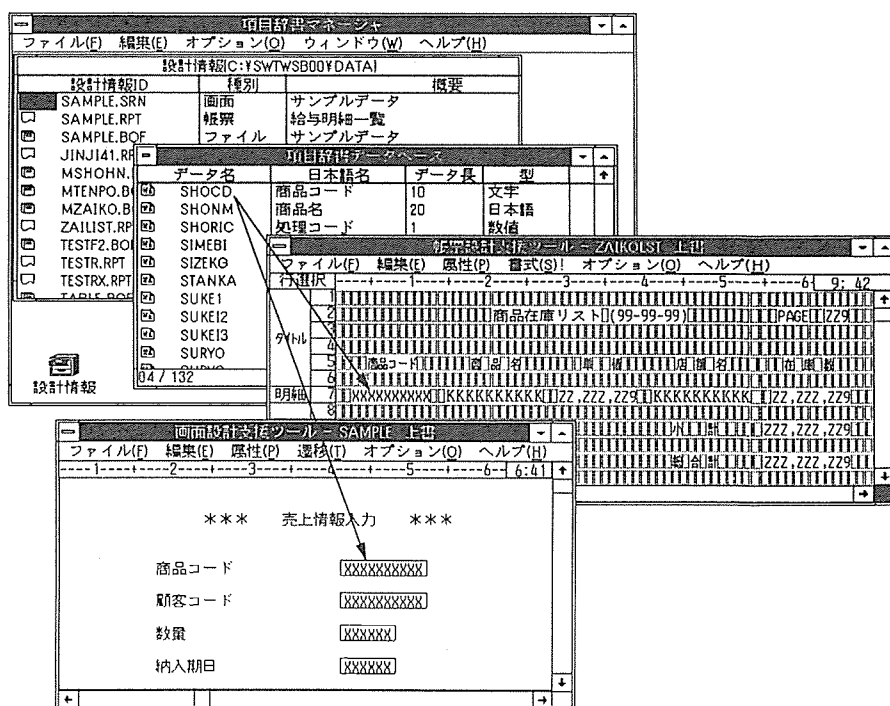


図2. 項目辞書の引用による画面、帳票設計

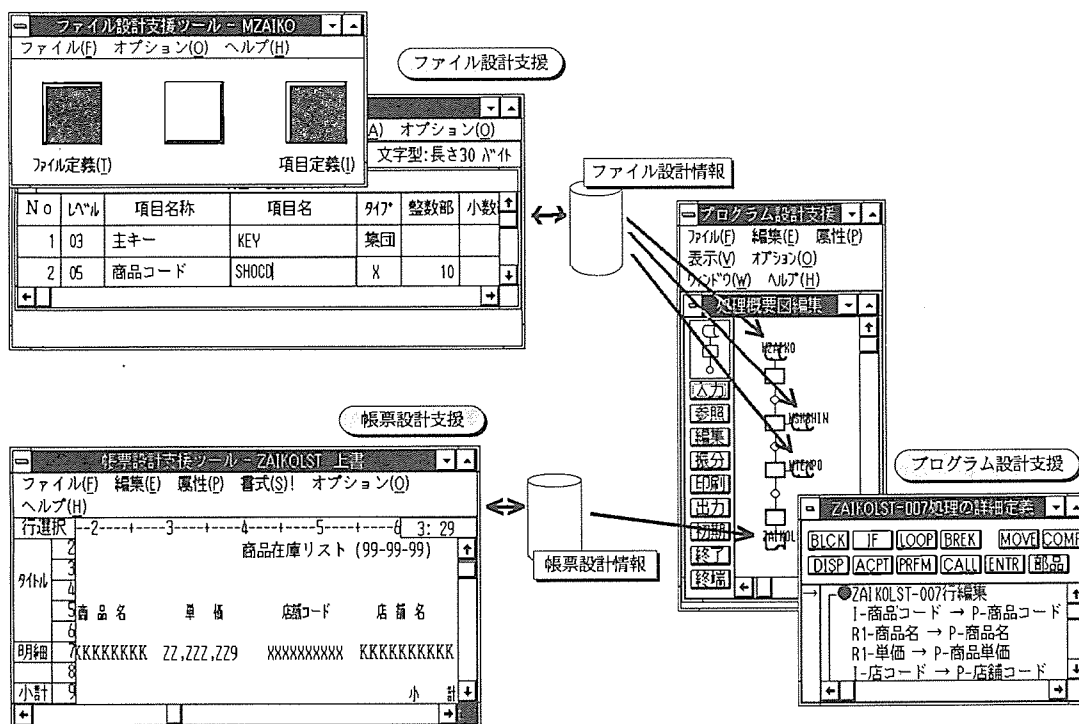


図 3. 下流フェーズへの設計情報の展開

設計内容を表示するなど、ツールと人間のインタフェースが非常に重要となる。

従来、コンピュータと人間のインタフェースは文字を介して行われていたが、最近では GUI が使える環境が整ってきた。SWEET II/WS は、Windows^(注1) をプラットフォームとしており、これ自体が、アイコンによるプログラムの起動など GUI による環境である。この環境の上に、SWEET II/WS の各ツールがそれぞれ GUI を生かしたインタフェースを実現している。

2.2 SWEET II/WS の各設計支援ツールの概要

SWEET II/WS は 9 つの支援ツールから構成されている。各ツールの概要を表 1 に示す。

2.3 SWEET II/WS での統合化の実践

(1) 項目辞書による設計情報の統合化

事務処理分野のアプリケーション開発を効率良く行うためには、画面・帳票・ファイルのレイアウト定義や処理ロジックの設計時点で、設計上のデータ項目の扱いの食い違いを防止することが、大きなポイントの一つとなる。これは、設計作業の効率化を図るばかりでなく、運用に入ってからトラブルの防止や、保守作業の効率化の面からも重要となる。

項目辞書には、開発対象となるシステムで使用するデータ項目の属性及び意味が定義され蓄えられる。SWEET II/WS では、この項目辞書を中心として各設計間で使用するデータ項目を共通化するなど設計情報の統合を行うことによって前述の課題を解決している。

画面設計及び帳票設計を例にとり、実際の設計作業を図 2 に示す。項目辞書マネージャによって定義されたデータ項目を検索し、必要なデータ項目を複数選択して、その情報をもとに画面や帳票の設計を行うことができる。

項目辞書からデータ項目を引用することにより、設計時点から情報の食い違いを防止し、データの一元性を保証したシステムの開発が可能となる。また、この引用関係が情報として保存されることにより、データ項目の定義情報に変更が発生した場合、どこに影響を及ぼすかの検索を可能にしている。

(2) 下流フェーズへの設計情報の展開

開発者にとって作業が効率の良いものであるためには、一度定義した設計情報が同じ情報を必要とする他のツールに正しく伝えられ、重複定義や相互矛盾の発生が未然に防止されていなければならない。

SWEET II/WS では、各支援ツールを利用して定義された設計情報は下流工程に受け渡され、下流の支援ツールでは、これを参照して動作するよう設計されている。

例えば、プログラム設計支援ツールは、ファイル設計支援ツールで定義されたファイル設計情報から、入出力処理の生成を行う。また、帳票設計支援ツールで定義された帳票レイアウト情報から帳票処理ロジックを生成する。さらに、入力ファイルのファイル定義と帳票定義との間で、項目名や項目辞書の参照履歴を手がかりに入出力項目間の自動対応付けを行い、印刷行編集ロジックを自動生成している(図 3)。

(3) ツール間の制御連携

設計の流れに沿って作業を進めるために、簡便な操作で関連するツールが起動され、かつ該当する設計情報が読み込ま

(注 1) “Windows”は、米国 Microsoft 社の商標である。

れるといったツール間の制御連携が実現されている。

例えば、機能詳細化支援ツールとランチャートエディタとの間は、次のように連携される(図4)。

機能詳細化支援ツールにより、機能を段階的に分割していき、プログラムレベルまで詳細化する。これらのプログラムの中から、ランフローを構成するためのプログラムを選択する。次に機能詳細化支援ツールのコマンドにより、直接ランチャートエディタを起動する。このとき、ランチャートエディタには、機能詳細化支援ツールから必要な情報が伝わり、ランフローのひな型が生成されている。

以上 SWEETII/WS について、クライアント・サーバコンピュータを利用することのねらい、及びその環境でのツールの統合化の観点を中心に考え方及び例を示した。

統合化は必要なものではあるが、過度に統合化を進めるとすべてのツールを使うか、ツールが使えないかの二者択一になりがちである。SWEETII/WS では、例えば項目辞書を作らずに画面レイアウトから設計を始めるなど、システム開発プロジェクトに合わせて柔軟なツール適用の選択ができるように配慮されており、特長の一つとなっている。

3. クライアント・サーバシステム向け事務処理分野生産支援システム OPENBUILDER

クライアント・サーバ上の業務アプリケーションを考えた場合には、汎用機上での COBOL 言語を主体とした確立された生産形態に比べ、様々なバリエーションがある。この生産形態のバリエーションを広げている主な理由は以下のようなのものが考えられる。

- ① クライアント・サーバシステムを利用して実現する業務の全社レベルから部門、個人レベルへの広がり。
- ② 豊富な流通ソフトウェア製品を対象業務のアプリケーションに利用していただける可能性の多さ。
- ③ 従来 OA と呼ばれていた業務と基幹業務とを融合させ、より使いやすいシステムへの展開。

この章では、この前提を踏まえて、クライアント・サーバシステム上での生産支援システムの一つとなる OPENBUILDER の位置付け及びねらいについて述べる。

3.1 OPENBUILDERの位置付け

クライアント・サーバでの生産形態を大きく分けると図5に示すとおり三つとなる。この形態により、アプリケー

ションの生産方法及び対象開発者が変化してくる。

①は、従来 OA 業務と分類されてきた範囲に当たり、利用者が自分自身の業務に合わせて、表計算ソフトやカード型データベース、ワープロソフト等の利用を主体としている形態である。

②は、①に比べて開発の規模が拡大し、システム開発の

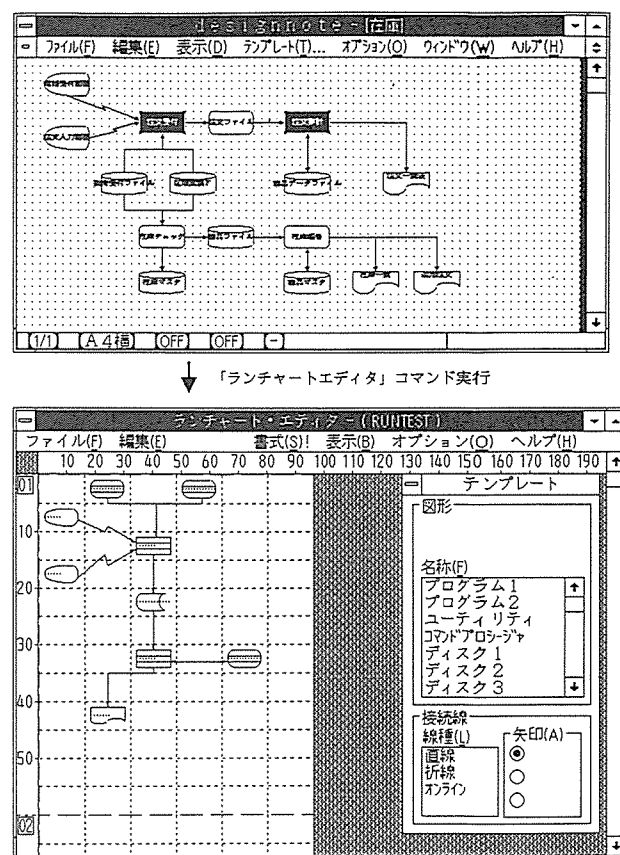


図4. 機能詳細化支援ツールとランチャートエディタの制御連携

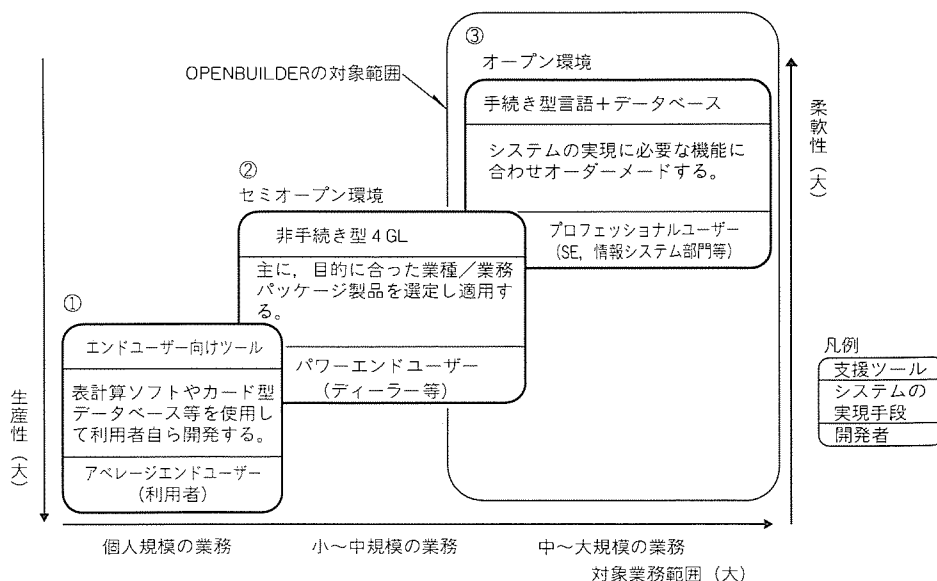


図5. OPENBUILDERの位置付け

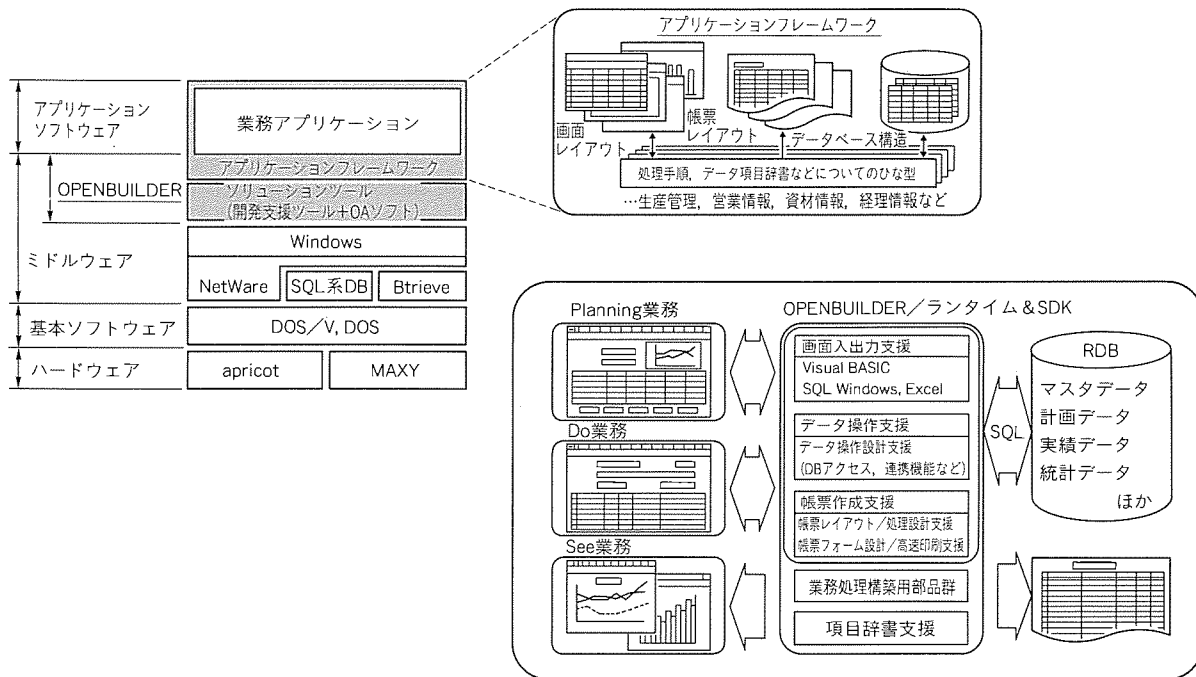


図6. OPENBUILDERの構成

色彩が強くなる。この場合、業務システムを効率良く実現するための利用者側の手段としては、目的に合った業種／業務パッケージを選定し、利用していくことが多くなってくる。したがって、業種／業務パッケージを提供する側は、このパッケージをより早く市場に投入するための生産効率が大きなポイントとなるであろう。

業務パッケージの開発も様々な方法が考えられるが、より効率良く開発する手段として、非手続き型4GLの利用が必要となる。非手続き型4GLでは、生産効率を高めるために画面・帳票・ファイルといった基本機能をすべて包含した支援環境を構成している。したがって、業務パッケージの実現機能が、選定した非手続き型4GLの実現範囲に限定されることや、他の製品に切り替える場合の資産の継承性など考慮すべき点も多い。

③は、ホストマシンとクライアント・サーバシステムを組み合わせた大規模なシステムを構成する範囲での適用が代表的である。ユーザーのニーズに合わせてオーダーメイド的に生産する形態である。ここでは、業務アプリケーションに対する実現機能の柔軟性が求められ、また、開発した資産の継承の保証をより求められるため、支援システムとしては、オープンな世界すなわちデファクトな環境の利用が必要となる。ただ、②の形態に対して生産性が落ちることは否めない。

実際のシステムでは、この三つの形態が組み合わされ、さらにバリエーションが増えることは言うまでもない。

OPENBUILDERは、(3)の形態での生産性向上を目指した製品である。

3.2 OPENBUILDERのねらい及び特長

OPENBUILDERは、3.1節で述べた形態でのアプリケーション構築を効率化するためのツール群（ソリューションツールという。）と、各種業務アプリケーションのひな型となるアプリケーションフレームワークを提供するものである。

OPENBUILDERのソリューションツール群は、NetWare^(注2) (OS)・SQL (データベース)・Windows (ユーザーインタフェース)といったオープンなプラットフォームをベースとしている。その上に、ツールとして、各種流通ソフトウェア及び当社製ソフトウェアを、業務アプリケーションとして実現したい機能や規模に合わせて選択し、組合せを可能とした開発環境を実現する。プロフェッショナルユーザー支援を中心とするが、表計算ソフトやワープロソフト等の利用も可能にした特長により、幅広いユーザー層の支援を可能としている(図6)。

ソリューションツール群の構成は図6のようにになる。言語系はVisual Basic^(注3)等のWindows対応言語及びデータベースアクセスのためのSQL言語を選定し、GUIを利用したユーザーインタフェースの良さ、RDB (リレーショナルデータベース)によるデータの操作性の良さを十分に生かせるものとしている。

OPENBUILDERには様々な特長があるが、主なポイントを以下に述べる。

(1) 項目辞書を中心とした統合化

事務処理分野のシステムである以上、その業務構築のプラットフォームが変化しても、データを中心に業務システムを設計・製造していくことに変わりはなく、データ設計の重要

(注2) “NetWare”は、米国Novell社の登録商標である。

(注3) “Visual Basic”は、米国Microsoft社の登録商標である。

性は言うまでもない。したがって、先に述べた SWEET II/WS で目指している項目辞書を中心とした統合化の考え方及び支援ツールを取り込み、OPENBUILDER 側のソリューションツール群と連携を取り、同様の効果を実現している。

例えば、RDB のテーブル定義を項目辞書からの引用で作成することにより、テーブル間のリレーションがその時点で決定され、以降のデータ操作のためのテーブルやビューの設定を容易にできることなどが、OPENBUILDER 側の特長である。

(2) 連携機能によるアプリケーションの構築

表計算ソフトやワープロソフト等、従来個人 OA 業務を主体とした使われ方をしていたものを、それぞれの特長を保持しつつ、基幹業務へも適用可能としている。そのために、各ソフトを連携させて動作させ、あたかも一つのアプリケーションと見せるための連携機能を提供している。

例えば、フロントエンドに配置する表計算ソフトと RDB の間に連携機能を挿入し、データベースアクセスを抽象化して論理的なデータをフロントエンド側で与える構成が可能となる。この機能はアプリケーション作成の様々な局面で活用される。基幹業務のためのデータエントリ業務が、報告書や計画書といったドキュメントからのデータの抽出等が可能となるため、OA 業務と基幹業務の連携による業務形態の効率化をも実現可能としている(図 7)。

(3) アプリケーションフレームワークの提供

言語系の支援ツールでは入力フィールドや実行ボタンといったプリミティブな要素のみがオブジェクトとして用意されている。

アプリケーションフレームワークでは、生産性を更に向上させるため、業務を実現する観点でとらえた個々の要素を、マクロなオブジェクトとして提供する。さらに、この業務要素オブジェクト群を組み合わせ、業務のひな型として動作できる形での提供も併せて行う。

これによってすべての業務アプリケーションを新規に作成するフルオーダーメイド的な開発ばかりでなく、アプリケーションフレームワークを使用したイージーオーダーメイド的な開発を可能としている。この場合、ソリューションツール群は強力なカスタマイズツールとして位置付けられる。

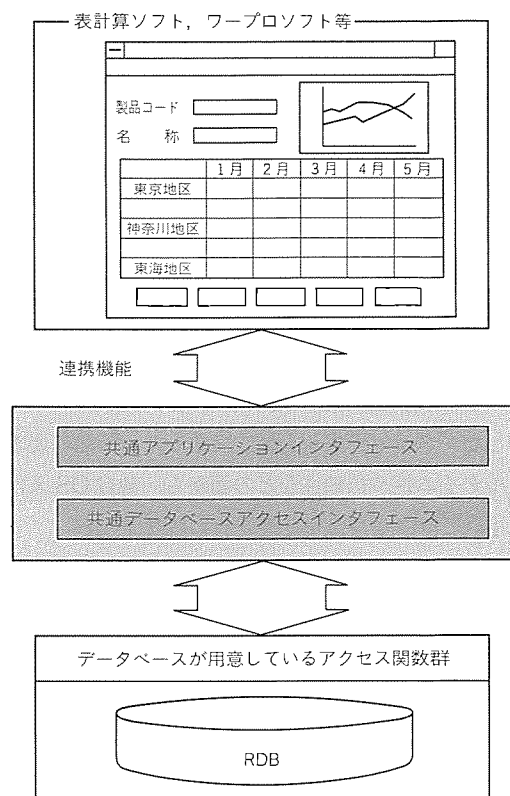


図 7. OPENBUILDERの連携機能

4. む す び

以上述べたように SWEET II/WS ではクライアント・サーバコンピュータをプラットフォームに利用し、統合化したツール環境の構築を進めてきた。この結果、汎用計算機事務処理分野向けのアプリケーション開発支援環境としての統合化は完成の域に達し、広く活用されている。

また、OPENBUILDER については本稿に示した考え方に基づいて一部製品提供を開始しており、今後更に拡張していく計画である。

参 考 文 献

- (1) 逢坂 仁, 稲生紀和: 部品化による生産性向上を目的とした高生産性言語 AII, 三菱電機技報, 64, No. 4, 341~344 (1990)
- (2) 逢坂 仁, 飛山哲幸, 稲生紀和: 分散化を指向したアプリケーション開発支援システム SWEET II, 三菱電機技報, 65, No. 5, 493~497 (1991)

藤岡 卓* 森岡雄二**
藤本卓也*
加賀卦寛**

従来のツールの問題点である、ユーザーインタフェースが不統一である、ツール間でのデータの受渡しが直接できないといったことを解決するために、各種ツールやUNIX^(注1)コマンドを作業の流れに従って組合せ、統一された分かりやすいユーザーインタフェースで使える統合環境を構築する。

2. システム構成

2.1 ハードウェア構成

このシステムのハードウェア構成を図1に示す。ネットワーク上に各種サーバと個人用WS(EWS, パソコン(PC), 又はX端末)が分散したクライアント・サーバ型のハードウェア構成である。社内関連工場/研究所のみならず、遠隔地の協力会社との間もネットワークで接続している。

2.2 ソフトウェア構成

このシステムのソフトウェア構成を図2に示す。

(注1) “UNIX”は、UNIX System Laboratories, Inc.が開発し、ライセンスしているオペレーティングシステムである。

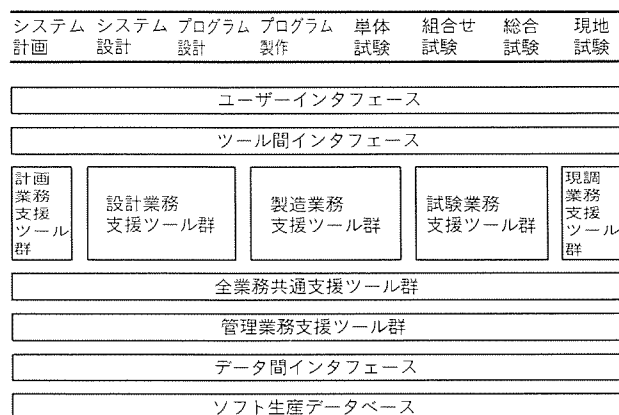


図2. ソフトウェア構成

(1) ユーザーインタフェース

メニューの位置や用語等を統一し、統一されたオンラインヘルプ機能を備えた分かりやすいユーザーインタフェースを提供する。

ここでは、EWSを中心にした環境を構築しているが、PCについても活用を図っている。

(2) ツール間インタフェース

ツールとツールの通信、起動制御といったツール間インタフェースを実現する。

(3) ツール群

このシステムで支援する特長的な機能について、次章以降で述べる。

(4) データ間インタフェース

異機種又は異なるツールの扱うデータを一元管理し、相互に利用するための共通データ形式を設定する。個々のツールはこの共通データ形式とのインタフェースを用意する。

(5) データベース

製作途中で頻繁にアクセスする生産物はクライアントWSに、いったん、版の確定したものはプロジェクトファイルサーバに、部門内で再利用できる部品は部門内サーバに、最終成果物は大規模保管庫に、という階層化を行う。最終成果物の保管庫以外は特別なデータベースは使用せず、後述の版管理ツールを利用して生産物の管理を行う。

2.3 改善のポイント

従来の作業における問題点を、統合化システムによってどのように改善するかを表1に示す。

3. 計画・設計業務支援サブシステム

計画・設計段階では、顧客と生産者間、及び生産者同志の

表1. 統合化ソフト生産システムのねらい

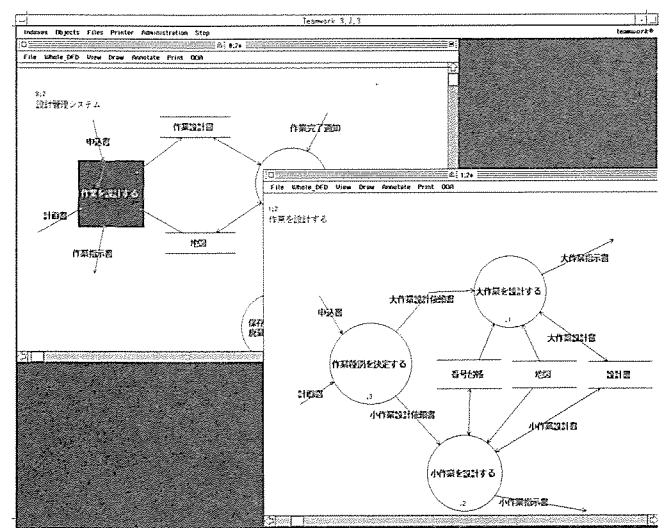
	従来の作業	問題点	改善策	効果
上 流	文章による打合せ	● 抜け、矛盾、あいまいさ ● イメージつかみ難い	図面による打合せ ● GUI構築ツール ● SA/SDツール	● 抜け矛盾防止 ● 仕様確認容易 ● 下流へのつながり実現
	出張による打合せ	● 人が移動 ● 移動時間中にも変化が発生 ● 人が運搬役	ネットワークを使った共同作業 ● レビュー支援ツール ● 生産物管理支援ツール ● 画面共有ツール ● 電子メール	● 旅費/時間削減 ● 即時性 ● 情報の集中管理
	設計、製造、試験ごとに孤立した環境	● 作業のつながりが無い ● 学習時間がかかる ● 情報を個人が保管	机上EWSで設計から試験まで ● EWS上でのシミュレーション ● EWS上での文書作成 ● 版管理ツール	● 作業のつながり実現 ● 学習容易 ● 再利用促進 ● 抜け矛盾防止
下 流	実機による集中生産	● マシン待ち ● 環境作成難 ● 処理速度が遅い ● ツールがない	分散システム構成 分散生産環境 ● UNIX EWS等標準の採用 ● 市販ツール等の利用	● 並行生産可 ● 環境作成容易 ● 処理速度が速い ● 一流ツールが豊富
	自己申告、紙による報告	● 個人差 ● 定性的 ● 加工不可	管理データの収集・ビジュアル化 ● カバレッジ測定ツール等 ● 管理ツールの統合化	● 信頼性が高い ● 定量的管理可 ● 加工自由

コミュニケーションが極めて重要である。このシステムでは、主にドキュメントによるコミュニケーションを支援する。

3.1 機能の分析・設計

機能の分析・設計作業には構造化分析/設計 (SA/SD) 手法を用いる。これによって、従来自然言語で記述していたために記述の抜けや矛盾が後工程になるまで発見できなかったものが早期にチェックできるばかりでなく、統一された記法で書かれた仕様をレビューすることによって、メンバー間での理解レベルを合わせることができる。

顧客との打合せを行うシステムエンジニアと工場のソフトウェア設計者とは、構造化分析/設計手法で作成した図面を



注 “Teamwork”は、Cadre Technologies, Inc. の登録商標である。

図3. 構造化分析・設計の記述例

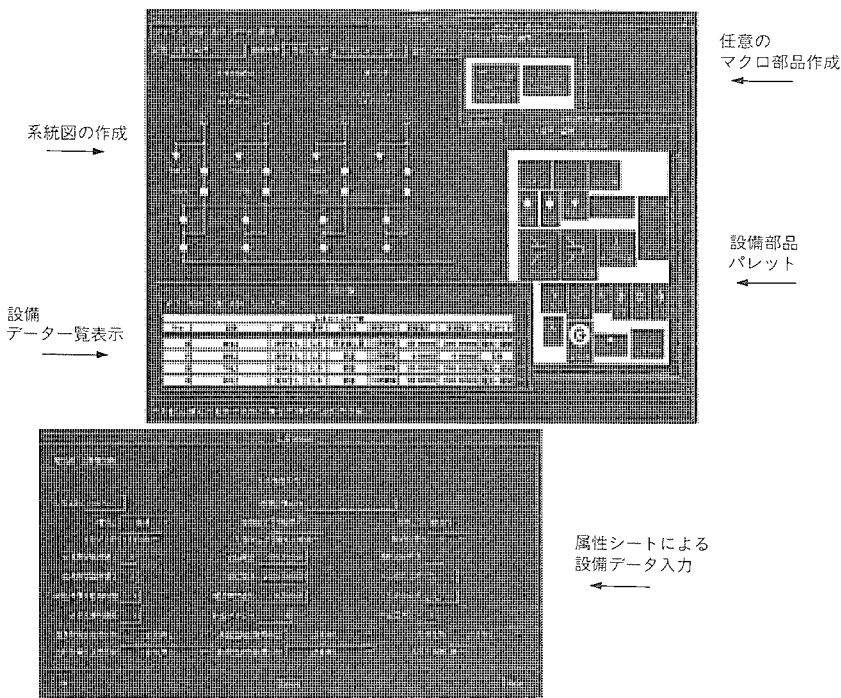


図4. GUI構築ツールによる画面設計

用い、ネットワークを介して協同作業を進めることができる。上記実施例を図3に示す。

3.2 画面の設計(プロトタイピング)

EWSを監視・制御卓などのCRTとして使用する方向にあり、従来以上にメニューやボタンなどのGUIを多用するようになってきている。CRT画面はユーザーと直接接する部分であるため、早期に綿密な打合せが必要である。

CRT画面データはGUI構築ツールを利用して作成し、これを印刷して顧客との仕様打合せを行う。打合せの席で、実際のEWSの画面を見ながらその場でユーザーの望む画面に変更していくことによって、ユーザーニーズをより的確に反映することができる。

画面に表示される各種制御対象設備の形状や色などは、計算機システム内部のデータと密接な関係をもっている。このシステムの提供するGUI構築ツールはGhostHouse⁽²⁾を用いて実現したもので、画面を構成する図形を設備部品として定義することにより、画面上での追加・削除とデータベース上のデータの追加・削除とを連動させて常に整合がとれるようにするものである(図4)。

3.3 仕様書の作成

こうして作成された機能関連図やCRT画面などの各種図面を含むドキュメントは、データ変換ツールを介してEWS上の文書処理ツールに取り込み、最終的なドキュメントとしてまとめあげる(図5)。従来、手書き又はPC上の文書処理ツールで作成され、紙又は個人ベースで保管されていたものを、プロジェクトとして統一した環境で作成、保管することによって後述のレビューや版管理が可能になり、進ちょく(捗)が把握でき、再利用も促進される。

3.4 仕様のレビュー(リモート協同作業)

遠隔地に分散した生産環境では、ネットワークを利用したリモート協同作業の支援が必要になる。リモート協同作業には、同時に同じ画面を見ながら打合せをするといった同期型の作業と、送られてきた仕様書にコメントをつけて送り返すといった非同期型の作業とがある。

このシステムでは、画面共有ツールを利用して、遠隔地の協力会社や顧客との打合せを行う。

また、従来、紙ベースで行われてきたレビューシートのやりとりを電子メールの機能を利用して行うレビュー支援ツール(図6)を提供する。レビューシートをEWS上に電子化することでネットワークを通じて迅速に配布でき、

統一的に管理でき、指摘項目の一覧や未解決件数などを機械的にチェックしてビジュアル化することも可能となる。

4. 製造・試験業務支援サブシステム

製造・試験段階では、より多くのツールが繰り返し使用さ

れる。ツールのユーザーインターフェースを統一し、ソフト生産の流れの中で相互に連携して動作することによってソフト生産者を正しい方向に導き、本来の知的作業に集中できるようにする枠組みに、分野特有のツールや市販ツールなどの中から有効なツールを組み込んで統合環境を構築している。

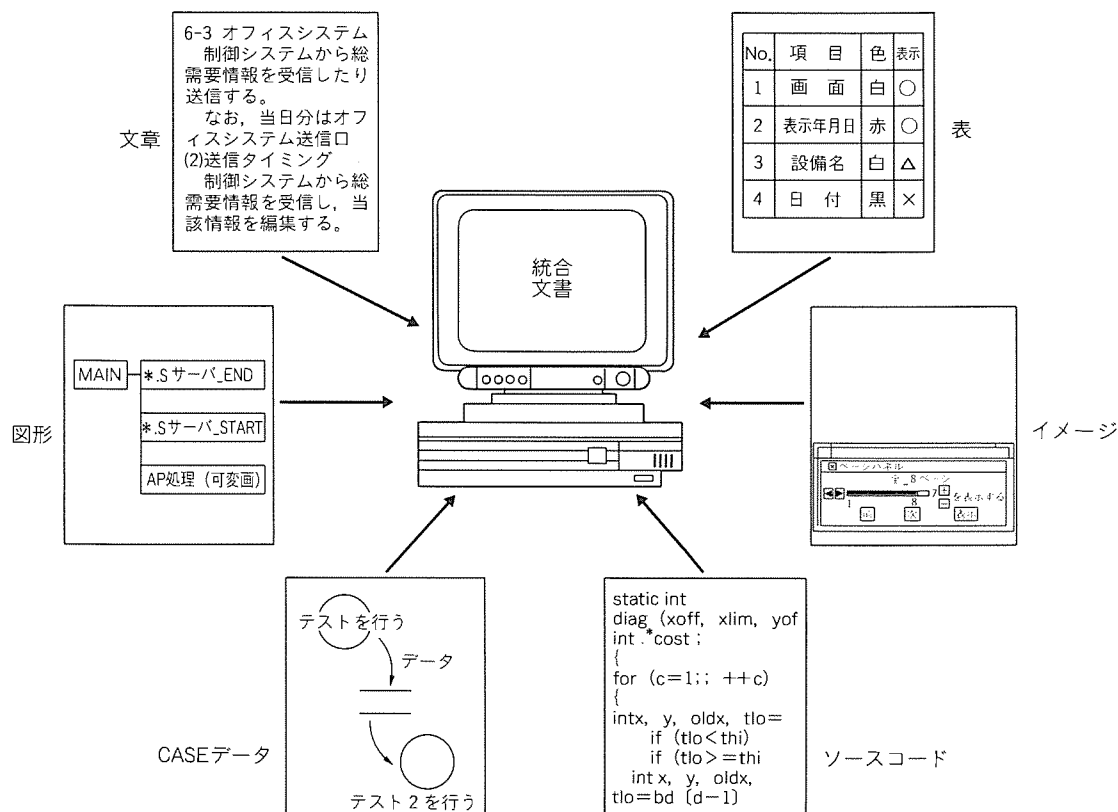


図 5. 文書の統合編集概念

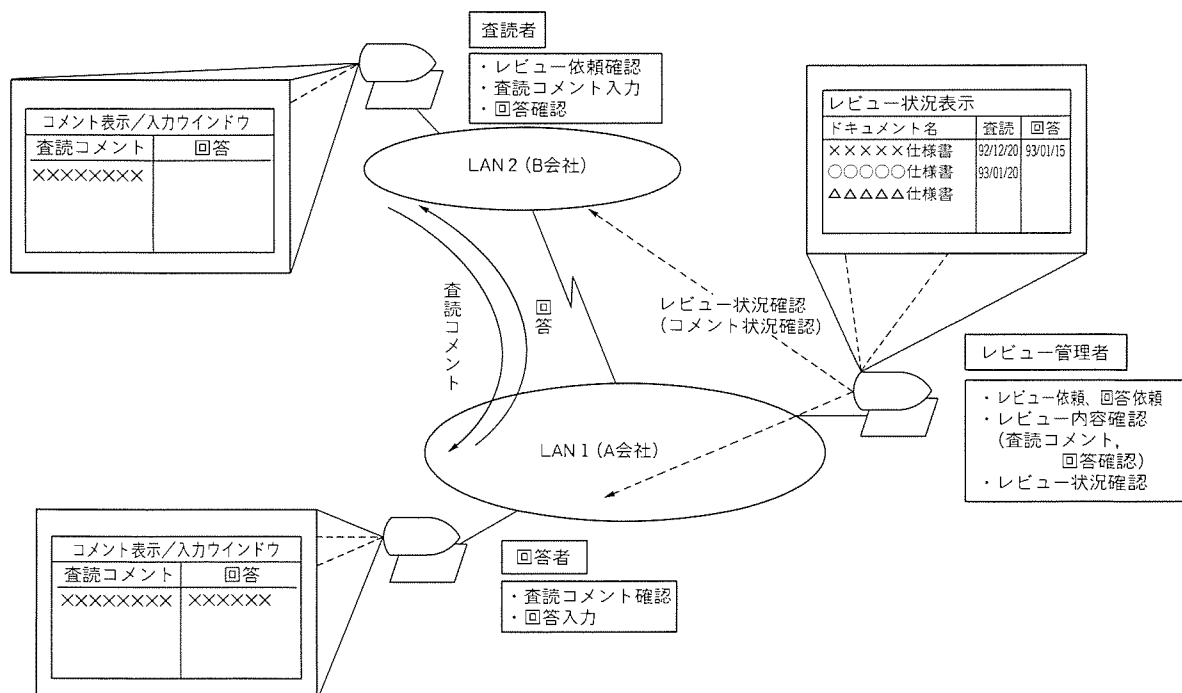


図 6. レビュー支援の概念

4.1 性能評価モデルによる設計の確認

制御システムの設計ではシステムの性能を予測し、その予測値が与えられた仕様を満足するかどうかを確認する作業が不可欠である。分散制御システムは構造が複雑であるので、直感や経験だけでは予測が難しい。また、制御システムでは緊急時の高い負荷状態における過渡的なシステム性能が着目される。このため、分散制御システムの性能予測にはシステム全体をシミュレーションする手法が最適である。

MELSPEC⁽³⁾ (MELCO System Performance Certifier) はシミュレーションによる分散制御システムの性能評価を、高精度にしかも効率的に行うために開発されたツール

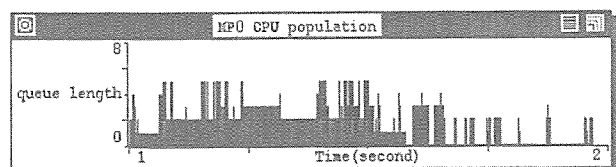


図7. 詳細なシミュレーションによってCPU待ちプロセス数の時間変化を求めた例

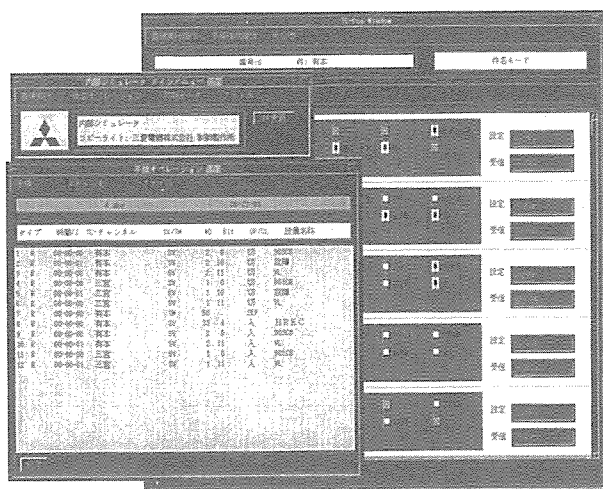


図8. 試験用シミュレータ

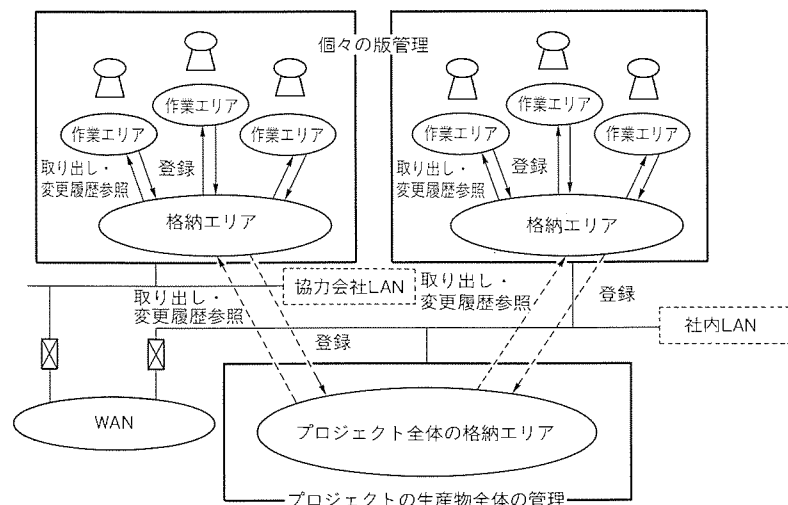


図9. 版管理の概念

である(図7)。このツールではグラフィックスを活用したシミュレーション用ソフトウェアを採用している。さらに、UNIX、イーサネット等の代表的なオープンシステムに関する詳細なモデルを用意しており、これらを組み合わせることにより、シミュレーションのための計算機システムのモデル化が行える。

4.2 適切な試験の実施

カバレッジ測定ツールはソフトウェアの単体試験から初期の組合せ試験の段階で、プログラムのどの部分を何回実行したか、分岐のどちら側を実行したかを定量的に測定することによって、試験の抜けや冗長な試験を未然に防いで品質向上を図る。また、この結果はプロジェクト管理用データとしても用いる。

このシステムでは、カバレッジ測定のための準備作業を構成管理ツールと連携させて自動化する仕掛けを用意して、ソフト生産者が本来の試験作業に専念できるようにしている。また、抜けのない試験を行うためには通常起こり得ないようなエラー条件を設定する必要があるが、デバッグと連携させて効率良く試験を行えるようにしている。

次に、組合せ試験の段階において分散環境の利点を最大限に生かすためには、実機と同じ構成のEWS又は周辺装置をそろえなくても試験が行えるようにする必要がある。このシステムでは、図8に示すような試験用シミュレータをソフトウェアで構成して、制御対象から入ってくる信号や、EWSからの制御要求に対する制御対象の反応等を模擬することによって、分散したEWS上のそれぞれの機能の試験が複数のEWS上で並行してできるような環境を構築している。

4.3 生産物の分散生産・集中管理

生産するソフトウェアが大規模になり、遠隔地に分散した複数の協力会社で作成されるようになると、生産物の版管理の機能、それもネットワークに対応した版管理機能が必須になる(図9)。

このシステムで提供する版管理機能は、任意の版の取り出しや変更情報の表示などの基本機能に加えて、個々のファイルごとだけでなくファイル群をまとめて管理できる機能や、異なる製品向けに複数の版を管理する機能、変更情報をメールで伝達する機能など大規模分散生産に適した特長を持っている。

4.4 再利用

ソフトウェアの品質を保ちながら生産量の増大に対処するためには、ソフトウェアの生産性を向上させることのほかに、ソフトウェアの再利用を進めることが重要である。

このシステムの再利用に対するアプローチには二通りの方法がある。一つは、完成した生産物(製品ソフト)を登録して、次の類似の

製品を作成するときに利用するというもの、もう一つは、ある限られた人がその分野で広く再利用できるように部品を開発して配布するという方法である(図10)。

前者は他人の作成したものを探して利用するというのではなく、内容を理解した人がホワイトボックス部品(ソース)として利用するものである。この場合、相互参照、プログラム図生成などのリバースエンジニアリングツールを利用する。対象分野を絞り込むことによって、部品ブラウザから必要な部品を選択し、パラメータを与えることで、プログラムの骨格を部品合成によって実現することも可能になる。

後者は作成者以外はブラックボックス部品(ライブラリ)として利用し、部品の変更・改版は作成者のみが行う形態をとることで、大勢で分散して生産することによる類似プログラムの重複防止と、コーディングの標準化(自由度を減らすことで品質ばらつきを抑える。)の効果がある。このシステムが利用する部品庫——モジュール再利用支援ツール WORKS——には、現在約10,000件の部品が登録され、年間述べ8,000回の利用実績がある。

いずれの場合もオブジェクト指向の考え方を取り入れて再利用を意識した部品作りを行い、部品にはオンラインマニュアルを整備している。

5. む す び

本稿では、制御分野の中でも実機としてEWSを使用する分野を支援する統合化生産システムの特長的機能、すなわち、分散された生産拠点を結んだりモット協同作業の支援機能、ドキュメント作成の電子化、フレームワークソフトウェアによるツールの統合化及びソフトウェア再利用機能などについて述べた。

ここで紹介したシステムを実効のあるシステムにするためには、ツールの開発以上に教育・普及活動が極めて重要である。さらに、ソフトウェアの生産性・品質を向上させるため

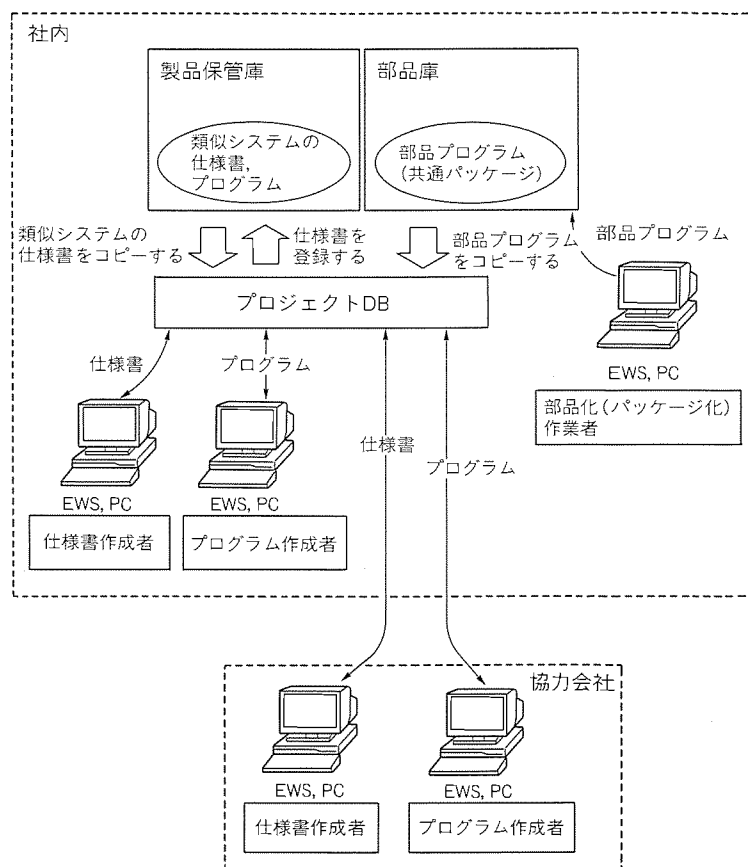


図10. 再利用の概念

に、この統合化システム上での経験を積んで、部品や生産プロセスそのものの財産を増やしていくことが必要である。

参 考 文 献

- (1) Frakes, W. B., Fox, C. J., Nejme, B. A. (藤井直人監訳, 小川晃夫訳): UNIX/C ソフトウェアエンジニアリング (原書名: Software Engineering in the UNIX/C Environment), トッパン (1991)
- (2) 中田秀男, 北村操代, 小島泰三, 杉本 明: オブジェクト指向ライブラリ GhostHouse による UI システム構築, 三菱電機技報, 67, No. 9, 837~841 (1993)
- (3) 堀池 聡, 岡崎佳尚, 添田春人: 分散型計算機システムのモデル化とシミュレーション, 電気学会電子情報システム部門大会, 97~102 (1992)

組込み分野向け統合化ソフトウェア 生産システム

鈴木文雄* 岩崎祥浩*
近藤耕一*
青木理香*

1. ま え が き

マイクロコンピュータの高性能化／高機能化／低価格化が進むことでこれらを使用したマイコン組込みシステムが普及／拡大するとともに、システムの機能／性能も向上してきている。したがって、ソフトウェアも大規模化・複雑化の一途をたどり、システム開発におけるソフトウェアの比重は年々増加し、ソフトウェアの品質向上の要求も高まってきている。

このような大規模化・複雑化したソフトウェア開発では、開発方法論に基づいた生産／管理体制を確立しソフトウェアの品質確保、開発効率向上を図り、またその生産／管理体制を支援する開発環境の構築が必ず（須）である。

マイコン組込みソフトウェア開発においてソフトウェア生産性向上を図るため、中長期的視野に立った統合化ソフトウェア生産システムの構築を進めている。

本稿は、このような製品分野に適用する組込みソフトウェアの生産システムに関して、次の三つの観点からとらえた技術成果を記述する。

- (a) ソフトウェア生産の作業手順・生産管理手順
- (b) 生産方式の革新
- (c) 統合化組込みソフトウェア検証システム

2. 組込み分野向け統合化ソフトウェア 生産システムの概要

組込みソフトウェアは、製品内部に組み込まれ製品のハードウェアと一体となって動作し、ユーザーはその存在を認識できないことが特徴である。そこで製品開発に当たっては、機器の機能・性能をハードウェアとソフトウェアとでどのように要素配分し、これを実現するかといったトレードオフ技術や、その後の作業工程においても図1に示すようにソフトウェアとハードウェアの開発作業が並行して行われるため、最初は両者が異なった開発環境で単体作業を実施し、各々完成した時期に組み合わせて実動作環境で作業を行うといった手法が求められる。また、ソフトウェアの性能としては、ハードウェアと一体となって動作するために同期／競合回避などの協調動作が重要で、リアルタイム性が要求される。

組込み分野向け統合化ソフトウェア生産システムは、上記課題への対策として、

- (1) 設計手法の改善による効率化、品質確保

- (2) 環境の整備による作業の効率化

- (3) 標準化の推進による品質の向上

を目標に作業標準・手法／技法・ツールを3本柱として構築している。このシステムの概要を図2に示す。

3. 組込みソフトウェア生産の

作業・生産管理手順 MESSENGER

作業・生産管理手順 MESSENGER (Mitsubishi Electric Standard of Software Engineering for Embedded System Realization) は、組込み分野向け統合化ソフトウェア生産システムの一貫として、ソフトウェアの生産現場における品質・生産性向上施策の基本的な考え方とこれに基づいたソフトウェア生産の作業手順及び生産管理手順を定めたもので、“ソフトウェア開発の全ライフサイクルを一貫して

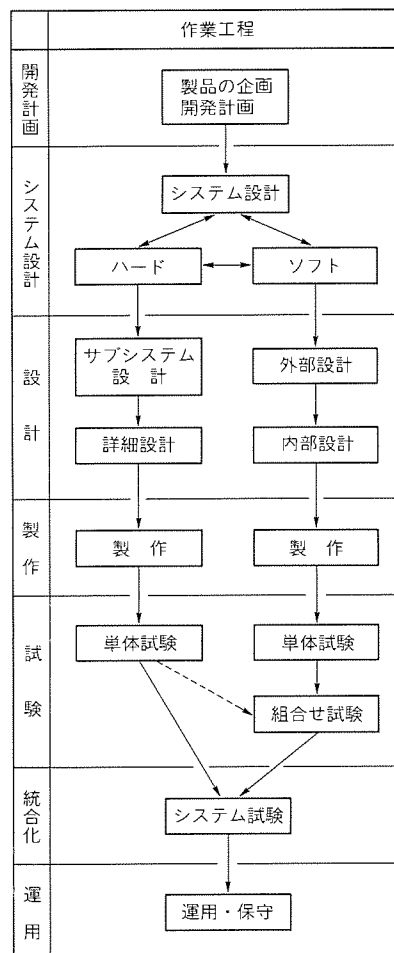


図1. 組込みソフトウェア製品作業工程

支援するツールの導入や人間の思考が中心である分析・設計段階においてそれぞれに適切な手法・技法を整備することで品質を確保するとともに生産性を高める。”を基本方針としている。

したがって、MESSENGER の策定に当たっては現状の組込みソフトウェアの開発作業を分析し、幾つかの工程に分類した上で、各工程の作業と統合化ソフトウェア生産システムを考慮した手法・技法を選定し作業標準としている。

ここではこれらの手法・技法を用いた製品開発の実例をもとに、その導入と効果を説明する。

4. 設計技法の適用評価

4.1 SA/SD技法の適用

構造化分析/設計 (SA/SD) 技法を気象観測機器・交換機・列車無線システムなどの組込みソフトウェア分野に広く適用してきている。図3は列車無線システムのコンテキストダイアグラム例を示す。これらの適用での評価として、以下のような効果が認められている。

- レビューの容易化による設計の完成度と信頼性の向上
- 手戻りの減少による開発工期の短縮
- 共通のコミュニケーション手段による保守の効率化
- 仕様記述法の標準化による設計仕様の再利用推進

また、SA/SD技法の適用の仕方について、

- SA技法である程度分析が進んだ段階でハードウェアの制限や前提条件をもとに実現方法を考慮し(きょう

(匡) 体分割・CPU 分割・タスク分割レベルで)、分析結果を修正して更に分析を行う。

- M-SPEC の内容の記述はソースコードのコメントになるような形式とするとともに、M-SPEC ファイルにソースコードを追加する形でコーディングを行う。

などの工夫がSA/SD技法の効果的使用に役立つ。

4.2 オブジェクト指向設計技法の組込みソフトへの適用

オブジェクト指向設計技法が目されるのは、その“生産性”“再利用性”“保守性”“信頼性”などに多くの期待が寄せられるからである。

4.2.1 設計技法導入のステップ

オブジェクト指向設計技法の導入に当たり、次の三つのステップ

- (1) 調査・評価
- (2) 実システムへの適用評価
- (3) 開発環境の整備

を実施し、OMT⁽¹⁾ (Object Modeling Technique) 法を採用することとした。OMT法は、システムの分析フェーズに関し、図表やモデルが詳細に決まっており、機能記述と作業プロセスの記述に優れている。

上記(2)の実システムへの適用評価は、レーダを用いた“気象観測装置の動作監視システム”を対象に実施した。この試行対象システムは顧客別にマイナーな改修を行うもので、オブジェクト指向の特長を生かせること、また試行・評価の観点から規模がある程度あり、リアルタイム性や機能の複雑度

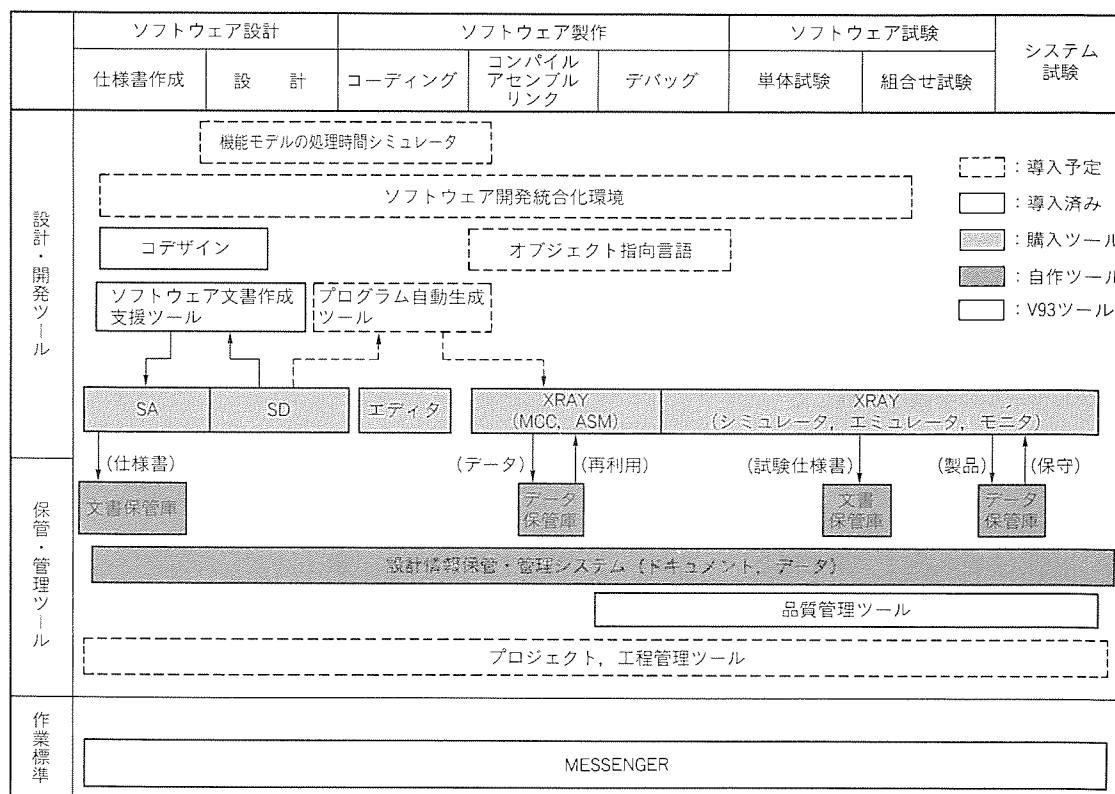


図2. 組込みソフト分野における統合化ソフトウェア生産システムの構築

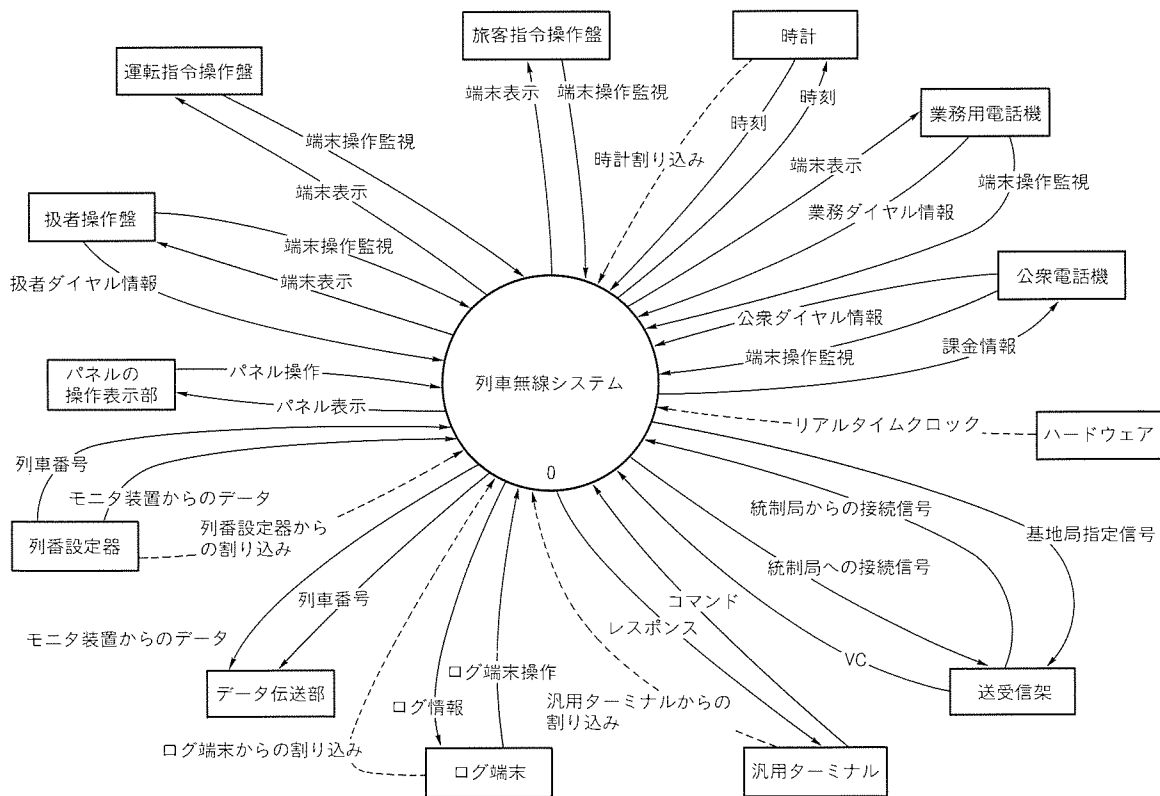


図 3. “列車無線システム”コンテキストダイアグラム例

が中程度のものとして選定した。OMTの記法による上記監視システムの例を図4に示す。

これまでの設計技法，仕様化技法，プログラミング技法，言語，開発環境などの側面から評価を行った。その結果，生産性・再利用性などの効果を確認することができた。

(3)の開発環境の整備としては、OMT法の(a)分析、(b)システム設計、(c)オブジェクト設計、(d)ソフトウェア製作(インプリメント)の四つの各フェーズにおける技法の活用、作業項目、効果を見極め、再利用促進、品質向上の観点からツールの整備を計画している。

4.2.2 再利用化への対処

このようにして作成された各々のオブジェクトを再利用するための仕掛け作りが必要である。当社で開発した“C++クラスブラウザC-Objet”⁽²⁾は、オブジェクト指向言語の特徴であるクラス情報を対話的かつ視覚的に表示するツールである。これによってクラスを階層的にツリー化し、ツリーからメンバ情報、ソースコードを参照して正しい利用方法を知ることができる。

4.3 コデザイン(Co-Design)新設計技法

1992年11月，米国デンバー市の郊外で“Co-Design”⁽³⁾

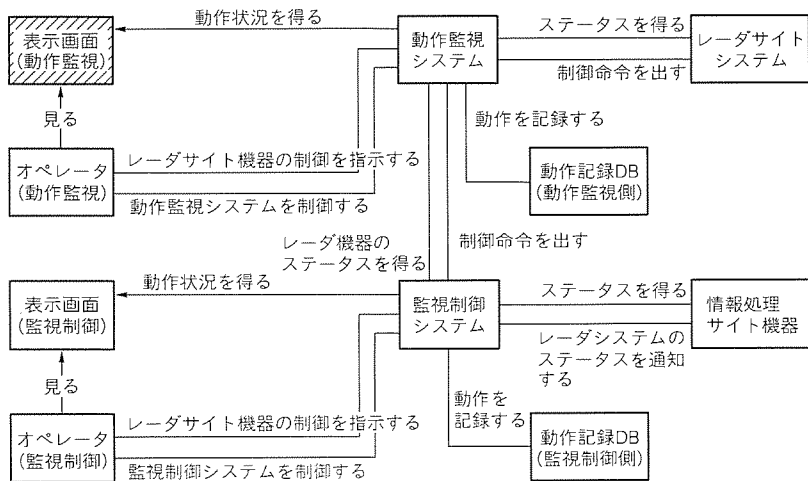


図4. 動作監視システム

Workshop が開催されたが、当社では数年前から組込みソフトウェア分野の機器設計にコデザイン技法を適用・試行してきた。

4.3.1 概 念

コデザインとは、製品のターゲットを具体的に実現するためにソフトウェアとハードウェアの並列設計を行い、モデリングとシミュレーション技術を駆使して機能・性能の割り付け（トレードオフ）を繰り返し行い、最も効率の良いシステムを迅速に設計することである。

4.3.2 目的・意義・効果

コデザイン技法を以下の点に注目して適用してきた。

(1) 対象システム機能をモデリング／シミュレーションしていくことにより、方式とアイデアをトレードオフしながら最適値に到達していく工程を短期化できる。

失敗を恐れず大胆な発想を具現化することが可能になり、創造的設計基盤が確立される。

(2) トータルシミュレーションの結果を評価の道具として複数のサブシステムの設計を同時に進めることができる。これによって設計の分担作業が可能になる。

(3) 実際に物を作らないで評価を行うことができる。これによって開発期間の大幅短縮が可能になる。

4.3.3 設計方法

図5で、ソフトウェアとハードウェアのトータルシミュレーションによる設計の適用概念を説明する。

適用に当たっては、まずソフトウェアとハードウェアを統合した機能モデルを作り、システムシミュレーション(A)によって上流設計を行う。次にシステムの定数(スループットなど)を局在モデルで確かめ、サブシステムシミュレーション(B)、(C)により、この局在モデルからシステムのソフトウェア、ハードウェアの各々の初期プロトタイプを作りあげる。

そして、これらを組み合わせ、ソフトウェアとハードウェアのトレードオフを行いながら並行してソフトウェア部分、ハードウェア部分を作りながら全体を仕上げていく。システムシミュレーション／サブシステムシミュレーションともコンピュータによる高速処理と、目標結果を直感的に分からせるビジュアル表示を行うことによって思考判断を補助する。最近のエンジニアリングワークステーション(EWS)の高速化や、新しいシミュレーション方式の開発がこれを可能とした。また、ツール相互間の情報交換手段が国際標準・業界標準化してきたことも大きな助けとなっている。

4.3.4 適用事例

TV会議システムの画像処理LSIのハードウェアとソフトウェア設計に適用した事例を図6に示す。ハードウェア記述をソフトウェア記述に置き換え、システム全体でシミュレーションを行う。結果は模擬計測、模擬回路図、模擬トポロジーなどによって表示を直視することにより、システムレベルでの高速なカット&トライを行う。これにより、アルゴリズムの正しさや回路の正しさを確認・判断する。システム的に実証されたモジュールモデルはソフトウェアにするかハードウェアにするかをトレードオフする。トレードオフされた

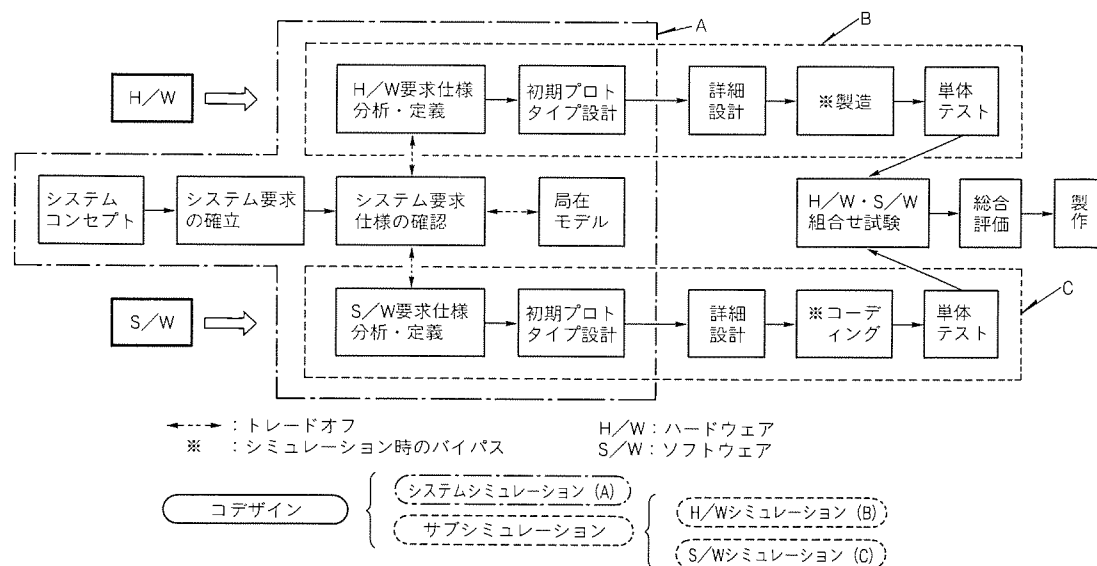


図5. コデザインの適用概念

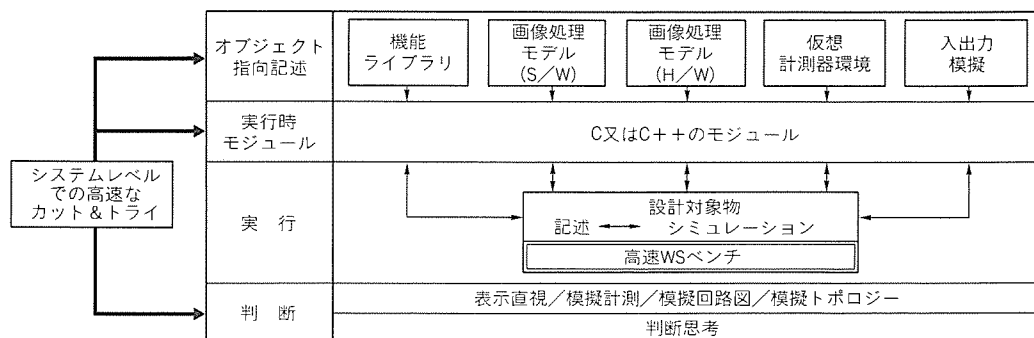


図6. 画像処理のコデザイン技法適用例

ものは各々の専用ツールで LSI 化又はマイコンソフトのオブジェクト化を行う。

この適用事例では次のような効果が確認された。

- (1) 実画像データを入力し、シミュレーションを実行して画像処理アルゴリズムの正しさを確認できる。
- (2) 処理結果をダイレクトビジュアル化することによって画質の状態を LSI を作る前に事前確認できる。
- (3) 機能の一部を初期の予想と違ってソフトウェア処理した方がよいとの判断ができる。
- (4) 信号処理の最適方式、演算精度を選択・決定できる。
- (5) デバイスに関する知識の少ないシステム設計者でも LSI 設計がシミュレータの助けを借りて可能になる。
- (6) 上流設計に比重をおいた開発が可能となり、トータル設計期間が大幅に短縮できる(表1参照)。

5. 統合化組込みソフトウェア検証システム

組込みソフトウェアは、ハードウェア本体なしでの開発や大規模化してきたソフトウェアの機能・性能の確認の困難さ、実機非稼働時のデバッグの操作性の悪さなどに直面している。

これらの環境を改善するために以下に述

べる統合化組込みソフトウェア検証システムを開発した(図7)。現在、電子交換機及びデジタル携帯電話機の組込みソフトウェアに適用中であるが、テストシナリオによる自動化により、試験時間を1/3にすることを見込んでいる。

5.1 テストのシナリオ設計

ソフトウェアの規模の増大、被試験体の組合せの大きさ、処理速度の高速化などにより、テストのための開発環境の整備は大変である。このため、開発要員計画、体制の確立、検証項目、確認方法、確認の順番などを体系的にシナリオ化して、できるだけソフトウェアの自動化検証を計画する必要がある。このための手順と実行後の期待値を設計することを、シナリオ設計するという。

テストデータは入出力用 ICE (In Circuit Emulator) 経由で標準 CPU ボード経由エミュレーションボードに値がセットされる。エミュレーションボードは被試験ソフトウェアを実行し、その結果を入出力用 ICE 経由 EWS に送る。EWS

表1. 画像処理システム (LSI) への適用事例結果

	仕様設計	アーキテクチャ設計	ファンクション設計	デバイスディペンデント設計	設計期間
従来	10%	10%	30%	50%	6か月
新手法指向	40%	40%	20%	0% (自動)	上記の1/2以下

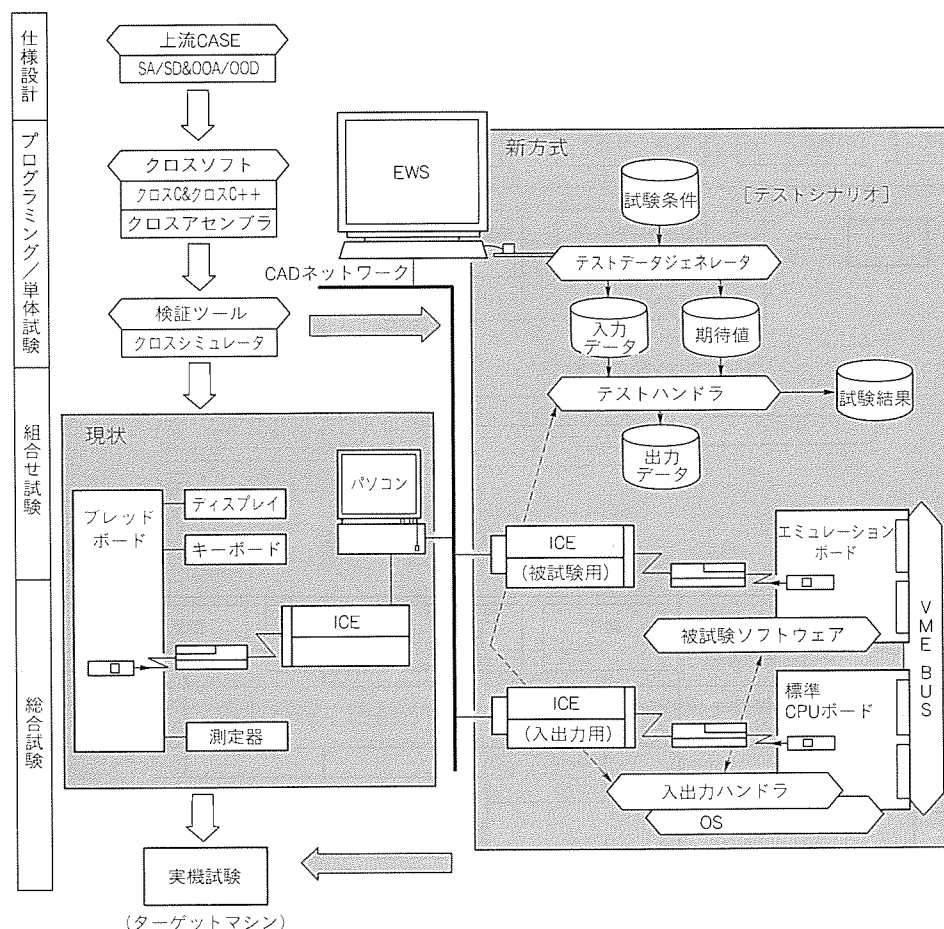


図7. 統合化組込みソフトウェア検証システム

は期待値と合わせその結果を試験結果としてファイルする。この体系をシナリオによって実行し、全システムを検証していく。これによって多くの試験の繰り返しや手順の再利用化などが可能となり、試験の自動化の比率を高め試験結果の評価やシナリオの改良などに多くの時間を当てることができる。

5.2 操作性・作業性の改善・向上

EWS上の操作性・作業性は、これまでのパソコンや専用ICEとは比較にならないほど改善され、標準化されたマシンインタフェースによる対話と豊富なツールによって作業の改善・向上が図られる。また、テストのリモート共同作業により、離れた場所との協調が可能である。

5.3 ハードウェアなしの検証環境の確立

この検証システムは組込みソフトウェアの性格上、ソフトウェアのリアルタイム性、要員・実機の数、CPUとのインタフェース整合、設備費用などから現在有力な手段・構成といえる。この方式では、EWSを中心として入出力ICEと被試験用ICEとを系統的に結びつけてテストを実施できるので、これまでにできなかったシステム(実機)の過負荷試験をターゲットレスで実機同様に行えるのが特長である。このようにして開発されたソフトウェアは実機に移され、最後の総合試験を行う。

6. む す び

組込みソフトウェアは、社内外での重要性の高まりとともに、今後ますますハードウェアと一体となった設計が大切になってきた。その理由は、もの作りの基本としてハードウェアとソフトウェアとのトレードオフが実施されるからである。技術的には仕様を抽象的なレベルから定義すると、具体的な

ハードウェア・具体的なソフトウェアを意識しなくても、リポジトリに格納されたオブジェクトによって製品を作ることにも可能である。前章までにいろいろな角度から組込みソフトウェア分野におけるソフトウェアの生産システムについて述べてきたが、顧客のニーズの急激な進展に驚いているのが実態である。

このようなときに組込みソフトウェア分野として次の四つの課題に今後更に注力していく必要があると考える。

- (1) 組込みソフトウェア生産の工業化への仕組み作り
- (2) 開発環境(ツール等)の整備
- (3) 分野別知識・アルゴリズムの蓄積と再利用支援環境の確立
- (4) 先端半導体ASIC応用技術への対応

このように変革する技術の主流をよく見とどけ、“基礎技術”“マイコン技術”“システム技術”“開発ルール”などの標準化を確立して、できるだけ効率の良い開発技法・環境を構築し、新手法への教育と技術資産の蓄積を図りながら地道に実務を消化して新しい時代への対応を図る。

参 考 文 献

- (1) 羽生田栄一 監訳：オブジェクト指向方法論 OMT, (株)トッパン (1992)
- (2) 久保井ミハル, 中島 毅, 上原憲二：C++クラス C-Objet におけるメンバーのスコープ表示機能, 情報処理学会第43回(平成3年後期)全国大会 (1991)
- (3) Kumar, S., Aylor, J. H., Johnson, B. W., Walf, W. A.: A Framework for Hardware/Software Codesign; Software Codesign Handouts (1992)

ソフトウェア品質管理システム

土屋哲男* 井上幸美**
吉田見岳*
内藤俊文*

1. ま え が き

計算機システムのネットワーク化・オープン化により、ソフトウェア開発はますます複雑かつ多様化している。このため、特に近年、ソフトウェアの品質管理活動は個々のアプローチから総合的アプローチに転換してきている。このような状況のもとで、当社においてソフトウェアの品質の特徴を踏まえて築いてきた開発ライフサイクル全体を通しての品質管理システムを以下に述べる。

2. ソフトウェア品質の特徴とポイント

ソフトウェアにおける品質上の特徴を以下に述べる。

(1) すべてが設計で決まる。設計そのものに対する品質管理としてとらえる必要がある。

ソフトウェア開発の計画段階で設計の品質作り込み方策、体制、品質目標、目標管理方式を定めて、それに合わせて開発を推進することが重要となる。

(2) 上位設計の品質の悪さはそのまま下位に引き継ぐことになる。そのため、必要な品質上の解決の遅れが手戻りの増加につながる。

品質上の問題を早期に検出することが開発コストの低減のため必要である(図1参照)。

(3) 過去の経験からソフトウェアの品質の良さ／悪さには、常にソフトウェアの論理的構造、物理的構造において片寄りの傾向がある(人の要因によるところが大であろう。)(図2参照)。

開発の過程で得られる情報からこの傾向を分析することで、品質上の原因を早く見付けて対策を立てることができる。

(4) 一般にソフトウェア開発の問題は工程遅れで顕在化し、

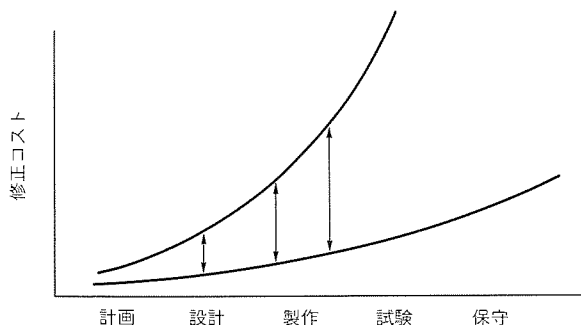


図1. 同一の設計誤りを修正する場合の相対的コストのばらつき

その原因は品質に因るところが多い。また、結果はコストとして跳ね返る。

品質・工程・費用(リソース)を併せた総合的なプロジェクト管理が重要である。

3. ソフトウェア品質管理の在り方

前章の品質の特徴とポイントから、開発ライフサイクルにおいて、品質の問題をより少なくし、品質の問題があればこれを早期に解決することが品質管理における目的(図3参照)となる。以下に紹介する当社の品質管理システムはこのための仕組みを作り、毎年、その仕組み自体を見直し、改善を続けてきたものである。

4. ソフトウェア品質管理システム

4.1 ソフトウェア品質管理システム

品質管理活動として次の五つの活動があり、それらの活動の概要と関連を図4に示す。

- (1) 品質を作り込む活動
- (2) 不良を早期に検出し、修正する活動
- (3) 品質をチェックする活動
- (4) 不良を再発しないようにする活動
- (5) 品質要因を改善する活動

この品質管理活動を確実に、効率的に実施するために品質管理システムを構築しており、その主要要素ごとに概要、特徴を以下に示す。

4.1.1 組 織

品質管理システムの組織概要を図5に示す。

(1) 各製作所ごとの品質管理を推進するために品質管理推進責任者、品質保証部門を設定している。

(2) 方針展開のために、製作所レベルの品質会議と部レベルの品質会議を設定している。

(3) 個々のプロジェクトに対して、開発途中での審査、検証及びプロジェクト診断を実施するため、また、世の中のオープン化に対応して、製品に組み込む第三者製品の品質評価又は品質調査を実施するために検証部門をおいている。

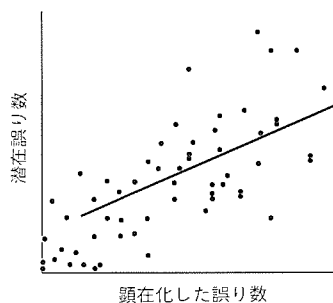


図2. 顕在化した誤り数と潜在的誤り数の関係

(4) ソフトウェアの品質は人によるばらつきが大きいいため、教育を重視しており、技術研修所及び情報通信システム教育センターを設置し、教育講座体系の改善並びに衛星放送を利用した講座の拡充など教育の充実を行っている。

4.1.2 品質方針

- (1) 長期的な品質方針（品質目標とその達成方策）を設定し、この方針に基づいて、製作所レベルから部・課のレベルの年度品質方針へと展開している。
- (2) 品質の長期計画に沿って、各年度初めに前年度の実績を考慮して新年度の目標を設定する。各プロジェクトはこの年度目標と各プロジェクトの特徴に基づいて品質目標を設定している。
- (3) 品質目標は、製品に対する品質目標と、その品質目標を

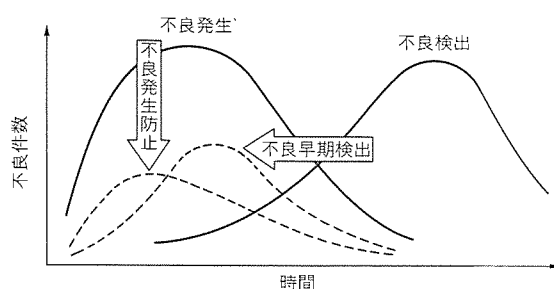
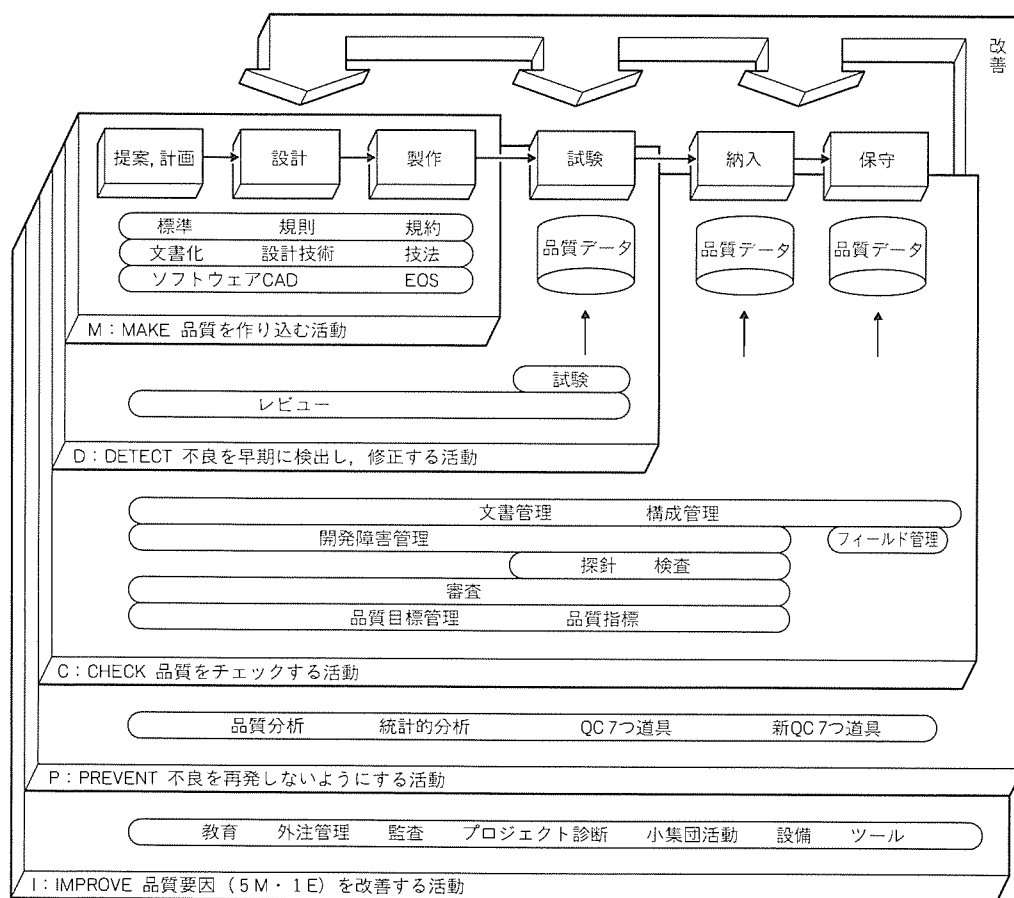


図3. ソフトウェア品質管理の目的



注 5M・1E：Man, Machine, Material, Method, Management & Environment

図4. 品質管理活動の概念

確実に達成するために開発プロセスも指標化して定量的な品質目標管理を実施している。この開発プロセスの指標として、レビュー網ら（羅）度、試験密度（テストカバレッジ）、生産標準適用率、ツール利用率、計画書／仕様書期限内作成率などを設定している。

- (4) 製作所長及び品質管理推進責任者による品質管理フォローで、設定した方針の展開・実施状況を確認及びフォローするとともに品質管理システム自身の見直しも実施している。

4.1.3 品質管理システムの文書化

品質管理システムは、品質保証部門が品質保証実施計画書として文書化しており、共通編と製品分類別の実実施計画書を作成している。実施計画書に設定している事項を表1に示す。

4.1.4 品質監査

- (1) 組織レベルの品質管理実施徹底及び改善を目的として、本社の品質保証部門による各製作所の品質監査と、各製作所での所長及び品質管理推進責任者による内部監査を定期的実施している。
- (2) このほかに、個々のプロジェクトを計画、設計、試験の各段階に応じて診断し、対象プロジェクトの問題の是正を行うとともに、組織レベルの問題も浮き彫りにして是正処置を行っている。

4.1.5 開発計画

- (1) プロジェクトを成功させるよう推進するためには、各々のプロジェクトの特徴を考慮したプロジェクトリーダーの方針をプロジェクトメンバー全員に明確に示すことが重要である。そのために、個々のプロジェクトごとに作成する計画書に、製品に対する品質目標とその品質目標を達成するためのプロジェクトリーダーの方針を具体的に展開した計画を記述し、その実施徹底を図っている。
- (2) また、この計画書は、品質保証実施計画書及び製作所、部の品質方針に基づいた計画となっていることを部門長、関係部門及び管理部門によって確認される仕組みとなっている。

4.1.6 保守

(1) 顧客と保守の範囲、内容等で問題が起きないように、最初の受注契約又は検収・納入後の保守契約で保守の範囲、内容を明確に設定し、その契約内容に従って保守を実施している。

(2) また、保守品質向上のために、保守の体制、教育の整備とともにフィールドの品質情報を一貫して管理する品質管理支援システムを運用し、迅速な対応に努めている。

4.1.7 生産技術・環境

提案、計画から保守に至るまでの生産手順、ドキュメント、プロジェクト管理、技法を“システム生産標準 SPRINGAM”として体系的に整備している。また、この SPRINGAM に基づいて、生産支援ツール及び設備環境を順次整備してきている。SPRINGAM の詳細については、この特集の“システム生産標準 SPRINGAM”で述べている。

4.2 品質指標

品質指標は、プロダクト指標とプロセス指標の両面からとられ、各指標の目的及び役割を明確にするために、主指標と副指標に分類し、また管理レベルを明確にするために、重点管理指標と日常管理指標に分類して運用している。この考え方を表2に示す。

また、これらの品質指標は、5章に示すソフトウェア品質管理支援システムにより、迅速に、効率的に実績が集計され、グラフとして出力される。出力された資料は、製作所全体及び各部の品質会議、又は各プロジェクト会議の報告資料として活用され、適宜必要な対策が設定・実施される仕組みとなっている。

5. ソフトウェア品質管理支援システム“SPARKS”

5.1 SPARKSの概要

前章で示した品質管理システムに基づく品質管理活動を確実に行うためには、開発段階・保守段階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、評価、分析、レポートしてフィードバックすることが重要である。このために、ソフトウェア品質管理支援システム“SPARKS”(Software Process Analysis & Reliability Keeping System)を構築し運用している。その機能概要を図6に示す。

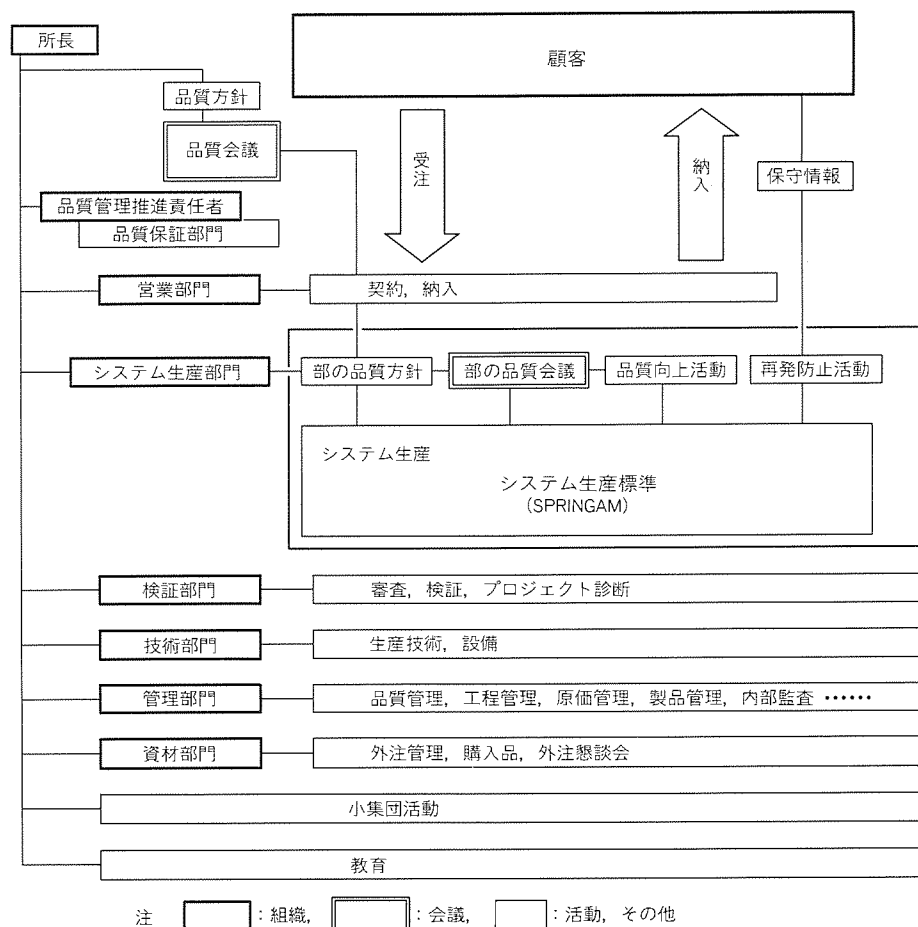


図5. 組織概要

表1. 品質保証実施計画書の記載事項

<ul style="list-style-type: none"> ● 品質に関する方針 ● 品質保証組織と任務 ● 品質に関する会議 ● 品質保証プロセス ● 品質保証体系 ● 品質管理監査 ● 製品開発の管理 ● 設計変更管理 ● 製品の検査 ● 出荷管理 	<ul style="list-style-type: none"> ● 保守 ● 不具合処置と是正 ● 標準類の管理 ● 購入品の管理 ● 外注品の管理 ● 信頼性管理 ● 品質管理教育 ● 発明考案・改善提案制度 ● 小集団活動 ● 生産設備の管理
---	--

5.1.1 システムの機能概要

(1) 品質計画支援機能

製作所・部での実績に基づいた品質方針設定、及び各プロジェクトでの精度の良い品質計画設定を支援するために、収集されている完了プロジェクトの実績データから、設定した条件のプロジェクトを抽出し、それらのプロジェクトの実績データを統計処理して一覧リストに出力する機能などを備えている。

(2) 目標／実績管理支援機能

各品質指標の目標に対する実績を比較評価するために、品質指標の目標／実績対比グラフ、誤り検出推移の目標／実績比較グラフを出力する機能などを備えている。

(3) 障害処置管理支援機能

潜在誤り件数の推定、誤り検出収束時期の予測などの信頼
性予測・評価を支援するために、試験進ちょく(捗)と信頼

重点的に品質強化すべき弱点部分の検出及び原因の分析を支援するために、ドキュメント別／プログラム別誤り件数棒グラフ、原因別パレート図、散布図、管理図を出力する機能などを備えている。

5.1.2 システムの特徴

表 2. 品質指標の考え方

<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); margin-right: 10px;">管理レベル</div> <div>指標の種類</div> </div>		主 指 標	副 指 標
		<ul style="list-style-type: none"> ●“フィールド品質”“顧客別品質”及び“作り込み品質”の結果の良し悪しを見る指標として設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ●主指標として設定した品質目標を達成するために実施する各種品質向上活動の実施度合を表す指標 ●各部の状況に合わせて設定し、管理する指標（各部ごとに品質向上活動のポイントが違うため、各部設定とし効果的な対応をとってもらうことにする。）
重点管理指標	各部の品質管理方針・重点施策に必ず取り上げ、重点的に管理する指標	<ul style="list-style-type: none"> ●重点的に品質向上させる指標 ●各部の重点施策に設定 <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">製作所統一指標</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">各部指標</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-right: 10px; transform: rotate(-90deg);">改善対策</div> <div>部別に設定する。 各部の状況を考慮して設定する。</div> </div>
日常管理指標	各部で日常管理のレベルとして把握・監視する指標（部内で管理する指標）	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">補足</div> </div> <ul style="list-style-type: none"> ●監視レベルとする指標 ●長期トレンドとして定期的に把握するレベルの指標 	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-right: 10px; transform: rotate(-90deg);">改善対策</div> <div>部別に設定する。 各部の状況を考慮して設定する。</div> </div>

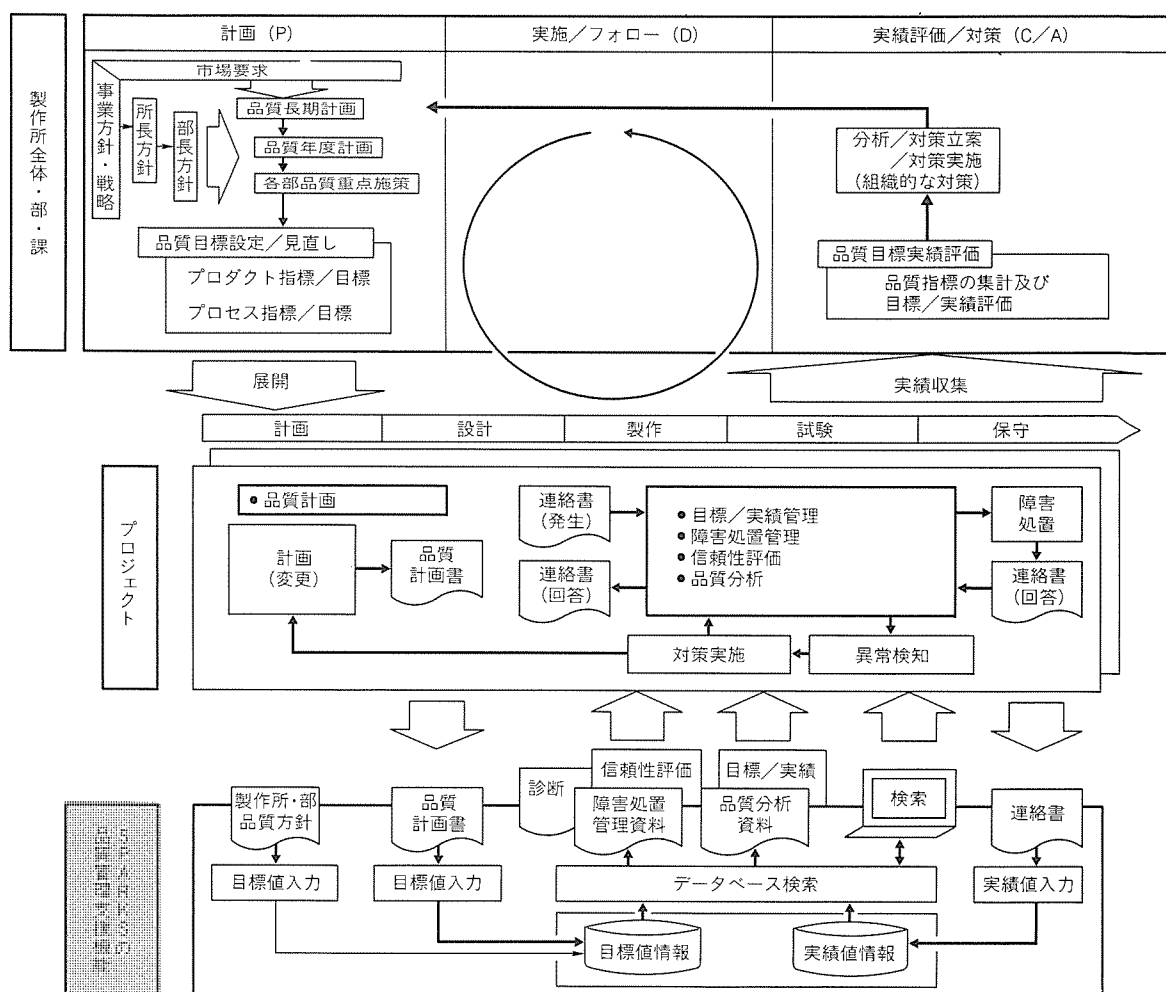


図6. ソフトウェア品質管理支援システムの概要

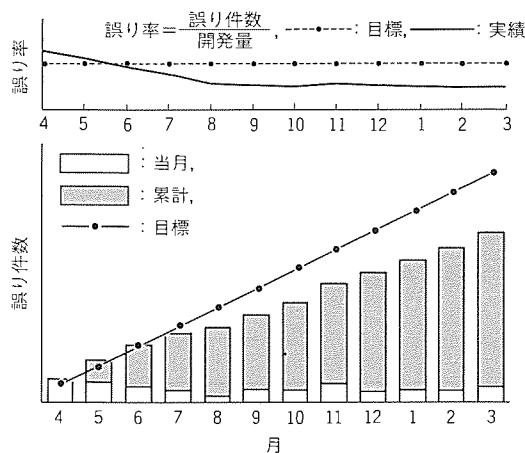


図7. フィールド誤り率 (目標と実績)

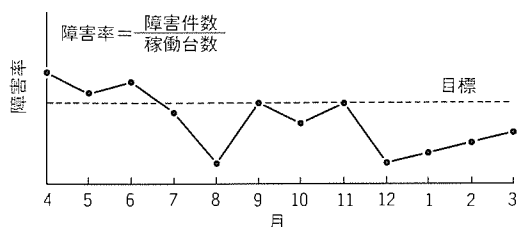


図8. フィールド障害率 (目標と実績)

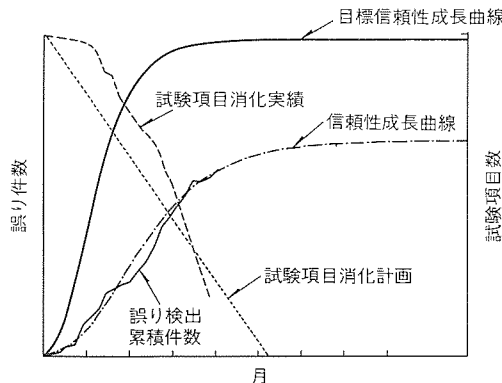


図10. 試験進捗と信頼性予測グラフ

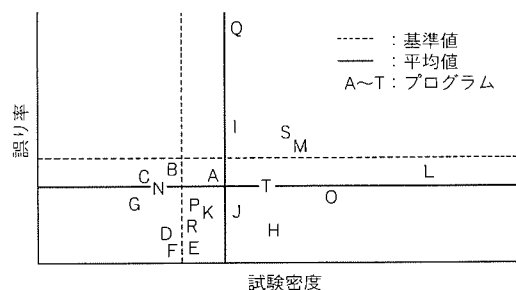


図11. 試験密度と誤り率の散布図

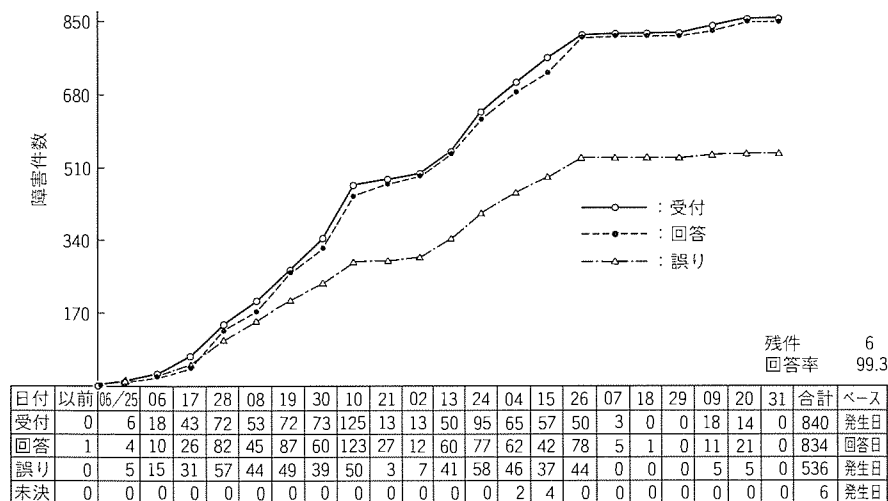


図9. 障害発生/処置時系列グラフ

- (1) プロジェクトの規模及び必要な品質管理レベルに合わせて管理レベルを選択できるように3段階の標準メニューを用意している。また、個々のプロジェクトの事情に合った管理もできるように任意の帳票を設定して出力することもできる。
- (2) 工場試験から現地試験まで一貫した管理ができるように現地に持ち運べるパソコン用の品質管理ツールも用意し、そのツールとのデータ移行を行うことにより、工場での集中運用から現地での分散運用までできるようにしている。
- (3) 製作所内のEOS (Engineering Office System) 上に構築し、身近な端末からいつでも利用できるようにしている。また、EOS上のOAソフトへもデータ移行でき、任意のレポート作成を容易にしている。

- (4) データ入力及び標準管理資料出力の作業を専門担当部門で代行サービスすることにより、効率的に実施している。

5.2 品質管理資料例

SPARKSが作成する管理資料の例を示す。

- (1) 組織レベルで使用する管理資料の例

製作所全体・部・課の組織レベルで設定した品質方針に対する目標達成状況を管理するために使用する資料の例を図7、図8に示す。

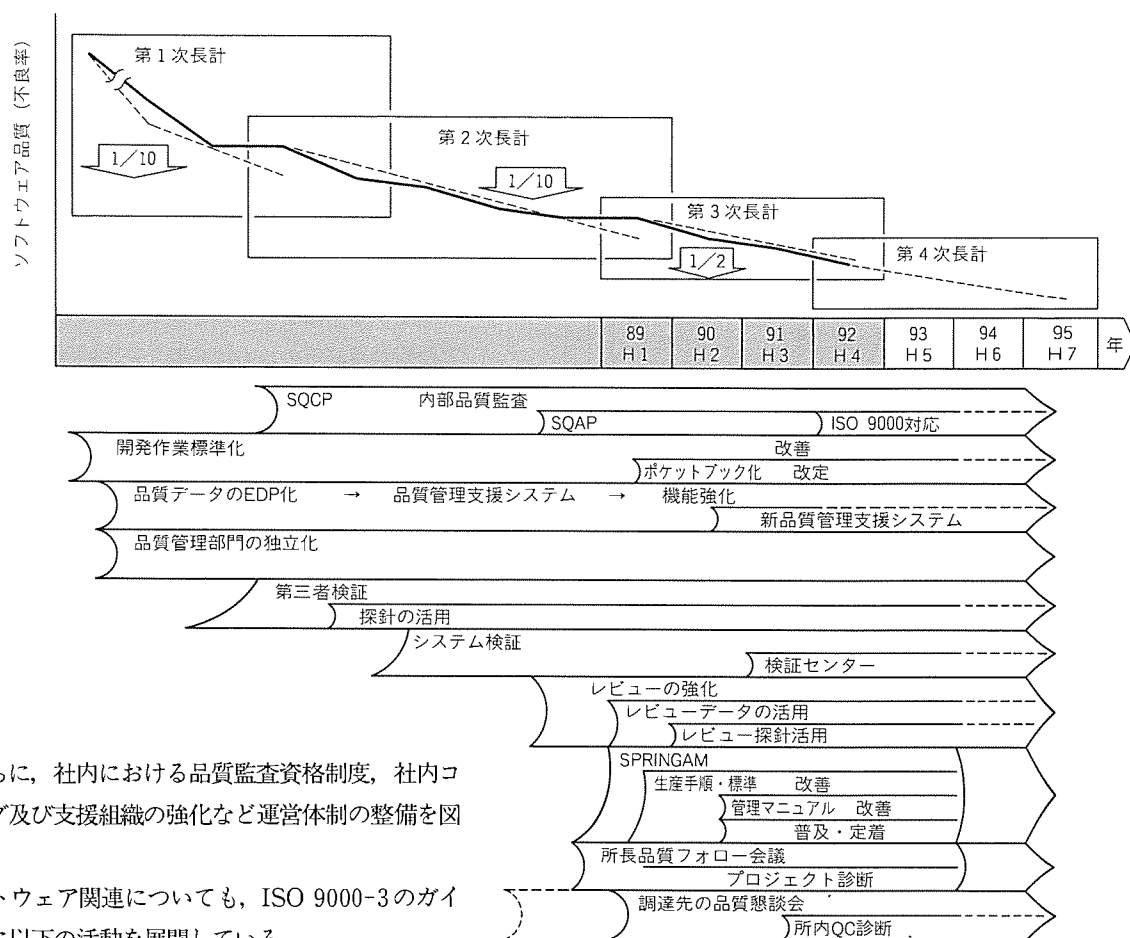
- (2) プロジェクトで使用する管理資料の例

個々のプロジェクトで設定した品質方針に対する目標達成状況を管理するために使用する資料の例を図9～11に示す。

6. ISO 9000-3への対応

ISO 9000シリーズに対応して、顧客への当社製品の一層の品質向上をねらいとして、全社の規則 (社規) のなかで品質保証に関する社規の改定を行うとともに、各製作所向けのISO 9000シリーズ対応品質マニュアルを作成した。

当該マニュアルを基に、各関連製作所は現行の品質関連の規則・標準類の整備を実施するとともに、社内監査向け資料としてISO 9001に対応したチェックリストを作成し、運用



に入った。さらに、社内における品質監査資格制度、社内コンサルティング及び支援組織の強化など運営体制の整備を図っている。

なお、ソフトウェア関連についても、ISO 9000-3のガイドラインを基に以下の活動を展開している。

(1) 品質マニュアルの作成

ソフトウェア生産性向上に関する全社機構である“ソフトウェア技術委員会”によって、“ISO 9000-3対応品質マニュアル”のひな型を作成した。これにより、各製作所は、その製作所の実情に合わせて品質マニュアルと関連規則の再整備を行うことができる。

また、このマニュアルと併せて、社内で品質システムを診断するためのチェックリストと、これらを各製作所に展開する際の指針、及び認証を取得するまでの手順書を整備した。

(2) 認証取得活動

重点分野製品から、認証取得のためのプロセス改善を実施し、当該活動のノウハウを他の製作所へと暫時水平展開することで加速を図ることにしている。

7. む す び

以上で紹介した品質管理システムの改善により、長い年月を経て大きな効果を上げてきた(図12参照)。

今後は、メーカーとして特にユーザーの多様化するニーズにこたえるべく指標の工夫、改善等を行うとともに、オープン化指向に伴う流通ソフトウェアの組み込みによるシステム

図12. 品質管理システムの歴史と成果

構築など変わりつつある生産形態に対応する品質管理システムへの改善努力を更に推進していきたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 飯塚悦功 編：ソフトウェアの品質保証 (ISO 9000-3 対訳と解説)，日本規格協会 (1992)
- (2) 久米 均 監修：ISO 9000に基づく品質マニュアル実例集，日本規格協会 (1993)
- (3) 中根 勇，小林 博，土屋哲男，増田幹夫：ソフトウェアの品質管理，三菱電機技報，62，No.10，869～874 (1988)
- (4) W. S. ハンフリー著，藤野喜一 監訳：ソフトウェアプロセス成熟度の改善，日科技連出版社 (1991)
- (5) 森口繁一，他 編集：ソフトウェア品質管理ガイドブック，日本規格協会 (1990)
- (6) 高根宏士：ソフトウェア工程管理技法～進め方と実践的手法～，ソフト・リサーチ・センター (1991)

生産性向上を目指す ソフトウェア技術者教育

井上幸美*
吉田幸二**
春原 猛**

1. ま え が き

産業構造審議会情報産業部会報告書“ソフトウェア新時代”によると、1990年代に入ってから情報産業を巡る環境は、世界的な規模で大きく変化しており、構造改革の必要に迫られていると指摘している。すなわち、急速な情報技術の進歩によるハードウェアのコモディティ化とオープンシステム化の進展とがあいまって、ソフトウェアの重要性が飛躍的に高まっており、ソフトウェアの市場環境の整備とソフトウェアの価値を生み出す最大の投入要素である技術者を育成する基盤の確立が急務であると述べている⁽¹⁾。

言うまでもなく、ソフトウェア生産性向上のかなめは、開発ツールや管理システム導入以前に、技術者そのものであり、量より質が問われる今、技術者教育が極めて重要視されている。

本稿では、担当職務のスコープとレベルに対応させたソフトウェア技術者教育カリキュラムについて検討し、併せて社内教育の実状と課題について述べる。

2. 対象とするソフトウェア技術者像

当社は、“すぐれた技術と創造力により、活力とゆとりある人間社会の実現に貢献する。”ことを企業理念とし、“人材の育成と活用は企業発展の源であり、教育は経営の基盤をつくる基本的事業である。”との企業理念のもとに、1983年度下期に開設した三菱電機工学塾を始めとして、社内各技術分野ごとに全社技術者を横断的に結集し、自主的・自立的な高度専門技術者としての自己啓発・相互研さん(鑽)をするための組織である技術部会、さらには、技術者の実践的技術力向上を目的とした三菱電機技術ゼミナールなど体系的な技術者教育を実施している⁽²⁾。

本稿では、その位置付けのなかで、“ソフトウェア技術者教育体制”に的をしぼり、実態はどうか、何が問題かという視点で検討を加えたい。

ソフトウェアという言葉は、広くシステムの企画・分析・設計等の上流工程から、プログラムの設計・製作・試験・保守・運用までを含めて使われる。ここで検討するソフトウェア技術者像も、システムの提案・企画・設計からプログラム設計・製作・試験・運用までの全フェーズに携わる技術者を前提とする。すなわち、各種応用対象に対して、オープンシステム化されたコンポーネントをも構成要素とし、最終顧客

の満足する情報システムを構築することのできるソフトウェア技術者及びそのために必要な基本的共通ソフトウェアを開発する技術者を対象としている。

3. ソフトウェア技術者としての素養

これまで、ソフトウェア技術者が足りないという実態があって、多くの若い人材がソフトウェア業界に集められてきた。しかしながら、必ずしも専門の教育を受けた、又は適性のある人材で満たされたかという決してそうではない。だれでもがソフトウェア技術者になれるというやや甘い考え方が、著しく生産性を低下させ、したがってコスト高になり、経営的にも大きな問題になる場合があることはよく知られている事実である。なかには、構成員の能力に差があることから一部の優秀な技術者に負荷がかかりすぎる結果となり、人材のソフトウェア離れが生じているという場合もある。

欧米では、就職に際して、大学での専門学位の取得を重要視すると言われているが、ソフトウェア技術者に対しても例外ではない。よく検討されたカリキュラム⁽³⁾に基づいて展開される“コンピュータサイエンス”の学士、修士号の取得はソフトウェア技術者であるための必ず(須)要件である。

我が国でも昨今、情報工学、情報システム工学、情報学科等の専門学科、学部又は大学院が新設され、専門技術者育成の機運が高まっている。単に知識を修得したというだけでなく、基礎理論を正しく理解でき、充実した演習を含めて必要な試験に合格したという能力、適性が重要視されることは

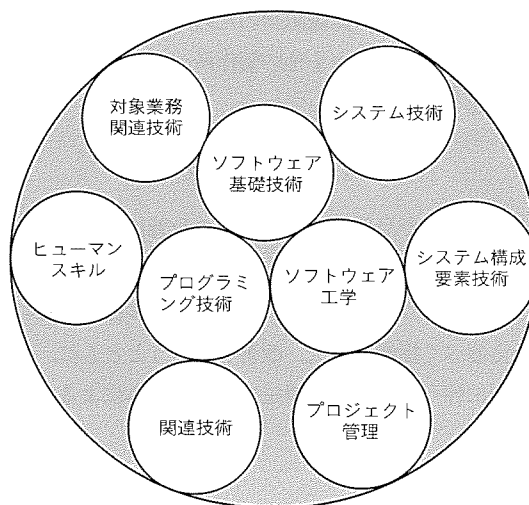


図1. ソフトウェア技術者に必要とされる要素技術

言うまでもない。

4. ソフトウェア技術者教育カリキュラム

先に述べてきたように、情報システムの企画・設計からプログラム設計・製作・試験・運用・保守までの全フェーズに携わるソフトウェア技術者に必要とされる技術要素を示したものが図1である。図は、これまで社内におけるソフトウェア技術者育成に関する要素技術は何かという検討に基づき、ソフトウェア設計の上流課程で重要視されているヒューマンスキル及び対象業務関連技術を含めて9つの技術要素を取り上げている。

これを具体的に展開したものとして、社内における教育講座の現状を整理したものが表1である。表中●印は主として各製作所及び事業部で実施している講座を、★印は技術研修

所が技術ゼミナールとして実施している講座を示している。

表1に見る社内ソフトウェア技術者教育講座は下記のような特長をもっている。

- (1) ソフトウェア基礎技術の徹底を掲げ、製作所における教育及び全社を対象とする技術ゼミナールともに基礎講座の充実を図っている。
- (2) ソフトウェア工学的アプローチは、当社技術本部ソフト生産性技術センターの推進活動により、全社に浸透しつつある。また、ワークステーション/パソコンを用いたソフトウェア開発支援ツール教育及び開発技法の教育を充実させている。
- (3) プログラミングとしては、UNIX^(注1)プログラミングの

(注1) “UNIX”は、UNIX System Laboratories, Inc. が開発し、ライセンスしているオペレーティングシステムである。

表1. 社内ソフトウェア技術者講座体系

要素技術	基礎レベル	中級レベル	上級レベル
ソフトウェア基礎技術	●計算機基礎 ●OS基礎 ●アルゴリズム基礎	★計算機構成論 ★OS原論 ★アルゴリズムとデータ構造 ★計算機基礎論 ★コンパイラ原論 ★データベース技術	★オペレーティングシステム (アドバンスコース)
ソフトウェア工学	●データベース基礎 ●ソフトウェア設計	★ソフトウェア工学 ★SA/SD技法	—
プログラミング技術	●UNIX ●Cプログラミング ●C++プログラミング	★UNIXプログラミング ★UNIX (Xlib) ★UNIX (Motif) ★オブジェクト指向プログラミング	—
システム構成要素技術	●ワークステーション ●クライアント・サーバ ●LANマネージャー ●NetWare ●dbMAGIC ⋮	●ネットワークアーキテクチャ ●クライアント・サーバ、ホスト ●SQLシステム ⋮	—
プロジェクト管理	●プロジェクト管理 ●ソフトウェア設計技法 ●ソフトウェア試験技法	★ソフトウェア生産管理技術 ★ソフトウェア品質管理技術 ★ソフトウェア生産支援システム ●システム評価 ★プロジェクトマネジメント	●プロジェクト管理上級 ★プロジェクトマネジメント (アドバンスコース)
システム技術	●システム技術 ●システム設計	★システムエンジニアリング ★システム構築	—
ヒューマンスキル	●プレゼンテーション	●戦略コミュニケーション	●創造的問題解決
対象業務関連技術	—	●交通システム ●公共プラント ●工業プラント ●発電プラント ⋮ ●金融システム ●自治体システム ⋮	—
関連技術	●通信システム ●画像通信 ⋮	★通信システム技術 ★通信プロトコル技術 ★画像処理技術 ★知識情報処理 ⋮	—

注 ●印は製作所及び事業部で実施。★印は技術研修所技術ゼミナールで実施の講座。
(講座名は略称)

実践的な中級講座として UNIX 総合技術講座を設け、UNIX のプロセス機能、ネットワーク機能を駆使してアプリケーションソフトウェアを開発するためのプログラミング技術、及び X Window^(注2)を用いたユーザーインタフェースのプログラミング技術を修得させる。

(4) システム構成要素技術としては、オープン系のソフトウェア技術の修得を重要視している。クライアント・サーバシステム構築などの講座のほか、表1に示すような各種の講座を設けている。

(5) プロジェクト管理に関しては、ソフトウェア生産管理技術、ソフトウェア品質管理技術、ソフトウェア生産支援システムなどの講座により、社内標準化技法の展開を図っている。

(6) システム技術は、部品、ソフトウェア、ハードウェア、大規模システム、情報システム、営業戦略などの事例を踏まえながら、システムビジネスの創造、目標設定の意味、システム構築技法の体系、システム計画・設計、プロジェクトマネジメントなどを通して、システムエンジニアリングの全体像を把握させるシステム技術講座を中心に、さらにそれぞれの要素技術を深掘りした中級、上級の講座を設けている。

(7) ヒューマンスキルは、ソフトウェア技術者に大切な技術であり、講師に社外の専門家を招いて実施している。プレゼンテーション、戦略コミュニケーション、創造的問題解決などの講座を設けている。

(8) 情報システム構築の対象業務に関する知識は、ソフトウェア技術者には不可欠である。これらは、幅広い応用分野に対して、専門分野対応に実施している。

(9) このほか、ソフトウェア関連技術として、通信システム技術、画像処理技術、知識情報処理、マルチメディア技術などを取り上げている。

5. 教育実施の状況と課題

前述したように、製作所における研修と全社技術ゼミナールとがあい補い、各技術要素に対して基礎レベル、中級レベル、上級レベルの各種要素技術の講座を準備している。

これらに対して、その講座の内容、受講者選定の基準、運営方法などについて述べる必要があるが、本稿では、技術ゼミナールにおけるソフトウェア基礎技術に関する講座を例にとり、実施状況と課題について報告する。

5.1 ソフトウェア基礎総合技術講座

ソフトウェア開発に携わる各部門の若手技術者に、計算機科学(コンピュータサイエンス)の基礎理論及び情報工学の基礎を学び、進歩の激しい技術に対応できる力を養成するための講座である。

この講座は、21日間(1か月に3日間の集中講座とし、それを7か月間継続させる。)にわたり、合計168時間からな

る演習を伴う講座としている。単元は6単元とし、計算機基礎論、アルゴリズムとデータ構造、OS原論、計算機構成論、コンパイラ原論、及びソフトウェア工学基礎からなり、講師は社内の技術者、研究者と専門分野で業績のある大学教授、助教授をお願いしている。

5.2 講座の特長

講座の各単元は、大学・大学院の専門学科の講義内容でできるだけ再現させ、主として情報工学系出身者以外の技術者に基礎理論を学ばせることを意図したものであるが、知識の修得にとどめず、7か月間の現場での作業と技術研修所での3日間の集中教育の繰り返しという形態を生かし、次のような特長をもたせている。

(1) 実習・演習主体

ワークステーション/パソコン等を使用した実習・演習を講義と併せて行い、当日までに課題を与え、次の朝までに完成させる。

(2) 受講生交流会

実習・演習終了後は、技術面、仕事面のみならず各製作所の事情や仕事全般、生活面等についての情報交換を目的とした自由参加の交流会を開く。7か月間、毎月2回計14回必ず実施し、繰り返すことで仲間意識も生まれ、講義への動機付けとなっている。

(3) 課外授業

仕事の進め方、開発の考え方、教育、人生観、心の持ち方等について、参考となる雑誌・新聞・書物等の内容をメモにまとめ、毎月の講座開始時に講座運営の責任者から受講生に手渡している。これらの内容は、講義の中で強制して教えるのではなく、あくまで参考として与え、使い方は自主性にまかせているが、このような課題には種々の考え方があり、参考としてそれぞれ得るところがあり、受講生間で交流する上でも効果がある。

(4) 電子メールの運営

受講者とは電子メールによって情報交換を行っているが、情報の即時性、応答性、意見交換の容易性などで役立っている。

メールの内容としては、講義内容の問い合わせ、質問、講師からの連絡、プログラムのデバッグ相談及びアドバイス、課外授業の情報のメール配送、お互いが得た新しい関連情報の交換、その他事務連絡に使っている。

5.3 今後の対応

今後は、衛星通信利用による講座の充実により、受講機会の拡大を図っていくことを考えているが、宿泊研修でのコミュニケーションをどのような形で補完していくかが課題である。電子メールや電子ニュースを使って情報交換の場を作っていくことも重要と考える。この講座に限らず、広く技術ゼミナールの講師、受講者はメールネットワークを構成することで、情報交換及び情報蓄積のベースとしていきたい。

(注2) "X Window"は、米国Massachusetts Institute of Technologyの登録商標である。

また、マシン実習は、各製作所、関連会社等とネットワークを介してワークステーション／パソコンを使用したりリモート教育方式と、センターでの集中実習の使い分けを検討していく必要がある。実習や演習では、講師と受講生という対応ではなく、受講生同士で気楽に教えあう時間を設け、どうしても分からない内容を講師に聞くという形態にしたほうが、効率が上がり、理解度も増す。これまでの受講生が各場所におけるキーマンとなりチューター役をしていくことで、更に受講生の輪が広がることを期待している。

6. む す び

本稿では、社内のソフトウェア技術者教育の全体像と基礎教育講座を例として、講座の実状を紹介した。本稿でも述べたように、衛星通信講座による受講者層の拡大、電子メール・ニュース利用による講師・受講者ネットワークと情報データベースの広がりのほか、Off-JT と OJT を一貫させたカリ

キュラムの展開が期待されている。

今後更に、講座内容を技術の多様化と事業の展開にあわせて充実させていくとともに、講座運営を受講生自らが考え修得していく形態にしていきたいと考える。

最後に、企画に参画いただいている社内技術委員会、技術部会の関係者及び紹介した基礎講座で熱心な指導をいただいた講師の先生方に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 通商産業省 機械情報産業局編：産業構造審議会報告書「ソフトウェア新時代」（1993）
- (2) 蒲生容二，島田 彌：企業からみた新しい時代の技術者リフレッシュ教育，工業教育，40，No.4 （1992）
- (3) 情報処理学会検討委員会：大学等における情報教育のための調査研究報告書，情報処理学会 （1991-3）

大規模システム向け プロトタイピングシステム

土田耕作*
清水 聡*
五十嵐 真*

1. ま え が き

情報処理技術の急速な発展によってシステムが大規模化するとともに、従来の単純なデータ処理や定型業務の自動化から人間の知的作業支援へと要求が高度化してきている。特に、指揮・管制システムに代表されるような、非定型なイベント発生に対する状況把握から計画作業、意思決定及びその実行までを支援するシステムは、人間と知的マシンの密接な協調システムであり、その構築に当たっては課題が多い。

米空軍の調査では、既存のシステムで成功と認められるのは10例のうち3例のみとの報告もある⁽¹⁾。このようなシステムの構築には、その開発過程の全期間を通して顧客との緊密な関係が必要であり、そのアプローチの一つとしてプロトタイピングの実施が提唱されてきた。

このための統合的なシステム構築が近年のハードウェア及びソフトウェアの進歩によって可能となってきた。システムのコンセプト作りの段階から顧客とともに作業できる統合環境としてこのプロトタイピングシステムを計画し、平成4年度にその基盤部分を完成したので報告する。

2. 構 想

2.1 システムの目的

このシステムの目的は、大画面表示装置を使用する情報処理システムのプロトタイピングを行うことである。情報処理システムの抽象的なコンセプトは、文書で説明しても正確には伝わりにくい。また、ユーザー自身のシステムに対するイメージが固まっていない場合もある。このような場合にプロトタイプを作成してビジュアルにすることで、システムコンセプトの構築が容易になる。また、メーカーが創造した新しいコンセプトを提示してユーザーの評価を受けるにも、プロトタイプを提示した方が理解されやすい。

2.2 システムの特長

プロトタイプソフトウェアの開発・実行・評価等の一連の作業をこのシステム上で行えるようにしたため、このシステムは次のような特長をもっている。

(1) プロトタイプを動かして見せるためのプレゼンテーションシステム、プロトタイプを開発するための開発システム及びプロトタイプを評価するための評価システムが統合されている。

(2) 外部接続模擬装置により、プロトタイプソ

フトウェアが接続する相手のシステムを模擬できる。

(3) ワークステーションのモニタディスプレイのRGB信号を直接大画面表示装置に入力することにより、画質を落とさずに大画面に表示できる。

2.3 システムの構成

このシステムの機能構成を図1に、ハードウェア構成を図2に示す。また、各構成要素の機能概要を以下に述べる。

(1) モデルルーム

応用システムのモデルとするための部屋であり、顧客へのプレゼンテーションに使用する。モデルルームの内部を図3に示す。

(2) プレゼンテーションシステム

大画面表示装置、補助画面表示装置、レーザディスク、VTR等で構成され、表示内容の評価及び顧客へのプレゼンテーションに使用する。大画面表示装置の表示を制御するための制御卓も含む。

大画面表示装置は、ワークステーション等で作成したプロトタイプのデモンストレーションや、画面表示に関する評価に用いる。そのため、高精細なワークステーションの出力画像が表示可能で、通常の事務所程度の照明下でも視認可能な輝度である。画面構成は、縦2×横3の6画面で、1画面のサイズは60インチ、各画面間の継ぎ目の幅は5mm以下である。画面表示には、6画面を別々に表示する方式と、縦2×横2の4画面で1画面を4倍に拡大表示する方式、その他の方式がある。

(3) プロトタイプ開発システム

ワークステーション、パソコン、データベースで構成し、プロトタイプソフトウェアを開発するために使用する。

ワークステーションは、プロトタイプ開発の中核であり、GUI構築ツール、汎用シミュレータ、システム分析/設計ツール等のツールを用いてプロトタイプを作成する。また、高速グラフィックス機能をもつワークステーションにより、各種の地図情報処理や三次元表示等の機能を必要とするプロトタイプを作成する。

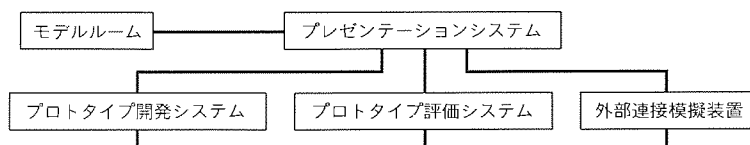


図1. システムの機能構成

パソコンでは、主に画面仕様や操作性を検討するために、画面のみの簡易プロトタイプを作成を行う。スキャナにより、画面のベースとなるイメージデータを入力し、それを描画ツールで修正することによってプロトタイプを作成する。

データベースには、このシステムで使用するアプリケーション等のデータや、プロトタイプ作成時に使用するツールやプログラム部品を格納し、集中的に管理する。

(4) プロトタイプ評価システム

ワークステーションを中心として構成し、プロトタイプの妥当性を評価するために使用する。

具体的な評価の対象としては、ヒューマンインタフェースに関連した画面上の表示物の配置や配色、操作性や応答時間等といったプロトタイプの機能や性能がある。さらに、分散環境におけるネットワークやサーバの負荷、外部接続システム等を含めたシステム全体で運用した場合の機能や性能がある。

(5) 外部接続模擬装置

プロトタイピングの対象としているシステムに、ネットワークを介して接続する外部のシステムや機器等を模擬する装置である。具体的には、外部のシステムや機器の模擬信号としてのデータやメッセージの生成、送受信等を行う。

3. プロトタイピング

プロトタイピングは、システムの設計上重要な部分のプロトタイプを作成して、ビジュアルに確認しながら開発を進める手法である。従来のプロトタイピング事例を調査分析した結果に基づいて、このシステムではプロトタイピングを目的に応じて以下に述べるような四つの型に分類整理し、各々のプロトタイピングが効率良く行えるようにしている。

(1) 大画面表示のプロトタイピング

プロトタイプ開発システム上にある画面作成ツールやイメージスキャナを使用して、応用ソフトウェアの画面案を作成する。地形図のような定型的な画面は、データベースに蓄えて再利用する。作成した画面をプレゼンテーションシステムの大画面表示装置に表示し、機の配置や照明の具合等も調整しながら、ヒューマンインタフェースの評価を行う(図4)。

(2) プログラム骨格のプロトタイピング

プロトタイプ開発システムで、新規開発したアルゴリズムや性能のクリティカルな部分等のプログラムの中核部を試作し、プレゼンテーションシステム上で実行して機能や性能の評価を行う。プログラム部品、パッケージソフト、データベースに格納された処理対象のサンプルデータ等を活用して能

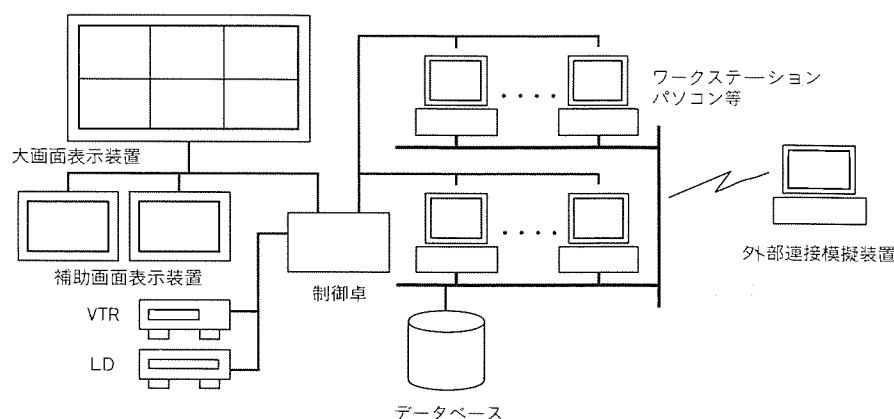


図2. システムのハードウェア構成

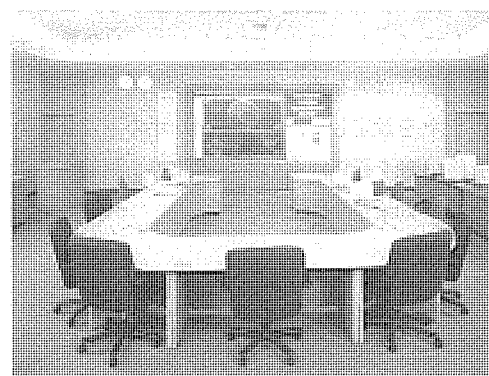


図3. モデルルーム

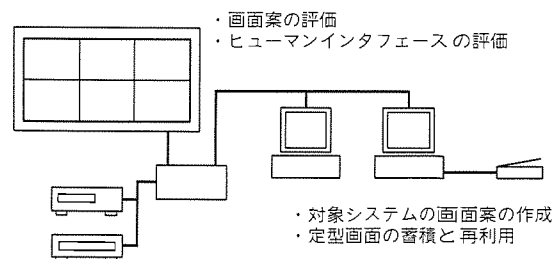


図4. 大画面表示のプロトタイピング

率的に試作ができる。評価は、応答性やスループット等の性能について実施する(図5)。

(3) 分散処理のプロトタイピング

分散処理システムの設計に際して、最初は算算等で、次いでシミュレーションによって機能・性能の評価を行うが、最終段階では実地の確認が必要である。このシステムでは、汎用シミュレータによってシミュレーションが容易に行える。さらに、異機種接続の分散処理システムの実証試験を、プロトタイプ開発システムとプロトタイプ評価システムとを組み合わせで行えるようになっている。外部システムとのデータ伝送が必要な場合は、外部接続模擬装置から模擬データを入力できる。評価の対象となるシステムを動作させながら、プロトタイプ評価システムのモニタ装置でネットワークの負荷やCPUの負荷のデータが収集できる(図6)。

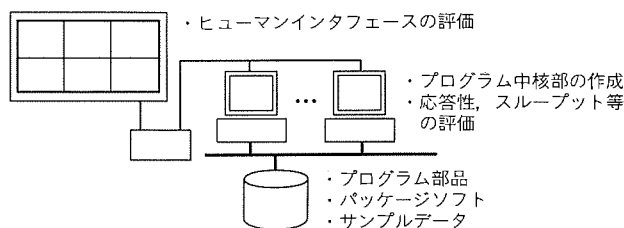


図5. プログラム骨格のプロトタイピング

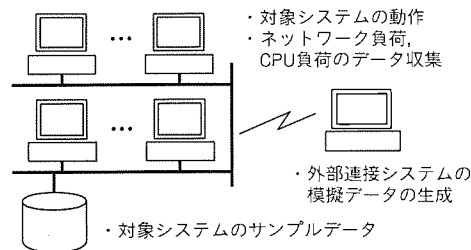


図6. 分散処理のプロトタイピング

(4) システム全体のプロトタイピング

以上の過程で部分ごとの確認が完了すると、次にシステム全体のプロトタイプを作成して評価する。このプロトタイプは対象システムの縮小モデルである。全体を連結して動作させながら、システムの機能や性能を評価する。ここでの評価項目は、上で述べた項目すべてを含むが、対象システムによって評価の重点は異なる。さらに、このプロトタイピングでは、シナリオを設定して、そのシナリオの下でシステムを使用して業務処理を行い、その所要時間等を測定することによりシステムの効果を評価する。

4. 効果

このシステムにより、システムに対する顧客の要求が確実に引き出され、手戻りが少ない効率の良いシステム開発を進めることが可能となる。これとともに、カスタマサティスファクションの得られる真に価値の高いシステムが実現できる。このシステムによって得られる効果を以下に示す。

(1) システムコンセプトのビジュアル化

開発対象システムに対する考え方やイメージ、要求等を、プロトタイプによって目に見える形にして確認・評価することができる。これによって、システムコンセプトがより明確になり、システムに対する顧客の意思の統一が図れる。

(2) 大画面表示装置を用いた視覚的な比較評価

テキスト、グラフィックス、イメージ、映像、地図といった様々な画面表示を、大画面表示装置にダイナミックに拡大表示することにより、その性能や機能を詳細に目で見て確認し、比較し、評価することが可能である。

(3) システム開発者間の意思統一

システム運用のデモンストレーション等により、開発者間の意見交換の場が提供できる。これによって、相互のコミュニケーションギャップが低減され、システムイメージ等に対する意思の統一が容易になり、効率的な開発ができる。

(4) システム実現可能性の早期評価

アルゴリズムやデータ構造の機能検証や、処理速度やメモリ占有量等の性能評価を、プロトタイプによって事前に行うことが可能である。これにより、問題点を早期に発見し、開発リスクを低減することができる。

5. 今後の展望

現在、図3の基盤部分が稼働して、各種応用システムに対するプロトタイピングが開始されている。今後、プロトタイプの範囲を広げ、プロトタイプの作成を容易に行えるようにするために、次のような点を強化していく予定である。

- (1) 汎用シミュレータを含むプロトタイピング支援ツールの整備
- (2) ソフトウェア部品の整備
- (3) 地図データ、その他の必要なデータベースの整備

システムやツールの整備と同時に、開発技術者の方も、各種ツールの活用、プロトタイプの作成、評価を含むプロトタイピング技術の向上を図る必要がある。さらに、プロトタイプで決定された仕様を仕様書として文書化するための支援技術も確立していかなければならない。

6. むすび

大規模システムのプロトタイピングを目的としたこのシステムは、基盤部分が完成して運用に入っている。特に、高輝度高精細な画面を使用したプロトタイピングは顧客にも好評である。

このシステムは、プロトタイピングのほかに、対象プログラムを実際に動作させて評価できる点を生かして技術レビューに使用したり、新規開発の要素技術を組み込んで要素技術の評価をするために用いても効果的である。

今後、このシステムを活用してプロトタイピングしながら開発を進めることにより、顧客の十分な満足の得られるシステムを構築していきたい。

このシステムの構築に当たり、有益な助言をいただいた社内外の関係各位に謝意を表す。

参考文献

- (1) Daley, P. C.: C³I Rapid Prototype Investigation, RADC-TR-85-216 Final Technical Report, Rome Air Development Center, 11 (1986-1)

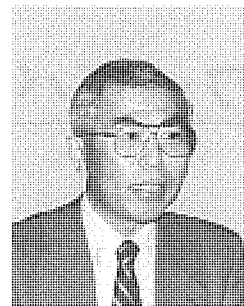
新しい応用を拓くパワーデバイス

新しい新幹線車両“のぞみ”の交流駆動システム、電力システムや新幹線用のインバータ方式の無効電力補償装置(SVG)、自動車の操作電源や家電機器のアクティブフィルタ用のインテリジェントパワーICなど、各分野での応用におけるパワーエレクトロニクスの発展には目覚ましいものがある。かなりの間、パワーエレクトロニクス装置はやや特殊な装置で、変圧器や回転機に比して信頼度が低いようにみられていたが、今では、あらゆる分野においてパワーエレクトロニクスの制御を用いればすべての問題が解決するような受取り方をされている。“パワエレでは”の時代から“何でもパワエレ”への応用分野の考えの急激な変化には驚かされている。

パワーエレクトロニクスは成熟したといわれながら、その壁を破ってこのような新しい応用システムを繰り返し拡大している原動力は、高性能・高機能化したパワーデバイスの進歩によるところが大きい。特に、本特集でも紹介されているようなGTO・IGBTの大容量化や高速化によってインバータや制御用のパワーエレクトロニクス装置がより広い範囲のニーズにこたえられるようになったのと同時に、その簡単な構成が応用システムを設計するのに動作を容易に理解できるようにしたことが大きな要因となっている。この方向はさらに知能部分までパワーデバイスに統合したMOS系のインテリジェントICによって加速されている。デバイスの高速化や共振形回路の適用によって高周波技術を電力システムや一般産業にも持ち込もうという考えも示

東京大学 工学部
電気工学科

教授 正田 英介



されている。

自動車のアクティブサスペンションやビルの制振・防振が話題となっているように、制御技術を応用した能動的なシステムを導入して新しい機能を実現しようとする動きが各方面で活発である。よりパワーエレクトロニクスに近いところでいえば、エレベーターのロープレス駆動に対する興味には驚くべきものがある。電力システムの中でもFACTS (Flexible a.c. transmission system) のように電力潮流の大きさや位相を積極的に動かして、設備の有効利用や高効率運転を目指す開発が進められている。鉄鋼分野では電磁冶金プロセスの可能性も追求されている。これらはいずれもその駆動力や電力の流れを能動的に制御するためにパワーエレクトロニクスの適用が前提になっている。

容量的にも、応答性でも、このような能動的な応用を実現しようとする、パワーデバイスには更なる性能の発展が求められる。制御機能の面でもより高度化・複雑化するのでこれを簡単に整理して扱えるようなインテリジェンスがデバイスに組み込まれるのが望まれる。

能動制御を支えるアルゴリズムやそれを実現するマイクロエレクトロニクスは既に実用の域に達しているので、この特集に述べられたシミュレーション技術や補助デバイスの機能の拡大、パッケージ技術の向上など周辺技術の進歩と合わせて、デバイス本体のより一段の機能向上によって、パワーエレクトロニクスの応用が更に新しい領域に及ぶことを期待している。

パワーデバイスの現状と展望

川上 明*
山田 富久**
森 敏**

1. ま え が き

最近のパワーエレクトロニクスは、電力・産業・情報・家電の各分野で“インバータ化”をキーワードとして目覚ましい発展を遂げているが、これはキーコンポーネントであるパワーデバイスの進歩によるところが大きい。一方、これらのパワーデバイスには、その応用装置や使用目的に応じて多くの種類があり、応用分野からのニーズに対応して、性能改善と新しいパワーデバイスの開発が進展している。

図1にパワーデバイスの進展を示すように1960年代はサイリスタの登場によってパワーデバイスの第一世代が切り開かれた。1970年代後半になると、オイルショックによる省エネルギー機器の必要性が高まる中でバイポーラトランジスタモジュールやGTO (Gate-Turn-Off Thyristor) 等の自己消弧素子をキーデバイスとしたインバータ化が進みパワーデバイスの第二世代を築いた。さらに、1990年代に入るとパワーデバイスは第三世代へと進み、MOS (Metal-Oxide Silicon) ゲート化やインテリジェント化が注目されるようになった。

パワーエレクトロニクスの発展に大きく貢献するこれらのパワーデバイスは、市場ニーズに対応して高周波化が進み、

その応用分野の拡大をもたらした。図2にパワーデバイスの応用分野を応用装置の出力容量と動作周波数の関係で示す。

パワーデバイスの MOS ゲート化が進展する中で、近年 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が、高速スイッチングが可能で、電圧・電流定格もほぼ従来のバイポーラトランジスタと同等の比較的大きな容量が現実可能になったことで注目されるようになった。最近では微細化・高性能化の技術革新によって世代交代を重ねつつ、インバータ装置など産業機器の小型化・高性能化に大きなインパクトを与えている。さらに、パワーデバイスは性能改善だけにとどまらず、使いやすさを追求したインテリジェント化の動きがある。IPM (Intelligent Power Module) とパワー IC がその代表で、パワーデバイスに駆動回路・保護回路・通信回路等を1モジュール又は1チップで構成することで応用装置の小型化・高機能化に大きく貢献している。

2. 大電力サイリスタ・GTOの大容量化の動向

2.1 サイリスタの大容量化

サイリスタは高耐圧、大電流の領域で応用が広がっている。高耐圧サイリスタでは12kV、1kAのものが実用化され、電力系統の区分開閉器や SVC (Static Var Compensation)

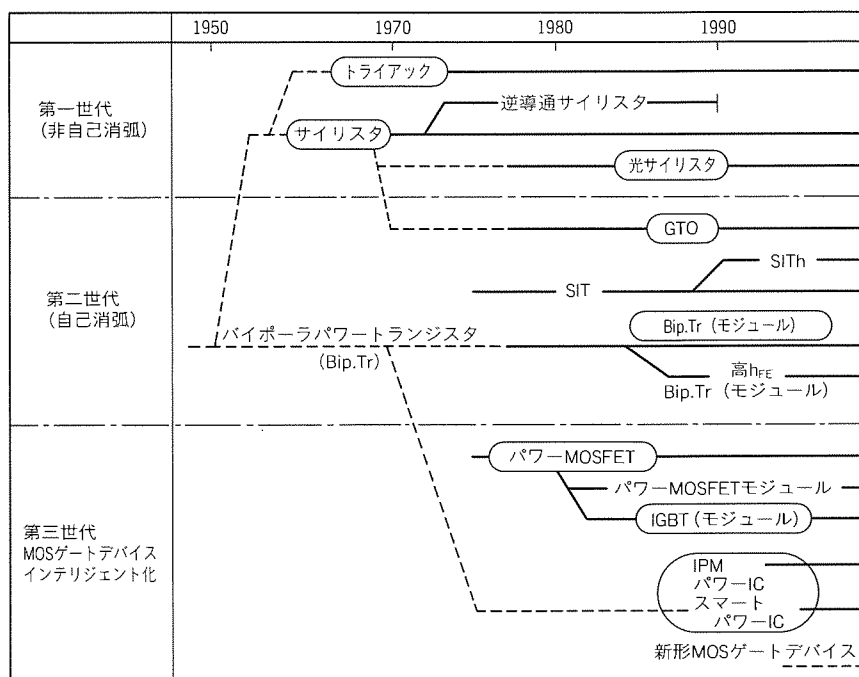


図1. パワーデバイスの進展

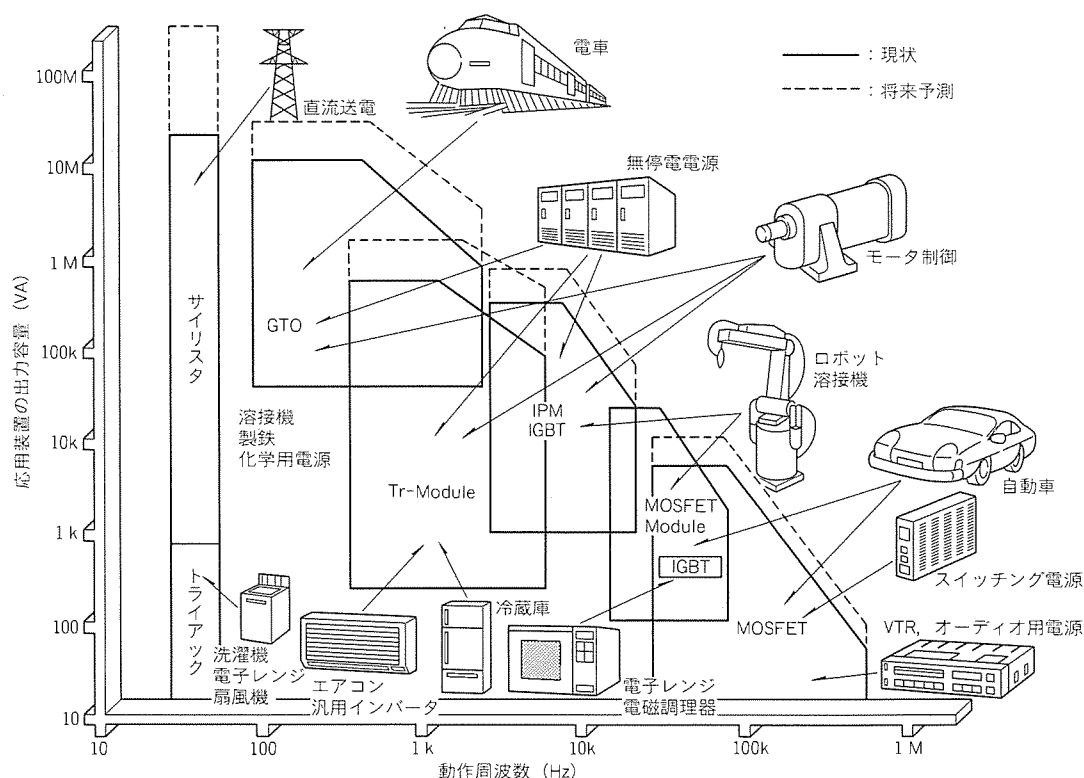


図2. パワーデバイスの応用分野

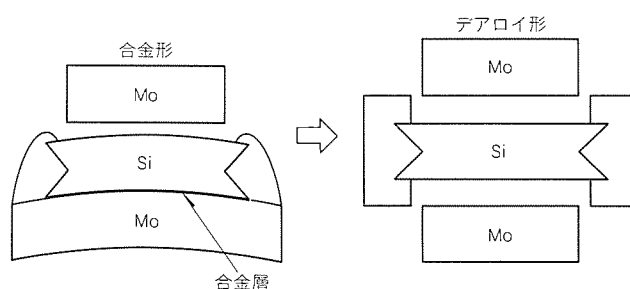


図3. デアロイ構造

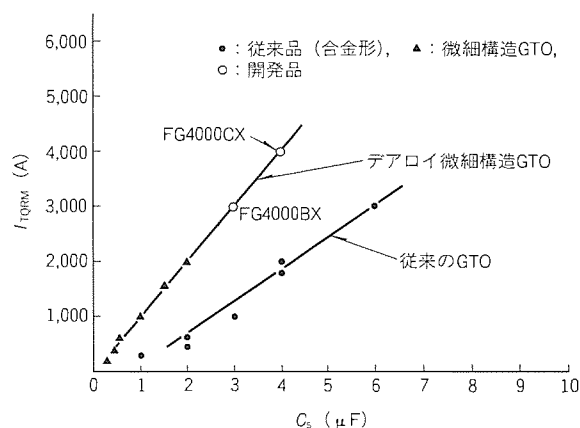


図4. GTOのターンオフ能力

tor: 静止型無効電力補償装置) 等に使用されている。光トリガサイリスタは誘導ノイズによる誤動作の防止やゲート回路の簡素化に有効であり、次世代の電力用サイリスタとして期待が大きい。現在、6 kV、2.5 kA までのものが周波数変換装置や SVC に使用されている。今後、装置の大型化や、新たな直流送電等への応用の拡大に伴い、例えば 8 kV、3 kA 以上の高耐圧大電流サイリスタが望まれている。このようなサイリスタを実現するためには直径 6 インチに及ぶウェーハが必要となる。米国 EPRI (Electric Power Research Institute) が中心となって開発中の FACTS (Flexible AC Transmission System) はサイリスタと高速通信網・コンピュータを駆使して系統内の電力の流れを細かく制御し、送電線の能力を限界まで引き出そうとする概念であり、今後環

境問題の解決策として世界各地で採用される方向にあり、サイリスタ、光トリガサイリスタ及び GTO 等の大容量化が望まれている。

2.2 GTOの高性能化の動向

GTO は、電鉄・工業用インバータ・電力制御など幅広い分野で応用が期待されている。電鉄応用では高圧でかつ大電流が要求されるので早くから GTO が使用され、軽量・メンテナンスフリー化のため交流モータを VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) インバータで制御する方式が定着している。最近では電車の性能向上のため低スナバ・低損失・大電流の GTO が要求されており、スナバ回路のコンデンサを 6 μ F で 4.5 kV、4 kA の GTO が実用化され、既に新幹線を始め国内外の高速鉄道に搭載されている。しか

し、GTOの現状の性能は応用側から見るとまだ改善の余地があり一層の向上が強く望まれている。主な課題とそれに対応する技術動向を以下に簡単に述べる。

(1) デアロイ化

図3にデアロイ構造を示す。シリコンウェーハとモリブデンの熱緩衝板を合金化しない(非合金タイプ)方法によってエレメントの反りを防ぎ、圧接力の低減や熱抵抗の向上を図っている。デアロイタイプと合金タイプを4.5kV、4kAのGTOと比較するとスナバコンデンサの低減(17%)、オン電圧の低減(7%)、熱抵抗の低減(15%)、圧接圧力の低減(24%)など大幅な改善が図られた。

(2) 微細化構造

GTOの単位セグメントを微細化することで、ターンオフ時の電流集中を緩和し、破壊耐量の向上や高速スイッチング化が図れる。GTOのターンオフできる限界電流(可制御オン電流： I_{TQRM})はスナバコンデンサ(C_s)の大きさに強く依存し、従来品で1,000A当たり2 μ Fの容量を必要としたが、セグメントを微細化することにより半分の1 μ Fで済むようになった。現在、最高水準のGTO(FG4000CX-90D)では、4 μ Fの C_s で4,000Aをターンオフすることができる。図4に微細化によるGTOのターンオフ能力の関係を示す。

(3) 大口径化

図5にサイリスタ・GTOの大口径化の動向を示す。前節

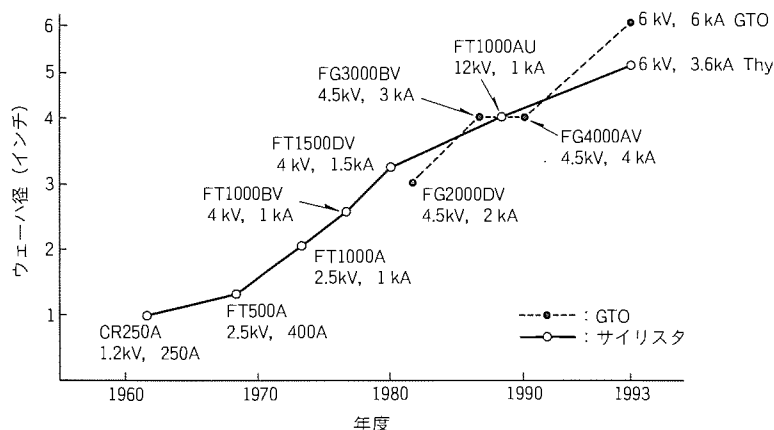


図5. サイリスタ、GTOの大口径化の動向

でも述べたようにGTOの場合もサイリスタや光トリガサイリスタ同様、FACTS、SVG (Static Var Generator) 等の電力系統制御や工業用大容量インバータの分野から強い要求があり、6kV、6kAのGTOの開発が期待されている。これは単に大口径のウェーハを使用するというだけでなく、前に述べたデアロイや微細化等の新技術の導入も不可欠である。

3. MOS系パワーデバイスの高性能化の動向

3.1 MOSFETとIGBT

インバータの高周波化と小型化の要求により、パワーデバイスでは高速スイッチングで駆動回路の簡素化が図れるMOSゲートデバイスが注目されている。表1に各種パワーデバイスの応用上の特徴を示す。低電流領域ではパワーMOSFETが既にスイッチング電源や小型モータ制御等の分野で多くの実績をもっているが、更にオン抵抗の低減や高破壊耐量化等の改良が求められている。図6にパワーMOSFETのオン抵抗の改善の様子を示す。実線は製品化レベルを示す。低圧MOSFETの領域では微細加工技術の進展によってセルの集積化が進み、低オン抵抗化が進展した。一方、高圧MOSFETの場合には高耐圧化に必要な n^- ドリフト層が大きな比抵抗と厚い幅をもつためオン抵抗の低減はあまり望めない。

IGBTは高圧MOSFETの低オン抵抗化を達成するために開発された。IGBTはMOSFETとバイポーラトランジスタ(BJT)との複合素子で、MOSFETのドレイン側に更にP層を付加することで伝導度変調効果を導入している。このため、IGBTのスイッチングスピードはMOSFETのそれを上回ることができない。MOSFETとIGBTの適用限界をオン抵抗と耐圧の関係のみで判断すれば、図6にも示すように耐圧200V近辺であろう。

3.2 IGBTのトレードオフの改善

IGBTにはコレクタ・エミッタ間飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ とスイッチング時間(特に下降時間 t_f)

表1. パワーデバイスの応用上の比較

パワーデバイスの種類	駆動電力	直列接続	並列接続	過電流保護	過電圧保護	PWM周波数(インバータ)			
						100	1k	10k	100k
GTO	大	○	○	△	○			3k	
バイポーラトランジスタ	中	×	◎	○	○				10k
バイポーラトランジスタモジュール	中	×	◎	○	○				
MOSFET	小	×	◎	◎	○				500k
MOSFETモジュール	小	×	◎	◎	○				70k
IGBT	小	×	◎	○	◎			20k	
SiTh	小	○	○	△	○				
MCT	小	×	◎	○	△				

との間にトレードオフ関係があることが知られている。インバータの高周波化に従って、インバータのキャリア周波数を従来のBJTの数kHzから15～20kHzに高周波化し、低騒音インバータを実現すると同時にBJT並みの低飽和特性が要求されている。このため、図7に示すようにトレードオフの改善が非常に重要である。

一方、インバータが高速化するとフリーホイールダイオード(FWD)の特性も見逃すことができない。高周波及びソフトリカバリ特性が要求される。また、IGBTが高速になればなるほど電流の立ち上がりが早くなるため、インバータの主回路のインダクタンス及びパワーモジュールの内部インダクタンスにも注意する必要がある。以上のようにFWDやパッケージのインダクタンスもIGBTの世代交替とともに改善が進んでいる。インバータを高速(15kHz)で運転したときのIGBTのパワーロスの改善を図8に示す。第三世代

には第二世代から約30%、第一世代からみると約50%の改善が図れた。当社ではこのような技術革新を重ねて第三世代IGBTモジュール(Hシリーズ)を600Vと1,200Vの耐圧で15Aから600Aまでのシリーズ品33品種を製品化している。

3.3 大容量化への挑戦

IGBTの電鉄や海外向けインバータ(例えば、カナダ向けAC575Vライン用)への応用が拡大するに従い、高耐圧IGBTの要求が高まりつつある。電鉄応用ではDC1,500Vの架線電圧に対し、3レベルインバータで1,500～1,700VのIGBTが必要になる。3レベルインバータの場合、2レベルインバータに比較し1アーム当たりの素子耐圧を半分で使用できることが特長であるが、1,500Vの架線電圧では回生電圧等を考慮すると素子には1,050V程度の電圧が印加されることになるからだ。IGBTを高耐圧化する場合、高速タ

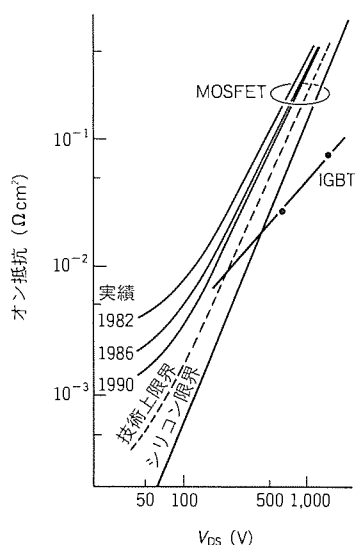


図6. パワーMOSFETのオン抵抗の改善

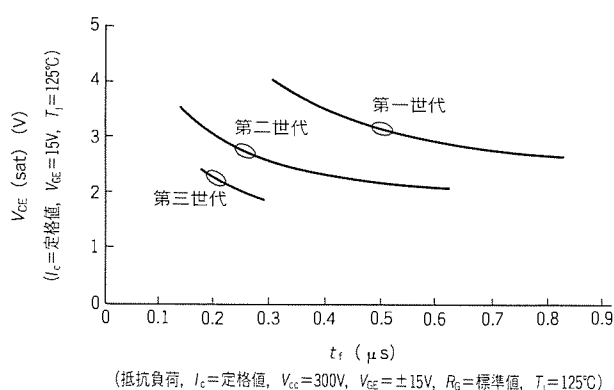


図7. IGBTのトレードオフの改善

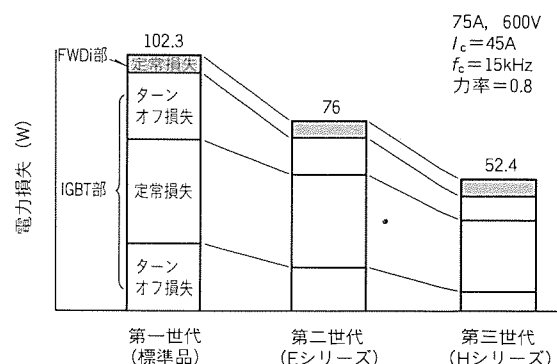


図8. インバータ応用における電力損失改善

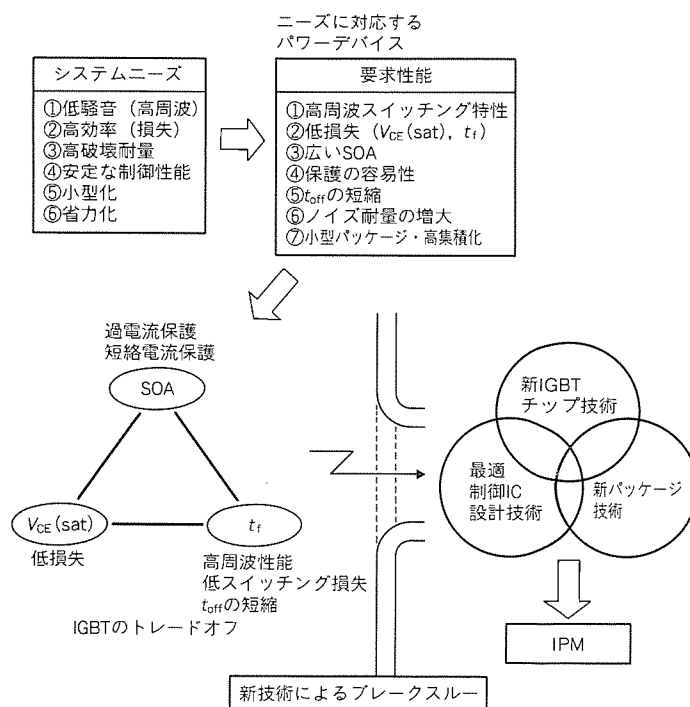


図9. インバータ応用IPMのコンセプト

オンオフ特性・低飽和電圧特性及び高破壊耐量を同時に得ることが困難であるが、当社では縦方向のプロファイル・ガードリングの最適設計及び微細化プロセスとシミュレーション技術を駆使し、1,700 V、400 A の IGBT モジュールを実用化している。

一方、大容量化に対しては、1,200 V、1,000 A のモジュールを大容量無停電電源やモータ制御用として開発した。大容量化のためには低インダクタンスのパッケージ技術が重要な技術課題であった。

3.4 新構造デバイスの展望

MOS ゲートデバイスは低駆動電力、駆動の容易性及び高周波特性をもっているが大幅なオン電圧の改善にはサイリスタ動作の導入が必要になっている。最近のこのような新構造デバイスの幾つかを以下に紹介する。

MCT (MOS Controlled Thyristor) は従来のサイリスタ並みのオン電圧と数 kHz でのインバータ運転が可能な高速スイッチング特性をもつ。特に高耐圧、大容量デバイスへの期待が高いが駆動が複雑という欠点もある。現在、2,000 V で 70 A/cm² の L 負荷遮断と 8 kV/μs の dv/dt 耐量を達成したという報告もある。EST (Emitter Switched Thyristor) はオン電圧が 1.6 V (250 A/cm²) で IGBT より若干優れているがターンオフ時間は IGBT とほぼ同等である。

このほか BRT (Base Resistance Controlled Thyristor) を始め、いろいろな MOS ゲートデバイスの研究が進んでおり高性能化への期待が高まっている。

4. パワーデバイスのインテリジェント化の動向

4.1 IPMのコンセプト

IPM は従来のパワーデバイスやパワーモジュールと比較して、より高性能に、より使いやすく、より小型化を目標にして、特にモータ制御用インバータ应用到に最適な設計が盛り込まれている。図 9 に IPM の開発のコンセプトを示す。応用側のニーズに正確にこたえるためパワーデバイスにはインバータ制御に適したバランスのとれた特性 (IGBT の SOA-飽和電圧-スイッチング時間の各トレードオフの最適化、F

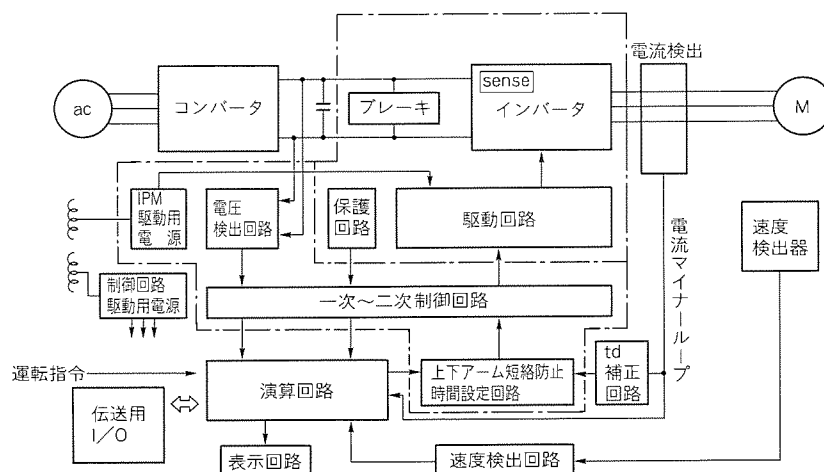


図10. モータ制御インバータ回路のブロック図

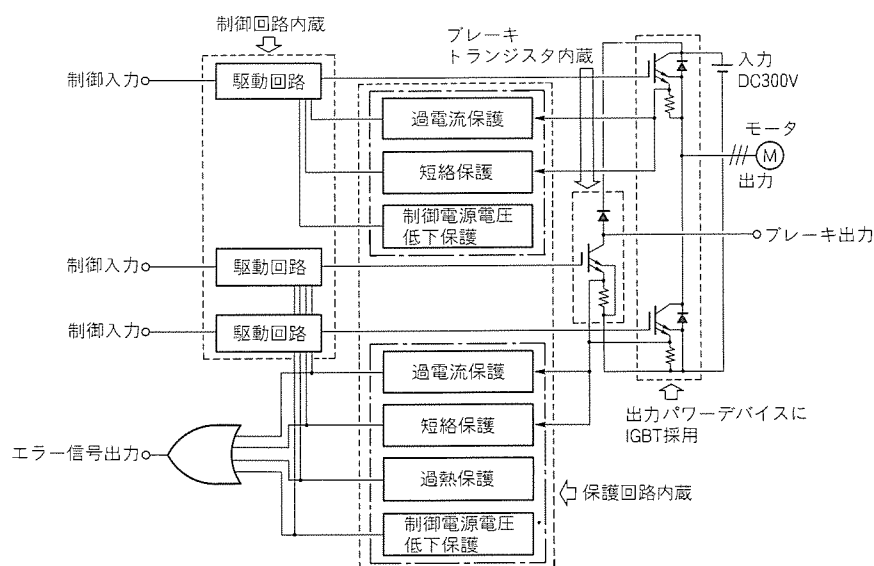


図11. IPMの内部ブロック図

WD のソフトリカバリ化) が要求される。

このようにインバータを最適の状態では運転できるように IPM 用に特別に設計された IGBT、この IGBT を最適の状態では駆動保護ができるよう設計された専用 IC 及び耐ノイズ性、サージ電圧を考慮したパッケージ技術とを融合することを基本として IPM の開発を行っている。

4.2 IPMの現状と展望

図 10 にインバータのブロック図を示す。インバータの高性能化・小型化・静音化のためにパワーデバイスと LSI の高集積化のアプローチが進んでいる。特にパワー部分はパワーデバイスを最適状態では駆動できることや、保護機能を更に増強する方向及びインタフェース内蔵など IPM の高機能化・高集積化の方向で進展している。

図 11 に現状の IPM の構成を示す。まず、インバータ部の IGBT は過電流・短絡電流を検出できるように電流セン

ス付きとした。IGBT 採用により、駆動回路の簡素化と同時に駆動電力低減が図れる。各 IGBT チップの近傍にそれぞれ駆動回路と保護回路が配置されており、過電流・短絡電流・制御電源の電圧低下及び加熱に対する保護を設定している。保護回路が動作するとそれぞれのシーケンスで出力を遮断し、同時にエラー信号を出力する。このエラー信号をプロセッサで処理しない限り一定時間後オートリセットが働き再動作する。

現在、当社では AC 220/440 V, 0.4 ~ 55 kW のモータを 20 kHz のキャリア周波数で制御できる IPM を量産中であり、更に従来より 20 % の低損失化と高機能な第三世代 IPM を開発中である。これらの IPM は、①非常に破壊しにくい、②ほとんどの設計要素を内蔵したため技術者の設計・評価時間の短縮が図れ、製品開発力の強化に貢献できる、③周辺回路の内蔵によって組立工程の環境の簡素化が図れ、静電対策も不要となる、④資材部門での管理コストの低減にも貢献できる等の特長をもつ。さらに、当社では IPM のアセンブリ/テストラインを全自動化しているので信頼性向上も相当期待できる。

今後、IPM はインバータ等のキーデバイスとして、メインデバイスの高性能化と多機能化・高集積化の方向で進展するものと思われる。

5. む す び

パワーエレクトロニクスのキーデバイスとしてのパワーデバイスの技術動向について概説した。MOS 系パワーデバイスのメインデバイスに成長した IGBT は、既に第三世代品が実用化の段階に入り、更に微細化・最適設計が進み、高性能

能化が期待できる。新しいデバイスについても研究が進み MOS ゲート系パワーデバイスは従来のバイポーラトランジスタの領域をりょうが(凌駕)するであろう。

インテリジェント化は、小容量はパワー IC で、大容量は IPM での実用化が進展する。大電力サイリスタ・GTO は電力系統や電鉄市場の拡大に伴い、大口径化が進展し、6 インチデバイスが開発されるに至った。

以上のようにパワーデバイスは今後もパワーエレクトロニクスの進展に貢献し続けるものと信ずる。

参 考 文 献

- (1) 八尾 勉, 内田喜之: パワー半導体デバイスの進展, JI EE Japan. 112-D, No.192 6 ~ 11 (1992)
- (2) 川上 明, 森 敏, 由宇義珍, 上西明夫, Gourab Majumdar: 新世代高機能インテリジェントパワーモジュールとその応用, IEA-92-7 (1992)
- (3) 川上 明, 森 敏, 由宇義珍: IPM とその AC ドライブへの応用, 92 電気学会産業部門大会, SI-8, S27 ~ 32 (1992)
- (4) Bauer, F., Haddon, H., Stockmeier, T., Fichtner, W., Vuilleumier, R., Moret, J. M.: Optimazation of Cathode Structures for Improved Performance of MOS Controlled Thyristors (MCT), Proc. of EPE-MADEP '91 (1991)
- (5) Sheker, M. S., Baliga, B. J., Nandakumar, M., Tandon, S., Reisman, A.: Experimental Demonstration of the Emitter Switched Thyristor, Proc. of the 3rd ISPSD, 128 (1991)

大容量・高耐压 IGBTモジュール

高柳周成* 望月浩一**
山口博史* 金澤健一*
高良正行**

1. ま え が き

近年, VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) インバータに代表される電鉄用制御装置のパワーエレクトロニクス化の進歩は著しく, 装置の小型・軽量化, 低騒音化, 高効率化が急速に進んでいる。一方, それら電鉄用主電動機制御や補助電源装置のキーパーツであるパワーデバイスとしては, 産業応用よりもライン電圧が高いため, 高圧のデバイスが必要となる。

したがって, これまで電気鉄道応用では, 高電圧大電流定格が得られる GTO (Gate-Turn-Off Thyristor) やバイポーラトランジスタが主に使用されてきた。しかし, 最近では, システム全体の高性能化のためパワーデバイスには, 単に高圧性能だけでなく, 高速・低損失性能も同時に要求されている。

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) は, 優れた高速スイッチング特性と, 大電力特性かつ電圧駆動による制御の容易性等の特長をもつため, これまでのバイポーラ系デバイスに代わる電鉄用パワーデバイスとしての期待が大きい。表1に, GTO と IGBT の特徴比較を示す。

また, 電鉄用制御装置に IGBT を用いるメリットとしては以下が挙げられる。

- (1) 高周波スイッチングが可能であるため, 低騒音化, 装置の小型化が可能である。
- (2) 電圧駆動であるため, ドライバ電源の省力化が可能である。
- (3) モジュールタイプであるため, 装置構成が簡単にできる。

既に三菱電機(株)では, 最大定格1,400 V/600 A の高耐压大容量 IGBT モジュールや, 定格50 ~ 600 A までの600 V 系及び1,200 V 系第三世代 IGBT モジュール (H シリーズ) 等の豊富な機種系列を製品化しているが, 今回, DC1,500 V 架線の電鉄用主電動機制御や補助電源装置等の対応素子として, 定格1,700 V/400 A の IGBT モジュール (CM 400 H

A-34H) を開発したので, 以下にその構造, 特徴及び応用について紹介する。

2. 構造と特徴

2.1 外観及び構造

図1はCM 400 HA-34 H の外形であり, 図2は, その等価回路を示す。この製品のパッケージ開発において主に考慮した技術課題は以下の点である。

- (1) 低インダクタンス化によるサージ電圧の低減
- (2) 信頼性の向上

IGBT は高速スイッチングが可能であるため, その動作時に発生するターンオフサージ電圧が高くなり, その抑制が重要となる。そのためには, パッケージ内部, 特に主電極部の低インダクタンス化が必要となる。そこで, コレクタとエミッタの主電極を可能な限り近接させるという電極構造を新

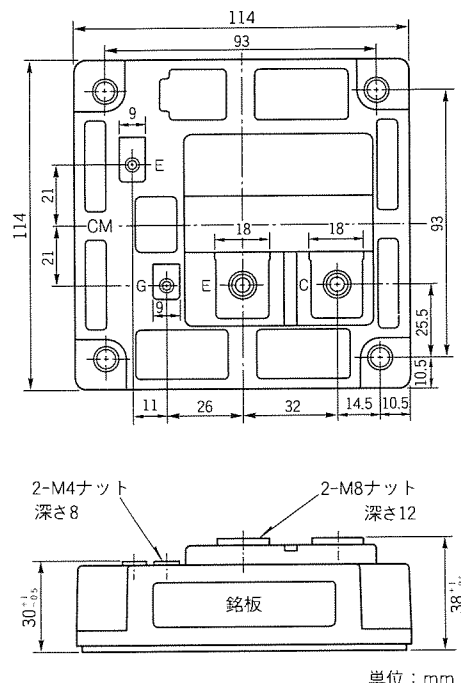


図1. CM400HA-34H外形

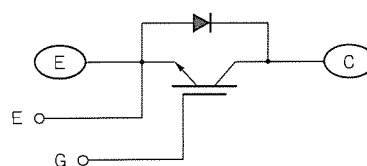


図2. 等価回路

表1. GTOとIGBTの特徴比較

	GTO	IGBT
駆動方式	電流駆動	電圧駆動
駆動回路	△	◎
電力損失	○	○
スイッチング周波数	~1 kHz	~15kHz

注 ◎: 優, ○: 良, △: 可

たに考案し、高速スイッチング時に発生するターンオフサージ電圧の低減に成功した。

信頼性向上のためには、IGBT の発生熱を効率良く放熱することが必要となる。一般に、パワーモジュールの構造は図 3 に示すように、半導体素子と銅ベース板間に絶縁材を挿入することによって電気絶縁を確保しているが、その絶縁材のもつ熱抵抗は放熱性を左右する要因の一つになる。

この製品では、絶縁材に高熱伝導特性をもつ窒化アルミニウム (AlN) を採用することによって放熱性を高めた。また、放熱性を低下させるもう一つの要因として、絶縁材と銅との熱膨張係数の違いによって銅ベース板の反りが発生し、モジュール実装時に使用される放熱フィンとの密着性を低下させるものがある。特に、大容量化に伴う銅ベース板面積の増大により、反り量も増加する。そのためこの製品では、複数の絶縁材を使用することにより、絶縁材と銅ベース板の応力を分散して反りの低減を図った。一方、外装樹脂には耐熱性及び機械的強度などに優れた PPS 樹脂 (Poly Phenylene Sulfide) を使用するなどの配慮も行った。

2.2 特 性

IGBT には、高耐圧のみならず、定常及びスイッチング動作時に発生する損失の低減、負荷短絡状態を考慮した破壊耐量の確保などの性能が同時に要求される。しかし、これらの性能は互いにトレードオフ関係があるため、開発に当たっては、このトレードオフを改善しながらバランスのとれた諸性能の実現を図る必要があり、以下にその成果について述べる。

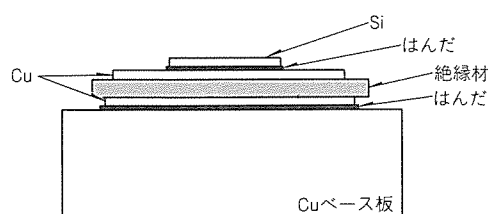


図 3. モジュール断面

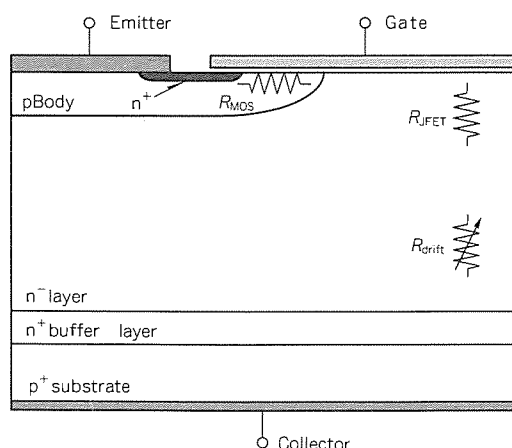


図 4. IGBT 基本構造

2.2.1 高 耐 圧 化

IGBT は図 4 に示すような基本構造によって形成される。IGBT の高耐圧化には、コレクタ n^- 層の厚みを厚くし、その比抵抗を高くすること、ガードリング領域を広げることなどが比較的容易でかつ有効であるが、それは反面、IGBT 内部の pnp トランジスタの電流増幅率 h_{FE} の低下や、有効セル領域の減少などを招き、コレクタ-エミッタ間飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ の増大、ターンオフスイッチング時間の遅延などの特性低下をもたらす結果となる。したがって、IGBT の高耐圧化には、前述した縦方向のプロファイル ($n^- \cdot n^+$ 層の比抵抗、厚み) の最適化及びガードリング構造の最適化による電圧印加状態での電界強度の均等化、さらには、チップ表面での耐圧確保のためのパッシベーション技術などが重要なファクターとなる。

そこで今回、デバイスシミュレーションを用いて、各パラメータを最適化した結果、特性低下を起こすことなく 1,700 V 以上の耐圧が得られた。その波形写真を図 5 に示す。

2.2.2 スイッチング損失の低減

ターンオフ損失の低減には、ターンオフ時間の低減が必要である。特に高温動作時には、IGBT 内部の pnp トランジスタによって発生するテール電流が増大し、損失増加を引き起こすことからその抑制が重要となる。そこで、シリコンウェーハの n^+ バッファ層のプロファイルとライフタイムコントリールを最適化することにより、裏面 p^+ 基板からのホー

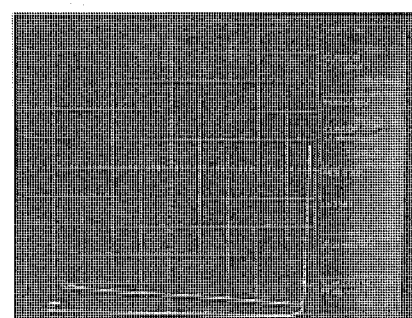


図 5. 耐圧波形 (IGBT 単体)

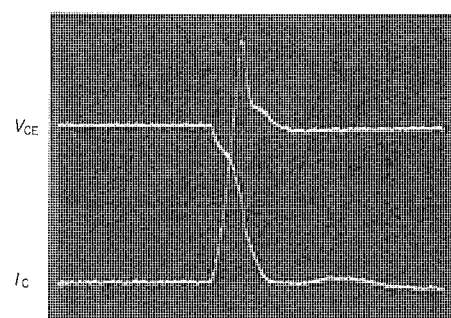


図 6. ターンオン波形 (CM400HA-34H)

ル注入の効果的な抑制を実現し、ターンオフ損失の低減を図った。

ターンオン損失の低減には、IGBT 自体のターンオン時間の短縮も必要であるが、L 負荷回路でのフリーホイーリング動作を伴うターンオンの場合、IGBT と逆並列に接続されたダイオードの逆回復特性の向上が重要なファクターとなる。したがって、1,700 V 対応のダイオード開発にも注力し、pn 接合ダイオードの p 層の不純物濃度、深さ及び n 層構造の最適化を図り、逆回復電流が小さく、しかも逆回復時の di/dt が緩いソフトリカバリ特性の高速ダイオードを搭載することによって、ターンオン損失の低減を図った。

以上のスイッチング損失低減化によって得られた L 負荷スイッチング波形を図 6 及び図 7 に示す。

2.2.3 定常損失の低減と負荷短絡耐量の確保

定常損失を低減するためには、IGBT のコレクタ-エミッタ間飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ の低減が必要となる。図 4 から IGBT の基本動作は MOSFET による pnp トランジスタ駆動であるから、 $V_{CE(sat)}$ を低減させる手段としては、MOS 部の低オン抵抗化や、pnp トランジスタの h_{FE} を増加させることによって可能となる。それは反面、前述したターンオフ損失の増加を招くばかりでなく、負荷短絡条件下で、過大な短絡電流を引き起こし、著しい負荷短絡耐量の低下を招く

こととなる。

そこで、 $V_{CE(sat)}$ の低減及び負荷短絡耐量の確保を実現するため、IGBT のユニットセル構造を三菱電機第三世代 IGBT で用いたセル構造を基本とし、以下に述べるような手段で最適化を図った。図 8 はそのセル構造である。構造としては、 n^+ エミッタ層をはしご状に形成し、B 部分でエミッタ電極と接続、また、ホール電流を引き抜くことができない B 部分のチャネル領域には、 p^+ 拡散領域を形成し、ゲート-エミッタ間しきい値電圧 $V_{GE(th)}$ を高くし、チャネルを開きにくくしているのが特徴である。この全エミッタ領域に対する B 部分のエミッタ領域の割合、つまり、エミッタコンタクト率 $\gamma = B / (A+B)$ 及び n^+ エミッタ領域の拡散抵抗の最適化を図ることで、 $V_{CE(sat)}$ の増加を最小限に止めつつ、MOS 部の電流供給能力を効果的に制限して、短絡電流を抑え、負荷短絡耐量の確保を実現した。

図 9 には、三菱電機第三世代 1,200 V 系 IGBT を例にとり、エミッタコンタクト率と負荷短絡耐量及び短絡時のピーク電流の関係を示す。グラフから、エミッタコンタクト率を最適化することによって、短絡ピーク電流を効果的に抑制することができ、結果として十分な負荷短絡量が得られていることが分かる。

図 10 には、1,700 V IGBT 素子の負荷短絡波形写真を示

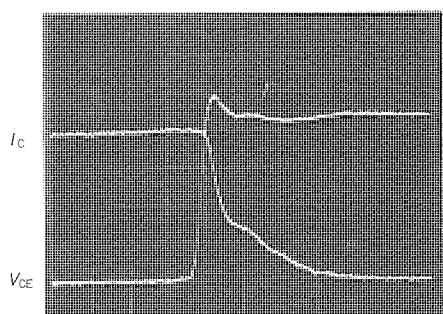


図 7. ターンオフ波形 (CM400HA-34H)

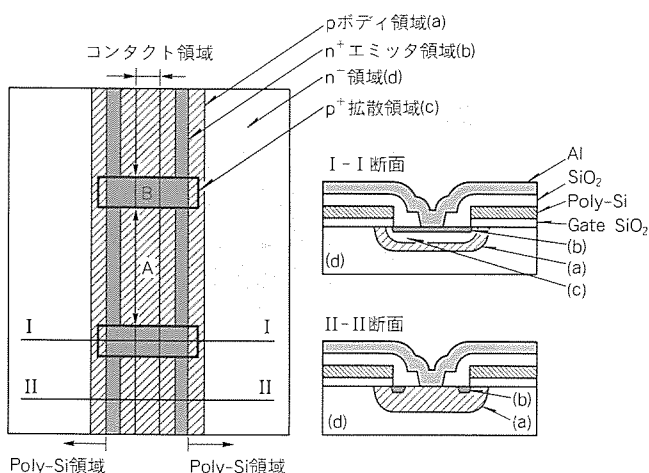


図 8. IGBT セルの表面及び断面構造

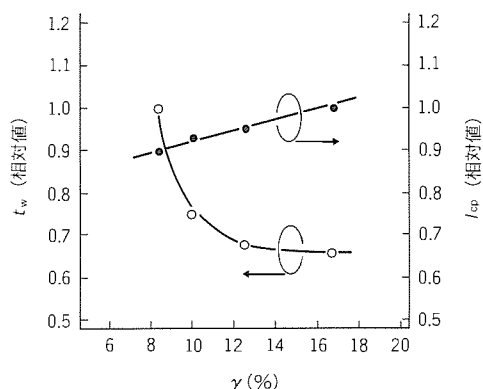


図 9. エミッタコンタクト率 (γ) と短絡耐量 (t_w) 及び短絡ピーク電流 (I_{cp}) の関係 (1,200 V 系第三世代例)

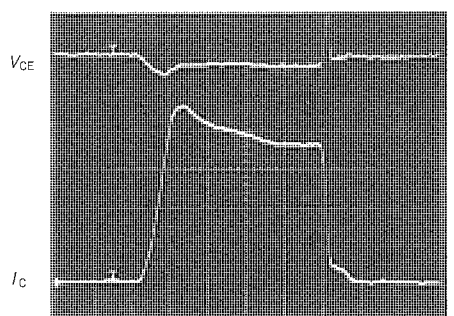


図 10. 負荷短絡波形 (IGBT 単体)

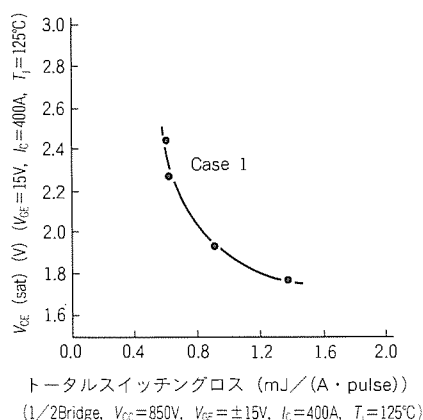


図11. $V_{CE}(sat)$ とスイッチング損失の関係（代表例）

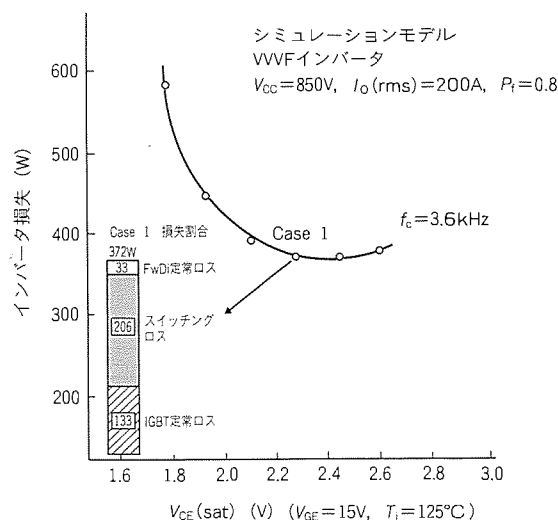


図12. $V_{CE}(sat)$ と使用周波数におけるインバータ損失の関係

表2. CM400HA-34H試作品の主要特性（代表例）

記号	項目	条件	単位	測定値
V_{CES}	コレクタ-エミッタ間電圧	$I_C = 1\text{ mA}$	V	1,800
$V_{CE}(sat)$	コレクタ-エミッタ間飽和電圧	$I_C = 400\text{ A}$ $V_{GE} = 15\text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	2.6 2.3
$V_{GE}(th)$	ゲート-エミッタ間しきい値電圧	$I_C = 40\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$	V	6.5
C_{ies}	小信号入力容量	$V_{GE} = 15\text{ V}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$	nF	56.6
C_{oes}	小信号出力容量			12.4
C_{res}	小信号帰還容量			0.64
$t_d(on)$	ターンオン遅れ時間	R負荷スイッチング $V_{CC} = 1,000\text{ V}$ $V_{GE} = 15\text{ V}$	ns	266
t_r	ターンオン上昇時間	$R_G = 2.2\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		528
$t_d(off)$	ターンオフ遅れ時間			354
t_f	ターンオフ下降時間			420
I_{rr}	逆回復電流	$-di/dt = 800\text{ A}/\mu\text{s}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$	A	68.8
t_{rr}	逆回復時間		ns	198

す。波形から実使用上必要とされる $10\mu\text{s}$ 以上の耐量が得られていることが分かる。

2.2.4 インバータ損失

IGBT 動作時の総発生損失では、使用されるインバータ装置のキャリア周波数により、定常損失とスイッチング損失の占める割合が変化する。つまり、低周波数で使用する場合は定常損失が、高周波数で使用する場合はスイッチング損失が、総発生損失に占める割合として大きくなる。したがって、キャリア周波数に応じて IGBT の仕様を決定する必要がある、それはライフタイムのコントロールによって決まる。

CM400HA-34H の L 負荷、高温条件下でのスイッチング損失と $V_{CE}(sat)$ のトレードオフ関係を図11に示す。図12には、図11のトレードオフカーブから得られるデータを用いて、電鉄用途を考慮し、仮にキャリア周波数 $f_c = 3.6\text{ kHz}$ にて CM400HA-34H を VVVF インバータに使用した場合の発生損失値を示す。図12から $f_c = 3.6\text{ kHz}$ では、 $V_{CE}(sat)$ による定常損失の低減よりも、スイッチング損失低減の方が、総発生損失に及ぼす影響が大きいことが分かる。したがって、図11のトレードオフカーブの (Case1) の仕様にライフタイムコントロールすることで、図12の総発生損失を最小損失にすることができる。また、(Case1) 仕様における発生損失の定常損失とスイッチング損失の割合を図12に示す。

これらの各シミュレーション結果から、この製品の開発目標値は、電鉄用途を考慮してキャリア周波数 $f_c = 3 \sim 6\text{ kHz}$ で最小損失となるよう $V_{CE}(sat) = 2.7\text{ V}$ 、ターンオフ下降時間 $t_f = 450\text{ ns}$ とした。

2.3 主要定格特性

表2に CM400HA-34H の試作段階で得られた主要定格特性を示す。図13は、エミッタ接地の出力特性であり、図14は L 負荷でのコレクタ電流とスイッチング時間の関係を示す。

2.4 応用

IGBT を DC1,500V 架線の電鉄制御装置に適用した場合の応用回路例を図15に示す。回路では、3レベルインバータ方式がとられ、1アーム当たりの素子の耐圧を $1/2$ で使用できるよう考慮されているため、1,200V 耐圧の IGBT の使用が可能と考えられる。しかし、推進装置の回生動作時等による入力電圧の上昇及び主回路のインダクタンスによるサージ電圧等を考慮した場合、1,200V 耐圧の IGBT の適用は困難となる。したがって、制御装置が安定して動作するには、1,700V 耐圧の IGBT が必要となる。

従来の GTO では、キャリア周波数 $f_c = 1\text{ kHz}$ 程度が限界であるのに対し IGBT を採用することにより、 $f_c = 3 \sim 6\text{ kHz}$ 程度での使用が可能となった。また、高速スイッチ

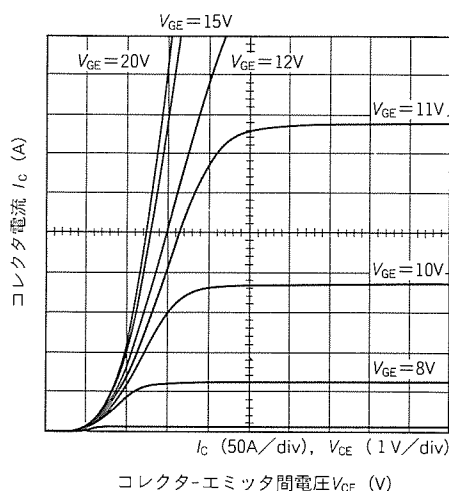


図13. 出力特性 (代表例)

ング特性のため、高周波 PWM (Pulse Width Modulation) 制御を適用することが可能となり、インバータ出力線間電圧をより正弦波に近づけることもできる。

3. む す び

以上、DC1,500 V 架線の鉄道車両用制御装置等の対応素子として開発した、定格 1,700 V/400 A、IGBT モジュール (CM 400 HA-34 H) の構造、特徴及びその応用について述べた。以下に、その成果についてまとめる。

- (1) 高耐圧 (定格 1,700 V)、かつ低損失及び負荷短絡耐量の確保などのトータル性能を向上することに成功した。
- (2) 低インダクタンス構造など、高耐圧、大電流使用に適したパッケージ開発に成功した。

これまで、IGBT は比較的小・中容量かつ高周波の電力変換装置分野でのみ使用されてきたが、今後の高耐圧、大容量化技術とあいまって、さらにその応用分野は広がるものと思われる、また、その強いニーズがあることも明らかである。

三菱電機(株)では、定格 1,200 V/1,000 A IGBT モジュール (CM 1000 HA-24 H) を開発することにも成功しており、今回開発した 1,700 V IGBT と合わせて、その適用分野の拡大に貢献しうるものと確信する。

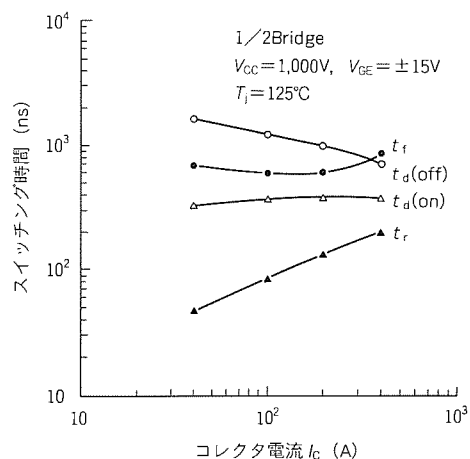


図14. コレクタ電流とスイッチング時間の関係 (代表例)

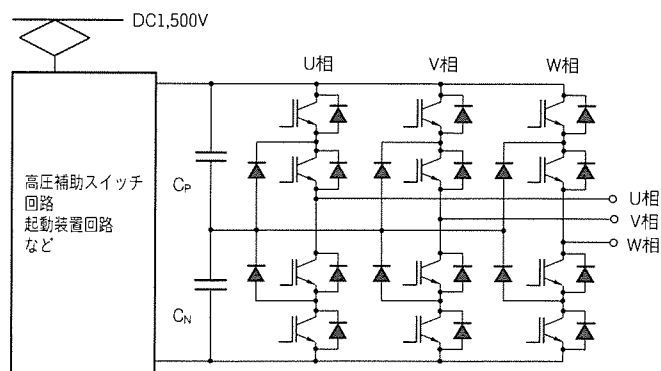


図15. インバータ回路構成

参 考 文 献

- (1) 松浦敏明, 青山正和, 太田泰正, 大山裕二: 車両補助電源用 GTO 2 重チョップ, 3 レベル IGBT インバータ装置, 平成 5 年度電気学会全国大会講演論文集, 5-70 ~ 71
- (2) 友松佳史, 浅野徳久, 吉田英二, 萩野浩靖, 武田満喜: IGBT エミッタ構造における特性への影響, 平成 5 年度電気学会全国大会講演論文集, 5-8
- (3) 山下潤一, 春口秀樹, 由宇義珍, 高良正行: 第 3 世代 1,200 V 系 IGBT の開発, 平成 5 年度電気学会全国大会講演論文集, 5-12

第三世代インテリジェント パワーモジュール

高梨 健* 友松佳史**
大島征一*
ゴラブ マジウムダール*

1. ま え が き

近年、汎用インバータや AC サーボやエアコン等の分野で三相モータの可変速制御を行うためにインテリジェントパワーモジュール (Intelligent Power Module : IPM) が使われ始めている。IPM は、高速 IGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) の性能をフルに引き出すゲート駆動回路、負荷短絡や過熱等の異常動作から自己保護を行い、システムにエラー信号をフィードバックする制御回路をパワーモジュールに内蔵した高集積形のパワーデバイスである。

最近、IPM に対する市場ニーズとして低損失化、ノイズ耐量増大等の要求が強くなり、今回この市場ニーズにこたえるために低損失の第三世代 IGBT を IPM に組み込んだ第三世代 IPM を開発した。

本稿では、第三世代 IPM の動作・構造・特性等について述べる。

2. 第三世代IPM開発のねらい

IPM は、従来のパワーデバイスに比較し、より高性能により使いやすく、より小型化を目標においたシステムニーズ対応のデバイスで、図 1 に IPM 開発のコンセプトを示す。システムニーズに対し、IPM の必要とされる性能は、①高周波特性、②低損失、③高破壊耐量 (広い SOA)、④保護の容易性等が挙げられる。しかし、キーデバイスである IGBT はスイッチング特性と飽和電圧と SOA との間にトレードオフの関係があり、すべての特性を最大限に発揮するのは不可能である。そこで、このトレードオフを改善してより低損失を実現するために最適な制御 IC を用いる考え方がある。

近年、インバータや AC サーボ等のモータ制御装置の発

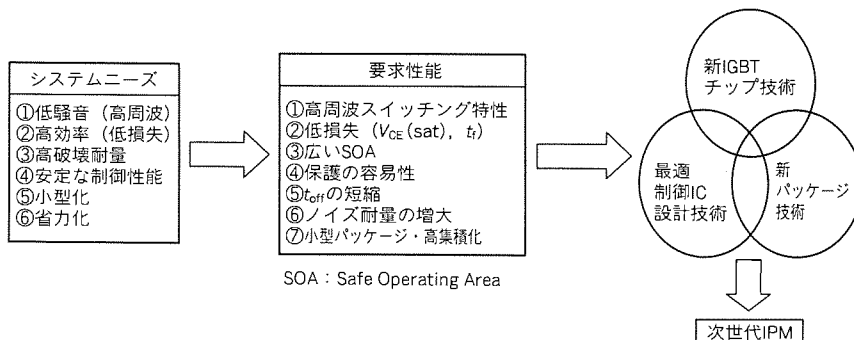


図 1. IPMの開発コンセプト

展には目覚ましいものがあり、特に低騒音化、高性能化、高機能化、及び小型・軽量化が年々進んでいる。これらとともに IPM への市場ニーズも低損失化が強く要求されるようになり、今回三菱電機第二世代 IPM よりも損失を 20% 低減した第三世代 IPM を開発し、一段と性能アップを図った。

3. 機 能

3.1 IGBT・FwDi(フリーホイールダイオード)

IGBT には一般に、コレクター-エミッタ間飽和電圧 ($V_{CE(sat)}$) からなる定常ロスとターンオフ時間からなるターンオフロスとのトレードオフ及び $V_{CE(sat)}$ と破壊耐量のトレードオフ関係がある。

今回、開発した IPM は従来の過電流保護等の保護機能に加え、リアルタイムの短絡保護機能 (RTC 回路) を追加することで、定常ロスとターシオフロスのトレードオフ関係を極限に近いところまで改善することが可能となった。

$V_{CE(sat)}$ 低減には MOS 部の通電能力の向上が効果的である。そこで、以下の 3 点を実施した (図 2、表 1 参照)。

- (1) 拡散のシャロー化によるチャネル長の低減
 - (2) セルパターンのファイン化によるチャネル幅の増大
 - (3) p ベース間隔 (L_{p-p}) の最適化による JFET 抵抗の低減
- また、pnp トランジスタ部の電流伝達率の増大も V_{CE}

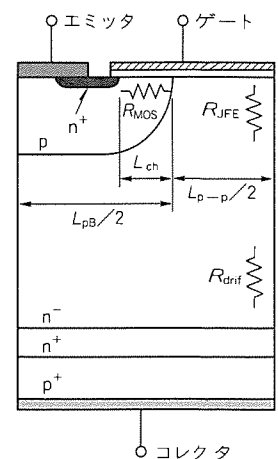


図 2. IGBTチップ断面

表 1. IGBTチップの構造比較(相対比)

	L_{ch}	L_{pB}	L_{p-p}
第二世代	1.0	1.0	1.0
第三世代	0.5	0.5	0.9

(sat) 低減に効果的であるが、反面、ターンオフロス増大につながるため n^+ バッファ層及びライフタイムの最適化を行い、定常ロスとターンオフロスのトレードオフの最適化を行った。

また、ターンオン時に発生するターンオンロスはダイオードのリカバリ特性が影響を与えている。そのため、逆回復電荷 (Q_{rr}) 及び逆回復時間 (t_{rr}) の低減が必要となる。また、リカバリサージ電圧の低減のために、ソフトリカバリ化も必要となる。そこで、シミュレーションによって以下のことが効果的であることを確認した。

- (1) アノード側の p 層の不純物濃度を低減することで i 層に蓄積されるホール濃度を低減させる。
- (2) アノード側の p 層をシャロー化することで p 層領域に

蓄積される電子濃度を低減させる。

これらの点を最適化したことで t_{rr} の目標値である第二世代の 50% 低減を達成した。

3.2 保護機能

IPM の保護機能について図 3 に示すタイミングチャートで説明する。

(1) 過電流保護回路動作

IGBT チップに内蔵された電流センスにより、コレクタ電流のみを検出しあらかじめセットされた過電流 (Over Current : OC) レベル以上に達したとき、入力信号を排除しゲート入力をオフ状態にして主電流を遮断する。このとき、過電流検出から保護動作に入るまで数 μs の時間遅れ (t_{OFF} (OC)) を設け、通常動作におけるターンオン時のフリーホ

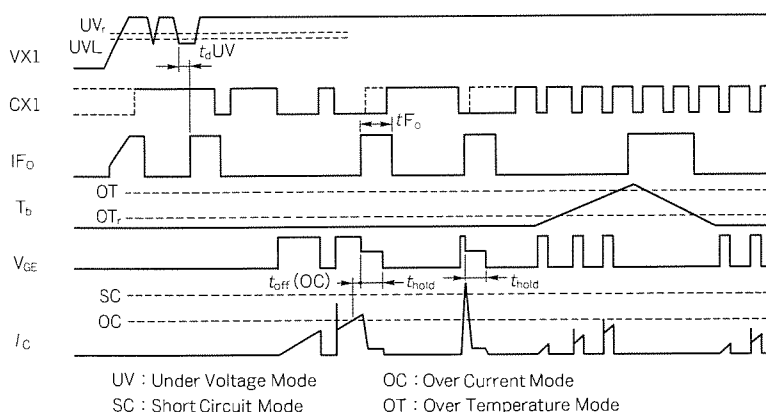


図 3. タイミングチャート

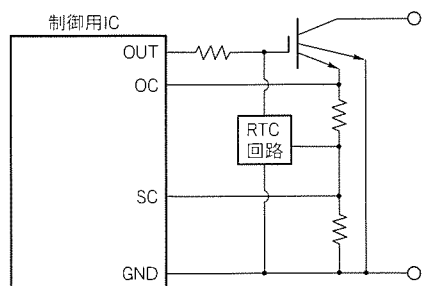
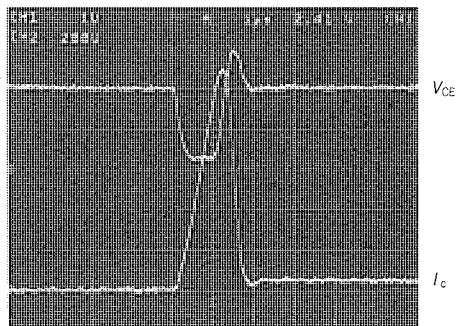
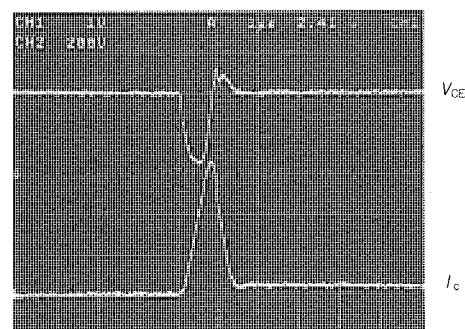


図 4. 第三世代 IPM の内部回路



条件 : $V_{CC}=400V$, $V_D=16.5V$, $T_J=125^\circ C$
 $I_C : 100A/div$, $V_{GE} : 200V/div$, $t : 1\mu s/div$

図 5. RTC 回路がない場合の短絡波形



条件 : $V_{CC}=400V$, $V_D=16.5V$, $T_J=125^\circ C$
 $I_C : 100A/div$, $V_{GE} : 200V/div$, $t : 1\mu s/div$

図 6. RTC 回路がある場合の短絡波形

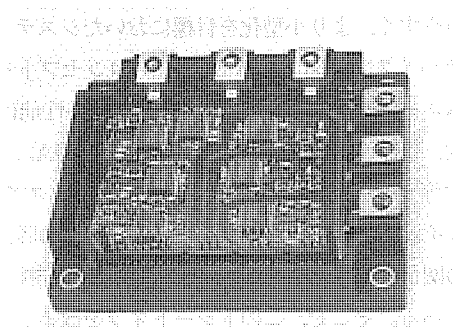


図 7. IPM の内部写真 (75A, 600V)

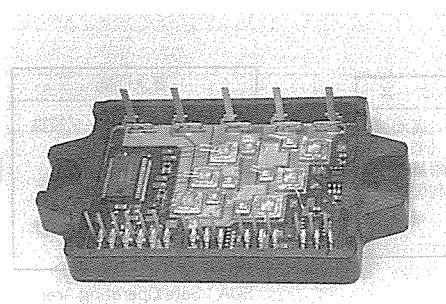


図 8. IPM の内部写真 (20A, 600V)

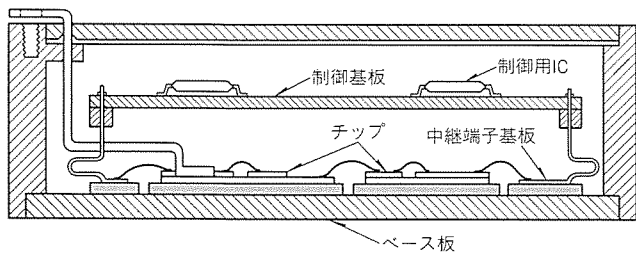


図9. IPM構造 (75A, 600V)

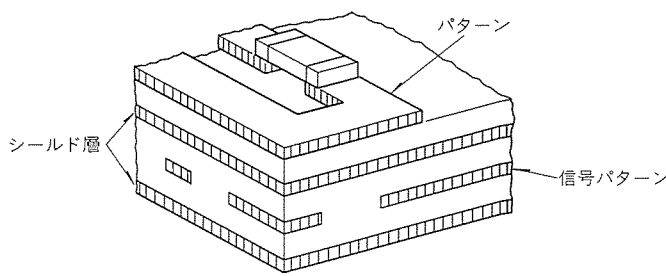


図10. 制御基板断面

表2. 第三世代 IPM形名一覧

形 名	端子形状	機 能					特 性			
		B _r	OC	SC	OT	UV	I _C (A)	V _{CES} (V)	V _{CE(sat)} (V)	V _F (V)
PM50RRB060	ファストンタブ	○	○	○	○	○	50	600	TYP. 1.8	TYP. 2.2
PM50CRB060	ファストンタブ	×	○	○	○	○	50	600	TYP. 1.8	TYP. 2.2
PM50RRA060	ねじ締め形	○	○	○	○	○	50	600	TYP. 1.8	TYP. 2.2
PM75RRA060	ねじ締め形	○	○	○	○	○	75	600	TYP. 1.8	TYP. 2.2
PM100RRS060	ねじ締め形	○	○	○	○	○	100	600	TYP. 1.8	TYP. 2.2
PM150RRA060	ねじ締め形	○	○	○	○	○	150	600	TYP. 1.8	TYP. 2.2

表3. 第二世代, 第三世代 IPMの特性比較

項 目	条 件		定 格 値		単 位
			二世世代	三世世代	
V _{CE(sat)}	V _D =15V, I _C =75A, T _j =125°C		2.5	1.85	V
V _{EC}	V _D =15V, -I _C =75A, V _{CIN} =15V		1.7	2.2	V
t _c (on)	I _C =75A, V _D =15V,		0.4	0.4	μs
t _c (off)	V _{CC} =300V, V _{CIN} =15V		0.6	0.5	
E _{SW}	T _j =125°C, 誘導負荷		10.1	7.6	mJ/pulse
I _D	V _D =15V, V _{CIN} =15V	VN1=VNC	80	80	mA
		VXP1=VXPC	25	25	
t _{dead}	各アーム段入力に対応		3	2	μs
OC	-20°C ≤ T _j ≤ 125°C V _D =15V	インバータ部	161	161	A
		ブレーキ部	53	53	
SC	-20°C ≤ T _j ≤ 125°C V _D =15V	インバータ部	241	241	A
		ブレーキ部	79	79	
t _{off} (OC)	V _D =15V		10	10	μs
OT	ベース板温度を検知		118	118	°C
UV	—		12.0	12.0	V
t _{FC}	V _D =15V		2	2	ms
V _D	—		15	15	V
R _{th(j-c)}	—	IGBT部	0.4	0.5	°C/W

イールダイオードによるリカバリ電流の検出を除去している。また、ゲート入力をオフ状態にすると同時に、エラー信号 (Fault Out : FO) を外部に出力する。ある一定時間後のエラー信号が解除され、過電流状態が解除されていれば、次の入力信号で自動的にリセットされ正常動作が可能になる。

(2) 短絡保護動作 (Short Circuit : SC)

短絡保護機能は、アーム短絡や負荷短絡で急しゅんな過大電流が流れた場合に IGBT チップを保護するための機能で、通常の過電流より早い現象の保護を目的としている。電流検出は過電流と同じ方法で行い、過電流より高いレベルで瞬時

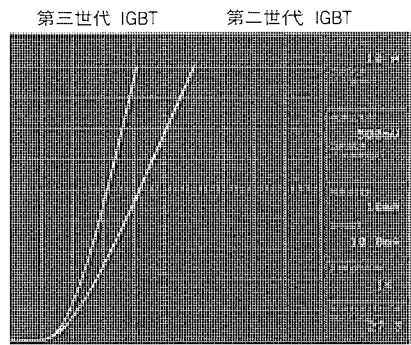


図11. 第二世代, 第三世代 IGBTの V_{CE(sat)}

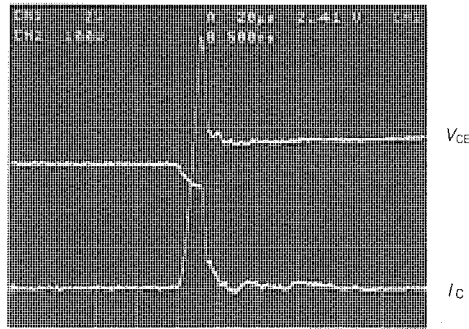


図12. 第二世代 IPMターンオン波形

に検出し、遮断は2段階によるソフト遮断でターンオフ時のサージ電圧を抑える工夫がなされている。ゲート遮断と同時にエラー信号が出力される。短絡保護状態からのリセットは過電流保護と同様、自動的に解除される。

(3) 過熱保護動作 (Over Temperature : OT)

IGBT チップの近傍に半導体温度センサ又はサーミスタを配置し、ケース温度の過熱状態を検出する。この場合、検出レベルはトリップレベルとリセットレベルをもち、過熱状態を検出している期間エラー信号を出力する。

(4) 制御電源電圧低下保護動作 (Under Voltage : UV)

制御電源電圧低下は、制御 IC の不安定動作及び IGBT のバイアス不足による破壊に直接影響を与える。したがって、電圧低下に対し入力信号を遮断することによって保護を行う。過熱保護と同様にトリップレベルとリセットレベルをもち、

保護動作中はエラー信号を出力する。

3.3 RTC回路

第三世代 IGBT は電流立ち上がり時の di/dt が第二世代に比べて速いため、上記の制御 IC の短絡保護機能だけでは短絡電流に対して保護できない場合がある。そこで、短絡保護を完全にするために図 4 に示すように IGBT のセンス電流をモニタし、短絡レベルの電流が流れた場合、瞬時にゲート電圧を減少させ短絡電流を制限する RTC (Real Time Control) 回路を設けている。その効果を図 5、図 6 に示す。短絡時のコレクタ電流のピーク値が約 40% 低減され、その時のターンオフサージ電圧も 50% 低減される。

また、RTC 回路が動作してもエラー信号が出力されるようになっている。

4. 構造

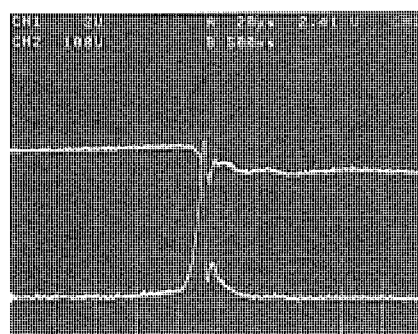
内部構造は第二世代 IPM と同様である。図 7、図 8 に内部写真を示す。IPM は、基板上に IGBT を必要数マウントし、基板上で各 IGBT チップを特定の結線で配線し、応用回路に必要な外部結線を最小限にしている。50 A 以上の IPM は図 9 で示すように、IGBT チップ搭載のベース板から分離された制御回路が 2 段構造で内蔵されている。この制御基板上には駆動回路及び保護回路からなる 1 チップ IC が置かれている。この IPM は IGBT チップに非常に近接した

位置に駆動回路を設置している。また、30 A 以下の IPM は、図 8 のように制御用 IC が IGBT チップのすぐ近傍に配置されており、ゲート逆バイアス無しでもゲート配線インダクタンスによる誘導ノイズやゲート電圧の振動現象が抑えられる。また、30 A 以下の IPM の基板は 2 層構造を採用しており、各相の制御回路を別々にシールドしている。

また、50 A 以上の IPM の制御基板の断面を図 10 に示す。制御基板は 4 層構造を採用しており、3 層目に信号ラインを配置し、上下をシールド層で挟み込んでいる。

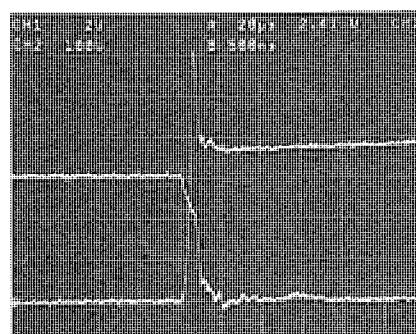
また、中継端子基板は 2 層構造を採用しており、信号端子のパッドをシールドしている。

以上のように、三菱電機 IPM は外来ノイズ及び自己ノイ



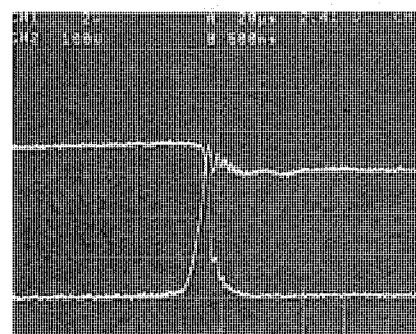
条件 : $I_C = 75A$, $V_{CC} = 300V$, $T_j = 125^\circ C$
 I_C : 20A/div, V_{CE} : 100V/div, t : 500ns/div

図13. 第二世代 IPM ターンオフ波形



条件 : $I_C = 75A$, $V_{CC} = 300V$, $T_j = 125^\circ C$
 I_C : 20A/div, V_{CE} : 100V/div, t : 500ns/div

図14. 第三世代 IPM ターンオン波形



条件 : $I_C = 75A$, $V_{CC} = 300V$, $T_j = 125^\circ C$
 I_C : 20A/div, V_{CE} : 100V/div, t : 500ns/div

図15. 第三世代 IPM ターンオフ波形

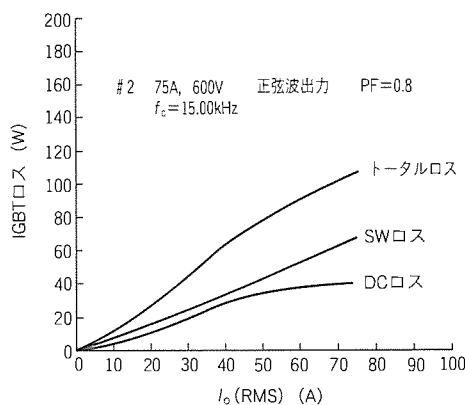


図16. 第二世代 IPM の IGBT ロス

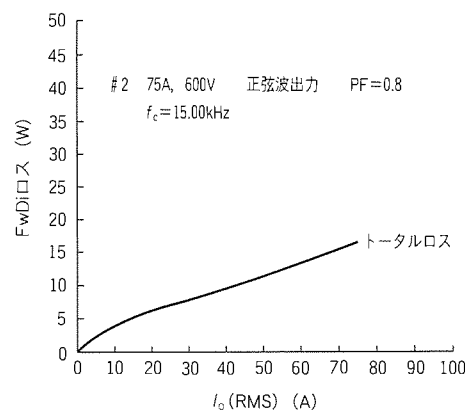


図17. 第二世代 IPM の Fw Di ロス

ズによる誤動作を防止する構造となっておりノイズ耐量は増大している。

5. 特 性

表2に第三世代IPMの形名一覧を、表3に75A、600Vの第二世代IPMと第三世代IPMとの特性比較を示す。以下、主な特性の評価結果について述べる。

(1) V_{CE} (sat)

第二世代IGBTと第三世代IGBTとの V_{CE} (sat)-コレクタ電流特性を図11に示す。定格電流($I_C=75A$)において V_{CE} (sat)が約25%低減されている。

(2) スイッチング特性

第二世代IPMと第三世代IPMの誘導負荷ハーフブリッジ回路で、スイッチング特性評価を行った。図12、図13に第二世代IPMのターンオン、ターンオフ波形を、図14、図15に第三世代IPM Version1のターンオン、ターンオフ波形を示す。IGBTのターンオン時間 t_c (on)、ターンオフ時間 t_c (off)共に第三世代IPMの方が速く、スイッチングロスが小さくなった。

逆回復電流(I_{rr})は第二世代と同程度であるが、逆回復時間(t_{rr})は50%程度に低減されている。

(3) インバータロス

第二世代IPMと第三世代IPMのインバータロスのシミュレーションを行った結果、第二世代IPMのIGBTロス、FwDiロスをそれぞれ図16、図17に、第三世代IPMのIGBTロス、FwDiロスをそれぞれ図18、図19に示す。表4に示すようにモータ(7.5kW)定格出力電流 $I_o=33A$ のときのインバータロスは第二世代IPMに比べて約20%低減している(f_c :キャリア周波数, PF:モータ力率)。

6. 信 頼 性

表5に第三世代IPM(75A, 600V)の信頼性結果を示す。このIPMは信頼性試験の結果から高信頼性水準にあることを示している。

7. む す び

今後IPMは、より低損失・高周波スイッチングをねらい、IGBTとして更に微細化、最適設計が進み、高性能が期待できる。また、インテリジェント化の次世代技術としてパワーデバイスと周辺の信号処理回路をワンチップに集積したパワーICが注目されている。パワーICは、パワー部と制御部とを同一チップに形成するもので、両者を電氣的に絶縁するための絶縁分離技術が最も重要で、現在、実用化に向けて

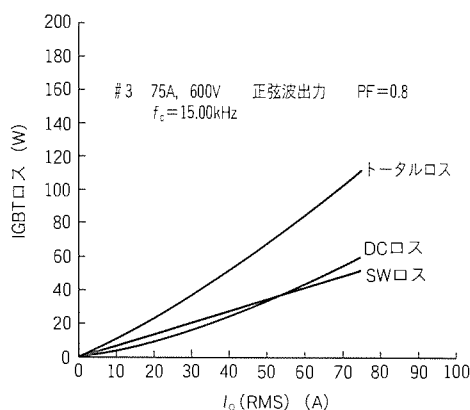


図18. 第三世代IPMのIGBTロス

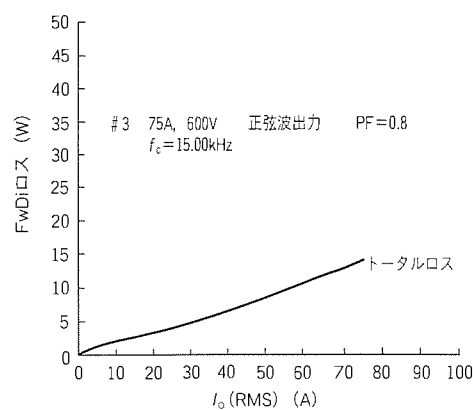


図19. 第三世代IPMのFw Diロス

表4. 第二世代, 第三世代IPMインバータロス比較

項 目	条 件	IPM	
		二世	三世
IGBT トータルロス	$I_o=33A$ $f_c=15kHz$ PF=0.8	50.5W	40.5W
FwDi トータルロス		8.4W	6.4W

表5. 第三世代IPMの信頼性結果

試 験 項 目	試 験 条 件	n	r
高 温 保 存	$T_a=125^{\circ}C$, $t=1,000h$	5	0
低 温 保 存	$T_a=-40^{\circ}C$, $t=1,000h$	5	0
耐 湿 性	$T_a=60^{\circ}C$, R, H=90%, $t=1,000h$	5	0
高温バイアス	$T_a=125^{\circ}C$, $V_{CES}=510V$, $V_D=15V$, $t=1,000h$	5	0
断 続 動 作	$\Delta T_{ch}=100^{\circ}C$, 5,000サイクル	5	0
熱 衝 撃	$0^{\circ}C$, 5分 \Rightarrow $100^{\circ}C$, 5分, 5回	5	0
温度サイクル	$T_a=-40^{\circ}C$, 60分 \Rightarrow $25^{\circ}C$, 10分 \Rightarrow $125^{\circ}C$, 60分 \Rightarrow $25^{\circ}C$, 10分, 100回	5	0
はんだ付け性	$230^{\circ}C$ のはんだ槽, 5秒	5	0
はんだ耐熱	$260^{\circ}C$ のはんだ槽, 10秒	5	0

研究されている。このパワーICの技術が確立されればよりコンパクトなIPMの開発が可能であり、市場ニーズに十分こたえることができるであろう。

参 考 文 献

- (1) 川上 明, 森 敏, 由宇義珍: IPMとそのACドライブへの応用, 平成4年電気学会産業応用部門全国大会 (1992)
- (2) 川上 明, 山田富久, 森 敏: 半導体デバイスの新しい風, パワーエレクトロニクス研究会 (1992)
- (3) IPMの技術動向, 三菱電機トリプルA (1993)
- (4) Majumdar, G., Yamashita, J., Nishihara, H., Tomomatsu, Y., Soejima, N., Tabata, M., Hagi, H.: A New Generation High Speed Low Loss IGBT Module, ISPSD, 168~171 (1992)

低損失共振形インバータ用IGBT

幡手一成*
小野 隆*
福持泰明*

1. ま え が き

ここ数年来、家電製品の電子レンジ、IH 炊飯ジャー等において省エネ、小型・軽量化を図るために高周波インバータである電圧共振回路に IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) の採用が急速に進み、それが定着しつつある。さらに、この種の応用では低損失、低コストの IGBT が注目されてきている。

今回、著者らは微細加工技術とシミュレーション技術の採用によって従来品に比べて大幅な低損失化を実現し、平面形構造では IGBT の限界に近い特性を得ることが可能な第三世代電圧共振形インバータ用 IGBT の開発に成功した。製品化はチップサイズを小型化し、従来品と同等の特性を備えた最大定格 60 A/1,000 V クラスの品種 CT60 AM-20 とした。

本稿では、電圧共振インバータ電源について述べた後、IGBT の構造と低損失化及び CT60 AM-20 の定格と特性に

ついて述べる。

2. 電圧共振インバータ電源

調理用家電製品での電圧共振インバータ化は、当初、電子レンジ、電磁調理器から始まった。従来、電圧共振インバータ回路の主スイッチにはバイポーラトランジスタを用いていた。しかし、バイポーラトランジスタは電流駆動のためその駆動回路が大きく、損失も大きかった。そのため、次に主スイッチ用素子として登場したのが IGBT である。IGBT は、①電圧駆動である、②スイッチングスピードが速い、③順伝達アドミタンス ($|y_{fs}|$) が高いという特長がある。それにより、駆動回路の小型化、損失の低減も可能となる。このため電圧共振インバータ回路は、IH 炊飯ジャーなどの小型化を要求される市場にまで採用されるようになった。

2.1 電圧共振インバータ回路

電圧共振インバータの基本回路 (例：電子レンジ) を図 1 に、電圧共振動作波形を図 2 に示す。電圧共振回路は、主スイッチ用素子 (IGBT) と共振回路であるコンデンサ (C1)、

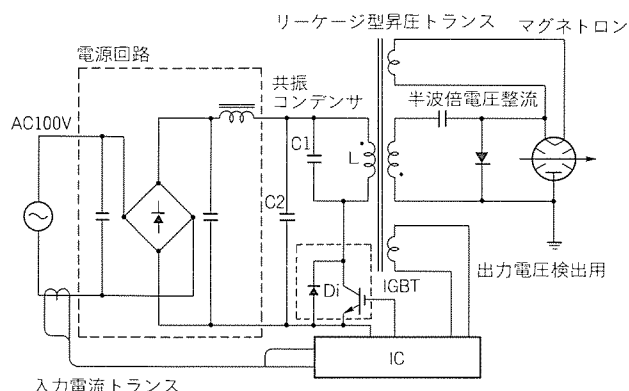
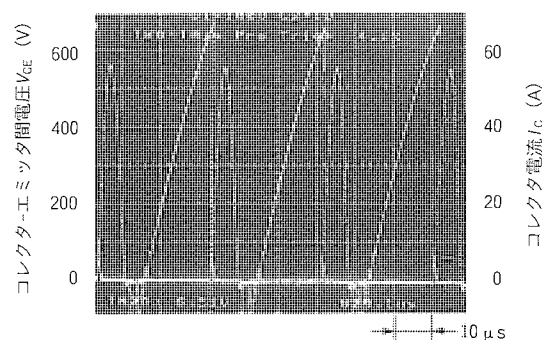
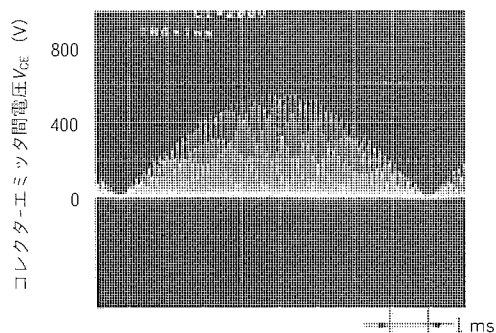


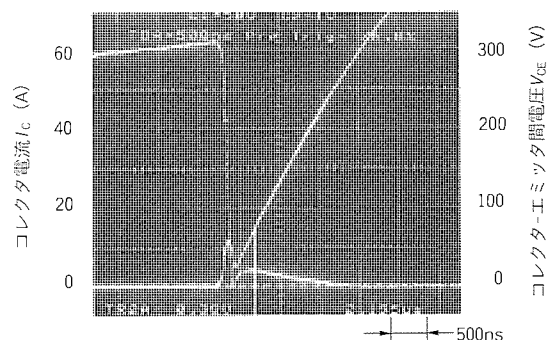
図 1. 電圧共振インバータ電子レンジ回路



(b) 拡大



(a) 全体



(c) ターンオフ部拡大

図 2. CT60AM-20 電子レンジ動作波形

リアクトル (L)、ダイオード (Di) と非常に簡単な構成となっている。電圧共振インバータの動作は、①IGBT がオンになり、L に一定の di/dt 傾きをもった電流が流れ、②所定の電流 (又は時間) になると IGBT がオフし、L にたまっていたエネルギーによって C1 電圧が上昇する。次に、③L のエネルギーが C1 に移り C1 電圧がピークを迎えたのち C1 が放電し、電圧がゼロとなる。④再び IGBT がオンし、①の状態となる動作である。電圧共振インバータ動作での IGBT の損失は、図 2 から分かるように、スイッチング損失でのターンオン損失がなく、ターンオフ損失と定常損失 (オン損失) の二つである。また、図 2 から非平滑電圧でスイッチングしており、周波数は約 35 kHz で動作していることが分かる。

その他、使用例として IH 炊飯ジャーの構成回路を図 3 に、

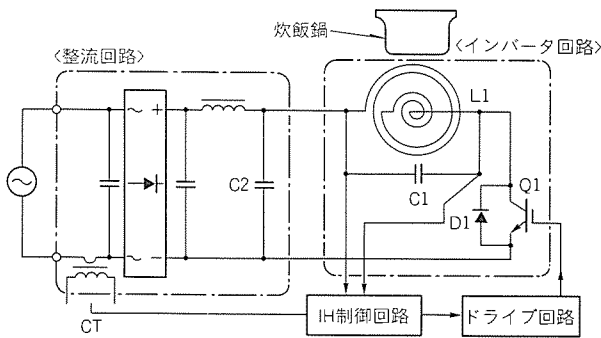
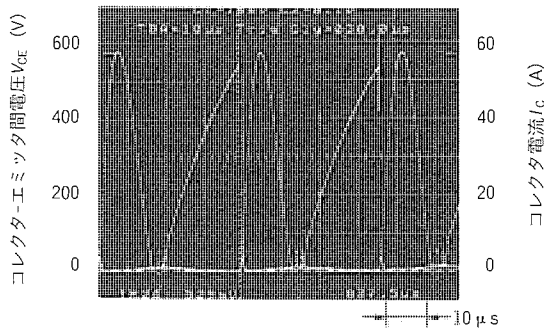
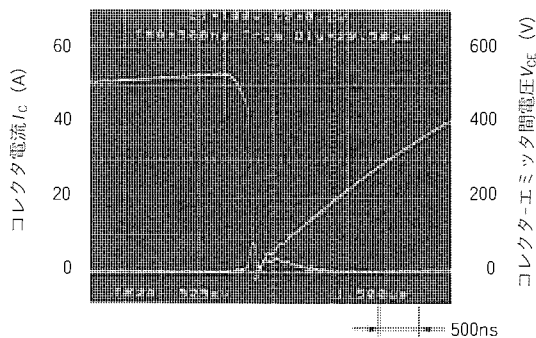


図 3. 電圧共振インバータ IH 炊飯ジャー回路



(a) 拡大



(b) ターンオフ部拡大

図 4. CT60AM-20 IH 炊飯ジャー動作波形

動作波形を図 4 に示す。回路はほぼ電子レンジと同様の構成である。電子レンジとの違いは、共振用の L が昇圧トランスかワークコイルかの違いと、動作周波数が約 20 kHz といった点である。

2.2 電圧共振インバータ用 IGBT の特長

2.1 節で述べたように電圧共振インバータ用 IGBT へ求められる性能は、主に①低飽和電圧、②低ターンオフ損失、③駆動が簡単な 3 点である。しかし、IGBT はその構造上どうしてもターンオフ時にテール電流 (I_{tail}) (図 2) と呼ばれる電流が流れてテール損失 (E_{tail}) が発生してしまう。しかし、IGBT にはテール電流を小さく制御すると飽和電圧 ($V_{CE(sat)}$) が上がるというトレードオフが存在する。このため、いかにこのトレードオフを改善して低飽和電圧で低テール電流の素子を開発するかがキーポイントとなる。

また、この電圧共振インバータ回路では、主スイッチが逆導通であることが必要であるため、IGBT に逆導通用のダイオードが並列に接続されている。この逆導通用ダイオードを IGBT と一体化させることも重要な開発ポイントとなってくる。

3. 電圧共振インバータ用 IGBT の構造と低損失化

電圧共振インバータ用 IGBT の外観を図 5 に、その等価回路を図 6 に示す。パッケージタイプは TO3 PL であり、その内部に IGBT とフリーホイールダイオードのチップが搭載されている。以下にその構造と低損失化について述べる。

3.1 構造

この IGBT パッケージ外形を図 7 に示す。この TO3 PL パッケージは、ディスクリット トランスファーモールドタイプとしては最大であり、ほぼ標準的なパッケージとなりつつある。当社はその制約の中で 2 点の特長を実現した。

1 点目は、阻止状態でのコレクタ-エミッタ間電圧 (V_{CES}) が 1,000 V という高耐圧に対し、その安全性を高めるため、端子間、放熱フィン-端子間の沿面距離、空間距離を極限まで伸ばし、ユーザーサイドでの安全規格等の取得時にも有利

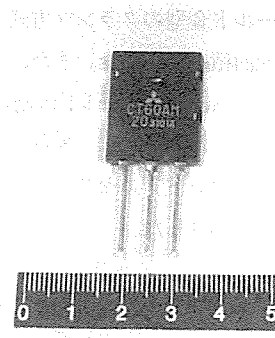


図 5. 電圧共振インバータ用 IGBT の外観

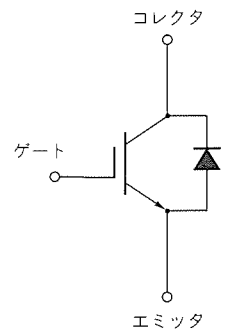


図 6. IGBT の等価回路

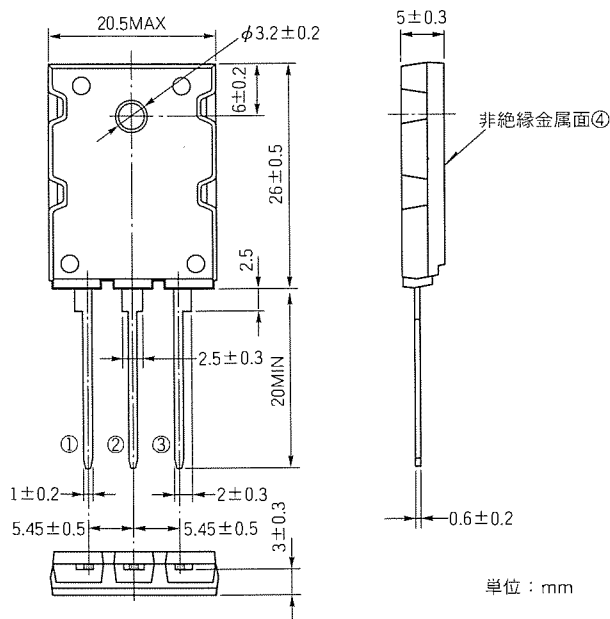


図7. パッケージ外形

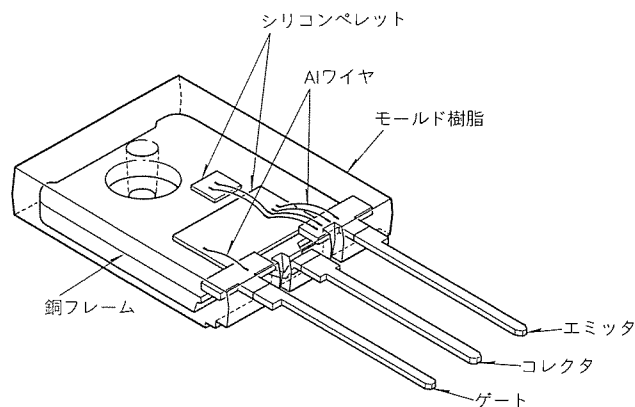


図8. 内部構造

なパッケージとした。

また、2点目は、これまで一般的に外付けされていたフリーホイールダイオードを同一パッケージに内蔵し、ユーザーの組立工数を省くことを可能とした。その内部構造を図8に示す。

これを実現するために、設計面・材料面・組立プロセス面での新アプローチを展開した。まず、パッケージへ搭載するチップの自由度を高めるためにモールド金型のクランプ方式を見直し、最大限のチップ搭載可能面積を確保した。また、異種の大面積チップを搭載することから、パッケージ内部応力を緩和するために低応力樹脂を使用した。さらに、異種2チップ搭載のため、異種2チップダイボンプロセス、2ヘッド異径太線ワイヤボンプロセスを確立した。

3.2 低損失化

2.2節で述べたように電圧共振形インバータ用 IGBT の発生損失の低減には $V_{CE}(\text{sat})$ と I_{tail} の低減を考慮する必要がある。今回、様々な設計パラメータを振り分け、損失低減のための最適化を行った。その結果、従来品に比べて V_{CE}

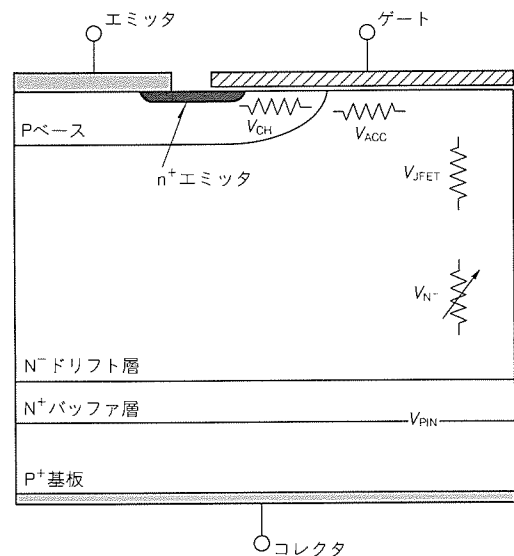


図9. IGBTユニットセルの断面構造

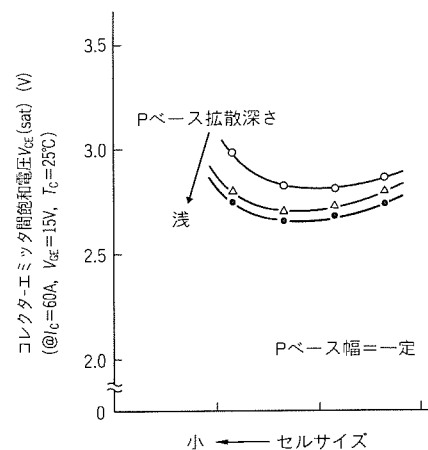


図10. $V_{CE}(\text{sat})$ とセルサイズとの相関

(sat) と I_{tail} によるテール損失 (E_{tail}) が低減でき、両者のトレードオフの大幅な改善が図れた。以下に $V_{CE}(\text{sat})$ と E_{tail} の低減、及び $V_{CE}(\text{sat}) - E_{\text{tail}}$ のトレードオフについて述べる。

3.2.1 飽和電圧 $V_{CE}(\text{sat})$ の低減

IGBT ユニットセルの断面構造を図9に示す。IGBT の $V_{CE}(\text{sat})$ は以下の式で表すことができる。

$$V_{CE}(\text{sat}) = V_{\text{PIN}} + V_{\text{N-}} + V_{\text{MOS}} + V_{\text{S}} \quad \dots\dots (1)$$

$$V_{\text{MOS}} = V_{\text{CH}} + V_{\text{ACC}} + V_{\text{JFET}} \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 V_{PIN} : P^+ 基板と N^+ バッファ層の P^+N^+ ダイオードの順電圧降下

$V_{\text{N-}}$: P^+N^+ 接合障壁を越えてホールの注入が起こり、伝導度変調する N^- ドリフト領域での電圧降下

V_{MOS} : 上部 MOS 構造の電圧降下

V_{S} : 配線抵抗によって発生する電圧降下

V_{CH} : チャネル形成部の電圧降下

V_{ACC} : 蓄積層部の電圧降下

V_{JFET} : J-FET 部の電圧降下

である。

今回 $V_{CE(sat)}$ の低減には、

- (1) 微細加工技術とシミュレーション技術により、MOS 構造部の最適設計を行い、 V_{MOS} を低減した。
- (2) N^+ 層の不純物濃度プロファイルを最適化し、 V_{N-} を低減した。

図10は V_{MOS} を低減するために行った実験結果であり、P ベース幅を一定としたときの $V_{CE(sat)}$ とセルサイズとの相関を示す。セルサイズが小さくなることによって MOS 構

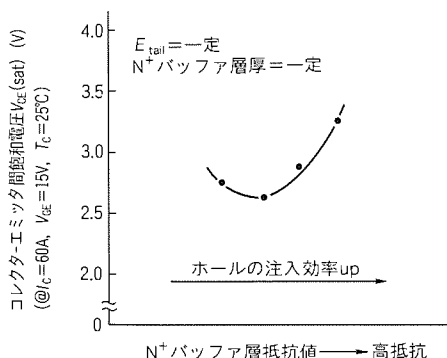


図11. $V_{CE(sat)}$ と N^+ バッファ層抵抗値との相関

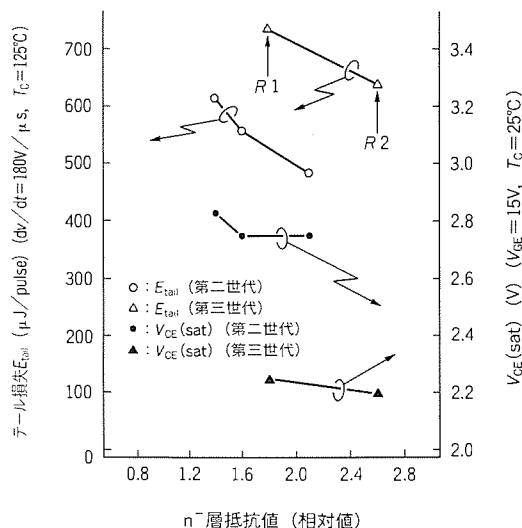


図12. E_{tail} と $V_{CE(sat)}$ の N^- 層抵抗値依存性

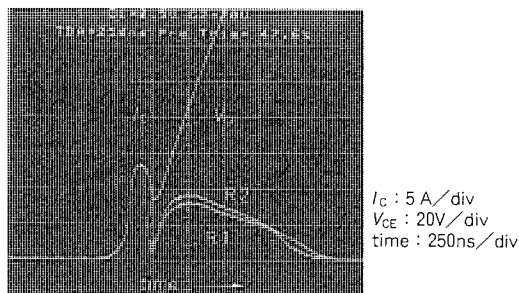
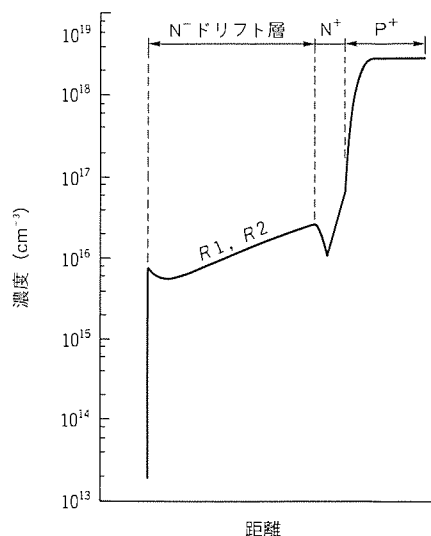


図13. 抵抗値 $R1$, $R2$ のターンオフ波形
($T_C = 125^\circ C$, $R1 < R2$)

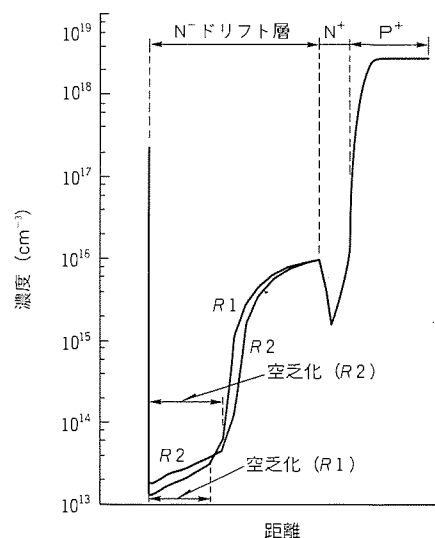
造部の単位面積当たりの総チャネル幅が増加し、 $V_{CE(sat)}$ が低減されるが、セルサイズを小さくしすぎると V_{JFET} が増加してしまい $V_{CE(sat)}$ が増加する。また、P ベースの拡散深さを浅くすることで V_{JFET} と V_{CH} が低減でき、 $V_{CE(sat)}$ が低減される。したがって、 $V_{CE(sat)}$ とセルサイズの間にはP ベースの拡散深さに応じた最適値がある。

図11は V_{N-} を低減するために行った実験結果であり、 $V_{CE(sat)}$ と N^+ 層の抵抗値との相関を示す。 N^+ 層の厚さを一定とした上で抵抗値を高くしていくと、 P^+ 基板から N^- 層へのホールの注入効率が良くなり、 E_{tail} 一定でみた場合 $V_{CE(sat)}$ が低減される。しかし、ホールの注入効率を良くしすぎるとスイッチングのターンオフ時にホールの再注入が起こり、 E_{tail} の増加につながる。したがって、 $V_{CE(sat)}$ を低減するためにはホールの注入効率を最適化する必要がある。

3.2.2 E_{tail} の低減



(a) ターンオフした直後 (time = 0s)



(b) ターンオフして550ns後 ($V_{CE} = 75V$)

図14. ターンオフ時のバルク中のホール濃度

E_{tail} を低減するためには、 I_{tail} が流れているテール期間を短縮する必要がある。テール期間の短縮にはウェーハの縦方向の不純物濃度プロファイルが寄与しており、中でも N^- 層の不純物濃度と厚さが大きく影響していることが、実験結果とシミュレーション解析によって判明した。

E_{tail} と $V_{CE(sat)}$ の N^- 層抵抗値依存性を図12に示す⁽⁴⁾。従来品である第二世代品も一緒に示しているが第三世代品とは実験条件が異なるため、ここでは両者を定量的に比較できない。いずれの場合も N^- 層の抵抗値を高くしても $V_{CE(sat)}$ の上昇がなく、 E_{tail} が低減できることが分かる。

低抵抗 $R1$ と高抵抗 $R2$ でのターンオフ波形を図13に示す。ここではテール電流部を拡大しており、 $R2$ は $R1$ に比べて I_{tail} のピーク値が高く、テール期間が短いことが分かる。これは N^- 層の高抵抗化により、ターンオフ時の N^- 層内の空乏層の広がり方が速くなるため、 N^- 層へ注入された過剰ホールがターンオフ時にいち早く空乏層中へ取り込まれて消滅することを示唆している。

図14は $R1$ と $R2$ 近傍の抵抗値でIGBTのターンオフシミュレーションを行い、バルク中のホールの挙動と空乏層の広がりについて両者を比較したものである。シミュレータに

はS-PISCES2Bを使用した。図14(a)はターンオフした直後、図14(b)はターンオフして550ns後のバルク中のホール濃度を示す。ターンオフした直後は $R1$ と $R2$ とでバルク中のホール濃度が同一である。ターンオフして550ns後はコレクタ-エミッタ間に電圧が印加されているため N^- 層中に空乏層が広がっている。 $R2$ は $R1$ に比べて空乏化の距離が

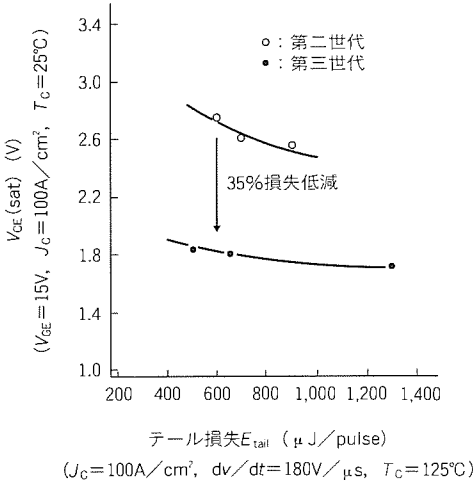


図15. $V_{CE(sat)}$ と E_{tail} とのトレードオフ

表1. CT60AM-20の主要定格と特性

最大定格 ($T_c=25^{\circ}\text{C}$)						
項 目	記 号	条 件	定 格 値		単 位	
コレクタ-エミッタ間電圧	V_{CES}	$V_{GE}=0\text{V}$	1,000		V	
ゲート-エミッタ間電圧	V_{GES}	$V_{CE}=0\text{V}$	± 20		V	
ピークゲート-エミッタ間電圧	V_{GEM}	$V_{CE}=0\text{V}$	± 30		V	
コレクタ電流	I_C	—	60		A	
コレクタ電流 (パルス)	I_{CM}	$t_W=1\text{ms}$	120		A	
エミッタ電流	I_E	—	40		A	
コレクタ損失	P_C	$T_C=25^{\circ}\text{C}$	250		W	
接合温度	T_j	—	$-40\sim+150$		$^{\circ}\text{C}$	
保存温度	T_{stg}	—	$-40\sim+150$		$^{\circ}\text{C}$	
電気的特性 ($T_j=25^{\circ}\text{C}$)						
項 目	記 号	条 件	最 小	標 準	最 大	単 位
コレクタ-エミッタ間漏れ電流	I_{CES}	$V_{CE}=1,000, V_{GE}=0\text{V}$	—	—	1	mA
ゲート-エミッタ間漏れ電流	I_{GES}	$V_{GE}=\pm 20\text{V}, V_{CE}=0\text{V}$	—	—	± 0.5	μA
ゲート-エミッタ間しきい値電圧	$V_{GE}(\text{th})$	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=6\text{mA}$	2.0	—	6.0	V
コレクタ-エミッタ間飽和電圧	$V_{CE}(\text{sat})$	$I_C=60\text{A}, V_{CE}=15\text{V}$	—	2.6	3.5	V
小信号入力容量	C_{ies}	$V_{CE}=25\text{V}$	—	1,950	—	pF
小信号出力容量	C_{oes}	$V_{GE}=0\text{V}$	—	170	—	pF
小信号帰還容量	C_{res}	$f=1\text{MHz}$	—	65	—	pF
ターンオン遅延時間	$t_d(\text{on})$	$I_C=60\text{A}$ 抵抗負荷	—	0.04	—	μs
上昇時間	t_r	$V_{CC}=300\text{V}$	—	0.15	—	μs
ターンオフ遅延時間	$t_d(\text{off})$	$V_{GE}=15\text{V}$	—	0.30	—	μs
下降時間	t_f	$R_G=25\Omega$	—	0.30	—	μs
テール損失	E_{tail}	$I_{CP}=60\text{A}, T_j=125^{\circ}\text{C}$	—	0.6	1.0	mJ/pls
テール電流	$I_{C\text{ tail}}$	$dV/dt=200\text{V}/\mu\text{s}$	—	6	12	A
エミッタ-コレクタ間電圧	V_{EC}	$I_E=60\text{A}$	—	—	3	V
ダイオード逆回復時間	t_{rr}	$I_E=60\text{A}, di/dt=20\text{A}/\mu\text{s}$	—	0.5	2	μs
熱抵抗 (IGBT部)	$R_{\text{th}}(\text{j-c})$	ジャンクション-ケース間	—	—	0.5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
熱抵抗 (ダイオード部)	$R_{\text{th}}(\text{j-c})$	ジャンクション-ケース間	—	—	4.0	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

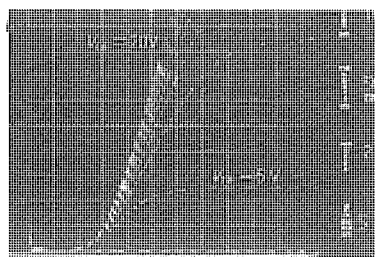


図16. CT60AM-20の出力特性($T_c=25^\circ\text{C}$, 代表例)

長く空乏層の広がる速さが速いことが分かる。また、空乏層中のホール濃度は $R2$ が $R1$ に比べて高い。これは、 $R2$ の方が空乏層中に取り込まれて消滅する N^- 層中の過剰ホールの消滅速度が速いことを示している。したがって、空乏化の速度が速い高抵抗 $R2$ の方が過剰ホールの消滅速度も速くなることが理解できる。

3.2.3 $V_{CE}(\text{sat})$ - E_{tail} トレードオフ

1,000V 耐圧の第三世代品の $V_{CE}(\text{sat})$ と E_{tail} とのトレードオフを図15に示す。ここで、電流密度 (J_c) は 100 A/cm^2 としている。また、比較に当社第二世代品も示す。微細加工技術の適用と設計パラメータ及びライフタイムコントロールの最適化により、第三世代品は第二世代品に比べて35%損失を低減できた。

4. 定格と特性

ここでは、電圧共振形インバータ用 IGBT の第三世代化により、製品化した CT60AM-20 の定格と特性について述べる。CT60AM-20 の主要な定格と特性を表1に示す。 V_{CES} は1,000V を、コレクタ電流 (I_c) は60A を最大定格として保証している。

(1) 飽和電圧特性

CT60AM-20 の出力特性を図16に示す。ゲート-エミッタ間電圧 (V_{GE}) が15V、 I_c が60A のとき $V_{CE}(\text{sat})$ は2.6V typ. であり、高電流においても低飽和電圧特性を示している。

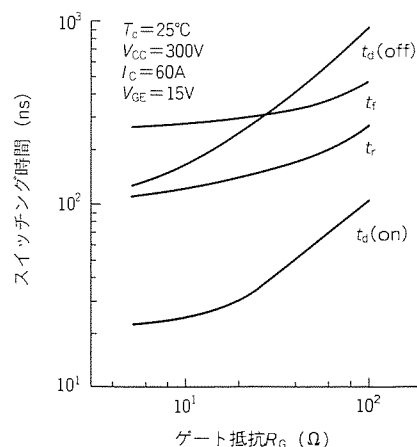


図17. スイッチング時間とゲート抵抗との関係 ($T_c=25^\circ\text{C}$, 代表例)

(2) スイッチング特性

スイッチング時間 (t_{SW}) とゲート抵抗 (R_G) との関係を図17に示す。 $V_{CE} = 25\text{ V}$ 時の入力容量 (C_{iss}) が $1,950\text{ pF typ.}$ と低いため、従来品に比べて約30% t_{SW} が短縮された。

5. む す び

以上、電圧共振形インバータ用 IGBT についてその特長、構造、低損失化及び製品の特性について述べた。今後、電圧共振形インバータ用 IGBT は、①低飽和電圧で低ターンオフ損失 (低テール損失)、②高周波対応、③高耐圧化 (1,500 ~ 1,700V)、④低価格化、⑤駆動回路、保護回路を内蔵したパワー IC などへ向かうものと推定される。この性能を実現するためには、従来と違った構造の模索も必要となるだろう。

参 考 文 献

- (1) 幡手一成, 小野 隆, 福持泰明, 山本 悟: 第3世代電圧共振用 IGBT, 平成5年度電気学会全国大会講演論文集, 5-13 (1993)

千年原 望* 金田順一郎**
中川 勉* 竹田正俊***
山元正則*

三菱電機技報・Vol.67・No.9・1993

2.2 非合金化(デアロイ化)

大容量素子ではシリコンウェーハとモリブデン等の熱緩衝板を合金一体化する構造が一般的であるが、シリコンと熱緩衝板の熱膨張率の差によってウェーハに反りが生じるため、GTO等の圧接形マルチエミッタ構造の素子では圧接力が不均一となり、電流分布の偏りからターンオフ能力が低下する傾向がある。

そこで新開発のFG 4000 BX では、シリコンウェーハと熱緩衝板を合金一体化しない非合金構造(デアロイ構造)を採用することによって圧接分布を改善し、ターンオフ能力の向上を図っている。

図3、図4に従来の合金形GTOと新開発のデアロイ形GTOの構造模式図を示す。

2.3 不純物濃度分布、ライフタイム制御の最適化

GTOは通常、n形シリコン基板にp形、n形不純物を順次拡散しpnpn4層構造としている。これらの不純物濃度分布は式(1)の α_{npn} 、 α_{pnp} 、 ρ_{pB} をコントロールする重要なパラメータである。新開発のFG 4000 BXでは α_{npn} を大きく、 α_{pnp} を小さくし、ターンオン条件($\alpha_{npn} + \alpha_{pnp} > 1$)を有利に保ちながらターンオフ能力の向上を図った。図5に不純物濃度分布例を示す。

ライフタイムは定常ロスとスイッチングロスのコントロールパラメータとして重要である。ライフタイムの制御については重金属拡散や荷電粒子照射等の技術があるが、制御精度の向上から荷電粒子照射技術を用い最適化を図った。

3. 電気特性

以上のファインパターン化、デアロイ化、不純物濃度分布及びライフタイム制御の最適化により、4.5kV/4kA低ロス低スナバGTO(FG 4000 BX)の開発に成功した。

FG 4000 BXはスナバ容量2 μ Fで2,500A、3 μ Fで3,000A、5 μ Fで4,000Aのターンオフ能力をもっており、ゲ-

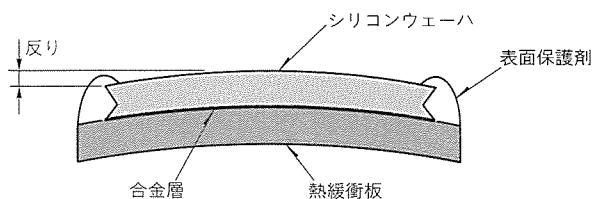


図3. 合金形GTO

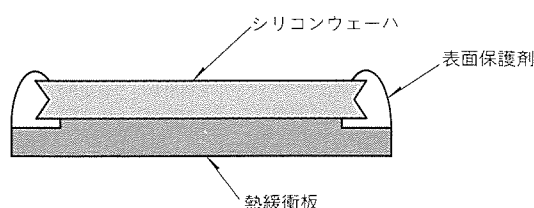


図4. デアロイ形GTO

トリガ感度を従来の75%に低減しながらターンオンロスは50%に低減しており di/dt 耐量も従来の1.6倍に向上している。

以下に電気特性の詳細を示す。

3.1 ターンオン特性

GTOのターンオン能力は素子のゲート感度(I_{GT})と広がりスピード、ターンオン初期にゲートドライバから供給されるハイゲートドライブ条件に大きく依存している。一般にターンオン初期には I_{GT} の数倍から10倍程度のピーク値をもつハイゲートを供給するが、ゲートドライバの小型化の観点からこのハイゲートは小さい方が好ましい。したがって、GTOとしては I_{GT} の減少、ターンオン広がりスピードの増大が課題となるが、一般にターンオン特性とターンオフ特性にはトレードオフの関係があり、ターンオン特性の改善はターンオフ特性の悪化を招く。FG 4000 BXではファインパターン化とデアロイ化、不純物濃度分布の最適化を組み合わせることによって両者のトレードオフを改善し、この問題を解決している。

図6にFG 4000 BXのターンオン時の V_D 、 I_T 及び I_G 波形例を示す。この例ではハイゲート電流25Aを供給し、 $V_D = 3,500$ Vから $di/dt = 700$ A/ μ sで $I_T = 3,200$ Aをターンオンさせている。このときのターンオンタイム(t_{gt})は4.0

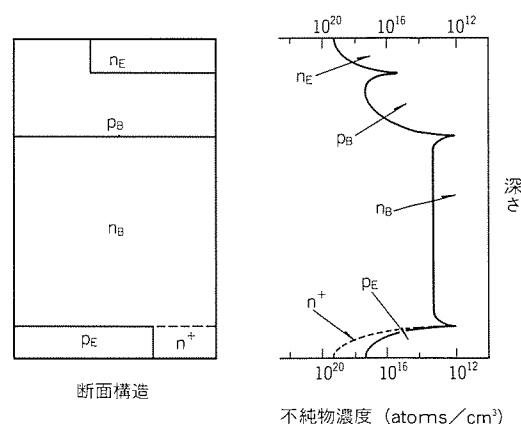


図5. 不純物濃度分布

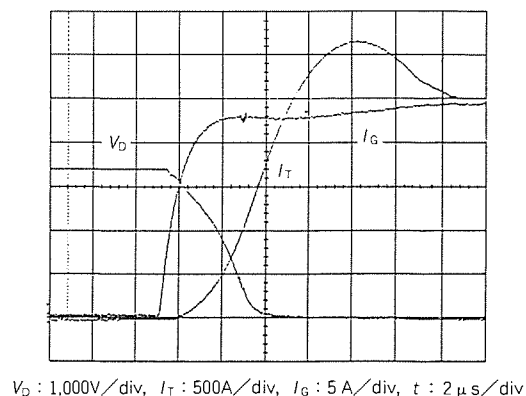


図6. ターンオン波形例

μs (当社比約67%) で極めて良好なターンオン動作を示している。

3.2 ターンオフ特性

2.1節の式(1)から V_{GR} を一定とすればターンオフ能力は、 α_{npn} , L_{nE} を大きく、 α_{pnp} , ρ_{pB} , W_{nE} を小さくすればよい。

FG4000BX ではターンオン能力の改善と絡め、 α_{npn} の増大を前提とし、その他のパラメータの最適化を図った。 α_{npn} を増大させるため、特に p_B の濃度を低くすると ρ_{pB} が増大するのでこれを相殺するために W_{nE} を小さく、 L_{nE} を大きくするよう当社高周波GTOシリーズよりも更にファインパターン化を進め W_{nE} を従来の65%にした。さらに、圧接力分布の均一化に有利なデアロイ構造を採用することによって電流分布の均一化を図り、ターンオフ能力を向上して低スナバ化を達成している。

図7はFG4000BXの I_{TGQ} の C_s 依存性である。スナバ容量 $2\mu\text{F}$ で2,500A、 $3\mu\text{F}$ で3,000A、 $5\mu\text{F}$ で4,000Aのターンオフ能力をもち、従来品と比べスナバ容量は約1/2に低減されている。図8に3,000A ターンオフ時の I_T , V_D , I_G 波形例を示す。

3.3 定常ロスとスイッチングロス

スイッチング素子としてGTOを用いる場合、定常ロスとスイッチングロスのトレードオフは極めて重要である。定常

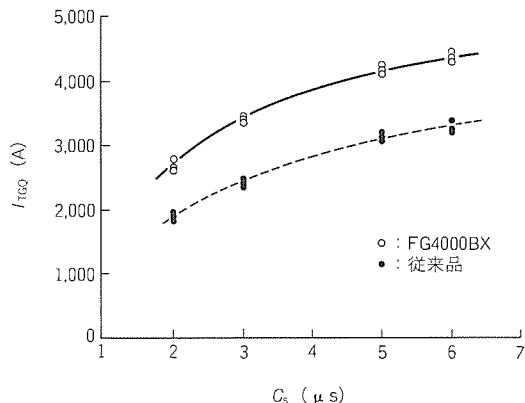
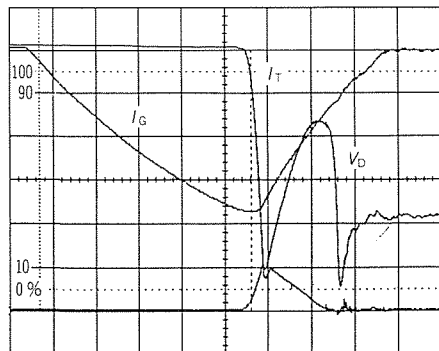


図7. I_{TGQ} の C_s 依存性



I_T : 500A/div, V_D : 1,000V/div, I_G : 200A/div, t : 5 μs /div

図8. ターンオフ波形例

ロスは電流値が決まれば V_{TM} に依存するので、 V_{TM} とターンオンロス (E_{on})、ターンオフロス (E_{off}) のトレードオフに置き換えることができる。 E_{on} の V_{TM} 依存性は少なくあまり問題にはならない。 E_{on} はむしろ I_{GT} とゲートドライブ条件 (特にハイゲート電流) に大きく依存する。一方、 E_{off} は V_{TM} に大きく依存する傾向にある。

図9は E_{on} の I_{GT} 依存性を従来品と比較して示した図である。 $di/dt = 10\text{A}/\mu\text{s}$, $I_{GM} = 40\text{A}$ 時の E_{on} は従来品の約50%と大幅に改善されている。

図10は E_{off} の V_{TM} 依存性を従来品と比較して示した図である。 E_{on} の低減にもかかわらず E_{off} の V_{TM} 依存性は従来品と同等レベルに抑えている。

3.4 その他の特性

表1にFG4000BXの最大定格、表2に主要電気特性を

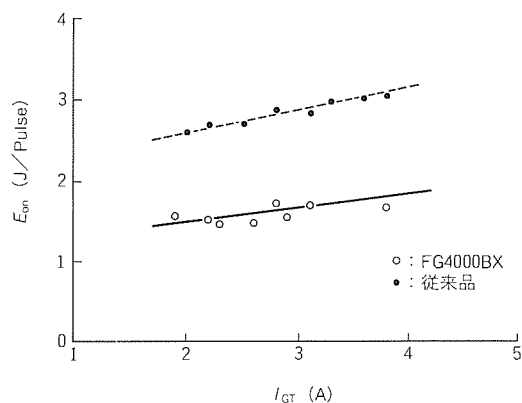


図9. E_{on} の I_{GT} 依存性

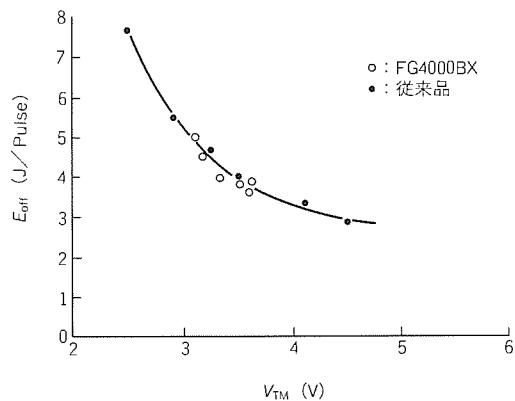


図10. E_{off} の V_{TM} 依存性

表1. 最大定格

項目	記号	最大値	単位
ピーク繰り返しオフ電圧	V_{DRM}	4,500	V
ピーク繰り返し逆電圧	V_{RRM}	19	V
可制御オン電流	I_{TGQ}	3,000 ($C_s = 3\mu\text{F}$) 4,000 ($C_s = 5\mu\text{F}$)	A
実効オン電流	$I_T(\text{RMS})$	1,600	A
サージオン電流	T_{TSM}	20,000	A
臨界オン電流上昇率	di/dt	800	A/ μs
圧接力	—	3,300~4,500	kg

示す。不純物濃度分布の最適化により I_{GT} は75%に低減されており、デアロイ構造の採用により熱抵抗は75%に低減されている。

4. GTOの応用

大容量GTOが応用される主な市場としては、①新幹線、地下鉄等の車両用、②SVG、アクティブフィルタ等の電力用、③製紙、製鉄等のプラント用が挙げられる。以下に具体的な応用例と要求される特性について述べる。

(1) 新幹線用回路例

図11に新幹線用の回路を示す。25kVACの拘留入力がトランスを介してPWMコンバータに給電されている。PWMコンバータにより、力率1制御の交流回生ブレーキの実現が図られる。PWMコンバータは直流中間回路によって結合され、主電動機をコントロールしている。

(2) SVG用回路例

図12にSVG用の回路を示す。直流回路から複数のインバータを、位相差をもたせてトランスによって多重化し、滑

らかな出力波形を得るようにしている。出力としては、系統ラインに対して無効電力を供給するもので、系統ラインの安定化を目的としている。

(3) 要求される特性

これらの応用例からGTOに対して要求される特性としては次の点が挙げられる。

- (a) スナバコンデンサの低減：GTOのスナバ回路の損失は $C_S \cdot V_D^2$ (C_S ：スナバコンデンサ容量、 V_D ：ターンオン電圧) に比例して上昇する。一定出力電流に対し、より出力パワーを得られるよう V_D を増加させる方向であり、損失を減らすため C_S の低減が一層求められている。
- (b) 低損失化：単に効率を上げるという点に加え、冷却方式がフロントタンク方式から個別フィン、ヒートパイプ等へと変わってきており、許容冷却容量の減少から、GTOの全損失(定常損失+スイッチング損失)を低減させることが求められている。
- (c) ゲートドライブ電流の低減：ドライブ回路の小型化のために求められるもので、上記(a)、(b)の特性に対する影響を考慮しながら低減を図っていく必要がある。

キーデバイスであるGTOの特性の向上は、システム全体に及ぼす影響が大きく、市場に対し、より適合した特性のGTOをいかに早く供給できるかが常に課題となっている。

今回開発したFG4000BXは、応用面から求められる要求特性について、既存素子に対し大幅な向上を図っており今後需要の拡大が期待される。

5. む す び

今回開発した低スナバ、低ロス4.5kV、4kA GTO (FG

表2. 主要電気特性

項 目	記 号	条 件	特性値	単 位
オン電圧	V_{TM}	$I_T=3,000A$	3.8	V
臨界オフ電圧上昇率	dv/dt	$V_D=1/2V_{DRM}$	1,000	V/ μs
ゲートトリガ電圧	V_{GT}	$V_D=5 \sim 20V$	1.5	V
ゲートトリガ電流	I_{GT}	$I_T=25 \sim 200A$	3.2	A
ターンオン時間	t_{gt}	$I_T=3,000A$ $V_D=1/2V_{DRM}$	6	μs
ターンオフ時間	t_{gq}	$I_T=3,000A$ $V_D=1/2V_{DRM}$	30	μs
熱抵抗	$R_{th(j-f)}$	—	0.012	$^{\circ}C/W$

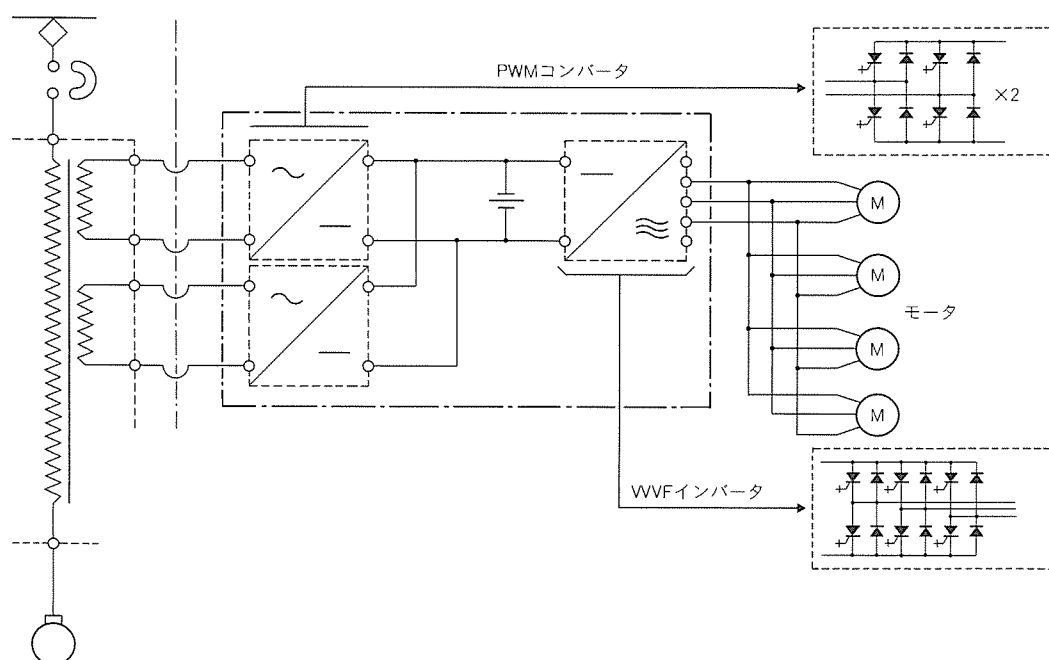


図11. 新幹線用応用回路

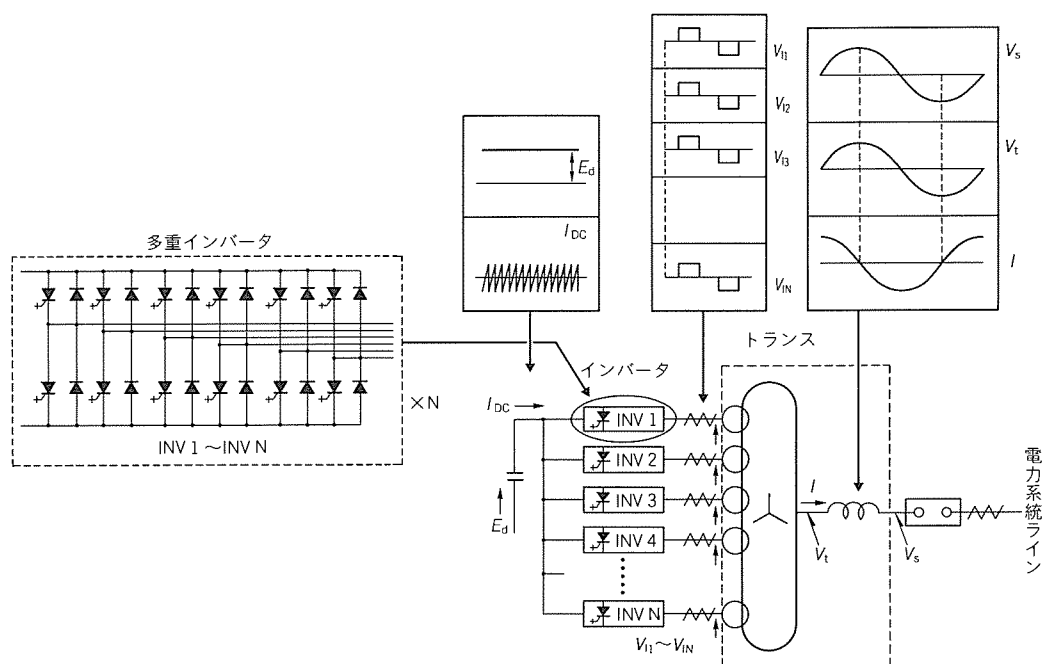


図12. SVG用応用回路

4000BX-90D) の構造と電気的特性について報告した。

従来に比べてスナバ容量を半減し、しかも発生ロス及び熱抵抗を改善した FG 4000 BX-90 D を使用することにより、装置の小型軽量化、大出力高効率化が図られることから、大出力インバータの市場が一層拡大するものと期待される。

参考文献

- (1) Ishidoh. M., Yamamoto. M., Nakagawa. T., Niinobu. K. : Advanced High Frequency GTO, ISPSD (1988)

- (2) 四方 進 : VVVF インバータ装置の技術動向, 三菱電機技報, 65, No.6, 540 ~ 547 (1991)
- (3) Nakagawa, T., Tokunoh, F., Yamauchi, Y., Yamamoto, M., Tada, A., Satoh, K. : A New High Power GTO with Low Snubber Capacity, IEEE I.A.S. Annual Meeting, II, 1533 ~ 1538 (1991)

GTOサイリスタパワーブリック

米田良忠* 小尾秀夫**
庭山和彦* 山口義弘***
山内義博*

1. ま え が き

GTO (Gate-Turn-Off Thyristor) を使用した電力制御システムの普及は目覚ましく、電鉄、電力、鉄鋼等あらゆる分野で採用されている。現在、市場ではGTOの大容量化、高速化等一層の高性能化が求められている一方、中容量のGTOではシステムの軽量化、メンテナンスフリー化等を重視した新しいタイプのGTOの出現が強く望まれている。三菱電機ではこのような要求にこたえるため、オフ電圧2,500 V、可制御オン電流2,000 A、フリーホイールダイオード内蔵の圧接型GTOモジュール(GTOパワーブリックGB2025BA)の製品化を行った。

この製品は圧接構造ではあるが、従来の平形GTOスタックに比べてはるかに小さく、また外部ケースが絶縁されているので電位の異なる多数のGTOをも共通の放熱器に搭載でき、システムの組立てやメンテナンス性が著しく改善される。

本稿では今回製品化したGTOパワーブリック(GB2025BA)の構造・特性・信頼性・応用等について紹介する。

2. パワーブリックの構造と特長

2.1 パッケージ

図1にGTOパワーブリックの外観、図2に概略の断面構造を示す。パッケージ内にはGTOエレメントとフリーホイール用ダイオードエレメントが直列に接続された状態で納められている。各エレメントと電極ブロックは両側の皿ばね、エンドプレートを介して両側から規定圧接力によって圧接され、圧接力は外部ケースに形成された溝部に装着されたエンドプレートによって保持されている。電極ブロックと外部ケースとの間には熱伝導性絶縁シートが挿入され、パッケージ内部には樹脂モールドが施されている。パッケージ構造は次のような多数の優れた特長をもっている。

- (1) 従来の平形GTOスタックにおける圧接機構が一体化されているので装置の大幅な小型化・軽量化が達成される。
- (2) 従来の平形GTOにおけるセラミックパッケージを必要としないので大幅なコストダウンが可能となる。
- (3) 圧接構造であるためソフト溶剤を使用した汎用のパワーモジュールのようにヒートサイクルによるはんだの熱疲労の心配がなく、断続通電用途に優れている。
- (4) 絶縁層には柔軟性に富む絶縁シートが使用されており、アルミナや窒化アルミ基板に比べてクラックの発生するおそ

れがなく信頼性がより高い。

- (5) 両面冷却構造であり、電極ブロックに適度の熱容量をもたせることにより、間欠負荷耐量を高めることができる。

- (6) 汎用のパワーモジュールと同様に取り扱えるので、従来の平形GTOに比べて装置の組立性・メンテナンス性が格段に優れている。

しかし、このパッケージ構造は従来のGTOや汎用の大電力用半導体素子に適用されているセラミックパッケージのようなハーメチック構造ではなく、いわゆるノンハーメチック構造である。それゆえ、当初は外部雰囲気の影響による圧接面での接触抵抗の増加やエレメントの接合表面での耐圧劣化が危うく(惧)されていた。この製品では、この問題を解消するため部品の圧接面やエレメントのパッシベーションには特別の対策が施されており、これらの対策の効果については部品段階での様々な基礎実験や製品での各種信頼性評価により、十分確認されている。

2.2 エレメントのノンハーメチック対策

エレメントの構造は通常のハーメチックシールのパッケージで使用されているものと基本的に同じで、GTOエレメントにはオフ電圧2,500 V、可制御オン電流2,000 Aのものを、ダイオードエレメントにはオフ電圧2,500 V、平均オン電流1,000 Aのものが使用されている。ただし、このパワーブリックはノンハーメチック構造であり、かつ圧接構造であるために、エレメントの電極を通常のようにアルミニウムのような酸化されやすい金属単層で形成すると、電極ブロックとの界面における酸化のため経時的に接触抵抗が増加するといった不具合が生じる。したがって、今回のパワーブリックではそのエレメントの電極の表面を金のように酸化されにくい金

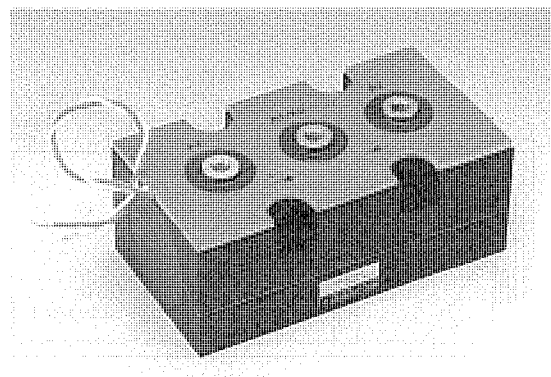


図1. GTOパワーブリックの外観

属で覆い、前述のような不具合に対処した。

また、耐圧については従来のパッシベーション材料を一部変更して対応した。これらにより、後述するように長時間の通電においてもオン電圧の増加や耐圧の劣化は見られなかった。

2.3 外部ケース溝及びエンドプレートの機械的強度

パッケージの機械的強度で問題になるのは外部ケースの溝部と、これに装着されるエンドプレートのフランジ部の強度である。この製品の規定圧接力は19.6 kN {2,000 kgf}であり、これを保持する十分な強度をもっていなければならない。図3はこの部品の破壊耐量試験データである。これによるとこの部分の破断はエンドプレートのフランジ部に発生し、値は約110 kNとなっており、強度的には十分余裕があることが実証されている。

2.4 アルミニウム製電極ブロックの表面処理評価

電極ブロックには軽量化のためアルミニウム材を使用している。一般にアルミニウムの接触面は電氣的にみれば好ましくなく、接触抵抗の増加を招くことが通説となっている。今回のパワーブリックにはニッケルめっきを施したアルミニウムブロックが使用されており、ノンハーメチック構造に対する評価が重要となる。図4は温度サイクルでの接触電圧降下のデータを示す。適度の表面処理により、接触抵抗は大幅に改善されることが分かる。

2.5 絶縁シートの特性評価

GTOパワーブリックに使用される絶縁シートはガラスクロス入りのシリコンゴムシートである。絶縁シートの評価では絶縁耐量を測定することはもちろんであるが、コロナ耐量の評価が極めて重要である。パワーブリックでは熱伝導を良くするために比較的薄い絶縁シートが使用されているが、コロナ耐量は薄い絶縁材の性能評価に極めて有効である。コロナ放電が発生している状態で長時間使用すると絶縁シートが劣化し、絶縁破壊につながるおそれがある。したがって、実使用状態でコロナ放電が発生してはならない。図5は絶縁シートのコロナ特性データの一例である。

3. 最大定格と電氣的・機械的特性

表1にGB2025BAの最大定格を、表2に同じく電氣的・機械的特性を示す。図6にターンオン時の波形、図7にターンオフ時の波形を示す。ターンオフ時の波形はコンデンサ容量 $C_S = 4\mu\text{F}$ 、インダクタンス $L_S = 0.2\mu\text{H}$ のスナバ回路でのものである。ちなみに可制御オン電流 I_{TQRM} はスナバ回路のコンデンサ容量 C_S に強く依存し、図8に示すように $C_S = 4\mu\text{F}$ では $I_{TQRM} = 2,000\text{A}$ であるが $C_S = 6\mu\text{F}$ とすることにより $I_{TQRM} = 2,250\text{A}$ に伸びる。

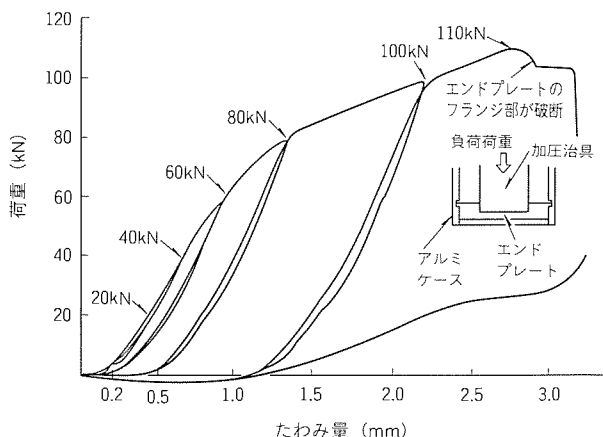


図3. エンドプレートの破壊耐量

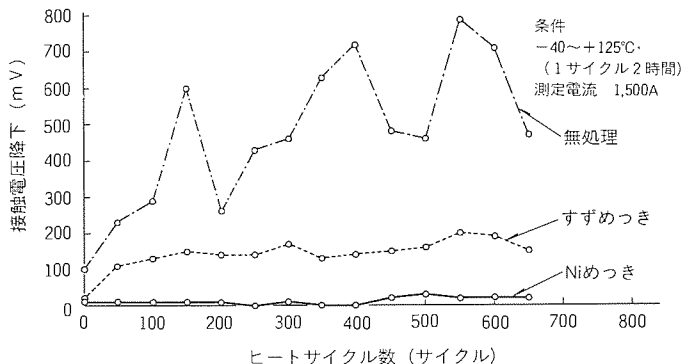


図4. アルミニウム製電極ブロックの接触電圧降下

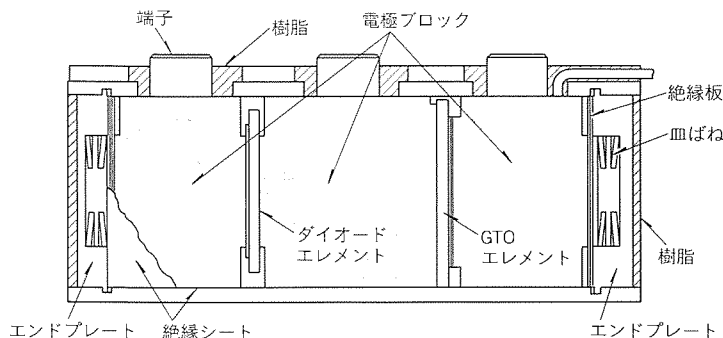


図2. GTOパワーブリック断面構造

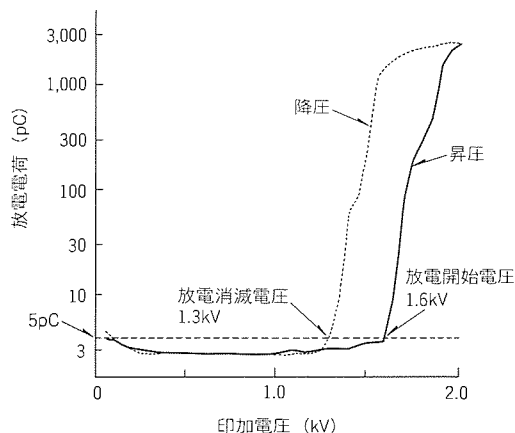


図5. 絶縁シートのコロナ特性

GB2025BAの大きな特長は、電極ブロックに適度の熱容量をもたせることにより、間欠負荷耐量を高めた設計となっていることである。図9にGB2025BAに三菱電機風冷フィンBP18J相当を使用したときの最大過渡熱インピーダンス特性と、同等のGTOであるFG1800CHに同じくBP18Jを使用したときの最大過渡熱インピーダンス特性を示す。GB2025BAの方が20秒程度までは低い値を示し、短時間領域では定常時程の差がなくむしろ低いことが分かる。数秒から数十秒での間欠負荷では熱容量の大きな電極ブロックの効果もあり、温度上昇を十分抑えることができる。このため、駅間隔の短い通勤電車用インバータのような間欠負荷通電の用途に最適な製品といえる。

4. 信頼性

図10、図11に接合温度変化量 $\Delta T_j = 75^\circ\text{C}$ 、平均電流400A動作での寿命試験結果を示す。図中、横軸は試験時間、縦軸は接合温度 $T_j = 125^\circ\text{C}$ 、2,000Aでのオン電圧 V_{TM} と、接合温度 $T_j = 125^\circ\text{C}$ 、2,500Vでのオフ電流 I_{DRM} である。3,000時間経過した時点でいずれの素子も安定に動作している。

ハーメチック構造の場合と同等の故障判定基準を定

義し、通常の試験時間の3倍を経過したが、ノンハーメチック構造で懸念される外部雰囲気による接触部でのオン電圧の増加及び接合表面での耐圧劣化によるオフ電流の増加といった故障の発生もない。

表1. 最大定格

項目	記号	条件	定格値		単位
			GTO	ダイオード	
ピーク繰り返しオフ電圧	V_{DRM}	$V_{GK} = -2V$	2,500	—	V
ピーク繰り返し逆電圧	V_{RRM}	—	—	2,500	V
平均オン電流	$I_T(\text{AV})$	商用周波正弦半波 180° 連続通電 $T_j = 67^\circ\text{C}$	400	—	A
平均順電流	$I_F(\text{AV})$	商用周波正弦半波 180° 連続通電 $T_j = 67^\circ\text{C}$	—	540	A
繰り返し可制御オン電流	I_{TQRM}	$V_D = 1/2 V_{DRM}$, $T_j = 125^\circ\text{C}$ $C_S = 4 \mu\text{F}$, $L_S = 0.2 \mu\text{H}$	2,000	—	A
サージオン電流	I_{TSM}	60Hz正弦半波1サイクル波高値 非繰り返し	16,000	—	A
サージ順電流	I_{FSM}	60Hz正弦半波1サイクル波高値 非繰り返し	—	25,000	A
臨界オン電流上昇率	di/dt	$V_D = 1/2 V_{DRM}$, $I_{GM} = 30\text{A}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	300	—	A/ μs

表2. 電氣的・機械的特性

項目	記号	条件	定格値		単位
			GTO	ダイオード	
オン電圧	V_{TM}	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_{TM} = 2,000\text{A}$	3.2	—	V
順電圧降下	V_{FM}	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_{FM} = 2,500\text{A}$	—	2.0	V
ゲートトリガ電流	I_{GT}	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_T = 25 \sim 200\text{A}$ $V_D = 5 \sim 20\text{V}$	3	—	A
ターンオン時間	t_{gt}	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_{TM} = 2,000\text{A}$ $V_D = 1/2 V_{DRM}$, $I_{GM} = 30\text{A}$	8	—	μs
ターンオフ時間	t_{gq}	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_{TM} = 2,000\text{A}$ $V_D = 1/2 V_{DRM}$ $di/dt = 30\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{RG} = 17\text{V}$ $C_S = 4 \mu\text{F}$, $L_S = 0.2 \mu\text{H}$	25	—	μs
逆回復電荷	Q_{rr}	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_{FM} = 1,000\text{A}$ $di/dt = -30\text{A}/\mu\text{s}$, $V_R = 150\text{V}$	—	400	μC
接合温度	T_j	—	$-40 \sim +125$		$^\circ\text{C}$
絶縁耐力	V_{iso}	主端子-ケース間AC1分間	3,700		V
熱抵抗	$R_{th(j-c)}$	接合部-ケース間	0.060	0.072	$^\circ\text{C}/\text{W}$
接触熱抵抗	$R_{th(c-f)}$	ケース-フィン間(1素子当たり)	0.008	0.008	$^\circ\text{C}/\text{W}$
質量	—	—	Typ. 5,500		g

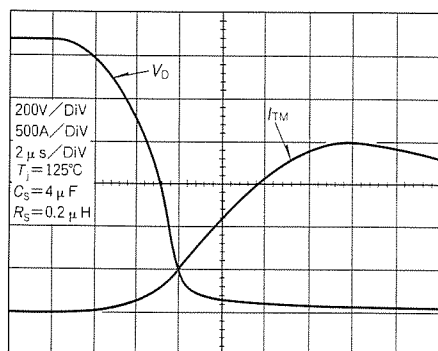


図6. ターンオン時の波形

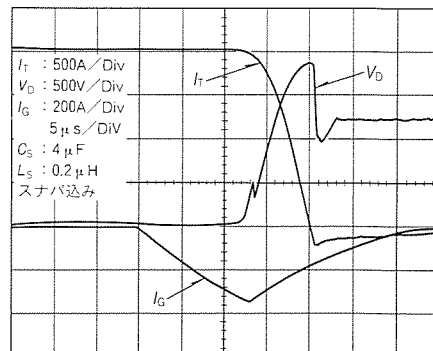


図7. ターンオフ時の波形

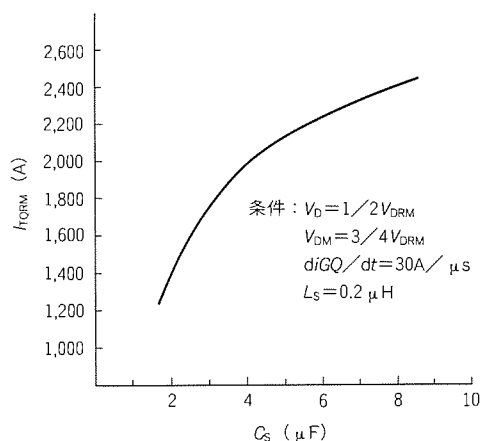


図 8. 可制御オン電流の C_g 依存性

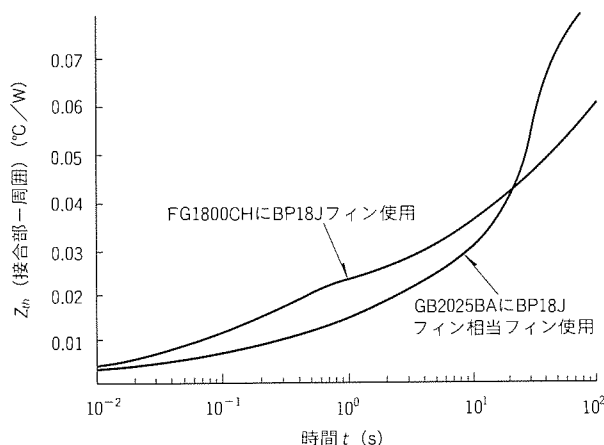


図 9. 最大過渡熱インピーダンス特性

このほかに、高温電圧印加試験、ヒートサイクル試験、耐湿性試験、湿中バイアス試験、高温絶縁試験、振動試験等の耐環境試験も実施し、いずれの試験においても良好な結果が得られている。

5. 鉄道車両への応用例

鉄道車両推進システム分野にも、パワーエレクトロニクスとマイクロエレクトロニクスの発展による交流可変速駆動技術の確立により、交流電動機駆動方式の採用が急速に拡大してきた。今やこの交流駆動方式は、第一世代は量産期を迎え、各鉄道会社は、新しいタイプのシステムを模索するようになってきた。

このような背景の下、今回通勤電車用として、東日本旅客鉄道(株)の209系量産車に、GTOパワーブリックを搭載したVVVFインバータシステムを採用いただいたので、以下にそのシステムの概要を説明する。

この209系は、205系の後継車両である次世代通勤車両として、車体構造、車体設備、電気機器等に新技術及び新しい試みを導入している。

主回路システムとして、主要半導体にGTOパワーブリックを用いた3ステップ(中性点クランプ)VVVFインバータ

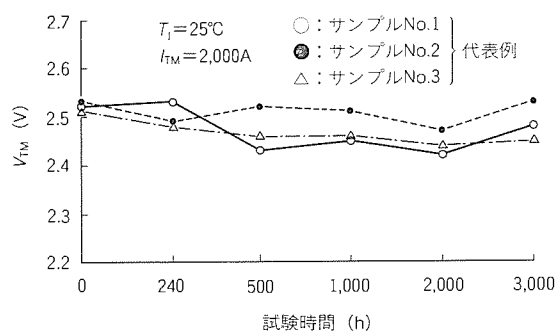


図10. オン電圧の経時変化

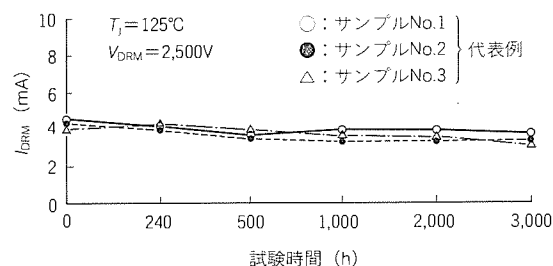


図11. オフ電流の経時変化

方式による4個モーター一括制御2群方式を採用した。図12に209系の主回路ツナギ図、表3に主要諸元を示す。

5.1 主要半導体

車両推進用のVVVFインバータは、主要半導体であるGTOとともに高機能化を進めてきたが、従来のGTOは圧接構造が必要であるため、ハードウェアが複雑になるという欠点がある。それを補うため、パワートランジスタ等のモジュールタイプの素子の応用も種々試みられ、一部実用化もされている。

しかし、これらの素子はもともと産業用の電圧レベルに合わせて設計されているので、現状では高耐圧化は技術的に容易ではなく、電車線電圧DC1,500Vに適用するためには、何らかの工夫が必要となっている。

これに対して今回使用したGTOパワーブリックは、高耐圧、大容量というGTOの長所を生かしつつ、ハードウェア及び回路の簡略化も同時に実現したものである。

このGTOパワーブリックは、GTOとダイオードを内蔵しており、エレメントをアルミ電極ブロックで圧接し、絶縁した構造をもっている。これにより、非圧接形大容量ヒートパイプの導入が可能となった。

さらに、アルミ電極ブロックは、熱容量が大きいので、ヒートパイプ冷却フィンで車両運行の間欠負荷に合わせて最小限のものとし、装置の小型化を図ることができるという利点もある。

5.2 3ステップインバータ

このGTOパワーブリックに適した回路方式として、3ステップ変調方式を採用した。

この回路方式の主な特長は以下のものである。

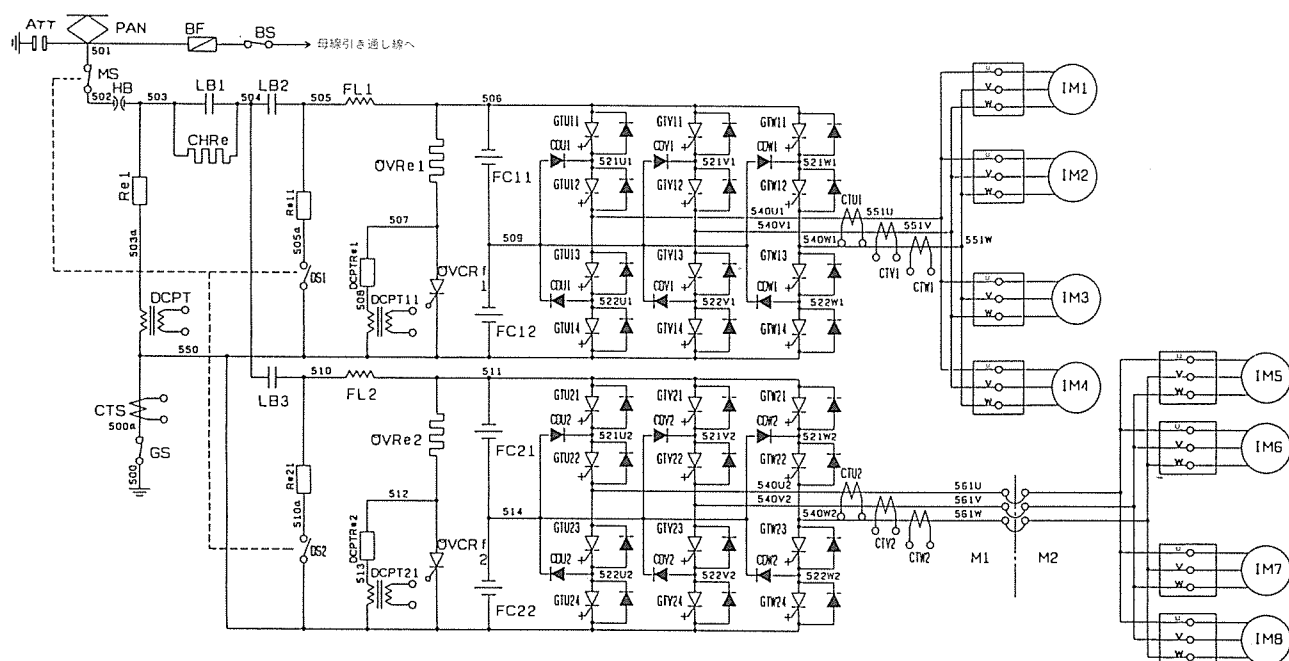


図12. 209系主回路ツナギ図

表3. 主要諸元

電車線電圧	DC1,500V (900~1,800V)
車両編成	10両編成／4M6T
加速度	2.5km/h/s (820mm車輪径時)
減速度	3.6km/h/s (常用最大) (最大2.45km/h/sまでT車分回生負担)
最高速度	110km/h
インバータ出力電圧	AC三相1,100V (0~1,400V)
出力周波数	2~174Hz
主回路素子冷却方式	ヒートパイプ式 (フロンレス)
インバータ方式	3ステップ方式電圧形パルス幅変調インバータ
主電動機	三相かご形誘導電動機 95kW 4台並列×2
主回路開放方式	4個モータ単位の群開放可能

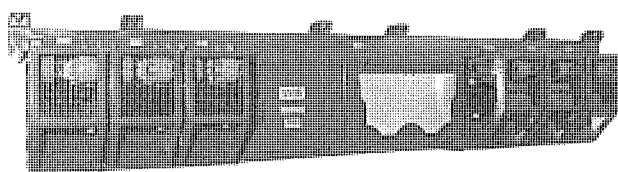


図13. VVVFインバータ箱の外観

5.3 ハードウェアの特長

209系の設計思想であるメンテナンスフリー化と、寿命の最適化(デザイン及び使用技術の陳腐化を防ぐ)を実現するハードウェア構成になっている。

図13にVVVFインバータ箱の外観を示す。

6. むすび

本稿ではGTOパワーブリックの構造・特性・信頼性と鉄道車両用インバータシステムへの応用例を紹介した。この製品の製品化は今後一般産業分野においても各種電力制御システムの小型軽量化、メンテナンス性改善等に大いに貢献できるものと期待する。今後は更にこの製品の大容量化、高性能化、低コスト化等を図って市場の要求にこたえていきたい。

高信頼度パワーモジュール パッケージ技術

神谷康夫* 中村光宏*
高木義夫*
新井規由*

1. ま え が き

1980年3月にパワーデバイス業界で初めて AC200Vライン用に 30A、50A の2素子入りパワートランジスタモジュールを開発して以来13年が経過したが、その間にパワーエレクトロニクスは、インバータ技術の進歩とともに著しく発展してきた。

当社のパワーモジュールはその発展を支えるキー製品として汎用インバータ、サーボ、ロボット、NC工作機、医療用機器、溶接機、エレベーターといった産業機器から、エアコン、ミシン、電子レンジといった民生機器に至る幅広い電力制御機器用途をカバーした。また、大容量 (600A) ・高耐圧 (1,400V) の IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) の開発により、制御回路が簡略になることと、周辺装置の小型化が図れることで、従来は GTO (Gate-Turn-Off Thyristor) が使用されていた電鉄用 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) インバータにもパワーモジュールが

注目され始めている。

本稿では、その中で特に高信頼度が要求されるエレベーターや、電鉄等の応用分野に使用される大容量パワーモジュールの寿命に関してパッケージの構造とその特徴及び信頼性の結果について紹介する。

2. パワーモジュールに要求される高信頼性

産業用電力変換装置の分野で、最初に高信頼性、とりわけ長寿命が要求されたのはエレベーターであった。

当社では大容量パワーモジュールの開発に成功した時点でエレベーター用 VVVF インバータ向けに、使用寿命 20 年という長期信頼性を技術テーマとして開発に取り組んできた。

高寿命を達成するには、パワーモジュールそのものの信頼性を向上させることとともに、20～30年間メンテナンスフリーで使うことができる動作条件を明らかにすることが重要になる。当社は汎用インバータを始めとして、エレベーター・鉄道車両用インバータの高度な技術をもっており、これらの技術を結集させてこのテーマに取り組んでいる。

3. 寿命評価技術と寿命メカニズム

3.1 パワーサイクル試験

パワーモジュールの動作寿命を推定するためには、パワーサイクル試験 (断続通電試験) により、パワーモジュールに電氣的負荷を与え、その電力によってパワー素子 (チップ) のジャンクション温度の上昇・下降による熱ストレスを発生させ、破壊するまでのサイクル数によって行うのが、実際のインバータでの実機評価によって適切であることが分かっている。

3.2 H/C試験

使用環境による寿命を推定するためには、H/C (Heat Cycle) 試験により、パッケージ全体の温度を上昇、下降させて熱ストレスを与え素子の劣化を判定する。

3.3 パワーモジュールの動作寿命メカニズム

1980年に最初のパワーモジュールが誕生してから現在ま

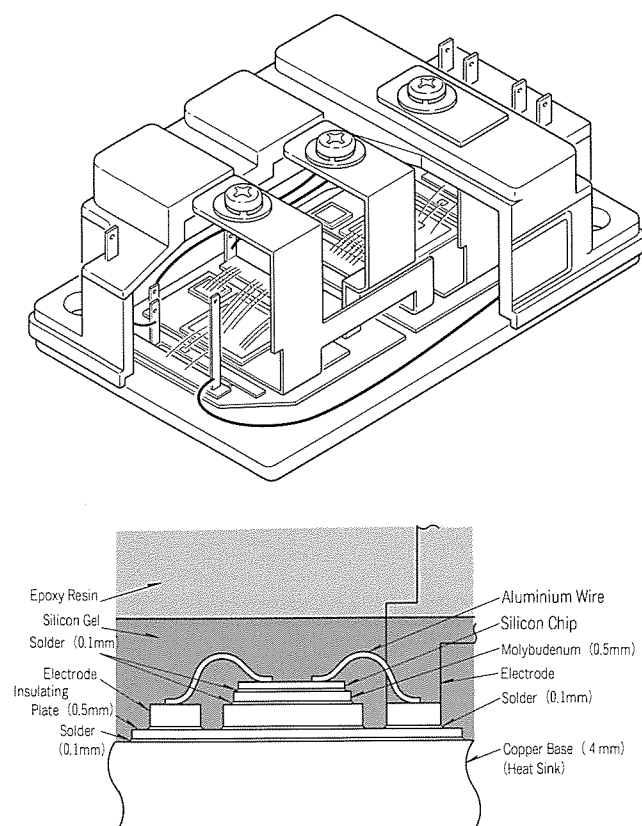


図1. トランジスタモジュール構造 (従来の一般用タイプ)

表1. 各構造部品の熱膨脹係数

構 造 部 品	熱膨脹係数 (cm/cm°C)
シリコンチップ	2.8×10^{-6}
モリブデン板	5.5×10^{-6}
セラミック基板	6.7×10^{-6}
銅 (電極・ベース板)	16.7×10^{-6}

での間に、パワーモジュールの用途・性能拡大の中でパッケージ構造も後述するように変化してきている。

しかし、パワーモジュールの寿命に関しては、基本的には共通であり、パワーモジュールの実使用での寿命による破壊に至るメカニズムについて、図1の電極・絶縁基板構造（一般用トランジスタモジュール）を例にとって述べる。

この構造では、銅とアルミナセラミック基板、銅とモリブデンの間には表1のように熱膨張係数の差が大きいため、パワーサイクルによる温度の上昇・下降によって生じる各構造部品の膨脹・収縮の量にも差が生じ、バイメタル現象ができる。

このバイメタル現象の繰り返しによってはんだ疲労が生じ、はんだ疲労が進行するとはんだ層にクラックが発生し、それによって熱抵抗の増加が始まる。

この状態が更に進むと、熱抵抗の増加によって発生した熱量を放散することができずに、パワー素子（シリコンチップ）の急速な温度上昇が生じ、急激に破壊が進行する。

4. 高寿命化を達成するためのパッケージ技術

パワーモジュールの高寿命化を達成するためには3.3節で述べた動作寿命メカニズムから次の項目に主眼をおいたパッケージ構造が技術ポイントとなる。

(1) 同一使用条件で温度上昇を低くする。

- 熱抵抗を小さくする。

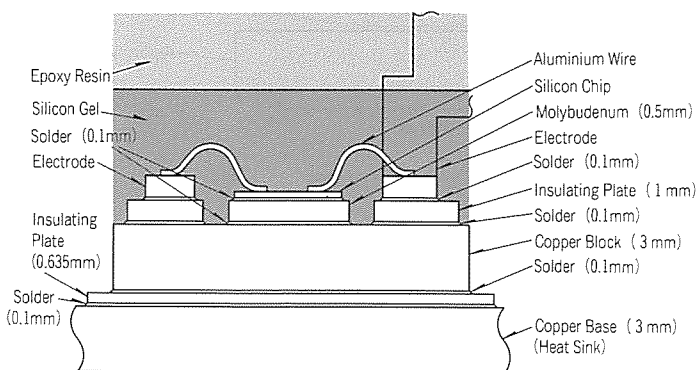
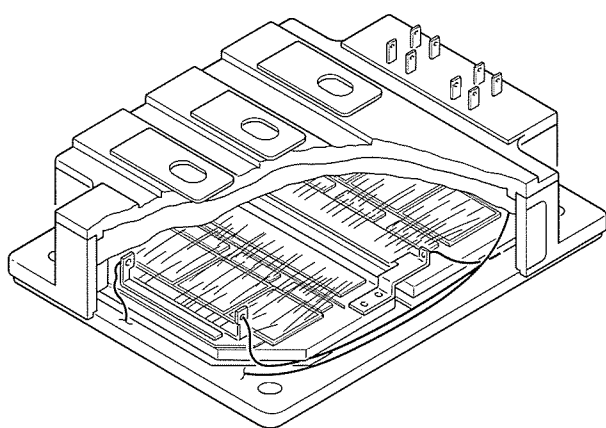


図2. 高寿命トランジスタモジュール構造（放熱ブロック挿入タイプ）

(2) 各部（特にはんだ）にかかる動作時の応力を低減する。

- はんだ層を減らす。
- 各部材の熱膨張係数を近づける。

次に、パワーモジュールの構造について、寿命と関連付けながら、パッケージの変遷とともに以下に紹介する。

4.1 電極・絶縁基板積層構造（従来の一般タイプ）

図1は、従来から製造しているトランジスタモジュールの主流パッケージの構造である。

パワー素子（シリコンチップ）の下に順に、熱膨張係数がシリコンに比較的接近しているモリブデン（Mo）板、銅電極板、アルミナセラミック基板が、銅ベース板（ヒートシンク）に各々はんだによって接合される。

また、パワー素子と銅電極とはアルミワイヤによる超音波ボンディングによって接続される。

モジュールの外部信号端子とモジュール内部の信号電極との接続は、リード線のはんだ付けで行う。

4.2 電極・絶縁基板積層構造（放熱ブロック挿入タイプ）

図2は、エレベーター用に開発した高寿命トランジスタモジュールの構造である。

高寿命化を達成するためにまず熱抵抗に注目し、 ΔV_{BE} 法による熱抵抗測定技術をサーモビューアを駆使して確立、パワー素子の動作温度変化（ ΔT_j ）を正確に把握することでパワーサイクル試験そのものの精度の向上を図った。図3は動作中のパワー素子のサーモビューア像の一例である。

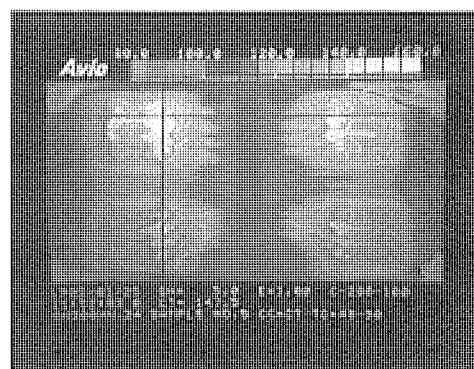


図3. パワー素子のサーモビューア像

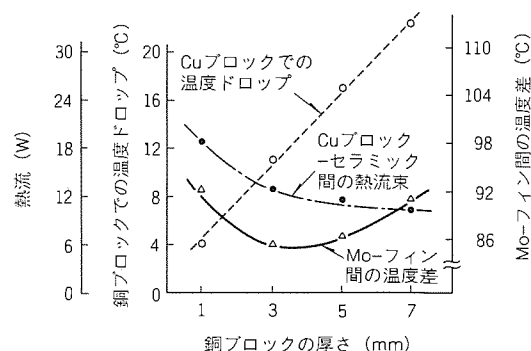


図4. 熱シミュレーション結果

トランジスタモジュールは内部に絶縁基板（アルミナセラミックス）をもつことを特徴としており、装置への装着が簡単になるが、熱放散の阻害要因にもなっている。

熱抵抗を下げる手段として、絶縁基板のすぐ上にヒートシンク（銅ブロック）を挿入する構造を考案し、熱シミュレーションにより、その面積、厚み、形状の最適化を図った。図4に、シミュレーション結果を示す。

4.3 ダイレクト接合構造

図5は、IGBTモジュール及び最近のパワーモジュールの構造であり、現在のパッケージの主流をなすものである。この構造は、図6に示す銅厚はく付き絶縁基板を用いて、パワー素子をその基板にダイレクトボンド（はんだ付け）することでモリブデンをなくし、トランジスタモジュールではチップ下にあったコレクタ電極はパターンにより取り出し位置をずらした。

この構造により、パワー素子からヒートシンクまでの熱の流れで図1の構造に対し、はんだ層を4層から2層へ減らした。図6は、代表的な銅厚はく付き絶縁基板の断面で、セラミック（ Al_2O_3 、ALN（窒化アルミ））に銅厚はくが直接接合若しくは活性金属でろう付けされている。銅厚はくの厚みパワー素子の搭載側をヒートシンク側より厚くすることにより、信頼性の向上を図っている。

主電極、信号端子の形状は応力を吸収できるようにし、かつ主電極、信号端子をあらかじめケースにインサート（ケース成形時に樹脂の中に埋め込む。）若しくはアウトサート（成

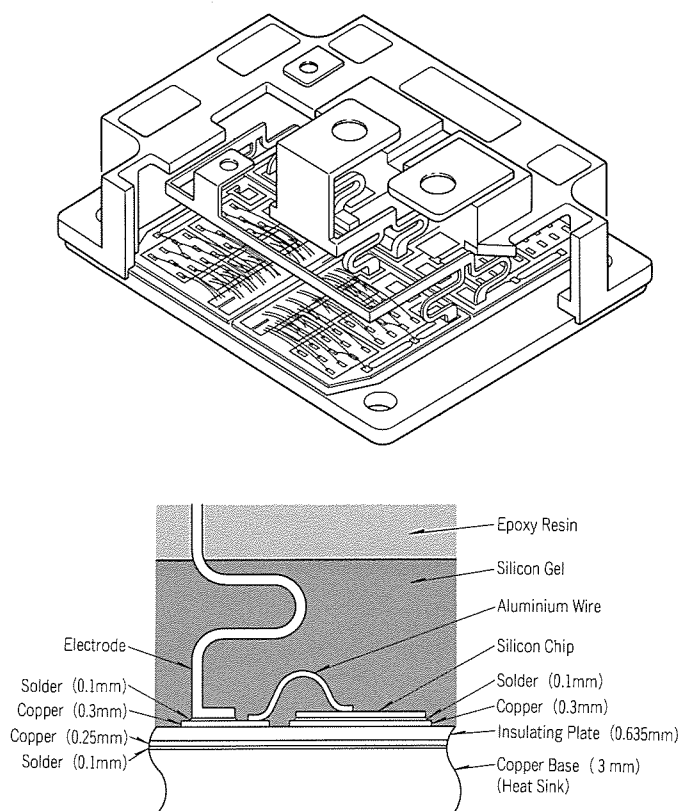


図5. IGBTモジュール構造

形されたケースに挿入する。）をすることにより、製造ラインでの組立部品点数を少なくし、組立ての自動化を十分考慮した設計となっている。

これにより、当社ではIGBTモジュールの自動一貫生産ラインを完成し、工期短縮と品質の向上を実現した。また、今後パワー素子の主流となるIGBTには、開発当初からこの構造を採用し、特に絶縁基板に熱伝導性に優れたALN基板を用いたことが大きな特徴である。

ALN基板は、パワーモジュールが業界として最初の量産適用のため、熱的・機械的応力に対して十分な検討を行った。

5. 信頼性試験結果

パワーモジュールの寿命を推定するのはパワーサイクル試験によって得られたデータをパワーサイクル寿命曲線に表すことで可能になる。ここでは、パワーサイクル寿命曲線の作成手順とその活用について、実際の結果を交えて紹介する。

5.1 パワーサイクル試験方法

図7にパワーサイクル試験回路を示す。パワーサイクル試験は以下のとおりに行う。

- (1) パワー素子の動作温度変化 (ΔT_j) を例えば 50°C 、 75°C 、 100°C と3点設定する。
- (2) 動作初期温度（通常 40°C 程度）を設定する。
- (3) パワー素子を ON させ、設定した ΔT_j になるまで通電を続ける。
- (4) パワー素子が動作初期温度になるまで OFF させる。

以上のプロセスをサイクルとしてパワー素子が破壊するまで繰り返す、その回数を得る。

5.2 パワーサイクル寿命曲線

5.1節で得られた3点の ΔT_j に対するパワーサイクル数を横軸に ΔT_j をとり両対数グラフにプロットし、パワーサイ

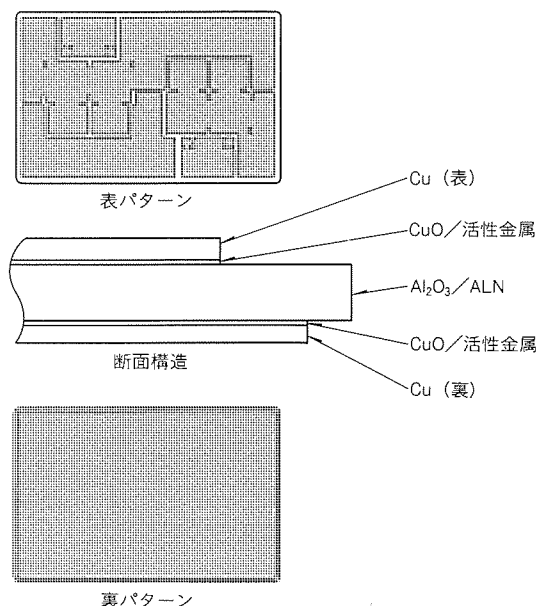


図6. 銅厚はく付き絶縁基板

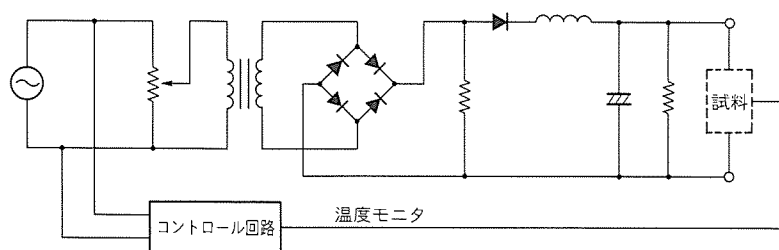


図 7. パワーサイクル試験回路

クル寿命曲線を得る。

5.3 各構造別のパワーサイクル寿命曲線

図 8 に今まで述べてきた三つの構造のパワーサイクル寿命曲線を示す。この図から、同一 ΔT_j で使用した場合は高寿命の順に、①IGBT モジュール (図 5) > ②高寿命トランジスタモジュール (図 2) > ③トランジスタモジュール (図 1) が得られた。

例えば $\Delta T_j = 50^\circ\text{C}$ で比較した場合、寿命は、

- | | | |
|-----------------|---------|--------|
| (1) IGBT モジュール | 230,000 | 12.8 倍 |
| (2) トランジスタモジュール | 39,000 | 2.3 倍 |
| (3) トランジスタモジュール | 18,000 | 1 倍 |
- となる。

パワーモジュールの寿命はこの図からも分かるように、パワー素子の接合温度変化を幾らにするか (Delayting) で決定される。

例えば(1)の IGBT モジュールの曲線で見ると $\Delta T_j = 70^\circ\text{C}$ では3.6万サイクルであるが、 $\Delta T_j = 50^\circ\text{C}$ では23万サイクルになり、約6倍の寿命が得られることになる。

このことから、同一条件でパワー素子を動作させる場合 (電流・ON 時間・OFF 時間) は、動作中の素子温度上昇を

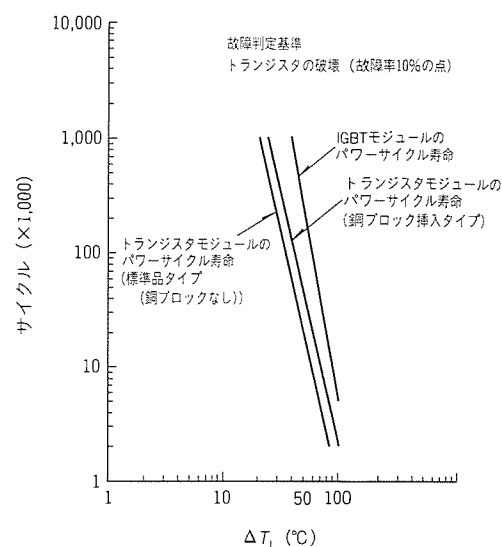


図 8. パワーサイクル寿命曲線

抑えることが高寿命化に対して有効であり、パワー素子の低ロス化が実現できている IGBT モジュールが寿命の面では有利であることが分かる。

6. む す び

エレベーター・鉄道車両用といった高寿命が要求されるパワーモジュールの構造とパワーサイクル寿命曲線による寿命予測技術について述べた。

高寿命パワーモジュールの開発により、今後更に応用分野が拡大できるものと期待する。今後は更に高寿命化の観点からパッケージ技術の深掘りをし、市場の要求にこたえていく所存である。

低損失ソフトリカバリダイオード

萩野浩靖* 井上雅規**
引地敏彰* 石沢慎一**
副島頭幸**

1. ま え が き

パワーエレクトロニクススの近年の進展は目覚ましく、特に最近ではシステムの高効率化、高機能化、小型・軽量化、低騒音化などが進んできている。

その主役となっているのは、電圧駆動が可能で、高速なスイッチング特性を誇る MOSFET、IGBT 等の MOS ゲートデバイスである。特に IGBT は、現在主に使用されているバイポーラトランジスタと比べても同等以上の通電能力をもち、高速でかつ低飽和電圧の素子として、これからの主力素子としての期待が大きい。

ところで、主たるスイッチング素子のこのような大きな変革に対し、これらと通常ペアで使用される高速ダイオードも同様に大きな性能向上が望まれている。IGBT 等の採用によってシステム全体の高性能化を図っても、ペアで使用される高速ダイオードの性能が低くてはスイッチングロスによる発熱の問題やサージ電圧の発生などで全体の高性能化が達成できない場合があるからである。

現在、三菱電機(株)では、IGBT モジュール、IPM (インテリジェントパワーモジュール) 等の第三世代化により、より一層の低スイッチング損失化を実現できる素子の製品化を進めているが、上記のように高速ダイオードの改良はこれを進める上で非常に重要な課題であった。本稿では、この高速ダイオードの改良についての概要を紹介する。

2. 高速ダイオードに要求される特性

パワーデバイスの代表的な応用例であるインバータについて、高速ダイオードがどのような形で使用されているかを図 1 に示す。インバータではスイッチング素子(この例では IGBT) がブリッジ状に配置されているが、ダイオードはスイッチング素子と逆並列に接続されており、その働きからフリーホイールダイオードと呼ばれる。

次に、図 2 を用いてインバータのフリーホイールダイオードとして高速ダイオードにどのような特性が求められるか説明する。図はハーフブリッジ回路とも呼ばれる。これは簡略なインバータ回路と見なすことができ、その動作は①～④の四つの期間の繰り返しとしてとらえることができる。

①の期間では TR 2 がオンしており負荷 L と TR 2 を通して電流が流れる。

②は TR 2 がオフした期間である。負荷 L を流れる電流

はフリーホイールダイオード D 1 を通る還流電流となる。通常使用されるダイオードはバイポーラデバイスであるので、D 1 にはこの時点で過剰キャリアが蓄積される。

③は再度 TR 2 がオンした状態である。D 1 は②の期間に蓄積された過剰キャリアの大半をリカバリ電流としてはき出してしまうまでショート状態であり、この期間には負荷 L を流れる電流に加えて、D 1 のリカバリ電流が TR 2 を流れる。このため、期間③における TR 2 のターンオンロスは IGBT 単体を抵抗負荷でターンオンさせた場合よりも大きなものとなる。

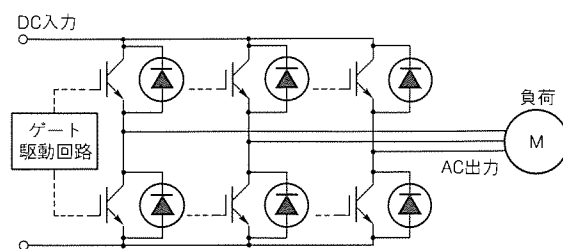
このターンオンロスを低減するためにはダイオードの過剰キャリアすなわちリカバリ電荷を少なくすることが必要となる。

④はダイオードのリカバリの最終段階である。ダイオードに蓄積された過剰キャリアが無くなりきろうとするためにリカバリ電流が減少する。これにより、TR 2 及び主回路に流れる電流が急速に減少するため、主回路に存在するインダクタンス成分 L' に電流を流し続けようとする逆起電力が発生する。このため TR 1 及び D 1 には電源電圧に上記の逆起電力が重畳したサージ電圧が印加されることになる。このようなサージ電圧は、IGBT 及びフリーホイールダイオードの耐圧を脅かし、回路設計上のマージンを減らすことになり好ましくない。

サージ電圧を小さくするためにはリカバリ電流の減少が急しゅん(峻)でなく、ある程度緩やかに減少するいわゆるソフトリカバリ特性であることが必要である。

また、当然定常状態のロスも小さい方が好ましく、順電圧降下 V_F も小さい方が好ましい。

以上のことからインバータ等で使用されるフリーホイールダイオードに必要な特性として、次の項目を挙げることがで



④：フリーホイールダイオード

図 1. インバータの基本構成

きる。

- (1) リカバリ電荷を少なくすること（スイッチングロス低減）。
- (2) ソフトなりリカバリ特性であること（サージ電圧低減）。
- (3) 順電圧降下 V_F が小さいこと。

3. ダイオードの特性改善方法

リカバリ電荷を少なくすることに関しては、これまでも次のような方法で取り組まれてきた。それはダイオードに、金、白金などの重金属拡散を行ったり、電子線等の放射線の照射を行いキャリアのライフタイムを短くすることである。これにより、過剰キャリアの蓄積が少なくなるとともに、キャリアの消滅も速くなるため、リカバリ電荷を少なくすることができる。

しかし、単純なライフタイム低減ではソフトリカバリ特性は実現できない。それどころかライフタイムが短くなることによりキャリアの消滅が速くなるため、リカバリタイムは短くなるが、リカバリ電流の減少もより急峻になり大きなサージ電圧が発生する。

また、ライフタイムを短くし過剰キャリアの蓄積が少なくなるといことは原理的に順電圧降下 V_F の増大を伴い、単純なライフタイム低減では V_F とリカバリ特性のトレードオフ関係は改善されない。

このような点をかんがみ、IGBT モジュール等の第三世

代化に当たり、より一層の低スイッチング損失化を実現するため、筆者らはアノードプロファイルの最適化を行った。

これにより、ソフトリカバリ特性を実現するとともに、 V_F とリカバリ特性のトレードオフ関係を改善し、 V_F の上昇を抑えてリカバリピーク電流の低減を図り、リカバリ電荷の低減を実現することができた。

また、このダイオードが高速スイッチング用途に使用されることを考慮し、スイッチングロスと V_F による定常損失との全体に占める割合の計算から、 V_F とリカバリ特性のトレードオフの最適化を図っている。

4. ダイオードの動作内部状態の解析

アノードプロファイルの変化がリカバリ特性にどのような影響を与えるか、筆者らはシミュレーションによる検討を行った。

まず、リカバリ動作時のダイオード内部のキャリア密度の変化をシミュレーションした結果を図3に示す。

図3 (a)はダイオードのリカバリ電流を示したものである。(b)はシミュレーションに用いたダイオードの概略の構造である。また、(c)～(f)は、(a)中のA～Dの各時点におけるダイオード内部のキャリア密度を示したものである。

このデータから、リカバリ電流のピーク値にはP-N⁻接合近傍の蓄積キャリアが直接的に関係しているのが分かる。

また、リカバリの最終段階であるC～Dの時点において

N⁻-N⁺境界にキャリアが残っており、これによる電流が流れていることから、ソフトリカバリ特性を実現するためには、P-N⁻接合近傍のキャリアの減少に対するN⁻-N⁺境界のキャリアの残存率が問題になり、後者が前者に対して遅くまで残っていることでソフトリカバリ特性が実現できることが分かった。

これらより、P-N⁻接合近傍のキャリアの蓄積量を減らしその減少を何らかの方法で速くすれば、リカバリ電流のピーク値を低減させ、かつ、ソフトリカバリ特性が得られることが予想できる。P-N⁻接合近傍のキャリアの蓄積量を減らし、その減少を早くする方法としては、

- (1) P-N⁻接合近傍のみ選択的にライフタイムを短くすること。
 - (2) P-N⁻接合近傍の初期のキャリア蓄積量を少なくすること。
- が挙げられる。

今回、筆者らは後者の方法を採用した。すなわち、アノードプロファイル

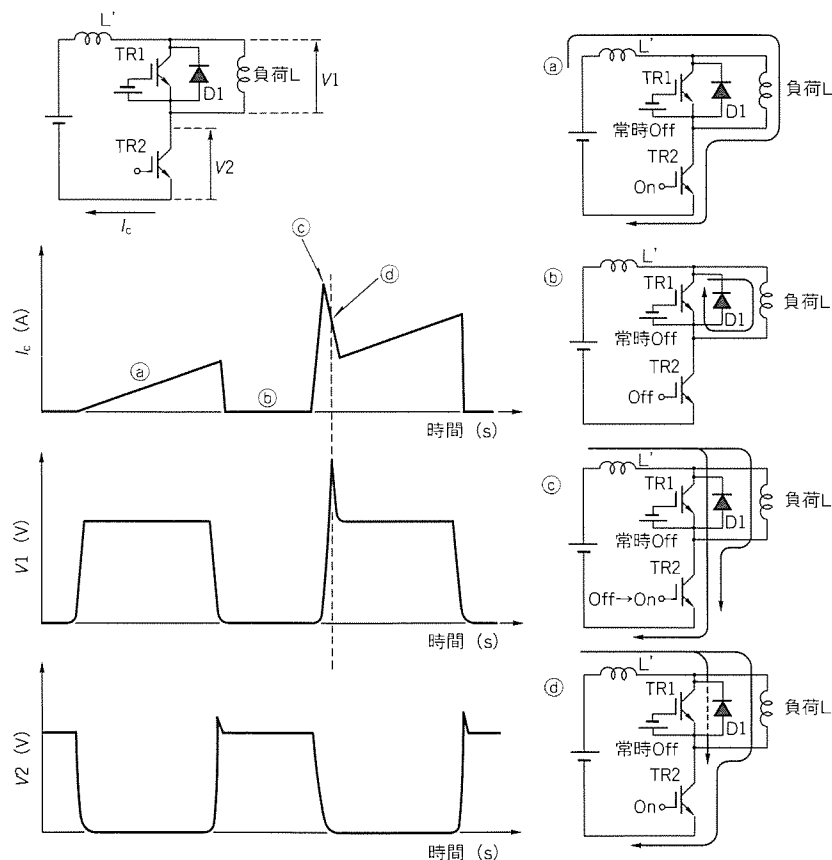


図2. ハーフブリッジ回路の動作（概略説明図）

を最適化することで P-N⁻ 接合近傍の蓄積キャリアを減少させ、それによりリカバリ電流のピーク値低減、ソフトリカバリ特性を実現した。後者の方法を採用したのは、現状の生産方法を大きく変更することなく比較的簡単に効果が期待できること、またそれ以上に意識的にライフタイムをコントロールする手段が量産ベースで確立されていないからである。

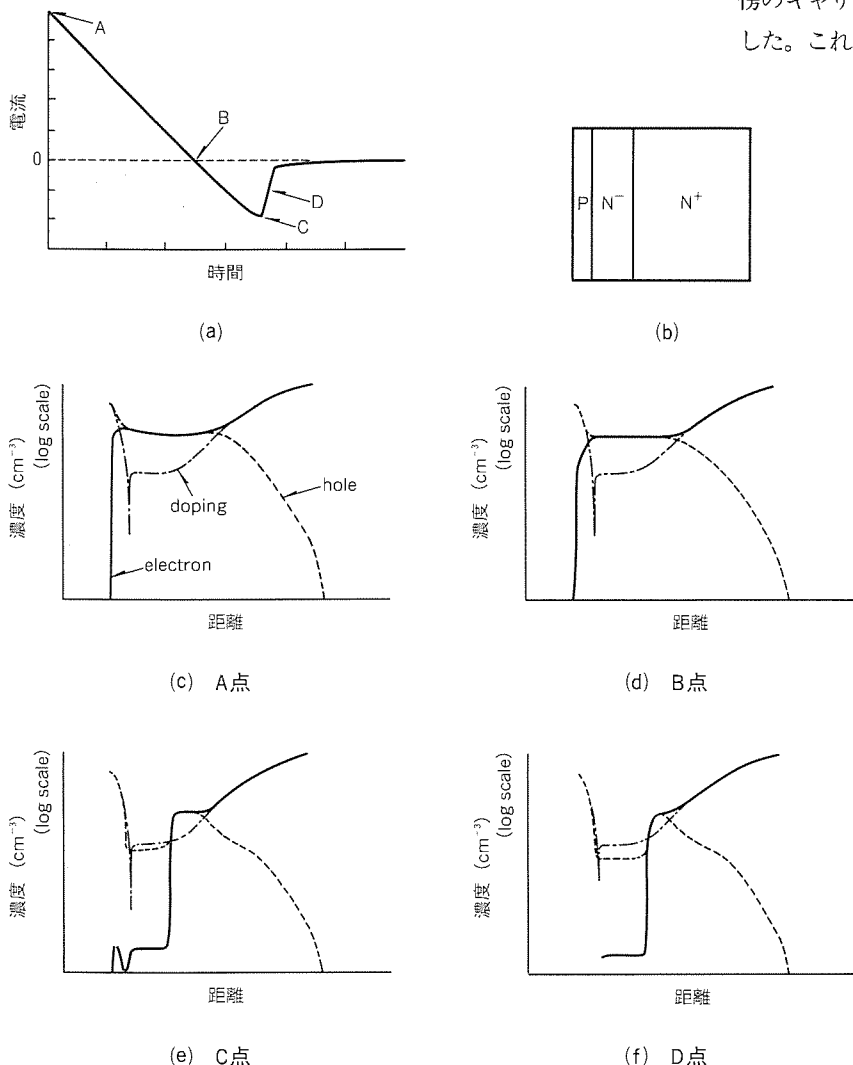


図 3. リカバリ時のダイオード内部状態 (シミュレーション)

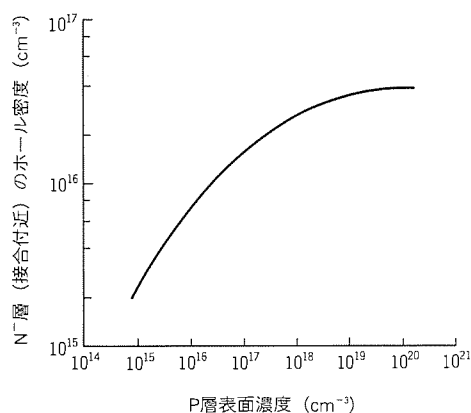


図 4. P層表面濃度とN層ホール密度との関係 (シミュレーション)

5. アノードプロファイルの変更による内部状態の変化

アノードプロファイルとしては、アノードの表面濃度と拡散深さをパラメータと考えることができる。次のステップとして、筆者らはそれぞれを変化させたときの、P-N⁻ 接合近傍のキャリアの蓄積量の変化をシミュレーションにより確認した。これを図 4 及び図 5 に示す。

図 4 はアノード P 層の表面濃度を変化させたときの、N⁻ 層 (接合付近) のホールの蓄積密度である。また、図 5 はアノード P 層の拡散深さを変化させたときの、単位断面積当たりのアノード P 層内の電子蓄積量である。

シミュレーションによると、アノード P 層の不純物濃度が増加すると N⁻ 層に注入されるホール密度が増加し、同時にアノード P 層内では電子密度も増加する。また、アノード P 層の拡散深さが増大するとアノード P 層内に注入される電子総数が増大する。

これらの点からアノード P 層の不純物濃度が低く拡散深さが浅い構造が、P-N⁻ 接合近傍の過剰キャリアを減少させてリカバリ電流のピーク値を低減させ、ソフトリカバリ特性を実現し、かつリカバリ電荷の低減を実現するために有効であることが分かった。

6. 試作による効果の確認

これらの検討に基づき、筆者らは実際に試作を行い、効果の確認を行った。

図 6 にアノード P 層として高濃度で深い P 層を形成した場合と、低濃度で

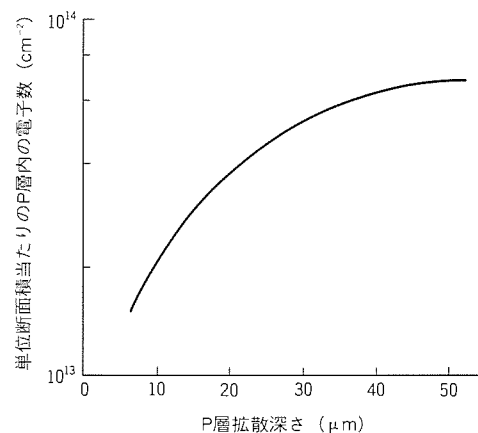


図 5. P層拡散深さとP層内電子数との関係 (シミュレーション)

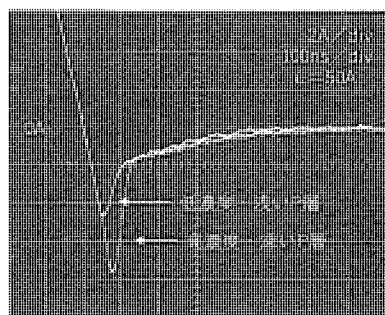


図6．リカバリ電流波形の比較

浅いP層を形成した場合の高速ダイオードのリカバリ電流波形の比較例を示す。これは1,200V耐圧のダイオードの試作結果であり、N⁻層厚みは同一となるように調整してある。また、どちらにも白金拡散によるライフタイム制御を行っているが同一の V_F となるよう白金拡散条件を調整している。

図6のサンプルでは、アノードP層を低濃度で浅く形成した場合、リカバリピーク電流は約40%低減され、リカバリ電荷の低減が実現されている。

また、リカバリ時の di/dt も約1/2に減少しており、サージ電圧の抑制にも効果があることが分かる。

図7はリカバリ電荷 Q_{rr} と順電圧降下 V_F とのトレードオフ関係を比較したグラフである。どちらも1,200V耐圧の製品で、三菱電機従来品である高濃度で深いアノードP層をもつ高速ダイオードと、今回開発した低濃度で浅いアノードP層をもつ高速ダイオードを比較している。それぞれ白金拡散を施しているがその条件を振り分けている。また、これらは同一のN⁻層厚みとなるように調整してある。

図7から、アノードプロファイルを改善し低濃度で浅いアノードP層とすることで、今回開発した高速ダイオード(第三世代品)では、リカバリ電荷 Q_{rr} と順電圧降下 V_F とのトレードオフ関係が改善され、従来品に比較して同一 V_F で Q_{rr} は約20%低減されていることが分かる。

最後に、表1に今回の改善によって達成できた三菱電機第三世代IGBTモジュールのダイオード関係の特性を、三菱電機従来品と比較して示す。表には、動作周波数=15kHzでのインバート動作におけるダイオードによるパワーロスの計算値も併せて示している。

7. む す び

パワーエレクトロニクスの進歩とともに、システムに不可欠な高速ダイオードもより一層の進歩が求められている。今

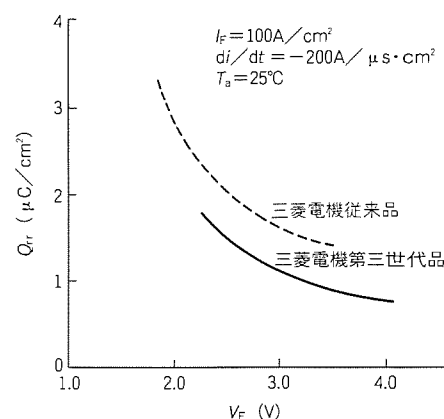


図7．リカバリ電荷 Q_{rr} 対順電圧降下 V_F

表1．高速ダイオード特性比較（三菱電機製品）

1,200V耐圧, 50A品		条 件	従来品	第三世代品
順電圧降下		25°C, 50A	2.3V	2.6V
リカバリピーク電流		25°C, 50A $V_{cc}=600V$	10.5A	4.5A
リカバリ時間		$di/dt=100A/\mu s$	200ns	130ns
V _F (V) (インバーション) ダイオード スイッチング ロス	ダイオード スイッチング ロス	$f_c=15kHz$ 力率=0.8 $I_o=25A$	14.4W	6.0W
	ダイオード 定常ロス		3.6W	4.0W
600V耐圧, 100A品		条 件	従来品	第三世代品
順電圧降下		25°C, 50A	1.7V	2.2V
リカバリピーク電流		25°C, 50A $V_{cc}=600V$	15A	7A
リカバリ時間		$di/dt=100A/\mu s$	150ns	75ns

回筆者らは、アノードプロファイルを低濃度で浅い拡散とするという比較的単純な改善を行うことで、リカバリ電荷の低減及びソフトリカバリ特性を実現することができた。

今後の更なる性能の向上の要求に対しては、より構造的な改良が必要となろう。これに向けて鋭意努力していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 副島顕幸, 石沢慎一, 引地敏彰, 上西明夫: 低損失ダイオード, National Convention Record I. E. E. Japan, 5-23 (1993)

パワーデバイスのシミュレーション技術

上西明夫*
近藤久雄**

1. ま え が き

パワーデバイスは高耐圧化、大電流化、高速化及び高機能化に向けて新構造素子の提案や既存素子の構造適正化などが行われており、研究開発においてシミュレーション技術が適用されるようになってきた。例えば、パワーデバイスの国際会議の一つである ISPSD (International Symposium on Power Semiconductor) ではシミュレーション関係の論文が毎年増加傾向にある。その背景としては計算技法やモデリングの進歩によってパワーデバイスの計算が可能となり、計算値と実験値の整合性が改善されつつあること、またコンピュータ技術の進歩によって高性能のワークステーションが比較的容易に使用できるようになり、計算時間が短縮されつつあること等が挙げられる。これによって、素子や回路を試作する以前に計算によって素子特性や回路動作を予測したり、

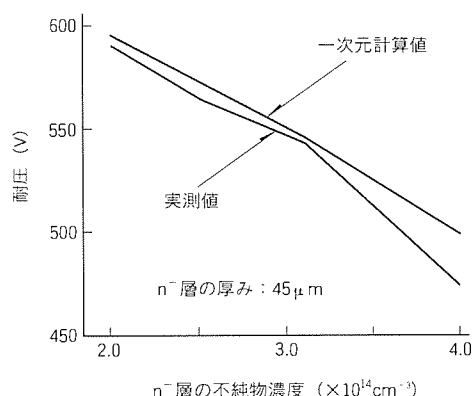


図1. pnダイオードの耐圧と不純物濃度の関係

解析することが可能になりつつあり、シミュレーション技術の適用によって研究の効率化と開発期間の短縮が期待されている。

ここではパワーデバイスにおけるデバイスシミュレーション及び回路シミュレーションの適用例を述べる。

2. デバイスシミュレーション

2.1 耐圧シミュレーション

パワーデバイスの最も重要な特性項目の一つはデバイスの耐圧である。デバイスの耐圧はpn接合の耐圧によって決まり、その構造に依存する。一般に耐圧とオン電圧はトレードオフの関係があるので、許容される耐圧の範囲で素子構造を適正化することが要求される。この場合、各種の素子構造についてpn接合耐圧を調べる必要があり、シミュレーションが適用される。

耐圧をシミュレーションする場合には電流を無視することが可能であり、ポアソン方程式のみを解けばよいので計算時間が短くなる利点がある。耐圧はイオン化積分が1になる電圧で定義されている。

ダイオードのようにpn接合が平面の場合には一次元シミュレーションが適用できる。図1にpnダイオード耐圧の計算値と実測値を示す。両者は比較よく一致している。

MOSFETの場合には、図2(a)に示すように(矩)形pウェルが多数個形成されており、pウェルコーナ部分(矢印)での電界集中によって耐圧が制限される。この部分の耐圧を計算するために円筒座標を用いた擬似三次元シミュレーションが適用される。図2(b)にMOSFET耐圧の計算値と実験

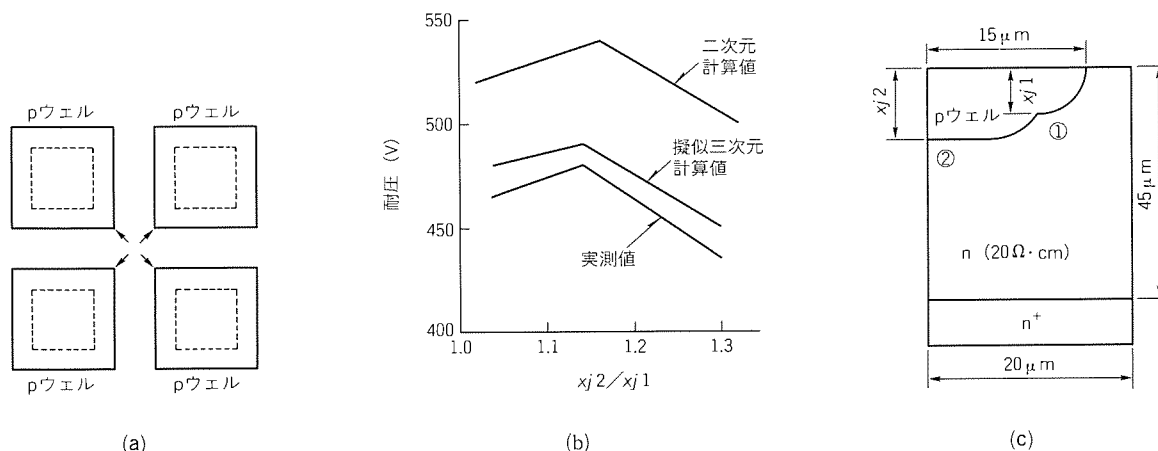


図2. MOSFETの耐圧とpウェル深さの関係

値を示す。計算に用いた p ウェルの断面を図 2(c) に示す。二次元シミュレーションの値は実測値よりも 60 V 程度高く、これに比べて擬似三次元シミュレーションの値は実測値に近い。この結果は p ウェルコーナ部分での電界集中を示唆している。また、p ウェルを二重拡散で形成した場合には耐圧は接合深さの比 (x_{j2}/x_{j1}) に依存し、計算値は実験値とよく一致している。接合深さの比が 1.15 程度以下の範囲ではアバランシェブレイクダウンが生ずる最大電界は図 2(c) に示した①の近傍にあり、この範囲では接合深さの比が増加すると電界が緩和されるので耐圧が高くなる。ところが接合深さの比が 1.15 程度以上になると最大電界は②の近傍に移動する。これは n 層が薄くなるためであり、この範囲では接合深さの比が増加すると電界が高くなり耐圧が低下する。

pn 接合の周辺部では接合面が湾曲するため電界集中が生じ、これにより pn 接合の耐圧が制限される問題があり、これを防ぐために種々の構造が提案されている。プレーナ素子では図 3 に示すフィールド リミティング リング構造が採用される場合が多い。これは主接合 (p0) を接合のリング (p1, p2) で取り囲んだ構造で、リングはフローティングになっている。逆バイアスを印加すると初期には主接合の周りに空乏層が形成されるが、逆バイアスが増加すると空乏層が外側に延び、主接合がアバランシェブレイクダウンする前に主接合とリングがパンチスルーして主接合コーナ部の最大電界が抑制される。更に逆バイアスを増加すると p1 接合のコーナ部の電界が増加するが、アバランシェブレイクダウンする前に p1 と p2 がパンチスルーし、p1 コーナ部の最大電界が抑制される。このように最大電界部分が順次外側のリングの

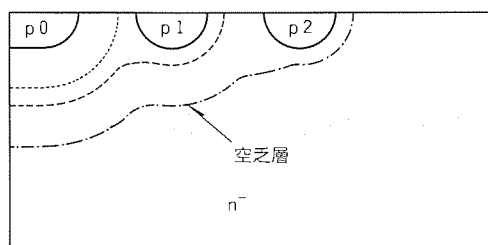


図 3. フィールド リミティング リング構造

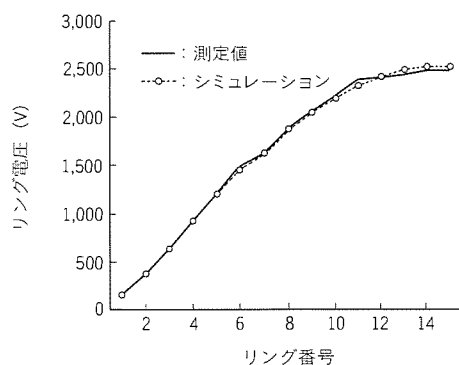


図 4. リング電圧の計算値と測定値の比較

接合コーナ部に移動し、最外周のリングで降伏するようにして高耐圧を実現する。この構造ではリング間隔を適正に設計することが必要であり、シミュレーションが適用される。15 本のリングをもつ構造について、二次元シミュレーションによる各リング電圧の計算値と測定値を図 4 に示す。両者は比較的よく一致している。

上述したように耐圧シミュレーションは実験結果との整合性が良く、計算時間も短いのでデバイスの耐圧設計に適用されている。

2.2 スイッチング特性シミュレーション

ここでは二次元デバイスシミュレータを高耐圧バイポーラトランジスタと IGBT のスイッチング特性、特にインバータ応用時に問題となることが多いアーム短絡や負荷短絡時の動作の解析に適用した例を述べる。

2.2.1 バイポーラトランジスタ

図 5 に示す 1,200 V クラスのシングルトランジスタ構造について、トランジスタのパッケージやインバータの直流母線のわずかなインダクタンスを負荷としてスイッチングした場合の動作を計算する。

シミュレーション結果を図 6 と図 7 に示す。図 6 はベース電流を 35 A/cm^2 と通常の使用条件より大きくしてスイッチングしたときの動作波形である。通電後 $2 \mu\text{s}$ でコレクタ電流は 250 A/cm^2 に達し、このときの消費電力は 200 kW/cm^2 である。ターンオフ時のスパイク電圧は $1,250 \text{ V}$ と高い

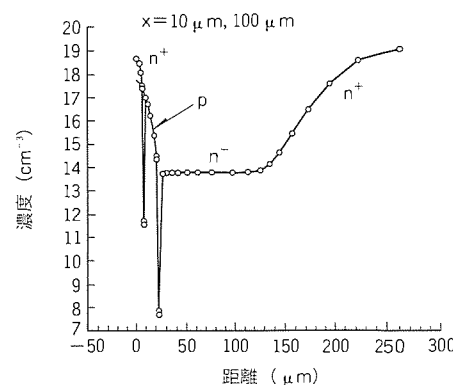
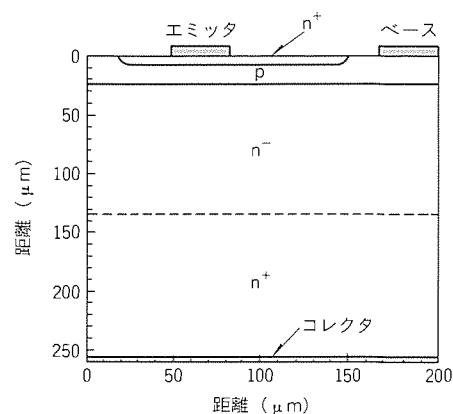


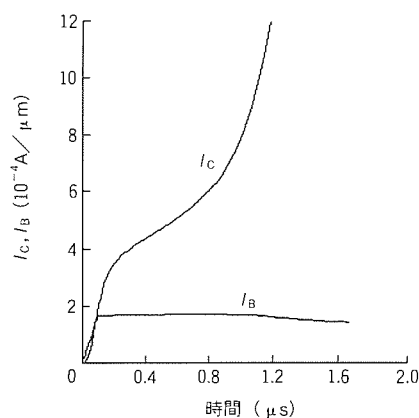
図 5. バイポーラトランジスタの構造

値になった。また、図7は更にベース電流を増して80 A/cm²にした場合のスイッチング波形である。この場合、トランジスタはコレクタ電流が300 A/cm²を超える時点の0.8 μs 辺りから急速に増加し始め、サステイン状態に陥る。

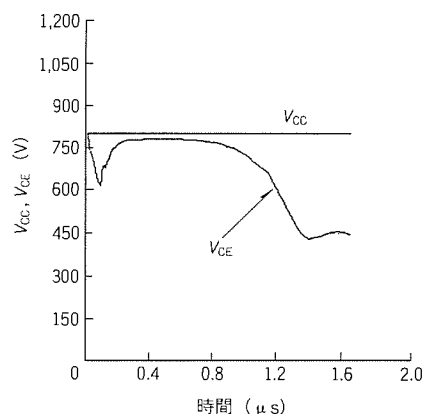
バイポーラトランジスタのサステイン状態への移行条件は実験的に消費電力が約200 kW/cm²を超えた場合に発生することが知られており、今回のシミュレーションの結果と良い一致を示す。ここで注目しておきたいのは、図8に示したようにバイポーラトランジスタがオンしているときにはベース側のn⁻領域に多量のキャリアがたまっており、コレクタn⁺層側のn⁻層の狭い領域に電界が集中していることである。

2.2.2 IGBT

IGBTとして図9に示す600 V クラスの構造について、バイポーラトランジスタの場合と同様に、短絡負荷条件でのスイッチング動作を解析する。図10は通常のゲート条件で駆動した場合のスイッチング波形である。この場合、コレクタ電流は定格の6～7倍の値となり、このときの消費電力は約250 kWでバイポーラトランジスタのサステイン電力密度

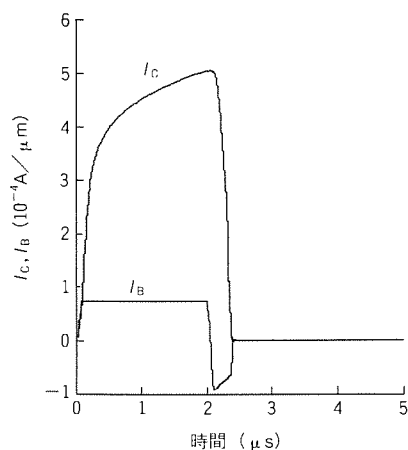


(a) I_C, I_B

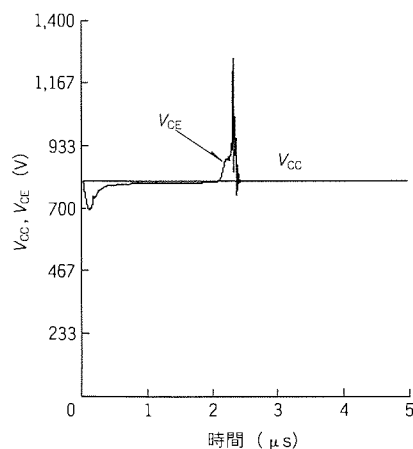


(b) V_{CC}, V_{CE}

図7. 短絡負荷スイッチング波形 ($I_B = 80 \text{ A/cm}^2$)



(a) I_C, I_B



(b) V_{CC}, V_{CE}

図6. 短絡負荷スイッチング波形 ($I_B = 35 \text{ A/cm}^2$)

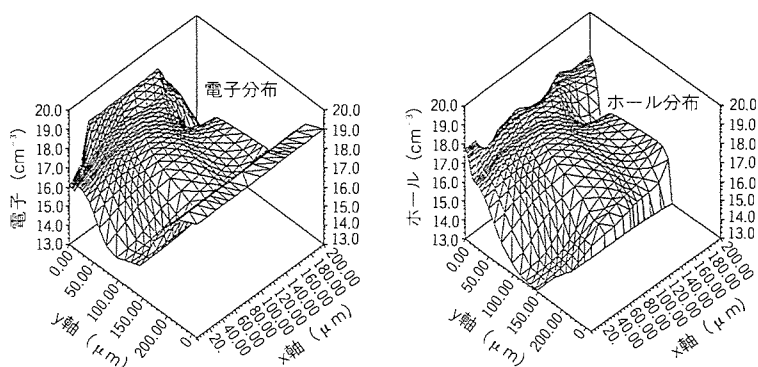
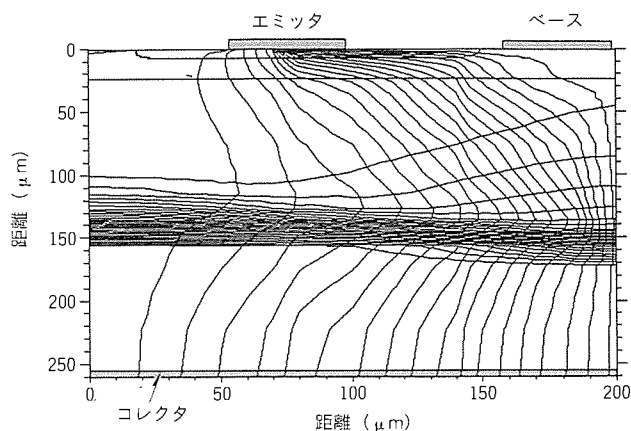


図8. 短絡負荷オン状態のトランジスタの内部状態

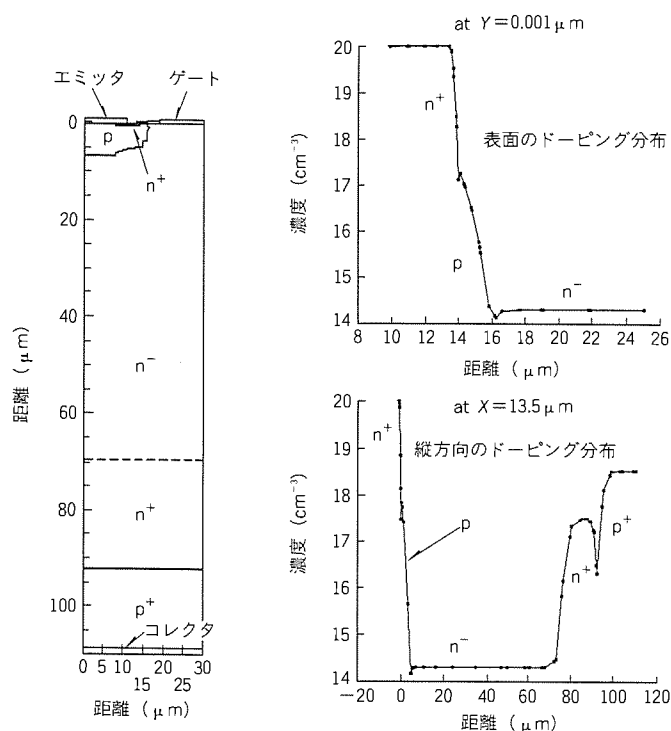


図9. 600V級IGBTの構造

に相当するが正常にスイッチングできる。短絡動作におけるIGBTの限界電力がバイポーラトランジスタより大きいという実験結果を支持している。

IGBTの短絡動作時には高いサージ電圧が発生しやすい問題がある。図11は短絡負荷における遮断時にゲート電圧をいったん中間電圧に下げて2段切りすることによって、サージ電圧の発生を抑制したものである。遮断時のサージ電圧が約60%減少できることが分かる。

短絡負荷でオン状態のIGBTの内部の電流、電位及びキャリアの分布を図12に示す。等電位線はpウェル部近傍で詰まっており、この部分の電界強度が強いことが分かる。このような電界の分布はオフ状態で高いコレクタ電圧を印加した場合の分布と類似しており、バイポーラトランジスタにおけるような電界集中によるサステイン現象が本質的に起こりにくいことが理解できる。

3. 回路シミュレーション

パワーエレクトロニクス機器設計をより詳細・確実に行うため、回路シミュレーション利用のニーズが高まっている。

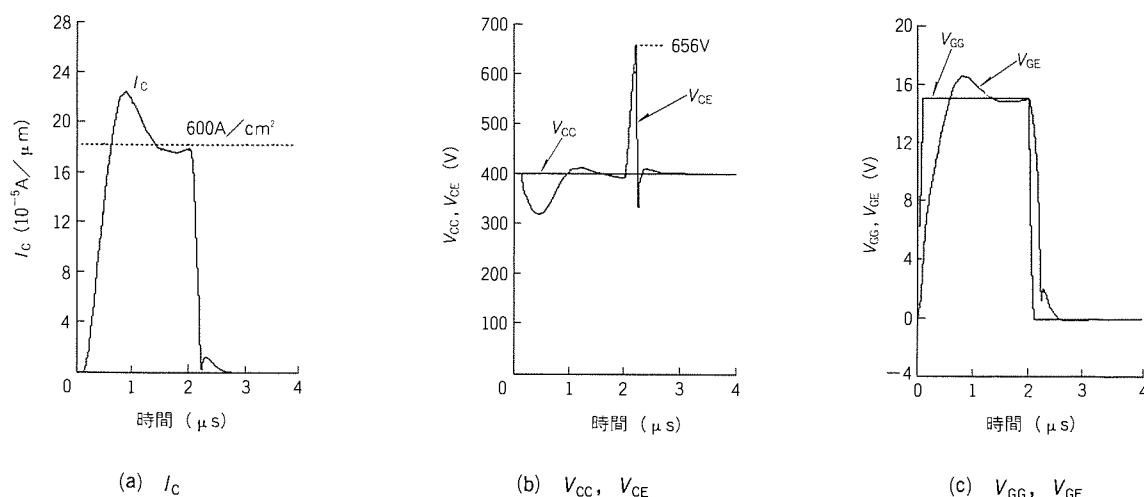


図10. 短絡負荷スイッチング波形

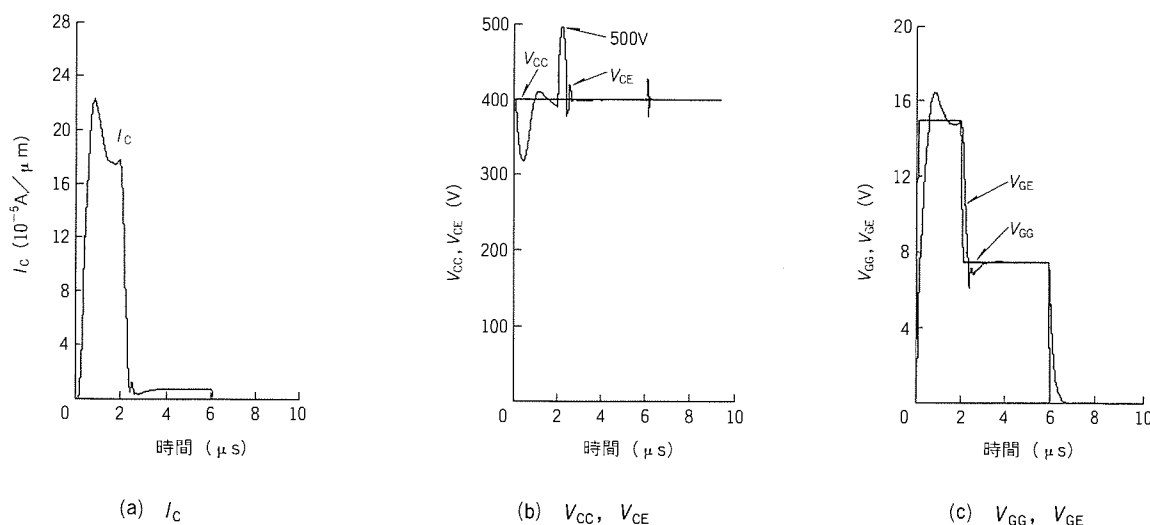


図11. 短絡時のゲート制御によるサージ電圧抑制

集積回路設計など小信号応用に広く使用されている回路シミュレータとして SPICE プログラムがあるが、パワーデバイスのモデルは準備されていないので、パワーエレクトロニクス応用に特に重要な IGBT モジュールと GTO サイリスタのモデルを SPICE の内蔵モデルの組合せによって実現している。

3.1 IGBT モジュールのモデル

通常の IGBT は縦形 MOSFET とバイポーラトランジスタの組合せで大部分の特性が再現できるが、スイッチング特性を正確に再現するためには帰還容量とテール電流特性に注意する必要がある。

図13はワシントン大学の H.P. Yee らによって紹介された縦形 MOSFET 用のゲート容量モデル⁽¹⁾を Nch IGBT に適用した例を示す。この方法はゲートとドレイン間の帰還容量を補助 MOS の M2 のスイッチングによって切り替えるもので、縦形 MOS デバイスのスイッチング動作時の帰還容量の広範囲な変化を再現できるようにしたものであるが、ドレインの空乏層容量は印加電圧によって大幅に変化するの、更にダイオード D1 を追加して帰還容量の精度を改善している。

IGBT のターンオフ時のテール電流は pnp トランジスタ Q1 の電流増幅率と順方向遷移時間とで合わせ込むことができる。ターンオフ時には M1 のドレイン電流はゲート電圧の減少によって急速に減少するが、トランジスタ Q1 は直ちに遮断されず、コレクタ電流はオン時に流れていた電流から順方向遷移時間の時定数で減衰する。

図14に 100 A、600 V のインテリジェントパワーモジュールについて誘導負荷でのスイッチング動作を計算した結果と実測波形の例を示す。両者は比較的良好に一致しているが、今後、温度特性や微妙なテール電流の時間的な変化など改善していく予定である。

図15に示す 2 トランジスタ方式でモデル化した。

3.2 GTO サイリスタモデル

デバイスシミュレーションによる GTO の基本特性解析から得た知見及びスイッチング特性評価で得られた特性値を用いて各要素の値を決定した。

ターンオフ時のゲート逆電流のピーク値が QP の電流増幅率に強く依存し、また QP、QN の遷移時間でターンオフ時の電流波形が変わる。

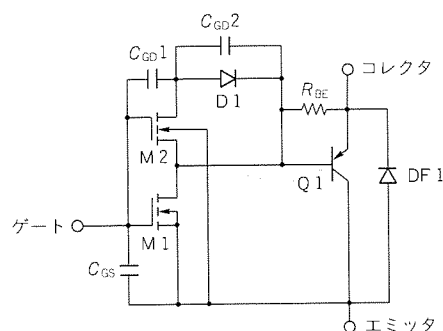
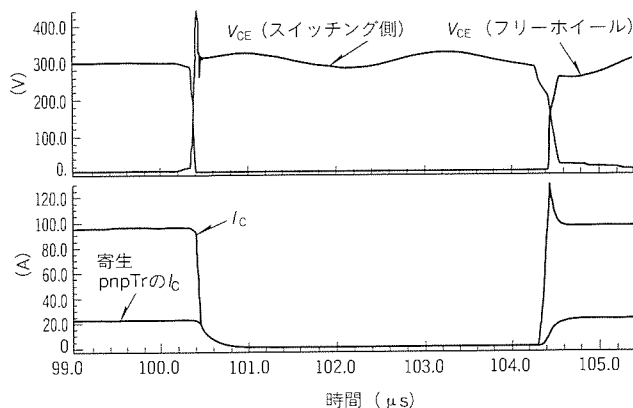
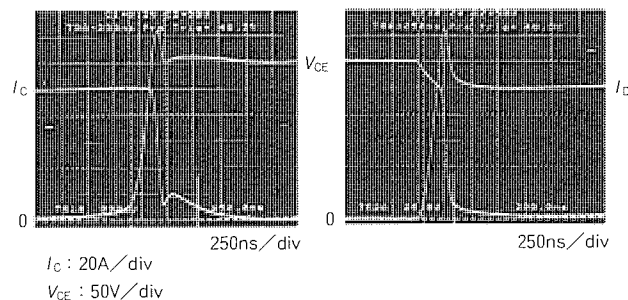


図13. IGBTモジュールのモデル



(a) シミュレーション波形



(b) 実測スイッチング波形 (PM100DHA060)

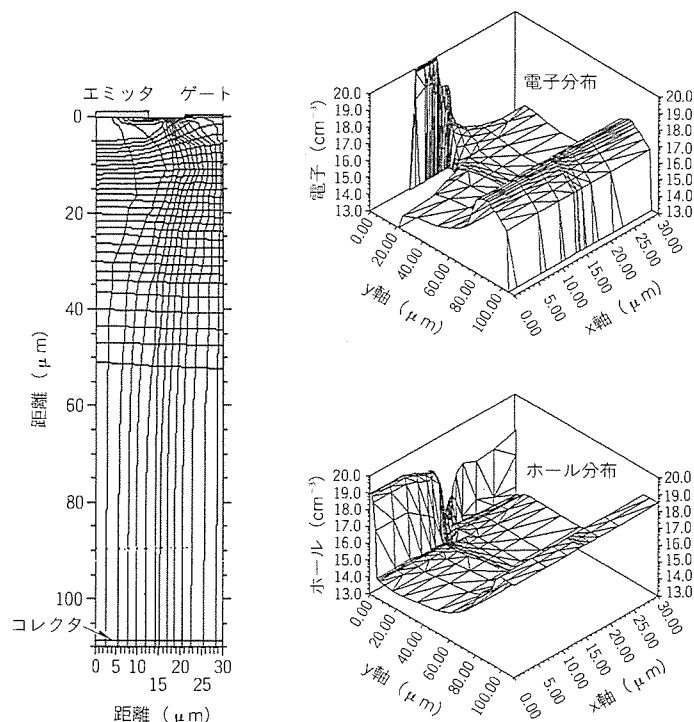


図12. 短絡負荷オン状態のIGBTの内部状態

図14. IGBTモジュールのスイッチング波形例

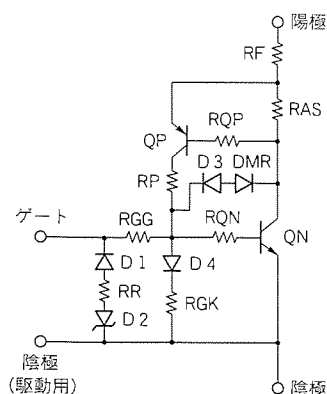


図15. GTOサイリスタのモデル

図16に4,500 V, 4,000 A の GTO について遮断特性を計算した結果と実測波形を示す。

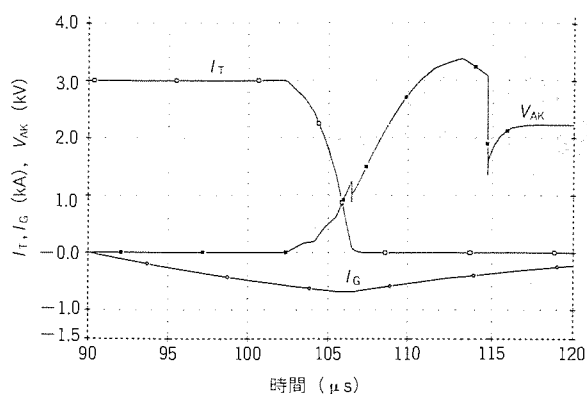
現状のモデルでは図示のスイッチング波形やゲート特性は比較的良好に一致しているが、テール電流が再現できておらず、また保持電流やラッチング電流、遮断限界など今後再現性の改善を進める予定である。

4. む す び

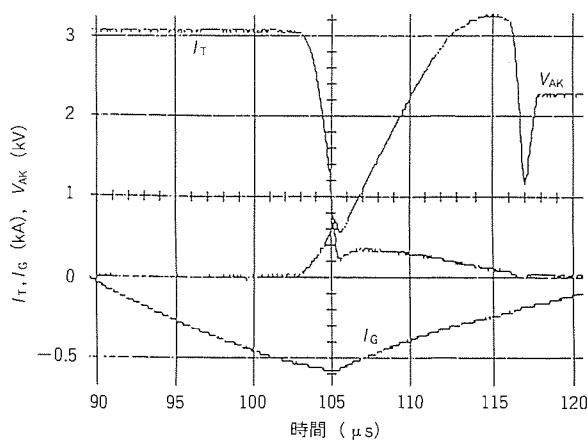
デバイスシミュレーションはパワーデバイスの耐圧設計やバイポーラトランジスタ及び IGBT の短絡耐量の解析に有効であることを適用例で示した。また、SPICE の内蔵モデルを組み合わせることで IGBT 及び GTO サイリスタの回路モデルを構成できることを示した。

デバイスシミュレーション技術は研究を効率化する有力な手段の一つとして今後更にその適用範囲が拡大することが予測されるが、シミュレーション技術を有効に利用するためには次の点を改良する必要がある。

- (1) モデリングの進歩により、計算と実験の整合性は改善されつつあるが、従来は主に室温での特性が対象とされていた。パワーデバイスは高温で使用される場合が多いので温度依存性を考慮したモデリングが必要であり、特にライフタイムの温度依存性モデルの開発が望まれる。
- (2) コンピュータの進歩により、以前に比べて計算時間は短くなったが、過渡特性や回路・素子混合特性のシミュレーション



(a) シミュレーション波形



(b) 実測波形

図16. GTOのターンオフ波形

ョンでは計算時間が長い問題がある。計算技法の改良や並列処理技術の適用による高速化が望まれる。

参 考 文 献

- (1) Yee, H. P., Lauritzen, P. O.: SPICE Models for Power MOSFETs: An Update, APEC '88 Proc., 281 ~ 289 (1988)
- (2) Chenming Hu, Waiman F. Ki: Toward a Practical Computer-Aid for Thyristor Circuit Design, PESC '80, 174 ~ 179 (1980)



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
特許営業グループ Tel(03)3218-2137

半導体装置 (特許 第1513414号)

発明者 山田富久, 鈴木一美

この発明は、いわゆるガラスパッシベーション法を適用したサイリスタ等の半導体装置の構造に関するものである。

従来、この種のサイリスタチップ等を得る製造プロセスでは、図1のようにn形シリコン基板(1)の両主面からGaの拡散を行いp形領域(2)(3)を形成し、次にp形領域(3)の一部に選択的にn形エミッタ(4)を形成する。さらに、図2に示すように両主面の対向する部分に選択的にp形不純物を拡散して分離領域(5)を形成し、メサ溝(6)をエッチングして後工程でガラス粉末を被着し切断することにより半導体チップを製造するものである。しかしこの方法によると、一般にガラスの膨脹係数がシリコンより大きいため、加熱時ガラス膜(7)の

ある面(メサ溝側)側にシリコン基板が反るという欠点があった。

この発明は上記のような欠点にかんがみてなされたもので、p形不純物であるボロンはその原子径がシリコンに比べ小さく、ボロンをシリコン基板の片面に高濃度に拡散するとその拡散側に反るという特徴がある。そこで図3のごとく、メサ溝を形成すべき面の対向面にボロンを高濃度に拡散してp⁺領域(8)を形成すれば、ガラスによる反りとボロンによる反りが相殺される。

このように本発明によれば、シリコン基板を厚くすることなくウェーハの反りを軽減することができるという優れた効果がある。

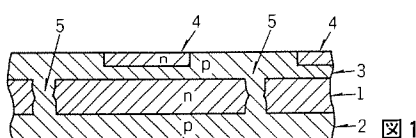


図1

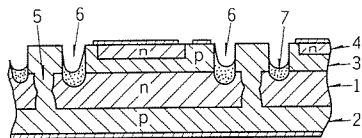


図2

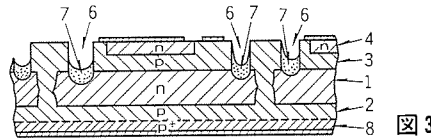


図3

半導体装置 (特許 第1614175号)

発明者 高浜 忍

この発明は、電力用半導体モジュールに使用する半導体装置に関し、特に銅板等によるバー結線を行うための外部接続用電極端子の配置構造に関するものである。

従来、半導体素子を複数配列して成るこの種の半導体装置の構造は、図1に示すように内部に半導体素子が封入され樹脂成形された外装ケース(1)を同一平面上で直線状に配置していたが、この方法では各外部接続用電極端子(2)は平行線上の同一方向しか接続結線することができず、直角な方向に交差して接続するには図2のような所定の接続金具を用いなければならなかった。

この発明は、上記のような事情にかんがみてなされたもので、図3に示すように半導体装置の外装ケース(1)上部の電極端子取付け面に段差を設けた上、その各電極端子取付け面において外部接続用電極端子(2)をほぼ対角線上に配置するように構成したものである。

このように本発明によれば、上記のような段差構造と対角線配置を取り入れた端子の配置構造としたことにより、立体配線、平行配線、直角配線が特別な補助金具等を用いることなく実現でき、半導体装置の結線方法の自由度が向上して、電子機器装置の小型化及び高密度実装化に高い効果が得られる。

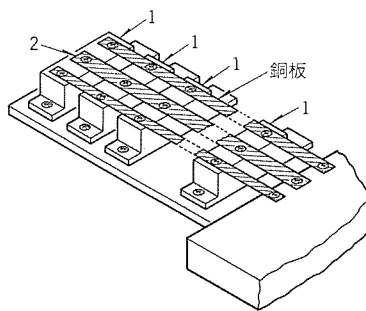


図1

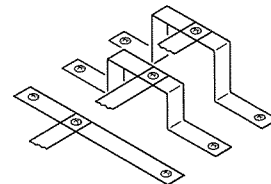


図2

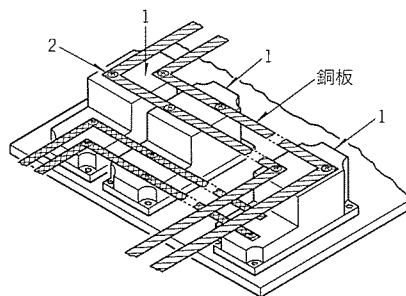


図3



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
特許営業グループ Tel (03) 3218-2137

高周波点灯蛍光灯照明装置 (特許 第1543904号)

この発明は、複数の蛍光ランプの高周波点灯を確実にかつ容易にする照明装置に関するものである。

近年、複数の直管形又は環形の蛍光ランプを、1台で高周波点灯する点灯装置(いわゆるインバータ蛍光灯照明)が実現されている。しかし、一対の蛍光ランプを確実に点灯させるには、従来は点灯装置の出力電圧を高く設定しなければならず、大容量、高絶縁の点灯装置が必要になり高価になってしまうという問題点があった。

この発明は、上記の問題点を解消するためなされたもので、ランプ近傍に導電性物質(いわゆる近接導体)が存在すると放電開始が容易になるという現象を利用するものである。すなわち、図1に示すように、例えば2本の蛍光ランプ(1)(2)を並列点灯する場合、最初に点灯させる蛍光ランプ(1)は、蛍光ランプ(2)より定格始動電圧の低いものを用い、かつ、近接導体で形成される反射板(3)に近く配設させる。図2は点灯装置を示すもので、電源を投入するとインバータ(10)の高

発明者 山崎広義、皆川良司、清水和崇、次田和彦

周波電圧はバランサ(11)により昇圧され、定格始動電圧の低い蛍光ランプ(1)が反射板(3)の作用により比較的低い電圧で放電開始して点灯し、続いて蛍光ランプ(2)が点灯する。

このように、この発明によれば、近接導体との距離が互いに異なる複数の蛍光ランプを1個の点灯装置により高周波点灯させる際に、点灯装置が小容量で済み、絶縁材料も安価なものを使用できる低廉な照明装置を提供できる。

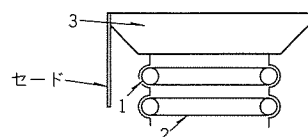


図1

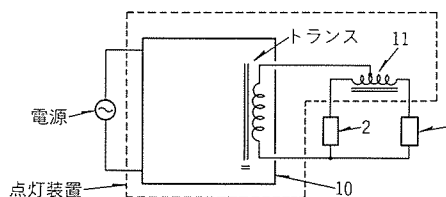


図2

〈次号予定〉三菱電機技報 Vol. 67 No.10 特集“昇降機”“インテリジェントビルシステム”

特集論文“昇降機”

- 巻頭言
- 昇降機とビルシステムの現状と展望
- 横浜ランドマークタワーの昇降機設備とビル管理設備
- 横浜ランドマークタワー向け速度750m/min エレベーターの振動・騒音対策と電気システム
- 横浜ランドマークタワー向け速度750m/min エレベーターの安全装置
- 最近のエレベーター群管理
- インバータ駆動エレベーターの低騒音化
- 小型エレベーター新“コンパクト4”
- コンピュータグラフィックスのエレベーターデザインへの応用

●昇降機、ビル管理システムの開発・設計へのCAEの活用

特集論文“インテリジェントビルシステム”

- インテリジェントビルシステム新シリーズの展望
- 横浜ランドマークタワー向けビル管理システム及びビル管理業務用通信システム
- 横浜ランドマークタワー向けビルマネジメントシステム
- 三菱ビル管理システム“MELBAS-Aシリーズ”
- 三菱ビルセキュリティシステム“MELSAFETY”
- 三菱ビル遠隔管理サービスシステム“メルセントリー SA, MA”
- ビル運営管理サービス“びるぞう君”
- ジェイアール東日本ビルテック㈱向けビル群管理システム

三菱電機技報編集委員

委員長 田岡恒雄
委員 永田譲蔵 鈴木幹雄
白井健三 大井房武
岩橋努 江頭英隆
福田哲也 松村恒男
畑谷正雄 才田敏和
鈴木軍士郎 鳥取浩
幹事 長崎忠一
9月号特集担当 春原 猛
川上 明

三菱電機技報67巻9号

(無断転載を禁ず)

1993年9月22日 印刷
1993年9月25日 発行

編集兼発行人 長崎 忠一
印刷所 千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01)
菱電印刷株式会社
発行所 東京都港区新橋六丁目4番地9号
北海ビル新橋 (〒105)
三菱電機エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」 Tel. (03) 3437局2692
発売元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101)
株式会社 オーム社
Tel. (03) 3233局0641代, 振替口座東京6-20018
定価 1部721円(本体700円) 送料別
年間予約は送料共9,373円(本体9,100円)

三菱電機では、小規模から大規模のプロジェクト管理を柔軟に管理できる“プロジェクト管理ソフトウェア TIMELINE V5.0J”を発売しました。米国ではベストセラーのソフトウェアであるSYMANTEC社のTIMELINEを、三菱AXパソコンMAXYシリーズ用に日本語化したものです。TIMELINEの適応分野は幅広く、構造物の建設工事管理、新製品の開発管理、工場の生産管理等に利用が可能です。

以下にTIMELINEの特長を述べます。

(1) 柔軟なプロジェクト管理ができる

小規模なプロジェクトには単一プロジェクト、大規模及び複雑な関係にはマルチプロジェクト管理が利用できるため、より複雑な管理に柔軟に対応できます。また、他のアプリケーション(Lotus 1-2-3, dBASE)に対応していますので、データ交換によって柔軟なシステム構築が可能です。

(2) 管理ツールの充実

管理ツールとしてガント図・パート図を利用できるので、

作業の計画や実施に対して的確な情報が提供できます。また、本格的なWBS・OBS機能を持ち、タスクレベルでの管理が容易です。また、アウトライン構造を用いたタスク管理によって進行状況・経費の使用状況などを自動的に集計し警告できるので、管理の簡略化ができます。

(3) 問題抽出機能の充実

プロジェクトに内在する問題点が何かを検出するため、フィルタ機能及びハイライト機能を用いれば問題の追跡が容易に可能です。また、計画値と実績値の比較管理ができるため、工程の遅延問題及び予算超過の原因を作業単位までさかのぼり追跡できます。これにより再発防止対策立案が可能となります。

(4) 資源管理の機能が豊富

人、物などを資源として扱い、人では社員又はパートなど異なった就業形態を取り扱うことができます。特に個人別にカレンダーが設定できるので、より現実的な日程調整が可能です。また、資源の負荷の山積み、山崩しが可能であり、プロジェクト崩れの予測や防止ができます。

(5) 印刷機能のカスタマイズ化

プロジェクトで発生する多くの情報はTIMELINEにより自動計算され、利用者の要求に合ったカスタマイズにより自由なレイアウトで見やすい印刷ができます。また、これらの更新・印刷手順をマクロ化することで管理をワークフロー化できます。

TIMELINEのパート図を図1に、ガント及び山積みの状況を図2に、TIMELINE V5.0Jの機能仕様を表1に示します。今後、三菱電機ではこのTIMELINEを利用した応用方法の開発を行っていきます。

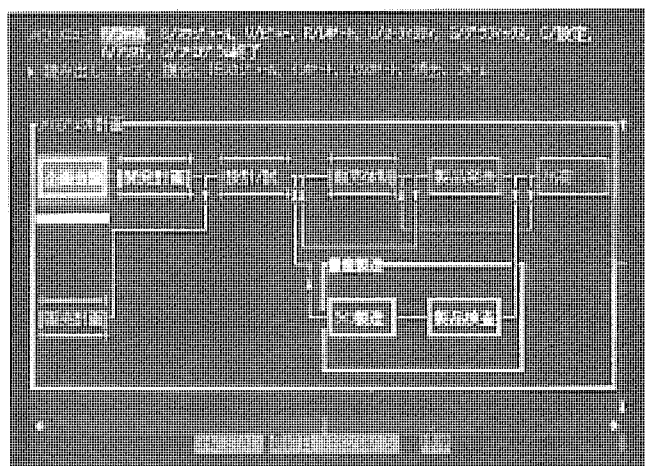


図1 パート図

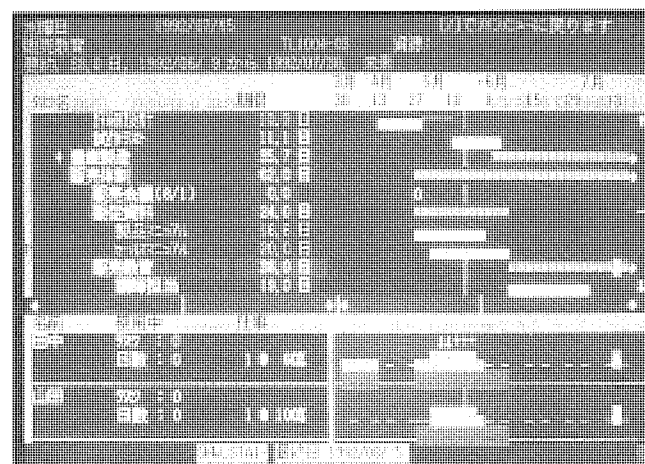


図2 ガント及び山積み状況

注 Lotus 1-2-3は米国Lotus Development社、dBASEは米国アシュンテイト社、MS-DOSは米国Microsoft社の登録商標です。

表1 TIMELINE V5.0J機能仕様

ソフトウェア	MICROSOFT MS-DOS V3.01(MAXYシリーズ) TIMELINE V5.0J		
	主な最大値	タスク	1,000
ハードウェア	資源	300	
	運用期間	25年	
	計算項目	160種	
	三菱AXパソコンMAXYシリーズ		
	メモリ	3.5Mバイト	
ハードウェア	FXD	20Mバイト	
	カラー表示	必ず(須)	
	オプション		
	プリンタ		
	AXプリンタ	M6262-1	
ハードウェア	プロッタ		
	M5000シリーズ(グラフィック社製)		
ハードウェア	マウス		

スポットライト 三菱インテリジェントパワーモジュール

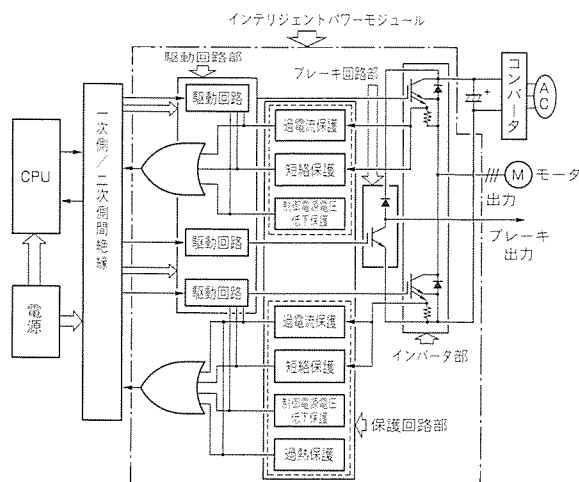
パワーデバイスの進化が応用装置の高性能・高機能・高信頼性といった市場要求及びパワーエレクトロニクス技術の進歩とあいまって、大市場を切り開く原動力となっています。

三菱インテリジェントパワーモジュール (IPM) は、このような市場動向に対応して、出力パワーデバイスと駆動回路を集積するだけではなく、過電流や過熱からパワーチップを保護したり、負荷に事故が起きたり使用法を誤ってもパワーチップを破壊させない保護機能をもっています。これらのIPMは出力パワーデバイスとしてIGBTチップが使われ、電流モニタ用のセンサ端子を備えた電流センス付きパワーチップを内蔵しています。このように、パワーチップ、駆動回路及び保護機能を集積化することによって、従来の個別デバイスに見られる単機能からシステムデバイスとしての多機能化へ進展するとともに、使いやすさ、高信頼度を増して市場拡大を進めつつあります。

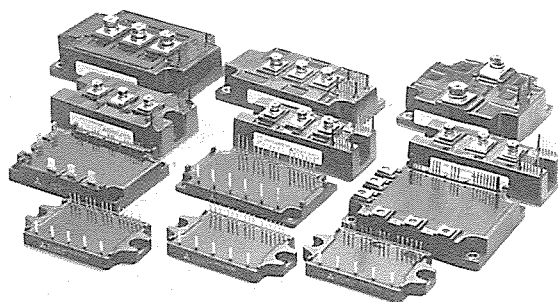
特 長

以下に三菱インテリジェントパワーモジュールの特長を述べます。

- (1) インバータ部のパワーチップには電流センス付きIGBTが使用され、過電流及び短絡電流が検出できます。したがって、従来のようなCT(電流検出用変流器)が不要になり、コスト低減、小型化に貢献します。
- (2) 駆動回路、保護回路などの周辺回路を集積化したことにより設計・評価時間の大幅な短縮が図れます。
- (3) 保護回路としては、過電流、短絡電流、制御電源の電圧低下及び過熱保護を内蔵しています。各々の保護回路が動作すると入力信号がオン信号であっても出力は遮断状態となり、しかも同時にエラー信号を外部へ出力するので、より安全に使用できます。
- (4) 従来のMOS系パワーモジュールのような静電対策は不要で、取り扱いが容易です。
- (5) 機種系列が豊富で、200V系及び400V系のインバータ容量1～75kVAの装置に対応できる製品をそろえています。



インテリジェントパワーモジュールの内部構成



インテリジェントパワーモジュールの外観

三菱インテリジェントパワーモジュール製品一覧

形 名	定 格	モータ定格	出力電圧	内蔵機能				
				OC	SC	UV	OT	Brake
PM10CHA060	600V, 10A	0.4kW	3φ 220V	○	○	○	○	×
PM15CHA060	600V, 15A	0.75kW	3φ 220V	○	○	○	○	×
PM20CHA060	600V, 20A	1.5kW	3φ 220V	○	○	○	○	×
PM30RHC060	600V, 30A	2.2kW	3φ 220V	○	○	○	○	○
PM50RHA060	600V, 50A	3.7kW	3φ 220V	○	○	○	○	○
PM50RHB060	600V, 50A	3.7kW	3φ 220V	○	○	○	○	○
PM75RHA060	600V, 75A	5.5 / 7.5kW	3φ 220V	○	○	○	○	○
PM100DHA060	600V, 100A	11kW	1φ 220V	○	○	○	○	×
PM150DHA060	600V, 150A	15kW	1φ 220V	○	○	○	○	×
PM200DHA060	600V, 200A	22kW	1φ 220V	○	○	○	○	×
PM300DHA060	600V, 300A	30kW	1φ 220V	○	○	○	○	×
PM400DHA060	600V, 400A	37kW	1φ 220V	○	○	○	○	×
PM600HHA060	600V, 600A	45 / 55kW	1 / 2φ 220V	○	○	○	○	×
PM10RHB120	1,200V, 10A	1.5kW	3φ 440V	○	○	○	○	○
PM15RHB120	1,200V, 15A	2.2kW	3φ 440V	○	○	○	○	○
PM25RHB120	1,200V, 25A	3.7kW	3φ 440V	○	○	○	○	○
PM50RHA120	1,200V, 50A	7.5kW	3φ 440V	○	○	○	○	○
PM75DHA120	1,200V, 75A	15kW	1φ 440V	○	○	○	○	×
PM100DHA120	1,200V, 100A	18.5 / 22kW	1φ 440V	○	○	○	○	×
PM150DHA120	1,200V, 150A	30kW	1φ 440V	○	○	○	○	×
PM200DHA120	1,200V, 200A	30 / 37kW	1φ 440V	○	○	○	○	×
PM300DHA120	1,200V, 300A	45 / 55kW	1φ 440V	○	○	○	○	×

OC : Over-current protection 過電流保護

SC : Short-circuit protection 短絡保護

OT : Over temperature protection 過温度保護

UV : Supply UV-lock protection ドライブ電圧低下保護

Brake : Elements for braking control ブレーキ回路

○ : integrated 内蔵

× : non-integrated 内蔵なし

スポットライト

NEW Super漏電アラーム遮断器

漏電アラーム遮断器は、電路の漏電を常時監視し、漏電発生時には電路を遮断せず警報のみ出力することで給電の連続性を確保するというニーズに対応しています。

新形漏電アラーム遮断器は、高調波・サージ対応ICを採用し、高度な監視機能と外形の小型化を実現して、使いやすさを追求した遮断器です。

特 長

(1) 高調波・サージ対応IC搭載

●インバータ二次側の地絡電流のひずみをアクティブフィルタ回路で除去することにより、インバータ電路での適正な地絡検出と不要動作の防止を実現しました。

●サージによる対地漏洩電流をDPDC(Dual Polarity Digital Counter)サージ判別回路で判別し、不要動作防止性能を向

上しました。

(2) 先進の同一フレーム、同一外形を実現

機能は多様化しても、アンペアフレームごとのサイズは同一で、ノーヒューズ遮断器、漏電遮断器、漏電アラーム遮断は、次世代標準の同一外形です。

(3) より使いやすく

●定格電圧をAC220-460V両用形として適用範囲が広がりました。

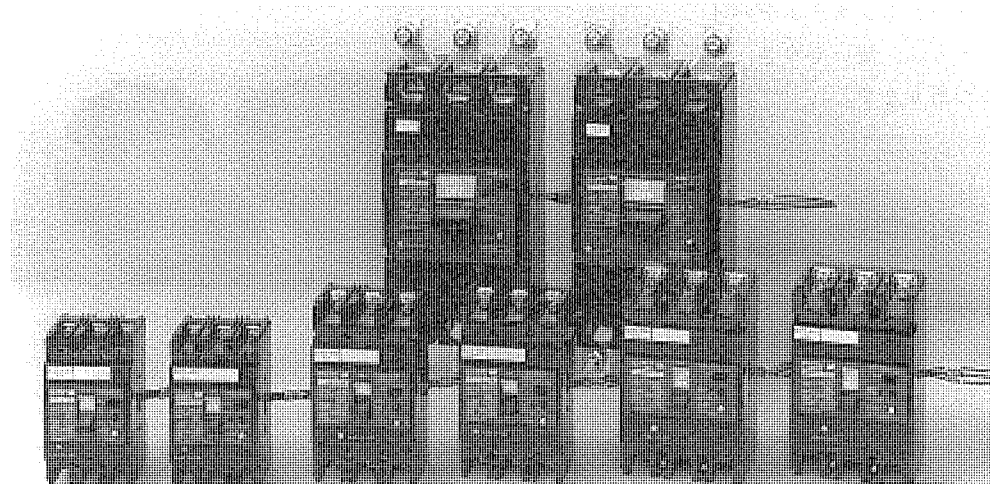
●時延形の動作時間を、0.3・0.8・1.6秒の3段切替えとし、漏電の保護協調をとりやすくしました。

●遮断器のON、OFFの状態をカラー表示しました。

●アラームトリップユニット付きも縦形リード線端子台仕様としました(225Aフレーム以上で対応)。

●電圧引き外し装置を装着可能としました(100Aフレーム以下)。

- 付属装置のリード線負荷側引出しを製作可能としました(225Aフレーム以下の警報スイッチ、補助スイッチと、100Aフレーム以下の電圧引き外し装置で対応)。
- 縦形リード線端子台付きも製作可能としました。
- IEC35mmレール取付けも製作可能としました(100Aフレーム以下)。



前列左：NF50，中：NF100，右：NF225，後例：NF400

機種一覧

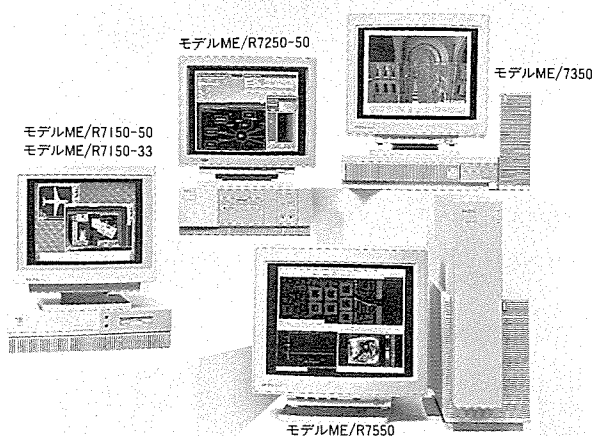
■新発売機種

フレームA	50	100	225	400	600	800	1000	1200
Sシリーズ(汎用品)	NF50-ZSF	NF100-ZSF	NF225-ZSF	NF400-ZSF	NF600-ZSB	NF800-ZSB	NF1000-ZSB	NF1200-ZSB
		NF100-ZSS(4P)	NF225-ZSS(4P)	NF400-ZSB(4P)				
		NF100-ZHB	NF225-ZSB					
Cシリーズ(経済品)	NF50-ZCF	NF100-ZCF	NF225-ZCF	NF400-ZCF	NF600-ZCA	—	—	—

仕様(新発売機種)

形 名		NF50-ZCF	NF50-ZSF	NF100-ZCF	NF100-ZSF	NF225-ZCF	NF225-ZSF	NF400-ZCF	NF400-ZSF
極 数		3							
定格電流 (A)		15, 20, 30, 40, 50		60, 75, 100	15, 20, 30, (40), 50, 60, 75, 100	125, 150, 175, 200, 225		250, 300, 350, 400	250, 300, 350, 400
定格電圧 (V)		110, 220-460両用							
定格遮断電流 sym. (kA)	AC 460V	2.5	7.5	10	25 (22) *	15	25	25	50
	AC 220V	5	10	25	50	30	50	35	85
	AC 110V	5	10	25	50	30	50	35	85
過電流引き外し方式		完全電磁				熱動-電磁			
漏電アラーム	高速形	定格感度電流 (mA)		30, 100, 500切替え (100, 200, 500切替え)		100, 200, 500切替え (30, 100, 500切替え)			
		動作時間 (s)		0.1以内					
	時延形	定格感度電流 (mA)		――		(100, 200, 500切替え)			
		動作時間 (s)		――		(0.3, 0.8, 1.6切替え)			
		慣性不動作時間(s)以上		――		(0.1, 0.5, 1.1)			

* 定格電流30A以下の遮断電流は22kAです。



発表以来、77.5SPECmarks89という驚異的な業界最高性能でEWSの世界をひらいた「ME RISCシリーズ」が、更に画期的進歩を遂げました。新たにラインアップされた5モデルは最新の「スーパー スカラー アーキテクチャ」を採用。シングルプロセッサながら45.9～146.8SPECmarks89と、業界にも例のない性能レンジを実現しています。

特長

●ワイドレンジをカバーする性能

“ME RISCシリーズ”は、CPUにHewlett-Packard社が開発した第三世代RISC「PA-RISC7100」を採用し、最先端のCMOSテクノロジーにより開発しました。エン트리モデルで45.9

SPECmarks89、41MIPS、8.9MFLOPS、ハイエンドモデルで146.8SPECmarks89、128MIPS、40.8MFLOPSという高性能に加え、グラフィックス性能においては、124万×11ベクトル/秒、120万アンチエイリアス ベクトル/秒をもち、あらゆる分野をカバーする性能レンジを実現しています。

●標準プラットフォーム

ME RISCシリーズ基本OS「HP-UX」はSVID、IEEE POSIX 1003.1、1003.2、XPG3等の国際規格に準じ、Xウィンドウ(X11 R5)、GUIはOSF/Motif1.2、デスクトップ環境にHP VUE3.0を標準装備。使いやすい操作環境を提供します。

●豊富なネットワーク

IEEE802.3/Ethernet、TCP/IPプロトコル、ARPA/BSDサービス、NFS、NCSなどをサポート。さらにFDDI、TokenRing、X.25、SNA、ISDNなどもサポートします。これらにより多彩なネットワークの構築が容易に実現できます。

アプリケーション

●EOSMASTARSシリーズ（設計情報管理システム）

CADシステムと文書システムが連動し、図面／文書を一括統合管理することにより、設計技術部門業務の効率化を図れます。

●FASTPLAN（設備資産管理システム）

図面データと台帳データを一元的に管理することにより、設備計画、設計・保守業務等の効率化を図れます。

●MELCAD MD+（二次元機械系CADシステム）

図面管理システムやデスクトップ環境による操作性、機能性をパワーアップした新『MELCAD MD+』を提供します。

* “UNIX”は、UNIX System Laboratories, Inc. が開発し、ライセンスしているオペレーティングシステムである。

機種構成

モ デ ル		ワークステーションモデル				
		エン트리モデル ME R7150-33	高性能 エントリーモデル ME R7150-50	高性能 デスクトップモデル ME R7250-50	超高性能 デスクトップモデル ME R7350 (注3)	超高性能 デスクサイドモデル ME R7550 (注3)
プロセッサ周辺	CPU (ブロック)	PA-RISC 7100 (33MHz)	PA-RISC 7100 (50MHz)	PA-RISC 7100 (50MHz)	PA-RISC 7100 (99MHz)	PA-RISC 7100 (99MHz)
	SPECmark89	45.9	69.0	69.0	146.8	146.8
	MIPS	41	62	62	124	124
	MFLOPS (倍精度)	8.9	13.2	13.2	40.8	40.8
	主 記 憶 容 量	16～192MB	16～256MB	32～256MB	32～400MB	64～768MB
グラフィックス		Grayscale Color CRX-24、-24Z、	Grayscale Color CRX-24、-24Z、-48Z	Grayscale Color CRX-24、-24Z、-48Z	CRX CRX-24、-24Z、-48Z DualCRX	CRX CRX-24、-24Z、-48Z DualCRX
大容量記憶装置	内蔵ディスク容量	525MB～2GB			1～2GB	2～4GB
	最大ディスク容量	69.7GB	69.7GB	239.8GB	126.4GB	295.5GB
	1.4MB 3.5" FDD	内 蔵				
	2GB DDS DAT又は4-8GB DDS-DC DAT	内蔵/外付け			外付け	内蔵/外付け (内蔵DDS-DS: 標準)
	600MB CD-ROM	内蔵/外付け			外付け	内蔵/外付け
I/O	標準I/O	Ethernet SCSI-II (Single Ended)、セントロニクス、RS-232C、HP-HIL、Audio I/O			Ethernet、SCSI-II (Single Ended)、セントロニクス、RS-232C、HP-HIL、Audio I/O	
	EISAスロット	1 (オプション) (注1)	1 (注1)	4 (注1)	1	4
	EISA接続インタフェースオプション	IEEE802.3Ethernet (増設)、SCSI-II (増設: Single Ended, Fast Differential)、HP-IB、FDDI、X.25、SNA、ISDN、IEEE802.5TokenRing				
	VMEバスアダプター	—			1 (オプション) (注2)	—
	標準I/O	Ethernet SCSI-II (Single Ended)、セントロニクス、RS-232C、HP-HIL、Audio I/O			SCSI-II (Fast Wide)、FDDIx1 (オプション)	

(注1) グラフィックオプション (CRX-24/CRX-24Z/CRX-48Z) 使用時、EISAスロット数は“記載数-1”となります。

(注2) VMEバスアダプタ使用時、EISAスロット数は“0”となります。

(注3) 7350、7550にはサーバモデル (ME/S7350、ME/S7550) も用意しています。

地球環境保護，エネルギー資源の多様化などのために電気自動車がクローズアップされ，日米欧にて本格的な実用化に向けた開発が進められています。

一方，電気自動車の普及のためには，ガソリン自動車のガソリンスタンドに相当する充電スタンド等のインフラの整備が必要で，日本ではこのような充電スタンドは，近い将来の全国的なネットワークの整備に向けてのノウハウを蓄積するために，各社・各団体が競ってローカルな運行システムを構築して運用する中で設置されている状況です。

このようなニーズにフレキシブルに対応すべく，先進の高周波スイッチング技術等を応用して，以下の特長を備えた電気自動車用定置式多機能型充電装置を開発しました。

特 長

●汎用性

電源基本モジュールの組み合わせにより，充電電池の電圧，容量に応じた定格出力の充電装置の提供が可能

●柔軟性

マイクロプロセッサ応用技術により，充電電池の充電制御特性に応じた運転モードのプログラム設定が可能

●操作性

液晶表示装置とキー入力により，パソコン感覚の，人にやさしい，簡単で安全な操作が可能

●小型軽量

高周波スイッチング技術応用の回路構成により，小型軽量化を実現



概略仕様

項 目	仕 様
充電方式	定電流定電圧方式
交流入力	三相 200V±10%，50/60Hz
直流出力	480V～120V，25A～100A
冷却方式	自冷及び強制風冷
質 量	220kg
外形寸法	(W)700×(D)600×(H)1,400 (mm)
設置場所	屋外軒下

発電プラント向けCRT スポットライト オペレーション装置“MELSEP2000”

火力発電プラントでは、CRTオペレーションが標準機能になってきており、高速応答・高機能かつ低価格な装置へのニーズが高まってきました。それらにこたえるために、高性能RISC型マイクロプロセッサ及びPOSIX準拠リアルタイムUNIXをベースに、高速応答かつ高度なヒューマンインタフェース機能をもつCRTオペレーション装置“MELSEP2000”を開発し、1992年に初号機を出荷しました。

特 長

(1) 高速応答性

- CRT画面表示速度は、操作フレーム、系統図などのCRTオペレーション用の高速画面で0.5秒、警報一覧、データ一覧などの監視用の通常画面で1秒とした。
- CRTタッチ又はキーボード操作後の色替え、文字表示などのCRTへのエコバック(応答)表示速度は、0.1秒とした。

(2) 高度な操作性

- ウインドウシステムは、Xウインドウなどで標準化しているマルチウインドウの重ね合わせ、移動及び拡大縮小が可能とした。
- ウインドウ、トレンドグラフ時間軸カーソルなどの移動は、対象画面をCRT上でタッチしながら連続的に移動できる操作とした。

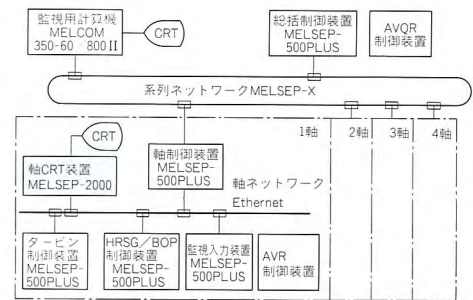
(3) ユニット計算機との親和性

- ユニット計算機にCRTオペレーション機能を組み込むユニット計算機との“一体型”は“MELCOM350-60シリーズ”で実現し、専用のCRTオペレーション装置を設置する“専用型”は“MELSEP2000”で実現することにした。
- 中央制御室では、ユニット計算機のCRTとCRTオペレーション装置のCRTが共存し、同じ運転員が操作するため、両者のヒューマンインタフェースは違和感の少ないものにした。

注 ・UNIXオペレーティングシステムは、UNIX System Laboratories, Inc.が開発し、ライセンスしています。
・Ethernetは、米国Xerox社の登録商標です。
・POSIXは、IEEEの標準仕様です。

仕 様

項 目	仕 様
CPU	RISC型64ビットマイクロプロセッサ
主メモリ	4MDRAM, 48Mバイト
補助メモリ	ハードディスク, 400Mバイト
CRT	21インチ, カラー, 31色, (横)1,280×(縦)1,024ドット
タッチパネル	赤外線方式, 分解能 (横)64×(縦)48
OS	POSIX準拠リアルタイムUNIX
言語	C



発電プラント向け制御システム構成



機 能

項 目	説 明
画面展開	CRTタッチパネル又はキーボードを操作してCRT画面を選択する。
ウインドウ	操作フレーム、トレンドグラフ、系統図などを他の画面に重ね合わせて表示する。
操作フレーム	操作フレームを表示して、補機、調節弁などをCRTタッチパネル又はキーボードから操作する。
系統図	プラントの系統図を表示する。
制御ロジックブロック図	制御装置内制御ロジックのブロック図を表示する。
トレンドグラフ	指定した点番号のトレンドグラフを表示する。
警報メッセージ	CRTオペレーションに関係する警報メッセージを表示する。
デジタルトレンド	指定した点番号の名称、現在値などを表示する。
データ一覧	指定した点番号前後の点番号の名称、現在値などを、点番号順に表示する。
画面記憶 (スナップショット)	系統図、トレンドグラフなどの画面を記憶する。
自動表示	警報発生時に、関連する系統図を自動的に表示する。

