

# 蒸気タービン用高信頼度デジタル式電気油圧ガバナ

渡会 裕一(わたらい ゆういち)

西田 和実(にしだ かずみ)

曾我 修司(そが しゅうじ)

## ① まえがき

富士電機は、事業用火力発電所として、昭和46年に東北電力(株)八戸火力発電所4号機向けに、電気油圧ガバナ(以下、EHGと略す)を納入して以来、多数のアナログ式EHGを製作し、今日までいずれも順調に稼働を続けている。

一方、計測制御システムは、エレクトロニクス技術の著しい発展を背景に、急速に制御装置のデジタル化が進められている。

火力発電設備におけるEHGにおいても、本来の調速機能のほかに運用面を主体とした自動化、電力系統運用との関係など制御が複雑化し、責務もますます重大となっており、従来のアナログ式EHGでは対応が困難になってきた。

また、被制御対象であるタービンにおいても、従来の蒸気タービンは、EHGのほかにバックアップとして油圧ガバナを装備しており、更に個々の制御弁に対しては油圧系で制御信号を分配する方式であった。新しいタービンは油圧ガバナを装備せず、個々の制御弁に対してはEHGから直接制御する弁個別制御方式を採用した、いわゆる電子化が大幅に進んでいる。このため、高い信頼性と制御性が

EHGに要求されている。

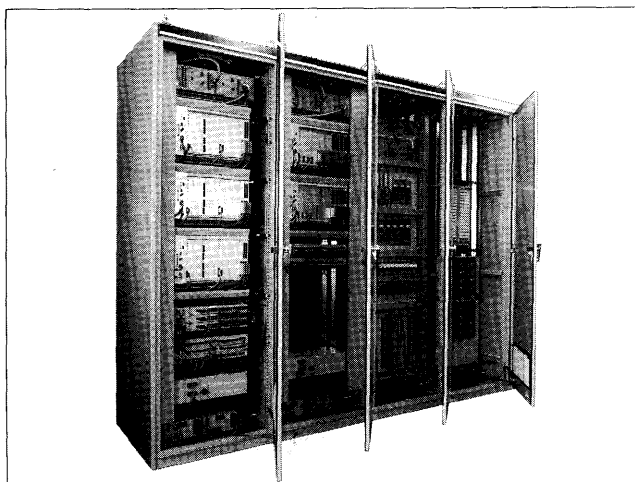
このような背景に基づき、最新のプログラマブルコントローラを採用した信頼性、制御性、保守性に優れた全デジタル式EHG(以下、D-EHGと略す)を開発した。図1にD-EHGの外観を示し、以下にその概要を紹介する。

## ② D-EHGの制御機能

### 2.1 全体システム構成

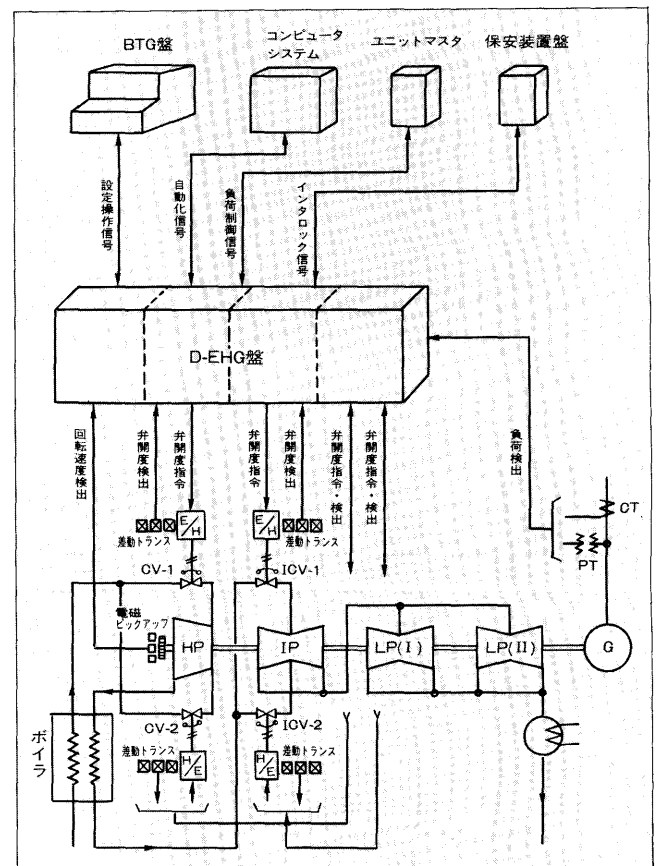
タービンの速度制御をつかさどるD-EHGの全体システム構成を図2に示す。

図1 D-EHGの外観



N89-5031-2

図2 D-EHG全体システム構成



渡会 裕一

昭和36年入社。発電プラントの制御・保護システムの設計に従事。現在、電力システム技術統括部システム技術部担当部長。



西田 和実

昭和49年入社。発電プラントの制御・保護システムの設計に従事。現在、電力システム技術統括部システム技術部課長補佐。



曾我 修司

昭和45年入社。電力プラントの制御システムの試験・調整に従事。現在、東京工場制御システム品質保証部課長補佐。

D-EHGの全体システムは、D-EHG 盤を中心に、中央操作盤である BTG 盤、プラントの自動化を行うコンピュータシステム、ボイラ、タービンを統括したユニットの制御を行うユニットマスタ、及びタービンの保安装置などの制御盤及び被制御対象であるタービンの機械系から構成される。

タービン機械系からは、タービンの回転速度を検出する電磁ピックアップからのパルスを入力、発電機の負荷を演算するための発電機母線に設けられた変成器 (PT, CT) からの入力、制御弁の開度を検出する差動トランスからの信号などが入力される。

D-EHG は上記の制御盤からの信号を設定値とし、回転速度、負荷、弁開度などを検出信号として、回転速度制御、負荷制御などの演算を行う。これらの演算結果の制御信号は電圧変換器 (E/H) によってタービン制御油圧に変えられ、加減弁 (CV-1, 2)、及びインタセプト弁 (ICV-1, 2) を開閉することによりタービンの回転速度及び負荷を制御する。

2.2 制御機能

D-EHG の制御ブロック図を図 3 に示す。

回転速度制御は、回転速度設定と回転速度の検出により行われ、ターニング速度から定格回転速度までの昇速に使用される。系統併入後は回転速度調定率に従った調速制御に自動的に切り換わる。

系統併入後の負荷制御は、ユニットマスタによって行い、D-EHG へは弁開度設定信号が与えられる (オプションとして、D-EHG に負荷調整機能をもたせることもできる)。

負荷制限機能として、ロードリミッタが備えられており、ロードリミッタ運転が可能である。

上述の回転速度制御出力、負荷制御出力、ロードリミッタ出力、及び初負荷制御やロードシェディングリレー出力は、弁開度設定値選択回路に入力される。ここではタービンの運転状態に応じた弁開度設定信号を形成し、個々の弁への分配回路を経て次段の弁開度調節器へ制御指令を与える。

弁開度調節器の出力は D/A 変換後、E/H に与えられ、E/H の油圧信号が補助サーボへ導かれ、補助サーボの出力はリンク機構により主サーボに伝えられて CV-1, 2 及び ICV-1, 2 の開閉が行われる。

補助サーボは、積分形なので弁開度調節器の出力は安定状態で原理的には±0Vであるが、万一 D-EHG が故障した場合(出力0V)には自動的に弁を閉め勝手とするため、若干プラスの電位で中立位置となるように E/H 側にて調整されており、いわゆるフェイルセーフの構造となっている。

昇速時においてはコンピュータによるタービン壁温監視機能で、主蒸気止め弁ケーシングと高圧ケーシングのそれぞれの内壁と中位 (50%) の温度差、また高・中圧タービンロータのそれぞれの表面温度と平均温度の温度差を監視し (温度差による熱応力監視)、温度差大で回転速度の変化率を制限する。

D-EHG は前述の基本機能のほか、過速防止、弁テスト、監視などの機能をもっている。これらの機能は、オプション機能を含め機能ブロック単位で構成することができる。各機能の内容を表 1 に示す。

図 3 D-EHG 制御ブロック図

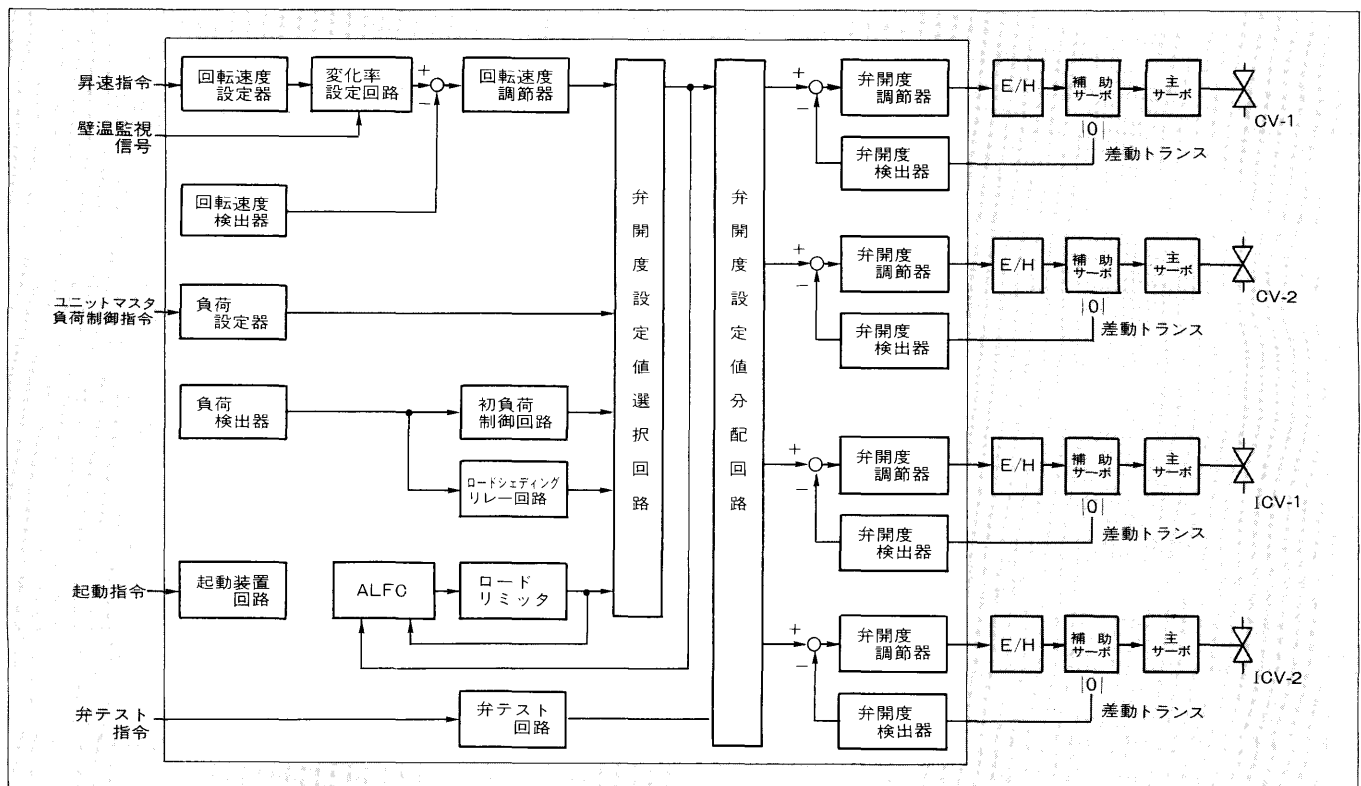


表 1 D-EHGの機能

項目	機能名	機能の概要
1	起動リセット機能	タービン起動時、トリップ信号をリセットし、主蒸気止め弁、再熱蒸気止め弁の開操作を行い起動準備を行う機能
2	昇速制御機能	タービンをターニング速度から定格速度まで、起動モードに従った昇速率により昇速する機能
3	揃速制御機能	タービン発電機を電力系統に併入する場合のタービン速度の微調整機能
4	初負荷制御機能	タービン発電機併入時、逆電力となることを防止するため、定められた初負荷を取るための機能
5	負荷制御機能	ユニットマスタからの負荷制御信号により、弁開度を制御する機能（ユニットマスタ異常時の負荷突発防止回路付）
6	調定率演算制御機能	タービン発電機併入後、定められた速度調定率に従って負荷を制御する機能（折線付速度調定率も可能）
7	ロードリミッタ	弁開度信号を一定値に保持し、負荷一定運転を行う機能
8	ロードリミッタ自動追従機能（ALFC）	弁開度の突変を防止するため、常時ロードリミッタを弁開度設定値に対して規定の幅をもって自動的に追従する機能
9	弁開度制御機能	加減弁（GV）及びインタセプト弁（ICV）各々に対しての弁開度を制御するマイナーループ機能
10	ロードシェディングリレー機能	負荷遮断時の過渡的な回転速度の上昇を防止するため、負荷の突変を検出してCV、ICVを急閉するための過速防止先行制御機能
11	弁テスト機能	自動弁テスト装置からの指令により、CV及びICVを規定の速度で開閉させる機能
12	負荷調節機能	初負荷から定格負荷までの負荷調節機能（通常ユニットマスタで行われている負荷調節機能）
13	前圧制御機能	ボイラ側圧力制御不調時、又はランバック制御動作時などタービンの入口蒸気圧力をCVを開閉することで設定圧力に制御する機能
14	限界圧制御機能	タービン入口蒸気圧力が規定値以下に低下した時、負荷を制限する機能
15	復水限界圧制御機能	復水器の真空度が規定値以下に低下した時、負荷を制限する機能

（項目12～15はオプション機能）

### ③ D-EHGの特長

D-EHGの特長を図4に示す。

#### 3.1 高信頼性システム設計

##### 3.1.1 基本思想

制御装置の信頼性を高めるためには、

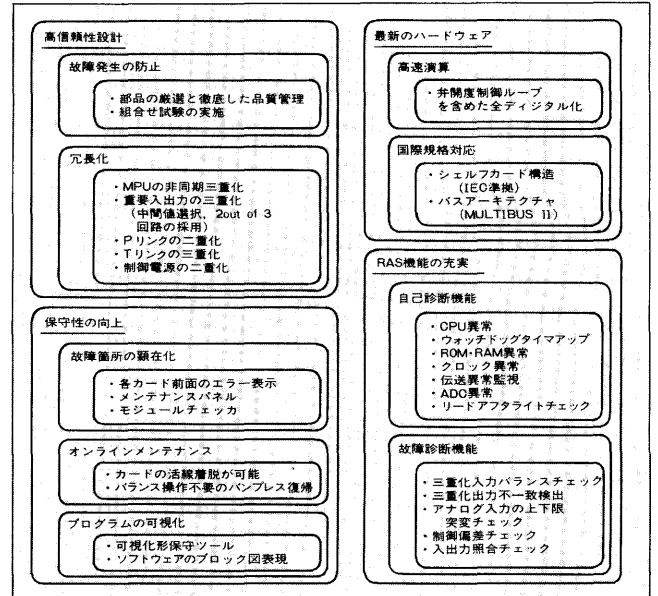
- (1) 故障しない装置をつくること（故障発生の防止）
- (2) 万一故障してもシステム全体に影響しないこと（故障による影響の最小化）

の二つの基本的対応が挙げられる。

(1)に対しては、

- (a) スクリーニングなどにより厳重な部品選定を行い、部品単体の故障率の低減を図る。

図 4 D-EHGの特長



(b) シミュレータによる組合せ試験を実施し、装置としてのデバッグを十分に行うことにより実機運転時の故障発生を防止する。

しかし実際問題としては、万一故障が発生した場合の対応策も考慮する必要があるため、(2)の項目にも重点をおいて信頼性の向上を図る。

(2)については、制御装置の冗長化と故障箇所の顕在化を図ることにより、故障発生による影響を最小化し、システム全体の運転継続を可能とする。すなわち、1か所の故障でタービンをトリップさせることは行わずに、同一系統で2か所以上の同時故障発生時にはじめてトリップ信号を出力して、安全にタービンをトリップさせるようにしている。

以上を考慮して、冗長化に対しては、

- (1) 自己検定が可能な系……………二重化
- (2) 自己検定が困難な系……………三重化
- (3) 多重化が困難な系……………分散化

を基本的な考え方としている。

##### 3.1.2 システム構成

前項の基本思想に基づいて、D-EHGでは次のようなシステム構成としている（図5）。

###### (1) 主制御装置（MPU）

D-EHGの中で最重要部分であり、すべての演算結果に対しての自己判定不可能なため三重化する。各々のMPUは非同期方式とし、Pリンクによるデータ送信により積分定数などのデータ補正を行う。

###### (2) MPU間シリアルリンク（Pリンク）

Pリンクは自己判定可能な系であるとともに、MPU間のデータ補正にしか用いられていないので二重化（待機冗長方式）とする。

###### (3) 入出力関係

原則としてMPUを三重化するため、出力値の中間値選択（MVG）又は2 out of 3を行うため、MPUに対して

図5 D-EHG システム構成

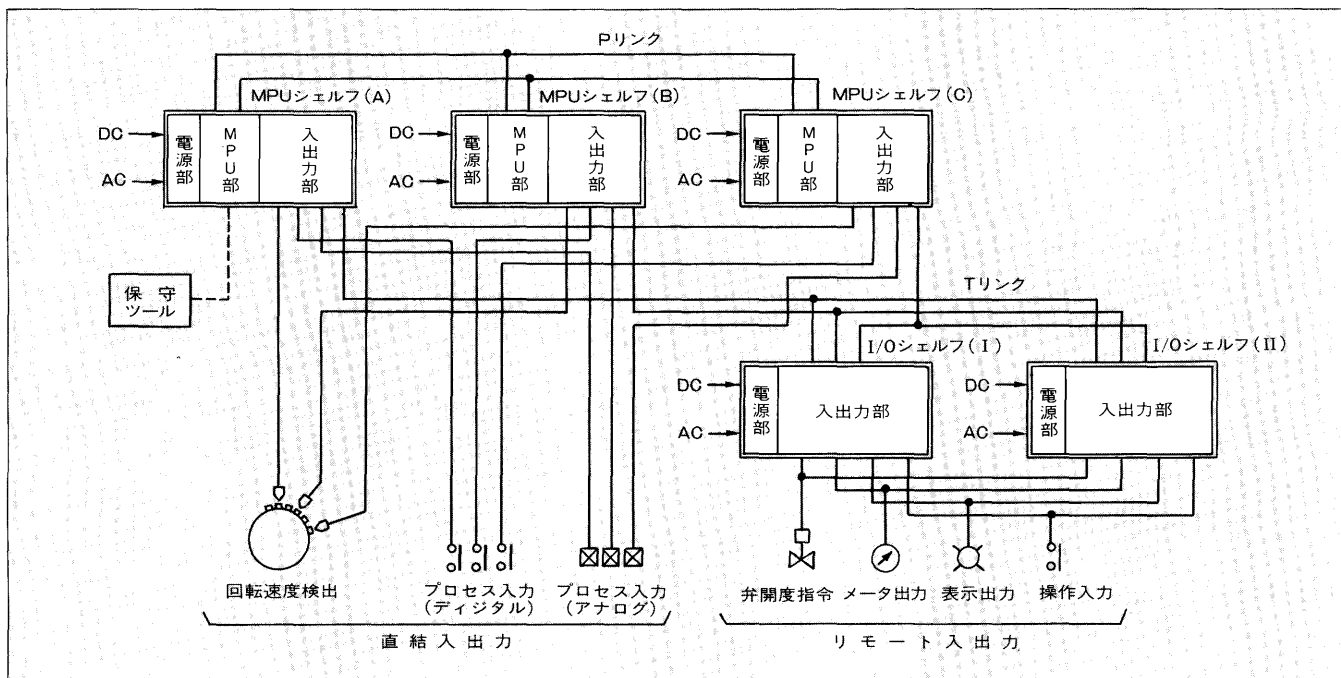


図6 D-EHG 試験結果 (昇速制御)

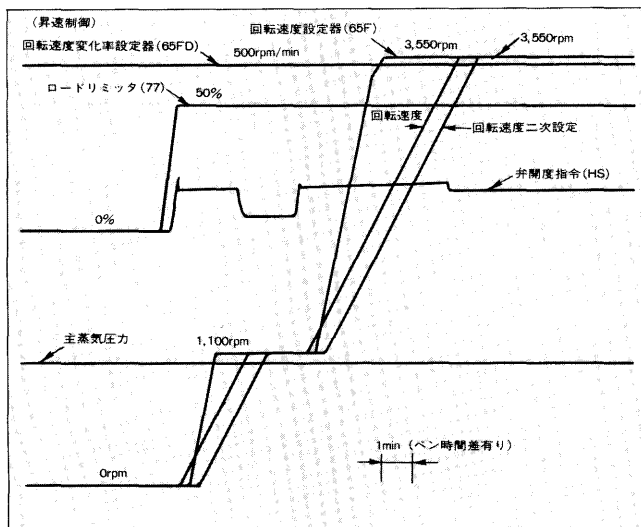
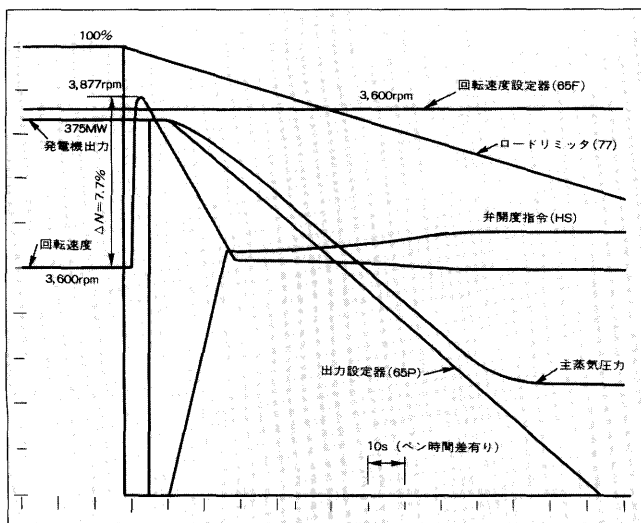


図7 D-EHG 試験結果 (負荷遮断)



共通の入出力を使用し、二重化する。

ただし、

- (a) 高速を必要とする入力
- (b) D-EHG において最も重要なアナログ入力
- (c) 制御演算結果が即トリップ又は大きな外乱に至る可能性のある入出力

については、直接 MPU へ接続し、三重化を図る (直結入出力の三重化)

(4) 入出力シリアルリンク (Tリンク)

MPU と I/O 間の伝送用シリアルリンクで自己判定可能であるが、MPU が三重化されているため、システム構成上三重化とする。

(5) 制御電源

1 系統電源断にて制御不能とならないように 2 系統で受電し、二重化を図る。

このようなシステム構成とすることにより、単一故障で誤動作、誤不動作のない極めて信頼性の高いシステムを構築することができた。

### 3.2 保守性の向上

保守性の向上としては主として次の点が挙げられる。

- (1) カードごとに設けられた故障表示とメンテナンスパネルによる故障箇所の早期発見
- (2) モジュールチェッカによる予備カードの機能の速やかな確認
- (3) カードの活線着脱が可能 (運転中に故障箇所の修復ができる)
- (4) ブロック図表現によるプログラムの可視化とコーディング作業の効率化 (保守ツール)

3.3 自己診断・故障診断機能 (RAS 機能) の充実

D-EHG をユーザーに安心して使用して頂くためには、下記の事柄が重要なポイントとなる。

- (1) 異常を早期に発見する。また予防するためのデータを提供する。
- (2) 異常をできるだけ回避する。
- (3) 異常による影響をできるだけ局所にとどめる。
- (4) 万一異常が発生した場合は、できるだけ短時間で復旧するためのデータや機能を提供する。

このため、D-EHG ではハードウェア、ソフトウェア、システム全般について豊富な自己診断、故障診断機能を持たせ、上記の実現を図った (図4 参照)。

4 ハードウェア及びソフトウェア検証

D-EHG のハードウェア及びソフトウェアについて十分

な検証を行った。D-EHG の機能検証の一例として、図6 に昇速制御を、図7 に負荷遮断試験の結果を示す。

5 あとがき

以上、今回開発した信頼性、制御性、保守性に優れた D-EHG についてその概要を説明した。

発電所の一次制御機能である EHG をデジタル化したことにより、火力発電所の全デジタル化に向けて大きく前進したといえる。本 D-EHG は富士電機の最新のプログラマブルコントローラである MICREX-F500 を母体としており、今後共、同コントローラを使用した発電所の全デジタル化へ向けて一層努力する所存である。

技術論文社外公表一覧

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関	
印刷法による CuInSe <sub>2</sub> 薄膜の形成	富士電機総合研究所 " "	山崎 高広 市村 剛重 酒井 博 内田 喜之	第34回応用物理学関係連合講演会 (1987-3)	
狭光学バンドギャップ a-SiGe : H 膜 (IV)	富士電機総合研究所 " " " "	市村 剛重 浅野 明彦 浜 敏夫 赤坂 敏章 大沢 通夫 酒井 博 内田 喜之		
ECR プラズマ CVD 法による a-Si : H 膜の作製	富士電機総合研究所 "	会沢 宏一 市川 幸美 長尾 泰明		
ECR プラズマ CVD 装置におけるプラズマパラメータの測定	富士電機総合研究所	市川 幸美		
プラズマ CVD 法によるカーボン膜の潤滑特性	富士電機総合研究所	山口希世登		
プラズマによる不純物ドーピング層の断面 TEM 観察	富士電機総合研究所	植田 厚		
アモルファスシリコンを例としたプラズマ CVD と光 CVD の比較	富士電機総合研究所	市川 幸美		
a-Si : H 膜のスピン密度の光誘起変化	富士電機総合研究所 " " "	浜 敏夫 酒井 博 内田 喜之 赤坂 敏章 大沢 通夫		
産業用火力プラントの化学管理	電機事業本部	浅利 茂		火力原子力発電技術協会 (1987-3)
パターン認識の利用技術	富士電機総合研究所	枝松 邦彦		中小企業におけるパターン認識用視覚システムの活用の可能性に関する研究委員会 (1987-3)
Long Term Experimental Tests and Analysis of Single Junction a-Si PV System	富士電機総合研究所 " " " "	市川 幸美 鍋田 修 丸山 和美 井原 卓郎 吉田 隆 酒井 博 内田 喜之	International Conf. Stability of a-Si Alloy Materials and Devices (1987-1)	
小容量分散形 UPS の基礎と応用展開	富士電機総合研究所	黒木 一男	工学情報センター主催セミナー (1987-1)	



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。