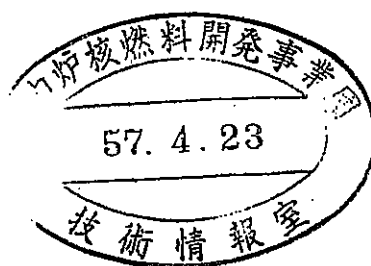


本資料は2007年 7 月 3 / 日付けで

登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

配 布 限 定

原子力プラントにおける 計装制御の将来動向に関する調査



1982年2月

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



配 布 限 定

PNC^TJ299 82-02

1982年2月26日

原子力プラントにおける 計装制御の将来動向に関する調査*

調 査 委 員 会 **

要 旨

原子力プラントの計装制御の分野にも計算機が広く導入されるようになり、安全かつ高効率運転をはかるための性能の把握のみならず、プラントの一層の安全性向上や運転操作性向上等を目的としてその適用範囲が拡大される方向にある。一方、新センサの開発、マイコンの応用拡大、マンマシンインタフェースの改善、光応用技術の開発等ハードウェアの開発・適用も急速に進められつつある。

以上の状況をふまえて、計装制御の過去における変遷と原子力プラントにおける計装制御の現状及び将来動向を調査・検討した。その概要は次の通りである。

1. 鉄鋼、火力発電、航空管制の分野ではともに計算機による自動制御の実績があり、現在進んだフェーズにある。
2. 原子力の計装制御にインパクトを与える主要な技術・方式はロボット、自動運転、運転ガイド、マンマシンインタフェース、診断、点検保守自動化、自己修復、信号伝送等に関するものである。
3. 20年後の社会的要請は、原子力に対しては安全性、被曝低減、エネルギー需給への対応、経済性、人間性の確保、人材確保等である。
4. 20年後の原子力プラントにおける計装制御は現在の延長線上にあり、社会的要請を満たすよう技術・方式の高度化をはかる方向にある。

* 本報告書は財団法人未来工学研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した調査報告である。

** 委員名、所属別掲。

Survey on the Future Trends of Instrumentation
and Control Technology in Nuclear Power Plants *

Survey Committee

Abstract

The past and future trends of instrumentation and control in nuclear power plants were surveyed and compared with those of iron and steel plants, fossil fired power plants and air traffic control.

The results are summarized as follows:

1. The computerization is highly advanced in the fields of iron and steel plants, fossil fired power plants and air traffic control as compared with nuclear power plants.
2. The technologies which will give impacts to the nuclear power plant instrumentation and control are robot, automatic plant operation, operation guide, man-machine-interface, plant diagnosis, automation of inspection and maintenance, self-repair and recovery and signal transmission.
3. Social requirements to the nuclear power plants in the next 20 years are safety, reduction of radiation exposure, response to the change in energy supply and demand, cost reduction, security of humanity, and security of labor.
4. The instrumentation and control technologies in nuclear power plants will be highly developed in the direction of extension of the present technologies to meet the social requirements in the next 20 years.

* Work performed by the Institute For Future Technology under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

目 次

1. 緒 言	1
2. 調査の進め方	2
3. 計装制御の動向	3
3.1 動向概要	3
3.2 鉄 鋼	7
3.3 航空管制	9
3.4 火力発電	10
3.5 原子力発電	12
3.6 要 約	13
4. 原子力プラントの計装制御の概要	14
4.1 原子力プラントの計装制御システムの概要	14
4.2 原子力プラントにおける計装制御の主要課題	16
4.2.1 計装制御の高信頼化	16
4.2.2 マンマシンインタフェース	17
4.2.3 被曝低減	23
4.2.4 ロボット	23
4.2.5 運転員の支援システム	23
5. 原子力プラントの計装制御に関する現在の問題	25
(質問票とヒヤリングによる調査)	
5.1 調査方法	25
5.2 調査結果	25
5.3 調査結果の分析と考察	26
5.4 要 約	33
6. 原子力プラントの計装制御に関する将来動向	34
(質問票とヒヤリングによる調査)	
6.1 調査方法	34
6.2 調査結果	34
6.3 調査結果の分析と考察	34

6.4 要 約	51
7. 鉄鋼及び航空管制における計装制御	53
7.1 鉄鋼プラントにおける計装制御	53
7.2 航空管制における計装制御	60
8. 原子力プラントと鉄鋼及び航空管制の比較	71
8.1 社会的要請	71
8.2 機 能	75
8.3 技術・方式	79
9. 結 言	84
10. 謝 辞	85
11. 参考文献	86

1. 緒 言

原子力プラントを安全にしかも効率よく運転するためにはプラント各部の運転状態をよく把握し、常に監視することによって要求性能を十分発揮できる運転条件を実現する必要がある。

原子力プラントの場合、安全性の確保に対する要請が極めて強いために、他の一般の工業プラントにおけるよりもはるかに多くの物理量を計測し、監視しながら運転しなければならない、複雑な計装制御システムを備えているのが現状である。しかもプラントが大規模化し、システムが複雑化するにつれて計測あるいは操作の量も増大する傾向にある。

このような状況の中であって、計算機及びその応用技術が急速に進歩したために、原子力プラントの計装制御の分野にも計算機が広く導入されるようになり、安全かつ高効率運転をはかるための性能の把握のみならず、プラントの一層の安全性向上や運転操作性向上等を目的として計算機の適用範囲がますます拡大される方向にある。今後計算機の効果的利用を目的としたソフトウェアがますます重視されることになるであろう。

一方、新しいセンサの開発、マイコンの応用拡大、マンマシンインタフェースの改善、光通信システムの応用、超高信頼性機器・システムの開発等ハードウェアについても開発課題は多い。

これらのソフトウェア／ハードウェアの開発と総合化によって原子力プラントにおける計装制御は時代とともに変ぼうするものと思われる。

以上の状況をふまえて、計装制御の過去における技術動向を整理分析するとともに、原子力プラントにおける計装制御の将来動向を調査・検討した。

本報告書はこれらの調査及び検討結果をまとめたものである。

2. 調査の進め方

本調査研究を進めるに当り、原子力の計装制御の分野の専門家から成る調査委員会を構成し、調査委員会において調査研究実施方法及び調査結果について検討を重ねた。

調査委員会の構成は次の通りである。（順不同）

主査	関口 晃	東京大学工学部教授
委員	伊藤 哲男	日立製作所エネルギー研究所主任研究員
〃	近藤 駿介	東京大学工学部助教授
〃	高木 高志	三菱電機原子力計画グループ部長
〃	西山 涿也	電力中央研究所エネルギー環境技術研究所主査研究員
〃	原 文雄	東京理科大学工学部助教授
〃	原 昌雄	日本原子力研究所動力炉開発安全性研究管理部次長
〃	樋下 重彦	富士通第一伝送事業部部長付
〃	宮沢 竜雄	東京芝浦電気原子力技術研究所主査

未来工学研究所担当メンバー

平山 勝英	(財)未来工学研究所第一研究部長（統括責任者）
三井 英彦	(財)未来工学研究所主任研究員（研究主管）
熊谷 道一	〃 主任研究員
稲井 信彦	〃 主任研究員
香月 泰	〃 主任研究員
神前 康次	〃 主任研究員
高橋 芳弘	〃 主任研究員
東 晴彦	〃 研究員
吉森セツ子	〃 研究員
桃山 久美	〃 研究員

原子力プラントの計装制御の変遷及び将来動向を調査するに当り、技術体系の全体像をふまえて将来を指向するためには一般産業における計装制御についても調査する必要があると考え、原子力の分野のみならず、計算機応用のフェーズが進んでいる鉄鋼と航空の分野についても調査することにした。

過去の動向については文献調査を主体とし、将来動向については質問票及びヒヤリングによる調査を主体とした。

3. 計装制御の動向

3.1 動向概要⁽¹⁾

原子力プラントにおける計装制御の将来動向を概観する上で、計装制御の過去の動向を振り返ってみることは有用と考え、計装制御分野への計算機適用状況を中心としてわが国における過去約30年間の計装制御の変遷について調査を行ったので、本節で調査結果を報告する。

わが国の計装制御の歴史をみると、およそ10年ごとに大きく変化しているということができる。図3.1.1にその様子を示す。

1950年代は計装制御の自動化の初期ともいえる時期である。即ち、戦後の混乱期、朝鮮動乱、神武景気といわれた社会的背景の下で、日本の産業が力をつけ始めた時期で、米国技術の導入が多く、空気式計装システムが主流の時代ということができる。

1960年代は神武景気に引き続き高度成長が続いた時代で、いざなぎ景気などと呼称された時期であり、技術的にも自主技術が開発されるようになってきた。電子式アナログ計装システムが開発され、空気式計装システムをしのぐほどに普及した。特にトランジスタの出現により計装制御システムのトランジスタ化が活発化し、さらに1960年代後半には、ICが発達し、IC化計算機が出現するに及んで、計算機をはじめとして計装制御機器の小型化、高信頼化がはかられるようになった。これにより計算機制御の時代に突入し、装置・システムの最適化制御が指向された。既にこの時期にミニコンを使用したDDC (Direct Digital Control)の導入が開始されている。この頃の自動化は、人間の代りをし、省力化することが第1の目的として進められた。この時期の終末1969年にはアポロ宇宙船による人間の月面着陸が成功している。しかし、このような技術的發展に支えられて高度成長が続くこの時期は、公害による環境破壊が顕在化した時期でもある。

1970年代に入ると、1972年頃に続出した石油化学コンビナートの爆発や火災のために、災害防止、安全保持という社会的要請が出現する一方、1973年の第1次石油ショックを契機として省エネルギー、省資源という社会的要請が課せられるようになり、自動化も従来の省力化だけではなく広く社会とのかかわりあいの中で、総合的なマネジメントを行うことを目的とするように変ってきた。

この時期にICは急速にLSI化され、LSIの出現に伴って計算機はミニコンからマイコンの時代に入り、計装制御に多大なインパクトを与えた。たとえば1975年に

	1950 昭 25	30	1960 35	40	1970 45	50	1980 55
時代背景	朝鮮動乱	神武景気			いざなぎ 景気	オイルショック	低成長時代
					省力化		
						省エネルギー	
計器		空気計器	電子管式計器		トランジスタ式計器		IC式計器
計算機	電子管計算機		トランジスタ計算機		IC化計算機	ミニコン	マイコン
制御	アナログ制御			計算機制御	DDC	シーケンスコントローラ	デジタルコントローラ 総合計装制御システム
M M I	計器単体表示	グラフィックパネル			白黒キャラクタCRT カラーキャラクタCRT カラーセミグラフィックCRT カラーCRT		
鉄 鋼	フィードバックコントロール時代	シーケンスコントロール	コンピュータの時代	(巨大製鉄所)	管理の時代(オンライン工程管理)		
	平炉のACC	ホットストリップAGC 高炉送風制御	均熱炉 転炉制御	ホットストリップミル 厚板ミル制御 均熱炉DDC	タンデムミル制御 AGCのDDC化 データハイウェイ		
	電子管計器 空気式調節計			焼鈍DDC 管理システム			
航空管制		マニュアル主体	自動化研究		FDP運用	新FDP	
		ターミナルレーダー	航路レーダー			RDP	
火力発電			運転監視, 記録機械化	シーケンスモニター	起動停止自動化, CRTによるマンマシンコミュニケーション	総合自動化	
					操作自動化 SCC, DDC		
					カラーCRT	カラーCRT (グラフィック)	
原子力発電		▲ JRR-1 研究炉指向 半導体検出器 半導体化	▲ JPDR 動力炉指向 炉内計装 オンライン計算機 性能計算	▲ 東海1号	○ CRT導入 動力炉の運転性能監視	▼ TMI事故 新型盤	

図 3. 1. 1 計装制御の変遷

ACC: 自動燃焼制御
AGC: 自動厚板制御
FDP: Flight Date Processing
RDP: Radar Date Processing

階層構成の総合計装制御システムが出現しているのはその一例である。また、鉄鋼プラント、火力発電プラント等の各種プラントは、1960年代から既に巨大化しており、これらのプラントの計装制御システムも大規模化していた。機械と人間の関係は古くからヒューマンエンジニアリングとして取上げられ、改良されてきたが、計装制御システムの大規模化と安全性確保、省力化、省資源、省エネルギーといった社会的要請とから、機械と人間のインターフェースの最適化が計装制御システムにおける大きな課題の1つとなり、各プラントでCRTを中心としたMMI (Man-Machine Interface) が導入されるようになった。MMIは運転員の負担を軽減するものとして導入されるようになったが、現状におけるMMIへの諸ニーズに対する実現度の1例を表3.1.1に示す。また表3.1.2にニーズの面からみたMMIの手段と現状及び将来性の1例を示した。表3.1.2にみられるようにカラーCRT、エレクトロルミネッセンス、液晶スクリーン、

表 3.1.1 MMI 実現度

MMI へのニーズ	現在における実現度
オペレーション・ガイダンス	○
メンテナンス・ガイダンス	△
設備異常診断	×
オフ・ライン・シュミレーション機能	×
オン・ライン・シュミレーション機能	×
例外管理操業	△
パッチ運転プロセスの半自動 ／自動オペレーション	△
スーパーバイザリィ制御	○
管理データ作表	○

- 一応実現されているが不十分、△試みが行われているが
 実用化の段階に至っていない。
 × これから実用化が検討される。

表 3.1.2 MMI の手段

情報 の 流れ方向	情報伝達 の 媒 体	装 置	すでに 実 用 化 さ れ て いる も の	今後いちぢる しい伸びが予 想されるもの
機 械 — 人 間	視 覚	指 示 計	○	
		アナンスエータ (ランプ)	○	
		POC	○	
		CRT (白黒)	○	
		CRT (カラー)	○	○
		プラズマ・ディスプレイ	○	
		蛍光表示管	○	
		液晶スクリーン		○
		エレクトロ・ルミネッセンス		○
		フラット・スクリーン		○
		ビデオ・ディスク		○
		プリンター	○	○
		ハード・コピー	○	○
	聴 覚	アナンスエータ (ベル, チャ イム, ブザー, サイレン)	○	
		音声合成装置		○
人 間 — 機 械	手 (操作)	サム・ホイール	○	
		押 ボ タ ン	○	
		ス イ ッ チ	○	
		キーボード	○	
		タッチ・スクリーン		○
	声	音声認識装置		○

音声合成装置, タッチスクリーン等が伸びよう。MMI はマイコン技術, 電子部品技術, 光通信関連技術, ソフトウェア技術等の基盤技術の進歩に支えられて今後ますますその開発・適用が推進されよう。

また, 計装制御システムの大規模化に伴って, 多量の情報を伝送する上で有効な通信技術 (多重伝送, データハイウェイ, 光伝送等) が計装制御システムに適用されるようになった。近年光応用技術が急速に進展しつつあり, 光応用計装制御システムが登場しつつある。センサの集積化, 知能化も計算機の信号処理能力との結合においてその開発が急速に進展するであろう。

1980年代はこれらの新しい技術の開発・適用を進めつつ既に述べた社会的要請に応えるための自動化を進めて超自動化システムを指向する「システム化運転の時代」と考えることができよう。センサ技術, 制御技術, MMI 技術, 計算機応用技術等を

システム思考の下に体系化する時代といえる。換言すれば、ソフトウェアのウェイトがますます増大する時代になるものと考えられる。この体系化時代を超えてはじめて超自動化時代が到来しよう。図 3.1.2 に計装制御に対する社会的要請の変遷を示す。

以下鉄鋼，航空管制，火力発電，原子力発電の計装制御の変遷について概要を述べる。これらの変遷を図 3.1.1 に併記した。

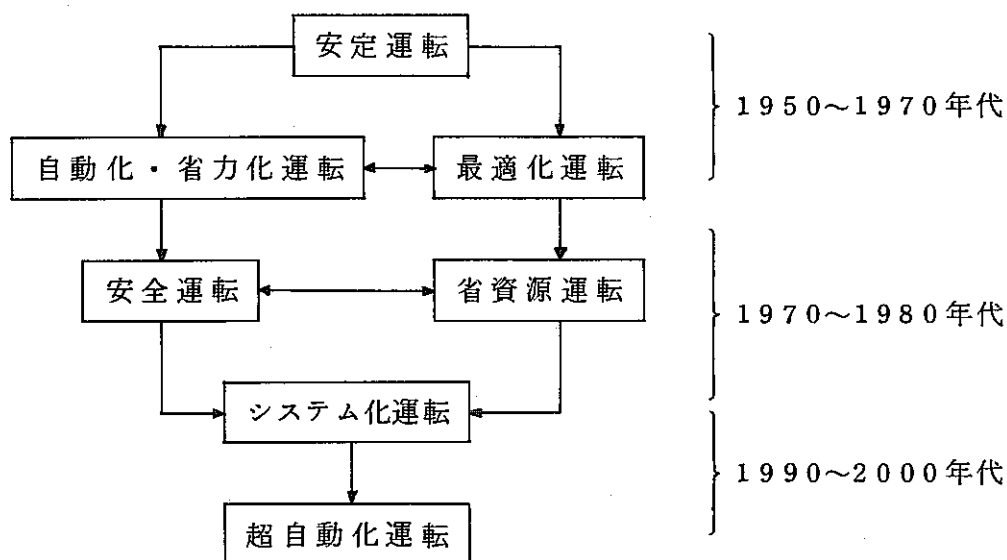


図 3.1.2 計装制御に対する社会的要請の変遷

3.2 鉄 鋼

1950年代は「フィードバックコントロールの時代」で、自動制御が各プロセスで広く応用されるようになり、図 3.1.1 に示したように平炉から始まり、均熱炉，加熱炉，高炉等へ適用されていった。この時期に電子管式の計器が出現している。

1950年代後半にはシーケンスコントロールが実用化され，高炉の送風制御，圧延機の制御等に適用された。

1950年半ばから計算機が導入され，転炉の制御（'63：鋼管京浜）均熱炉の制御（'62：川鉄千葉）に成功している。またホットストリップミルにGEのハードウェア・ソフトウェアを輸入し，本格的な圧延機の計算機制御を始めている（八幡・堺）。この時期の自動化は省力化と作業の安定化を目的としたものである。DDC制御（1960年代）も導入され，各種の炉や圧延機の制御にも使用されている。

1960年代の終りから福山，水島，君津，鹿島等の巨大製鉄所が稼動し始めた。このような巨大工場では生産計画をいかに運用するかが問題で，工場全体の生産管理が

重要になってきた。

1970年代はオンラインで工程管理をする「管理の時代」といえる。一方、データ伝送にはハイウェイ・システムが福山等で採用されている。

計測の分野では製品の形状、平坦度、表面欠陥、機械的強度等の製品管理の計測に努力が支払われている。

以上のまとめとして、わが国における鉄鋼プラントの自動化と計算機導入の変遷を図式化して図 3.1.3⁽²²⁾に示す。現在圧延工程の制御については完成域に達し、製品のこん包、輸送の自動化が主要な問題になっている。

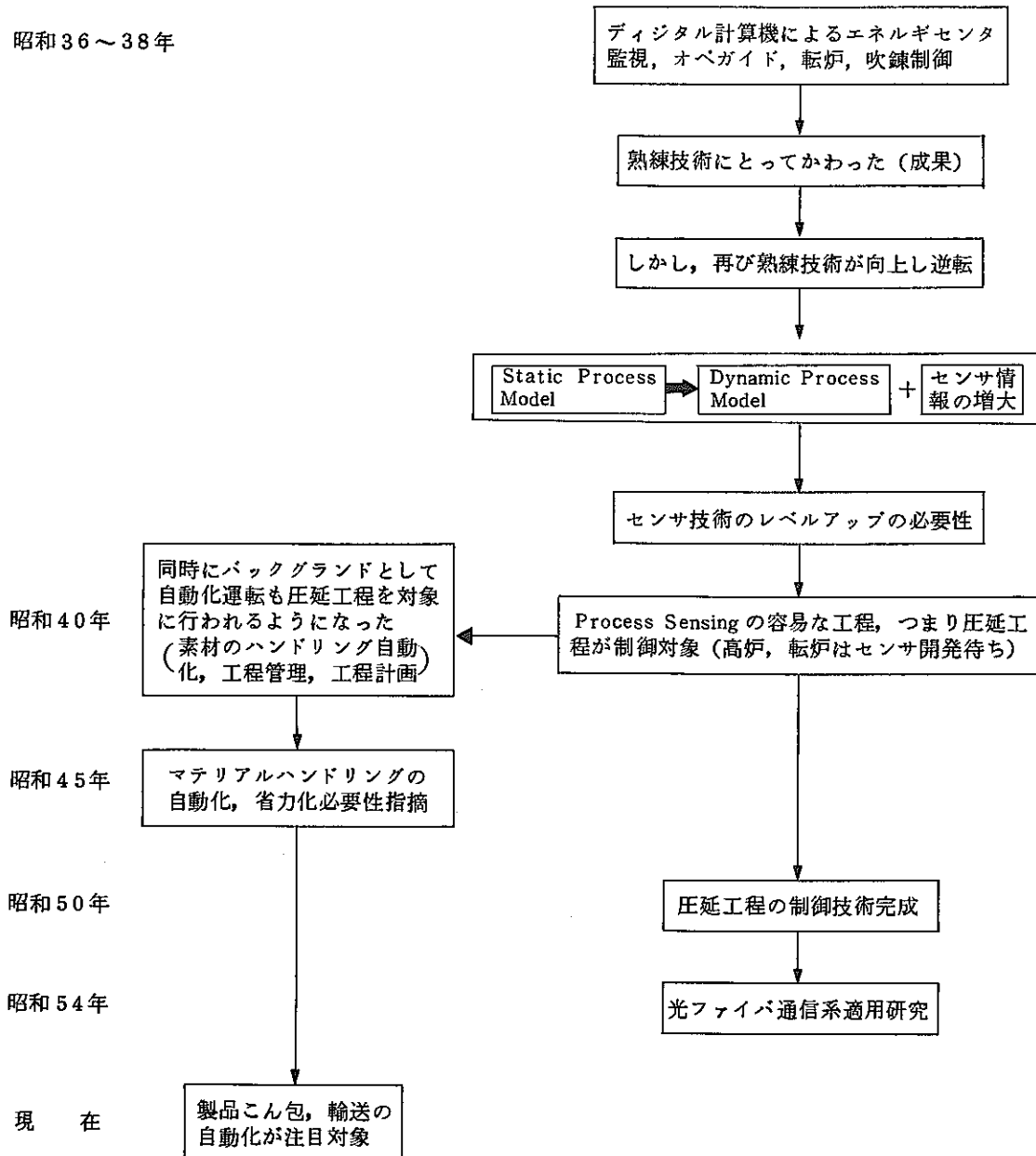


図 3.1.3 わが国における鉄鋼プラントの自動化、計算機制御導入の変遷

3.3 航空管制 (5) (23) (24)

航空管制技術の発展過程は図 3.1.4 に示すような段階に分けて考えることができる。この図で FDP は飛行計画情報処理システム，RDP はレーダー情報処理システムで，両者を合わせて航空交通管制情報処理システムと呼ばれている。これについては第 7 章で説明する。

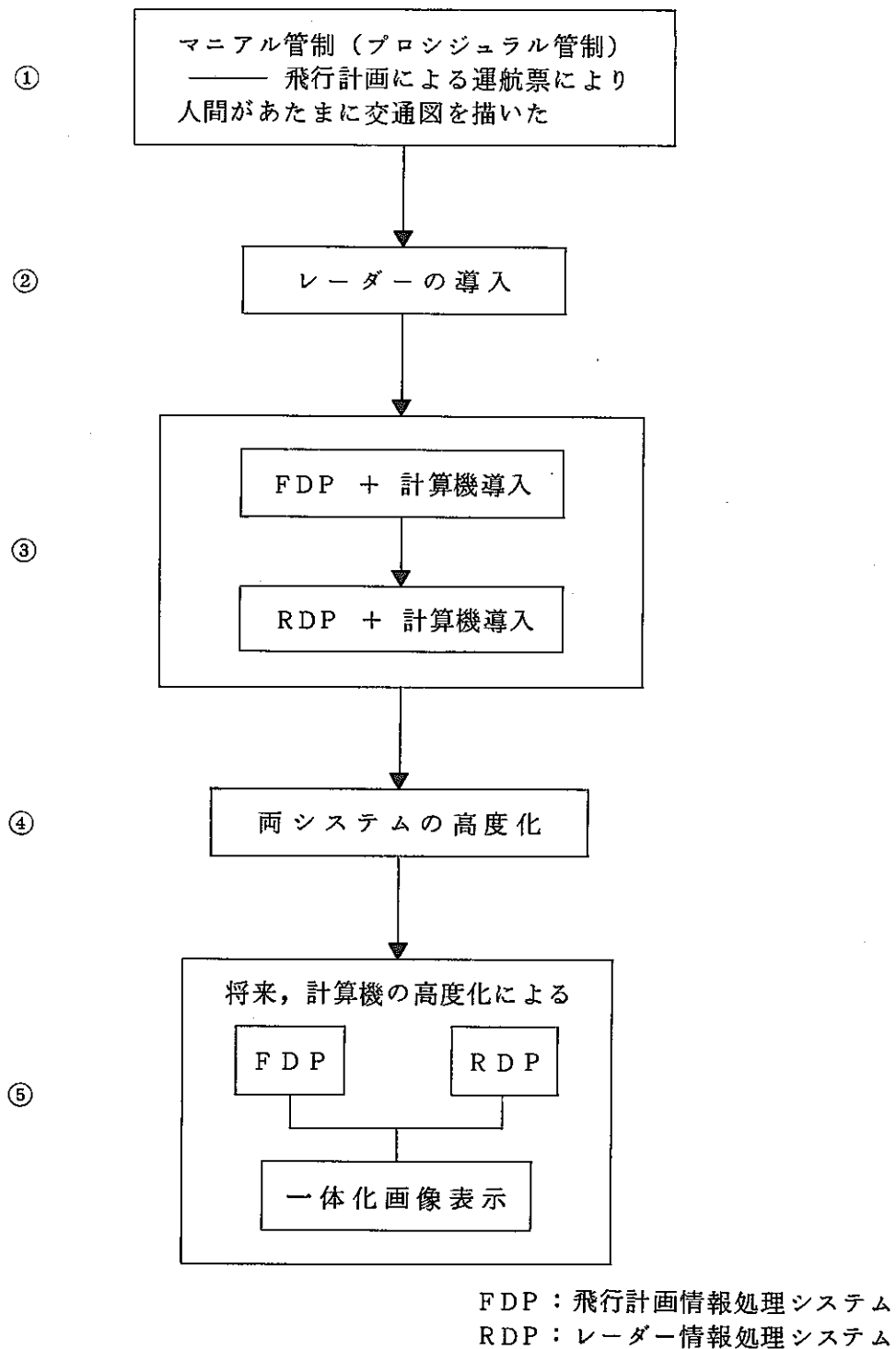


図 3.14 航空管制技術の変遷

米国では①が第1世代(1933～1945年),②が第2世代(1945～1961年)と呼ばれている。③は航空システムの近代化に関するケネディー大統領の諮問に対し米航空局がタスクフォースを設定し実施したもので,第3世代(1961～1975年)と呼ばれ,現在は④に相当する第3・5世代(1975～1985年)にある。⑤は将来の姿で1985～2000年に実施が予想されているものである。わが国では米国の技術を引き継ぎ航空管制技術が導入され,進展してきたが,昭和30～40年が上記①,②に相当するマニュアル主体とターミナルレーダーの時代(第1世代),昭和40～45年が航路レーダーが整備された時期で②に相当する第2世代,昭和45～55年が③のFDP, RDPの時代(第3世代)である。第7章において説明するのはこの③,④のシステムの姿についてである。

3.4. 火力発電 (6) (7) (8)

火力発電への計算機の適用は1960年頃からであるが,わが国での本格的適用は図3.4.1及び表3.4.1に示すように1962年頃からである。

1960年代は主要監視点からの入力を変換したり,簡単な計算を行って警報設定と比較し,異常があれば警報を発する等の運転監視と,毎時毎日の集計,平均を記録する記録の機械化,発電プラントの効率計算や各設備の主要効率等各種運転性能を計算し明示する運転性能モニタ,起動停止の操作手順及び監視項目を監視するシーケンスモニタ及び一部起動停止の自動化が導入された時代である。

1970年代は起動停止の自動化,カラーCRTによるマンマシンコミュニケーションが導入された時期である。

1980年代には東電広野火力発電所において運転の最適制御を含めた自動化が完成し,完全自動化が達成されつつある段階に到達した。⁽⁹⁾

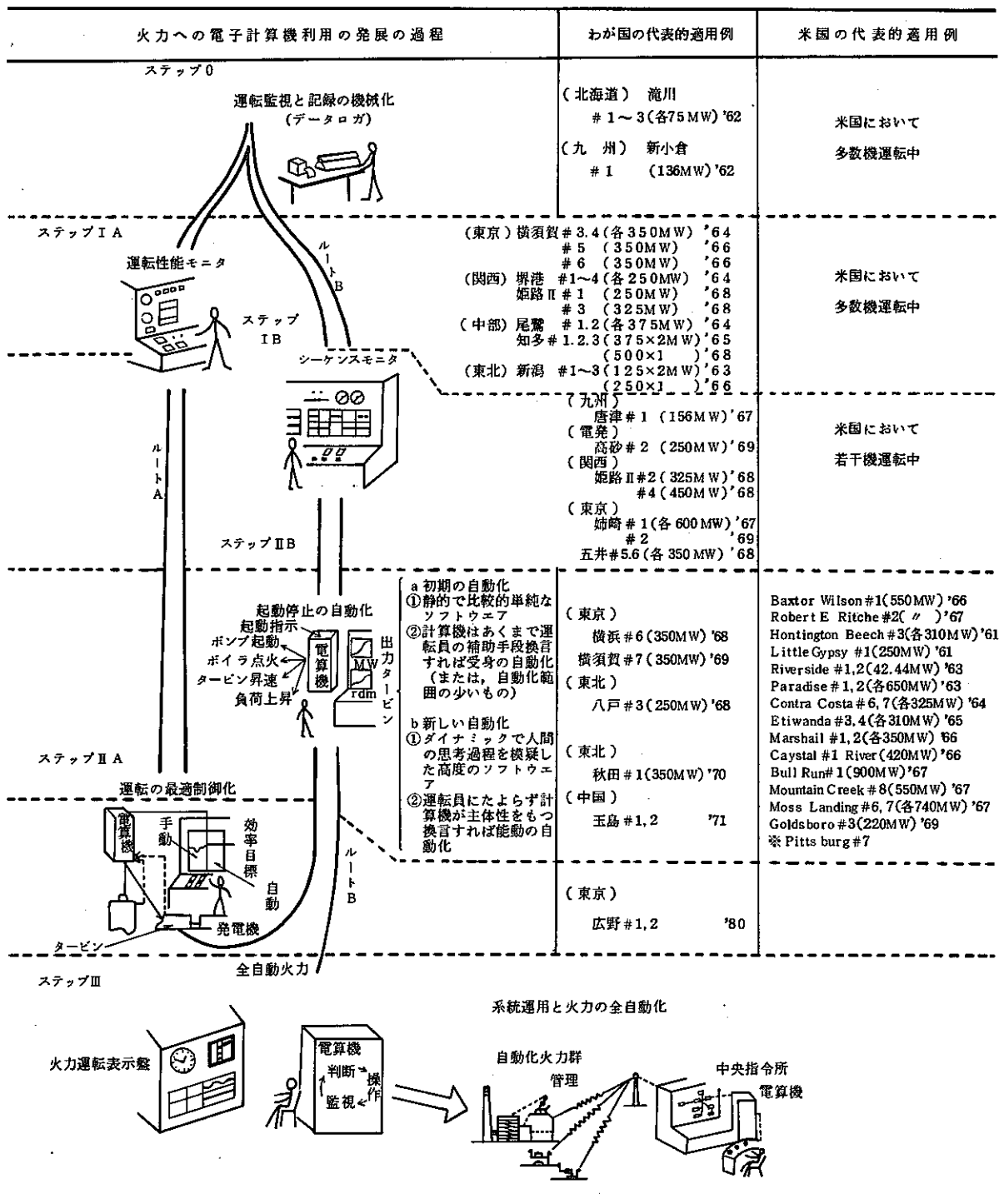


図 3.4.1 火力用電子計算機の利用発展形態

表 3.4.1 火力計算機制御システム発展課程

火力計算機制御システムの発展過程は、4段階に大別され我が国では既に広範囲自動化の段階にある。

No	発展段階		計 算 機 機 能		適 用 例
			プラント運転制御	プラント情報制御	
1	プラント性能モニタ		監視警報	(1)データ ロギング (2)プラント性能計算	関西電力株式会社 堺港火力発電所 5.6 号 '68 他 8 セット
2	シーケンス モニタ		プラント起動・停止操作ガイド	—	関西電力株式会社 海南火力発電所 1.2 号 '69
3	操 作 自 動 化 システム	サブグループ 統 括 制 御	計算機、サブグループ協調制御によるプラント起動・停止自動化	紙テープによるサイト、電力会社本店とのデータ リンク。	東北電力株式会社 秋田火力発電所 1 号 '70 他 9 セット
		計算機直接制御部分自動化	1.タービン DDC 2.ボイラ DDC	カラー CRT の導入	中国電力株式会社 玉島火力発電所 1 号 '70 他 9 セット
		広範囲自動化	計算機による広範囲プラント運転自動化	グラフィック CRT の導入	中国電力株式会社 玉島火力発電所 3 号 '73 他 2 セット
4	総 合 全 自 動 化		1.サブグループ装置の計算機化 2.プラント事故防護	(1)CRT 化中央制御盤 (2)プラント情報ファイル	— —

注：DDC=Direct Digital Control

3.5 原子力発電

原子力発電の商用化は 1966 年、原電東海 1 号炉によって達成されたが、それまでに、1957 年に JRR-1 が臨界に達してから数年間の研究炉指向時代、1963 年に JPDR が臨界に達してから数年間の動力炉指向時代がある。

研究炉指向時代には半導体技術が原子力の分野にも適用され、特に電子装置の半導体化による信頼性向上がはかられた。

動力炉指向時代には原子炉計装は炉内計装に移行し、小型核分裂電離箱等が開発された。また計算機のオンライン利用により原子炉の性能計算ができるようになり、動力炉の最適運転の開発が進められた。

1966 年に東海 1 号が運開したのに続いて敦賀 1 号、美浜 1 号、福島 1 号等が運開した。この頃から原子力発電分野の主要課題は動力炉の信頼性及び稼働率の向上である。炉計装の計算機化による原子炉の監視・異常診断、超音波等を用いた検査、点検

保守の遠隔化・自動化，負荷追従制御，運転監視，MMI，運転支援等幅広い研究開発が進められている。すでに1972年にはCRTが導入され，運転監視等に活用されている。⁽⁶⁾ また，1979年3月にTMI事故が発生したこともあって，運転支援に関する研究開発が促進されるようになり，そのためのシミュレータ等の開発が進められている。1980年の初期には従来の制御盤とは異った新型の制御盤が実用化されるが，これらの説明は第4章にゆずるとして，1980年代は原子力の分野でも種々の研究開発の成果がシステム化され，実用化される時代といえることができる。

3.6 要約

以上計装制御への計算機適用状況を中心として動向概要及び鉄鋼，航空管制，火力発電，原子力発電の計装制御に関する変遷をみてきたが，要約すると次のようになる。

- (1) 計算機の計装制御分野への適用は1960年代に入ってから活発になり，鉄鋼，航空管制，火力発電の分野ではこの時期に実用化されたが，原子力の分野ではまだ開発段階であった。特に鉄鋼の分野ではすでに均熱炉，転炉等の制御に応用されている。

この時代の自動化は省力化を主目的としたものであった。

- (2) 1970年代に入ると計算機を利用した自動化は，省力化のみならず，安全保持，省エネルギー，省資源等の社会的要素とのかかわり合いの中で総合的なマネジメントを行うことを目的とするように変ってきた。

この時期には，鉄鋼の分野では制御の自動化のみならず，オンラインで工程管理を行う管理システムの実用化，航空管制の分野ではFDP，RDPシステムの運用，火力発電の分野ではほぼ完全に近い運転自動化の達成等がみられたが，原子力の分野でも発電プラントの性能監視，運転監視に計算機が適用されるようになった。

- (3) 以上のように，鉄鋼，航空管制，火力発電の各分野における計装制御への計算機の適用フェーズは原子力分野に比べてかなり進んでいるといえることができる。

以上各分野の計装制御に関する変遷を要約したが，次章以下で原子力，鉄鋼，航空管制の分野における計装制御の現状と将来動向について調査結果を報告する。

4. 原子力プラントの計装制御の概要

本章では原子力プラント（例としてBWR）の計装制御の概要について述べたのち、主要な項目について現状と主な課題を概観する。

4.1 原子力プラントの計装制御システムの概要⁽¹¹⁾

本節では原子力プラントの計装制御のうち主として原子炉に関連する部分について簡単に述べる。文献が多数あるので詳細は省略する。後章で計装制御の現在の問題点及び将来動向について述べるが、本節はその導入部をなすものである。

原子力プラントにおける計装制御の役割は

- (1) 運転監視
- (2) 自動及び手動制御
- (3) 異常運転及び事故時の安全保護

であり、これを実現する設備を要約すると次のようになる。

- (1) 炉心に関連した計装
- (2) プロセス計装
- (3) 制御設備
- (4) 安全保護設備
- (5) 放射線監視設備
- (6) プロセス計算機システム

以下設備について簡単に述べる。

(1) 核計装

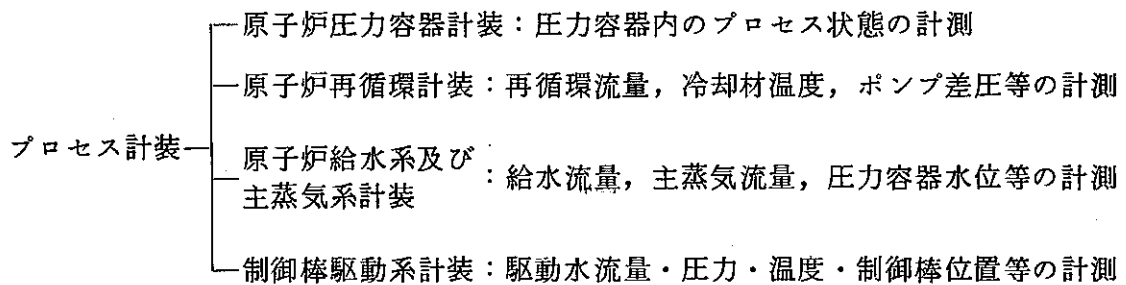
核計装は原子炉の起動から全出力までの全領域にわたって中性子を計測する設備である。出力領域には炉内計装として移動式炉心内計装系（TIP）がある。計測する中性子束の範囲は $10^5 \sim 10^{14}$ と広範囲に亘っている。

計測に関する問題点及び将来動向については第5章及び第6章で述べる。

(2) プロセス計装

原子力プラントの運転に必要な保護、制御、監視のためにプロセス計装が設けられており、温度、圧力、流量、水位等が測定される。

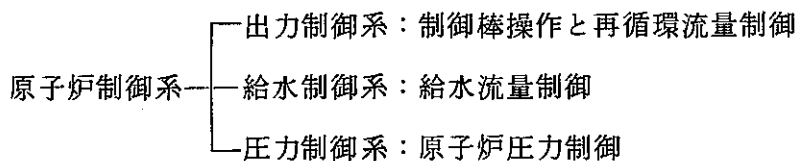
主要なプロセス計装は次の通りである。



以上の他格納容器計装，漏洩検出計装，非常用炉心冷却計装等があるが省略する。

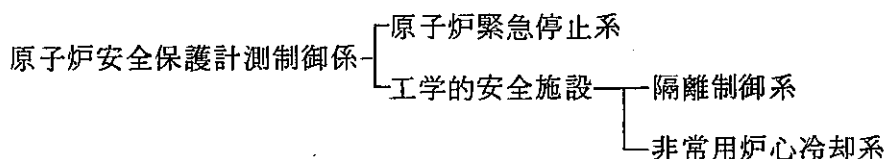
(3) 原子炉制御設備

主要な設備は次の通りである。



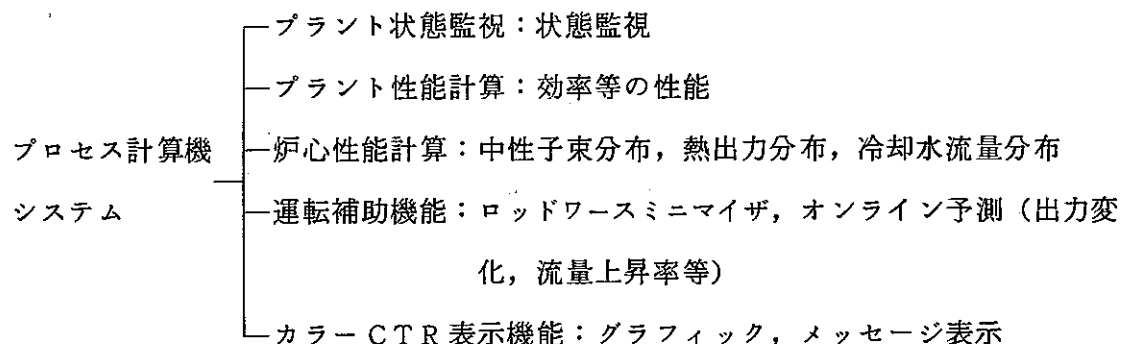
(4) 原子炉安全保護計測制御設備

次の系から構成されている。



(5) プロセス計算機システム

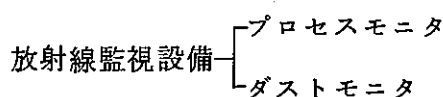
主なものは次の通りである。



マンマシンコミュニケーションをはかる上で重要な役割を果たすシステムである。

(6) 放射線監視設備

次のモニタから成る。



以上のほかエリアモニタ，敷地周辺モニタリングステーションがある。

以上の計装制御装置から得られる情報は中央制御室に集められ，CRT，指示計，

記録計等に表示され、運転・監視に提供される。

4.2 原子力プラントにおける計装制御の主要課題

前節で原子力プラントの計装制御の概要を簡単に述べたが、本節では、後章（第5章及び第6章）においても指摘されている主要な課題について概観する。

4.2.1 計装制御の高信頼化⁽¹²⁾

信頼性に関する最近の考え方は、ハードウェアの信頼性のみならず、ソフトウェアを含むシステム全体を対象とするようになってきており、バランスのとれたシステム（含MMI）の高信頼化を指向しているといえることができる。

(1) ハードウェアの高信頼化

ハードウェアの高信頼化をはかるために

- ① 個々の機器の高信頼化
- ② 冗長性、多重性
- ③ 点検による保全性改善
- ④ 多様性の増加（たとえば原理の異なるサブシステムの採用等）

といった方策がとられている。

個々の機器の高信頼化をはかることは不可欠であるが、現実的には限界があり、重要な部分は多重化することによって高信頼化をはかっている。この場合コモンモード故障対策が十分でないと多重化の目的を達成することができない。そこで多様化が必要となってくる。

(2) マンマシンシステムの高信頼化

マンマシンシステムの高信頼化をはかるためには、人間側の教育訓練、作業手順の整備と機械側のインタフェースの最適化が必要である。また人間は時として誤判断、誤操作を犯すが、これらに対する予防あるいはバックアップも必要である。MMIについては計算機を用いたシステムの開発が進み、プラントに適用される段階に至っている。TMI事故以後事故時のマンマシンコミュニケーションが重視され、課題の一つとしてクローズアップされている。

(3) 計算機制御の信頼性

原子力プラントにおける計算機制御についてみると、計算機のダウンによる全制御能力の喪失及び計算機システムのハードウェア/ソフトウェアに対する信頼性の問題があり、わが国ではまだ実際に適用されていないのが現状であるが、

最近マイコンの原子力プラントへの適用が考えられるようになり、冗長系システムや分散型システムの利用が始まりつつある。

4.2.2 マンマシンインタフェース (MMI)⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾

前項で述べたように、機械と人間のかかわり合いを含む総合的なバランスの上に計装制御の高信頼化を指向する考え方によりMMIの開発は10年以上も続いている。

本項ではMMIの中心となる中央制御盤の課題について述べる。

既に第3章で述べたように、火力発電ではプロセス計算機に監視のみならず制御機能をもたせ、東京電力広野火力発電所では完全自動化が達成されているが、原子力プラントでは計算機によるオンライン制御はまだ採用されていない。

最近原子力発電所は単機容量が大きく、中央制御盤も大形で運転員の負担が大きいのが特徴である。そのため運転員の誤判断・誤操作の危険性があり、MMIの改善が課題となっている。わが国でもこの面の研究開発が進み、新型の中央監視制御システムNUCamm-80, PODIA, MEDIC-2000等が実用化される段階に至った。プラント運転監視系におけるマンマシン関係を図4.2.2.1に示す。中央制御盤の改善項目は表4.2.2.1に示したように、MMIの改善、運転操作の自動化、異常診断である。これらの改善による従来盤と新型盤の比較を表4.2.2.2に示す。また新型盤における計算機システムの機能を表4.2.2.3に示す。

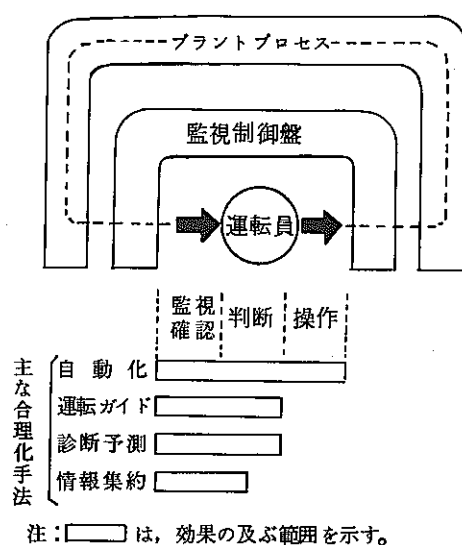


図 4. 2. 2. 1 プラント運転監視系におけるマンマシン関係

表 4. 2. 2. 1 中央計装の改善項目

改 善 事 項	具 体 的 項 目
1. マン・マシンインタフェースの改善	① 盤の縮小化 ② 盤面取付器具の人間工学的配置 ③ カラーCRTによる情報の整理・集約化
2. 運転操作の自動化	① サブシステム（マイナーループ）の自動化 ② 起動・停止の自動化 ③ 負荷変動運転の自動化
3. 異 常 診 断	① 機器レベルの異常診断 ② プラント・レベルの異常診断 ③ 事故時データの収集

表 4. 2. 2. 2 従来方式と最新方式の中央計装の比較

項 目		従 来 方 式	最 新 方 式
運 転 監 視 方 式	監 視 制 御 方 式	情報集中化	情報分離・集約形
	主 要 状 態 監 視	指示計，記録計	カラーCRT主体，指示計，記録計
	主 操 作 盤	ベンチ盤	コンソール
	器具，情報の分離	非分離	主盤，副盤分離
プ自	サブループ制御	○	○
ラ 動 ン ・ 止	起停 動	×	○
	原 子 炉 系 タービン発電機系		
ト化	日 間 負 荷 調 整	×	○
イ ジ ン エ ン テ ト リ 化	炉 心 性 能 監 視	○	○
	炉 心 性 能 予 測	×	○
	プラント異常診断	×	○
	システム状態モニタ	×	○
拡張性（CRT画面など）		困 難	容 易

○：あり，×：なし

表 4. 2. 2. 3 計算機システム一覧表

分 類	主 な 機 能
性 能 計 算	(1) 炉心性能計算 (PC-IOMR 機能を含む) (2) BOP 性能計算 (3) 炉心性能予測
監 視 診 断	(1) 監視警報 (2) プラント診断
CRT 表 示	(1) 警報表示 (2) プラント運転状態表示 (3) 炉心注能表示 (4) 操作手順指示
制 御	(1) R W M (2) プラント自動化
日 誌 作 表	
オフライン処理	(1) CRT プログラム作成 (2) フォーマット作成
計算機バックアップ	

注：略語説明

PC-IOMR (Pre-Conditioning Interim Operating Management Recommendations)

R W M (Rcd Worth Minimizer)

新型盤では監視・操作の頻度、緊急操作性、重要度に応じて主盤と副盤に分離している。主盤には、プラント起動停止、通常負荷運転、出力調整変更、緊急時操作、毎日の保安テストに関する情報制御器具が配置されている。また副盤にはプラント起動前監視操作、プラント停止後監視操作、サブシステム異常時対応操作、安全系のサーベイランステスト等に関する器具が配置されている。新型盤では CRT の有効活用がはかられており、監視・操作器具の削減をしているが、主盤縮小化の例を表 4. 2. 2. 4 に示す。これらの配置は人間工学的配慮に基づいている。CRT の他に音声告知システムも採用されている。表 4. 2. 2. 5 に CRT の表示例を示す。

運転操作の自動化についても、起動停止及び負荷追従を考慮した自動化システムが開発された。主要自動化項目を表 4. 2. 2. 6 に示す。

異常診断システムは既に 1979 年に島根原子力発電所に採用されているが、新型盤にもとり入れられている。異常診断はソフト的色彩の強い技術であり、大き

な課題の1つである。現在内外で実用あるいは試用段階にある異常診断技術を表4.2.2.7に示す。

表 4. 2. 2. 4 主盤縮小化の例

盤面取付器具	最新形	従来形
操作スイッチ	160～180	560～580
指示計	0～少数	230～240
記録計	0～少数	20～25
調整器	15～20	20～25
CRT	10～12	0～2
盤幅	5～7 m	19～20 m

表 4. 2. 2. 5 カラーCRTの活用法

適用事項	表示方法
① プラント状態表示	① 系統図表示
② 炉心性能監視・予測	② トレンド表示
③ 一般監視・予測・警報	③ 棒グラフ表示
④ オペレーション・ガイド	④ 各種グラフィック表示
(サーベイランス・テスト, 起動・停止など)	⑤ 時系列表示
⑤ 異常診断	⑥ 優先表示
	⑦ 関連パラメータ一括表示
	⑧ カラー区別, 文字大小区別, フリッカ, ワイプアウト

表 4. 2. 2. 6 主要自動化項目一覧表

系統	No.	主 な 自 動 化 項 目	制 御 方 式
原子炉	1	プラント出力調整（再循環流量制御による）	S C C
	2	起動時炉水位制御	D D C
	3	昇温昇圧時圧力設定値制御	S C C
	4	原子炉減圧冷却操作	S C C
	5	T I P トラバース操作	S C C
タービン	1	タービン起動・昇速・停止	S C C
	2	タービングランドシール系操作	シーケンシャル
	3	真空上昇・破壊，オフガス系操作	シーケンシャル
	4	給・復水ポンプ起動停止／給水ポンプ切替操作	シーケンシャル／D D C
	5	給水ポンプタービン回りドレン弁操作	シーケンシャル
	6	タービン加減弁室ウォーミング	D D C
	7	タービン・主蒸気管回りドレン弁操作	シーケンシャル
発電機	1	発電機系統並列・初負荷	S C C
	2	発電機解列	シーケンシャル
	3	所内電源切替	シーケンシャル

注：略語説明

D D C（計算機直接制御） S C C（計算機監視制御）

T I P（走行形中性子束較正装置）

表 4. 2. 2. 7 軽水型原子力プラントの異状診断技術

種類	No.	診断技術	診断対象	対象プラント	
				BWR	PWR
機器レベル	1	雑音解析	流路閉塞異常 炉内中性子計装管の振動	○	
			コア・バレルの振動		○
			制御棒駆動機構の異常	△	△
	2	ルーズ・パーツ・モニタリング	原子炉 1 次系の機器の拘束・支持機構，動的機器類のゆるみやはずれ	○	○
	3	回転機器モニタ	回転機器の異常	○	○
	4	格納容器音響モニタ	格納容器内の主要機器	○	○
	5	AE オンライン連続監視	BWR：蒸気ライン，制御棒駆動部， 給水ライン，ジェットポンプライザ PWR：1 次冷却系	○	○
	6	破損燃料検出法	燃料被覆管の破損	○	○
	7	検出器応答テスト	原子炉保護系の検出器群	○	○
プラント・レベル	8	アイソトープ分析	破損燃料の有無，液体廃棄物，気体 廃棄物の放射能濃度	○	○
	9	トランジット・フロー・メータ	1 次冷却材流量	○	○
	1	BWR 診断システム	プラント全体	○	△
	2	圧力容器・振動モニタリング・システム	圧力容器の振動	△	○
	3	日立 BWR 診断システム	炉心部，圧力制御系，給水制御系	○	△
	4	Disturbance Analysis System (DAS)	プラント全体	△	○

○：対象炉型 △：対象としうる炉型

4.2.3 被曝低減

原子力プラントの安全性を確保するために、定検をはじめとして厳重な点検保守作業が行われているが、これらの作業は放射線レベルの比較的高い環境下で実施されることが多く、放射線被曝低減が大きな課題となっている。被曝低減対策としては次の3つが考えられており、それぞれ研究開発が進められている。

- (1) 作業環境の改善
- (2) 遠隔化、自動化
- (3) 点検保守技術の開発

4.2.4 ロボット⁽¹⁷⁾

現在、燃料・制御棒交換機等に自動化が一部適用されているが、原子力プラントへのロボットの導入は巡回移動を行うだけのものでさえごく一部に限られているのが現状である。

将来移動点検ロボット、異常診断用知能ロボット等が利用されるようになるであろうが、そのためには多くの開発課題が残されている。たとえば次のようなものである。

センサ：位置、状態把握用センサ、知能化用センサ等

ロボット本体：歩行メカニズム、ハンドリング、人工知能等

ロボット統制システム：個々のロボットの知能化、データ処理、ロボットの操作（ソフトを含む）、中央制御室との通信方式等

4.2.5 運転員の支援システム⁽¹⁸⁾

TMI事故が一つの契機となって、運転員の誤判断・誤操作に基づく事故の発生あるいは拡大を防ぐために現在運転員の支援システムの開発が一段と促進されるようになった。

その内容は次の通りである。

- (1) 事故が発生した時保護系が正しく動作しなかった場合、これを正しく判断して運転員に知らせる。
- (2) 放置しておけば事故に発展したりプラントトリップに至るような異常が生じたときこれを検出して運転員に知らせる。
- (3) 検出系の異常によるものであることを正しく判断して運転員に知らせる。
- (4) 運転中に各種機器の特性が変わってきたとき、これを検出して運転員に知

らせる。

- (5) プラントがトリップしたときトリップ前の各種観測情報からトリップの原因を判断する。これにより補修作業が容易になり、プラントの停止期間を短縮できる。

これらの諸課題をふまえ、原子力プラントにおける計装制御の現在の問題及び将来動向について調査した結果を以下に報告する。

5. 原子力プラントの計装制御に関する現在の問題

(質問票とヒヤリングによる調査)

前章において原子力プラントの計装制御に関する現状と課題について要約したが、本調査では、既に述べたように、電力会社、メーカー、国公立機関、大学の設計、運転保守、研究に携っている専門家を対象に、原子力プラントの計装制御に関する現在の問題点を調査したので、本章でその詳細について報告する。

5.1 調査方法

第2章で述べた調査委員会において、各委員の推薦により電力会社、メーカー、国公立機関、大学の設計、運転保守、研究に携る専門家の中から調査対象者を選定した。調査対象者の数を表5.1.1に示す。

表 5.1.1. 質問票及びヒヤリング数

	電力会社	メーカー	国公立機関	大 学	その他(鉄鋼, 航空管制)	計
設 計	9	6	1	—	6	22
運転・保守	5	4	2	—	1	12
研 究	3	5	3	4	—	15
計	17	15	6	4	7	49

一方同委員会において、計装制御に関する調査・質問票を作成し、昭和56年10月29日に調査対象者に送付した。質問票を巻末の資料1に示す。資料のPQ2で現在の問題点を調査したが、回答者が回答し易いように、PQ1にみられるような領域と技術から成るマトリックス表を作成した。領域についてはPQ1の質問の中にも述べてあるようにその範囲が必ずしも明確ではないので、その判断は回答者にまかせた。

また、同委員会の委員の協力を得て、昭和56年11月13日から調査対象者を訪問し、ヒヤリングを行うとともに質問票を回収した。質問票の回収率は100%である。

5.2 調査結果

質問票のPQ1及びPQ2で“計装制御技術における現在の問題点を5つあげるとすれば何ですか”という形で質問したが、回答者によっては5つ以上あるいは以下の

回答があった。これらの回答の整理にK J法を用いて回答内容をグルーピングすることにより、その内容をキーワードで表わし、P Q 1の表にそのキーワードを記入した。また併せて電力会社(E)、メーカー(M)、国公立機関(N)、大学(U)のセクタ別及び“設計”(D)“運転保守”(O)、“研究”(R)の職種別にその回答数及び1人当りの回答数を記入した。以上によりまとめた結果を表5.1.2に示す。

5.3 調査結果の分析と考察

回答者はかなりの自由度をもって任意に回答しているので、回答数の分析は厳密には不適當とも考えられるが、大体の傾向をみるという趣旨で以下の分析と考察を行った。既に述べたように、“領域”についてはその範囲が明確でないことと、回答者が回答し易いように便宜上設定したものであることから以下の分析と考察は技術、セクタ、職種を軸として行った。

(1) 技術

技術別に回答をみると

技 術	件数	件数/人	技 術	件数	件数/人
コンピュータ応用技術	50	1.2	制 御	32	0.8
M M I	42	1.0	自動遠隔化	30	0.7
計 測	35	0.9			

の順になっており、コンピュータ応用技術が第1位、M M I技術が第2位となっている。このことは、第3章で“80年代はシステム思考の下に体系化する時代”と述べたことと符号すると考えることができる。(技術の具体的内容は(4)を参照されたい)

(2) セクタ

同様に電力会社、メーカー、国公立機関、大学のセクタ別にみると次のようになる。

技 術	電 力		メ ー カ ー		国 公 立 機 関		大 学	
	件数	件数/人	件数	件数/人	件数	件数/人	件数	件数/人
コンピュータ応用	23	1.4	15	1.0	8	1.3	4	1.3
計 測	17	1.0	10	0.7	6	1.0	2	0.7
M M I	14	0.8	17	1.1	6	1.0	5	1.7
自動遠隔化	12	0.7	13	0.9	3	0.5	2	0.7
制 御	10	0.6	14	0.9	6	1.0	2	0.7

表 5.1.2 現在の問題点（原子力）

上段 件数/人 } 左側 件数/人 }							
下段 件数/人 }							
技術領域	計 測 技 術	制 御 技 術	マンマシンインタフェース技術	コンピュータ応用技術	自動遠隔化技術	そ の 他	計
計測	センサ（非接触、二相流流量、液位、燃料温度、耐環境、高感度、長寿命、メンテフリー、デジタル出力型）、計測システムのメンテフリー、Naリーク、Na-水反応、Na不純物 E M N U D O R 11 9 3 1 13 4 7 0.6 0.6 0.5 0.3 0.8 0.4 0.6	構成部品信頼性向上、信号伝送合理化（多重化、光、耐環境性） E M N U D O R 1 1 0 0 0 1 1 0.05 0.07 0 0 0 0.09 0.1		異常診断（センサ、ソフト）、ソフト破壊防止 E M N U D O R 2 0 0 0 2 0 0 0.1 0 0 0 0.1 0 0			E14 0.8 M10 0.7 N 3 0.5 U 1 0.3 D15 0.9 O 5 0.5 R 8 0.7
監視	監視計測計装の信頼性、異常診断、正常異常の判断基準、非接触計測（巡視点検ロボット用） E M N U D O R 2 0 3 0 0 3 2 0.1 0 0.5 0 0 0.3 0.2	光伝送（多重伝送） E M N U D O R 0 1 0 0 0 1 0 0 0.07 0 0 0 0.09 0	多量情報集約表示、制御室設計（ヒューマンファクタ）、ヒューマンエラー低減、盤構成改善、最適表示システム、負担軽減、運転状態把握、対話型、警報最適抑制 E M N U D O R 4 3 1 3 3 2 6 0.2 0.2 0.2 1.0 0.2 0.2 0.5	異常診断・自己診断、異常進展予測、監視立体化、総合監視、支援システム、正常診断、インテリジェントターミナル E M N U D O R 5 8 3 0 5 6 5 0.3 0.5 0.5 0 0.3 0.5 0.5	ロボット（被曝低減） E M N U D O R 1 0 0 0 0 1 0 0.05 0 0 0 0 0.1 0		E12 0.7 M12 0.8 N 7 1.2 U 3 1.0 D 8 0.5 O13 1.2 R13 1.2
制御		全自動化（起動停止、負荷追従、分散階層化）最適化、故障時の自動対処システム、自己構成型制御装置、アクチュエータ改良、耐環境性、信頼性、多重化、診断 E M N U D O R 8 10 5 2 9 6 10 0.5 0.7 0.8 0.7 0.6 0.5 0.9	ヒューマンエンジニアリング改善 E M N U D O R 1 0 0 0 0 1 0 0.05 0 0 0 0 0.1 0	ソフト標準化、ソフト検証方式標準化、階層化、分散化、冗長化、自動切替、自己診断、信頼性向上、故障検出（プラント不要停止回避） E M N U D O R 3 3 1 2 4 1 4 0.2 0.2 0.2 0.7 0.3 0.1 0.4			E12 0.7 M13 0.9 N 6 1.0 U 4 1.3 D13 0.8 O 8 0.7 R14 1.3
運転	デジタル型センサ、運転中交換不可センサの信頼性向上、保守簡素化・メンテフリー化、非接触異常検出、超音波深傷 E M N U D O R 4 1 0 1 1 3 2 0.2 0.07 0 0.3 0.06 0.3 0.2	完全自動化、対話、 E M N U D O R 0 1 1 0 1 0 1 0 0.06 0.2 0 0.06 0 0.1	監視制御盤改善、盤最適設計、負担軽減、運転状態集約情報、情報選択表示、CRT大型化、CRT解像度改善、伝送速度改良、ヒューマンエラー低減、音声利用、異常時のガイド E M N U D O R 9 12 5 2 12 7 9 0.5 0.8 0.8 0.7 0.8 0.6 0.8	異常診断、異常事態適正把握と予防、運転継続可否、修復手順、オペレーションガイド、計算機の耐震性・信頼性 E M N U D O R 10 1 2 1 6 5 3 0.6 0.07 0.3 0. 0. 0.5 0.3	作業用ロボット E M N U D O R 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0.2 0 0 0.1 0		E23 1.4 M15 1.0 N 9 1.5 U 4 1.3 D20 1.3 O16 1.5 R15 1.4
点検保守		較正点検フリー計器、仮設計器信号の中央伝送方式（簡単にできる方式） E M N U D O R 1 1 0 0 1 1 0 0.05 0.06 0 0 0.06 0.1 0	ボタン認識省力化 E M N U D O R 0 2 0 0 0 1 1 0 0.1 0 0 0 0.1 0.1	異常診断、ボタン認識、自己診断 E M N U D O R 2 3 0 0 2 2 1 0.1 0.2 0 0 0.1 0.2 0.1	点検保守自動遠隔化、修理、ISI機器（被曝低減、作業の質向上） E M N U D O R 11 12 2 2 11 5 11 0.6 0.8 0.3 0.7 0.7 0.5 1.0	点検保守方針欠如 E M N U D O R 0 1 0 0 0 1 0 0 0.07 0 0 0 0.1	E14 0.8 M19 1.3 N 2 0.3 U 2 0.7 D14 0.9 O10 0.9 R13 1.2
その他				ユーザー間情報交換不足、新計算手法開発（並列演算、非ノイマン型）高信頼化（耐震、耐コモンモードフェイリヤ） E M N U D O R 1 0 2 1 2 0 2 0.05 0 0.3 0.3 0.1 0 0.2	ロボット用エネルギー供給（バッテリー小型、軽量、高性能） E M N U D O R 0 1 0 0 0 0 1 0 0.07 0 0 0 0 0.1	移動型局所遮へい開発、品質管理（QCシステム）信号伝送系改善（RMS） E M N U D O R 3 0 0 0 2 1 0 0.2 0 0 0 0.1 0.1	E 4 0.2 M 1 0.07 N 2 0.3 U 1 0.3 D 4 0.3 O 1 0.1 R 3 0.3
計	E M N U D O R 17 10 6 2 14 10 11 1.0 0.7 1.0 0.7 0.9 0.9 1.0	E M N U D O R 10 14 6 2 11 9 12 0.6 0.9 1.0 0.7 0.7 0.8 1.1	E M N U D O R 14 17 6 5 15 11 16 0.8 1.1 1.0 1.7 0.9 1.0 1.5	E M N U D O R 23 15 8 4 21 14 15 1.4 1.0 1.3 1.3 1.3 1.3 1.4	E M N U D O R 12 13 3 2 11 7 12 0.7 0.9 0.5 0.7 0.7 0.6 1.1	E M N U D O R 3 1 0 0 2 2 0 0.2 0.07 0 0 0.1 0.2	

電力会社はコンピュータ応用と計測が1位と2位を占めているが、メーカー、国公立、大学の3者はMMIとコンピュータ応用が1位と2位になっている。電力会社で2位の計測がメーカーで5位になっているのも興味深い。問題意識の一断面が表われているといえるかもしれない。（技術の具体的内容については(4)を参照されたい）

(3) 職種

前項と同様に“設計”，“運転保守”，“研究”の職種別にみると次のようになる。

技 術	設 計		運 転 保 守		研 究	
	件 数	件数 / 人	件 数	件数 / 人	件 数	件数 / 人
コンピュータ応用	21	1.3	14	1.3	15	1.4
M M I	15	0.9	11	1.0	16	1.5
計 測	14	0.9	10	0.9	11	1.0
制 御	11	0.7	9	0.8	12	1.1
遠隔自動化	11	0.7	7	0.6	12	1.1

コンピュータ応用とMMIは全職種を通じて現在の問題としてあげた人が多い。（技術の具体的内容については(4)を参照されたい）

(4) 技術の内容

技術の内容をキーワード化して技術とセクタのマトリックス表に示すと表5.3.1のようになる。表5.3.1をみる上で注意しなければならない点は、たとえば「盤改善」の内容が、「CRT，情報選択表示，ボタン認識，人間工学，計算機応用“等”による」のように複数の技術を含んでいることと，“等”で示されるように技術が全部表面に出ていないこと，あるいは反対にボタン認識一つだけを回答している場合があることである。従って件数による分析は適切ではない。（参考として件数を記号で記入した）。この点をふまえた上で以下技術別に主な特徴を挙げると次の通りである。

① コンピュータ応用技術

② 異常診断システム（自己診断，自動診断等を含む）は全セクタともに問題意識が強い。

③ 信頼性（ソフトの信頼性，計算機耐震性等を含む）については，電力会社，国公立機関で問題意識が強いが，メーカーはソフトウェアの信頼性だけが出ている。

表 5.3.1 技術とセクタの関係

技術 セクタ	コンピュータ応用	計 測	マンマシン インタフェース	遠隔自動化	制 御
電力会社	異常診断◎ 自己診断◎ 自動診断○ 信頼性◎ ソフトの信頼性○ 計算機の耐震性◎ 運転ガイド◎	ディジタルサ○ センサ信頼性◎ 耐環境センサ◎ 非接触検出◎ 異常検出○ システム○ 計測多様化○ 水位計測○ メンテナンス フリー◎	計算機応用○ ヒューマンエンジ ニアリング改善○ 盤最適化◎ 情報選択表示◎ パターン認識○ 最適表示○ 警報最適抑制○ 誤操作防止◎ 運転ガイド○	ロボット◎ 検査遠隔自動化○	信頼性◎ (計算機応用) 機器信頼性◎ 最適化○ 自動対処システム○ 校正, 点検フリー○ モジュールの統一○
メー カ ー	異常診断◎ 自己診断◎ 総合監視○ システム○ ソフト信頼性○ インテリジェン トターミナル○ 支援システム○ 分散型制御○ システム○ 機器小型化○ 監視立体化○	信頼性○ センサの断 異常断 ディジタルサ○ センサ○ 非接触センサ○ 超音波探傷○ 二相流液位流量○ 不純物・ 漏洩計測◎	盤改善○ CRT運転○ コンソール○ 音声等緊急 時のMMI○ 対話型○ コンソール○ パターン認識○ 有効情報提供◎ 運転員負担軽減◎ 集中監視○ システム○ 誤判断防止○ ガイド○ ディジタル○ 全自動化○ 省力化点検保守○ システム○	ロボット◎ ロボット用○ エネルギー	伝送(光, 多重)◎ 信頼性(故障, 耐○ 環境) (全)自動運転◎ ディジタル化○ 負荷追従○ 機器性能改善◎ フェイルソフト○ 自己構成型○ 制御装置
国 公 立 機 関	異常診断◎ システム◎ 信頼性◎ 運転監視○ ソフト標準化○	異常診断用サ○ センサ○ 正常異常判定○ 非接触センサ○ 耐環境センサ○ 高感度高S/N○ 計装	計算機応用○ 盤改善○ マンマシン○ 一体化○ 有効情報提供○ カラーCRT○ 解像度○	ロボット◎	信頼性○ (全)自動化◎ 最適化◎ 制御の統合化○ 人間の接点○
大 学	異常診断◎ システム◎ 階層化制御○	耐環境センサ○ 点検用高性能サ センサ	ヒューマンエラ ー低減◎ 情報集約表示○ 運転容易○	ロボット◎	信頼性○ 全自動化○ 多次元パラメータ 最適化○

注：件数を参考用に下記により表示

○ 1件, ◎ 2件, ◎ 3件以上

② 計測技術

- ③ センサの信頼性（耐環境センサを含む）は全セクタを通して問題意識があるが、電力会社に特に強い。
- ④ 非接触計測（センサ，方式を含む）は電力会社，メーカー，国公立機関に共通して問題意識がある。
- ⑤ センサ及び計測系のメンテナンスフリーは電力会社に問題意識が強い。
- ⑥ センサ及び計測系の異常診断についても電力会社，メーカー，国公立機関ともに問題として挙げている。

③ MMI 技術

計算機を応用して有効情報を提供し，運転員の負担軽減をはかってヒューマンエラーを低減することがMMIの中心的課題であることがよくうかがえる。この点全セクタを通して共通している。具体的には人間工学的な立場から盤の改善をはかりCRTの有効活用，パターン認識，音声による対話システム，警報最適抑制，運転ガイドシステム等が表面に現われている。

④ 遠隔自動化技術

全セクタを通じて被曝低減のためのロボットが望まれていることがわかる。

⑤ 制御技術

全セクタを通して信頼性（機器・システムの故障低減，耐環境性を含む），最適化，自動運転に対する問題意識が現われている。メーカーで特徴的なのは信号伝送に対して問題意識が強いことで，光伝送，多重伝送がその内容となっている。

次に技術の内容を技術と職種のマトリックス表に示すと表5.3.2のようになる。この場合も前述の理由で件数による分析は適切ではないが，参考用に件数を記号で示してある。この点をふまえて主な特徴を技術ごとに挙げると次のようになる。

① コンピュータ応用技術

- ③ 異常診断（自己診断，自動診断を含む），信頼性，（ソフトウェアの信頼性，計算機の耐震性等を含む）及び運転監視については全職種ともに問題意識が強い。
- ④ 運転ガイドについては“設計”と“研究”でともに問題として取上げている。

② 計測技術

- ③ 計測系の信頼性（耐環境センサを含む），非接触計測（センサ，方式を含む），異常検出・診断（センサ，センサの異常診断，異常検出システムを含む）は全職種ともに問題意識をもっている。

表 5. 3. 2. 技術と職種の関係

技術 職種	コンピュータ応用	計 測	マ ン マ シ ン イ ン タ フ ェ ー ス	遠隔自動化	制 御
設 計	異 常 診 断◎ 自 己 診 断◎ 自 動 診 断○ 信 頼 性◎ ソフトの信頼性◎ 計算機の耐震性○ 運 転 ガ イ ド○ 総 合 監 視 ム○ 支 援 シ ス テ ム○	デジタルセンサ◎ センサ信頼性○ 耐環境センサ◎ 非接触検出○ 異 常 検 出 ム○ シ ス テ ム○ 計 測 多 様 化○ 2相流液位流量○ 不 漏 洩 計 測◎	計 算 機 応 用◎ 盤 最 適 化○ 有 効 情 報 表 示◎ パ タ ン 認 識○ 最 適 表 示○ 警 報 最 適 抑 制○ 誤 操 作 防 止◎ 運 転 ガ イ ド◎ デ ィ ジ タ ル 全 自 動 化○ 集 中 監 視 ム○ シ ス テ ム 対 話 型○ コ ン ソ ー ル	ロ ボ ッ ト◎	信 頼 性 (機 器, 計◎ 算 機 応 用, 耐 環 境) フ ェ イ ル ソ フ ト○ 伝 送○ 較 正 点 検 フ リ ー○ 自 己 構 成 型○ 制 御 装 置○ 機 器 性 能 改 善○
運 転 保 守	異 常 診 断◎ シ ス テ ム◎ 自 己 診 断○ 信 頼 性◎ インテリジェン ト タ ー ミ ナ ル○ 監 視 立 体 化○ 機 器 の 小 型 化○	センサ信頼性◎ 信 頼 性○ 耐環境センサ○ 異 常 診 断○ 異 常 正 常 判 定○ 非 接 触 センサ○ メ ン テ ナ ンス フ リ ー○ 超 音 波 探 傷○ 高 感 度 高 S / N ○ 計 装	盤 最 適 化○ 有 効 情 報 提 供◎ パ タ ン 認 識○ ヒ ュ ー マ ン エ ン ジ ニ ア リ ン グ 改 善○ 誤 判 断 防 止◎	ロ ボ ッ ト◎ 検 査 遠 隔 自 動 化○	伝 送 (光, 多 重)◎ 機 器 信 頼 性○ 自 動 運 転○ 制 御 の 統 合 化○ 機 器 性 能 改 良○ 自 動 対 処 シ ス テ ム○ 人 間 の 接 点
研 究	異 常 診 断◎ シ ス テ ム◎ 自 己 診 断○ 信 頼 性○ 運 転 監 視○ ソフト標準化○ 分 散 型 制 御○ シ ス テ ム○ 階 層 化 制 御○ ガ イ ド○	信 頼 性○ 耐環境センサ◎ 非 接 触 検 出◎ 点 検 用 高 性 能 セ ン サ○ セ ン サ の 異 常 診 断 メ ン テ ナ ンス フ リ ー○ 水 位 計 測○ Na 漏 洩○	盤 改 善◎ C R T 運 転○ コ ン ソ ー ル○ 有 効 情 報 表 示◎ 運 転 員 負 担 軽 減◎ (音 声, パ タ ン 認 識 等) ヒ ュ ー マ ン エ ラ ー 低 減◎ 運 転 容 易○ カ ラ ー C R T ○ 解 像 度 省 力 化 点 検 保 守 シ ス テ ム○	ロ ボ ッ ト◎ ロ ボ ッ ト 用 エ ネ ル ギ 源○	伝 送 (光, 多 重)○ 信 頼 性◎ デ ィ ジ タ ル 化○ (全) 自 動 化◎ 多 次 元 パ ラ メ ー タ 最 適 化◎ モ ジ ュ ー ル 統 一○ 負 荷 追 従○

注：件数を参考用に下記により表示
 ○ 1件, ◎ 2件, ◎ 3件以上

⑤ “設計”及び“研究”はともに水位（2相流等）の計測に問題意識がある。

⑥ メンテナンスフリーに対しては“運転保守”と“研究”に問題意識がある。

③ MMI技術

前述の技術 — セクタのところで述べた特徴③MMIと全く同様である。

④ 遠隔自動化技術

前述の技術 — セクタのところで述べた特徴④の項と全く同じで、全職種を通して被曝低減のためのロボットが望まれていることがわかる。

⑤ 制御技術

① 信頼性（機器・システムの故障低減，耐環境性を含む）は全職種を通じて問題意識がある。“設計”と“研究”で特に強い。

② 自動化（完全自動化を含む）については“運転保守”，“研究”で問題意識がある。“研究”で特に強い。

③ 最適化制御は“研究”で特徴的に出ており，意識も強い。

5.4 要約

以上を要約すると次のようになる。

(1) 問題意識の最も高い技術はコンピュータ応用技術である。

この中で，異常診断と信頼性については特に意識が高い。

(2) MMI技術，遠隔自動化技術はセクタ，職種による意識の差はない。

(3) 計算機応用技術の信頼性について電力会社，国公立機関に問題意識があるのに対して，メーカーはソフトウェアの信頼性が問題としている。

(4) メーカーに信号伝送に対する問題意識が強く，特徴的である。

6. 原子力プラントの計装制御に関する将来動向

(質問票とヒヤリングによる調査)

本章では、原子力プラントの計装制御に関する将来動向について前章と同様の方法で調査した結果について述べる。

6.1 調査方法

調査対象者の選定、調査質問票の作成、送付、調査対象者への訪問、ヒヤリング、質問票の回収は前章で述べた方法と同じ方法によった。質問票を巻末の資料1に示す。送付に際しては「計装制御の動向について」を参考資料として同封した。参考資料を巻末の資料2に示す。

6.2 調査結果

質問票にはQ1～Q9と9問あるが、Q1～Q8まで回答者は独立の設問として回答されたと思われるが、回答をグルーピングすることにより有機的にまとめ、社会的要請 — 機能 — 技術・方式連関表を作成した。その結果を表6.2.1に示す。社会的要請と機能のそれぞれの回答内容が対応する部分を斜線で示した。たとえば社会的要請、安全性を確保するために原子力プラントを自動運転し、診断機能が設置されるという具合にである。これらの機能を実現するための技術・方式を機能ごとに列記したが、その詳細を表6.2.2に示す。表の左欄には技術方式の名称と、電力(E)、メーカー(M)、国公立機関(N)、大学(U)のセクタ別及び設計(D)、運転保守(O)、研究(R)の職種別件数と件数人の数値を示した。項目欄には、同じ回答内容のものをまとめてキーワード化して表記し、右欄には実現時期とその件数を示した。また、前章で述べた現在の問題と本章の結果を件数及び件数/人でまとめたものを表6.2.3に示す。表6.2.3には現在の問題に関する件数/人(a)と本章で得た件数/人(b)の比も併記してある。

6.3 調査結果の分析と考察

(1) 社会的要請と機能

表6.2.1にみられるように、社会的要請についてみると、事故対策、支援システム、多重化、品質向上、ヒューマンエラー排除、自動化等を内容とする安全性に関するも

表 6.2.1 20年後の社会的要請 — 機能 — 技術・方式連関表 (原子力)

機 能 社会的要素	自 動 運 転 (52)	診 断 (43)	遠隔自動操作(28)	そ の 他 (5)		
	●運転自動化 (30) 起動停止自動化 負荷追従 復旧自動化 ●システム (3) 多重化, 分散集中	●操作・盤 (11) 操作スイッチ省略化 インテリジェンス化 ●ガイド・支援 (8) 原因究明・予測 復旧のガイド 操作指示	●検知・同定 (21) 原因・場所 自動較正 ●自己修復 (14) 切替・消去 運転継続	●機器健全性 (8) 定検のテスト全自動化 不要分解点検回避 メンテナンス時期適正化 メンテナンス・フリー 耐用年数増加	●ロボット 点検範囲拡大 被曝低減 接近不能場所の 巡視・修理・情 報集収	●非ノイマン 計算方式 ●発電所内外 連絡系統改 善 ●機器のモジュ ル化 ●ソフト技術のユ ニット化 ●現在計測不可パ ラメータの測定
安 全 性 (33)	運転自動化・検出・診断・マンマシンインタフェース・運転ガイド・伝送・分析	点検自動化・検出・診断・マンマシンインタフェース・予防保全・伝送・分析	ロボット・点検自動化・検出・診断・マンマシンインタフェース・伝送・分析	計 算 機	伝 送 ・ マ ン マ シ ン イン タ フ ェ ー ス	モ ジ ュ ー ル 化 ・ ソ フ ト ・ 検 出
事故対策, 支援システム, 多重化, システム品質向上, ヒューマンエラー排除, 自動化						
被曝低減 (28)						
遠隔自動化, 定検頻度低減, 被曝管理集中化, 燃料等自動交換						
エネルギー需給 (23)						
負 荷 追 従						
稼 動 率						
経 済 性 (11)						
最適制御, 多重伝送, 自動プログラム作成						
人 間 性 (13)						
生き甲斐, 確認監視判断, 被曝低減用装備改善						
人 材 確 保 (12)						
ロボット, メンテフリー, 高齢化, 高学歴化						
周辺地域対応 (5)						
地域とのコミュニケーション						
省 資 源 (2)						
資源潤渇, 燃料サイクル						
廃 棄 物 (2)						
減容, 放射能減衰促進						
廃 炉 (2)						
廃炉技術						
品 質 保 証 (1)						
部品品質						
そ の 他 (3)						
保守的技術改善						
地球規模エネルギーバランス, 国際情勢						

表 6.2.2 技術・方式（原子力）

'80年線上 { 無印 現在の延長線上
 ● 主として今後の問題
 ○ 1 人
 ◎ 2人～5人
 ⊙ 6人以上

名 称		項 目	実 現 時 期																								
			'80	'90	2000																						
ロ ボ ッ ト	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>20</td><td>23</td><td>6</td><td>3</td><td>22</td><td>13</td><td>17</td></tr><tr><td>1.2</td><td>1.5</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.4</td><td>1.2</td><td>1.5</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	20	23	6	3	22	13	17	1.2	1.5	1.0	1.0	1.4	1.2	1.5	ロ ボ ッ ト		◎	◎	◎
		E	M	N	U	D	O	R																			
		20	23	6	3	22	13	17																			
		1.2	1.5	1.0	1.0	1.4	1.2	1.5																			
		監 視 ロ ボ ッ ト		○																							
		巡視点検操作ロボット		◎	◎	◎																					
		燃料制御棒交換	○		○																						
		水中監視TVつきロボット				○																					
		小型監視用飛行体（PCV内自動飛行）				○																					
		廃炉作業ロボット				○																					
		格納容器内点検ロボット	○																								
ティーチャブルロボット				○																							
運転用ロボット（バルブ開閉操作等）	●		○																								
検出器自動取替えロボット	○																										
自 動 運 転	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>20</td><td>12</td><td>3</td><td>1</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td></tr><tr><td>1.2</td><td>0.8</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td>0.8</td><td>1.1</td><td>1.1</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	20	12	3	1	12	12	12	1.2	0.8	0.5	0.3	0.8	1.1	1.1	起動停止異常時完全自動化				
		E	M	N	U	D	O	R																			
		20	12	3	1	12	12	12																			
		1.2	0.8	0.5	0.3	0.8	1.1	1.1																			
		起動停止自動化	◎	○	○																						
		大幅負荷追従	○	◎	◎	○																					
		診断 — 切替		◎																							
		無 人 運 転				◎																					
		全自動運転	○	○	◎																						
		自動学 習				○																					
		DDC方式	○	○																							
		ローカルプロセス系全自動化			○																						
		自動復 旧			○																						
最適化運転				○																							
操作のブロック化 — 自動化	○																										

注： E：電力会社，M：メーカー，N：国公立機関，U：大学，D：設計，O：保守運転，R：研究
 上段：件数，下段：件数/人

名 称		項 目		実 現 時 期		
				'80	'90	2000
運 転	制 御 機 器 ②⑤	耐環境プログラマブルコントローラ				◎
		レンジの大きいコントローラ				○
		自己診断バックアップ付コントローラ			○	
		自動最適化コントローラ		●		◎
		耐環境制御機器			◎	
		ディジタルアクチュエータ				○
		ワンチップコントローラ			○	
		自己構成型制御装置		●		○
		多重化プログラムコントローラ			○	
		自動設定型コントローラ		●	○	
自 動 化		メカのないバルブ (夢)				○
		E M N U D O R				
		12 12 1 1 11 10 5				
		0.7 0.8 0.5 0.3 0.8 1.1 1.1				
		2				
		1				
	制 御 方 式 ①⑥	ディジタル多重化			◎	○
		最適パラメータの自動設定 (自分で)		●		○
		電力系統トータルバランス制御		●		○
		適応制御方式		●	○	
⑤		予測最適制御方式			◎	○
		遠 隔 制 御 (リモートセンシング, リモートコントロール)			◎	
		近代制御理論の適用		●	○	○
		シーケンス制御の体系化			○	
		E M N U D O R				
		0 6 7 3 2 3 11				
		— 0.4 1.2 1.0 0.1 0.3 1.0				
		2				
		1				
	制 御 シ ス テ ム ①⑦	分散化, 階層化		◎	○	○
⑤		バックアップ付制御 (アナログ制御にディジタル制御バックアップ)			○	
		原子炉 — タービン一括バランス制御				○
		冗 長 化			○	
		シミュレータによる予測制御		●		○
		E M N U D O R				
		3 9 4 1 9 3 5				
		0.2 0.6 0.7 0.3 0.6 0.3 0.5				
		2				
		1				
	そ の 他 ①	制御プログラムの製作ツール				○
⑤		E M N U D O R				
		1 1 1 1 1 1 1				
		0.06 0.06				
		2				
		1				

名 称		項 目		実 現 時 期		
				'80	'90	2000
運 転 ガ イ ド ⑩	E M N U D O R	運 転 ガ イ ド			○ ○ ○	
	8 6 2 0 10 2 4	テクニカルサポートセンタ (制御室と別)		●		○
	0.5 0.4 0.3 — 0.6 0.2 0.4	シミュレーション				○
		異常時対話運転補助システム			○	
		ディスタートバンスアナリシス			○	
総 合 監 視 ④	E M N U D O R	プラントバランス監視			○	
	0 2 2 0 2 1 1	総合プラント監視				○
	— 0.1 0.3 — 0.1 0.1 0.1	発電所群集中管理システム		●	○	
		総合判断による監視機能		●		○
対 話 シ ス テ ム ②⑤	E M N U D O R	C R T 音声によるオペレータガイド			○	
	10 10 5 1 9 7 10	" 警報			○	○
	0.6 0.7 0.8 0.3 0.6 0.6 0.9	対話システム			○	○ ○ ○
		音声ボタン検出器			○	
表 示 ②③	E M N U D O R	パ タ ン 認 識			○ ○ ○	○
	9 13 5 2 9 8 12	情報の集約化			○ ○ ○	
	0.5 0.8 0.8 0.6 0.6 0.7 1.1	" 選択表示			○ ○ ○	
		大型スクリーン				○
		大 型 表 示			○ ○ ○	
		C R T (分解能, 内容)			○	
		選 択 警 報				○
		3 次 元 表 示				○ ○
		液 晶 表 示			○	
		インクなし記録計			○	

名 称		項 目	実 現 時 期		
			'80	'90	2000
M	⑨	ヒューマンファクタ			
		監視盤改良盤 ヒューマンエラー検出 誤操作防止システム	○	◎	○
M	⑤	役割分担	●	○	◎
		訓練機能内蔵型運転システム			○
I	③	手書き処理システム		○	○
		I/O装置改善 (プロセス I/O) 意識による直接操作			○
⑦⑥	③	検出位置同定		◎	◎
		異常診断 (機器, プラント) 集積化センサによる監視 炉内雑音分析 予想診断 回転体寿命予測 警報生起シーケンス 警報抑制 ルーズパーツモニタ 外乱解析	●	◎	◎
⑤②	③	検出位置同定		◎	◎
		異常診断 (機器, プラント) 集積化センサによる監視 炉内雑音分析 予想診断 回転体寿命予測 警報生起シーケンス 警報抑制 ルーズパーツモニタ 外乱解析	●	◎	◎

名 称		項 目	実 現 時 期																						
			'80	'90	2000																				
診 断	自己診断 ⑧	自己診断	○	◎	○																				
	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>0.1</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.06</td><td>0.3</td><td>0.4</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	2	4	1	1	1	3	4	0.1	0.3	0.2	0.3	0.06	0.3	0.4			
E	M	N	U	D	O	R																			
2	4	1	1	1	3	4																			
0.1	0.3	0.2	0.3	0.06	0.3	0.4																			
⑤	自己修復 ⑤	自己修復	○		○																				
	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>—</td><td>0.06</td><td>0.3</td><td>0.1</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	2	2	1	0	1	3	1	0.1	0.1	0.2	—	0.06	0.3	0.1	異常事故の自動処理		○
E	M	N	U	D	O	R																			
2	2	1	0	1	3	1																			
0.1	0.1	0.2	—	0.06	0.3	0.1																			
点 検	点 検 ②	自動 I S I	○	○	○																				
	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>10</td><td>5</td><td>6</td><td>1</td><td>9</td><td>5</td><td>8</td></tr><tr><td>0.6</td><td>0.3</td><td>1</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.7</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	10	5	6	1	9	5	8	0.6	0.3	1	0.3	0.6	0.5	0.7	自動点検システム	○	◎
E	M	N	U	D	O	R																			
10	5	6	1	9	5	8																			
0.6	0.3	1	0.3	0.6	0.5	0.7																			
自 動 化	メンテナンスフリー ⑧	遠隔点検化	○	○	○																				
	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>6</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>0.4</td><td>0.1</td><td>—</td><td>—</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.1</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	6	2	0	0	5	2	1	0.4	0.1	—	—	0.3	0.2	0.1	圧力バウンダリ健全性		○
E	M	N	U	D	O	R																			
6	2	0	0	5	2	1																			
0.4	0.1	—	—	0.3	0.2	0.1																			
		回路等の健全性	○	○	○																				
		自動校正	●	○																					
		メンテナンス情報提供	●	○	○																				
		In-situ calib	●	○	○																				
		サーベイランス自動化		○																					
		校正頻度低減		○	◎																				
		メンテナンスフリー計測系		○																					
		// 自動化			○																				
		メンテナンスフリー伝送器 (圧力等)	○																						
		// トランスジューサ		○																					
		校正不要検出器			○																				

名 称		項 目	実 現 時 期			
			'80	'90	2000	
計 算 機 耐 震 ④		耐震Asクラスの計算機		○	○	○
E	M	N	U	D	O	R
3	1	0	0	3	0	1
0.2	0.06	—	—	0.2	—	0.1
2						
1						
分 析 ⑬		データ比較→トレンド分析				○
E	M	N	U	D	O	R
7	4	1	1	3	7	3
0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.6	0.3
2						
1						
予 防 保 全 ④		データ処理・予防保全	●	◎		
E	M	N	U	D	O	R
2	1	1	0	3	0	1
0.1	0.06	0.2	—	0.2	—	0.1
2						
1						
伝 送 ⑨		多重伝送		◎		
E	M	N	U	D	O	R
2	2	4	1	3	4	2
0.1	0.1	0.7	0.3	0.2	0.4	0.2
2						
1						
		大容量伝送		○		
		耐雑音計装		○		
		遠隔技術		○		
		リモートセンシング（無線で）				◎

名 称		項 目		実 現 時 期																							
				'80	'90	2000																					
検 出	破 損 燃 料 ⑥	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>0.3</td><td>—</td><td>—</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.2</td></tr> </table>	E	M	N	U	D	O	R	2	4	0	0	3	1	2	0.1	0.3	—	—	0.2	0.1	0.2	検出器 (場所・程度) 燃料健全性監視	○	◎	
	E	M	N	U	D	O	R																				
	2	4	0	0	3	1	2																				
	0.1	0.3	—	—	0.2	0.1	0.2																				
放 射 線 ⑫	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr> <tr><td>9</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>7</td><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.06</td><td>0.3</td><td>—</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.1</td></tr> </table>	E	M	N	U	D	O	R	9	1	2	0	7	4	1	0.5	0.06	0.3	—	0.4	0.4	0.1	広 域 レ ン ジ 従事者の被曝計測 (局部) 微小放射能検出器 (排水) 環境放射能予測 放射線空間分布測定 視覚化 (色素) 耐環境検出器 耐ノイズ性	○		○	
E	M	N	U	D	O	R																					
9	1	2	0	7	4	1																					
0.5	0.06	0.3	—	0.4	0.4	0.1																					
中 性 子 ⑬	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr> <tr><td>7</td><td>5</td><td>2</td><td>2</td><td>8</td><td>2</td><td>6</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.5</td></tr> </table>	E	M	N	U	D	O	R	7	5	2	2	8	2	6	0.4	0.3	0.3	0.6	0.5	0.2	0.5	耐環境中性子検出器 広 域 核 計 装 固定式炉内中性子検出器	○	◎		
E	M	N	U	D	O	R																					
7	5	2	2	8	2	6																					
0.4	0.3	0.3	0.6	0.5	0.2	0.5																					
141	光 ⑭	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>0.1</td><td>—</td><td>0.3</td><td>0.06</td><td>0.2</td><td>0.3</td></tr> </table>	E	M	N	U	D	O	R	3	2	0	1	1	2	3	0.2	0.1	—	0.3	0.06	0.2	0.3	光ファイバによる直接監視 光 セ ン サ 光 ファイバ		○	○
E	M	N	U	D	O	R																					
3	2	0	1	1	2	3																					
0.2	0.1	—	0.3	0.06	0.2	0.3																					

名 称		項 目		実 現 時 期																							
				'80	'90	2000																					
検	レ ベ ル 計 ③	原子炉水位計			○	○																					
	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>0.06</td><td>—</td><td>—</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>—</td></tr> </table>	E	M	N	U	D	O	R	2	1	0	0	2	1	0	0.1	0.06	—	—	0.1	0.1	—	新型レベル計		●		○
	E	M	N	U	D	O	R																				
	2	1	0	0	2	1	0																				
0.1	0.06	—	—	0.1	0.1	—																					
2																											
1																											
出	漏 洩 ⑮	漏洩モニタ (高感度)			○	○																					
	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>1</td><td>1</td><td>6</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.5</td></tr> </table>	E	M	N	U	D	O	R	6	7	1	1	6	4	5	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	湿 分 検 出			○	◎
	E	M	N	U	D	O	R																				
	6	7	1	1	6	4	5																				
0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5																					
2	一次冷却材漏洩			○	◎																						
1	微小漏洩			○																							
141	音 響 ⑦	音響技術 (含センサ)			○	○																					
	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.1</td></tr> </table>	E	M	N	U	D	O	R	2	3	1	1	4	2	1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	ルーズパーツモニタ			○	
	E	M	N	U	D	O	R																				
	2	3	1	1	4	2	1																				
0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1																					
2	A E																										
1	周波数スペクトル			○																							
141	耐環境ハード ⑰	検出器構造材			○	○																					
	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr> <tr><td>8</td><td>6</td><td>3</td><td>2</td><td>8</td><td>4</td><td>7</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.7</td></tr> </table>	E	M	N	U	D	O	R	8	6	3	2	8	4	7	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.7	高信頼性ハード			○	◎
	E	M	N	U	D	O	R																				
	8	6	3	2	8	4	7																				
0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.7																					
2	耐ノイズ性制御機器				○																						
1	耐LOCAセンサ			○	◎																						
141		工業用TV			○	◎																					
		耐環境半導体素子				○																					
		" 熱電対																									
		FBR炉内計装			○																						

名 称		項 目		実 現 時 期		
				'80	'90	2000
検 出	非 接 触 ②⑩ 	腐 食 測 定 I S I 非 接 触 計 測 リモートセンシング 圧 力 容 器 Na 計 測 超 音 波 探 傷 非 接 液 センサ 赤 外 線 モニタ レーザ技術		●	○	○
	流 量 計 ⑧ 	大レンジ流量計3桁 非 接 触 高精度 (一次用)(極低流量含む) Na チャンネル流量			○	○
	熱 測 定 ⑨ 	赤外線温度測定器 燃料表面伝熱直接測定 エンタルピー計 温度絶対測定 (1000°~1600℃) 内部温度センサ (夢) 燃料温度検出器 広範囲炉内温度検出器		●	○	○
	振 動 ① 	振 動 セ ン サ			○	

名 称		項 目		実 現 時 期																							
				'80	'90	2000																					
検 出	インベントリー ③	インベントリー			○	○																					
	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>0.06</td><td>0.1</td><td></td><td></td><td>0.6</td><td>0.2</td><td>—</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	1	2	0	0	1	2	0	0.06	0.1			0.6	0.2	—	ボイド検出			○	
	E	M	N	U	D	O	R																				
	1	2	0	0	1	2	0																				
0.06	0.1			0.6	0.2	—																					
2																											
1																											
141	集積知能化センサ ⑩	集積化知能化			○																						
	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>0</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>—</td><td>0.6</td><td></td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	0	9	0	1	3	3	4	—	0.6		0.3	0.2	0.3	0.4	デジタルセンサ		○		○
	E	M	N	U	D	O	R																				
	0	9	0	1	3	3	4																				
	—	0.6		0.3	0.2	0.3	0.4																				
	2	異臭検出器		●		○																					
	1	ロボット用知覚センサ			○																						
		ワイヤレスセンサ		●		○																					
		固体発振器（温度で周波数変化）		●	○																						
		ガス検出			○																						
		PID機能つきセンサ		●		○																					
		欠陥予言		●	○																						
		炉心状態可視化			○																						
		ディスポーザブル検出器			○																						
	" 方式			○																							
	被曝低減考慮計装システム（保守作業容易構造）			○																							
	その他 ⑥	モジュール化			○																						
	<table><tr><td>E</td><td>M</td><td>N</td><td>U</td><td>D</td><td>O</td><td>R</td></tr><tr><td>0</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td></td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr></table>	E	M	N	U	D	O	R	0	4	1	1	2	2	2		0.3	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	発電所設計			○	
E	M	N	U	D	O	R																					
0	4	1	1	2	2	2																					
	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2																					
2	図面資料管理機械化				○																						
1	伝票処理計算機				○																						
	可視式汚染モニター		●	○																							
	高速予測シミュレータ			○																							
	" シェルタ				○																						

表 6.2.3 技術・方式の現在 — 将来の比較 (原子力)

		E	M	N	U	D	O	R
ロ ボ ッ ト	現 (a)	11	11	3	3	9	7	12
		0.65	0.73	0.5	1.0	0.56	0.64	1.09
	将 (b)	20	23	6	3	22	13	17
		1.18	1.53	0.5	1.0	1.38	1.18	1.55
	(b)/(a)	1.8	2.1	1.0	1.0	2.5	1.8	1.4
運 転 自 動 化	現 (a)	8	9	4	3	8	4	12
		0.47	0.60	0.67	1.0	0.5	0.36	1.09
	将 (b)	35	40	15	6	35	28	33
		2.06	2.67	2.5	2.0	2.19	2.55	3.00
	(b)/(a)	4.4	4.5	3.7	2.0	4.4	7.1	2.8
運 転 ガ イ ド	現 (a)	2	2	0	0	3	0	1
		0.12	0.13	0	0	0.19	0	0.09
	将 (b)	8	6	2	0	10	2	4
		0.47	0.40	0.33	0	0.63	0.18	0.36
	(b)/(a)	3.9	3.1	—	—	3.3	—	4.0
M M I	現 (a)	13	14	8	5	11	14	15
		0.76	0.93	1.33	1.67	0.69	1.27	1.36
	将 (b)	20	34	15	7	24	21	31
		1.18	2.27	2.5	2.33	1.5	1.91	2.82
	(b)/(a)	1.6	2.4	1.9	1.4	2.2	1.5	2.1
診 断	現 (a)	13	8	3	2	13	4	9
		0.76	0.53	0.5	0.66	0.81	0.36	0.82
	将 (b)	19	19	9	5	18	13	21
		1.12	1.27	1.5	1.67	1.13	1.18	1.91
	(b)/(a)	1.5	2.4	3.0	2.5	1.4	3.3	2.3
計測センサ検出	現 (a)	14	12	2	2	13	5	12
		0.82	0.80	0.33	0.66	0.81	0.45	1.09
	将 (b)	53	57	21	10	55	42	44
		3.12	3.80	3.50	3.33	3.44	3.81	4.0
	(b)/(a)	3.8	4.8	10.1	5.0	4.2	8.5	3.7
点 検 自 動 化	将	16	7	6	1	14	7	9
		0.94	0.47	1.0	0.33	0.88	0.64	0.82
分 析	将	7	4	1	1	3	7	3
		0.41	0.27	0.17	0.33	0.19	0.64	0.27

E: 電力, M: メーカー, N: 国公立機関, U: 大学, D: 設計, O: 運転保守, R: 研究

現: 現在, 将: 20年後

のが最も多く 33 件，次いで被曝低減 28 件，負荷追従，稼働率向上といったエネルギー需給構造の変化への対応 23 件，最適制御による経済性の達成 11 件，生き甲斐，判断といった人間性に関するもの 13 件，高齢化，高学歴化等による人材確保の必要性 12 件をはじめとして周辺地域への対応（5 件），省資源（2 件），廃棄物（2 件），廃炉（2 件），品質保証（1 件）その他となっている。

社会的要請の件数を電力会社，メーカー，国公立機関，大学のセクタ別及び設計，運転保守，研究の職種別にみると表 6.3.1 に示したようになる。表 6.3.1 から次のことがわかる。電力会社，メーカーはともに安全性，被曝低減，エネルギー需給への対応といった要請が多く，国公立機関は圧倒的に安全性，大学は安全性，被曝低減が多い。

次に機能についてみると，起動停止・負荷追従・復旧の自動化（30 件），盤の改善・インテリジェンス化（11 件），運転ガイド・支援（8 件），分散集中・多重化等システムとしての機能（3 件）といった内容の自動運転に関するものが 52 件で一番多く，次いで異常の場所・原因の検知同定（21 件），機器健全性（8 件）等の診断に関するもの 43 件，被曝低減，点検範囲拡大等遠隔自動操作に関するもの 28 件

表 6.3.1 社会的要請（セクタ別，職種別）

上段：件数
下段：件数/人

	電力 (E)	メーカー (M)	国公立機関 (N)	大学 (U)	設計 (D)	運転保守 (O)	研究 (R)
安 全 性	10 0.6	13 0.9	7 1.2	3 1.0	9 0.6	12 1.1	12 1.1
被曝低減	12 0.7	11 0.7	2 0.3	3 1	12 0.8	6 0.5	10 0.9
エ ネ ル ギ ー 需 給	13 0.8	7 0.5	2 0.3	1 0.3	10 0.6	5 0.5	8 0.7
経 済 性	5 0.3	3 0.2	1 0.2	2 0.7	7 0.4	2 0.2	2 0.2
人 間 性	5 0.3	6 0.4	1 0.2	0 0	4 0.3	5 0.5	3 0.3
人材確保	4 0.2	4 0.3	4 0.7	0 0	4 0.3	4 0.4	4 0.4
周辺地域 対 応	1 0.05	4 0.3	0 0	0 0	3 0.2	1 0.1	1 0.1
省 資 源	2 0.1	0 0	0 0	0 0	1 0.06	0 0	1 0.1

となっており、これらの3機能に集約されていることがわかった。

これらの機能の件数を電力会社、メーカー、国公立機関、大学のセクタ別及び“設計”，“運転保守”，“研究”の職種別にみると、表6.3.2に示したようになる。表6.3.2から次のことがわかる。自動運転，診断については電力会社，メーカー，国公立機関とも同じように関心が高いが，遠隔自動化については電力会社の関心が高い。また，“設計”，“運転保守”，“研究”ともに自動運転を挙げた人は多く，診断については“設計”と“研究”が多いことがわかる。

これらの社会的要請と機能の関連は既に述べたように表6.2.1に示した通りである。

表 6.3.2 機能（セクタ別，職種別）

上段：件数

下段：件数/人

	電力 (E)	メーカー (M)	国公立機関 (N)	大学 (U)	設計 (D)	運転保守 (O)	研究 (R)
自動運転	20	20	8	3	21	12	18
	1.2	1.3	1.3	1.0	1.3	1.1	1.6
診 断	18	15	7	1	20	8	13
	1.0	1.0	1.2	0.3	1.3	0.7	1.2
遠 隔 自動操作	15	6	22	2	12	6	7
	0.9	0.4	0.3	0.7	0.8	0.5	0.6

(2) 主要な技術・方式

技術・方式の件数についてはすでに表6.2.3に示した。表6.2.3には現在の問題点の件数も示してあるので，現在の問題点との関連も含めて考察する。現在の問題点に関する質問はP Q 1とP Q 2の2問であるのに対して，20年後の技術・方式についてはQ 4～Q 8まで各領域ごとに質問をしているので，“現在”よりも“20年後”のほうが回答数が多くなっている。たとえば，“現在”の問題としてロボットを挙げた人はP Q 1とP Q 2を通じてロボットを挙げる機会は1度しかないが，“20年後”にロボットを挙げる機会は複数回ある。設問のこのような条件があることをふまえた上で考察する必要がある。なお，技術・方式の具体的項目については表6.2.2を参照されたい。

ロボット：現在も20年後も関心の強い技術・方式であり，電力会社，メーカー，大学，及び“設計”，“運転保守”，“研究”ともに強いことがわかる。メーカー，“設計”の(b)/(a)がそれぞれ2.1，2.5となっているのはロボット

実現への期待が現われていると考えることができよう。

運転自動化：ロボット同様関心の強いものである。特に“運転保守”の(b)/(a)が7.1とあるのは運転自動化実現への期待の大きさを表わしていると考えられるし、電力、メーカーともに自動化への期待は強いことがわかる。

M M I：現在の問題として“運転保守”と“研究”の意識が高いことがよくうかがえる。20年後についてはメーカー、国公立機関、大学の関心が強く出ており、“研究”の意識が特に高く出ている。

診 断：現在の問題意識として高く出ているのは“設計”と“研究”であるが、20年後は“設計”、“運転保守”、“研究”とも関心が高く、特に“運転保守”の(b)/(a)が3.3とあるのはその期待が出ていると考えることができる。ここでも“研究”の意識は極めて高い。

計 測：全セクター、全職種にわたって関心が強いことがわかる。“運転保守”の(b)/(a)=8.5は計測に対する期待の大きさの一面を表わしたものと考えることができる。

分 析：電力会社と“運転保守”の意識が強いが、これは電力会社の“運転保守”の分析に対する将来の期待の現われであると考えることができる。

以上、主要な技術・方式について述べたが、全体を通じて“研究”の関心度合が他に比べて高い傾向がみられる。“研究”は常に課題を先取りしていると理解してもよいのではないと思われる。また、ある一つの技術・方式について(b)/(a)の数値が大きいほど実現に対する期待の大きさが現われていると理解してもよいように思われる。

また、“現在”と“20年後”に共通して出てくる主なキーワードを挙げると次のようになる。

機器・部品・システムに対して：高信頼化，耐環境性，耐久化，長寿命化（稼働率向上，補修低減，安全性等をはかるため）

計測センサに対して：耐環境性，非接触，高性能（被曝低減，稼働率向上をはかるため）

ロボットに対して：点検補修，知能化（被曝低減，省力化のため）

M M Iに対して：C R T，情報集約整理と選択表示，立体表示，パタン認識，警報最適抑制，オペレーションガイド，盤の改善（負担軽減，誤操作低減，運転容易さ，運転状態把握，異常時の対処，ヒューマンエラー低減のため）

計算機に対して：耐震性，信頼性，ソフト検証方式標準化，ソフト標準化

制御に対して：最適制御，自動化，負荷追従，デジタル化，多重化，階層化，学習型，分散型（信頼性向上，稼働率向上，省力化のため）

伝送に対して：大容量伝送，多重伝送，光伝送

運転自動化に対して：全自動化，最適制御，負荷追従，異常診断，人間 — 機械の役割分担，対話システム，自動対処システム（安全性，稼働率向上のため）

異常診断に対して：原因，場所の同定，パターン認識，自己診断，自己修復，運転継続可否，異常進展予測，伝送と信号処理，センサとソフト開発（プラントの不要停止回避，稼働率，安全性向上のため）

次に，主要技術・方式の実現時期について述べる。実現時期は表 6.2.2 に示した。表の実現時期の'80 のところが無印の技術方式は現在何らかの形で問題として認識されており，開発が進行中のもの，あるいは進められようとしているもの，●印をつけたものは今後の問題として実用化上一層の技術開発が期待されるものと考えた。

ロボット：監視，巡視点検ロボットは'90～2000 年に実現するとした回答が多い。
自動運転：自動起動停止は'85～'95，大幅負荷追従は'90～'95，全自動運転は'95～2000 年となっている。

制御機器：耐環境機器は'90～2000 年が多い。

制御方式：デジタル化は'85～'90，予測最適制御は'90 が多い。

制御システム：分散化・階層化は'85～2000 年に広く分布している。

運転ガイド：'90～'95 が多い。制御室とは別のテクニカルサポートセンタを挙げた人もおり，その実現時期を'95 としている。

対話システム：音声による対話システムは'90 が多い。

表 示：パターン認識は'85～2000 年に分布しているが，'95 とした人が最も多い。
大型表示は'90，3 次元表示は'95 とした人が多い。

ヒューマンファクタ：盤の改良は'90 が最も多いが，'85～'90 となっている。

異常診断：'85～2000 年に分布しているが，'90～'95 に集中している。ルーズパーツモニタは'90 としている人が 2 人いる。自己診断も'90 が最も多い。

分 析：水質連続分析，化学分析，核種分析は'90 とした人が多い。

伝 送：多重伝送が多く，'90 とした人が多い。

破損燃料検出：燃料健全性は'90，破損検出は'95 とした人が多い。

漏洩検出：Na 関連を含めて'90～'95 とした人が多い。

非接触計測：'90～2000 年であるが'90 とした人が最も多い。Na 中撮像は'85～

2000年で、'95とした人が2人いる。

なお、今後の開発技術・方式として考えられる主なものを回答の中から挙げると次のようになる。

小型監視飛行体（PCV内自動飛行）

自動最適化コントローラ

自動設定型コントローラ

最適パラメータの自動設定

自己構成型制御装置

適応制御方式

近代制御理論適用

シミュレータによる予測制御

テクニカルサポートセンタ

総合判断による監視機能

訓練機能内蔵型運転システム

集積化センサによる監視

自動較正

予防保全

非接触測定（圧力容器，廃食）

大レンジ流量計

異臭検出器

ワイヤレスセンサ

機能つきセンサ

6.4 要 約

- ① 20年後の社会的要請：安全性，被曝低減，エネルギー需給への対応，経済性，人間性，人材確保等
- ② 計装制御にインパクトを与える機能：運転自動化，盤の改善，ガイド・支援，異常検知同定，自己修復，機器健全性判断，遠隔自動操作（含ロボット）
- ③ 計装制御にインパクトを与える主な技術・方式：ロボット，自動運転，高信頼化機器，運転ガイド，MMI（対話システム，表示，役割分担等），診断，自己修復，点検自動化，分析，伝送，検出

- ④ 全セクタ，全職種を通じて関心の高い技術・方式：ロボット，自動運転，耐環境機器，診断，MMI等
- ⑤ 以上を総合すると，本調査の範囲内では，20年後の原子力プラントの計装制御は現在の延長線上にあり，社会的要請を満たすべく諸機能の高度化をはかる方向にあることがうかがえる。

7. 鉄鋼及び航空管制における計装制御

第2章で述べたように、原子力プラントにおける計装制御の将来動向を調査するに当り、技術体系の全体像を把握するという立場から鉄鋼と航空管制の分野についても調査した。本章で調査結果を報告する。

7.1 鉄鋼プラントにおける計装制御

(1) 鉄鋼プロセスの概要⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾

鉄鋼プロセスは大別すると製銑、製鋼及び圧延工程から成っている。製銑工程では高炉（溶銑炉）を用いて銑石を還元し銑鉄を作り、製鋼工程では転炉または電炉を用いて銑鉄を精錬して鋼を作る。鋼は圧延工程で圧延され、所定の鋼材が作られる。鉄鋼プロセスの概要を図7.1.1に示す。

鉄鋼プロセスには次のような特徴がある。

- ① 大型装置工業
- ② バッチプロセス
- ③ 原料、エネルギーが多量である。
- ④ 工程が複雑
- ⑤ 鉄鋼原料の大部分は輸入

最近の傾向として、高品質に対する要請、納期の正確さに対する要請が強く、さらに労働事情の問題が加わって厳しい環境にあり、次のような対策を実行している。

- ① 生産設備の大型化、連続化、自動化
- ② 省力化の推進
- ③ 生産管理の徹底、情報化、自動化

以上の事情から、鉄鋼生産の自動化が進められてきたが、自動化の中でも計算制御は最も主要なシステムであり、計算制御の導入は次の理由で必要とされた。

- ① 高生産性設備の安定運転
- ② 大量迅速な情報処理
- ③ 頻繁な判断作業
- ④ 悪環境下作業、単純作業

従って計算制御の目的と効果は次のようである。

- ① 生産性の向上と安定化

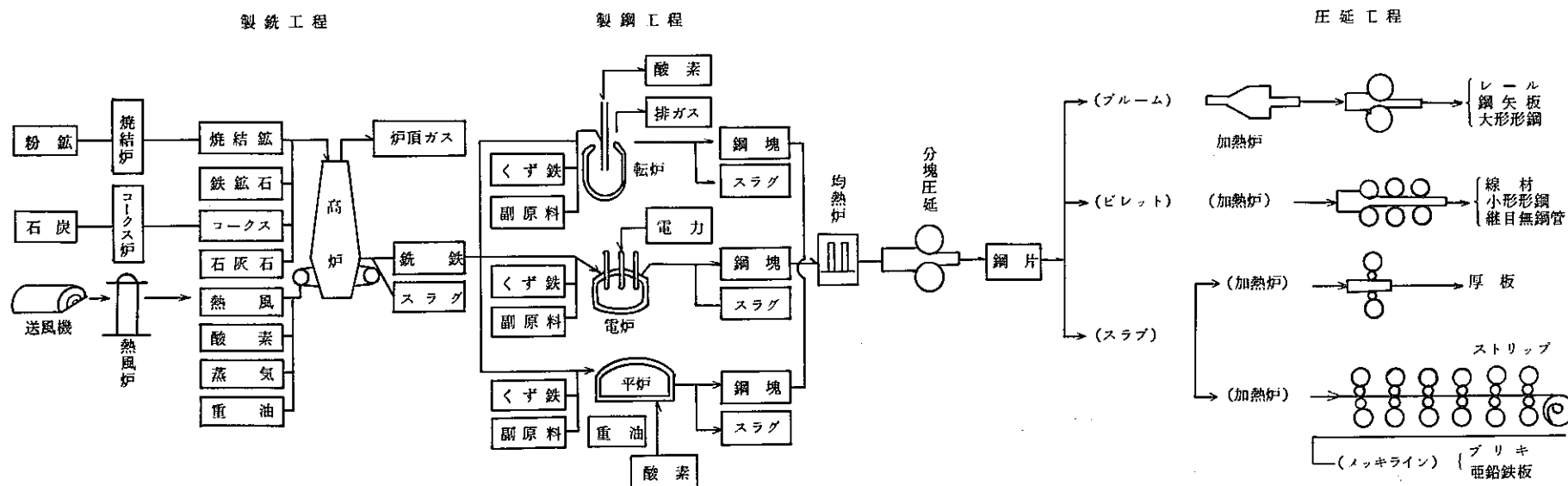


図 7. 1. 1 鉄鋼プロセスの概要

- ② 品質管理の向上
- ③ 納期管理
- ④ 省力化
- ⑤ 作業システムの合理化，生産要員の頭脳のレベルアップ

(21)
計算制御導入状況を表 7. 1. 1 に示す。表 7. 1. 1 からわかるように，計算制御の導入度の大きい工程は圧延，転炉，高炉，エネルギー設備，オンライン工程管理等であり，方式としては SCC (Supervisory Computer Control)，DDC (Direct Digital Control) が利用されている。

今後の展望としては一製鉄所内のオンライン情報処理システムから全社のオンライン

表 7. 1. 1 鉄鋼における計算機制御導入状況

プロセス区分		導入状況		
		実施状況	方式	目的効果
原料	原料処理	○	オベガイド，閉ループ	製鉄原料の総合管理，自動運転
	コークス	△	DL	コークス品質向上，省力化
	焼結	○	閉ループ，DL	焼結鉱品質向上，省力化
高炉	高炉	◎	シーケンス制御，DL	原料装入自動化，省力化
	高炉	○	オベガイド	炉況制御
	熱風炉	○	閉ループ	自動切換，燃焼制御
製鋼	転炉	◎	オベガイド	終点的中率向上 (スタティック)
	転炉	○	オベガイド，閉ループ	終点的中率向上 (ダイナミック)
	電炉	○	閉ループ	電力使用最適化
	連続鑄造	○	DL	省力化
	連続鑄造	○	閉ループ，オベガイド	プロセス自動化，省力化
分塊	均熱炉	◎	閉ループ，DDC	最適燃焼制御，段取り制御
	分塊圧延 (条用)	◎	閉ループ，SCC	自動圧延
	分塊圧延 (板用)	◎	閉ループ，SCC	自動圧延
	分塊圧延 (ビレット)	○	閉ループ，SCC	自動圧延
熱間圧延	条鋼	○	閉ループ，SCC	自動運転，省力化
	鋼管	△	閉ループ，SCC	自動運転，省力化
	厚板	◎	閉ループ，SCC	自動圧延，品質向上，自動運転
	ホットストリップミル	◎	閉ループ，SCC	自動圧延，T/H 向上，品質向上
冷間圧延	コールドストリップミル	◎	閉ループ，SCC	自動圧延，T/H 向上，品質向上
	パッチ焼鈍	○	閉ループ，DDC	燃焼制御最適化
	連続焼鈍	△	閉ループ，SCC	温度サイクル制御，自動化
表面処理	ブリキ	○	閉ループ，DL	めっき量制御，品質向上
	亜鉛めっき	○	閉ループ，DL	めっき量制御，品質向上
エネルギーその他	エネルギー	◎	閉ループ，DL	エネルギー使用最適化，需要予測
	分析	◎	単能計算	自動分析 (分光分析)
	秤量	○	DL，データ伝送	自動秤量
オンライン工程管理	製鋼分塊	○	オンライン工程管理システム	生産管理，工程進行管理，スケジューリング
	条鋼	○		
	厚板	○		
	ホットストリップミル	○		
	冷延	○		
トータルシステム	(全工場)	○		総合オートメーション

◎ 導入例が多いもの ○ かなり多いもの
△ 少ないもの

DL: data-logging SCC: supervisory computer control

ンデータ伝送，製品重量物の移送運搬の自動化，さらには完全自動化に向って開発が進められるであろう。これらの開発にはパタン認識，ロボット技術等の開発が必要であり，これらを有機的に結びつける計算機利用システムの確立が不可欠である。

(2) 鉄鋼プラントにおける計装制御の現状と将来動向

鉄鋼プラントにおける計装制御の現状と将来動向を，鉄鋼分野の専門家を対象に質問票及びヒヤリングにより調査した。質問票は原子力の場合と同一であり，調査対象者の選定，ヒヤリングと質問票の回収等は第5章で述べた調査方法と全く同じ方法によった。調査対象者は3名である。

(a) 調査結果

(i) 現在の問題点

原子力の場合と同様に，P Q 1の表中にP Q 2の回答をキーワードで記入したものを表7. 1. 2に示す。調査対象者が3名で，回答の分布が偏っていることが考えられるが，得られた回答の範囲内では次にあげる技術に問題意識があることがうかがえる。

計測：プロセス内部状態分布計測，オンライン品質計測，非接触温度測定

制御：最適化全自動運転

MMI：集中統合化

コンピュータ応用：診断自動化，ソフト開発効率化

遠隔自動化：マテリアルハンドリング，こん包の自動化

詳細は表7. 1. 2を参照されたい。

(ii) 将来動向

原子力の場合と同様にQ 1～Q 8の回答をまとめた結果を表7. 1. 3及び表7. 1. 4に示す。表7. 1. 3は社会的要請 — 機能 — 技術・方式の連関を示したものであり，技術・方式は機能ごとに列記してあるが，その詳細は表7. 1. 4にまとめた。表7. 1. 4には各技術・方式の実現時期も示してある。

社会的要請と機能

社会的要請についてみると，「安全性」の内容は一酸化炭素中毒とか作業者の安全一般で，公共性とか対公衆の問題ではなく，プラント内の作業者に関するものである。また，「製品の高品質化」は鉄鋼プラントで特に問題意識が強く表面に出ていることが他に比べて特徴的である。またソフトウェア技術はソフトウェアの膨大化による担当技術者数の増大化及びその人材確保，取扱い，処理問題とい

表 7. 1. 2 現在の問題点（鉄鋼）

技術 領域	計測技術	制御技術	マンマシンインタ フェース 技 術	コンピュータ 応 用 技 術	自動遠隔化技術	そ の 他
計 測	プロセス内部状態分布計 測 オンライン品質計測 非接触温度測定					
監 視			統合	集中化		
制 御		高温用大口径レンジ調 節弁 最適化全自動制御		ソフト開発保守効率化		省人化 無人化 ロボット
運 転					マテリアルハンド リング自動化	（マ テリ アル ハン ド リン グ、 梱包 ・ 検 査 ・ 等）
点 検 保 守	メンテフリー			設備診断 } 自動化 劣化 デジタル計装改造の工 数，方法，記録の簡易化		
そ の 他				デジタル計装エンジニ アリングの標準化		フィールドと中央制御室 間計装簡素化

表 7. 1. 3 将来（20年後）の社会的要請 — 機能 — 技術方式連関表（鉄鋼プラント）

機 能		診断 3	遠隔自動診断 2	操作性 2	自動起動停止 1	品質管理 1	運転集中化 1
		音響，赤外線センサなどによる設備診断，プロセス診断機能	マテリアルハンドリングの自動化（製品輸送梱包の自動化）ロボットによる設備修復	M・Mシステムの高度化，集中統合化，会話型運転（キー操作から音声オペレーション）	高炉の自動起動停止	高温鋼品管徹底板の内部欠陥発見	一括中央制御（CCR）
安 全 性 1	一酸化炭素 作業者の安全一般	診 断	ロボ ット 自動 運 転	音 声 対 話 表 示	自 動 運 転	品質管理計測 材料 制御方式	自動運転 表示 監視システム
高 品 質 製 品 4	製品の多様化 高品質化要請 ブーメラン現象 高度制御技術要						
省エネルギー （省資源） 1	設備の省エネルギー技術の 進歩						
省力化 （機械化 と人間 性）	人間性 1 CCR，MMIの設計に人間性導入						
	人材確保 3 高齢，高学歴化，意識構造 の変化，現場からの開放， 自動化メカトロニクス導入の要						
ソフトウェア 技 術 1	ソフトウェアの膨大化 担当人材問題 （人材確保，管理，処理）						

表 7. 1. 4 機能, 方式, 技術 (鉄鋼プラント)

		80	90	2,000
監視システム方式	大流量計測器		◎	
	非接触パターン認識 (高炉断面)	●	○	
	高炉内流量計 (高炉内ガス流)		◎	
	高炉内径測定		○	
	状態推定技術 (炉内部状況推定)		◎	
	遠距離大量信号伝送		○	
	集中監視, 管理		○	
	オンライン成分精度管理技術		○	
	集中化 (点検保守の集中化)		○	
診 断	設備状況監視 (異常の自動診断)		○	
	設備, プロセス診断		○	
	完全二重化方式 (自己診断による保守)		○	
自動運転	全自動運転			◎
	運転室の集中化			○
	高インテリジェンスマシン (マイコン内蔵)		○	
ロボット	監視ロボット	●	○	
	修理の機械化 (多機能ロボット)			○
	自動搬送, 自動梱包, 結束		○	
音声対話	音声対話システム (音声指令)		○	
表 示	ディスプレイの大型化, 高知能, 高密度化		◎	
制御方式	入出力デジタル信号制御		○	
	高速デジタル調節弁		○	
	分散制御 (耐環境コントローラによるローカル制御)			○
	学習制御			○
	多変数制御理論実用化			○
品質管理計測	面計測 (二次元平面諸測定)	●	◎	
	厚み計		○	
	速度 (非接触) 測定		○	
	非接触温度計		○	
	on-line 高速内質計測 (成分, 硬度, 表面のあらさ)		○	
	スラブ内部傷検出		○	
材 料	選択性イオン電極	●		○
点検自動化	自動較正方式	●	○	

⑧ 80年線上 { 無印のもの: 現在の延長線上
 ● 印: 主として今後の問題

った内容である。

機能についてみると特に「製品の品質管理」が表面に現われていることが鉄鋼分野の特徴といえる。

技術・方式

技術・方式についてみると「製品の品質管理計測」という形で表面に現われているのが特徴的であるが、その他は原子力の場合と同様の技術・方式が回答されている。

実現時期が2000年とした技術・方式は全自動運転、多機能ロボット、学習制御、多変数制御等であり、これらの技術・方式は現在の延長線上にあると考えることができる。大半の技術・方式が'90ごろには実用化されるもので、しかも大部分が現在の延長線上にあるといってよい。延長線にないと思われる主な技術・方式として次のようなものが挙げられる。

非接触パタン認識（高炉断面）

面計測（圧延工程で流れている鋼板の表面状態、あらさ、温度等の測定）

7.2 航空管制における計装制御

(5) (23)

(1) 航空管制の概要

航空交通管制（ATC）はターミナル管制と航空路（エンルート）管制から成っている。ターミナル管制は空港周辺の指定された進入管制空域及び飛行場に係る管制圏の航空機並びに滑走路、誘導路上にある航空機を対象とするもので、空港の管制塔及び計器飛行管制室が担当している。一方、航空路管制は主として航空路（帯状管制区）、を飛行する航空機を対象としており、航空路管制センタ（ACC）が担当している。航空路管制センタは東京、札幌、福岡、那覇に設置されている。航空機はこれらの管制圏や管制区の管制指示と承認された飛行計画に従って飛行し、予め定められた地点の直上を通過するとき管制官に対して位置通報を行う。図7.2.1に航空機が、飛行計画に従って出発空港を離陸してから目的空港に到着するまでの全行程中に受ける管制の概要を示す。

航空交通管制システムはすでに第3章で述べたように、マニュアル管制からレーダーの導入、計算機の導入と変遷して現在に至っているが、管制の近代化の目的は交通量の増大と航空機の高速度に伴って増大する管制官の負担を軽減し、判断能力を増大させることである。

航空路管制情報処理システムは飛行計画情報処理システム（FDP）とレーダー情報処理システム（RDP）から構成されている。FDPは各空港から出される飛行計画を処理するもので、管制対象機の管制状況をチェックするためのシステムであり、RDPは計算機によりレーダー目標を解読し、航空機の位置、飛行方向、航空機の識別記号、飛行高度及び速度等を明らかにし、追尾するためのシステムである。これらの飛行計画による飛行情報とレーダーによる情報を組合せることにより管制が行われる。

本節では以下航空路管制センターが担当している航空路管制情報処理システムについて述べる。航空路管制情報処理システムを図7.2.2に示す。FDPはすでに述べたようにテレタイプ通信網を通じて入力される飛行計画を処理するシステムであるが、その仕組みと情報の流れを図7.2.3に示す。

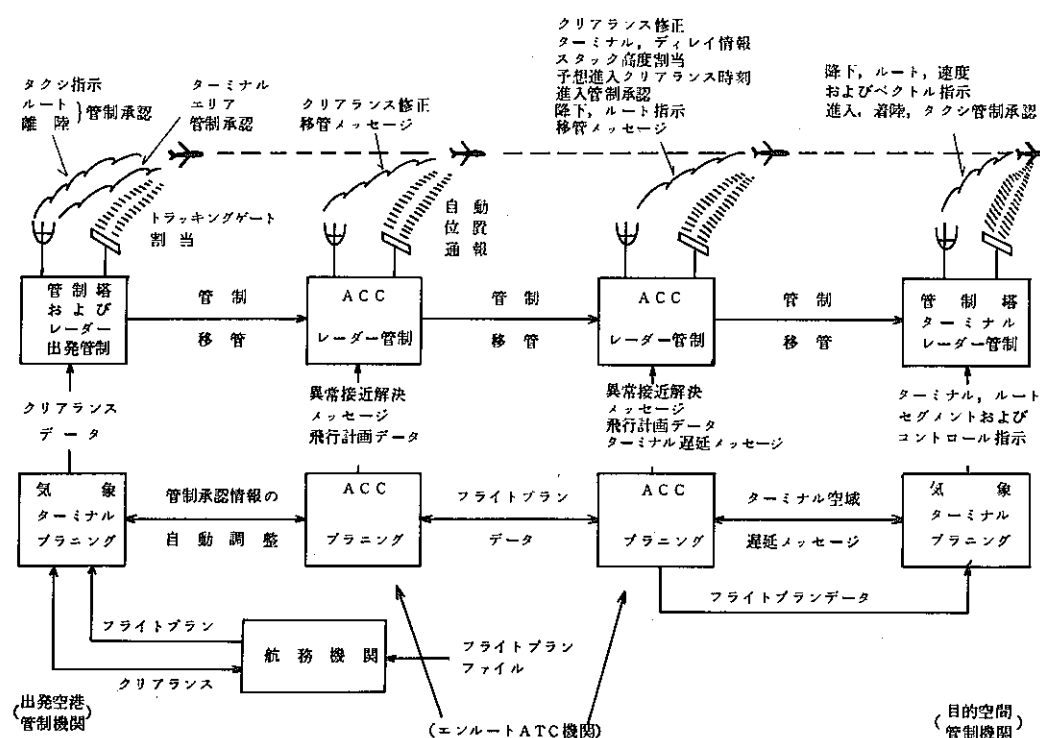


図7.2.1 ATCシステムにおける航空交通取扱い概略

航空路監視レーダー

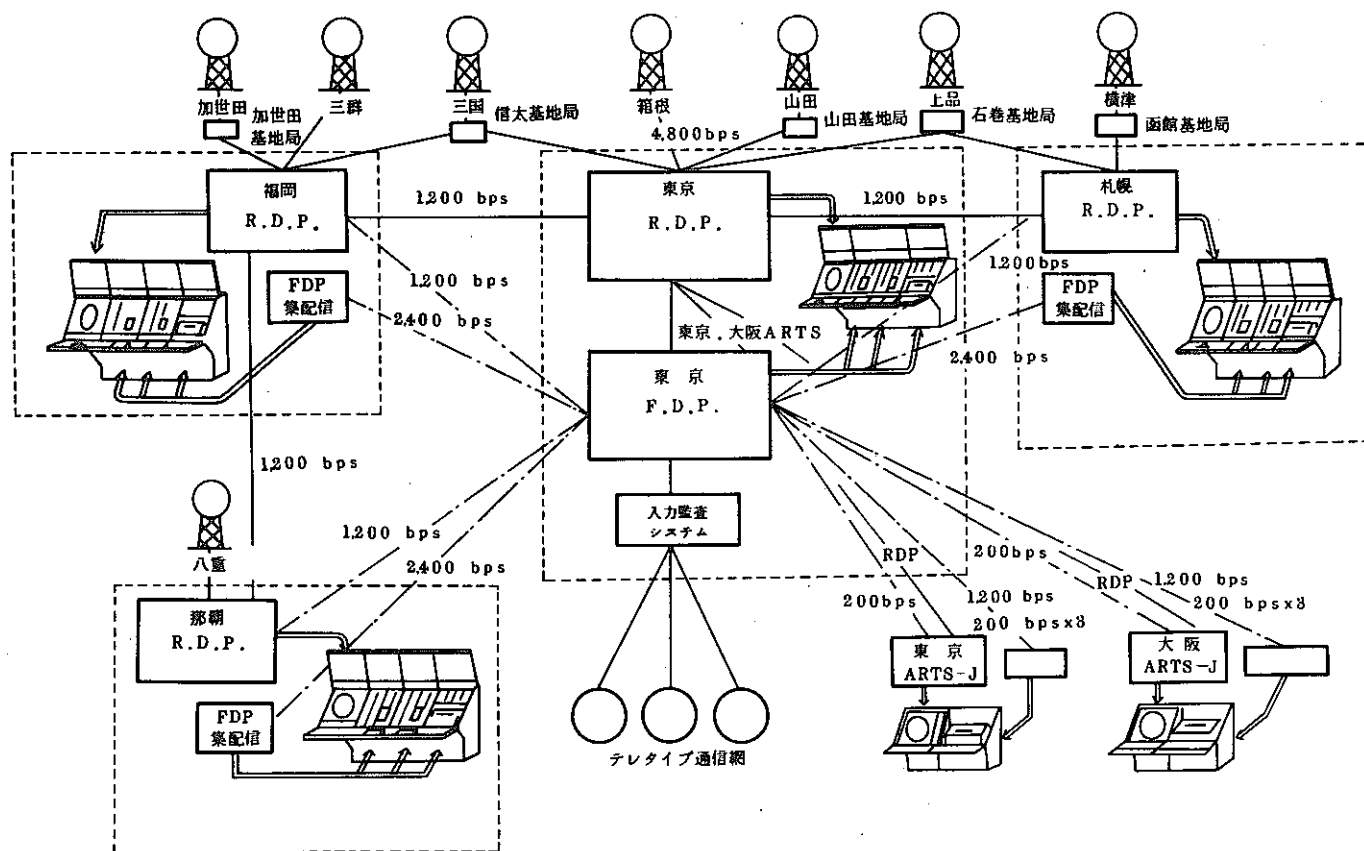


図 7. 2. 2 航空路管制情報処理システム (昭和 55 年現在)

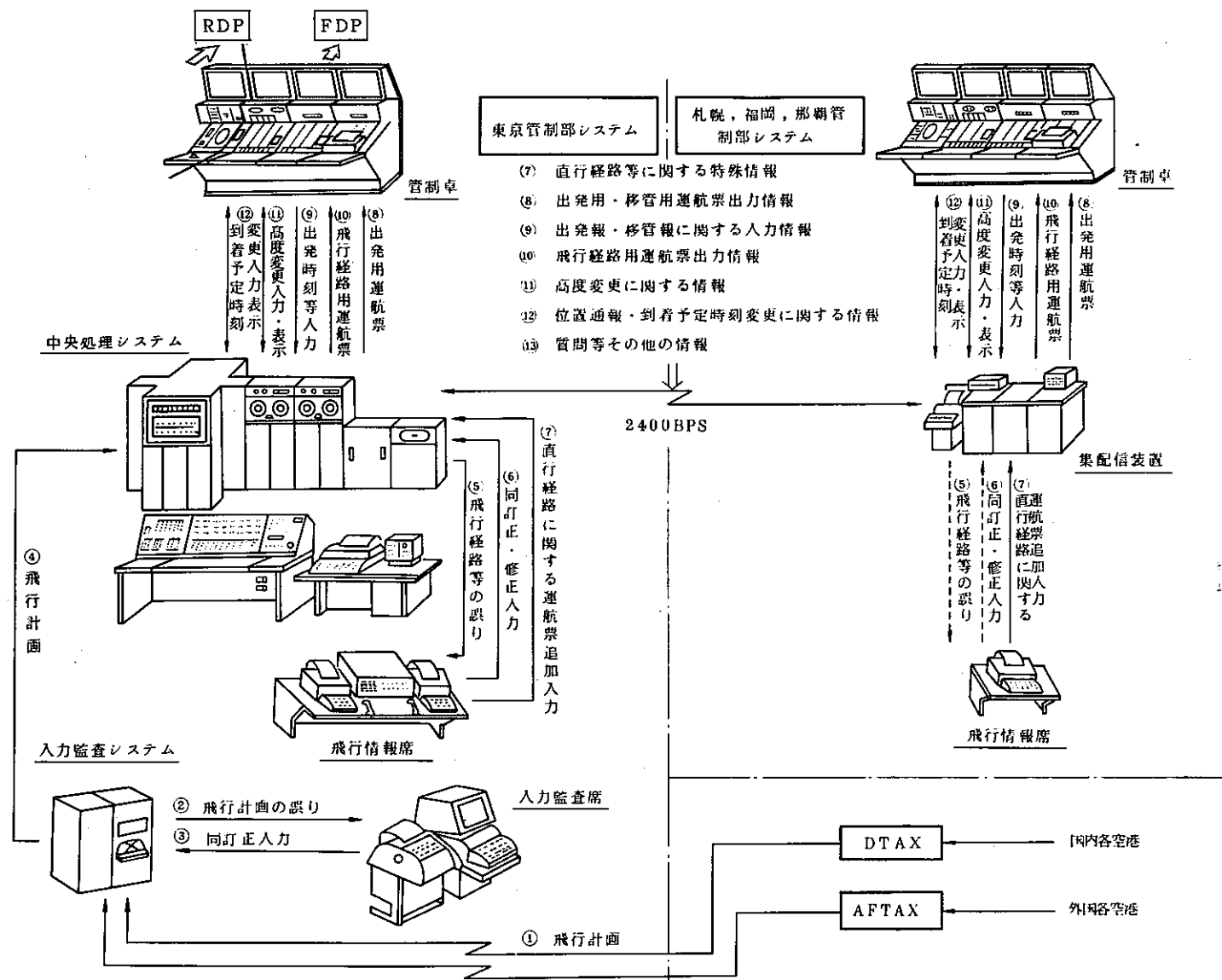


図 7. 2. 3 FDP の仕組みと情報の流れ

FDPは図7.2.2及び図7.2.3にみられるように東京センタにある中央処理システム、他の3センタにある集配信装置及び入力装置を備えた管制卓から成る中央集中型システムである。管制卓は4卓から成る。管制卓の最左端卓は後で述べるRDP用であるが、残りの3卓はFDP用である。中央処理システムは東京以外の航空路管制センタの管制卓と集配信装置を介して結合されている。

RDPは図7.2.2に示した8つ（昭和55年現在）の航空監視レーダーによる自動追尾、パイロットとの交信、飛行計画情報とレーダー情報の照合等の機能をもっており、追尾制御装置、中央処理装置、表示制御装置から成る。RDPの構成と情報の流れを図7.2.4に示す。また管制卓の拡大図を図7.2.5に示す。すでに述べたように最左端卓がRDP用管制卓であるが、RDP用管制卓には表示装置PVD（Plan View Display）が設置されており、半径200マイルの空域像が表示されるとともに機名、高度、飛行方向ベクトルが表示される。PVDの表示モードは図7.2.6に示したように3種類ある。TVモードはレーダーのラジアルスキャンの画像をラスタスキャンに変換して表示したもの、フルデジタルモードは機名、高度、飛行方向ベクトルをすべて計算機による英数字及び記号により表示したもの、TVミックスモードはTVモードの上にデジタルモードの一部（機名と高度）をスーパーインポーズして表示したものである。これら3種類の表示は切替によって変えることができるようになって

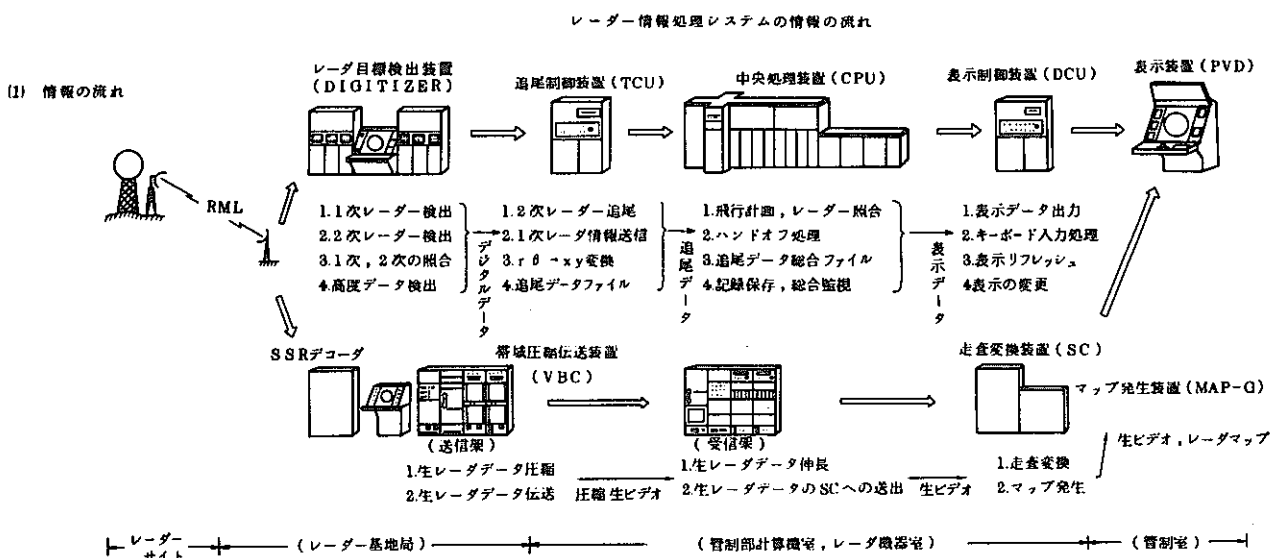


図 7.2.4

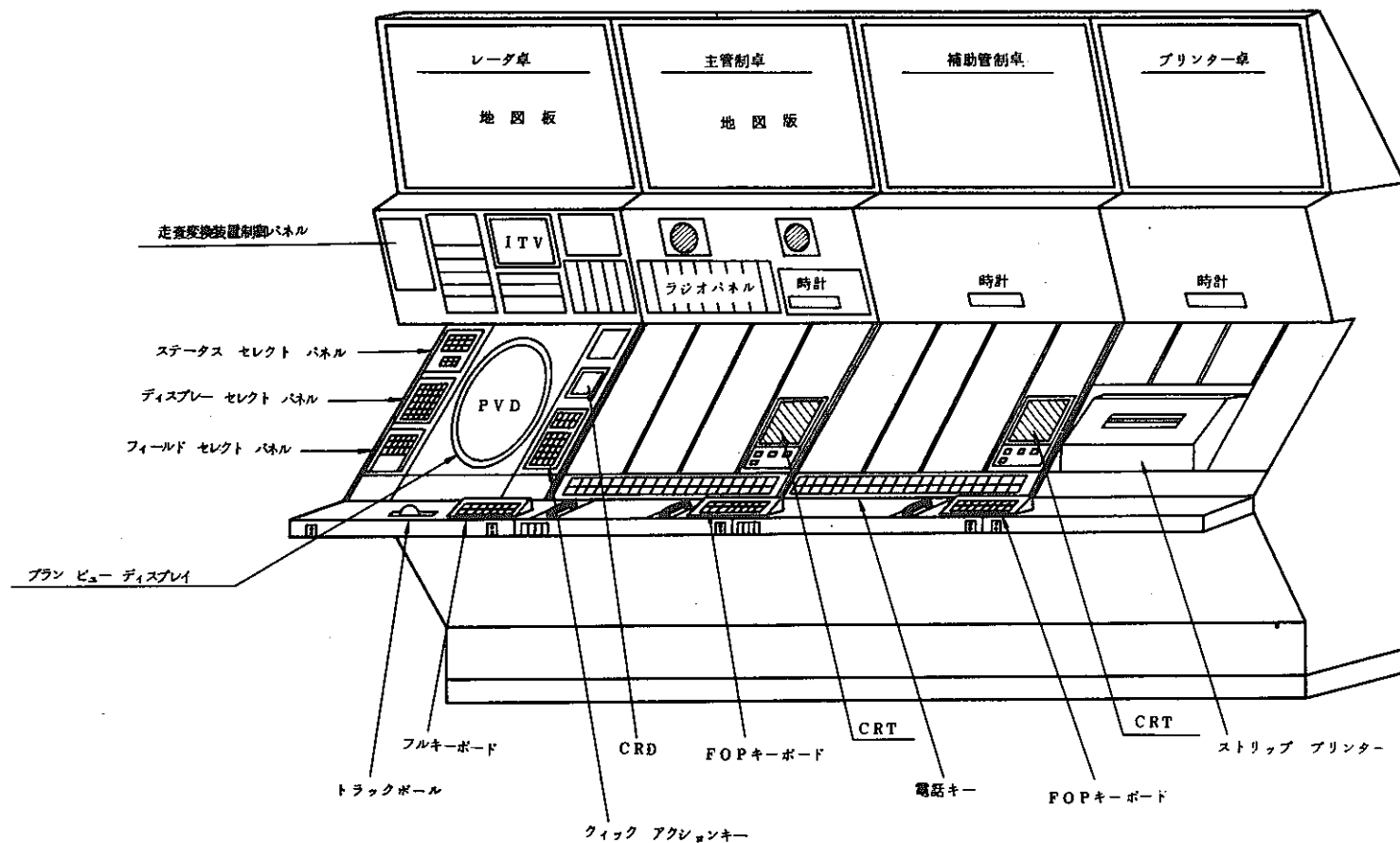


図 7. 2. 5 航空路管制用管制卓

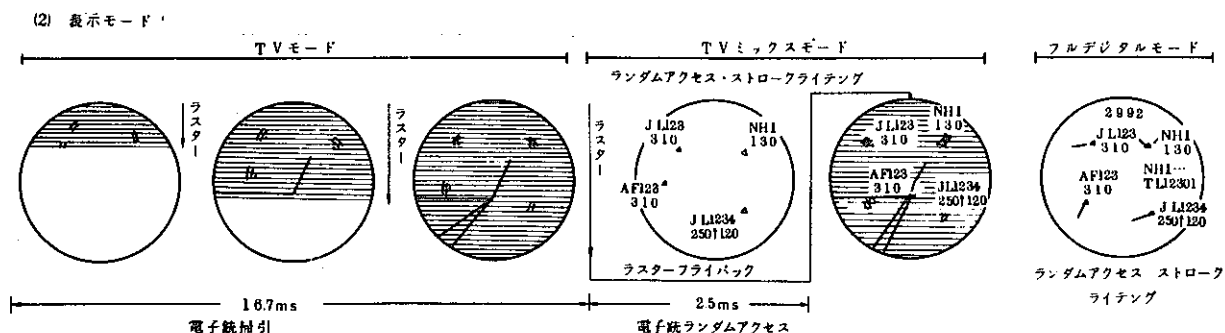


図 7. 2. 6

おり、フェイル・ソフト化されている。

RDP用管制卓から右に向って主管制卓，補助管制卓，プリンター卓とFDP用の管制卓が並んでいるが，中央処理装置で処理され，機別に通過区域ごとの時刻が明記された飛行計画票がプリンター卓に打ち出されると補助管制官がこれを主管制卓及び補助管制卓に並べて管制状況のチェックに供され，管制の承認や指示が与えられる。レーダー卓では担当管制区全域にわたってPVDによって管制が行われ，航空機に対して無線による指示が与えられる。またPVD上の航空機をトラックボールにより指定し，必要情報をキーにより入力することができる。主管制卓及び補助管制卓では，高度や通過時刻の変更があった場合にその変更をFDPに入力し，通過管制席のCRTにその変更を知らせる。通過管制席ではその変更をCRTから飛行計画票に転記する。FDPはまたRDPに飛行計画の変更を送信する。近い将来さらに管制の入力の能率化をはかるため，米国ではトラックボールによる入力はタッチ入力に，主及び補助管制卓上に並べられる飛行計画案は電子式表示に変えられる研究が行われている。

(2) 航空管制における計装制御の現状と将来動向

航空管制における計装制御の現状と将来動向を，航空管制分野の専門家を対象に質問票及びヒヤリングにより調査した。質問票は原子力，鉄鋼の場合と同一であり，調査対象者の選定，ヒヤリングと質問票の回収等は第5章で述べた調査方法と全く同じ方法によった。調査対象者は3名である。

(a) 調査結果

(i) 現在の問題点

原子力，鉄鋼の場合と同様に，PQ1の表中にPQ2の回答をキーワードで記入したものを表7.2.1に示す。調査対象者が3名で回答の分布が偏っていることが考えられるが，得られた回答の範囲内では次にあげる技術に問題意識があるこ

表 7. 2. 1 現在の問題点（航空管制）

技術領域	計測技術	制御技術	マンマシンインタフェース技術	コンピュータ応用技術	自動遠隔化技術	その他
計測	デジタルセンサ		パイロット負担軽減 表示統合化			
監視	診断機能付センサ	診断機能付アクチュエータ	音声利用 パターン認識 表示統合化 警報の出し方	自己診断 診断		
制御	デジタルセンサ	交通流制御最適化 デジタルアクチュエータ 最適自動制御	音声利用 パターン認識 パイロット負担軽減 警報の出し方	階層化, 分散化 ソフトのモジュール化		
運転	診断機能付センサ	診断機能付アクチュエータ	パイロット負担軽減 表示統合化 警報の出し方	ソフトのモジュール化 診断		
点検保守	診断機能付センサ	診断機能付アクチュエータ		診断 ソフトのモジュール化 階層化（ソフト）	診断	
その他						

とがうかがえる。

計測：デジタルセンサ等

制御：交通流制御最適化，最適自動制御等

MMI：表示統合化，音声利用，パターン認識等

コンピュータ応用：診断，階層化，分散化，ソフトのモジュール化等

遠隔自動化：診断等

(ロ) 将来動向

原子力，鉄鋼の場合と同様に Q 1～Q 8 の回答をまとめた結果を表 7. 2. 2 及び表 7. 2. 3 に示す。表 7. 2. 2 は社会的要請 — 機能 — 技術方式の連関を示したものであり，技術・方式は機能ごとに列記してあるが，その詳細は表 7. 2. 3 にまと

表 7. 2. 2 将来（20年後）の社会的要請 — 機能 — 技術方式連関表（航空管制）

機 能 社会的要請		診断 3		自動起動停止 2		空域管理システム 1		コスト低減 1		耐ノイズ性 1	
		制御機構におけるセンサ・アクチュエータの自己診断機能 システムの自己診断機能 自己修復機能 システムのフェイル・ソフト化		安全着陸 自己起動停止		コンピュータネットワーク 利用による空域管理と有効 利用システム 航空管制，航法 交通流制御のトータルシス テム，新レーダセンサ		CAD/CAM 開発期間短縮 省力化		機器の耐EMI性	
安 全 性 4	適正な交通状況，空域の監視とニアミスの防止	自 己 診 断		制 御 非 接 触 計 測		M M I 非 接 触 計 測 制 御 交 通 流 制 御 通 信				光 応 用	
経 済 性 1	秩序正しい交通流の確保 飛行時間（飛行経路）の短縮										
省エネルギー 3	空中待機時間の減少 スムーズな上昇，下降方式										
機械化と人間性 2	人間の判断能力を向上させるためComputer Aided Decision Making による管制の思考判断，能力の向上										
環境保全 1	低騒音 低排ガス										

表 7. 2. 3 機能，方式，技術（航空管制）

			80	90	2,000
M・M・I		情報の統合表示（機内）		○—○	
		警報の統合（"）		○—○	
		予測情報表示（"）		○—○	
		音声入力システム	●	◎	
		タッチ入力	●	○	
制 御	機 側	適応制御技術			○—○
	管制側	Advanced Computer Software			○—○
		航空交通流監視		○—○	
		緊急機の監視		○	
		トータルシステムの監視		○—○	
		インライン（自動飛行制御システムの自己監視）		○—○	
		交通量の予測		○—○	
		自動テスト機器の活用技術	○—○		
交通量制御		航空路を含む空域交通制御		○—○	
		空港の制御		○—○	
		管制システムの負荷による交通制御		○—○	
		自動飛行管理システム	●	○—○	
		交通のバタン予測と負荷計測	●	○	
		交通かく乱要素の計測予測	●	○	
自己診断		自己故障診断		○—	
		自己診断，修復，起動停止		○—	
光応用		光半導体技術		○—	
		光データベース		○—	
		光ファイバ		○—	
通 信		データリンク技術（データ通信）	●	○—○	
非接触計測		新レーダセンサ	●	○—	
		レーザ技術（気象観測）	●	○—○	
		赤外線検知器	●	○—○	
		"	●	○—○	

註 85年以後の計画（日本）については未確定

80年線上 { 無印のもの：現在の延長線上
●印：主として今後の問題

めた。表 7. 2. 3 には各技術・方式の実現時期も示してある。

社会的要請と機能

社会的要請についてみると、「安全性」の内容は信頼性、適正な空域監視等原子力と同様公共的安全性に関するもので、この点鉄鋼の場合とは異っている。また、機能については、「空域管理システム」が航空管制分野における特徴である。その内容は、コンピュータネットワークによる空域全体の管理と空域の有効利用システムで、航空管制、航法、交通流制御等を含めたトータルシステムである。

技術・方式

技術・方式についてみると、交通流に関するものが特徴的であるが、その他は原子力の場合と同様の回答を得ている。

実現時期が2000年にわたっている主な技術・方式は適応制御、トータルシステムの監視、データリンク技術、赤外線検知器等であり、大部分の技術・方式は90年ごろには実用化されるとしている。しかも現在の延長線上にある技術・方式が多い。延長線上にない技術・方式の主なものは自動飛行管理システム、交通のパタン予測、交通かく乱要素の計測・予測等である。

8. 原子力プラントと鉄鋼及び航空管制の比較

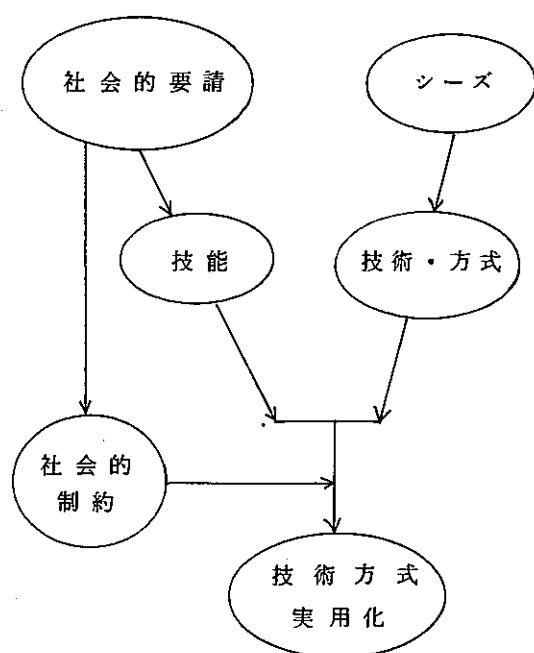


図 8.1 技術・方式実用化の要因

ある技術・方式が実用化されるまでには図 8.1 に示したようないくつかの要因がからみ合っていると考えられる。即ち、その時代の社会情勢が背景となって、それから種々の社会的要請が生ずる。この社会的要請を実現するためには従来からある機能の改善とか全く新しい機能をもったハードウェア／ソフトウェアが必要となり、これが技術・方式の研究開発を推進する原動力を形成していることはいうまでもないことである。一方、このようにして研究開発された技術・方式が実用化されるためには、社会的要請から生じた社会的制約条件を満たすことが必要であり、社会的制約条件によ

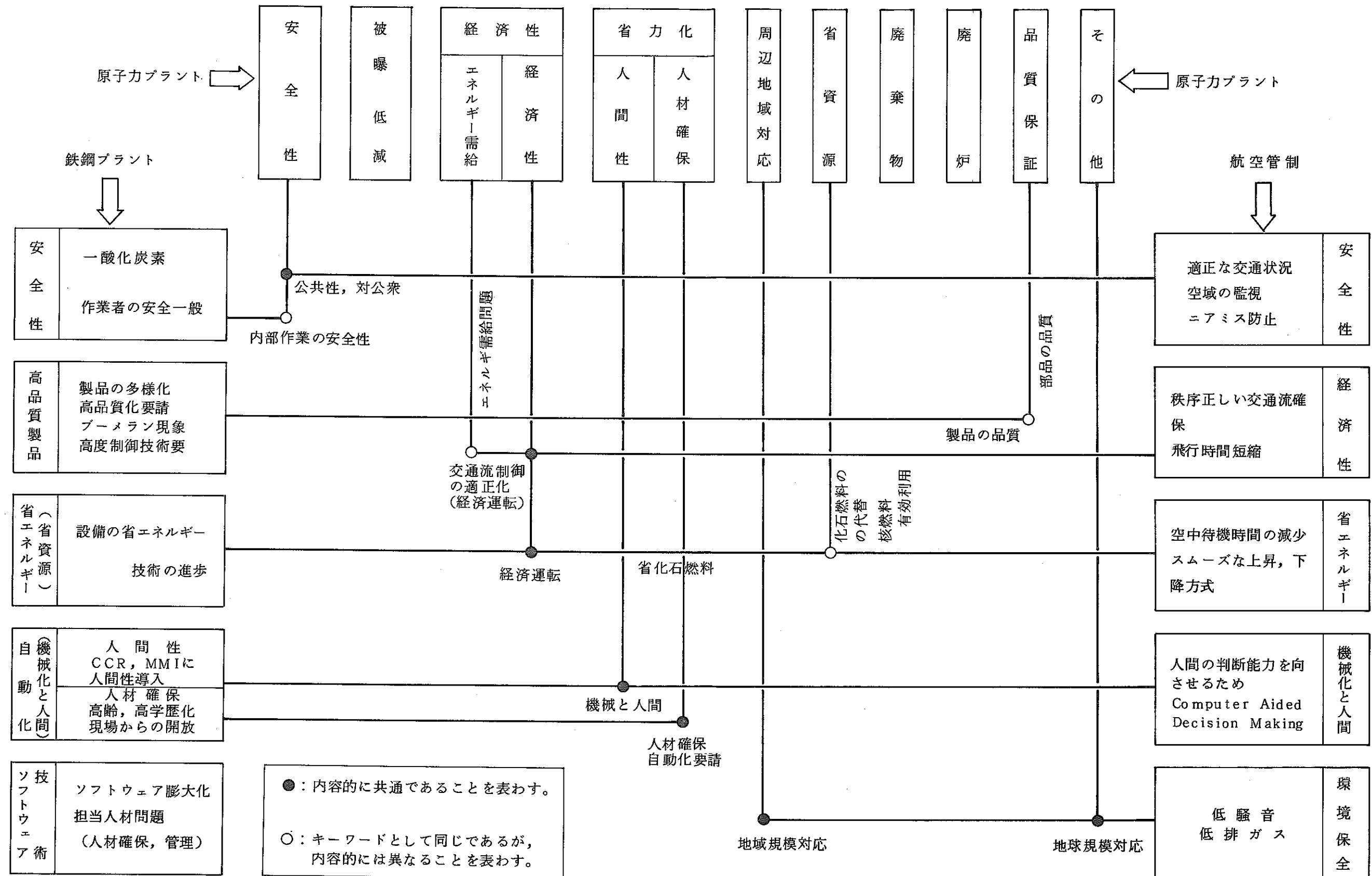
って同じ技術・方式の実用化に差が生じてくる。このような事情を考慮しながら本章で原子力プラントと鉄鋼及び航空管制の相互比較について述べる。

8.1 社会的要請

原子力と鉄鋼及び航空管制における社会的要請をまとめ、相互の関連をみた図を図 8.1.1 に示す。図 8.1.1 において●は内容的に共通であることを表わし、○はキーワードは同じであるが、内容的には異なることを表わしている。以下主な社会的要請について比較する。

- 安全 性：原子力の場合、鉄鋼や航空と決定的に異なるのは放射能の問題があるということで、このために安全性に対する要請の内容が異ってくる。図 8.1.1 にみられるように、鉄鋼では一酸化炭素中毒と作業者の安全が、航空管制の場合はニアミスの防止が表面に出ているのに対して原子力の場合は事故対策、支援システムといった内容になっている。鉄鋼の場合は公共性とか対公衆の問題ということよりプラント内の作業者の安全に対する意識が強く出ている。公共性・対公衆の問題という点では原子力、航空管制ともに共通点をもっているが、その波及規模の

図 8.1.1 原子力プラント・鉄鋼プラント・航空管制の関連図（社会的要請）



点では原子力のほうがはるかに大きいという意識があろう。

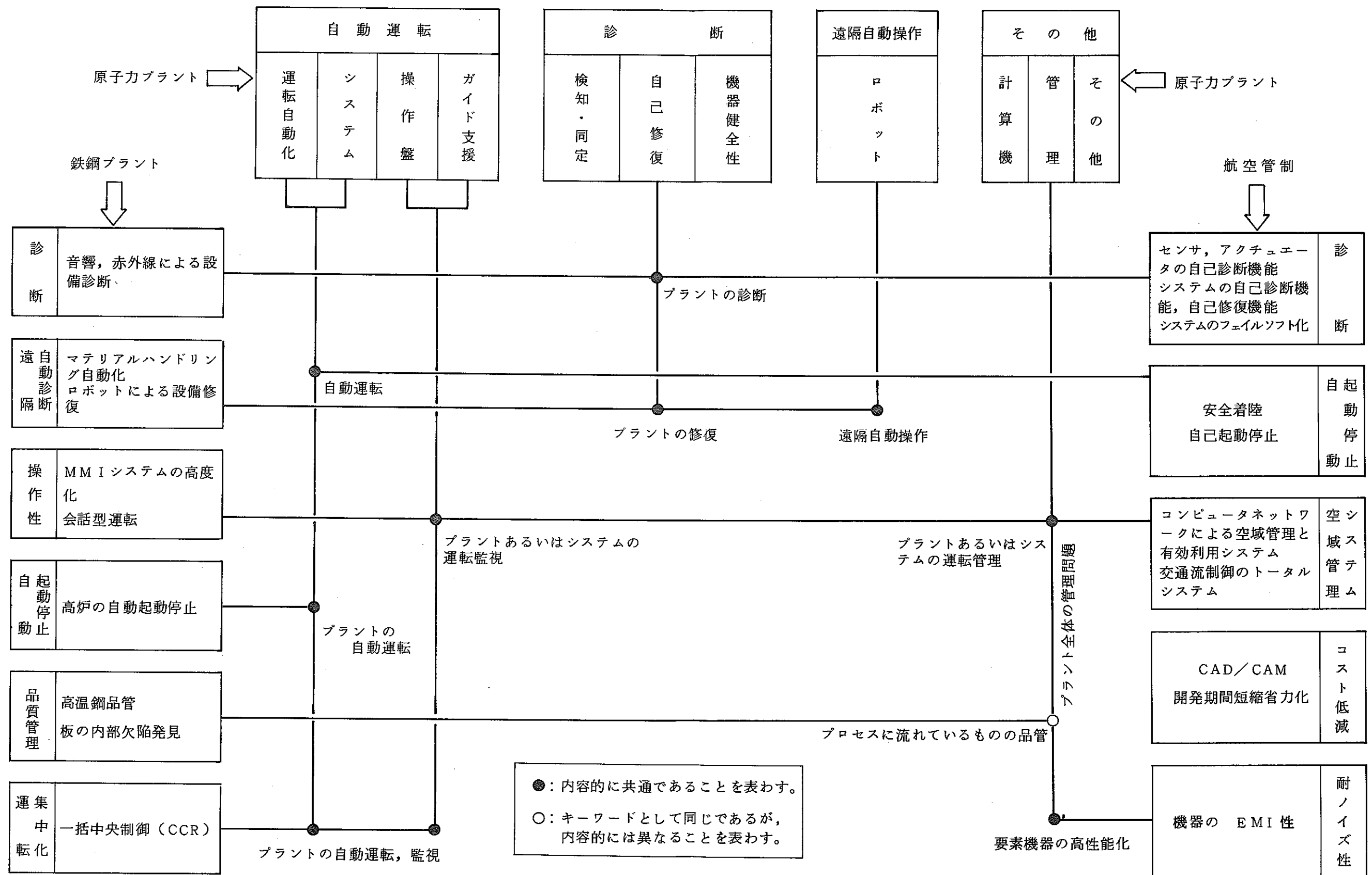
- 経 済 性：原子力，鉄鋼，航空ともそれぞれの分野でそれぞれの方法で経済性を向上させる要請が出ている。
- 省資源・省エネルギー：この要請も上記と同様である。
- 省 力 化：プラントが大規模化し，また，航空交通量が増大するにつれて情報量が多くなり，人間の負担が重くなってくると自動化への要請が高まる一方機械と人間の分担・コミュニケーションの問題が出てくる。また，原子力と鉄鋼で人間確保の問題が表面に出ているが，運転員の負担軽減と人材確保の両面から省力化に対する要請は強い。
- 製品の品質化：原子力の場合は部品（ハードウェア／ソフトウェア）の品質化に対する要請という形で出ているが，鉄鋼のほうでは部品ではなく製品そのものの品質化という形で出ている。これらは根源的には同じと考えられるが，鉄鋼の分野ではブーメラン現象（発展途上国の追い上げ）に対処しなければならず，特徴的な要請として出たものであろう。
- 環境保全：この要請はどの分野にも存在するが，特に原子力と航空の分野で表面に出ていることがわかる。

8.2 機能

原子力と鉄鋼及び航空管制における，計装制御にインパクトを与える機能として得た回答をまとめて相互の関連をみた図を図 8.2.1 に示す。図 8.2.1 において●は内容的に共通する機能であることを示し，○はキーワードは同じでも内容的に異なる機能であることを示す。以下主要な機能について比較する。

- 自 動 運 転：原子力と航空の場合は安全性，省力化，経済性等の社会的要請から自動運転が要請されているが，鉄鋼の場合は主に省力化（人材確保）の立場から要請されていると考えられる。
- 診断と修復：原子力の場合は放射線の被曝低減という強い要請と稼働率向上，省力化等からこの機能が要請されているが，鉄鋼と航空管制の場合は被曝の問題がないという点が大きな相違である。
- 遠隔自動化：原子力の場合は被曝低減という特有の要請と悪環境下の両方からこの機能が出ているが，鉄鋼の場合はマテリアル・ハンドリングと悪

図 8.2.1 原子力プラント・鉄鋼プラント・航空管制の関連図（機能）



環境下の設備修復にこの機能が必要となっている。航空管制の分野では特に表面に現われていない。

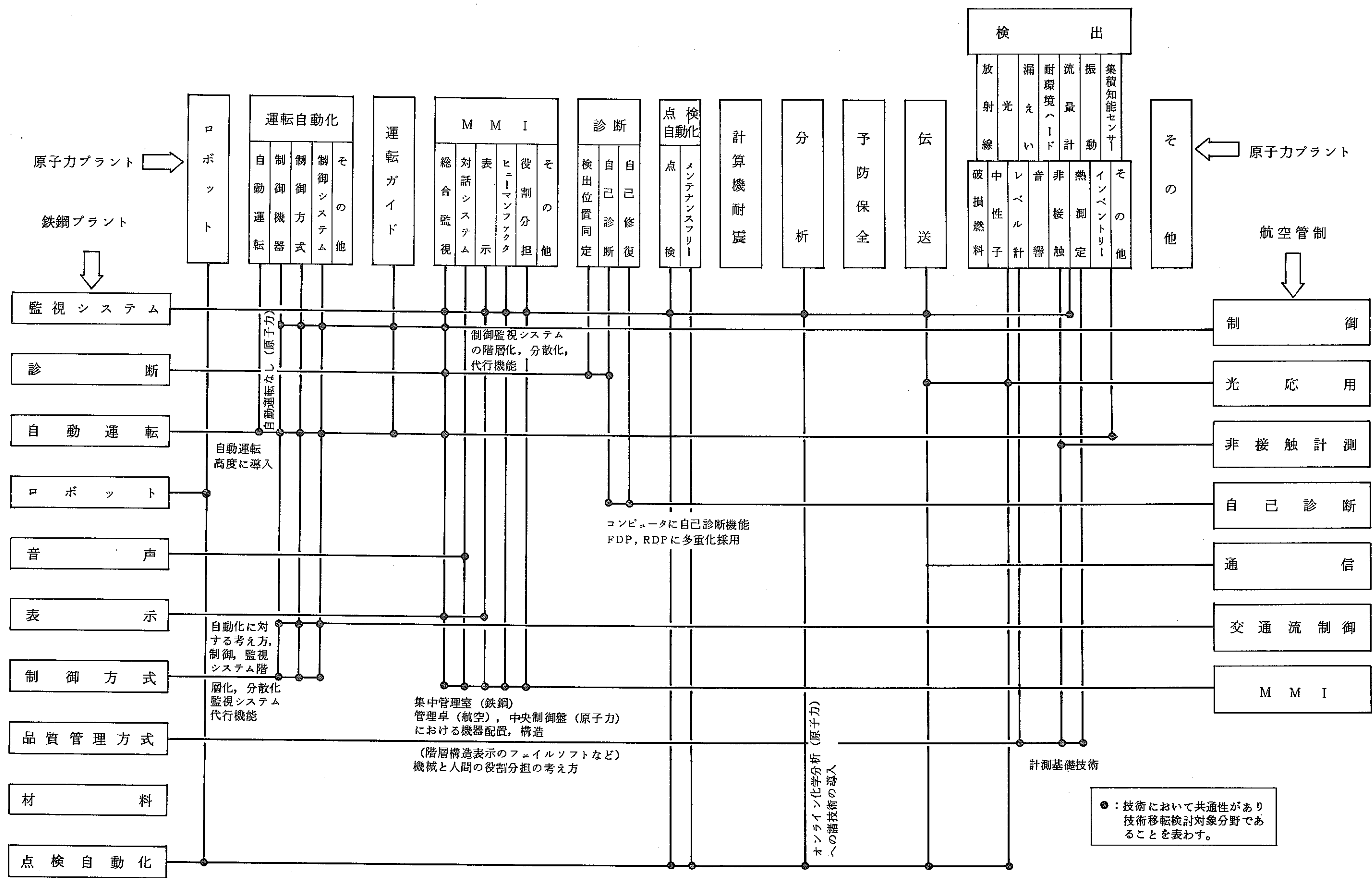
- 製品の品質管理：鉄鋼の分野で表面に現われているのが特徴である。
- 一括集中管理：原子力，鉄鋼，航空管制の3分野ともに挙げている機能で共通の認識に基づくものである。
- 操作性：原子力と鉄鋼で操作機能が挙げられている。いずれもMMIの高度化による改善を指向したものである。航空管制からは特に挙げられていないが，前述の社会的要請の中には現われている。

8.3 技術・方式

原子力，鉄鋼，航空管制における20年後の技術・方式をまとめ，相互の関連をみた図を図8.3.1に示す。図8.3.1において●は各分野に共通性のある技術・方式で，技術移転の検討対象と考えることができる。鉄鋼分野では自動運転が高度に進んでいるのに対して原子力の分野ではまだ実用化していない点が最大の特徴である。以下主な技術・方式について比較する。

- 運転自動化：第3章，計装制御の動向において述べたように，鉄鋼の分野では運転自動化のフェーズはかなり進んでおり，自動こん包，自動搬送及び全工程の自動管理が残された課題である。また，火力発電における自動化は完全自動に近いフェーズにあることも既に述べた。航空管制についても第8章で述べたように航空機の自動追尾・監視の自動化は高度に進んだフェーズにあるといえる。対象はそれぞれ異なるにせよ，自動化のフェーズが高度に進んでいる分野があるということはそれだけの技術があるということであり，社会的制約条件を満たしているということである。原子力の場合は①本報告書の冒頭及び8.1節で述べたように，対公衆の問題があり，安全性に対する社会的要請が極めて強いこと②鉄鋼，航空管制に比べてプラント・システムが複雑であること③6.3節で述べたように，技術的には耐環境機器の開発をはじめとして，高信頼化機器・システムの開発並びに計算機のハードウェア/ソフトウェアの高信頼化が必要であること等の面から計算機による制御はまだ実現していないのが現状で，社会的制約条件をまだ満たしていない段階であるといえることができる

図 8.3.1 原子力プラント・鉄鋼プラント・航空管制の関連図（技術・方式）



であろうが、6.3節で述べたように(b)/(a)が極めて大きいことから、
みても自動化指向が強いことがうかがえる。

- M M I : 原子力, 鉄鋼, 航空管制 3 分野とも M M I については同じ認識をもっているといえることができる。特に原子力ではヒューマンファクタ, 航空管制では緊急時の監視といったキーワードにみられるように, 対公衆の安全問題をベースとして対話システム, 表示システム, 総合監視システム等の共通項目が挙げられている。
- 診断・修復・点検自動化: 原子力, 鉄鋼, 航空管制 3 分野とも診断・修復・点検自動化については同様の認識をもっていることがわかる。
- 遠隔自動化: 原子力, 鉄鋼ともにロボット技術が挙げられている。鉄鋼の場合悪環境下で監視・修理等を行なうロボット技術が要請されており, 原子力との共通点を見出すことができる。
- 品質管理計測: 鉄鋼の分野で特に表面に現われたものであるが, 技術的には原子力の検出・計測技術と同様の内容である。非接触計測, 成分分析等共通するものがある一方, 鉄鋼に特徴的なものとして面計測がある。
- 一括集中管理: 原子力, 鉄鋼, 航空管制ともに総合的な管理システムを指向している。

9. 結 言

原子力プラントの計装制御の将来動向について調査した。

計装制御技術の全体像をふまえて将来を指向するために、原子力プラントの将来動向のみならず、過去の変遷と、一般産業における計装制御の変遷及び将来動向についても併せて調査した。過去の変遷については文献を主体とし、将来動向については文献並びに質問票とヒヤリングによる調査を行なった。質問票及びヒヤリングによる調査は原子力、鉄鋼、航空管制の分野を対象とした。

得られた調査結果を要約すると以下のようなになる。

- (1) 鉄鋼、火力発電、航空管制とも計算機による自動制御の実績があり、現在進んだフェーズにある。火力等は完全自動化に近いフェーズに到達している。原子力の場合、計算機による自動制御はまだ実現していないが、自動化指向は強い。
- (2) 原子力の分野で現在問題意識が特に高い技術は、運転に係る制御技術（自動化、最適化、高信頼性・耐環境性機器・システム、アクチュエータ改良等）、MMI技術（盤改良、情報集約表示、CRT、ヒューマンエラー低減、ガイド、音声利用等）、コンピュータ応用技術（診断、総合監視、支援システム、修復等）である。
- (3) 原子力の場合、20年後の社会的要請の主要なものは、安全性^{*}、被曝低減、エネルギー需給への対応、経済性^{*}、人間性^{*}（人間と機械の役割分担）、人材確保である。^{*}のついた要請は鉄鋼、航空管制の分野でも出ている。
- (4) 計装制御にインパクトを与える主要な機能は、原子力では運転自動化、MMI、運転ガイド・支援、診断、自己修復、機器健全性判断、遠隔自動操作等である。
- (5) 計装制御にインパクトを与える主要な技術方式は、ロボット、自動運転、MMI、診断、点検自動化、自己修復、分析、伝送等に関するものである。MMI、診断、点検自動化等については鉄鋼、航空管制の分野でも同様の認識をしている。
- (6) 今回の調査結果を総合すると、20年後の原子力プラントにおける計装制御は現在の延長線上にあり、社会的要請を満たすよう諸機能・技術・方式の高度化をはかる方向にあることがうかがえる。

10. 謝 辞

本調査を実施するに当り，御助言いただきました貴事業団高速増殖炉開発本部亀井満主任研究員，浅川直記氏及び同本部の方々並びに御協力いただきました電力会社，メーカー，国公立研究機関，大学の方々に心から御礼申し上げます。

11. 参考文献

- (1) 山崎 : これからのプロセスオートメーション技術, オートメーション 25 (12) 9 ('80)
- (2) 石井 : これからのマンマシンインターフェースのあり方, オートメーション 26 (1) 9 ('81)
- (3) 松井 : これからの計装設計の着眼点, 計装 23 (1) 15 ('81)
- (4) 大西 : 鉄鋼業にみる計装の変遷, 計装 17 (11) 8 ('74)
- (5) 岡本 : 航空機のレーダ管制システム, オートメーション 18 (1) 62 ('73)
- (6) 飯田他 : 火力発電所における計算機制御システム, 日立評論 58 (6) 13 ('76)
- (7) 寺島 : 電力にみる DDC の実際, オートメーション 15 (11) 47 ('70)
- (8) 種村 : 事業用火力発電における制御技術の動向, 計装 23 (11) 6 ('81)
- (9) 鈴木他 : 広野火力 1, 2 号変圧運転プラントの超自動化, 火力原子力発電 31 (10) 28 ('80)
- (10) 山田他 : 計測制御, 日本原子力学会誌 21 (1) 16 ('79)
- (11) 火力発電技術協会 : 原子炉計装制御, 火力原子力発電 29 (8) 87 ('78)
- (12) 若山 : 計装の高信頼化, 計測と制御 20 (11) 1016 ('81)
- (13) 西山 : マンマシンインターフェースの開発, 計測と制御 20 (11) 1036 ('81)
- (14) 佐藤他 : BWR 原子力発電所用新型中央監視制御システム, 火力原子力発電 32 (3) 49 ('81)
- (15) 矢内他 : 原子力発電所中央監視制御システム, 日立評論 62 (9) 31 ('80)
- (16) 富沢他 : BWR プラントの新型中央制御盤, 東芝レビュー 36 (11) 969 ('80)
- (17) 梅谷他 : 原子力におけるロボット技術, 計測と制御 20 (11) 1061 ('81)
- (18) 若林 : 運転支援用シミュレーション技術, 計測と制御 20 (11) 1042 ('81)
- (19) 野坂 : 製鉄工業における計算機制御, オートメーション 15 (5) 17 ('70)
- (20) 伊藤 : 鉄鋼業における情報処理の実際, オートメーション 16 (9) 58 ('71)
- (21) 情報処理学会編, 情報処理ハンドブック, 13 編, P514 (昭 56), オーム社
- (22) 坪井 : 私信 (日本鋼管)
- (23) 運輸省航空局 : 航空路管制情報処理システム概要 (昭 52. 3)
- (24) 中田 : 私信 (運輸省)

計装制御に関する調査 質 問 票

財団法人 未来工学研究所

この調査は、「原子力プラントにおける計装制御の将来動向」を把握するために、原子力の分野に加えて鉄鋼及び航空の各分野の専門家にご自身の経験に基づく卒直なご意見をお教えいただくものです。ご意見は上記3分野のうち、現在従事しておられる分野について、個人としてのお立場で述べていただければ結構です。イメージが描けるようできる限り具体的にお教え下さい。

後日調査メンバーが伺い、ご意見をお聞かせ願いたいと存じますが、その際にこの質問票を回収させていただきたいと存じますので、予めご記入いただきますようお願いいたします。

なお、ご参考用に資料を別添いたしました。

ご多用中恐縮ですが、なにとぞよろしくお願い申し上げます。

PQ1 現在従事されている分野^{*}の計装制御技術における現在の問題点を5つあげるとすればどこにある
 とお考えですか。該当するところに①～⑤印をつけて下さい。(領域はその範囲が必ずしも明確では
 なく、オーバーラップする部分もあると思いますが、適宜ご判断いただきます)

技術 技術 領域	計測技術	制 御 技 術		マンマシン インタフェース 技 術	コンピュータ応用技術		自動遠隔化 技 術	そ の 他
		制 御 機 器	制 御 方 式		ハードウェア	ソフトウェア		
例	デジタル センサ 物性型センサ 非接触計測 オンライン計測	アクチュエータ 制御用機器 伝送機器	最適化制御 全自動化	制御盤/室改善 CRT, 音声利 用 ボタン認識	階層化, 分散化 システム構成 耐震性 } 向上 信頼性 } マイコン利用	異常診断技術 自己診断技術 分散階層化・ システム技術	作業用 ロボット レスキュー ロボット ISI 機器	左記以外の もの
計 測								
監 視								
制 御								
運 転								
点検保守							例 ①	
そ の 他								

* 原子力，鉄鋼，航空の3分野のいずれかをさす。

PQ2 PQ1で①～⑤をつけたところについて，具体的に記述して下さい。

(例) ①被曝低減のための定検作業システム：自動遠隔作業機器の導入と技術の高度化

Q 1 いまから 20 年後を考えた場合，現在従事されている分野^{*}における計装制御システムに多大なインパクトを与える社会的要請は何だとお考えですか。省エネルギー，エネルギー需給構造の変化，地震対策，放射線被曝低減対策，原子炉事故対策，人間性尊重等々への対応が考えられますが，理由も併せてできるだけ多く（少なくとも 3 項目以上）挙げて下さい。

（例） 1. エネルギー需給構造の変化への対応：

昼間と夜間の電力使用量の格差が大きく，負荷追従がますます要請されよう。また，脱石油によるエネルギー源多様化から，電力系統最適化運用が要請されよう。

* 原子力，鉄鋼，航空のいずれかをさす。

Q 2 いまから 20 年後を考えた場合，現在従事されている分野^{*}において，計測，監視，制御等を包含したオペレーション体制，メンテナンス体制に大きいインパクトを与える機能としてどのようなものがあるとお考えですか。たとえば自己診断機能，自己修復機能，自動起動・停止機能，自動緊急停止機能といったような機能が考えられますが，簡単な説明を添えて，できるだけ多く（少なくとも 3 項目以上）挙げて下さい。

機 能	簡 単 な 説 明	実 現 時 間					
		'80	'85	'90	'95	2000	2000以降
(例) 1. メンテナンスのロボット化	人間の到達不能部位への接近とメンテナンスに必要なデータの集収に必要					○	

* 原子力，鉄鋼，航空のいずれかをさす。

Q 3 いまから20年後を考えた場合、現在従事されている分野の^{*}計装制御システムに多大なインパクトを与える基盤技術は何だとお考えですか。光応用技術、半導体集積技術等が考えられますが、例にならって、できるだけ多く（少なくとも3項目以上）挙げて下さい。

技 術	応 用 面	インパクト・効果	実 用 化 時 期
(例) 1. 光半導体技術	光応用計算機	計算処理の高速化	1980年後半

* 原子力，鉄鋼，航空のいずれかをさす。

Q 4 いまから 20 年後を考えた場合、現在従事されている分野^{*}の計装制御のうち、計測の領域で多大なインパクトを与える機能・方式・技術にはどんなものがあるとお考えですか。主な仕様、使用場所、実現時期等について簡単な説明を付して、できるだけ多く（少なくとも 3 項目以上）挙げて下さい。

機能・方式・技術	簡単な説明（主な仕様，使用場所等）	実 現 時 期		
		'80	'90	2000
(例) 1.耐環境中性子検出器	高温，高放射線に耐える検出器を炉内に設置して，出力分布測定精度を高める。		○	

* 原子力，鉄鋼，航空のいずれかをさす。

Q 5 いまから20年後を考えた場合、現在従事されている分野^{*}の計装制御のうち、監視の領域で多大なインパクトを与える機能・方式・技術にはどんなものがあるとお考えですか。主な仕様、使用場所、実現時期等について簡単な説明を付して、できるだけ多く（少なくとも3項目以上）挙げて下さい。

機能・方式・技術	簡単な説明（主な仕様、使用場所等）	実 現 時 期			
		'80	'90	2000	
(例) 1.湿分検出	Na ループまわりに設置でき検出位置可変のもの				○

* 原子力，鉄鋼，航空のいずれかをさす。

Q 6 いまから20年後を考えた場合、現在従事されている分野の計装制御のうち、制御の領域で多大なインパクトを与える機能・方式・技術にはどんなものがあるとお考えですか。主な仕様、使用場所、実現時期等について簡単な説明を付して、できるだけ多く（少なくとも3項目以上）挙げて下さい。

機能・方式・技術	簡単な説明（主な仕様、使用場所等）	実 現 時 間		
		'80	'90	2000
(例) 1.耐環境プログラマブルコントローラ	振動、高温、高湿度、高放射線に耐えるもの。ローカル制御に用いて下位知能を分担させる。			○

* 原子力，鉄鋼，航空のいずれかをさす。

Q 7 いまから20年後を考えた場合、現在従事されている分野^{*}の計装制御のうち、運転の領域で多大なインパクトを与える機能・方式・技術にはどんなものがあるとお考えですか。主な仕様、使用場所、実現時期等について簡単な説明を付して、できるだけ多く（少なくとも3項目以上）挙げて下さい。

機能・方式・技術	簡単な説明（主な仕様、使用場所等）	実 現 時 期			
		'80	'90	2000	
(例) 1.音声対話システム	機器の状態、運転指示等の情報を対話で入手しながら操作指令を音声で入力する。		○		

* 原子力，鉄鋼，航空のいずれかをさす。

Q 8 いまから20年後を考えた場合、現在従事されている分野の計装制御のうち、点検保守の領域で多大なインパクトを与える機能・方式・技術にはどんなものがあるとお考えですか。主な仕様、使用場所、実現時期等について簡単な説明を付して、できるだけ多く（少なくとも3項目以上）挙げて下さい。

機能・方式・技術	簡単な説明（主な仕様、使用場所等）	実 現 時 期		
		'80	'90	2000
(例) 1.ロボット	人間の到達不能部位への接近とメンテナンスに必要なデータの集収ができるもの。			○

* 原子力，鉄鋼，航空のいずれかをさす。

Q 9 いままで記述しきれなかったこと、あるいは特記事項等がございましたら何でも結構ですから
お書き下さい。

以上で終了です。ご多用中長い間ご協力いただきありがとうございました。