

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

『新技術』応用開発テーマ

1983年10月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

この資料は、勲燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配

こ

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、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)

核燃料サイクル検討委員会
新技術開発検討ワーキンググループ構成員



昭和57年3月現在

	氏 名	所 属
委 員 長	小 泉 益 通	副所長
委員長代理	井 上 清	ウラン濃縮開発部長
主 査	金 子 洋 光	ブル) 開発課
メ ン バ ー	岸 本 洋 一 郎	安) 放射線管理第二課
"	金 盛 正 至	安) 放射線管理第一課
"	小 島 久 雄	技) 開発研究室
"	虎 田 真 一 郎	技) 廃棄物処理開発室
"	宍 戸 利 夫	ブル) 製造第一課
"	横 内 実	濃) 運転試験第一課
"	原 啓 二	濃) 運転試験第二課
"	榎 彰	再) 技術課
"	福 島 操	再) 廃棄物処理課
事 務 局	青 木 実	事業所付
"	出 口 守 一	ブル) 設計課

目 次

はじめに	1
1. ロボット	2
2. コンピュータ	7
3. 光ファイバー	13
4. センサー	22
5. レーザー	28
6. 超音波	33
7. 新材料	37
8. ヒートパイプ	39
9. トモグラフィー	41
10. マイクロ波	43

はじめに

日本の産業技術には、今や世界をリードするものが数多くあり、その華々しい例として、工業用ロボットの普及台数、超L S I 開発競争における目覚ましい成果、あるいは日本車の海外での売れ方などが上げられる。二度の石油危機を通じ、無資源国日本としては加工貿易による立国しか生きる道はなく、それは即ち技術立国の道であることを国民が改めて認識したのである。かくして産業界の技術革新への熱中は激しくなり、ロボット、マイクロコンピュータ、新材料、遺伝子工業などの最先端技術の開発にしのが削られている。

動燃事業団は、原子力という先端技術の開発に取り組む集団であるから、周囲の産業界に沸き起っている新技術開発の動きを良く見て、事業団の技術開発に役立つものはどしどし取り入れていくべきである。東海事業所核燃料サイクル検討委員会は、新技術検討ワーキング・グループを設け、いわゆる“新技術”とは、何かのサーベイを行ない、さらに我々の核燃料サイクル諸施設の開発に適用するとしたらどんなテーマが挙げられるかを検討してみた。ここで取り上げたテーマの中には、すでに予算化され実施されつつあるものがあるが、ほとんどは未着手である。

事業団の使命は、炉および核燃料サイクルの先端技術を開発実証し、産業化への道を拓くことにある。したがって、どの技術においても、事業として経済的に成立する方向、大量処理が可能な方向を目指して行かねばならない。燃料サイクル技術は、放射性物質を扱う設備産業技術の性格を有しているから、“新技術”を応用することにより工程の簡素化、遠隔化、自動化などが計れ、その結果省力化、被曝低減化、低コスト化が期待できる。また装置類の寿命延長、保守補修に要する時間の短縮、発生廃棄物の減少あるいは効率的な核物質防護などにも応用が期待できる。

今回の検討の中でもロボットの応用テーマが最も多く上げられていることでもわかる通り、ロボット技術を活用した遠隔保守、点検、監視作業などに現場のニーズが高い。コンピュータの応用などと合わせ、重点的に取り組むべき分野であろう。

何か一つの新技術に飛びついたら、ただちに大きなブレイクスルーにつながるということは幻想であろうが、世の中の新しい技術に目を光らせ、随所に取り入れていくことを心がけていく必要がある。

1 ロボット

A. 応用テーマ

項 目	内 容	目 的
遠隔保守作業	<ol style="list-style-type: none"> 1. フィルター交換 2. グローブ交換 3. 解体・撤去 4. 詰り除去 5. 除 染 6. セル内分解・組立 7. 機器交換 (部分品の標準化, コンポーネント化) 	<ul style="list-style-type: none"> • 被曝低減化 • 省力化, 能率向上 • 確実化
検査・点検作業	<ol style="list-style-type: none"> 1. セル内配管および機器内の随時洩れ検知 2. グローブ点検 	同 上
運搬作業	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pu, U製品の運搬 2. 廃棄物の運搬 3. 使用済燃料の受入れから剪断までの貯蔵, 移送 4. 固体廃棄物の減容化, 仕分け 	同 上
監視作業	<ol style="list-style-type: none"> 1. 出入者の識別 2. 貯蔵廃棄物の長期的監視 3. バトロール 	• 無人化, 省力化
放射線モニタリング作業	<ol style="list-style-type: none"> 1. 管理区域内のモニタリング 	• 無人化, 省力化
分析作業	<ol style="list-style-type: none"> 1. サンプリング, 分析試料作成 2. 分析廃液処理 	• 被曝低減化

B. 解 説

(1) 概 要

近年わが国の工業製品の市場拡大，競争力増大には目ざましいものがある。これらは，従来の生産技術に加えて高度の機械・電気技術によるメカトロニクス分野の急速な進展によるものが大きいと考えられている。一般にロボット技術と呼ばれるのがその一つであるが，自動化，無人化，遠隔化，省力化と呼ばれるものも，その使用目的こそ差があれ，同一分野の応用技術に入ると考えられる。これらの技術の進歩は，従来にも増して多機能，高精度，高速度，特殊環境（水中，放射線下等），判断の多様化等に見られ，これらのユニットを系統的に電算機処理する方法がとられる。

原子力の分野においても，特殊な環境下における遠隔操作，ロボット，自動化が採用されており，安全上人が直接接近しない様考慮されている。又，品質保証や保障措置にかかわる諸分野においても自動化，機械化を大巾に取り入れる傾向にある。

動燃事業団においても，これら技術の応用により大巾な業務進展が期待でき，或る分野においては自動，遠隔の技術の進歩と平行して進むものもある。すでに自動化等の技術は取り入れられており，これらをさらに充実させるとともに，さらに高度でかつ現場ニーズに合致した技術の応用，開発が望まれる。以下に应用事例を示す。事例には，考えだけのものから実施可能なものまで区別なく並記してある。

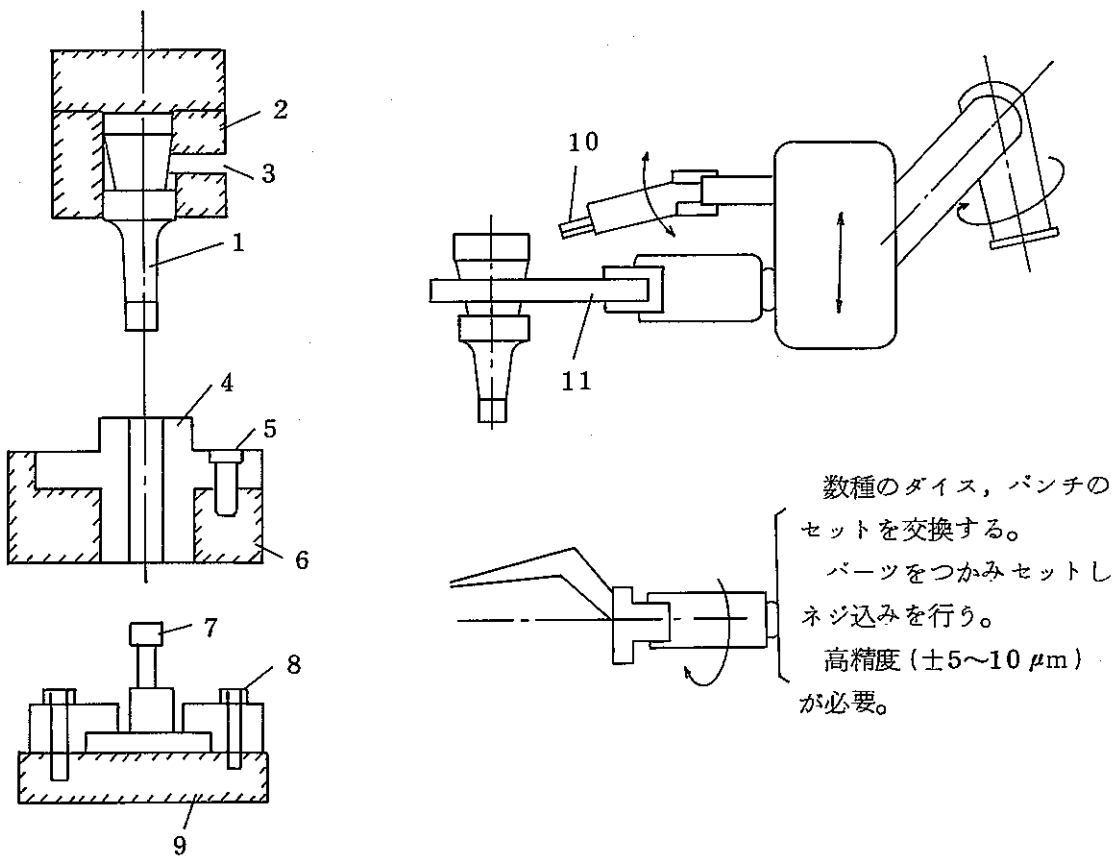
(2) 応用事例

(1) 成型機のダイス(ダイセット)交換の自動, 遠隔技術

対象施設 MOX加工

目的 : MOX加工のペレット工程において製品ペレットの焼結後寸法を管理するために成型圧力(グリーン密度)とダイスの交換は, 成型機の特特殊性のため人手で行わざるえない現状にある。工程の能率化, 遠隔化をはかるには工作機の自動パーツ交換の技術の応用が必要。

内容



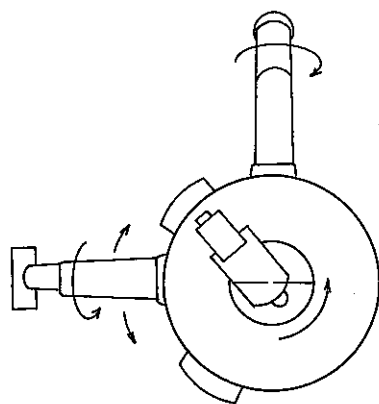
- 1. パンチ 2. パンチホルダ 3. パンチストッパーネジ 4. ダイス
- 5. ダイス止ネジ 6. ダイスホルダ 7. 下パンチ 8. 下パンチ止ネジ
- 9. 下パンチ台 10. ネジ止めアーム 11. ハンドリングアーム

(ロ) 微量表面汚染の検査, 除染の遠隔化

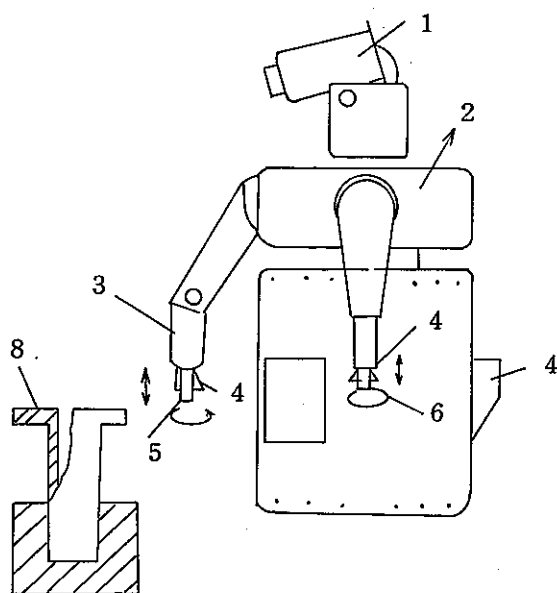
対象施設 MOX加工

目的 : Pu加工の一部で例えば, PuO_2 原料輸送容器からの原料缶の取出し後の取出し口の汚染, ピン充填後の汚染の除去を自動的に行いたい。

内容 : 汚染の検査方法, 位置の確認, 除染, その後の検査を行うことのできる知能ロボット。



汚染部の位置を記憶し, その限られた部分の除染を行う。



1. CCTV
2. 回転台
3. ハンドリングアーム
4. 位置センサー
5. 除染ハンド
6. 検査ハンド
7. 除染材
8. 汚染部

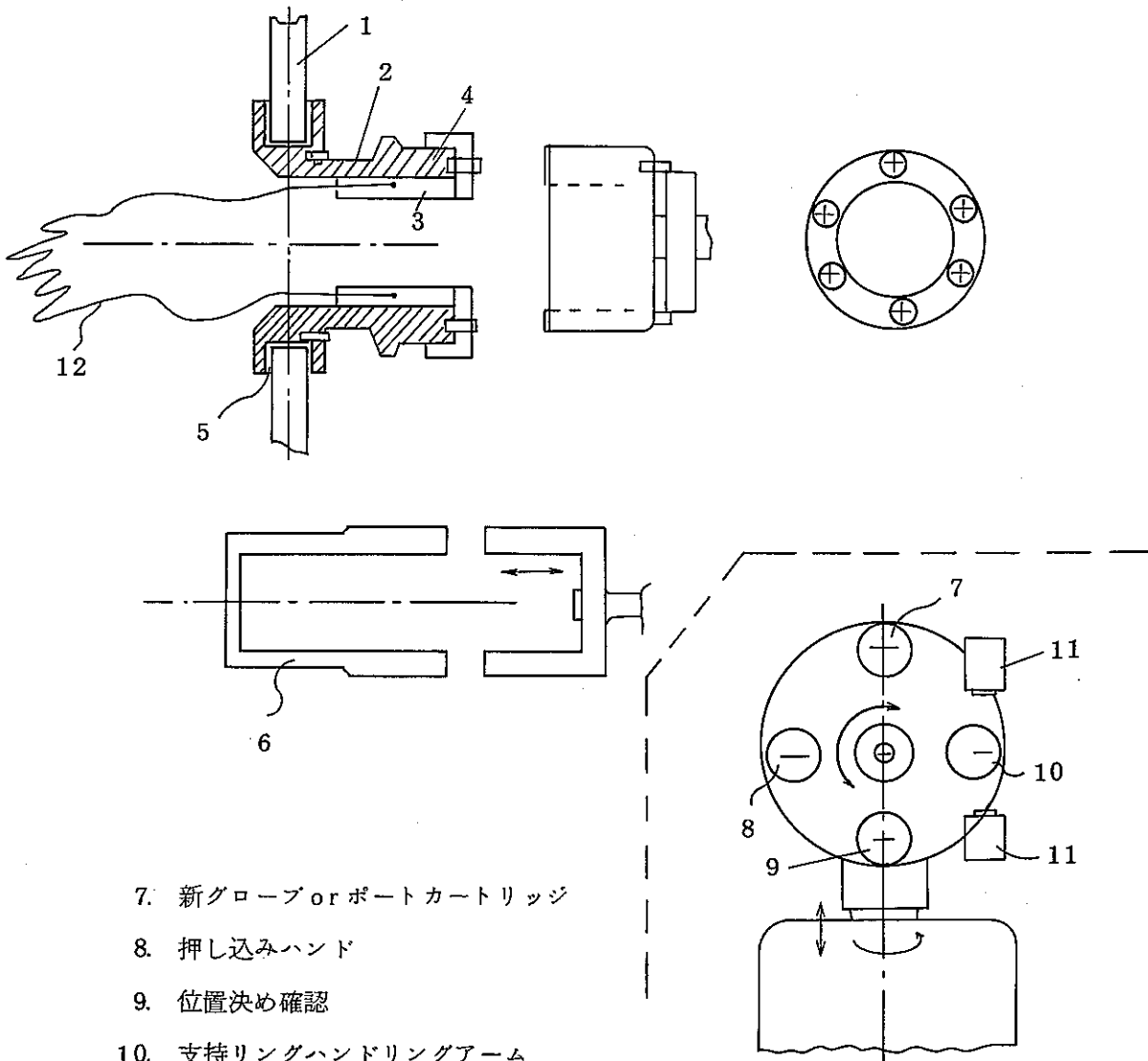
(c) グローブ、ポートの自動交換，遠隔交換技術

対象施設 MOX加工，再処理等

目的：グローブボックスのポートに取り付けられているグローブ，ビニールバック，カートリッジ式ポートを考え，交換作業の遠隔ロボット化をはかる。ただし，最終点検及び除染については別途考慮する。

内容

- 1. アクリル窓板 2. ポート 3. カートリッジ
- 4. 支持具 5. ゴムパッキン 6. ポートカートリッジ



- 7. 新グローブ or ポートカートリッジ
- 8. 押し込みハンド
- 9. 位置決め確認
- 10. 支持リングハンドリングアーム
- 11. 位置決めアーム
- 12. グローブ

2. コンピュータ

A. 応用テーマ

項 目	内 容	目 的
プロセス自動制御および監視	(センサー技術の開発との併用) 1. FPや核物質の迅速測定技術 と工程運転へのフィードバック 2. 工程異常の一括監視 3. 臨界管理 4. 製品の品質管理	<ul style="list-style-type: none"> •省力化, 省スペース化 •運転の最適化 •誤操作防止 •安全性の向上 •品質管理の向上
データベース	<ol style="list-style-type: none"> 1. 被曝データの管理 2. 運転データの管理 3. 廃棄物データの管理 4. 核物質データの管理 (製品のデータ含む) 	<ul style="list-style-type: none"> •データの集中管理 •データの即応性および迅速化
保障措置技術	1. NDAを利用した核物質の測定と管理	•リアルタイムの核物質管理
放射線管理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各ポイントの線量率の予測 2. 空間線量率, 空气中濃度のデータ を管理, 自動表示 3. 環境放出の監視, 制御 	<ul style="list-style-type: none"> •環境監視 •安全性の確保

B. 解 説

(1) 概 要

ここ20数年の間にコンピュータを構成する論理素子回路と記憶素子は“真空管”，“トランジスタ”，“集積回路（IC）”，そして“大規模集積回路（LSI）”と発達してきた。最近では超LSIとして64K bit RAM（Random Access Memory）の本格的量産時代を迎えている。数年後には256K bit RAM が量産化されるといわれている。（図-1，2）

生産工場におけるプロセス制御や研究施設における各種実験，測定のデータロガーとして，ミニ・コンピュータの応用は一般化している。最近では光ファイバー等を用いた多重情報伝送技術の発達と結び，コンピュータ・ネットワーク化が進み，1つの情報処理通信システムを構成する方向にある。

また，マイコン，ミニコン等はロボット制御，トモグラフィやNDA等の他技術と結合したシステムとして応用されている。

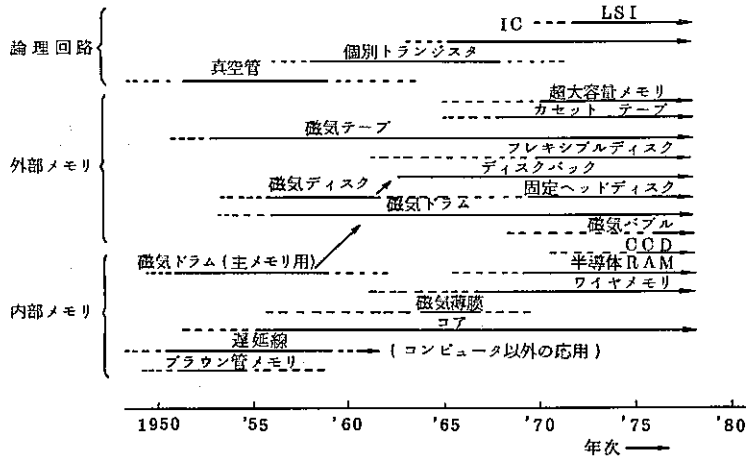


図1 論理回路と記憶装置の開発実用経過

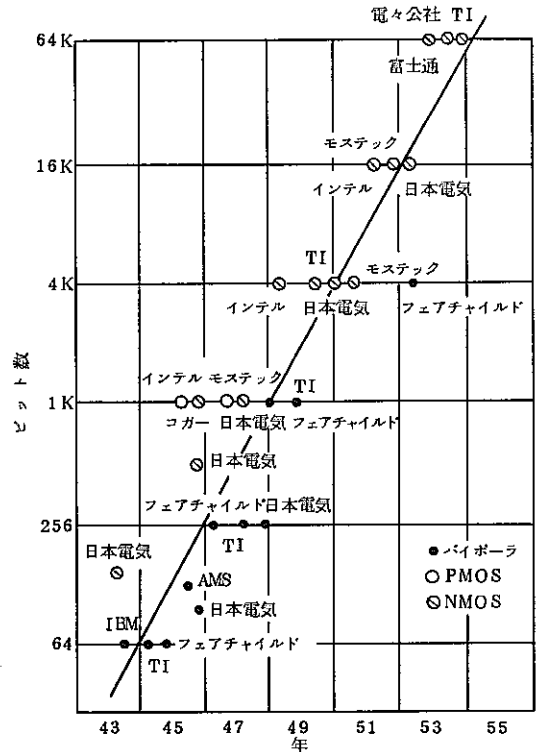


図2 半導体RAMの開発

(2) 核燃料サイクル施設への応用

コンピュータ技術の応用は，コンピュータのもつデータ処理能力を十分に活用するようにシステム化することである。即ち，マン・マシン・システムにおける人間と機械との役割分担を明確にし，実現することである。人間が処理すべき情報量がある限度を越えるとき，情報を高速処理する有用なツールとして，コンピュータを使用することであるが，その目的は簡単に言えば，製品を含めた施設全体の品質保証の向上である。

今後、コンピュータ技術を積極的に応用すべきと思われる適用分野は、

(イ) 施設およびプロセスの監視（よりの確な状態把握）

運転時のモニタリング、工程異常の一括監視など

(ロ) プロセスの自動制御化

運転の自動化及び最適化、被曝低減化など

(ハ) マン・マシン・インターフェイスの確立

誤操作防止、情報の整理、表示など

(ニ) 品質保証の拡充

各種データ・ベース、運転実績からのフィードバックなど

である。このうち(イ)、(ロ)、(ハ)はセンサー・ベース・システムといわれているものであり、工程機器や測定装置等を人間が長時間にわたり、監視、操作、制御するかわりにミニコンやマイコンで監視、制御し、1つのシステムとして自動化、省力化および高信頼化をはかることである。

このほか、1チップマイコンの自動制御機器への装着やトモグラフィにみられる高速データ処理など他の先端的技術と結合したシステムとして応用されているが、この場合は、コンピュータ技術よりも他の先端的技術の開発の寄与がより大きい。

また、従来からのコンピュータ利用としての汎用コンピュータによる科学技術計算、事務計算や業務処理等があるが、これらは、コンピュータ利用としては一般化している。このため、他の技術との結合システムや汎用コンピュータの利用についてはここでは検討の対象外とした。

(3) 応用例

(1) データ収集、自動制御および監視システム（センサー・ベース・システム）

このシステムは施設内外のデータ発生点での環境に耐える（耐放射線、耐硝酸等）センサーやトランジューサーがあれば、いろいろな施設、工程に応用できるシステムである。現に、このシステムの例として稼動しているものが数多くあるが、代表的なものとして、

(a) 再処理工場廃液処理運転管理システム

(b) 環境監視テレメトリングシステム

(c) 被覆管の自動検査システム

(d) フィジカル・プロテクションシステム

などがあり、開発中のものとして

(e) Pu 転換施設計量管理・データ管理システム

(f) 再処理工場化学処理工程運転管理システム

がある。

計画中のものとしては、被ばく低減化等のための工程の自動化、省力化及び保障措置のための核物質管理等を目的とし、データ収集、自動制御、監視等のため複数台のコンピュータを階層化したトータル・システムとしての

(g) Pu 第3 開発室運転管理システム

がある。

このセンサー・ベース・システムは、先に述べたように、マン・マシン・システムの人間と機械の役割分担を明確にし、施設の安全性確保や品質保証の拡充のため、今後共に積極的に適用していくべきものである。

(ロ) データ・ベース・システム(データ管理機能システム)

このシステムは工程機器等にセンサーでオンライン接続はされていないが、施設の運転と密接に関連しているものであり、主にコンピュータのデータ管理機能を使用しているものである。

このシステムも現に多くの個所で運用されているが、代表的なものとしては次のようなものがある。

- (a) 個人被ばく管理データ処理システム
- (b) Pu 燃施設の臨界・計量管理システム
- (c) Pu 燃料の品質管理データ処理システム

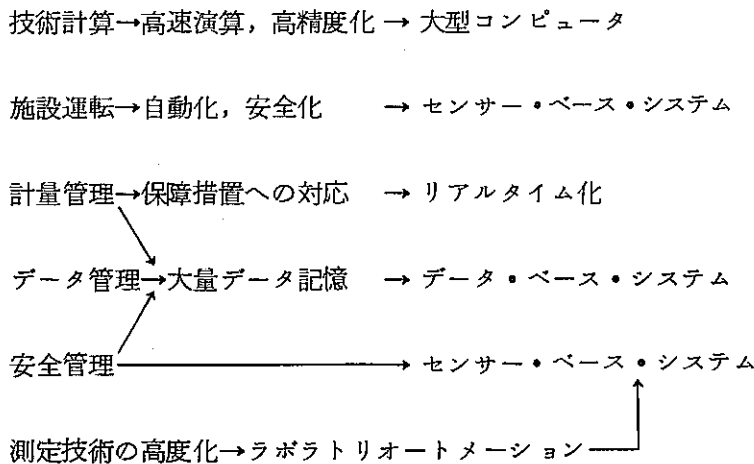
今後は前節のセンサー・ベース・システムでデータのオンライン収集化(リアルタイム処理)をはかり、このようなデータ・ベース指向型の管理システムを燃料サイクル全般について開発していく必要がある。

(4) 将来のコンピュータ利用システム

核燃料サイクルの先端的技術開発におけるコンピュータ利用分野内容はきわめて多様で、かつ複雑となってきた。

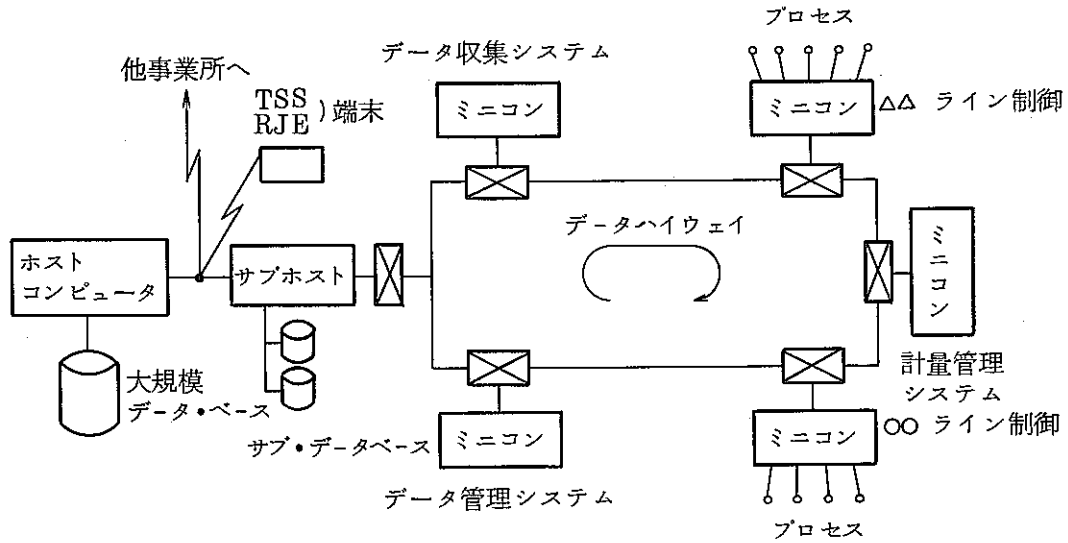
各施設での特有な処理形態をとるセンサー・ベース・システムにみられるように機能分散化が進む一方で、安全性解析など高度で巨大な科学技術計算ジョブや高度な情報検索機能など統合集中化の要求も強まってきた。

このようなコンピュータ利用のニーズという要因でまとめると次のようになる。



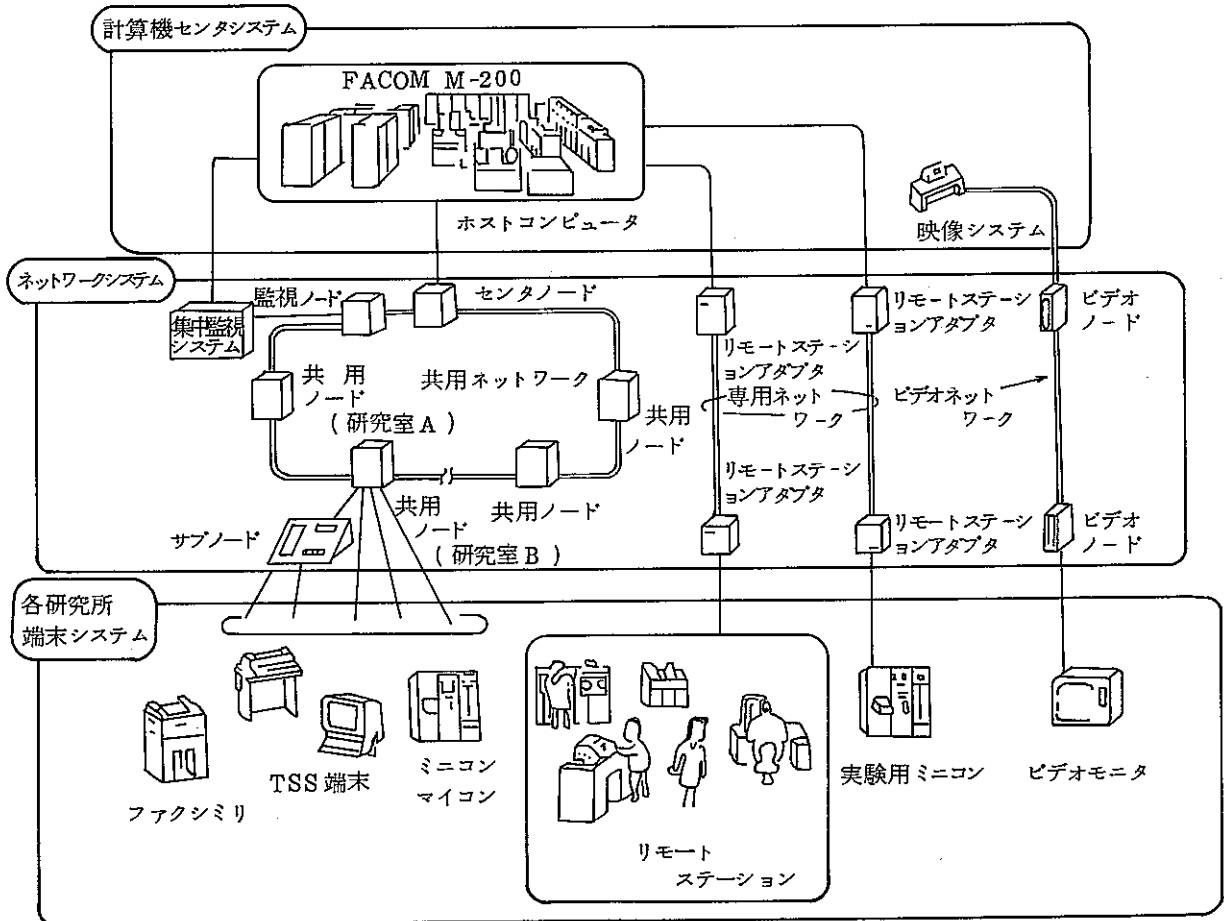
これらニーズを満足させると共に、コンピュータ資源機能の有効利用も考慮せねばならない。従来のコンピュータ利用はシステムの機能、資源をセンターの大型機に集中させる「集中処理方式」をとっていた。しかし、集中処理方式ではセンターのコンピュータへの過度な負荷の集中、およびシステムの巨大化、複雑化を招き、そのためシステム異常時の影響や柔軟性等に様々な問題が生じるようになった。

この問題は、ミニコンピュータ中心のサブシステム毎に処理を分散し、かつそれらをホストコンピュータとネットワーク化、階層化する等のコンピュータのシステム最適化により解決され得るであろう。(次図)



コンピュータネットワークシステムの例

次図に光通信技術を採用したローカル・ネットワークシステムを構築した例として工業技術院のRIPS (Research Information Processing System) の概念図を示す。



RIPSの概念図

3 光ファイバー

A. 応用テーマ

項目	内容	目的
情報伝送	1. プラント内伝送システムへの 応用（工程計装，放射線管理機 器等のケーブルへの応用） 2. 耐放射線性ケーブルの開発	・簡素化，省スペース化 ・情報伝達の高速化 ・耐ノイズ（信頼性向上）
映像伝送	1. セル内の点検，監視 2. 高放射線機器内の検査 3. 配管内の点検 （ファイバ스코ープの応用）	・被曝低減化

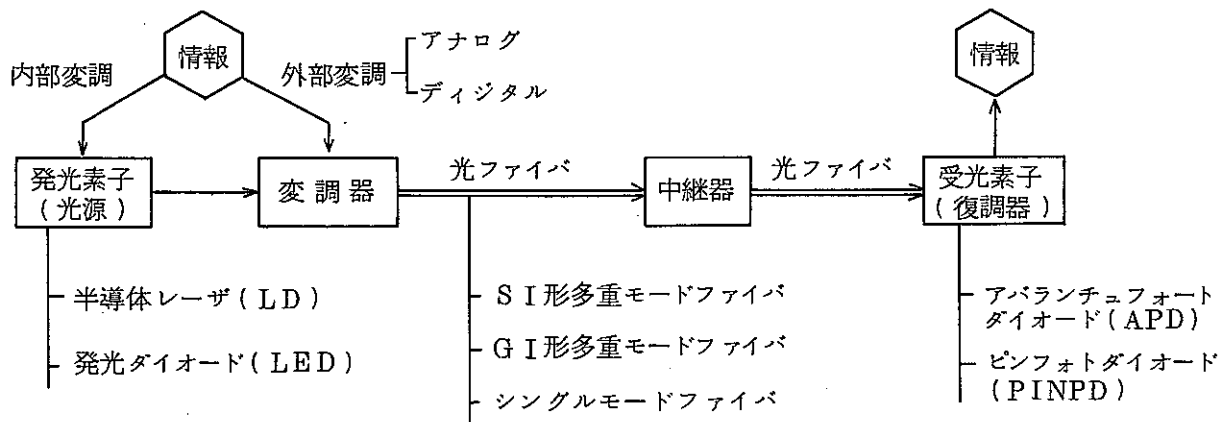
B. 解説

(1) 原理

光ファイバは，コアとクラッドの材料のちがいによる屈折率の差により，入力光を伝搬する。光ファイバの中心軸から半径方向への屈折率分布が，ステップ状であるか，パラボリックであるかにより，ステップ・インデックス (SI) 形とグレーテッド・インデックス (GI) 形の2種類がある。

種類	構造と伝送原理			入力出力 パルス パルス	コア径	伝送帯域
	屈折率分布	断面構造	コア中の光の伝			
ステップインデックス (SI) 形 多重モード光ファイバ					50~100μm	50MHz・km
					140~200μm	短距離データ リング用
グレーテッドインデックス (GI) 形 多重モード光ファイバ					50μm (外径 125μm) のも のが標準化	数100MHz・km ~数GHz・km
シングルモード 光ファイバ					数μm	数GHz・km 以上

SI形ファイバも、GI形ファイバも、コア径がある一定値より小さい等の特別の条件下では、最低次のモードの波のみを伝搬しうるシングルモードファイバとなる。コア径、コアとクラッドの屈折率差が大きくなれば、伝搬可能なモード数は著しく増える。このようなファイバをマルチモード(多重モード)ファイバという。



光情報伝送システムの基本的構成

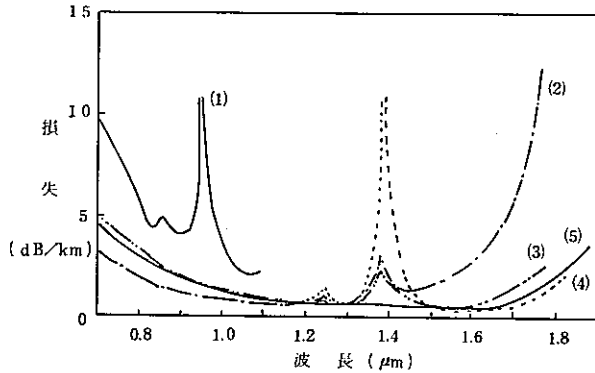
(2) 現 状

英国のC. K. Kao が、1966年に、低損失光ファイバの実現可能性を指摘して以来、光ファイバの開発は、低損失ファイバ製造法開発の歴史であった。

光ファイバの開発の歴史

1953年	光ファイバの原形(バンヒール:オランダ)
1966年	低損失光ファイバの予言(カオ:イギリス)
1967年	集束性光伝送体の発明(内田,北野:日本)
1970年	低損失光ファイバの実現(カブロンほか:コーニング) 20dB/km at 0.63μm
1974年	MCVD法による光ファイバの低損失化(ベル研など) 4dB/km at 0.88μm, 2dB/km at 1.05μm
1976年	超低損失光ファイバ(電電公社) 0.47dB/km at 1.20μm
1977年	VAD法光ファイバの開発(電電公社) 小型光回路の実用化(日本電気)
1979年	極超低損失光ファイバの実現(電電公社) 0.2dB at 1.55μm

光ファイバの損失は、開発当初はOH基（水）の共鳴吸収による損失（波長0.95 μm, 1.25 μm, 1.39 μm）が非常に大きく、長波長帯（1.3~1.5 μm）により低損失な領域が存在することが見えなかった。その後、光ファイバの高純度化が進むにともない、1.3 μm及び1.55 μmに伝送損失の極小域のあることが判明し、いわゆる長波長帯半導体レーザー（InGaAsP/InP）の開発を促進した。この素子は組成比を変えることにより発光波長をコントロールできる（約1.0~1.5 μm）。0.85 μm帯用としては、GaAlAs/GaAs素子が用いられる。



年	機関	製法	種類	材 料	
				コア	クラッド
(1) 1974	ベル研	MCVD	GM	B-Ge-Si	B-Si
(2) 1976	藤倉電線 電電公社	MCVD	SM	P-Si	B-Si
(3) 1977	電電公社	MCVD	GM	Ge-P-Si	P-B-Si
(4) 1979	電電公社	MCVD	S	Ge-Si	Si
(5) 1980	電電公社	VAD	GM	Ge-P-Si	Si

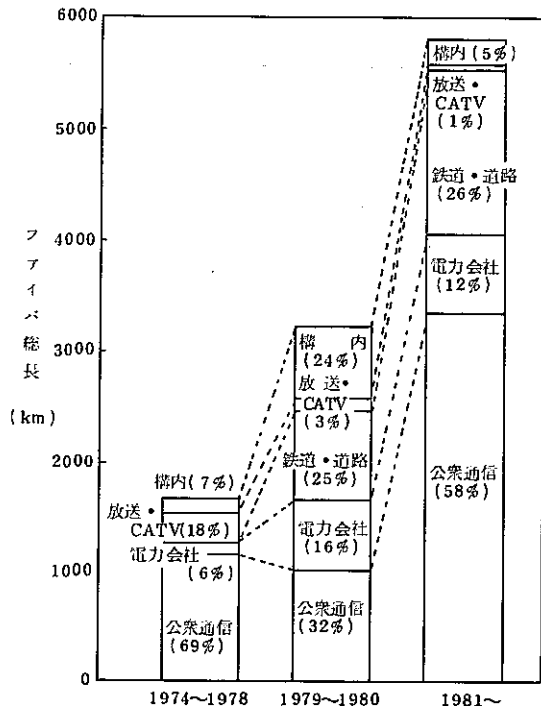
• GM：グレーデッド形マルチモードファイバ、SM：ステップ形マルチモードファイバ、S：単一モードファイバ

代表的な光ファイバの損失の波長依存特性

研究開発の速度は速く、1980年開発のGMは波長0.95 μm, 1.25 μm, 1.39 μmにおいて損失増加がほとんどみられない。

わが国の光伝送システムの実用化状況を、ファイバ総長で見ると下図のとおりである。

1981年現在で国内のファイバ使用量は5700km、輸出約1万km、全世界使用量は、推定約6万kmとなっている。

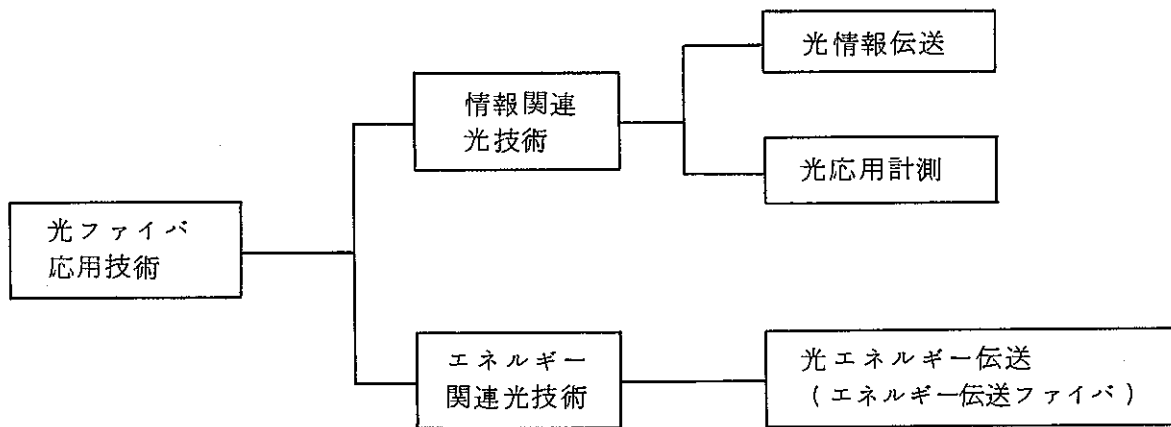


わが国における光ファイバ使用量の経緯

光ケーブル使用の通信システムが1978年ごろから急激に増加してきたことを反映している。

(3) 応用範囲

光ファイバ応用技術は、次のように分類できる。



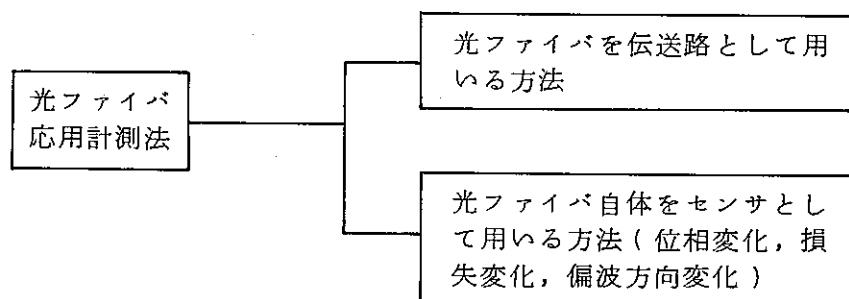
これらのうち実用化の域に達しているのは情報伝送のための光ファイバケーブルである。その強い対環境性と優れた性能は、次のとおりである。

雑音誘導を受けない。接触しても漏話がない。火花が出ない。石英系ケーブルでは1～数100Gbpsの超高速広帯域性を有し、理論限界に近い超低損失約1dB/kmであり、距離10kmまでは銅線のように漏話や伝送特性の対策を考える必要がない。心線の径は125μmと細く、25g/kmと軽い。1000℃でも融けない。同じ太さのピアノ線と同程度の引っ張り強度をもつ。石英の資源量は、銅の2600倍以上。価格も、銅の広帯域同軸ケーブルより安い。

光ファイバの特性と応用面

	特 性	メ リ ッ ト	応 用 面
電 気 的 性 質	低 損 失 広 帯 域 絶 縁 性	中継スパン大 大容量通信 電磁誘導がない 通話がない	公衆通信 (海底ケーブル) 電力用通信システム 軍用通信システム
機 械 的 性 質	軽 量 細 径	布設工事が容易 可撓性大 多芯化が可能	航空機 CATV, ビル内
材 料 的 性 質	耐 火 性 耐温度特性 資 源 豊 富	防爆性あり 温度補償回路不用 銅資源の節約	化学プラント コンピュータ用配線 すべてに共通

光ファイバを用いた計測法は、大別して次の2通りがある。



光ファイバの特徴と計測応用

特徴	特性 (例)	計測応用
低損失	3~10 dB/km (最低0.2 dB/km)	ジャイロ, ハイドロフォン
広帯域	30 MHz・km~10 GHz・km	画像計測
可撓性	半径20mm±90°の繰り返し曲げに5万回以上耐える。	ジャイロ, ハイドロフォン, マイクロフォン, 磁界, 電流計(ファラデー効果)
細径	直径約150 μm, コーディング付心線は約1mm	マイクロフォン, 血流計
軽量	数百g/km (心線)	ジャイロ
無誘導	19kAT/m, 1550kV/mのインパルス性磁界・電界の影響なし。	磁界, 電流計, 電界, 電圧計 風向, 風速計
絶縁性	沿面放電電圧は長さ20cmで80kV 80cmで300kV(プラスチッククラッド)	磁界, 電流計, 電界, 電圧計 風向, 風速計
耐水性	特に石英系は大	ハイドロフォン, 血流計
耐火性	石英系光ファイバの融点は1700℃以上	温度計

光ファイバは従来の電気伝送器にないさまざまな特徴を有している。これらを利用して多くの計測応用が開発されている。ここでは、その主なものを示した。

通産省の大型プロジェクト「光応用計測制御システム研究開発プロジェクト」(略称: 光大プロ)は、昭和54年度から61年度までの8年間に約180億円を投入する計画である。その目的は、「工業団地内、大規模プラントなどの一定区域内で発生する画像情報を含む温度、圧力、流量、成分などのプロセス情報を、電磁誘導、可燃性ガスなどの存在する悪環境下で、光技術を用いて安全かつ安定して計測し、伝送、制御することを可能にする計測制御システム

〔表-3〕 光を応用した計測制御システムの特徴

メリットのおもな考査要因	機能特徴
A. 光を使うことによるもの	伝送情報量がきわめて大 電磁誘導障害なし ショートなし スパーク発生なし アース設計容易 漏話なし 送受信系が小形 電波法の規制なし
B. ファイバを使うことによるもの	中継距離が大 非電導性、可視光を送れる 軽い、漏洩防止化が容易 細い 曲げやすい 耐火性 耐水性 耐腐食性 低損失 省資源

(4) 応用例

- (イ) 光ファイバ式風向・風速計
- (ロ) サージ電圧，電流波形観測システム
- (ハ) 画像伝送用イメージファイバへの応用
- (ニ) 製鉄プロセスシステムへの応用
- (ホ) 光/電力複合ケーブルの応用
- (ヘ) 光テレメータ

(PNC使用例) CPFの分光分析サンプル光線のセル外導出

(5) 光センサーの開発

各種センサーを光センサーとすることによって電気信号/光変換器を省略し得る場合には、光計装システムとして、従来の計装システムを大巾に簡素化でき、光通信システムの簡素化、発展が期待できる。

光応用センサの変換原理と検出機構（代表例）

計測量	変換原理と検出機構	検出量	デバイス例
温度	熱膨脹：膨脹体変位と光絞り機構 膨脹体変位と光偏向機構 膨脹体伸縮／変形に伴う遮光動作 熱応力複屈折 複屈折の温度変化：単軸性結晶 屈折率の温度変化：ガラス，結晶 透過率の温度変化：光ファイバ，結晶 螢光発光の温度変化：パルス励起光と螢光体	バイメタル変形による減光 対向光ファイバ偏向，鏡面反射偏向 水銀柱伸縮 バイメタル反転による遮光 偏光角，色 偏光角回転／検光強度変化 干渉強度変化 熱散乱減衰，結晶吸収端移動 螢光パルス時定数の変化	バイメタル光温度計 光ファイバ対温度計 光水銀温度リレー 複屈折温度計 多波干渉温度計 結晶吸収光温度計，光ファイバ吸収温度計 光ファイバ螢光温度計
圧力（歪，力，トルク，加速度）	受圧弾性体の変位と光絞り機構 光の反射，偏向 光の干渉 受圧弾性体の応力複屈折 受圧光ファイバのコア屈折率の変化 加圧液晶の光散乱の変化	受光強度変化 受光強度変化 干渉縞の変化 偏向角，色 導波光位相変化の干渉法検出 受光強度変化	光ファイバ圧力計 （光ファイバ血圧計） 光回転流量計 光カルマン渦流量計 光ドップラー流速計
流量	羽根車の回転による光の断続 カルマン渦振動による光の変調	パルス光周期 変調光周波数	光回転流量計 光カルマン渦流量計
流速	レーザ光ドップラー効果	干渉法位相差検出	光ドップラー流速計
液位	対向光ファイバ／光ファイバアレイと液の光吸収	受光強度二値変化	光ファイバ液位計
液位	液中光漏洩：U字形光ファイバ，コーナキューブ 透明液体浸漬反射体	受光強度：二値／連続 受光強度	光ファイバ液位計
温度，成分	ケミルミネセンス 浮秤比重計 溶液屈折率 気・液光吸収：紫外吸収，赤外吸収（非分散型） " "（分散型）	螢光発光強度 光偏向，等 光偏向 受光強度 吸収スペクトル	螢光成分センサ
湿度	吸湿体伸縮と光絞り機構 反射面結露による散乱	受光強度 "	散乱光湿度センサ
濁度	光の散乱率	散乱光強度	散乱光濁度センサ
振動，音響	振動体による光変調 振動光ファイバによる光変調	変調光周期 "	光ファイバ振動・音響センサ
磁界（電流）	磁気偏光（ファラデー）効果：常磁性ガラス，定偏波ファイバ 磁気複屈折効果（コットン・ムートン効果） 磁歪線コート光ファイバの磁歪複屈折	偏光回転角／検光強度 " " " "	光ファイバ／常磁性ガラス磁界センサ 磁歪光ファイバ磁界センサ
電界（電圧）	電界誘起複屈折（ポッケルス効果）：単軸性強誘電体 電界誘起吸収端移動（フランツ・ケルディッシュ効果）：GaAs	" " 受光強度変化	強誘電体複屈折電界センサ 吸収型電界センサ
放射線	螢光体シンチレーション 放射線損傷による吸収	発光パルス計数 受光強度変化	螢光光ファイバ Ge ドープ光ファイバ
空間量（距離，位置，長さ，角度）	投射光線の反射角／反射位置検出 投射光線の遮断長検出 光エンコーダ（長さ，角度）：並列光ファイバテーパー	受光角，受光位置 受光幅 コード化光出力	光ファイバ変位計 光測長器 光ファイバ風向計，開度指示計
物体	光の遮断	二値（ON/OFF）光出力	光リミットスイッチ，光計数器
物体状態（形状，画像，分布）	規則配列光ファイバ	画像出力（可視，赤外），色分布	イメージファイババンドル

光応用センサの信号検出方式

検出方式	変換方法	検出信号	デバイスの例
二値変換	光路の開閉, 偏向	有/無, オン/オフ	光リミットスイッチ
デジタル変換	パルス化		
	光路の周期的断続, 偏向	パルス幅, 周波数	光チョップ
	光の周期的変調	周波数	光振動子
	光エンコーダ	BCDコード	光BCDエンコーダ
セミデジタル	光路位相差	干渉縞の数	干渉計方式の測定
変換	時定数のパルス幅変換	パルス幅	蛍光温度計
アナログ変換	光路位相差(干渉)	干渉色(白色光), 光強度(単色光)	複屈折温度センサ
	複屈折(偏光)	偏光角, 検光強度	各種フィルタ素子, 絞り素子
	光の減衰	光の強度(相対値)	

4. センサー

A. 応用テーマ

項 目	内 容	目 的
耐放射線性センサー (既存のものの性能向上)	1. 位置決めセンサー (テレビモニター, 光ファイバーの利用, レーザーの利用) 2. 温度センサー 3. 圧力センサー 4. 接触センサー 5. 形状識別センサー	• ロボット用
インライン分析用センサー	1. 核物質分析用センサー (NDAの開発) 2. FP分析用センサー (NDAの開発) 3. 界面, 第三相の検知用センサー 4. 一般化学物質検知用センサー (NOX, TBP, 重金属) 5. 孔食電位差測定センサー 6. オプトセンサー	• 工程管理用

B. 解 説

(1) 概 要

センサとは、人間の五感（見る、聞く、かぐ、味わう、触れる）に代り、その役目をはたす機器であり、また、人間の五感に感じることの出来ない現象（例えば、エネルギーの小さい超音波、放射線や赤外線などの電磁波）を検出できる機器であり、かつ、人間の五感をはるかに越えるエネルギーを有している現象をも検出できる機器である。物理現象を検出しただけでは目的をはたすことが出来ないので何らかの方法で検出した信号を取り出す必要がある。つまりセンサに入った入力エネルギー信号を電気エネルギー信号に変換して取り出す機器をトランジューサーと呼んでいる。

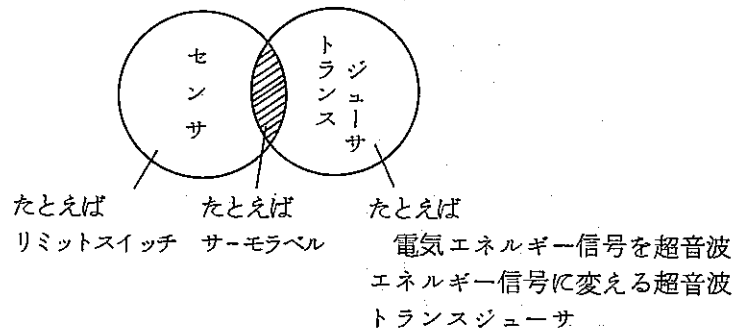


図1. センサとトランスジューサの関係

(2) センサ技術

センサ技術の目的は、複雑多岐にわたって進歩した科学技術の発展の基礎として不可欠なものである。“観察”，すなわち対象物の何であるかを客観的に、かつ高い精度で知る手段として応用されるものである。図2にセンサ技術のシーズとニーズの関係を示す。センサ技術は物理現象，化学反応，生物学的反応などの解明と材料技術によるところが大きであるが，エネルギーや公害防止などの分野からのニーズにより，さらに高度のセンサ技術が開発されることになる。

応用の1例としてロボットの感覚とセンサの種類を表1，2に示す。

ロボットに用いられるセンサの目的は

- ① 外界の観測
- ② ロボット内の各部の監視と制御
- ③ 人間や他のロボットとの情報伝達

などがあげられる。

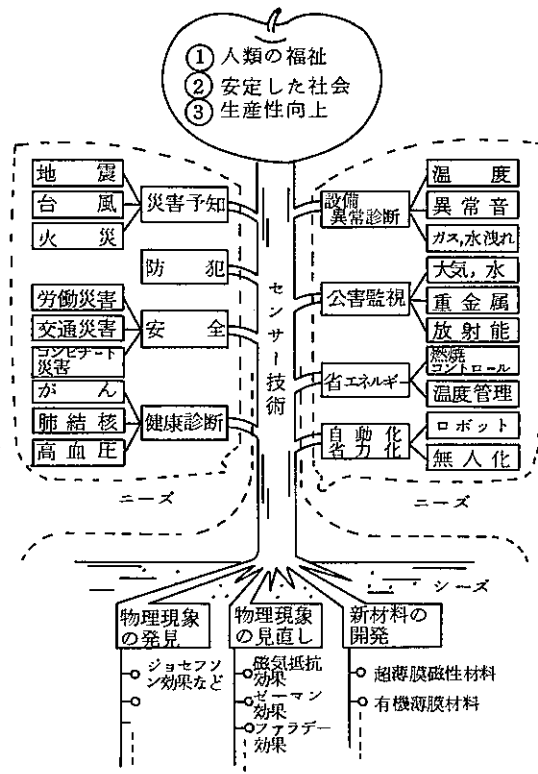


図2 センサ技術のシーズとニーズの関係

表1 ロボットの感覚

感覚器管	機能	目的
視覚	パターン認識 パターン計測 計測	形状認識, 記号認識 幾何学的パラメータ測定 ある点の明るさ, 色の計測
聴覚	パターン認識 パターン計測 計測	音声認識 音色による状態推測, 超音波による 幾何学的パラメータ推定 音圧, スペクトル分析
触覚	パターン認識 パターン計測 計測	形状認識 幾何学的パラメータ, 表面状態 重量, 力, 位置, 硬さ
その他	計測	温度などの物理量の計測, 自己保存
位置・圧力	計測	運動器管の制御
平衡	計測	体のバランス制御, 眼球制御

表2 センサの種類とその応用例

物理量	センサ	応用例
明るさ	フォトトラ CdS (フォトマル)	物体の有無, 通過の判断
色	カラーフィルタ付フォトトラ カラーTVカメラ	色による物体の識別および 選択
距離	レーザとフォトトラ, 超音波の送信器と受 信器, マイクロスイッチ, エンコーダ, 導 電性ゴム	一定距離の保持, 位置制御
形状	TVカメラ, マトリックスカメラ	物体の輪郭, 特徴の識別物 体の識別
力 (重さ)	ストレインゲージ, 感圧素子	把握力の制御 重さによる物体の選択
すべり	ストレインゲージ, 感圧素子 ピックアップ	把握力の制御
音	マイクロホン	物体の有無

核燃料サイクル分野に應用する場合は次の2つが考えられる。

- ① 既存のセンサの中から最適のものを選択する。
- ② 新しいセンサの開発。

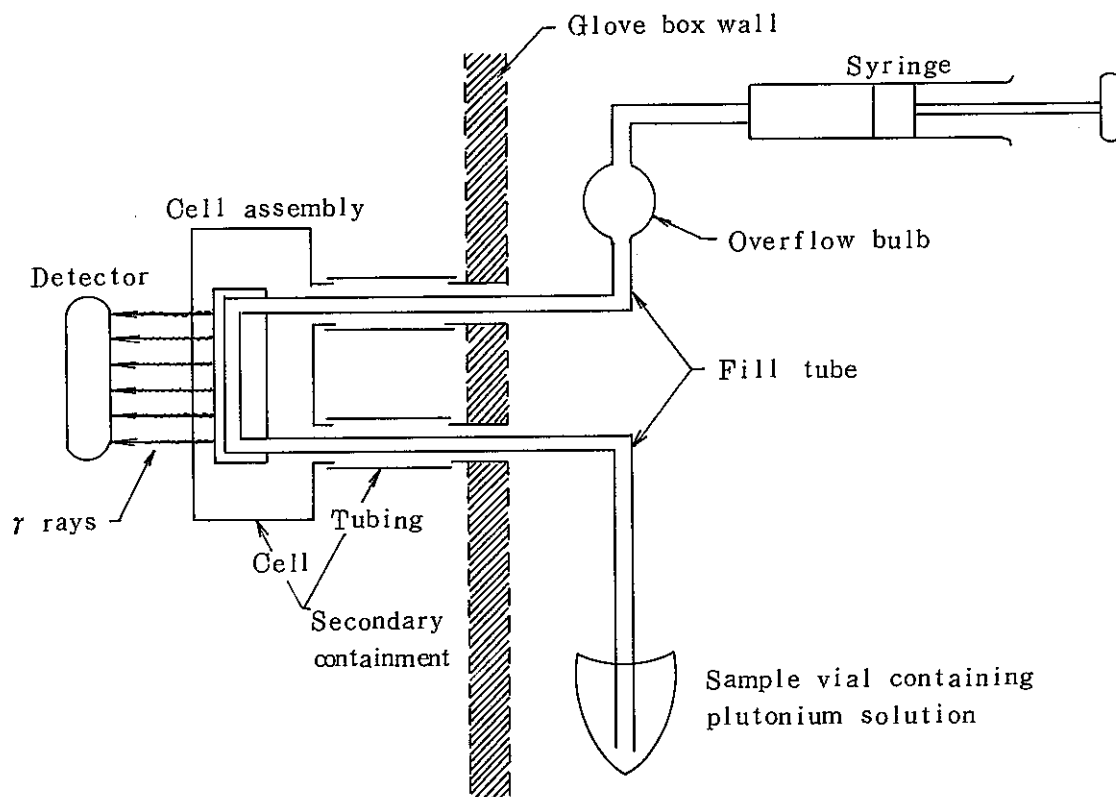
いずれの場合でも、高放射能線下の環境で使用する必要がある。即ち耐放射線性の良いセンサ、トランスジューサでなければならない。

(3) インライン分析用センサー

(i) 応用例

① 核物質分析(NDA)

1例としてプルトニウム溶液の濃度及び同位体比を求めるのにGe 検出器を用いて測定している。1つには γ 線源をプルトニウム溶液を透過させその透過率より測定するK-edge法とプルトニウム自身の微弱な γ 線を検出して測定する高分解能 γ スペクトロメータ法がある。

高分解能 γ スペクトロメータ法原理図

② FPの分析(NDA例)

使用済燃料の γ 線または中性子線を測定することにより非破壊的に燃焼度、冷却時間、FP量を測定する。この検出器もGe検出器等が使用されている。

③ 界面、第三相の検知用センサー

現在考えられているものとして溶液の上下方向に電離箱を応用した検知器を走査させ γ 線強度分布を測定し界面を検知する。超音波等では振動発振装置やケーブルの放射線劣化により応用上の問題とされている。

④ NO_x モニター

排気系にバイパスを設け赤外吸収法により測定する。

⑤ 工程内没重量測定

核物質の計量をする時に計量槽にロードセルを設けひずみゲージにより給液時の重量を測定する方法が考えられている。このひずみゲージも1つのセンサーであろう。

⑥ エレクトロマノメータ

核物質の計量をする時に核物質を含んだ溶液の各量をエレクトロマノメータ(ブルドン管式圧力計)により測定する。

(ロ) 開発が望まれるセンサー

(a) 腐食検知用センサー

腐食のうち全面腐食は金属の腐食速度から機器の寿命が予想されるが、局所的な腐食（例えば孔食）は集中的に一箇所が腐食され破損に至る。これを早期に発見するためのセンサーの開発が望まれる。

例として孔食電位の測定手法を応用したものなど。

5. レーザー

A. 応用テーマ

項目	内容	目的
燃料剪断	1. 高出力レーザーの開発	<ul style="list-style-type: none"> • 効率化 • 微粉末飛散防止 • 自動運転化 • 保守頻度の減少
解体・撤去	1. フィルターの解体 2. 大型機器, 配管の解体 3. 廃棄物の減容	<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔化 • 効率化 • 微粉末飛散防止
検査・測定技術 センサー技術	1. リミットスイッチとして利用 2. 機器ひずみの測定 3. 寸法測定 4. 位置測定 (ロボットとの併用)	<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔化 • 省スペース化
保障措置技術	1. ゲリラ侵入に対する防止	• 無人監視

B. 解 説

(1) 概 要

1960年, Maimanによってルビーレーザーが初めて発振して以来, 現在2000種以上の波長のレーザーが発振されている。この間これらのレーザーを各方面へ応用しようとする試みが続けられてきた。

最近のレーザー発振器およびレーザー応用技術の進歩は目を見はるばかりのものがあり, 生産現場で確実に定着して実用されている例が急増してきた。

現在高エネルギーレーザーは穴あけ, 溶接や材料溶融除去などに用いられ, 低エネルギーレーザーは, 測定, 検査, 医療などの分野に用いられている。応用機器例を図1に示す。

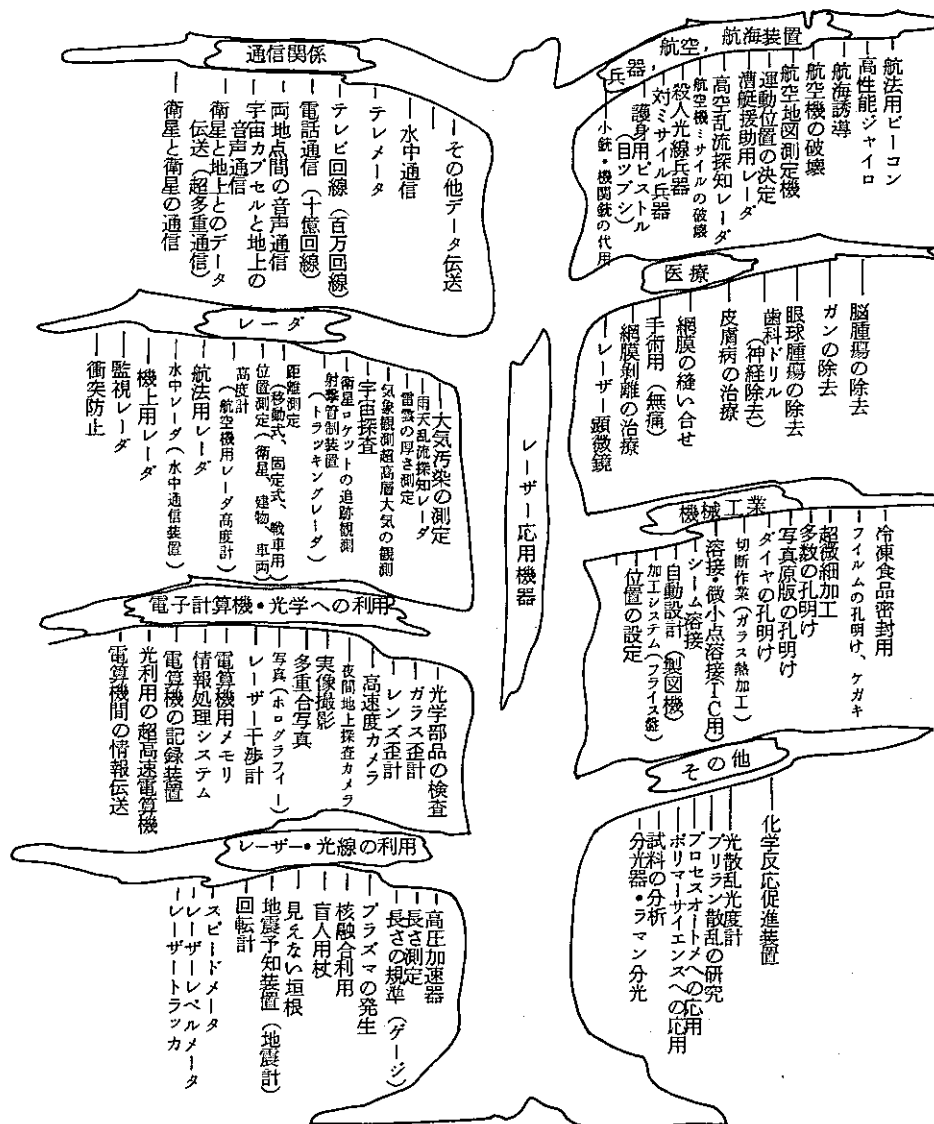


図1 レーザー応用機器例

(2) レーザーの原理

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

の原理を図2, 3に示す。

反転分布状態にあるレーザー物質(ルビー, CO₂など)中で誘導放出が起こると, 同じ方向に同じ振動数, 同じ位相, さらに同じ偏光特性を持った光波が連鎖反応を生じて, 規則正しい光波が増幅されていく。レーザー物質の両端に反射鏡を設けておくと, 光はこの間で反射往復をくり返すことになり, 飛躍的な増幅作用が期待できる。この際, 2つの反射鏡の間に存在する光は反射鏡で節をもつような定在波でなければならない。

光が往復する際, 光軸からはずれた光や反射鏡における乱反射・吸収は光強度の損失要因となる。増幅が大きくなり損失を上まわるとレーザー発振が起る。

熱平衡状態におけるエネルギー準位 ($E_1 < E_2$) を考えると, $E_2 - E_1 = \Delta E$ のエネルギーをもつ光が誘導放出される。反転分布の場合とは E_2 の状態の原子数が E_1 の状態の原子数よりも多い状態を言う。

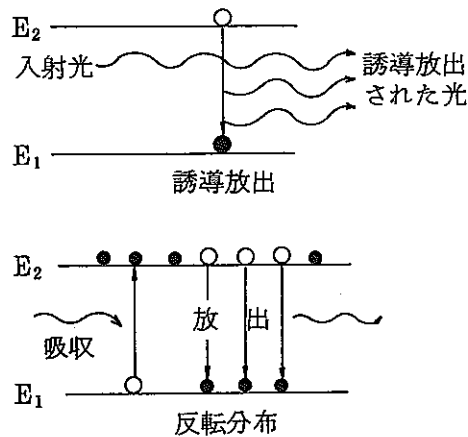


図2 誘導放出と反転分布

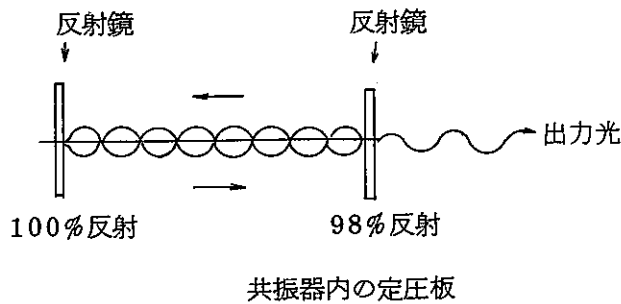


図3 共振器内の定在波

(3) レーザーの応用例

レーザー開発の進歩を図4に、また、加工に用いられるレーザーの種類を表1に示す。

加工用に用いるには、高出力のレーザーである条件が必要であり、このためCO₂レーザーが広く用いられている。(表2参照)

FBR再処理では、レーザーによりラップ管等のハードウェアの解体を行なうことを計画している。レーザービーム切断法は、切断端面の変形が少なく、また被加工物との接触がないなどの特徴がある。一方、より高出力化、あるいは焦点を被加工物表面に合わせるための追従機構等の開発要素が残されている。

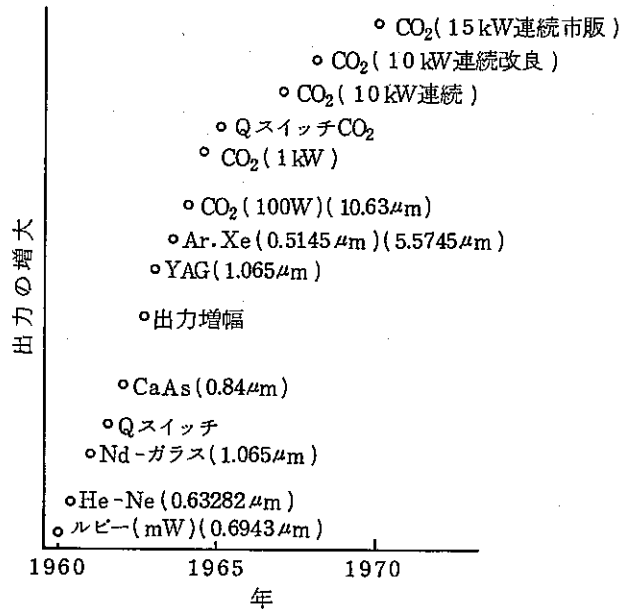


図4 レーザ開発における画期的な事柄 (Bryantら)

表1 加工に用いられるレーザーの種類

種類	母体	活性イオン	レーザー光波長(μm)	発振形式	出力(W)	くり返し速度(PPS)	パルス幅	製品の種類(3)		製品の種類(4)			製品の種類(5)			
								メーカー数	機種数	メーカー数	機種数	出力	メーカー数	機種数	出力	
固体	ルビー	Al ₂ O ₃	Cr ³⁺	0.6942	パルス	10 ² (P)	ローパルス	0.2~5ms	2	2	10	32	0.1~400J	17	64	5×10 ⁻⁴ J~400J
	YAG	Y ₃ Al ₅ O ₁₂	Nd ³⁺	1.065	連続	10~10 ³	-	-	4	6	13	31	15mW~800W	17	77	15mW~750W
					パルス	200(m) 10 ⁴ (P)	~100	1~10ms	7	16	13	43	0.5mJ~40J	23	81	0.2mJ~35J
ガラス	ガラス				パルス	10 ⁶ (P)	ローパルス	0.5~10ms	3	3	7	16	25~500J	10	39	1mJ~100J
気体	CO ₂	CO ₂ -He-N ₂	CO ₂	10.63	連続	100~2×10 ⁴	-	-	9	20	11	36	3W~2kW	18	52	1W~15kW
					パルス	100(m) 10 ⁴ (P)	100	100μs			7	17	100mJ~500J	17	39	25×10 ⁻³ J~10 ⁴ J

表2 CO₂レーザーの応用例

	切 断	溶 接	硬 化 熱 処 理
方 法			
原 理	<p>① レーザービームで部材を加熱し、溶融させる</p> <p>② 溶融物を切断ガスで吹飛ばす</p> <p>③ 切断ガスにO₂を使用すると鉄鋼等の切断時に発熱作用が生じ能率が上がる</p>	<p>① レーザービームで部材を加熱し、溶融蒸発させる</p> <p>② 部材金属の蒸気圧により、キーホールが生成し、深溶込み溶接になる</p>	<p>① レーザービームで部材を変態点以上に加熱する</p> <p>② 部材の熱容量で加熱部が冷却される</p> <p>③ 急熱急冷により、照射部が焼入れされる</p>
特 徴	<p>〔長所〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 高速切断 高融点材料、難切削材料の切断が可能 高精度切断 熱影響、熱変形が少ない <p>〔短所〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 切断板厚の上限は20mm程度 	<p>〔長所〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 高速溶接 深溶込み溶接 熱影響、熱変形が少ない 微細溶接が可能 狭隘個所の溶接が可能 <p>〔短所〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 溶込み深さの上限は25mm程度 	<p>〔長所〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 局所的な表面焼入れ 高 能 率 冷却装置が不要 <p>〔短所〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 焼入れ深さの上限は2mm程度 ビーム吸収率を上昇させるため表面処理が必要

6. 超 音 波

A. 応用テーマ

項 目	内 容	目 的
除染技術	1. 新除染技術への応用 2. タンク内の除染 (ロボット技術との併用) 3. 機器腐食の防止	・被曝低減化 ・省力化 ・迅速化 ・除染性能向上
点検技術	1. 超音波探傷 ・セル内機器等の点検 ・欠陥部品の早期発見 2. アコースティック・エミッションの応用 ・機器の作動状況の管理 ・機器の寿命予知	・被曝低減化 ・安全性の向上
工程管理	1. 抽出工程における液面管理 2. 界面測定, 液位測定	・測定範囲の拡大
処理能力向上	1. 抽出器の攪拌性向上	・抽出効率の向上

B. 解 説

(1) 定 義

超音波とは一般的に“人の耳に聞えないほど周波数の高い音”という概念でとらえられるが、より明確な定義としては、“人が聞くことを目的としない音波”と定義されている。従って人が聞くことを目的としない音波であれば、可聴音でも、超音波に含まれる。

図1に人の耳で聞くことのできる音の範囲を示している。人の年齢等によっても異なるが、大体16Hzから20kHzが可聴範囲と考えられている。

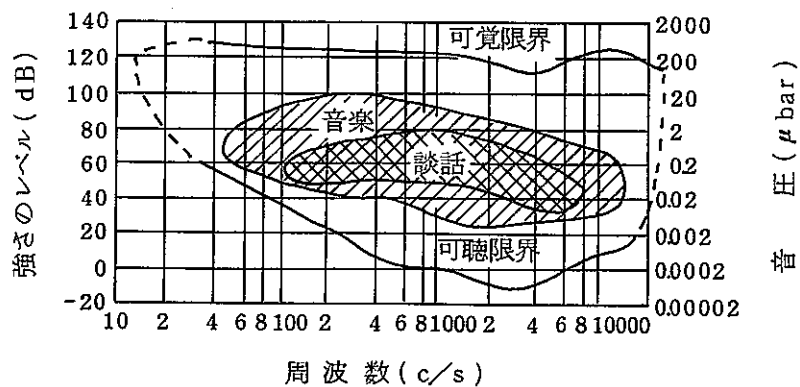


図1 聴覚の範囲

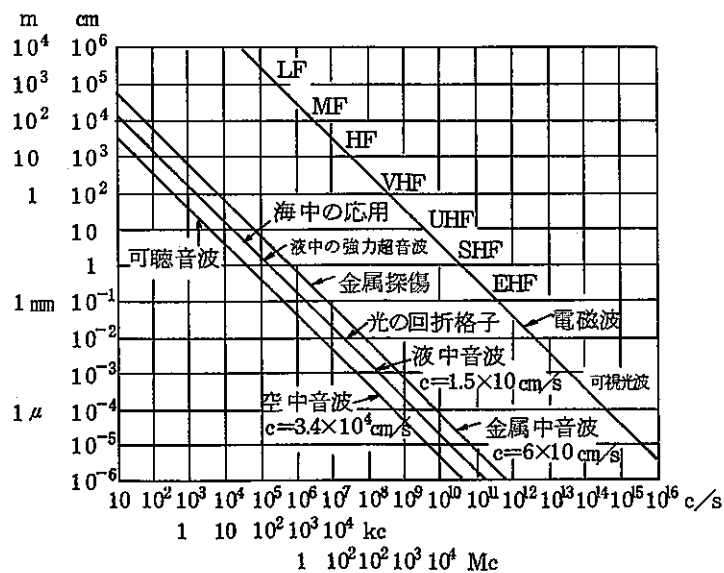
(2) 超音波研究の歴史

超音波研究は、1912年に、大西洋航路でTitanic号が、氷山に衝突、沈没した直後から、ソナーの技術の可能性について議論が開始されたもので、その歴史は大変古い。従って新技術と呼ぶべきか否かについて議論の必要がある。しかし、その後の電気回路の発達により、超音波の発生、測定技術が進歩し、その利用範囲も拡大している。

(3) 超音波の特徴

超音波利用上は、次のような特徴がある。

- 1) 媒質は空気よりも液体、固体であることが多い。
 - 2) 周波数が高く、波長が短いこと。
 - 3) 強度が著しく大きい場合が多いこと。
- 1) 媒質に気体・液体・固体があることにより生れる特徴としては、気体・液体の場合はたて波しか存在しないのに比べ固体の場合には、横波・表面波が存在することが特徴となっている。さらに、異なる媒質間では、伝達の際の音圧レベルの低下がはなはだしいことが特徴となっている。このため、例えば水中で強大な超音波を利用してもそれ程空気中では問題とならない。
 - 2) 波長が短いことによる特徴は、その指向性及び幾何光学的な性質にあらわれる。つまり、超音波は、特定の対象に向けた場合には、その方向を中心として伝播し、対象にぶつかると反射し、対象の裏には影ができる。
 - 3) 強大なことによる特徴は、主に空洞現象である。超音波の強度を上げていくと、音圧が静圧を突破し、媒質が引きちぎられ空洞を生じることがある。このとき音圧の瞬間値が減少し、逆に音圧が正圧になるとき瞬間的な破壊力作用を示す。



空气中、水中、金属中の周波数と波長

(4) 超音波の応用

応用の範囲は大きく分けると

- ① 通信技術上の応用
- ② 動力的な応用

の2種類がある。以下に、分野別の具体例についてリストアップする。

① 通信技術上の応用

- 1. 魚深, 測深, などのソナー
- 2. 金属深傷, 厚さ, 流量測定等の工業計測
- 3. 遅延回路, 機械濾波器等の電気通信回路素子
- 4. 金属探傷類似の医学的診断法
- 5. 超音波による物性研究

② 動力的な応用

- 1. 金属等の疲労試験
- 2. 医療, 細菌破壊
- 3. 超音波加工・振動切削
- 4. はんだ付等の工作法
- 5. 化学工業への応用として乳化, 分子の解重合
- 6. 電気めっきの改良, 脱気, 脱泡, 集合粒子の分散
- 7. 超音波洗浄, 微粉回収, 集塵
- 8. 熔融金属の処理

以上のように, 超音波の利用範囲はきわめて広い。

最近, 超音波を利用した技術として次のようなものが開発されている。

1) 開合合成超音波探傷

鋼材中に超音波を入射させ, 欠陥によって散乱された反射波を検出, 欠陥の有無や寸法を測定する超音波探傷法は, 各種構造物や機械部品の非破壊検査法として広く用いられているが, 品質管理の高度化に伴って, より高い精度で欠陥を検出する技術の開発が望まれている。日立研がこのほど開発した手法は, レーダを使った遠隔地表検査で実用化されている開口合成法を応用したもので, 表面下50mmで1mm程度に近接している微小欠陥を識別できる。

2) 簡易リークディテクタ

米UE Systems社は, 超音波を使った簡易リークディテクタ(気体洩れ検出器)を開発した。

同装置は, たばこの箱大の超音波発生器と携帯型の音源探査器で構成。配管内部など, 洩れを測定したい機器内に, 最大で約9m四方の部屋までカバーできる超音波発生器を装着, 外部から洩れ音をポイント測定する仕組みである。超音波を利用しているため, 工場騒音を

ど周囲の環境に影響されずに測定できる。

空気圧縮や特殊気体などを使わずに空気洩れを検出できる点が特徴で、自動車のキャブレタの洩れ検査や、ドアの密閉度などを簡単にチェックできる。

3) 超音波温度計

米エネルギー省(DOE)のサンディア国立研究所(ニューメキシコ州)は3200℃の温度まで測定できる超音波温度計を開発している。従来の超音波温度計は正確に測定できる上限が約1000℃までだったため、3倍以上、測定範囲が広がる。

この温度計は原子炉容器内の温度変化をはかるために開発したもののだが、一般の工業炉にもわずかな改良で使用できるという。温度計の応答時間は1秒の何分の1と短く、精度は±1℃以下になる。測定法は超音波のパルスをタングステン製ワイヤローブから発して、スローブ先端から測定部までの反射時間を測り、温度をもとめる。この際、プローブから測定部までの距離を正確に求めることが必要。圧力容器内の温度が変化するので、プローブの長さも伸び縮みし、それにより反射時間もわずかに変化するからである。ここでは電氣的に処理している。

7. 新 材 料

A. 応用テーマ

項 目	内 容	目 的
耐硝酸性，耐放射線性 耐フッ酸性材料の開発	1. 高濃度，高温条件での使用機器の材料開発 2. 廃棄物長期貯蔵容器の材料開発 3. ケーブル材料の開発	• 寿命延長 • 保守頻度の減少

B. 解 説

(1) 概 要

80年代の技術革新の突破口を開くものとして新材料(新素材)に熱い期待がよせられている。しかし、一口に新材料といってもその範囲はひろく、金属系、プラスチック系、さらには無機質系など、ありとあらゆる素材の分野から新材料が名乗りをあげている。このような事態は、石油に関連したエネルギー価格の高騰、資源ナショナリズムのたかまりによる原材料の入手難、発展途上国の追い上げなどの問題を切り抜けるべく現れたものである。省エネルギー、省資源、新エネルギー開発や高付加価値化などの技術的ニーズの爆発的な増大に応えるため、近年急激に高まったのが新技術の開発熱である。

いわゆる新技術といわれているものには次のような材料がふくまれるようである。

金属系……………アモルファス合金，超電導材料，超硬合金，超微細金属粉末，形状記憶合金，高耐食性合金，超耐熱合金，繊維強化金属複合材，等

プラスチック系……エンジニアリングプラスチック(高機能樹脂；ポリアミド，ポリカーボネイト，ポリフェリレンオキサイトなど)，エレクトロニクス用高分子材料，機能性膜材料，バイオテクノロジー用高分子材料，等

無機質系……………ファインセラミックス，光ファイバー，センサー用材料，原子炉用材料，電子材料(LSI基材，半導体レーザー，磁気バブル)，等

動燃で行なっている新材料開発の例としては、FBR燃料被覆管用のステンレス鋼材とか高レベル廃棄物ガラス固化体など、その他にもたくさんあると思われる。もっともほとんどが新材料の“開発”というより新材料の“選択”であろうが、それでも役に立てばよいわけだから、おおいに目を光らせ“選択”すべきであろう。

(2) 開発テーマ

1) 耐硝酸性材料開発

再処理工場や廃棄物処理施設において、機器の寿命延長、保守頻度の減少は非常に重要である。このため、高濃度、高温の硝酸溶液に耐える材料の開発が是非必要である。第二再処理およびFBR再処理をターゲットにした積極的な材料開発が是非必要である。

2) 耐放射線性材料開発

高放射線環境下で核燃料サイクル諸施設を運転する場合、ケーブル材料などで耐放射線性の高いものが必要である。

また、廃棄物の長期貯蔵を考えた場合、適切な容器材料として耐放射線性が高いものでなくてはならない。その他、廃棄物の特性に応じた特性が必要なのはもちろんである。

3) 耐フッ酸性材料開発

高富化度 PuO_2-UO_2 の硝酸溶解性は100%とはならず、必ず不溶解残渣が生じる。この溶解処理にはフッ酸を使うことも検討されている。これはFBR再処理ばかりでなく、MOX燃料加工施設の湿式回収工程にもあてはまる問題である。

8. ヒートパイプ

A. 応用テーマ

項目	内容	目的
熱の有効利用技術	1. 廃棄物の発生熱利用 2. 使用済燃料の除熱利用 3. 蒸気凝縮水の除熱利用 4. 排気中の熱利用	・排熱の有効利用

B. 解説

(1) 開発現況と原理

30～60℃の低温排熱は、一般の工場やビルから大量に排出されるが、これまでは、多くが未利用のままであった。この低温排熱を有効に利用できるヒートポンプが、最近、通産省工業技術院のムーンライト計画により相次いで開発されている。

一例を表1に示す。

表1

№	型式	開発メーカー	用途等
1	吸収式	三洋電気空調設備 東京三洋電気	エンジン発電機の排ガスと冷却水利用で工場や事務所の冷暖房，給湯を行なう。 システム最小規模：1320㎡冷房面積，エンジン出力100kWで可。
2	バイナリ式	日立造船 前川製作所	圧縮式と吸収式を組み合わせたバイナリ型。 30～60℃温排水から，100～150℃高温水を作り出す。（吸収式等のみでは60℃前後の温水）
3	プレート式	日阪製作所	25℃の地熱水利用で，新エネルギー実験ビル「エネラブ80」の床暖房。灯油による温水暖房に比べ約63%のエネルギーコストの低減可。

これらのヒートポンプによる省エネ効果は、三洋電気のケースで、投入燃料を100%とした場合に、電気で約40%、冷暖房，給水加熱で約55%の合計で最大約95%のエネルギー効率が見込めるため、様々なビルや工場の冷暖房，ハウス園芸の暖房，うなぎ養殖における水温制御など種々の用途が考えられ，かつ採用されつつある。この他ヒートパイプ利用では，アモ

ルファス太陽電池とヒートパイプによる真空管式コレクターを一体化して、電気と熱エネルギーを同時に取り出せるハイブリッド型ソーラシステムなども開発されており、いずれもこれらの工夫および応用による技術的可能性は、大きい。

ヒートポンプの原理は、冷凍機と同じ原理に基づくシステムであるが、利用する熱の形態が違っている。冷凍機が吸熱側となる蒸発器の吸熱量を利用して冷却するのに対して、ヒートポンプは、放熱側となる凝縮器や吸収器の放熱を利用する。

吸収式ヒートポンプの作動原理を下図に示す。

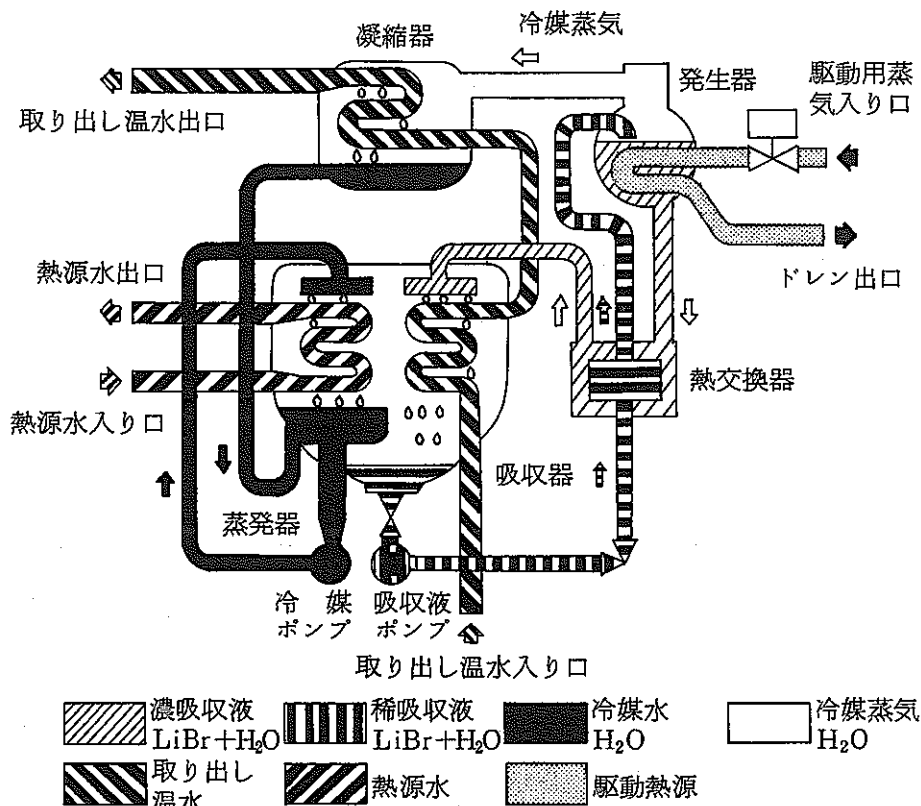


図1 吸収式ヒートポンプの作動原理

(2) 応用例

核燃料サイクル関係で排熱を有効に利用できるものとして、次のものが考えられる。

- 1) 再処理，原子炉等の温排水利用
- 2) HAWガラス固化体貯蔵発熱利用
- 3) 使用済燃料の除熱
- 4) 蒸気凝縮水の除熱
- 5) 排気中熱の有効利用
- 6) 焼却炉等の廃熱利用

9. トモグラフィー

A. 応用テーマ

項目	内容	目的
非破壊検査	1. ガラス固化体の内部検査 2. 照射後試験 (PIE への応用)	・測定範囲の拡大

B. 解説

(1) 概要

トモグラフィーは“断層写真技術”と訳され、三次元物体の内部又はその断面像を表示する技術である。物体の内部に存在する組織を、数多くの角度から投影した“影”を解析することにより、位置、大きさ、形状まで認識表示することができる。投影データの解析には、コンピュータ処理が不可欠で、一般には、CT (Computed-Tomography) として実用化される。

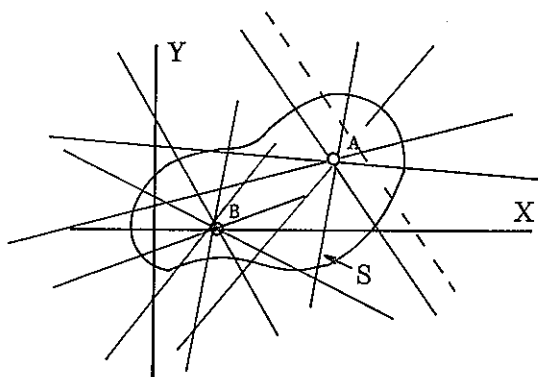
当初は医療用として、X線透過写真に換わる、人体の内部像を得る手段であったが、放射線を利用した非破壊検査全般に応用できる。CTで像を得る技術としては(i)Transmission CT, (ii)Emission CTがある。

(i) Transmission CT : 透過力のある放射線を被験体に照射し、内部組織の吸収係数の差を利用して断層像を得る。

(ii) Emission CT : 被験体内部に存在する線源からの放射線を外部で検出し、断層像を得る。

(2) 原理

“二次元又は三次元の物体は、その投影データの無限集合から一意的に再生できる”という数学的証明に基づき、物体を横切るあらゆる角度方向の投影データを得る。



二次元を例にとれば、XY平面上の平面S中に存在する任意の点Aを含むあらゆる角度方向の積分データ、同様に、Sに含まれるすべての点を含む、全角度方向の積分データから、この平面Sを一意的に再生できる。

(3) 応用例

現在、HLW固化体検査に応用する方向で開発が進められている。

容器に封入された廃棄物固化体について内部の充填形状を把握し、

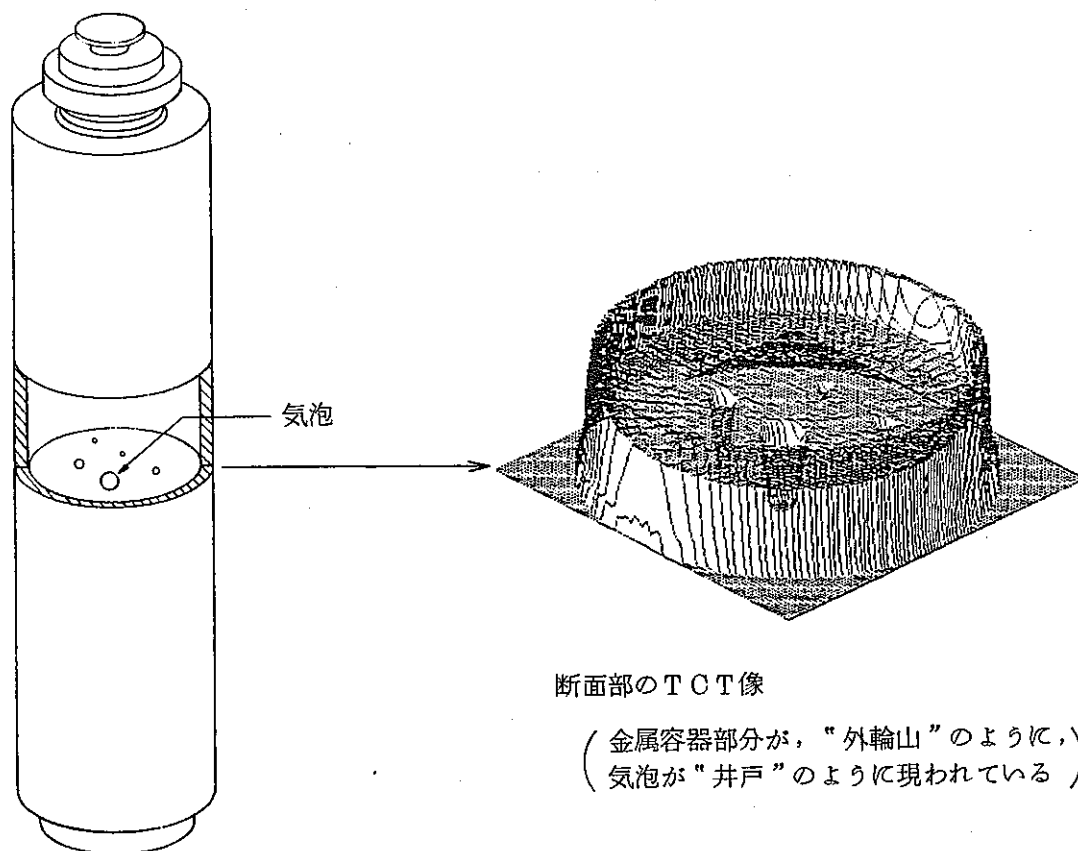
- 1) 設計値通りの固化形状の確認
- 2) 体積と総重量から密度等管理データの把握
- 3) 内部欠陥、放射能分布の把握

など、非破壊検査方法として用いられる。

従来、 γ スキヤニングして得ていたデータについて、測定点を増加しコンピュータ解析と連動することで解析が可能である。

下図は、HLWガラス内部の気孔のTCT像である。全径30cmの固化体内部に存在する直径4mmの気孔又は放射能異常部を検出可能である。

燃料体の検査、照射後試験にも、上記と同様の手法で応用できる可能性がある。



断面部のTCT像

(金属容器部分が、“外輪山”のように、
気泡が“井戸”のように現われている)

容器入HLW固化体モデル

(固化体中に気泡が
混入している)

10. マイクロ波

A. 応用テーマ

項目	内容	目的
加熱技術	1. 廃棄物の減容	・遠隔化
	2. 排液の固化	・効率化

B. 解説

(1) 概要

マイクロ波はテレビに使用されている電波と隣接する周波数帯の電波であり、波長が1 cm～100 cm (周波数300 MHz～30 GHz) の電波を総称し、加熱用途の外、UHFテレビ放送やマイクロ波通信に利用されている。

マイクロ波加熱は、炎、蒸気や輻射などによる間接加熱と異なり、電磁波の被加熱物体内部における電磁氣的ロスを熱源とする直接加熱の1分野である。被加熱物は誘電体に限られるが、使用する周波数が極めて高いことにより種々の特色あるメリットを持っている。

マイクロ波加熱の身近な例は家庭用の電子レンジであり、工業的応用としてもここ10年の間に、食品、化学、木材などの分野で、独自の地歩を築きつつある。この間各種の応用技術に関する大量のデータが蓄積され、実験研究の段階は過ぎ、実用化の時代に入ってきている。

使用周波数の割当てが、各用途に応じて国際的に定められており、加熱用としてはISM (Industrial Scientific and Medical) バンドが規定されている。

915 MHzと2450 MHzが世界的に広く用いられているが、我国では2450 MHzが電波法で認められている。

(2) マイクロ波加熱の原理

いわゆる電気絶縁物質(誘電体)を電波の存在する空間に置くと、誘電体を構成している分子が電波(電界)の力を受けて、電氣的平衡状態から変位する。この現象を分極という(図1)。誘導体にマイクロ波が加わるとマイクロ波の周波数に従って分極振動が発生し、分子間で摩擦

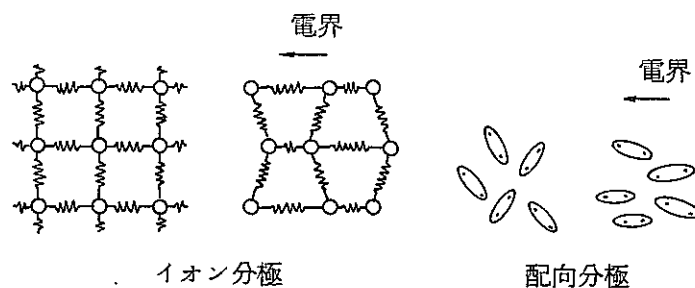


図1 分極の機構

を起して発熱する。このようにマイクロ波加熱ではマイクロ波が物体中を浸透しながら、吸収されて熱になっていく。

マイクロ波加熱は物体自体が発熱体となる加熱方式であるから、従来の熱伝導による外部加熱にない幾つの特徴がある。

- ① 加熱に要する時間が短い。
- ② 複雑な形状でも比較的加熱の均一性が良い。
- ③ 水を選択的に加熱することができる。
- ④ 熱効率が高い。
- ⑤ 加熱電力の制御が瞬間にしかも容易にできる。
- ⑥ 加熱乾燥工程の自動化・省力化が可能。
- ⑦ 装置の占有面積の縮小が可能。
- ⑧ 作業環境の改善ができる。
- ⑨ 大気汚染などの公害を起こさない。

などをあげることができる。

(3) 応用例

マイクロ波加熱の開発が電子レンジで始まったためか、食品工業の分野で加熱乾燥工程に数多く利用されている。このほか紙、フィルム、繊維、木材、鋳型等の分野で乾燥工程として利用されている。

核燃料サイクル分野では、硝酸プルトニウムと硝酸ウニルの混合溶液の脱硝法としてマイクロ波加熱直接脱硝法の開発に成功しており、今後は

- ① 放射性廃棄物の減容（溶融固化）。
- ② 放射性廃液の乾燥固化。

にマイクロ波加熱法の応用が計画されている。

次図にマイクロ波溶融固化のブロック・フローシートを示す。

プルトニウム廃棄物のマイクロ波溶融固化

