

1

研究

Research and Development

昭和49年は資源弱小国である我が国の経済にとって極めて厳しい試練の年であった。資源を保有する開発途上国のナショナリズムの高揚、及び資源政策の変化、世界人口の増加など激変する世界的動向の中にあつて、狭小国で高密度社会の我が国に対するインパクトは一段と激しいものがある。知識集約形への変換といい、社会福祉優先への移行といい、数年来叫ばれていることが真に現実問題として迫った年と言えよう。

このような情勢下で国際企業としての日立製作所がいつそう充実するためには、内外の環境変化に即応した新製品・新技術の開発が重要であり、日立製作所傘下9研究所の総力を結集してプロジェクトの重点化と効率化、マーケットニーズの把握、研究のスピードアップ及び成果の早期企業化などの施策を強力に進めている。

すなわち、政府の大型プロジェクトには昭和48年に引き続き、資源再生利用技術システム、自動車総合管制技術、パターン情報処理システム、海水淡水化、電気自動車用サイリスタチョップ制御などに参加し、また49年度は新たにサンシャイン計画に参加した。

官公庁からの助成、研究委託によるものは、光情報伝送の研究、液晶を用いた表示装置の研究試作、半導体アナログメモリの研究試作及び自動車の安全・公害機能の集中制御システムなどがある。

日立製作所の製品は多種多様で、その研究開発の内容も非常に幅の広いものである。

すなわち、新技術、新製品を目指した先行開発から、現製品の改良、例えば製品の性能、安全性、信頼性向上、価格低減のための設計、及び生産の省エネルギー化・自動化が盛り込まれている。

先行開発については、無収差凹面回折格子、カラー三次元画像記録再生技術、半導体レーザの開発、及び海水淡水化・海水処理装置の開発などがあり、基盤技術では破壊力学による高精度強度評価システム、 SF_6 ガスの非理想性を考慮したパッファ圧力の理論解析、高落差ポンプ水車ランナの実働応力の測定解析、及びコントロールボルテックスタービンの研究などがある。また、新材料としては極低温用絶縁構造材料、ガスタービン燃焼器ライナ用合金の開発などが挙げられる。その他、複合走査Bスコープ式超音波検査装置、水中調査ロボットシステム、全自動束線機の開発など、日立製作所がもつ技術総合力の結果といえる多くの研究成果を挙げることができた。

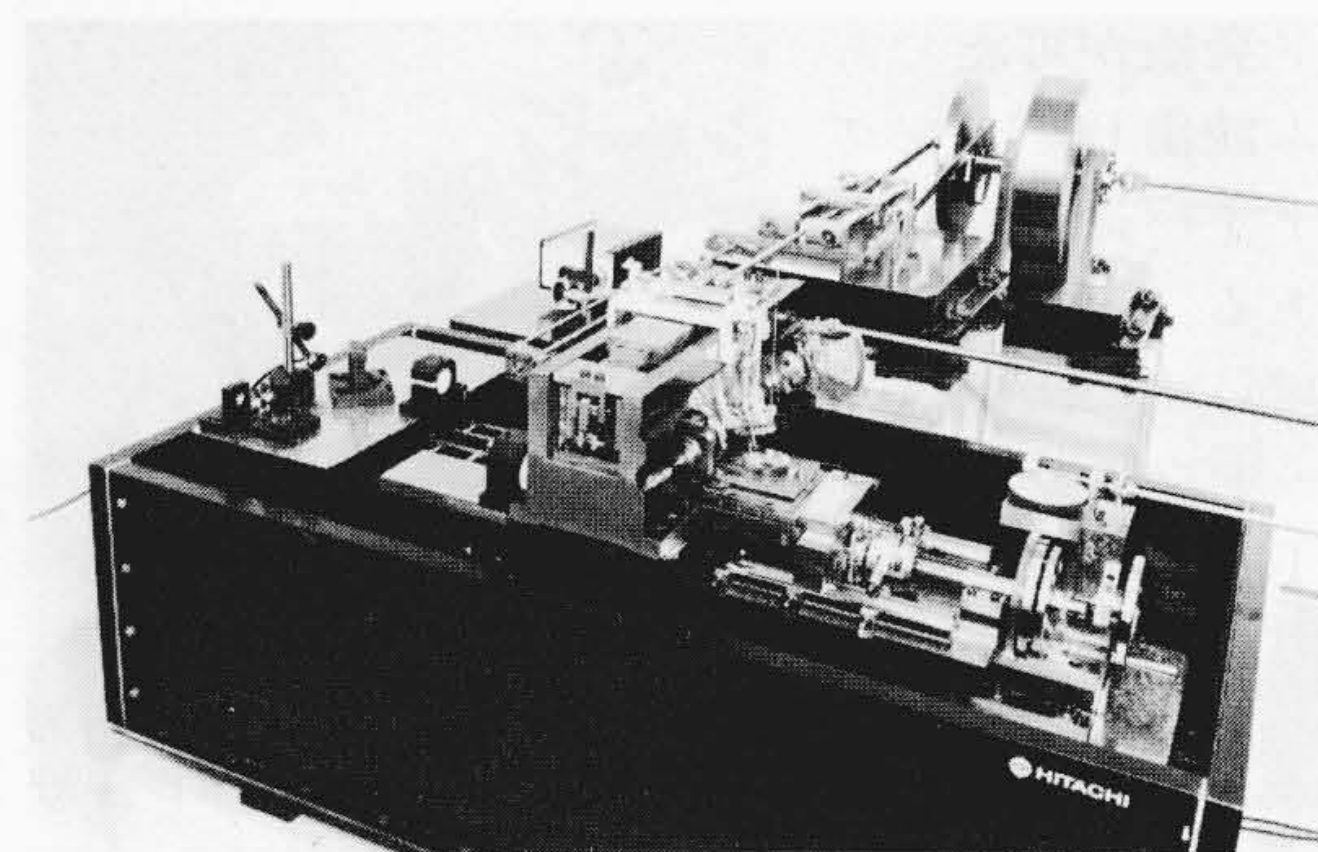
なお、この章に収録したものは研究成果のごく一部であり、成果の大部分は第2章以下の各製品に盛り込まれている。

無収差凹面回折格子

凹面回折格子は、回折格子の光分散と凹面鏡の集光の両機能を併せもった分光素子であるが、凹形球面上に等間隔の直線溝を刻んだ従来の凹面回折格子はスペクトル上に多くの収差を伴う欠点があった。

日立製作所が新たに開発した無収差凹面回折格子は、凹形球面上に特定の関数関係に従って、間隔の変化する長円溝を刻んだものであり、溝間隔の変化量と溝の曲率の選択により、任意の波長に無収差スペクトルを得ることができる。この無収差凹面回折格子は、日立製作所が世界で初めて完成した数値制御ルーリングエンジンにより実用化が可能になったものである。

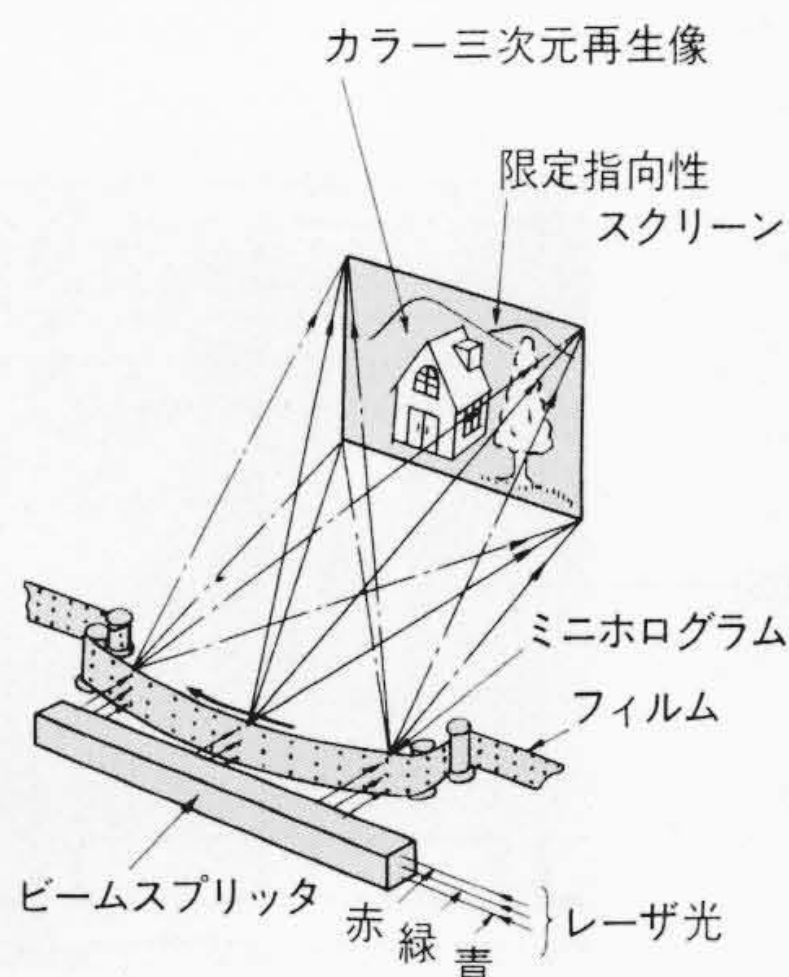
この凹面回折格子の開発により、従来の凹面回折格子分光装置の性能向上のほか、公害計測や臨床検査などの用途を対象とした新しい分光装置の開発が期待される。



数値制御ルーリングエンジン

カラー三次元画像記録再生技術

ホログラフィ手法を用いて35mmフィルム上にカラー三次元画像情報を記録し再生する技術を開発した。その応用として25cm四方のスクリーン上にカラー三次元回転動画をレーザ光で映写するディスプレイ装置を試作した。原理と、装置を図に示す。三次元画像はフィルム上の直径2mmの微小ホログラム約30個中に記録されており、3個1組で二次元カラー情報を、11組で三次元像を近似的に合成している。三次元像のもつ多量の情報を効率よく低減することに成功した点に技術のポイントがある。教育、医用、宣伝などの分野での応用が期待されている。



カラー三次ディスプレイの原理

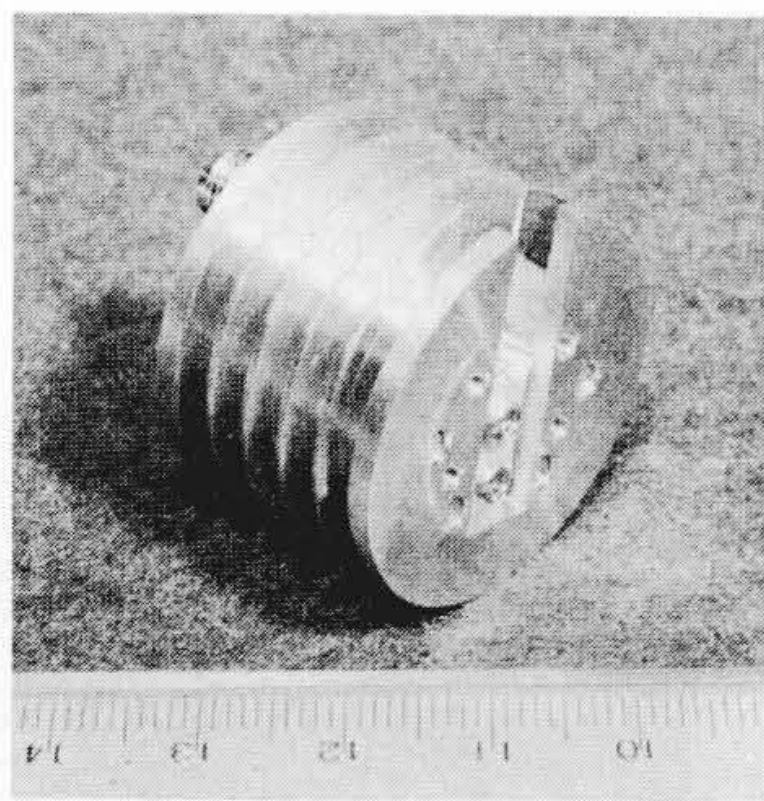
カラー三次ディスプレイ装置

半導体レーザの開発

半導体レーザは、光ファイバーを伝送路とする光情報伝送システム用の光源として最も期待されているが、出力、及び動作寿命を確認することが実用化のための最大の課題である。

今回、GaAs-Ga(Al・As)ダブルヘテロ構造半導体レーザの開発において、(1)ホトルミネッセンス観察法による結晶評価と、劣化原因の解明、(2)不純物無添加Ga(Al・As)活性層による低しきい値・低欠陥密度結晶の成長、(3)Very Low Mesa Stripe (VLMS) 形素子構造による活性層損傷の除去の新技术により、出力15mWにおいて5,000時間、出力100mWにおいて2,500時間の高出力連続動作寿命を達成し、実用化に明るい見通しを得た。

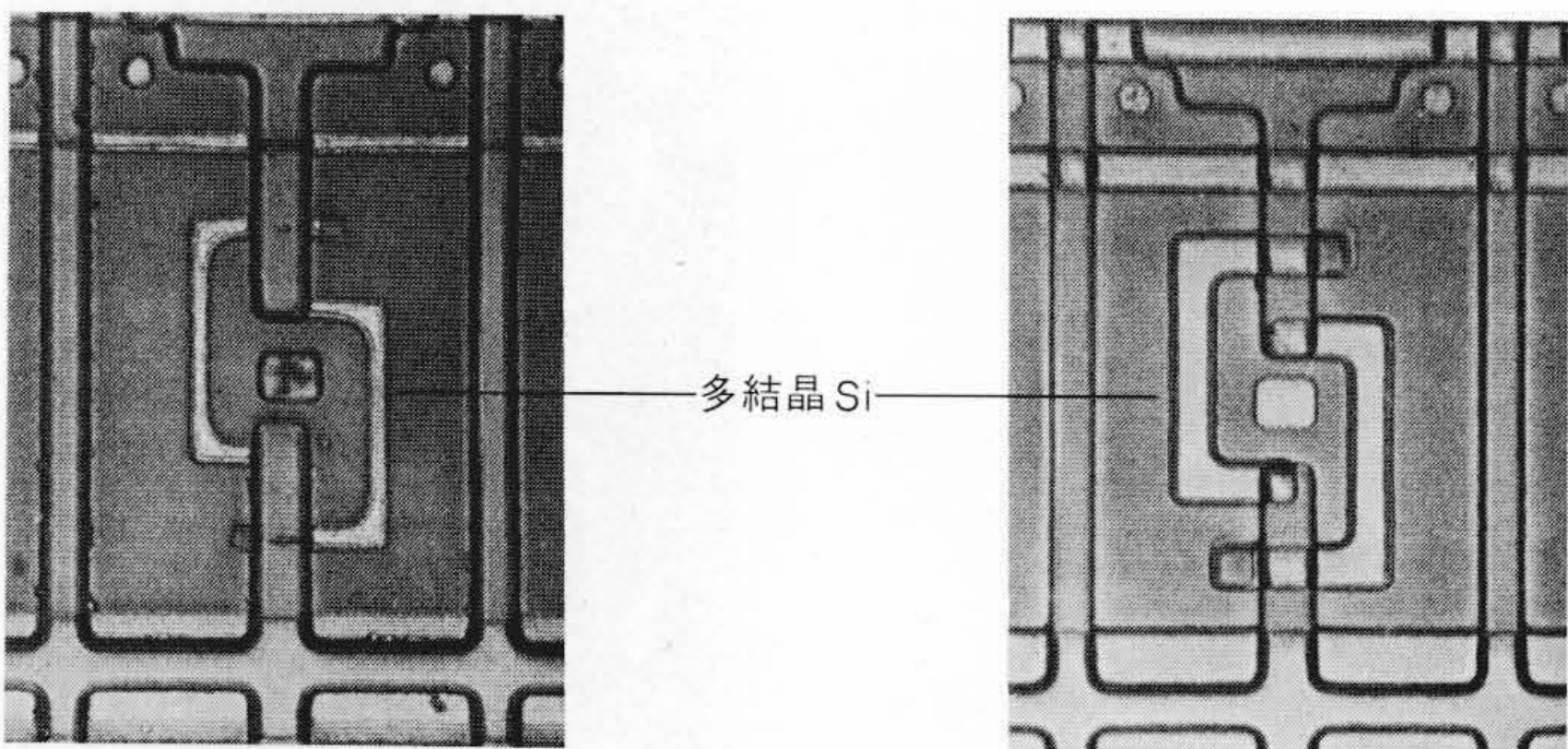
なお別に埋め込みヘテロ構造レーザ、及び分布帰還形レーザの2種類の新形半導体レーザをも開発した。前者は、約 $1\mu\text{m}^2$ の超小形発光面をもち、低電流で横基本モード発振が可能であり、ホログラム読出し、シングルモード光ファイバ通信などの用途に有望である。後者では、へき開鏡面を用いず、低温における単一モード発振が確認され、将来の光IC用光源として期待される。



放熱器を取り付けたVLMS形高出力長寿命化半導体レーザ

表面改質技術とそのホット エッチングへの適用

半導体素子用薄膜材料の性質は、形成条件、外部ふんい気などに依存する。素子特性の信頼性、作成プロセスの再現性向上を目標として、 SiO_2 、Siなどの表面の性質を制御する技術を開発した。表面改質技術は、 SiO_2 表面に存在するシラノール基と、アルコール、シランなどとの反応により表面に種々の有機原子団を形成する技術であり、極めて強い親水性の SiO_2 表面を、ポリエチレンに匹敵する疎水性にまで連続的に変化させることを可能にした。この技術をホットレジスト-下地材料界面の密着性制御の立場から利用すれば、ホットエッチングにおける加工精度を定量的に制御できる。従来困難であった多結晶Si膜、ポジタイプホットレジストを用いた SiO_2 膜の微細加工において著しい効果を得た。



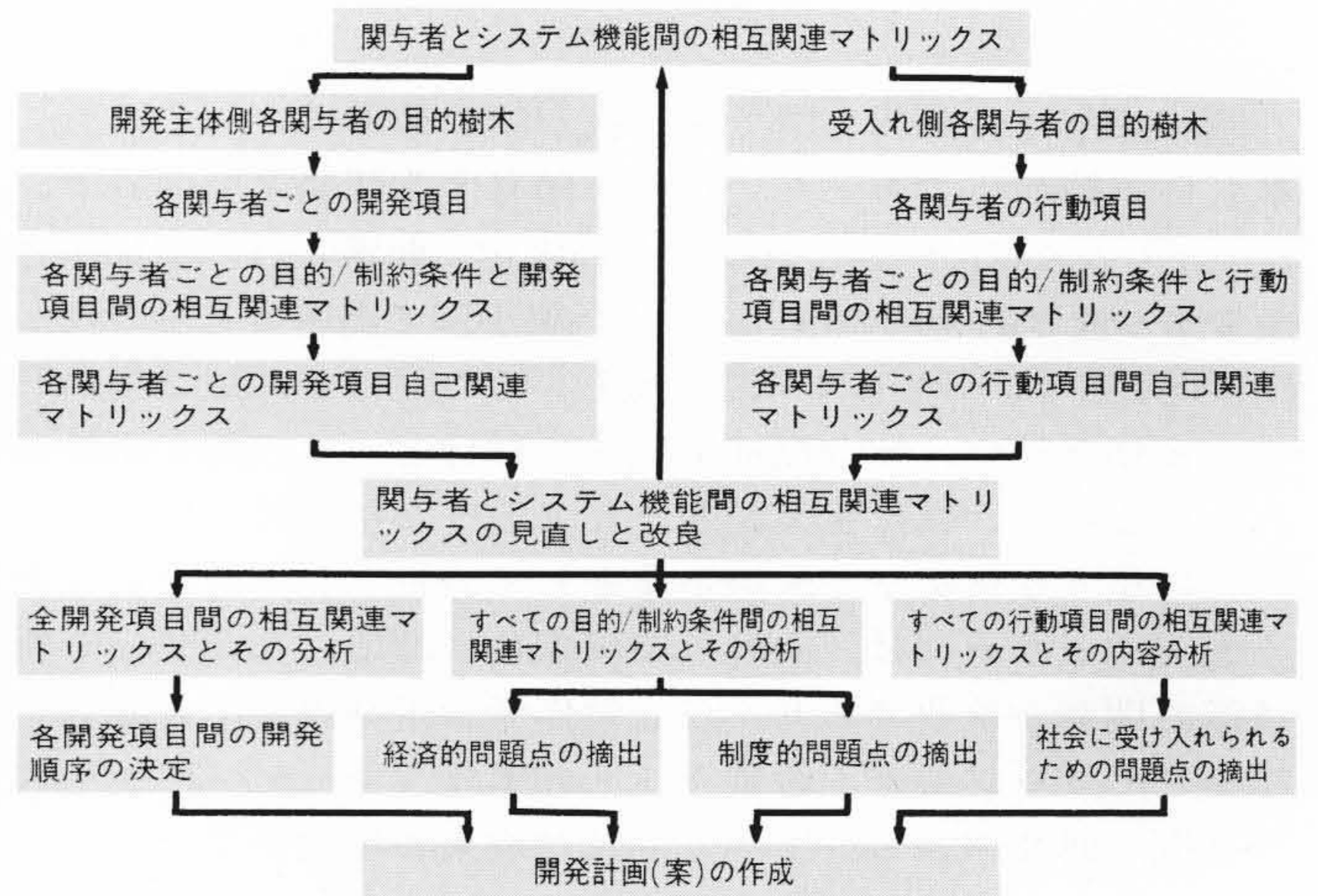
(a) 従来法

(b) 本 法

大規模集積回路(LSI)への適用例

多関与者をもつシステムの計画技法“PPDS”

社会的要素の強いシステムを開発するプロジェクトを計画する過程を体系化する問題に、アメリカの成果を試用して、新たに生じた問題点を解決し、多関与者をもつシステムの計画技法 Planning Procedure to Develop Systems (PPDS)を開発した。PPDSでは、各関与者の価値、目的、手段の分析を独立に行なった後、装置、管理、社会性の三つのレベルで統合するという手順をとることにより多関与者システムの問題点を解決している。更に、グラフ理論により、運用を含めた装置部の合理的な開発手順を求めるアルゴリズムを与えている。



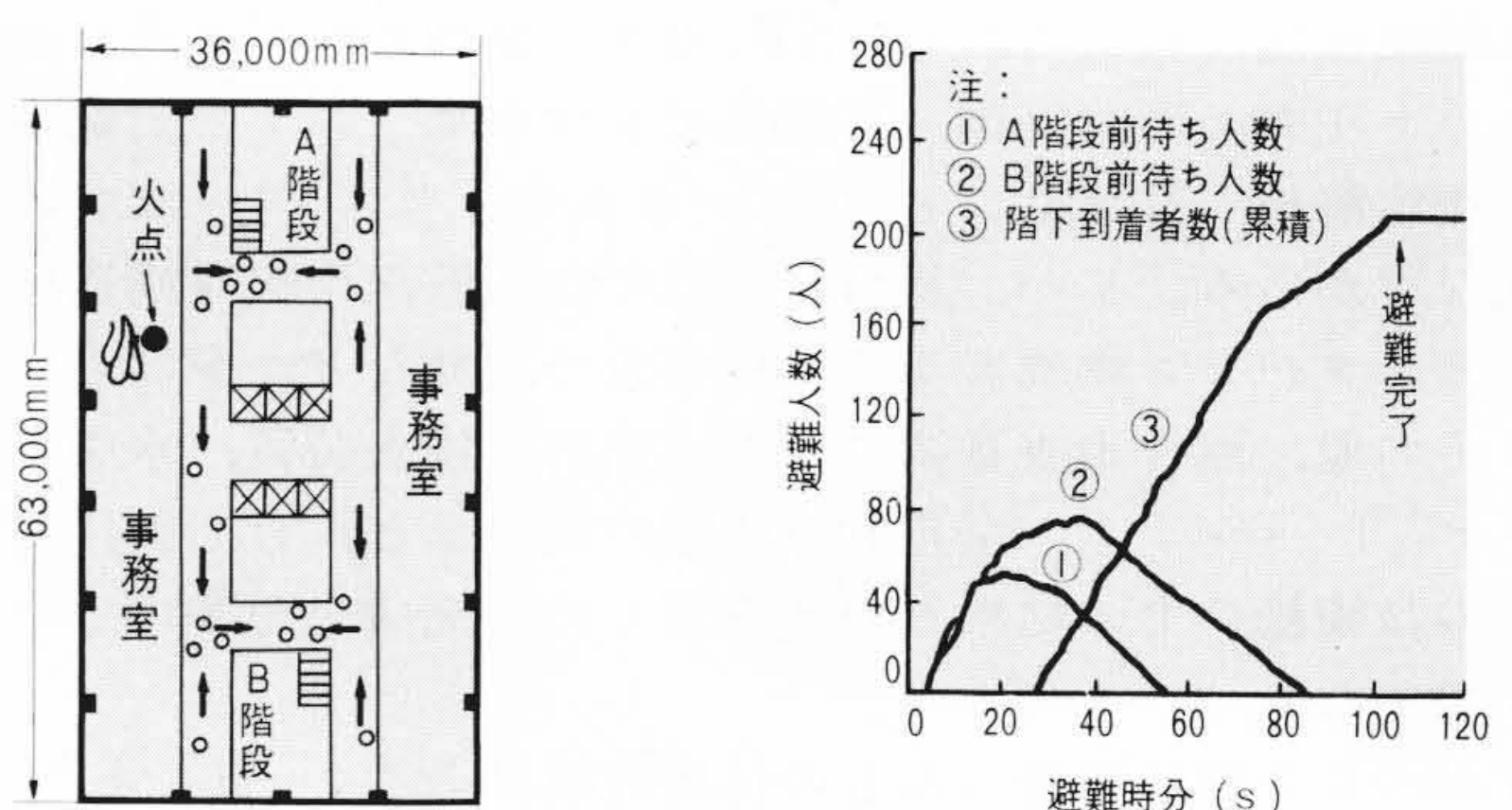
“PPDS”によるシステム開発の計画手順

ビル災害時の避難シミュレータの開発

大規模建造物における火災、地震など災害時の避難誘導の計画に当たっては、避難路ごとの群集数と避難時間を推定する必要がある。このため、建物の避難路全体をネットワークで表わし、群集歩行をその枝上での流れ、滞留(待ち)を節点変数、避難誘導を節点における流入流出比に対応させた待ち行列形モデルによる避難シミュレータを開発した。

このシミュレータは、入力として避難路の構成と各部の寸法及び節点(交差点)における群集の流入流出比を与えることにより、滞留人数、通路群集密度、避難者数などの経時変化を出力する。これらにより、想定される避難状況に応じた防災設備計画と避難誘導運用計画を評価することができる。

一例として、ある高層事務所ビルで火災が発生した際、火災階から直下階への避難人数推移を図に示す。



事務所ビル基準階平面図

避難人数の推移

破壊力学による高精度強度評価システム

製鋼・溶接技術の最近の進歩にもかかわらず、大形鋳鍛鋼品、及びその溶接部においては、一般に微小な材料きずを皆無にすることが困難とされている。それゆえに、重電機器など大形鋳鍛鋼品を使用する構造物の信頼性確保には、これら材料きずをもつ部材の正確な強度評価法開発が必要とされてきた。日立製作所では、永年にわたる研究の結果、破壊力学を用いて、き裂状の欠陥をもつ部材の高精度な強度評価システムを開発した。

このシステムの概要は図に示すとおりである。従来は破壊力学が単純な形状、単純な応力状態のものにしか適用できなかったのに比べ、今回開発したシステムでは、実製品のように複雑な形状、応力状態のものにも適用可能となり、大形構造物の信頼性向上に大きく貢献している。

この強度評価システムの特色を列挙すると次のようになる。

(1) 応力拡大係数 K の計算方法

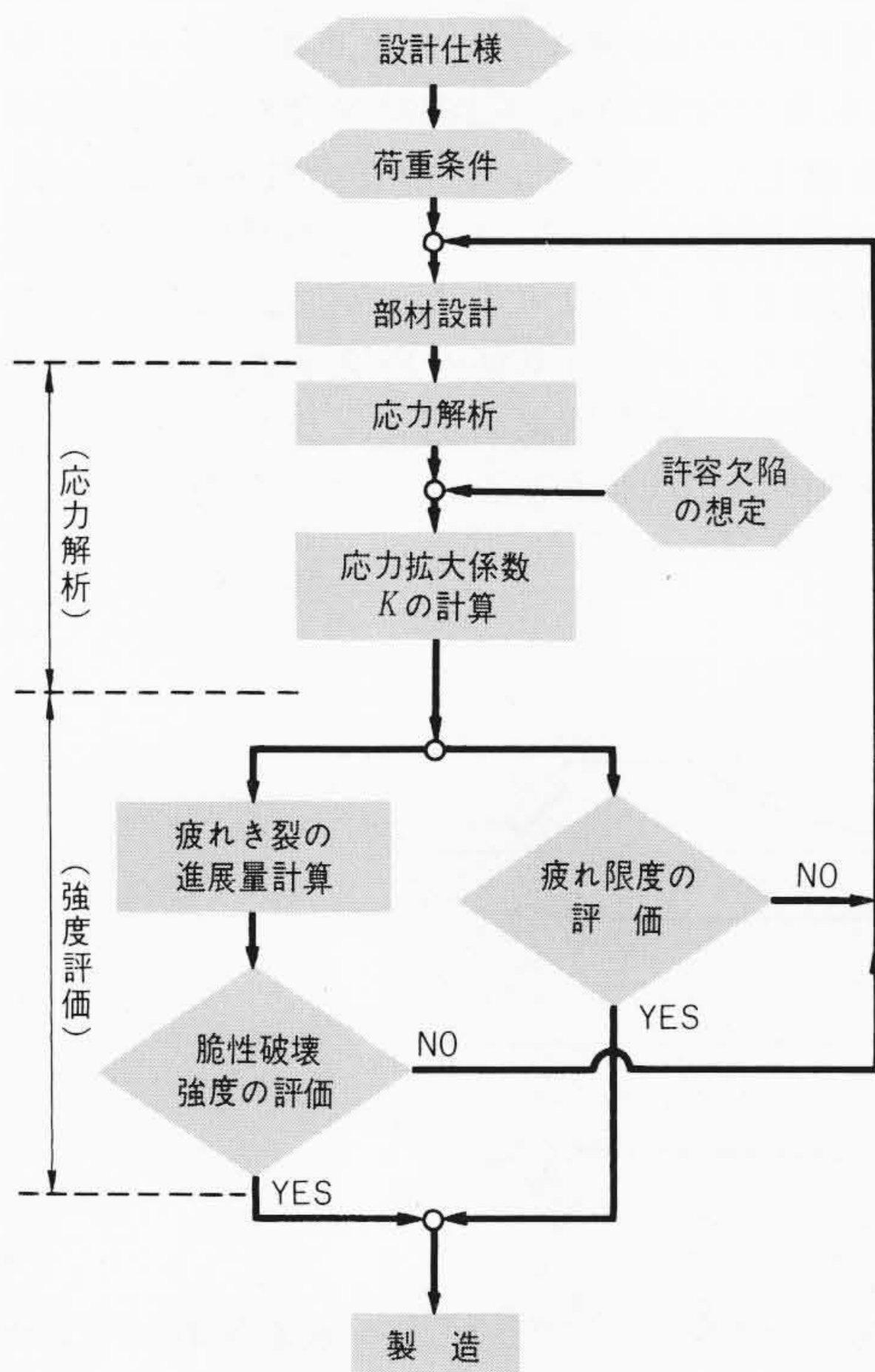
き裂状欠陥の強度を破壊力学により評価するための尺度となる重要なものであり、従来から各方面で研究されてきたが、複雑な形状のき裂に対しては膨大な計算時間がかかり、また計算精度の保証が困難であるなどのため、実用可能な計算方法がなかった。これに対し、今回有限要素法を用い、特にき裂先端要素の応力と、き裂の変形挙動に対する理論検討結果を導入した斬新な計算方法を開発した。このため、従来法に比べて計算時間が約 $\frac{1}{10}$ で済み、高い精度が常に保証され、任意形状のき裂に対しても応力拡大係数の計算が可能となった。

(2) 強度評価

組合せ応力状態(引張り応力とせん断応力の共存など)、平均応力が存在する場合などの複雑な応力状態における強度評価が可能であり、各種実用鋼に対するデザインカーブが制定されている。また、0.1ミリメートルから数十ミリメートルの広範囲な寸法のき裂に対し、弾性応力範囲、弾塑性及び塑性域にわたって評価が可能となっている。

(3) 適用範囲

このシステムは、製品使用中の負荷に対する強度評価だけでなく、鋳造、熱処理など製品使用時の割れ防止にも活用でき、大きな成果を挙げている。

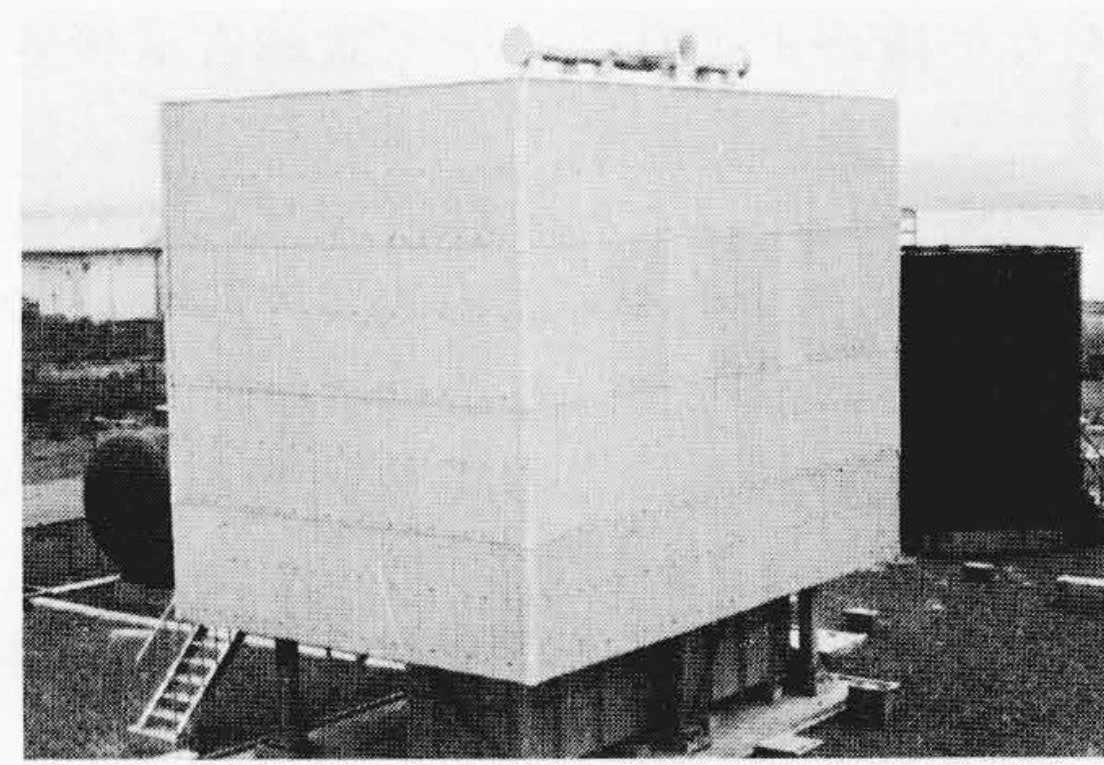


破壊力学による
強度評価システム

海水淡水化・海水処理装置の開発

通商産業省大型プロジェクト研究「海水淡水化と副産物利用」の一環として、大分県鶴崎に造水量10万 m^3/d プラントのテストモジュールを建設し、大容量装置による実証試験を行なう計画が進んでいる。日立製作所はこの研究の一部を受託し、「脱気・脱炭酸・スケール防止」の研究テーマに従い、プロセス用海水の処理装置を設計、製作した。

蒸発式海水淡水化装置における問題点の中で重要なものに、腐食とスケール付着が挙げられる。海水による腐食を低減するには、海水中の溶存酸素を除く脱気処理が必要であり、噴射ノズルでのフラッシュ脱気を応用した新しい最終蒸発段収納形脱気装置を設計、製作した。スケール付着防止はpHコントロールとスポンジボール洗浄の複合法とし、pHコントロールのために斬新なカスケード槽形脱炭酸装置を、スポンジボール洗浄のためにボール捕集器及びボール回収器を設計、製作した。

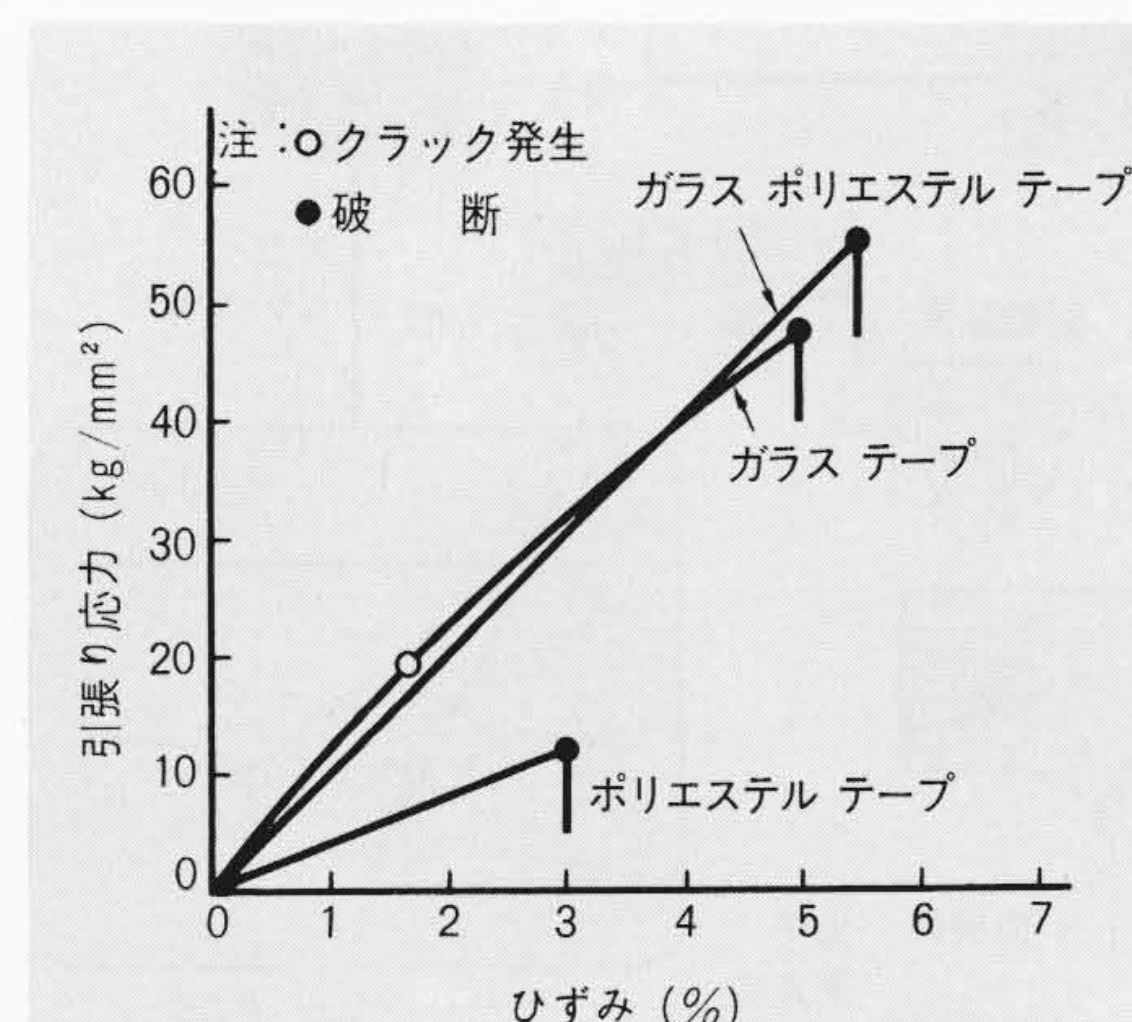


カスケード槽形脱炭酸装置

極低温用絶縁構造材料

超電導機器の絶縁構造材として使用できる極低温で優れた性質を発揮する複合材料を開発した。カーボン繊維とガラス繊維の混織布の積層品は、室温から4.2°Kに冷却時の熱収縮率を0.01~0.35%の範囲で自由に構成でき、スペーサや支持材として好適である。ガラス・ポリエステル絶縁テープは、図の応力-ひずみ特性に示したように極低温下で引張り応力を受けたとき、微小クラックを生ずるまでのひずみが大きく、超電導線の段間絶縁として好適である。

また超電導線の束をモールドし、室温から4.2°Kの液体ヘリウム中に投入してもクラックを生じない、耐クラック性の優れたエポキシ含浸樹脂組成を開発した。



絶縁テープの応力-ひずみ特性(77°K)

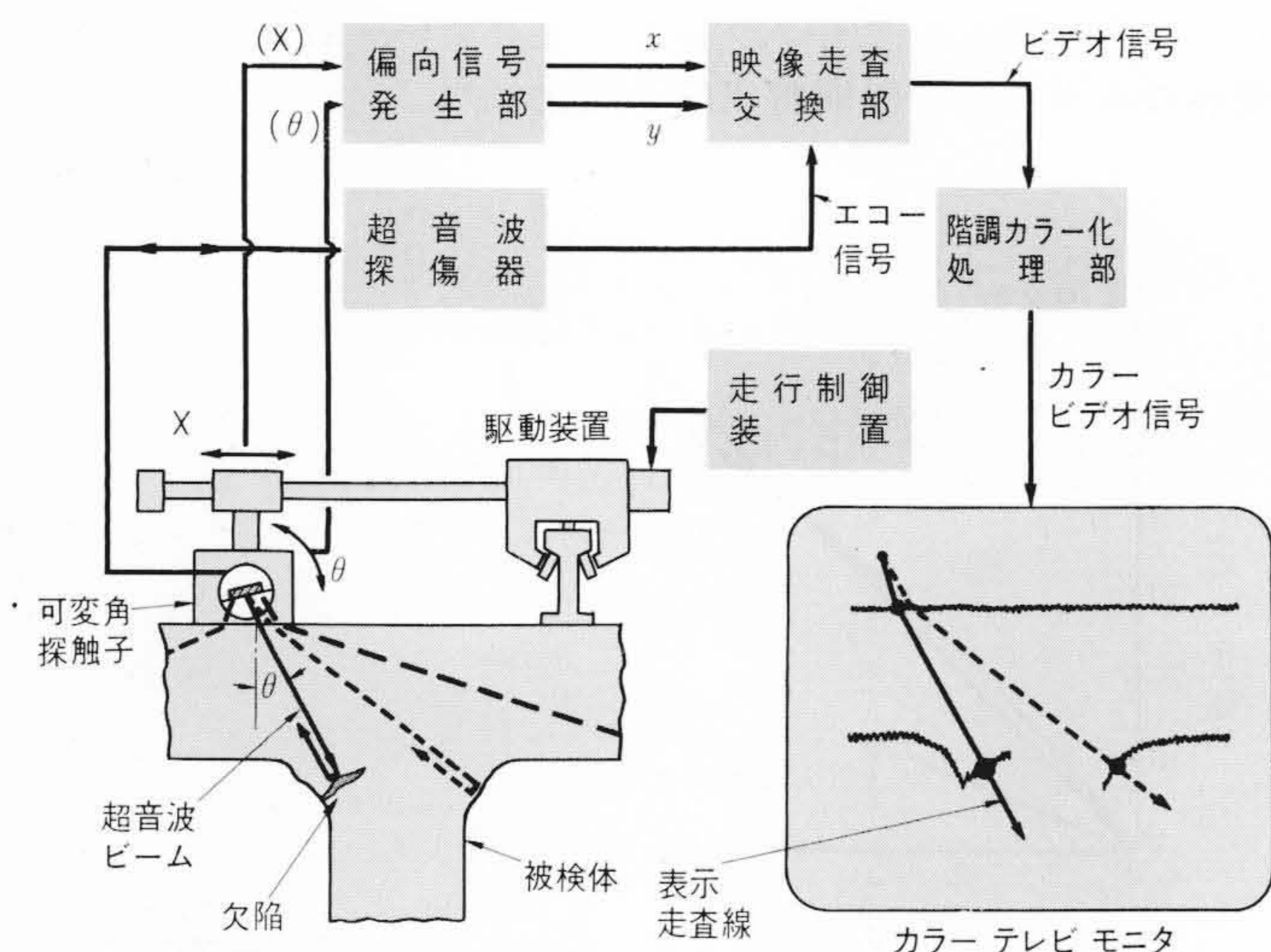
複合走査Bスコープ式超音波検査装置

工業製品、あるいは材料の健全性を調べる超音波探傷法は、ほとんどの場合Aスコープ上の探傷信号波形の観測によっているが、この方法では被検体内の欠陥の位置、形状、方向性などの推定評価が困難な場合が多い。そこで、被検体に対して超音波ビームの扇形走査と移動走査とを併用する、いわゆる複合走査を行なって得られるエコー信号により、被検体の断面像を表示するBスコープ法によれば、内部欠陥の位置や方向性が直視的に判断できて、探傷結果の評価が容易になる。この複合走査法は医用診断には活用されているが、これを工業材料に適用するには、一般に被検体面での超音波ビームの屈折があるので、Bスコープの表示走査線もその屈折径路に対応させる必要がある。また、Bスコープ上の超音波エコー像から被検体内部欠陥の規模を評価するためには、エコー信号の強度に対応して色分けして表示すればよい。

上述の目的を達成するための回路装置と、超音波ビームの扇形走査を行なわせるための可変角探触子とが開発された結果、映像の階調表示機能をもつ複合走査Bスコープ式超音波検査装置の完成をみた。図にこの装置のシステム構成を示す。同図で可変角探触子はその変角動作によって超音波ビームの被検体への入射角 θ を変化させる、いわゆる扇形走査を行ないつつX方向に移動する。各動作は走行制御装置によって制御されるとともに、角度 θ 、位置Xの値に応じた電気信号を偏向信号発生部に導き、ここで表示走査を行なうためのx、y偏向信号を作成する。映像走査変換部では、超音波送受信部より得られるエコー信号と、上記x、y偏向信号でアドレスすることにより、被検体の超音波断面像が蓄積される。このようにして形成された映像信号を標準のテレビ走査モードで読み出し、その階調を12段階のカラーで区分しカラーテレビモニタ上に表示して、被検体断面の観察に供される。

この超音波検査装置によれば、(1)種々の方向性をもつ欠陥がよく検出できる。(2)探傷結果が被検体の断面像として表現されるので、判定・記録が容易である。(3)欠陥エコーがその強度に応じてカラー表示されるので、欠陥の規模の評価に有効であるなど、多くの利点が得られる。

今後、各種の溶接部や部材の欠陥検査、あるいは原子炉圧力容器の自動超音波検査などに、広くこの技術の応用が期待される。

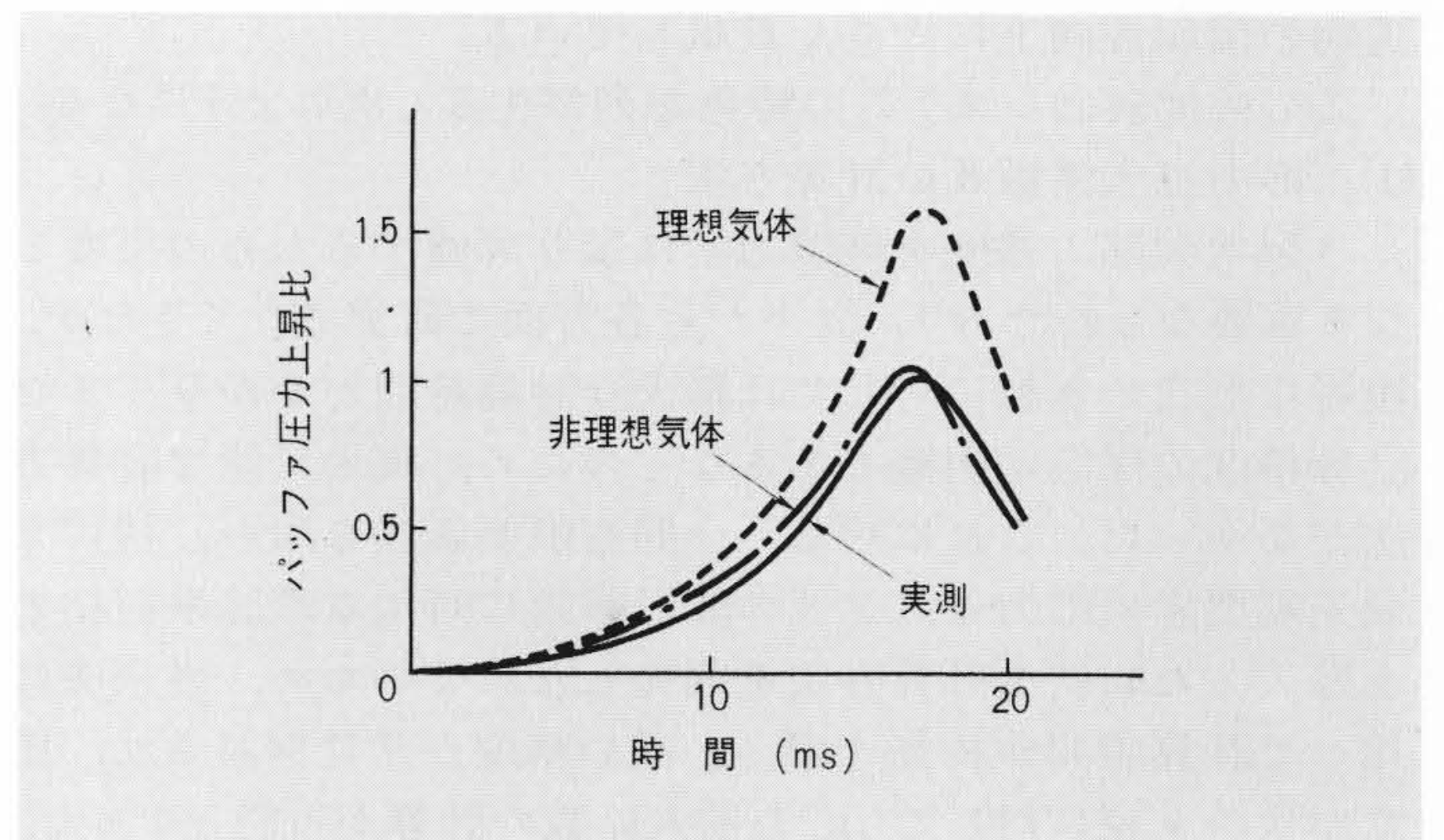


複合走査Bスコープ式超音波検査装置のシステム構成

SF₆ガスの非理想性を考慮したパuffa圧力の理論解析

パuffa形SF₆ガスしゃ断器は、しゃ断動作に伴って吹付圧力を発生する。50kA級の電流をしゃ断するためには高いパuffa圧力が必要であるが、SF₆を理想気体として取り扱った従来の計算法では、圧力が高くなるほど計算精度が低下し、合理的な設計ができなくなる。これに対処して、SF₆のBeattie-Bridgeman形状状態式に基づく非理想性を考慮した新しい計算プログラムを開発した。図は計算波形を実測と比較した一例で、理想気体を仮定した従来計算法では50%以上の誤差が出る高い圧力領域であっても、非常によく実測波形を再現できることが分り、パuffa形ガスしゃ断器の超高圧・大容量化への貢献が期待されている。

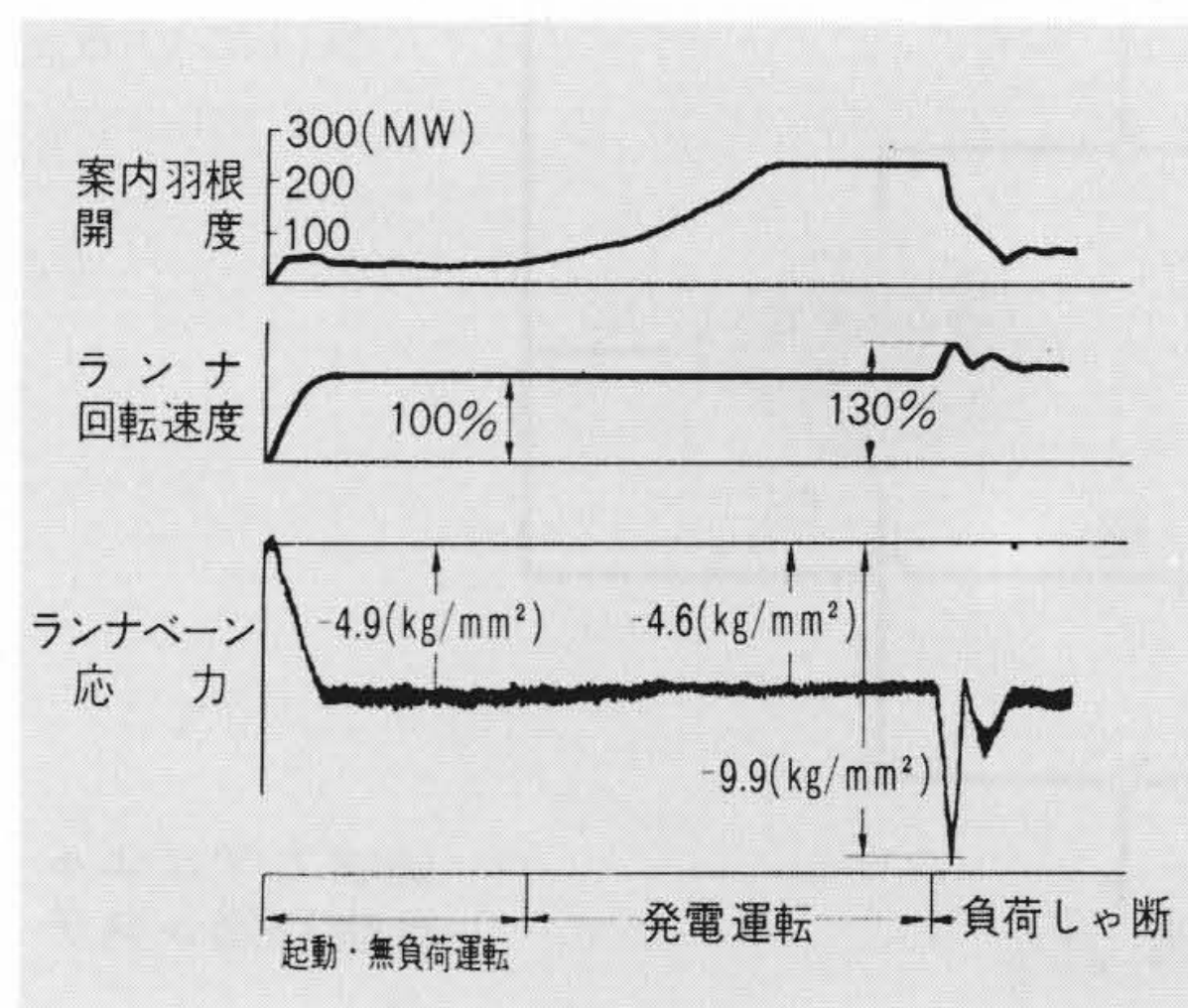
図p.15 300kV 50kA 8,000Aパuffa形ガスしゃ断器



パuffa圧力計算波形と実測との比較

高落差ポンプ水車ランナの実働応力の測定・解析

近年、大形・高速化の著しいポンプ水車用ランナの設計技術と信頼性の向上を目的として電源開発株式会社沼原発所納め230MWポンプ水車用ランナ（一体構造）及び関西電力株式会社奥多々良木発電所納め310MWポンプ水車用ランナ（二分割構造）について揚水及び発電運転の過渡時を含む全運転領域における実働応力を測定し、実機ランナの安全性を確認した。測定結果は三次元有限要素法によるランナ応力計算プログラム“STAR”の計算値とよく一致することから、これら一連の成果を基に高精度のランナ設計基準を確立した。図は沼原発所ポンプ水車ランナの測定結果の例で、ランナベーン中間部、クラウン側反作用面の水車運転における応力を示す。

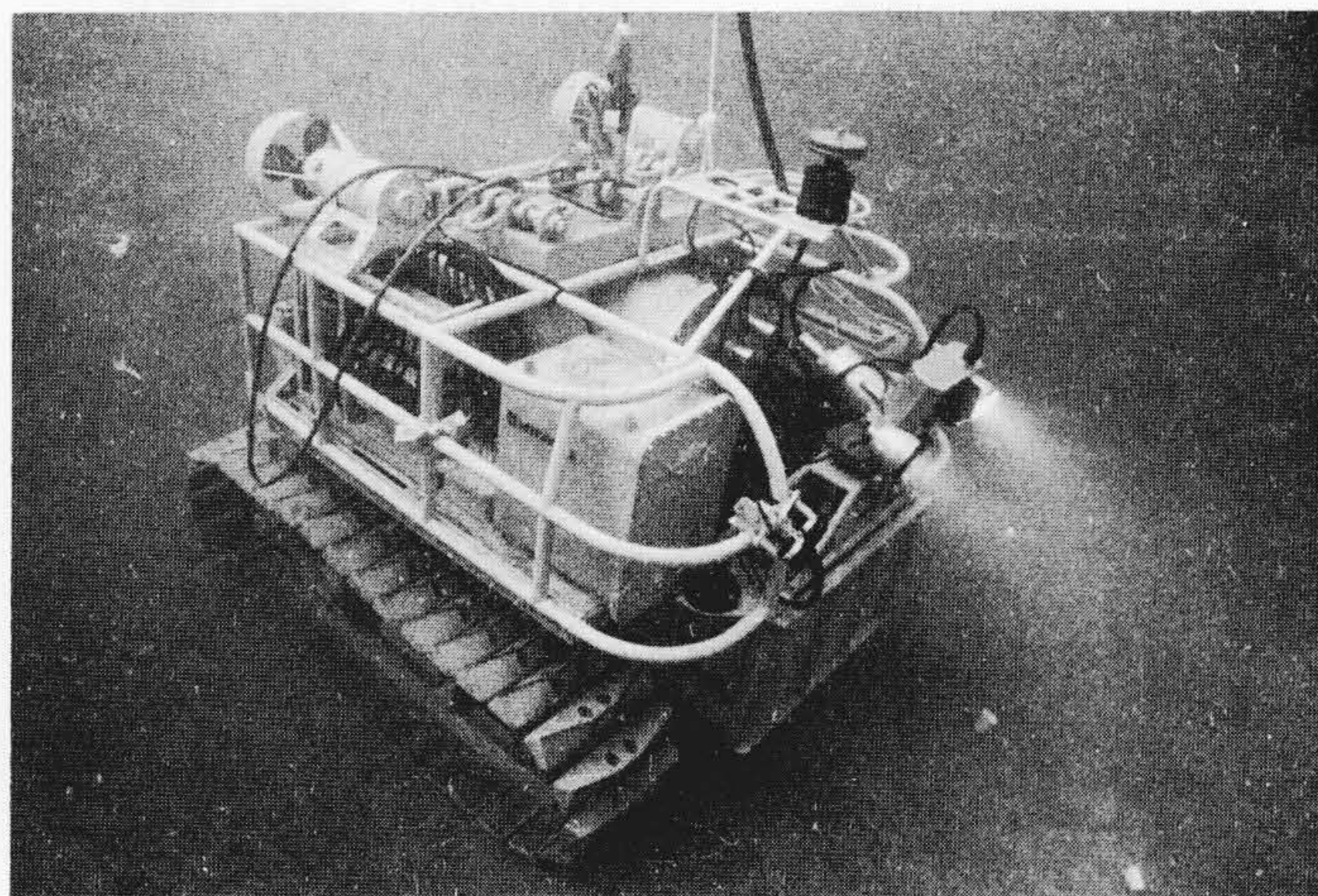


水車運転時ランナベーン応力

水中調査ロボット システムの開発

財団法人機械振興協会新機械システムセンターにより、各種の水中作業機械を組み合わせ、船上から遠隔操縦をして水中土木建設工事を施工するSeabed Engineering Work (SEW)システムが計画された。日立製作所は、このシステムの中のサブシステムとして、工事を開始する前に水底の地形を測量し、表層土質の試験を行ない、工事中には水底で作業中の他の作業機械の運転状況を調査し、また工事終了後には施工結果の検査を行なうことのできる「水中調査ロボット システム」の開発試作を担当した。このシステムの開発に当たってはSEWシステムのサブシステムとしてだけではなく、日立製作所が先に開発した深海形水中ブルドーザの周辺装置としても独立して使用できるように、適当な大きさの船に架設すれば使用できるように配慮した。水中調査ロボット システムは、海底走行部(ロボット)、ロボットの水中作業を支援する機械部、この両者を船上から遠隔操縦するための計測表示部の3部で構成した。海底走行部は小形トラクター ショベルと同じような無限軌道をもっており、水底の測量に必要な各種計測器のほか、水中テレビ、水中カメラ、土質試験機などを搭載した。機械部は海底走行部を水底につり降ろすための油圧ウインチと、船の上下動により水中ケーブルに無理な力が掛からないようにするヒープコンペンセータと呼ばれる巨大な釣ぎお様のものを組み合わせてある。計測制御部には、水底に潜っていて直接には肉視できない海底走行部の作業状況が、船上の操縦者に一目で分かるよう表示方法にくふうを凝らした各種計測器と、海底走行部を遠隔操縦するための制御装置とが組み込まれている。昭和48年秋、相模湾福浦港沖でSEWシステムに参加した各社と合同で行なった総合海中実験の結果、水中調査ロボット システムは所定の仕様を満たす好成績を収めることができ、実験後直ちに前記協会に納入された。

このシステムに対して与えられた仕様は、本州～四国連絡橋工事に使用することを想定したもので、最大水深は70m、3knの潮流までは調査作業を行ない、それ以上6knまでの潮流では水底に滞留していることが要求され、1回に調査できる範囲は100×100mとなっている。このような仕様のため、日立製作所の水中作業機械の特徴となっている浮力タンクを設けず、約80種に上る信号を1本の同軸線により送受信する信号多重化装置を使用して、水中ケーブルの外径を細くするなど水流の抵抗を減らすようにした。空中重量は5.3t、水中重量は4.2t、走行速度は1.4km/hである。



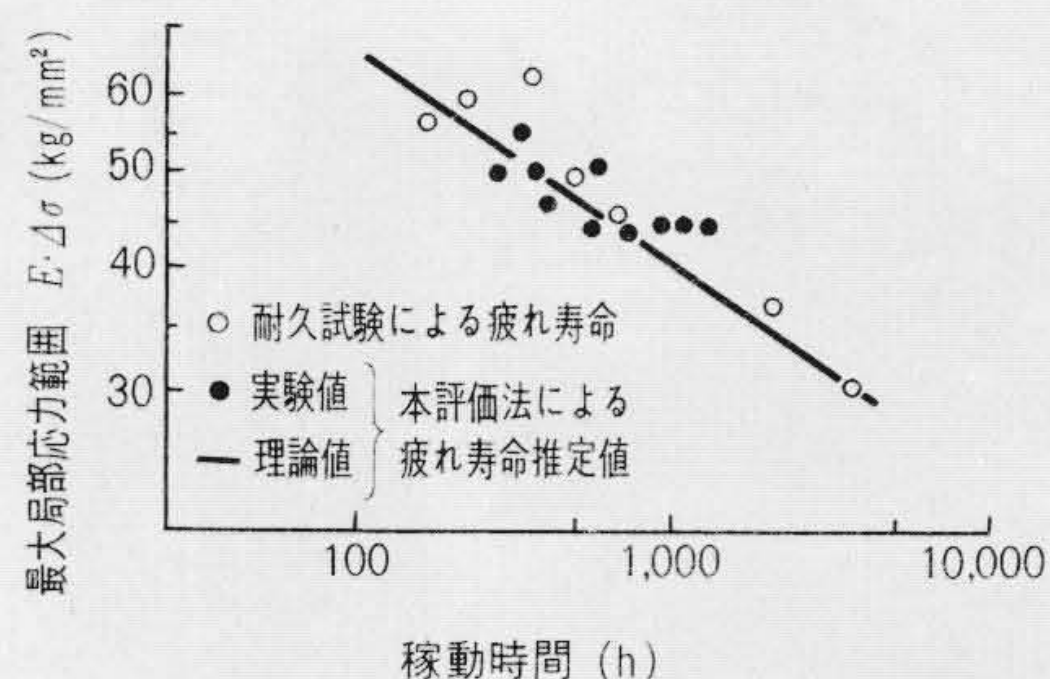
海底調査中のロボット(久里浜港、水深20m)

機械の高精度強度評価法

機械の信頼性を向上させるため、機械の強度に影響を及ぼす実働環境、実働荷重、幾何学的形状、材料などを系統的に検討し、ラボラトリオートメーションを広範囲に取り入れた高精度、且つ迅速な強度評価法を開発した。

この評価法は実働応力の予測、材料試験、実機部品、あるいはモデル部品の疲れ試験などによる疲れ寿命予測システムであって、実働応力データ処理、疲れ強度の予測法などに日立製作所独自の考えを含み、更にHITAC 10と直結した疲れ試験機やX線残留応力測定装置を開発して高精度化、高能率化を図り、重電機器、産業機械をはじめとして商品、電子部品など各分野の信頼性向上に実績を上げつつある。

図は鋼溶接構造物の耐久試験寿命をこの評価法による疲れ寿命予測値と比較して示したものであり、よく一致している。



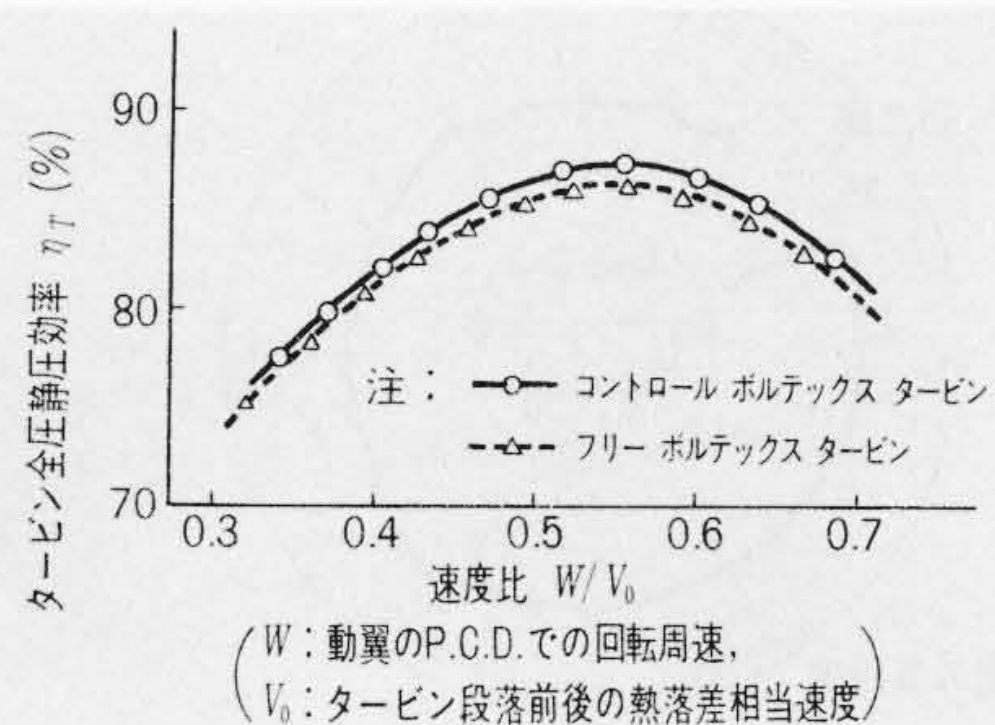
強度評価法による実機疲れ寿命予測例
(鋼溶接構造物の耐久試験における疲れ寿命を予測したもの)

コントロール ボルテックス タービンの研究

最近、省エネルギーの社会的要請により、発電用機器の効率向上は、いっそう重要になってきた。そこで、新しいフローパターン(流れ分布)を蒸気タービンに適用して、その効率を改善する研究を行なった。

従来、蒸気タービンでは半径方向に渦を生じない(フリー ボルテックス)フローパターンを採用してきたが、従来のいろいろの実験や解析結果を基に、タービンの諸損失とフローパターンの関係について検討を行なった結果、半径方向に適切な渦分布をもつ(コントロール ボルテックス)フローパターンを適用することにより、タービン効率が向上することを確認できた。図はこの研究で実施したモデルタービン実験の結果を示したもので、コントロール ボルテックス タービンは、従来のフリー ボルテックス タービンに比較して、効率が1%向上している。

コントロール ボルテックス タービンは、従来大きな損失を生じていた翼先端部や翼根元部の効率改善、及び翼先端間隙からの漏洩量の減少に特に効果大きい。



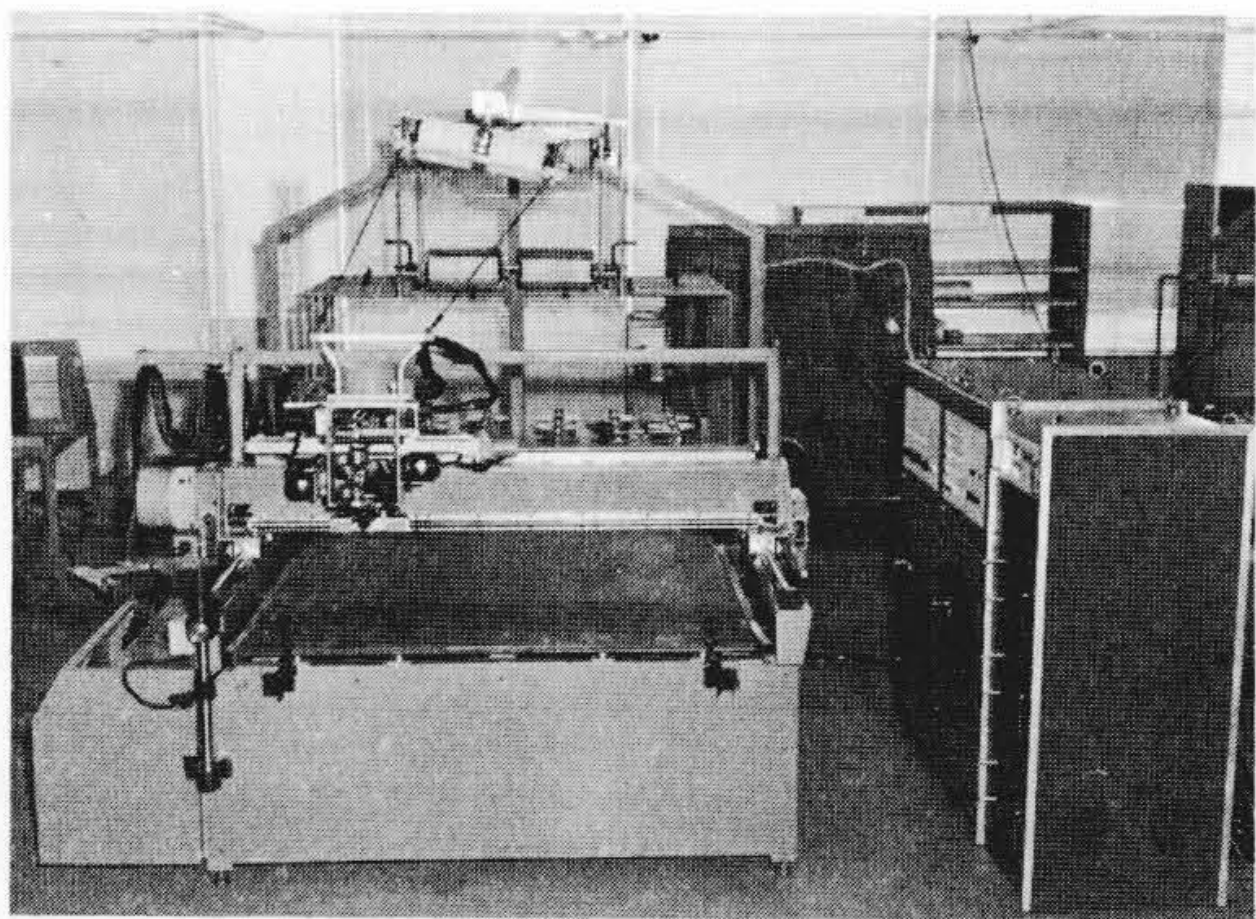
コントロール ボルテックス(新)、フリーボルテックス(従来)両タービンの効率比較

全自動束線機

電子機器の内部の密集した配線には、束線と呼ばれる線集団が用いられている。従来、束線は人手により製作されていたが、これを自動化するため、自動束線機とその運転用ソフトウェアを開発した。

この機械は、数値制御(NC)装置を用いて、線引ヘッドをX、Y軸に移動させ束線を形成するもので、多種線材を用いた高密度なものを対象とできる。また線引に用いるくぎの打込み、同色線の判別に用いるマーキングも可能である。

ソフトウェア(ASRUT-C1)の機能、及び特長は、ユーザー使用の記号などをそのまま取り扱えること、限られたくぎで多数本の線引ができる柔軟なデータ構造をもつこと、フォートランで記述し、HITAC 8400(13~262KB)、HITAC 5020(65K語)で処理できることである。

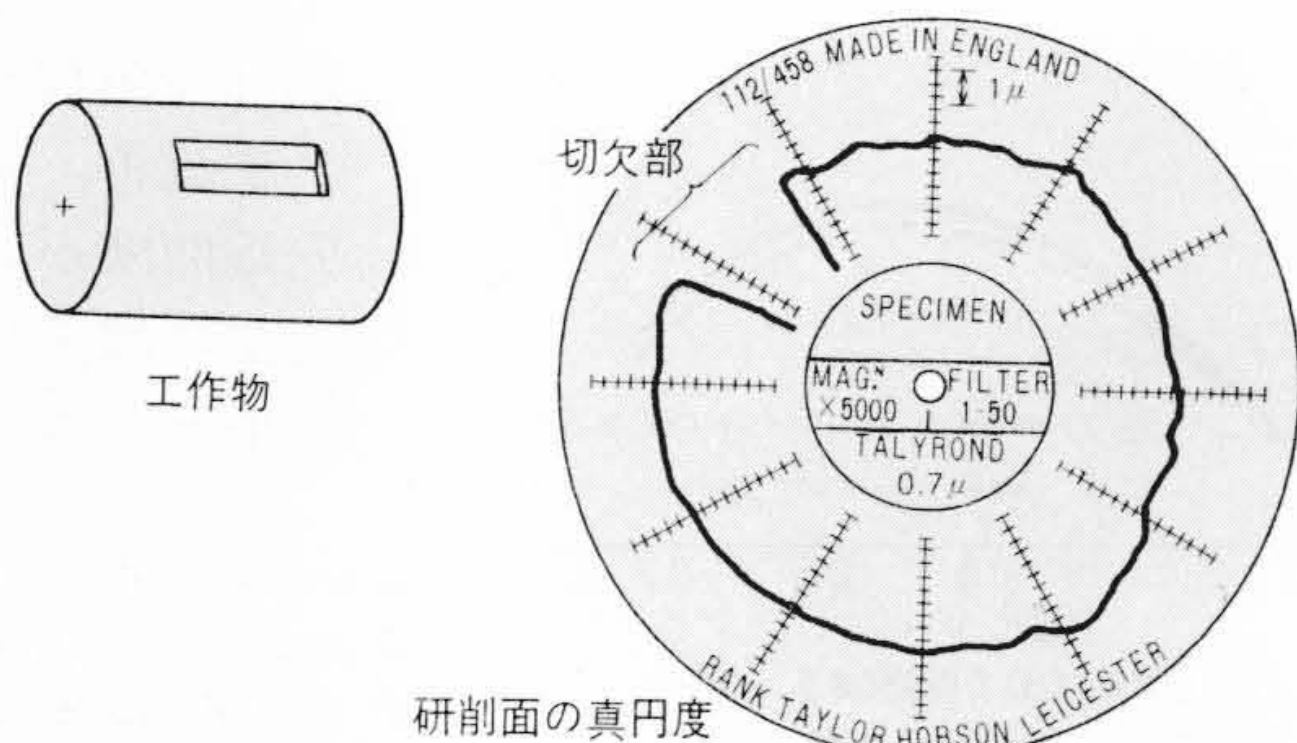


全自動束線機

複雑な形状をもつ軸状部品の精密心なし研削

研削面に溝、穴など切欠きのある軸状工作物を心なし研削するときの切欠きによる真円度への影響を解明し、高い真円度を得る精密心なし研削法を確立した。

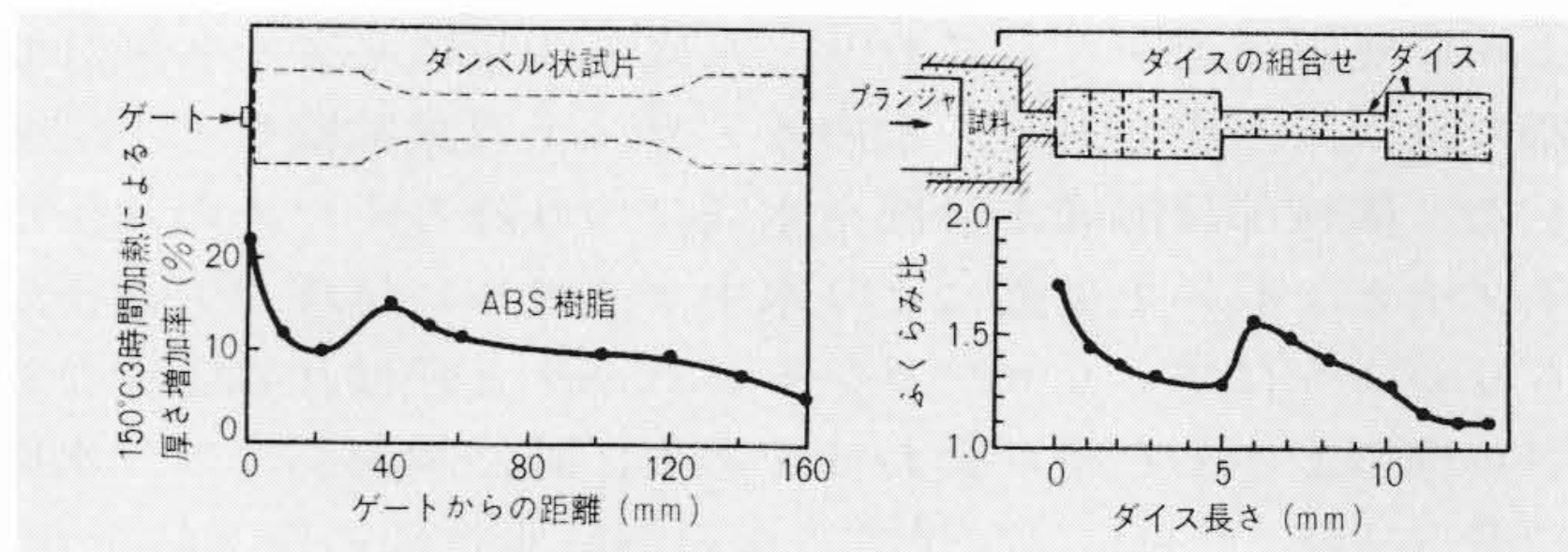
心なし研削では工作物は、と石・調整車・ブレードの三者に支持されているため、研削面がひずみ円となりやすい。このひずみ円は工作物を支持する三者の相対位置によって異なり、更に切欠きのある工作物では、工作物1回転中の研削力の変動により切欠き形状特有のひずみ円を生ずる。そこでこの場合の切欠き形状に起因するひずみ円の発生機構を解明し、このひずみ円を相殺する工作物支持条件を設定することにより、真円度を向上させる方法を見いだした。その結果、高能率に加えて高精度に仕上げ研削できる心なし研削法を実現した。例えば図に示したような研削幅の変動(切欠き幅/全研削幅)が50%の工作物では、これまでの 2μ の真円度に比べて 1μ 以下の高い精度が得られるようになった。



プラスチックの流動特性と長期寸法安定性

プラスチック材料は寸法安定性が悪いなどの問題もあり、これまで温度、湿度などの環境の影響については明らかにされているが、最も重要な成形品の残留ひずみの解放による寸法変化についてはほとんど検討されていない。そこで残留ひずみの発生原因について検討した。図(a)は射出成形したダンベル状試片から細片を切り出し、加熱した場合の厚さ増加率(残留ひずみ)を示す。図(b)はフローテストのダイス形状を変えたときのバラス効果をふくらみ比で示した。両図はよく対応し、残留ひずみは流動時の弾性ひずみの凍結によることが明らかとなった。更に金型内の流れを類型化するため、流路断面形状や流れの方向が変化する場合、障害物が存在する場合などのモデル金型を用いて流路形状と残留ひずみの関係を明らかにした。

以上により、残留ひずみを少なくして長期寸法安定性に優れる成形条件や金型形状を基礎的に解明した。



(a) ダンベル状試片のゲート距離と厚さ増加率

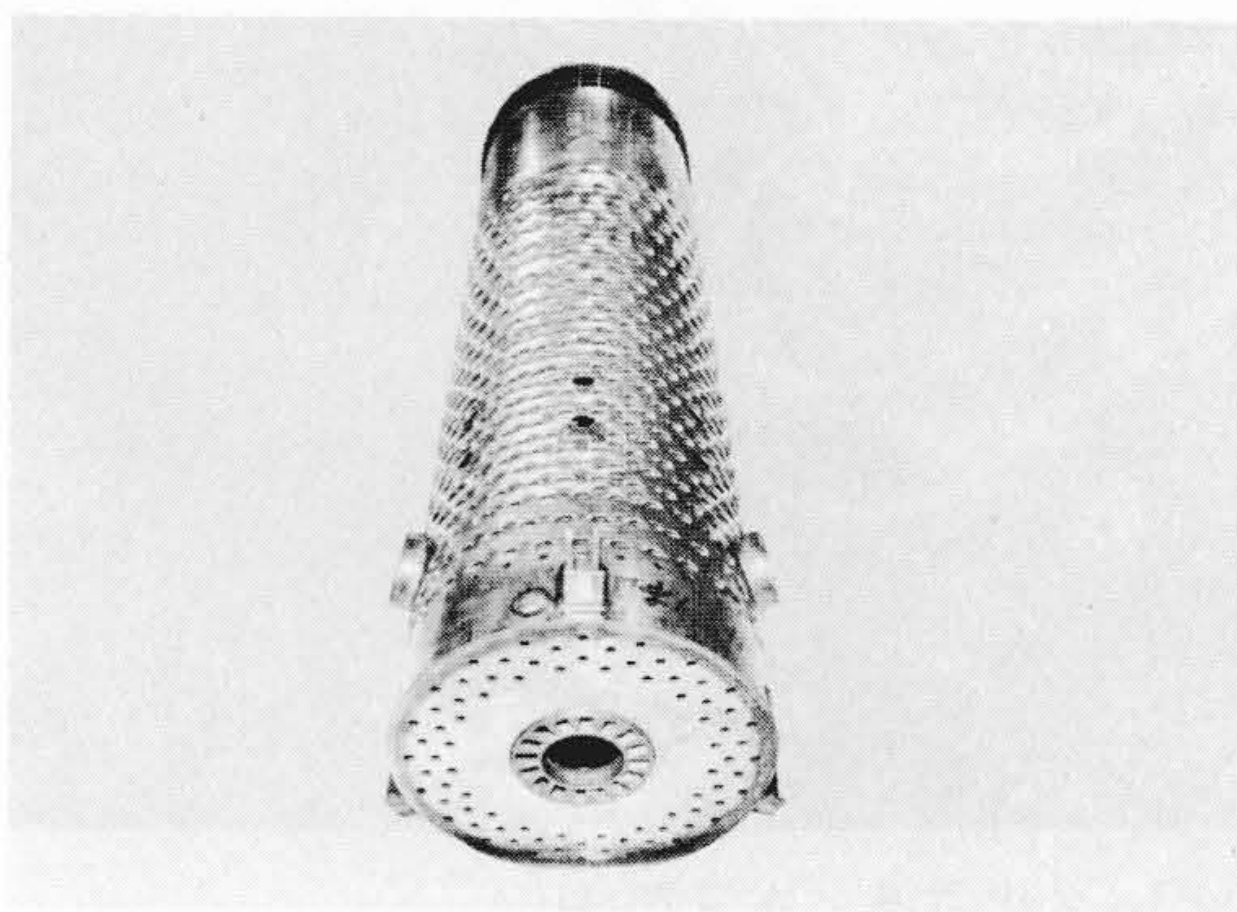
(b) ダイスの組合せとふくらみ比

強度、延性の優れたガスタービン燃焼器ライナ用合金“HGT-L”の開発

ガスタービン燃焼器ライナ材は加工性が優れ、高温・長時間加熱しても組織、性質が安定しており、且つ熱衝撃特性の優れていることが要求される。

耐酸化性及び組織の安定性の点から25Cr-45Niを基にし、上記の諸性質を満足するよう幾つかの特殊元素を添加し、各種性質を調べた。その結果、所期の目的を達する合金Hitachi Gas Turbine Liner (HGT-L)を開発した。この合金は25Cr-4.5Ni-0.5Ti-0.5Nbから成り、これを用いて図に示すライナを試作した。

“HGT-L”は低炭素で、且つTi、Nbの量が少ないので加工性が優れ、長時間加熱による析出物が少量、微細で脆化しにくく、また800℃加熱、水冷の繰返しによるき裂の発生は他の合金に比べ著しく少ない。



“HGT-L”合金製燃焼器ライナ