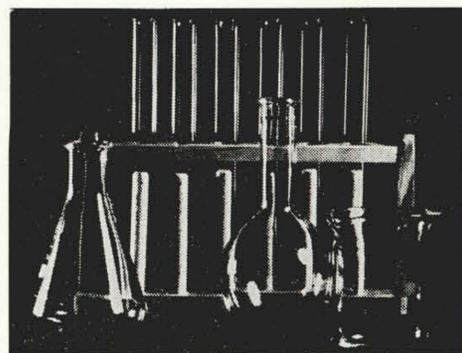


1

研究

Research and Development



総説

技術の進歩が社会の発展をもたらす。その技術の進歩がきわめて急速な技術革新の時代に当面して、広汎な工業製品を取り扱う日立製作所の使命はますます重大である。われわれは新しい技術によって、時代の要求に応じた機能と品質をもった新しい製品を市場に送り出すことが社会に対する任務であり、ひいては企業発展に結びつくと考えているが、これらの新しい技術、新しい製品を生み出す原動力が研究開発である。

日立製作所は創業当初から「国産技術の開発」を旗印として研究開発を重視してきている。その現われとして昭和9年に日立研究所、昭和17年に中央研究所さらに昭和41年に機械研究所を設立、各工場においてそれぞれの製品に応じた開発を行なっている人員を含めて数千人の従業員が研究開発に従事している。また研究開発費も月約10億円に及んでいる。しかしこれらの研究態勢も世界的競争を考えるとまだ十分とは言えず、いっそうの充実を図らねばならないと考えている。

しかし近代工業における技術は非常に高度化し、かつ複雑化しているのもそれら全体を一企業でカバーすることはとうていできない。したがって個々の分野あるいはその一部において大学や国家的研究機関などを利用したり、場合に応じて内外他社からの技術導入も必要となってくる。われわれは技術導入を一概に排除することなく、技術供与と技術導入との共存によって相互繁栄を図ることを考えているが、問題は供与と導入のバランスであり、導入一辺倒では永続的繁栄に結びつかない。特に先進諸国との関係においてはわが国全体として導入超過である。わが国の戦後の急速な発展は大幅な技術導入によるところ大であるが、今後は自主技術の比率を増大し、その一部は先進諸国にも供与するように持っていく必要がある。このような見地から、研究所の基本方針としてはすでに数年前から

- (1) お手本のある研究はとりあげまい
- (2) プロジェクト中心で協力しよう
- (3) タイミングよく成果をあげよう

の3項目をあげているが、この方針は今後も続けていくつもりである。

日立製作所の製品分野は広く研究開発もきわめて多岐にわたっているが、研究開発のおもなものはエネルギーおよび資源開発、エレクトロニクスおよびその応用システム、公害防止を含めて生活環境の改善に関する課題に大きくわけることができよう。これらのなかにはMHD発電装置、高性能電子計算機、火力発電所排ガス脱硫装置など単に一企業としてでなく、政府の大形開発プロジェクトに協力しているもの、高性能鉄道車両、電子交換機など公共事業に寄与するものがあり、またエレクトロニクスの中心となるべき集積回路、家庭やオフィスの環境改善に直接役立つ機器の開発などあって、とうてい限られた紙面で全ぼうを明らかにすることはできない。以下いくつかの研究成果を簡単に紹介するが、これらは全く氷山の一角である。あとに述べられている多くの製品も過去の研究開発の成果の積み重ねから生まれたものであり、またいかに信頼度高く、いかに安価に作るかという表面に現われない研究開発も多いことをご理解願いたい。

日立製作所の技術は、国産技術の開発に対するひたむきな熱意を中心に研究所、工場間はもちろん、系列会社を含めて緊密な協力のもとに形成されており、不断の努力により今後いっそう発展していくことを確信している。

■ 排ガス脱硫装置の開発

亜硫酸ガスによる大気汚染は石油消費量の増大に伴い年々増加の一途をたどり、イオウの除去対策が急がれている。イオウ除去方法としては直接脱硫、ガス化脱硫、燃焼排ガス脱硫などがありそれぞれ特長を持っているが、現段階で早期実用化の可能性あるものは排ガス脱硫法と考えられる。活性炭吸着による排ガス脱硫はこの一つの有力な方法である。本方法は工業開発研究所、東京電力株式会社と日立製作所が共同で開発したもので、活性炭の特殊な性質を利用し、排ガス中のイオウ酸化物を吸着除去する方法である。

通商産業省工業技術院は、排ガス脱硫技術の開発が公害対策として、きわめて緊急を要する問題として、昭和41年度より新しく発足した大形プロジェクト研究開発のテーマの一つに取り上げ、当時最も研究が進んでおり、かつ有望な方法と考えられている活性炭法を活性酸化マンガン法とともに委託研究の対象に選定し、東京電力株式会社と日立製作所が共同でその研究を受託し、開発を推進しつつあるものである。

燃焼排ガスのように SO_2 が O_2 、 H_2O と共存する場合、活性炭の SO_2 吸着過程は

- (1) SO_2 、 O_2 、 H_2O の吸着
- (2) 活性炭の触媒作用による SO_2 の SO_3 への転化
- (3) SO_3 の水和反応による H_2SO_4 の生成

の経過をたどり、 SO_2 は H_2SO_4 の形で最終的に活性炭に吸着されている。したがって SO_2 を吸着した活性炭は、水洗によって H_2SO_4 を容易に抽出除去できるため簡単に再生できる。本法はこれらの活性炭の特殊性を利用し、活性炭を繰り返し使って排ガス脱硫を行なうものである。

本脱硫装置の主体は数個の活性炭充填塔から構成されており、各充填塔は塔出入口ダンプの切換によって乾燥、吸着、水洗脱着の三工程を順次繰り返す。

乾燥工程は水洗脱着後のぬれた活性炭を、一部のボイラ排ガスによって乾燥させるとともに SO_2 の吸着を行なう。

吸着工程は乾燥工程で乾燥した活性炭を使用し、乾燥出口ガスと乾燥未使用の残りのボイラ排ガスとの混合ガス中の SO_2 の吸着浄化

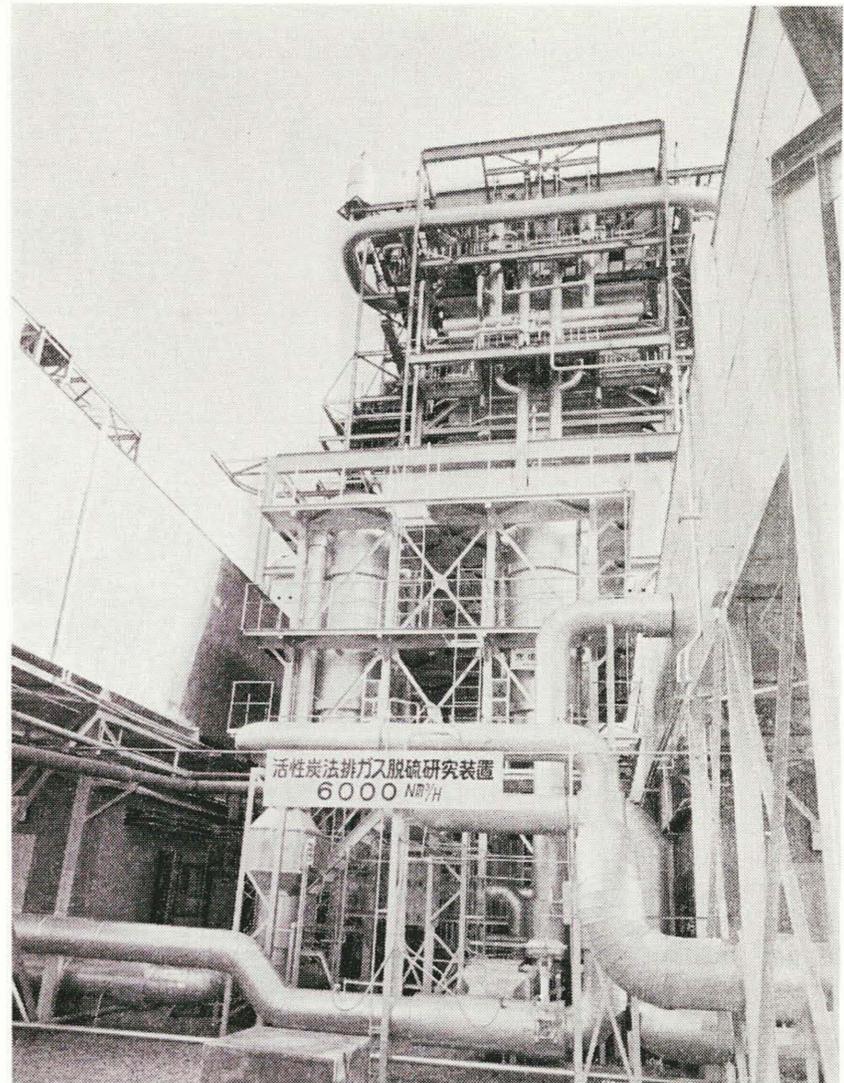


図2 6,000 Nm³/h テストプラント

を行なう。

水洗脱着工程は吸着工程で SO_2 を吸着した活性炭を、ガスを遮断した状態で塔上部から注水することによって脱着再生する。

水洗脱着工程から出る希硫酸は副産物回収工程にまわす。

大形プロジェクトの第1段階として、処理ガス量 6,000 Nm³/h (2,000 kW 相当) のテストプラントを東京電力株式会社五井火力発電所に昭和42年1月末に設置した。

6,000 Nm³/h テストプラントの活性炭充填塔は6塔あり、常時吸着3塔、乾燥2塔、水洗脱着1塔として使用される。基準運転は切換時間が10時間のため乾燥20時間、吸着30時間、水洗脱着10時間となり、1サイクルは60時間である。

6,000 Nm³/h テストプラントは42年8月末まで約2,700時間運転し、各種試験を行ない、本プロセスの妥当性を確認することができた。これまでに得られた試験結果を要約すると次のようになる。

- (1) 活性炭の性能劣化はきわめて少なく、約2,700時間運転後も脱硫率は90%以上を保持している。活性炭の性能劣化はさらに運転を継続して確認される。
- (2) 通風損失は計画値600 mmAqに対し多少上まわったが、高性能活性炭を使用することによって現在400~500 mmAqが得られている。通風損失は

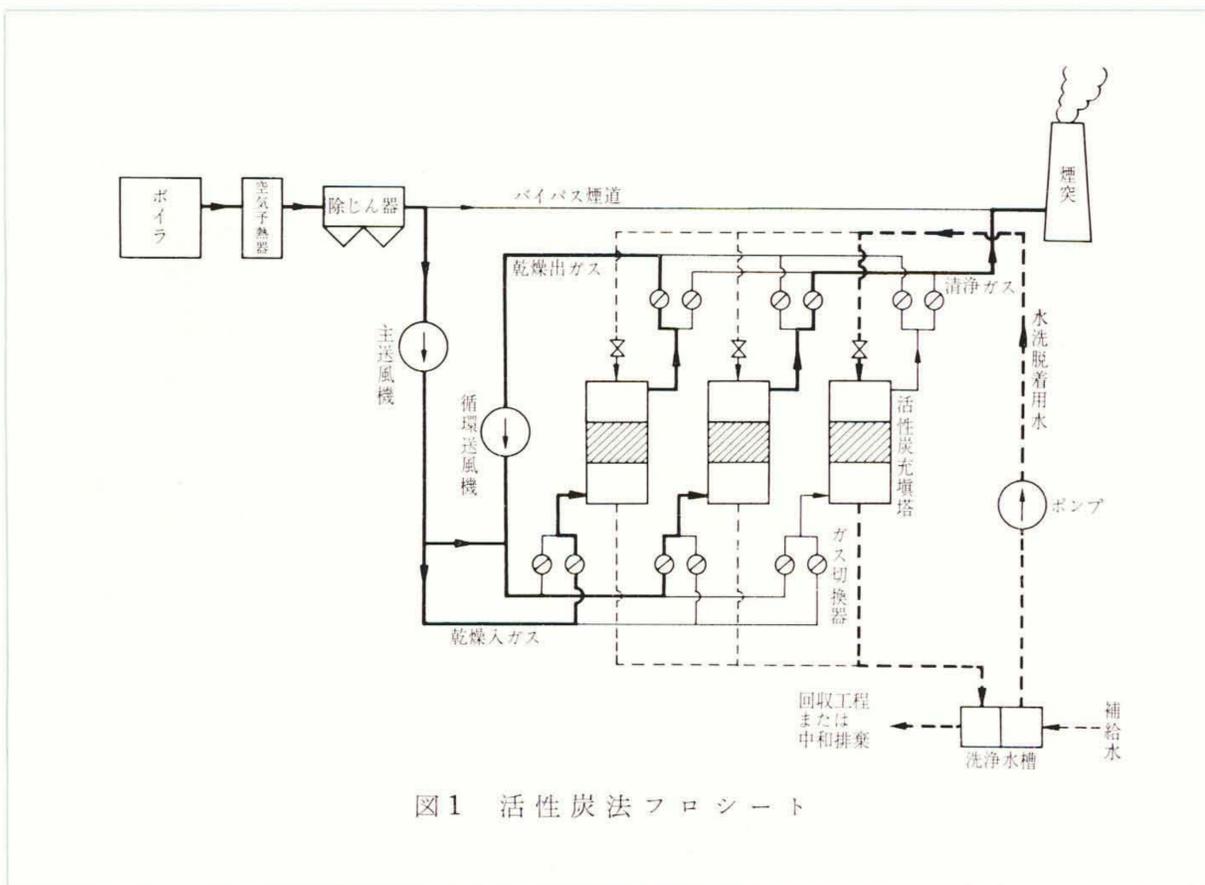


図1 活性炭法フローシート

通風機の所要動力に直接影響するので活性炭の性能劣化などを考慮しつつ、極力これを減少するよう研究が進められている。

- (3) 脱硫装置出口の排ガス温度は 105~110°C で煙突の拡散効果をほとんどそこなわない。
- (4) 水洗脱着により約 20% 濃度の排硫酸を得ることができた。

■ 超電導材料およびくら形マグネット

日立製作所で開発に成功した超電導材料である Nb-40% Zr-10% Ti 3 元合金線の製造技術を発展させ、溶解および加工法の検討を進めた結果、単位長 2 km 以上の長尺線の小規模生産製造方法を確立した。

溶解方法としては、Nb, Zr, Ti 原料を電子衝撃溶解炉によって二重溶解する方法を採用した。溶解中最も蒸発速度の大きい Ti が蒸発して成分を変動させやすいので、Ti 量を目標とする臨界電流値が得られるようなせまい範囲に押える特別な方式の溶解条件制御を行なって好結果を得た。加工はまずインゴットをステンレス管で被覆しみぞロールによって熱間圧延して棒状とし、さらに冷間伸線と再結晶焼鈍を繰り返すことにより細線化する。最終工程で最高の臨界電流が得られるような加工と二相分離熱処理を行なって、直径 0.25mm の超電導素線を完成する。加工のむずかしい本合金の長尺線をうるためには加工しやすい金属組織をもつインゴットを溶製すること、熱間圧延温度の適正化および冷間伸線作業の安定化が必要である。

このようにして生産化に成功した 3 元合金素線短尺試料の 4.2°K における磁場—臨界電流 ($H-I_c$) 曲線を、他成分線の特性と一緒に図 3 に示す。図からわかるように、現在報告されている合金系超電導材料の中で、日立製 3 元合金線は 80 kOe 以下の磁場における臨界電流値がすぐれ、世界最高水準の性能を持っている。

超電導線を大形電磁石に用いるには、使用中に生ずる各種不安定性を除くための安定化が必要である。そのため 3 元合金線を銅メッキし、さらに高純度の銅に埋め込むようなストリップケーブル方式を開発した。銅中に埋め込む方法としては独特な圧延方法を考案し

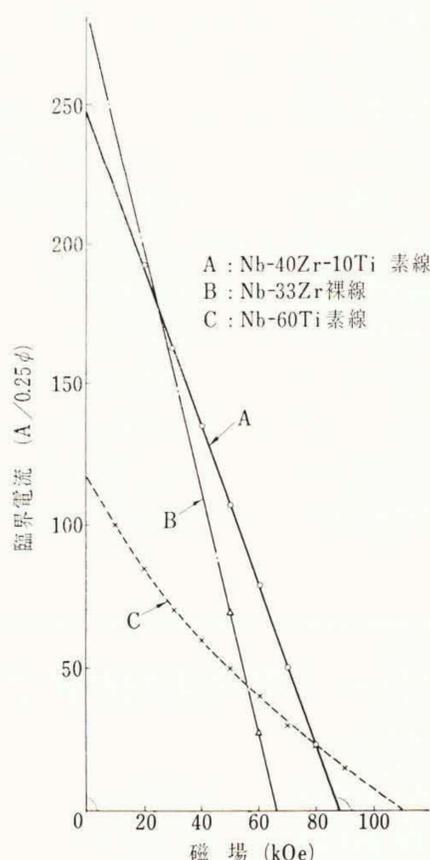


図 3 超電導線の 4.2°K における $H-I_c$ 特性

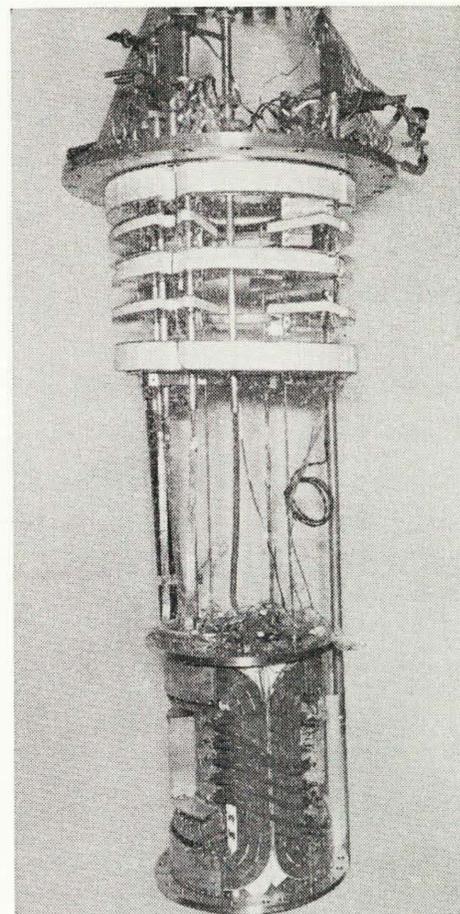


図 4 くら形超電導コイル (極低温断熱容量のふたにつり下げている。電磁力を押えるための構造材料は取りはずしてある。)

実用化した。

MHD 発電機用超電導磁石ではプラズマ流路を設けるため、コイルをくら形とし所定寸法の常温空間を造らなければならない。そこで上記の安定化した超電導ストリップを用いて内径 200 mm、外径

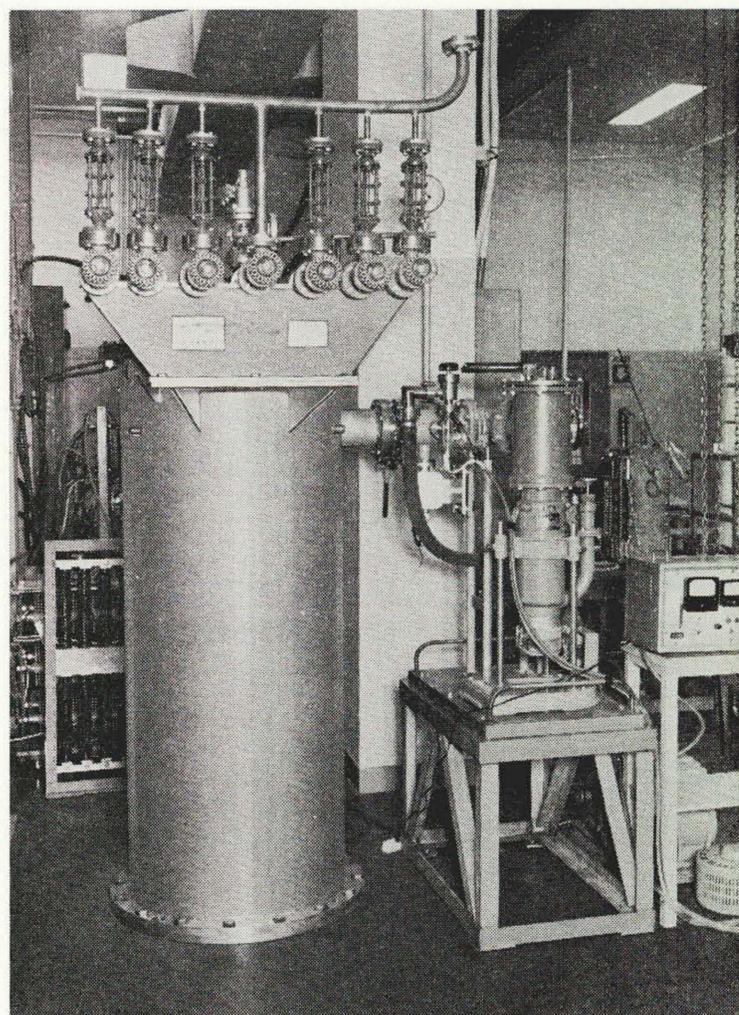


図 5 液体ヘリウム断熱容器 (容器の中央部に MHD 発電機のプラズマ流路用の空間部がある。積層断熱材とふく射シールド板を用い液体窒素は使用しない新方式のものである。)

310 mm, 高さ 420 mm のくろ形コイルを本体とする超電導マグネットを試作した。超電導ストリップは直径 0.25 mm の 3 元合金線を 4 本平行に並べて銅に埋め込み縦 0.75 mm, 横 4 mm の断面構造で, これを図 4 のように巻線し, プラズマ流路に垂直に磁束線が通るようにした。ストリップの巻数は 960 ターンである。

液体ヘリウム断熱容器は, 図 5 のように中央部上下に貫通した直径 96 mm の常温空間部をもつ縦形同心円筒状である。液体ヘリウム収容部の寸法は内径 165 mm, 外径 480 mm, 深さ 1,400 mm で周囲の断熱空間には積層断熱材を入れ, さらに蒸発ヘリウムガスで冷却したふく射シールド板を入れて真空断熱する構造で, 従来の液体窒素を用いる断熱構造とは異なっている。

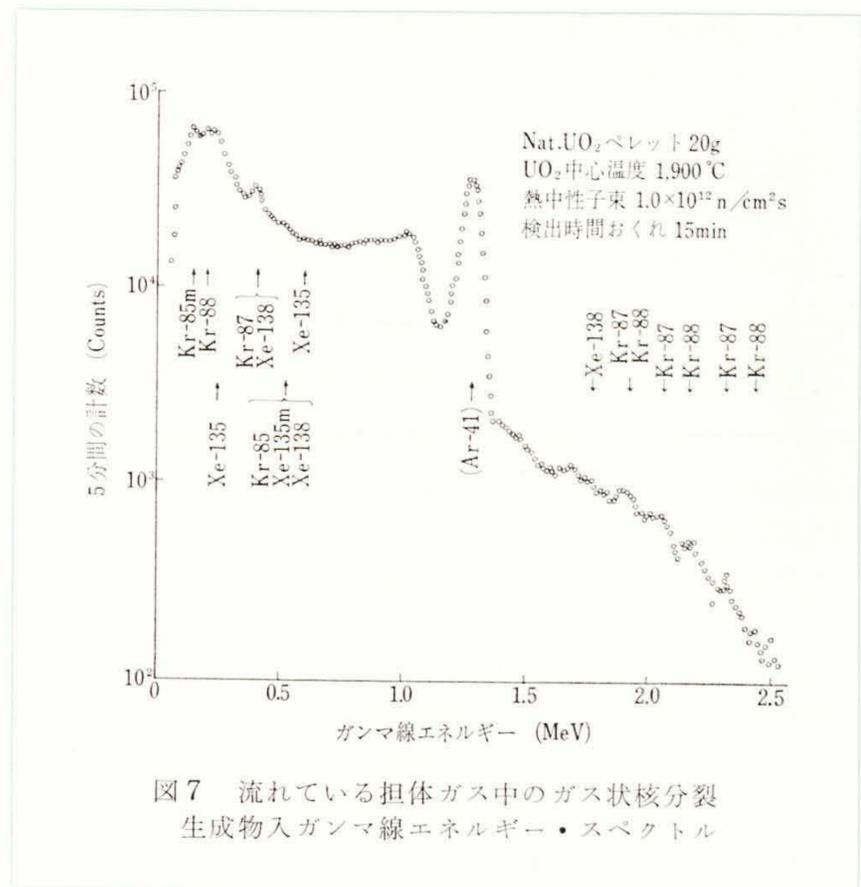
試作超電導マグネットを 4.2°K の液体ヘリウム中で通電実験を行なった。その結果最大電流 460 A で中心磁束密度 16 kG が得られた。また中心磁束密度 13 kG で 61 分間の連続運転に成功した。この際端子電圧の発生はなく, 常に電気抵抗がゼロの状態であった。またたとえ電流を増し過ぎたときでも, 発生した抵抗は, 電流を除々に低下することによって容易にゼロとすることができた。すなわち試作超電導マグネットは安全に制御できることが確認された。なお, 液体ヘリウムの蒸発量も非通電時 4.2 l/h, 380 A 通電時 5.1 l/h で良好な結果であった。

本くろ形超電導マグネットの成功は日本で最初のものであり, 今後さらに大形のマグネットの試作を計画中である。

原子炉燃料における核分裂生成物の挙動

原子炉燃料が原子炉で燃焼したとき生ずる核分裂生成物がどのようにふるまうかは, 原子力発電における安全の問題と深い関係を持つ重要な研究課題である。

日本原子力研究所の原子炉 JRR-2 で照射した燃料カプセルならびに株式会社東京原子力産業研究所の原子炉 HTR で約 2 年間使用した燃料集合体における核分裂生成物を調べた。燃料はいずれも二酸化ウランである。これらでは二酸化ウランが 1,400°C 以下で照射もしくは使用されているが, 燃料材中の核分裂生成物の移動は顕



著ではなく, 燃料被覆管内間げきへの蓄積もわずかであった。この照射後試験結果とあわせて, 派遣研究員が参加したアメリカにおけるガス状核分裂生成物の移動と放出に関する基礎実験の結果を解析し, このように二酸化ウランが 1,000°C 付近の温度領域で燃焼する場合, ガス状核分裂生成物放出の律速過程は, 基礎的に核分裂片の反跳で形成された格子欠陥の消滅にあると結論した。核分裂生成物放出の見かけの活性化エネルギーは照射後試験で約 70 kcal/mol, 燃焼中で約 50 kcal/mol と出たが, これはほかの計算から求められる核分裂生成物が, 欠陥から抜け出す活性化エネルギー約 40 kcal/mol, 欠陥を出て移動するときの活性化エネルギー約 30 kcal/mol, 空孔子点が消滅するときの活性化エネルギー約 20 kcal/mol という値と矛盾なく理解できる。

この比較的低温の実験から出発し, さらに高温領域での実験にはいった。株式会社東京原子力産業研究所のガスループで, 1,800~2,000°C に保持された二酸化ウランを照射し, 燃焼中の二酸化ウランから担体ガスの流れに放出されるガス状核分裂生成物の放射能を観測している。図 6 にこの実験に使用している中心加熱方式の照射要素主部を示す。図 7 は二酸化ウランを 1,900°C に加熱して得たガンマ線エネルギー・スペクトルである。現在, 引き続き照射実験データを集積中であり, 二酸化ウランの組織変化とガス状核分裂生成物放出の関連が明確になるものと期待している。

一方, パルス運転用 HTR 炉心にモニタ燃料をそう入し, 水中へ漏出する核分裂生成物を監視する実験を行なっている。モニタ燃料は炉心を構成する燃料集合体よりも過酷な使用条件で用いられるが, 原子炉出力のパルスの急増に対して核分裂生成物の流出は全く検出されず, パルス運転用炉心に安全上の問題がないことを確認した。このように燃料製作の基礎となるデータは着実に集積されている。

クレーン用構造物の応力解析

最近のように構造物の軽量化が特に要求される場合には, その構造解析をできるだけ精密化しておくことが必要である。今回, 天井クレーン用ボックスガードとトラッククレーン用ブーム (あるいはタワークレーン用タワー) について新しい解析法の導出を試みた。

(1) 天井クレーン用ボックスガード

図8に示すように、ボックスガードには横行トロリからの車輪荷重 (W_1, W_2) が加わる。この車輪荷重は種々の利点から内側ウェブと上面カバーとの交線上に置かれるのが普通である。したがって、もしガード内の隔壁の剛性が不足すれば、ガード断面の変形が過大となり、また外側ウェブが構造部材として有効に働かなくなるおそれがある。このように隔壁がガードの性能に及ぼす影響は大きい。これに関係した研究はあまり多くはない。

このため今回、両端支持のガードが車輪荷重を受ける場合について理論解析を行ない、各部の応力と変形を求める式を導いた。車輪荷重は同時に多数作用してもよく、またそれらの作用位置は隔壁の位置でも、隔壁と隔壁との中間位置でもよい。計算に当たっては、隔壁を長方形ラーメンと考え、またウェブとフランジからなる平板構造には膜理論を適用した。

一方、光弾性模型3個と鋼製模型5個により実験を行なった。光弾性模型は隔壁の応力を、また鋼製模型はカバーとウェブの応力を求めるためのものである。導出した式による計算値はこれらの実験値にほぼ一致した。

以上の結果から、隔壁剛性の必要十分な大きさや隔壁の有効な形状などを求めることができた。

(2) トラッククレーン用ブーム (タワークレーン用タワー)

最近のようにブームやタワー (いずれもトラス柱体) が長大化 (数十メートル) してくると、これらのねじり荷重による応力が無視できなくなってくる。このため変位法を立体構造物としてのブームやタワーに適用し、部材配置、部材寸法および荷重が任意の場合の応力計算用プログラムを作成した。

このプログラムの実用性を確かめるため、模型5個による実験結果とプログラムを用いた計算結果との比較を行なったが、各荷重条件の下で両者はかなりよく一致した (図9)。

また、プログラムを使用してトラス柱体がねじり荷重を受けた

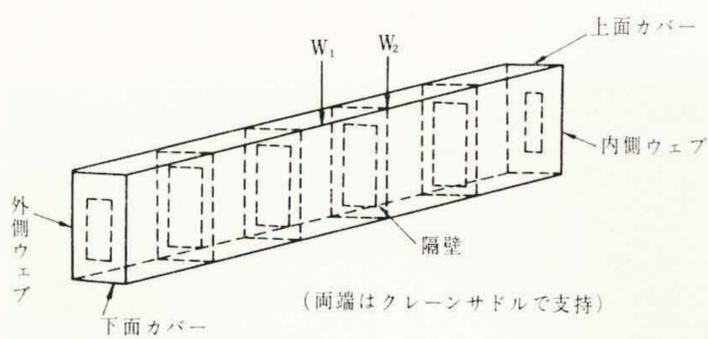


図8 天井クレーン用ボックスガード

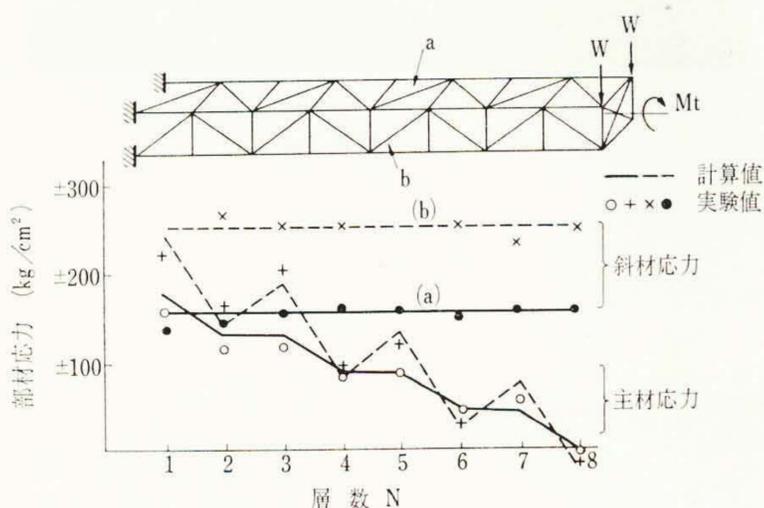


図9 計算値と実験値の比較例

場合の各部材の応力値の性質について検討した。その結果、構造物の層数と部材応力の関係、水平対角材の効果、ねじりモーメントの節点力への分配法、構造物の辺比と部材応力の関係などがわかった。また従来、鉄塔などの設計に用いられていたねじり応力の簡略計算法 (平面としての構造計算) は、実際とかなり違った結果を与え、この実用には問題があることがわかった。

■ ハイブリッド計算機による動画作製

映画やテレビの動画を作るには、少しずつ異なる多数の画をいちいち手で描く必要があり大変な手数が必要である。この手数を少なくするために電子計算機の利用を試みた。2種類の異なる手法を行なったが、それぞれアナログ計算機とハイブリッド計算機を用いている。いずれの場合も曲線発生に適したアナログ技術を積極的に利用することにより、計算機の有効な使用を図っている。

アナログ計算機による方法では、画を構成する個々の曲線を数式で表わし、これらをアナログ回路によって実現し、その解として得られる図形をブラウン管上に合成する。基本図形として、たとえば円のような簡単な図形から出発し、変換回路を通してこれに種々の変形を加えることにより希望するパターンを作り、それらを組み合わせさせて一枚の画を作り上げる。図10は、この方法によって作られた漫画の例である。基本図形や変換回路中に含まれるパラメータを、手動またはデジタル計算機プログラムによって動かすことによりアニメーション効果を出すことができる。この実験には日立製作所ALS2000高速繰返し形アナログ計算機が使われた。これは微分方程式に対して3,000 solution/sの解の繰返し周期 (repetition rate) を有し、多数の曲線からなる画をブラウン管上にちらつきのないような方法でディスプレイできる。この方法はブラウン管上の画を実時間で動かせる特長はあるが、一方漫画家の意図に忠実な画を作り出すことがむずかしいこと、画が複雑になるとアナログ回路も複雑になる欠点がある。

ハイブリッド計算機による方法では、漫画家が離れた2コマの原画を描き、これら二つの原画とその間の動きを示す曲線を計算機に与え、その途中のコマを計算機に描かせようとするものである。計算機にはハイブリッド計算機を用いているが、その理由はアナログ技術を用いると画の入出力を効果的に行なわせるためである。画を計算機に入力するために特殊な図形読取装置が開発された。この装置は位置検出用のペンと一組のファンクション・スイッチからなり、ペンを曲線に沿って動かすとその点の座標が電磁氣的に検出されるようになっており、ファンクション・スイッチを操作することによ

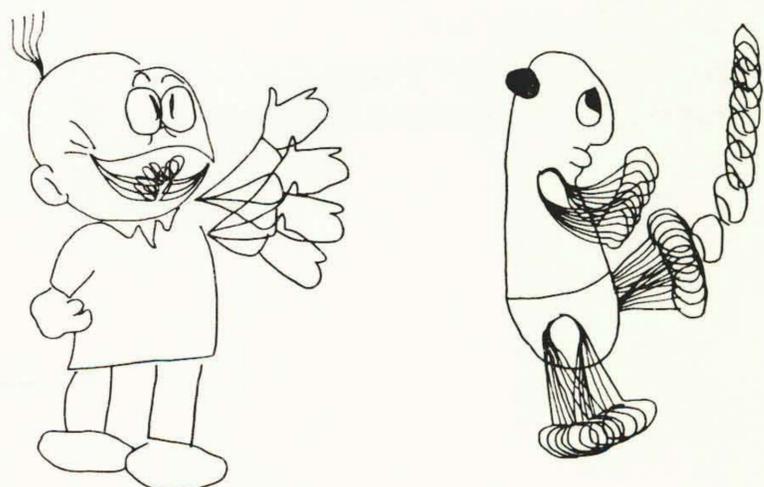


図10 アナログ手法により作られた動画

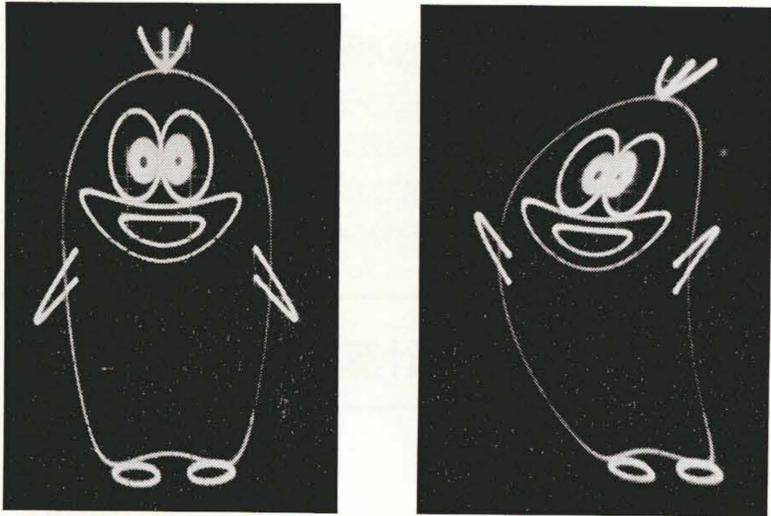


図11 ハイブリッド手法により作られた動画

り、点の座標情報と、その点が曲線の始点であるとか終点であるとかいった点の種類に関する情報が計算機に読み込まれる。この装置から読み込まれた原画は、点列の形で計算機に記憶されている。次に2コマ間の動きを示す情報を同じ図形読取装置を通して与えると、計算機は途中のコマを線形補間の方法で計算する。このようにして計算された点列をつないで画を再成するのであるが、その目的にアナログ補間回路を用いている。アナログ補間回路を用いる利点は、データ数が少なくてよいこと、なめらかな曲線が容易に得られ、高速であることなどから、デジタル計算機の記憶量、処理負担の軽減に効果がある。図11はこの方法により作られた動画の一例を示したものである。

以上に述べた方法により、一応二次元の動作をする動画を作製することができ、ほぼ満足すべき結果を得ている。すでに簡単な科学教材用の動画がこの方法で作られ実用された。しかしながら、空間的な複雑な動きを伴う本格的な動画を作るには、まだ残された問題が多く今後さらに研究が必要である。

ここに使われたようなハイブリッド図形入出力技術は、動画に限らず、広く計算機応用の分野において有効に使われるものと思われる。

■ ビームガイドを用いた レーダ方式による障害物探知

鉄道の高速化に伴って軌道上の障害物を事前に探知することは、安全運転を確保するうえでますます重要性を増している。障害物探知の問題は日本国有鉄道技術研究所が主体となって、ここ数年にわたって行なわれてきており、開発された障害物探知と列車通信、列車制御が同時にできる漏えい導波管方式は画期的なものであったが、経済性から実用化に問題がある。

電磁波ビーム伝送は1961年 Goubau 氏らにより提案されたもので、これの拡張としての金属反射板を位相変成器として用いる反射

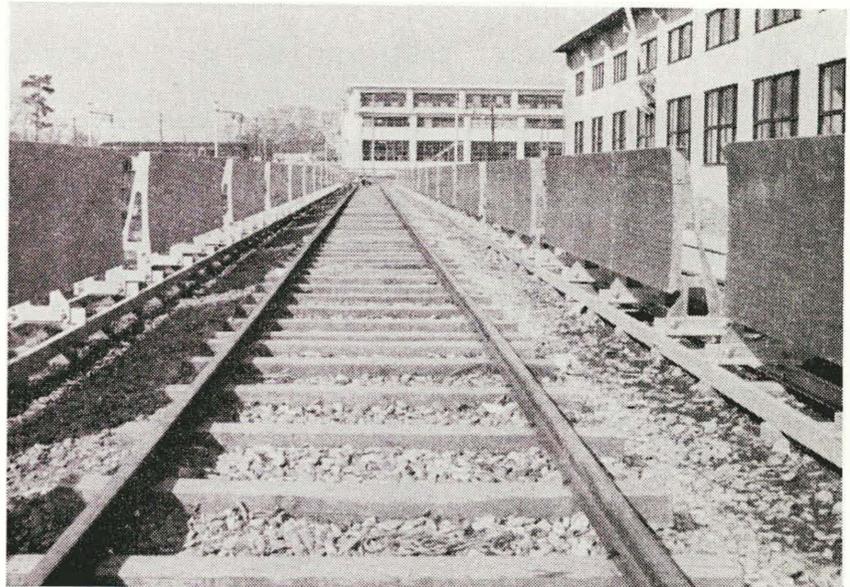


図12 日本国有鉄道技術研究所構内に布設された非連続反射板形ビームガイド

板形ビーム伝送は低損失で、反射板に囲まれた空間に電磁波が存在するために、電磁波ビームが軌道面全体をカバーでき、障害物探知のための伝送路として適している。

伝送路の形式としては、軌道の探知問題も考慮し、日立電線株式会社では図12のように一次元放物面(円筒パラボラ)反射板を周期的に並べた新しい伝送路を開発した。この種の伝送路では、伝送損失は金属による熱損失と反射板が有限なための回折損失の和である。高さ70cm長さ500cmの反射板では理論値が1.5dB/km、実測値が6.8dB/km(周波数はともに9.4GHz)が得られ、理論値のほぼ4倍ではあるが低損失性が確められた。

障害物探知の実験は、上記ビーム・ウェーブ・ガイドを伝送路とするレーダ方式で行なわれ、有効な方式であることがわかった(図13参照)。ビーム・ウェーブ・ガイドが非連続形であるために反射板との間隔を大きくすると電磁波のカバーでできない部分が生じ、障害物探知の死角ができるが、間隔を適当に選べば解決できる。

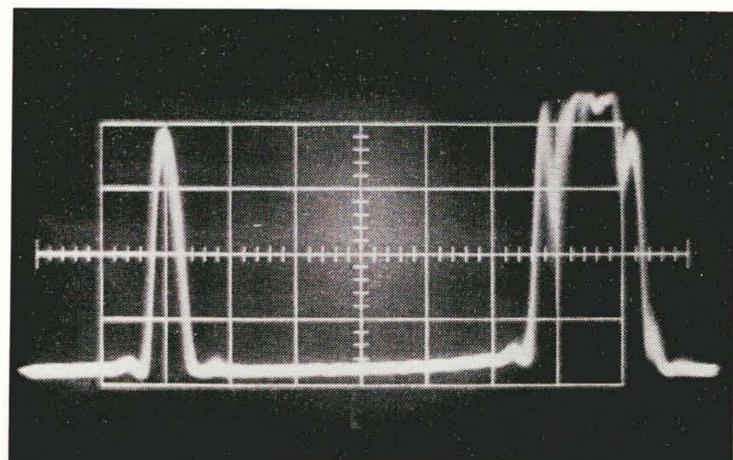


図13 障害物になるレーダエコー (10m/1cm)
(左: 打出しパルス, 右: 障害物による反射パルス)