

本来,研究開発というものは瞬時といえども止まることを許され ないものであり,いつも前向きに姿勢することが要求されている。 特にそれが企業の中にあって機能する場合には,企業からの絶対要 請ともいえる企業生命の永続する生成発展にどうあってもこたえて いかねばならない使命を背負っているのである。

最近の傾向としてみられるように,科学,技術の急速な進歩改善 が,全世界的に日進月歩の勢いで進行するさなかにあっては,今 日の技術はもはや明日の製品の中では立ち遅れるといった時代とな り,その使命のきびしさはなおさらのことである。ことに日立製作 所が取り扱う工業製品の分野においては,製品の市場における寿命 が漸次短くなりつつあって,この感が深い。斜陽化製品に代わって, 時代の要求する機能と品質をもった,新しい技術による魅力ある新 製品を経常的に市場に送り出すことは,私どもとしては,社会への 任務でもあり,同時にまた企業繁栄の源泉でもある。

創立55年を迎えた日立製作所は創業の当初より「国産技術の開 発を旗印として、研究、開発を重視し、わが国産業の発展に鋭意努 力を続けて今日に至った。多岐にわたる製品を取り扱っている関係 上、総合研究所の価値を高く評価して、日立研究所と中央研究所の 二つを総合研究の二本柱としてうち立て、そのほかに、各工場には それぞれの製品に即しての開発、試作を任務とする研究部門を配置 しており総数、数千人に及ぶ陣容となっている。ここでは日立研究 所と中央研究所の概要と、その成果の一端を述べる。 近代工業では、その基盤となる研究開発ならびに生産技術は複雑 多岐にわたり、しかも高度化してそれらが互いに密接に入り組んで 関連しているので、それらの全体を企業はとうていカバーできるも のではない。個々の分野のある部分においては他からの技術導入の やむなき必要もあることだろうし、あるいは積極的に技術の導入を 歓迎することさえあるだろう。むしろ技術の導入を一概に排斥する のは愚かなことである。肝要なことは企業が,企業のもつ力全体と して,世界水準の技術的資産と能力を蓄積保有する努力をすること であり,またこのことが自力開発の精神に通じるものでもある。し たがって技術導入を安易に行ない,他からの力によりかかって, 目前の利に走り,研究,開発精神を忘れてはならない。このような 考え方から研究所の基本方針としては従来から次の3項目をあげて きた。

(1) お手本のある研究は取り上げまい。

(2) プロゼ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。

現在でもこれを変更するつもりはない。しかしながら、これの実施状態はまだ完全とはいいがたいが努力の目標としていく。

日立研究所は日立製作所のおい立ちにまでさかのぼる古い歴史を もつもので、創業時より今日まで工場に根を生やした、製品に直結 する研究、開発を主たる任務としている。すなわち強電、機械工学 化学、金属工学に重点をおいて、日立製作所の重電機、機械器具関 係の製品に関する研究をしている。その特長の一つとして各工場内 に分館分室、実験所をもち、ここで生み出される研究成果は直ちに 製品に生かされ、工場との連携は特に緊密に運営されている。常磐 線も日立市に近い大甕駅近辺より、車窓の左側丘上に1,400人を 擁する日立研究所の本館を見ることができる。ここは日立製作所茨 城地区工場群の重心位置を占めている。 研究のもう一本の柱である、中央研究所は東京都国分寺市にあっ て、敷地約23万平方米、延床面積約5万平方米、従業員約1,400名 で日立研究所とほぼ同程度の規模である。ここでは幅広い理学、工

学などの専門分野を網羅して、各専門専門が相互に協力し合い有機

_____] _____





日立製作所中央研究所

的な運営を行なっている。特に主たる任務である企業の将来に備え て、10年ないし20年先を目指す基礎研究を行なうとともに、明日に 備えての応用、開発研究や、さらに今日にも必要な改善研究を行な っているので、これら各方面への投資、人的配分を考慮し、企業目 的と合致するようバランスをとることに苦心している。物性、電子 工学、原子力、材料などの分野の研究を受持っており、その中の原 子力関係の研究は川崎市王禅寺の研究支所で行なっている。

また両研究所では研究効率をあげるために,実験装置の組立て, 試験や,分析作業などの研究補助部門による援助,電子計算室によ る技術計算,各種技術情報の収集,整理,伝達などのサービス,機 器の有効活用のために集中管理方式をとるなど研究者が研究に没頭 できる時間を少しでも多くするよう努力しているとともに静かな環 境の整備にも意を用いている。

このようにして研究開発の完了したものは,次々に関係する生産 工場にその技術が移管されている。

たとえば、タービン長翼の研究においては、三次元理論に基づく 日立独自の設計により 50~ 用 33.5 in 長翼を開発し、振動面および 耐久力試験による安全度の確認を行ない、最適つづり枚数を決定し 得た。またこれと並行して翼素の研究も実施し、Schlict 翼の設計法 を確立した。送電系統では 500 kV 送電計画について検討し、電力 機器の仕様決定に貢献しており、これとともに 500 kV 級遮断器、変 日立製作所日立研究所

を開発した。このほか機械部門においては新形空気差圧伝送器の開 発,原子力における原子炉炉心非常冷却方法の開発,金属部門にあ っては整磁鋼、黒鉛鋳鋼の開発など顕著な成果を収めている。電子 技術の総合産物としては大形電子計算機 HITAC 5020を開発した。 本機は一般性の尊重と徹底した経済性という相反する目的を技術的 によく協調させたものである。また計算機技術において最もおくれ ていると言われたソフトウェアに着目し、上記汎用大形機の約10万 ステップに及ぶプログラムシステムを確立することができた。工業 用計算制御は従来のデータロガーによる監視, 記録の段階より, 閉 ループ制御の実用化の段階にはいりつつある。この要望にこたえて HICOM 2000 シリーズを開発した。原子炉に関しては特に炉心部に 重点をおき、軽水炉を対象とした炉設計用原子力コードを開発し計 算値と実験値とを比較対比することにより,ほぼ満足すべき結果を 得ている。また光束標準を確立する目的で直径5mの大形光束計を 開発し、球内面の分光反射率を実測可能とし、昭和39年6月電気試 験所の検定に合格している。昭和36年以来試作を続けてきた回折格 子彫刻装置が完成した。光波干渉による自動制御の新技術により, 回折格子の性能を世界水準にまで上げることが可能となった。すな わち150×75 mm 75~1,200 l/mmの回折格子の製作が可能で,600 l/mmの回折格子の分解能は理論値の約80%,線間隔精度は0.01 μ である。このほかにも超伝導材レーザー,通信機,理化学機器に関

圧器における磁気作用による現象解明などにも特に力を入れ機器の 性能向上に役だたせている。一方化学分野においては性能のすぐれ た有機材料の開発を合成,物性両面の研究を行なっている。特に電 気的,機械的に高信頼度を要求される電子部品封止用の注形レジン する研究にも開発の成果がある。

_____ 2 ____

両研究所と各工場の研究部門,設計,製造などの緊密な協力によ り日立製作所の技術が形成されていくのである。以下いくつかの研 究成果について説明を加えよう。

■ タービン長翼の理論

研

近年,発電用蒸気タービンの単機容量増大化にともなって,その 低圧段落の翼はますます長大化する傾向にある。したがって, 効率 の良い長翼の開発はタービンの性能向上にとって不可欠の要件とな っている。低圧段落では蒸気の膨張にともなう流路の拡大が激しい ために, 壁付近においては半径方向流れが著しく, このため従来の 設計理論では無視されている半径流れに基づく流線の変形を考慮に いれた三次元翼設計理論が必要となる。そこでまず流路形状を考慮 した actuator disc 理論を完成し、 翼列前後における流れの渦度変 化によって翼付近に生じる流速変動を解析し,また多段翼列の場合 の翼列相互間の干渉の影響を明らかにした。一方タービン設計にお いては考慮すべき空力的形状要素の数が多く問題を複雑化している が、パラメータ近似により流れを表わす2パラメータ理論を完成し、 この問題を解決した。これらの解析結果に基づき、実機内の流れに 対して一般的に適用できる三次元翼設計理論を開発した。すなわち 図1に示すような翼列間流れについて、子午面流線のこう配および 曲率を用いて平衡式を導き, 軸流速度の半径方向分布を求め流線形 状の修正を繰り返す遂次近似法を開発した。子午面流線の接線がす ベて中心軸に垂直な面内の半径Rの円を通過するようにこう配gを 定めると、一般に φ = const. に垂直方向の流速成分は微小となり、 理論の簡単化ができる。つぎに本理論による結果の一例を図2に示 す。図2は流出角度一定形(流出角度 β=60°)の場合に, 軸流速度 wの半径方向分布に対する流路外壁の傾斜角θtと曲率1/ρtの影響 を示したものである(wm は平均軸流速度)。破線の同心円筒流路の 場合と比較し, 流路形状の影響の著しいことがわかる。以上の理論 により設計された翼について空気および蒸気を用いて実験を行なっ た結果,タービンの効率向上が確認された。本理論は単にタービン に限らず、一般に軸流形流体機械に対して適用できるものである。



究

■ タービン層流翼の研究

タービン翼形の理論計算法の一つであるホドグラフ法はかなり古 くから検討されていたにもかかわらず、任意の境界条件の場合に適 用することはほとんど不可能であるとみなされていた。しかし、最 近の電子計算機の発達により、計算労力は無視できるようになった ので、再びホドグラフ法が注目されだした。この方法は翼面上の速 度分布を比較的容易に調節でき,しかも翼面の大部分に層流境界層 が形成されるとした、いわゆる層流翼の設計ができる。しかし、ホ ドグラフ法の欠点としてはあらかじめ翼形を予想できないことであ るので、翼形算出のためには多くの変数を選ぶために既存翼形の翼 列実験あるいは翼列周りの流れの解析を実施し、速度分布や流れ角



る。大形電子計算機による計算結果を図1に示す。これらは各断面 の重心の座標で重ね合わせたものである。

この層流翼が実機におけるごとく高い R_e数(乱流域)で予想どお りの性能が得られるかを確認する必要がある。最も簡単な方法とし て二次元翼列実験を実施し,種々の結果を得たが,その1例を図2に 示す。これは流入角を設計値に一致せしめ、流出速度に対する圧力 分布の変化する様子を示したものである。腹面側の圧力分布は理論 値とほぼ一致しているが、背面側では多少の差がある。これらは圧 縮性や境界層の影響によるものと考えられる。しかし、出口マッハ 数 M₂ が大きくなるにつれて理論速度に近づく傾向を示しており, いずれの場合もほぼ満足すべき結果を示しており,境界層の剥離 (はくり)はみられない。

などの物理的な数値 との関連を明らかに しておけば, 容易に 望む翼形を計算でき る。こうして得られ た翼形は前縁,後縁 ともに尖った形状の ものが得られるが, 前縁部は循環の減少 あるいは速度分布を 考慮して丸め, また 後縁部は機械的強度 および出口角を考慮 して厚肉のものにす





論

タービン潤滑油に関する研究

タービン潤滑油における最近の問題は、火力タービンの主蒸気温 度上昇にともなう劣化に関する事項、水力タービンにおける操作油 圧の上昇に関連する諸問題、あるいは原子力発電機器の潤滑油に関 する放射線劣化などであろう。これらにつき現在の添加剤入りター ビン油について一連の検討を加えている。

タービン油の酸化安定度は、従来一般に ASTMD 943 の方法で検 討されており、酸価に着目した図1の曲線によって評価されている が、油の酸化劣化を酸価のみで評価するのは本質的に問題がある。 すなわちスラッジならびに油中に共存する鉄のさびにも注目する必 要があると考えられる。これはタービンの運転上ゆるがせにできな いものであり、多くのタービン油を検討した結果に基づき、酸価ス ラッジ、さびの3者をとり入れた新しい酸化安定度評価基準を考え ている。この新基準は火力タービンにおける主蒸気温度の上昇をも 考慮したものであり、油会社の意見を尊重して今後実機について油 の実態を系統的に吟味したうえで確定する予定である。なお今後の タービン機器にはより酸化安定度にすぐれた油の使用が望ましいと 考えられるが、シリカゲルクロマト、赤外線吸収スペクトルなどか ら油中芳香族成分量を調べ酸化安定度との関係を求めた結果は図2 のようである。すなわち芳香族成分量は少ないほうがよい。

水力タービン関係の問題としては起泡特性と温度の関係, 混入気 泡の圧縮熱とその関連現象などを検討しているが, 起泡特性は 30~ 60℃の間で大きく変わり, 従来行なわれている 24℃, 93℃の測定 値からは予測できないことを指摘できる。



なおタービン油の放射線劣化については Co-607 線源で劣化実験 を行ない添加剤入りタービン油に対する許容線量,芳香族成分の影響などを吟味中である。

直流機の無火花帯直視装置

直流機の性能上の最も大きな問題点の一つは, 整流をいかに良好 にするかということにある。整流改善の方法については, 古くから 多くの人々によって研究されているにもかかわらず, その因子が非 常に多いため, 現在でもなお多くの未解決の問題が残されている。

直流機の整流性能は、一般に無火花帯の測定結果によって評価されている。無火花帯の測定結果を考察することにより補極強度,整流子上のブラシ位置、ブラシのしゅう動状態などが適正であるかどうかを判定することができ、現在ではこの無火花帯法が世界各国で 採用されている。

このように無火花帯の測定結果が整流現象を解明するうえで非常 に重要であるにもかかわらず,一般にはブラシ火花を肉眼で観測す るという原始的な方法が行なわれている。したがって,観測者によ って個人差を生じやすく,ある程度の熟練を必要とした。また,こ のような肉眼による測定法では,負荷急変時のような過渡状態の短 時間に発生する整流火花を測定することは不可能であった。

そこで直流機の無火花帯をブラウン管上で測定する方法について 検討を進めてみた。その結果,負荷電流,補極磁束密度およびブラ シ火花の三つの量を検出し,ブラウン管のスポットを負荷電流に比 スポットの輝度は,無火花状 態ではスポットが消え,ブラシ 火花が発生するとその明るさに 従ってスポットの輝度が増加す るように調整する。その結果, ブラウン管上には無火花帯が黒 い帯として描きだされることに なる。本測定法では観測者によ る個人差もなく,観測者の熟練 も必要としない。本測定装置を 用いて実測した結果の一例とし



図1 無火花帯の測定例

て,図に固定子が塊状鉄心で作られた 100 kW 直流機の無火花帯の オシログラムを示す。

最近では直流電動機を整流器電源で駆動することが多くあるが, この場合負荷電流が脈動し,その結果一般に無火花帯の幅が狭くな ることが知られている。これは無火花帯を負荷電流の平均値によっ て測定するためで,本測定装置を用いて負荷電流と補極磁束密度の 瞬時値として,ブラシ火花の発生範囲を測定した結果,直流電流に おける無火花帯とまったく変わらないことが証明された。また脈動 電流運転時の負荷電流と補極磁束のリサジュー図形を考察し,補極 磁路に積層鉄心を使用することによって整流が改善されることを示 した。同様に,過渡状態における整流状態と定常状態における無火 花帯との関係を調べることによって,負荷急変時におけるブラシ火

一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一
例して横軸に, 補極磁束密度に比例してたて軸に振らせ, そしてス
ポットの輝度をブラシ火花の明るさに比例した信号で変調すること
によって、これらの三つの量を同時にブラウン管上で観測する測定
方法を考案した。補極磁束密度はホール発電器を用いて測定し,整
流火花は二次電子増倍光電管を用いて検出した。

三相回路における開閉 サージの数値計算

研

超々高圧系では雷サージに対する機器絶縁の問題と同時に開閉サ ージに対する機器絶縁の問題がきわめて重要視されてきており,開 閉サージがどの程度発生するかをは握し,その抑制法を検討するこ とで合理的な機器の絶縁協調がはかられる。

漏

このような解析の一方法としてモデル回路による解析がよく知ら れているが,三相回路で求めようとすると対象系統によってはその 線路要素の作成と構成は非常に複雑でめんどうなものである。これ に対し,計算で求める方法は最初のプログラムをつくるのに多少の 労力が必要であるが,これが完成すれば各種の条件におけるサージ を求めることは容易である。

このほど日立製作所では、「400 kV 送電専門委員会」の依頼を受けたのを機会に、三相回路における開閉サージの数値計算プログラムを開発した。これは進行波理論を基礎としたもので、単相・三相を問わず、いかに複雑な構成の系統をも扱うことができ、しかも、線路上での減衰やひずみを任意に選ぶことが可能で、遮断器のシーケンスも変え得る高度の汎用性をもっている。

本計算法を東京電力 500kV 計画系統房総線に適用し, 特に無負荷時高速度再投入を行なった場合の異常電圧を 求めたところ,相電圧基準で受電端対地は 3.5 倍,相間 圧倍数との関係を示す。

実測値との比較による検証は残された課題であるが,この開閉サ ージ計算プログラムは,変圧器や遮断器を含めて系統の BIL 決定 や各種故障計算などに今後広く活用されて行くであろう。

究





は5倍の異常電圧が発生することがわかったほか,抵抗 投入方式を採用することにより,抵抗値が2~5kΩとい う比較的高抵抗であっても対地電圧は2倍前後,相間も 3倍を越えないことが判明した。

図2に異常電圧波形の一例を、図1に抵抗値と異常電

注: 線路往復伝搬時間を周期とする急峻な波形は,遮断器と電源の間の反射によるもので, 実系統では,減衰によって,数波目で現われなくなる。

図2 異常電圧波形の一例

細い管路の過渡流量 応答特性の数値解

管内層流非定常流れは, 圧力 p および流速 u に関して一般に次の 二つの方程式に支配されるが,

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{K_1} \frac{\partial p}{\partial t} \quad \dots \quad (2)$$

ウォータハンマーなど圧力波の伝播を論ずる場合には、摩擦損失 を無視し、R=0として波動方程式を解く在来の方法でことたり、 数多くの成果をあげている。しかし油圧管路や燃料噴射管路などの 流量の応答性を扱うには、管路の摩擦損失や形状損失などの影響が 大きく、R=0とした従来の諸方法では不十分である。

そこで, R+0 とし, 図1に示したように管路をm等分し, それ ぞれの区間端に摩擦損失の等分値を集中的に分布させて, 波動方程 式を解く数値解法を導き出し, 電子計算機により同解法の広範囲な 計算を可能ならしめた。

一方,小径の小流量域まで測定可能な電磁流量計を試作供試し, 管路一端に急激なステップ状の圧力変化を与えて管路長さや流体の



粘度を種々変えた場合および管路にオリフィスを含んだ場合につい て実験によって流量の応答特性を求め、定常状態に達したときの流 速 u₀ と入口水頭 h₀ よりなる無次元量 (gh₀/lu₀)・t を用いて整理し た。実験の結果を新たに導出した数値解と比べたのが図2であっ て両者はきわめてよく合致している。この新数値解法は各種の複 雑な管路系の過渡的流れの解析に実用的価値をもつものと考えら れる。

E

電気車両の空転現象

電気車両の粘着性能改善のためには,空転による引張力の低下お よび駆動装置やレールの損傷を極力少なくすることが必要であり, そのためには、空転速度を小さくおさえ、再粘着特性をもたせるこ とが望ましい。従来の電気車両の空転現象の解析は各種の非直線特 性を直線で近似したり、電動機回路を一つの電源に1個の電動機が 接続された回路で考えるなどの近似を行なっているために、特に交 流群結線式機関車の場合には実際と一致しない点が多かった。日立 製作所では日本国有鉄道の各位のご指導のもとに、交流群結線式機 関車の空転現象を徹底的に調査研究した。

まず,各軸駆動交流群結線式機関車の標準形であるED75形機関 車の粘着性能試験により、動輪タイヤとレールの間の粘着係数なら びに電気系および機械系の空転時の挙動を測定し、空転現象をは握 した。この実測によって得られたデータをもとにして、空転現象に 影響を及ぼすすべての因子と,すべての非直線性を考慮して電子計 算機でシミュレートした。電子計算機による解析結果と実測値はき わめてよく一致し, 交流電気車特有の空転誘発現象とその防止法, 再粘着特性に及ぼす各種因子の影響,空転時駆動装置各部に生ずる 応力などを明らかにすることができた。図1は群結線式交流機関車 の粘着性能改善のための電動機電圧制御方式の一例であり,基準電 圧 Es と共通端子の電圧 E1 から電動機回路の抵抗による電圧降下の



6

一部, $\gamma \cdot E_e(0 < \gamma \leq 1, E_e = I_m \cdot R_m/4)$ を差し引いた電圧, $E_1 - \gamma \cdot E_e$ とを比較して電源電圧 E,を制御するものである。 図2はこのよう な電圧制御装置を設けた場合の空転現象の解析例である。図のよう に, 空転誘発の原因である粘着軸の引張力の増加がおさえられ, 約 0.5 秒で再粘着し、再粘着後空転した軸の引張力は徐々に復元する という理想的な特性が得られている。

実働荷重疲れ試験機の開発

機械を軽量化あるいは高性能化するために,最近実際に発生して いる荷重変動による疲れ破壊を考慮し,機械の耐用年数をあらかじ め定めた設計が行なわれつつある。

このような実働荷重下の疲れ破壊の研究あるいは実働荷重を考慮 した設計を行なうためには、実働応力信号のように広い周波数帯域 を持つ任意の信号電圧を与えて、その信号波形に忠実な荷重あるい は変形を試験片に与える実働荷重疲れ試験機が必要となり、この たび電磁形平面曲げ実働荷重疲れ試験機および油圧式引張圧縮実働 荷重疲れ試験機の開発に成功した。このような疲れ試験機の必要条 件として,周波数帯域が広く,その範囲で周波数特性が平たんで, 過渡特性および入出力間の直線性が良好であることが望ましい。

電磁形平面曲げ実働荷重疲れ試験機には出力の点から, 片持ち試 験片の先端に可動線輪によって曲げ荷重を加える方式を採用した。 そこで, 試験片と可動線輪などの付加質量よりなる振動系の共振点 が使用周波数帯域の上限に含まれるため, 共振点付近で周波数特性 に極大値を生じ、過渡特性が悪くなる恐れがあるが、この問題は電 気回路によって解決され、臨界制動あるいは過制動の状態を実現で きた。本試験機は 0.05~80 c/s で平たんな周波数特性を有し, 図1 のランダム波の入出力波形が示すように、非常に良好な応答を得る ことができた。 油圧式引張圧縮実働荷重疲れ試験機は、サーボアンプの出力電流 をサーボ弁に加えてパワー・シリンダに流入する作動油の流量を制

御し, 試験片に生じた荷重(あるいは変形)をロードセル(あるいは

ひずみ計)によって検出し、その信号をサーボアンプの入力段に帰

還する。これによって 入力信号に比例した荷 重(あるいは変形)を 試験片に加えようとす るもので,最大荷重は ±10 t であり、 0~30 c/s で平たんな周波数 特性を持つ。図2は試 験機を示したものであ 30

0.2

0.4

0.6

時間(s)

0.8

図2 自動電圧制御系 (AVR) を設けた

交流群結線式機関車の空転現象

1.0



1.2

ランダム波の入力電圧と出力荷重を重ね合わせたもの 図1 応答の実例



	左より油圧源,	試驗機本体,	制御回路
$\boxtimes 2$	油圧式引張	王縮実働荷	街重疲れ試験機

.....(1)

プロセスの最適制御装置

近年電力系統をはじめ各分野でプロセスの最適制御が実施されよ うとしている。これはプロセスの目的量を一定の制限条件のもとに 最大または最小にするものであるが、このための計算制御装置はオ ンラインの使用に耐える信頼度と計算速度の速さを持つものでなけ ればならない。われわれは電力系統の電圧無効電力制御の研究の一 環として全アナログ形の最適制御装置を開発したが、この装置は広 く一般のプロセスの最適制御に適用できるので、ここに概要を述 べる。

一般にプロセスの最適制御の問題は

プロセスの目的量: MIN $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ プロセスの制限量: $g_i \leq g_i (x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \bar{g}_i$ $(i=1\sim m)$

プロセスの変数: $x_j \leq x_j \leq \bar{x}_j$ $(j=1\sim n)$

のように表わすことができる。この問題に対しては次の微分 方程式が成り立つ。すなわち

$$\frac{dx_{i}}{dt} = \frac{\partial f}{\partial x_{i}} + \sum_{i=1}^{m} \lambda_{i} \frac{\partial g_{i}}{\partial x_{j}} = 0$$

$$\uparrow z \uparrow \bar{z} \downarrow \qquad \lambda_{i} = 0 \qquad \underline{g}_{i} \leq g_{i} \leq \bar{g}_{i}$$

$$\lambda_{i} > 0 \qquad g_{i} > \bar{g}_{i}$$

$$\sum_{i < 0} q_{i} < q_{i}$$

量の変化率 $\partial f/\partial x$ を計算する回路, (d)は $\sum_{i=1}^{m} \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial x_i}$ を計算する回

路, (e)は加算積分回路, (f)は上下限制限設定回路である。

究

この最適制御装置は原理的に計算時間が速く、場合によっては瞬 時に最適解を求めることができ、構成要素を磁気演算器, トランジ スタ式演算器にすることにより, 高い信頼度を得ることが期待でき ること、各種の工業計測装置との接続が簡単であることなどから、 オンライン制御用に適している。またこれは制御用のアナログ演算 増幅器を基本構成要素とし、ブロック組立て方式であるから常に制 御対象の規模に応じた必要最小限の構成で使用できるので、プロセ スの最適制御システムとして合理的である。

> (c) (d) (f) (e)



 $\lambda_i < 0 \quad g_i < g_i$

最適制御装置は(2)の微分方程式を解いて最適解 x_i(j= 1~n)を見出すアナログ形の計算装置である。

図1は最適制御装置のブロック線図である。図1の(a)は プロセスまたはプロセスモデル, (b)は制限条件設定回路で (a)から検出した $g_1 \sim g_m$ を導入し制限条件に違反があれば ペナルティ電圧 $\pm \lambda_1 \sim \pm \lambda_m$ を発生させる回路, (c)は目的

ロケット用サンホロワ .

ロケット上で、コロナカメラやUV分光器などを太陽方向に追従 指向させる制御装置, ロケット用サンホロワのプロトタイプモデル を試作した。ロケット用サンホロワは、地球大気による影響の少な い高層で太陽を観測するために使用する制御装置である。

サンホロワは, エンジン燃焼後のロケット惰行飛しょう中に作動 する。このときロケットはスピンと歳差運動を伴う。それでサンホ ロワの基本構造は、スピンに基づく太陽像の公転を打ち消す方位角 回転、および歳差運動などに基づく太陽像の上下動を打ち消す仰角 回転をする二軸回転サーボ機構になっている。各軸サーボ機構の 構成は,目標とする太陽の光を太陽センサで検出し,その出力をサ ーボ増幅器で増幅し、サーボモータにあたえ、サーボ負荷を操作し て太陽に追従指向させるようになっている。サンホロワの制御系と しての特長は次の四項目に集約できる。

- (1) ロケット上で二軸回転をする多自由度相対運動系になる。

最適制御装置ブロック線図 図 1

ト, K-8 形への搭載を 目標にしたもので, 仕 様を表に示す。

なお,このサンホロ ワは,昭和39年度通産 省鉱工業試験技術研究 補助金の交付をうけて 試作したものである。



ロケット運動 図 1 シミュレータ上の サンホロワ

(2) ロケット 搭載のために小形軽量化, 耐ショック振動性など	表1	サンホロワの	仕 様
が必要である。	項 目	諸 元 性 能	備考
(3) 角度分オーダの高精度が要求される。	外形	$250\phi \times 1,300$	K-8形ロケットノーズ
(4) 宇宙環境で作動する。	重量	30 kg	コーン部に拾載 サーボ機構,電源
わが国では、ロケット搭載用制御装置は未開発の分野であり、ロ	搭載観測器 方位角サーボ	$150 \times 100 \times 500$, 8 kg	
ケット観測の範囲拡大,精度向上などの面から,サンホロワおよび	最大操作速度	0.45 c/s	
それを基礎にしたロケット搭載用各種制御装置に多くの期待がよせ	精 度 仰角サーボ	<7'	
られている。	最大操作速度	0.1 c/s	
写真の試作モデルは,東京大学航空宇宙研究所の中形観測 ロケッ	精度	<5′	

— 7 —

8 昭和41年1月

ハイブリッド計算システム に関する研究

(1) HIDAS 2010 の完成

アナログ計算機およびディジタル計算機を併用したバランスド ハイブリッド計算機はさきに HIPAC 103 をディジタル計算機に 使用した標準システム HIDAS 103 として開発したが,今回クロ ック 18 Mc のディジタル計算機 HITAC 2010 との 結合になる汎 用計算を目的とする HIDAS 2010 システムを完成した。従来シス テムとの比較を示すと表1のとおりである。

本計算システムの特長をあげると(i)汎用性,(ii)機能化 システム(iii) 高速性(iv) ソフトウェアの完備(v) DDAと の連結可能などである。(i)はアナログ,ディジタル両計算機を 無改造でハイブリッド化可能であって、それぞれ単独使用が可能 なことを意味している。(ii)は HITAC 2010の割込機能とアナロ グ計算機のディジタル入出力装置を巧妙に組み合わせ両計算機間 の情報信号,制御信号を密に交換できるようになっている。この 結果 interface に要する時間が短縮しているのみならずディジタ ル計算機の利用率を向上させている。(iii)は HITAC 2010 の高 速化に伴って改良された点である。(iv)については従来よりハイ ブリッド計算のプログラムを Fortran 形式で記述するために HYBRID HARP を開発してきたが、本システムでも同様のもの が完備されている。(v)はアナログ,ディジタル両計算機以外に ディジタル微分解析機(DDA)との相互連結が可能なように考慮 されていることであって従来困難であった複雑なハイブリッドシ ミュレーションが可能である。図1は本システムの外観の一部を 示す。



図1 ハイブリッド計算システム HIDAS 2010



(2) ハイブリッド計算機による最大原理の解析

前項で示したハイブリッド計算システムを用い Pontoryagin の最大原理の新しい解法を開発した。最適制御問題に最大原理を 適用すると2点境界値問題に帰着し、従来これに対して種々の方 法が提案されたがいずれも系が線形であるか、あるいは未知初期 値の最初の仮定が正しい値に十分近くないと収束が困難であり実 用的でないことが知られていた。新しく見出した方法はなんらこ のような制限を受けることなく正解を得ることができる実用的な 方法である。すなわち従来解軌跡を直接目標点に近づけていたの に対し、本法では解軌跡が目標点に近づくための条件を求め、そ の条件を満たすことにより間接的に目標点に近づけた点に基本的 な考え方の差がある。計算は微分方程式の積分などはアナログ部 で論理判断、情報記憶にディジタル部で分担せしめている。図2 にハイブリッド計算結果の一例を示す。 図 2 *x*+*x*=*u*, |*u*| ≤1 なる系の最短時 間制御解の収束状況

表1 標準ハイブリッド計算システム比較表

				HIDAS 103	HIDAS 2010	
	語	構	成	48 bit	24 bit	
デ	Add	time		0.4~1.3 ms	17 µs	
ィジ	記憶容量		量	コ 7 4k ドラム 8k	コ ア 4k ドラム 16k	
タル	入	出	カ	6 bit 並列	6 bit 並列 割込1 レベル	
别	ソフトウェア		7	HARP SIP HYBRID HARP	HARP SIP HYBRID HARP	
IJ	Si	チャンネ A-D 変換	ル 数 時間	8 2 ms	$\begin{array}{c} 10\\ 250\ \mu s\end{array}$	
ンケ	So	チャンネ A-D 変換	ル 数 時間	8 2 ms	10 150 μs	
1 ジ	Ci	形種	式類	JSW 3個 ETM 1個	Interrupt 4	
部	Co	形種	式類	JSW4 • So 31 個	mode 10 個	

電子計算機による放送 番組の自動制御

近年,放送送出の自動化という問題が各局で真剣にとりあげられている。これは自動化により人為的誤操作の減少を狙いとしているが,日立製作所でも制御用計算機の応用の一環としてこの問題をとりあげ,放送送出業務の分析を行ない,PASC (Program Automatic

(iii) 計算機自動送出裝置

のため、半自動送出装置自体、放送情報8個(拡張可能)の記憶部を 有し、これを用いての時間的な制御を自動化し、またコマーシャル の時間のみの専用機とせず1日の放送を順次半自動で処理できる形 をとった。また数値制御工作機で実用化されている時分割多重化回 路を用いることにより、強力な機能のわりに小形化されている。紙 テープ自動送出の場合にはこの半自動装置に紙テープリーダおよび

Switching Control) と名付けるシステムを開発, 図に示す実験機を 試作した。

本システムの最も大きな特長は下記の3段階が任意に選択できる

- よう配慮されている点である。
- (i) 半自動送出装置
- (ii) 紙テープ自動送出装置

制御回路を付して長時間の自動化を図るものであるが,記憶部を生かし,放送の変更などに十分応じられるシステムとなっている。制御用計算機を使用する場合は,1日分以上の放送情報を蓄え,秒パルスにより映像・音声系統の切換器の制御,映像・音声源の機器の制御を行ない,計算機内の放送情報を任意に読み出し表示・修正を行なうことはもちろん,さらに放送の自動送出の合い間に放送確認

究

9

書の印字作表を行なうことを試みた。かかる計算機応用においては 放送情報を計算機に与える方式が使用の便・不便を左右する重要な 点であり、したがって、ここでは1日の放送内容をすべて穿孔する ということはせず、固定化できる放送内容は再使用できる形とし、 有効利用を図れる形とした。またまったく新しいことであるが、放 送自動プログラムともいうべき放送情報をイベントの形に細分しな

演	算	方	式	2 進 直 列
語			長	21 bit
7	ドレ	ス 方	式	1½ ア ド レ ス 間 接 ア ド レ ス 可 能
2		Ÿ	7	200 kc
演	算	速	度	加 减 算 360 μs 乗 除 算 2,895 μs
命	4	ĥ	数	27
記	憶	装	置	コ ア(工業用) 1~8k ド ラ ム 8k×n
割	り	込	み	あり
周	囲	条	件	0~40℃

表1 HICOM 2300 概略仕様

いでも処理されるような方向の研究を行なった。図に示すものは半 自動送出,計算機自動送出の実験機である。計算機としては工業 用計算機 HICOM 2300 を使用するが,その概略仕様は下表のとお りである。



図1 PASC (放送番組自動送出装置)

(1)については静置法による結晶の最適育成条件を見出し高品質の 結晶の試作に成功した。(2)については特に工夫された熱伝導冷却 方式による変調素子収容器を使用することにより,(3)については PID 方式を精粗2段階に分割し室温 ~-150℃の全範囲において 0.1%,-115℃および-150℃の2点においてそれぞれ±0.1℃の 精度を得ることによって解決された。

4

通信工学分野に対するレーザの応用面を開発するうえに、その成 否のかぎを握る基本的技術要素の一つとして変調が取り上げられ る。レーザ変調は原理的には電波の場合と同様 AM, PM, FM が可 能であるが、対象とする搬送周波数が光波領域であるため、従来の 電子回路的手法を直接的に使用することは不可能に近い。したがっ て変調信号に対して応答可能な物理現象ないしは効果を呈するなん らかの媒体を仲介として、被変調波の振幅、位相、速度、方向を制 御することによってはじめてレーザ波の変調が可能となる。

調

この研究はレーザ変調技術の開発を目的として,結晶の電気光学 効果を利用し,変調素子をレーザ共振系の外部に置く外部変調方式 による,レーザ変調の基礎研究である。

変調素子としては ADP (第一燐酸アンモニウム) および KDP (第 一燐酸カリウム) 単結晶の Z-cut 板を採用し,これらの結晶の呈す る linear electro-optic effect を利用して,He-Ne ガスレーザ光の 変調を試みた。このような変調手法における最大の問題点は,理論 上からも予想されるように,100% 変調に要する印加電圧が数 kV ないし 10 kV オーダーときわめて高いことであり,変調周波数の 増大とともに所要変調電力の点から実用性がうすいことが確認さ れた。

一般に linear electro-optic effect を利用する場合に,変調に寄 与する結晶の位相差は電気光学係数 r₆₃と常光線に対する屈折率 n₀³ の積で与えられ,一方 KDP グループの結晶では r₆₃の値がキューリ ー点において著しいピークを示すことが知られている。特に KDP は秩序一無秩序形の強誘電体で2次転移を示すから,キューリー点 は実際の転移温度に等しく,したがって動作温度をキューリー点に 近づけることが可能である。このようなことがらに着目して,変調 素子としての結晶を冷却して (-150℃ 程度まで) 変調電力の軽減を 試作したレーザ変調装置はきわめて安定に動作し,レーザ変調の 研究に大きく貢献している。





AAAA

目標に研究を進めた結果,100Vオーダーの印加電圧で100%のレ ーザ波の変調に成功した。この冷却効果の一例を写真に示す。 この場合の技術的問題点としては(1)光学的ならびに誘電的に きわめて均質の結晶を変調素子とすること(2)結晶を一様に冷却 すること(3) 高精度の温度制御であることの三つがあげられる。

- 9



(e)
 図1 レーザ変調における変調素子の冷却効果の一例
 素子温度(a) 20℃(b) -25℃(c) -50℃(d) -85℃(e) -115℃:
 素子 KDP Z-cut 板: 変調電圧 600 V(p-p)一定: 変調周波数帯域 20 c/s~
 20 kc/s: 被変調波 He-Ne ガスレーザ光(λ=6328A)

■ 電子顕微鏡による金属結晶

格子像の観察

日立製作所では、ここ数年来電子顕微鏡の分解能の限界を追求する目的で、結晶格子像の撮影を行なってきた。1963年には、HU-11A形電子顕微鏡により、世界ではじめて単純金属結晶の格子像を 観察し、分解能における世界記録を3.2Å(ジーメンス製電子顕微鏡 による)より2.35Åへ大幅に更新した。試料は金結晶の(111)格子 面であった。

その後,観察する格子面や金属の種類を変えて,金の(200)面(格 子間隔 d=2.04 Å)をはじめとして,ペラジウム(200)面(d=1.94 Å), 銅(200)面(d=1.81 Å)などの格子像を撮影することに成功した。こ れらの結果は,現在のHU-11B形電子顕微鏡の分解能が確実に2Å をマークしていることを示すものであり,また,入射電子線と光軸 との角度関係がブラッグ角を満足する操作条件の場合に分解能が2 Å以下に達するという理論を実証するものである。一方,従来,コ ントラストが低いために観察することが困難であると考えられてい た軽元素の結晶格子像についても,理論的な検討により,試料があ る特定の条件を満足する場合には,十分に高いコントラストで観察 し得る可能性を見いだし,アルミニウムの試料をこの条件に一致 させることによって,きわめて高いコントラストの格子像((111), d=2.34 Å)を観察することにも成功した。

表1 結晶格子像撮影の歴史

年度	格子間隔 (A)	試 料 名	発表者	使用顕微鏡
1956	11.9	白金フタロシアニン(201) Menter (英)	Elmiskop I (独)
1957	6.9	酸化モリブデン (020)	Bassett, Menter (英)	Elmiskop I (独)
1958	5.8	金・ニッケルのモワレ	Bassett, Menter Pashley (英)	Elmiskop I (独)
1958	6.94	第1塩化白金カリ(100)	菰田, 坂田	HU-11 (日立)
1958	5.63	第2塩化白金カリ(111)	菰田, 坂田	HU-11 (日立)
1961	4.57	パイロフィライト	Dowell	Elmiskop I (独)
1961	3.2	トレモライト	Dowell	Elmiskop I (独)
1962	4.1	第1塩化白金カリ(001)	渡辺	JEM-6(日本電子)
1963	3.81	酸化モリブデン (110)	菰田	HU-11A (日立)
1963	2.35	金 (111)	菰田	HU-11A (日立)
1964	2.04	金 (200)	菰田,大槻	HU-11A (日立)
1965	1.94	パラジウム(200)	菰田	HU-11B (日立)
1965	2.34	アルミニウム(111)	菰田	HU-11B (日立)
1965	1.81	銅(200)	菰田	HU-11B (日立)
1965	1.81	銅 (200)		JEM-7 (日本電子)

* 学会,学会誌に発表されたものを記した。



これにより、試料条件さえ適切であるならば、いかなる種類の結 晶でも、その格子像を観察し得ることが明らかになった。

図1は、銅(200)面の格子像を示し、図2は、同じくアルミニウムの(111)面の格子像を示すものである。表1は、電子顕微鏡による結晶格子像観察の歴史を、分解能に重点を置いて書いたものである。このように、2Å前後の分解能はほとんど日立の電子顕微鏡により開拓されている。

■ プラズマ光源

プラズマ光源は分光分析用の新光源として注目されているが、わ れわれは、プラズマ光源の一種である高周波単極放電光源の構造上 に改良を重ねたすえ、従来のアークやスパークにまさる性能を得た。 この新光源は、写真に示すようにマグネトロンからの高周波電力を 導波管によって同軸放電部に供給し、ここでプラズマ炎を発生させ るものである。改良の要点は、図のように同軸放電部の外導体を延 長し、この外導体の内径をプラズマ炎の径とほぼ等しくしたことで ある。これによって放電を安定させると同時に、試料を無駄なくプ ラズマ炎中に導き発光させることができた。この結果、表示のよう に、従来のアーク法に比べ10倍ないし100倍良い検出限界を得た。





図1 高周波単極放電光源

今後の問題は高周波単極放電光源の共存効果である。従来の光源 にある共存効果についてはかなり調べられていて,共存効果に対す る分析技術的手法もある程度わかっているが,高周波単極放電光源

の共存効果については未知の点が多い。

10 ---

	元,	秦 名	2	Ca	Mn	Ni	V	Zn	Al
高周	波単植	医放電	己光源	0.005	0.5	0.5	0.8	0.2	0.2
7	-	1	法	2	10	5	5	3	2

単位 ppm

■ アミノ酸迅速分析法の開発

研

たんぱく質を構成するアミノ酸約20成分の系統的分離定量は Moore, Stein 氏らのイオン交換法の開発によって著しい進歩をと げ約22時間で実施できるようになった。Moore, Stein 法の全操作 を自動化した装置はアミノ酸分析計として内外各社より市販されて いる。しかし医薬学分野における基礎的研究,臨床診断あるいは食 品, 飼料の品質管理分析など広範囲に応用されるためには, さらに分 析法の迅速化が必要である。迅速分析法としては選別樹脂を用いて カラム効率を改善し流速を増加する方法あるいは Gradient Elution 法など種々の方法が報告されている。本研究では Ni²⁺, Co²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺およびCd²⁺などの弱塩基性金属イオンの金属塩形樹脂を用い,

アミノ酸と金属イオンとの錯塩生成反応を利用し配位力の差によっ て分離する方法を検討した。単なるイオン交換および吸着反応など に比較して錯塩生成反応は選択的であり分離性の改善と迅速化を期 待することができる。

究

種々の金属塩形樹脂について最適溶離条件を検討した結果, Zn²⁺ 塩形樹脂カラムによってアミノ酸20成分を3時間20分で分離定量 することが可能となった。分析して得られたクロマトグラム例を図 1に示した。Two Column 方式を用いたが、溶離液は各カラムにつ いて一種類ですみ, Moore, Stein 法のように一回の分析操作中溶離 液の切換えは不必要であり,操作および装置も簡易化することがで きる。

(A) 酸性・中性アミノ酸



(B) 塩基性アミノ酸群



図1 アミノ酸(20成分)の分析例(3時間20分法)

原子炉中性子束計測用マイクロ マイクロアンペア計

原子炉の中性子束計測においては、10⁻¹⁰~10⁻¹²A 程度の微小電 流を安定に測定指示する電流計が必要である。このような電流計を 作るためには, 10¹⁴Ω 以上の高い入力インピーダンスをもつ直流増 幅器を用いなければならない。しかし、普通の電流制御形トランジ スタではこのような高入力インピーダンス回路は得られないため, 結果, 寿命あるいは故障などの面でいろいろ問題があった。

の問題を解決し, 全回路の完全半導体化に成功した。

この電流計の等価回路を図1に示す。この回路では、入力抵抗 Ri および相互コンダクタンス g の直流増幅器の出・入力端子間に帰還 抵抗 R_f を挿入し,入力電流を電圧出力に変換して指示する。入力 電流 I_i と出力電圧 e_0 の関係は次式で与えられる。 ただし R_0 は増



論

第 48 巻 第 1 号

幅器の出力端子間に接続された負荷インピーダンスとする。

$$e_{0} = -I_{i} \cdot R_{f} \left(\frac{R_{0} \cdot g - \frac{R_{0}}{R_{f}}}{R_{0} \cdot g - \frac{1}{R_{i}} (R_{f} + R_{i} - R_{0})} \right)$$

したがって、 $R_i \gg R_f \gg R_0$ および $R_0 \cdot g \gg 1$ の関係が成り立つとき、出力電圧 e_0 は次のように近似される。

 $e_0 = -I_i \cdot R_f$

図2は、この電流計の外観を示したものである。この電流計は原 子炉計測制御盤に組み込まれるように作られている。 表1は、この電流計の代表的な特性を示したものである。

表1 マイクロマイクロアンペア計の特性

項		I	3	特性
電 流	測 定	三 範	囲	10-12~10-4A (9レンジ)
応 名	*	時	間	10-12A レンジで 1s
起 重	h	時	間	ドリフト 1% 以内に達するまで約 10 s
F J	1	フ	ŀ	起動 1 min, 後より ±0.1~0.5%/10 h
温度	£	特	性	0.02%/℃ 以下
電源電	王王	依存	性	AC 100V±10%に対して ±0.1% 以下

表1に示した諸特性からもわかるように,この微少電流計は医学 用あるいは一般理化学用測定器としても広い用途をもっている。

分離形核過熱原子炉の 炉心最適化の研究

現在すでに実用化されている沸騰水形原子炉は,飽和蒸気でター ビンを駆動するため熱効率は最高 32% で,今後経済性を向上する ためには,原子炉でこの飽和蒸気を過熱して 40% 近い熱効率をえ, 発電コストで 4~14% の低減が期待できる核過熱炉の実現が強く望 まれている。この研究は核過熱炉の中で技術的に最も早く実用化が 可能である分離形 313 MWe 原子炉について,経済性と安全性の見 地から原子炉炉心の最適化を行なったものである。

この分離形原子炉は100 kg/cm²の飽和蒸気を発生する通常の沸

研究,中性子吸収の少ない耐高温被覆材の開発などが課題である。 この研究のように原子炉の仕様をきめるに先だって,経済性と安 全性の点から行なった最適化研究は国内では最初であるが,海外で は広く行なわれ,特に新形原子炉の開発に大きな役割を演じてい る。今後わが国で新たに原子炉を開発する場合には,この研究の応 用が期待される。

この研究は、39年度原子力委託費によって行なったものである。



造めが確心がすずな100 kg/cm²の通知点気を完全する通常の赤 騰水炉のほかに、その蒸気を520℃まで過熱する蒸気過熱炉をもっ ており、89 kg/cm²、510℃の過熱蒸気がタービンに送られ、熱効 率38.9%である。両原子炉は冷却材条件が連続であるほかは核的 にも熱的にも独立であり、沸騰水炉はすでに実用化されているの で、炉心最適化は蒸気過熱炉に対して重点的に行なった。燃料直径 と水対燃料体積比をパラメータとして、熱的最適化計算、核的最適 化計算ならびに高温点因子計算を相互に矛盾なく実施し、性能的に 最適化した炉心を求め、次にこれらの各炉心に対して発電コスト(相 対値)と安全性の尺度である起動時、事故時の反応度量を計算し、安 全性の高い炉心の中で最も発電コストの安い炉心を求めた。この炉 心は燃料直径10 mm のインコネル被覆燃料棒7本からなるクラス タを水対燃料体積比が2.1 になるようにして16本まとめて燃料要 素とし、この燃料要素81本で構成したものである。

蒸気過熱炉の熱出力は241 MW_t, ほかに562 MW_tの沸騰水炉があり,313 MW_eのタービン系とともにこの発電所を構成している。 初期濃縮度は3.18% で20,000 MWD/T 燃焼し,12.4 個月ごとに燃料を交換する。冷却材である蒸気は炉心に309℃で入り,520℃ま

で過熱され,平均出口流速は 34 m/s,燃料最高 温度 1,980℃,被覆最高温度 620℃,平均出力密 度 40 kW/l,比出力 18.8 kW/kgU である。ま た温度係数は負で固有の安全性をもち,事故反 応度は起動時で 2%,運転時で 0.6% で安全性 は十分確保できる。

またこの研究より,核的熱的に最適化した炉 心であれば,燃料直径や水対燃料体積比の最適 化の効果は約 0.01 mill/kWh 程度で,安全性か ら許容できる事故反応度量の推定が特に重要で あることがわかった。 今後この炉の性能向上には,19本クラスタな ど燃料要素の改良,燃料限界温度に関して熱伝 導率,照射特性,核分裂生成物の漏えいの研究, 高温点因子の低減に関して中性子吸収の方法の



軽水冷却形原子炉の災害防止 設備に関する研究

研

原子炉は運転とともにその炉心に多量の放射性の核分裂生成物が 蓄積される。もしなんらかの事故により,この放射性物質が大気中 に放出されると,原子炉周辺に放射能災害を及ぼすおそれがある。 このような放射能災害を防ぐため原子炉には種々の災害防止設備が 設けられている。本研究は,軽水冷却形原子炉の最大仮想事故と考 えられている冷却材喪失事故時の災害防止設備の有効性を明らかに し,さらに有効な災害防止設備を開発しようとするものである。

炉心の放射性物質の大部分は燃料体中に蓄積されているので,燃料被覆の破損あるいは燃料の溶融がおこらなければ,放射能災害は 重大なものとはならない。そこで冷却材喪失事故に,燃料体が高温 となり破損,溶融するのを防ぐために,炉心スプレー冷却設備が設け られる。しかし,従来その効果については十分明らかにされていな かった。実際の燃料集合体とほぼ等しい形状のシースヒータ集合体 を用いた実験の結果,定常状態において,炉心スプレー冷却効果が不 十分となり,燃料体が高温となる条件として,図1に示すように燃 料体表面を伝わる水が完全に蒸発する場合と,いわゆる"Flooding" 現象による場合とがあることを明らかにした。また,炉心スプレー 開始直後の過渡状態における冷却効果についても明らかにした。 また冷却水流出に伴なう燃料体の温度変化および従来の格納容器



究

13

に代わり最近の動力用原子炉に用いられている圧力抑制装置の内圧 変化の解析には事故時の冷却材流出速度が重要となる。冷却材が単 相流の状態で流出する場合は流出速度を求めることは容易である が,一般に冷却材は高温高圧であるため流出ロで減圧沸騰をおこし, 二相流の状態となり,このような場合の流出速度については十分明 らかにされていなかった。耐圧 70 kg/cm²,内容積 0.8 m³の圧力容 器模型を用いた実験により,飽和水が流出する場合には,図2に示 すようにオリフィス単位断面積あたりの流出量は,オリフィスロ径 により変化することが明らかになった。



時効硬化性銅合金の溶体化 処理における塩界冷却速度

時効硬化性銅合金においては,溶体化処理の冷却速度が小さいと 過飽和固溶体を室温まで持ちこすことができず,時効硬化性の劣る ことが知られている。大形塊状の時効硬化性銅合金に高抗張力高導 電性をもたせるためには,溶体化処理における冷却速度が時効硬化 性に及ぼす影響を究明する必要がある。ここに述べる時効硬化性銅 合金は代表的な析出過程をとるもので,Cu-Cr 合金は過飽和固溶体 からの単純な析出過程,Cu-Be 合金は複雑な遷移状態の析出過程, ならびに Cu-Co₂Si 合金は金属間化合物を析出するものである。ジ ュミニー試験には 25¢×100 mm の試験片を使用し, C曲線の決定 には 1.0¢ mm の線を恒温処理一時効の試験

に使用した。試験の結果は次のとおりである。

(1) Cu-0.68%Cr 合金(図1)。ジョミニ
 ー試験によって、冷却速度(1,050~800℃)

ジョミニー試験によって、800°Cからの冷却速度が55°C/s(800~ 500°C) より大きいとき Cu-Be 合金を十分時効硬化することがで きる。上部C曲線は β 相共析温度の上の700°C 付近にあり、上部 C曲線を切らない冷却速度は比較的に小さく約3°C/s である。下 部C曲線は共析温度の下の500°C 付近にあり、下部C曲線を切ら ない冷却速度は60°C/s と大きい。時効特性はとくに下部C曲線 ノーズ付近の温度における冷却速度に影響される。この合金の溶 体化処理における臨界冷却速度は、500°C において55~60°C/s で ある。

(3) Cu-4% Co₂Si 合金。この合金のC曲線のノーズは950℃ 付近にある。この合金の過飽和固溶体は1,000~800℃間の冷却速 度が約20℃/sより大なる場合に室温まで持ちこすことができる。



が 1,000℃ で 10℃/s, 900℃ で 17℃/s より 大なるときは, この合金の過飽和固溶体が 得られる。C曲線のノーズは 900~950℃間 にある。本合金の溶体化処理における臨界 冷却速度は, 900~950℃において 17~20℃ /s である。 (2) Cu-2.46% Be-0.23% Co合金(図 2)。

 a, b, c: ジョミニー試験片の水冷端からの距離と冷却曲線
 a, b, c, d: ジョミニー試験片の水冷端からの距離と冷却曲線

 図1
 Cu-Cr 合金のC曲線
 図2
 Cu-Be 合金のC曲線

黒心可鍛鋳鉄の衝撃性質の究明

黒心可鍛鋳鉄の衝撃性質は、従来おもに常温のみの試験によって 求められており、また溶融亜鉛メッキを施した場合に起こる黒心可 鍛鋳鉄特有のメッキ脆性も、常温試験の結果に基づいて検討されて きた。しかし、それらの実態を正しく理解するためには、鋼の分野 において広く行なわれているように、低温脆性の概念を導入し、衝 撃遷移曲線の挙動に基づいて考察するのがのぞましい。

通常の黒心可鍛鋳鉄について、 $15 \times 15 \times 80$ mm、 $2 \text{ mm U} / \sqrt{9}$ 付の試験片を用いてシャルピー衝撃試験を行ない、衝撃遷移曲線を 求めた結果は、図の曲線Aのとおりである。すなわち、 -10° 以上 の温度範囲では5 kg-mの最高吸収エネルギーを示し、試験温度が -10° 以下に低下すると、靭性一脆性遷移が起こり、 -196° では 全面に白色の脆性破面があらわれる。

この衝撃遷移曲線上の最高吸収エネルギーおよび遷移温度は、本 可鍛鋳鉄に施される熱処理の温度、時間、その温度からの冷却方 法、および種々の元素の含有量によって変化することが明らかにな った。たとえば、450℃に加熱後水冷すると、図の曲線Bに示すよ うに、衝撃遷移曲線は大幅に高温側に移行し、Si あるいはとくにP 含有量が増大した場合にも同様な傾向があらわれる。これらの結果 から、本可鍛鋳鉄のメッキ脆性現象、および Si あるいはPが同現 象を起こりやすくする傾向に対して、新しい観点にたって説明を与 た。さらに,適量の Cr, Mo, W, V あるいは Zr が本可鍛鋳鉄の 衝撃性質を向上させることを見出した。なお,メッキ脆性の機構に ついて検討を加え,微少かたさおよび電子顕微鏡組織から,同脆性 と結晶粒界の異常性とが関連を有することを示した。

本研究およびこれと併行して行なわれた本可鍛鋳鉄の-200~ 450℃の温度範囲における衝撃,引張,およびクリープ試験の結果 を総合して,少なくとも350℃までの温度において,本可鍛鋳鉄は すぐれた機械的性質を有しており,きわめて安定な材料であること を示している。これらの結果が,本可鍛鋳鉄の使用制限温度に関す る各種の規格および法令の改正にまで導いている。

以上の結果は従来の黒心可鍛鋳鉄製品の使用分野を拡大し,ある いは新製品を開発するにあたって,有力な武器となることが期待さ れる。



えるとともに、650℃水冷がメッキ脆性を防止するのに最も有効な 処理法であることを示した。また、衝撃性質および引張性質と顕微 鏡組織上の諸特性との間に、密接な関係があることが明らかになっ

工具鋼の摩耗に関する研究

摩耗現象は相手材,ふん囲気,摩擦速度,接触圧力,その他影響 を及ぼす因子が多く複雑である。このため摩耗試験によって各種材 料の摩耗持性を明らかにし,耐摩耗性を比較することは容易でない。 本研究は工具鋼に関して,このような複雑な耐摩現象を調査し,そ の耐摩耗性を明らかにせんとするものである。測定には大越式迅速 摩耗試験機を用い,摩擦距離と摩耗量の関係,摩擦速度と摩耗機構 および摩耗量の関係,接触圧力と摩耗の関係などについて検討した。 また相手材料の摩耗に及ぼす影響を明らかにした。図1は工具鋼 SKD11の摩耗量が相手材によっいていちじるしく変化することを 示すものである。明らかに摩擦速度の速い場合は低硬度の相手材に



対する摩耗量が高硬度に対する摩耗量より小さいが、摩擦速度が 大きい場合には逆の傾向を示す。工具の場合一般に被加工材は焼鈍 した電磁軟鋼,構造用鋼など低硬度な材料が多く,したがって低硬 度材料を相手材にする必要がある。図2は SCM 21 鋼の焼鈍材を相 手材とし各種工具鋼の摩耗試験を行なった結果を示すものである。 各鋼の摩耗量を比較すると、摩擦速度と比摩耗量の関係は鋼種に特 有な様相を呈し、速度により摩耗量の大小順位は逆転する部分も多 いが一般的傾向として、SKS 2、SKD 12、SKD 11、SKD 1、SKH 2、 SKH 3、SKH 4 A、XVC 5 の順に摩耗量は減少し、高速度鋼や高ク ロム冷間ダイス鋼は明らかに低合金工具鋼や中クロム冷間ダイス鋼 より耐耗摩性のよいことがわかる。また接触面温度の測定、摩耗面 の観察、実用試験との対比などから得られた多くの知見により、工 具鋼の摩耗試験に適した試験機を考慮中である。



----- 14 -----

■ 石炭スラリーの燃焼

わが国石炭産業の合理化対策の一環として,石炭をスラリー化し, パイプ輸送,船輸送にて火力発電所に送り,直接または乾燥燃焼さ せる構想が昭和37年来検討されている。 この構想は石炭をスラリ ー化することにより輸送費を大幅に軽減できる見とおしと,アメリ カ Werner 発電所で水分30~40%の石炭スラリーをサイクロンフ アーネスにより直接燃焼させ得たことから表面化し,計画に具体性 をおびてきた。

バブコック日立株式会社としても本構想に対処し,通産省の応用 補助金を得て石炭スラリーの物性,噴霧特性,特にサイクロン炉に よる直接燃焼を中心に試作,研究を進め,その概要を明らかにする ことができた。

まず石炭スラリーの物性を知る必要から,スラリーの粘稠性,沈 降性に及ぼす石炭の種類,粒度分布,石炭濃度などの影響を究明し 適性化の条件を求めた。図1は三井砂川上細粉にて作成した石炭ス ラリーの例を示し,全水分32%の高濃度良質スラリーで流動性が良 く,沈降性はほとんど認められない。

このスラリーを使って、つぎに直接燃焼用スワールジェットノズ ルによる噴霧特性を明らかにするため、噴射量、噴霧角など諸特性 間の関係を求めるとともに、この種ノズルがスラリー噴霧に最適で あることを示した。 石炭スラリーの物性 この種/ ズルによる噴霧特性を知って図3 に示す直径3フィートのサイクロ ン試作炉にて直接燃焼実験を行な い,ほぼ所期の目的を達成するこ とができた。アメリカ Werner 発 電所での実績を参考に本実験結果 から石炭スラリーの着火,燃焼性 の概要を明らかにし,サイクロン 燃焼に対する石炭スラリーの適性 を検討した。要約すると次のとお りである。

(1) サイクロン内に噴射され
 た石炭スラリーの着火条件は、周
 囲ガス温度として 900~1,200℃
 あればよく、着火時間は 0.02~



15

図1 作成した石炭スラリー(全水分32%)

0.04 秒,着火距離は 150~300 mm 程度と推定できる。

(2) 石炭スラリーを直接サイクロン燃焼する場合の燃焼負荷特性を求め,実験炭の燃焼限界を検討し,アメリカ Werner 発電所での実績と合わせてその妥当性を示した。

(3) サイクロン燃焼用スラリー原炭の適性は一概に判定しがた いが,傾向的にみて還元気中の灰流動温度<1,400℃にて,原炭低

究

噴霧角については図2にその傾向を示すように,噴射圧の増加と ともに増さず,ある圧力を越えると急激に減少し,以後圧力の増加 とともにわずかずつ増す傾向が認められた。この原因は,石炭スラ リーのように高濃度泥しょう体ではビンガム特有の流動特性を有 し,粘度の高いことからも実験範囲が層流,遷移,乱流の各流域に またがっていて,噴霧角の極大となるのは層流から遷移に移行する 点,極小点は遷移から乱流に移行する位置にあるためと考えられる。



図2 石炭スラリーによる噴霧角と噴射圧力の関係

位発熱量 Hu>5,500~6,000 kcal/kg を満足すれば,かなり低負荷 まで直接燃焼は可能と考えられる。



図3 石炭スラリー直接燃焼実験炉

DAVC 火炎分解炉の試作

石油化学工業の基礎原料であるアセチレン, エチレンを製造する 方法に,炭化水素の火炎分解法がある。バブコック日立株式会社は 某化学会社と共同でナフサを火炎分解炉で熱分解してアセチレン, エチレンを生成し,さらに生成ガスから塩化ビニールを合成する中 間規模のパイロットプラントを試作した。

火炎分解法は分解炉の構造が簡単で、反応温度に十分な幅をとる ことができ、そのうえ生成比を自由に選択できる特長を持っている。 分解炉内にて、純酸素を酸化源とした高温燃焼炎の中心に気化し た原料ナフサを噴霧すれば、ナフサは燃焼熱を奪ってアセチレンと エチレンを主成分とするガスに分解する。これが火炎分解法と称す るものである。 分解時間は1/1,000~5/1,000秒である。したがって分解炉は反応 生成したガスが二次反応によりカーボンを発生させないための急冷



図1 試作分解炉と予熱炉

論

日

装置を有している。

試作分解炉は、将来スケールアップを考慮して実装置の1/15~ 1/20を目標に下記の仕様で設計した。

(1) 原料ナフサ供給量 100 kg/h(最高予熱温度 600℃)

(2) 燃料(天然ガス) 最大64Nm³/h(最高予熱温度500℃)

(3) 燃 焼 室 負 荷 1.5×10⁷ kcal/m³-h

(4) アセチレン,エチレン合計収率目標 50%

運転条件を一定にして約650時間の連続運転を含む一連の実験を 約1個年かけて行なったところ,収率は図2に示すようにエチレン, アセチレン合計で55%以上となり,ほぼ世界水準に達した。しかし スチーム原単位をはじめとする熱バランスの面からは,まだ検討を 要する問題もあるが,原単位の面から考察してもアセチレン,エチ レン併産において生成比が1,すなわち等量生産の場合には,他社 のプロセスと比較しもて十分将来性のある性能を確認することがで きた。



管路気中送電路の開発

最近,大都市近郊においては,大電力を地中送電によって送る必要性が高まっており,近い将来において,1,000~2,000 MVA 程度の電力を地中線で送るという事態も起こると考えられている。一方,従来の OF, GF ケーブルなどでは,送電電圧を上昇しても,誘電体損失のために,送電容量におのずから限度がある。

分な耐圧を示している。このスペーサは導体およびシースとの接触 部を鋭角に絶縁物がおおっているので,誘電率の差により接触部の 電界が著しく緩和されること,沿面方向の電界が弱いことなどによ り,良好なせん絡特性を示すと考える。熱伝達特性の実測によれば, 導体—シース間の熱伝達は,高圧力ガスの対流により著しく促進さ れ,SF₆ガス5kg/cm² 充てんの場合に,大気充てんの約3倍の熱伝 達率を持つ。この特性と耐電圧特性から定まる設計で最大の送電容 量は,154 kV 級で 800,275 kV 級で 2,000 MVA 程度にとれると考え られる。

この限界を破る一方法として、誘電率が1で、誘電体損失が零であるガスを主絶縁体としてシースパイプ中に 高圧力で封入し、導体をがい子または合成樹 脂製のスペーサで支持する送電路が考えられ ている。この送電路を管路気中送電路と呼 び、この実用化を目ざして基礎研究ならびに 短尺モデルの試作を行なった。現在、絶縁ガ スとしては SF_6 ガスが電気的化学的特性、価 格などの点で最適であるのでこれを選んだ。 耐電圧特性で問題となるのはガス中における 導体支持スペーサの沿面せん絡特性である。 これは、スペーサの形状によって大きく異な るので、種々実験を行ない、最適と思われる 形状を見出した。

275 kV 級のモデルとして,シース内径 340 ¢,導体外径 110 ¢,(図 1 参照),154 kV 級 のモデルとしてシース内径 200 ¢,導体外径 70 ¢ のモデル管路を製作した。図 2 にスペー サの構造とモデル管路のせん絡特性を示す。 それぞれガス圧力 4~5 kg/cm² において,十

