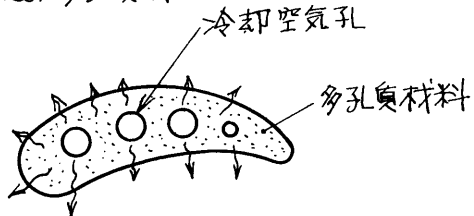


(b) 高温ガスタービンと蒸気サイクルの組み合わせ  
 在来機関の近い将来における延長の一つとして高温  
 ガスタービンと蒸気サイクルの複合機関がある。

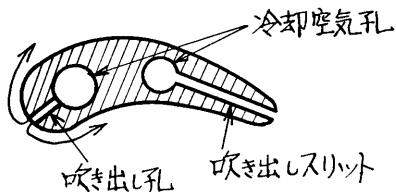
高温ガスタービンとは、作動ガス温度を在来より上  
 昇させるため動翼を冷却したり、特殊材料の（セラミ  
 ック、サーメットなど）の使用を計るなどの方策をと  
 るもので、動翼冷却を行うときの従来より示されてい

る冷却方法としては、図37に示すように、(a)多孔質材  
 料から冷却空気（または他の冷却機）を浸み出させて  
 動翼を冷却する浸み出し冷却法、(b)翼の前後部等に設  
 けたスリットもしくは孔から冷却空気を吹き出して冷  
 却する吹き出し冷却法、(c)通路に冷却空気等を通過さ  
 せる純内部冷却法、(d)動翼の内部を空洞とし水等の液  
 体を入れて沸騰冷却法やサーモサイホン方式冷却法等

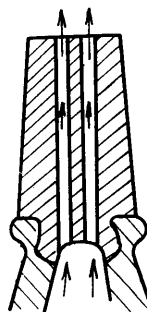
(a) 多孔質材料を使用するもの



(b) 空気吹き出し孔やスリットを使用するもの



(c) 貫通冷却孔を使用するもの



(d) 密閉液体の沸騰を使用するもの

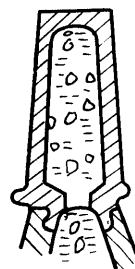


図 37 ガスタービンの作動温度を高温化するための動翼冷却方式の各種例

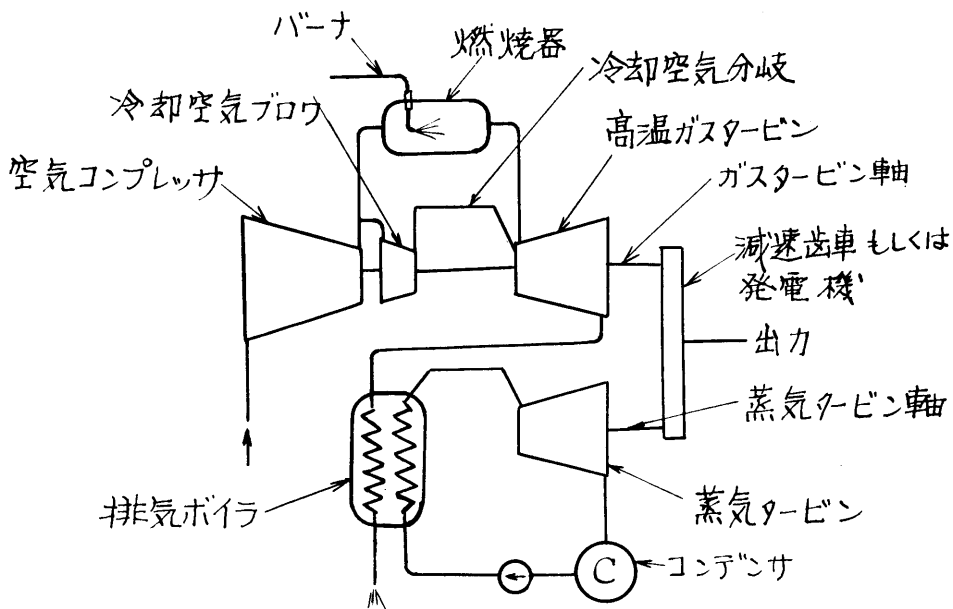


図 38 高温ガスタービンと蒸気タービンの複合機関（西協・平田氏らの案に基づく）

があり、わが国ではそのうちの吹き出し冷却法や空冷内部冷却法等が最も熱心に追求されており、かなりの実験的成果を収めている。同法によれば主流の2~3%以内の冷却空気、ガス温度を1000°Cを超させることも可能性がある。

このような高温ガスタービンは排気ガス温度が高いため、低温で熱を放出する蒸気サイクルと複合させるときは効率が高い。

図38に西脇・平田氏らによる<sup>(7)</sup>この高温ガスタービン蒸気サイクルを複合した船用機関の線図を示し参考とする。

ガスタービンの高温化に伴う問題としては、単に冷却の問題に止まらず、他の熱機関でも実用上大きな問題となる燃焼ガスによる腐蝕の問題がある。それについては多くの研究があるのでここでは触れないが、それを根本的に避けるため燃焼ガスの代りに、純空気もしくは不活性ガスを使用する方法があり、それらのガスの温度を飛躍的に上昇するためセラミック材料で作られた熱交換器の利用などが考えられていることを述べておく。

なおこのような高温ガスタービンの効率上昇のためには、再生熱交換器による方法と蒸気サイクルとの組み合わせが考えられるが、ガス~ガス熱交換器よりガス~液体熱交換器(ボイラ)の方が伝熱面積が約1/2となり、かつ使用材料の耐熱性と価格が低くてよいばかりでなく、ランキンサイクルの特長としての低温放熱の利点もあるので、前者より後者の方がすぐれていると考えられる。

いま複合する相手側のボイラを貫流かつ高熱伝達率形式とするときは、複合機関は全体としてきわめて小型化され、プレパッケージ化も可能である。

5.4 船用原子炉についての提案

船用動力の出力変換部が蒸気タービンやガスタービンのような在来形式であっても、またMHD方式や直線機関のような将来形式であっても、その熱入力部の主要部を形成する船用原子炉がどのような形式がよいかは、また主要な事項である。

いま出力変換部はさておいて、熱入力部としての水冷却原子炉、液体冷却原子炉ガス冷却原子炉等の今後の形式について本論文内に論じておこう。

5.4.1 船用水冷却原子炉

船用水冷却原子炉は、その形式だけを取りあげるとき、図39(a)に示すような熱交換器と圧力容器とをまったく分離した形式がサバンナ号やわが国の原子力船事業団第一船の第一次案に採用されている。

この古典的形式は各個修理のし易い点では良いが、配管が複雑かつ長くなり、そのため全体の容積と重量が増す欠点がある。

同図(b)のものは米国 B & W 社などで提案している熱交換器内蔵圧力容器を使用する炉で、全体としてコンパクトになるが、一方において圧力容器の高さと直径が増し、熱交換器のヘッダーが大きくなり、かつ各部の個々の修理が困難である難点を持つ。

ここに新たに提案する同図(c)のようなコンパクトタイプの分岐形式のものは、さらに図40で詳しく画くように分岐部分を冷却コイル壁で分けて、二重にして内

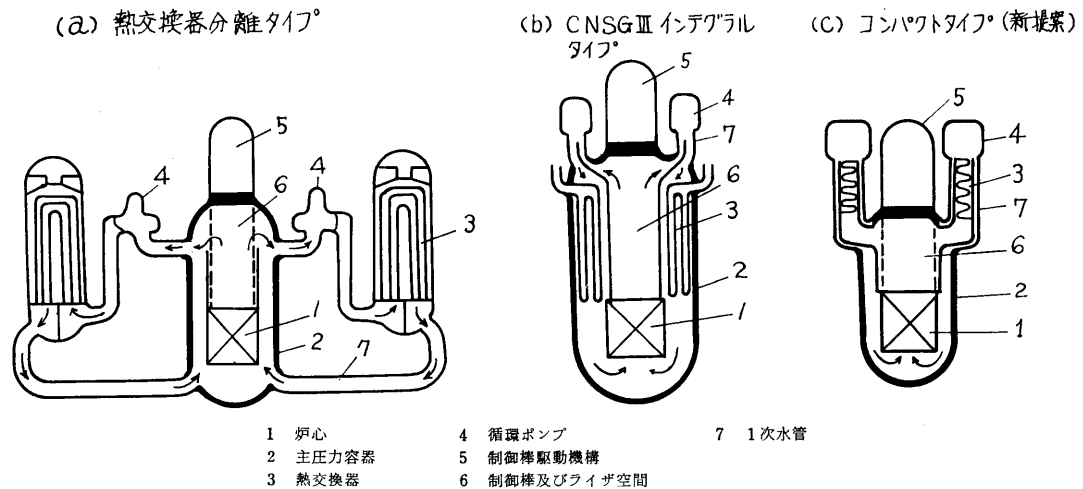


図39 水冷却原子炉の在来の二つの形式と新提案のコンパクト形式の比較図

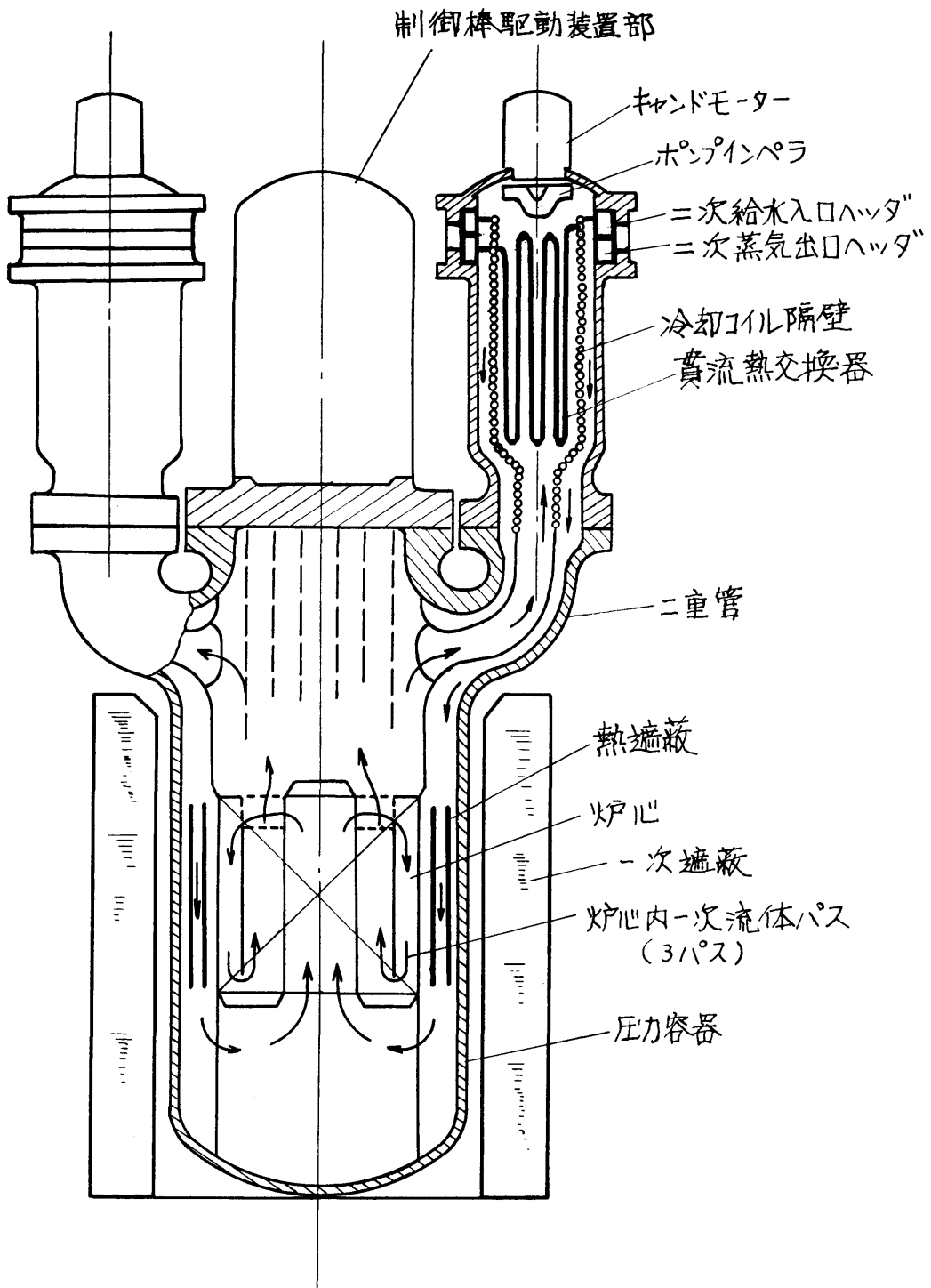


図40 コンパクトタイプの水冷却原子炉案  
(筒状二重管式貫流熱交換器分岐管形式)

側に貫流形式の熱交換器を配置し、外側を振り流路とし上方には小口径のヘッダーを重ねた上に、さらに同軸に循環ポンプを配したもので、そのようにすると

- 1 圧力容器の主要部が小型軽量でよい。
- 2 熱交換器のヘッダーが小さくてよい。(熱衝撃に強い)
- 3 ポンプの循環水路と配管が短かくてよい。
- 4 ポンプ、熱交換器を分解修理するのにきわめて楽である。
- 5 全体としてきわめてコンパクトとなる。

6 シャヘい部分に十分なシャヘい用スペースが取れる。

7 二重流路になっているので圧力容器壁に過大な熱衝撃が生じない。

等の船用として実際的な特長と利点が増す。当所の研究<sup>(8)</sup>により水冷却船用炉としては、動揺に強い高圧力差強制循環PWRが向いていることがわかっているので、循環ポンプの流速を増し循環量を減じた設計とすると、炉心は図のように3パス、または4パス程度の冷却回路が良く、またライザ部分は最小限度の容積が

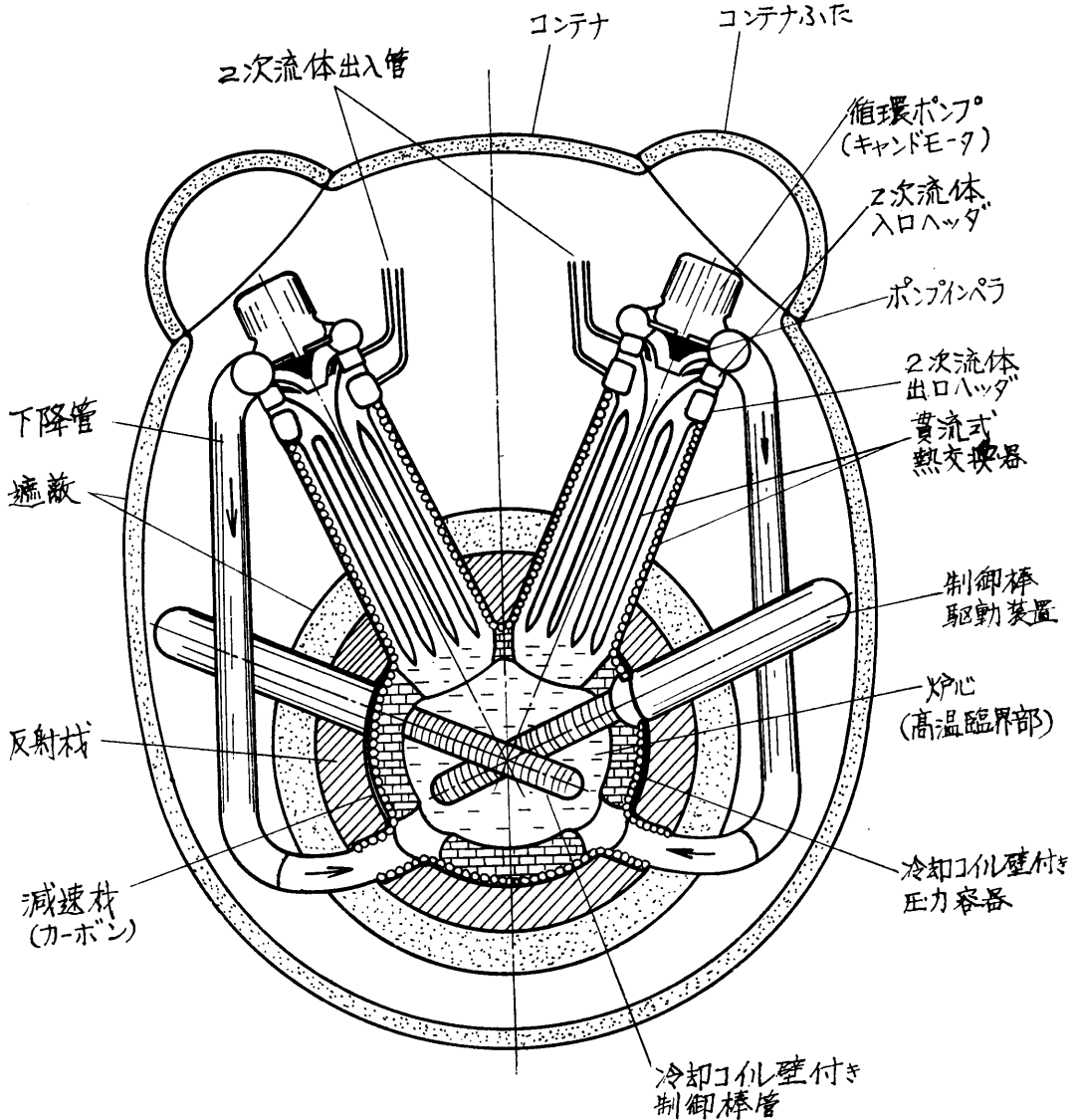


図 41 流動燃料型式・冷却壁・貫流ボイラ使用コンパクト船用原子炉案

あれば十分であるので压力容器の主要部分は、さらに小型とすることができる。

この新形状の水冷却原子炉の提案はきわめて現実的なものであり、決して新方式熱機関ではないが、その重要性からあえてこの論文の中に提案しておきたい。

#### 5.4.2 流動燃料原子炉

上記の分岐二重管形式をさらに高温化するため、流動燃料形式の炉として概念設計を行うと、その一例は図41に示すような形状となる。同図のものは、スラリー状もしくは熔融金属状の流動燃料自体を流動させて中心付近で臨界として内部発熱し、分岐管の中で二次流体（水または液体金属）に熱を与えるものであり、熱交換器はやはり貫流水管ボイラ形式である。

同図のものは流動燃料の循環ポンプをもっているように示してあるが、自然循環でも、また電磁ポンプでも良い。またこの図のような球形の主压力容器と、それに垂直な分岐管を持つ形状は水冷却原子炉に対してもまったく同様に適用することができよう。このような形状とすることによって同一压力容器をさらに小型軽量化できる。しかし水冷却原子炉のさいは制御棒配置に若干の難点を生ずると思われる。

#### 5.4.3 ガス冷却原子炉

ガス冷却原子炉は直接サイクルガスタービンと組み合わせたとき、少なくとも在来形式機関のはんちゅう内では最も軽量小型となり得ることは従来より十分論じられている。しかし燃料の耐蝕性や耐高温性、回転機械、とくに伝導軸における軸封と軸受けの問題、ガス補給の問題等に難点がある。

いま将来の組み合わせの一つとして、完全密閉の超電導発電機なるもの、および作動ガスによる軸受を考えて前記の漏洩と軸受の問題を解決するものとする、さらに軽量、コンパクト化された船用ガス冷却原子炉機関が組み立てられよう。

図42にそのような組み合わせに基づく機関の概念図を示す。図のように原子炉を横型とし、同一中心軸上にガスタービン、コンプレッサを配置し、外側に熱交換器を置くときは、全体として工場内組立の可能なパッケージ型式となる。燃料取換等に対してはコンテナぐるみ全体をそっくり別に用意した二号機に取りかえてしまえばよい。このような軽量原子力機関はたとえばホーバークラフトのような軽量高速船に向いていよう。

#### 5.5 船用直線機関

さて前第4章では一般熱機関の残された将来形式を提案し、そのうちとくに二段出力変換方式について強調した。それらの船用への適用性について考察してみよう。

まず図18のふく射サーモプッサ機関は、その実現のためには、かなりの巨大化と超高温化を要するため船用としてはかなり逸脱するおそれがある。

ついで図19の凝縮インゼクタ機関は、ジャクソン、ブラウン等によって、それまでも宇宙航行体用に提案されたように、小型軽量大出力である特長を有しており、船用の最高温度機関として最も有望である、さきの図35のものはこの形式に基いたMHD船用動力概念図である。

ついで図20や、図22の回流ピストン機関は大出力、

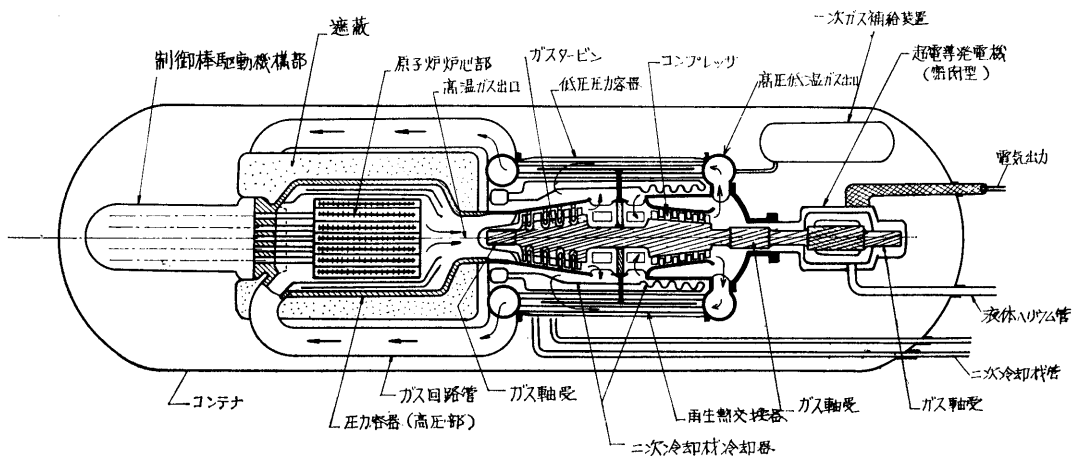


図42 船用ガス冷却原子炉・ガスタービン・超電導密閉発電機複合コンパクト機関案

高効率となり得るが、複雑で長大化する欠点があり、さらに改善の余地がある。

図23のX流体運動エネルギー置換機関は、それ自体まだ概念的であるが、ピストン流方式的によって効率を上昇させた場合の図30、図31等の液体金属MHD機関は、さきの凝縮インゼクタ機関とともに最も船用大出力機関に向いている。

図32等の重力ポテンシャル機関は、当然船用としては不向きである。

以上より、大出力を目的とする直線、二段変換機関としては、今後大いに研究の余地があるものの、液体金属を主作動流体とする出力二段変換機関が

- 1 原子炉および超電導電機器と組み合わせるとき  
在来の機関では、出し得ない大出力の処理ができる。
- 2 全体が小型軽量となる。

の特長より、将来の超大型船および高速船用としてきわめて有望であり、大いに研究と開発がなされることが望まれる。

## 第6章 結 言

以上のように、高温作動をすること、大出力を扱うことを主眼点として、熱機関を三主要素に分けてまず新方式の一般熱機関および熱限界を論じ、ついで将来の船用機関について論じた。そして各論に伴ってたとえば水冷却原子炉の改良型のような極めて現実的なものから、砲弾重力機関のような非現実的なものまで、広い範囲にわたり筆者の考えによる多くの新方式の熱機関や動力方式を提案した。

それらの提案については、以上に述べている通りであるが、全体の骨子とするところは、今後の熱機関形式は本論に述べた多くの帰納的理由により、作動流体が直線作動をする直線機関および二段出力変換機関に属するもので、その組合せが将来に残された最も有望な形式ではないかということである。

本論の考察に基づく、新方式熱機関を開発するためには、今後多くの研究課題があるが個々の在来熱機関の研究開発以外に大きな方向として

- (1) 熱機関の熱限界工学(仮称)を前進させること。(熱伝達と材料力学の結合分野の開拓)
- (2) 作動流体の選定とそれに必要な基礎事項の研究

(たとえば諸金属の  $i-s$  線図、粘性等の測定)

- (3) 大容量直線機関として最も有望な液体金属二相流の噴射流動における流力的熱力的、研究を前進し、とくに積極的に二相流の流動状況を制御するノズルを開発すること。

- 4 超電導機器、大容量動力伝達機器の開発を行うこと。

- (5) MHD動力方式の船用としての開発を行うこと。等が重要な開発対象であると考え。

そもそも、在来の機関に捉われないうまく新原理、新方式に基く高効率の熱機関や船用動力を生み出すことは、きわめてむずかしい仕事である。しかし、エネルギー利用上の変換期を迎えた現在の時代がそれを要求している。とくに資源が乏しい上に多数の人口を有し、科学技術だけを唯一の売りものとしていかなければならないわが国においてこそ、世界に先がけて新しい技術を協力開発して行かなければならない必要があると信ずる。

ここに多くの未完成の愚論を示したことが、なんらかの意味で基礎的な研究の活発化をうながし、また、ひいては真の理想的な熱機関や新船用動力の研究と開発、発展に役立ち、それに携わる若い研究者の方々の熱意にいささかなりとも刺げきを与えるものであれば筆者の最も幸いとするところである。

## 参 考 文 献

- (1) 森, 一色 日本機械学会誌 68巻557号(1965-6) p.714
- (2) 一色 日本機械学会論文集 29巻 201号(1963-5) p.932
- (3) Shapiro 他 Trans. ASME Vol 78, No. 3 (1956-4) p.617
- (4) 日本機械学会MHD研究分科会資料 12-1, 2. (1965-7)
- (5) Richard Mcfee Elect. Engg. (1962-2) p.112
- (6) 一色, 寺野 他 日本機械学会誌 65巻, 591号(1962-4) p.505
- (7) 西脇, 平田 他 日本機械学会誌 67巻, 545号(1964-6) p.845
- (8) 一色 他 船研報告 第2巻 第1号(1965-1) p.1
- (9) 一色 他 日本機械学会第3期全国大会 前刷集 No. 143 (1965-10)

(原稿受付 1965.9.10)