

高速増殖原型炉「もんじゅ」ナトリウムポンプの研究開発

Development Work on Sodium Pump for Prototype Fast Breeder Reactor "MONJU"

高速増殖原型炉「もんじゅ」用一次主冷却系循環ポンプは、高温(約400°C)の放射性ナトリウムを予想運転範囲8~113%の広い流量範囲で循環するポンプであり、常に炉心冷却機能を要求されている、プラントの運転と安全上最も重要な機器の一つである。

本ポンプの研究開発は、国産技術による自主開発として、動力炉・核燃料開発事業団と日立製作所との共同で進めてきたが、実験炉「常陽」の運転経験、モックアップ機による昭和52年以降1万時間の耐久試験を経て、現在では実機製作に対する一応のめどがつくまでに至っている。

本稿では、この試験期間での一次主冷却系循環ポンプの流体性能確認、SUS304ポンプ材料試験、ケーシング外周アルゴンガスによる温度分布、軸振動特性及び軸変位計など、本ポンプの研究開発成果の概要について述べる。

亀井 満* Mitsuru Kamei
 青木忠雄** Tadao Aoki
 矢沢節雄*** Setsuo Yazawa
 金尾雄二*** Yūji Kanao

1 緒言

高速増殖炉用冷却材であるナトリウムを循環させるポンプの開発は、昭和41年に完成した1 m³/min試作機の実績を基礎として、動力炉・核燃料開発事業団の高速増殖炉開発計画に合わせて進められている。

日立製作所は、高速実験炉「常陽」の一次主冷却系主循環ポンプの完成¹⁾に引き続いて、高速増殖原型炉「もんじゅ」一次主冷却系循環ポンプ(以下、一次主循環ポンプと略す。)の開発²⁾を担当し、昭和43年の予備設計開始以来、設計研究を進めてきた。この間に、流体性能、材料、熱、振動、計測などに関する研究を行ない、昭和52年には「もんじゅ」一次主冷却系循環ポンプ実規模大試験機(以下、モックアップポンプと略す。)を完成させ、水中及びナトリウム中試験を実施した。

2 一次主循環ポンプの概要

表1に、これまでの設計研究により得られた一次主循環ポンプの主要目と、モックアップポンプの主要目との比較を、また図1に、一次主循環ポンプの構造図を、それぞれ示す。本ポンプは、機械式立て形自由液面遠心ポンプであり、原子炉に直結した一次主冷却系のコールドレグ^{※1)}に設置される。

3 一次主循環ポンプの特徴

一次主循環ポンプは、プラント出力運転時などの通常炉心冷却、及び冷却材漏洩事故時の燃料崩壊熱除去などの緊急炉心冷却に、それぞれ必要なナトリウムを原子炉へ供給するポンプである。予想運転範囲は、約8~約113%という広い流量範囲であり、約10~100%の回転数変化により流量制御を行なう。あらゆるプラント状態に対してポンプ機能を維持す

表1 ナトリウムポンプ主要目 現在設計を進めている一次主循環ポンプと、ナトリウム中試験に使用しているモックアップポンプの主要目を示す。

プラント	モックアップポンプ	一次主循環ポンプ
台数	1	3
定格吐出し量	87.6(21)m ³ /min	100m ³ /min
定格全揚程	90mNa	94mNa
設計温度	410°C	420°C
定格回転数	850 ^{min⁻¹} (rpm)	837 ^{min⁻¹} (rpm)
電動機出力	1,780(550)kW	2,000kW
回転数制御方式	サイクロコンバータ	MFGセット
回転数制御範囲	10~100%	10~100%

注：括弧内は、ナトリウムループ試験時の仕様を示す。

MFGセット(可変周波数交流発電機-流体継手-定速誘導電動機の組合せ)

るために、静圧軸受は冷却材漏洩事故時に予想されるナトリウム最低液位よりも下位に配置し、ポンプ全長を約10mとしている。耐震性としては、設計用限界地震S₂が生じたときにも、ポンプ機能の維持が可能であることが要求されている。内部構造体は、高温の放射性ナトリウムを取扱い液とするため放射線しゃへい部と熱しゃへい部とを備え、一体で引抜き可能なメンテナンス性の良い構造とした。

4 ナトリウム用ポンプ開発実績

1 m³/min試作機を昭和41年に完成させて以来、4~5倍のスケールアップ比(吐出し量比)で4種のナトリウム用ポンプを製作してきた。図2にポンプの大きさ比較、吐出し量及び

※1) コールドレグ：中間熱交換器出口ノズルから、原子炉入口ノズルの間の低温領域を示す。

* 動力炉・核燃料開発事業団高速増殖炉開発本部 ** 動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センターナトリウム機器構造試験室 工学博士
 *** 日立製作所土浦工場

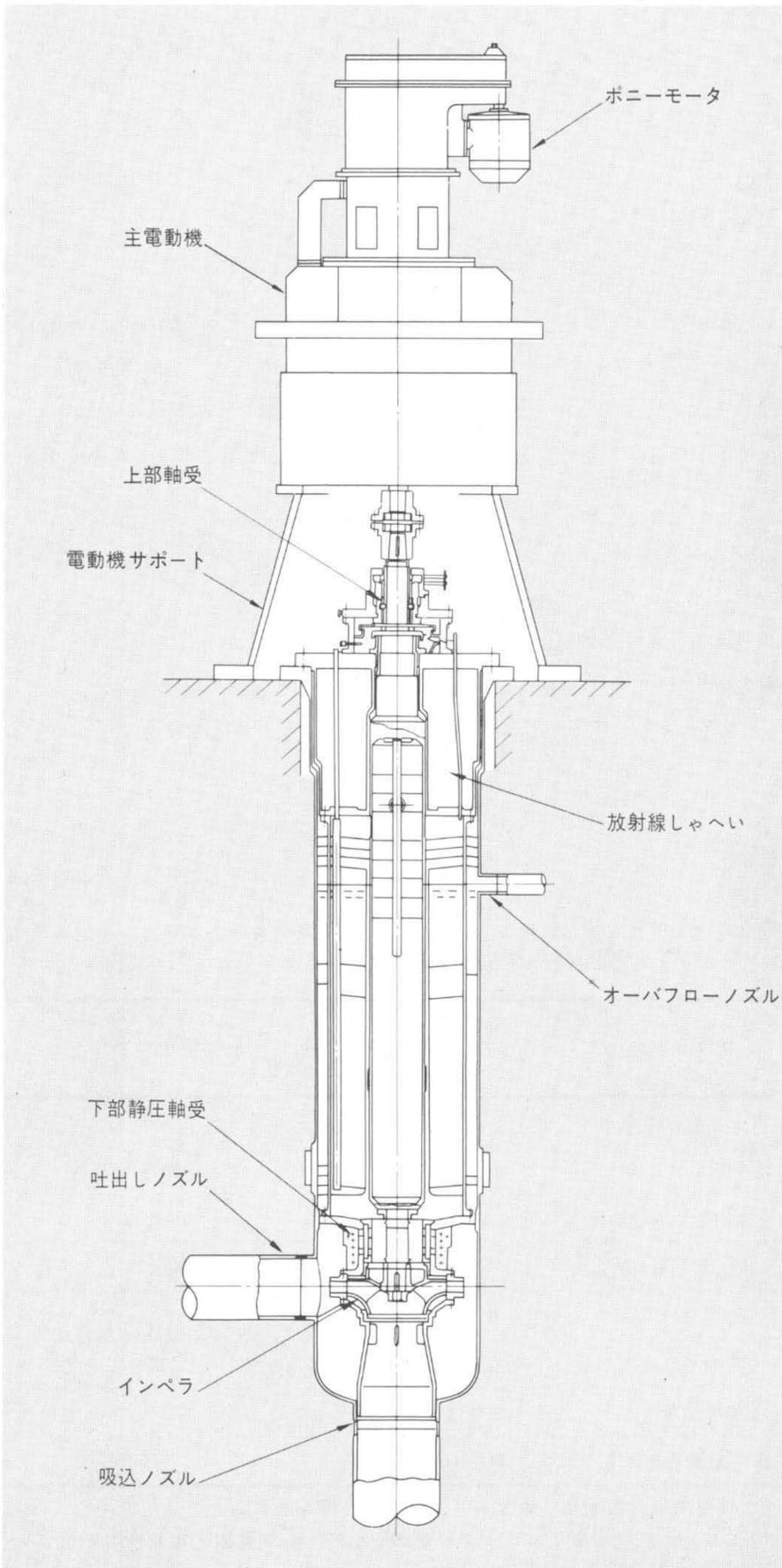


図1 一次主循環ポンプ構造図 プラント出力運転時には、変速可能な主電動機により駆動され、崩壊熱除去運転時などには、定速ポニーモータにより駆動される。

全揚程の比較を、図3には海外のナトリウム用ポンプとの容量比較を示す。図4に、モックアップポンプ内部構造体を示す。

5 研究開発の成果

5.1 流体性能

図5に、モックアップポンプの水中での $Q-H$ 特性^{※2)}と、ナトリウム液中での $Q-H$ 特性との比較を示す。同図から分かるように、定格吐出し量点 $21\text{m}^3/\text{min}$ での水中とナトリウム中との全揚程の差は約3%であり、良好な一致を示している。

5.2 材料

ナトリウム中で約1万3,000時間運転された高速実験炉「常陽」の一次主冷却系主循環ポンプモックアップ機について、

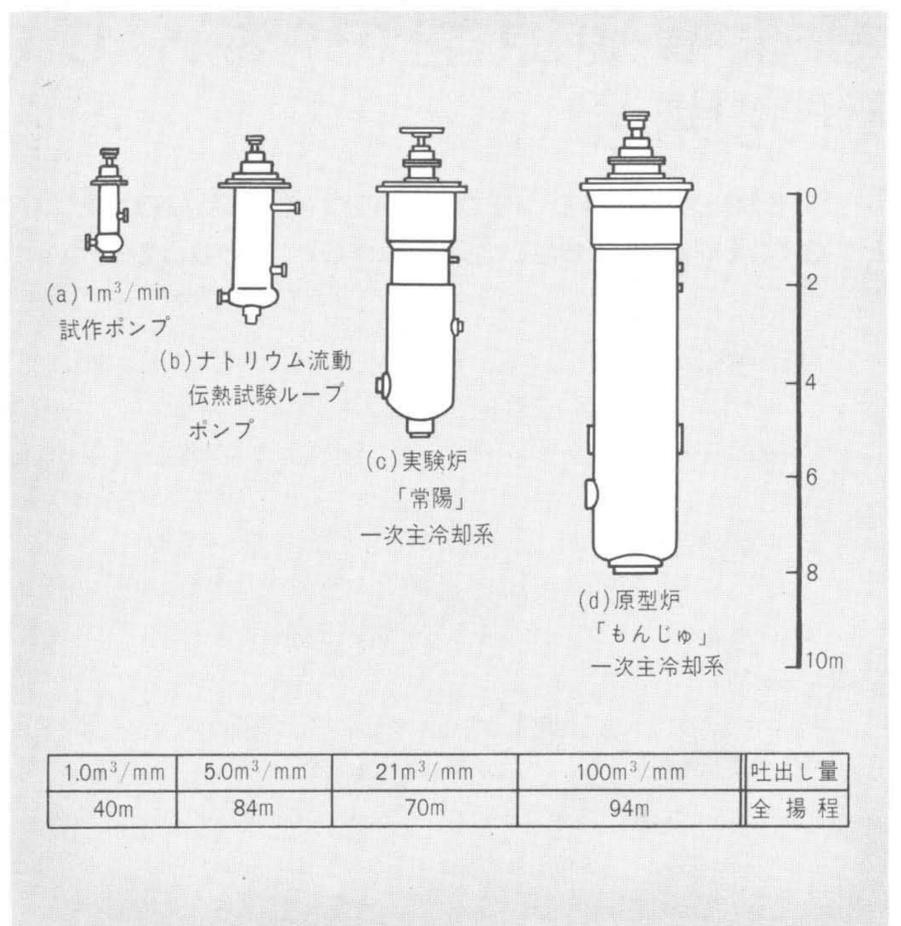


図2 ナトリウム用ポンプの開発 吐出し量比で4~5倍のスケールアップを行なった。

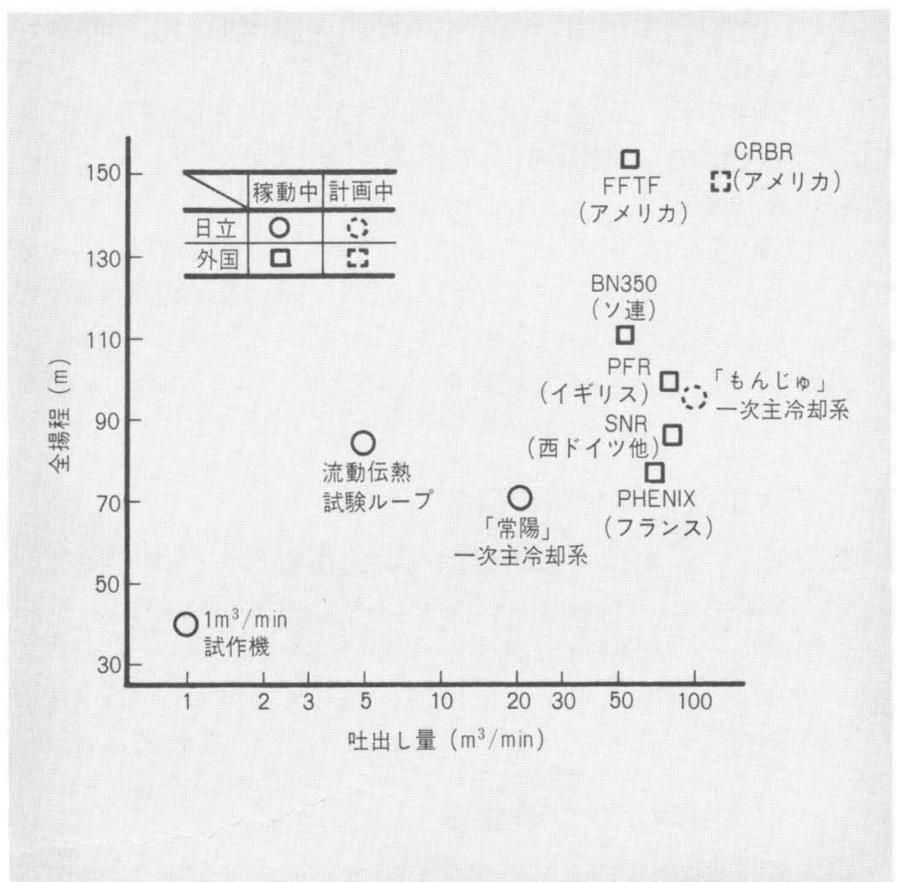


図3 ナトリウム用ポンプの容量比較 海外の代表的なナトリウムポンプとの容量比較を示す。

材料試験を行なった。ナトリウムに接している金属表面近傍に浸炭現象が見られたが、その程度は軽微であり、特に問題となるものではなかった。また、引張強度(鋳鋼品について試験実施)の低下もほとんどなく、SUS304(相当材料を含む)が一次主循環ポンプに適用可能であることを確認した。

※2) $Q-H$ 特性: 吐出し量(Q)と全揚程(H)の関係を示す。

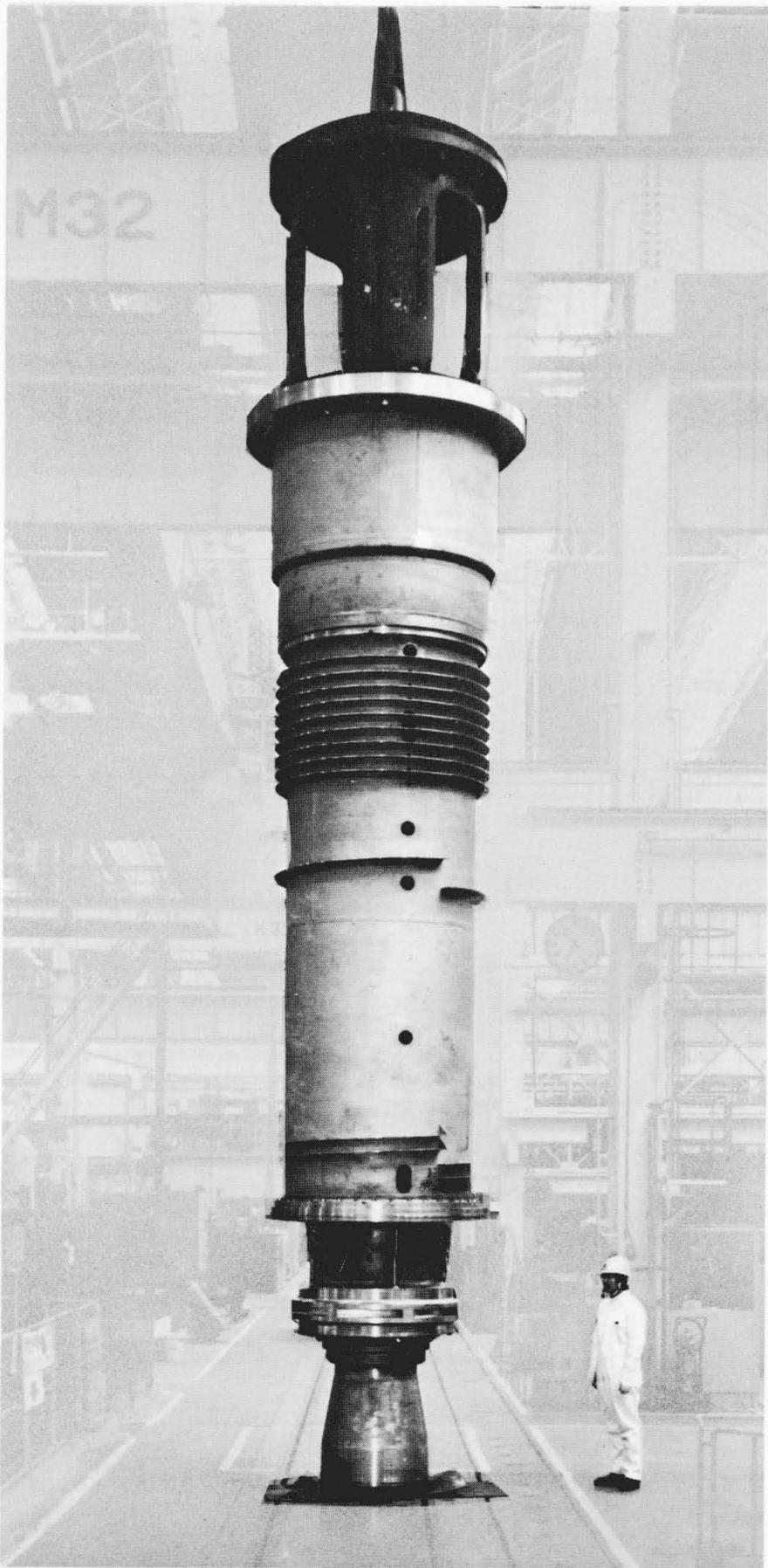


図4 モックアップポンプ内部構造体 工場完成時の組立状態を示す。

5.3 熱

外ケーシングと内部構造体との間の環状アルゴンガス空間に、ケーシング熱変形の原因となる自然対流が発生することを実験的に確認した。図6に、自然対流のパターンと縮小モデルによる実験状況を示す。縮小モデル実験により、最も効果的な対流防止構造を選定した上で、モックアップポンプに対流防止板を取り付けた。この結果、外ケーシング最大温度差が、当初の74°Cから約10°Cに低減され、静圧軸受部でのケーシング変位量は、許容変位量(1.7mm)の $\frac{1}{4}$ となった。図7に、対流防止板取付け前後の温度差分布を示す³⁾。

5.4 振動

水中試験時に軸振動を測定した結果、最大振幅は下部軸受部で130 μm 、上部軸受部近傍で20 μm であった。下部軸受部の振幅は軸受隙間の22%以下で、回転数の低下とともに減少し、

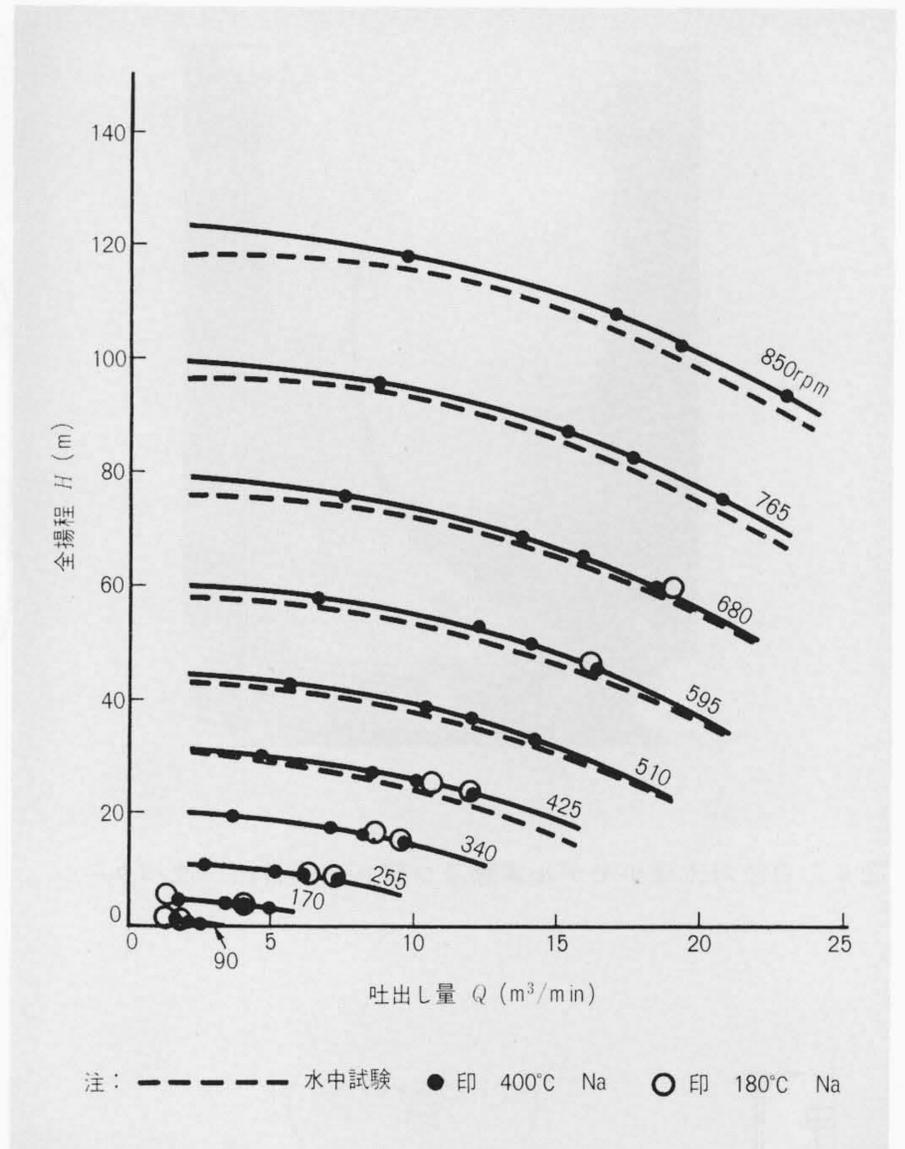


図5 モックアップポンプQ-H特性 水中とナトリウム中とのQ-H特性は、良好な一致を示している。

安定した振動特性を示した。軸振動を左右する下部軸受は、吐出し圧力を利用したナトリウム潤滑静圧軸受であり、ナトリウム中コンポーネント試験により、その性能を確認している。

5.5 計測

ナトリウム中での軸振動を正確に把握するために、軸変位計の試作開発を行なった。図8に、軸変位計センサ部の外観を示す。高温大気中試験時(400°C)の精度は、約5%フルスケールであった。今後、動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センターで、ナトリウム中試験を実施する予定である。

5.6 モックアップポンプ

昭和52年6月から現在まで、機能試験用インペラ(表1参照)を取り付けた状態で、約1万時間のナトリウム中耐久試験が動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センターで実施され、通常運転時に対応する試験はほぼ完了し、実用上問題がないことを確認した。この間、内部構造体をポリシート袋で包みながら外ケーシングから引き抜き、分解、洗浄(温水減圧沸騰洗浄及びスチーム洗浄)を行なった。全体洗浄ではねじ部など細隙部のナトリウム除去は困難であり、分解洗浄が必要であることが判明した⁴⁾。

6 結言

「もんじゅ」の設計研究をもとに実施した、一次主循環ポンプの研究開発の現状について述べた。

研究開発の集大成として、モックアップポンプを製作し、ナトリウム中試験を行なった結果、一次主循環ポンプ製作の一応のめどをつけることができた。

プラント建設開始が間近に迫り、「もんじゅ」計画はより詳

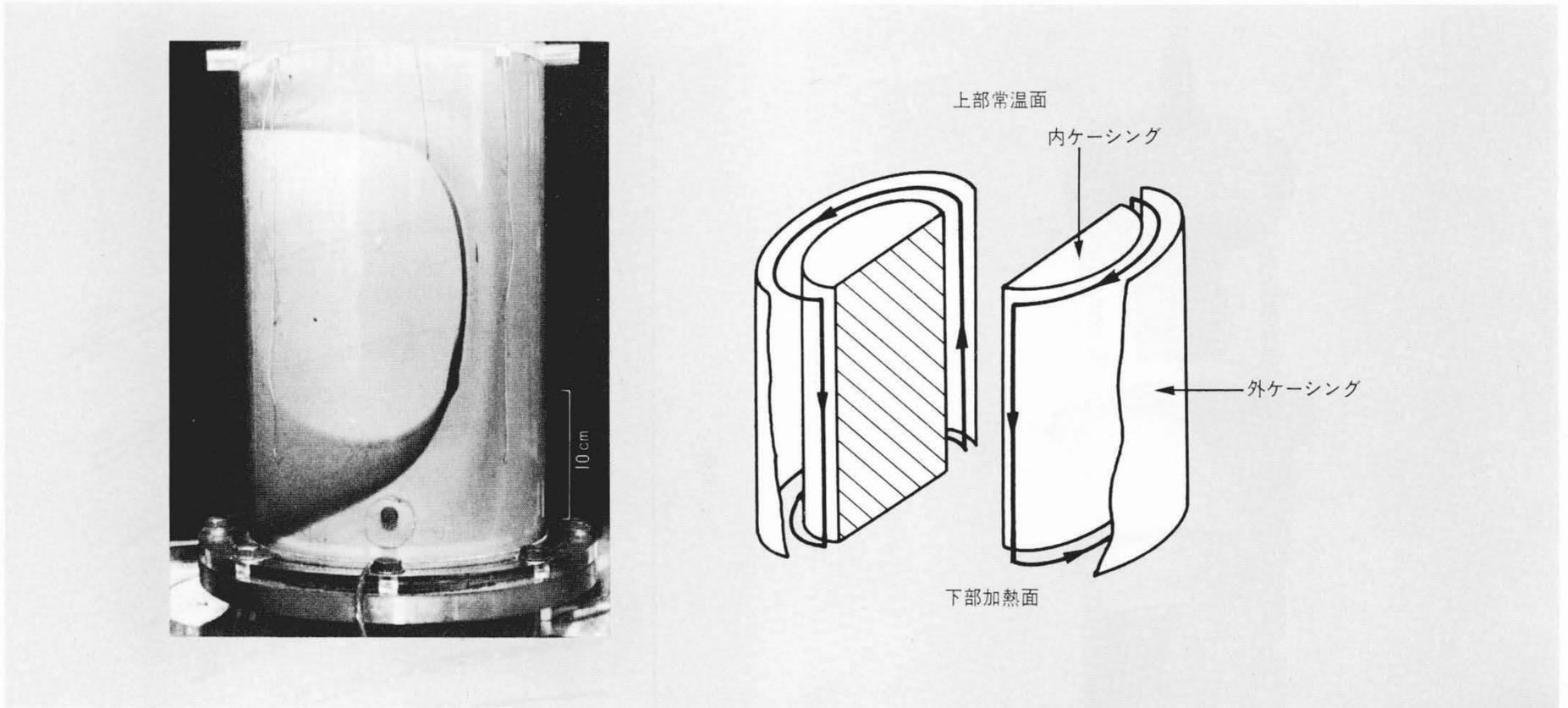


図6 自然対流縮小モデル実験及び環状空間自然対流パターン 内ケーシングと外ケーシングの間の環状空間に発生する自然対流パターンを示す。

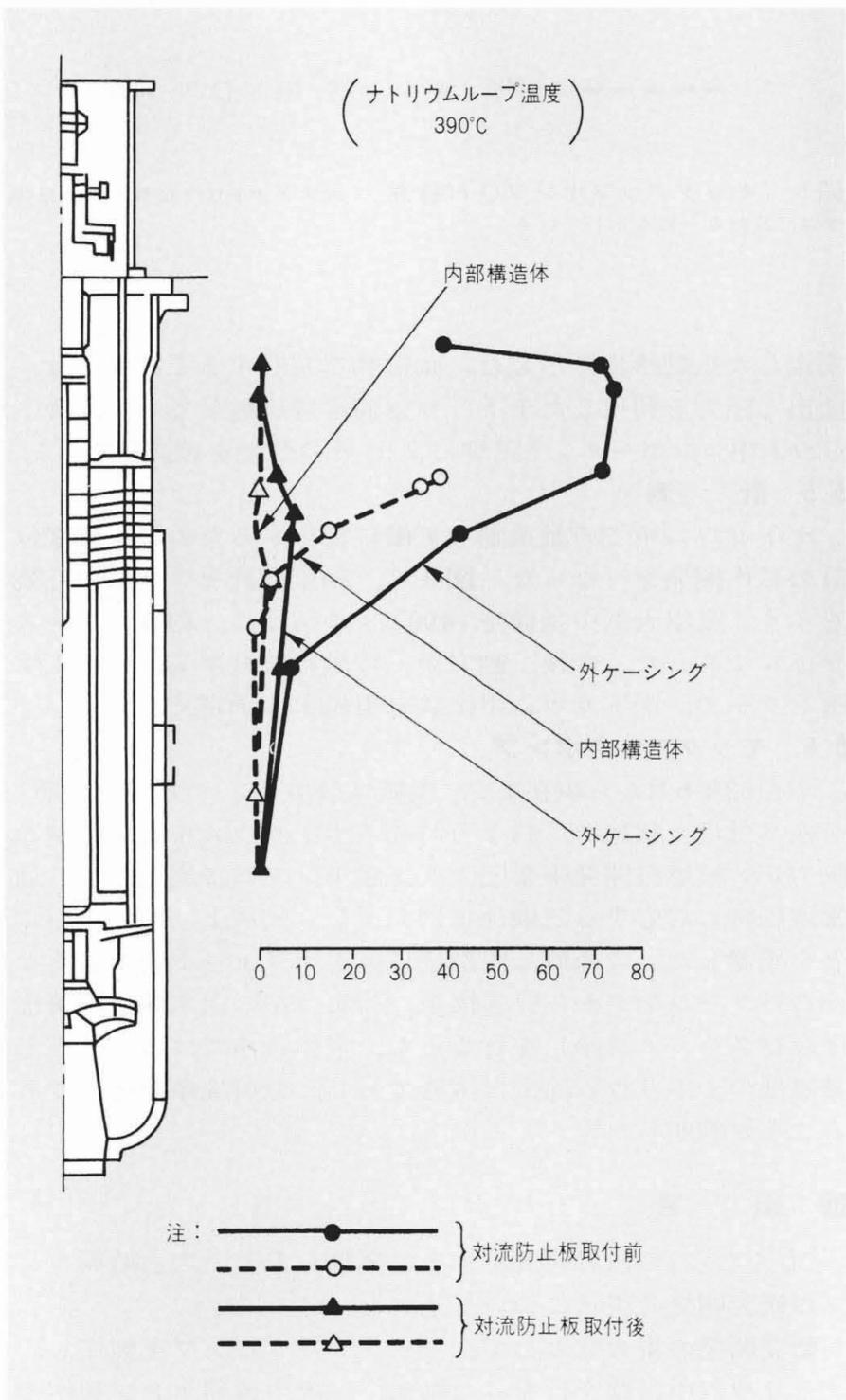


図7 モックアップポンプ温度差分布 対流防止板の取り付けにより、最大温度差が74°Cから約10°Cに低減された。

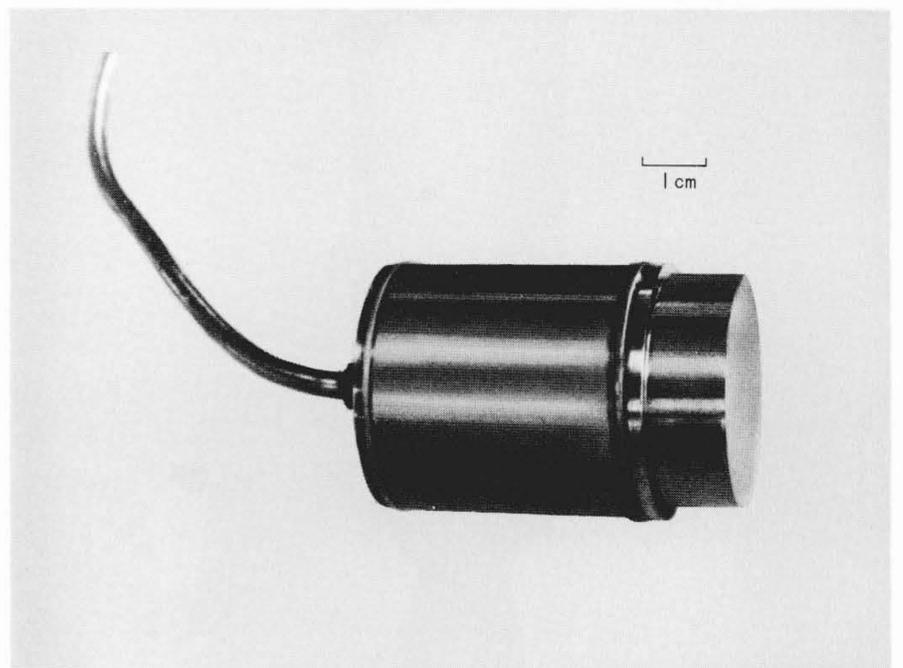


図8 ナトリウム中軸変位計センサ 電流方式でナトリウム厚さを測定する。

細な製作設計へ移行するが、今後も積極的に同計画に参画し、高品質及び高信頼性をもつ一次主循環ポンプの開発に、よりいっそうの努力を傾注する考えである。

終わりに、「もんじゅ」設計研究及び関連する研究・開発試験に当たり、終始御指導をいただいた関係各位に対して深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 野本, 外: 高速実験炉「常陽」一次冷却系の総合機能試験, 日立評論, 59, 1007~1012 (昭52-12)
- 2) 館, 外: 高速原型炉「もんじゅ」用ナトリウム機器の開発, 日立評論, 60, 153~158 (昭53-2)
- 3) 久門, 外: 「もんじゅ」一次主循環ポンプ(モックアップポンプ)試験, 日本原子力学会講演会 (昭55-3)
- 4) 竹内, 外: 「もんじゅ」一次主冷却系循環ポンプ(モックアップポンプ)の洗浄経験, 日本原子力学会講演会 (昭55-3)