

JAERI-M
86-105

14MeV中性子照射用新型回転ターゲット
システムの設計と製作

1986年8月

田中 滋・大山 幸夫・草野 譲一
池田裕二郎

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

14MeV中性子照射用新型回転ターゲット
システムの設計と製作

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部
田中 滋・大山 幸夫・草野 譲一・池田裕二郎

(1986年7月3日受理)

FNS 加速器システムには、RTNS-I 型の回転ターゲットが設置されており、昭和56年3月に竣工して以来4年間余りにわたって、強力中性子源用ターゲットとして重照射実験を中心に利用されてきた。この間の運転経験により、この回転ターゲットシステムの実験上および保守上の問題点が明らかとなった。

今回これらの問題点を解決するために、新たに回転ターゲットシステムの設計、製作を行った。

設計上の主要な検討項目は、①中性子源特性の向上、②回転真空シールの方式、③ターゲット冷却方式、④首振駆動機構、⑤回転駆動機構である。特に①の中性子源特性の向上のために、回転真空シールの口径が、従来の口径の約2倍と大きくなったため、製作途上で様々な問題点が生じた。

本報告書は、設計から製作、完成にいたるまでの試作検討経過と製作結果についてまとめたものである。

Development of New Rotating Target System
for 14 MeV Neutron Irradiation Experiments

Shigeru TANAKA, Yukio OYAMA, Joichi KUSANO
and Yujiro IKEDA

Department of Reactor Engineering
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 3, 1986)

The RTNS-I type rotating neutron target system has been used at the FNS (Fusion Neutronics Source) facility for four years since the deuteron accelerator system was built in March 1981. Based on a number of items which are found to be improved through operation experience, a new rotating target system has been developed.

Main improvements were made on 1) neutron source performance, 2) rotating vacuum sealing, 3) cooling system, 4) swing mechanism and 5) driving mechanism. Much effort has been devoted especially to developing a reliable rotating vacuum seal, because the diameter of the sealing device of the new target system has to be twice as large as that of the old system. This report describes the details of design and performance test.

Keywords : 14 MeV Neutron, Rotating Neutron Target, Tritium Target, Sliding Seal, Magnetic Liquid Seal, Fusion Neutronics Source, Design, Fabrication.

目 次

1. はじめに	1
2. 従来型 (RTNS-I 型) 回転ターゲットシステム	2
2.1 特徴・性能	2
2.2 問題点	2
3. 新型回転ターゲットシステムの設計	9
3.1 設計上の条件	9
3.2 設計検討及び結果	9
4. 試作・開発	19
4.1 磁気シール	19
4.2 スライディングシール	20
4.3 その他	21
5. 製作結果と総括	28
5.1 新システムの概要	28
5.2 総合試験	29
5.3 総括	31
6. むすび	40
謝 辞	40
参考文献	40
付録 性能試験結果	41

Contents

1. Introduction	1
2. Old Type Rotating Target System (RTNS-I Type)	2
2.1 Features and performance	2
2.2 Issues to be improved	2
3. Design of New Rotating Target System	9
3.1 Conditions on design	9
3.2 Results of design	9
4. Development	19
4.1 Magnetic liquid seal	19
4.2 Sliding seal	20
4.3 Other items	21
5. Results and Summary	28
5.1 Description of new system	28
5.2 Performance test	29
5.3 Summary	31
6. Concluding Remarks	40
Acknowledgments	40
References	40
Appendix : Result of Performance Test	41

1. はじめに

核融合炉物理用中性子源(Fusion Neutronics Source, FNS)に設置されている回転首振型ターゲットシステムは、銅合金(Amzirc)上に蒸着したチタン金属(厚さ約4 mg/cm²)に約1000Ci(37TBq)のトリチウム(三重水素)を吸蔵したターゲットを装着し、20mA以上の重陽子ビームを照射して、 3×10^{12} n/s以上の14MeV中性子を発生させるものである。この時ターゲット表面上では、5~7 KW/cm²の熱負荷が生じており、この熱負荷を分散するため880rpmの速度でターゲットディスクを回転させると同時に裏面を水冷している。

この高耐熱負荷用ターゲットシステムは、米国のローレンス・リバモア国立研究所において開発されたRTNS-I型のターゲットシステム^(1,2)と同等のものであるが、FNSでの使用条件にあわせて一部を改造したものである。しかしながら、FNSでの4年間余りの運転経験によりこのシステムの問題点や改良すべき点がいくつか明らかになった。実験上の問題点として、中性子源特性に関するもの、中性子発生量のモニタに関するものなどがあげられた。また、この装置を安定かつ安全に運転していくための構造上の改良点が考えられた。さらに将来の中性子発生率の増強にそなえてトリチウムターゲットシステムの運転特性を調べられるような構造も提案された。

これらの要求から新たな概念の回転ターゲットシステムを検討し、設計・製作を行った。その結果をまとめたのが本報告書である。以下、第2章に現在のシステムの性能と問題点を詳しく述べ、第3章に新型回転ターゲットシステムの設計の要点を述べる。第4章には、実際の製作途上で生じた種々の問題点とその対策、第5章に、新システムの概要と総合試験の結果を述べると共に問題点に対する結論を述べる。

2. 従来型 (RTNS-I 型) 回転ターゲットシステム

FNS の 0 度ビームラインに設置されている回転ターゲットシステムは、RTNS-I において使用されている回転ターゲットシステムに対して冷却水カバー系に改良を加えたものである。この種の回転ターゲットは円筒型や円板型等いくつかのものが発表されているが、照射サンプルを中性子発生点のすぐ近くにおけること、首振運動によってビームが当たるターゲット面を移動して有効面積をふやし、中性子の連続発生時間を長く取れること等の理由によって FNS の重照射用ターゲットとしてこの型が採用された。

この章では、初めにこの従来型のシステムの特徴・性能を述べ、続いてこれまでの使用経験に基づく問題点等について述べる。

2.1 特徴・性能

従来型回転ターゲットシステムの外観写真を図2.1および図2.2に示し、その断面概念図を図2.3に示す。

従来型回転ターゲットシステムでは、3つの主な特徴がある。その一つは回転真空シールとしてフッ素系樹脂(ルーロンA)を使用したスライディングシール⁽³⁾が採用されていることであり、2番目には防水カバーがついているもののオープンエア(圧力解放)型のいわゆるスプレー方式によってターゲット冷却を行っていることである。そして3番目には回転首振機構によってターゲットが3次元的な動きを行うことである。これら3つの特徴は他の同様な装置には見られず、特にスライディングシールは回転真空シールの開口部を大きくするために考案されたものである。

この RTNS-I 型の回転ターゲットシステムの性能等は表2.1に示すが、880rpm の回転速度と 18~22 l/min の冷却水流量によって、除熱能力として 8~12kW が達成されている。またスライディングシールはターゲットチェンバー内を 10^{-6} torr (1.33×10^{-4} Pa) に保つに十分な性能を持っている。

2.2 問題点

FNS では、この回転ターゲットシステムを使用して昭和57年7月から D-T 反応による 14 MeV 中性子を発生させている。その後、現在までの運転経験により RTNS-I 型ターゲットに対する実験上や保守上の問題点(この中には、FNS における実験条件に固有の問題点も含まれる)およびトリチウムターゲットの中性子発生特性を調べられるような改造点等がいくつか見出された。その主なものを以下に述べる。

2.2.1 実験上の項目

(1) 80度方向での中性子束分布

ターゲットシステムが設置されている第2ターゲット室には、加速された重陽子ビームに対して80度方向に壁面を貫通する実験孔(実験貫通孔)が設けられている。しかし、80度の方向は図2.4に示すように中性子の通過する冷却水、及び冷却水カバー部の距離が長くなり、そこでの中性子束の減衰が大きくなる。この減衰はターゲットの90度方向において最大となる。80度方向においては90度方向の約半分の減衰が観測されている。⁽⁴⁾

(2) 中性子発生量のモニタ

現在のアルファモニタ(関連粒子法による中性子モニタ)⁽⁶⁾は、コリメータの存在によって設置可能な空間が限定されており、中性子発生量を測定する際にコリメータの影響を考慮する必要がある。コリメータの影響を無くすためにはターゲット面を直視できるポート(ビューポート)がビームラインとは独立した位置に必要である。

(3) ターゲットと冷却水カバー間のギャップ

冷却水カバーの取付構造上、必要な冷却水ギャップを正確に再現することが困難であり、冷却水層の厚さによる中性子の減衰が一定しない。また、ターゲット近傍で照射する強照射実験では照射位置を冷却水カバーの表面から求めることができず、位置誤差すなわち中性子取量の誤差が増える。

(4) 首振機構

ターゲット面の首振によってターゲット寿命をのばしているが、この首振によって中性子発生点とターゲットとの相対位置が変化し、ターゲットアセンブリでの散乱中性子の分布も変化する。従って、この首振角度の再現性は、中性子源の特性の再現性を意味している。しかし、現在の首振機構では、角度設定の精度が粗いため、首振角度による中性子発生条件の再現性を得ることが難しい。

2.2.2 保守管理上の項目

(1) ターゲット冷却水系

- (a) ターゲット裏面にカバーを付けその間隙に冷却水を吹き付けるスプレッダー方式で非密閉であるために、ターゲットの回転に伴い冷却水が側面に回り込んで、ターゲットチェンバーの根元のすきまからトリチウムで汚染された水の蒸気等が散逸する恐れがある。
- (b) 冷却水層の厚さをターゲット裏面にわたって一様にするのが困難であり、時にはボイド部分を生じることもあるなど冷却むらを起こす傾向がある。

(2) 回転真空シール

- (a) スライディングシール材(ルーロンA)の摩耗粉が真空ビームダクト内に飛散し、ポンプ等の真空系に悪影響をおよぼすと共に、ターゲット交換時にこの摩耗粉によるトリチウム汚染を起こす恐れがある。
- (b) スライディングシール材の摩耗のために真空シールの寿命が短い(約300時間)。
- (c) 回転停止時の漏洩率が不安定である。停止時のスライディングシールの接触状態によっては約2~10時間程度でチェンバー内が大気と平衡となる。

(3) 回転駆動機構

(a) 回転バランス，製作精度の問題，および駆動モーターの固定法等が不十分なため振動が大きく装置の他の部分，たとえば回転検出用のリードスイッチの故障による交換等が頻繁に必要となるなどの悪影響を及ぼす。

(b) 中性子発生率増大の観点からは将来，ビーム電流の増大が必要と考えられる。トリチウム・メタルターゲットにおいては，表面温度が150℃前後でチタンに吸蔵したトリチウムの放出が始まるという報告⁽⁶⁾などから，その表面温度の抑制が非常に重要である。ターゲットの回転速度を上げることにより，表面温度の抑制が期待できる⁽⁷⁾。回転を可変にして中性子発生率のモニタのためのビューポートを用いれば回転数と表面温度の関係を調べることが可能となる。

(4) 首振機構

(a) カムを用いた回転・上下運動変換方式のため，カムのガイド溝でのクリアランスの量だけ首振角設定の再現性が悪くなる。

(b) 上下方向の首振によりターゲット裏面の冷却水の流れ方が首振角によって変化しターゲット冷却不良の原因となり易い。

(5) 組立上の構造

(a) スライディングシール

スライディングシールの組み立て構造は複雑であり，交換手順もビームライン上にターゲットシステムを置いたまま行うには複雑すぎる。トリチウム汚染下での作業を考慮すると，作業の簡単な構造が望ましい。

(b) 冷却水カバーの着脱構造

機械的に，ターゲットディスクと冷却水カバー間のギャップを一定にすることが難しく，また，ギャップの調整が困難であるため取付作業に時間がかかる。放射化したターゲットシステムの取扱いを考慮すると着脱構造の簡素化が望まれる。

表2.1 RTNS-I型回転ターゲットの主な特徴・性能

I) 使用条件

1) 加速電圧	4 0 0 KV
2) ビーム電流	最大 3 0 mA
3) ビームスポット径	1 5 m ϕ
4) トリチウムターゲット	約 1 0 0 0 Ci (3.7 TBq)

II) 特徴・性能等

- 1) 回転真空シール

シール方式	スライディングシール
材質	ルーロンA
シール口径	6 8 mm
相手材	軟鉄の焼入鋼
- 2) 冷却方式

スプレッダー方式	
除熱能力	8 ~ 1 2 kW
冷却水流量	1 8 ~ 2 2 ℓ /min
- 3) 首振方式

ハートカムによる上下運動	
首振角度	1 6 度
一往復の時間	1 2 分
- 4) 回転機構

タイミングベルトによる無変速回転	
定格回転数	8 8 0 rpm
- 5) スライディングシール部リーク率

1×10^{-4} torr \cdot ℓ /s (3.285 $\times 10^{15}$ mol/s)	
--	--
- 6) ビームコリメータ口径 1 5 mm ϕ
- 7) インターロック機構

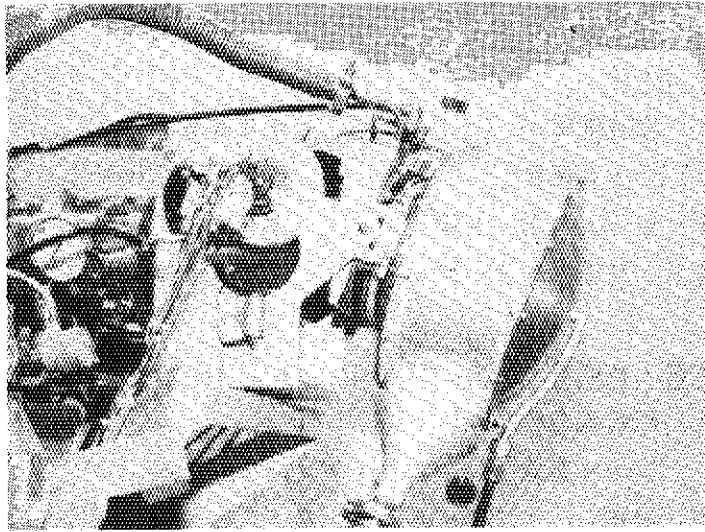


図2.1 従来型回転ターゲットシステム(右側面)

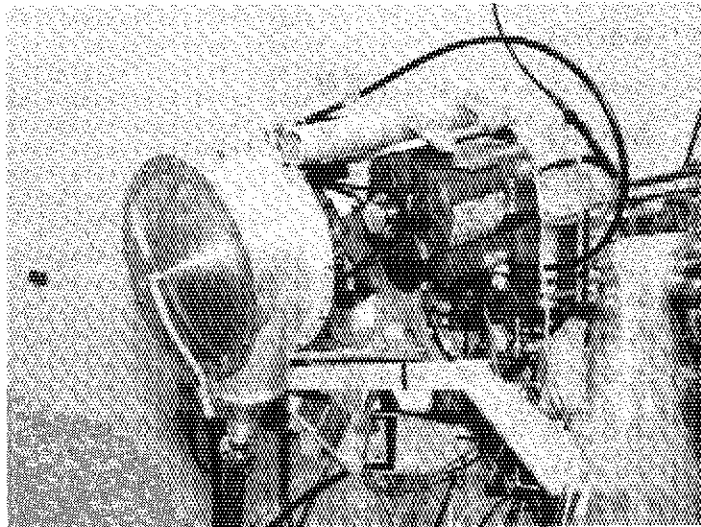


図2.2 従来型回転ターゲットシステム(左側面)

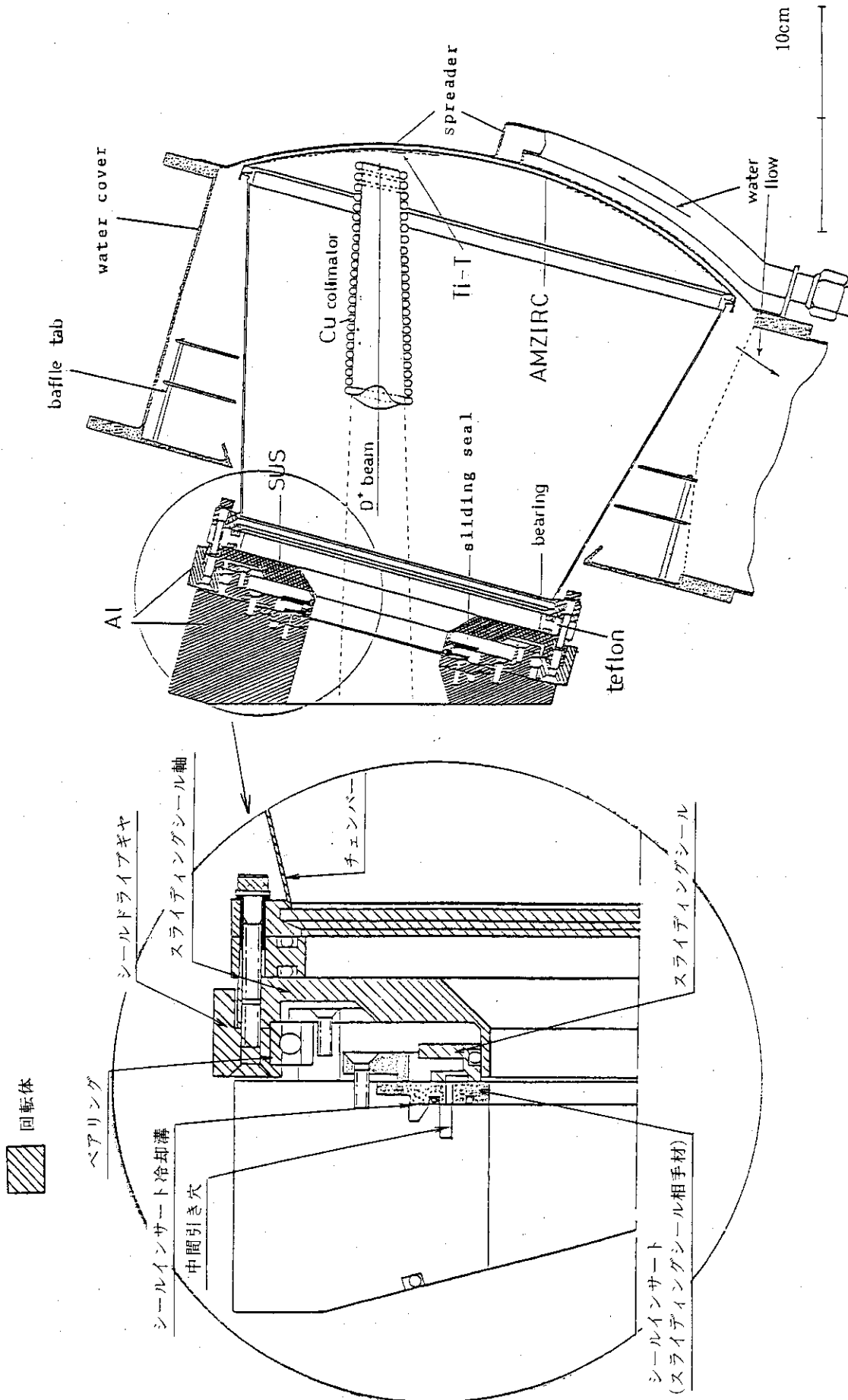
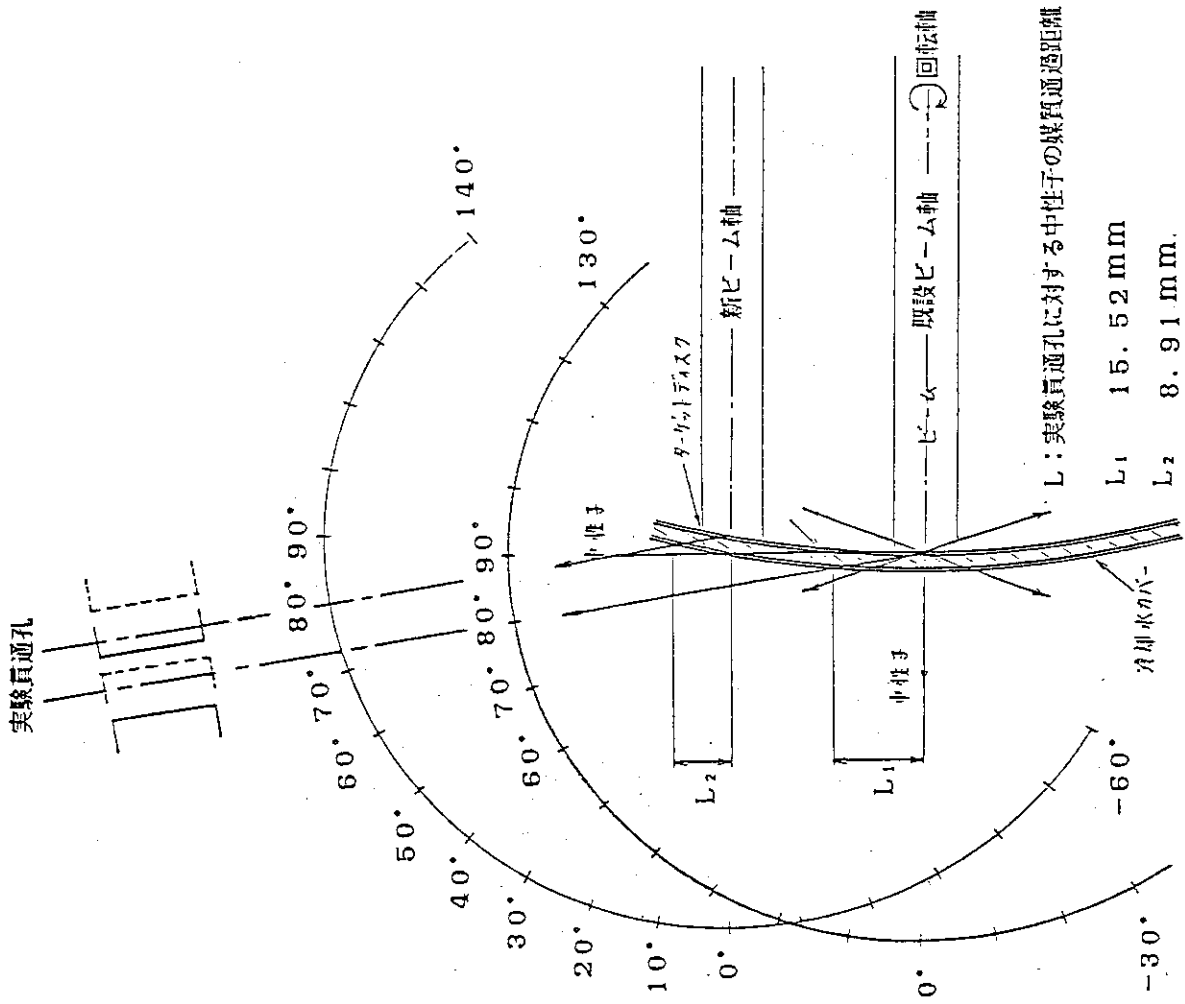
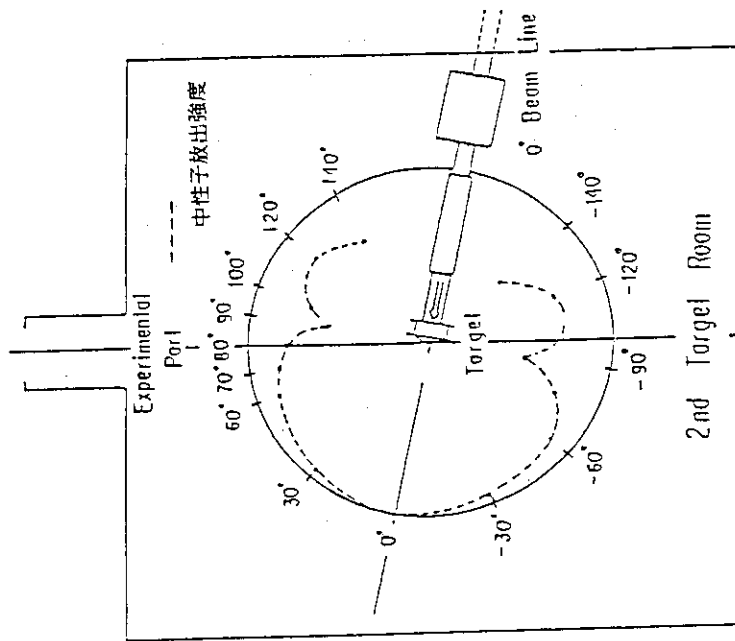


図2.3 従来型回転ターゲットシステムの断面構造



b) 従来型と新型のビーム軸の比較



a) 従来型回転ターゲットからの中性子放出分布 (実験)

図2.4 実験貫通対孔に対する中性子の角度分布および媒質通過距離

3. 新型回転ターゲットシステムの設計

第2章で述べた実験・保守上の問題点を解決するためにターゲットの構造、材料等について検討を加え新型回転ターゲットシステムの設計を行った。

3.1 設計上の条件

新しい回転ターゲットシステムは建家の構造、実験の継続性などから次の条件のもとで設計した。

(1) 寸法

中性子発生点がターゲット室の中心に設定してあり、実験貫通孔との位置関係を保存するため中性子発生点の位置は変更しない。

(2) トリチウム・メタルターゲット・ディスクの形状

現在使用しているターゲット形状は中性子発生点付近の構造が非常に単純で、しかも照射位置を近接してとれるため、FNSでの使用目的には適している。しかし、トリチウムの取扱い上や安全性または回転シールの寿命をのばすためにターゲットの形状を含めて検討しなおすことも可能である。一方、現在のターゲットは米国のオークリッジ国立研究所でRTNS-I型のターゲットにトリチウムを吸蔵させたものを輸入している。従って、形状を変更するにはトリチウムターゲットの調達方法、及び新ターゲットへトリチウムを吸蔵させるための設備投資を含めたコストを検討する必要がある、関連する検討項目が膨大な量となることが予測される。このため、初期条件を決める段階でトリチウム・メタルターゲットの形状は現行のものとした。形状を同一としたため、首振りによってターゲット寿命を延ばしている現在の回転首振り構造は引き続き採用することにした。

(3) 構造材の軽量化

構造材での中性子散乱による源中性子スペクトルの歪を極力避けるため、構造材としてはアルミニウムを使用しているが、さらに構造の簡素化による軽量化を図る。

3.2 設計検討及び結果

上記のような条件のもとで、新型ターゲットシステムの構造や方式を検討した。

(1) 中性子源特性の向上

(a) 従来型では、ターゲット面へのビーム入射角が90度であるため図2.4に示すように実験貫通孔のある80度方向には中性子の減衰が見られる。この減衰は90度方向で最大となる。これは2章で述べたように中性子の媒質通過距離の違いによるものと考えられる。実験貫通孔方向での中性子特性を改善するためターゲット面へのビーム入射角の検討を行い図3.1に示すように首振り中芯軸をビーム軸より実験貫通孔の反対側に45.6mmずらしターゲット面

に対するビーム入射角を80度とした。こうすることにより、ターゲット冷却水等による中性子減衰は、後に5章で述べるようになりに少なくなる。しかし、このためにシール口径が146mmと従来型に比べ約2倍と大きくなった。

(b) ターゲット首振り角を0度から16度まで任意に、従来型に比べ再現性良く設定可能とし、ターゲットの中性子発生範囲をより有効利用しやすくした。

(2) ビューポートの設置

図3.1に示すように、ターゲット表面でのビームの当たる面を観察できるようビームダクトとは別にターゲット面視野30mmφを確保できるビューポートを設置した。これによって、ターゲット面でのビームの形状や発熱分布がサーマルビデオシステム*を利用することにより測定可能となり、運転調整が容易になる。また、同時にこのポートは中性子発生量の絶対モニタである関連アルファ粒子の計測用ポートとしても用いることができ、コリメータ部での粒子の散乱の影響を受けることなく中性子発生量の測定が可能となる。

(3) 回転真空シール

回転真空シール部は、本システムの設計の中で根幹を成すものであり、上記(1)と(2)の理由によりシール部口径が従来の約2倍と大きくなったため、検討に多くの時間を費やした。1) ディファレンシャルポンピング方式**、2) 磁気シール方式、3) スライディングシール方式の3種の回転真空シール方式について、相互の得失、シール口径の増大という新たな条件が加わった上での信頼性等について検討した。この段階で、ディファレンシャルポンプ方式については機械精度、排気、コスト等の問題により不採用とした。

(a) 磁気シール

磁性流体を利用した真空シールであり、磁性流体が磁石に吸い付けられる原理を応用したものである。ハウジングと回転軸のすきまに磁性流体を充填し、ハウジングと回転軸間の強力な磁場により、磁性流体を保持することで真空漏れを防止する。構造概念図を図3.2と図3.3に示す。

磁気シール方式は、スライディングシール方式に比べ、次のような利点があげられる。

- イ) 真空シールの寿命が長く保守頻度が少なくすむ。
- ロ) 運転停止時も真空シール機能があるためトリチウムの大気中への拡散がない。
- ハ) 真空シール部の点検、保守時にスライディングシールの場合と異なり摩耗粉によるチェンバー内の汚染がない。

(b) スライディングシール

現在、FNSで使用している回転真空シール方式であり、アメリカのローレンス・リバモア国立研究所で開発されたものである。このシールの原理は、シール材を圧力差を利用して相手材に押し付け、すり合わせによりシール材を摩耗させながら真空を保持するものである。今回の設計では、シール口径を大きくして従来の方式と同様に動作可能か否かを検討した。以上のことから、回転真空シールは静止時も密閉性の良い磁気シール方式が望ましいが、大

* 非接触型温度分布測定装置

** 微小な隙間に高圧空気を送りその圧力で非接触のベアリング機構をもたせ、真空系の途中で大容量のポンプで空気を排気し、真空シールする方式

口径のものについては、過去の製作・使用実績がなく開発的要素が大きい。そこで、磁気シール方式の採用と併せて従来から用いてきたスライディングシール方式（シール材の変更含む）も採用し、磁気シール方式の信頼性が確立するまでの間、使用実績のあるスライディングシール方式を用いることとした。

両シールアッセンブリは、シール部外形を共通とし互換性のある構造をもたせた。実際の使用に際しては、両者の特性を考慮して使用条件に適した方を選択することにした。

(4) ターゲット冷却方式

今回の設計では、使用実績のある従来型の冷却方式（スプレッダー方式）の第2章で述べた冷却水カバーの構造上の問題点を検討し改良したものと、新たに完全密閉型のロータリージョイント方式とについて双方の特性を比較検討することとした。

(a) スプレッダー方式

この方式は、現在、FNSで使用している方式と同じである。構造を図3.4に示す。冷却水カバーは固定されており、ターゲット及びターゲットチェンバーが回転し、回転しているターゲットの裏面に水を吹きつけることによって冷却している。この方式の主な長所、短所は次の通りである。

イ) 長 所

- ・使用実績がある
- ・中性子発生点近傍での構造物が少ない。
- ・既設の冷却水ポンプで18~22 l/minの流量が確保できる

ロ) 短 所

- ・流路が形成されていないため、ターゲットと冷却水カバーのギャップの状態により、空気が混入する場合がある。

この方式では、回転体（ターゲット、ターゲットチェンバー）と冷却水カバーが非密閉のため、冷却水がターゲットチェンバーを伝わり隙間から蒸発飛散する場合がある。今回の設計では、冷却水飛散防止のためラビリンス方式（じゃま板式）、オイルシール方式、Vリングシール方式の3方式について構造、寿命、放射化等を検討し、構造の簡単なVリングシール方式を採用することとした。また、従来の方式では、カバー脱着の際の取付再現性が悪く、冷却水層の厚さを一定に保つことが困難であるため、今回の設計では機械的に取付条件が固定される構造とした。

(b) ロータリージョイント方式

これはターゲット、ターゲットチャンバー、冷却水カバーが一体となって回転するものである。冷却水カバーの内側には、図3.5に示すように流路を確保するための仕切棒があり、放射状に冷却水の行きと戻りが交互の配置されている。

冷却水は、冷却水カバーの中央から入り、水圧およびロータリージョイントのポンプ作用によって、一つおきにあげられている6個の穴から排水される。

この方式の長所と短所は次の通りである。

イ) 長 所

- ・流路が形成されており、ターゲット裏面全体が一様に冷却される。

・ターゲットディスクをとりまく冷却水カバーの構造がコンパクトになる。

ロ) 短所

・中性子発生点の近傍にロータリージョイントの構造物が有るため散乱体となり、実験の種類によってはこの影響を評価する必要がある

この方式の設計に当っては、ロータリージョイントそのものの小型化に努力し、中性子発生点近傍での構造物の軽量化を図った。また同じ意味で支持・固定金具の構造・形状についても軽量化に努めた。また、ロータリージョイントのシール部は寿命がくれば簡単に交換できる構造にした。

両冷却方式を比較・検討した結果、両方式共に一長一短があるため双方を採用し、使用条件に応じて選択することとした。また両冷却方式と回転真空シール方式とは独立して組合せ可能とした。

(5) 保守上の改良

ターゲットディスク交換時の各部品の脱着、回転真空シール部の保守等の放射化物の取扱いおよびトリチウム汚染下での保守作業を考慮し、作業を簡略化できるような構造とした。

(a) ターゲットシステムの保守（回転真空シール部の保守・交換を含む）をビームラインに取付けたまま行える構造とした。

(b) ターゲットディスクと冷却水カバー間のギャップ調整の時間短縮のため、カバーの取付が機械時に一定になる構造とした。

(6) その他

(a) 首振機構

80度方向での中性子特性を良くするため、首振中心軸をビーム軸より45.6mmずらした。その結果、従来の上下首振機構から左右首振機構になった。この方式により上下首振によるターゲット冷却水の不均一性を解消することが期待できる。

角度の表示は16度を100等分し従来型に比べ精度の向上を図った。一往復の所用時間は、従来型とほぼ同じく14分とした。

(b) 回転駆動機構

従来の回転駆動機構は、回転数が固定（880rpm）である。今回の設計では、回転速度の変化によるトリチウムターゲットの表面温度の変化測定ができるように、2200rpmを目標に回転数連続可変型のDCモーターを採用し、任意の回転数を設定可能にした。

モーターの位置については、出来るだけ中性子発生点から離すことを検討した。モーター本体およびモーター支持機構については、実験上の要請から質量の軽量化を図った。

モーターからターゲットチェンバーへの駆動力の伝達は、ギヤ駆動方式とポリマックスベルト駆動方式（合成樹脂性の細径Vベルト）が検討の対象となった。検討の結果、中性子散乱、保守上における誘導放射能の影響、回転騒音の軽減、寿命等を総合的に判断しポリマックスベルト駆動方式を採用した。

(c) 保護機構

保護機構は、その基本的な考え方および方法については従来とほとんど同じであるが、安全性を高めるために、新たにインターロック項目を追加した。

保護機構は、ターゲットシステムに障害が発生した場合、装置の保護と同時にトリチウム・メタルターゲットを重陽子ビームから保護し、ターゲットの過熱および過熱によるターゲットからのトリチウム放出を防止する。作動条件は、ターゲット回転数の変動（設定値に比べ高、低の場合）、冷却水流量の低下、中間引き真空度の悪化、ターゲット首振りの超過等である。これらの何れか一つでも動作するとターゲットの回転を停止させる。

このターゲット回転停止の信号は、加速器側のインターロック系に接続されており、この信号が発生することにより、回転ターゲット直前での可動式ファラデーカップがビームラインに挿入され、重陽子ビームからターゲットを保護する。同時に、ターゲットとビームライン間のゲートバルブが閉じターゲット部以外のビームラインの真空を保護する。

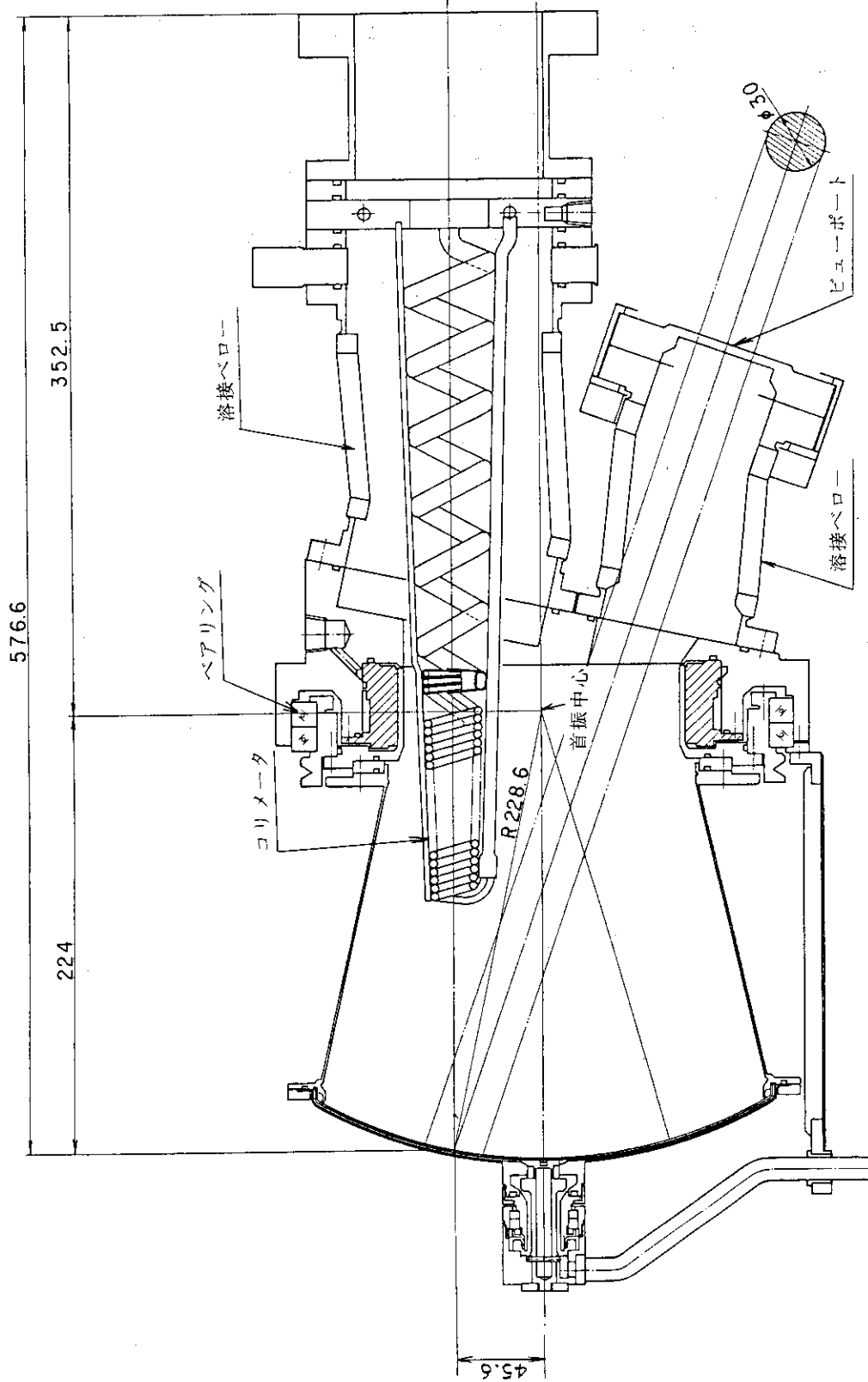


図3.1 新ジャケット断面構造・ビューポート配置 (平面図)

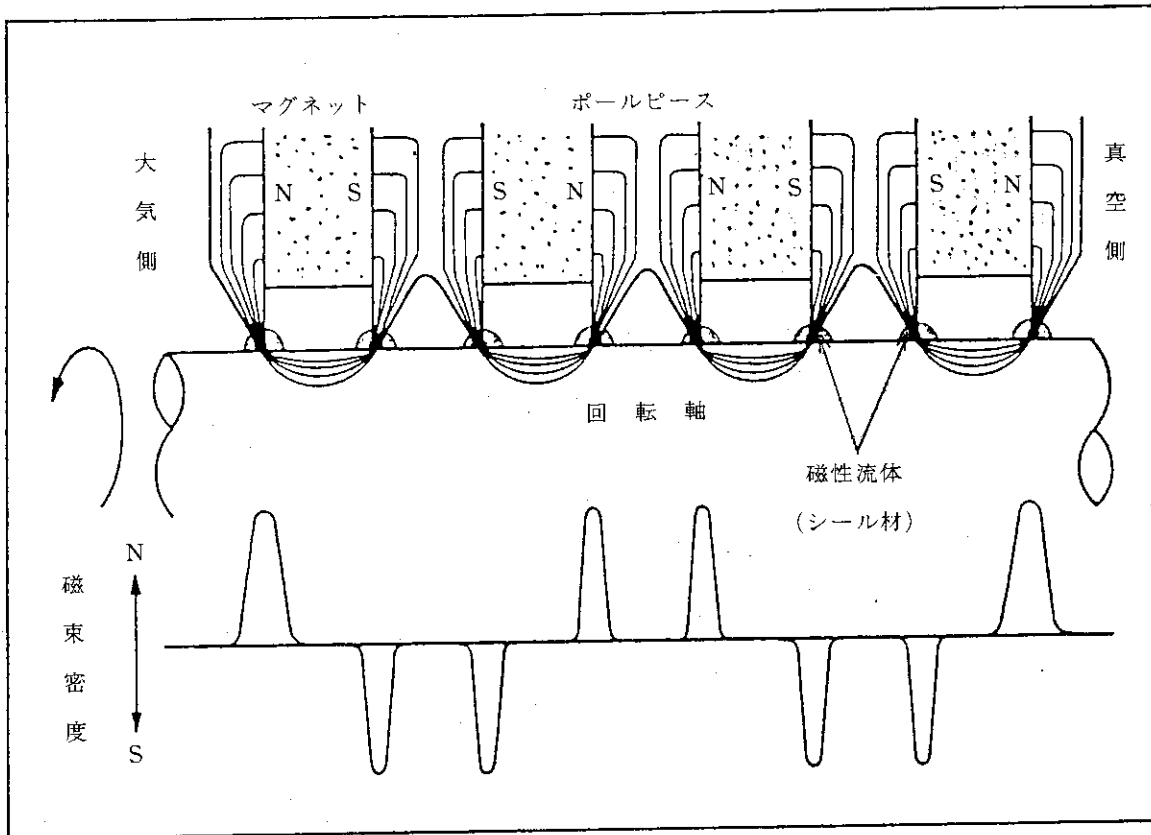


図3.2 磁気シールの原理

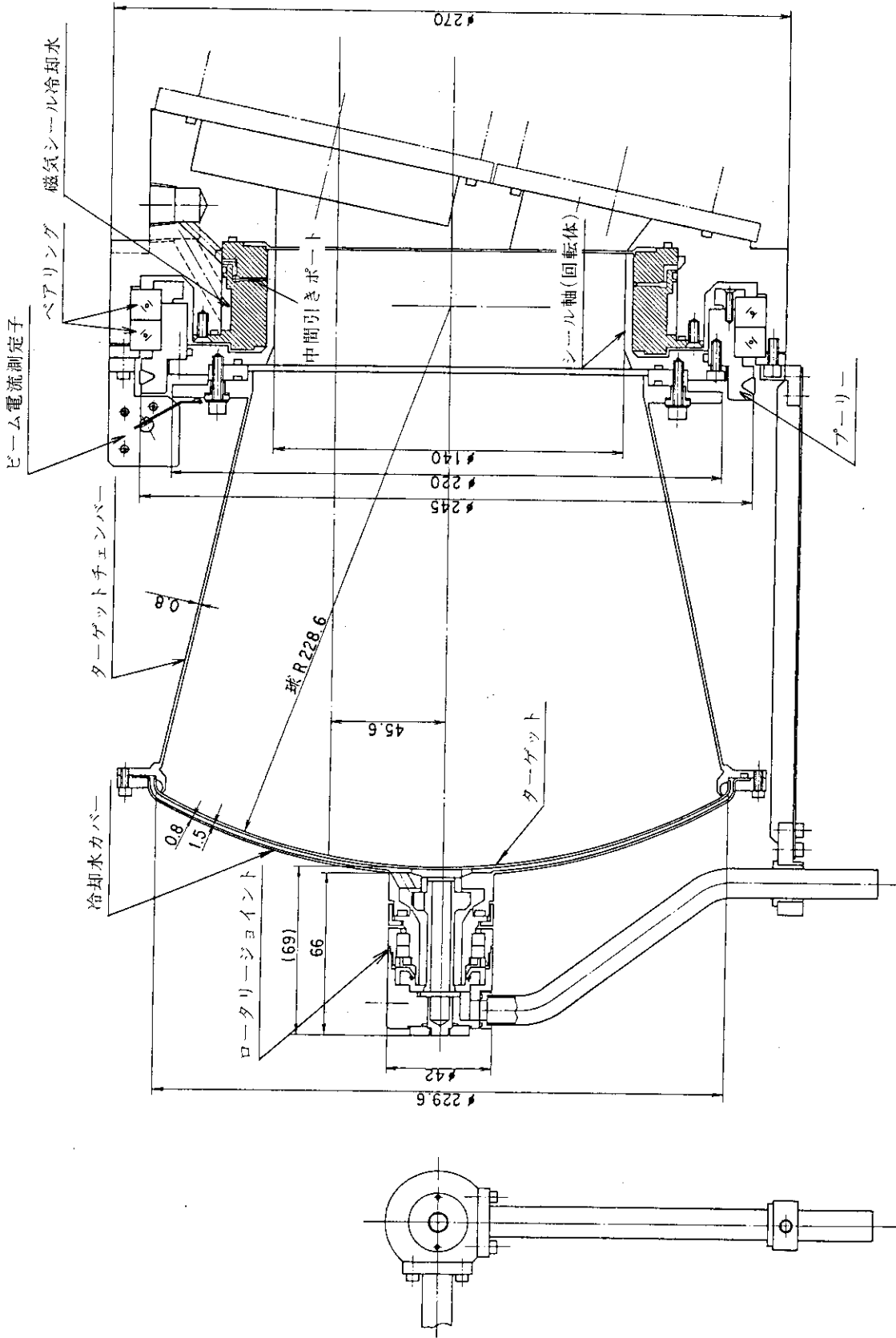


図3.3 新型回転ターゲットシステムの断面構造
 (ロータリジョイント型冷却方式と磁気シール型回転真空シールの組合せ例)

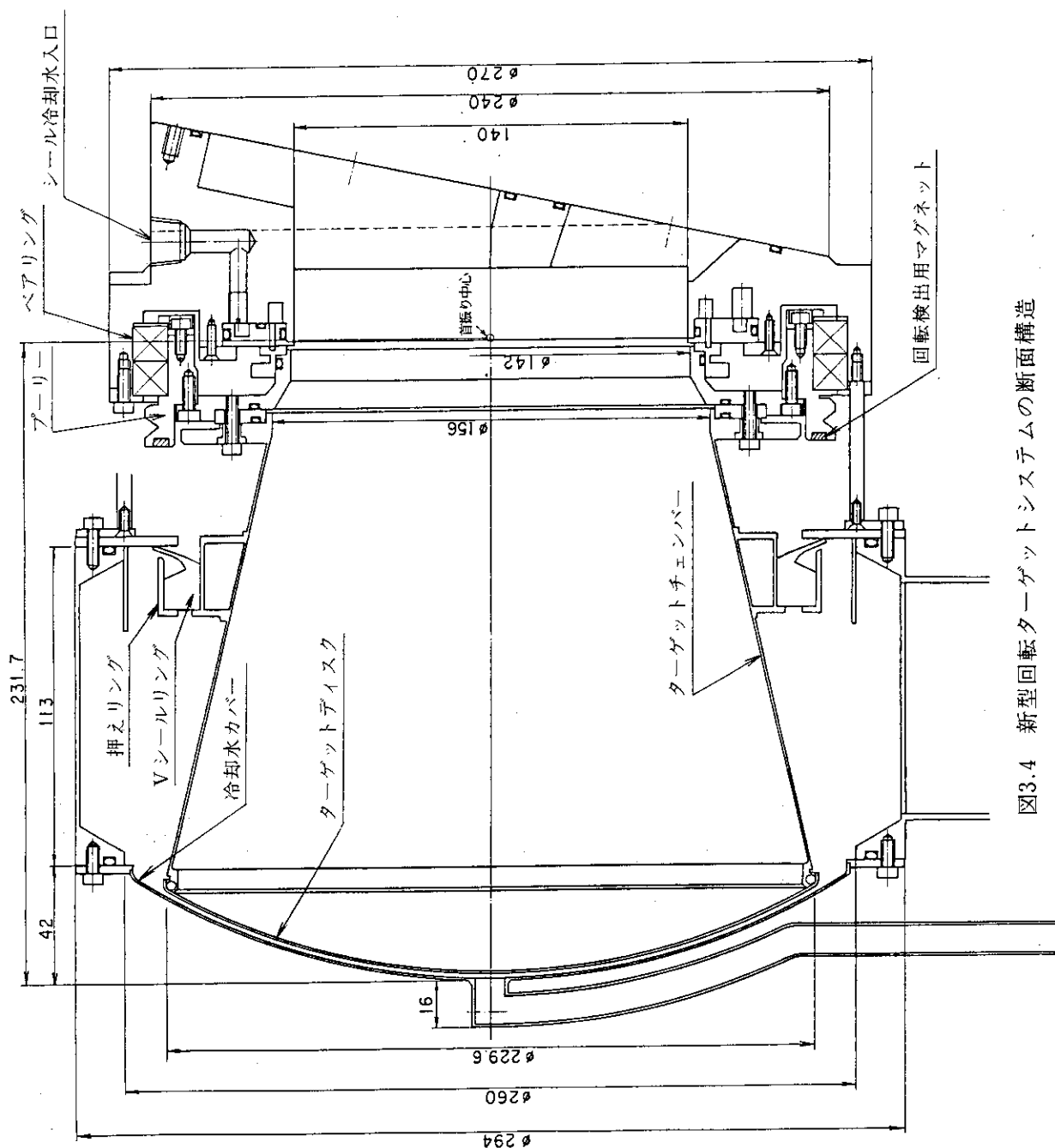


図3.4 新型回転ターゲットシステムの断面構造
 (スプレッドー冷却方式とスライディングシール型真空シールの組合せ例)

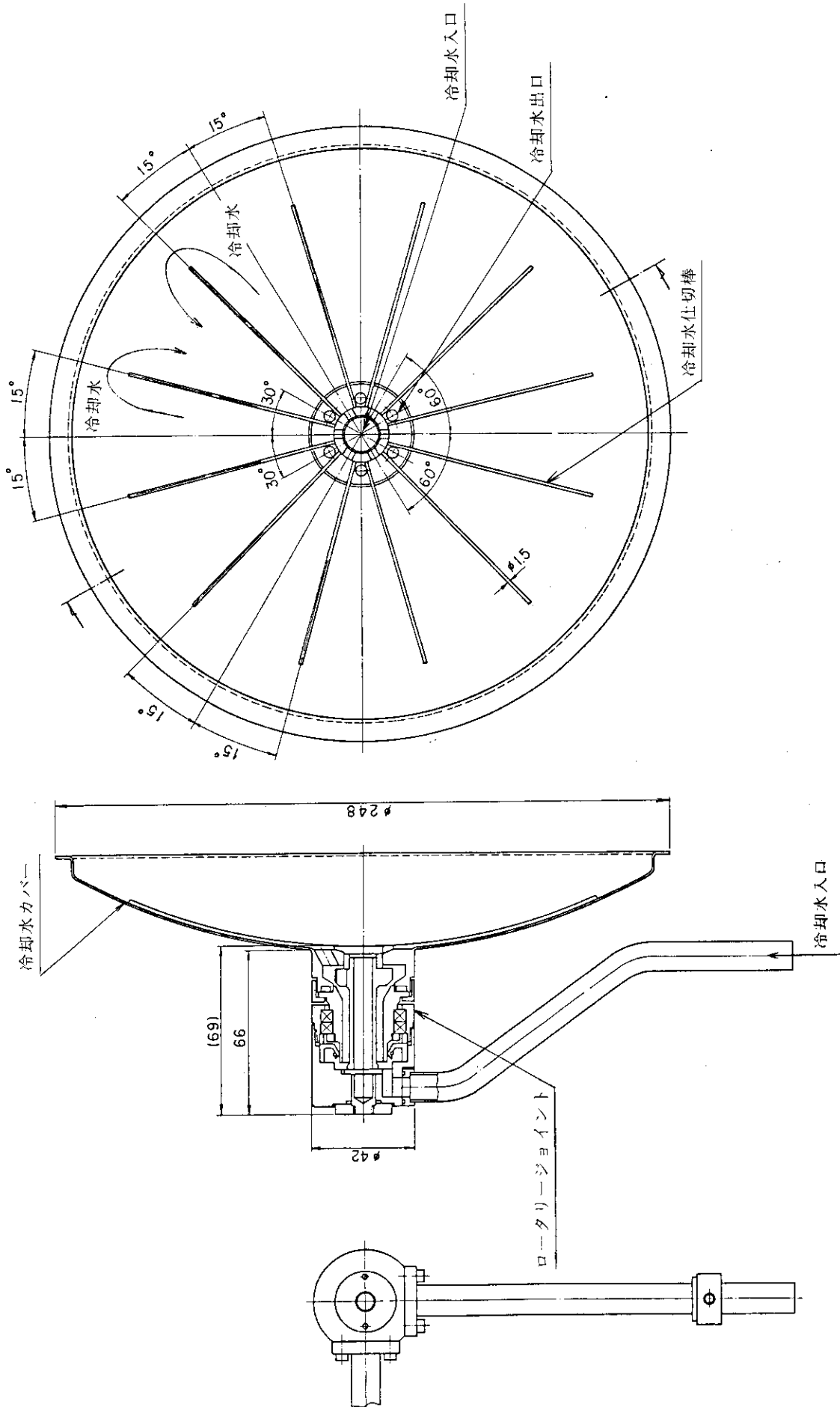


図3.5 ロータリージョイント式冷却水カバナーの構造

4. 試作・開発

第3章で述べた設計検討に基づいて新システムを製作した。設計段階で検討しきれなかった部分については、製作途上で試作・テストを行った。本章では、この試作段階で検討された問題点と対策について述べる。

4.1 磁気シール

小口径の磁気シールについては数多く作られ利用されているが、FNSの回転ターゲットに適合する様な大口径の磁気シールは今日まで製作されたことがない。今回の製作に当っては、小口径シールの経験を基に試作されたが、試作・加工途上および試運転の段階で以下に示すような種々の問題点が生じた。特に、中間排気系の真空シール方式については、下記に示すようにウイルソンシール方式、両面スライド方式、磁気シール2分割方式の各方式について試作・検討を行った。

(1) 中間排気系の真空シール方式

(a) ウイルソンシール方式

図4.1の a) に示す様にウイルソンシール(材質:ニトリルゴム)を大気側に取り付けその間を真空に引くものである。この方式は、真空引きによってシールが内側に入り込むため摩擦抵抗が大きくなり回転トルクが大きくなる欠点がみられた。また、発熱等の問題も生じた。

(b) 両面スライド方式

図4.1の b) に示す様に上記のウイルソンシール部にスライドシールを用いシール材の両面を滑らせながら中間部の真空を保つ方式であるが、次の様な欠点がみられた。

- イ) 中間引きシールの直径が大きく且つ薄いため、たわみ易く両面が密着したシール性能を得るのが難しい。
- ロ) 回転させると摩擦熱でルーロン自体が変形し軸を締め付ける状態となり負荷が重くなり回転しなくなる。
- ハ) 回転時に滑り面で発生した熱によりプーリーが熱膨張を起こしベアリングの内輪を押し広げ、そのためベアリングの回転が重くなり停止する。また、シール軸の熱膨張によりシール軸とポールピースが接触する。

(c) 磁気シール2分割方式

図4.1の c) に示す様に磁気シールの部分を2分割しその中間を中間引として真空引する方式である。この方式は、磁気シール部の製作精度は厳しいがトルクおよび真空シール性能は満足できるものであった。

以上の各方式の試作検討の結果、中間排気系の真空シール方式については、ウイルソンシール方式および両面スライド方式とも実用不可と判断し、磁気シール2分割方式を採用した。

(2) 磁気シール本体の製作・組立て精度、および本体組付後の総合精度

磁気シール本体は、原理図3.2に示すようにポールピースと磁石が交互に積み重ねられている。そのため、磁気シール本体の製作にあたっては次のような厳しい条件がある。1) ポールピースの口径が大きく肉厚が薄いため加工が難しい。2) ポールピースを同じ精度で7枚製作する必要がある。3) 磁気シール本体組立時、ポールピース一つ一つの先端を同心軸にそろえ、またポールピース先端の平行度を出す必要がある。4) ポールピースの軸とシール軸とを同心軸に組立てる必要がある。これらの要請を満すため、組立ては特殊治具を用いて行った。そして磁気シール本体は3体製作し、この中から最良のものを選び出した。

(3) 磁気流体の粘性による負荷と真空シール寿命

ポールピース先端とシール軸（回転体）の隙間が70~100 μ mと狭いため、シール部での発熱により、熱膨張したシール軸がポールピースと接触する場合や、磁性流体*の劣化によって磁性流体抜けをおこす場合がある。これらを防止するには、シール軸内側の温度を65 $^{\circ}$ C以下に抑える必要がある。しかし、シール軸は回転体であり、直接冷却することが困難である。またポールピースも構造上直接冷却できない。これらの理由により発熱の少ないものを選ぶため、粘性の異なる3種類の磁性流体（FV55**、LS30***、FV42****）について試験を行った。これらの結果は、次のようにまとめられる。

磁性流体	飽和磁化	結 果
FV55	550 Gauss	粘性が大きく負荷として重く回転による発熱が大きい
LS30	300 Gauss	粘性が小さく負荷として軽い、磁性流体が抜けてしまい真空が悪化
FV42	420 Gauss	回転・真空共に良好、1100rpm（定常回転数）にて約70時間連続運転の結果においても良好であった

また、FV42を使用して安定に運転できる最高回転数は、1400rpmが限界であることが判明した。

4.2 スライディングシール

シール口径が従来型の約2倍と大きくなり、摩擦抵抗、周速が増した。このため、所期の回転速度を維持したうえでシール性能を保つため、図4.2に示すスライディングシールの形状、溝巾、当り面巾について種々の試作、検討を行った。各パラメータとその結果を表4.1に示す。この結果、スライディングシールの形状は、最終的に中間排気溝幅2mm、相手材当り面幅3.5mmとした。

* 非常に微細な Fe₃O₄ (マグネタイト) の粒子を油に混合させてコロイド状にしたもの

** 松本油脂製薬㈱

*** 大鵬工業

**** 松本油脂製薬㈱

次に、従来のルーロンA*と焼入れ軟鉄以外の組合せについての可能性を調べるため、まず、相手材の材質を変えてスライディングシールと相手材の組み合わせテストを行った。その結果表4.2に示すように相手材はメッキ溶射で表面が硬いものよりもメッキなしの金属の方が、シール面の状態、真空シール性能および回転トルクに対して良い特性を示した。更にスライディングシールの材質については、メンディン**とルーロンJ***について種々の相手材との組み合わせテストを行った。その結果、表4.2に示すようにルーロンAとねずみ鋳鉄または焼入工具鋼の組合せが良好であった。

以上の検討結果、スライディングシール材として、ルーロンA、相手材としてねずみ鋳鉄を採用した。

4.3 その他

ここでは、製作過程で生じた問題点について述べる。

(1) 首振駆動機構

首振駆動機構は首振スライドベース上に設置され、回転真空シール本体を支える首振回転軸を中心にギヤ駆動によって回転駆動用モータを乗せたモータベースごと首振りを行う。モーターベースとターゲットチェンバは一体となって重陽子ビームの入射軸を基準に16度首を振る。首振駆動機構の外観を図4.3に、また首振中心軸の構造を図4.4に示す。

図4.4の1)の構造でチェンバー内を真空状態にすると、モーターベースは16度移動するがターゲットチェンバ側は13度しか移動していないという現象が生じた。これは、チェンバ内を真空状態にすると、2本の溶接ベローズの収縮作用が首振駆動力に対し大きな抵抗力を生じ回転軸構造部の各クリアランスでの滑りとなり、首振角度を狭くするという結果であった。この解決策として図4.4の2)に示すように中間フランジと首振回転軸を一体化することによりキーをなくし首振回転軸の径を16mmから30mmに太くし相対的なクリアランスを小さくした。

(2) Vリングシール

スライディングシール型の装置にスプレッダー式の冷却水系を組合せ、2000rpmでの動作試験を実施中、Vリングシール部からの冷却水漏洩が起きた。この原因は周速の上昇による遠心力の上昇でVリングシールが取付台座から浮き上がり、水シール機能を失ったためである。

対策・措置としてアルミニウム製のVリングシール固定用リングを製作しVリングシール外周に被せた。この結果、2000rpm回転時にも水シール機能は維持できるようになった。

* 特殊充填材入り4F樹脂(エヌ・テー・エヌ東洋ベアリング㈱)

** ポリイミド系樹脂(エヌ・テー・エヌ東洋ベアリング㈱)

*** 特殊充填材入り4F樹脂(エヌ・テー・エヌ東洋ベアリング㈱)

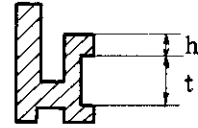
表4.1 スライディングシールの試作・テストの各パラメータと結果
(構造断面図は図4.2に示す)

スライディングシール材質 ルーロンA

(1) 中間排気溝幅 t 相手材当り面幅 h

テストした中間排気
幅と結果

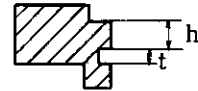
- : $t = 7, 4, 2, 1.5 \text{ mm}$
- : $h = 2 \text{ mm}$
- : $t = 2 \text{ mm}$ が最良



(2) 相手材との当り面幅 h

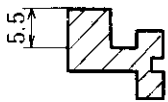
テストした当り面幅
と結果

- : $t = 2 \text{ mm}$
- : $h = 1.5 \text{ mm}$ 真空度上らず
- 2 mm
- 3.5 mm 良好
- 4 mm 摩耗粉が当り面から逃げ切らないため
滞留して負荷増大の原因となる

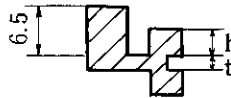


(3) スライディングシールの形状

外側当り面の密着度を良くするために、図の様に溝の深さを変えた。
結果は、bの方が良好であった。



a

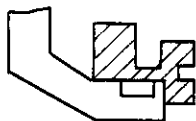


b

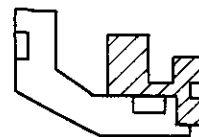
最終的な形状は、図bとなり寸法は中間排気溝幅 $t = 2 \text{ mm}$ 当り面幅 $h = 3.5 \text{ mm}$
溝の深さ 6.5 mm となった。

(4) シールホルダーの断面形状

スライディングシールの変形を防ぐために、シールホルダーの形状をaからbに変えた。



a



b

表4.2 スライディングシール材と相手材の組合せテスト結果

スライディングシール材質	相手材材質	ルーロン A	ルーロン J	メルデン
Niメッキ (母体シンチュウ)		Niがすぐに摩耗		
HCrメッキ (母体シンチュウ)		緑色の粉末 (酸化クロム) が多量に出て回転が重くなりオーバードリレアーが動作する		初期トルクが大きい
(TiO ₂ +アルミナ) の溶射		アルミナの粉末がルーロン表面に食い込み回転が重くなる		初期トルクが大きい
工具鋼 (焼入れなし)		工具鋼のスライディングシールの当り面の摩耗が早い		初期トルクが大きい 真空度が良くならない
工具鋼 (焼入れ)		真空, スライディングの状態, 工具鋼のスライディングシール部当り共に良好		
ねずみ鉄 (FC20)		"	吸水率ルーロンAの約3倍, 摩擦抵抗が大きく回転数の変化が大きい	回転が重く中間引き真空が上かららない。500~2000 Torrの間をふらつく, 当り面が変色
ステンレス			FC20に比べ回転変化は小さい がルーロンAに比べトルクが大きい	

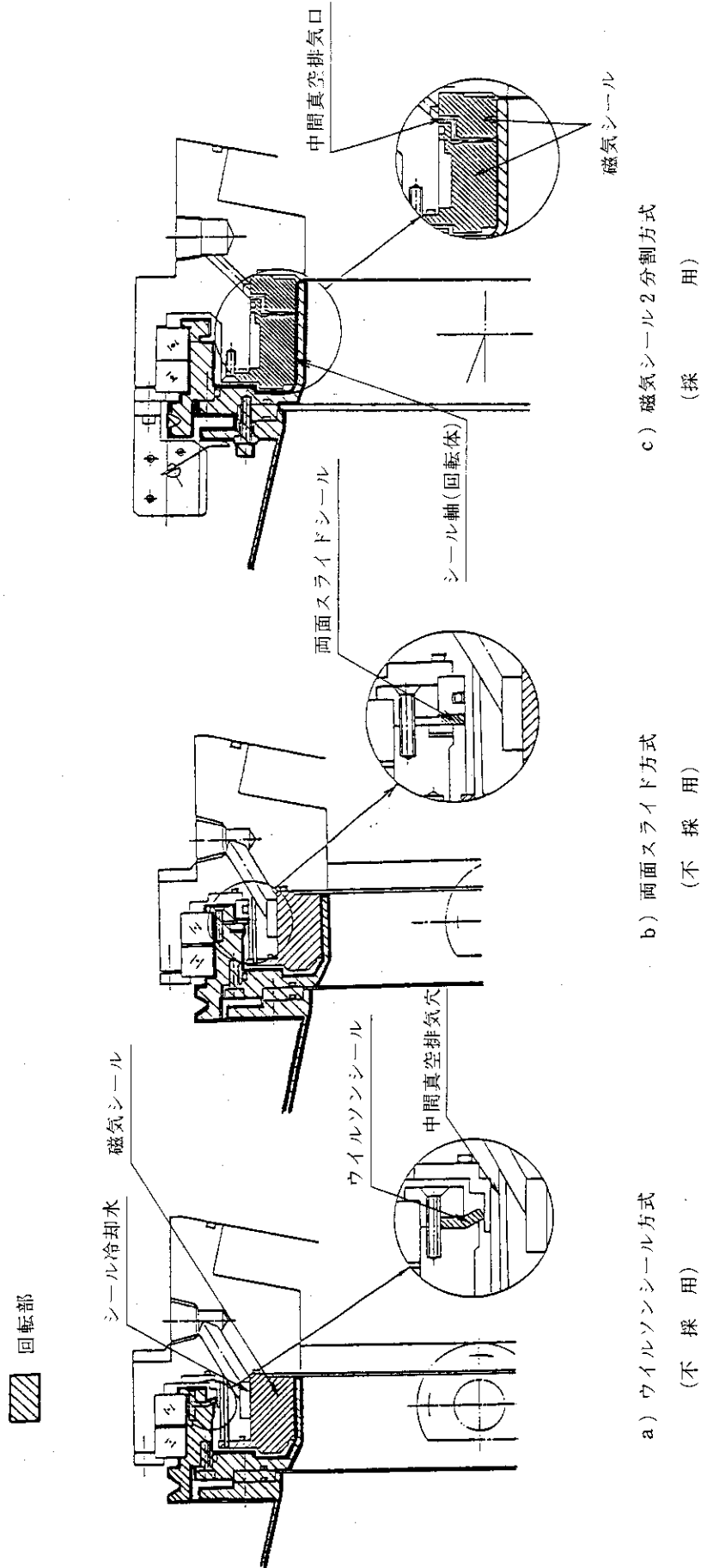


図4.1 試作・テストを行った磁気シールの中間引き方式の構造

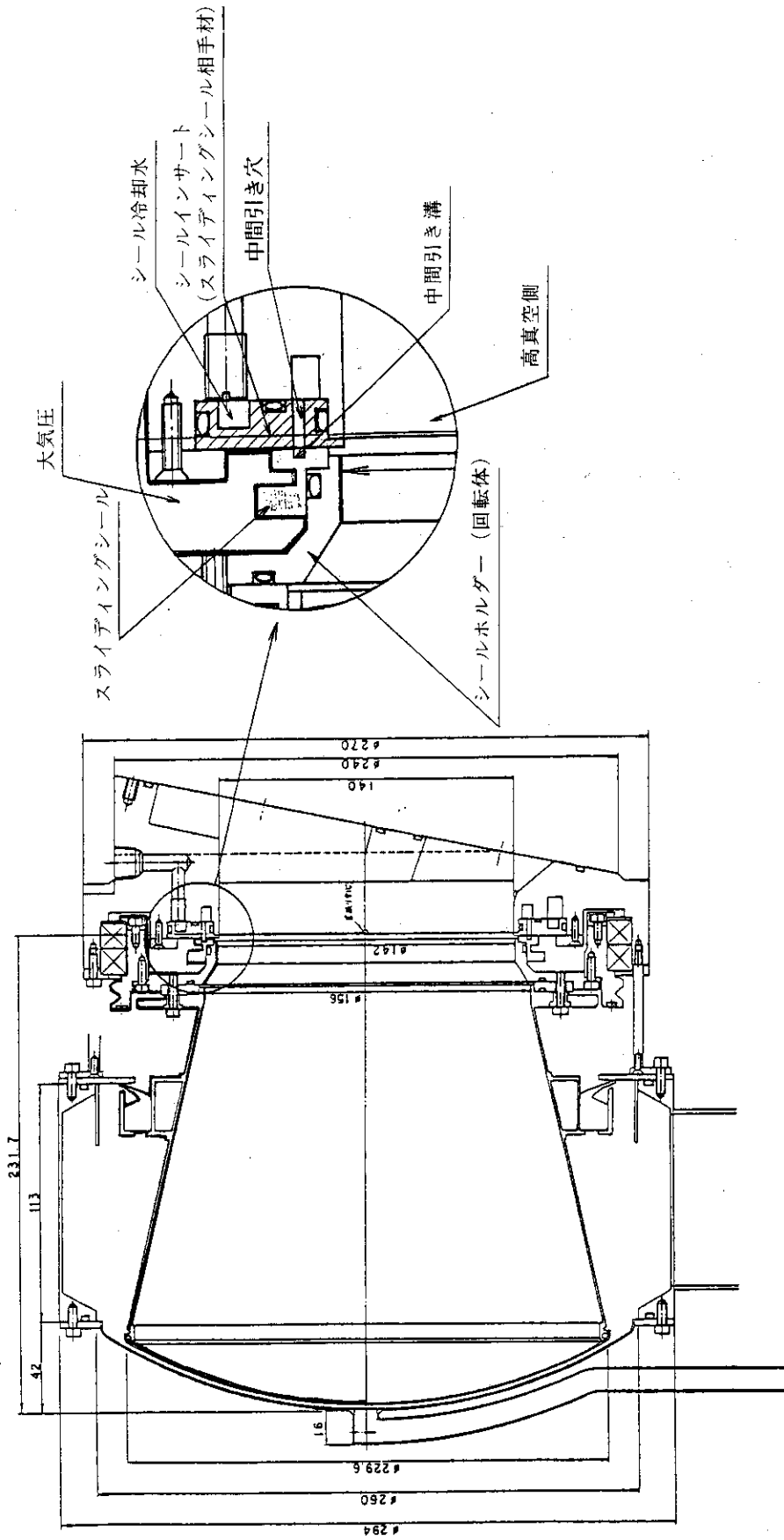


図4.2 新型回転ターゲットシステムの断面構造

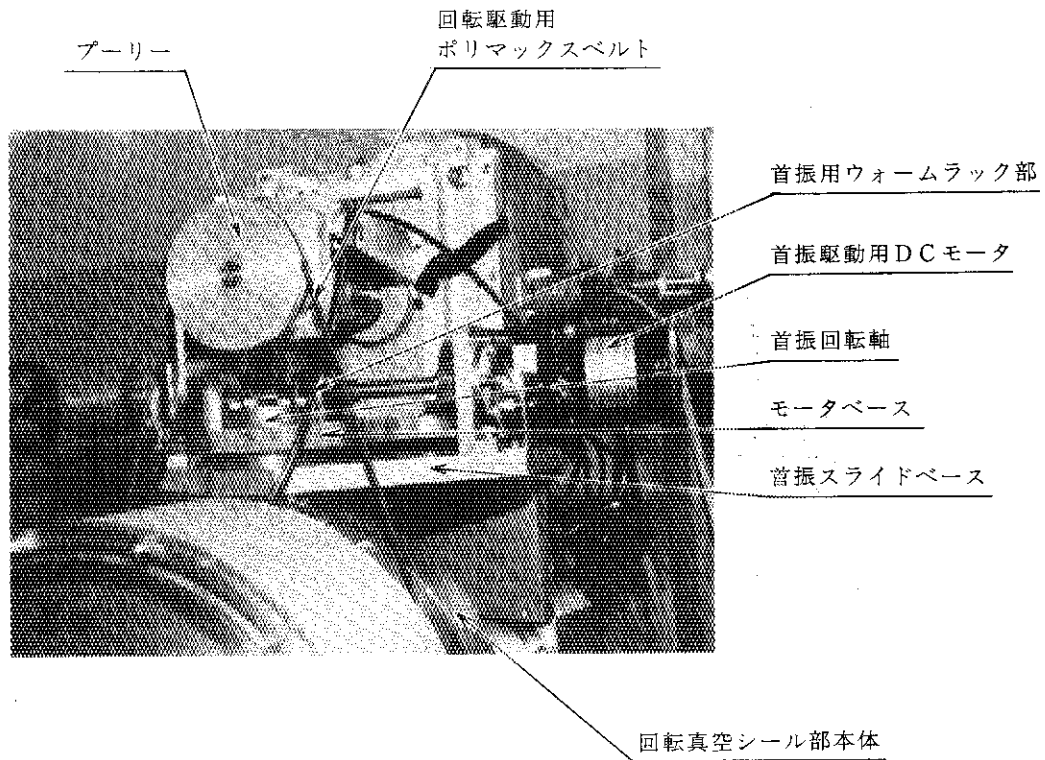


図4.3 首振駆動機構

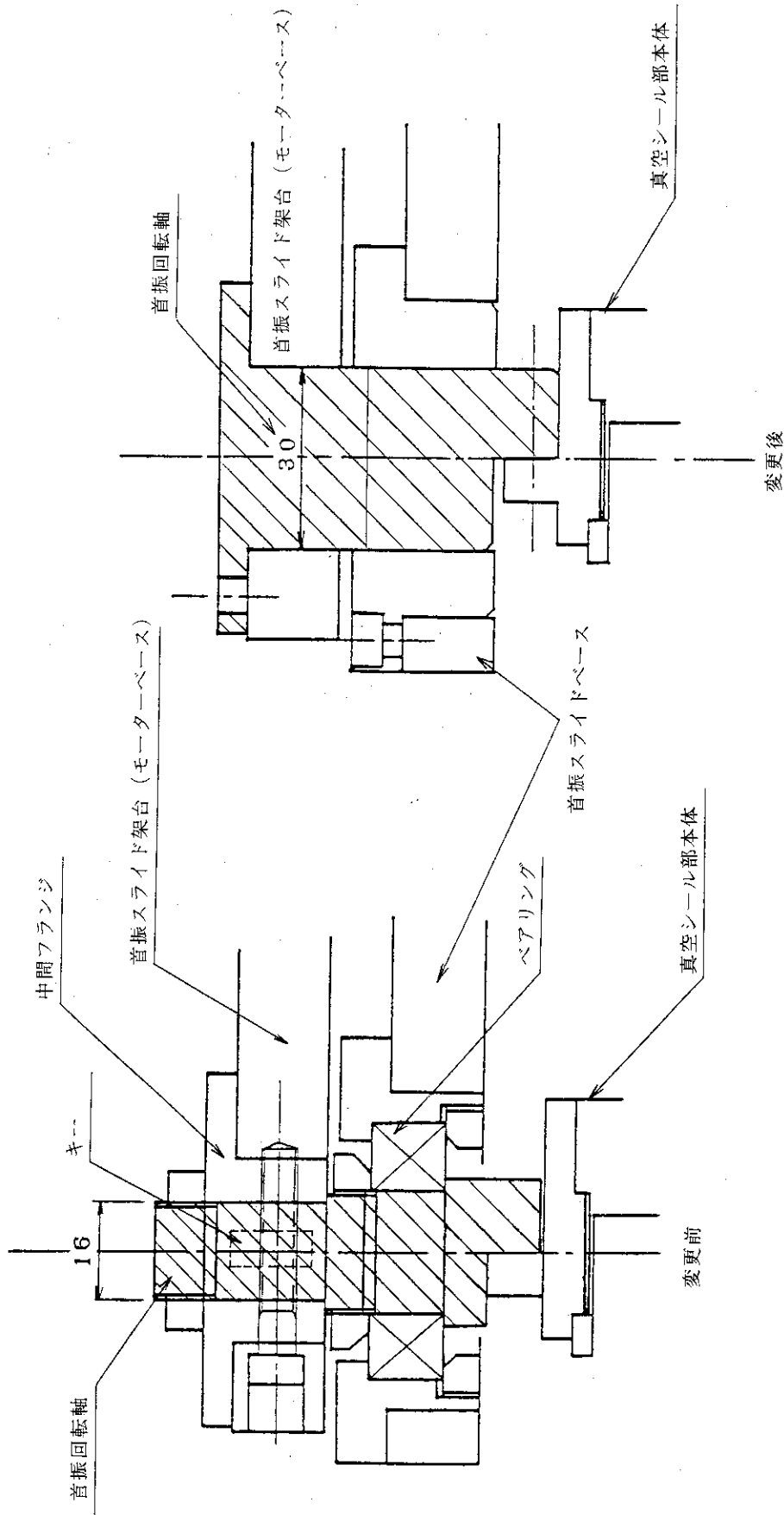


図4.4 首振中心軸の構造

5. 製作結果と総括

これまでに、従来型システムの問題点、新規検討項目および製作上の問題・改良点について、それぞれ述べて来たが、本章では、それらの試験・検討の結果完成した新しい装置の概要、総合試験結果およびその評価について述べる。出来上がった新しい装置の外観を図5.1と図5.2に示す。これらの写真は、各々ロータリージョイントと磁気シール、スプレッダーとスライディングシールとの組合せの例である。これらの冷却水系コンポーネントと真空シールアセンブリの組合せは相互に互換性を持っている。組立て外観を図5.3と図5.4に示す。

5.1 新システムの概要

(1) 外形寸法・重量（カッコ内は、比較のための従来型システムの値）

(a) 全長	スプレッダー型	627.7mm (590.7mm)
	ロータリージョイント型	676.6mm
(b) 全幅	各タイプ共通	450.0mm (457.2mm)
(c) 全高	各タイプ共通	535.0mm (335.0mm)
(d) 総重量	磁気シール型	約48kg
	スライディングシール型	約47kg (約40kg)
(e) 制御盤寸法	480W×265H×520D	(480W×265H×200D)

上記の値で、全長および全高が従来型に比べ、大きくなったのは、回転駆動用モータをターゲットポイントから離すために装置上部後方に設置したためである。また、総重量は、約7kgの増加となったが、回転真空シール口径が2倍になりシール部の体積が大幅に増えたこと、新たにビューポートを設けたことに併せ、運転中の振動を低減させるために、構造上の強度を上げたことを考慮すると、軽量化が達成されたといえる。

(2) 各部の機構・性能

(a) 回転真空シール機構（両方式とも中間真空引き機構を有す）

・シール方式	磁気シール型	スライディングシール型
・シール部口径	146mm ϕ	146mm ϕ
・シール部材質		
回転体	磁性体ステンレス鋼	ルーロンA
固定側	サマリウム・コバルト磁極	ねずみ鉄・焼入鋼
充填材	磁性流体 (FV-42)	なし
・回転時真空漏洩率	1×10^{-7} torr \cdot l/s 以下	1×10^{-3} torr \cdot l/s 以下

(b) 回転駆動機構

・駆動用モータ	0.5kW DCプリントモータ
---------	-----------------

- ・ターゲットディスク回転数 スライディングシール型 0～2000rpm
磁気シール型 0～1400rpm
連続可変回転 (通常使用回転数 1100rpm)

- ・駆動方式 ポリマックスベルトドライブ型
- ・真空シール部における振動量 40 μ m 以下
(1100rpm 回転時)

(c) 首振駆動機構

- ・駆動用モータ 10W インダクションモータ
- ・駆動方式 ウォーム・ラックギヤ駆動水平首振り型
- ・首振角度範囲 0～16度任意設定可能
- ・首振角度表示 デジタル0～100%表示
- ・首振周期 16度往復/14分

(d) ターゲット冷却機構

- | | | |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|
| ・冷却方式 | スプレッダー型 | ロータリージョイント型 |
| ・ディスク面水膜厚 | 1.0mm | 1.5mm |
| ・カバー組合せ | 流入部：スプレッダー
排水部：カバードラム | 流入／排水部：ロータリージョイント
カバー内流路仕切り棒 |
| ・回転部水シール | Vリングシール | ロータリージョイント |
| ・定常冷却水流量 | 20 l/min | 10 l/min |

(e) 保護機構

作動条件

項 目	内 容
イ) ターゲット回転数異常	設定値より低および高
ロ) 回転真空シール部冷却水流量	設定値より低 下
ハ) ターゲット冷却水流量	設定値より低 下
ニ) コリメータ冷却水流量	設定値より低 下
ホ) 中間引き真空度	設定値より上昇
ヘ) 回転駆動モータ保護回路	保護リレー動作
ト) 首振範囲	設定範囲超過

加速器側動作内容

- イ) ターゲット回転停止
- ロ) ターゲット直前のファラデーカップが挿入しビームストップ

5.2 総合試験

本装置の製作・組立後の総合的な性能を確認するために専用テストスタンドを製作し、50時間連続運転を含めた総合性能試験を行った。

総合試験は4通りの組合せの中から代表として下記のタイプI、タイプIIの組合せで実施した。

タイプI	回転真空シール	:	磁気シール
	ターゲット冷却方式	:	ロータリージョイント
タイプII	回転真空シール	:	スライディングシール
	ターゲット冷却方式	:	スプレッダー・カバー

試験の項目及び内容の概略を以下に示す。

- (1) 真空漏洩試験 (ヘリウムリーク検出法)
 - (a) 回転停止時リーク率測定
 - (b) 回転動作時リーク率測定
- (2) 冷却水系動作試験
 - (a) ターゲットディスク面冷却状態 (アクリルカバー使用による目視確認)
 - (b) 水シール部機能確認 (真空側：真空度変化測定)
(大気側：目視及び触診確認)
- (3) 回転動作試験
 - (a) 回転数設定精度及び安定度
 - (b) 回転中の振動量
 - (c) 最高回転数の確認
- (4) 首振り動作試験
 - (a) 首振角度及び一周時間測定
 - (b) 角度設定の再現性測定
- (5) 保護機構動作試験
 - (a) インターロック動作試験 (冷却水, 真空・回転, 回路 各系)
 - (b) 外部出力信号確認
- (6) 長時間連続運転試験

*50時間連続 定格1100rpm 回転総合動作試験

 - (a) 真空安定度 測定
 - (b) 回転安定度 測定
 - (c) 冷却水流量安定度 測定
 - (d) スライドシール摩耗度 (但し, スライディングシール型のみ)

上記総合試験の結果は、それぞれ所期の目的・性能を満足するものであった。試験結果の詳細を付録にまとめて示す。

50時間連続運転に於て、タイプIは、回転、真空度共に安定であった。タイプIIはスライディングシールの摩耗粉の影響と思われるトルク変動があり、回転数、真空度に影響をおよぼしたが、いずれも軽微なものであった。連続運転試験時の測定データの一部を図5.5と図5.6に示す。

5.3 総括

でき上がった新システムについて、2, 3, 4章で述べた検討項目の処理結果および評価は次のようにまとめられる。

(1) 貫通孔方向での中性子分布

中性子発生点から貫通孔方向への中性子の媒質通過距離は貫通孔中心(80度方向)で、従来型システムが、15.5mmであるのに比べ、新型システムでは8.9mmと43%の減少を得た。また、貫通孔の周辺部(72度および88度)でもそれぞれ約30%、約60%の減少が得られ、新型システムを用いた貫通孔利用実験では、14MeV入射中性子束分布がかなり改良できるものと考えられる。計算により調べられた貫通孔方向での中性子分布の改良状況を図5.7に示す⁽⁸⁾。

(2) 中性子発生量のモニタ

新設のビューポート部にアルファ粒子モニタを設置することによりコリメータの影響を受けずに中性子発生量を測定できる。

(3) ターゲット冷却水系

(a) カバー・ターゲット間ギャップ設定精度は機械的設定となるため、水膜厚の再現性が良く、2章で述べた照射実験時の不確定要素が減る。

(b) 冷却水回転シールの採用により循環流路内での開口部が無くなり、水漏れの恐れは解消できた。

(c) スプレッダー方式のターゲット冷却は、冷却水層の厚さが1mm以下の場合冷却水はターゲット裏面全体にいきわたるが、それ以上の厚さでは空気層が部分的にできる。従って、冷却水層の厚さは1mm以下にすることが重要である。

(d) ロータリージョイント冷却方式では、中性子発生点近傍の構造体をできるだけ少なくする意味から、その形状を小さくするよう努めたが、ベアリングサイズ及び最低流量確保のために $42\phi \times 66\text{mm}$ が限界であった。

(4) 首振機構

(a) 角度任意設定機構

ターゲット首振範囲が、任意に設定できるようになったため、ターゲットトリチウムの消耗状況に応じて適当なターゲット面を選ぶことができ、実験に適した中性子発生条件を選択できるように改良された。

(b) 位置再現性

角度読み取り指示のデジタル化と併せ、目標位置への設定再現性が精度良く得られるようになった。

(5) 全体構造

(a) 軽量化

様々な機能の追加にも関わらず重量の増加は約7kg程度であり、又、重構造物は、中性子発生点から遠ざけた点を考慮すると中性子源構造としては充分改良されたと考えられる。

(b) 保守作業の考慮

微妙な距離・角度の設定が必要な部分については、機械的な固定方式を採り、回転真空シ

ール部の分解・組立てのためには、取付けビスの方向性を統一するなどして、作業時間を短縮するようにした。また特別な理由が無い限り構造材はアルミニウムとし、放射化した場合の長寿命核種生成量を抑えた。

(6) 回転真空シール

回転真空シールの検討に最も多くの時間をかけたが、結果として下記に示す内容となり、ほぼ所期の性能を満した。先に述べたように、回転真空シールの長期間安定性については、従来型システムに比べ寿命の延びが期待できる。また磁気シール型は回転停止時の真空シール機能も維持できる。

(a) 磁気シール・アッセンブリー

- ・中間真空引き構造 磁気シール2段構造の採用
- ・シール軸の発熱 限界回転数1400rpm の設定
 シール部冷却水量 3 ℓ/min 以上の確保
- ・真空リーク率 回転停止時 : 1×10^{-7} torr · ℓ/s 以下
 1100rpm 回転時 : 同 上

使用にあたっては、磁性流体の粘度が液温により変化するため、定格回転数で安定状態を得るためには、約30分程度の試運転が必要である。限界回転数までの動作状態は極めて良好である。

(b) スライディングシール・アッセンブリー

- ・シール材の組合せ: ルーロンA / ねずみ鋳鉄又は焼き入れ工具鋼
- ・ルーロンAの断面形状: 図4.4の(4)タイプ
- ・真空リーク率 回転停止時 : 1×10^{-3} torr · ℓ/s
 1100rpm 回転時 : 2×10^{-4} torr · ℓ/s

従来型アッセンブリーの周速4 m/sに比べ、新型のものは9.4m/sと約2.4倍に上昇しているためシール材の摩耗粉の発生が多く、真空排気系に対策を施す必要がある。また、シール材のルーロンAが長期間大気に触れた場合は空気中の水分を吸収し、そのため、回転起動時の始動トルクが極めて大きくなることも判明した。このアッセンブリーを用いる場合は、これらの点に留意する必要がある。

スライディングシールの摩耗による交換の場合は、相手材も摩耗しているためシール材と相手材を同時に交換する必要がある。

(7) 回転駆動機構

振動が大幅に減少した。また、回転数が停止～最高回転数まで任意に変化できるため、長期間停止後の緩速試運転、ビーム電流強度による回転速度の選択等でシール寿命を延すことができるなどの利点がある。

(8) その他の附加性能

これまで述べて来たような過去の経験に基づく改良項目以外にも大型装置の更新という機会に次のような点についても改良を加えた。

(a) 制御盤関係

- (i) 首振角度のデジタル表示採用による精度の向上

- (ロ) ケーブル端子のコネクタ化による保守作業効率の向上
 - (ハ) 主要パラメータ・レコーダ出力端子の設置による動作監視・解析容易化
- (b) 本体関係
- (イ) 調整・点検治具の充実に伴う組立て精度の向上
 - (ロ) ビーム電流ピックアップ端子の改良による測定信頼性の向上
 - (ハ) 回転数検出機構の改良による低速回転域での表示精度の向上

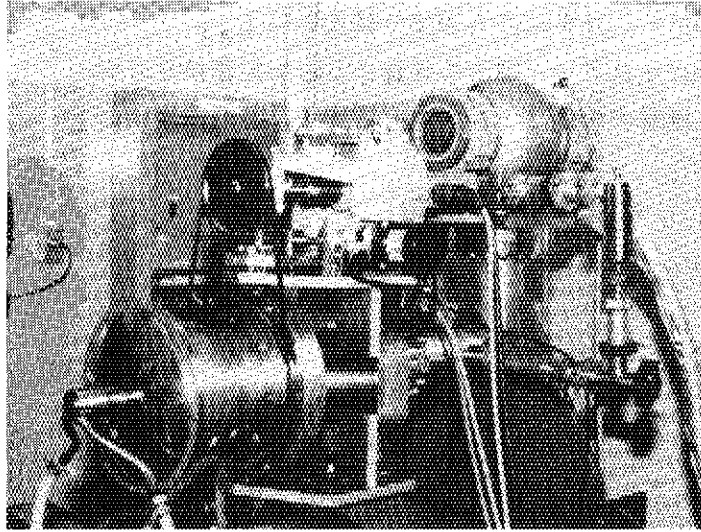


図5.1 新型回転ターゲットシステムの完成写真
(ロータリージョイント冷却方式と
磁気シール型回転真空シールの組合せ)

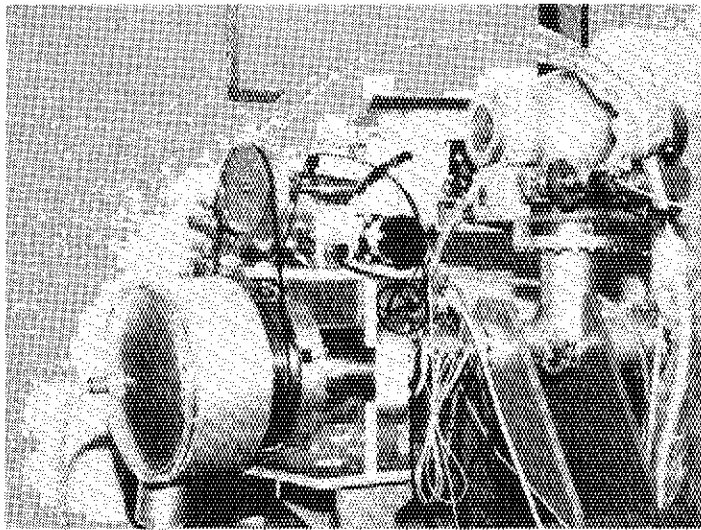


図5.2 新型回転ターゲットシステム完成写真
(スプレッター冷却方式とスライディング
シール型回転真空シールの組合せ)

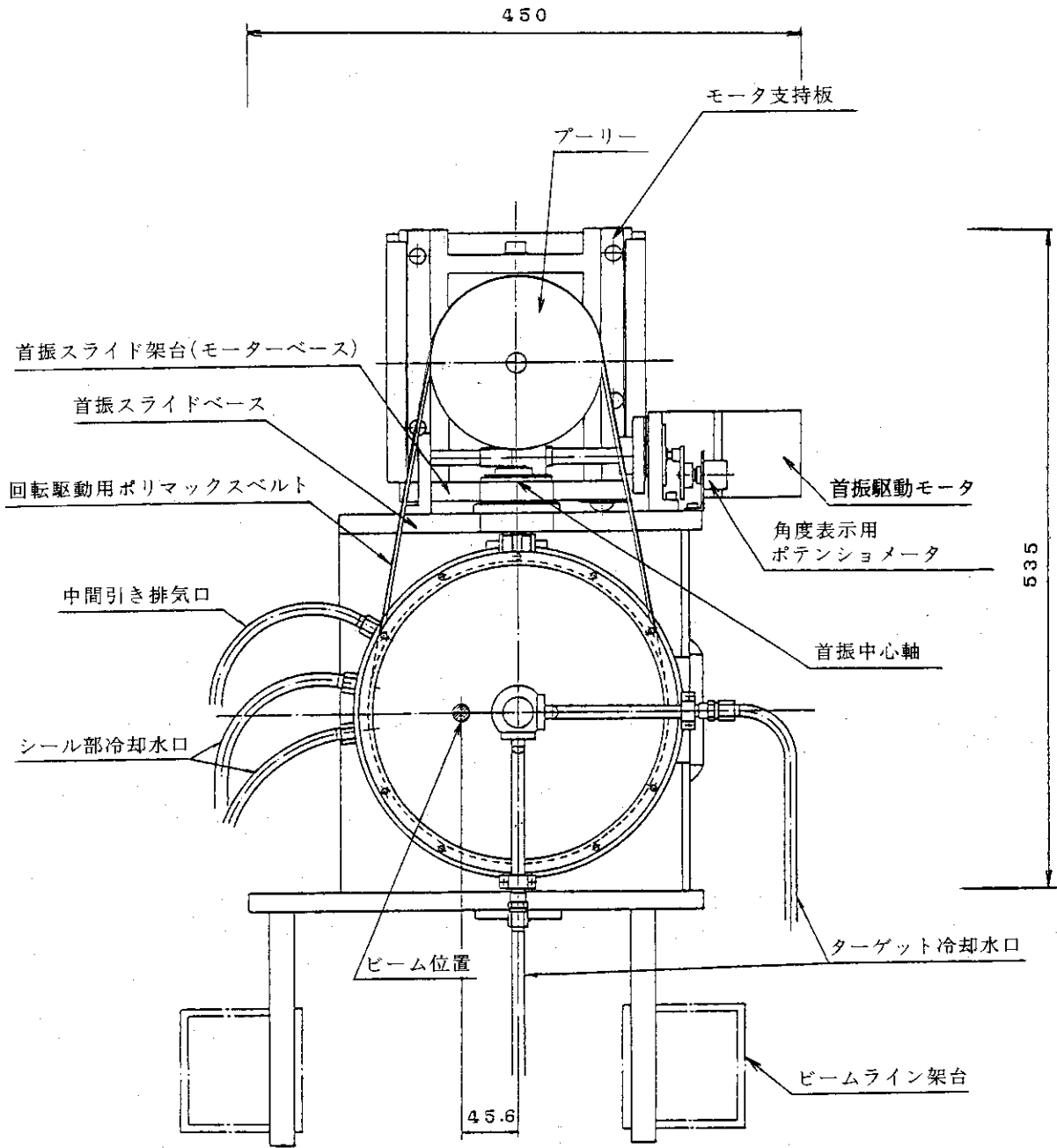


図5.3 新回転ターゲットシステムの外観図(正面)

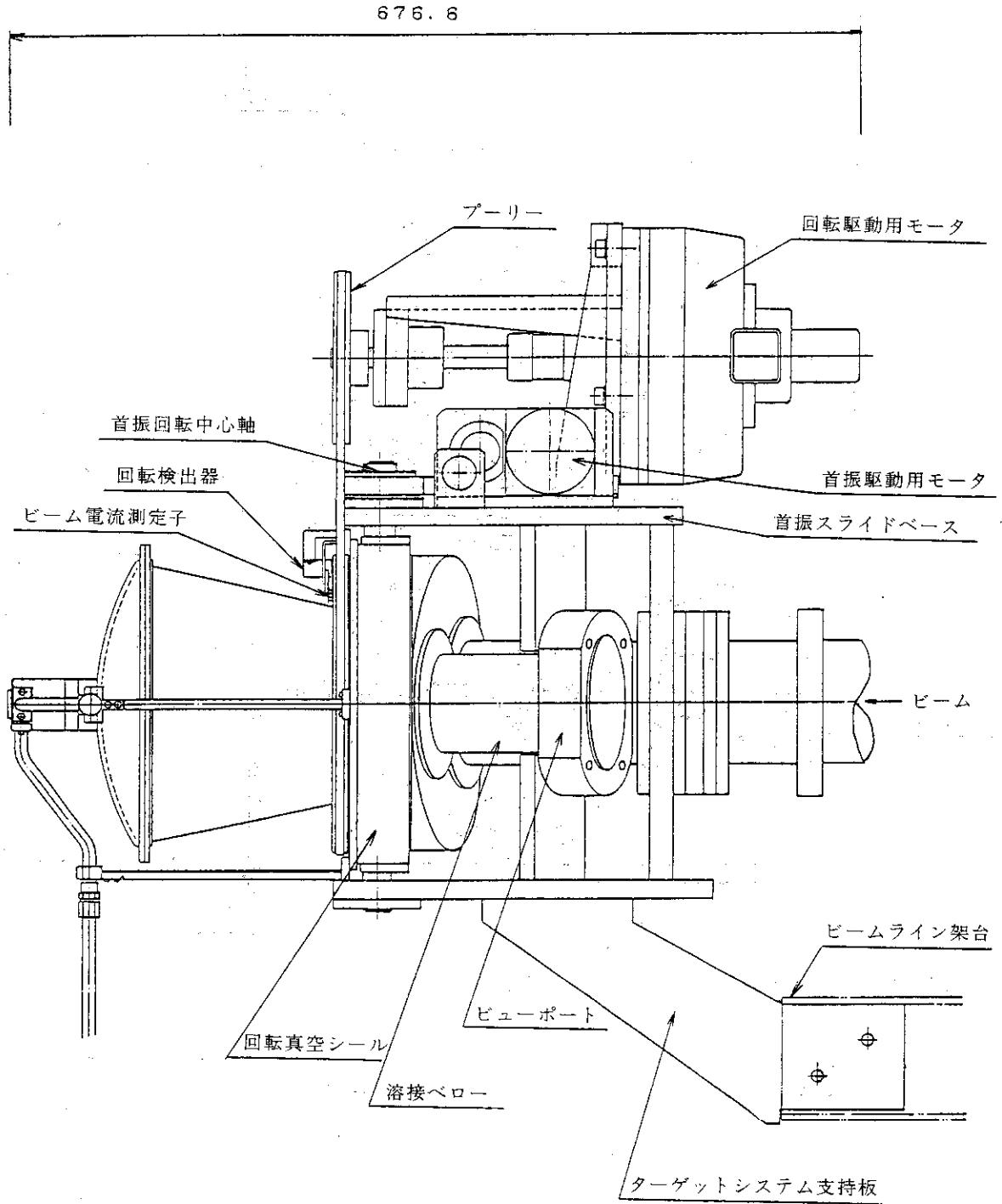


図5.4 新回転ターゲットシステムの外観図(左側面)

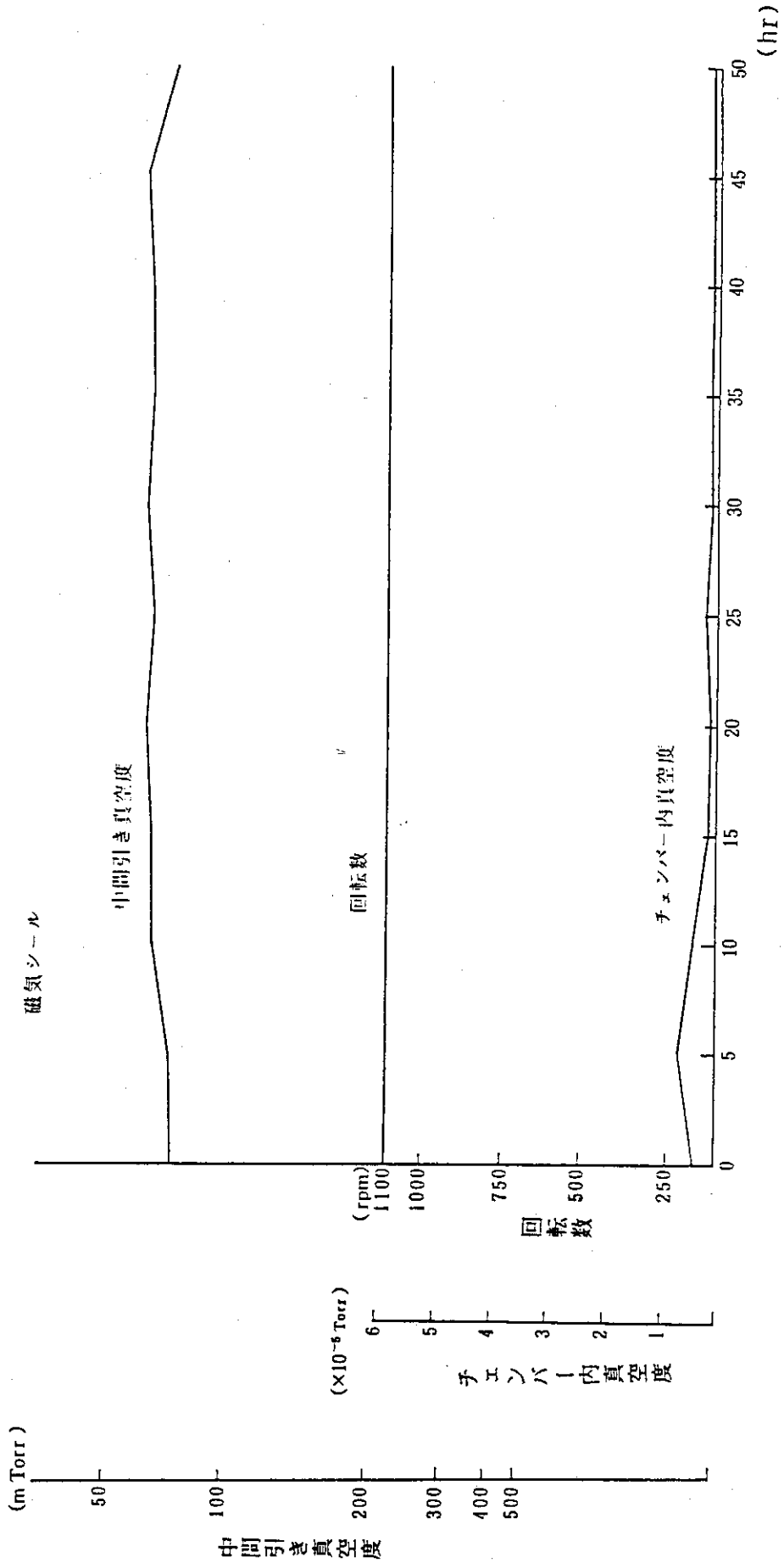


図5.5 定格連続運転試験時の真空度変化(磁気シール型)

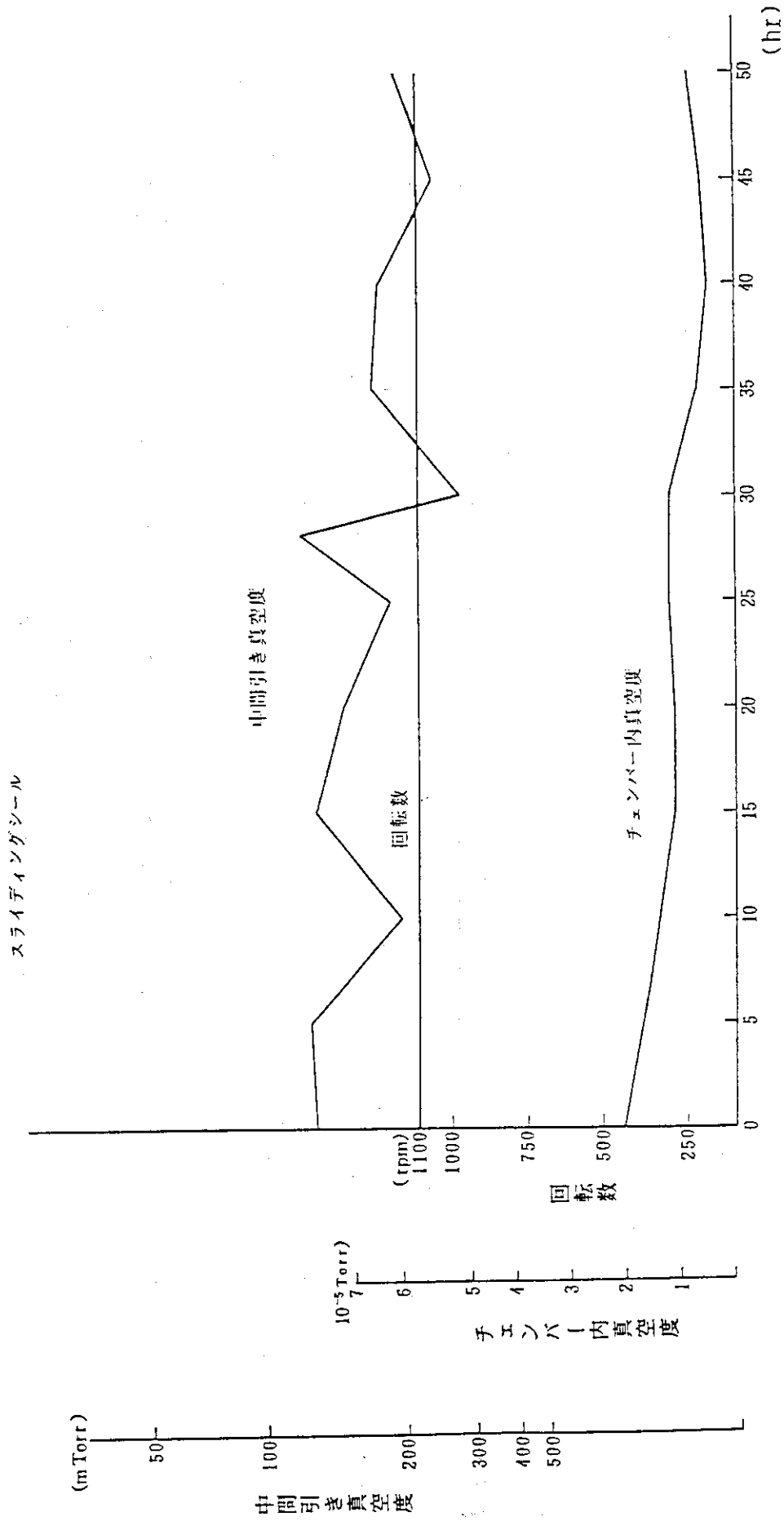


図5.6 定格連続運転試験時の真空度変化(スライディングシール型)

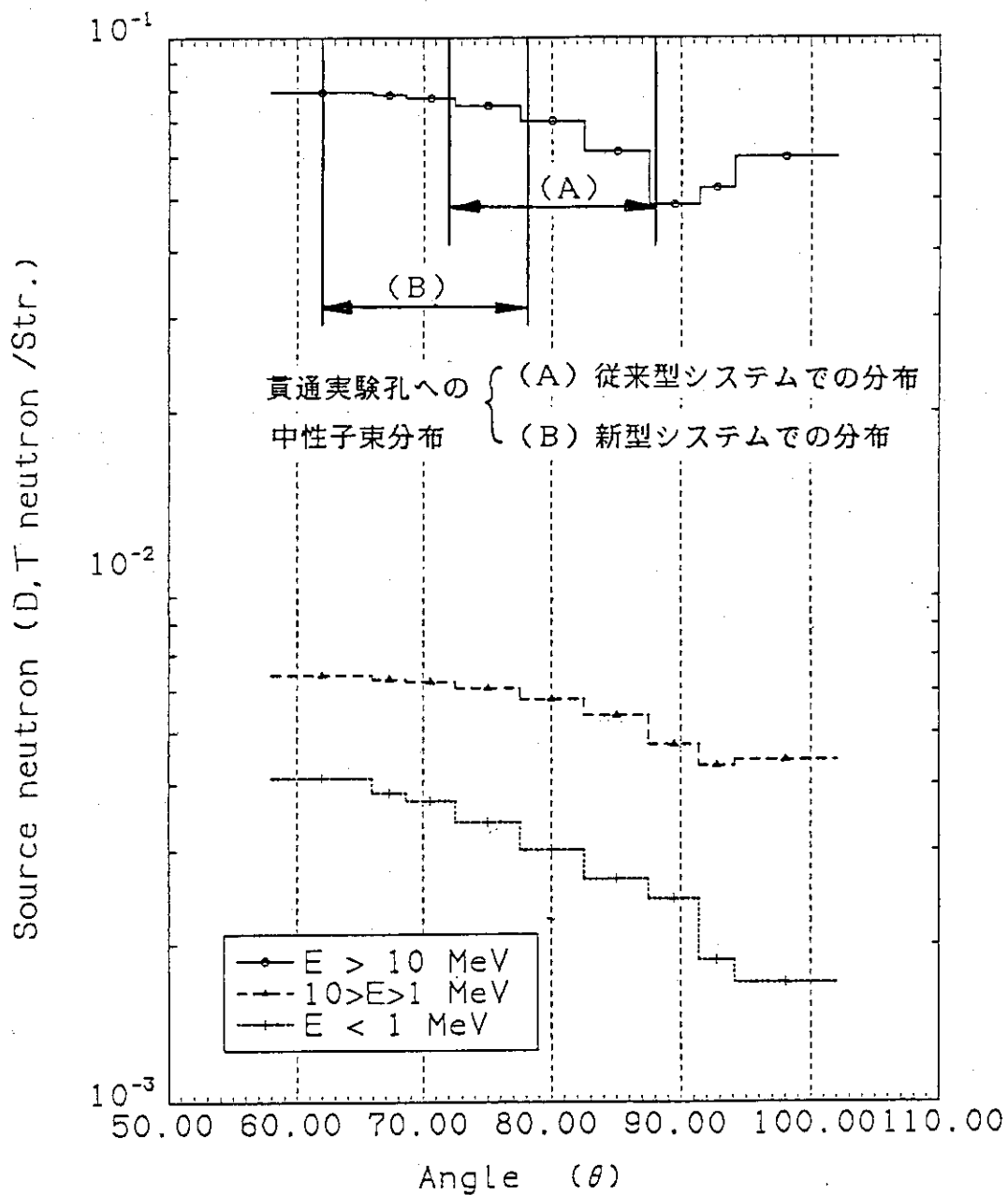


図5.7 回転ターゲットからの中性子角度分布

6. む す び

FNSで使用してきたRTNS-I型の回転ターゲットシステムのトリチウムメタルターゲットの構造をそのままに、中性子源性能、真空シール性能および保守点検の簡便化、安全性の向上などの改良を目的に設計製作した新型回転ターゲットシステムが完成した。完成までに、問題点の検討、概念設計、試作検討、そして本設計・製作と各段階において検討がくり返された。

この新型回転ターゲットの製作においては、回転真空シールと冷却構造が主要な技術的課題であった。特に磁気シール方式は大口径化にともなって、加工精度および組立て精度に対する要求がこの口径の物では数 μm という限界に近い値となった。また、試作テストでは周速の増大が発熱による磁性流体の特性劣化をひきおこし様々な問題を生じた。しかしながら、各々工夫の積み重ねによって最終的に所期の性能を満足できるものを完成することができた。保守上の問題点については、回転真空シールおよび冷却系とも保守を簡略化するために組立て順序等に改良が加えられ、また、トリチウムターゲットを使用するための安全上の問題に関連しては磁気シールの場合は回転停止時にもトリチウム漏洩の恐れは解消した。

全体のシステムについては軽量化の要求は取入れられており、またモータ等の重量物もターゲットより後方に離し、コリメータも離れたことで中性子源の2次中性子成分も減少することが期待される。

この新型システムは、今後、更の長期にわたる運転テストを積み重ね安全面を含めてより確実なシステムとしていく予定であるが、実際の中性子源として使用した場合、磁気シールの耐放射線性等のデータも蓄積していくことが必要であろう。

謝 辞

本装置を設計、製作するにあたり、種々の御指導を頂いた核融合炉物理研究室室長 中村知夫氏に深く感謝いたします。また、本報告書をまとめるに当り御指導、御協力を頂いた炉物理施設管理室室長 中野正文氏、核融合炉物理研究室主任研究員 前川 洋氏に感謝いたします。

参考文献

1. Booth R., et al. : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-20, 472 (1973).
2. Booth R., et al. : UCRL-78805 (1976).
3. Booth R., et al. : Nucl. Instr. Meth. 59, 131 (1968).
4. 中村知夫, 他, 私信
5. Maekawa H., et al. : JAERI-M 83-21 (1983).
6. 草野謙一, 他, 日本原子力学会 昭和56年分科会B-20, (1981).
7. Concus P., Nucl. Instr. Meth. 62, 199 (1968).
8. 森 貴正, 他, 私信

6. む す び

FNSで使用してきたRTNS-I型の回転ターゲットシステムのトリチウムメタルターゲットの構造をそのままに、中性子源性能、真空シール性能および保守点検の簡便化、安全性の向上などの改良を目的に設計製作した新型回転ターゲットシステムが完成した。完成までに、問題点の検討、概念設計、試作検討、そして本設計・製作と各段階において検討がくり返された。

この新型回転ターゲットの製作においては、回転真空シールと冷却構造が主要な技術的課題であった。特に磁気シール方式は大口径化にともなって、加工精度および組立て精度に対する要求がこの口径の物では数 μm という限界に近い値となった。また、試作テストでは周速の増大が発熱による磁性流体の特性劣化をひきおこし様々な問題を生じた。しかしながら、各々工夫の積み重ねによって最終的に所期の性能を満足できるものを完成することができた。保守上の問題点については、回転真空シールおよび冷却系とも保守を簡略化するために組立て順序等に改良が加えられ、また、トリチウムターゲットを使用するための安全上の問題に関連しては磁気シールの場合は回転停止時にもトリチウム漏洩の恐れは解消した。

全体のシステムについては軽量化の要求は取入れられており、またモータ等の重量物もターゲットより後方に離し、コリメータも離れたことで中性子源の2次中性子成分も減少することが期待される。

この新型システムは、今後、更の長期にわたる運転テストを積み重ね安全面を含めてより確実なシステムとしていく予定であるが、実際の中性子源として使用した場合、磁気シールの耐放射線性等のデータも蓄積していくことが必要であろう。

謝 辞

本装置を設計、製作するにあたり、種々の御指導を頂いた核融合炉物理研究室室長 中村知夫氏に深く感謝いたします。また、本報告書をまとめるに当り御指導、御協力を頂いた炉物理施設管理室室長 中野正文氏、核融合炉物理研究室主任研究員 前川 洋氏に感謝いたします。

参考文献

1. Booth R., et al. : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-20, 472 (1973).
2. Booth R., et al. : UCRL-78805 (1976).
3. Booth R., et al. : Nucl. Instr. Meth. 59, 131 (1968).
4. 中村知夫, 他, 私信
5. Maekawa H., et al. : JAERI-M 83-21 (1983).
6. 草野譲一, 他, 日本原子力学会 昭和56年分科会B-20, (1981).
7. Concus P., Nucl. Instr. Meth. 62, 199 (1968).
8. 森 貴正, 他, 私信

6. む す び

FNSで使用してきたRTNS-I型の回転ターゲットシステムのトリチウムメタルターゲットの構造をそのままに、中性子源性能、真空シール性能および保守点検の簡便化、安全性の向上などの改良を目的に設計製作した新型回転ターゲットシステムが完成した。完成までに、問題点の検討、概念設計、試作検討、そして本設計・製作と各段階において検討がくり返された。

この新型回転ターゲットの製作においては、回転真空シールと冷却構造が主要な技術的課題であった。特に磁気シール方式は大口径化にともなって、加工精度および組立て精度に対する要求がこの口径の物では数 μm という限界に近い値となった。また、試作テストでは周速の増大が発熱による磁性流体の特性劣化をひきおこし様々な問題を生じた。しかしながら、各々工夫の積み重ねによって最終的に所期の性能を満足できるものを完成することができた。保守上の問題点については、回転真空シールおよび冷却系とも保守を簡略化するために組立て順序等に改良が加えられ、また、トリチウムターゲットを使用するための安全上の問題に関連しては磁気シールの場合は回転停止時にもトリチウム漏洩の恐れは解消した。

全体のシステムについては軽量化の要求は取入れられており、またモータ等の重量物もターゲットより後方に離し、コリメータも離れたことで中性子源の2次中性子成分も減少することが期待される。

この新型システムは、今後、更の長期にわたる運転テストを積み重ね安全面を含めてより確実なシステムとしていく予定であるが、実際の中性子源として使用した場合、磁気シールの耐放射線性等のデータも蓄積していくことが必要であろう。

謝 辞

本装置を設計、製作するにあたり、種々の御指導を頂いた核融合炉物理研究室室長 中村知夫氏に深く感謝いたします。また、本報告書をまとめるに当り御指導、御協力を頂いた炉物理施設管理室室長 中野正文氏、核融合炉物理研究室主任研究員 前川 洋氏に感謝いたします。

参考文献

1. Booth R., et al. : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-20, 472 (1973).
2. Booth R., et al. : UCRL-78805 (1976).
3. Booth R., et al. : Nucl. Instr. Meth. 59, 131 (1968).
4. 中村知夫, 他, 私信
5. Maekawa H., et al. : JAERI-M 83-21 (1983).
6. 草野譲一, 他, 日本原子力学会 昭和56年分科会B-20, (1981).
7. Concus P., Nucl. Instr. Meth. 62, 199 (1968).
8. 森 貴正, 他, 私信

付録 性能試験結果

1. 真空漏洩試験

1.1 停止時の真空漏洩率試験

① 首振り角度が最内角位置のとき

測定場所	設計基準	測定値
ターゲットディスク取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
ターゲットチャンバー取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
絶縁体取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
ベロー取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
ビューポート取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
その他フランジ取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
スライディングシール部		$1.03 \times 10^{-3} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$
磁気シール部		$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下

② 首振り角度が最外角位置のとき

測定場所	設計基準	測定値
ターゲットディスク取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
ターゲットチャンバー取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
絶縁体取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
ベロー取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
ビューポート取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
その他フランジ取付部	$1 \times 10^{-6} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下	$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下
スライディングシール部		$1.03 \times 10^{-3} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$
磁気シール部		$1 \times 10^{-7} \text{Torr} \cdot \ell / \text{s}$ 以下

1.2 回転・首振り動作時の真空漏洩率試験

* 測定場所のうち真空シール部（スライディングシール，磁気シール）およびペロー取付部については，首振り動作が最内角，最外角となる時点で各々測定，最大値を記録。

測定場所	設計基準	測定値
ターゲットディスク取付部	1×10^{-6} Torr · ℓ/s以下	1×10^{-7} Torr · ℓ/s以下
ターゲットチャンバー取付部	1×10^{-6} Torr · ℓ/s以下	1×10^{-7} Torr · ℓ/s以下
絶縁体取付部	1×10^{-6} Torr · ℓ/s以下	1×10^{-7} Torr · ℓ/s以下
スライディングシール部	1×10^{-3} Torr · ℓ/s以下	2.97×10^{-4} Torr · ℓ/s以下
磁気シール部	1×10^{-5} Torr · ℓ/s以下	1×10^{-7} Torr · ℓ/s以下
ペロー取付部	1×10^{-6} Torr · ℓ/s以下	1×10^{-7} Torr · ℓ/s以下
ビューポート取付部	1×10^{-6} Torr · ℓ/s以下	1×10^{-7} Torr · ℓ/s以下
その他フランジ取付部	1×10^{-6} Torr · ℓ/s以下	1×10^{-7} Torr · ℓ/s以下

2. 冷却水循環状態試験

設計基準	観察結果
ターゲット裏面全体が冷却水で満たされている。	① ターゲットアセンブリ I 型* 90%以上 冷却水に満たされている
全面積の85~90%が冷却水のある状態	② ターゲットアセンブリ II 型** 全面冷却水に満たされている

3. 冷却水洩れ試験

3.1 ターゲットアセンブリ I 型

設計基準	結果
・外部への水洩れがないこと ・チャンバー内への水洩れによる真空度変化がないこと	外部への水洩れなし 内部冷却水の水洩れなし (コリメータ，シール軸)

3.2 ターゲットアセンブリ II 型

設計基準	結果
・外部への水洩れがないこと ・チャンバー内への水洩れによる真空度変化がないこと	外部の水洩れなし 内部冷却水の水洩れなし (コリメータ，シール軸)

* ターゲットアセンブリ I 型 ロータリージョイント，磁気シール型組合せ

** ターゲットアセンブリ II 型 スプレッダー，スライディングシール型組合せ

4. 動作試験

4.1 回転動作

項 目	設 計 基 準	結 果
I型のターゲットディスク取付時のディスク外周の偏心量	参考データ	0.15 mm
II型閉水路カバー外周部の偏心量	参考データ	0.15 mm
回 転 状 態	1100 rpmにて回転がスムーズであること	ターゲットアセンブリー I型 良 ターゲットアセンブリー II型 良
シール部本体における振動量	0.1 mm以下	ターゲットアセンブリー I型 1100 rpm時 20 μ ターゲットアセンブリー II型 1100 rpm時 40 μ
最大回転数	2000 rpm	ターゲットアセンブリー I型 2000 rpm
	1400 rpm	ターゲットアセンブリー II型 1400 rpm
モータ駆動系の入力電流	参考データ	11.2 A (ライン電流)

4.2 首振り動作

項 目	設 計 基 準	結 果
首振り状態	・1100 rpmで首振が16° スムーズに動作すること ・任意の設定で設定どおりスムーズに動くこと	良 好
首振り時間	1周期の時間が14分と30秒であること	I型 14分 6秒 II型 14分12秒
首振り角度・再現性	$\pm 0.16^\circ$ 以下 回転中心から210 mm位置での $\pm 0.16^\circ$ の変移量は ± 0.58 mm	回転中心から210 mmで変移測定 1 スイング時再現性 0.05 mm以内 2 設定時のバラツキ 0.04 mm以内 3 HIGH, LOW同一測定値でのズレ 0.4 mm以内
電 流 値	参考データ	0.23 A

4.3 インターロック動作

項 目	設 計 基 準	結 果
ターゲット冷却水	設定値の±0.5ℓ以内で動作	0.1ℓ以内で動作
真空シール冷却水	設定値の±0.5ℓ以内で動作	0.1ℓ以内で動作
コリメータ冷却水	設定値の±0.5ℓ以内で動作	0.1ℓ以内で動作
真空度保安	設定値の10%で動作	設定値と動作値の差なし
ターゲットモータ保護回路		設定回転数急変時回転停止
ターゲット回転監視機構		設定値と動作値の差なし

5. 50時間連続運転試験

5.1 真空度変化

項 目	設 計 基 準	結 果
スライディングシール中間引	400m Torrをこえない	400m Torr以下
磁気シール中間引	400m Torrをこえない	100m Torr以下
チャンバー内		
①スライディングシール	3×10^{-5} Torrをこえない	3×10^{-5} Torr以下
②磁気シール	5×10^{-6} Torrをこえない	1×10^{-6} Torr以下

5.2 回転数変化

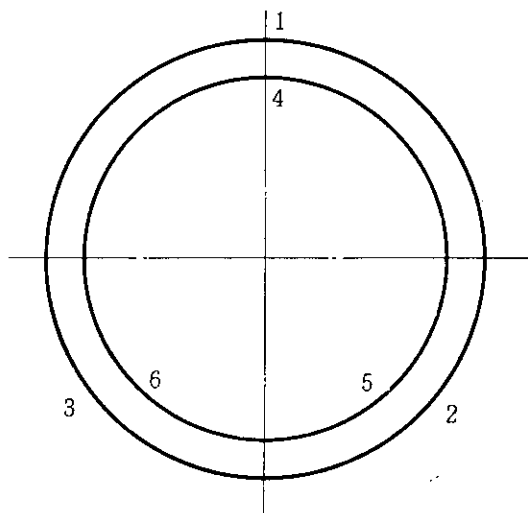
項 目	設 計 基 準	結 果
回転数の変動量	±5%以内	1020~1100rpm

5.3 冷却水流量変化

測 定 場 所	設 計 基 準	結 果
I型(吹付式)ターゲット冷却	設定流量の±10%以内	流量変化なし
II型(閉水路)ターゲット冷却		流量変化なし
スライディングシール冷却		流量変化なし
磁気シール冷却		流量変化なし
コリメータ冷却		流量変化なし

5.4 スライディングシール摩耗量 (200H使用)

設定点	(運転前寸法 - 運転後寸法) = 摩耗量 (mm)
1	(11.45 - 11.35) = 0.10
2	(11.50 - 11.40) = 0.10
3	(11.50 - 11.30) = 0.20
4	(3.00 - 2.93) = 0.07
5	(3.00 - 2.95) = 0.05
6	(3.00 - 2.95) = 0.05



測定点1～3は外輪 (全厚)

4～6は内輪