



研究用原子炉 JRR-3 重水冷却設備の ヘリウム圧縮機の更新

Refurbishment of Helium Compressor for Heavy Water Cooling System in JRR-3

大場 敏充 福島 学 竹内 真樹 宇野 裕基
大和田 稔 寺門 義文

Toshinobu OHBA, Manabu FUKUSHIMA, Masaki TAKEUCHI, Yuki UNO
Minoru OWADA and Yoshibumi TERAKADO

東海研究開発センター
原子力科学研究所
研究炉加速器管理部

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator
Nuclear Science Research Institute
Tokai Research and Development Center

July 2010

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

研究用原子炉 J R R - 3 重水冷却設備のヘリウム圧縮機の更新

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター

原子力科学研究所研究炉加速器管理部

大場 敏充・福島 学・竹内 真樹・宇野 裕基・大和田 稔・寺門 義文⁺

(2010年 4月 8日受理)

研究用原子炉 J R R - 3 では、炉心で発生する中性子を効率よく熱化するため、炉心部の周りに重水反射体が設けている。また、原子炉運転中に発生するガンマ線による発熱によって重水反射体の温度が上昇するが、これを冷却するために重水冷却設備が設置されている。重水冷却設備は重水系設備及びヘリウム系設備で構成しており、ヘリウム系設備は重水のカバーガスであるヘリウムガスを循環している系統である。また、ヘリウム系は重水タンク内で発生した重水の放射線分解ガスである重水素と酸素を再結合させる役割を持つ。

ヘリウム圧縮機は使用開始後、定期的な分解点検の実施及び消耗部品の交換を行いながら使用してきた。しかしながら、近年においては、シールオイルの漏えいによりヘリウム圧縮機が自動停止する事象が多発した。不具合の解消のためには更新が必要であると判断し、平成19年に更新を行った。本報告書は更新に至るまでの経緯と更新時の改良点について述べ、今後の保守管理に資するものである。

Refurbishment of Helium Compressor for Heavy Water Cooling System in JRR-3

Toshinobu OHBA, Manabu FUKUSHIMA, Masaki TAKEUCHI, Yuki UNO,
Minoru OWADA and Yoshibumi TERAOKA⁺

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator
Nuclear Science Research Institute
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 8, 2010)

Japan research reactor No.3 (JRR-3) has a heavy water tank. The heavy water tank surrounds the reactor core to use thermalize neutrons for experiments. The heavy water cooling system removes the heat generated by gamma ray in the heavy water reflector. The heavy water cooling system is composed of the cooling system and the helium gas system. The helium gas system has an important role of helium gas circulation. The helium gas system also has a role to recombine deuterium gas and oxygen gas.

We had overhauled the helium compressor regularly and replaced consumable parts. However, in recent year, the helium compressor had sometimes stopped by the leakage of seal oil. In 2007, we refurbished the helium compressor with new one.

This report describes refurbishment of helium compressor.

Keywords : JRR-3, Helium Compressor ,Heavy Water ,Refurbishment

⁺Department of Operation Safety Administration

目 次

1. はじめに	1
2. JRR-3の概要	2
3. ヘリウム圧縮機の概要	6
3.1 ヘリウム系設備の概要	6
3.2 ヘリウム圧縮機の仕様および構造	6
3.3 ヘリウム圧縮機と原子炉安定運転との関係	6
4. ヘリウム圧縮機更新までの経緯	11
4.1 ヘリウム圧縮機の点検履歴	11
4.2 ヘリウム圧縮機の不具合事象概要	11
4.2.1 シールオイル液面低下（平成6年3月）	11
4.2.2 シールオイル液面低下（平成9年4月）	11
4.2.3 異音発生（平成15年9月）	11
4.2.4 シールオイル液面低下（平成17年4月）	12
4.2.5 シールオイル液面低下（平成17年6月）	12
4.3 ヘリウム圧縮機の更新検討	13
5. ヘリウム圧縮機の改良点	20
6. ヘリウム圧縮機更新	27
6.1 認可申請	27
6.2 製作	27
6.3 搬入・据付	27
7. まとめ	31
謝 辞	31
参考文献	31

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of JRR-3	2
3. Outline of helium compressor	6
3.1 Outline of helium gas system	6
3.2 Specification and structure of helium compressor	6
3.3 Relation between helium compressor and reactor stability driving	6
4. Some processes before the helium compressor was replaced	11
4.1 The check History of the helium compressor	11
4.2 Outline of malfunctions event of helium compressor	11
4.2.1 Decrease on seal oil level in March 1994	11
4.2.2 Decrease on seal oil level in April 1997	11
4.2.3 Outbreak of the sound with the abnormality in September 2003	11
4.2.4 Decrease on seal oil level in April 2005	12
4.2.5 Decrease on seal oil level in June 2005	12
4.3 Examination of updating the helium compressor	13
5. Improvement points of helium compressor	20
6. Refurbishment of helium compressor	27
6.1 Application of the authorization	27
6.2 Production	27
6.3 Import and setting of new helium compressor	27
7. Conclusion	31
Acknowledgments	31
Reference	31

1. はじめに

JRR-3は、最大熱出力20MWの低濃縮ウラン軽水減速冷却スイミングプール型の研究用原子炉でJRR-3に設置された照射設備、実験設備を用いて、原子炉燃料・材料の照射試験および中性子ビーム実験等に使用されている。また、冷中性子を利用できることから、高分子の構造解析による生命現象の解明などにも役立てられている。

JRR-3では、炉心で発生する中性子を効率良く実験に用いるため、炉心部の周りにベリリウム反射体の他にタンク内に重水を満たした重水反射体を設けている。また、重水反射体は原子炉運転中に発生するガンマ線による発熱によって温度が上昇するため、これを冷却するために重水冷却設備が設置されている。

重水冷却設備は重水系設備及びヘリウム系設備で構成しており、ヘリウム系設備は重水タンク内の気層部を満たしているヘリウムガスを循環している系統である。

ヘリウム系はヘリウム系に含まれる重水タンク内で発生した重水の放射性分解ガスである重水素と酸素を再結合器によって再結合させ重水に戻し、雰囲気中の水素、酸素濃度を爆発限界に達することを防止するという重要な役割を担っている。

ヘリウム圧縮機は電動機によって与えられた回転運動がクランクシャフトを介して最終的にはピストンの上下運動に変換され、シリンダ内でのピストンの上下運動によりヘリウムガスをシリンダ内において吸入・圧縮し、ヘリウムガスを循環させる機器である。ヘリウム系内には重水タンク内で放射線分解された重水素および重水素に中性子が当たることで生じる放射性ガスであるトリチウムが含まれるが、ヘリウム圧縮機にはこのトリチウムを含んだヘリウムガスを系外へ放出しないためにシールオイルが封入されている。JRR-3ではヘリウム圧縮機の運転中に、万一、シールオイルが漏えいし、シールオイル液面がある一定レベルまで低下した場合には、ヘリウム圧縮機は自動停止するようになっている。原子炉運転中においてはシールオイルの漏えいは放射性ガスであるトリチウムの雰囲気中への放出につながることから、JRR-3運転手引において漏えい状況が急激に進展するか、または進展する恐れがある場合には原子炉の運転は行わないと定めている。

ヘリウム圧縮機は平成2年に設置し、定期的な分解点検の実施、寸法検査による摺動部の摩耗量の管理、および消耗部品の交換を行いながら更新までに約16年間、約6万時間の運転を行った。

しかしながら更新に至るまでに摺動部摩耗に伴う不具合が発生している。平成17年の分解点検において摺動部の部品に製作会社の推奨する管理値限界に達する摩耗が確認され、それが原因でシールオイルの漏えいが生じる可能性があることが判明した。

JRR-3では、不具合解消のためには検討の結果、更新が必要であると判断し、平成19年にヘリウム圧縮機を更新した。

本報告書では、更新に至るまでの経緯と更新時の改良点について述べる。

2. JRR-3 の概要

JRR-3は、最大熱出力20MWの軽水減速・冷却、ベリリウム及び重水反射体付きスライミングプール型研究炉である。

原子炉建家は全高27m、内径32mの円筒形をしており、原子炉プール等が格納されている。原子炉プールは内径約4.5m（円筒部）、全高約8.5m（水深約8m）の円筒形状をしており、炉心部等を収容して軽水で満たしている。原子炉の主要諸元を **Table.2.1** に示す。また、原子炉プール概略図を **Fig.2.1** に示す。

炉心は、標準型燃料要素26体、制御棒と接続するフォロワ型燃料要素6体、照射筒5基及びこれらの周囲を取り囲むベリリウム反射体12体等によって構成され、全体として円形断面となっている。さらに、これを取り囲むように、内径0.6m、外径2m、高さ1.6mの円環状の重水タンクが設置されている。この重水タンクは、反射体の役目とともに高速中性子を減速させ、熱中性子束を実験等に利用できる場を提供している。この特徴を生かして重水タンク内には、水平、垂直方向から多数の実験孔、照射孔が設けられている。**Fig.2.2** に炉心断面図を示す。

本原子炉施設の炉心で発生される熱は、1次冷却設備、重水冷却設備の熱交換器を介し、2次冷却設備に伝達される。2次冷却設備に伝達された熱は冷却塔を通して大気に放出される。原子炉冷却系統図を **Fig.2.3** に示す。

Table.2.1 JRR-3 の主要諸元

炉形式	低濃縮ウラン軽水減速・冷却プール型
熱出力	定格出力 20MW
炉心	等価直径 約 60cm 有効高さ 約 75cm
燃料	燃料要素数 標準型 26 体 フォロワ型 6 体
制御棒	吸収材 ハフニウム（箱型） 本数 6 体（フォロワ型と一体）
プール	円形 直径 約 4.5m 深さ 約 8.5m
実験設備	水平実験孔 9 本 垂直実験孔 17 本 冷中性子源装置 1 基

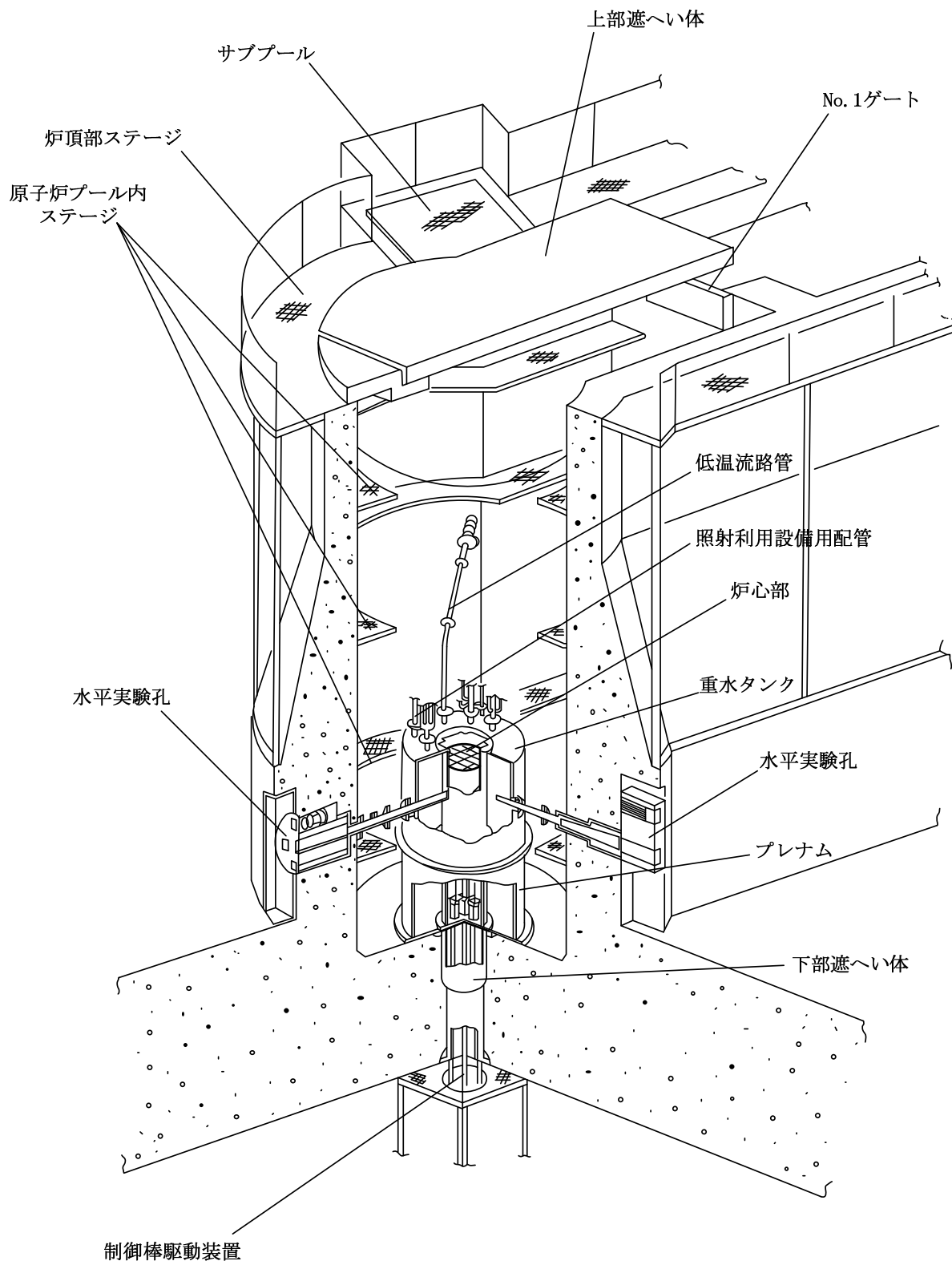


Fig.2.1 原子炉プール概略図

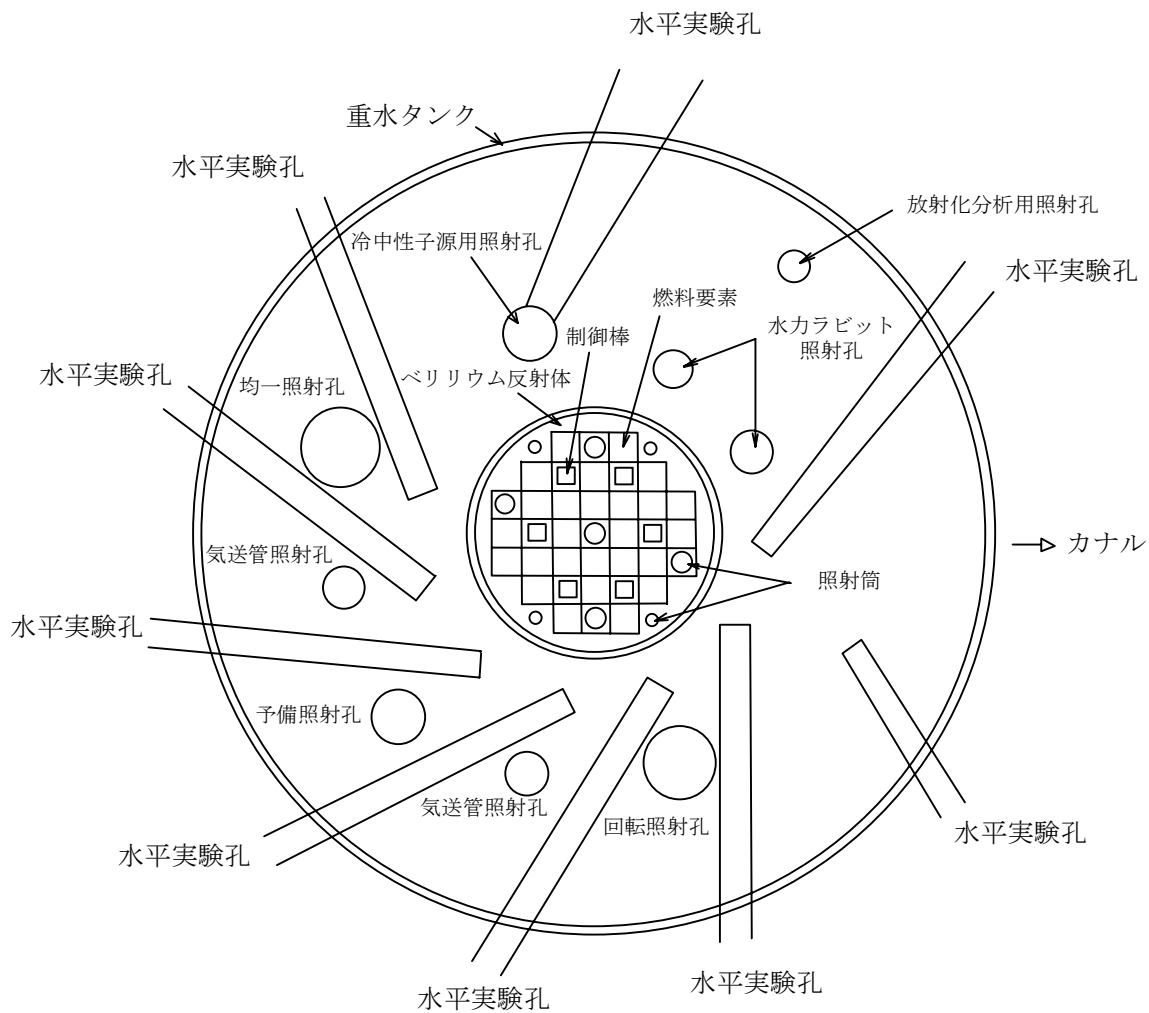


Fig.2.2 炉心断面図

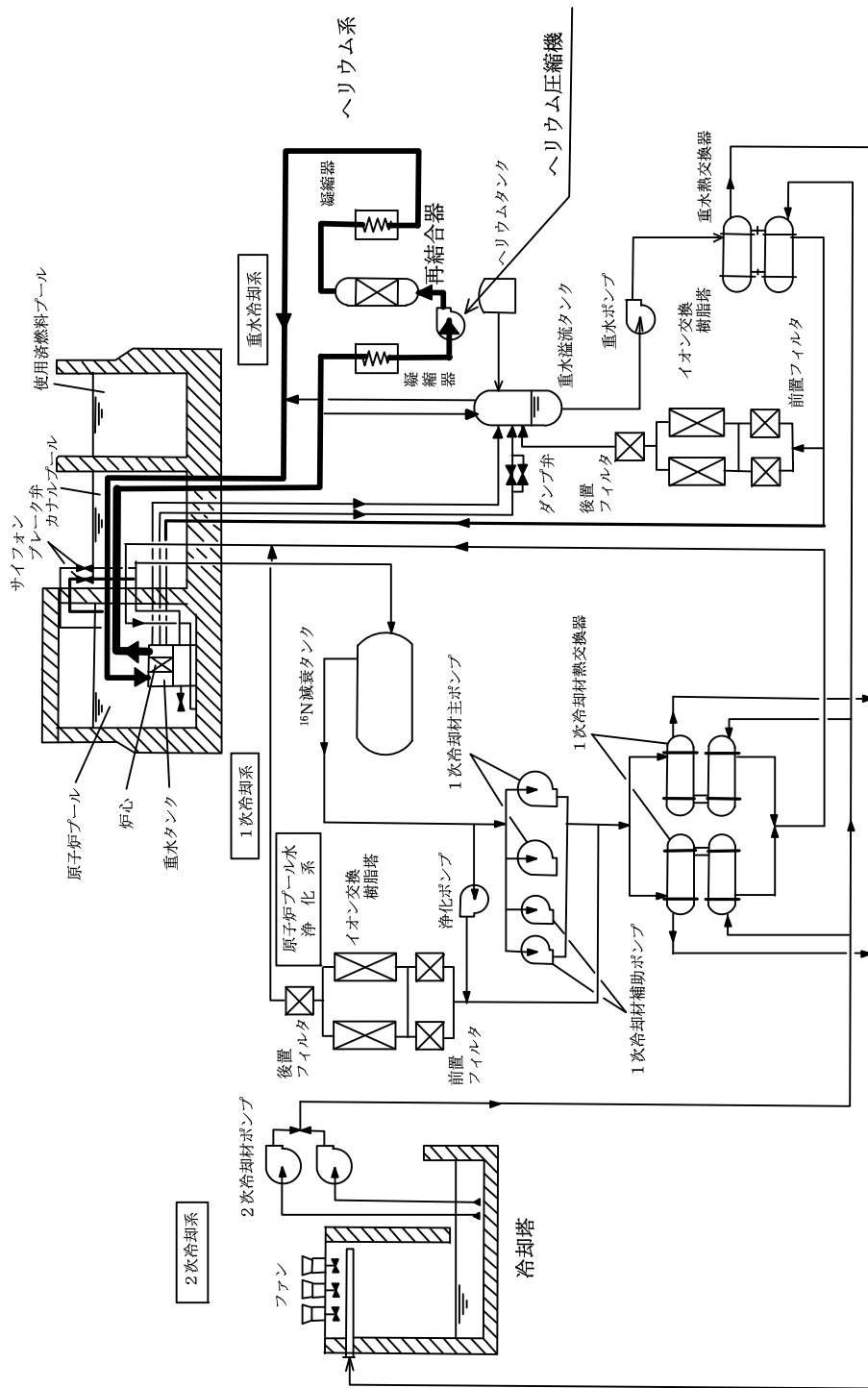


Fig.2.3 原子炉冷却系統図

3. ヘリウム圧縮機の概要

3. 1 ヘリウム系設備の概要

ヘリウム系設備はヘリウム圧縮機、凝縮器、再結合器、ヘリウムタンク、配管および弁類等で構成される。炉心部の周りに設置された重水タンクに内包する重水の気層部を満たしているヘリウムガスを循環し、重水タンク内で放射線分解された重水素 (^2H) と酸素を重水 ($^2\text{H}_2\text{O}$) に再結合するための系統である。重水素を重水に再結合させることで雰囲気中の水素と酸素濃度を低減し、爆発限界に達することを防止している。ヘリウム系統図を **Fig.3.1** に示す。

3. 2 ヘリウム圧縮機の仕様および構造

ヘリウム圧縮機は、ヘリウムガスを循環させるための機器である。その仕様を **Table.3.1** に示す。

本機は、縦型空冷複動一段式無給油圧縮機で、電動機の回転運動をVベルトでVプーリに伝達し、その運動はVプーリに接続されたクランクシャフトに伝達される。クランクシャフトの運動は、コネクティングロッドを介してクランクケース内のクロスヘッドに接続されたピストンロッドへ上下運動として伝わる。ピストンロッドの上端に接続されたピストンのシリンダ内での上下運動によりヘリウムガスをシリンダ内で吸入・圧縮することによりヘリウムガスを循環している。

ヘリウム圧縮機の構造図を **Fig.3.2** に示す。

3. 3 ヘリウム圧縮機と原子炉安定運転との関係

ヘリウム系内には重水タンク内で放射線分解された重水素および重水素に中性子があたることにより発生する放射性ガスのトリチウム (^3H) が含まれている。トリチウム (^3H) の系外への漏えいを防止するためクランクケースとシリンダとの間に設けられたディスタンスピース部にシールオイルが封入されている。また、ディスタンスピース部にはレベルスイッチが設置されておりシールオイルが低下してあるレベルに達すると「シールオイル液面低」という警報が発報しヘリウム圧縮機は自動停止するようになっている。さらにはヘリウム圧縮機が停止したことにより、ヘリウムガスの系内循環量が低下した事を示す「ヘリウム流量低」という警報が発報される。

シールオイルの漏えいは放射性ガスであるトリチウムの雰囲気への放出につながることから、JRR-3 運転手引において漏えい状況が急激に進展するか、または進展する恐れがある場合には原子炉の運転は行わないと定めている。すなわち、ヘリウム圧縮機の「シールオイル液面低」警報はヘリウム圧縮機の自動停止さらには、原子炉の停止へと繋がる可能性があるため、ヘリウム圧縮機の安定運転は原子炉安定運転に繋がることになる。

シールオイルが低下した場合の原子炉の運転状態フローを **Fig.3.3** に示す。

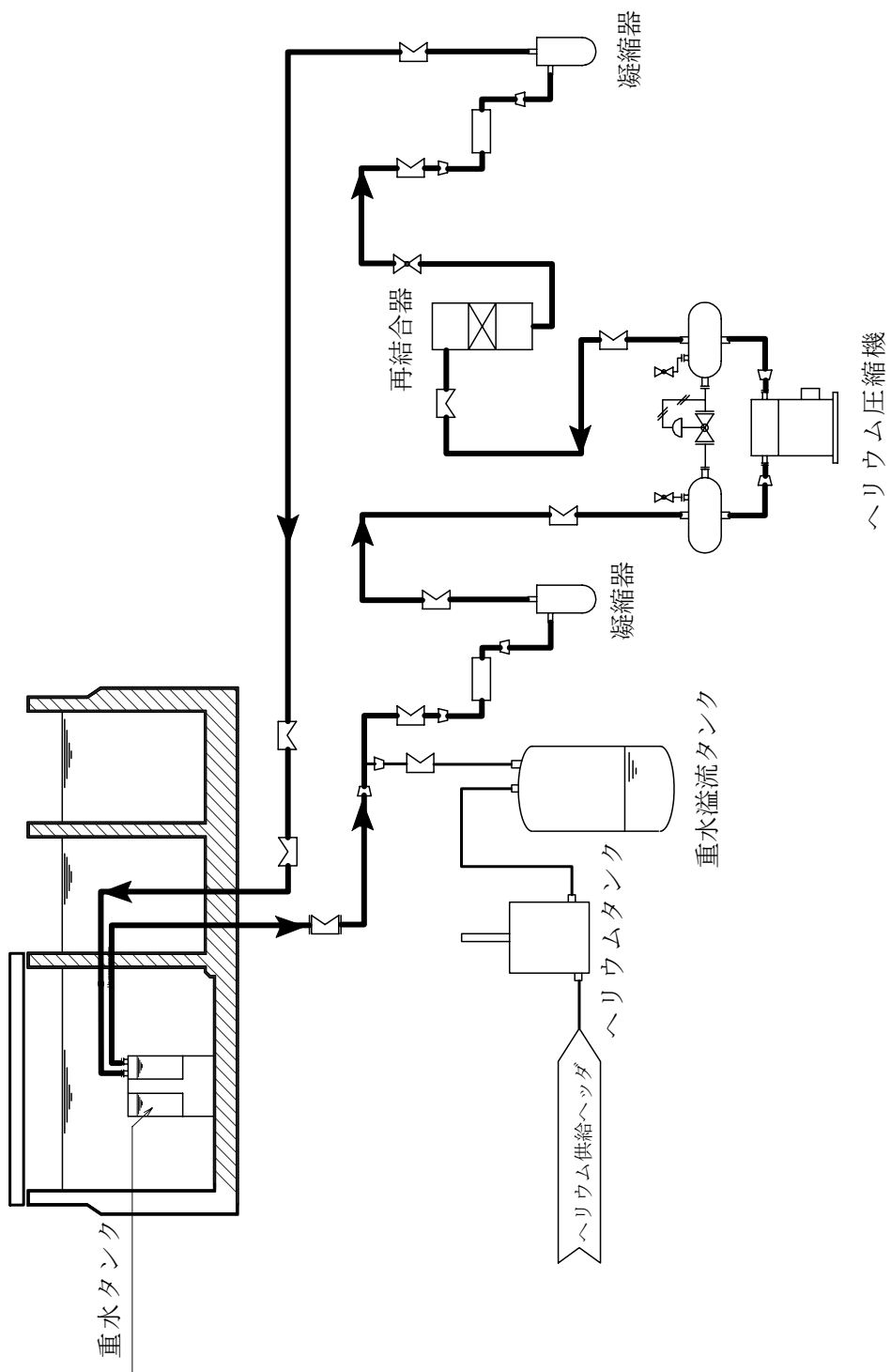


Fig.3.1 ヘリウム系統図

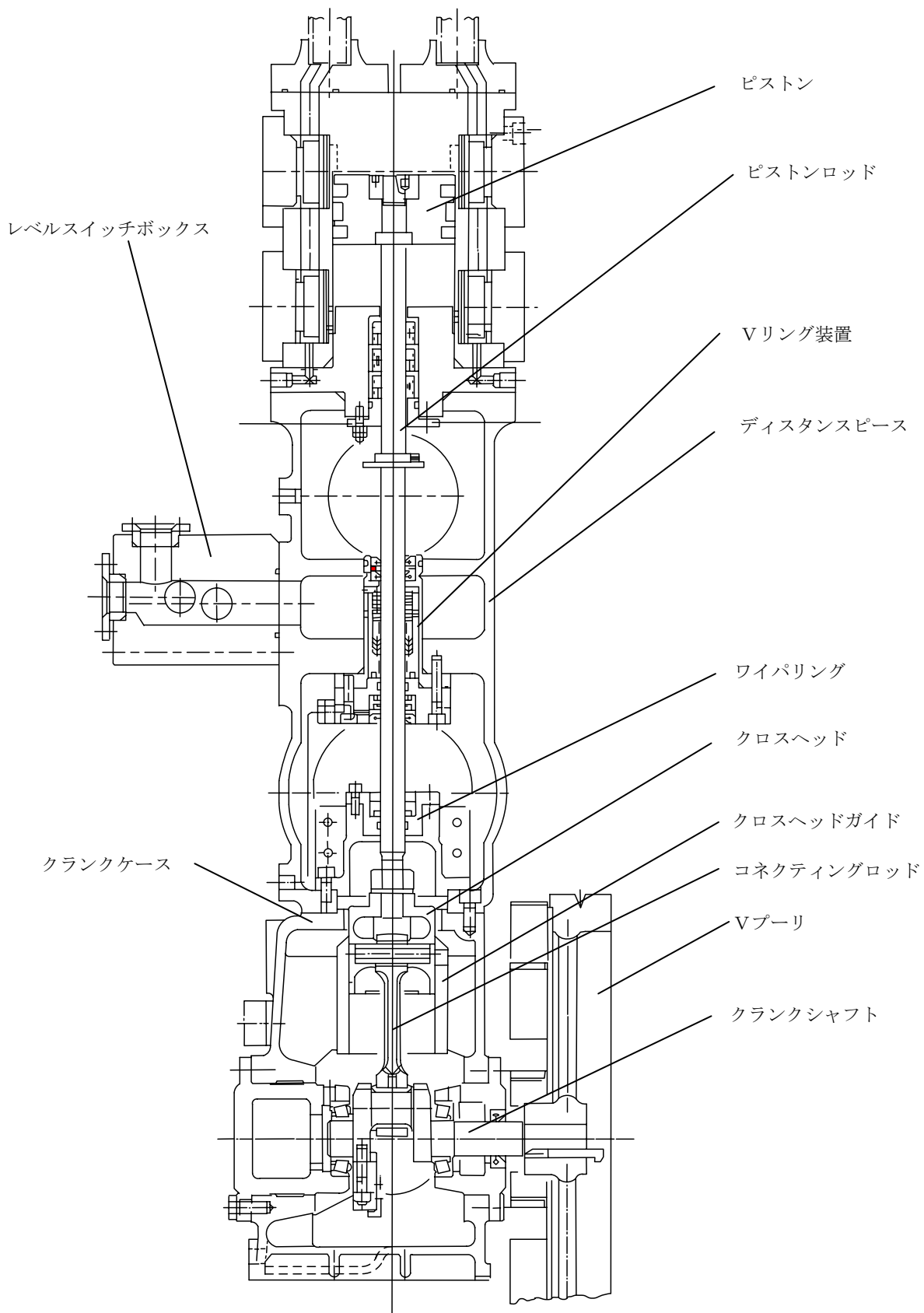


Fig.3.2 ヘリウム圧縮機本体構造図

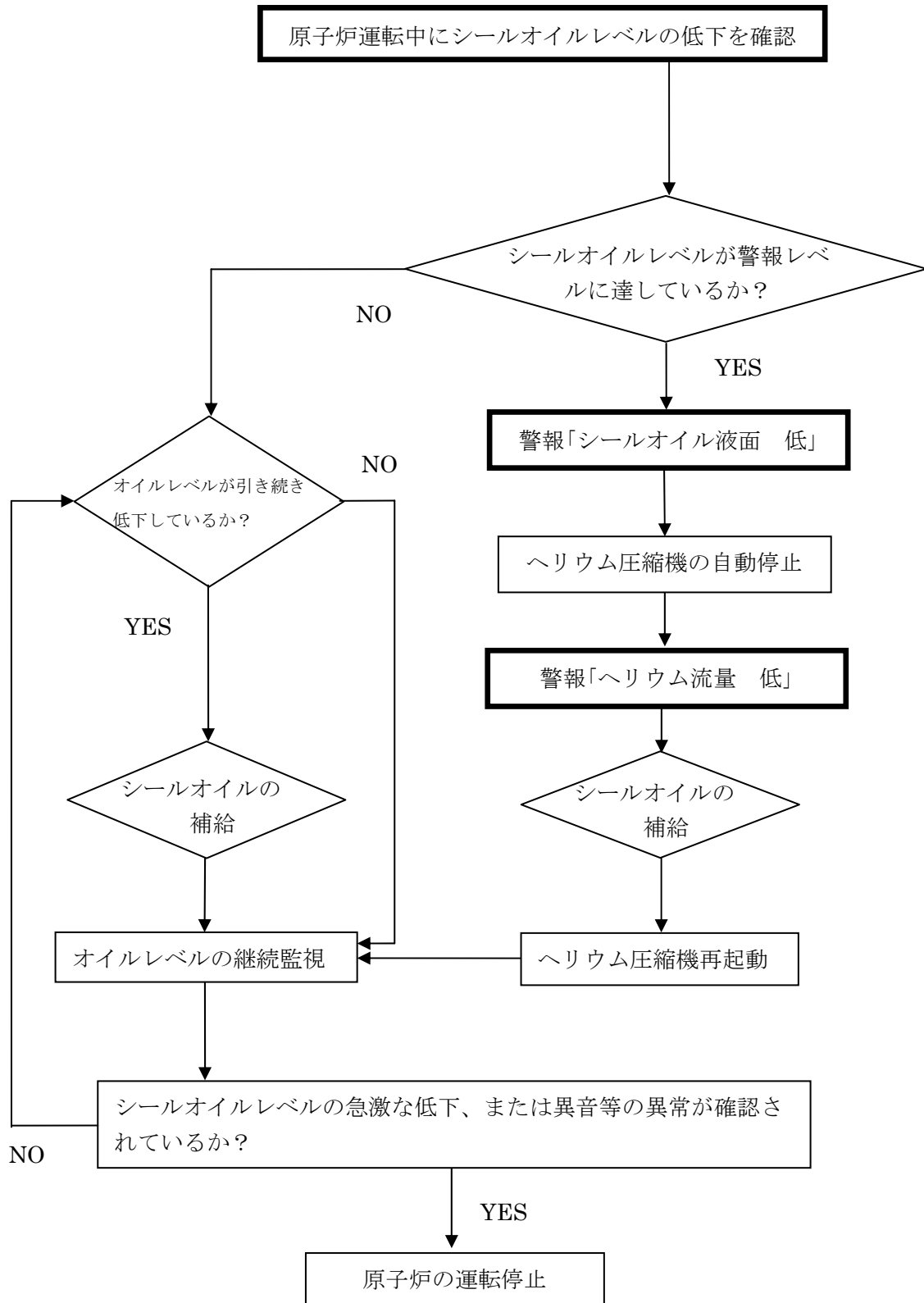


Fig.3.3 原子炉状態フロー

Table.3.1 ヘリウム圧縮機の仕様

項 目		単 位	仕 様
圧 縮 機	個 数	個	1
	型 式	—	縦型単段式
	シリンダ径	mm	100
	ストローク	mm	50
	容 量	Nm ³ /h	10
	吐 出 圧 力	kPa	4.9
	回 転 数	min ⁻¹	350
	最高使用圧力	MPa	0.98
	最高使用温度	°C	55
電 動 機	種 類	—	誘導電動機
	出 力	kW	1.5

4. ヘリウム圧縮機更新までの経緯

ヘリウム圧縮機は平成2年のJRR-3竣工以来定期的な点検整備を行いながら平成18年まで運転を行い、平成19年に更新した。本章では更新を行うまでの点検および補修の概要について述べる。

4.1 ヘリウム圧縮機の点検履歴

Table.4.1 に竣工から更新までのヘリウム圧縮機点検履歴を示す。表中網掛け部は不具合発生に伴う点検であることを示す。竣工からヘリウム圧縮機の更新までに定期点検を含め、計19回の点検を行った。内5回は不具合発生による点検である。表中の全分解点検とはヘリウム圧縮機の構成部品の全ての部品に対する分解点検を指し、簡易分解点検とはクランクケース内以外の分解点検を指す。

4.2 ヘリウム圧縮機の不具合事象概要

4.2.1 シールオイル液面低下（平成6年3月）

分解点検後の機能試験中にヘリウム圧縮機シールオイル液面低下が確認された。

(1) 原因

分解点検時に混入したと思われる異物によりシールリング、ステップシールに傷が入ったことによりシールオイルがディスタンスピース下部に漏えいした。

推定されたシールオイルの漏えい経路を **Fig.4.1** に示す。

(2) 補修内容

分解点検を実施し、傷の入ったシールリングの面を研磨した。また、ステップシールを新品に交換した。

4.2.2 シールオイル液面低下（平成9年4月）

原子炉運転中にヘリウム圧縮機のシールオイル液面低下が確認されたため引き続きレベル監視を行いながら原子炉運転を継続した。

(1) 原因

Vリング装置（オイルシール、Vリング、ステップシール）の摩耗によりシールオイルがディスタンスピース下部に漏えいした。

(2) 補修内容

Vリング装置（シール部品一式）を交換した。

4.2.3 異音発生（平成15年9月）

原子炉運転中にヘリウム圧縮機から異音の発生が確認されたため原子炉を停止し、原因調査を行った。

(1) 原因

異音の発生原因

- 1) クランクピンメタル内面にライニングされたホワイトメタルが摩耗してなくなり、クランクピンメタルの地金が露出し、クランクピンとの摩擦により地金を損耗した。その結果としてクランクピンとクランクピンメタルとの隙間が拡大し、クランクピンとクランクピンメタルが接触し異音を発生させた。クロスヘッドに接触傷が生じていた

が、これはクランクピンとクランクピンメタルとの隙間が拡大したためにクロスヘッドガイドとクロスヘッドが接触しながら上下運動をしたためと考えられた。クロスヘッドガイド、クロスヘッド、ホワイトメタルおよび、クランクピンメタルの構造図を**Fig.4.2**に示す。

- 2) ホワイトメタルが摩耗してなくなり、クランクピンメタルの地金が露出したのは、消耗品であるクランクピンメタルの交換頻度を定めておらず、当初設置（平成2年）以来の部品を使用し続けてきたためであった。

(2) 補修内容

- 1) 分解点検で摩耗、擦り傷等の異常が認められた部品（クランクピンメタル、クロスヘッド、ワイパリング等）については、全ての部品を交換した。
- 2) 交換頻度を定めていなかったクランクピンメタルは、これまでの使用実績をふまえ、ヘリウム圧縮機の全分解点検時（3回の施設定期検査毎に実施）に交換することとした。
- 3) ヘリウム圧縮機の他の部品について交換頻度の見直しを行い、新たに交換頻度を定めて管理することとした。また、これまで交換頻度を定めていない部品についても適切な交換頻度を定めて管理することとした。
- 4) 寸法検査の結果、クロスヘッドおよびクロスヘッドガイドに摩耗が認められたため分解点検毎に摩耗の進展状況を確認することとした。

4. 2. 4 シールオイル液面低下（平成17年4月）

原子炉運転中にシールオイル液面の低下が確認されたためレベル監視を行いながら原子炉運転を継続した。

(1) 原因

Vリング装置、ワイパリング部のステップシールが偏摩耗し、ピストンロッドを介してシールオイルがディスタンスピース下部に漏えいした。

(2) 補修内容

Vリング、ステップシール、シールリング、オイルシールについて目視による外観検査を行い、傷、異物混入がないこと、組み込み方向等に間違いのないことを確認し、偏摩耗の見られたステップシールの交換を行った。

4. 2. 5 シールオイル液面低下（平成17年6月）

原子炉運転中にシールオイル液面の低下が確認されたためレベル監視を行いながら原子炉運転を継続した。

(1) 原因

- 1) Vリング装置のステップシールが偏摩耗し、ピストンロッドを介してシールオイルがディスタンスピース下部に漏えいした。

(2) 補修内容

- 1) シール部品（ステップシール、オイルシール）を交換した。
- 2) 摩耗、擦り傷、歪み等の異常が認められたクロスヘッドガイド以外の部品（クロスヘッド、ピストンロッド（**Table.4.4**参照）、クランクピンメタル、コネクティングロッド）を交換した。

摩耗の見つかったクロスヘッドガイド (**Table.4.2** 参照) はヘリウム圧縮機本体と一体型構造であり部品交換ができない構造であったため対策を施せていないが組み立て後にクロスヘッドとクロスヘッドガイドの間のクリアランス測定 (記録: **Table.4.3**)、ピストンロッドの曲がり測定を行い、コネクティングロッドを曲げて組み上げていないことを確認し、平成17年度の運転期間中はヘリウム圧縮機の性能が維持できると判断した。

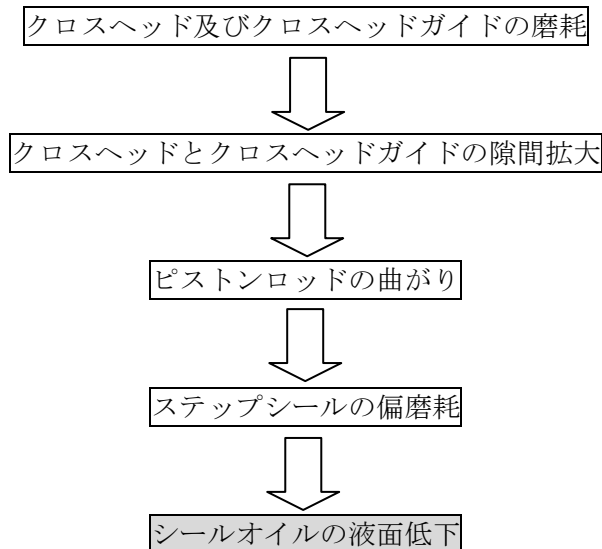
4. 3 ヘリウム圧縮機の更新検討

ヘリウム圧縮機に起きた不具合事象の中でシールオイル液面低下事象が複数回発生しており、その根本的原因及び対策について再度検討を行った。

(1) シールオイル液面低下事象の原因について

これまでの不具合の原因としてステップシールの磨耗がおき、それに伴いシールオイル液面の低下が考えられるが、その根本の原因の考察を行った。

平成15年9月および平成17年6月の分解点検でヘリウム圧縮機のクロスヘッド、クロスヘッドガイドの隙間測定を行っている (**Table.4.2**)。その結果、隙間が拡大していることが確認された。さらにクロスヘッドの寸法測定によりクロスヘッドの磨耗が確認されている (**Table.4.3**) このことより以下の現象が起きていると推測した。



(2) 取るべき対策について

今後、不具合を解消させるために以下2つの対策が考えられた。

- ① 部品交換を繰り返しながらヘリウム圧縮機の運転を継続する
- ② ヘリウム圧縮機の更新を行う

①の場合、近年、事象発生までの期間が短くなっているため部品交換の時期の設定が難しい、また、再度シールオイルの漏えい事象が起こる可能性は高い。シールオイルの漏えい事象が起こった場合、原子炉停止へと進展することが考えられる。JRR-3では、原子炉の安定運転が必要であることから、これまでの原因調査より確認されているシールオイル漏えいの根本原因と考えられたクロスヘッドガイドの磨耗を改善するためにヘリウム圧縮機の更新を行うこととした。

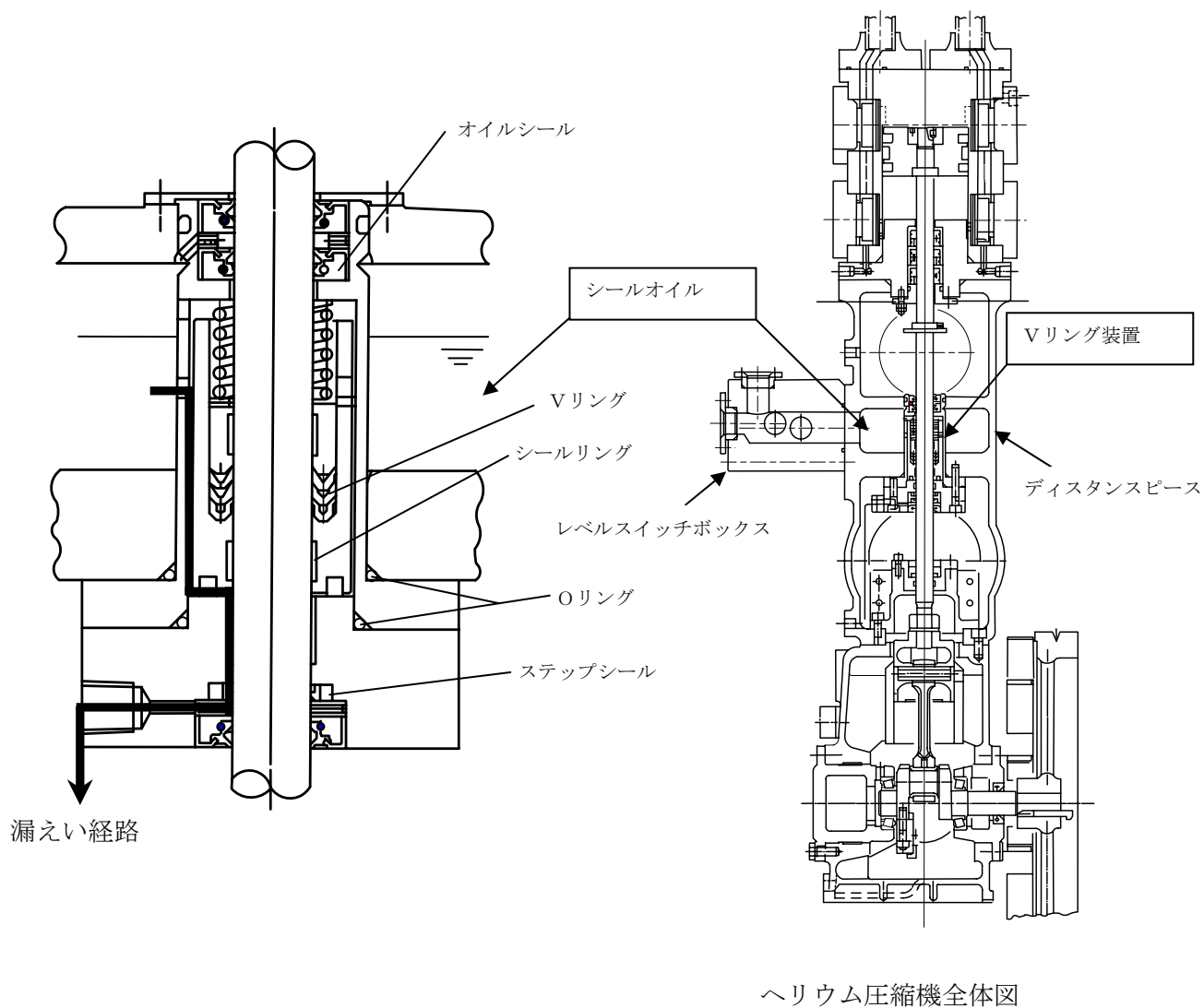


Fig.4.1 推定されたシールオイルの漏えい経路
 (平成6年3月、平成9年4月、平成17年4月、6月発生事象)

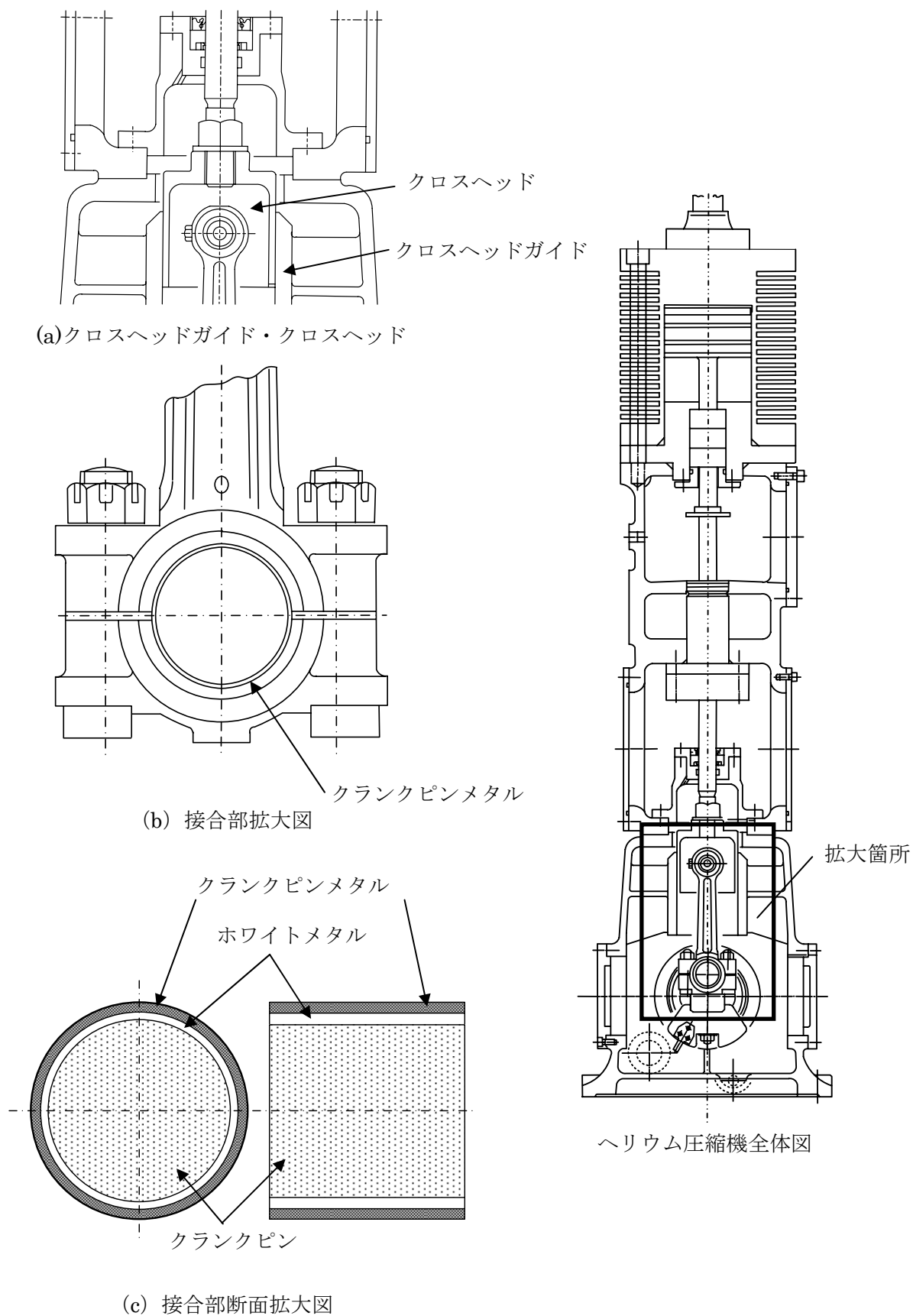


Fig.4.2 不具合事象箇所の構造図

Table.4.1 ヘリウム圧縮機点検履歴

点検年月	全分解 点検	簡易分 解点検	備 考
平成 3 年 8 月 26 日～ 平成 3 年 10 月 25 日(第 1 回定期点検)	—	—	系統機能試験検査
平成 4 年 10 月 19 日～ 平成 5 年 1 月 14 日(第 2 回定期点検)	—	—	系統機能試験検査
平成 6 年 1 月 5 日～ 平成 6 年 3 月 25 日(第 3 回定期点検)	○		シールオイル液面低下 ・Vリング装置 (シールリング・ステップシール) 交換
平成 7 年 2 月 20 日～ 平成 7 年 7 月 14 日(第 4 回定期点検)	—	—	系統機能試験検査
平成 8 年 6 月 10 日～ 平成 8 年 9 月 20 日(第 5 回定期点検)	—	—	系統機能試験検査
平成 9 年 4 月		○	シールオイル液面低下 ・Vリング装置、シール部品一式交換
平成 9 年 9 月 15 日～ 平成 9 年 11 月 28 日(第 6 回定期点検)	○		以降全分解点検を 3 年毎に行うことを決定
平成 10 年 11 月 27 日～ 平成 11 年 4 月 16 日(第 7 回定期点検)		○	
平成 12 年 3 月 29 日～ 平成 12 年 7 月 14 日(第 8 回定期点検)		○	
平成 13 年 9 月 21 日～ 平成 14 年 1 月 25 日(第 9 回定期点検)	○		
平成 14 年 12 月 2 日～ 平成 15 年 4 月 4 日 (第 10 回定期点検)		○	
平成 15 年 9 月	○		ヘリウム圧縮機からの異音 ・異常の認められた部品の全数交換 ・クロスヘッドガイドに摩耗確認
平成 15 年 12 月 1 日～ 平成 16 年 3 月 10 日(第 11 回定期点検)	—	—	9 月に全分解点検を実施しているため系統機能試験検査のみ実施
平成 16 年 11 月 29 日～ 平成 17 年 3 月 16 日(第 12 回定期点検)		○	
平成 17 年 4 月		○	シールオイル液面低下 ・ステップシール交換
平成 17 年 6 月	○		シールオイル液面低下 ・クロスヘッドガイド摩耗増大確認 ・ピストンロッド、コネクティングロッドに曲がり確認
平成 17 年 11 月 28 日～ 平成 18 年 4 月 6 日(第 13 回定期点検)	—	—	6 月に全分解点検を実施したため系統機能試験検査のみ実施
平成 18 年 4 月		○	Vリング装置、ワイパリングのステップシール交換
平成 18 年 8 月		○	Vリング装置、ワイパリングのステップシール交換
平成 18 年 11 月 27 日～ 平成 19 年 3 月 27 日(第 14 回定期点検)	—	—	ヘリウム圧縮機更新

Table.4.2 クロスヘッドガイド寸法測定記録

(単位 : mm)

符号	D1	D2	D3
図面寸法	$\phi 70$	$\phi 70$	$\phi 70$
寸法公差	+0.03 0	+0.03 0	+0.03 0
測定点①	70.05	70.03	70.04
測定点②	70.05	70.02	70.04
測定点③	70.05	70.03	70.02
測定点④	70.05	70.03	70.03

*平成17年6月測定時

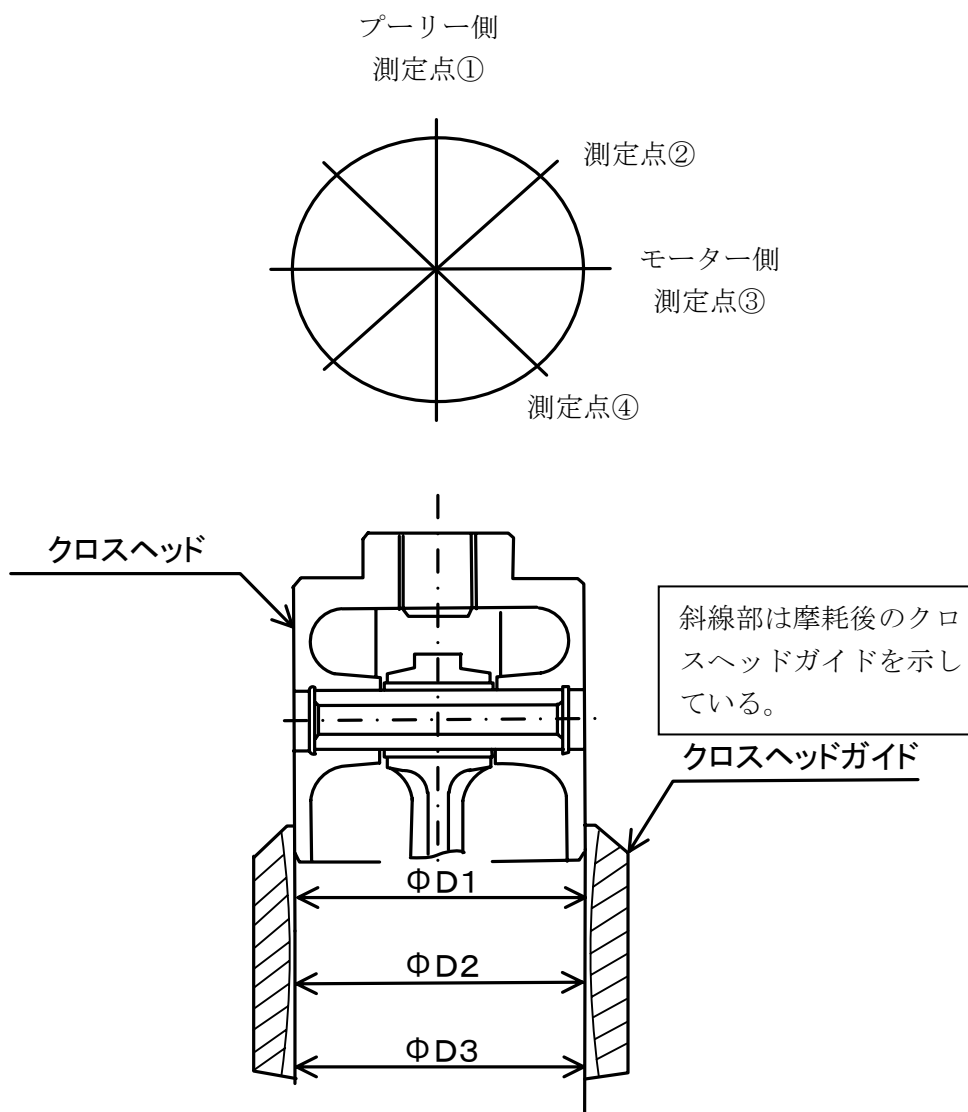


Table.4.3 クリアランス測定記録

(単位 : mm)

測定年月		基準寸法	許容限度	X-X	Y-Y
平成15年 9月	隙間 D1 - D2	0.02~0.06	0.18 以上不可	0.03	0.03
平成17年 6月				0.05	0.05

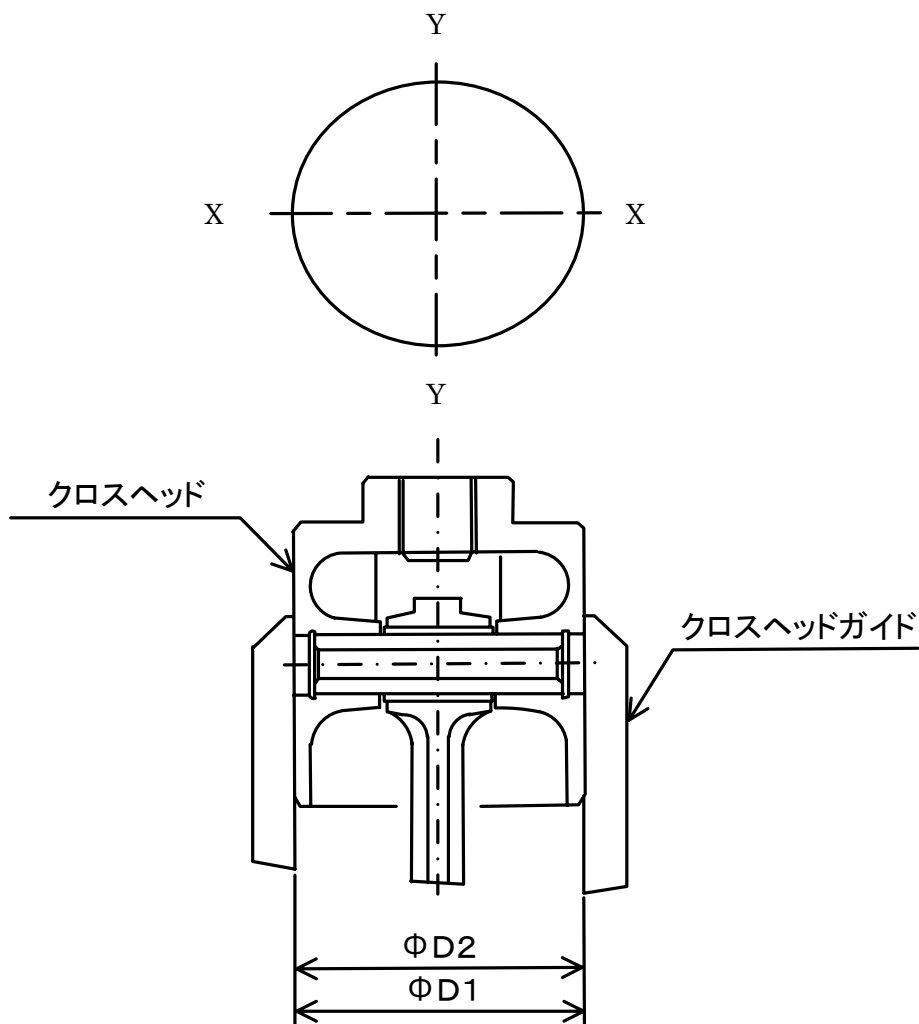
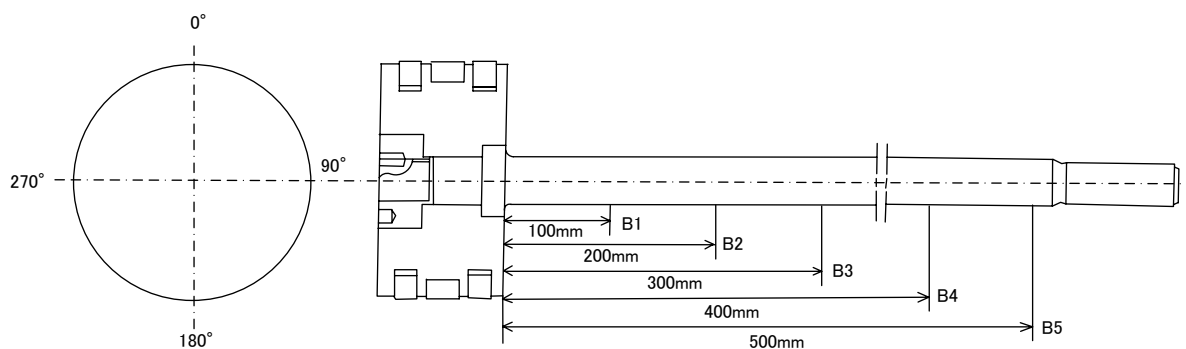


Table.4.4 ピストンロッド曲がり測定記録



(単位 : mm)

曲がり測定位置	公差	測定値			
		0° モータ側	90° 反プーリー側	180° 反モーター側	270° プーリー側
B1	<0.01	0	0	-0.01	-0.005
B2		0	0	-0.02	-0.002
B3		0	+0.05	-0.015	-0.025
B4		0	0	-0.025	-0.028
B5		0	0	+0.025	+0.02

5. ヘリウム圧縮機の改良点

ヘリウム圧縮機の更新にあたり、過去の不具合発生原因を踏まえた改良も行った。以下に改良点を記す。

1) Vリング装置下部のステップシールの2重化。

Vリング装置とはシールオイルがディスタンスピース上部室および下部室に漏えいすることを防ぐ装置である。

改良前のVリング装置下部に装備されたステップシールは1個であった。今回の改良点は装備するステップシールを2個に増やしたことである。これによりシールオイル漏えい防止機能を強化した。改良前および改良箇所を **Fig.5.1** に示す。

2) スライドリングの追加 (Vリング装置、ワイパリング)

スライドリングはピストンロッドの偏芯をさせにくくし、オイルシール、ステップシールの偏摩耗を防止するための部品である。

改良前のヘリウム圧縮機は、ピストンロッドの偏芯が、オイルシール、ステップシールの寿命を縮める原因となったことから、これを軽減するために新たにスライドリングを装備した。これにより今後はピストンロッドの偏芯は起き難くなり、またオイルシール、ステップシールの早期劣化が防止できるよう改良した。改良箇所を **Fig.5.2** に示す。

3) クロスヘッドの改良

クランクシャフト、コネクティングロッド、クロスヘッド、ピストンロッド及びピストンは一体構造となっている。そのため、ヘリウム圧縮機分解点検（全分解点検）において、オイルシール、ステップシール等の消耗部品を交換する都度クロスヘッドとピストンロッドの取り付け・取り外し作業が必要である。この取り付け・取り外し作業がこれまでは行い難い形状であったため、作業の際にクランクシャフトとコネクティングロッドの取り付けに時に曲がりを生じさせた可能性があった。(Table.4.1 平成17年6月事象)

この解決策として、クロスヘッド頭部に工具掛け部を作ることにより容易に分離、接続が可能とし、取り付け取外し作業による部品損傷を防止できるように改良した。改良箇所を **Fig.5.3** に示す。

4) スプラッシュピンの形状改良

スプラッシュピンはクランクシャフトアーム部分へカウンタウェイトと共に取り付けられたオイルをかき上げるための部品であり、クランクケース内のオイル循環・潤滑効率を良くし、クロスヘッド、クロスヘッドガイドの摩耗を抑えるためのものある。

ヘリウム圧縮機は **Table.3.1** からわかるように1分間に350回転と低回転機器である。そのため回転部（クランクシャフト）・摺動部（クロスヘッド、クロスヘッドガイド）への潤滑油供給が極めて重要である。潤滑油供給の効率をさらに向上するためスプラッシュピンの形状を変更した。このことによりクランクケース内の回転部、摺動部の焼きつき防止機能を強化した。このことに、より一層のヘリウム圧縮機の安定運転が可能になった。改良箇所を **Fig.5.4** に示す。

5) 油面計警報スイッチの追加

警報スイッチはシールオイルが低下した場合に油面低下の警報を発報する。
シールオイルの減少を早期に発見して迅速に対応措置を行なうためである。

改良前のヘリウム圧縮機は警報発生点が 1 点のみであり、シールオイル液面低下を検出するとヘリウム圧縮機が停止するシステムであった。

今回の改良では警報発生点を 1 点から 2 点に増加し、シールオイル液面低下検知機能とヘリウム圧縮機停止検知を機能分離することでヘリウム圧縮機が停止する前に運転中のシールオイル液面低下の早期発見を可能にした。改良箇所を **Fig.5.5** に示す。

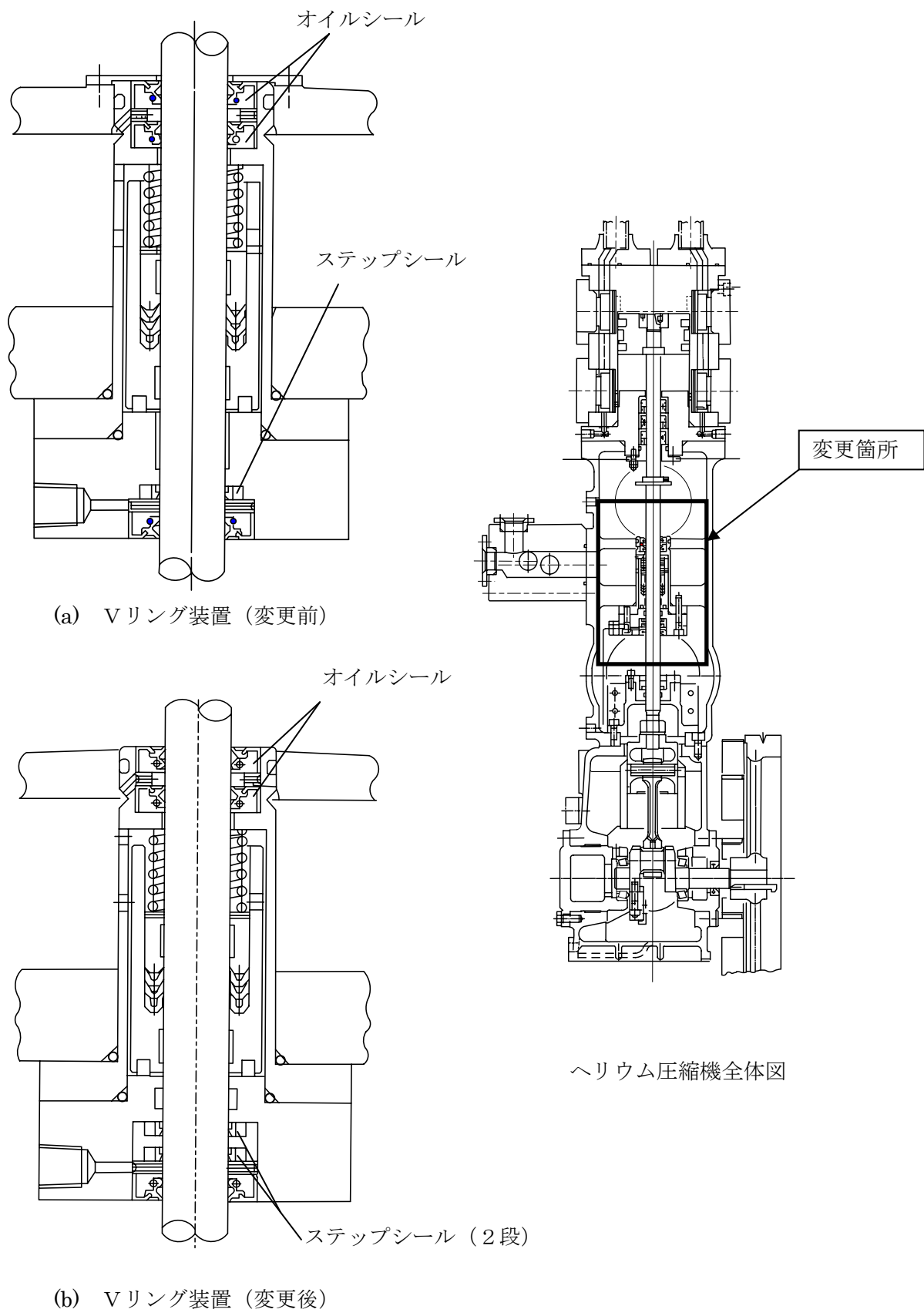


Fig.5.1 V-ring device lower part step seal double

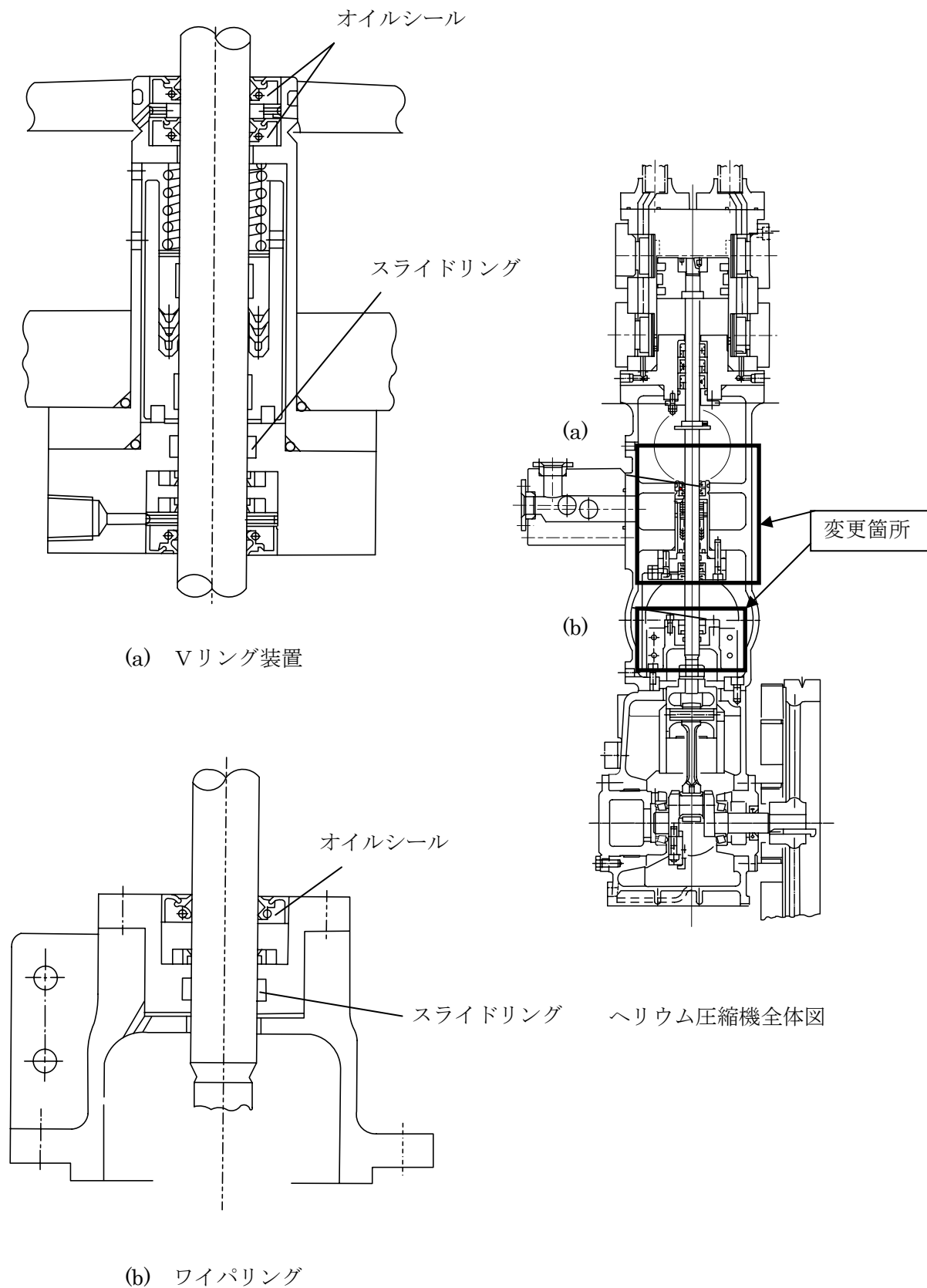


Fig.5.2 スライドリングの追加 (Vリング装置、ワイパリング)

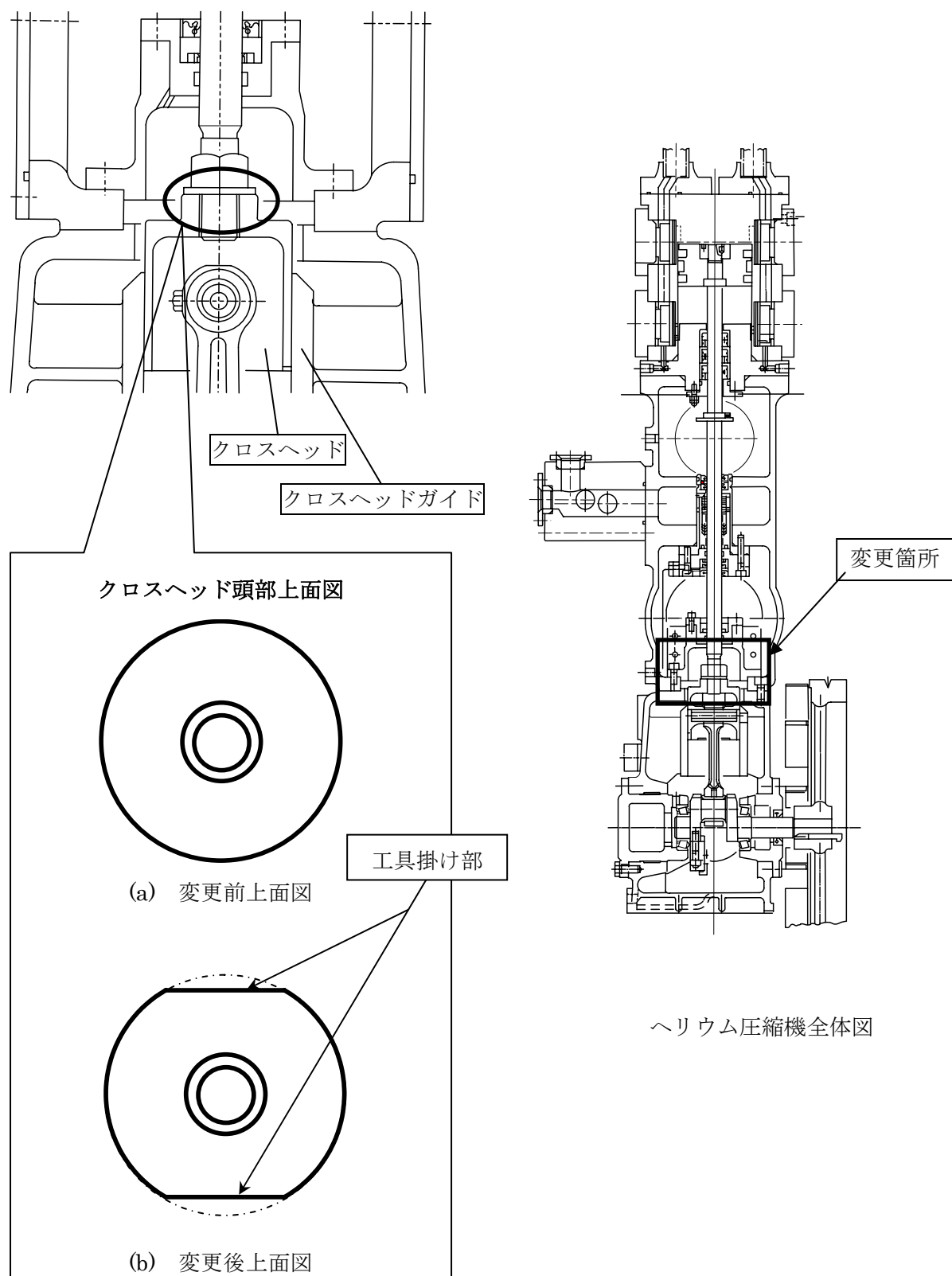
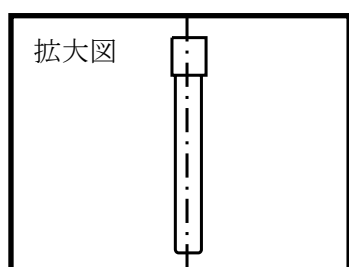
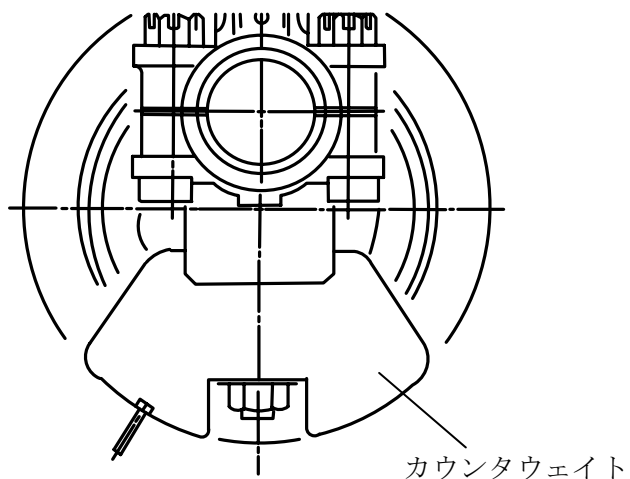
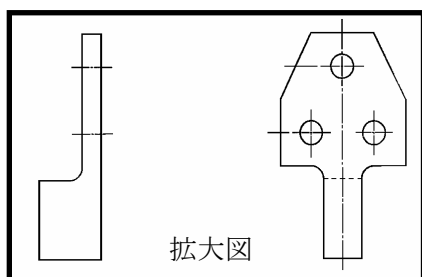
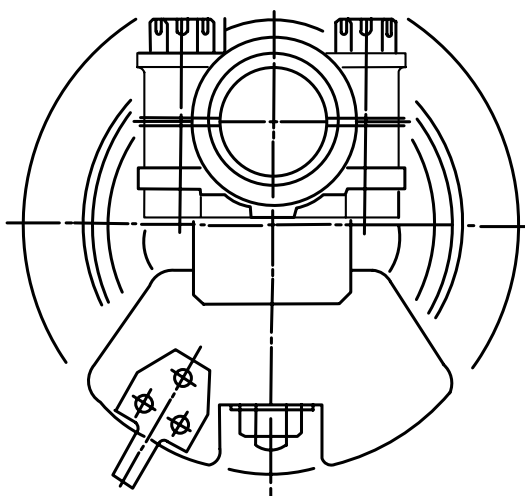


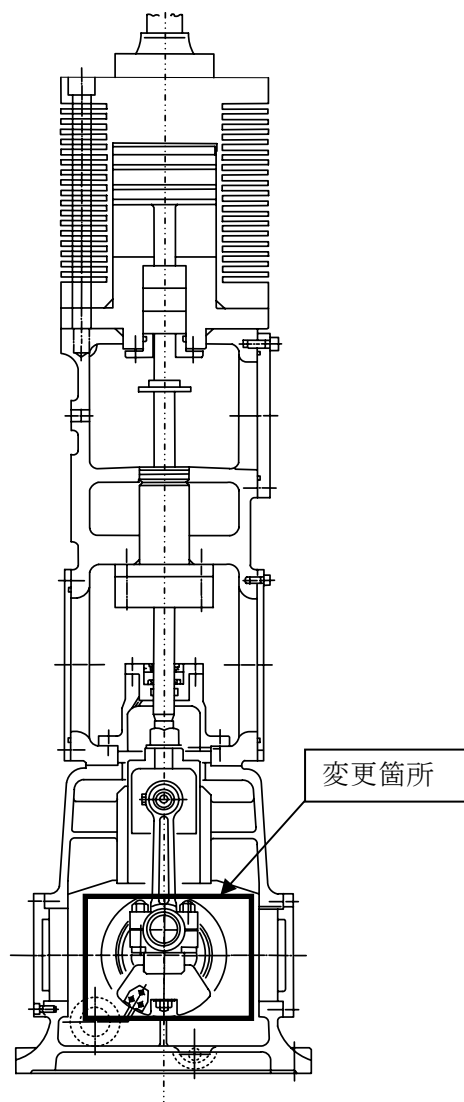
Fig.5.3 クロスヘッドの改良



(a) スプラッシュピン (変更前)



(b) スプラッシュピン (変更後)

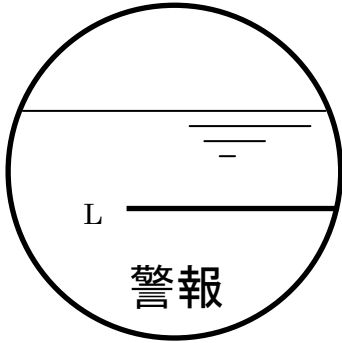


ヘリウム圧縮機全体図

Fig.5.4 スプラッシュピンの形状改良

警報点は1点のみ：

Lラインまでシールオイルの減少があった場合にはヘリウム圧縮機が停止する。

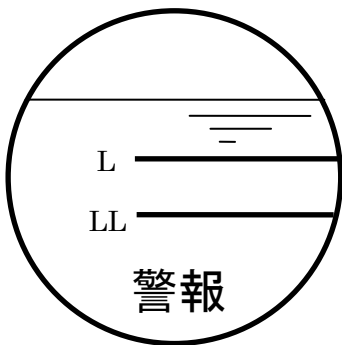


(a) 警報点 (更新前)

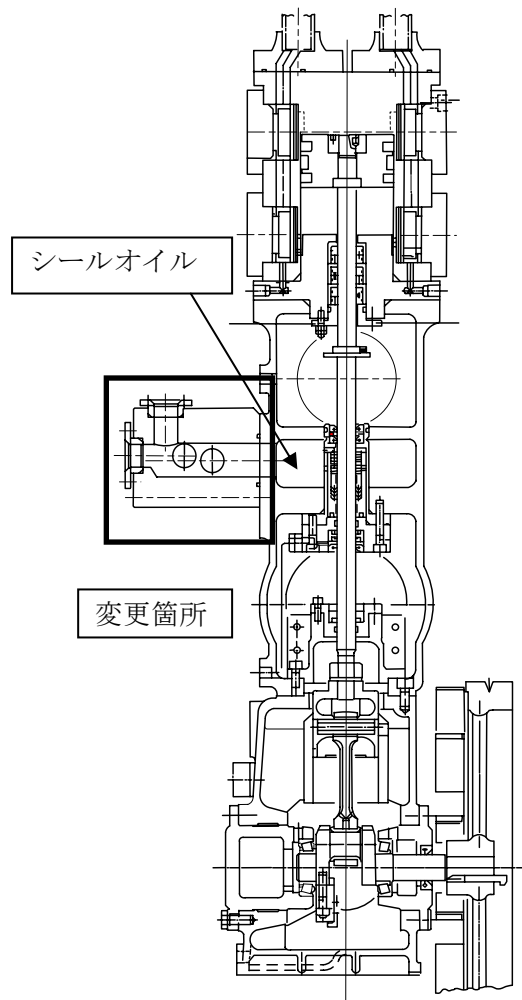
警報点は2点：

Lラインまでシールオイルの減少があった場合にはアラームのみ発報

LLラインまでシールオイルの減少があった場合にはヘリウム圧縮機が停止する。



(b) 警報点 (更新後)



ヘリウム圧縮機全体図

Fig.5.5 油面計警報スイッチの追加

6. ヘリウム圧縮機更新

平成18年度の定期点検作業期間中にヘリウム圧縮機の更新を行うため、必要な書類作成を平成18年5月から開始し、平成19年2月に更新作業を行った。以下にその内容を記載する。

6. 1 認可申請

本ヘリウム圧縮機更新作業は『核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律』（炉規法）第27条に基づき平成18年7月4日に、原子炉施設に関する設計及び工事の方法（以下「設工認」と言う）についての申請を行った。平成19年7月19日に文部科学大臣の認可を受けた。

6. 2 製作

前述の「設工認」を受けた後、ヘリウム圧縮機の製作を開始し、機構が製作工場において計2回の立会を実施し、以下の項目についての検査・試験を行った。その結果、全ての項目において合格とした。

1) 材料検査

ヘリウム圧縮機の主要材料が所定の材料であり、JIS規格の材料であることを材料検査証明書（ミルシート）で確認し、相違ないことから合格とした。

2) 寸法検査

ヘリウム圧縮機各部品及び組立て後の寸法測定を実施し、測定した寸法が所定の寸法公差内であることから合格とした。

3) 耐圧試験

試験圧力に耐え、かつ変形等の異常のないこと。および本体、フランジ部等より漏えいのないことから合格とした。

4) ヘリウム漏えい試験

ヘリウムガス充填部のヘリウム漏えい試験を行い、ヘリウムガスの漏えいが常温において $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下であることから合格とした。

5) 警報試験

レベルスイッチの低（L）、低低（LL）2点の警報点の動作確認を行い、各警報作動位置において、正しく動作することから合格とした。

6) 性能試験

容量測定試験、所要動力試験、定格連続運転試験、軸受温度測定、振動測定、騒音測定をJIS規格および製作会社が独自に定める基準値を満たしていることから合格とした。各試験結果を **Table.6.1**、**Table.6.2**、**Table.6.3**、**Table.6.4** に示す。

6. 3 搬入・据付

製作会社工場における試験検査の終了後、平成19年2月6日から2月8日にかけて現地据付け作業を行った。据付・外観検査、ヘリウム漏えい検査、作動検査を行い異常のないこと、さらに各部振動値、温度の測定を行ない異常のないことを確認した。その後、文部科学省の行なう使用前検査（据付外観検査、作動検査）を平成19年2月14日に受検し、これに合格した。

また、撤去したヘリウム圧縮機は解体し、健全な部品は交換用部品として保管し、それ以外の部品は廃棄処分した。

Table.6.1 ヘリウム圧縮機性能試験記録

測定項目		測定番号	1	2	3	4
		時刻	起動前	9:45	10:00	10:45
大気	圧力	hPa	1009	1009	1010	1010
	温度	℃	12.5	13.5	14	14.5
	湿度	%	89	79	73	72
圧力	吸入圧力	kPa	1.91	1.47	1.47	1.47
	吐出圧力	kPa	1.86	3.95	4.50	4.90
温度	吸入温度	℃	13.5	15	15.5	16
	吐出温度	℃	13	21.5	25.5	27.5
	軸受温度(動力側)	℃	11	15.5	17.5	19
	軸受温度(他方側)	℃	11	14	16	18
流量計	直前温度	℃	11	13	14	15
	直前圧力	℃	1.75	2.42	2.42	2.42
	読み	Nm ³ /h	—	19.5	19.5	19.3
	実風量	Nm ³ /h	—	13.24	13.25	13.11
圧縮機回転速度		min ⁻¹	—	355	354	354
押しのけ量		m ³ /min	—	0.273	0.273	0.273
吸込状態空気量		m ³ /min	—	0.230	0.231	0.229
体積効率		%	—	84.40	84.51	83.78
電動機	回転速度	min ⁻¹	—	1503	1500	1500
	電圧	V	—	415	414	414
	電流	A	—	2.21	2.20	2.18
	入力	kW	—	0.55	0.54	0.53
	効率	%	—	62.5	62.0	61.5
	出力	kW	—	0.344	0.335	0.326
指定状態 に換算	実風量	Nm ³ /h	—	13.06	13.10	12.97
	軸動力	kW	—	0.339	0.331	0.322
	回転速度	min ⁻¹	—	350	350	350

※実風量はフロート形面積流量計(JIS B 7551)に基づく計算式により求めた。

【判定基準】

吸込圧力 1.47 kPa、吐出圧力 4.90 kPa の時

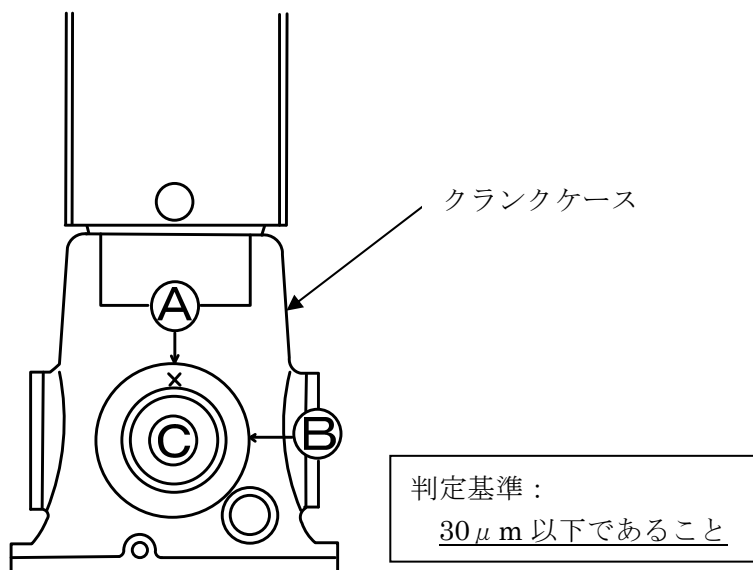
実風量：1.0 Nm³/h 以上

軸動力：1.5 kW 以下

Table.6.2 ヘリウム圧縮機 定格連続運転記録

測定項目	測定番号	1	2	3	4	5	6	7	8	判定基準
	時刻	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	
大気	圧力	1010	1010	1010	1010	1010	1009	1009	1009	
	温度	15	15	15	15	15	15.5	16.5	16.5	
	湿度	70	70	65	61	61	61	59	55	
圧力	吸込圧力	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
	吐出圧力	約4.90	約4.90	約4.90	約4.90	約4.90	約4.90	約4.90	約4.90	
温度	吸込温度	16.5	17	17	17	16.5	17	17.5	17.5	
	吐出温度	29.5	30.5	31.5	32	32.5	33	34	34	55℃以下
	軸受温度 (動力側)	20	221	22	22.5	23	23.5	24	24	大気温度 +40℃以下
	軸受温度 (他方側)	19.5	20.5	21.5	22	22.5	23.5	24	23.5	
圧縮機回転速度		354	354	354	354	354	354	354	354	

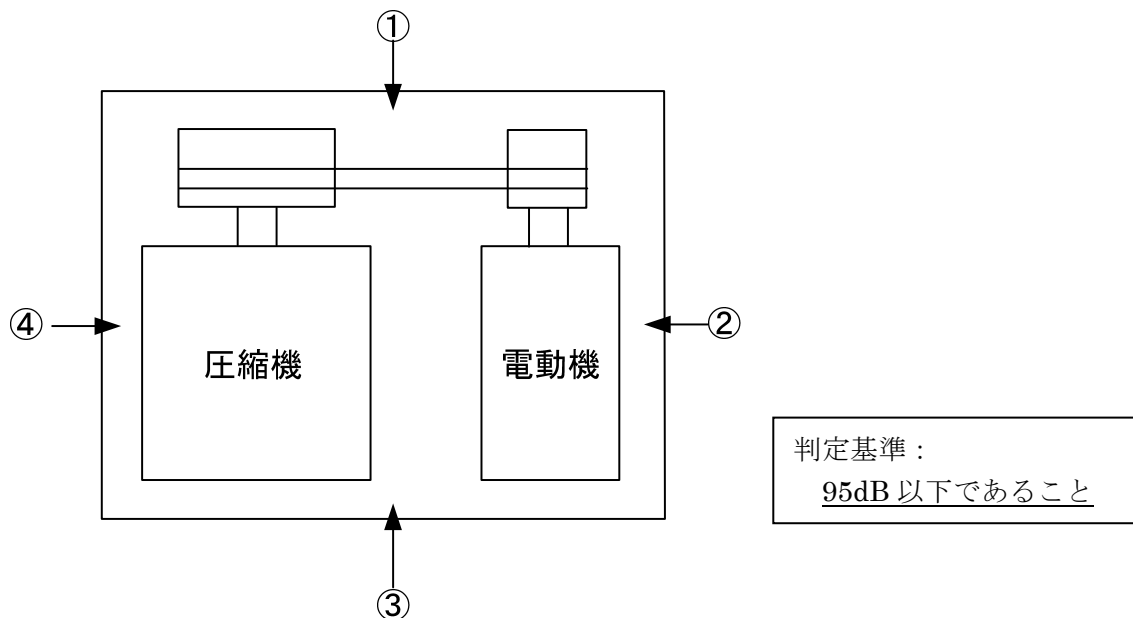
Table.6.3 振動測定結果



単位： μ m、全振幅

記号	A (軸垂直)	B (軸水平)	C (軸方向)
測定値	4	2	2

Table.6.4 騒音測定



単位：dB

記号	①	②	③	④	暗騒音
測定値	62	62	67	62	36

7. まとめ

ヘリウム圧縮機の更新は文部科学省が行う使用前検査に合格したことで終了した。今回の更新では過去の不具合事象を受け、シールオイルのシール部品（ステップシール）の二重化、スライドラッシングを新たに追加することによりピストンロッドの曲がり防止を図っている。また、クロスヘッドの設計変更により分解・組立が容易にかつ確実に出来るようにした。さらにはシールオイルのレベル低下を早期に見知し、迅速に対応・処置が行えるよう設計を変更し、油面計の警報スイッチの追加も行った。

今回、ヘリウム圧縮機を更新したことにより、ヘリウム圧縮機に起因するトラブル発生頻度が低減出来ることが期待されるが、今後とも、注視しつつJRR-3の安全安定運転を行っていくこととする。

謝辞

本報告をまとめるに当たってご指導頂いた山下清信研究炉加速器管理部部長、及びJRR-3管理課員の皆様に多大な協力をいただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 研究炉加速器管理部：“平成18年度研究炉加速器管理部年報（JRR-3、JRR-4、NSRR及びタンデム加速器の運転、利用及び技術開発）”、JAEA-Review 2007-040、(2007)

This is a blank page.

