JAEA-Technology 2010-020



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

Refurbishiment 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

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

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(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) 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

JAEA-Technology 2010-020

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

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JRR-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。

原子力科学研究所 〒319−1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4 +保安管理部

JAEA-Technology 2010-020

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

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

> 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
 JRR-3の概要・・・ 			••••• <u>2</u>
3. ヘリウム圧縮機の概要 ・			•••••6
3. 1 ヘリウム系詞	没備の概要 ・・・・		•••••6
3.2 ヘリウム圧約	宿機の仕様および構造	£ • • • • • • • • •	•••••6
3.3 ヘリウム圧約	宿機と原子炉安定運転	云との関係 ・・・・・	•••••6
4. ヘリウム圧縮機更新までの	の経緯・・・・・・		•••••11
4. 1 ヘリウム圧縦	宿機の点検履歴・・・		· · · · · · 11
4.2 ヘリウム圧縦	宿機の不具合事象概要	į	· · · · · · 11
4.2.1 シ	ールオイル液面低下	、 (平成6年3月) ・・	•••••11
4.2.2.2	ールオイル液面低下	(平成9年4月) ・・	•••••11
4 2 3 異	音發生(亚成15年	9月) •••••	• • • • • • 11
	ールオイル海西低下	(亚武17年4日) •	
4.2.4	ールオイル液面低下	(平成17年4月) (亚成17年6月)	
		(半成17年0月)	
4.3 ペリワム庄和	h機の更新快討 ••	••••••	•••••13
5. ヘリワム圧縮機の改良点	• • • • • • • • •	•••••	•••••20
6. ヘリウム上縮機更新・・		• • • • • • • • • •	•••••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 \cdot · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
2.Outline of JRR-3 $\cdots \cdots \cdots$
3.Outline of helium compressor • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
3.1 Outline of helium gas system • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
3.2 Specification and structure of helium compressor $\cdots \cdots \cdots$
3.3 Relation between helium compressor and reactor stability driving \cdot · · · · 6
4. Some processes before the helium compressor was replaced •••••••• 11
4.1 The check History of the helium compressor •••••••••••••••
4.2 Outline of malfunctions event of helium compressor •••••••11
4.2.1 Decrease on seal oil level in March 1994 •••••••••••••
4.2.2 Decrease on seal oil level in April 1997 ••••••••••
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 $\cdots \cdots \cdots$
4.3 Examination of updating the helium compressor ••••••••••••
5. Improvement points of helium compressor •••••••••••••••••••••••••••••••••••
6. Refurbishment of helium compressor • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
6.1 Application of the authorization ••••••••••••••••••••••
6.2 Production • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
6.3 Import and setting of new helium compressor •••••••••••••••••••
7. Conclusion $\cdot \cdot \cdot$
Acknowledgments · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Reference · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

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、JR R-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。

1 .	
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

Table.2.1 JRR-3の主要緒元



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へ 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(²H₂O) 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.3.3 原子炉状態フロー

	項目	単 位	仕様
	個数	個	1
	型式	_	縦型単段式
圧	シリンダ径	mm	100
	ストローク	mm	50
縮	容量	Nm³∕h	10
	吐出 圧力	kPa	4.9
機	回転数	min ⁻¹	350
	最高使用圧力	MPa	0.98
	最高使用温度	°C	55
電	種類		誘導電動機
遡機	出力	kW	1.5

Table.3.1 ヘリウム圧縮機の仕様

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。



ヘリウム圧縮機全体図

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)



(c) 接合部断面拡大図

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

古论左日	全分解	簡易分	/些 之
品 使 平 月	点検	解点検	加くた
平成3年8月26日~			
平成3年10月25日(第1回定期点検)			术机做化码状例且
平成4年10月19日~			
平成5年1月14日(第2回定期点検)			示剂(放化)动物(灰)里.
平成6年1月5日~	0		シールオイル液面低下
平成6年3月25日(第3回定期点検)			 ・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~	_		조 紡雌能計驗检本
平成7年7月14日(第4回定期点検)			
平成8年6月10日~	_		조 紡雌能計驗检本
平成8年9月20日(第5回定期点検)			
平成9年 4月		0	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~	\cap		以降令公解占給を3年毎に行うことを決定
平成9年11月28日(第6回定期点検)	0		- 以降主力解応便を3 牛車に打 りことを決定
平成 10 年 11 月 27 日~		\cap	
平成 11 年 4 月 16 日(第 7 回定期点検)		0	
平成 12 年 3 月 29 日~		0	
平成 12 年 7 月 14 日(第 8 回定期点検)		0	
平成 13 年 9 月 21 日~	\circ		
平成 14 年 1 月 25 日(第 9 回定期点検)	0		
平成 14 年 12 月 2 日~		\cap	
平成15年4月4日(第10回定期点検)		0	
			ヘリウム圧縮機からの異音
平成 15 年 9月	0		・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~			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
平成 16 年 3 月 10 日(第 11 回定期点検)			施
平成 16 年 11 月 29 日~		\cap	
平成 17 年 3 月 16 日(第 12 回定期点検)		0	
平成 17 年 4 月		0	シールオイル液面低下・ ステップシール交換
			シールオイル液面低下
平成 17 年 6月	0		・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~	_	_	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 6 日(第 13 回定期点検)			
平成 18 年 4 月		0	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		0	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~	_	_	へリウム圧縮機更新
平成 19 年 3 月 27 日(第 14 回定期点検)			י איז און און איז

JAEA-Technology 2010-020

			(単位:mm)
符号	D1	D2	D3
図面寸法	$\phi 70$	ϕ 70	ϕ 70
<u></u> + 注入主	+0.03	+0.03	+0.03
可伝公左	0	0	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

Table.4.2 クロスヘッドガイド寸注	去測定記録
-----------------------	-------

*平成17年6月測定時

プーリー側 測定点①





Table.4.3 クリアランス測定記録

())/11-			`
	•	mm	۱
\ \ <u>+</u> <u>1</u> <u>U</u> .			1

測定年月		基準寸法	許容限度	$\mathbf{X} - \mathbf{X}$	$\mathbf{Y} - \mathbf{Y}$
平成15年 9月	隙間 D 1	0.02~0.06	0.18 以上不可	0.03	0.03
平成17年 6月	D 1 – D 2	0.02 0.00	0.16 以上小时	0.05	0.05



 0° 90° 270° Þ → B1 100mm В2 200mm **B**3 300mm ٦ſ > B4 400mm i 180° ► B5 500mm

Table.4.4 ピストンロッド曲がり測定記録

(単位:	: mm)
------	-------

	公差	測定値				
曲がり測定位置		0° 90°		180°	270°	
		モータ側	反プーリー側	反モーター側	プーリー側	
B1		0	0	-0.01	-0.005	
B2		0	0	-0.02	-0.002	
B3	< 0.01	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** からもわかるように 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険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。



(b) Vリング装置(変更後)

Fig.5.1 Vリング装置下部のステップシールの2重化

JAEA-Technology 2010-020



(b) ワイパリング

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



Fig.5.4 スプラッシュピンの形状改良



(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
 - $T 1 \times 10^{-4}$ Pa・m³/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。

		測定番号	1	2	3	4
測定項		時刻	起動前	9:45	10:00	10:45
	圧力	hPa	1009	1009	1010	1010
大気	温度	°C	12.5	13.5	14	14.5
	湿度	%	89	79	73	72
	吸入圧力	kPa	1.91	1.47	1.47	1.47
圧						
力	吐出圧力	kPa	1.86	3.95	4.50	4.90
	吸入温度	°C	13.5	15	15.5	16
200	吐出温度	°C	13	21.5	25.5	27.5
	軸受温度(動力側)	°C	11	15.5	17.5	19
	軸受温度(他方側)	°C	11	14	16	18
	直前温度	°C	11	13	14	15
流	直前圧力	°C	1.75	2.42	2.42	2.42
単計	読み	Nm ³ /h		19.5	19.5	19.3
	実風量	Nm ³ /h		13.24	13.25	13.11
日	E縮機回転速度	min ⁻¹		355	354	354
	押しのけ量	m³∕min		0.273	0.273	0.273
呀	认状態空気量	m³∕min		0.230	0.231	0.229
	体積効率	%		84.40	84.51	83.78
	回転速度	min ⁻¹		1503	1500	1500
	電圧	V		415	414	414
電	電流	А		2.21	2.20	2.18
劉機	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	実風量	Nm ³ /h		13.06	13.10	12.97
に 定 操 世	軸動力	kW		0.339	0.331	0.322
算態	回転速度	min ⁻¹		350	350	350

Table.6.1 ヘリウム圧縮機性能試験記録

※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1.47kPa、吐出圧力4.90kPaの時
 実風量:10Nm³/h以上
 軸動力:1.5kW以下

	/	測定番号	1	2	3	4	2	9	7	8	判定基準
測定項目		時刻	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	
	圧力	hPa	1010	1010	1010	1010	1010	1009	1009	1009	
大氛	温度	Ĵ	15	15	15	15	15	15.5	16.5	16.5	
	湿度	%	20	70	65	61	61	61	59	55	
	吸込圧力	kPa	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
4 1-											
Ц Т	吐出压力	kPa	約4.90								
	吸込温度	Ĵ	16.5	17	17	17	16.5	17	17.5	17.5	
	吐出温度	°C	29.5	30.5	31.5	32	32.5	33	34	34	55°C以下
温度											
	軸受温度(動力側)	°C	20	221	22	22.5	23	23.5	24	24	大気温度
	軸受温度(他方側)	°C	19.5	20.5	21.5	22	22.5	23.5	24	23.5	+40℃以下
H	縮機回転速度	min ⁻¹	354	354	354	354	354	354	354	354	

Table.6.2 ヘリウム圧縮機 定格連続運転記録

JAEA-Technology 2010-020





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



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 ライドリ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行えるようにした。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.

表 1. SI 基本単位				
甘大昌	SI 基本ì	単位		
巫平里	名称	記号		
長さ	メートル	m		
質 量	キログラム	kg		
時 間	秒	s		
電 流	アンペア	А		
熱力学温度	ケルビン	Κ		
物質量	モル	mol		
光度	カンデラ	cd		

表2.基本単位を用いて表される	SI組立単位の例
如女母 SI 表	基本単位
和立重 名称	記号
面 積 平方メートル	m ²
体 積 立法メートル	m ³
速 さ , 速 度 メートル毎秒	m/s
加速 度メートル毎秒毎	秒 m/s ²
波 数 毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度キログラム毎立方	メートル kg/m ³
面 積 密 度キログラム毎平方	メートル kg/m ²
比体積 立方メートル毎キ	ログラム m ³ /kg
電 流 密 度 アンペア毎平方	メートル A/m^2
磁界の強さアンペア毎メー	トル A/m
量濃度(a),濃度モル毎立方メー	トル mol/m ³
質量濃度 キログラム毎立法	メートル kg/m ³
輝 度 カンデラ毎平方	メートル cd/m^2
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1
比 透 磁 率 (b) (数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのこと を表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 組立甲位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 鱼	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
· 協 方 立 体 鱼	ステラジア、/(b)	er ^(c)	1 (b)	m^{2/m^2}
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz	1	s ⁻¹
力	ニュートン	Ν		m kg s ⁻²
压力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	$m^{-1} kg s^{-2}$
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕 事 率 , 工 率 , 放 射 束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{\cdot 3} A^{\cdot 2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{2} kg^{1} s^{3} A^{2}$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^{\cdot 2} A^{\cdot 1}$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$\text{kg s}^{2}\text{A}^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与,	グレイ	Gv	J/kg	$m^2 s^{-2}$
カーマ				
線量当量,周辺線量当量,方向	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	$m^2 s^{2}$
性線量当量, 個人線量当量		2.		
酸素活性	カタール	kat		s ¹ mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや コヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性抜種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。
 (e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度で表すために使用される。
 (f)数単位を通の大きさは同一である。したがって、温度差や温度問隔を表す数値はとちらの単位で表しても同じである。
 (f)数単性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘质	Eパスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2 kg s^2$
表 面 張 九	コニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ミラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	E ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	E ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量,エントロピー	- ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{2} K^{1}$
比熱容量, 比エントロピー	- ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	- ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{2}$
熱 伝 導 率	『ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	- ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	E クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表 面 電 荷	ラクーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電 束 密 度 , 電 気 変 位	エクーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
誘 電 率	『ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 辛	ミ ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	- ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー,モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^{2} kg s^{2} K^{1} mol^{1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ^{−1} sA
吸収線量率	ミグレイ毎秒	Gy/s	$m^2 s^{-3}$
放射 強度	E ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝 度	E ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	たカタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語					
乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	э 9	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	с
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	Т	$10^{.9}$	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	р
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	а
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デ カ	da	10^{-24}	ヨクト	У

表 6. SIに	属さない	いが、SIと併用される単位
名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	۰	1°=(п/180) rad
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	$1t=10^{3}$ kg

_

表7.	SIに属さないが、	SIと併用される単位で、	SI単位で
	まとわて粉は	ぶ 中 瞬時 ほう や て そ の	

衣され	つ 叙 恒/	い夫駅町に守られるもの
名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天 文 単 位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

	表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位					
	名称		記号	SI 単位で表される数値		
バ	1	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa		
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa		
オン	グストロー	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m		
海		里	М	1 M=1852m		
バ	-	\sim	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²		
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s		
ネ	-	パ	Np	ar送佐1		
ベ		ル	В	▶ 51 単位との 叙 値的 な 阕徐 は 、 対 数 量の 定 義 に 依 存.		
デ	ジベ	N	dB -			

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位							
名称	記号	SI 単位で表される数値					
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J					
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N					
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s					
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$					
スチルブ	$^{\rm sb}$	1 sb =1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²					
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ^{-2} 10 ⁴ lx					
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{\cdot 2} = 10^{\cdot 2} \text{ms}^{\cdot 2}$					
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$					
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{2} = 10^{4} \text{T}$					
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4π)A m ⁻¹					

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ▲ 」 は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例						
	3	名利	7		記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ		IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	\sim	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\boldsymbol{\nu}$				L	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	I		N	11		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	- トル	采	カラゞ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
\mathbb{P}				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
÷	17		11	_	1	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J
13	Ц		<i>y</i>		cal	(「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー)
Ξ	ク			\sim	μ	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$

この印刷物は再生紙を使用しています