JAEA-Technology 2013-032



# JT-60SA クライオスタットベースの 輸送および組立作業

Assembly Work and Transport of JT-60SA Cryostat Base

岡野 文範	正木 圭	柳生 純一	芝間 祐介
逆井章 王	E代 康彦	神永 敦嗣	西山 友和
鈴木 貞明	中村 誠俊	史 柴沼 清	

Fuminori OKANO, Kei MASAKI, Jun-ichi YAGYU, Yusuke SHIBAMA Akira SAKASAI, Yasuhiko MIYO, Atsushi KAMINAGA, Tomokazu NISHIYAMA Sadaaki SUZUKI, Shigetoshi NAKAMURA and Kiyoshi SHIBANUMA

> 核融合研究開発部門 トカマクシステム技術開発ユニット

Division of Tokamak System Technology Fusion Research and Development Directorate

November 2013

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, 2013

# JT-60SA クライオスタットベースの輸送および組立作業

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 トカマクシステム技術開発ユニット

岡野 文範、正木 圭、柳生 純一、芝間 祐介、逆井 章、

三代 康彦、神永 敦嗣、西山 友和、鈴木 貞明、中村 誠俊、柴沼 清

# (2013年7月8日 受理)

日本原子力研究開発機構は、ITER を支援・補完する超伝導核融合実験装置(JT-60SA)の組立を2013年1月から那珂核融合研究所で開始した。既に解体された旧JT-60トカマク装置の一部(NB 加熱装置等)とその施設を最大限に利用して、JT-60 実験棟本体室にJT-60SA を組み立てる。組立の最初として、JT-60SA の基礎部であるクライオスタットベースを本体室ソールプレート上に設置した。

クライオスタットベースは、直径約 12m、高さ約 3m、重量約 250 トンのステンレス 製の架台である。欧州(スペイン)で製作され、7 個の主要部品に分割して日立港に海上輸 送され、日立港から大型トレーラーで那珂核融合研究所まで運搬した。仮固定作業では、 本体室のベンチマークと仮固定位置を計測し、この結果に基づいてソールプレートの平面 度とその高さを調整した後に、7 個の主要部品を組み立て、設置した。レーザートラッカ ーを駆使して、絶対座標により定めた組立基準位置を目標に平面度と高さを調整して高精 度で組み立てることができた。

本報告書では、クライオスタットベースの輸送と組立作業について具体的な作業内容と その結果を報告する。 JAEA-Technology 2013-032

# Assembly Work and Transport of JT-60SA Cryostat Base

Fuminori OKANO, Kei MASAKI, Jun-ichi YAGYU, Yusuke SHIBAMA, Akira SAKASAI, Yasuhiko MIYO, Atsushi KAMINAGA, Tomokazu NISHIYAMA, Sadaaki SUZUKI, Shigetoshi NAKAMURA and Kiyoshi SHIBANUMA

> Division of Tokamak System Technology Fusion Research and Development Directorate Japan Atomic Energy Agency Naka-shi,Ibaraki-ken

> > (Received July 8, 2013)

Japan Atomic Energy Agency started to construct a fully superconducting tokamak experiment device, JT-60SA, to support the ITER since January, 2013 at the Fusion Research and Development Directorate in Naka, Japan. The JT-60SA will be constructed with enhancing the previous JT-60 infrastructures, in the JT-60 torus hall, where the ex-JT-60 machine was disassembled. The JT-60SA Cryostat Base, for base of the entire tokamak structure, were assembly as the first step of this construction.

The Cryostat Base (CB, 250tons) is consists of 7 main components made of stainless steel, in 12 m diameter and 3 m height. The CB was built in the Spain and transported to the Naka site, via Hitachi port. After pre-assembly work including preliminary measurements and sole plate adjustments of its height/flatness, the JT-60SA CB was carefully set on the sole plate. JT-60SA CB was assembled with high accuracy by using a laser tracker. The CB was adjusted in the height and flatness against the assembly reference position and determined by the absolute coordinates.

This report introduces the concrete result of assembly work and transport of JT-60SA CB.

Keywords: JT-60SA, Cryosat Base, Assembly Work, Position Measurment

# 目 次

1. はじめに	1
2. JT-60SA 装置の概要	1
3. クライオスタットベース	2
4. クライオスタットベースの輸送	4
4.1 概要	4
4.2 船からの受入	5
4.3 主要部品の輸送・搬入手順	5
4.4 輸送コース	6
4.5 輸送実績	6
5. クライオスタットベースの組立	6
5.1 基準座標系	6
5.2 既設ソールプレートの高さ調整	7
5.3 組立作業	7
5.4 試験検査	8
6. 測量	8
6.1 ソールプレートの高さの測定と調整	8
6.2 設置精度の測定	
7. まとめ	10
謝辞	11
参考文献	11

# Contents

1. li	ntroduction	1
2. C	outline of JT-60SA	-1
3. J <sup>.</sup>	T-60SA Cryostat base	2
4. T	ransportation of JT-60SA Cryostat base	4
4.1	Outline	4
4.2	Accepted from the ship	5
4.3	Procedure of the major components transport	5
4.4	Course of transportation	6
4.5	Result of transport	6
5. J	T-60SA Cryostat base assembly work	6
5.1	Reference frame	6
5.2	Adjustment of soleplate	7
5.3	Assembly work	7
5.4	Inspection	8
6. Me	asure dimensions	8
6.1	Adjust of height of sole plate	8
6.2	Measure dimensions	9
7. Su	mmary 1	10
Ackno	owledgements 1	11
Refer	ences 1	11

## 1. はじめに

日本原子力研究開発機構は、幅広いアプローチ(BA)活動の一環として実施されるサテライト・トカマク計画において、長パルス化と高圧力プラズマを目指し ITER を補完する超伝導核融合実験装置(JT-60SA)の建設を行う<sup>1)</sup>。JT-60SA は、那珂核融合研究所内 JT-60 トカマク装置を解体した跡地に約 6 年の歳月をかけて建設される。JT-60SA 組立のファーストステップとして、欧州(スペイン)で製作された JT-60SA の基礎部であるクライオスタットベースの設置作業を 2013 年 1 月から行った。

クライオスタットベースは、7個の部品で構成され、スペインの港から日立港へ輸送された。 日立港での員数確認の後、那珂核融合研究所のJT-60実験棟組立室へ陸送にて搬入した。

設置作業は、本体室建屋のベンチマークを基にレーザートラッカーにより構築した基準座標系に従って、約2ヶ月間に亘り行われた。設置後、設置位置を計測し、クライオスタットベースが高精度で据え付けられていることを確認している。

本報告書は、クライオスタットベースの輸送および設置作業全般に関してまとめたものである。

# 2. JT-60SA 装置の概要

JT-60SA トカマク装置は、高温プラズマの生成に不可欠な超高真空空間を作る真空容器 (Vacuum vessel)、そのプラズマを閉じ込め、制御する磁場を発生する超伝導コイル(TF Coil, EF Coil, CS)、コイルの冷却を真空断熱により可能とするクライオスタット(Cryostat)、常温 機器と極低温機器との間に設置され輻射による熱の伝達を緩和するサーマルシールド (Thermal shield)等の主要機器及び外部加熱装置で構成されている(図 1、図 2)。

真空容器(図 3)は、総重量約 150 トン、外径約 10m、高さ約 6.6m のドーナツ形状で、低 コバルト SUS316L 材を用いて製作される。プラズマ実験運転中では、真空容器を構成する二 重壁間に 50℃のボロン水を充填して発生する中性子を遮へいし、ベーキング運転中では 200℃ の窒素ガス流で真空容器を加熱する。

超伝導コイル (図 4、図 5)は、D 型トロイダル磁場(TF)コイル 18 個とセンターソレノイド (CS)4 モジュール及び平衡磁場(EF)コイル 6 個で、総重量 700 トン、外径 12m、高さ約 9m のシステムを形成する。

サーマルシールドは、超伝導コイルへの輻射熱を低減するために設置される。真空容器とトロイダル磁場コイルの間に設置される真空容器(VV)サーマルシールド(図 6)、トロイダル磁場コイルとクライオスタットの間に設置されるクライオスタットサーマルシールド(図 6)、真空容器ポートを覆うポートサーマルシールドからなる。総重量は 93 トンになる。

クライオスタットは、超伝導コイルを極低温まで冷却するための真空断熱容器であり、胴部 とベース部に分けて組立てる(図 7)。クライオスタットベースの上には真空容器と超伝導コイ ル(TF Coil)の支持構造体が設置され、これらを基準に他の主要機器が組立てられる (図 8)。 3. クライオスタットベース

クライオスタットベースは、低コバルト材 S30400(UNS,0.05wt%)で製作された。以下に、 クライオスタットベースの構造について説明する。

(1) クライオスタットベースの形状と分割

クライオスタットベースの全体概略図を図9に示す。クライオスタットベースは、ソールプ レート上に直接設置される下部構造物(Lower structure)と下部構造物の中央に設置される円 筒シェル(Cylindrical shell)、下部構造物の上に設置される二重リング(Double ring)からなる。

下部構造物と二重リングは、輸送の観点から、3分割で製作された(図 10、図 11)。円筒シェルは単体で製作された。各主要部品の代表寸法と重量を表1に示す。

No	夕称	半径(mm)	角度	高さ	<b>香</b> 亭(+)	吕粉
NO.	口心	十庄(11111)	(degree)	(mm)	主里(い)	只奴
1	下部構造物1	5975	120	2076	~41	1
2	下部構造物 2	5975	120	2076	~41	1
3	下部構造物 3	5975	120	2076	~41	1
4	円筒シェル	2510	360	1626	$\sim$ 14	1
5	二重リング 1	5975	120	760	~37	1
6	二重リング 2	5975	120	760	~37	1
7	二重リング 3	5975	120	760	~37	1

表1 クライオスタットベース主要部品

(2)各部品のボルト締結位置

分割して製作された部品は、全てボルト締結により一体化される。二重リングの分割部及び 二重リングと円筒シェル間では真空シールのために溶接される。以下に、各部品でのボルト締 結位置を示す。また、表2に使用するボルトの緒元を示す。

(a)下部構造物(Lower structure)

下部構造物の本体室ソールプレートへの固定位置、また、3 分割された下部構造物のセクター間の接続位置を図 12 に示す。

ソールプレートへの固定では、ソールプレートに既設の M64 アンカーボルト計 80 本(アウ ターリング 72 本、インナーリング 8 本)へ締結する。締結時には、旧 JT-60 で使用したワッ シャー(兼スペーサー)及びナットを再使用する。下部構造物の部品間は、スペイン側より提供 された M64 ボルト 7 本でお互いに締結される。本締結前に、これら締結フランジ部では中心 側と外側夫々に位置決め用ピンを通す。

(b) 円筒シェル(Cylindrical shell)

円筒シェルの固定位置を図 13 に示す。円筒シェルは、下部構造物の径方向梁 9 本全ての片 側に、M20 ボルト 4 本で固定される。 (c)二重リング(Double ring)

3 分割されている二重リングは、部品間にスペーサーを介して M52 ボルトで固定される(図 14)。上部リングの上面と下面、更に下部リング上面、更に下部リングの下面の3箇所で締結 される下部リングのフランジ間では、真空シール溶接を行う。

(d)二重リングと下部構造物の締結

二重リングと下部構造物のフランジを M48 ボルトにより下から締結する(図 15 a)。二重リ ングには、予め M48 雌ネジが加工されている。締結部周辺では、二重リングの分割部とこれ ら以外では構造が異なる。分割部では、下部構造物のフランジの側部に M33 雌ネジが加工さ れ、側面からもボルト締結される(図 15 b)。 締結時には、径方向のせん断力に抵抗するキー 構造が一つの下部構造フランジに 2 箇所設けてある。ボルトを本締結する前に、外側の夫々に 位置決め用のピンを通す。

パーツ名	ボルト 位置	ボルト サイズ	鋼種 強度区分	員数 (セット数)	備考
下部構造物	ソールプ レート間	M64	NMJ-35A (既設高マ ンガン鋼)	72(outer ring) +8(inner ring)=80	ナット、ワッ シャーセッ ト(同材料)
	3 分割接 続部	M64	A4-80	3箇所 x 7本=21	ボルトのみ
円筒シェル	下部構造 物との接 続部	M20	A4-80	9 箇所 x 4 本=36	ボルトのみ
二重リング	3 分割接 続部	M52	A4-80	3 箇所 x 28 本=84 首下長さ異なるものが 3セット	ナット、ワッ シャーセッ ト
	下部構造	M48	A4-80	9 箇所 x 12 本=108	ボルトのみ
	物間	M33	A4-80	6 箇所 x 13 本=78	ボルトのみ

表2 クライオスタットベース使用固定ボルト緒元

合計:407 セット

(3)真空シール溶接部の開先形状

クライオスタットベース全体の溶接箇所を図 16 に示す。二重リング分割部及び円筒シェル と二重リングとの接続部では、真空シール溶接を行う。

二重リング分割部の溶接箇所の詳細と開先形状を図 17 に示す。二重リングの下側リング外 側の端部から内側へ450mmまでは強度を考慮して幅20mm、深さ10mmのV形開先とした。 それ以外は、幅8mm、深さ4mmのV形開先とした。内側端部は、図18に示すように円筒 シェルと溶接部を接続する。このため、材料の端部に沿って溶接する幅8mm、深さ4mmの V形開先とした。

図 19 に円筒シェルと二重リングとの溶接箇所の詳細を示す。溶接は隅肉溶接(脚長 5mm 以上)とした。

# (4)製作精度

代表的な部位の製作精度を以下に示す。

(a)下部構造物

径方向梁構造物	±2mm
(ただし、二重リングと合わせてトータル高さが±2mm であること	⊆。 )
梁構造物間角度	±1°
内側/外側リング下部平面度	0.5mm
梁構造物上面平面度	0.5mm
(b)円筒シェル	
内径	+5/0mm
ポート/穴位置	±5mm
側壁高さ	±2mm
(c)二重リング	
TF coil/Vacuum vessel/ クライオスタット胴部接続表面高さ	±2mm
下部リング内径	±2mm
下部リング外形	±4mm
上部リング外形	±4mm
ポート開口部位置	±2mm
TF coil/Vacuum vessel 座(円周方向:トロイダル、径方向)	±2mm

(5)設置基準ケガキ

組立時の基準線となるケガキ位置及びその対象機器を表3に示す。また、図20、図21に具体的な位置を示す。

ケガキ位置	線	対象機器
下部構造物	X-Y 座標 線	building axis
円筒シェル下部	X-Y 座標 線	building axis
二重リング上部板	10 度ごとの線	TFC/VV/EF

表3 クライオスタットベースケガキ

4. クライオスタットベースの輸送

4.1 概要

クライオスタットベースは、スペインのアビレス港から定期便ではなく大型船にて、御前崎 経由で日立港に輸送された。2013 年 1/19(土)から 2013 年 1/26(土)に亘り 7 個の主要部品 に分割製作されたクライオスタットベースをトレーラーにて那珂研に陸送した。 4.2 船からの受入

主要機器の梱包は、全面ビニールで覆われており、かつ輸送時の保護のために鉄製のフレームで囲まれた構造である(図 22)。本フレームは、機器にボルトで固定されている。これらの梱包は全て EU(スペイン)で実施された。

スペインからの輸送船は、2013年1月16日早朝に日立港(第4埠頭Fバース、喫水:7.5m、 160mm 以内)に接岸した。その後、船内で機構職員が外観検査を行った後、荷下ろしを開始 した。午後3時には全ての荷下ろしを完了し、日立港の保税エリアに保管した。図23に荷下 ろし時の機器の写真を、図24に保税エリアでの保管時の様子を示す。翌日の1月17日には、 輸入通関の許可を得た。

4.3 主要部品の輸送・搬入手順

輸送は、列が長くならないように一日一体輸送することとした。トレーラーは大型マルチト レーラー1台、70tトレーラー及び20tトレーラーそれぞれ1台用意し、一体目を深夜に輸送 し、同日午前中に2台目のトレーラーに2体目を積み込み、翌日深夜に2体目の輸送及び1 体目のトレーラーの空車回送を行うことを繰り返し行った。ただし、マルチトレーラー及び20t トレーラーは、日中公道を走れるので、荷下ろし後空車回送を行った(表4)。

No	如只夕	古话	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	1/26
1.10.		単1里	水	木	金	Ĺ	Θ	月	火	水	木	金	Ĺ
1	下部構造物 2	70t トル											
2	下部構造物 3	7/1410				$\bigtriangleup$							
3	下部構造物 1	70t トル	並   港   か	輸				$\bigtriangleup$	-				
4	円筒シェル	20t トレ	ら   荷	へ   通  関						•			
5	二重リング 1	7/1410	トろし							Δ			
6	二重リング 2	70t トレ									Δ		
7	二重リング 3	7/1410											▼

表4 輸送・搬入・回送の流れ

▲:日立港での積込 ■:日立港-那珂核融合研究所間の輸送 ▼:那珂核融合研究所での荷下ろし □:日立港までの回送

受入では、早朝からトレーラーをローディング室に搬入し、ビニールを取った後、組立室に 搬入した。その後、大型主要部品は、鉄製のフレームと一緒に実験棟クレーンを使用して組立 室に仮置きし、撤去した鉄製フレームをトレーラーに乗せて実験棟外に搬出した。クライオス タットベース機器は1体毎に外観検査を実施し、全ての機器を図25,26に示すように実験棟 内に仮置きした。 4.4 輸送コース

日立港から那珂核融合研究所までの輸送コースは、日立港第4埠頭入口から国道245号線 に入り、東海村豊岡三叉路から県道284号を経て、村道0108号(松山橋)、0101号、0105 号を抜け、国道6号線を経て、市道718号を通る全長約12kmである(図27)。クライオスタ ットベース部品の最大幅が6.5mあるため、対向車とのすれ違いが困難なことから、トレーラ ー待避可能地点を設定した。その上で、安全に留意し対向車の一時停止等の規制をしながら輸 送した。

## 4.5 輸送実績

日立港から約12kmの距離を交通量の少ない深夜(3:00~4:00)に、大型マルチトレーラー 等で輸送した(図28)。1/19(土)から1/26(土)で日曜日を除く7日で実施し、一般車両や道路 周辺設備との接触等のトラブルも無く、安全に輸送が行われた。初回のみ茨城県警察本部のパ トカーが先導した。輸送実績を表5に示す。

No.	機器名称	実施日	天候	輸送時間	備考				
1	下部構造物 2	1/19(土)	晴れ	3:00⇒4:11	県警パトカー				
2	下部構造物 3	1/21(月)	晴れ	3:00⇒4:09					
3	下部構造物1	1/22(火)	হায	3:00⇒4:15					
4	円筒シェル	1/23(水)	晴れ	3:00⇒4:00					
5	二重リング 1	1/24(木)	হায	3:00⇒3:55					
6	二重リング 2	1/25(金)	晴れ	3:00⇒3:55	霧により視界不良				
7	二重リング 3	1/26(土)	晴れ	3:00⇒3:45					
A1	アクセサリー(1)	1/18(金)							
A2	アクセサリー(2)	1/22(火)			空輸にて <sup>*1</sup>				

表5 輸送作業の実績

\*1:アクセサリー(2)のみ、後から空輸にて到着した(成田から陸送にて那珂核融合研究所へ)

## 5. クライオスタットベースの組立

クライオスタットベースの組立は、基準座標系の構築から始まり、部品を設置する既設ソー ルプレートの高さを調整し、下部構造物、円筒シェル、二重リングの順に組立て、試験検査を 経て、最後に測量にて組立後の状態を確認した。これらの作業は、約2ヶ月間に亘り行われた (図29)。以下に、組立作業内容の詳細を示す。

# 5.1 基準座標系

本体室内の基準座標系は、JT-60SA 組立の基準になるものであり、本体室のベンチマーク(X 座標、Y 座標、Z 座標)を基準とし、「絶対座標」と呼ぶ。北側(0°、180°)に X 軸、西側(90°、

270°)に Y 軸を与え、ソールプレートセンター(JT-60SA トーラスセンタ)を XY 原点とした。 高さについては Z 座標値(FL+1000)を基準に床から 8000mm を原点とした(図 30)。

JT-60SA 組立時に必要となる新たなベンチマークを、実験棟本体室内のキャットウォーク、 NBI タンク等の既設設備に、合計 41 点を設置した(図 31)。さらに、これらのベンチマーク座 標値を絶対座標を基にレーザートラッカーにて測定した。レーザートラッカーとは、レーザー 干渉計と CCD カメラによりターゲット(リフレクター、T-ブローブ等)の空間位置や傾きを高 精度(測定条件等を含めて約 0.1mm の誤差)で測定できる計測器である。これらの座標を基に JT-60SA の組立が行われる。

## 5.2 既設ソールプレートの高さ調整

本体室には外径 R=5975mm、内径 R=4975mm、厚さ 150mm、30 度単位の基礎架台ソ ールプレート(材料: NMJ-30BP 高マンガン鋼)12 枚、及び外形  $\phi$  2500mm、内径  $\phi$  700mm の中心架台ソールプレート 1 枚が本体室床面に埋め込まれている。

部品の搬入前にソールプレートの高さ調整として、レーザートラッカーを用いたレベル測定の結果に基づいて高さの調整を行った。一番高い箇所(24mm)の高さを基準に基礎架台ソールプレートの144箇所、中心架台ソールプレートの16箇所に4種類(厚さ:0.1mm,0.2mm, 0.5mm,1mm、大きさ:300mmX450mm)の薄い板状の調整用シムを挿入した。

# 5.3 組立作業

(1)下部構造物

下部構造物(セクター2)には、本体室の基準座標を示す X 軸及び Y 軸の 2 本を通る基準ケガ キが引かれている。このため、最初に設置して、これを基準とすることで他の部品の設置が容 易になる。建屋の基準座標を示す X 座標(0 度-180 度)、Y 座標(90 度-270 度)のベンチマーク から求めた X 軸、Y 軸上で、ソールプレート外付近に設置した基準ポールにセオドライトを固 定した。その上で、下部構造物(セクター2)の 2 本の基準ケガキと本体室の基準座標軸(X 軸,Y 軸)との差を、下部構造物のみを設置した時点で求めた。その結果は、X 軸は 90 度方向に 0.4mm のズレ量があり、Y 軸方向のズレ量はなかった。共に許容値の±1mm 以内に設置できている ことを確認した(図 32)。

セオドライトで設置位置を確認後、既設ソールプレートと M64 ボルトで仮締結した。その後、 セクター2 の合せフランジ面を基準に、セクター3 とセクター1 と設置した(図 33)。下部構造 物の隣接セクター間でガイドピンによる位置合わせを行い、セクター間、既設ソールプレート 間の順にボルト締結した(何れも M64 ボルト)。M64 ボルト締結の規定トルクを、ソールプレ ートとの間では 5020Nm、セクター間接続部では 5300Nm とした。

(2)円筒シェル

下部構造物の組立後、下部構造物の中央に円筒シェルを設置した(図 34)。まず円筒シェルは、 高さ調整用ジャッキの上に仮置きし、円筒シェルと下部構造物のM20ボルト締結部を確認後、 ボルトを仮締めし、円筒シェル上端部の高さと下部構造物のフランジ上部の高さが一致する様 にジャッキ調整した。その上で、M20ボルトを締結した(規定トルク 160Nm)。 (3)二重リング

ニ重リングと下部構造物のキー溝とキー、およびガイドピンを事前に確認した上で、円筒シェル組立後に二重リングを設置した。ガイドピンを挿入後、下部構造物と M48 ボルトで締結した(規定トルク 2240Nm)。

真空シールのため、二重リングのセクター間および二重リングと円筒シェルの接続部を溶接 した(図 35)。浸透探傷試験および真空リーク試験の終了後、二重リングセクター間を M52 ボ ルトで締結した(規定トルク 6270Nm)。締結部には、部位に応じて 3 種類のスペーサーを挿 入した。

5.4 試験検査

溶接部の試験検査として、真空リーク試験と溶剤除去性染色浸透探傷試験(PT 検査)を実施した。なお、PT 検査時に使用する浸透液によってピンホールが塞がれてしまうことを避けるために、真空リーク試験後に PT 検査を実施することとした。

真空リーク試験は、試験部位を部分的に覆うことで簡易真空容器を形成するサクションカップ法で、リーク試験をした。その結果、最小検出感度 2.0X10<sup>-11</sup>Pa・m<sup>3</sup>/s の条件で He の検出はなかった。

試験対象箇所の溶接ビード (二重リング部品間の突合せ溶接部3箇所、円筒シェルと二重リングの隅肉溶接部の1周)に対して、PT 試験を実施した。その結果、欠陥指示はなかった。 両検査の結果、真空シール溶接部の健全性が確認された。

#### 6. 測量

6.1 ソールプレートの高さの測定と調整

クライオスタットベース(下部構造物)を設置するに当たり、既設ソールプレートの高さを把握した上で一定の平面度に調整する必要があった。レーザートラッカー(Type:AT401,Leica)を用いて、ソールプレートの高さを測定し、最高点を基準としてシムで調整を行った。

測定は、既存のソールプレートのうち基礎架台ソールプレート上のボルト(外周側:36本、内 周側:36本)の両側付近の144点と中心架台ソールプレート上のボルト(8本)の両側付近の16 点を計測した。高さの基準を本体室内のZ座標ベンチマーク(X2壁)FL+1000として、最高点 は24mmであった。最高点を基準に、各位置でシム(SUS304)を準備した(図36)。

6.2 設置精度の測定

クライオスタットベース設置後に、レーザートラッカーで部位を測定し(図 37)、絶対座標系 での「方位」「高さレベル」「中心位置」等を算出、クライオスタットベースの設置精度を評価 した。 (1)高さレベルの測定

クライオスタットベースの二重リングの下部の M54 ボルト穴(83 個)の上面、トロイダル磁場コイル脚(TFC\_GS)の設置座の面、真空容器脚(VV\_GS)の設置座の面について高さを測定した。

 下部の M54 ボルト穴上面(83 個、クライオスタットボディーを固定するフランジ部) ボルト穴にレーザートラッカーのターゲットジグを挿入し、83 点のデータを取得した。 測定結果は、設計寸法よりプラス側の 1.267mm からマイナス側の-0.157mm の範囲だっ た。判定基準(+2.0/-2.5)の範囲から逸脱がないことを確認した(図 38)。

平坦度では、最大 1.4mm のバラツキが生じた。これは、セクター間溶接により生じたバ ラツキであり、クライオスタット胴部を組立てる際の真空シール部の溶接に多少の影響が生 じるが、大きな問題とはならない。

②トロイダル磁場コイル脚(TFC\_GS)の設置座の面

各 TFC\_GS のキー溝(2 点)に専用のターゲットジグを固定し、36 点の高さレベルの測定 を行った。その結果、設計寸法よりプラス側の 0.618mm からマイナス側の 0.044mm の 範囲であった。判定基準(+2.0/-2.5)の範囲から逸脱がないことを確認した(図 39)。平坦度 は、最大高低差 0.662mm で十分に小さいことを確認した。

③真空容器脚(VV GS)の設置座の面

各 VV\_GS のキー溝(4 点)に専用のターゲットジグを固定し、32 点(4 箇所ジグが挿入で きず測定不可)の測定を行った。その結果、設計寸法よりマイナス側の 0.226mm からマイ ナス側の 0.589mm の範囲であった。判定基準(+2.0/-2.5)の範囲から逸脱がないことを確 認した(図 40)。平坦度は、最大高低差 0.363mm で十分に小さいことを確認した。

(2)二重リングの中心位置と方位

絶対座標により定めた組立基準位置に対するクライオスタットベースの据付状況を把握する ため、二重リング下部上面の M54 ボルト穴 83 点を使ってクライオスタットベース中心位置と 方位の確認を行った。

先ず、全てのボルト穴中心点を使って近似円を作成し、その近似円の中心を確認した。その 結果、組立基準中心位置(XY 平面: X=0mm, Y=0mm)から、X=-0.693mm、Y=1.113mm だけクライオスタットベース中心位置がズレていることを確認した。さらに、ボルト穴中心位 置の方位を確認したところ、全体で反時計方向に平均 0.015°回転していることが分かった。 これは各 M54 ボルトの位置において、角度で-0.002~+0.025°(平均:+0.015°)、距離に して最大 2.69mm のズレがあることを示している(図 41)。

絶対座標により定めた組立基準位置を使わずに、M54 ボルト穴計測で評価された上記クライ オスタットベース基準(組立基準位置に対して中心を X=-0.693mm、Y=1.113mm とし、さ らに回転+0.015°をした座標を使用)で見た場合、CBの直径は 12m と大型機器であるにも 関わらず、角度で-0.005~+0.010°(平均:+0.003°)、距離にして最大でも 0.97mm のズ レ量であり、クライオスタットベース単体では、高精度で製作/組立ができていることを確認 した。

- 9 -

クライオスタットベース二重リング下部上面の M54 ボルト穴にはクライオスタット胴部が 直接接続される。絶対座標より定めた組立基準位置を使用した場合(最大 2.69mm のズレ)、 クライオスタット胴部のボルト接続が困難になる可能性が高い。一方、クライオスタットベー ス基準の場合には、胴部接続に問題はないものの、NBI 等のビーム軸がクライオスタット胴部 の開口部と干渉することが懸念される。そこで、3 次元 CAD モデルを使って NBI ビーム軸と クライオスタット胴部開口部の干渉を評価した。その結果、問題は無く、ポート取合い部で調 整が可能であることが明らかとなったため、今後、クライオスタットベースを含めたトカマク 主要機器はクライオスタットベースの基準で、その他の本体周辺機器は本体室の絶対座標系(絶 対)を基準にすることとした。

(3)円筒シェル底面の測定

平衡磁場コイル(EF コイル)を仮固定する等、円筒シェル底面の平坦度は重要である。そのため、クライオスタットベース設置後に円筒シェル底面のレベルを測定した。その結果、0°~90°方向から180°~270°方向に向かって低くなる傾向があり、高低差は最大で10mmに達することを確認した(図42)。EF コイル仮置き等では、シム等にて高さ調整対策が必要である。

## 7.まとめ

JT-60SA 組立の第1ステップとしてヨーロッパ(スペイン)で製作されたクライオスタットベースの組立作業を実施した。製品はスペインのアビレス港から船便で日立港に輸送され、日立港から陸送で那珂核融合研究所に搬入された。組立作業は、7個に分割された部品を建屋内基準座標系に従って、約2ヶ月間に亘り行われた。

(1)輸送作業

日立港に到着したクライオスタットベースは、綿密な輸送計画通りにトラブルもなく日立港からトレーラーによる陸輸で那珂核融合研究所に搬入された。

(2)建屋内基準座標系の構築

建屋内のベンチマーク(X 座標・Y 座標・Z 座標)を基に、JT-60SA の組立基準となる絶対座 標系を構築した。北側(0°、180°)に X 軸、西側(90°、270°)に Y 軸を与え、ソールプレ ートセンター(JT-60SA トーラスセンタ)を XY 原点とした。高さについては Z 座標値 (FL+1000)を基準に床から 8000mm を原点とした。JT-60SA 組立時に必要となるベンチマ ークを、実験棟本体室内に、合計 41 点設置した。

(3) クライオスタットベースの組立作業

7 個に分割された部品を、下部構造物セクター2 を基準に組立を行った。組立後、レーザートラッカーを用いクライオスタットベースの設置精度を評価した。高さレベルは、判定基準(+2.0/-2.5)の範囲から逸脱がないことを確認した。また、クライオスタットベースの直径は12m と大型機器であるにも関わらず、角度で-0.005~+0.010°(平均:+0.003°)、距離に

して最大でも 0.97mm のズレ量であり、クライオスタットベース単体では、高精度で製作/組 立ができていることを確認した。

クライオスタットベースを、レーザートラッカーで計測し、調整を行いながら、高精度で設置・組み立てを完遂することができた。今回の組立作業経験により、今後のさらなる複雑で重量のある巨大な機器を、要求される設置誤差で据え付けるめどを付けることができた。また、日欧協力の下で進める調達機器を組み合わせるというインターフェース調整の手法の取得を経て、JT-60SAプロジェクトでの建設を通じて、大型機器の輸送および組立に関する工学的基礎を構築していく。

# 謝 辞

本報告書をまとめるにあたり、JT-60本体開発グループ員の皆様に感謝申し上げます。また、 クライオスタットベースの組立にあたり、貴重なご意見・ご指導を頂きました池田佳隆ユニッ ト長、鎌田裕ユニット長に感謝を申し上げます。

# 参考文献

1) S.Ishida, P. Barabaschi, Y. Kamada and the JT-60SA Team :"Overview of the JT-60SA Project", Nuclear Fusion Vol. 51, 2011, pp.094018-094029.



図 2 JT-60SA トカマク装置片断面構成図





図4 トロイダル磁場(TF)コイル



図 5 平衡磁場(EF)コイルと中心ソレノイド(CS)



Cryostat thermal shield

図6 サーマルシールド



図7 クライオスタット胴部とベース部



図 8 JT-60SA 主要機器支持構造







図 10 二重リング及び下部構造物の分割位置





図 12 下部構造物の固定位置とセクター間の接続位置



図13 円筒シェル固定位置



View without spacers

図14 二重リングのボルト固定箇所



# 図15 二重リングと下部構造物間固定箇所



図 16 クライオスタットベース全体の溶接箇所



# 図 17 二重リング分割部の溶接箇所詳細と開先形状











Notel:these redial reference marks must be continued vertically on the edge of the plate.

図 20 二重リング上の基準ケガキ線



Note1: these redial reference marks must be continued vertically on the edge of the plate.

図 21 下部構造物の基準ケガキ線

# JAEA-Technology 2013-032



NYK HINODE 社 IYO 号



船倉内のクライオスタットベース(1)



船倉内のクライオスタットベース(2)



船倉内のクライオスタットベース(3)

図 22 船室のクライオスタットベース(日立港にて)



荷下ろし(1)





荷下ろし(3)



荷下ろし(4)

図 23 クライオスタットベースの荷下ろし



大型機器の保管状態

小型機器の保管状態

図 24 日立港の保税エリアでの保管



組立室への搬入



クレーンによる吊り込み



外観検査

仮置き状態

図 25 クライオスタットベースの受入れ状態(組立室内)



図 26 JT-60 実験棟の本体室・組立室



日立港からJAEA/那珂 までのルート

図 27 クライオスタットベースの輸送ルート





下部構造物の輸送(1日目) 二重リングに輸送(7日目)図 28 クライオスタットベースの輸送

No.	作業項目	2012/12	201	3/1	201	3/2	201	3/3
1	座標系の構築							
2	組立作業の準備		 機材の準備、 	ポルト手入	れ等 			
3	クライオスタット ベース搬入/ソール プレート調整		受入、	ソールプレ・	  -ト調整   			
4	クライオスタット ベース組立、溶接			Lower Stru	ı ucture, Inne	r Cylinder,I	Double Ring	3
5	試験検査、測量					Heリーク	 2試験、PT検 	·査、測量
6	資材等の片付け							_

図 29 クライオスタットベース組立作業の実績工程表



図 30 絶対座標系



図31 本体室内の基準点





①セクター2の搬入



②仮合わせ(マスコミ見学会)



③セクター2の移動・設置



④ガイドピンの挿入



⑤ソールプレート部のボルト締結



⑥下部構造物3体の組立後

図33 下部構造物の設置



①円筒シェルの吊り込み



②M20 ボルトの締結部 図 34 円筒シェルの設置



①二重リングの設置



②M48 ボルトの締結



③二重リングセクター間の溶接



④二重リングと下部構造物との溶接

図 35 二重リングの設置



①基礎架台ソールプレートのシム②中心架台ソールプレートのシム図 36 ソールプレートの高さ調整



図 37 測定方法



図 38 二重リングの下部の M54 ボルト穴(83 個)の上面



図 39 トロイダル磁場コイル脚(TFC\_GS)の設置座の面



図 40 真空容器脚(VV\_GS)の設置座の面



図 41 クライオスタットベースの組立誤差





表 1. SI 基本単位						
甘大昌	SI 基本単位					
盔半里	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					
和辛雪	SI 基本単位				
和立里	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 数每	メートル	m <sup>-1</sup>			
密度,質量密度キ	ログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>			
面積密度キ	ログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>			
比 体 積立	方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /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 <sup>(a)</sup> , 濃 度 モ	ル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>			
質量濃度キ	ログラム毎立法メートル	kg/m <sup>3</sup>			
輝 度力	ンデラ毎平方メートル	$cd/m^2$			
屈 折 率 <sup>(b)</sup> (	数字の) 1	1			
比透磁率(b)	数字の) 1	1			
(a) 量濃度 (amount concentra	ation)は臨床化学の分野では	物質濃度			
(substance concentration) トキトげれる					

(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 租立单位	
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
亚	5.37 v (b)	red	1 (b)	m/m
	() / / / / / / (b)	(c)	1 1 (b)	2/ 2
		sr II-	1	m m
同 仮 多		пг		S .
カ	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
E 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
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 <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
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	$m^2 kg s^2 A^1$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m <sup>2</sup>	$\text{kg s}^{2} \text{A}^{1}$
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 <sup>(e)</sup>	°C		K
光束	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> cd
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Βα		s <sup>-1</sup>
吸収線量 比エネルギー分与				~
カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>2</sup>
線量当量,周辺線量当量,方向	2 ( (g)	Su	Ulta	2 o <sup>-2</sup>
性線量当量, 個人線量当量		50	o/kg	m s
酸素活性	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

酸素活性(カタール) kat [s<sup>1</sup>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 ュ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。
 (a)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)へルツは周崩現象についてのみ、ペシレルは抜焼性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (a)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度度を表すために使用される。
 (d)やレ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。
 (d)かけ性核種の放射能(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	[ 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
表 面 張 九	リニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	$rad/s^2$	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	$W/m^2$	kg s <sup>-3</sup>
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 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> sA
表 面 電 荷	「クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> sA
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> sA
誘 電 率	シファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ミヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
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 <sup>-1</sup> sA
吸収線量率	ダレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{-3}$
放 射 強 度	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	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>
酸素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> e <sup>-1</sup> mol

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

表6.SIに属さないが、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	٥	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 <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>		
リットル	L, 1	1L=11=1dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>		
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

衣される剱値が美缺的に待られるもの					
名称		記号	SI 単位で表される数値		
電	子 >	ボル	ŀ	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダ	N	ŀ	$\sim$	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統-	一原子	質量単	单位	u	1u=1 Da
天	文	単	位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> 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	-	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オン	グストロ・	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海		里	М	1 M=1852m
バ	-	ン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm)2=10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネ	-	パ	Np	CI単位しの粉値的な間接け
ベ		N	В	対数量の定義に依存。
デ	ジベ	ル	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 <sup>-7</sup> J			
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N			
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s			
ストークス	$\operatorname{St}$	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$			
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd } \text{ cm}^{\cdot 2} = 10^4 \text{ cd } \text{ m}^{\cdot 2}$			
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx			
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>			
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 <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe ≙ (10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>·1</sup>			
(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	<b>禹さないその他の単位の例</b>
	名	称		記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ	IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
$\scriptstyle  u$	ン	トゲ	$\sim$	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ			K	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
$\scriptstyle  u$			ム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガ	:	$\sim$	7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	I.	N	"		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	ートルネ	系カラ:	ット		1メートル系カラット=200 mg=2×10-4kg
ŀ			N	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	進	大気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力	П	IJ	ļ	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J(「熱化学」カロリー)
3	カ	17	~		$1 = 1 = 10^{-6} m$

この印刷物は再生紙を使用しています