JT-60 真空容器壁の建設段階の清浄化处理*

山本 正弘**・中村 博雄**・清水 正亜**・荻原 徳男**
 新井 貴**・高津 英幸**・能代谷 彰二**・大都 和良**
 原 泰博***・森田 隆昌****・笹島 強****・大和田 公郎****
 高橋 昇竜****・根本 文夫****

(昭和60年6月3日受理)

Surface Cleaning of JT-60 Vacuum Vessel during a Construction*

Masahiro YAMAMOTO**, Hiroo NAKAMURA**, Masatsugu SHIMIZU**,
 Norio OGIWARA**, Takashi ARAI**, Hideyuki TAKATSU**,
 Shoji NOSHIROYA**, Kazuyoshi OHTSU**, Yasuhiro HARA***,
 Takamasa MORITA****, Hiroshi SASAJIMA****, Kouro OWADA****,
 Shoryu TAKAHASHI**** and Fumio NEMOTO****

** (JAERI, Naka Fusion Research Establishment, Naka-machi, Ibaraki)

*** (on leave from ULVAC Corporation, Chigasaki, Kanagawa)

**** (Hitachi Works, Hitachi Co. Ltd, Hitachi, Ibaraki)

(Received June 3, 1985)

1. はじめに

原研が建設を進めていた臨界プラズマ試験装置(略称JT-60)は、昭和60年の3月下旬に完成し、4月8日プラズマの点火に成功した。現在は加熱装置等の据付が進められている。

JT-60 本体真空容器の真空性能の仕様値は、プラズマの物理的条件から非常に厳しい値が設定されている。ここでは、その性能達成のために実施したJT-60 真空容器内部の、工場製作から現地据付完了迄の清浄化处理について述べる。

2. JT-60 本体の概要

JT-60 本体の鳥瞰図及び主な諸元を図1及び表1に示

す。また、真空性能仕様値を表2に示す。JT-60 本体は、プラズマの発生、閉じ込めを行なうものであり、真空容器、トロイダル磁場コイル、ポロイダル磁場コイル、架台、真空排気設備、本体一次冷却設備、本体制御設備、可動リミタ及び半固定リミタ等から構成される。

真空容器はインコネル625製の厚肉リングとベローズをトロイダル方向に交互に配列した主半径が約3mのトラス状の容器で、ポロイダル断面の形状は、内側の短径が約2m、長径が約3mの卵形である。真空容器の内部には、プラズマ不純物対策のための磁気リミタコイルが3本設置されており、これらは、インコネル625製の保護管に収納されている。

真空容器の内壁及び磁気リミタコイル保護管の外壁は、純モリブデン及びインコネル625製の第一壁(ライナ、固定リミタ、磁気リミタ板及びリップロス熱負荷保護板等から成る)で覆われており、第一壁の表面は、プラズマの不純物対策のため総て20 μ mの炭化チタンで被覆されている。真空容器のポロイダル断面の構造を

* 昭和60年2月15日 日本真空協会2月研究会で講演

** 日本原子力研究所那珂研究所(茨城県那珂郡那珂町)

*** 日本真空技術(株)(神奈川県茅ヶ崎市)

**** (株)日立製作所 日立工場(茨城県日立市)

図1 JT-60 本体鳥瞰図

表1 JT-60の諸元

項 目	数 値
トラス半径 (主半径) R(m)	3.0
断面半径 (副半径) a(m)	0.95
アスペクト比 R/a	3.16
トロイダル磁場 (T)	4.5
プラズマ電流 (MA)	2.7

表2 JT-60 真空容器の真空に関する性能

許容放出ガス量	$1.33 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{sec} \cdot \text{m}^2$
許容総リーク量	$6.65 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{sec}$
真 空 圧 力	$1.33 \times 10^{-6} \text{ Pa}$

図2に示す。

また、真空容器には各種ポート及びメタルシールゲートバルブ等が設置され、ポートを含む真空容器全体の外表面は温度制御装置で覆われている。

以上述べたように、真空容器の内部に多くの部品が取り付くため、真空容器の見かけの表面積は 150 m^2 であるが、真空中に面する部分の真の表面積は $2,750 \text{ m}^2$ に達する。また、真空容器の内容積は 160 m^3 である。

真空容器は組立及び輸送の都合上工場においてトロイダル方向に2分割して製作し現地において溶接により接続した。なお、トロイダル磁場コイルの組立及びポロイダル磁場コイルの溶接接続は、この分割部を利用して行なった。これらの作業は真空管理上影響の大きいものであった。

3. 真空容器壁の清浄化処理方法

3.1 工場製作時の清浄化処理方法

真空容器は、工場で180度セクタに2分割して製作し、その時の清浄化処理方法は、次の3つに大別して実施し

図2 真空容器の断面図

た。

- (1) 真空容器に溶接又は機械的に取り付けられる部品の清浄化処理方法
- (2) 組立過程の清浄化処理方法
- (3) 真空容器内における作業者及び工具類に対する防塵管理

(1)の部品製作段階の清浄化処理は、真空容器へ取り付けした後でフロン洗浄を行なうもの、セラミックス等加工タテで油汚れしないもの、機械加工品等加工タテで油汚れのするものの3種類に分けてアセトンの拭き取りによる荒脱脂、アセトン洗浄、フロン洗浄を適宜組合せて行なった。

(2)の組立過程の清浄化処理方法を以下に述べる。

清浄化処理は、厚肉リングとベローズの接続溶接を行なって180度セクタの真空容器が完成した段階と内部に機械的に取り付けられる部品の組立を終了した段階の2回行なった。

この段階で真空リーク試験を行なうため真空排気と

500°Cベーキングを実施した。次に、真空容器内を再び大気に戻して、磁気リミタコイルを真空容器の中に組込み、その後3回目の清浄化処理を実施した。再び、真空排気とベーキングを実施後、リーク試験を実施し工場における製作を完了した。

なお、工場の清浄化処理方法は、清掃、アセトン及びフロン洗浄の拭きとり洗浄並びにフロン洗浄のジェットスプレー洗浄を組合せて実施した。フロン洗浄のジェットスプレー洗浄作業は、図3に示すようにエアースーツを着用して行なった。

(3)の真空容器内作業の作業者及び工具類に対する防塵管理は、塵埃が真空容器に侵入するのを極力抑えることに主眼をおき次のような対策をした。

作業者の身体、頭、手及び足に防塵用の服、白帽、手袋及び足袋を着用し、また、治工具類については、外表面をフロンで拭き取り洗浄を行なったほか、照明や溶接器具などのリード線の表面をテフロンテープなどで覆った。

図3 フレオンスプレー洗浄

3.2 現地据付時の清浄化処理

原研那珂研究所に搬入された180度セクタ2分割の真空容器はJT-60本体を構成する前述の他の主要機器と併行に組立作業を実施した。また、真空容器内に設置される第一壁、プラズマ位置制御用の電磁気計測検出器等も他の作業と併行に組立作業を実施した。

本来、真空容器内に取り付け機器は、2分割された真空容器が1つの容器に接続された状態で、組立作業を行なうことが防塵等の観点から望ましい。しかし、JT-60の組立と工程短縮を考慮し2箇所の接続部のうち1箇所が開口した状態で、容器内機器の組立を実施した。

このような現地据付時における真空容器の清浄化処理の問題点をまとめると次のとおりである。

- (1) 現地で真空容器内に組立なければならない部品、機器が非常に多いので、工場で清浄化処理しても再び汚れてしまう可能性が高い。
- (2) 他の大型機器と併行して組立を実施しなければならないので、長い期間真空容器内の防塵対策が満足にできない。
- (3) 真空容器内で実施する種々の溶接作業は、真空容器内を汚す大きな原因になる。
- (4) JT-60本体の組立室（本体組立室）で、大型車両

の出入及び大型クレーンの稼動が頻繁に行なわれるため、本体組立室への塵埃の持込み、侵入が著しく、真空容器内が汚れ易い。

- (5) 現地の据付け期間が約2年にも及ぶため、真空容器は塵埃の多い環境に曝される期間が長い。

など、質の良い清浄な真空を要求される核融合装置の真空容器の組立にとって非常に条件が悪い。

このような環境下における、真空容器内機器の現地組立工程と清浄化処理工程の概要を以下に述べる。

溶接、部品の合せ加工、治工具類の撤去作業等、真空容器を汚し易い作業を行ない、真空容器内の1回目の洗浄を実施した。次に、第一壁以外の機械的に取付けられる機器類の取付作業を行ない、2回目の真空容器内洗浄を実施した。その後、第一壁の取付作業、上側ポートゲートバルブの取付、真空容器接続部の残り1箇所の溶接作業を終了後3回目最後の真空容器内洗浄を実施した。ここで、一旦、真空容器内を真空排気して、ベーキング試験とリーク試験を行ないベーキング装置の性能と真空容器の健全性の確認を行なった。再度、真空容器内を大気に戻して、下側ポートゲートバルブの取付等、残りの組立作業終了後、ベーキングと最終的な真空リーク試験を実施し真空容器の組立を完了した。

各工程の洗浄後の検査は、目視による検査の他、アセトンを浸潤させた特殊ガーゼで、真空容器内部の任意の場所を隈なく拭き、ガーゼが汚れないことを判定条件とした検査を実施し清浄度を確認した。

次に、各作業の内容の詳細について述べる。

真空容器内の洗浄は、真空掃除機に依る清掃、エアブロー、温水の吹き付け洗浄、フレオンの吹き付け洗浄及びフレオン又はアセトンの拭きとり洗浄等の一連の作業によった。

次に、真空容器内への塵埃侵入防止対策方法について述べる。

真空容器のポートのフランジ及びゲートバルブは、総てメタルシール構造なので、シール部に塵埃が付着すると、真空リークの原因となる。そのため、質の良い真空を得るためにも、極力、真空容器内に塵埃が侵入するのを防止する必要がある。

その対策として、(1)真空容器内への作業者の出入り用マンホールに直結して、ビニール等で仕切られた部屋を設け、そこで、真空容器内への持ち込み治工具及び部品の洗浄並びに作業服や靴の着替を行なった。(2)ゲートバルブの取り付けに際して、ビニール製のクリーンルームを設置した。(3)真空容器の上側ポートからエアフィルタ(0.3 μm 以上のダストを99.9%除去可能)を通して清浄な空気を真空容器内に供給し、その内部を陽圧にし

表3 真空容器内等の浮遊ダスト粒子数
(大きさ $0.5\mu\text{m}$ 以上) 個/ ft^3

測定場所		測定値
キャットウォーク	①	～610,400
	②	～649,000
	③	～506,300
組立室	④	～1,272,300
	⑤	～774,600
	⑥	～608,900
	⑦	～1,430,400
本体室	⑧	～242,400
	⑨	～169,200
	⑩	～315,700
	⑪	～453,200
真空容器	⑫	～3,500
	⑬	～3,300
	⑭	～1,270
ゲートバルブ据付時クリーンルーム		
クリーンルーム内(入口密閉)		～1,330
クリーンルーム内(入口半開)		～4,400
クリーンルーム外(本体組立室)		～314,600

番号：測定場所

図4 最終洗浄後の真空容器内部

表4 放出ガス速度及び真空圧力

	日 付	真空圧力 P_a	$q P_a \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$
1 ベーキング前 (1回目)	10月20日	2.2×10^{-4}	1.9×10^{-8}
2 ベーキング後 (1回目)	10月26日	6.2×10^{-6}	2.1×10^{-8}
3 真空リーク補 修後	10月30日	2.2×10^{-5}	6.9×10^{-9}
4 ベーキング前 (2回目)	11月19日	1.5×10^{-5}	7.1×10^{-9}
5 ベーキング後 (2回目)	11月26日	8.5×10^{-6}	2.4×10^{-9}
6 コイル通電試 験中	12月21日	1.3×10^{-6}	8.5×10^{-10}
7 高温時コイル 通電試験前	2月13日	5.9×10^{-6}	5.3×10^{-9}
8 高温時コイル 通電試験後	2月25日	9.7×10^{-7}	1.5×10^{-9}
9 "	2月27日	8.3×10^{-7}	7.6×10^{-10}
10 "	2月28日	7.4×10^{-7}	6.8×10^{-10}

てマンホール等の開口部からの塵埃の侵入防止をした。同時に作業者に対する酸素欠乏防止対策を行なった。(4)本体組立室、真空容器内及びクリーンルーム内について、塵埃の浮遊ダスト粒子数をパーティクルカウンタにより適宜測定し(表3参照)、清浄度を確認しながら作業を進めた。(5)本体組立室及び真空容器内の定期的な清浄、機器・資材等の搬入用大型車両の本体組立室へ入る際の洗車並びに作業者の防塵服や靴の底のクリーニングなどを定常的に実施した。

最終的洗浄後の真空容器内部を図4に示す。

4. 真空特性

真空圧力及び放出ガス速度のデータを表4に示す。

このデータは1回目のベーキング前から、高温時のコイル通電試験終了時までの一連の試験中のデータである。

なお、本試験のベーキング中、取り合いフランジ部に真空リークを生じたがボルトの増し締めを行なって補修した。

(1)真空圧力：1回目のベーキング後では、仕様を満足しなかったが2回目のベーキング後、1カ月経過して、仕様を満足した。

放出ガス速度：1回目のベーキング前で、ほぼ仕様を満足しており、真空容器内の清浄度は非常に良かったと思われる。リーク補修後は仕様を十分満足した。

なお、測定方法はビルドアップ法に依って行なった。具体的には真空排気設備のターボ分子ポンプの上流にあるゲートバルブを一斉に閉じて、単位時間当たりの真空圧力の上昇を測定して求めた。

(3)質量分析：真空容器のベーキング開始前の質量分析

図5 真空容器ベーキング開始前の質量分析結果

結果(図5参照)では、ハイドロカーボン系のマスピークは比較的小さく、洗浄程度は良好であったと言える。また、ベーキング後の質量分析結果では水素が支配的であり、ハイドロカーボン系はほとんど見られなかった。

5. まとめ

JT-60 真空容器の清浄化処理の結果、得られた成果をまとめると次のとおりである。

- (1) 真空容器が大型で極めて複雑な構造にも係わらず JT-60 の真空仕様の真空圧力及び放出ガス速度を十

分満足する性能が得られた。

- (2) ゲートバルブ及びフランジのシール部は、塵埃の噛み込みに依る真空リークはなく、ダスト管理の成果が十分にあった。この結果、ダストの管理値 1×10^4 個/ ft^3 は適当であったと思われる。
- (3) 現地組立完了後の真空容器のベーキング開始前の質量分析結果では、ハイドロカーボン系のマスピークは比較的小さく、洗浄程度は良好であったと言える。
- (4) 昭和60年4月から3カ月間のプラズマ放電実験では、再現性の良いプラズマ生成の実験結果が得られており、真空容器内の清浄度が良かった証拠の1つと言える。

謝 辞

本JT-60真空容器壁の清浄化処理は、原研、(株)日立製作所の2者の協力のもとに実施された。この間、太田充JT-60第2試験室長、大久保実同室開発グループリーダーをはじめ、第2試験室の多くの方々から有益な御意見、御指導を戴いた。

また、吉川允二臨界プラズマ研究部長、飯島勉JT-60試験部長、田村早苗臨界プラズマ研究部次長、に終始、激励をいただいた。

以上の方々と実施に当たられた(株)日立製作所の関係諸氏に深く感謝致します。