臨界プラズマ試験装置 (JT-60) のリークテスト技術

神永 敦嗣*・新井 貴*・児玉 幸三*
佐々木 昇*・西堂 雅博*

(受理1998年3月18日, 掲載決定1998年8月1日)

Vacuum Leak Test Technique of JT-60

Atsushi KAMINAGA*, Takashi ARAI*, Kozo KODAMA*,
Noboru SASAKI* and Masahiro SAIDOH*

(Naka Fusion Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute
Mukouyama 801-1, Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken 311-0193*)

(Received March 18, 1998, Accepted August 1, 1998)

Since a vacuum vessel of JT-60 is very large (167 m^3) and is combined with many components, such as magnetic coils, neutral beam injection systems and RF heating systems, etc., the position of leak testing exceeds 700. The two kind of techniques for vacuum leak test used in JT-60 has been described. Firstly the probe helium gas can be fed remotely in the three-dimensionally sectioned 54 regions of the JT-60 torus. The leak test was very rapidly performed by using this method. Secondly the helium detector system has been modified by the additional installation of the cryopump, which reduced the background level of the deuterium gas. The sensitivity of vacuum leak test with the cryopump was two orders of magnitude larger than that of without it.

The examples of the performed vacuum leak test are stated. The vacuum leaks during experiments were 9 times. They were caused by thermal strain and plasma discharge. The vacuum leaks just after maintenance are 36 times which mainly caused by mis-installation.

1. はじめに

臨界プラズマ試験装置 (JT-60) は, 1985年に運転を開始して以来13年が経過し, その間に, 臨界プラズマ条件の達成, 核融合積とイオン温度で世界第1位を記録する等多くの成果を挙げてきた. JT-60は, Fig. 1に示すように, 真空容器¹⁾を中心にその周りをトロイダル磁場コイル, 中性粒子入射加熱装置, 高周波加熱装置, プラズマ計測装置並びにガス注入装置, ベレット入射装置等の多機能にわたる各種装置が設置された集合型の大型超高真空装置であり, 高性能なプラズマを実現するために

は, 不純物の原因となる真空リークの無い良好な真空状態を保つことが必要である. このため, リークテスト技術は, 不可欠な技術であるとともに, 特にJT-60のように, リークテスト対象箇所が約700箇所にもものぼる大型装置であり, しかも, これらが大きな空間に分散しているにも拘わらず1箇所毎の作業空間が狭い大型装置では, 効率的, 高信頼度且つ効果的に実施できる真空リークテストの方法を採用することが必須である.

JT-60では, (1)被試験箇所を区分けして, それぞれの領域にヘリウムガスを吹き付ける吹き付けポート (マニホールド) を設置するとともに遠隔式 (約700箇所内の約500箇所を54領域に分割) 及び手動式の両方式でヘリウムガスの吹き付けができるプローブガス供給系を設けリークテストの迅速化を図ったこと, (2)リークテスト

* 日本原子力研究所那珂研究所 (〒311-0193 茨城県那珂郡那珂町向山801-1)

Fig. 1 Bird's eye view of JAERI Tokamak JT-60 machine.

装置としては、重水素の存在する条件下においてもヘリウムの検出感度が低下しない装置（クライオポンプを併用することにより、ヘリウムの検出感度が2桁向上）としたこと、の2点を特徴とする方法を採用している。さらに、JT-60は多機能にわたる各種装置の共存を前提とする集合型の大型超高真空装置であるため、装置の付加、ポートの改造等は予め設定している真空管理基準に則って行っている。真空管理基準には、試験箇所1箇所当たりのヘリウムリーク量（基準値： $1 \times 10^{-10} \text{ Pa m}^3/\text{s}$ 以下）や放出ガス量（ $1 \times 10^{-8} \text{ Pa m}^3/\text{s/m}^2$ 以下）等の具体的な基準値を設定するとともにJT-60が大型の電気機器であることも考慮に入れた設置基準等も盛り込まれている。

ここでは、上述した内容を背景にJT-60におけるリークテスト技術について、特徴と実施例を中心に述べる。

2. JT-60のリークテストの特徴

JT-60におけるリークテスト技術の最大の特徴は、以下の通りである。被試験体である真空容器及びリークテスト装置の設置建家とは別建家にある中央制御室から被試験箇所へのヘリウムガスの吹き付けからリークテスト装置の稼働・ヘリウムガスの検出、真空リーク箇所の領域の同定まで複雑多岐にわたる操作を一括して出来る点である。このことにより、JT-60はリークテスト箇所が約700箇所にものぼる大型の超高真空装置であるが、効率

良くリークテストを実施でき、真空リーク箇所に対しては早期の対処が可能となった。

2.1 プローブガス供給系²⁾

JT-60の真空容器は、Fig. 2に示すように横方向、斜め上下方向、垂直上下方向に矩形から円形まで様々な形状で且つ寸法の異なるポートが溶接され、さらにそれぞれのポートには、使用目的に応じた小さいポートが幾つか付加され、その先端に各種装置が設置された複雑な構造を有する。このため、リークテスト対象箇所は約700箇所にもものぼる。これらの被試験箇所は、真空容器を中心にトラス方向および斜め上、水平、斜め下の方向の約500箇所（上下方向を除く）を全体で54の領域に区分けしている。これらの領域には、Fig. 3に示すように遠隔でヘリウムガスの吹き付けが可能なマニホールドを有するプローブガス供給系を設置した。各マニホールドには、さらに個々のバルブ、フランジ等の被試験箇所へヘリウムガスを吹き付けることが出来るノズル（最大5本）を取り付けた構造としている。ヘリウムガスの被試験箇所への吹き付けは、中央制御室から操作し、それぞれの領域に単独で吹き付けることが出来る。また、作業員が対象箇所近づいて、手動にてより詳細なリークテストを行うためのプローブガスガンの接続口がJT-60全体で68箇所の領域に設置されている。

本供給系の設置は、真空リーク箇所の早期発見、作業人員の削減、作業時間の短縮等リークテストの効率化に

Fig. 2 Vacuum vessel parameters.

Vacuum vessel parameters	
Major radius	3.41m
Inner vertical height	3.19m
Inner radial width	2.32m
Thickness	40mm
One turn resistance	0.21mΩ
Volume	167m ³
Ultimate pressure	6.7×10 ⁻⁷ Pa
Baking temperature	300℃
Outgas rate	1×10 ⁻⁸ Pa m ³ /s/m ²
Leak rate	1×10 ⁻¹⁰ Pa m ³ /s
Leak test point	Vacuum vessel
	Others
	465 Points
	About 230 Points

Fig. 3 Schematics of probe gas supply system.

大いに役立っている。

2.2 クライオポンプを設置したリークテスト装置³⁾

JT-60では、1991年より重水素を燃料ガスとする実験運転を開始した。重水素分子とヘリウムとは、ほぼ同じ質量であるため、通常の質量分析器を利用するリークテスト装置では、ヘリウムの検出感度の低下を招く。これを解決するために、クライオポンプをヘリウムリーク検出器の前段に設置し、ヘリウム以外のガス(主に重水素)の排気を行う方式の装置を採用した。JT-60では、Fig. 4に示すように、真空排気設備の最終端に本装置を設置している。実際に実験運転で大量の重水素およびヘリウ

Table 1 Comparison by sensitivity of a helium leak detector with/without cryopump

Sensitivity of a helium leak detector
1.0×10 ⁻⁷ Pa m ³ /s (with cryopump)
1.0×10 ⁻⁵ Pa m ³ /s (without cryopump)

Vacuum vessel pressure: 2.5×10⁻⁵ Pa

Vacuum vessel temperature: 292℃

ムガスを使用した後に、それらのガスの存在下における検出感度は、クライオポンプが有る場合は1×10⁻⁷ Pa m³/sを得たが、無い場合には1×10⁻⁵ Pa m³/sであった。この様にクライオポンプを併用することにより、ヘリウムの検出感度が2桁向上することを確認した (Table 1 参照)。

3. リークテスト実施例

JT-60では、年間計画に従って11月から12月にかけて真空容器内の改修・整備をはじめ、本体周辺の各種機器・設備、加熱装置等の定期点検を実施している。また、この時期に合わせて新たに装置の付加や改造等の工事を行う。従って、1月の実験運転開始前には、工事箇所を含めたリークテストを実施することとしている。JT-60では、通常300℃で真空容器のベーキングを行った状態で実験運転を行うため、リークテストは、定期点検終了後の真空排気開始直後の室温時に1回目を行う。その後、真空容器とポートをそれぞれ300℃および150℃でベーキングを行い、ベーキング後一旦室温まで温度を下げた後の合計2回行っている。このような工事期間後での真空リークの原因は、Fig. 5に示す様にフランジ取り

Fig. 4 Schematic of leak test system in JT-60.

Fig. 5 Causes of vacuum leaks just after maintenance in JT-60.

Fig. 6 Causes of vacuum leaks during experiments in JT-60.

付け時の締め付け不足と片締め、さらには、ガスケットへの異物の混入等の取り付け不良が全体の9割を占める。

一方、過去5年間の実験運転時に9回の真空リークの発生を経験しているが、熱歪みに起因する真空リークが4件であった。また、他の5件については、プラズマ位置制御不良によりプラズマが直接配管に接触し真空リークが発生したような、プラズマ放電により発生した一次

事象が原因となって真空リークを引き起こしている (Fig. 6 参照)。

4. まとめ

JT-60では、プローブガス供給系およびクライオポンプを具備したリークテスト装置を設置したことにより、リークテストを効率的、高信頼度で且つ効果的に実施出来ている。

将来の核融合実験装置では、重水素或いはトリチウムを使用するため、放射線被ばくに対する対策を考慮に入れた真空リークテスト技術の開発が必要である。さらに、ヘリウムガスは、核融合反応の灰として常に存在するため、ヘリウムガス以外のプローブガス（例えばネオンガス）を使用し、ヘリウムリークテストと同様な検出感度が得られる試験方法を検討し、実用化する必要があると思われる。また、検出器自体で重水素とヘリウムガスの分離ができ、重水素の影響を受けない検出装置の開

発も今後必要であろう。

〔文 献〕

- 1) H. Horiike et al.: Fusion Engineering and Design, 16 (1991) 285.
- 2) 神永敦嗣他：第14回技術研究会報告，分子科学研究所（1993）.
- 3) 神永敦嗣他：平成9年度核融合科学研究所技術研究会予稿集 5-(13) (1997).