ペニング放電を用いたJT-60 プラズマ周辺部の 圧力測定装置*

荻原 徳男**・山下 幸彦**・横溝 英明**
前野 勝樹**・島田 徹***・君島 文雄***

(昭和62年12月25日 受理)

Direct Pressure Measurement near a Plasma of JT-60 by using a
Penning Discharge sustained by the Toroidal Magnetic Field

Norio OGIWARA**, Yukihiro YAMASHITA**, Hideaki YOKOMIZO**,
Masaki MAENO**, Toru SHIMADA***, and Fumio KIMIJIMA***

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

*** (ULVAC Co., Hagizono 2500, Chigasaki, Kanagawa)

(Received December 25, 1987)

1. 緒 言

核融合装置におけるプラズマ周辺部の圧力測定は、プラズマ粒子の閉じ込め特性を評価する上で、あるいは、ダイバータを備えた装置では粒子排気・不純物ガスの除去といったダイバータ効果を評価する上で重要である。そのため種々の電離真空計がプラズマ周辺部の圧力測定に用いられてきた^{1,2)}。しかし、真空容器周辺は、プラズマを閉じ込めるための強い磁場にさらされているため、真空計を真空容器から遠ざけることが必要であった。したがって、応答速度の速い測定は困難であった。本報告では、強磁場を利用したペニング放電を用いることにより応答速度の速い圧力測定が可能になったことを述べる。本ペニング真空計により、臨界プラズマ試験装置 (JT-60) におけるプラズマ周辺部の圧力を約30 msの時定数で測定することが可能になったことを明らかにする。また、電流のかわりにペニング放電光を測定する

ことにより、圧力測定が可能であることを明らかにする。

2. 装置の概要

2.1 測定箇所

JT-60の特徴はダイバータを備えていることであり、ダイバータ効果を評価することが重要な実験テーマの一つである³⁾。そのためダイバータ部および主プラズマ周辺部の圧力測定が必要である。Fig. 1に測定子を設置したポートの位置を示す。圧力測定にはダイバータ部2ポート (P1, P2) および主プラズマ周辺部1ポート (P3) を用いる。

JT-60などの大型核融合装置において要求される圧力測定の時定数は、およそ10 msである¹⁾。Fig. 2はJT-60における圧力測定の時定数と磁場の関係を示したものである。横軸は真空容器のポート開口部からの距離であり、縦軸は容器近傍の磁場の主成分であるトロイダル磁場とH₂の圧力伝播の時定数とである。ここで配管の直径は100 mmである。この図から10 msの応答速度を得るためには、ポート取合位置 (図中A点) 近傍に測定子を置かねばならないことがわかる。この位置でのトロ

* 昭和62年11月12日 第28回真空に関する連合講演会にて講演 (12Aa-3)

** 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㈱ (神奈川県茅ヶ崎市萩園2500)

Fig. 1 Schematic view of the cross section of JT-60. Penning configuration gauges are installed in P1, P2, and P3 ports.

Fig. 2 Response time for H_2 and toroidal magnetic field as a function of distance from inner wall of JT-60 at P1 port. Point A indicates the flange position.

イダル磁場は最大15 kG 以上である。

2.2 原理

このような強磁場中で圧力測定を行うため、トロイダル磁場を利用したペニング放電を用いた。Fig. 3 にその原理を示す。ペニングセルの軸とトロイダル磁場の向きを一致させ、トロイダル磁場がかけられた状態でアノード・カソード間に高電圧を加える。このとき生ずるペニング放電の電流値と放電光から圧力を求める。放電光の

Fig. 3 Method of measuring pressure. Cathode current and light intensity are measured.

Fig. 4 Schematic diagram of Penning configuration gauges for JT-60.

測定は電流のかわりに光による圧力測定を行うためのものである。

なお、本装置の製作に先立ち14 kG までの磁場中でのペニング放電の磁場特性および放電光と電流との関係を調べた⁴⁾。その結果1 Pa 以下の H_2 に対して次の2項目が明らかになった。(i)ペニング放電電流は6 kG 以上の磁場では磁場の強さに依存しない。(ii)放電光は電流のみの関数でしかも電流に対するその比は一定である。

2.3 機器構成および制御

本装置の機器構成をFig. 4 に示す。本体室 (Torus hall) および計測室 (Diagnostic room) に置いた2台のマイクロコンピュータ (CPU) により制御およびデータ収集を行う。ホール素子 (B_T pick-up) によりトロイダル磁場を常時モニタし、磁場が設定値をこえると最大5 kV の電圧をアノードに加える。これと同期してカソード電流をCPU に取込む。一方、放電光を300 m の多芯ファイバケーブルにより計測室へ導き、バンドパスフィルタあるいは分光器により分光し、フォトマルにて光検知する。

データ収集のサンプリング時間は2 ms であり、収集

Fig. 5 Typical time response of Penning configuration gauges. (a) time response of the gauge at P2 port after plasma disruption. (b) time response of the gauge at P3 port after contact of a plasma with inner wall near the gauge during ~ 1 ms.

Fig. 6 Ratio of light intensity to cathode current as a function of toroidal magnetic field. Leading line of Balmer series (H_α) is measured as light intensity.

時間は約1分間である。JT-60プラズマ電流の立上り(I_p 励起) 信号をマークとして取込むことにより、圧力信号とJT-60プラズマシーケンスとの時刻あわせを行う。

3. 測定結果

本装置の特性を実測例により示す。圧力の較正につい

Fig. 7 Typical output of the gauge at P2 port from a plasma with divertor configuration. Plasma current is 1.0 MA. Neutral beam of 19 MW is injected from 6.0 s to 7.0 s.

ては別に述べることにし、ここでは電流および光強度の出力を示すことにする。使用ガスはすべて水素である。

瞬間的なプラズマ消滅に伴う出力の応答を調べることから、真空計の時定数を評価することが可能である。プラズマが数 ms 以下で消滅し、その結果プラズマ中に捕捉されていた粒子はこの瞬間に解放される。**Fig. 5(a)**はこのときのペニング放電電流の時間変化を示したものである。立上りの63%に相当する時間から、時定数は約30 msと評価される。圧力降下に対する応答を**Fig. 5(b)**に示す。この図は、プラズマが真空容器内壁に、瞬間、接触したときの主プラズマ周辺部(P3)に取り付けた測定子の出力の時間変化を示したものである。電流がピーク値の $1/e$ になる時間から、時定数は約30 msと評価される。この結果から本装置は圧力降下時にも十分速い応答速度を有しており、ペニング真空計に対する一般的な指摘⁶⁾のあてはまらないことがわかる。ペニングセルの排気作用と比較して配管コンダクタンスが十分大きいと、応答速度が遅くならないものと考えられる。

Fig. 6はペニング放電光強度と電流の比のトロイダル磁場依存性を示したものである。この比は12 kGから20 kGにわたって測定誤差内($\pm 15\%$)で一定である。この結果は予備実験によって得られている知見とはほぼ一致しており⁴⁾、電流のかわりに光強度による圧力測定が可能であることを示している。

プラズマ放電における典型的な測定例を**Fig. 7**に示す。これは、**Fig. 1**に模式的に示すダイバータ配位⁵⁾のプラズマに対して、ダイバータ下部(P2)の位置における電流および光強度の時間変化を示したものである。ここで6秒から7秒までの圧力上昇は中性粒子入射加熱によるものである。この間のガス負荷は $6.9 \text{ Pam}^3/\text{s}$ に達

する。この図から光強度と電流のよい一致が確認できる。また、この図からプラズマ中に入射された高速中性粒子の閉じ込め時間はおよそ150 msであることがわかる。

4. 結 語

JT-60プラズマ周辺部の圧力測定を行うため、トロイダル磁場を利用したペニング真空計を製作した。本真空計の圧力測定の時定数は約30 msであり、十分速い圧力変動を測定しうることを明らかにした。また、電流のかわりにペニング放電光を測定することにより圧力測定が可能であることを明らかにした。

以上、本真空計によりプラズマ周辺部の圧力測定が容易になった。今後、分光分析による分圧測定を行う予定である。

〔文 献〕

- 1) H. F. Dylla: J. Vac. Sci. Technol. **20** (1982) 119.
- 2) A. Berman: J. Vac. Sci. Technol. **18** (1981) 1017.
- 3) M. Yoshikawa and K. Tomabechi: Nucl. Technol./Fusion **4** (1983) 299.
- 4) N. Ogiwara and M. Maeno: to be published.
- 5) M. Yoshikawa: Nucl. Fusion **25** (1985) 1081.
- 6) 中山勝矢, 小野雅敏: 真空技術, 林主税編 (共立, 1985) p. 305.