光ファイバー式隔膜真空計の試作*

廣木 成治**・阿部 哲也**・村上 義夫**・飯村 康晃***

(昭和63年1月14日 受理)

Fabrication and Testing of an Optical Diaphragm Manometer

Seiji HIROKI**, Tetsuya ABE**,
Yoshio MURAKAMI** and Yasuaki IIMURA***

**(Japan Atomic Energy Research Institute, Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken)

*** (Ewig Engineering Co., Ltd. Shinsen-cho, Shibuya-ku, Tokyo)

(Received January 14, 1988)

1. はじめに

核融合炉に使用される真空計測器は、放電中のプラズマ周辺部の圧力や燃料注入用ガス流量を高速かつ正確に測定するため、炉心プラズマのできるだけ近くに設置する必要がある。しかし、現在実用化されている真空計の多くは、圧力変化を電氣的に検出する方式であるため、センサー部や制御系、信号増幅回路、さらにこれらを電氣的につなぐ同軸ケーブル類が核融合反応による放射線やプラズマ閉じ込め用の磁場などの影響を受けてノイズの混入が著しくなる¹⁾。そこで、核融合炉環境下でのノイズの問題を改善するため、全圧計の一種である隔膜真空計を改良し、隔膜の微小変位を光で検出して光のまま伝送する方式の光ファイバー式隔膜真空計を試作した。

2. 装置の構成

Fig. 1 に光ファイバー式隔膜真空計の構成を示す。センサーヘッド部を隔膜で2室に仕切り、片側を超高真空に排気した後、バリウムゲッターを活性化して真空封じする。隔膜中心部の変位を検出するため、サファイアガラス製ビューポートが取り付けられている。光ファイバーは、耐放射線性を有する石英系を使用し、投光用と受光用ファイバーがステンレス製のスパイラル管と一緒に入

っている。この光ファイバーの断面形状を Fig. 2(a) に示し、隔膜近傍での光の広がるようすを Fig. 2(b) に示す。投光側に一定光量に制御されたタングステンランプの光を入射し、ビューポートのガラス面を介して隔膜に光を当てる。隔膜で反射した光の一部は、隣り合う受光用ファイバーに取込まれる。そして、圧力変化に応じて隔膜が微小変位すると反射光量が変化し、これを受光用ファイバーに取込み、フォトダイオードで電圧出力として検出される。

つぎにセンサーヘッド部の構造を Fig. 3 に、外観写真を Fig. 4 に示す。隔膜の材質はインコネル600、厚みは25 μm 、溶接後の隔膜の直径は60 mm である。サファイアガラスの厚みは1.0 mm、隔膜とガラスの間隔は真空封じ前、0.5 mm に設定した。

また、真空計として使うときの圧力変化に対する隔膜の変位量を求めるために隔膜の溶接前、隔膜とガラス面との間隔 D を変えたときの出力電圧を測定した。結果を Fig. 5 に示す。マイクロメータ (分解能 2 μm) を備えた直線運動機にインコネル隔膜をガラス面と平行になるように取付け、隔膜とガラス面を密着させた状態から徐々に広げて出力電圧を測定した。D が大きくなるにつれ出力電圧が増加する領域での直線性を有する部分での感度は0.015 $\mu\text{m}/\text{mV}$ 、出力電圧が減少する領域での感度は0.059 $\mu\text{m}/\text{mV}$ だった。

3. 真空計としての基本特性

試作した真空計の基本特性を測定した。実験装置の構

* 昭和62年11月13日 第28回真空に関する連合講演会にて講演 (13p-2)

** 日本原子力研究所・那珂研究所 (茨城県那珂郡那珂町向山801-1)

*** エヴィックエンジニアリング(株) (東京都渋谷区神泉町18-8)

Fig. 1 Basic configuration of the optical diaphragm manometer.

Fig. 2 (a) Cross-sectional view of the bundle fiber, (●) shows emission side and (○) shows accept side. (b) The state of the light spreading near the diaphragm.

Fig. 3 Sectional view of the sensor head.

Fig. 4 Picture of the sensor head.

Fig. 5 Distance vs. output characteristics of the optical fiber.

Fig. 6 Schematic view of the experimental set-up.

成を Fig. 6 に示す。試作した光ファイバー式隔膜真空計を真空配管に取付け、ロータリーポンプで徐々に排気しながら出力電圧の変化を測定した。圧力は、MKS 社製静電容量式隔膜真空計で測定した。結果の 1 例を Fig. 7 に示す。出力電圧は、デジタル値で 1 mV 単位まで測定可能である。パラメータとしてサファイアガラス面から光ファイバー端面までの距離 (Fig. 1 の l) を変

えた。 $l=0$ mm, すなわちファイバー端面がガラス面に密着した状態で、大気圧 (1.0×10^5 Pa) $\sim 7.0 \times 10^4$ Pa 程度では出力電圧がマイナスになっている。これを Fig. 5 の校正曲線と比較すると、ガラス面とインコネル膜が密着した状態、すなわち距離 D が 0 のとき、出力電圧は 0.7 V 程度である。しかるに実際の真空計で大気圧近傍で出力電圧がマイナスとなるのは、膜が湾曲している

Fig. 7 Pressure vs. output characteristics for various gap length.

Fig. 8 Pressure vs. displacement characteristics for measured and calculated value.

ので反射光の散乱が大きく、十分な反射光量を取込めないためと思われる。

また、Fig. 5 と Fig. 7 から圧力変化に対する隔膜の変位量を求めると、Fig. 8 の実測値のようになる。これ

は、Fig. 7 の圧力変化に対し、出力電圧が変化しなくなる 0.1 Pa 台での出力電圧を基準にして変位量 Y_m を 0 とし、この値からの出力電圧の変化を Fig. 5 の校正曲線から変位量として求め、プロットした。ほぼ $10 \sim 10^4$ Pa で直線性を有している。ただし、大気圧付近では出力電圧がマイナスとなってしまったため、プロットできなかった。これまでに隔膜真空計の圧力と隔膜の変位量の関係式はいくつか提案されている。1 例として、隔膜の中心部の最大変位 y (m) と隔膜の両側の圧力差 Δp (Pa) の関係として、

$$\frac{y}{\Delta p} \approx \frac{a^2}{4S} \quad (1)$$

なる式²⁾に試作品の値を代入してみる。 a は膜半径で、0.03 (m)、 S は膜張力で 2.24×10^3 (N·m⁻¹) である。ただし、 $y \ll 0.005a (=150 \mu\text{m})$ で成り立つ。これより、

$$\frac{y}{\Delta p} \approx 1.0 \times 10^{-7} \text{ (m} \cdot \text{Pa}^{-1}) \quad (2)$$

となる。この値をプロットしたのが、Fig. 8 の計算値である。実測値は 4.0×10^{-8} (m·Pa⁻¹) であった。

以上より、ファイバー端面からガラス面までのギャップ長 l を適当に選ぶことにより、10 Pa 程度まで絶対圧を測定することができた。さらに感度や安定性を高めるには、センサーヘッド部を恒温槽に入れたり、光ファイバー先端部に光学レンズ系を採用すること、同一ファイバー束を 2 本束ね、その差動出力を取り出すことなどが考えられる。

〔文 献〕

- 1) H. F. Dylla and T. J. Provost: J. Vac. Sci. Technol. 21 (1982) 707.
- 2) (社)計量管理協会編：センサーの原理と使い方(2) (コロナ社, 1984) p. 123.