

The development of a Pirani vacuum gauge with a platinum wire in J-PARC RCS

Yusuke Hikichi¹, Norio Ogiwara¹

¹Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1195, Japan

Abstract

The backing pressure of the turbomolecular pumps (TMPs) is always monitored with Pirani gauges in J-PARC RCS, where TMPs are used for not only rough pumping but also evacuation during beam operation. To minimize radiation exposure during maintenance, it is necessary for the gauge head to have high toughness against the vibration and abrupt air inlet etc. Thus W wire 50 micrometer in a diameter was adopted as the filament. This type of Pirani gauge has been working well for monitoring the backing pressure of the TMP, however, it has become difficult to measure the low pressure less than several Pa with this gauge. This may be due to the change in emissivity for W surface.

Thus we attempted to develop the gauge head made of Pt wire for measuring the pressure as low as 0.1 Pa. Pt is one of the best materials, because it is very stable against oxidization. However, the ordinary Pt gauge head is rather weak against the vibration and abrupt air inlet due to its low tensile strength. In order to improve the toughness the filament was composed of 12 short and thick Pt wires 100 micrometer and 75 cm long, which lead to the endurance against the force of 26.4 N. All the wires are welded in series on the metal poles in two separate glass plates. Each pole is electrically insulated. As a result, the filament, which is 75 cm long and has about 10 ohm at room temperature, is contained in the cylindrical region 35 mm in diameter and 110 mm long.

Then we examined the output from this gauge head as a function of pressure under constant current, because this gauge was planned to be controlled by the constant current method with the four-point probe method. Finally, we confirmed that the pressure from 0.1 Pa up to 1000 Pa is well measured by this gauge, employing the current control in such a way that the set value increases with the pressure increase in three stages.

J - P A R C R C S 用 ピ ラ ニ 真 空 計

1. はじめに

3GeV 真空システムではターボ分子ポンプ (TMP) の背圧監視にピラニ真空計 (PIG) を使用しているが、タンゲステンフィラメントが感度変化を起こし、0.1Pa程度の使用で約2Paより低圧の範囲で測定が困難になった^[1]。

明白ではないが、感度変化の原因はタンゲステンフィラメントの酸化によるものと考えられる。そこでフィラメント材に化学的に極めて安定しており酸化されにくいことから、度量衡原器 (キログラム原器、メートル原器) などに利用されている白金を選択し、PIG真空計の見直しをすることにしたのでその報告をする。

以下、2章の白金測定子の開発で測定子の構造について述べる。3章から5章までは下記の流れで報告する。

- 1) 3章 白金測定子の定電流特性カーブの取得
- 2) 4章 特性カーブに基づいて制御方式の検討
- 3) 5章 制御方式の検討結果に基づいた性能試験

2. 白金線測定子の開発

白金線測定子の要求として、3GeV真空システムのTMPの制御に使用しているため、フィラメントが断線するとTMPが停止する。またフィラメントが断線してもリングの近くに設置するためすぐに交換できない。この理由からフィラメントに強度をもたせ断線しにくい測定子を開発することにした。

2-1 フィラメント径の検討

一般的に白金線を使用したPIG真空計のフィラメントは直径25 μ m程度の細線を使用し、抵抗は10 Ω 程度である。その強度はフィラメントの伸び率を2%とした時、白金のヤング率を 1.68×10^{11} Paとして引張り荷重の計算をすると1.7Nとなる。

そこで直径が25 μ mの4倍の100 μ mを選定した。100 μ mの引張り荷重は26.4Nとなり、25 μ mのフィラメントに比べ16倍の強度があることが言える。

次にフィラメントは径を太くしたので抵抗を大きくするために長くする必要がある。先で述べたように一般的な測定子の抵抗値を基に10 Ω にしたい。直径100 μ mの10 Ω の時、フィラメントの長さは白金の電気抵抗率 $1.06 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ から計算すると約75cmと求められる。

2-2 フィラメントのコンパクト化

長さ約75cmのフィラメントを、すでに3GeVの測定子に使用している長さ11cm内径3.5cmの単管に収納したい。一般的に白金線はコイルリングしてもその形状を保持しにくい。その結果フィラメントがだれて短絡する恐れがあるため、長いフィラメントを分割して直線のまま使用する。

図1に示すように支柱の上下に2枚のガラス板を取り付けた。さらにガラス板1に1本ずつ絶縁を切った電極A・電極B・電極Cを埋め込む、ガラス板2も同様に電極a・電極bを埋め込む。すなわち全ての電極に

絶縁をもたせた機能となる。

そこで、電極A-電極a間にフィラメントをスポット溶接する。次に電極a-電極B、電極B-電極b、電極b-電極Cと交互にフィラメントを溶接することで電極A-電極Cまで直列につながる構造にした。

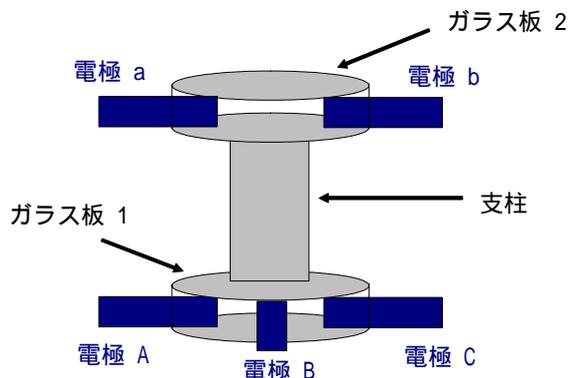


図1 測定子の構造

実際に製作した測定子には支柱とガラス板に金属となじみやすいコパールガラスを使い、電極にはニッケルをガラスに封入して実現させた。支柱の長さを約6.5cmとして電極を上側のガラス板に6箇所、下のガラス板に7箇所、直径約2.5cmに収まるように取り付け、直径100 μ m長さ75cmのフィラメントを12本に分割して直列につなぐことを可能にした。

利点として1本ずつフィラメントを上下の電極にスポット溶接することでそれぞれのフィラメントに強度をもたせ抵抗のふらつきを無くした。また短い直線を使用することでフィラメントの張替え作業が簡単に出来ることにもつながった。

3. 特性カーブの取得

さて3GeVのPIG真空計は、3GeV用に耐放射線の要求及び建て家の制限から、ノイズ対策として4端子法と定電流方式が採用されている。またTMPの背圧を監視する上で10Pa~1000Paを精度よく測定する必要があることから定電流切換え方式を採用している^[2]。

そこで白金線測定子が定電流方式で10Pa-1000Paの範囲を精度よく測定できるか検討するために、定電流特性カーブを丹念に調べることにした。

図2は2章で製作した白金線測定子に110mA~310mAまで定電流を通電した時の特性カーブである。

フィラメントは定電流を徐々に上げていくと低圧での出力電圧は定電流の大きさに伴い大きくなるが、温度上昇による問題が出るため250を温度制限とすると、定電流は130mAまでは超高真空から250以下で使用できるが、160mA~180mAでは数Pa程度、290mA~310mAでは数10Pa程度で250に温度上昇するため、それ以上の高圧側で特性カーブを取得した。

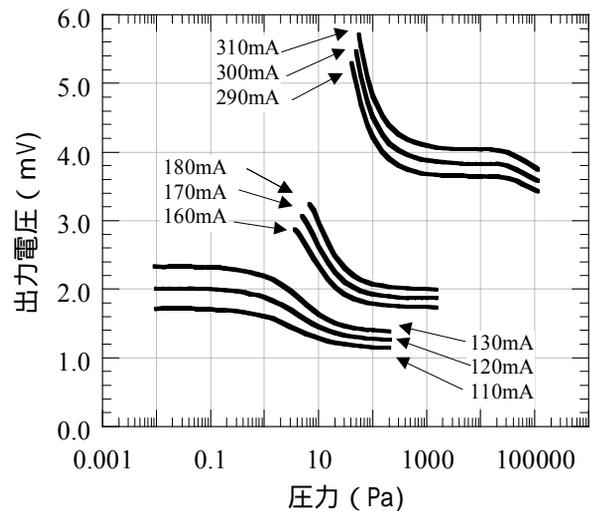


図2 各定電流の特性カーブ

取得した特性カーブの特徴としては、110mA~130mAは0.1Pa~10Pa間で出力の変化は1000mV程度の変化量となり、10Pa~100Pa以上の圧力では数10mV程度の変化になる。160mA~180mAの特性カーブは数Pa~100Pa間で1000mV程度変化したあと100Pa~1000Pa間では、数10mV程度の変化になる。290mA~310mAの特性カーブは、数10Pa~1000Paの変化量が1000mV程度、1000Pa~10000Paの間は100mV程度の変化量と急激に変化が小さくなるが、10000Pa~大気圧では再び400mV程度と変化する。

4. 定電流制御方式の検討

定電流方式で圧力を精度よく測定する為には、圧力変化に伴う出力の変化が、例えば10Pa~100Paのように1000mV位の変化量がある範囲を値付けすることで、圧力の小さな変化に対しても測定が可能となる。しかしながら、3章で取得した特性カーブから、1つの定電流値が広い圧力範囲で大きな変化量を持つカーブはない。

そこで3GeVPIG真空計の制御方式に習い圧力範囲ごとに大きな出力変化がある定電流をつなぎ合わせることで広い圧力範囲を精度よく測定できるようにする。

まず出力の変化が大きな場所として圧力範囲、約1桁に対して数100mV程度の変化をもつ定電流を使用することになると、0.01Pa~数Paのカーブとして130mA~110mAが選定される。次に数Pa~100Pa間で160mA~170mAのカーブが選定される。数10Pa~1000Pa間では290mA~310mAが選定される。

圧力範囲ごとの各定電流の選定として、第1に出力変化が大きいくこと。第2に使用温度を250以下に抑えること。以上のことを考慮して図3のように0.01Pa~10Paを120mA、6Pa~100Paを170mA、60Pa~大気圧を310mAの定電流に選定した。

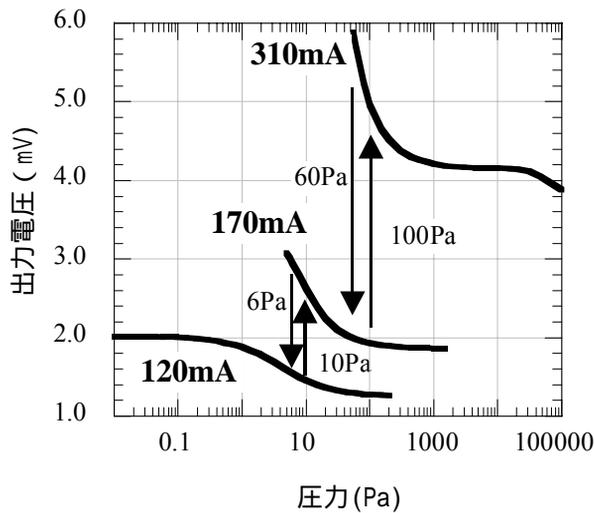


図3 実際に使用する特性カーブ

なお圧力切換えには120mA・170mAの切換えとして6Paと10Paの2点、170mA・310mAの切換えとして60Paと100Paの2点を設け図中の矢印のように、上向きの矢印は圧力が上昇する際の、下向きは圧力が低下する際の、電流値の切換えポイントを示している。このようにヒステリシスをもたせることにより、切換え地点における不安定さを回避している。

また測定圧力の精度として、値付けした圧力に対して出力が $\pm 1\text{mV}$ 変化したときの誤差の計算結果を図4に示した。圧力は $\sim 0.05\text{Pa}$ と $1000\text{Pa}\sim 10000\text{Pa}$ の2箇所大きく誤差が出るような傾向を示している。これは図3の特性カーブを見てもわかるように、出力の変化が小さい範囲である。

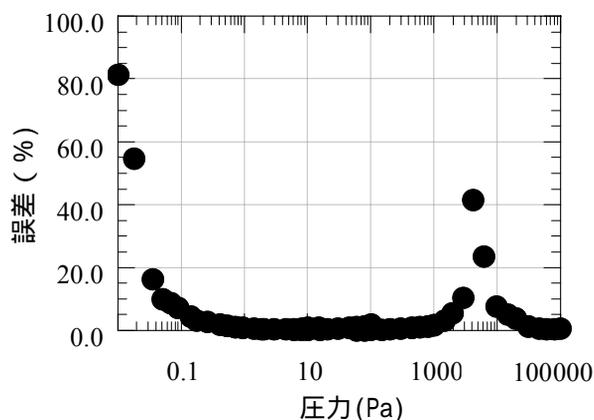


図4 測定誤差の計算結果

5. 真空計の性能試験

4章の制御方式に基づいて作成したコントローラを用いて性能試験を実施した。

図5に0.01Pa~大気圧まで圧力を振った時のコントローラの指示値と参照真空計の値の関係を示す。指示値の測定誤差は、0.01Pa~0.05Paで60%以下、0.05Pa~0.15Paで20%以下、0.15Pa~150Paの間で5%以

下、150Pa~1000Paの間で40%以下の誤差に収まっている。

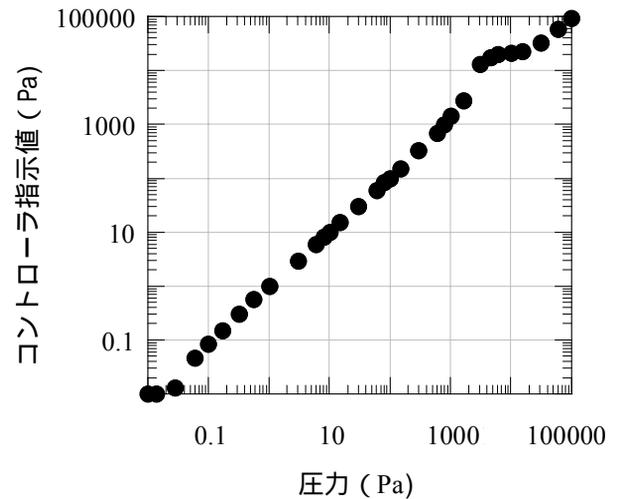


図5 参照真空計とコントローラ指示値

6. まとめ

今回開発したPIG真空計は、特性が安定している白金線を使用したフィラメントを用いて、耐放射線の使用環境よりフィラメントに強度を持たせた測定子を実現できた。また、その測定子を定電流切換え方式で制御することで、0.05Pa~1000Paの間を精度よく測定できていることから、3GeVのTMP背圧モニタ用として十分実用化の見通しを得た。

今後、3 GeVに白金PIG真空計を実装して長時間運転による感度変化の確認試験を行う予定である。

引用文献

- [1] 引地裕輔、荻原徳男：「J-PARC RCS用ピラニ真空計における感度変化」第5回加速器学会プロシーディングス(2008)
- [2] 荻原徳男、金正倫計、西沢代治、齊藤芳男：「J-PARC 3GeV シンクロトロン真空システム用真空計の課題」
In Proceedings of the 10th Meeting on Ultra High Vacuum Techniques for Accelerators and Storage Rings (KEK, Tsukuba, Japan, 2004)