

Change in sensitivity of Pirani vacuum gauge 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 is adopted as the filament instead of Pt wire. As the surface of W wire as received is sometimes unstable because of the contamination, roughness, oxide layer and so on, the annealing at 1500 K for 10 min in a high vacuum was necessary to obtain the unambiguous sensitivity.

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. Therefore, we have planned to experimentally study the change and find the cause. The change in the sensitivity of the W filaments has been examined for a long time. Then, we have confirmed the change in sensitivity is restricted to the low pressure less than 2-3 Pa. Even after the long operation over than 2000 hrs in a pressure of 0.1 Pa, we can use this gauge to measure the pressure from 10 Pa to 1000 Pa to monitor the backing pressure of the TMP.

J-PARC RCS用ピラニ真空計における感度変化

1. はじめに

J-PARC加速器群の1つである3GeVシンクロトロン(RCS)のリングはターボ分子ポンプ(TMP)とイオンポンプを用いて排気される。コリメータ、荷電変換フォイルシステム、キッカーマグネット等のガス負荷の大きくなる可能性のある場所を主としてTMP系で排気し、それ以外の場所を主としてイオンポンプで排気する。本排気システムは、TMP系をビーム運転中も使用することを特徴としている。圧力の監視および制御用に、BA真空計、コールドカソード(CCG)真空計、および、ピラニ(PIG)真空計が用いられている。

このうち、PIG真空計は、TMP系の制御を行うために、主排気のTMPとドライスクロールポンプ(DSP)間に置かれている。このTMPは、磁気浮上型で、渦溝型ローターを有しており、背圧が500Pa程度まで耐えることのできる広帯域形である。したがって、TMP背圧の監視という観点から、本PIG真空計においては、10~1000Pa間を精度よく測定する必要がある。

ところで、RCSにおいて真空計を使用するに際しては、主に耐放射線性の要求および建屋からの制限により、市販品の使用は不可能であった。主な理由としては、1) リング近傍に設置される測定子は超高真空対応であることと同時に30MGyという高い耐放射線性が要求されたこと、2) 建屋の構造上、ケーブル長は150m程度になること、そして、3) 電磁ノイズが非常に大きい環境であること、等である。その概要は、次章でのべるが、PIG真空計も新規に開発した。

TMPの背圧をモニタするために使用されているPIG真空計は24台、リング上の圧力監視に21台が用いられている。RCSは2007年秋に完成し、同年10月から実験運転を実施しているが、このうち、TMP系の制御に用いられているPIG真空計において、指示値に変化がみられた。代表的な変化の1例を図1に示す。本図には、PIG真空計の指示値と対応するTMP近傍のリング内圧力の時間変化を示す。初期においては、リング内の圧力が 10^{-6} Pa程度の時点で、TMPの背圧は0.1Paを示している。リング内の圧力は、排気時間とともに徐々に改善していくのに対し、TMPの背圧であるPIG真空計の指示値は、みかけ上、徐々に上昇する。一般に、TMPでの排気においては、到達圧力と背圧とは相関関係にあるので、背圧をモニタしているPIG真空計の指示値が変化したものと判断される。

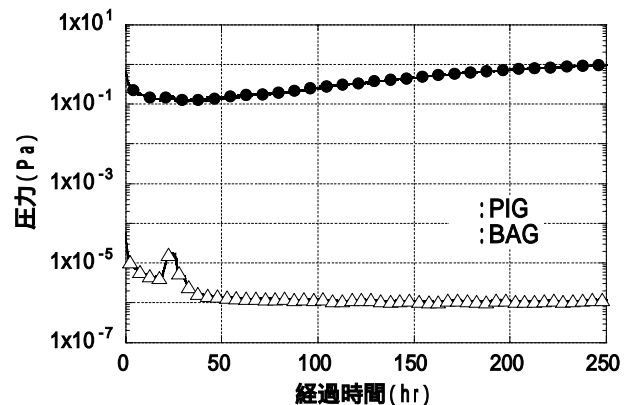


図1 フォアラインPIG真空計の指示値の変化

この指示値の変化を引き起こしている現象を把握し、TMP系の運転に支障をきたさない対策を講ずるため、以下に示す実験を実施した。本報告は、その概要を述べるものである。

2. RCS用PIG真空計の概要

本PIG真空計は、コントローラのみならず測定子共々、RCS用に新規に開発された。また、ケーブル・コネクタも耐放射線性のものを新規に開発された。これらの詳細については、別途報告する予定であるが、その概要をまとめて表1に示す。

表1 RCS PIG真空計の特徴

測定子の耐久性向上	W線50 μ m
ノイズ対策	4端子法、定電流方式
測定範囲の拡大	3段階の定電流の切り替え

フィラメントとしては、十分な強度を確保することを最優先し、50 μ mのW線を使用した。ただし、出力特性を均一にするため、使用前に1500Kにて10分間真空アニーリングを施す。また、表面の酸化等による特性の変化を少なくするため、実験から、 \sim 100Pa以上の圧力で、使用温度を300以下に制限することとした。

コントローラに関しては、まず、リード線の線種および長さ等による影響をうけないよう、4端子法を、また、ノイズ対策として、定電流型制御を採用している。

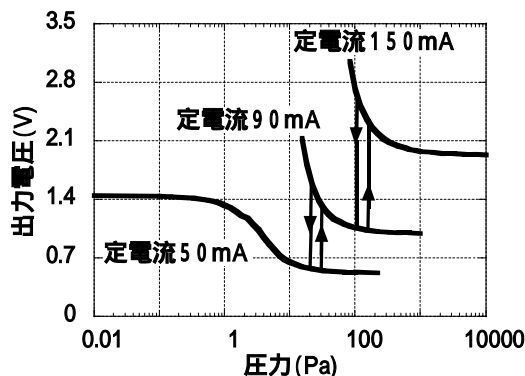


図2 定電流制御におけるPIG真空計出力特性

また、図2に示すように、設定電流値を3段階に切り替えることにより、大気圧から0.1Paまでの広範囲の測定を可能にしている。すなわち、大気圧から数100Paまでは、電流値150mAの特性カーブを用いて測定し、数100Paから数Paまでは、電流値を90mAで、数Pa以下の低圧では、50mAに設定し、それぞれの特性カーブを用いて圧力を求めている。

図中の矢印は、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、切換地点における不安定さを回避している。

3. 感度変化の再現実験

1章で述べたRCSにおけるPIG真空計の指示値の変化であるが、図2によると、50mAレンジにて、同一圧力で出力電圧が低下するような特性変化が起こったと考えられる。

そこで、実験室系の実験装置にて、実機RCSでの使用環境を模擬し、感度変化を再現することとした。すなわち、DSPの到達圧力(0.1Pa)にて、PIG真空計を50mA設定で長時間運転しながら、その出力電圧をモニタし続ける。試験には、2台のPIG真空計を用いる。圧力のモニタ用に、バラトロン真空計、BA真空計が取り付けられている。

また、必要に応じて、広範囲の特性カーブを取得しうよう、ガス導入ラインが設けられている。導入ガス種としては、空気および実機にて大気ベントに用いるArを用意した。

4. 実験結果

DSPで連続して排気しながら、フィラメントに50mAの一定電流を流し続けたときの出力電圧の変化を図3に示す。

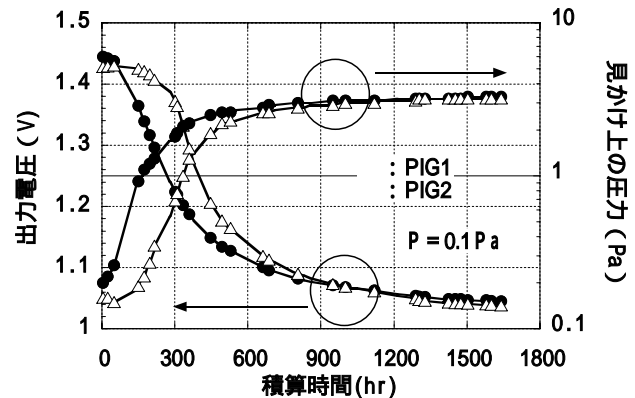


図3 PIG真空計の出力特性の時間変化

本図には、設置時の出力特性カーブから換算される見かけの数値(指示値)をあわせて示してある。

2本のフィラメント間に時間差はあるが、数100時間の連続通電で、どちらも明らかに出力が低下する。1200時間以上では、変化率は小さくなり、出力は収束する傾向を示す。指示値でみると、通電開始から数100時間経過すると、0.1Paから、3Paに変化し、そのほぼ変化しなくなる。この挙動は、図1に示す実機での指示値の変化をよく再現している。

次に、このように一旦出力の変化が起こり、その後特性がほぼ安定しているフィラメントに対して、広範囲の圧力で、その出力特性が、どのように変化しているかを調べた。図4では、初期のアニーリング直後の特性カーブも併せて表示してある。

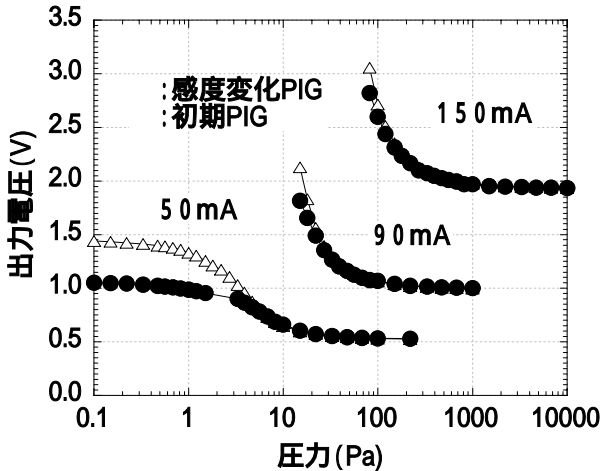


図4 感度変化後のPIG真空計の特性カーブ

2-3Pa以下の低圧では、出力電圧は、圧力によってほとんど変化しなくなり、その結果として、測定不能な状態となる。

ただし、数Pa以上の圧力では、50mAの特性カーブにほとんど変化はみられず、アニーリング直後の出力と同じである。また、より高圧で使用する90mAおよび150mAの特性カーブもほとんど変化していない。結果として、数Pa以上では、感度変化は無視しうる程小さい。これは、初期の特性カーブを基に圧力に換算した図5からも明らかである。

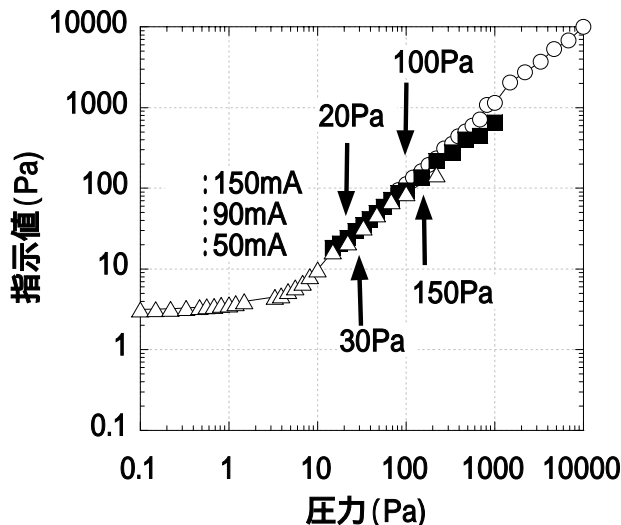


図5 感度変化したPIG真空計の指示値

以上の結果は、TMPの背圧をモニタする上では、支障のないことを示している。

5. 今後の課題

5.1 Wフィラメントの使用条件

本PIG真空計で使用しているWフィラメントに関しては、2章でもふれたように、酸化等による感度変化が懸念されており、予備的ではあるが、確認実験も行われた。それによれば、300以上では感度変化が起こることが明らかとなっている。今回観測された感度変化に対しても、使用温度が300を超えていた可能性が大きい。

本Wフィラメントの使用にあたっては、感度変化を最小に留めるため、より詳細な試験が必要である。すなわち、W箔等を用いることにより、使用温度をパラメータとし、表面の組成および形状変化等と感度変化を関係づけることが必要である。これらの試験を通して、感度変化を起こしにくい使用条件を探る予定である。

5.2 フィラメント材の開発

表面の状態が半恒久的に変化しないフィラメントが理想である。また、実機に適用するには、機械的強度に優れている必要がある。W線に表面の特性が安定している物質をコーティングしている材料として、まず、AuコートWを実験的に調べることにした。

6. まとめ

TMPの背圧を監視するPIG真空計にて感度変化がおき、運転に支障をきたすおそれが生じた。そこで、感度変化を起こした現象を理解に必要な対策を講じるため、テストスタンドを用いて模擬実験を行った。

実機を模擬した0.1Paでの長時間運転により、感度変化を再現した上で、出力特性を調べた。その結果、数Pa以上の圧力では、特性カーブにほとんど変化はなく、TMPの背圧監視を行う上では、なんら支障のないことが明らかとなった。

なお、Wフィラメントの使用条件を見直すとともに、Wに代わる感度変化をおこさないフィラメントを開発することにも着手した。

文献

1) 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)