

Measurement of Vibration and Deformation of J-PRAC RCS Magnet

Hirohiko Someya^{A)}, Tosikazu Adachi^{A)}, Norio Tani^{B)}, Yasuhiro Watanabe^{B)}, Susumu Igarasi^{A)}

^{A)} KEK, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801, Japan

^{B)} JAEA, Tokai-mira, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195, Japan

Abstract

Vibration and deformation in the magnet for the J-PRAC 3Gev synchrotron (RCS) have been measured, when the magnet is operated in the maximum ratings. The RCS magnets are excited by a dc-biased sinusoidal current with a repetition of 25Hz. Therefore, those magnets vibrate due to such a current. If there is a structural defect in the magnet, a din and large vibration are caused. Conversely speaking, such a defect can be found by measuring the din and vibration. For this purpose, vibration and displacement of the dinning magnet are measured. The vibration is also measured after repair of the magnet in order to confirm the magnet in good repair. Furthermore, a vibration of an end-plate of a bending magnet, where a support of a ceramic vacuum duct is installed, was measured..

1. はじめに

J-PRAC 3 GeVシンクロトロンで使用する電磁石の定格運転における振動および変形の測定を行なった。RCS電磁石は繰り返し25 Hzのバイアス付き交流電流で励磁される。そのため電磁石は振動を生じることが、構造上の欠陥があると、その振動や音は大きくなる。図1はRCS電磁石の振動の概要図である。

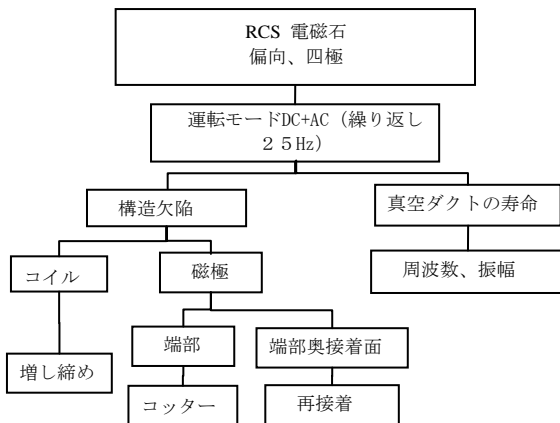


図1 RCS電磁石振動の概要

図に示したように、RCS電磁石の構造上の欠陥として実際に経験した事例としては、ボルトの締め付け力の不足や磁極端部の押さえ不良が挙げられる。これらの構造欠陥について振動測定により場所を特定し、振動の大きさを求め、修理の参考とした。具体的な対策として、ボルトの緩みについては、増し締めを行なった。また、端部の押さえ不良については、磁極端部に出来た隙間にコッター（隙間を埋めるためのSUS板）を入れることで対応した。修理後に同じ測定を行なうことで対応策の妥当性を検証した。そのほか偏向電磁石に取り付ける真空ダクトの取り付け部分の振動も測定した。

2. 交流磁場内の振動測定

振動測定では、通常、加速度計が用いられるが、RCS電磁石の振動を測定する場合、センサー内部（ICPタイプ）の半導体回路に交流磁場に誘起された電圧が発生するため正確な測定が出来ない。この様な場合、誤差を補正するダミーセンサーを用いる方法もあるが、特に四極電磁石の場合、測定位置により磁場が大きく変化するため正確な補正は不可能である。一方、レーザー変位計を用いて測定点の振動による変位を測定する方法も考えられる。この方法では、磁場が十分弱くなった場所で変位を検出することが可能なため、交流磁場の測定値に対する影響を小さく抑えることができる。

2. 1. 四極電磁石を用いたセンサーのテスト

実際の測定条件で四極電磁石を励磁し、その振動の様子を加速度計とレーザー変位計で測定した。測定条件とその結果を以下に示す。

電磁石電流；直流電流740A, 交流電流200A
および565A (25Hz)

測定位置 ；四極電磁石の端部（写真1）

測定結果

変位の読み値

測定器	変位 (μm)	備考
加速度計 1	27	
加速度計 2	4	磁場に直角
レーザー変位計	6	



写真1 四極電磁石による変位計テスト

写真 1 は、四極電磁石に設置した、振動測定システムである。写真 1 中の加速度センサーの所に加速度センサーとダミー（測定位置の電場や磁場を測定）が奥から4個ついている。加速度センサー出力の2階積分が変位である。レーザー変位計は手前の黒い箱で、この中からレーザー光線が出力され、反射してきた光の位置で変位を測定している。四極電磁石の上下方向変位の測定では、光線はミラーで90度曲げて下に行き、磁極で反射して、上下方向の変位を測定する。写真の中でミラーの下に光っているのがレーザー光で、この位置における上下方向の変位を測定した。

測定結果より、加速度計による結果がレーザー変位計の値よりも4倍大きかった。加速度計を磁場の向きに対して直角に置いて測定した結果では $4\mu\text{m}$ となった。すなわち磁場の影響の無い場合の値とレーザー変位計の値が近く、またレーザー変位計が磁場の影響が小さい位置に固定されていることを考慮すると、加速度センサーによる変位測定結果は真の値から大きくずれる可能性が高いと判断した。よって測定はレーザー変位計を使用することにした。

2. 2. レーザー変位計の距離とばらつき

レーザー変位計は、測定距離が増加するとバラツキも大きくなる。その様子を図2に示す。測定に用いた変位計はキーエンスのLKG505で、距離を300, 500, 700, 900mmとし、その測定値の平均からのずれに対する度数分布が図示されている。明らかに距離が離れると広がりが増加している。

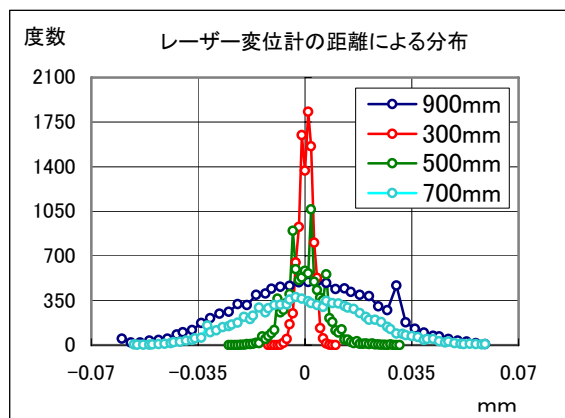


図2 レーザー変位計の測定バラツキと距離

3. 振動測定

3. 1 真空ダクト取付位置の振動

図3に真空ダクト取付位置の偏向電磁石端板における振動測定の結果を示す。電流に対して振動が同期しているのがわかる。偏向電磁石の端板に真空チャンバーの支えを取り付けるため、この部分の振動を測定した。測定条件は定格電流で直流電流1950A、交流電流1140A、周波数は24.4Hzである。振動の振幅は $12\mu\text{m}_{p-p}$ でその周波数は、基本波が24.4Hzであった。振幅が $12\mu\text{m}_{p-p}$ 程度であれば真空ダクト設置条件として、25Hzに共振しない構造であれば問題ないと思われる。

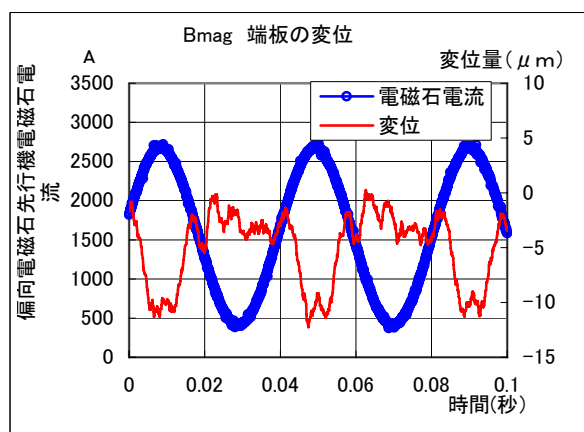


図3 偏向電磁石の振動

3. 2. 偏向電磁石上部の振動測定

定格運転で偏向電磁石上部の振動測定を行った。図4にその結果を示す。 $20\mu\text{m}_{p-p}$ の振動があり、その周波数は25Hzであった。端板の振動に比べるときれいな振動である。また四極電磁石上部の振動も同様に測定し、その結果 $10\mu\text{m}_{p-p}$ 以下の振幅であった。

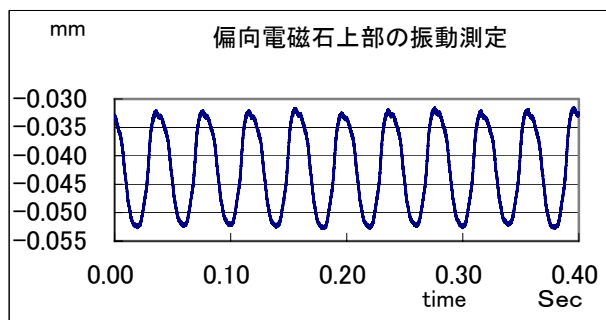


図4 偏向電磁石の振動

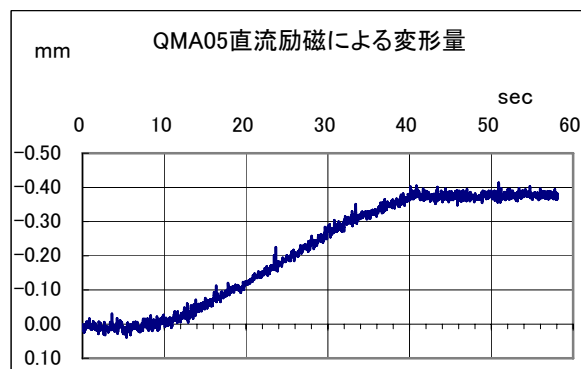


図6 修理前のQM05の変位

3. 3. 四極電磁石のコイル変位

四極電磁石におけるコイル励磁に伴う変位の測定を行った。測定結果を図5に示す。励磁電流は以下のパターンで行い、熱伸びの安定する状態を確認しながら行った。0からスタートして直流500Aにして20分維持してコイルの伸びの安定を確認、ここで約380 μm の伸びがあった。次に8分かけて交流最大電流まで上げた。そのときコイルの振幅が増加し、電流最大で振幅も最大になった。振動と伸びの両方が同時に測定され、その値の最大値は500 μm である。定格運転で8分維持して、次に交流電流を0にし、直流電流500Aを5分維持し励磁電流をゼロに戻した。運転終了後コイルの変位は、約-50 μm ずれた状態になり、ゼロに戻らなかった。

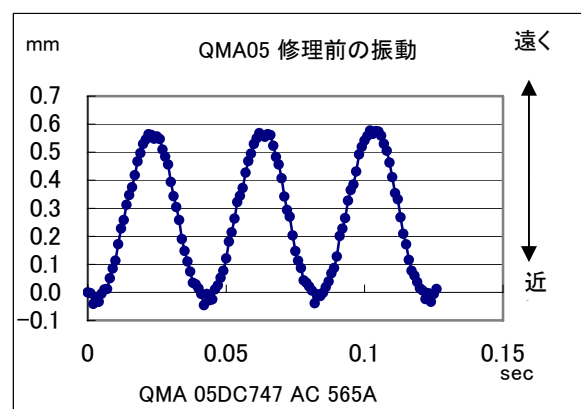


図7 交流励磁による変位

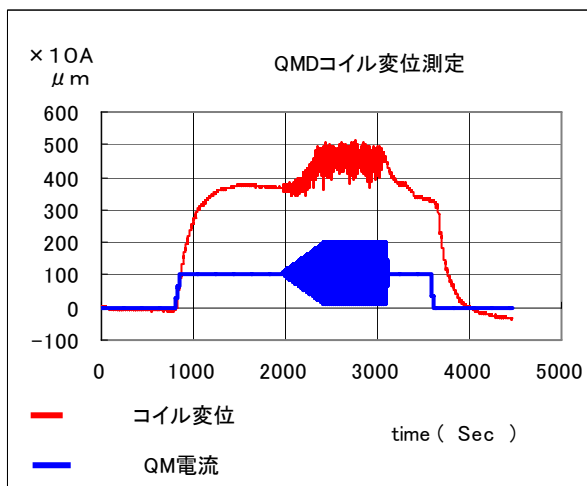


図5 QMDコイルの励磁による変位

まとめ

RCSの電磁石の変位測定を交流磁場の影響を受けにくいレーザー変位計を用いて行った。測定する際レーザー変位計の固定方法に工夫が必要である。専用のスタンドがあると良い。加速度計を使った変位測定は交流磁場の影響があり、設置は簡単であるが今回の目的にはノイズ混入が多く使用には不向きである。また、電磁石の振動測定は、磁石の出来具合の検査に役立つことも分かった。

謝辞

今回の測定にキーエンス、東洋テクニカ両社の協力があり実現ことを感謝します。またJAEAの金沢氏、富樫氏、芳賀氏、双葉工業の原田氏、川合氏、神長氏に測定の準備でお世話になり感謝します。

3. 4. 修理前後の変位測定

図6に修理前の変位測定の結果を示す。コイルに励磁電流を直線的にあげて40秒で747Aに達したときの変位計の値である。図6からわかるように直流の電流による変位は400 μm であった。修理後は、変位量が検出限界以下になった。また交流励磁による測定も行い修理前後の比較をした。図7は交流+直流励磁を行った際の変位の様子を示す。修理前は600 μm で25Hz振動があったが、修理後は20 μm に減少し修理の効果が確認できた。