

Measurement of inner diameters of MA cores of RF-cavities of J-PARC 3 GeV synchrotron and diameter change over the years

Taihei Shimada ^{#, A)}, Hiromitsu Suzuki ^{B)}, Masanobu Yamamoto ^{A)}, Alexander Schnase ^{A)}, Makoto Toda ^{A)},
Chihiro Ohmori ^{A)}, Keigo Hara ^{A)}, Katsushi Hasegawa ^{A)}, Masahiro Nomura ^{A)}, Fumihiko Tamura ^{A)}
and Masahito Yoshii ^{A)}

^{A)} J-PARC Center, KEK and JAEA

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, JAPAN

^{B)} IFMIF, JAEA

2-166 Omotedate, Obuchi, Rokkasho-mura, Kamikita-gun, Aomori-ken, 039-3212, JAPAN

Abstract

The RF cavities of J-PARC 3 GeV synchrotron use 198 MA cores. Buckling occurred in some cores since the operation started on the October of 2007. We have measured the inner diameters of the cores as part of the investigation to determine the cause of the buckling when the cavities were disassembled for maintenance. We noticed deformations of the inner shapes of the cores related to the manufacturing process, and that inner diameter changes over year were not detected in most of the cores without buckling. Furthermore, the effective manufacturing process of cores to avoid the buckling has been established. We are going to replace old type cores with new type cores in shutdown periods in summer every year.

J-PARC 3 GeV シンクロトロン高周波加速空洞用金属磁性体コアの内径の測定及びその経年変化

1. はじめに

J-PARC 3GeV シンクロトロンは、11 台の高周波加速空洞を有し、各加速空洞は 3 個の加速ギャップから構成されている。加速ギャップに所定の高周波電圧を発生させる為に、加速電極あたり 3 枚の金属磁性体コアが使用され、シンクロトロン全体では 198 枚のコアが使用されている。これらのコアは水冷タンクに納められて使用されている。図 1 にタンク内のコアの状況を示す。コアは、締込トルクを 2 Nm で管理された 4 個のくさびによってタンクの内面に固定されている。2007 年 10 月の運転開始以来、いくつかのコアで座屈が発生した。その原因と対策は野村等によって報告されているが^[1]、座屈の原因を調査する一環として、メンテナンスの為に空洞を解体した際に、コアの内径の測定を行い、真円からのずれとコアの製造方法の関係を調査した。さらに 1 空洞分 18 枚のコアについて、約 27 ヶ月間をはさんで内径を 2 度測定し、経年変化を調べた。

2. コアの内径の測定の方法

コアの磁性体部分は、外直径 850 mm、内直径 375 mm、厚さ 35 mm である。磁性体の表面は、FRP、ガラスクロスやエポキシ樹脂で覆われている。内径の測定は、これらの樹脂の表面で行った。図 2 に測定の方法を示す。インサイド・マイクロメータを使用し、45 度ずつ方向を変えて、4 方向の内径を測定した。マイクロメータの方向を反転させて測定した場合の値のばらつきは、数 10 ミクロン以下であった。内径は、厚さ方向の midpoint で測定した。

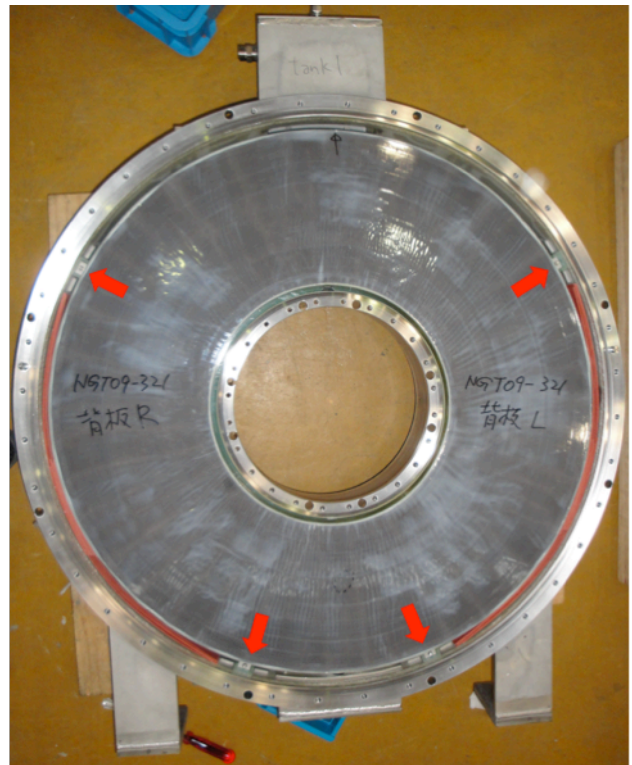


図 1 : 水冷タンク内のコアの状況 コアは、赤矢印の先端に配置された 4 個のくさびによって水冷タンクの内面に固定される。中心の穴をビームパイプが貫通する。組立後は、写真の上が天頂方向になる。

[#] shimada.taihei@jaea.go.jp

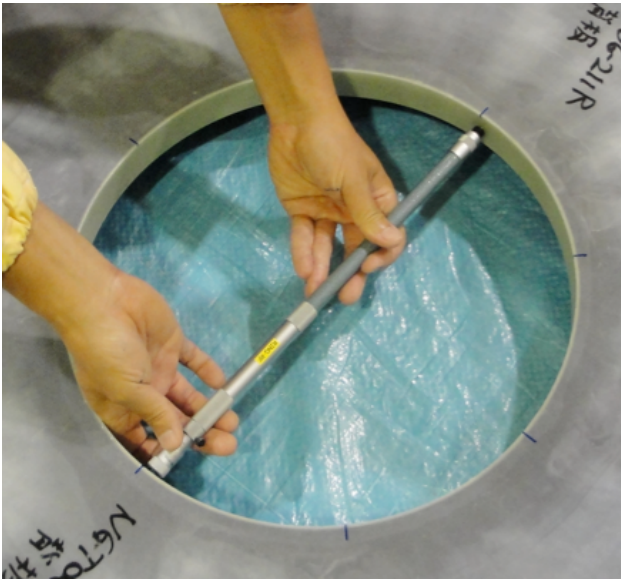


図 2 : 内直径の測定方法 インサイド・マイクロメータを使用し、45 度ずつ方向を変えて、4 方向の内直径を測定した。同じ位置で測定して経年変化を調べる為に、測定位置にマーキングしてある。

3. 測定結果

図 3 に測定結果の一例を示す。視覚的なイメージを得る為に、内直径線の両端をキュービック・スプラインで補間して閉曲線を描いたが、必ずしも実際の形状を反映しているわけではない。図中の上方向(0° 方向)が、使用中のコアの天頂方向である。

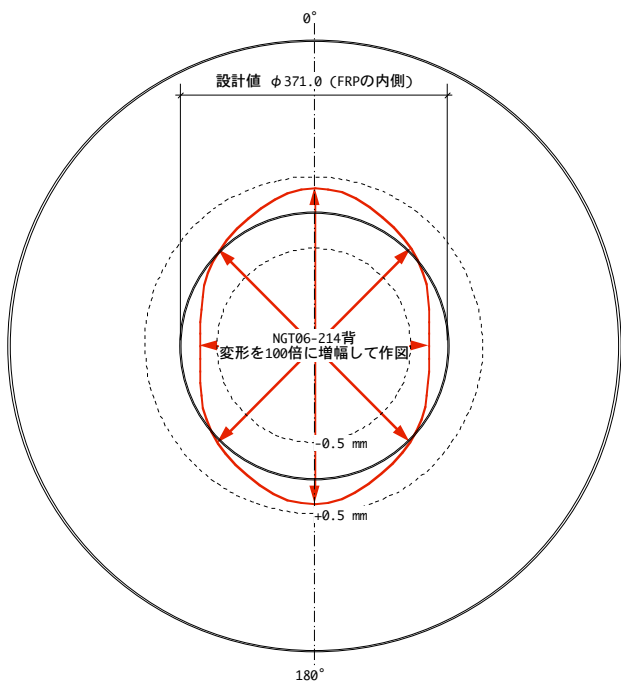


図 3 : 測定結果の一例 赤矢線が測定値である。磁性体の内側の FRP 部分の内直径の設計値 371 mm からのずれを 100 倍に強調して描いた。

3.1 内径の変形あるいは真円からのずれ

コアの内径の形状を定量的に評価する為に、内直径の測定値 4 点から標準偏差を求めた。標準偏差が大きければ、真円からのずれが大きくなる。ただし、工場出荷時の内直径のデータが無いので、製造時点で真円からずれていたのか、その後の使用によって変形したのかは断定できない。

図 4 に 2009 年 8 月に測定した空胴 3 号機と 6 号機のコア 36 枚分と損傷したコアの交換用として準備した新品コア 3 枚の内直径の標準偏差を示す。

図 4 中の黒印は、製造工程でコアの表面にシリカを塗布し、かつ低粘度樹脂を含浸した個体である。層間に樹脂が浸潤しにくいので、コアが硬くならず、運転時に生じる高周波加熱による熱応力によっても座屈に至るような破壊的な変形は起きていないと推測される。

図 4 中の赤印は、製造工程でコアの表面にシリカを塗布しないで、低粘度樹脂を含浸した個体である。層間に樹脂が浸潤し、コアが硬くなっていて、熱応力によって、座屈に至るような破壊的な変形を起こしていると推測される。

図 4 中の青印は、製造工程でコアの表面にシリカを塗布し、かつ低粘度樹脂を含浸していない個体である。コアの柔軟性が保たれ、もっとも座屈しにくいタイプと考えられる¹⁾。毎年の夏期停止期間にこのタイプのコアに順次に置換している。

このように、コアの製造方法の違いは、コアの内径の形状に反映されている。

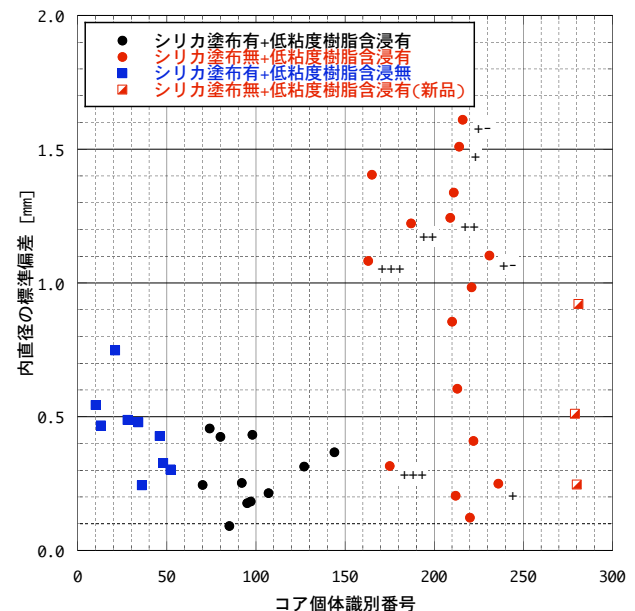


図 4 : 2009 年 8 月に測定した空胴 3 号機と 6 号機のコアの内直径の標準偏差 横軸はコアの製造順に与えた個体識別番号、縦軸は各コアの内直径の測定値の標準偏差である。損傷したコアの交換用に準備した新品 3 枚の測定結果も含む。プロットの右下の記号は座屈したコアであることとその程度を示している。

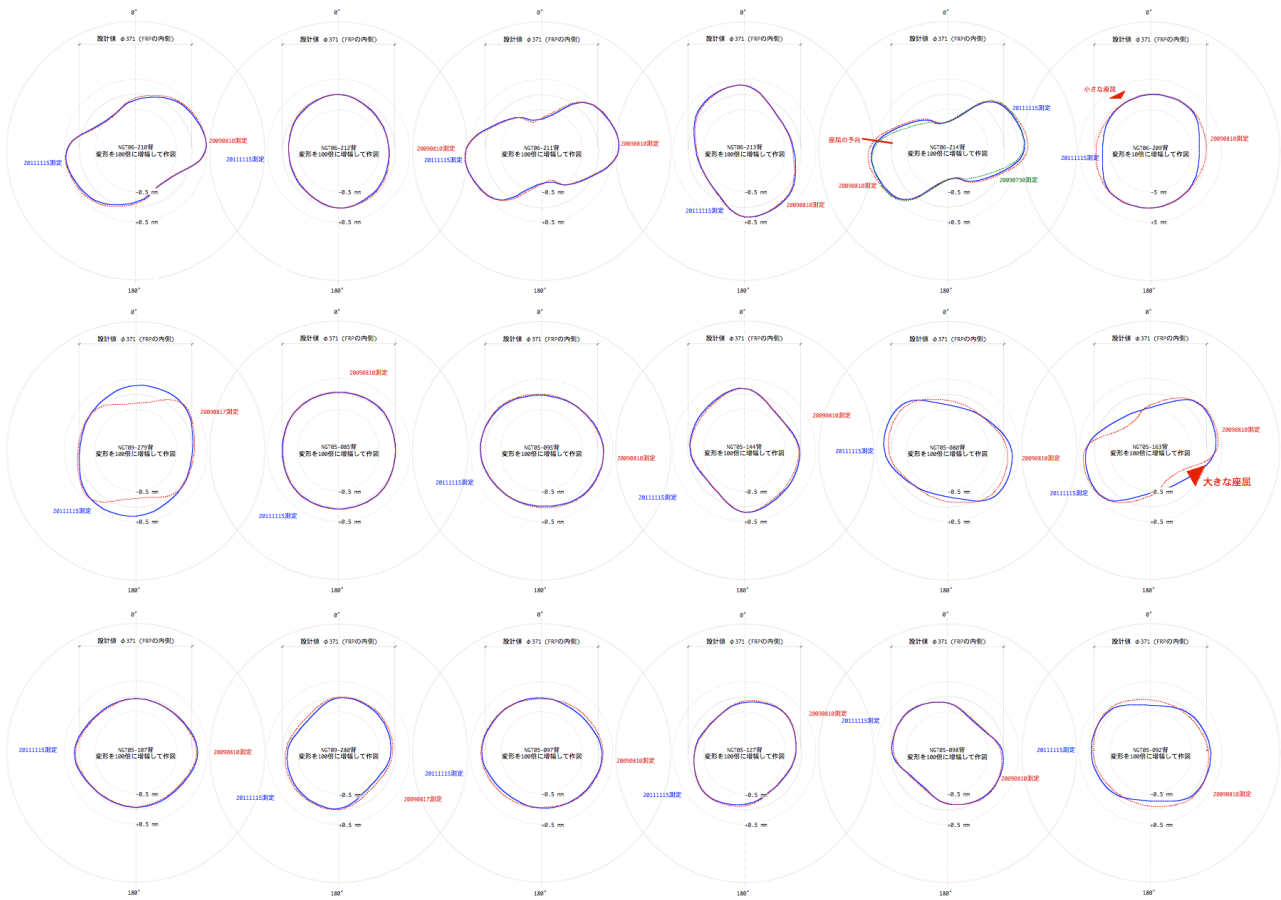


図5：2009年8月から2011年11月までの間の空胴3号機のコアの内直径の変化 赤色が2009年8月、青色が2011年11月の測定結果である。内直径の設計値371mmからのずれを100倍に強調して描いている。

3.2 経年変化

空胴3号機は、2009年8月に内直径を測定し、約27ヶ月後の2011年11月に再び測定した。図5に測定結果を示す。

2009年8月の段階で既に座屈が起きていた最右列の上段と中段のコアを除いて、ほとんどのコアでは内直径はほとんど変化していない。

しかし、最左列の中段のコアは変形が進行している。このコアは、2009年8月に新品として装荷したものであるが、表面にシリカを塗布しないで低粘度樹脂を含浸したタイプである。このまま使用し続けていたら座屈が生じる可能性があった。

このように、コアの製造方法の違いは、コアの内径の経年変化の状況に影響している。

また、図5を見ると、コアの変形あるいは真円からのずれは、水平方向へ広がる傾向がある。この原因として、自重、下方から上方への冷却水の流れ、コア内部の温度分布などが影響している可能性があると考えられる。今後の調査課題である。

2011年11月、この号機に使われていたコアのうち、表面にシリカを塗布しないで低粘度樹脂を含浸したタイプの全てをシリカを塗布し低粘度樹脂を含

浸しないタイプのコアに交換した。今後、コアの座屈はあるいは変形の進行は発生しないと考える。

まとめ

表面へのシリカ塗布を行ったコアでは、内径の変形あるいは真円からずれが行わなかったコアに比べて小さかった。

表面へのシリカ塗布を行ったコアでは、内径の経年変化が行わなかったコアに比べて小さかった。

コアの座屈対策として、製造工程をコア表面へのシリカ塗布を行い、かつ低粘度樹脂含浸を行わない方法に変更したが、内径の測定結果はこの変更が有効であることを支持している。

内径の測定は、簡単な作業ではあるが、コアの健全性を確認する上で有効な手段のひとつである。

参考文献

[1] M. Nomura et al, NIM-A, Volume 623, Issue 3, 21 November 2010, Pages 903–909.