

MEASUREMENT OF THERMAL DEFORMATION OF MAGNETIC ALLOYS CORES FOR RF CAVITIES

Taihei Shimada^{1,A)}, Masanobu Yamamoto^{A)}, Hiromitsu Suzuki^{A)}, Makoto Toda^{B)}, Katsushi Hasegawa^{B)}, Chihiro Ohmori^{B)}, Fumihiko Tamura^{A)}, Alexander Schnase^{A)}, Keigo Hara^{B)}, Masahiro Nomura^{A)}, Koji Takata^{C)}, Eizi Ezura^{C)}, Akira Takagi^{C)}, Koki Horino^{D)} and Masahito Yoshii^{B)}

^{A)} JAEA J-PARC Center, 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan

^{B)} KEK J-PARC Center, 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan

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

^{D)} NIPPON ADVANCED TECHNOLOGY Co., Ltd.,

3129-45 Hirahara, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1112, Japan

Abstract

Few magnetic alloys cores of the RF cavities which are installed in the 3 GeV rapid cycling synchrotron of the J-PARC have buckled after the operation of about two years. We heated cores in the air and measured thermal deformation in order to get information about the buckling process. We report the results.

高周波加速空洞用金属磁性体コアの熱変形の測定

1. はじめに

J-PARC 3GeV陽子シンクロトロンの高周波加速空洞では、必要な加速電圧を得るために、金属磁性体(18 μ m厚のファインメット)のコアを採用している。ところが、2007年10月の運転開始から約2年が経過し、水冷タンクを開けてコアを調査したところ、72枚のコアのうち22枚の内周側に大小の座屈が起きていた[1]。図1に座屈したコアの一例を示す。



図1：座屈したコアの一例(赤矢印部)

運転中のコアは水冷タンクの中に据え付けられているので、その状態を観察できない。そこで、大気中でコアを高周波で加熱し、コアの変化を観察した。

2. 実験方法と結果

実際の運転を模擬する為に、図2に示す様にコアに1ターンのコイルを巻き、500 kHz, CWでコアを励

磁して加熱した。コアの変形は内周側に6個と外周側に6個のダイヤルゲージを設置して測定した。また、コアの表面温度をサーモグラフによって測定した。床との電気的かつ熱的絶縁を確保し、変形を妨げないように枕木とコアの間にFRP板を挿入した。



図2：コアの大気中加熱実験

実験では製造過程の異なる3種類のタイプのコアを使用した。(1) コア表面にシリカを塗布してから層間に低粘度エポキシ樹脂を含浸して表面を180 μ m厚のガラスクロスで覆い高粘度エポキシ樹脂で含浸したタイプ。(2) コア表面にシリカを塗布してから表面を50 μ m厚のガラスクロスで覆い高粘度樹脂で含浸したタイプ。このタイプは低粘度樹脂を含浸していない。(3) 層間に低粘度樹脂を含浸したのみのタイプ。(3)は実際の空洞では使用していないが、コア表面の樹脂含浸の影響を調べるための参照用として実験に加えた。

¹ E-mail: shimada.taihei@jaea.go.jp

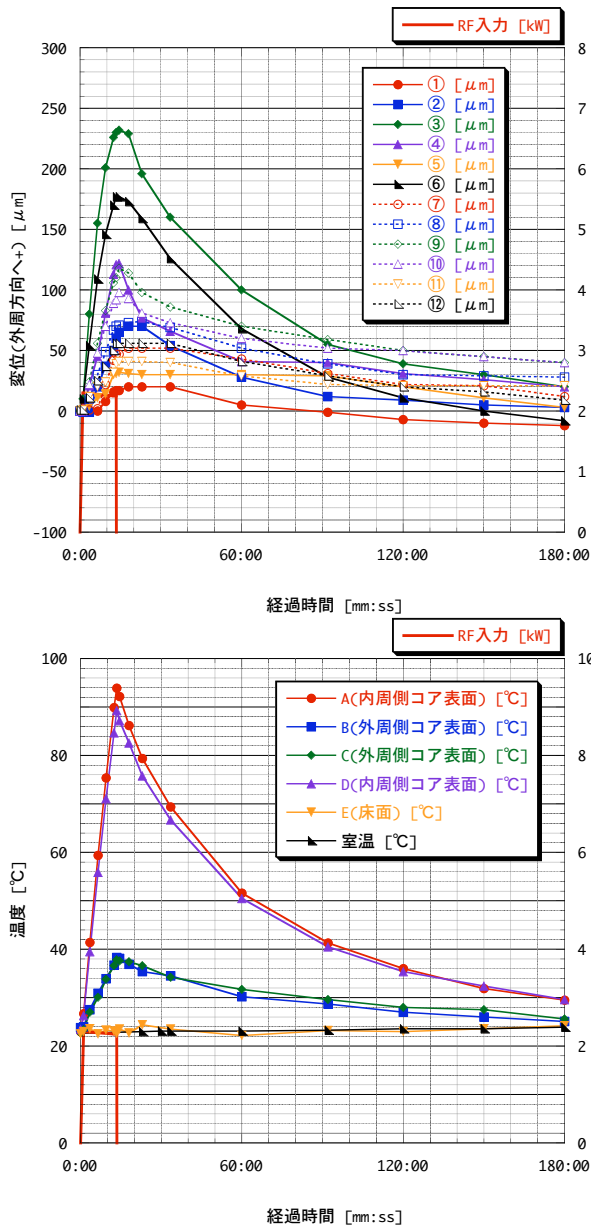


図3：短時間通電におけるコアの変形と表面温度

2.1 短時間の通電によるコアの変形

コアを励磁すると、磁気抵抗の小さいコア内周側に磁束が集中し、内周側が外周側比べて高温になる。通電開始直後から外周側に熱が拡散するまでの期間がコア内周側に加わる応力が最大になると推測した。そこで、コアの内周側の表面温度が80℃を越えるまで約10分通電し、コアの変形と表面温度の推移を測定した。80℃は水冷タンク中で運転中のコアの最大温度である。

結果、いずれのタイプのコアも座屈しなかった。図3に変形と表面温度の推移の一例を示す。上図の①～⑥は内周側の変位、⑦～⑫は外周側の変位である。下図より通電終了後も内外周の温度差が解消さ

れないことが分かる。このことから、半径方向の熱伝導がかなり悪く、次に述べる長時間通電の実験においても、水冷タンク中での運転と同様の半径方向温度分布を再現できることが分かった。

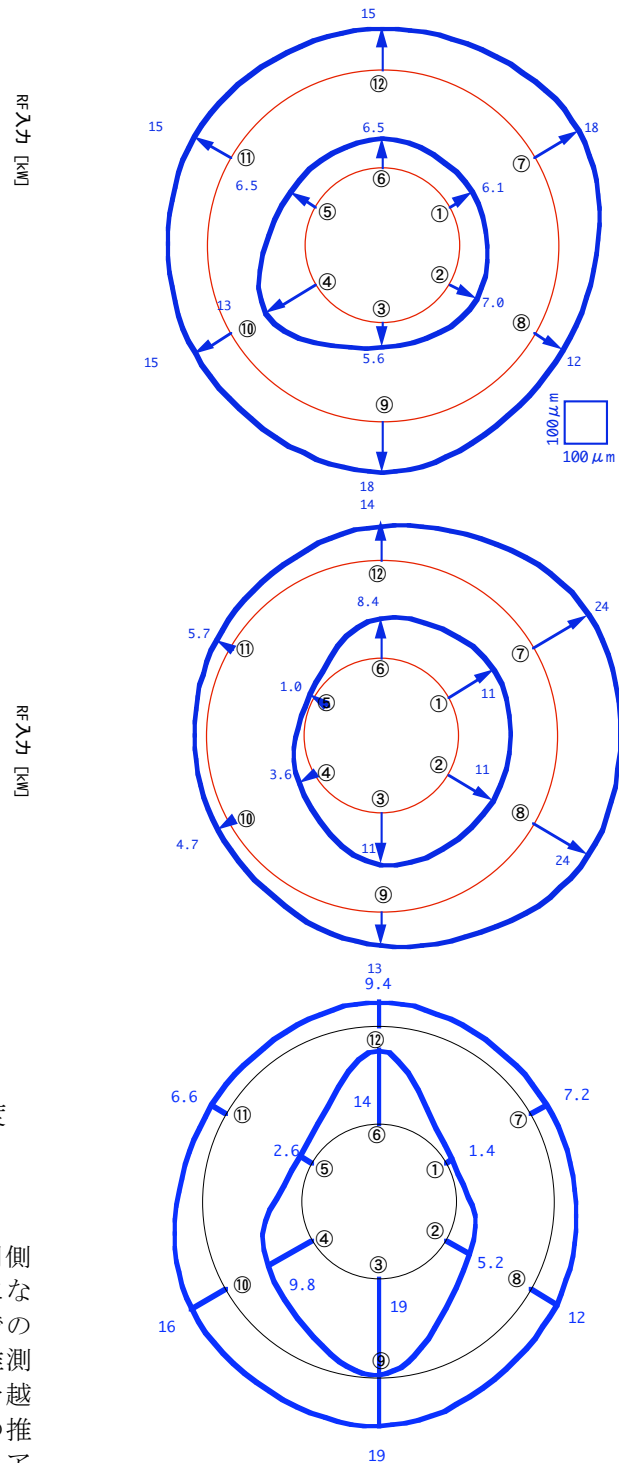


図4：コアタイプ毎の最大変位と線膨張係数

図4にコアタイプ毎の最大変位と線膨張係数を示す。上から順にタイプ(1), (2)そして(3)のコアである。数字は線膨張係数/10E-06である。タイプ(1) (2)に比べ(3)は外周側があまり伸びず内周側が

大きく変形している。これは、コア表面の高粘度含浸層がコアの自由な熱変形を拘束する要因であることを示唆している。

2.2 連続通電におけるコアの変化

次にコアの表面温度を80℃、100℃、120℃で8時間維持し各タイプのコアで座屈が起きるか調査した。結果、タイプ(1)のみが表面温度が120℃に達した時に直ちに座屈した。他のタイプは座屈しなかった。

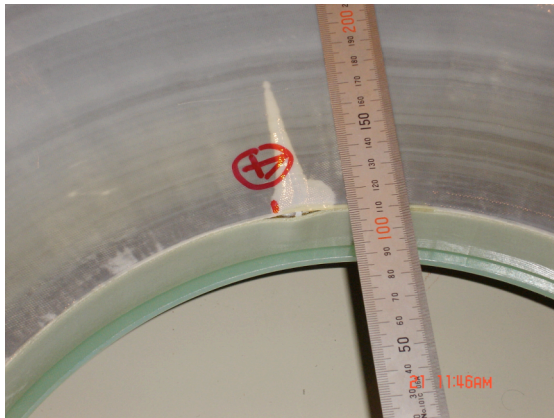


図5：表面温度120℃に達した時タイプ(1)が座屈

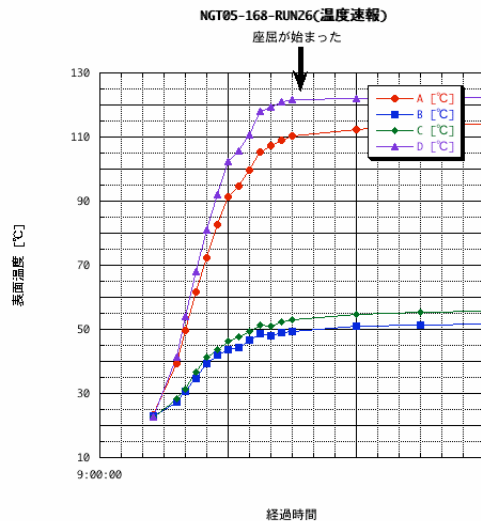


図6：タイプ(1)の表面温度の推移(A, D内周側温度)

図7に座屈したコアの表面温度分布を示す。座屈した部分は、他の内周側よりも高温になっている。これは座屈する以前から見られた傾向で、局部的に発熱が大きいのか、表面の樹脂コーティングを通しての放熱が悪いことを意味する。

図8に座屈したコアの変形の様子を示す。一番上は表面温度80℃の時の変形、二番目は100℃の時で、120℃で座屈する部分の変形が大きくなっている。しかし、この状態で8時間維持しても座屈には到らなかった。一番下は120℃の場合で、矢印が座屈位

置を示す。座屈後は内周長が小さくなっている。

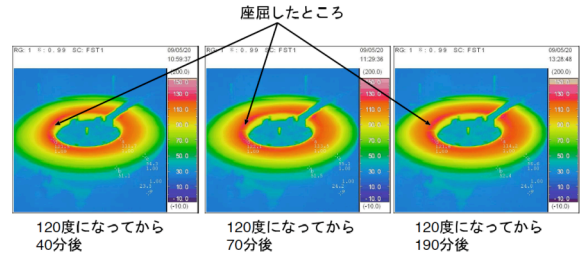


図7：座屈したコアの表面の温度

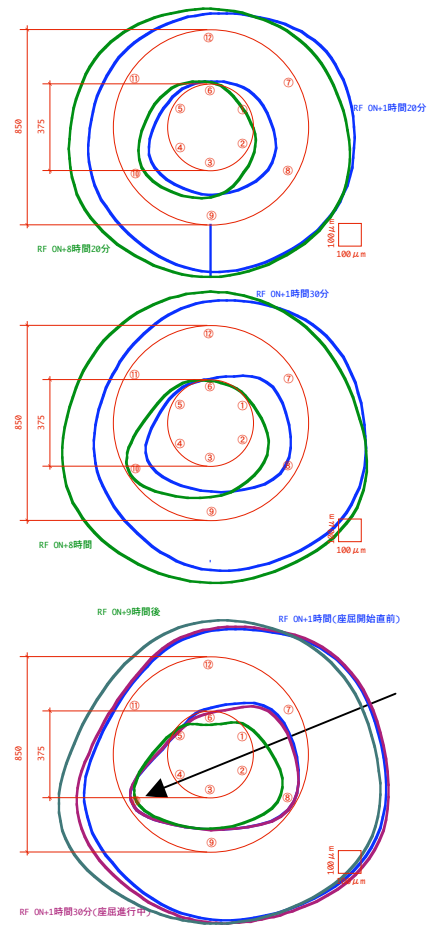


図8：座屈したコア変形

3. まとめ

コアの表面温度が120℃に達した時、タイプ(1)のみが座屈した。座屈の有無はコアの樹脂含浸の有無と方法に関係ありそうだが、標本数が少ないのでまだ断定できない。

今後、実験数を増やすか、実機における座屈コアのデータ収集が必要である。

参考文献

[1] M. Nomura, et al., 第6回日本加速器学会年会, "J-PARC シンクロトロン高周波空洞のインピーダンス測定".