

## Impedance measurements of RF cavities in J-PARC Synchrotrons

Masahiro Nomura<sup>1</sup>, Fumihiko Tamura, Alexander Schnase, Masanobu Yamamoto, Katushi Hasegawa  
Taihei Shimada, Hiromitsu Suzuki, Keigo Hara, Makoto Toda, Chihiro Ohomori, Masahito Yoshii  
KEK and JAEA J-PARC center  
2-4 Shirakata-Shirane, tokai, Ibaraki, 319-1195, Japan

### Abstract

We employed MA (Magnetic Alloy) cores in order to achieve the high accelerating gradient. We installed 10 RF cavities in the RCS in May 2007 and one more cavity in November 2008. In order to check the MA core conditions, we have been measuring the impedance of whole RF cavities and individual water tanks at the shutdown periods after installation. The cavity 7 and 4 showed sudden impedance reductions. These cavities impedance reductions were caused by the cores that were damaged by buckling. Concerning impedance measurements of individual water tanks, several water tanks showed impedance reductions. In those water tanks, we found some of cores' coatings were removed and cooling water was in those cores inside. These cores caused impedance reductions of water tanks.

## J-PARCシンクロトロン高周波空洞のインピーダンス測定

### 1. はじめに

J-PARC RCSでは、2007年5月に10台の高周波空洞の据付けを完了し、10月からビームコミッションを開始した。その後、2008年11月には11台目の高周波空洞を据付け、現在まで約2年間運転を行ってきた。この間、高周波空洞、特に金属磁性体コアの状態を調べる為に、メンテナンス期間中に空洞のインピーダンス測定を行ってきた。測定の結果、空洞7号機と4号機で急激なインピーダンスの低下が観測された。また、空洞全体では分からない、タンクレベルでのインピーダンスの変化を測定する為に、長期シャットダウン中には、高周波空洞をタンク毎に分離し、タンク毎のインピーダンスの測定も行った。その結果、幾つかのタンクでインピーダンスの低下が観測された。本論文では、これらのインピーダンス低下の状況とその原因についての議論を行う。

### 2. 高周波空洞と金属磁性体コア

図1にJ-PARC RCS用の高周波空洞を示す。高周波空洞は6個の水タンクからなり、加速ギャップは3ヶ所、全長は1.95mである。それぞれの水タンクには3枚の金属磁性体コアが装填され、計18枚のコアが1台の空洞に装填されている。また、冷却方式は、水による直接冷却方式が採用され、最大加速電圧は空洞あたり45kVである。この高い加速電圧を達成する為に、我々は通常用いられているフェライトコアの代わりに金属磁性体コアを採用した。実際のコアは、厚さ約18 $\mu$ m、幅35mmの金属磁性体リボン

を巻くことによって作られ、このリボンには予め層間を絶縁する為の厚さ約2 $\mu$ mのSiO<sub>2</sub>が片面に塗布されている。また、直接冷却方式が採用されているので、コアには防錆コーティングが施されている。



図1 J-PARC RCS用高周波空洞

### 3. 空洞毎のインピーダンス測定

図2に空洞毎のインピーダンスの測定結果を示す。全体的に、インピーダンスが変動しているが、これは冷却水温度の変動によるものと考えられる。まず、気がつくのは空洞7号機と4号機のインピーダンスの急激な低下である。空洞7号機は、メンテナンス期間中にインピーダンスの低下が観測された為、インピーダンスの低下のあったタンクの運転を止め、加速ギャップの数を3から2に変更

<sup>1</sup> E-mail:nomura.mashiro@jaea.go.jp

して運転を継続した。空洞7号機のインピーダンス低下前後での測定結果を図3に示す。また、空洞4号機に関しては、加速器運転中にインターロックで停止し、直後の調査でインピーダンスの低下が観測された為、この空洞も加速ギャップを2に変更して運転を再開した。

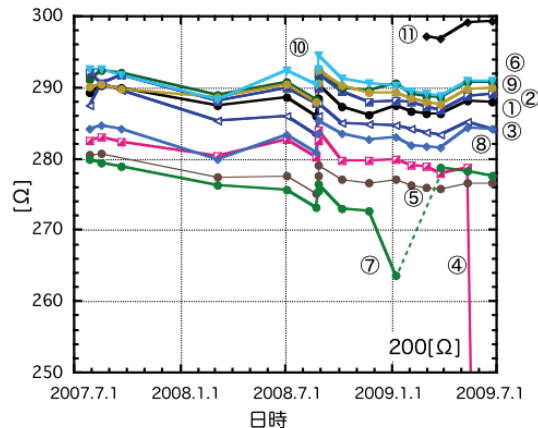


図2 空洞毎のインピーダンスの変化。縦軸は共振点でのインピーダンスを表し、図中の数字は空洞番号を示す。空洞7号機と4号機で急激にインピーダンスが低下している。

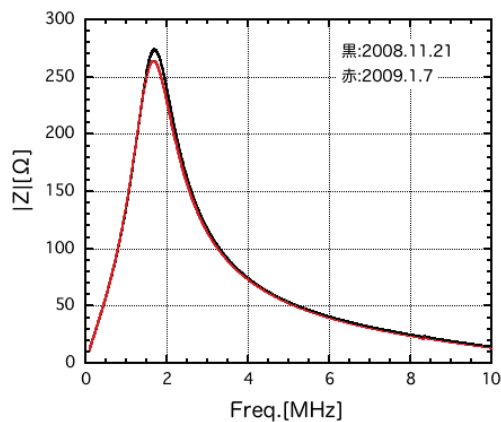


図3 空洞7号機のインピーダンス測定結果。黒線はインピーダンス低下前の2008年11月21日時点での測定結果、赤線は低下後の2009年1月7日時点での測定結果を示す。

空洞7号機は2009年3月、4号機は2009年6月にそれぞれ空洞を解体し、インピーダンス低下の原因調査を行った。その結果、両空洞とも加速ギャップ側のコアが座屈によりリボンが断裂しているのが観測された。空洞7号機の座屈の様子と損傷したコアの写真を図4、5に示す。座屈により内側に飛び出したリボンが内筒のFRPの回転方向の位置決め用の柱に衝突し、リボンが断裂していることが分かる。このコア単体のインピーダンス測定の結果を図6に示す。図6から明らかな様にコア自体のインピーダンスが低下していた。

結果を図6に示す。図6から明らかな様にコア自体のインピーダンスが低下していた。



図4 空洞7号機の座屈の様子。座屈部分が内筒の柱の部分と衝突している。



図5 座屈コアリボンの様子。座屈部分のリボンが断裂していた。

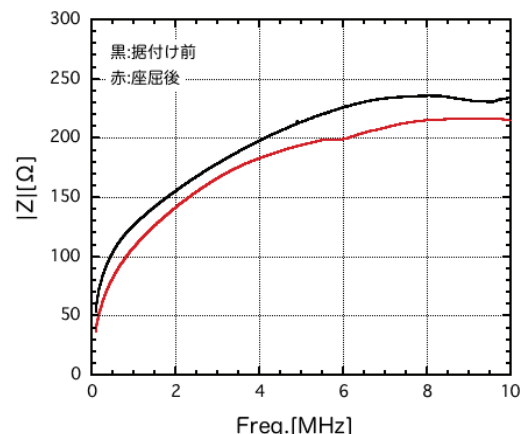


図6 座屈によりリボンが断裂したコアのインピーダンス。据付け前(黒線)と比較し座屈しリボンが断裂した後(赤線)ではコア自体のインピーダンスが低下。

座屈とインピーダンスとの関係は、今までに計4空洞を解体し調べた結果、座屈したコアは計22枚有り、その内で、コア自体が損傷を受けていない20枚のコアに関しては、インピーダンスの低下は観測されなかった。このことから、インピーダンスの低下は座屈によりコアのリボンが断裂し

たことが原因と考えられる。

#### 4. タンク毎のインピーダンス測定

図7にタンク毎のインピーダンスの変化のまとめを示す。図7から分かる様に、幾つかのタンクではインピーダンスが低下している。図8にその例として、空洞4のタンク5のインピーダンス測定結果を示す。

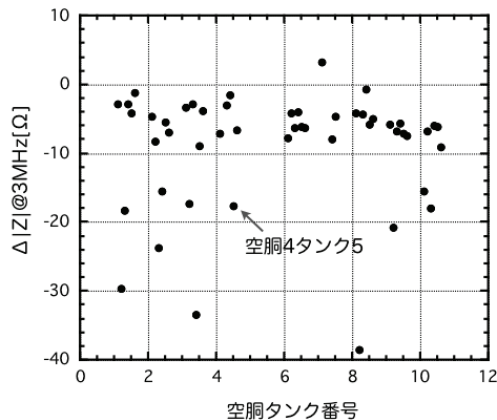


図7 タンク毎のインピーダンスの変化のまとめ。横軸は、空胴タンク番号、例えば4.5は空洞4号機のタンク5を示す。縦軸は、据付け前と2009年6月時点での周波数3MHzでのインピーダンスの絶対値の差である。

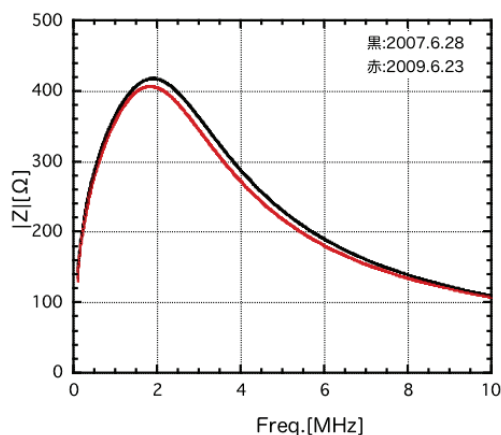


図8 空洞4タンク5のタンクインピーダンスの測定結果。黒線は据付け前の2007年6月28日の測定結果、赤線は2009年6月23日の測定結果を示す。

空洞4のインピーダンスが低下していたタンク5を解体した結果、防錆コーティングが剥がれコアに冷却水が侵入し、錆びているコアが見つかった。同様に、空洞3のインピーダンスが低下したタンクにもこれと同様に防錆コーティングが剥がれたコアが入っていた。これらのコアのインピーダンスを測定した結果、インピーダンスの低下が観測

された。空洞4のタンク5に入っていた防錆コーティングが剥がれたコア単体のインピーダンスの変化を図9に示す。これらの防錆コーティングが剥がれたコアがタンクのインピーダンス低下の原因であることが判明した。防錆コーティングが剥がれ、水がコア内に侵入し、錆びることにより、なぜ、インピーダンスが低下しているかは現在検討中である。

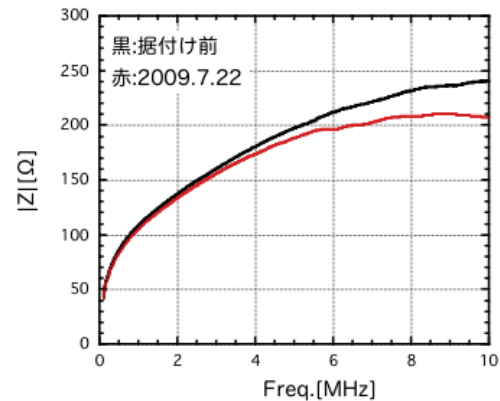


図9 コア単体のインピーダンスの変化。黒線は据付け前の測定結果、赤線は低下後の2009年7月22日時点の測定結果を示す。

#### 5. まとめと今後

ビームコミッショニング開始から約2年間運転を行い、その間、空洞とタンク毎のインピーダンス測定を行ってきた。その結果、空洞7と4で急激なインピーダンスの低下が観測され、また、幾つかのタンクで空洞全体では現れない様なインピーダンスの低下が観測された。

空洞7号機と4号機での急激なインピーダンスの低下は、コアの座屈によるリボン断裂が原因であった。座屈に関しては、コアの製造工程(コア巻きと含浸方法)との因果関係を調査中で、気中での試験も開始した<sup>[1]</sup>。また、空洞を解体せず座屈を探る方法も現在開発中である<sup>[2]</sup>。

タンクのインピーダンスの低下は、防錆コーティングが剥がれ、冷却水が侵入したコアが原因であった。防錆コーティングの剥がれに関しては、ガラスクロス端部の処理を変更すること等により対処する予定である。また、インピーダンスの低下のメカニズムについては現在検討中である。

#### 参考文献

- [1] T. Shimada et al., “高周波加速空洞用金属磁性体コアの熱変形の測定”, this conference FPACA52.
- [2] A. Schnase. “Core buckling position measurement for J-PARC RCS cavity”, this conference FPACA51.