

機関番号：82110

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21740203

研究課題名（和文） 磁性体を装荷しない陽子シンクロトロン用高周波加速空洞

研究課題名（英文） RF Acceleration cavity without magnetic core for proton synchrotron

研究代表者

山本 昌亘（YAMAMOTO MASANOBU）

日本原子力研究開発機構・J-PARC センター加速器ディビジョン・研究員

研究者番号：30354749

研究成果の概要（和文）：磁性体を装荷しない陽子シンクロトロン用高周波加速空洞の基本的な概念について、研究を行った。加速空洞の設計、電磁場計算、実機製作、実機の測定及びハイパワー試験を行い、本空洞によって広帯域にわたって加速電圧が発生できることを実証した。

研究成果の概要（英文）：The basic concept of the rf acceleration cavity without a magnetic core for the proton synchrotron has been tested. The designing, the electro-magnetic field simulation was carried out, and the test cavity was constructed. The impedance measurement and the high power test of the cavity were done, it was confirmed that this cavity could generate the acceleration voltage over wide frequency range.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：加速器科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：加速器、高周波、陽子シンクロトロン

1. 研究開始当初の背景

陽子シンクロトロン用高周波加速空洞は、広周波数帯域にわたって加速電圧を発生させるため、一般的に磁性体を装荷している。古くはフェライトを、近年では金属磁性体がいわれているが、磁性体は取扱い難しく、空洞の構造を複雑にしていた。特に、水冷方式の金属磁性体においては、磁性体を水タンクに収めるため、損傷があったときの磁性体の交換が困難であり、加速器のマシントイム確保の観点から、その改善が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、取扱いの困難な磁性体を無

くした陽子シンクロトロン用高周波加速空洞の実現性について検証することである。磁性体を無くすことでメンテナンスの手間を飛躍的に改善し、加速器のマシントイムに影響を与えない加速空洞の実現を目指した。

3. 研究の方法

(1) まず、磁性体を装荷しない高周波加速空洞の設計を行った。具体的には、従来金属で作られていたビームパイプを絶縁物に置き換え、これまで磁性体が担っていたインダクタンスと抵抗分を、空芯コイル及び抵抗体によって置き換えることとした。

(2)設計を行った加速空洞について、電磁場計算を行った。これにより、加速に必要な電場が発生できる構造になっているかどうか、また空芯コイルから漏れ出てくる電磁場がどの程度かを見積もった。

(3)設計した加速空洞の実機を製作した。

(4)実機のインピーダンス測定を行い、必要な周波数帯域においてインピーダンスが確保できているかどうかを検証した。

(5)実機に電力を投入して、実際に加速電圧を発生させることができるかどうか、実験を行った。

4. 研究成果

(1)高周波加速空洞の設計

必要とされる加速周波数帯域を確保するコイル、コンデンサー、抵抗値の計算を行い、必要な寸法から高周波加速空洞の構造体の設計を行った。使用周波数帯域は、J-PARC RCSと同じ0.45～3.4 MHzを目指し、共振点1.7 MHzでQ値を1.7とした。また試験を容易にするために半導体増幅器を使用することとし、シャントインピーダンスを50Ωに設定した。最も重要な構成要素である対向ソレノイドコイルについては詳細に解析計算を行い、コイル半径100mmにおいて巻き数8を選択した。

図1に、設計を行った高周波加速空洞の図面を載せる。絶縁ビームパイプはデフロンを使用し、それを取り巻くようにソレノイドコイルを対向させて設置した。

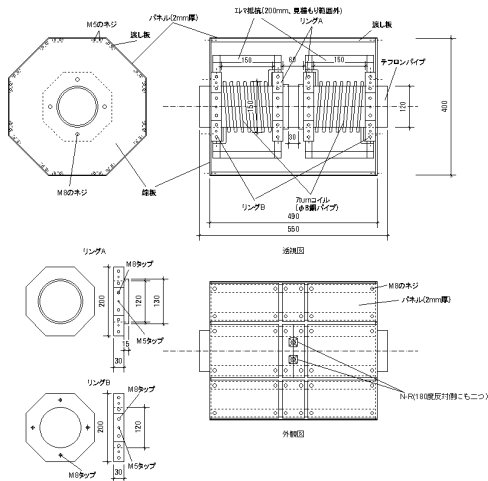


図1: 高周波加速空洞の設計図

(2)電磁場解析

設計を行った高周波加速空洞について3次元電磁場計算コードを使ってシミュレーションを行った。図2に電磁場計算に使用した図面及び図3に電磁場計算の結果を載せる。計算結果より、加速ギャップ近傍に加速に必要な電場が発生していることが分かった。さらに、ソレノイドコイルを使用したことにより漏れてくる電磁場も計算し、加速電圧に対して垂直方向に4%ほど電圧が発生することが分かった。

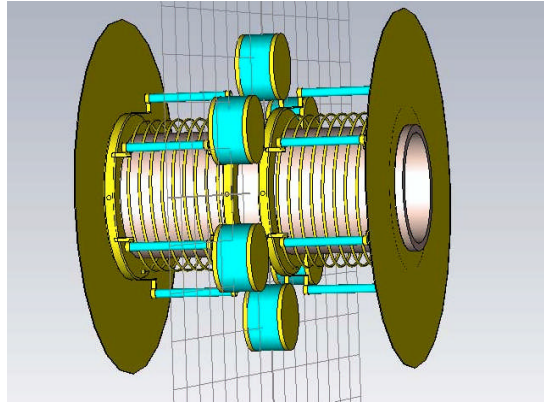


図2: 電磁場解析のための3次元解析図面

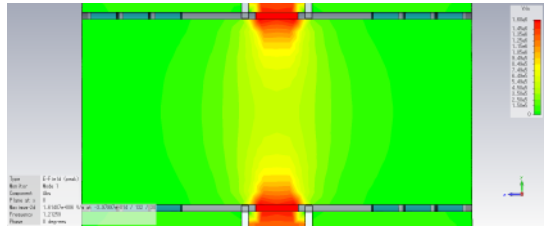


図3: 電磁場解析結果

(3)高周波加速空洞製作

設計した高周波加速空洞を製作した。図4に製作した高周波加速空洞を載せる。空洞筐体を取り囲むカバーは、電気伝導性と取扱いの便さを考慮して、アルミ製のパネルをいくつかのパーツに分けて取り付けている。加速ギャップには、給電用のリングが取り付けられており、リングにソレノイド、エリマ抵抗体、そして共振周波数調整用のソリッドコンデンサーが取り付けられている。給電ポートと測定用のポートも給電リングに取り付け構造となっている。

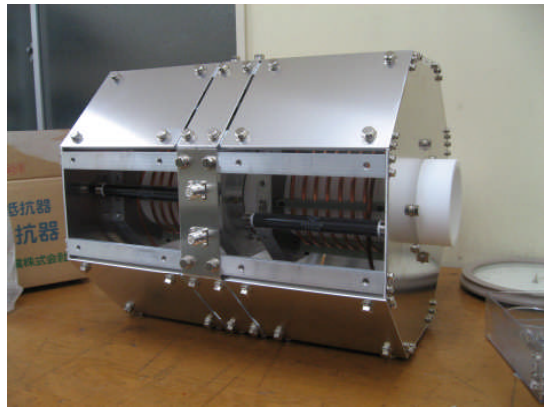


図4: 高周波加速空洞の実機製作

(4)高周波加速空洞特性測定

製作した高周波加速空洞の周波数特性測定を行った。測定データを図5に載せる。測定結果より、ほぼ設計値通りの共振点である1.65 MHzとQ値1.67を達成しており、シャントインピーダンスも49Ωと良好な値であった。測定データを詳細に調べていくと、使用周波数帯域よりも高い8～9MHz付近に寄生共振があることが確認された。これは、ソレノイドに起因する寄生共振と考えられるが、値が主共振に比べて小さいため、特に影響はないものと考えられる。

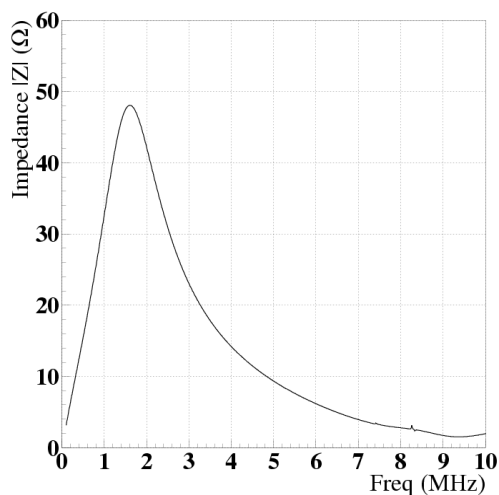


図5: 高周波加速空洞の周波数測定結果

また、ピックアップコイルによる磁場測定を行い、当初のコンセプトである対向するコイル構造によって、加速軸方向の磁場が打ち消すことに成功していることを確認した。

(5) 加速電圧発生試験

高周波加速空洞に、半導体増幅器で増幅した100W程度の高周波を投入し、実際に加速電圧が発生できるかどうかを試験した。図6に測定された加速電圧波形を載せる。図中のSin波形が観測された電圧波形で、磁性体を装荷しない高周波加速空洞において加速電圧が発生できることを実証した。

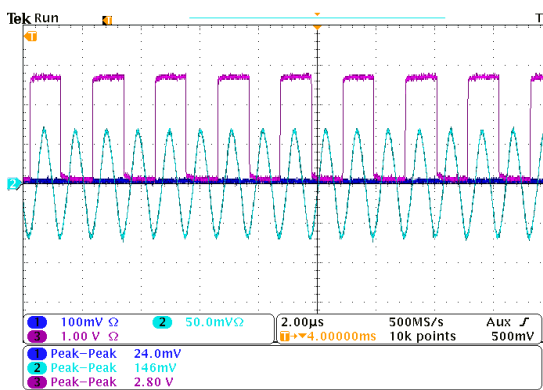


図 6: ハイパワー試験結果

(6) 今後の展望

加速電圧が発生できることは確認されたが、横方向に発生する電場成分がビームに与える影響を検討する必要があることが分かった。横方向ビーム計算を行いその評価を行うことが、今後の検討課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 件)

[学会発表] (計 2 件)

- ① Longitudinal particle simulation for J-PARC RCS, 第6回日本加速器学会
- ② Simulation of longitudinal emittance control in J-PARC RCS, International Particle Accelerator Conference 2010
[図書] (計 件)
[産業財産権]
○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 昌亘 (YAMAMOTO MASANOBU)
日本原子力研究開発機構・J-PARC センター
加速器ディビジョン・研究員
研究者番号：30354749

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：