

陽子、イオン、反陽子 加速・減速自由自在 -高勾配加速空洞の開発-

SATテクノロジー・ショーケース2016

■ はじめに

シンクロトロンは素粒子・原子核研究のために開発された粒子加速器である。茨城県東海村の大強度陽子加速器J-PARCでは2台の陽子シンクロトロンを用いてニュートリノ振動実験-T2K(Tokai to Kamioka)を始め素粒子・原子核・物性・化学・生物など多様な実験が行われている。

陽子加速が電子の加速と大きく異なる点は、粒子の質量が1800倍重いこと、超大型の加速器を除き加速に伴ってシンクロトロンを周回する速度が無視できない量で変化することである。このため、従来はフェライトを装荷した加速空洞が用いられ、フェライトの周りにバイアス電流を流すことで透磁率を変化させ、加速周波数と空洞の共振周波数を同調させてきた。しかしながら、フェライトでは高周波磁束による飽和と温度等の影響が大きく、新しい加速器に必要な高い加速勾配を得ることが困難であった。このため、J-PARC加速器の建設のためには、高性能な加速空洞の開発が必要不可欠であった。

■ 活動内容

1. 金属磁性体(Magnetic Alloy) 空洞の実現

我々は、大強度陽子加速器J-PARCシンクロトロン用に金属磁性体-ファインメットを装荷し、この高勾配かつ広帯域な空洞を実現した。

●高勾配

この磁性体では飽和磁束密度がフェライトに比べ数倍高く、加速器で用いられる高周波磁束密度では、飽和による性能低下が見られない。これは、高電圧出力時に特性が劣化するフェライト空洞とは大きく異なる点である。これにより、図1に示すように、陽子・イオン加速器用の高周波加速空洞として、画期的な加速勾配(単位長さあたりの高周波電圧)を実現し、加速器の小型化に貢献した。

●広帯域

この空洞では広帯域にわたって高いインピーダンスを保持し、フェライト空洞の様なバイアス電流による同調を不要とした。これにより陽子・イオンの加速システムは単純なものとなり、ビーム加速自体が容易なものとなった。そして、この特徴が海外においてこの空洞を導入する際の動機づけとなった。

●大強度陽子加速

大強度陽子加速器J-PARCではこの空洞を用いてT2K実験のために380kW、MLF(物質・生命科学実験施設)に500kWのビーム供給を行っている。

2. 加速勾配の向上

この加速勾配は、別の金属磁性体-ファインメットFT3Lを用いることにより、更に向上した(図1)。高周波空洞用の大型FT3Lコアは、商用のものでは適合しないため、独自に磁場中熱処理炉を開発し、直径80cmのFT3Lコアの量産を可能にした。この加速器用のFT3Lコアは、J-PARC MRの加速周期を短縮し、ビーム強度を倍加する増強計画の柱として進められている。

(C. Ohmori 他, Phys. Rev. ST Accel. Beams 16, 112002(2013).)

3. 金属磁性体空洞の普及

金属磁性体空洞はその高い性能、粒子加速の調整のしやすさ、加速システムとしての価格などの点から様々な加速器への導入が進んでいる。欧州では、ジュネーブ郊外のCERN(欧州原子核研究機構)のLHC(Large Hadron Collider)入射器PSB(ブースター陽子シンクロトロン)の高周波加速系の増強のため、大掛かりな置き換え計画が進んでいる。更に、新たに建設が始まった反陽子の減速リングELENA(Extra Low ENergy Antiproton ring)では3keVという極めて低いエネルギーまでの減速空洞として用いられる予定である。医療用ではオーストリアのMedAustronの加速空洞として稼働している他、韓国で建設中のKHIMAにも用いられる予定である。このように、金属磁性体空洞は国内外において、陽子・イオン・反陽子の加速・減速のために用いられようとしている。

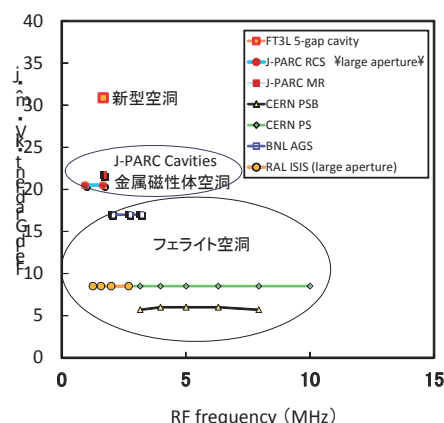


図1. フェライト空洞、金属磁性体空洞、新型金属磁性体空洞の加速勾配の比較。

代表発表者 **大森 千広 (おおもり ちひろ)**
所 属 **高エネルギー加速器研究機構
J-PARC センター**

問合せ先 **〒305-0801 つくば市大穂1-1
TEL:029-864-1171 (代表)**

**〒319-1195 那珂郡東海村白方白根2-4
J-PARC センター**

■キーワード: (1)陽子・イオン加速器
(2)高周波加速空洞
(3)金属磁性体

■共同研究者: 戸田 信、長谷川豪志、原圭吾、吉井正人(高エネルギー加速器研究機構、J-PARC センター)、田村文彦、野村昌弘、山本昌亘(原子力研究開発機構、J-PARC センター)