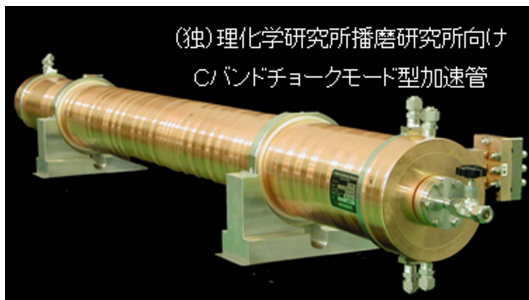


先端研究・技術開発を支える粒子加速器製品とその技術

Particle Accelerator Products for Advanced Research and Technology Development



(独)理化学研究所播磨研究所向け
Cバンドチョークモード型加速管

機械・鉄構事業本部
先端製品部
先端技術・システムグループ
☎(03)6716-3777

核物理や素粒子物理研究などで利用される粒子加速器には、電子、陽電子、陽子などの粒子を高エネルギーの状態まで加速する加速空洞(又は加速管)が用いられる。当社では、新しい研究や実験に必要な加速空洞・加速管を提供するために様々な製造技術の開発を続けている。ここでは超伝導加速空洞、常伝導加速管及びその応用製品である医療装置について紹介する。

1. 超伝導加速空洞

1.1 特徴

超伝導加速空洞は冷媒(液体ヘリウム)により、空洞を構成するニオブ材を極低温に冷却して超伝導化することで、銅材を使用する常伝導加速管に比べて高周波損失を10~100万分の1にできるため、主として高加速電界で連続波で運転する加速器に用いられる。

1.2 適用先

超伝導化のために大規模な冷媒供給設備が必要であり、主として大型研究用加速器に適用される。当社は、2008年ノーベル物理学賞の検証実験にも貢献した高エネルギー加速器研究機構(KEK)の電子・陽電子衝突加速器(KEKB)向け超伝導クラブ空洞を開発・納入している(図1)。

また、物質の起源や宇宙誕生の謎に迫る“国際線ニアコライダー(ILC)計画”向け及び次世代放射光源の“エネルギー回収型加速器(ERL)計画”向けに周波数1.3GHz帯の超伝導加速空洞を開発中である。

1.3 製造技術

超伝導加速空洞はニオブ材の中にわずかな不純物が混入したり、空洞内面に欠陥や突起があると、高加速電界を得ることができないため、以下のような製造技術が適用されている。

- (1) 高精度成形技術: 空洞を構成する半球状のセルを精度良く成形する技術(図2)
- (2) 高精密電子ビーム溶接技術: セルを接合して空洞を形成する際に内面の溶接部を平滑化し不純物混入を抑制するために清浄な真空中でセルを直接電子ビームで精密溶接する技術

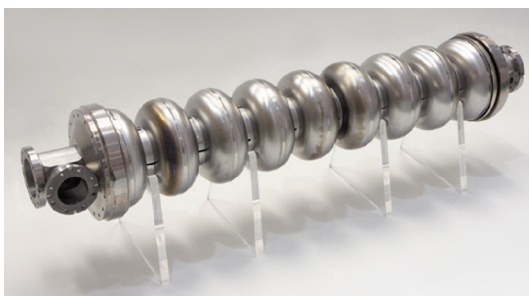


図1 ILC R&D 用超伝導加速空洞
(高エネルギー加速器研究機構提供)

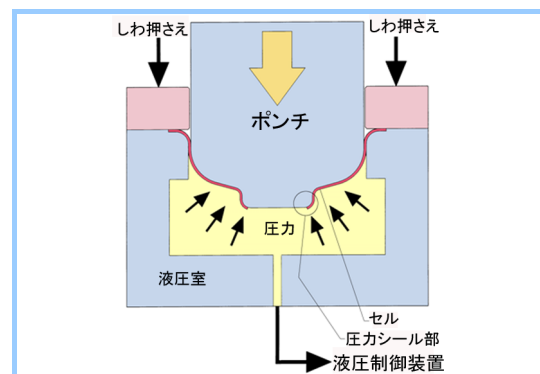


図2 超伝導加速空洞セル材(大径薄肉用)
対向液圧成形概略図

2. 常伝導加速管

2.1 特徴

常伝導加速管は室温で運転を行うため、超伝導空洞に比べ附帯設備が少なく済み、加速管の清浄度管理もやや緩和される。また、常伝導加速管は、超伝導空洞に比べ高周波損失が大きいため連続波での運転には向かないが、パルス波で運転することで高加速電界を得ることができる。

2.2 適用先

研究用では、大型のリング型加速器へのビーム入射用加速器として、高エネルギー加速器研究機構や SPring-8などに納入されている。また、現在、(独)理化学研究所が建設中の X 線自由電子レーザー(XFEL)計画用の主加速器、及びニュートリノ実験や中性子の産業利用などを行う(独)日本原子力研究開発機構と KEK が共同で建設した大強度陽子加速器施設(J-PARC)の主加速器の増強部として量産を進めている。民需では、3項記載の医療装置用のほか、電子滅菌用としても使用されている。

2.3 製造技術

常伝導加速管は高い共振周波数精度が要求されるため以下の製造技術が適用されている。

- (1) 超精密旋盤による、表面粗度 $R_{max}:0.1 \mu m$ 、寸法誤差 $2\sim 3 \mu m$ 以下の超精密加工技術(図3)
- (2) 国内最大級の真空ろう付け炉(ワーク寸法:直径 1.2m、長さ3m)による低歪の多段ろう付けや異材同士のろう付け技術(図3)
- (3) UHF 帯(300MHz~)から X バンド帯(~12GHz)までの幅広い帯域での高周波測定技術

3. 医療装置への適用

3.1 特徴

昨年より販売を開始した放射線治療装置(MHI-TM2000)(図4)は、患者に優しい医療機器として開発され、当社が長年研究用として培ってきた加速器技術が適用されている。高い照射精度を有する小型照射ヘッドとするためには、加速管の小型化が重要な課題の一つであり、加速管に従来よりも高い周波数の C バンド(5.7GHz 帯)を採用することにより長さが 1/3 程度になり、高性能クライストロンと組み合わせることで実現している。

3.2 適用先

TM2000 は現在、国内外の病院に販売されており、臨床実績を上げつつある。

3.3 製造技術

本装置は、2項に紹介した常伝導加速管技術に加え、印刷機械の画像処理や、工作機械の精密位置決め機構など様々な要素技術が融合されて実現した製品である。

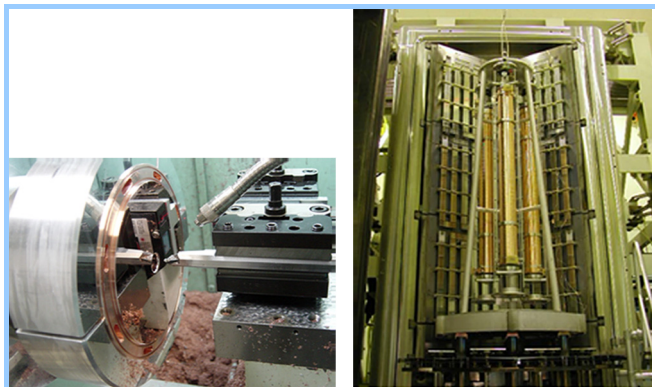


図3 超精密加工中のCバンド加速管セル(写真左)
ろう付け炉(写真右)

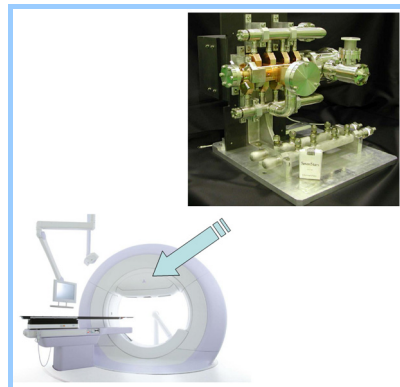


図4 放射線治療装置 TM2000
C バンド加速管