

高周波加速空洞の製作

仕 様 書

1 目的及び概要

本件は、J-PARC 3GeVシンクロトロン加速器高周波加速システムにおいて、高周波電圧を陽子に与える高周波加速空洞の製作を行うものである。既設の高周波加速空洞において長年の使用により経年劣化が進んでいることから、加速器の運転維持のため、さらにビーム損失を低減し加速空洞の消費電力を減らす高度化を行うために製作を行う。

2 仕様範囲

高周波加速空洞の製作 1 式

3 仕様

高周波加速システムは、陽子ビームにエネルギーを与える高周波加速空洞、加速空洞に高周波電力を供給する高周波電力増幅器と陽極電源をはじめとする各種電源、それらを制御する低レベル制御系からなる（添付図1参照）。このうち本件の高周波加速空洞筐体は、0.5～5.1 MHzの周波数帯域において高周波電圧を効率よく発生させる目的で金属磁性体コア（使用範囲外）を装荷しており、磁性体コアの冷却方式としては磁性体を直接純水中に浸す直接冷却方式を採用する。

3.1 加速空洞筐体

以下に示す加速空洞筐体を 1 台製作する。

3.1.1 電気仕様

ギャップ電圧	40kV（各ギャップ当り）10.0kV
熱損失	平均120kW程度
繰り返し	25Hz
Duty	60%
周波数帯域	0.5～5.1 MHz
インピーダンス	900 Ω程度/加速ギャップ
Q値	2.5程度 (ただし、磁性体としてはQ値～1程度)
共振周波数	1.7 MHz付近固定
高周波の入力方法	容量結合

3.1.2 構造仕様

3.1.2.1 全体構造

空洞全長	フランジ—フランジ間で1950mm程度
ビームパイプ高さ	床面—ビームパイプ中心間で1200mm
磁性体コアサイズ	外径 850mm±3mm 内径 375mm±3mm 厚さ 26mm±1mm (図2参照)
加速ギャップ数	4
冷却槽数	4

なお、全体構造の概略については図3を参照のこと。

3.1.2.2 磁性体冷却槽

磁性体コアの冷却は、純水を流すことができる冷却槽に磁性体コアを収める直接冷却方式とする。各冷却槽には磁性体コアを5枚収める。

冷却槽構造	SUS304製とし、高電圧がかかる加速ギャップ側には強化FRP製の蓋を設けること
冷却系統	冷却槽の底部から純水を供給し、冷却槽の上部から排水を行うこと
冷却槽蓋パッキング	バイトン
水温	入：摂氏35度以下
水圧	入：0.5MPa以下、背圧0.2MPa以下
流量	冷却槽あたり70 L/min以上
配管	20A相当。耐放射線性に優れた絶縁ホースを使用すること。
継手	SUS304金属フェルールを用いたスウェジロックを使用すること。
その他	冷却槽内でコアとコアの間隔は11mm程度とする。コアとコアの間には、水のインピーダンスへの影響を抑えるため、5mm厚の強化FRP製の整流板をスペーサーとして挿入すること。冷却槽内の水流を整えるため、3mm厚のEPDMゴム等のコマを設けること。コアが冷却槽内で動かないように、コアを外周側から押さえる治具を備えること。

なお、冷却槽の概略については図4を参照のこと。

3.1.2.3 ビームパイプ

加速空洞に使用されるビームパイプは、加速電圧を発生する加速ギャップを4箇所設け、ギャップをセラミックで覆われたタイプのものを使用する。

長さ	フランジーフランジ間で1950mm程度
ビームパイプ径	内径247mm、外径255mm
材質	SUS316L製
フランジ	テーパタイプクイックフランジ（外径290mm）
加速ギャップ	加速電極間のギャップを30mmあけ、セラミックで覆うこと。電極面は放電抑制のため面取りすること。
セラミック	外径277mm程度。長さ60mm程度。ビームパイプに溶接すること。セラミックの材質の選定は原子力機構担当者の指示に従うこと。
真空条件	許容リーク量： 2.0×10^{-11} Pa m ³ /sec 以下 最大放出ガス量： 2.0×10^{-8} Pa m ³ /sec /m ² 以下 ただし、ベーキング後24時間経過した後に、室温にて50時間排気した後の放出量とする。
ビームパイプの内面処理	電解複合研磨等により、上記真空条件を満たす内面加工を行うこと。
ベーキング	摂氏200度で24時間とする。ベーキングの手法は原子力機構担当者の指示に従うこと。
その他	ビームパイプ及びフランジに水平面を示すけがき線を入れること。ビームパイプに回転防止機構を設けること。

3.1.2.4 給電機構

空洞筐体は、真空管を収めた終段増幅器(仕様範囲外)と接続される。終段増幅器から空洞への高周波電力の供給は、直流遮断コンデンサーによる容量結合方式で行われる。空洞にある4つの加速ギャップは4本のブスバーにて接続され、2本ずつ並列に接続し、終段増幅器の2本の出力部と接続される(図3参照)。

銅製ブスバーは500mm²以上の断面積を持つこと。また、銅製ブスバー間の距離は終段増幅器の出力部と整合性を保って設計すること。ブスバーの繋ぎ部はM8以上の真鍮製ボルト・ナットを使用すること。ブスバーと接地電位との最大電位差は20kVとして設計すること。

銅製ブスバーは、MCコンタクトリング(使用範囲外)を介して冷却水槽と電氣的に接続される。MCコンタクトリングと冷却水槽間の接続部品は、銅製の部品でMCコンタクトリングのほぼ全周と接触するように接続すること。

3.1.2.5 筐体接続構造

給電用の銅製ブスバーは、アルミ製の渡りカバーにより覆う。渡りカバーは機械的に空洞筐体と終段増幅器を接続するだけでなく高周波電流のリターンパスとなるので、コンタクトフィンガーを設ける等、電氣的な接触を確実にし、高周波電流が流れやすい構造とすること。なお、空洞筐体と終段増幅器筐体との間隔は400mm以下とする。

3.1.2.6 架台

支持	床面から4点支持を行うこと
絶縁	空洞筐体は電氣的に床面から絶縁可能なこと
位置調整機構	空洞筐体を上下、左右、前後に位置を調整可能な機構を設けること。 上下：30mm程度 左右：20mm程度 前後：20mm程度
搬送設計	架台と空洞を一体にしてクレーンで吊れるようにすること。またビシャモンやエアパレットの上に架台を乗せたときに、水平に保って搬送可能なように設計すること。
据付設計	加速器トンネル内は放射線環境下であるため、空洞の据付と取り外し作業が短時間に行える構造を有する架台であること。

3.1.2.7 冷却系

空洞前流量	280 L/min 以上
水温	入：摂氏35度以下
水圧	入：0.5MPa以下、背圧0.2MPa以下
配管径	母管：50A相当
配管材料	母管：SUS304。母管から各冷却槽：耐放射線性に優れた絶縁ホース
バルブ	各冷却槽の入側にゲートバルブ（SUS304製）、出側にボールバルブを使用すること。耐放射線性に優れたものを使用すること
流量計	各冷却槽の出側に耐放射線性に優れた流量計（接点付き、SUS304製）を設けること。接点は異常時開接点とする。
シール材	耐放射線性に優れたものを使用すること。
水抜きバルブ	入側、出側の母管に水抜きバルブを設けること。

3.1.3 ギャップ短絡機構

加速空洞の運転を停止してビームが加速空洞を通過する場合に備えて、各ギャップにリニアモーターを使用したギャップ短絡機構を設けること。

3.1.4 インターロック

水温	各冷却槽の上部にて温度センサーで監視すること。異常時（摂氏55度以上）で開接点を出力すること
流量	各冷却槽からの出口にて流量を検出し、異常時（35L/min以下）に開接点を出力すること
端子	インターロック配線用の端子台を設けること

3.1.5 使用環境

高周波加速空洞は放射線環境下にある主トンネルに設置される。想定される放射線量は30年間積算値で1MGy程度である。

周囲温度	摂氏0～40度、室内、空調あり
湿度	20～90%
腐食ガス	なし
その他	放射線環境下である

3.1.6 試験検査

受注者は以下の検査を行い、所定の仕様を満足していることを確認すること。

- 3.1.6.1 一般構造検査
- 3.1.6.2 通水検査
- 3.1.6.3 真空リーク検査

3.2 金属磁性体コーティング

3.2.1 電气的使用

周波数帯域	0.5～5.1 MHz
コアサイズ	内径：375mm±3mm 外径：850mm±3mm 高さ：26±1mm 外径については、図2を参照のこと
電力損失	コア当たり最大10kW
コアの温度	直接純水冷却時に最大摂氏100度程度

3.2.2 コーティングに関する仕様

枚数	金属磁性体コア 30枚
工程	1. コア巻芯(ステンレス製)の交換 2. 番号付けと外觀検査 3. 防錆コーティング(真空含浸) 4. 外觀検査 5. ピンホール検査
その他	表面の傷、不純物、層間抵抗に不良を来たす要因はできる限り排除すること

3.2.3 防錆樹脂に関する仕様

材料	エポキシ系樹脂を使用すること。ただし相当品の場合は機構の了承のもとに使用すること
粘性	1 Pa・s(水の粘性は1mPs・s)程度以下
ガラス転移温度	摂氏120度以上目標
樹脂含浸方法	真空加圧含浸
その他	耐放射線性を考慮すること

3.2.4 その他

- 3.2.4.1 樹脂の剥がれ、凹凸がないこと
- 3.2.4.2 座屈には十分に注意を払うこと
- 3.2.4.3 樹脂の厚さ（レコード面）は400 μm 以下であること
- 3.2.4.4 樹脂の色は無色とする

3.2.5 試験検査

出荷前に以下の試験検査を行うこと。

- 3.2.5.1 一般検査：外観、通し番号の検査
- 3.2.5.2 寸法検査：樹脂厚み測定
- 3.2.5.3 ピンホール検査：ピンホールチェッカーを用いた樹脂の検査

3.3 インバータユニット

以下に示す仕様のインバータユニットを3台製作すること。

3.3.1 インバータユニットの仕様

規格	現状の高周波加速空洞用に設計されたインバータユニットと同一のものとする。
寸法	巾600mm、高さ 700mm、奥行 1300mm 程度
定格出力	80kW
定格入力電圧	DC 700V
出力電圧	最大DC 13kV。ただし、9kVから最大13kVの範囲で電圧を可変できること。
出力電流	DC 6.8A 以上
効率	80%
出力電圧リップル	全周波数域、定格電流1%の出力において、 $\pm 0.2\%$ 以下（0.1%以下目標値）、1kHz以下の周波数成分に関して $\pm 0.1\%$ 以下とする。
出力電圧サグ	運転形態に対してかつ定格出力電流の1%以上において1%以下とする。
回路方式	電力用IGBT半導体デバイスを用いた直列共振型インバータ方式
スイッチング周波数	0.3-31.25kHz（最大）
高圧整流回路構成	フルブリッジ×2直列
高圧整流回路	冷媒による直列又は間接冷却方式

冷却方式	インバータユニット(ピークパワー約 100kW)の冷却には建屋の純水冷却水を使用する。
冷却水	種類：純水 供給圧力：約0.5 MPa 流量：10 L/min程度 温度：35℃以下
絶縁耐力試験電圧	DC 22kV
運転周期	運転周期は40mミリ秒。この周期の中で陽子ビームを所定のエネルギーまで加速する。
力率	0.99 以上の力率を達成できるようにすること。
ノイズ対策	数 100 KHzから数MHzの周波数帯の放射電磁ノイズ及び伝導ノイズに対して、十分な配慮をし、可能な限りそれらの機器からの流出を抑制する設計。
使用環境	周囲温度：0～30℃、室内、空調あり 湿度：20～90%

3.3.2 IGBTゲート信号制御モジュールの仕様

インバータユニットに搭載されるIGBTはゲート信号制御モジュールによって駆動される。ゲート信号制御モジュールの仕様を以下に示す。

ゲート信号

基板規格	現状のインバータユニット専用に設計された基板と同一のものとする
機能	ゲート用光信号を受信し、電気信号に変換すること
入力側回路	光FC型コネクタ、2ポート(VX, UY相)を備えること
出力側回路	電圧 Von:+14V、Voff:-13V、4ポート(U, X, V, Y相)で、0～32kHzのスイッチング信号を出力すること

ゲート信号駆動用電源

機能	ゲート信号出力のため以下のAC/DCコンバータを備えること
入力	AC200V, 50Hz
出力	DC15V, 5V

故障信号

機能	故障時に以下の信号を出力可能なこと
ゲート電源異常	AC200V電源喪失で出力
制御電源異常	DC5V電源電圧低下で出力
その他	動作を示すLED表示灯を備えること

3.3.3 試験検査

- ・一般構造検査
- ・インバータユニットの動作検査

4 支給品

以下のものを支給する。

- ・金属磁性体コア：30枚

5 提出書類

以下の書類を提出すること。

書類名	提出時期	部数
製作工程表	契約締結後速やかに	1
製作図（要確認）	製作開始前	1
打合せ議事録	打ち合わせの都度	1
試験検査要領書（要確認）	検査前	1
試験検査成績書（要確認）	納入時	1
完成図書	納入時	3

（提出場所）

原子力機構 J-PARCセンター 加速器ディビジョン 加速器第二セクション

6 グリーン購入法の推進

本仕様に定める提出書類（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本指針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

7 検収条件

第9項に示す場所に納入後、員数検査、外観検査、3.1.6、3.2.5、3.3.3項に定める試験検査及び提出図書の合格をもって検収とする。

8 保証期間

検収後 1 年とする。

9 納入場所及び納入条件

9.1 納入場所

茨城県那珂郡東海村大字白方 2-4
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所内指定場所

9.2 納入条件

車上渡しとする。

10 納期

- 10.1 加速空洞筐体1台：令和10年2月22日
- 10.2 金属磁性体コーティング30枚：令和10年2月24日
- 10.3 インバータユニット3台：令和10年2月25日

11 特記事項

・受注者は、日本原子力研究開発機構側と緊密な連絡を取りつつ作業を行うこと。
作業の途中で経過報告を求めた場合には経過報告を行うこと。

・受注者は、日本原子力研究開発機構側から提示する作業のために必要な資料・
情報を本契約以外の目的で第三者に提供するときは、予め日本原子力研究開発機
構側の承認を得なければならない。

・本契約実施に際して、実施上の疑義が生じた場合には、日本原子力研究開発機
構と受注者で速やかに協議して決定すること。

・仕様に特に指定していないものの使用材料は、日本産業規格(JIS)、日本電機
工業規格(JEM)、電気規格調査会標準規格(JEC)、その他関連する規格に準拠また
は相当品以上のものを使用すること。

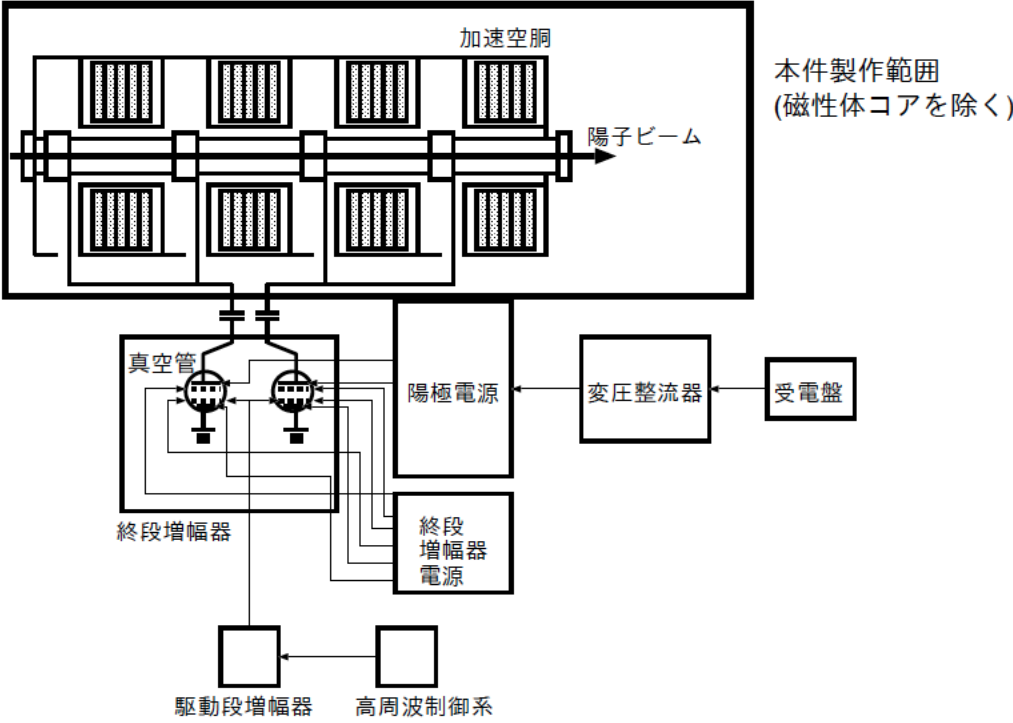


図 1 高周波加速システム

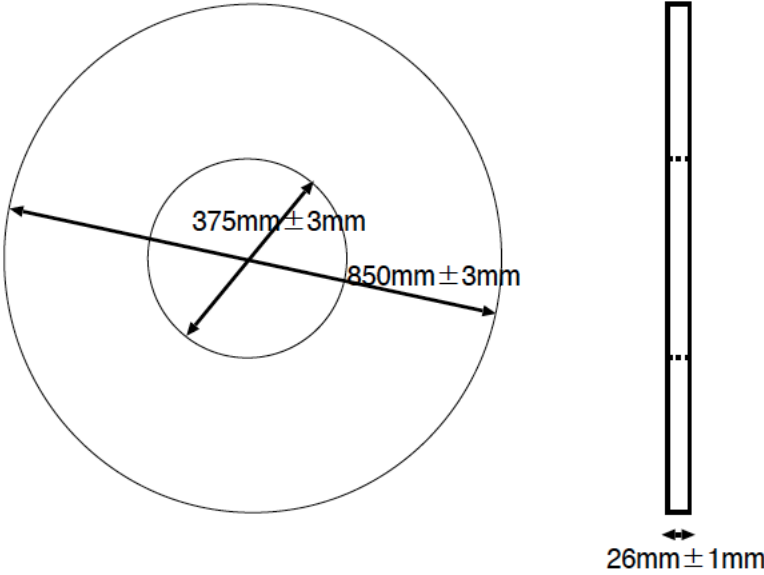


図 2 磁性体コア外形図

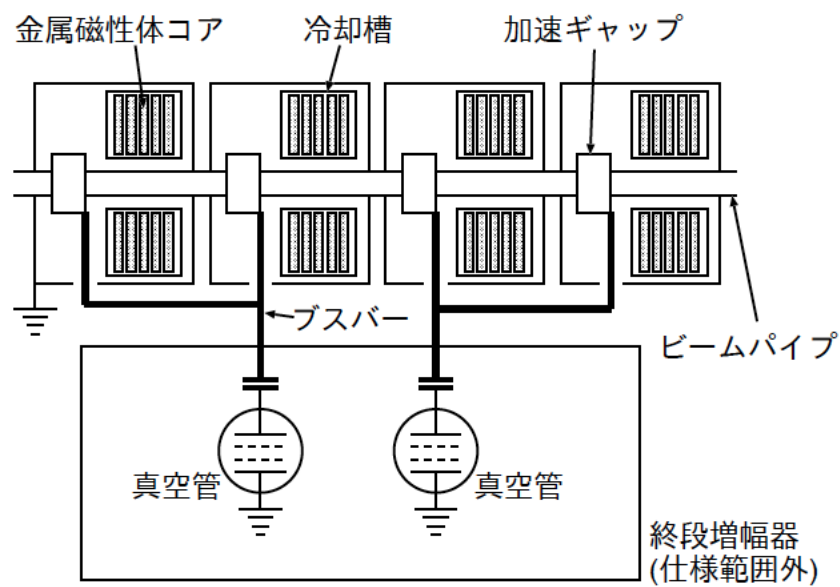


図3 空洞概略図

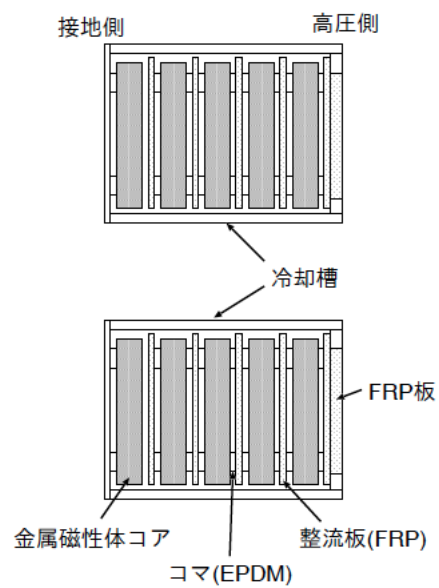


図4 冷却槽概略図