

低ベータ用超伝導加速空洞の製作

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

J-PARC センター

核変換ディビジョン

1. 一般仕様

1.1 件名

低ベータ用超伝導加速空洞の製作

1.2 目的

本件は、陽子ビームを用いた核変換技術開発の一環として行う、陽子ビーム加速のための低ベータ用超伝導加速空洞の製作に関するものである。本仕様書において、以下、この低ベータ用超伝導加速空洞をスポーク空洞と呼ぶ。

1.3 契約範囲

1.3.1 契約範囲内

- | | |
|------------------------------------|-----|
| 1) スポーク空洞部品ビーム軸方向長さの調整加工による共振周波数調整 | 1 式 |
| 2) 電子ビーム溶接によるスポーク空洞の溶接組立 | 1 個 |
| 3) 上記 2) のための溶接開先の加工 | 1 式 |
| 4) 上記 2) のための溶接条件出し | 1 式 |
| 5) 上記 4) のためのニオブ製テストピースの製作 | 1 式 |

1.3.2 契約範囲外

- | | |
|----------------------------|-----|
| 1) 共振周波数測定のためのスポーク空洞部品の仮組立 | 1 式 |
| 2) スポーク空洞の共振周波数測定 | 1 式 |
| 3) 溶接開先の酸洗浄（化学研磨） | 1 式 |

1.4 納期

令和 7 年 3 月 14 日

1.5 納入場所及び納入条件

(1) 納入場所

茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
J-PARC センター J-PARC リニアック棟

(2) 納入条件

持込渡し

1.6 検収条件

「1.5 納入場所及び納入条件」に示す納入場所に納入後、員数検査、外観検査及び「3. 試験・検査」に定める試験検査並びに提出図書の合格をもって検収とする。

1.7 提出図書

(1) 工程表	契約後速やかに	3部	
(2) 確認図	溶接試験着手前	3部	要確認
(3) 溶接要領書	製品溶接着手前	3部	要確認
(4) 試験検査要領書	検査着手前	3部	要確認
(5) 試験検査成績書	納入時	3部	
(6) 完成図	納入時	3部	

全ての提出図書は、紙媒体に加えて、pdfフォーマットなどの電子データを一つの電子媒体にまとめて提出すること。

(提出場所)

原子力機構 J-PARC センター核変換ディビジョン

1.8 支給品

(1) ニオブ製スポーク空洞胴部	1個
(2) ニオブ製スポーク空洞端部 a	1個
(3) ニオブ製スポーク空洞端部 b	1個
(4) 溶接試験用ニオブ板 (板厚 3.5mm)	1式

1.9 貸与品

(1) クリーンブース (ホーザン、CL-901)	1台
(2) 簡易型クリーンブース (アズワン、OKCSK700)	1台
(3) 真空リーク試験用空洞補強治具、真空・閉止フランジ	1式

1.10 適用法規・規格基準

設計・製作・試験検査等に当たっては、以下の法令、規格、基準等を適用又は準用して行うこと。

- ・ JIS、日本原子力研究開発機構内諸規定
- ・ 高圧ガス保安法
- ・ その他、関係する諸法令、諸規格及び基準

1.11 機密保持

受注者は、本業務の実施に当たり、知り得た情報を厳重に管理し、本業務遂行以外の目的で、受注者、下請会社等の作業員を除く第三者への開示又は提供を行ってはならない。

1.12 グリーン購入法の推進

- ・ 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA 機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- ・ 本仕様に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.13 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、原子力機構と協議の上、その決定に従うものとする。

2. 技術仕様

2.1 低ベータ用超伝導加速空洞（スポーク空洞）

低ベータ用超伝導加速空洞（スポーク空洞）は、純ニオブ材をプレス成型することにより空洞部品を製作し、その後、電子ビーム溶接を用いて空洞部品を接合することにより空洞を組み立てる。空洞組立完了後、化学研磨等による空洞内面の表面処理を行うことによって、本項に示す仕様を満たす加速空洞として完成させる。本項に斜体で示す表面処理は本仕様の範囲外である。

2.1.1 空洞基本仕様

- ・ 共振周波数 324MHz
- ・ β 約 0.2
- ・ 空洞直径 約 500mm (RF ポート含まず)
- ・ 空洞長 約 300mm (ビームポート含まず)
- ・ 加速電界、Q 値 8MV/m (目標値)、 1×10^9 (目標値)
- ・ 運転温度 4.2K
- ・ 圧力条件 0.1388MPa
 - ✓ 内部真空 : 0.1013MPa
 - ✓ 外部 He 圧 : 0.0375MPa

2.1.2 材料に関する仕様

- ・ 空洞本体 純ニオブ材 (RRR : 250 以上)
- ・ フランジ ニオブチタン合金

2.1.3 構造に関する仕様

- ・ 低ベータ用超伝導加速空洞（スポーク空洞）の内面構造を下図 1 に示す。

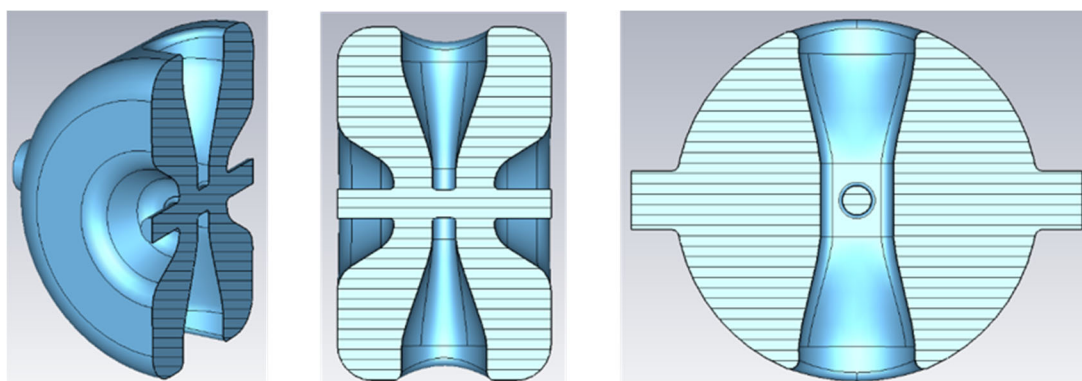


図 1. 低ベータ用超伝導加速空洞（スポーク空洞）の内面構造

- ・ 強度は、高圧ガス保安法に準拠すること。
- ・ ステム部品、側板、端板はプレス成型する。

- ・ 電子ビーム溶接により空洞部品を接合する。
- ・ 液体ヘリウムを貯蔵するためのヘリウム容器の取り付けは考慮しなくても良い。
- ・ 共振周波数を運転周波数に調整するチューナーの取り付けは考慮しなくても良い。

2.1.4 精度に関する仕様

- ・ 原則として、**JIS B 0405** 中級もしくは精級相当とする。
個別の寸法精度の規定については、詳細設計決定後に取り決める。
- ・ 空洞内面の機械加工面の面粗度は、**R_{max}=25S** 相当以下とする。
- ・ 成型加工品の空洞内面の面粗度は、素材のまま得られる面粗度とする。

2.1.5 加工・接合に関する仕様

- ・ 加工・接合には汚染等の無いよう十分に配慮すること。特に空洞構成部品に関し、電子ビーム溶接接合部は、開先を化学研磨し、材料表層の油分・酸化膜・その他異物を除去すること。
- ・ 電子ビーム溶接前の組み立ての際は、開先面への異物の混入を可能な限り防止すること。
- ・ 全工程において、部品及び製品に汚染、破損、狂い等の無いよう、注意して取り扱いを行うこと。また、必要に応じて治具を用いること。
- ・ 空洞の電子ビーム溶接にあたっては、**RF** 面のビードが平滑でない箇所は、グラインダ・バフ等にてビードの平滑化を行うこと。

2.1.6 作業環境に関する仕様

- ・ 表面処理前のニオブ材の機械加工は、一般的な機械加工工場で行ってよい。
- ・ 表面処理は、十分清浄度管理された環境下で実施すること。
- ・ 表面処理済み部品の取扱いは、十分清浄度管理された環境下で実施すること。
- ・ 電子ビーム溶接実施前後の部品組立及び治具装着は、十分清浄度管理された環境で実施すること。

2.1.7 表面処理に関する仕様

- 溶接組立前のニオブ部材の表面処理は化学研磨（酸洗）とし、除去する表層面の厚さは $5\mu\text{m}$ を目安とする。
- 溶接組立を完了した空洞は、次の表面処理を行うものとする。
 - ✓ $100\sim 150\mu\text{m}$ 程度の化学研磨（BCP1）（内面のみ）
 - ✓ 熱処理
 - ✓ $20\mu\text{m}$ 程度の化学研磨（BCP2）（内面のみ）
 - ✓ 高圧洗浄（HPR）
 - ✓ ベーキング
- 高圧洗浄（HPR）には超純水を用いること。
- 空洞の組み立てはクラス 100（ISO5）のクリーンエリアで行うこと。

2.2 低ベータ用超伝導加速空洞（スポーク空洞）の製作

2.2.1 スポーク空洞部品ビーム軸方向長さの調整加工による共振周波数調整

本件にて製作するスポーク空洞を構成する以下の3部品

- (1) ニオブ製スポーク空洞胴部（図 2, 3）
- (2) 空洞端部 a（図 2, 4）
- (3) 空洞端部 b（図 2, 4）

を原子力機構より受注者に支給する。電子ビーム溶接によりこれら3部品を接合してスポーク空洞を組み立てる。この空洞部品のニオブ板厚は 3.5mm である。

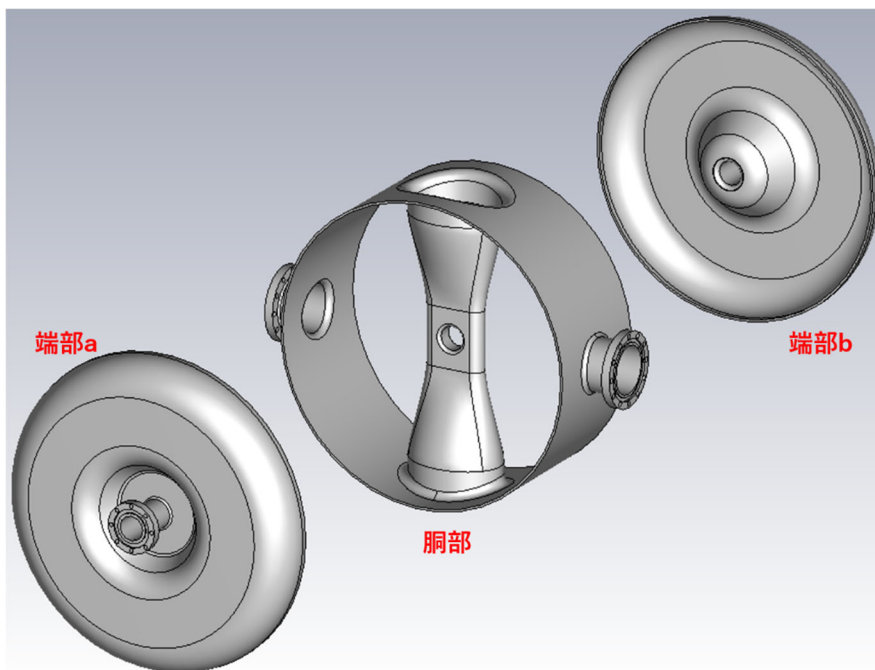


図 2. スポーク空洞を構成する主要 3 部品

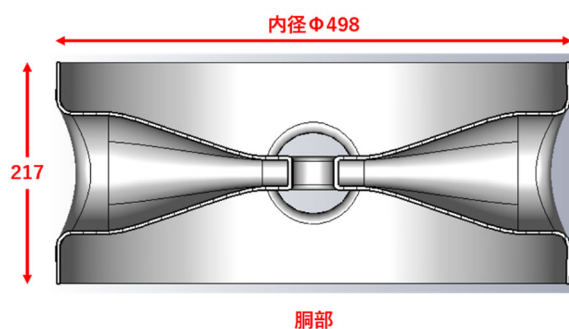


図 3. ニオブ製スポーク空洞胴部（支給時寸法）

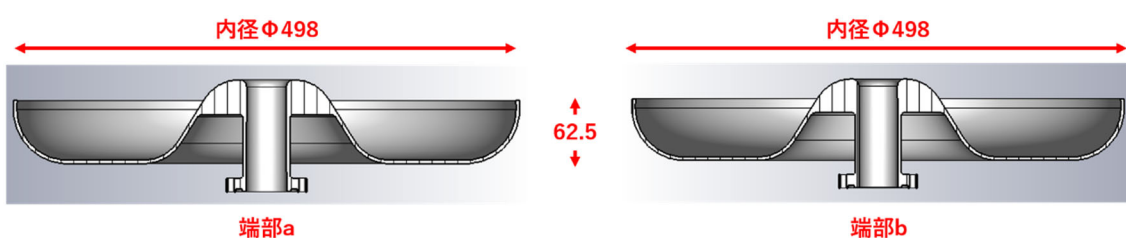


図 4. ニオブ製スポーク空洞端部 a、端部 b（支給時寸法）

スポーク空洞の共振周波数が、運転周波数である 324MHz となるよう、溶接組立前に、空洞部品のビーム軸方向長さを調整加工すること。図 3、4 に示すように、支給時のビーム軸方向長さは、空洞胴部で約 217mm、空洞端部で約 62.5mm である。空洞胴部については設計値に対して両側それぞれ約 14mm ずつ、空洞端部については設計値に対して約 2mm、ビーム軸方向に長く製作している。これら空洞部品それぞれの調整加工量は、仮組立による空洞共振周波数の測定結果により決定し、機構より受注者に指示するものとする。この空洞部品の仮組立および共振周波数測定は、J-PARC リニアック棟にて原子力機構により行う。この調整加工と周波数測定は最低 3 回行うものとし、加工工場と J-PARC リニアック棟間における空洞部品の搬入・搬出は受注者にて行うこと。

2.2.2 電子ビーム溶接によるスポーク空洞の溶接組立

2.1 項の仕様に基づき、電子ビーム溶接を用いて、図 5、6 に示すスポーク空洞を製作すること。溶接線としては、胴部と端部 a を接合する外周 $\Phi 505\text{mm}$ の円周溶接、胴部と端部 b を接合する外周 $\Phi 505\text{mm}$ の円周溶接、合計 2 本である。この溶接は空洞組立の最終溶接であり、溶接ビード（空洞の高周波面側）の機械研磨を行うことができない。よって、貫通かつ平滑な裏波溶接ビードが得られるよう、十分に注意して溶接を行うこと。十分平滑な裏波溶接ビードが得られるよう、適切な溶接治具を用いて、溶接開先の隙間・段差を最小化すること（真円矯正）。片側 1 本の円周溶接完了後、外観検査、溶接縮測定、共振周波数測定（仕様範囲外）、溶接開先酸洗浄（仕様範囲外）の後に、もう一方の円周溶接を行うこと。

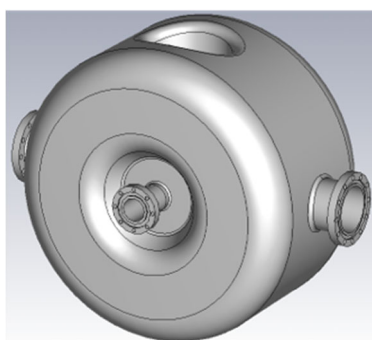


図 5. スポーク空洞外観

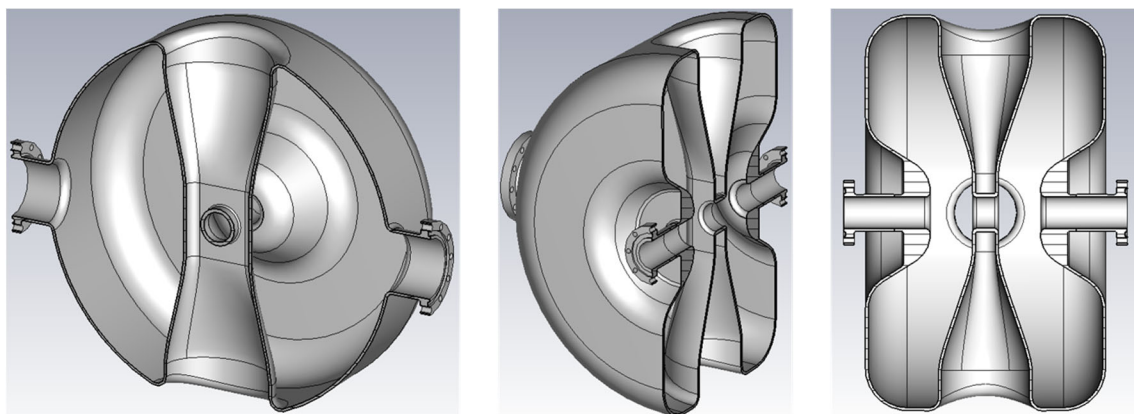


図 6. スポーク空洞断面

2.2.3 溶接開先の加工

貫通かつ平滑な裏波溶接ビードが得られるよう、溶接開先を薄肉加工すること。部品支給時のニオブ板厚は 3.5mm である。この板厚加工量については、各部品の実寸形状を測定し、原子力機構と協議の上決定するものとする。さらに、溶接開先の突合せ形状はインロー嵌め合いを基本とする。詳細については、原子力機構と協議の上決定し、その開先加工を行うこと。

2.2.4 溶接条件出し

貫通かつ平滑な裏波溶接ビードが得られるよう、空洞部品を模擬した溶接テストピースを製作し、空洞部品の溶接前に、その溶接条件出し（外周Φ505mmの円周溶接）を行うこと。このとき、支給する溶接試験用ニオブ板（板厚3.5mm）をこの溶接テストピースの製作に用いてもよい。

2.2.5 電子ビーム溶接に関する仕様

- ・ 溶接開先の隙間・段差をできる限り小さくするための治具を製作すること。溶接治具で空洞内面（RF面）にキズ等を付けないよう、十分に注意して治具の設計・製作を行うこと。
- ・ 製作した溶接治具は、スポーク空洞製品と共に納入すること。
- ・ 支給する空洞部品に予備品は無いため、製品溶接の前に溶接条件出し試験を行い、製品溶接に用いる適切な溶接条件（対物距離、移動速度、ビーム加速電圧、ビーム電流、フォーカス電流、ラップ条件等）、溶接手順を決定すること。原子力機構と協議の上、必要に応じて溶接ビード断面の観察を行うこと。
- ・ 溶接試験材の寸法、加工法、溶接試験法等については、確認図に記載して提出し、溶接試験の前に原子力機構の確認を得ること。
- ・ 溶接治具と溶接条件を溶接要領書に記載して提出し、製品溶接の前に原子力機構の確認を得ること。
- ・ **溶接条件出し試験、製品溶接ともに、事前に溶接開先の酸洗（化学研磨）を行う。ただし、この酸洗（化学研磨）作業は本仕様の契約範囲外である。**
- ・ 溶接前の組み立ては、十分に清浄度の管理された環境下で行うこと。適宜、クリーンブース等（1.9項（1）（2））を用いること。組立後は開先を乾燥窒素等でブローして溶接開先への異物混入を可能な限り防いだ上で溶接を行うこと。
- ・ 溶接条件出し試験、製品溶接ともに、原子力機構立ち会いのもと実施すること。
- ・ 溶接前後での主要寸法を測定し、報告すること。測定箇所については原子力機構と協議の上決定するものとする。
- ・ 全工程において、空洞内面（RF面）にキズ等を付けないよう、十分に注意すること。

3. 試験・検査

3.1 外観検査

製品部品の各溶接・機械加工後、目視もしくはカメラ等によって外観を確認すること。超伝導空洞としての性能に影響し得る傷等が確認された場合には、原子力機構と協議の上その処置方法を決定するものとする。

3.2 寸法測定

上記外観検査後、主要寸法の測定を行うこと。測定箇所および測定方法については、原子力機構と協議の上決定するものとする。主要寸法・形状が空洞組立に必要な精度を満たしていない場合には、その処置方法について原子力機構と協議の上、その決定に従うものとする。

3.3 気密試験

全ての電子ビーム溶接個所について気密試験を行うこと。気密試験は、ヘリウムリークディテクタを用いた真空リーク試験とし、 $1.3 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下のリークレートで合格とする。

真空リーク試験用空洞補強治具、真空・閉止フランジは原子力機構より貸与するが、その他の試験に必要な部材(シール材等)・機材は受注者で用意すること。

以上