

RF カプラーセラミックス窓部の製作 仕 様 書

1. 一般仕様

1. 件名

RF カプラーセラミックス窓部の製作

1.2. 目的

本件は、J-PARCリニアック加速器の運転に必要なRFカプラーセラミックス窓部に関するものである。リニアックの空洞に大電力高周波を投入させるために、空洞接続部と十字スタブで構成されるRFカップラーが用いられる。空洞接続部は結合ループ部とセラミックス窓部で構成される。これらを分離できる構造とすることで、セラミックス窓部に不具合が生じた場合にセラミックス窓部を空洞接続部から分離して交換することが可能となる。本件において、RFカップラーのセラミックス窓部を製作することにより、加速器の安定運転に資する。

1.3. 契約範囲

1.3.1 契約範囲内

(1) RF カプラーセラミックス窓部 1 式

1.3.2 契約範囲外

第 1 章 3 項 1 号記載の契約範囲内に記載なきもの。

1.4 納期

納期：令和 8 年 3 月 23 日

1.5 納入場所および納入条件

1.5.1 納入場所

茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4

日本原子力研究開発機構 J-PARC センター リニアック棟

1.5.2 納入条件

車上渡し

1.6 検収条件

1.5 項に示す納入場所に納入後、3 項に示す試験検査に合格し、1.7 項に示す提出書類の完納をもって検収とする。

1.7 提出図書

以下の提出書類を一冊のファイルにまとめ 2 部提出すること。また、電子ファイルとし

て CD-ROM 等を 2 枚提出すること。電子ファイルの図面は dwg 形式あるいは dxf 形式とする。文章は PDF、MS-Word、MS-EXCEL、図面は dwg 又は dxf とする。

図書名	提出時期	部数	確認
工程表	契約後速やかに	2 部	要
確認図	製作着手前	2 部	要
試験検査要領書	試験検査着手前	2 部	要
試験検査成績書	納入時	2 部	不要
セラミック膜厚処理条件	納入時	2 部	不要
完成図		電子媒体 2 セット	不要

(提出場所)

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 加速器第 1 セクション

1.8 支給品

(1) セラミックス 1 式

(2) 十字スタブ 1 式

1.9 貸与品

(1) KF25 アングルバルブ 1 個

1.10 適応法規・規格基準

設計、施工は次に挙げる法令、規格及び基準に基づいて実施すること。

- ・ JIS
- ・ その他、関係する諸法令、諸規格及び基準

1.11 特記事項

(1) 受注者は業務を実施することにより取得した当該業務及び作業に関する各データ、技術情報、成果その他のすべての資料及び情報を原子力機構の施設外に持ち出して発表もしくは公開し、または特定の第三者に対価をうけ、もしくは無償で提供することはできない。ただし、あらかじめ書面により原子力機構の承認を受けた場合はこの限りではない。

(2) 受注業者は当機構と緊密な連絡を取りつつ作業を行うこと。

(3) 物品の製作に係わる全ての工程において十分な品質管理を行なうこと。

(4) 本仕様について不明な点がある場合は必ず機構担当者に連絡を取り、内容を十分に理解した上で製作を行うこと。

1.12 グリーン購入法の推進

(1) 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）の採用が可能な場合は、これを採用するものとする。

(2) 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うえ、その決定に従うものとする。

1.14 検査員及び監督員

検査員

(1) 一般検査 管財担当課長

監督員

(2) 作業内容および提出図書の確認

加速器ディビジョン 加速器第一セクション 検査員

2. 技術仕様

2.1 一般事項

図1にRFカプラーの概略図を示す。RFカプラーは、空洞に接続される空洞接続部と同軸管に接続される十字スタブで構成される。空洞接続部の主な電気寸法および取り付け部の寸法を図2に示す。空洞接続部は結合ループ部とセラミックス窓部で構成され、セラミックス窓部では空洞側の真空と十字スタブ側の大気とがセラミックスによって仕切られる。このため、結合ループ部との接合部およびセラミックス窓部は高真空を保持する必要がある。本件ではセラミックス窓部を製作すること。セラミックス窓部の概略図を図3に示す。本件の仕様を以下に示す。

下記の(1)項に使用条件を示す。(1)項に示す高周波電力がセラミックス窓部に負荷されるため、発生する熱を除去できる冷却能力を有すること。また、セラミックス窓部の内面は強い高周波電磁場にさらされる。高周波損失を最小限にするため、高周波にさらされる表面（以下、高周波面という）は可能な限り銅（鍍金も含む）を使用する。さらに、高周波面での放電防止のため、高周波面の表面粗度は3sとする。また、放電しにくいように角ばった部分は全て面取りをするなどの細かい点にも注意して製作すること。

製作に使用する材料の表面処理と金属部との接続方法、金属部の形状と表面状態、大電

力運転時の冷却性能について十分な注意を払って製作すること。製作の際、各部の接合には溶接、金ロウ付けまたは銀ロウ付けを用いる。

RF面に対して接触して接続する場合はRF的な接触が十分得られるように構造および材料の選択を行うこと。また、製作図面等で予め機構担当者の確認を得ること。

(1) 使用条件

運転周波数：324MHz

ピーク高周波電力：1 MW

パルス幅：650 μ s

繰返し：50 Hz

空洞冷却水温度：27～40 °C

空洞内圧力： 10^{-5} Pa以下

構造材：無酸素銅またはSUS

冷却水：純水（ 1μ S/cm以下）

冷却水最高圧力：1MPa

流速：2 m/s以下

外導体冷却水流量：6 L/min

内導体冷却水流量：8 L/min

2.1 材質・材料

空洞接続部に使用する原材料の材質は、以下に記す仕様を満たすこと。

- (1) 高周波損失を少なくすることを考慮し、基本的に無酸素銅（OFC）を使用する。
- (2) 強度を必要とする部分はSUSを使用することも可能とする。ただし、高周波面には銅メッキを施すこと。銅メッキの厚さは50 μ m以上とする。メッキの各工程で火脹れ試験を実施しメッキの健全性を確認すること。
- (3) 支給するセラミックスは京セラ製A479B相当品を使用する。
- (4) 真空部品であり且つ大電力高周波にさらされることを考慮し、ガス放出量の小さい材質を選定すること。
- (5) 純水の冷却水（流速2m/s以下）に対して腐食等の問題を生じないこと。
- (6) 必要な寸法精度を得るに十分な切削性と加工性を持ち、かつ十分な機械的強度を持つ材料を選定すること。

2.2 セラミックス窓部

結合ループ部とセラミックス窓部が一体となった状態で十字スタブをセラミックス窓部に接続し、図1に示すように接合ループ部を空洞に接続して、空洞の結合度を調整する。

このため、結合ループ部は同軸中心を起点として円周方向にループの角度を回転して調整できる構造を有している。ループの角度が決まった後に、図1に示すセラミックス窓部の回転フランジを使用して、十字スタブを回転させて水平に調整し、同軸管に接続させる。

セラミックス窓部は結合ループ部および十字スタブと接続できる構造を有すること。また、セラミックス窓部に十字スタブを接続した状態で結合度を調整しても、セラミックス窓部と結合ループの接合部およびセラミックス窓部の構造は変形することなく、十分な機械的強度を有するものとする。

分割部はなるべく少なく、且つ接合部は冶金的接合を考慮した設計・製作を行うこと。

本件では複数のロウ付け工程が含まれる。各機器のロウ付け工程毎にリーク試験を実施し、リークの無いことを確認すること。ロウ付けを行う際には、ロウ付け治具からのガス除去のため、事前に空焼きを行うこと。

(1) セラミックス

セラミックスは京セラ製A479Bであり、セラミックスの内周および外周はAu-Cuロウ付けに対応できるメタライズを行っている。セラミックスの内周部および外周部は、セラミックスの熱変形を吸収して、割れが発生しない構造にすること。また、これらの構造材への接合は金ロウ付けを行うこと。

セラミックスの内周側は水冷、外周側は空冷とする。

セラミックス窓部の真空側のセラミックス面から外導体および内導体までの高さはセラミックスの真空側面へのTiNコーティングができる寸法であること。

(2) 冷却構造

図1に示すセラミックス窓部冷却配管は十字スタブの内部を干渉することなく通すことができ、内導体を冷却できる構造であること。内導体内部に水路を設けて、純水で冷却する。冷却水路は冷却水の最大水圧1MPaに耐えられること。セラミックスがロウ付けされている内導体の薄肉銅スリーブを直接冷却するのではなく、薄肉銅スリーブが変形することなく、その薄肉銅管に最も近い厚い銅構造部を冷却すること。

セラミックス窓部冷却配管はTiNコーティング作業後に冷却配管をセラミックス窓部内導体に接続できる構造であること。ただし、セラミックスのTiNコーティング作業前に冷却水路耐圧試験が実施できる構造であること。冷却水路耐圧試験およびセラミックス窓部内導体に接続される冷却配管は仕様範囲内である。セラミックス窓部内導体に冷却配管を接続する作業は仕様範囲外である。

セラミックス窓の大気側表面を空冷するため、セラミックス窓部の外導体にM10のタップ穴を2か所設け、空冷配管を接続できるようにすること。また、セラミックス窓部の運搬用の穴として、アイボルトを接続できるようにM8の穴を2か所設ける

こと。アイボルトを使用してセラミックス窓部を吊り上げても外導体が変形しない構造にすること。

(3) 外導体接続部 1

セラミックス窓部を十字スタブに接続する外導体の接続部 1 は、既存のRFカップラーが有する回転フランジと同じ構造とする。さらに、図1に示す既存のRFカップラーと同じ架橋ポリエチレンを挟んだ状態で支給するTスタブが接続できること。

(4) 内導体接続部 1

セラミックス窓部を十字スタブに接続する内導体の接続部 1 は、十字スタブの内導体の内側から固定治具を挿入し、固定治具を用いてセラミックス窓部の内導体と十字スタブの内導体とを固定できること。ただし、固定治具は挿入する際にセラミックス窓部の冷却配管と干渉しない構造にすること。

(5) 外導体接続部 2

外導体の接続部 2 は、セラミックス窓部が結合ループ部と締結でき、かつ、外導体のRF接触が確実に取れる構造であること。結合ループ部及びセラミックス窓部の外導体のRF面近傍の接続部は精度よく勘合して隙間なく面接触できる構造でなければならない。さらに、空洞の結合度調整時においても隙間が発生することがなく変形しない強度を有すること。十字スタブを締結する際に、外導体接続部 2 の固定用フランジ及びボルトは外導体接続部 1 のボルトと干渉しない構造にすること。

結合ループ部及びセラミックス窓部の間にツバを設け、その先端を溶接することによって、真空を封止する構造とする。封止したツバの内側に空気だまりが発生しないように、幅1mm程度の気抜き穴を設けること。結合ループ部及びセラミックス窓部を締結する際に、セラミックス窓部のスリーブが変形しない構造にすること。ツバの先端部を削ることによって、結合ループ部及びセラミックス窓部を分離する構造とする。このため、ツバの先端部を削る工具等がツバの両脇の構造物に干渉しない構造にすること。

(6) 内導体接続部 2

結合ループ部及びセラミックス窓部の内導体の接続部 2 の接続はRFコンタクターを用いること。結合ループ部内導体とセラミックス窓部内導体の軸ずれが最小となる構造であり、接続時にRF的な接触が確実に取れるようにRFコンタクターの変形量を超えない構造にすること。

2.3 接続確認

受注者は製作したセラミックス窓部の外導体および内導体の結合部の寸法を測定し、必要に応じてシムを用いて、機構から支給する十字スタブとRFコンタクトが取れるように接続できることを確認すること。(図1参照)。

2.4 TiNコーティング

セラミックス窓部は、セラミックス窓の真空側表面の2次電子放出係数の低減のために、TiNコーティングを実施できる構造であること。コーティングの特性はアルバック成膜製の物に相当する。コーティング膜厚は10nm程度とする。膜厚管理はコーティング処理時間で管理する。

TiNコーティングは仕様範囲外である。

2.5 納入形態

十字スタブとの接続確認を行った後、セラミックス窓部から十字スタブを取外し、セラミックス窓部の大気側を保護するキャップを製作し、接続して納入すること。

セラミックス窓部の真空側セラミックス、外導体接触面および接続部を保護するKF25の真空排気ポートを有するフランジを製作し、接続すること。真空排気ポートに貸与するKF25アングルバルブを取り付け、乾燥窒素を封入して納入すること。

3. 試験検査

機器の試験検査は、原則として機構担当者の立会の元で検査を行うものとする。ただし、機構側が認める場合には、受注者の自主検査でこれを代行できるものとする。

試験検査要領書および試験成績書には下記事項を記載すること。

- (1) 試験・検査項目
- (2) 試験・検査方法
- (3) 使用機器・装置等
- (4) 合否判定基準

3.1 工場内検査

- (1) 外観検査
各機器について、機能を損なう傷・変形の有無を検査する。
- (2) 員数検査
製作した機器の員数を検査する。
- (3) 寸法及び組立精度検査

各機器について、主要寸法が製作図通りに製作されているか検査する。

同軸部内面に関係する部品は、寸法のほか切削加工後の面粗度を検査する。

(4) 真空試験

Heリークレートで $1.3 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であること。

(5) 冷却水路耐压試験

冷却水路に 1 MPa の圧力を印加し、30 分以上漏れ、変形などの異常がないこと。

以上

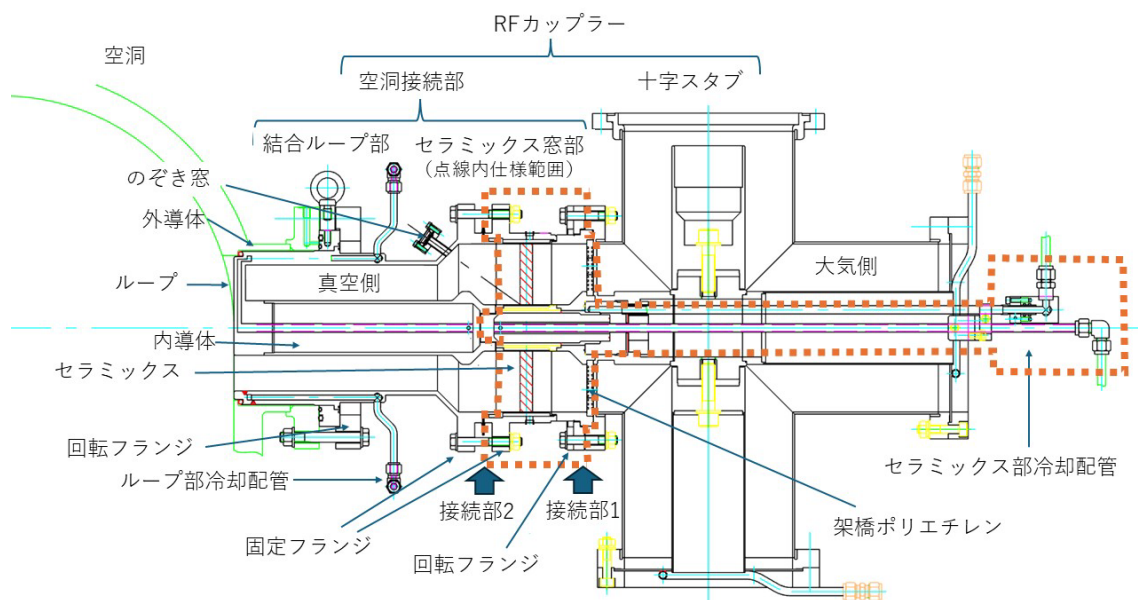


図1 RF カプラー概略図

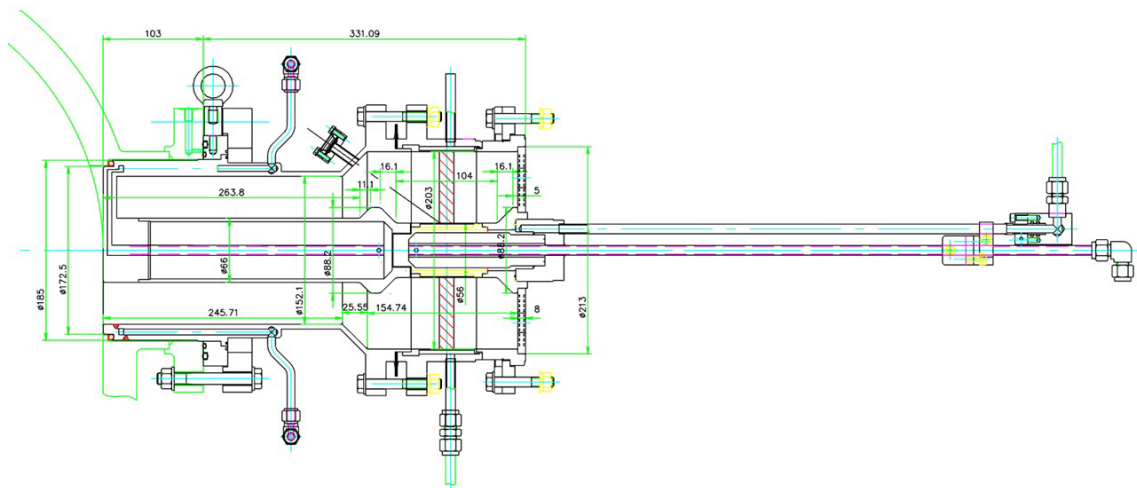


図 2 空洞接続部の主な電気寸法および取り付け部の寸法

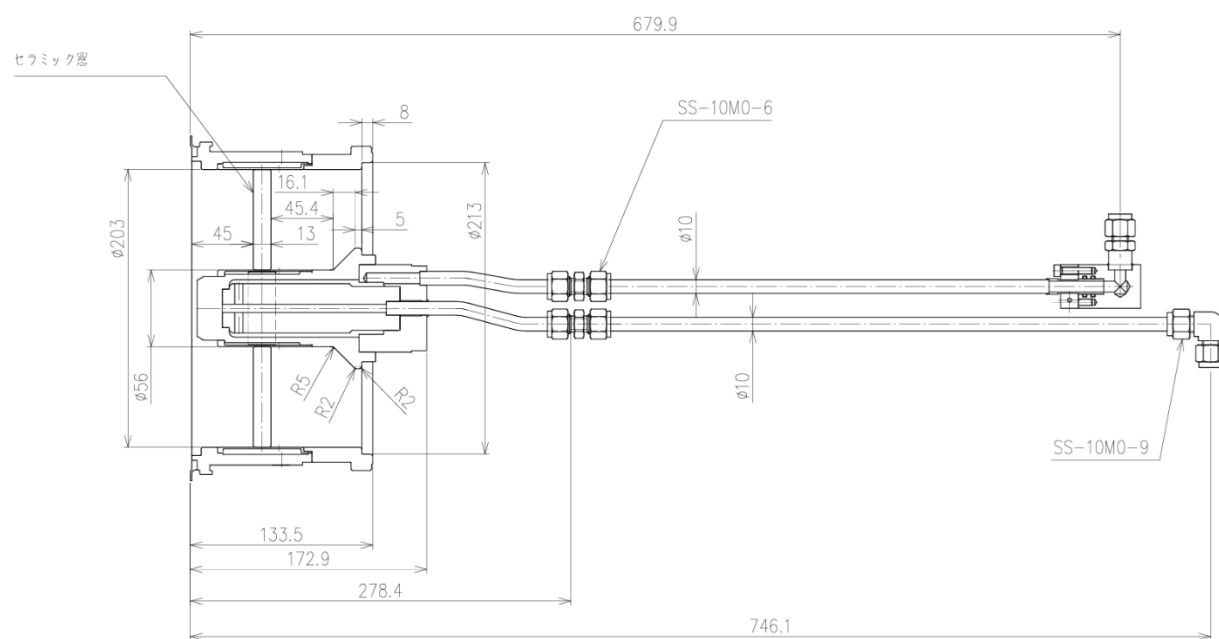


図3 セラミックス窓部概略図