

JT-60SA 複数周波数ジャイロトロンの製作
Manufacturing of multi-frequency gyrotron
for JT-60SA

仕様書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

那珂フュージョン科学技術研究所

炉工学基盤研究開発部 RF加熱開発グループ

1. 一般仕様

1.1 件名

JT-60SA 複数周波数ジャイロトロンの製作

1.2 目的

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下「QST」という。）は、幅広いアプローチ活動の一環として実施されるサテライト・トカマク計画において、プラズマ加熱実験運転のために高周波加熱装置の運転を実施する。本件では、高周波加熱装置の運転に用いる複数周波数（82GHz,110GHz,138GHz）で発振可能なジャイロトロンの製作する。

1.3 契約範囲

- | | |
|---------------|-----|
| 1) ジャイロトン製作 | 1 式 |
| 2) ボディジャケット製作 | 1 式 |
| 3) 工場試験 | 1 式 |
| 4) 付属品の製作 | 1 式 |
| 5) 輸送 | 1 式 |

1.4 納期

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1) ボディ絶縁ジャケット | 1 式：令和 9 年 3 月 12 日 |
| 2) 複数周波数ジャイロトン及び付属品 | 1 式：令和 9 年 3 月 19 日 |

1.5 納入場所及び納入条件

(1) 納入場所

茨城県那珂市向山 801-1

QST 那珂フュージョン科学技術研究所 JT-60 実験棟屋外

(2) 納入条件

車上渡し

1.6 検査条件

1.5 に示す納入場所に納入後、外観検査、員数検査の合格及び 1.7 に示す提出書類の提出並びに 1.9 に示す貸与品の返却を QST が確認したことをもって検査合格とする。

1.7 提出書類

図 書 名	提 出 時 期	部数	確認
工程表	契約後速やかに	1 部	不要
納入仕様書	製作着手前	1 部	要
	納入時	1 部（確認後コピー） 電子データ 1 式	不要
確認図	製作着手前	1 部	要
	納入時	1 部（確認後コピー） 電子データ 1 式	不要
試験検査要領書	試験検査実施前	1 部	要
	納入時	1 部（確認後コピー） 電子データ 1 式	不要
試験検査成績書	納入時	2 部 電子データ 1 式	不要
取扱説明書	納入時	2 部 電子データ 1 式	不要
完成図	納入時	2 部 電子データ 1 式	不要
打合せ議事録	打合せ実施後 2 週間以内	1 部	要
	納入時	1 部（確認後コピー） 電子データ 1 式	不要
再委託承諾願 （下請負等がある場合）	作業開始 2 週間前まで	QST 指定様式 1 部	要

（提出場所）

QST 那珂フュージョン科学技術研究所
炉工学基盤研究開発部 RF 加熱開発グループ

（確認方法）

「確認」は次の方法で行う。

QST は、確認のために提出された書類を受領したときは、期限日を記載した受領印を押印して返却する。当該期限までに審査を完了し、確認しない場合には修正を指示し、修正等を指示しないときは、確認したものとする。

「打合せ議事録」は、提出後、必要な場合は修正等を指示し、修正等を指示しない場合は受領印を押して返却する。

「再委託承諾願」は、QST の確認後、書面にて回答するものとする。

1.8 支給品

- ・ 8L/s 型 イオンポンプ 2 個
- ・ 20L/s 型 イオンポンプ 1 個
- ・ 人工ダイヤモンド真空窓（図面を含む） 1 式

支給場所：那珂フュージョン科学技術研究所 JT-60 実験棟

支給時期：契約後の打ち合わせにて日程を決定する。

支給方法：QST と協議の上決定する。

支給品については、契約条項のとおりとする。なお、QST が支給品の所在等の確認を求めた場合には、受注者はこれに協力するものとし、紛失等の異常時には速やかに報告することとする。

1.9 貸与品

受注者工場での耐圧力試験を実施するため、フロリナート FC-3283（30L）を貸与する。ただし、耐圧力試験時に生じる幾分かのこぼれや蒸発による減少分は考慮しているため、耐圧力試験後の残量を返却する。

取り合い確認、工場試験等に必要な場合、既設高周波加熱装置の一部及び関連する図面等を貸与する。貸与時期・場所等の詳細は QST と打合せの上決定する。貸出時と同様の梱包形態で納品物とともに返却する。

貸与品については、契約条項のとおりとする。なお、QST が貸与品の所在等の確認を求めた場合には、受注者はこれに協力するものとし、紛失等の異常時には速やかに報告することとする。

1.10 契約不適合責任

契約不適合責任については、契約条項のとおりとする。

1.11 成果の帰属

本業務により得られた成果を利用又は処分する権利は QST に帰属する。提出された書類及び電子データの所有権は全て QST に帰属するものとする。ただし、受注者は書面により事前の QST の承認を得て、この成果を利用できるものとする。

1.12 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、受注者及び下請会社等の作業員を除く第三者への開示、提供を行ってはならない。ただし、事前に書面により QST の承認を得た場合はこの限りではない。

1.13 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）に適合する環境物品（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。
- (2) 本仕様書に定める提出図書（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。

1.14 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、QST と協議の上、その決定に従うものとする。

1.15 その他

本契約に関する関係者に外国人又は非居住の日本国籍の者が含まれ、那珂フュージョン科学技術研究所に入構する予定がある場合は、速やかにQSTに連絡すること。入構許可を有していない場合は、入構手続きを行い、那珂フュージョン科学技術研究所の許可が下りたことを確認して入構すること。外国人又は非居住の日本国籍の者の入構手続きについて、手続き開始後、許可が下りるまで通常2週間程度を要する。また、許可が下りない場合もありうる。

2. 技術仕様

2.1 一般事項

- ・ 本契約は、JT-60SA 用ジャイロトロン（キヤノン電子管デバイス社製 E39101,B）を 1 機製作し、工場試験を実施する。試験検査で合格の後、QST の指定場所へ納入するものである。
- ・ 受注者は納入仕様書、確認図を提出し、QST の承認を得てから製作すること。
- ・ QST と受注者による技術打合せを必要に応じて実施する。

2.2 機械仕様

- 1) 全高 3.2m 以下
- 2) 直径 1.2m 以下
- 3) 本ジャイロトロンは、電子銃部（三極管方式）、ボディ部（ビームトンネル、空洞共振器、モード変換器）、DC ブレーク部、窓継体部、コレクタ部等により構成するものである。図 1 に概略を示す。電子銃部には図 2 の位置にネジ穴を設ける。
- 4) 互換性の維持のため、既存高周波加熱装置のオイルタンク、受電ソケット、超伝導磁石、コレクタコイル、架台及び整合器等の各既設機器及び既設冷却継手（コネクタ・カプラ等）と取り合い可能な構造を持つこと。取り合い形状は確認図に記載し、QST の確認を得ること。
- 5) JT-60 実験棟 4F の RF 増幅室 II において、クレーン等を用いて既存大電力電子管架台に据付可能な寸法及び構造であること。

2.3 高周波の動作パラメータ

1) 発振周波数及び発振モード

以下の 3 周波数に対して指定する TE_{mn} モードで発振できる構造。

82GHz : $TE_{17,6}$ モード

110GHz : $TE_{22,8}$ モード

138GHz : $TE_{27,10}$ モード

2) 出力

1 MW 以上

3) パルス幅

出力 1 MW で 100 秒以上（110GHz 及び 138GHz）、1 秒以上（82GHz）

4) 出力ビーム

ジャイロトロン外の伝送路に設置する 2 枚程度の金属鏡を有する準光学整合器（仕様外）により、 $\phi 60.3$ mm 導波管入り口において HE_{11} モードに高効率で変換可能な構造。

5) 副窓

大口径の副窓を設置し、回折高周波による内部加熱を低減できる構造。

大口径副窓は内窓サファイア製、外窓アルミナ製の2重窓間をフロリナートで冷却する構造とする。

6) DC ブレーク

ボディ部と窓継体部間にセラミクス（窒化珪素）円筒を設置し、ジャイロトロン内部の回折高周波を透過させて円筒の周りの高周波吸収体で吸収できる構造。

2.4 電気入力仕様

- | | |
|--------------|-----------|
| 1) ビーム電圧 | 90 kV 以下 |
| 2) ビーム電流 | 65 A 以下 |
| 3) ヒーター電力 | 2 kW 以下 |
| 4) 耐電圧 | |
| アノード - ボディ間 | 110 kV 以上 |
| カソード - アノード間 | 60 kV 以上 |
| ボディ - コレクタ間 | 50 kV 以上 |

2.5 冷却仕様

- ・ 総合効率（高周波出力 / 電気入力×100）50%を性能目標とした場合に、2.3 を満たす出力、パルス幅を実現するために必要な冷却性能を有すること。
- ・ 各部の冷却は、以下の各系統の冷却水又はフロリナートを用いる。

1) 冷媒及び冷却系統

出力窓

- | | |
|----|-------------|
| 冷媒 | 水 |
| 系統 | チラーユニットを用いる |

大口径副窓

- | | |
|----|------------------------------|
| 冷媒 | フロリナート FC-3283（住友スリーエム株式会社製） |
| 系統 | チラーユニットを用いる |

コレクタ-ボディ間 DC ブレーク

- | | |
|----|------------------------------|
| 冷媒 | フロリナート FC-3283（住友スリーエム株式会社製） |
| 系統 | チラーユニットを用いる |

上記以外

- | | |
|----------|-----------------------------|
| 冷媒 | 水（電気伝導度 <1 μ S） |
| 系統 | 既設高周波加熱装置一次冷却水を用いる。 |
| 往路ヘッダー圧力 | 約 0.8 MPa、0.49 MPa、0.29 MPa |
| 戻りヘッダー圧力 | 0.2 MPa |

2) 耐圧

出力窓	0.2 MPa 以上
大口径副窓フロリナート	0.2 MPa 以上
コレクタ-ボディ間 DC ブレークフロリナート	0.3 MPa 以上
コレクタ冷却系	0.98 MPa 以上
ボディ冷却系	0.98 MPa 以上
可動ミラーベローズ部	0.29 MPa 以上
その他	0.49 MPa 以上

上記耐圧について納入仕様書に詳細を記載すること。

2.6 真空仕様

- ・ 各組立工程でHe リークテストを行い、リークレート $1.33 \times 10^{-9} \text{Pam}^3/\text{s}$ 以下であること。
ただし、支給品の不具合に起因する真空リークは受注者の責任の範囲外とし、真空リークが発生した場合の対応は協議して決定する。
- ・ ジャイロトロン内の超高真空を維持するため、3 機のイオンポンプにより真空排気を行い、常時その真空度をモニタできること。
- ・ イオンポンプは2種類（20L/s 型、8L/s 型）を使用し、給電ケーブルのインターフェースとして、以下に示すコネクタを使用すること。
20L/s イオンポンプ : アジレント Fisher 型
8L/s イオンポンプ : アジレント King 型
また、8L/s イオンポンプには、King 型から HN 型にコネクタ変換し、かつ、取り外し可能なターミナルボックスを取り付けること。
- ・ イオンポンプの取り付けポートには、イオンポンプ本体への高周波入射を低減させるため、冷却構造付のメッシュを設けること。
- ・ ヒーター非点火時において 8L/s イオンポンプの電流が $0.1 \mu\text{A}$ ($1.33 \times 10^{-7} \text{Pa}$) 相当以下であること。

2.7 計測器

熱負荷の大きい空洞共振器、コレクタ等の主要部位において、温度を計測する機器（熱電対等）を設置し、機器の破損につながる異常な加熱がないことを常時モニタできる構造であること。

2.8 製作及び組立

- ・ 上記の各仕様を満たすジャイロトロン構成部品を製作し、組立、排気し、封じ切ること。
- ・ 水冷配管・チューブ、継ぎ手、コレクタジャケット、DC ブレークカバー、熱電対等の外装部品を装着すること。

- ・ 付属品として納入する外装部品は、納入仕様書に明記して QST の確認を得ること。

2.9 試験・検査（工場検査）

以下の各項目を実施すること。

1) 外観検査

性能を害する傷等のないこと。

2) 寸法検査

確認図に記載の主要寸法を計測し、確認図どおりであること。

3) 耐電圧検査

2.4 4)に記載の DC 電圧を 15 分間以上印加して絶縁破壊のないこと。

4) 耐水压検査

2.5 2)に記載の圧力を 60 分間以上加圧して水漏れのないこと。

5) 真空検査

各部位の組立工程において真空リークテストを実施し、2.6 に記載の許容リーク量以下であること。

組立後において 2.6 に記載の真空度以下であること。

ただし、支給品の不具合に起因する真空リークは受注者の責任の範囲外とし、真空リークが発生した場合の対応は協議して決定する。

6) ヒーター性能検査

ヒーターに 30V 以上通電し、所定の電圧・電流特性が得られること。

2.10 梱包、輸送

ジャイロトロンは精密機器であり、また、封じ切りの真空管であるため、外観だけでは動作不良に繋がる内部機器の異常を特定することが困難である。この点に特に留意して梱包及び輸送を実施する必要がある。納入時には、ジャイロトロンには輸送治具を装着し、輸送箱内に固定して納品すること。受注者は、以下のジャイロトロン輸送治具類を用意すること。

- ・ ボディ部輸送用カバー及び取り付け金具
- ・ 輸送用サポートフランジ
- ・ DC ブレーク部補強ロッド
- ・ 真空窓部保護プレート
- ・ 輸送治具取り付けボルト・ナット

2.11 付属品

以下の既設機器との取り合いに必要な機器を付属品とし、各ジャイロトロンに対して一式ずつ製作すること。

1) 水冷ジャケット

ジャイロトロンの出力ビーム調整を実施した後に、可動ミラーベローズ部に装着する水冷ジャケット。水冷ジャケット取り付けに必要なホース及びコネクタも付属すること。

2) 締結ボルト類

ジャイロロンと付属品等を接続するための以下のボルト・ナット・カラー類を納入すること。

- ・可動ミラーベローズ – 水冷ジャケット：ボルト
- ・ジャイロロン本体 – ボディ絶縁ジャケット：絶縁ボルト
- ・ボディ絶縁ジャケット – 据付フランジ：絶縁ボルト
- ・据付フランジ – 架台：ボルト・絶縁カラー
- ・コレクタジャケット – コレクタコイル：スペーサボルト
- ・ジャイロロン吊具：アイボルト

2.11 ボディ絶縁ジャケット

高電圧が印加されるボディ部を超伝導マグネットやジャイロロン架台から絶縁させるための全長 500mm の MC ナイロン製のジャケット（図 3）。

型式：VM-08910 2 個

2.12 添付書類

- 図 1 既設ジャイロロン概要図
- 図 2 電子銃部のネジ配置
- 図 3 ボディ絶縁ジャケット

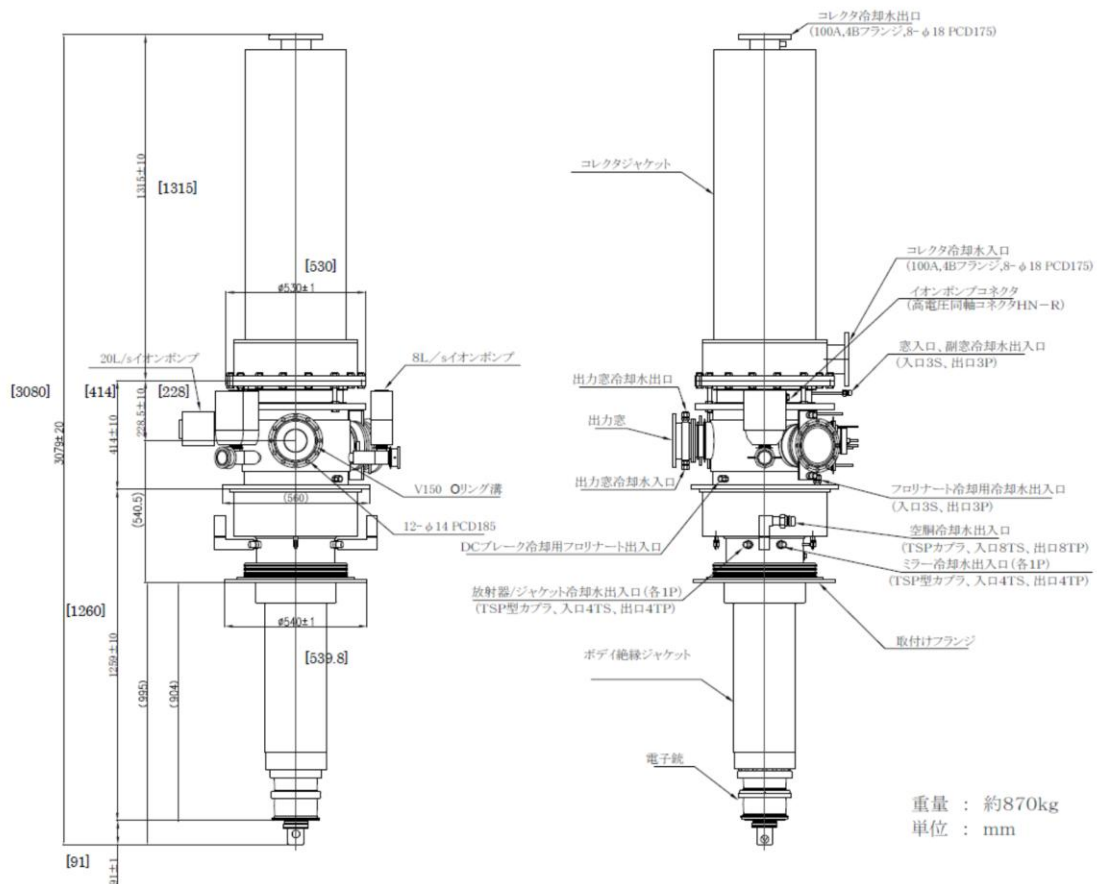
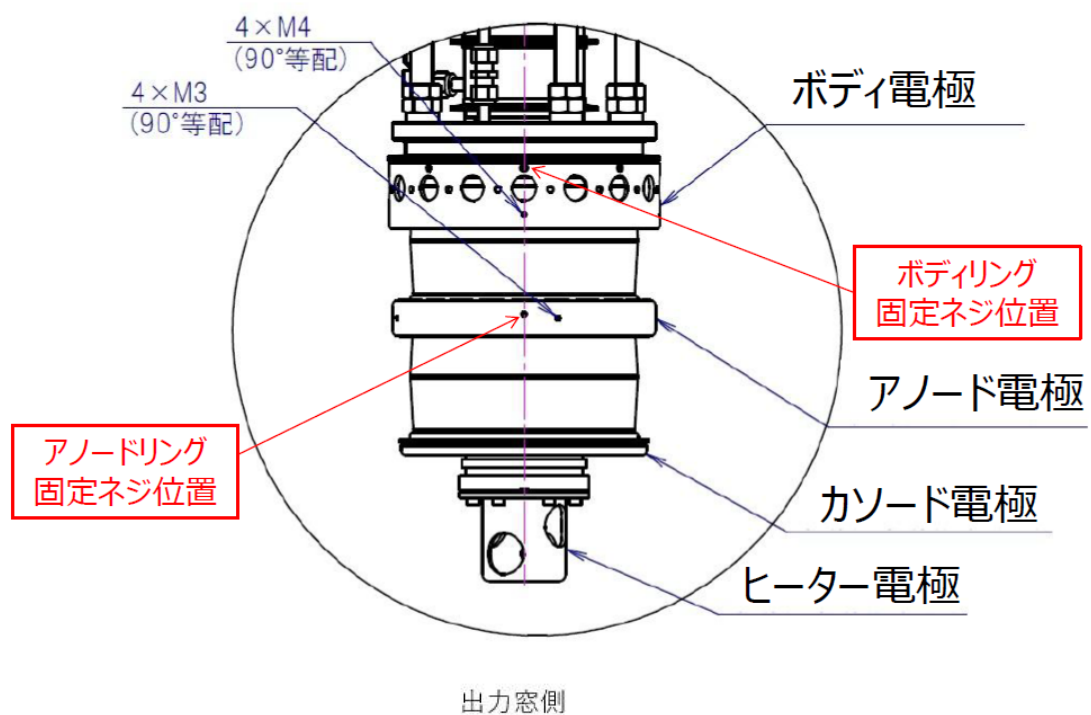
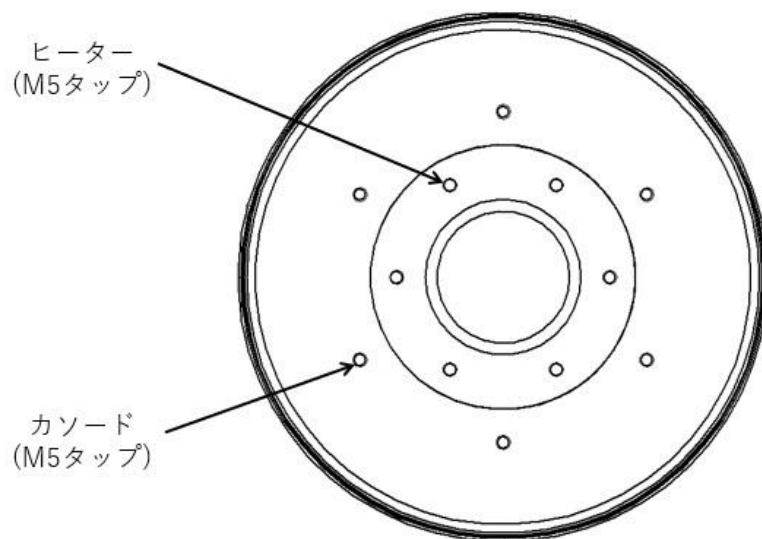


図1 既設ジャイロトン概要図



下から見た図



最終段ミラー側

図 2 電子銃部のネジ配置

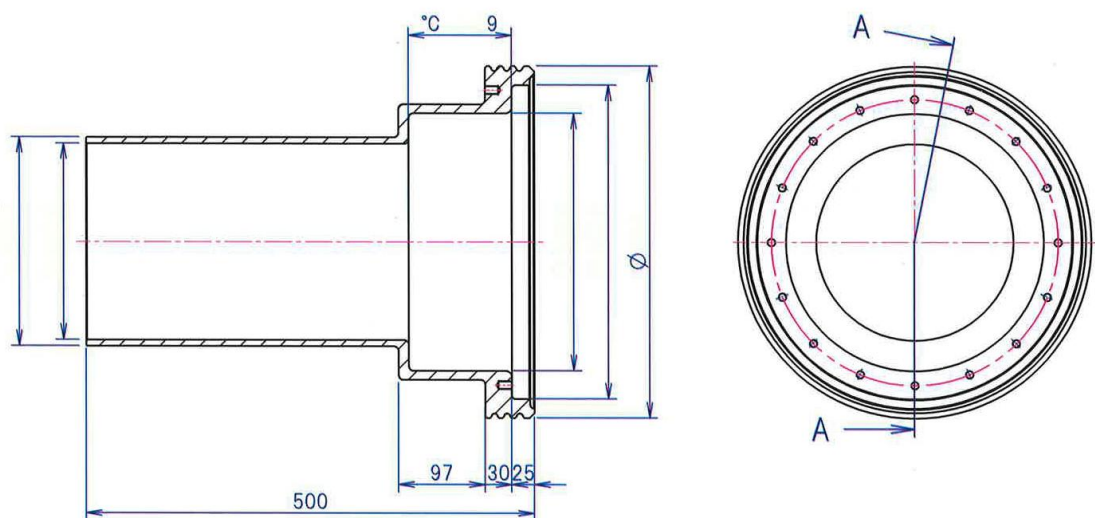


図 3 ボディ絶縁ジャケット (VM-08910)