

NanoTerasu 線型加速器用

238MHz・476MHz半導体高周波パルス増幅器の製作

仕様書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

## 1. 目的

本件は、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。）が運営するNanoTerasuセンターにおいて、線型加速器入射部に設置する238MHz 42kW半導体高周波パルス増幅器、476MHz 14kW半導体高周波パルス増幅器のユニットを製作することを目的とする。

## 2. 一般事項

### 2. 1 仕様範囲

1) 238 MHz 半導体高周波パルス増幅ユニット	:	1 ユニット
2) 476 MHz 半導体高周波パルス増幅ユニット	:	1 ユニット
3) 238 MHz 制御ユニット	:	1 ユニット
4) 476 MHz 制御ユニット	:	1 ユニット
5) 238 MHz ドライブユニット	:	1 ユニット
6) 476 MHz ドライブユニット	:	1 ユニット
7) 238 MHz 制御電源ユニット	:	1 ユニット
8) 476 MHz 制御電源ユニット	:	1 ユニット

必要な材料手配、製作、試験、梱包、輸送、搬入を行うこと。

## 3. 仕様

### 3. 1 238 MHz半導体高周波パルス増幅ユニット、ドライブユニットに関する仕様

238 MHz 半導体高周波パルス増幅ユニット、ドライブユニットは図1のブロック図と以下に示す詳細仕様に基づいて製作する。

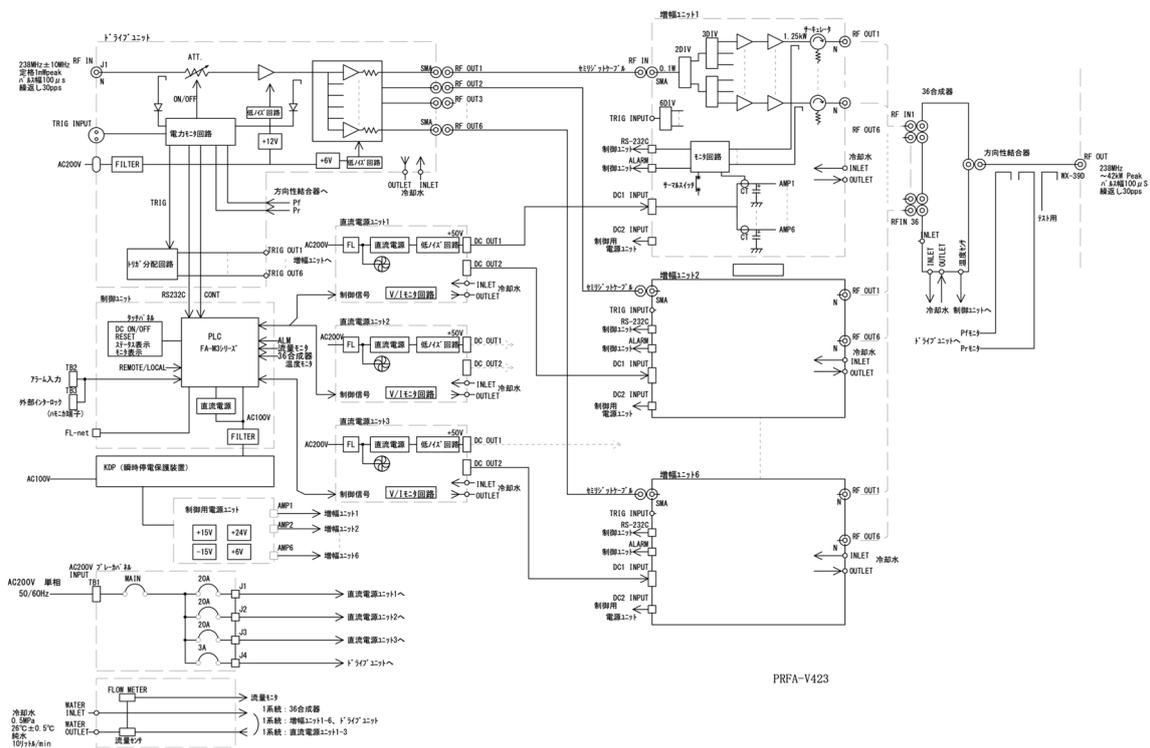


図1 238MHz半導体高周波パルス増幅器システム構成図 (参考図)

3. 1. 1 238 MHz半導体高周波パルス増幅ユニット・ドライブユニットの高周波性能

- (1) 周波数 : 238±0.5MHz (-1dB 帯域)
- (2) 入力電力 : 定格 0.5mW peak パルス
- (3) トリガー入力 : LVDS パルスによる。
- (4) トリガー入力インピーダンス : 100Ω 平衡信号伝送・終端
- (5) 最大出力 : 定格 0.5mW 入力時 1.25kW 以上 /1 出力
- (6) 出力ポート数 : 6 出力
- (7) 出力レベル可変 : 入力レベルによる。
- (8) 増幅級 : A または AB 級以上の線形性
- (9) 高周波入出力インピーダンス : 50Ω
- (10) RF パルス幅 : 100μs 程度 (パルス平坦部)
- (11) RF 繰り返し周波数 : 1~30pps (入力信号に依存)
- (12) RF パルス特性

電力特性

- ① 立上がり時間 : 5μs 以下
- ② 立下がり時間 : 5μs 以下
- ③ オーバーシュート : 3%以下

- ④ サグ : 立上がり 10  $\mu$ s 以降入力信号に対し 3%以下
  - ⑤ パルス毎の出力電力変動 :  $\pm 0.1\%$ 以内 (rms、短期)  
位相特性
  - ① フラットトップの平坦度 : 100  $\mu$ s の範囲において  $\pm 0.3^\circ$  以内 (p-p)
  - ② パルス毎の変動 :  $\pm 0.6^\circ$ 以内 (rms、短期)
- ※電源投入後、30 分以降より。

### 3. 1. 2 負荷条件

全反射にて異常のないこと。

### 3. 1. 3 冷却条件

本装置では、高周波電力合成空洞の共振周波数の安定化、高周波増幅基板の高周波電力・位相の安定化、電源電圧の安定化、以上の機器の電力損失の冷却のために、温度安定化された水で冷却をおこなう。水冷の仕様は以下である。

- (1) 内蔵ファンによる強制冷却 : 通常回路  
環境温度 25 $^\circ$ C
- (2) 水冷 (純水) : 高周波増幅半導体基板  
トランス類  
空洞型電力合成器  
電源  
温度 28 $\pm$ 0.2 $^\circ$ C
- (3) 入水圧 : 0.5MPa (背圧を除く)  
差圧 0.2MPa 以下
- (4) 入出力接栓・配管など : スウェージロック  
冷却配管は銅管とすること。
- (5) 本機器と外部との取合い点での配管の接栓は SP カプラなどのクイック接合による。
- (6) 冷却機器の試験圧および耐圧 : 0.98MPa

### 3. 1. 4 高周波入出力コネクタ

- (1) 入力 : N 型接栓
- (2) 出力 : WX-39D

### 3. 1. 5 238MHz増幅モジュールの仕様

- (1) LDMOS や窒化ガリウムなど、単体で 1kW 以上の高周波電力が扱える素子を使用すること。
- (2) 低損失な設計とすること。
- (3) セラミック系などの低損失な回路基板を使用すること。
- (4) 電力分配用ハイブリッドは、セラミック基板などの低損失物質で構成するものとする。
- (5) 分配用ハイブリッドでは、空洞からの反射電力は、90 度ハイブリッドの疑似負荷側に吸収されるようにすること。
- (6) 主な高周波素子は水冷とすることを考慮した設計をおこなうこと。
- (7) FET バイアス電源を使用すること。100  $\mu$ s の高周波パルスに対して、その数倍以上のパルス幅のバイアス電圧により FET などの高周波半導体素子をパルス駆動すること。

### 3. 2 476 MHz半導体高周波パルス増幅ユニット、ドライブユニットに関する仕様

476 MHz 半導体高周波パルス増幅ユニット、ドライブユニットは図 2 のブロック図と以下に示す詳細仕様に基づいて製作する。

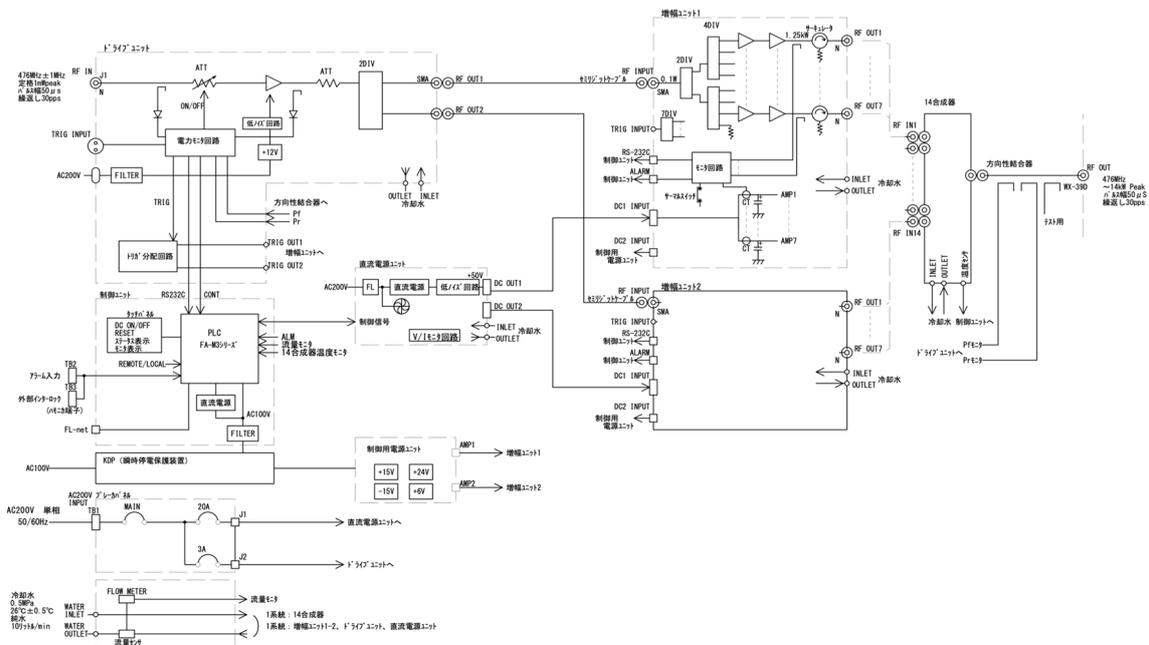


図2 476MHz半導体高周波パルス増幅器システム構成図 (参考図)

### 3. 2. 1 476 MHz半導体高周波パルス増幅ユニット、ドライブユニットの高周波性能

- (1) 周波数 : 476±0.5MHz (-1dB 帯域) : 目標値
- (2) 入力電力 : 定格 1mW peak パルス
- (3) トリガー入力 : LVDS パルスによる。
- (4) トリガー入力インピーダンス : 100Ω 平衡信号伝送・終端
- (5) 最大出力 : 定格 1mW 入力時 1.25kW 以上/1 出力
- (6) 出力ポート数 : 7 出力
- (7) 出力レベル可変 : 入力レベルによる。
- (8) 増幅級 : A または AB 級以上の線形性
- (9) 高周波入出力インピーダンス : 50Ω
- (10) RF パルス幅 : 50μs 程度 (パルス平坦部)
- (11) RF 繰り返し周波数 : 1~30pps (入力信号に依存)
- (12) RF パルス特性

#### 電力特性

- ① 立上がり時間 : 5μs 以下
- ② 立下がり時間 : 5μs 以下
- ③ オーバーシュート : 10%以下
- ④ サグ : 立上がり 5μs 以降入力信号に対し 2%以下
- ⑤ パルス毎の出力電力変動 : ±0.2%以内 (rms、短期)

#### 位相特性

- ① フラットトップの平坦度 : 50μs の範囲において±0.3° 以内 (p-p)
- ② パルス毎の変動 : ±0.3° 以内 (rms、短期)

※電源投入後、30 分以降より。

### 3. 2. 2 負荷条件

全反射にて異常のないこと。

### 3. 2. 3 冷却条件

本装置では、高周波電力合成空洞の共振周波数の安定化、高周波増幅基板の高周波電力・位相の安定化、電源電圧の安定化、以上の機器の電力損失の冷却のために、温度安定化された水で冷却をおこなう。水冷の仕様は以下である。

- (1) 内蔵ファンによる強制冷却 : 通常回路  
環境温度 25°C

- (2) 水冷（純水） : 高周波増幅半導体基板  
トランス類  
空胴型電力合成器  
電源  
温度  $28 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$
- (3) 入水圧 : 0.5MPa（背圧を除く）  
差圧 0.2MPa 以下
- (4) 入出力接栓・配管など : スウェージロック  
冷却配管は銅管とすること。
- (5) 本機器と外部との取り合い点での配管の接栓は SP カプラなどのクイック接合による。
- (6) 冷却機器の試験圧および耐圧 : 0.98MPa

### 3. 2. 4 高周波入出力コネクタ

- (1) 入力 : N型接栓
- (2) 出力 : WX-39D

### 3. 2. 5 476MHz増幅モジュールの仕様

- (1) LDMOS や窒化ガリウムなど、単体で 1kW 以上の高周波電力が扱える素子を使用すること。
- (2) 低損失な設計とすること。
- (3) セラミック系などの低損失な回路基板を使用すること。
- (4) 電力分配用ハイブリッドは、セラミック基板などの低損失物質で構成するものとする。
- (5) 分配用ハイブリッドでは、空胴からの反射電力は、90 度ハイブリッドの疑似負荷側に吸収されるようにすること。
- (6) 主な高周波素子は水冷とすることを考慮した設計をおこなうこと。
- (7) FETバイアス電源を使用すること。50  $\mu\text{s}$  の高周波パルスに対して、その数倍以上のパルス幅のバイアス電圧により FET などの高周波半導体素子をパルス駆動すること。

### 3. 3 238MHz半導体高周波パルス増幅器制御ユニット、制御電源ユニットの仕様

本パルス高周波増幅器・制御部は PLC 制御としてタッチパネルにより操作するものと

する。上位の制御用計算機には、EtherCATにより接続されるものとする。制御系電源は、瞬時停電保護装置により保護されるものとし、本増幅器とは独立した100V、ACの電源により供給されるものとする。詳細については別途協議の上、決定する。制御部は空冷とする。

#### (1) PLC

主な構成モジュールを以下に挙げる。詳細は別途打ち合わせによる。

- ・電源
  - ・CPU (入出力点数 4096 点以上、プログラム容量 56k ステップ以上、基本命令実行時間 0.07 $\mu$ s 以下、USB1.1/SIO/Ethernet ポート付、SD メモリカードスロット付)
- ・EtherCAT
- ・ADC (16 ビット以上)
- ・DI/O
- ・接点入出力
- ・LED バックライトのタッチパネル

#### (2) ローカル操作 (正面パネル)

- |               |            |
|---------------|------------|
| ・主ブレーカの入/切    | : スイッチ手動操作 |
| ・インターロックの復帰   | : タッチパネル操作 |
| ・リモート/ローカルの切替 | : スイッチ手動操作 |
| ・DC の ON/OFF  | : タッチパネル操作 |
| ・非常停止         | : スイッチ手動操作 |

#### (3) 表示

次の表示を正面パネル、およびタッチパネル表示をおこなうこと。

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| ・温度異常表示 (TEMPERATURE) | : タッチパネル表示         |
| ・冷却水流量低下 (WATER)      | : タッチパネル表示         |
| ・外部インターロック (EXTERNAL) | : タッチパネル表示         |
| ・DC の ON/OFF          | : タッチパネル表示         |
| ・Remote/Local         | : スイッチによる切替        |
| ・Emergency            | : タッチパネル表示         |
| ・直流電源電圧・電流            | : タッチパネル表示 (電圧、電流) |
| ・出力電力                 | : タッチパネル表示         |
| ・空洞合成器温度モニタ           |                    |
| ・インターロック履歴 (リスト表示)    |                    |

- ・出力高周波電力・半導体電源電流などのアナログ値トレンドグラフ  
(高周波パルスのピーク値をサンプルホールドして 1 秒程度保持し、表示すること)
- ・冷却水量の数値表示

### 3. 4 476MHz半導体高周波パルス増幅器制御ユニット、制御電源ユニットの仕様

本パルス高周波増幅器・制御部は PLC 制御としてタッチパネルにより操作するものとする。上位の制御用計算機には、EtherCAT により接続されるものとする。制御系電源は、瞬時停電保護装置により保護されるものとし、本増幅器とは独立した 100V、AC の電源により供給されるものとする。詳細については別途協議の上、決定する。制御部は空冷とする。

#### (1) PLC

主な構成モジュールを以下に挙げる。詳細は別途打ち合わせによる。

- ・電源
  - ・CPU (入出力点数 4096 点以上、プログラム容量 56k ステップ以上、基本命令実行時間 0.07 $\mu$ s 以下、USB1.1/SIO/Ethernet ポート付、SD メモリカードスロット付)
- ・EtherCAT
- ・ADC (16 ビット以上)
- ・DI/O
- ・接点入出力
- ・LED バックライトのタッチパネル

#### (2) ローカル操作 (正面パネル)

- |               |            |
|---------------|------------|
| ・主ブレーカの入/切    | : スイッチ手動操作 |
| ・インターロックの復帰   | : タッチパネル操作 |
| ・リモート/ローカルの切替 | : スイッチ手動操作 |
| ・DC の ON/OFF  | : タッチパネル操作 |
| ・非常停止         | : スイッチ手動操作 |

#### (3) 表示

次の表示を正面パネル、およびタッチパネル表示をおこなうこと。

- |                       |            |
|-----------------------|------------|
| ・温度異常表示 (TEMPERATURE) | : タッチパネル表示 |
| ・冷却水流量低下 (WATER)      | : タッチパネル表示 |
| ・外部インターロック (EXTERNAL) | : タッチパネル表示 |
| ・DC の ON/OFF          | : タッチパネル表示 |

- ・ Remote/Local : スイッチによる切替
- ・ Emergency : タッチパネル表示
- ・ 直流電源電圧・電流 : タッチパネル表示 (電圧、電流)
- ・ 出力電力 : タッチパネルに表示
- ・ 空洞合成器温度モニタ
- ・ インターロック履歴 (リスト表示)
- ・ 出力高周波電力・半導体電源電流などのアナログ値トレンドグラフ  
(高周波パルスのピーク値をサンプルホールドして 1 秒程度保持し、表示すること)
- ・ 冷却水量の数値表示

#### 4. 試験

試験項目は以下の通りだが、詳細は別途協議の上、試験要領書を作成し、その要領書にしたがっておこなう。QST職員による工場立会い試験をおこない、合格と判断された後に成績書を提出すること。また、以下の検査や測定に必要な機材は全て受注者が用意すること。

##### 4. 1 238MHz・476MHz半導体高周波パルス増幅ユニット、制御ユニット、制御電源ユニット、ドライブユニットの検査

###### (1) 外観、構造、寸法試験

有害なキズ、変形、塗装のハガレ等がないことを確認すること。

###### (2) 絶縁抵抗試験

###### (3) シーケンス・インターロック試験

ローカルの各操作と保護回路を本仕様の項目ごとに確認すること。

###### (4) 出力試験 (50Ω ダミーロードにより下記の性能の確認をおこなうこと。)

- ・ 最大出力試験
- ・ ダミーロードによる連続 24 時間以上の運転データ取得 (高周波電力・位相)
- ・ 短期高周波電力・位相ジッター取得 (10 分程度)

#### 5. 納入場所及び納入条件

宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 468-1

Nano Terasu 線型加速器棟

#### 6. 納期

令和8年3月27日

物品製造後、搬入までの一時保管は受注者が行うこと。詳細なスケジュールは、契約後に打ち合わせのうえ決定する。

## 7. 提出書類

以下に示す図書について、作成、提出すること。

契約仕様書	契約後速やかに	1 部
製作工程表	契約後速やかに	1 部
確認用図面	製作前	1 部
試験検査要領書	試験前	1 部
試験検査成績書	納入時	1 部
完成図書	納入時	1 部
電子ファイル(pdf形式、DXF形式)	納入時	1 式

## 8. 技術打合せ

工程及び詳細設計に関する技術打合せを、契約締結日から納期までの期間において少なくとも 2回、QST担当者の指示する日時、場所にて行い、受注者は 1 名以上の設計担当者（技術者）が出席すること。開催場所は日本国内の指定する場所とする。なお、打合せ時の使用言語及び用いる資料は日本語とする。

## 9. 梱包と運搬

製作品は運搬時の破損等を避けるため、断衝機能のある箱に入れて納品すること。

## 10. 検査

納入時に、QST職員立ち会いのもとで納入場所にて外観検査、員数検査、試験検査成績書の確認を行い合格と認め、提出書類の完納をもって、検査完了とする。

## 11. 品質管理

本品の製作に係る設計・製作・試験等は、全ての工程において、以下の事項等について十分な品質管理を行うこととする。

- (1) 管理体制
- (2) 設計管理
- (3) 外注管理
- (4) 現地作業管理

- (5) 材料管理
- (6) 工程管理
- (7) 試験・検査管理
- (8) 不適合管理
- (9) 記録の保管
- (10) 重要度分類
- (11) 監査

## 12. 適用法規・規格基準

本品は、放射性同位元素等規制法（RI 規制法）の適用を受ける放射線発生装置を構成するものである。従って、設計・製作・試験・据付調整等にあたっては、以下の法令、規格、基準等を適用または準用して行うこと。

- (1) 放射性同位元素等規制法（RI 規制法）
- (2) 労働安全衛生法
- (3) 日本工業規格（JIS）
- (4) その他受注業務に関し、適用または準用すべき全ての法令・規格・基準等

## 13. 知的財産権

知的財産権については、知的財産権特約条項のとおりとする。

## 14. 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）に適合する環境部品（事務用品、OA機器等）が発生する場合は、これを採用する。
- (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。

## 15. 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。

## 16. 機密の保持

受注者は、本品の製作にあたり、QSTから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、予めQSTの承諾を得た場合にはこの限りでない。

## 17. 権利の帰属

本仕様書によって製作されたハードウェア等の図面を含む著作物の著作権は、QSTに帰属するものとする。

## 18. 協議

本件は仕様書に基づいて行うものとし、これらに疑義が生じた場合はQSTの指示に従うこと。

## 19. その他

- (1) 製品の瑕疵について明らかになった場合、使い勝手等を含む性能が保証できるよう速やかに対処すること。
- (2) 瑕疵担保期間の内外を問わず、故障や不良等が発生した場合には速やかな対処が可能であること。また原因と対処方法を速やかにQSTに報告すること。

(要求者)

部課(室)名：NanoTerasuセンター

高輝度放射光研究開発部 加速器グループ

氏名：安積 隆夫

(別紙様式 1 - 1)

### 選定理由書

1. 件名	NanoTerasu 線型加速器用 238MHz・476MHz 半導体高周波パルス増幅器の製作
2. 選定事業者名	日本高周波株式会社
3. 目的・概要等	<p>NanoTerasu の 3GeV 線型加速器には、高品質バンチビームを安定生成可能な 40MeV 入射部が備えられている。この入射部には 238MHz 加速空洞、476MHz サブハーモニックバンチャーが配置され、蓄積リングへのビーム入射運転において、常時、適切に機能している。これら空洞群の高周波増幅器は、低エネルギー領域（非相対論領域）の電子ビームを取り扱うため、極めて高い安定動作が要求されている。</p> <p>本件で調達予定の半導体高周波パルス増幅器は、高安定・高精度設定を可能とするだけでなく、施設の運営上、保守点検時や故障が発生した場合に交換して使用するため、現在 NanoTerasu に備わる機器と電氣的性能・機械寸法など整合性が要求される。</p>
4. 希望する適用条項	政府調達に関する協定その他の国際約束に係る物品等又は特定役務の調達手続について 第 25 条第 1 項第 3 号②（その他既調達物品等に接続して使用し又は提供させる物品等又は特定役務）
5. 選定理由	<p>本件を調達するにあたって、既設の半導体高周波パルス増幅器と電氣的性能の整合性が必要であることに加えて、高安定動作性能を担保する観点から、NanoTerasu に備わる既存機器との機械的・電氣的な完全互換性とすることが必要不可欠である。既設の半導体高周波パルス増幅器は日本高周波株式会社が製作したが、その設計の詳細は非公開である。</p> <p>以上のことから、本件を製作できる専門的な技術的能力を有し、本件調達が可能な唯一の者として日本高周波株式会社を選定事業者としたい。</p>