

蓄積リング入射部キッカー電磁石用パルス電源の  
充電電源部および制御部の製作

仕様書

## 1 目的と概要

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下「量研」という。）が官民地域パートナーシップにより運用する NanoTerasu の蓄積リングでは、入射部において 4 台のキッカー電磁石を駆動させて周回ビームを内側に寄せ、パルスセプトム電磁石を駆動させて入射ビームを周回ビームと併進させ、電子ビームをリング軌道に入射する。4 台のキッカー電磁石には、2 台のパルス電源によって、それぞれピーク電流 1.4kA、時間幅 3.3 $\mu$ s の電流を流す。このパルス電源は、高電圧キャパシタに最大 55kV まで充電をし、高電圧トランジスタ (HV-IGBT) を導通させることによって正弦半波形状の電流を出力する。2 台のキッカー電磁石をパルス電源に並列に接続することにより、同時に 2 台のキッカー電磁石を励磁し、磁場の不一致から来る周回ビームの軌道変動を抑える設計となっている。また、パルスセプトム電磁石は渦電流駆動型で、1 台のパルス電源によってピーク電流 2.6kA、時間幅 10 $\mu$ s の電流を流す。

キッカー電磁石とパルスセプトム電磁石は蓄積リングトンネル内に設置され、キッカー電磁石用パルス電源とパルスセプトム電磁石用パルス電源は、遮蔽壁を隔てた内周側保守通路に設置される。電磁石と電源の間は、約 20m の高電圧ケーブルで接続される。現在使用しているパルス電源ではただちに運転に影響は出ないものの出力電流波形の立ち上がり立ち下がりにおいて微少な差分が観測されている。本件では、将来的な加速器の性能向上を目的としてこの波形の違いをより精密に調査するため、既存と同型のパルス電源のうち、その中心的役割を担うパルス電源の充電電源部および制御部を製作するものである。

## 2 仕様範囲

### 1) キッカー電磁石用パルス電源の充電電源部および制御部の設計、製作 1 台分 (内訳)

充電電源部および制御部の設計、製作、動作試験

※ただし、製作にあたっては日本高周波社製の回生リアクトル 1 台、高圧スイッチングトランス 1 台、AC チョークコイル 1 台を量研より支給するが、量研から受注者への輸送にあたっては量研担当者と日時や方法を協議の上で受注者が輸送の手配を行うこと。

### 2) 製作品の NanoTerasu への運搬、設置 (内訳)

充電電源部および制御部の次世代放射光施設蓄積リング棟内周通路の指定場所までの運搬

指定場所での充電電源部および制御部の転倒等防止用の固定

これらのパルス電源の製作や設置、配線に必要な材料手配、製作、試験、梱包、輸送、搬入を行うこと。また、搬入や設置に使用した梱包材や廃材の撤去も行うこと。

なお、以下の機器の製作や作業は、本件の仕様には含まない。

キッカー電磁石および架台の製作、設置

パルスセプトム電磁石、電源および架台、真空チャンバー類の製作、設置

キッカー電磁石電源本体の製作、設置、現地試験

## 3 キッカー電磁石用パルス電源の仕様

### 3.1 回路構成

想定するパルス電源の回路構成図を図 1 に示す。また、外観イメージを図 2 に示す。パルス電源

では、高電圧充電電源にて主キャパシタに最大+55kV まで充電をした後、14 直列の高電圧トランジスタ (HV-IGBT) を導通させて、正弦半波形状のパルス電流を出力する。パルス電流は、80 段のダイオード列を通過した後に 2 分岐し、高電圧同軸ケーブルによってキッカー電磁石に導かれて電磁石を励磁する。キッカー電磁石と並列してダンパー抵抗を設け、インピーダンス不整合によって発生するリングングを減衰させる。また、2 台の電磁石を流れるパルス電流の波高を調整するため、高電圧同軸ケーブル出力部の直前に可変インダクタを設ける。パルス電流出力後は、主キャパシタはマイナスに充電されるので、ダイオードとリアクトルから成る回生回路によってプラスに再充電を行う。その後、高電圧充電電源にて所定の電圧まで充電を行う動作を繰り返す。

パルス電源には PLC とグラフィックパネルを有した制御部を設け、充電動作、パルス出力動作の制御と、キャパシタ電圧、出力パルス電流、回生電流、充電電流などのモニタを行う。制御部は、EtherCAT 通信にて上位制御系と接続し、上位制御系からの制御と監視が行われる。また、パルス電源にはインターロック機能を有し、機器の動作異常時には、機器を即座に停止できるようにすること。

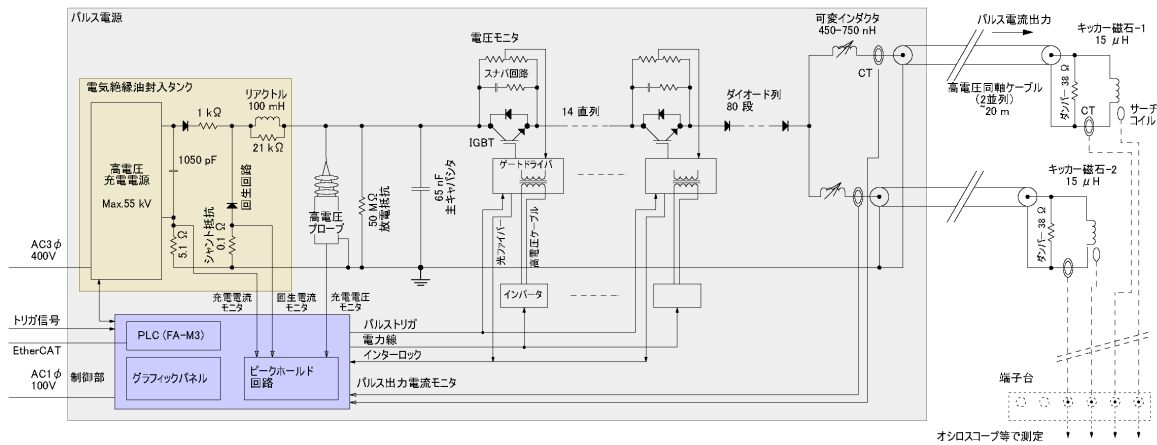


図1：キッカー電磁石用パルス電源の回路構成図。回路パラメータは参考値とし、詳細は別途打合せにより決定すること。

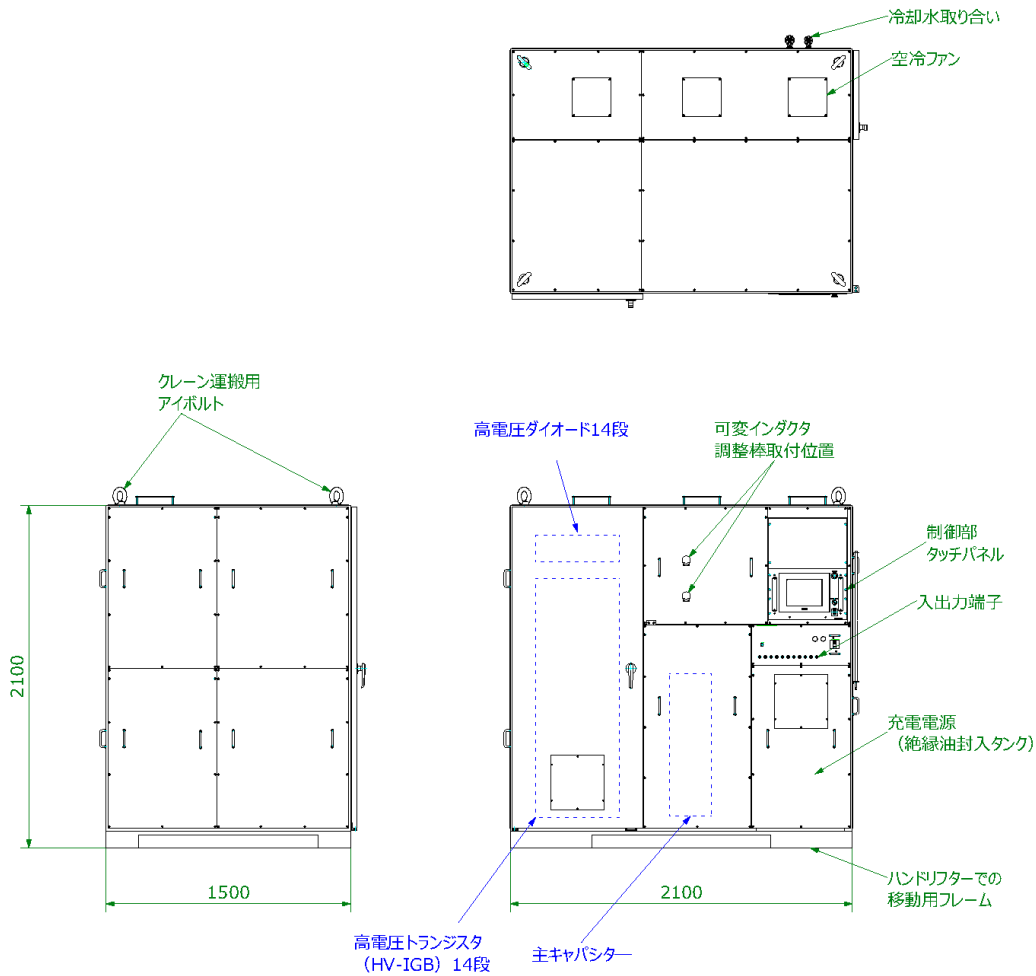


図2：キッカー電磁石用パルス電源の外観イメージ。内部部品の配置も、青点線で示している。図中の寸法単位 (mm)。本仕様で製作する制御部および充電電源部は本図のパルス電源本体に設置可能なサイズおよび形状であること。

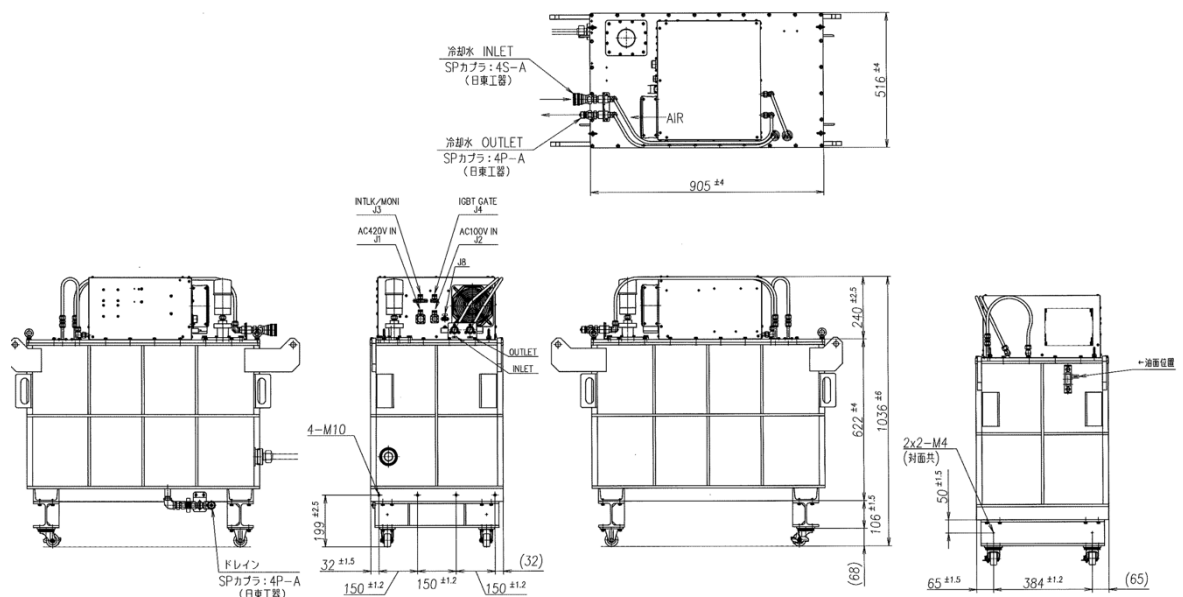


図3：本件で製作する充電電源部の外観イメージ。

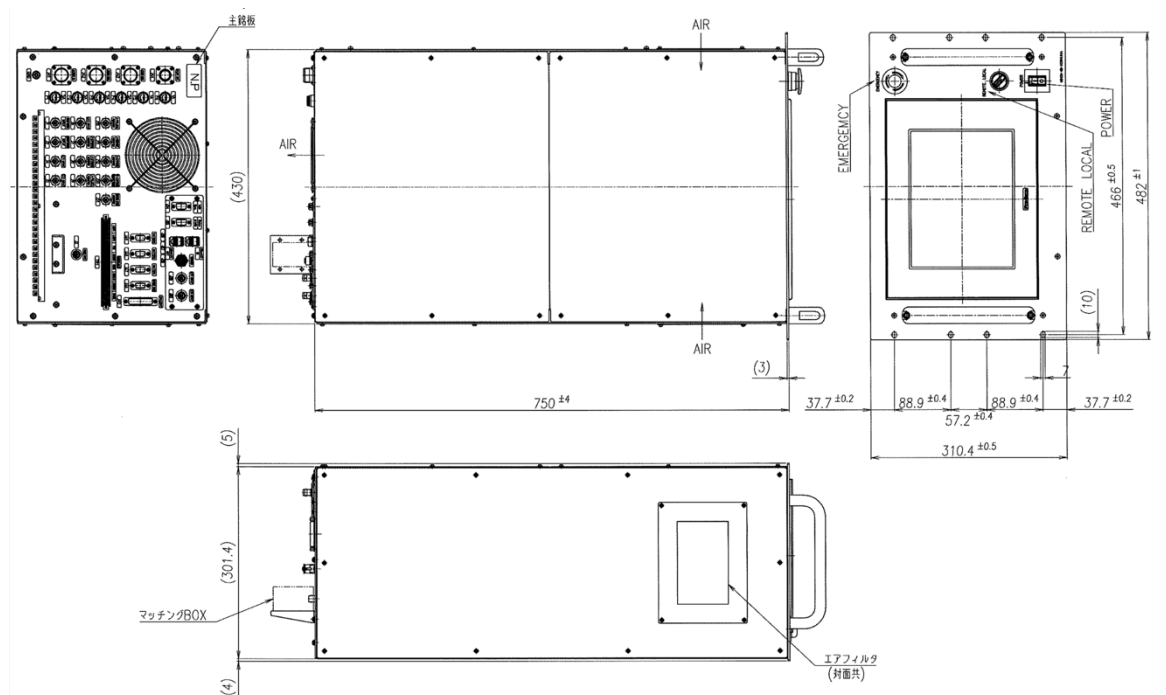


図4: 本件で製作する制御部の外観イメージ。

### 3.2 性能仕様

表1に示す性能仕様を満たすこと。

表1: キッカー電磁石用パルス電源の性能仕様

項目	仕様
出力電流の形状	正弦半波形
出力ピーク電流	1.4 kA 以上、2 回路
出力電流の時間幅	3.3 $\mu$ s 程度
想定する接続負荷 (2 回路とも)	キッカー電磁石 インピーダンス 15 $\mu$ H 程度 ダンパー抵抗 38 $\Omega$ 程度 高電圧ケーブル (耐圧 100 kV、Z=41 $\Omega$ 、全長 20 m 程度) $\times$ 2 並列
主キャパシタ 静電容量	65 nF 程度
キャパシタへの充電電圧	最大 55 kV 以上
充電電圧の安定度	$\pm$ 0.1%以下 (目標 $\pm$ 0.05%以下) 1 分間の短時間安定度
出力電流の時間ジッタ	全幅 5 ns 以下 (目標 1 ns 以下)
電力の回生効率	30%以上 (最大出力時)
パルス繰り返し	1 pps
供給 AC 電力	三相 400V (充電電源)、および 单相 100V (制御部)

### 3.3 構成部品、構造仕様

表2に示す、主要な構成部品、構造についての仕様を満たすこと。

表2: キッカー電磁石用パルス電源の主要な構成部品、構造についての仕様。数量は電源1台あたり。

項目	数量	仕様
高電圧充電電源	1 台	インバータ式の高電圧充電電源とする

(本件仕様範囲内)		最大電圧： 55 kV 以上。 主キャパシタを 100 ms 以内に充電できること 電圧安定度 (1 分間)： $\pm 0.1\%$ 以下 (目標 $\pm 0.05\%$ 以下)
制御部 (本件仕様範囲内)	1 台	グラフィックパネル。PLC、ピークホールド回路、トリガ回路などから構成される。 グラフィックパネルはタッチパネル式とし、ローカル運転時の操作、状態表示ができること。 PLC は、横河電機製 FA-M3 シリーズ、または相当品を使用すること。 ピークホールド回路は、以下の信号を取り込み、ピーク値をデジタル変換して PLC に情報を伝えること。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・主キャパシタ電圧 (高電圧プローブの出力)</li> <li>・パルス出力電流 (カレントモニタ CT の出力)</li> <li>・回生電流 (回生回路のシャント抵抗両端電圧)</li> <li>・充電電流 (充電電源部のシャント抵抗両端電圧)</li> </ul> トリガ回路は、「充電トリガ」「放電トリガ」の 2 種類のトリガ信号を受けて、それぞれ充電動作、パルス出力動作をするための機器にトリガ信号を分配すること。 インターロック機構を設け、異常時には電源の運転を停止できるようにすること。また、2 台の電源が連動して停止できるよう、入出力信号を有すること。 制御部の詳細は、現在次世代放射光にて使用中のものに準ずること。
冷却方法		電気絶縁油封入タンク： 水冷 (純水、差圧 0.2MPa 程度) ※工場試験時は、市水でも可 それ以外の部分： 空冷
下記はパルス電源本体の構成部品であり本仕様外であるが、接続して使用するため参考に記載する		
高電圧トランジスタ (HV-IGBT)	14 台	三菱電機製 CM900HG-130X または相当品 最大コレクタ-エミッタ電圧： 6.5 kV 以上 最大コレクタ電流： DC 900 A 以上、Pulse 1800 A 以上
ゲートドライバ	14 台	イサハヤ電子製 VLA590-01R
スナバ回路	14 組	フィルムキャパシタ 20 nF と抵抗 2 $\Omega$ の直列接続で構成される。 IGBT のドレイン-コレクタ間に接続し、スイッチング時の過渡電圧を軽減する。
電力供給回路	14 組	インバータと絶縁トランス、および整流部から構成される ゲートドライバの駆動に必要な電力を供給する
主キャパシタ	7 個	NWL 社製 Part No. 13384 静電容量： 9.3 nF 定格パルス電圧： 60 kV ケース： 樹脂製
回生リアクトル	1 台	インダクタンス： 100 mH 程度
高電圧プローブ	1 台	主キャパシタの電圧をモニタする。また、充電電源の制御部に信号を取り込む。
電流モニタ (CT)	2 台	パルス出力電流をモニタする。 Pearson 社 3025 または相当品 換算比： 40A/V (高インピーダンス時) コネクタ： BNC 型
出力ダイオード	1 組	高速リカバリーダイオードを 80 直列 2 並列に接続する ダイオードは、Dean Technology (HVCA)社 CKF12P100D1D 繰返しピーク電圧： 1.2 kV

		平均順方向電流： 100 A
可変インダクタ	2台	空芯コイルの内側にアルミ製の内筒を設け、内筒を出し入れすることによってインダクタンスを調整できる インダクタンスの調整範囲： 450～750 nH 程度
電源筐体		外形寸法 幅2.1m、奥行1.5m、高さ2.1m 程度 クレーンで吊り下げられるよう、上部にアイボルトがある 電源の底部は、ハンドリフターで運搬できる構造。また、アンカー固定できる構造。

#### 4 パルス電源の試験、検査

試験項目を表3に示す。

詳細については、試験検査要領書に示し確認を得ること。

これらの試験は、原則として受注者の工場で行うこと。

必要に応じて、量研担当者が試験に立会いをする。

表3： パルス電源の工場試験項目

項目	内容
外観目視試験	・目視にて、電源の外観や構成機器に機能上有害となる傷、汚れ、歪み等の無いことを確認すること。
単発充電試験	・試験用コンデンサを用いて、本仕様にて製作した充電電源部および制御部にて充電ができることを確認すること。試験用コンデンサ、LVDS トリガレベル変換器、高電圧ケーブルについては受注者の希望があれば量研より貸与することができる。ケーブルへのコネクタ(高電圧コネクタ M40-41175 アイデン)など他に必要なものは受注者にて用意すること。

#### 5 充電電源部および制御部の設置作業

試験を終了し、合格と判断された充電電源部および制御部は、6.1に示す設置場所に輸送し、設置を行うこと。

搬入にあたっては、搬入室の天井クレーン(20 ton)は使用可能である。また搬入室から設置場所までは、約150 mの距離を横引きすること。

##### 5.1 設置

設置対象となる機器を表4に示す。また、設置場所における機器配置を図5示す。図5中の予備電源と記載してある箇所付近に設置すること。充電電源部については付属のキャスターで自走しないようロックする機構を付すること。

表4： 設置対象となる機器

項目	数量	備考
キッカー電磁石用パルス電源充電電源部	1台	本件で製作する充電電源部。第3項に仕様を記載している。図3を参照。 床面に耐震固定し、取り外し可能なようにすること。
キッカー電磁石用パルス電源制御部	1台	本件で製作する充電電源部。第3項に仕様を記載している。図4を参照。 必要に応じて転倒等防止措置を施し、また取り外し可能なようにすること。

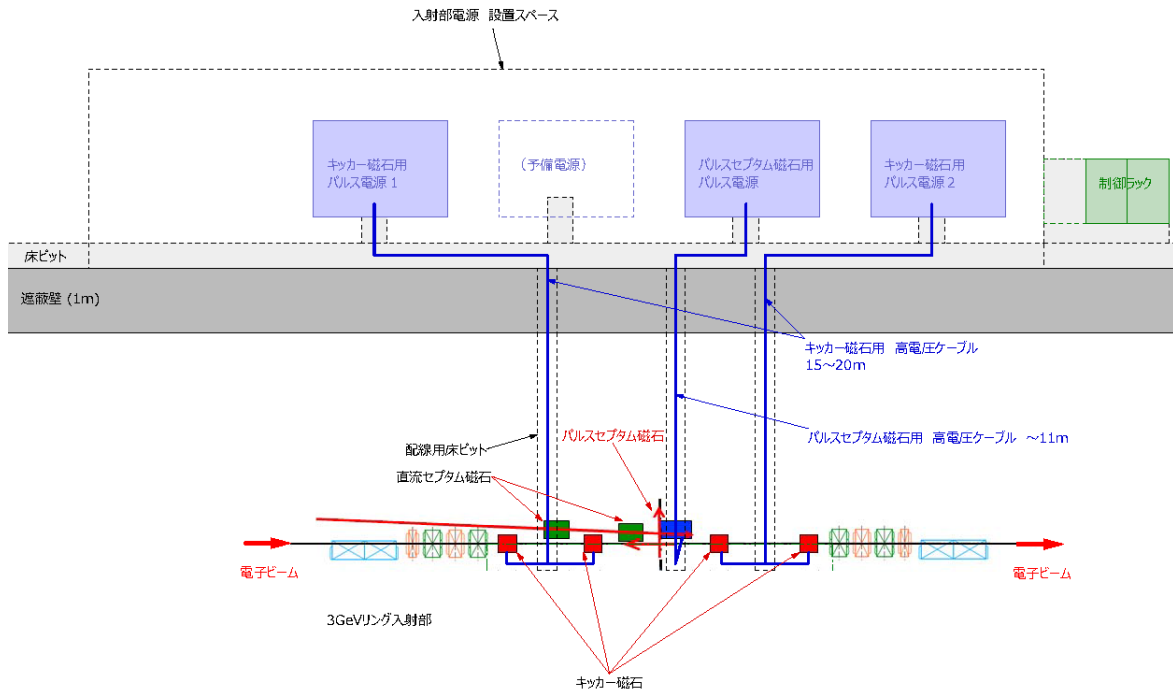


図5： 図中点線の予備電源設置予定箇所付近に設置すること。詳細は別途打合せにより決定すること。

## 6 納入場所

宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 468-1

3GeV 高輝度放射光施設 (NanoTerasu)

蓄積リング棟 内周通路 電磁石電源室前入射部パルス電源エリア  
据付調整渡しとする。

## 7 納期

令和7年2月28日

但し、物品の搬入と設置作業は、現場の運転状況に左右される可能性があるため、搬入予定の1ヶ月以上前に量研担当者と打合せの上で決定する。

## 8 提出書類

以下の書類又は提出物を提出すること。

	書類名又は提出物名	提出時期	部数	確認
①	契約仕様書	契約後速やかに	1部	
②	製作工程表	契約後速やかに	1部	
③	確認図	製作前	1部	要
④	試験検査要領書	試験前	1部	要
⑤	納入図	納入時	1部	
⑥	試験検査成績書	納入時	1部	
⑦	取扱説明書	納入時	1部	

これら①～⑥をそれぞれ印刷してA4ファイルに綴じ、表紙と目次を付けたものを「完成



図書」として1冊提出すること。また、①～⑥の電子ファイル(PDF または Word)を CD-R などの記録媒体に納めたものを、上記の「完成図書」に綴じて提出すること。

(提出場所)

量研 NanoTerasu センター  
高輝度放射光研究開発部 加速器グループ

(確認方法)

提出書類のうち、量研の確認を要するものは、確認期限日を記載した受領印を押印の上受注者に返却する。確認期限日までに量研から修正等の指示なき場合は、確認したものとす。

## 9 支給品

- (1) 回生リアクトル 1 台
- (2) 高圧スイッチングトランス 1 台
- (3) AC チョークコイル 1 台

## 10 貸与品

- (1) 試験用コンデンサ
- (2) LVDS トリガレベル変換器
- (3) 高電圧ケーブル(コネクタ無し)

ただし、貸与品の梱包および運搬は受注者で実施すること。

## 11 技術打合せ

工程、詳細設計及び試験等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 1 回、量研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。また、納品場所での電源等の設置作業及び運転試験時には、現場での工程管理を行い、他の作業などとの調整も日本語で行うこと。

## 12 梱包と運搬

電源の運搬時は、破損等を避けるため緩衝材等で保護をして運搬をすること。

## 13 検査条件

- (1) 製作完了後、本仕様書に記載した各種試験を実施し、合格すること。  
なお、試験前に試験検査要領書を作成して量研の確認を得ること。  
試験結果は試験検査成績書に記載して、提出すること。
- (2) 外観検査・員数検査を行い、量研が合格と認めること。
- (3) 試験検査成績書、その他の提出図書の確認を行い、量研が合格と認めること。

## 14 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

#### 15 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、基準等を適用又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) 日本産業規格（JIS）
- (4) その他受注業務に関し、適用又は準用すべき全ての法令・規格・基準等

#### 16 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。

#### 17 契約不適合

契約不適合については、契約条項のとおりとする。

#### 18 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。

#### 19 物品識別タグ

本契約において納入する全物品のリストを量研の指定する様式にて納入前に量研に提出すること。提出リストを元に、量研側でユニーク識別コードが書かれたタグを準備し支給する。量研が指定した全物品に対し、支給タグを貼り付けた後に納入すること。

#### 20 機密の保持

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

#### 21 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、量研に帰属するものとする。

#### 22 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量研の指示に従うこと。部材や製作・施工方法、試験・測定方法、寸法や形状等は原則、仕様書に記載する方法や値を採用すること。機器構成を含む詳細については、量研の指示に従うこと。

23 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量研に報告すること。

(要求者)

部課室名：NanoTerasu センター 加速器グループ

氏 名：小原 脩平