

仕様書

テンドーX線用回折装置の製作

Manufacturing of a diffractometer for tender X-rays

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

1. 概要

1.1. 件名

テンダーX線用回折装置の製作

Manufacturing of a diffractometer for tender X-rays

1.2. 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（「QST」という。）が3GeV高輝度放射光施設NanoTerasuに整備するテンダーX線用回折装置の製作を行うものである。

1.3. 納入品構成・仕様範囲

テンダーX線用回折装置：神津精機製XDFM-011 一式

相当品可とする。

必要な材料手配、設計、製作、試験、梱包・輸送、搬入、据付などを含むこと。

納入時に使用した梱包材、現地での搬入及び作業時に養生などに使用した資材の廃棄は、受注者が行うこと。

1.4. 一般事項

1.4.1. 納入場所・条件

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1

NanoTerasu内実験ホール指定場所

（納入条件）

据付・調整渡し

1.4.2. 納入期限

令和9年3月26日

1.4.3. 適用法規・基準

a) 労働安全衛生法

b) 本仕様書で規定されていない仕様については、「次世代放射光施設ビームライン機器共通仕様書」に記載された共通事項を遵守すること。本仕様書の規定との間に差異がある場合には、原則として本仕様書の規定を優先するものとするが、個々の案件についてはQST担当者と協議の上確認した後に実施するものとする。

c) 本仕様書内で特に指定のない物品については、JIS規格または相当品以上のものを使用すること。

d) 他、QSTが定める基準や規定に従うこと。

1.4.4. 検収条件

1.4.1項に記載する納入場所に据え付け後、外観検査及び1.4.8項に定める試験検査及び提出図書の合格をもって検収とする。

1.4.5. 保証期間

検収完了後 1 年間とする。明らかに受注者の責に帰すると判断される重大な問題が生じた場合には保証期間後であっても無償で対応すること。

1.4.6. 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。

1.4.7. 提出図書

1.4.7.1. 印刷物

表 1 に示す図書を印刷物として提出すること。

表 1 提出図書一覧

	図書名	提出時期	部数	確認
1	製作物確認図面	契約後速やかに	1	要
2	納入仕様書	契約後速やかに	1	要
3	試験検査要領書	試験検査着手前	1	要
4	試験検査成績書	納入時	1	不要
5	取扱説明書（日本語又は英語）	納入時	1	不要
6	完成図書	納入時	1	不要

(提出先) NanoTerasu センター 高輝度放射光研究開発部 ビームライングループ

- a) 印刷物は、原則 A4 サイズ用紙で提出すること。図面についてはこの限りではないが、A3 より大きなサイズの図面については、A3 に縮小印刷したものを添付すること。
- b) 印刷物は、原則 A4 のチューブファイル等に綴じた状態で提出すること。
- c) 製作仕様書は、承認用図面、装置外観図を含むものとする。
- d) 完成図書は、表 1 の各項を印刷したものに加え、これらの電子ファイルを収録した記録媒体を併せて、表紙と目次を付して A4 ファイルに綴じたものとする。大型図面は折りたたんで収納することとし、文字が判読できない縮小図は不可とする。

1.4.7.2. 電子ファイル

- a) 表 1 に示す提出図書を、Adobe Acrobat (pdf) ファイルもしくは Microsoft Word (docx) ファイルの電子可読形式ファイルで提出すること。
- b) 完成図書の外形図の 2D CAD (AutoCAD (dwg) あるいは dxf 形式) 及び 3D CAD (Siemence parasolid あるいは step 形式) のファイルを提出すること。
- c) 提出された CAD ファイルは周辺機器との干渉や取り合い等を確認するために使用される。その目的において、使用を制限した上で他社とファイルを共有する場合があるため、必要に応じて支障のない範囲の CAD ファイルを提出すること。
- d) 提出される電子ファイルを収録する記録媒体は CD-R、DVD-R、DVD+R のいずれかとする。提出前に最新定義ファイルに更新されたウイルス検知ソフトでウイルスチェックを行うこと。

1.4.8. 検査項目

仕様に記載された性能を保証するために必要な試験を行う。各種検査前に試験検査要領書を作成し、検査方法および使用する機材の性能について QST に提示し、承認を受けること。検査結果は試験検査成績書として提出すること。場合により、検査時に取得したデータの開示を要求することがある。

特に 2.2.8.2 に示す回転中心軸一致度の検査結果について、実測データを示すこと。

1.4.9. グリーン推進法の推進

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。

1.4.10. その他特記事項

- a) 受注者は、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、QST 担当者と協議の上その決定に従うものとする。協議内容は文書によるやり取りを原則とし、その内容について受注者と QST 担当者の双方が確認する。
- b) 据付・調整における現地作業においては、QST 及び設置場所管理者に連絡を取りその指示に従うこと。特に振動・騒音及び異臭等を伴う現場作業は、工事日程が制限される場合があるため、作業工程立案及び工程管理に関しては QST 担当者との連絡を密にとり、その指示に従うこと。
- c) 性能向上に関わる提案がある場合は QST 担当者と協議を行い、承認を受けた後に実施すること。
- d) 必要に応じて工場立ち合いを行う場合があるので、協力すること。
- e) 光学設計の変更により据付位置が変更になる場合があるので、QST 担当者との連絡を密にとり、その指示に従うこと。

2. 仕様

2.1. 概要

本件の回折装置は、NanoTerasu 放射光ビームラインにおいて、テンダー・硬 X 線を用いた回折・散乱実験を実施するために利用される。X 線回折・散乱測定に必要な精度を有することに加えて、テンダー X 線領域に対応するために、真空中で動作することが求められる。

2.2. 技術仕様

2.2.1. 一般仕様

- a) 回折計として機能する機構を内蔵した真空容器とそれを搭載する架台で構成されること。
- b) 真空容器には以下の回折計として動作する機構が内蔵されている。
 - (ア) 検出器ユニット回転・並進軸および試料ユニット回転軸 (2.2.4)
 - (イ) 試料ユニット (2.2.5)
 - (ウ) アクセサリユニット (2.2.6)

- c) 使用時の外形は W2200×D1600×H2500mm 以内であること。
- d) 材料の選定にあたっては、安定動作のために必要な強度、剛性に注意を払うこと。
- e) 真空容器および真空容器内部に置かれる部品・機器の選定にあたっては、高真空の達成に必要な条件に注意を払うこと。 1×10^{-4} Pa より低い圧力での使用を前提とすること。
- f) 床から光軸まで 1430mm を基本高さとする。
- g) 作業の安全性確保のため、金属製部分の角は適度に丸めること。

2.2.2. モータ・エンコーダ

- a) 原則として各軸は 5 相ステッピングモータにより駆動することとするが、ピエゾモータ等による駆動も差し支えない。
 - (ア) 回折装置本体と、モータ・エンコーダ・リミットスイッチのためのドライバ・コントローラ類を分離できるようにするため、それらをつなぐ配線上に大気側のコネクタを設けることで、ケーブルの脱着が可能であること。
 - (イ) モータからドライバ間およびリミットスイッチからコントローラ間のケーブル（真空側、大気側どちらも含む）、フィードスルー（フィードスルーは真空内機器の場合）、コネクタを含むこと。
 - (ウ)（5 相ステッピングモータの場合）「SPring-8 Beamline ステッピングモータ関係結線規格 Ver. 2.1」によること。コントローラ（仕様外）はツジ電子社製 PM16C-HW2、ドライバ（仕様外）は Melec 社製 Type I SP/Type III A/ Type II SPDC/Type II SPC を想定している。
 - (エ)（5 相ステッピングモータ以外の場合）対応するドライバ・コントローラも納品すること。
- b) θ 、 2θ 軸駆動軸に対して駆動時に衝突が発生しないよう、適切な対策を施すこと。
- c) 意図しない動作による故障を防ぐため、全軸のストローク両端にリミットセンサを備えること。
- d) TCP/IP または RS-232C 準拠のシリアル通信等によって、外部の制御 PC 等からリモート制御・データの取得が可能であること。

2.2.3. 真空容器

- a) 回折計として動作する機構を内蔵する真空容器は前面が開く扉を設けること。
- b) 据え付け後の下記各ユニット（2.2.4-6）のメンテナンスが容易になるような構造をもつこと。
- c) リークレート 1×10^{-10} Pa m³/sec 以下であること。真空ポンプ、真空計は支給する。
- d) モーター・リミットセンサ用、2.2.4 の検出器用のポートに加えて、以下に示す数量以上のポートを備えること。
 - (ア) 側面部
 - ① X線入射、出射用 ICF203 ポート（2 個、光軸を中心とすること。）。
 - ② クライオスタット導入用ポート（入射ポート周囲にあること）。
 - ③ 排気用 ICF152 ポート（2 個）、ICF203 ポート（1 個）。
 - ④ 予備 ICF114 ポート（3 個）、70 ポート（2 個）。
 - (イ) 前面部
 - ① ICF203 ポート（2 個）。

② ICF203 ポート（試料位置を向くこと。2 個）。

(ウ) 背面部

① ICF70 ポート（6 個）。

② ICF70 ポート（ 2θ 動作に同期して動くこと。2 個）。

- e) 真空容器内部に追加機器用のタップを適宜設けること。
- f) モーター・リミットセンサ用フィードスルーを備えること。
- g) 検出器用フィードスルーを設置するポートを有すること。これらのポートは検出器ユニット回転 2θ 軸に同期して回転することで、真空容器内部の配管などに真空漏れやゆるみなどが発生しない構造であること。検出器用のフィードスルーについては仕様外である。
- h) 真空容器の前面、背面、側面の関係を概念的に示す。詳細形状は必ずしも図 1 の四角形状である必要はなく円筒型、半月型等も許容する。

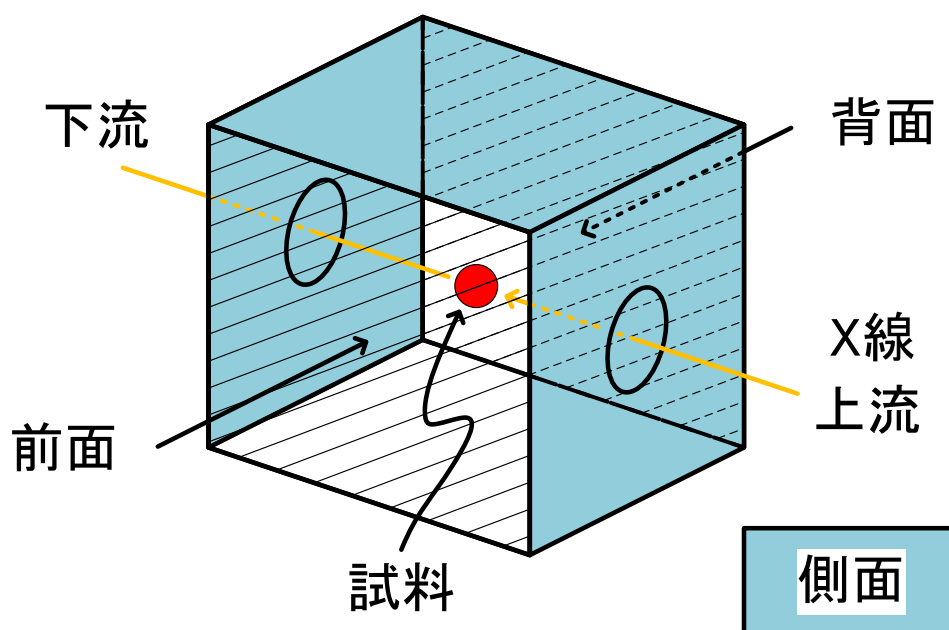


図 1 真空容器概念図

2.2.4. 検出器ユニット回転・並進軸および試料ユニット回転軸

- a) 検出器は縦振り（検出器受光面の法線が試料位置を中心に鉛直面内で回転する）であること。
- b) 魁サイエンティフィック社製 CITIUS280k 検出器（仕様外、真空仕様タイプ）を設置できること。
- c) 2.2.5、2.2.6 および前項の検出器が搭載された状態で、要求された性能にて各軸が駆動すること。
- d) 検出器には水冷配管、信号線、電力線等の接続が必要であるので、それらを固定して配線すること。これらは 2.2.3g のポートを通して大気側に取り出されること。
- e) 試料位置から検出面までの距離が 50-250mm の範囲をモータで駆動できること。
- f) 試料位置は θ 軸および 2θ 軸の回転中心とする。すなわち、 θ 軸と 2θ 軸の回転中心は一致する。
- g) θ 軸および 2θ 軸の回転中心は光軸上にあること。
- h) 表 2 の駆動軸を有すること。また参考図を図 2 に示す。

表 2 検出器ユニット駆動軸

軸名		ストローク	分解能 (pulse 換算)	最高速度
θ	試料ユニット回転	$-3^{\circ}\sim+93^{\circ}$ 以上	$\leq 0.01^{\circ}$	$\geq 0.1^{\circ}/\text{sec}$
2θ	検出器ユニット回転	$-3^{\circ}\sim+150^{\circ}$ 以上	$\leq 0.01^{\circ}$	$\geq 0.1^{\circ}/\text{sec}$
detectorZ	検出器光軸方向並進	230 mm 以上	$\leq 2\mu\text{m}$	$\geq 0.1 \text{ mm}/\text{sec}$

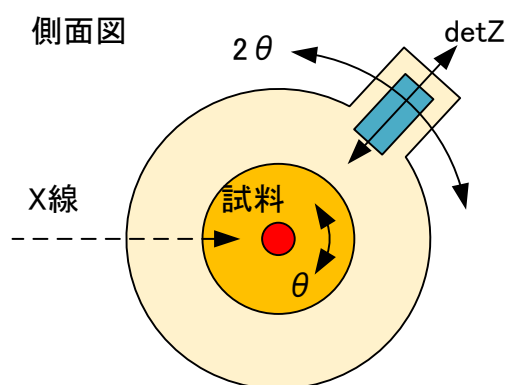


図 2 検出器ユニット参考図

2.2.5. 試料ユニット

- 試料荷重 0.1kg 以上で要求された性能にて各軸が駆動すること。
- 重心が回転中心にある場合の χ 軸および ϕ 軸上での耐荷重は 10 kg 以上であること。
- ステージ表面から光軸位置まで 50mm 以上であること。
- 試料ユニットは表 2 の θ 軸によって回転すること。
- 試料位置は χ 軸および ϕ 軸の回転中心とする。すなわち、試料位置は θ および 2θ 並びに χ および ϕ の回転軸上に存在する。
- χ 軸は θ 軸上に搭載されること。
- ϕ 軸は χ 軸上に搭載されること。
- 試料傾斜 2 軸および並進 3 軸は ϕ 軸上に搭載されること。
- χ 回転軸は光軸と一致すること。この位置を χ 軸原点とする。
- χ 軸原点位置で ϕ 回転軸は光軸と直交すること。
- 試料ユニット搭載時の χ 、 ϕ 軸回転に伴うたわみによる試料位置変動は 0.06mm 以下を目標とする。
- 表 3 の駆動軸を有すること。また参考図を図 3 に示す。

表 3 試料ユニット駆動軸

軸名		ストローク	分解能 (pulse 換算)	最高速度
sampleRx	試料傾斜	±2° 以上	≦ 0.01°	≧1°/sec
sampleRz	試料傾斜	±2° 以上	≦ 0.01°	≧1°/sec
sampleX	試料並進	±3 mm 以上	≦ 1μm	≧1 mm/sec
sampleZ	試料並進	±3 mm 以上	≦ 1μm	≧1 mm/sec
sampleY	試料並進	±2.5 mm 以上	≦ 1μm	≧1 mm/sec
φ	試料回転	±160° 以上	≦ 0.01°	≧1°/sec
χ	試料ユニット光軸回り回転	-3°~+93° 以上	≦ 0.01°	≧1°/sec

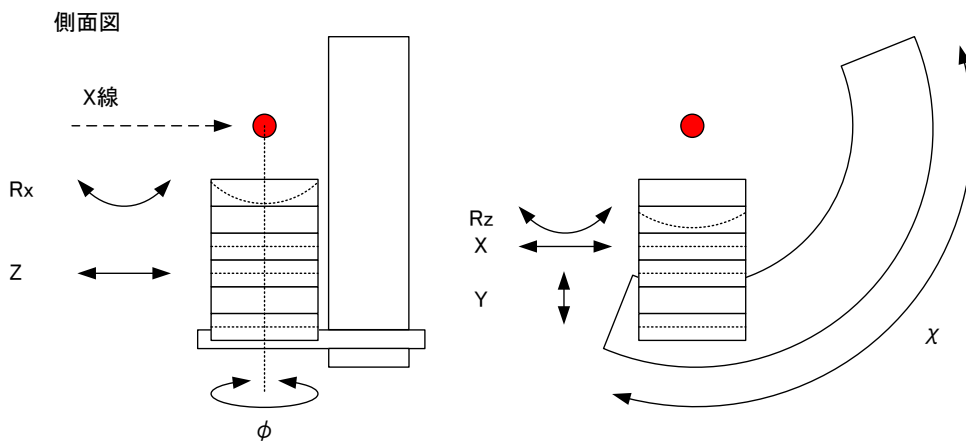


図 3 試料ユニット参考図

2.2.6. アクセサリユニット

- a) アクセサリユニットは 2θ 軸で回転すること。
- b) アクセサリユニットはスリットシステム、アナライザシステムからなる。
- c) アクセサリユニットは並進テーブル上に搭載され、スリットシステムモード、アナライザシステムモードおよび退避モードに切り替えられること。スリットシステムとアナライザシステムは同時に使用可能でなくともよい。
- d) 並進テーブルはスリット、アナライザシステムを搭載した状態で、要求された性能にて各軸が駆動すること。
- e) スリットシステム
 - (ア) 検出器に対して散乱光を制限する機能があること。
 - (イ) 光軸に対し上下流に配置された 2 連の 4 象限スリットで構成されること。
 - (ウ) 最大開口は水平方向 41mm×鉛直方向 29mm 程度であること。
 - (エ) 鉛直方向の開口はモータによって全閉から全開まで可変であること。
 - (オ) 2 連の 4 象限スリットのうちの少なくとも一台は、水平方向の開口が可変であること。
 - (カ) スリットブレードはテンダー-X 線での使用に適した材質と厚みであること。

f) アナライザシステム

(ア) 散乱光をアナライザ結晶（仕様外）のブラッグ反射を利用して、偏光を測定する機能を持つシステムである。

(イ) アナライザ結晶と検出器（仕様外）が一体となって、 ϕ 軸を中心に回転すること。

(ウ) アナライザ結晶の反射角をモータによって調整可能であること。

(エ) アナライザ結晶をのせるゴニオメータ（Huber 製 1001）を搭載可能であること。

g) 表 4 の駆動軸を有すること。

表 4 アクセサリユニット

軸名		ストローク	分解能 (pulse 換算)	最高速度
unitY	ユニット並進	200 mm 以上	$\leq 2 \mu\text{m}$	$\geq 0.1\text{mm/sec}$
slit1Upper	スリット 1 上	14.5 mm 以上	$\leq 2 \mu\text{m}$	$\geq 0.1\text{mm/sec}$
slit1Lower	スリット 1 下	14.5 mm 以上	$\leq 2 \mu\text{m}$	$\geq 0.1\text{mm/sec}$
slit2Upper	スリット 2 上	14.5 mm 以上	$\leq 2 \mu\text{m}$	$\geq 0.1\text{mm/sec}$
slit2Lower	スリット 2 下	14.5 mm 以上	$\leq 2 \mu\text{m}$	$\geq 0.1\text{mm/sec}$
polar ϕ	アナライザ ϕ 軸回り回転	$\pm 180^\circ$ 以上	$\leq 0.01^\circ$	$\geq 1^\circ/\text{sec}$
polarRx	アナライザ反射角	$\pm 1^\circ$ 以上	$\leq 0.01^\circ$	$\geq 1^\circ/\text{sec}$

2.2.7. 架台

a) 上記全ユニットを内蔵した真空容器を搭載すること。

b) ビームライン光学系のモードの変更による X 線ビームの移動に対応可能なように、以下に示す駆動範囲を持つこと。

c) アンカーなどによって床面に固定できること。

d) stageX1 と stageX2 は独立駆動であって、 $\pm 0.5^\circ$ 以上の真空容器の回転が可能であること。

e) stageY1 と stageY2 は独立駆動であって、 $\pm 0.5^\circ$ 以上の真空容器の傾斜が可能であること。

f) 表 5 の駆動軸を有すること。また参考図を図 4 に示す。

表 5 架台駆動軸

軸名		ストローク	分解能 (pulse 換算)	最高速度
stageX1	架台光軸水平方向（上流側）	$\pm 12\text{mm}$ 以上	$\leq 5 \mu\text{m}$	$\geq 0.01\text{mm/sec}$
stageX2	架台光軸水平方向（下流側）	$\pm 12\text{mm}$ 以上	$\leq 5 \mu\text{m}$	$\geq 0.01\text{mm/sec}$
stageY1	架台上下方向（上流側）	$\pm 12\text{mm}$ 以上	$\leq 5 \mu\text{m}$	$\geq 0.01\text{mm/sec}$
stageY2	架台上下方向（下流側）	$\pm 12\text{mm}$ 以上	$\leq 5 \mu\text{m}$	$\geq 0.01\text{mm/sec}$

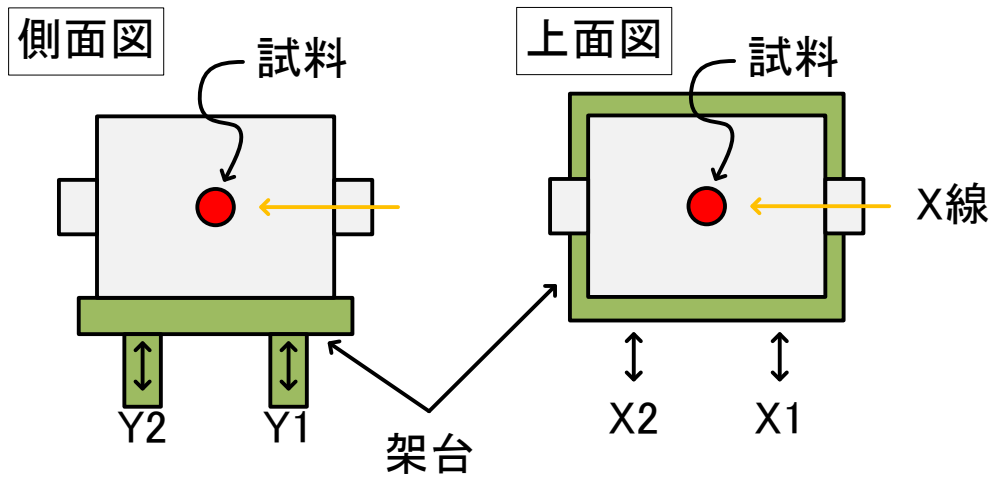


図 4 架台駆動軸参考図

2.2.8. 精度

2.2.8.1. 単軸

以下の表に示す精度をみますこと。

機構部	軸名	繰り返し位置決め精度	偏心精度
架台	stageX1	$\leq 10 \mu\text{m}$	—
	stageX2	$\leq 10 \mu\text{m}$	—
	stageY1	$\leq 10 \mu\text{m}$	—
	stageY2	$\leq 10 \mu\text{m}$	—
検出器ユニット	θ	$\leq 0.01^\circ$	$\leq 0.030\text{mm}$
	2θ	$\leq 0.01^\circ$	$\leq 0.060\text{mm}$
	detectorZ	—	—
アクセサリユニット	UnitY	—	—
	slit1Upper	—	—
	slit1Lower	—	—
	slit2Upper	—	—
	slit2Lower	—	—
	polar ϕ	—	—
	polarRx	—	—
試料ユニット	sampleRx	—	—
	sampleRz	—	—
	sampleZ	—	—
	sampleX	—	—
	sampleY	$\leq 1 \mu\text{m}$	—
	sample ϕ	$\leq 0.01^\circ$	$\leq 0.03\text{mm}$

	sample χ	$\leq 0.01^\circ$	$\leq 0.03\text{mm}$
--	---------------	-------------------	----------------------

2.2.8.2. 回転中心軸一致度

- a) θ 、 2θ 軸（2軸）の回転中心のずれが 0.1mm 以下であること。
- b) θ 、 χ 、 ϕ 軸（3軸）の回転中心軸一致度が 0.06 mm 以下であること。
- c) θ 、 2θ 、 χ 、 ϕ 軸（4軸）の回転中心軸一致度が 0.1mm 以下であること。

（要求者）

部課（室）名： NanoTerasu センター
高輝度放射光研究開発部 ビームライングループ
氏 名： 山本 航平

以上

選定理由書

1. 件名	テンダーX線用回折装置の製作
2. 選定事業者名	神津精機株式会社
3. 目的・概要等	本件は、3GeV 高輝度放射光施設 NanoTerasu に整備するテンダーX線用回折装置の整備を行うものである。
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2号③(技術的な理由により競争が存在しない物品等又は特定役務)
5. 選定理由	<p>回折計は、2.1～20 keV の X 線を用いて結晶・界面・薄膜などの回折・散乱現象を詳細に解析し、原子レベルからミクロスケールまでの構造を明らかにすることを目的とする多極ウィグラーを光源とした共用ビームライン (11W) の主要なエンドステーション機器である。</p> <p>この装置には、試料および検出器の多数の角度・並進軸を 90～150 度以上の広範囲にわたり高精度に駆動する機構が要求される。特に本装置は重力に逆らう方向に検出器を動かす縦型回折計でありながら、θ および 2θ 軸の偏心精度 $60\mu\text{m}$、中心軸一致度 0.1mm という高精度な仕様を満たさなければならない。さらにテンダーX線を用いるためには、入射ポートから試料、検出器までの光路一切を高真空環境に保持する構造が必要である。</p> <p>本装置は限られた実験スペースでこれらの高精度・高真空度を達成しなければならない。特に、上流側光学系により試料位置の高さは 1.4m 程度となるため、架台、真空容器、回折計をコンパクトに設計することが必要である。同軸構造による二軸一体型の高真空対応の中空回転ステージの採用により、高剛性を確保することがこれらの条件を満たす鍵となる。この構造の実現には、真空内外を貫通する中空シャフトによる高精度な回転伝達と冷却水管導入機構を両立する高度な真空装置設計が不可欠となる。加えて、本件回折計には、複数のモーターを駆動した際の複合的な精度が担保されている必要がある。</p> <p>上記の高真空・高精度・高剛性を満たす同軸中空回転ステージの技術や小型高精度ステージ、架台は、神津精機株式会社独自の設計と製造技術によってのみ実現している。同社は特開 2012-61530 (P2012-61530A) に示されるように、精密ステージの小型化を実現する独自技術を持つとともに、薄型架台の設計製造ノウハウを持つ。加えて、本件回折計で要求される複合的な動作精度を保証するために、オートコリメータを利用</p>

した複合的な面・芯ぶれ精度を計測・調整する独自手法を同社は有している。これらのノウハウは長年にわたり国内外の放射光施設向け装置の納入実績を通じて蓄積されたもので他社には存在しない。

以上の理由から、本件の仕様を満たし、要求される性能を確実に実現できる専門的技術的能力を有するのは、神津精機株式会社が唯一の者であると認められるため、同社を選定事業者とするものである。