

SX イメージングビームライン用 楕円偏光アンジュレータの整備

Manufacturing of an Elliptical Polarized Undulator for an SX imaging beamline

仕様書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

1 一般仕様

1.1 件名

SX イメージングビームライン用楕円偏光アンジュレータの整備

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（以下、「QST」という。）が整備する 3GeV 高輝度放射光施設ナノテラス（以下、「ナノテラス」という。）において、SX イメージングビームライン用光源として利用する、楕円偏光アンジュレータ（Elliptical Polarized Undulator。以下、「EPU」という。）を整備するものである。

1.3 仕様範囲

- | | |
|-------------|-----|
| (1) EPU の製作 | 1 台 |
| (2) EPU の設置 | 1 台 |

必要な材料手配、製作、試験、梱包、輸送、搬入、据付等一切を行うこと。

- ・据付調整作業に必要な一切の測量機器（トランシット、鉛直器、オートレベル、レーザートラッカー、水準器、治具等）並びに据付作業に必要な一切の部品、工具及び消耗品など、本案件を遂行するために必要な全ての物品及び操作者は、受注者側で準備すること。
- ・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 納入期限

令和 11 年 3 月 23 日（金）

ナノテラスでは放射光施設としての利用が開始されていることから、蓄積リングトンネル内での機器の据付などが可能な期間は加速器停止期間に限られる。EPU 本体の指定する場所への据付は、令和 10 年 12 月から令和 11 年 1 月までの期間とする。なお、事前の準備、コンポーネント等の搬入はこの限りでない。物品製造後、納入までの保管は、受注者が行うこと。保管の際は、錆が生じないように、処置を行うこと。詳

細なスケジュールは、契約後に打合せのうえ決定する。

1.5 納入場所

宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 468-1 ナノテラス内の指定する場所

1.6 納入条件

施設内の指定納入場所へ搬入後、自重による撓みでアンジュレータとしての性能を損なうことがないように、据付、最終アラインメントを行った上で引き渡しを行うこと。試験検査成績書を納入すること。

1.7 検査条件

以下の検査を行う。

1.7.1 製作時

物品製作段階にて 2.5.1 節に記載した項目について試験を行うこと。事前に試験検査要領書を提出し QST 担当者の確認を得ること。試験検査要領書に基づき試験を実施し、試験検査成績書を作成・提出すること。試験には必要に応じて QST 担当者が立会いをする。

1.7.2 搬入時

- (1) 員数検査：各製品の員数を確認する。
- (2) 外観検査：有害なキズや変形などが無いことを確認する。
- (3) 寸法検査：規格どおりの寸法となっていることを確認する。

1.7.3 設置時

設置時に 2.4 節に記載した項目について試験検査を行うこと。事前に試験検査要領書を提出し QST 担当者の確認を得ること。試験検査要領書に基づき試験を実施し、試験検査成績書を作成・提出すること。試験には原則 QST 担当者が立会いをする。

1.7.4 合格判定条件

各試験検査に合格し、提出図書の完納をもって検査完了とする。

1.8 保管条件

室温 5℃から 40℃の室内で、結露しないという保管条件下で、梱包をほどこすこと。

1.9 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。

1.10 提出図書

以下の書類を提出すること。

表：提出図書リスト

	図書名	提出時期	電子ファイル提出	部数
①	製作工程表	契約後速やかに	WORD (EXCEL), PDF	3 部
②	契約仕様書	契約後速やかに	WORD (EXCEL), PDF	3 部
③	打合せ議事録	実施の都度	WORD (EXCEL), PDF	1 部
④	各種構造図及び全体確認図	製作前	2D-CAD, 3D-CAD, PDF	1 部
⑤	工場試験検査要領書	試験前	WORD (EXCEL), PDF	1 部
⑥	工場試験検査成績書	試験後	WORD (EXCEL), PDF	1 部
⑦	現地試験検査要領書	試験前	WORD (EXCEL), PDF	1 部
⑧	現地試験検査成績書	納入時	WORD (EXCEL), PDF	1 部
⑨	完成図（決定図）	納入時	2D-CAD, 3D-CAD, PDF	1 部
⑩	定期保守作業要領書 （取扱い説明書）	納入時	WORD (EXCEL), PDF	1 部
⑪	吊り上げ作業要領書	納入時	WORD (EXCEL), PDF	1 部
⑫	完成図書	納入時	WORD (EXCEL), PDF	3 部

- ・ 提出図書①及び②は、契約後速やかに A4 紙に印刷したもの 3 部と電子ファイルを提出すること。電子ファイルは (WORD あるいは EXCEL ファイルと PDF) とする。
- ・ 提出図書③～⑧は提出時期都度、A4 紙に印刷したもの (大型図面は A3 に印刷し 2 つ折りにしたもの) 1 部と電子ファイルを提出すること。電子ファイルは (WORD あるいは EXCEL ファイルと PDF) とする。
- ・ ⑫完成図書は①～⑪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

たものとする。必要に応じて分冊すること。大型図面④及び⑨は折りたたんで収納すること。文字が判読できない縮小図は不可とする。

- ・ 提出された 3D-CAD ファイル及び 2D-CAD ファイルの全体平面図及び全体側面図は周辺機器との干渉や取合いを確認するために使用される。これらは総合図に統合後に、使用を本プロジェクトのみに制限した上で、関係する他の会社へ渡すことがあるため、必要に応じて、支障のない総合図用のファイルを提出すること。

(提出場所)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

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)

「確認」は次の方法で行う。

QST は、確認のために提出された図書を受領したときは、期限日を記載した受領印を押印して返却する。また、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。

1.11 貸与品

以下の品目について貸与する。

表：貸与品リスト

	品名	数量	備考
①	建屋クレーン	1 式	
②	レーザートラッカー	1 式	
③	ローカルコントローラ	1 式	注 1
④	つり上げ治具	1 式	注 2

工場等、所外に持ち出す場合は、受注者において持ち出すこと。持出方法を事前に QST 担当者と打合せること。

注1: ③のローカルコントローラが使えない場合は受注者が準備すること。

注2: アタッチメントが必要な場合は製作すること。使用しない場合は受注者が準備すること。

1.12 品質管理

本品の製作に係る設計・製作・据付等は、全ての工程において、(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) 監査の事項等について十分な品質管理を行うこととする。※全て網羅しなくとも可。品質保証計画書を提出により確認することでも可。

1.13 適用法規・規格基準

本品の設計・製作・試験検査にあたっては、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) 労働安全衛生法
- (2) 日本工業規格（JIS）
- (3) 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

1.14 知的財産権等

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。

1.15 機密保持

受注者は、本品の製作にあたり、発注者から知り得た、とくに QST 向けの設計や加工に関する情報については、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、あらかじめ QST 担当者の了承を得た場合にはこの限りでない。

1.16 安全管理

1.16.1 一般安全管理

- (1) 本品の製作・据付作業に際し綿密かつ無理のない工程を組み、材料、労働安全対策等の準備を行い、作業の安全確保を最優先としつつ、迅速な進捗を図るものとする。また、作業遂行上既設物の保護及び第三者への損害防止にも留意し、

必要な措置を講ずるとともに、火災その他の事故防止に努めるものとする。

- (2) 作業現場の安全衛生管理は、法令に従い受注者の責任において自主的に行うこと。
- (3) 受注者は、作業着手に先立ち QST 担当者と安全について十分に打合せを行った後着手すること。
- (4) 受注者は、ナノテラスでの作業においては作業現場の見やすい位置に、作業責任者名及び連絡先等を表示すること。
- (5) 作業中は、常に整理整頓を心掛ける等、安全及び衛生面に十分留意すること。
- (6) 受注者は、本作業に使用する機器、装置の中で地震等により安全を損なう恐れのあるものについては、転倒防止策等を施すこと。
- (7) ナノテラスにおける据付作業にあたっては、ナノテラス作業ルール及び手引きに従うこと。

1.16.2 放射線管理

- (1) 本仕様の一部には放射線管理区域内での作業が含まれる。当該作業にあたっては、放射線作業従事者登録が必要であることに留意すること。
放射線管理及び異常時の対策は、QST の指示に従うこと。

1.17 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）が発生する場合は、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。

1.18 その他

- (1) 権利の帰属： 本仕様書によって発注者から特別に提案したノウハウをも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。資料等から波及する特許の行使権は、QST に帰属する。
- (2) 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、必要に応じて QST 職員の指示する日時・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。搬入、据付、真空立上げ、ユーティリティ敷設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行うこと。議事内容や決定

事項を議事録として毎回提出すること。打合せ時の使用言語及び技術資料、議事録の使用言語は日本語とする。なお、第 1 回打ち合わせ(キックオフミーティング)は受注後 1 ヶ月以内に行うこと。

- (3) 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 担当者に報告すること。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 担当者と協議のうえ、その決定に従うものとする。機器構成を含む詳細については、QST 担当者の指示に従うこと。また、
- (4) 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。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 担当者に報告すること。

2 技術仕様

2.1 一般事項

- (1) 事前確認項目：以下の項目について製作前に確認を得ること。
 - ① 外観図
 - ② 部品配置図
 - ③ 使用部品の性能データ
- (2) ボルト規格：各部品の組立や締結はメートル規格のボルト類を使用して行うこと。
- (3) 会議打合せの開催：工程、詳細設計及び試験等に関する技術打合せを、必要に応じて月に 1 回程度、QST 担当者が指示する日時・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。搬入、据付、など現場での工程管理を行い、他の作業などとの調整も行うこと。議事内容や決定事項を議事録として毎回提出すること。打合せ時の使用言語及び技術資料、議事録の使用言語は日本語とする。必要に応じて Web 会議システムなどの利用を認める。

2.2 運転あるいは使用条件

本件で製作する EPU はナノテラス加速器トンネル内に設置される。この保管場所（搬入口から途中の作業エリア、設置場所を含む）は室温 5℃から 40℃の屋内であることを想定し、防湿と防錆を考慮した状態で納入すること。

2.3 各部仕様

2.3.1 座標系

本仕様書で利用する座標系を図 2 に示す。電子ビームの主たる進行方向を z 軸、これに直交する水平方向を x 軸、鉛直方向を y 軸と定義する。また、これらの原点をアンジュレータ磁場の中心位置で定義する。

2.3.2 概略及び部品名

EPU の外観図を図 3 に示す。また同図に、アンジュレータを構成する代表的な部品類の名称も併せて示し、それらの基本機能について以下で説明する。なお、図 3 に明示されていない部品類についても、以下の説明を参照すること。

ボールねじ及びリニアガイドで構成されるギャップ開閉機構を備えた複数の支柱が共通ベースの上に設置され、これと、磁石列を保持するクロスビームが締結される。

上記ボールねじはセルフロック性を有するウォーム減速機、カップリング、シャフト等を介してステッピングモータに締結され、同モータの回転によりギャップ開閉を行う。磁石列はAPPLE型磁気回路を構成し、上下それぞれ2列に分割される。以下、これらをそれぞれ磁石列A（上部左=x方向負&y方向正、以下同様）、B（上部右）、C（下部左）、D（下部右）と称する。磁石列B及びC（あるいはA及びD）は、ギャップ開閉機構と同様にステッピングモータで駆動されるz軸方向への移動機構に取り付けられており、磁石列A及びD（あるいはB及びC）との相対距離（以下、位相）に応じて水平偏光、垂直偏光、左右円偏光特性を有する放射光の生成が可能な構造とする。なお、最大移動距離はEPUの磁場周期以上とする。ギャップ及び位相はステッピングモータの回転角度を絶対値型ロータリーエンコーダにて計測する形態とすること。

なお、EPUを構成する部品類は、故障の際にEPU本体を速やかに復旧することができるよう、一般的かつ入手が容易なもの（若しくは代替品の入手が容易なもの）を選定すること。また、磁石列の予備品として、EPUの1周期分（磁石ブロック16個、ホルダーを含む）を納品すること。

2.3.3 主要外形寸法及び重量

全てのEPUについて、床面から磁場中心までの高さを1200mmとする。磁石列及びクロスビームの全長は、位相駆動の全範囲において真空槽（仕様外）の端部フランジ（内側のフランジ面間距離は約4200mm）と干渉しない条件で、磁場周期数が最大となるよう設計すること。設置場所における制約から、全高を2300mm以下、磁場中心から支柱側への幅を1000mm以下、これと逆方向への幅を400mm以下とする（目標値）。外形寸法の詳細については別途協議して決定する。

EPUの主要なアンジュレータパラメータを表1に示す。

表1. 主要アンジュレータパラメータ

		備考
周期長 (mm)	56	
磁石列全長 (mm)	3976	参考値。後述するマジックフィンガーを含まない。
最小ギャップ (mm)	15	
最大ギャップ (mm)	220	
最大偏向定数(K値)	4.62	ギャップ15mm、水平偏光モードでの値。

2.3.4 駆動架台

駆動架台の基本構造としてC型（片持ち支持）構造を採用し、2.3.5節～2.3.8節で述べる機械的仕様を満たすように設計を行うこと。これらを満たすために、磁場吸引力を相殺し機械負荷を軽減するためのバネの使用を認める。また、共通ベース、ク

ロスビーム及び支柱の各所に付加機器を設置するための M8 タップ穴（合計 40 か所程度）を設けること。位置については別途協議する。EPU のギャップ間は図 4 に示す断面形状の真空槽（仕様外）が挿入されるため、架台が真空槽及び真空槽支持架台と物理的に干渉しないように調整機構を含め設計すること。

EPU は、蓄積リングの指定する場所でアンカーを用いて床面に固定できること。床面固定に必要なアンカー穴の位置や大きさなどの情報を、令和 10 年 7 月までに QST 担当者に連絡すること。

2.3.5 ギャップ開閉動作

上下磁石列のギャップ開閉動作に関する機械的仕様を以下に示す。

- | | |
|-------------------|------------------|
| (1) 開閉範囲 | 15mm～220mm |
| (2) 設定分解能 | 1 μ m 以下 |
| (3) 再現性 | $\pm 2 \mu$ m 以下 |
| (4) 設定値からの偏差(無負荷) | $\pm 10 \mu$ m |
| (5) 最大開閉速度 | 2mm/s 以上 |

なお、最大開閉速度は、ギャップ 15mm～40mm の範囲では 0.5mm/s 程度、ギャップ 40mm～220mm の範囲 1.5mm/s 程度を可とする。ただし、ギャップ 40mm～220mm の範囲においては 1mm/s を下回らないこと。

2.3.6 位相駆動動作

磁石列の位相駆動動作に関する機械的仕様を以下に示す。

- | | |
|-------------------|------------------|
| (1) 移動距離 | 56mm |
| (2) 設定分解能 | 1 μ m 以下 |
| (3) 再現性 | $\pm 2 \mu$ m 以下 |
| (4) 設定値からの偏差(無負荷) | $\pm 10 \mu$ m |
| (5) 最大駆動速度 | 2mm/s 以上 |

2.3.7 機械的剛性

ギャップ開閉並びに位相駆動による機械負荷の変化に伴う、機械的変形に関する許容値を以下のとおりとする。

- (1) 2.3.9 節に示す各測定点について上下磁石列間ギャップの最大値と最小値の差が 100 μ m 以内
- (2) 2.3.9 節に示す各測定点について左右磁石列間ギャップの最大値と最小値の差が 100 μ m 以内
- (3) クロスビームの x 軸方向への傾斜が $\pm 50 \mu$ m/m 以内

2.3.8 位置調整機構

施設の蓄積リング内所定位置に設置しアラインメントを行うための位置調整機構を備えること。平行移動の2軸（x、z軸）方向及び回転3軸方向について、それぞれ±5mm程度の位置調整が可能であること。また、垂直方向（y軸）の位置については、蓄積リング床面の凹凸を考慮し、±15mmの調整が可能であること。また、上側クロスビーム上面に、EPU全体の水準を計測するための基準面を設けること。

2.3.9 磁石列

磁石列は、永久磁石ブロック及びこれを保持しクロスビームに取り付けるためのホルダーで構成される。永久磁石ブロックの材質、外形寸法及び数量は、EPUについて表1に示した仕様を満たすように決定すること。ただし永久磁石材料は、保磁力(H_{cj} 、Intrinsic Coercivity)が23kOeを超えるものを選定すること。また、永久磁石ブロックには錆止め用のコーティング処理を施すこと。ホルダーの材質はSUS316Lとし、外形寸法及び数量は表1に示した仕様を満たすように決定すること。磁石ブロック及びホルダーのクロスビームへの固定はクランプ及びボルトを利用すること。製作時に補助的に接着剤を使用することは可能だが、本EPU運用時にEPUが効力を失わないように機械的固定すること。また、EPUには図4に示す断面形状の真空槽（仕様外）が挿入されるため、真空槽と物理的に干渉しないように磁石列及び位相駆動機構を設計すること。なお、真空槽表面(上下面)には、図にないカレントストリップワイヤ(約0.3mm)が接着されているので留意すること。

永久磁石及びホルダーをクロスビームに取り付けた後、15mm、20mm、30mm、50mm、80mmの各ギャップ及び水平、垂直、左右円偏光の各偏光モードにおいて、磁場分布及び磁場積分を測定し、以下の仕様を満たすことを確認すること。必要に応じて、磁石ブロックの交換、反転、シム挿入などによる磁場調整を行うこと。また、磁石列上下流端部に、多極磁場補正用チップ磁石ホルダー（通称マジックフィンガー）を装着することを認める。

- (1) 電子軌道偏差（平均値からの偏差）：最小ギャップにおける軌道振幅の5倍以下
- (2) RMS 位相誤差：6度以下（左右円偏光モードは除く）
- (3) 多極磁場積分（水平、垂直磁場とも）
 - ① 2極 (Dipole) 50 G・cm 以下
 - ② 4極 (Quadrupole) 100 G 以下（目標値 50 G 以下）
 - ③ 6極 (Sextupole) 100 G/cm（目標値 50 G/cm 以下）

上記の内、2極成分についてはEPUに設置された補助的電磁石の励磁電流の調整による補正を認める。その場合、電磁石及び電源を別途納品すること。ただし、同電磁石による追加補正の最大値は50G・cmとする（すなわち、磁石列及びマジックフィン

ガーによる 2 極成分が 100G. cm 以下となるよう補正すること)。多極磁場成分を計算する x 軸方向の範囲を、 $x=\pm 15\text{mm}$ とする。

多極磁場積分は、ストレッチワイヤー法などにより、異なる x 座標において測定された磁場積分の多項式フィッティングにより求めること。測定範囲及び間隔については別途協議する。

なお、上記仕様を満たす限り、永久磁石ブロックの磁化ベクトルの偏差の許容値や寸法公差、調整に利用するシム板の寸法及びホルダーの寸法公差は指定しない。ただし、表 1 で指定した最大偏向定数が、実ギャップ 15mm 以上で得られることを確認すること。ここで実ギャップとは、上側磁石列を構成する磁石ブロックのうち表面がビーム軸に最も近いブロックと、下側磁石列のそれとのギャップとして定義する。これにより、真空槽が挿入されるスペースの垂直 (y 軸方向の) 開口が 15mm 以上であることを担保すること。

2.3.10 制御系

ギャップ開閉及び位相駆動のいずれもステッピングモータにより行う構造とする。2.3.5 節及び 2.3.6 節で記載した仕様を満足するため、ギャップや偏光モードに関する各種条件で磁場吸引力（もしくは反発力）を計算し、必要なトルクや回転速度、分解能を有するステッピングモータ及びモータードライバを選定すること。モータードライバはフルステップでの使用で所定の設定分解能が得られるものを選定し、EPU 本体の納入時に軸数分納入すること。また、ドライバはラインドライバからの差動信号によるパルス列入力で動作すること。

ギャップ値や位相値を計測するために、各駆動軸のモータのシャフトにロータリーエンコーダを機械的に連結すること。ギャップ及び位相の各駆動軸について 2 個の（メイン及び予備）エンコーダを取り付けること。すなわち、 $1(\text{ギャップ}) \times 2 + 2(\text{位相}) \times 2 = 6$ 個のエンコーダが必要である。また、高放射線環境である蓄積リングで長期間にわたる運用を可能とするため、各エンコーダは厚さ 5mm の鉛で遮蔽し、さらに故障の際に蓄積リングに設置した状態で交換が可能な構造とすること。なお、ロータリーエンコーダは、施設における制御系統との互換性を担保するため HENGSTLER 社製アブソリュートエンコーダ AC58/EtherCAT シリーズから選定し、設定分解能（ギャップ値及び位相値とも $1\mu\text{m}$ ）以下で測定が可能な機種を選択すること。

運転中の各ステッピングモータの回転角をモニターするため、以下の仕様を満たすレゾルバをシャフト軸に取り付けること。

- | | |
|----------------|----------------------|
| (1) 機能： | 1X-BRX（1 相入力/2 相出力） |
| (2) 励磁側： | R1-R2（ロータ） |
| (3) 入力電圧： | AC 7Vrms 10kHz |
| (4) 入力インピーダンス： | $140\Omega \pm 20\%$ |

参考のため、上記仕様を満たすレゾルバとして多摩川精機 TS2605N1E64（もしくは、メレック社製 DH492-03/GD-5610v1(仕様外)に接続して使用可能なもの）を挙げる。

位相値エンコーダの補助機として、光学式リニアエンコーダ(RENISHAW 社: リニアエンコーダシステム相当品)を上下位相器部に取り付けること。また、各エンコーダは厚さ 5mm の鉛で遮蔽し、さらに故障の際に蓄積リングに設置した状態で交換が可能な構造とすること。

2.3.11 位置センサ及び配線

ギャップ開閉や位相駆動が可能な範囲を制限するためのリミットスイッチを取り付けること。各軸につき、高精度型（繰り返し精度 $10\mu\text{m}$ 以下）及び堅牢型（放射線環境下での耐久性を考慮して選定、繰り返し精度 0.2mm 以下）の 2 種類を使用し、高精度型が故障した状態でも安全な動作が可能であるように設計すること。これらのリミットスイッチの接触形式はノーマルクローズとする。これらに加え、ギャップ開閉及び位相駆動を機械的に停止するハードストップを設けること。また、EPU のギャップが最大値まで開いた状態にあることを担保するためのリミットスイッチ（Gap Full Open スイッチ: GF0 スイッチ）を取り付けること。GF0 スイッチのストローク（動作後の可動距離）は 2.5mm 以上で、接触形式はノーマルオープンとする。

上記で述べた各スイッチ（ハードストップを含む）は表 2、3 に示す値よりも広い範囲で動作ギャップ及び動作位相の調整が可能な構造とすること。また、施設への EPU 納入時には、動作位置を表 2、3 に示す値に設定しておくこと。

意図しない動作による人的被害及び機械的損傷を最小限にとどめるために、ギャップ開閉や位相駆動を手動で緊急に停止するための非常停止ボタンを 2 か所設けること。設置場所や配線については別途協議する。

表 2. ギャップ開閉制限用センサ設定値（単位は mm）

スイッチ種類	閉側動作位置	閉側設定範囲	開側動作位置	開側動作範囲
高精度型	14.9	14~16	220.1	100~221
堅牢型	14.8	14~16	220.5	100~221
ハードストップ	14.5	13~15	221	100~221
GF0 スイッチ	NA	NA	219.5	100~220

表 3. 位相駆動制限用センサ設定値

スイッチ種類	最小動作位置(mm)	最大動作位置(mm)	設定可能範囲(mm)
高精度型	-28.1	+28.1	± 0.5
堅牢型	-28.2	+28.2	± 0.5
ハードストップ	-30	+30	± 2.5

モータのリード線、エンコーダ及びリミットスイッチの信号線は、駆動架台支柱裏側に取り付けた中継端子盤に集約すること。中継端子盤におけるピンアサインについては別途協議する。配線に使用するケーブルやコネクタの材質としては、耐放射線性に優れたポリエチレン製コネクタ・ケーブル（エコケーブル）を使用すること。また、各エンコーダへの配線は以下の仕様を満たすノンハロゲン EtherCAT 対応ケーブルを用いて行うこと。参考のため、これらの仕様を満たすものとして、JMACS 株式会社製コネクタケーブル、EM PNET26/B/F-12M-12M-***C（***はケーブル長）を挙げる。

- (1) 材質：ノンハロゲン耐燃性ポリエチレン
- (2) 難燃性：JIS C 3005 及び UL1581 1080 VW-1 Flame Test を満足すること
- (3) 通信性能：カテゴリ 5e 相当

2.3.12 ローカルコントローラ

受注者工場における磁場測定や動作試験及び施設における試験運転の際に利用するローカルコントローラを貸与する。貸与品を使用しない場合は下記の機能を満たすローカルコントローラを準備すること。

- (1) ギャップ値の設定及び現在値の表示（予備エンコーダによる計測値を含む）
- (2) 位相値の設定及び現在値の表示（予備エンコーダによる計測値を含む）
- (3) ギャップ開閉及び位相駆動速度の変更
- (4) 各リミットスイッチのステータス表示
- (5) パーソナルコンピュータによるリモート制御（通信規格 USB）

2.3.13 入力電源

モータドライバ及びローカルコントローラの入力電源として、AC100V 単相 50Hz が利用可能であること。

2.4 設置

本節で示す仕様に基づいて EPU を 1 台据付けること。

2.4.1 クレーンによる吊り上げと施設内搬入

内周作業エリアへの搬入時には 15 トンクレーンが利用可能であるが、長尺かつ大重量の EPU を対象としたクレーン操作には十分な留意が必要である。また、自重による駆動架台への負荷で塑性変形が起こらない方式で吊り上げ作業を行う必要がある。安全上の理由から、吊り天秤と複数のチェンブロックを EPU ベースと連結し、これらの張力を調整することで重心を取る簡易的な方式は許可しない。受注者はこれらの

ことに留意して駆動架台の設計を行い、クレーンによる吊り上げの方針を決定の上、施設への納入前に QST 担当者に報告し、承認を受けること。同方針は「吊り上げ作業要領書」として納品時に提出すること。吊り上げ作業は EPU 各機器と干渉しない方式で行う必要があることに注意すること。必要に応じて吊り上げ作業専用治具を製作し、EPU 本体と同時に納入すること。ただし、この場合、専用治具と EPU 本体との重量の和が 15 トンを超えないこと。

搬入経路は図 1 を参照のこと。搬入口から内周作業エリア(地上 1 階)までには地下通路を経由する。地上と地下の間は 15 トンクレーンを利用できる。地下通路には防火戸(W3500mm×H3500mm)が 2 か所設置されている。地下通路には運搬用クレーンはない。

2.4.2 レーザートラッカー用ターゲット治具の設置と計測

2.5.2 節の試験を行い不具合がないことを確認したのち EPU 駆動架台に設けられた M8 タップ穴を利用して、レーザートラッカー用ターゲットを設置するための治具を取り付けること。また、上下クロスビームの基準位置を計測し、EPU の磁場中心を原点とする座標系におけるレーザートラッカー用ターゲットの位置座標を計測しておくこと。同座標は、EPU の蓄積リングにおけるアライメント作業(2.4.3 節)の際に利用する。なお、レーザートラッカー用ターゲットの取付け位置や取付け治具の形状については別途協議する。

2.4.3 蓄積リング設置アライメント

2.4.2 節の計測を行った後、蓄積リングの指定する場所に EPU を据付る。蓄積リングトンネルは既に加速器が設置されており、通路幅は 1300mm 程度である。蓄積リングトンネル内での移動は加速器機器を損傷することのないように、十分注意して行うこと。

EPU を据付る蓄積リング長直線部には真空槽(仕様外)が設置されている。図 3 のように上下磁石列が真空槽を挟み込む。真空槽本体の中心軸と EPU 磁石列の中心軸を一致させるためのアライメントを行うこと。アライメントはレーザートラッカー用ターゲットの基準座標(2.4.2 節)と、蓄積リングトンネル内部に設けられた基準点を利用して、以下の精度で行うこと。

- | | |
|-----------------------|--------------|
| (1) 水平位置 | ±0.2 mm 以下 |
| (2) 垂直位置 | ±0.05 mm 以下 |
| (3) ビーム進行位置 | ±0.5 mm 以下 |
| (4) 水平度(水平方向・ビーム進行方向) | 0.02 mm/m 以下 |

なお、水平度は EPU 駆動架台の上側クロスビームに設けられた基準面で計測すること。水準器は受注者が用意すること。

アライメントの合格基準として、EPU の磁石列ギャップを 15 mm に設定し、真空

槽の上下面にカレントストリップ（仕様外）を接着した状態で、真空槽本体上下部に厚さ0.1 mm の非磁性金属製シム板を挿入し、これがEPUの軸方向にスムーズに移動できることを確認すること。この確認作業は、4つの異なる位相値（0、90°、180° 及び-90° ）について行うこと。なお、位相値とはEPU 磁石列の軸方向に沿った相対位置を意味する。相対位置の変更は別途貸与する2.3.12節で記載したローカルコントローラで行うこと。測定結果を記録すること。

2.5 試験

試験項目を以下に示す。詳細については、試験検査要領書に示し確認を得ること。

2.5.1 受注者工場での試験

EPU について受注者工場において以下の試験を行い、QST 担当者の確認を得た上で、その結果を試験検査成績書に記載すること。必要に応じて、QST 担当者の立会いの下で検査を行うこと。

(1) 磁石材質の試験

選定した磁石材質の性能を評価するため、磁化曲線（JH カーブ）を測定し、保磁力が 23 kOe 以上であることを確認すること。

(2) 磁場性能試験

- ① 2.3.9 節で記載した複数のギャップ及び偏光モードにおける、z 軸に沿った磁場分布と位相誤差分布（RMS 値を含む）の測定。アンジュレータ磁場中心位置（ $x=y=0$ ）において測定を行うこと。
- ② アンジュレータ磁場中心位置からメッシュ状の位置（ $-15\text{ mm} \leq x \leq 15\text{ mm}$, $-15\text{ mm} \leq y \leq 15\text{ mm}$, 3 mm 間隔程度、ギャップ 3 点程度、4 つの異なる位相値（0、90°、180° 及び-90° ））において測定を行うこと。測定点の詳細については打合せの上決定する。
- ③ 2.3.9 節で記載した複数のギャップ及び偏光モードにおける、x 軸に沿った磁場積分分布と多極磁場積分の測定。アンジュレータ磁場の垂直中心（ $y=0$ ）において測定を行うこと。
- ④ 上記①の測定結果から計算されたピーク磁場の平均値に最も近い磁場を発生する z 座標における、ギャップを関数とした磁場強度の測定。測定ギャップ点数は 100 点とし、最小ギャップから最大ギャップまで対数的に間隔を変更する（隣接する 2 点の測定ギャップの比が一定である）こと。2.3.9 節で記載した複数の偏光モードにおいて測定を行うこと。なお、左右円偏光モードにおいては、垂直磁場及び水平磁場の両方について測定を行うこと。
- ⑤ 上記③と同様の条件で、位相を関数とした磁場強度の測定。2.3.9 節で記載

した複数のギャップにおいて測定を行うこと。測定位相点数は 100 点とし、最小位相から最大位相まで一定の間隔で測定すること。垂直磁場及び水平磁場の両方について測定を行うこと。

測定の詳細については QST 担当者と打ち合わせの上決定する。

(3) 耐久試験

- ① ギャップ開閉に伴う磁場性能の変化を測定すること。このため、最大ギャップから最小ギャップまでのギャップ開閉を 20 回繰り返した後、最小ギャップにおいて磁場分布の計測を行い、位相誤差分布及び偏向定数の変化を評価すること。測定は 2.3.9 節に記載した各偏光モードで行うこと。この過程を 10 回繰り返し、総計で 200 回のギャップ開閉試験を行うこと。
- ② 位相駆動に伴う磁場性能の変化を測定すること。このため、最小位相から最大位相までの位相駆動を 20 回繰り返した後、最小ギャップにおいて磁場分布の計測を行い、位相誤差分布及び偏向定数の変化を評価すること。測定は 2.3.10 節に記載した各偏光モードで行うこと。この過程を 10 回繰り返し、総計で 200 回のギャップ開閉試験を行うこと。
- ③ 全測定終了後、駆動架台や磁石列の各部に異常が無いことを確認すること。

2.5.2 現地試験

EPU を施設へ搬入後、QST 担当者が立ち合いのもと受注者が、2.3.12 節に記載したローカルコントローラを用いてギャップ開閉及び位相駆動試験を行う。これにより不具合が確認されたときには早急に原因を究明し対策を講じること。

2.6 定期保守方法

EPU を 10 年以上の長期間、安全かつ安定に運用するための定期保守作業（年 1 回程度、蓄積リングに設置した状態で可能な作業）の方針について検討し、施設への納入前に QST 担当者に報告し、承認を受けること。同方針は「定期保守作業要領書」として納品時に提出すること。

（要求者）

部課（室）名： 研究組織 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： 安居院あかね

以上

図1: 搬入経路

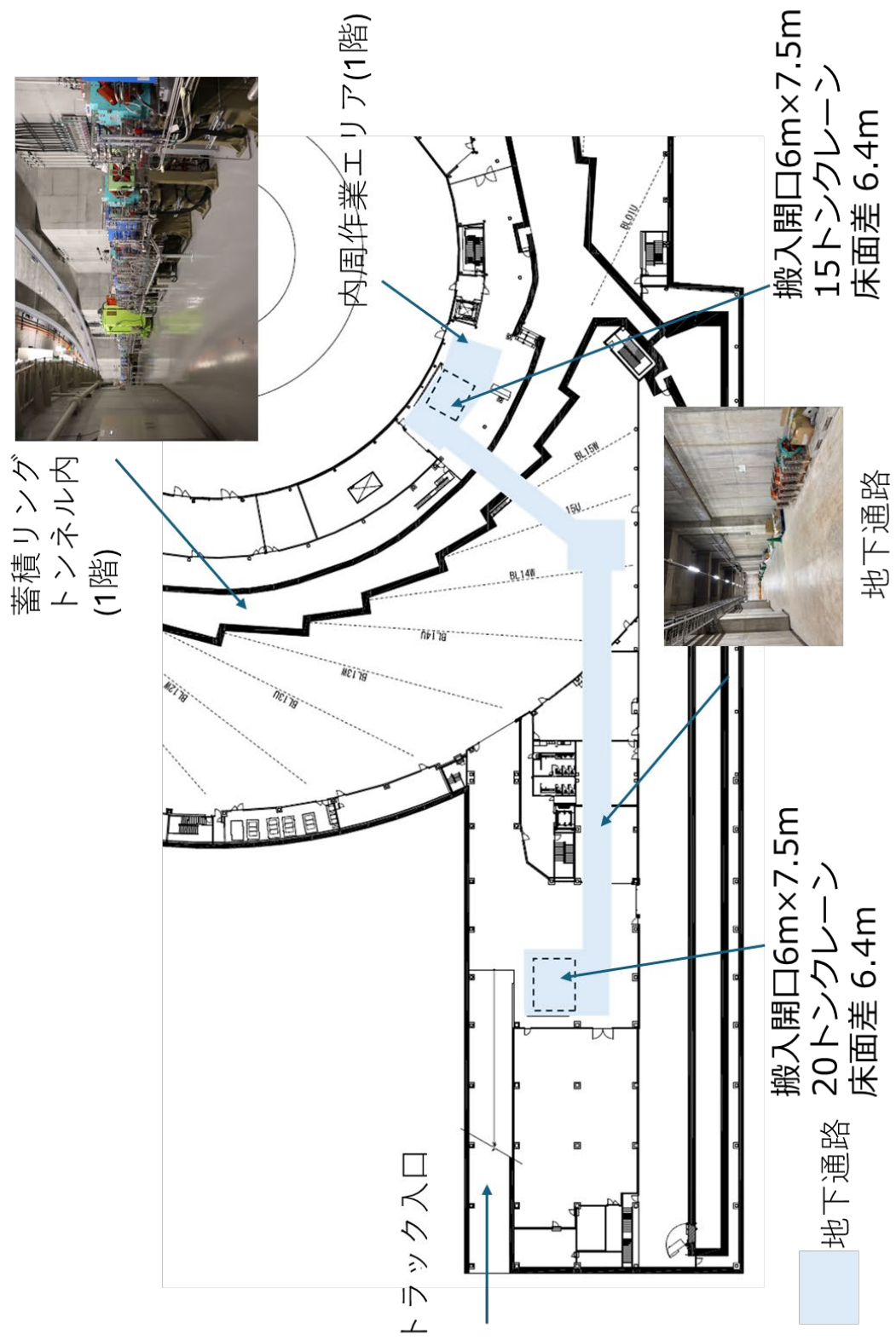


图2: 座標系

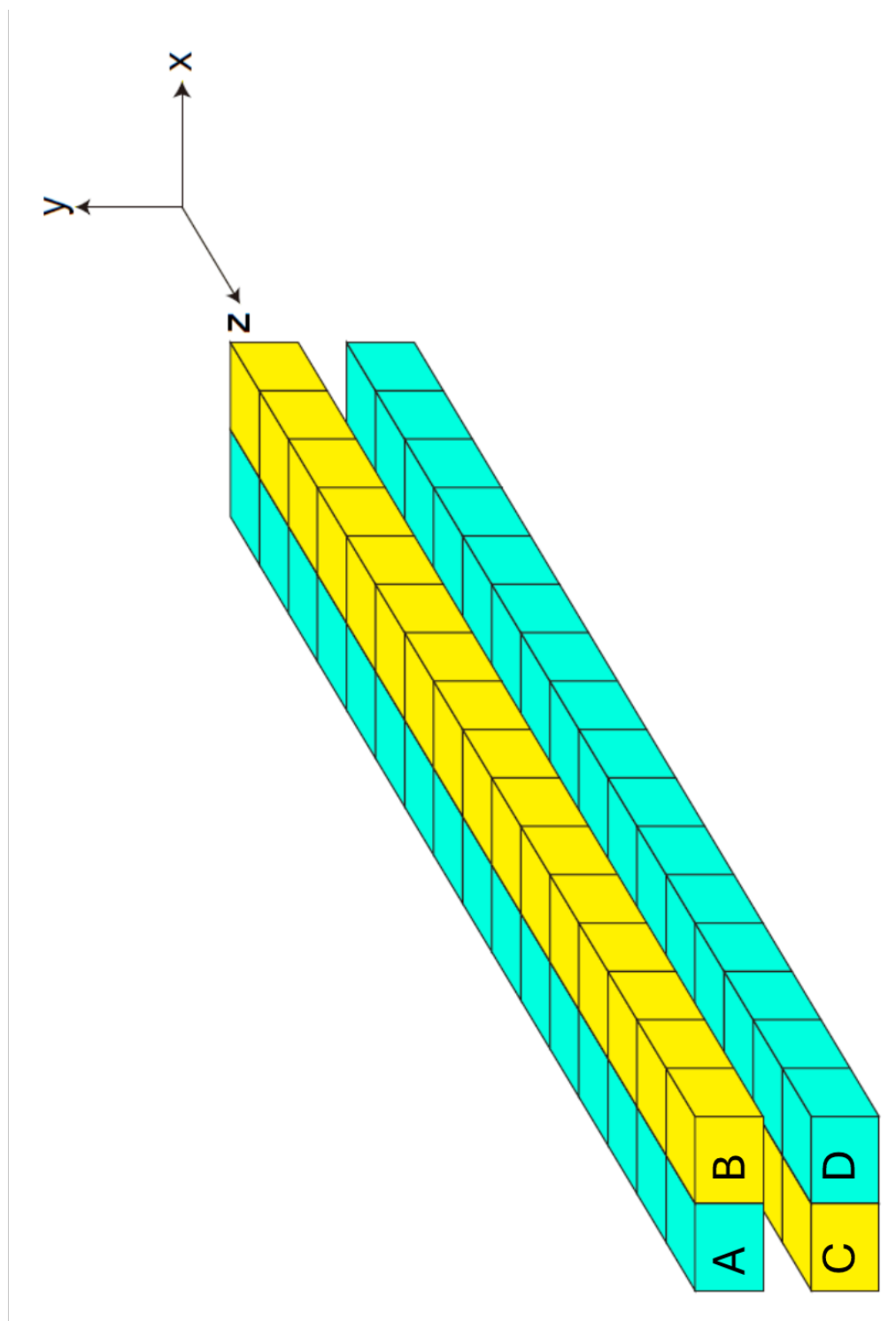


図3: EPU外観 (参考図)

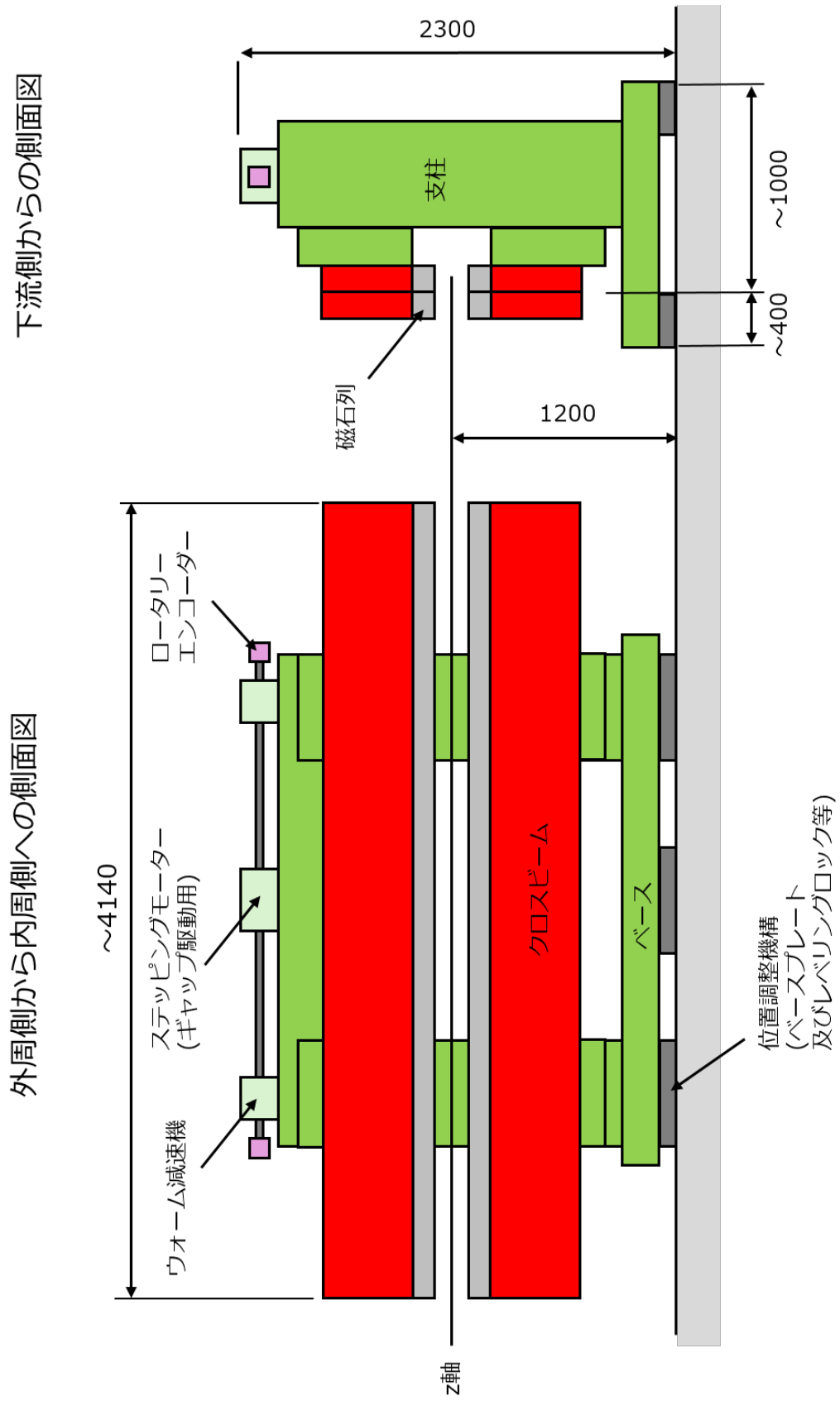
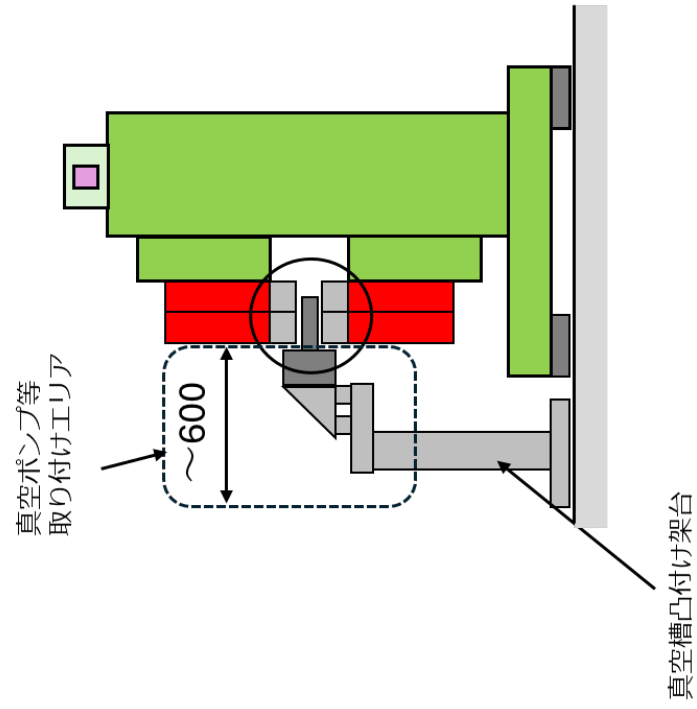
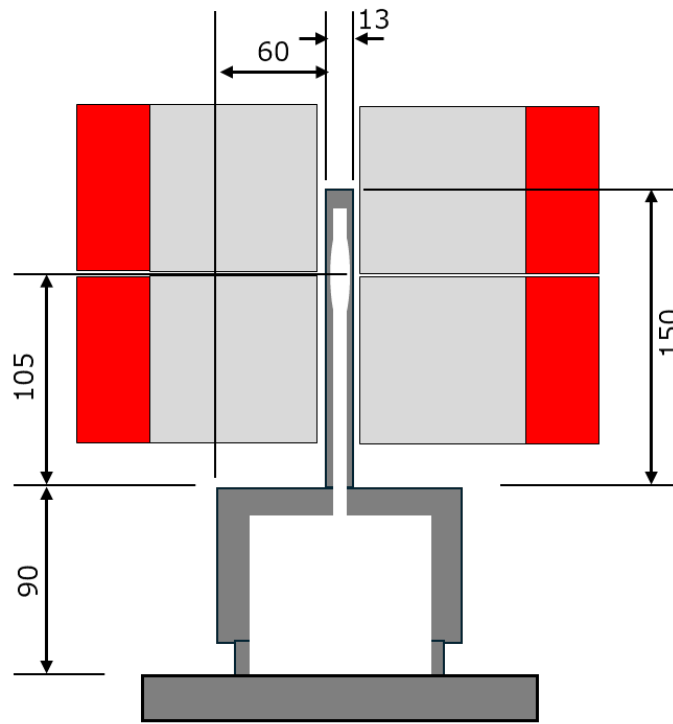


図4: EPUと真空槽の位置関係

右図円内拡大図



単位: mm