テンダーX線ビームライン用真空封止アンジュレータの整備

Manufacturing of an in vacuum undulator for a tender x-ray beamline

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

テンダーX 線ビームライン用真空封止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3GeV 高輝度放射光施設ナノテラス(以下「ナノテラス」という。)のテンダーX 線ビームライン用放射光光源として利用する真空封止アンジュレータ（ In-Vacuum Undulator、以下「IVU」という。）を製作し、ナノテラス蓄積リング収納部に設置するものである。

1.3. 仕様範囲

IVU の製作　　1 台
IVU の設置　　1 式

・必要な材料手配、設計、製作、試験、梱包・輸送、搬入、据付、超高真空立上げ、およびユーティリティ敷設等一切を行うこと。
・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、オートレベラ、水準器、治具等）並びに、ベーキングを含む真空作業およびユーティリティ敷設作業に必要な一切の部品、工具および、消耗品（温度監視用熱電対、固着防止用のモリブデン、アルコール等）など、本案件を遂行するために必要な全ての物品は、受注者側で準備すること。
・納入時に使用した梱包材、現地での搬入およ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、蓄積リング収納部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。本体の指定する場所への設置作業は、令和 10 年度ナノテラス夏季加速器運転停止期間を想定している。なお、事前の準備、コンポーネント等の搬入および設置準備等については、この限りではない。詳細なスケジュールは、契約後に打合せの上決定する。物品製造後、納入までの保管は、受注者が行うこと。保管およびナノテラス搬入の際は、結露、錆が生じないよう、適切な処置を行うこと。

1.5. 納入場所

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1　ナノテラス内の指定する場所

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。

1.6. 納入条件

据え付け調整渡しとする。ナノテラス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、簡易的なアラインメント、動作試験を行った上で、据え付けを行うこと。その後、真空立ち上げ、動作試験、最終アラインメント作業を実施した後、引き渡しを行うこと。試験検査成績書を提出すること。

1.7. 検査条件

納入時に以下の検査を行う。

1.7.1. 製作時

物品製作段階にて第 2.7.1 節に記載した項目について試験を行うこと。事前に工場

試験検査要領書を提出しQST担当者の確認を得ること。工場試験検査要領書に基づき試験を実施し、工場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. 納入時（据付前）

(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ないことを確認する。

1.7.3. 納入時（据付時）

据付時に第2.7.2節に記載した項目について試験を行うこと。事前に現地試験検査要領書を提出しQST担当者の確認を得ること。現地試験検査要領書に基づき試験を実施し、現地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

2.7節の試験検査、1.7.2節の納入時検査に合格し、提出図書の完納をもって検査合格とする。

1.8. 保管条件

物品製作後、納入までの保管は、室温5℃～40℃の室内で、結露しないという保管条件の下で梱包を施すこと。

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。

	図書名	提出時期	部数	確認
①	製作工程表	契約後速やかに	1 部	要
②	契約仕様書	契約後速やかに	1 部	
③	打合せ議事録	実施の都度	1 部	要
④	各種構造図、部品性能データ および全体確認図	製作前	1 部	要
⑤	工場試験検査要領書	試験前	1 部	要
⑥	工場試験検査成績書	試験後	1 部	要
⑦	現地試験検査要領書	試験前	1 部	要
⑧	現地試験検査成績書	試験後	1 部	要
⑨	吊り上げ作業要領書	納入前	1 部	要
⑩	完成図（決定図）	納入時	1 部	
⑪	定期保守作業要領書(取扱い説明書)	納入時	3 部	
⑫	完成図書	納入時	3 部	

・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。

・①～⑫を A4 紙に印刷したもの(大型図面は A3 以上に印刷し A4 大にたたむこと)および電子ファイルを提出すること。①～③、⑤～⑨、⑪、⑫の電子ファイルは WORD あるいは EXCEL ファイルと PDF とする。 ④、⑩の電子ファイルは 2D-DAD、3D-CAD、PDF とする。

・⑫の完成図書は①～⑪をそれぞれ A4 紙に印刷したもの(大型図面は A3 以上に印刷し A4 大にたたむこと)を A4 ファイルに綴じ、表紙と目次を付けた物を「完成図書」として 3 冊提出すること。

・①～⑫の電子ファイルを CD-R などの記録媒体に収めた物も、上記の「完成図書」と合わせて提出すること。2D-CAD ファイルを DXF 形式あるいは DWG 形式で提出すること。3D-CAD は SolidWorks で読み込み可能な形式であること。

・提出図書の使用言語は日本語とする。

・提出された 3D-CAD ファイルおよび 2D-CAD ファイルの全体平面図およ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、関係する他の会社に渡すことがあるため、必要に応じて、QST 担当者に確認すること。

（提出場所）
宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 468-1
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

1.11. 貸与品

貸与する物品のリストを下表に示す。

表: 貸与品リスト

	品名	数量	備考
①	窒素ガスボンベ	1 式	使用したガスは支給とする
②	ヘリウムガスボンベ	1 式	使用したガスは支給とする
③	移動式排気ポンプユニット	2 台	
④	ヘリウムリークディテクタ	1 台	
⑤	ベーキング用ヒーターコントローラ	1 式	
⑥	建屋内クレーン	1 式	
⑦	NEG ポンプ用制御装置	1 式	
⑧	熱水循環装置	1 式	
⑨	ベーク用テープヒータ、熱電対、温度ロガー	1 式	
⑩	レーザートラッカー	1 式	
⑪	ローカルコントローラ	1 式	注 1
⑫	吊り上げ治具	1 式	注 2

注 1: ⑪のローカルコントローラを使わない場合は受注者が準備すること。
注 2: ⑫は必要に応じてアタッチメントは製作のこと。

1.12.　品質管理

本品の製作に係る設計・製作・設置等は、全ての工程において、管理体制、設計管理、外注管理、現地作業管理、材料管理、工程管理、試験・検査管理、不適合管理、記録の保管、重要度分類、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、基準等を適用又は準用して行うこと。
・労働安全衛生法
・日本工業規格（JIS）
・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

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、受注者およ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。

1.16.　安全管理

⑴ 一般安全管理
・作業計画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およ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。
・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。

・受注者は、作業着手に先立ちQSTと安全について十分に打合せを行った後着手すること。
・受注者は、作業現場の見やすい位置に、作業責任者名および連絡先等を表示すること。
・作業中は、常に整理整頓を心掛ける等、安全および衛生面に十分留意すること。
・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。
・ナノテラスにおける設置作業にあたっては、ナノテラス作業ルールおよび手引きに従うこと。

(2)放射線管理

・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。
・放射線管理および異常時の対策は、QSTの指示に従うこと。

1.17. グリーン購入法の推進

・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。

1.18. その他

(1) 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。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、詳細設計およ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および技術資料、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ケ月以内に行うこと。必要に応じてweb会議システムなどの利用を認める。

(3)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 構造図、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) 電子ビーム床上（1200 mm)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、とする。また、これらの原点を IVU 磁場の中心位置で定義する。(図 2 参照)
(4) 本件で製作する端部真空槽および関連機器は納品後、ナノテラス加速器トンネル内の蓄積リングに設置される。この場所は室温 5 ℃から 40 ℃の屋内であることを想定し、防錆を施し納入すること。

2.2. IVU の製作

本節で示す仕様に基づいて IVU を 1 台製作すること。

2.2.1. 概略および部品名

図 3 に、IVU の外観略図およびこれを構成する代表的な部品類の名称を示し、それらの基本機能について以下で説明する。なお、同図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。

ボールねじおよ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支柱２本が共通ベースの上に設置され、同機構によりクロスビームが保持される。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。クロスビームはベローズシャフトを介して、真空槽内部に設置されたアンジュレータ磁石列を保持するアルミビームと締結される。磁石列のギャップ値は、絶対値型ロータリーエンコーダにて計測したステッピングモータの回転角度を、適正な係数で換算することにより求める。

なお、本仕様書に記載した性能を満たす限り、アルミビームの外形寸法や構造（一

体型もしくは分割型）は問わない。また、真空槽については 2 分割もしくは 3 分割構造とする。これは、ベーキング作業の際に生ずるアルミビームおよび真空槽の熱膨張差によって 生ずる、磁石列端部の形状変換部（2.4.7 節）への負荷を軽減するためである。各真空槽の間にベローズニップルを挿入し、真空槽の熱膨張を適宜吸収することで、磁石列端部と真空槽端部の相対位置が調整可能であるよう設計すること。

IVU を構成する部品類は、故障の際に IVU 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。

2.2.2. 主要外形寸法および重量

床面から磁場中心までの高さを 1200 mm とする。真空槽の全長（形状変換部を含む）は 4290 mm とし、磁石列の全長はこれらと物理的に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 2300 mm 以下、磁場中心から支柱側への幅を 1000 mm 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。また、真空槽の上下流端部に、アブゾーバを収納する全長 300mm の端部真空槽が設置されるため、IVU の装置としての全長は 4890 mm である。全重量は吊り具を含め、重量の和が 15 トンを超えないこと。外形寸法の詳細については別途協議して決定する。

2.2.3. アンジュレータパラメータ

IVU のアンジュレータ主要パラメータは以下のとおりである。

(1) 周期長	22 mm
(2) 磁石列全長	~3900mm（参考値、詳細は別途協議）
(3) 最小ギャップ	5 mm
(4) 最大ギャップ	30 mm
(5) 最大偏向定数（K 値）	2.3（ギャップ 5 mm での値）

2.2.4. 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、2.2.5 節～2.2.7 節で述べる機械的仕様を満たすよう設計を行うこと。また、共通ベース、クロスビームおよ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。駆動架台には、後述する真空槽およびベローズシャフトを固定するための台座並びに支持架台を設けること。同台座は、ベーキング時の熱膨張を吸収するためのリニアガイドを備えるとともに、運転時には固定可能な構造とすること。真空槽の支持架台はギャップ開閉動作を妨げることが無いよう、設計に留意すること。なお、リニアガイド（ギャップ開閉機構、ベローズシャフト・真空槽台座部）は、放射線による損傷を可能な限り抑制するために、樹脂製の部品が極力少ないものを選定すること。

2.2.5. 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	5 mm～30 mm
(2) 設定分解能	1 μm 以下
(3) 再現性	±2 μm 以下
(4) 設定値からの偏差(無負荷)	±10 μm
(5) 最大開閉速度	1 mm/s 以上

2.2.6. 機械的剛性

ギャップ開閉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) 磁石列全体に亘って上下磁石列間ギャップの最大値と最小値の差が 50 μm 以下

(2) クロスビームの x 軸方向への傾斜 ±50 μm /m

2.2.7. 位置調整機構

ナノテラス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）方向および回転 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 IVU 全体の水準を計測するための基準面を設けること。

2.2.8. ベローズシャフト

真空槽内部に設置されるアルミビームと大気側のクロスビームとの締結は、ギャップ開閉動作を可能にするためのベローズシャフトを介して行うこと。使用するベローズは溶接ベローズとする。全長や ICF フランジ径などの外形寸法は指定しないが、最小ギャップにおける磁場吸引力に耐えられる構造や材質を選定すること。また、ベローズシャフトの数量（アルミビームの保持点数）は、選定したアルミビームの構造および形状に基づき、本仕様書に記載した性能を満たすように決定すること。

2.2.9. 磁石列

磁石列は、Nd-Fe-B 系合金製永久磁石ブロックとパーメンジュール（Co-Fe 系合金）製磁極で構成されるハイブリッド型アンジュレータ磁気回路を、アルミニウム合金（A6061- T6）製のアルミビームが保持する構造とする。永久磁石ブロックの材質、外形寸法および数量は 2.2.3 節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（Hcj、Intrinsic Coercivity）が 25 kOe を超えるものを選定し、永久磁石ブロックおよび磁極の表面処理は TiN（窒化チタン）コーティングにて行うこと。また、磁極の幅は 35 mm 以上とする。コーティングの厚みは、下地処理を含めて 5.5±1μm とする。アルミビームの外形寸法は、本節、2.2.5 節および 2.2.6 節に記載した仕様を満たす限り指定しない。

アルミビーム、永久磁石ブロック、磁極、およびこれら取り付けるためのホルダー類は、超高真空環境下で使用されることを考慮して製作・洗浄を行い、取扱いの際には、油、ゴミ等の汚れの付着を避けるための手段を講じること。また、これらに加工するタップ穴等には、真空排気を効率よく行うための空気抜き処理を施すこと。

2.2.10. エージング処理

磁石列の組立が完了した後、24 時間のエージング（熱安定化）処理を行うこと。エージング温度は 120℃以上とし、選定された磁石材質の保磁力に応じて別途協議して決定する。

2.2.11. 磁場性能

磁石列について上記作業が完了した後、ベローズシャフトを用いてクロスビームに

取り付け、5mm、6mm、8mm、10mm（多極磁場積分については 15mm および 20mm についても）の各ギャップにおいて、磁場分布およ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作業を行うこと。また、磁石列上下流端部に、多極磁場補正用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：　4 度以下
(3) RMS 一般化位相誤差目標値（後述）：2.0 度以下
(4) 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 IVU に設置される予定の、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、電磁石およ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 50 G.cm とする（すなわち、磁石列およびマジックフィンガーによる調整の結果、2 極成分が 100 G.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=±15mm 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。測定間隔については別途協議する。測定結果は試験検査成績書に記載すること。

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、およびホルダーの寸法公差は指定しない。ただし、 2.2.3 節で指定した最大偏向定数が、実ギャップ 5mm 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、電子ビームから見た垂直（y 軸方向の）開口が 5mm 以上であることを担保すること。

本 IVU を利用するビームラインでは、高い次数（11 次以上）のアンジュレータ高次光の積極的な利用が想定されている。この場合、一般には RMS 位相誤差を可能な限り抑制する（2 度以下）必要があるが、これによるコストの上昇を抑制するため、本仕様書では以下で定義する一般化位相誤差に基づいてアンジュレータの性能を規定する。一般化位相誤差は、アンジュレータの誤差磁場による影響を、電子ビームのエネルギー幅を考慮した上で精度よく評価するための指標であり、次式で定義される関数 Φ(p)の標準偏差として表される。

$$\Phi(p) = \phi(p) - \overline{\phi(p)}$$

ここで p は[1, 2N]の範囲で定義される磁極番号、N は磁石列両端の各 2 周期を除

いた周期数、関数$\phi(p)$ は通常の手法で計算される位相誤差関数、$\overline{\phi(p)}$ は関数$\phi(p)$を周期数 N’（磁極数 2N’）にわたって移動平均することで得られる関数であり、周期数 N’は、アンジュレータ高次光の次数 k と、電子ビームのエネルギー幅σ_ηを用いて次式で定義される。

$$N' = \frac{N}{\sqrt{1 + 2\pi(\sigma_\eta kN)^2}}$$

ナノテラスでは σ_η～ 8.2×10^{-4} であり、アンジュレータの周期数 N=4000/22 ～ 180 であることを考慮すると、アンジュレータ高調次数の代表値として k=11～17 の範囲において、N’～30 と計算される。即ち、一般の手続きにより求めた位相誤差関数$\phi(p)$と、その移動平均（平均数 60 ）$\overline{\phi(p)}$との差の標準偏差として一般化位相誤差を定義する。IVU 磁石列について、上記で定義される一般化位相誤差が、前述した仕様を満たすように磁場調整を行うこと。

2.2.12.冷却水配管および熱電対

ベーキング作業（2.6.4 節）時の熱水循環および運転時の温度安定化のために、アルミビームに無酸素銅パイプ（φ6 mm）製の冷却水配管を取り付けること。アルミビームを分割型とする場合は、冷却水配管も同数で分割すること。なお、真空槽内部での配管には連結部（溶接やろう付けなど）を設けず、一体型としてスウェジロック付き ICF70 フランジを介して大気側へ引き出すこと。大気側には配管を集約するヘッダー部を設けること。また、磁石列および形状変換部の温度を測定するためのシース熱電対（K 型）を 16 ケ所取り付けること。場所は別途協議するが、4 ケ所を形状変換部（2.4.7 節）、残りを磁石列に取り付けること。シース熱電対は、ICF70 電流導入端子を利用して大気側へ取り出すこと。大気側の補償銅線の長さを 10 m 程度とする。導入端子の数量は指定しない。

2.2.13.磁石列カバー

インピーダンスを軽減するために、磁石列の表面を金属製シートでカバーすること。材質は厚さ 60 μm（参考値）の銅と 25μm（参考値）のニッケルの二層シートとし、製造方法や超高真空対応の処理については別途協議する。同シートは十分な張力を適用した上で、磁石列の上下流端で固定すること。

2.2.14.真空槽

真空槽の材質は SUS304 とするが、QST と受注者双方協議の上での変更を可能とする。超高真空環境に対応するため、真空槽の内部は電解研磨等十分な脱脂処理を施すこと。許容リーク量は 1×10^{-11} Pa・m^3/sec 以下とする。各真空槽はベローズニップル（全長 100 mm 程度で、タイロッド等により固定可能なもの）を挿入して連結すること。端部フランジ（2.4.6 節）を装着した状態における全長を 4290mm とする。また、ベーキング用のシースヒーター（200V, 1200W）を取り付けること（各真空槽につき 2 本、上下に配置）。

真空槽には、以下の機器類や部品類を設置するために必要なフランジ類を配置すること。

表: フランジ類対象部品

対象部品・機器	数量	用途
ベローズシャフト	必要数	ベローズシャフト挿入
冷却水導入端子付き ICF70 フランジ	必要数	磁石冷却水配管
電流導入端子付き ICF70 フランジ	必要数	熱電対
冷却水導入端子付き ICF114 フランジ	4	形状変換部冷却水配管
ICF152L 管	4	イオンポンプ
ICF203 ニップル、L 管	9	NEG ポンプ

これらに加えて、真空槽内部での組立作業（熱電対や形状変換部の取り付け等）を容易にするため、十分な数量の ICF203 ポートを設けること。

2.2.15.制御系

ギャップ開閉はステッピングモータにより行う構造とする。2.2.5 節および 2.2.6 節で記載した仕様を満足するため、各種条件で磁場吸引力を計算し、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およびモータドライバを選定すること。モータ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、IVU 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。ギャップおよび位相の各駆動軸について 2 個の（メインおよび予備）エンコーダを取り付けること。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 5 mm 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、ナノテラス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（ギャップ値および位相値とも 1μm）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。

機能： 1X-BRX（１相入力/２相出力）

励磁側：R1-R2 （ロータ）　　入力電圧：AC 7Vrms 10 kHz

入力インピーダンス：140 Ω±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（相当品)を選定する場合は、メレック社製　DH492-03/GD-5610v1(仕様外)に接続して使用可能であること。)を挙げる。

2.2.16.位置センサおよび配線

ギャップ開閉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。高精度型（繰り返し精度 10 μm以下）および堅牢型（放射線環境下での耐久性を考慮して選定、繰り返し精度 0.2 mm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。また、ギャップ開閉を機械的に停止するハードストッパを設けること。さらに、IVU 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: GFO スイッチ）を取り付けること。GFO スイッチのストローク（動作後の可動距離）は 2.5 mm 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）は下記に示す値よりも広い範囲において調整が可能な構造とすること。また、ナノテラスへの IVU 納入時には、動作位置を下記に示す値に設定しておくこと。

表: 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	4.9	4~6	30.1	20~35
堅牢型	4.8	4~6	30.5	20~35
ハードストッパ	4.5	3~5	31	20~35
GFO スイッチ	NA	NA	29.5	20~35

上記リミットスイッチ類に加えて、意図しない動作による人的被害および機械的損傷を最小限にとどめるために、ギャップ開閉を手動で緊急に停止するための非常停止ボタンを 2 ケ所設けること。設置場所や配線については別途協議する。

モータのリード線、エンコーダおよ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 および 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

2.2.17.入力電源

モータドライバの入力電源として、AC100V 単 50Hz が利用可能であること。

2.2.18. 定期保守方法

IVU 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、ナノテラスへの納入前に QST 担当者に報告し、確認を得ること。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。

2.3. ローカルコントローラ

貸与するローカルコントローラは、上記中継端子盤との接続ケーブルを含み、以下の機能を有する。

(1)ギャップ値の設定および現在値の表示（予備エンコーダによる計測値を含む）
(2)ギャップ開閉および位相駆動速度の変更
(3)各リミットスイッチのステータス表示
(4)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）

本貸与品を使わない場合は、受注者が準備すること。

2.4. IVU 用周辺機器の調達・製作および取付

本件 IVU に対し、以下で記載する数量の周辺機器類を調達もしくは製作し、取付作業を行うこと。

2.4.1. 真空ゲージ

以下の仕様に従って真空ゲージを調達すること。

(1) 真空ゲージ本体：キャノンアネルバ製 NIG-2TF 相当品　　数量:2 台
　ただし、取合フランジを ICF114 に変更すること。

(2) 制御電源：キャノンアネルバ製 M-923HG 相当品　　数量:2 台
　ただし、表示桁数を 2.5 桁に変更すること。

2.4.2. バルブ類

以下の仕様に従ってバルブを調達すること。

(1) オールメタルアングルバルブ：　VAT 製 54136-GE02 相当品　数量:1 台

(2) アングルバルブ：　VAT 製 28436-GE01 相当品　数量:1 台

2.4.3. 非蒸発ゲッターポンプ

以下の仕様に従って非蒸発ゲッターポンプを調達し組み立てること。

(1) マウントフランジ：サエス・ゲッターズ製 GP 500 MK5 SP8
　(もしくは CAPACITORR CF150 MK5) 相当品 数量：7 台

(2) カートリッジ：サエス・ゲッターズ製 C-500-MK5-ST707
　(もしくは C500-MK5 ST07)相当品　　数量：7 台

2.4.4. イオンポンプ

以下の仕様に従ってイオンポンプを調達すること。

(1) ポンプ本体：キャノンアネルバ製 125L/s エクセルポンプ (912-7100) 相当品
　数量: 4 台

(2) 制御電源：キャノンアネルバ製 PIC-052NP-B 相当品　　数量: 4 台

2.4.5. ニップル類

図 4～8 を参考にニップル類を製作し、ゲージポート以外のニップル類にベーキング用シースヒータを取り付けること。数量、ヒータの容量、および用途（装着される機器）は以下の表の通りである。

表：ニップル類

名称	数量	図面頁	シースヒータ	用途
ICF203 ニップル	7	4	200V、600W	NEG ポンプ
ICF203 ニップル特型	2	5	200V、600W	NEG ポンプ、ゲージポート
ICF203L 管特型	1	6	200V、600W	NEG ポンプ、バルブ
ICF152L 管	4	7	200V、400W	イオンポンプ
ゲージポート	2	8	なし	真空ゲージ

また、IVU 真空槽に設けた各ポートの内、上記ニップル類を取り付けない箇所に該当するブランクフランジを製作すること。

2.4.6. 端部フランジ

図 9, 10 を参考に、真空槽端部に取り付けるための端部フランジを上下流それぞれ 1 台ずつ製作すること。ビーム室（電子ビームの通過領域）の形状が大気側と真空側で異なるため、これらが段差なく繋がるよう加工すること。ベーキング用のシースヒータ（200V，600W）を取り付けること。

2.4.7. 形状変換部

磁石列の端部に、ギャップ開閉とともに形状が変化する磁石列の矩形断面と、上記端部フランジのビーム室を滑らかに接続するための形状変換部を 2 台（上下流共通）、図 11 を参考に製作することとするが、構造、形状、外形寸法の詳細については別途協議して決定する。設計・製作の際には以下の点に注意すること。

(1) 5㎜から 30㎜ までの磁石列ギャップ変化に追従すること。変換部のストライプは 0.2 ㎜ 厚のベリリウム銅を使用すること。x 方向に分割する場合は電子ビーム軸中心の 20 ㎜ は一体型とすること。

(2) 冷却水配管には φ4 ㎜ の銅管を使用し、銅製のプレートを利用して変換部のストライプに取り付けること。

(3) 冷却水導入部には φ6 mm のスウェジロックを使用し、銅管の冷却水導入部に相当する部位には SUS 製のパイプ（外径 6 mm）を銀ろう付けにて固定すること。
(4) 前節の冷却水導入部は ICF114 ベローズニップルを利用して真空槽に取り付けること。なお、実機製作の前に変換部（ストライプおよび固定部）を試作し、ギャップ開閉動作に支障がないことを確認し、その結果を QST 担当者に報告すること。

2.4.8. 真空機器の取り付けとリークチェック

真空槽本体（2.2.14 節）に、形状変換部（2.4.7 節）、端部フランジ（2.4.6 節）、ニップル類（2.4.5 節）および、調達した真空機器類（2.4 節）を取り付けること。取付作業に要するボルト（固着防止用のモリブデンを塗布すること）、ナット、ガスケットおよび必要な消耗品（真空用グローブ、アルコール）は全て受注者が手配すること。また、真空槽に空きポートが生じた場合、ブランクフランジを取り付けること。ブランクフランジは受注者が製作もしくは調達すること。なお、イオンポンプ（2.4.4 節）は重量が 50 kg 程度と大きいため、真空槽への負荷を軽減するための手段を講じること。具体的には、IVU 駆動架台に支柱を取り付け、さらにバネを利用した支持機構を備え付けること。組立完了後、貸与する粗排気セットおよびヘリウムリークディテクタに接続してリークチェックを行い、リークディテクタの最高感度にて有意な反応が無いことを確認すること。なお、スプレーガンを備えたヘリウムガスボンベを貸与する。

2.4.9. ケーブルの製作

以下の仕様に従って IVU を運転するためのケーブルを製作すること。全て全長 30 m のシース付きノンハロゲン難燃性ポリエチレンケーブル（エコケーブル）とする。
(1) モータケーブル：IVU 磁石列のギャップ開閉を行うステッピングモータ用ケーブル（1.25 mm2×必要芯数）である。数量は 1 本。両端のコネクタおよびピンアサインは別途指示する。
(2) リミットスイッチケーブル：ギャップ開閉および位相駆動の範囲を制限するためのリミットスイッチ、および信号用ケーブル（0.5 mm2×最大 30 芯）である。数量は 1 本。両端のコネクタおよびピンアサインは別途指示する。
(3) レゾルバケーブル：モータの回転角を読み取るためのレゾルバ用ケーブル（0.2 mm2×6 芯）である。数量は 1 本。両端のコネクタおよびピンアサインは別途指示する。

(4) エンコーダ用 LAN ケーブル：ギャップおよび位相を計測するためのロータリーエンコーダ用ケーブルである。両端のコネクタはシールド付 RJ45 コネクタでストレ ―ト結線、線材はカテゴリ 5e 以上対応のシールド（遮蔽）付ポリエチレン絶縁 LAN ケーブルとする。数量は冗長化分も含め 2 本。
(5) イオンポンプケーブル：イオンポンプ（2.4.4 節）を運転するためのケーブルである。ポンプ本体と制御電源に適合するコネクタを選定すること。数量は 4 本。
(6) 真空ゲージケーブル：真空ゲージ（2.4.1 節）を運転するためのケーブルである。ゲージ本体と制御電源に適合するコネクタを選定すること。数量は 2 本。
(7) 熱電対用ケーブル：熱電対により温度計測を行うための補償銅線ケーブルである。数量は 2 本。
(8) ステアリング磁石ケーブル：ステアリング磁石を励磁するためのケーブル（5.5mm2×4 芯）である。数量は 2 本。

2.4.10.磁石冷却水循環装置

磁石温度を安定化するための冷却水循環装置(チラー)を 1 台支給する（仕様外)。

2.4.11.ベローズヒータ

ベーキング作業（2.6.4 節）の際に、ベローズシャフトに取り付け、ベローズ部を効率的に昇温するためのヒータを製作すること。製作数量はベローズシャフトの本数＋２（予備）とする。コネクタは AC100V 用平行 2 極とし、ヒータ容量 100W とする。

2.5. IVU 配線作業

IVU の運転に必要な配線作業を以下の要領で行うこと。

2.5.1. 中継端子盤の製作と設置

IVU の各種信号を制御ラックへ中継するための端子台を製作し、IVU 駆動架台の外周側に設置すること。以下の種類の端子台を設けること。各中継端子台はメンテナンスの際にケーブルの脱着が容易な構造であること。
(1) 熱電対用端子台 （16 対）K タイプ熱電対用
(2) 電磁石電源用端子台（4 対以上）DC30V、電流 10A 以上が中継可能であること。
(3) 信号用端子台（6 対以上）DC24V、電流 1A 以内が中継可能であること。

2.5.2. 中継端子盤への接続

中継端子盤の各端子台へ以下の信号線を接続すること。

(1) 温度信号：熱電対用端子台へ、本体真空槽内からの熱電対（2.2.12 節）リード線 16 対を順に接続すること。

(2) 補正電磁石電源（4 対）：電磁石電源用端子台へ、上下流、天地の 4 台の補正電磁石の端子台から、架橋ポリエチレン絶縁ノンハロゲンケーブルで接続すること。

(3) GFO 信号：信号用端子台へ、GFO スイッチ（2.2.16 節）から架橋ポリエチレン絶縁ノンハロゲンケーブルで接続すること。

(4) 磁石冷却水信号：磁石冷却水フロースイッチ（2.6.6 節）リード線を接続すること。

2.5.3. ベーキング用コネクタ盤の製作と設置

ベーキング用ヒータ配線を中継するためのコネクタ盤を製作・設置すること。ベーキング用コネクタ盤には、以下のコネクタを搭載すること。備考欄に接続先のヒータを示す。

表: コネクタ

コネクタ名称	表示	コネクタ型式（相当品）	コネクタ仕様	備考（接続先）
CN1	真空槽本体	七星科学製 NCS－5015－R	15pin 15A、250V	チャンバー本体シースヒータ
CN4	端部フランジ	七星科学製 NCS－406－R	6pin 20A、250V	端部フランジおよび L 字管シースヒータ
CN5	NEG 直管	七星科学製 NCS－406－R	6pin 20A、250V	NEG 直管シースヒータ
CN6	イオンポンプ	七星科学製 NCS－406－R	6pin 20A、250V	イオンポンプ本体ヒータ
CN7	テープヒータ	七星科学製 NCS－502－R	2pin 80A、500V	テープヒータ(ベーク時のみ設置)。コンセント接続。
CN8	ベローズヒータ	七星科学製 NCS－502－R	2pin 80A、500V	ベローズヒータ(ベーク時のみ設置)。コネクタ接続。

2.5.4. コンセントボックス

ベーキングの際にテープヒータへの給電を目的とするコンセントボックスを 3 台製作し、架台に固定する。固定位置は、アンジュレータ内周側から容易にアクセス可能な場所とし、 3 台をそれぞれ上流、中流、下流に配置すること。AC100V 用並 2 極（JISC 8303　2 極コンセント）を 9 口以上持つこと。

2.5.4.1. ヒータ側端子

各ヒータのリード線に接続用コネクタを取り付け、必要部分を絶縁チューブで保護すること（注 2 参照)。シースヒータの種類と数量は、次表の通りとする。

表: ヒータ

No.	ヒータ種類	ヒータ本数	ヒータ側コネクタ	備考、説明
1	真空槽本体ヒータ		モレックス 1619P （1pin)	本体真空槽のシースヒータ。本数は真空槽の分割数に依存。
2	イオンポンプ L 管ヒータ	4 本	モレックス 1545P （2pin)	イオンポンプ用 ICF152 L 管（2.5.5 節）シースヒータ。
3	NEG 用 L 管ヒータ	1 本	モレックス 1619P （1pin)	NEG 用 ICF203 L 管特型（2.5.5 節）シースヒータ。
4	NEG 用 直管ヒータ	9 本	モレックス 1619P （1pin)	NEG 用 ICF203 ニップル（2.5.5 節）シースヒータ。
5	イオンポンプヒータ	4 本	モレックス 1545P （2pin)	イオンポンプ本体（2.5.4 節）のヒータ。
6	端部フランジヒータ	2 本	モレックス 1619P （1pin)	端部フランジ（2.5.6 節）のシースヒータ。
7	ベローズヒータ		モレックス 1619P （1pin)	ベローズヒータ（2.5.11 節)。本数は選択されたベローズシャフト数に依存。

注 1 ： テープヒータ（貸与品）はコンセントボックス経由で接続すること。
注 2:ヒータからのリード線出口、およびリード線先端のコネクタは絶縁チューブ

で保護すること。使用するチューブは、「超耐熱シリコーンゴムガラス編組チューブ HST-10C φ12」同等品とする。

2.5.4.2. 配線

① 図 12 に示した通線経路に基づき、ベーキング用コネクタ盤から各ヒータやコネクタ・ボックスまで配線すること。
② 線材の断面積は必要な電流容量に十分な大きさを有すること。また、ガラス被覆ケーブルとする。
③ 通線ルートは、IVU のギャップ開閉の際に負荷が掛からず、他の配管および配線と干渉しないこと。また、真空槽への固定を行ってはならない。
④ 配線ケーブル先端には、ヒータに取り付けたコネクタと勘合するコネクタを取り付ける。コネクタ付近の配線ケーブルに、ヒータ名を示すタグを取り付けること。

2.5.5 ベーキング用電源ケーブル配線

ベーキング用コネクタ盤（2.5.3 節）から、真空槽に取り付けられたベーキング用ヒータやコネクタ・ボックスまで配線する。

2.6. IVU 設置

本節で示す仕様に基づいて IVU を 1 台設置すること。

2.6.1. レーザートラッカー用ターゲット治具の設置と計測

駆動架台に設けられた M8 タップを利用して、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、蓄積リング設置前に取り付けること。取付位置や取付治具の形状については別途協議する。これらを用いて上下クロスビームの基準位置を計測し、IVU の磁場中心を原点とする座標系において、上記治具に設置されたターゲットの位置座標を計測し記録しておくこと。同座標は、後述するアラインメント作業の際に利用する。本作業および収納部におけるアラインメント作業の操作者は、受注者の責において手配すること。

2.6.2. ナノテラスへの搬入

ナノテラスへの搬入は、(1)地上 1 階外周組立調整エリアの搬入開口（6 m×7.5 m）から、15 トンクレーンを用いて、6.4 m 下の地下 1 階連絡通路へ吊り下ろし、(2) 連絡通路内を約 100 m 横引きし、(3) 15 トンクレーンを用いて地上 1 階の蓄積リング内周側搬入室（7 m×8 m 程度、クレーン利用可）まで吊り上げるという手順で行われる。地下 1 階連絡通路内の開口の最小部は、幅 3.5 m×高さ 3.4 m 程度であり、かつ荷物等が置かれている(QST 担当者と相談の上、動かすことができる)ことに留意すること。吊り上げ、吊り下げの際、長尺かつ大重量の IVU 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ーンブロックを IVU 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、ナノテラスへの納入前に QST 担当者に報告し、確認を得ること。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。 必要に応じて吊り上げ作業専用治具を製作する場合、当該治具と IVU 本体との重量の和が 15 トンを超えぬこと。

なお、蓄積リング内周側搬入室は他の機器の搬入作業でも使用するため、各種工程の調整や作業場所の整理が適宜必要であることに留意すること。詳細な工程については別途協議する。

2.6.3. 蓄積リング搬入とアラインメント

IVU を内周通路作業エリアの指定場所に搬入し、蓄積リング設置前に行った測定(2.6.1 節)の測定と同様に上下クロスビームの基準位置を計測し、IVU の磁場中心を原点とする座標系において、上記治具に設置されたターゲットの位置座標を計測し、運搬による歪みがないことを確認し、記録すること。

内周通路作業エリアでの計測後、IVU を蓄積リングの指定場所に搬入し、据え付け作業を行うこと。レーザートラッカー用ターゲットの基準座標（2.6.1 節）と、蓄積リング収納部に設けられた基準点を利用して、以下の精度でアラインメントを行うこと。

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

なお、水平度はIVU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。

また、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、据え付け作業の10ケ月前までにQST担当者に連絡すること。詳細は別途協議する。

2.6.4. 真空締結、粗排気およびベーキング

前節までの作業が完了したIVUは、蓄積リング真空ダクト(仕様外)との締結は仕様外の端部真空槽(アブゾーバ、端部真空槽支持装置を含む)を介して行う。IVUと端部真空槽の接続の際には、フランジ部でのインピーダンスを軽減するためのコンタクタ（別途支給）を所定の位置に取り付ける。締結に係る作業場所の周辺を十分に清浄な状態に保つための手段を講じること。締結後、貸与する粗排気セットと真空槽本体を締結し、真空排気を行うこと。さらに締結部分を含めた真空槽全体のリークチェックを行うこと。IVUと端部真空槽の締結は、端部真空槽受注者の工程と合わせて行う。詳細は別途打ち合わせの上決定する。

締結後、蓄積リング運転でのビーム運転が可能な真空状態へ移行するために、以下の要領で IVU 真空槽および付属真空機器のベーキングを行い、所定の真空度に達することを確認すること。作業に必要なアルミホイル類や延長ケーブル、テーブルタップは受注者が用意すること。

(1) 粗排気セットを使用して真空槽内部の排気を行うこと。ベーキングの昇温開始までに充分な排気ができていること。
(2) ローカルコントローラ（2.3節）を利用して磁石ギャップを別途指示する値に設定した後、同コントローラの電源を切り、ギャップを固定すること。
(3) 真空槽本体その他各部の熱膨張により損傷することがない様な措置を講ずること。
(4) アブゾーバの冷却水配管内部の水を抜くこと。配管の一部を開放し、内部気体の膨張による加圧を防止すること。
(5) 真空槽本体および温調を行う枝管類（ニップルおよびL管等）に、貸与する熱電対を取り付けること。固定位置は温調対象真空槽の中央付近とし、シースヒータに接触させないこと。
(6) 真空槽本体および枝管類でシースヒータが不足しているか、あるいは取り付けられていない箇所に貸与するテープヒータを取り付けること。
(7) 真空槽本体および枝管類を、追加したヒータや熱電対の外側からアルミホイルで覆うこと。真空槽本体を覆うアルミホイルと磁石列の間には空間を残し、磁石列に熱が伝わらない様な措置を講ずること。

(8) IVU 真空槽上下流近傍の真空配管について、同真空槽と接続された範囲（ゲートバルブ等）のベーキングも同時に行うこと。各部の仕様に従って温度を上げられるよう、必要に応じてテープヒータ、熱電対などを取り付け、アルミホイルで覆うこと。

(9) IVU 真空槽各部のシースヒータおよび追加ヒータは、IVU 駆動架台に設置したベーキング用中継端子盤（2.5.3 節）の対応するコネクタに接続すること。

(10) 真空槽本体の熱電対をベーキングコントローラに接続すること。温調を行う枝管の熱電対およびヒータ電源は温調器に接続し、その電源をベーキング用中継端子盤に接続すること。

(11) ベーキング用中継端子盤と、貸与するベーキングコントローラとを電源ケーブルで接続すること。

(12) ベーキング中の形状変換部の伸縮を監視するため、上下流の真空槽端部と磁石列支持部との相対移動量を測定できるダイヤルゲージを取り付けること。

(13) ベーキング中の磁石列の温度を制御するため、熱水循環装置からの熱水を磁石列冷却水配管に接続すること。使用する配管やホースは 120℃以上の熱水に耐えられる仕様であること。

(14) 磁石列に取り付けられた熱電対のうち適当なものの出力を熱水循環装置に接続し熱水の温度監視に使用すること。熱水循環装置の一つの制御系統へ、1 本の磁石列に対応する熱電対出力と熱水の循環系統とを接続すること。(別の磁石列の温度情報を熱水の温度制御に使用しない。)

(15) ベーキング開始後、磁石列の昇温速度が 30℃／時間以下となる様、熱水の温度を調節すること。昇温中はダイヤルゲージで示された形状変換部の移動量が規定の範囲以内に収まる様、真空槽温度および熱水温度の昇温速度を調節すること。

(16) 別途指示する定常温度で熱水の通水を続けること。

(17) ベーキング開始後、真空槽本体の昇温速度が 60℃／時間以下となる様、ベーキングコントローラの温調器の温度を設定すること。真空槽本体のベーキング定常温度は 200℃とすること。

(18) 枝管類はそれぞれの取扱説明書に従い、昇温速度およびベーキング定常温度を設定すること。

(19) 定常温度に到達後、24 時間以上保持すること。

(20) 非蒸発ゲッターポンプの活性化の前、定常温度の時点で粗排気セットの圧力計が 10-4Pa 以下になることを確認すること。この条件が満足されない際の対応については別途協議する。

(21) ベーキング終了前に非蒸発ゲッターポンプの活性化を行うこと。急激な温度変化をさけるため充分な時間で非蒸発ゲッターポンプを活性化温度まで昇温し、活性化温度で 1 時間保つこと。

(22) 非蒸発ゲッターポンプの活性化終了時にイオンポンプの運転を開始し、枝管シースヒータ、補助ヒータ類の電源を切ること。これと同時に真空槽本体の降温を開始し、降温速度が－60℃／時間以下となる様、ベーキングコントローラの温調器の温度を設定すること。降温速度がこれ以下まで低下した段階で自然冷却とすること。

(23) 磁石列の降温速度は30℃／時間以下とすること。降温速度がこの値以下までで低下した段階で自然冷却とすること。降温中はダイヤルゲージで示された形状変換部の移動量が規定の範囲以内に収まる様、真空槽温度および熱水温度の降温速度を調節すること。

(24) 真空槽の降温中に粗排気セットの圧力計を監視し、約 10^{-5}Pa 以下に到達した段階で IVU 真空槽に設置されたメタルバルブを規定トルクで閉止すること。

(25) メタルバルブの閉止後は IVU 真空槽に設置された真空ゲージ（2.5.1 節）を短時間 運転し、適宜圧力を読み取ること。これは、圧力が高い段階で真空ゲージを運転することによる損傷を防ぐための措置である。真空ゲージの値が 10-5 Pa 以下となった段階で、同真空ゲージを連続運転とすること。

(26) 真空ゲージの値が 3×10^{-6} Pa 以下となった時点で、真空ゲージのコントローラを操作してガス出し（デガス）を行うこと。

(27) 各部が概略室温になるまで、自然冷却開始後 12 時間以上放置すること。その時点で真空ゲージの値が 5×10^{-8}Pa 以下になっていることを確認すること。圧力がこの値を上回っている場合はリークが疑われるので、適切な処置をとること。方法については別途協議する。

2.6.5. 通線作業

IVU を運転するための各種ケーブル（2.4.9 節）を蓄積リング収納部と保守通路を繋ぐセルダクト（φ100 mm、2 本）へ通線すること。(別添図 14 参照)ケーブルの本数と通線ダクトの位置は別途指示する。保守通路における制御機器への接続作業は含まない。各ケーブルは必要に応じ現物で長さを合わせ、端末処理を施すこと。また、基本的に全ての配線の両端部には識別可能なタグを取り付けること。

2.6.6. 磁石冷却水配管作業

図 13 を参考に、チラー(仕様外)に接続された配管から磁石冷却水の配管を行うこと。ナノテラス側配管の情報は QST 担当者に確認すること。冷却水に接するチューブ、継手などの配管部材の材質は、SUS とする。ハロゲン元素を含むシールテープは

使用しないこと。なお、配管支持材などは、この限りではない。使用するカプラは日東工器（株）製の SP カプラ(相当品)とし、チューブ継手はスウェジロック社製とする。

(1) 冷却装置－アンジュレータ間配管

① アンジュレータ冷却水口との接続はステンレス製フレキシブルホースもしくは管を介し脱着可能なカプラを使用すること。

② フレキシブルホースもしくは管は適宜壁面または床面に固定すること

(2) アンジュレータ側冷却水配管

① アンジュレータ側の磁石冷却水出入口として、各 1 個のカプラを設けること。冷却水の入口、出口とも、カプラ付近にバルブを設けること。

② 冷却水の出口付近に、フロースイッチを設けること。フロースイッチは、流量目盛 1～10L/min（下限警報 OPEN, 設定範囲 2～5 L/min)であること。上記仕様を満たすフロースイッチとして、東京計装 FA-3000 シリーズもしくは日本フローコントロール（株）製「RVM/U-2/7」を挙げる。信号線を蓄積リングトンネル内指定する端子台に接続すること。

③ アンジュレータ内 6 系統の磁石列冷却水配管、および上下流の形状変換部冷却水配管をまとめ、磁石冷却水配管の出入口カプラに接続する。

(3) 形状変換部冷却水配管

① 上下流の形状変換部冷却水は、それぞれの天地の 2 台のユニットを直列に接続すること。

② 冷却水配管との接続にはステンレス製フレキシブルホースを使用すること。

③ 施工時、形状変換部冷却水配管の 4mm 銅管にストレスを与えないこと。

(4) 形状変換部の片方の配管と、6 系統の磁石列配管はまとめて出口側カプラに接続する。形状変換部の他方の配管と、磁石の 2 箇所の入口側配管は、入口側カプラに接続する。各部を接続する配管は、アンジュレータギャップの開閉動作や、他の配管、配線と干渉しないこと。

2.7. IVU 試験検査

IVU の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。

2.7.1. 工場試験

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) 寸法試験

規格どおりの寸法となっていることを確認する。

(2) 磁石材質試験

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 25kOe 以上であることを確認すること。

(3) 磁場性能試験

① 2.2.11 節で記載した複数のギャップにおける、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 2.2.11 節で記載した複数のギャップにおける、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。

③ 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。

(4) 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、位相誤差分布および偏向定数の変化を評価すること。

② 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。

2.7.2. 現地試験

(1) 駆動試験

IVU をナノテラスへ納入後およびベーキング後それぞれで、QST 担当者が立会いのもとギャップの開閉試験を行う。試験は、最大ギャップから最小ギャップまでの往復を 3 回以上行うこと、また、非常停止ボタンが正しく作動することを確認すること。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) 位置計測

本件の IVU の設置は、仕様外の端部真空槽の設置と時期を合わせて行われる。両者

の設置、真空立ち上げ等が完了したのち位置計測を行うこと。アライメントが 必要と判断された（即ち、2.6.3 節の基準を満たさない）場合、QST 担当者の指示に基 づき、機械的調整機構を使用して位置調整作業を行うこと。再アライメント完了後、位置が基準内に収まっていることを再度計測し確認する。

以上

（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：安居院あかね

図1: 搬入経路

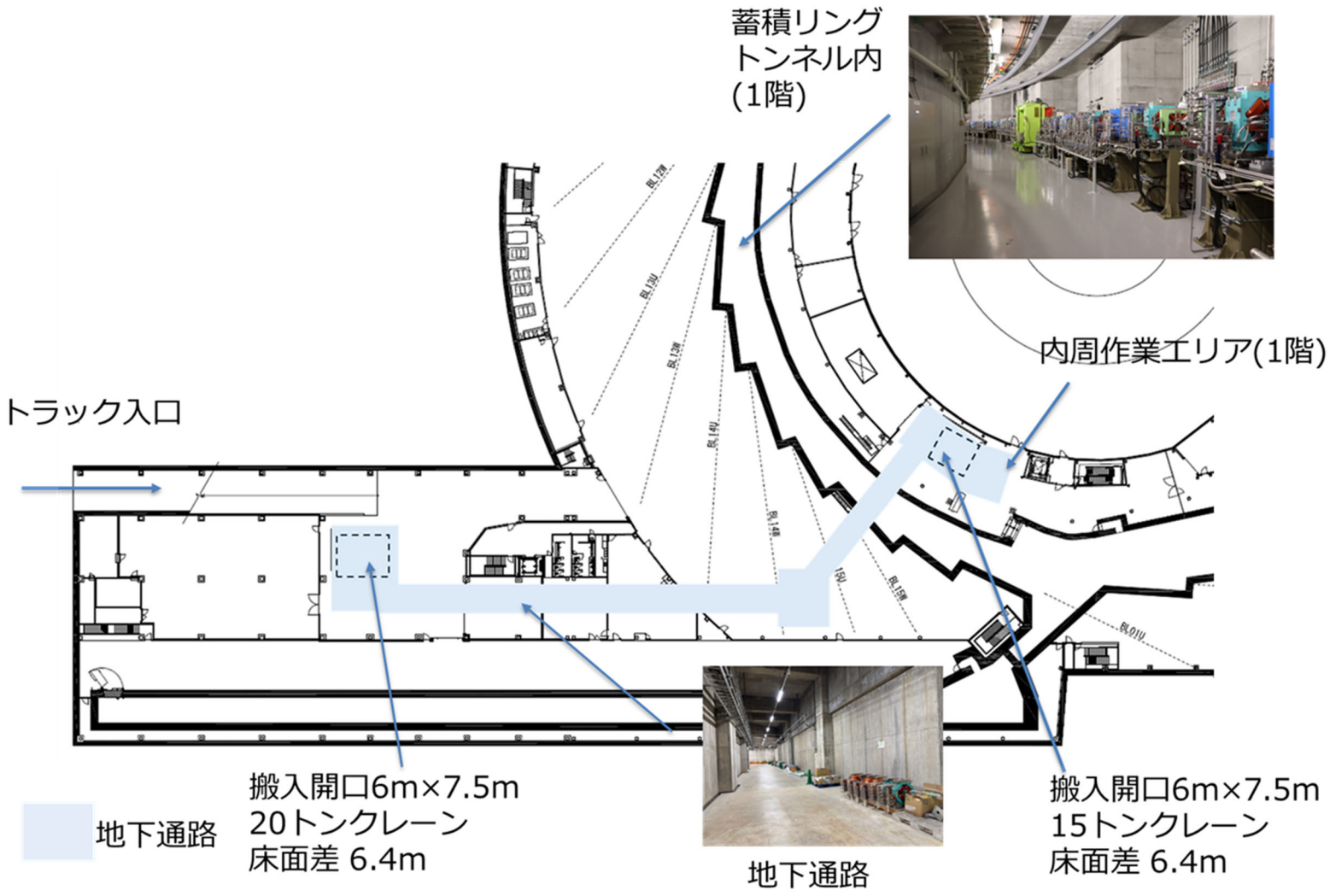

蓄積リング
トンネル内
(1階)
内周作業エリア(1階)
トラック入口
搬入開口6m×7.5m
20トンクレーン
床面差 6.4m
地下通路
地下通路
搬入開口6m×7.5m
15トンクレーン
床面差 6.4m

図2: 座標系

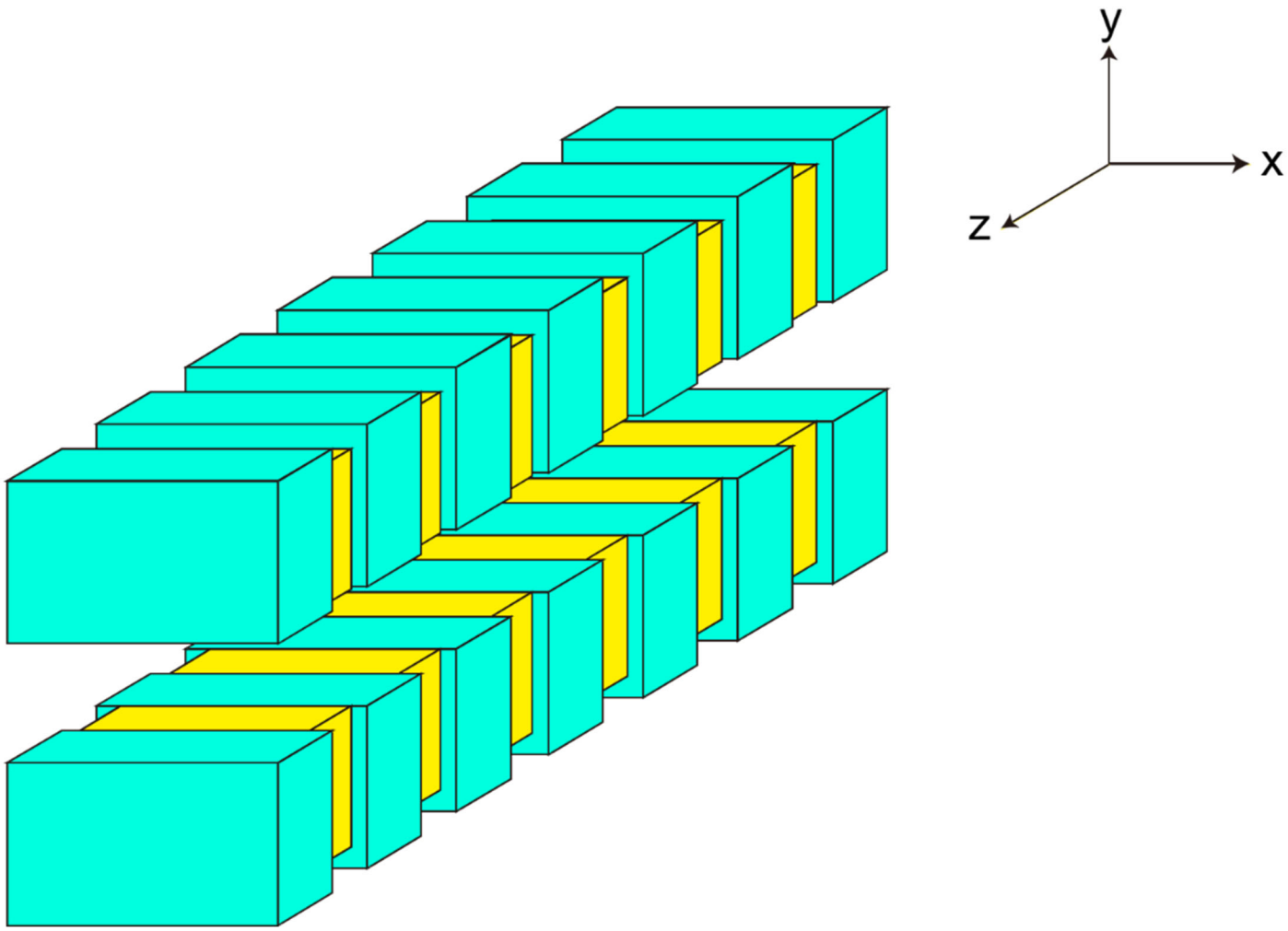


図3: IVU外観略図
(寸法は参考値)

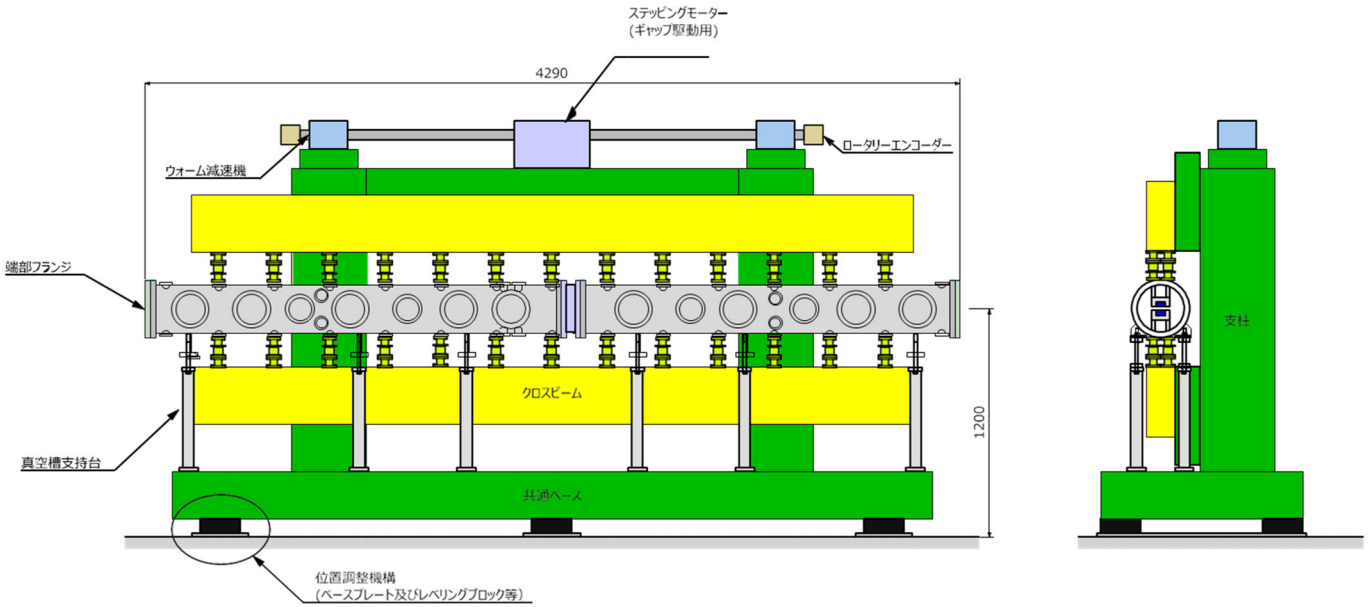
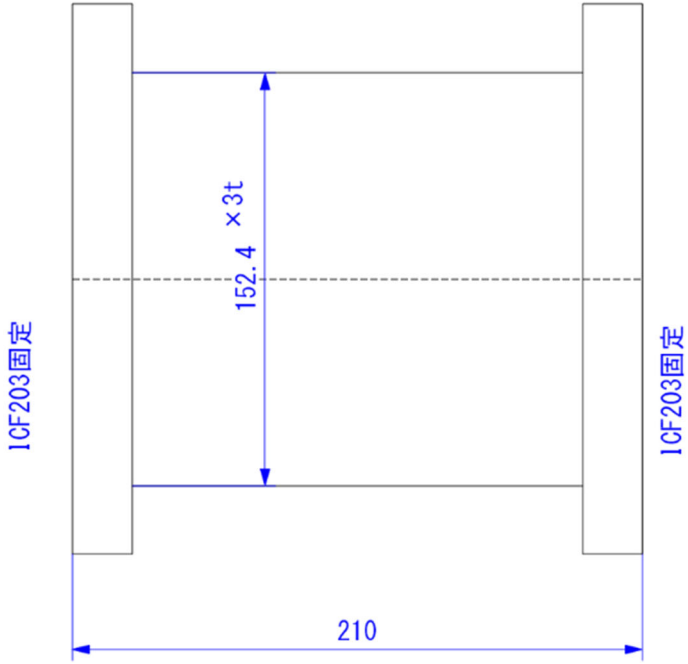
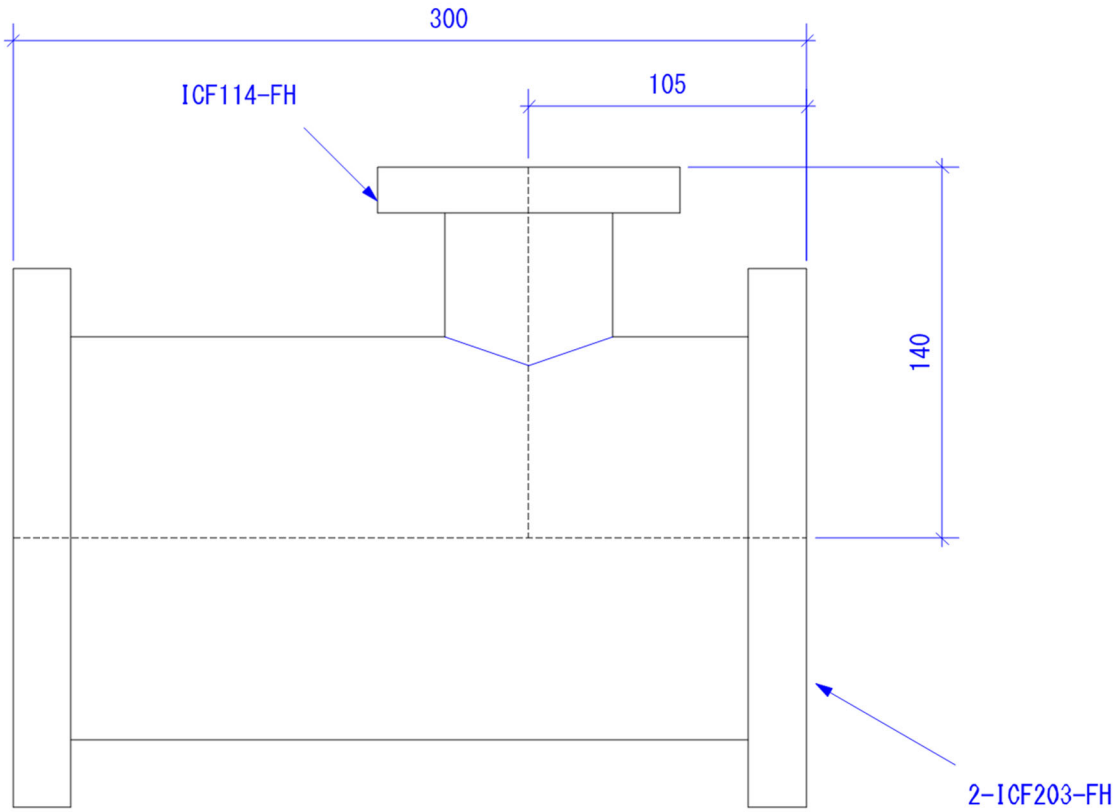


図4: ICF203ニップル(参考図)
材質: SUS304



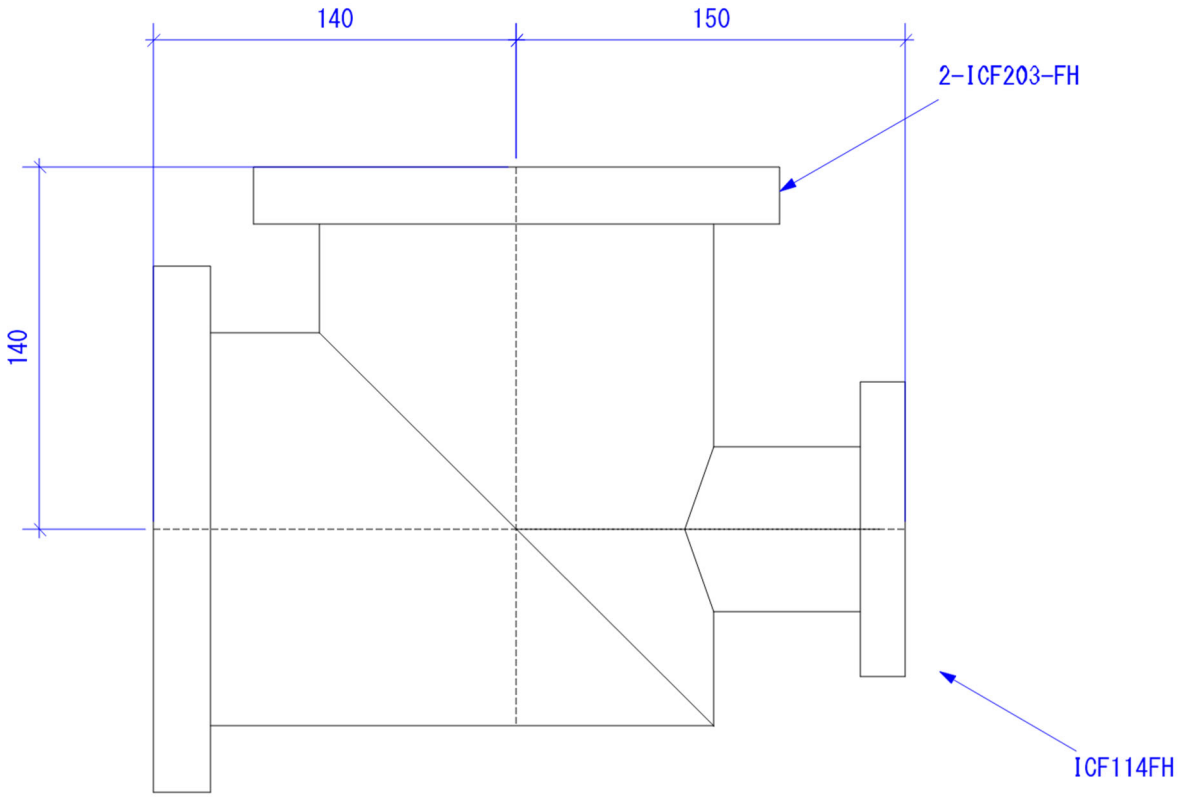
単位: mm

図5: ICF203ニップル特型(参考図)
材質: SUS304



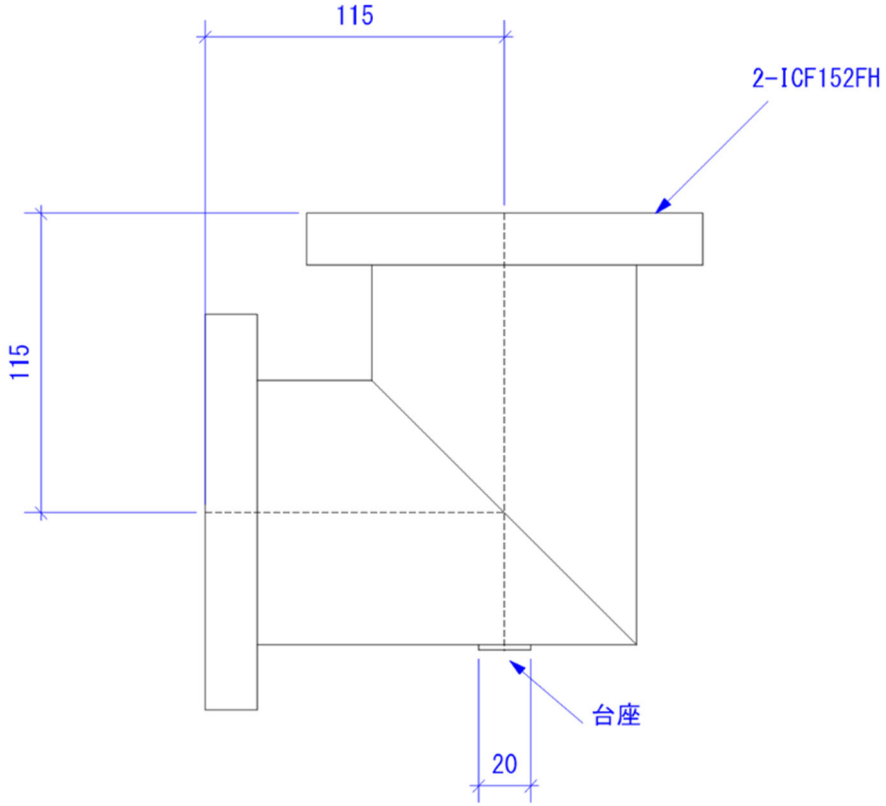
単位: mm

図6: ICF203L管特型(参考図)
材質: SUS304



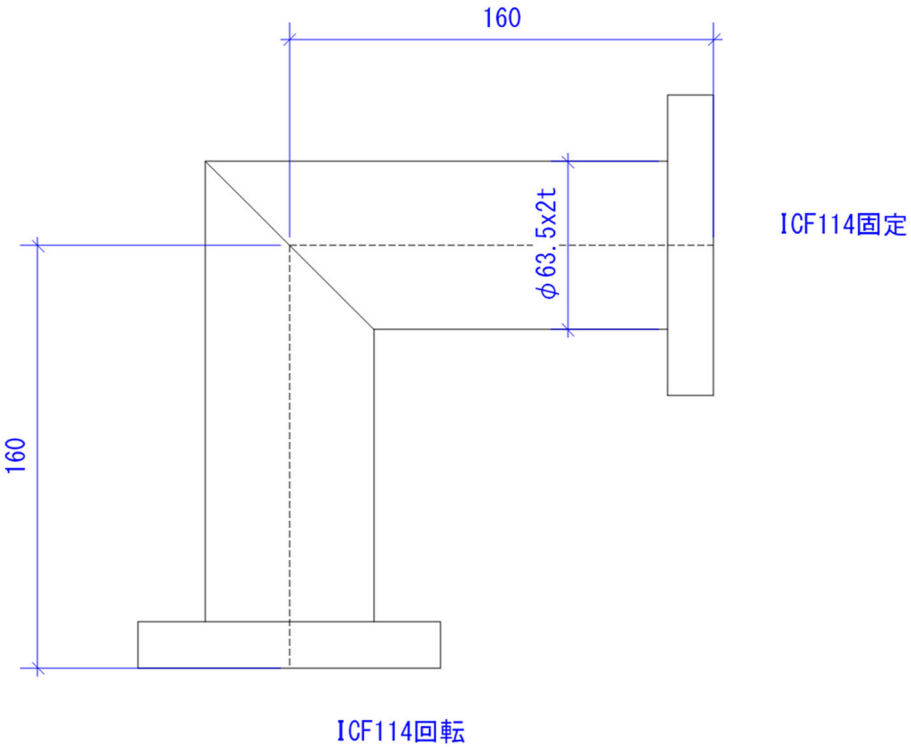
単位: mm

図7: ICF152L管(参考図)
材質: SUS304



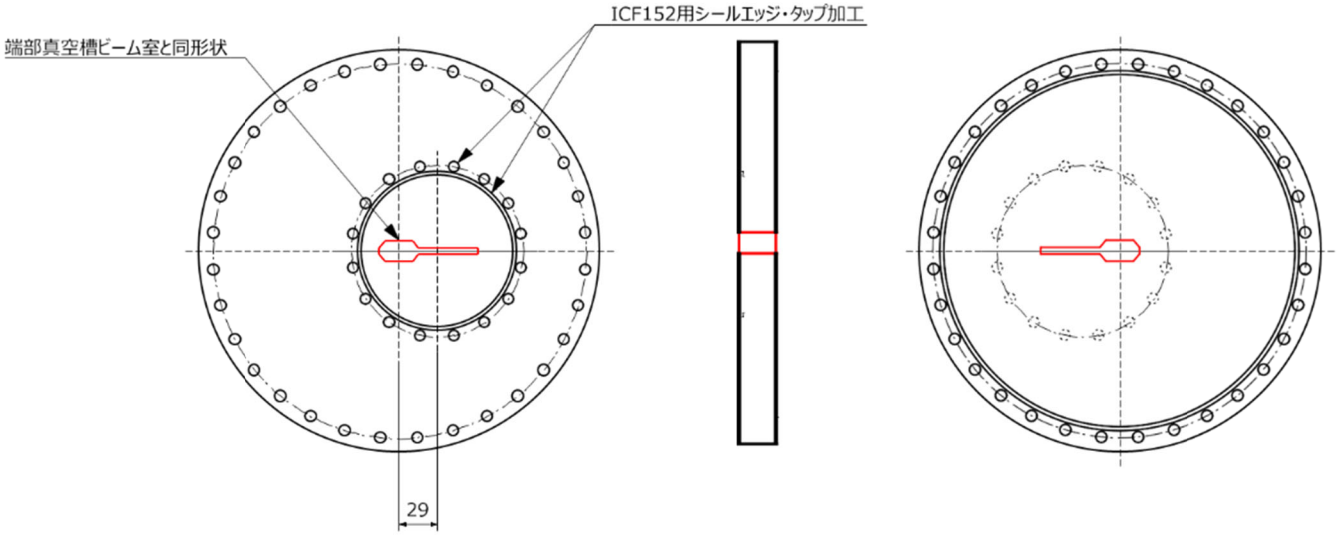
単位: mm

図8:ゲージポート(参考図)
材質: SUS304



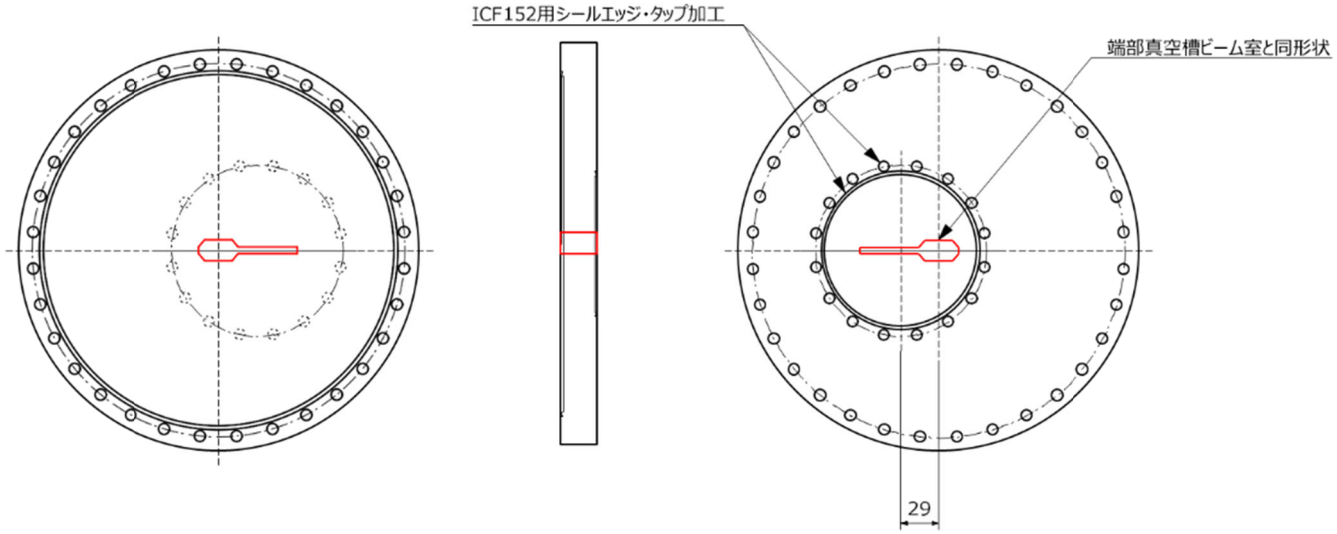
単位: mm

図9:端部フランジA(参考図)



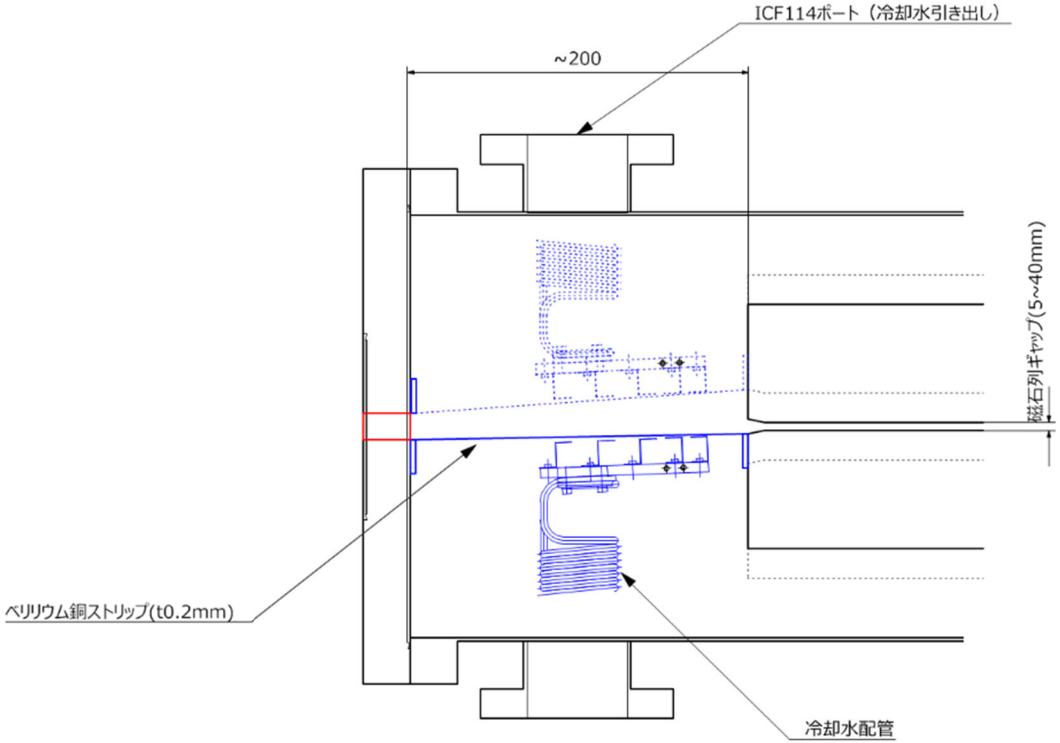
単位: mm

図10:端部フランジB(参考図)



単位: mm

図11: 形状変換部概念図



単位: mm

図12: ベーキング用ヒータ配線図

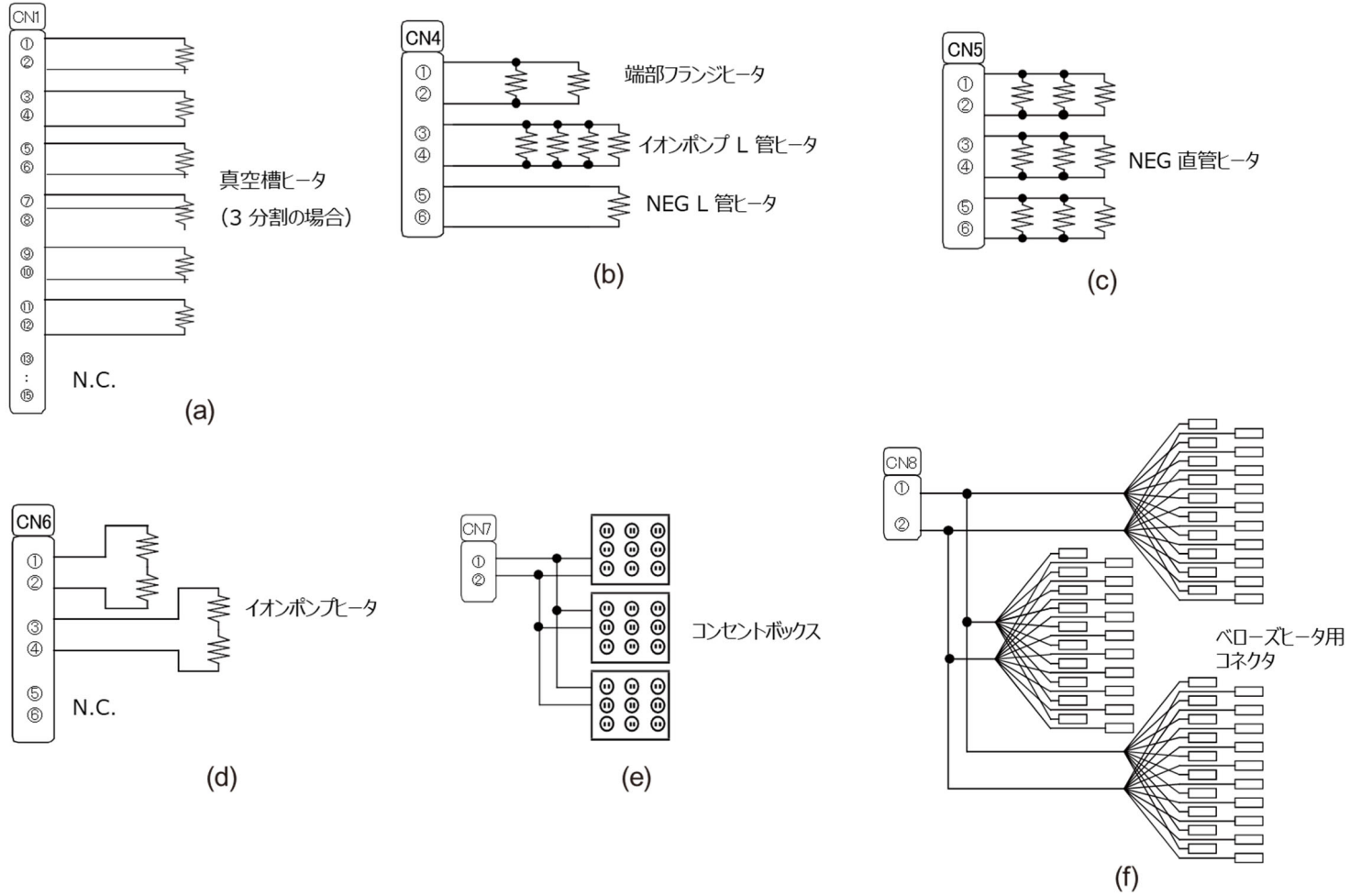


図13: 冷却水配管(参考図)

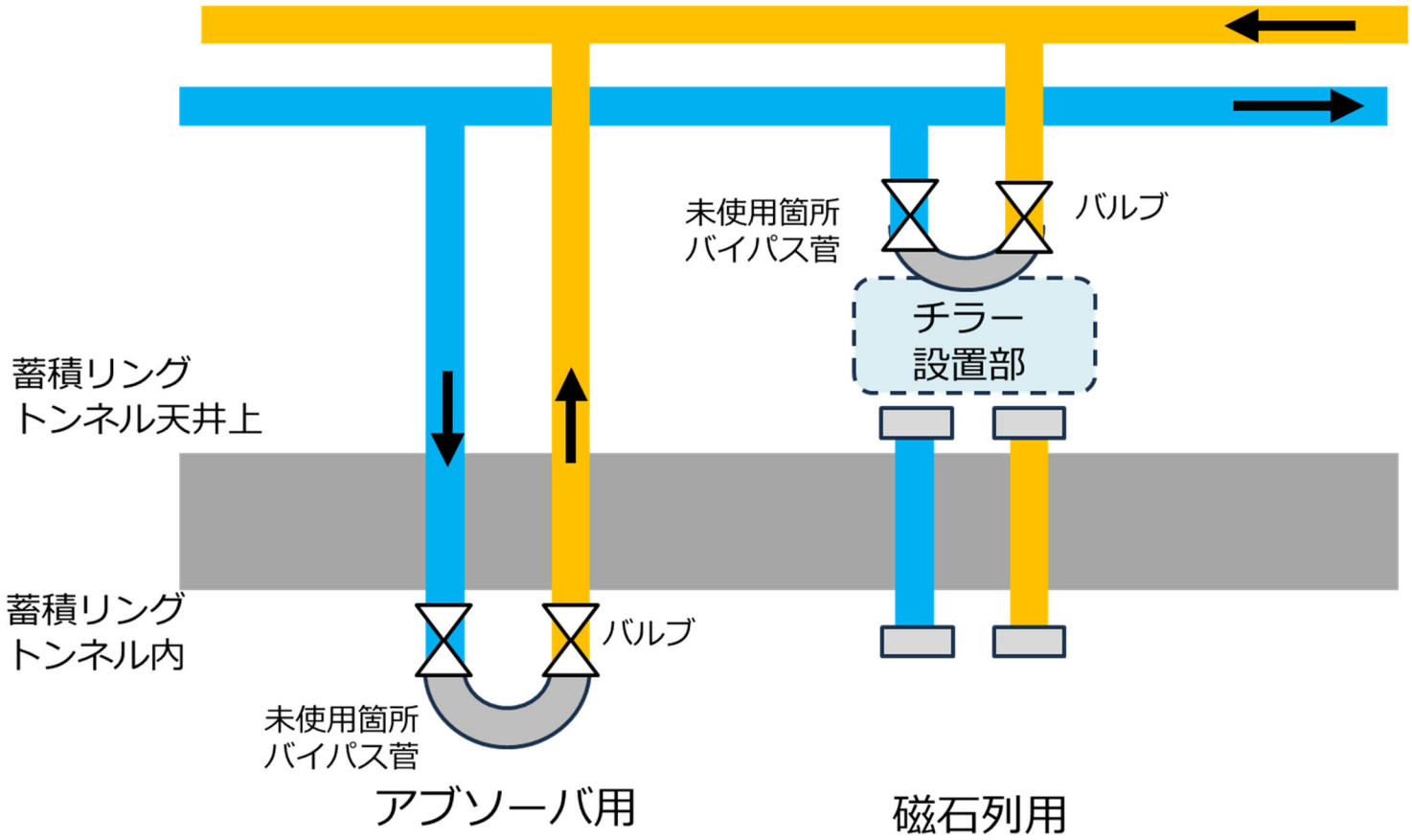
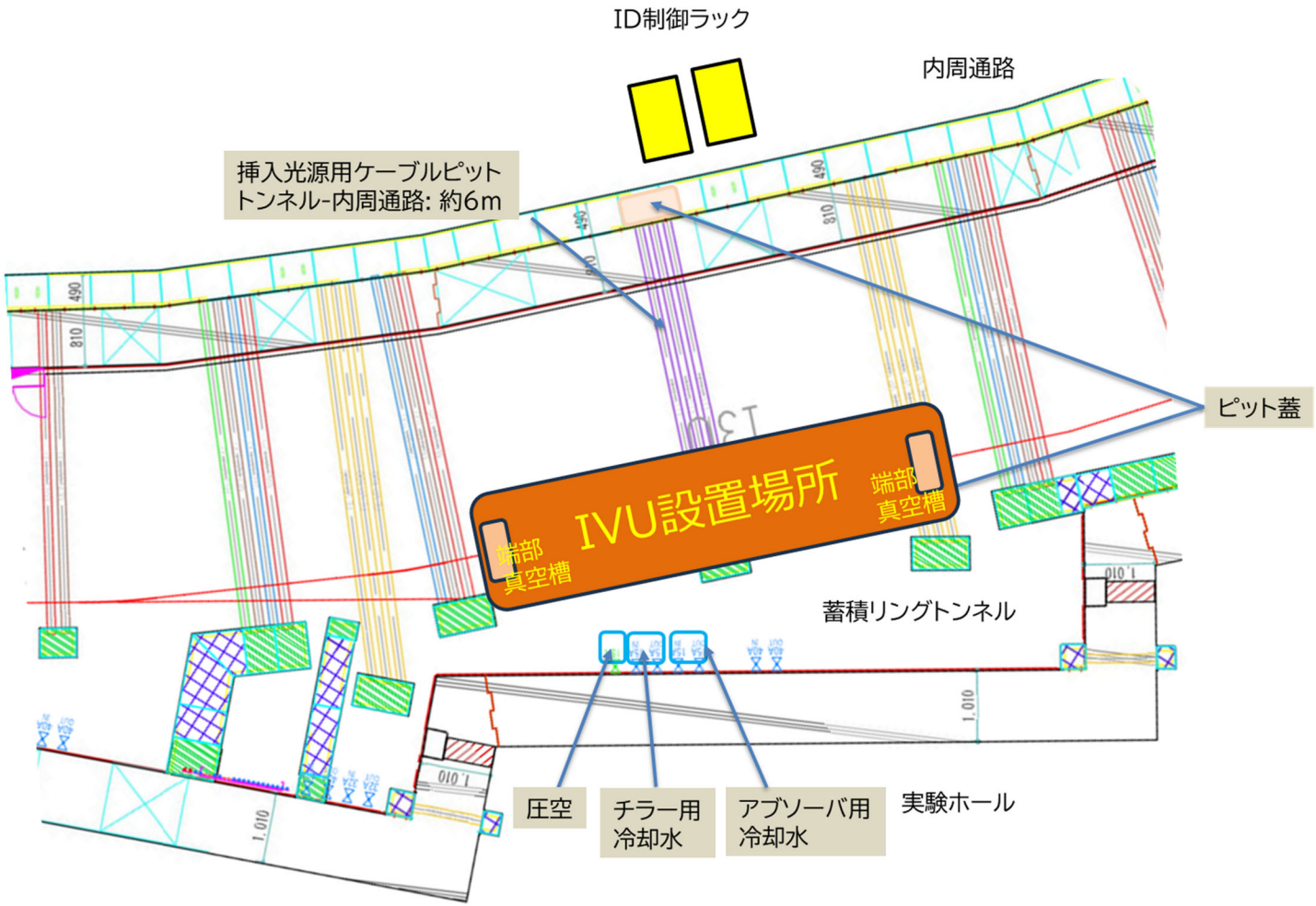



図14: 挿入光源用 通線ピット等(参考図)