

真空封止アンジュレータの整備

仕様書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 (QST)

1 一般事項

1.1 件名

真空封止アンジュレータの整備

1.2 目的

本仕様書は、QST 播磨地区において実施される「量子マテリアル高度評価基盤施設の更新」事業における、QST 専用ビームライン(BL11XU)にて世界最高峰の放射光施設を目指す SPring-8 の高度化 (SPring-8-II) に対応した真空封止アンジュレータの整備について定めたものである。

1.3 仕様範囲

- | | |
|---------------------|-----|
| (1) 真空封止アンジュレータの製作 | 1 台 |
| (2) 周辺機器の調達・製作及び取付 | 1 式 |
| (3) ベーキング作業 | 1 式 |
| (4) 旧型アンジュレータ廃棄作業 | 1 式 |
| (5) 真空封止アンジュレータ設置作業 | 1 式 |

必要な材料手配、製作、試験、梱包、輸送、搬入、設置を行うこと。

1.4 納入期限

2028 年 9 月 29 日

ただし、旧型アンジュレータの搬出及び真空封止アンジュレータ設置に関連する各種作業完了は 2028 年 3 月 24 日完了を予定している。詳細なスケジュールは、契約後に打合せの上決定する。

1.5 納入場所

兵庫県佐用郡佐用町光都 1 丁目 1 - 1 大型放射光施設 SPring-8
蓄積リング棟収納部 11 セル

1.6 納入条件

施設内の指定納入場所へ搬入後、各種調整、動作試験、ベーキング及び真空立ち上げ作業を実施し、蓄積リング棟収納部 11 セルの指定場所に設置、アラインメント作業後、引き渡

しを行うこと。

1.7 検査条件

1 項 5 節に示す納入場所に設置後、1 項 6 節に示す動作試験および員数検査、外観検査及び提出図書の合格をもって検査合格とする。

1.8 提出図書

以下の書類を提出すること。

	図書名	提出時期
①	製作工程表	契約後速やかに
②	打合せ議事録	実施の都度
③	全体確認図	製作前
④	現地作業工程表	現地作業前
⑤	リスクアセスメント	現地作業前
⑥	試験検査要領書	試験前
⑦	全体完成図	納入時
⑧	試験検査成績書	納入時
⑨	定期保守作業要領書	納入時
⑩	作業報告書	納入時

これら①～⑩をそれぞれ印刷（あるいは原本をコピー）して 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 2 冊提出すること。また、①～⑩の内容を電子ファイルとして別途提出すること。提出方法については別途指示する。③及び⑦については CAD ファイルを DXF 形式あるいは DWG 形式で提出すること。提出図書の使用言語は原則日本語とする。さらに⑦については、3D CAD のファイルを提出すること。3D CAD のファイルの形式については別途協議して決定する。提出された CAD ファイルは（2D、3D とも）周辺機器との干渉や取り扱いを確認するために使用される。CAD ファイルは、関係する他の事業者配布する可能性があることに留意すること。

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 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。

1.11 協議

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と協議のうえ、その決定に従うものとする。

1.12 座標系

本仕様書で利用する座標系を別添図面 1 頁に示す。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。

1.13 その他

- (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：適宜、会議打合せを行い、議事内容や決定事項は議事録として毎回提出すること。必要に応じてテレビ会議システムなどの利用を認める。
- (4) 貸与品：必要に応じて、以下の機器類を理化学研究所から借り受けることを認める。ただし、手配は受注者の責において行うこと。

[機器類]

- ・動作試験（ギャップ開閉、昇降動作）のためのギャップコントローラ(2.16 節)
- ・真空機器の取付とリークチェックに使用する粗排気セット及びヘリウムリークディテクタ、スプレーガンを備えたヘリウムガスボンベ(3.10 節)
- ・ベーキング用熱電対・テープヒータ(4 節)
- ・消磁のための高温炉（ヤマト科学 DN611I）(5.4 節)

- ・蓄積リング搬入作業に用いる吊り上げ作業専用治具(6.2 節)

2 真空封止アンジュレータの製作

本節で示す仕様に基づいて真空封止アンジュレータを 1 台製作すること。

2.1 概略及び部品名

別添図面 2 頁に、真空封止アンジュレータの外観図及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。尚、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ーに締結され、同モーター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。磁石列の位置は、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ーの回転角度を、適正な係数で換算することにより求める。

尚、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は問わないが、構造は一体型とする。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、ベッキング作業の際に生ずるアルミビーム及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。

真空封止アンジュレータを構成する部品類は、故障の際に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 主要外形寸法

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（端部フランジを含む）は 3902 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。ただし、上流側に 150 mm 程度の放射線遮蔽体（材質 SUS316L 等）を設置すること。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 400 mm 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。

2.3 アンジュレータパラメータ

真空封止アンジュレータの主要なパラメータは以下のとおりである。

- | | |
|------------------|--------------------|
| (1) 周期長 (mm) | 24 |
| (2) 磁石列全長 (mm) | 3300 (参考値、詳細は別途協議) |
| (3) 最小ギャップ (mm) | 6 |
| (4) 最大ギャップ (mm) | 40 |
| (5) 最大偏向定数 (K 値) | 2.3 |

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、2.5 節～2.6 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。

磁石列のギャップ開閉動作及び昇降動作を可能とするため、上部磁石列の上下流側、及び下部磁石列の上下流側、合計 4 か所を保持・駆動する機構を備えること。

駆動架台には、後述する真空槽及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、ベッ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。

尚、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。

2.5 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 | 6 mm～40 mm |
| (2) 設定分解能 | 1 μm 以下 |
| (3) 再現性 | $\pm 2 \mu\text{m}$ 以下 |
| (4) 設定値からの偏差(無負荷) | $\pm 10 \mu\text{m}$ |
| (5) 最大開閉速度 | 1 mm/s 以上（目標値） |

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 $\pm 50 \mu\text{m/m}$

2.7 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 $\pm 5 \text{ mm}$ 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、 $\pm 15 \text{ mm}$ の調整が可能であること。また、上側クロスビーム上面にアンジュレータ全体の水準を計測するための基準面を設けること。

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及び形状に基づき、本仕様書に記載した性能を満たすように決定すること。

2.9 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、外形寸法及び数量は、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 (H_{cj} 、Intrinsic Coercivity) が 25 kOe を超えるものを選定し、永久磁石ブロック及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 30 mm 以上とする。コーティングの厚みは、下地処理を含めて $20 \mu\text{m}$ 以下とする。アルミビームの外形寸法は、本節、及び 2.5、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、及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。

2.10 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°C 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。

2.11 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、6 mm、7 mm、8 mm、10 mm、12 mm（多極磁場積分については15 mm 及び 20 mm についても）の各ギャップにおいて、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。また、磁石列をチャンバー内に設置した後に磁場測定を行うこと。この時の測定条件については、別途協議とする。

- (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) 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）
 - ① 6 極（Sextupole） 100 G/cm（目標値 50 G/cm 以下）

上記の内、2 極成分については真空封止アンジュレータ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、磁石列及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、 $x=\pm 15$ 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。

尚、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、及びホルダーの寸法公差は指定しない。ただし、2.3 節で指定した最大偏向定数が、実ギャップ 6 mm 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 6 mm 以上であることを担保すること。

2.12 磁石列冷却水及び熱電対

ベーキング作業時の熱水循環及び運転時の温度安定化のために、磁石列の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。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（以下、冷却水ヘッダー）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 か所取り付けすること。場所は別途協議するが、4 か所を形状変換部、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。大気側の補償導線線の長さを 10 m とする。導入端子の数量は指定しない。

2.13 冷却水配管

前項の磁石列冷却水及びその他の機器の冷却水について、以下を参考に配管を行うこと。

2.13.1 磁石列冷却水ポートの製作及び設置

施設から供給される磁石列冷却水の出入口となる磁石列冷却水ポート（以下、冷却水ポートとする）を製作し、架台へ取り付けすること。

(1) 冷却水ポートの取付位置

上流支柱の上流側の面とし、架台の磁石列冷却水ヘッダーの付近とする。固定には付近の支柱面に設けられたタップ穴を使用すること。架台移動時の障害となることを避けるため、アンジュレータ架台共通ベースの側面に取り付けないこと。また、アンジュレータ磁石列のギャップ駆動に伴う各部の移動と干渉しない位置、形状であること。設置位置および形状については、QST 担当者の合意を得ること。

(2) 施設側の磁石列冷却水配管

出入口とも、先端に SUS 製 1/2" 径スウェジロック社製継手が付いた金属製フレキシブルチューブである。製作する冷却水ポートの接続口は、既設の施設側配管を改造せずに接続可能であること。施設水と接続する配管部品は、おおむね内径 10mm 以上であること。

(3) 冷却水ポート接続口

施設から供給される冷却水をアンジュレータ架台内各部へ分配するための接続口を設けること。冷却水ポートからの分配先は、冷却水ヘッダー及び上下流の形状変換部である。ただし、流量は等分ではなく、冷却水ヘッダーへ流れる水量が大半である。

(4) 通水監視用フロースイッチ

フロースイッチの位置は、各系統の冷却水が合流し、最終的に冷却水ポートから施設冷却水系統へ戻る出口側とする。フロースイッチの検出流量は約 2～7L/min 程度の範囲で調節可能であること。調節は現場で、ドライバなど簡便な工具により通水を止めずに可能であること。フロースイッチは検出流量以上で導通する無電圧接点を内蔵し、コネクタによりその接点信号を取り出すことができること。接点は 24V、20mA 直流電流の on/off が繰り返し可能であること。

信号出力コネクタは抜け止めのロック機構を持つこと。

その他使用上の仕様は、既設アンジュレータのフロースイッチ（日本フローコントロール（株）製 RVM/U 2/7 タイプ）と同等であること。

フロースイッチの接点信号出力コネクタに勘合するケーブル側のコネクタ、またはコネクタ付きケーブルを添付すること。フロースイッチ前後の配管接続には、ベーキング用熱水機側の配管の SUS 製 1/2" 径スウェジロック社製継手と嵌合する部材を用いること。

(5) バルブ

冷却水ポートには、施設側の出入口接続部に手動で開閉可能なバルブ、計 2 個を設けること。入口側は施設水との接続部の直後に、出口側はフローズスイッチの上流側（出口接続部から遠い側）に設けること。使用するバルブは、100℃の熱水で使用できること。

(6) その他

使用する配管部材は総て金属製とし、クイックカップラなどゴム製 O リングを使用する部材を用いないこと。

2.13.2 磁石列冷却水ポートと磁石列冷却水ヘッダー間の配管

前項で設置する磁石列冷却水ポート（以下、冷却水ポートとする）から架台内配管へ接続する配管を製作し、敷設する。

(1) 配管

製作する冷却水ポートから冷却水ヘッダーへの配管は、金属製継手を用いた配管とする。冷却水ポートの設置または配管の必要に応じて、冷却水ヘッダーのカプラまたは冷却水ヘッダーそのものを撤去する。

(2) 配管径

冷却水ポートと架台内配管との接続配管は、おおむね内径 10mm 以上であること。

2.13.3 磁石列冷却水管の中継配管接続

本体真空槽内部の磁石列に取り付けられた冷却水配管と、架台に敷設された配管とを、中継用の配管で接続する。

(1) 中継接続

磁石列冷却水管の両端と架台側配管を、銅管と継手で中継接続すること。

(2) その他

製作する中継配管の形状については、取り付け及び取り外しの際に接続先の配管に対して曲げなどの変形を加える必要がない様、全体形状や継手の数および方向に留意すること。

製作する中継配管については、付近にある形状変換部冷却水の配管接続に干渉しない形状、ルートであること。

2.13.4 形状変換部冷却水管の配管接続

本体真空槽内部に設置された形状変換部からの冷却水配管は、本体真空槽端部付近の天地の ICF114 フランジから大気側へ引き出される。この冷却水管に通水するための配管を製作、固定すること。

(1) 概要

上下流、天地の計 4 か所にある形状変換部には冷却水ポートで分岐した冷却水を通水する。冷却水ポートから次の通り接続するよう、配管を製作、固定する。

冷却水ポート（入口）－上流天形状変換部－上流地形状変換部－冷却水ポート（出口）

冷却水ポート（入口）－下流天形状変換部－下流地形状変換部－冷却水ポート（出口）

(2) 配管材質

形状変換部冷却水管に力を掛けないために、配管接続部先端に継手を付けたワイヤーブレード付きの金属製フレキシブルチューブを用いること。配管時には銅管との接続が可能であることを、長さ、形状、部材などの面で確認すること。

(3) 配管経路

上下流の形状変換部の天地間の配管経路は、配管を撤去せずに本体真空槽端部フランジ及び直近の内外周側面 ICF203 フランジの解放が可能とする様配慮のこと。

(4) 支持金具

形状変換部の冷却水管に重量を掛けないため、天地形状変換部の間の配管は支持金具を製作し、固定すること。支持金具の固定先として、天地の形状変換部冷却水管のフィードスルー部 ICF114 フランジのタップ（フランジの裏面から）、または側面のアブゾーバ導入用 ICF253 フランジのタップ（フランジの裏面から）が利用できる。但し、支持金具は十分な長さを確保し、ベーキングの熱が配管に伝わり難くするとともにベーキングの際のヒータ取付けの障害とならない様にすること。

(5) 支持具

アンジュレータ架台共通ベースの上下流端から突き出す配管の保持用として必要に応じて支持具を製作、取り付けること。支持具の形状は、本体真空槽直下の範囲に収めること。支持具は形状変換部冷却水管のほか、アブゾーバ冷却水配管を併せて支持可能なこと。支持具はアンジュレータ架台運搬時の振動、加重、接触を考慮した強度とし、自重及び配管重量を支持できること。運搬の際も配管及び配管接続先のアブゾーバや、形状変換部冷却水管の銅管に変形、損傷を与えない強度を持つこと。

(6) その他

冷却水ポートと下流形状変換部の間のアンジュレータ長手方向の配管は、本体真空槽のほぼ真下の共通ベース上面及び、(5)の支持具上を通すこと。本配管は、おおむね内径 10mm 以上であること。

形状変換部配管は、下流形状変換部までの長手方向配管を除き、おおむね内径 6mm 以上であること。

形状変換部冷却水配管は、アブゾーバ冷却水管との干渉を避け、お互いの継手の接続、解結作業が可能な距離をとること。

2.13.5 アブゾーバ冷却水管の配管接続

磁石列冷却水とは別に、施設からアブゾーバ用の冷却水が供給される。この冷却水をアンジュレータに取り付けられたアブゾーバに通水するための配管を製作し接続すること。

(1) アブゾーバ内配管接続

アブゾーバの 5 本の独立した冷却配管を直列に接続し、1 本の配管に構成するため実際の形状に合わせた接続管を準備すること。接続管は 8mm 銅管及び SUS 製継手で作成する。接続管は各配管が直列になる様にそれぞれの出口と入り口を順に接続し、1 本の入り口と 1

本の出口を持つように構成すること。

(2) 施設側との接続口の製作

施設側配管との接続口は、アンジュレータ外周側中央部に設ける。既設の施設側配管は出入口とも、先端に SUS 製 1/2" 径スウェジロック社製継手が付いた金属製フレキシブルチューブである。製作する接続口は、既設の施設側配管を改造せずに接続可能であること。接続口と施設側配管との接続位置は共通ベースの外周縁付近とし、共通ベースから大きく突き出さないこと。

(3) アブゾーバ冷却水の通水監視用フロースイッチ

フロースイッチの位置は、出口側（施設への戻り側）接続口付近であること。フロースイッチの検出流量は約 2～7L/min 程度の範囲で調節可能であること。調節は現場で、ドライバなど簡便な工具により通水を止めずに可能であること。フロースイッチは検出流量以上で導通する無電圧接点を内蔵し、コネクタによりその接点信号を取り出すことができること。接点は 24V、20mA 直流電流の on/off が繰り返し可能であること。その他使用上の仕様は、既設アンジュレータのフロースイッチ（日本フローコントロール（株）製 RVM/U 2/7 タイプ）と同等であること。信号出力コネクタは抜け止めのロック機構を持つこと。

フロースイッチの接点信号出力コネクタに勘合するケーブル側のコネクタ、またはコネクタ付きケーブルを添付すること。

(4) 配管接続

アブゾーバと施設との出入り口が直列になる様、配管を製作し接続する。アブゾーバ冷却水の架台内配管のうち、上下流方向配管は主に本体真空槽のほぼ真下の共通ベース上面を通すこと。共通ベース上面のタップ穴などを利用して適宜固定し、アンジュレータ移動時などにアブゾーバ本体の配管に過大な加重をかけないこと。配管の大部分は内径 10mm 以上の配管を用いること。

(5) その他

架台内配管のうち共通ベースから上下流方向へ突き出した部分は、共通ベースに取り付けた形状変換部冷却水管の支持具を共用して支持すること。共通ベース上面の高さからアブゾーバまでの立ち上がり配管は、共通ベース近くではおおむね本体真空槽の外形内に収め、それより高い位置で外周側に張り出して各アブゾーバ配管に接続すること。

2.13.6 配管気密試験

架台内冷却水配管に通水する前に気密試験を行い、異常個所の検出、対処を行う。

(1) 磁石列冷却水系統

配管各部の接続が完了した後、冷却水ポートの施設水側接続口の片方に 0.5MPa が測定可能な圧力計を接続する。冷却水ポートの他方に窒素ガスボンベを繋ぎ、最大 0.5MPa までゆっくり加圧して、バルブで封じきる。加圧による温度上昇とその後の降温による圧力変化が落ち着いた後、取り付けた圧力計を観察し、30 分間で著しい圧力低下がなければ合格とする。ボンベを切り離し、バルブをわずかに開いて内部の窒素ガスの圧力をゆっくり下げ

る。

(2) アブゾーバ冷却水系統

配管各部の接続が完了した後、アブゾーバ冷却水の接続口の片方に 0.5MPa が測定可能な圧力計を接続する。接続口の片方を塞ぐ。他方に窒素ガスポンペを繋ぎ、最大 0.5MPa までゆっくり加圧して、バルブで封じきる。加圧による温度上昇とその後の降温による圧力変化が落ち着いた後、取り付けた圧力計を観察し、30 分間で著しい圧力低下がなければ合格とする。ポンペを切り離し、バルブをわずかに開いて内部の窒素ガスの圧力をゆっくり下げる。

(3) 気密試験終了後

配管内部の窒素をゆっくり放出し、常圧に戻す。試験に使用した圧力計、および配管を塞いだ機材を外し、配管を開放する。その後、磁石列冷却水配管はバルブを閉じ、異物が入らない様に接続口をアルミホイルでカバーする。アブゾーバ冷却水配管の接続口もアルミホイルでカバーすること。

2.14 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 の銅と 25 μm 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。

2.15 真空槽

真空槽の概略図を別添図面 3 頁に示す。端部フランジを含めた全長を 3902mm とし、ポンプ類、ベローズシャフト、アブゾーバ、熱電対導入端子等を設置するためのポートを適宜配置すること。それぞれの場所は指定しないが、アブゾーバ（下流側形状変換部の位置に内周側から挿入）を設置するポートは、後述するアブゾーバと形状変換部の位置関係を満たすように配置すること。詳細は別途協議して決定する。

材質は SUS304 とするが、発注者・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 $1 \times 10^{-11} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 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（3.7 節）を装着した状態における全長を 3902 mm とする。また、ベーキング用のシースヒータ（200 V 1200 W）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。

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。

2.16 制御系

ギャップ開閉はステッピングモーターにより行う構造とする。SPring-8 における他のアンジュレータ制御系との互換性から、メレック製レゾルバ付きステッピングモーター H739-22A/XSF5862-003 相当品を採用し、2.5 節及び 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、上記モーターで駆動できるように減速機などの選定を行うこと。ギャップ値を計測するために、各駆動軸のモーター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。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 10 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。尚、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（1 μ m）以下で測定が可能な機種を選択すること。上記の制御系の設定や配線が適切に行われていることを確認するため、別途貸与するギャップコントローラを使用して動作試験（ギャップ開閉、昇降動作）を行うこと。

2.17 位置センサ及び配線

ギャップ開閉動作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 μ 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 0.2 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、ギャップ開閉及を機械的に停止するハードストップを設けること。さらに、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、施設への納入時には、動作位置を下記に示す値に設定しておくこと。

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	5.9	5~7	40.1	20~45
堅牢型	5.8	5~7	40.5	20~45
ハードストップ	5.5	4~6	41	20~45
GFO スイッチ	NA	NA	39.5	20~45

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。

モーターのリード線、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し、SPring-8 で使用予定の他のアンジュレータの中継端子盤と同様に配線すること。また、エンコーダの配線順序も同様とする。契約後に同配線図を開示する。尚、配線に使用するケーブルとして、耐放射線性に優れたポリエチレン製コネクタ（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

2.18 定期保守方法

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、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。

3 周辺機器の調達・製作及び取付

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。

3.1 真空ゲージ

キャノンアネルバ製 NIG-2TF 相当品 2 台。ただし、取合フランジを ICF114 に変更すること。

3.2 バルブ類

以下の仕様に従ってバルブ類を調達すること。

- (1) オールメタルアングルバルブ：VAT 製 54136-GE02 相当品 1 台。
- (2) アングルバルブ：VAT 製 28436-GE01 相当品 1 台。

3.3 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用マウントフランジ 8 台とカートリッジ 8 台を調達すること。これらの組立作業も仕様を含む。

- (1) マウントフランジ

ヒータ出力：400 W（ポンプカートリッジ温度 450 °C にてヒータ電流 4A 程度）。

熱電対：K 型かつ真空対応のシース型構造とする。

コネクタ：超高真空対応の電流端子（真空内へのヒータ電力導入、および真空内から熱電対出力取り出し）を介してフランジに取り付けること。

寸法：直径 203 mm（ICF203 フランジ）、マウントフランジ面（真空側）からヒータ先端部までの長さは 200 mm 以下とする。

- (2) カートリッジ

動作圧力： 10^{-4} ~ 10^{-9} Pa で動作可能であること。

排気速度（活性化直後）：一酸化ガスに対して 400 L/sec 以上とする。

室温時の排気量：一酸化ガスに対して 2.6 Pa.m³ 以上とする。

初期排気速度を回復するための活性化温度と所要時間：活性化温度 450 °C にて 50 分以下とする。

寸法：直径 100 mm 以下、長さ 130 mm 以下とする。

3.4 イオンポンプ

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

3.5 ニップル類

別添図面 4 頁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、及び用途（装着される機器）は以

下の表の通りである。

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

また、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。

3.6 接続管

以下の仕様に従って、端部フランジと上下流ゲートバルブを真空接続するための接続管を 2 台製作すること。適宜、別添図面 5－7 頁を参照すること。

3.6.1 アンジュレータ側フランジ

アンジュレータ側のフランジであって、ICF152 とする。ボルト挿入用切り欠きを設け、3.6.7 項の RF コンタクトを付属（取り付けた状態で納品）すること。

3.6.2 ゲートバルブ側フランジ：ICF114

ゲートバルブ側のフランジであって、ICF114 とする。ボルト挿入用切り欠きを設け、3.6.7 項の RF コンタクトを付属（取り付けた状態で納品）すること。

3.6.3 形状変換部

アンジュレータ側開口（楕円）とゲートバルブ側開口（菱形）を滑らかに接続する部位であって、ワイヤーカットなどの方法で滑らかに形状を変換すること。

3.6.4 ベローズ

以下の仕様を満たすベローズを使用すること。

最高ベーク温度：250℃

材質：SUS316L

外径：Φ120mm

内径：Φ90mm

駆動範囲：軸方向＋5mm/－20mm、軸直角方向±0.5mm（全長 150mm の時）

3.6.5 RF フィンガー

ベローズ内部のインピーダンスを軽減するための RF フィンガーであって、材質を 0.2mm 厚さのベリリウム銅 (C1720) とする。ベローズの収縮量に適合するように設計すること。構造や数量は 3.6.7 項の RF コンタクト (菱形開口) に準ずること。

3.6.6 スプリングフィンガー

前項の RF フィンガーを所定の位置に押し付けて固定するためのフィンガーであって、接触圧を 50kgf 以上とする。ベローズの収縮量に適合するように設計すること。

3.6.7 RF コンタクト

接続管の両端のインピーダンスを軽減するための RF コンタクトであって、ゲートバルブ側 (菱形開口) と、アンジュレータ側 (楕円開口) それぞれに取り付けること。

3.7 端部フランジ

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) の開口は 90 mm×40 mm の楕円形状 (長径が水平方向) とし、ICF152 フランジを介して接続管 (蓄積リングゲートバルブとアンジュレータ端部を接続するための真空短管、仕様外) と真空締結が可能な形状とすること。適宜、別添図面 8 頁を参照すること。ベーキング用のシースヒータ (200V 600W) を取り付けること。

3.8 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) 製作すること。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) 6 mm から 40 mm までの磁石列ギャップ変化に追従すること。
- (2) 変換部のストライプは 0.2 mm 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 mm は一体型とすること。
- (3) 冷却水配管には $\phi 4$ mm 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。
- (4) 冷却水導入部には $\phi 6$ 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 6mm) を銀ろう付けにて固定すること。
- (5) 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。尚、実機製作の前に変換部 (ストライプ及び固定部) 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。

3.9 アブゾーバ

アンジュレータ上流側偏向磁石からの放射光を遮断するためのアブゾーバを1台製作すること。概略図を別添図面9頁に示す。アブゾーバは下流側端部（形状変換部）付近の真空槽内周側に設けたICF203ポートから挿入し、電子ビーム軸から27 mmより外周側の偏向磁石光を遮断するように設計し、かつ形状変換部や磁石列と干渉することが無いように、真空槽のICF203ポートの位置（別添図面10頁のL寸法）を決定すること。

3.10 真空機器の取付とリークチェック

真空槽本体（2.15節）に、形状変換部（3.8節）、端部フランジ（3.7節）、ニップル類（3.5節）、及び、調達した真空機器類（3.1～3.4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、ガスケット及び必要な消耗品（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。尚、イオンポンプ（3.4節）は重量が50 kg程度あるため、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、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及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。尚、スプレーガンを備えたヘリウムガスポンペを貸与する。

3.11 ケーブルの製作

以下の仕様に従ってアンジュレータを運転するためのケーブルを製作すること。全て全長25 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) BA ゲージケーブル 2本
- (2) SIP ケーブル 4本
- (3) リミットスイッチケーブル 2本
- (4) モーターケーブル 2本
- (5) エンコーダケーブル 3本
- (6) レゾルバケーブル 2本
- (7) 熱電対補償導線 2本
- (8) 信号ケーブル 6対
- (9) 補正電磁石ケーブル 4本

3.11.1 共通仕様

環境 15～50℃、35～85%RH（結露無し）の環境下で使用できること。個別の仕様は以下の各項を参照すること。

3.11.2 BA ゲージケーブル

キャノンアネルバ製ヌードイオンゲージの接続用ケーブル。キャノンアネルバ製「架橋ポリエチレンNIGケーブル」同等品。

(1) 両端処理

両端はそれぞれ、キャノンアネルバ製ヌードイオンゲージ「NIG-2TF」、およびコントローラ「M-923HG」に接続できるコネクタであること。

(2) 表示

ケーブル 2 本にそれぞれ「BA-1」、「BA-2」の表示を、両端のコネクタ付近に行う。

(3) 備考

本ケーブルを使用してキャノンアネルバ製ヌードイオンゲージを正常に読み取ることができること。ガラス繊維が外部に剥き出しとなった被覆、外被を用いないこと。

3.11.3 SIP ケーブル

キャノンアネルバ製エクセルポンプの駆動用ケーブル。キャノンアネルバ製「架橋ポリエチレンIP出力ケーブル」同等品。

(1) 両端処理

両端はそれぞれ、キャノンアネルバ製エクセルポンプ「912-7100」、およびコントローラ「P-521NP」に接続できるコネクタであること。

(2) 表示

ケーブル 4 本にそれぞれ「SIP-1」～「SIP-4」の表示を、両端のコネクタ付近に行う。

(3) 備考

本ケーブルを使用してキャノンアネルバ製エクセルポンプが正常に機能すること。ガラス繊維が外部に剥き出しとなった被覆、外被を用いないこと。

3.11.4 リミットスイッチケーブル

弱電信号用のリミットスイッチケーブル

(1) 線材

シールド（遮蔽）付難燃性エコケーブル。各芯線は断面積 0.5～0.8 sq とする。

(2) コネクタ-1

JAE 製 N/MS3108B24-28P 相当品

24pin ライトアングルプラグ

ピンインサート

適合するケーブルクランプを取り付けること

(3) コネクタ-2

JAE 製 N/MS3108B24-28S 相当品

24pin ライトアングルプラグ

ソケットインサート

適合するケーブルクランプを取り付けること

(4) 接続

全ての pin をストレート接続のこと。シールドは、両端のコネクタシェル内で圧着端子付きの絶縁電線（長さ約 10cm）を接続し、ケーブルクランプ後部から取り出す。コネクタ-1 側はケーブルクランプの固定ネジに共締めする。未接続芯線はコネクタシェル内で絶縁すること。

(5) 表示

ケーブル両端のコネクタ付近に、「LS」の表示を行う。

(6) 絶縁抵抗

コネクタの各 pin 間、及びシールドとの間で 60V、10M Ω 以上。

(7) 連続通電電流

上記環境下において、半数の pin について同時通電、2A/pin 以上であること。

3.11.5 モーターケーブル

ステッピングモーター駆動用ケーブル

(1) 線材

シールド（遮蔽）付難燃性エコケーブル。各芯線は断面積 1.25 sq とする。

(2) コネクター1

JAE 製 N/MS3108B16S-1P 相当品

7pin ライトアングルプラグ

ピンインサート

適合するケーブルクランプを取り付けること

(3) コネクター2

JAE 製 N/MS3108B16S-1S 相当品

7pin ライトアングルプラグ

ソケットインサート

適合するケーブルクランプを取り付けること

(4) 接続

全 pin ストレート接続。シールドは、両端のコネクタシェル内で圧着端子付きの絶縁電線（長さ約 10cm）を接続し、ケーブルクランプ後部から取り出す。コネクター1 側はケーブルクランプの固定ネジに共締めする。未接続芯線はコネクタシェル内で絶縁すること。

(5) 表示

各ケーブルにそれぞれ「MO-1」、「MO-2」の表示を、両端のコネクタ付近に行う。

(6) 絶縁抵抗

コネクタの各 pin 間、及びシールドとの間で 125V、10MΩ 以上。

(7) 連続通電電流

上記環境下において全 pin 同時通電、7A/pin 以上であること。

3.11.6 エンコーダケーブル

FA ネットワーク規格：EtherCAT の通信用ケーブル

(1) 線材

カテゴリ 5e 以上対応のシールド（遮蔽）付ノンハロゲン難燃性外被の LAN ケーブルであること。

(2) コネクタ (両端)

シールド付 RJ45 コネクタ

(3) 接続

全 pin ストレート接続のこと。

(4) 表示

各ケーブルにそれぞれ「ENC-1」、「ENC-2」、「ENC-3」の表示を、両端のコネクタ付近に行う。

3.11.7 レゾルバケーブル

レゾルバ信号用ケーブル

(1) 線材

シールド (遮蔽) 付難燃性エコケーブル。 芯線はツイストペア 3 対以上であること。各対毎にシールドを持つこと。 各芯線は断面積 0.2~0.5 sq とする。

(2) コネクタ-1

D-Sub 9pin メス。EMI 対策型コネクタシェルを付ける。 固定ねじは M2.6 とする。

(3) コネクタ-2

D-Sub 9pin オス。EMI 対策型コネクタシェルを付ける。 固定ねじは M2.6 とする。

(4) 接続

両端コネクタの pin 1、2、4、6、7、9 をストレートで接続する。ただしコネクタの pin 1 と 6、pin 2 と 7、pin 4 と 9 に接続する芯線をそれぞれツイストペアとし、3 対を構成する。 pin 3、5、8 は未接続とする。 未接続芯線がある場合はコネクタシェル内で絶縁する。 シールドは両端でコネクタシェルに接続する。

(5) 表示

各ケーブルにそれぞれ「RSLV-1」、「RSLV -2」の表示を、両端のコネクタ付近に行う。

(6) 絶縁抵抗

コネクタの各 pin 間、及びシールドとの間で 60V、10M Ω 以上。

3.11.8 熱電対補償導線

K タイプ熱電対接続用 10 対ケーブル

(1) 線材

K タイプ熱電対用 10 対ノンハロゲン難燃性補償導線。各芯線は断面積 0.5～0.75 sq とする。

(2) 両端処理

ケーブル両端 25cm のシースを剥き、各対毎に分ける。各芯線の先端に K タイプ熱電対用圧着端子を取り付ける。必要に応じ絶縁キャップを付けること。

(3) 表示

補償導線 2 本にそれぞれ「TC-1」、「TC-2」の表示を、ケーブル両端からそれぞれ 40cm 位置に付ける。また、ケーブル両端でそれぞれの対 1～10 に対し各対の番号を表示する。

(4) 接続

熱電対補償導線の各対がツイストペアであること。

(5) 備考

ガラス編組の被覆、外被を用いないこと。

3.11.9 信号ケーブル

信号伝送用の多芯ケーブル

(1) 線材

難燃性エコケーブル。各芯線は断面積 0.5～1.5 sq とする。

(2) 両端処理

無し

(3) 表示

ケーブル両端からそれぞれ 40cm 位置に、「IDSIG」の表示を付ける。

(4) 絶縁抵抗

各芯線間で 60V、10MΩ 以上。

(5) 備考

6 対（12 芯）以上とし、6 対 1 本または 3 対 2 本など、2 本以内とする。

3.11.10 補正電磁石ケーブル

補正電磁石励磁用ケーブル

(1) 線材

2 芯 架橋ポリエチレン絶縁ノンハロゲン難燃性ケーブル。 各芯線は断面積 5sq 以上とする。

(2) 両端処理

無し

(3) 表示

ケーブル 4 本にそれぞれ「IDMG-1」、～「IDMG-4」の表示を、ケーブル両端からそれぞれ 40cm 位置に付ける。

(4) 絶縁抵抗

各芯線間で 125V、10MΩ 以上。

3.12 配線作業

アンジュレータの運転に必要な配線作業を以下の要領で行うこと。

3.12.1 中継端子盤の製作と設置

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、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。

(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

3.12.2 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#1～#30 : 熱電対用端子台へ、本体真空槽内からの熱電対 (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 (2.17 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 (6.4.2 節) リード線を接続すること。

(5) アブソーバ冷却水信号 : アブソーバ冷却水フロースイッチ (6.4.2 節) リード線を接続

すること。

3.12.3 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の中継するためのコネクタ盤を製作・設置すること。

- (1) 構造：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。

コネクタ 名称	表示	コネクタ型式	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	端部フランジ及び 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。

3.12.4 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 用並行 2 極 (IS C 8303 2 極コンセント) を 9 口以上持つこと。

3.12.5 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 (3.12.3 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。

- (1) ヒータ側端子処理：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。

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 (3.5 節) シースヒータ。
3	NEG 用	1 本	モレックス	NEG 用 ICF203 L 管特型 (3.5 節) シース

	L 管ヒータ		1619P (1pin)	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 (3.5 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 (3.4 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 (3.7 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(3.6 節)用ヒータ。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 絶縁チューブ: ヒータからのリード線出口、及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) 配線

- ① 別添図面 1 1 頁に示した通線経路に基づき、ベーキング用コネクタ盤 (3.12.3 節) 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、ギャップ開閉の際に負荷が掛からず、他の配管及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。

4 ベーキング作業

真空機器の取付とリークチェック及びベーキング用配線の完了後、以下の要領で真空槽及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十分な排気ができていること。
- (2) 貸与するギャップコントローラ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) 真空槽本体及び温調を行う枝管類(ニップル及びL管等、3.5 節)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) 真空槽本体及び枝管類を、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) 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) 真空槽各部のシースヒータおよび追加ヒータは、駆動架台に設置したベーキング用中継端子盤(3.12.3 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、真空槽温度及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进行すること。
- (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、昇温速度及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^{-4} Pa 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 $-60^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ 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 $-30^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ 以下とすること。降温速度がこの値以下ま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、真空槽温度及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ツの圧力計を監視し、約 10^{-5} Pa 以下に到達した段階で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真空槽に設置された真空ゲージ(3.1 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(DEGAS)を行うこと。
- (27) 各部が室温になるまで、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} 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。

5 旧型アンジュレータ廃棄作業

SPring-8 蓄積リングで稼働中の旧型アンジュレータを収納部から搬出し、産業廃棄物として廃棄する作業である。

5.1 作業概略

蓄積リング棟収納部に設置されているアンジュレータ 1 台を搬出し、磁石列の解体・消磁、を行うこと。作業の際には強力な吸引力を発生する永久磁石による不慮の事故を防ぐための対策を講じること。下記に作業の詳細について記載する。

5.2 旧型アンジュレータ搬出

SPring-8 蓄積リング棟収納部 11 セル付近に設置されているアンジュレータ 1 台(真空封止型、全長 4.5m)を収納部から搬出し、組立調整実験棟クライストロンギャラリの指定場所に移動すること。移動の際には、収納部床面に損傷を与えないよう注意すること。

5.3 磁石列の取り出し

真空槽内部に設置されている磁石列を取り出すこと。本作業のために真空機器を取り外す場合は、作業終了後に元の位置に取り付けること。

5.4 磁石列の解体と磁石ブロックの消磁及びサーベいの準備

全ての磁石ユニットを磁石列から取り外し、磁石ブロックとそれ以外（クランプやホルダー）へ解体すること。磁石ブロックは貸与する高温炉（ヤマト科学 DN611I）を使って消磁すること。磁石ブロックの消磁後、磁石ブロックを含めたサーベい未実施の部品をパレット等に並べてサーベいを行う。

これらの部品類の処理はサーベい作業の結果（放射化の有無）に従って以下の通りとする。

A) 放射化が確認された場合

消磁後の磁石ブロックを含めた全部品類を、理化学研究所安全管理課が用意した専用の容器に移し替え、指定場所（北管理棟）へ移動すること。ただし、場所については受注者が理化学研究所担当者と調整の上、受注者の責において手配すること。

B) 放射化が確認されなかった場合

消磁後の磁石ブロックについては受注者側が回収すること。それ以外の部品類は受注者の責において準備した容器に収納した上でクライストロンギャラリの指定場所に仮置きすること。ただし、場所については理化学研究所担当者と調整の上、受注者の責において手配すること。

5.5 磁石列以外の部品類の廃棄

前節で処理した磁石列以外の全ての部品類（駆動架台、真空槽、真空機器類）を、適切な手続きで産業廃棄物として処理すること。廃棄完了後に、産業廃棄物管理票（マニフェスト）の写し（必須：D 票以降）を提出すること。ただし、サーベいの結果放射化が確認された部品類は北管理棟へ移動すること。ただし、場所については受注者が理化学研究所担当者と調整の上、受注者の責において手配すること。

5.6 作業日程

アンジュレータ搬出作業は、SPring-8 運転停止中にのみ可能であることを考慮すること。工程の詳細については QST 担当者と協議すること。

5.7 作業報告書

上記の各項目の作業経過について適宜写真を撮影し、産業廃棄物管理票の写しと併せて「作

業報告書」として提出すること。

6 真空封止アンジュレータ設置作業

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

施設への搬入前に、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、アンジュレータ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。本作業及び収納部におけるアラインメント作業で利用するレーザートラッカー及びその操作者は、受注者の責において手配すること。

6.2 蓄積リング棟への搬入

SPring-8 構内の組立調整実験棟への荷下ろしまでは「吊り天秤と複数のチェーンブロックをアンジュレータベースと連結し、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」を許可するが、安全上の理由から、組立調整実験棟で組立後の架台を SPring-8 構内で運搬し蓄積リング棟への搬入の際は上記の方式での吊り方は許可しない。受注者はこれらのことに留意して駆動架台の設計を行うこと。必要に応じて吊り上げ作業専用治具を貸与する。尚、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。

6.3 蓄積リング搬入とアラインメント

真空封止アンジュレータ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（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 $\pm 0.2\text{mm}$ 以下
- (2) 垂直位置 $\pm 0.05\text{mm}$ 以下
- (3) ビーム進行位置 $\pm 0.5\text{mm}$ 以下
- (4) 水平度（水平方向・ビーム進行方向） 0.02mm/m 以下

尚、水平度はアンジュレータ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。

6.4 通線配管作業

アンジュレータ運転のために必要な通線及び配管作業を行うこと。

6.4.1 通線作業

アンジュレータを運転するための各種ケーブル（3.11 節）を蓄積リング収納部と保守通路を繋ぐセルダクトへ通線すること。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。

6.4.2 配管作業

挿入光源を収納部へ設置後、施設から供給される冷却水を光源架台内に通水するため、以下の仕様に従い施設側冷却水配管と接続する。

- (1) 配管に要する部材は受注者により調達のこと。
- (2) 冷却水に接触する配管材料は、ガスケットを除きすべて銅系または SUS 製の材料とする。また冷却水に接触しない部分も総て金属系材料とし、樹脂系材料を使用しないこと。
- (3) 収納部内の外周壁面に設置されたアブゾーバ冷却水およびチラー冷却水のそれぞれの往復方向フランジ継手と、挿入光源側のそれぞれの往復接続口とを接続する。施設側のフランジ継手を改造することなく、接続配管を接続すること。
- (4) 接続配管は金属製フレキシブル配管を使用する。フレキシブル配管は 8 気圧の内圧に耐え、通行時に踏まれても容易につぶれない強度を持つ、シース付きのものであること。また挿入光源内の 1/2 インチ径配管と同等以上の内径であること。接続配管は外周壁面および床面に沿わせること。配管経路は周囲の通行に支障ないこと。
- (5) 挿入光源側の冷却水の接続口は 1/2 インチ径の SUS 配管であり、適合するスウェジロック製継手のナットおよびフェルールが設置されている。これを改造することなく接続配管を接続すること。
- (6) 施設側配管に接続されていたショートカットなどの部材を配管の際に取り外した場合は、QST 担当者に引き渡すこと。

6.5 作業報告書

上記の各項目の作業経過について適宜写真を撮影し、「作業報告書」として提出すること。

(要求者)

部課（室）名：関西光量子科学研究所
放射光科学研究センター 装置・運転管理室
氏 名：菅原 健人