

仕 様 書

1. 件名

量子メスの小型入射器制御系の整備

2. 数量 一式

3. 目的

当機構では次世代の小型重粒子線がん治療装置である量子メスの建設を進めている。この量子メスは、マルチイオン源、小型線形加速器、超伝導シンクロトロンから構成される加速器集合体である。本件では、マルチイオン源-小型線形加速器からなる入射器系の量子メスへの統合のために、それらの制御系と電磁石を設計し製作する。また、その入射器系の移設・再構築のために工事設計を実施する。

4. 納入期限

制御系・電磁石の設計、及び、

入射器系の移設・再構築のための工事設計: 2026 年 3 月 31 日(火)

上記以外の製作品等: 2027 年 4 月 30 日 (金)

5. 要件

5-1. 入射器制御系の設計・製作

小型線形加速器及びマルチイオン源は量子メスへ統合され、上位の制御系によりシンクロトロンと統合して制御される。この統合された制御が可能となるように、下記の仕様を満たす制御系を製作し、また現状の制御系の改修を行うこと:

- (1) 小型線形加速器及びマルチイオン源からなる入射器系の制御を統括し、上位の制御系と取り合いを行う制御系の設計・構築を行うこと。
- (2) 入射器系の制御装置は、上位の制御系よりシンクロトロンとの同期タイミングを知らせる光信号を受け取り、それによって入射器系の各機器がシンクロトロンの運転に同期したパルス運転を行えること。

- (3) 中エネルギービーム輸送系(MEBT)の 2 つのファラデーカップ、カーボンストリッパフォイルを制御するための装置を製作すること。
- (4) 量子メスでは、複数イオンで治療を行うマルチイオン治療を実施する。この治療のイオン供給のために、入射器系の各機器はイオン種ごとに運転パラメータを変更する。この運転パラメータの変更が正しく行われているかを検証するために、本件で製作する制御系は、下記の判定機構を備えること (q/A 判定):
- A. RFQ のピックアップコイル出力の実測値によるイオン種判定機能,
 - B. イオン源加速電圧の実測値によるイオン種判定機能.
- (5) マルチイオン治療供給では、異なるイオン種の混入を監視する必要がある。当機構支給の判定装置が出力する、不純物混入判定結果を示す接点信号(不純物混入判定)を本件で製作する制御系は入力できること。
- (6) 本件で製作する制御系は、上記の q/A 判定、不純物混入判定、及び手動入力情報等を用いて、4 通りのイオン種、イオン種不定、不純物混入、実験用イオン、の 7 つのうち、イオン源がいずれの状態かを判定すること。
- (7) この状態の判定結果は 3bit の信号として、上位の制御系に伝達すること。また、この 3bit の判定結果を元に、安全な照射のためにイオン源に必要となる処置を行うようにすること。
- (8) マルチイオン治療のためのイオン供給にて、素早いイオンの切り替え(~10 秒)を実現するために、本件で製作する制御系は下記の機能を実装すること:
- A. ある 1 種のイオンを生成する際の複数ガスの供給機能,
 - B. ガス導入用パルスバルブの上流側にて、あるイオンを生成する際に不要なガスの混入を防止する機能,
 - C. 分析電磁石の磁場静定時間の短縮化を実現する機能,
 - D. 分析電磁石の磁場静定後に、磁場のドリフトを防止する機能,
 - E. 入射器系でイオン切り替えが完了したことを、各機器の状態 (例えば、イオン切り替え後のイオン強度を測定するファラデーカップの出力値の状態)を元に判定する機能。但し、この判定に必要となる各機器及びその状態については、機構担当職員の下承を得て決定すること。
- (9) このイオン切り替え完了を示す信号は、上位の制御装置に伝達すること。
- (10) 以上の追加される制御機能の実体として、下記の装置の設計・製作・改造を行うこと:
- A. 入射器統括制御装置,

- B. 調整 PC 一式,
- C. イオン源 LEBT 制御盤 (現用制御盤の改造)
- D. イオン源 LEBT タイミング装置(現用品に 1 ユニットを新規製作・追加)
- E. 高圧デッキ制御盤 (現用制御盤の改造)
- F. 高圧電源盤 (現用制御盤の改造)
- G. 高圧電源制御装置 (現用制御盤の改造)
- H. LEBT ビーム電流検出装置(現用制御盤の改造)
- I. MEBT 制御盤
- J. MEBT タイミング装置
- K. MEBT ビーム電流検出装置

(11) この統括制御装置は、小型線形加速器及びマルチイオン源の付帯装置を下位装置として接続し、上位の制御系から入射器系の下位装置の制御を可能とすること。

(12) この入射器統括制御装置は下記の機能を備えること:

- A. 入射器系機器のステータスの上位/下位制御装置への出力,
- B. 入射器系機器の異常信号の上位/下位制御装置への出力(軽異常・重異常),
- C. 制御要求の上位/下位制御装置への出力,
- D. 入射器系機器のアナログ出力値(設定値・検出値)の上位/下位制御装置への出力,
- E. 上位/下位制御装置からのステータスの入力,
- F. 上位/下位制御装置からの異常信号入力(軽異常・重異常),
- G. 上位/下位制御装置からの制御司令の入力,
- H. 上位/下位制御装置からのアナログ値(設定値・検出値)の入力,
- I. その他、上位/下位制御系に要求される入出力。

(13) 入射器統括制御装置は上位の制御装置との制御系を通信系(CC-Link ネットワーク)によって構築すること。但し、この通信系の障害や PLC の故障が生じても伝送が必要となる信号、或いは高速な伝送が必要となる信号については、ハードワイヤによる入出力系を構成すること。

(14) 入射器統括制御装置には、制御室へ伝送する入射器系機器のアナログ信号を纏めるための BNC の中継端子台(20 端子)を設けること。

5-2. LEBT 用分析電磁石の設計・製作

- (1) 分析電磁石の上流・下流に繋がる LEBT には、当機構が所有する既設の機器を用いる。それらと接続して支障なく使用できること。
- (2) 分析電磁石内に収まる真空チャンバーも設計し製作すること。
- (3) この真空チャンバーには、機構担当職員の指定する場所にイオン強度検出用の電極を設置できるようにすること。
- (4) この電極は、分析電磁石のイオン出射側の磁極端面からおよそ 150 mm 下流側、90 度偏向されたビームから見た座標でおよそ $x=+40-70$ mm の位置(左曲がりの場合)に設置される。偏向前からこの電極まで機構担当職員の指定するイオンが輸送できるように、真空チャンバーの形状を設計すること。真空チャンバーの形状、電極の設置箇所は、機構担当職員の下承を得て決定すること。
- (5) もう一台のイオン源が量子メスに追加される場合には、図 1 の矢印 A の方向よりこの分析電磁石を通過する。この経路における真空チャンバーの高さと幅は、機構担当職員の下承を得て決定すること。また、その真空チャンバーの設置が可能となるように、ヨークの貫通穴形状を決定すること。
- (6) 電磁石のアライメントにはレーザートラッカーを用いる。電磁石には、レーザートラッカーのリフレクターの設置が所定の位置と精度で行えること。このアライメントに用いるレーザートラッカーの機種等の情報は、機構担当職員に問い合わせること。
- (7) 70℃で動作する温度監視インターロック用サーマルリレー(normally closed)を冷却水最下流部に備えること。ただし、一つのコイルを複数のパンケーキで構成させる場合には、いずれのパンケーキにもサーマルリレーを備えること。これらリレーの端子は端子台に纏めること。
- (8) 一つのコイルを複数のパンケーキで構成させる場合には、マニホールドを設けて並列に接続させること。
- (9) 流量監視インターロック用フローメーターを備えること。ただし、フローメーターは、東フロコーポレーション株式会社製羽根車式流量計であること。
- (10) 次の順でバルブ設けること：流入側ボール弁, 流量調整弁, (電磁石)、流出側ボール弁。
- (11) 流入側ボール弁と電磁石の間に、ストレーナーを設けること。
- (12) 流入側ボール弁、流量調整弁、(電磁石)、流出側ボール弁、ストレーナーには、株式会社キッツ製の製品を使用すること。
- (13) この分析電磁石は下記の仕様を満たすこと：
 - A. 台数: 1,

- B. 磁極・鉄心材料: 電磁軟鉄,
- C. 偏向角: 90 度 (左曲がり),
- D. エッジアングル: ビーム入射側 36 deg., ビーム出射側 0 deg. ,
- E. 磁極間隔: 90 mm,
- F. 最大磁場強度: 0.219 T,
- G. 最大起磁力: 15600 A#,
- H. 最大電流: 145 A,
- I. 最大電圧: 16.8 V,
- J. 冷却水量: 4.2 L/min.,
- K. 圧力損失: 0.4 MPa,
- L. 冷却水温度上昇幅: 9.1 deg.,
- M. 真空箱: 箱型、3 ポート(ICF152 フランジ)、冷却機構有り,
- N. 色: 架台は #77787B (JIS), 電磁石ヨークは #C0C0C0(JIS), コイルは #58535E,
- O. 架台付き.

5-3.量子メス棟への移設・再構築のための工事設計・計画

(1) 移設・再構築の対象となる小型線形加速器(RFQ・IHL)及びマルチオン源は、現在は QST 千葉地区重粒子線棟に設置されている。これら機器、及びその付帯装置を QST 千葉地区量子メス棟へ図 1 の通りに移設し、支障なく稼働できるように再構築する必要がある。小型線形加速器・マルチオン源及びその付帯装置、またこれらの制御系・電力系・冷却系・圧縮空気系の現状を調査した上で、移設・再構築の工事設計・計画を行うこと。この計画の結果として、系統図・単線結線図・配線・配管図、運搬方法・作業指示書等を提出すること。

(2) 上記の付帯装置には下記の機器が含まれること:

- A. 低エネルギービーム輸送系
- B. マッチング 3 連 Q 電磁石
- C. RFQ・IHL 用 RF トランジスタアンプ
- D. イオン源 LEBT 制御盤 1,2
- E. LEBT 電磁石電源盤
- F. LEBT 高圧電源盤
- G. RFQ 制御盤 1,2

- H. IHL 制御盤 1,2
- I. MEBT 制御盤 1,2
- J. 入射器統括 PLC 制御盤
- K. RFQ/IHL ローレベル盤
- L. 入射器 Q 電磁石電源盤
- M. 入射器調整 PC
- N. イオン源絶縁トランス 1,2,3
- O. イオン源高圧デッキ制御盤 1,2
- P. イオン源真空制御装置
- Q. LEBT ビーム電流検出装置
- R. MEBT ビーム電流検出装置

(3) 移設・再構築がこの計画の通りに進められるように、下記の書類を提出すること。

- A. 設計・製作工程表
- B. 契約仕様書
- C. 展開接続図
- D. 試験・検査計画書
- E. 工事試験・検査成績書
- F. ケーブルリスト・結線表
- G. CC-Link アドレス表
- H. 取扱説明書
- I. 納入品リスト
- J. 完成図
- K. 打合せ議事録
- L. その他、移設・再構築の計画を示すのに必要な書類

(4) 移設・再構築がこの計画の通りに進められるように、機構担当職員・もしくは機構担当職員が指名した者に技術的な指示を行う者(以下、TA)を派遣すること。但し、対象となる機器と作業内容は下記の通りである：

- A. マルチイオン源の HIMAC 等からの引き出し,
- B. マルチイオン源用の制御盤・電源盤の HIMAC 等からの引き出し,
- C. 小型線形加速器(RFQ・IHL)の引き出し,
- D. 小型線形加速器(RFQ・IHL)用の制御盤・電源盤の HIMAC 等からの引き出し,

- E. 入射器系装置すべての HIMAC 棟からの搬出、及び量子メス棟への搬入,
 - F. 量子メス棟での小型線形加速器(RFQ・IHL)のパワーアンプモジュールの取付,
 - G. 量子メス棟での装置据付・アライメント(非精密及び精密),
 - H. 量子メス棟での防護フェンスの設置,
 - I. 量子メス棟での冷却配管の施工,
 - J. 量子メス棟での制御盤・電源盤の据付.
- (5) 各機器の解体・解線については TA を派遣する必要はないが、作業者が(1)に記した計画を問題なく理解できるように、指示書等を提出すること。
- (6) 各機器の据付に必要となるアンカーの施工・配置図を提出すること。
- (7) 小型線形加速器、マルチイオン源、及びその付帯機器に関する位置の関係は、現存する重粒子線棟で精密測定されて、量子メス棟での再構築の再にもその状況は精密アライメントにより再現される。この精密測定・精密アライメントに必要となる各機器の組立図の提出をすること。
- (8) 移設、或いは精密測定・精密アライメントに伴い、機器の吊り上げ・固定・位置決めに関わる治具が必要となる場合にはその製作を行うこと。

5-4. その他

- (1) 本件の納品物の引渡し条件は車上渡しとする。但し、機構が指定する荷下ろし業者と調整を行うこと。
- (2) 請負者は、本件業務上知り得た情報を、機構担当者の許可なくして第三者に開示してはならない。
- (3) 設計の詳細について機構担当員と随時協議をおこない、承認を得た後に、製作・製造に取りかかるものとする。また、詳細な仕様は協議により別途変更可能とする。

5-5. 試験

(1) 下記の制御立ち上げ・現場試験を実施すること:

- A. 配線確認,
- B. 各盤の受電、通電,
- C. 真空立上,
- D. マルチイオン源の制御立ち上げ,
- E. LEBT 系各機器の制御立ち上げ,
- F. RFQ、及びその付帯機器の制御立ち上げ,
- G. IHL、及びその付帯機器の制御立ち上げ,
- H. MEBT 系各機器の制御立ち上げ,
- I. 入射器系の総合制御試験,
- J. 入射器系のイオン切り替え制御試験
- K. 上位制御装置との入出力確認試験
- L. 上位制御装置との総合制御試験
- M. q/A 判定装置、不純物監視装置の制御試験

(2) 機構が貸与・支給を了承したものを除き、上記(1)の立ち上げ・試験等に必要となる部材、計測器などは請負業者が用意すること。

(3) 以下の工場試験を実施し、その結果を報告書に記載すること:

- A. 寸法試験,
- B. 分析電磁石の通電試験、耐電圧試験,
- C. 分析電磁石の通水試験、耐水圧試験,

いずれの電磁石の冷却配管系においても、1.5 MPa 以上の耐圧性があることを確認すること。

D. 分析電磁石用真空箱の真空試験:

- 1. ヘリウムリークディテクターを用いて試験を実施し、リークレートが $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であることを確認すること。
- 2. 真空チェンバー内壁のガス放出速度が $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}/\text{s}$ 以下であることを確認すること。

6. 提出図書

以下を含む完成図書を電子データで提出すること:

- 制御系・電磁石の設計書
- 入射器系の移設・再構築のために工事設計書
- 取扱説明書
- 設計図・製作図：電磁石については dxf/dwg フォーマットであること
- 試験検査報告書：「6. 試験」の結果を電子データで提出のこと

8. 納入場所

千葉県千葉市稲毛区穴川 4 丁目 9 番 1 号

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 千葉地区

量子メス棟(仮称)

9. 検査

当機構職員が本仕様書に記載の要件を満たすことを確認し、検査合格とする。

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。

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、量研と協議のうえ、その決定に従うものとする。

(要求者)

部課名

量子医科学研究所 物理工学部

使用者氏名

片桐 健

(別紙様式 1 - 1)

選定理由書

1. 件名	量子メスの小型入射器制御系の整備
2. 選定事業者名	住友重機械工業株式会社
3. 目的・概要等	マルチイオン源-小型線形加速器からなる入射器系の量子メスへの統合のために、それらの制御系と電磁石を設計し製作する。また、その入射器系の移設・再構築のために工事設計を実施する。
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 3 号② (その他既調達物品等に接続して使用し又は提供させる物品等又は特定役務)
5. 選定理由	量子メスは、マルチイオン源、小型線形加速器、超伝導シンクロトロンから構成される加速器集合体である。本件では、マルチイオン源-小型線形加速器からなる入射器系を量子メスへ統合するために、入射器系の制御系と電磁石を設計し製作する。また、これらの改修が行われた入射器系を量子メス棟に移設・再構築するために、工事設計も実施する。 本件で実施する制御系の設計・電磁石の設計・入射器系機器の移設工事のための設計は、入射器系全体の設計条件に含まれる全ての機器を十分理解したうえで実施することが不可欠である。入射器系は全て住友重機械工業株式会社により設計・製作され、かつ当該システムの設計・機器構造に関わる詳細な技術情報は公開されていない。したがって、住友重機械工業株式会社は、それらの詳細な技術情報を持つ唯一の会社であるため、当該事業者を選定した。