

NBI 運転制御ソフトウェアの整備作業

仕 様 書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
那珂フュージョン科学技術研究所
炉工学基盤研究開発部 NB 加熱開発グループ

1 一般仕様

1.1 件名

NBI 運転制御ソフトウェアの整備作業

1.2 目的

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。)では、幅広いアプローチ活動の一環として実施されるサテライト・トカマク計画において、JT-60SA のプラズマ加熱実験運転に向けた中性粒子入射装置(以下「NBI」という。)の試験調整を進めている。本件では、NBI の調整試験及び運転に必要な NBI 運転制御ソフトウェアの整備を実施するものである。

1.3 納期

令和 9 年 3 月 12 日(金)

1.4 作業実施場所

受注者事業所内及び QST 那珂フュージョン科学技術研究所 炉工学基盤研究開発部 NB 加熱開発グループ内とする。必要に応じて以下の建屋及び設備において現場調査等を行うこと。その際の安全管理は QST 担当者の指示に従うこと。

- ① JT-60 制御棟中央制御室
- ② JT-60 制御棟 408 号室
- ③ その他 JT-60 NBI の関連設備

1.5 検査条件

2 章に示す作業が終了し、1.6 項に示す提出図書の完納及び 1.7 項に示す貸与品の返却を QST が認めたときをもって検査合格とする。

1.6 提出図書

表 1 に示す提出図書を提出すること。

表 1 提出図書

図書名	提出時期	部数	確認
外国人来訪者票 (QST 指定様式)	入構 2 週間前 (外国籍の者、又は、日本国籍 で非居住の者の入構がある場 合に提出のこと)	電子データ 1 式	要
整備要領書	作業開始 1 週間前まで	1 部及び電子ファイル	要
作業報告書	作業終了後速やかに	1 部及び電子ファイル	不要
完成図 (本件で整備後の プログラムを含む)	納入時	電子ファイル	不要
打合せ議事録	打合せ終了後速やかに	電子ファイル	不要
再委託承諾願 (QST 指定様式)	作業開始 2 週間前まで	1 部	要

※電子ファイルの形式は Microsoft Office 又は PDF とし、図面は AutoCAD 互換形式又は PDF とし、電子メール等で提出すること。提出方法の詳細は QST との協議により決定する。

(提出場所)

QST 那珂フュージョン科学技術研究所 JT-60 制御棟 4 階
炉工学基盤研究開発部 NB 加熱開発グループ

(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書類を受領したときは、期限日を記載した受領印を押印して返却する。当該期限までに審査を完了し、受理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、受理したものとする。

ただし、「再委託承諾願」は、QST の確認後、書面にて回答するものとする。「外国人来訪者票」は QST の確認後、入構可否を電子メールで通知する。QST の確認を要しない図書についても、QST が内容の修正を指示した場合は迅速に対応すること。

1.7 貸与品

受注者の求めに応じて以下の物品等が無償で貸与する。

① JT-60 NBI 装置制御系の完成図書(制御仕様一覧、系統図、単線結線、IBD、既存プログラムなど)

② JT-60 NBI 装置の運転マニュアル類

貸与品については、契約条項のとおりとする。なお、QST が貸与品の所在等の確認を求めた場合には、受注者はこれに協力するものとし、紛失等の異常時には速やかに報告することとする。

(貸与時期)

契約締結後、受注者より希望する貸与時期を QST 担当者と協議すること。

(貸与方法)

下記貸与場所にて貸与する。下記貸与場所にて閲覧し、貸与場所より外部には持ち出さないこと。

(貸与場所)

茨城県那珂市向山 801-1

QST 那珂フュージョン科学技術研究所

JT-60 制御棟 4 階 403 号室

1.8 品質管理

別添「BA調達取決めに係る調達契約の品質保証に関する特約条項」に従う。本契約の対象機器の品質重要度分類の等級はクラス C とする。

1.9 技術情報、成果公開の取扱い

本契約に関して発生する技術情報及び成果の取扱いは、次によるものとする。

(1) 技術情報の開示制限

受注者は、本契約を実施することにより得た技術情報を第三者に対して開示しようとするときは、あらかじめ書面により QST の承認を得なければならないものとする。QST が本契約に関し、その目的を達成するため受注者の保有する技術情報を了知する必要がある場合は、QST と受注者間で協議の上、受注者は当該技術情報を無償で QST に提供するものとする。

(2) 成果の公開

受注者は、本契約に基づく業務の内容及び成果について、発表若しくは公開し又は特定の第三者に提示しようとする時は、あらかじめ書面により QST の承認を得なければならないものとする。

のとする。

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 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。

1.12 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と協議の上、その決定に従うものとする。

2 技術仕様

2.1 JT-60SA NBI 用制御機器及び設備の概要

JT-60SA NBI は、JT-60SA で生成するプラズマに中性粒子ビームを入射して加熱する装置である。

JT-60SA の NBI 用機器・設備の多くは、JT-60 の NBI 用機器・設備の再利用機器であり、JT-60SA の運転に向けて機器の改造や増強整備を実施した。JT-60SA NBI を構成する機器及び設備の概要を以下に記す。図 1 に JT-60SA NBI 用制御機器の構成、図 2 に那珂フュージョン科学技術研究所構内における JT-60NBI 用機器の配置図を示す。

- 正イオン NBI を構成する 12 基のビームラインは、NBI 運転ボードや CPU 運転/マニュアル運転の運転方式の選択をはじめとして、各ユニットそれぞれ独立の運転形態をとることができる。あるユニットのトラブルを他ユニットへ波及させないこと及びイオン源の状態その他のユニット間の個体差に対応できることなどが必要であるため、NBI の運転制御は中央制御室からの集中遠隔制御方式であり、イオン源の運転は計算機システムを介する運転法(CPU 運転)と介さない運転法(マニュアル運転)のいずれも選択により NBI 操作デスク(CP1)により選択可能である。
- 負イオン NBI 装置の制御系の基本構成は、計算機システム、電源系制御設備、ビームライン系制御設備の 3 つであり、その機能として、イオン源の運転を全て中央制御室から遠隔で制御監視することができることとした。
- 計算機システムは、電源系制御設備及びビームライン系制御設備を統括して、イオン源を運転する運転制御機能と、各制御設備からの計測データの収集/処理機能、NBI 装置全体の運転状態監視機能、及び JT-60 全系制御設備の放電制御機能との交信機能などをもつ。
- 電源系制御設備は、イオン源運転のために必要な保護インターロックやタイミング制御の各機能、全系タイミング指令による実験入射の制御機能などをもつ。
- ビームライン系制御設備は、ビームライン系の遠隔操作項目に対する運転制御機能、電源系制御設備との間で必要なインターロック信号等の授受機能をもつ。

2.2 JT-60SA NBI の運転制御ソフトウェアの整備作業

JT-60SA NBI 用機器・設備の多くは JT-60 NBI 用機器・設備を再利用するが、長パルス化に向けた機器の改造や制御機器の更新、他設備との取合変更により、JT-60SA における運転に向けては制御機器のプログラムを修正する必要がある。特に、JT-60SA の運転を統括する JT-60SA 統括制御システムとの取合変更に対応したプログラム修正を実施する必要がある。

図1に JT-60SA 統括制御システムと NBI 制御系との取合を示す。図 3 に示すとおり、NBI 全系 PC は放電制御サーバ(DCSV)及びプラント監視サーバ(PMSV)と、タイミングシステム子機はタイミングシステム親機と、リフレクティブメモリは密度加熱コントローラと取合う。また、NBI 機器側でインターロックを発報した際は、リレー回路を介して JT-60SA 統括制御システムの保護インターロックシステムに信号を送信する。

NBI 制御系の機器は、主に PC、PLC、タッチパネル、NI 社製の計測機器を用いており、プログラムは NI 社製の LabVIEW、及びラダープログラムを用いている。

JT-60SA NBI の運転に向け、以下の項目について、JT-60SA NBI 用制御系を整備すること。

(1) プラントデータ、警報データの整備

NBI 制御系は、現場の各制御機器からの信号を中央制御室の PLC に集約し、電源、ビー

ムライン、受配電、制御系の運転状況を常時把握する。これらの設備に異常が発生した際は、警報を発報する。設備の状況をプラントデータ、警報発報の状況を警報データとして、JT-60SA 統括制御システムのプラント監視サーバからの送信要求があった場合、NBI 全系 PC から送信する。プラントデータは 166 点、警報データは 67 点あり、中央制御室内の PLC に信号を集約している。これらのデータには、機器識別番号、装置区分、信号種別、一貫番号、PID が割り振られている。

このプラントデータ及び警報データを、プラント監視サーバからの送信要求(約 10 秒間隔)に応じて送信するよう、既存の制御プログラムを変更すること。プラント監視サーバとの通信方法については、貸与するプラント監視サーバ設計書を参照するとともに、QST 担当者の指示に従うこと。

応答ができない場合や、誤った信号応答をした場合には JT-60SA の運転に支障をきたす可能性があるため、十分に留意して整備を行うこと。

(2) 入射パルス幅制限機能の整備

NBI は、JT-60SA 統括制御システムにより設定されたタイミングで中性粒子ビームを入射するが、NBI の機器の状況等によっては、機器を保護するために入射パルス幅を制限する必要がある。以下の仕様にて、このような入射パルス幅の制限機能を有するよう、既存の制御プログラムを変更すること。

- NBI 運転 PC において、LabVIEW で作成された既存の運転画面に、許容パルス幅を手動で設定する入力機能を追加すること。
- リフレクティブメモリ上に保存されている、JT-60SA の運転シーケンスに設定された NBI の入射パルス幅を抽出し、入力した許容パルス幅と比較し、入射パルス幅が許容パルス幅よりも長い場合、JT-60SA 統括制御システムにインターロック信号を送信するよう、既存の制御プログラムを変更すること。送信するインターロック信号は、「NBI A 状態」とする。リフレクティブメモリとして、NI 社製の NI PXIe-1071 及び NI 6581B を使用する。
- リフレクティブメモリの通信方法については、貸与するリフレクティブメモリマップを参照するとともに、QST 担当者の指示に従うこと。

本機能が正常に動作しなかった場合、NBI 機器を損傷させる可能性があるため、十分に留意して整備を行うこと。

(3) 放電結果データ送信の実装

NBI は、1 回の運転ごとに各ユニットが入射したビームのパワーや加速電圧、加速電流等の 385 点の項目を測定したデータから算出し、JT-60SA の放電シーケンス終了後から 60 秒以内に NBI 全系 PC から DCSV に放電結果データとして送信する。この放電結果データ送信の機能を既存の制御プログラムを変更して実装すること。DCSV との通信方法は、貸与する放電結果データ管理機能設計書を参照するとともに、QST 担当者の指示に従うこと。

(4) 運転ステート移行・維持の整備

NBI の各ユニットは、運転状態により 7 つのモード(全停止、半停止、準備運転、クライオ再生、コンディショニング、角度微調整、実験入射)をとる。また、JT-60SA 統括制御システムは、運転状態により 9 つのステートを取り、それぞれのステートにおいて可能な動作が決められている。

JT-60SA 統括制御システムが特定の周期で各設備の状態を確認し、NBI が特定のモードにある場合や、NBI のゲートバルブ閉信号が特定の状態にある場合に、ステート間の移行、及びそのステートの維持が不可能になる。このようなステート移行、ステート維持の可・不可を

判定する動作をステート移行前検査、及びステート維持検査と呼ぶ。また、特定のステートにおいて、自動、又は JT-60SA 統括制御システム側の手動操作により、NBI のコンディショニング運転が許可される。このステート移行、ステート維持の条件、及びコンディショニング運転の許可の条件は、設備間の取合い表で決められている。既存のプログラムを変更し、ステート移行前検査、ステート維持検査、コンディショニング許可の条件が取合い表のとおりになるよう整備すること。

(5) H-MG 無励磁対応の整備

JT-60SA の運転では、放電シーケンスにおいて、JT-60SA 統括制御システムから各設備に指令を送り、機器を動作させ、プラズマ放電を生成する。この放電シーケンスにおいて新規に機能追加が必要となった H-MG 無励磁対応について、既存のプログラムを変更して以下の機能を持つように整備すること。なお、タイミングはプラズマ放電開始を $t=0$ 秒とする。

NBI のプラズマ放電前の調整運転であるフラッシングについて、 $t=-75$ 秒までに DCSV から NBI 全系 PC にメッセージ通信にて停止指令が送信される。NBI は全ユニットのフラッシングが停止したことを確認次第、 $t=-68$ 秒までに DCSV に「H-MG 励磁停止許可」信号を送信するとともに、NBI 制御系は不足電圧マスクを開始する。この後、 $t=-45$ 秒頃に「H-MG 励磁開始」のハードワイヤ信号を受信するまで、NBI の電源への受電は停止する。「H-MG 励磁開始」信号を受信後、NBI 制御系は不足電圧マスクを解除する。 $t=-25$ 秒頃に DCSV から NBI 全系 PC に NBI フィラメント通電開始指令が送信されるため、NBI 制御系はフィラメント暖機運転を開始するとともに、NBI 全系 PC から DCSV に対し「NBI フィラメント通電開始/不可応答」を送信する。タイミングシステムにより通知される放電完了後、不足電圧マスクを開始する。その後、「H-MG 励磁開始」のハードワイヤ信号を受信するまで、NBI の電源への受電は停止する。「H-MG 励磁開始」信号を受信後、NBI 制御系は不足電圧マスクを解除する。

(6) Data status の整備

JT-60SA 統括制御システムと各設備はリフレクティブメモリを介して実時間でデータ共有を行う。NBI からは、各ユニットの使用・不使用の状態を常時表示する。既存のプログラムを変更し、このリフレクティブメモリに以下の仕様の「data status (counter)」の信号を追加すること。

リフレクティブメモリのアドレス 00C0 0000h に「data status (counter)」を追加する。これを「実時間制御開始 ($t=-60$ 秒) から書き込みを開始し、整数型で 1 制御周期ごとに 1 を加算し、実時間制御停止時に停止クリアする制御カウンタとして実装する。

(7) 取合い試験及び運転試験時における制御プログラムの動作確認

上記(1)～(6)に示したプログラム変更後の NBI 制御系が想定どおり動作することを NBI 制御系のみを使用して確認すること。このとき、JT-60SA 統括制御システムや他設備の信号についてはダミー信号を用いること。

その後、QST が実施する NBI 装置電源機器の無負荷通電試験(2026 年 11 月～12 月に予定)において、制御プログラムが授受する信号の監視・取得を行い、整備したプログラムが正常に動作することを確認すること。ただし実施時期の詳細は QST と協議して実施するものとする。

2.3 作業報告書の作成

2.2 項の作業内容をまとめた作業報告書を作成し、提出すること。

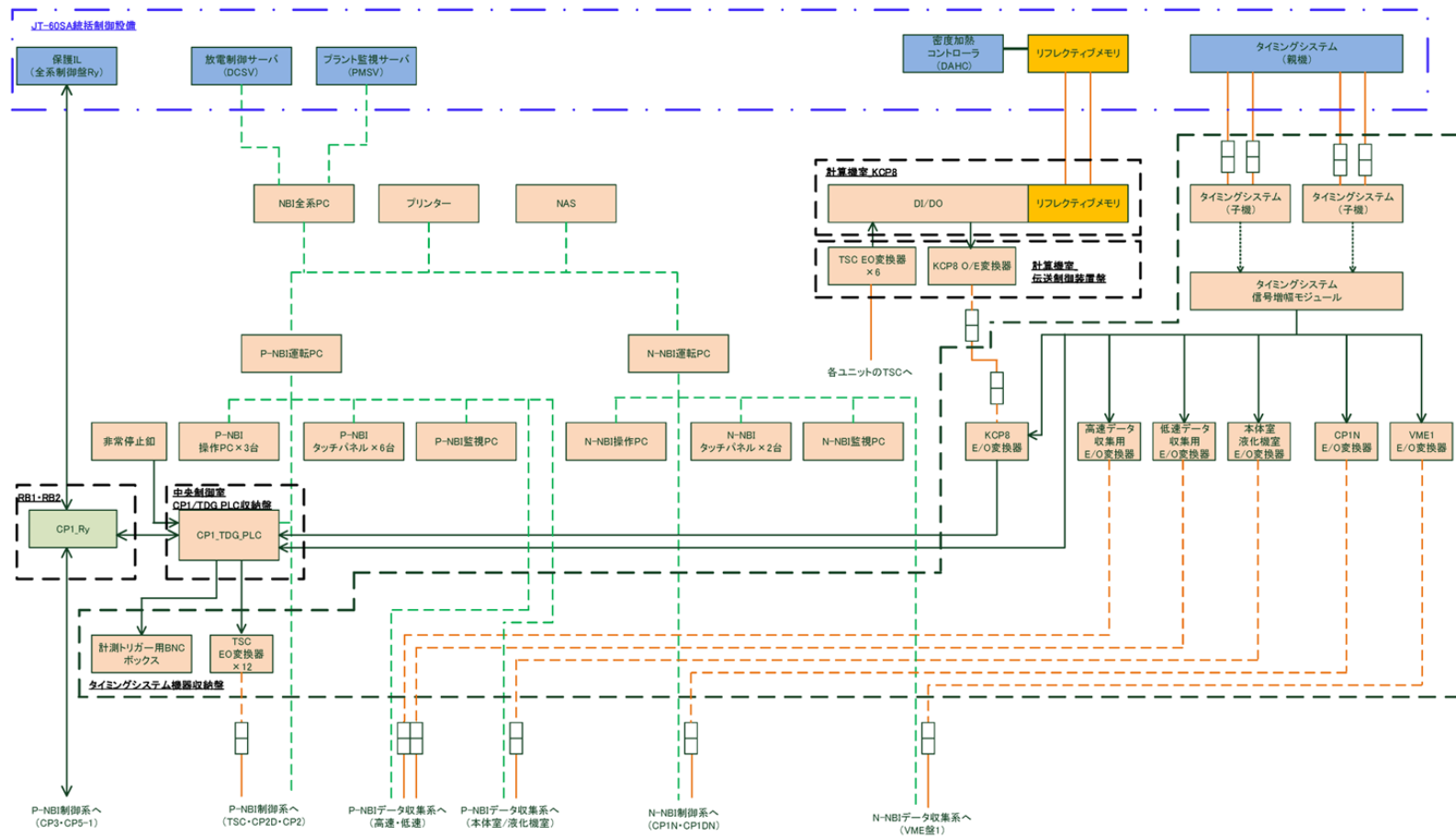


図 1. JT-60SA NBI 用制御機器の構成

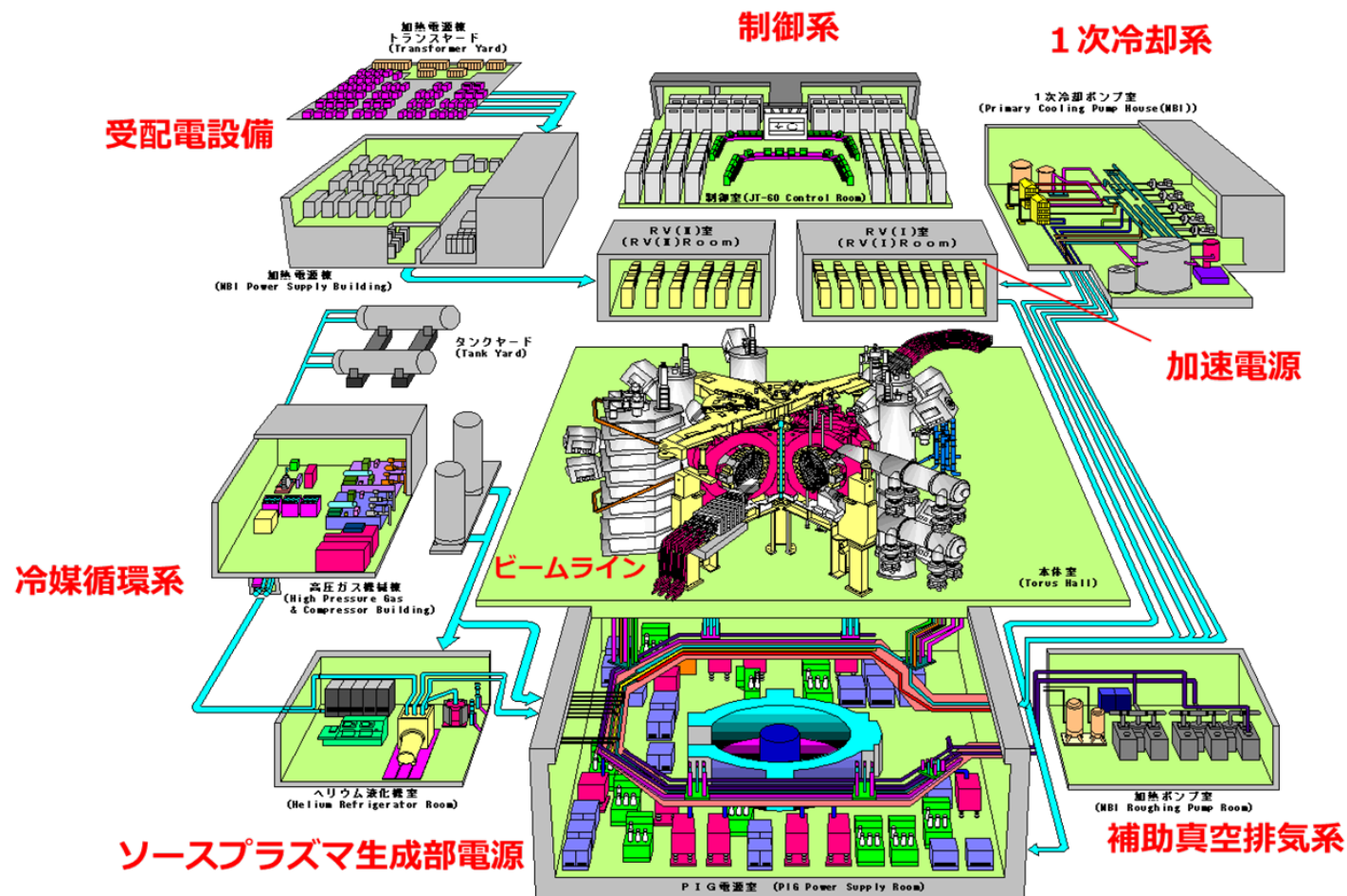


図 2. 那珂フュージョン科学技術研究所構内 JT-60NBI 機器配置図

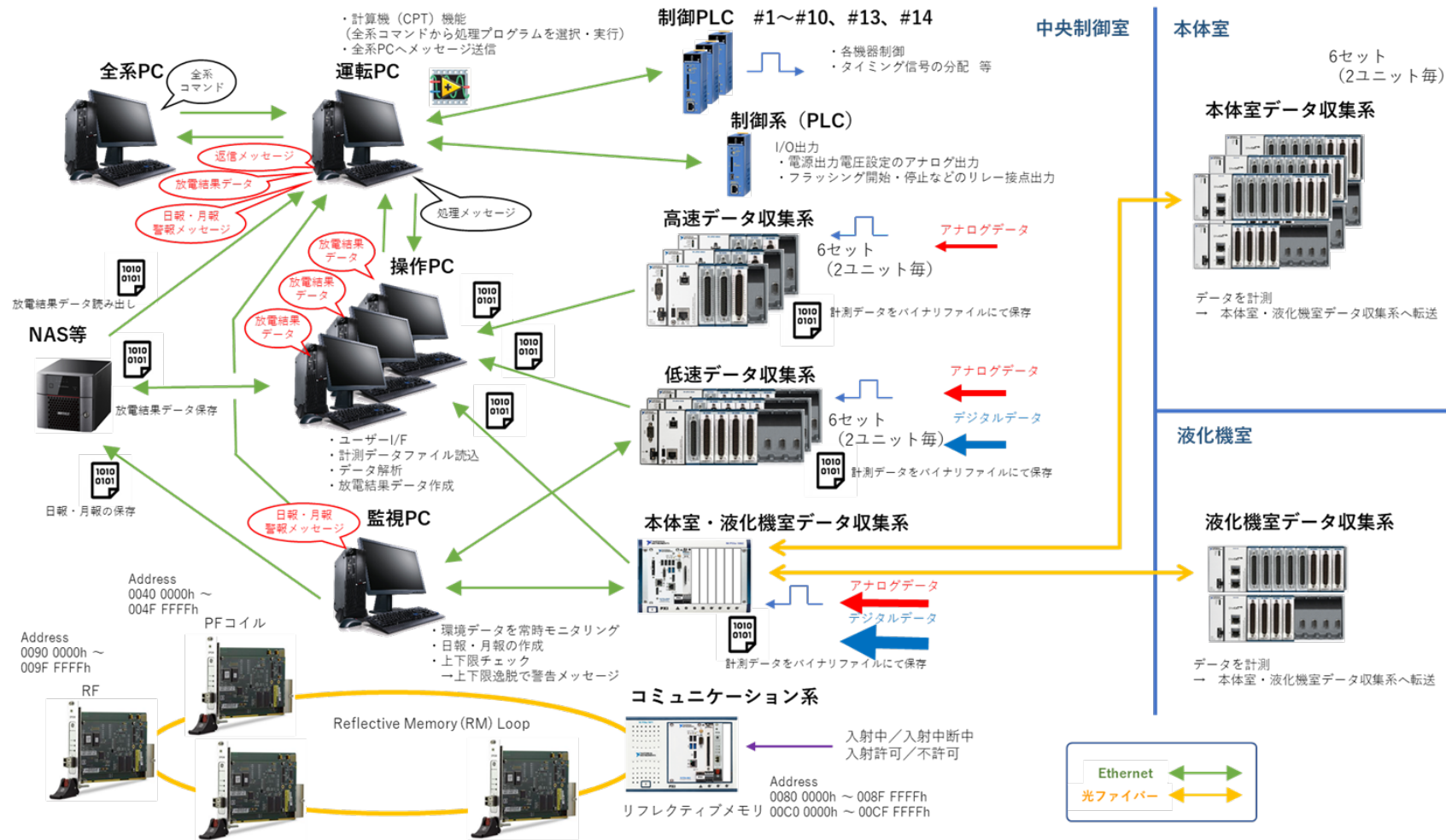


図 3.NBI 計測系の系統

B A調達取決めに係る調達契約の品質保証に関する特約条項

本契約については、契約一般条項によるほか、次の特約条項（以下「本特約条項」という。）による。

（定義）

第1条 本契約において「B A協定」とは、「核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組みを通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定」をいう。

2 本契約において「事業長」とは、B A協定第6条に定める「事業長」をいう。

3 本契約において「事業チーム」とは、B A協定第6条に定める「事業チーム」をいう。

4 本契約において「締約者」とは、B A協定の締約者をいう。

5 本契約において「実施機関」とは、B A協定第7条に基づき、締約者が指定する法人をいう。

6 本契約において「団体」とは、実施機関がB A計画の目的のために物品又は役務の提供に関する契約を締結する団体をいう。

（品質保証活動）

第2条 乙は、本契約書及びこの契約書に附属する仕様書（以下「契約書等」という。）の要求事項に合致させるため本契約内容の品質を管理するものとする。

（品質保証プログラム）

第3条 乙は、本契約の履行に当たっては、乙の品質保証プログラムを適用する。このプログラムは、国の登録を受けた機関により認証されたもの（ISO9001-2000等）で、かつ、本特約条項に従って契約を履行することができるものとする。ただし、これによることができないときは、甲の品質保証プログラム又は甲により承認を得た品質保証プログラムを適用することができる。

（品質重要度分類）

第4条 乙は、適切な製品品質を維持するため、安全性、信頼性、性能等の重要度に応じて甲が定める本契約内容の等級に従って管理を実施しなければならない。等級に応じた要求事項は、別表1のとおりとする。契約物品の等級は、仕様書に定める。

（疑義の処置）

第5条 乙は、本契約書等に定める要求事項に疑義又は困難がある場合には、作業を開始する前に甲に書面にて通知し、その指示に従わなければならない。

(逸脱許可)

第6条 乙は、契約物品について、契約書等に定める要求事項からの逸脱許可が必要と思われる状況が生じた場合は、当該逸脱許可の申請を速やかに甲に提出するものとする。
甲は、乙からの申請に基づき、当該逸脱許可の諾否について検討し、その結果を乙に通知するものとする。

(不適合の処理)

第7条 乙は、契約物品が契約書等の要求事項に適合しないとき又は適合しないことが見込まれるときは、遅滞なくその内容を甲に書面にて通知し、その指示に従わなければならない。

(重大不適合の処置)

第8条 乙は、重大不適合が発生した場合、直ちにその内容を甲に報告するとともに、影響を最小限に抑え、要求された品質を維持するため、その処置方法を検討し、速やかに甲に提案し、その承認を得なければならない。

(作業場所の通知)

第9条 乙は、本契約締結後、本契約の履行に必要なすべての作業場所を特定し、本契約に係る作業の着手前に、甲に書面にて通知するものとする。当該通知には、本契約の履行のために、乙が本契約の一部を履行させる下請負人の作業場所を含む。

(受注者監査)

第10条 甲は、乙に対して事前に通知することにより、乙の品質保証に係る受注者監査を実施できるものとする。

(立入り権)

第11条 乙は、本契約の履行状況を確認するため、締約者、実施機関、事業長、事業チームの構成員及び乙以外の団体が、第9条に基づき特定した作業場所に立ち入る権利を有することに同意する。

2 前項に定める立入り権に基づく作業場所への立入りは、契約書等に定める中間検査等への立会い及び定期レビュー会合への参加の他、乙に対して事前に通知することにより、必要に応じて実施することができるものとする。

(文書へのアクセス)

第12条 乙は、甲の求めに応じ、本契約の適切な管理運営を証明するために必要な文書

及びデータを提供するものとする。

(作業停止の権限)

第 13 条 甲は、乙が本契約の履行に当たって、契約書等の要求事項を満足できないことが認められる等、必要な場合は、乙に作業の停止を命じることができる。

2 乙は、甲から作業停止命令が発せられた場合には、可及的速やかに当該作業を停止し、甲の指示に従い要求事項を満足するよう必要な措置を講ずるものとする。

(下請負人に対する責任)

第 14 条 乙は、下請負人に対し、本契約の一部を履行させる場合、本特約条項に基づく乙の一切の義務を乙の責任において当該下請負人に遵守させるものとする。

(情報の締約者等への提供)

第 15 条 乙は、本契約の履行過程で甲に伝達された情報が、必要に応じて締約者、甲以外の実施機関、事業長、事業チームの構成員及び乙以外の団体に提供される場合があることにあらかじめ同意するものとする。

別表 1 品質重要度分類とクラス毎の要求事項

項 目	等級		
	クラス A	クラス B	クラス C
設計	設計レビュー及び独立検証 ¹⁾	設計レビュー及び検証	産業標準 ²⁾
検査・試験（工場立会検査、完成検査を含む）	認定検査員 ³⁾ による検査及び試験	乙により認定された検査員による検査及び試験	通常の検査のみ
監査	完全監査 ⁴⁾ 及び評価	一般管理評価 ⁵⁾	ライン監査 ⁶⁾

- 1) 独立検証 : 乙の現設計者以外の者又は設計担当グループ以外のグループが実施する検証
- 2) 産業標準 : 乙の特に外部から指定されない場合に適用する企業標準
- 3) 認定検査員 : 公的資格がある検査項目について、乙以外の機関により認定された検査員
- 4) 完全監査 : 乙以外の第三者による、品質保証活動がルールに従って行われているかを確認するための定期的監査
- 5) 一般管理評価 : 乙による、品質保証活動がルールに従って行われているかを確認するための定期的な内部監査
- 6) ライン監査 : 乙の当該設備を担当しているグループの者が行う監査