

MHD 制御用の 高速演算ユニットソフトウェア機能拡張 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
先進プラズマ研究部 先進プラズマ統合解析グループ

1 一般仕様

1.1 件名

MHD 制御用の高速演算ユニットソフトウェア機能拡張

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する「サテライト・トカマク計画」において、プラズマ加熱実験に向けた試験・調整を行う。

本件では、高圧カプラズマ実験であるプラズマの不安定化を抑制し、プラズマの安定化制御を行うプラズマ統合コントローラ（以下、「PIC」という。）の一部である MHD(MagnetoHydroDynamics)コントローラ(以下、「MHDC」という。)に付属する MHD 制御システムに対して、プラズマ加熱実験に向けて新たに整備された機器に対応するための機能拡張作業を行う。

1.3 契約範囲

1.1 3.1 ソフトウェア仕様(1) 機能設計とソフトウェア実装作業

1 式

(2) 試験検査

1 式

(3) その他書類作成

1 式

1.4 納期

令和 7 年 12 月 26 日（金）

1.5 主たる作業実施場所

QST 那珂フュージョン科学技術研究所 JT-60 実験棟全系 CAMAC 盤室とする。ただし、支給品及び貸与品を用いない開発においては、受注者工場等も可とする。

1.6 納入場所

QST 那珂フュージョン科学技術研究所 JT-60 実験棟 全系 CAMAC 盤室

1.7 検査条件

3.1 作業完了後、2.3 項に示す試験検査の合格、1.9 項に示す提出図書の確認及び本仕様に記載する作業の完了を QST が確認したことをもって検査合格とする。

1.8 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。

1.9 提出図書

表 1 提出図書一覧

図書名		提出時期	部数	確認
1	作業全体工程表	契約後速やかに	3 部	要
2	現地作業工程表 ・月間工程表 ・週間工程表	* 月間工程表については、作業開始 2 週間前までに。 * 週間工程表については、前週実績、今週予定、次週予定の 3 週間工程表を作業予定週の月曜日に提出のこと。	1 部 (電子媒体)	不要
3	現地体制表	作業開始 1 か月前までに。 * 確認後コピー 3 部提出のこと。	1 部 (3 部)	要
4	設計書	作業開始 1 週間前までに。	紙媒体 2部 電子媒体 1 式	要
5	試験要領書	試験開始2週間前までに。 * 確認後コピー 2 部提出のこと	紙媒体 2部 電子媒体 1 式	要
6	試験成績書	納入時に。	紙媒体 2部 電子媒体 1 式	要
7	外国人来訪者票 (QST 指定様式)	入構の 2 週間前まで に。 (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すること)	紙媒体 1 部 (または電子媒体)	要

(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 221 号室

(確認方法)

提出書類の「確認」は次の方法で行う。

受注者は、最初に確認のための書類として各 1 部提出するものとする。QST は、確認のために提出された書類に対しては、受領印を押印して返却する。最終的に受注者は、受領印を押印された書類の写しを、QST に必要部数提出するものとする。

「外国人来訪者票」は、QST の確認後、入構可否を書面にて通知するものとする。

(電子媒体)

提出物のうち、電子媒体は CD-R/DVD-R、電子メール、又は QST が契約後に提供するファイル共有システムのいずれかにより、PDF 形式で提出すること。ただし、この方法によることができない電子データについては、QST の情報セキュリティ実施規程等を遵守し、QST と協議して提出方法を決定すること。

1.10 貸与品

- 1) 本作業に必要な制御プログラムや、PC および計算機システム（ネットワークも含む）等の機器は、無償で貸与する。
- 2) 本作業に必要な既存ソフトウェア設計書類は、無償で貸与する。

本作業に必要な機器を受注者事業所等で使用する場合は、QST 所定の持ち出し手続きを実施すること。貸与時期及び期間については QST と協議して決定する。

1.11 支給品

- 1) 現地作業に必要な電気は、作業場所にて無償で支給する。

1.12 品質管理

本仕様書に定められた作業等における全ての工程において、十分な品質管理を行うこととする。

1.13 適用法規・規程等

- (1) その他那珂フュージョン科学技術研究所内規程・規則
- (2) その他関係法令・規格・基準

1.14 安全管理

- (1) 作業計画に当たっては、綿密かつ無理のない工程を組むこと。また、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。
- (2) 受注者は、本契約に伴う一切の作業遂行及び安全確保に係る労基法、労安法その他法令上の責任、並びに作業従事者の規律・秩序及び風紀の維持に関する責任を負うこと。
- (3) 受注者は、作業着手前に QST と安全について十分に打合せを行うこと。また、作業の安全について指摘を受けた場合は、速やかに改善すること。
- (4) 作業期間中は常に整理整頓を心掛け、安全及び衛生面に十分留意すること。
- (5) 受注者は異常事態等が発生した場合、QST の指示に従い行動するものとする。また、地震等が発生した場合に備えて避難方法や避難経路を作業者全員に周知すること。
- (6) 受注者は、「非常時連絡体制表」を作成し作業場所に掲示すること。また、その内容を作業者全員に周知すること。

1.15 機密保持

作業受注者は、本業務の実施に当たり、貸与品として使用する計算機システムのユーザー情報やネットワーク構成、ソフトウェア構成等、その他の知り得た情報を厳重に管理し、第三者への開示、提供を行ってはならない。

1.16 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に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA 機器等）の採用が可能な場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様で定める提出図書（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。

1.17 特記事項

- (1) 受注者は、QST が量子科学技術の研究・開発を行う機関であるため、高い技術力及び信頼性を社会的に求められていることを認識し、QST の規程等を遵守し、安全性に配慮し業務を遂行し得る能力を有する者を従事させること。
- (2) 受注者は、業務を実施することにより取得した当該業務及び作業に関する各データ、技術情報や成果、その他の全ての資料及び情報を QST の許可無く第三者に口外してはならない。
- (3) 受注者は QST が貸与した計算機及び資料等において厳密な管理を行い、使用後は速やかに返却するものとする。また、計算機については、作業完了後に当該計算機が有する機能が貸与前の状態であること(不具合/故障等がないこと)を確認するものとする。
- (4) 受注者は本仕様書に記載なき事項についても、技術上必要と認められる項目については受注者の責任において実施すること。
- (5) 受注者は作業の実施に当たっては関係法令等を遵守するとともに、QST 担当者と十分な打合せを行い実施すること。

1.18 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。

2 技術仕様

2.1 MHD 制御システム概要と構成

トカマク型核融合実験装置の高圧カプラズマ実験では、プラズマ高圧力下を阻害する不安定性が起き、最悪の場合ディスラプションによりプラズマが崩壊し、放電が終了する。PICの一部であるMHDCのMHD制御システムは、高圧カプラズマ実験での抵抗性壁モードによるプラズマの不安定化を抑制し、プラズマの安定化制御を行う。

MHD制御システムは、**エラー！参照元が見つかりません。エラー！参照元が見つかりません。**に示すとおり、電磁気センサーから取得した電磁気信号の積分処理を行う「積分処理ユニット」とコイル電源から取得したコイル電流・電圧観測値と積分ユニットから取得した電磁気信号の積分値からコイル電圧値の演算処理を行い、コイル電源に対して電圧指令値（アナログ値）を出力する「高速演算ユニット」とで構成される。既存のシステムは、この両ユニットのみで連携して動作するが、JT-60SAの加熱実験運転では、PICがコイルの電圧指令値の算出を担うことになる。そこで、MHD制御システムは、コイル電源から取得したコイル電流・電圧観測値や積分ユニットから取得した電磁気信号の積分値を実時間制御用情報共有メモリ(以下「RM」という。)経由でPICに転送するように機能の拡張を行う必要がある(**エラー！参照元が見つかりません。**)。さらに、PICはそれらのデータを基にコイル電圧指令値を算出し、RMを介してMHD制御システムに出力することで、MHD制御システムがPICからの電圧指令値をRMを介して取得し、逐次デジタル-アナログ変換を行ってコイル電源に対してアナログ出力する機能拡張を行う機能拡張を行う必要がある。

本仕様では、MHD制御システムが新たにPICとRMを介して連携して動作するために必要なソフトウェアの機能拡張を行うことを目的とする。

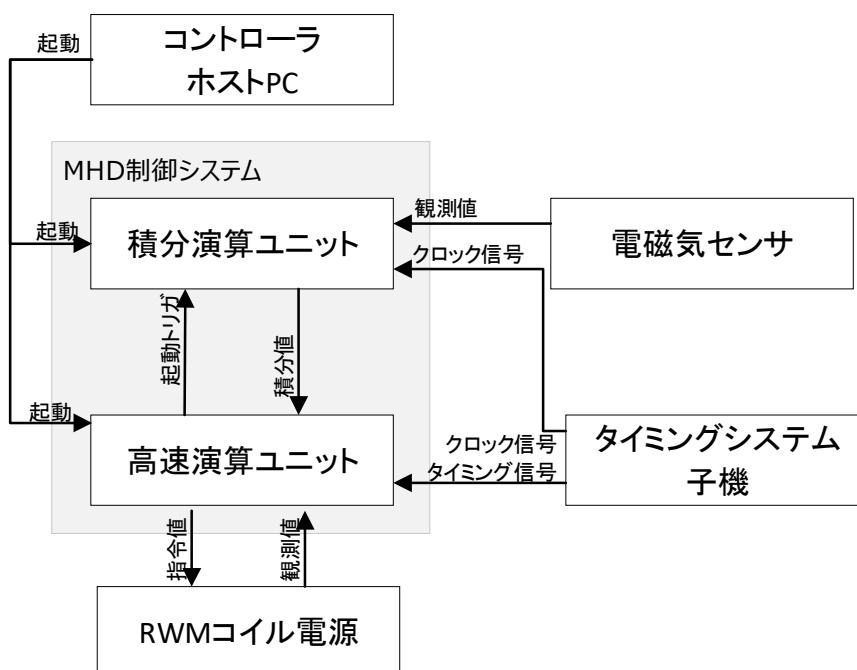


図1 MHD 制御システム構成図（開発当時）

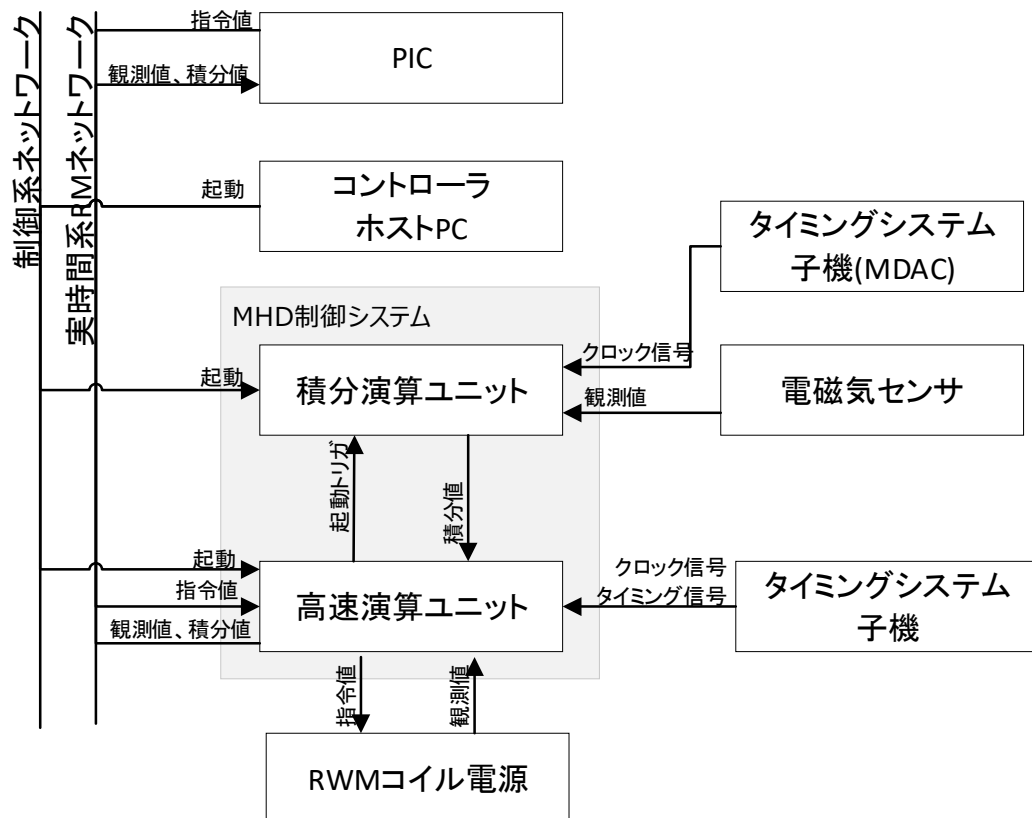


図 2 MHD 制御システム構成図（OP2 での構成）

2.2 一般事項

- ・ 受注者は、QST からの 1.10 項に示す貸与品を用いて最適な設計を行うこと。機能設計及びソフトウェア実装において、貸与品以外の制御機器が必要となった場合には別途 QST と協議すること。
- ・ 設計及びソフトウェア実装において、少なくとも 2 週間に 1 回は、打合せを行い、進捗状況の説明及び仕様の確認を行うこと。

2.3 機能設計及びソフトウェア実装

2.2.1 MHD 制御システムの構成と対象計算機

本件における機能設計及びソフトウェア実装の対象となるハードウェアは、図 3 に示す、高速演算ユニットとする。

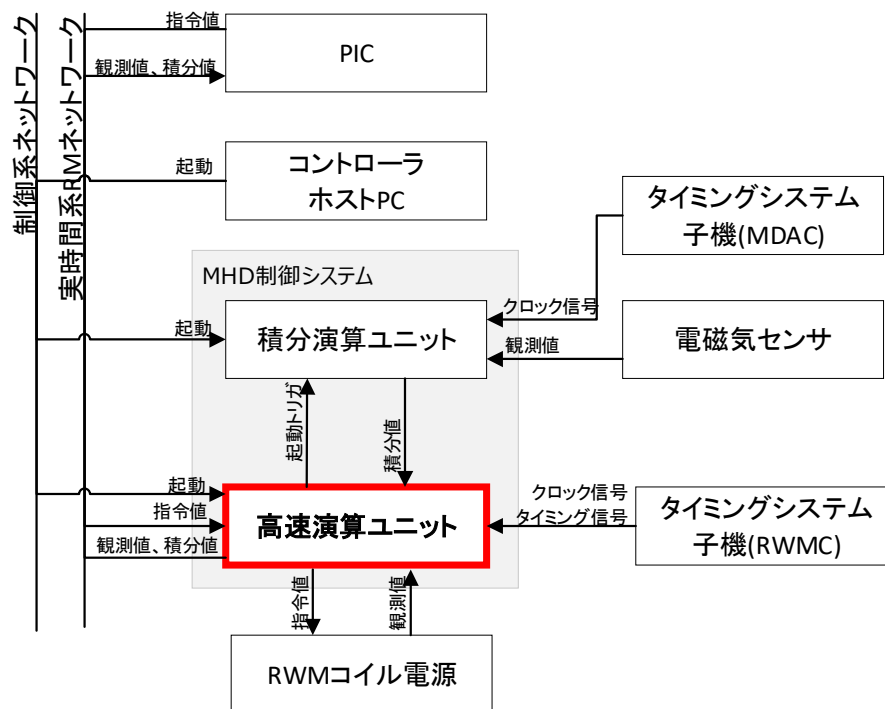


図 3 ハードウェア構成

2.2.2 開発言語

高速演算ユニットに組み込む各機能の実装は、C 言語を用いてプログラミングすること。

2.2.3 機能設計とソフトウェア実装の方針

- (2) 計算機間通信等については、既存の各計算機の各種設計書を基に、2.2.4 項 1) ～9) に示すソフトウェアを設計・実装（必要に応じて修正を施す。）すること。
- (3) 本機能設計においては、QST と適宜及び協議を行うこととし、不具合がある場合には、改善を施した設計を提案し、QST の了解を得て作業を進めること。

3.2.4 ソフトウェア仕様

高速演算ユニットは、PIC から出力される制御電圧値に従って RWM コイル電源の制御する機能と積分値、電圧・電流観測値を PIC へ転送する機能を担う。

高速演算ユニットのソフトウェアは、図 4、表 2 に示すように、放電シーケンスの仕様に準じて機能する「オフライン処理」と実時間制御を実施する「オンライン処理」の 2 種類に大別される。

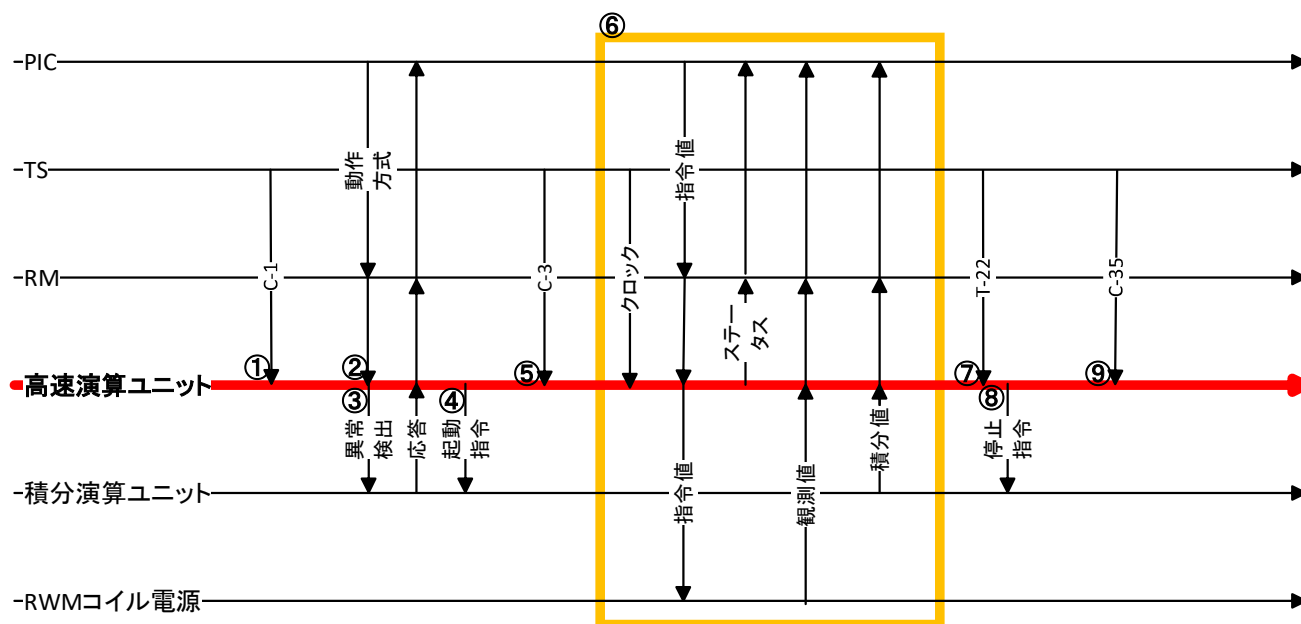


図 5 時系列での動作概要

1) ソフトウェア起動・停止機能

ホスト PC より、高速演算ユニットソフトウェアの起動・停止が出来ること。

2) タイミング信号受信機能

タイミング信号はタイミングシステム子機から入力するハードワイヤード信号である。

高速演算ユニットは、「放電シーケンス開始指令(C-1)」、「実時間制御準備指令(C-3)」、「実時間制御停止指令(T-22)」、「放電シーケンス完了(C-35)」をタイミングシステムから受信し、C-1 受信後から T-22 受信までの間、クロック信号(4kHz)に同期して機能すること。入力するタイミング信号を**エラー! 参照元が見つかりません。**に示す。

タイミング信号の入出力信号仕様を以下に示す。

- ・ 入力信号 : TTL レベル (負論理)
- ・ SN74S140 相当 (5V)
- ・ 出力電流 : IOL= 60mA / IOH=-40mA
- ・ 出力電圧 : VOL= 0.5V / VOH=3.4V
- ・ 信号波形 : タイミングシステム OFFLINE 時 パルス幅 1msec のパルス信号
ONLINE 時 レベル信号(ON(5 → 0 V)後、C-35 で OFF((0→5V))

表 3 タイミング信号入力一覧

Ch	信号名称	信号 No.	DI (RTP3020-00A)		IN/OUT	割込
			信号名	ピン No		
1	放電シーケンス開始指令	C-1	DI1	2	IN	★

2	実時間制御準備指令 (t=-60s)	C-3	DI2	3	IN	
3	Ip 励起開始信号 (t=0s)	T-20			IN	
4	Ip Damping phase 移行指令	T-21			IN	
5	実時間制御停止指令	T-22	DI3	4	IN	
6	放電完了指令	T-24			IN	
7	空 き				IN	
8	N-Stop 指令	T-35			IN	
9	SOFT-LANDING 指令	T-36			IN	
10	放電中断指令	C-34			IN	
11	放電シーケンス終了	C-35	DI4	5	IN	★
					IN	
CLK1	Clock 信号 (100Hz)	LEMO1			IN	
CLK2	Clock 信号 (4KHz)	LEMO2			IN	
CLK3	Clock 信号 (10KHz)	LEMO3			IN	★

備考: C-1 が出力されたとき、C-35 は必ず出力されるが、C-3,T-22 が出力されるとは限らない。

クロック信号はオンライン時には C-1～C-35 に出力される。オフライン時は常時出力される。

3) RM 入出力機能

高速演算ユニットは実時間制御コントローラ群で構成された ZENKEI ネットワークに接続されている。

高速演算ユニットの機能上必要な各種データ全てについて、リフレクティブメモリを用いて入出力を行うこと。

使用する RM のアドレスを表 4、表 5 に示す。

表 4 RM アドレスマップ(高速演算ユニット読み込み)

RM Address	Signals/Commands	Data type
00E0 0000h	RWM No.1 coil reference command	float
00E0 0004h	RWM No.2 coil reference command	float
00E0 0008h	RWM No.3 coil reference command	float
00E0 000Ch	RWM No.4 coil reference command	float
00E0 0010h	RWM No.5 coil reference command	float
00E0 0014h	RWM No.6 coil reference command	float
00E0 0018h	RWM No.7 coil reference command	float
00E0 001Ch	RWM No.8 coil reference command	float
00E0 0020h	RWM No.9 coil reference command	float
00E0 0024h	RWM No.10 coil reference command	float
00E0 0028h	RWM No.11 coil reference command	float
00E0 002Ch	RWM No.12 coil reference command	float
00E0 0030h	RWM No.13 coil reference command	float
00E0 0034h	RWM No.14 coil reference command	float
00E0 0038h	RWM No.15 coil reference command	float
00E0 003Ch	RWM No.16 coil reference command	float

00E0 0040h	RWM No.17 coil reference command	float
00E0 0044h	RWM No.18 coil reference command	float
00E0 0048h	高速演算ユニット動作方式	int

表 5 RM アドレスマップ(高速演算ユニット書き込み)

RM Address	Signals/Commands	Data type
0100 0000h	RWMC 生存カウンタ	int
0100 0004h	RWMC ステータス	int
0100 0008h	RWM No.1 Coil current	double
0100 0010h	RWM No.2 Coil current	double
0100 0018h	RWM No.3 Coil current	double
0100 0020h	RWM No.4 Coil current	double
0100 0028h	RWM No.5 Coil current	double
0100 0030h	RWM No.6 Coil current	double
0100 0038h	RWM No.7 Coil current	double
0100 0040h	RWM No.8 Coil current	double
0100 0048h	RWM No.9 Coil current	double
0100 0050h	RWM No.10 Coil current	double
0100 0058h	RWM No.11 Coil current	double
0100 0060h	RWM No.12 Coil current	double
0100 0068h	RWM No.13 Coil current	double
0100 0070h	RWM No.14 Coil current	double
0100 0078h	RWM No.15 Coil current	double
0100 0080h	RWM No.16 Coil current	double
0100 0088h	RWM No.17 Coil current	double
0100 0090h	RWM No.18 Coil current	double
0100 0098h	RWM No.1 Coil voltage	double
0100 00A0h	RWM No.2 Coil voltage	double
0100 00A8h	RWM No.3 Coil voltage	double
0100 00B0h	RWM No.4 Coil voltage	double
0100 00B8h	RWM No.5 Coil voltage	double
0100 00C0h	RWM No.6 Coil voltage	double
0100 00C8h	RWM No.7 Coil voltage	double
0100 00D0h	RWM No.8 Coil voltage	double
0100 00D8h	RWM No.9 Coil voltage	double
0100 00E0h	RWM No.10 Coil voltage	double
0100 00E8h	RWM No.11 Coil voltage	double
0100 00F0h	RWM No.12 Coil voltage	double
0100 00F8h	RWM No.13 Coil voltage	double
0100 0100h	RWM No.14 Coil voltage	double
0100 0108h	RWM No.15 Coil voltage	double

0100 0110h	RWM No.16 Coil voltage	double
0100 0118h	RWM No.17 Coil voltage	double
0100 0120h	RWM No.18 Coil voltage	double
0100 0128h	3D AT Probe No.1	double
0100 0130h	3D AT Probe No.2	double
⋮	⋮	⋮
0100 07D8h	3D AT Probe No.209	double
0100 07E0h	3D AT Probe No.210	double

4) 動作方式決定機能

高速演算ユニットは、RM「高速演算ユニット動作方式」に書き込まれる「高速演算ユニット動作指示値」を以て自身の動作方式を決定すること。

本動作方式は PIC が決定し、C-1 直後に書き込まれる。

表 6 に本動作方式を定義する。なお、各指示値における高速演算ユニットの動作内容を以下に示す。

表 6 動作方式一覧

高速演算ユニット 動作指示値	高速演算ユニット 動作方式	電圧指令値出力
0	不使用	-
1	使用	有効
2	個別	無効

0（不使用）： 次回放電シーケンス開始待ちとする。

1（使用）： PIC から RM を介して受信した指令値に基づいた電圧指令値を RWM コイル電源へ出力する。

2（個別）： 原則 1（使用）と同じ。RWM コイル電源への電圧指令値出力は無効とする。

5) 異常検出機能

高速演算ユニットあるいは積分演算ユニットに電源断、フリーズ等の異常が生じた場合、その異常を検出し、PIC へ RM を介して通知すること。

高速演算ユニット動作方式が「1(使用)」か「2(個別)」の場合、異常検出を行うこと。

- 高速演算ユニット動作方式が送られてきたとき、機器の異常を検出する。異常がなかった場合、RM の「RWMC 異常」に 1、異常があった場合、2 を書き込むこと。初期値は 0 とし、放電開始時と完了時に初期値へ戻すこと。
- 実時間制御中は、異常ない場合はクロックに同期してカウントアップした値を RM の「RWMC ステータス」に書き込むこと。異常があった場合は値の更新を行わないこと。

6) 積分ユニット起動・停止機能

高速演算ユニットは SRIO 通信で積分演算ユニットに起動、停止指令を出力すること。

7) RWM コイル電源制御機能

高速演算ユニットは、RM の所定の位置に書き込まれる制御電圧指令値に従って高速演算ユニットの DAC ボードからアナ

ログ電圧指令値を出力し、RWMC コイル電源を制御すること。

実時間制御停止時、放電シーケンス開始時と完了時にはアナログ出力を 0 にすること。

本機能は、実時間制御中のみ機能すること。

8) コイル電圧・電流観測値収集機能

高速演算ユニットは、コイル電源からアナログ値の電流観測値(16ch)・電圧観測値(16ch)を受け取り、デジタル値へ変換し、RM の所定の位置に書き込むこと。

本機能は、実時間制御中のみ機能すること。

9) 積分値収集機能

高速演算ユニットは、積分演算ユニットから SRIO 通信で積分演算ユニットから積分値(216ch)を受け取り、RM の所定の位置に書き込むこと。

本機能は、実時間制御中のみ機能すること。

2.4 試験検査

ソフトウェア仕様の 1) ～ 9) すべての機能が正常に動作すること。また、放電シーケンスにのって作成した機能が正常に動作すること。詳細は試験検査要領書を提出して QST の確認を得て試験を実施すること。

3. 参考図書

- ・ RWM 用高速制御システムの製作 システム仕様書
- ・ RWM コントローラの整備 外観・取付図

以 上