

RCS ビームロスモニタ用デジタイザの製作 仕 様 書

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
J-PARC センター
加速器ディビジョン
加速器第三セクション

目 次

1	一般仕様.....	3
1.1	件名	3
1.2	目的	3
1.3	契約範囲	3
1.4	納期	3
1.5	納入場所及び納入条件	3
1.6	検収条件	3
1.7	保証	4
1.8	提出図書	4
1.9	支給品	4
1.10	貸与品	4
1.11	品質管理	5
1.12	適用法規・規格基準	5
1.13	グリーン購入法の推進	5
1.14	協議	5
1.15	その他	5
2	技術仕様	6
2.1	設計条件	6
2.2	信号処理とタグ情報	6
2.3	機能概要	7
2.4	詳細仕様	10
2.5	試験・検査	14
2.6	その他特記事項	14

1 一般仕様

1.1 件名

RCSビームロスモニタ用デジタイザの製作

1.2 目的

J-PARC加速器は大強度であるため、過大なビームロスの発生により、加速器構成機器が大きなダメージを受けたり放射化したりすることを避けることが重要である。そのため、ビームロスの状況をビームロスモニタ（BLM）の計測信号を用いて監視し、通常より大きなBLM信号を検知した場合、速やかにビームを停止するBLM MPS（機器保護システム）を構築している。これにより、J-PARC加速器の安全かつ安定した運転を維持している。しかしながら、既存のBLM MPSを構成する機器はJ-PARC稼働初期から使用されており、経年化対策として更新が必要不可欠となっている。

本件は、安全かつ安定した加速器運転を維持するため、突発的なビームロス発生時のMPS信号出力、遠隔からのビームロス監視による早期異常検出、及び、全25Hzデータ取得による異常原因判断を可能とするRCSビームロスモニタ用デジタイザを製作する。

本件のRCSビームロスモニタ用デジタイザ製作は、突発的なビームロス発生時の高速ビーム停止、詳細なビームロス状態の把握を可能とするものであり、加速器の安定運転に資する。

1.3 契約範囲

本件で製作する RCS ビームロスモニタ用デジタイザのモジュール等、並びに、各数量を以下に示す。

- | | | |
|----|-------------------|-----|
| 1) | ビームロスモニタ用ADCモジュール | 32台 |
| 2) | TAGサーバーモジュール | 3台 |
| 3) | モジュール用NIMビン電源 | 6台 |

1.4 納期

令和8年2月27日

1.5 納入場所及び納入条件

納入場所

茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

J-PARCセンター 3GeVシンクロトロン棟

納入条件

持込渡し

1.6 検収条件

第1章5項に示す納入場所に納入後、員数検査、外観検査の合格及び第2章に定める試験検査及び第1章8項に示す提出図書の合格をもって検収とする。

1.7 保証

第2章に定める設計仕様及び機能要求を満足することによって、実機における安定運用ができることを保証すること。

1.8 提出図書

図書名	提出時期	部数	確認
体制表 (※1)	契約後・変更後直ちに	3 部	要
工程表 (※2)	契約後・変更後直ちに	3 部	要
打合せ議事録	打合せ後直ちに ※確認後コピー3 部提出のこと	1 部	要
製作図面	製作着手前 ※確認後コピー3 部提出のこと	1 部	要
製作要領書	製作着手前 ※確認後コピー3 部提出のこと	1 部	要
試験検査要領書	試験検査着手前 ※確認後コピー3 部提出のこと	1 部	要
試験検査成績書	試験検査後直ちに	3 部	不要
完成図書 ※上記提出図書および図面類 最終版、図面類電子データ、 提出書類一覧表及び納入品一 覧表等を含むこと	納入時	3 部	不要

○提出場所：

日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター 加速器第三セクション

○確認方法：

「確認」は次の方法で行う。

原子力機構は、承認のために提出された図書を受領した時は、期限日を記載した受領印を押印して返却する。また、当該期日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 本契約に係る設計、製造、試験検査及びアフターサービスに関する体制表

※2 月単位工程表案（設計、部材手配、加工及び試験検査等の項目を含む）

1.9 支給品

なし

1.10 貸与品

なし

1.11 品質管理

本物品の製作に係る設計・製作等は、全ての工程において、以下の事項等について十分な品質管理を行うこととする。

- 管理体制
- 設計管理
- 材料管理
- 工程管理
- 試験・検査管理
- 不適合管理
- 記録の保管

原子力機構が要請した場合、受注者は品質保証計画書の提出に応じること。

1.12 適用法規・規格基準

- 1) 原子力科学研究所及びJ-PARCセンター内諸規定
- 2) その他、関係する諸法令、諸規定、諸基準

1.13 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、O A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。

1.14 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、原子力機構と協議のうえ、その決定に従うものとする。

1.15 その他

- 1) 本契約に関わる特許等の申請あるいは外部公表に関しては、原子力機構と受注者で協議して決定すること。
- 2) 契約に係わり発生した疑義は、速やかに原子力機構と受注者で協議して決定すること。
- 3) 本契約に係わる図書は原則として日本語または英語を使用すること。
- 4) 原子力機構が要請した場合、製作方法及び製作状況に関して報告すること。
- 5) 原子力機構が要請した場合、工程の途中でも立会に応じること。

2 技術仕様

2.1 設計条件

本件で製作する物品は、J-PARC 3 GeVシンクロトロン加速器(RCS)のビームロスモニタ (BLM) に使用するデジタイザ (信号処理回路系) である。BLMはビーム運転中のビームロスを監視する重要なモニタで、機器の放射化抑制と加速器の安定運転の観点から非常に重要なモニタの一つである。RCSにおけるBLMのシステム全体構成を図1に示す。本システムは様々な構成要素から成り立っているが、本契約で製作するデジタイザは大きく2つの要素から構成されている。つまり、モニタヘッドで収集したデータ信号をデジタル処理するためのモジュール (ADCモジュール) と、各信号のタイミング情報およびBLMデータを取得し上位制御系に送信するための制御信号をADCモジュールに伝送するモジュール (TAGサーバー) である。

本ADCモジュールの特徴は、高速ADCとFPGAユニットおよび高速メモリを組み合わせることで、ビームロス信号のアナログ波形データをデジタルデータに変換し且つデジタル演算処理を25Hzの全ショットにおいて実施させることにある。その際、次に挙げるRCSにおけるビームロス測定のための2つの課題に対応しシステム設計が必要となる。(a)加速器全周に亘って配置している100台以上のBLMを同期させること。(b)2つの行き先 (MLF及びMR) に応じた信号処理を行うこと。これらの課題に対して、上位制御系システムからの運転状態を判断し、ショット毎のビーム情報を含むタグ信号を生成し各ADCモジュールの送信するのがTAGサーバーである。ショット毎のタグ信号を受信した各ADCモジュールでは、信号処理を行ったビーム情報を本体とし、タグ情報をファイルのヘッダーに埋め込んで出力・管理するシステムを実装する必要がある。図2にデータ信号及びタグ及び制御情報の基本的な流れを示す。本ADCモジュールはビーム信号、タグ及び制御情報の他に複数のトリガー信号の入力が必要となる。また、上位系TAGサーバーから配信されるタグ及び制御情報については、ADCモジュール側で受信/送信端子を設けることで複数のADCモジュール間でタグ及び制御情報ラインをカスケードに接続できるようにする。

2.2 信号処理とタグ情報

データ信号処理の流れを図3に、トリガー信号とタグ情報の関係を図4にまとめる。

RCSに入射されたビームは20msの間に1万数千回周回しながらRF空洞で加速され、下流の2つの施設 (MLF及びMR) に向けて取り出されており、これを25Hzで繰り返している。そのため、モニタで収集した信号波形は基本的には周回するビームバンチ (ビームを構成する粒子の集団) の構造を持っている。周回周波数は入射から取出しまで運動量と共に0.61-0.84 MHzに変化する。但し、RCSではハーモニック数が2のため、バンチ波形の周波数は2倍の1.22-1.68MHzとなる。データ信号の解析処理はこのバンチ波形が基本単位となる。周回するビームバンチの周波数は一定ではないが、RFクロックと同期しているため、RFクロック信号を用いることで、バンチ毎のデータ切り出しが可能となる。

ADCモジュールでデジタル化した波形データの解析処理は次に示す3種類存在する。

バンチ積分： デジタル化した波形信号をバンチ毎に切り出して積分する

1ms毎の積分： バンチ積分信号を1ms毎に積算する

単純積分： ビーム入射直後から波形信号を単純に積分する

これらを25Hz全て繰り返して行う。解析処理をした後のデータの取扱は、1ms毎の21個のデータはタグ情報を付加して25Hz全て保存する。しかし、生波形やバンチ積分の結果はデータ量が多くなるため、リクエストしたデータのみ、又は低周期でのデータ出力及び保存を行うこととする。そのため、デジタル化した生波形データは最低でも直近4周期分はメモリ内に保管し、リクエストしたタイミングで読みだせるようにすることが必要である。またバンチデータや解析データは直近の6秒 (150周期) 分をメモリ内に保管できるようにすること。

TAGサーバーモジュールは、SiTCPを用いてイーサネット経由で同期データ系管理PC等と通信する。また、TAGサーバーモジュールは、タイミングシステムからのタイミング情報をADCモジュールに分配する。これにより、ADCモジュールはBLMデータにビームタグなどのタイミング情報を付加することが可能となる。また、同期データ系管理PCがTAGサーバーモジュールに設定を行うことにより、ADCモジュールにデータ収集に関する制御情報が配信される。ADCモジュールは、この制御情報に従いタイミング情報を付加したデータを、SiTCPを用いて同期データ収集PCおよび同期データ供給PCに送信する。これらのPCは、ADCモジュールからのデータを適切に処理することにより同期データ収集および同期データ供給を可能とする。TAGサーバーモジュールによる同期データの管理の概要を図5に示す。

2.3 機能概要

本契約で製作するデジタイザに要求される機能の概要を先に以下にまとめておく。なお詳細仕様については、2.4以降に記する。

1. ビームロスモニタ用ADCモジュール

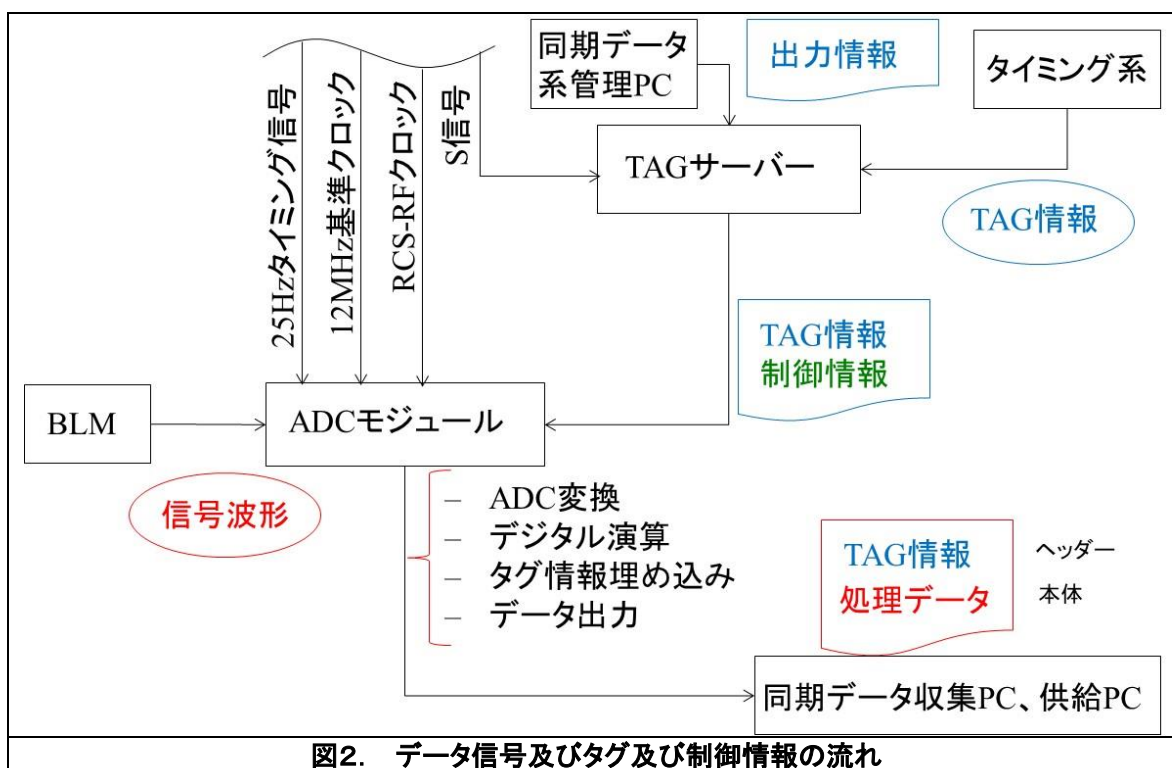
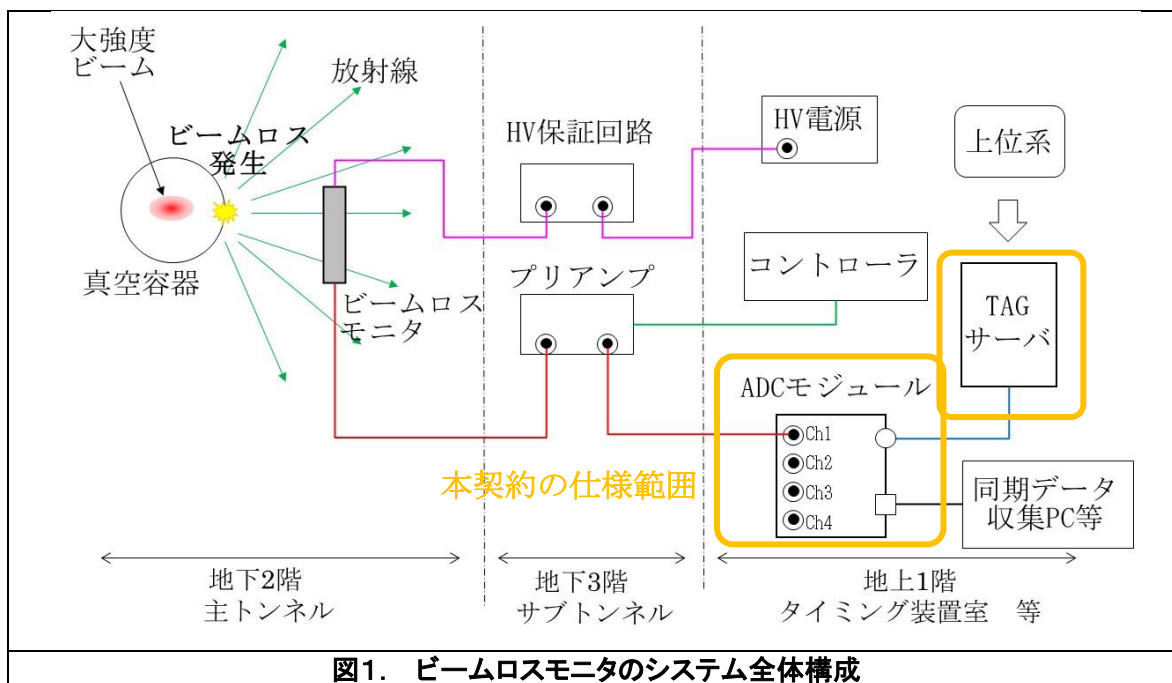
- BLM信号に特化したデジタイザとする。
- ADCの要求仕様を40MSpsとする。分解能は16bit（もしくはそれ以上）、また入力電圧を5Vpp（可能なら10Vpp程度まで上げる）とする。
- 入力トリガーは次の3種類とする。ビームの有無とは無関係の連続した25Hzトリガー、RCSからのビーム先行がMLFとMRのそれぞれに対応しビームと同期したAトリガーとBトリガー。
- アナログ出力はチャンネル毎に、生信号と単純積分信号の2種類用意する。
- データ処理の対象範囲を21msとし、ピックアップするデータ点数を21ポイント（1ms, 2ms, ...21ms）とする。また1ms毎の積分データも21データ（0-1ms, 1-2ms, ...20-21ms）とする。
- 原点タイミング調整機能を有すること。（25Hzのトリガーの立ち上がりタイミングを原点とせず、各モニタのケーブル長等による時間遅れを個別に補正できるようにする。）
- 解析データのパッキングを複数のSカウントでまとめられるようにし、約10秒ごとのデータ送信に対応すること。
- MPSシステムへの対応できるように、デジタイザ本体から次の2種類のMPS信号を出力できるようにする。①正常なトリガーが来ているかの判断、②単純積分信号の大きさが閾値を超えたかの判断。
- ページロック機能を強化し、次に示す手動ページロック及び自動ページロックの2種類を設計すること。（手動ページロック：TAGサーバーからのページロック指令を受けて全ADCモジュールでタイミングを同期したページロック。1周期分のみページロックする。）（自動ページロック：MPS信号により、自動でページロックを発動。最新5周期分をページロック。MPS信号がOFF（正常状態）になったら自動的にページロックを解除する。）
- タイミング系信号（クロック入力、RF入力、25Hz）の入力インピーダンスをHi-Zにする。
- 基盤及びシャーシはNIM規格に準ずる。また、I/O信号のコネクタはLEMOにする。

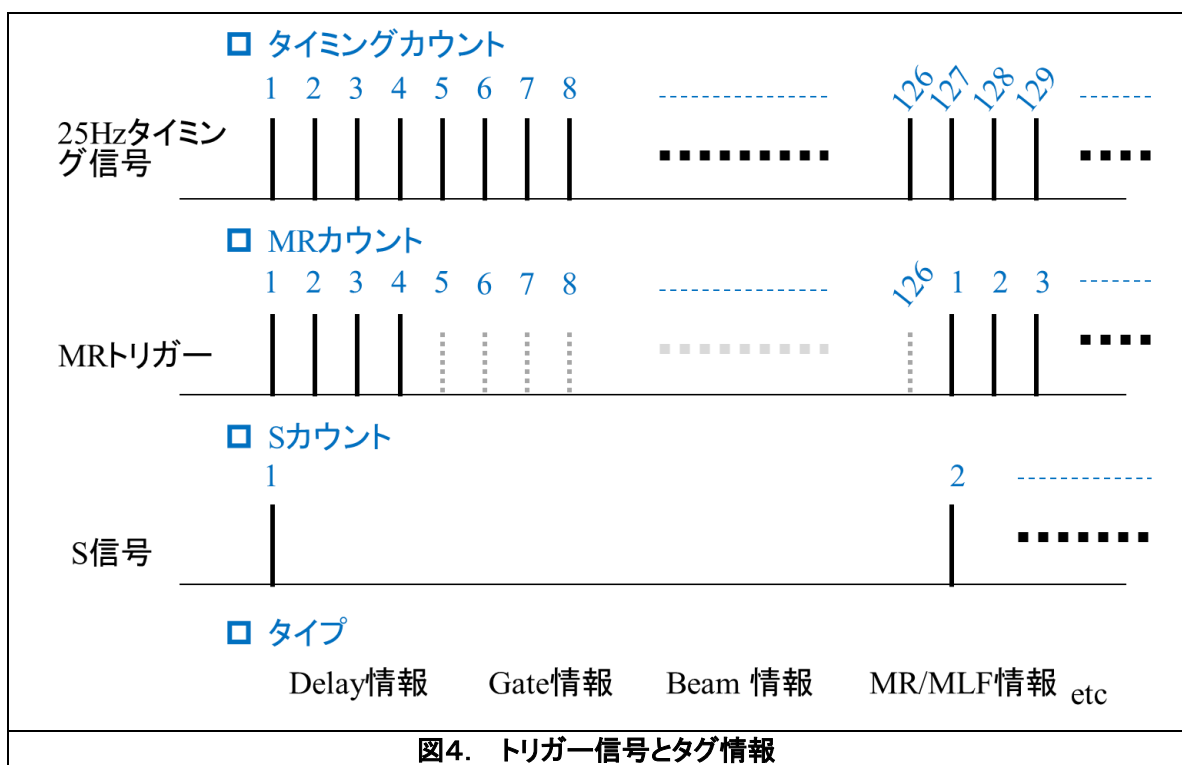
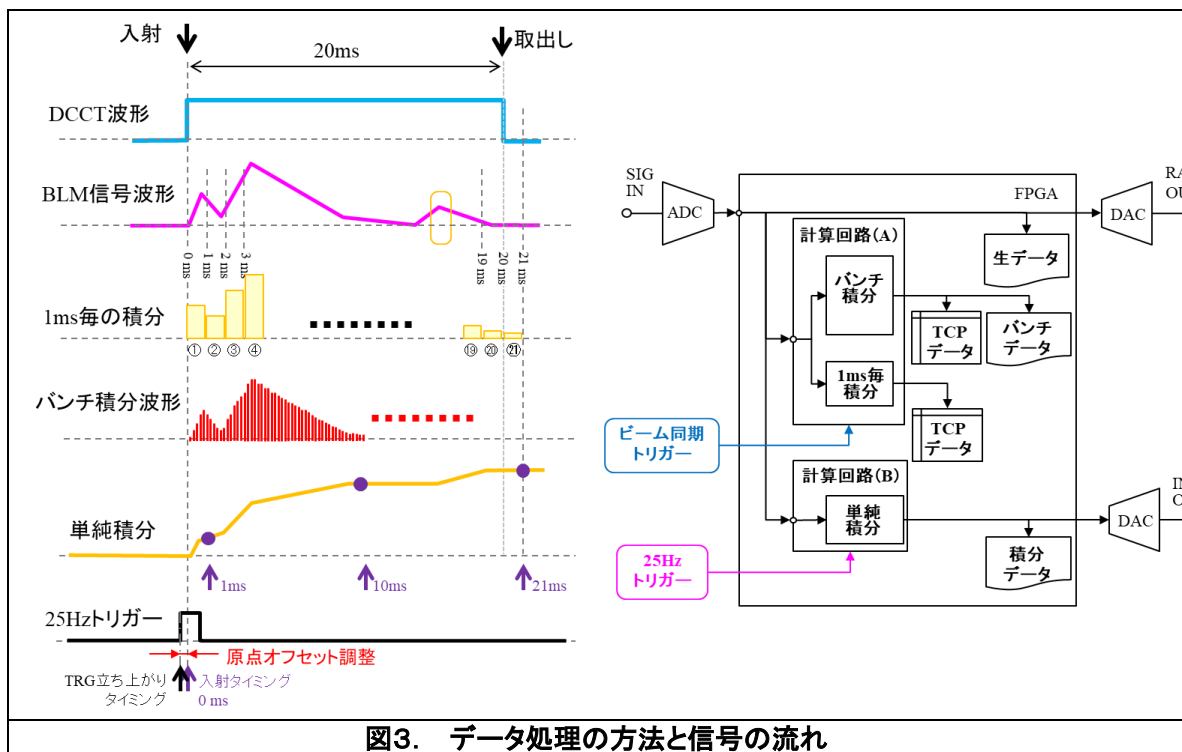
2. TAGサーバーモジュール

- タイミング系信号（クロック入力、RF入力、25Hz）の入力インピーダンスをHi-Zにする。
- 基盤及びシャーシはNIM規格に準ずる。また、I/O信号のコネクタはLEMOにする。

3. モジュール用NIMビン電源

- ロスモニタ用ADCモジュール及びTAGサーバーモジュール、計6台挿入可能とすること。
- 6台のモジュールが同時に動作可能な電源供給可能なこと。
- 100V・15Aにて動作すること。





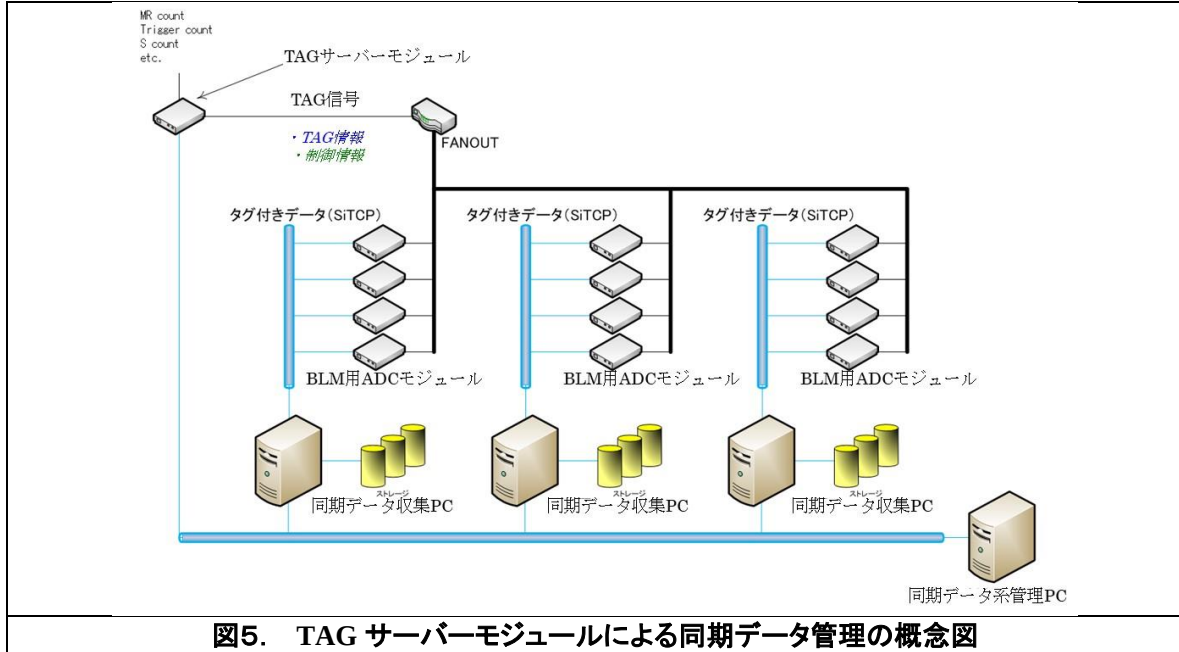


図5. TAG サーバモジュールによる同期データ管理の概念図

2.4 詳細仕様

2.4.1 ビームロスモニタ用 ADC モジュール

1. 基本形状

本ADCモジュールは、NIM規格の形状（幅は2ビン以下）とする。また図6にADCモジュールのパネルデザインを示す。但し、最終形状については受注者が設計を行い、原子力機構との協議の上決定する。

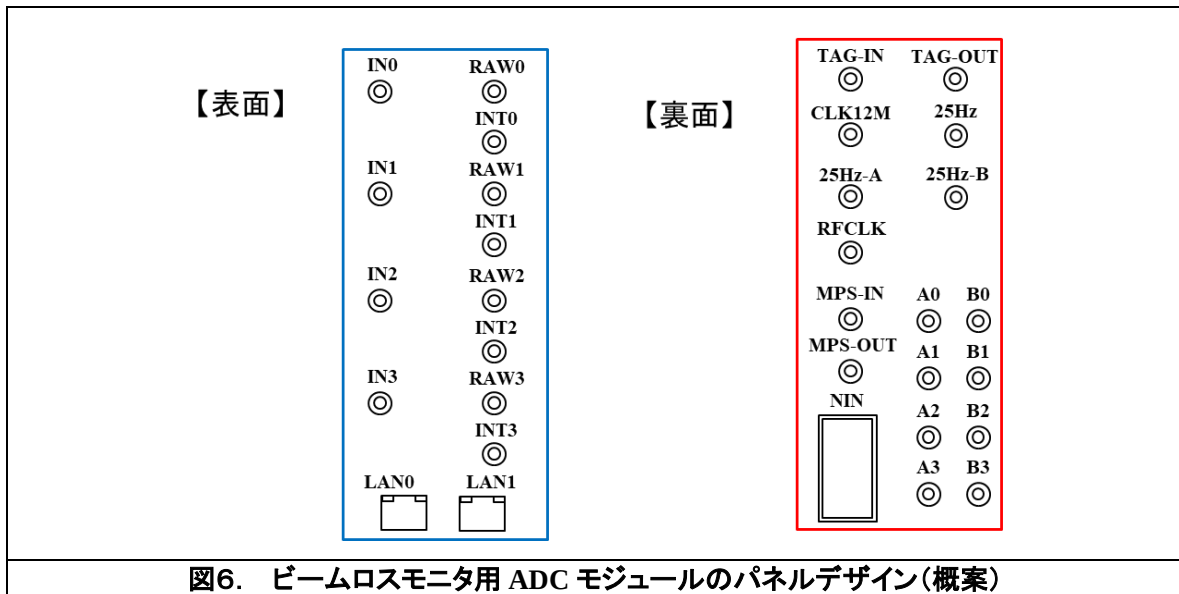


図6. ビームロスモニタ用 ADC モジュールのパネルデザイン(概案)

2. 通信システム

システム全体としては、100台以上のデータ信号を複数台のADCモジュール（1台あたり4チャンネル分の入力を想定）を用いて同期をとりながら信号処理を行う。これを実現するために、本システムの通信はSiTCPライブラリを用いてイーサネット経由でPCと行うこととする。そのため、RJ45コネクタを2口搭載し、1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-Tに対応すること。また、PCはRBCPを用いて上位系タグサーバーに設定を行うだけで、すべてのADCモジュールにコマンドが配信され、その結果を各ADCモジュールからTCPでPCに出力させること。

3. 信号の種類

本ADCモジュールで扱う信号を表1にまとめる。TAGサーバーモジュールからの情報はTAG信号として25Hz周期のシリアルデータで受け取ることとする。

表1 ビームロスモニタ用 ADC モジュールの取扱信号一覧

信号	コネクタ	規格	説明
アナログ信号	LEMO	5Vpp	BLMからの信号
アナログモニタ	LEMO	5Vpp	アナログ信号のモニタ出力（生データ）
アナログモニタ2	LEMO	5Vpp	アナログ信号のモニタ出力（単純積分データ）
クロック	LEMO	NIM	12MHz 基準クロック
RF	LEMO	TTL	
25Hz	LEMO	TTL	周期タイミング
S 信号	LEMO	TAG	
TYPE			8bit
MR Count			10bit
Trigger Count			32bit
S Count			32bit
MPS 出力 (A1~4, B1~4)	LEMO	TTL	MPS 信号の出力

※ 「規格」のNIMはFast NIM規格を示す。TAGはTAG信号を示す。

4. メモリ

本ADCモジュールでは、40MSpsでAD変換したデータを表2に示すデータとして解析処理する。これらのデータの保存容量を表3に、帯域については表4に示す。（ただし、帯域の見積もりは、蓄積中は書き込みのみ行う場合について検討していることに留意し、実際の仕様とは異なる可能性があることに注意すること。）

表2 本 ADC モジュールの 25Hz 周期(1 周)に生成されるデータ

データ名	サンプル量 (1 周)		データ量 (1 周)	
生データ	4ch×40MSps×21ms	3.36MS	3.36MS×2Byte/s	6.72MByte
バンチデータ	4ch×30kS	120kS	120kS×4Byte/s	480kByte
積分データ	4ch×40kSps×21ms	3.36kS	3.36kS×2Byte/s	6.72kByte
解析データ	4ch×1S/ms×21ms	84S	84S×2Byte/s	168Byte

※ 解析データは、常時 PC へ転送のこと。

表 3 本 ADC モジュールの保存データ量

データ名	データ量 (1 周)	蓄積量	蓄積データ量		領域
生データ	6.72MByte	12 周	3.72MByte×12	80.64MByte	54MB
バンチデータ	120kByte	6 秒	120kByte×25×6	18.0MByte	20MB
積分データ	6.72kByte	12 周	6.72kByte×12	80.64kByte	**MB
解析データ	80Byte	6 秒	80Byte×25×6	12kByte	0
総メモリ容量					128MB

※ 領域は外部メモリの境界アドレスを簡単にするために設定した値。

※ 解析データは、FPGA 内部メモリに保存するため、領域としては確保不要。

表 4 本 ADC モジュールのデータレート

データ名	データ量 (1 周)	データレート		
生データ	6.72MByte	6.72MByte×25Hz 40MSps×2Byte/s×4ch	168MByte/s 320MByte/s	4Gbps 8Gbps
バンチデータ	120kByte	120kByte×25Hz	3MByte/s	24Mbps
積分データ	6.72kByte	6.72kS×25Hz 40kSps×2Byte/s×4ch	168kByte/s 320kByte/s	4Gbps 8Gbps
解析データ	80Byte	80Byte×25Hz	2kByte/s	0
平均レート				4.5Gbps
ピークレート				9.0Gbps

※ 解析データは、FPGA内部メモリに保存するため、帯域としては確保不要。

2.4.2 TAG サーバーモジュール

1. 基本形状

本TAGサーバーモジュールは、NIM規格の形状（幅は2ビン以下）とする。また図 7 にTAGサーバーモジュールのパネルデザインを示す。但し、最終形状については受注者が設計を行い、原子力機構との協議の上決定する。

2. 通信システム

本TAGサーバーモジュールは、タイミングシステムからタイミング情報を取得して動作する。また、同期データ系管理PCとSiTCP を用いてLAN経由で通信する。そのため、RJ45コネクタを搭載し、1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-Tに対応すること。

3. 信号の種類

本TAGサーバーモジュールで扱う信号を表 5 にまとめる。

4. 機能仕様

- 1) データ収集設定機能1（1セット21点程度のデータの場合）
 - ・ 指定されたMRカウン트의データのみデータ供給PCに送信させる。
 - ・ 25Hz全データ収集を目的とし、60～150のデータセットを一纏めとして同期データ収集PCに送信させる。
- 2) データ収集設定機能2（300kB程度のデータの場合）
 - ・ 指定されたデータ（指定された複数のMRカウン트의データ群）を、設定された期

間（回数）に関して同期データ収集PCに送信させる。

- ・ 同期データ系管理PCからの収集指示に従って、指定された数のデータを送信させる。

3) タイミング情報供給機能

- ・ タイミングシステム（日立造船製：HZNIM-0003）から受信したタイミング情報をADCボードに供給（送信）する。

これらの機能1)～3)は、同期データ系管理PCからの設定（LAN経由）に従って動作すること。

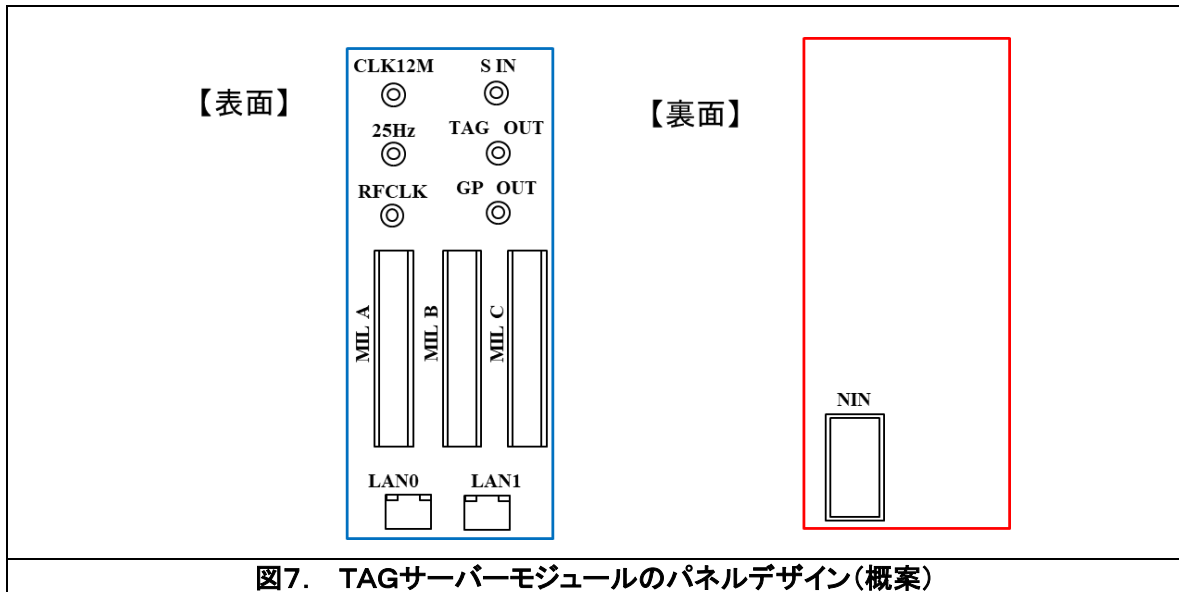


表 5 TAG サーバーモジュールの取扱信号一覧

信号	コネクタ	規格	説明
クロック	LEMO	NIM	12MHz 基準クロック
25Hz	LEMO	TTL	周期タイミング
S 信号	LEMO	TAG	
TYPE			8bit
MR Count			10bit
Trigger Count			32bit
S Count			32bit
タイミング情報 (MIL-A, B, C)	MIL40 ピン		A: MR カウント 10bit B: TRG カウント 32bit C: S カウント 32bit
RF	LEMO	TTL	予備
GP OUT	LEMO		

※ 「規格」の NIM は Fast NIM 規格を示す。また、TAG は TAG 信号を示す。

2.4.3 モジュール用NIMビン電源

本件で製作したビームロスモニタ用ADCモジュール及びTAGサーバーモジュールについて、以下の構成にて動作可能な電源を供給するNIMビン電源を製作すること。また、100V・15Aのコンセントからの受電で動作可能なこと。

- ・ビームロスモニタ用ADCモジュール：5台、TAGサーバーモジュール1台
- ・ビームロスモニタ用ADCモジュール：6台

なお、上記仕様を満たす市販のNIMビン電源を購入することも可とする。

2.5 試験・検査

試験検査概要

本仕様書で製作するRCSビームロスモニタ用デジタイザに関する試験検査に関して、以下の項目について受注者が試験検査要領書を作成し、試験検査着手前までに原子力機構の承認を得たうえで受注者が試験検査を実施すること。試験検査に必要な機材・設備は原則として受注者が準備すること。

試験検査項目

- [A] 外見検査
- [B] 員数検査
- [C] 基本動作確認試験（単体試験）
- [D] 25Hz同期確認試験（組み合わせ試験）

2.6 その他特記事項

- 取り扱いや輸送に際しては、汚染・破壊・劣化を引き起こさないような梱包を行うこと。
- 製造の各工程において、各工程施工時の工場内及び工場間では製品ともども、清浄保全に努めること。