

仕 様 書

1. 件名

高精度ビーム不安定性抑制用フロントエンド・バックエンド回路の購入

2. 目的

本件は、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(以下「量研」という。)が運用する3GeV高輝度放射光施設(NanoTerasu)において、高精度ビーム不安定性を抑制するためのフロントエンド・バックエンド回路及びBPM用信号処理回路を購入するものである。

3. 購入品仕様

購入品仕様は以下の通りとする。相当品可とする。

- ・キャンドックスシステムズ社製 BBF フロントエンド/バックエンド回路
85HSR5A01 1台
- ・キャンドックスシステムズ社製 BPM 信号処理回路 72BPR508A01 2台

※相当品の場合は以下の仕様などを満たすこと。

3.1 BBF フロントエンド/バックエンド回路の詳細仕様

BBF 用フロントエンド、バックエンド回路を備えた 19 インチラック高さ 4U のモジュールとすること。本回路の参考フロントパネル、参考リアパネル図を図1に、参考外形寸法図を図2に示す。相当品の場合は、85HSR5A01 と同等の機能を有すること。

フロントエンド

(1) 入出力

フロントエンド入力 SMA-F 4 個(背面)

フロントエンド出力 SMA-F 6 個(前面)

(2) ピックアップ入力信号 4 系統にそれぞれ phase shifter, step attenuator, low pass filter を設けて、支給品のハイブリッド(図3参照)に接続し、出力にステップ減衰器、低ノイズアンプを設けること。

(3) Phase shifter

調整範囲±150ps 程度 又はそれ以上

周波数範囲 DC~2 GHz 又はそれ以上

VSWR 1.5 以下

位相調整用のハンドルを備えること。

- (4) Step attenuator
周波数範囲 DC~2 GHz 又はそれ以上
挿入損失 1dB 以下
VSWR 1.5 以下
調整範囲 2dB 以上(0.1dB step)
減衰量調整用のダイヤル(インジケータ付き)を備えること。
- (5) Low pass filter
3dB 損失周波数 800 MHz 程度
位相特性が平坦であること。
- (6) ステップ減衰器
周波数範囲 DC~2 GHz 又はそれ以上とすること。
調整範囲 31dB 又はそれ以上とし、1dB ステップとすること。
挿入損失 3dB 以下とすること。
VSWR 1.5 以下
静定時間が 100ns 以下であること。
ローカル制御及びEtherCATによる制御で、設定変更と現在値の読み出しが可能であること。
- (7) 低ノイズアンプ
周波数帯域 100MHz~2GHz 又はそれ以上 2 NF 2dB 以下
ゲイン 15dB 又はそれ以上
帯域内利得平坦度 ± 3 dB
P1dB +6dBm 以上
帯域内群遅延平坦度 1 ns pk-pk 以内
- (8) 出力段の信号に結合度が 20dB 程度の directional coupler を設けて、フィードバック出力とモニタ出力を設けること。

バックエンド

- (1) 入出力
バックエンド入力 SMA-F 4 個(前面)
バックエンド出力 SMA-F 4 個(背面)
トリガ入力 1 個(前面)SMA-F
外部 SG 入力 2 個(前面)SMA-F

- (2)+X, X, +Y, -Y 信号から+X+Y, -X+Y, -X-Y, +X-Y の信号を生成すること。
- (3)外部トリガ信号により、内部生成した信号と外部 SG 信号とを切り替えて出力すること。外部 SG 信号の極性を水平/垂直に変更可能であること。
- (4)外部トリガ信号の有効/無効、及び SG 信号の水平/垂直の変更は、前面のスイッチ及び EtherCAT による遠隔制御により、制御可能であること。
- (5)外部トリガ信号は TTL とすること。
- (6) バックエンド高周波特性
 - 周波数特性 400kHz~500MHz 又はそれ以上
 - 挿入損失 4dB 以下
 - 外部信号による切り替え時間 $1\mu\text{s}$ 以下(外部制御信号の 50%~出力信号 90%)
 - VSWR 1.5 以下
 - フロントエンド、バックエンドとも各入力から各出力までの電気長は 50ps 以下で一致するよう回路内のケーブル長を調整すること。

電源

- 電圧 : AC100~200V, 50/60Hz
- 消費電力: 100VA 以下
- コネクタ: IEC-C13
- IEC-C14 Lock Plus の AC100V ケーブルを付属すること。

試験

下記の試験を実施し、試験検査成績書にまとめ提出すること。

- ① 正常に機器制御できることを確認すること。
- ② フロントエンドに模擬信号を入力し、各出力ポートまでの電気長が 50ps 以下であることを確認すること。または、ネットワークアナライザによる群遅延を確認すること。
- ③ バックエンドに模擬信号を入力し、各出力ポートまでの電気長が 50ps 以下であることを確認すること。または、ネットワークアナライザによる群遅延を確認すること。
- ④ フロントエンド・バックエンドの周波数特性を計測すること。

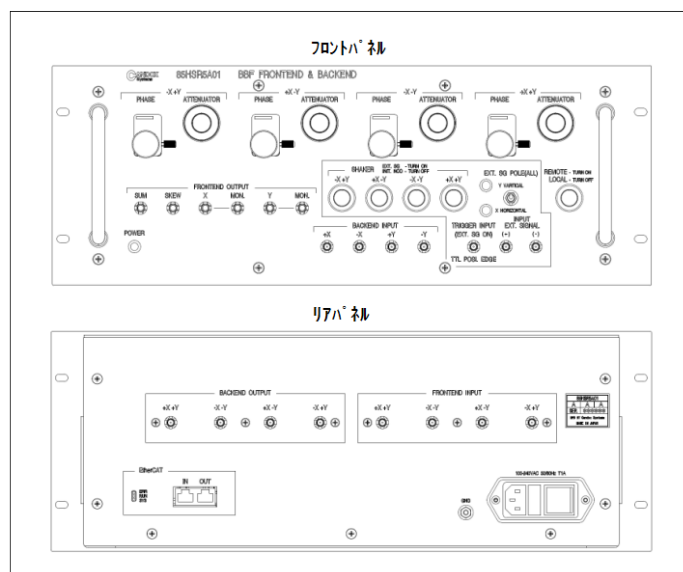


図1 フロントパネル、リアパネルの参考図

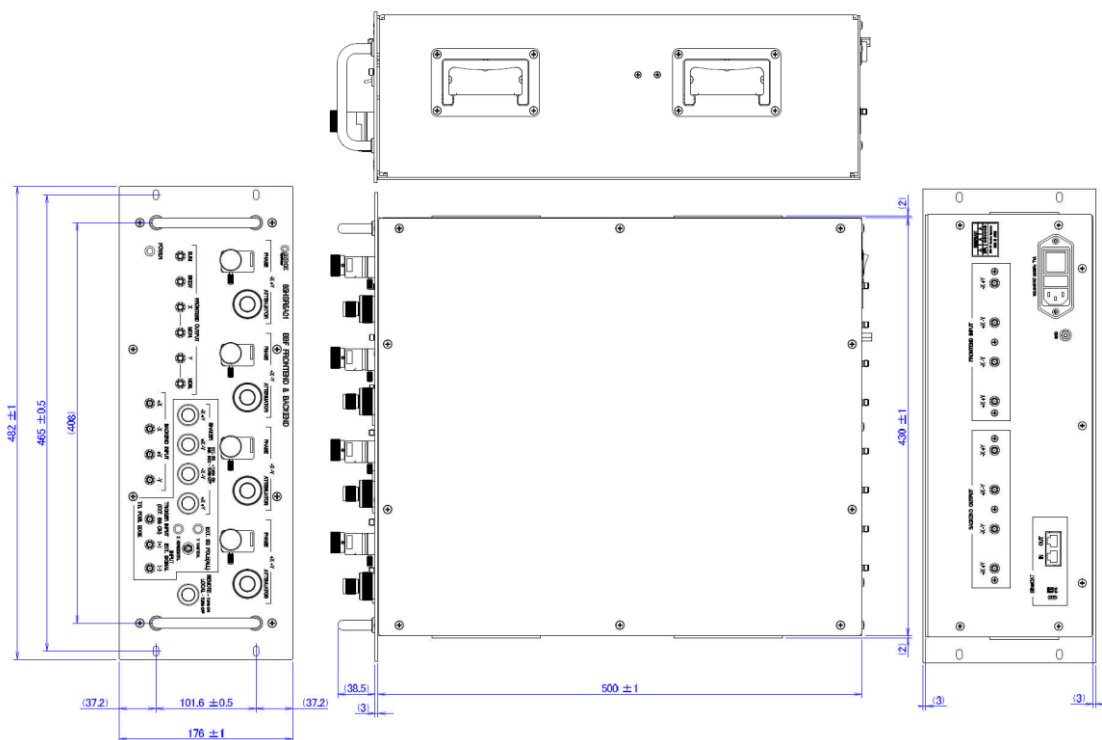


図2 BBF フロントエンド/バックエンド回路の外径寸法の参考図

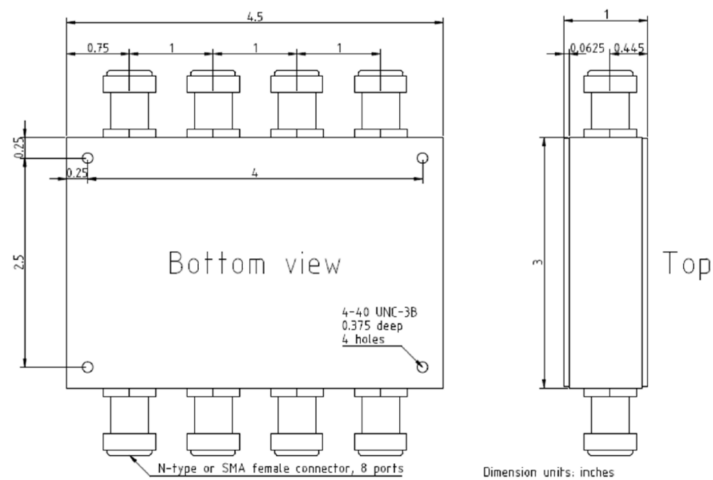


図3 ハイブリッドの外径寸法の参考図

3.2 BPM 信号処理回路の詳細仕様

- ① BPM 用 RF フロントエンド RTM は、高速デジタイザ AMC と組み合わせて、ビーム位置モニタからの高周波信号の振幅・位相を検波し、ビーム位置を算出するものである。
- ② ビーム位置モニタの電極からの 508.76 MHz の加速高周波信号に同期した双極インパルス状の信号が入力される。
- ③ 本 RTM で入力信号の波形整形、レベル調整し、高速デジタイザに適した差動平衡信号に変換して出力すること。
- ④ 外部から入力される基準高周波信号をもとに較正用信号を生成し、信号入力部から重畳できること。
- ⑤ 本 RTM は、MicroTCA.4 規格の RTM (Rear Transition Module) に準拠したものである。
- ⑥ MicroTCA.4.1 規格の RF Backplane にも対応可能とする。

全体的な仕様

- ① 本 RTM の参考ブロック図を図 4 に示す。
- ② ビーム位置モニタは 1 台あたり 4 ch. の出力があるのに対し、高速デジタイザには 10 ch. の入力があるので、本 RTM にて、2 台分 8 ch. の信号を処理するものとする。
- ③ 入力段に SAW BPF (Surface Acoustic Wave Band-Pass Filter) を挿入して波形整形し、508.76 MHz の正弦波を取り出すこと。
- ④ 幅広いビーム電流範囲での測定やシングルバンチでの測定をおこなうため、入力

信号電力は-53 dBm から+10 dBm の幅広いものとなる。

- ⑤ そのため、0 - 63 dB の範囲でレベルを調整できる可変ステップ減衰器を設けること。
- ⑥ 高速デジタイザのフルスケール+7 dBm に適合するよう、利得 35 dB 程度の増幅器を設けること。
- ⑦ 入力信号を BALUN にて差動平衡信号に変換して RTM 背面の Zone 3 コネクタから高速デジタイザ AMC に信号伝送すること。
- ⑧ 外部から入力される基準高周波信号をもとに較正用信号を生成し、入力段の方向性結合器から重畳できること。
 - ・較正用信号は加速高周波信号からわずかに周波数をずらしたものとし、BPM の 4 ch. それぞれに異なる 4 種類の信号をそれぞれのチャンネルに入力できること。
 - ・較正用信号は、RF Backplane、または、外部から入力される基準高周波信号をもとに位相同期発振器にて生成し、可変減衰器でレベル調整したのち、入力段の方向性結合器から信号入力に向かって重畳すること。
 - ・較正用信号、および、基準高周波信号は、高速デジタイザの空きチャンネルにて監視できること。
- ⑨ MicroTCA. 4.1 RF Backplane (RFB) にも対応し、RFB のクロックや高周波信号を高速デジタイザ AMC に送ったり、RFB の高周波信号を較正用信号生成に使ったり、RFB の電源を使用したりできること。

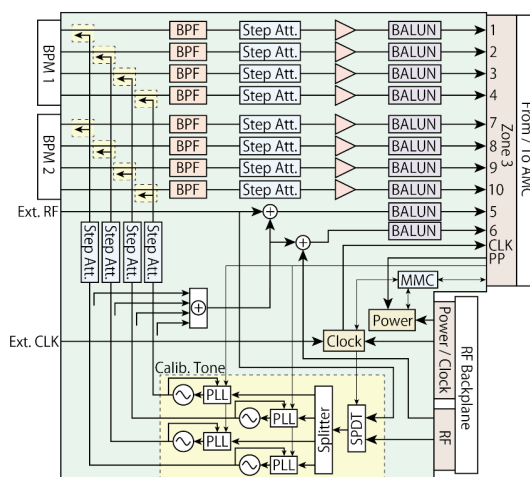


図 4 BPM 用 RF フロントエンド RTM 参考ブロック図

主な仕様

主な仕様は以下のとおりである。それぞれの項目の詳細は後述する。

- ① 規格： MicroTCA. 4 RTM (RF Backplane 対応)
- ② BPM 信号入出力

信号形状： 双極インパルス状で、508.76 MHz の加速高周波信号に同期。

入出力チャンネル数： 4 ch. x 2 = 8 ch.

波形整形、レベル調整、シングルエンド・差動変換をおこなって Zone 3 コネクタに出力。

③ 基準高周波信号入出力

前面パネル入力： 1 ch.

RF Backplane 入力： 2 ch.

周波数： 508.76 MHz (加速高周波信号と同一)

シングルエンド・差動変換をおこなって Zone 3 コネクタに出力

較正用信号生成にも使用する

④ クロック入出力

前面パネル入力： 2 ch.

RF backplane 入力： 2 ch.

Zone 3 出力： 2 ch.

2 ch. のうち、ひとつは ADC クロック、もうひとつは、周回周波数

⑤ 較正用信号

チャンネル数： 4

周波数： 基準高周波信号から数 100 kHz 分離、各チャンネル別々

重畳方法： 可変減衰器でレベル調整して BPM 信号入力部より方向性結合器にて重畳

⑥ 電源入力： 以下の電源に対応し、必要に応じて切り替えられること。

Zone 3 コネクタ： Payload Power +12 V, Management Power +3.3 V

RF backplane: Analog Power ± 6 V

⑦ モジュールマネジメント： DESY Module Management Controller (MMC) v1.00 準拠

BPM 信号入出力

① チャンネル数： 4 ch. x 2 = 8 ch.

② 入力信号波形： 双極インパルス列 (508.76 MHz の加速高周波信号に同期)

③ 入力レベル： -53 dBm ~ +10 dBm、シングルエンド 50 Ω 、508.76 MHz にて

④ 入力コネクタ： 前面パネル集合同軸コネクタ

⑤ 入力 VSWR： 1.5 以下 (508.76 MHz \pm 1 MHz)

⑥ SAW バンドパスフィルタ

中心周波数： 508.76 MHz が通過域に十分含まれること。

帯域幅： 約 10 MHz (3 dB)

挿入損失： 4 dB 以下

⑦ 可変減衰器： 各チャンネルにステップ可変減衰器を設けること

減衰器調整範囲：0 - 63 dB

減衰器調整ステップ：0.5 dB、または、1 dB

高速デジタイザ AMC から user I²C 通信にて減衰量を設定できること。

⑧ 増幅器

利得：35 dB 程度

ノイズフィギュア：6 dB 以下

⑨ シングルエンド・差動変換

方式：高周波トランスによる

挿入損失：3 dB 以下

中点電圧：高速デジタイザ AMC の AD 変換器の中点電圧に合わせること。

⑩ 信号出力：Zone 3 コネクタ、差動平衡 100Ω

⑪ アイソレーション：50 dB 以上 (508.76 MHz ± 1 MHz)

⑫ 振幅安定度：0.01 dB 以下 (24 時間、温度変動 ±0.1°C 以内にて)

基準高周波入出力

① 基準高周波入力

周波数：508.76 MHz (加速高周波信号と同一)

入力レベル：0 - 3 dBm、シングルエンド 50Ω

② 前面パネル入力

チャンネル数：1

コネクタ：SMA ジャック

③ RF Backplane 入力

チャンネル数：2 (REF および CAL)

コネクタ：Coaxipack 2

④ シングルエンド・差動変換

方式：高周波トランスによる

挿入損失：3 dB 以下

中点電圧：高速デジタイザ AMC の AD 変換器の中点電圧に合わせること。

⑤ 基準高周波出力

チャンネル数：2 (前面パネル、RF backplane、それぞれ 1 ch. ずつ)

コネクタ：Zone 3 コネクタ、差動平衡 100Ω

⑥ アイソレーション：50 dB 以上 (508.76 MHz ± 1 MHz)

⑦ 振幅安定度：0.01 dB 以下 (24 時間、温度変動 ±0.1 °C 以内にて)

クロック入出力

① 前面パネル入力、RF Backplane 入力から選択できること。

- ② チャンネル数：2 (ADC サンプリングクロック、および、周回信号)
- ③ 周波数
ADC サンプリングクロック：約 360 MHz
周回信号：0.1 - 2 MHz
- ④ 前面パネル入力
コネクタ：SMA ジャック x 2
入力レベル：0 dBm Typical 正弦波、および、LVPECL single-ended の両方に対応
入力インピーダンス：50 Ω
- ⑤ RF Backplane 入力
コネクタ：Zone 2 コネクタ (2 ch.)
入力レベル：LVPECL、差動平衡 100 Ω
- ⑥ クロック出力
チャンネル数：2
コネクタ：Zone 3 コネクタ
出力レベル：LVPECL、差動平衡 100 Ω
ジッタ増加：100 fs rms 以下 (目標 50 fs rms 以下)

較正用信号

- ① チャンネル数：4
- ② 周波数
基準高周波信号に同期し、その周波数から数 100 kHz 分離。
高速デジタイザ AMC から各チャンネル別々に周波数設定できること。
- ③ 信号レベル：+13 dBm 程度 (可変減衰器入力にて)
- ④ 生成方法：VCO 発振器を PLL 制御して生成。
- ⑤ 出力制御：高速デジタイザ AMC から出力の ON / OFF の制御ができること。
- ⑥ アイソレーション：50 dB 以上 (508.76 MHz ± 1 MHz)
- ⑦ 振幅安定度：0.01 dB 以下 (24 時間、温度変動 ±0.1°C 以内にて)
- ⑧ ジッタ：200 fs rms 以下
- ⑨ 基準高周波信号：前面パネル入力と RF Backplane 入力から選択できること。
- ⑩ 可変減衰器：各チャンネルにステップ可変減衰器を設けること。
減衰器調整範囲：0 - 63 dB
減衰器調整ステップ：0.5 dB、または、1 dB
高速デジタイザ AMC から減衰量を設定できること。
- ⑪ 重畳方法：BPM 信号入力部の方向性結合器による。
- ⑫ 方向性結合器

結合度： 20 dB 程度

方向性： 20 dB 以上

重畳方向は、上流向きとする。

⑬ 基準高周波信号出力チャンネルへの重畳

全 4 チャンネルの較正用信号を合成して基準高周波出力に重畳すること。

信号レベル： -3 dBm 程度

各チャンネルの較正用信号は方向性結合器で取り出すこと。

重畳にはウィルキンソン型コンバイナを使用すること。

AMC との接続

① コネクタ： Zone 3 コネクタ

② ピン配置： MicroTCA.4 Class A1.1 準拠

③ アナログチャンネル割り当て

BPM 1 台目： ch. 1 - 4

BPM 2 台目： ch. 7 - 10

前面パネル基準高周波信号： ch. 5

RF Backplane 基準高周波信号： ch. 6

すべて AC coupling 側に出力する。

状態監視・制御

① IPMI による状態監視・制御ができること。

② 温度・電源などが監視できること。

③ 入力信号、較正用信号の減衰器の制御ができること。

④ 較正用信号の周波数設定や出力 ON / OFF ができること。

⑤ 上記の制御を正常に行えることを確認するためのソフトウェアを作成すること。

電源

① AMC からの入力

コネクタ： Zone 3 ZD コネクタ

Payload Power： +12 V

Management Power： +3.3 V

② RF Backplane 入力

コネクタ： Zone 2 コネクタ

電圧： ±6 V (アナログ回路専用)

③ アナログ回路においては、AMC からの電源と RF Backplane からの電源が選択できること。

- ④ 消費電力：30 W 以下

構造

- ① 寸法：MicroTCA.4 RTM Double-width Mid-size
- ② ケース：アイソレーションが十分とれるよう、RTM を金属ケースで覆うとともに、各チャンネルを仕切ること。
- ③ 重量：3 kg 以下

試験

- ① 外観、寸法、重量：仕様値を満足していることを確認すること。
- ② 以下の電氣的性能を満たしていることを確認すること。
ステップ減衰器が設定した減衰量を有することを 508.76 MHz の信号を用いて確認すること。
VSWR、ノイズフィギュア、利得、アイソレーションが仕様値を満たすことを確認すること。

4. 納期

令和7年3月7日

5. 納入場所

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-11-901
国立大学法人東北大学工学研究科総合研究棟 9 階
量子科学技術研究開発機構

6. 検査条件

第5項に示す納入場所に納入後、以下の検査をもって検査合格とする。

項目	内容
員数検査	・員数が揃っていることを、目視により確認する。
外観試験	・目視にて機器の外表面、及び内表面に機能上有害となる傷や歪みのないことを確認する。
性能試験	・各機器の試験成績表を提出すること。

7. 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。

8. グリーン購入法の推進

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。

9. 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）

部課室名： NanoTerasu センター

高輝度放射光研究開発部 加速器グループ

氏 名： 上島 考太