

PF-AR の DCCT 更新に伴う制御系の整備

○塩澤 真未

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構（KEK）つくばキャンパスの大強度パルス放射光源加速器 Photon Factory Advanced Ring（PF-AR）において、ビーム電流計 DC Current Transformer (DCCT) の更新作業を、2023 年より約 2 年かけて段階的に実施した(表 1)。本更新では、DCCT コアや検出回路などのハードウェアに加え、読み出し制御系のソフトウェア改修も行った。本稿では、制御系の更新内容について、ハードウェアおよびソフトウェアの両面から報告する。

表 1 主な作業内容と完了日^[1]

作業名	完了日
DCCT 専用ケーブルの敷設作業	2024 年 7 月
ビームダクトの組み立て作業	2024 年 12 月
インストールのための真空作業	2025 年 1 月
冷却水配管・温度モニターの整備	2025 年 2 月
デジタルマルチメータの制御系整備	2025 年 2 月

2. DCCT の概要と更新背景

DCCT とは図 1 に示すような機器で直流電流を高精度で測定できる電流計のことで、リングに蓄積された電子ビームの平均電流を測定するためのビームモニターである。PF-AR などの蓄積リング型の加

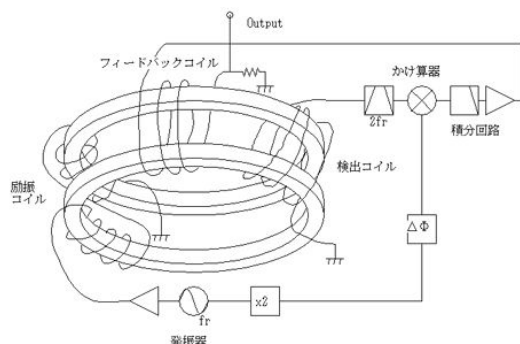


図 1 DCCT 概略図^[2]

速器にとっては運転に欠かせない重要なビームモニ

ターのひとつである。

PF-AR には運転に使用しているメイン DCCT と予備のサブ DCCT の 2 台がインストールされていたが(図 2)、2022 年 5 月にサブ DCCT の検出回路が故障していることが判明した。しかし 30 年近く前の古い回路でありメーカーによる修理が不可能であったため、更新することになった。更新した新 DCCT をメイン DCCT とし、旧メイン DCCT をサブ DCCT とすることで冗長化を図った。現在、現実的な DCCT の入手先は工藤電機（日本）か Bergoz（フランス）の二択となっているが今回の更新では入札の結果 Bergoz 製の DCCT コアと回路を調達した。なお、旧メイン DCCT は工藤電機製である。

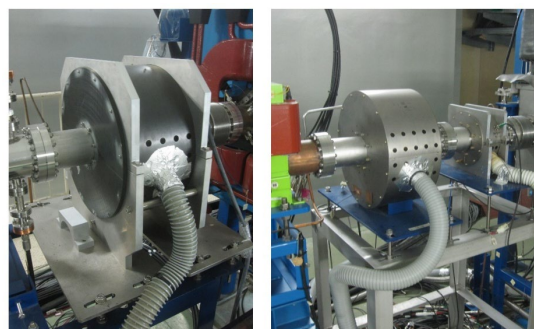


図 2 PF-AR の DCCT (左: 旧メイン DCCT、右: 旧サブ DCCT)

3. EPICS について

EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) ^[3]とは加速器などの大型実験装置における制御システムを構築するためのフレームワークであり、KEK 内外の大型加速器施設や物理実験装置などで広く利用されている。PF-AR においても EPICS を用いている。

EPICS を用いて分散制御システムを構築することで、機器とコントローラ間の配線を最小限に抑えることができ、さらに機器の追加や変更にも柔軟に対応できるという利点がある。EPICS では Channel Access というプロトコルで Process Variable (PV≡レコード) の値を読み書きすることで機器を監視・制御している。レコード名さえ分かっていれば同じネットワーク内のどの端末からでも通信が可能である。

レコード名は例えば「OPAAR:BEAM:CURR」のようにコロン(:)でつないで表記するのが一般的である。レコード名のつけ方は大抵加速器ごとにルールを設けてあり、それに従って他のレコードと被らない名前を命名する。

4. ハードウェアの整備

DCCT 更新に伴うハードウェアの整備は表 1 や図 3 に示した通りだが、ここでは特に制御関係のハードウェア整備について紹介する。機器は図 4 のような構成になっている。まず、DCCT コアからのセンサーケーブルは DCCT 回路に入る。回路からの電圧出力は BNC ケーブルを介しデジタルマルチメーター (DMM) に入ることによって電圧値が読める。これに測定レンジに応じた係数をかけることでビーム電流としての値が得られる。なお、使用した DMM (Keysight 3458A) には LAN ポートがなかったため、LAN/GPIB を用いて LAN ケーブルを用いて制御ネットワークにつなげた。

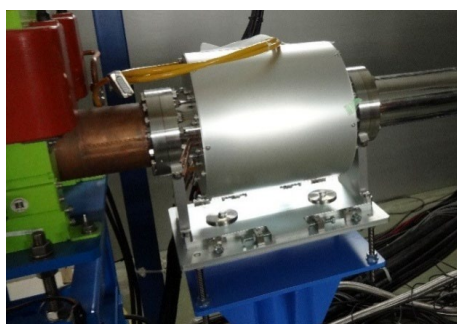


図 3 PF-AR にインストールされた新 DCCT

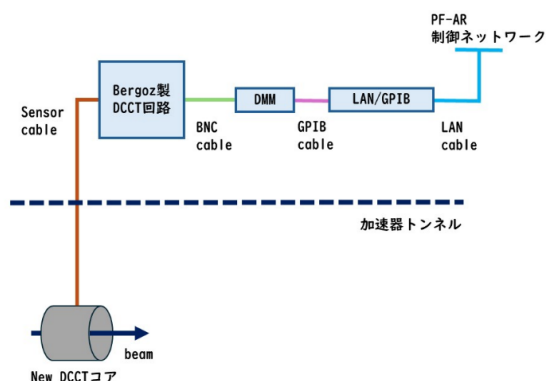


図 4 DCCT 機器構成

整備として以下の 3 つの作業を行った。

- DCCT 回路、DMM、LAN/GPIB を収める 19 インチラックの調達
- LAN ケーブルの配線
- 実験盤からラックまでの電源ケーブルの配線

まず、ラックの選定であるが筆者は経験がないた

め分厚いカタログの中からどのラックを選ぶべきかわからず頭を抱えてしまった。しかし、メーカーの分かりやすいホームページや担当者の手厚い対応により、図 5 のような適切なラックを選定することができた。個人的に重要と感じたのは以下の点である。ここさえ押さえておけばラックの選定で大きなミスは防げるのではないだろうか。

- どこに置くのか (ラックの寸法、オープンラック or キャビネット)
- どんなサイズの機器を収めるのか
- JIS 規格 or EIA 規格
- 電源タップの有無
- クレーンで吊るためのアイボルト

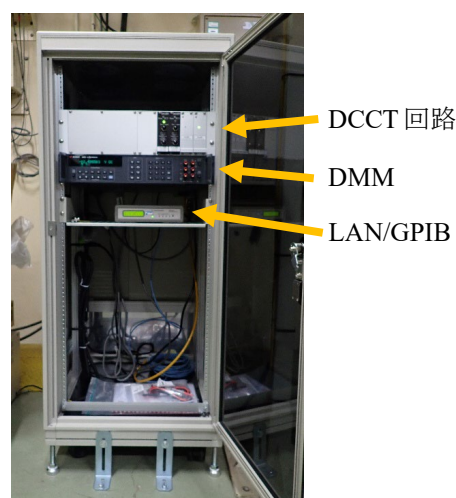


図 5 機器を収めた 19 インチラック

次に、LAN ケーブルの配線を行った。ラックから最寄りのネットワークハブに接続する必要があるが、既設の未使用ケーブルを一部用いることで、コスト削減を図った。そのため実際に配線を行ったのは、フリーアクセスの床下を 15 m 程度であった。LAN ケーブルの端末処理を行ったのは初めてだったのでいい経験になった。また、ネットワークケーブルテスターの使用方法も習得することができた。

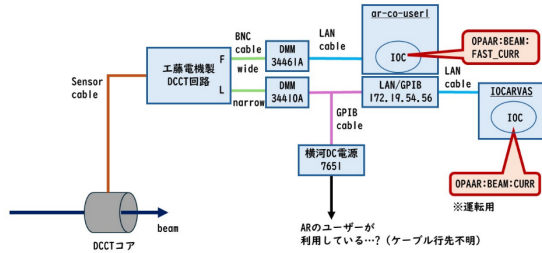
最後に、ラック付近に電源を取れる場所がないことが発覚したため最寄りの実験盤から電源ケーブルを引いた。この作業は第二種電気工事士の資格を持つ業者の方に依頼した。(筆者も後日資格を取得した。)

5. ソフトウェアの整備

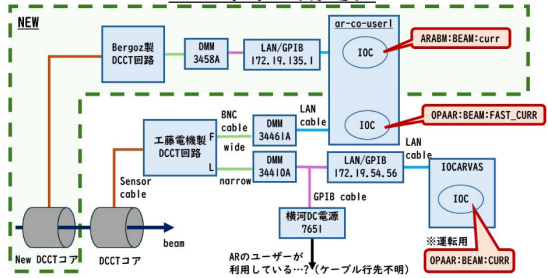
ビーム電流は運転に欠かせない重要なパラメータであることから、ソフトウェアの更新は関係者に周知しつつ図 6 に示すように段階的に実施した。

2024 年第三期運転の際に新しい DCCT を導入したが、その際運転に使用しているビーム電流のレコ

2024年第二期運転 以前



2024年第三期運転



2025年第一期運転 以降

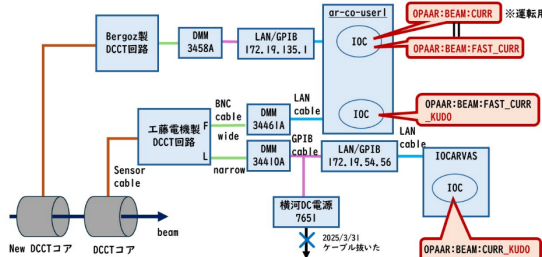


図 6 レコード変更の履歴

ードは旧メイン DCCT（工藤電機製）に接続したままであった。この運転期間に新 DCCT の制御系に不具合がないかを確認した後、2025 年第一期より運転に使用した。この際、運転に使用しているビーム電流のレコード名はそのまま、接続している DCCT が Bergoz 製の新 DCCT となるように整備し、これをメイン DCCT とした。レコードはどこで誰がモニターし、使用しているかはわからないため、突然接続不可となる等の混乱を避けるためである。一方、旧メイン DCCT はレコード名を変更することで、サブ DCCT として使用することにした。また、OPAAR:BEAM:CURR と OPAAR:BEAM:FAST_CURR は別レコードではあったものの両方とも 2 Hz でデータを取っており、オフセットが異なるだけだと発覚したため、新 DCCT では両方とも同じデータが入るようにした。

故障が発覚した後は DCCT 一台のみで運転していたが、今回の DCCT 更新や整備によって、Bergoz 製のメイン DCCT と工藤電機製のサブ DCCT の 2 台が利用可能となった。

6. まとめ

KEK の PF-AR において DCCT の更新に伴い、制御系の整備を行った。ラックや LAN ケーブルなどハードウェアの整備や EPICS を用いたソフトウェアの整備を行った。機器が変わっても運転に使用するレコードは変更しないことで、ユーザーがスムーズに利用できるよう工夫した。

謝辞

本作業を行うにあたり、様々な方にご協力を頂きました。特に、株式会社 アルテンジャパンの路川徹也氏には EPICS について多くのご助言を賜りました。また、高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 帯名崇氏には、制御系更新の方針についてご相談に乗って頂きました。この場をお借りして深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 高井 良太, 「PF-AR 用直流ビーム電流トランスの更新」, 第 2 回測定器開発テストビームライン研究会, 高エネルギー加速器研究機構 (KEK), 2025 年 4 月 3 日.
- [2] 飛山 真理, 「電子加速器のビームモニター概要～電氣的モニター～」, OHO08 テキスト, 高エネルギー加速器研究機構 (KEK), <https://accwww2.kek.jp/o/o/o08/text.html> (参照日: 2025 年 2 月 20 日).
- [3] EPICS Controls, “EPICS — Experimental Physics and Industrial Control System”, <https://epics-controls.org/>, (参照日: 2025 年 2 月 20 日)