

Raspberry piを用いた EPICS対応DCマグネット用バイポーラ電源

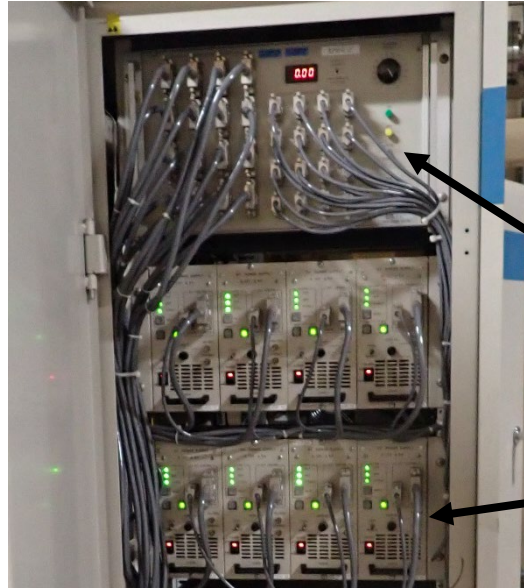
榎本 嘉範（高エネ研），草野 史郎，牛本 信二（三菱電機システム・サービス）

要旨

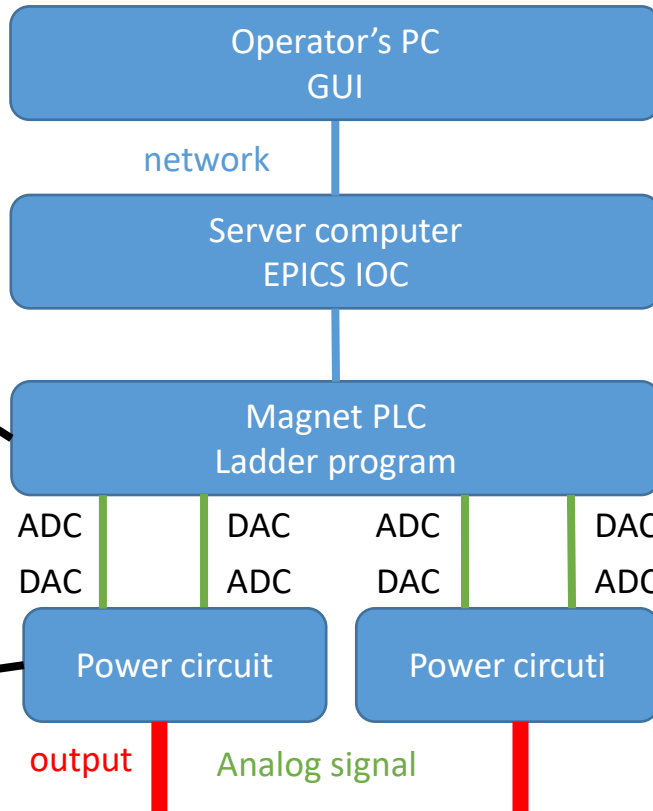
KEK電子陽電子入射器では約200台のDCステアリングマグネット電源を運用している。既存電源の出力制御はアナログ電圧制御、出力モニターはアナログ電圧出力となっており、それぞれがPLCのDAC、ADCに接続されている。PLCの制御はラダープログラムで行われているが、加速器全体の制御はEPICSが使われている。そのため両者の間を変換するためのソフトウェアが計算機上実行されている。今回これらの電源の置き換えとして、各電源内にraspberry piを搭載し、Linux上でEPICS IOC(input output controller)を動作させる事により、LANケーブル1本で直接EPICS制御可能な電源を開発した。電源はraspberry piに加えて、制御回路、パワー回路、インターロックおよびモニター回路、内部電源回からなる。パワー回路の制御及びモニターは制御回路上の20bit DAC及び24 bit ADCで行い、raspberry piとSPI通信で接続されている。各種内部温度等のモニターとしきい値判定はウィンドウコンパレータやロジック回路を用いた構成となっており、測定値や判定値はArduinoを用いて収集しUART通信にてraspberry piへ送信している。本発表では電源の設計、製作から性能評価、運用についてハードウェアを中心に紹介する。



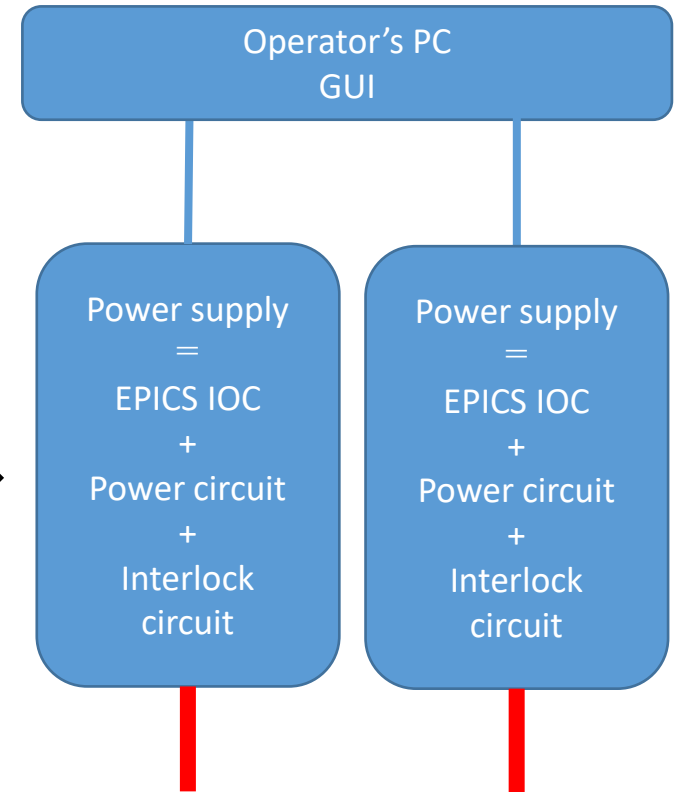
はじめに



Present system configuration



New system configuration



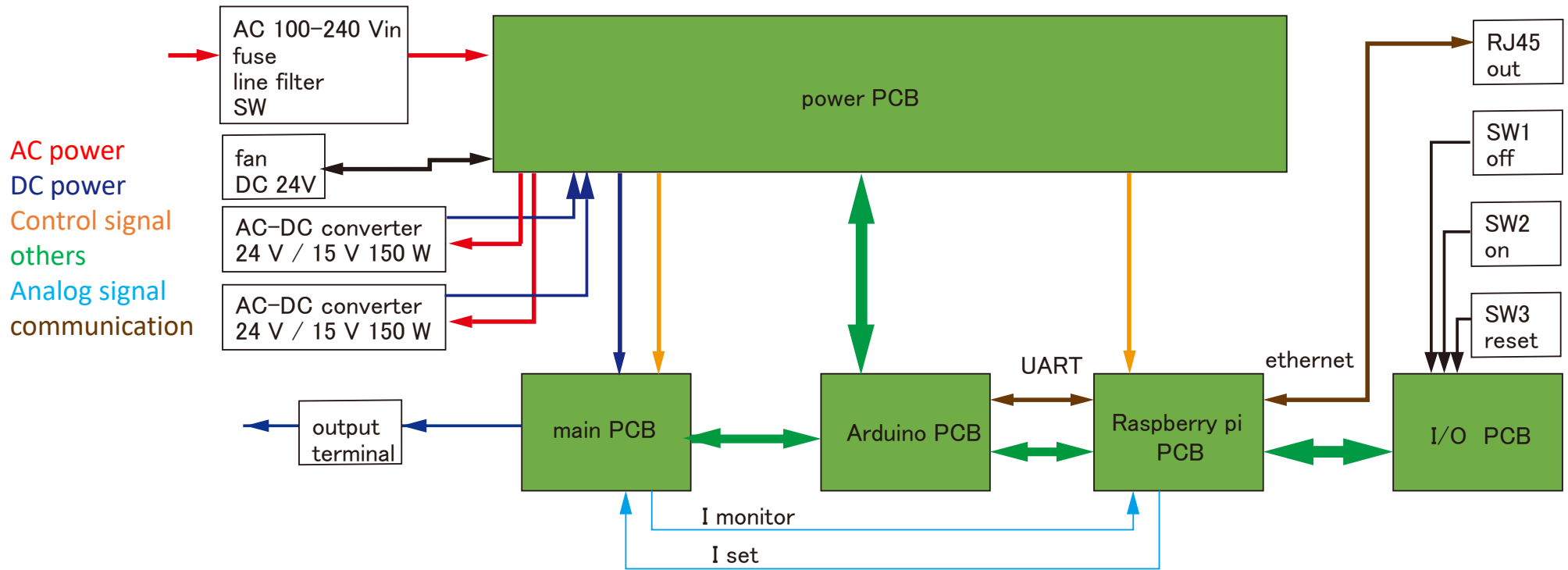
既存マグネット用電源の制御システム（左）と新電源（右）の構成

既存電源はアナログ電圧制御→PLCのDAC電圧で制御

全体の制御系（EPICS）へ接続するために外部にIOCを立てて、PLCのラダープログラムと通信
インターロック、ステータス信号は電源のデジタル出力をPLCのデジタル入力によませている



システム構成



電源は5枚の基板、入出力コネクタ、スイッチ、ファン、組み込みAC-DC電源などからなる。

Power PCB : AC入力から各種制御用電源をつくる。

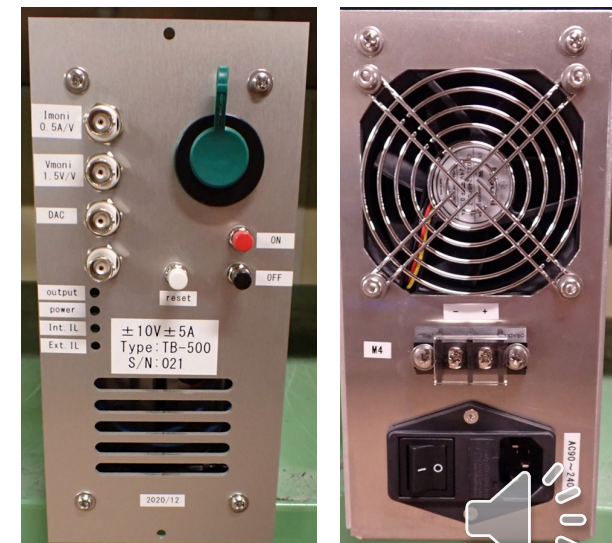
Main PCB : パワーオペアンプによる電流出力回路。

Arduino PCB : インターロック、モニター用回路。

Raspberry pi PCB : ADC, DACを搭載しMain PCBの制御を行う。

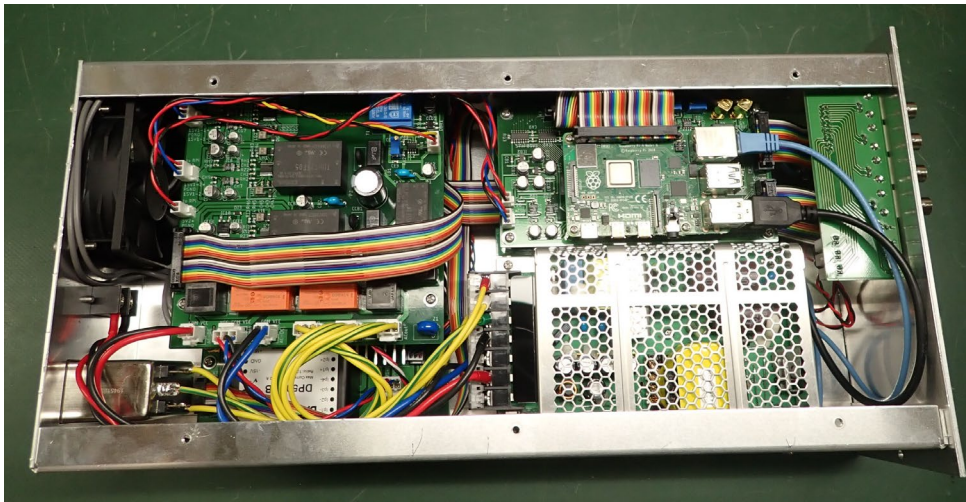
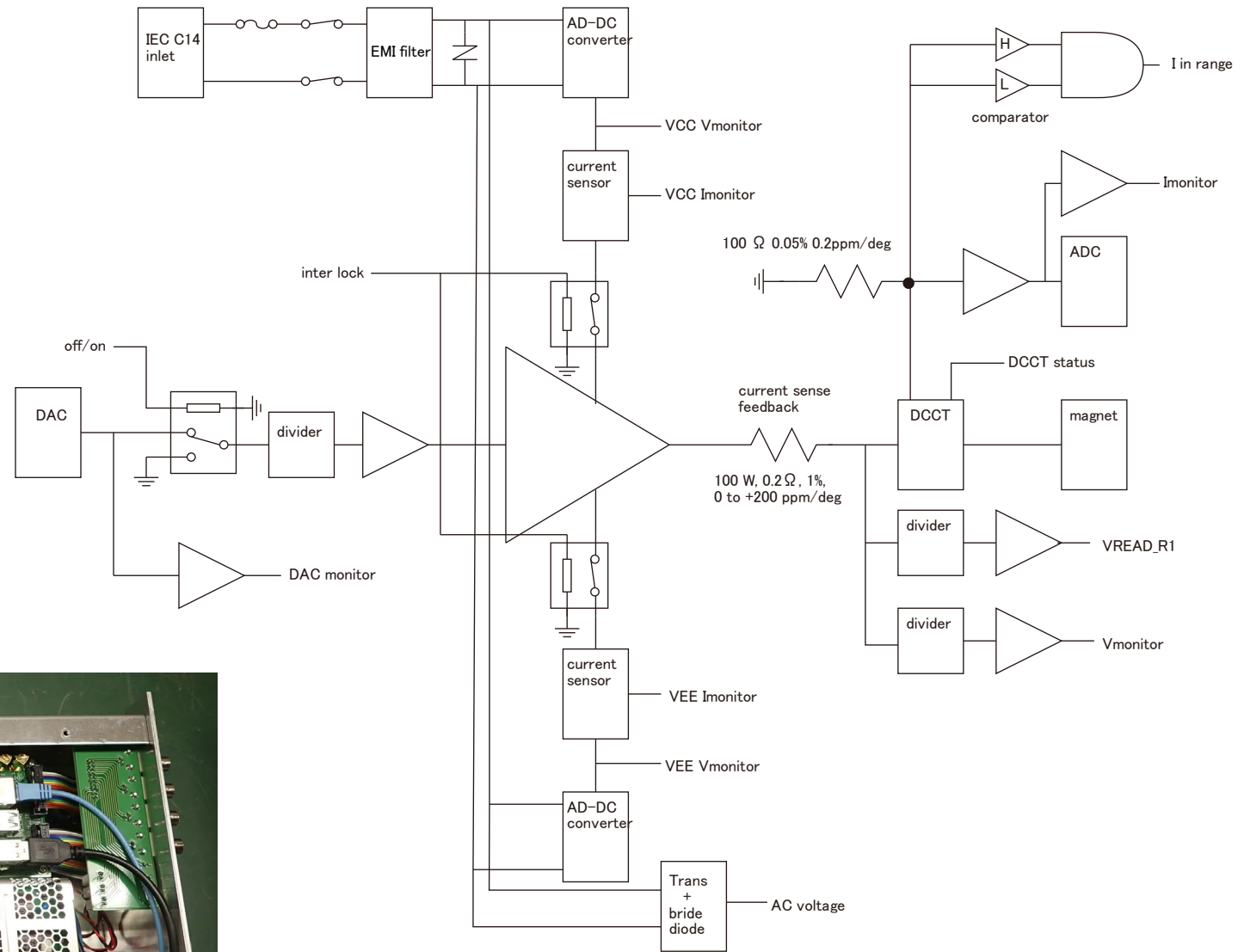
I/O PCB : スイッチ, BNC, LEDを備え、外部との入出力を行う。

既存電源の置き換えを目的とするため、外形寸法は互換性を保つ



主回路構成

- 主回路はパワーオペアンプによる電流フィードバック回路
- フィードバック抵抗は 0.2Ω
- 出力電流モニターはDCCT
- インターロック作動時はオペアンプへの電源供給をリレーでカット
- オペアンプ電源は既製品を使用 (Omron S8FS-Gシリーズ)
- 出力電流に加えて
 - 出力電圧
 - DAC入力電圧
 - オペアンプ電源入力電圧
 - オペアンプ電源入力電流
 - AC入力電圧のモニターあり



各種諸元

回路	Value	comment
入力電圧	単相AC 90 ~ 240 V	
出力電流	± 5 A	
出力電圧	± 10 V or ± 20 V	内蔵するオペアンプ電源(Omron S8FS-Gシリーズ)のタイプによる
パワーオペアンプ	PA12	Apex
Feedback 抵抗	0.2 Ω	Caddock MP9100シリーズ
電流モニター	DP50IP	Danisense
電流モニターburden抵抗	Y1624100R000Q9R	Vishay, VSMPシリーズ, 100 Ω, 0.02%, 0.2 ppm/°C
ADC	LTC2380-24	0 - 5V入力, 24 bit, 2Msps Raspberry piとはSPIで通信
DAC	AD5791	± 10 V出力, 20 bit, Raspberry piとはSPIで通信

制御	Value	comment
主コントローラ	Raspberry pi 4B	
OS	Raspberry pi OS	
EPICS base version	3.15.7	
補助コントローラ	Arduino mega 2560 R3	各種モニターに使用 16 ch アナログ入力 33 ch デジタル入力 Raspberry piとはUARTで通信



性能評価と運用

出力1 Aを指定したときの8時間安定度

	平均値	標準偏差	Full scale (10 A) 相対値
(1)*	2.023143 V	35.9 μ V	1.80 ppm
(2)	1.005246 A	21.2 μ A	2.12 ppm
(3)	0.999999 A	25.0 μ A	2.50 ppm

* ± 5 Aが ± 10 Vになるようスケールされている

測定系の分解のは以下の通り

	分解能	フルスケール	最小ステップ
電源DAC	20 bit	± 5 A	10 μ A
電源ADC	24 bit	± 5 A	0.6 μ A
DMM7510	7.5 桁	± 10 A	1 μ A

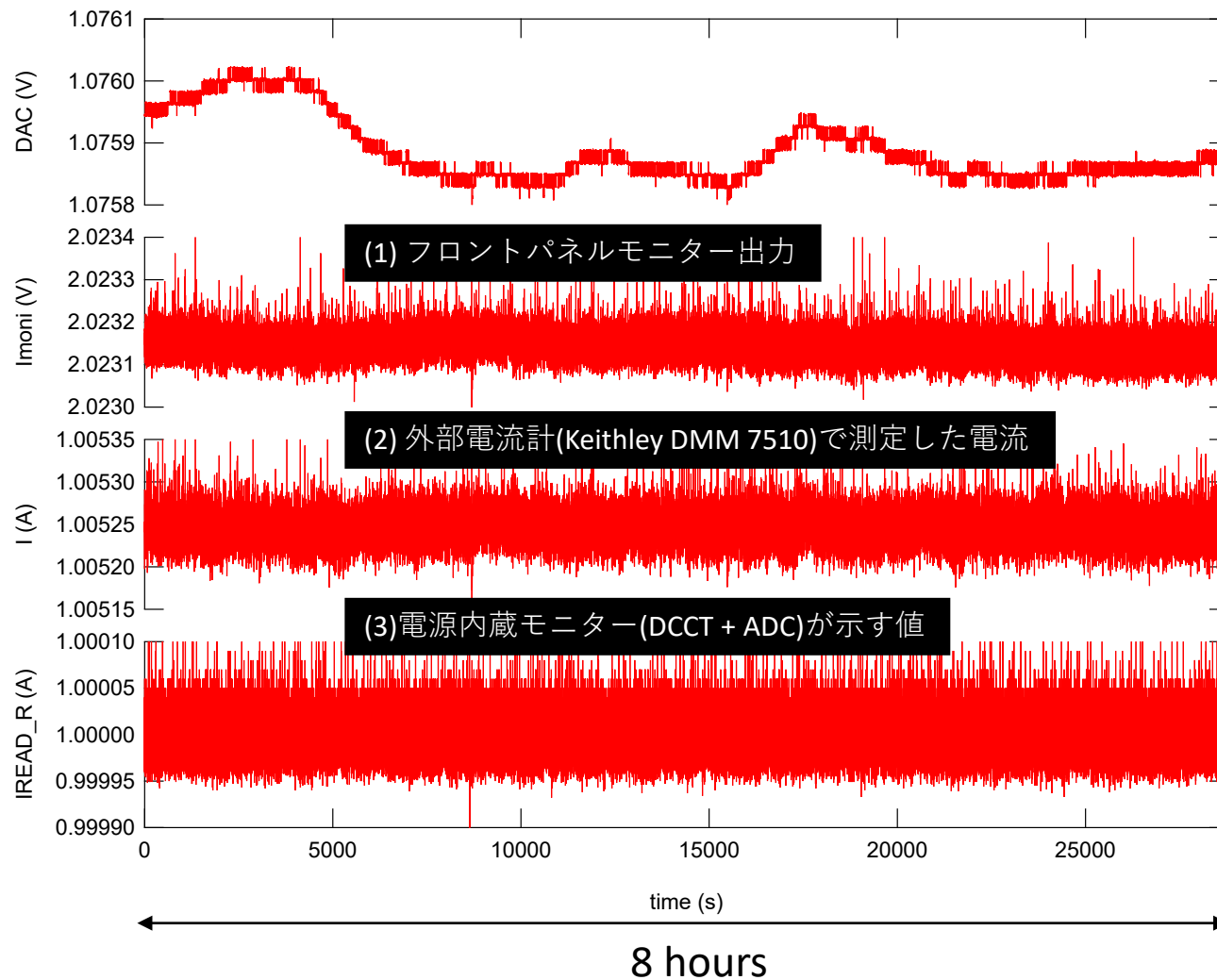
安定度は2.5 ppm(rms) @ 1 A

内蔵モニターの返す値と外部電流計（性能評価用）の値はオフセットはあるものの変動は概ね一致
 →内蔵モニター値はこの測定精度において信頼できる。

2020秋より試作品5台を運転で利用

2021秋より量産品57台を運転で利用予定

Software feedbackで出力電流を一定に保つようDAC出力は変動している



summary

- EPICS制御に対応したDCステアリング磁石用バイポーラ電源（ ± 10 or ± 20 V, ± 5 A出力）を開発した。
 - 主コントローラにはRaspberry pi 4Bを採用。
 - Raspberry pi os上でEPICS IOCを動かしている。
 - 各種モニター用にArduino megaを搭載し、Raspberry piへUARTで情報を送っている。
 - 機能ごとに基板を分割し、別の定格の電源を制作する際に再利用可能な構成としている。
 - 主回路構成はパワーオペアンプによる電流フィードバック回路。
 - 1 A出力時に 25 uA (2.5 ppm) rms / 8 hourの安定度
 - 2020秋より5台運用中、2021秋より57台追加運用予定

