



QUESTにおける制御システムの現状紹介と展望

九州大学応用力学研究所
長谷川真、QUESTグループ



於 第13回QUEST研究会

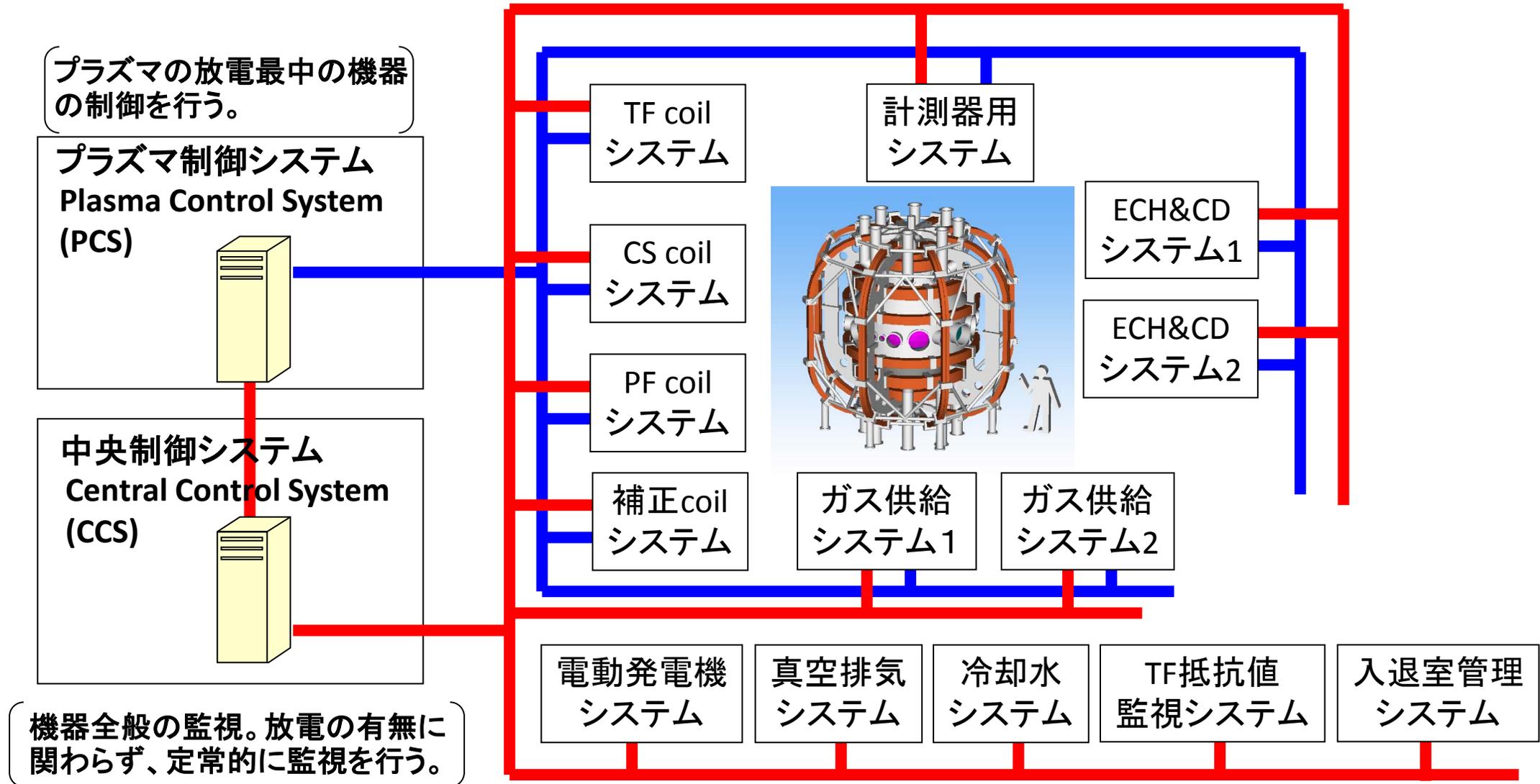
日程: 2017年2月10日(金)

場所: 九州大学応用力学研究所
2階会議室

内容

- QUESTにおける制御システム
- プラズマ制御システムの紹介
 - 構成、仕様、機能など
 - FPGAの使用例
- 中央制御システムの紹介
 - 構成、現状の課題など
 - システムへの実装例の紹介
- まとめ

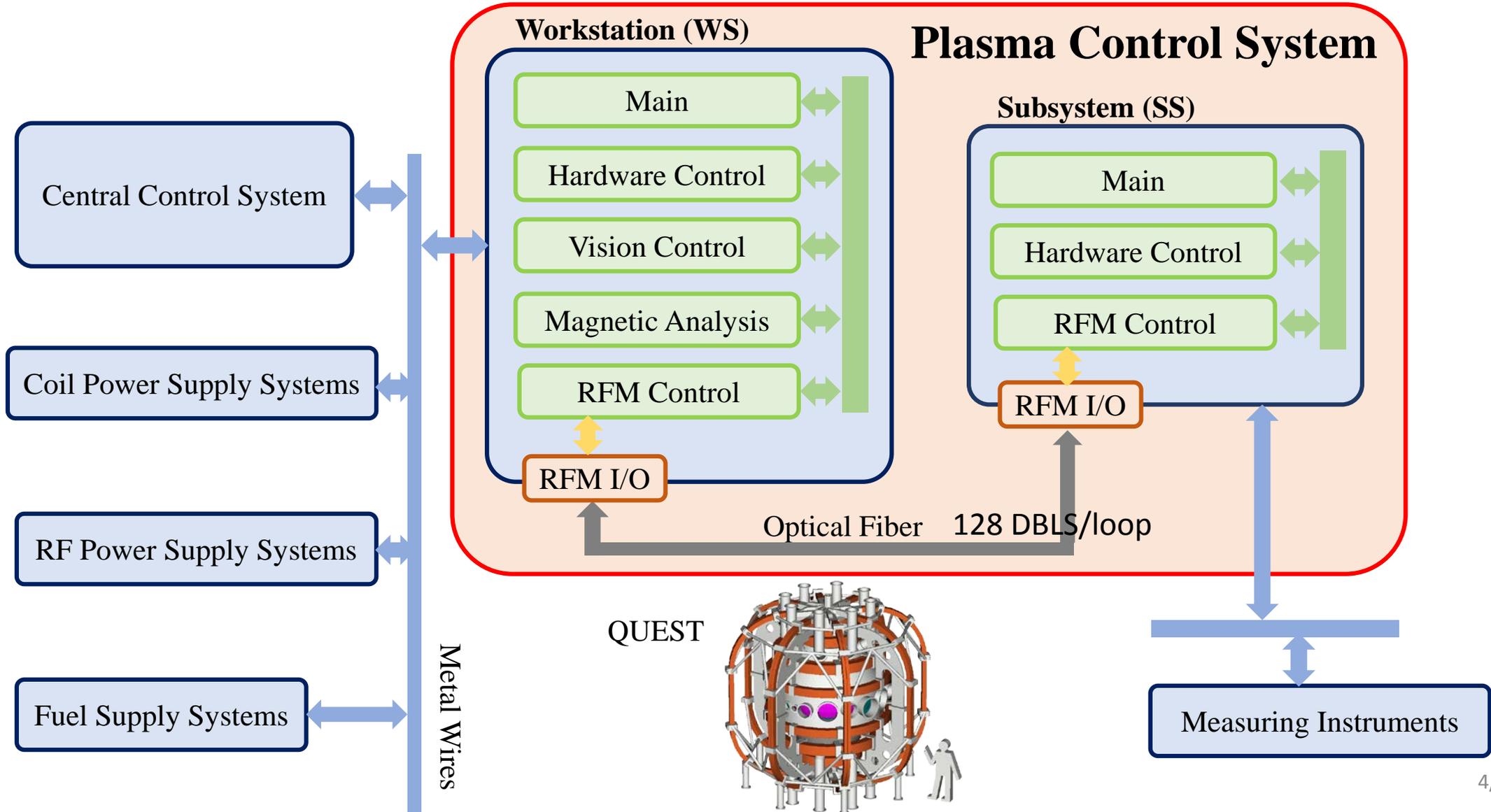
QUESTにおける制御システム



プラズマ制御システムの全体構成

— 分散化によって要求される高い処理能力を実現 —

Reflective Memory (RFM)を介して、Workstation (WS)と Subsystem (SS)で構成される。各システムではマルチコアCPUを採用しており、各タスクが並列的に実行される。



Hardware Specifications of WS and SS

The WS and SS are composed of National Instruments PXI systems.

	Workstation	Subsystem
CPU	1.73 GHz Intel Core i7-820 Quad Core	2.26 GHz Intel Core 2 Quad Q9100
OS	LabVIEW Real-Time	LabVIEW Real-Time
AIO	40ch, 4kHz	32ch, 4kHz
DIO	16ch, 4kHz	none

日本ナショナルインスツルメンツ社製PXIシステムで、シャーシにAIOやDIOなど必要とするモジュールを差し込んで構成される。

WS構成内訳

PXIe-1065 (18 slots chassis)			
Num	Model Number	Type	Application
1	PXIe-8133RT	Controller	Controller
4	PXI-7833R	FPGA	AI 8ch, AO 8ch
1	PXI-7842R	FPGA	AI 8ch, AO 8ch
1	PXI-6509	DIO	DI 16ch, DO 16ch
1	PXIe-8234	GigE Vision	Vision Input
1	GE cPCI-5565PIORC	RFM	Data Sharing



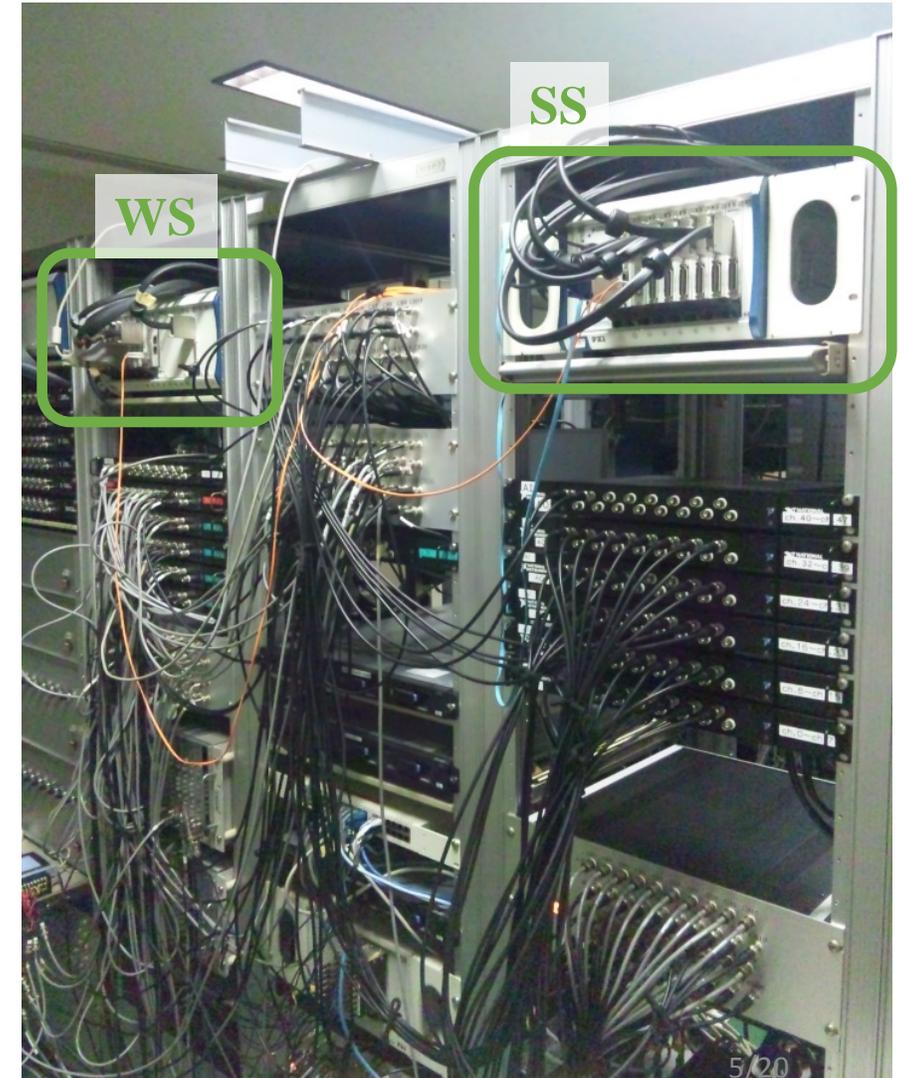
SS構成内訳

PXI-1042 (8 slots chassis)			
Num	Model Number	Type	Application
1	PXI-8110	Controller	Controller
4	PXI-7842R	FPGA	AI 8ch, AO 8ch
1	GE cPCI-5565PIORC	RFM	Data Sharing



プラズマ制御システム

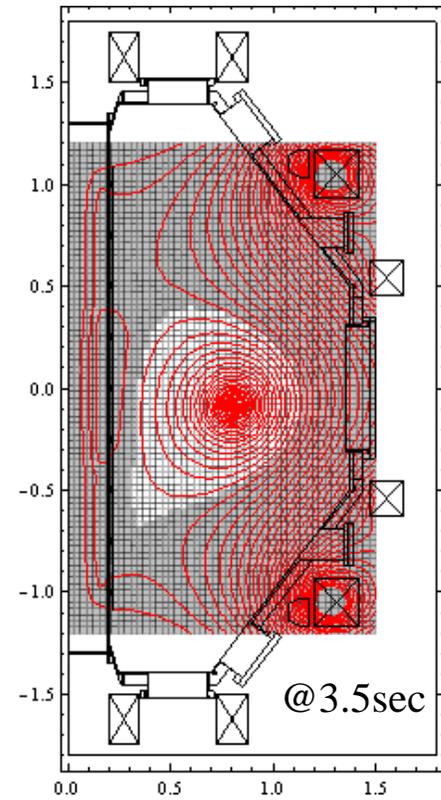
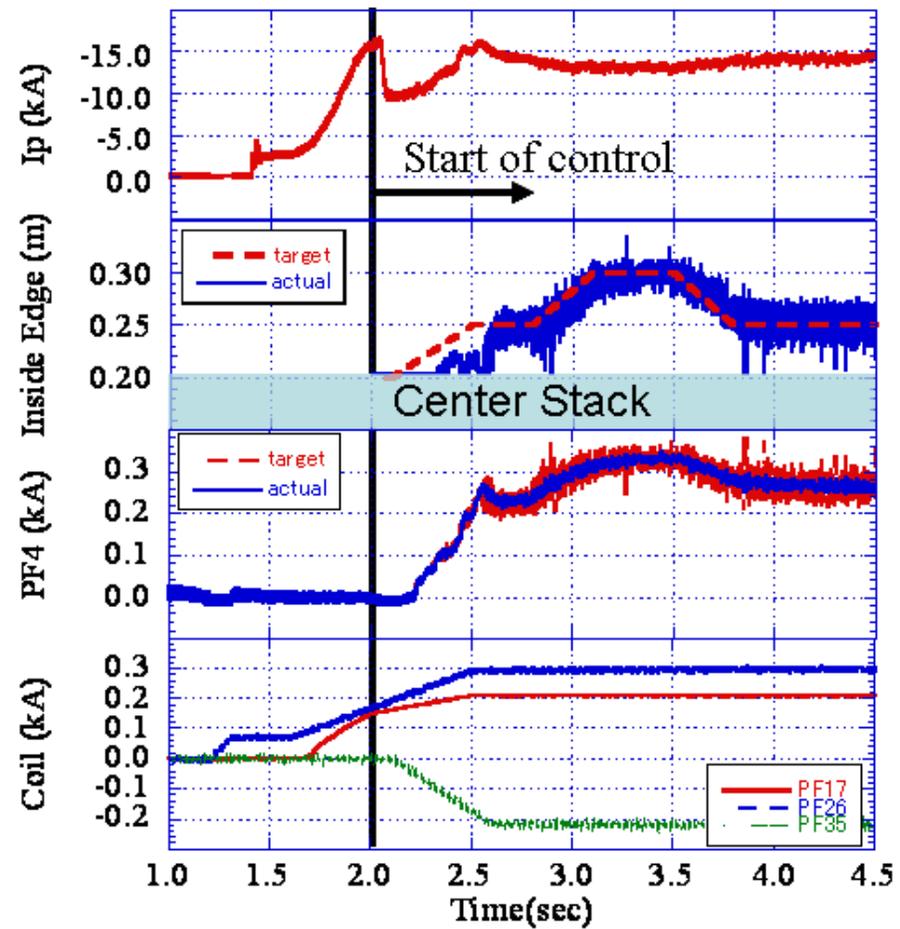
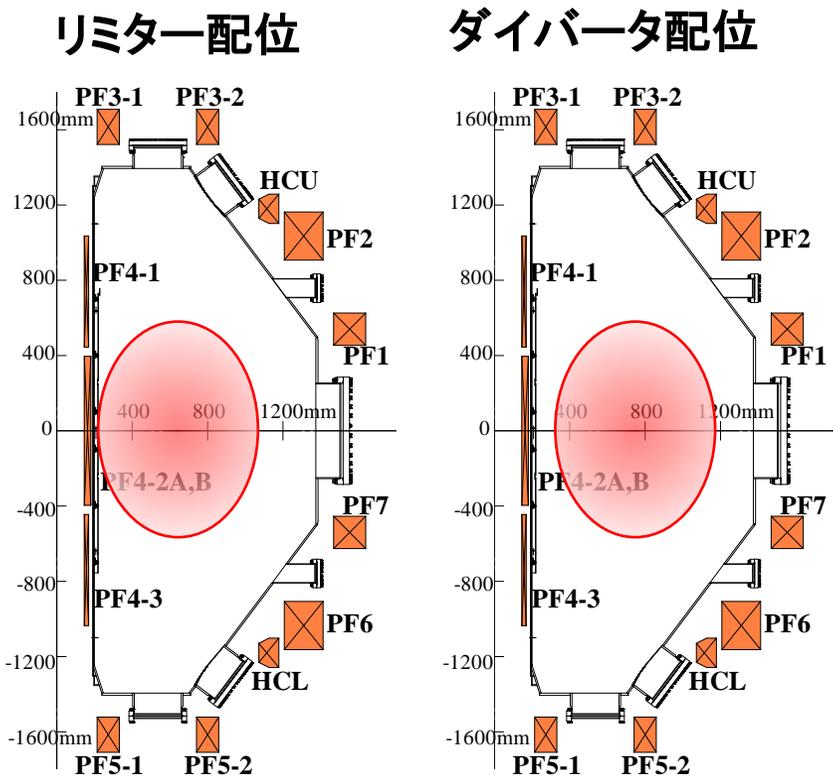
WSとSSの現状写真 @クエスト実験棟2F制御室



プラズマ形状のリアルタイム同定と、その制御の試み

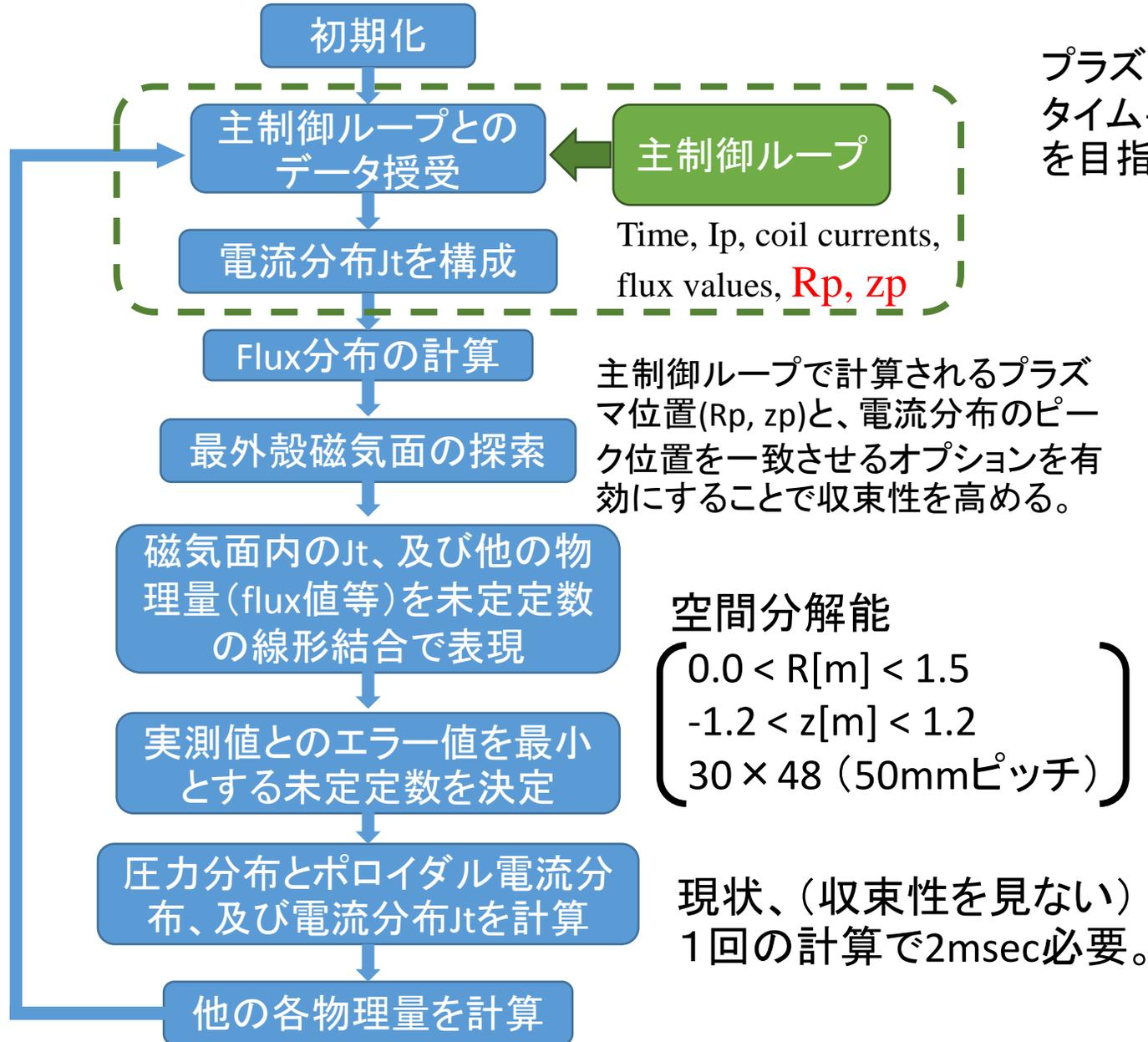
プラズマの**内側エッジの位置**をPF4コイルを用いて制御して、プラズマが真空容器に接しているリミター配位から、接しないダイバータ配位への移行を行い、それを維持する。

#19771

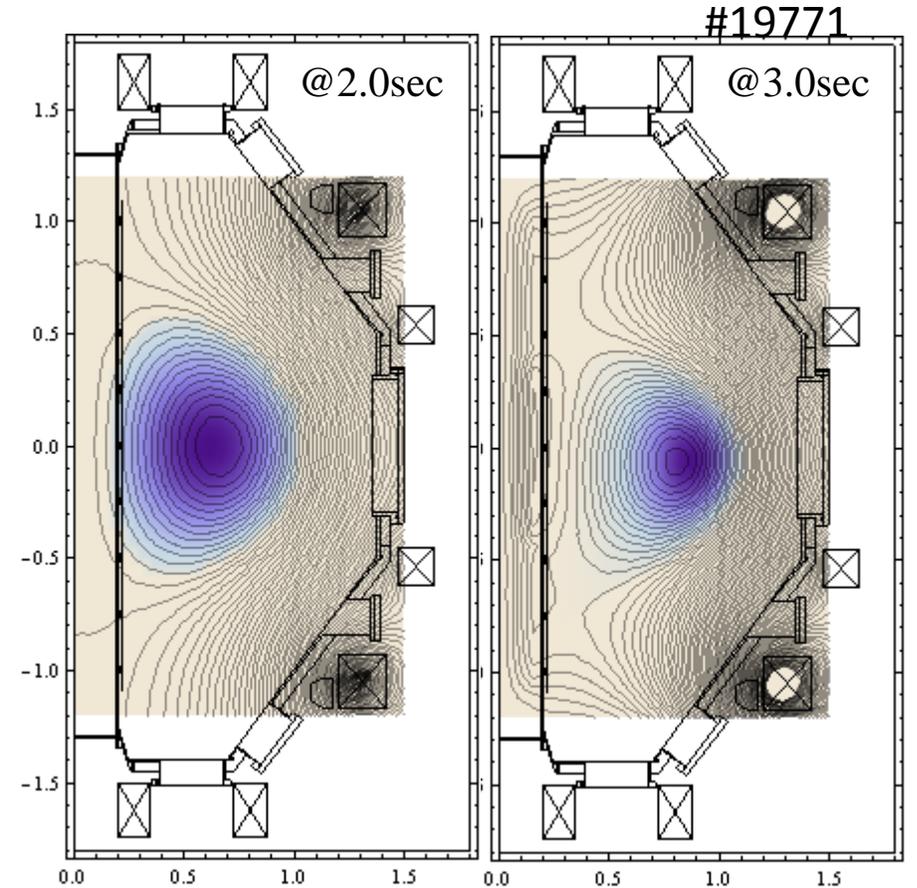


- 内側エッジ位置の制御は、位置の偏差に応じてPF4のコイル電流値を変えるPID制御で行っている。
- 外側エッジ位置の制御も試みたが、できなかった。その原因は調査中。

リアルタイム平衡計算コードの開発



プラズマ電流を線ではなく分布として扱うために、リアルタイム平衡計算を行い、より正確なプラズマ形状の同定を目指す。



青色濃淡: プラズマ電流分布、Contour: 磁束分布

FPGAを利用した高速平衡計算コードの開発

FPGA (Field-Programmable Gate Array) :
製造後に購入者や設計者が構成を設定できる集積回路

課題

- WSのQuad Core CPUを利用したリアルタイム平衡計算は、そのリアルタイム性を確保するために**粗い空間分解能**になってしまっている。また、CPUに負荷がかかり、**計算時間がかかっている**。

解決策

- FPGAを利用して、リアルタイム平衡計算を行う。

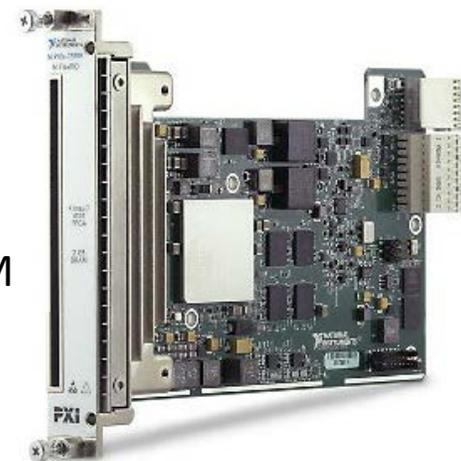
この方法の利点

- システムCPUに負荷をかけないで、**高分解能で高速に平衡計算**を実行することが期待できる。

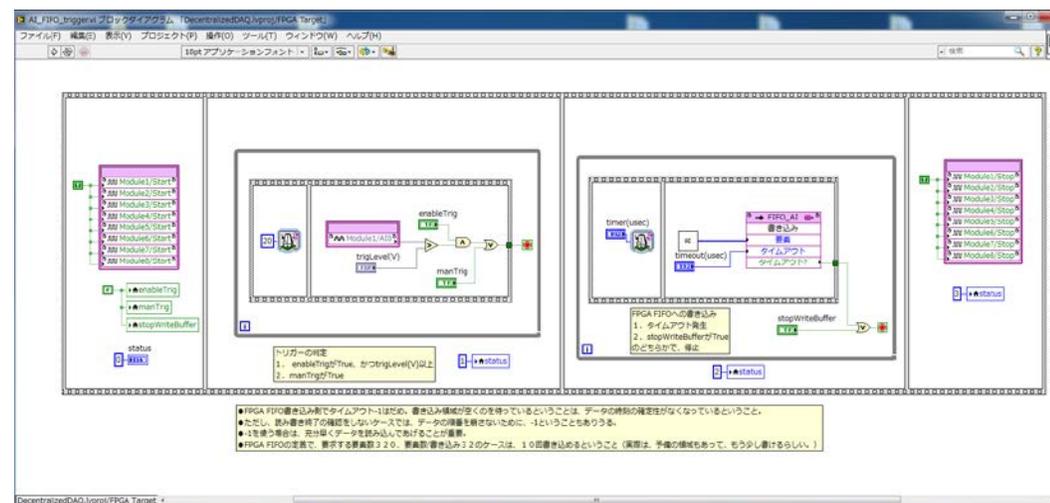
今後の課題

- 現在、開発中。
- 従来の浮動小数点での表現から、固定小数点での表現など、特有な表現への変換を行う。

FlexRIO FPGA Module
NI PXIe-7975R
FPGA: Xilinx Kintex-7
RAM: 2GBytes, DDR3 DRAM

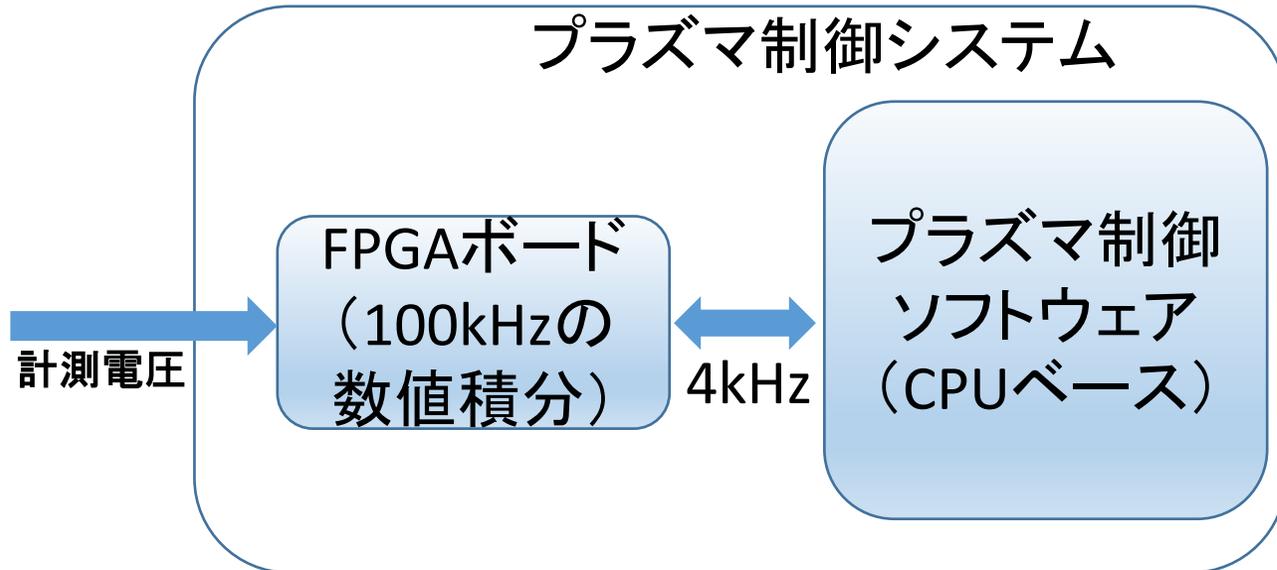


FPGAプログラムの例
NI LabVIEWを用いてグラフィカルに開発される。



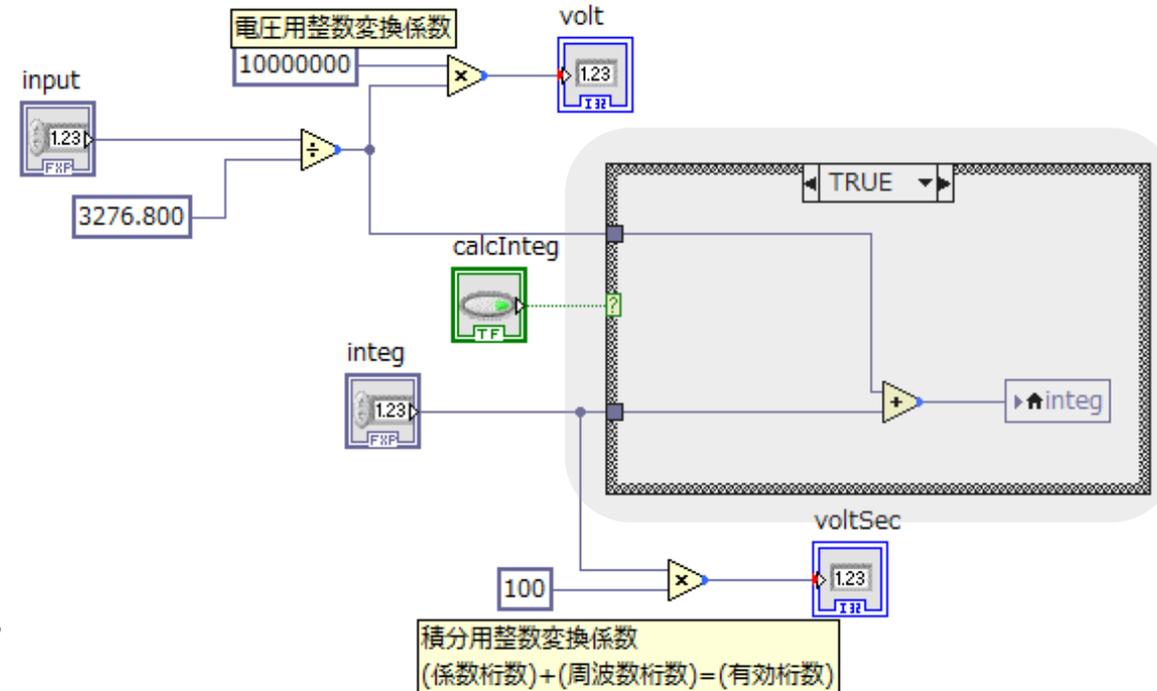
FPGAの利用例 ーリアルタイム磁気計測ー

現在の構成



- **FPGAボードにおいて100kHzの数値積分を行う。**
- プラズマ制御ソフトウェアは、その計測結果を4kHzで受け取り、プラズマの制御に用いる。

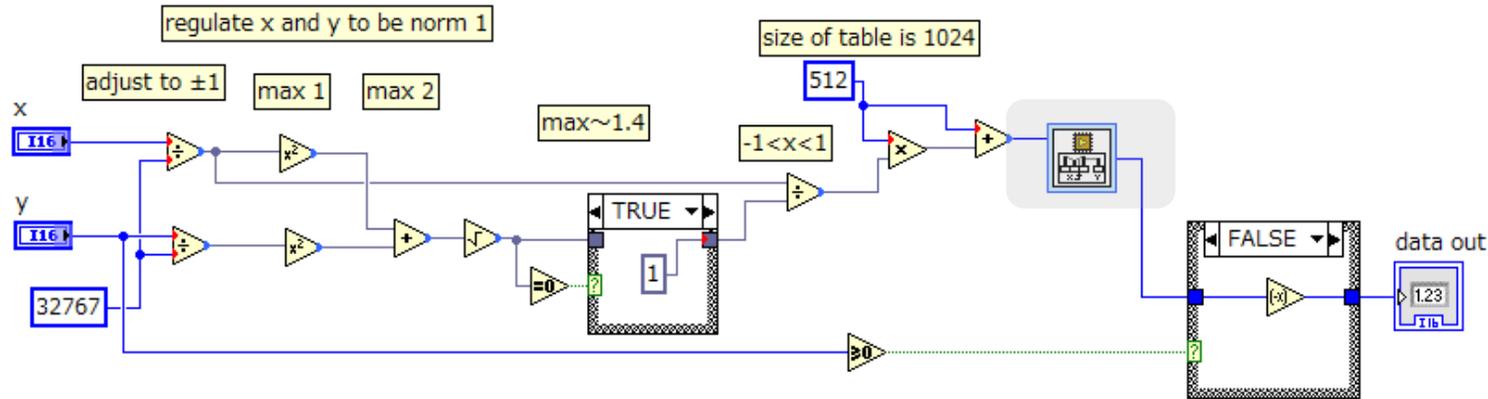
LabVIEWによる数値積分



FPGAを用いることで、電子回路積分器を用いないシンプルな構成になり、かつ従来のCPUベースの計算に比べて、高速に計算が行えるようになった。

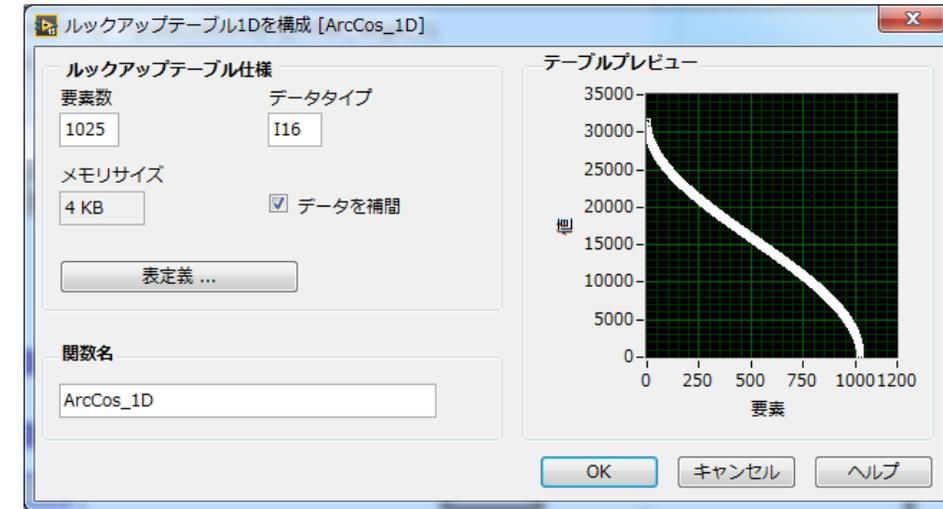
FPGAの利用例 ープラズマのリアルタイム電子密度計測ー

LabVIEWのFPGAで逆正接(ArcTan)を求める箇所



x(cos)信号とy(sin)信号の長さを規格化した後、ルックアップテーブルを用いて逆正接を算出。

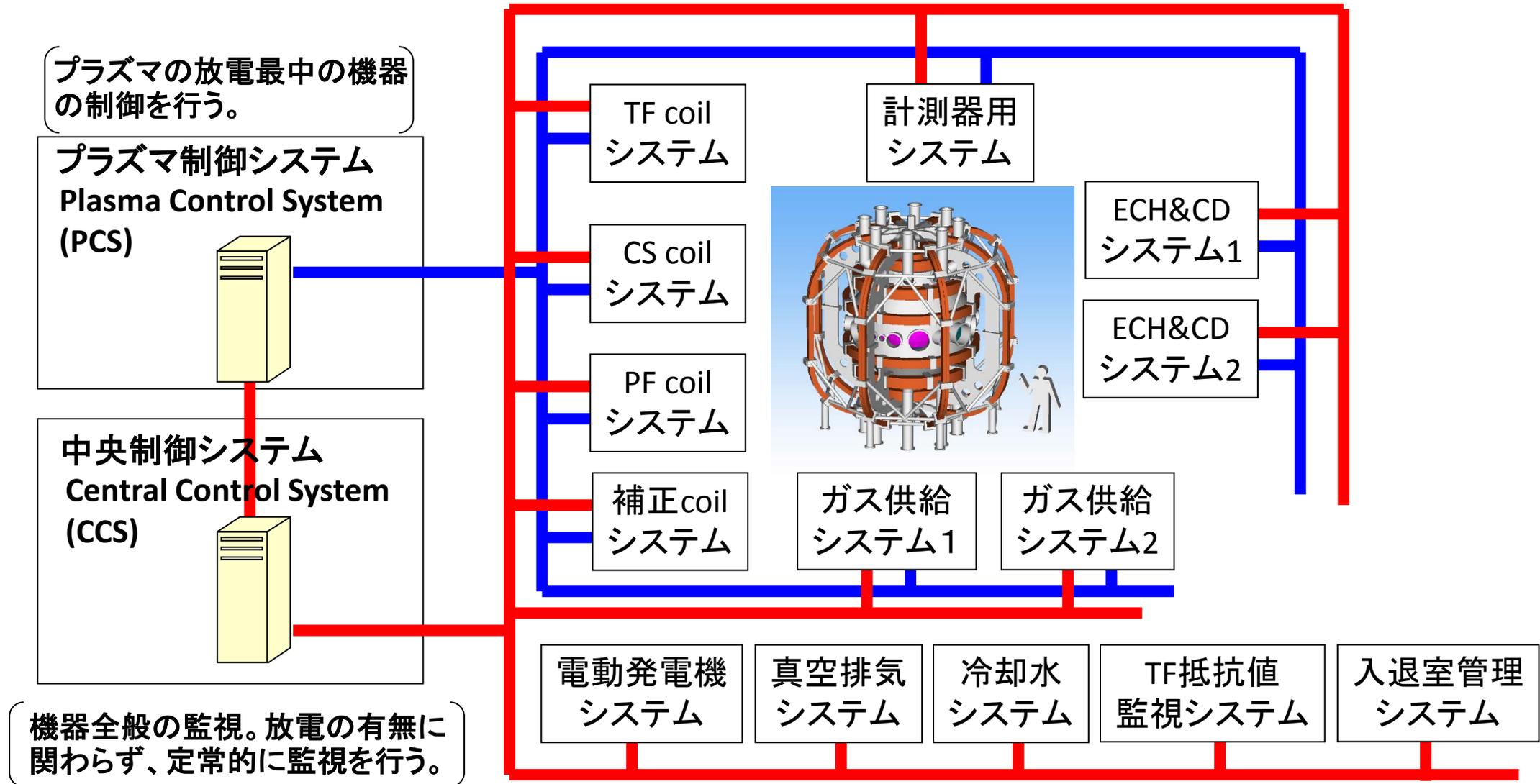
ルックアップテーブル



- 逆正接は、1025個のデータを持つルックアップテーブルを用いて算出
- **FPGAボードにおいて50kHz (max 76kHz)でサンプリング及び電子密度の計算を行う。**
- プラズマ制御ソフトウェアは、その計算結果を4kHzで受け取り、制御に用いる。

FPGAを用いることで、従来のCPUベースの計算に比べて、高速に計算が行えるようになり、位相の数え落としが低減された。

QUESTにおける制御システム

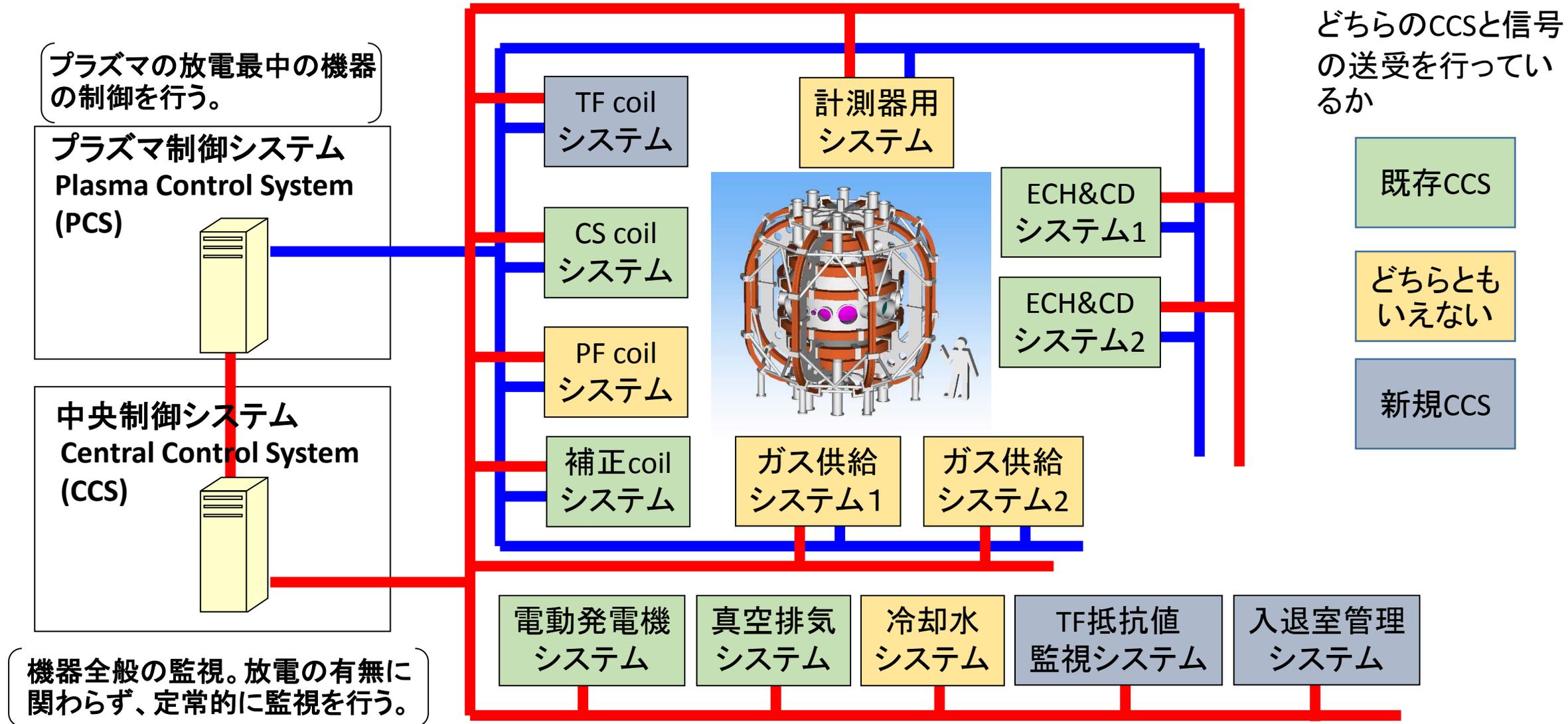


中央制御システム(CCS)の全体構成

- 現状は、既存CCSと新規CCSの二つが並列している。
- 既存CCSのインターフェースは、ボタンやランプ、系統図などがハードウェア的に構成されている。



QUESTにおける制御システム

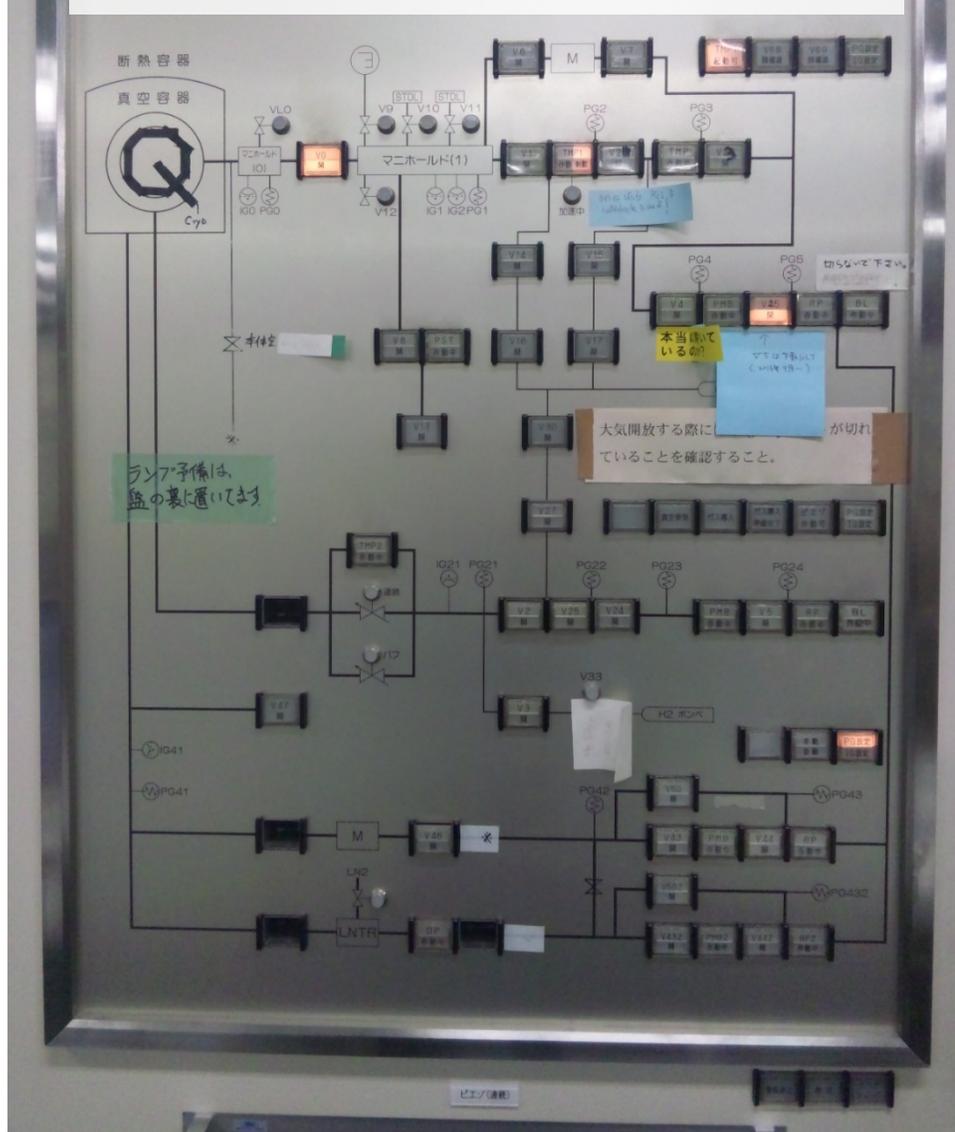


既存の制御システムにおける現状の課題点

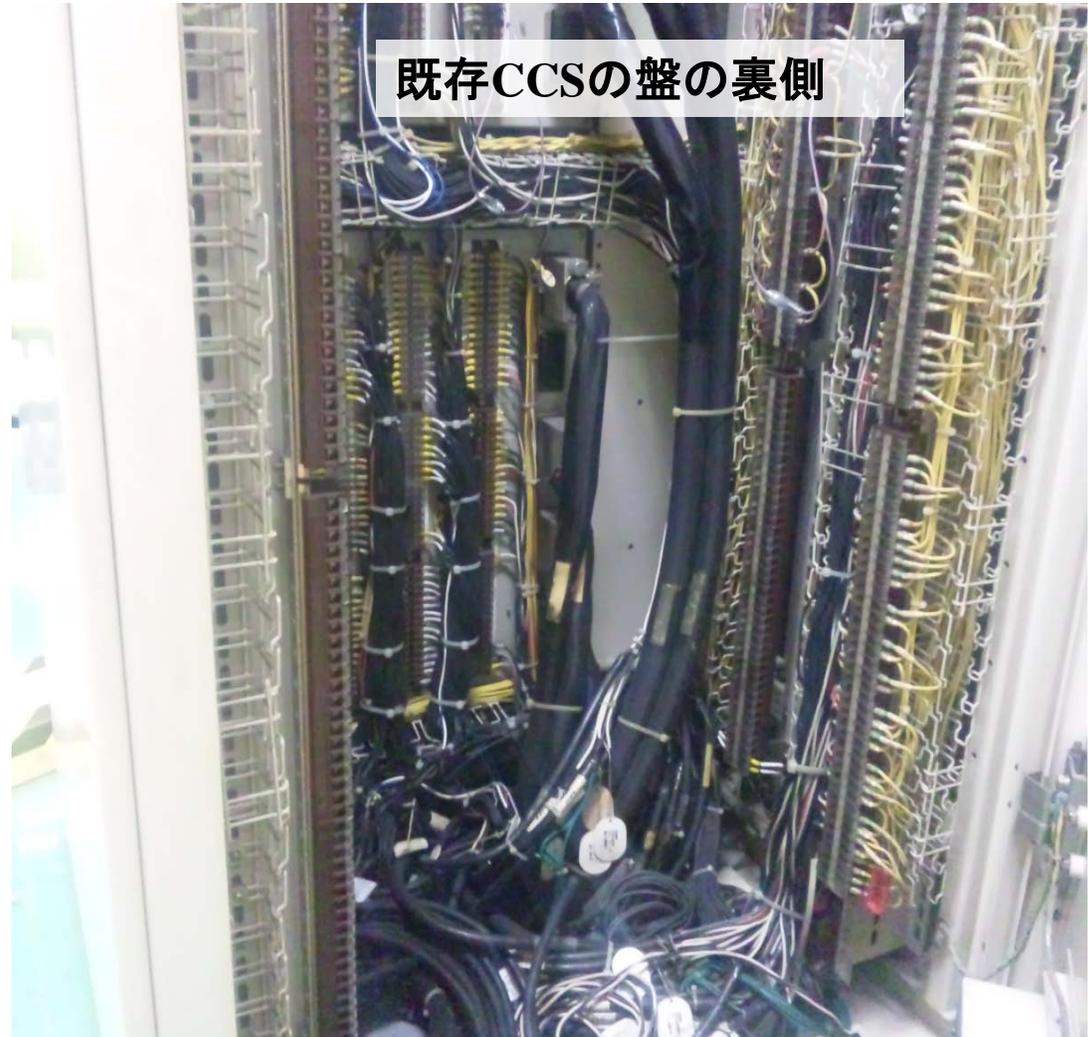
- TRIAM-1M時に特有のシステムなどが含まれていて、現状に即しておらずメンテナンス性の低下を招いている。
- インターフェースがハードウェア的に構成されているため、変更があった場合に柔軟に対応することができない。
- 盤間の信号の送受は、基本的に信号ごとにケーブルが用意されるため、信号が増えた場合には、新たにケーブルの敷設をしなければならない。

既存の制御システムにおける現状の課題点

真空排気系監視盤のハードウェア的なインターフェース



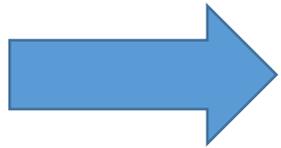
インターフェースが実態を反映していないと、誤認識や誤操作を招く可能性がある。



既存の制御システムにおける現状の課題点

- TRIAM-1M時に特有のシステムなどが含まれていて、現状に即しておらずメンテナンス性の低下を招いている。
- インターフェースがハードウェア的に構成されているため、変更があった場合に柔軟に対応することができない。
- 盤間の信号の送受は、基本的に信号ごとにケーブルが用意されるため、信号が増えた場合には、新たにケーブルの敷設をしなければならない。

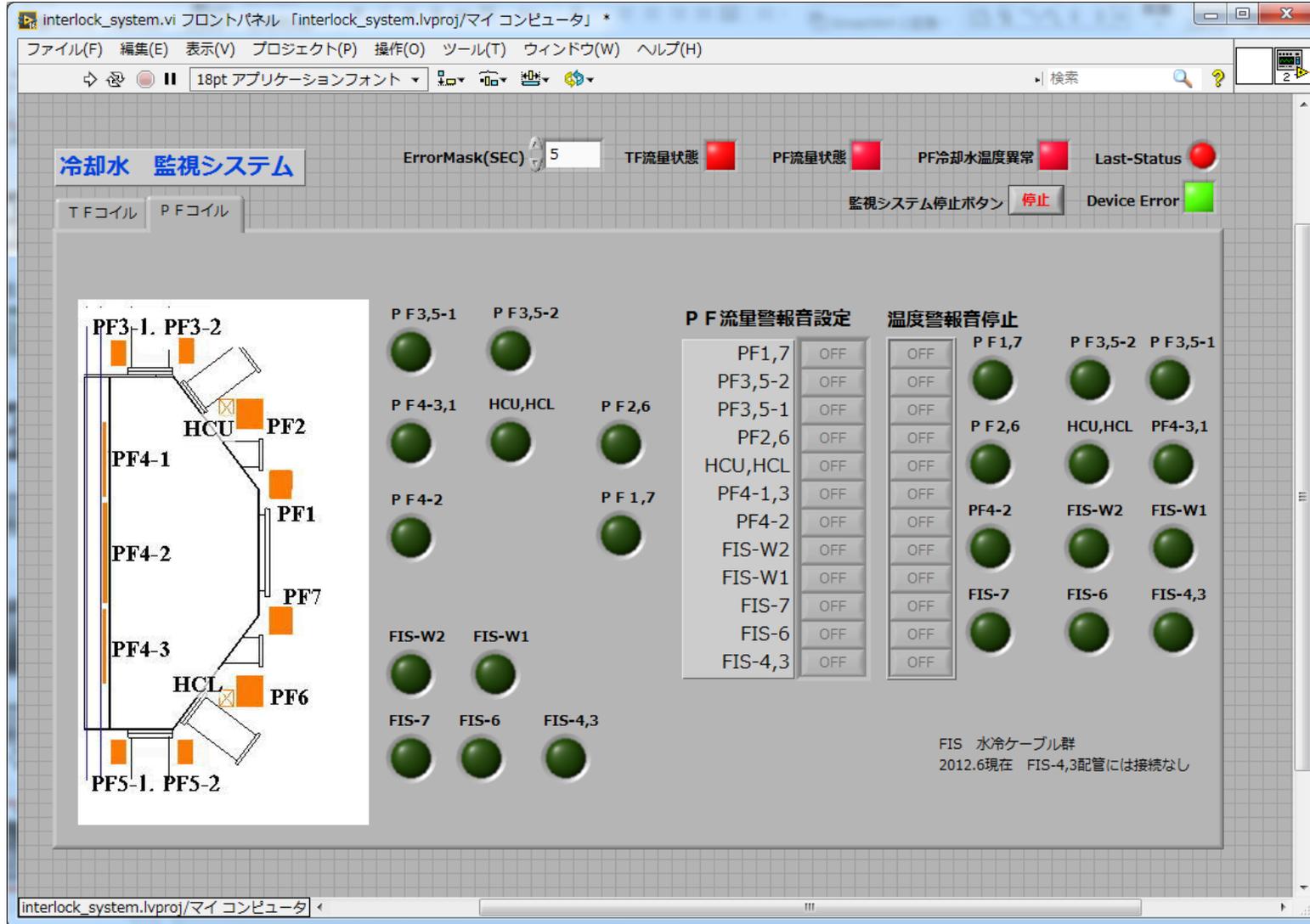
サブシステムは新規CCSと通信するように変更する。



- インターフェースはソフトウェア的に構成する。
- 盤間の信号の送受は、Ethernetなどのネットワークを利用する。

新規中央制御システムと連動する機器の実装例(その1)

—— 冷却水監視システム ——



各コイルや各箇所における冷却水の有無を判定して、異常があれば警告音と共に異常個所を示し、かつ新規CCSに異常を伝えるシステム。

ソフトウェア的に構成した インターフェース

ボタンやランプがソフトウェア的に表現され、実態に即するように修正を行うことが容易。

新規中央制御システムと連動する機器の実装例(その2)

— 入退室管理盤 —

入退室監視盤



入室する際には各自のトグルスイッチをONにする。



入退室監視盤の中身

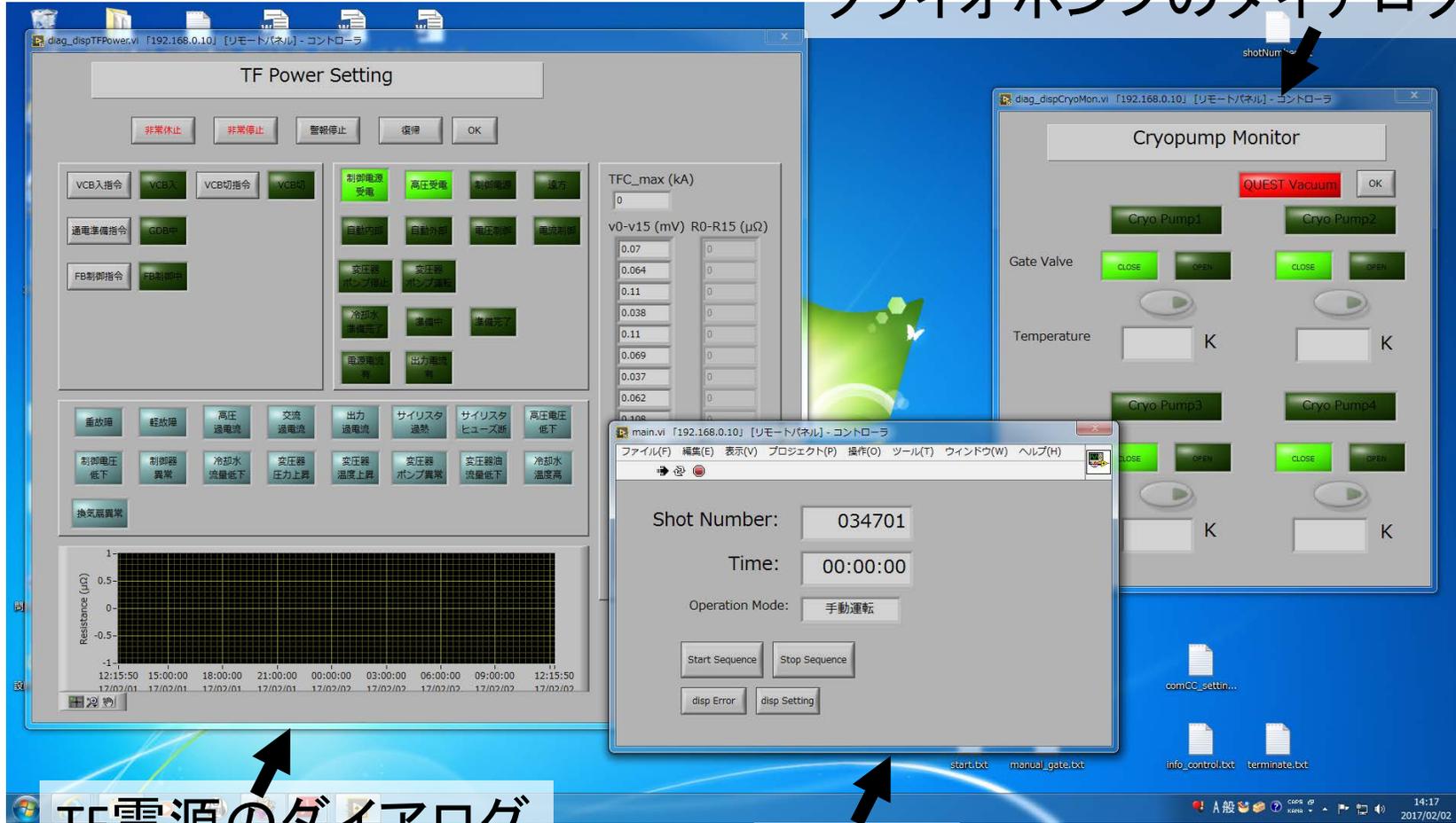


シャーシに
モジュールを
差し込んで構成

入室者の有無、及び入室者の名前をEthernetを通じて、中央制御システムへ連絡
中央制御システムは、入室者がいないことを確認した上で、プラズマの生成を開始する。

新規中央制御システムのインターフェース

クライオポンプのダイアログ



TF電源のダイアログ

主画面

ダイアログ形式にして、
必要な情報のみを提示

ダイアログの種別

- シーケンス設定
- エラー表示
- 入退室者表示
- TF電源設定
- BHFB電源設定
- クライオポンプ設定

etc.

シンプルなユーザーインターフェース
を提供することで、誤認識や誤操作
を防止。

まとめ

- プラズマ制御システムに関して
 - 分散制御システムに対応できるように、高速データ共有の手法の確立
 - FPGAを使ったリアルタイム計算など、高速・高確度な制御手法の導入
- 中央制御および周辺機器に関して
 - 新規CCSと信号の送受を行うように変更。
 - インターフェースをソフトウェア的に構成する。
 - 盤間の通信に関してEthernetを用いるようにする。

などを順次進めていく。