



# 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

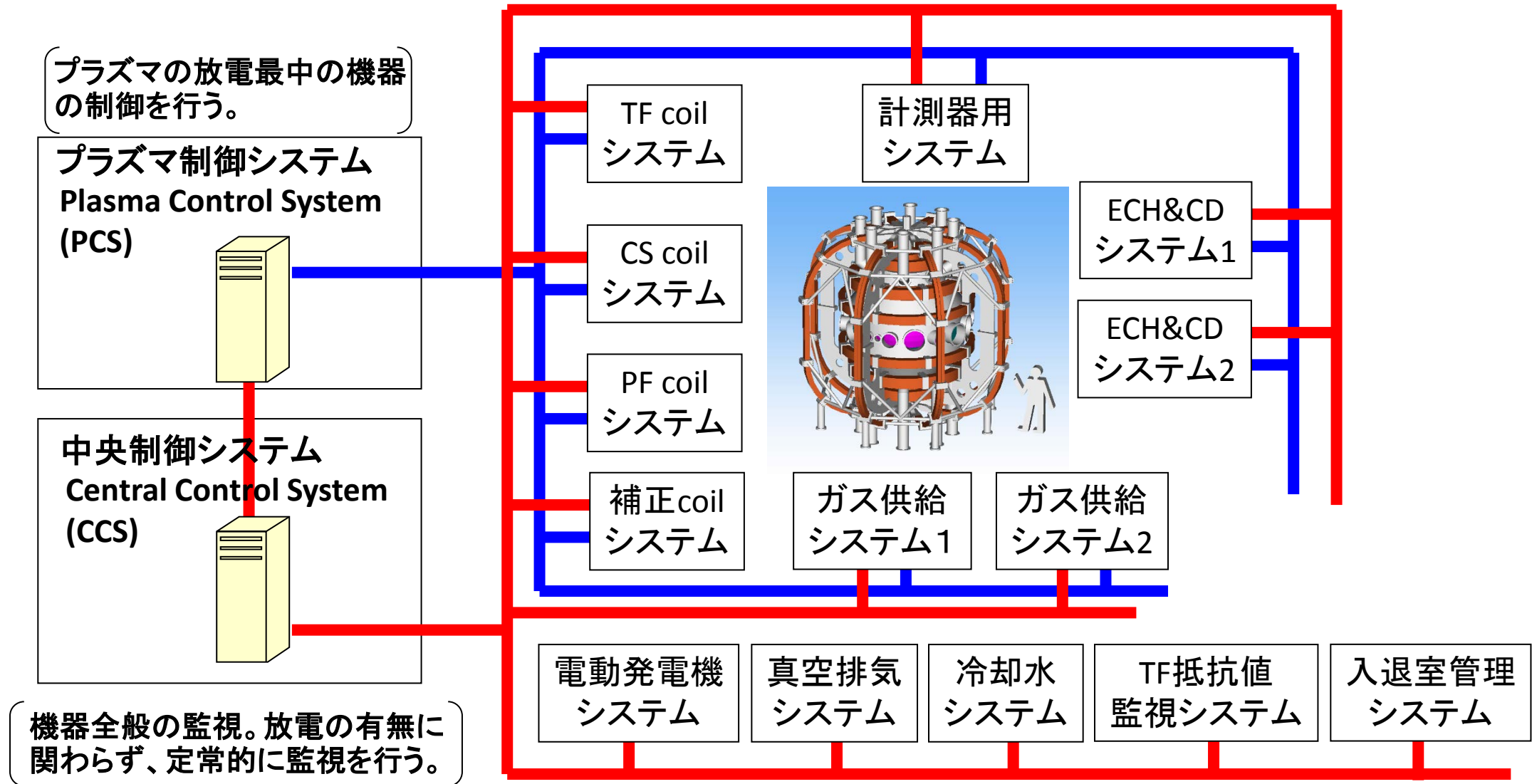
日程: 2017年2月10日(金)

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

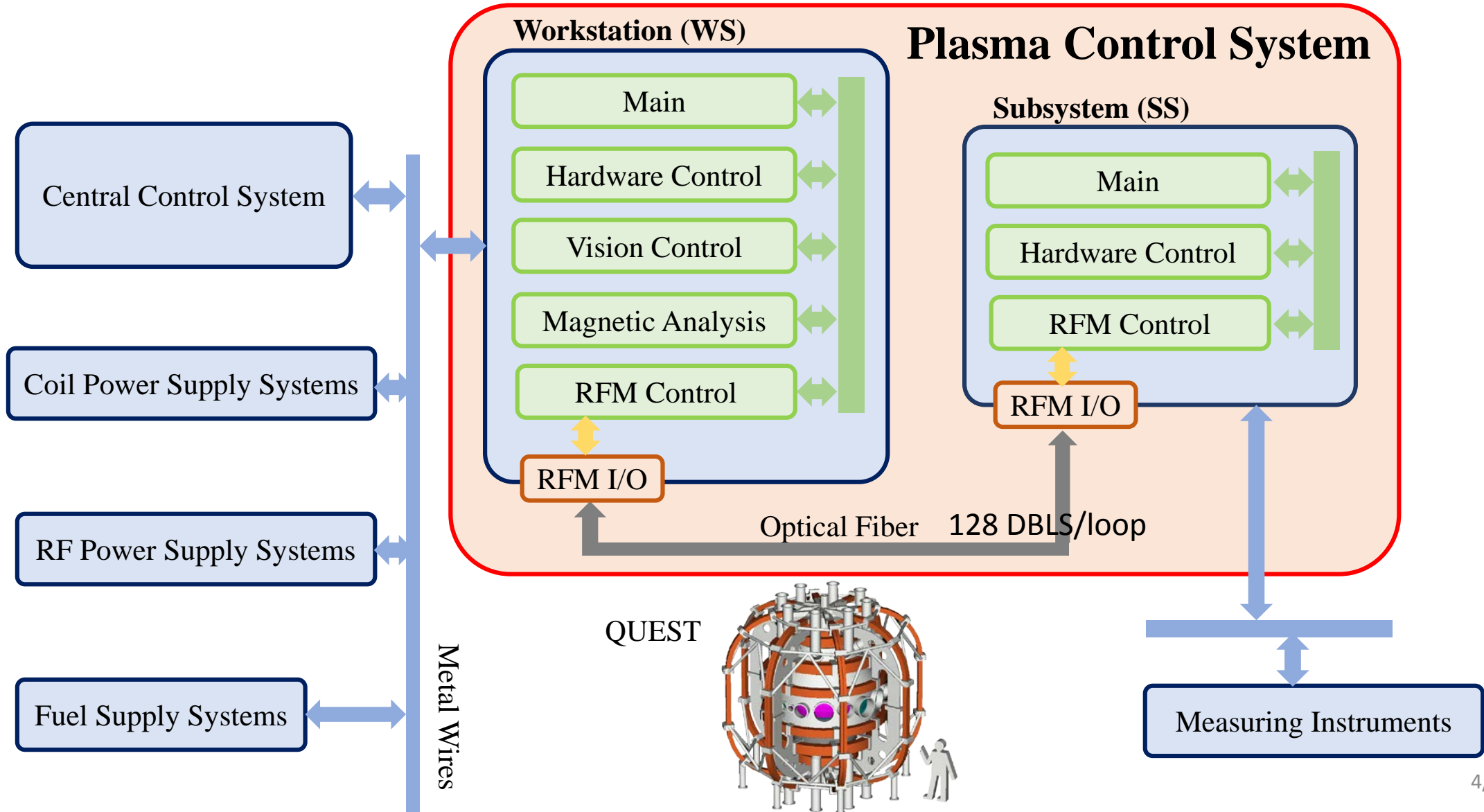
# QUESTにおける制御システム



# 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



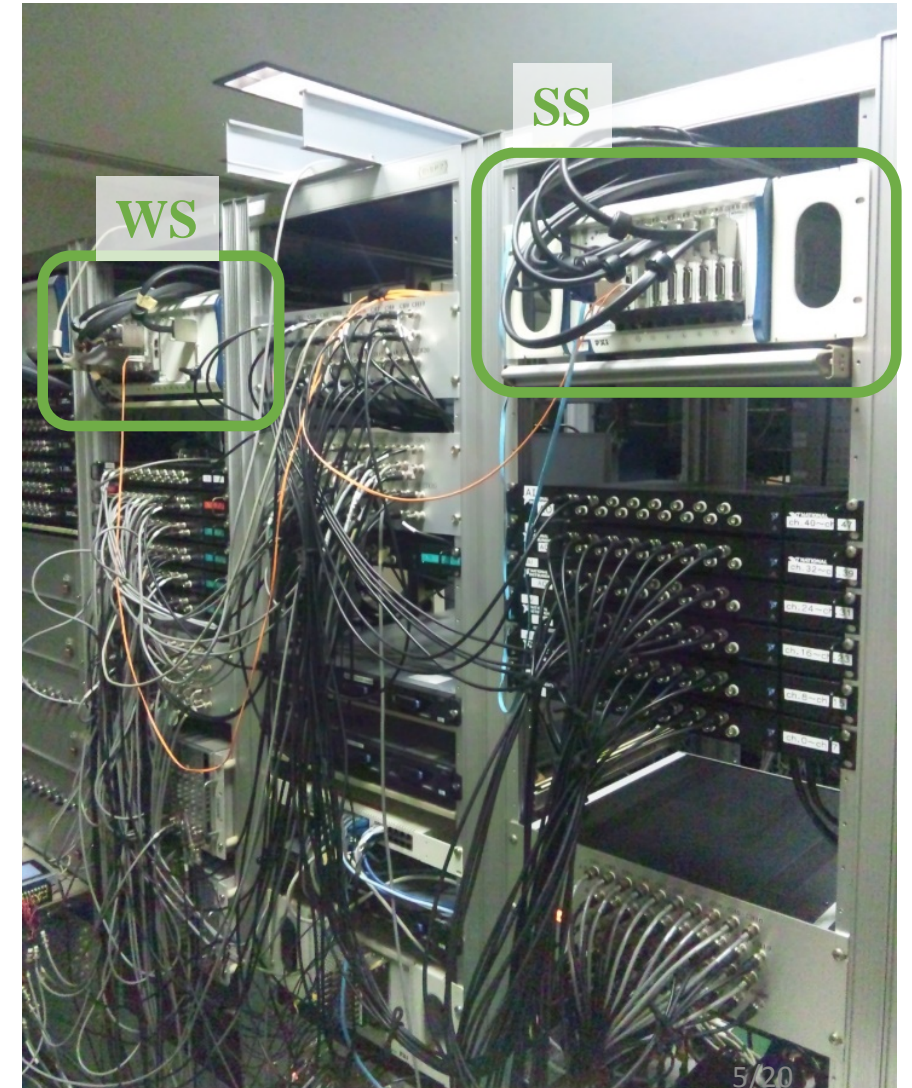
## SS構成内訳

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

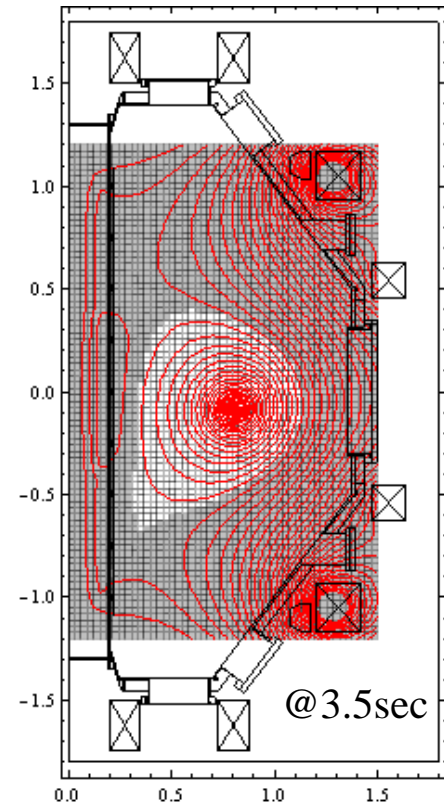
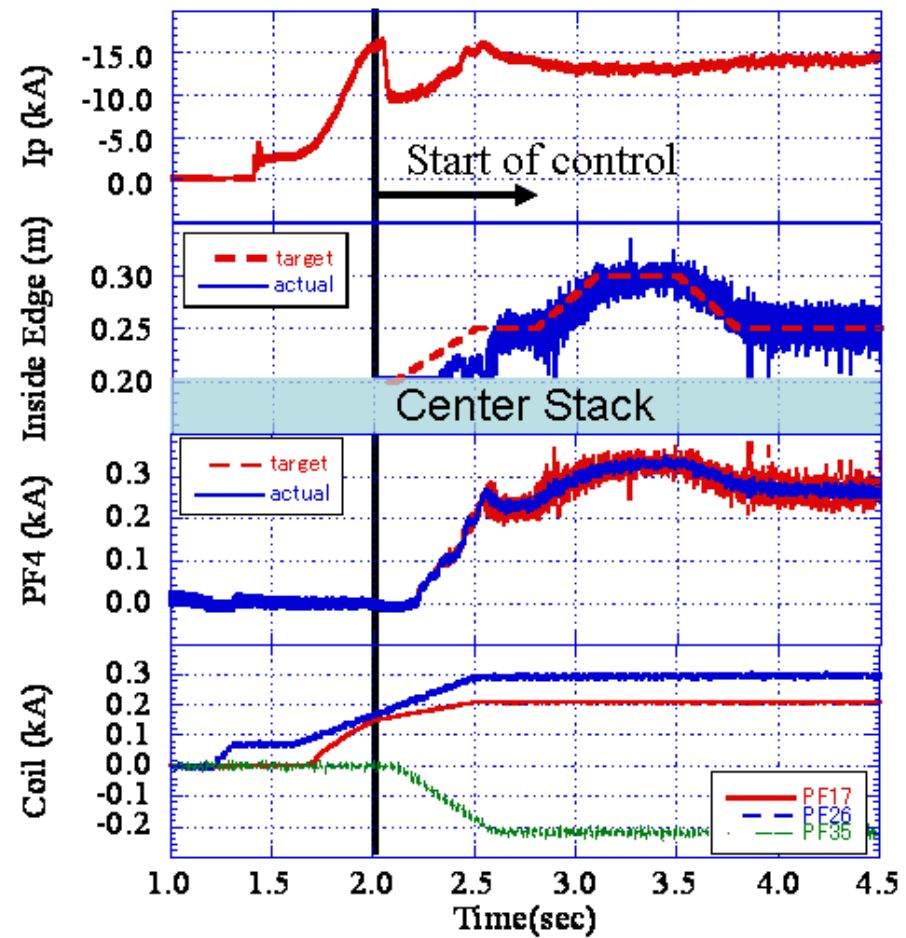
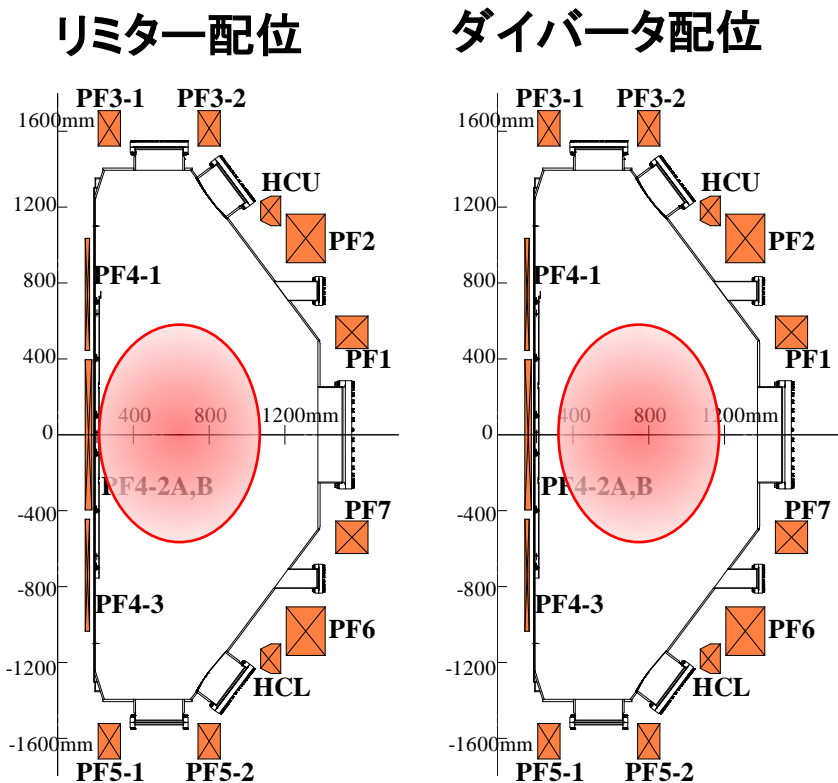
WSとSSの現状写真 @クエスト実験棟2F制御室



# プラズマ形状のリアルタイム同定と、その制御の試み

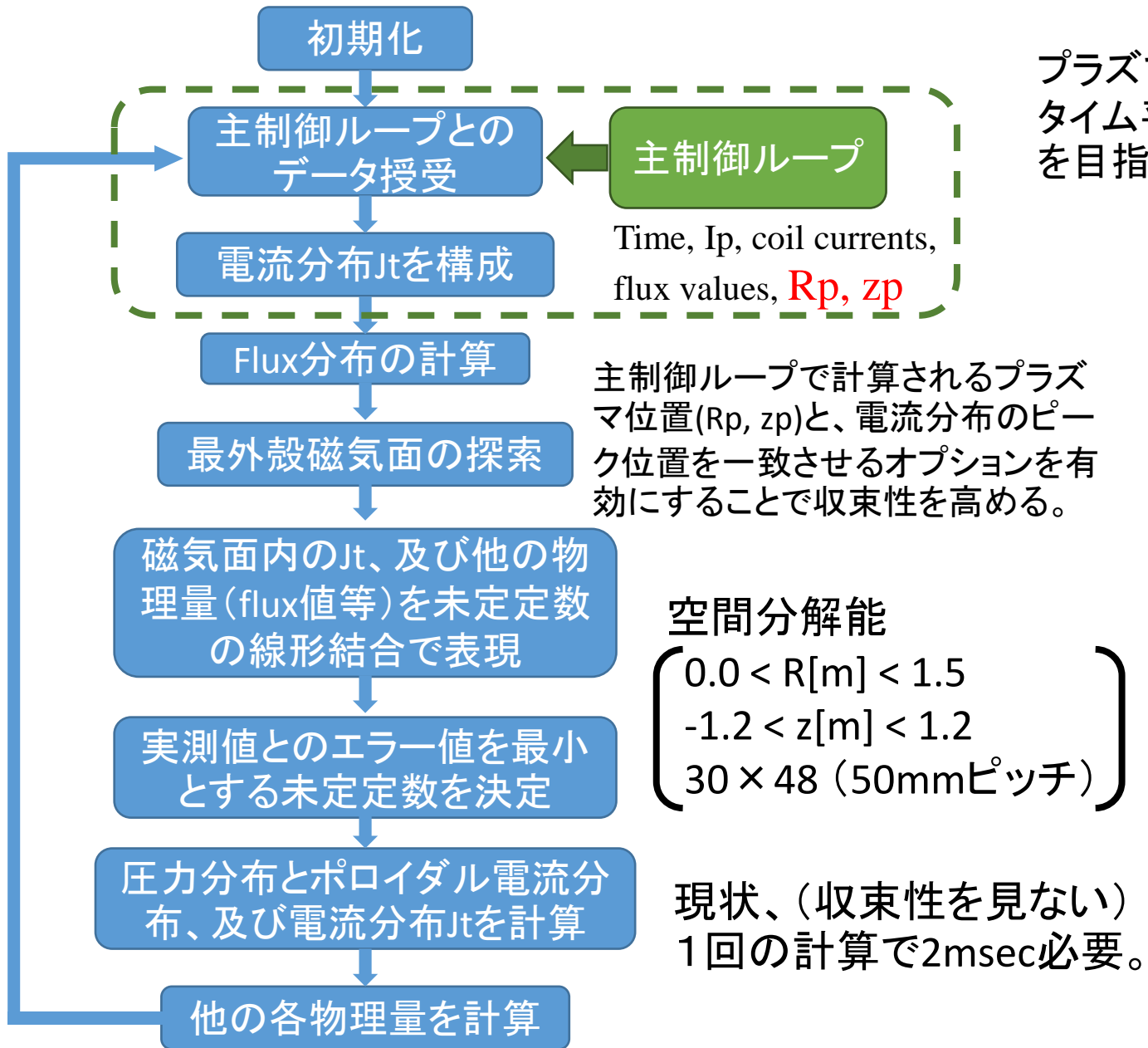
プラズマの**内側エッジの位置**をPF4コイルを用いて制御して、プラズマが真空容器に接しているリミター配位から、接しないダイバータ配位への移行を行い、それを維持する。

#19771

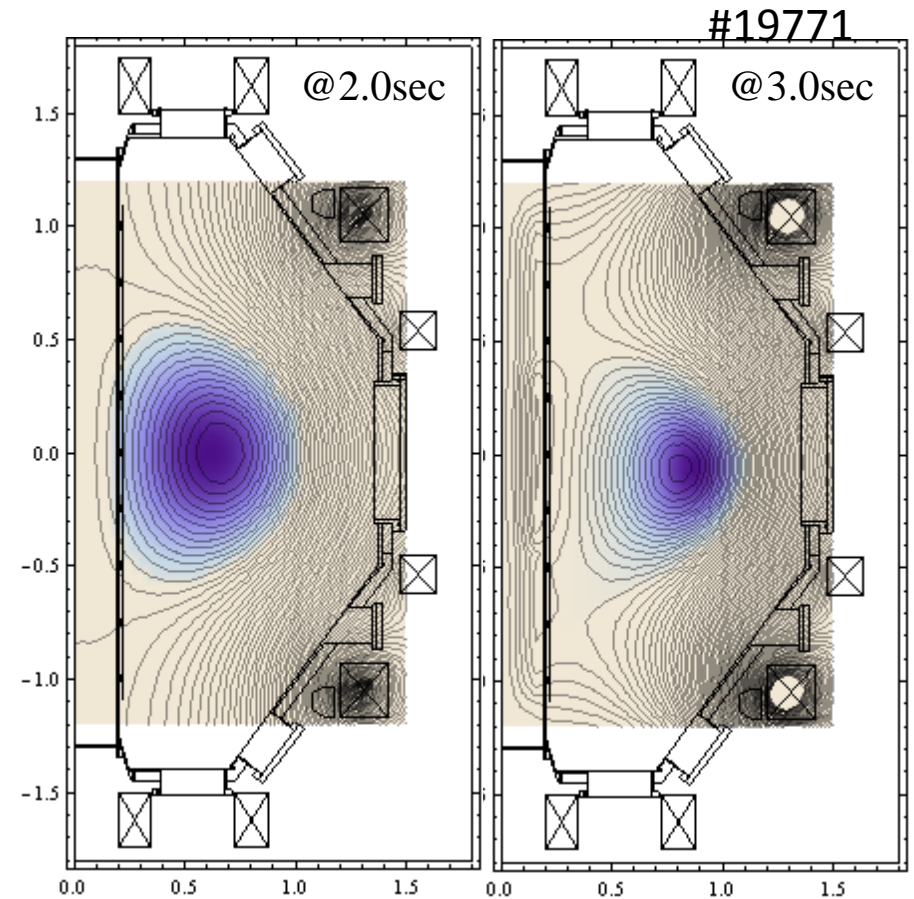


- 内側エッジ位置の制御は、位置の偏差に応じてPF4のコイル電流値を変えるPID制御で行っている。
- 外側エッジ位置の制御も試みたが、できなかった。その原因は調査中。

# 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。

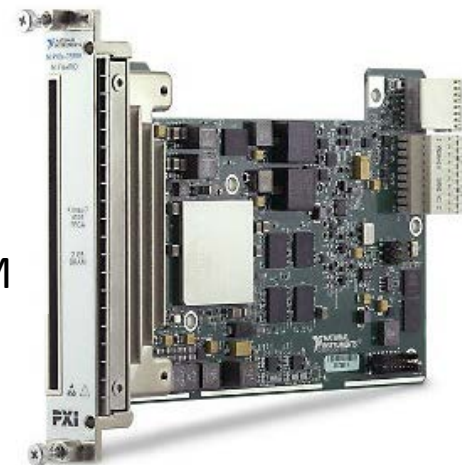
## この方法の利点

- 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。

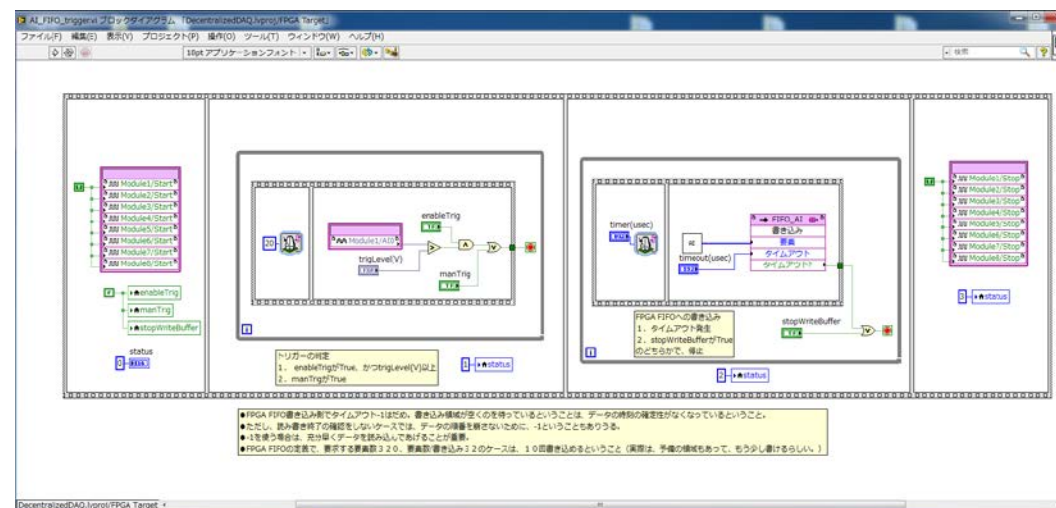
## 今後の課題

- 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



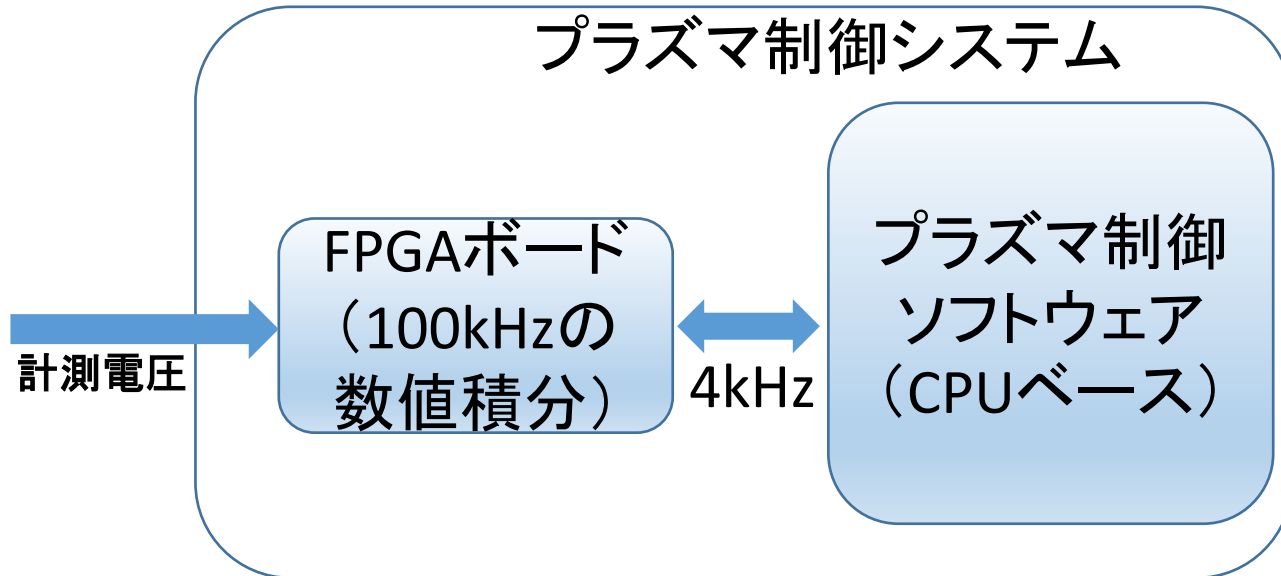
FPGAプログラムの例  
NI LabVIEWを用いてグラフィカルに開発される。





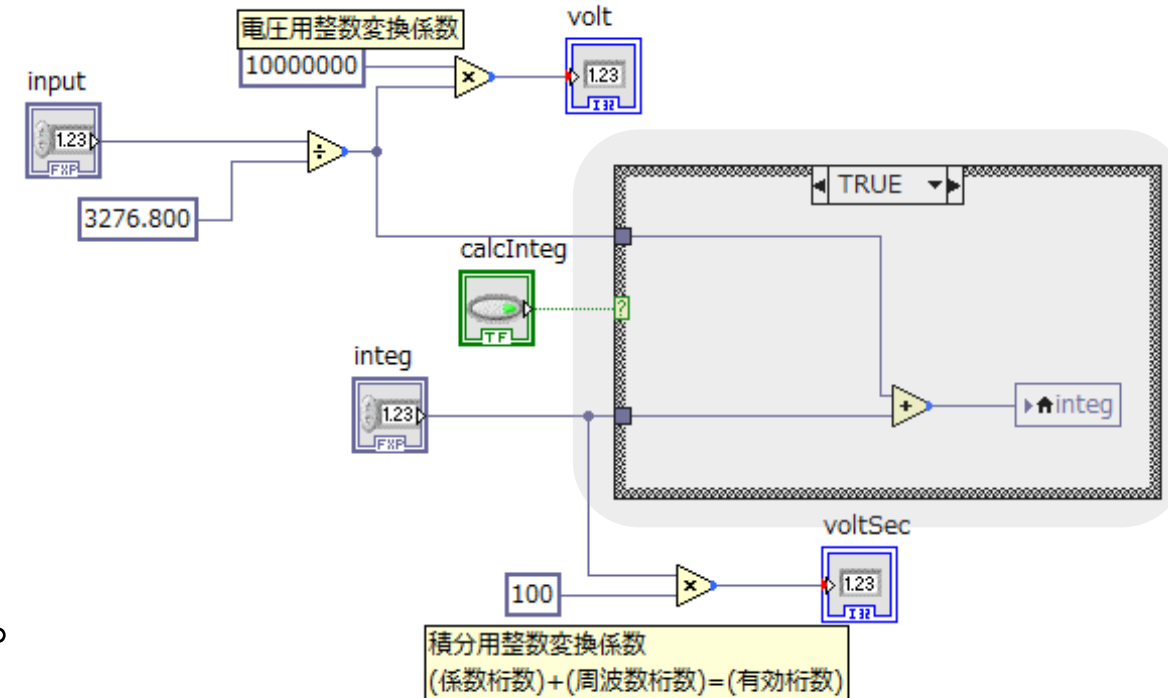
# FPGAの利用例 ーリアルタイム磁気計測ー

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。

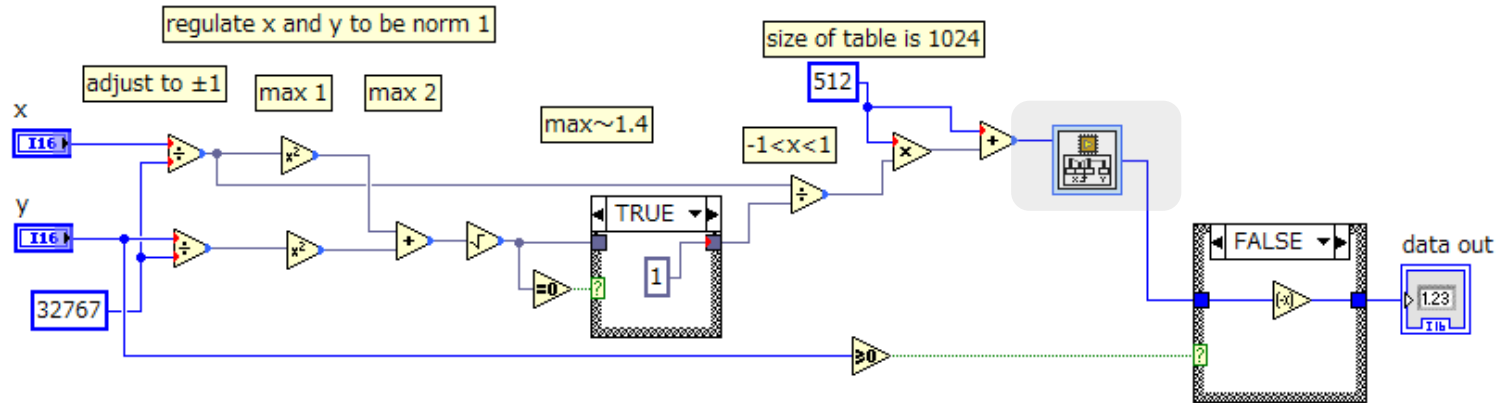
LabVIEWによる数値積分



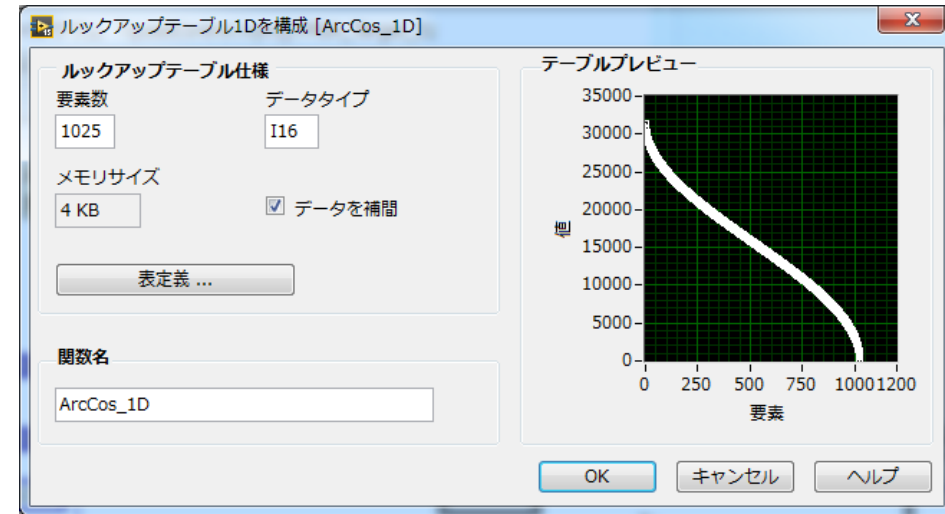
FPGAを用いることで、電子回路積分器を用いないシンプルな構成になり、かつ従来のCPUベースの計算に比べて、高速に計算が行えるようになった。

# FPGAの利用例 —プラズマのリアルタイム電子密度計測—

LabVIEWのFPGAで逆正接(ArcTan)を求める箇所



ルックアップテーブル

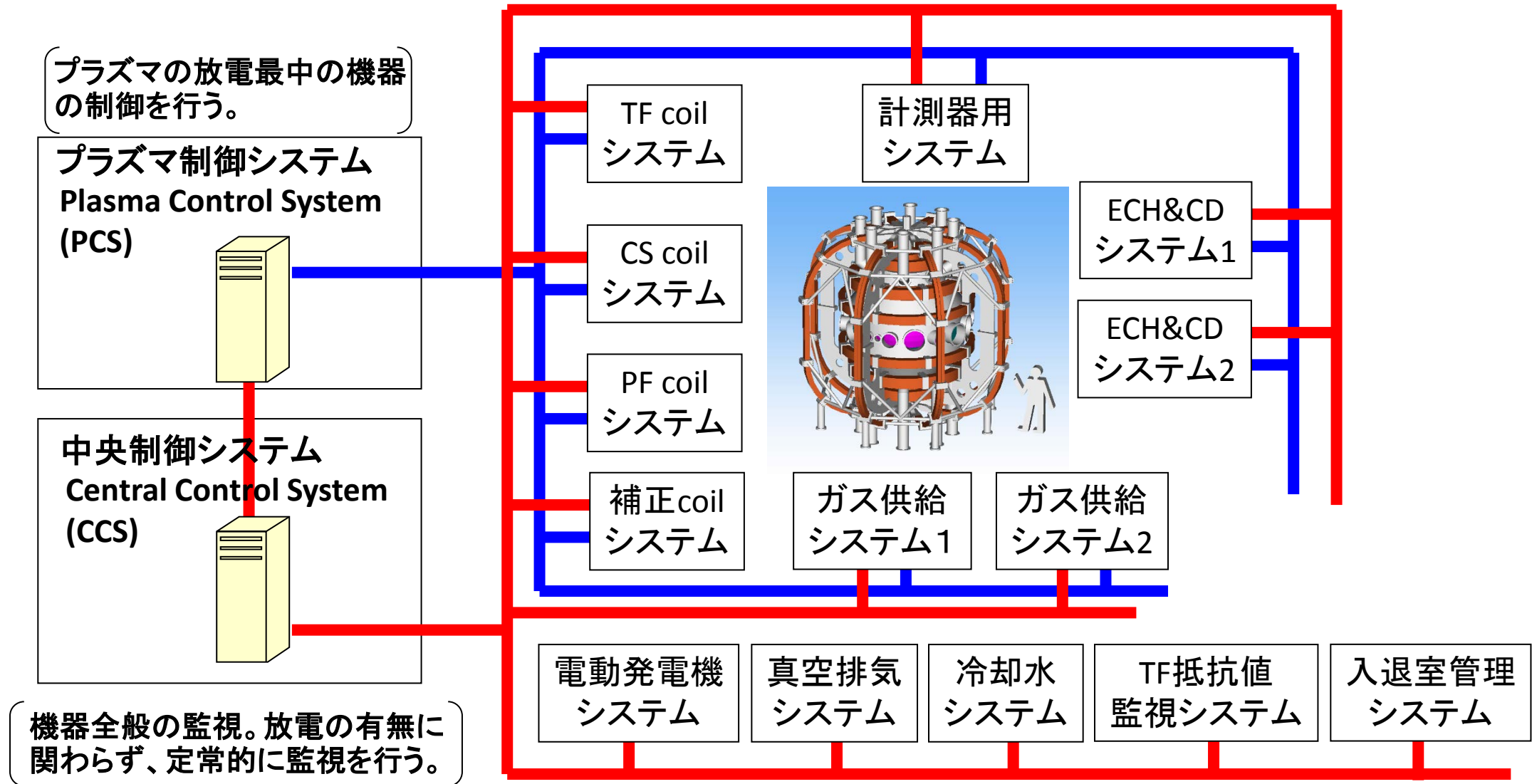


x(cos)信号とy(sin)信号の長さを規格化した後、ルックアップテーブルを用いて逆正接を算出。

- 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

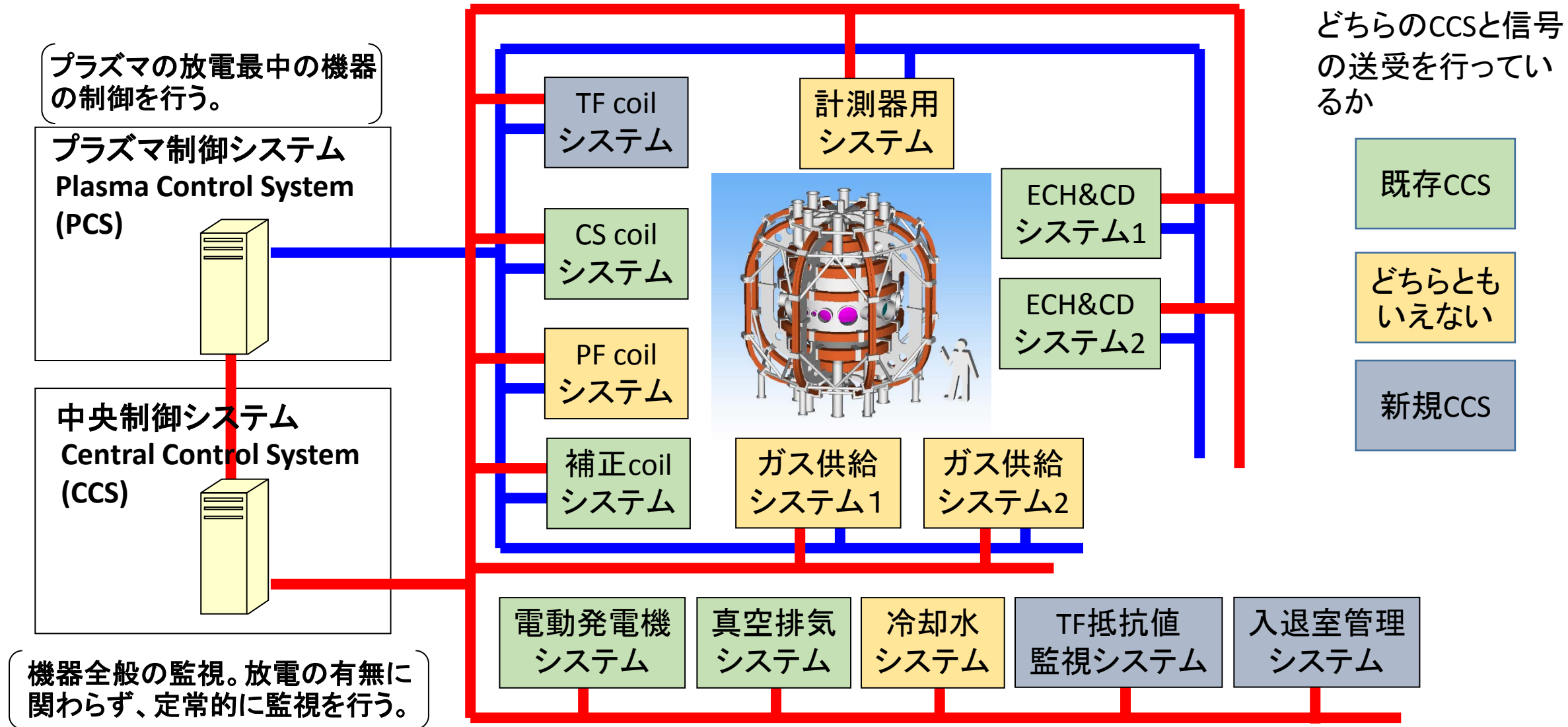


# 中央制御システム(CCS)の全体構成

- 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

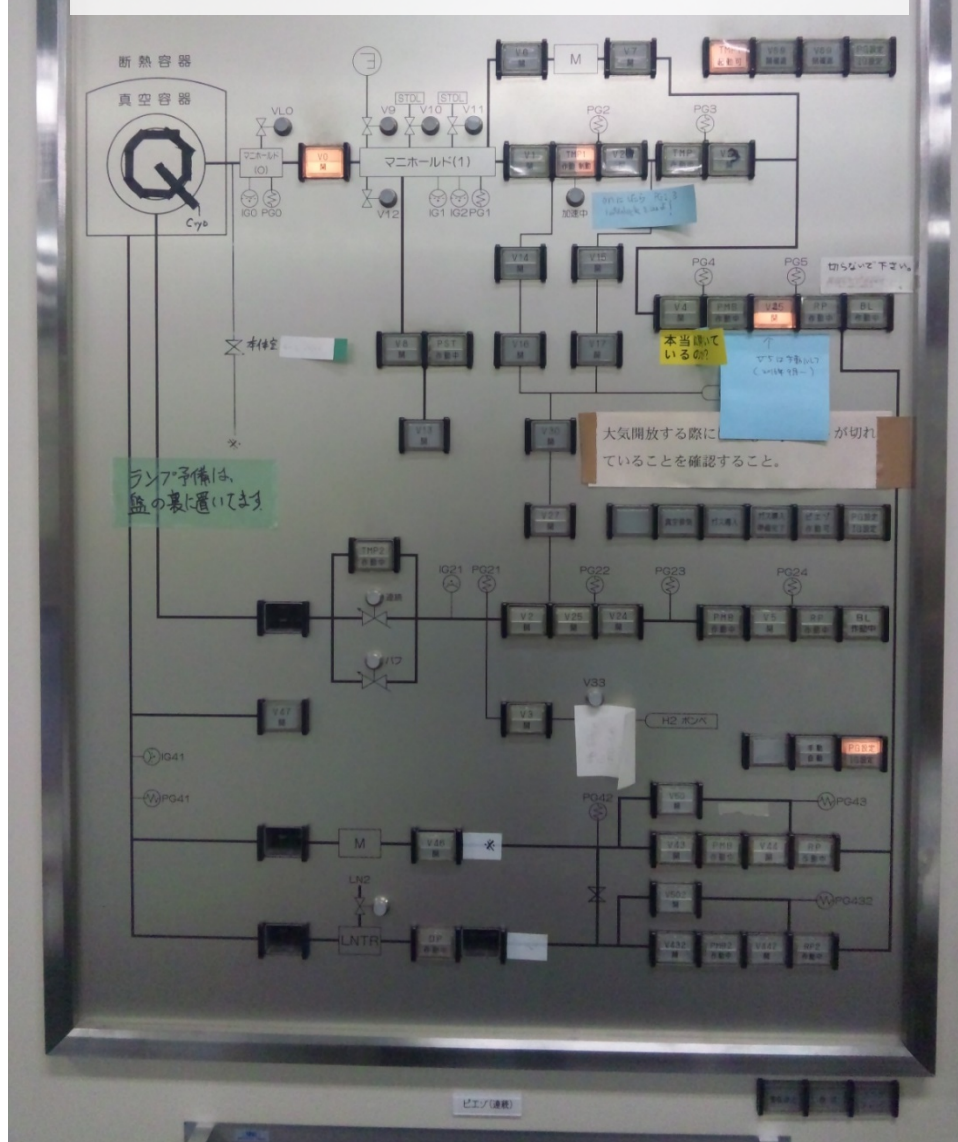


## 既存の制御システムにおける現状の課題点

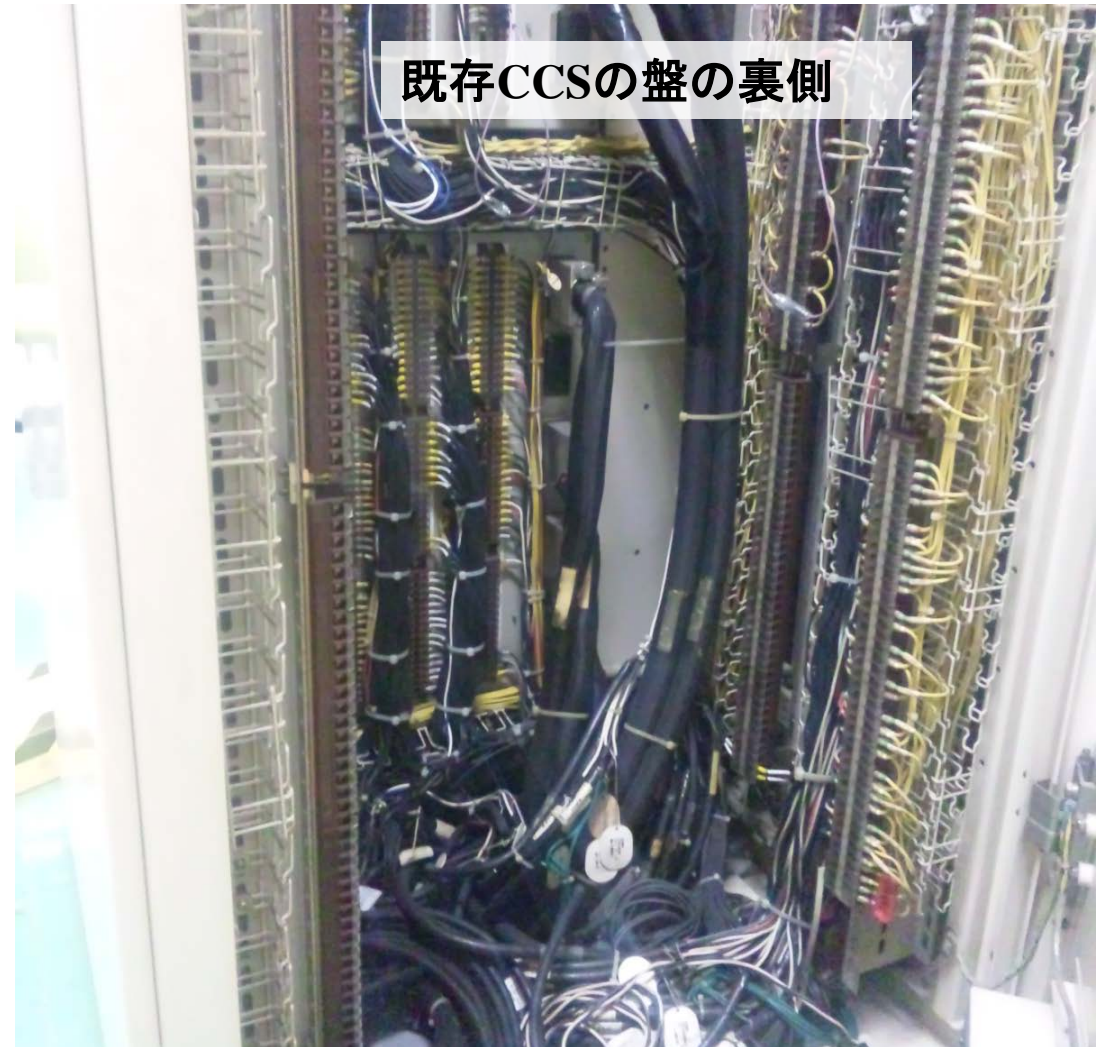
- TRIAM-1M時に特有のシステムなどが含まれていて、現状に即しておらずメンテナンス性の低下を招いている。
- インターフェースがハードウェア的に構成されているため、変更があった場合に柔軟に対応することができない。
- 盤間の信号の送受は、基本的に信号ごとにケーブルが用意されるため、信号が増えた場合には、新たにケーブルの敷設をしなければならない。

# 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。

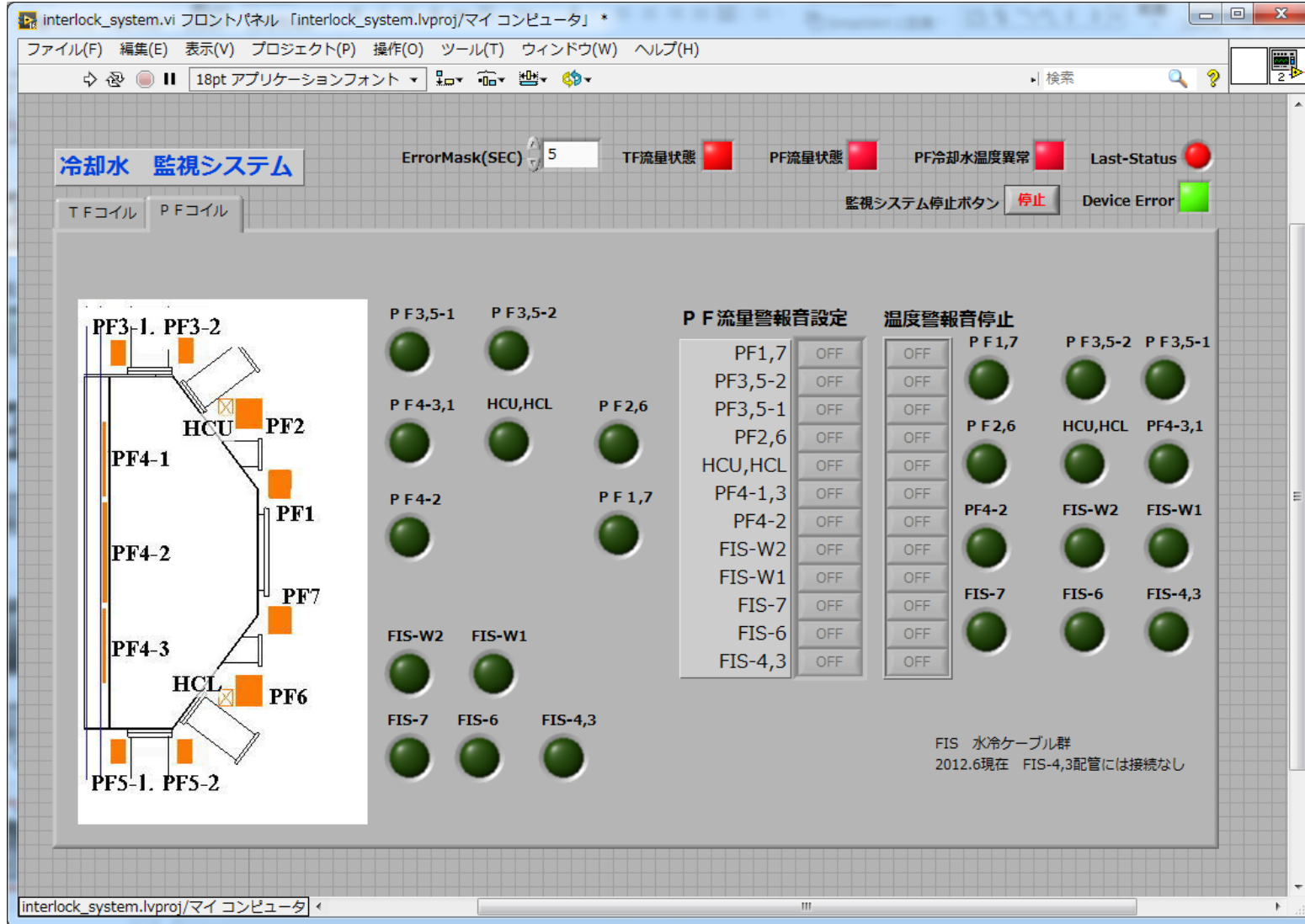
サブシステムは新規CCSと通信するように変更する。

- 
- 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

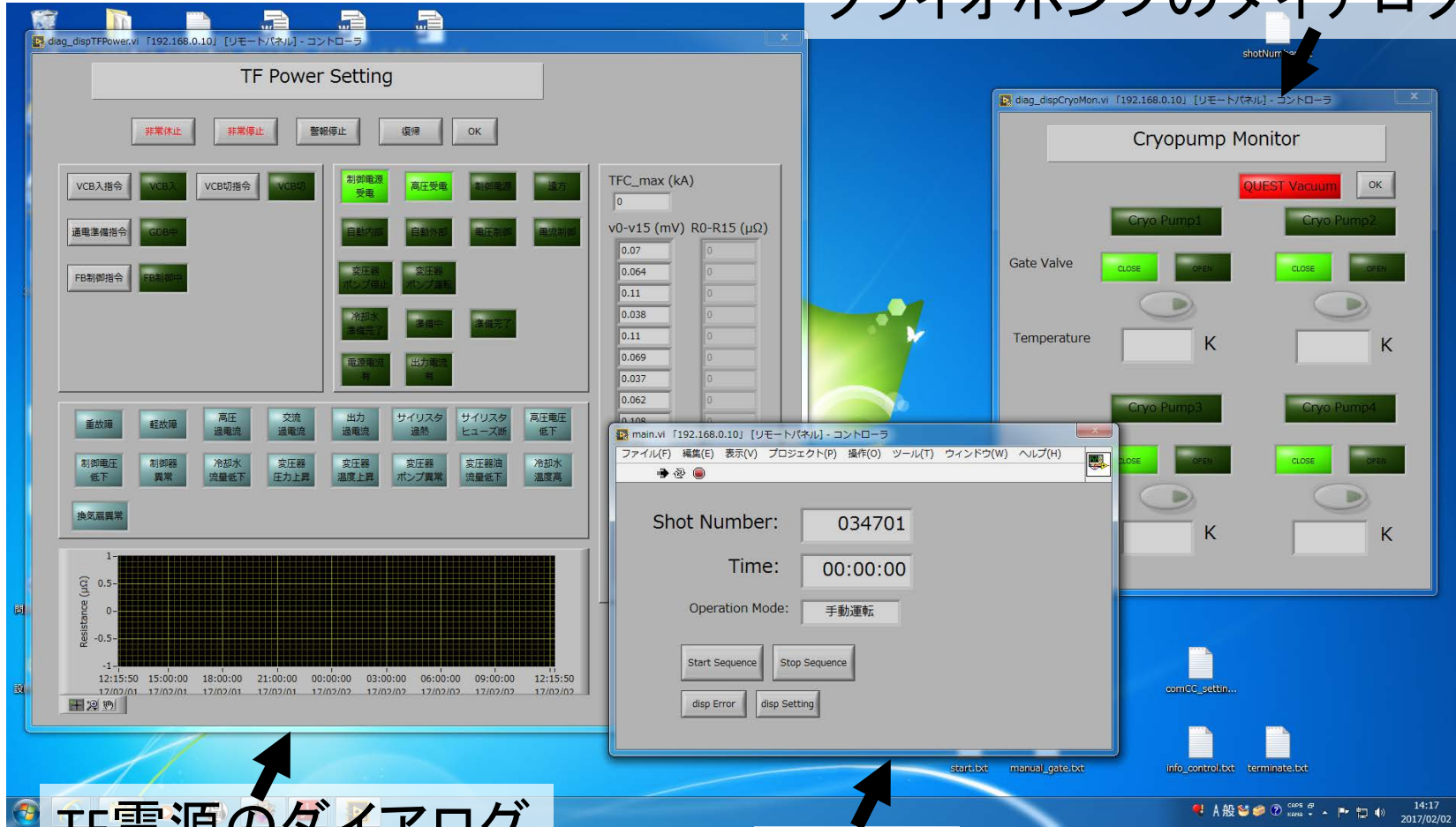


シャーシに  
モジュールを  
差し込んで構成

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。