

Development of new power supplies for J-PARC MR upgrade

Yoshi Kurimoto (KEK)
for J-PARC accelerator group

Contents

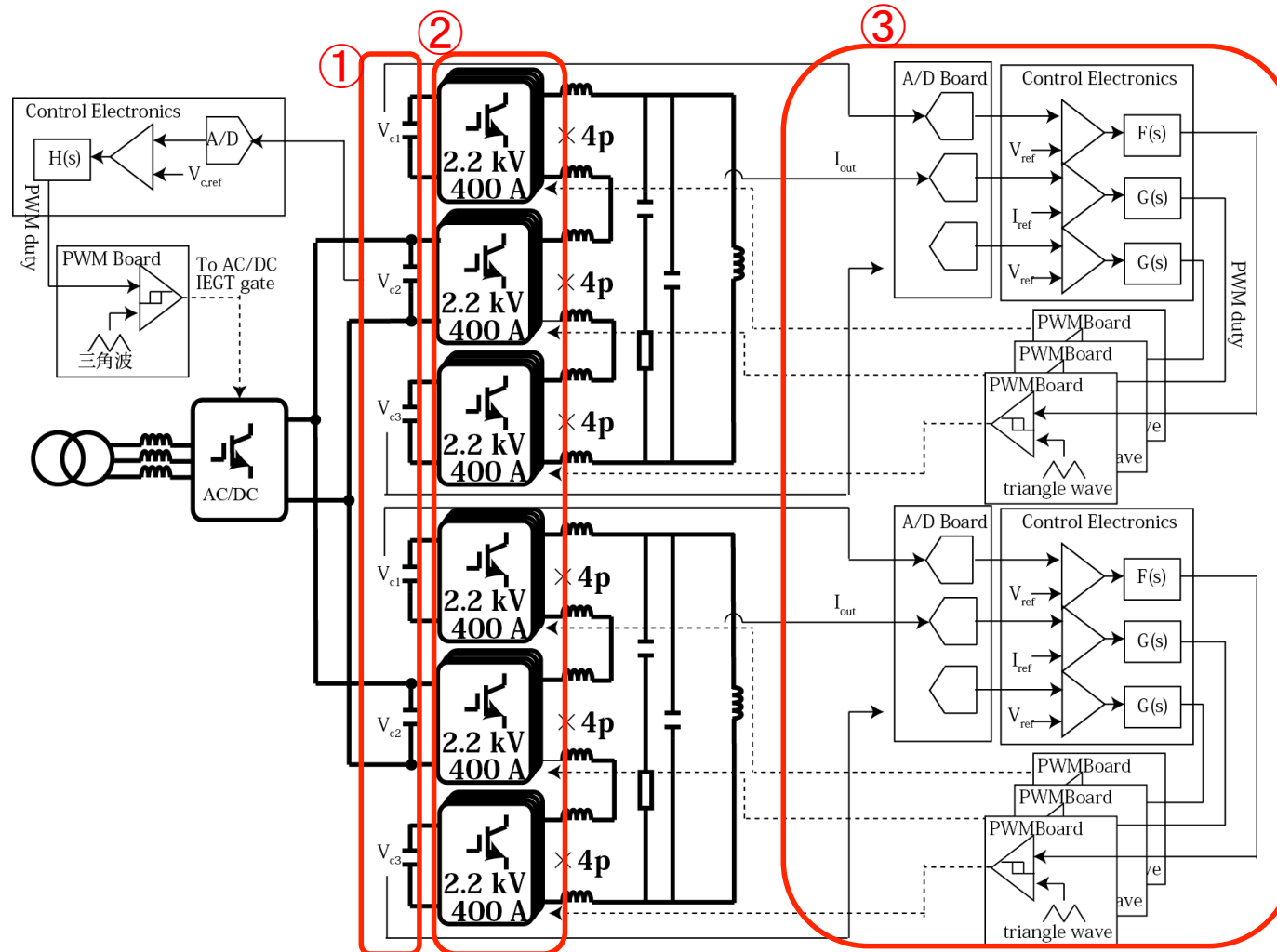
- 電源の概要
- 高圧高周波チョツパ
- 出力電流制御システム
- 現状とスケジュール
- まとめ

Introduction

新電源概要

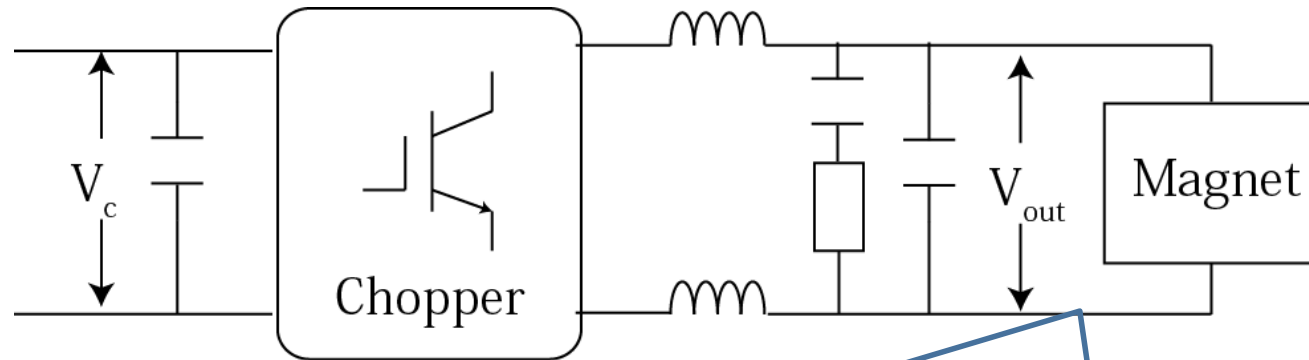
整流器+チョッパの電圧型（リップルをチョッパのスイッチング成分に限定）

- ① コンデンサバンクを用いた電力変動抑制
- ② 高スイッチング周波数チョッパを使ったリップルの低減
- ③ デジタルフィードバックによる安定した出力電流制御



チヨツパ

チョツパに対する要請



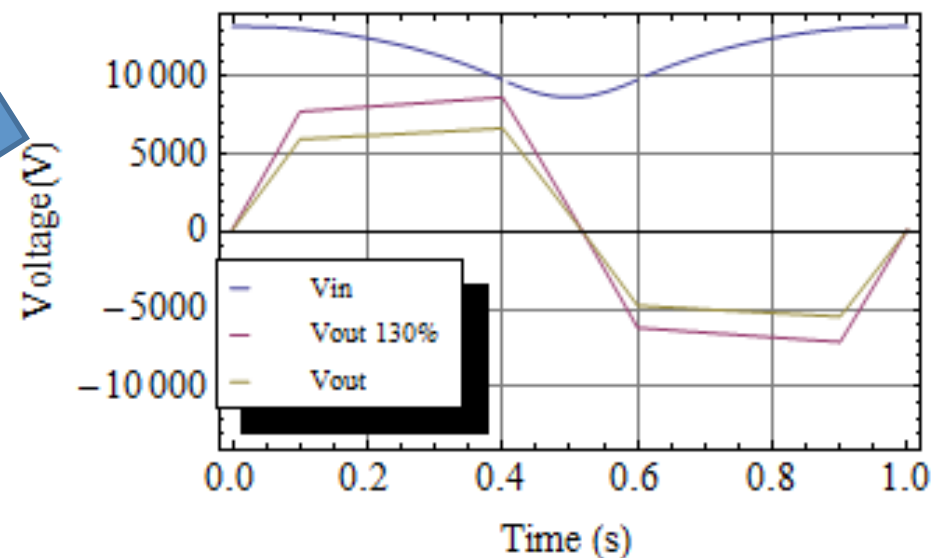
制限 1 :

- 放電後、コンデンサ電圧が半分になるようにバンクの静電容量を設計している。

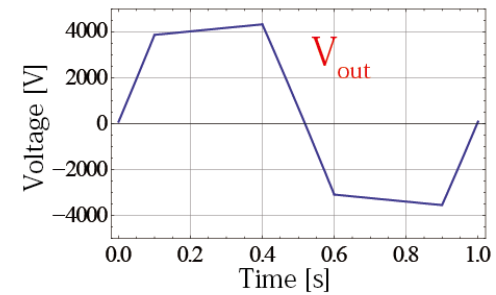
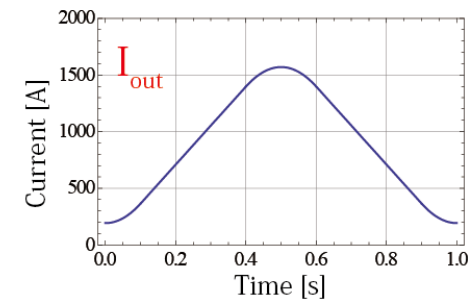
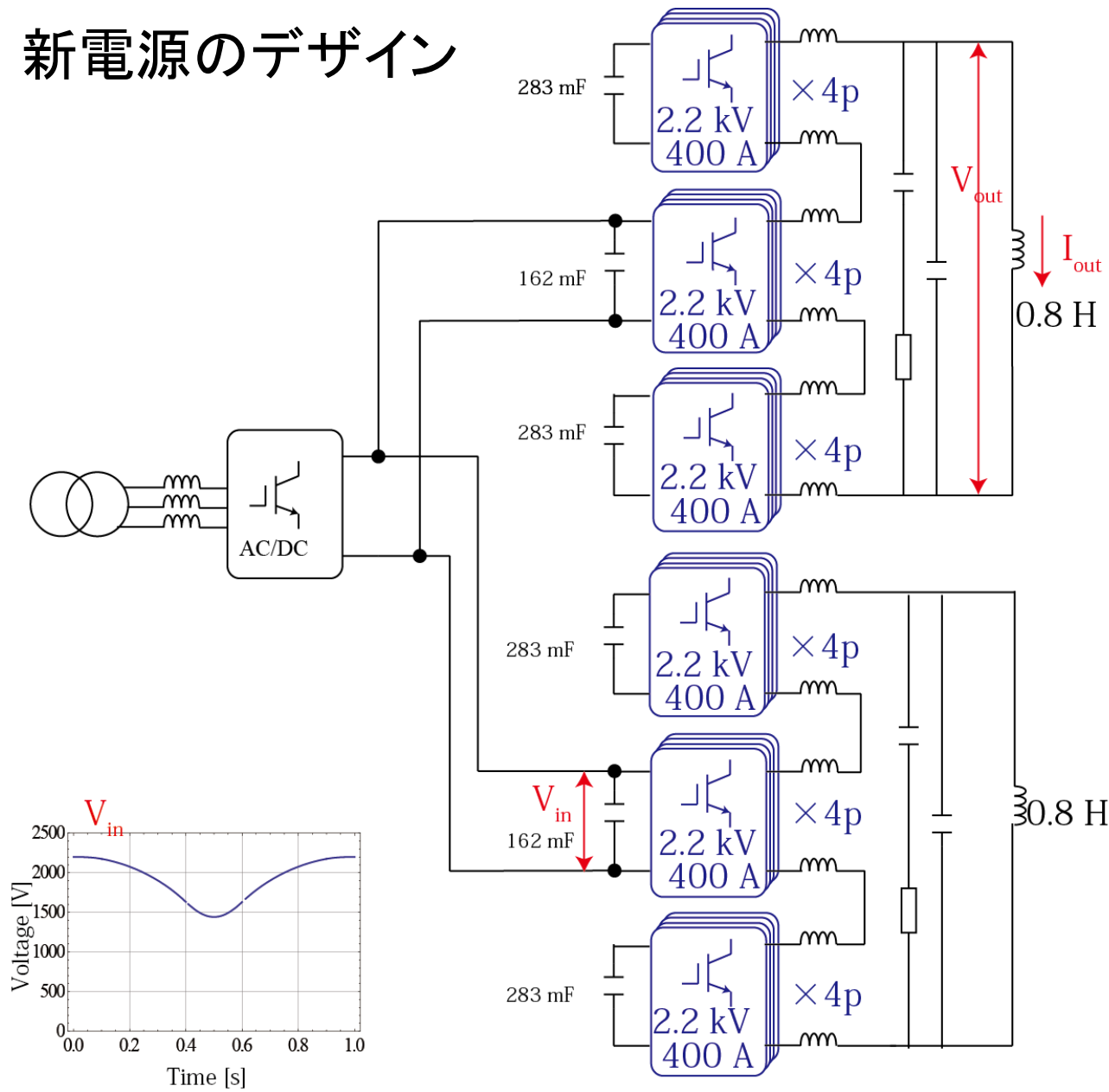
制限 2 :

1 Hzで磁石をドライブするために、出力電圧が **6 kV** (+ マージン)必要

入力電圧 > 出力電圧とするためにはチョツパの定格電圧は **12kV以上必要**



新電源のデザイン



- 負荷を半分にする
(電源を倍にする)
- 2 kVのチョッパを
3直にする。

なぜ2.0 kVか？

- 適当なフィルタで電流リップルを十分小さくするには($\delta I/I \approx 10^{-6}$)、
チョッパの周波数は **5 kHz** 程度まで上げる必要がある

標準的なIGBTの ラインナップ (定格電圧 V_{ce})

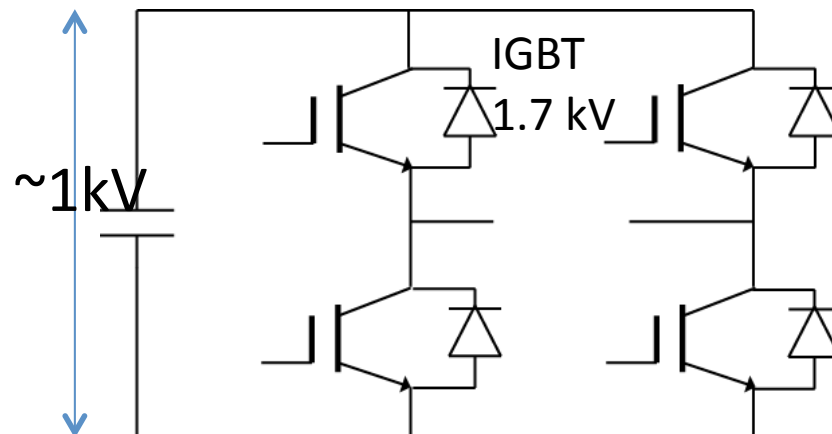
V_{ce}	600 V	1200 V	1700 V	3300 V	4500 V
----------	-------	--------	--------	--------	--------

➡ 1.7 kV のIGBTが好ましい

損失や最小パルス幅の関係から 1 kHz 以下で使われる

1.7 kV IGBTでHブリッジのチョッパを組めば、
通常、定格1 kV程度のチョッパとなる

IGBTは通常
定格電圧の
50%-60%で
使われる。



➡ 12直列となり、
多すぎる

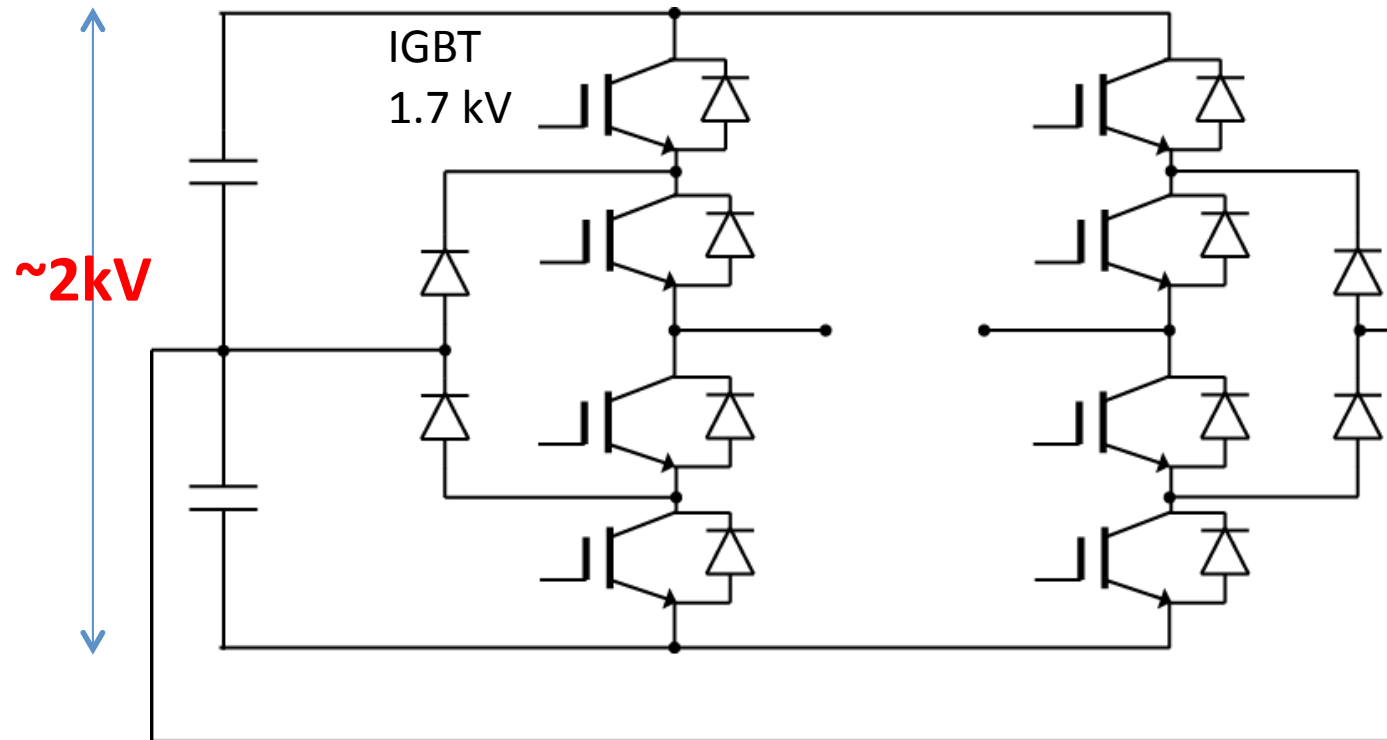
なぜ2.0 kV か？

NPCチョツパ

IGBTにかかる最大電圧が、DC電圧の半分になる。



チョツパ当たりの電圧を倍にできる。



- 一般的に使われている回路構成
- 中性点電位を0に保ったままスイッチングする事が可能 (詳細は割愛)

IGBT 候補

CM1000DUC-34SA

大電力スイッチング用
絶縁形

CM1000DUC-34SA



2素子入

- 第5世代 IGBT/FWDi 搭載 MPD シリーズ -

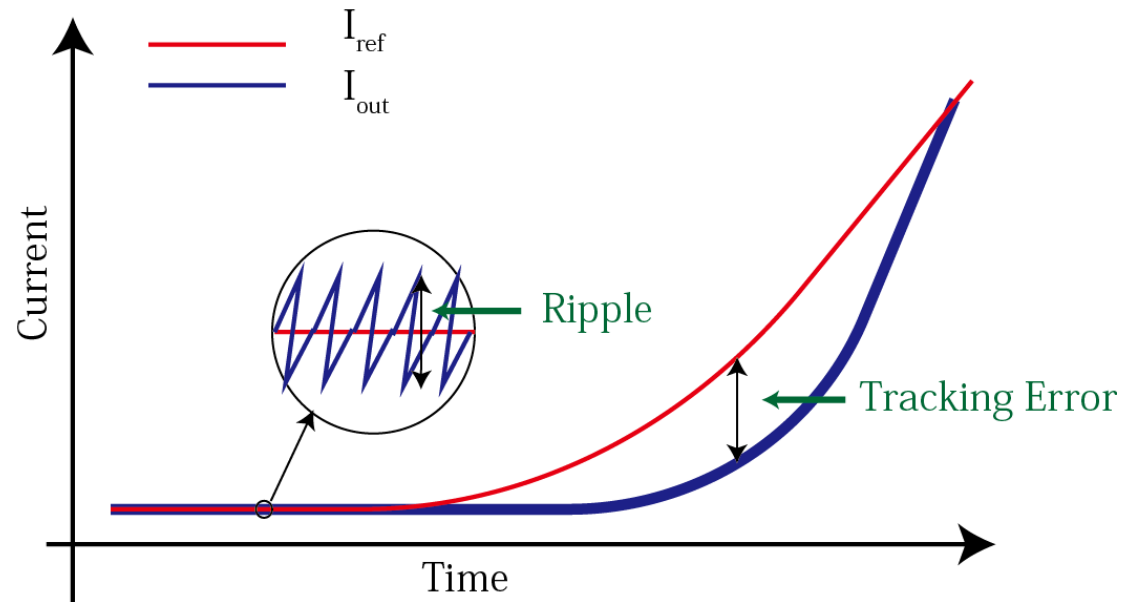
- I_C 1000 A
 - V_{CES} 1700 V
 - フラットベース形
銅（メッキレス）ベース板 1000 A
 - RoHS 指令対応 1700 V
- 2 in 1

2.0 kV 400 A NPCチョッパーを基本ユニットとして開発中

出力電流制御

リップルと追従誤差

電流偏差を「リップル」と「追従誤差」の二種類に分けて考える



除去方法

リップル：計測ノイズ

チョツパのスイッチング



低ノイズコントローラー



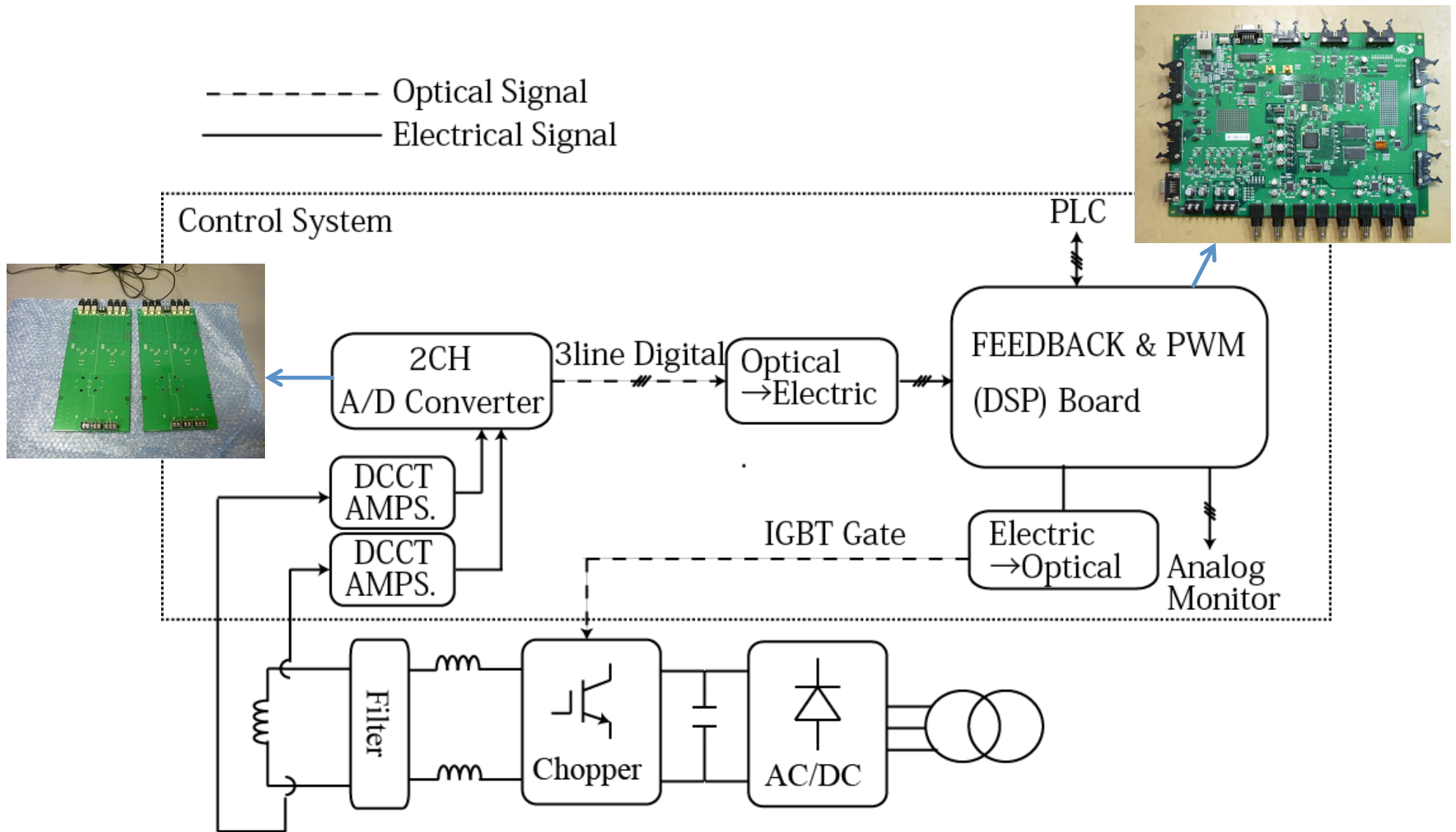
高周波(> 5 kHz)チョツパとフィルタ

追従誤差：



繰り返し学習制御

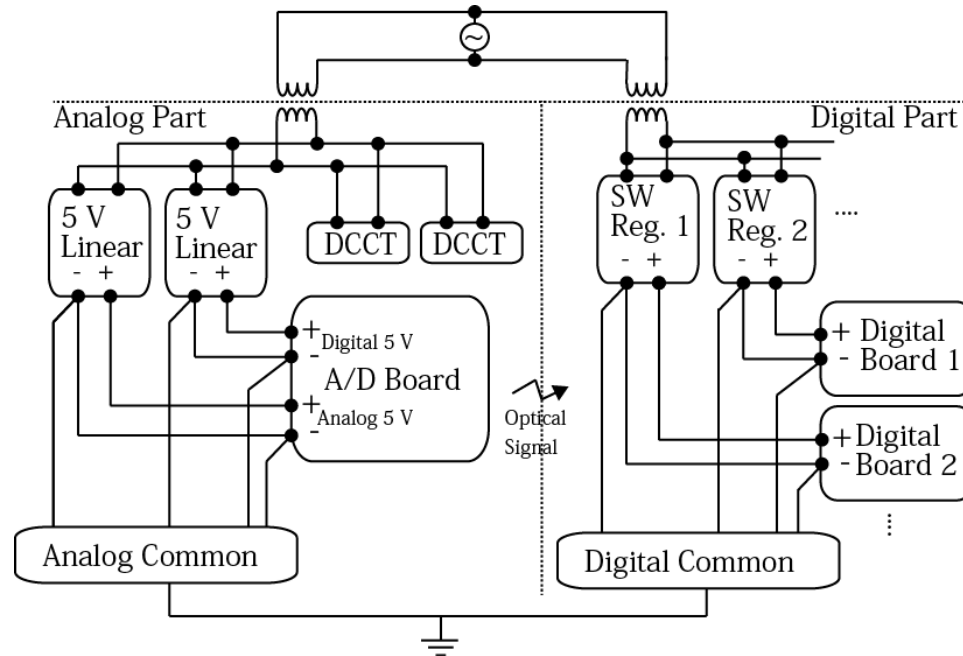
デジタルフィードバックシステム



24 bit A/D ボードとDSP ボードをKEKで開発

アナログ/デジタルの分離

電力線とグランド線

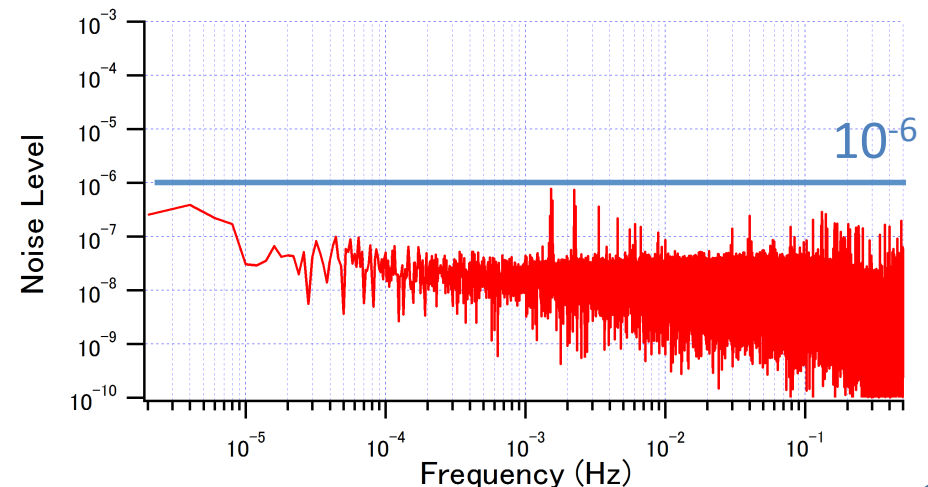


- ADボードからDSPボードへのデータの受け渡しは光信号で行う
- 電圧基準端子をアナログとデジタルで別々に設ける
- アナログボードにはノイズの少ないLinear電源をつかう

無通電時(0A)の計測データ

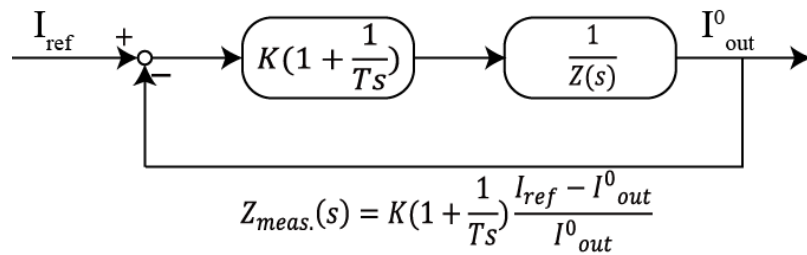
- 信号はDCCTの定格(300 A)で規格化

➡ $< 10^{-6}$ @ all frequencies

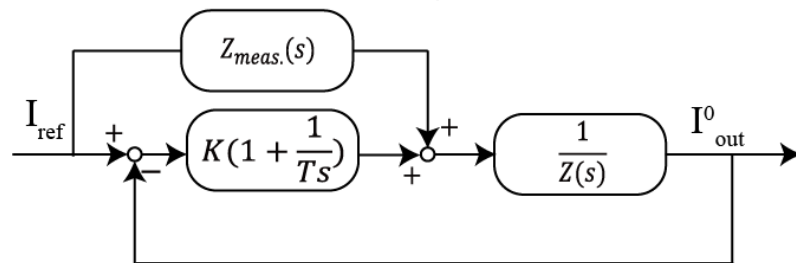


繰り返し学習制御

1. 1サイクル運転しインピーダンスの情報を得る

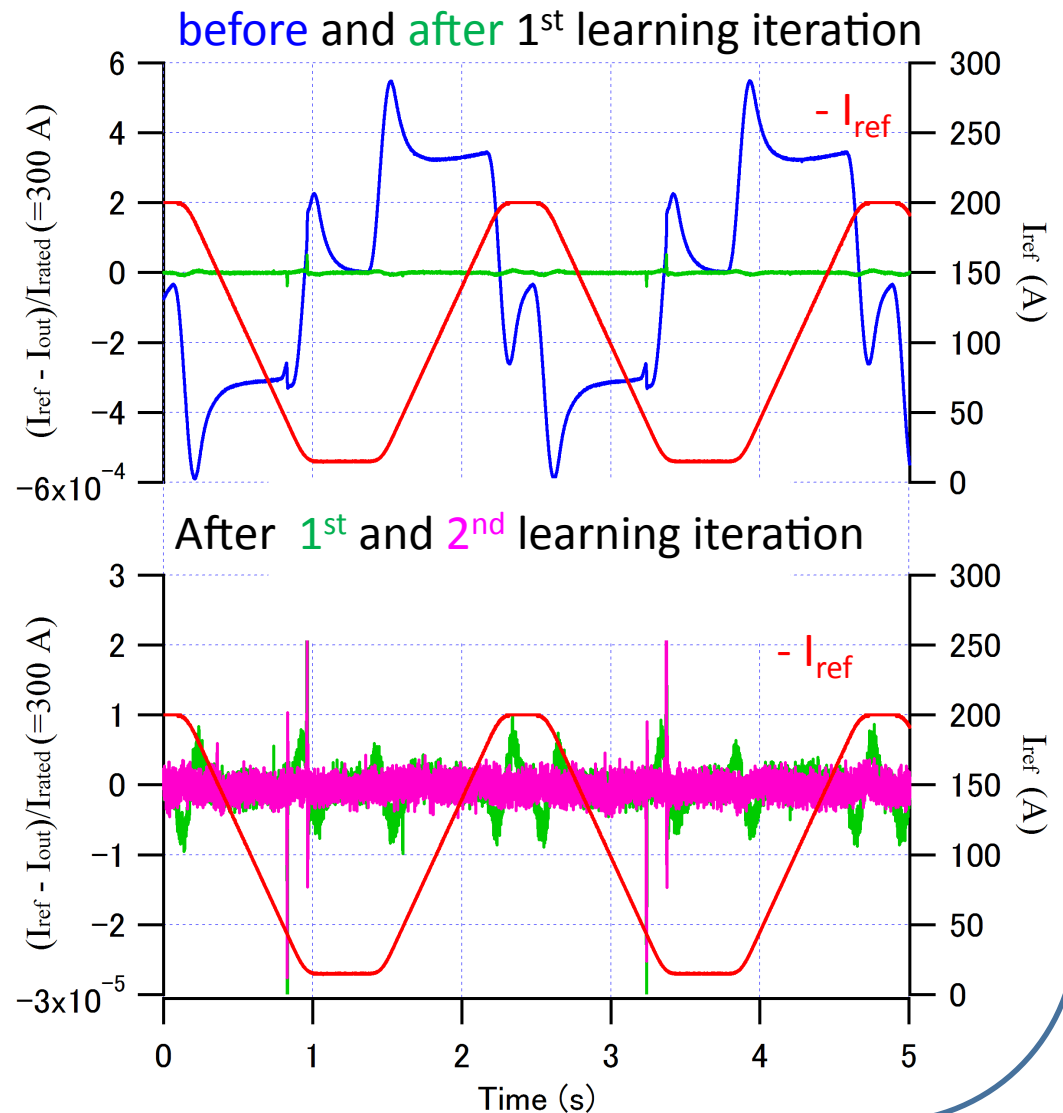


2. 得たインピーダンスによるフィードフォワードパタンを足し込む



3. ΔI が小さくなるまで同じ操作で繰り返す

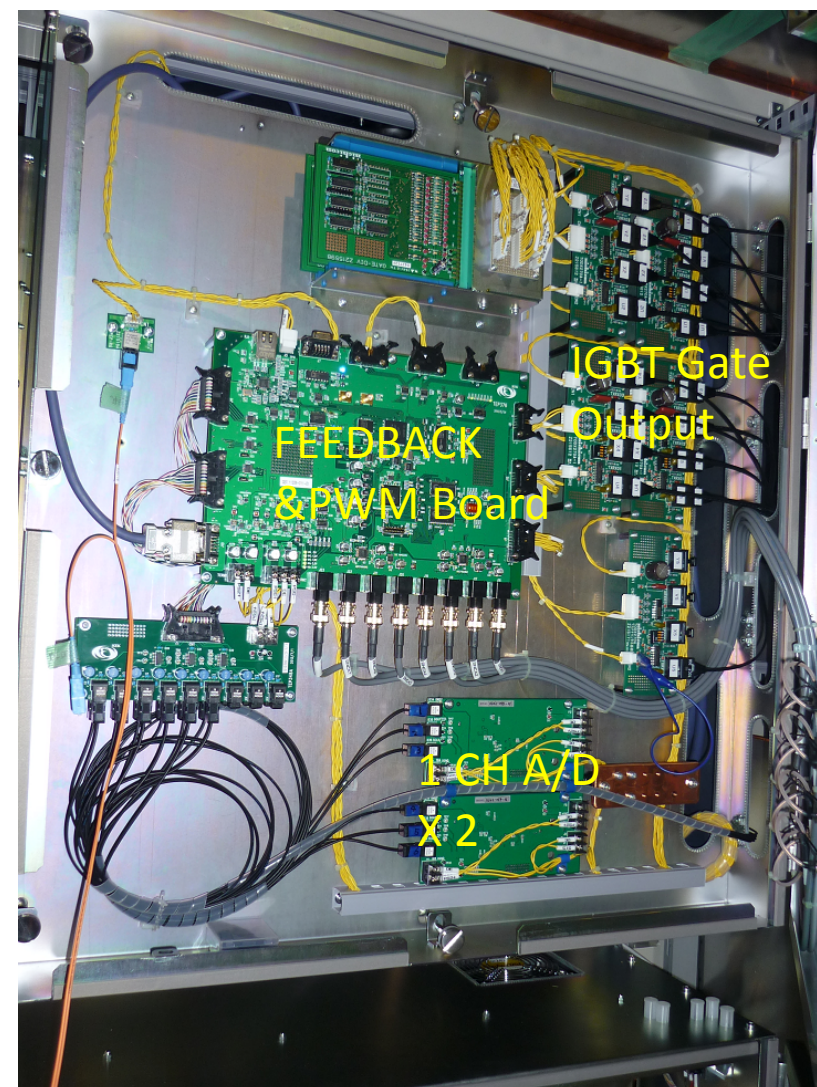
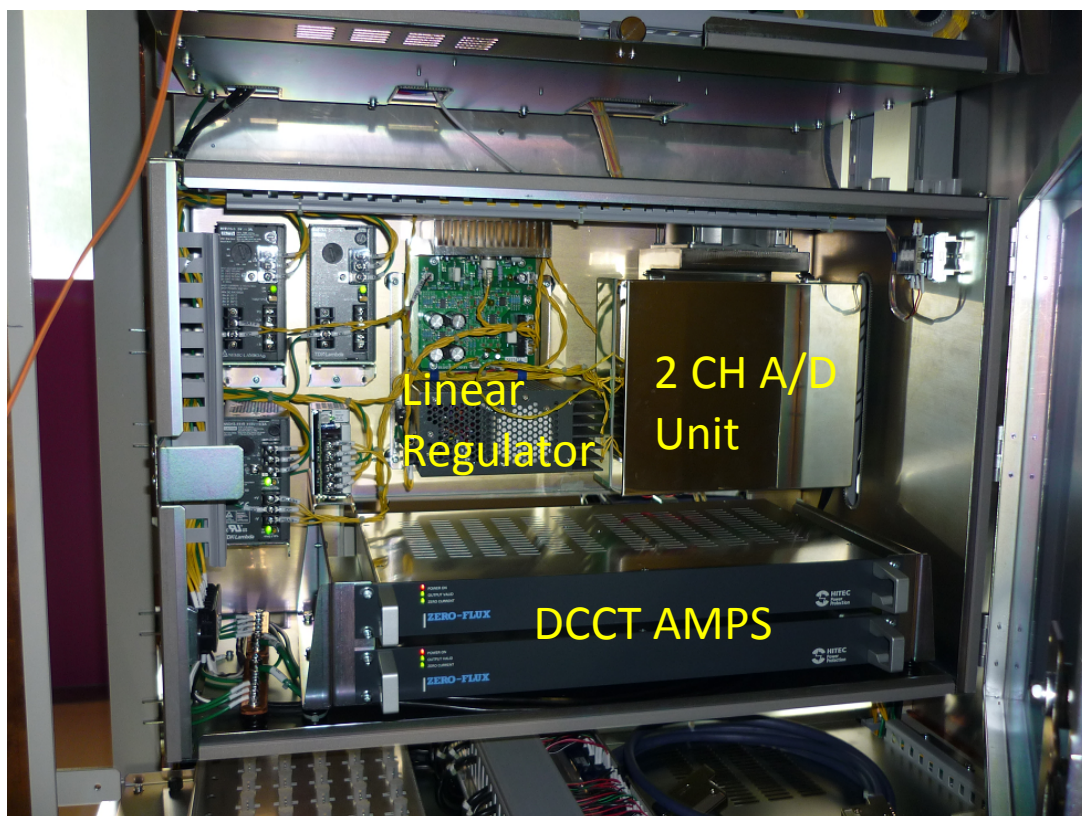
追従誤差の抑制 Y. Kurimoto et. al. IEEE Transaction on Nuclear Science



開発したコントロールシステム

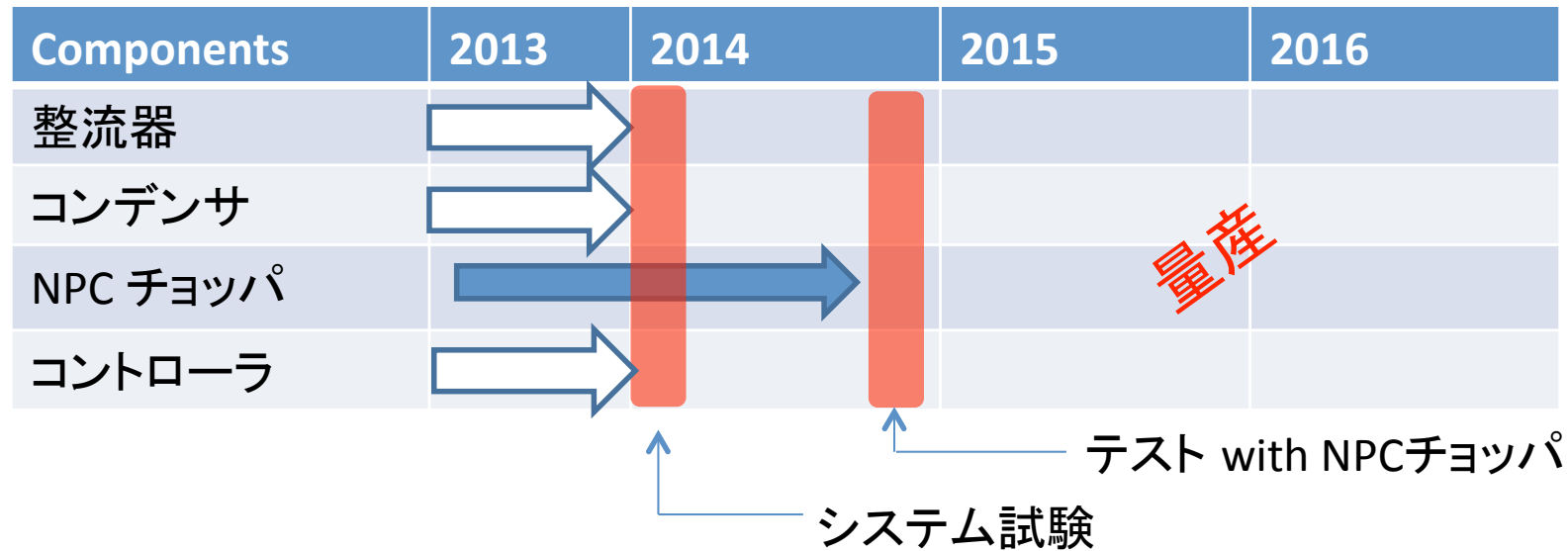
Digital Unit

Analog Unit



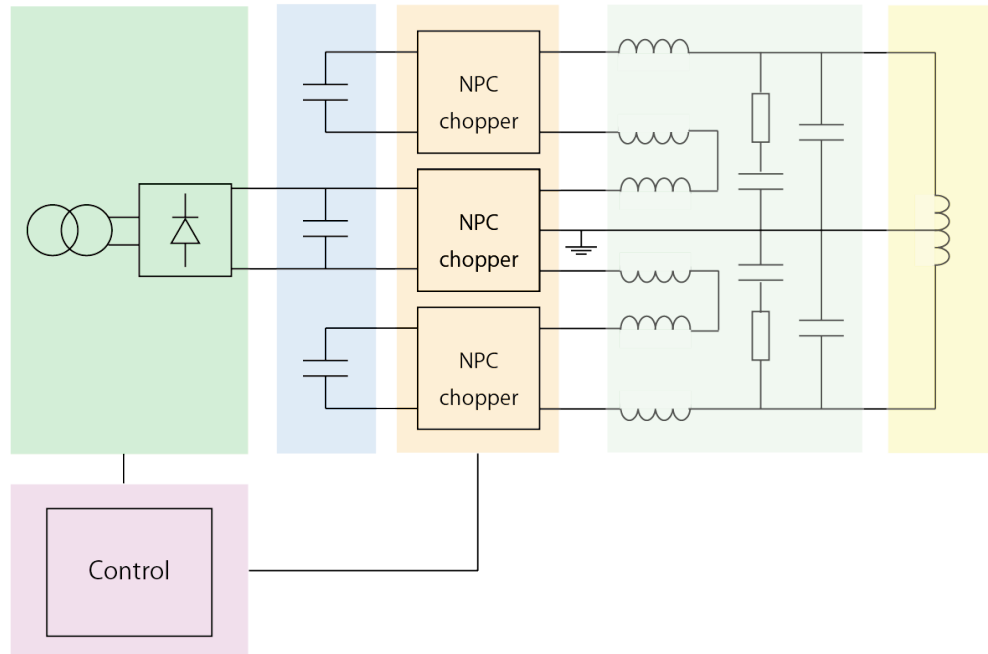
現状

Schedule



- 整流器とコンデンサは実機盤が完成
- 2kV 400 A NPCチョッパの開発を今年度に完了させる予定
- 開発したコントローラを用いたシステム試験を現在行っている。
- 2014 年度中にすべてのコンポーネントの開発が完了する予定

システム試験（現在試験中）



- 今回はコントローラ試験中心だが、
2 kV 400 Aチョツパ3直が定格運転できるように回路を設計
- チョツパは、現在はKEK製の2 kV 200 Aのチョツパで代用しているが、
実機向け試作器が完成したら取り換える予定



まとめ

- 電圧型の電源をベースに開発中
- 主な開発要素は、(1)コンデンサバンク (2) 高周波(5 kHz) 2 KV NPC チョツパ (3)高精度電流コントローラである。
- コンデンサバンクおよび整流器は実機バージョンの試作が完了した
- 開発したコントローラを使ったシステム試験を現在行っている。
- 2 kV のNPCチョツパは今年度開発完了予定



2014年度中にすべてのコンポーネントの開発が完了する予定