

THOB13 加速器技術(電磁石と電源)  
8月31日 13号館1326教室 16:50-17:10

# キッカー電磁石用SIC半導体スイッチ電源

SIC-BASED SEMICONDUCTOR SWITCH POWER SUPPLY FOR KICKER MAGNETS

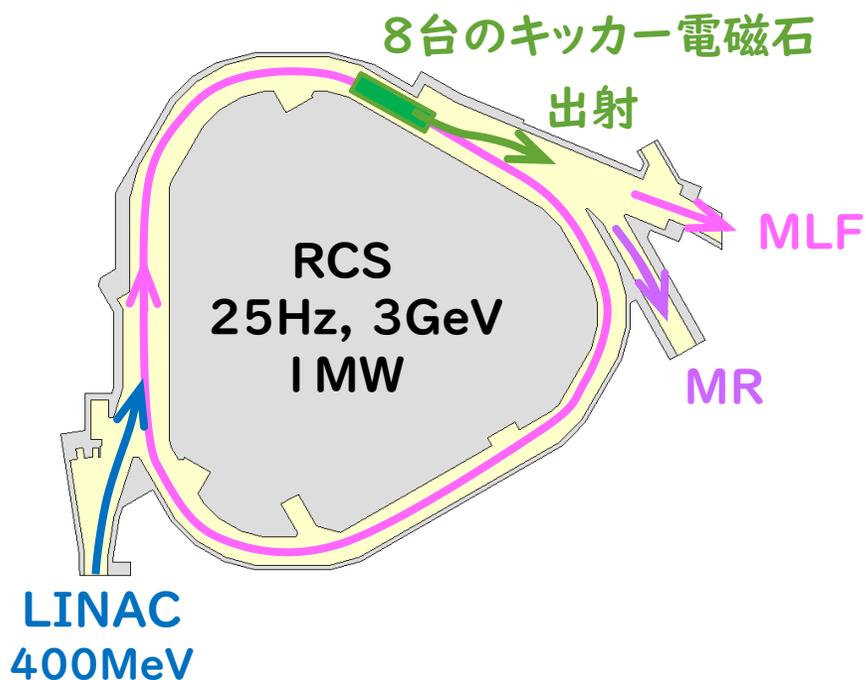
○高柳 智弘, 小野 礼人, 堀野 光喜, 植野 智晶, 杉田 萌, 金正 倫計 (J-PARC/JAEA)  
徳地 明, 生駒 直弥, 中田 恭輔, 亀崎 広明, 隅田 博之 (PPJ)



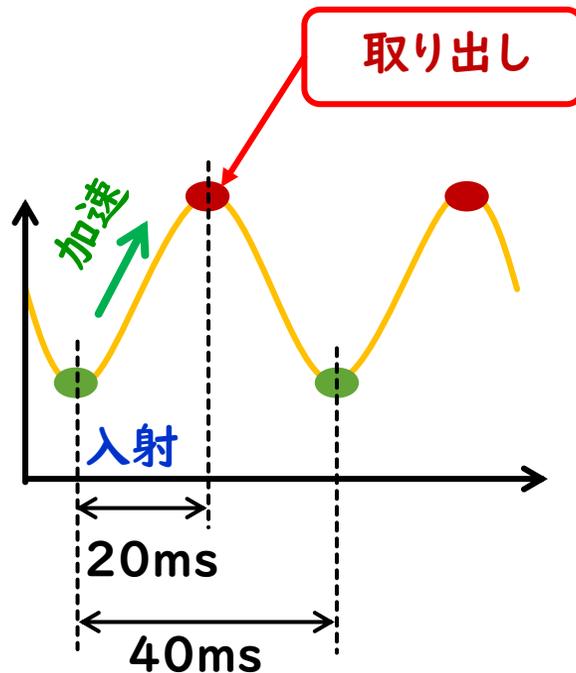
## 発表内容

- キッカーシステム
- SiC半導体スイッチ電源の開発
  - 放射対称型LTD回路基板
  - 電源ユニットを用いた出力試験結果
- まとめ

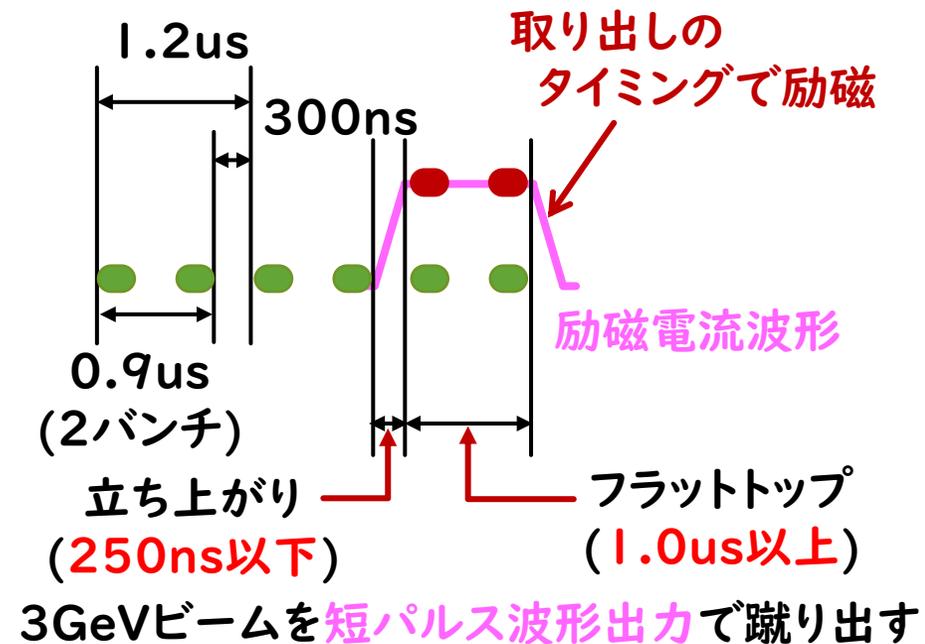
# J-PARC RCS キッカーシステム



【加速ビームの流れ】



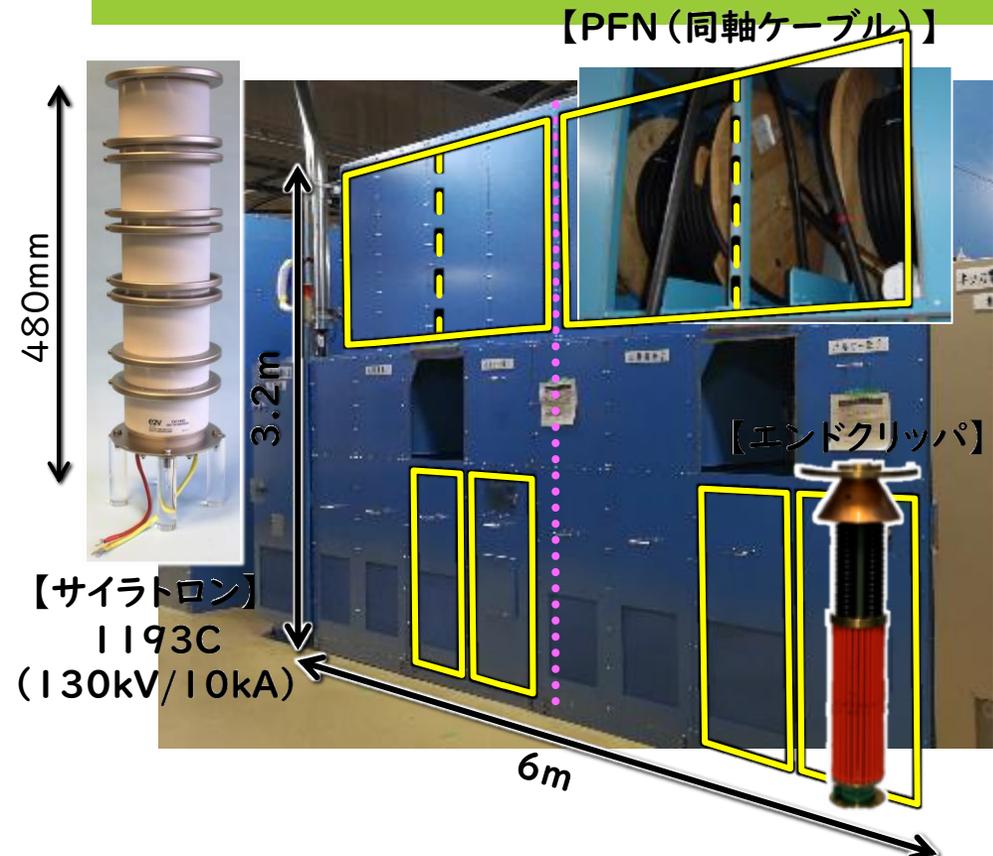
【入射・加速・出射のイメージ】



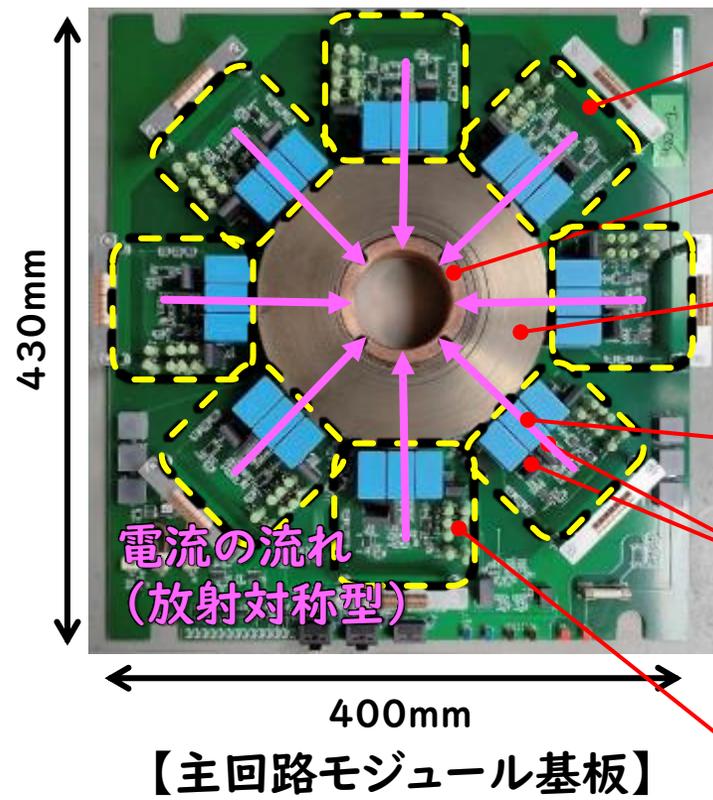
- ・充電電圧80kV→40kV
- ・出力電流4kA
- ・立上り0.25us以下のパルス

【キッカー電源波形の仕様】

# SIC半導体スイッチ電源の開発 (高耐圧、高速応答、低スイッチング損失)



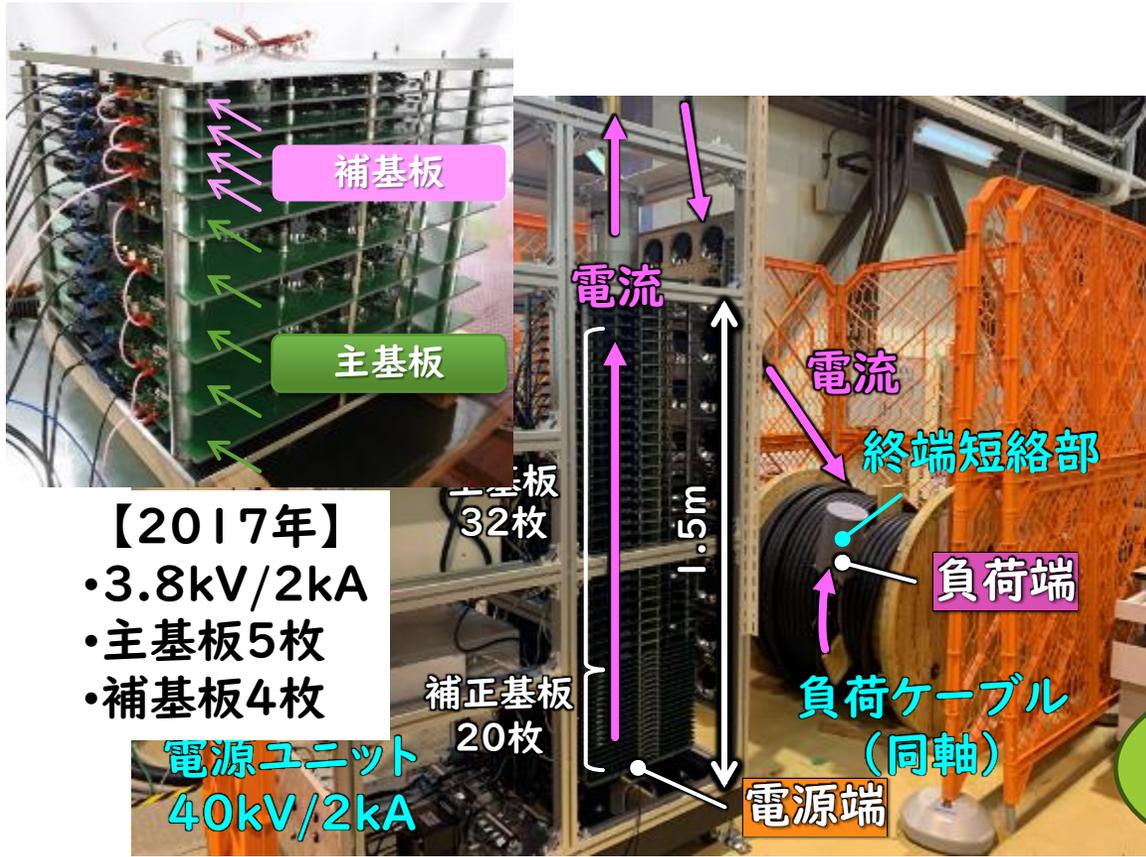
電源全8台@3GeVシンクロトロン  
80kV/4kA/25Hz/1.0us  
【現キッカー電源(双子型)】



- 並列回路  
8並列:2kAに対応
- 電流伝送外導体(出力部)  
内径φ64mm
- トロイダルコア(LTD方式)  
誘導電圧重畳方式  
主回路と出力部を分離
- 充電用コンデンサ  
※PFNの役割
- 半導体スイッチ  
(SiC-MOSFET)  
CREE製:1.7kV/0.25kA  
※サイラトロンの役割
- 反射波吸収回路  
※エンドクリップの役割

- 誘導電圧重畳回路(LTD方式)
- 基板1枚でキッカー電源の機能を実現
- 1枚当たり:電圧1.25kV(40kV/32枚)、電流2kA

# 開発成果：定格仕様の達成



【2017年】  
 ・3.8kV/2kA  
 ・主基板5枚  
 ・補基板4枚

電源ユニット  
40kV/2kA

補正基板  
20枚

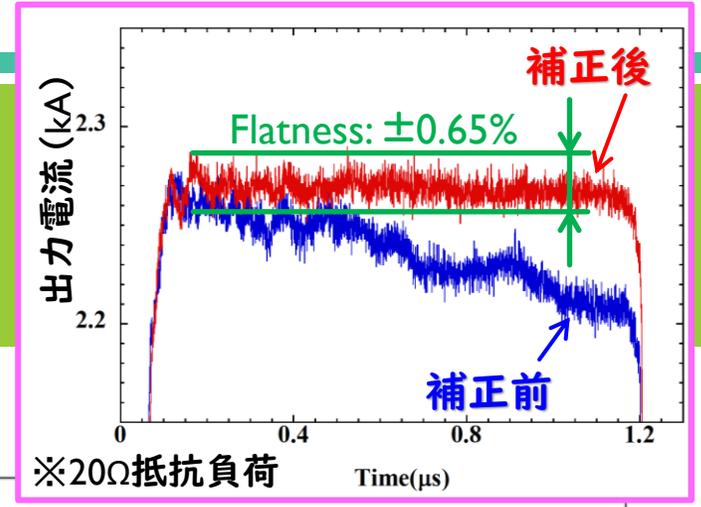
主基板  
32枚

1.5m

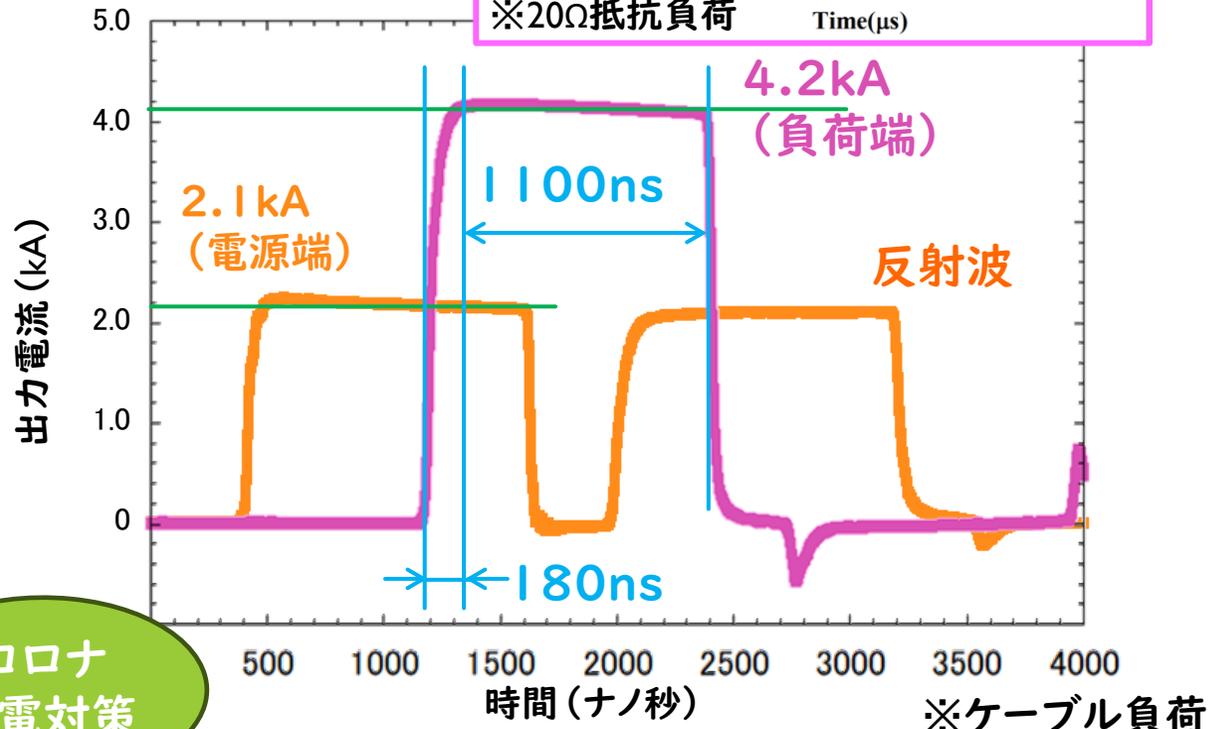
【2022年】

負荷ケーブルを用いた電源ユニット1台の試験の様子

コロナ  
放電対策



※20Ω抵抗負荷



※ケーブル負荷  
終端短絡

【出力電流測定結果】

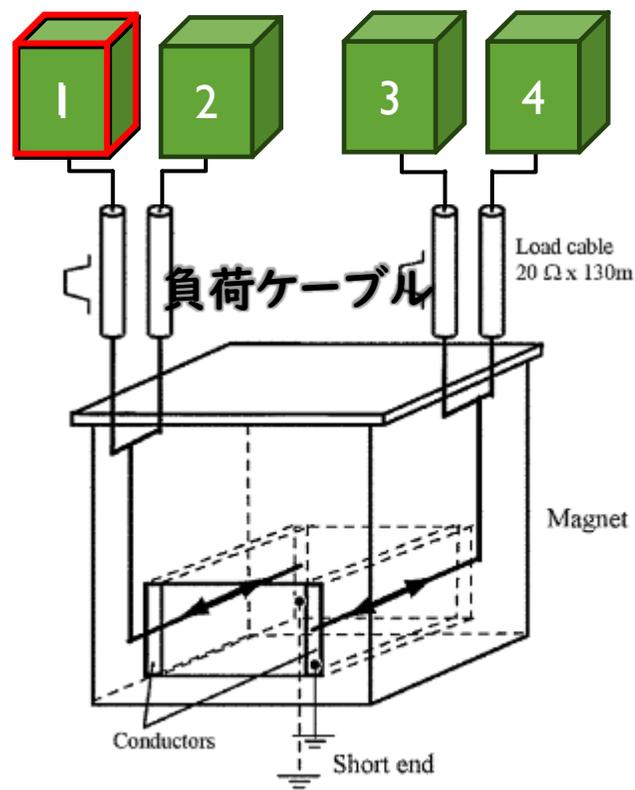
- ◆ キッカー電源 (1ユニット) としての要求性能を満足
- ◆ 8時間の連続通電を実施

# キッカーシステムの構成



【新キッカー電源(1ユニット)】

定格: 40kV/2kA



キッカー電磁石  
電源: 双子型40kV/4kA



電源ユニット  
(40kV/2kA)

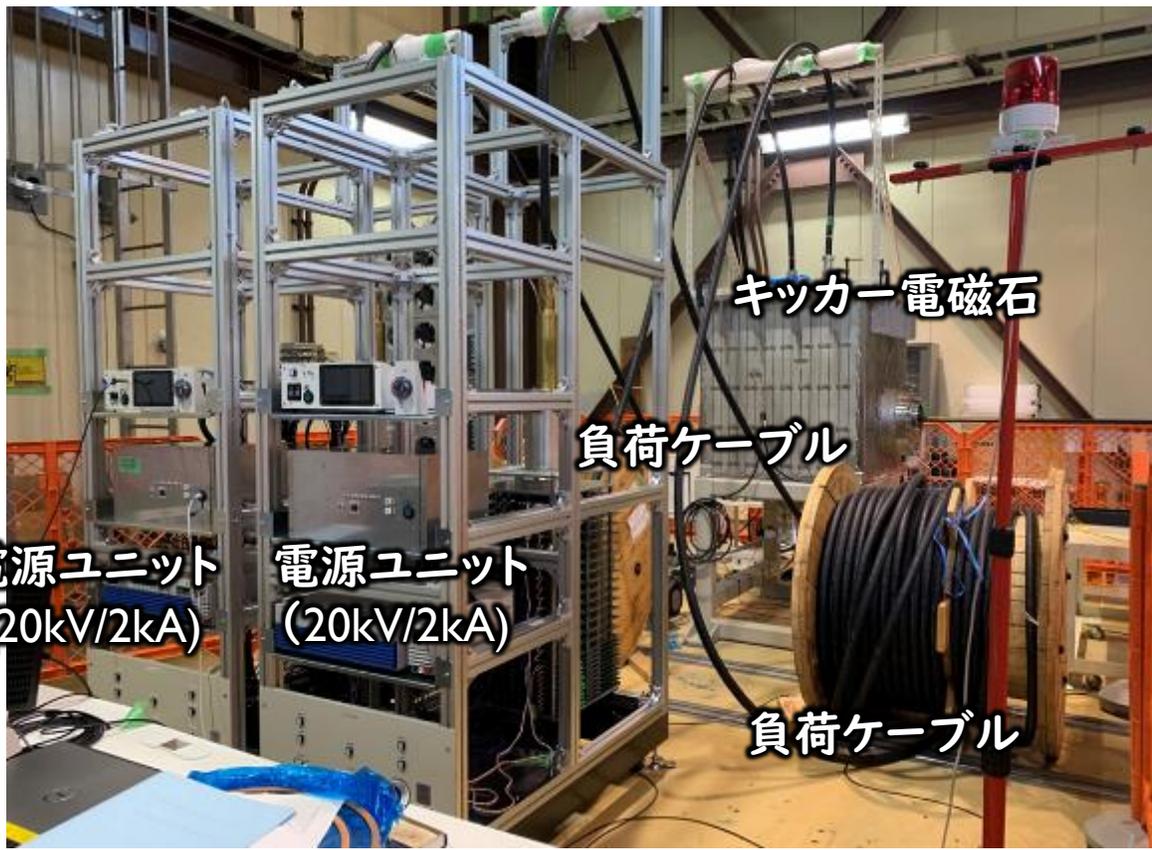


電源ユニット  
(20kV/2kA)

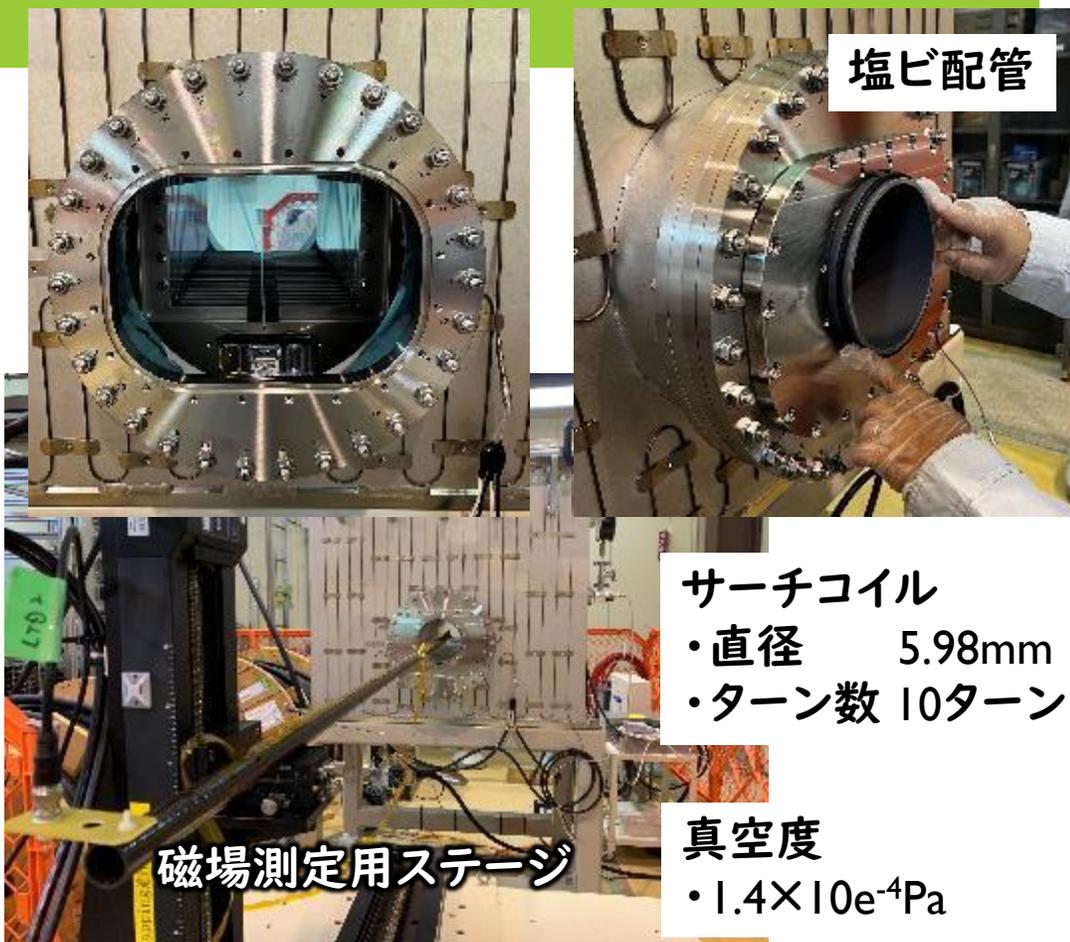


電源ユニット  
(20kV/2kA)

# 出力試験：実機（キッカー電磁石）を使用

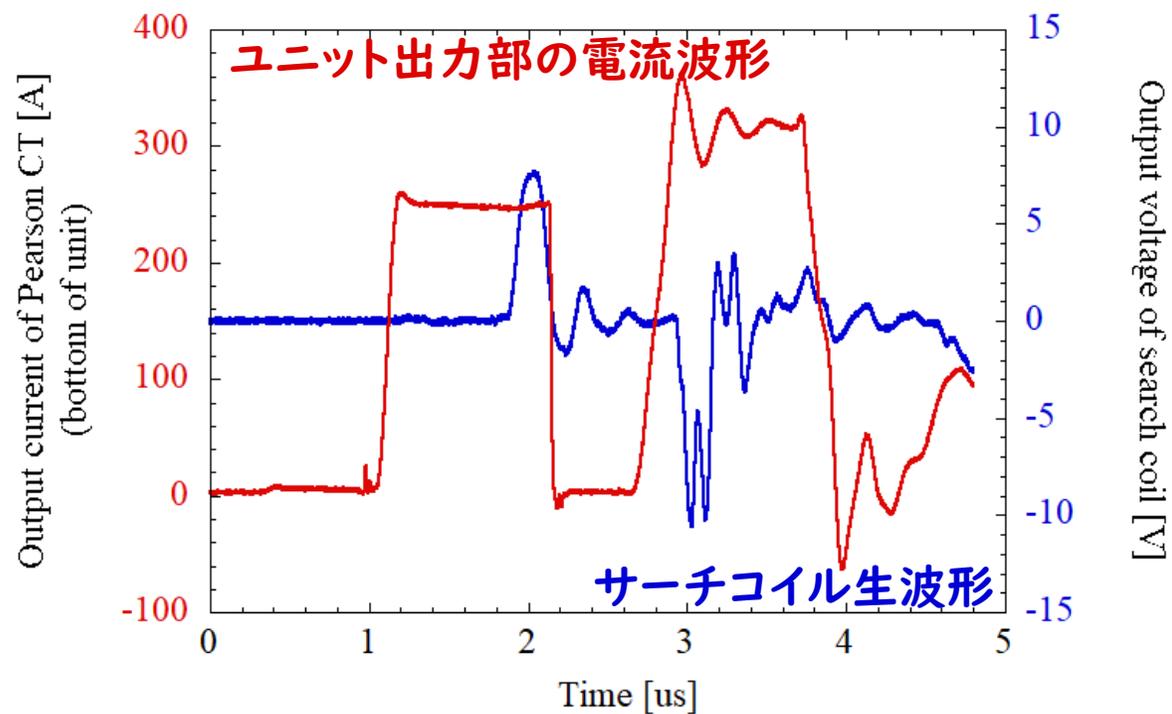


【実負荷試験の様子】

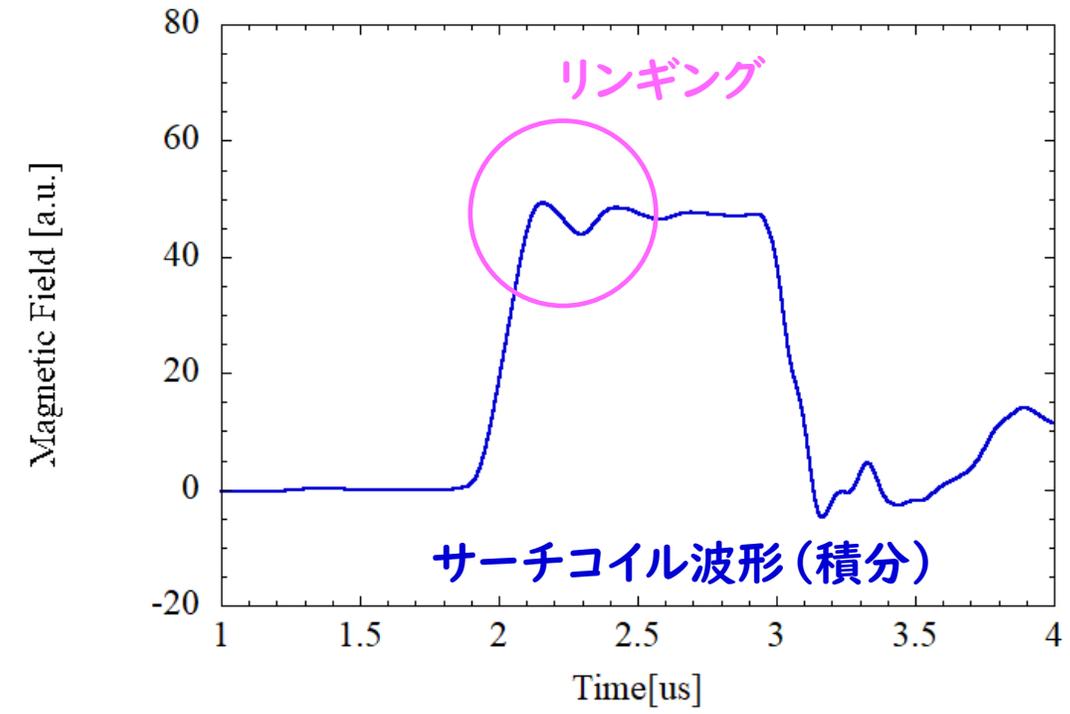


【磁場測定の様子】

# 通電試験結果 (測定された磁場分布と磁場波形)

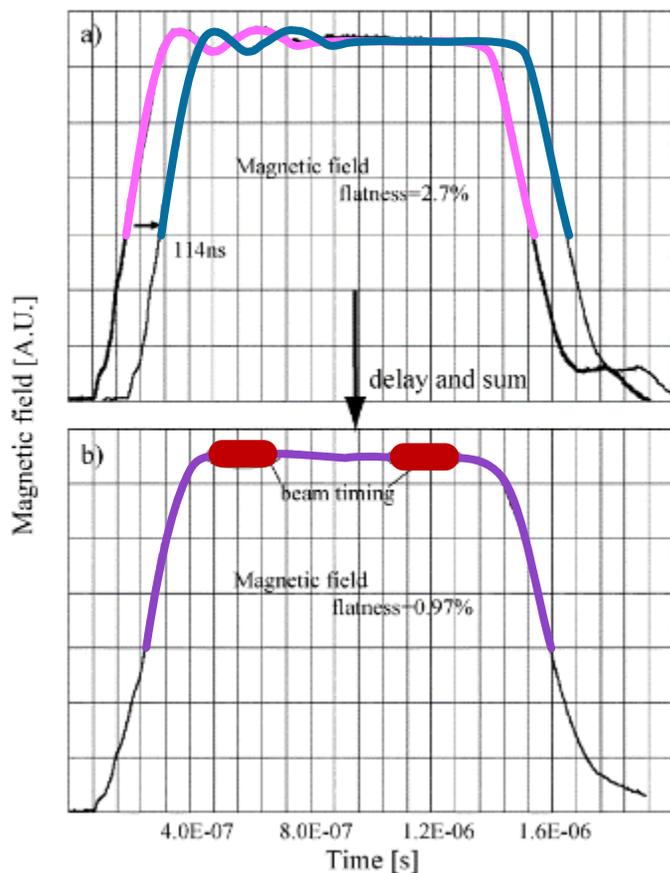


- 充電電圧**
- 主基板 300V (4.5kV)
  - 補基板 10V

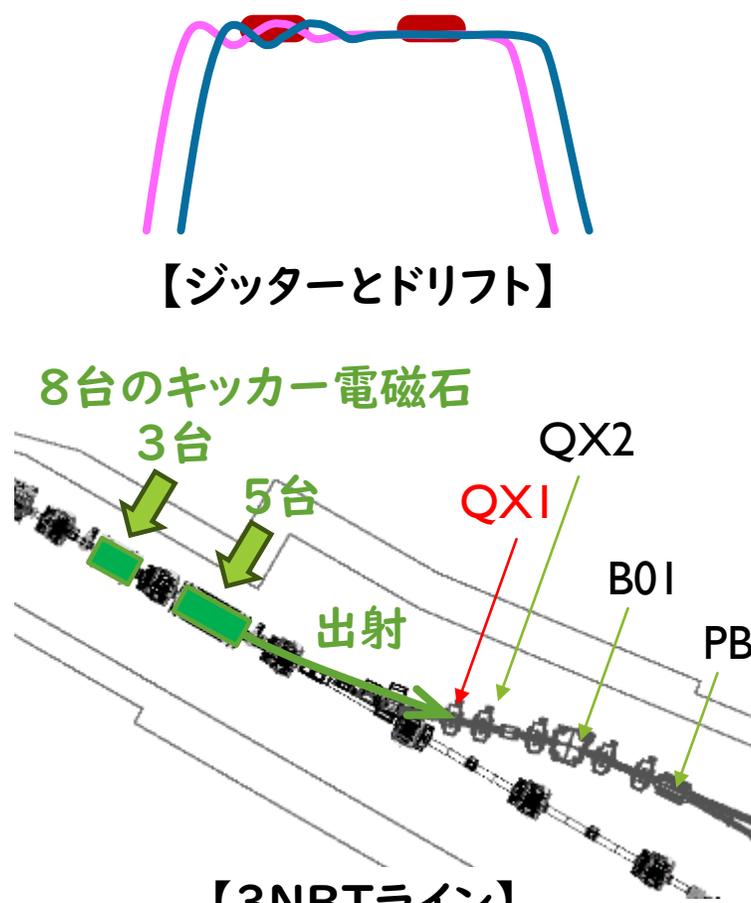


- 充電電圧**
- 主基板 300V (4.5kV)
  - 補基板 10V

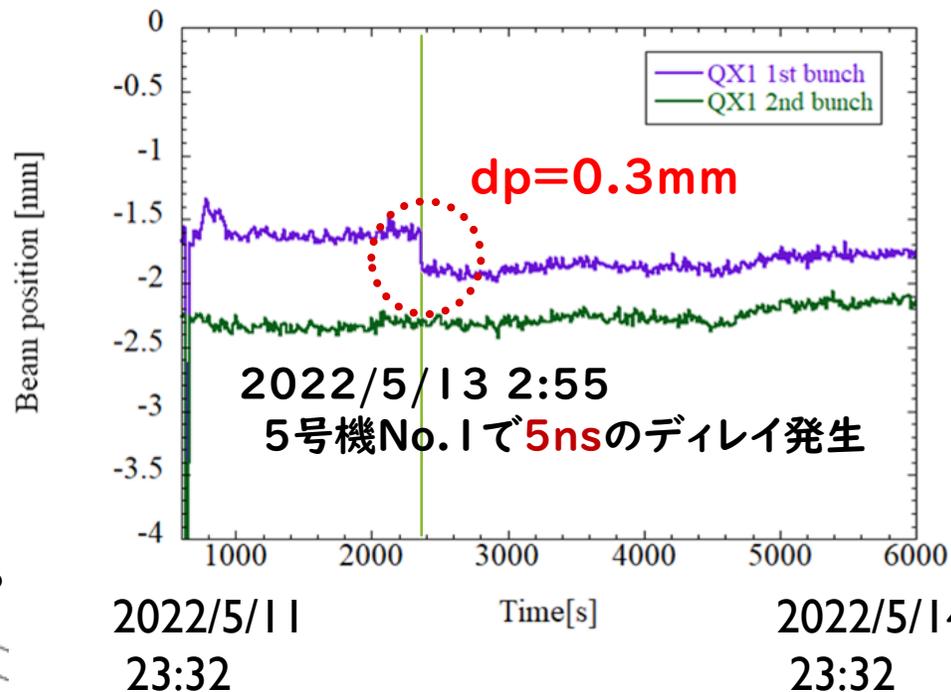
# リングングがビームバンチへ与える影響



【リングング影響低減方法】  
神谷潤一郎氏、原田寛之氏 (JAEA)

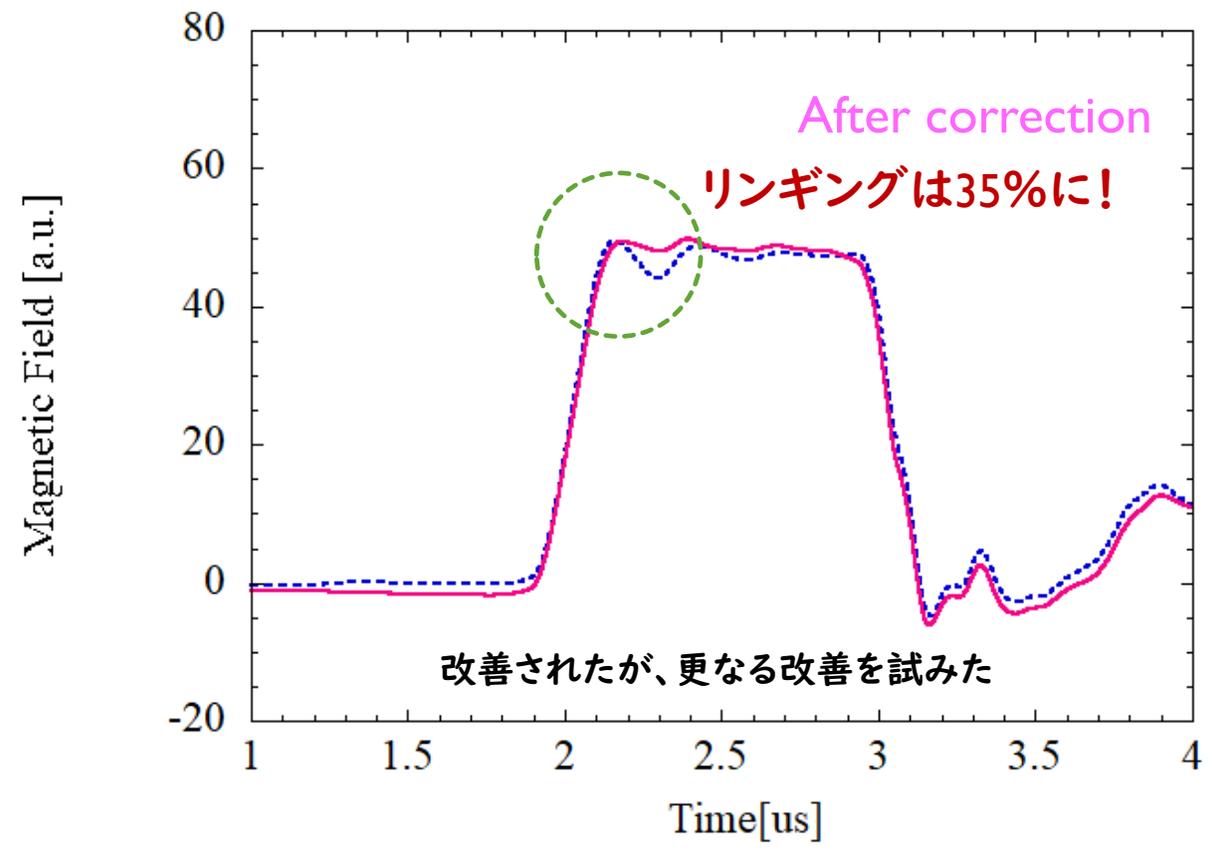


【3NBTライン】

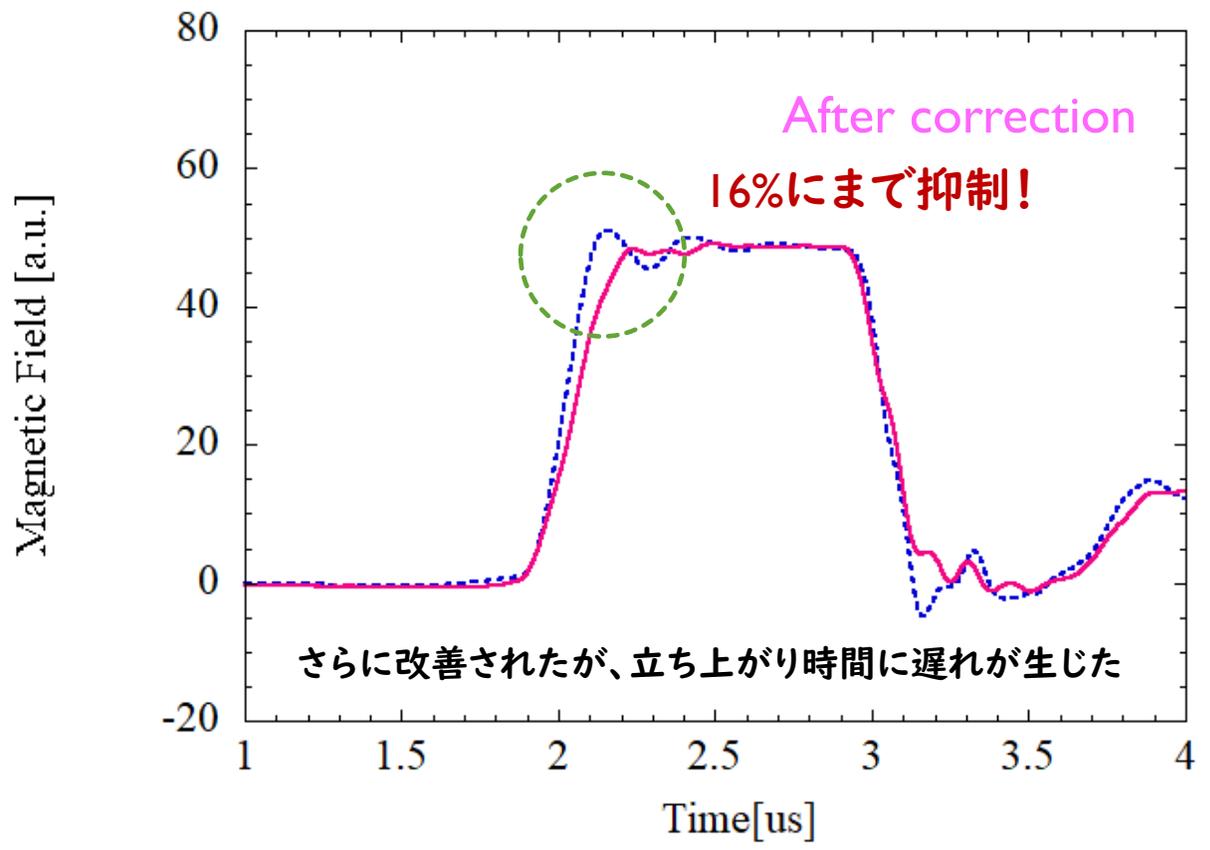


【軌道 (バンチ間) のズレ】  
データ提供: 明午 伸一郎氏 (JAEA)

# リングング抑制効果

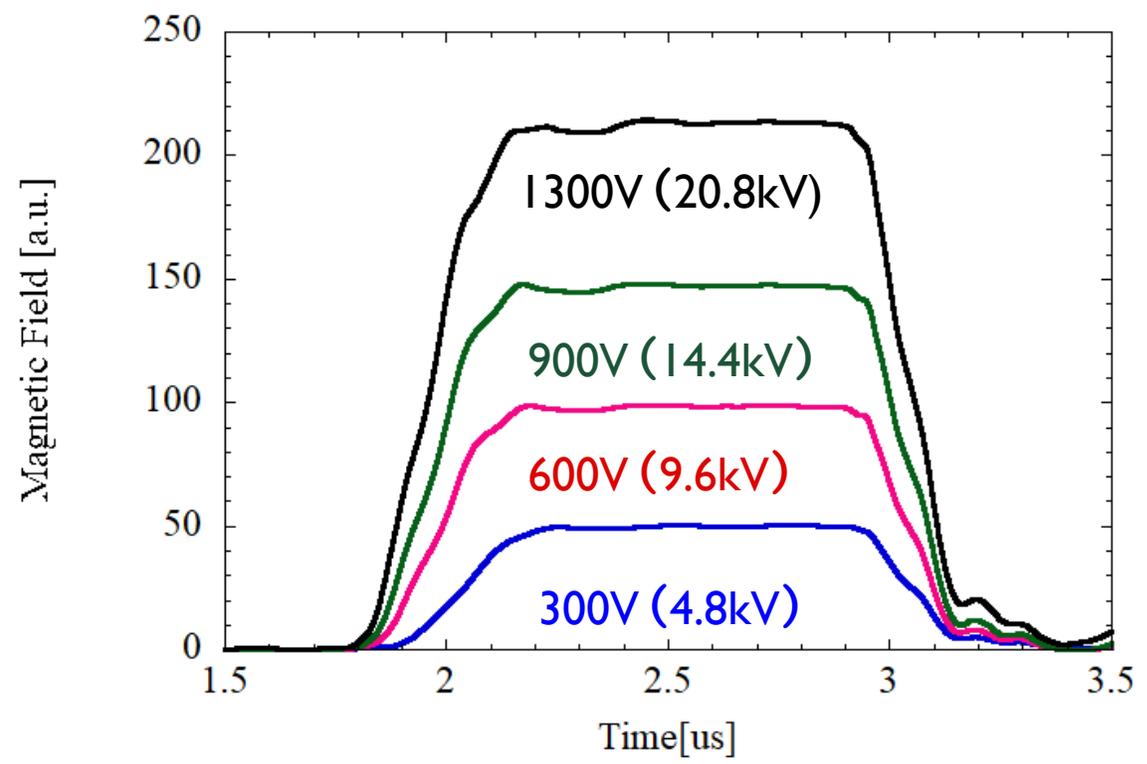


試験①  
補正回路のタイミングと充電電圧の変更

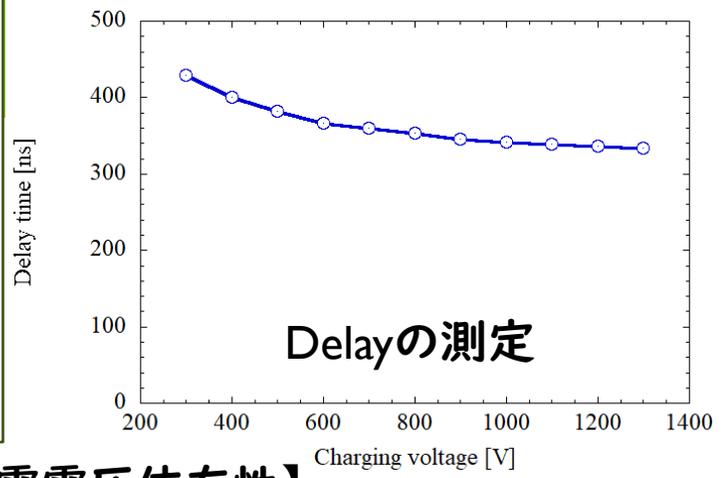
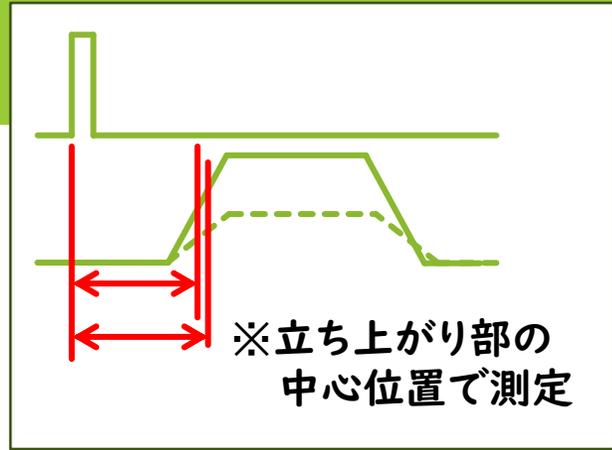


試験②  
主回路と補正回路のタイミングを変更

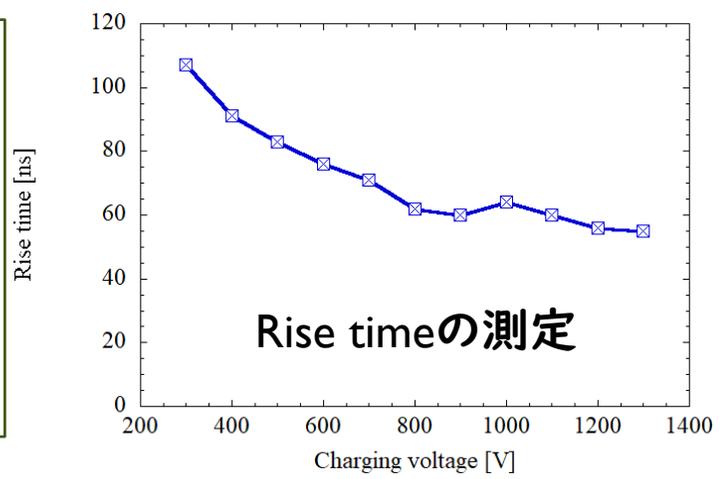
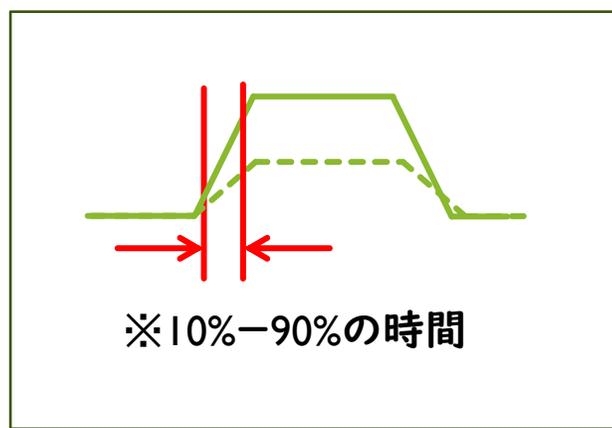
# 出力波形特性



【立ち上がり時間と出力タイミングの充電電圧依存性】



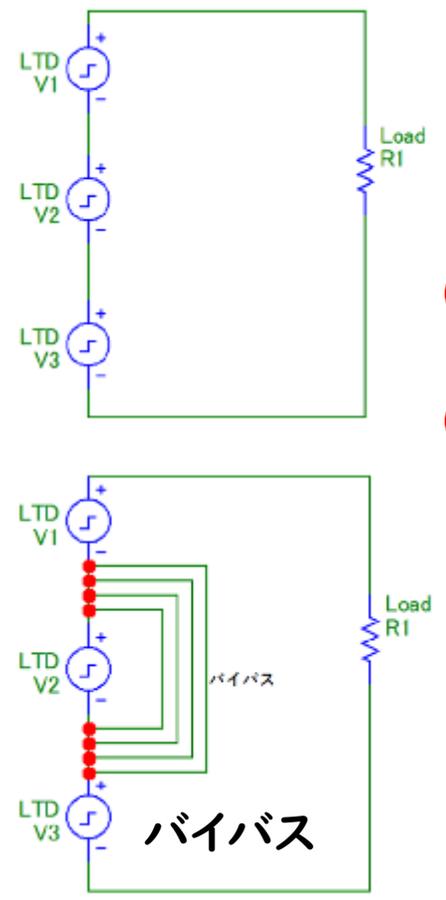
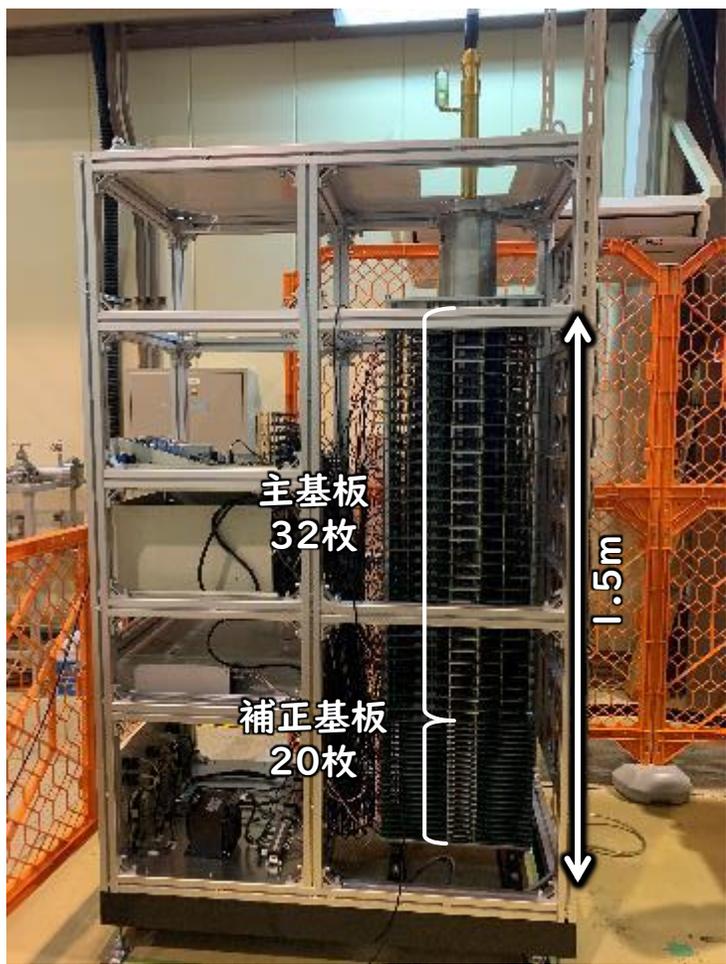
【Delayの充電電圧依存性】



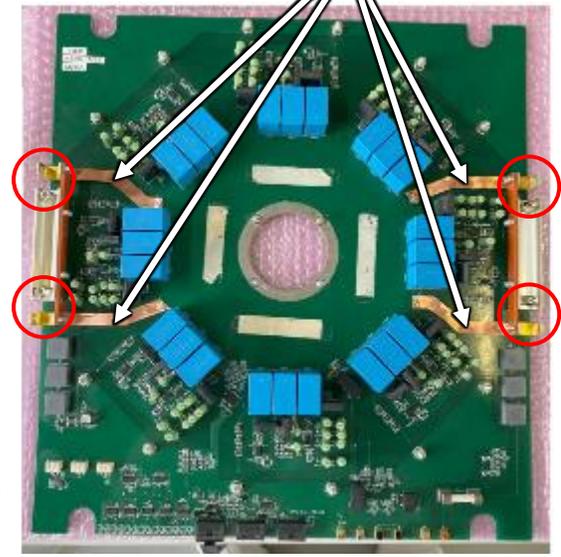
【Rise timeの充電電圧依存性】

リングング抑制・立ち上がり時間の改善の調整シロがある

# バイパス回路の最適化



追加改造したバイパス回路

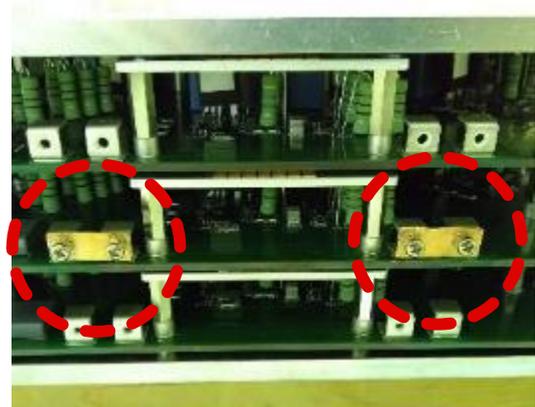


【主回路基板】

# バイパス回路の影響評価

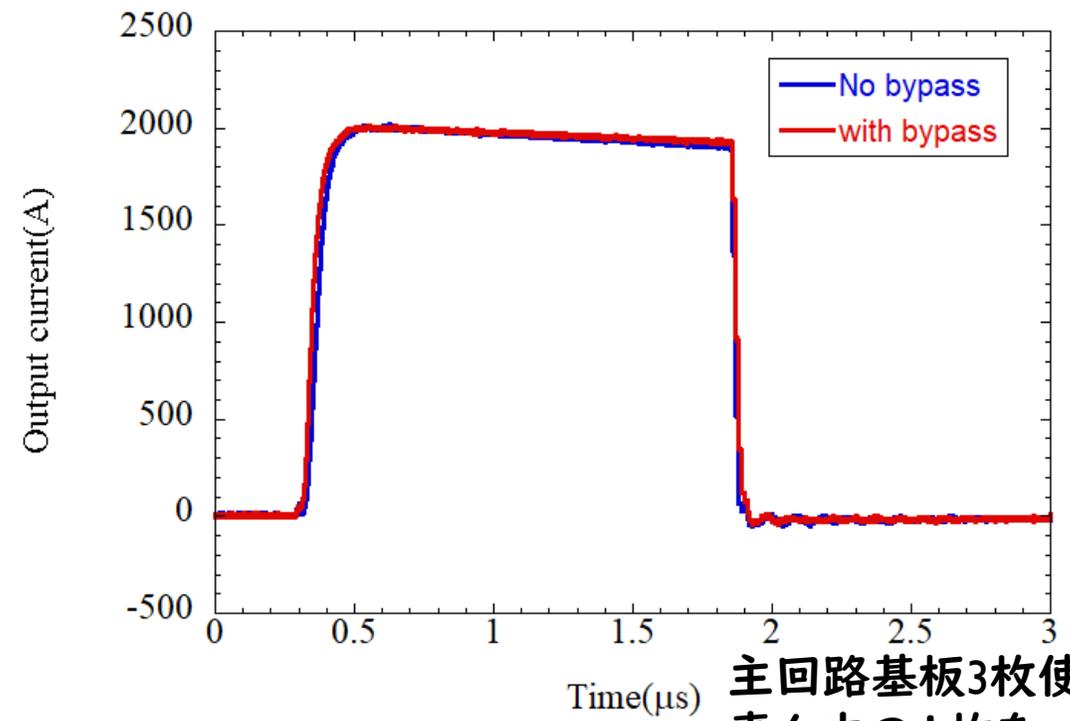


【バイパス無し】



※銅板をねじ止め

【バイパス有り】



- 出力波形にバイパス有り無しによる有意な差は見られない。
- バイパス回路(銅板)の温度上昇は $\Delta t = 6^{\circ}\text{C}$ (8時間通電後)

## まとめ

- 次世代半導体SiC-MOSFETを用いてキッカー電磁石用半導体スイッチ電源を開発。
- 電源ユニットとして、定格40kV/2kAの要求仕様を満足していることを確認。
- 実機同様に双子型電源を構成し、キッカー電磁石を用いた実負荷試験(20kV/2kA)を実施。
- 真空中のキッカー電磁石磁場を測定し、磁場波形を確認しながらの波形補正を実施。
- 回路基板故障時に分解・交換の時間を必要としないバイパス回路を追加し性能を確認。

➡ **新電源の開発要素において多くの知見を得た**

## 課題と展望

- 磁場波形のリングングの改善には、主回路・補正基板の特性を理解した調整が必要。
- ジッタ・ドリフトが小さい(5ns以下)制御回路を開発中。  
発表:FRP16『LTD用低ジッタートリガパルス発生器の開発』隅田博之氏(PPJ)発表
- 長期連続運転によるコロナ放電対策用絶縁碍子(中心導体部:40kV用)を開発中。  
→長期的(24時間以上)な連続運転試験ができるようになる。

省エネ電源の開発



設備の縮小

