

J-PARC・MR 主電磁石電源

~ 3m

~13m

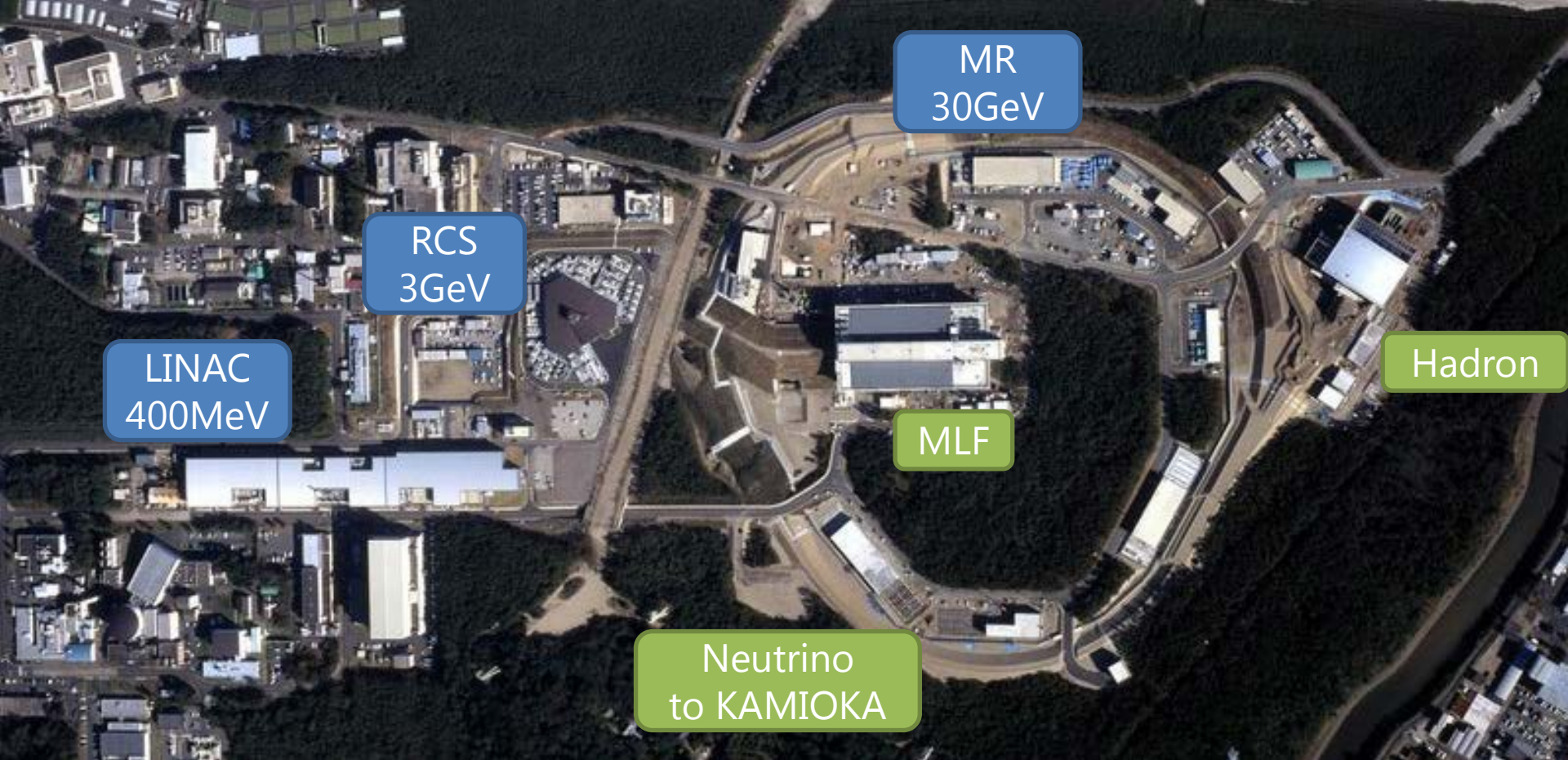
~2m

- J-PARCの電磁石と電源
- 主電磁石電源の運転パターン
- 現行の電磁石電源の主回路
- ビーム出力とそれを制限するもの
 - 電源性能
 - 受電への影響
- J-PARCサイトの受電系統

KEK 中村 衆

J-PARC電力補償作業部会 報告会

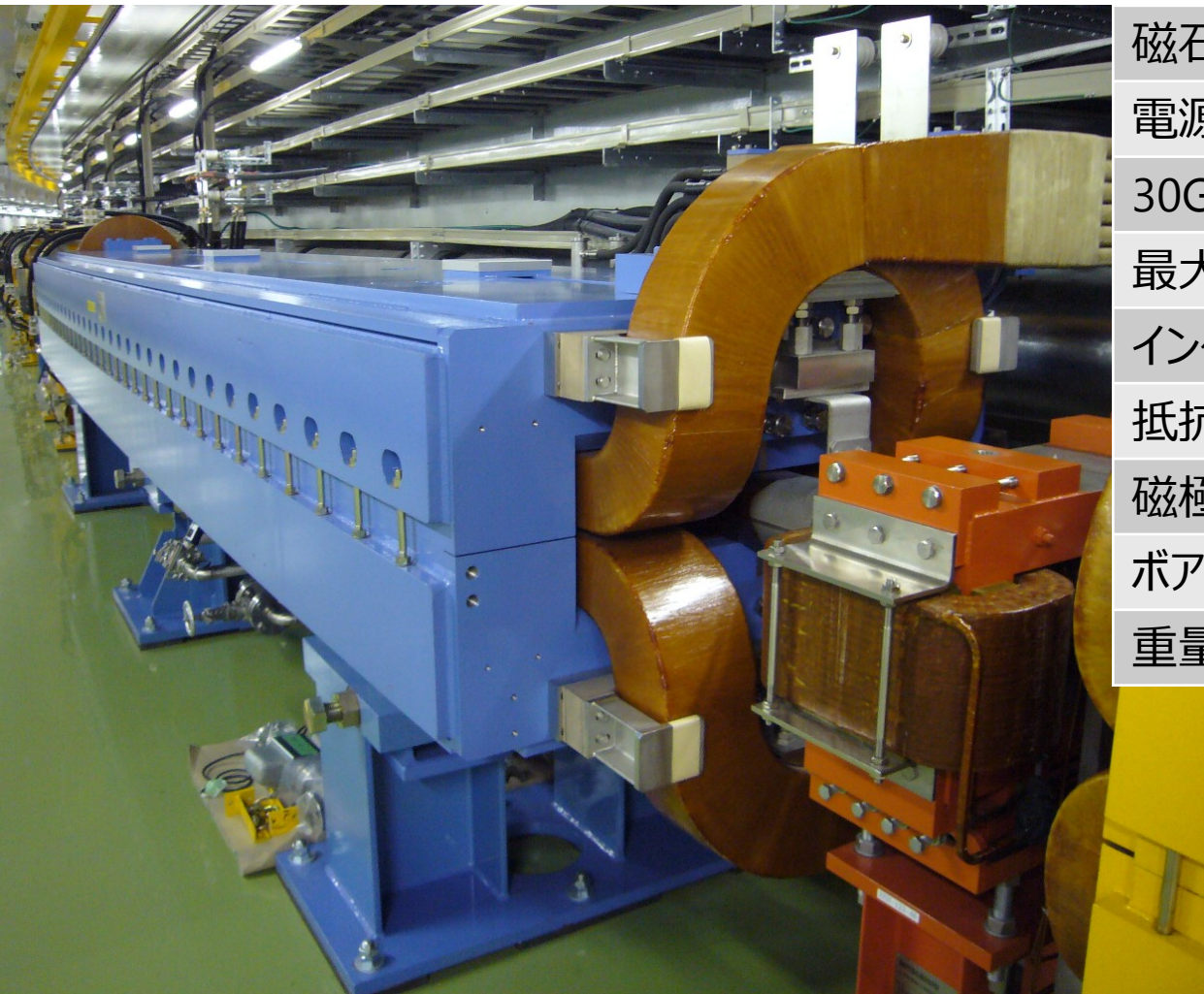
2014/5/1



J-PARC = 大強度ビーム加速器

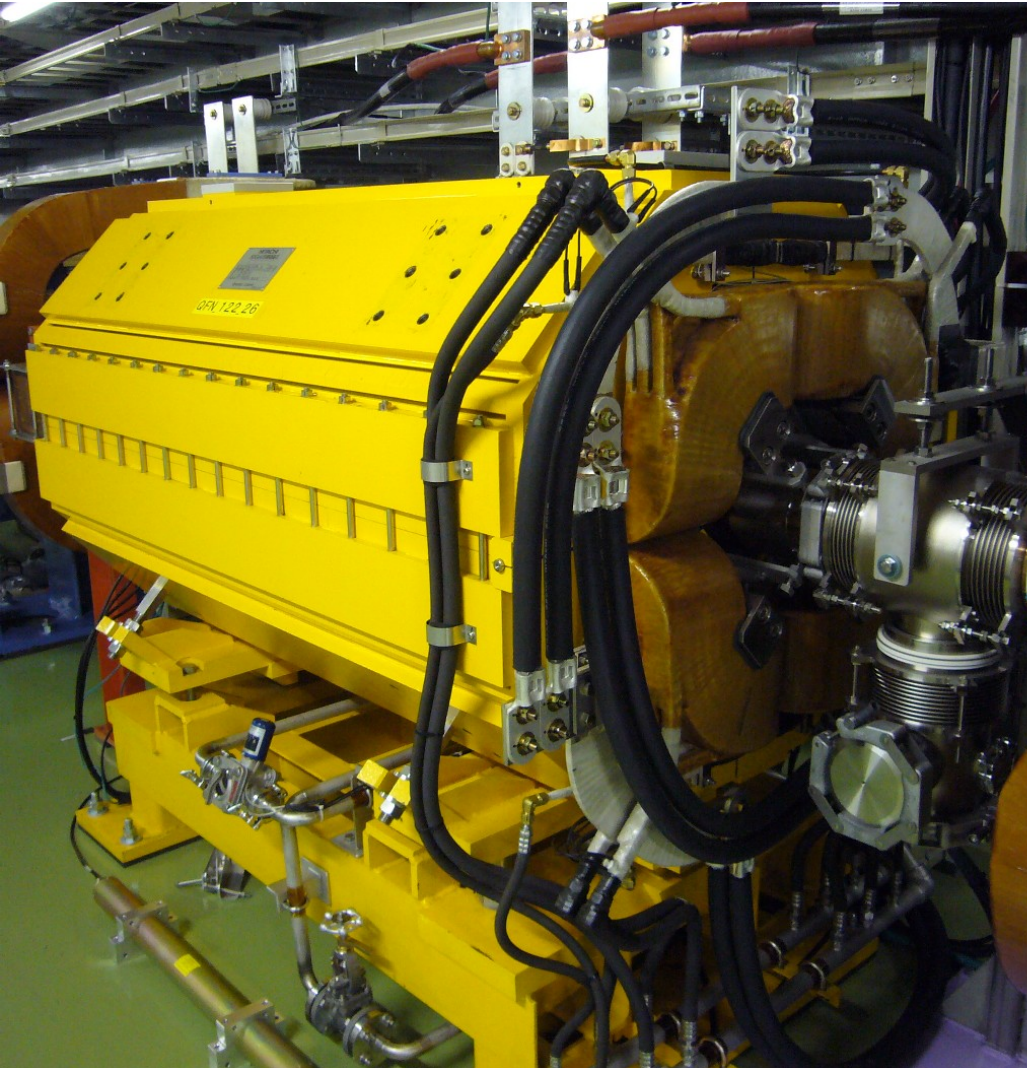
| | 取り出し方法 | 現在のビーム出力 | 目標ビーム出力 |
|--------|--------|----------|---------|
| T2K | 速い取り出し | ~220kW | 750kW |
| Hadron | 遅い取り出し | ~20kW | 100kW |

Bending Magnets



| | |
|------------|-----------|
| 磁石の数 | 96 |
| 電源の数 | 6 |
| 30GeVでの電流値 | 1600 A |
| 最大電力 | 7 MW/p.s. |
| インダクタンス | 105 mH |
| 抵抗値 | 47 mΩ |
| 磁極長 | 5.85 m |
| ボア径 | 106 mm |
| 重量 | 32,400 kg |

Quadrupole Magnets



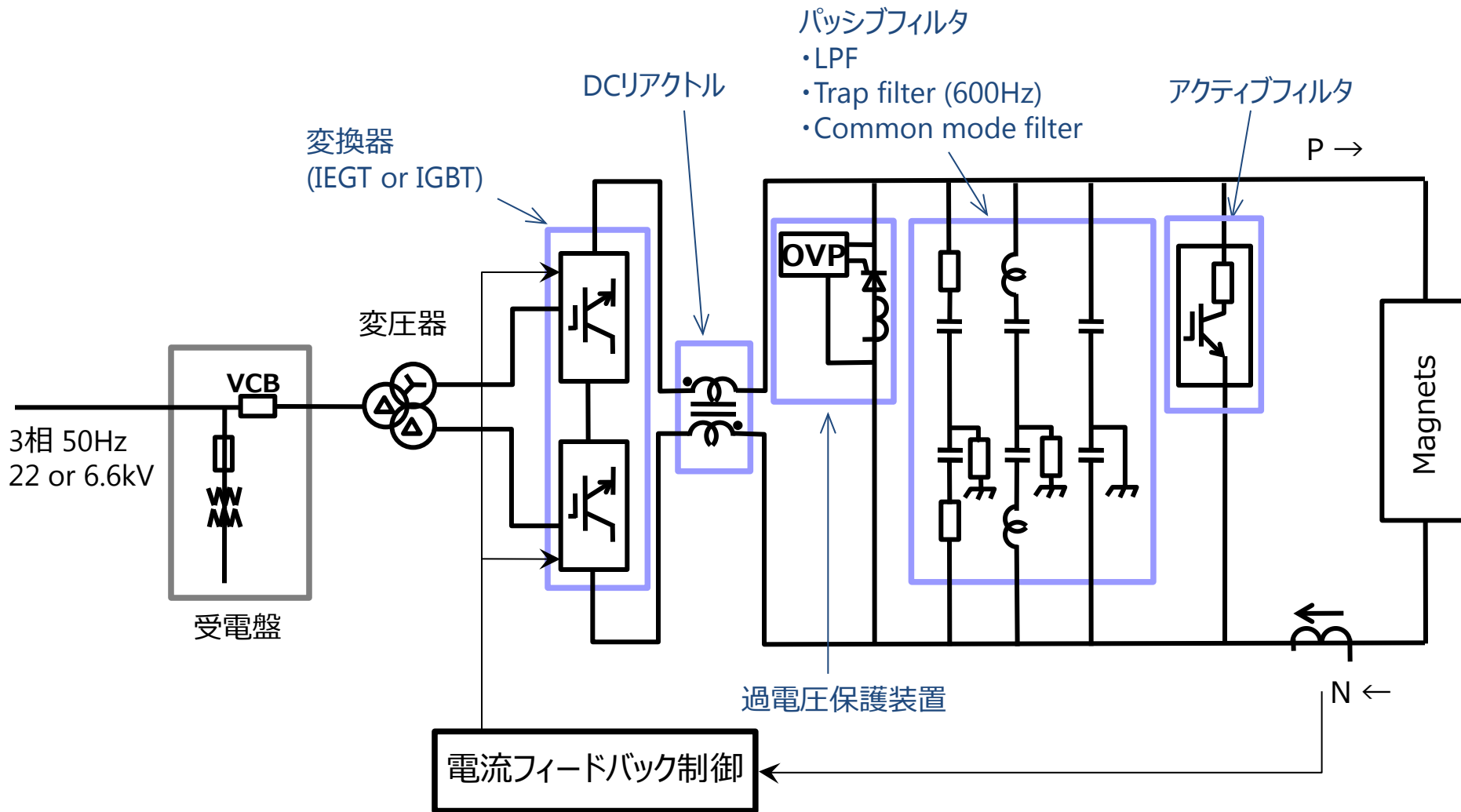
| | |
|------------|-----------------|
| 磁石の数 | 216 |
| 電源の数 | 11 |
| 30GeVでの電流値 | 600~900 A |
| 最大電力 | 0.3~3 MW/p.s. |
| インダクタンス | 30~70 mH |
| 抵抗値 | 35~45 mΩ |
| 磁極長 | 0.86~1.86 m |
| ボア径 | 130~150 mm |
| 重量 | 5,900~11,500 kg |

Sextupole Magnets



| | |
|------------|-------------|
| 磁石の数 | 72 |
| 電源の数 | 3 |
| 30GeVでの電流値 | 170~280 A |
| 最大電力 | 0.1 MW/p.s. |
| インダクタンス | 17 mH |
| 抵抗値 | 42 mΩ |
| 磁極長 | 0.7 m |
| ボア径 | 136 mm |
| 重量 | 2,200 kg |

現行の電磁石電源主回路





~ 3m

~13m

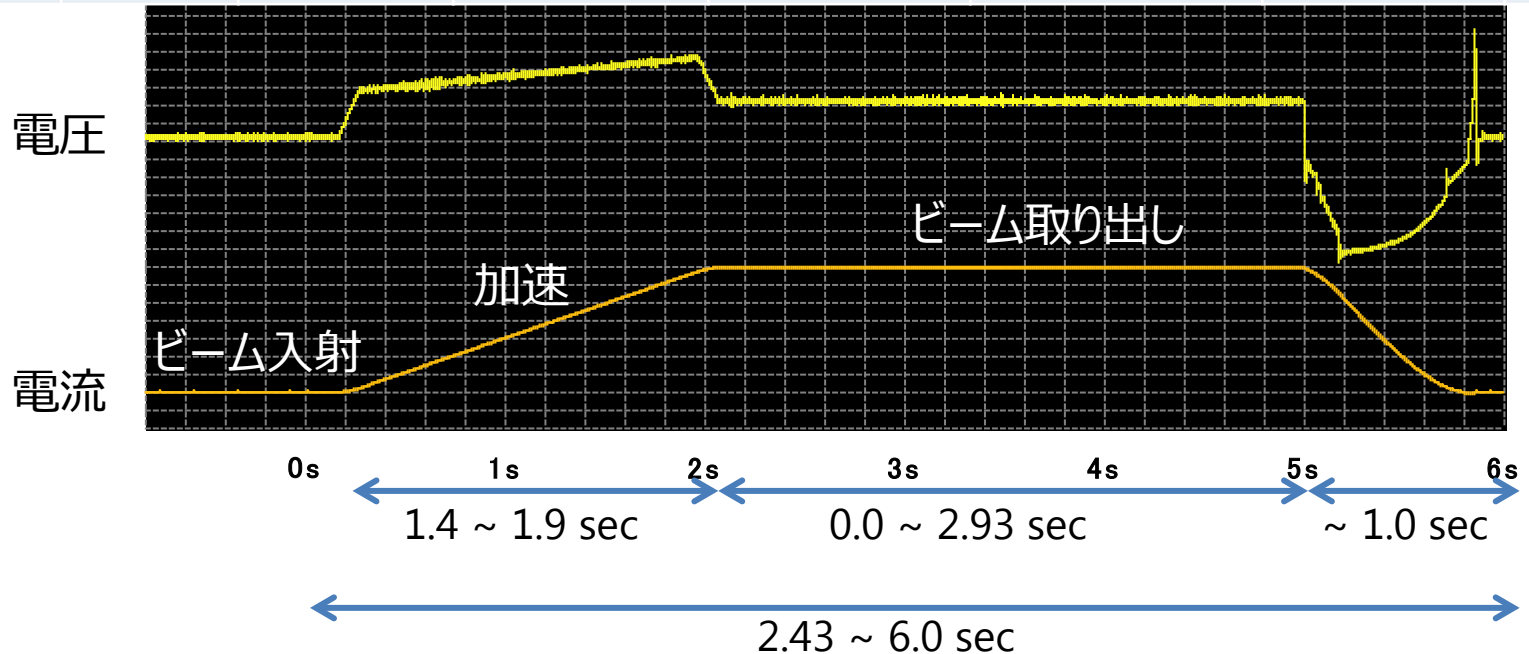
~2m

電磁石電源制御装置

BM4

電源の種類と運転パターン

| PS | #. of ps | I _{max} (A) | V _{max} (V) | Peak Power (MW) | #. of mag / ps | Inductance (H) | Resistance (Ω) |
|--------|----------|----------------------|----------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| BM | 6 | 1600 | 4200 | 6.7 | 16 | 1.7 | 0.75 |
| Arc-QM | 4 | ~ 700 | 2100 ~ 4200 | 1.5 ~ 3.0 | 27 or 48 | 1.7 ~ 3.4 | 1.1 ~ 2.2 |
| Ins-QM | 7 | 600 ~ 900 | 400 ~ 800 | 0.3 ~ 0.7 | 6 or 9 | 0.2 ~ 1.7 | 0.2 ~ 0.4 |
| SM | 3 | 170 ~ 280 | 300 ~ 400 | 0.1 | 24 | 0.4 | 1.2 |



$$[\text{粒子数}] \times [\text{エネルギー}] \times [\text{取り出し周期}] = [\text{ビーム出力}]$$

粒子数 : RCSからMRへのビームライン(3-50BT)やMRにおけるビームロスで制限される。

エネルギー : エネルギーを上げると、それにほぼ比例して取り出し周期が延びるため、ビーム出力は変わらない。

取り出し周期 : 電源性能と受電システムへの影響で制限される。

ビーム出力を制限している主な要因

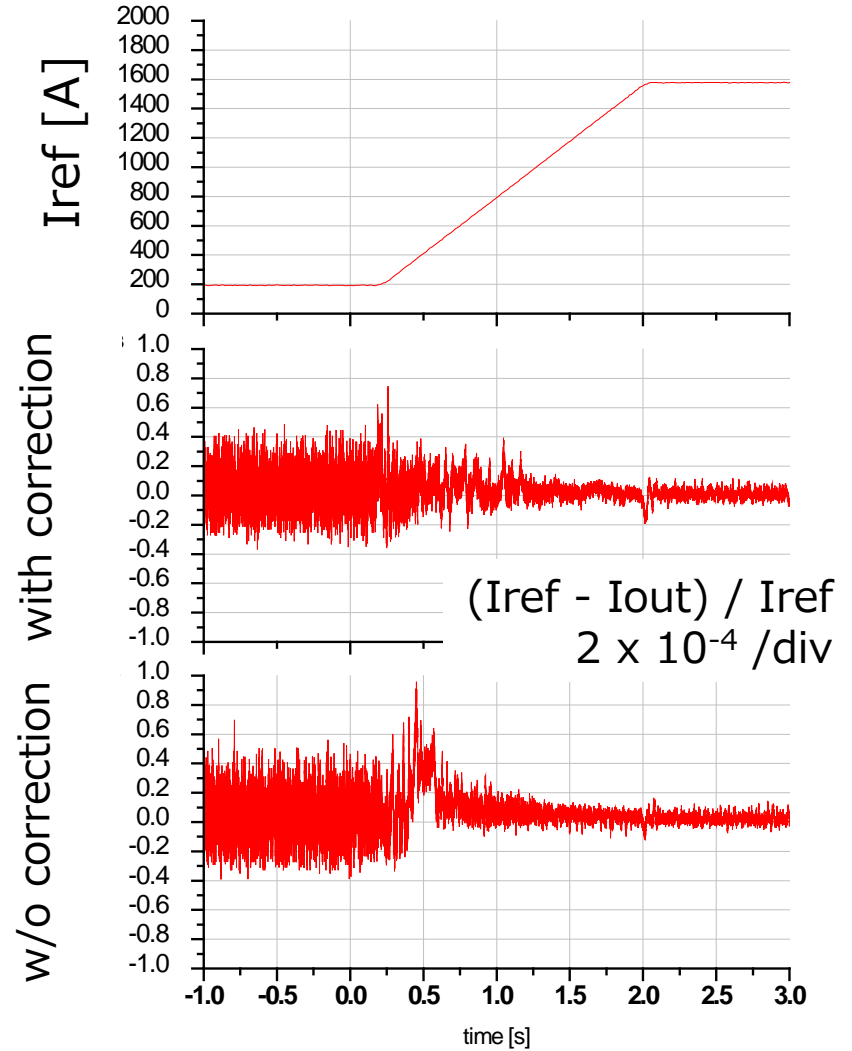
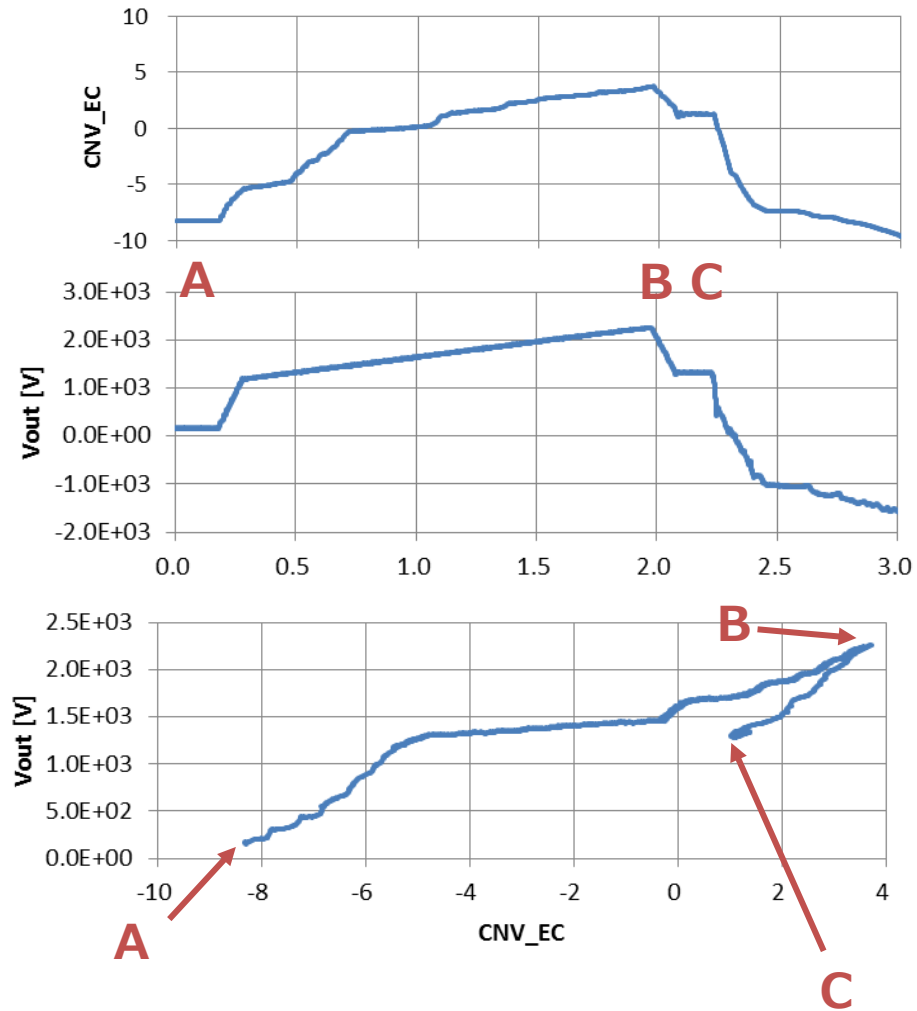
- T2K(速い取り出し)
 - 3-50BTとMRでのビームロス
 - 取り出し周期
- Hadron(遅い取り出し)
 - MRでのビームロス



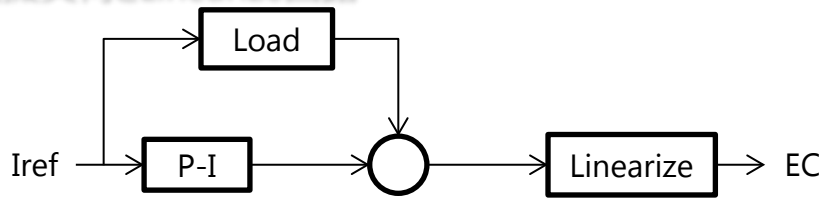
現行電源の改修による改善はほぼ限界
新しい電源への置き換えが必要

電源性能の限界

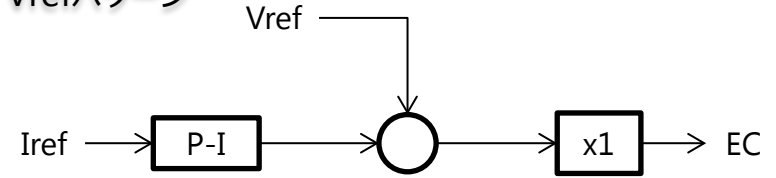
加速時間の短縮



模擬負荷とLinearize回路



Vrefパターン



Iref : 外部入力からの電流指令値
 Load : 比例ゲインと進み遅れによる模擬負荷
 Vref : 外部入力からの任意波形

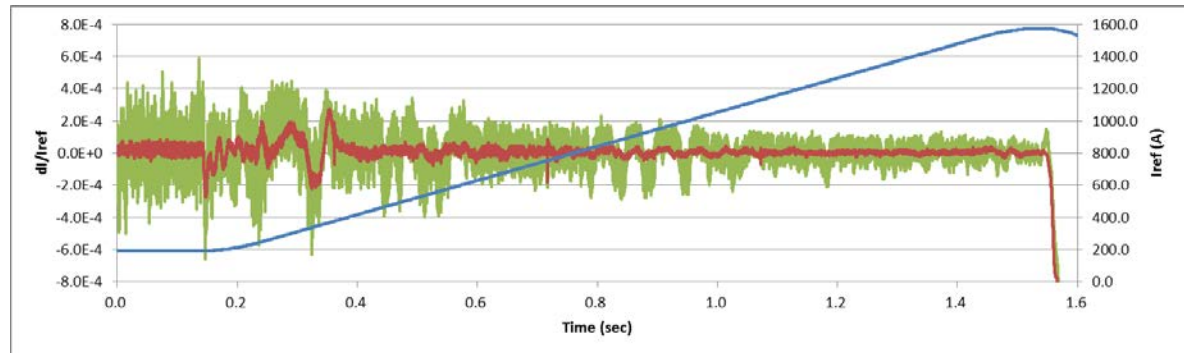
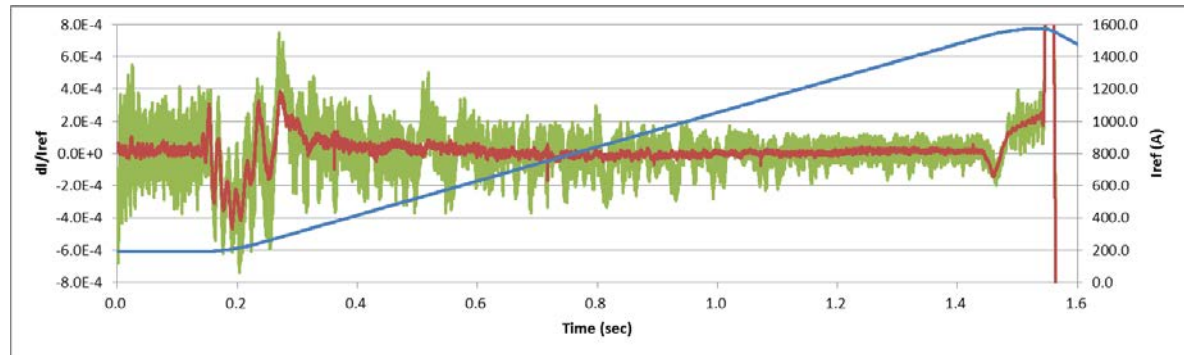
P-I : 比例積分制御
 Linearize : 変換器の非線形ゲイン補正
 EC : 変換器制御量

模擬負荷とLinearize回路

Linearize : ON
 Vrefパターン : OFF
 F.B. gain : 0.15



Vrefパターン
 3回のiteration後
 Linearize : OFF
 Vrefパターン : ON
 F.B. gain : 0.3



電源性能の限界

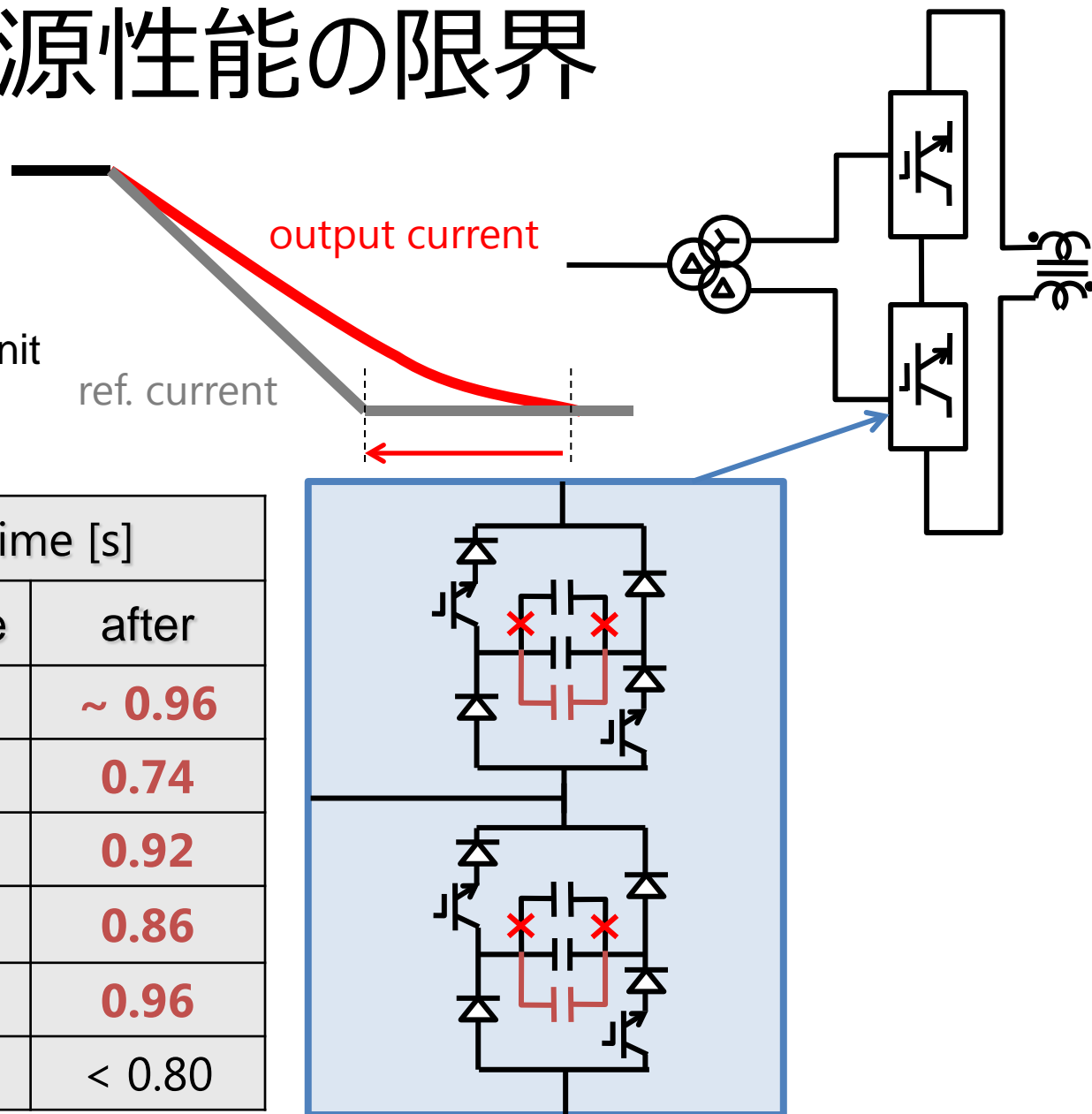
立ち下げ時間の短縮

Number of Capacitor / unit

QM : 2 → 1

BM : 3 → 2

| Magnet family | time [s] | |
|---------------|----------|--------|
| | before | after |
| BM | 1.2 | ~ 0.96 |
| QFX | 1.5 | 0.74 |
| QDX | 1.7 | 0.92 |
| QFN | 1.7 | 0.86 |
| QDN | 1.6 | 0.96 |
| others | | < 0.80 |

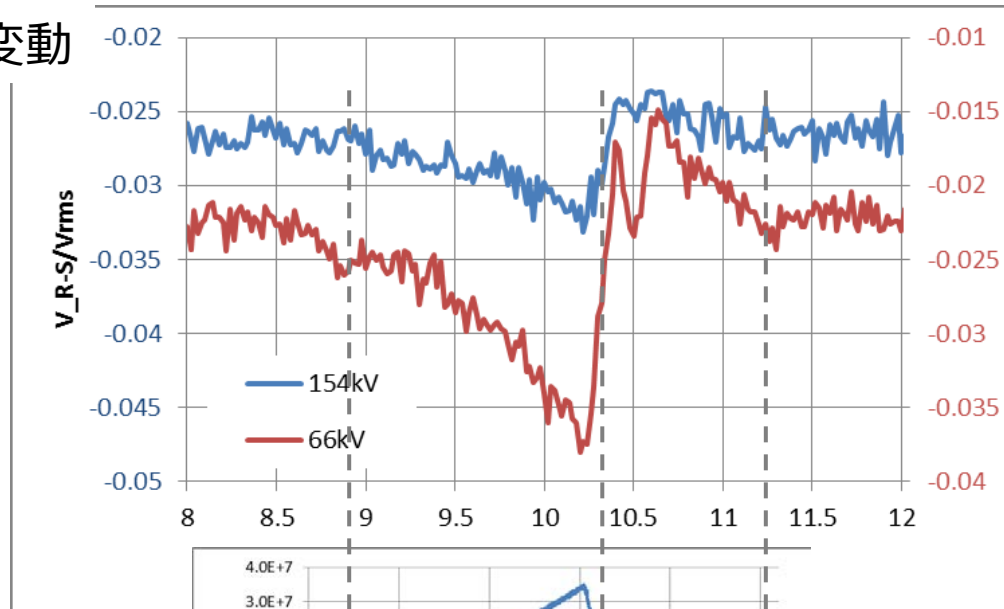


電源性能の限界

- 加速時間
 - 加速時の追従性
 - 電圧パターンの導入
 - 最大出力電圧の制限
 - 電源受電電圧の変更(トランスタップ切替)
 - 変換器内スナバコンデンサ容量減少による制限
- 立ち下げ時間
 - 変換器内のスナバコンデンサ容量による制限
 - 受電電圧とのトレードオフ
 - OVP(過電圧保護装置)動作による制限
 - 保護装置とのトレードオフ

受電系統への影響による制限

電圧変動



2.56 sec Cycle

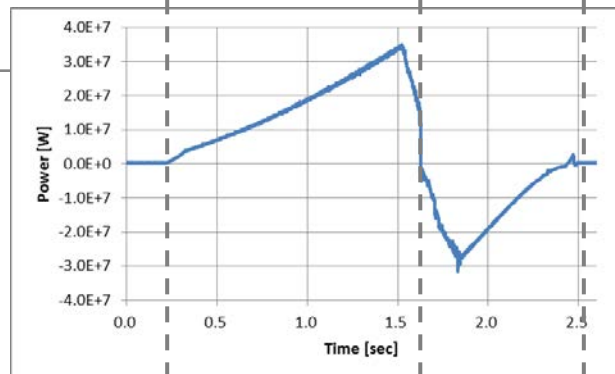
FB : 220ms

Rise : 1400ms

FT : 0ms

Fall : 940ms

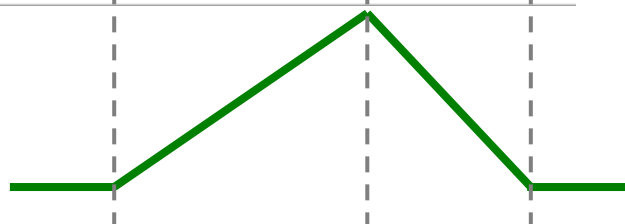
電力変動



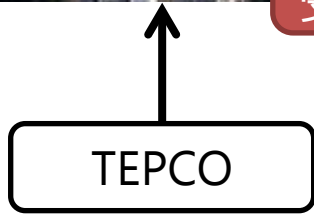
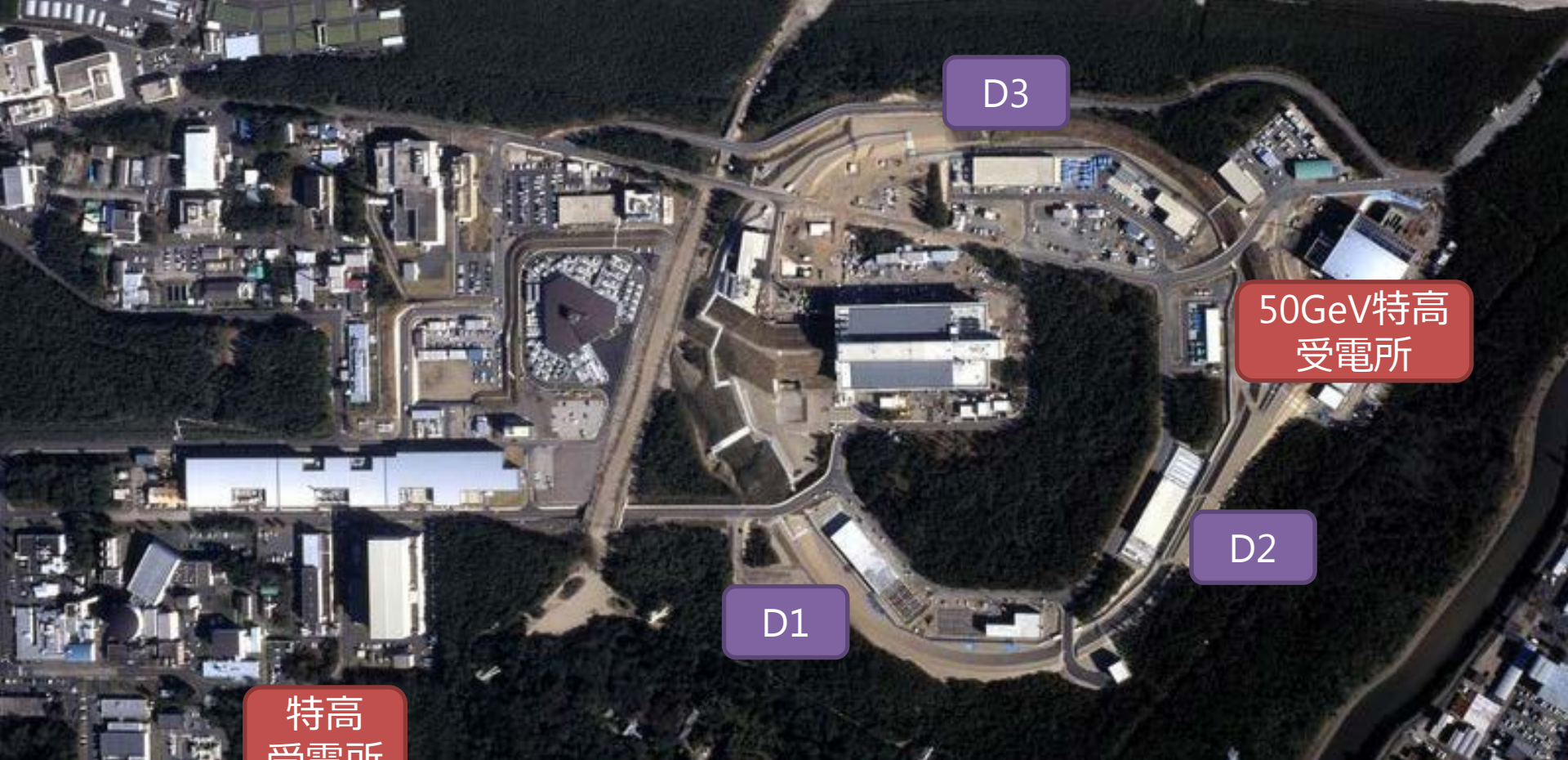
東京電力との約束

- 154kVでの電圧変動が**±1%**以下
- 電力変動が100MW以下
- 40GeV、1.9秒加速でのdP/dtを越えない

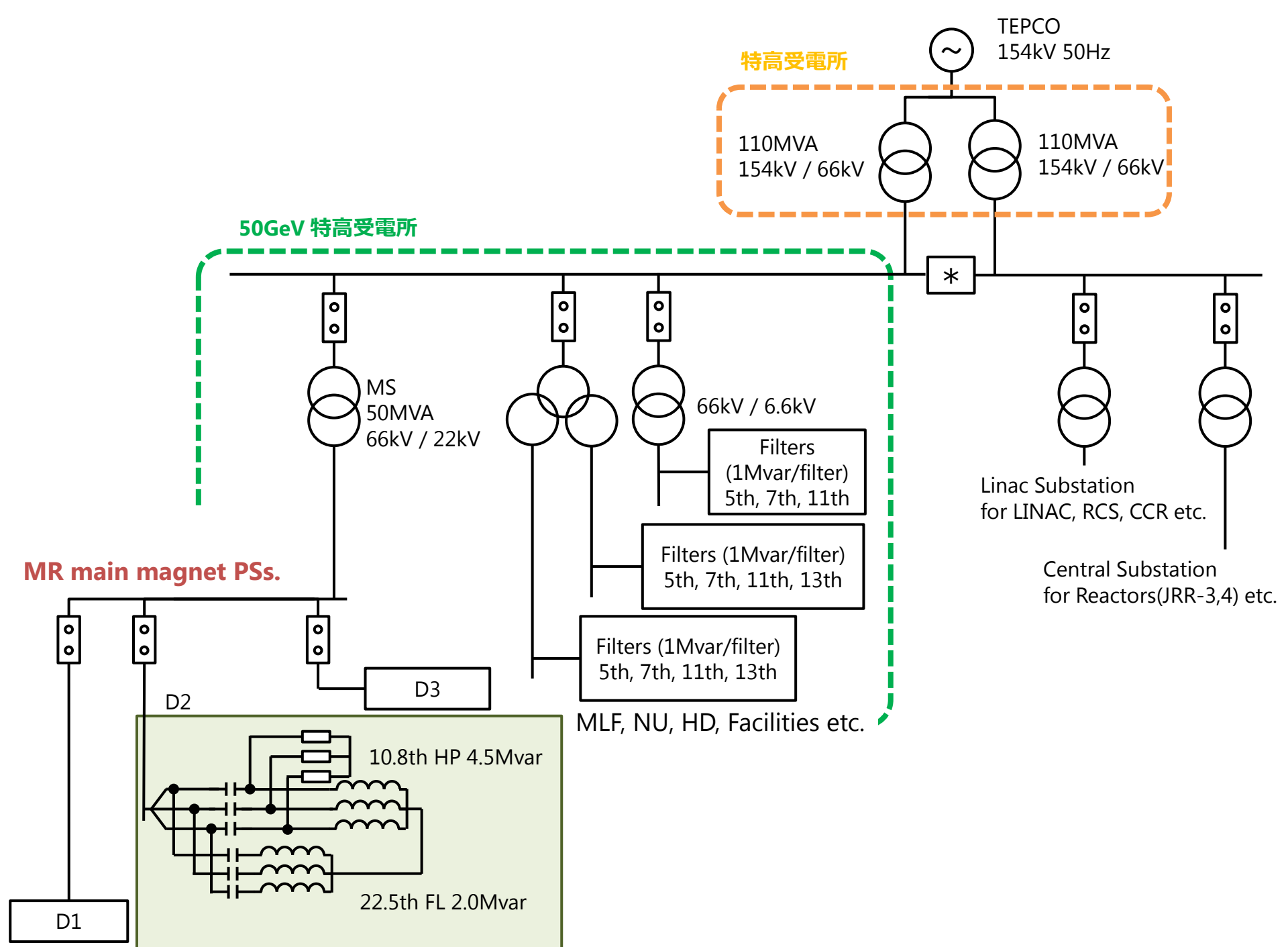
電源電流



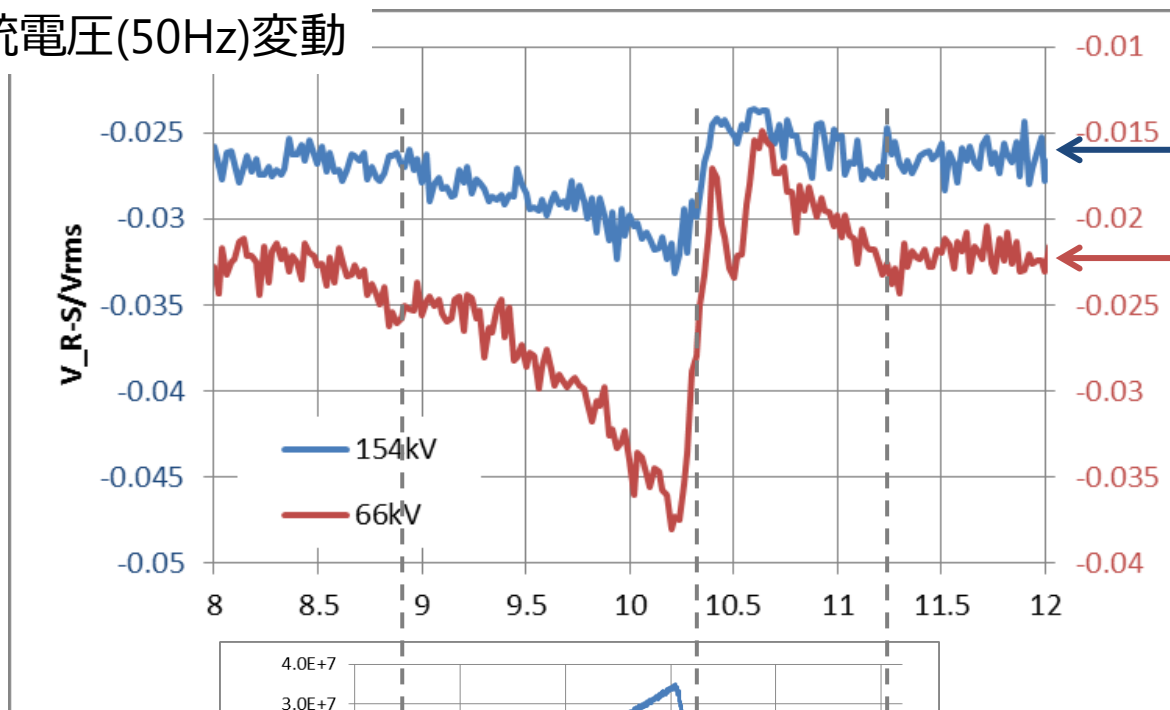
加速時間がそのままであれば
2.32秒周期まではOK



J-PARC MRの電源棟と受電施設



系統電圧(50Hz)変動

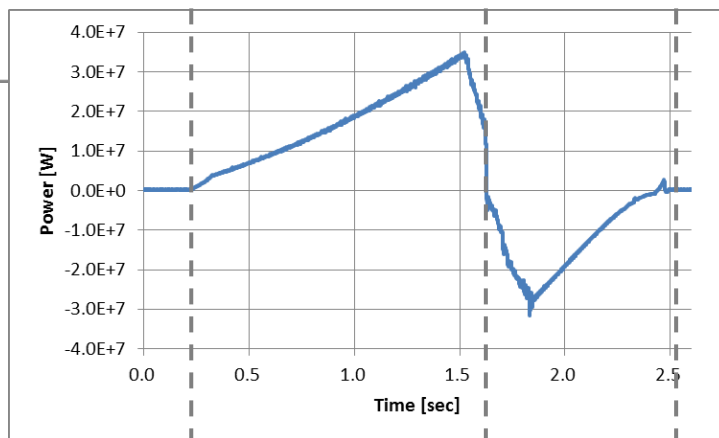


← 154kV系統

← 66kV系統

1% < ±1%@154kV
だが、他の大口需要家で影
響が見えている。

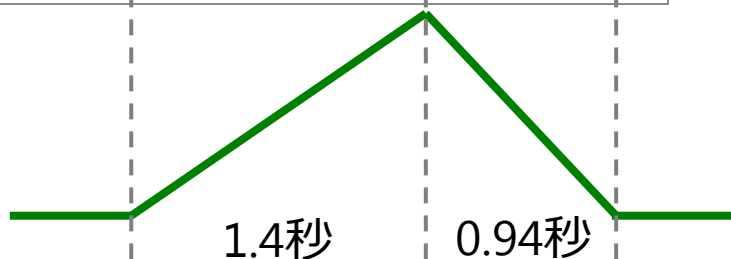
- ex.)
- 常磐共同火力
 - クリーンコールパワー研究所(勿来)
 - 日立臨海
 - 日立造船
 - 日本原電
- など



電力変動

67MW < 100MW
だが、加速時の dP/dt で制限される。
→制限を外すには新たな運転パターン
での影響調査が必要

電源電流



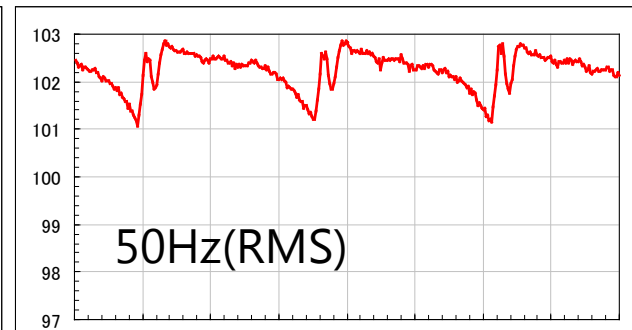
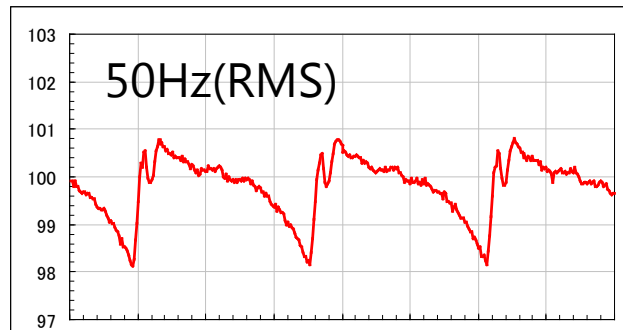
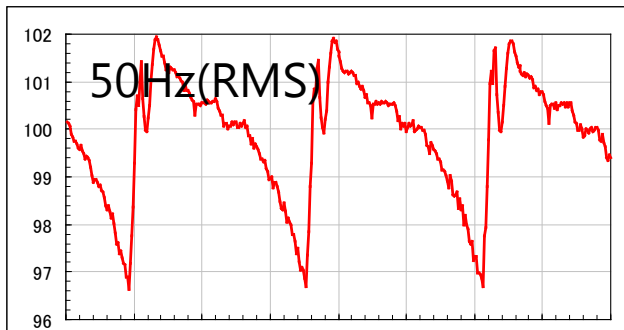
J-PARCの建設当時と状況が変わっ
ているので、新たな検討が必要と
なっている。

各系統での電圧変動と高調波

MS22kV

66kV

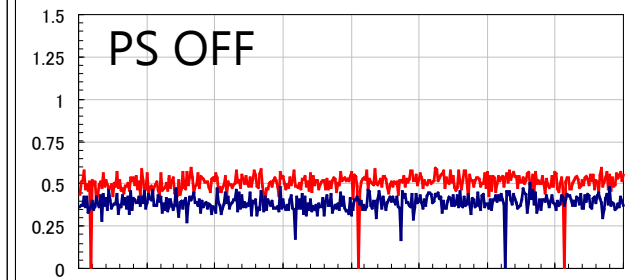
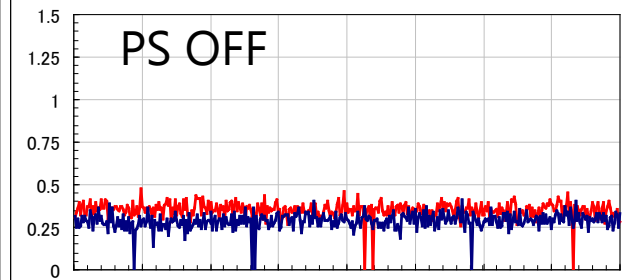
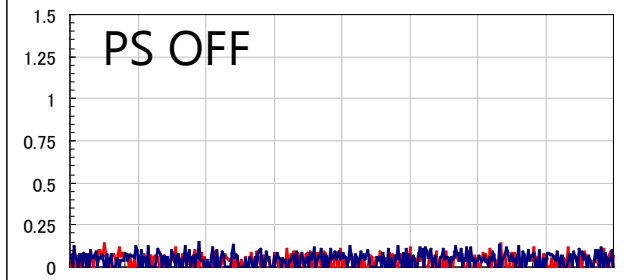
S6.6kV



— 23次 — 25次

— 23次 — 25次

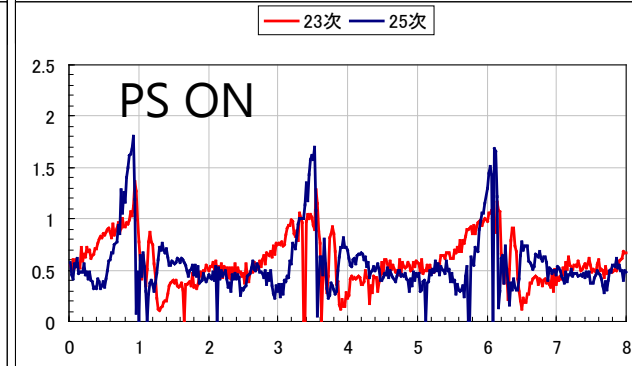
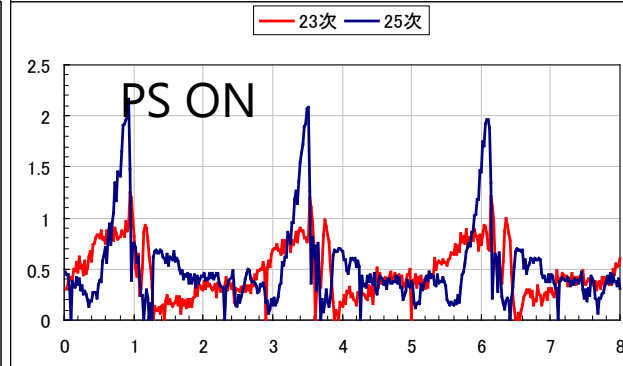
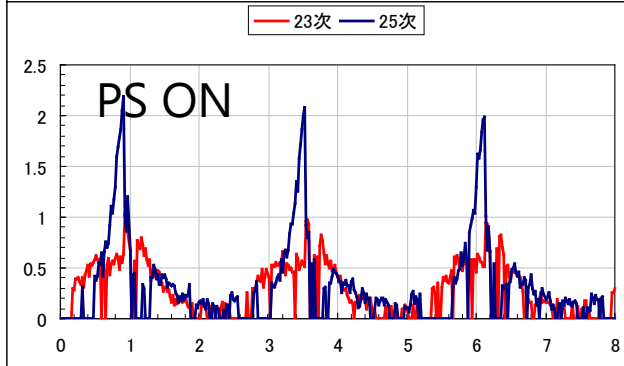
— 23次 — 25次



— 23次 — 25次

— 23次 — 25次

— 23次 — 25次



まとめ

- J-PARCは大強度ビーム加速器として、**世界最大のビーム出力**を達成するとともに、そのビームを各実験施設へ**安定的に供給**しなくてはならない。
- ビーム出力を制限する要素は大きく3つあり、そのうちの**[取り出し周期]**を短縮することでT2Kへのビーム出力を増強する予定である。
- **[取り出し周期]**は電源性能と受電系統への影響によって制限されている。
- **現行の電源では、目標ビーム出力を達成することはできない。**
 - 現時点で定格出力電圧や主回路の回路形式が許すギリギリの調整を行っている。
 - 受電系統と負荷の間で直接、エネルギーのやりとりを行うため、受電系統への影響が大きい。
- **新電源システムへの置き換え**は必須（全部にせよ、一部にせよ）
- 新電源システムには**出力電流の性能向上**とともに、**受電系統への影響軽減**が求められる。