

J-PARC・MRの現状と今後

KEK 加速器研究施設 内藤富士雄

内容：

- 電源レビューの背景
 - ビームパワー増強の方針
 - MRの現状と課題
- 次期5カ年計画
- 開発中の電源
- レビューの目的

J-PARC : Join project between KEK&JAEA

Linac

RCS

Neutrino beams to SK

MLF (Material and Life science experimental Facility)

MR

Hadron experimental hall

- JFY 2006 / 2007**
- JFY 2008**
- JFY 2009**

Bird's eye photo in Jan. 2008

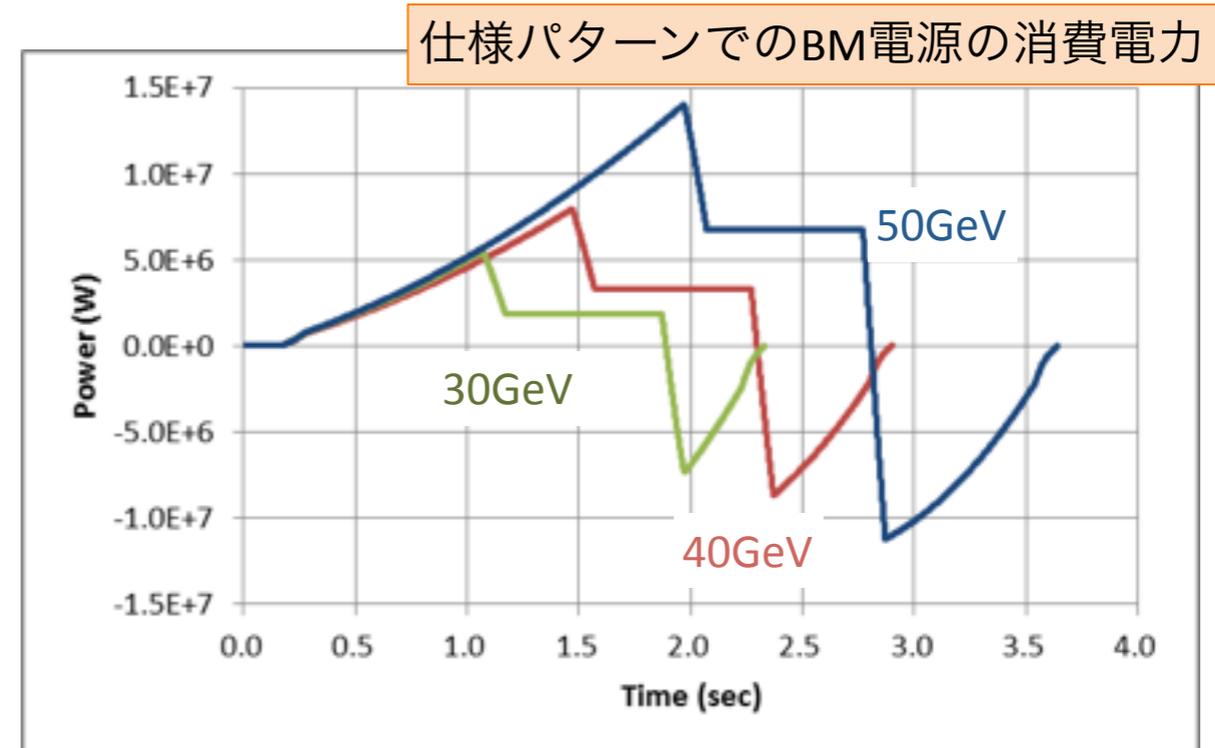
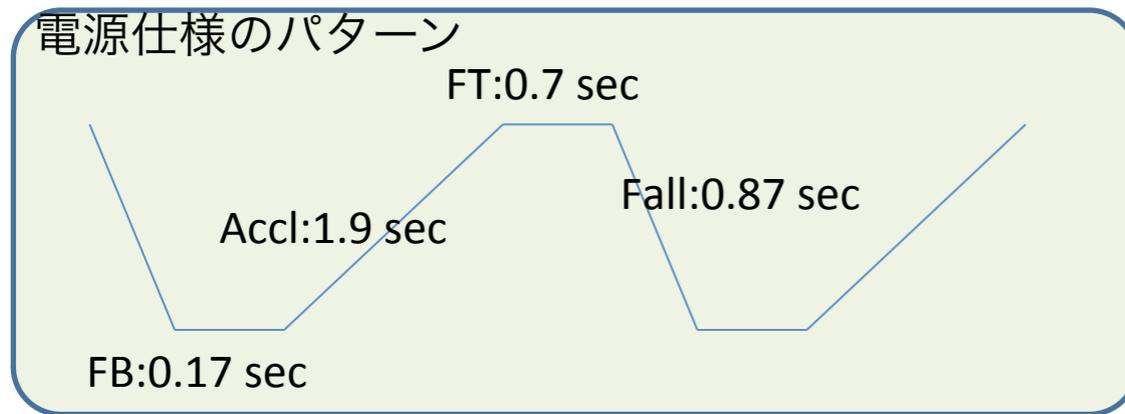
電源レビューの背景：MRの50 GeV運転と高繰り返し運転

中間評価報告書(平成19年6月)の指摘事項

フライホイール:50 GeVシンクロトロンの運転状況を見ながら適切な時期に再度レビューを行い判断することが必要

フライホイールの導入によるMRの50 GeV運転:

- ・**現行の主電磁石電源システム**の大幅な改造(電源受電トランスの全交換や電源本体の大容量化)により **50 GeV 相当まで1.9秒で加速**する。
- ・運転にともなって大きな電力変動を生じるが**フライホールを設置**することにより電圧変動の1次側への影響を抑えるとともに、効率的な電力利用を行う。



現行電源を50 GeV仕様に改造した場合の、主電磁石の消費電力とビームパワーの関係

「1.9秒加速・50 GeV」と「1.2秒加速・30 GeV」の比較
(両者の加速勾配、減速勾配は同じとして計算)

設定	30GeVと50 GeVの比率	
	消費電力	ビームパワー
50GeV	3.7 3.3	0.9 1.3
30GeV	1	1

30 GeV FXでの消費電力の実績は1.9秒加速、FT0.15秒で10.3 MW。

ビームパワーは「出射エネルギー」と「1/サイクルの周期」の積に比例する。50 GeV運転は30 GeVと比較して消費電力が大幅に増えるが、周期が長くなるのでビームパワーとしてはあまり変わらない。現在、実験から求められているのはエネルギーよりもビームパワーであり、今後の進め方としては、**30 GeV/高繰り返し化**の方向が妥当と思われる。

J-PARC初期に検討された電力の安定化手法：

フライホイール と SMES

(SMES:Superconducting Magnetic Energy Storage)

佐藤皓氏等による 50GeV&3.6s 周期の場合の概算

(KEK ASN-484, May 30 2005)：

□ Flywheel : $¥4 \times 10^9$

□ SMES : $¥3.8 \sim 4.6$ or 6.5×10^9

→ 現行電源の改造も必要

本レビューの背景

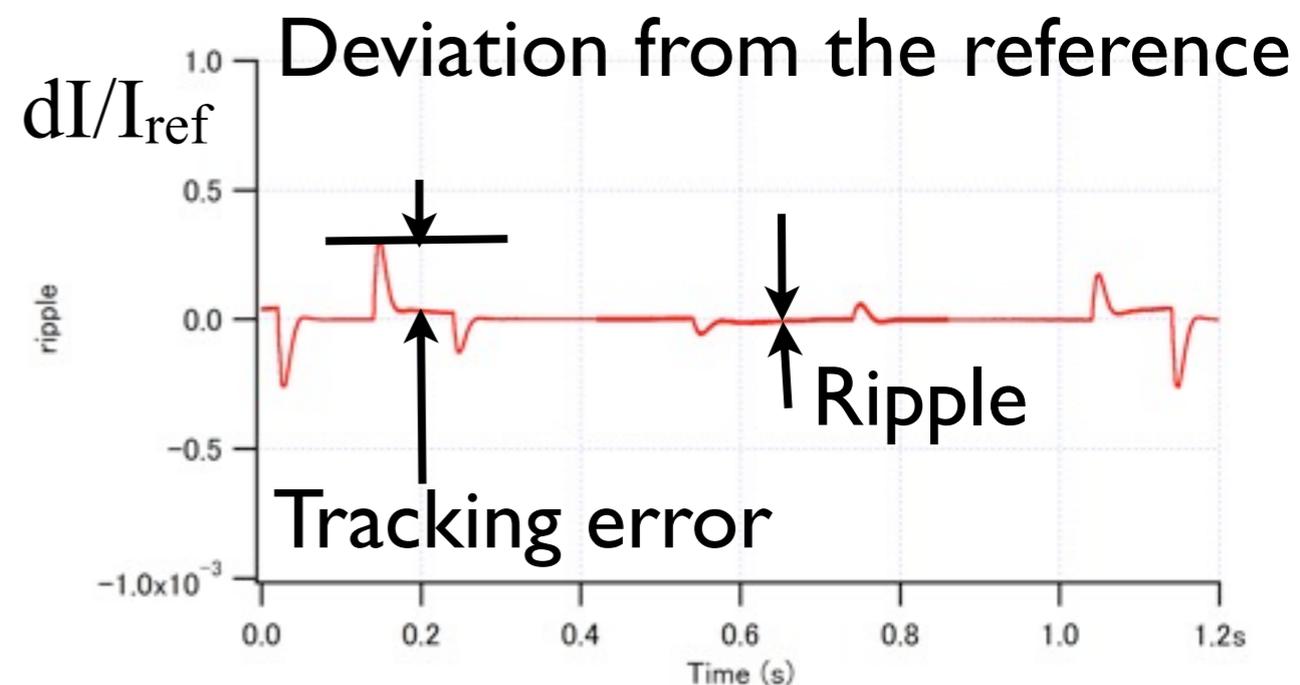
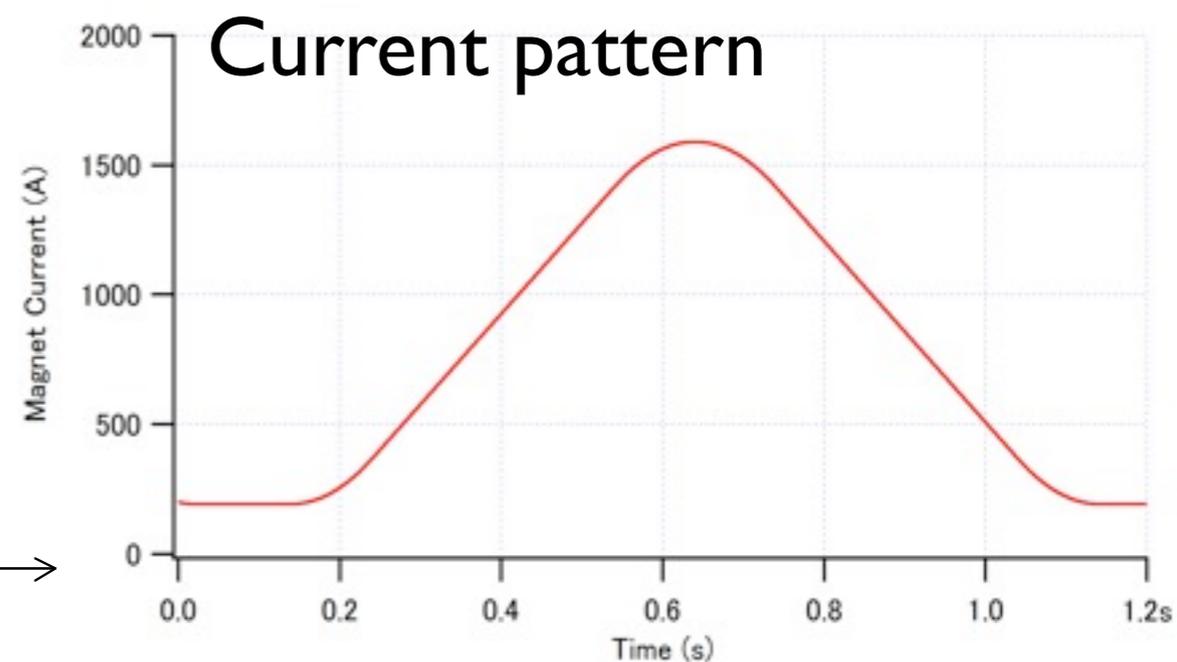
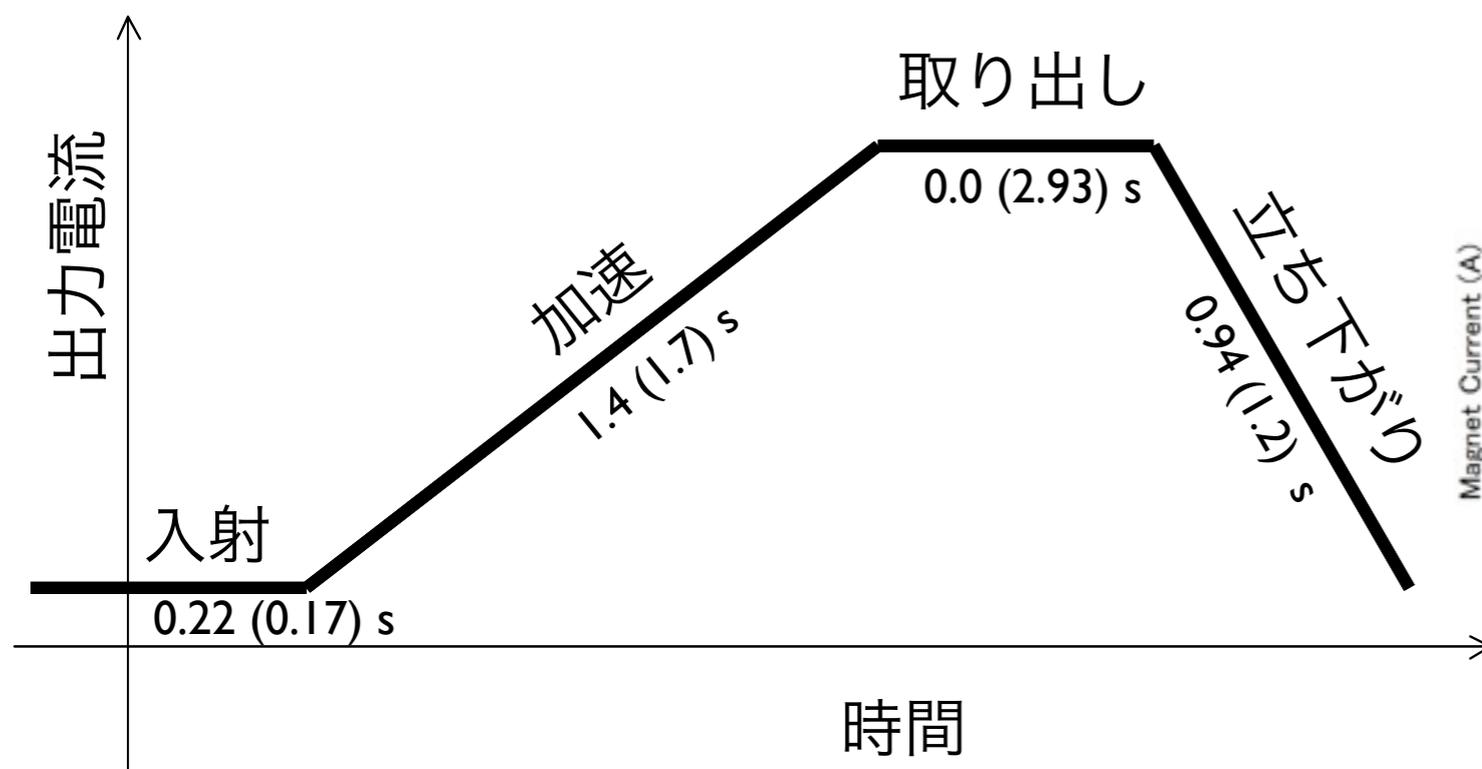
KEK Road Map 2013 / §3 5 力年研究戦略 / §3.1 J-PARC

加速器の高度化

J-PARCにおいて、3GeVシンクロトロン(RCS)、及びMRのビーム強度の増強は、今後5年間における最優先課題の一つである。RCS及びMRにおいて設計強度を実現するには、入射器であるリニアックの増強は必須であり、ビームエネルギーの181MeVから400MeVへの増強、ピーク電流の30mAから50mAへの増強を2013年度に実施する。その後は可能な限り早期に1メガワット(設計強度)のビームをRCから物質生命科学研究施設へ供給する。一方、MRにおける今後5年の目標は、T2K実験には速い取り出しにより750キロワット(設計強度)、ハドロン実験施設には遅い取り出しにより100キロワット以上のビームを供給することである。この目標を達成するために、高繰り返しと高い安定性を持つ電磁石電源を実現する。並行して、ニュートリノ実験施設及びハドロン実験施設における素粒子原子核実験の将来計画を遂行するために、J-PARC加速器のさらなる高度化を検討する。ニュートリノ実験についてはマルチメガワットビームの実現を目指し、ハドロン実験施設についてはビーム強度の増強はもとより利用時間の大幅な拡大も視野に入れて、加速器の次期計画を策定する。

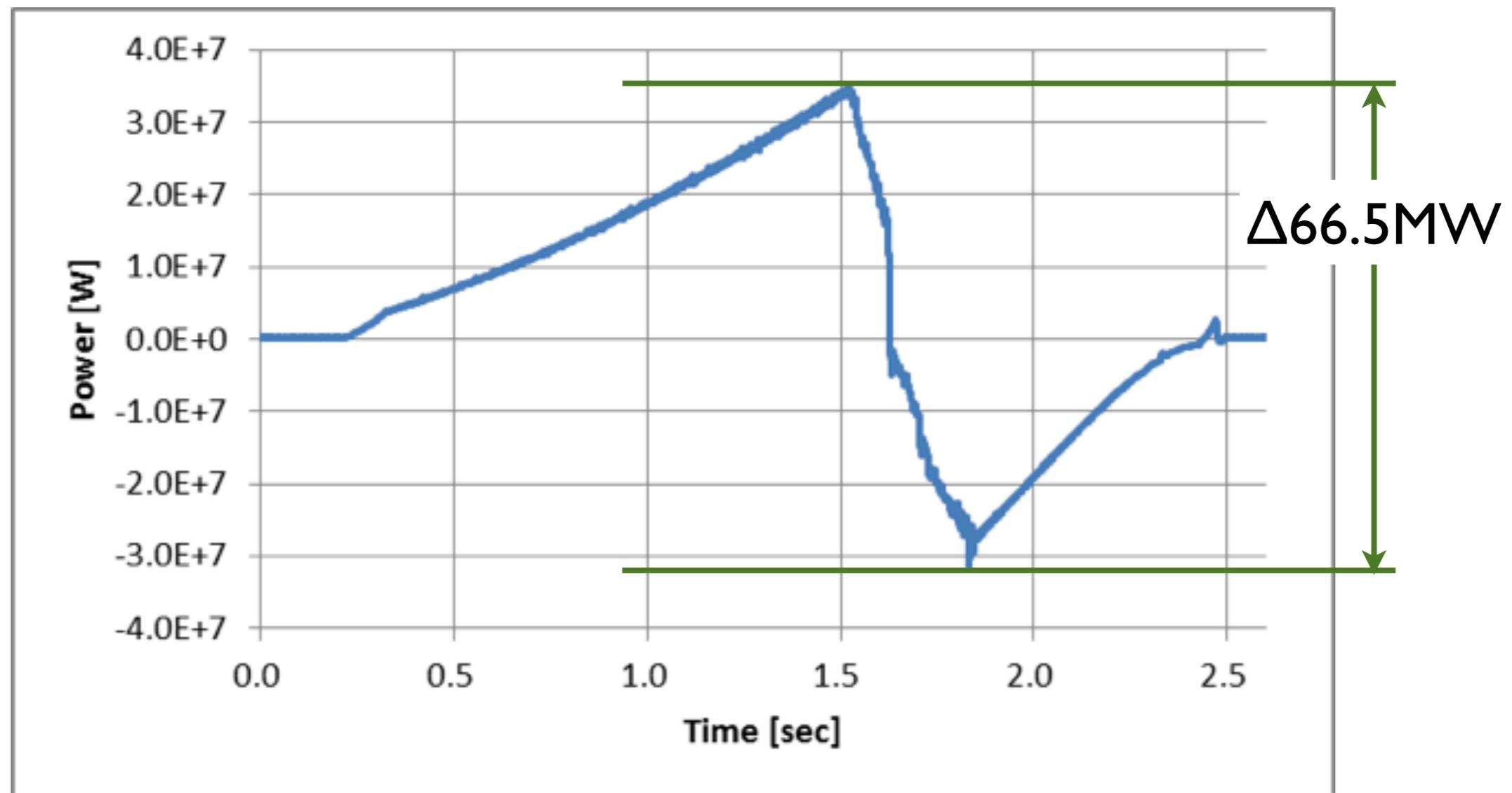
MRの現状と課題

運転パターン FX: 2.56 秒 (SX : 6.0 秒)



- 繰り返し : 2.56 sec \rightarrow \sim 1 sec
- Ripple: $\sim 10^{-4} \rightarrow \leq 2 \times 10^{-6}$
- Tracking error : $5 \sim 7 \times 10^{-4} \rightarrow \leq 1 \times 10^{-5}$

- 次期電源で考慮すべき他の課題:
 - 1次側の電力変動の抑制
 - 電力代の軽減
 - 電源価格の問題



現在（運転周期2.56秒）の電力変動（測定値）

Time structure of the SX beam

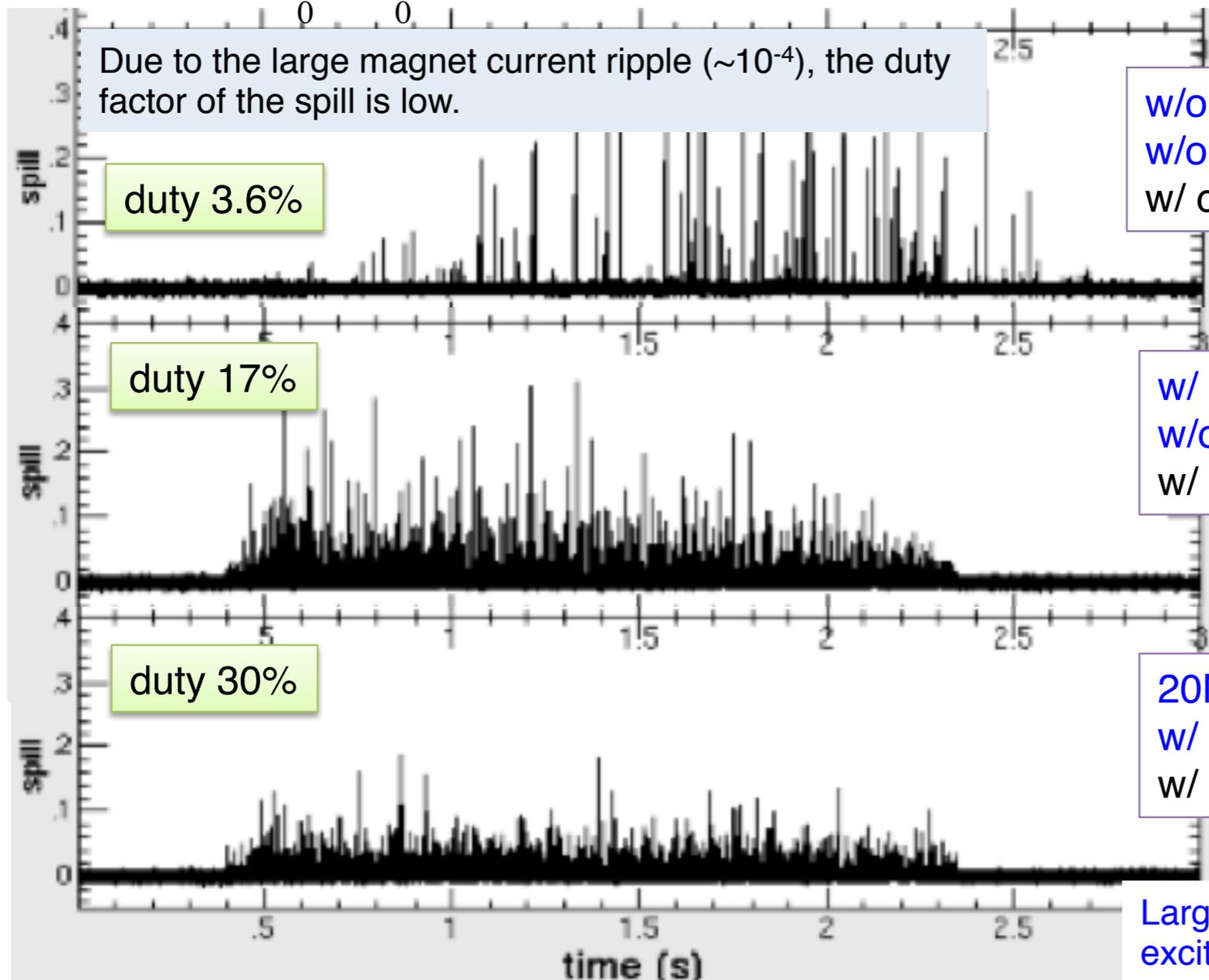
$$Duty = \frac{\left(\int_0^T I dt \right)^2}{\int_0^T dt \int_0^T I^2 dt}$$

I(t): PM signal sampled at 100KHz through 10KHz LPF
 t=0: spill start
 t=T: spill length



Duty 100 %

RUN in Nov. 2010



Due to the large magnet current ripple ($\sim 10^{-4}$), the duty factor of the spill is low.

duty 3.6%

duty 17%

duty 30%

w/o spill FB,
w/o TRF
w/ coil short

w/ spill FB,
w/o TRF
w/ coil short

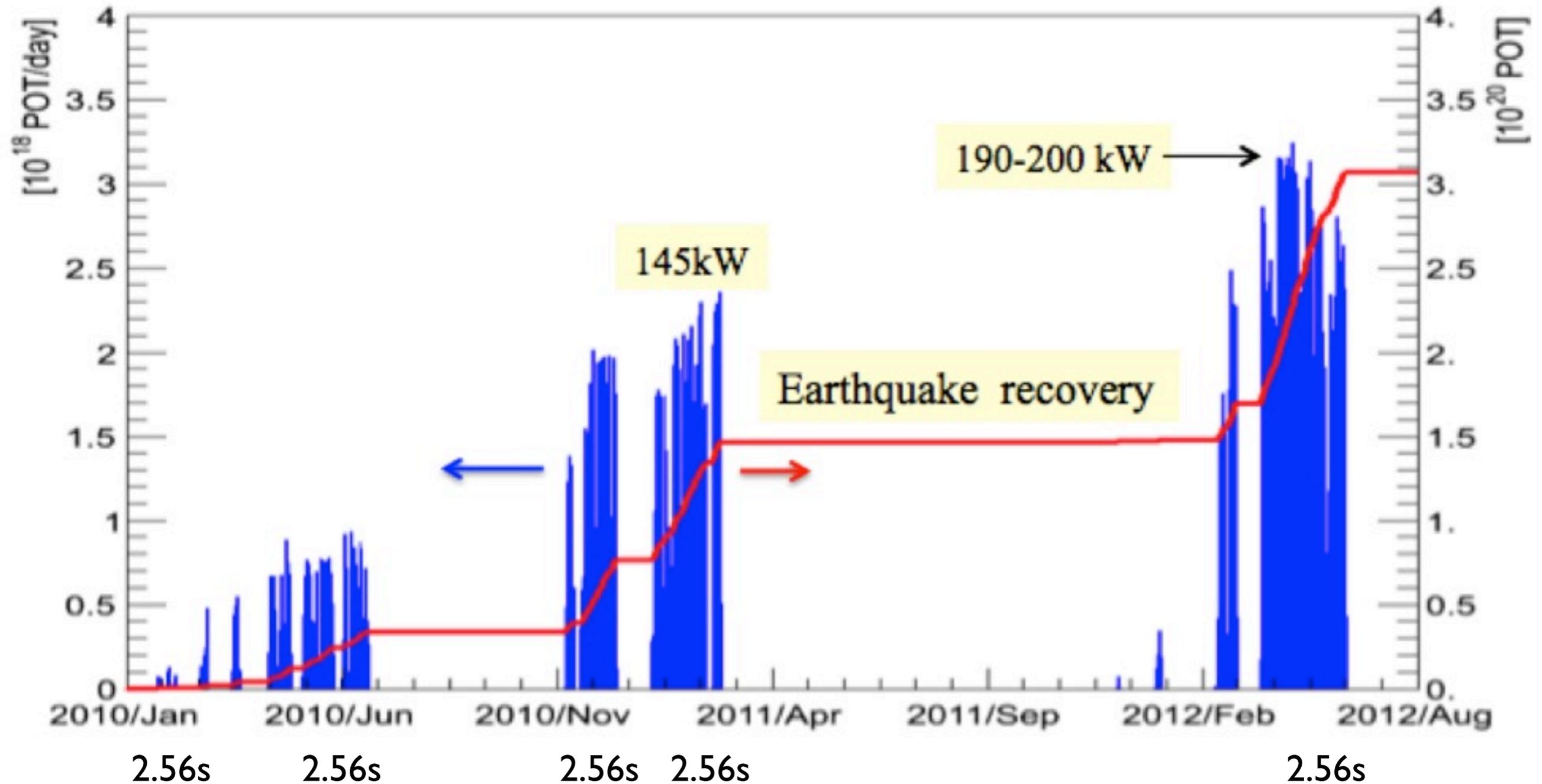
20MHz TRF ON, 5dBm,
w/ spill FB
w/ coil short



Large pressure rise occurred in the excitor due to the multipactoring

MR現状：速い取り出し(FX)：ビームパワー履歴

History of beam delivery from MR to the T2K experiment



J-PARC 次期5力年計画

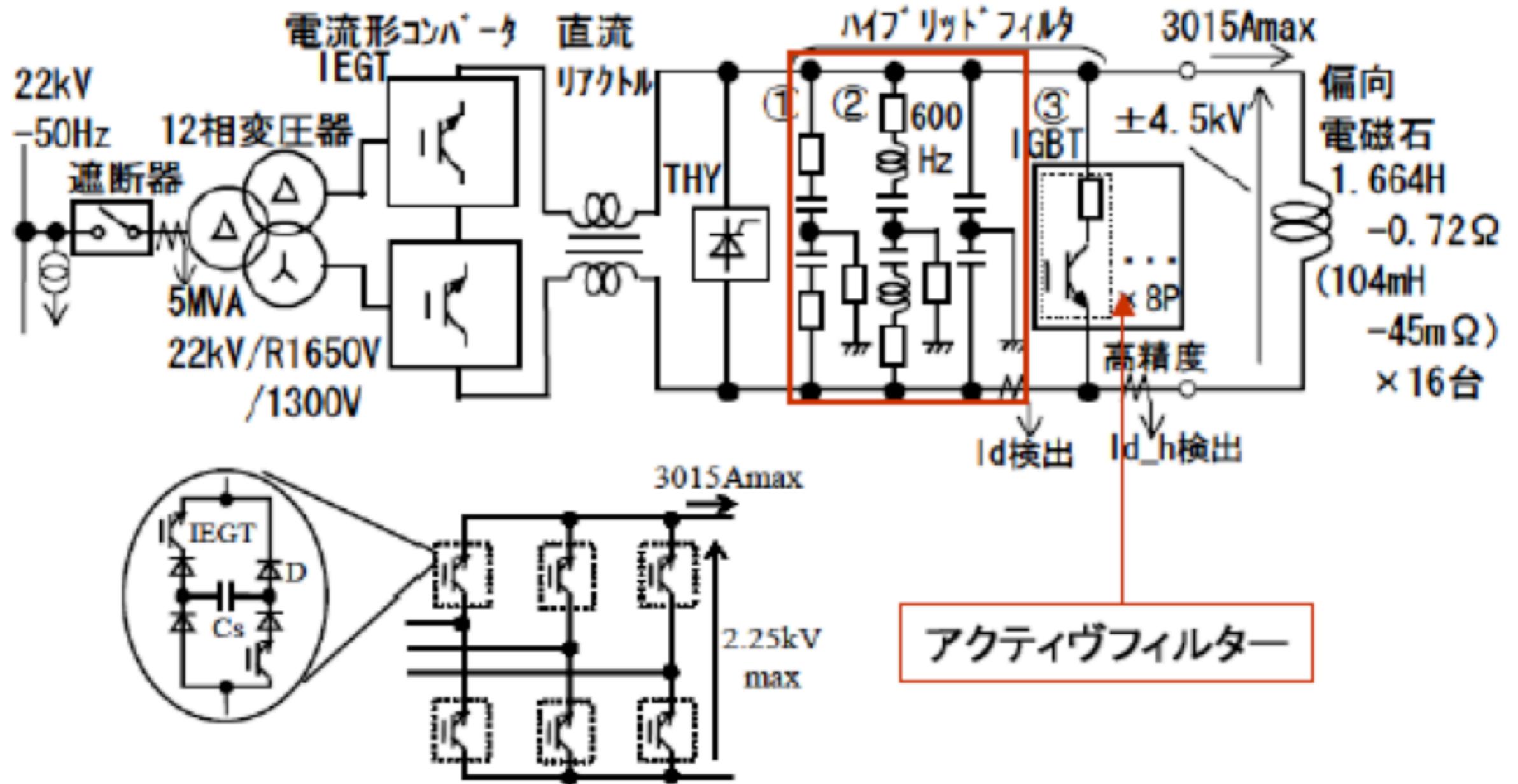
JFY	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Events			Next 5 years plan (Budgetary request)				
Linac				400MeV Beam energy upgrade (ACS) 50mA Beam current upgrade (IS,RFQ)			
RCS				400MeV upgrade (PS of Inj. mag.)			
MR Power Supply				1Hz Power Supply R&D Prototype (Smallest PS)		Prototype (Middle size)	
			Mass production				<div style="background-color: red; color: white; padding: 2px;">750kW</div>
						Installation	

Family configuration plan

Magnet Family Name	# of Mag.	# of P. S.	Flat-bottom current [A]	Flat-top current [A]	Peak output voltage [kV]	Required charging voltage [kV] (# of inverters)	Peak output power [MVA]	Magnetic Energy/ P.S. [kJ]
BM1~6	96	6	193	1570	6.6	12.0(3)	9	2000
QDN	48	1	87	710	6.5	11.7(3)	4.1	852
QFN	48	1	87	710	5.5	10.0(3)	3.5	722
QFX	48	1	89	725	4.7	8.5(3)	3.0	617
QDX	27	1	87	705	3.3	6.0(3)	2.0	424
QFR	9	1	101	820	1.3	2.4(1)	0.9	192
QDS	6	1	107	870	0.9	1.6(1)	0.6	126
QDT	6	1	92	750	0.8	1.5(1)	0.6	114
QFT	6	1	95	770	0.7	1.3(1)	0.5	94
QDR	6	1	79	640	0.7	1.3(1)	0.4	86
QFS	6	1	84	680	0.5	0.9(1)	0.3	68
QFP	6	1	82	670	0.4	0.9(1)	0.3	43

他に6極磁石：24台x3系統

現行電源回路構成

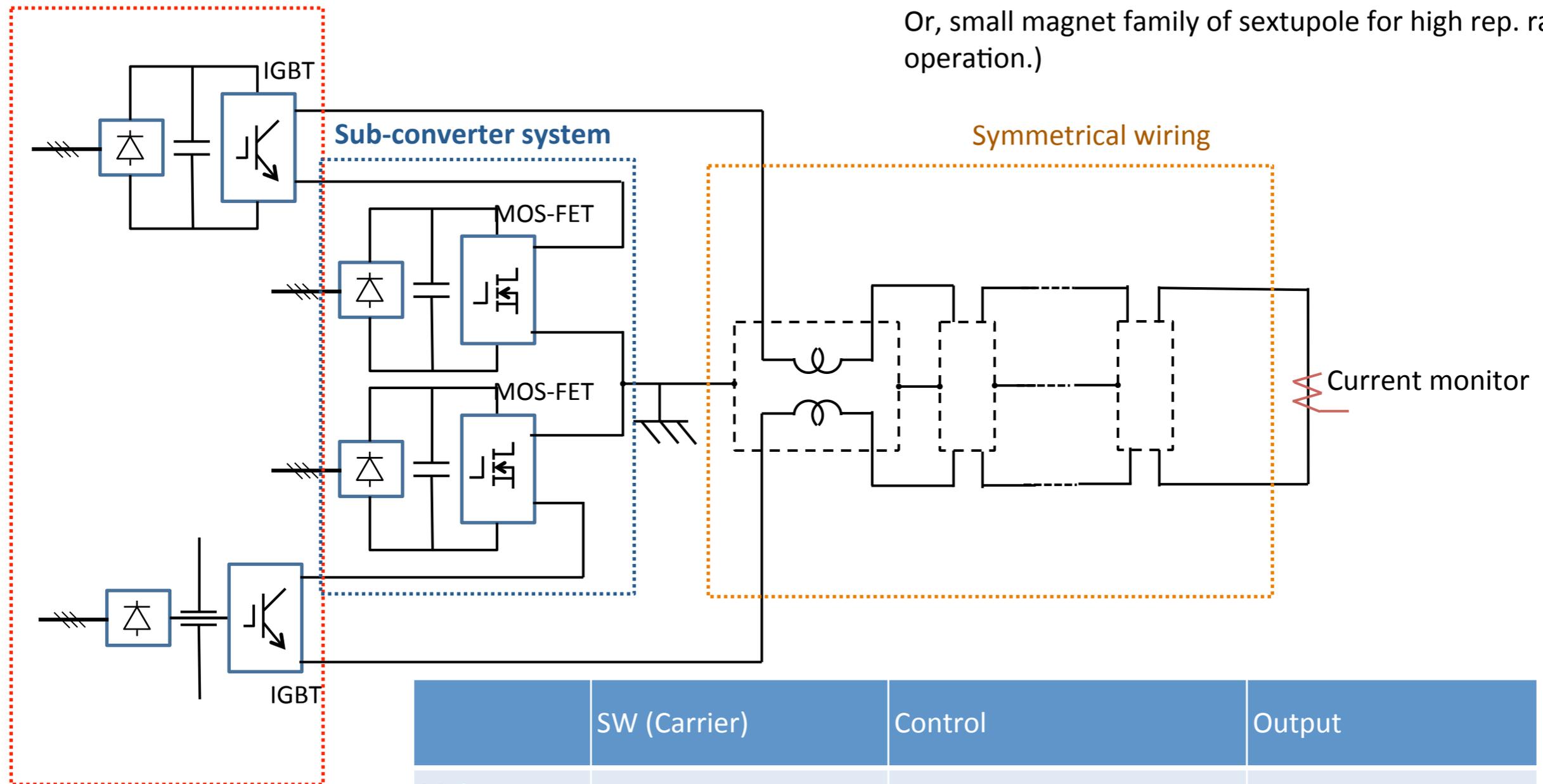


副変換機を持つ対称化電源

(中村衆、山田秀衛、(松本浩、小林仁))

(For higher repetition rate, magnet families are divided to the small load.
Or, small magnet family of sextupole for high rep. rate operation.)

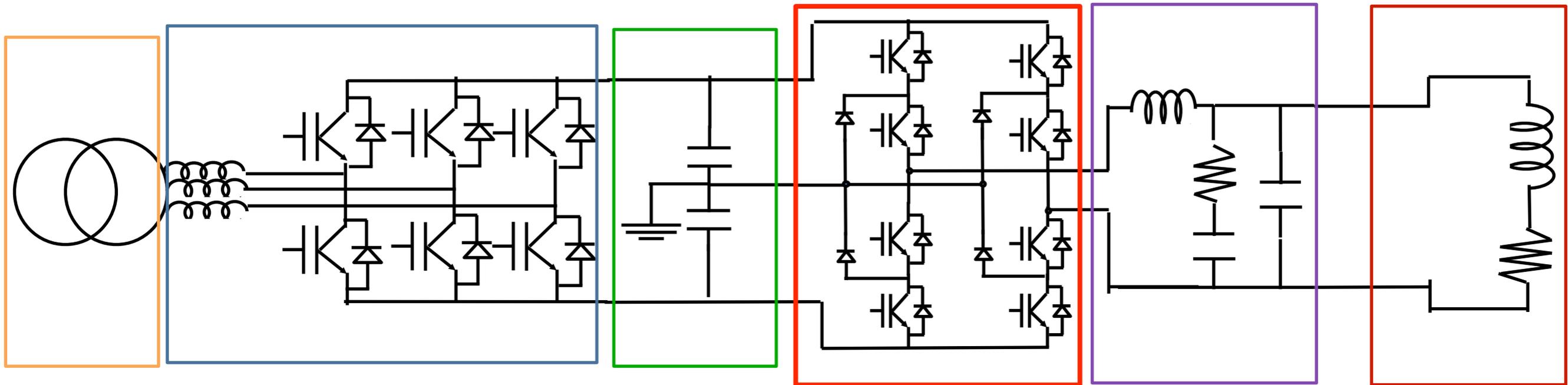
Main-PS(Diode rectifier - H-bridge chopper)



	SW (Carrier)	Control	Output
Main converter	IGBT (~20kHz)	Voltage feed forward	Pattern current
Sub converter	MOS-FET (~80kHz)	Current feedback	Ripples

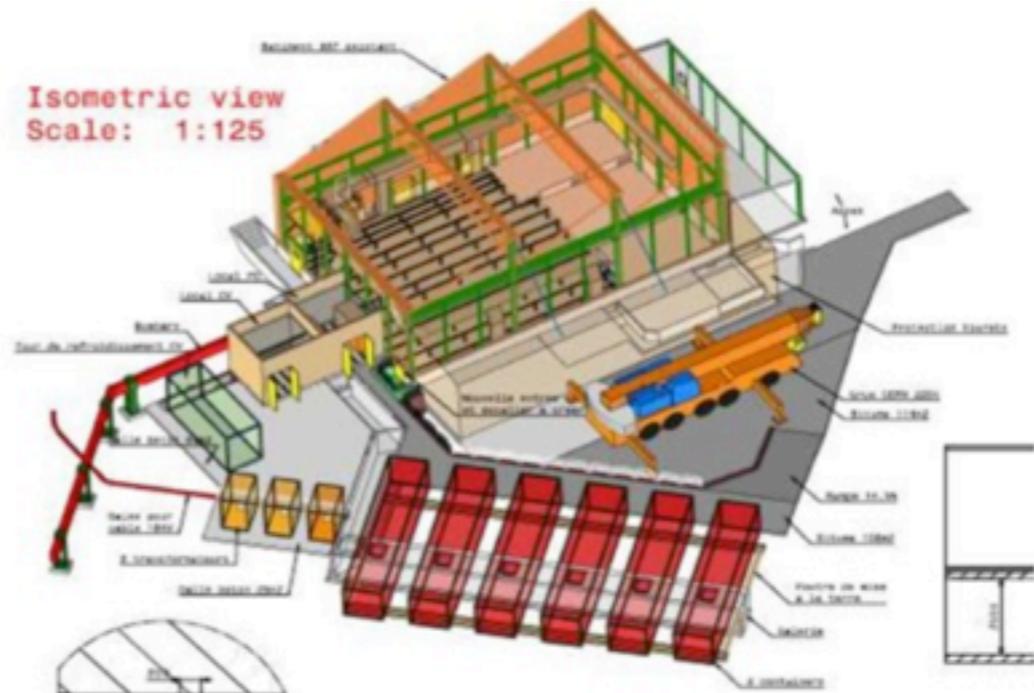
J-PARC MR 「新」電磁石電源の開発

(小関国夫、栗本佳典、森田裕一)



コンデンサーによるエネルギー貯蔵+NPCチョッパ利用DC-DCコンバーター

CERN-PS_新電源のエネルギー貯蔵用C-bank



本電源レビューの目的

- 開発は小型試作機を実負荷に接続して原理実証が行われている段階です。今回は開発中の電源の現状をレビューワーの方々に説明し、今後の進め方に関するご意見を得たい。
- 特に、基本的な考え方や進め方で我々が見落としとしている重要事項や考え違い等のご指摘をいただきたい。
- 次の段階へ開発を進めるにあたり、各電源の使い方に関しても示唆をいただきたい。
- 開発途中なので、電源の型式を絞り込むことは現時点ではしないつもりである。しかし、これについてもご意見を伺いたい。

そして

- 次回の電源レビューは来年度J-PARCの長期保守期間後を予定している。その時までには量産まで考慮した開発を十分に進めなければならない。

プログラム

0: Closed	11:00~12:00	
(昼食)	12:00~13:00	
1:J-PARC/MRの現状と今後	13:00~13:20 (15分+ 5分)	内藤富士雄
2:副変換機を持つ対称化電源の開発	13:20~14:10 (40分+10分)	中村衆
(休憩)	14:10~14:30	
3:ppm電源のための24bitデジタル制御システムの構築	14:30~15:10 (30分+10分)	栗本佳典
4:コンデンサによるエネルギー貯蔵を備えた主リング新電源の開発	15:10~16:30 (45分+15分)	小関国夫
(休憩)	16:10~16:20	
5:Closed	16:20~17:20 (60分)	
6:まとめ	17:20~17:40 (20分)	神谷幸秀

プログラム (変更)

0: Closed	11:00~12:00	
(昼食)	12:00~13:00	
1:J-PARC/MRの現状と今後	13:00~13:20 (15分+ 5分)	内藤富士雄
2:副変換機を持つ対称化電源の開発	13:20~14:10 (40分+10分)	中村衆
(休憩)	14:10~14:30	
3&4:J-PARC MR 「新」 電源の開発	14:30~16:00 (70分+20分)	栗本佳典、 小関国夫
(休憩)	16:00~16:20	
5:Closed	16:20~17:20 (60分)	
6:まとめ	17:20~17:40 (20分)	神谷幸秀