

# SPring-8/SACLAにおける パルス強磁場を用いた 弱結合未知粒子の探索 II

山崎高幸, 稲田聡明<sup>A</sup>, 難波俊雄, 浅井祥仁<sup>A</sup>, 小林富雄,  
田中義人<sup>B</sup>, 玉作賢治<sup>C</sup>, 澤田桂<sup>C</sup>, 矢橋牧名<sup>C</sup>, 石川哲也<sup>C</sup>, 犬伏雄一<sup>D</sup>,  
金道浩一<sup>E</sup>, 鳴海康雄<sup>F</sup>, 野尻浩之<sup>F</sup>

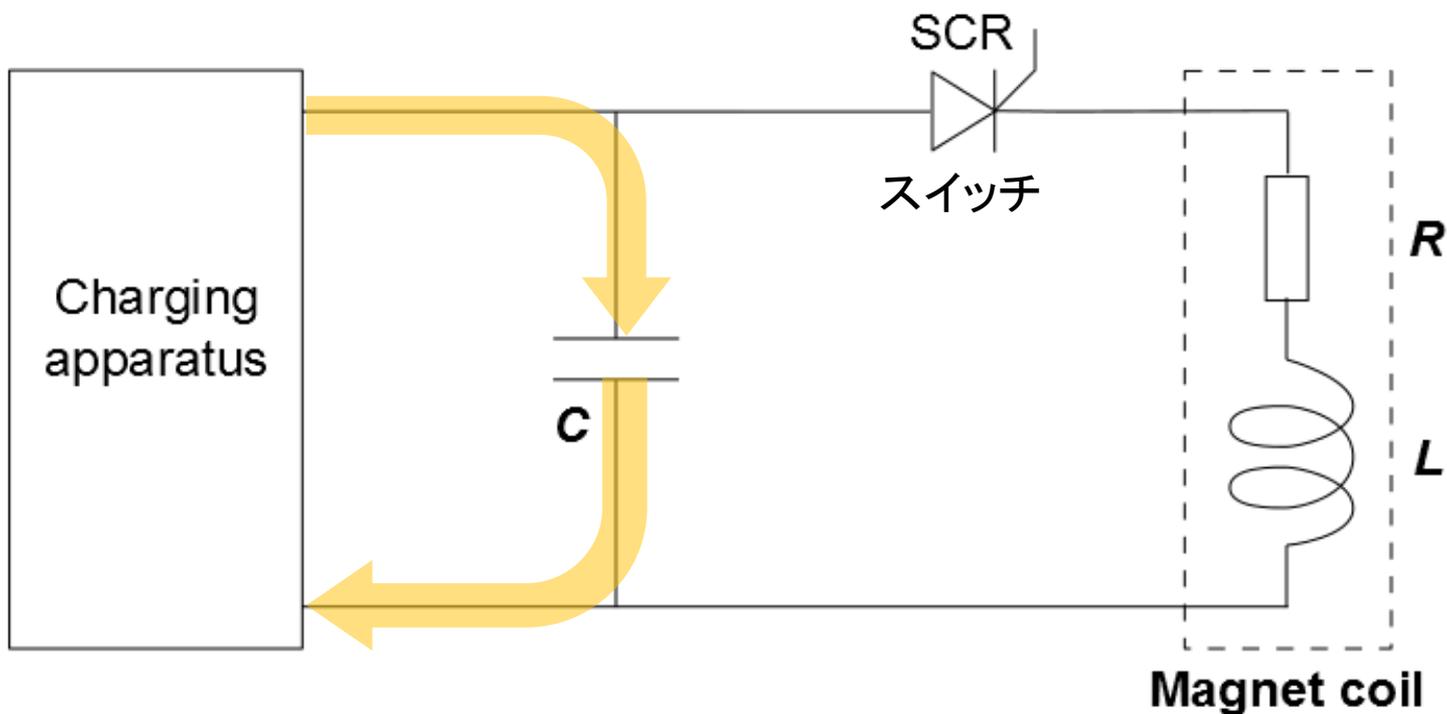
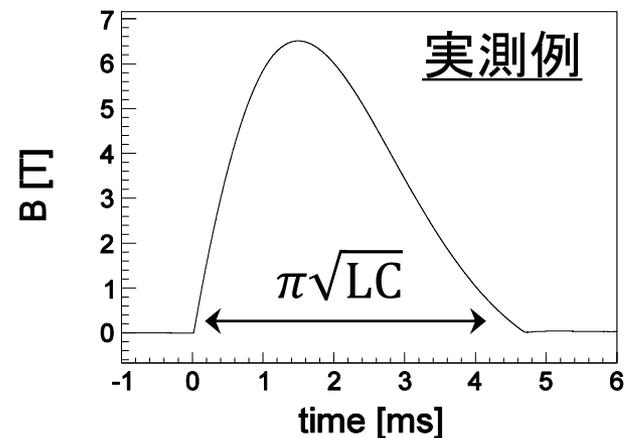
東大素セ, 東大理<sup>A</sup>,  
兵県大院物質理<sup>B</sup>, 理研/SPring-8/JASRI/SACLA<sup>C</sup>, JASRI/XFEL<sup>D</sup>,  
東大物性研<sup>E</sup>, 東北大金研<sup>F</sup>

# 目次

- 小型で高速充電可能なコンデンサバンク
- プロトタイプ電源の製作
- 電源動作テストおよびパルス磁石の発熱テスト
- 今後の予定と期待感度
- まとめ

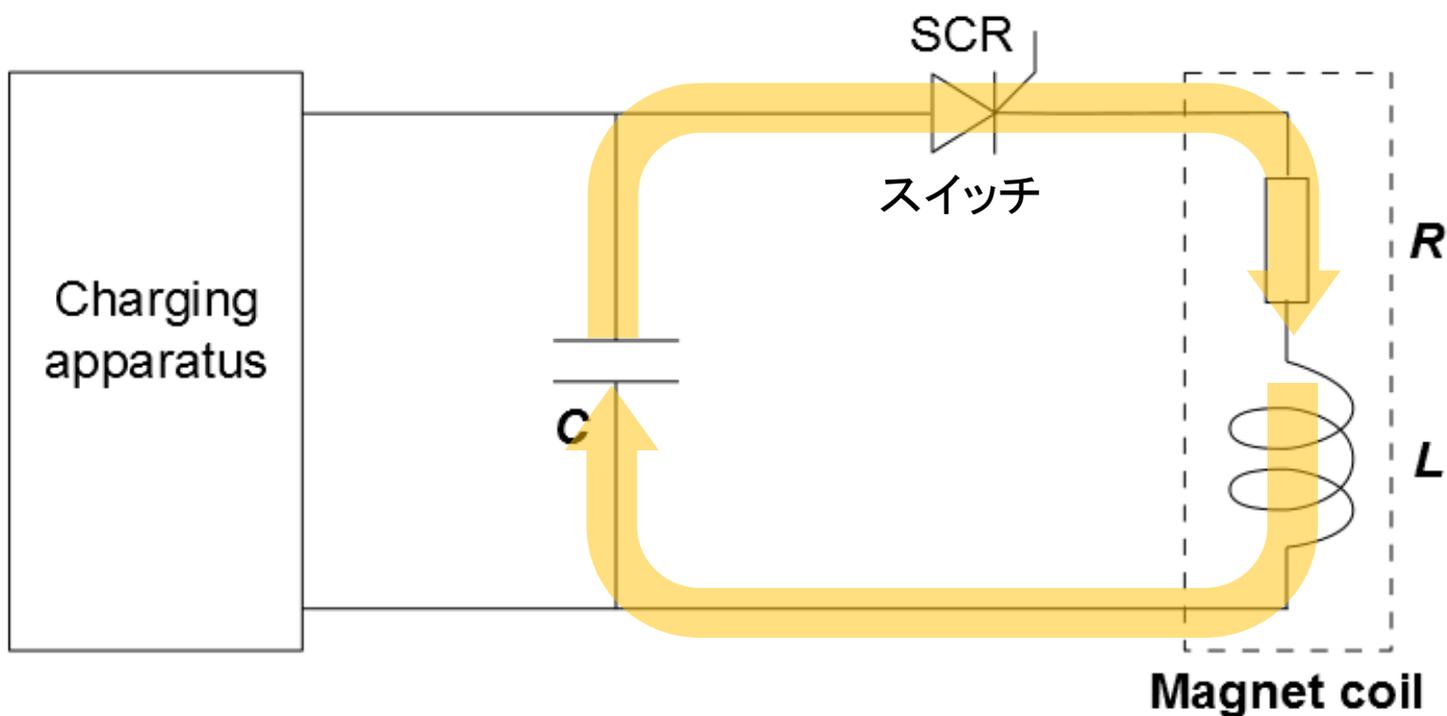
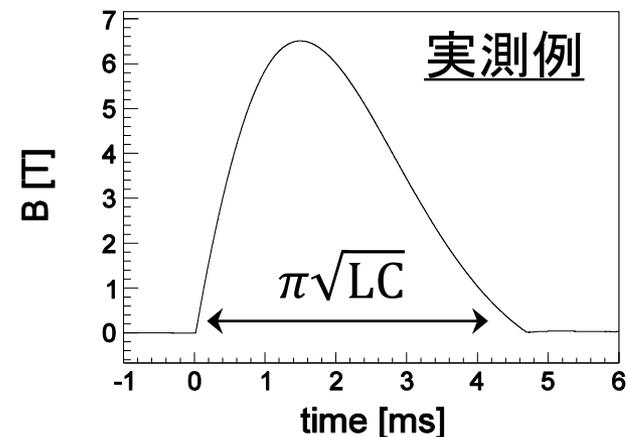
# コンデンサバンクとは

- $C = 1 \sim 10 \text{ mF}$  のコンデンサに数kV充電し、サイリスタなどのスイッチで放電させるとパルス電流がコイルに流れる。単純なLCR回路。



# コンデンサバンクとは

- $C = 1 \sim 10 \text{ mF}$  のコンデンサに数kV充電し、サイリスタなどのスイッチで放電させるとパルス電流がコイルに流れる。単純なLCR回路。



# 高速充電バンクの設計

	強磁場施設など	本番用に製作するバンク
用途	50T程度の磁場を長パルス(~5ms)で発生させる。 単発	10T程度の磁場を短パルス(~0.5ms)で繰り返し発生させる
エネルギー	500kJ	10kJ
装置サイズ	1部屋	ラック2台
繰り返し	数分に1発	30Hz

500kJバンク@SPring-8

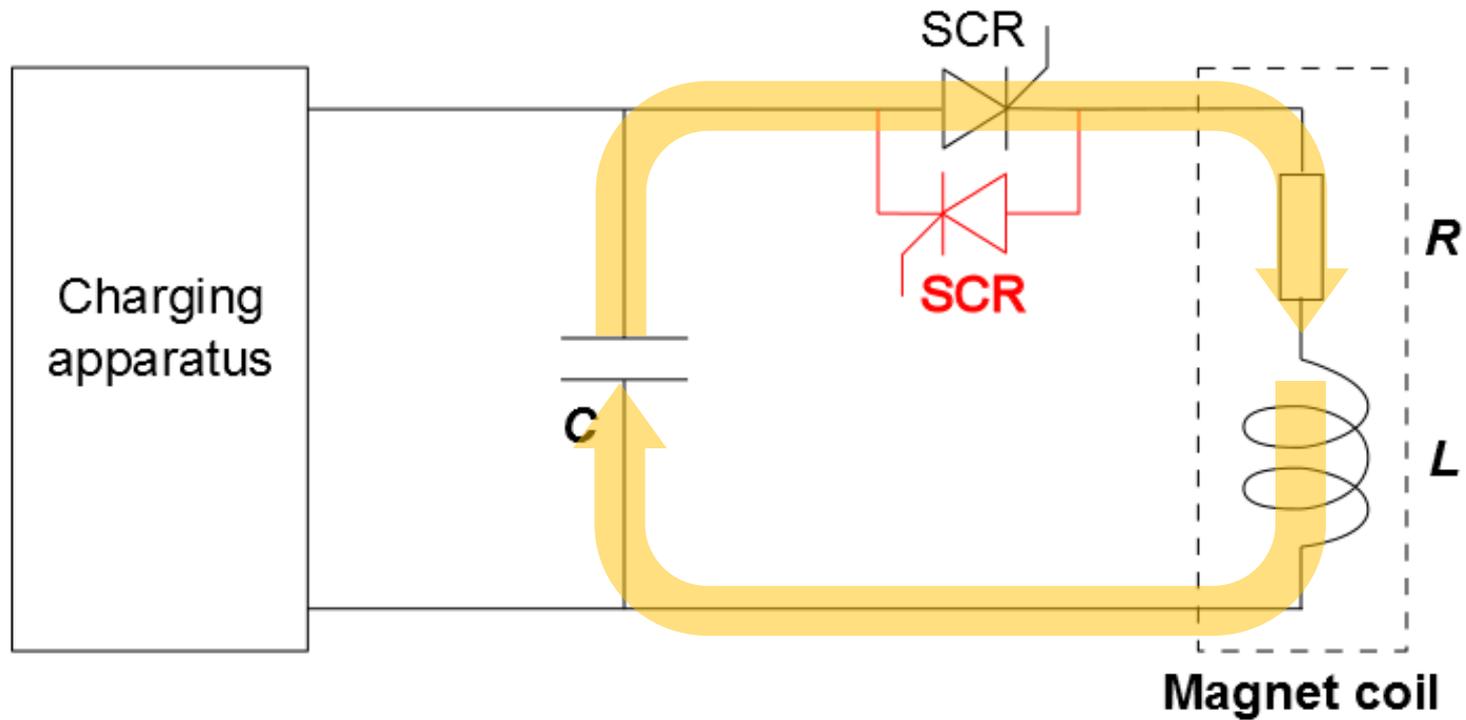


装置サイズはエネルギーで決まる

- 10kJ程度で小型(ラック2台程度)かつ高速充電可能なコンデンサバンクを製作し、SPring-8/SACLAに持ち込んで実験する

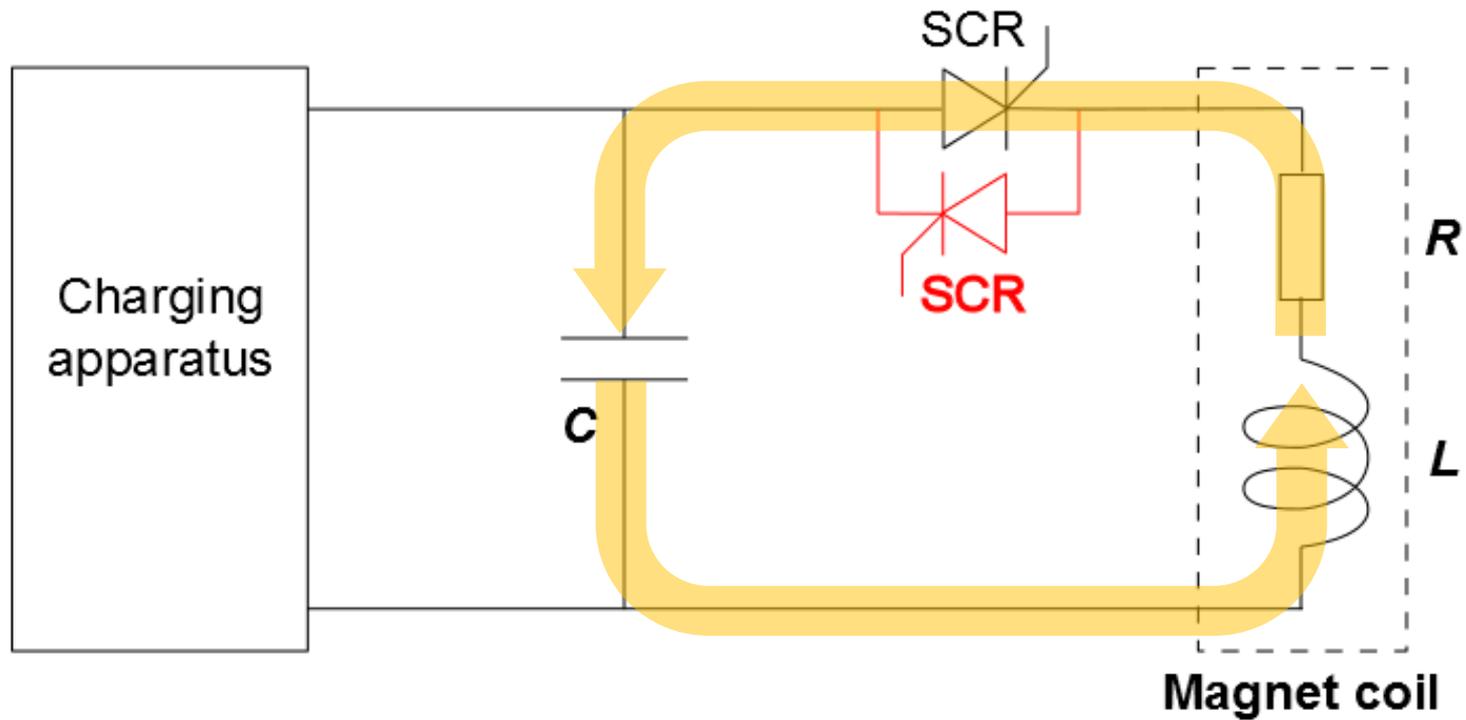
# 高速充電バンク

- 通常のバンクと異なり、**放電スイッチ (SCR) を2つ逆並列させる**
- **時計回りに放電 → 反時計回りに放電 → 放電時に磁場コイルでロスしたぶんを充電、の繰り返し**。磁場コイルでのロスが小さければ、毎回コンデンサを0Vから充電する場合に比べ充電時間が大幅に短縮される



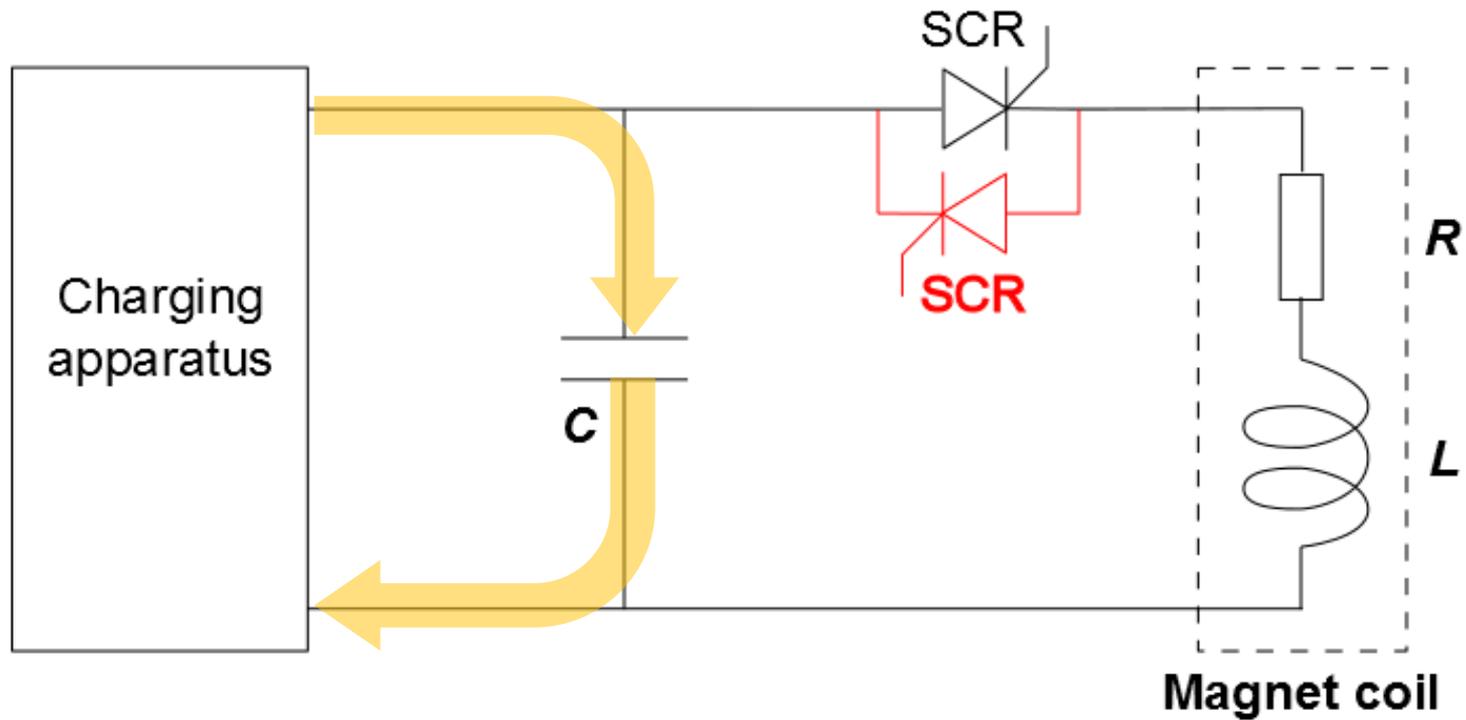
# 高速充電バンク

- 通常のバンクと異なり、**放電スイッチ (SCR)** を2つ逆並列させる
- **時計回りに放電 → 反時計回りに放電 → 放電時に磁場コイルでロスしたぶんを充電**、の繰り返し。磁場コイルでのロスが小さければ、毎回コンデンサを0Vから充電する場合に比べ充電時間が大幅に短縮される



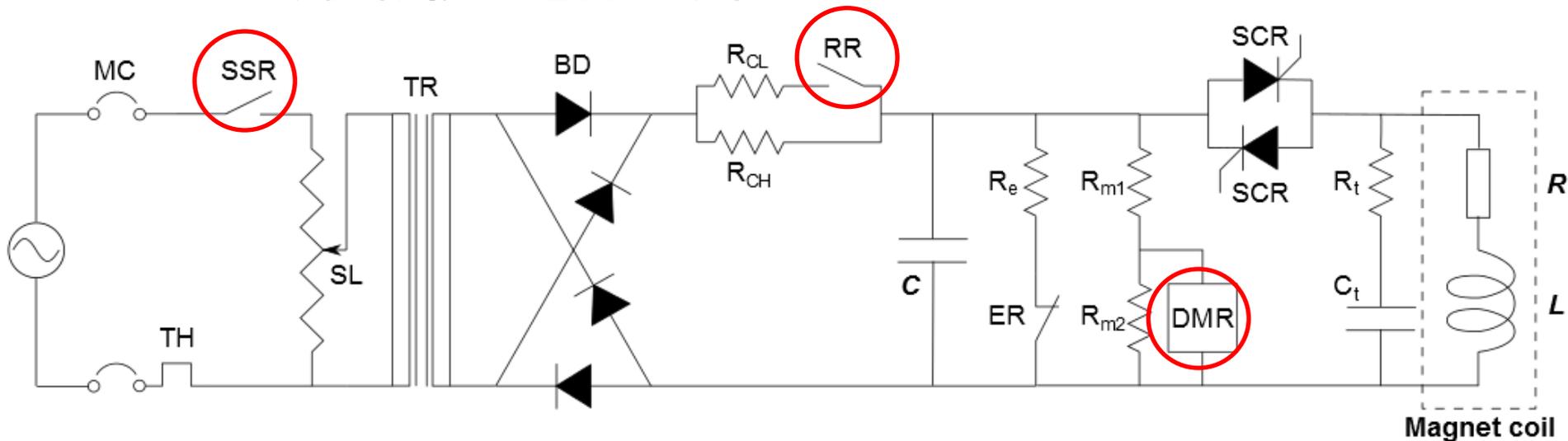
# 高速充電バンク

- 通常のバンクと異なり、**放電スイッチ (SCR) を2つ逆並列させる**
- **時計回りに放電 → 反時計回りに放電 → 放電時に磁場コイルでロスしたぶんを充電、の繰り返し**。磁場コイルでのロスが小さければ、毎回コンデンサを0Vから充電する場合に比べ充電時間が大幅に短縮される

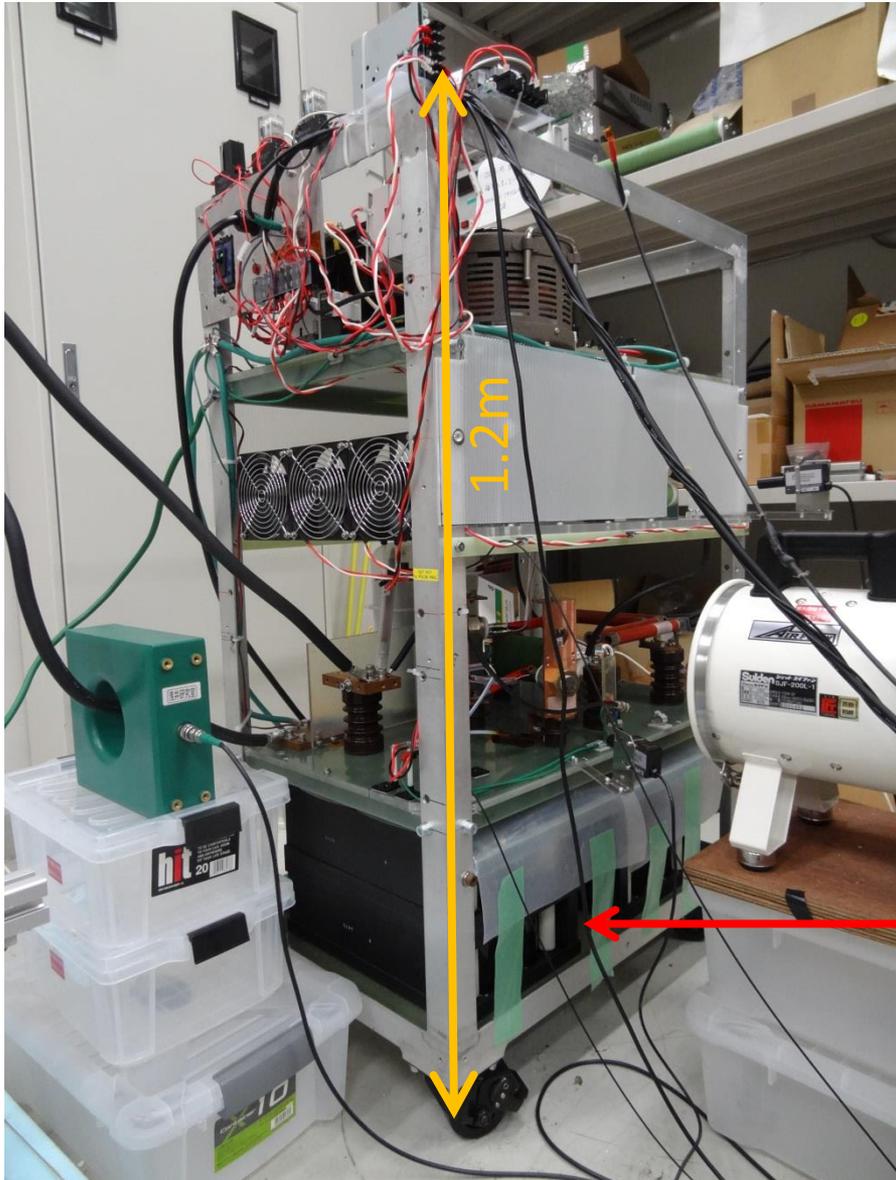


# 回路図

- 充電を低圧部のSSRで制御
- 繰り返し運転中は高圧NOリレーRRを閉じて充電抵抗を下げる
- コンデンサ電圧は分圧してDMRでモニタ
- 繰り返し動作中に動作するのはSSR, SCR, DMR(フォトカップラ出力)など、機械接点を持たず高速なもののみ



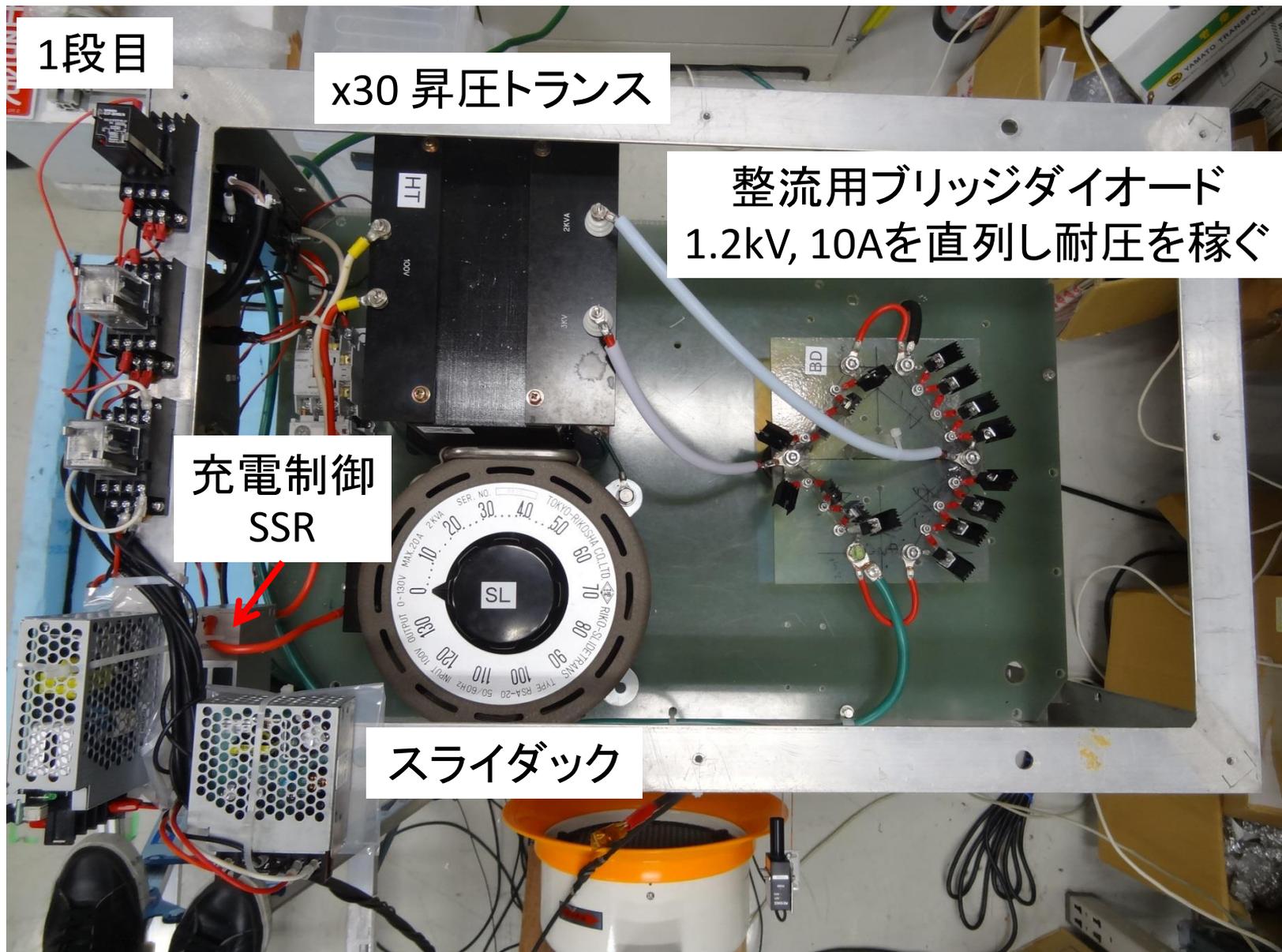
# プロトタイプ電源の製作



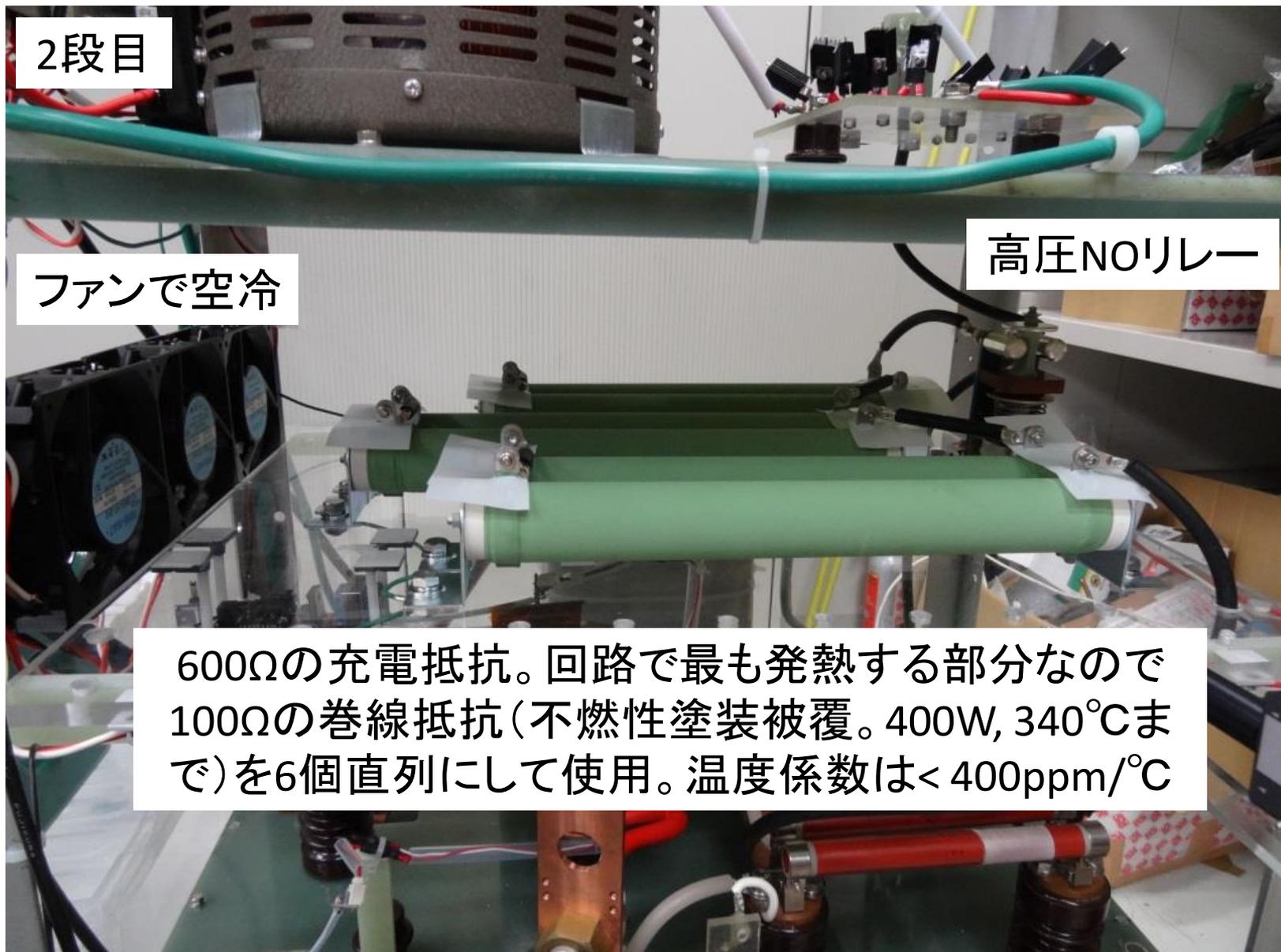
- 最終的には1.2mF, 4.5kVで10kJ程度の電源を作成する予定だが、まずはプロトタイプとして1.6mF, 1kVの電源を製作した

最下段にコンデンサ

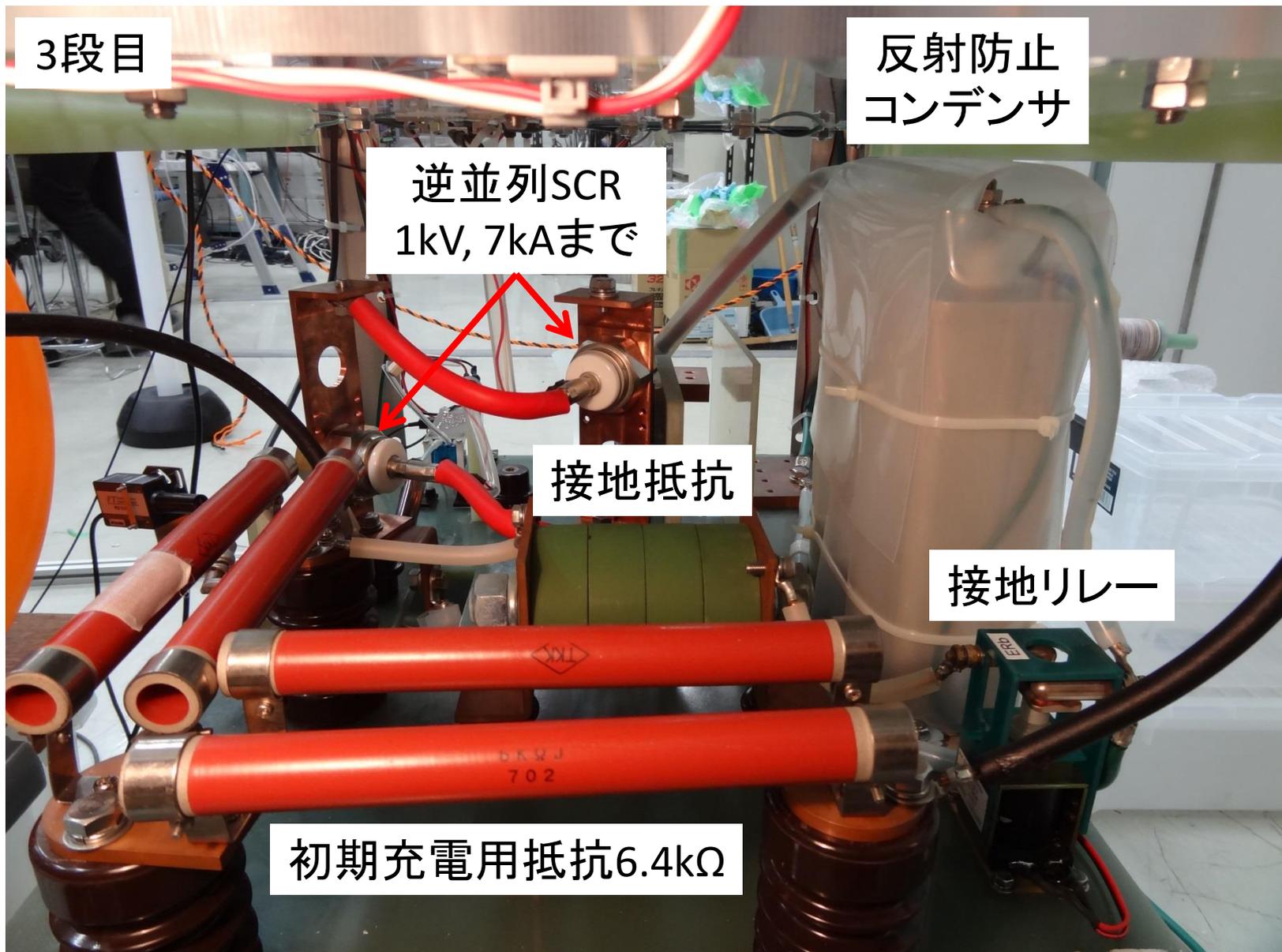
# プロトタイプ電源



# プロトタイプ電源

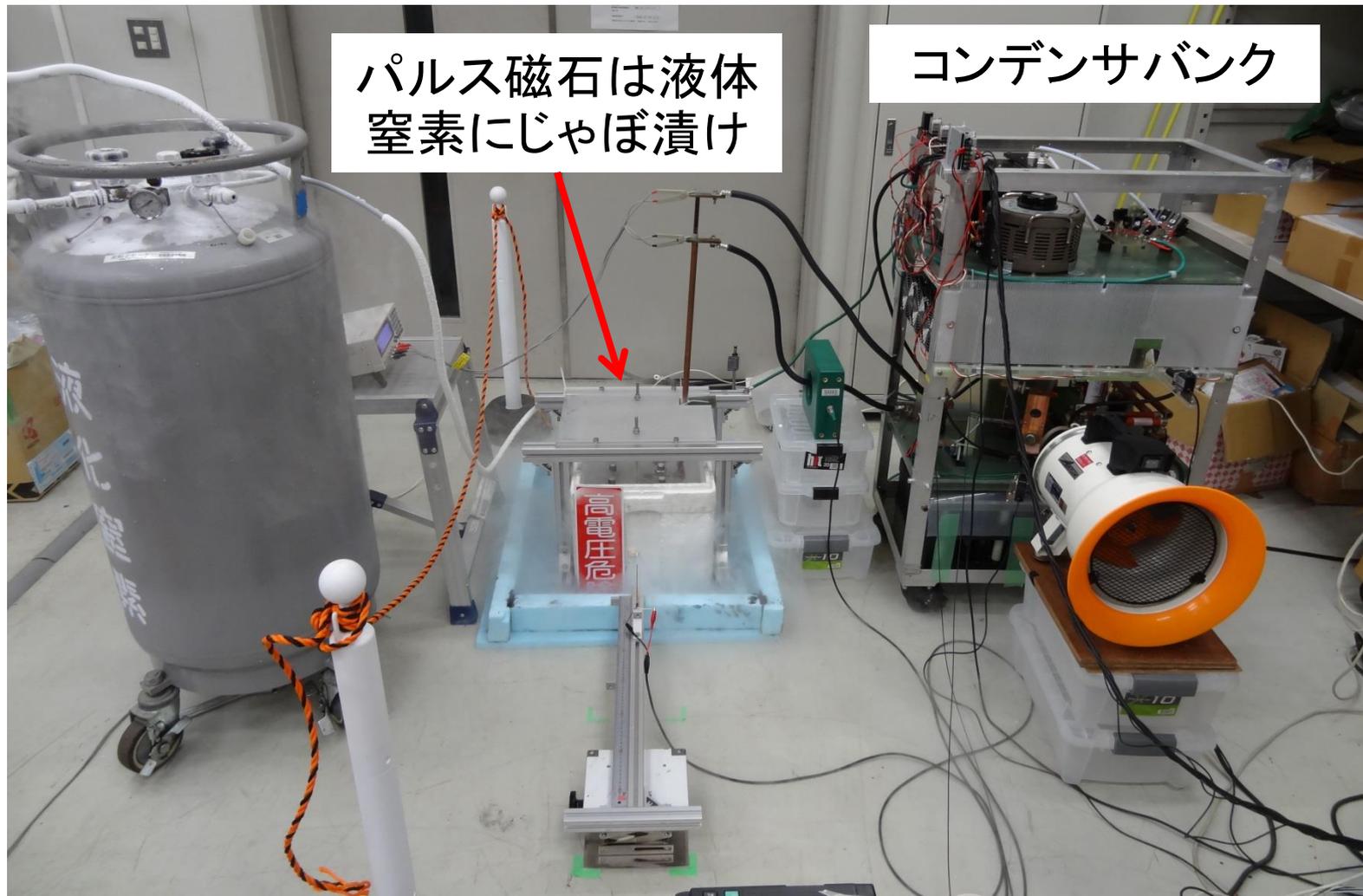


# プロトタイプ電源



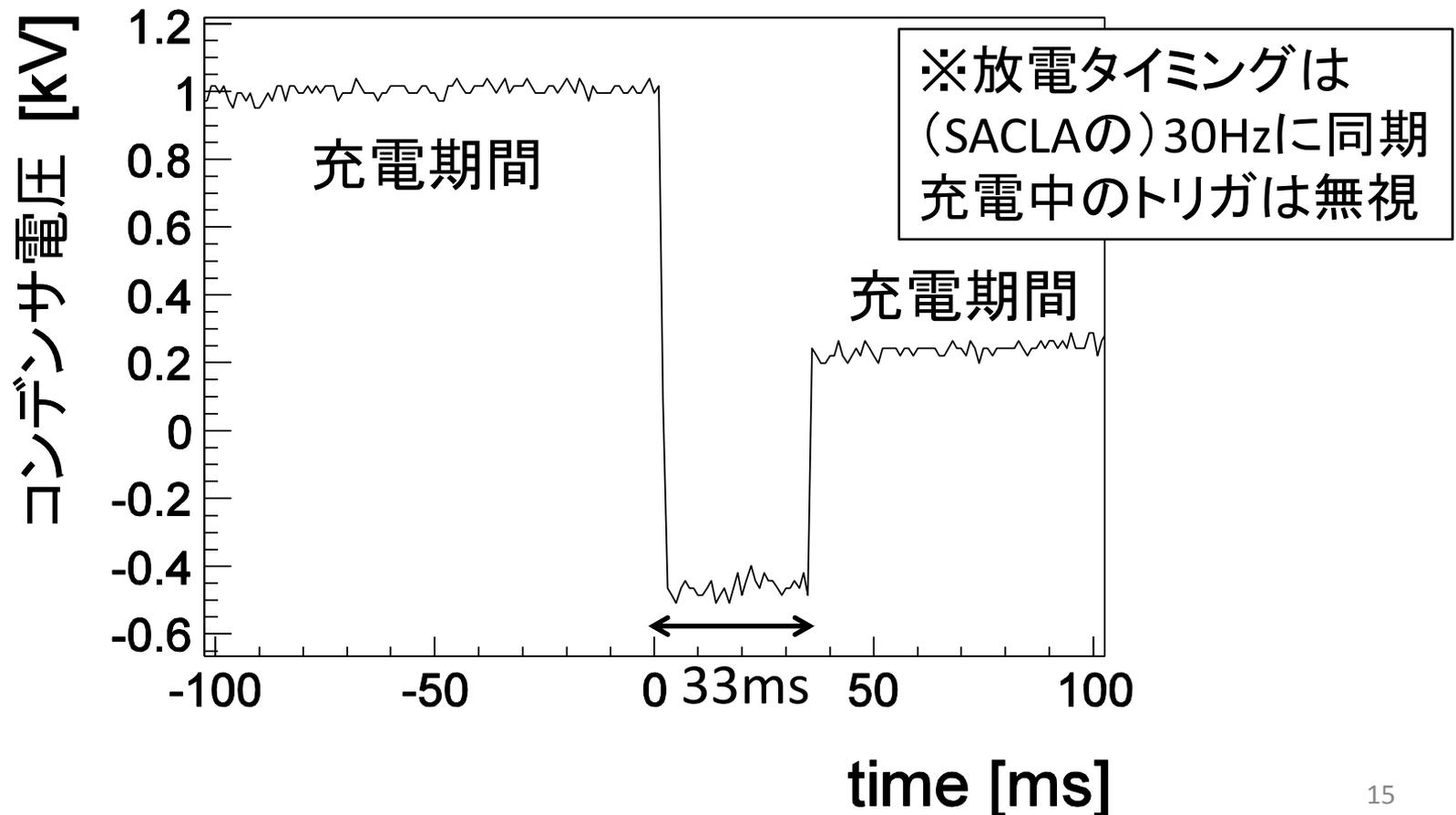
# 電源・磁石テストのセットアップ

- パルス磁石を接続し、電源の動作テストおよび繰り返し運転時の磁石の発熱テストを行った



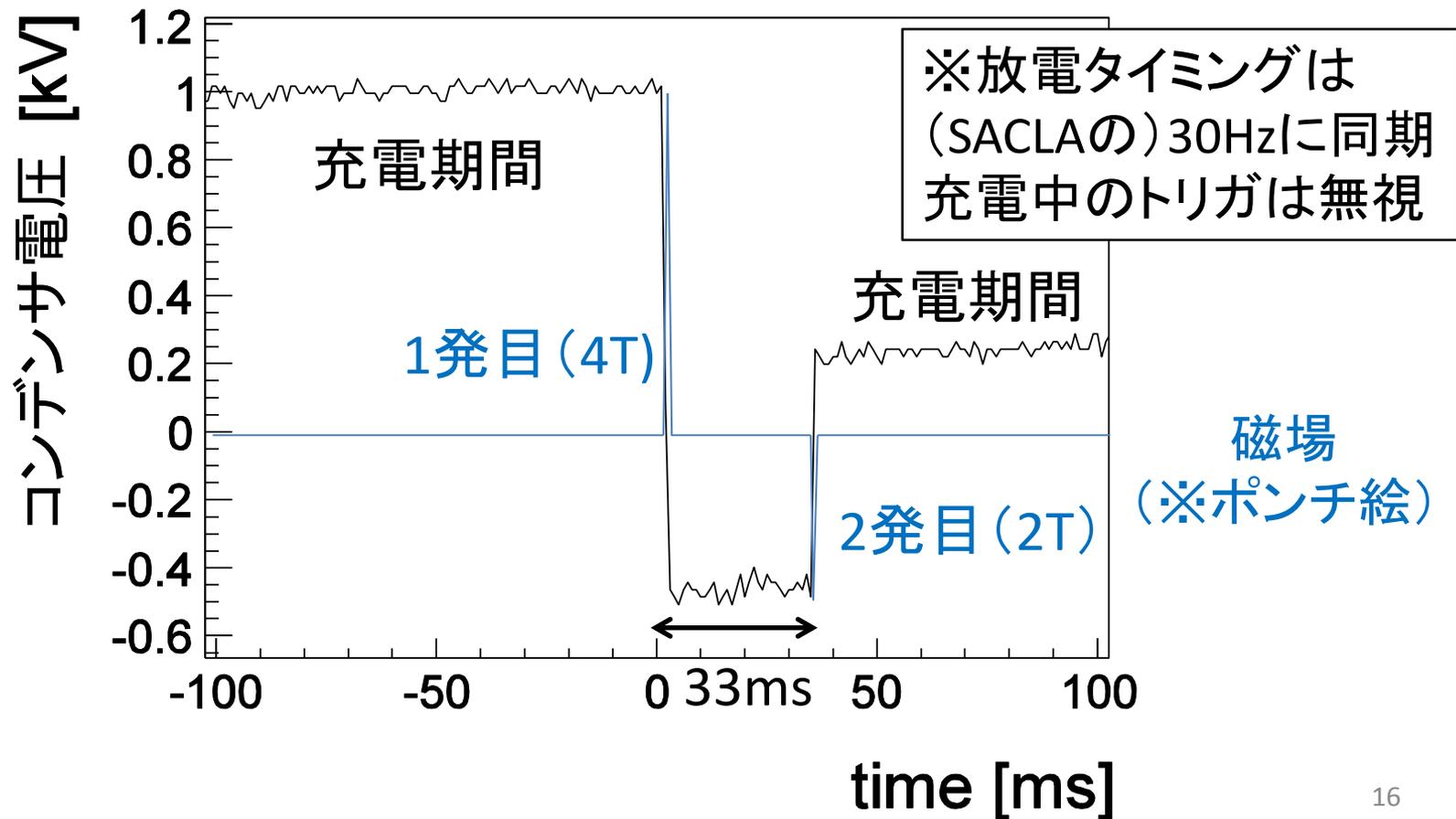
# 繰り返し運転中の電圧波形

- 充電電圧1kV(磁場4.1T)で繰り返し運転させたときのコンデンサ電圧(実測)。磁場コイルでのロスが大きいため、2発目の放電電圧は1発目の半分程度になっている



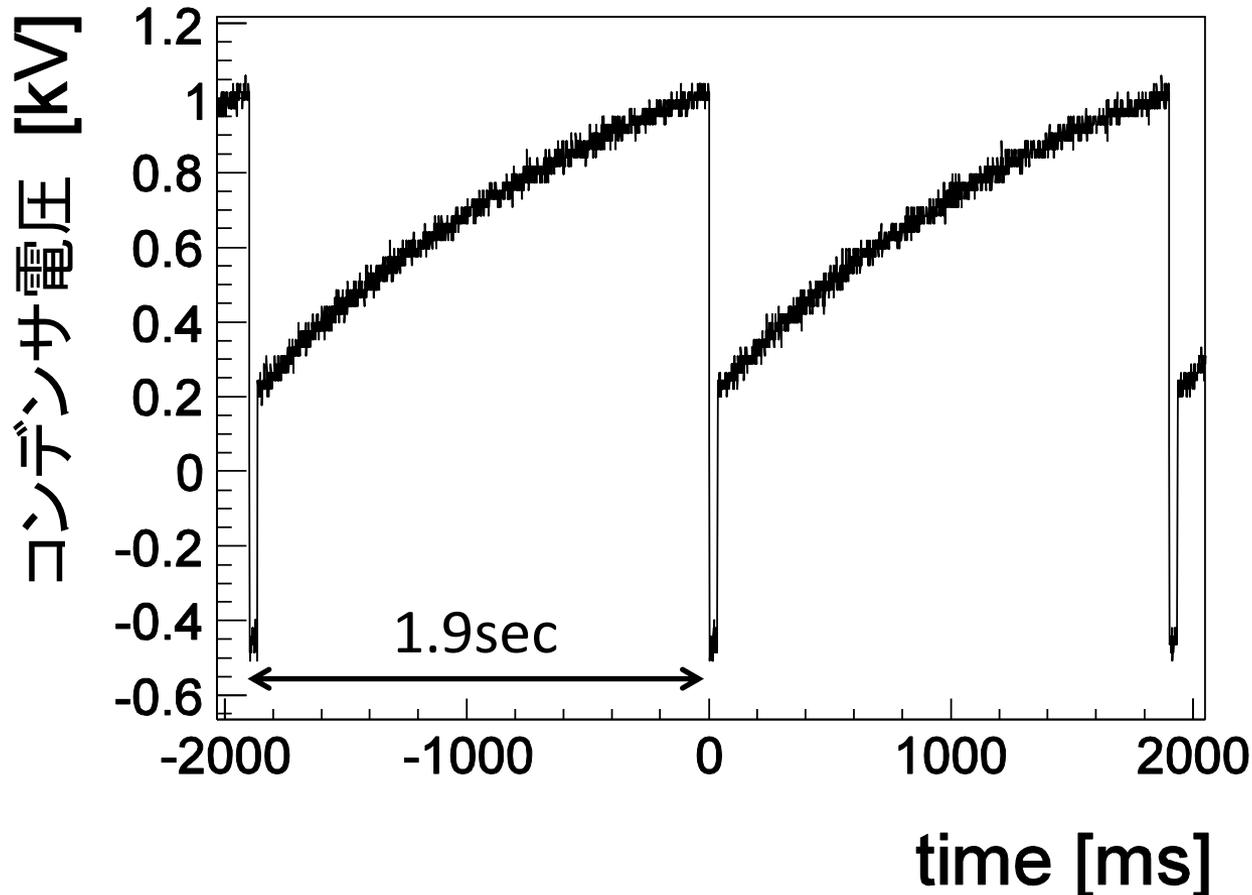
# 繰り返し運転中の電圧波形

- 充電電圧1kV(磁場4.1T)で繰り返し運転させたときのコンデンサ電圧(実測)。磁場コイルでのロスが大きいため、2発目の放電電圧は1発目の半分程度になってしまっている



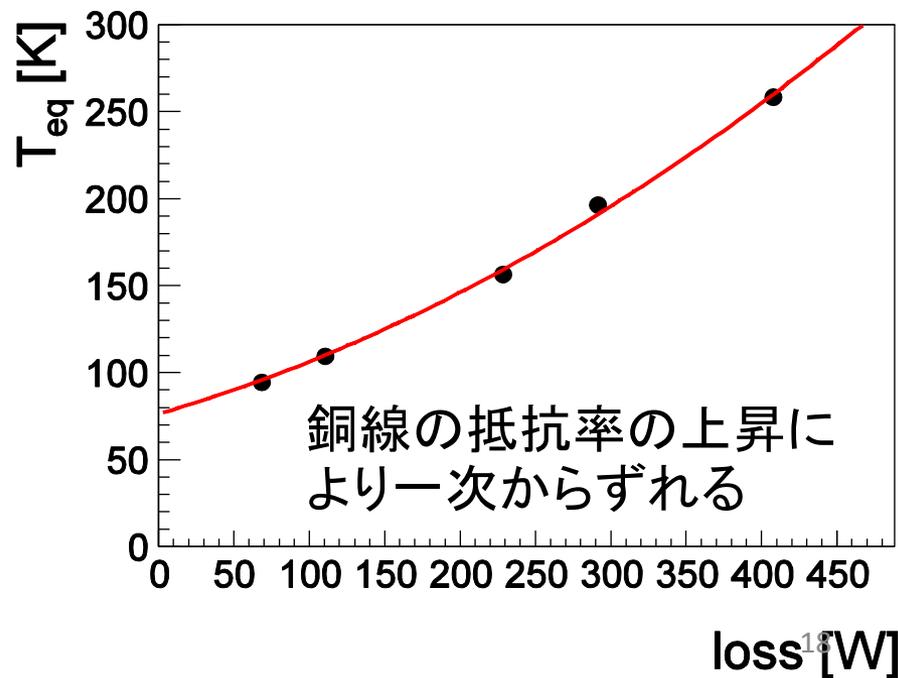
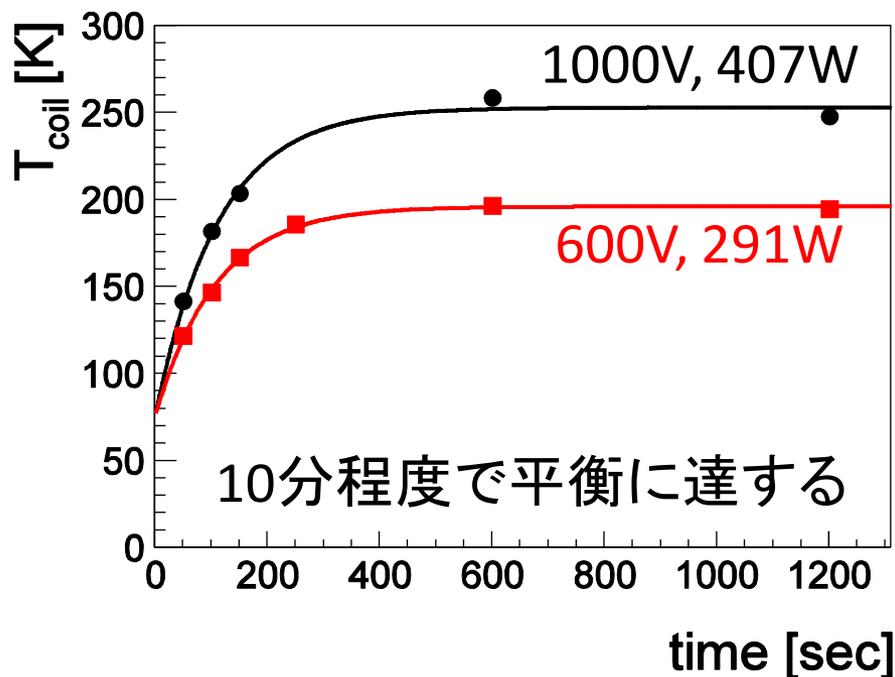
# 繰り返し運転中の電圧波形

- 繰り返しレートは、現在1.9secに2回放電なので1Hz程度
- 高速化には ①磁石でのロスを減らし充電抵抗(現在600Ω)を小さくする or ②充電部の容量を増やす(現在1.5kVA) が必要



# パルス磁石の発熱テスト

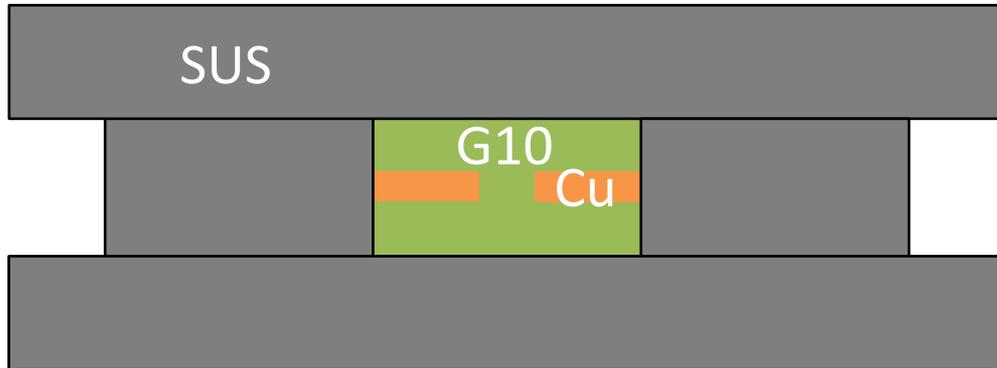
- 一定時間運転後のパルス磁石の抵抗から温度測定
- 磁石での消費電力は電圧波形(二発打ったあとの電圧降下と繰り返しレート)から求まる
- 1kV, 1Hz運転では平衡温度が259Kに達している。繰り返しレートを上げるには、単純に電源容量を増やすのではなく、**パルス磁石でのロス**を減らす必要がある



# 発熱対策について

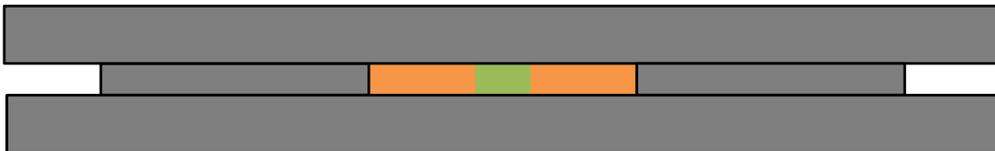
- 磁石でのロスを減らすために、
  - 初期(77K)抵抗値の小さい磁石を作る。現在の高周波での抵抗値の上昇を理解し、磁石自体の構造を含めて再検討する
  - 銅線の温度上昇を減らす。応力のかからないコイル軸方向の外部補強を薄くすることで、熱抵抗を1/20に減少させることが可能

## 今回のコイル(断面図)



銅線までの熱抵抗は  
上下1.3K/W(ほぼG10)  
左右5.8K/W(ほぼSUS)

## 外部補強を減らす



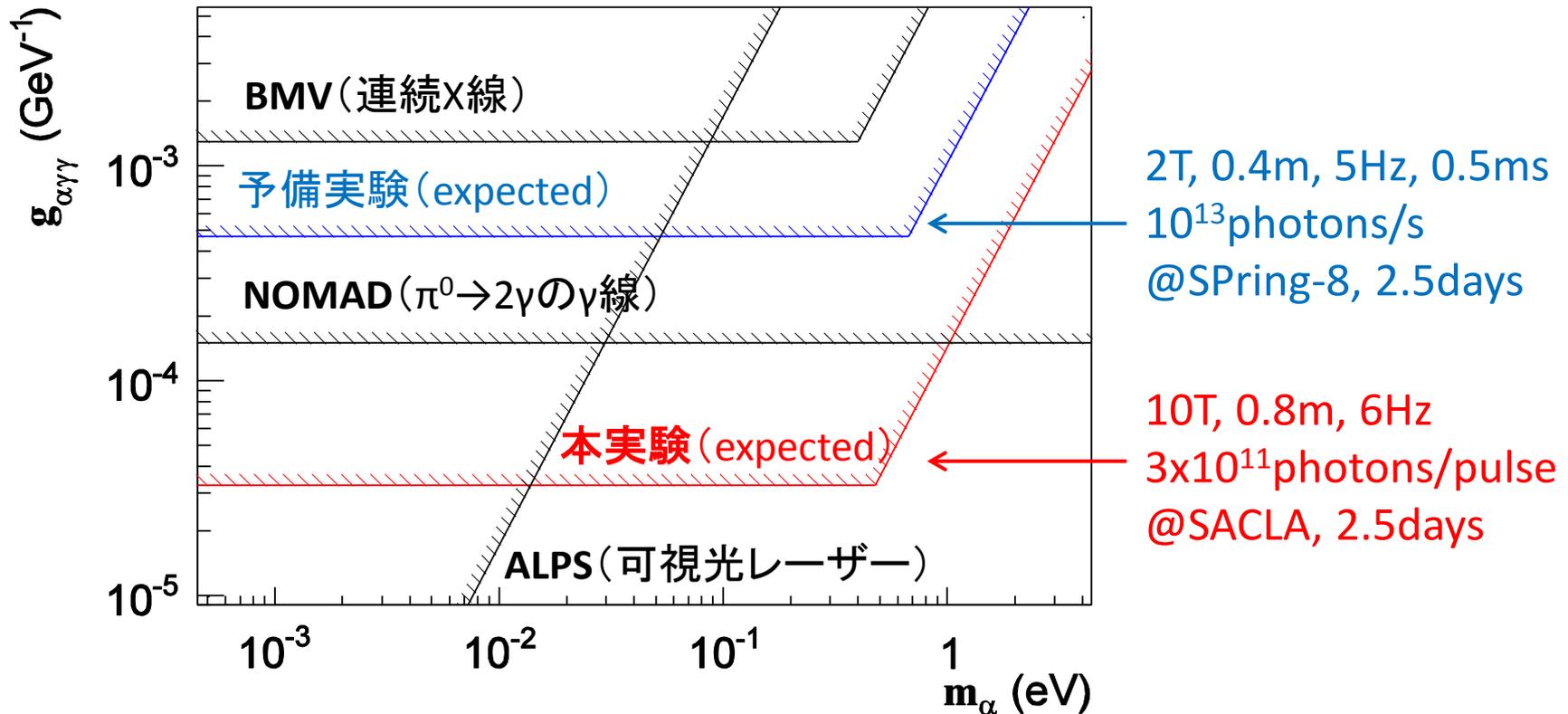
銅線までの熱抵抗は  
上下0.064K/W(ほぼカプトン)  
左右5.8K/W(ほぼSUS)

# 今後の予定

- 現在、4.1T, 0.2m, 1Hzまで達成した。単純に同じスペックの磁石をもう一個作った場合2T, 0.4m, 5Hzで運転可能。今年度中にプロトタイプ電源および磁石を用いてSPring-8で予備実験を行う
- 2015年前期SACLAでの本実験を目指している。ターゲットは10T, 0.8m, 6Hzとしている。B・Lの上昇に関しては、
  - エネルギー( $\propto B^2L$ )の大きい本番用電源(1.2mF, 4.5kV)を製作する。サイリスタ等を高耐圧なものに置き換えれば良いしかし、現在の磁石のままではロスが大きく、繰り返しレートは0.5Hzしか出ない(周波数は1/4乗で効く)ので、よりロスが小さく冷却効率の高いコイルを設計・製作する

# 期待感度

- SPring-8での予備実験およびSACLAでの本実験の期待感度について



- 可視光実験より2桁重い質量領域を探索
- 本実験でALPが発見されなかった場合、結合定数のリミットを5倍更新

# まとめ

- パルス磁石とSACLAを用いてAxion Like Particlesの探索を行うため、10kJ程度で高速充電可能な小型電源を製作している
- 1.6mF, 1.0kV(0.8kJ)のプロトタイプ電源を製作した。この電源では4T, 0.2m, 1Hzのパルス磁場の発生が可能である。今年度中にプロトタイプ電源と磁石2個を用いてSPring-8での予備実験を予定している
- 今後は、2015年SACLA前期での本実験に向け、10kJ程度のエネルギーを持ち、10T, 0.8mで磁場発生が可能な本番用電源を製作する。また、磁石での発熱を減らすことで繰り返しレートを上げる。10T, 0.8m, 6Hzのパルス磁場が発生できれば、可視光レーザー実験より2桁重い質量領域において、地上実験としては最高感度(光子との結合定数に対して5倍)の探索が可能である