

平成26年8月10日  
日本加速器学会年会  
@リンクステーションホール青森

# 省エネルギー運転法確立のためのがん治療用 炭素線シンクロトロン電磁石の磁場測定

山形大学

岩井岳夫、後藤 彰、名雪哲夫、河野和利、根本建二、嘉山孝正

三菱電機

高橋 功、大谷利宏



# 背景

- 山形大学における重粒子線がん治療装置設置計画
  - 2004年から医学部で設置計画開始
  - 2012年 結城学長が全学的に取り組むことを決定
  - 2012年に「山形大学重粒子線がん治療施設設置準備室」（室長：嘉山孝正学長特別補佐）を組織し、本格的活動開始
  - 2012年 放医研と教育・研究・医療協力に関する協力協定締結
  - 2012年度補正予算で研究開発費約10億円措置
  - 2013年度補正予算で研究開発費約10億円措置
  - 2015年度概算要求で本体設置予算を文科省に要求中
  - 最短で2019年度治療開始

# 山形大学モデル 次世代型重粒子線装置 エコ型&総合病院接続型

- 4つのコンセプト
  - ① 省エネルギー  
ランニングコストの削減
  - ② 省スペース  
都市型・総合病院接続型
  - ③ 廃棄物削減  
ランニングコストの削減
  - ④ 運転管理の容易化  
ランニングコストの削減



# 山形大学モデル 次世代型重粒子線装置 エコ型 & 総合病院接続型

- 4つのコンセプトに関する研究開発  
三菱電機・東芝と共同研究（2013年開始）
  - ① 省エネルギー  
ビーム不要時に電磁石出力大幅減  
電磁石磁極間隙短縮
  - ② 省スペース  
加速器本体と治療室の立体配置による敷地面積削減  
⇒ 40m × 40m
  - ③ 廃棄物削減  
スキャニング照射法の採用によるボーラスおよび患者  
コリメータ撤廃
  - ④ 運転管理の容易化  
ビーム軸調整自動化、  
遠隔監視等

医学部内に建設された重粒子線がん治療装置研究棟（2014年3月完成）



# 研究棟開所式(8/4)

毎日新聞 2014年8月7日(木)

複数のカードローンを  
**まとめてスッキリ!** 最大  
限度額 50万円  
ご入会だけで 楽天スーパーポイント 1,000ポイント

ニュース | オピニオン | スポーツ | エンタメ | 文化 | **暮らし** | 教育 | 特集・連載 | 地域

おんなのしんぶん | ライフスタイル | 健康・医療 | 就職・転職 | 食 | 建築・住宅 | フ

[PR] 自動車保険の人気ランキング! 5万円以上安くなるケースも/価格com

g+ 0 | ツイート 0 | おすすめ 0 | 記事を印刷 | 文字サイズ 小 中 大

## 山形大:医学部「重粒子線」研究棟新設 がん治療装置開発へ /山形

毎日新聞 2014年08月06日 地方版

山形大は、次世代型の重粒子線がん治療装置の研究開発を進める研究棟を医学部内(山形市飯田西)に新設し、同医学部で4日、開所式を行った。医学部の構内に工学系の研究棟を建設することで、医師や患者がより主体的に開発に関われるようにした全国初の試みだという。

同医学部は、三菱電機と東芝の2社と共同で、省エネルギー▽小型化▽廃棄物削減▽運転管理の容易化-



研究棟内部を公開した内覧会

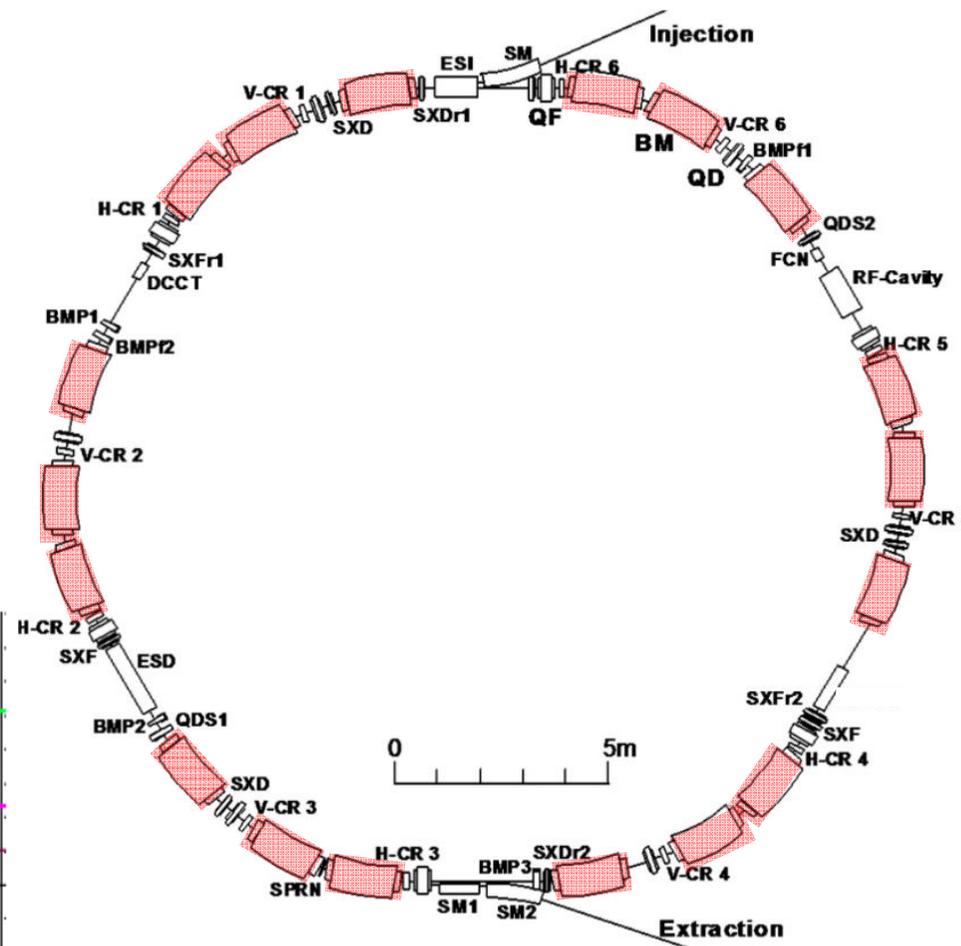
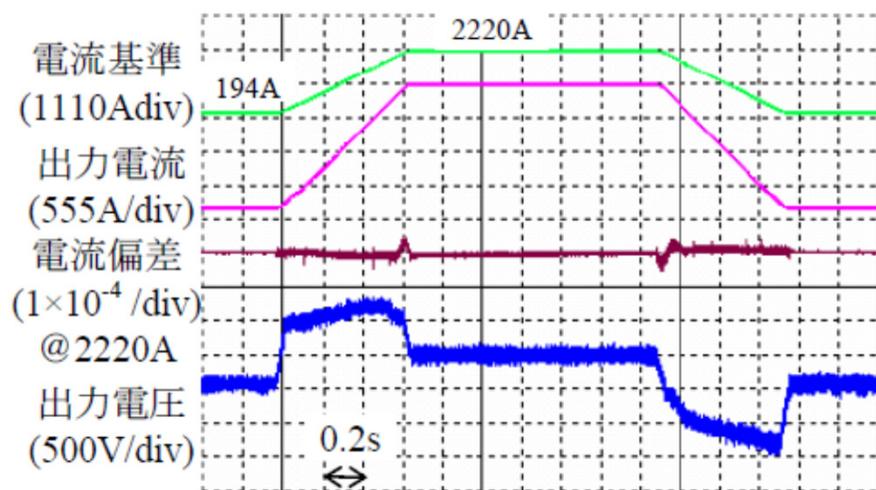
<http://mainichi.jp/life/edu/news/20140806ddlk06100207000c.html>



- 遠藤利明 衆院議員、吉村美栄子 山形県知事など出席

# 重粒子線がん治療に使用する炭素線シンクロトロン（小型普及型）

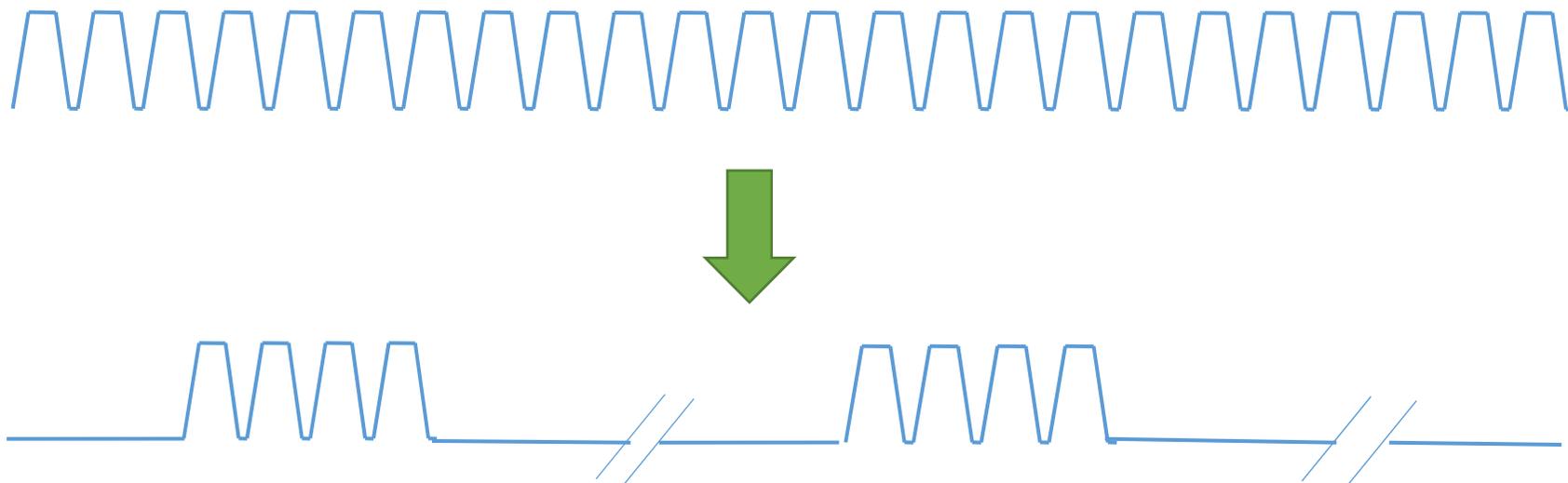
- 20°偏向電磁石×18台
- 偏向電磁石は18台を直列接続して台形状のパターン運転。最大2220Aの大電流を流すため、消費電力大きい



小型普及型シンクロトロン（群馬大学）

# シンクロトロン偏向電磁石の消費電力量の低減

- 待機時にはパターン運転を停止してフラットベース (FB)待機状態に出力を落とし、消費電力量の低減を目指す。
- そのため、FB待機⇒パターン運転⇒FB待機のサイクルを繰り返す、偏向電磁石の磁場の変動を測定する。



# 試験セットアップ

- シンクロトロン偏向電磁石（今回製作）

H型、ケイ素鋼板積層鉄心

- パターン励磁用電源（今回製作）

- NMRプローブ

Metrolab PT2025

- ホール素子

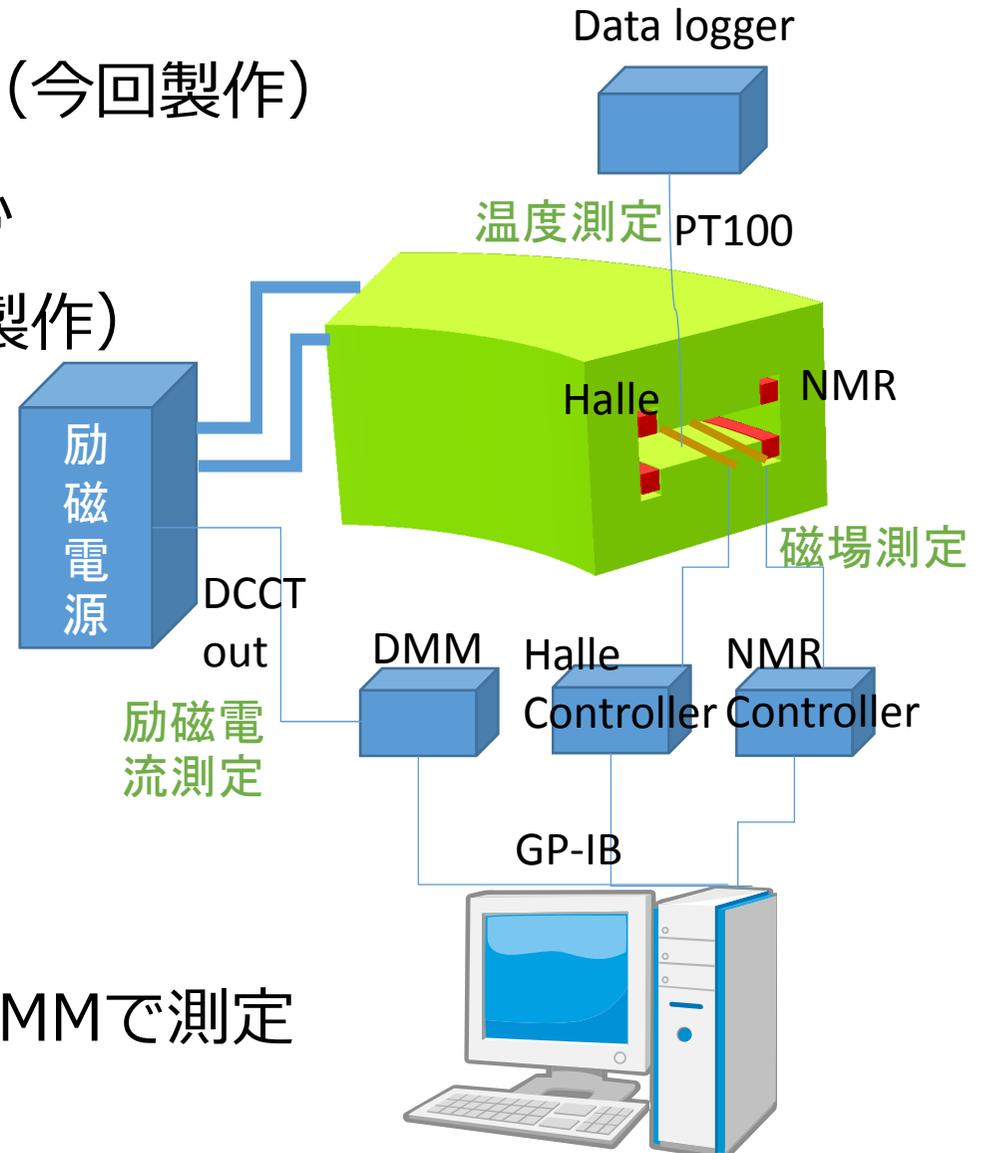
Group3 DTM-151

- 励磁電流

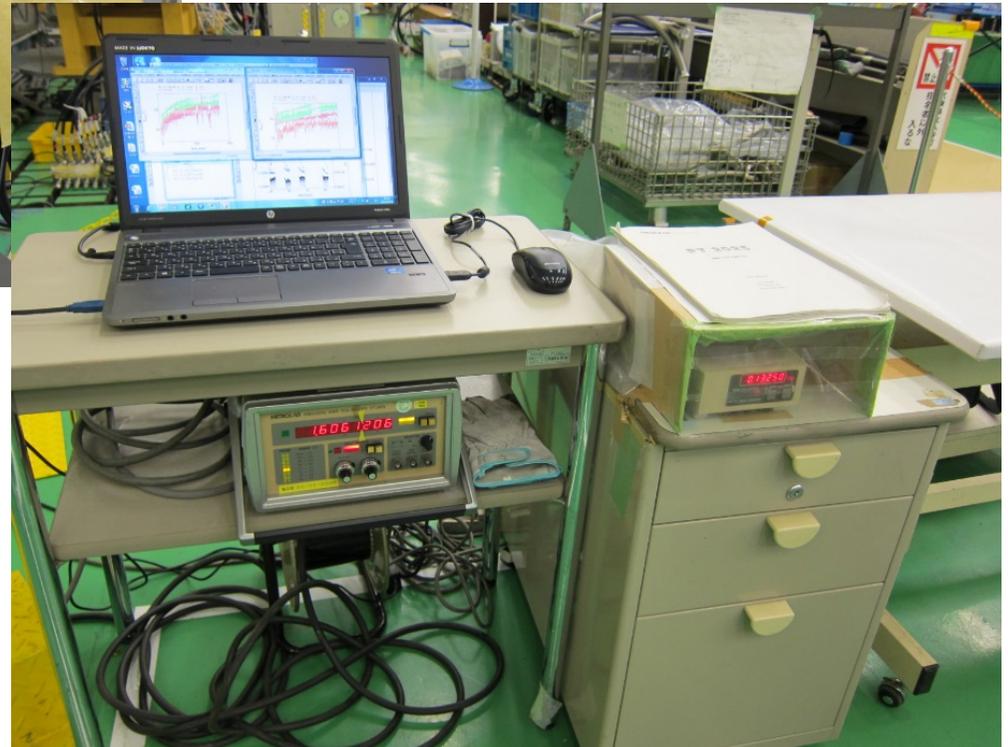
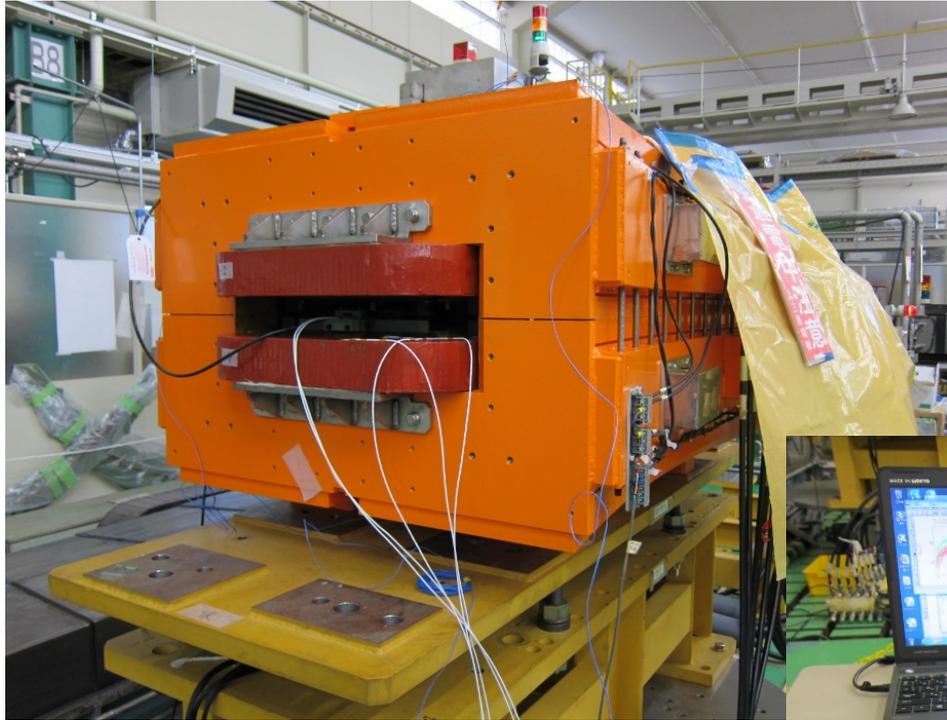
DCCT出力電圧を高精度DMMで測定

- 各所温度計測

白金抵抗測温体

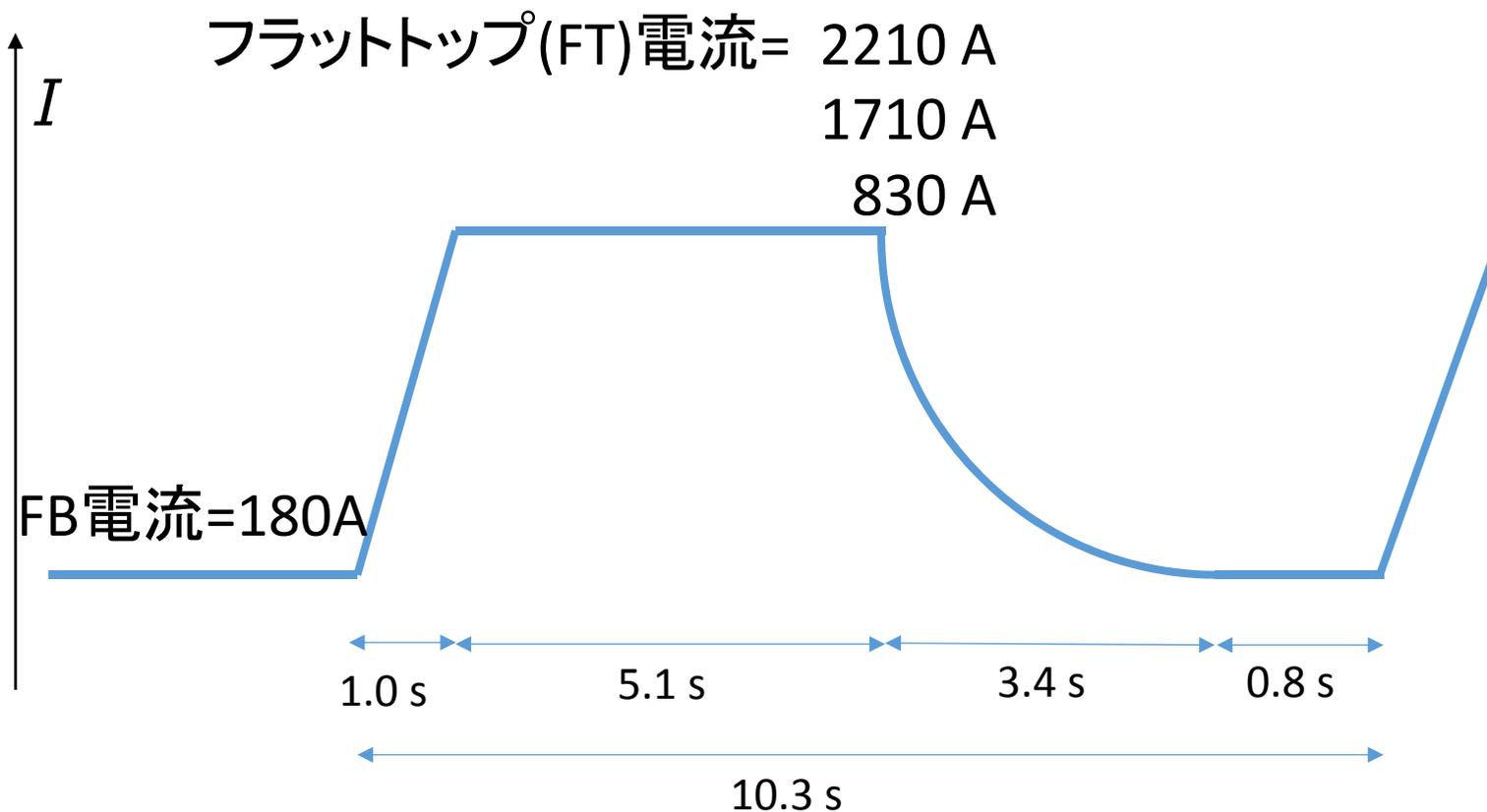


# 試験セットアップ写真



# 通電パターン (実機模擬)

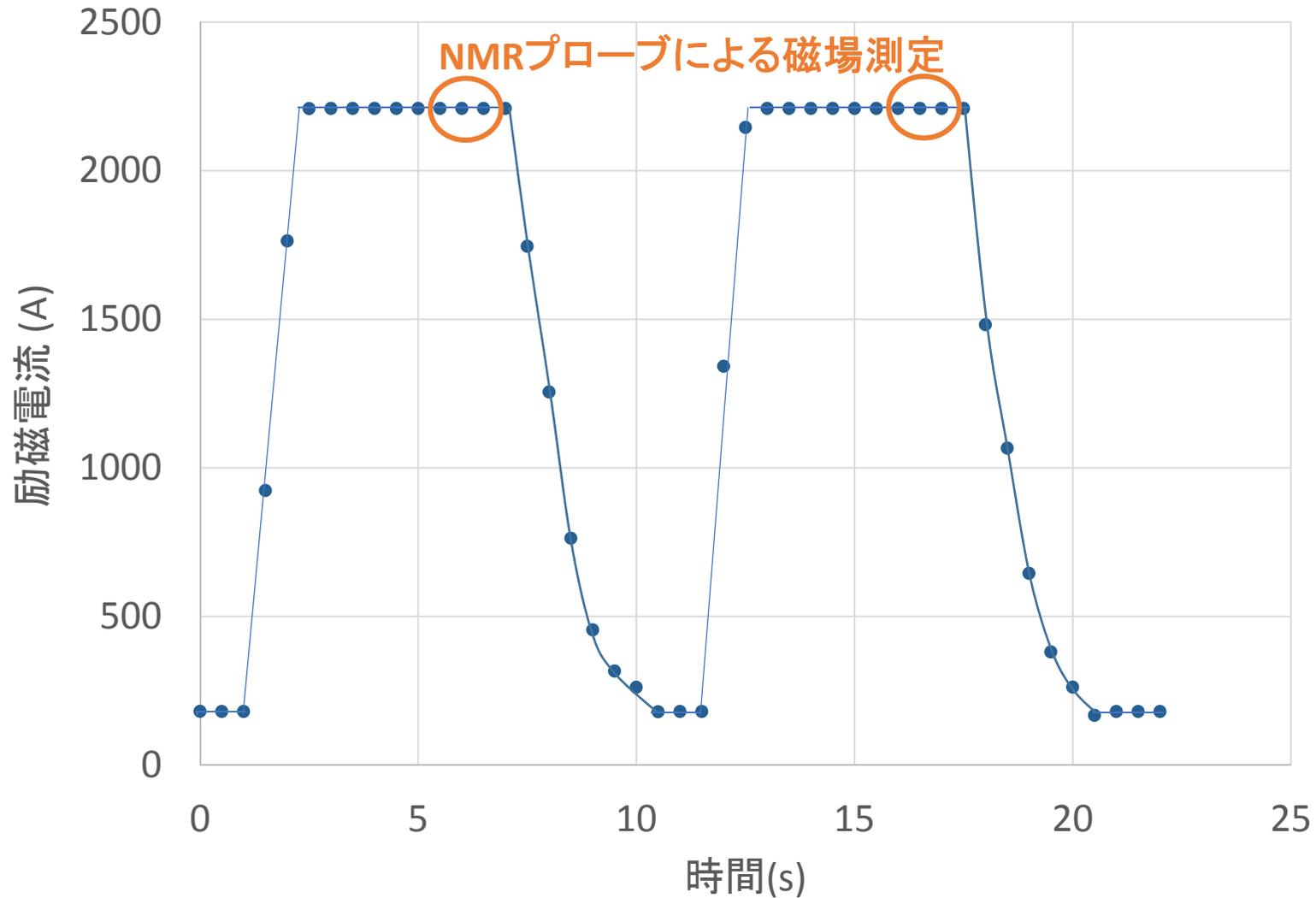
- ユニポーラ電源使用



- 磁場・温度測定時間間隔 1s

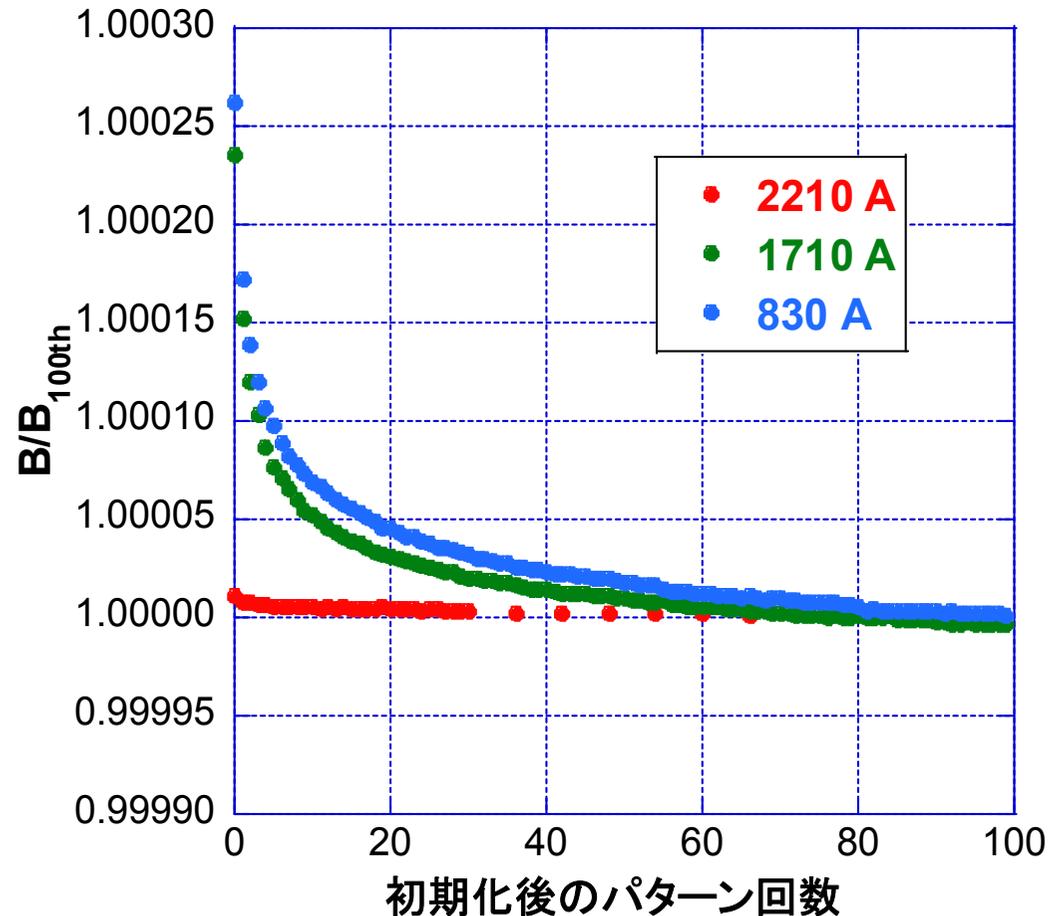
# 通電パターン（実測値）

- 2210A時の電流値



# シンクロトロン偏向電磁石磁場の経時変化

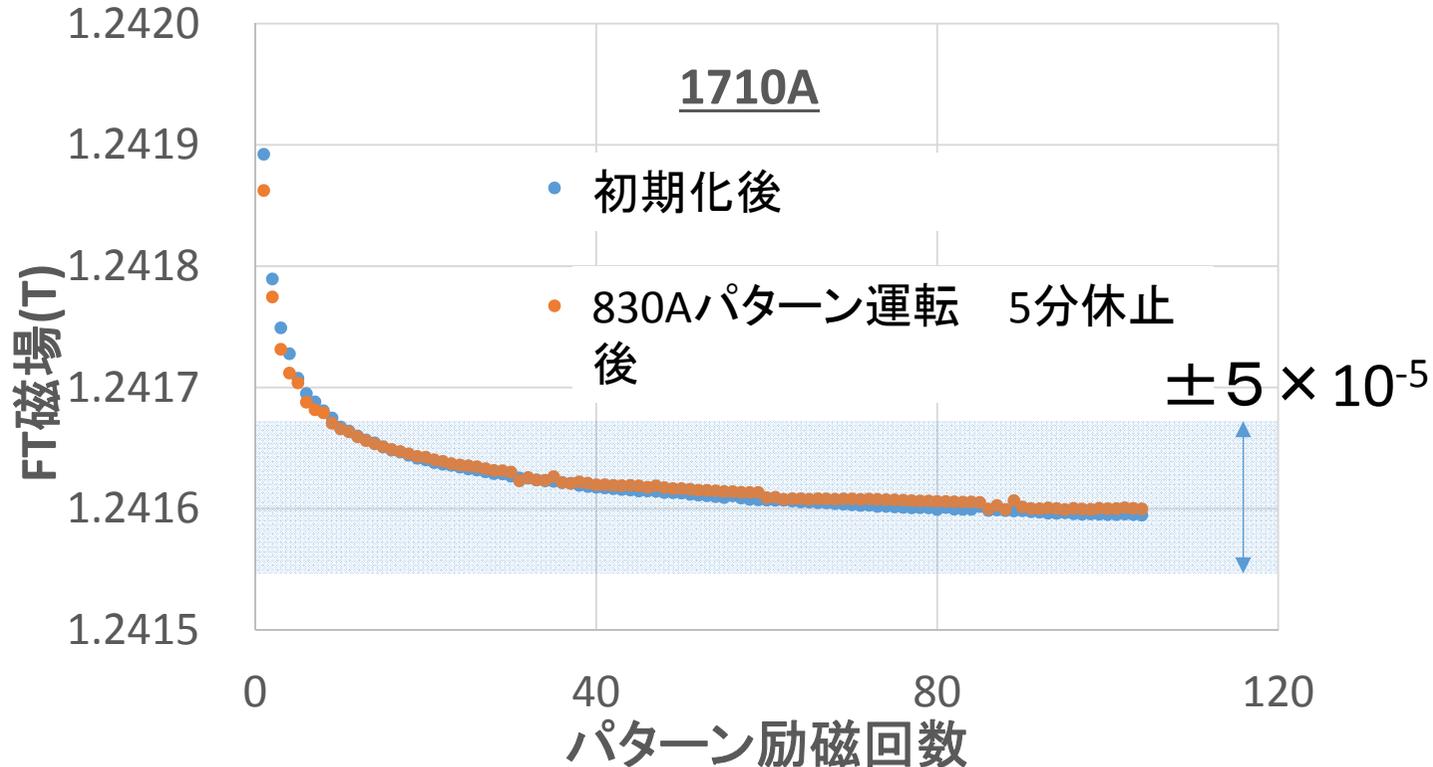
- FT2210, 1710および830A連続運転時の磁場の経時変化
- 100サイクル目の磁場で規格化



- 初期化直後は1710, 830Aでは偏差が $10^{-4}$ よりも大きい。
- FT電流が小さいほど安定までにかかる回数多い。

# FT電流変更時の磁場挙動

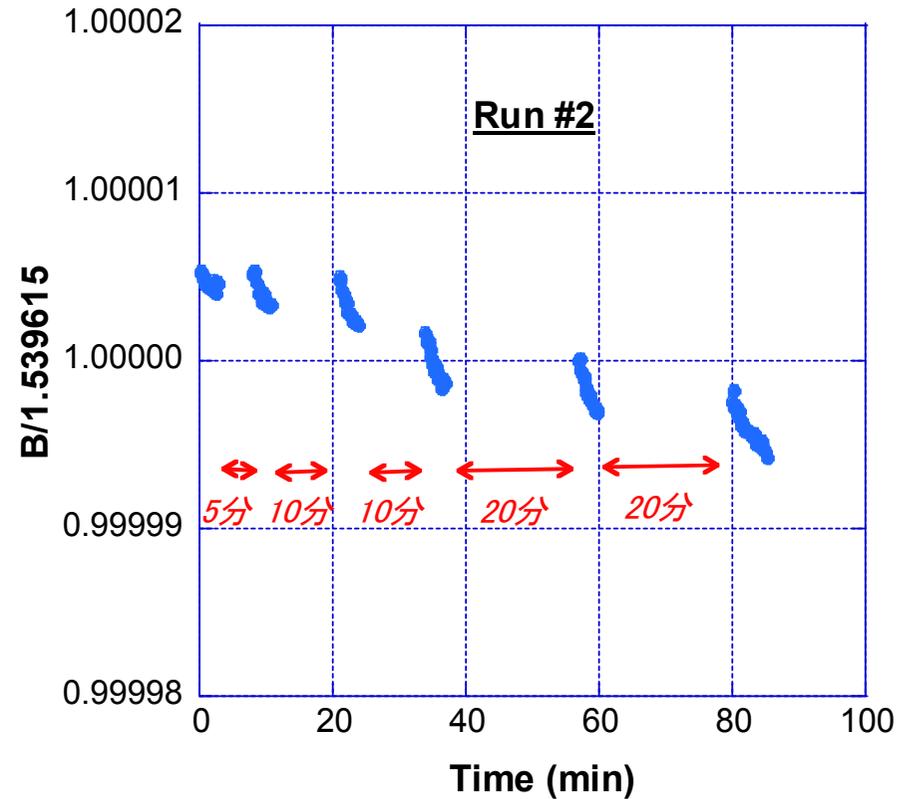
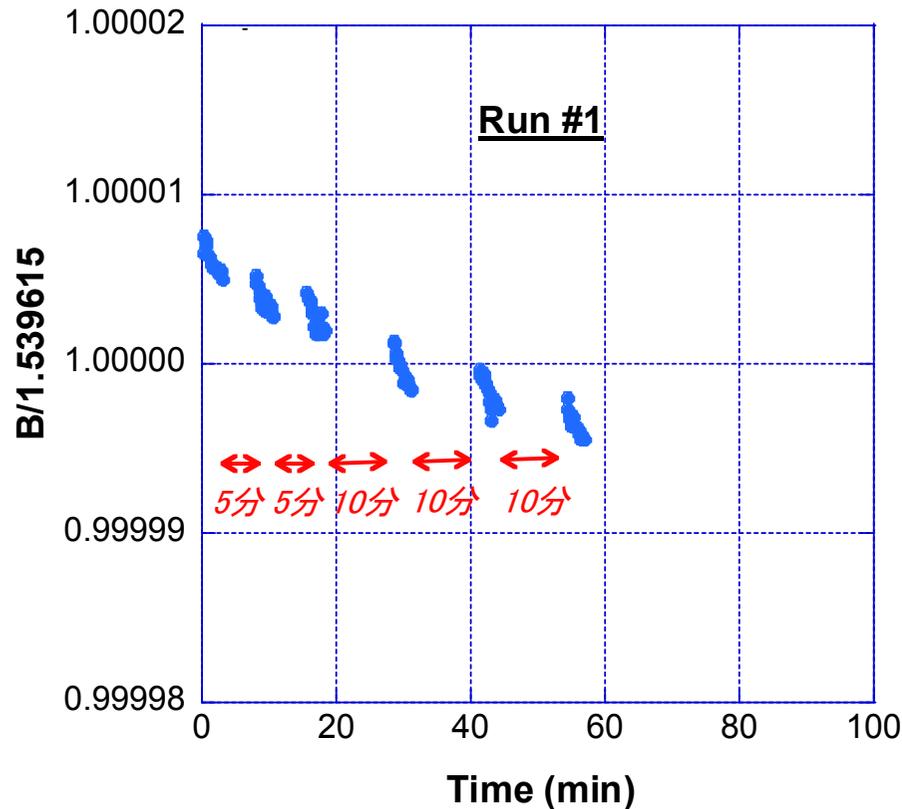
- 初期化 (FT電流 > 2210A) から 1710A に変更した場合と、830A から 1710A に変更した場合の比較



- 高電流パターン運転からFT電流を下げた場合も、低電流パターン運転からFT電流を上げた場合も、挙動はほぼ同一。

# シンクロトロン偏向電磁石 パターンON-OFF運転

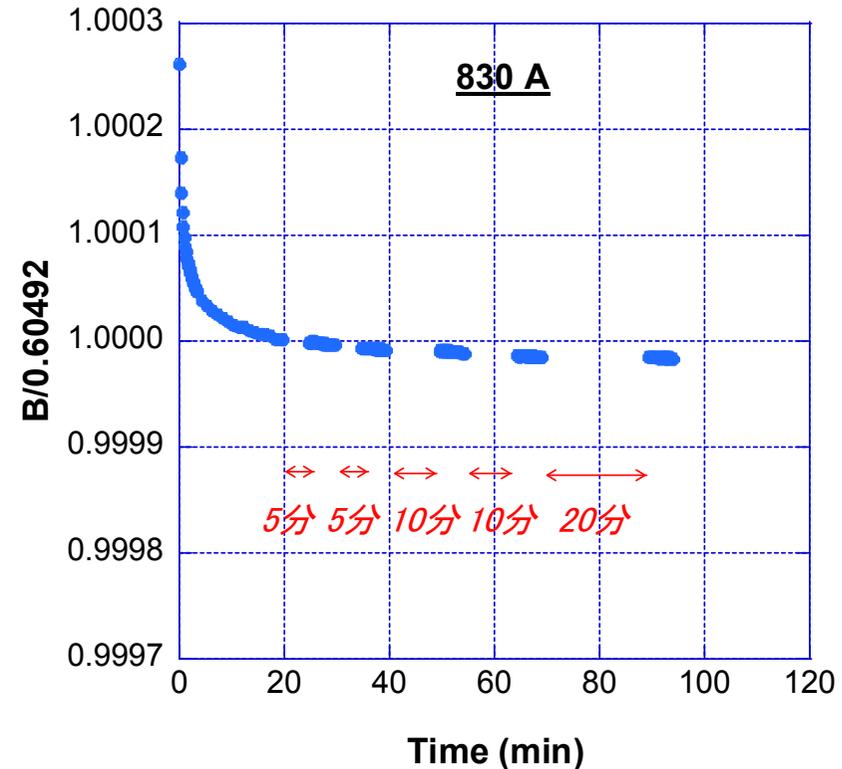
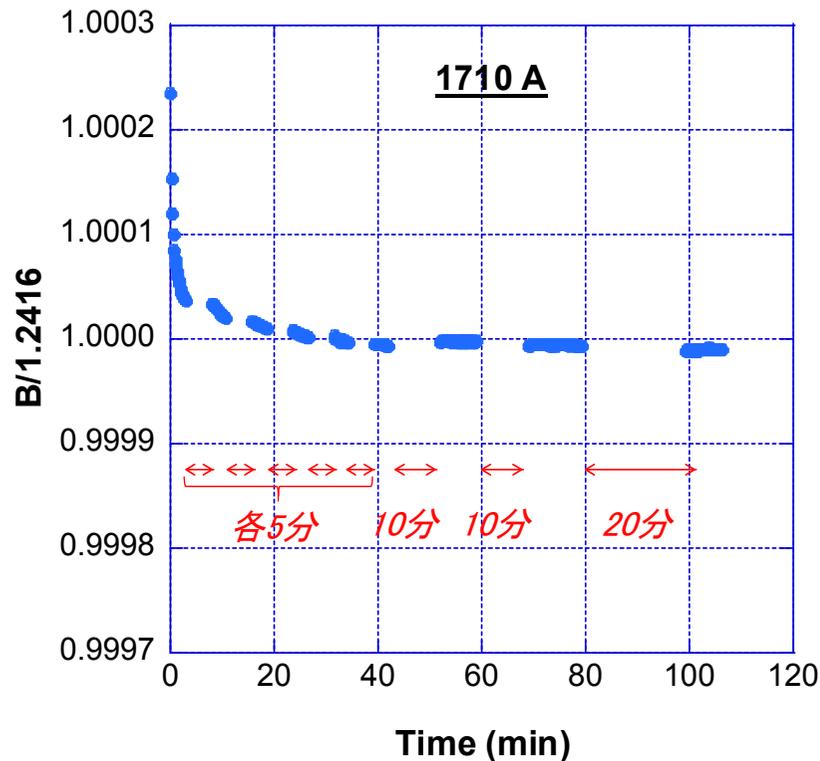
- パターン休止（FB一定）⇔パターン再開3分 を繰り返した時の磁場の高精度測定。FT電流は2210A固定。



- 5, 10, 20分パターン休止前後で磁場の変化は極めて小さい。

# シンクロトロン偏向電磁石 パターンON-OFF運転

- パターン休止 (FB一定) ⇔ パターン再開3~5分 を繰り返した時の磁場の高精度測定。FT電流は1710A(左)と830A(右)。



- 各FT電流とも5, 10, 20分パターン休止前後で磁場の変化は極めて小さい。

# まとめ

- 炭素線治療用シンクロトロンの消費電力量低減のため、実機仕様の各種電磁石を製作し、連続運転および間欠運転時の磁場の精密測定を実施した。
- シンクロトロン偏向電磁石では、フラットトップ磁場の変更直後は安定値よりも高めの磁場を示し、徐々に安定値に近づいていく。高電流パターンからフラットトップ電流を下げた場合も、低電流パターン運転からフラットトップ電流を上げた場合も、挙動はほぼ同一。
- パターン運転を休止してフラットベース電流で5～20分程度保持しても、パターン運転再開時の磁場は休止前の磁場とほとんど変化ない。