

# HTSによる加速器用磁石

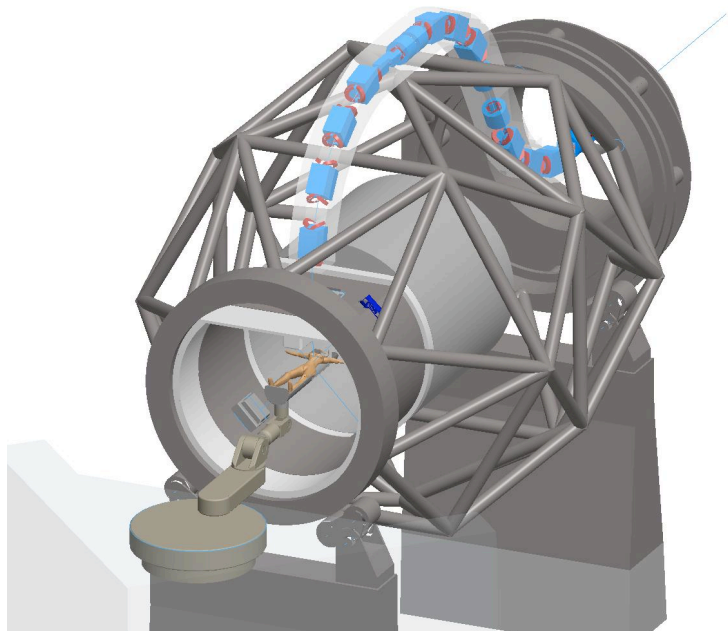
# 目的

- HTSを用いることで超高効率な加速器用磁石を開発する。
- JSTによる外部資金プロジェクトの補間
  - 戦略的イノベーション創出推進事業  
高温超伝導を用いた高機能・高効率・小型  
加速器システムへの挑戦
    - 10年計画で10T級の磁石を目標
- 本開発では
  - スーパーフェリックで3T級の超高効率磁石を実現させ早期の果実刈り取りを目指す。

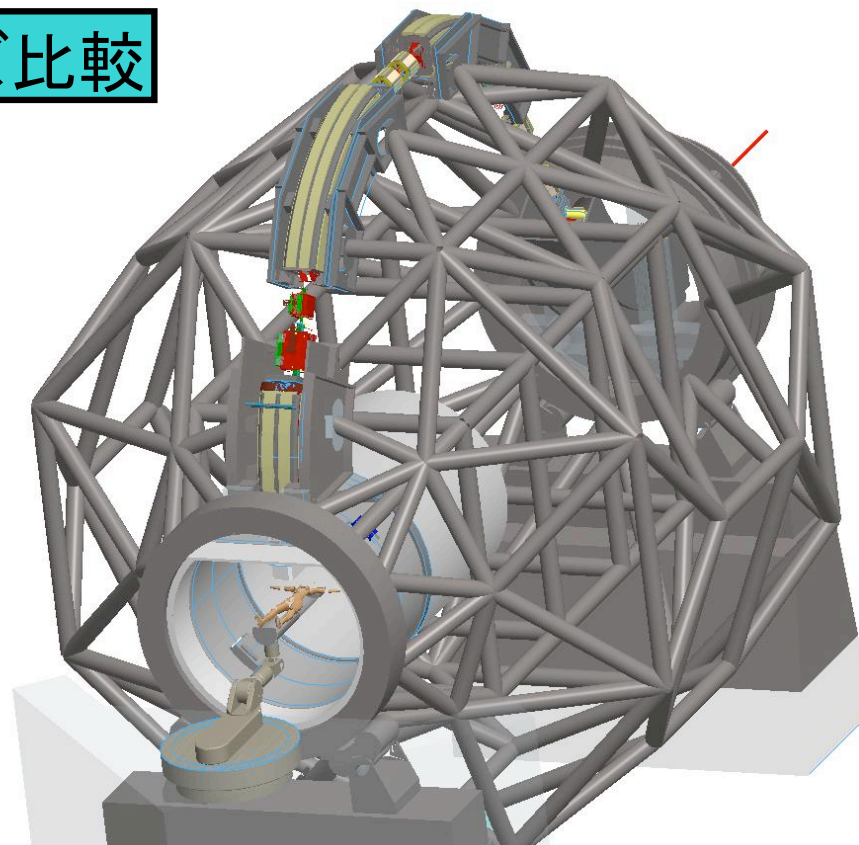
これまでの成果 (JST外部資金: 超電導加速器医療応用)

# 重粒子線用回転ガントリービーム照射システム

## 超伝導／常伝導ガントリーサイズ比較

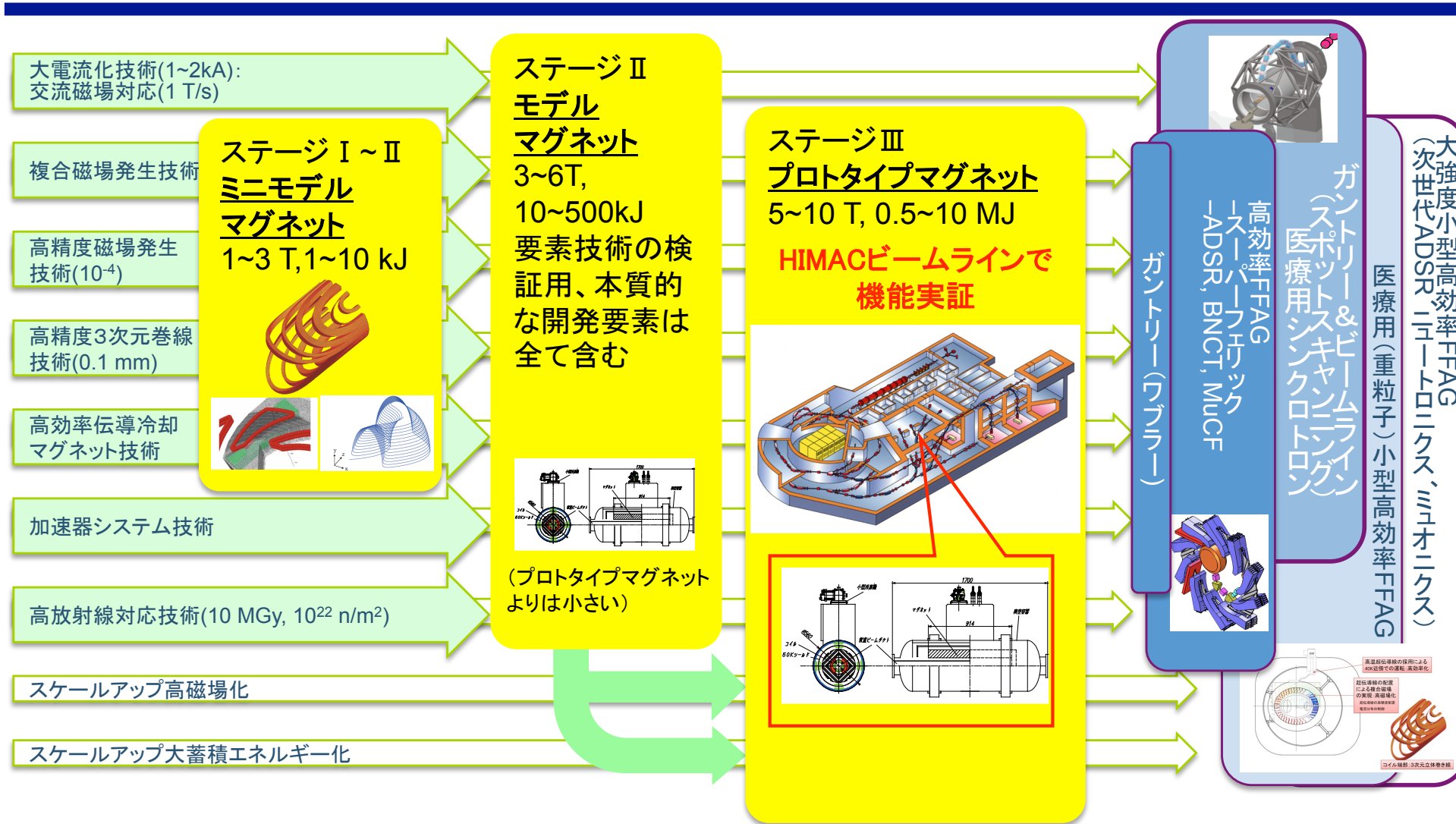


超伝導ガントリー	
偏向電磁石磁場	3.0T
総重量	約100トン
回転半径	約4.5m
長さ	約10m



常伝導ガントリー	
偏向電磁石磁場	1.5T
総重量	約400トン
回転半径	約7.0m
長さ	約15m

# 高温超伝導を用いた高機能・高効率・小型 加速器システムへの挑戦

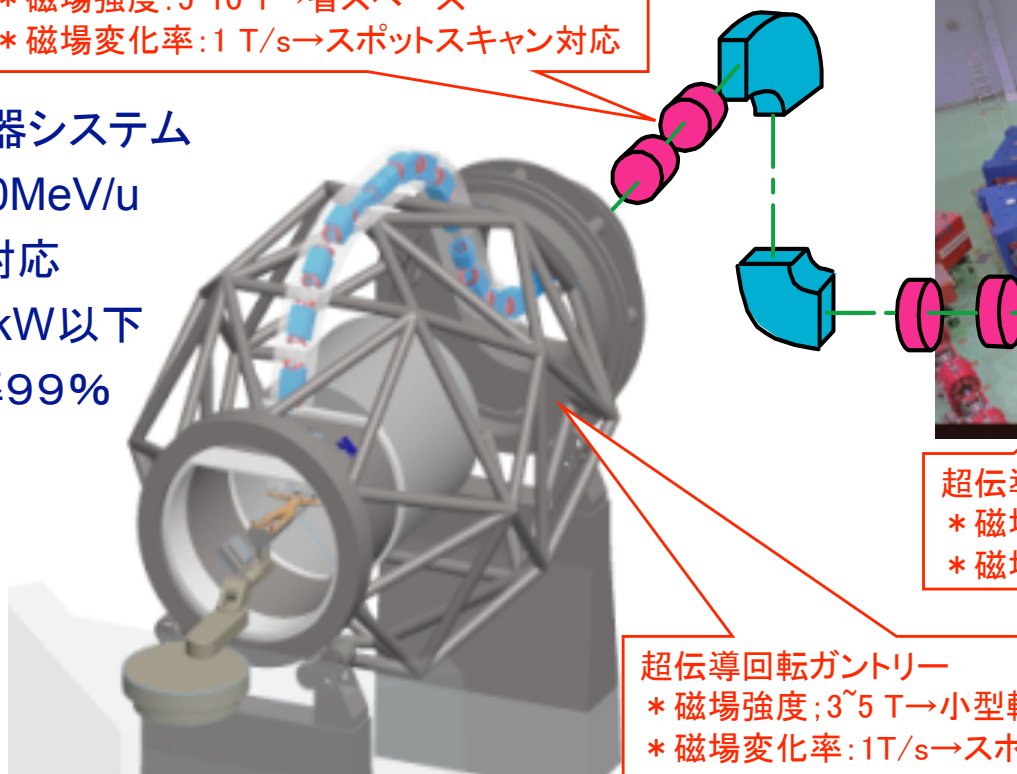


# メリット(定量化): 重粒子線がん治療装置

- 超伝導化 = 高磁場化(5~10T) = 小型化
- 高温超伝導化 = 高運転温度(20~40K) = 高効率 & 高安定性

- 重粒子医用加速器システム
- 炭素6価140~400MeV/u
- スポットスキャン対応
- 高効率: 電力500kW以下
- 高信頼性: 稼働率99%

超伝導ビーム輸送系  
\* 磁場強度: 5~10 T → 省スペース  
\* 磁場変化率: 1 T/s → スポットスキャン対応



超伝導加速リング  
\* 磁場強度: 5~10 T → 小型化  
\* 磁場変化率: DC ← FFAG化

超伝導回転ガントリー  
\* 磁場強度: 3~5 T → 小型軽量化(75t以下)  
\* 磁場変化率: 1T/s → スポットスキャン対応

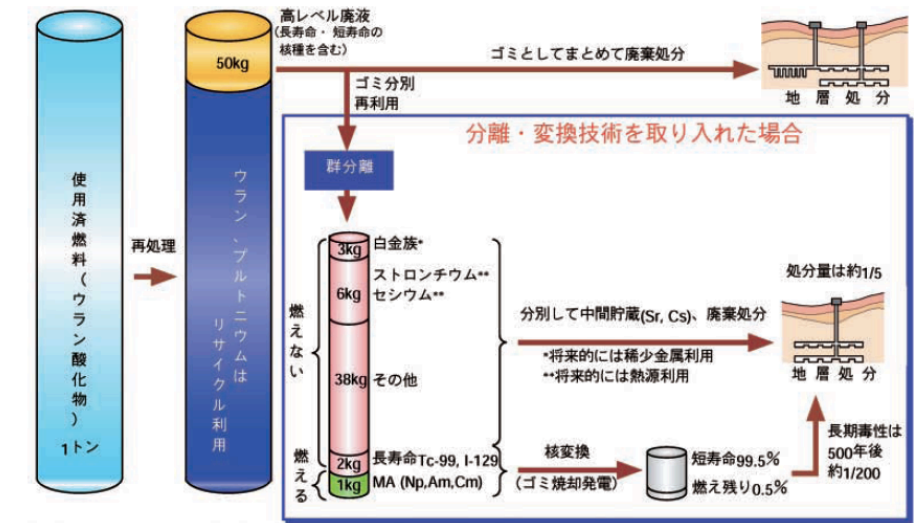
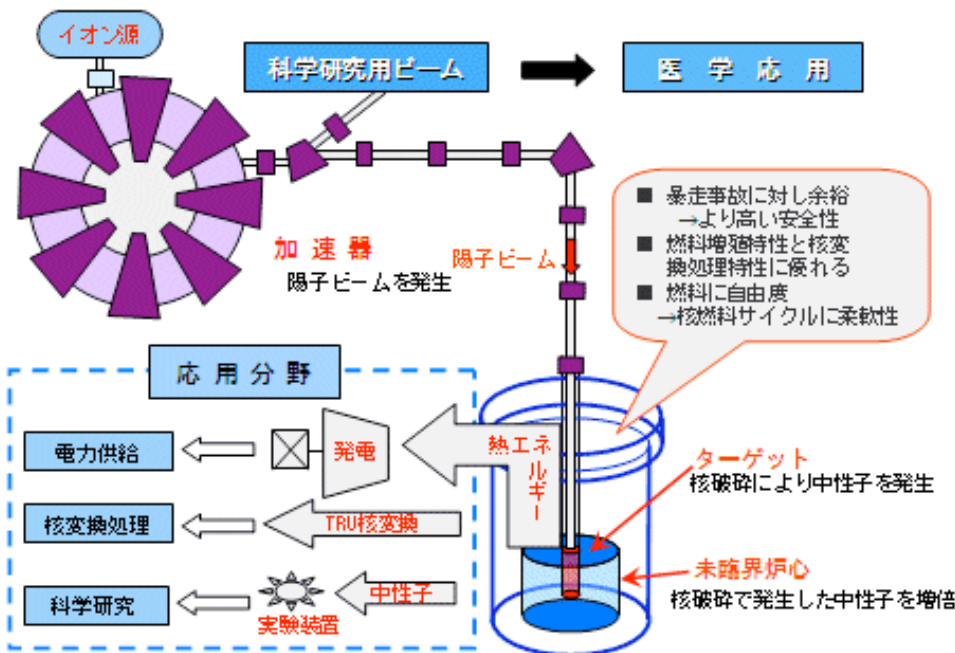
市場: 国内20施設、世界2500施設  
経済効果: 100兆円規模

TOSHIBA  
Leading Innovation >>>



# メリット(定量化): 加速器駆動未臨界炉

- 加速器仕様
  - ビーム:陽子;1~3GeV;10mA以上
  - ビーム効率: 40%以上
- マグネット仕様
  - 磁場強度: 5~10T
  - 磁場精度: k値精度0.1%以下
  - 口径: 400mm \* 100mm
  - 外形寸法: 500mm\*1000mm\*500mm
- ビーム効率は高温超伝導FFAGでのみ実現可能
- 軽水炉10台に1台必要(廃棄物処理)
- 高効率化=エネルギー生産  
=安全でクリーンな代替原子炉



長寿命核種 1~1000万年程度で放射能消滅するゴミ  
短寿命核種 1000年程度で放射能消滅するゴミ

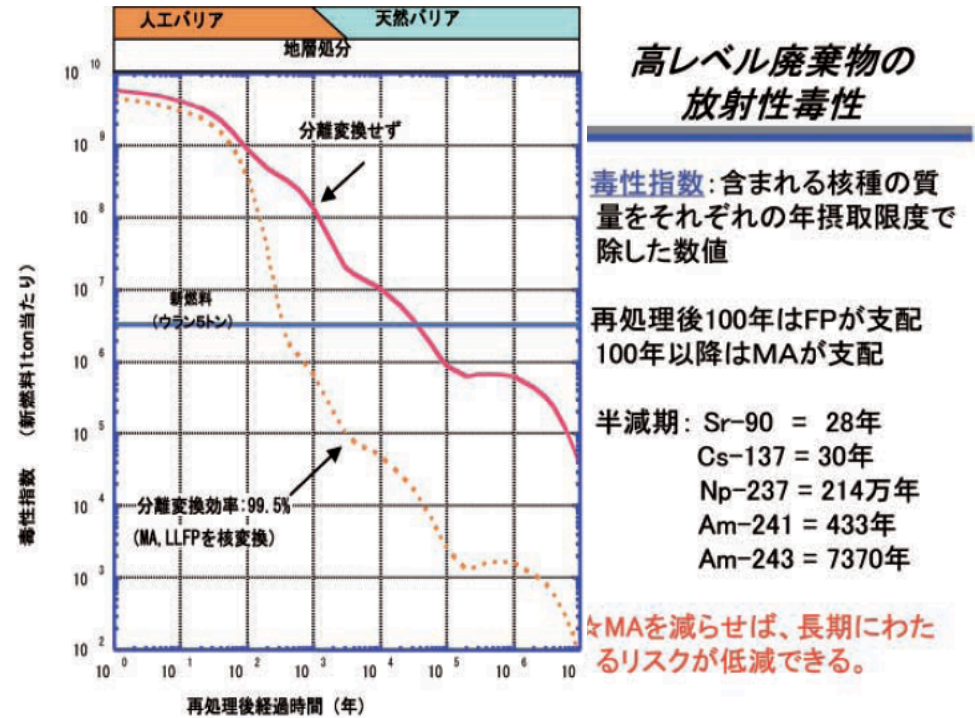


図2 高レベル廃棄物の放射性毒性の時間変化

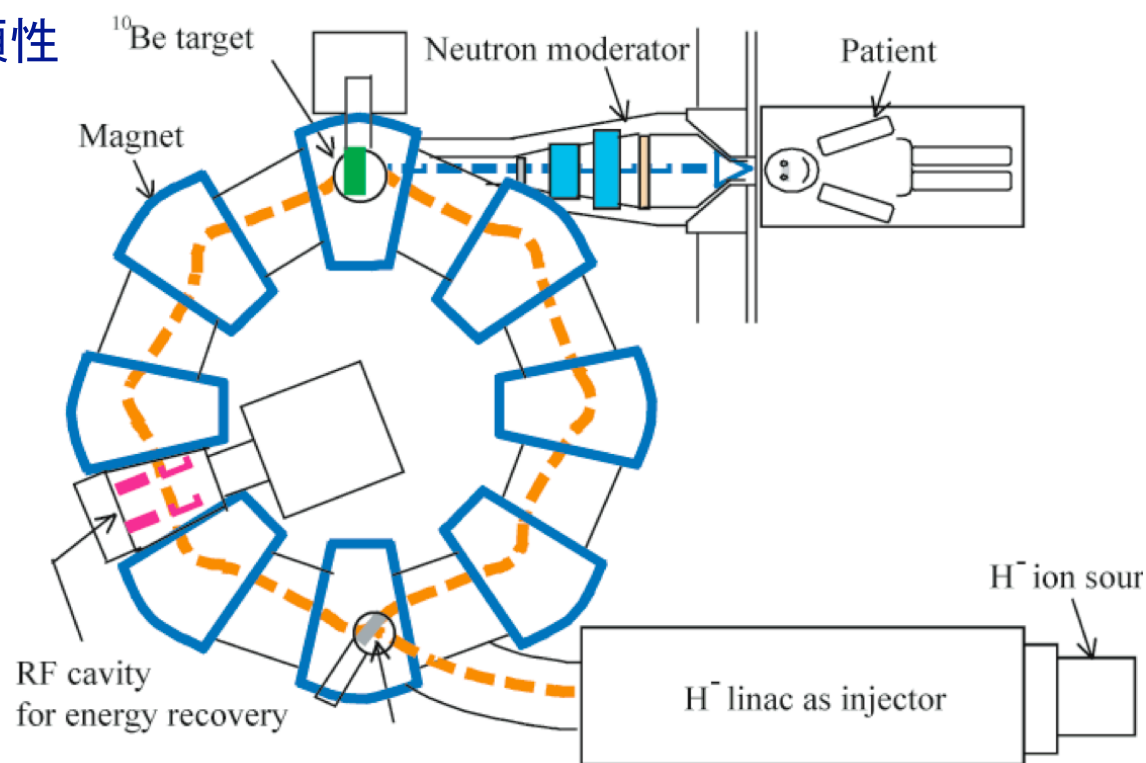
## メリット(定量化):ニュートロニクス用加速器

### □ 医用中性子源

- FFAGリング内の標的に陽子ぶつける
- 標的衝突で失った陽子のエネルギーをFFAGで再加速→大アクセプタンス
- 10MeV、50Hz、 $\mu$ sパルスビーム
- 小型化、高効率化、高信頼性
- 重粒子治療機同等の市場

### □ 工業用中性子源

- 仕様はADSRと同等
- 大強度陽子ビーム
- 小型化、高効率化
- 耐放射線性



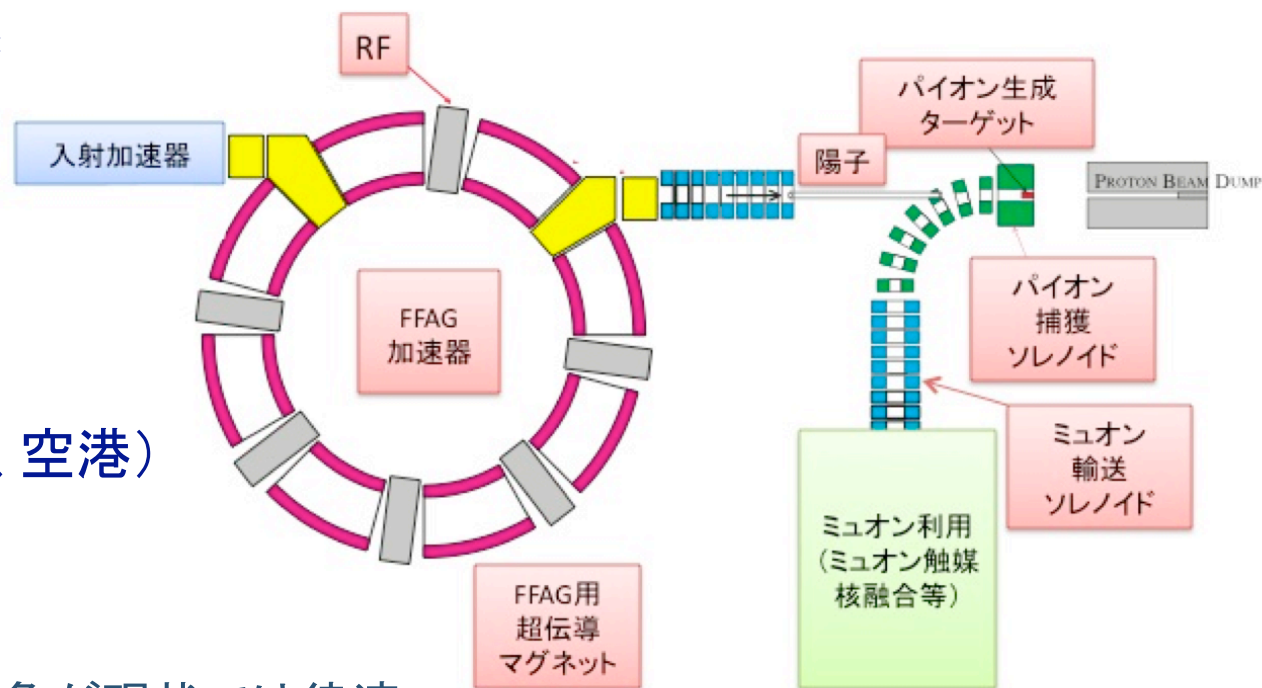
## メリット(定量化):ミュオニクス用加速器

### □ ミュオン触媒核融合

- ビーム: 重陽子、1GeV、10mA
- マグネット仕様はADSRと同等
- 小型化、高効率化(ADSR以上が必須)
- 超伝導ソレノイド系
- 熱核融合と補間
- 早期実現性\*

### □ 検査用ミュオン源

- 仕様は上記同様
- 核物質探査(港湾、空港)
- 火山噴火予知



\*ミュオンのアルファ付着現象が現状では律速。

これが解決できれば他の要素技術は本研究を含めて  
10年くらいの研究開発で十分実現可能<sup>8</sup>

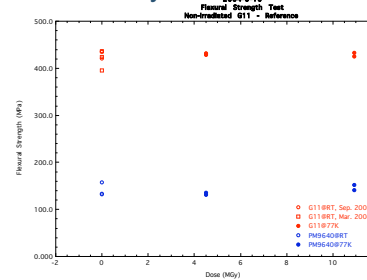


# 要素技術：放射線環境対応技術

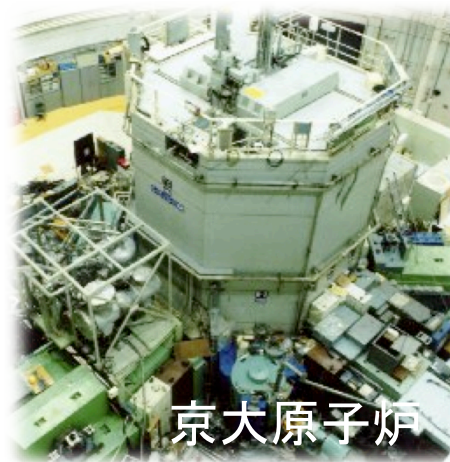
(目標) 10 MGy,  $10^{22}$  neutron/m<sup>2</sup>

- 電離による有機物(絶縁材料等)の劣化
  - ◇ 機械特性の劣化+脱ガスによる真空劣化
    - J-PARC用超伝導磁石での研究
    - JAEA高崎でのγ線照射試験
- 中性子等による金属材料への影響
  - ◇ 安定化材の電気伝導度の劣化(クエンチ保護)
    - 低温化での中性子照射試験
    - 京大原子炉での照射(低温照射設備有り;スペクトルは違う)
    - 加速器(J-PARC)での照射(要低温照射環境整備)
  - ◇ 超伝導性能の劣化
    - 中性子照射試験
    - 原子炉照射(スペクトルは違う)
    - 加速器(J-PARC)での照射
  - ◇ 放射化
    - 原子炉もしくはJ-PARCでの照射

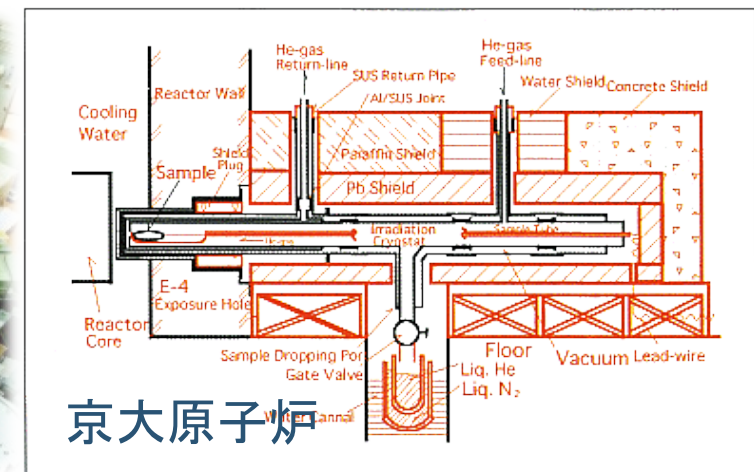
有機材料の照射試験結果  
By KEK, JAEA



JAEA高崎γ線照射施設



京大原子炉



京大原子炉

低温

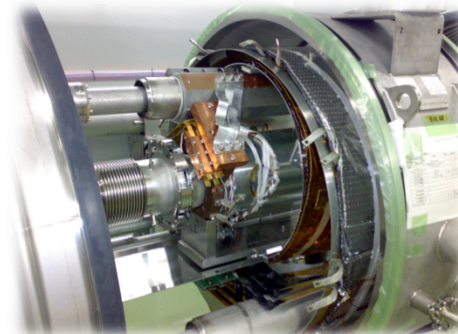


J-PARC

# 要素技術：高温超伝導加速器システム技術

(目標)アクセプタンス(ビーム光学上の許容領域)数千 $\pi$ mm.mrad 以上

- ADSR、ニュートロニクス、ミュオニクス
  - 大強度陽子ビームが必要
  - 大アクセプタンス=安定した運転に必須
- リング加速器=多くのマグネットから構成
  - アクセプタンスを減らす要因
    - マグネット本体の磁場精度劣化(空間、時間安定性)
    - マグネット間の漏れ磁場による干渉
    - 磁石のアライメント
- マグネット以外の要素
  - ビームモニター
    - ビーム診断に必要不可欠
  - 加速空洞
    - ビーム加速に必要不可欠
  - 入出射システム
    - ビームの入射、取り出し
  - マグネットシステムとの親和性⇔共存できるマグネットシステム設計
    - 動作温度
    - アライメント
    - 漏れ磁場の影響



マグネット接続部



J-PARC超伝導ビームライン

# 開発内容

- FFAG用スパイラル磁石を
  - HTSを用いて
  - スーパーフェリックで
  - ビーム軌道磁場3Tで
  - 超高効率をめざす
- 計画
  - コイルは外部資金
  - 鉄ヨークとクライオの製作
  - とりあえずは窒素冷却で1.5Tの実現

