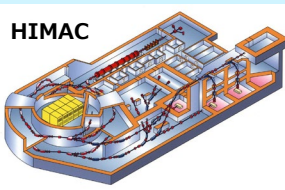


# 量子メス開発の現状について (超伝導シンクロトロンを中心に)

量子科学技術研究開発機構  
量子医科学研究所  
関西光量子科学研究所  
QST病院

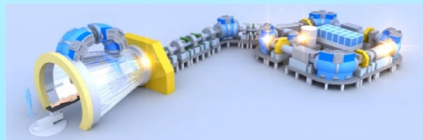
## 量子メス (次世代重粒子線装置)

- 重粒子線（炭素線）を利用した  
体外からの放射線治療



固形がん

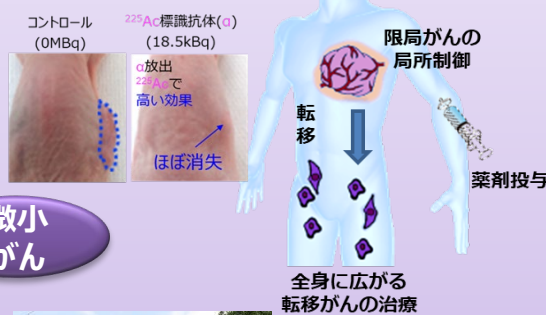
量子メス実証機の開発



20 m

## 標的アイソトープ療法 (TRT)

- アルファ線放出核種を利用した  
体内からの放射線治療



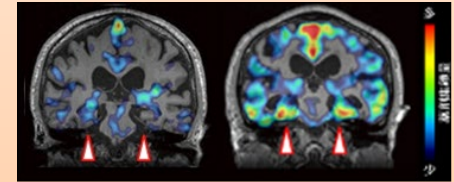
微小がん



Mobile Controlled Area for TRT, "MCAT"

## 精神・神経疾患の 診断と治療

- 認知症・うつ病の早期診断や治療法開発



正常高齢者 認知症 (アルツハイマー病患者)

認知症原因タンパク質の画像化

ATOX-VRAIN



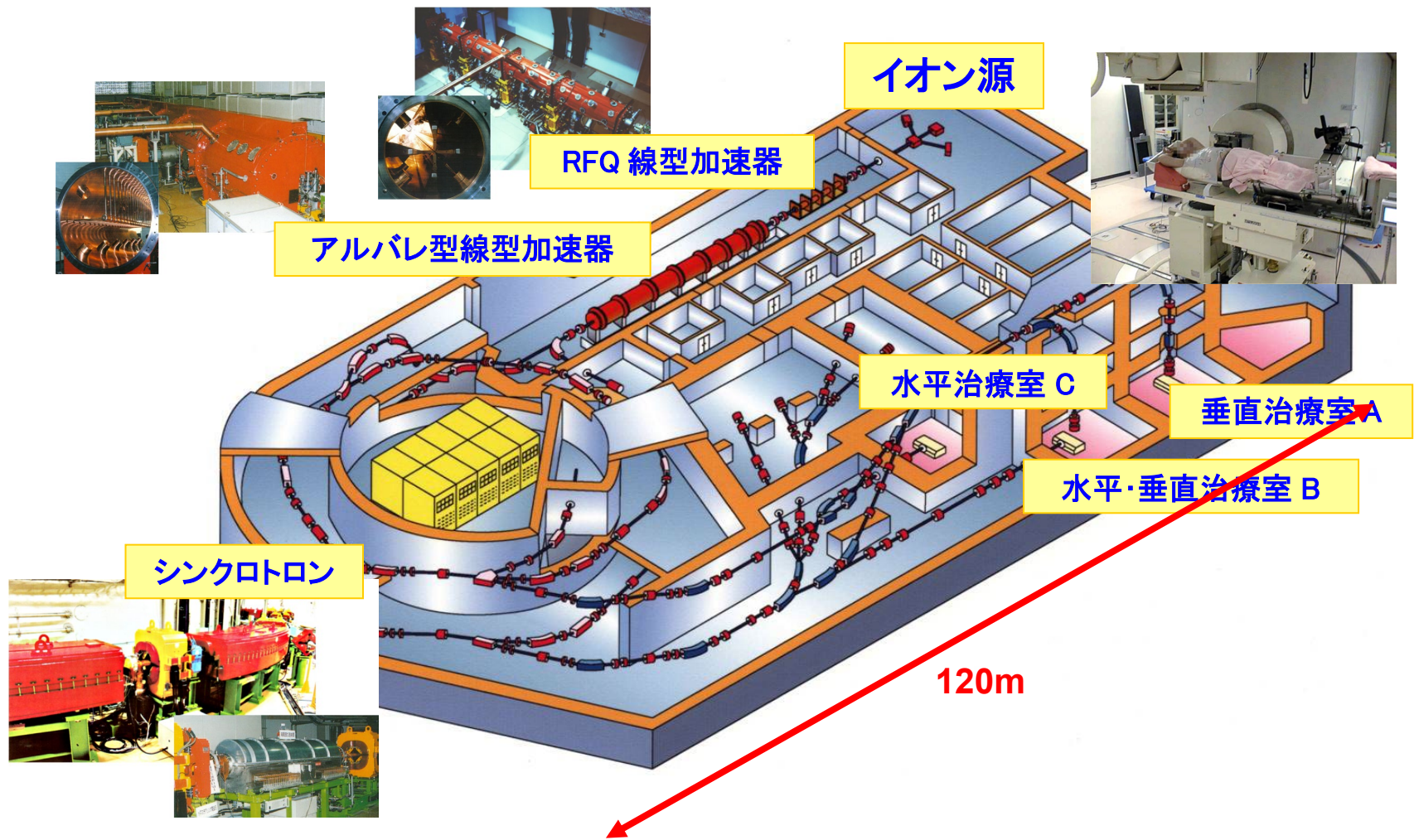
頭部専用高解像度PETの開発

## 加速器・RI製造・イメージング技術

**世界初の医療専用重粒子線加速器の開発**等により、世界に先駆けた重粒子線がん治療の実施に貢献した。回転ガントリーを含む第3世代の装置は米国、中国、韓国で日本企業により建設が行われており、**国内外で強い優位性**を持っている。今後更なる小型化、高性能化を目指した量子メス装置の開発を実施している。

**世界トップクラスの放射性薬剤製造種類の技術力**を背景に、新しくアルファ線やオーグ電子放出核種を標識した放射性薬剤の製造を行っており、非臨床研究により有効性を確認、簡易型病床（トレーラーハウス）も活用し、QST病院や他機関との協力で臨床研究を推進し、新たな臨床研究も計画している。

QST発の複数の認知症PETプローブを開発し、イメージング技術も活用して、**米国、台湾、日本等におけるグローバルな臨床研究を推進**している。複数の製薬メーカーとのアライアンスを構築し、また、大学病院等とも連携した血液バイオマーカー開発等も含め、認知症研究の拠点として、位置付けられている。



世界初の重粒子線治療装置であるHIMACにおける、1994年からの臨床経験により、治療プロトコル治療装置の基礎が定まった。

# 小型重粒子線がん治療装置

高効率小型線形加速器



小型永久磁石イオン源



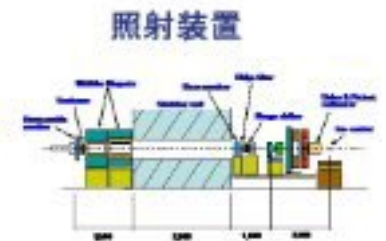
シンクロトロン電磁石



小型高周波加速装置



シンクロトロン電磁石用  
高精度電源



電車1両

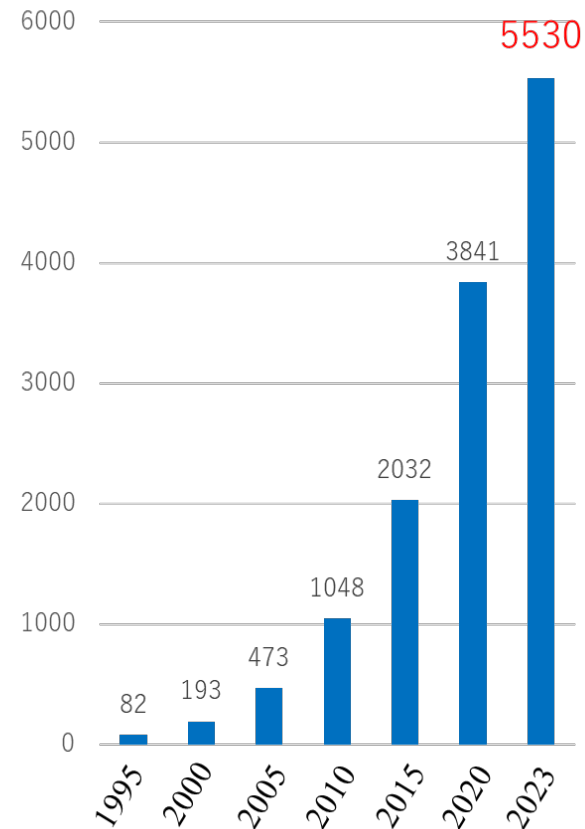


20 m

HIMACにおける運用経験と、装置小型化の研究開発成果を合わせて、2004年より病院設置型の小型重粒子線治療装置の開発が開始された。

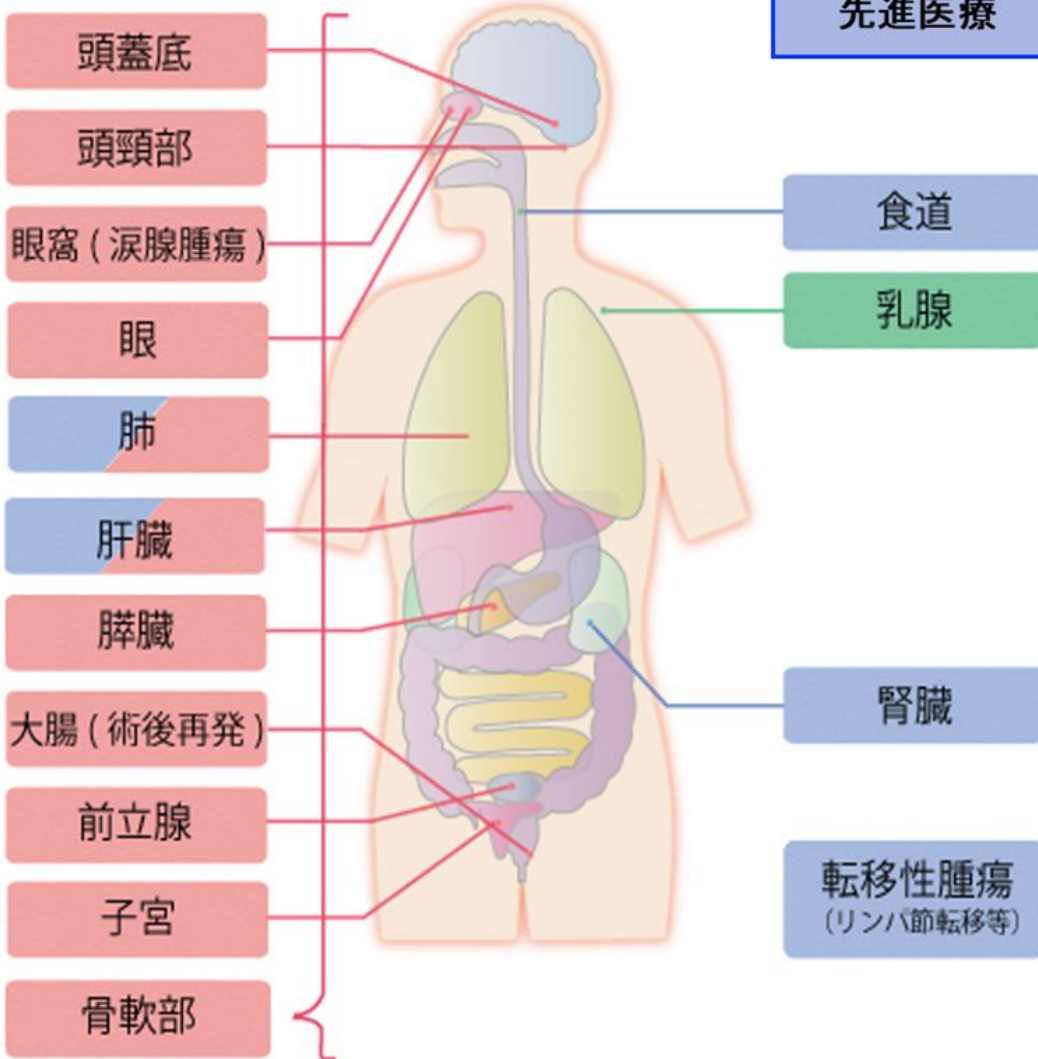


重粒子線治療件数の推移(日本)



国内7施設は重粒子線治療多施設共同臨床研究組織 (J-CROS) を結成し、治療データの集積、臨床試験の推進を実施。

## 公的医療保険適用



臨床試験

先進医療

食道

乳腺

腎臓

転移性腫瘍  
(リンパ節転移等)

## 重粒子線治療の適応疾患

### 保険医療

- ①骨軟部腫瘍
- ②頭頸部腫瘍 ③前立腺癌
- ④肝細胞癌(≧4cm)
- ⑤肝内胆管癌
- ⑥局所進行膵癌
- ⑦大腸癌術後局所再発
- ⑧局所進行子宮頸部腺癌
- ⑨早期肺癌
- ⑩子宮頸部扁平上皮癌
- ⑪婦人科領域悪性黒色腫

### 先進医療

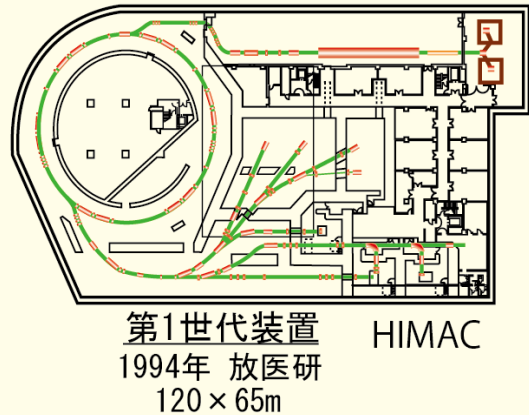
- ①進行肺癌 ②食道癌(I期)
- ③肝細胞癌(4cm未満) ④腎癌
- ⑤転移性腫瘍(肝転移・肺転移・リンパ節転移)

### 臨床試験

- ①乳腺腫瘍
- ②前立腺癌短期照射
- (③心臓不整脈)



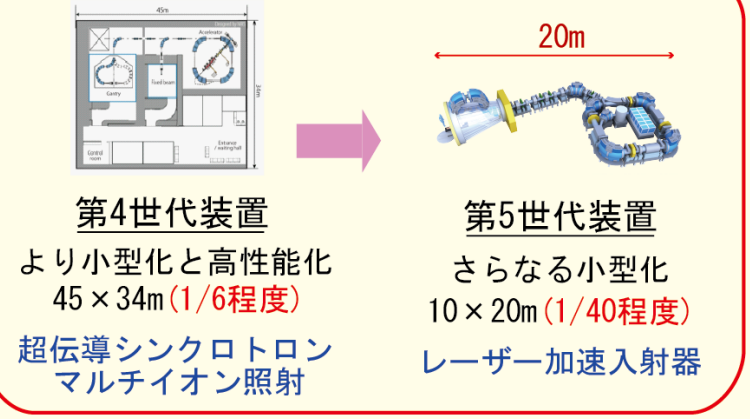
## 重粒子線がん治療装置



## 普及型



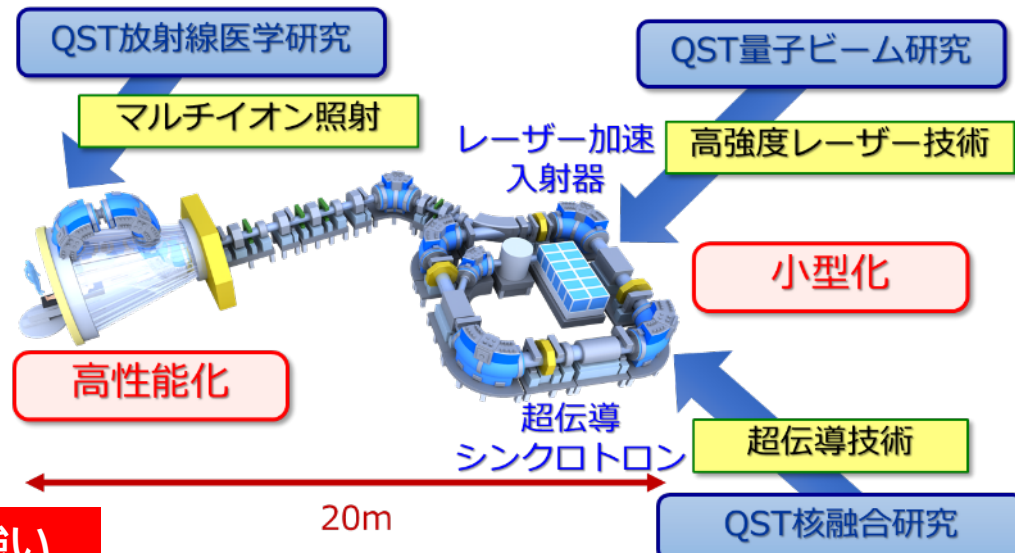
## 量子メス



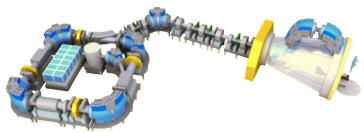
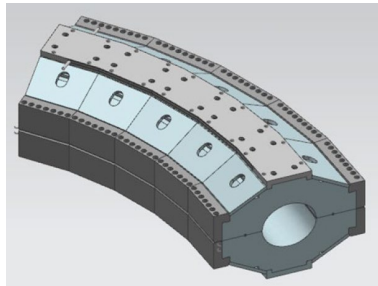
## 課題解決

- 装置が巨大で高額  
→超伝導技術とレーザー加速技術により、**画期的な小型化による国際的普及へ**
- 腫瘍によっては、除去が完璧ではない  
→マルチイオン照射技術により、**治療短期化に向けた高性能化を実現**

量子科学技術により課題を解決し、日本の強い優位性を堅持して国際的なシェアを獲得

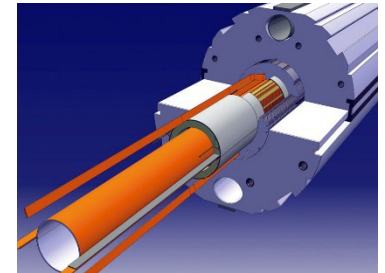


## 量子メスの超伝導磁石



仕様概要	
二極磁場	0.3–3.5 T
四極磁場	0.1–1.5 T/m
励磁速度	~0.7 T/s
磁極長	2.98 m
曲率半径	1.89 m
コイル半径	72/50 mm
磁場均一度	$3 \times 10^{-4}$

## FAIR SIS300の超伝導磁石



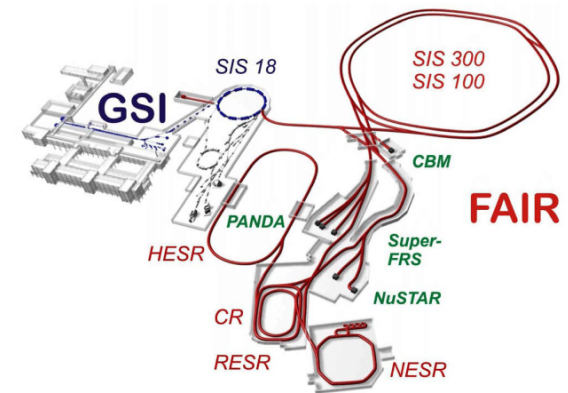
仕様概要	
二極磁場	1.5–4.5 T
四極磁場	-
励磁速度	1 T/s
磁極長	3.88 m
曲率半径	66 $\frac{2}{3}$ m
コイル半径	50 mm
磁場均一度	$2 \times 10^{-4}$

M. Sorbi et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., 2008.

建設計画中の最先端大型加速器用超伝導磁石と比べても遜色ない仕様、**かつ液体ヘリウム不使用**

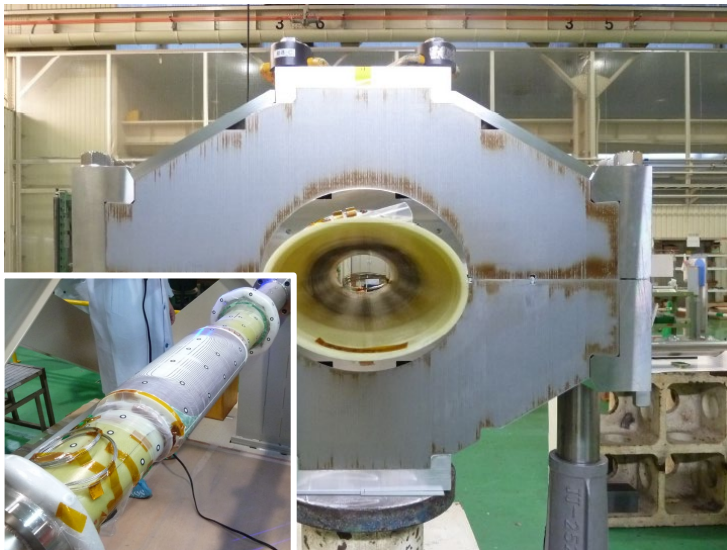


- 超低交流損失超伝導線材の開発
- 液体ヘリウムフリー伝熱パスの開発
- 発熱低減のためのコイル形状最適化

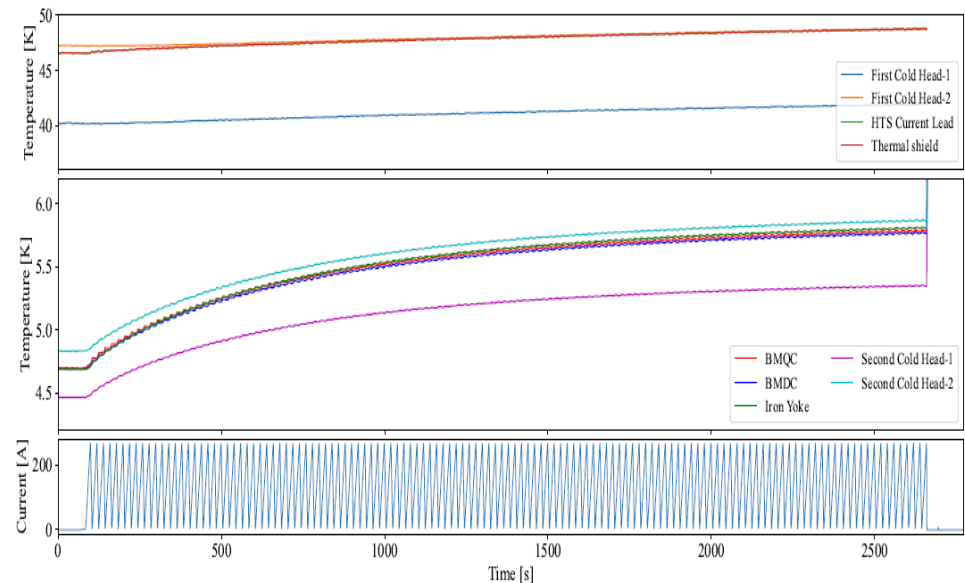


- 東芝エネルギーシステムズと、超伝導線・超伝導コイル・冷却技術の開発成果を統合し、超伝導電磁石1台を試作して性能を確認。

## 量子メスシンクロトロン用 超伝導電磁石の試作(2019年～)

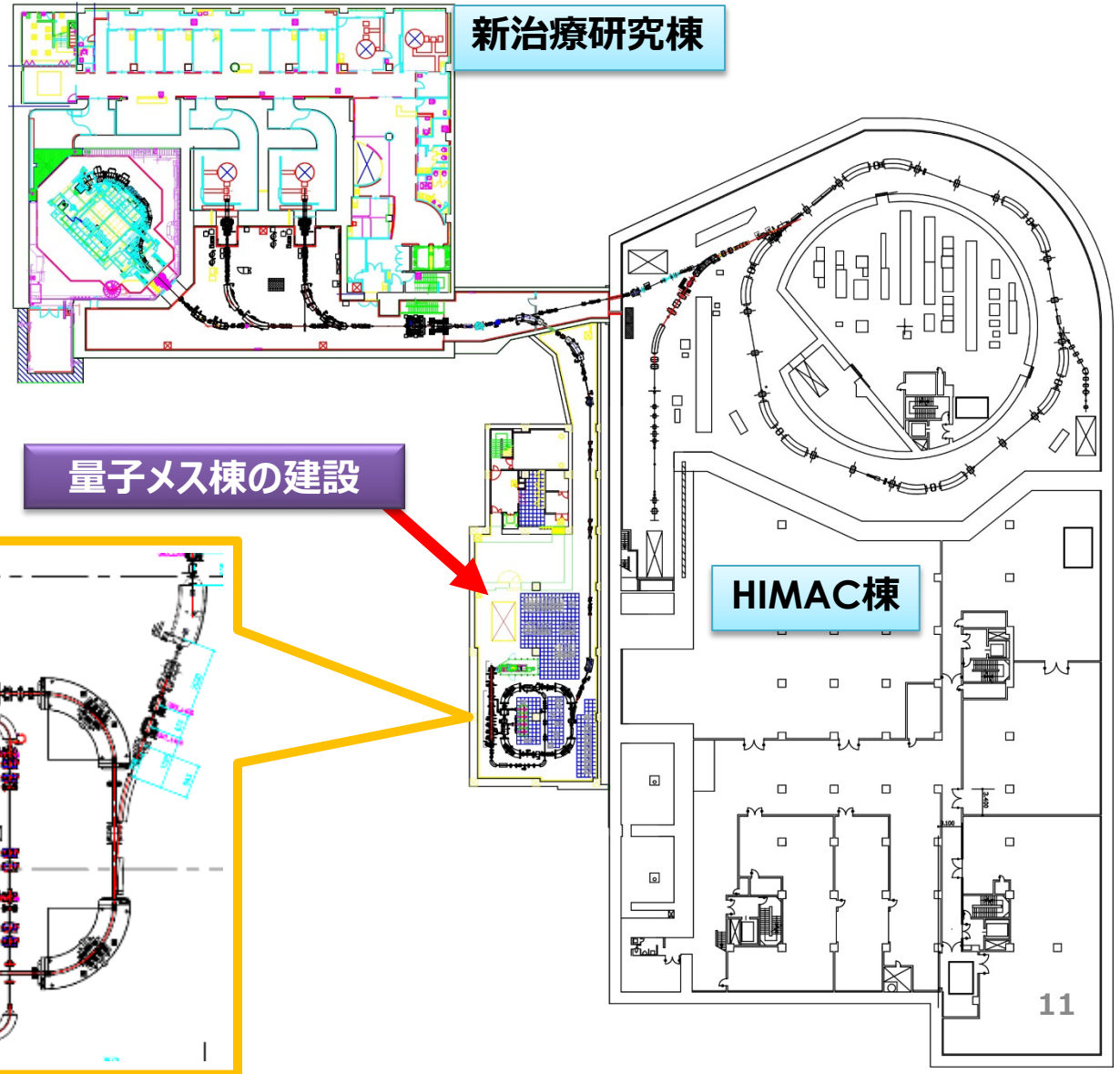


## 連続交流運転試験

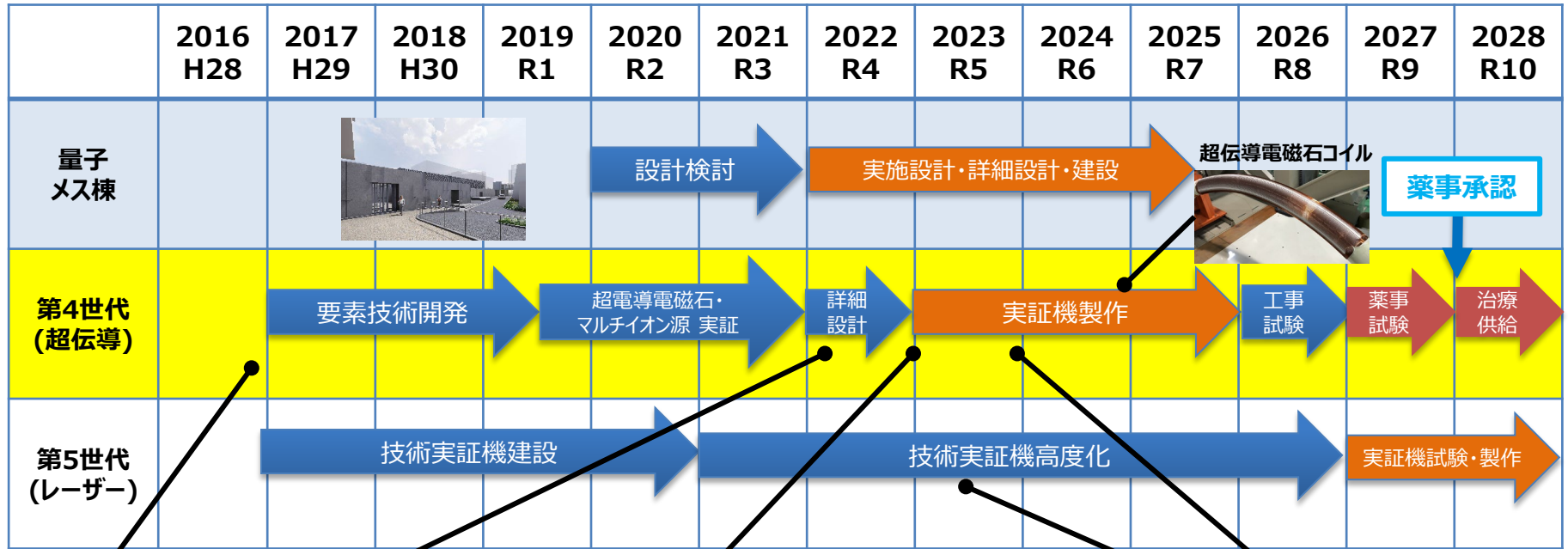


S. Amano et al., *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 32 (2022) 4401305.  
 K. Mizushima et al., *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, in press.  
 S. Takayama et al., *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, in press.  
 Y. Yang et al., submitted to *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A*.

量子メス棟が2025年11月に竣工。2026年度より、順次実証機の装置搬入据付を開始予定



2016年に締結した包括協定以降着実に進捗。第4世代装置については2028(R10)年度の臨床運用開始を目指す。並行して、究極の第5世代装置についても関西光量子科学研究所との協働で研究開発を進めている。



薬事承認

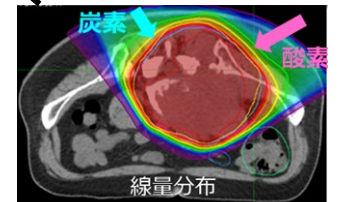
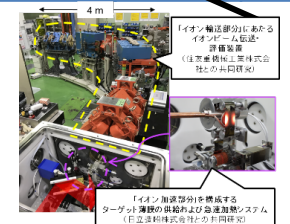


次世代重粒子線がん治療装置「量子メス」実証機向け超伝導シンクロトロン加速器の製造を開始 — 世界最小の重粒子線がん治療装置を実現 —

撮影日:2023年4月13日撮影

撮影: 湯浅 誠之助

東芝エスエルブイシステムズ株式会社(代表取締役社長:田中 博、以下「東芝ESS」)および、みずほ東芝リース株式会社(代表取締役社長:丸山 伸一郎、以下「FMTL」)は、2023年3月28日、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(理事長:小安 重夫、以下「機構」)と「次世代超小型量子線がん治療装置(量子メス実証機)」の提携協定を締結し、東芝ESSはFMTLとの製造供給契約に基づき、量子メス実証機向け超伝導シンクロトロン加速器の製造を開始しました。東芝ESSは、本実証機の製造を2024年度末まで行い、施設が予定地において実証機の量子メス実証機向けに設置します。重粒子線の照射の安全性を高めるため、施設は本実証機の臨床運用を計画しています。本実証機は世界最小の重粒子線がん治療装置となります。



協定の締結  
(プレスリリース)

マルチイオン源開発  
QST-住重

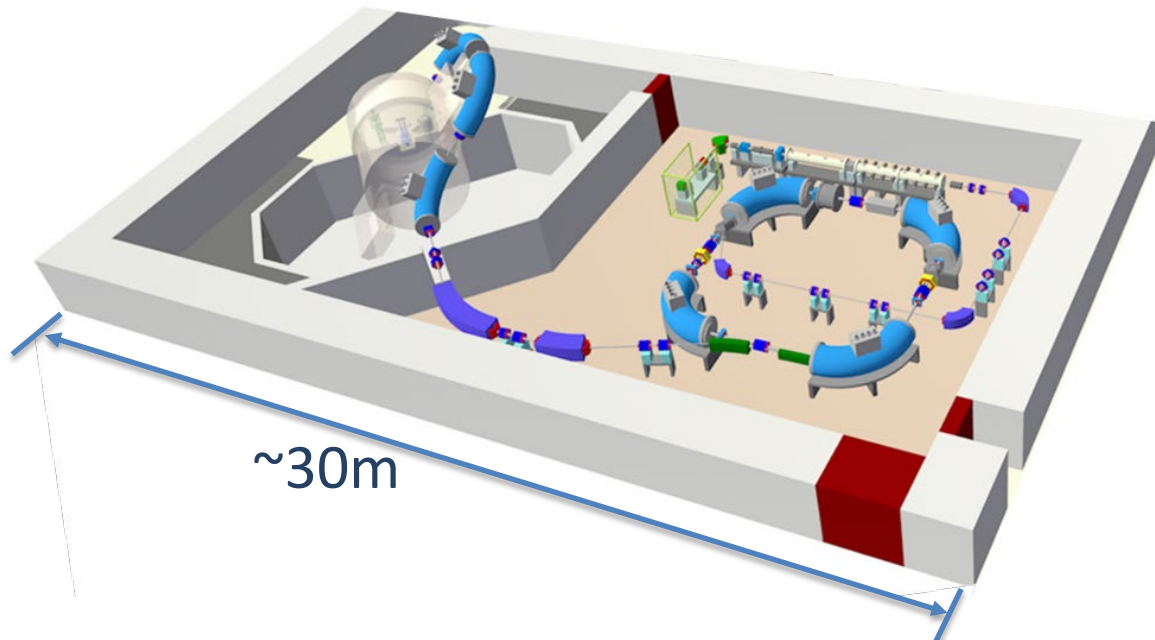
量子メス製造開始  
QST+東芝, みずほ東芝リース

新型イオン入射装置の  
原型機完成  
QST-住重

マルチイオン治療を  
開始  
QST

## ■ 第4世代治療装置（シングルガントリー）

- 液体ヘリウムを使用しない、**3.5T超伝導電磁石**を用いた直径8mの小型炭素線シンクロトロン
- 入射器 + **超伝導シンクロトロン** + 超伝導回転ガントリーの組み合わせによる30m x 15mの装置サイズ
- 炭素イオンを中心に、ヘリウム～ネオンイオンを供給



- 重粒子線がん治療は、体にやさしいがん治療法として認知が進んできており、国内7施設が稼働している。国内では臨床データの集積により、多くの部位で保険収載され、海外では国内企業による治療装置の輸出が開始されている。
- 重粒子線治療が誰でもが受けられる治療となるためには、病院内に設置できる装置（=量子メス）が必要であり、そのためには超電導技術やレーザー駆動イオン加速技術など量子科学技術による小型化が不可欠。
- QSTは産学連携で技術開発を進めるとともに、量子メス（第4世代）の社会実装のために、2023年度よりQST千葉地区で量子メス棟と実証機の建設を開始し、2027年度中の医療機器承認を目指している。