

量子メス開発における 本プロジェクトの位置づけ

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
白井 敏之

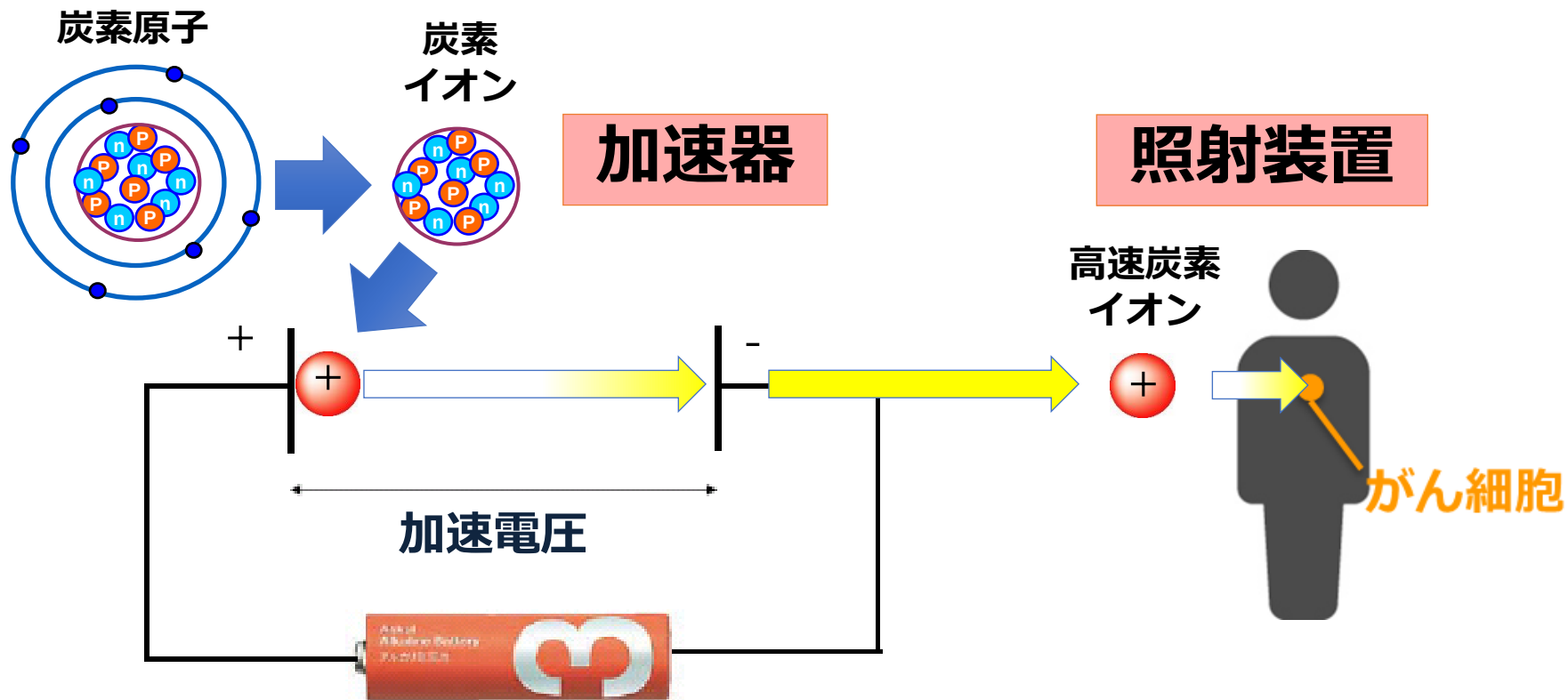
令和4年6月7日

「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」

2022 年度第1 回シンポジウム

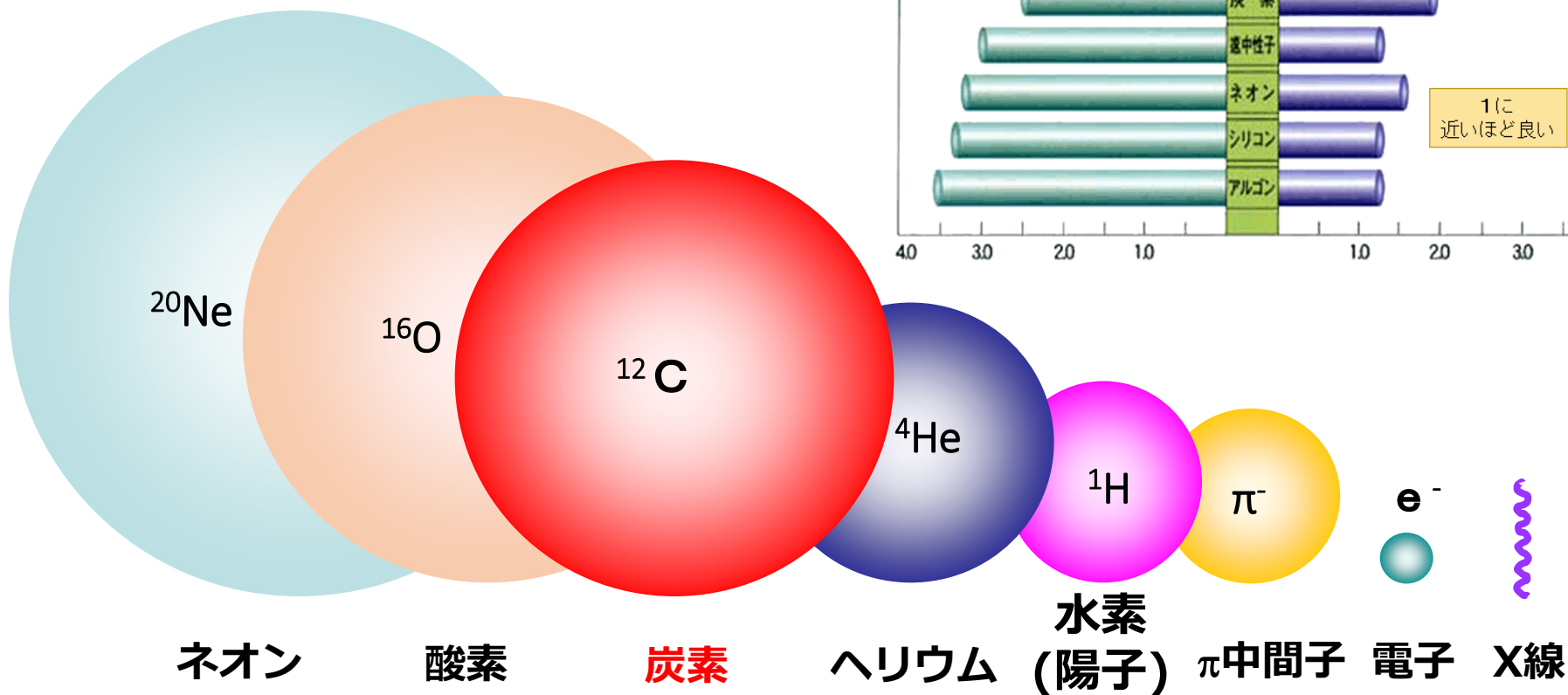
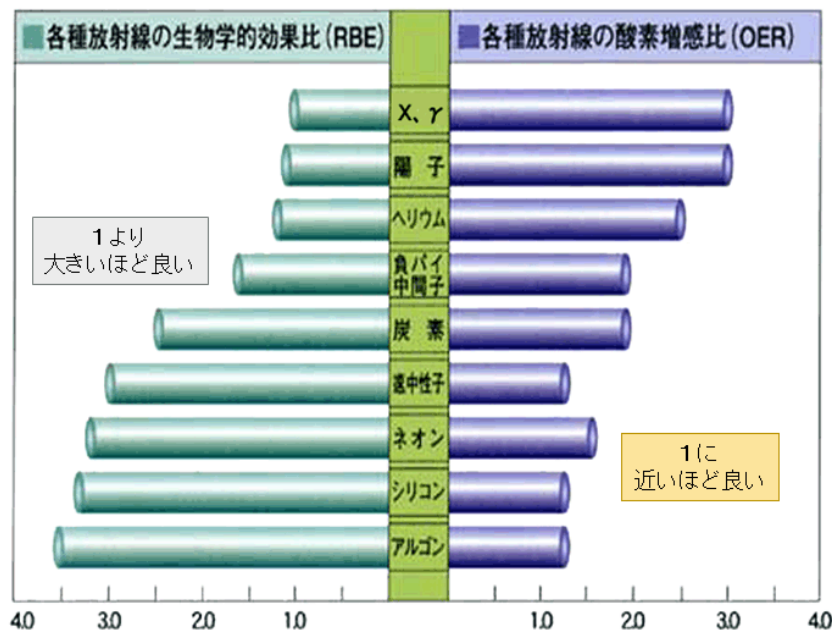
－ レーザー駆動イオン加速システムの開発 －

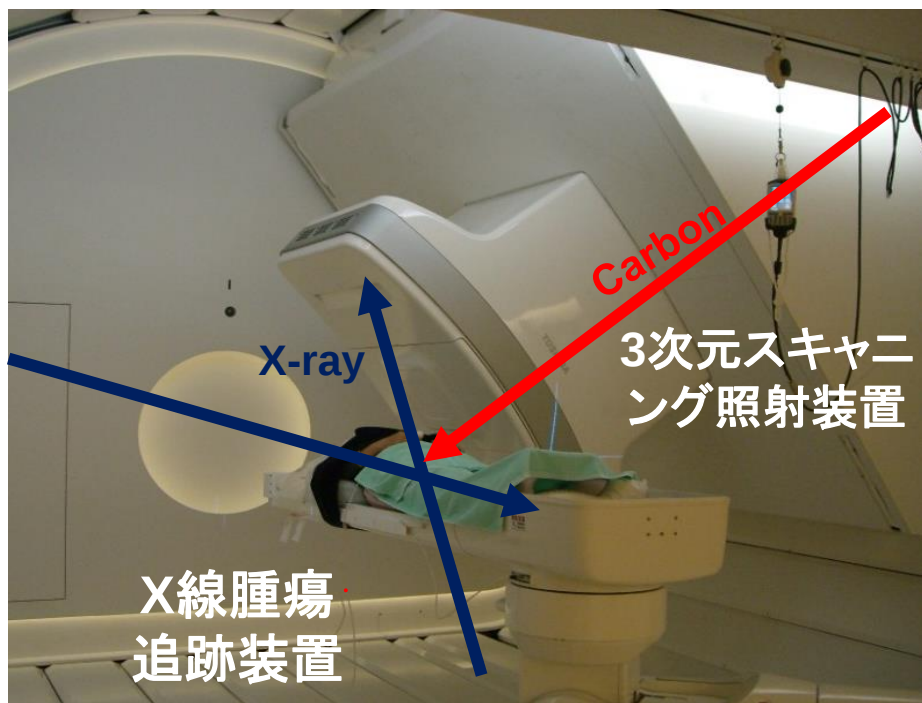
- 重粒子線がん治療の現状
- 次世代重粒子線がん治療装置「量子メス」とは
- 量子メスにおけるレーザー駆動イオン加速の役割



がん細胞をピンポイントで死滅させることができる反面、深部がん
炭素イオンが到達するためには、光速の70% (体内深さ30cmに相当)
まで加速して照射する必要があり、粒子加速器が必要。

炭素は陽子の12倍の質量をもち、
X線や陽子と比べて、高い線量
集中性と生物効果をもつ





QST病院の治療室Gは、以下の3つの機能を備えている。

- 360度任意の方向から炭素線を照射できる超伝導回転ガントリー装置
- 複雑な腫瘍への照射を短時間で実施できる、高速3次元スキャニング照射装置
- 腫瘍の位置をX線で見ながら治療できる、X線腫瘍追跡装置

人生100年時代にふさわしい、働きながら受けられるQOLの高い治療を実現

- 手術不能膵臓がん：難治がんでも優れた臨床成績
- 前立腺がん：高リスク群でも再発は低く、全体の副作用も少ない
- 末梢型肺がん：10年間の臨床研究により1日で治療する方法を確立

肺がんの1日治療の例



局所非再発率：5-年 95.5%
生存率：5-年 86.9%

膵臓がん手術不能症例

放射線		数	線量	生存率	
				1-年	2-年
X線	3次元原体	60	50.4 Gy	72%	26%
	強度変調	50	50-60 Gy	-	30%
陽子線		11	59.4GyE	61%	33%
重粒子線(J-CROS)		52	55.2 Gy(RBE)	81%	60%
重粒子線(QST)		60	55.2 Gy(RBE)	84%	53%

局所進行膵臓がんの治療成績（ゲムシタビン併用放射線療法）

前立腺がん 副作用

放射線	数	治療を必要とする副作用	
		直腸	膀胱尿道
強度変調（クリーブランド）	770	4.4%	5.2%
陽子線（ロマリンド）	901	3.5%	5.4%
日本陽子線多施設共同	151	2.0%	4.1%
重粒子線（QST）	1161	0.8%	1.6%

保険適用拡大に向けた活動の進捗

1975 米国において世界初の重粒子線治療開始

1994 QSTにおいて国内初の重粒子線治療開始

2003 先進医療に承認

2016 骨軟部腫瘍が保険収載

2018 頭頸部腫瘍、前立腺がん保険収載拡大

2022 更に5部位の保険収載

大型肝細胞がん、肝内胆管がん、局所進行膵がん、
大腸がん術後局所再発、局所進行子宮頸部腺がん

QSTの治療数の約7割の部位が保険の対象に

日本メーカーの強い優位性

- 全世界で15施設が稼働、うち7施設が日本国内
- 海外で建設中の5施設の全てが日本製

○ 海外の動向

- ・ 米国：Mayo Clinicが日本製装置を導入、今年10月に起工式
- ・ 韓国・台湾：延世大、ソウル大学（韓国）、台北榮民総医院（台湾）に日本製装置が導入
- ・ 中国：国内10か所程度の導入計画、日本に引き合いがある一方で中国製がん治療装置の導入を強力に推進

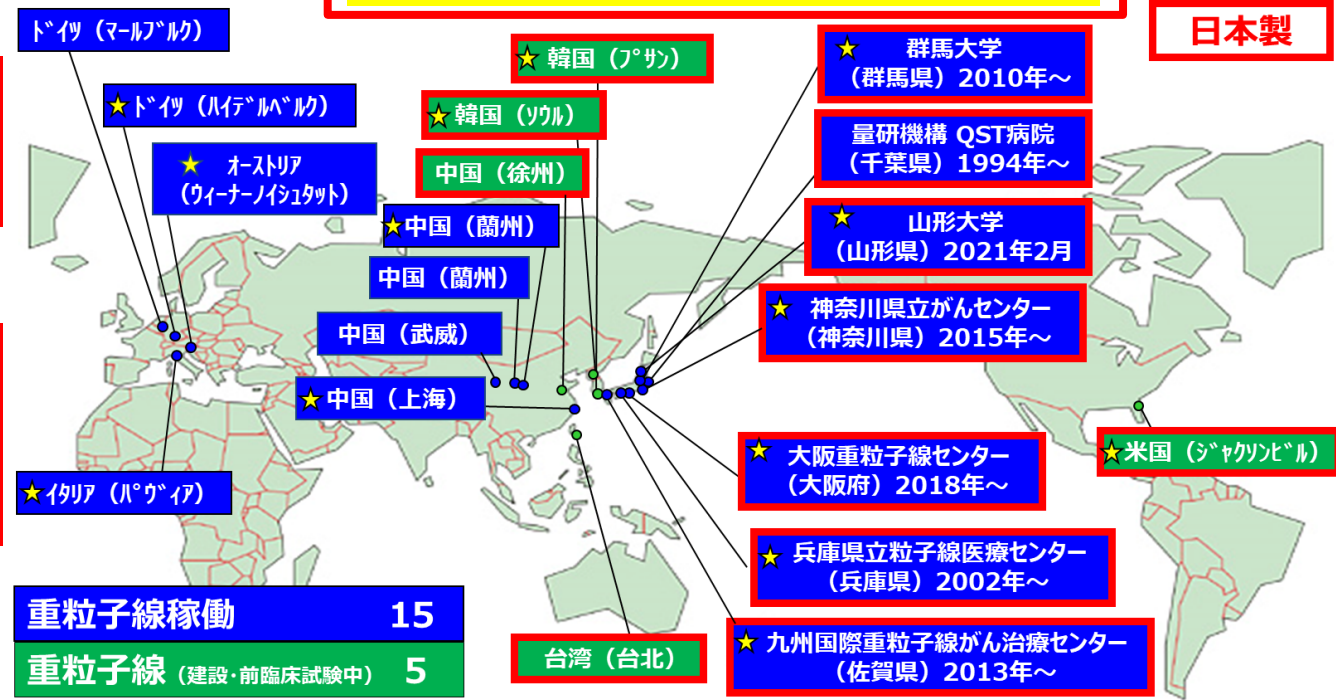
世界の重粒子線がん治療装置（2022/3現在）

20施設のうち12施設が日本製（60%）

今後も輸出が見込まれる一方、国際的シェア争いの激化が予想される



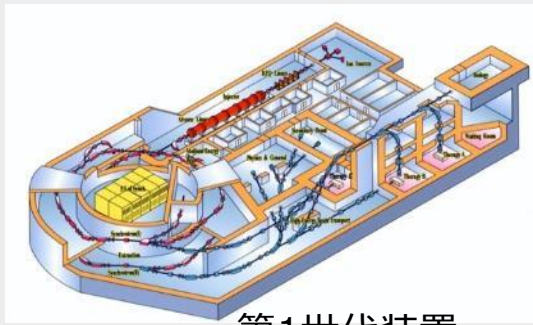
更なる普及に向けて日本の競争力を強化するためには、低コスト化、高度化が必須



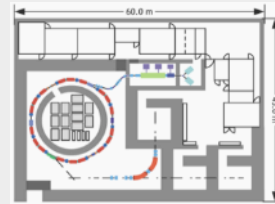
重粒子線稼働	15
重粒子線（建設・前臨床試験中）	5

★ 量研・放医研と協力取決めを締結している機関

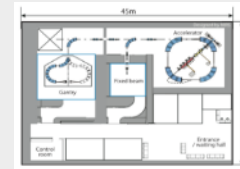
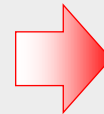
重粒子線がん治療装置



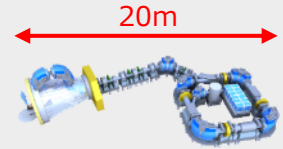
第1世代装置
1994年 放医研
120 x 65m、320億円



第2~3世代装置
(例：2010年群馬大学)
60 x 45m、140億円
(1/3程度)



第4世代装置
より小型化と高性能化
45x34m (1/6程度)
超伝導シンクロトロン
マルチイオン照射



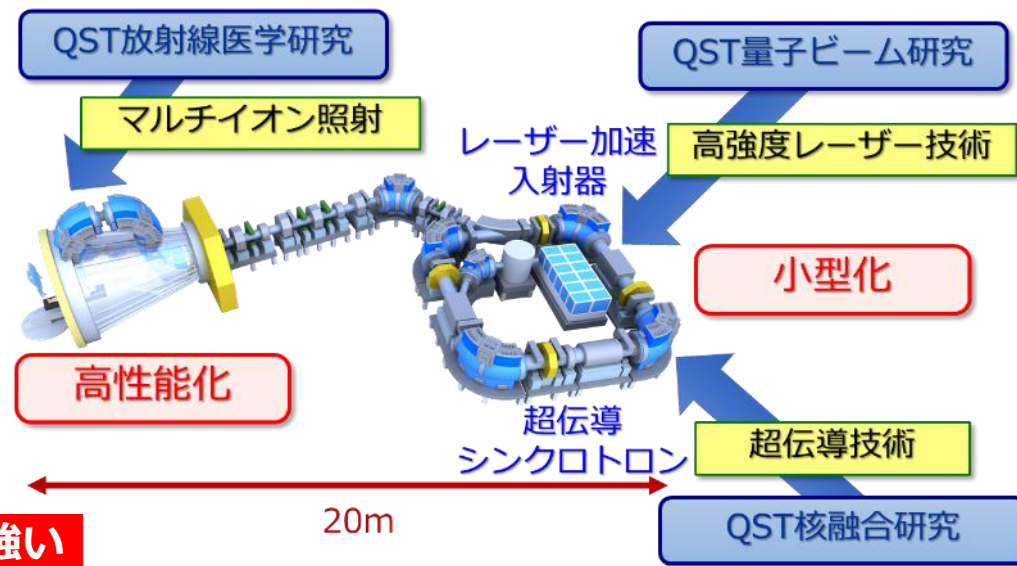
第5世代装置
さらなる小型化
10x20m (1/40程度)
レーザー加速

量子メス

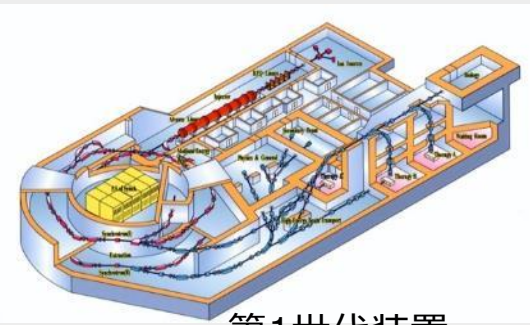
課題解決

- 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



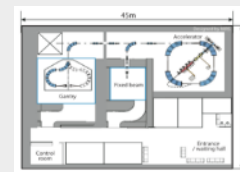
重粒子線がん治療装置



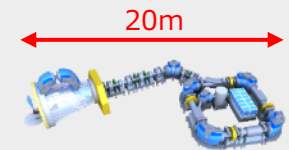
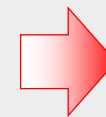
第1世代装置
1994年 放医研
120 x 65m、320億円



第2~3世代装置
(例：2010年群馬大学)
60 x 45m、140億円
(1/3程度)



第4世代装置
より小型化と高性能化
45x34m (1/6程度)
超伝導シンクロトロン
マルチイオン照射



第5世代装置
さらなる小型化
10x20m (1/40程度)
レーザー加速

量子メス

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
超伝導 シンクロトロン	要素技術開発				設計	治療実証機製作・試験				治療
マルチイオン照射	要素技術開発				臨床試験					
レーザー 加速	技術実証機建設				技術実証機高度化					

第4世代装置の普及
(2026~)

第5世代治療実証機の建設



三菱電機
柵山社長

日立製作所
中西会長

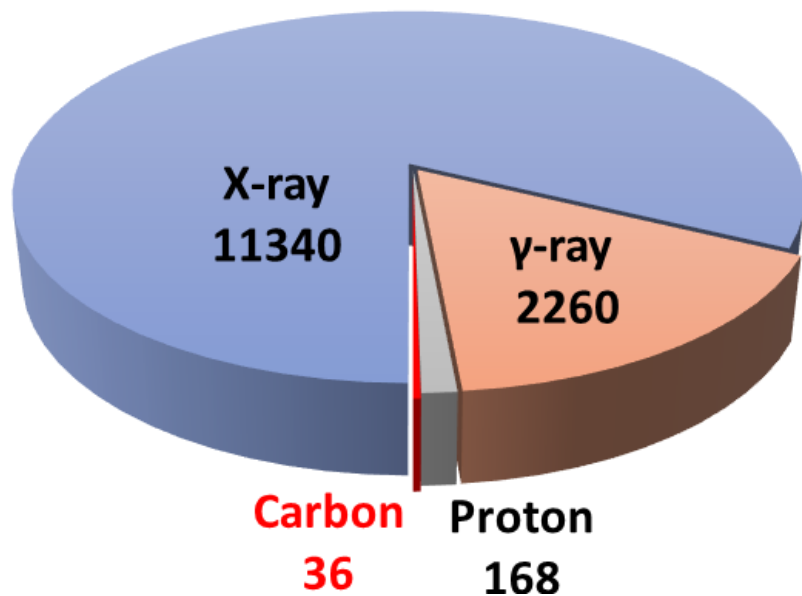
量研
平野理事長

東芝
綱川社長

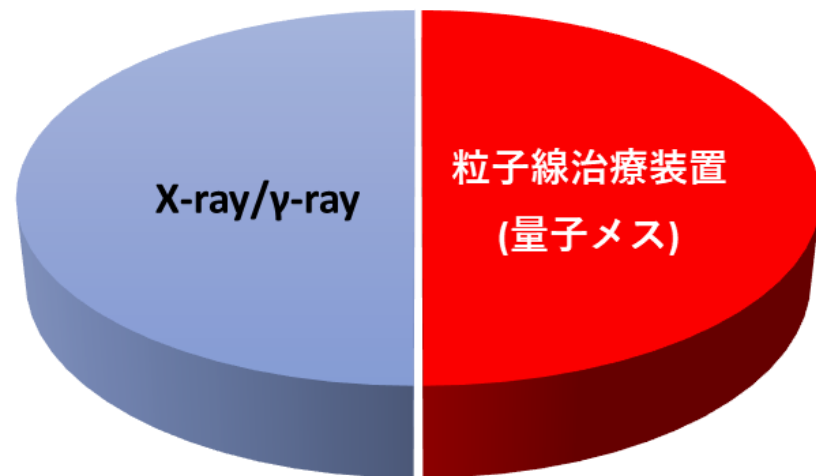
住友重機械
別川社長

2017年度～2020年度に、将来の社会実装を見据えて、研究開発包括協定のもと「超伝導技術」、「レーザー加速技術」、「マルチイオン治療技術」の要素技術開発を実施してきた。

世界の放射線がん治療装置(2016)

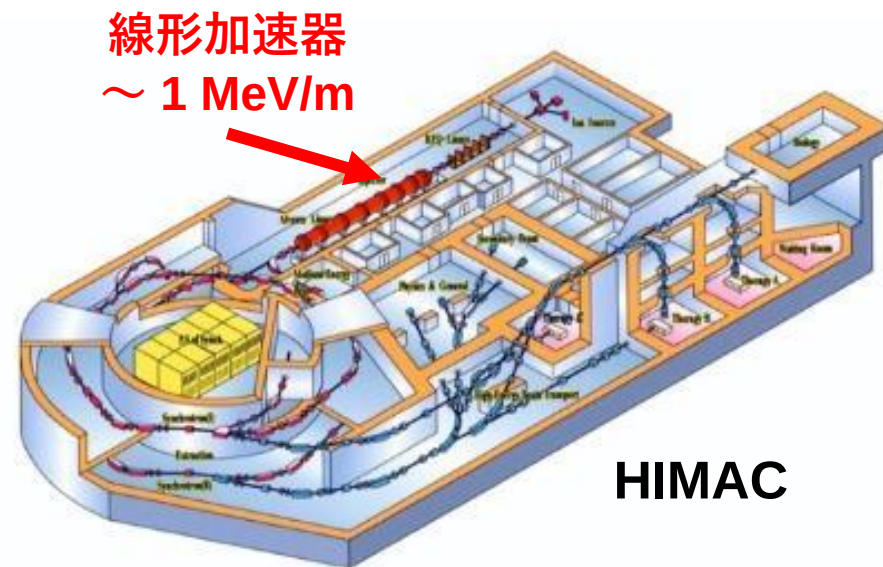
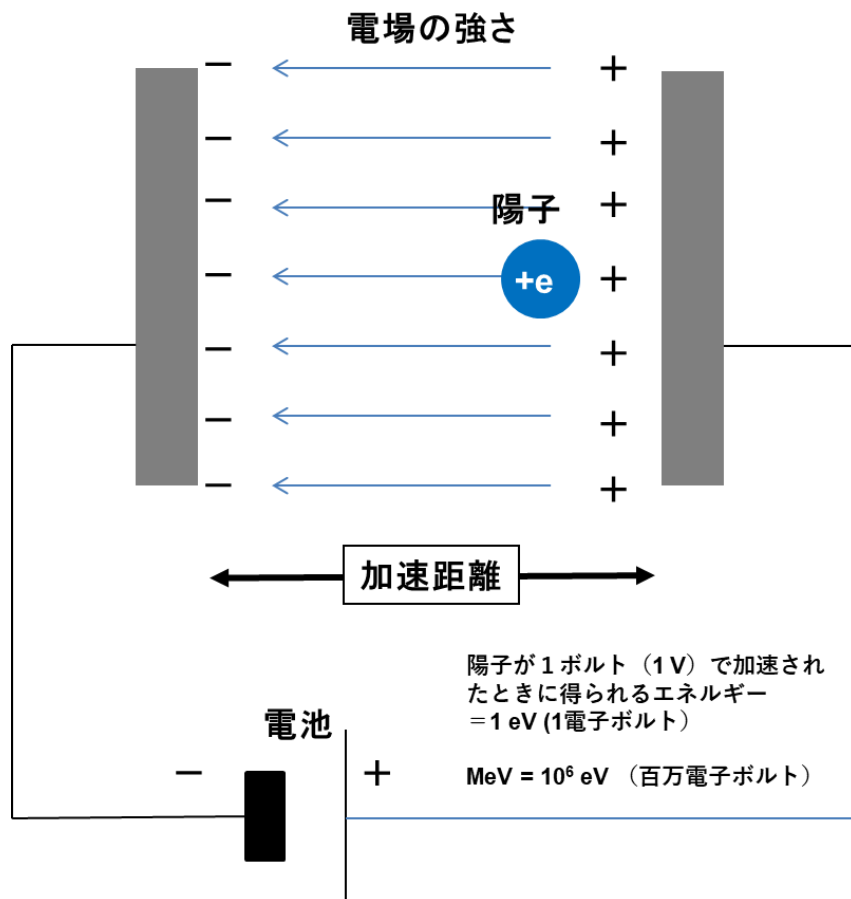


将来の世界の放射線がん治療装置



世界的ながん患者の増大と(1800万人⇒2200万人)、放射線治療の適用拡大(20%⇒50%)を受けて、放射線治療装置の市場は拡大している。

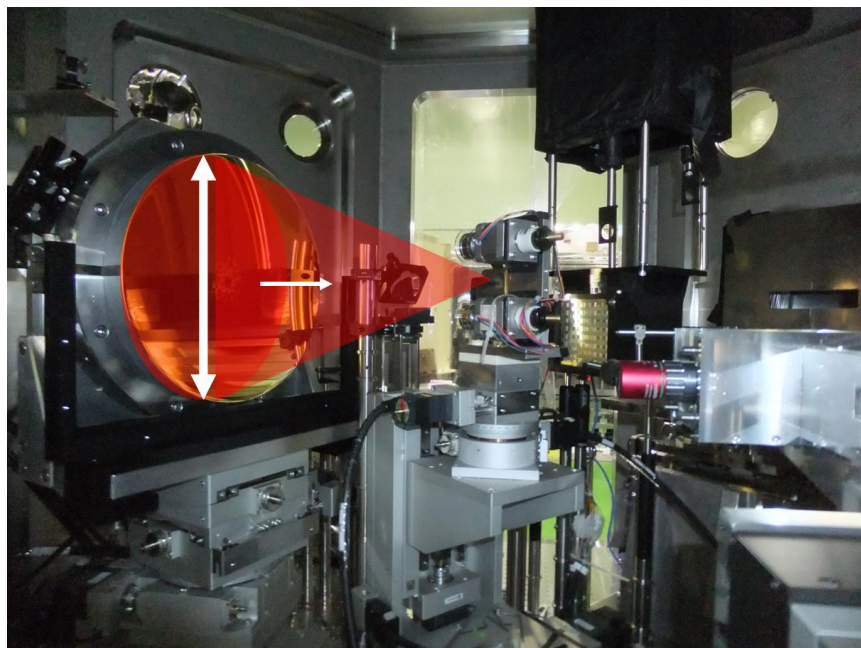
小型化することで、照射回数が少ない(=治療患者数が多い)という特徴を生かし、**量子メス**が半分を占めれば、**毎年約500台**程度の供給が必要となる。



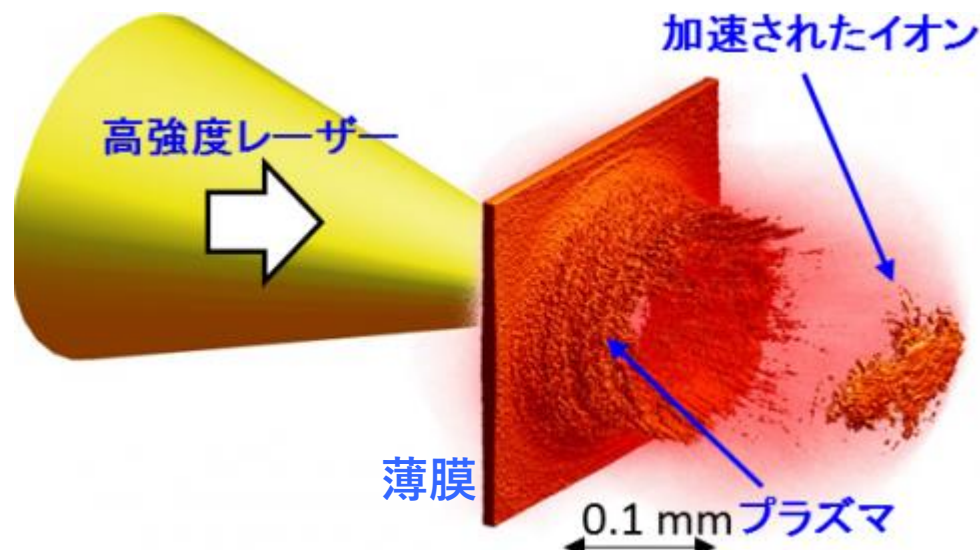
マイクロ波管が供給できる加速電界の強さには放電限界があるため加速器は巨大化せざるを得ない

加速器の小型化には、放電限界を超えた加速スキームが必要

超短パルスレーザーシステム

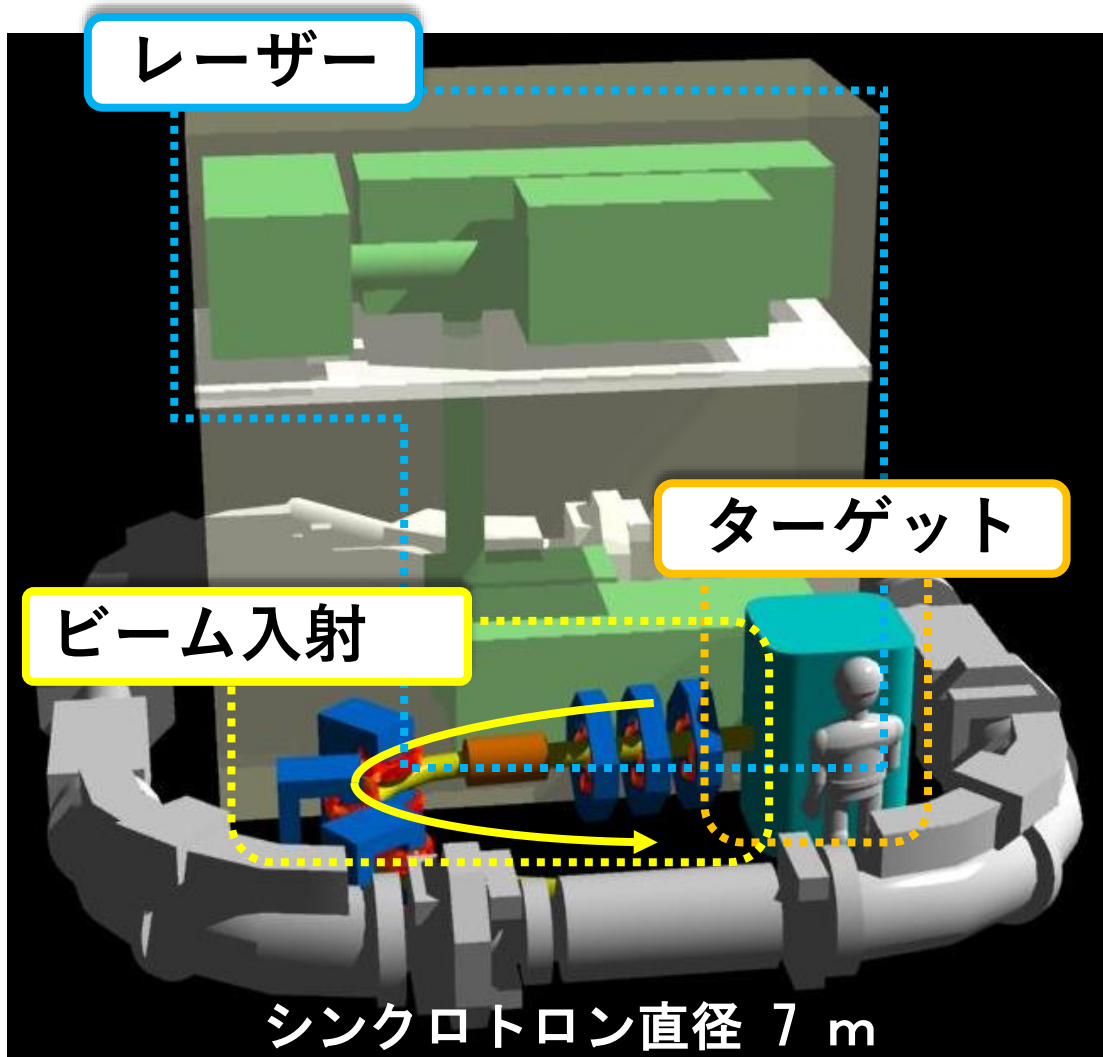


レーザー駆動イオン加速シミュレーション



～10fsec、～ μm まで収束したレーザーの照射を受けた薄膜は瞬時にプラズマ状態となり、放電限界を超えて、桁違いに大きな加速電場が発生する。

加速電場 $\gg 10^{12} \text{ V/m}$



レーザー

超短パルス高強度レーザー

ターゲット

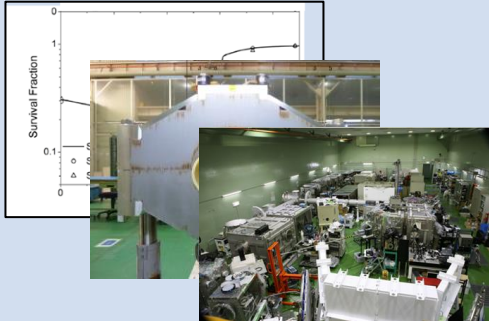
炭素薄膜テープターゲット

ビーム入射

小型ビーム入射ライン



レーザー加速と超伝導シンクロトロンとの組み合わせで、治療室内に設置できる加速器を実現

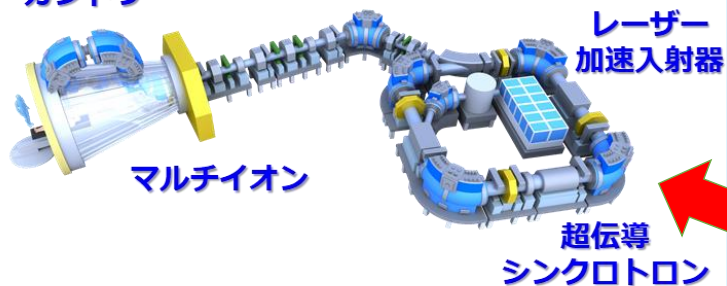
	普及型炭素線施設	回転ガントリ治療装置	量子メス
技術開発 Phase	2004~ HIMACでの開発 	2010~ HIMACでの開発 	2016~ QSTでの研究開発 
臨床実証 Phase (薬機承認)	2010~ 群馬大学 	2017~ QST病院G室 	2023~ QST千葉地区 
普及 Phase	2013~ 佐賀、神奈川、 大阪、山形、台湾、 韓国、米国、中国	2021~ 山形、韓国	2026~ 第4世代の普及 2030以降に第5世代普及

量子メスにおいてもQST病院において臨床実証をおこない、医療機器承認・臨床実績を得る

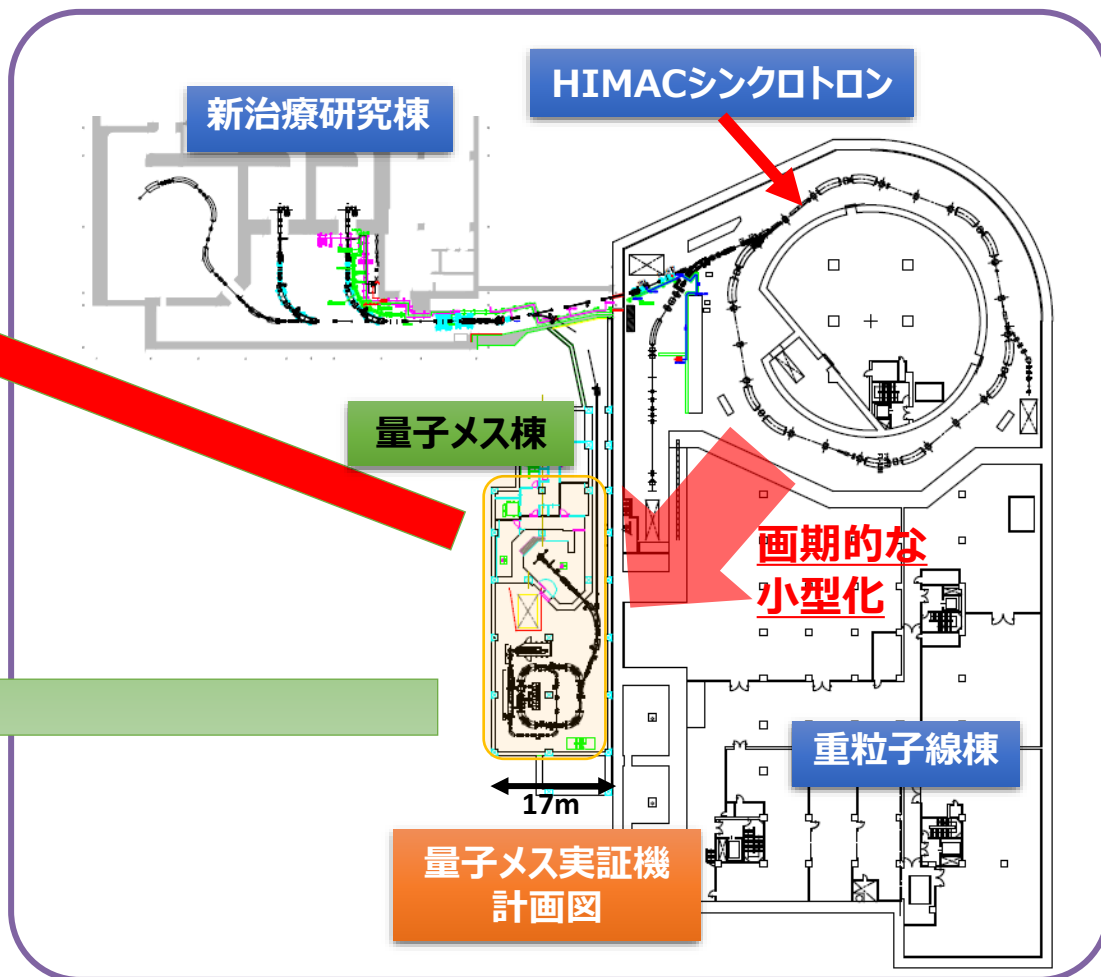
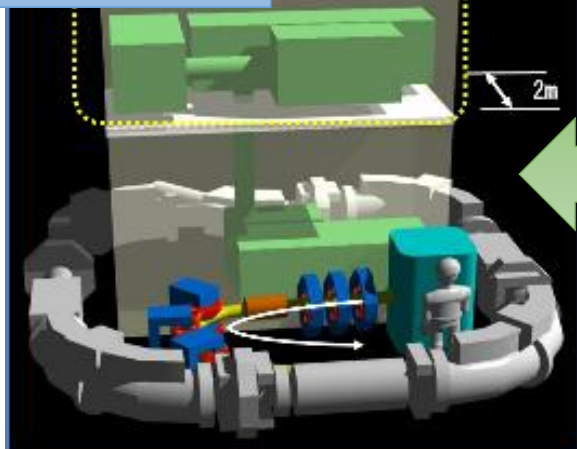
- 量子メス棟の建設を開始。令和6年度に完成予定。
- 並行して超伝導加速器を備えた量子メス実証機の建設を開始予定。さらにレーザー入射器を導入し、「量子メス」の実証機とする。

第5世代量子メス普及機の構想図

超伝導回転
ガントリー



量子メス実証機



- 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、8部位が保険収載され、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、そのためにはレーザー駆動イオン加速をはじめとする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、量子メスの医療機器承認と臨床実績を得るために、QST病院に量子メス棟（仮称）を建設し、実証機を設置する計画。