

# 量子科学技術を活用した 患者に優しいがん診断・治療研究

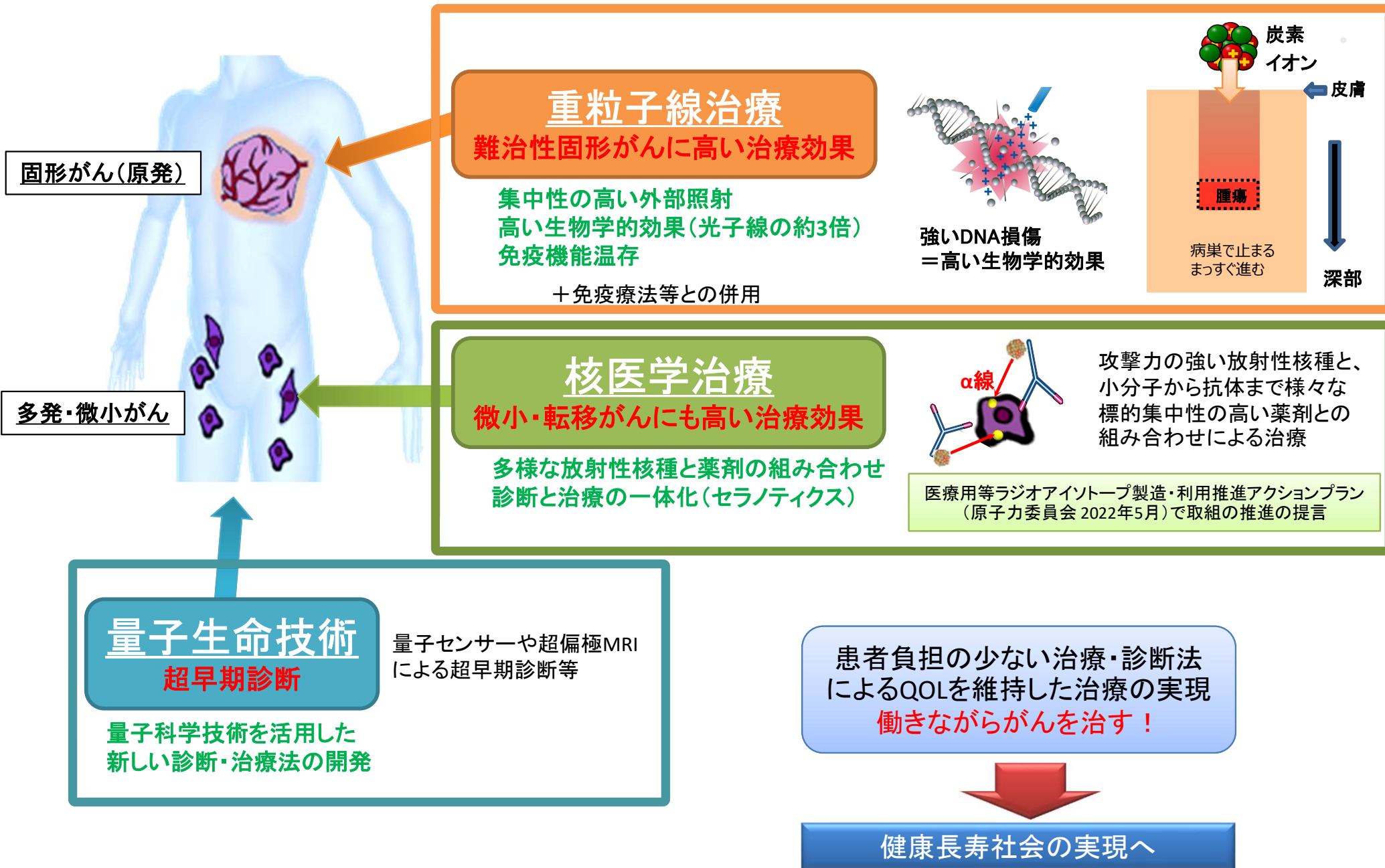
--- 重粒子線治療/核医学治療/量子生命技術 ---

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

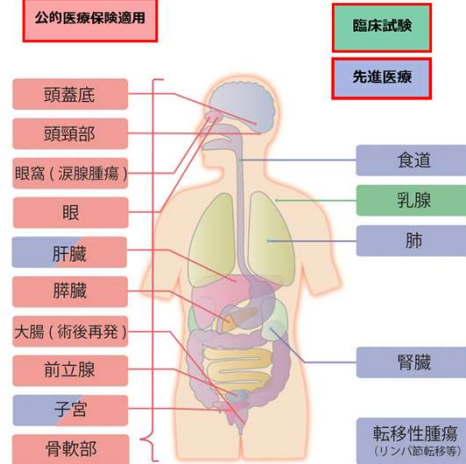
量子生命・医学部門 量子医科学研究所

内堀 幸夫

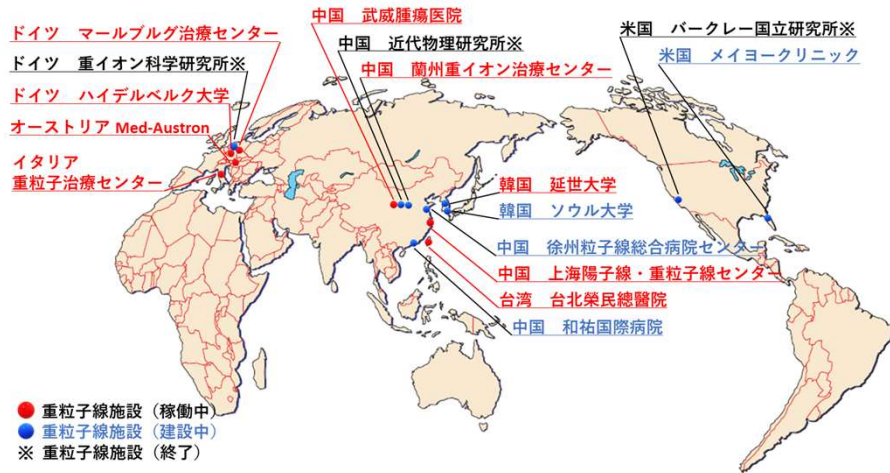
2023年 6月 9日



## 重粒子線がん治療の現状



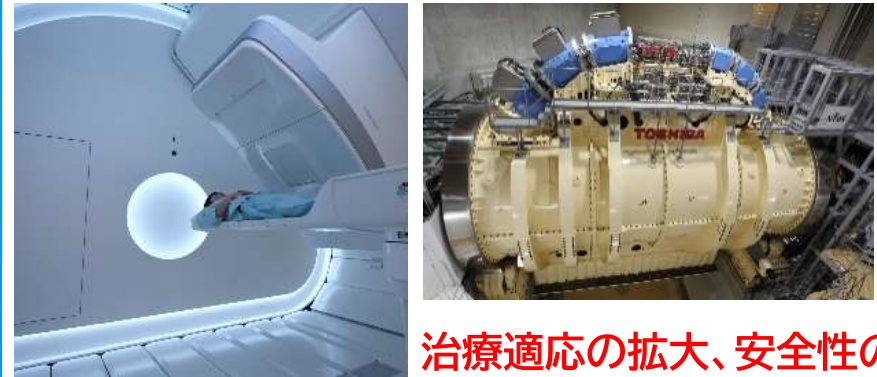
**QSTを中心としたJ-CROSによる多施設臨床試験・症例集積により、保険収載の拡大が実現**



**国内の治療実績により、日本製重粒子線治療装置が海外2病院(台湾、韓国)で稼働し、米国を含めた4病院で建設中**

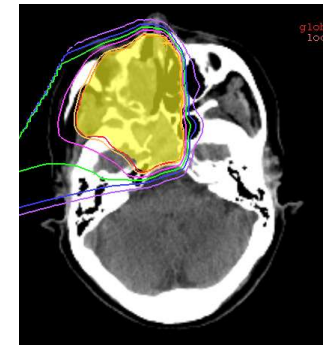
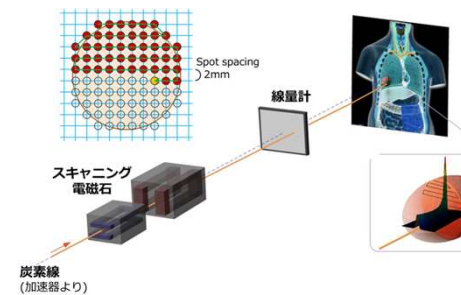
## 患者に優しい治療装置の開発

### ●超伝導電磁石を用いた回転ガントリー装置の開発



**治療適応の拡大、安全性の向上**

### ●世界初の周辺正常臓器の線量を低減しながら肺・肝臓を治療可能な高速スキャンニング照射装置を開発

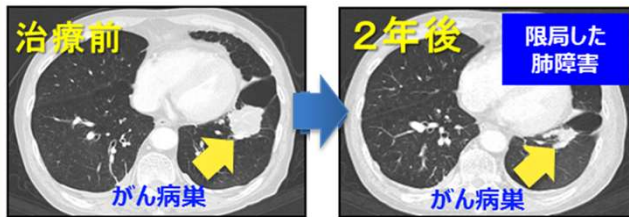


**装置開発の面においても、QSTを中心とする国内研究機関と国内メーカーが世界をリード**

## 重粒子線がん治療の高度化

### ● 治療短期化と標準治療確立の取組み

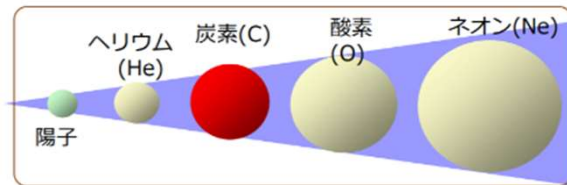
#### 肺がんの1回照射



治療5年後の  
局所制御率: 95.5%  
全生存率: 86.9%

現在の平均照射回数は11回。肺がん以外の腫瘍においても、治療短期化の取組みを実施

### ● 複数のイオンを用いたマルチイオン照射



<がん治療に用いられる粒子線>

腫瘍制御の向上、副作用軽減のため、最適なイオン種を用いた治療計画を作成

⇒ QSTで臨床試験を開始

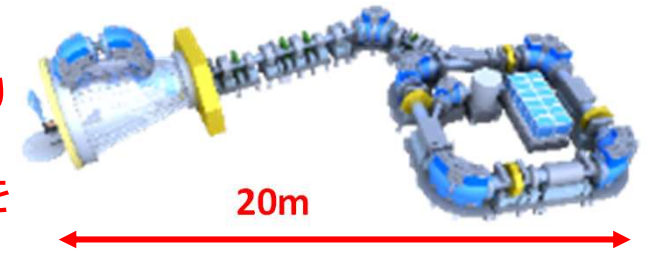


## 治療装置普及に向けた研究開発

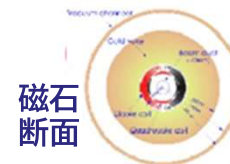
### ● 量子メスプロジェクト(装置の大幅な小型化)

超伝導技術とレーザー技術により、装置の画期的な小型化を行い、世界初の病院内設置型重粒子線治療装置を実現する

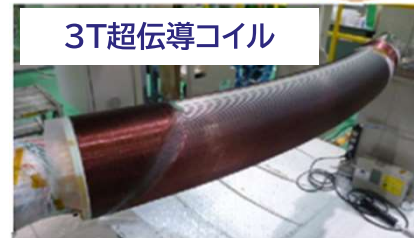
2023年度より  
QSTで次世代  
実証機の建設を  
開始



#### 超伝導電磁石技術

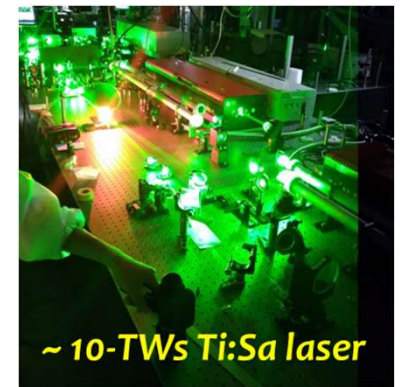


#### 3T超伝導コイル



液体ヘリウムレス超伝導技術により、電磁石を小型化

#### 超高強度レーザー技術



超高強度レーザーを用いた粒子加速による加速器小型化

## 核医学治療の現状

- 悪性褐色細胞腫に対する世界初の $\alpha$ 線放射性治療薬 $^{211}\text{At}$ -MABGを開発、医師主導治験を開始



2022年  
福島県立医大-QST共同で世界初の  
医師主導治験開始

- 難治性悪性脳腫瘍に対する日本発の放射性治療薬 $^{64}\text{Cu}$ -ATSMの国内初の医師主導治験を多施設共同で進行中



治験薬GMP製造

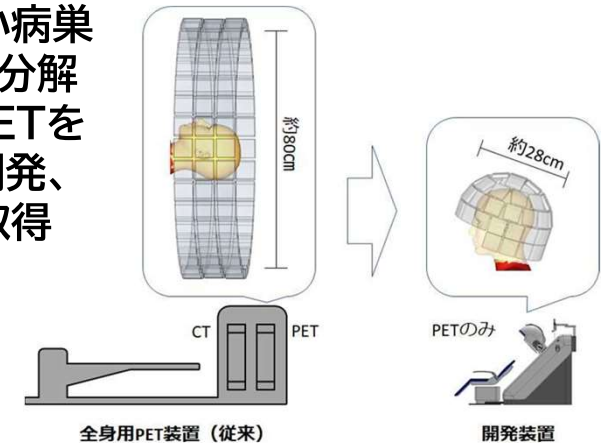
JSTのSTART事業に採択され、QST発ベンチャー「リンクメッド社」を設立、第II相に向けて準備中

国産技術による、放射性治療薬開発が大きく進展

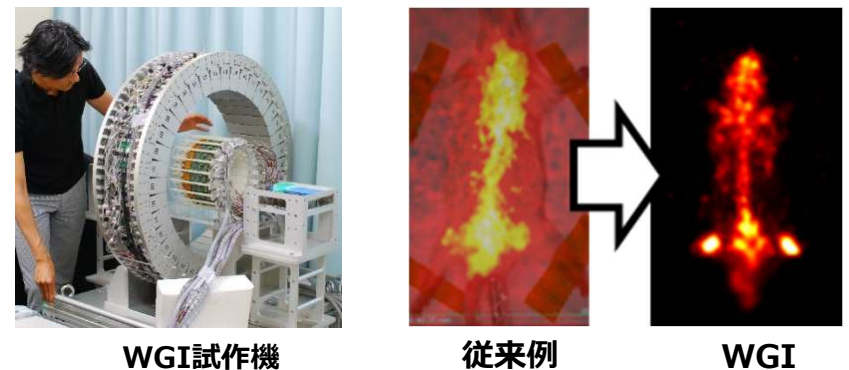
## 患者に優しい診断装置の開発

- 国産診断装置の開発

脳腫瘍などの微小病巣を捉えるサブミリ分解能ヒト頭部専用PETを産学連携により開発、医療機器承認を取得



- 全ガンマ線イメージング(WGI)装置(PET+ $\gamma$ 線カメラ)による、高解像・低被ばくの患者に優しい診断装置の開発

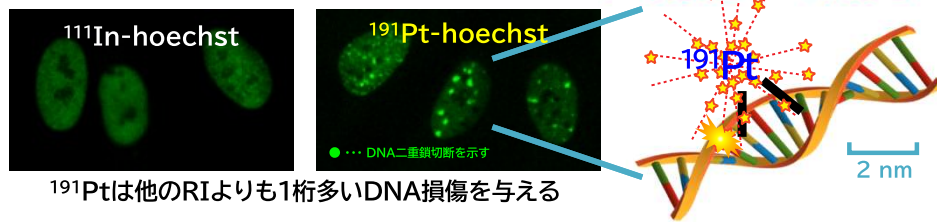


国産技術による、新規診断機器開発も着実に進捗

## 核医学治療の高度化

- 分子/ナノスケールの損傷を誘導する「オージェ電子」を用いた次世代TRTの開発

⇒ DNA傷害性に優れた $^{191}\text{Pt}$ を用いたオージェ電子放出薬を世界に先駆けて開発



$^{191}\text{Pt}$ は他のRIよりも1桁多いDNA損傷を与える

DNAを狙ったナノスケールTRT実現に向けて大きな進展

2022~JST/ACT-X事業に採択, Duke大学(米国)と共同研究開始

- 診断・治療用 RI の製造・標識・製剤化及び利用・評価を一元的に実施することにより、セラノスティクス創薬が加速

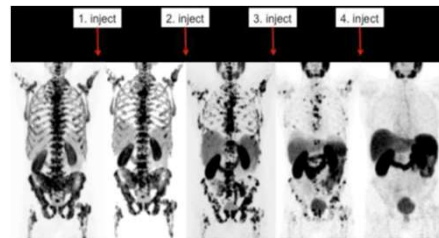
⇒ 国内にセラノスティクス( $\alpha$ , Auger,  $\beta^+$ )創薬環境の整備と場の開放による知の集結



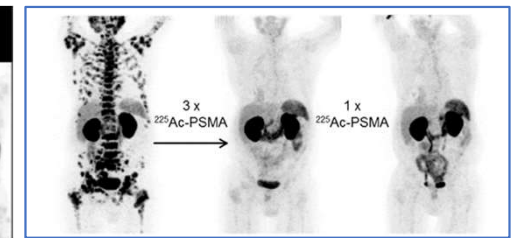
## 核医学治療の普及に向けた開発

- 標的アイソトープの体制強化の必要性  
治療可能病院の整備、Drug Lagの解消、基礎から臨床までの一貫した開発体制の整備

$\beta$ 核種 $^{177}\text{Lu}$ 標識PSMAによる転移性前立腺癌の治療



$\alpha$ 核種 $^{225}\text{Ac}$ 標識PSMAによる転移性前立腺癌の治療



数年以内の国内導入が期待



特別措置病室利用の拡大に向けた医療法関連規制研究 (厚労省班研究)

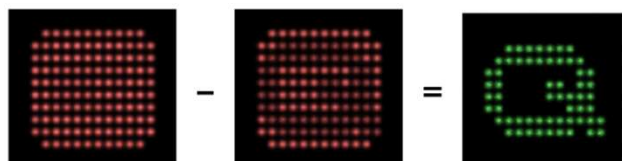


トレーラーハウス型RI治療施設の医療法承認を目指した研究開発

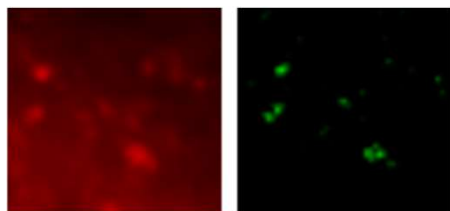
我が国のRI医療環境に応じた治療設備の拡大整備

## 生体ナノ量子センサ

- 生体ナノ量子センサによる腫瘍マーカー等の超高感度体液診断



ナノダイヤの蛍光のみが量子操作に应答

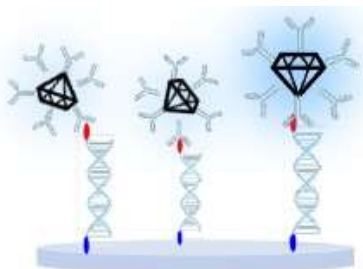


蛍光染色したミトコンドリア

選択画像

蛍光ナノダイヤモンド選択的なシグナルの抽出技術の開発 (2021年)

従来の蛍光標識では不可能な、「スピン量子状態」を操作してナノサイズのダイヤモンドの蛍光のみを“明滅”させる技術により、背景ノイズとの識別を実現。

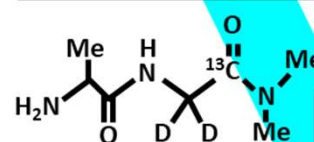


蛍光ナノダイヤモンド標識シグナルのみを検出する技術により、体液診断を従来の10万倍以上に高感度化する研究が進行中。

## 超偏極MRI

- 超偏極MRI技術によるがん組織特有の代謝検出

**分子プローブ**  
(<sup>13</sup>C標識 エネルギー代謝産物、アミノ酸)



超偏極装置

一時的に1万倍以上の超高感度化

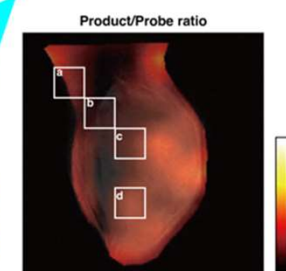


代謝物

分子プローブ

<sup>13</sup>C スペクトル 時間

体内組織の形態やプローブの分布ではなく、代謝そのもの（プローブの化学変化）を追跡・画像化



がんの血管新生や転移等に関わる「アミノペプチダーゼN」の活性を測るプローブを開発し、マウス生体内腫瘍の悪性度のマッピングに成功(2022年)

- ☑ 深部がんの超早期代謝診断
- ☑ 治療の早期効果判定

- 固形がんに対する**重粒子線治療**と、多発・微小がんに対する**核医学治療**は、**難治がんにも効果的**であるだけでなく、**副作用が少なく、短期間かつ働きながらの外来での治療、早期の社会復帰も可能な治療法**である。身体への負担も小さく、二次がんの可能性も低く、高齢者・AYA世代にも適用できる治療法といえる。
- この長所をさらに活かすため、重粒子線治療では、**治療の短期化**を進めるとともに、**複数イオン照射・マイクロビーム照射**などの新技術の開発を進めている。核医学治療では**アイソトープと新たなドラッグデリバリーシステムとの組合せ**に加え、アクチニウムなどの **$\alpha$ 線放出核**、さらに**オージェ電子放出核**を用いた治療薬開発を進めている。
- 一方で、重粒子線治療装置の**小型化・低コスト化**や、核医学治療における**アイソトープ利用の規制緩和**が、これらの治療法普及に必須となっている。そのために、我が国独自の科学技術を集めた**分野横断的な研究**を推進すると共に、**普及展開に向けた制度・体制の整備が重要**と考えている。
- さらに、量子センサ、量子コンピュータ、量子通信・暗号等の「**量子技術**」は、世界的に急速な発展しており、政府は社会・経済に革新をもたらす重点技術に位置付けている。特に量子センサのうち「**生体ナノ量子センサ**」や「**超偏極MRI**」技術は、がん診断のブレイクスルーにつながる可能性があり、長期的視点に立って、研究開発を推進している。