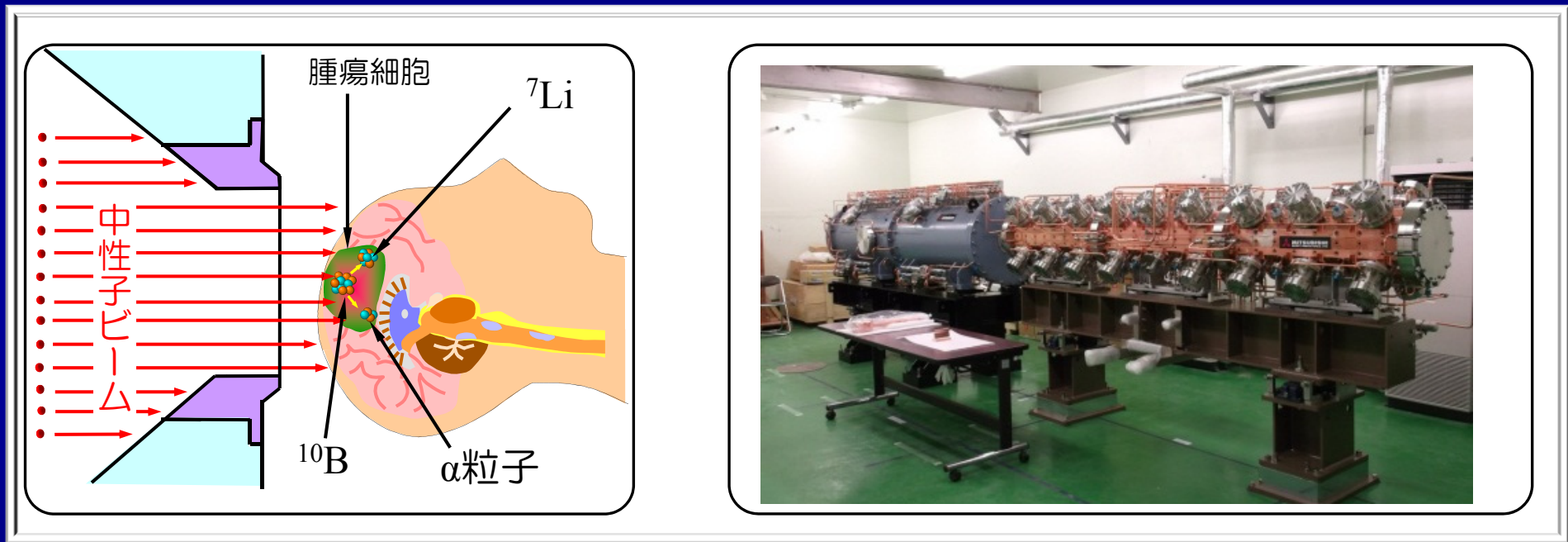


最先端医療機器・医工連携分野のイノベーション — がん治療に貢献 —



筑波大学 医学医療
子線医学 用研究センター

がん患者数の増加と放射線治療

◆ 日本人の死亡原因の第一位はがん。これからも増える一方！

- 平成20年の死亡数は約114万人、うち約34万人が悪性新生物(がん)で死亡
- 死因の3人に1人はがん、その割合は年々増加

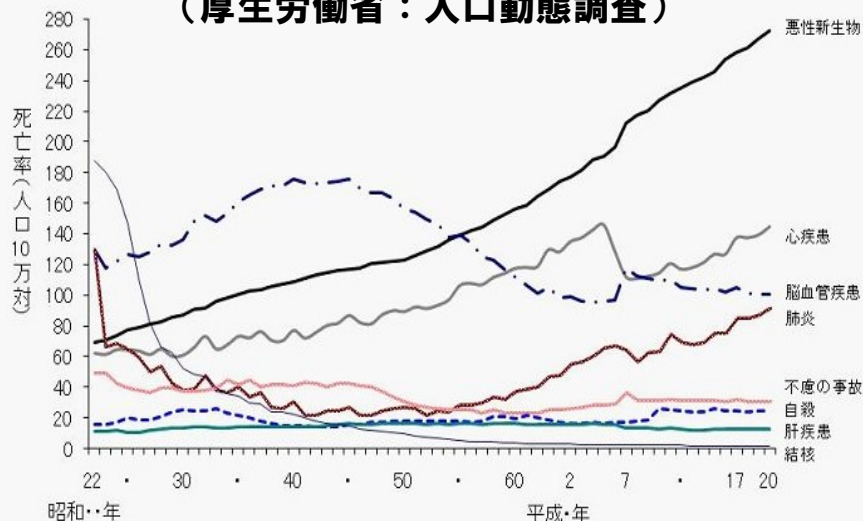
◆ がんの治療法

外科療法(手術) 抗がん剤治療 放射線療法

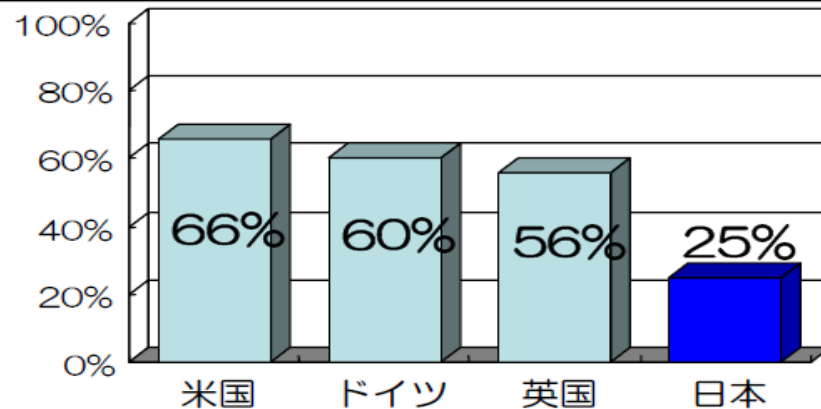
◆ 切らない、痛くない、副作用が少ない、効果の高い放射線治療！

- 超高齢化社会を迎え、高齢者に負担の少ない治療法が必要
- 放射線療法では臓器を切り取らないので治療後に質の高い生活ができる。
- 国の「がん対策推進基本計画」においても、放射線療法は重点課題に位置づけ

主な死因別に見た死亡率の年次推移
(厚生労働省：人口動態調査)

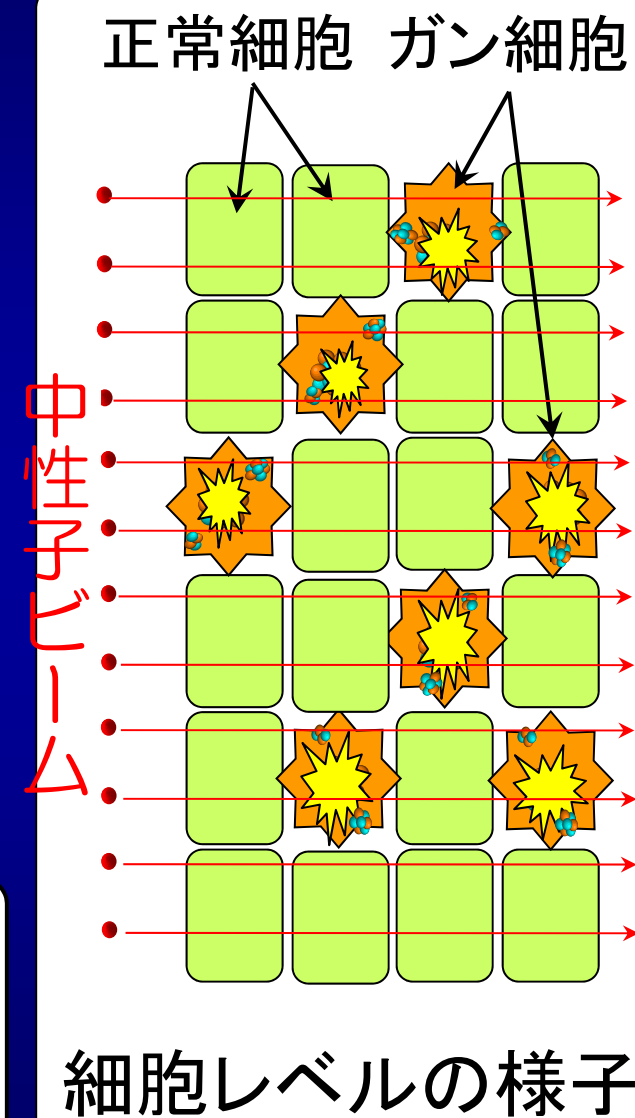
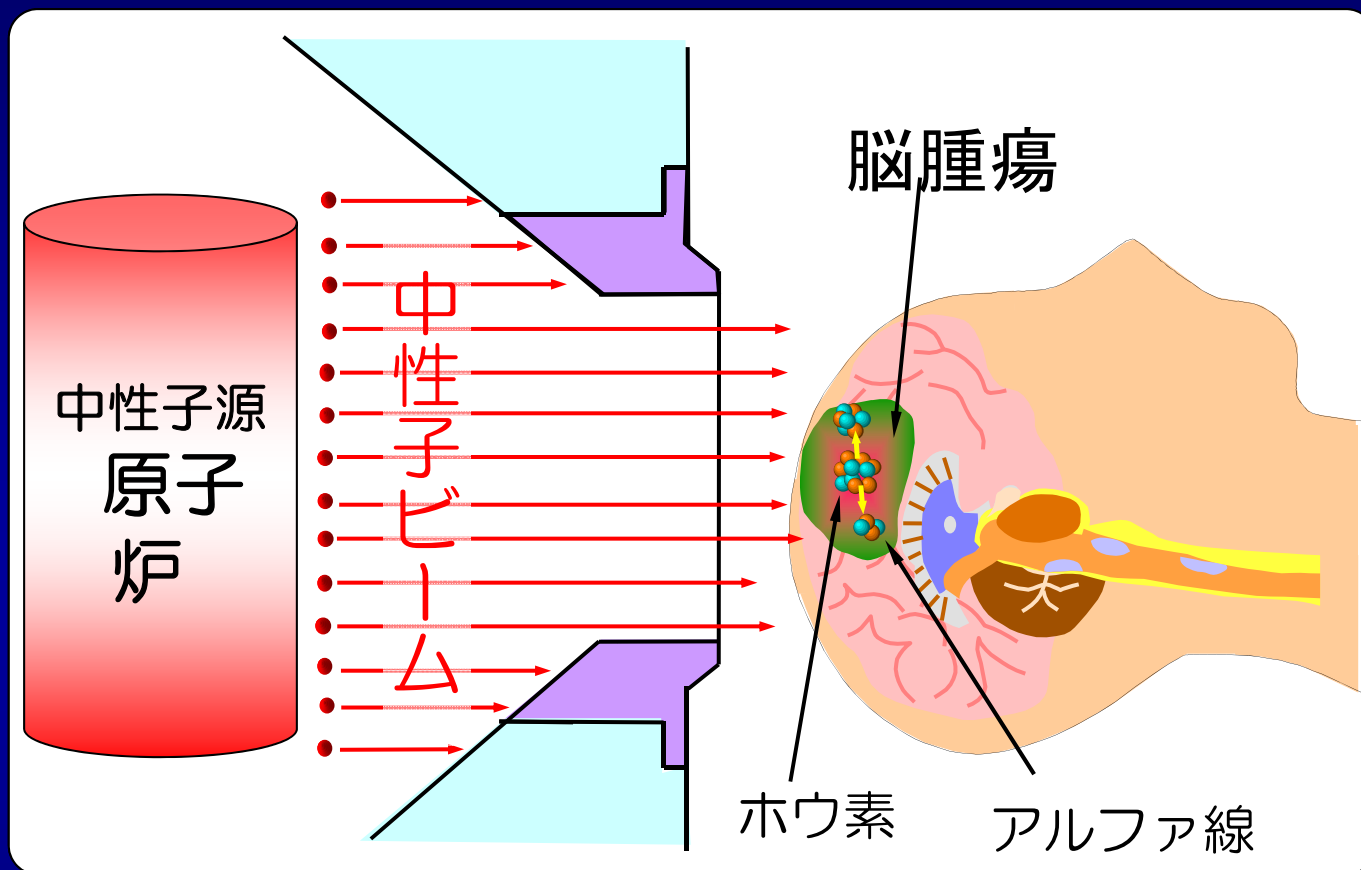


がん患者のうち放射線治療(併用も含む)を実施している患者数



出典) 第3回がん対策推進協議会における中川恵一委員(東京大学)からの提出資料をもとに作成

ホウ素中性子捕捉療法の原理



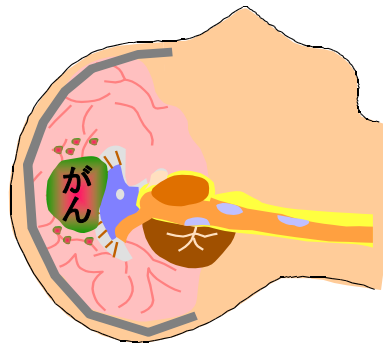
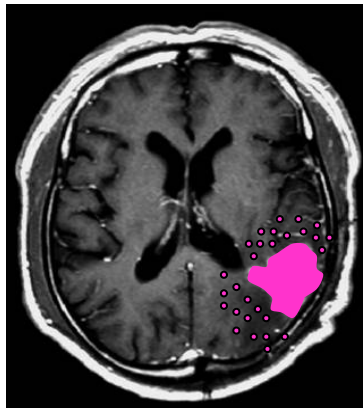
- ① ガン細胞に集まる放射薬剤を投与
- ② 患部に中性子を照射
- ③ 中性子とホウ素との核反応で放出されたアルファ線がガン細胞だけを破壊

次世代のがん細胞選択的粒子線治療：BNCT

— ミリ単位の治療からミクロン単位の治療へ —

●難治性がん

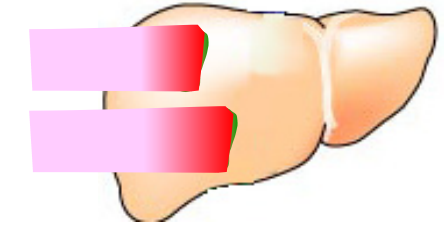
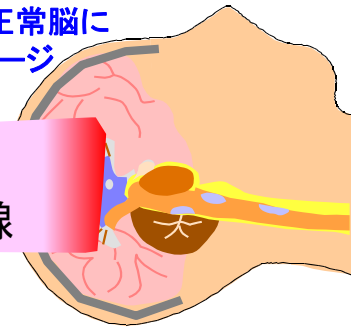
浸潤性がん（悪性脳腫瘍など）



現在の放射線治療

周囲の正常脳に
ダメージ

X線、
粒子線



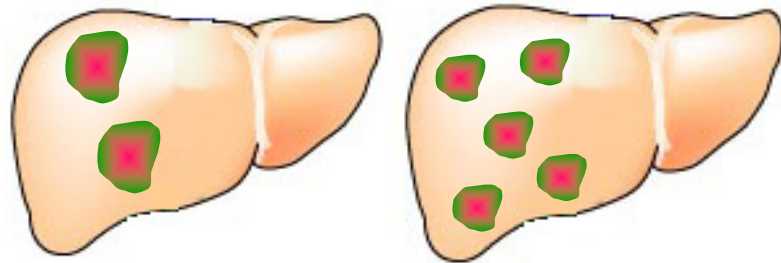
X線、
粒子線



肝臓全体に
ダメージ

CT等で視認できる腫瘍の“塊”を強力な**粒子線**で破壊して治療。**治療精度はミリ単位**。

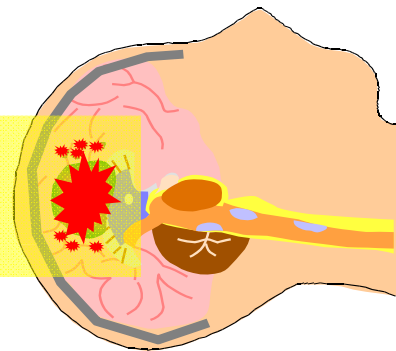
多発性がん（多発性肝がんなど）



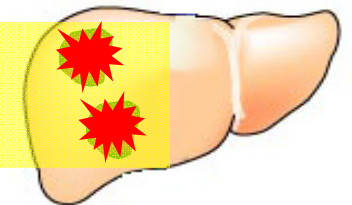
●最初に放射線治療を行った後に再発してしまった再発がん

BNCT

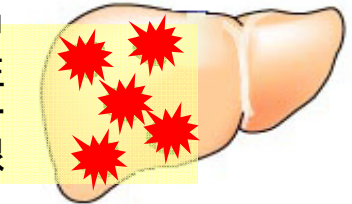
中性子線



中性子線



中性子線



中性子と反応して重粒子線を発生する薬剤を癌細胞に選択的に送り込み、**細胞レベルの重粒子線治療**

医学

中性子
捕捉療法
研究

薬学

原子炉、
中性子工学、
加速器工学

医学、原子炉工学、中性子工学、薬学分野の
最先端の技術を集約した次世代放射線治療

日本国内の粒子線治療施設

国内のBNCT施設

京都大学原子炉実験所
研究用原子炉KUR、
サイクロトロン加速器施設
(大阪府熊取市)



日本原子力研究開発機構
研究用原子炉JRR-4
(茨城県東海村)

日本原子力研究開発機構

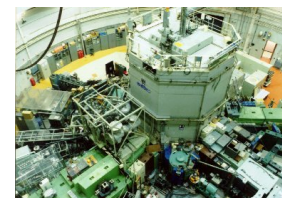
1999年10月から治療開始。
これまでに悪性脳腫瘍、頭頸部がん等
に対して100例余りの治療を実施。



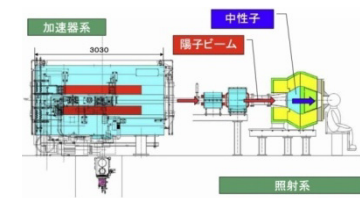
研究用原子炉JRR-4

京都大学原子炉実験所

研究用原子炉KURで実施。これまでに
悪性脳腫瘍、頭頸部がん、肺がん、肝がん
等に対して約300症例の治療が実施。
新たに加速器による治療施設が開発中



KUR

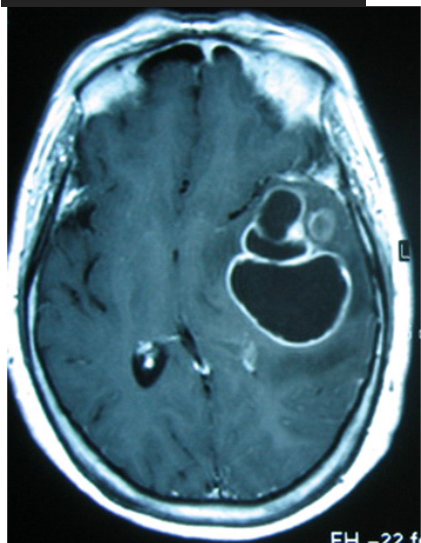


サイクロトロン

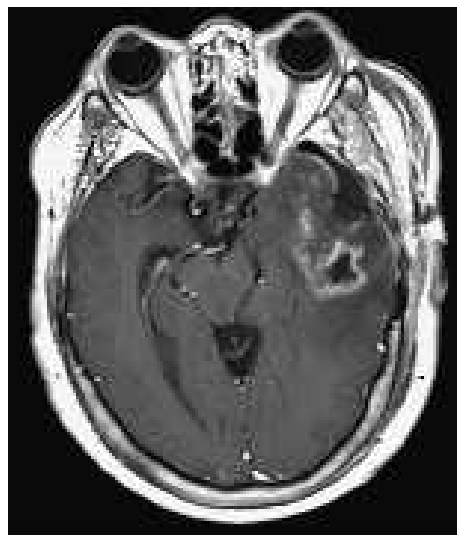
BNCTの臨床実績

悪性脳腫瘍

外科手術前



BNCT前

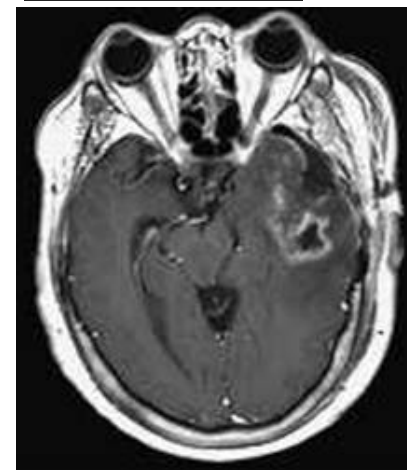


BNCT後

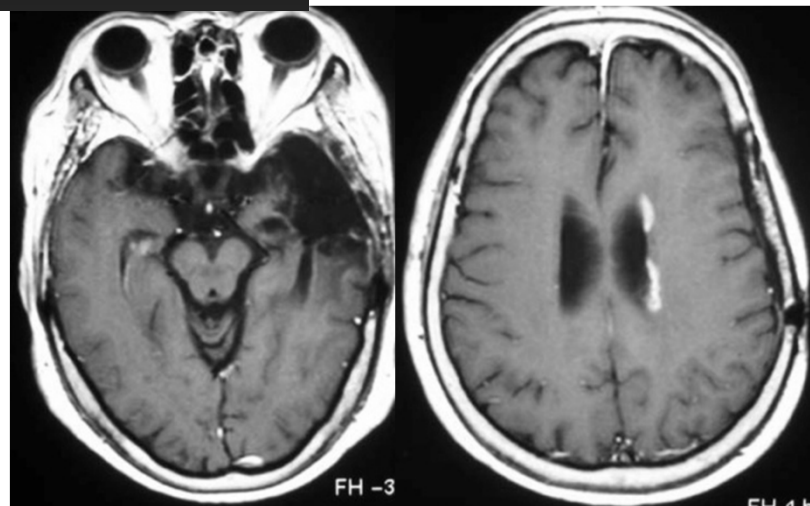


5か月後

6か月後



25か月後



生存期間中央値を
標準治療(約1年)に比べて
BNCTでは2倍以上(25か月)に延長
(Radiother Oncol, 2009)

BNCTの臨床分野におけるブレイクスルー ～頭頸部がんへの適用拡大～

耳下腺がん

照射前



著しい成長時より、がん細胞が体内に止まらず、皮膚をも破りさらに増大

2回目照射後



がん細胞縮小の絶大な効果。他の放射線治療では成し得ない、皮膚の再生を確認。

3回目照射5ヶ月後



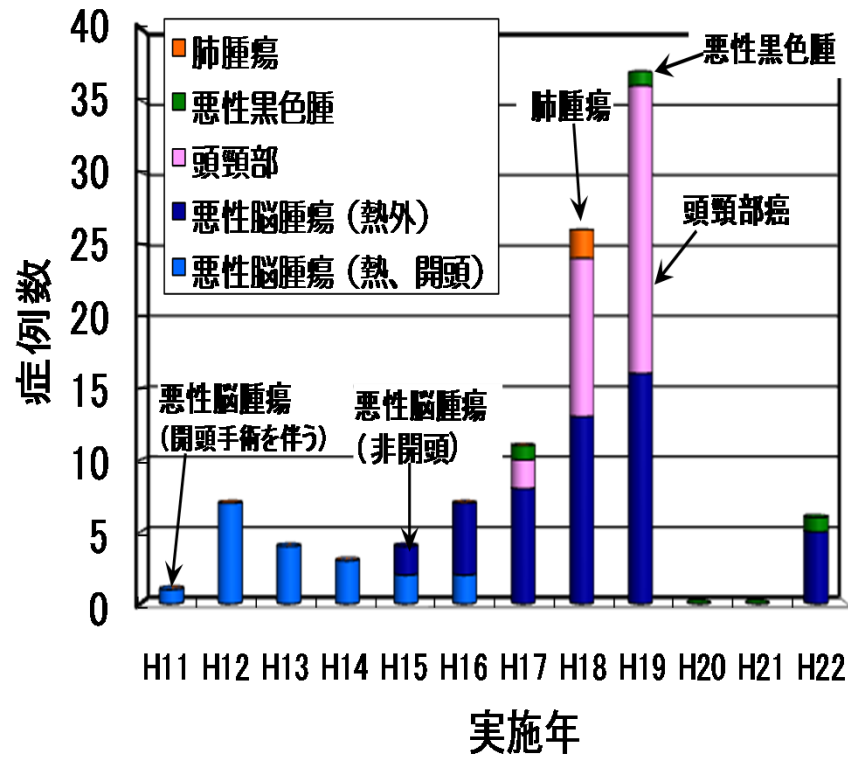
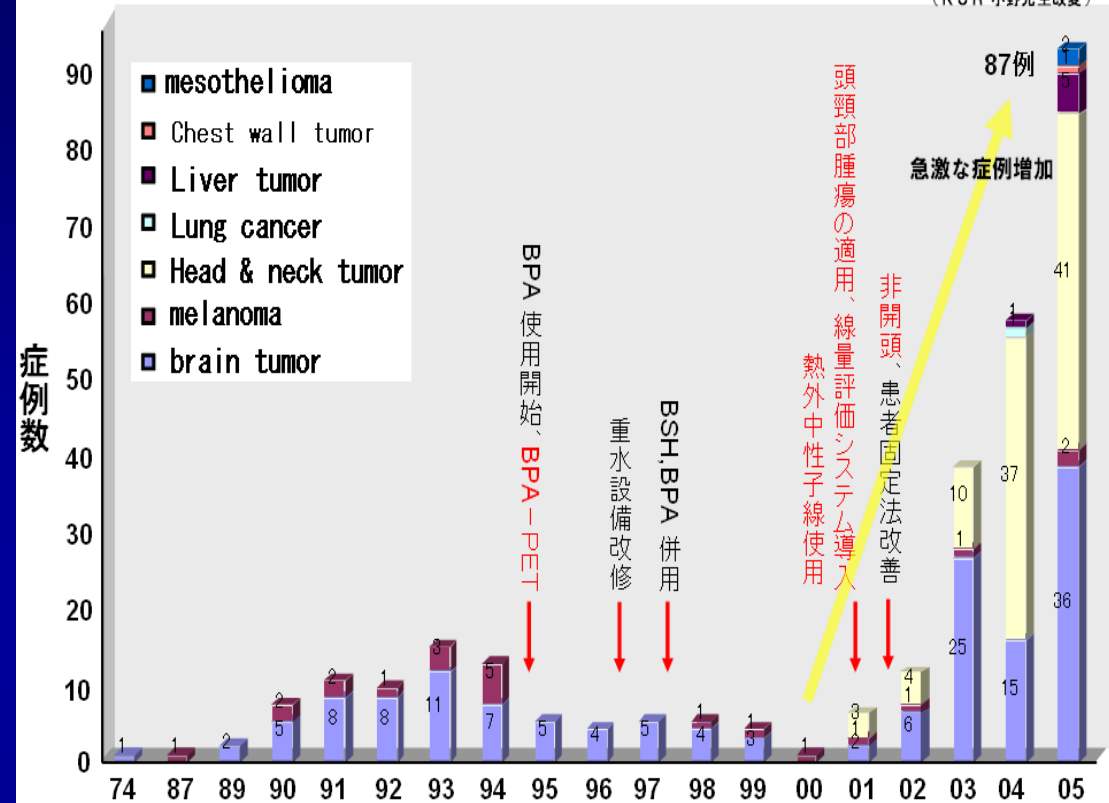
腫瘍はほぼ完全に縮退。高いQOLを達成。

大阪大学歯学部 主

世界で最初の頭頸部がんに対するBNCT

日本におけるBNCT施行疾患及び症例数の推移

(KUR 小野先生改変)



JRR-4での実施症例数の推移

JRR-4で実施している大学：

- | | |
|----------|--------|
| • 筑波大学 | 脳神経外科 |
| • 香川小児病院 | 脳神経外科 |
| • 徳島大学 | 脳神経外科 |
| • 京都大学 | 原子炉実験所 |
| • 大阪医科大学 | 脳神経外科 |
| • 川崎医科大学 | 放射線科 |
| • 大阪大学 | 口腔外科 |

BNCTを実施、計画している国：

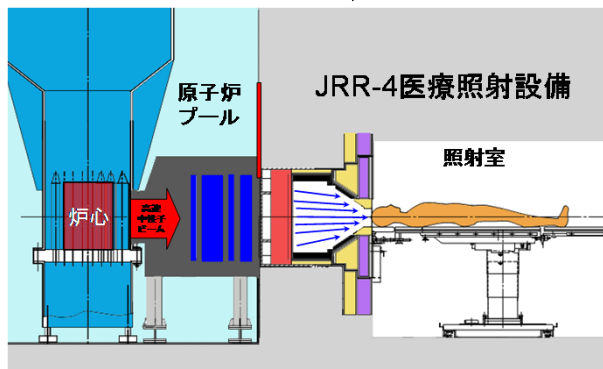
実施中：日本、フィンランド、アルゼンチン、台湾

停止： 米国、オランダ、イタリア、チェコ

計画中：韓国、英国（加速器）、イタリア（加速器）

中性子捕捉療法 of 課題と今後の展望

原子炉 (JRR-4) 1999年～



**原子炉を用いない
新しい大線量の
中性子源が必要!**

原子炉による中性子源は、技術として確立し(枯れた技術)、且つ、高強度の中性子を安定的、連続的に発生できる。

しかし...

- 原子炉では医療にならない(臨床研究のみ)!
- 施設検査のため1年に数か月も施設が停止する。
- 疾患・症例数が限定される。
- 治療を受けられる患者がきわめて限られてしまっている。
- 東日本大震災でJRR-4が被災

新規研究開発による病院内設置 が可能な小型加速器中性子源



病院内
治療施設

- 原子炉規制法の規制を受けない
⇒年間を通して安定的に多くの患者に治療を提供できる
- 病院では分割、多門照射が可能になり治療効果・安全の向上
- 先進医療⇒保険診療へ
- 本分野で世界をリード
- 医療産業においても世界を牽引

つくば国際戦略総合特区

～つくばにおける科学技術の集積を活用したライフイノベーション・グリーンイノベーション～

ライフイノベーション

Project①：次世代がん治療(BNCT)の開発実用化

- ◆患者のQOLが高く経済的な負担も少ない、画期的次世代がん治療(BNCT)の開発実用化を図る。
- ◆国際標準化し、医療関連産業の国際展開を図る。

【参画機関】

筑波大学、高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究機構、北海道大学、企業、茨城県



Project②：生活支援ロボットの実用化

- ◆世界に先駆けて生活支援ロボットの安全性評価基準を確立し、国際標準を獲得する。
- ◆つくばにロボットの開発から安全認証までの切れ目のない体制を構築し、ロボット産業の国際競争力を牽引

【参画機関】

産業技術総合研究所、日本自動車研究所、筑波大学、企業等



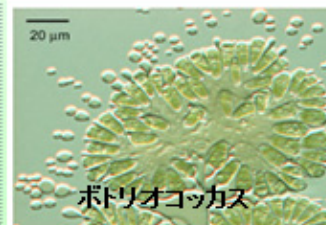
グリーンイノベーション

Project③：藻類バイオマスエネルギーの実用化

- ◆石油代替燃料として期待される藻類バイオマスの実用化を図る。
- ◆世界的エネルギー問題の解決に貢献するとともに藻類産業を創出する。

【参画機関】

筑波大学、藻類コンソーシアム、つくば市



Project④：TIA-nano 世界的ナノテク拠点の形成

- ◆国際競争力ある世界的ナノテク拠点を構築する。
- ◆画期的技術の省エネ機器等の開発や人材育成を一体的に推進し、省エネルギー等の課題解決に貢献する。

【参画機関】

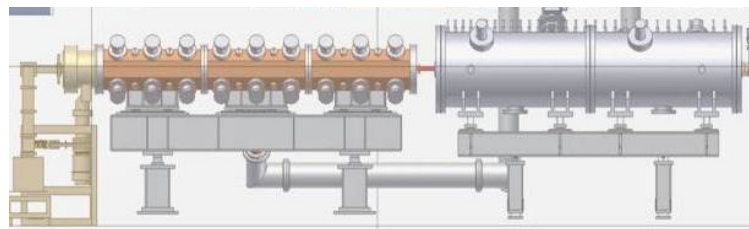
産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、筑波大学、企業



病院設置型加速器BNCT治療装置の開発

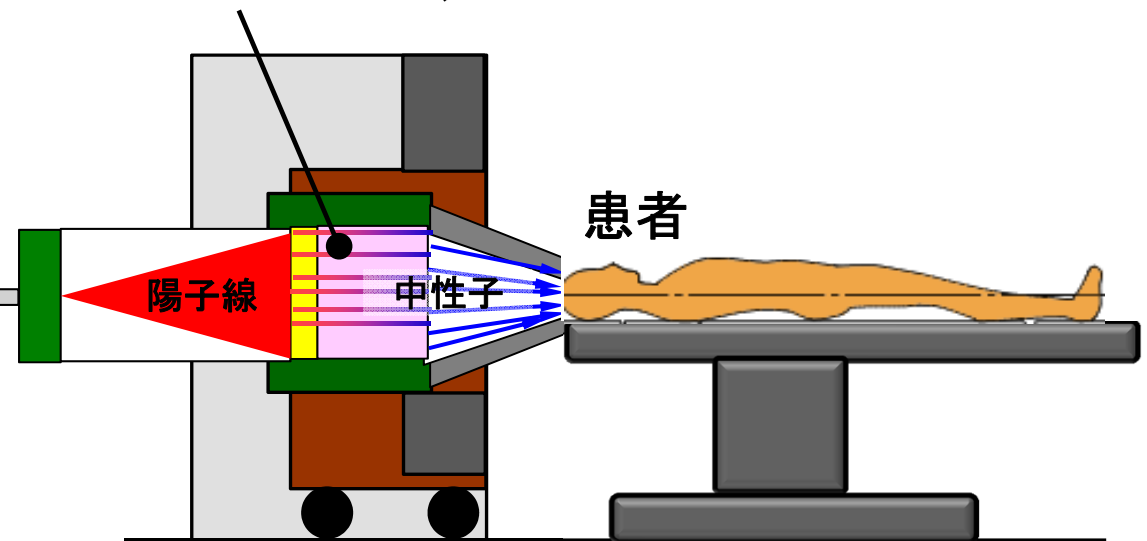
コンセプト: **病院内で安全、安定、簡便にできるBNCTの実現**

- **筑波大学を中心**に高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、日本原子力研究開発機構 (JAEA)、北海道大学、三菱重工業、及び、茨城県による**共同開発チームを形成**
- 加速器中性子発生装置によるBNCT治療装置: **全て純国産技術で製作!**
 - ① 加速器: 病院内設置に適した小型で、**安定的**運用が**簡便**な直線型加速器
 - ② 中性子発生標的装置器 : 長寿命、低放射化を前提とした標的技術
 - ⇒ 医師・病院従事者の被ばく防止 (**安全**)、**簡便**な標的交換による**安定**運用
- **J-PARCの加速器**技術を応用し、BNCT専用小型陽子線加速器を開発。

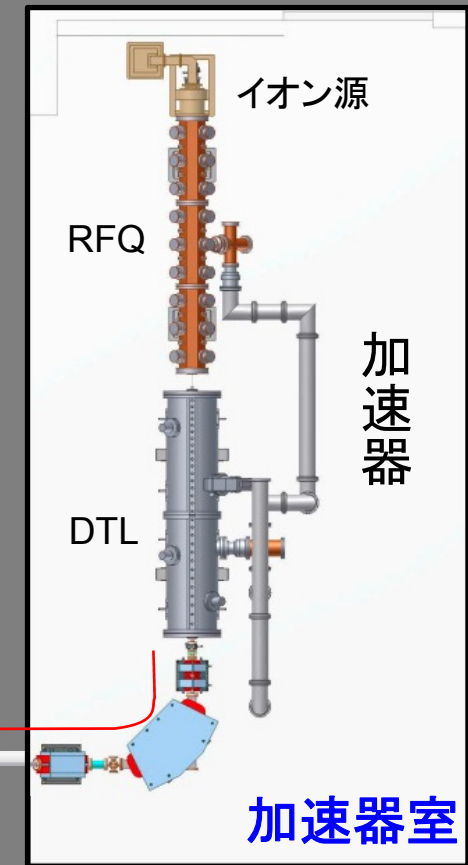
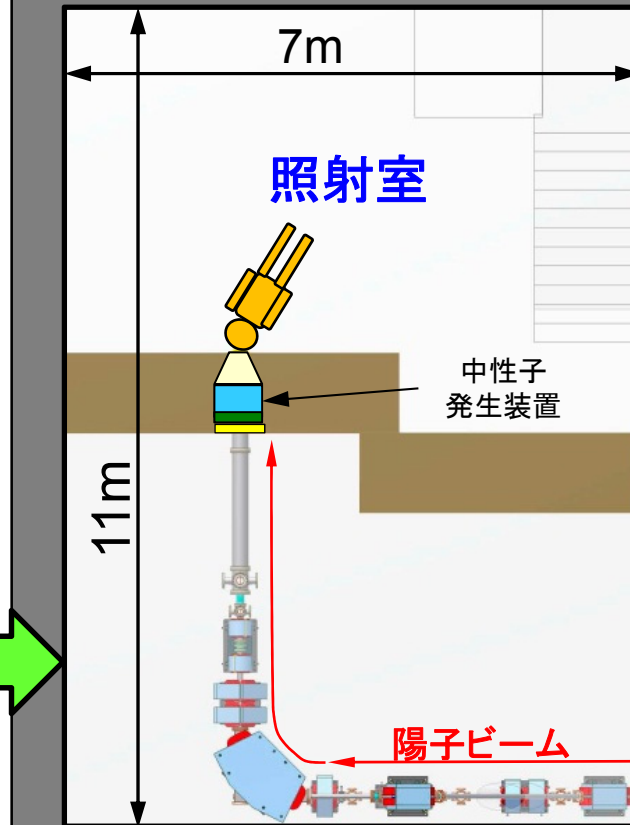


陽子線加速器

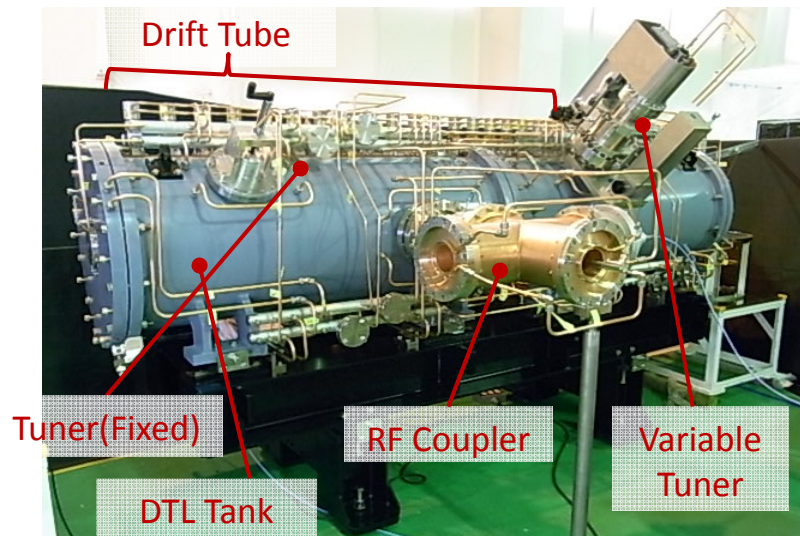
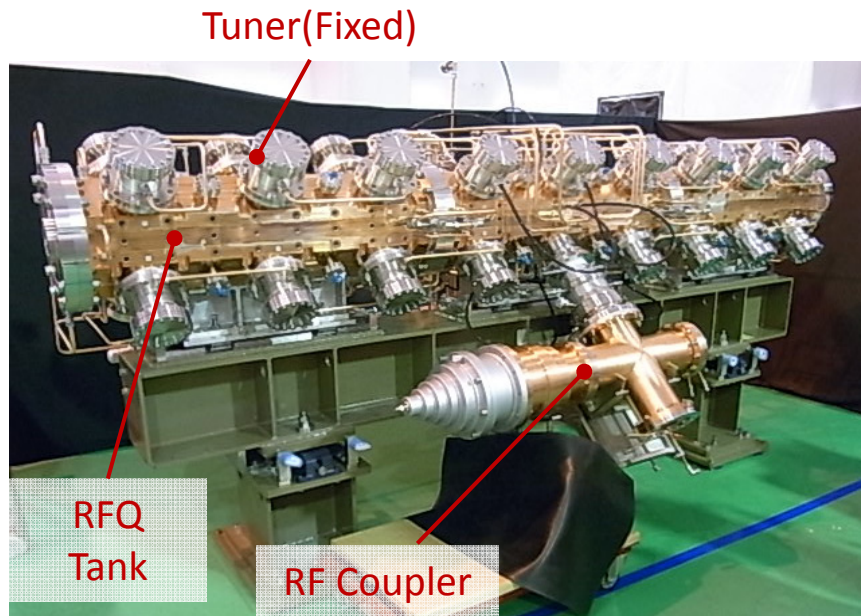
中性子発生・制御・照射装置



治療装置のレイアウト



開発中のBNCT用加速器中性子源装置

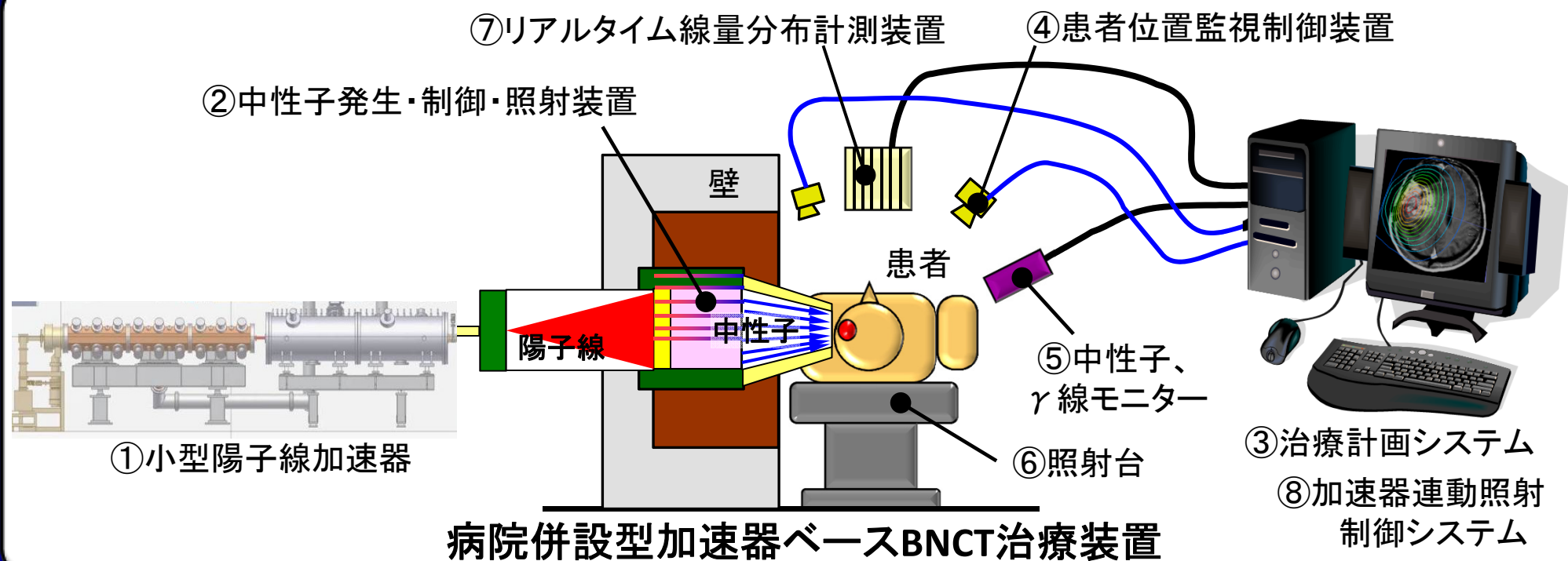


ライナック:RFQ(上)とDTE(下)



クライストロン(上)、リニアック(下)

加速器ベースBNCT用治療装置の全容



●中性子発生制御装置：KEK&JAEA+重工業メーカー、機器製作所

●放射線計測機器、患者位置計測制御装置、各種ソフトウェア：
筑波大学+JAEA、日本分析センター、機器メーカー、ソフトベンダー等

加速器、放射線計測機器メーカー等と連携し、各種先端技術をがん治療に応用

☞ 医工連携を推進し、「医療イノベーション戦略」にも寄与

治療計画システム、中性子モニター、PG-SPECT等の開発

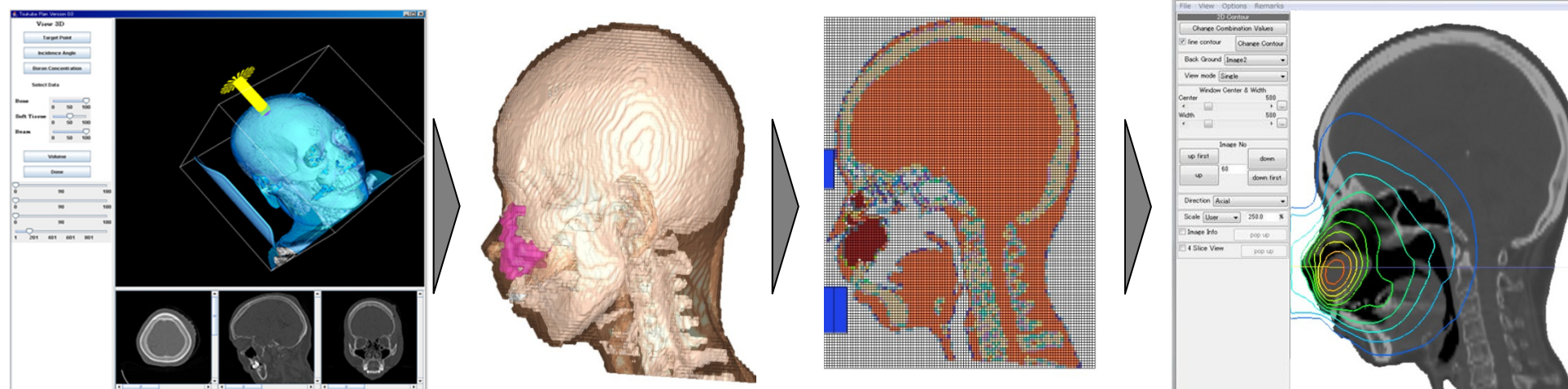
加速器ベース中性子発生装置の製作だけでなく、治療に不可欠な機器を合わせて開発実用化

- 原子炉用治療計画システムの基盤技術使った汎用モンテカルロ治療計画システムの開発
 - 患者セッティング & モニタリングシステム
 - リアルタイム中性子 & γ 線モニター
 - 即発 γ 線SPECT
- ☞ これらシステムを統合し、治療を総合的に監視制御するシステムを構築



患者セッティングシステム

治療計画システム

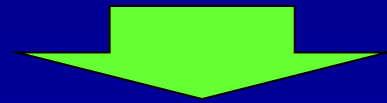


各種放射線治療の比較

| | X線治療 | 陽子線、重粒子線 | 中性子捕捉療法 |
|-------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 選択的治療効果 | △ | ○ | ◎(細胞レベル) |
| 対象がん | 主に固形がん | 主に固形がん | 固形がん、浸潤がん、 多発がん、各種再発がん |
| 世界における 日本の位置付け | × 欧米企業独占 | △ 欧米と競争中 | ◎ 日本が独走 |
| 治療施設コスト | 10億円以下 | 陽子線:約70億円、 重粒子線:約150億円 | 30億円以下 |
| 国内治療施設数 (市場性) | 約400機 | 国内10施設 (建設、計画中:4) | 将来100施設程度 (建設、計画中:4) |
| 治療の位置づけ | 保険治療 | 現在:先進医療、 保険申請中 | 現在:臨床研究、 数年内に先進医療 |
| 治療費 | 50万円程度 (保険適用) | 250~300万円 (民間保険先進医療 特約対応) | 目標150万円以下 (先進医療時) (民間保険先進医療特約) |
| メディカル ツーリズム | × | ○ (欧米より治療費安い) | ◎ (1日で治療終了) |

これまで：原子炉での臨床研究

- 治療法自体の有効性、安全性を実証
- 治療計画/線量評価技術、計測技術、患者位置制御技術、中性子制御技術の基盤技術確立



- 加速器中性子源の実用化→薬事登録
- 計測、制御技術のさらなる高度化
- 粒子線治療と同程度の治療精度とQA/QCを確立

数年内：①病院内治療による高度先進医療へ
②国内外に広く普及

今後のBNCTの動向に注目！