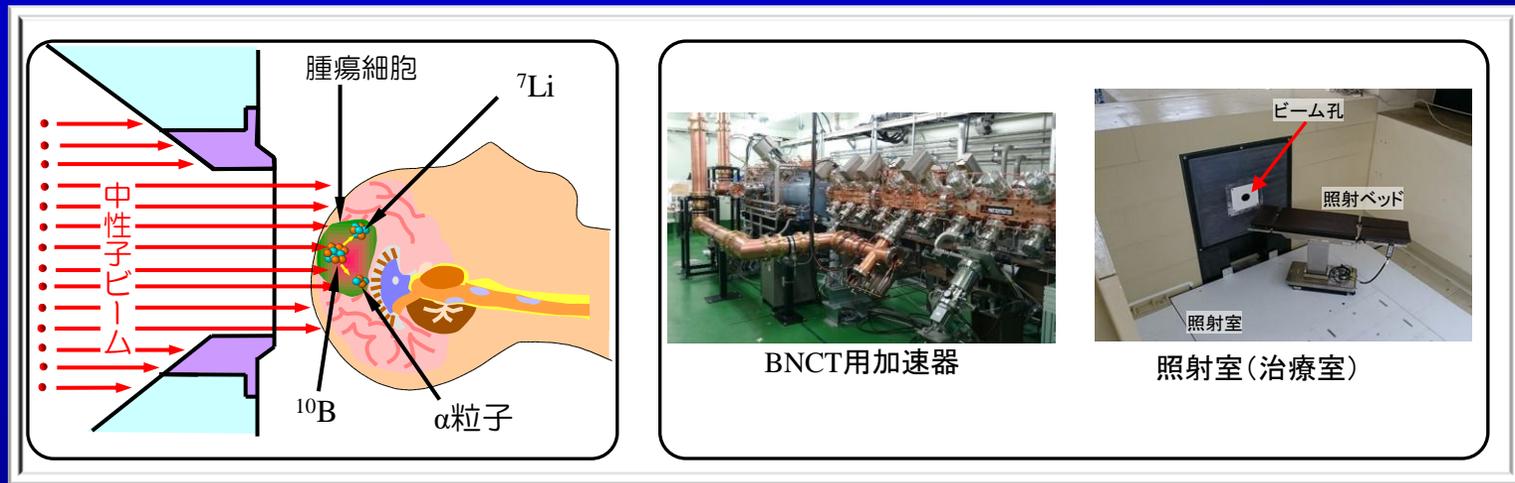
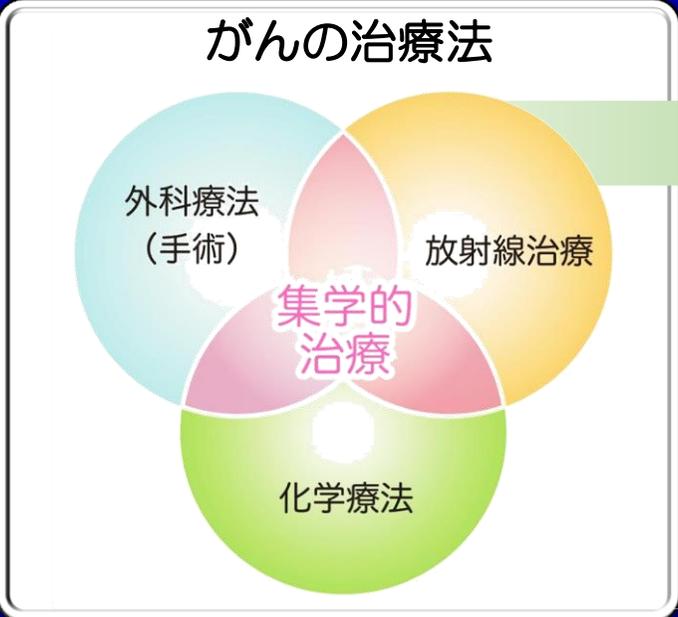
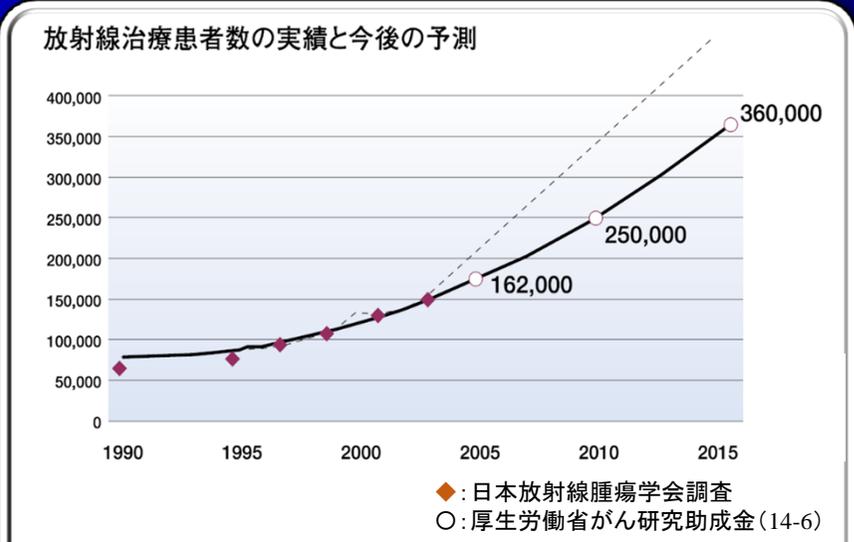
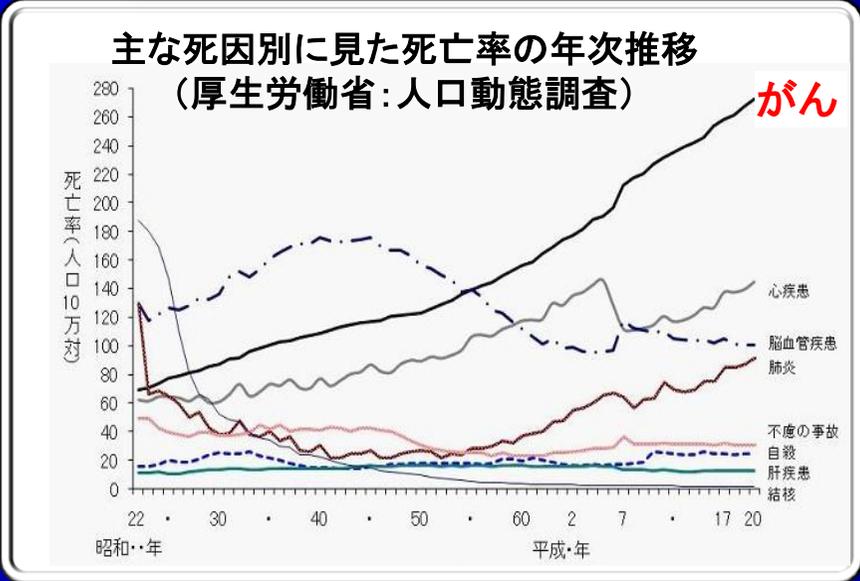


ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) による 次世代がん放射線治療

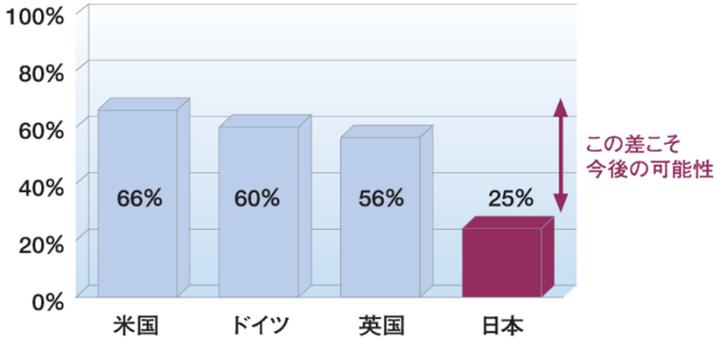


筑波大学 医学医療系
陽子線医学利用研究センター
熊田博明

日本人のがん患者数の増加と放射線治療



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



出展: 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
厚生労働省HPより JASTRO作成図

**将来、50%のがんに放射線治療が
つかわれる、と予想される**

●小線源治療（ γ 線、 β 線など）

- 密封小線源（セシウム、イリジウム、金、ヨウ素等）
- 非密封小線源（ヨウ素、ストロンチウム）

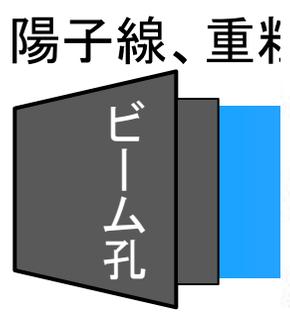
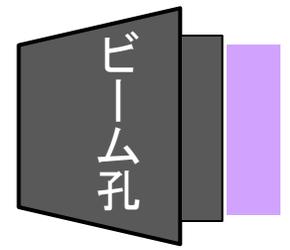
●外部照射

- X線治療装置（X線）
 - 一般的なX線治療
 - 強度変調放射線治療（IMRT）、IGRT
 - 定位照射（ガンマナイフ、サイバーナイフ）
- 粒子線治療装置（陽子線、炭素線など）
- ホウ素中性子捕捉療法（中性子線）

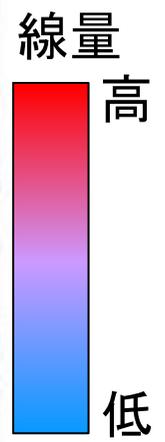
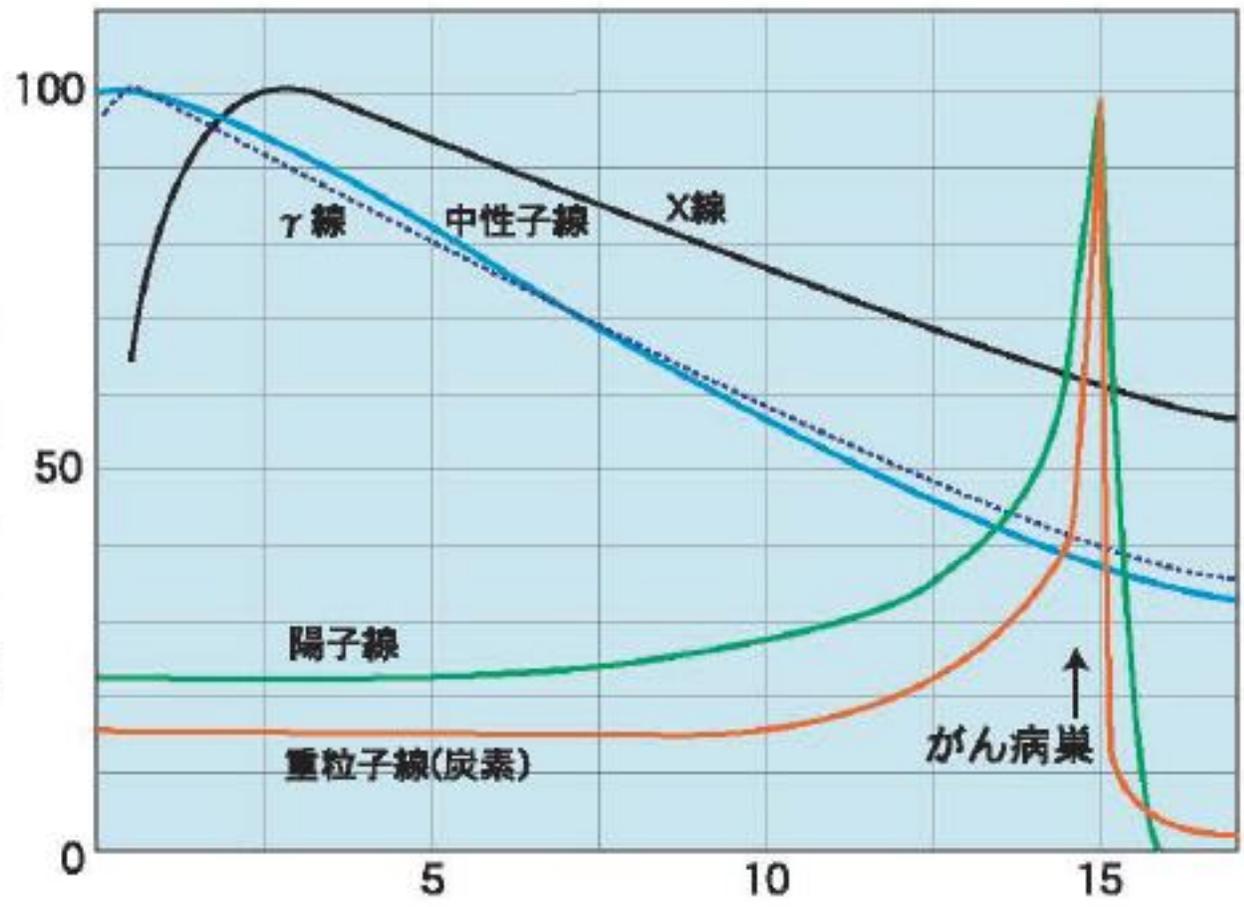
外照射：X線、 γ 線、中性子線と粒子線の特徴

X線、 γ 線、中性子線

各種放射線の生体内における線量分布



相対線量 (%)



からだの表面からの深さ(cm)

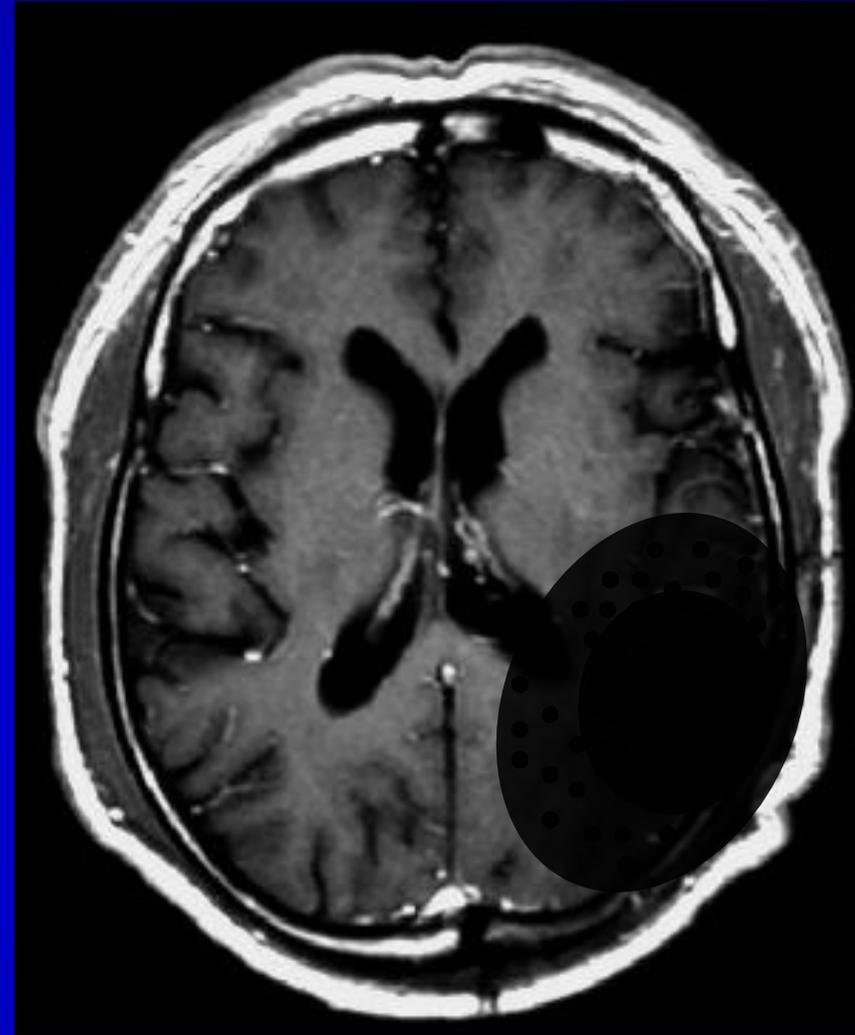
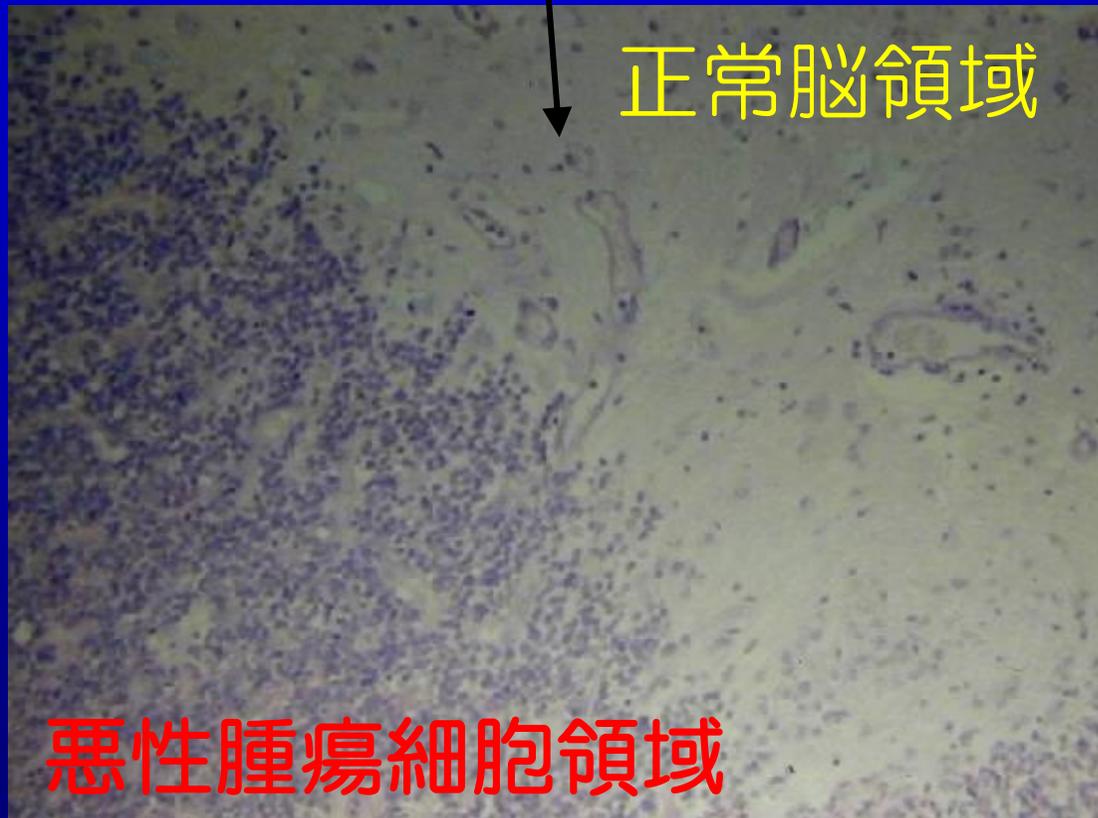


ホウ素中性子捕捉治療

(Boron Neutron Capture Therapy, BNCT)

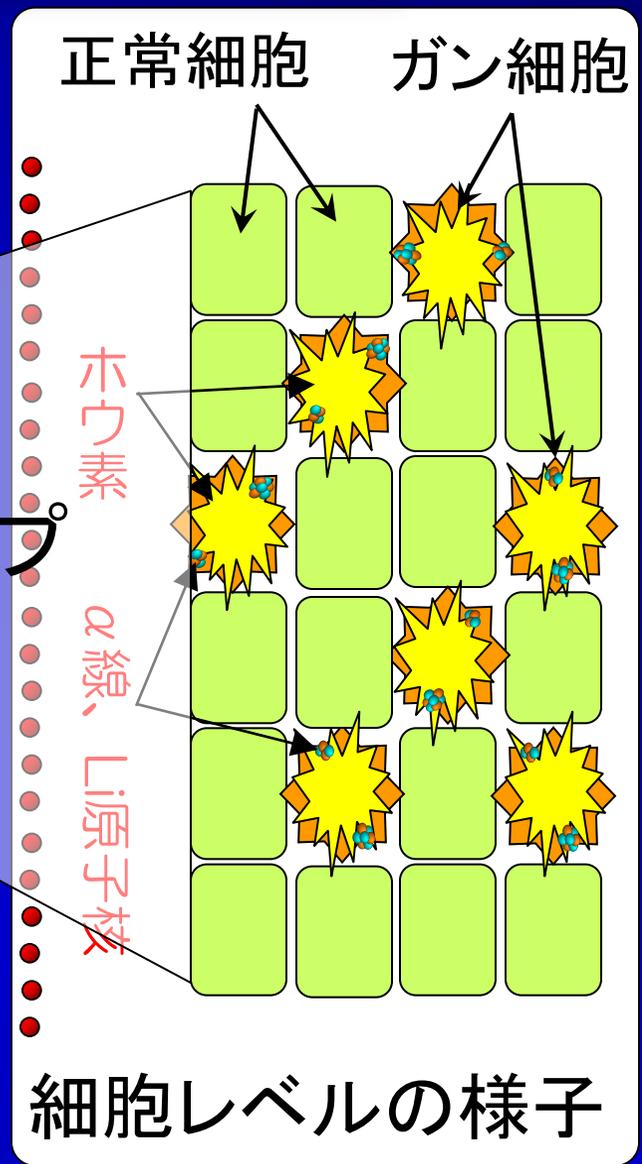
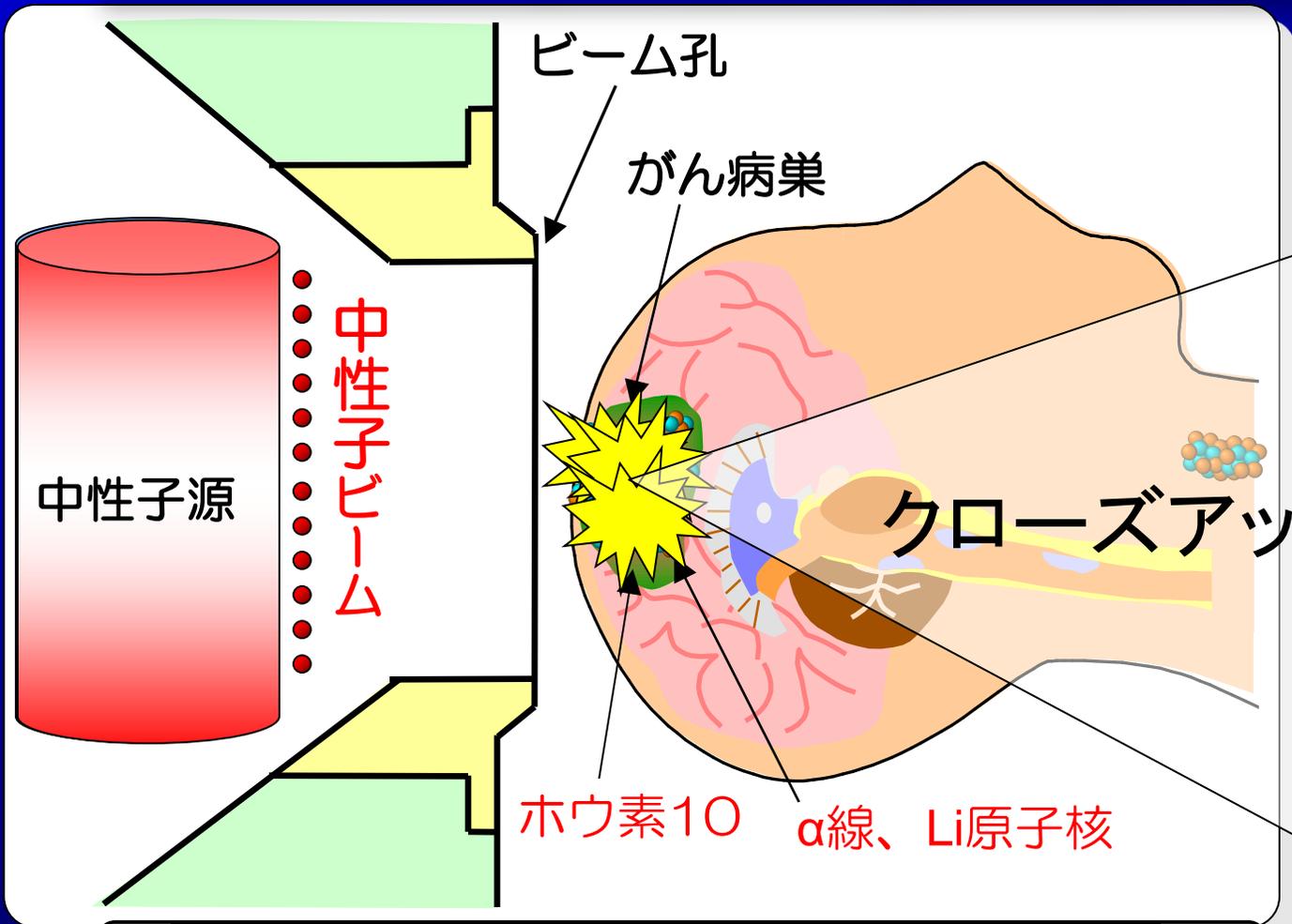
：難治性がんに対する次世代の
腫瘍細胞選択的粒子線治療

正常脳内にも腫瘍細胞が浸潤している



細胞レベルの治療が必要

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) の原理 (Boron Neutron Capture Therapy)



放出されたアルファ線とリチウム原子核がガン細胞だけを破壊

- ピンポイントで**細胞レベルの重粒子線治療**ができる。
通常の放射線の3倍の威力の重粒子(アルファ線とリチウム粒子)でがん細胞のみを破壊。
- 通常6週間の照射が**1回(約30分)の照射で完了**。
体への負担が少なく、QOLの高い治療法。
- 治療前にPETで薬剤集積を見て**治療効果を事前に判断**。
確実な治療効果のある患者を選別できる個別化医療が可能となる
新しい部位のがんに対する適用性をPET診断で判定可能
- これまで**難治だったがんに対する強力な新治療法**。
浸潤がん、多発病変、再発がん、放射線抵抗性がん、
手術不応症例、放射線治療不応症例等。

医学

中性子
捕捉療法
研究

薬学、
理学(化学)

原子炉、
中性子工学、
加速器物理、
(医学物理)

医学、工学、薬学、理学分野の
最先端の技術を集約した次世代放射線治療

国内のBNCT施設

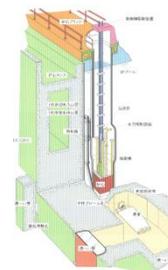
京都大学原子炉実験所
研究用原子炉KUR、
サイクロトロン加速器施設
(大阪府熊取市)



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

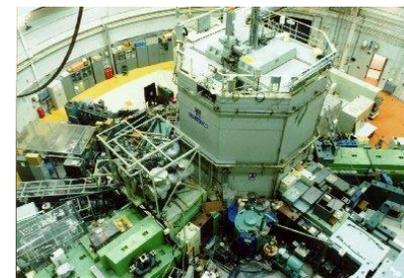
1999年10月から治療開始。
2011年までに悪性脳腫瘍、頭頸部がん等
に対して**100例余り**の臨床研究を実施。



研究用原子炉JRR-4

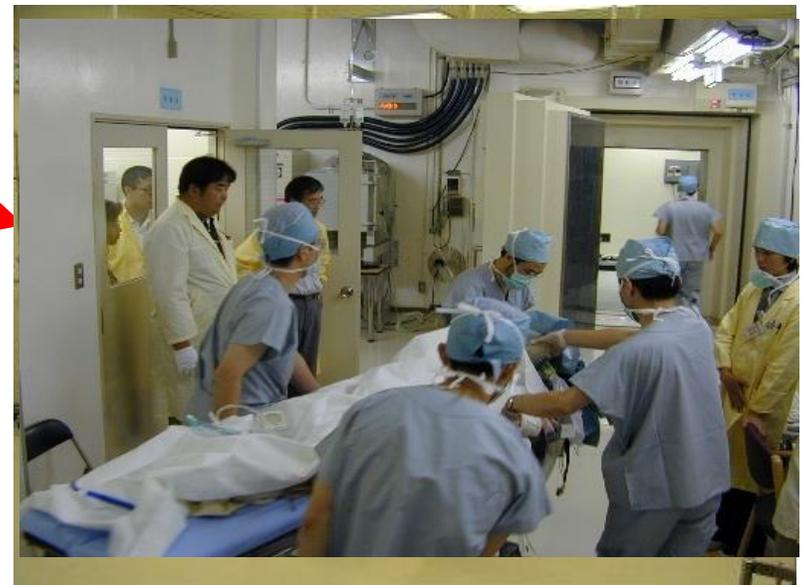
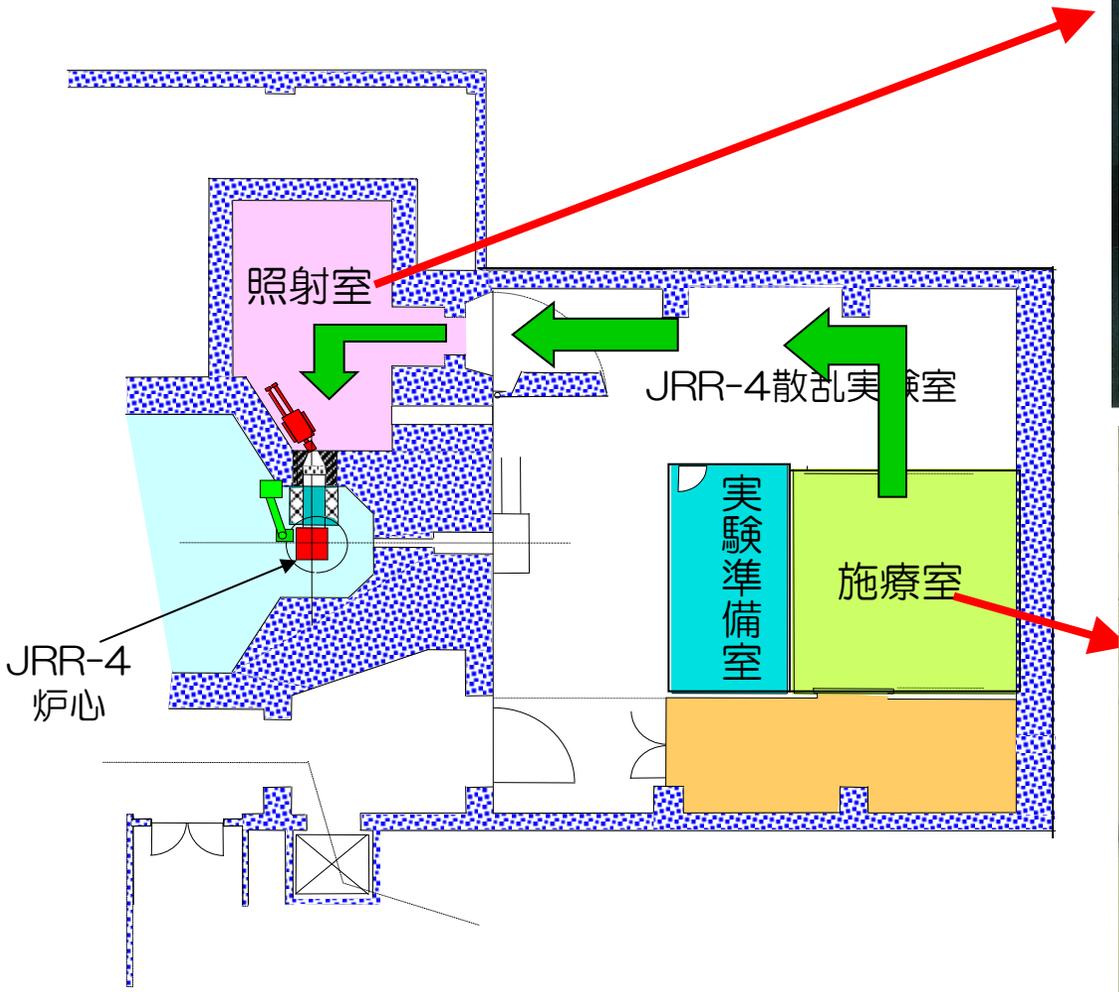
京都大学原子炉実験所

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800症例**の臨
床研究が実施。
新たに加速器による
治療施設が開発中

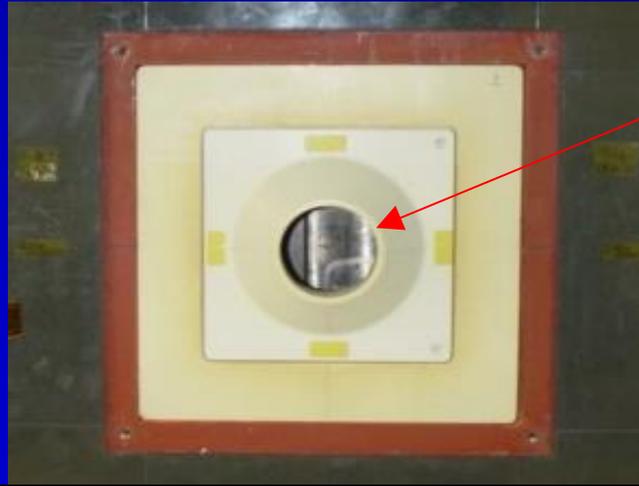
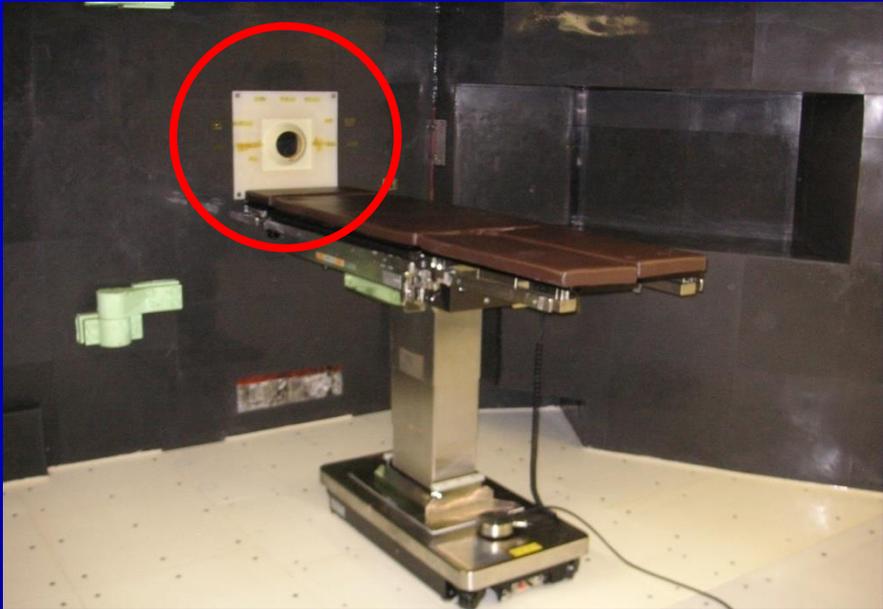


KUR

JRR-4医療照射設備

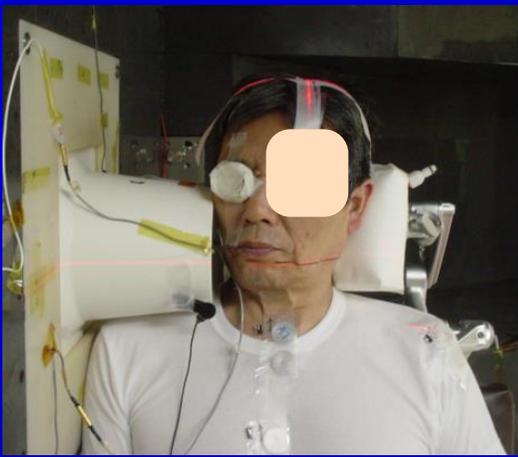
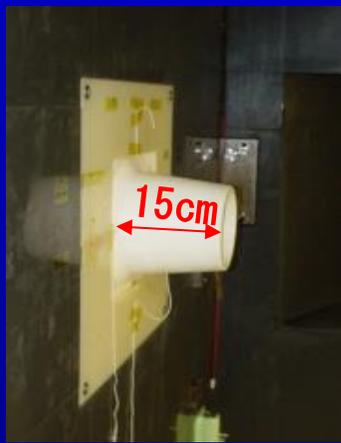
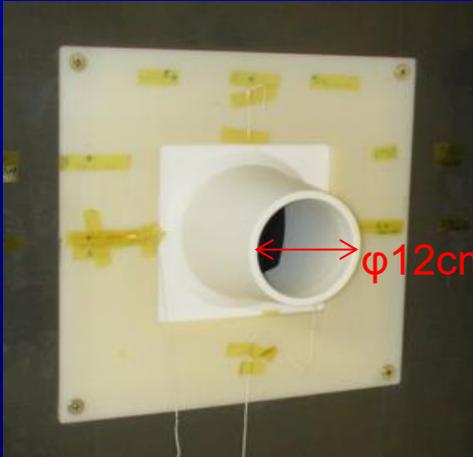


照射室、適切なビームを発生するビーム孔



Φ 10, 12, 15, 20cm

円形ビーム孔

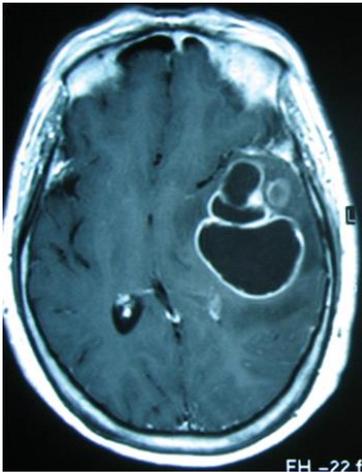


延長型コリメータ

BNCTの臨床研究症例

悪性脳腫瘍 (筑波大学脳神経外科グループ)

外科手術前



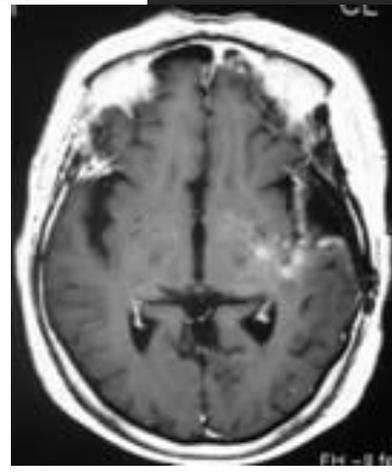
BNCT前



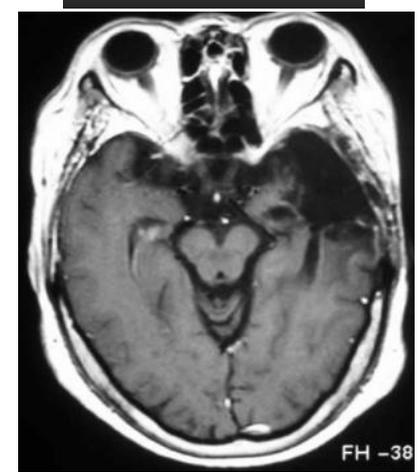
BNCT



5か月後



25か月後

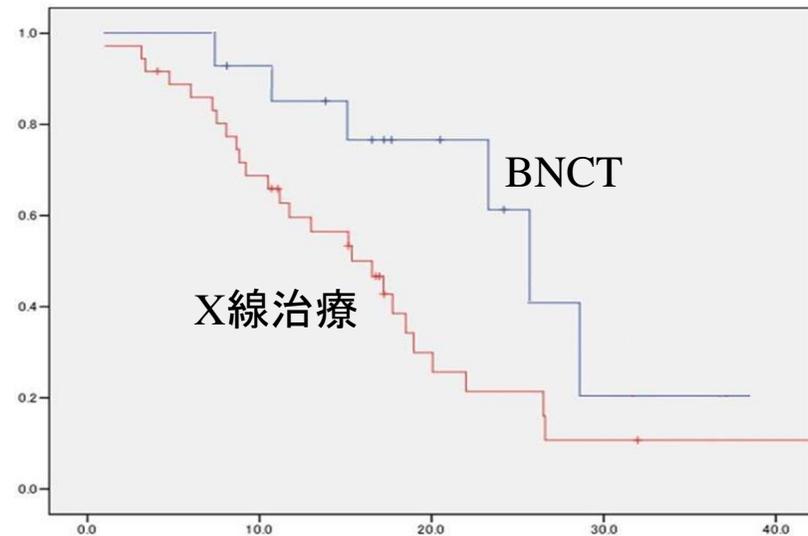


標準X線分割照射

- 生存期間中央値 13.5 M
- 生存率 1年: 48.0%, 2年20.0%、5年: 4.0%

BNCT

- 生存期間中央値 25.7 M
- 生存率: 1年:91.6%, 2年57.1%



(Yamamoto, Matsumura et al. 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～

写真提供: 大阪大学



BNCT実施前



BNCT実施後

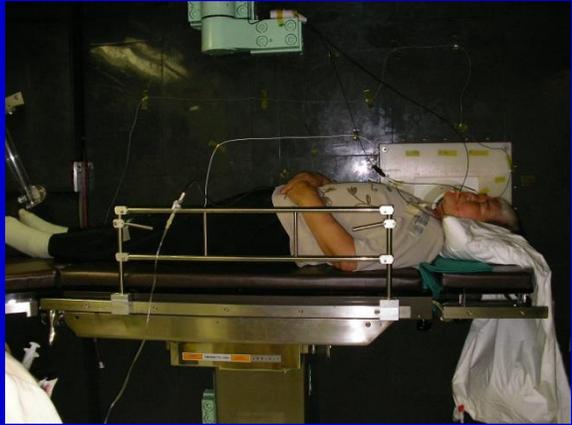
世界で最初の頭頸部がんに対するBNCT
BNCT分野の大きなブレイクスルー

74歳女性：耳下腺癌（初回治療としてのBNCT）

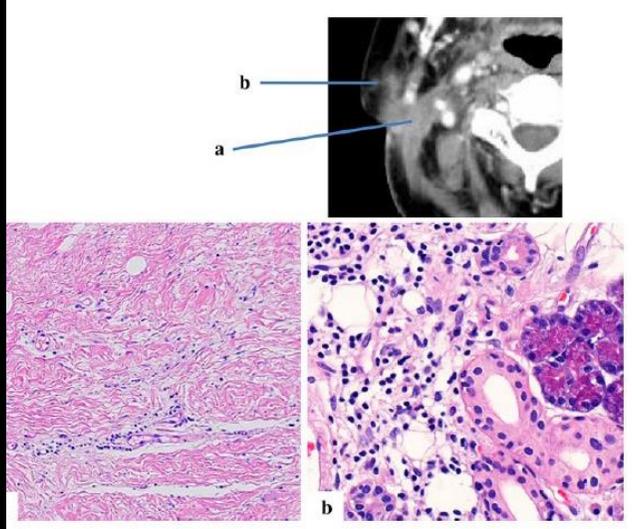
治療前



25分間照射のBNCT



2ヵ月後

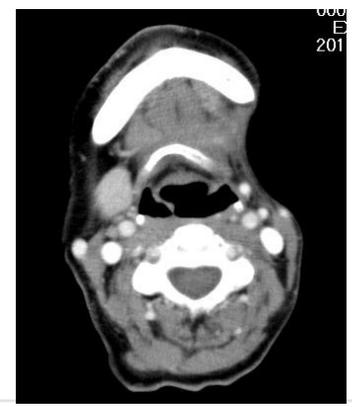
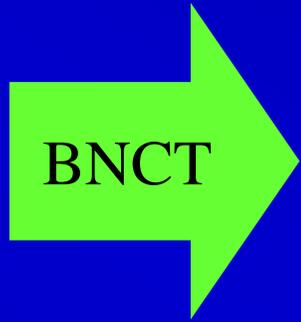


Teruhito Aihara, et al.
Boron neutron capture therapy for advanced salivary gland carcinoma in head and neck
Int J Clin Oncol, 2013



悪性黒色腫（メラノーマ）に対する治療

BNCT前	BNCT (中性子照射)	3ヶ月後	6ヶ月後
<p>S-1</p> 			
<p>S-2</p> 			



日本**

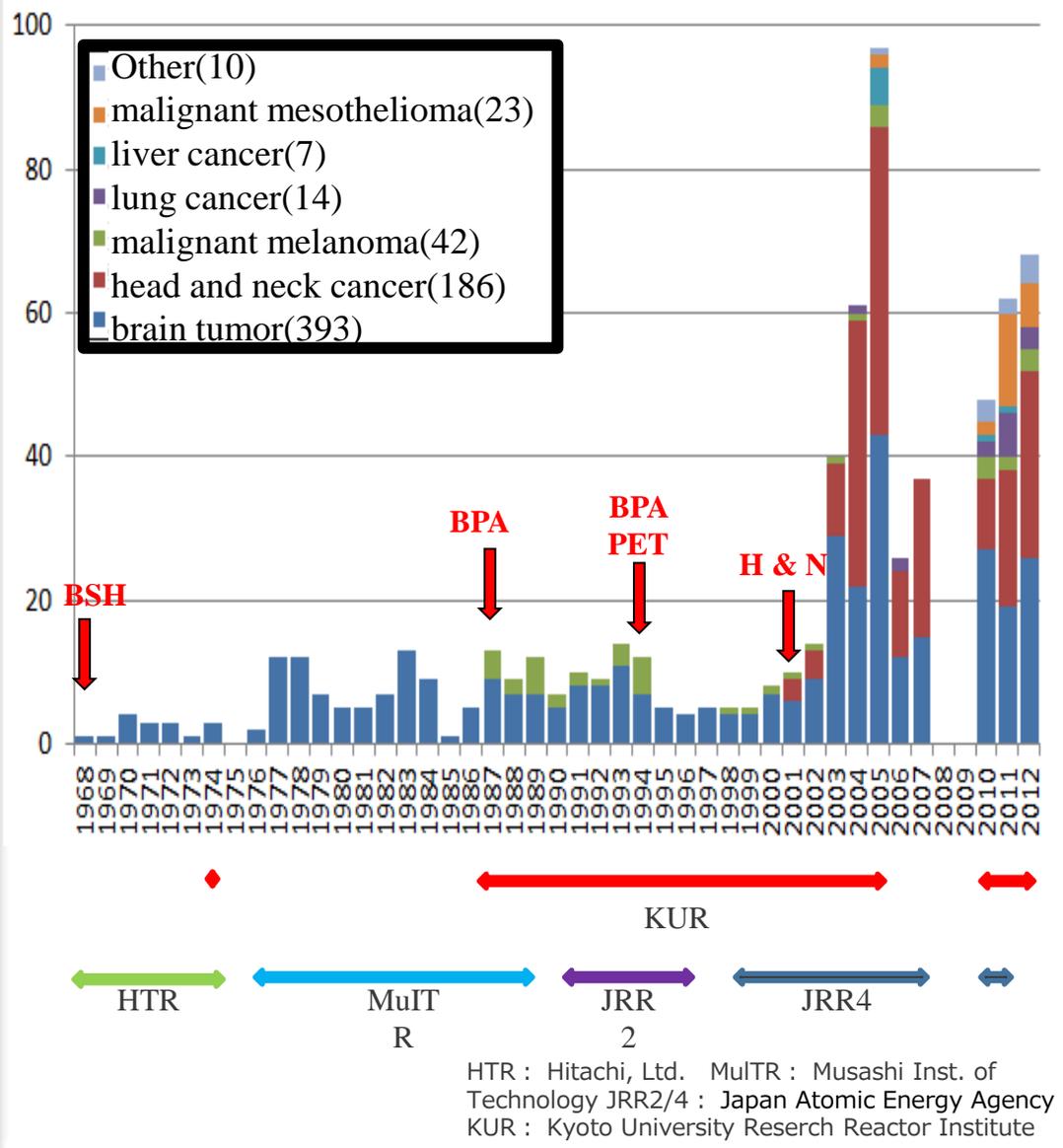
脳腫瘍	393
頭頸部	186
悪性黒色腫	42
肺癌	14
肝臓癌	7
悪性中皮腫	23
その他	10
合計	675

国外

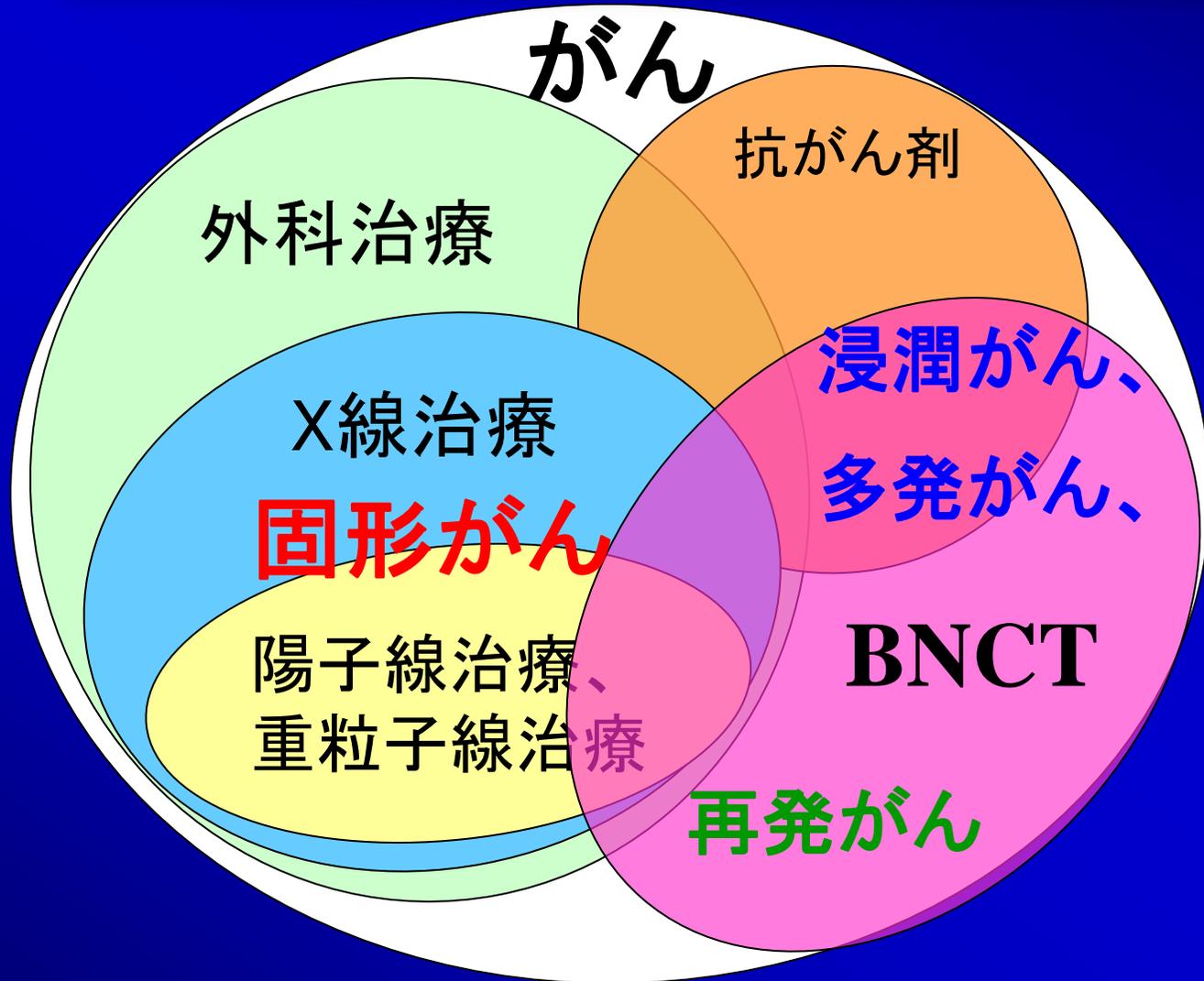
米国	脳*	135
	皮膚*	6
オランダ	脳*	22
フィンランド	脳*	150
	頭頸部**	29
チェコ	脳*	2
スウェーデン	脳*	52
イタリア	肝臓*	2
アルゼンチン	皮膚*	7
台湾	頭頸部**	10

* 2009年1月現在
 ** 2012年3月現在

日本におけるBNCT(原子炉)実施数の推移



HTR : Hitachi, Ltd. MuIT R : Musashi Inst. of Technology JRR2/4 : Japan Atomic Energy Agency KUR : Kyoto University Reserch Reactor Institute



BNCTの対象がん

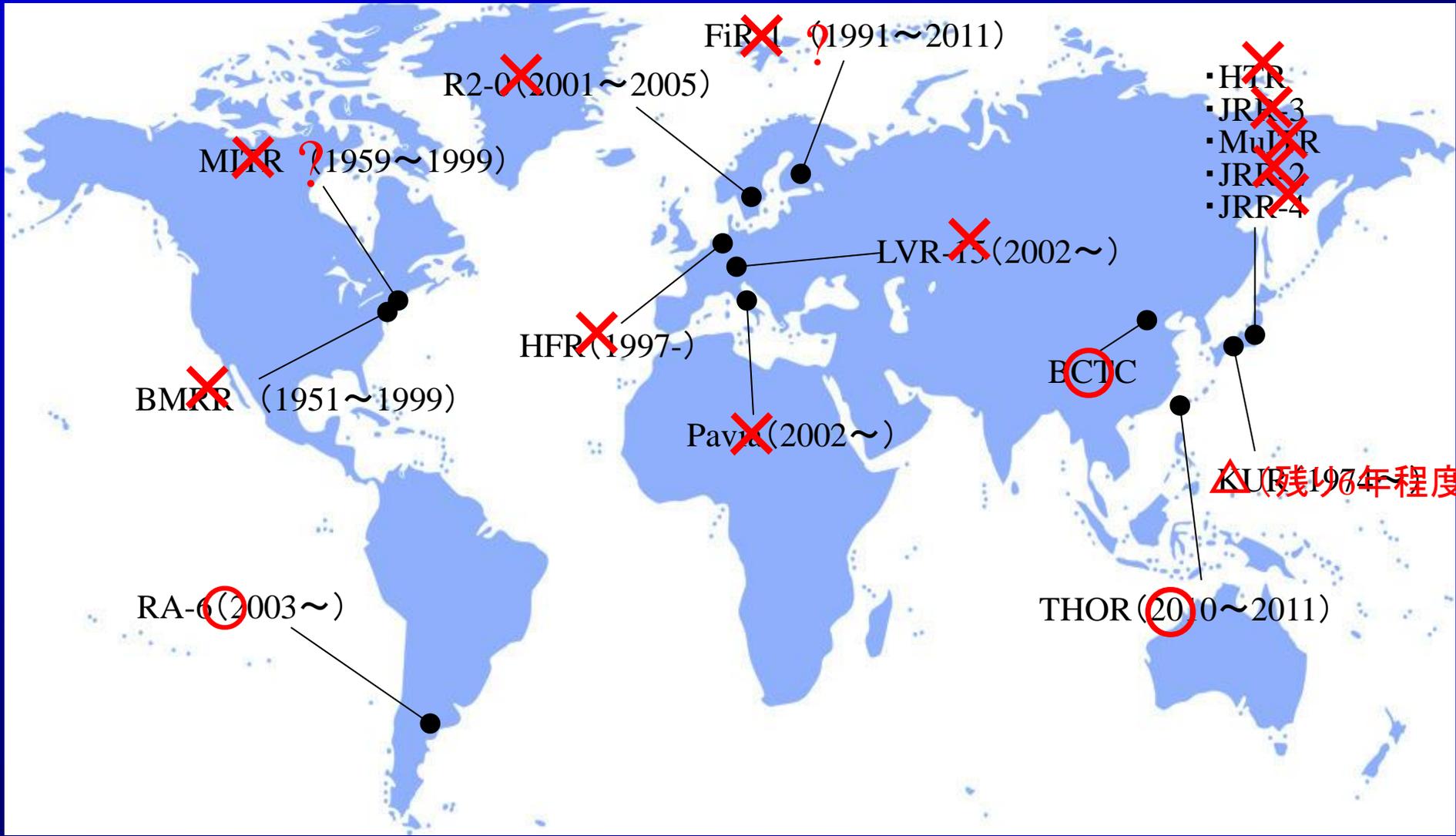
- 悪性脳腫瘍
- 頭頸部ガン
- 悪性黒色腫
- 肺がん
- 多発性肝がん
- 中皮腫 (アスベスト被害)
- 再発乳がん
- 各種再発がん

従来の放射線治療
対象がんへ適用拡大

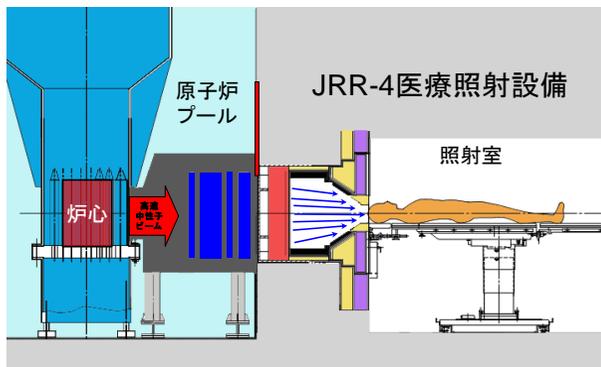
- 表在性固形がん
- 薬の集まる多くのがん

病院内治療を可能にする 加速器ベース治療装置の開発

世界の原子炉ベースBNCT施設の現状



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

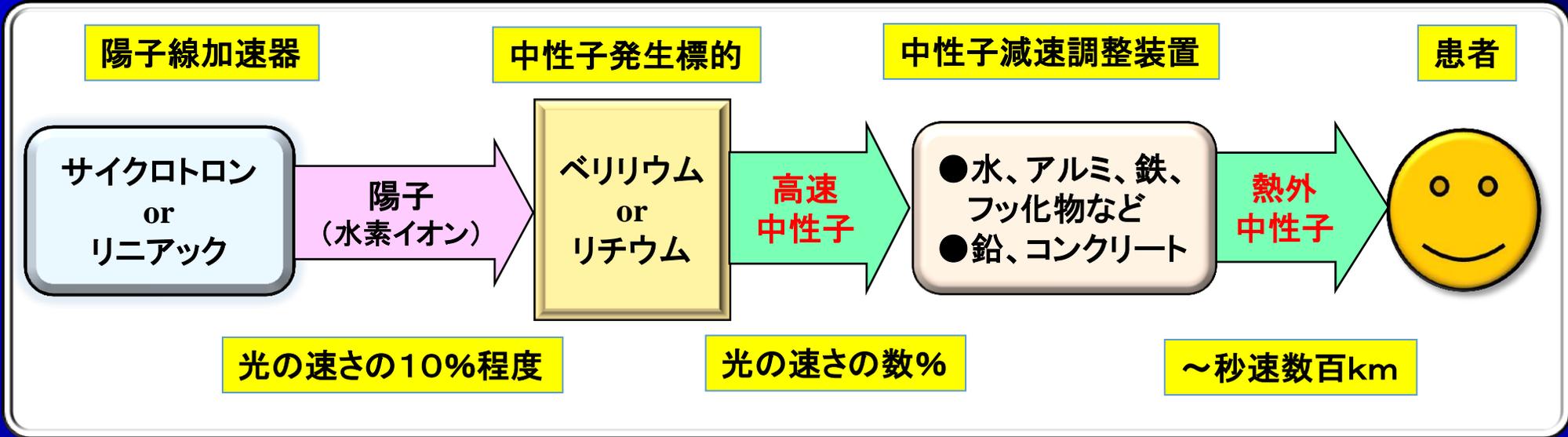
新規研究開発による病院内設置 が可能な小型加速器中性子源



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

加速器を使って中性子を発生する方法



中性子は電荷が無い“非荷電粒子”のため、
加速器では直接加速することができない！



- ステップ1：荷電粒子である陽子を光の速度の10%程度まで加速
- ステップ2：陽子と反応して中性子を発生し易い物質（標的）に照射
- ステップ3：発生した中性子は“高速中性子”のため、治療に使えず“熱中性子”に減速。（←ここは原子炉と同じ）

BNCT用加速器の開発要素、課題

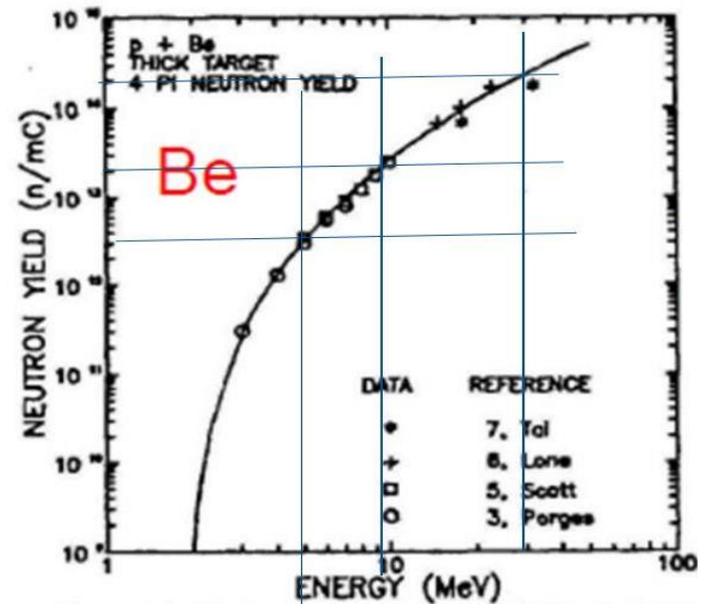
主な標的材料と特徴

反応	陽子エネルギー	生成率 (中性子/陽子)	融点 (°C)	熱伝導度 (W/m/K)	減速体系
${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$	2.5	1.46×10^{-4}	180	84.7	小 ↓ 大
${}^9\text{Be}(p,n){}^9\text{B}$	4	1.6×10^{-4}	1278	201	
${}^9\text{Be}(p,n){}^9\text{B}$	30	3.0×10^{-2}	1278	201	
$\text{Ta}(p,xn)$	50	7.0×10^{-2}	3017	57.5	

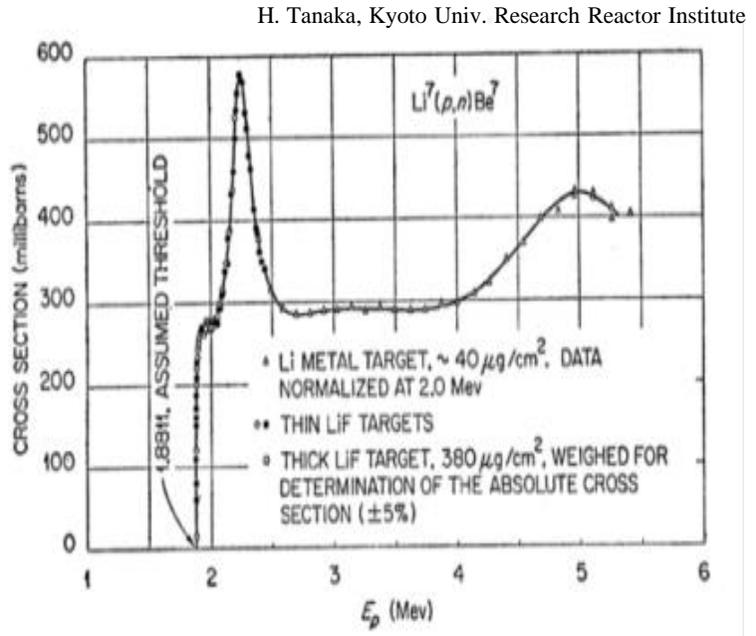
ビーム電流 \longleftrightarrow ターゲットの熱除去
 減速体系のサイズ \longleftrightarrow 減速体系後の中性子強度

組み合わせる陽子線加速器の種類と特徴

加速器形式	陽子エネルギー増加	大電流化
サイクロトロン	中 高 容易に陽子のエネルギーを増加させることが可能。装置のサイズもコンパクトにできる。ただし低エネルギーでの取り出しは困難。	Δ 原理的に大電流化が困難。最大で平均2mA程度まで(?) 住友重機: 1mA
静電型加速器	低 低エネルギー向き (リチウム標的との組合せ)	\circ 大電流化が可能。名古屋大学: 15mA 米国NTI: 目標30mA
リニアック、	低 中 エネルギーを増加させるほど、加速器のサイズ(長さ)が大きくなる。これに応じて製造コストも増加。	\circ 大電流化が可能。筑波大学装置: >5mA(最大10mA) がん研究センター: 最大20mA イタリアINFN: 目標30mA



ベリリウム

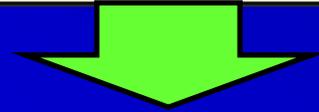


リチウム

中性子の
 問題
 グ耐性
 中性子、

加速器で大強度中性子を発生するための開発課題

入射する陽子エネルギーが低く、Yieldが低いため、大電流入射によって中性子強度を稼ぐ必要がある



① 大電流加速器

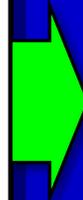
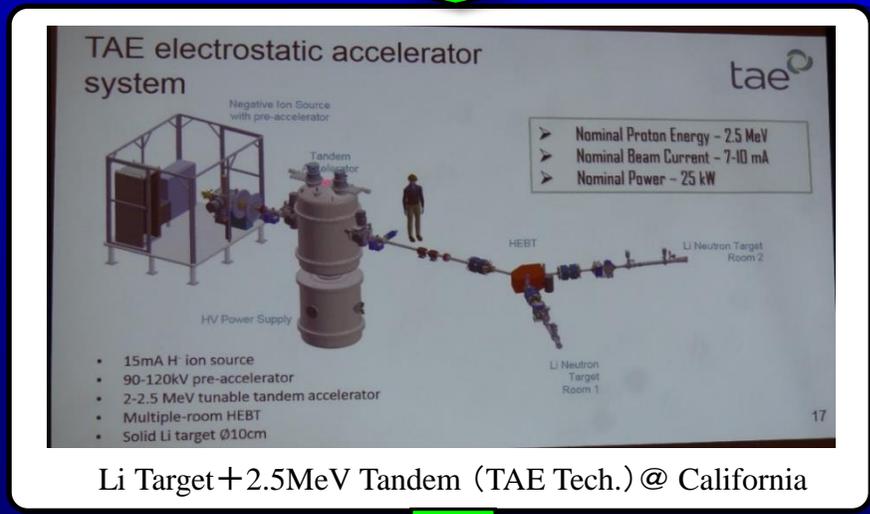
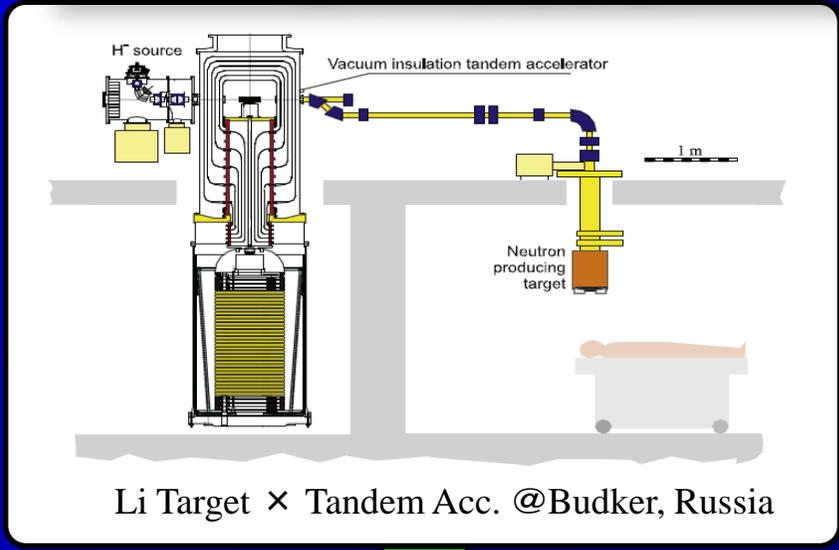
病院併設も可能な小型で、平均電流：数mA～数十mAの大電流の荷電粒子を継続的、安定的に発生、加速し、標的材に照射できる大電流加速器の開発

② 標的装置

- 数十kWという大パワーの荷電粒子照射による大熱入射に耐えられる標的（冷却）装置
- 入射した陽子が水素化して蓄積して生じる“ブリストリング”による標的破壊の抑制

国内外で研究開発されている加速器ベースBNCT治療装置

施設	加速器型式	標的材	荷電粒子、発生中性子エネルギー (MeV)	目標電流値 (mA)	現状電流値 (mA)	状況	メーカー	商用装置
京都大学複合原子力科学研究所	サイクロトロン	Be	P: 30, N: < 28	1	1	治験終了	住友重機	○
南東北BNCT研究センター	サイクロトロン	Be	P: 30, N: < 28	1	1	治験終了	住友重機	○
筑波大学	線形加速器	Be	P: 8, N: < 6	5	1.5	非臨床試験準備	東芝	○
国立がん研究センター	線形加速器	固体Li	P: 2.5, N: < 1	20	12	治験に向けた準備中	CIGS	○
関西BNCT医療センター	サイクロトロン	Be	P: 30, N: < 28	1	NA	コミショニング中	住友重機	○
江戸川病院BNCTセンター	線形加速器	固体Li	P: 2.5, N: < 1	20	NA	建設中	CIGS	○
名古屋大学	静電加速器	固体Li	P: 2.8, N: < 1	15	NA	開発中	IBA、八神製作所	×
大阪大学	—	液体Li	—	—	—	計画中	—	—
京都府立医科大学	—	—	—	—	—	計画中	ローム、福島SiC	?
岡山大学	静電加速器	固体Li	P: 2.8, N: < 1	15	NA	計画中	—	—
徳洲会湘南鎌倉総合病院	静電加速器	固体Li	P:2.6, N: < 1	30	20	開発中	Neutron Therapeutics	○
ヘルシンキ大学病院	静電加速器	固体Li	P:2.6, N: < 1	30	20	開発中	Neutron Therapeutics	○
Budker Institute (ロシア)	静電加速器	固体Li	P:2.0, N: < 1	10	2	開発中	—	×
Birmingham Univ. (英国)	静電加速器	固体Li	P:2.8, N: < 1	20	1-2	中止?	IBA	×
SARAF (イスラエル)	線形加速器	液体Li	P<4, N: < 1	20 (?)	1-2	開発中	—	×
CNEA (アルゼンチン)	静電加速器	Be ×P, ×d	P: 1.4, N: < 6	30	<1	開発中	—	×
Legnaro INFN (イタリア)	線形加速器	Be	P<4, N: < 2	30	NA	開発中	—	×
CNAO (イタリア)	静電加速器	固体Li	P: 2.5, N: < 1	10	?	設計中	TEA Technologies?	△?
中国 BCTC	原子炉					臨床研究	中国BCTC	△?
中国 NeuBoron	静電加速器	固体Li	P: 2.5, N: < 1	10	?	設計中	NeuBoron?、TEA Tech.?	△?
中国科学院高能物理研究所	線形加速器	?	?	?	?	開発表明	—	×
韓国	線形加速器	Be	P:10, N<8	8	?	開発中?	韓国Dawonsys?	?
韓国	線形加速器	Be	P:10, N<8	8	?	開発中?	韓国Dawonsys?	×



Xiamen BNCT Center

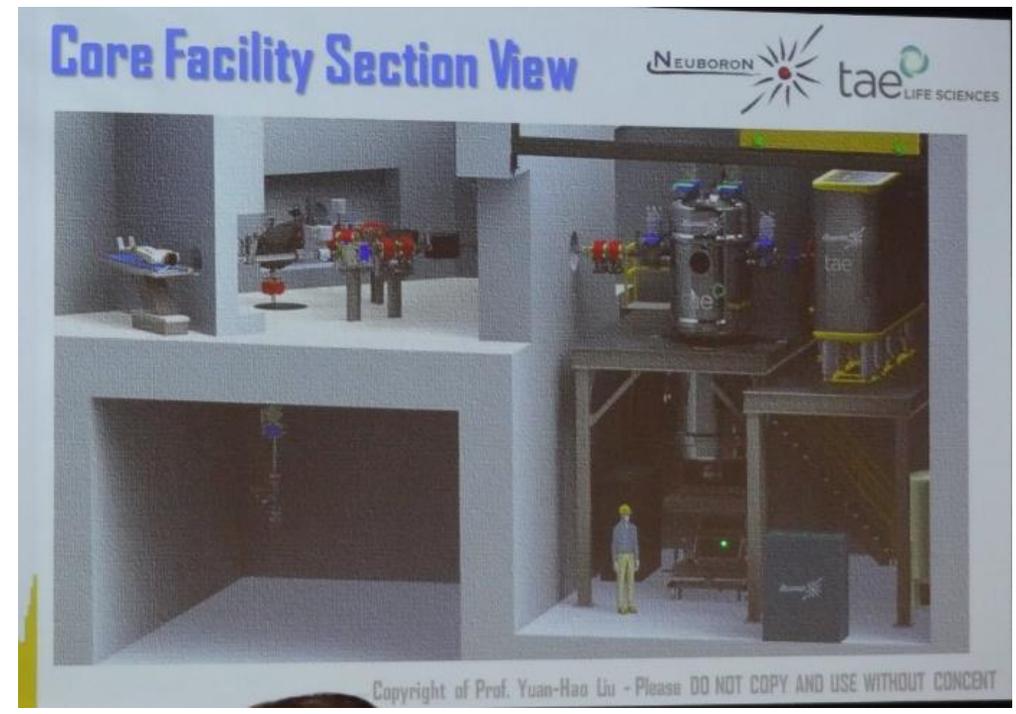
Xiamen Humanity Hospital BNCT Center

- Xiamen Humanity Hospital
- AAA General Hospital
- 1000-bed Scale

BNCT Center

- The 1st one in China
- 4-story high and 2 under
- Floor area: ~800 m²
- An International BNCT research hub

廈門弘愛醫院
XIAMEN HUMANITY HOSPITAL
C&D 建发集团

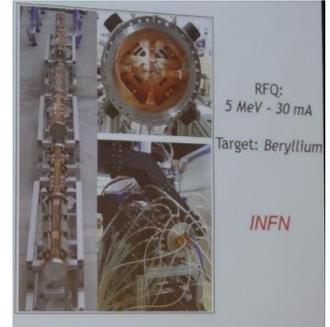
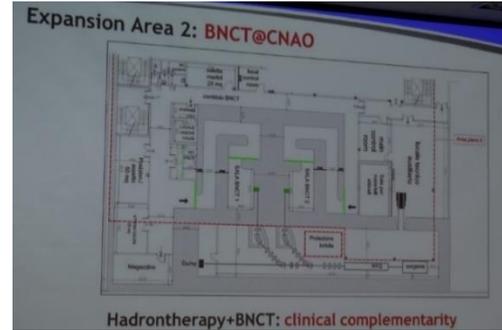


イタリア・CNAO

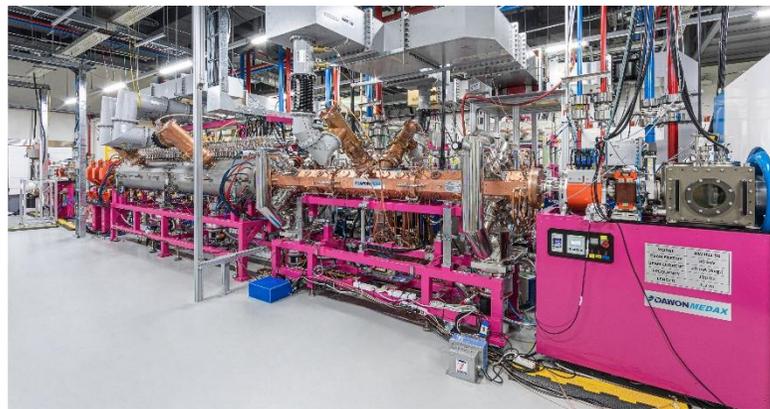
Li Target + 2.5MeV Tandem (NeuBoron) @ Xiamen, China



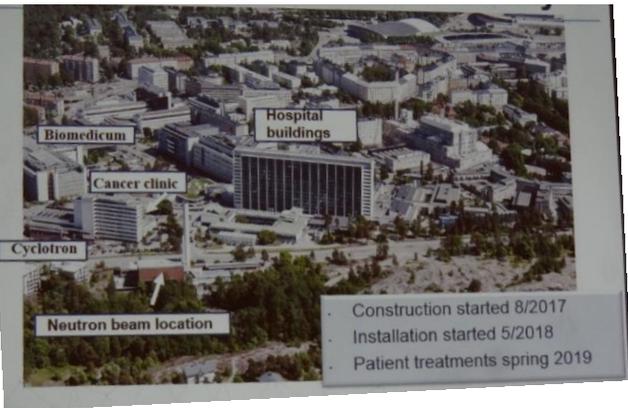
Li Target + Tandem Accelerator @ CNEA, Argentina



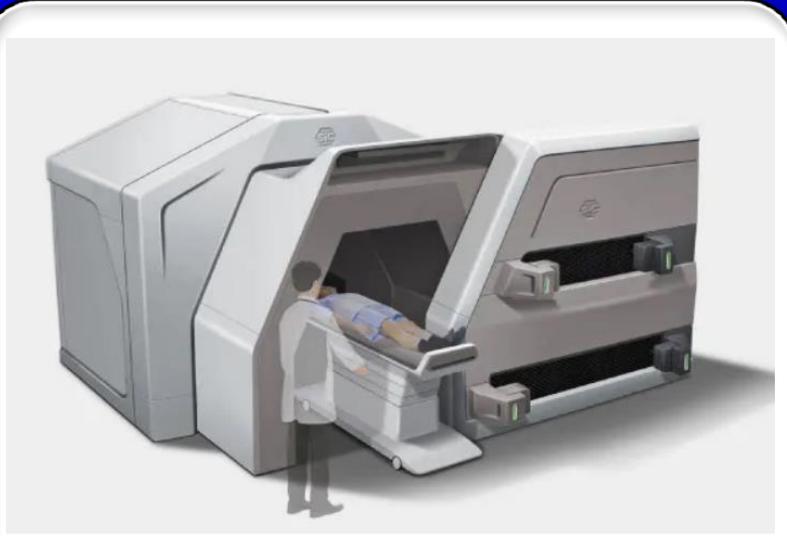
Be × 4~5MeV × 30mA RFQ TRASCO-BNCT Project & Li Target + 2.5 MeV Tandem (TAE Tech.) device by INFN @ Italy



Be Target + 10MeV Linac by Dawon MEDAX @ Korea



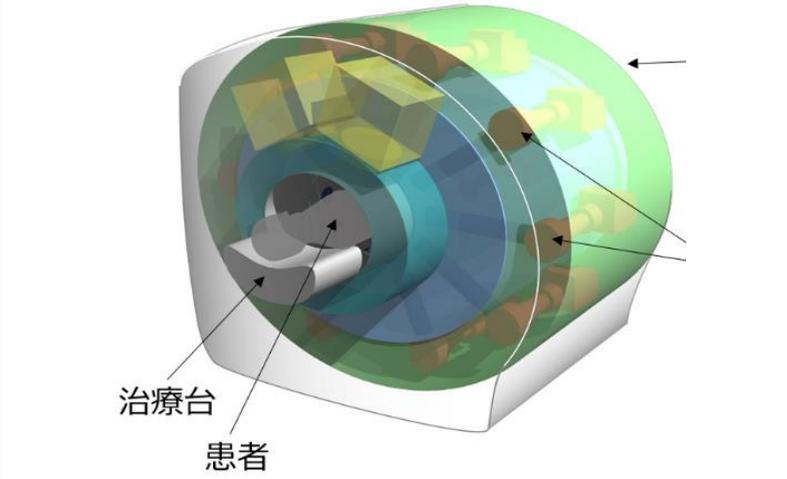
日本の加速器ベースBNCT治療施設の開発状況



京大-住友重機械工業：
サイクロトン型治療装置



国立がん研究センター：
CICS製RFQ型リニアック型治療装置



福島SiC製D-D核融合多門照射型



福島県総合南東北病院：
住重製サイクロトン型治療装置



筑波大学 RFQ+DTLリニアック型治療装置



大阪医科大学・関西BNCT共同医療センター
住重製サイクロトン型治療装置



名古屋大学 ダイナミトロン

厚生労働省 “さきがけ審査指定制度”に認定

厚生労働省
Ministry of Health, Labour and Welfare

文字サイズの変更 標準 大 特大 🔍 調べた

御意見募集やパブリックコメント

テーマ別に探す 報道・広報 政策について 厚生労働省について 統計情報・白書 所管の法令等

ホーム > 報道・広報 > 報道発表資料 > 2017年2月 > 「先駆け審査指定制度」に基づき、医療機器(3品目)、体外診断用医薬品(1品目)及び再生医療等製品(3品目)を

平成29年2月28日
【照会先】
医薬・生活衛生局医療機器審査管理課
課長 磯部 総一郎 (2911)
課長補佐 小池 結一郎 (2901)
(代表電話) 03(5253)1111
(直通電話) 03(3595)2419

報道関係者各位

「先駆け審査指定制度」に基づき、医療機器(3品目)、体外診断用医薬品(1品目)及び再生医療等製品(3品目)を指定

～画期的な医療機器等の日本における開発を促進～

2019年内にも薬事承認申請される見込み

↓

半年以内(2020年上期中)に承認される

↓

2020年度からBNCTは先進医療(もしくは保険医療)として治療が開始される見通し。

医療機器の指定品目		(別紙)
品目名	品目概要	指定理由
1 人工気管	悪性腫瘍や狭窄性疾患のために切除した気管を再建するために用いる、ポリプロピレンメッシュとコーゲンスポンジから成る人工気管である。京都大学他と共同で第一医科(株)が開発を行っている。	(1) 気管欠損部位に留置し、気管の構造を保ち粘膜再建の足場となる点に新規性があり、画期性が高い。 (2) 気管欠損は、再建治療の長期化によるQOL低下、不完全な気管再建による呼吸不全や嚥下障害等により、最悪の場合、生命に直結する事象が発生する可能性もある。 (3) 臨床研究(12例)により、全例で高い有効性を示唆する結果(形態的・機能的に気管としての機能を保っている。)との報告がある。 (4) 国内での治験を経て、世界に先駆けて日本で承認申請予定。
2 ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)システム	ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)※に用いる中性子線を照射するための装置である。適応疾患は、悪性神経膠腫と頭頸部癌である。京都大学他及びステラファーマ(株)と協同で住友重機械工業(株)が開発を行っている。 ※ ホウ素薬剤を腫瘍組織に蓄積させた後、体外から中性子線を照射し、ホウ素と中性子の核反応を利用して腫瘍細胞を破壊する治療法。	(1) ホウ素薬剤と中性子の核反応を利用することで、正常細胞をほぼ傷つけないで腫瘍細胞を破壊できる点に新規性があり、画期性が高い。 (2) 悪性神経膠腫及び頭頸部癌は、生命に重大な影響を及ぼす重篤な疾患である。 (3) 京都大学で実施した悪性神経膠腫を対象とした国内第1相治験(12例)で確認した1年生存率は66.7%、同大学で実施した頭頸部癌を対象とした臨床研究(62例)で確認した奏効率は58%であるとの報告があり、高い有効性が示唆されている。 (3) 国内で実施中の第II相治験の結果を踏まえ、世界に先駆けて日本で承認申請予定。
3 UT-Heart	本品は、病院で取得した心電図、心エコー、CTデータ等を用いて、コンピュータ上で患者個別の心臓を疑似的に再現し、植込みデバイスをを使用した心臓再同期療法の効果予測の判断を補助する医療機器プログラムである。東京大学発のベンチャー企業である(株)UT-Heart研究所の久田俊明東京大学名誉教授、杉浦清了東京大学特任教授のシーズを元に富士フイルム(株)と共同で開発を行う。	(1) 心臓再同期療法※を行った重症心不全患者の中で約30%が無効例と報告されており、無効例の診断は困難である。本品は心臓再同期療法の効果予測の判断を補助できる点に新規性があり、画期性が高い。 ※ 両室ペーシングを行うことで心室収縮のタイミングをそろえ、低下した心臓のポンプ機能を改善する治療法。 (2) 重症心不全は、生命に重大な影響を及ぼす重篤な疾患である。 (3) 臨床研究(11例)の結果から、本品を使用した心臓のポンプ機能の改善の効果予測は実際の効果と高い相関(相関係数※ 0.94)を示したとの報告があり、高い有効性が期待できる。 ※ 相関関係の程度を表す数値(0~1)。 (4) 国内での治験を経て、世界に先駆けて日本で承認申請予定。

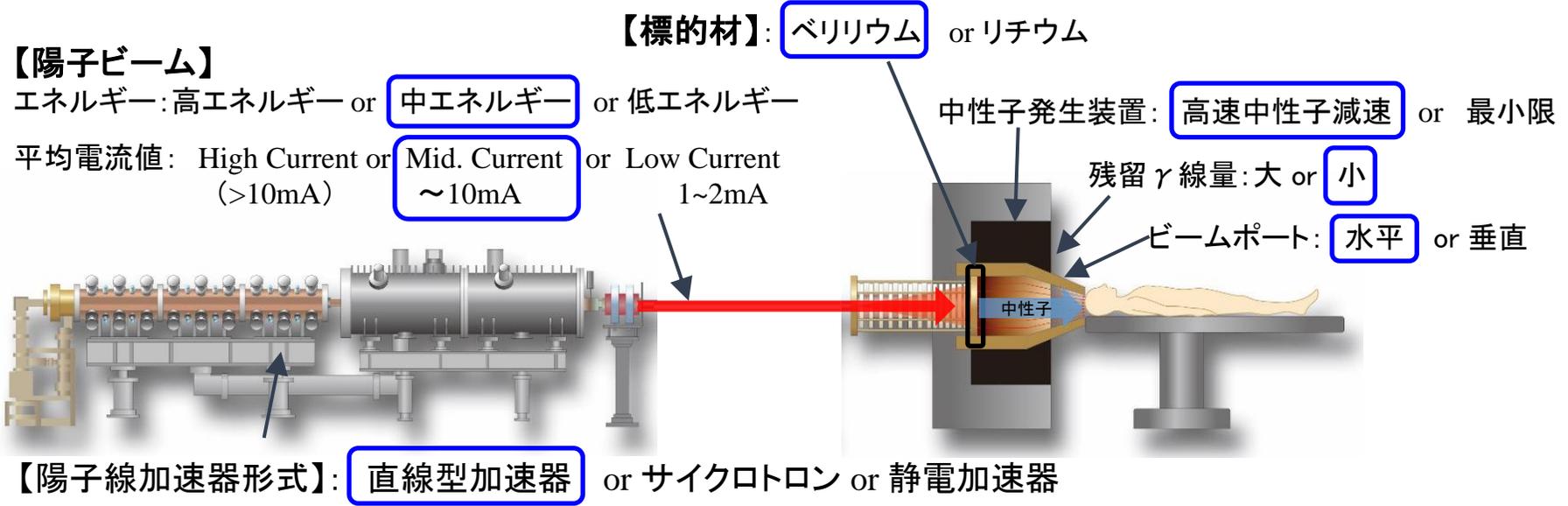
筑波大学、KEK等による
リニアックベースBNCT装置
実証機:iBNCTの開発

つくばグループのBNCT用加速器ベース中性子源の開発

筑波大学、KEK、民間企業、茨城県等の産学官連携チームを形成し、BNCT用治療装置・実証機:iBNCTを開発整備し、同装置での治験を目指す。

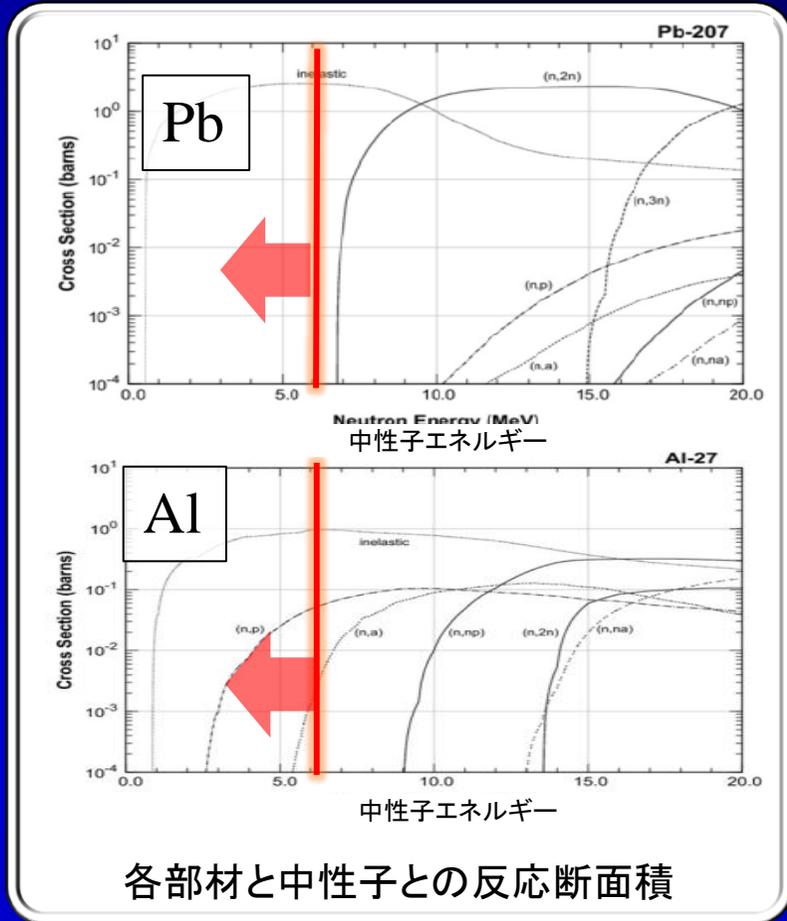
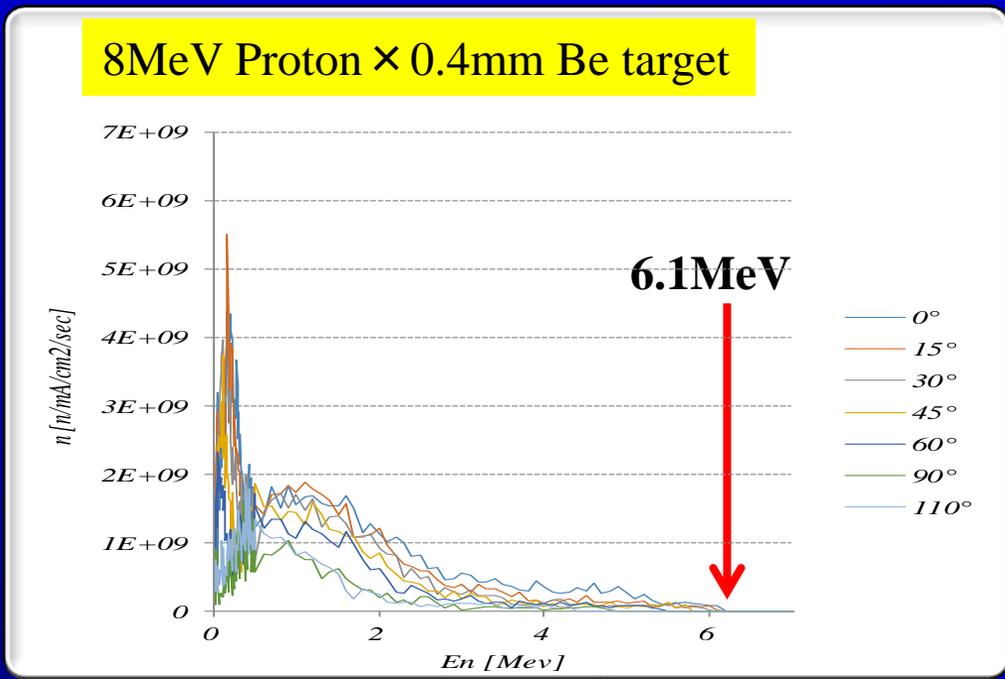
《つくばBNCT装置の開発コンセプト: 病院内で安全、安定、簡便なBNCTを実現》

- iBNCT装置の主な仕様**
- 加速器形式: **RFQ+DTL型リニアック**
 - 陽子エネルギー: **8 MeV**
 - 平均電流: **> 5 mA**
 - 標的材: **ベリリウム**



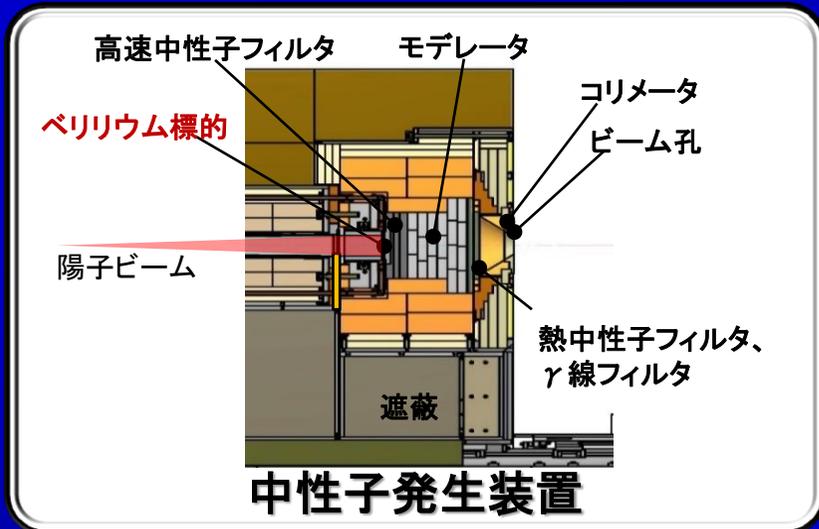
つくば型装置のキー・コンセプト①: 低放射化技術

陽子エネルギーを“8MeV”と低く設定し、装置を構成する各部材の放射化閾値よりも低いエネルギー: 6.1 MeV 以下の中性子しか発生しない!



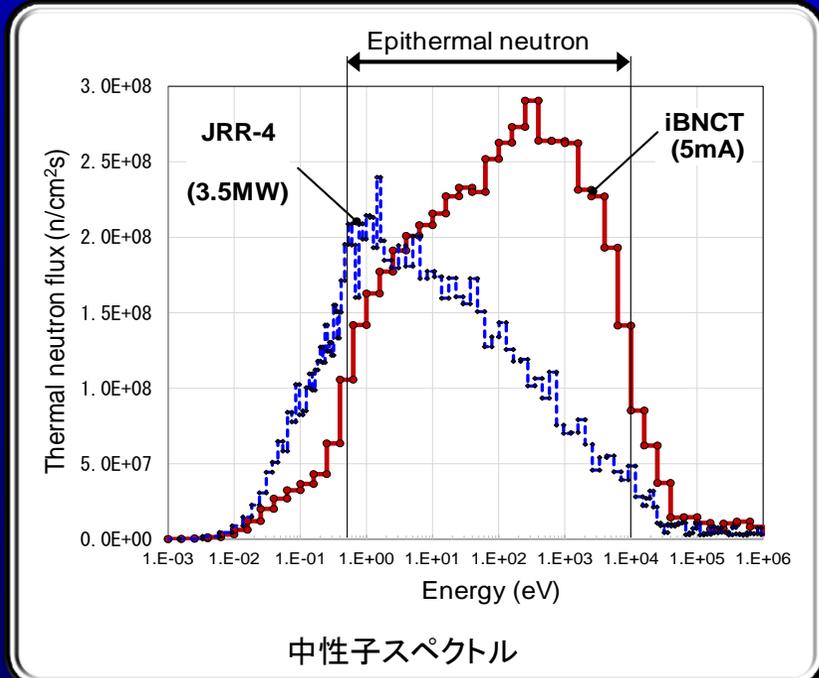
特徴

- 装置の放射化を低減することによって、
- 患者及び医療従事者の被ばくを低減、照射直後に速やかに照射室に入室
- ベリリウム交換時の停止期間を2週間程度、年間を通して継続的に治療実施
- デコミッションing費用の削減、廃棄手続きと作業期間も大幅短縮



【各BNCT施設との性能比較表】

施設	熱外中性子束 (n/cm ² /s) (0.5eV<E<10keV)	熱中性子束 (n/cm ² /s)	γ線量率 (Gy/h)	混入線量率 (Gy·cm ² /n)	
				高速線量率	γ線量率
住重サイクロベース (1mA)	0.9x10 ⁹	—	—	5.84x10 ⁻¹³	0.78x10 ⁻¹³
京大 KUR (原子炉)	0.73x10 ⁹	—	—	9.10x10 ⁻¹³	2.40x10 ⁻¹³
JAEA, JRR-4 (原子炉)	1.30x10 ⁹	2.94x10 ⁸	0.50	2.90x10 ⁻¹³	3.00x10 ⁻¹³
iBNCT (5mA)	1.80x10⁹	0.33x10⁸	0.15	3.75x10⁻¹³	0.28x10⁻¹³
iBNCT (2.8mA)	1.00x10⁹	0.13x10⁸	0.06	↑	↑
iBNCT (1.4mA)	0.5x10⁹	0.08x10⁸	0.04	↑	↑



大強度中性子発生技術により、陽子電流: 5mAで原子炉JRR-4の約1.3倍の熱外中性子束を発生

☞ ほぼすべての症例に対して、**30分以内の照射で治療を完了**

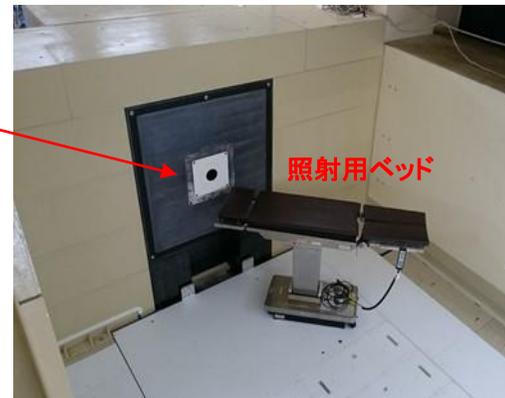
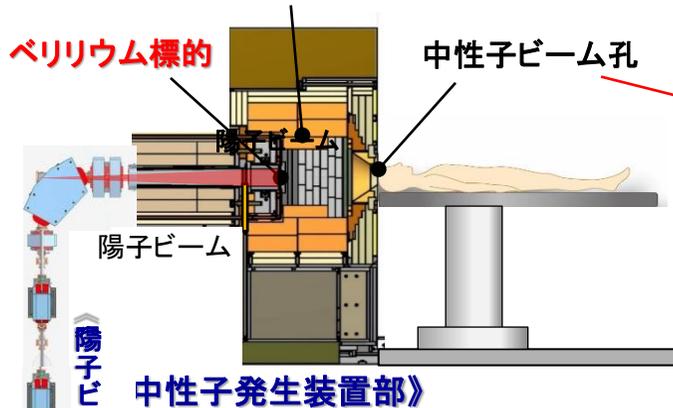
つくばGr.のiBNCT装置の開発状況



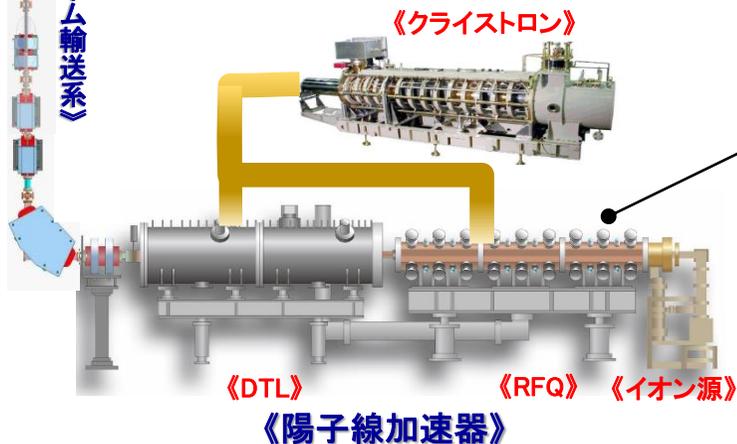
治療装置を設置している「いばらき中性子医療研究センター」(東海村)



生物実験施設



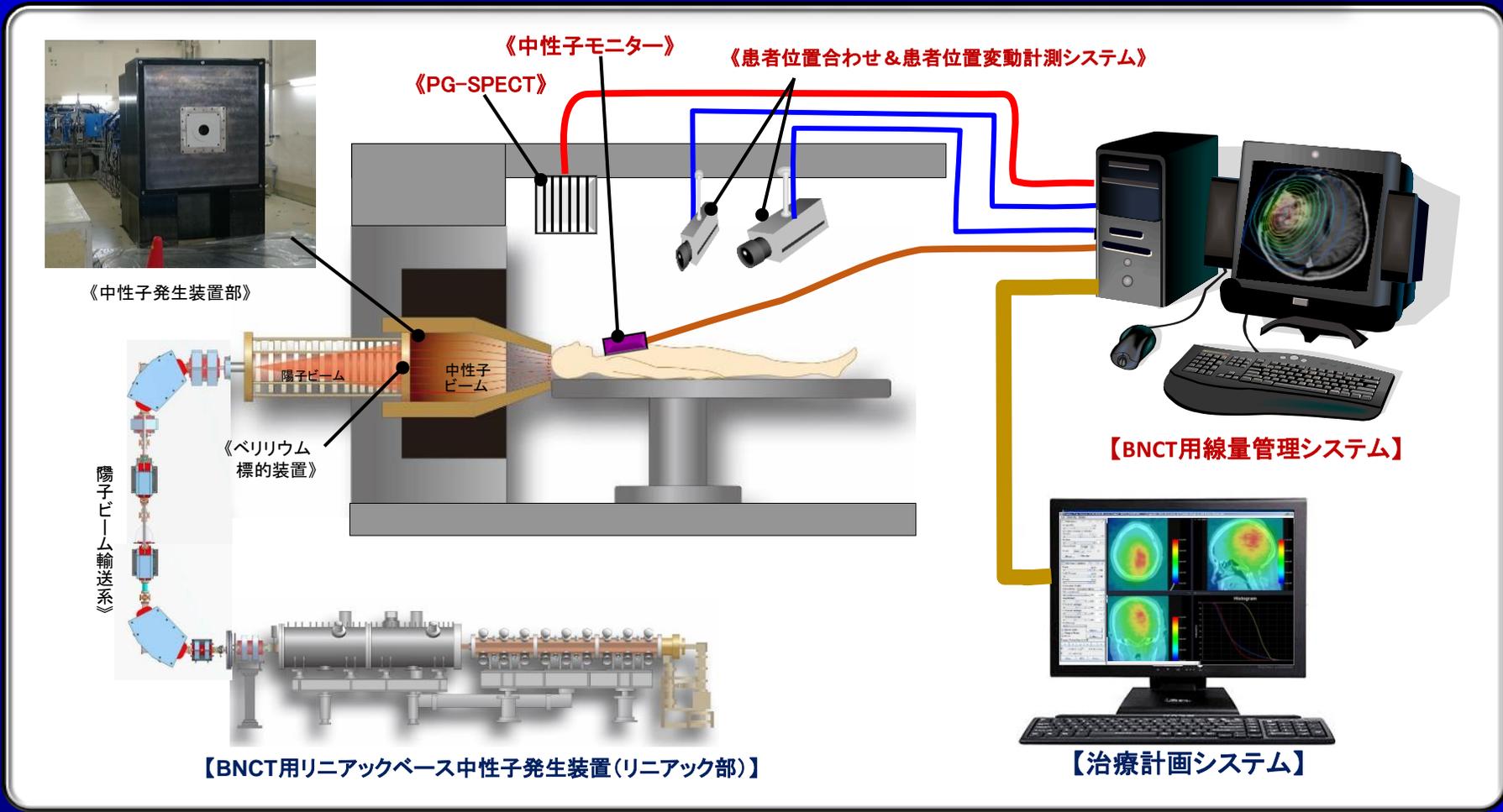
照射室



陽子線加速器室

- 2016.12 原子力安全技術センターによる施設検査→合格→正式運用開始
- 2017 平均電流: 1mA条件下で物理特性測定実験を実施、細胞照射実験を実施。
- 2018. 1 治療を実施できるレベルの中性子強度(平均電流1.5mA)を発生
- 2018. 1 マウス照射実験開始
- 今後: 非臨床試験実施。→ 皮膚悪性腫瘍に対する第I相治験の開始を目指す。

治療実施に必要な周辺装置を合わせて開発整備

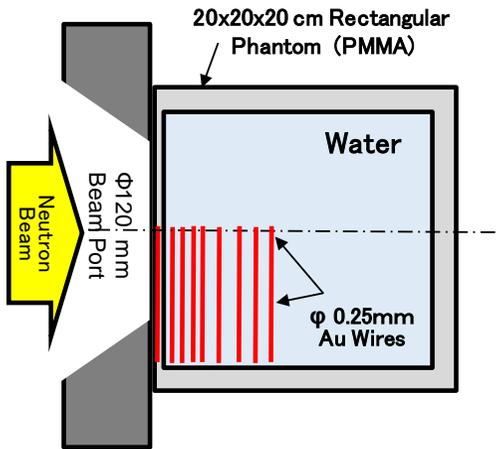


BNCT実施に必要な周辺機器も併せて開発

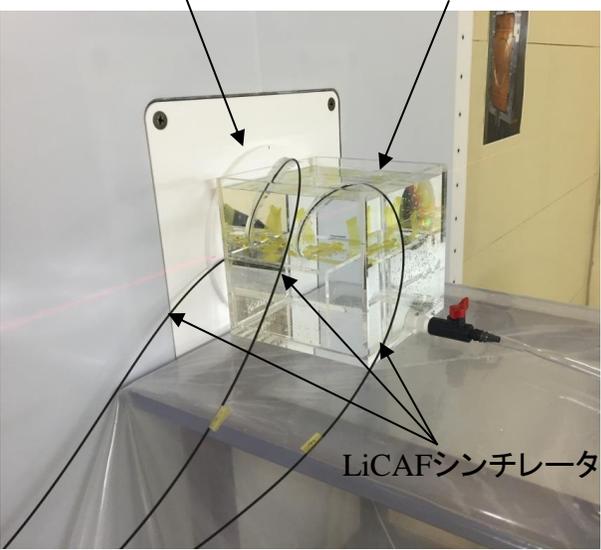
- モンテカルロベースBNCT用治療計画システム
- 患者位置合わせ & 位置変動計測システム
- リアルタイム中性子モニター、PG-SPECT試作機



性能評価1:ファントム内熱中性子束&ガンマ線量率分布測定



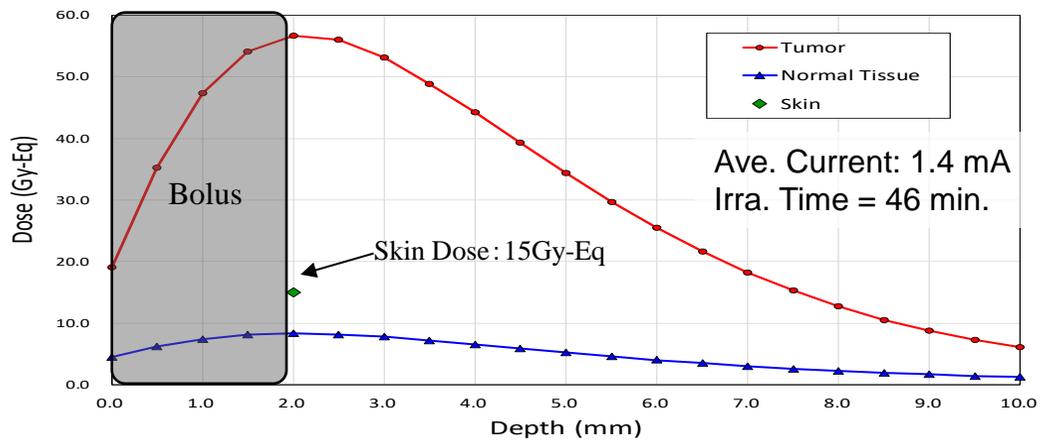
ビーム孔 水ファントム



LiCAFシンチレータ

水ファントムを用いた照射実験

皮膚悪性腫瘍への臨床プロトコルを適用



各組織への等価線量分布

皮膚悪性腫瘍のプロトコルを適用して評価:
 皮膚に対して最大15y-Eq照射する治療の場合、照射を約50分照射で完了。腫瘍に対して最大約56Gy-Eqを付与

つくば型の加速器ベース中性子源のコンセプト:
 “8MeV × 平均数mA × ベリリウム標的”
 によってBNCTに十分な中性子を発生できることを確認。“**Proof of Concept**”

Operation Condition:

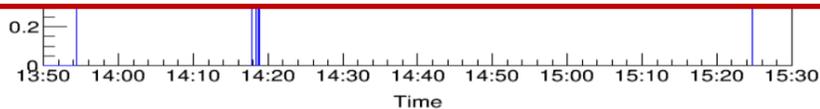
2019年2月までに

加速器の制御系のさらなる改良により、**平均電流: 1.4mA での
運転ではほぼ停止しなくなった。**(稼働率: 95%以上を達成)

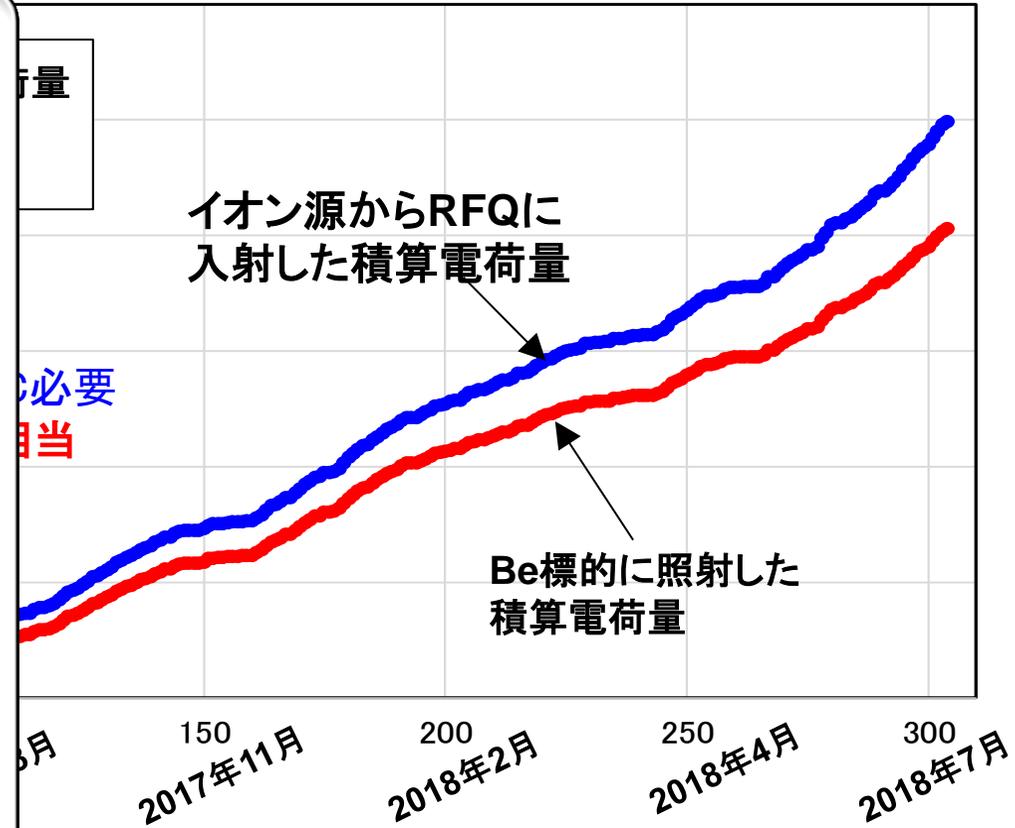
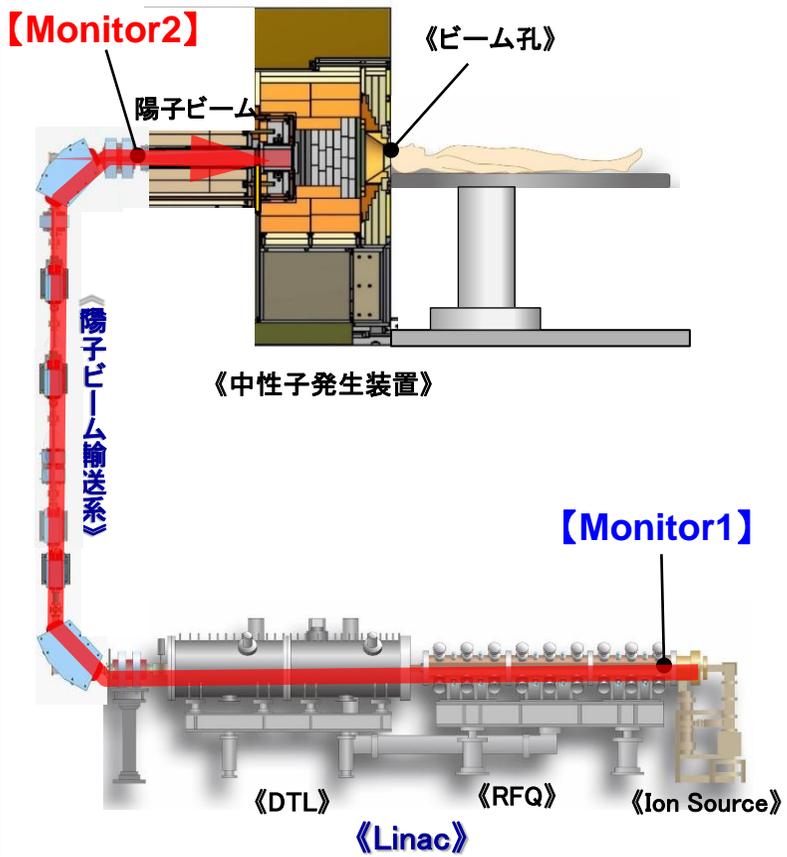
平均電流: 2.0 mA (75Hz) での1時間連続運転、くり返し運転を実施

平均電流: 2.8 mA (100Hz)での運転も開始

- ➡ ファントム内の**最大熱中性子束: 約 1.5×10^9 (n/cm²s)**を発生
- ➡ 悪性黒色腫に対して照射を約23分程度で完了できる強度
- ➡ 医療以外への適用性のある加速器中性子源としては、
国内ではJ-PARCに次ぐ強度の中性子発生を達成!



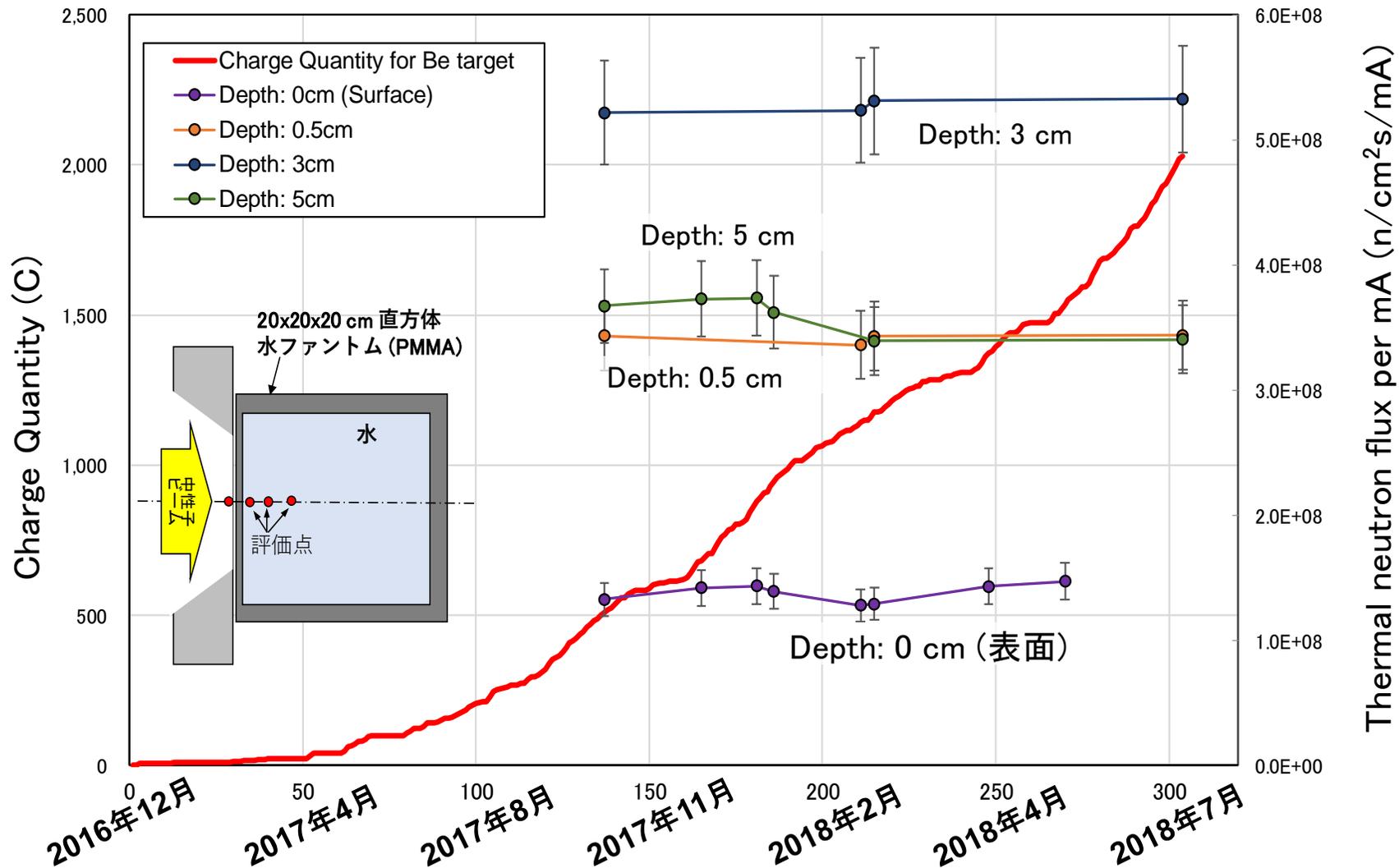
性能評価3: iBNCT加速器で発生した陽子の総電荷量評価 (Be標的の健全性、耐久性評価)



(2月)から2018年7月までの積算電荷量

2019年2月時点で積算で2,800 C以上の陽子ビームをBe標的に入射
 これまでに700人以上の患者の治療に必要な中性子を発生。

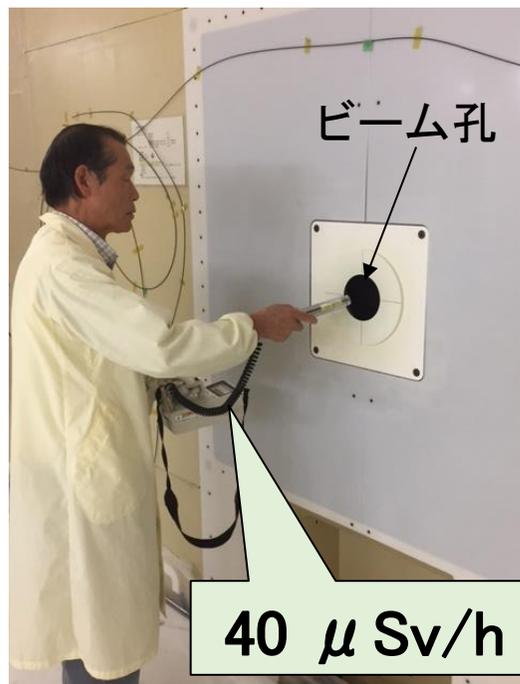
性能評価4：総電荷量に対する発生中性子の強度評価 Be標的の安定性、劣化特性評価



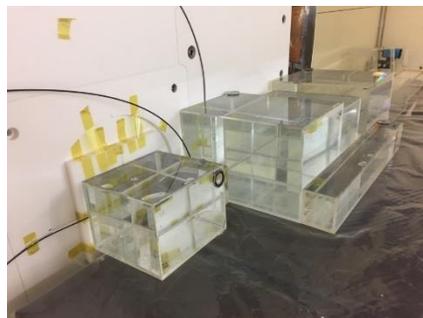
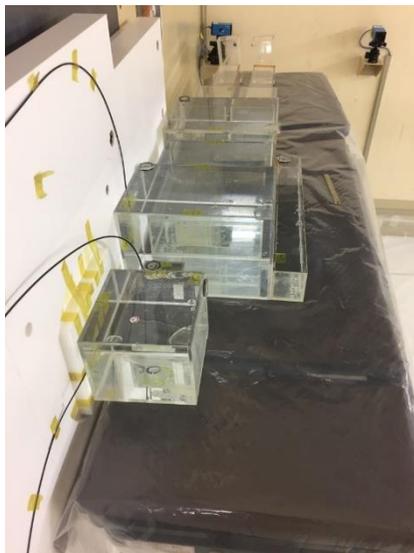
ファントム内ビーム軸上各深さの1mA当たりの熱中性子束の比較

照射終了後 約7分後

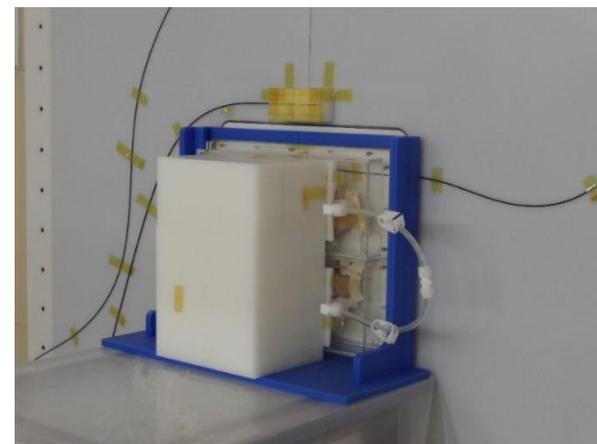
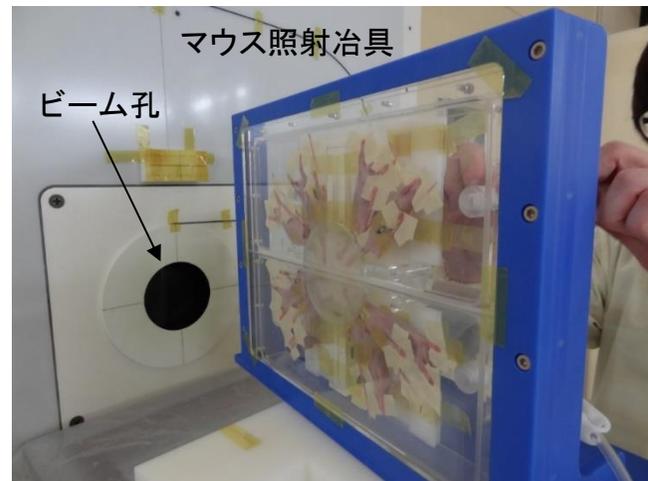
ビーム孔位置の空間線量
(装置の放射化による
残留 γ 線量) を測定



照射直後の残留
 γ 線量率測定



全身ファントムによる
漏洩放射線測定実験



マウス照射実験

稲田行政改革担当大臣(当時)ご視察(2014年6月)



台湾・李登輝 元総統邸宅にてBNCT紹介(2014年7月)



大井川・新茨城県知事ご視察(2017年11月20日)



NHK水戸「いば6」(明日Vision) (2016年1月28日)



原子炉時代からの積み重ねにより、BNCTが“医療”として確立することが現実となってきた。

治療装置(加速器中性子源)は医療装置として薬事承認される見通し。これによりBNCTは、

- 先進医療、保険医療など一般のがん治療として確立。
- 病院で治療を受けることができる。
- BNCTの確立によりさらに新たな薬剤研究が加速。

つくばグループ(筑波大学、KEK、他)もBNCT用治療装置の実証機:iBNCTを開発し、実際の患者に対する臨床研究を計画中。

今後のBNCTの動向にご注目ください。

ご清聴ありがとうございました。



課題1：大強度中性子発生 の基となる 数mA～数十mAクラスの大電流加速器



住友重機製サイクロトロン：
30MeV × 1.1mA

- ・京都大学原子炉実験所
- ・南東北BNCT研究センター
- ・関西BNCT治療センター

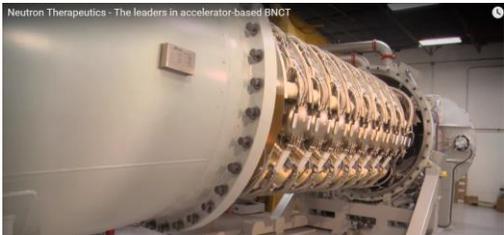
京都大学複合原子力科学研究所 ホームページより



Accsys(日立製作所)製
RFQ型リニアック：
2.5MeV × 12mA

- ・国立がん研究センター
- ・江戸川病院(予定)

国立がん研究センター中央病院より提供



Neutron Therapeutics製
静電型加速器：
2.6MeV × 30mA
・ヘルシンキ大学

Neutron Therapeutics ホームページより

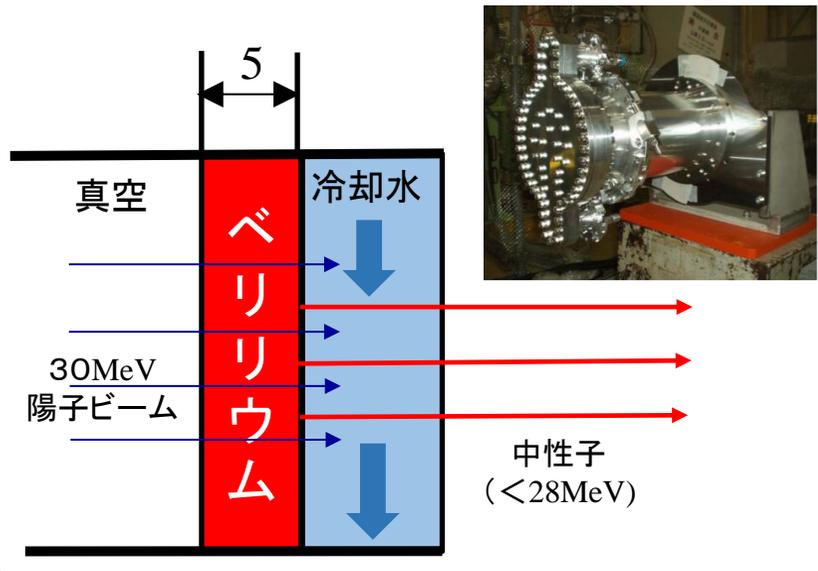
筑波大学のBNCT用陽子線加速器： J-PARCのフロント・エンド・リニアック技術を 応用したBNCT専用陽子線リニアック



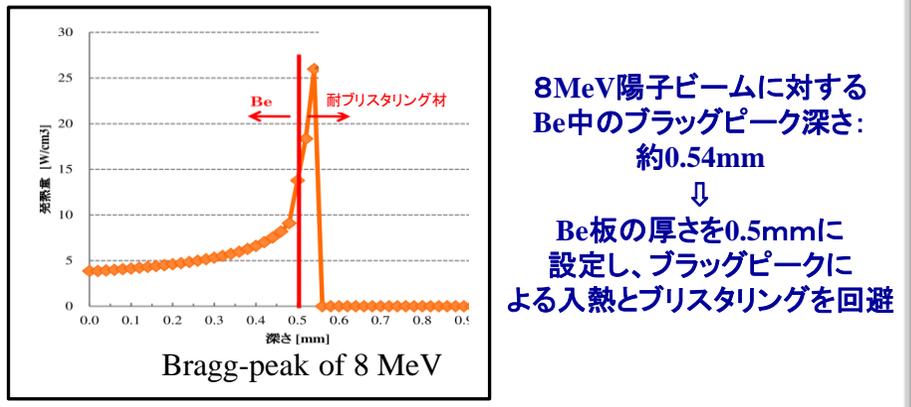
加速器形式	RFQ+DTL形式リニアック
陽子エネルギー	8MeV
パルス幅	910 μsec
平均電流値	> 5mA (最大 10mA)
標的への入射パワー	> 40kW (最大 80kW)
大きさ	長さ: <7m, 設置面積: <50m ²

課題2: 荷電粒子の大電流入射を受け止めて中性子を発生する標的技術

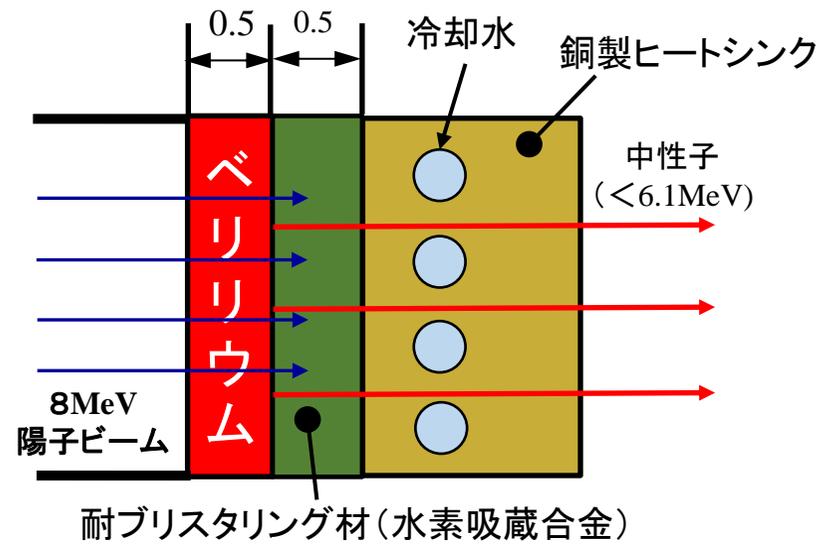
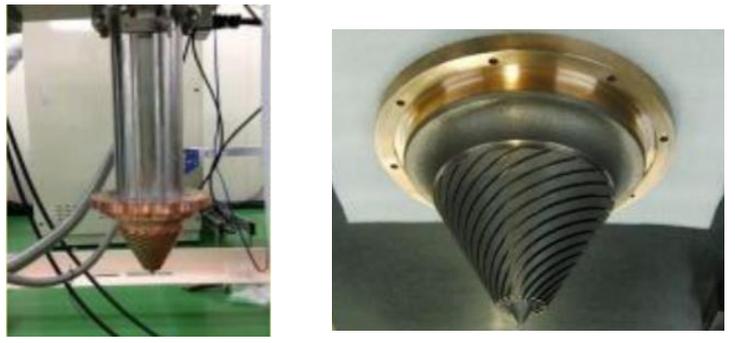
住友重機製BNCT治療装置のベリリウム標的装置



筑波大学のBNCT用治療装置のベリリウム標的装置



CICS製(がん研究センター導入)リチウム標的装置



三層構造ベリリウム標的