



京都大学における研究炉の再稼働と 複合原子力科学研究所としての再出発

川端祐司
京都大学原子炉実験所



京都大学原子炉実験所とは



大学における原子力の
基礎研究と教育のために

- 日本学術会議:「関東及び関西の大学に研究炉を1基ずつ設置」(1955年)
- 原子力委員会:原子力開発利用長期基本計画:「大学における基礎研究及び教育のための原子炉はさしあたり関西方面に1基設置し、」(1956年)
- 1963年(昭和38年)京都大学附置全国共同利用研究所として設置
- 設置目的:「**原子炉による実験及びこれに関連する研究**」

京都大学原子炉実験所の所在地





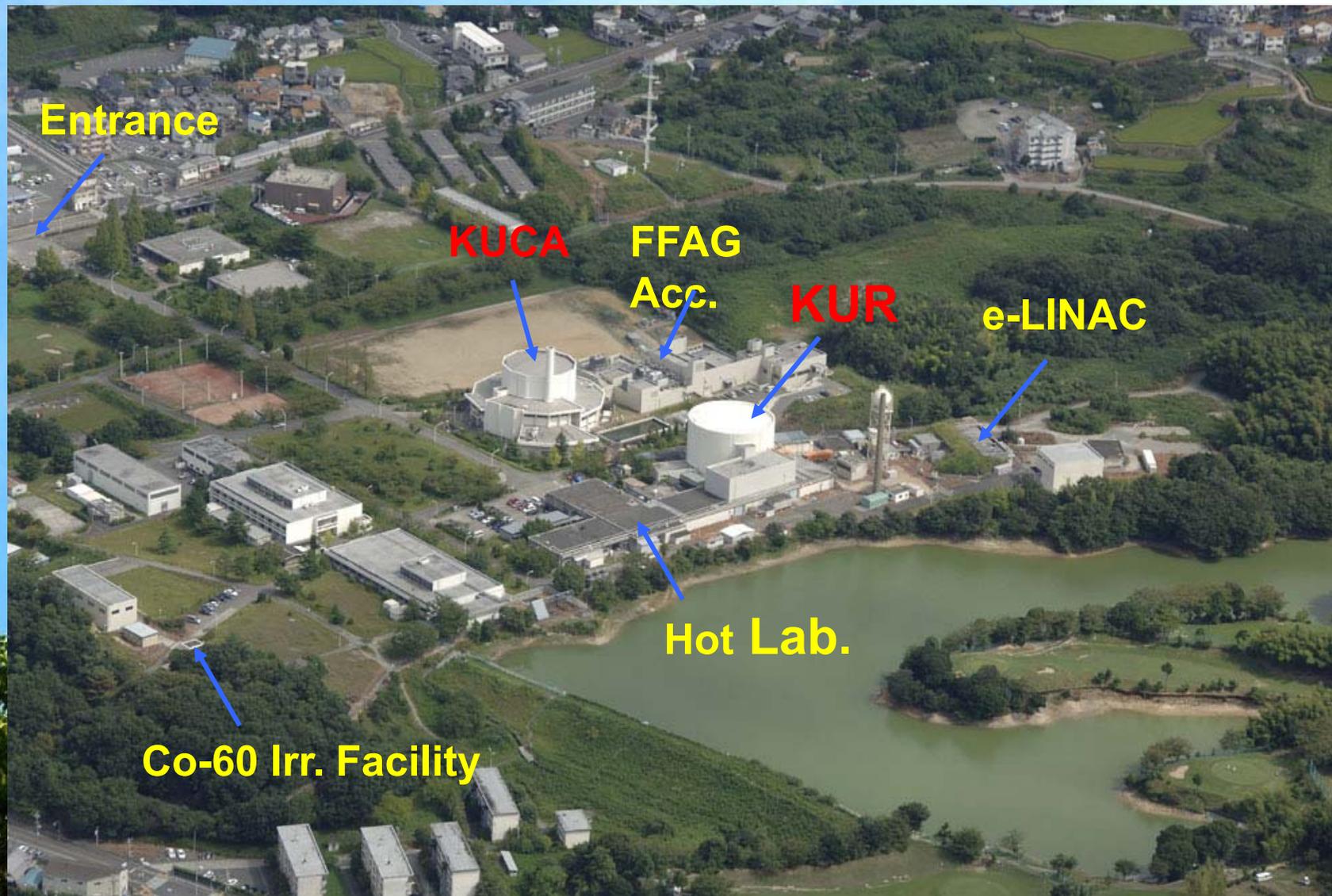
原子炉実験所の主要3施設

KUR : 1964年6月初臨界: **H29 8月29日** 再稼働

KUCA: 1974年8月初臨界: **H29 6月12日** 再稼働

イノベーションリサーチラボ: 2004年3月竣工

京都大学原子炉実験所 全体配置



京都大学炉 (KUR) ・ ホットラボと共同利用

KUR

定格出力5MW (1MW)

スイミングプールタンク型

低濃縮新燃料

2016年までの運転決定

(以降未定)

HL

圧気輸送管(放射化分析)

ホットセル(最高185TBq)

照射後機械強度試験

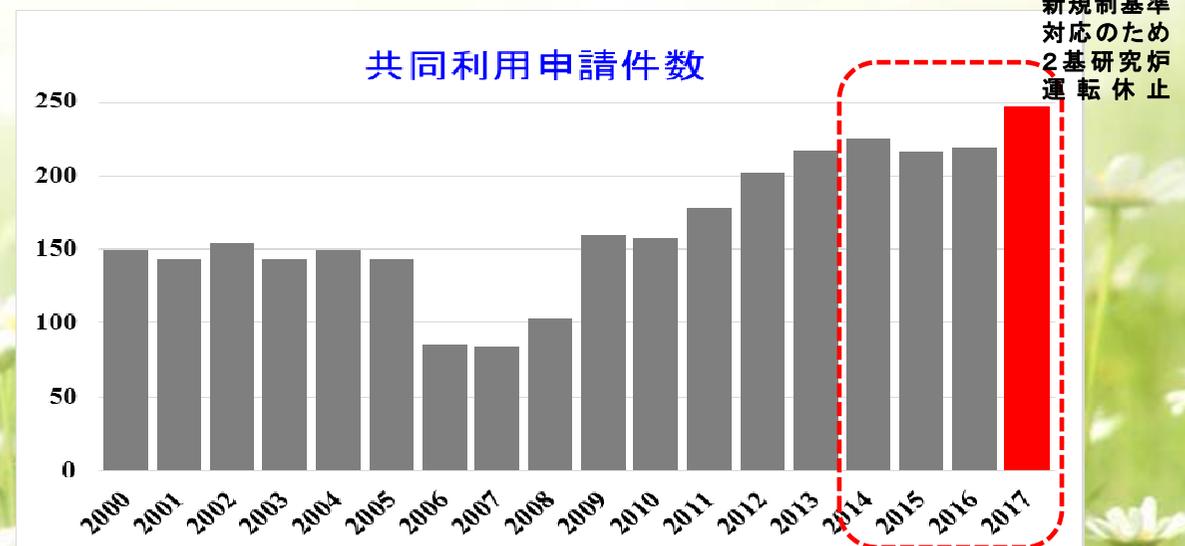
α, β, γ 線用セル

超ウラン関連実験

共同利用件数

年間約150件、3634人日

(KUR稼働時)





世界初の本格的スーパーミラー導管設備 (1985)

精密制御照射装置 (SSS)

照射温度・照射量を精密に制御

【炉心近傍照射設備】

- 水圧輸送管 (炉心中央)
- 圧気輸送管 (反射体内)
- 傾斜照射孔 (反射体外)
- 長期照射プラグ (反射体内)

黒鉛設備 (CNS) 中性子導管群

冷中性子源液化槽

日本初の冷中性子源 (1987)

E-2 : 中性子ラジオグラフィ T-1 : オンラインアイソトープセパレータ

：中性子導管

：4軸モノクロメータ

日本初の中性子導管 (1973)

E-3 : 中性子導管

原子炉タンク

重水設備 照射室

世界で最高の治療実績をもつ BNCT設備

生体遮蔽

黒鉛熱中性子柱

黒鉛圧気輸送管

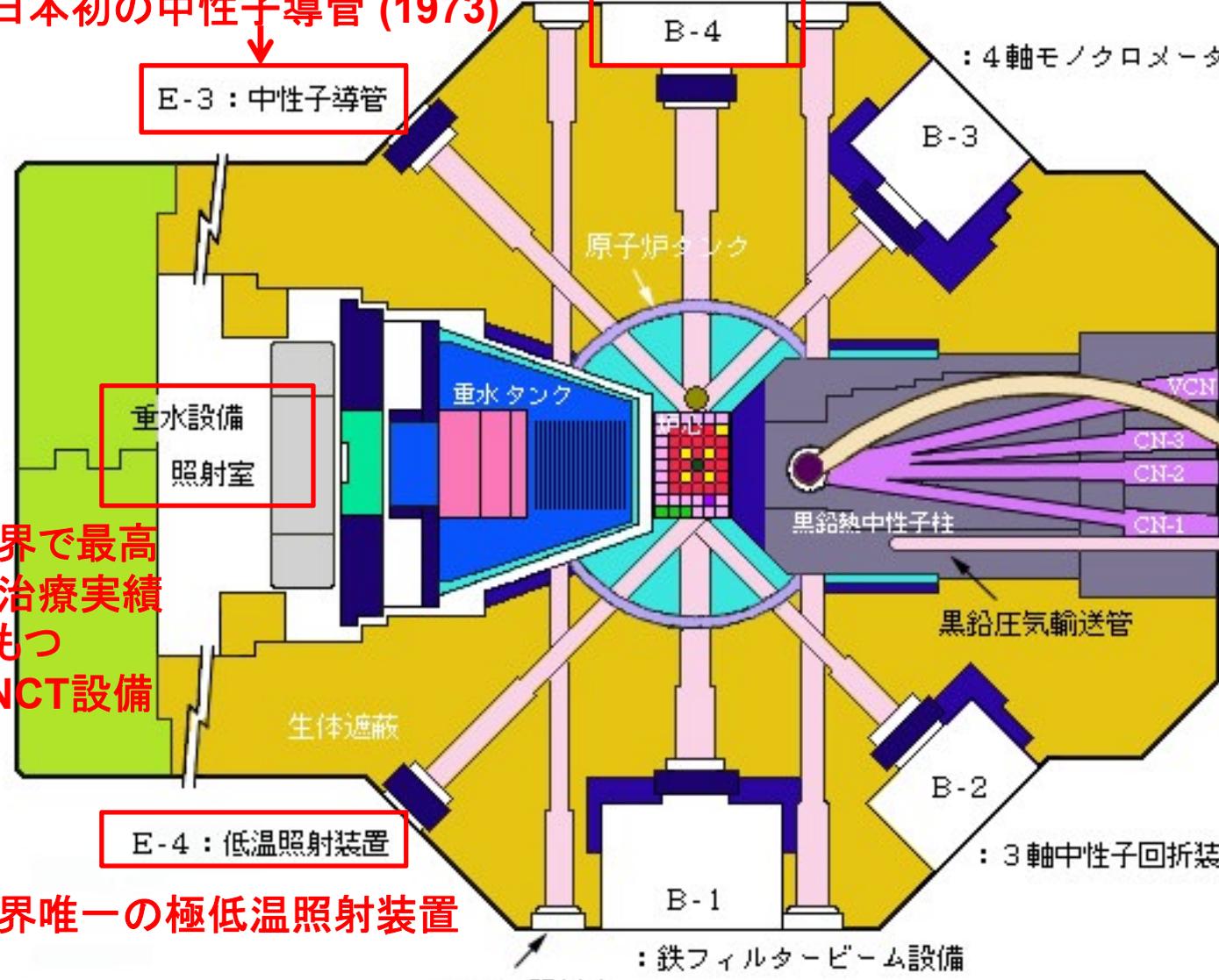
E-4 : 低温照射装置

世界唯一の極低温照射装置

：3軸中性子回折装置

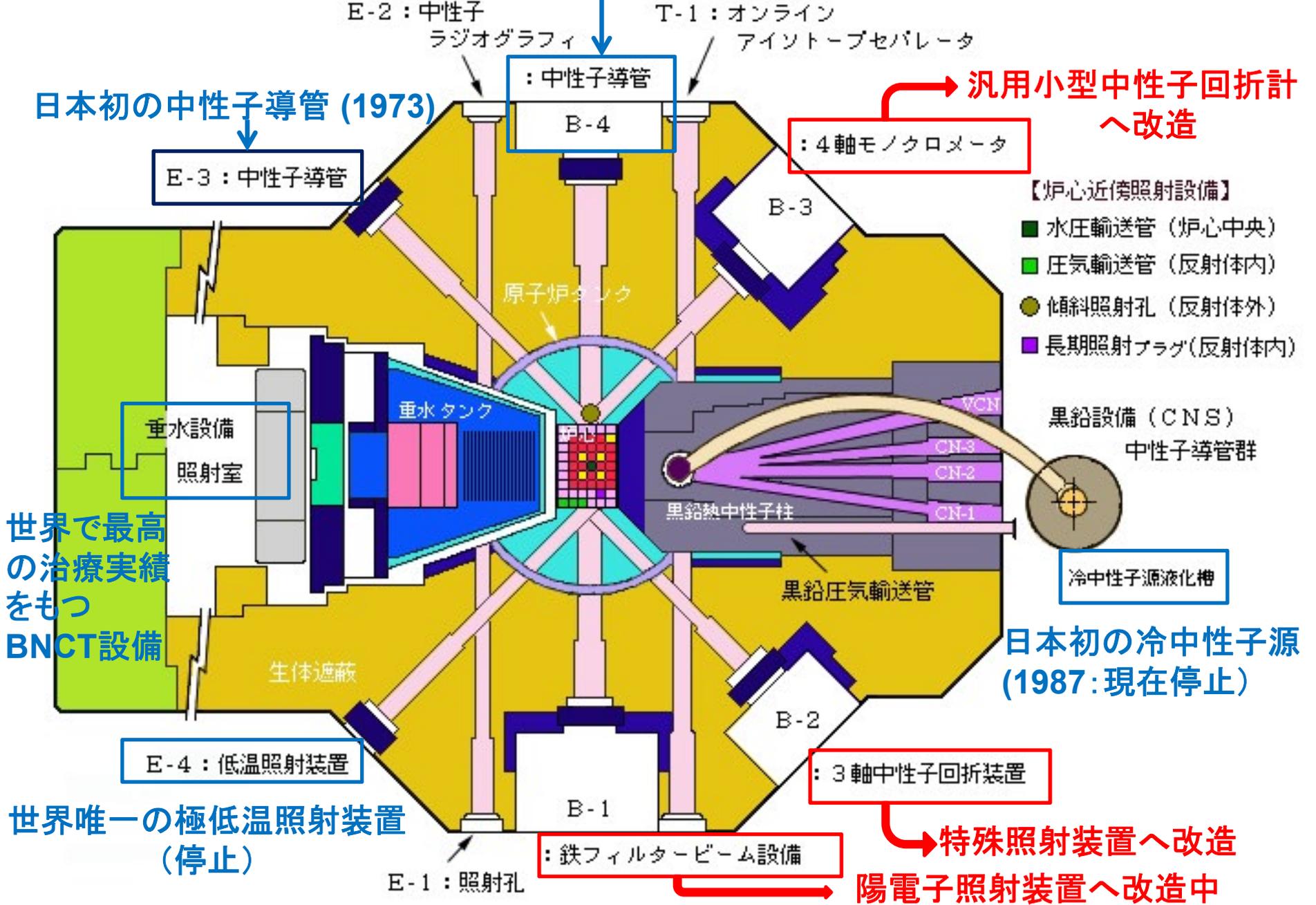
：鉄フィルタービーム設備

E-1 : 照射孔





世界初の本格的スーパーミラー導管設備 (1985)



日本初の中性子導管 (1973)

汎用小型中性子回折計へ改造

世界で最高の治療実績をもつ BNCT設備

日本初の冷中性子源 (1987:現在停止)

世界唯一の極低温照射装置 (停止)

特殊照射装置へ改造
陽電子照射装置へ改造中

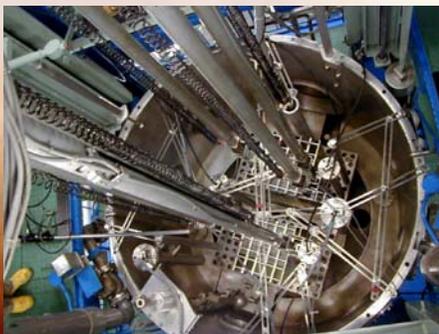
KUCA(京大臨界実験装置)の共同利用



建屋外観



固体減速炉心



軽水減速炉心

- 1974年初臨界の最大出力100Wの原子炉(熱中性子炉)
- 主として原子炉物理実験(トリウム炉、新型炉開発、臨界安全、炉物理測定手法開発等)の共同利用、および**全国大学院生実験・韓国学生実験等**に用いられてきた
- 2009年から、新規に設置した**FFAG加速器からの陽子ビーム(最大150MeV)**を入射して**ADS実験**を開始した
- 近年、中性子照射場としての共同利用が増えてきている。
 - 新しい中性子検出器の開発
 - γ 線混在場での生体内の線量測定
 - 14MeV中性子照射実験
- 特長
 - 炉心構造(中性子スペクトルを含む)を変更可
 - 最大熱中性子束 $\sim 10^8$ (n/sec/cm²)
 - 各種の検出器等を挿入可
 - ビーム状中性子の取り出し
 - 付設のDT加速器(発生量 $\sim 10^9$ (n/sec)) 利用可

国内外の原子力教育への貢献

大韓民国

- 慶熙大學校
- ソウル大學校
- 漢陽大學校
- 朝鮮大學校
- 濟州大學校
- 韓國科學技術院

スウェーデン

- チャルマース工科大学



KUCA実験教育の現状:

国内; ~120名/年

大学院学生実験
全国11大学(国立9、
私立3)が参加
(京都大学は学部学生
実験あり)

国外; ~30名/年

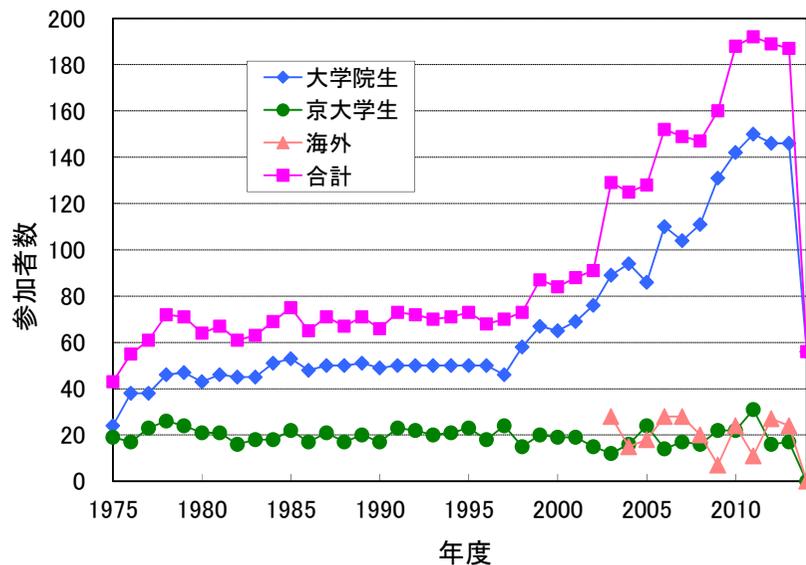
2003年度: 韓国学
生実験開始
2006年度: スウェー
デン学生実験開始



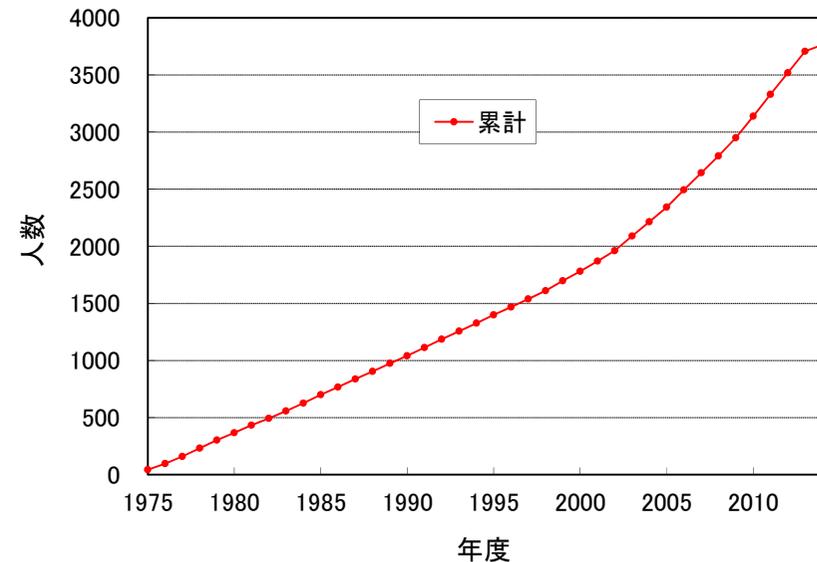
1964年 研究炉(KUR)初臨界
 1974年 臨界集合体(KUCA)初臨界
 1975年 KUCAを用いた大学院生実験を開始
 1970年代 原子核工学専攻原子炉利用実験開始
 2006年 KUR・高濃縮ウラン燃料炉心終了
 2007年 日本原子力学会賞(貢献賞)注)
 2010年 KUR・低濃縮ウラン燃料炉心臨界到達
 2010年 KUCAを用いた大学院生実験3000名到達



注)「京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)を用いた炉物理実験教育」



臨界集合体を用いた実験の受講学生数(2014年度まで)



臨界集合体を用いた学生実験の累積受講学生数

炉物理実験教育

実験の目的

原子炉を用いた基礎的な炉物理実験・放射線計測実験、および原子炉運転実習を行うことにより、原子炉の原理・核特性・安全性・法的規制等を理解する。

実施対象学生と実施計画

対象学生：京大学部学生、全国大学院生

受入人数：京大20名、全国大学院生150名 実施頻度：年に7回程度

(全国大学院生実験とは別に韓国と中国の学生が参加する英語による同じ実験を行っており、そこに参加する大学院生も募る)

- 月曜日：登録手続き、保安教育(テストを含む)、金線準備



- 火曜日：臨界近接実験、金線・金箔の照射



- 水曜日：制御棒校正実験、中性子束分布測定(放射化量測定)



- 木曜日：運転実習、討論会



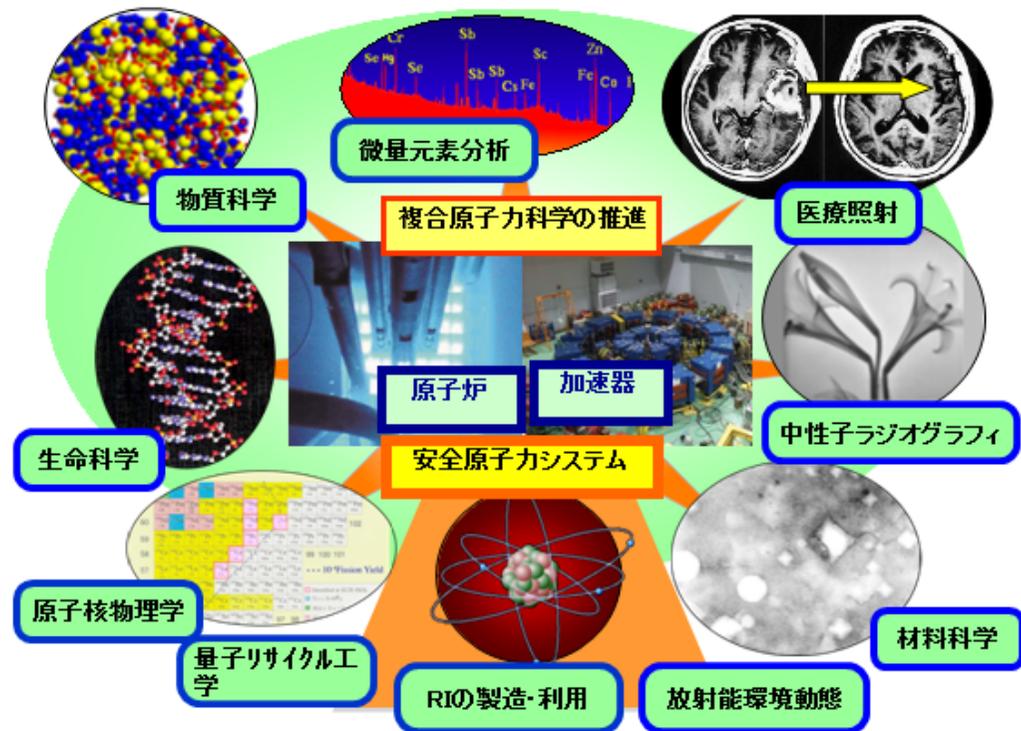
日本学術会議の提言

- 提言 学術の大型施設計画・大規模研究計画 ー 企画・推進策の在り方とマスタープランの作成についてー（平成22年3月17日）
- この提言は、日本学術会議 科学者委員会 学術の大型研究計画検討分科会の審議結果を取りまとめ公表
- 日本学術会議は学術の推進上の重大な問題点を認識し、科学者コミュニティの専門的意見を集約して、大型施設計画および大規模研究計画の検討を行い、わが国として初めての全分野にわたる大型計画のマスタープラン(全43課題)を策定した。
- 京大炉提案「複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進」： 原子力を表看板に掲げた唯一の課題

複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進

(京都大学原子炉実験所)

人類社会の持続的発展には原子力・放射線の利用が必要である。本計画では、**研究炉・加速器**を用いる**共同利用・共同研究**を軸に、複合的な原子力科学の発展と有効利用に向けた先導的研究を推進し、その拠点を形成する。



原子力科学の関連分野との複合的・協奏的推進: 複合原子力科学



核セキュリティサミット(ハーグ・ワシントン)日米合意

■ 国際競争力低下の要因

- 開発・市場展開におけるスピード不足
- 高い性能・品質。でも、コスト競争に負ける
- 多様・複雑な課題に対応できるソリューション型ビジネスが開拓できていない

⇒中国・韓国企業等の台頭により、現行の仕組みを前提とした従来型の日本企業のがんばりのみに依存することは限界。

⇒産学官によるブレークスルーが不可欠

■ 関西が取り組む政策課題

国際競争力向上のための
“イノベーションプラットフォーム”の構築
(実用化・市場づくりを目指したイノベーションを次々に創出する仕組み)

取り組みの視点

- 総合特区により、規制改革などを進め、企業や地域単独では解決できない課題に府県域を超えたオール関西で取り組む
- 域内資源を有機的に活用し、実現
- 内外に開かれたネットワークを構築

■ 課題解決に向けた関西での取り組み

- I 研究、開発から実用化へのさらなるスピードアップと、性能評価等による国際競争力の強化
- ◆ シーズから事業化までのスピードアップ促進
 - ◆ 高い性能を差別化に結び付けるための評価基準の確立と規格化、標準化の促進
- II 多様な産業・技術の最適組み合わせによる国際競争力の強化

■ 研究機関・企業が集積

世界トップクラスのリーディング企業が集積

世界屈指の大学・研究機関、科学技術基盤の集積

◆ 家電、住宅、医薬などを中心に多様な世界企業が集積

- ・製薬：武田薬品、田辺三菱製薬、塩野義製薬、人日木件友製薬、小野薬品、参天製薬、ノムツゼネカ、バイエル薬品、日本イーライリ、アスピルマなど
- ・医療機器・計測機器等：プロ、オムロン、島津製作所、堀場製作所、シスメックスなど
- ・家電・電気機器・蓄電池・太陽電池等：パナソニック、三洋電機、シャープ、京セラ、村田製作所、ローム、日本電産、GSユピロン、日新電機、コムコ、三菱電機、住友電工 など
- ・プラントメーカー：川崎重工業、日立造船、三菱重工業 など
- ・エンジニアリングメーカー：クボタ、ヤンマー、コマツ、極東開発工業 など
- ・住宅：人知ハウス工業、積水ハウスなど
- ・世界に冠たるサポートエンジニアリングの集積(東大阪、尼崎等)

【大学】

- ・京都大学 (iPS細胞、次世代バッテリー)
- ・大阪大学 (免疫、再生医療、ワクチン)
- ・神戸大学 (シミュレーション創薬、バイオマカ研究)
- ・奈良先端大学院大学 (情報・バイオ・物質創成とその融合)
- ・京都府立医科大学 (先制医療、医療機器開発)
- ・大阪市立大学 (抗疲労研究)

【研究機関】

- ・地球環境産業技術研究機構(CO2分離回収、バイオリファイナリ)
- ・医薬基盤研究所 (毒性データベース、ワクチン)
- ・国立循環器病研究センター (最先端医療機器)
- ・産業技術総合研究所関西センター (バッテリー、組み込みリフト)
- ・理化学研究所 (発生再生医科学、分子イメージング)
- ・兵庫県放射光ナノテク研究所(次世代省エネ材料開発・評価)

【国際電気通信基礎技術研究所 (総務省、ロボット)】

【科学技術基盤等】

- ・京都大学原子炉実験所 (ホウ素中性子捕捉療法)
- ・Spring-8 (世界最高性能の大型放射光施設)
- ・SACLA (理研内) (世界最高性能のX線レーザー施設)
- ・京速コンピュータ「京」(世界最速の演算能力)

【大学】

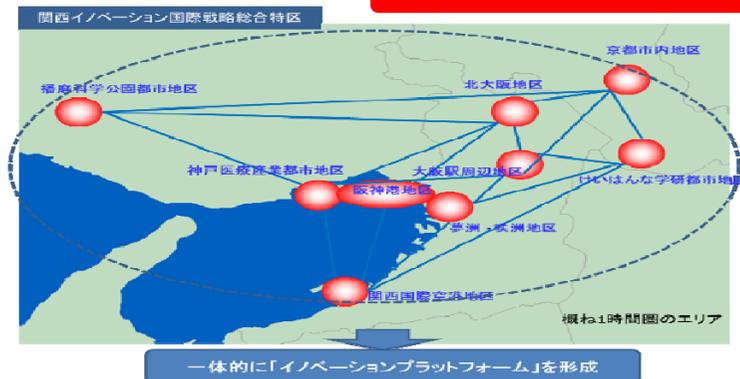
- ・京都大学 (iPS細胞、次世代バッテリー)
- ・大阪大学 (免疫、再生医療、ワクチン)
- ・神戸大学 (シミュレーション創薬、バイオマカ研究)
- ・奈良先端大学院大学 (情報・バイオ・物質創成とその融合)
- ・京都府立医科大学 (先制医療、医療機器開発)
- ・大阪市立大学 (抗疲労研究)

【研究機関】

- ・地球環境産業技術研究機構(CO2分離回収、バイオリファイナリ)
- ・医薬基盤研究所 (毒性データベース、ワクチン)
- ・国立循環器病研究センター (最先端医療機器)
- ・産業技術総合研究所関西センター (バッテリー、組み込みリフト)
- ・理化学研究所 (発生再生医科学、分子イメージング)
- ・兵庫県放射光ナノテク研究所(次世代省エネ材料開発・評価)
- ・国際電気通信基礎技術研究所 (脳情報、ロボット)

【科学技術基盤等】

- ・京都大学原子炉実験所 (ホウ素中性子捕捉療法)
- ・Spring-8 (世界最高性能の大型放射光施設)
- ・SACLA (理研内) (世界最高性能のX線レーザー施設)
- ・京速コンピュータ「京」(世界最速の演算能力)



地元・熊取町との 極めて良好な関係の構築

みんなが主役 「やすらぎと健康文化のまち」

<概要版>

大学とのまちづくりネットワーク

専門性に特化した大学等の立地の優位性を生かし、住民や行政などが大学等との交流活動を積極的に展開し、学術研究の成果を広く地域に還元する学園文化都市のネットワーク。

- 大学等との協働によるさまざまなまちづくりの課題への対応
- 「熊取アトムサイエンスパーク構想」の推進



京大炉は改名し、新たな一步を踏み出します

京都大学 原子炉実験所
Research Reactor Institute, Kyoto Univ.
(KURRI)

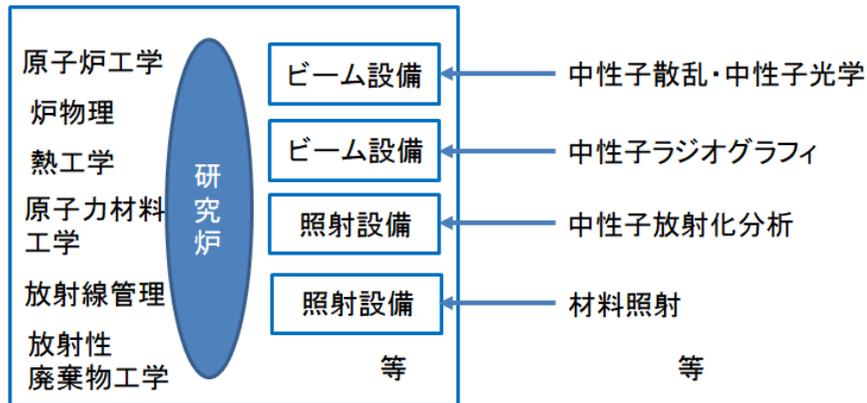


京都大学 複合原子力科学研究所
Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science
(KURNS)

改名予定 平成30年4月1日

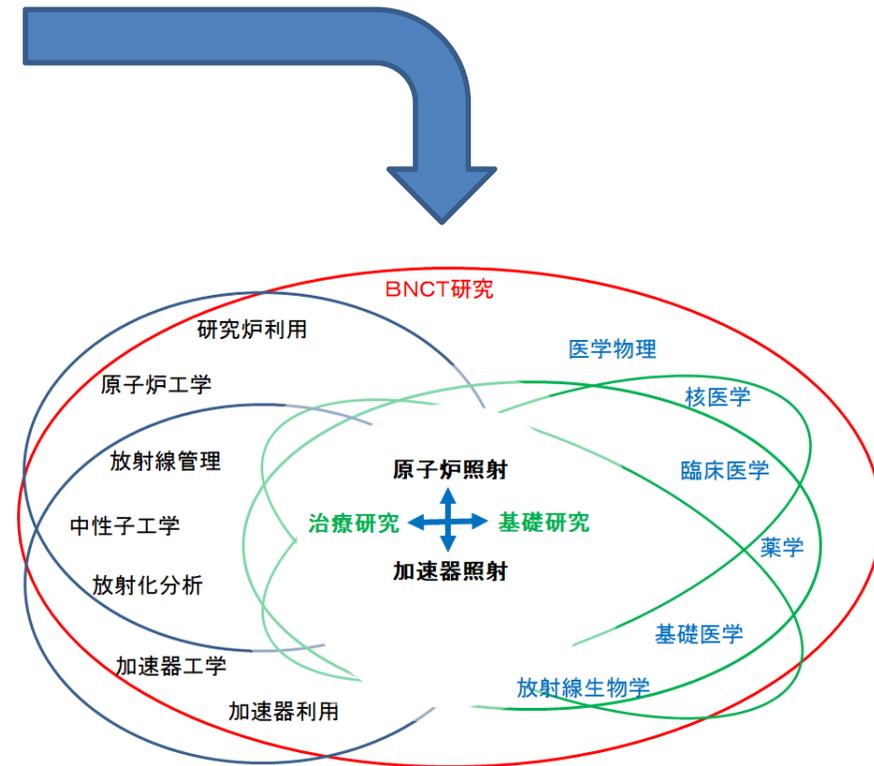
研究推進形態の進化

原子炉実験所における典型的利用形態
 これまでの原子力研究の場合
 —実験フィールドの提供—



設立当初は先端的利用設備(実験フィールド)を共同利用研究者に提供することが先端研究として成立

原子力科学から複合原子力科学へ



最終的には
 すべての研究分野に対して
 複合・融合化を実現することで
 研究の革新性をもたらし
 成果の高度化を行う

複合原子力科学における典型的利用形態
 先行事例であるBNCTの場合
 —研究の主導と研究フィールドの提供—
 研究内容・研究装置の融合的発展による新分野開拓

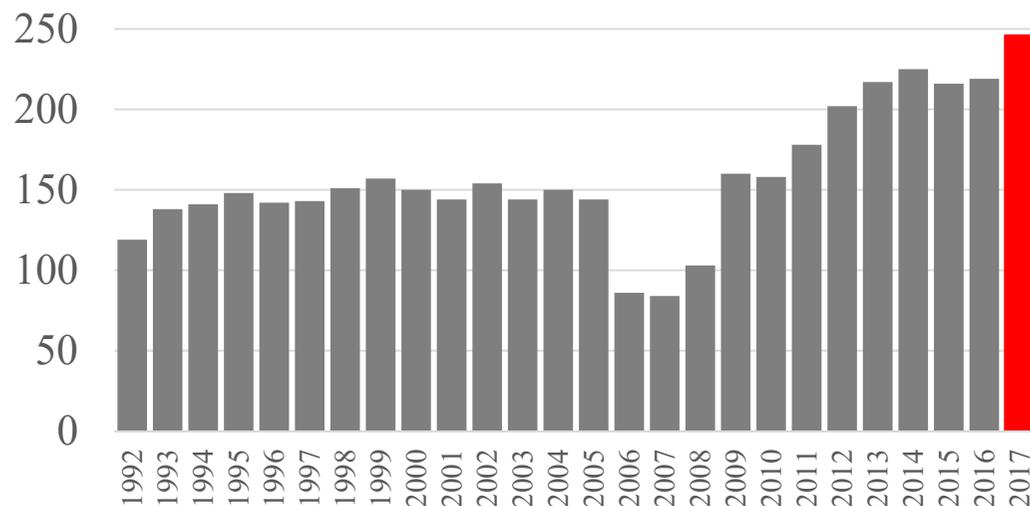
改名の目的

現状

「原子炉実験所」

「原子炉」という研究
ツールに依存した名称

共同利用採択件数



長期の研究炉停止にかかわらず、
増加傾向にある共同利用研究

複合原子力科学研究所

増加し続ける共同利用研究に答え、
複合原子力科学分野の拠点として活動を行うことを示すため。
研究分野の重要性はツール(原子炉・加速器)には依存しない。

研究所ライフラインの本格整備: 非常用電源システム・特高受変電設備等、幅広く所内のライフライン再生工事を本格実施。新たな計画に耐えうる所内基盤を整備済。(H24~25:20億円以上)。

研究用原子炉運転継続環境の整備

KUR/KUCA運転継続: ハーグ・ワシントン核セキュリティサミットにて、KUR使用済み燃料の米国返送期限の10年間延長及びKUCA高濃縮燃料の低濃縮化及び運転継続を日米合意。

KUR/KUCAの新規制対応: 運転再開。

所要経費(総額97億円)。

1) サイクロトン複合粒子線源(64億円): **小型陽子サイクロトン(26億円)**を利用して中性子、陽電子、陽子棟を利用した多様な粒子線利用装置群を設置。**KURを補完・代替する機能を担わせる。**

2) **KUCA低濃縮燃料入手経費**

3) **運用経費(12億円)**: 年額2億円。計画期間6年(平成29年度ー平成34年度)



ライフライン強化として
立て替えられた変電所

○「提言 発電以外の原子力利用の将来のあり方について」平成26年 日本学術会議
原子力利用の将来像についての検討委員会 原子力学の将来検討分科会

「我が国における**中性子利用**は、長期的方向性としては、その主体を研究炉から**加速器ベース量子ビーム施設**に移して行くことが望ましい。……適正規模の研究炉施設を維持・運営することが望まれる。」

原子炉実験所の全体計画



日本学術会議 → マスタープラン: 高評価

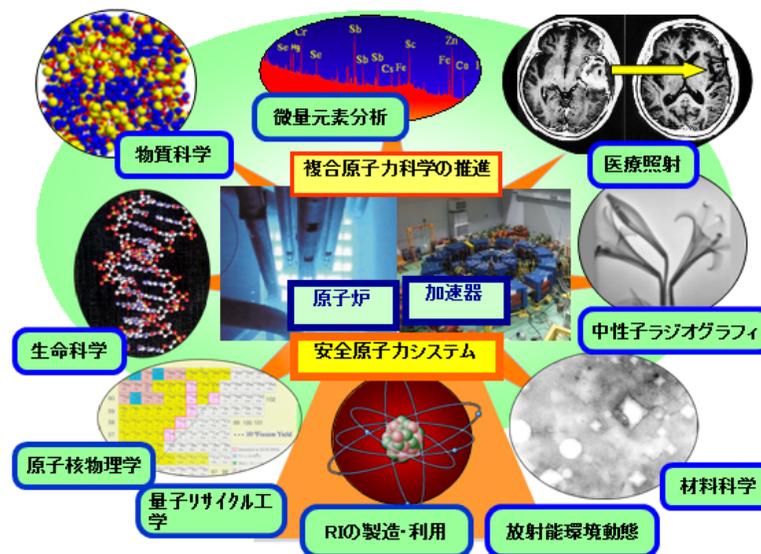
共同利用・共同研究拠点評価 → B評価: 最低評価

(拠点認定取り消し検討対象候補)

複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進（マスタープラン2017）

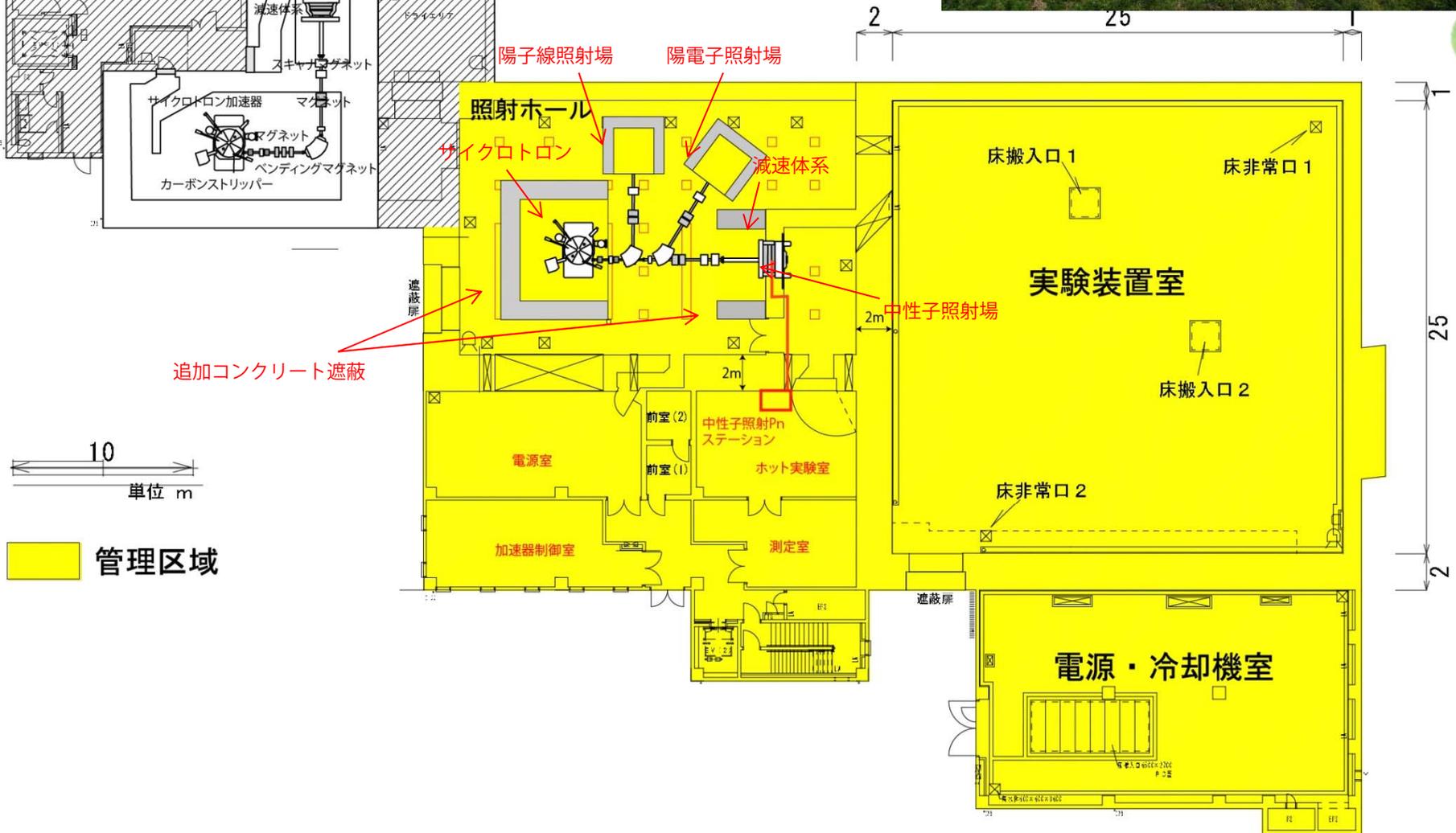
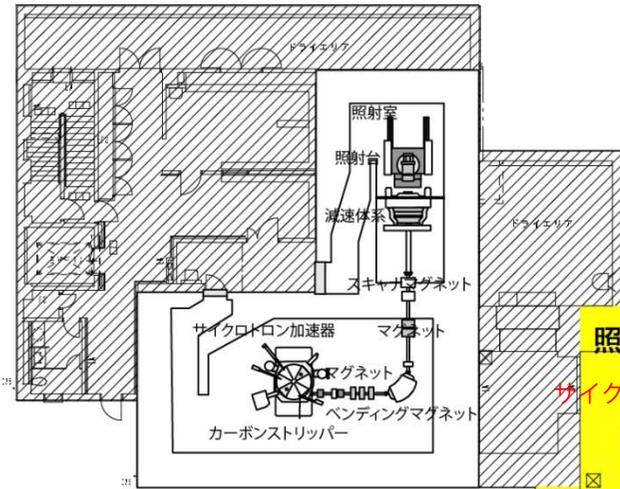
人類社会の持続的発展には原子力・放射線の利用が必要である。本計画では、**研究炉・加速器**を用いる**共同利用・共同研究**を軸に、**複合的な原子力科学**の発展と有効利用に向けた先導的研究を推進し、その拠点形成する。

ハーグ核セキュリティサミットにおいて、京都大学研究用原子炉(KUR)の使用済み燃料米国返送期限の10年延長、さらに京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)の高濃縮燃料の米国返送及び燃料低濃縮化に関して、日米で合意された。これらを受けて、日米の国家間合意実現のための「KUCA燃料低濃縮化」と使用済み燃料引き取り期限後に向けたKURの補完・代替としての「サイクロトロンによる加速器複合粒子線源」の実現を将来に向けた計画の骨格とした。

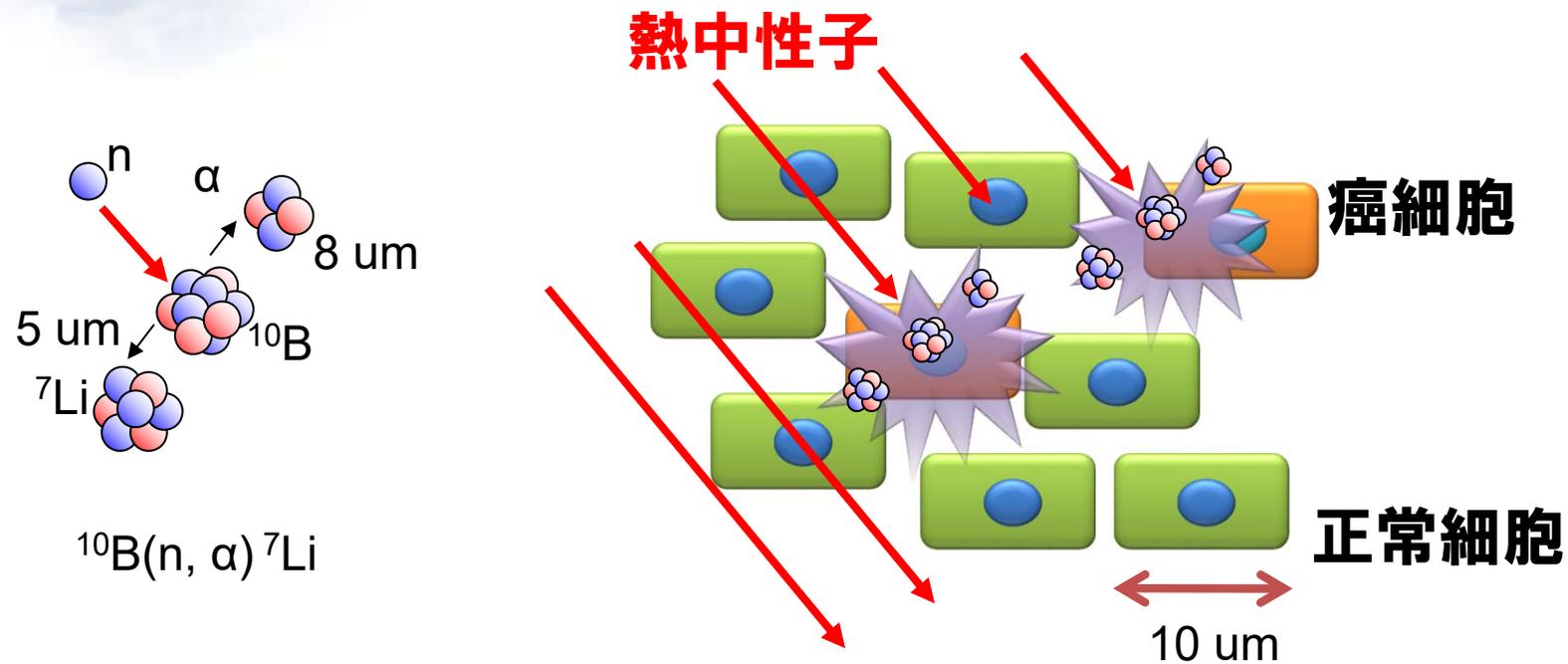


- 1) **研究炉・加速器を用いた物性・分析研究の深化**: 研究炉(KUR/KUCA)・陽子線加速器(FFAG)、電子線形加速器、Co-60ガンマ線照射施設、X線回折・小角散乱装置、各種微量元素分析装置等の多様な施設・装置を有機的に利用し、研究者の自由な発想に基づく多様な研究環境を実現する。
- 2) **粒子線やRIを幅広い基礎研究に利用する原子力技術応用研究**(BNCT等): 原子炉・加速器施設及びホットラボラトリー・トレーサー施設を利用し、中性子線をはじめとする粒子線や原子炉で生成させたRIの複合的な活用を行う。特に新規サイクロトロンは、中性子・陽子・陽電子の利用を可能とする複合粒子線源であり、KURの補完・代替の役割を担い、新規研究分野の開拓を可能ならしめる。
- 3) **原子力エネルギー利用に関する諸問題を解決する原子力研究**(ADS等): 研究用原子炉(KUR/KUCA)ばかりでなく、高エネルギー陽子加速器(FFAG)と原子炉(KUCA)との結合を実現させた世界で唯一のADSを中心として、使用済み燃料や福島事故問題をはじめとする原子力エネルギーの諸問題に関する基礎研究を行う。核セキュリティサミットにおいて、京都大学研究用原子炉(KUR)の使用済み燃料米国返送期限の10年延長が実現し、さらにKUCAの高濃縮燃料の米国返送及び燃料低濃縮化が合意された。

イノベーションリサーチラボ照射ホール サイクロトロン設置例



硼素中性子捕捉療法 (BNCT) の原理

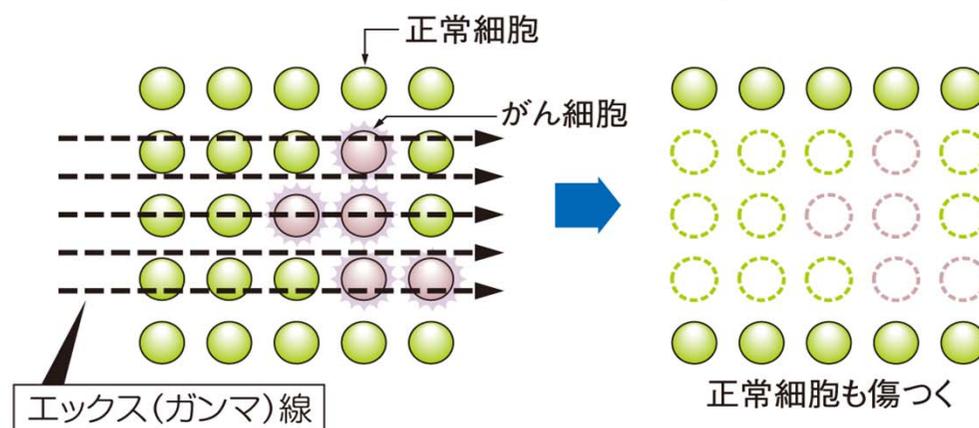


癌細胞破壊の選択性に優れている

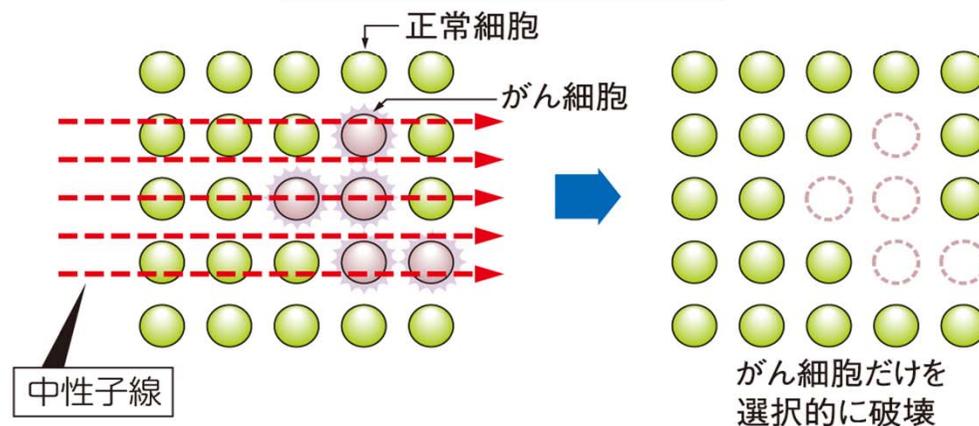
「がん細胞選択的治療」と言われる理由

■ 従来の放射線治療との違い

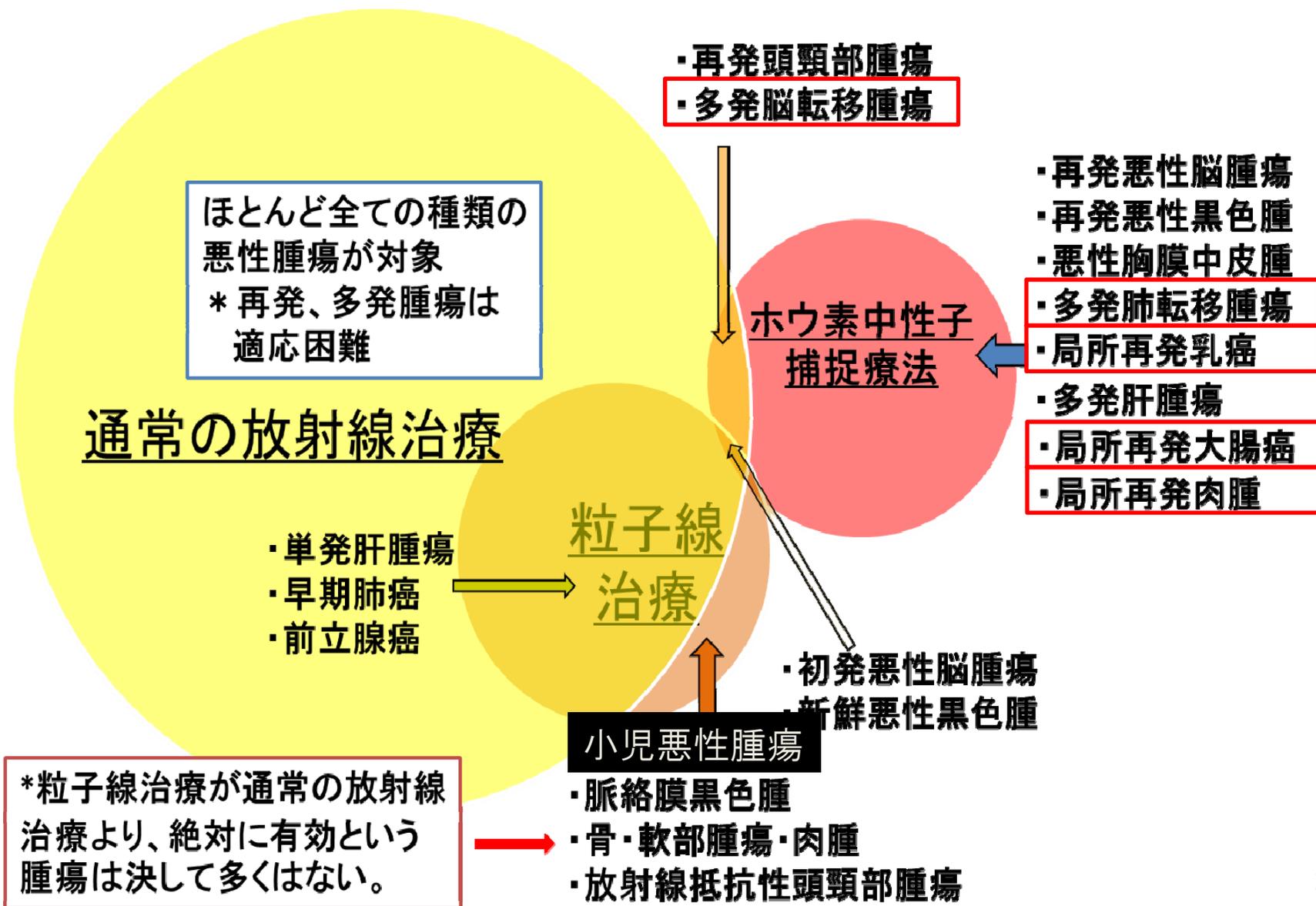
エックス(ガンマ)線の場合



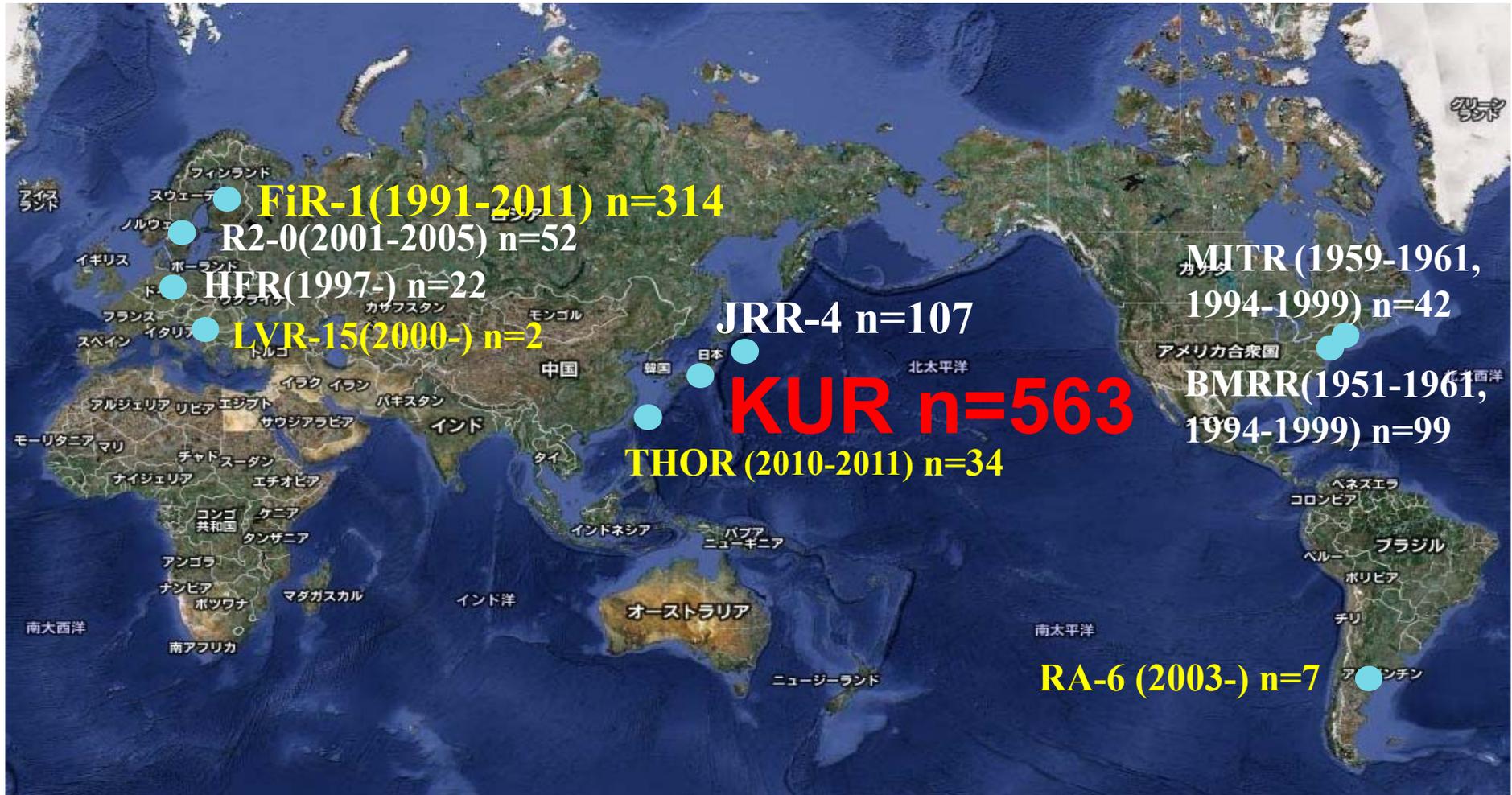
BNCTの場合

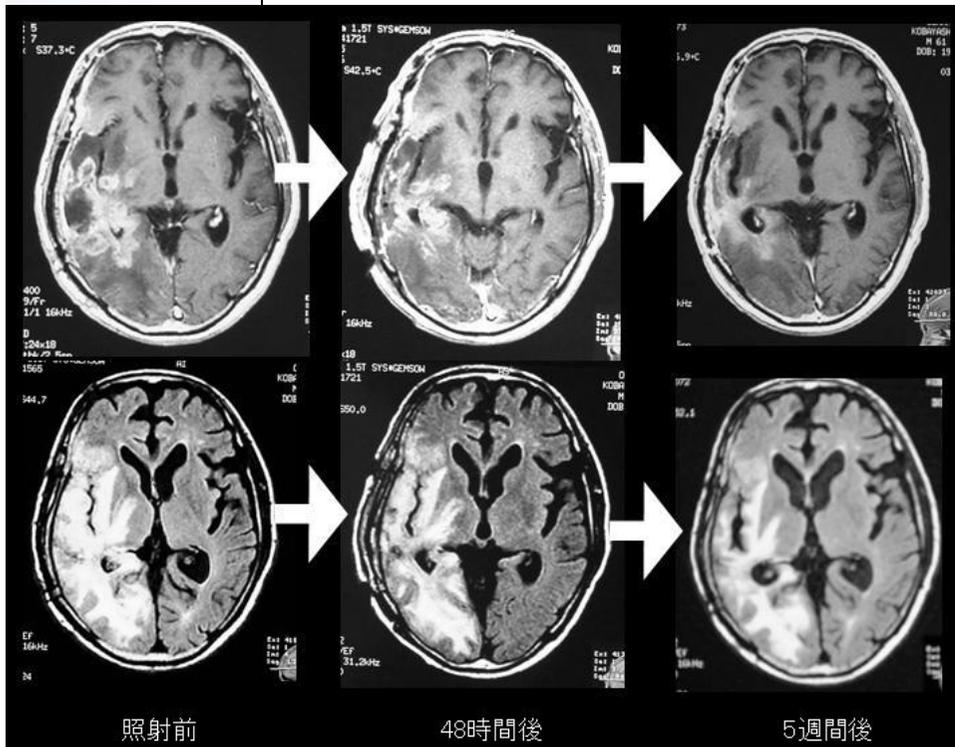
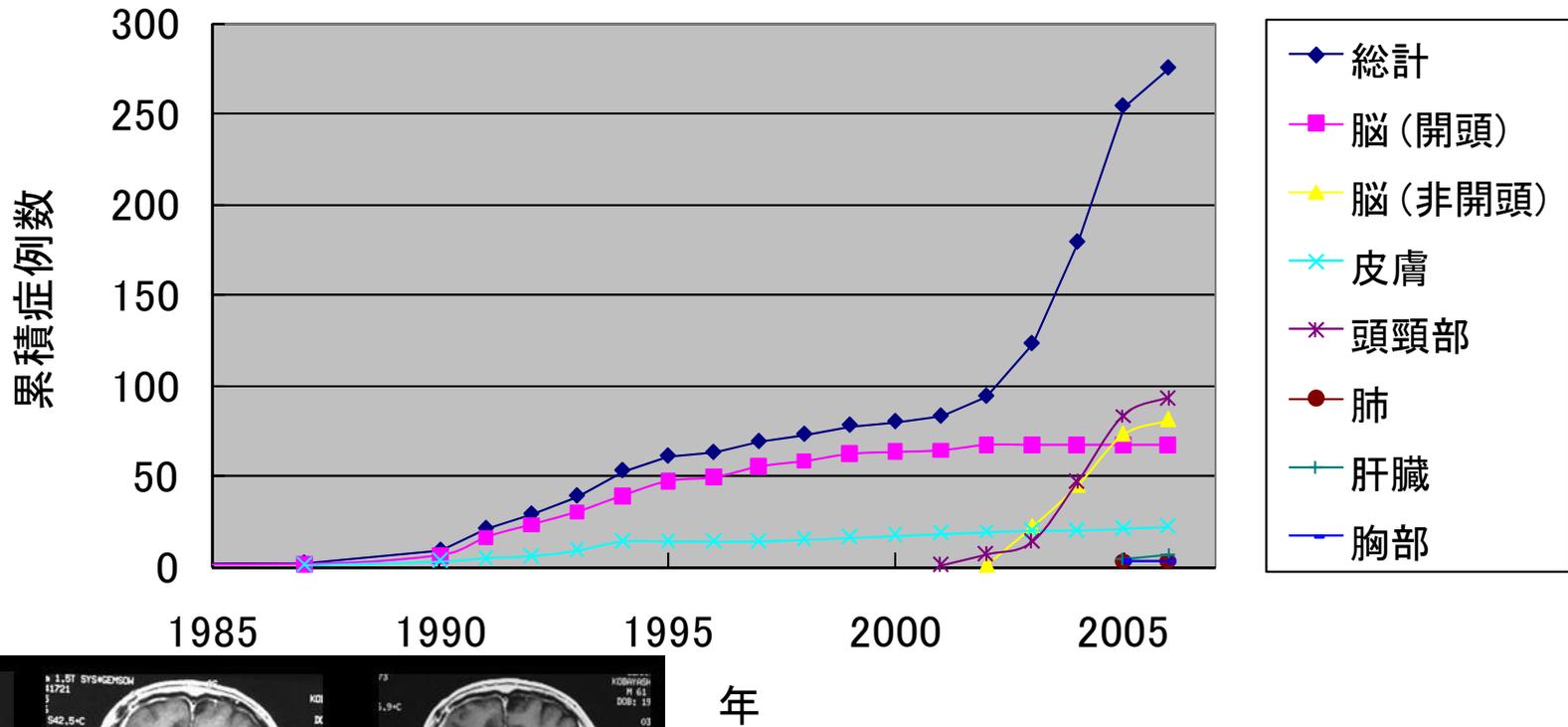


“Only one” 放射線治療としてのBNCT



世界のBNCT研究拠点と実施数





重水中性子照射設備における BNCT臨床の累計

脳腫瘍に対するBNCT後
の経過

加速器BNCT施設



サイクロトロンベース熱外中性子源

住友重機械工業社

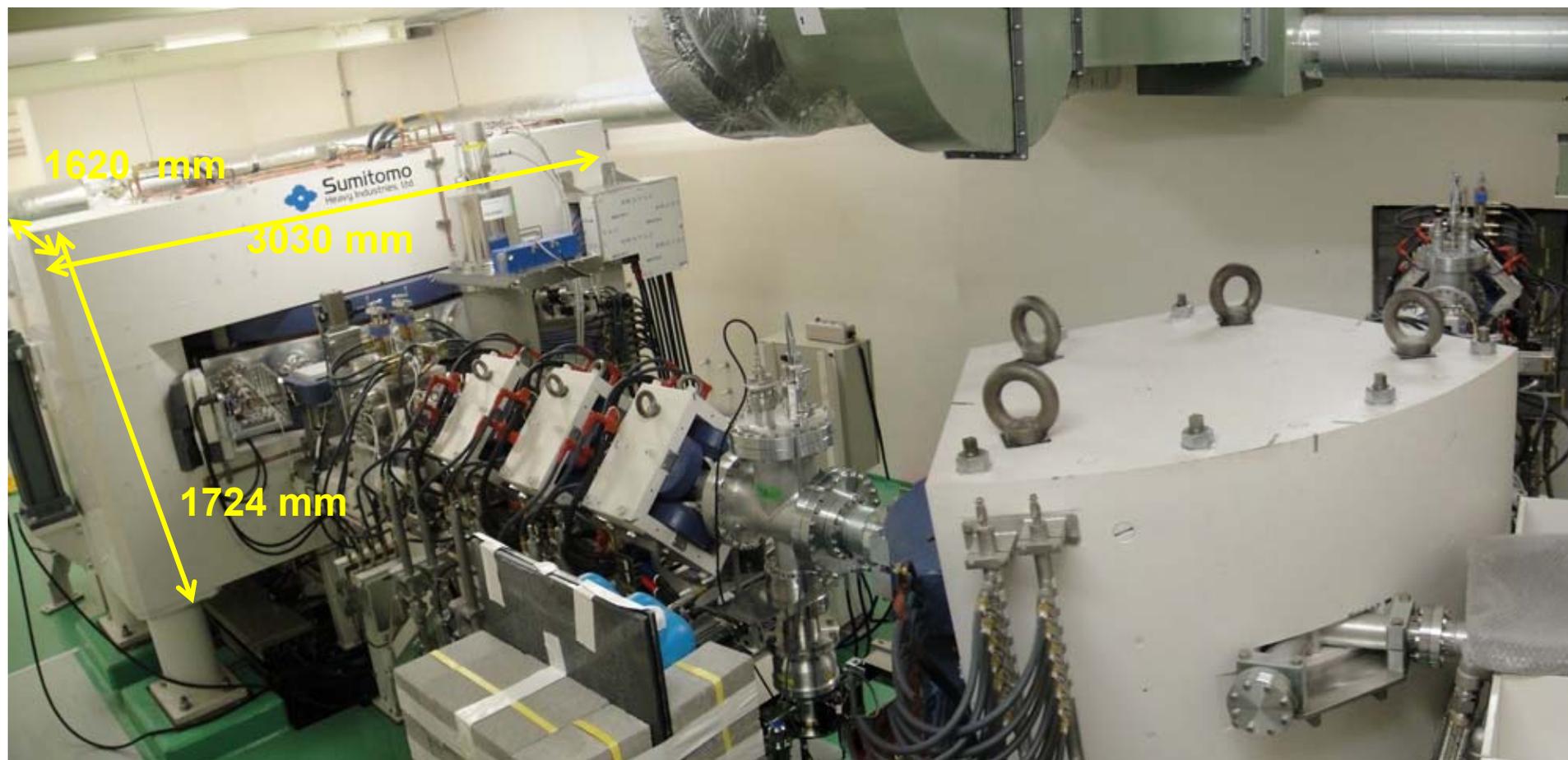
サイクロトロン型式: HM30

加速粒子: 水素負イオン(-H)

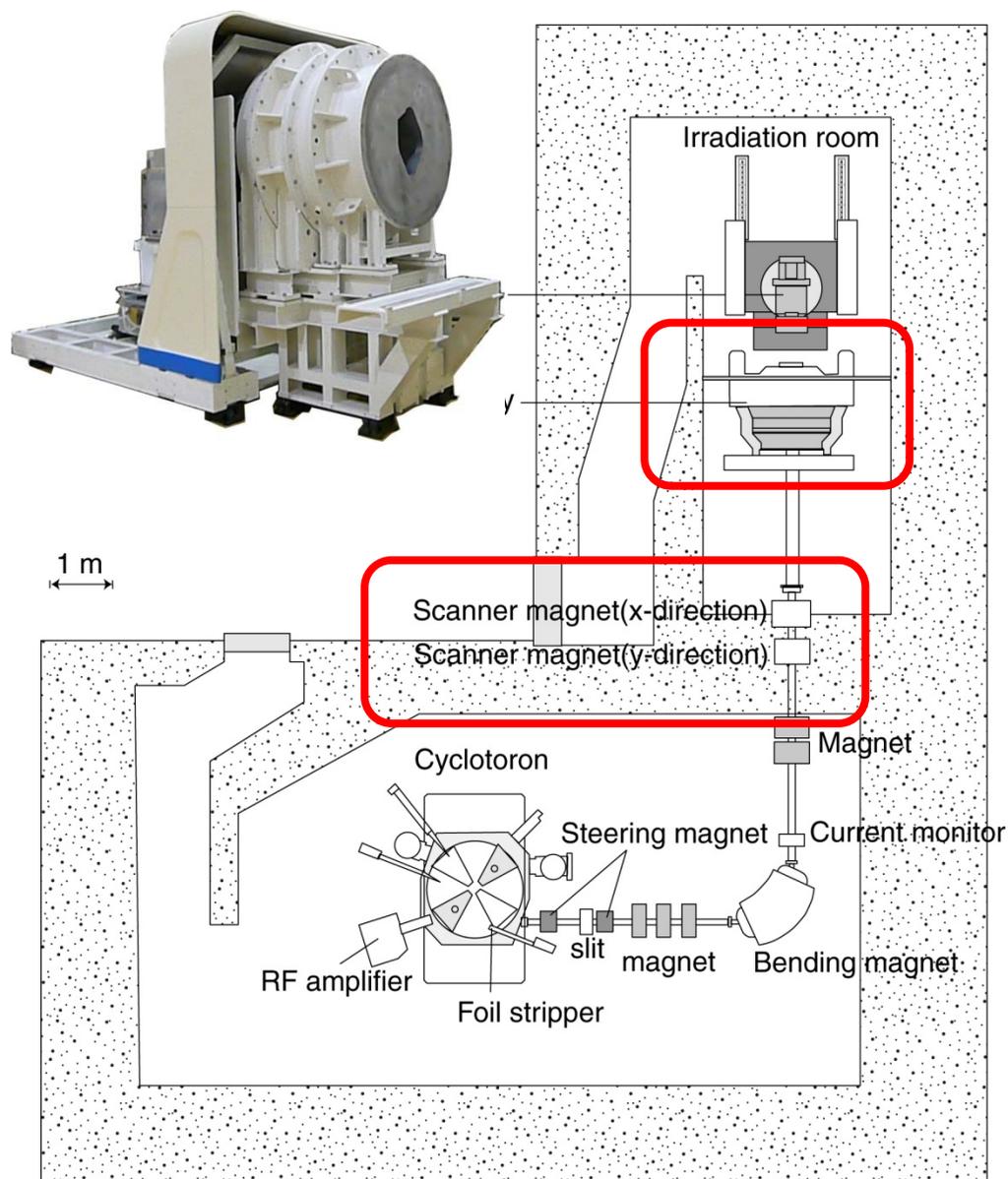
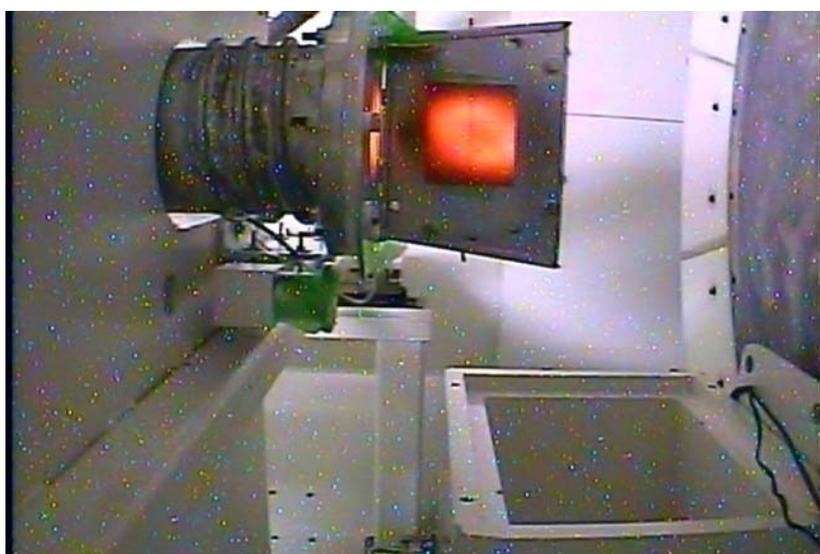
加速エネルギー: 30MeV

陽子電流: 1mA

出力: 30kW



サイクロトロンベース熱外中性子源



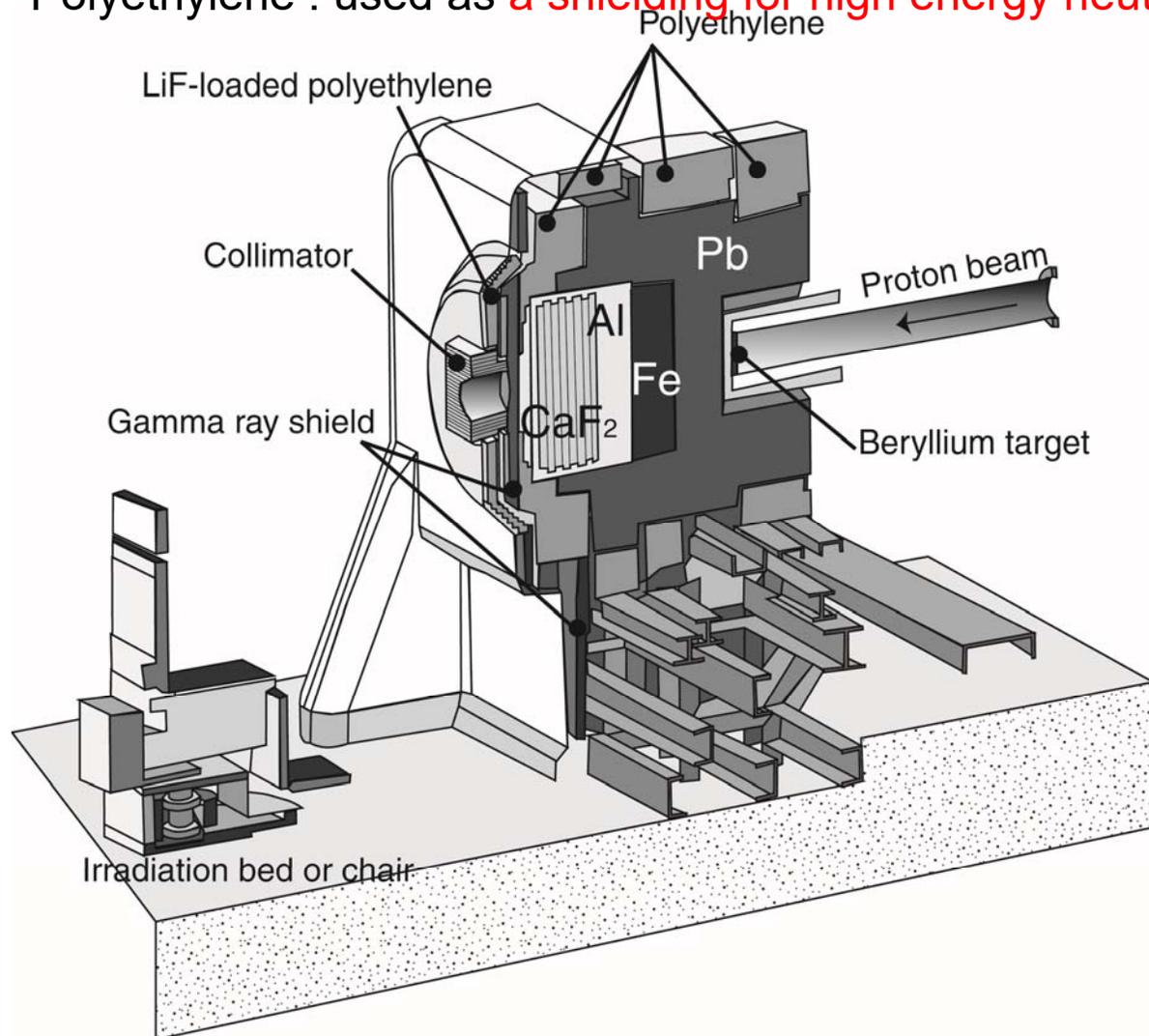
減速体系

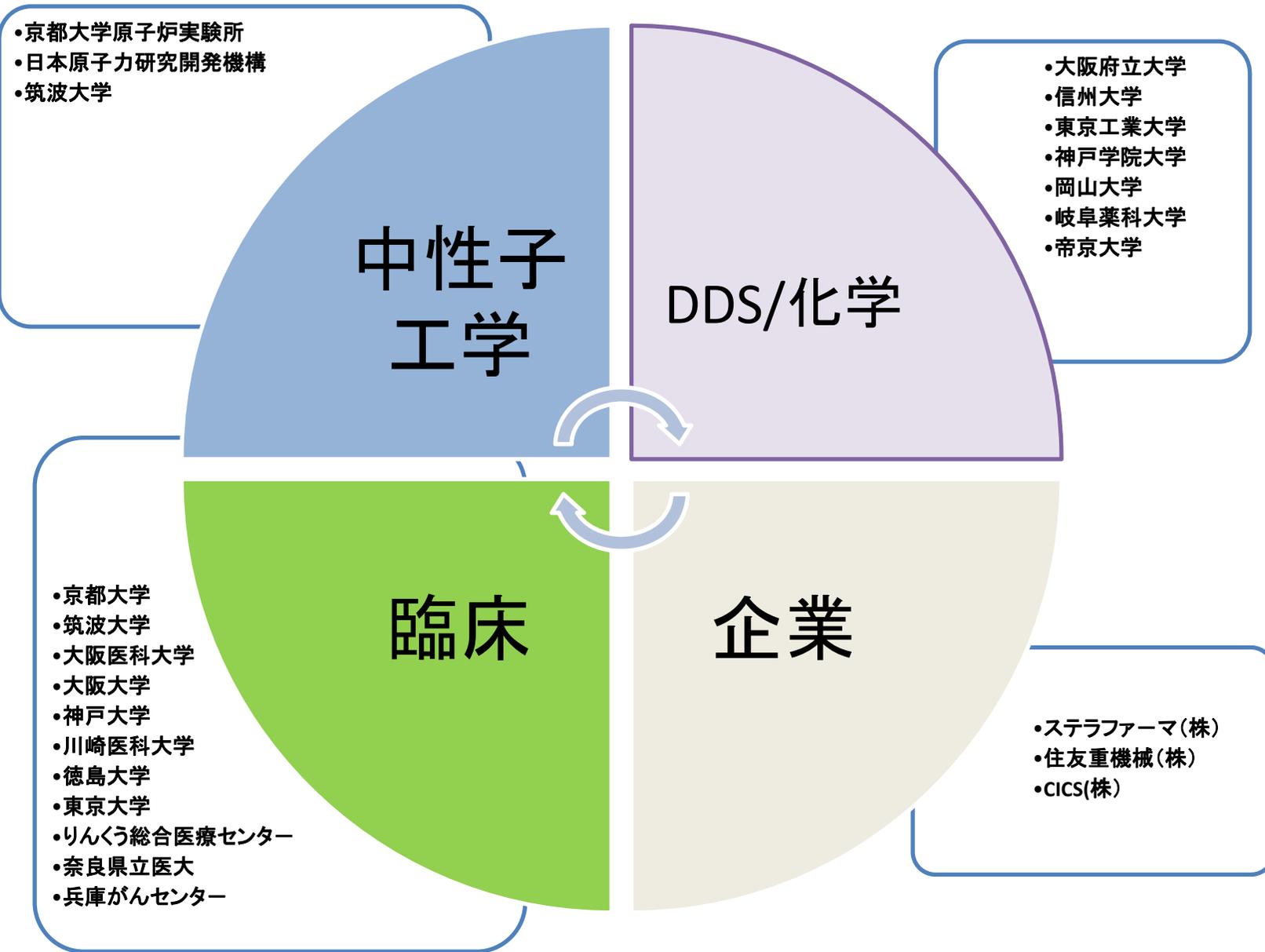
Pb : used as a breeder and a reflector for high energy neutrons

Fe : used as a moderator

Al and CaF_2 : used as a shaper for epi-thermal region

Polyethylene : used as a shielding for high energy neutrons





BNCTの伸びしろ

1.ホウ素が選択的に均一に高集積する

- より選択性の高いホウ素キャリアー
- より集積性の高いホウ素キャリアー
- より腫瘍内の均一性が高いホウ素キャリアー

2.中性子が届く

- よりフラックス増による短時間照射
- より深達性の高い線質
- よりコンタミの少ない照射場

3.併用療法の可能性

- X線、陽子線の追加
- 免疫療法
- よりコンタミの少ない照射場
- Pre-loading

総合南東北病院： 南東北BNCT研究センター



同センター2階スタッフステーション



同センター1階エントランス周辺



南東北 BNCT 研究センター外観



同治療室



同治療準備室



南東北 BNCT 研究センター陽子ビーム加速器と輸送装置

加速器BNCT施設の建設計画

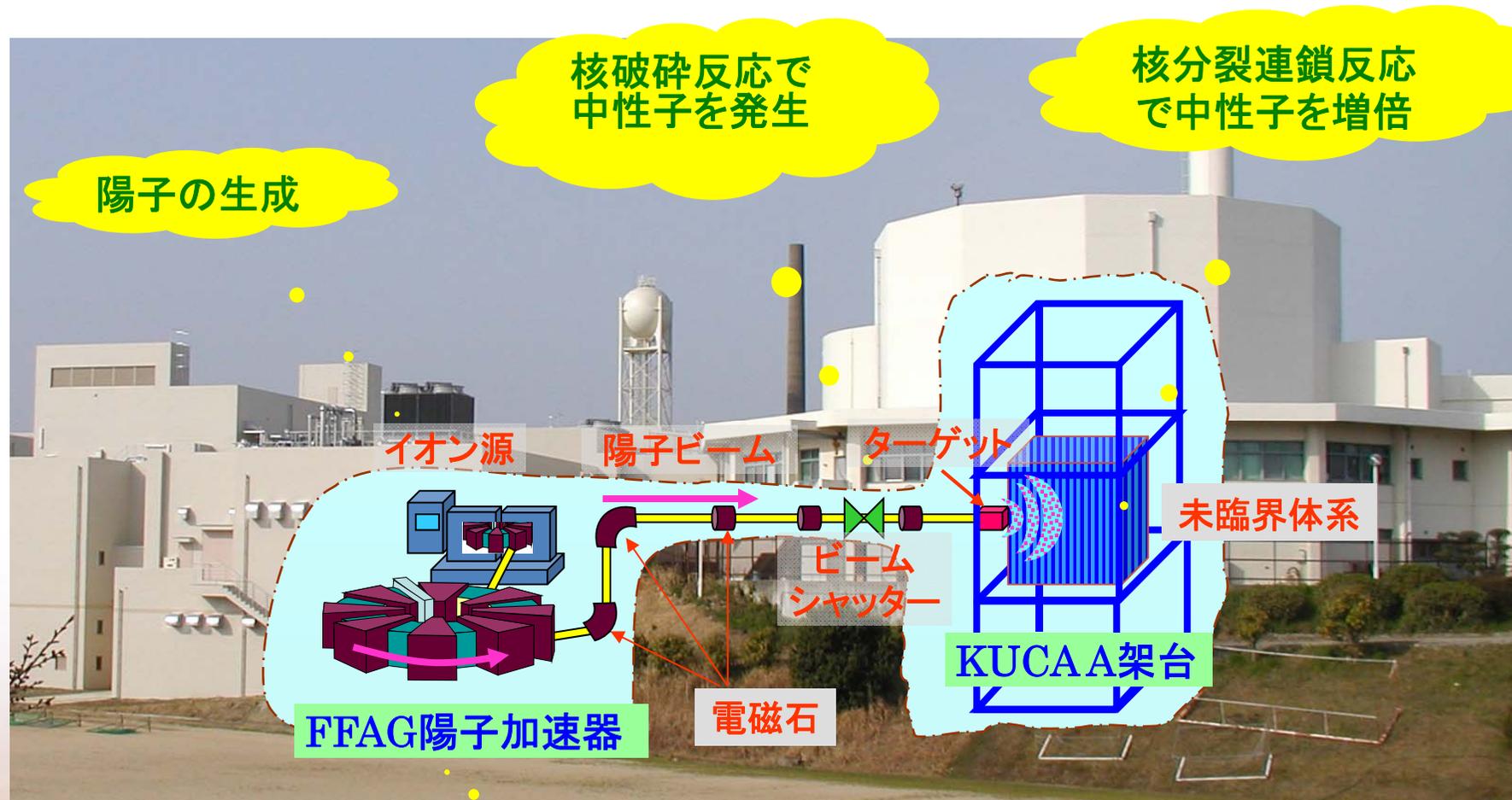


大阪医科大学
関西BNCT医療研究センター
(大阪府高槻市)
平成30年頃開院予定

BNCT導入の構想がある
医療施設の医師、医学
物理士をOn the Job Training (OJT)
の形態で
従事できる受け入れ体制
(予算等)の整備が急務

筑波大学
国立がん研究センター
では、ビーム調整中

KUCA-FFAG結合実験のイメージ図



陽子を 100 MeVまで加速

2009年2月から実験開始

Present Status of FFAG Accelerator Complex

Ion-Beta

Ion Source

Booster

Main Ring

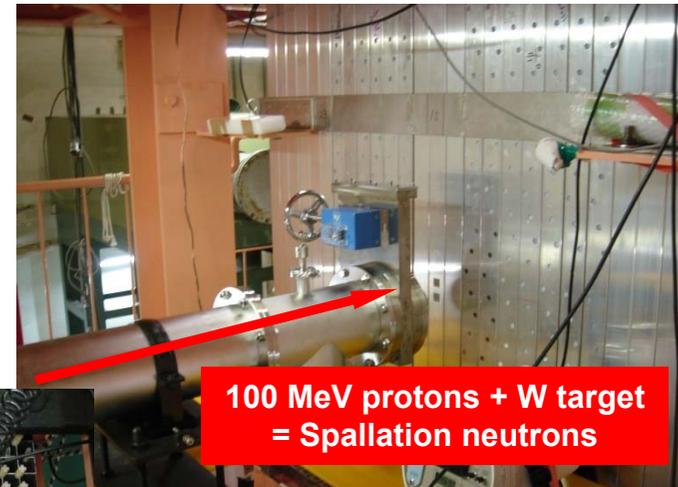
Beam Transport



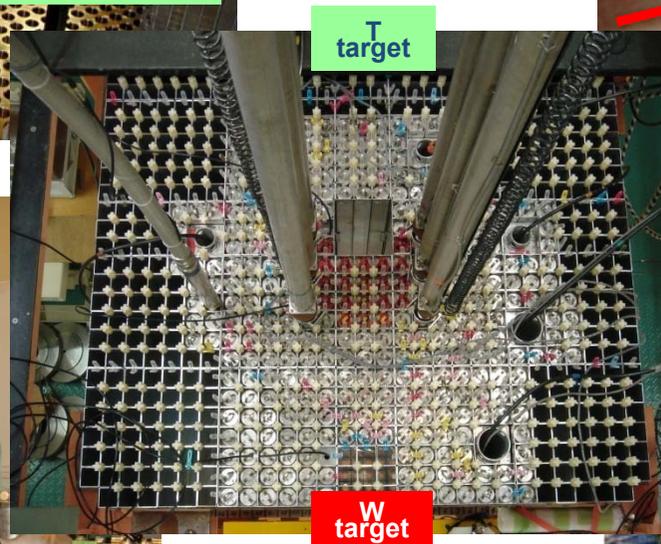
KUCAでのADS実験設備の構成



Beam line of D



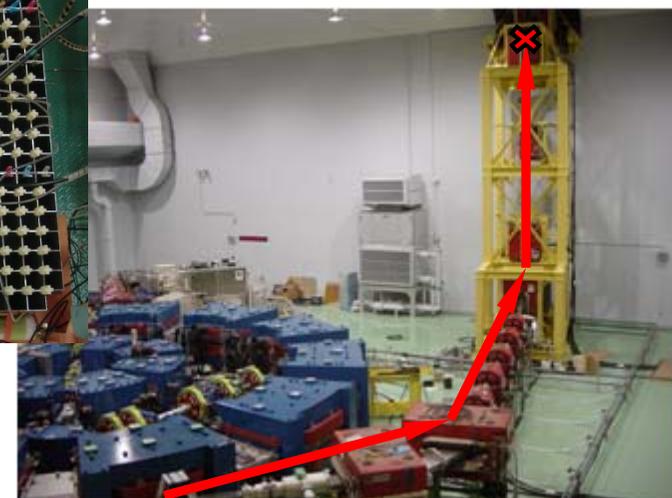
Beam line of protons



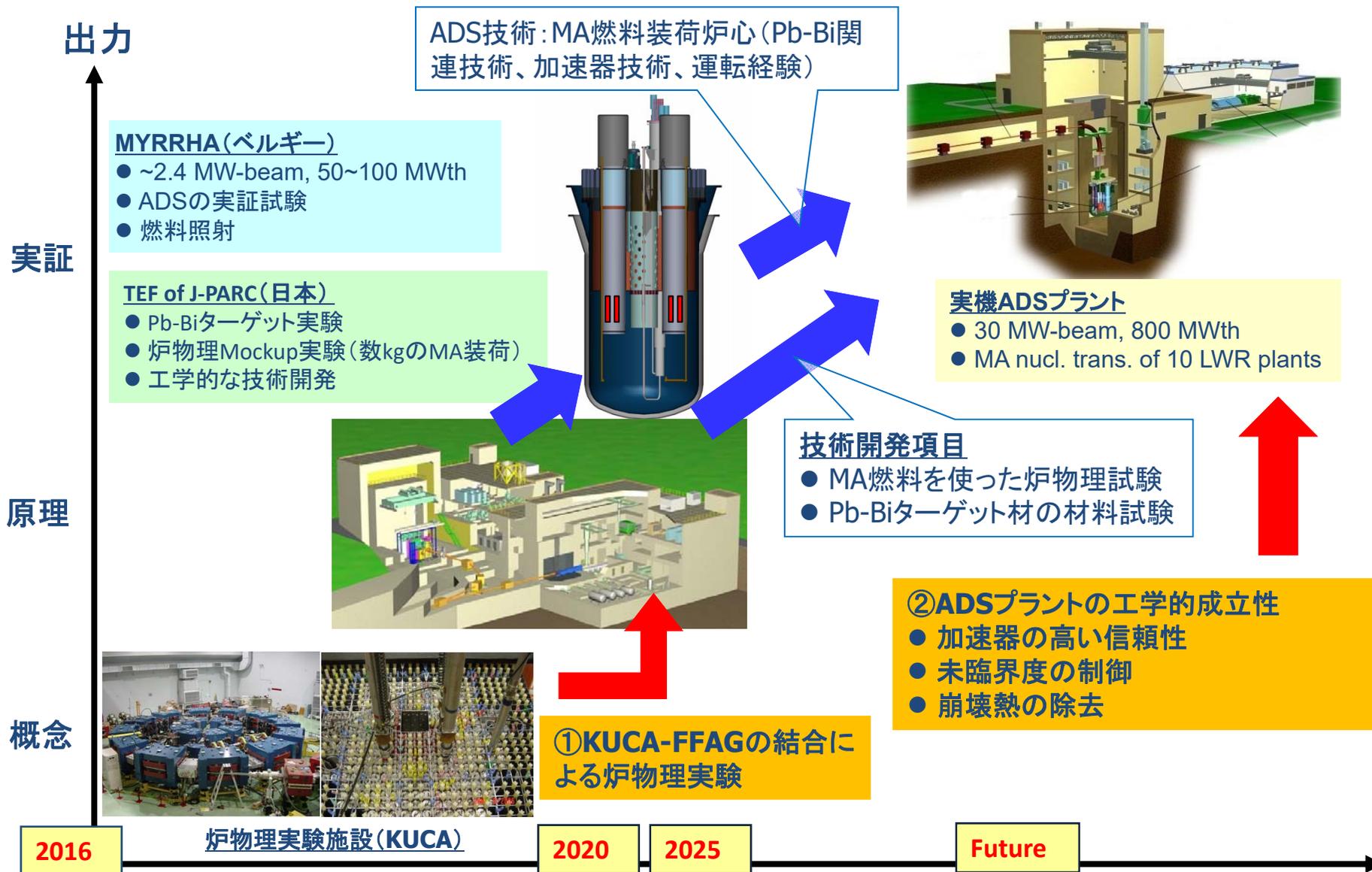
KUCA core



Pulsed neutron generator



世界のADSによる核変換技術のロードマップ



世界におけるADS実験施設

Table Specification of ADS facilities in the world

プロジェクト または施設	国名	燃料	反射材または 冷却材	スペクトル	加速器 (ターゲット)	出力	備考
MUSE	フランス	MOX	Na	高速	14 MeV – n	Zero	終了
YALINA (Booster)	ベラルーシ	LEU	Metal (Solid)	高速 & 熱	14 MeV – n	Zero	終了
VENUS-F	ベルギー	LEU (MOX)	Pb (Solid)	高速	14 MeV – n	Zero	進行中
KUCA	日本	HEU	Polyethylene	熱	14 MeV – n 100 MeV – p (W, Pb-Bi...)	Zero	進行中
CLEAR-0	中国	UO ₂	Pb (Solid)	高速	14 MeV – n	Zero	建設中
TEF	日本	LEU (Pu) + MA	Pb-Bi (Liquid)	高速	400 MeV – p (Pb-Bi)	500 Wth	計画中
MYRRHA	ベルギー	MOX + MA	Pb-Bi (Liquid)	高速	600 MeV – p (Pb-Bi)	100 MWth	計画中

新規制基準への対応の経緯

(試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則)

2011年3月11日	東京電力福島第一発電所事故
2012年9月19日	原子力規制委員会発足
2013年7月8日	原子力発電所の新規制基準施行
2013年12月18日	核燃料施設等(研究炉を含む)の新規制基準施行
2014年9月30日	KUR及びKUCAの申請 設置変更承認申請書及び保安規定変更承認申請書を原子力規制庁に提出
2015年9月30日、12月10日、2016年3月31日	KUCA設置変更の一部補正申請
2016年4月27日	KUR設置変更の一部補正申請
2016年5月11日	KUCA設置変更の承認(合格)
2016年6月22日、6月27日、7月13日、7月20日	KUR設置変更の一部補正申請
2016年9月21日	KUR設置変更の承認(合格)

試験研究炉の新規制基準

- 高中出力炉等、事故時に及ぼす影響が大きい試験研究用等原子炉施設について「**多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止**」を追加要求
【想定(=設計基準)を超える事故の評価】
- 自然災害(**地震・津波、洪水、風、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山、森林火災等**)の評価方法を厳格化
- 外部人為事象(第三者の不法な接近)等に対する考慮を明確化
- 敷地内の外部研究者や見学者等に対する事故の発生の連絡や必要な指示を行うための対策を要求

すでに認可を受けている施設に対しても新規制基準への適合が義務づけられる=**バックフィット制度**

新規制基準への対応(2)

- 外部事象(地震・津波以外):洪水、風、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山、生物学的事象、森林火災等
 - 竜巻:F3(風速92m/s)を想定し、風力及び飛来物から重要設備を防護(一部施設の補強、固形廃棄物の固縛)
竜巻情報の監視→車両の退避、炉の停止
 - 火山:160km以遠の火山活動により最大約2cmの降下火砕物の堆積を想定→堆積物の除去、炉の停止
 - 森林火災:早期検知し、延焼防止のために散水を実施。予防散水エリア及び散水栓を整備
- 内部事象:内部溢水、内部火災
 - 内部溢水:冷却水等の漏えいを想定→電源系の多重化
 - 内部火災:火災発生防止・早期検知と消火、延焼の防止→物品持込み制限、検知器、防火シャッター等の設置

新規制基準への対応(3)

多量の放射性物質等を放出する事故 (公衆被ばくが5mSvを超える可能性のある事故)

- **流路閉塞の拡大**: 冷却材が流れる流路が大きく閉塞することにより、燃料要素1体が損傷、放射性物質を放出。
 - **冷却材喪失事故の拡大**: 配管の損傷による冷却材喪失事故が発生した際に(恒設の)緊急注水機能の喪失も発生する事象、あるいは給水が間に合わないギロチン破断のような大規模な配管の損傷事象を想定。地震が起因事象となる場合は制御棒の挿入失敗や閉じ込め機能の喪失も重畳させる。その結果、燃料が損傷し、放射性物質を放出。
 - **上記2つの事故への対応策**: 消防ポンプによる注水を含む緊急注水の実施。炉心タンク上部のシール等による放射性物質拡散の抑制。実験者・見学者等の避難・誘導。放射線モニタリングと地元自治体等への情報提供。
- **大規模損壊事象への対応**も検討