京大炉の次期中性子源について

京都大学原子炉実験所
川端祐司（代理：福永俊晴）

京大炉におけるビーム利用のための時期中性子源ＷＳ
京都大学原子炉実験所・事務棟会議室　平成27年1月16日

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基づつ設置」(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」

日本学術会議策定
大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン

複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進

大規模研究計画

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。

原子炉実験所の主要3施設

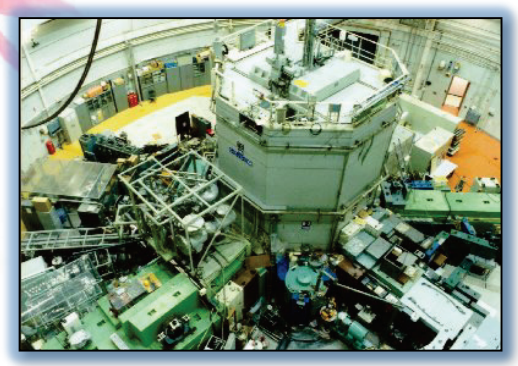
KUR：1964年6月初臨界

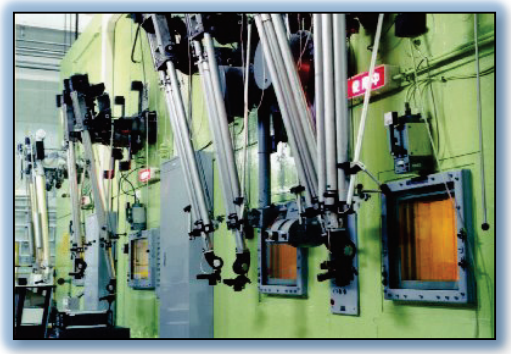
KUCA：1974年8月初臨界

イノベーションリサーチラボ：2004年3月竣工

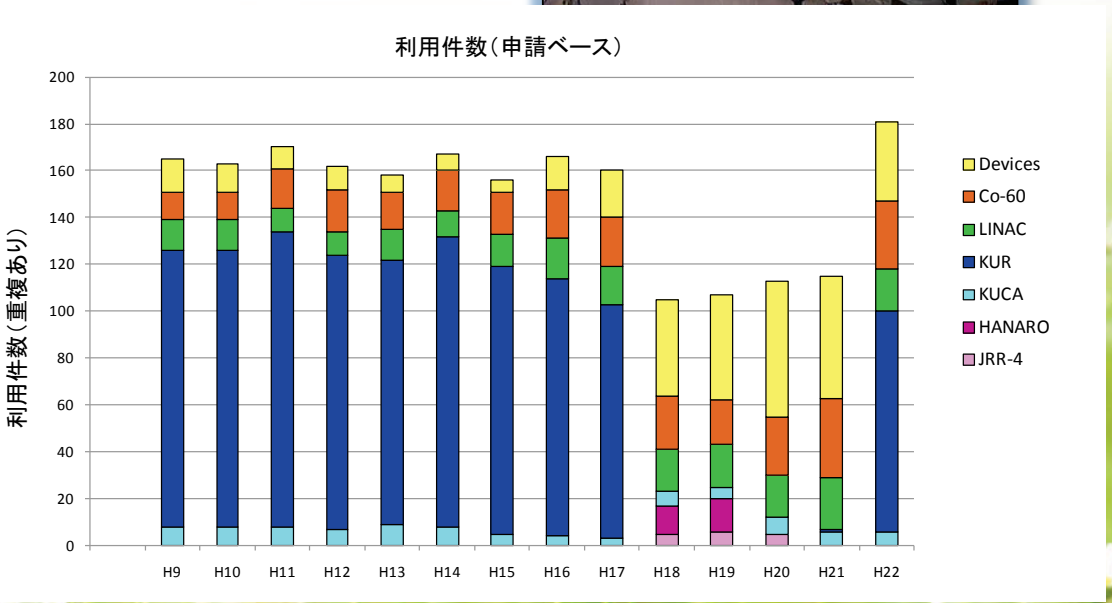
京都大学炉（KUR）・ホットラボと共同利用

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





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）

施設利用に対する将来ビジョン

- H22年度よりKURは新燃料にて再稼働　→　10年程度の運転
  （使用済燃料問題：2026まで運転可能）

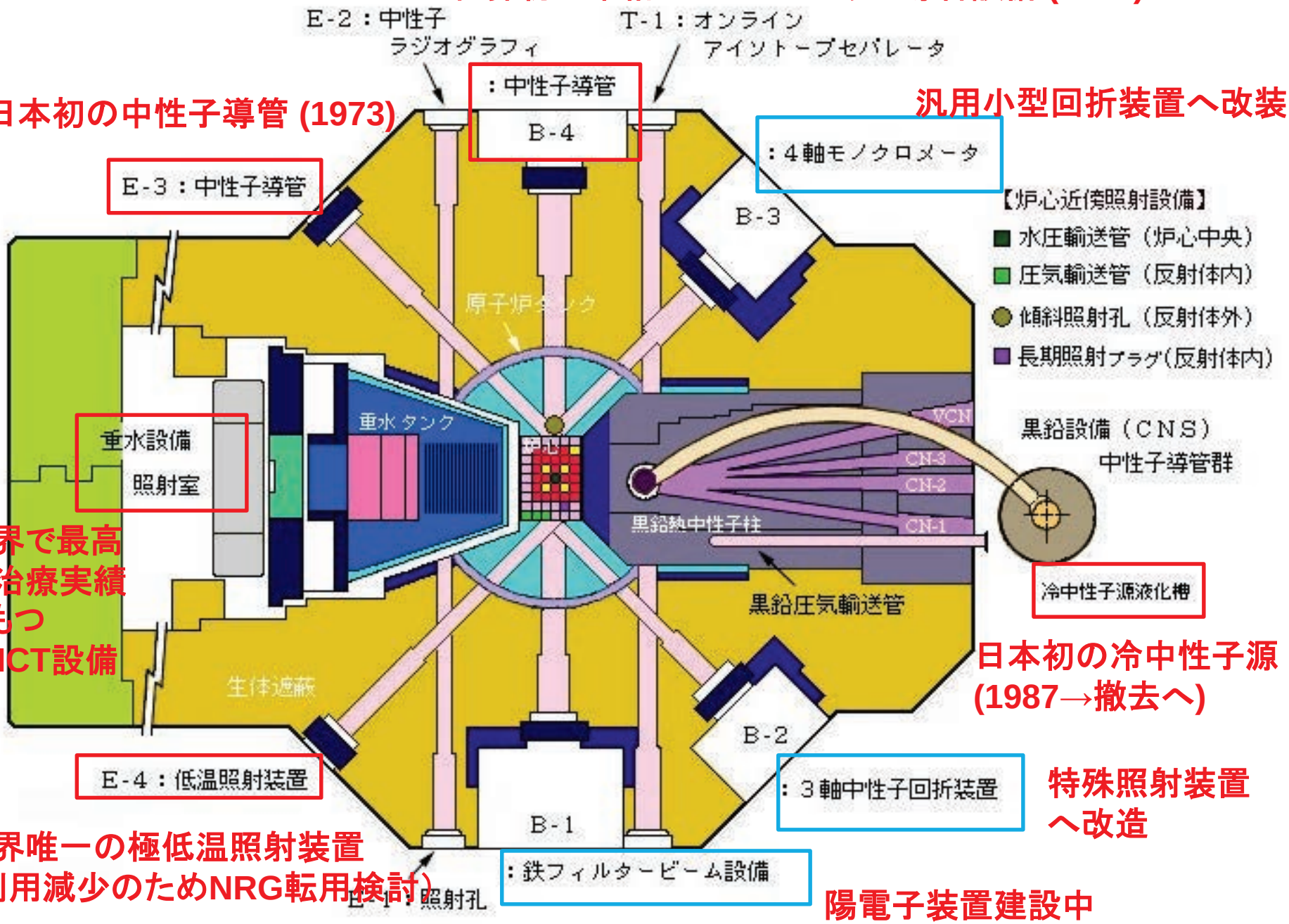
- 中期的：KUR/HLの積極活用 →できるだけ長く使いたい
- 長期的：KUR後の検討　→
  加速器駆動未臨界炉による中性子源
  KURの長期稼働についても検討
  FFAG増強によるパルス中性子源の可能性

- 中長期的：中性子源を確保して積極活用

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)

汎用小型回折装置へ改装



世界で最高の治療実績をもつBNCT設備

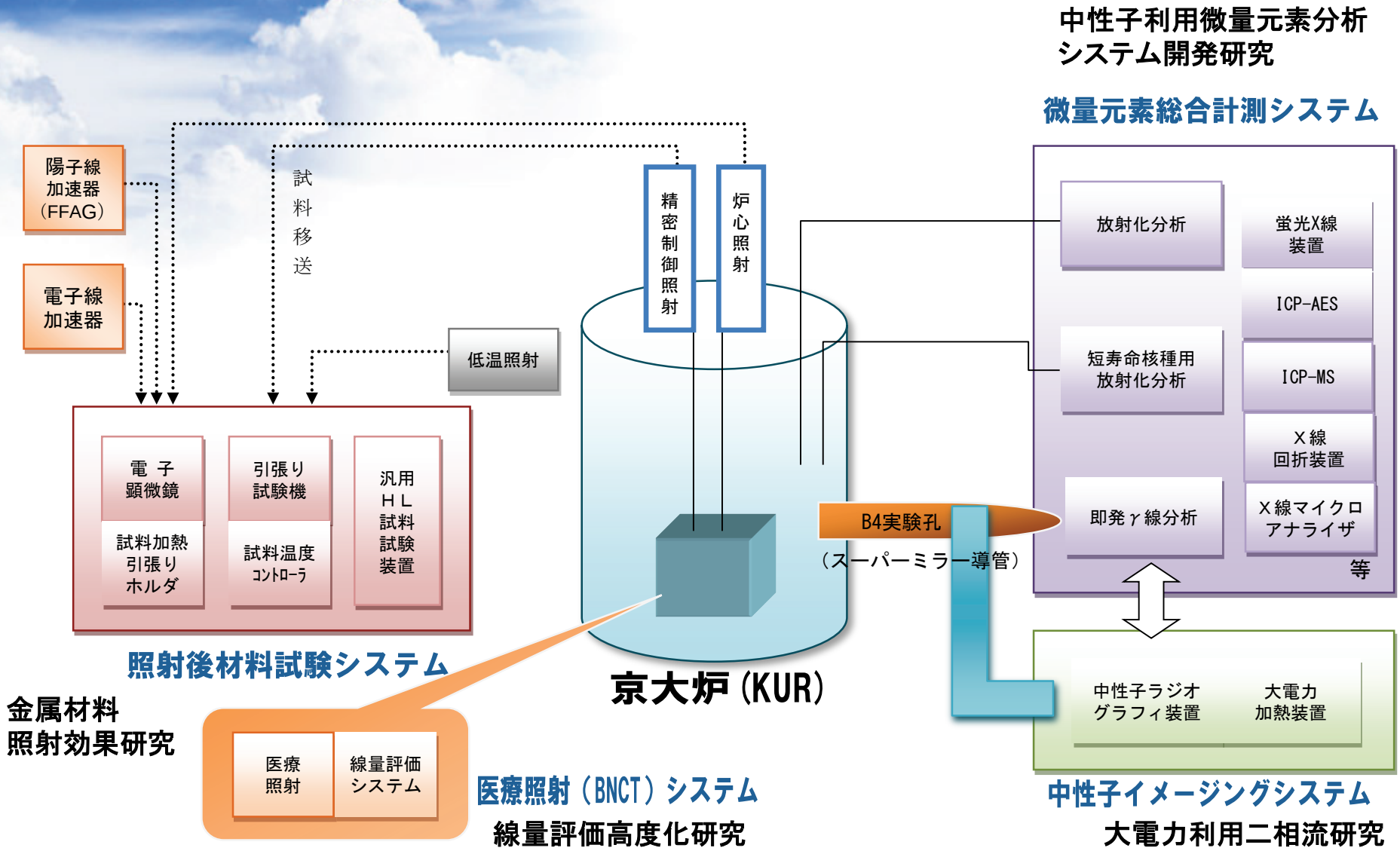
日本初の冷中性子源 (1987→撤去へ)

特殊照射装置へ改造

世界唯一の極低温照射装置
（利用減少のためNRG転用検討）

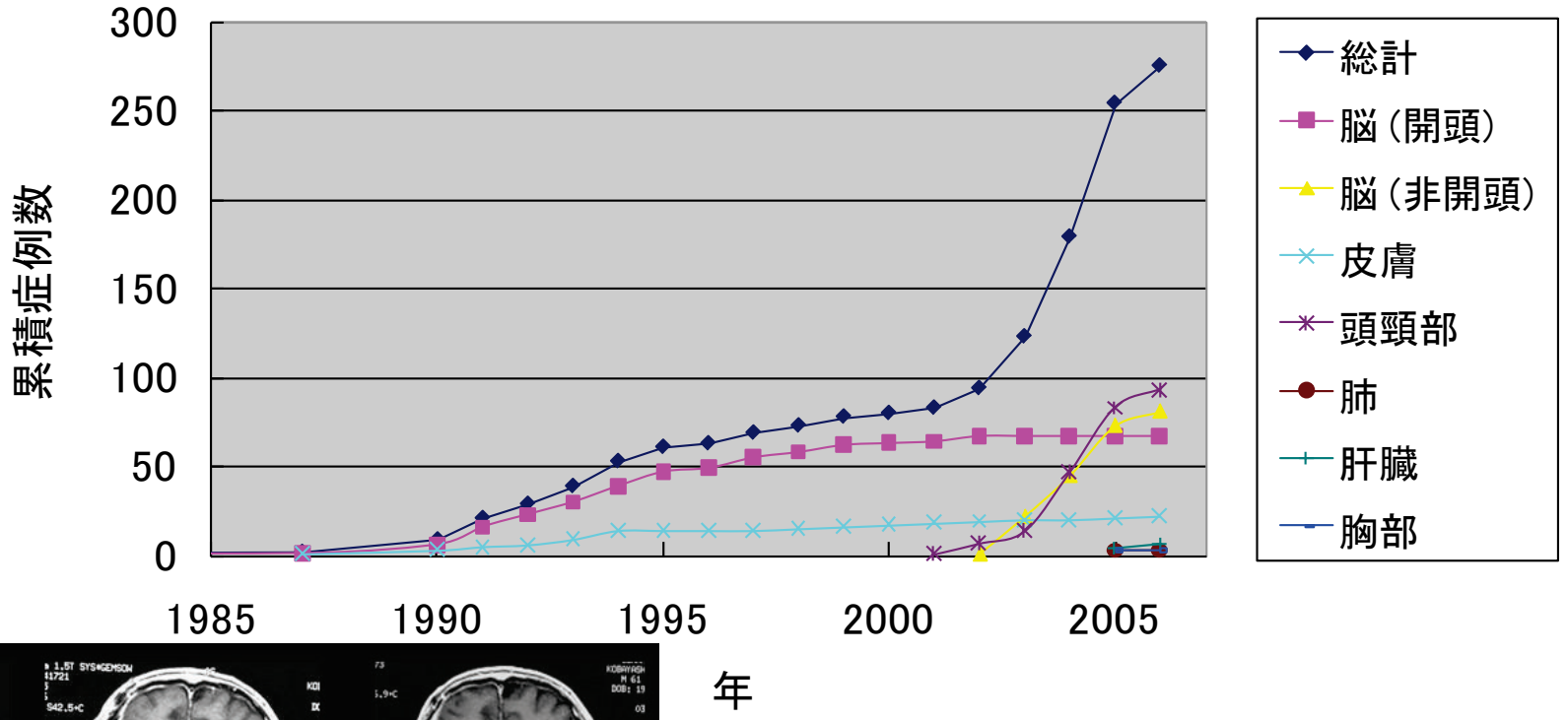
陽電子装置建設中

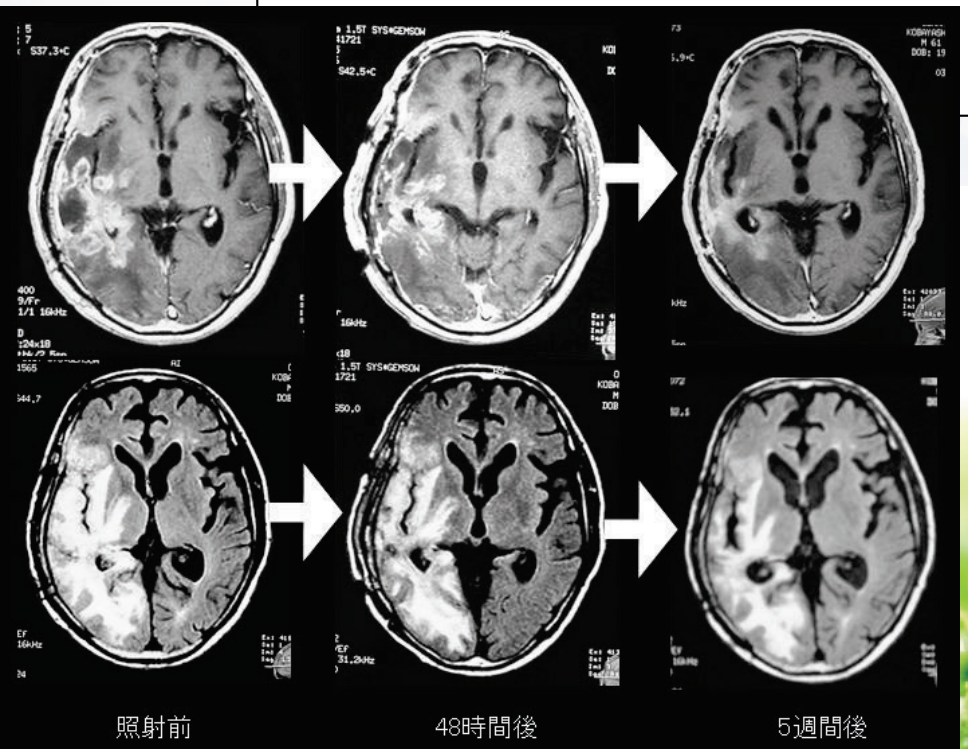
京大炉（KUR）及びホットラボの利用高度化例



世界のBNCT施設

R2-0スウェーデン研究炉（2001～2005）52例
FiR-1フィンランド研究炉（1991～）300例
チェコ研究炉（2000～）2例
LVR-15
HFRPペッテン研究炉（1997～）22例
イタリア研究炉（2002～）2例
JRR-4
日本原子力研究開発機構（107例）
KUR
京都大学原子炉（511＋53例）
BMRR
ブルックヘブン医学研究炉（1951～1961、1994～1999）99例
MITR
マサチューセッツ工科大学（1959～1961、1994～1999）42例
アルゼンチン研究炉（2003～）7例
ロシア
カナダ
アメリカ合衆国
中国
日本
韓国
インド
オーストラリア
北太平洋
南太平洋
インド洋
北大西洋
南大西洋
ブラジル

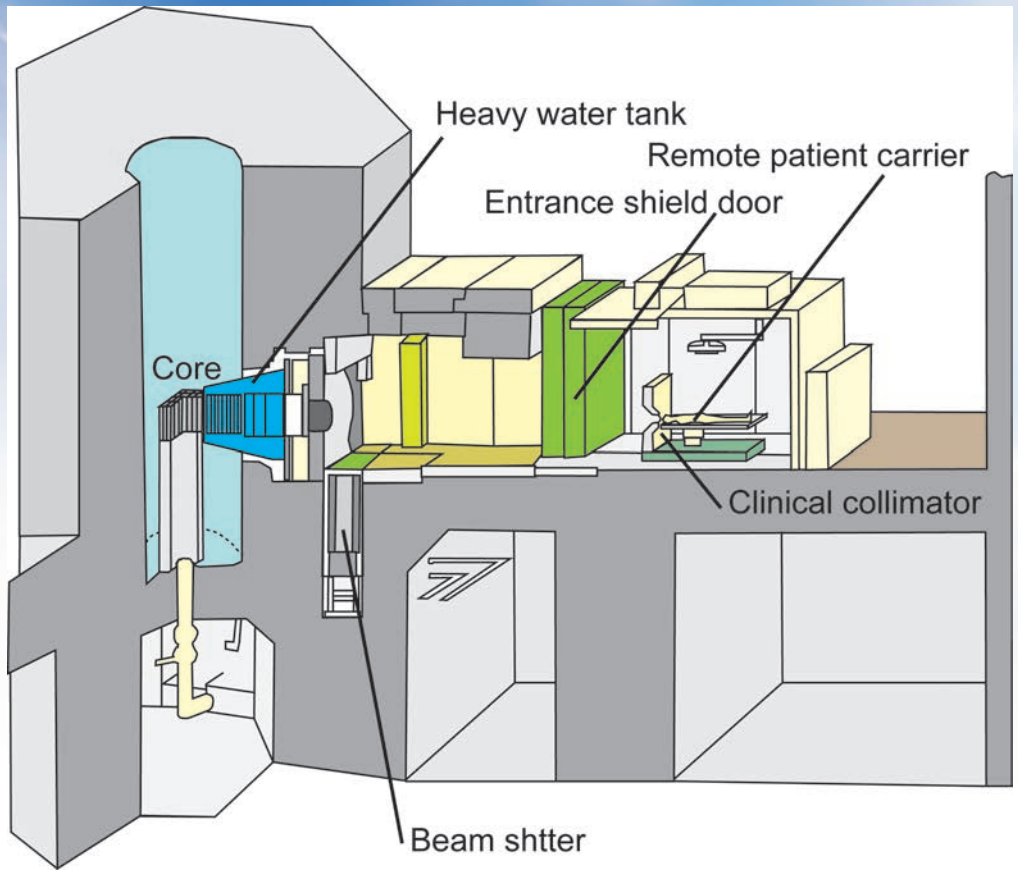


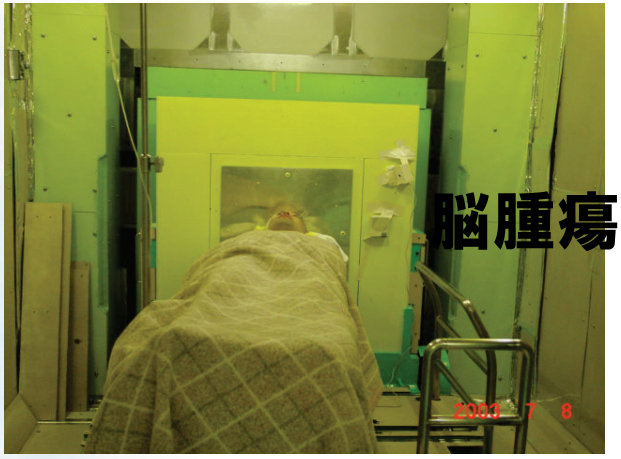


重水中性子照射設備における BNCT臨床の累計

脳腫瘍に対するBNCT後の経過

KUR重水設備





脳腫瘍

頭頸部癌、脳腫瘍

物理学、工学、生物学、薬学、医学分野で利用

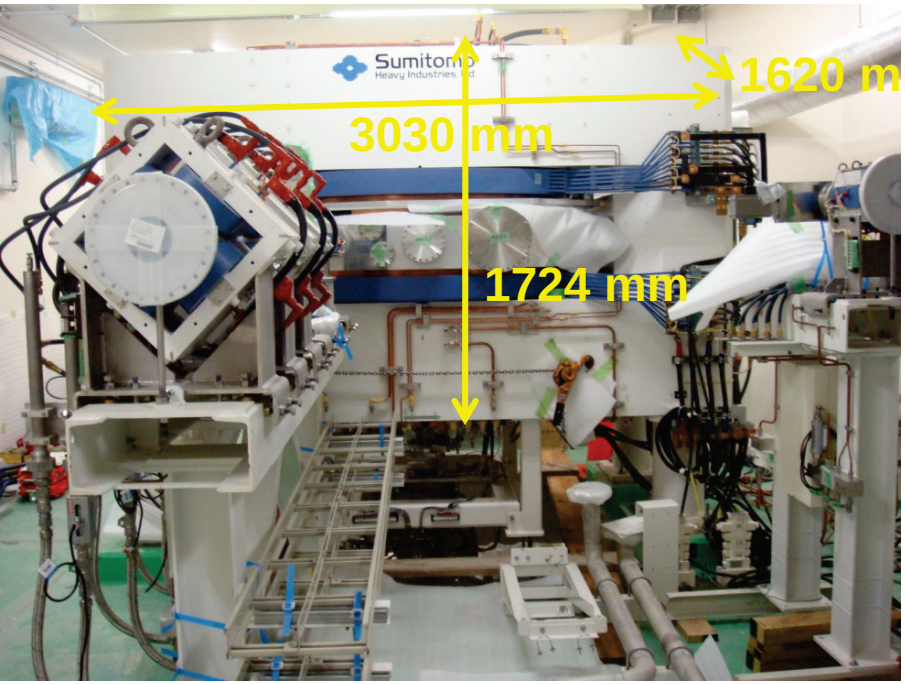
レール照射装置及び試料輸送台車を用いた照射

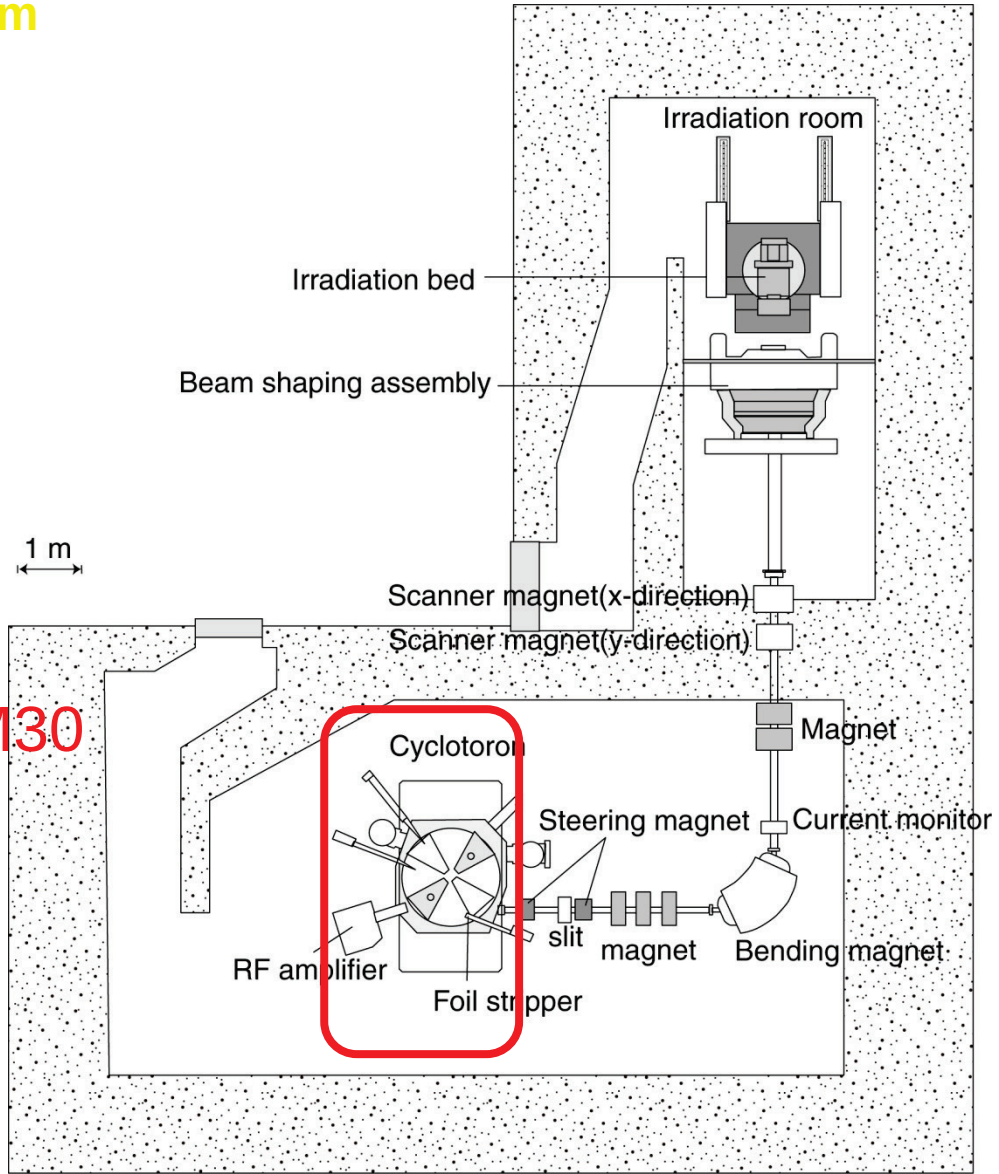
BNCT医療照射における医療用コリメータ：有効照射野直径30cm

加速器BNCT施設

Cyclotron Based epi-thermal Neutron Source(CBNS)

治験が順調に進展中





Sumitomo Heavy Industries:HM30

Accelerated particle :

negative hydrogen ion(-H)

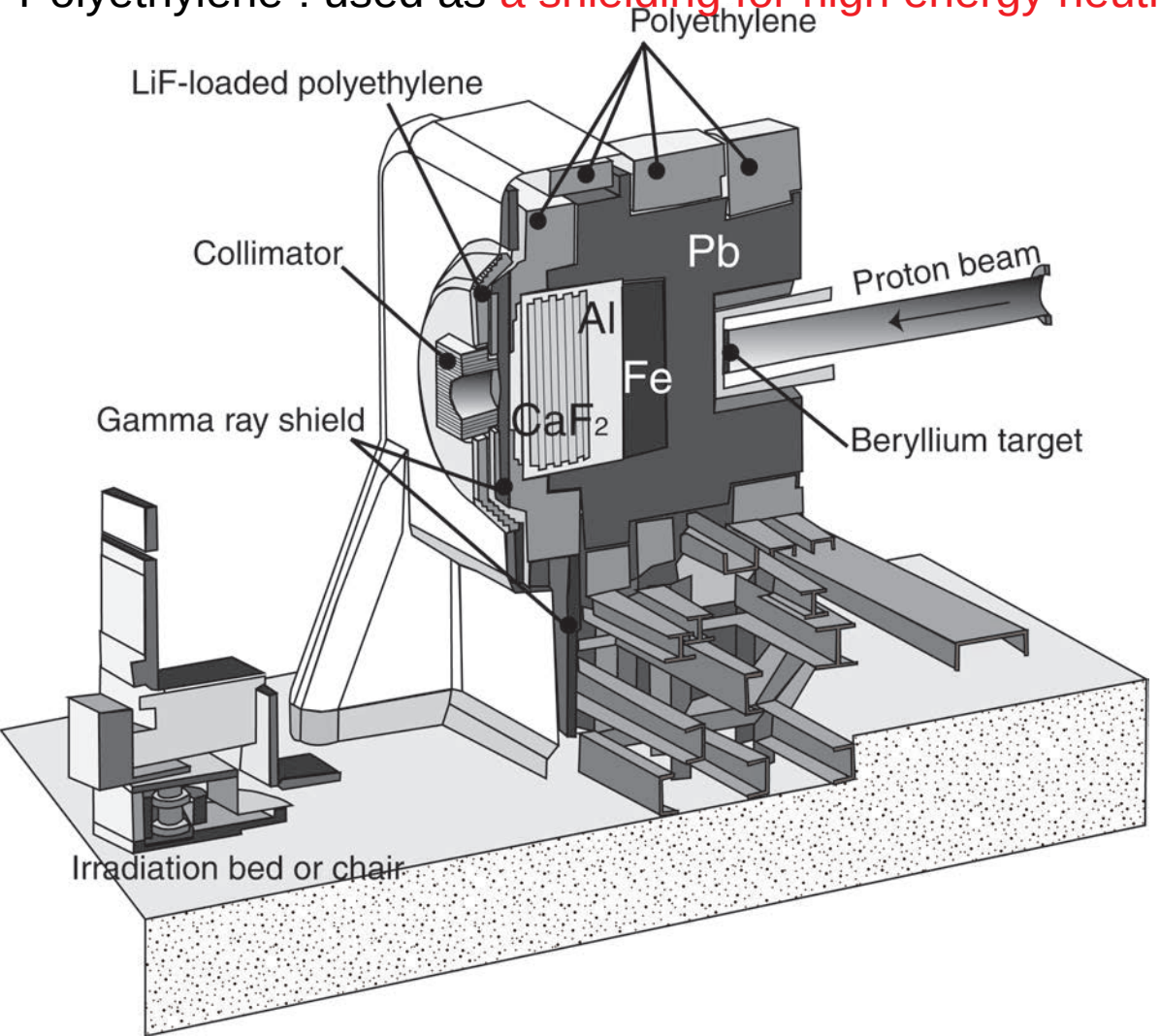
Maximum Energy:30MeV

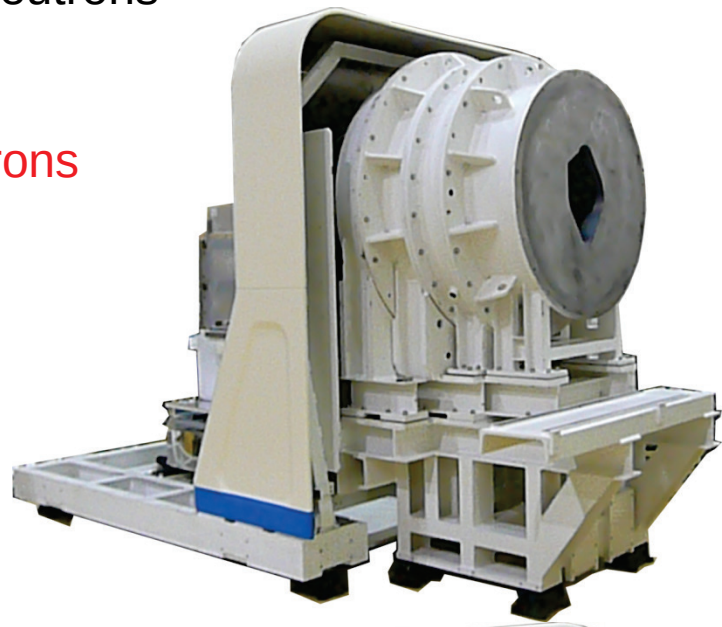
Maximum beam current: 2mA

Maximum power : 60kW

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





地元・熊取町との良好な関係の構築

熊取町
第3次総合計画
2008年~2017年

みんなが主役
「やすらぎと健康文化のまち」

<概要版>

みんなが主役　「やすらぎと健康文化のまち」の実現にむけて

【ごあいさつ】

熊取町の今後のまちづくりの指針となる「第３次総合計画」ができあがりました。

私たちがめざす新たなまちの将来像は**みんなが主役「やすらぎと健康文化のまち」**です。

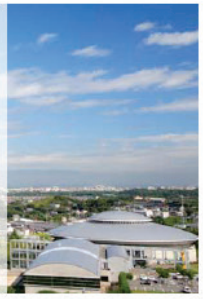
この計画の策定にも、さまざまな機会を通じて多くの住民のみなさんに参画していただいたように、住民参加による**協働のまちづくり**を進めます。

地方自治体を取り巻く財政状況は、今後も厳しさを増すものと思われますが、行政はもとより、住民、コミュニティ組織、大学など、本町に広がる豊かな**みんなのちからで**、くまとりらしさあふれる**未来輝くまちづくり**を展開したいと思います。

みなさんのご理解とご協力をお願いいたします。

平成21年3月

熊取町長　中西 誠



【みんなが「主役」となって活動する拠点】

【活動拠点】 1
協働のまちづくりの拠点

町役場周辺から国道170号と都市計画道路泉州山手線（計画）の交差にかけての地区であり、各種の行政サービスが充実し、安全・安心や健康増進などのさまざまなまちづくりを、その主役となる住民が協働して進めていく、各拠点の中で最も中核となる拠点。

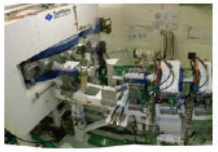
【活動拠点】 2
出会いとにぎわいの拠点

町の玄関口となるJR熊取駅前周辺の地区であり、商業・サービス業などの集積を促進し、魅力的な都市空間形成の核となる快適で生活利便性の高い拠点。

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



安全・安心
生涯学習
健康づくり
産業振興
スポーツ振興
熊取アトムサイエンスパーク構想の推進
消防・救急
都市基盤
学校での施策
交通安全
保健・福祉・医療
人権推進
情報管理

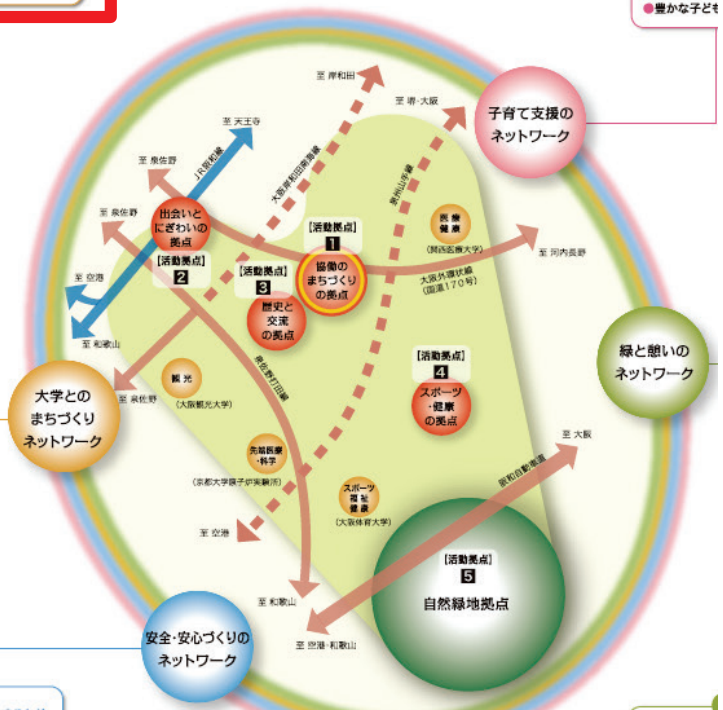
安全・安心づくりのネットワーク

子どもや高齢者を犯罪から守るとともに、非常時における危機管理体制を確立するなど、安全で安心して暮らせるまちづくりをめざし、住民と行政が連携して地域全体で防犯や防災に取り組んでいくネットワーク。

- 自主防犯活動への支援、地域安全パトロールや子ども見守り活動の展開
- 地域福祉活動との連携など、地域が一体となった防災対策の充実
- 自主防災組織の育成・支援、消防施設・資機材などの整備

【まちづくりのイメージ図】

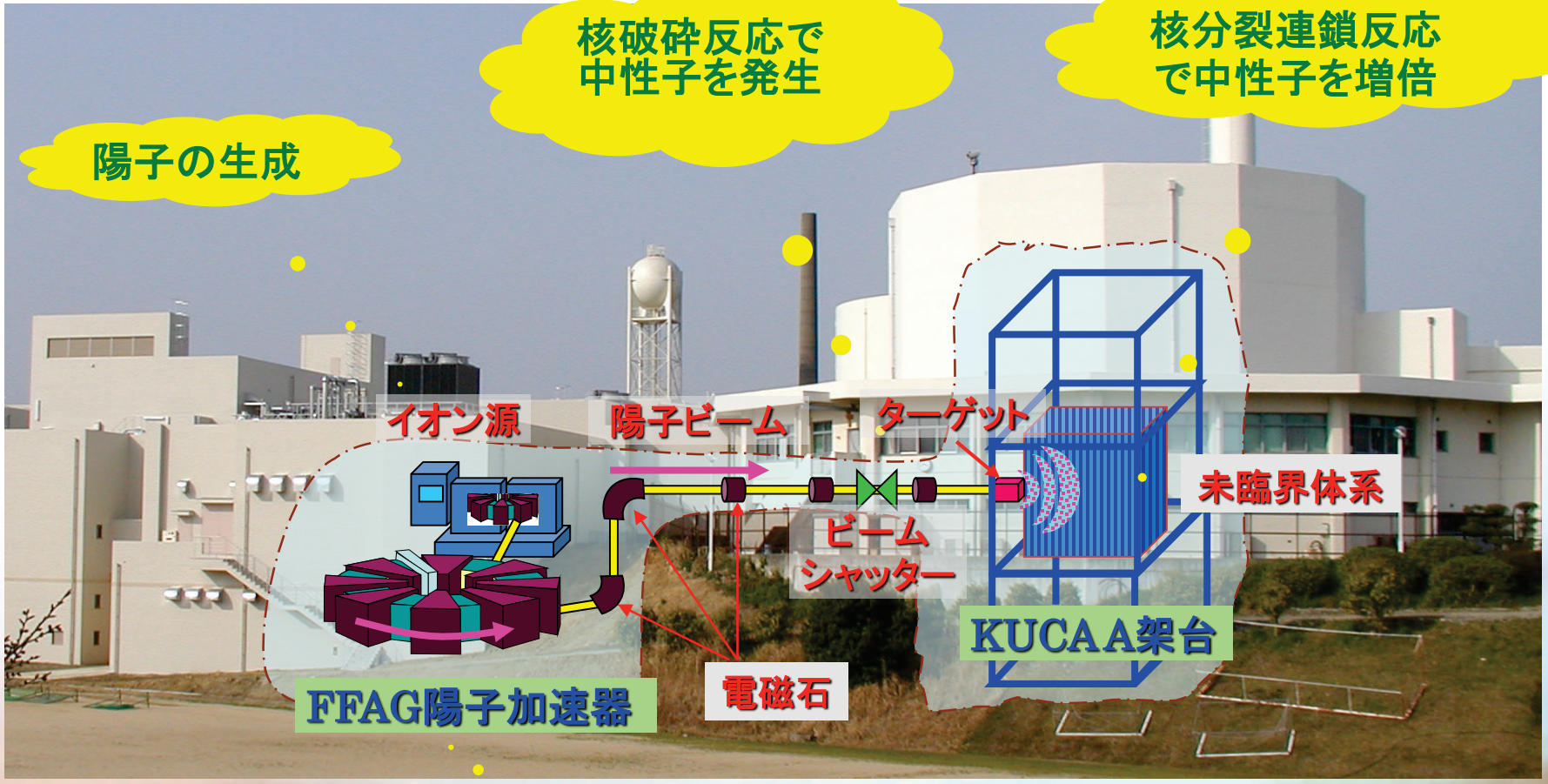
将来像の実現に向け、町の特性や各施設が持つ機能を十分に生かしつつ、下図の各拠点やネットワークを中心に特色あるソフト施策を積極的に展開しながら、みんなが主役となって活動し、まちの個性をさらに輝かせる持続可能なまちづくりをめざします。



熊取ふれあいセ
支援のネットワ
●子育てボラン
●子ども相談セ
●豊かな子ども

住民自らが自然
緑にふれること
ワーク。
●やすらぎと癒
●住民などと行

KUCA-FFAG結合実験のイメージ図

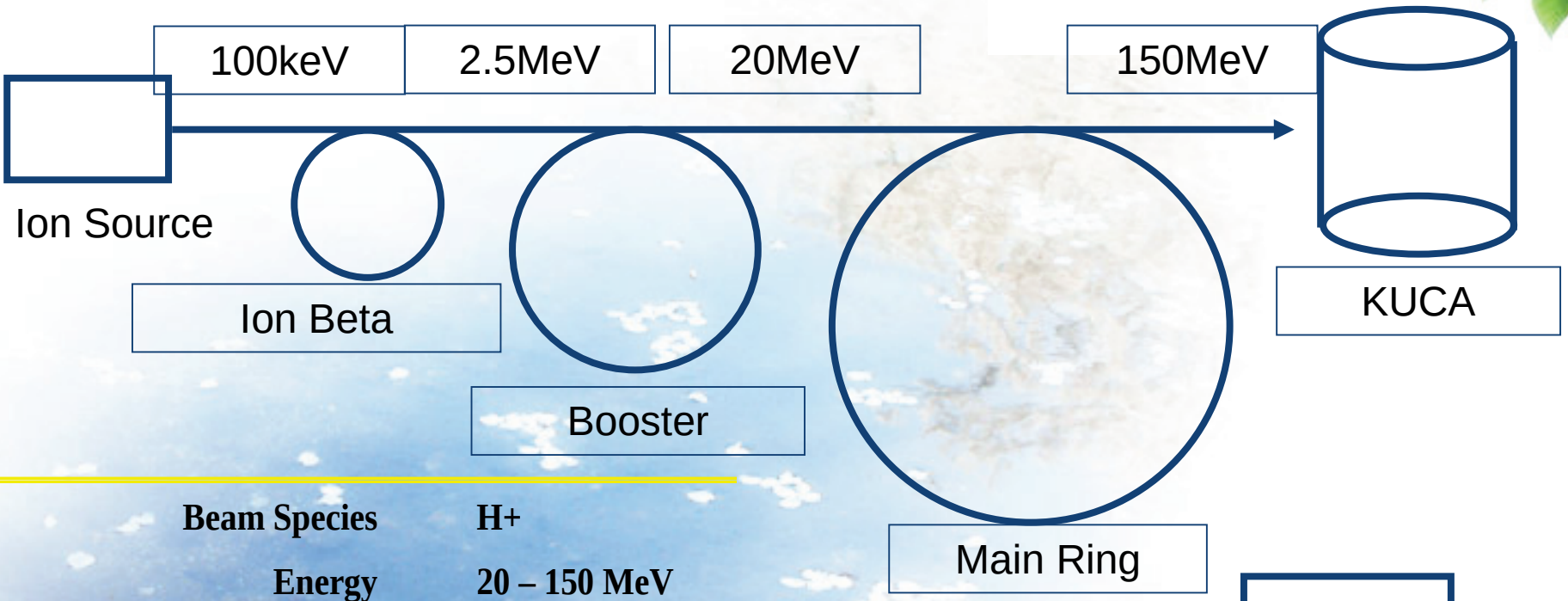


陽子を 100 MeVまで加速

2009年2月から実験開始

Configuration of FFAG Accelerator Complex

Fixed Field Alternating Gradient (FFAG) Accelerator



Beam Species	**H+**
Energy	**20 – 150 MeV**
Average Beam Current	**1μA**
Pulse Repetition Rate	**120Hz**

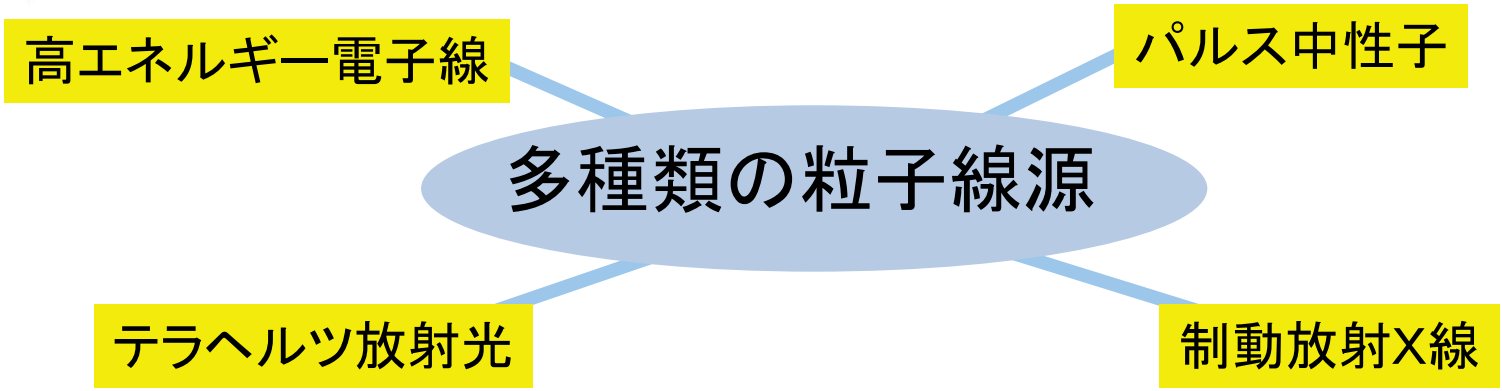
150MeV
1μA
120Hz

（目標）

Present Status of FFAG Accelerator Complex

その他の主要装置：電子線加速器

汎用量子ビーム生成装置として（北大Linacと同規模）

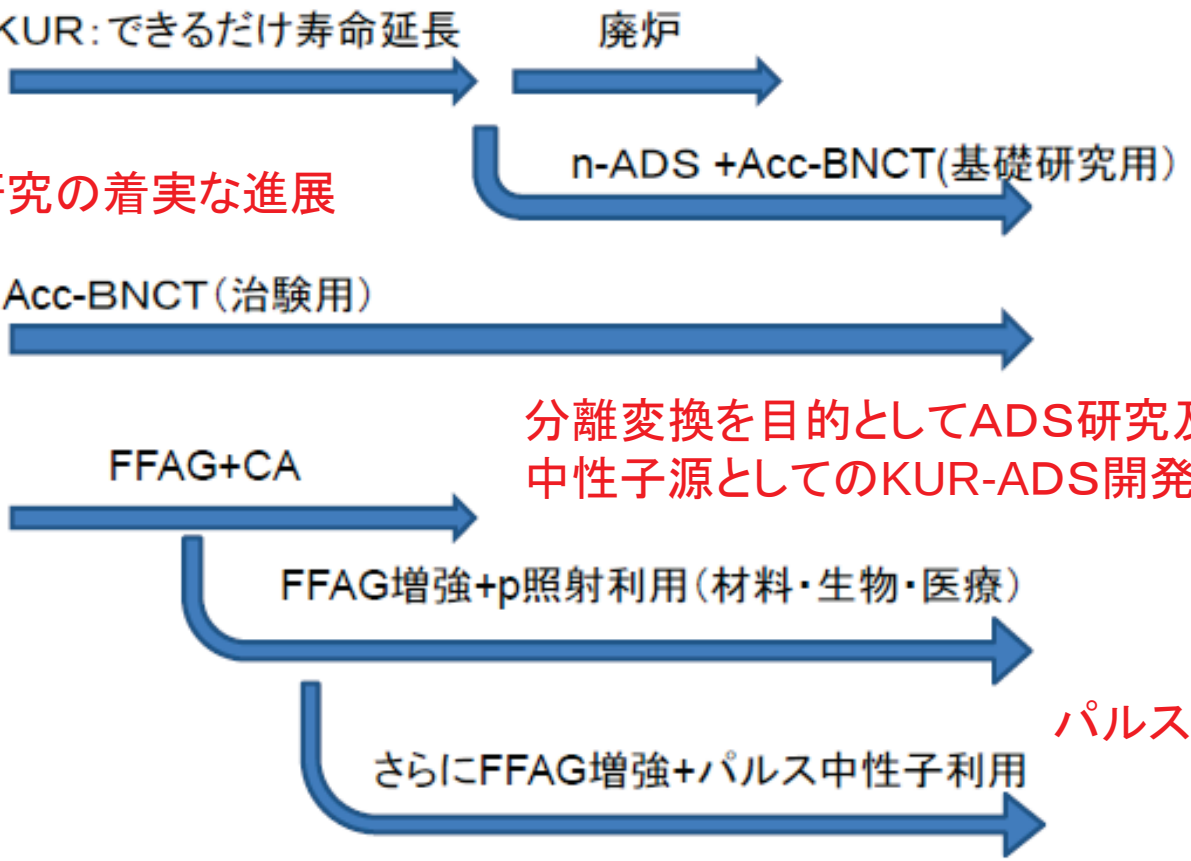


・平均電流200μAは国内**最大級**　・**核燃使用可**

	Long Pulse モード	Short Pulse モード
エネルギー	46 MeV（無負荷）、30 MeV（最高負荷）	
ビームパワー	最高 6 kW（公称 10 kW）	
パルス幅	0.1 ～ 4μs	2 ns ～ 100 ns Single Bunch
パルス繰り返し	Single, 1～100 Hz	Single, 1～300 Hz
ビーム電流	500 mA	6 A

予想される大型施設の今後

KUR利用研究活性化



BNCT研究の着実な進展

分離変換を目的としてADS研究及び
中性子源としてのKUR-ADS開発

パルス中性子源開発

電子線形加速器・ガンマ線照射装置・HL：上記大型装置の補完と位置づけ

次世代研究用中性子源の開発

中性子源としてのADS

中規模中性子源

中小型研究炉の老朽化 → この世界的問題に対する我々の回答を提示したい

（1）研究に役立つ

研究者の要望を先取りする先進的中性子照射装置

他ではできない中性子照射研究環境の実現

十分な中性子束：世界最高の（利用中性子束/出力）比

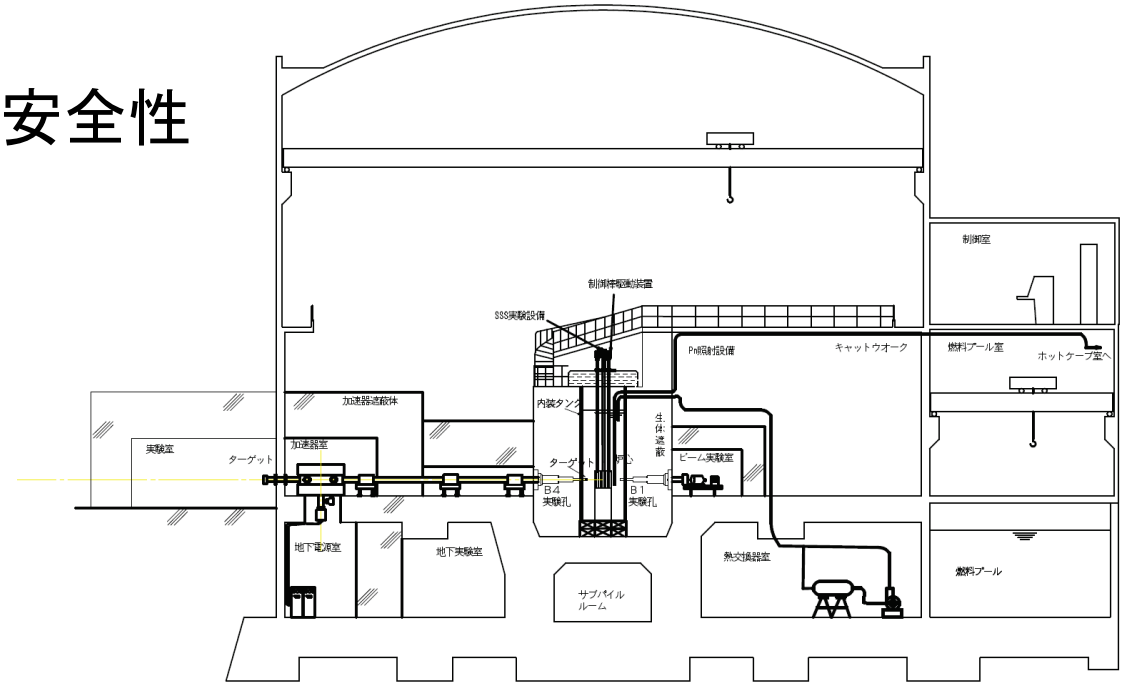
（2）高度な安全性

核的安全性と熱的安全性

（3）適正規模の経済性

燃料問題

旧炉の廃止措置



中性子源としてのADS

1）高度な安全設計

未臨界体系　→　核的安全性　：核暴走は原理的にあり得ない
低熱出力　　→　熱的安全性　：全電源喪失対応（自然対流冷却）

2）研究に求められる利用性能

安全な未臨界炉心利用による従来の制限を超えた高機能中性子照射装置
　試料核種・形態・サイズ等の制限縮小、短寿命核種対応（迅速取出）、
　照射中試料環境の制御、照射場におけるin situ 測定
研究要望に答えつつ、大学に相応しい規模の実用的中規模中性子源
　照射性能：KUR　1MW相当
世界最高の（利用中性子束/出力）比を持った中性子照射場

3）燃料再処理への対応

動力炉と同一燃料を使用　→　技術的には国内の燃料再処理施設で対応可能
出力低減による燃料消費及び使用済燃料発生の低減

4）KURの廃炉措置との統合的解決

5）ADS駆動用陽子加速器による固体ターゲット中性子源併設

現存するサイクロベースBNCT装置（治験用）と同等
BNCT基礎研究に利用可（現在の装置は治験専用）
ADS停止時（建設時）における代替中性子照射場として利用

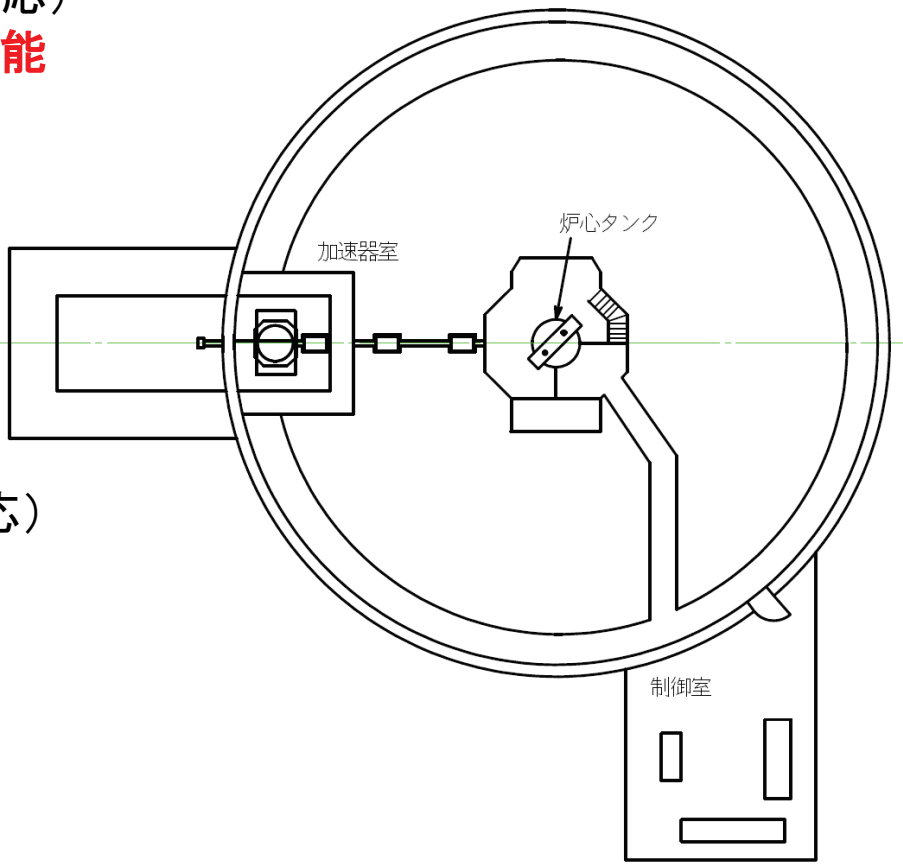
利用設備（基本的役割はKUR代替：ビーム利用はFFAG利用によるパルス中性子源へ）

熱中性子利用
1）圧気輸送管（3本以上）：NAA、RI製造（メスバウアー、トレーサー等）
　→ **現在のKURで利用頻度の高い装置：より使いやすく**
2）Hot Chemistry・液体放射化分析用液体照射施設
3）照射中材料環境制御・計測機能付き大口径照射孔
　→ **現在の挑戦（B2実験孔改造）をさらに発展させ、新しい領域へ**
4）迅速取出機能付き照射装置（短寿命核種対応）
　→ **未臨界度の高い炉心で初めて実施可能**
5）陽電子発生

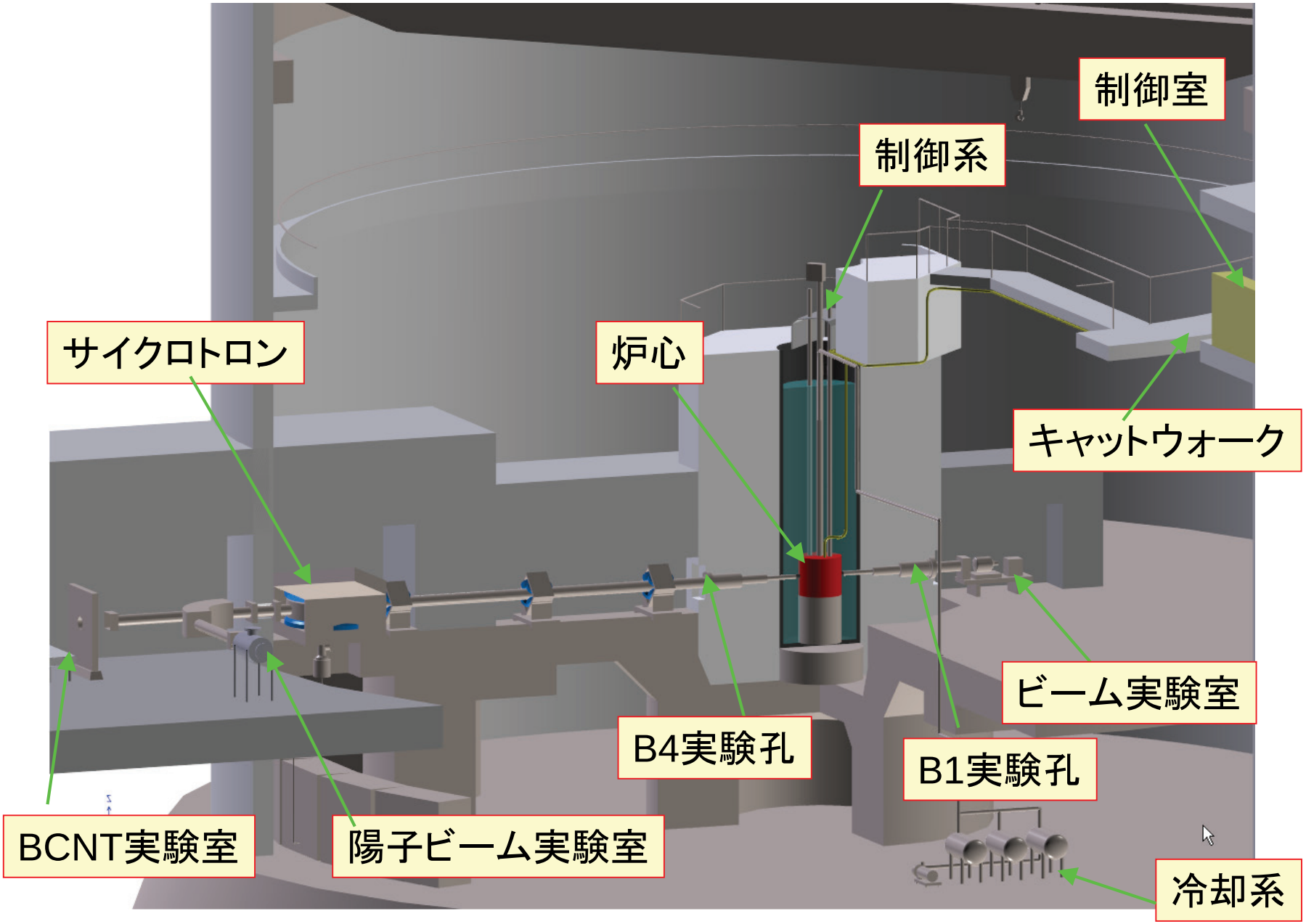
高速中性子利用
6）高速中性子照射（材料照射）

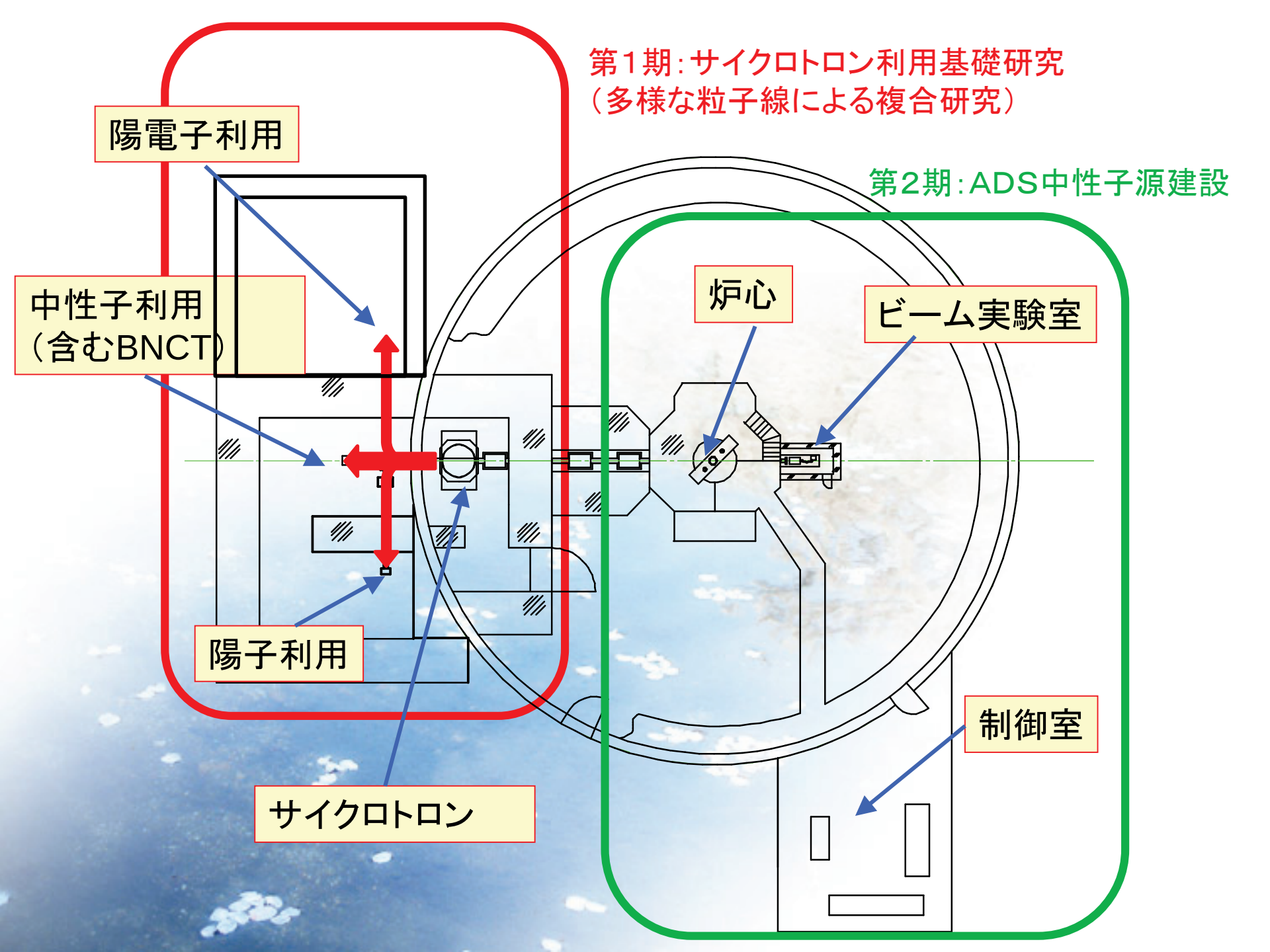
ビーム利用
7）中性子イメージング
7）汎用水平実験孔（将来の新しいアイデア対応）

固体ターゲット中性子源
1）BNCT基礎研究
2）ADS停止・建設時の代替中性子源
3）陽子直接利用

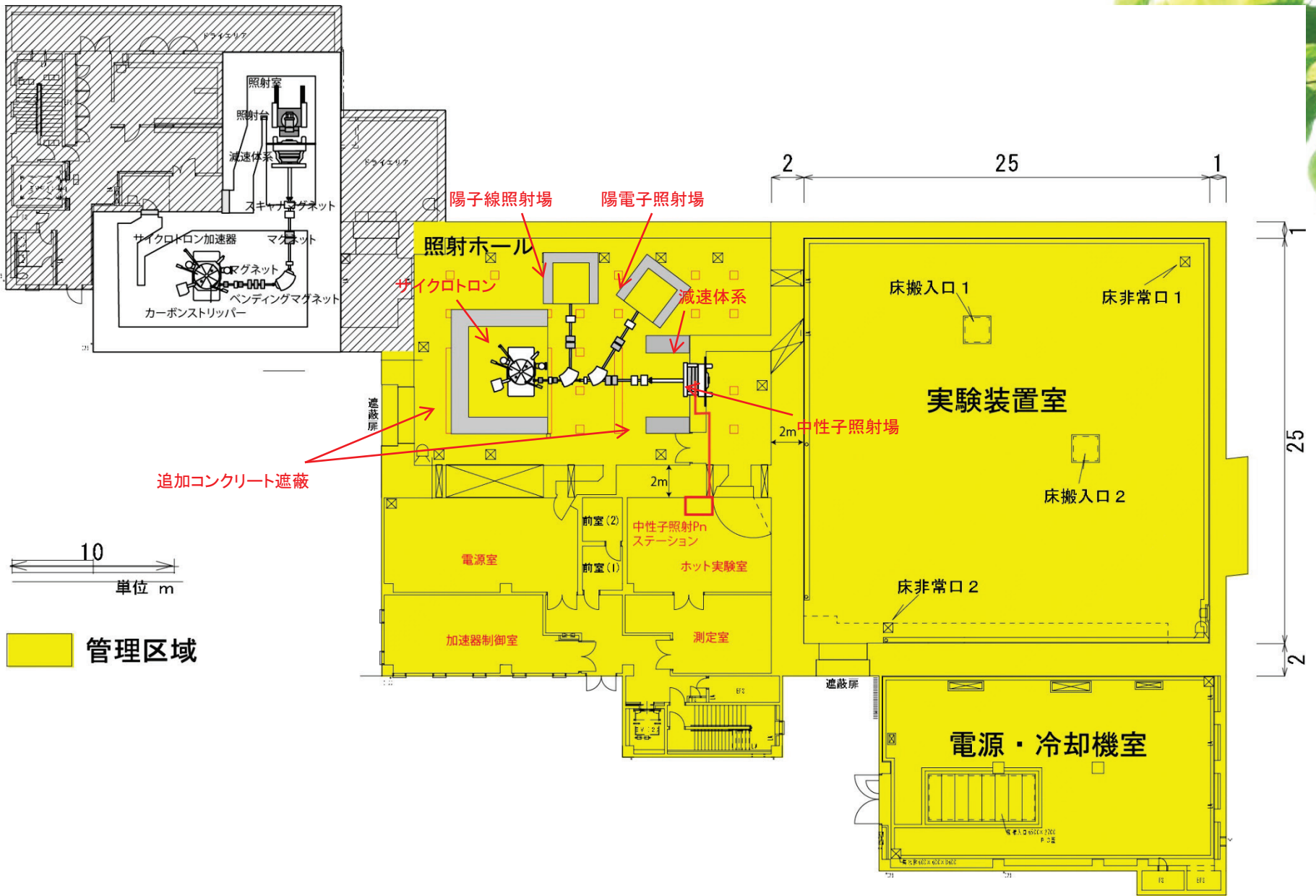


陽子ビーム入射方向を上方入射に再検討中

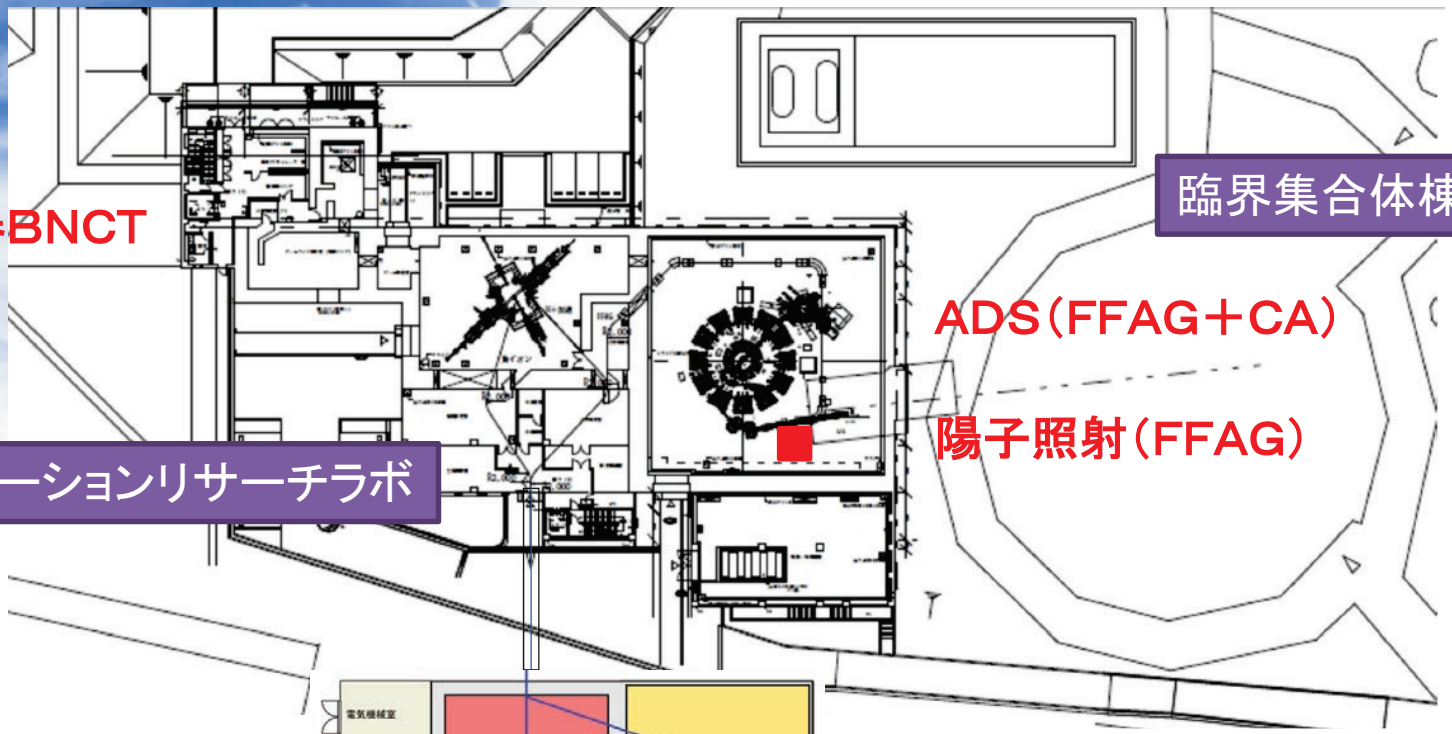


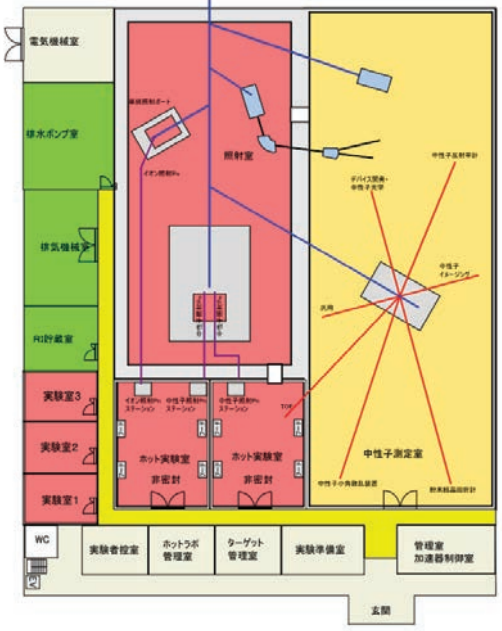

第1期：サイクロトロン利用基礎研究
（多様な粒子線による複合研究）
第2期：ADS中性子源建設
陽電子利用
中性子利用
（含むBNCT）
陽子利用
サイクロトロン
炉心
ビーム実験室
制御室

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



加速器利用による新パルス中性子源の提案



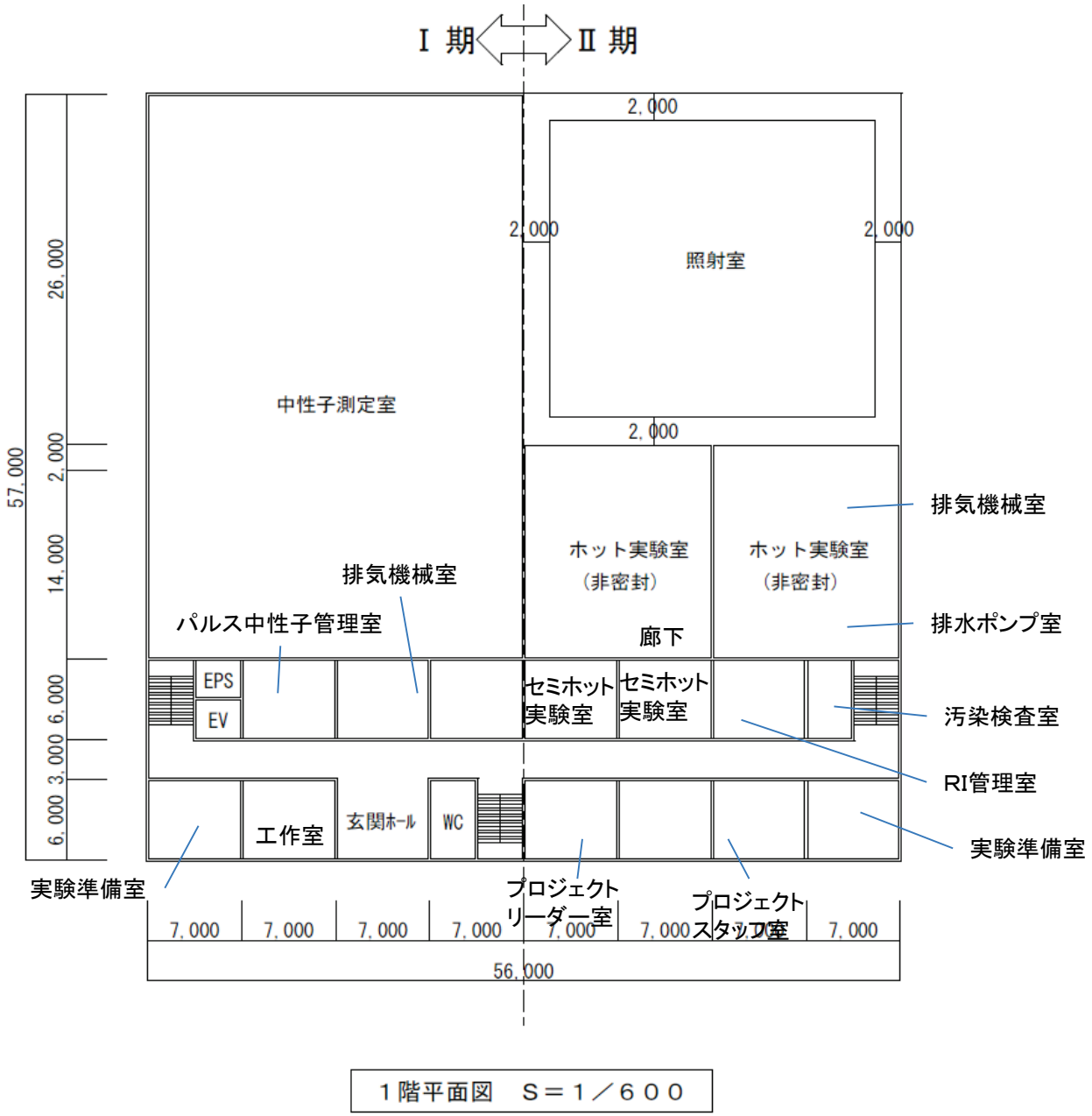


FFAG開発が順調な場合

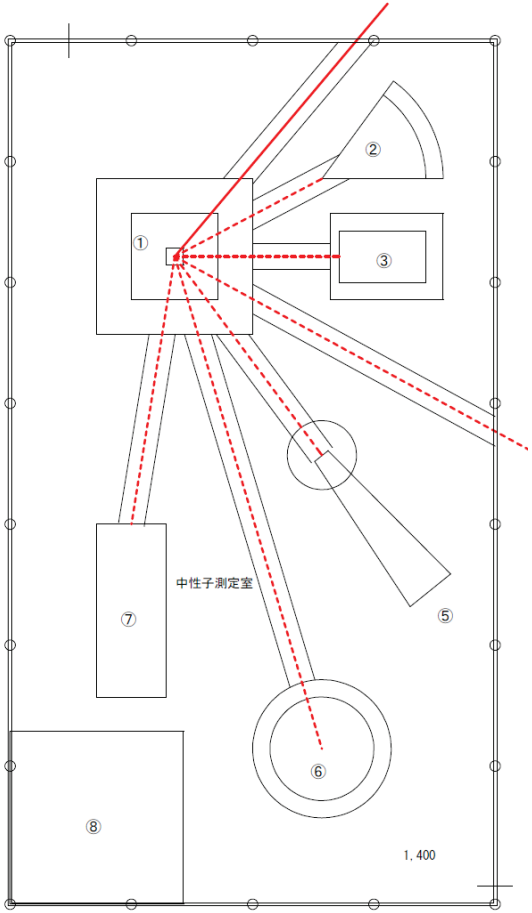
現在は、提案できるほどの開発レベルに到っていない

中規模
- パルス中性子利用
- 連続中性子利用
- 陽子利用

大規模施設では実施が難しい特徴的研究、萌芽的研究、教育への展開
特に、核燃料物質の利用



1階平面図　S＝1／600

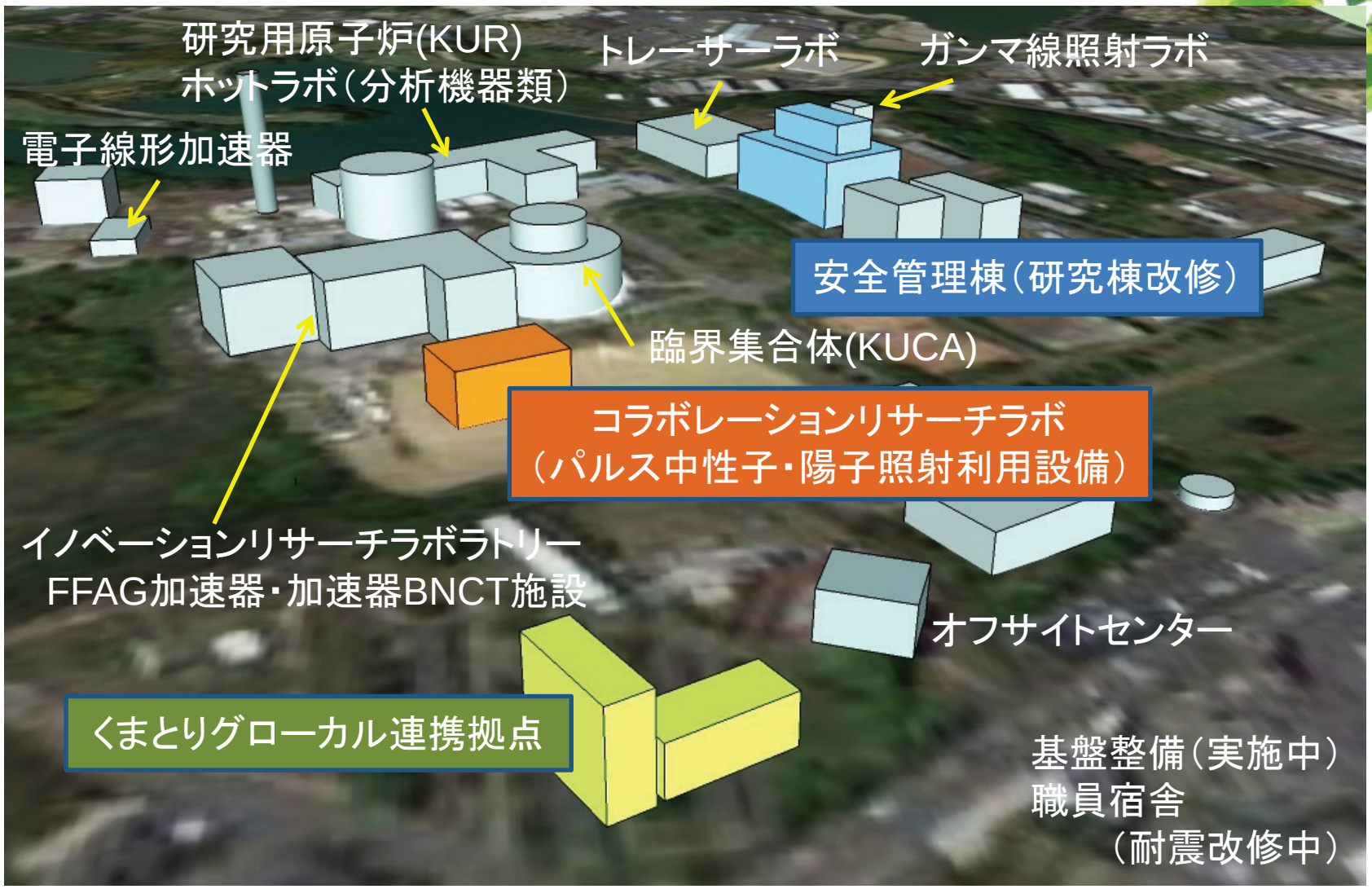


（1）中性子ターゲットステーション
（2）反射率計、（3）イメージング装置、（4）nTOF、（5）小角散乱装置、（6）粉末結晶回折計、（7）中性子光学デバイス開発、（8）メンテナンススペース

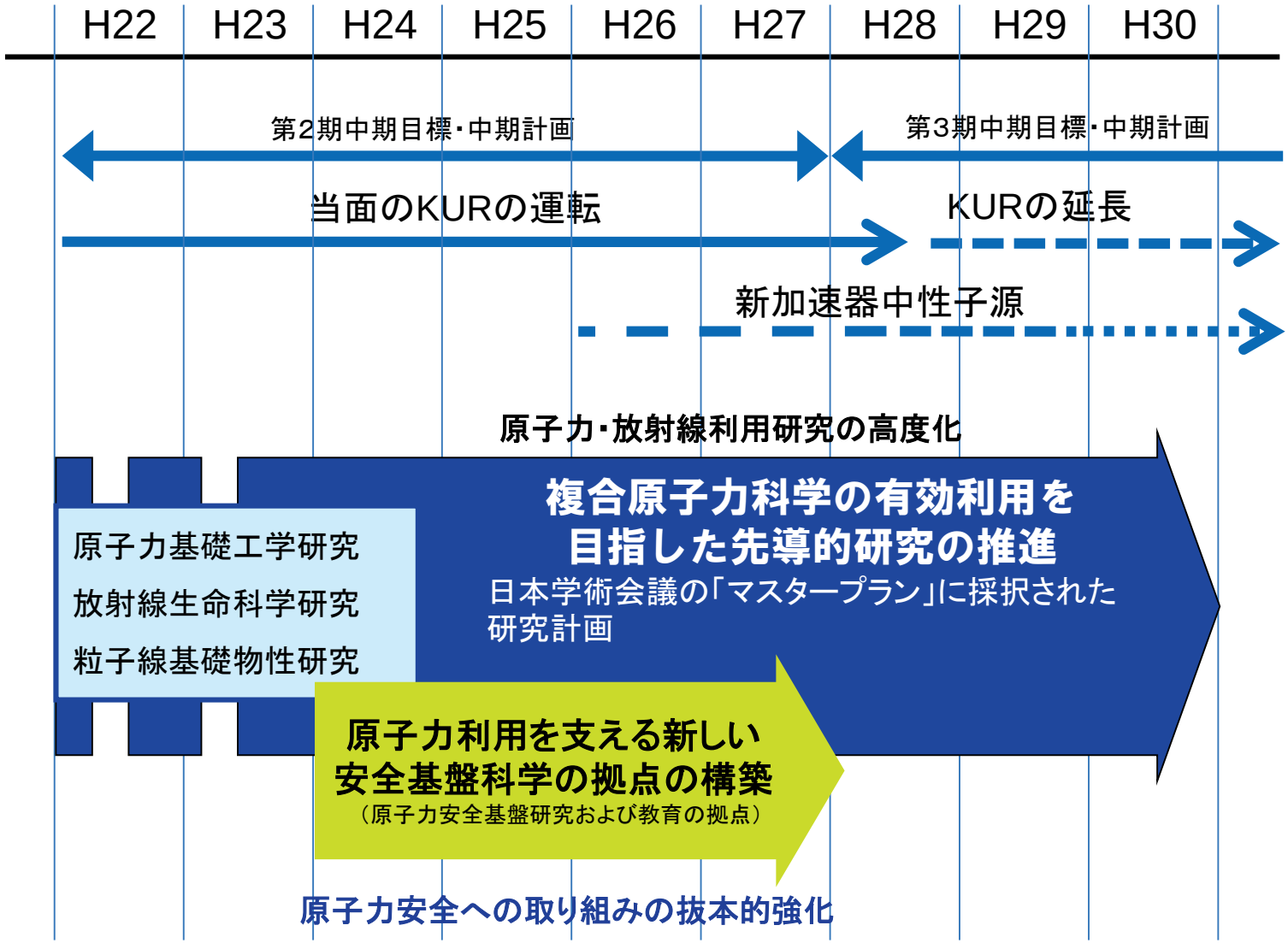
－地域に根ざし、世界に広がる科学の郷－

くまとりサイエンスパーク構想

アトムサイエンスコンソーシアムの形成



京都大学原子炉実験所将来計画との関係



まとめ

- 「複合原子力科学の推進」の実施
  KUR及び加速器の利用、原子力研究・教育
  「学術の基盤を支える」

- 融合分野の創出：BNCTの更なる発展。ADS研究の総合工学的発展。新しい研究ピークの創出。

- 中長期的大型施設計画としては、連続中性子源としてのADS。さらにFFAG利用としてのパルス中性子源も考えてゆきたい。

最後に

「提言発電以外の原子力利用の将来のあり方について」

（日本学術会議・原子力利用の将来像についての検討会・原子力学の将来検討分科会　平成26年）:

(4) 研究用原子炉（研究炉）と加速器ベース中性子ビーム施設の役割分担

- 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。しかしながら、定常ビームであることを必須とする実験や照射応用など、原子炉からの中性子の特徴が活きる分野もあることや、研究炉には原子力関連人材育成の場としての機能もあることから、適正規模の研究炉施設を維持・運営することが望まれる。既存の研究炉の高経年化の現状を踏まえ、国及び研究者は研究炉の将来のあり方の検討を急ぐべきである。その際に、より安全性の高い方式の原子炉への転換の検討もなされるべきである。

- **京大炉とJAEA，さらには中性子科学会を中心とするユーザーによる、全日本としてADS中性子源の検討を進めませんか。**