

研究用原子炉のあり方について

日本学術会議

基礎医学委員会・総合工学委員会合同

放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会

研究用原子炉のあり方検討小委員会

内容

- 経緯
- 社会と原子力
- 研究用原子炉の必要性
- 現状と課題
- まとめ

研究用原子炉のあり方検討小委員会:

柴田徳思(委員長、元JAEA)、竹田敏一(副委員長、福井大学)、石橋健二(九州大学)、上坂 充(東京大学)、海老原 充(首都大学東京)、小野公二(京都大学)、勝村庸介(東京大学)、唐木英明(倉敷芸術科学大学)、河村 弘(幹事、JAEA)、鬼柳善明(北海道大学)、四竈樹男(東北大学)、柴山充弘(東京大学)、中西友子(東京大学)、橋本憲吾(近畿大学)、林 眞琴(茨城県)、丸尾 毅(JAEA)、三島嘉一郎(原子力安全システム研究所)、森山裕丈(幹事、京都大学)、山口 彰(大阪大学)

オブザーバ: 長尾美春(JAEA)、西村 健(関西原子力懇談会)

経緯

- 研究用原子炉（以下、研究炉という。）は、原子力・放射線関係の研究・開発、そして教育を推進する上で不可欠な基盤的研究施設として、わが国においても従来、研究機関や大学の有する研究炉がそれぞれに大きな役割を果たしてきた。利用の分野は広く、エネルギー利用に限らず産業利用を含めた科学技術研究や学術研究にわたり、それぞれの分野で一層の進展が期待されている。
- しかしながら、我が国の研究炉の状況をみれば、高経年化や使用済燃料の問題などの課題がある。世界的には新たな研究炉の建設や建設計画もあるが、日本において研究炉のような研究施設を新たに建設することは必ずしも容易ではない。したがって、わが国の研究炉のあり方については、中長期の視点から、研究機関や大学の研究者や施設管理者が一堂に会して全国的な視点からの検討が必要である。
- 加えて、平成23年3月11日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故による被害は甚大である。研究炉は、発電用原子炉の発電利用とは異なり、核分裂連鎖反応で発生した中性子を基礎から応用までの広い分野にわたって実験・研究等に利用することを目的とした原子炉である。したがって、研究炉と発電用原子炉が持つべき機能は異なるとは言え、原子炉施設としては共通する面もあり、原発事故の知見等を踏まえた安全対策等に関する更なる検討も不可欠である。
- この認識をもとに、我が国における研究炉のあり方を検討することとした。

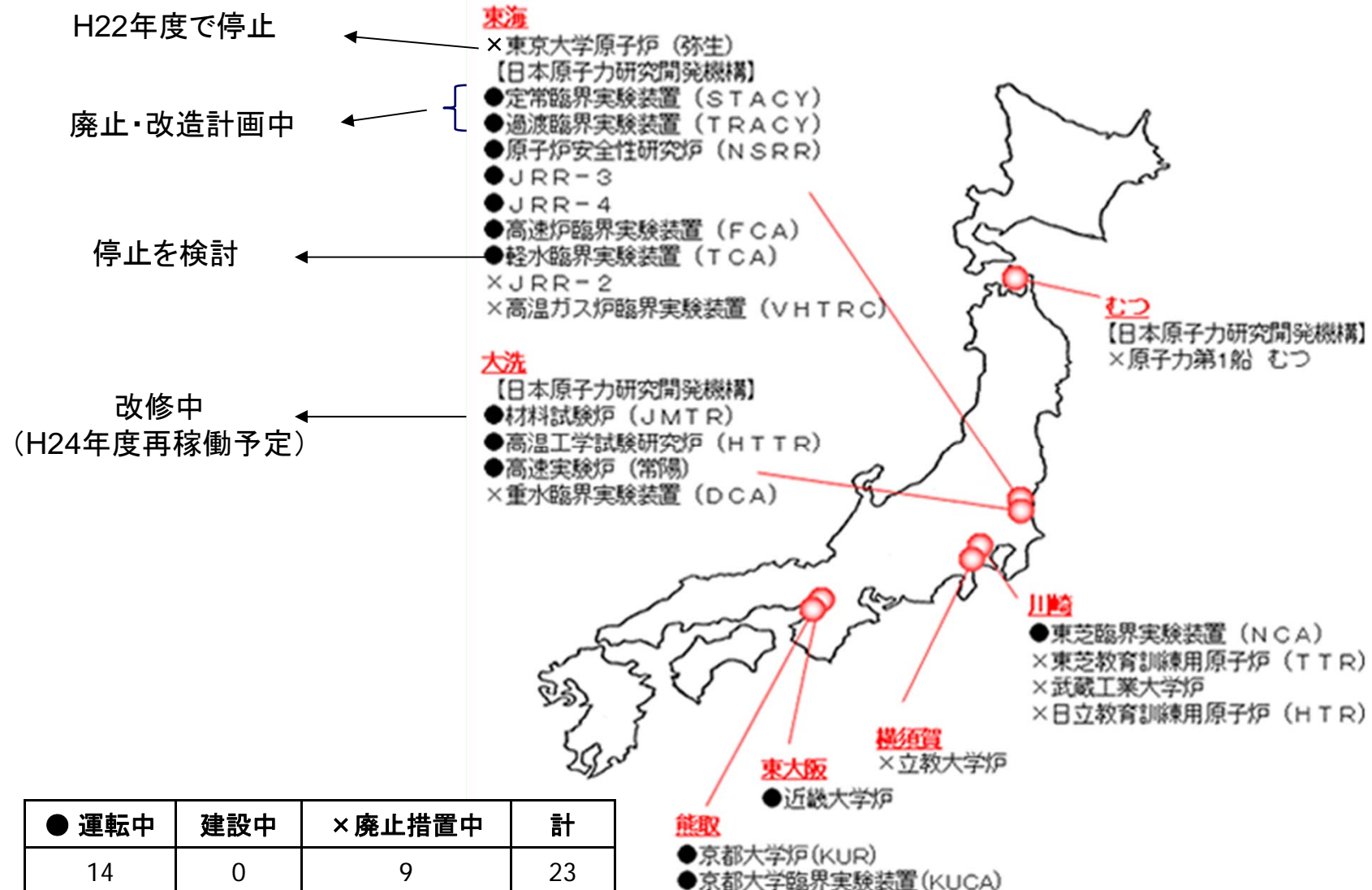
社会と原子力

- わが国における原子力の利用は平和の目的に限られており、これは昭和30(1955)年の原子力基本法の成立に始まり、以来、核エネルギーの発電への利用とともに放射性同位体や加速器の利用が進められてきた。
- 現在、核エネルギーによる発電量は全電力の約3分の1に達し、放射性同位体や加速器は研究から産業の現場、病院での診断や治療まで幅広く利用されるに至っている。
- しかしながら、原子力の利用に対する社会的な受容性は当初からの課題である。原子力に限らず、遺伝子組み換えや臓器移植などの新しい科学技術にもリスクがあるが、そのリスクについての「合意形成」や「対話」の必要性が認識され、リスクコミュニケーションなどの試みが行われている。
- 研究用原子炉にもその利用のメリットや必要性和ともに、原子炉施設としてのリスクがある。利用の目的に応じてその規模も様々であるが、それぞれの規模に応じて適切な対策と対応が求められる。また、研究用原子炉の利用に伴って発生する放射性廃棄物、特に使用済燃料の問題については、発電用原子炉の場合とは異なり、その量は少ないが、研究機関や大学から発生する放射性廃棄物と同様に、その処理処分について適切な対策が求められる。

研究炉の必要性

- 研究炉は、多くの分野で技術革新や科学技術向上に必要不可欠な研究施設であり、我が国における研究炉利用のニーズに対しては将来的にも適切に対応する必要がある(参考資料1 ～ 8)。
 - エネルギー利用(材料試験、など)(参考資料9)
 - 学術利用(基礎物理、物質科学、工学、生物、農学、生体物質、薬学、医学、など)(参考資料10)
 - 産業利用(リチウム電池、燃料電池、化粧品、プラスチック材料などの新製品開発)(参考資料11)
 - 医学・治療利用(BNCT、アイソトープ製造)(参考資料12)
 - 放射線科学・技術(測定技術・装置、など)(参考資料13)
 - 人材育成(原子力工学者、放射線科学者、材料学者、研究者、外国人原子力技術者、など)(参考資料14)
 - 波及効果・国際貢献(参考資料15)
 - 我が国の最先端研究基盤施設(参考資料16)

我が国の試験研究炉の現状



研究炉の利用状況

場所	機関	原子炉	利用の目的							備 考
			エネルギー利用	学術利用	産業利用	医学・治療利用	放射線科学・技術	人材育成	波及効果・国際貢献	
東海	JAEA	JRR-3M		○	○		○	○		
		JRR-4				○				
		NSRR	○							
		TCA, FCA, STACY, TRACY	○					○		臨界実験装置
大洗	JAEA	JMTR	○	○	○			○	○	
		HTTR	○							高温ガス炉開発
		JOYO	○							高速炉開発
川崎	東芝	NCA	○							臨界実験装置
敦賀	JAEA	MONJU	○							
東大阪	近大	UTR-KINKI		○				○		
熊取	京大	KUR		○		○	○	○		
		KUCA	○					○		臨界実験装置

研究用原子炉の運営・利用に関する課題

1. 研究用原子炉の安全確保について
 - 安全・安定運転のための運営費用やマンパワーの不足
 - 発電用原子炉のストレステストを念頭に置いた更なる安全対策・評価
2. 研究用原子炉の燃料問題について
 - 使用済燃料の対米返還期限の延長
 - 返還期限後の措置(中間貯蔵等)
 - 新燃料、使用済燃料の保障措置及び核物質防護
 - 使用済燃料の最終的処理処分
3. 研究用原子炉の運営・利用について
 - 運転維持費を削減するための取組み(燃料の共同購入など)
 - ユーザーフレンドリーな利用体制(施設所有者から適当に独立性を持った共同利用体制の構築、施設側と利用者側のインターフェースになる人材育成)
 - 国内外の研究炉との連携強化

研究炉で発生する使用済燃料の措置

- 米国引取り継続が喫緊の課題。今後、引取りが困難になる場合を想定して、施設内保管及びその後の合理的な処理方策の検討をしておくことが必要。(参考資料17)

政 策	方 式	政策 変更	国内 輸送	海外 輸送	返還 廃棄物	廃棄物 処分	中間 貯蔵	備 考
燃料リサイクル (再処理)	米国へ返送	×	○	○	×	×	△	現行通り。返送期限の延長が不可欠。米国の政策に依存。
	海外再処理	×	○	○	○	○	△	IAEAで調査中。研究開発が必要。採算？
	国内再処理	×	○	×	×	○	○	技術的には可能。研究開発が不可欠。原子力自主開発路線。
ワンスルー (直接処分)	国内処分	○	○	×	×	○	○	処分場未定。原子力自主開発路線。
	海外処分	○	○	○	×	×	○	現在の国際的通念は自国内処分。
長期保管	再処理	×	△	—	—	—	—	将来、再処理することにした上で保管
	直接処分	○	△	—	—	—	—	将来、直接処分することにした上で保管
	決定 先延ばし	○	△	—	—	—	—	再処理するか、直接処分をするかは、技術開発状況等を見定めた上で、将来、決定することとして保管

次期研究炉の検討の必要性

＜物的基盤確保の視点＞

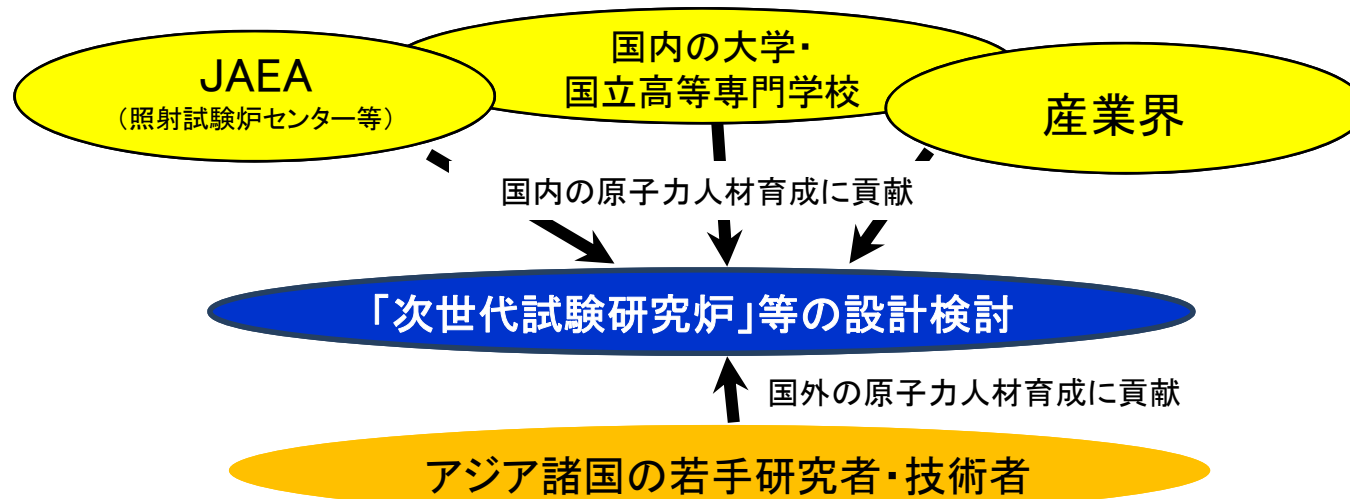
○ 2016年以降に京大炉及びJRR-4、20年後にJMTR及びJRR-3の停止または更新の時期。

→ 具体的確保のための方策等を全日本で次期研究炉を検討すべき。

- ・ 医療利用に対する国内シェアリング
- ・ BNCTについての研究炉と加速器BNCTの役割
- ・ 次期研究炉の持つべき機能、仕様等

＜人的基盤確保の視点＞

○ 大学(人材供給者)、施設管理組織(施設運転保守者等)や産業界(施設保守作業等)、システム全体での技術継承策を構築する必要がある。



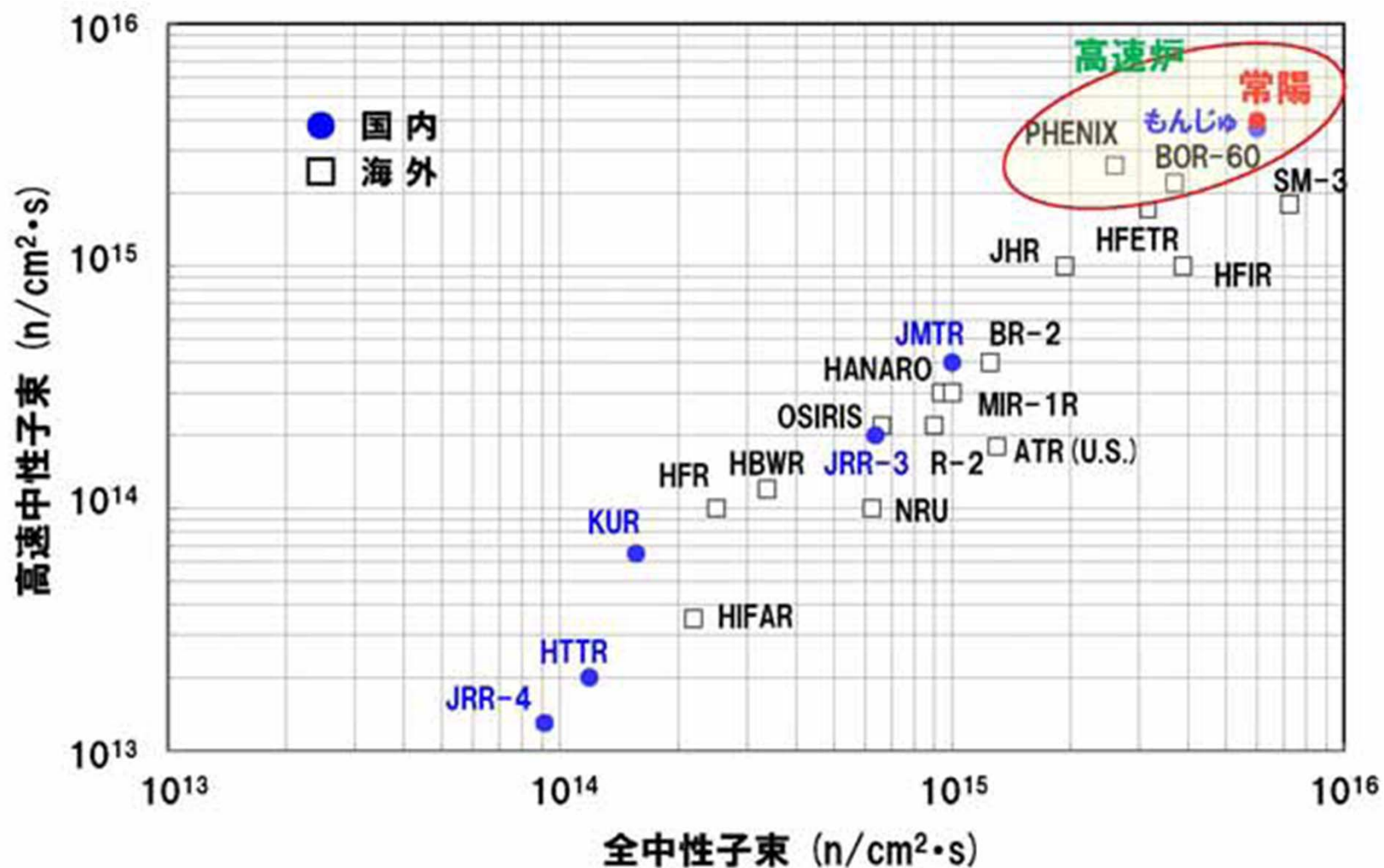
まとめ

- 研究炉は、多くの分野で技術革新や科学技術向上に必要な研究基盤施設であり、我が国における研究炉利用のニーズについては将来的にも適切に対応する必要があること。
- 既存研究炉については、安定した運転と施設の先端性を継続的に確保することが必要であり、人材育成も含め既存の研究炉が抱える喫緊の課題の解決を行うこと。
- 研究炉の利用については、産業界のニーズにも応える、原子力技術開発と科学技術研究開発の適切なバランスを保つこと。
- 持続的な研究開発を可能とする研究基盤施設として、アジア諸国等への国際貢献を念頭に置きながら、既存研究炉の後継研究炉の検討を開始すべきであること。
- 将来の研究炉においては、我が国全体としてより効率的な利用が行える体制を整えとともに、燃料問題など他国の事情に依存しない安定運転が確保できる体制の構築に努めること。
- 研究炉を“国が持つべき重要な最先端研究施設”と位置付け、研究炉の継続的な運転管理に必要な不可欠な、人材や費用を国費で着実に確保すること。

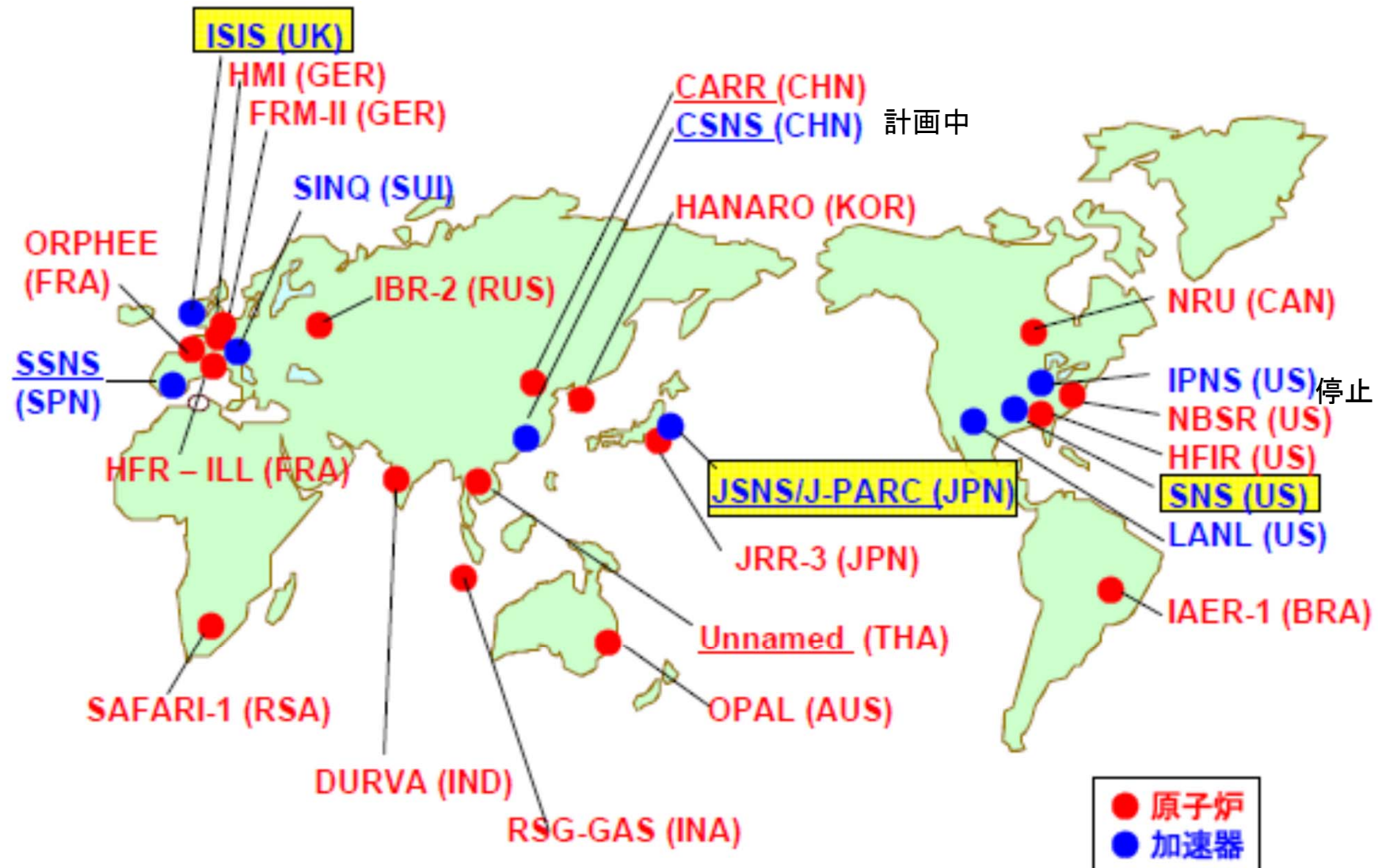
(参考資料1) 報告等

1. 日本学術会議原子力工学研究連絡委員会およびエネルギー・資源工学研究連絡委員会核工学専門委員会「人類社会に調和した原子力学の再構築」(平成15年3月)
2. 日本学術会議安全・安心な世界と社会の構築特別委員会「安全で安心な社会の構築に向けて—安全と安心をつなぐ—」(平成17年6月)
3. 日本原子力産業会議「研究炉の在り方に関する検討報告書」(平成12年3月)
4. 日本学術会議「日本の展望—学術からの提言2010」(平成22年4月)
5. OECD, Research and Test Facilities Required in Nuclear Science and Technology, NEA No. 6947, 2010
6. 日本原子力学会「将来必要となる共同利用研究施設について」(平成22年9月)
7. IAEA, Research Reactor Data Base(IRRDB), 世界原子力協会(WNA)
8. [http://www-naweb.iaea.org/napc/physics/reserarch reactors/index.html](http://www-naweb.iaea.org/napc/physics/reserarch%20reactors/index.html)
9. 文部省学術審議会「大学における研究用原子炉の在り方について(報告)」(平成5年7月)
10. 文部省学術審議会特定研究領域推進分科会原子力部会「大学における研究用原子炉の在り方について(報告)」(平成12年11月)
11. 新成長戦略(平成22年6月18日策定)
12. 第4期科学技術基本計画(平成22年12月24日、総合科学技術会議答申)
13. 原子力政策大綱(平成17年10月に策定)
14. 原子力立国計画(平成18年6月策定)
15. エネルギー基本計画(平成22年6月18日に策定)
16. 日本原子力研究開発機構JRR-3・J-PARC中性子実験装置整備計画検討作業グループ「JRR-3とJ-PARC/MLFにおける中性子実験装置の役割分担と連携及びJRR-3の中性子実験装置に関する将来計画」(平成20年6月)
17. 日本中性子科学会「次世代研究用原子炉検討特別委員会中間報告」(平成23年8月)
18. 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「学術の大型施設計画・大規模研究計画マスタープラン2011」(平成23年9月)

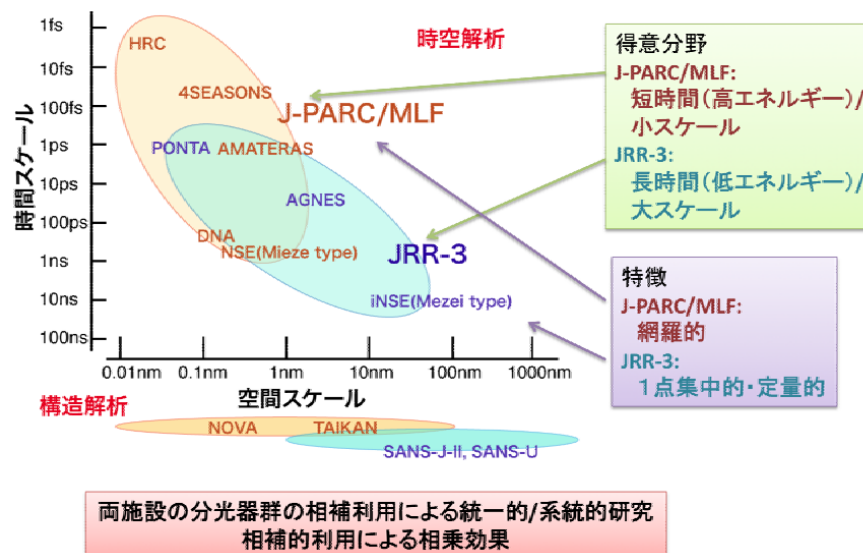
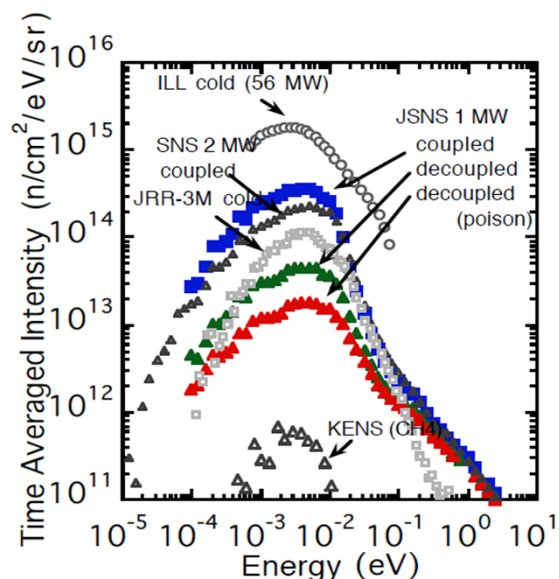
(参考資料2) 世界の試験研究炉



(参考資料3) 中性子ビーム利用研究のための世界の主な中性子源



(参考資料4) 中性子源としての原子炉の必要性



原子炉中性子源の
必要性:

- (1) 時分割測定
- (2) 小角散乱
- (3) 非弾性・偏極
- (4) 放射化分析
- (5) 高速イメージング
- (6) 装置開発
- (7) 照射
- (8) 教育・人材育成

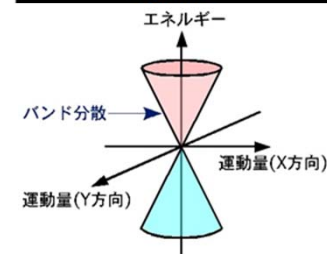
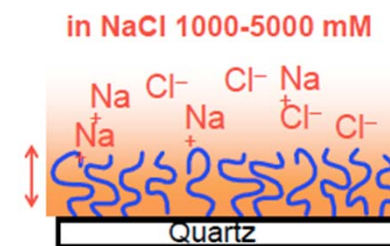
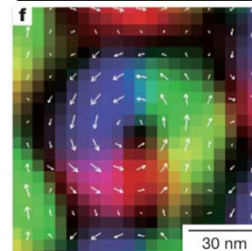
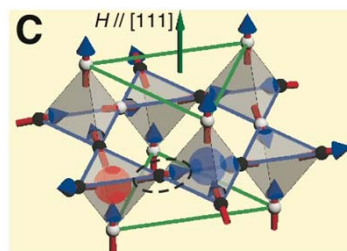
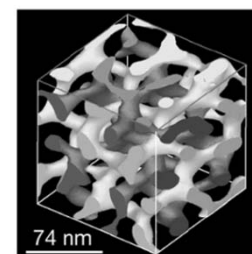
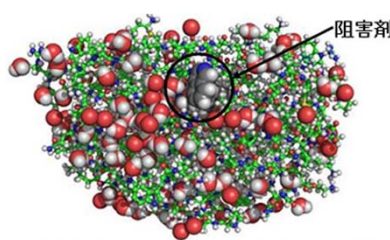
ラウエ・ランジュバン研究所の原子炉は将来も
世界最高強度を維持する。

ナノからマイクロに及ぶ空間階層構造を扱う生
物・化学・医学・高分子とその学際関連領域

鉄系超伝導などの機構解明

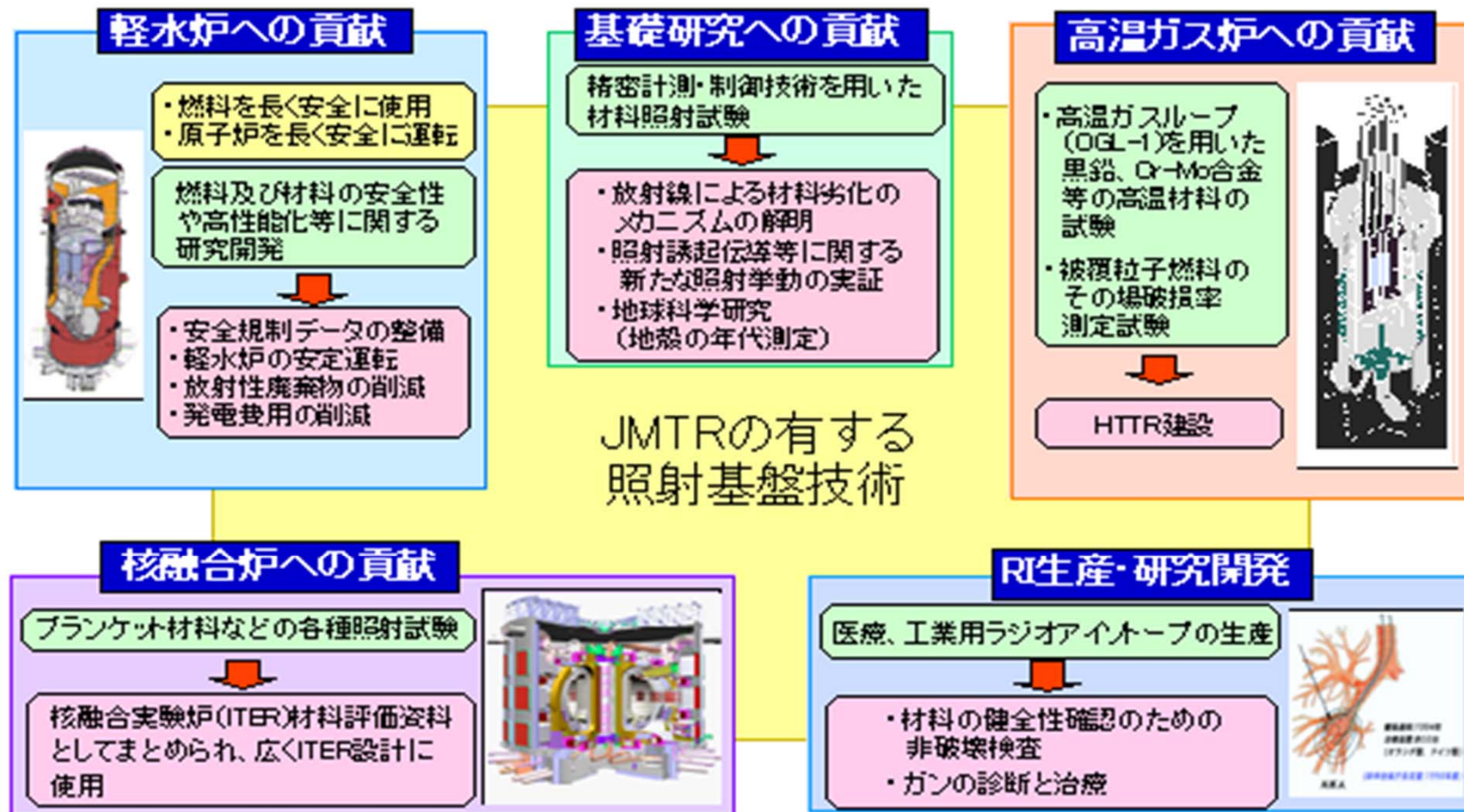
磁気モノポール・質量ゼロのディラック電子やト
ポロジカル絶縁体・スカーミオン格子等新奇量子
状態の解明

磁性・軌道・格子の自由度やダイナミクス、対称
性と破れに伴う複雑系新規機能性物質の設計と
機構解明



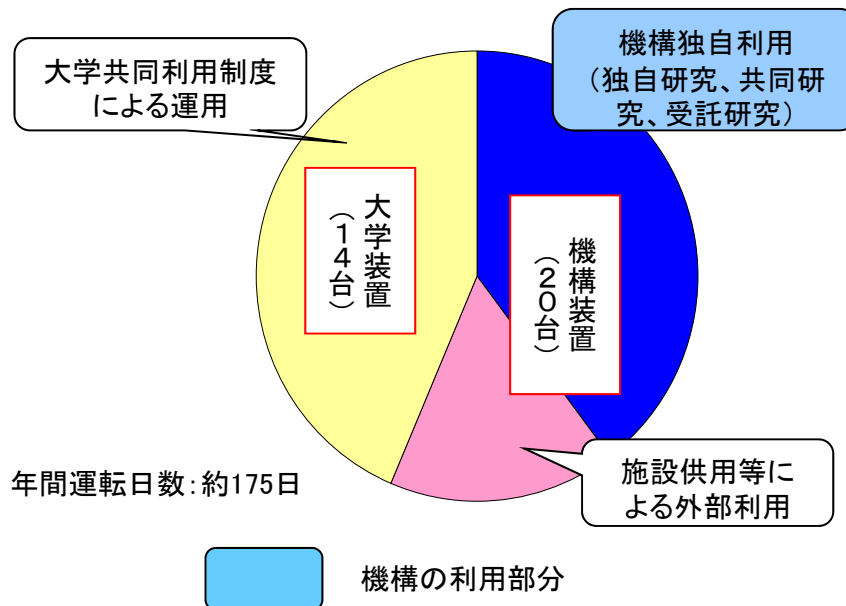
(参考資料5) JMTRの利用状況

JMTR再稼働後は、機構外利用が大部分となり、軽水炉の安全規制関連研究(約75%)、大学共同利用による基礎基盤研究(約10%)等のために活用される。

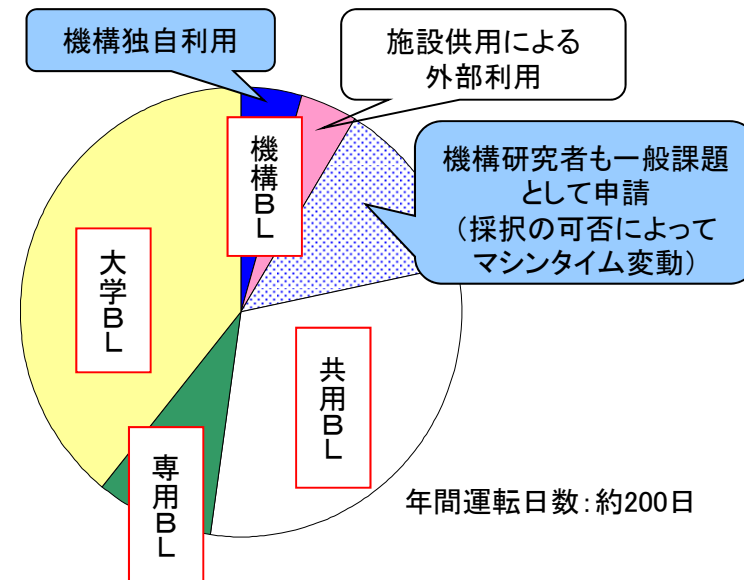


(参考資料6) JRR-3の利用状況

JRR-3における利用割合
(平成20年度実績)

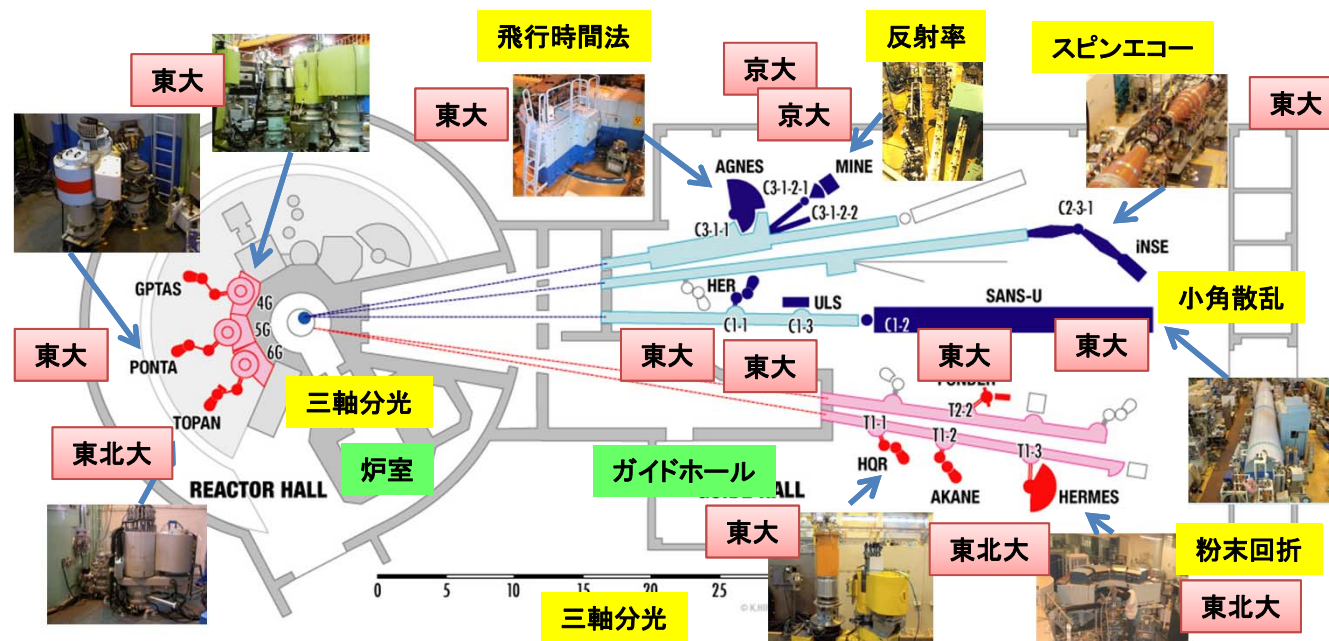


J-PARC/MLFにおける利用割合
(23本の全ビームライン完成時のイメージ)



- ・ JRR-3の年間利用者数は 機構内のべ約300人、施設供用約600人、大学共同利用約1,000人。
合計約1,900人
- ・ J-PARC野利用者数は、現在約250人、フル稼働(23本BL、1MW)時の最大利用者**4,000人以上**を目標
- ・ 今後とも、**JRR-3では J-PARCの利用者の約半分の利用者があると予想**

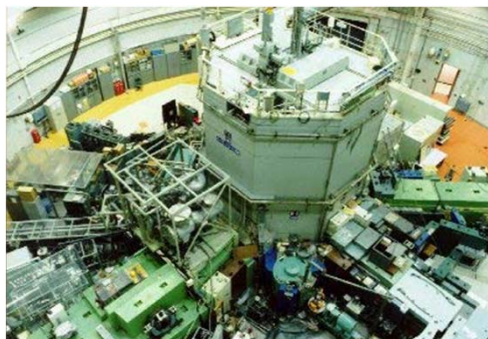
(参考資料7) JRR-3に設置された共同利用装置



- 大学所有散乱装置：14台,
東大物性研 9, 東北大 3,
京大 2
- 年間利用者数(人・日):
職員 2000, 外部利用者
5000, 計 7000
- 年間申請課題：～300
- 年間論文発表数：～100

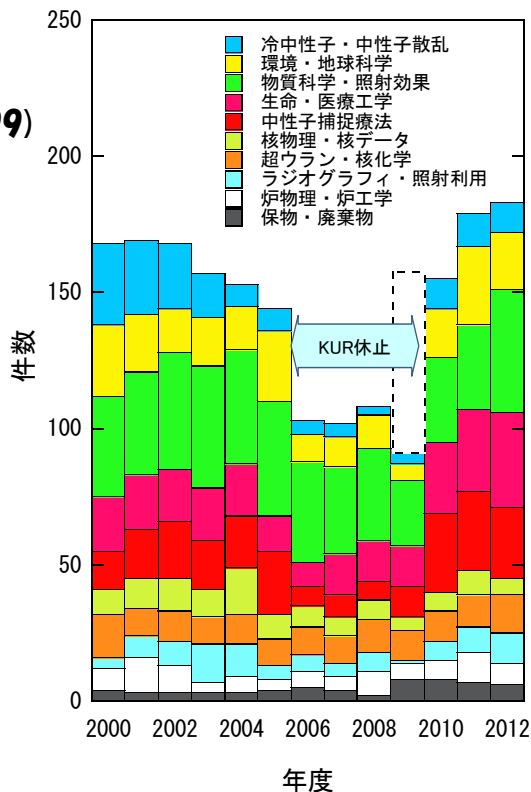
年	研究成果	メディア	研究グループ
2003	酸化物イオン分布	日刊工業新聞	東工大
2007	ポリプロピレンのシシカバ構造	Science	住友化学、CALTECH、東大
2008	リチウム電池	Nature Materials、日刊工業新聞	東工大
2008	2分子膜	Phys. Rev. Lett.	京大薬
2008	微粒子の動き観察	日経産業新聞	物材機構
2009	磁気単極子の探索	J. Phys. Soc. Jpn.	首都大学東京、東大、ほか
2009	中性子で構造解析 水戸一高生が観察	読売新聞	JAEA、東大
2010	燃料電池の中のイオンの動き	J. Am. Chem. Soc.、毎日新聞	東工大、九州大
2010	籠目格子反強磁性体	Nature Physics	東大、東工大、東京理科大
2010	高強力ゲル	J. Phys. Soc. Jpn.	東大

（参考資料8）KURの利用状況

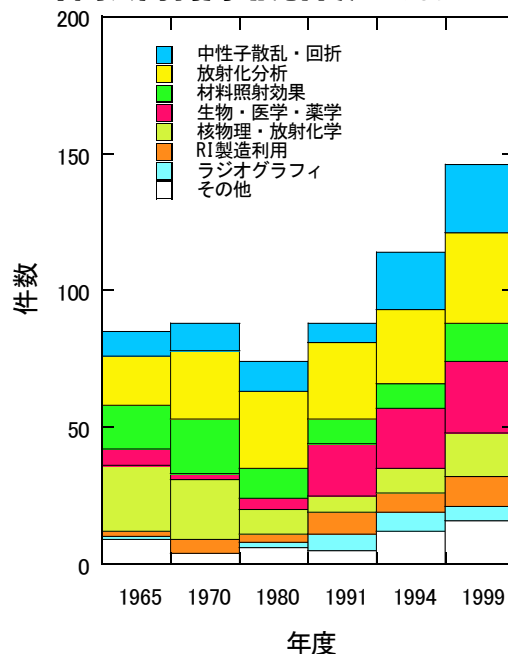


- 利用の分野は広く、増加の傾向
- 安全で効率的な原子力・放射線の有効利用に必須の基礎・基盤的知見の集積、それらの活用による材料研究やホウ素中性子捕捉療法BNCT研究等の発展と具体的な成果の社会還元、及び人材育成への貢献（日本学術会議「マスタープラン2011」）

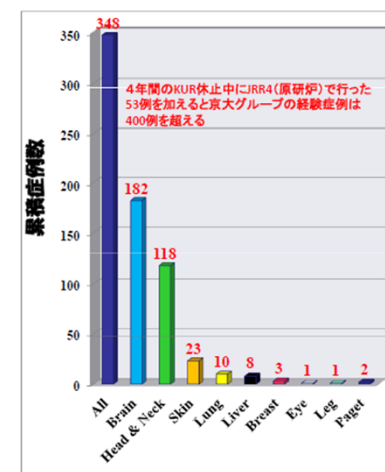
年間共同利用研究件数(2000-2012)



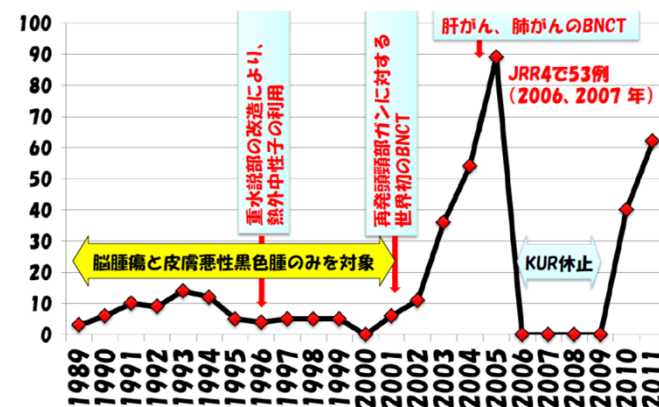
年間共同利用研究件数(1965-1999)



ガンの種類の分布



BNCTの年間症例数(1989-2011)

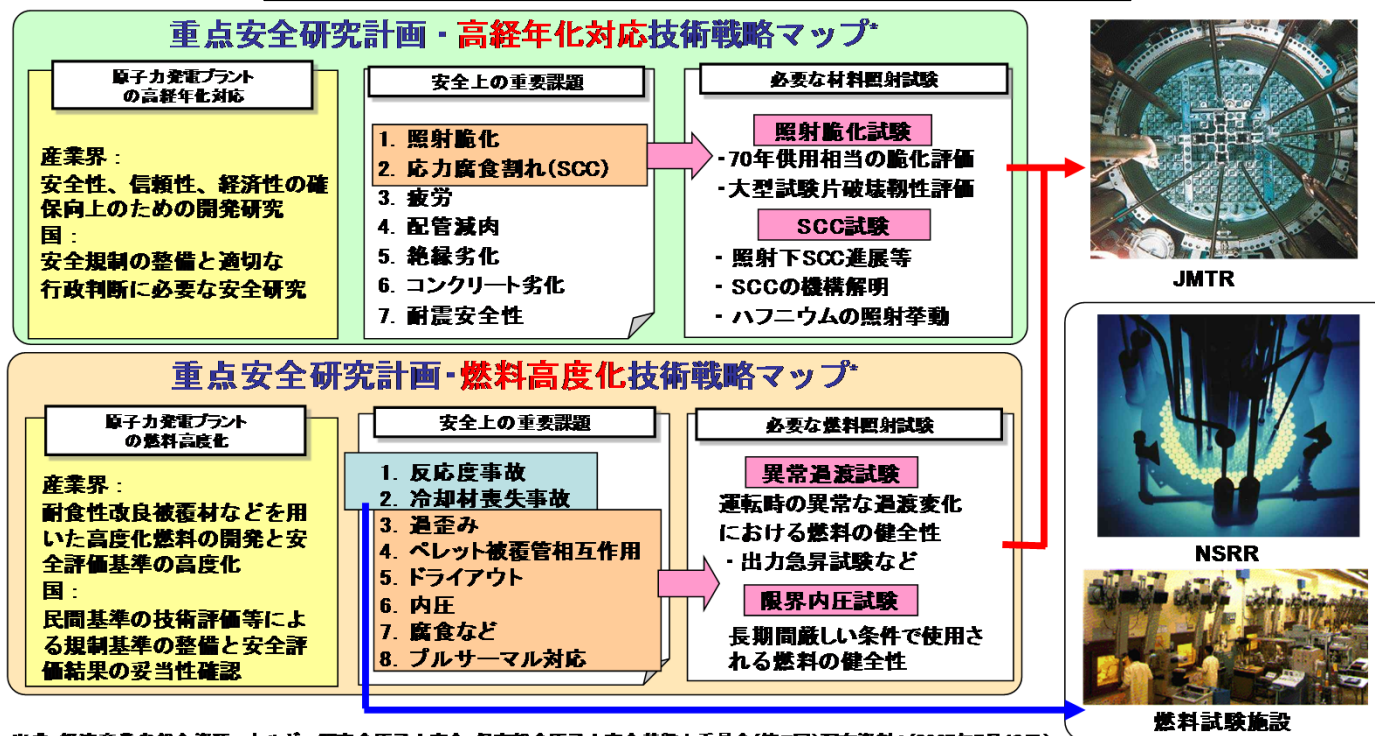


(参考資料9) エネルギー利用

➤ (燃料・材料の照射試験、など)

発電炉の健全性を維持し、安定にしかも長期間にわたる稼動を実現するためには、燃料、材料、冷却水の健全性確保が必須で、そのための技術開発を継続する必要がある。発電炉は発電を目的に建設され、それを用いた実験は困難であり、技術開発には本来の原子炉環境条件である、高温、高圧、強放射線場を実現できる研究用の原子炉が不可欠である。

技術開発に必要な高温、高圧、強放射線場を実現する原子炉等の例

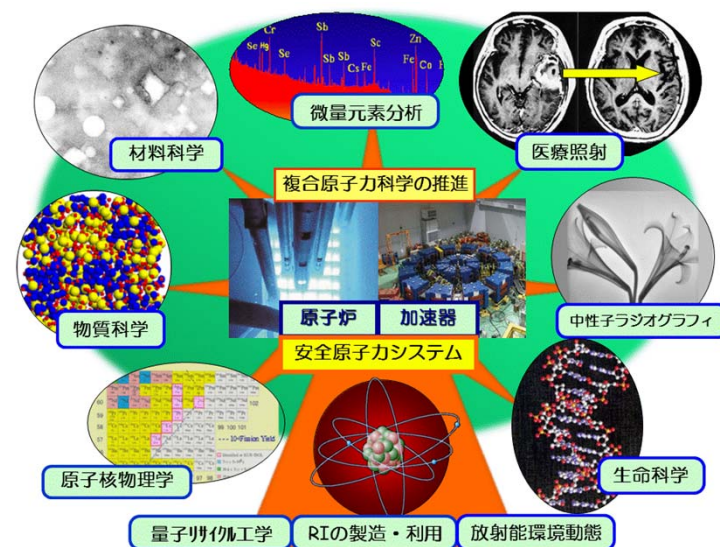


*: 出典 経済産業省総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子力安全基盤小委員会(第7回)配布資料1(2007年7月18日)

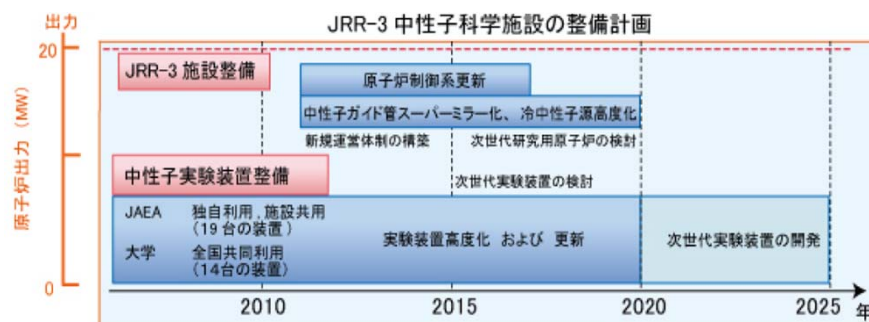
(参考資料10) 学術利用

- 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「学術の大型施設計画・大規模研究計画マスタープラン2011」(平成23年9月)
- 今後定常炉が重要となる分野：
 - (1) 超小角散乱、小角散乱
 - (2) 分析・イメージング
 - (3) 非弾性散乱、特に偏極と低エネルギー励起
 - (4) 核データ測定

学術分野	テーマ	対象
原子力 基礎物理	核化学, 核データ, 素核, 宇宙	重力, 素粒子, 宇宙, 原子核,
物質科学	構造, 電子物性, 磁性, 強相関, 超伝導, 化学, 表面	固体, 液体, 非晶質, ソフトマター, 高分子, 溶液, 液体, 反応
工学	材料, 機械, 建築,	鉄鋼金属, 光学材料, 磁性体, 超伝導, 薄膜, エネルギー関連, 触媒, 繊維, 石油化学製品, 自動車, 航空宇宙, 船舶, 鉄道, 構造物, 複合材料, 新素材
生物, 農学 生体物質	構造生物学, 生体機能, 植物, 分析	タンパク質, 遺伝子, 生理活性物質, 食品, 植物, 農林水産資源
医学, 薬学 その他	放射線治療 考古学, 地球科学, 天文, 環境, 芸術	癌, 脳腫瘍, 医薬品, 隕石, 岩石, 微量有害物質, 歴史的遺物, 絵画, 彫刻

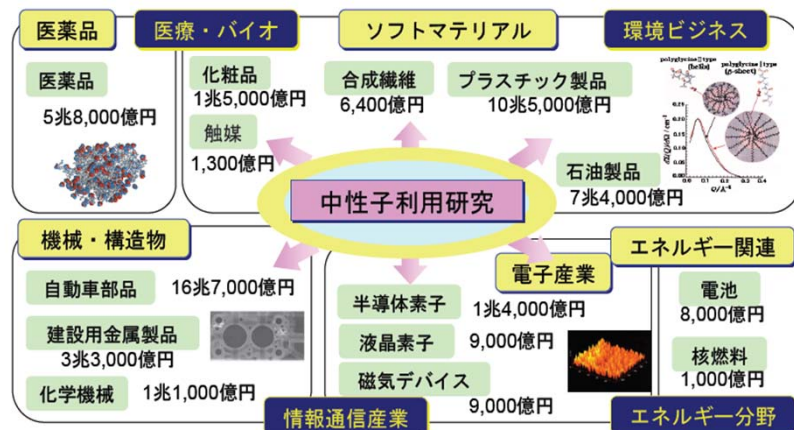


複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進



高強度中性子・ミュオンを用いた物質生命科学研究

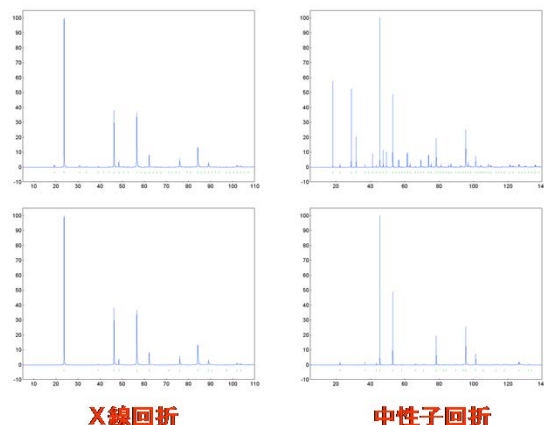
(参考資料11) 産業利用



市場規模: 52兆円 = GDPの約10%

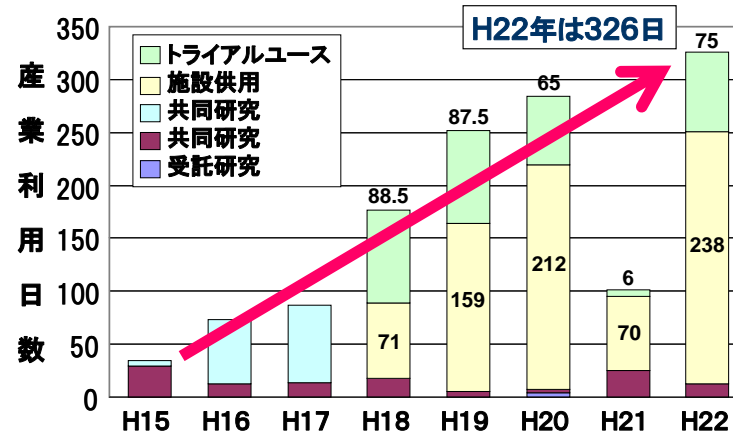
中性子の応用分野と市場規模

Liイオン電池材料の回折プロファイルの比較



X線では困難な元素の識別が可能

中性子のX線に対する強み



産業利用は順調に増加. 20年度には成果専有が74%

JRR-3における産業利用日数の推移

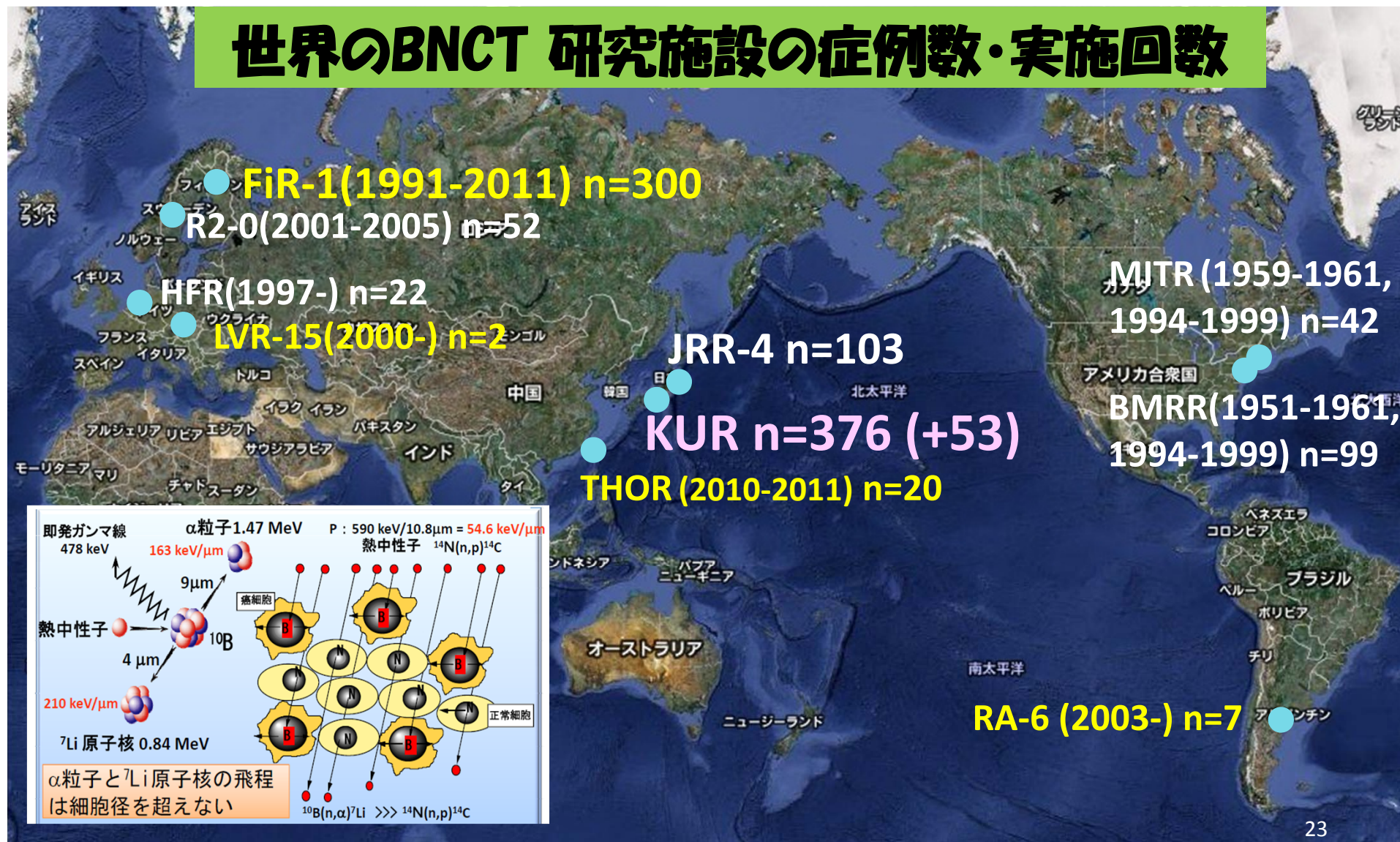
中性子の産業利用における直近の重点課題

産業分野	開発製品・技術
電機・電器	稀少元素レス高性能磁石 Liイオン電池材料
化学・繊維	ディスプレイ用機能性薄膜
鉄鋼・金属	超高張力鋼 燃料電池用水素貯蔵材料
自動車	Liイオン電池材料
重工・機械	構造物の残留応力
電力・ガス	構造物の残留応力
製薬	難病治療薬, 副作用フリー薬品
食品	機能性食品
化粧品	機能性化粧品

グリーンイノベーションのためには、世界的競争にあるLiイオン電池材料や稀少元素フリーの高性能磁石を中性子源を利用した開発が必須

(参考資料12) 医学・治療利用

世界のBNCT 研究施設の症例数・実施回数



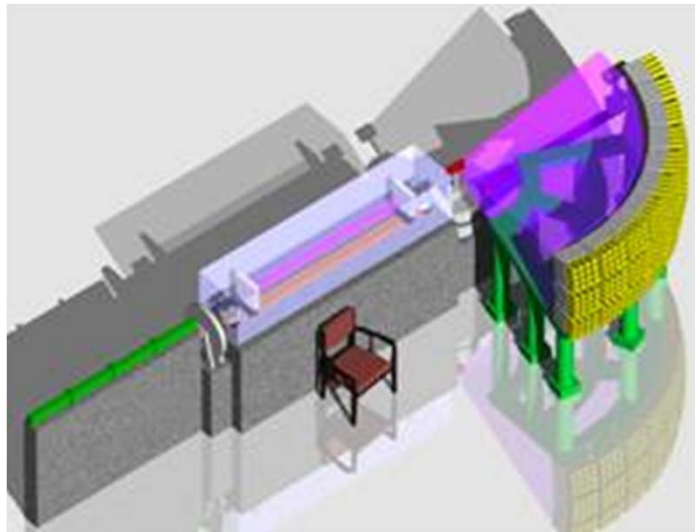
(参考資料13) 放射線科学・技術

➤ (測定技術・装置、など)

中性子ラジオグラフィ・中性子CT・中性子ホログラフィ・中性子捕捉療法などの応用には良質・高強度の原子炉中性子源が重要。

イメージング用中性子検出器の特性評価には中性子場から得られる連続ビームが望ましい。また中性子光学系の開発においても、良質・高強度の連続中性子源は重要である。その他陽電子源としての利用、RI・同位体製造なども視野に。

中性子光学装置の開発



(参考資料14) 人材育成

➤ (原子力工学者、放射線科学者、材料学者、研究者、外国人原子力技術者、など)

最先端研究基盤JMTR及び関連施設を用いた研修講座

文部科学省の平成22年度「国際原子力人材育成イニシアティブ」に係る公募事業として、国内の若手技術者、大学生・高専生等を対象に、JMTRを活用した総合的な研修講座を実施。

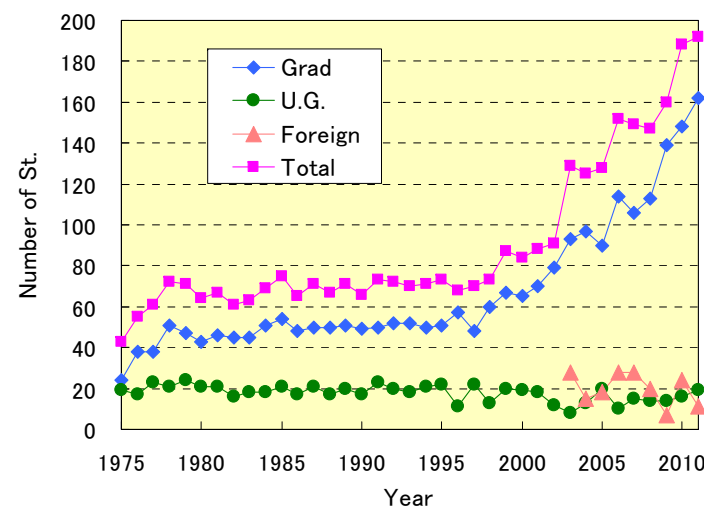


KUCA学部学生・大学院生 原子炉物理実験



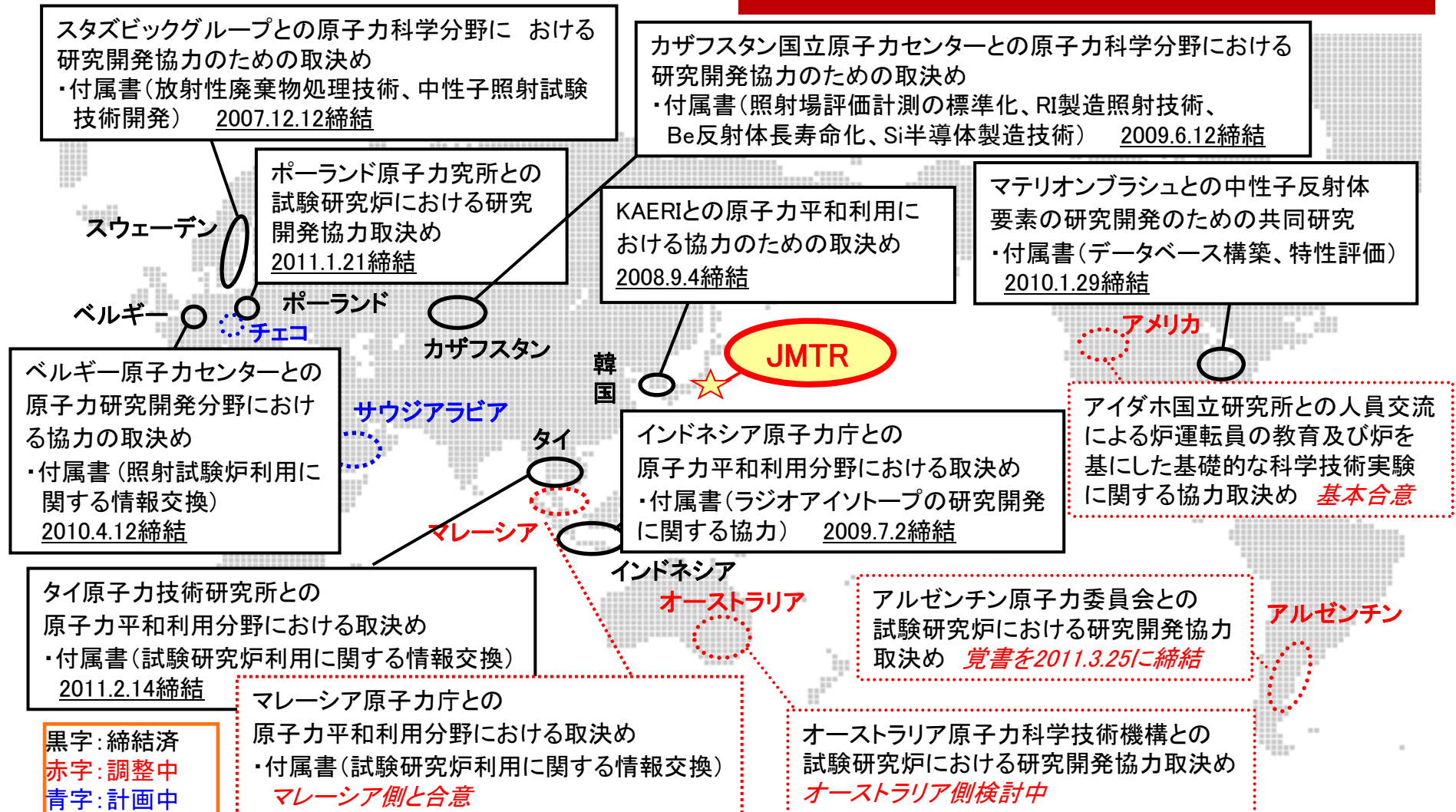
アジア若手研究者・技術者の実務研修

アジア諸国の原子力技術向上や人材育成を行うためのアジアネットワークの構築の一環として、照射試験炉センターでは、平成22年度よりアジア若手研究者・技術者を招へいし、基礎的な実務研修を開始



(参考資料15) 研究炉の国際貢献について

JMTRを用いた国際協力の現状を以下に示す。



その他、ノルウェー、オランダ、フランスと既存協定内での情報交換等を行っている。

(参考資料16) 我が国における最先端研究基盤施設

平成22年度に創設された最先端研究開発戦略的強化費補助金を用いた「**最先端研究開発戦略的強化事業**」に基づき、平成22年度の補助対象事業として14件の事業が選定され、JMTRは原子力分野で唯一「日本の最先端研究基盤」と位置付けられた。



	事業名	事業実施機関	事業概要	実施期間	補助金額 上段: 初年度所要額 下段: (事業総額)
1	海底下実環境ラボの整備による地球科学—生命科学融合拠点の強化(「ちきゅう」を活用)	海洋研究開発機構	○高知コア研究所における、海底下の実環境を保持してコア試料を研究する環境の構築や、地球深部探査船「ちきゅう」のコア採取機能の高度化等を行い、海底下深部環境における炭素・エネルギー循環システムの解明を図る。	2年	35億円 (48億円)
2	世界最先端研究用原子炉群の高度利用による国際的研究開発拠点の整備—原子力研究開発テクノロジーパークの創成—	日本原子力研究開発機構	○最先端照射設備を整備し、軽水炉の長寿命化等に係る安全研究や原子力人材育成を行うとともに、アジア諸国の原子力ニーズに対応した研究開発協力を実施する。	3年	8億円 (29億円)
3	コヒーレント光科学研究基盤の整備	東京大学, 理化学研究所	○コヒーレント光(波長と位相がそろった光)を、幅広い波長領域において極短パルスで発生させる光源装置及びそれを用いた先端計測装置を開発し、太陽光エネルギー変換機構の解明等を進める光科学技術基盤を整備する。	3年	20億円 (40億円)
4	次世代パルス最強磁場発生装置の整備	東京大学	○1000テスラのパルス超強磁場を開発し、臨界磁場・臨界電流破壊実験を実施し、高性能電池材料や超伝導材料などにつながる新物質・材料の研究開発を加速する。	2年	8億円 (15億円)
5	生命動態システム科学研究の推進	大阪大学, 理化学研究所	○複雑な生命システムの制御原理を解明する生命動態システム科学研究の推進に必要な、最先端計測とシミュレーションを行う研究基盤を整備する。	3年	27億円 (37億円)
6	新興・再興感染症の克服に向けた研究環境整備	北海道大学, 東京大学, 大阪大学, 長崎大学	○若手研究者をリーダーとする連携体制を構築し、病原体の生態や伝播経路の解明、未知の病原体の探索、感染症の発生と流行を予測する基盤技術の開発等により、感染症対策技術の開発を加速する。	3年	16億円 (21億円)

(参考資料17) 研究炉の使用済燃料について

■ 我が国の現状

原子力機構

- 中高濃縮燃料(45-90%)はDOEに返還予定。
- JRR-3、JRR-4及びJMTRのアルミナイド及びシリサイド板状燃料(20%未満)はDOEに返還予定。但し、2019年までの引取り(2016年までに使用のもの)についてのみ契約締結、2020年以降は未定。

京大炉

- 新規燃料(20%未満、2010年装荷)について、使用済燃料の米国への返還期限は原子力機構と同様2019年であり、この場合の使用期限は2016年。

■ 使用済燃料の処置に係る国の方針

- 設置許可書での処分方法は施設内保管の後
 - 米国に引き渡す
 - 再処理をする(海外で再処理する場合は持ち帰る)のいずれかとなっている。
- 原子力政策大綱では「我が国では使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用する核燃料サイクルの確立を国の基本方針」、一方で「試験研究炉の使用済燃料の取扱いについては、個別の状況を踏まえつつ、その取扱いを、合理性を考慮しつつ検討すべき」とされている。
- 現状は
 - 米国の引取り政策は、交渉で2019年まで延長されたが、それ以降は不明(見通しがない)。また敷地内保管期間にも限界。
 - 試験研究炉の使用済燃料を再処理できる施設はなく、また再処理後の廃棄物処分の見通しがない。

- 再処理コストは軽水炉燃料の4倍以上、対米引取り料の約3倍と推定。(10年前の試算)
- 商用の再処理工場で処理するには200-400倍(重量換算)*の軽水炉燃料(UO₂)での希釈が必要となり、また使用済燃料も少量であり、経済的に極めて不合理である。
- 再処理で発生する廃棄物の取り扱いが問題となる。

*: アルミナイド燃料の場合(シリサイド燃料ではさらに10倍の希釈が必要)