

京都大学原子炉実験所の 研究炉 (KUR, KUCA) について

京都大学原子炉実験所
中島 健

1. 施設の概要

京都大学原子炉実験所

- 1963年設立
- 全国大学の共同利用研究所
 - 3研究本部(22の研究分野)
:理学、工学、医学、農学、エネルギー科学
- 主要設備
 - 研究用原子炉KUR
 - 臨界集合体実験装置KUCA
 - 電子線型加速器(ライナック)
 - Co-60ガンマ線照射設備
 - イノベーションリサーチラボ(3台の陽子加速器)
150MeV FFAG、FFAG-DDS、BNCTサイクロトロン

京都大学研究用原子炉:KUR (Kyoto University Research Reactor)

タンク型の軽水冷却軽水減速熱中性子炉
濃縮度約20%のMTR型燃料を使用

- 1964年6月25日に初臨界、同年8月17日に1MW達成
- 1968年7月16日に5MW達成(出力アップ)
- 1991年の設置変更において、**水冷却研究炉安全設計指針(当時は案)に対応**
- 2010年5月より低濃縮ウラン炉心に移行、この際の設定変更において**水冷却研究炉安全設計及び評価指針に対応**
- 2010年7月に改訂耐震指針に基づく**耐震安全性評価結果報告書提出(冠水維持機能の健全性を確認)**

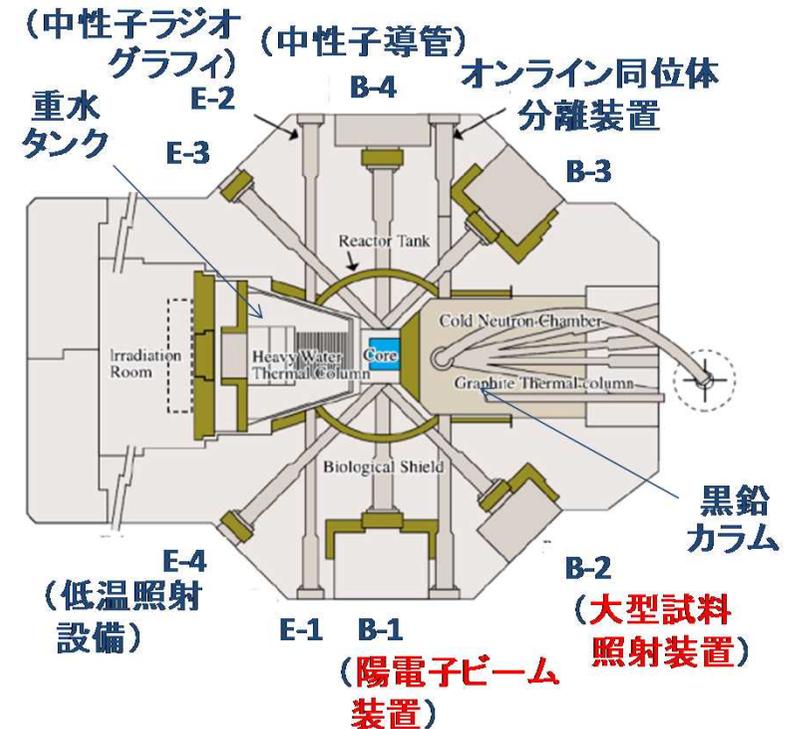
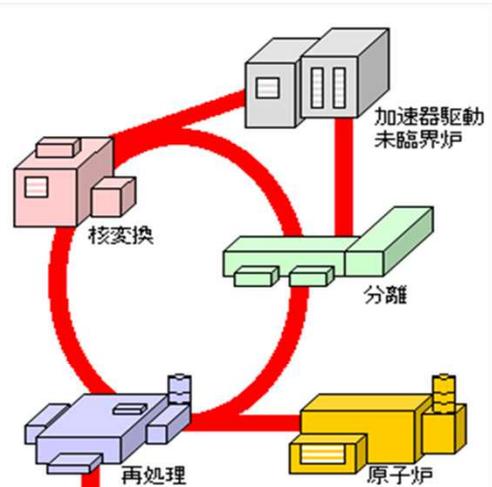
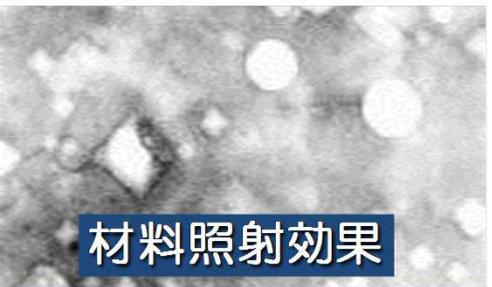


Fig. Plane view of KUR

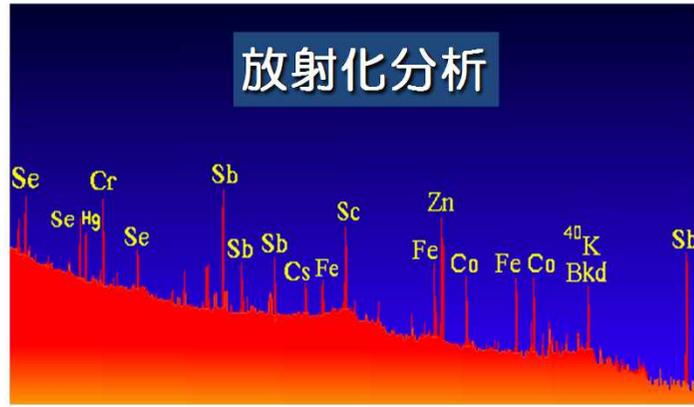


量子リサイクル工学

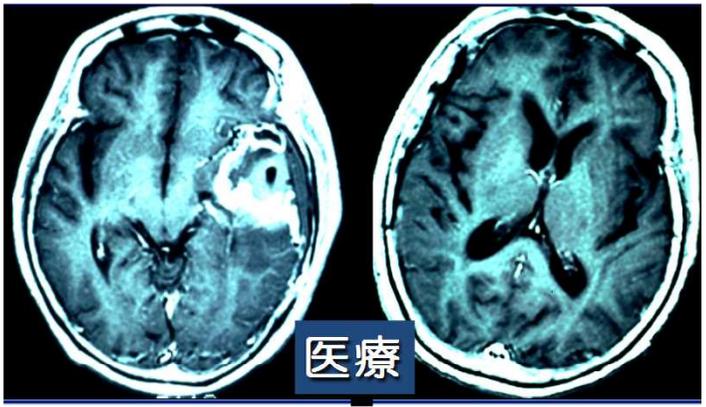
放射能環境動態



材料照射効果



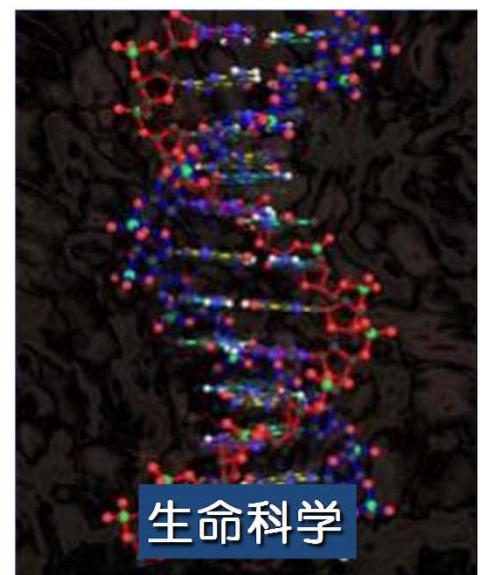
放射化分析



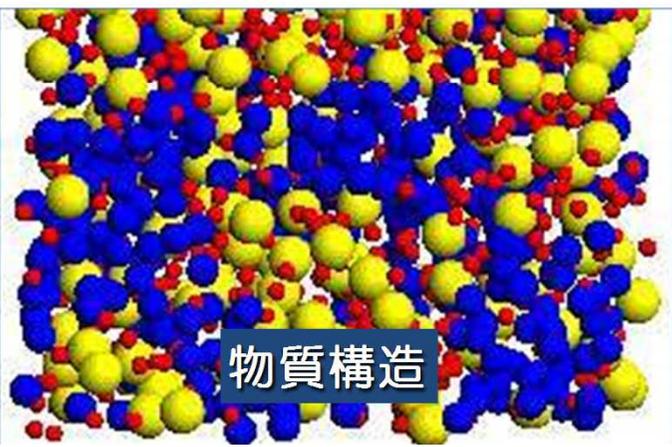
医療



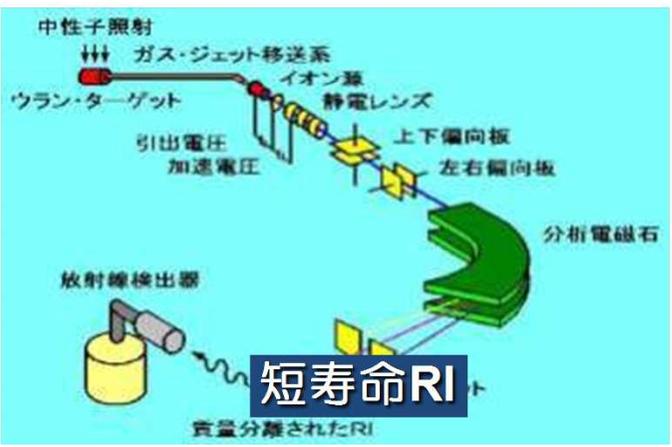
研究用原子炉(KUR)



生命科学



物質構造

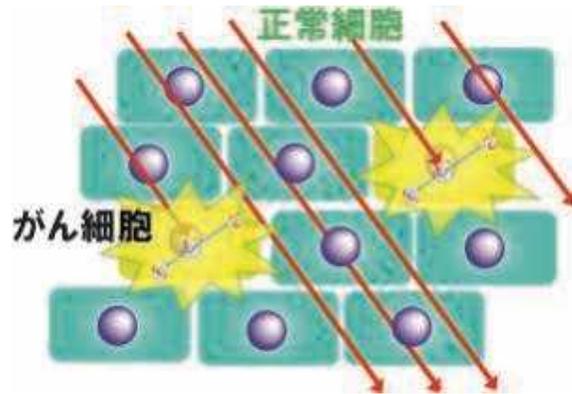


短寿命RI

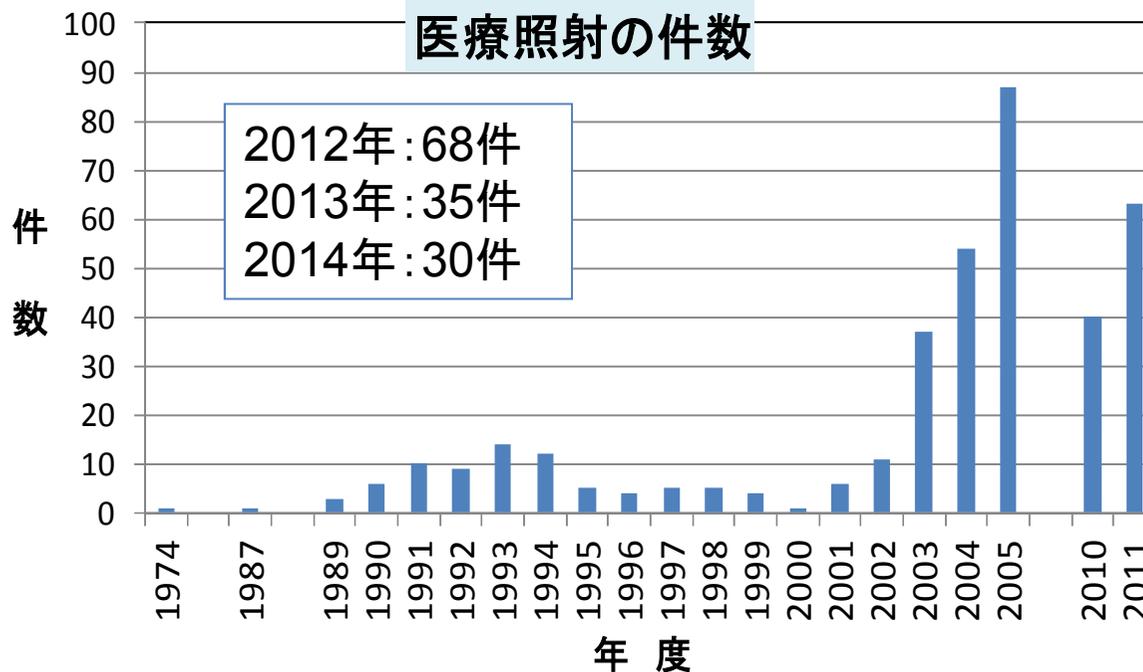


中性子ラジオグラフィ

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)



1. ホウ素を含有した薬剤を標的細胞(癌細胞)に注入.
2. 熱中性子を照射.
3. ホウ素が熱中性子を捕獲し、 α 粒子とLi粒子に分裂.
4. これらの粒子が、標的細胞を破壊.



加速器によるBNCT治療

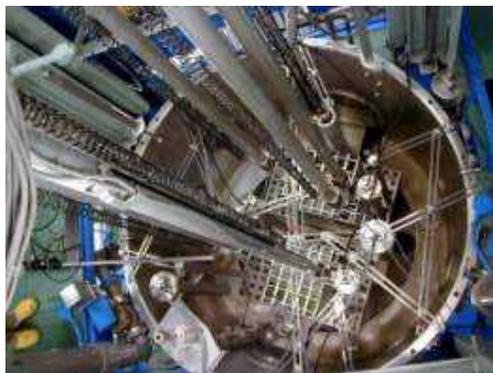


サイクロトロン加速器ベース熱外中性子発生装置。2012年に治験開始。(世界初の加速器を用いたBNCT照射装置)

KUCA（京都大学臨界集合体実験装置）



- 初臨界:1974年8月
- 最大熱出力 100W
- 複数架台(炉心)方式
 - 軽水減速架台(C架台)
 - 固体減速架台(A、B架台)
(減速材:ポリエチレン、黒鉛など)
- D-T加速器を併設(14MeV中性子源)
- 国内で唯一の大学が所有する臨界実験装置



軽水減速炉心

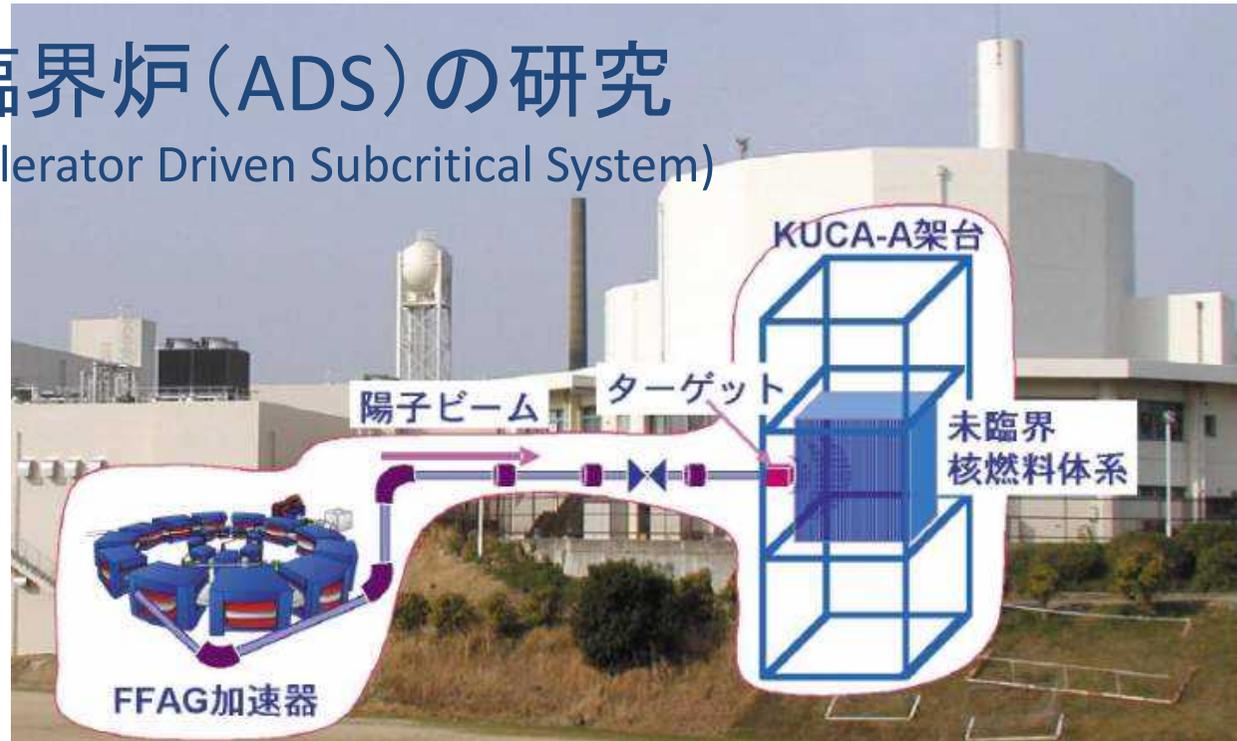


固体減速炉心

2009年に世界発の加速器駆動未臨界システム(ADS)の実験を開始:FFAG陽子加速器からの100MeVの陽子による核破砕中性子により、KUCA固体減速架台の未臨界炉心に入射

加速器駆動未臨界炉(ADS)の研究

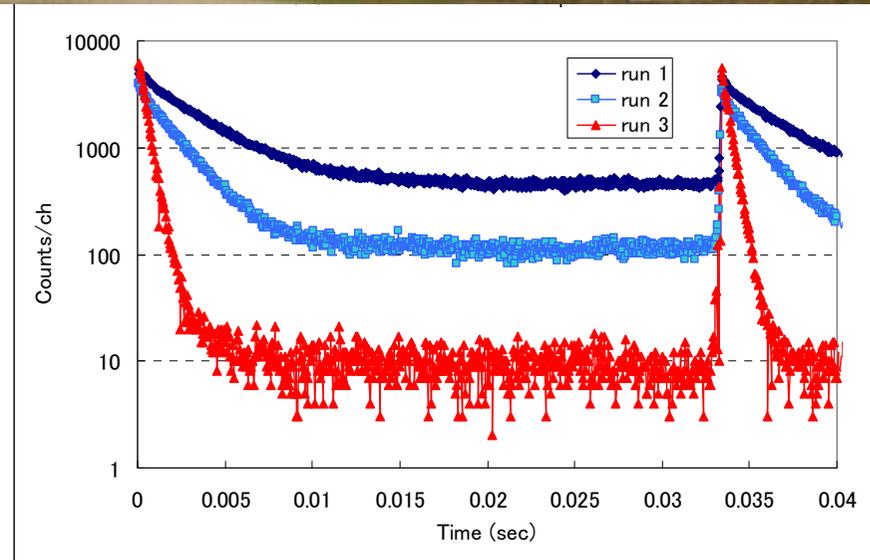
ADS (Accelerator Driven Subcritical System)



単独では運転できない原子炉(未臨界炉)に加速器で発生した中性子を打ち込み、核分裂反応を起こし、エネルギーや放射線を発生させる。



高レベル廃棄物中の長寿命核種(マイナーアクチニド)の短寿命化(核変換)用のシステムとして有望



核破碎中性子による中性子増倍の様子

参考：共同利用の状況

	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度
件数	158	178	202	217	225
全人数	1092	1341	1337	1098	993
学生数*	380	455	462	370	246

* 共同利用研究に参加する学生は、基本的に修士論文や博士論文を作成するための実験研究を実施しており、研究者としての人材育成を行っていることとなる。

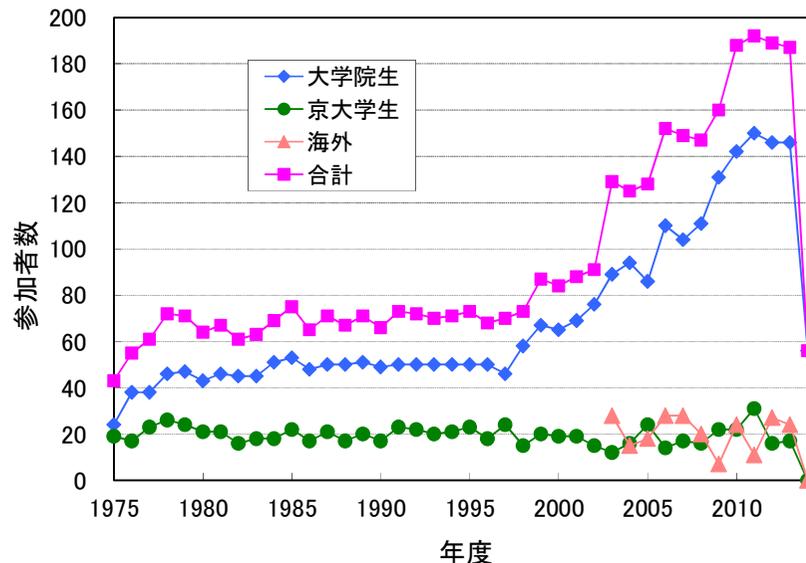
2. 人材育成の取り組み

実験所での実験教育の歴史など

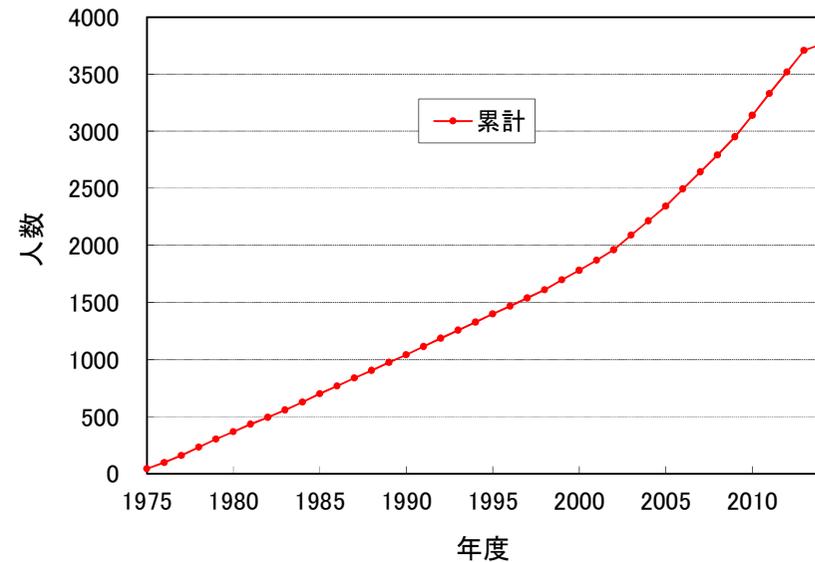
- 1964年 研究炉(KUR)初臨界
- 1974年 臨界集合体(KUCA)初臨界
- 1975年 KUCAを用いた大学院生実験を開始
- 1970年代 原子核工学専攻原子炉利用実験開始
- 2006年 KUR・高濃縮ウラン燃料炉心終了
- 2007年 日本原子力学会賞(貢献賞)注)
- 2010年 KUR・低濃縮ウラン燃料炉心臨界到達
- 2010年 KUCAを用いた大学院生実験3000名到達



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

実験教育の概要 (1) 炉物理実験教育

KUCAを用いた臨界実験をとおして、原子炉の原理・核特性・安全性・法的規制等を理解する。

実験名称	実験項目	使用施設	目的
炉物理実験教育 (原子炉基礎実験及び全国大学院生実験)	①臨界量測定	臨界集合体 KUCA	原子炉物理基礎 放射線計測 炉施設の安全管理
	②制御棒価値測定		
	③中性子束測定		
	④原子炉の安全管理		

原子力工学を専攻している全国の大学院生及び京大学部生を対象。国内大学の外国人学生及び海外大学の学生のための英語コースも実施。
(年間170名程度)

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：京大工学部学生、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



実験教育の概要 (2) 原子力工学応用実験

原子力工学で用いられている各種の実験技術を学ぶ。

実験名称	実験項目	使用施設	目的
原子力工学 応用実験	①原子炉反応度測定	研究炉KUR及び 周辺実験設備、 ホットラボラトリ、 電子線ライナック、 陽子加速器FFAG、 臨界集合体KUCA	原子炉特性
	②粒子線光学実験		中性子光学特性
	③中性子場の線量測定		中性子場評価手法
	④アクチニド元素の抽出実験		再処理基礎
	⑤中性子飛行時間分析法		核データ測定手法
	⑥加速器ビーム実験		加速器工学基礎
	⑦未臨界実験		原子炉物理応用

京大原子核専攻の大学院生を対象。(年間20名程度)

原子工学応用実験

①原子炉反応度実験

KURの出力変化及び制御棒位置変化より反応度の変化を測定し、得られた反応度変化における炉心温度及び燃焼による燃料組成の変化の影響等を考察する。

②粒子線光学実験

KURに自分達で組んだビームラインで中性子反射実験を行うことにより、量子力学の基礎を実験を通じて確認し、中性子制御の基礎を学ぶ。

③中性子場の線量測定

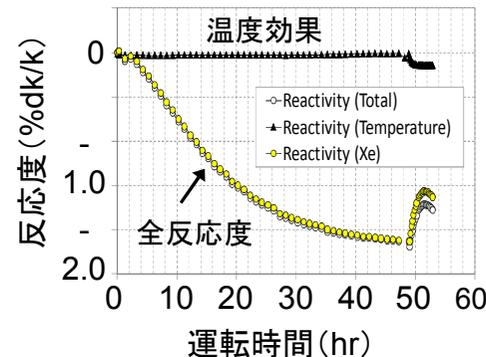
KURを用いてBNCTに関わる一連の線量評価に必要な硼素濃度測定評価、ファントム実験による線量分布評価、シミュレーション計算を実施する。

④アクチノイド元素の抽出実験

天然ウランをKURにて中性子照射し、照射した試料を用いてPUREX法を試行し、核種の分配挙動を理解する。

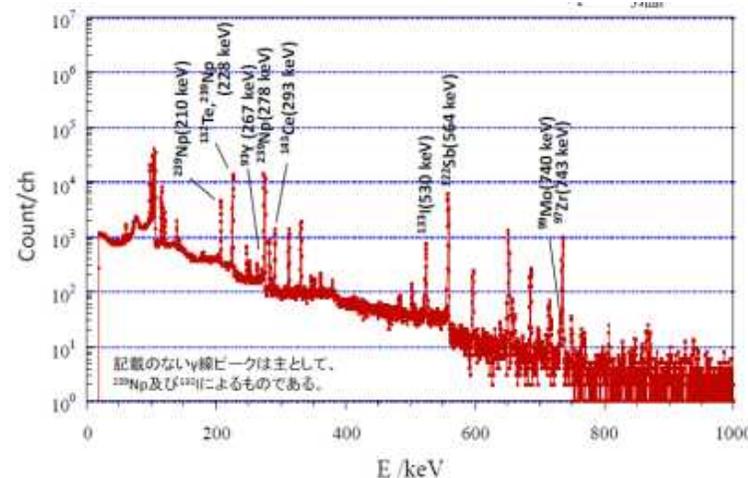
⑦未臨界実験

臨界実験装置(KUCA)で未臨界体系を構築し、体系の未臨界度や動特性パラメータの測定を複数の異なった実験手法により行う。



①原子炉反応度実験

KURを出力1MWで48時間運転した後、5MWに変更したときの反応度変化の様子



④アクチノイド元素の抽出実験

溶媒抽出した試料のガンマ線スペクトル測定結果

実験教育の概要 (3) 原子力安全教育

原子力を支える基盤的な広い分野の知識と安全文化を体得させることにより、原子力安全基盤を包括的に理解し、将来の我が国の原子力安全を担う人材を育成する。

実験名称	実験項目	使用施設	目的
原子力 安全教育	①原子炉工学実験	研究炉KUR及び 周辺実験設備、 ホットラボラトリ、 電子線ライナック、 陽子サイクロロン、 臨界集合体 KUCA	炉工学基礎、安全管理
	②放射線安全教育		放射線安全管理
	③放射性物質安全 教育		安全取扱い技術
	④地震・津波安全 教育		安全設計・リスク評価 基礎
	⑤放射線医療基礎 教育		生物影響、医療利用 基礎

国内の理系を専攻する学部生及び大学院生を対象。社会人も受け入れ。
(各コース最大10名程度)

原子力安全教育

①原子炉工学実験

KURを用いて、原子炉制御、温度係数、キセノン効果等の原子炉工学の基本を学習するとともに、原子炉施設の保守点検や運転管理などの安全管理について学ぶ。

②放射線安全教育

放射線安全に関する講義及び「施設・環境・人」における放射線安全管理に関わる幅広い実習を行い、原子力・放射線安全に精通した人材の育成を図る。

③中性子場の線量測定

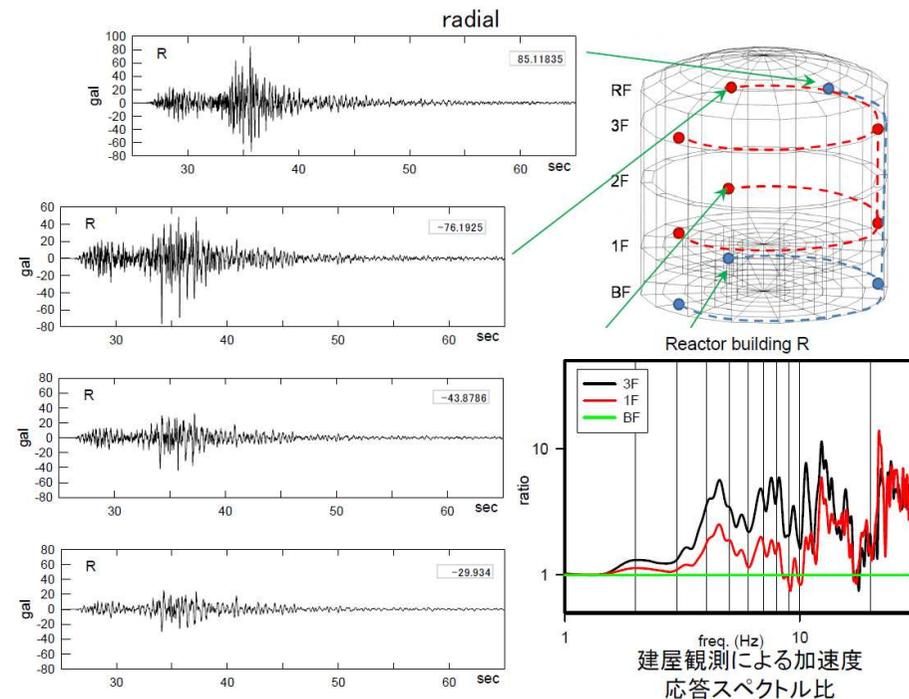
核燃料物質と放射性物質について実験を通して安全な取り扱いの基本を習得させる。また、計量管理(保障措置)について、実験及び関連する法令等を学ぶ。

④地震・津波安全教育

地震発生 of 長期評価やメカニズム、津波・地震動の生成・伝播、原子力施設の応答特性などについて学び、原子力施設の地震・津波安全設計基準やリスク評価手法などの基礎知識を習得する。

⑤放射線医療基礎教育

原子炉その他の放射線設備の放射線の生物照射効果を実験により調べ、照射場の物理的特性評価法、照射効果の生物学的評価法の基礎を理解する。



④地震・津波安全教育
KUR建屋の振動測定

人材育成の実績（H21-26年度）

	H22	H23	H24	H25	H26
炉物理実験教育	188	192	189	182	56*
原子力工学応用実験	21	19	15	14	20
原子力安全教育** (社会人数)	---	---	---	57 (16)	30 (10)

* H26年度はKUCAが停止中のために、天然ウランパイルによる未臨界実験を実施した。なお、炉物理実験教育を開始した1975年度からの累積受講生数は3890名になる(H27年9月現在)。

** 原子力安全教育はH25年度より開始した。

3. 新規制基準への対応状況

参考「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」
【設置許可基準】 水冷却型研究用原子炉に適用される条項)

第1条	適用範囲	第23条	保管廃棄施設
第2条	定義	第24条	工場等周辺における直接ガンマ線からの防護
第3条	試験研究用等原子炉施設の地盤	第25条	放射線からの業務従事者の防護
第4条	地震による損傷の防止	第27条	原子炉格納施設
第5条	津波による損傷の防止	第28条	保安電源設備
第6条	外部からの衝撃による損傷防止	第29条	実験設備等
第7条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	第30条	通信連絡設備等
第8条	火災による損傷の防止	第31条	外部電源を喪失した場合の対策設備等
第9条	溢水による損傷の防止等	第32条	炉心等
第10条	誤操作の防止	第33条	一次冷却系統設備
第11条	安全避難通路等	第34条	残留熱を除去することができる設備
第12条	安全施設	第35条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備
第13条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	第36条	計測制御系統施設
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	第37条	原子炉停止系統
第18条	安全保護回路	第38条	原子炉制御室等
第19条	反応度制御系統	第39条	監視設備
第22条	放射性廃棄物の廃棄施設	第40条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止

KURの対応状況

- 申請書提出後、概ね週1回のヒアリング、月1回の審査会合を実施。
- 新規制基準の要求項目(32項目)については、全項目説明済み。その後の質問への回答を行っているところ。
- 施設関係の対応として、安全保護回路の変更、非常電源系の強化、内部溢水対策等の工事が必要。また、外部事象(竜巻、森林火災)、内部火災、設計基準を超える(BDBA)事象への対応について議論中。
- 地震関係では、審査会合にて設計基準地震動を説明済み。今後、地盤安定性、津波、火山について説明予定。
- 設置変更承認後、保安規定変更、設工認申請、工事、使用前検査、施設定期検査を実施後、運転再開となる。
- 設置変更承認後の工事等に関する設工認の準備を開始。

KUCA:経緯と予定

- 概ね週1回のヒアリングを行い、全項目について説明済み。
(KURと異なり、審査会合は行われない。)
- 質問項目に対する回答も一部を残し、ほぼ終了。
- 9月30日付で、補正申請書を提出。ただし、添付書類については一部のみを提出。残りの補正申請書を準備中。
- 今後は、補正申請書をベースに審査が行われる。
- その後、保安規定、設工認、一部の施設変更工事、使用前検査、設工認を伴わない安全審査、施設定期検査への対応を行う。

研究炉(KUR、KUCA)停止中の対応

- 研究炉が停止中のため、炉を使用した共同利用研究は実施できない状況にある。炉を使用しない共同利用研究は通常通り実施中。
- 人材育成については以下のとおり対応している
 - 炉物理実験教育(KUCA)
核燃料使用施設として、未臨界体系での代替実験を行っている。
 - 原子炉工学応用実験(KUR、KUCA)
原子炉反応度実験及び未臨界実験は取り止めとした。他の実験については、原子炉を使用しないのでできる実験に振り替えるなどの対応を行っている。
 - 原子力安全教育
原子炉工学実験では過去の運転データを用いた反応度解析に変更し、放射線計測実習を追加している。他の実験については、原子炉を使用しないのでできる実験に振り替えるなどの対応を行っている。
- その他:施設見学は通常どおり実施している。

4. 人材育成に関する課題・問題点

人材育成に関する課題

- 海外からも含めて、原子炉を使用した実験教育への要望が増加している。
- KUCAでは、年間8～10週程度の実験教育を実施しており、教員の負担が大きなものとなっている。定員削減により、定年となった技術職員、教員の補充が困難な状況。
- KURでは、共同利用のための運転が主であり、実験教育は年1,2週が限界。また、KUCAと異なり、教育のためのスペース等が確保されていないため、受け入れ人数も制限あり。

人材育成に関する問題点

- 規制(セキュリティを含む)強化により、施設の維持管理により多くの経費と人員が必要な状況となっているが、運営費、定員ともに減少している。
- 人材育成に関する競争的資金では、教育で使用する装置や教育のみに従事する人員の雇用は可能であるが、施設の維持管理に必要な経費・人件費は計上できない。(講義室の整備などは認められない。事務補助員も教育に必要な期間のみの雇用となる。)
- また、教育は基本的な内容は変わらないものだが、競争的資金では新規内容の教育の実施が求められる。
- さらに、既に施設や設備を有している機関では、基本的に受講生の旅費が主要な経費となるが、経費の申請においては年度を経るごとに経費を減少させる必要があり、旅費主体の事業の場合、受講者数を年々減らすことが必要となる。

END