

京大炉(KUR)の現状と本 ワークショップ趣旨説明

京都大学原子炉実験所

日野正裕



2016年12月27日

「京大炉におけるビーム利用のための次期中性子源検討4
ワークショップ」@京大炉・事務棟大会議室

研究用原子炉
(KUR)

臨界集合体実験装置
(KUCA)

イノベーションリサーチラボ
(FFAG陽子加速器)

原子炉実験所の主要3施設

KUR: 1964年初臨界 → 全国共同利用研究の遂行

KUCA: 1974年初臨界 → 原子力教育・炉物理実験

イノベーションリサーチラボ: 2004年竣工 → ADS, 加速器BNCT

KURRI *neutron optics*

2016年12月27日「京大炉におけるビーム利用の
ための次期中性子源検討WS4」@事務棟大会議室



外部機関(理研)
長期占有利用中

世界初の本格的スーパーミラー導管設備 (1985)

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

日本初の中性子導管 (1973)

汎用小型中性子回折計
へ改造中

E-3 : 中性子導管

：中性子導管
B-4

：4軸モノクロメータ

【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)

重水設備
照射室

黒鉛設備 (CNS)
中性子導管群

世界で最高の
治療実績
をもつ
BNCT設備

黒鉛熱中性子柱
黒鉛圧気輸送管
冷中性子源液化槽

日本初の冷中性子源
(1987)

E-4 : 低温照射装置

：3軸中性子回折装置

世界唯一の極低温照射装置
だが廃止(装置撤去)

：鉄フィルタービーム設備

特殊照射装置へ改造
陽電子照射装置へ改造

E-1 : 照射孔

B-1

B-2

B-3

原子炉

主待過廊

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

E-3

重水設備

照射室

E-1

B-1

B-2

B-3

B-4

E-2

T-1

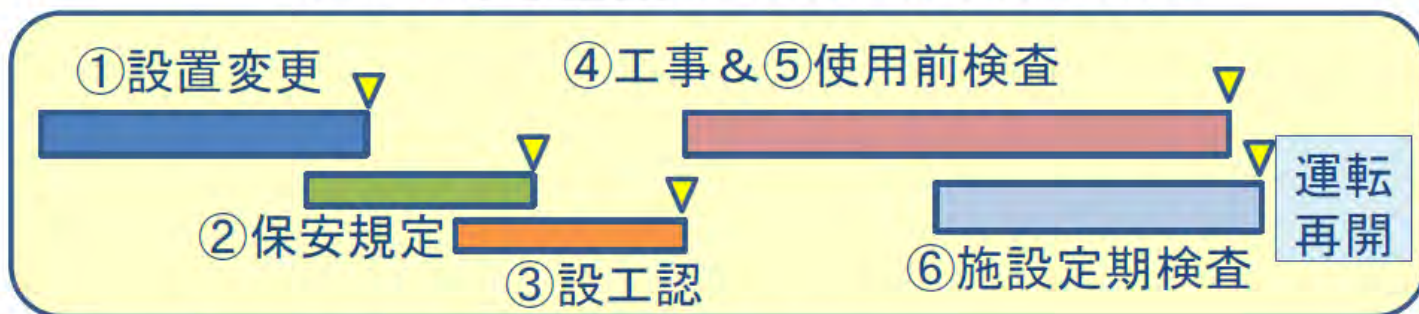
E-3

重水設備

照射室

E-1

KURの今後の予定(見込み)



その他: 運転員等の教育・訓練、防災訓練などの実施

研究炉部長
中島先生より

- ① 設置変更申請書の承認: 9月21日承認 (KUCA: 5月11日承認)
- ② 保安規定の変更: 10月5日申請、**12月27日補正(予定) 本日!**
- ③、④、⑤ 工事関係: 4件の設工認
設工認1: 9月14日申請 (10/27、11/11補正) → 11月30日承認
設工認2: **12月27日申請予定** 設工認3及び4: 1月半ば予定
工事期間: 約2カ月、工事終了後に使用前検査
- ⑥ 施設定期検査: 運転に必要な機能の確認 (1~2カ月程度)

設工認①: EGバイパス工事、安全保護回路変更、計装用UPS、放管FM工事
設工認②: 既設設備、火災対策設備、重要ケーブルの分離、可搬型ポンプ・ホース
設工認③: 配管耐震サポート工事等、竜巻防護工事
設工認④: 耐震評価、その外部事象の影響評価(工事を伴わないもの)

原子炉実験所の役割

国立大学改革プランに基づく**ミッションの再定義**の結果(平成25年)

京都大学:強みや特色、社会的な役割

研究用原子炉による**実験**及び**加速器駆動システム(ADS)**や**ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)**など**原子力・放射線の有効利用の研究**、

全国共同利用・共同研究拠点

共同利用・共同研究拠点名:複合原子力科学拠点

研究分野:複合原子力科学、認定期間:H28.4.1 – H34.3.31

共同利用・共同研究拠点の概要:研究用原子炉等の施設を共同利用・共同研究に供するとともに、核エネルギー利用と放射線利用の両面から基礎的・萌芽的な実験的研究を行うことで、複合原子力科学の先導的な応用分野の開拓を目的とする。

マスタープラン2017(学術会議):区分 I、総合工学分野・応用物理学(27-1)

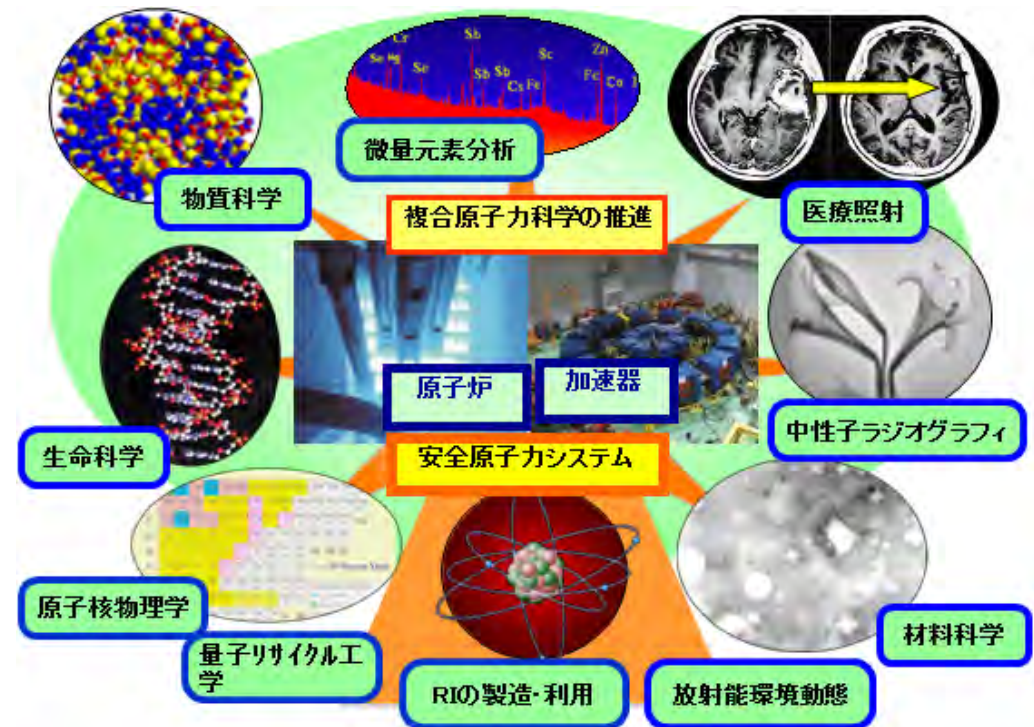
複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進

重点大型研究計画 ヒアリング(総合工学では 4/12)

複合原子力科学の有効利用に 向けた先導的研究の推進 (京大炉将来計画) 大型計画マスタープランに採択中!(2017申請中)

- 大規模研究計画(2017より新規計画である区分I)

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。



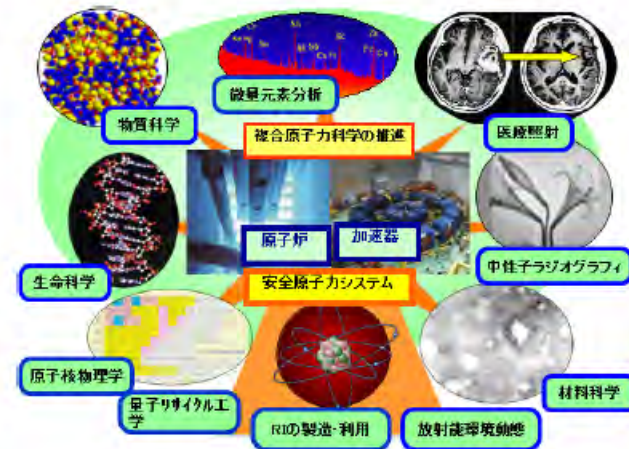
複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進

(マスタープラン2017申請)

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。

変更点

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検討することが、日米で合意された。現在、ワシントン会合にて、その実行のための議論が日米両政府間で進行中。これらの合意を受けて、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**」の実現を計画の骨格とし、その他の計画を見直した。

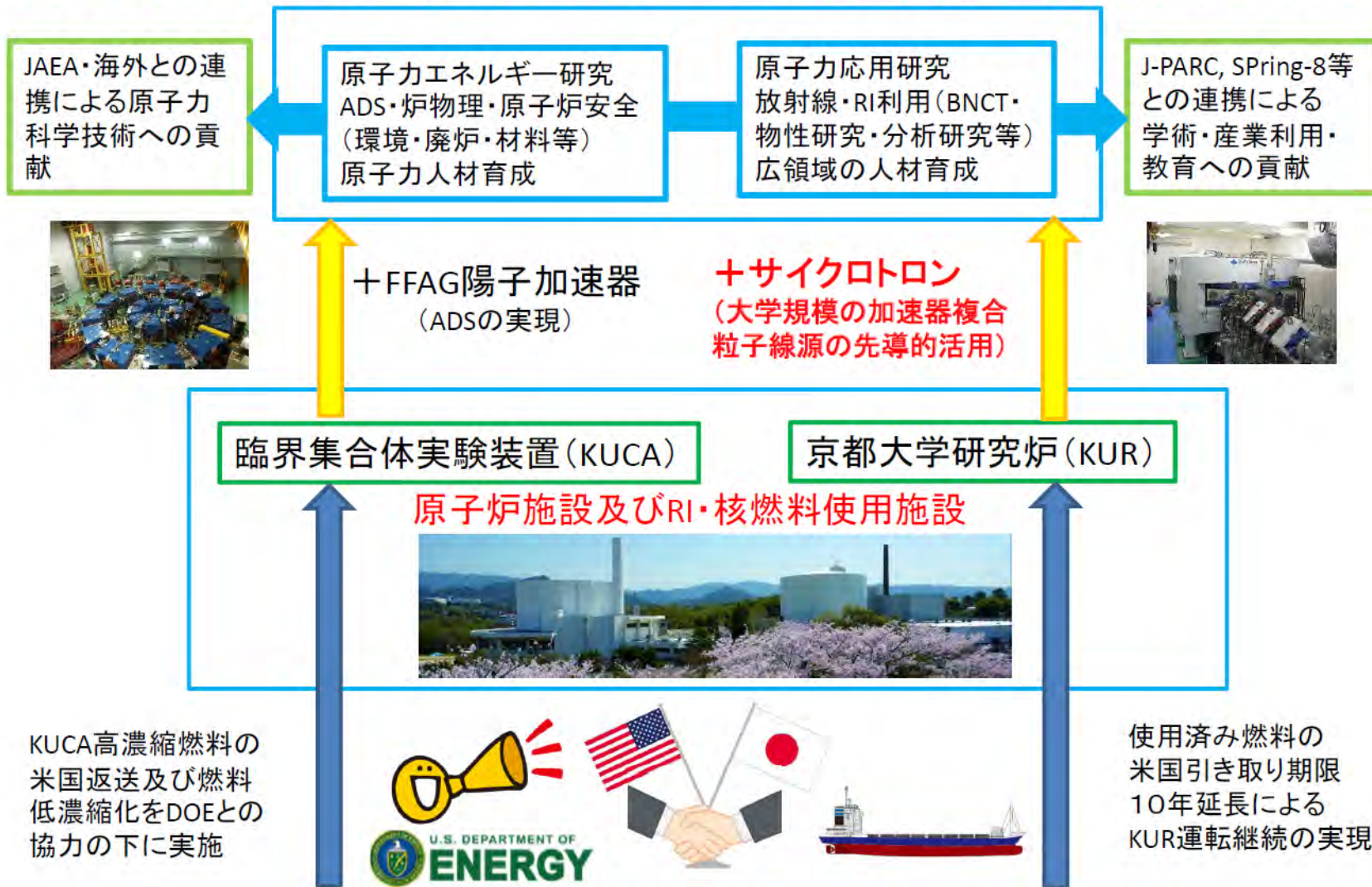


1) **研究炉・加速器を用いた物性・分析研究の深化**: 研究炉(KUR/KUCA)・陽子線加速器(FFAG)、電子線形加速器、Co-60ガンマ線照射施設、X線回折・小角散乱装置、各種微量元素分析装置等の多様な施設・装置を有機的に利用し、研究者の自由な発想に基づく多様な研究環境を実現する。

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。

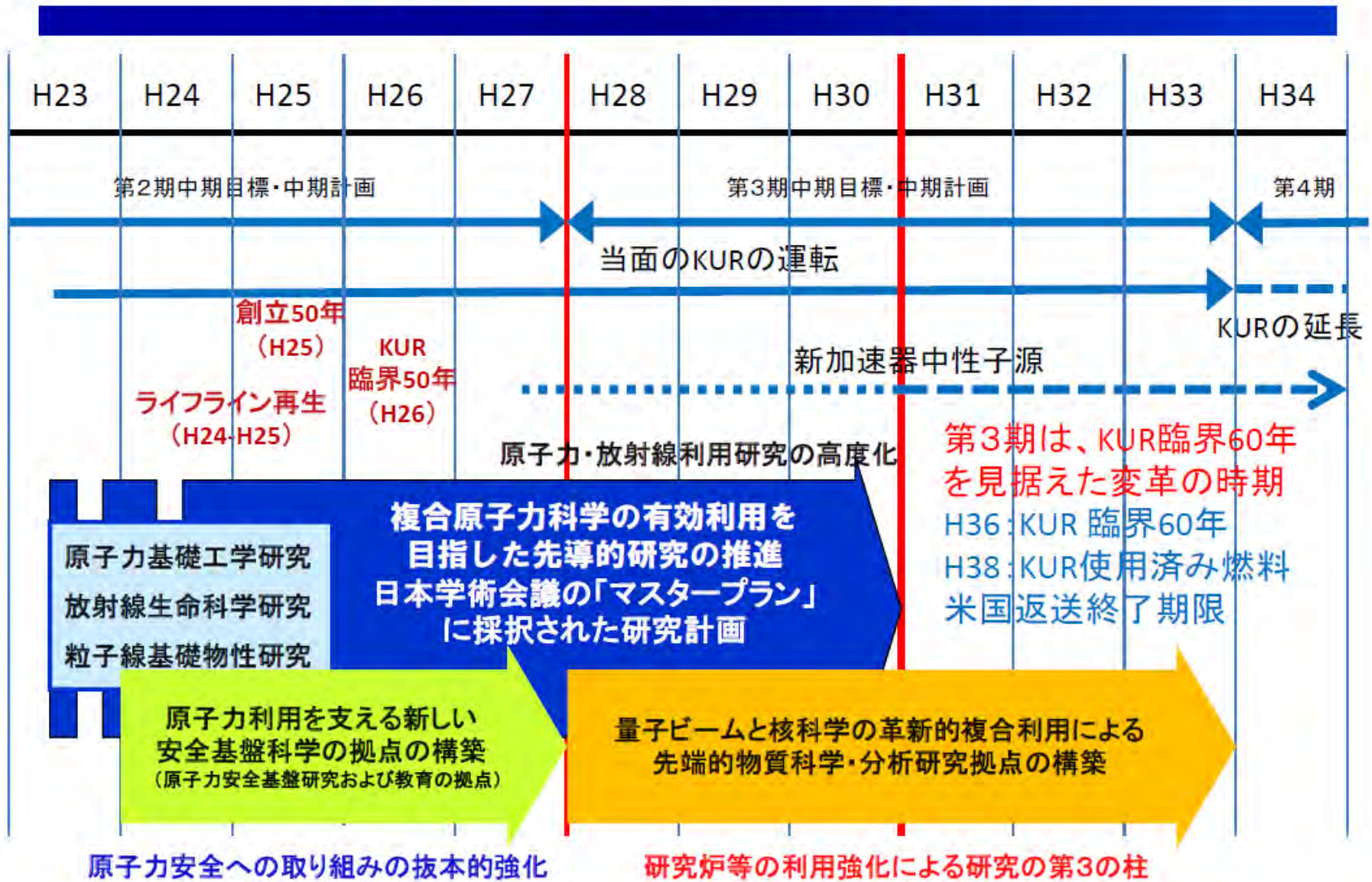
3) **原子力エネルギー利用に関する諸問題を解決する原子力研究**(ADS等): 研究用原子炉(KUR/KUCA)ばかりでなく、高エネルギー陽子加速器(FFAG)と原子炉(KUCA)との結合を実現させた世界で唯一のADSを中心として、使用済み燃料や福島事故問題をはじめとする原子力エネルギーの諸問題に関する基礎研究を行う。核セキュリティサミットにおいて、京都大学研究用原子炉(KUR)の使用済み燃料米国返送期限の10年延長が実現し、さらにKUCAの高濃縮燃料の米国返送及び燃料低濃縮化合意に向け日米交渉が進行中である。

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

原子炉実験所の全体計画



京大炉におけるビーム利用のための次期中性子源検討WS

第1回:2013年1月18日(金)

第2回:2014年1月17日(金)

第3回:2015年1月16日(金)

中性子は特長ある有用なプローブ。
強度がすべてではないが、規模が大きくなったことにより成果の創出がより強く求められ、組織間連携の重要性増大

京大炉におけるビーム利用のための次期中性子源検討WS3

日時: 2015年1月16日(金) 9:00~17:00

9:00~9:15 日野正裕 はじめに(今回の趣旨説明)

座長:日野正裕(京大炉)

9:15~9:40 石禎浩(京大炉) 「FFAG加速器ビーム増強:現状と今後の展開」

9:40~10:05 田中浩基(京大炉) 「BNCTのための加速器中性子源の現状」

10:05~10:30 広田克也(名大) 「名大小型中性子源NUANSの現状」

10:30~10:45 休憩

10:45~11:10 齊藤泰司(京大炉) 「KURビーム利用の方向① イメージング研究」

11:10~11:35 杉山正明(京大炉) 「KURビーム利用の方向② SANSを例にして」

11:35~12:00 佐藤卓(東北大多元研) 「様々な中性子源を利用して成果を上げるには」

12:00~13:15 昼食

座長:目時直人(JAEA)

13:15~13:45 福永俊晴(京大炉) 「京大炉の次期中性子源について」

13:45~14:15 柴山充弘(東大ISSP) 「JRR-3における大学共同利用」

14:15~14:30 休憩

14:30~15:00 藤田全基(東北大金研) 「東北大金研中性子ビームセンターの将来構想」

15:00~15:30 大友季哉(KEK) 「KEK物構研及びJ-PARCセンターの将来構想」

15:30~17:00 まとめと総合討論

2013/1/18 第1回WS鬼柳先生発表の「まとめ」より

大型だけでなく、中小型中性子源が併存することの重要性が世界的に認識されてきている。

小型中性子源が建設されていく気運にある。

用途が広がりつつある。

散乱実験、イメージング、ソフトウェア、BNCT、その他

大型施設

高分解能実験、基盤的実験、
長期的実験など

先端的・
目に見える成果

中型施設

中間分解能実験、中程度数サンプル、予備実験、基盤的実験、多数頻度など

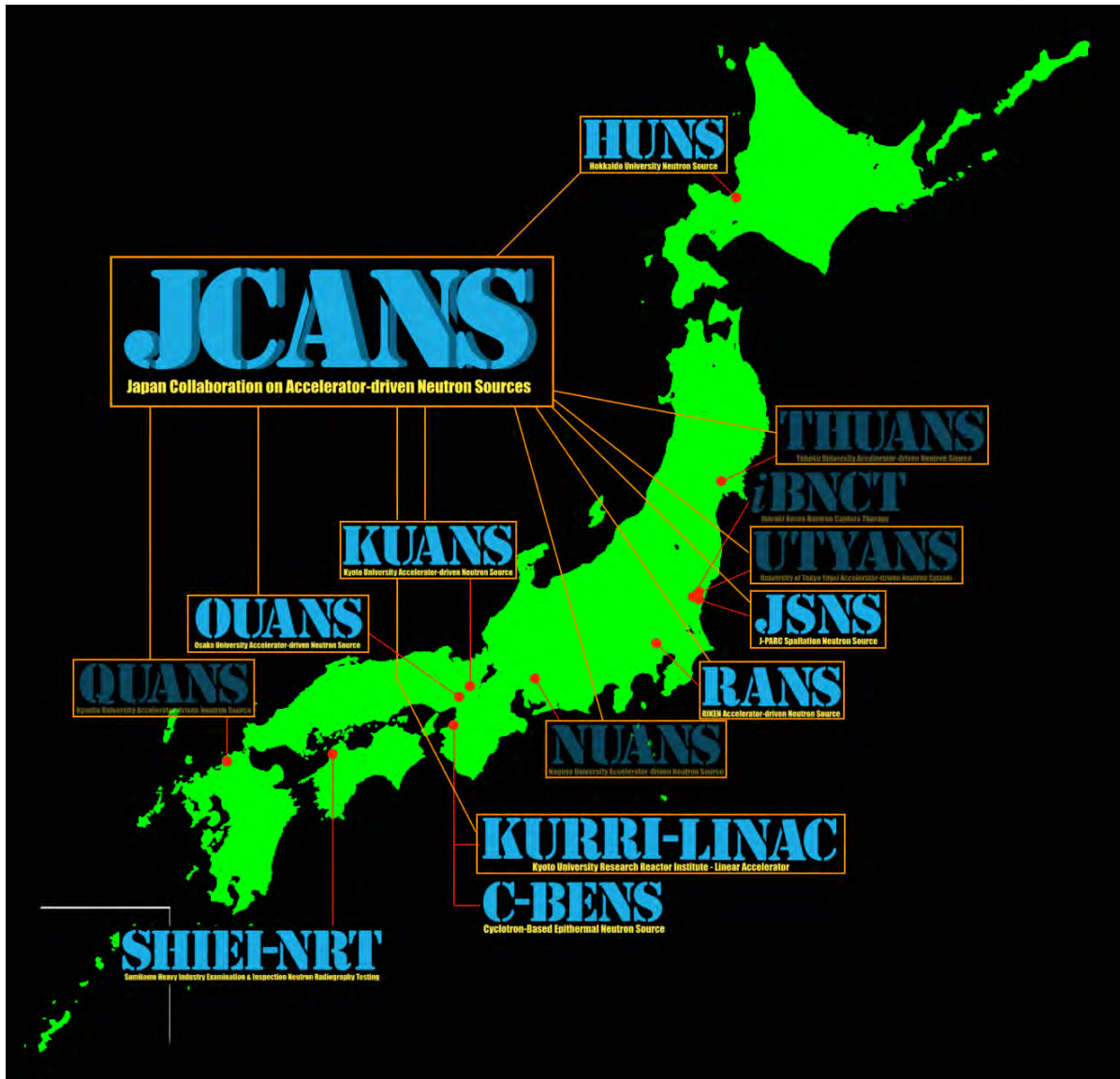
萌芽的研究

小型施設

簡単アクセス、低分解能実験、多数サンプル、予備実験、即応的実験、多数頻度実験など

JCANS:日本加速器 中性子源協議会

日本における加速器
中性子源の研究を基
礎として、中性子ビー
ムの実用技術及び産
業実用までを含めたコ
ンソーシアム形成まで
を指向する総合的な
ネットワーク。



<http://phi.phys.nagoya-u.ac.jp/JCANS/Pictures/j-ans.png>

KURRI *neutron optics*

2016年12月27日「京大炉におけるビーム利用の
ための次期中性子源検討WS4」@事務棟大会議室



我が国の主な量子ビーム施設 (放射光、中性子線、イオンビーム等)



理化学研究所
放射光科学総合研究センター
Spring-8 / SACLA

兵庫県立大学
NewSUBARU

広島大学
HiSOR

九州大学
タンデム加速器

SAGA-LS

京都大学
化学研究所

京都大学
原子炉実験所

東北大学
電子光物理学研究センター

TIARA
電子線照射施設

立命館大学
SRセンター

AichiSR

UVSOR

J-KAREN

大阪大学
RCNP
激光XII号レーザー

北海道大学
冷中性子源

J-PARC

JRR-3

筑波大学
陽子線医学利用
研究センター

PF / PF-AR

HIMAC

東京工業大学
ペレットロン

RIBF

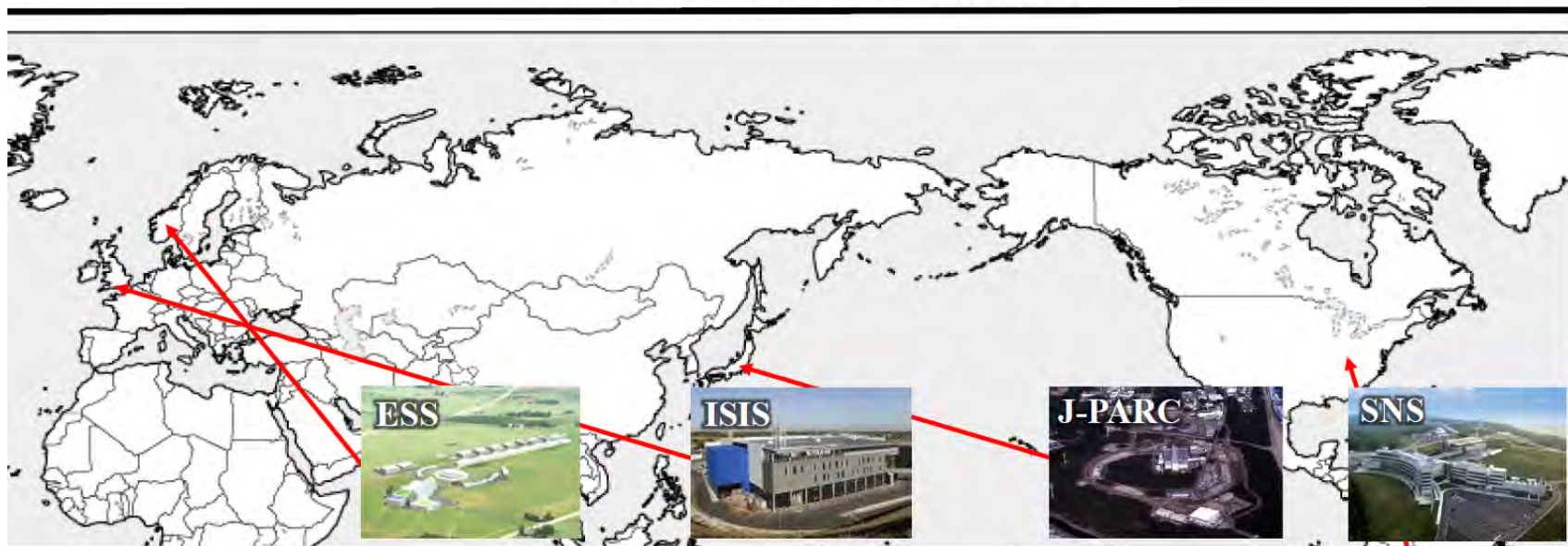
量子ビーム利用に係る概況について

平成28年11月7日(月)
科学技術・学術政策局 研究開発基盤課
量子研究推進室



- 赤：国（共用法）
- 橙：国立研究開発法人
- 青：地方自治体
- 緑：大学、大学共同利用機関

世界のパルス中性子線施設



	ESS European Spallation Source	ISIS 第1ターゲットステーション	ISIS 第2ターゲットステーション	J-PARC Japan Accelerator Proton Research Complex	SNS Spallation Neutron Source
所在地	スウェーデン スコーネ県ルンド	イギリス オックスフォードシャー州		茨城県 東海村	米国 テネシー州
運転開始年	2019年(予定)	1984年	2007年	2008年 (共用開始:2012年1月)	2007年
出力 [MW]	5.0(目標値)	0.16	0.048	1.0	1.4
時間平均中性子強度 [n/sr]	不明	不明	4.0×10^{13}	4.3×10^{14}	3.5×10^{14}
パルス毎の中性子強度 [n/(sr·pulse)]	不明	不明	4.0×10^{12}	18.0×10^{12}	5.9×10^{12}

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の整備・共用

平成28年度予算額 : 10,441百万円
 (平成27年度予算額 : 10,370百万円)

- J-PARCは、日本原子力研究開発機構(JAEA)及び高エネルギー加速器研究機構(KEK)が共同運営し、物質・生命科学実験施設 (MLF) の中性子線施設は世界最大のパルス中性子線強度を誇る共用施設。
- 平成24年1月に共用開始。パルスビームは0.1MWから段階的に強度を上げ、1MWの安定運転による最大限の共用を目指す。

【平成27年度補正予算額 : 69百万円】

Japan Proton Accelerator Research Complex



◆ J-PARCの最大限の共用運転の実施

10,441百万円 (10,370百万円)

- 施設の運転・維持管理等

◆ J-PARCの利用促進

739百万円 (739百万円)

- 利用者選定・利用支援業務の着実な実施

- 我が国の中性子利用研究体制を支える大型中性子線施設 (パルス中性子源: J-PARC、定常中性子源: 原子炉JRR-3) の両翼の一つ。

【利用者数】平成26年度のMLF利用者数は約13,000人

【論文発表】供用開始 (H24.1) 以来の研究論文数は累計約450報

【産業利用】中性子線施設の利用件数の約2~3割が民間企業ユーザー



◆ 中性子ビームの特長

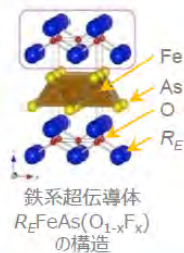
- **壊さず透過する** (電子殻とほぼ相互作用しないため、物質を破壊せず内部構造が観察可能)
- **原子核の動きや軽元素を見る** (原子核と相互作用し、特に水素(^1H)やリチウム(^6Li)などの軽元素の観察に強み)
- **磁気構造を見る** (スピンを持つため、微小磁石として振る舞い、物質の磁気構造が観察可能)

世界的に注目される鉄系超伝導物質で新しいタイプの超伝導状態を発見

[Nature Physics (2014.3.16オンライン版) 掲載]

【使用ビームライン】BL08, BL21 【利用期間】2013年度 【中心機関】 KEK、J-PARCセンター、東京工業大学

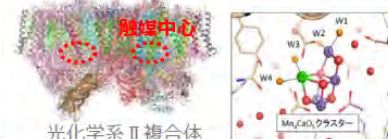
- 2008年に鉄というありふれた元素で高温超伝導の可能性を示す超伝導物質が報告されて以降、世界的に高い関心と集中的な研究が進められているところ。
- J-PARCにおける中性子線実験により、鉄系超伝導物質の詳細な磁氣的性質および構造を調べることで、超伝導転移温度がより高いピークを示す新たな超伝導状態 (第二の超伝導磁気秩序相) を発見。
- 鉄系超伝導の本質に迫り、将来的な**高温 (室温) 超伝導物質の開発の可能性を拓くもの**と期待。



光化学系Ⅱ複合体が水を分解する光合成メカニズムの解明

《今後期待される顕著な成果》

- 自然界の光合成を理解する上で、**光化学系Ⅱ複合体がいつか水を取込み分解するかは当面最大の鍵**。これまで岡山大他により、Spring-8及びSACLAにおいて、その3次元原子構造の解明が進められ、国際競争をリード。
- J-PARCの大強度中性子線により、今後、光化学系Ⅱ複合体において**水素原子の位置や動きの解明を狙い、光合成メカニズムの解明が期待**。



触媒中心のマンガンクラスターは、2個の水分子を分解、4個の水素原子核を放出する。クラスター周囲の水素原子の位置を決定することで、メカニズムを詳細に理解することができる。

総合討論で議論したいこと

中性子は特長ある貴重かつ有用なプローブ。研究用原子炉 (JRR-3, KUR) の長期停止は厳しいが、加速器駆動中性子源の進展が大きい。また中性子光学によるビーム制御技術、分光器開発等の進展も大きい。

しかし全体の規模が大きくなったことにより成果の創出がより短期で強く求められ、施設発の研究、組織間連携(関係)の重要性が増している。

I. 成果創出(サイエンス) II. 組織を越えた協力

京大炉ビーム利用計画もこの2点を重視し、自らのなりたい形を明確にしていきたい。

京大炉におけるビーム利用のための次期中性子源検討WS4

日時: 2016年12月27日(火) 13:30~18:30

セッション1: 座長: 田崎誠司 (京大工)

- 13:30-13:55 日野正裕(京大炉)「KUR現状とワークショップ趣旨説明」
13:55-14:20 田中浩基(京大炉)「サイクロトロンを用いたBNCT用加速器中性子源」
14:20-14:45 安部豊(京大工)「冷中性子源解析と関連コード開発」
14:45-15:10 細島拓也(理研)「京大炉・理研連携による
金属母材中性子集光スーパーミラー開発の現状」
15:10-15:35 大竹淑恵(理研)「理研中性子源による新たな展開」
15:35-16:00 清水裕彦(名大理)「名古屋大学小型中性子源(NUANS)と新中性子源検討」

16:00-16:15 休憩

セッション2: 座長: 日野正裕 (京大炉)

- 16:15-16:40 武田全康(原子力機構)「JRR-3ビーム利用について」
16:40-17:05 大友季哉(高エネ機構)「物構研ビーム利用と将来計画」
17:05-17:30 藤田全基(東北大金研)「パルス及び定常中性子源による物性研究を例とした
中性子科学ロードマップの重要性」
17:30-18:30 総合討論: 小型-中型-大型施設をつなぐサイエンス、中性子源・デバイス開発
(話題提供: UCNAS報告(広田克也(名大理)))

19:00-(21:00) 懇親会 居酒屋「とも」にて(ここから体育大学側へ200m程度の所)