

# 原子力の基礎・基盤的研究開発に関する 現状と課題

平成24年5月29日

文部科学省



# 目次

- 1. 原子力の基礎・基盤研究について**
- 2. 原子力の人材育成について**
- 3. 放射線利用について**
- 4. 核融合研究開発について**

# 科学技術・学術審議会 原子力科学技術委員会における検討

東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえながら、原子力科学技術委員会において、**原子力の基礎的・基盤的な研究開発や人材育成に関する現状と課題について検討。**

## 【原子力の基礎・基盤的研究開発の今後の取組みにおける共通理念】

- 我が国の今後の原子力の研究開発計画を検討するにあたっては、東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、「東電福島原発事故」という。)を真摯に受け止め、原子力に対する国民的信頼・理解を再構築することが大前提となるとの認識を共有すべきである。我が国の今後の原子力政策の在り方については、現在見直しの途上にあるが、原子力の基礎・基盤的研究開発計画についても、原子力の潜在的な可能性とリスクをゼロベースで見直しながら、国民の安全の確保を大前提に取り組まなければならない。
- また、原子力のエネルギー利用の方向性の如何にかかわらず、東電福島原発事故を受け、特に、除染や廃炉等事故への対処のほか、事故の教訓を踏まえた原子力施設の安全性向上やシビアアクシデント対応、放射性廃棄物の処理・処分等の課題に対する国民的な関心や社会的要請、新たな知見・技術の確立への期待・必要性が高まっていることから、これらに必要な基礎・基盤的研究開発や人材育成の取組みを強化していくことが必要である。その際、原子力の有する社会的影響の広がりや踏まえ、学術研究の多様性の確保・維持とともに、人文・社会系も含めた他分野との協調・連携の重要性にも留意することが必要である。
- さらに、海外に目を向けると、世界の主要国ならびに新興国の中には、東電福島原発事故後もエネルギーの安定供給の確保や地球温暖化対策等の観点から、原子力の研究開発・利用を継続・推進する計画も見られる状況を踏まえ、諸外国の動向に留意するとともに、国際的な原子力の安全の確保に向けて、研究開発においても、東電福島原発事故の教訓を活かしながら、世界の要請に応えていくことが重要である。

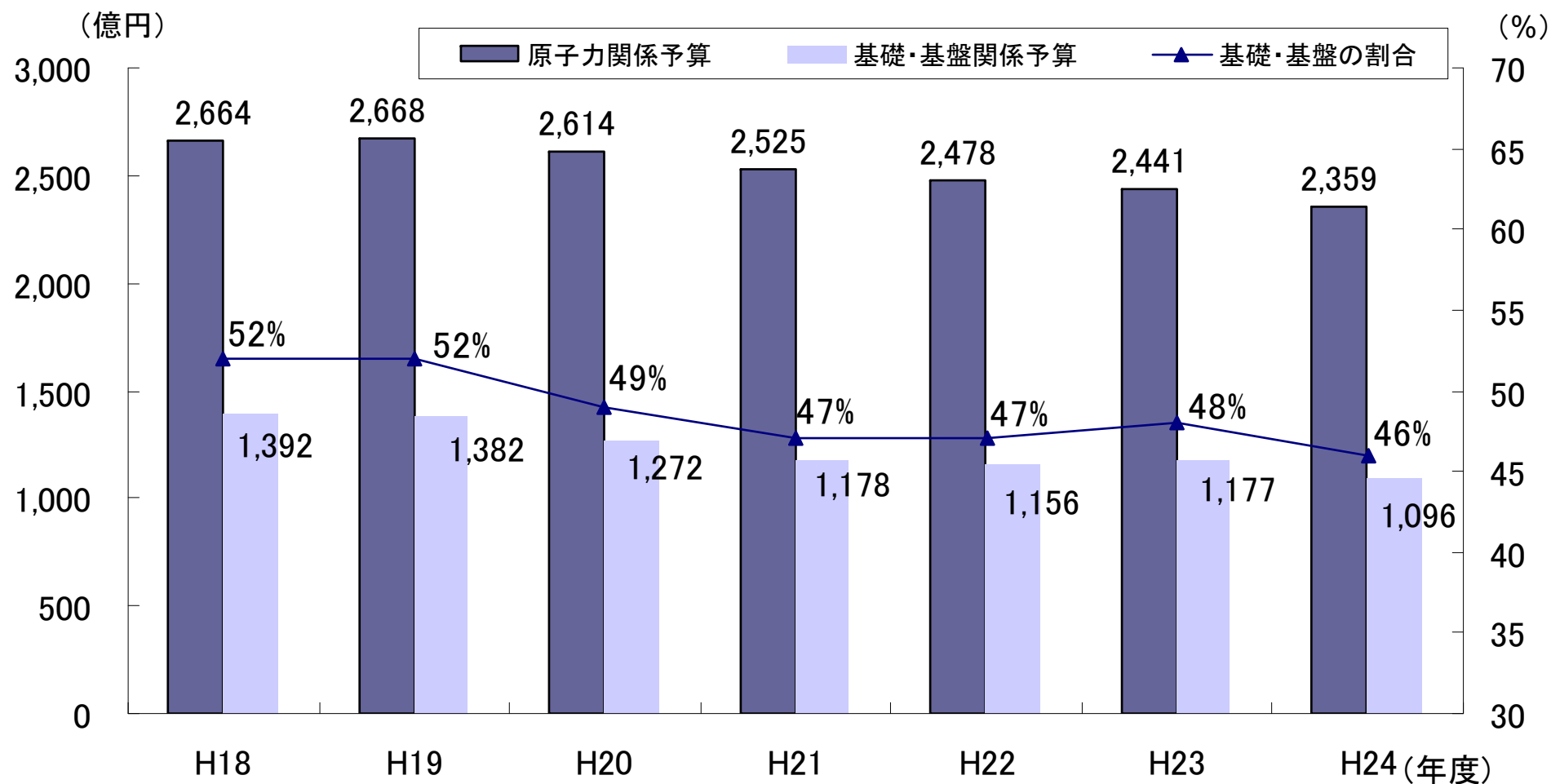
# 1. 原子力の基礎・基盤研究について



MEXT

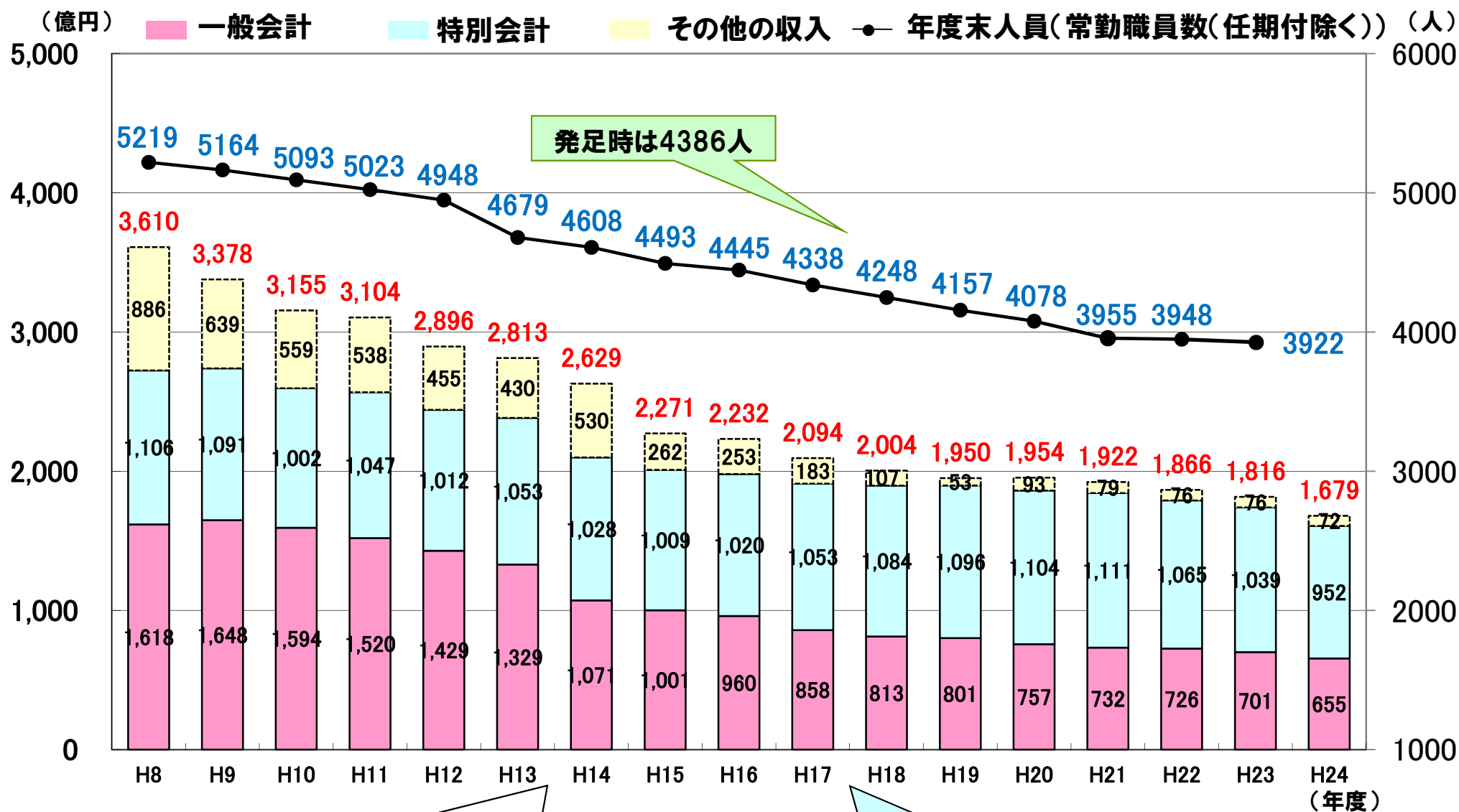
MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS,  
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

# 文部科学省における原子力関係予算の推移



○ 原子力の基礎・基盤に係る予算は、近年減少傾向。

# (参考) 旧二法人と原子力機構の人員・予算の推移



特殊法人等整理合理化計画  
(H13. 12. 19) により二法人統合決定

平成17年10月1日  
日本原子力研究開発機構発足

# 我が国における試験研究炉の状況

## 東海

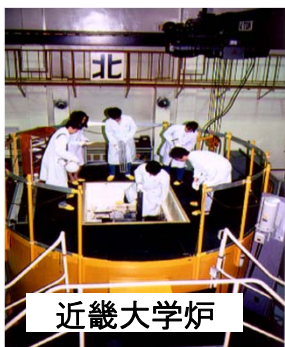
- × 東京大学原子炉 (弥生)
- 【日本原子力研究開発機構】
- 定常臨界実験装置 (STACY)
- 過渡臨界実験装置 (TRACY)
- 原子炉安全性研究炉 (NSRR)
- JRR-3
- JRR-4
- 高速炉臨界実験装置 (FCA)
- 軽水臨界実験装置 (TCA)
- × JRR-2

## 東大阪

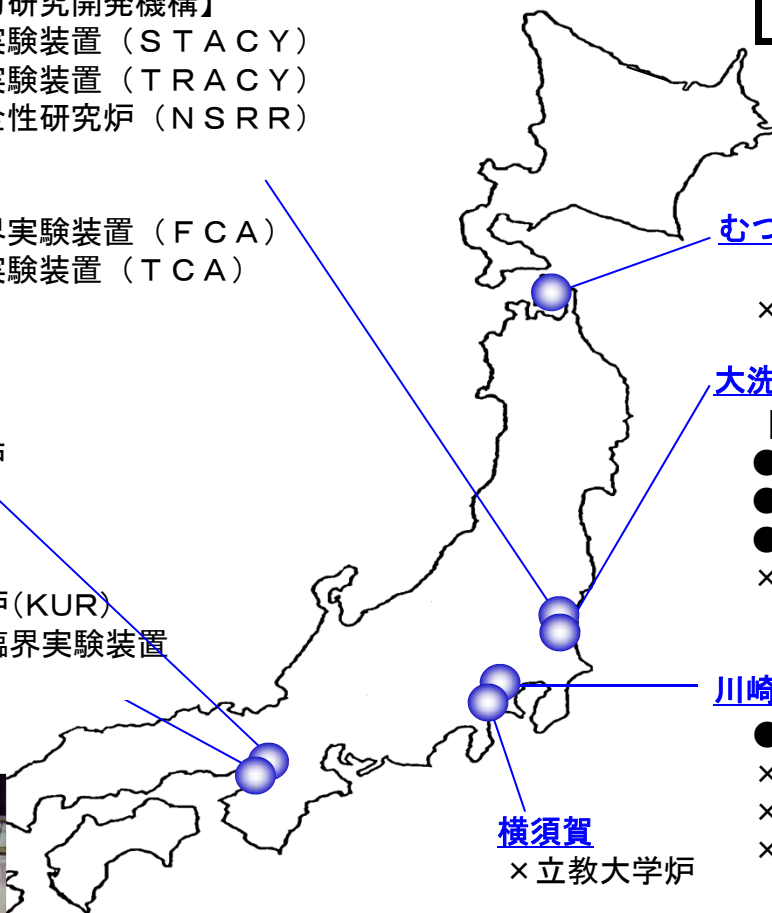
- 近畿大学炉

## 熊取

- 京都大学炉 (KUR)
- 京都大学臨界実験装置 (KUCA)



近畿大学炉



## むつ

- 【日本原子力研究開発機構】
- × 原子力第1船 むつ

## 大洗

- 【日本原子力研究開発機構】
- 材料試験炉 (JMTR)
- 高温工学試験研究炉 (HTTR)
- 高速実験炉 (常陽)
- × 重水臨界実験装置 (DCA)

## 川崎

- 東芝臨界実験装置 (NCA)
- × 東芝教育訓練用原子炉 (TTR-1)
- × 武蔵工大炉
- × 日立教育訓練用原子炉 (HTR)

## 横須賀

- × 立教大学炉

	● 運転中	建設中	× 廃止措置中	計
原子炉施設	14	0	8	22



JRR-3



施設共用促進のための  
JRR-3 ユーザーズオフィス

- 多くの施設が設置から40年以上経過しており、東京大学弥生炉もH23年に運転を停止。
- このような中、共同研究や課題公募等を通じた施設の共用の取組みが進められている。
- 一方、各施設では、核セキュリティ政策を踏まえた燃料低濃縮化や使用済燃料・放射性廃棄物の処理処分についての対応方策の検討が求められている。

# 原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ

平成24年度予算額 7.1億円（前年度 6.1億円）

## 事業の概要

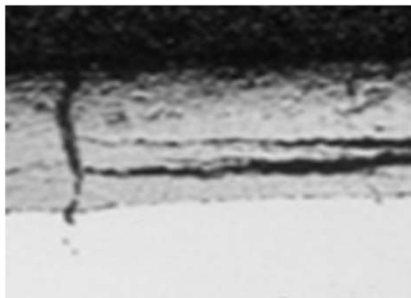
- 我が国における原子力研究の裾野を広げ、効率的・効果的に基礎的・基盤的研究の充実を図るため、政策ニーズを踏まえながら対象領域・課題を設定し、競争的環境の下で研究を推進することを目的とした競争的資金(H20年度創設)
- 平成24年度は、東電福島原発事故を踏まえ、原子力安全の一層の高度化を支える技術基盤の確保・充実とともに、放射性物質による環境影響、リスクマネジメント、原子力と社会との関係の在り方など、新たに顕在化した科学的あるいは社会的な課題の解決に資する基礎・基盤的な研究課題を公募。現在、審査中。
  - 期間：原則3年以内
  - 経費：年間5百万円～35百万円程度(1課題あたり)
  - 採択予定課題数：計12件程度(3つの募集テーマを合わせた採択予定件数)
  - 公募テーマ
    - 【テーマ1】 原子力プラントの安全性向上に係る基礎基盤研究
    - 【テーマ2】 放射線影響・低減に係る基礎基盤研究
    - 【テーマ3】 原子力と社会の関わりに係る人文・社会科学研究

## 実績

- 平成20年度以降、これまでに、60課題(のべ140機関)にわたる幅広い基礎・基盤的な研究取組みを支援



(核燃料等の研究)



(材料の安全研究)



(低線量被ばく研究)



(人文・社会科学研究)



# 原子力機構における安全性向上・確保に向けた研究開発

○保有する原子力施設を用いながら、軽水炉の安全な利用に対応した高経年化対策技術や改良燃料の導入、核燃料サイクル施設、放射性廃棄物の処分などに関して、各深層防護レベルに対応した安全研究を実施し、得られた成果を規制当局や電気事業者等関係機関に提供。

○また今後、東電福島原発事故の教訓を活かしながら、シビアアクシデント及び緊急事態への準備に関する安全研究を重点的に実施していくこととしている。

## 軽水炉の高度利用及び新型の軽水炉等に関する熱水力安全研究

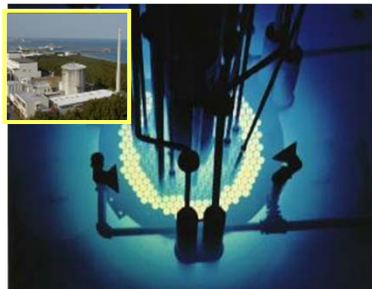
◆軽水炉冷却システムの事故時の性能を評価するための解析手法などを整備するため、大型非定常実験装置(LSTF)等の施設を活用した総合試験、基礎的研究などを実施。



LSTFによる全交流電源喪失時などでの炉心冷却条件評価試験

## 軽水炉の高度利用に対応した新型燃料の安全性に関する研究

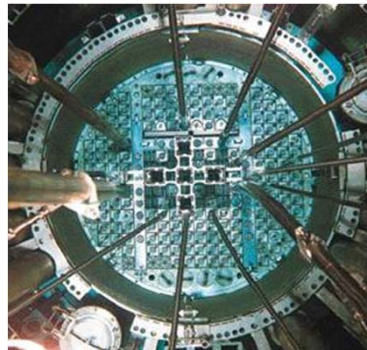
◆新型燃料導入のための安全審査などに必要な基準などを整備するため、原子炉安全性研究炉(NSRR)や燃料試験施設等を活用した事故模擬試験や解析コードの開発などを実施。



NSRRにおける反応度事故模擬試験

## 材料劣化・高経年化対策技術に関する研究

◆原子炉材料の放射線や高温水中での劣化、機器の損傷確率を評価する手法などを整備するため、材料試験炉(JMTR)を活用した照射試験、ホットラボ試験、解析コードの開発などを実施。

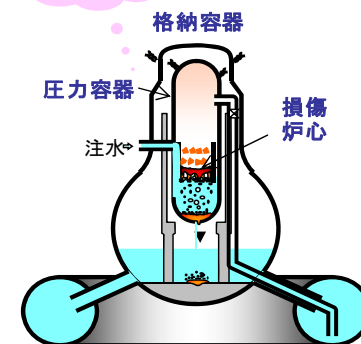


材料試験炉(JMTR)

## リスク評価・管理技術に関する研究

◆原子力施設のリスクを適切に管理するため、事故の発生、進展、放射性物質の放出、環境や公衆への影響などのリスクを評価するための手法を整備。

放射性物質の放出 → 住民の被ばく



環境への放射性物質放出等を評価するモデルの開発

## 放射性廃棄物に関する安全評価研究

◆地層処分、余裕深度処分等に対して、核種移行評価手法及び廃棄体・人工バリア性能評価手法を整備。また、施設の特徴や廃止措置段階に応じた解体時の安全評価手法を整備。



解体作業時の放射性粉じん飛散率の評価試験

# 原子力の基礎・基盤研究に係る課題

- 原子力のエネルギー利用の方向性の如何にかかわらず、**基礎・基盤研究は重要**。近年減少傾向にある原子力の基礎・基盤に係る予算については、今後一定規模を確保することが必要。
- 日本原子力研究開発機構や大学等の**試験研究炉等の原子力施設**については、老朽化が進む中、継続的な維持・管理や新規整備が困難な状況にあるため、高経年化対策に加えて、**戦略的・集約的整備及び共用の在り方**について、今後検討していくことが必要。
- 各施設の設置機関においても、上記を踏まえながら、今後の各炉等の在り方や、使用済燃料や放射性廃棄物の処理・処分について、今後必要なコストやその措置の在り方も含め検討を進めることが必要。なお、国においても必要な支援を行っていくことが必要。
- 東電福島原発の廃止措置等に向けた研究開発の効率的・効果的な実施のためには、**日本原子力研究開発機構の専門的知見や既存施設の有効活用**を図ることが必要。
- また、大学等においても、東電福島原発事故により顕在化した新たな研究開発課題や安全性の向上に関する研究開発課題に、分野や機関を超えた連携を図りながら、積極的に取り組むことが期待される。国においても公募型の研究開発支援制度等により必要な支援を図っていくことが必要。

## 2. 原子力の人材育成について

# 原子力関係学科の推移

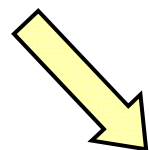
## 【最近の状況】

- ◆東京大学:原子力専攻・原子力国際専攻の設置(平成17年度)
- ◆福井大学:国際原子力工学研究所の設置(平成21年度)
- ◆早稲田大学+東京都市大学:共同原子力専攻の設置(平成22年度)
- ◆東海大学:原子力工学科の設置(平成22年度)
- ◆長岡技術科学大学:原子力システム安全工学専攻の設置(平成24年度) など

(昭和59年度)

大学:10学科(定員約440人)

大学院:11専攻(定員約230人)



(平成16年度)

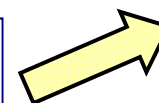
大学:1学科(定員約60人)

大学院:4専攻(定員約100人)

(平成24年度)

大学:3学科(定員約120人)

大学院:8専攻(定員約220人)

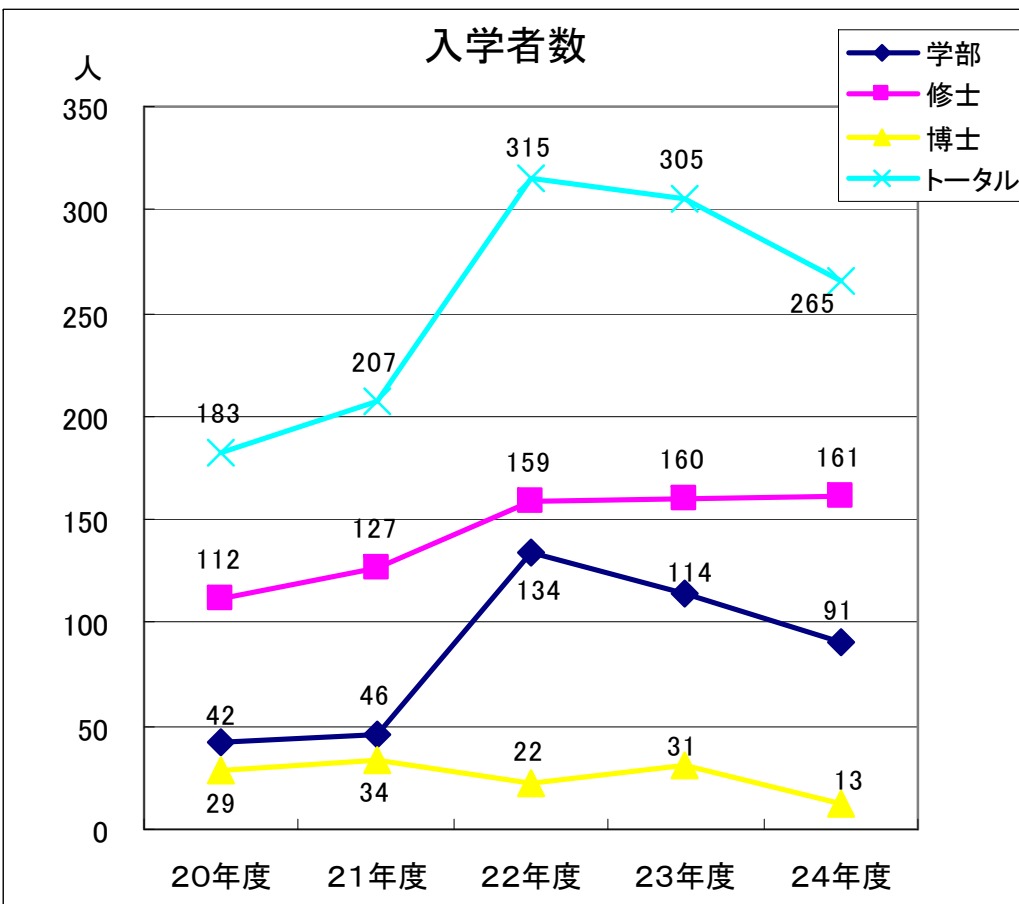
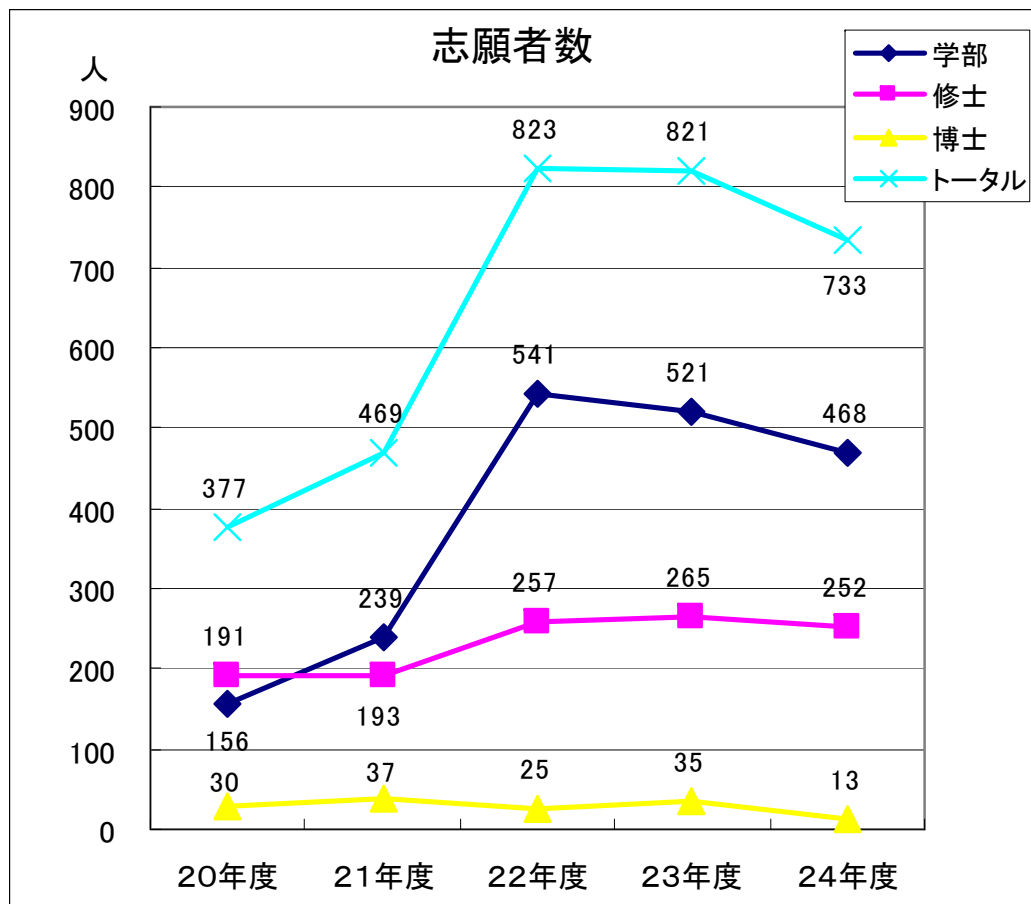


※「原子」という単語を持つ学科・専攻数を計上。

○平成16年度頃までは減少傾向が続いたが、近年、原子力の重要性が再認識され、原子力関係学科が増加。

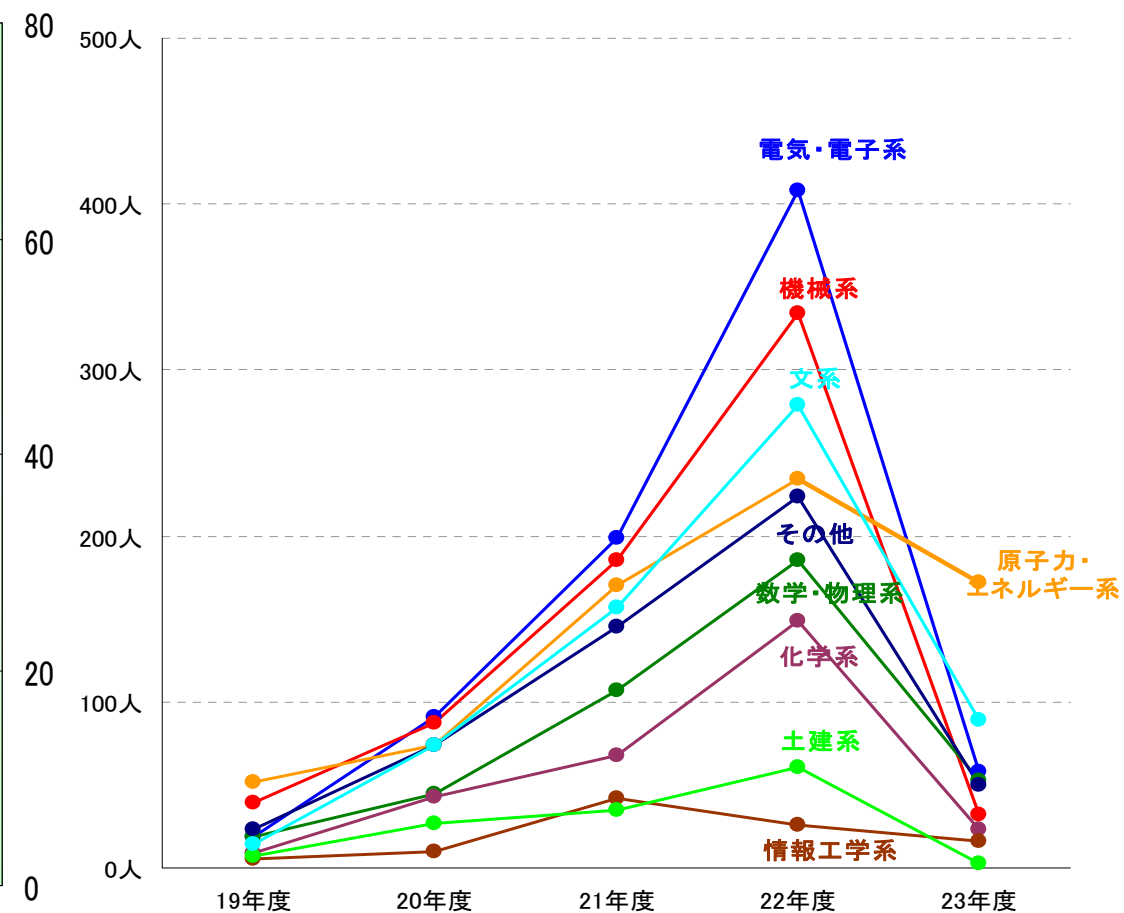
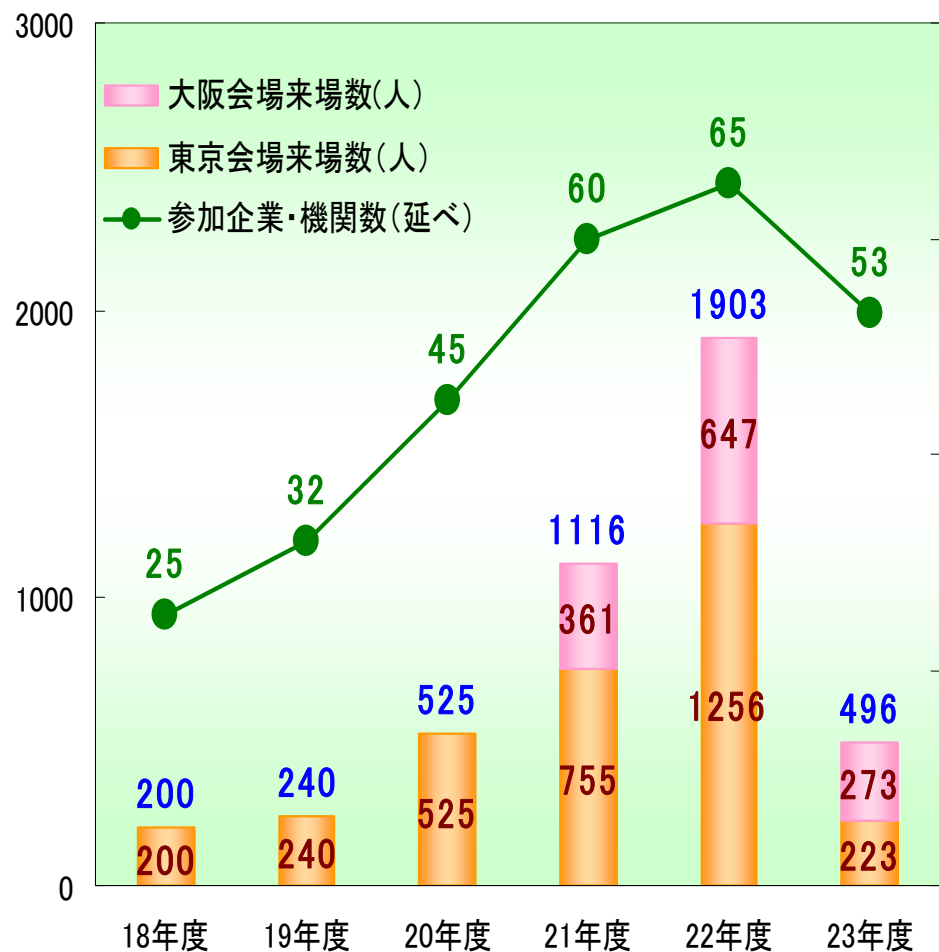
○入学定員数も大学・大学院における原子力関係学科の増加に伴い、平成16年度以降増加。

# 原子力関係学科等の学生動向



- 24年度の志願者数は、昨年度に比べて、学部で約1割減、トータルでも約1割減。中には半減した大学も。
- 24年度の入学者数も、昨年度に比べて、学部で約2割減、トータルでも約1割強減。
- 24年度に定員割れとなった学科・専攻は昨年度より4学科・専攻増加。
- 東電福島原発事故の影響は、大学院進学時よりも大学進学時の進路選択に大きく影響したと推察される。

# 原子力関係企業の合同就職説明会の参加者数の推移



出典: 日本原子力産業協会調べ

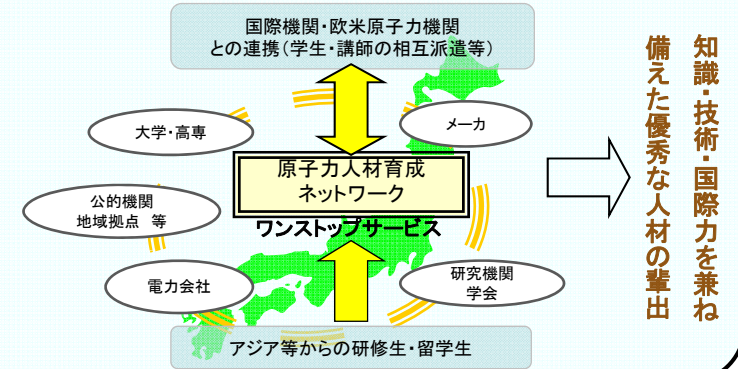
- 東電福島原発事故後、参加学生は激減。前年度の約26%。
- 特に、他の産業への就職も可能な電気・機械の減が著しい。

# 文部科学省における原子力人材育成の取組み

## 原子力人材育成ネットワーク(平成24年3月現在、64機関参加)

産学官の原子力人材育成機関の相互協力の強化及び我が国一体となった原子力人材育成体制の構築を目指し、平成22年11月に「原子力人材育成ネットワーク」を設立。

これにより、企業や国際社会が求める人材像をよりの確に把握し、効果的・効率的・戦略的に人材育成活動を推進し、知識・技術・国際力を兼ね備えた優秀な人材を継続的に輩出する。



### 原子力人材育成プログラム

【平成19～24年度】  
(24年度予算額 0.8億円)  
(23年度予算額 1.4億円)

◆大学や高等専門学校における特色や強みのある原子力教育の取組を支援。具体的には以下の3つのプログラムを実施。

1. 原子力研究促進プログラム
2. 原子力コア人材育成プログラム
3. 原子力研究基盤整備プログラム

### 国際原子力人材育成イニシアティブ

【平成22年度開始】  
(24年度予算額 5.2億円)  
(23年度予算額 3.3億円)

◆産学官の原子力関係機関が連携し、効果的・効率的・戦略的な機関横断的な人材育成活動を支援。以下のような取組を実施。

1. 産学官のネットワークの構築
2. 国内・海外に対する研修カリキュラムの作成、実施
3. 原子炉やRI施設等を用いた実習

### 原子力機構人材育成センター

【JAEA運営費交付金】

◆多彩な施設、広範な専門家、豊富な知識・経験等に基づき、原子力人材育成ネットワークの中核機関としての活動、各種国家資格・原子力技術者の国内研修、アジア講師育成等の国際研修、大学等との連携協力等を実施。

### 国際原子力安全交流対策事業

【平成5年度開始】  
(24年度予算額 1.7億円)  
(23年度予算額 1.9億円)

◆アジアの技術者等を招聘し、原子力安全や放射線防護等に関する研修を実施するとともに、我が国の技術者等を派遣し、原子力施設の安全性、安全解析等についての講義等を実施。具体的には以下の2つの事業を実施。

1. 講師育成事業
2. 技術者交流事業

### 原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ(競争的資金)

【平成20年度開始】  
(24年度予算額 7.1億円)  
(23年度予算額 6.1億円)  
◆原子力研究の裾野をひろげ、基礎・基盤研究の充実を図る一環として、若手研究者の育成を考慮。

### 原子力システム研究開発事業(競争的資金)

【平成17年度開始】  
(24年度予算額22.6億円)  
(23年度予算額36.2億円)  
◆多様な原子力システムに関し、大学等における革新的な技術開発を実施するとともに、人材育成にも貢献。

## 人材育成に係る課題

- 原子力の安全や東電福島原発事故への対応に係る専門家の重要性が増す一方で、原子力を志望する学生・若手研究者は減少傾向にある中、**優秀な原子力人材を育成・確保していくためには、原子力を魅力ある分野として政策上位置づけていくことが必要。**
- 東電福島原発事故への対応に必要な人材の育成に当たっては、**日本原子力研究開発機構のこれまでの経験や既存施設の活用も含め、必要な育成プログラムを検討することが必要。**
- 大学等においても、東電福島原発事故により顕在化した新たな課題や安全性の向上に向けて、必要な基礎教育や専門教育の在り方を検討し、専門的人材を継続的に輩出していくことが期待される。
- また、原子力を志望する学生・若手研究者が今後のキャリアパスを描きながら、やりがいを持って学習・研究に取り組み、育成される人材が国内外の多様な機関で活躍できるよう、産学官連携による人材育成の取組を強化していくことが必要。



# 3. 放射線利用について



MEXT

MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS,  
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

# 多様な放射線利用が推進する科学技術の世界

放射光

中性子

荷電粒子  
イオンビーム

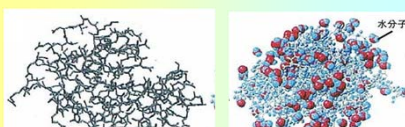
## ライフサイエンス

## ナノテク・材料

## 環境・エネルギー

## 情報通信

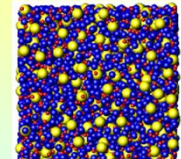
### 学術研究 (基礎)



骨格構造を観測  
X線・中性子によるタンパク質構造解析。  
中性子では水素が見える。

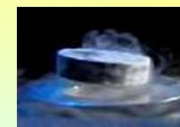
水分子を観測

X線による骨格構造解析と中性子による水素観測により、水素吸蔵合金の水素吸蔵・放出メカニズムを解明する。



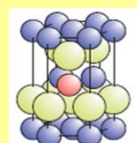
水素吸蔵合金の原子構造解析

X線・中性子による構造と運動状態の解析から、未解決問題である高温超伝導機構を解明する。

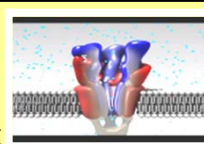


高温超伝導体:比較的高温で電気抵抗がゼロ

電子のスピンを制御する次世代デバイス(スピンエレクトロニクス)材料の構造特性などを解明する。スピンエレクトロニクス材料(希薄磁性半導体)




X線自由電子レーザーを使った構造解析では、試料を結晶化する必要がなく、結晶化が困難だった試料も研究対象に。



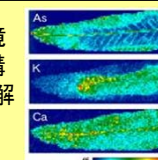
膜タンパク質構造解析

高密度水素貯蔵など様々な応用が期待されるカーボンナノチューブの構造と運動を観測する。



カーボンナノチューブの構造と運動

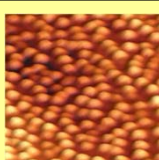
重金属汚染された環境の植物による消化機構を蛍光X線分析により解析。



重金属を蓄積する植物

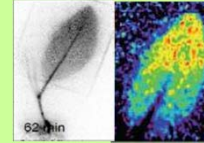
右図はPhoton Factoryでの測定例

次世代半導体素子である量子ナドットの成長過程をX線によりその場観察し、ナドット中の原子組成分布を測定



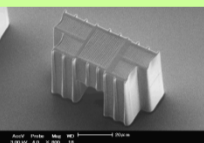
量子ナドットのその場観察

イオンビームを利用したイメージング技術により、植物の養分吸収・蓄積過程等を定量的に評価できる。

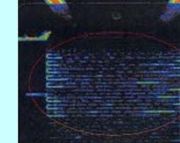


葉の光合成過程を観察

イオンビームにより、ナノサイズの加工が可能。半導体、生体材料などの改質、加工に適用されイオンビームによる三次元ナノ構造物の製作




中性子ラジオグラフィにより、物体中の水分分布を観測できる。




燃料電池セパレータ内部の水分分布を観察

磁気観測を得意とする中性子により、次世代磁気記録媒体の開発研究を進める。



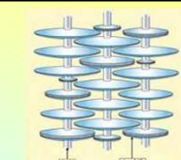
高密度磁気記録媒体の開発

重粒子線による放射線がん治療。がんの殺傷効果が高く、正常細胞へのダメージを少なくできる。



重粒子がん治療装置

高強度・高弾性率繊維の起源とされるシシケバブ構造の生成機構をX線・中性子小角散乱により解明する。




シシケバブ構造の強い繊維

自己再生して機能を維持する自動車排気ガス触媒(インテリジェント触媒)のメカニズムをX線吸収分光により解明。



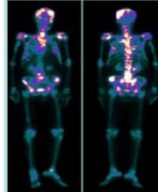
自己再生する機能性触媒の機構を解明

電子線照射により、ポリエチレンフィルムに電気を通す機能を付加し、小型電池用導電膜に適用。



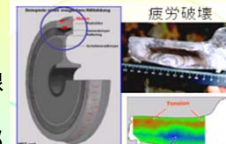
ボタン型アルカリ電池隔膜を実用化

体内投与によるがんの治療や画像診断の他、血液の微量物質検査に放射性医薬品が使用される。放射性元素は原子炉や加速器で生産。




前立腺癌の骨転移

構造物中の歪み・応力分布を観測できる。X線では表面、中性子では物質内部の観測を行う。




残留応力解析により車輪破断の原因を究明

放射線グラフト重合により高機能化した高分子を燃料電池の電解質膜に適用。



携帯機器向け燃料電池膜を実用化

中性子照射により、均一にリングが添加されたシリコン半導体を製造する。

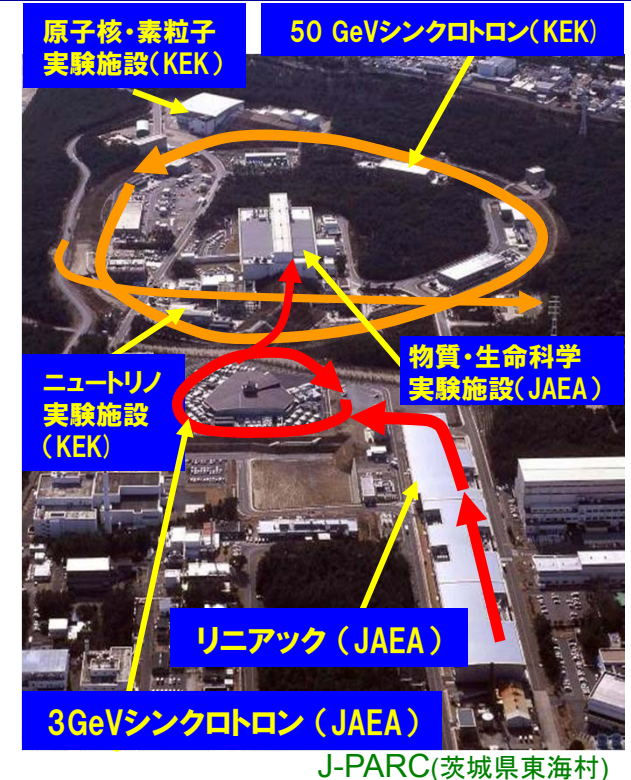


定常中性子 中性子ドーピングによる高品質シリコン製造

### 産業利用 (応用)

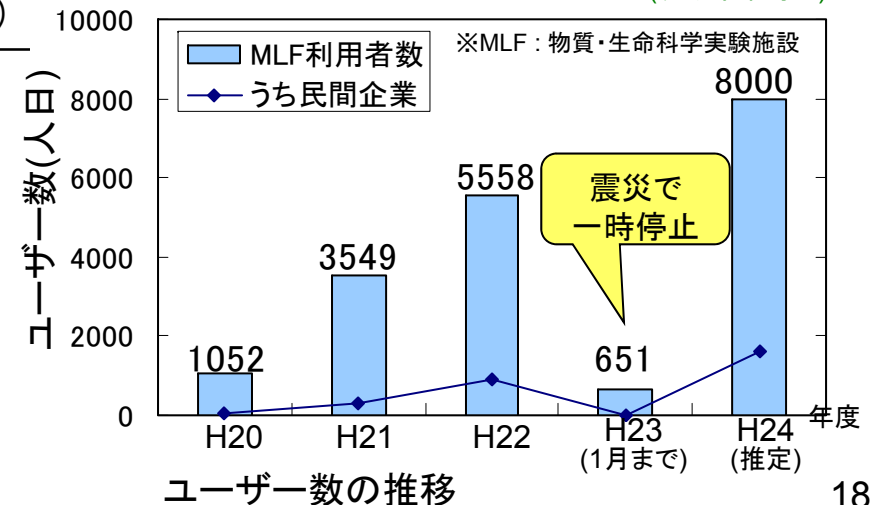
# 大強度陽子加速器施設J-PARC

- 世界最高レベルのビーム強度を有する複合陽子加速器施設により多彩な二次粒子を用いた新しい研究手段を提供し、物質科学、生命科学、原子核・素粒子物理学など、基礎科学から産業応用までの幅広い研究開発を推進する複合施設。
- このうち特定中性子線施設を、共用促進法に基づき、産学官の多様な分野の研究者へ広く共用。
- 中性子線共用施設の設置・運営維持管理はJAEA及びKEKが、利用者支援は登録施設利用促進機関(CROSS)が実施
- 中性子線共用施設の共用開始：平成23年1月(施設運用開始は平成20年度)
- 中性子線共用施設の運用経費：約85億円／年(4,000時間運転の場合)
- 共用促進法の枠組みの下の共用ビームライン(BL)とは別に、JAEA、KEK、茨城県等が、自らの研究開発を進めるために専用のBLを設置し、自ら運用している。(JAEA、KEKの設置者BLは大部分を外部開放)



## 【中性子ビームライン設置数及び稼働時間等】

	共用	専用	JAEA	KEK	合計
稼働中	5本	3本	4本	4本	16本
建設・調整中	1本	1本		1本	3本
合計	6本	4本	4本	5本	19本



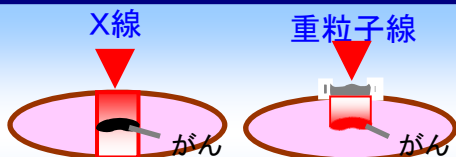
○年間運転時間：約4,000時間(ユーザータイムのみ)

○年間利用者数：約500課題／のべ約8,000人日 (H24年度見込み)

# 重粒子線がん治療研究

## 重粒子線がん治療とは

重粒子線(炭素イオン線)による放射線がん治療。  
従前のX線、γ線による放射線治療に比べ、  
がんの殺傷効果が高く、かつ、  
正常細胞へのダメージを少なくできる。  
主に、他の治療法が適応できない患者を治療している。

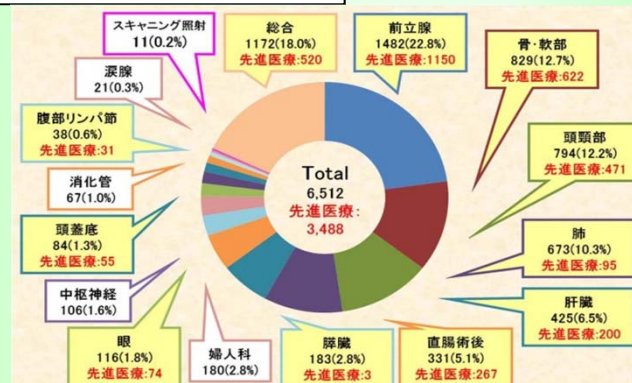


X線の場合はがんの手前の正常組織に対する被ばくが大きいが、重粒子線の場合はがんの線量が集中し、正常細胞への影響が小さい。

## 重粒子線がん治療の特徴

- これまで治療できなかったがんが治療できる
- ・手術や他の治療法では不可能な症例も対象としている。
- ・5年生存率は手術と同等、あるいはそれ以上である。
- 術後も生活の質を維持できる
- ・他の放射線治療と比べても高いQOL(生活の質)が得られる。

### 部位毎の治療数と5年生存率



### 他の治療との5年生存率の比較

	手術症例	他の治療法	重粒子線
肺 (I期)	64.4 %	37.8 %	76 %【手術不可】
肝臓	49.9 %	30.9 %	34 %【他治療法で不可】
子宮腺がん	-	19.0 %	56 %【他治療法で困難】
直腸 (術後再発)	30-40%	0-10%	42 %【他治療法で困難】

### 骨肉腫の治療例



外科手術では寝たきりや、良くても車椅子生活になることが想定されたような重篤なものでも、重粒子線治療により数年後に化骨が形成され元に戻り、通常の生活が送れるようになった。

## 概要

重粒子線がん治療の普及や治療成績の更なる向上に向けた臨床研究、次世代治療システム開発、標準化に関する研究、生態影響研究等を推進している。

### 重粒子線がん治療装置



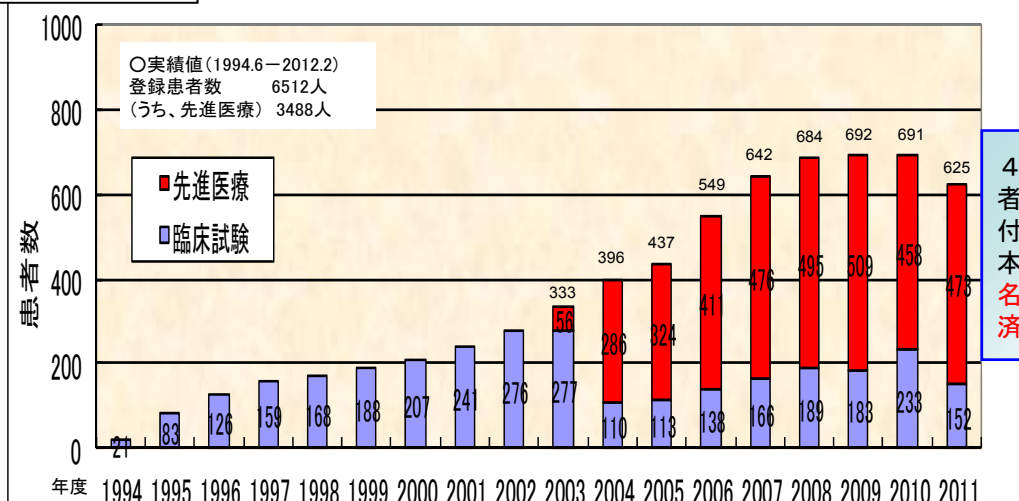
### HIMACの概要

- ・製作期間：昭和61年～平成5年
- ・総工費：326億円
- ・治療室3室、実験室4室
- ・平成15年10月に厚労省より高度先進医療の承認を受ける (平成18年10月より先進医療)

### 治療の様子



## 治療実績



4ヶ月先まで患者の予約を受け付けており、基本的に常時約100名の患者が予約済の状態。

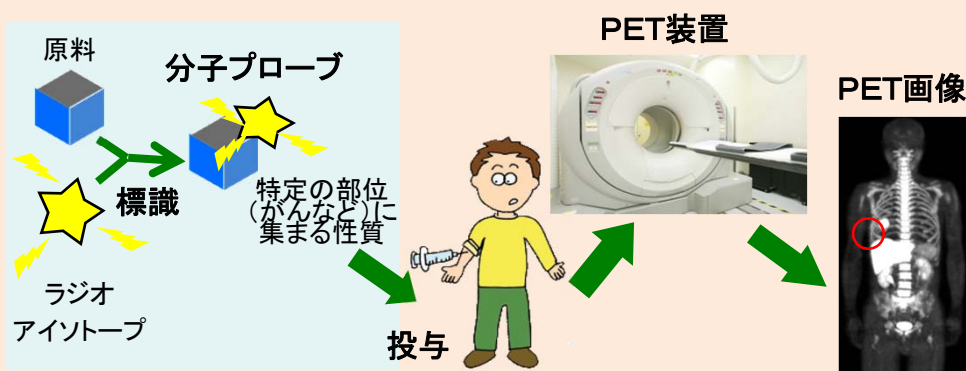
# 分子イメージング技術を用いた疾患診断研究

分子イメージングとは、生体内の機能分子（遺伝子やタンパク質）や薬物分子を①生物が生きた状態のまま、②全身で、③個体を傷つけることなく、画像化して定量的に把握し、生体内での分子の挙動と機能を観察する技術。放医研は、この技術をがんや精神・神経疾患（認知症・うつ病）の早期診断や治療に用いるための研究開発で世界をリード。

## 基礎から臨床へのトランスレーショナルリサーチの推進

### 分子イメージング検査とは

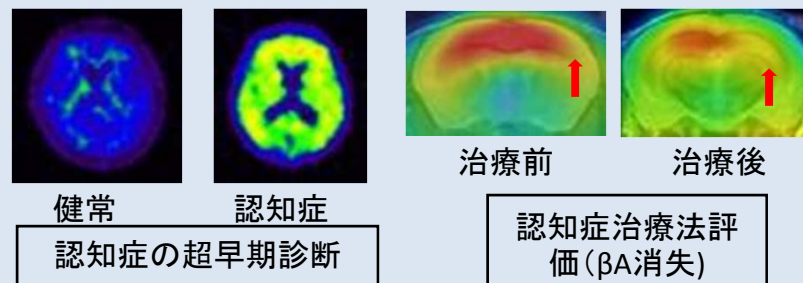
放射性薬剤（がんや脳といった特定の臓器や組織等の部位に集まるように病態生理学的又は生化学的に考慮して開発した薬）を投与し、その薬剤から発せられる放射線をPET等により撮像する検査。



### 精神・神経疾患イメージング研究

認知症の超早期診断と治療法評価  
うつ病の超早期診断と治療法評価

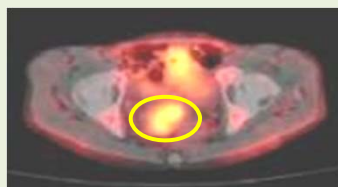
予防  
治療



### 腫瘍イメージング研究

難治部位の診断  
正確な治療効果の判定  
分子標的治療薬の検討

治療効果  
QOLの向上

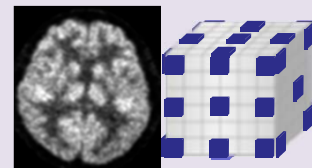


難治部位の診断

放射線治療効果の低い低酸素部位の検出  
(子宮がん)

### 次世代イメージング技術の研究開発

画質向上化

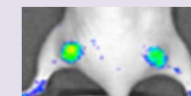


PET用高感度放射線検出器とPET画像



Open PET

術中計測(新しいジャンルを開拓)



異なる情報を統合、評価を高度化

# 放射線利用に関する国際協力

医療分野、農業分野での放射線の利活用、研究炉を利用した中性子放射化分析等について、我が国の研究開発の成果をもって発展途上国の支援を行うとともに、より効率的かつ効果的な放射線利用技術の開発のための研究開発協力を推進。

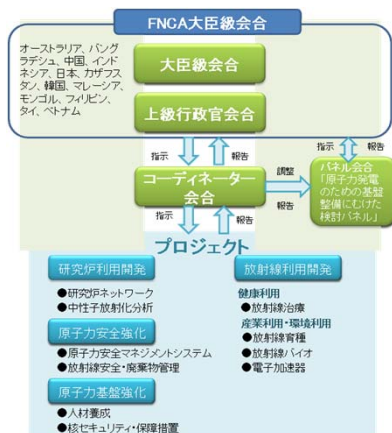
## 【多国間枠組みにおける国際協力】

### ○アジア原子力協力フォーラム(FNCA)における協力

- ・近隣アジア諸国との原子力分野の協力を効率的かつ効果的に推進する目的で日本が主導する原子力平和利用協力の枠組み。
- ・分野別・テーマ別の10プロジェクト活動の中で、放射線の産業利用、健康利用や研究炉利用等に関する協力を実施。

### ＜現行プロジェクト＞

- 放射線育種
- バイオ肥料
- 電子加速器利用
- 放射線治療
- 研究炉ネットワーク
- 中性子放射化分析
- 核セキュリティ・保障措置
- 人材育成
- 原子力安全マネジメントシステム
- 放射線安全・廃棄物管理



放射線治療プロジェクトワークショップの様子



バイオ肥料プロジェクトワークショップにおけるテクニカルビジットの様子

## 【機関間での協力例】

### ＜日本原子力研究開発機構＞

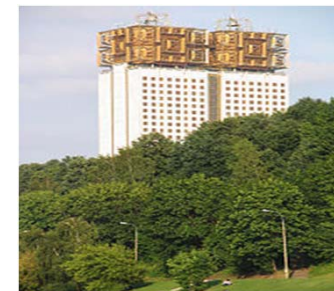
- 米国 エネルギー省 ・オークリッジ研究所  
・サンディア国立研究所
- 米国 スタンフォード大学
- 英国 ラザフォード・アップルトン研究所
- ドイツ 重イオン研究所
- フランス ラウエランジュバン研究所
- 欧州放射光施設(ESRF)
- 中国科学院 ・高能物理研究所  
・上海応用物理研究所  
・合肥物質科学研究院
- 韓国原子力研究所
- マレーシア原子力研究所
- ベトナム ダラット原子力研究所
- ロシア科学アカデミー プロホフ一般物理研究所

### ＜放射線医学総合研究所＞

19カ国34大学・研究所およびIAEAと、計41件の取り決めに締結。  
(2012(平成24)年3月現在)



オークリッジ研究所(米国)



ロシア科学アカデミー(ロシア)

# 放射線利用に係る課題

放射線利用分野は、学術、工業、環境、農業、医療など様々な分野で重要な役割を果たしている領域横断的な共通基盤である。

- **イノベーションの創出と課題解決型研究開発を推進するため、世界最先端の研究開発や分野融合・境界領域の開拓を推進するとともに、潜在的利用者の掘り起こしや産業利用の促進が必要。**
- **国際競争力を強化するため、国内外の連携・協力の推進及び研究基盤の強化が重要であり、国際頭脳循環の拠点形成に向けた環境整備を強化し、施設等の有効活用と共用を促進するとともに、経年劣化対策や高度化、省エネ化の促進が必要。**
- **特に、重粒子線を用いたがん治療など放射線を利用した治療は、副作用が少なく患者への負担も少ない治療法であり、より多くの患者に最適な治療を提供するため、治療の標準化や高度化、適応拡大を目指す一方、装置コスト等の低減に向けた技術開発の推進、海外展開に向けた国際競争力の強化が重要。**
- **研究機関と大学等が連携した人材育成や若手研究者等への利用機会の提供等により、当該分野を担う人材や施設等を支える人材の育成・確保が必要。**
- **社会の理解と信頼を得つつ研究開発を推進することが重要であり、関係者それぞれの立場からの情報発信・広報活動の更なる工夫・強化が必要。**

# 4. 核融合研究開発について



MEXT

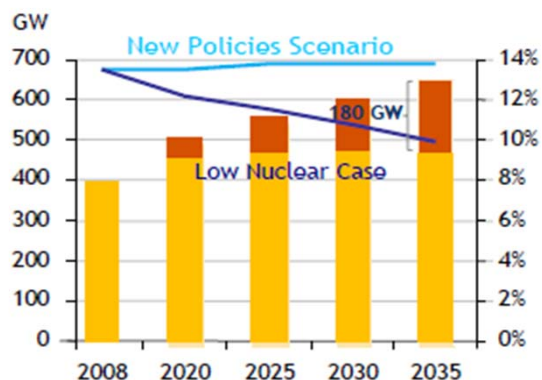
MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS,  
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN



# 国際社会における核融合研究開発の位置付け

- 今後も予想される世界人口及びエネルギー需要の急速な増大に加え、各国の原子力政策の見直しにより、エネルギー安全保障や気候変動対策に関する懸念が深刻化。
- そのため各国においても、長期的な将来のエネルギー源の選択肢の一つとして、核融合エネルギーを位置付け、その実現に向けた研究開発を着実に推進。

- ・ 2035年までに世界のエネルギー需要は1/3増加。
- ・ 低原子力ケース(※1)では、新政策シナリオ(※2)と比較し、一次エネルギー供給における原子力のシェアが、2035年においては、2008年の14%から10%に低下。
  - 化石燃料に対する需要が押し上げられ、エネルギー安全保障や気候変動対策に関する懸念が深刻化。



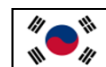
※1: 低原子力ケース: OECD諸国で原子炉が新設されず、非OECD諸国での原子炉新設が新政策シナリオの見通しの半分にとどまり、既存原子力発電所の耐用年数が短縮された状況を想定。

※2: 新政策シナリオ: IEAの中心的なシナリオ。政府の政策公約が慎重に実行されるという想定に基づきシナリオ。

Source: IEA

出典: WORLD ENERGY OUTLOOK 2011 (IEA: 国際エネルギー機関)  
(一般財団法人 日本エネルギー経済研究所  
「Japan Energy Brief No.14: July 2011」)

## <各国の対応>



### 韓国

「核融合エネルギー開発振興法」に基づき、2012年1月「第2次核融合エネルギー開発振興基本計画」を策定。KSTARとITERの活用により原型炉に向けた核融合基盤技術の研究開発を本格的に推進。



### EU

ITERをフランスに建設するとともに、現行の「JET計画」において、DTを用いた統合実験(2014-2015)を予定するなど、核融合エネルギーの実用化に向けた研究開発を推進。



### 中国

将来のエネルギー消費量の増大への対応として、トカマク型核融合実験装置を設け2006年にファーストプラズマを達成するなど、国家を挙げて核融合研究開発を精力的に推進。

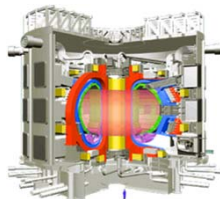
# トカマク方式の研究開発の現状

国際協定（国会承認条約）に基づき、国際熱核融合実験炉（ITER）計画および幅広いアプローチ（BA）活動を実施

- 〔ITER計画：核融合実験炉の建設・運転を通じて、科学的・技術的実現可能性を実証  
幅広いアプローチ活動：ITER計画と並行して補完的に取り組む先進的核融合研究開発〕

## ITER計画

- ITER協定：2007年10月24日発効
- 参加極：日、欧、米、露、中、韓、印
- 建設地：フランス・カダラッシュ
- 核融合熱出力：50万kW（発電実証はしない）
- ITER機構長：本島修氏（2010年7月28日就任）
- 計画：35年間  
    運転開始：2020年（予定）  
    核融合反応：2027年（予定）



## 現状

- ・2010年に建屋の建設を開始し、順調に進捗。
- ・2012年夏に、ITER機構本部完成予定。
- ・建設に必要な機器の7割を超える部分について、すでにITER機構と各極とで調達取決を締結。
- ・ITERチーム（500名弱の職員が7極から集結）

## 幅広いアプローチ（BA）活動

- 協定：2007年6月1日発効
- 実施極：日、欧
- 実施地：青森県六ヶ所村、茨城県那珂市
- 計画：10年間
- 実施プロジェクト
  - ①国際核融合エネルギー研究センター
    - ・原型炉設計・研究開発調整センター
    - ・ITER遠隔実験センター
    - ・核融合計算機シミュレーションセンター
  - ②国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動
  - ③ライト・トカマク計画（予備実験等の実施によるITER支援）

## 現状

- ・JT-60のトロイダル磁場コイルの解体が終了するとともに、真空容器の調達等が進展。
- ・シミュレーション研究のためのスーパーコンピュータが欧州によって調達され、2012年1月、運用開始。

## トカマク方式に関するこれまでの主な実験成果（JT-60）

エネルギー増倍率：1.25（世界記録）／イオン温度：5.2億度（世界記録）／運転時間：28秒（約1億度）

# ヘリカル及びレーザー方式の研究開発の現状

## ヘリカル型核融合研究

実施機関: 自然科学研究機構 核融合科学研究所

### 目的

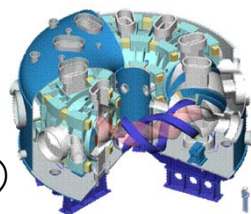
我が国独自のアイデアに基づく超伝導コイルを用いた世界最大のヘリカル装置(LHD)により、高温高密度プラズマの実現と定常運転の実証を目指す。

### 成果

- ・約1時間の長時間プラズマ保持(世界最高値)(平成17年度)
- ・プラズマ密度1,200兆個/ccを達成(世界最高値)(平成20年度)
- ・8,000万度を超えるイオン温度を達成(平成23年度)

### 今後

- ・さらにプラズマを高性能化し、環状プラズマの総合的理解や体系化を図るため、重水素実験の実施を目指す。
- ・重水素実験の実施に関わる協定を岐阜県及び地元3市(土岐市、多治見市、瑞浪市)と締結すべく協議中。



大型ヘリカル装置(LHD)

## レーザー核融合研究

実施機関: 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター

### 目的

平成21年より、FIREX-I計画(爆縮レーザー(激光XII号)と加熱レーザー(LFEX)を用いた高速点火方式の原理を実証する計画)開始。核融合点火に必要な超高温、超高密度条件の達成が目標。

### 成果

- ・高速点火方式の有効性を実証(世界初)(平成12年)
- ・LFEXペタワットレーザーを完成(世界最大)(平成20年)

### 今後

- ・平成24年度にLFEXレーザーの出力ビーム数を現在の2ビームから4ビームに増強し、FIREX-I計画の当初目標である加熱温度5,000万度以上を目指す。
- ・その後、FIREX-I計画の成果を核融合研究作業部会等において評価し、次段階へ移行する否かを判断の予定



LFEX



激光XII号

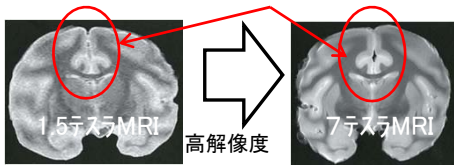
# 核融合技術の応用可能性

核融合技術は、エネルギー利用のみならず材料加工・医療利用から宇宙物理現象の解明まで、様々な分野への応用可能性を有する基礎的・基盤的技術として重要な分野。

## 磁場・超伝導技術

アカゲサル頭部断層画像

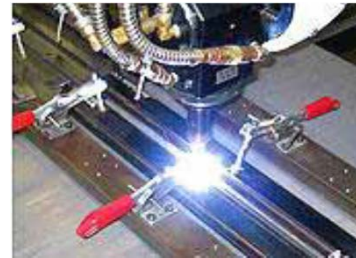
7テスラでは、中心の穴が確認できる。



・核融合用超伝導コイルの開発成果を用いることで、医療用MRIの普及に貢献。

・さらに、大型高磁場超伝導磁石の開発により、従来では発見できなかった微小病変等の画像化が可能に。

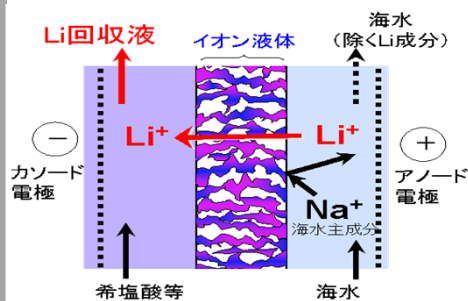
## レーザー加工



・高品位・高出力パルスファイバーレーザーの研究開発を行い、従来では困難であった複合材料の高加工品質と高生産性の両立を実現する。

## 核融合 研究開発

## リチウム回収技術



・核融合炉の燃料製造に必要なリチウムを、リチウム選択的透過膜によって、海水より効率的に回収するための研究開発を実施。

・リチウム電池の原料を海水から採取可能に。

## 宇宙物理の解明



実験室宇宙物理:

高出力レーザーで実験室に宇宙の極限現象を模擬し、宇宙物理の理論の検証等を行う。

# 核融合研究開発に係る課題

- 世界のエネルギー需給が将来逼迫することが予想される中、無尽蔵の水素エネルギーを活用する核融合エネルギーは、供給安定性、安全性等の観点で優れた特性を有する。その実現は人類共通の課題であり、先進国は研究開発を強化しているが、現時点では基礎研究段階。
  - 我が国においては、国際約束であるITER計画やBA活動に加え、国内の重点化計画（トカマク方式、ヘリカル方式、レーザー方式及び炉工学）を引き続き着実に推進していくことが必要。
  - また、今後開発が必要になる原型炉に向け、安全性研究と安全基準の策定を含めた技術課題解決が必要であるとともに、長期的に安定的な財政支援が必要。
- **核融合分野は、エネルギー利用のみならず材料加工・医療利用から宇宙物理現象の解明まで、**  
**様々な分野への応用可能性を有する基礎的・基盤的技術として重要な分野。**
  - 研究成果を産業界をはじめ幅広い分野に展開するための仕組みの構築が必要。
  - また、アカデミアのみならず産業界でも活躍できる博士号取得者の育成が必要。
- 国内で稼働中の大型設備が大型ヘリカル装置(LHD)のみであり、将来の核融合研究を支える人材育成の基盤維持に課題。
  - 若手研究者が国内のみならず海外に活躍の場を広げるための支援を強化するとともに、青少年の核融合への関心をより一層喚起する取組みが必要。

産業競争力に不可欠な先端技術開発や学術研究を支える、基礎的・基盤的技術としての役割を国家戦略上明確に位置付け、人材育成を含め長期的視野に立って

# 参 考 资 料



MEXT

MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS,  
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

# 東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて

特に下記分野については、国民的関心や社会的要請、新たな知見・技術への期待・必要性が高まっている

## 除染技術の開発

放射性物質で汚染した廃棄物等のより効率的・効果的な除去や減容化のための新たな技術の早期確立



高性能セシウム捕集材の開発

## 東電福島原発の廃止措置

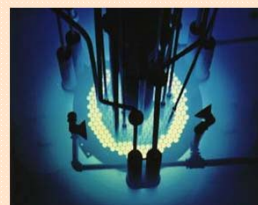
炉内の溶融燃料の取出しや処理を安全かつ着実に進めていくための技術開発



破損燃料の断面の分析

## 原子力施設の安全性向上

東電福島原発事故の教訓を踏まえたシビアアクシデント評価等に関するデータやモデルの整備



研究炉による事故模擬試験

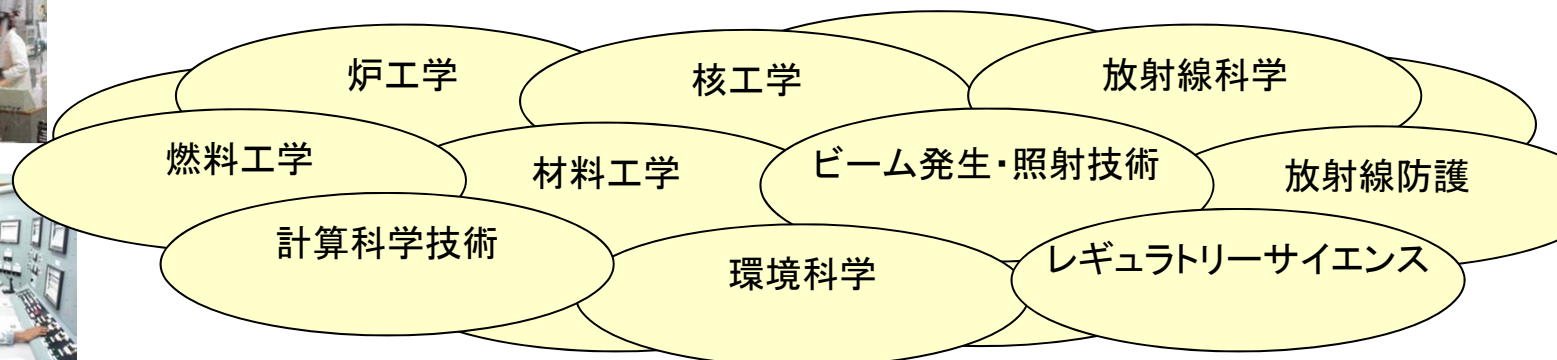
## 放射性廃棄物の処理・処分

放射性廃棄物の効果的で効率的な処理・処分のための技術開発



レーザー共鳴電離質量分析法による廃棄物の分析

## 裾野の広い多様な基礎・基盤的研究と研究者・技術者



# 原子力機構における除染技術の開発

## 1. 高性能捕集材の開発

量子ビームを用いた加工技術を活用して、放射性セシウムを効率よく回収・除去できる高分子捕集材や新規化合物等を開発し、飯舘村でのフィールド試験を通じて、その有効性を実証。

## 2. ゼオライトによるプールの除染技術の確立

水に溶けている放射性セシウムをゼオライトで吸着後、アオコとともに凝集・除去する方法により伊達市、福島市の小・中学校で除染を実施。

## 3. 除染効果シミュレーション技術の開発

除染の効果を定量的に評価するための汎用性のある除染効果評価システムを開発。

## 4. ポリオン／粘土による土壌除染技術開発

表土の固化を行うことで土壌粉塵の発生を防止できる安全かつ効率的な土壌の除染方法を開発し、伊達市、飯舘村で除染作業を実施。

### 高性能捕集材の開発とフィールド試験



ポリオン/粘土による表土剥ぎ取り作業



捕集材を充填したカラムでセシウム等を100%除去

ゼオライトによるプールの除染  
(伊達市での作業の様子)



ポリオンにより固化した表土



凝集したアオコとゼオライト

## 関連施設

ホット試験施設(東海) 荷電粒子・RI利用研究施設(高崎)



第4研究棟



電子線照射施設



Co60ガンマ線照射施設



SPring-8(専用ビームライン)

放射光研究施設(播磨)



除染効果評価システム



# 原子力機構における廃止措置技術の開発

## 炉内容融燃料の処理処分検討

### 1. 模擬溶融燃料(デブリ)の作製

TMI-2事故情報や既往SA研究情報及び東電福島原発事故情報をもとに、模擬デブリを作製(U模擬デブリ、MOX模擬デブリ、照射済燃料模擬デブリ等の試作)

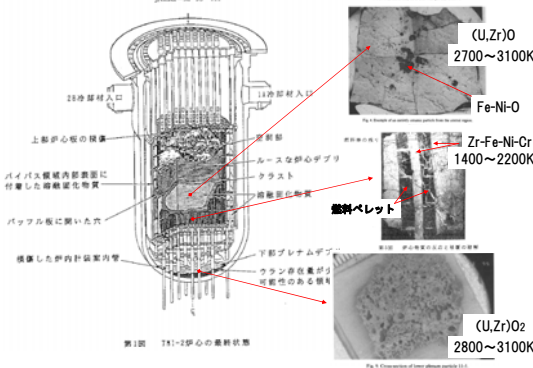
### 2. 模擬デブリの特性評価

作成した模擬デブリを用いて物理的特性や化学的特性の評価・試験を実施

### 3. 既存処理技術の適用性評価

燃料取出し後の長期保管や処理処分の見通しを得るために、既存処理技術の適用可能性について検討

デブリの状況(TMI-2の例)



## 廃棄物処理技術等の開発・試験

### 1. 廃ゼオライト性状把握

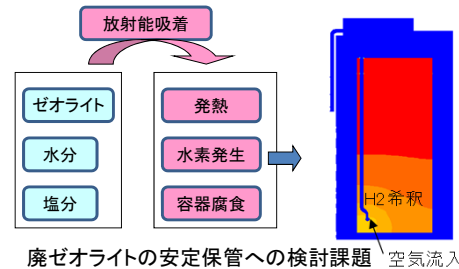
- ゼオライトの特性評価(化学成分、熱伝導率などのデータ取得)
- 放射能、化学的性状分析/評価(核種吸着量評価など)
- 発熱量、水素ガス発生量評価及び対策考案(照射試験など)
- 長期貯蔵容器検討/性能評価(塩分腐食基礎データ取得など)

### 2. 凝集沈殿処理廃スラッジ性状把握

- 熱分解の検討(熱流動解析等)、水素発生量の検討
- 貯蔵形態と方法の検討

### 3. 廃棄体化技術検討

- 廃棄物の性状・組成の検討、調査
- 廃棄体化基礎試験



廃ゼオライトの安定保管への検討課題



沈殿除染でのCs捕捉剤



実滞留水の沈殿処理試験



セメント固化技術

## 遠隔技術の開発

### 1. 原子力災害ロボットシステムの開発・整備

東電福島原発事故対応等での経験を反映し、原子力施設の災害現場の状況に合わせて改造・整備・維持が容易な遠隔ロボットシステムの検討を行う。また原子力災害ロボット等の開発訓練、フィールドを整備する。



ロボット操作車



JAEA-3号  
(屋内観察・γ線可視化ロボット)

### 2. 遠隔検知技術の開発

炉内遠隔検知技術として、炉内レーザーモニタリング・内部観察加工技術の装置概念、基本仕様検討、要素技術開発を実施する。

## 関連施設



第4研究棟(東海)



燃料サイクル安全工学研究施設(東海)



高レベル放射性物質研究施設(東海)



再処理施設分析所(東海)



照射燃料集合体試験施設(大洗)



水素製造試験施設(大洗)

# 国際原子力人材育成イニシアティブ

平成24年度予算額 5.2億円（前年度 3.3億円）

## 事業の概要

■原子力教育を行う講師や放射性物質等を扱える原子力施設は限定的であることから、産学官の関係機関が連携することにより、企業や国際社会から求められる人材像をより適確に把握し、効果的・効率的・戦略的に人材育成を行う機関横断的な取組みを支援し、将来の原子力分野の担い手となる優秀な人材を育成・確保する。（H22年度創設）

■平成24年度は、東電福島原発事故の教訓や国際的な原子力安全の議論等を踏まえ、原子力安全の一層の高度化を図る上で基盤となる原子力安全・危機管理等に係る人材育成活動、及び環境放射能測定や除染、溶融燃料の処理・処分を含めた廃止措置など新たな中長期的な課題に対応するための人材育成活動を公募。現在、審査中。

期間：原則3年以内

経費：年間1千万円～3千万円程度（1課題あたり）

採択予定課題数：8件程度

実施事業（例）：

- 防災・危機管理、被ばく医療等の専門教育
- 多様な環境放射能測定技術に関する実習
- リスクコミュニケーターの育成に係る研修

## 実績

■平成22年度以降、これまでに、18課題（12機関）にわたる幅広い分野の人材育成活動を支援



（原子炉実習）



（核燃料取扱実習）



（放射線測定実習）



（被ばく医療実習）



（英語による原子力教育）

# 米国における原子力人材育成支援の取組み

- ・米国では、1990年代に新規建設が無かったため、大学における原子力工学プログラムも半減するとともに、1980年には60基以上あった大学の研究炉も半減（現在運転中の研究炉は27基）。
- ・しかし、近年の原子力回帰への動きや、政府の積極的な支援等の影響により、学生の原子力への関心は高まっており、原子力を学ぶ学生数は増加傾向にある。

## 近年の動向

■米・DOE は「原子力エネルギー大学プログラム(Nuclear Energy University Programs (NEUP))」により、大学における原子力関係の研究開発やインフラ整備を支援。2012年の支援内容は次の通り。

- ・奨学金による学生支援 → 学部学生39名、大学院学生31名に計約500万ドルを支給
- ・試験研究用原子炉等のインフラ支援 → 23大学に約600万ドルを交付
- ・大学主導の研究開発プロジェクトの支援 → 32大学の47課題に約3,620万ドルを交付

■米国における原子力工学の学位取得者数の推移

2003年	学士166	修士132	博士78
2007年	学士413	修士227	博士89
2010年	学士443	修士303	博士113

出典：・「原子力人材育成関係者協議会」報告書（平成22年4月日本原子力産業協会）

・米・DOE ホームページ

・“The Future of University Nuclear Engineering Programs and University Research & Training Reactors” (DOE・NERAC Committee Report. May 2000)

・Nuclear Engineering Enrollments and Degrees Survey, 2010 Data (Oak Ridge Institute for Science and Education, June 2011)

# 韓国電力公社 国際原子力大学院

(KEPCO International Nuclear Graduate School, K-INGS)

韓国電力公社は、原子力産業界の人材の養成・確保のため、古里原発(釜山市機張郡)の近くに、原子力専門の大学院を設立。学生の約半分は原子力発電導入予定国からの留学生が占め、英語を公用語とする国際的な大学院。

設立:2012年3月

学生数(2012年):54名(うち22名は留学生)

教員:常勤10名、非常勤2名

修士課程:2年間、博士課程:1~3年

学位: Master Engineer / Doctor of Technology

カリキュラム:オンサイトでの実践教育を重視

使用言語:英語

その他:全寮制



(資料)K-INGS のホームページより作成

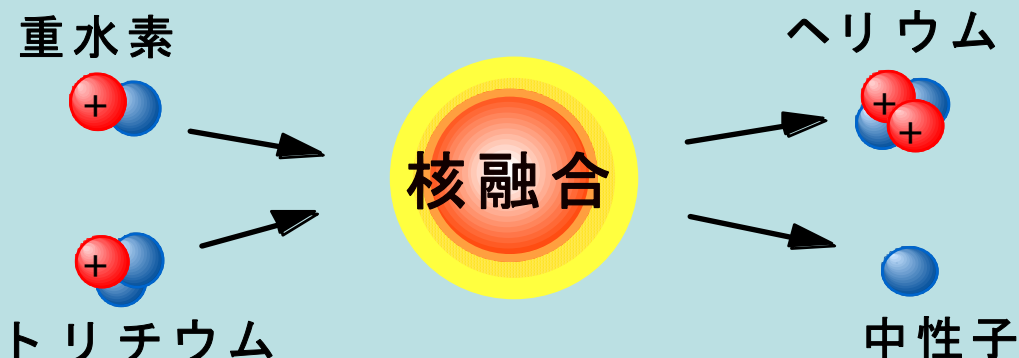
# 核融合エネルギー

核融合エネルギー・・・軽い原子核同士（重水素、トリチウム）が融合して別の原子核に変わる際に、質量の差分がエネルギーとなって出るもの

## <核融合エネルギーの特徴>

- ・ **豊富な資源** : 燃料となる重水素は海中に豊富に存在し、三重水素（トリチウム）は埋蔵量の多いリチウムより生成可能であり、地域的な偏在がない豊富な資源。少量の燃料から膨大なエネルギー。
- ・ **固有の安全性** : 燃料の供給を停止することにより、核融合反応を速やかに停止することができるなど、安全対策が比較的容易。
- ・ **高い環境保全性** : 発電の過程において地球温暖化の原因となる二酸化炭素を発生しない。低レベル放射性廃棄物は発生するが、従来技術で処理処分が可能。

(核融合の原理と発生エネルギー)

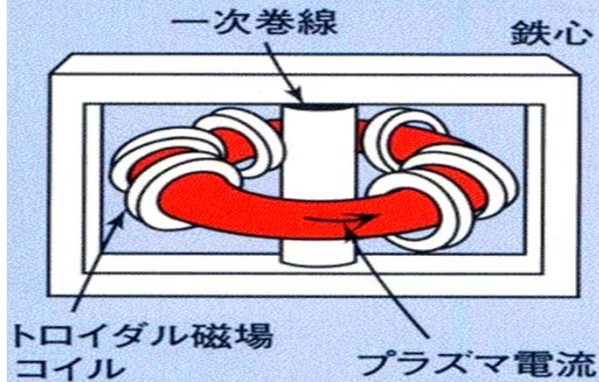


○ 重水素-トリチウム燃料 1 g は、およそ石油 8 t 分に相当。

○ 重水素は、水 30 リットル中におよそ 1 g の割合で含まれる。

# 核融合の主な閉じ込め方式

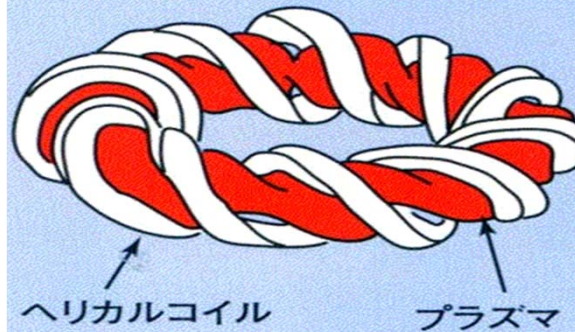
## ●トカマク型



- ドーナツ状の磁気のかごをつくり、その中にプラズマを閉じ込める
- プラズマ中に電流を流して、ねじれた磁場を形成
- 旧ソビエトで考案され、世界が追随した方式  
→現時点で最も進んだ方式

〔 ITER(国際熱核融合実験炉)  
JT-60【日本原子力研究開発機構】 〕

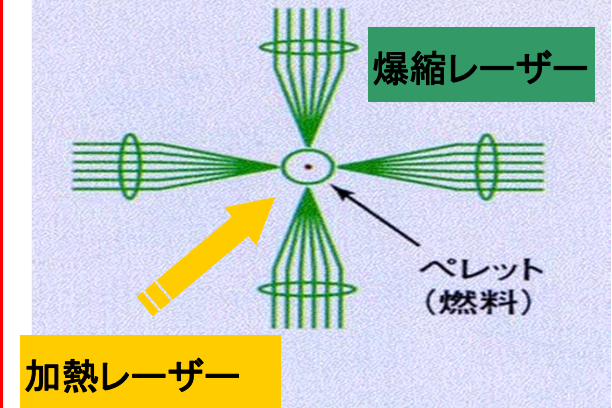
## ●ヘリカル型



- トカマク型と同様にドーナツ状のかごをつくるが、ねじれたコイルを使うのが特徴
- 磁場は外部コイルのみで形成されるため、プラズマ中に電流を必要としない  
→経済的な運転、長時間運転が可能

〔 大型ヘリカル装置(LHD)  
【核融合科学研究所】 〕

## ●レーザー方式



- 左の2つの方式と全く異なり、燃料を高出力レーザーで爆発的に圧縮・加熱し、その圧力でプラズマを閉じ込める  
→原理実証完了前の基礎的段階
- 米仏では、国防関係機関が推進

〔 激光XII号・LFEX  
【大阪大学】 〕