

原子力研究開発・人材育成について

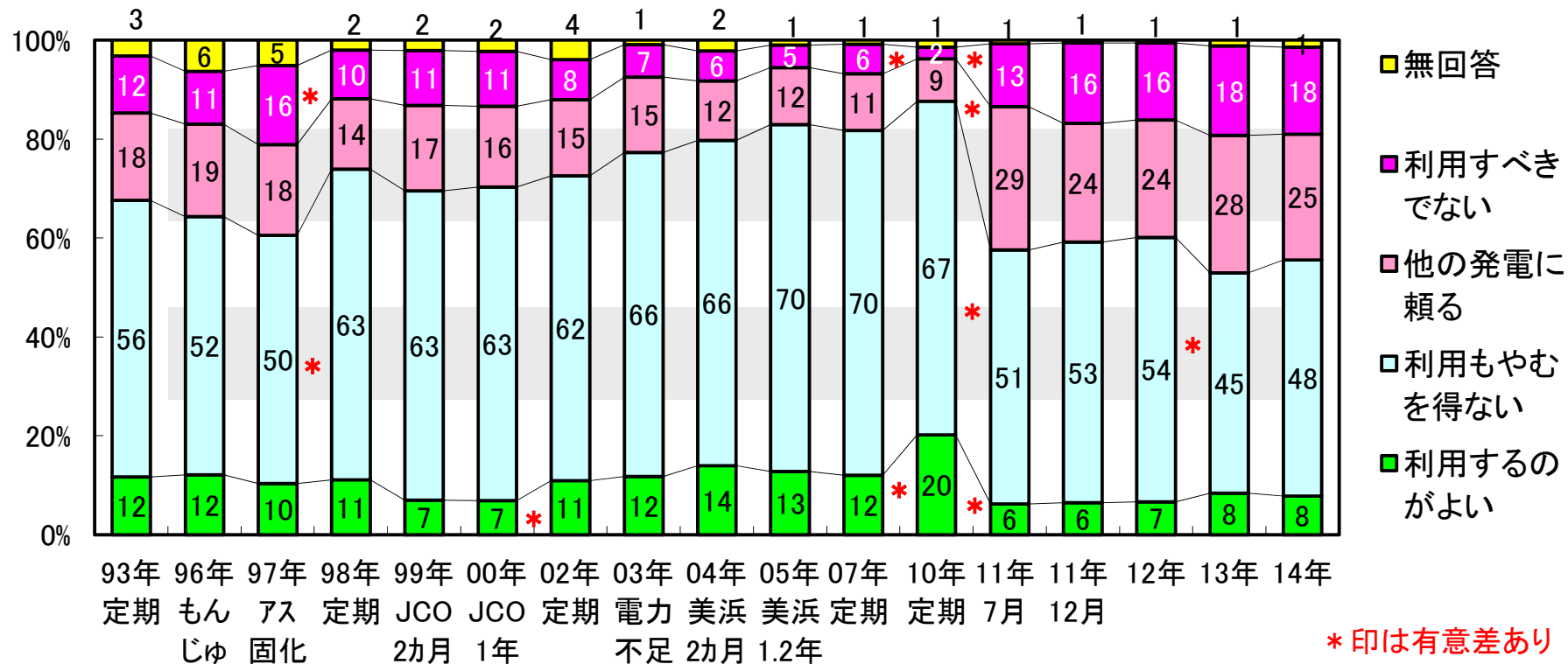
原子力安全システム研究所
技術システム研究所長 三島嘉一郎

内 容

1. 原子力安全
2. 原子力研究開発および人材育成
3. 研究用原子炉

福島第一原子力発電所事故は 原子力発電に大きなダメージを与えた

INSS社会システム研究所による福島第一原子力発電所事故に関する世論調査
関西地域18~79歳（無作為抽出）、訪問留め置き法



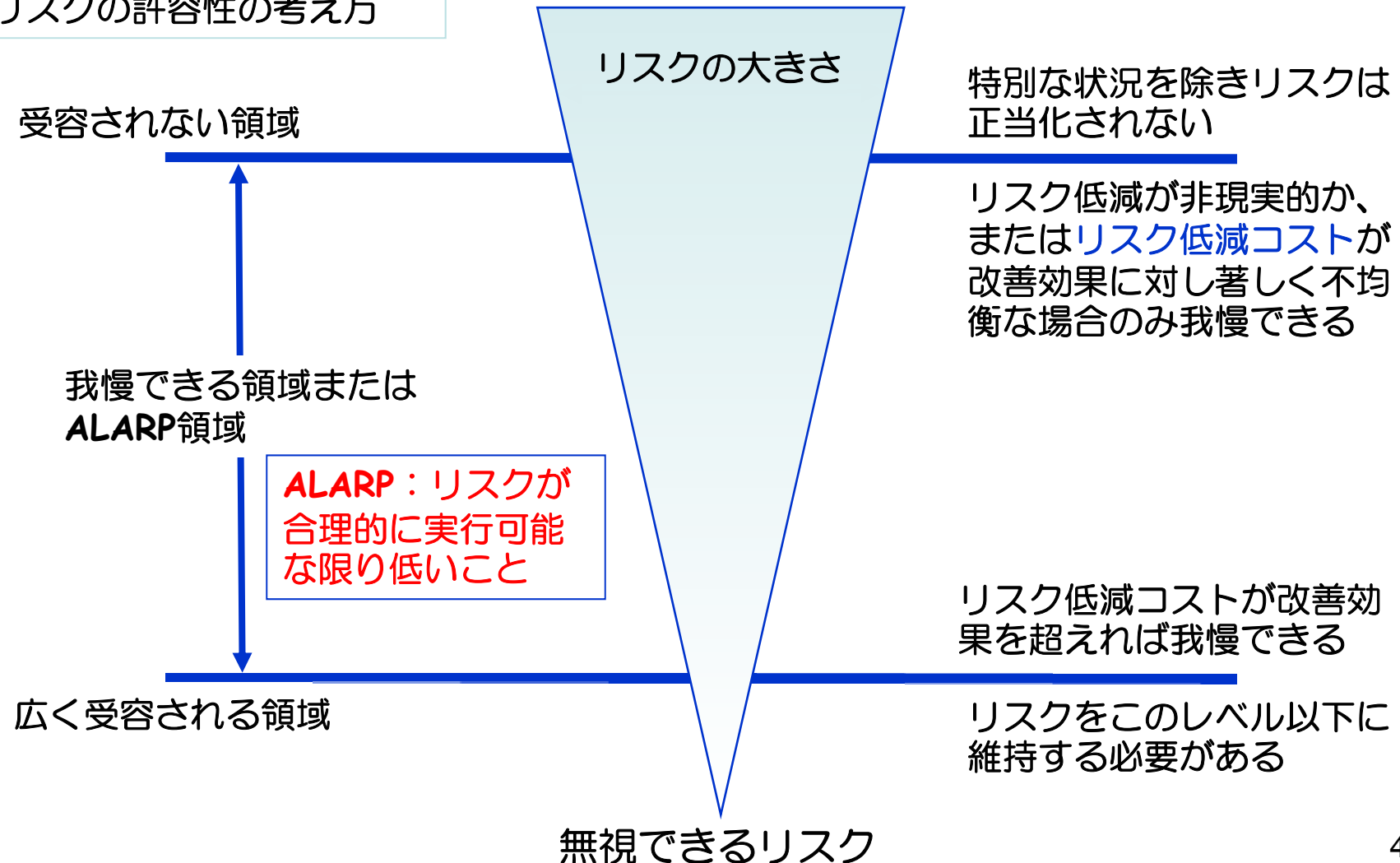
問 原子力発電についていろいろおたずねしましたが、全体としてあなたのお考えに近いものを次の中から1つだけ選んでその番号に○をつけてください。

- 1 安全性には配慮する必要があるが、原子力発電を利用するのがよい
- 2 安全性には多少不安があるが、現実的には原子力発電を利用するのもやむを得ない
- 3 高いコストや環境破壊が伴うとしても、原子力発電よりも安全な発電に頼るほうがよい
- 4 不便な生活に甘んじて、原子力発電は利用すべきではない

原子力利用は正当化できるか？

社会的合意の形成ーリスクとベネフィット

英国安全衛生庁HSEによる
リスクの許容性の考え方



安全目標

リスクに関する社会的合意が必要

■ 定性的目標案

原子力利用活動に伴って放射線の放射や放射性物質の放散により公衆の健康被害が発生する可能性は、公衆の日常生活に伴う健康リスクを有意には増加させない水準に抑制されるべきである。

■ 定量的目標案

原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによる、施設の敷地境界付近の公衆の個人平均急性死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。

また、原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによって生じ得るがんによる、施設からある範囲の距離にある公衆の個人の平均死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。

旧原子力安全委員会原子力安全目標専門部会「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」（平成15年8月）

- 事故時の Cs^{137} の放出量が100TBqを超えるような事故の発生頻度は100万炉年に1回程度を超えないように抑制されるべきである（テロ等によるものを除く）。

原子力規制委員会は、安全目標を原子力施設の規制を進めていくうえで達成を目指す目標と位置づけ、中間とりまとめの案を追認したうえで、福島事故を踏まえて以下を追加。（平成25年4月10日）

原子力安全

安全対策について

■ リスクの認識

確率が低くても事業継続や社会的受容性に影響を及ぼすほど大きいリスクに対する対策が重要。

■ 深層防護

不確かさを伴う個々の安全対策の脆弱性をカバーし、全体として有効性をもたせることが重要。特定の層に過度に依存し過信してはいけない。

■ 想定外への備え

想定外の事態では、利用可能なあらゆる資源を活用した臨機応変の対応が必要であり、それを可能にする事前の備え（ハード対策のみでなくハードを柔軟に使いこなして対処するスキルの養成）が不可欠。

■ 安全文化

継続的改善により技術力を高め、残余のリスクを限りなくゼロに近づける。そのためには、安全文化の醸成・維持が重要。安全文化は単なるスローガンではなく、実践。組織改革だけで安全文化が醸成できるわけではない。

安全は抽象的な概念ではなく、すべての技術的行為自身に由来するものであり、これに関与するすべての関係者の責任である。（ハイツ.G.リコーバー）



日本の安全風土？

■ 基本的な思い込み

- ✓ 自国の技術を過信し、「日本の原子力発電所に限っては安全」という評価を大多数の原子力専門家、電力事業者そして一般国民ももっていた。（IAEA調査報告書）
- ✓ 外部電源を速やかに回復できるので、長期の全電源喪失は起こらないという思い込み。
- ✓ 頻度の極めて少ない事象は考えなくてよいという思い込み。
- ✓ 深層防護の第3層までを万全にしておけば、シビアアクシデントは起こらないという思い込み。

■ 「空気を読む」のマイナス面

- ✓ 空気を読んで、敢えて流れに逆らうことをしない ⇒ チームエラー

■ 「あ・うん」の呼吸のマイナス面 ⇒ 曖昧なコミュニケーション

- ✓ 安全文化の構築
- ✓ 異なる組織・グループ、関係者間の役割・責任分担、情報共有、調整
- ✓ 異分野間のコミュニケーション、専門的知見の統合
- ✓ 社会とのコミュニケーション、合意形成
- ✓ 組織的な技術継承・人材育成

原子力研究開発 および人材育成

軽水炉安全研究における反省

関村直人「原子力システムの安全に関する技術戦略マップ・ロードマップの考え方」（2015年8月18日）より

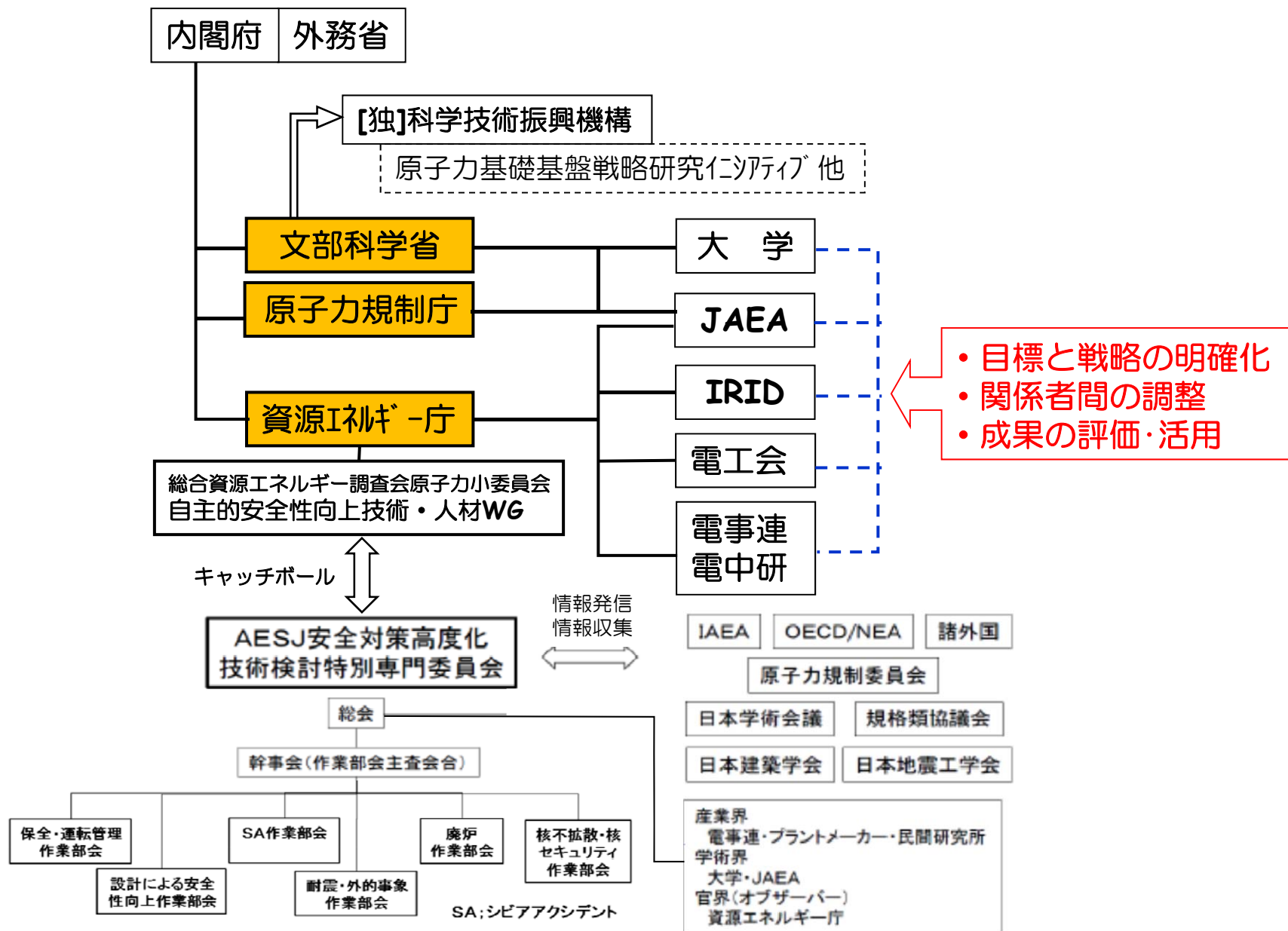
- ✓ 軽水炉技術の成熟化により、**1990年代以降**、研究機関の軽水炉の基礎研究、安全研究は減少。
- ✓ **2000年代初期**に事業者による自主的なシビアアクシデントに係る対策実施が進められるのに伴い、規制対象ではなかった軽水炉のシビアアクシデントに係る研究開発は事業者によるものを含め大幅に縮小。
- ✓ 安全に関する技術戦略ロードマップを掲げた産学官、規制側と推進側との連携が不十分であった。
- ✓ 諸外国では実施されている推進側と規制側による共同研究は効果的に実施されなかった。

我が国の原子力研究開発について

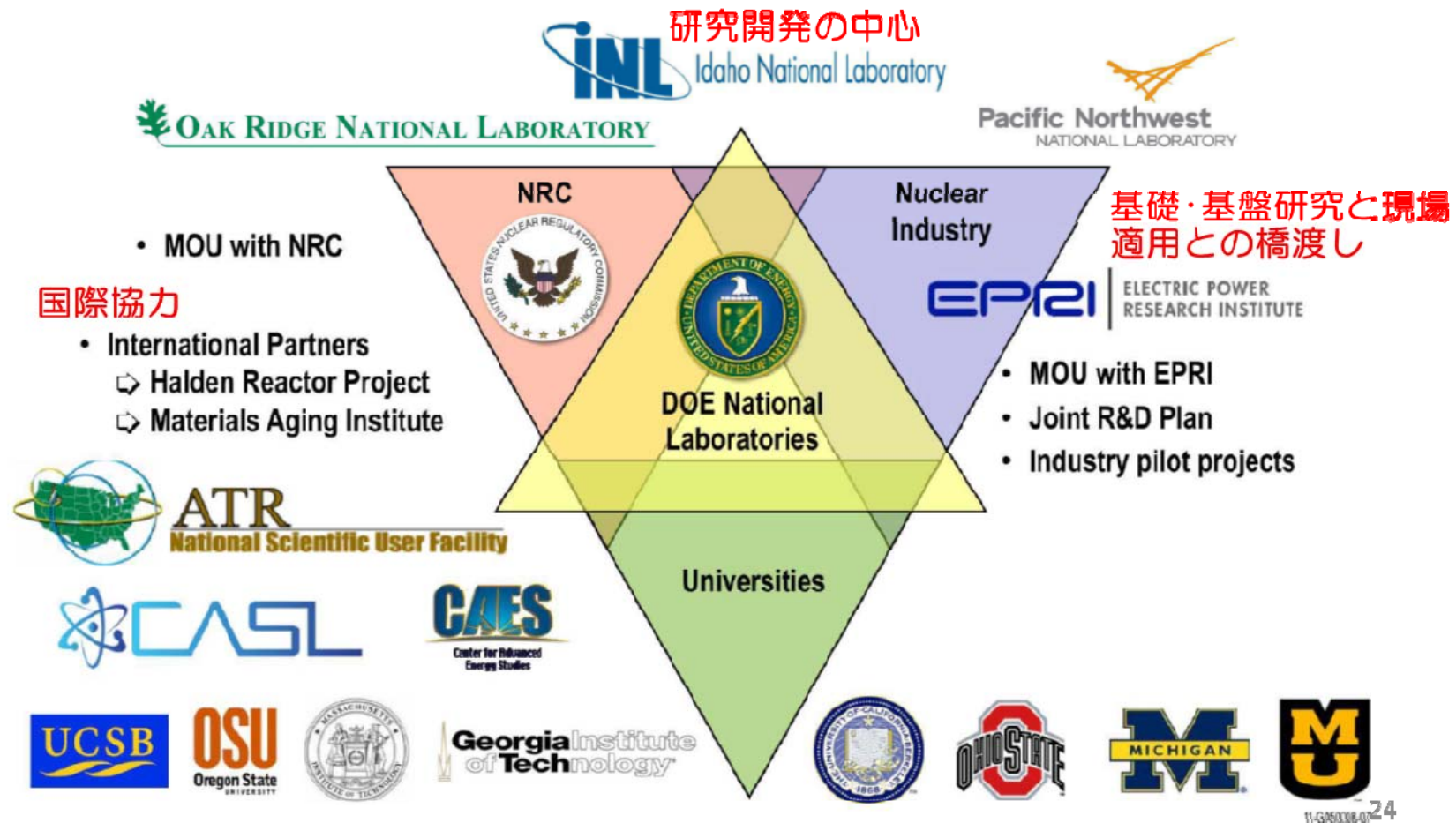
- ✓ 研究開発の目的に合致した合理的な研究戦略
- ✓ 研究成果の評価・活用の仕組み
- ✓ 国産の解析コードの開発、成果の活用
- ✓ 事業終了後の大型設備の維持・活用（制度設計）
- ✓ 産学官の連携、利益相反、情報・知識ベースの共有
- ✓ 内容が先か、形が先か？

軽水炉安全技術研究・開発の推進体制

12



米国の軽水炉持続可能性（LWRS）プログラム



原子力人材育成

■ 福島第一原子力発電所事故以後、若者の原子力離れが懸念される中で原子力人材育成は喫緊の課題

- 文部科学省と経済産業省が連携して人材育成プログラム.....原子力人材育成ネットワーク（原子力産業協会，JAEA原子力人材育成センター等）

■ 原子力分野へのインセンティブ

- 原子力分野の魅力・将来性、奨学金・留学制度・研修制度、魅力的かつ挑戦的な研究開発プロジェクト等

■ 原子力教育

- 事故の教訓を踏まえた原子力教育、大学における学習機会・制度の整備、大学連携ネットワーク（7大学とJAEAとの協定）.....連携教育カリキュラム、共通講座・集中講義，学生実習等
- 高校、高等専門学校等における教育

■ 多様な人材の育成

- 安全規制、運転・保守、設計・製造・建設、除染・廃炉、研究開発、広報など

■ エネルギー・環境教育

- 学校教育、社会人学習、体験的学習

安全性向上原子力人材育成委託費

平成28年度概算要求額 1.3億円（1.5億円）

事業の内容

事業目的・概要

- 東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）では、東京電力福島第一原子力発電所や今後増える古い原子力発電所の廃炉を安全かつ円滑に進めるための高いレベルの原子力技術・人材の維持・発展が必要であるとされています。
- また、軽水炉安全技術・人材ロードマップ（平成27年6月総合資源エネルギー調査会自主的安全性向上・技術・人材WG策定）、原子力の自主的安全性向上の取組の改善に向けた提言（平成27年5月総合資源エネルギー調査会自主的安全性向上・技術・人材WG策定）においては、技術開発と人材の確保を表裏一体のものとして実現していくものであることが示される一方、現場人材の育成等についても重要性が指摘されています。
- 本事業は民間企業や教育機関等に委託を行い、原子力の安全を確保するための人材の維持・発展に資する取組を行うものです。

成果目標

- 平成25年度から平成30年度までの事業。原子力人材の専門性の高度化や中核的推進機関等の自立化を目指します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ

人材育成・確保のための取組（例）

- 軽水炉安全技術・人材ロードマップにおいて重要度が高いとされている課題の解決等に資する人材育成の実施
- 原子力の自主的安全性向上の取組の改善に向けた提言の中で指摘されているニーズに合致する人材育成の実施

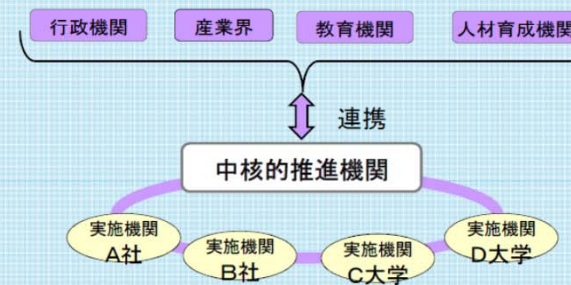
実習風景



講義風景



- 中核的推進機関において、事業実施機関や関連機関間の連携を促進し、本事業の成果普及等を行うことにより、原子力産業界全体の人材育成に貢献



文部科学省における原子力人材育成の取組

参考資料5
科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
原子力科学技術委員会
原子力人材育成作業部会（第2回）
平成27年9月14日

国際原子力人材育成イニシアティブ

【平成22年度開始】

（28年度概算要求額 3.6億円）

（27年度 予算額 3.5億円）

- ◆産学官の原子力関係機関が連携し、効果的・効率的・戦略的に行う機関横断的な人材育成活動（産学官のネットワークの構築、国内・海外における研修カリキュラムの作成・実施、研究炉やRI施設等を用いた実習）を支援。

英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業

【平成27年度開始】

（28年度概算要求額 18.9億円）

（27年度 予算額 14.0億円）

- ◆「東京電力㈱福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン」（平成26年6月文部科学省）等を踏まえ、国際共同研究を含め様々な分野間の研究者が融合・連携した原子力の課題解決に資する研究開発を推進するとともに、産学が連携した人材育成の取組を支援する。

放射線利用技術等国際交流事業（講師育成/研究者育成）※

【講師育成：平成8年度、研究者育成：昭和60年度開始】

（28年度概算要求額 1.5億円）

（27年度 予算額 1.5億円）

- ◆アジアの研究者等を招聘し、放射線利用技術・原子力基盤技術等に関する研修を実施するとともに、我が国の専門家等を派遣し、上記技術についての講義等を実施。
※平成25年度から名称変更（変更前：国際原子力安全交流対策事業（講師育成/技術者交流））

原子力システム研究開発事業

【平成17年度開始】

（28年度概算要求額 20.0億円）

（27年度 予算額 19.9億円）

- ◆原子力分野における我が国の国際競争力の維持・向上を図るため、多様な原子力システムに関し、基盤的研究から工学的検証に至る領域まで大学等において革新的な技術開発を実施するとともに、研究者の育成にも貢献。

原子力発電施設等研修事業費補助事業

【平成6年度開始】

（28年度概算要求額 0.9億円）

（27年度 予算額 0.9億円）

- ◆立地県が実施する原子力分野の基礎及び技術レベル向上のための研修等に補助金を交付。

JAEA人材育成センター

（運営費交付金）

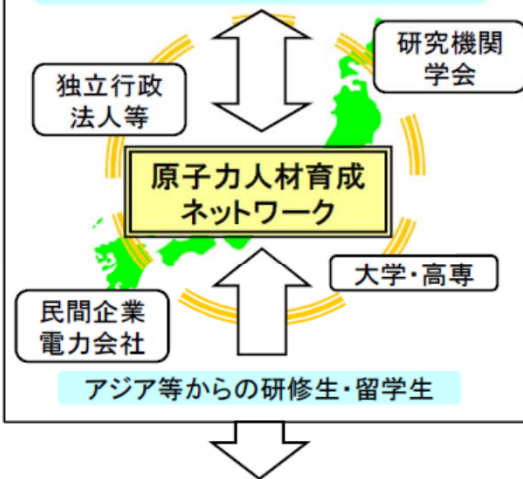
- ◆多彩な施設、広範な専門家、豊富な知識・経験等に基づき、各種国家資格・原子力技術者の国内研修、国際研修、大学等との連携協力等を実施。

原子力人材育成ネットワーク

（参加機関：71機関 平成27年8月現在）
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、国（内閣府、外務省、文部科学省、経済産業省）の呼びかけにより、平成22年11月に「原子力人材育成ネットワーク」を設立。

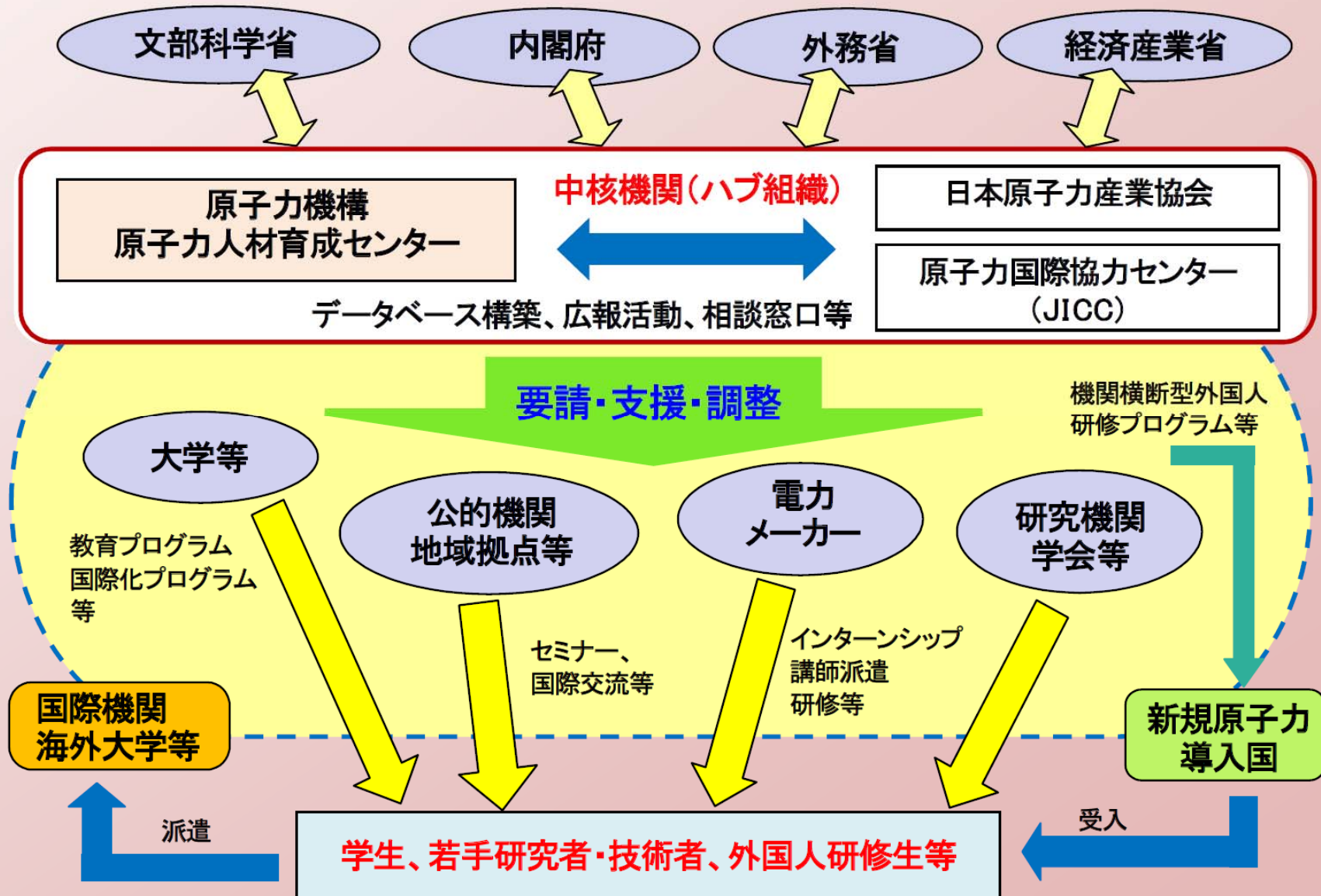
これにより、企業や国際社会が求める人材像をよりの確に把握し、効果的・効率的・戦略的に人材育成活動を推進し、知識・技術・国際力を兼ね備えた優秀な人材を継続的に輩出する。

国際機関・欧米原子力機関との連携
（学生・講師の相互派遣等）



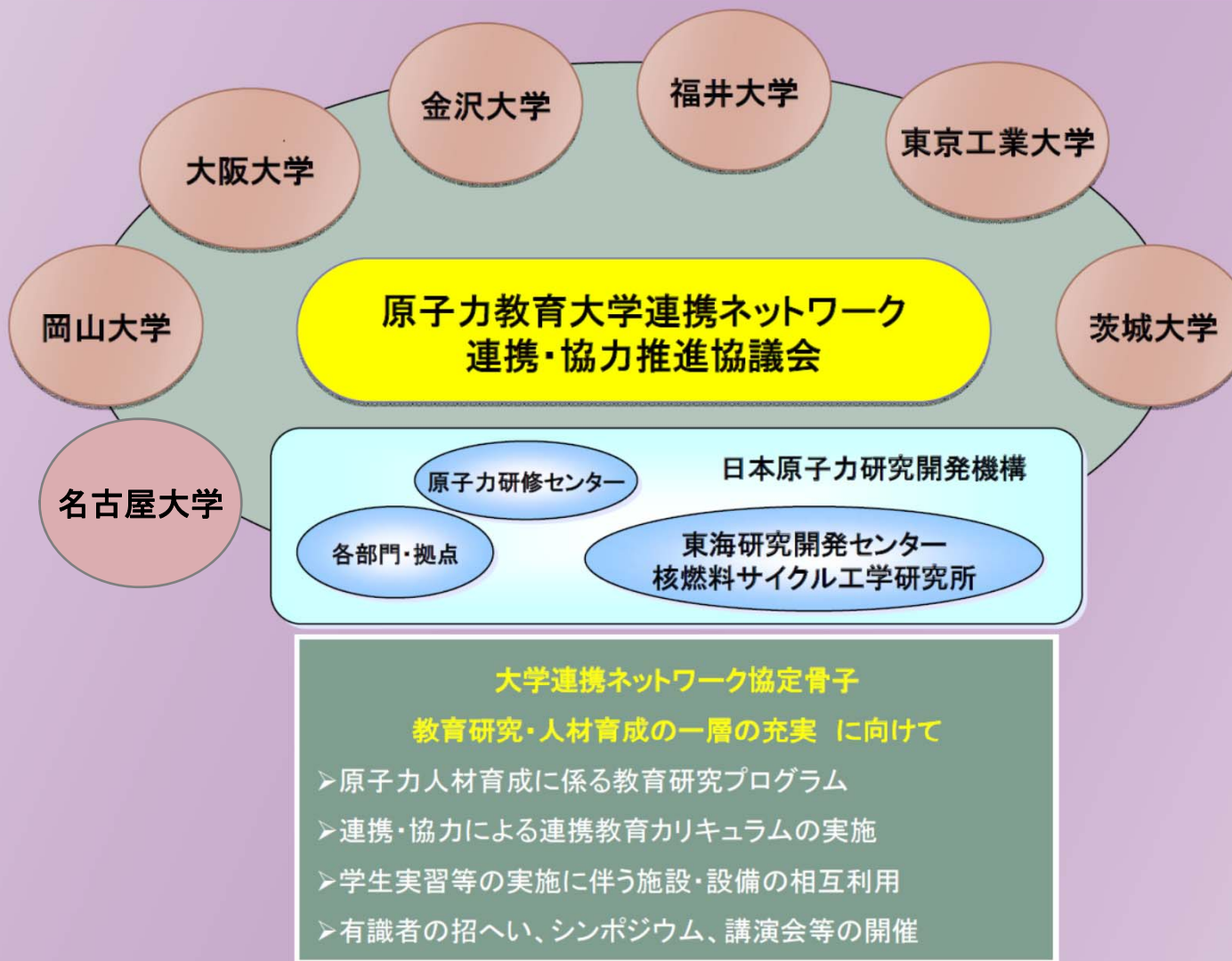
知識・技術・国際力を兼ね備えた
優秀な人材の輩出

原子力人材育成ネットワーク



原子力教育大学連携ネットワーク体制

—大学連携ネットワーク; **JNEN**; Japan Nuclear Education Network—

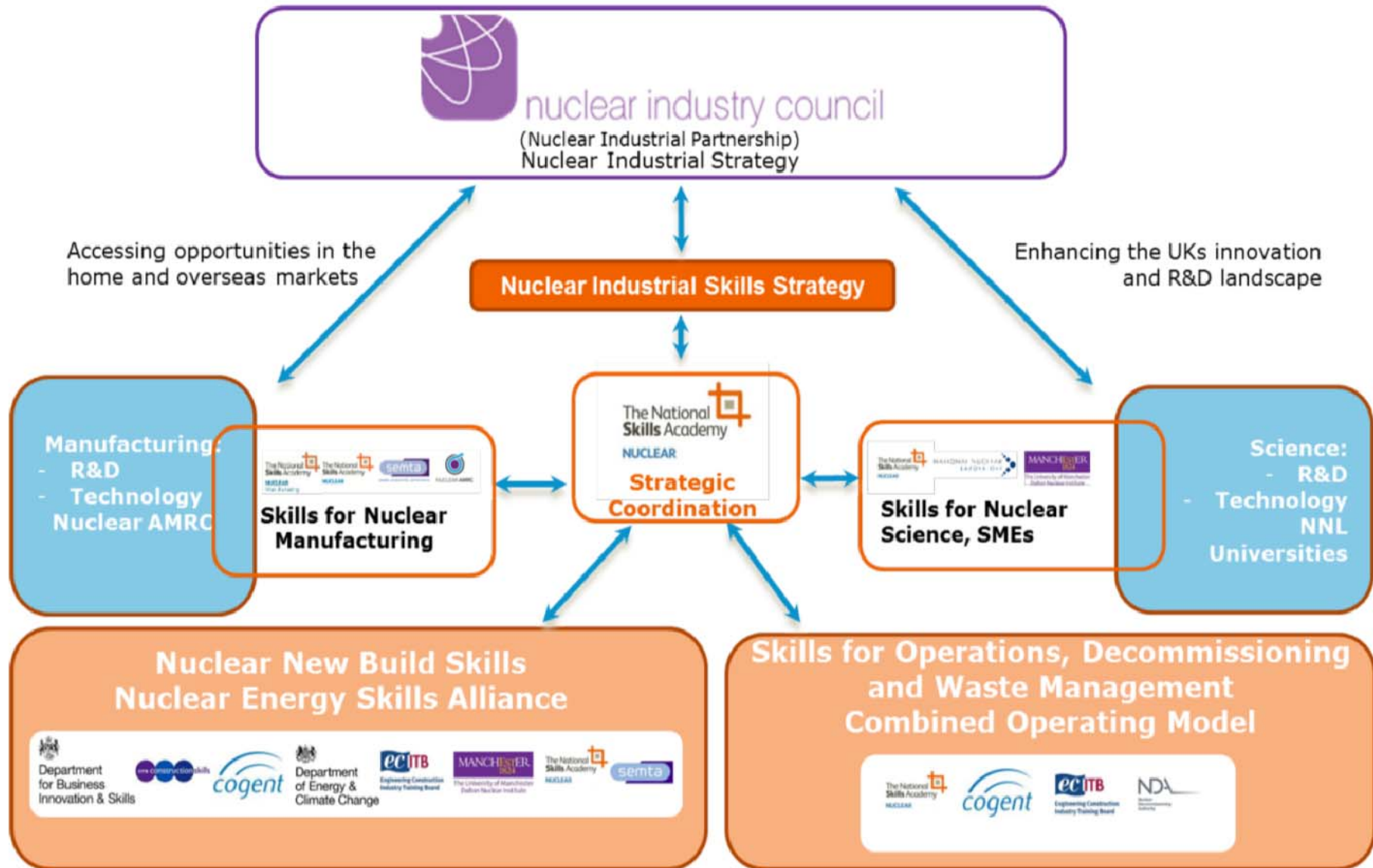


英国の原子力人材育成の例

- 廃炉計画と新規建設計画、雇用・退職などを考慮した**長期の人材需要予測に基づく人材育成戦略**
- **国立職業技能アカデミー（NSA：National Skills Academy）**を中心とした原子力人材育成。国（エネルギー・気候変動省，事業革新・職業技能省）と産業界がともに出資。
- **人材育成をネットワーク化**し、それらが行う研修等を**標準化**、その研修等に対し原子力カルズが認証する制度の創設等も計画。
- 教育訓練・研修施設等の**インフラ整備**にも投資
- **原子力技術者をデータベース化**し、国内の原子力業界がバランスよく人材を確保・育成できるような調整も検討中。
- 協議のうえ、原子力技術者の**標準的な就労条件を設定**。

英国の人材育成ネットワーク

Nuclear Industrial Partnership Structure



研究用原子炉

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
 - エネルギー利用（材料試験、など）
 - 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）
 - 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）
 - 医学・治療利用（BNCT、アイソトープ製造）
 - 放射線科学・技術（測定技術・装置、など）
 - 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）
 - 波及効果・国際貢献
 - 我が国の最先端研究基盤施設

放射線利用はエネルギー利用と同等の経済規模

23

<工業分野の主な放射線利用>

半導体の製造



半導体

ラジアルタイヤの製造



電池用隔膜の製造



ボタン型電池

燃料電池用膜の開発



ナノデバイスの開発



<農業分野の利用の現状>

放射線育種



放射線照射による突然変異を利用して新品種を開発
→188品種を開発(2008年現在)

害虫防除



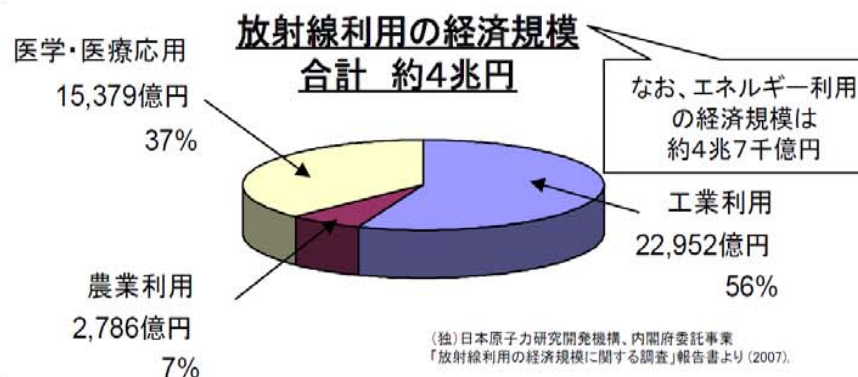
放射線による不妊化で
ウリバエを根絶

食品照射



(左:未照射のじゃがいも。右:照射したじゃがいも)
(未照射) (照射済み)

放射線照射によるジャガイモ芽止め

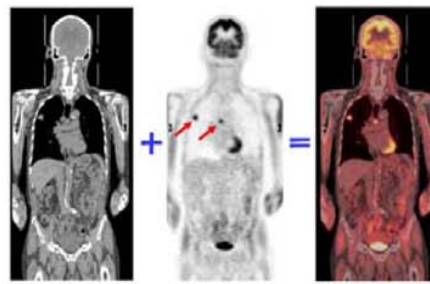


<医療分野の主な放射線利用>

CT機能とPET機能を有する
PET-CT装置



肺がんの診断画像
(X線CT、PET、PET-CT)



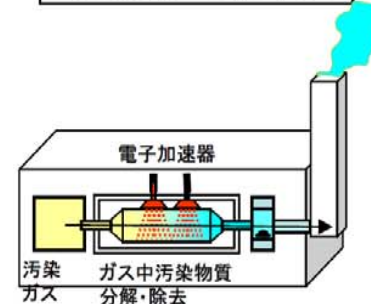
X線CT

PET

PET-CT

<環境・資源分野の利用の現状>

電子線を用いた排煙処理



有用金属捕集材の開発



内閣府政策会議資料(2010年4月20日)より

自治体による放射線利用の産業活性化の取組み

放射線利用技術を地域の産業等に活用している。

- 重粒子線を用いたがん治療施設の設置（佐賀県，群馬県）
- **J-PARC**の中性子ビームラインの整備と産業利用促進のための取組み（茨城県）
- 放射線を用いた有田焼の分析や、新たな絵具・釉薬の開発（佐賀県）
- エネルギー研究開発拠点化計画（福井県）、等

九州国際重粒子線がん治療センター（サガハイマツト）
普及型重粒子線治療装置（佐賀県）



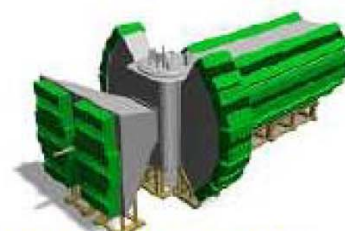
平成25年春オープン予定
【平成24年4月18日撮影】

陽子線がん治療センター（福井県）
（エネルギー研究開発拠点化計画）

平成23年治療開始



J-PARCの中性子ビームラインの整備
（茨城県）



◆材料構造解析装置



◆生命物質構造解析装置



◆いばらき量子ビーム研究センター

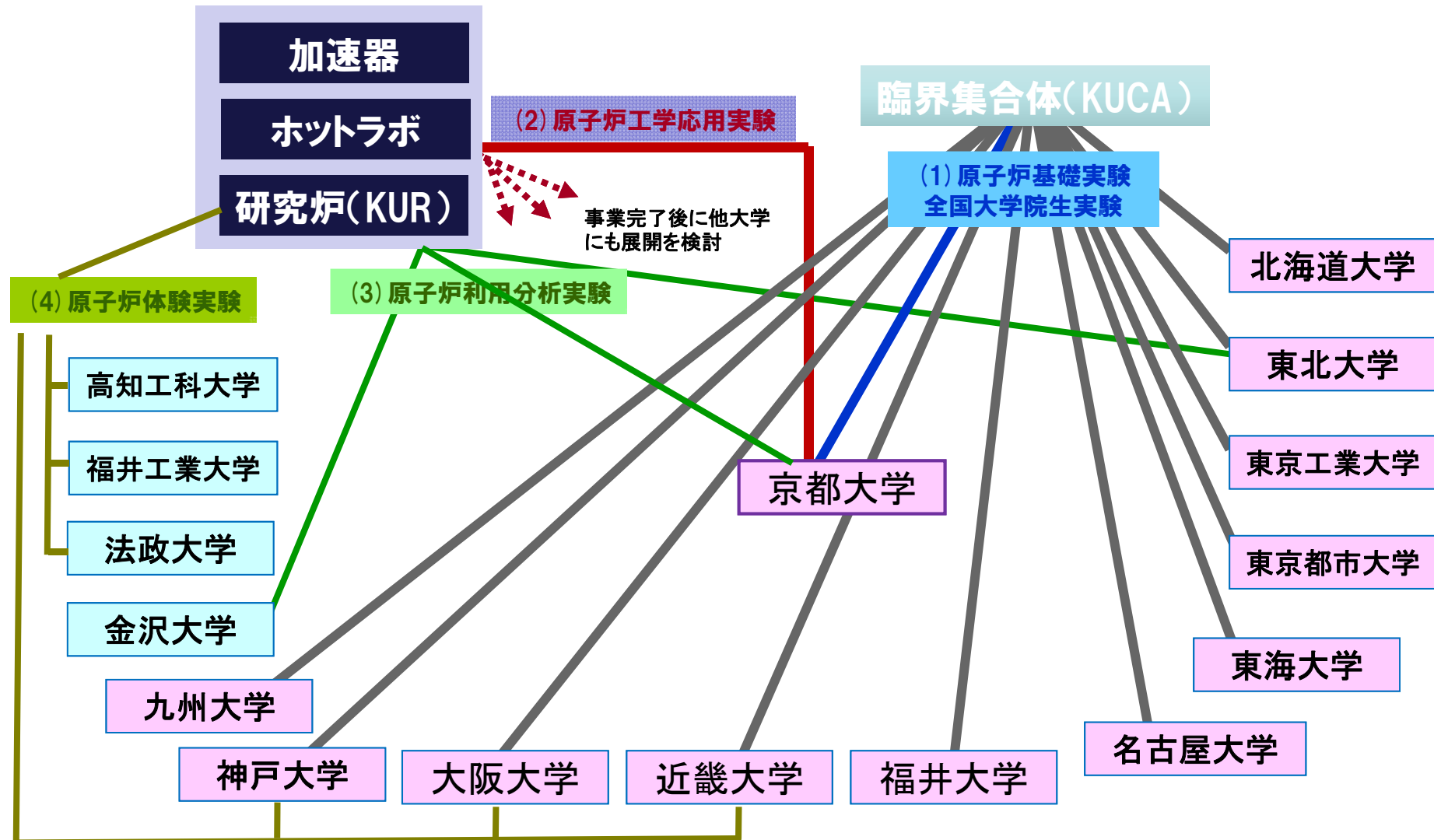
産学官共同研究施設の整備

平成21年第45回原子力委員会資料第1-2号より抜粋

研究炉を使った教育・訓練

三澤毅「IAEAテクニカルミーティング報告」関西原子力懇談会第1回安全評価技術・基準体系に関する調査委員会資料より

京都大学原子炉実験所での実験教育の体系(16大学が参加)



海外研究炉の状況

■ 北米

- 多くの研究炉が停止するも、世界の研究炉の約1/4がこの地域で稼動
- 高出力研究炉は長期運転継続.....ATR(110MW, 1951~)、HFIR(85MW, 1965~)、MURR(10MW, 1966~)、NBSR(20MW, 1967~)など

■ 欧州

- 独：ミュンヘン工科大FRM-II(20MW)が2004年に運転開始
- 仏：2014年運転を目指し大型照射炉JHR(100MW)を建設中、国際共同利用を推進・
...2020年以降の燃料・材料照射の国際拠点を目指す
- ベルギー：BR-2の後継炉としてMYRRHAを計画中（加速器駆動システム）
- 高出力研究炉の運転継続.....BR-2(100MW, 1961~)、GHFR(57MW, 1971~)、Orphee(14MW, 1980~)、HFR-Petten(45MW, 1961~2015)、HBWR(25MW, 1959~)
- ホットラボ施設では、独の国際超ウラン元素研究所(ITU)、仏のラウエ・ランジュバン研究所(ILL)などが国際研究の拠点に

■ アジア・オセアニア

- 最新の研究炉が運転中または建設中：韓国ではHANARO(30MW, 1995~)、中国ではCARR(60MW, 2010~)、CEFR(65MW, 2010~)、オーストラリアではOPAL(20MW, 2007~)、インドネシアではMPR(30MW, 1987~)、インドではDhruva(100MW, 1985~)、FBTR(40MW, 1985~)など

原子力研究・開発、中性子科学研究、産業用、教育・訓練用に研究炉を積極的に利用、将来に備えて後継炉の整備も進めている。

日本の研究炉

* 廃止の予定 ** 適合確認中

27

名 称	型 式	出力 (kW)	運 転 開始年	用 途	現 状	設置者
JRR-3**	プール型	20,000	1990	多目的利用	停止中	JAEA/東海
JRR-4*	プール型	3,500	1965	多目的利用		
NSRR**	トリガ炉 (パルス)	300 (23,000,000)	1975	燃料挙動実験		
TCA*	臨界装置(C.A.)	0.2	1962	炉物理実験		
FCA	C.A. 高速炉	2	1967	炉物理実験		
STACY**	C.A. 均質炉	0.2	1995	炉物理実験		
TRACY*	均質炉 (パルス)	10 (5,000,000)	1995	臨界事故実験		JAEA/大洗
JMTR**	タンク型	50,000	1968	多目的利用		
HTTR**	高温ガス炉	30,000	1998	HTGR プラント試験		
JOYO	高速炉	140,000	1977	FBR 燃材料照射		東芝
NCA	C.A.	0.2	1963	炉物理実験		
UTR -KINKI**	アルゴノート型	0.001	1961	炉物理実験		近畿大学
KUR**	タンク型	5,000	1964	多目的利用		京都大学
KUCA**	C.A.	0.1	1974	炉物理実験		

中島健「次世代炉開発における研究炉の役割－研究炉への期待－」（2015年原子力学会秋の大会新型炉部会セッション）より

提言「研究用原子炉のあり方について」(平成25年10月16日)

■ 研究炉の安全・安定運転の確保

- 高経年化対策.....研究炉の多くは設置後40年以上経過
- 施設の安全性・先端性の確保.....必要な経費の国による保証
- 維持段階における合理的な安全規制行政

■ 研究炉の燃料問題への対応

- 使用済燃料の措置に関する国の中長期的方策（対米返還期限、中間貯蔵、再処理の可能性、使用済燃料の最終処理処分）.....対米返還以外は法的整備必要
- 新燃料、使用済燃料の保障措置・核物質防護

■ 研究炉の運営・利用体制の強化

- 学術研究への適用と産業界のニーズ、原子力と科学・技術の適切なバランス、
- 統一的な利用体制（プラットフォーム）の構築.....ユーザーフレンドリーな利用体制、インターフェイスになる人材の育成
- 国際連携の強化

■ 研究炉の後継と将来の研究炉の検討

- 施設・装置のアップグレードの検討
- BNCTなどの先駆的・開拓的な研究や人材育成にも適した研究炉が必要
- 研究炉建設には長期の準備期間が必要であり、公共性の高い研究炉の後継について適切な将来計画、その運用体制を含めたグラントデザインを早急に描くことが必要



日本と欧米の安全に関する考え方の違い

向殿政男「国際化時代の機械システム安全技術」（2000）をベースに一部変更

日 本	欧 米
安全でなければ危険	安全と危険の間に安全か危険か分からない状態がある
災害は努力すれば二度と起こらないようにできる	災害は技術レベルに応じた形で必ず起きる
災害の主原因は人	災害防止は技術的問題
管理体制を整え，人の教育訓練をし，規制を強化すれば安全を確保できる	人は必ず間違いを犯すものであるから，技術力の向上なしには安全は確保できない
災害が発生するたびに規制を強化	事故が起こっても重大災害に至らない技術対策を講じる
安全は，基本的に「ただ」	安全は，基本的にコストがかかる
安全は経済性と相反する．安全対策には最低限のコストで対応し，災害対策の技術的深耕をしなかった	安全は事業継続のための投資．ハザードを見つけ，そのリスクを評価し，それへの対策に投資して，災害の低減化に努力する
見つけた危険をなくす技術	論理的に安全を立証する技術
事故の発生件数を重視	重大災害を重視

原子力利用に関する課題（1/2）

- 福島第一原子力発電所の事故処理
 - ・ 地域の復旧・復興計画、除染・避難解除
- 安全対策・セキュリティ・原子力防災
 - ・ 深層防護の考え方、原子力発電所のレジリエンス向上、防災・危機管理
 - ・ 電力安定供給と地球温暖化対策.....高経年化対策、40年運転制限
- 核燃料サイクル
 - ・ もんじゅ、再処理、最終処分地、トランスサイエンス：住民の合意形成
- 原子力規制
 - ・ 規制行政プロセスの透明性・公平性・合理性・PDCA、適切なコミュニケーション（被規制者、社会）、新知見・経験の共有と独立した判断、バックフィットルール、安全研究、人材育成
- 社会との対話、地域共生
 - ・ 情報発信、プロセスの透明性、リスクコミュニケーション、信頼回復、立地地域との共生

原子力利用に関する課題（2/2）

■ 放射線・粒子線の利用

- ・ 共用施設・制度の整備、人材の育成・確保、研究用原子炉に係る問題

■ 原子力研究開発

- ・ 安全研究、ロードマップ、研究課題の調整、優先度、役割・資金の分担、利益相反、新型炉開発

■ 国際社会との連携

- ・ 事故の教訓・運転経験の共有・フィードバック、安全対策、国際共同研究、新規参入国への支援（技術移転、人材育成・インフラ整備支援）

■ 原子力産業の維持

- ・ 電力改革の影響、国内外の需要見通し、人材育成・確保

■ 原子力教育・人材育成

- ・ 産学官の連携（人材育成ネットワーク等）、長期的人材需要見通し、社会の要請に応じた多様な人材の育成・教育、体験的教育・研究開発を通じた人材育成、人材育成に必要な施設・設備の整備（施設共用制度も含む）