

原子力人材・技術基盤について

平成24年2月28日
内閣府 原子力政策担当室

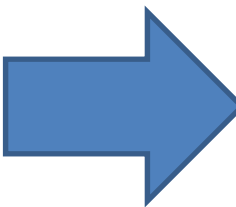
1. 原子力人材・技術基盤に関する論点

原子力人材・技術に関する新大綱策定会議での主なご意見

- 世界最高水準の安全確保に向けた人材育成が最重要課題である。
- 原子力発電所の建設や運転・保守を支える技術基盤の維持・向上は、原子力発電所の安全性を継続的に高めていくためにも重要。国内で原子力発電所の建設を継続し、世界で信頼される原子力技術を確立・維持すること及びそれを支える人材を育成することが重要。
- 人材育成については、育成の拠点（大学等）の重要性、予算的な増強等、具体的な政策行動を求める必要がある。福島事故以降の原子力否定ムードの中で、優秀な人材を育成していくことの困難さと重要性、問題の打開策は優先課題。
- 安全を担うのは人間である。大学や高専でどういう技術者を育て、規制機関や産業界に入って経験的に得るものをどう生かすか、人材がうまく流れるようにしながら知識が蓄積される仕組み作りが必要。
- 安全を支えるのは高い技術を有する人材である。優秀な人材が衰退産業に集まるとは考えづらく、産業がいかに活力と魅力を持つかも重要。また、日本の技術がアジアの安全確保に資することも重要で、そのためにも国内において運転技術をしっかり伝承する必要がある。

原子力人材・技術基盤に関する論点

- I. 今後も我が国において原子力発電を利用していく場合、原子力依存度を低減する中で、安全確保のために、どのように人材・技術基盤を確立・維持していくのか。仮に、原子力発電から撤退する場合でも、東京電力福島第一原子力発電所事故の処理や廃炉等を実施するために、一定の人材・技術基盤が必要ではないか。
- II. 今後、中国・インドをはじめとして、国際的には原子力発電が拡大していくことが見込まれる中、
 - A: 米国、フランス等との協調関係の下、我が国の原子力プラント製造分野が世界的に高い水準の原子力人材・技術を有していることの意義をどう捉えるか。
 - B: こうした高い水準の人材・技術基盤を有する我が国が、安全確保、核セキュリティ、核不拡散の観点から国際貢献を果たしていくべきとの見解をどう捉えるか。



人材・技術基盤について、諸外国との比較や我が国の現状を踏まえ、上記論点について、以下の点をそれぞれ検討することが必要。

- (1) どのような人材・技術基盤が、どの程度の規模で必要となるか。
- (2) 人材・技術基盤の確立維持のために、学界、政府及び民間研究機関、産業界は、それぞれどのような役割を担う必要があるか。
- (3) 官民それぞれの人材育成に対する取組をどう考えるか。

2. 国際社会の動向と人材・技術基盤との関係

海外の事例① スリーマイル島事故以降の米国の原子力産業の動向

○米国では、原子力プラントの新增設の停滞により、原子力産業が衰退。稼働中の原子力発電所のメンテナンスにおいて、主要資機材の製造は海外に依存

○労働力の高齢化も課題

○米国では、1978年のスリーマイル島事故以降、新增設が停滞したことにより、原子力を牽引してきた多くの企業は、原子力事業からの完全撤退、他の原子力企業との合併など合理化を余儀なくされた。一方、廃炉や廃棄物管理事業への移行により一定規模の人材を確保してきた。

○同事故以降、米国機械学会が認証する原子力規格(N-stamp)取得企業が600社(1980年)から200社以下(2007年)まで減少。

○米国エネルギー省は、2005年、米国の原子力産業に関し以下の評価を行っている。

- ・米国企業には、第三世代原子炉の主要資機材(原子炉圧力容器、蒸気発生器等)を製造する能力はない。例えば、原子炉圧力容器に用いる品質の高い大型鍛造品は唯一日本製鋼(JSW)のみが製造しうる。
- ・こうした製造能力の欠如が、(国内の原発建設において)重大な建設遅延リスクやファイナンスリスクをもたらす。

○稼働中の米国原子力発電所の原子力圧力容器の9割は米国内で製造されたものであるが、保守・メンテナンスに関して、2002年以降、原子炉圧力容器上蓋(取り替え用)は全て海外に依存。

○労働力の高齢化が大きな課題。例えば、フロリダ電力は、発電所勤務者の40%は今後5年間で退職する可能性がある。規制当局も同様の問題に直面。

○ブルーリボン委員会は、アメリカの原子力ビジネスが拡大されようが、現行レベルを維持しようが、将来廃止されようが、アメリカの原子力事業の効果的な運営のためには、科学者や技術者を含めた適切に訓練された労働力と、立地評価・建設・運転・廃炉・廃棄物管理のための熟練労働者が必要と指摘。

(出典: German Federal Ministry of Environment, Nature Conservation and Reactor Safety "The World Nuclear Industry Status Report 2009 With Particular Emphasis on Economic Issues," August 2009, The Center for International Governance Innovation "The US Nuclear Industry: Current Status and Prospects under the Obama Administration" November 2009)、Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future Draft Report to the Secretary of Energy (2012).

海外の事例② スウェーデンにおける新規建設停滞と人材問題

○脱原子力政策により、人材のリソース不足、若い世代の原子力工学の教育不足、労働者の高齢化の問題が顕在化

○スウェーデンでは、1980年の国民投票の結果を受けて、原子炉の全廃を決定し、その後脱原子力政策の一環として全12基(当時)の原子炉のうち、2基を閉鎖(バーセベック1号機を1999年1月に、及び同2号機を2005年5月に閉鎖)。

○しかし、代替となる設備容量補填の見通しがなく、2006年、政権の座についた中道右派4党(穏健党、自由党、中央党、キリスト教民主党)の連立政権は、脱原子力政策を凍結。2010年までは原子炉の増設も閉鎖も行わず、既設炉の出力増強を認める方針を発表。

○2010年9月の総選挙において、公約に、原子炉リプレイス容認の方針を掲げた当該中道右派4党が、原発廃止を掲げる野党3党に勝利。原子炉リプレイスの方針については、法制化を経て、2011年1月より施行された。

○一方、スウェーデン放射線安全庁(SSM)は2006年にフォルスマルク発電所を、2009年にリングハルス発電所を、安全文化と管理の欠陥等のため、特別監視下に置いた。SSMのカールソン原子炉安全部長は、背景として、安全・増強計画に対処するリソースが不足し、発電所要員が広く薄く配置されたことをあげている。また、同様にSSMでのリソースの不足も指摘。

○スウェーデンでは新規炉建設が許可されていなかったため、若い世代が原子力工学の教育を受けていない。このため、ベテラン世代の大量退職を前に、電力会社は大学と共同で、原子力業界で必要とされる核物理学などの新課程を設置する等の取組を行っている。

○具体的には、スウェーデンでは2008年から、産官学共同の原子力技術系育成プログラムが施行されており、スウェーデン王立工科大学(KTH)、シャルマス工科大学、ウプサラ大学をベースとするScience and Technology Center(SKC)に、スウェーデン原子力発電事業者・ウェスティングハウス・スウェーデン、SSMが出資して、最新知見と現場感覚に精通した若手技術者の育成に貢献している。

海外の事例③

イギリスにおける新規建設停滞と人材問題

○新規の原子力発電所の停滞後、原子力発電所を再度建設するためには、人材育成や製造に対する投資を促進させることが必要

○1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故以来、原子力発電の新規建設には消極的な立場を取ってきており、1995年に運転を開始した原子力発電所の建設以降、新規建設は行われなかった。

○BE社が保有する15基の原子力発電所は、1970～80年代にかけて導入されたものが多く、今後運転期間の延長が行わなければ、2011年以降、既設炉の運転が順次終了していく予定。

○そのような状況下で、2005年、ブレア首相(当時)が原子力発電所の新規建設の是非を含めたエネルギーレビュー実施を表明。2008年に原子力白書を公表、新規の原子力発電所が英国の気候変動及びエネルギー安全保障に関する目的達成を助けると結論。

○原子力白書では、サプライチェーンと技術・人材の確保について以下のように述べている。

- 既存の技術が失われる前にそれを伝承させ、サプライチェーンを効果的に管理するためには、新規の原子力発電所の計画を現実的な時間スケールで進捗させることが必要。
- 政府は、規制改革や計画策定プロセスを改善することにより、建設前期間の不確実性を減らすことが重要。
- こうした政策により、投資家の信頼性を高め、人材育成や製造に対する投資を促進することができる。

海外の事例④

ドイツの原子力政策及び原子力産業の変遷

○原子力産業の動向は、国の原子力政策が大きく影響

1998年:

社会民主党・緑の党による連立政権発足。

→ 「脱原子力」政策に転換



2009年:

キリスト教民主・社会同盟と自由民主党の連立政権発足。

→ 「脱原子力」政策を転換。原子炉運転期間の延長を決定。



2011年(6月):

2022年までに国内の全ての原子力発電所を停止するとの脱原子力方針を決定。

2001年:

シーメンスが原子力部門(一部)をフラマトム(現アレバ)に売却。

※シーメンスは独国内17基、海外(アルゼンチン、オランダ、スイス)3基の建設を手掛けてきたが、脱原子力政策により原子力総合メーカーとしての存続を断念。



2009年:

シーメンスがロスアトム(露)とエンジニアリング、タービン部門で提携。海外の原子力市場への進出を図る。

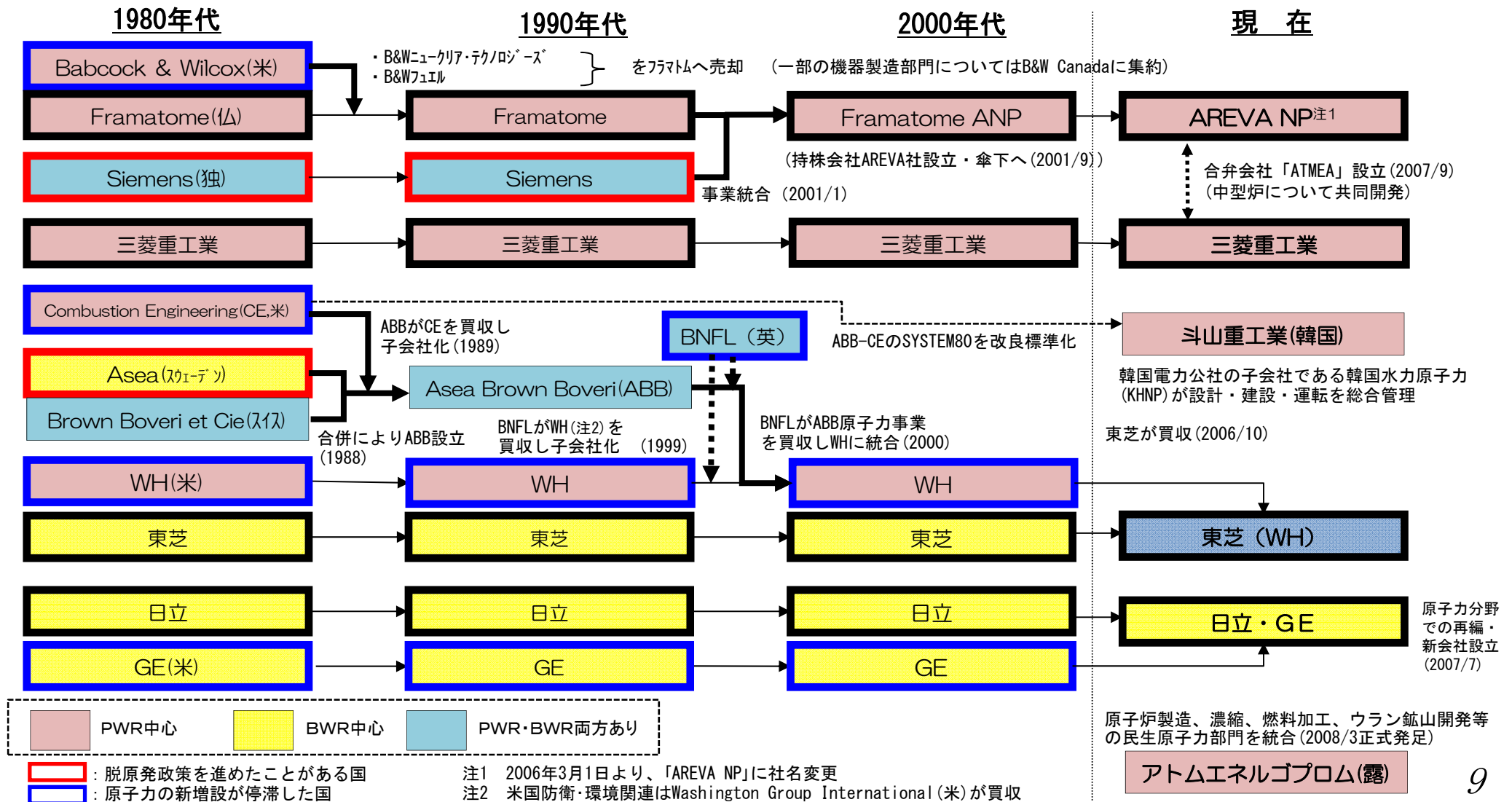


2011年:

シーメンスがロスアトムとの提携を解消し原子力分野から撤退を宣言。

海外の事例⑤ 世界の主要原子カプラントメーカー

- スリーマイル島事故(79年)、チェルノブイリ事故(86年)等の影響により、1980年代から1990年代にかけて、脱原子力政策に転換する国(ドイツ、スウェーデン等)、原子力の新增設が停滞した国(米国)が増加
- 欧米諸国の原子力メーカーは海外の企業との連携を進めたり事業からの撤退などを進めるなど、国際的な再編・集約化が進展
- 脱原子力政策に転換した国から原子カプラントメーカーは無くなり、原子力の新增設が停滞した国では統合、吸収により減少



国際社会の動向と我が国の原子力人材・技術基盤との関わり①

◎1950年代半ば～ 原子力平和利用・国際貢献

→ 原子力平和利用国として国際社会での評価の高まり

我が国は、約半世紀にわたり、自らは原子力平和利用に徹するとともに、国際社会において核不拡散体制強化に向けた取組に積極的に貢献(2009年には日本人がIAEA事務局長に就任)。

IAEA(1957年設立)

- ・我が国は、IAEA設立当初から保障措置システムの確立に貢献。1987年には大型再処理施設の保障措置適用に関する技術的検討の国際会合を我が国の特別拠出金により設立。
- ・2009年、天野事務局長就任

NPT(1970年発効)

- ・日本は1976年批准。我が国はNPT非核兵器国で唯一商業レベルの濃縮施設と再処理施設の両方を保有

IFNEC(GNEPを改組し2009年に設立)

- ・運営グループ、燃料供給サービスWGはそれぞれ日本人が副議長、議長を務める。

◎2000年代半ば～ 先進炉等の研究開発を推進

→ 今後の技術開発の中心的存在に

我が国は米、仏等の原子力主要国と研究開発協力を進めるとともに、革新技术に関する国際会合においても積極的に貢献。

2005年 JAEAと仏CEAとの間で、先進炉等の研究開発を進めることに合意

2006年 JAEAと米DOEとの間で、先進炉等の研究開発を進めることに合意

2001年 GIF(第4世代原子力システム)創設。現在、日本人が議長を務める

国際社会の動向と我が国の原子力人材・技術基盤との関わり②

◎2000年代後半～ 新規導入国との二国間協定締結

→ 我が国の相手国との間で移転される技術・資機材の平和的利用・核不拡散等を法的に確保

※例えば、ベトナムが、我が国の技術・資機材を用いて原発を建設する場合、当該原発から生じる使用済燃料は、二国間原子力協定に基づき、IAEA査察下におかれ、核兵器目的の使用の禁止はもとより、第三国への移転も規制される。

1977年 NSGガイドライン合意

・原子力関連技術・資機材輸出の際に相手国に不拡散上の保証を求めることを定めた紳士協定。我が国は二国間協定等によりこれを担保。

2010年 日カザフスタン二国間協定締結

2012年 日ベトナム、日韓、日ヨルダン二国間協定締結



このような原子力技術等の提供を通じた相手国の不拡散政策への関与や研究開発等への貢献は、我が国自身が原子力技術・人材基盤を有していることが前提。

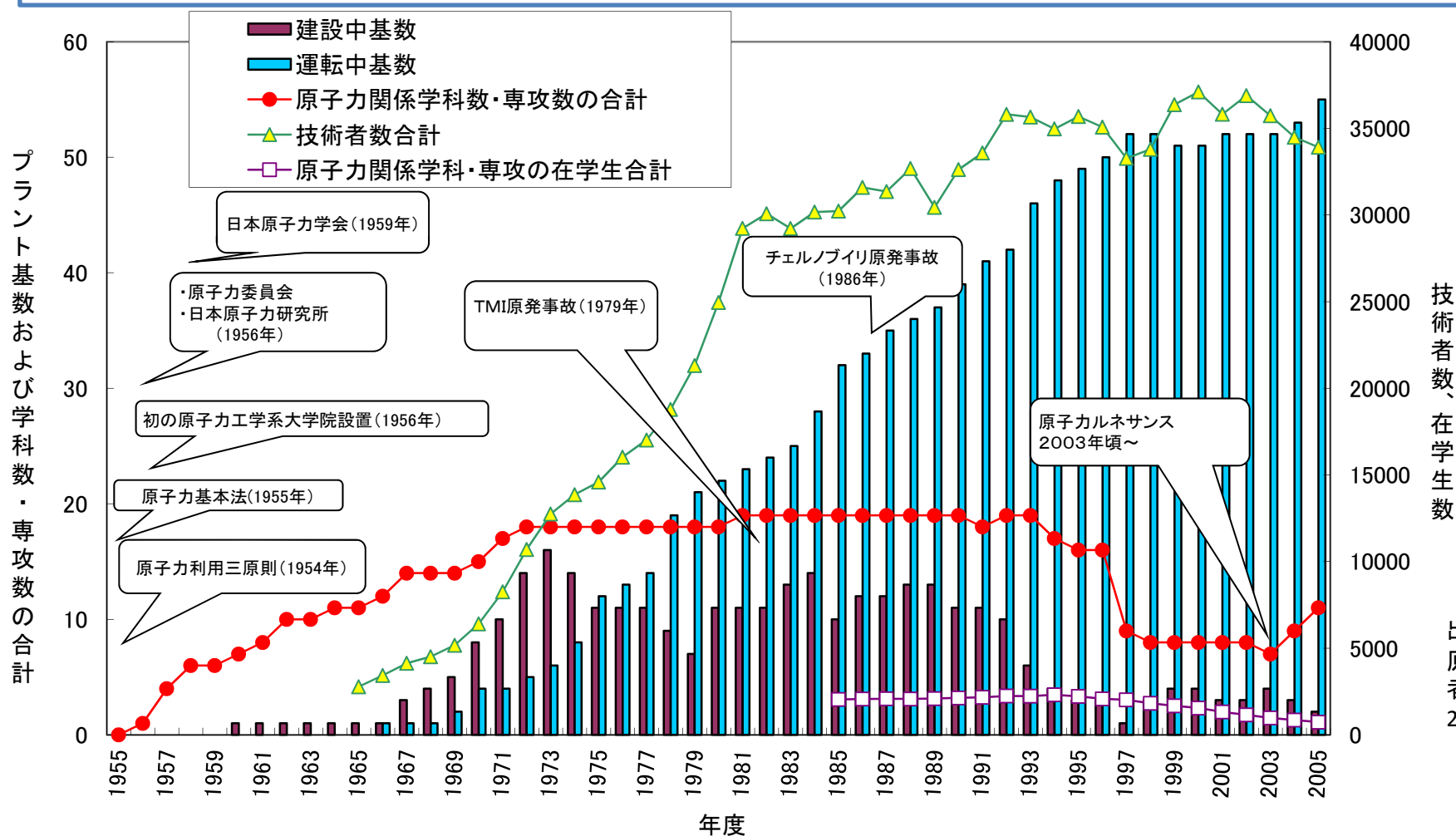
※米国は、国内の原子力基盤の衰退が米国の不拡散政策への影響力を弱めることになることを懸念。原子力協力を通じて相手国の核不拡散政策に関与していくことが必要との考え。

- ・ 国内の原子力基盤の衰退によって、米国の国際市場への参画能力は弱まり始めている。仮に、米国が今以上に外国のメーカーに依存する構造になったり、あるいは、他国の原子力メーカーに国際市場を委ねるようなことになれば、米国の世界の不拡散政策に影響を与える能力は弱まることになるだろう。(American Council on Global Nuclear Competitiveness, The U.S. Domestic Civil Nuclear Infrastructure and U.S. Nonproliferation Policy, 2009)
- ・ NPT体制の外にいるインドを孤立させておくのではなく、原子力協力を通じて関与し、国際的な不拡散体制に取り込む方が、より安全、国際的な不拡散取組に有益。(U.S. Department of State, Secretary Condoleezza Rice, Opening Remarks before the Senate Foreign Relations Committee, April, 2006)

3. 我が国の原子力人材基盤について

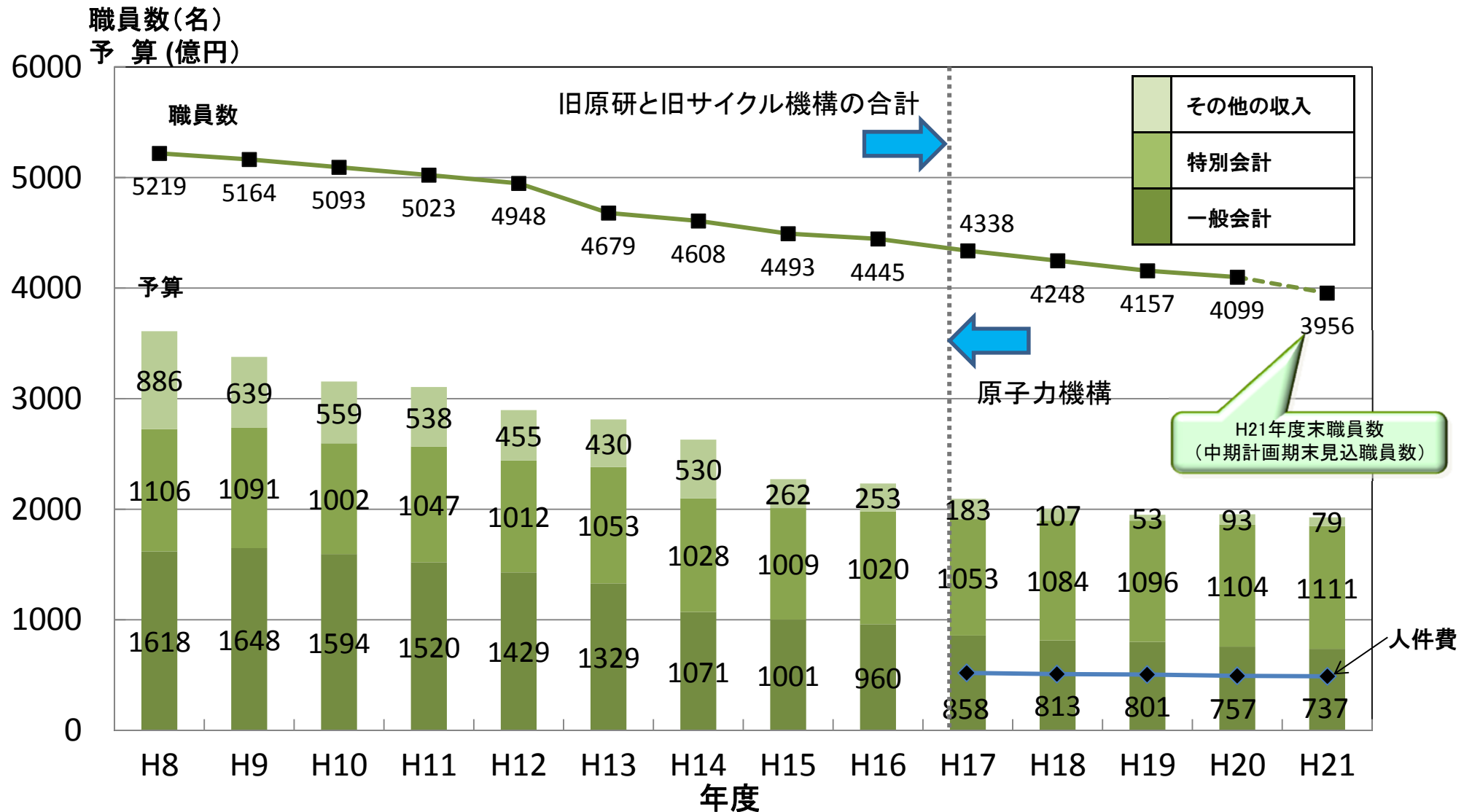
我が国の原子力関係在学学生数と企業における技術者数の推移

- 原子力関係学科・専攻は建設基数に先んじて増えており、1970年から15年ほど維持し続けたが、建設基数の減少、大学の講座の大括り化などが要因となって減少している。これに伴い、在学学生数も減少した。
- 2003年頃の原子力カルネサンス(新規プラント建設増加の機運)により、原子力関係学科・専攻は増加に転じた。
- 電気事業者及び製造業者の技術者数については、プラント基数の増加とともに増えている。近年のプラント基数では35000人程度を維持しており、プラント基数に応じた人材の確保が重要である。



日本原子力研究開発機構の職員数の推移

○職員数は、年々減少している。震災の影響もあり、今後の志望者の減少が懸念される。原子力発電の安全性向上には、安全に関する研究開発は重要となることから、人材の確保が重要となる。

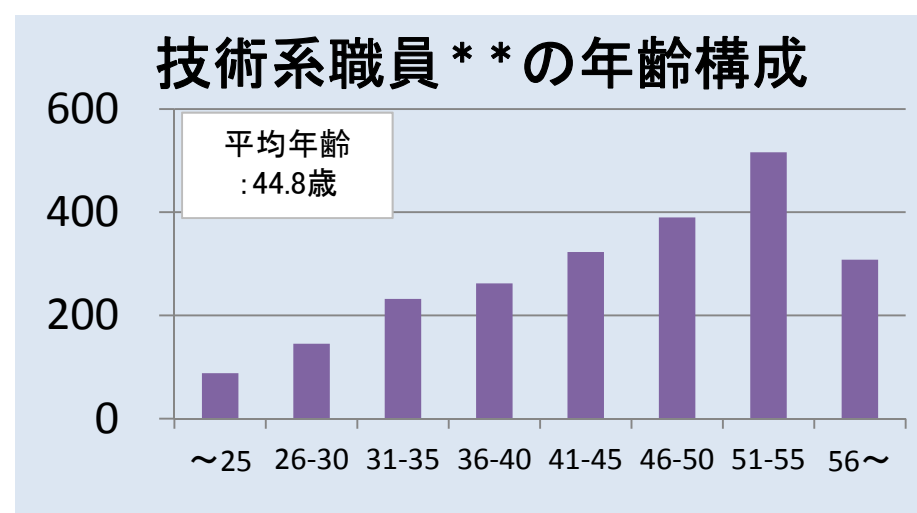
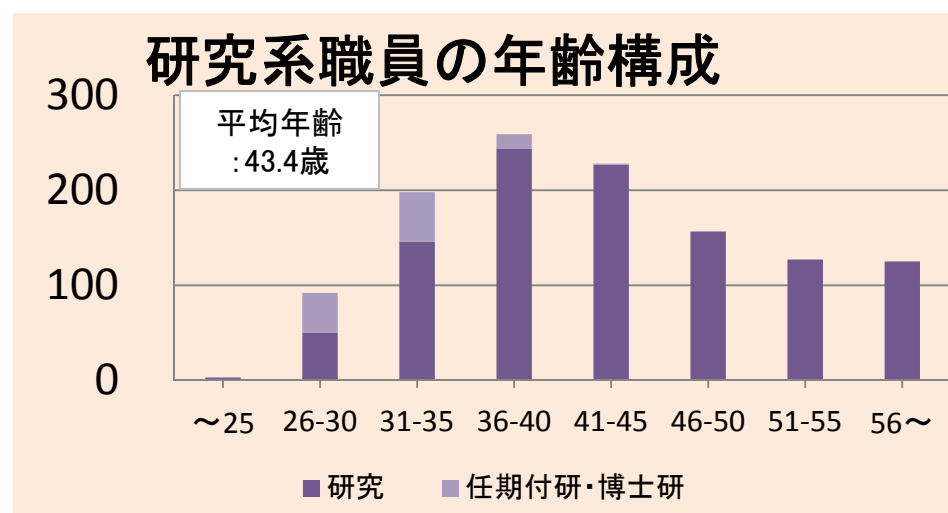


日本原子力研究開発機構の職員の年齢構成

○我が国でも、職員の高齢化が課題である。

○研究系職員、技術系職員の高齢化が進んでおり、特に技術系職員については、50代が40%弱を占めている。10年後には職員の著しい減少が見込まれるため、早期に人材を確保することが重要である。

＊ ＊施設の建設、運転管理から、安全、放射線、核物質などの管理や技術開発を行う専門職

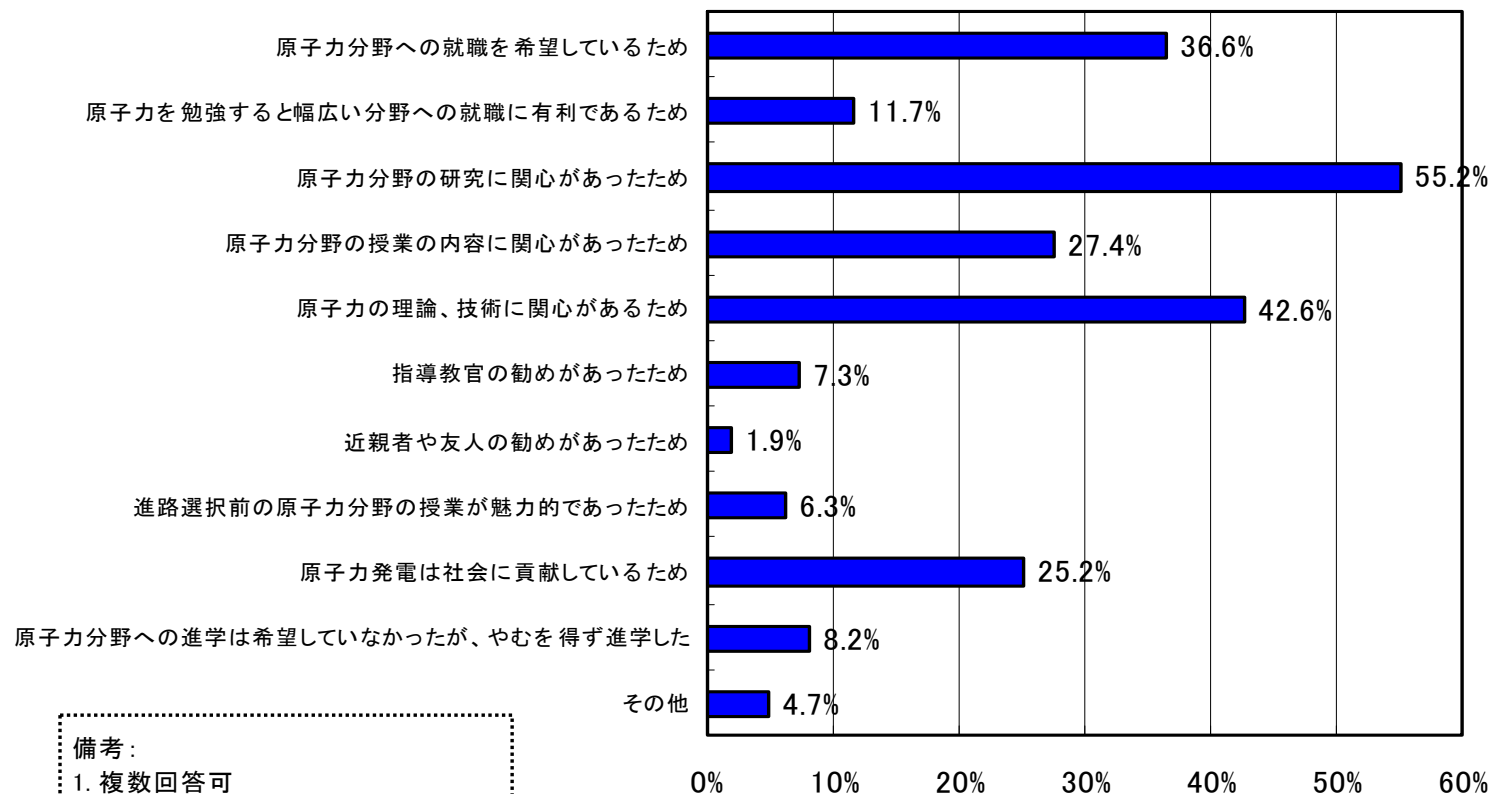


出典：平成22年第5回原子力委員会 資料第2号より

原子力志望の学生の状況(震災前)

- 原子力人材プログラムに参加した学生にアンケート調査を実施した。
- 原子力分野を専攻した理由として、「関心があった」、「魅力的であった」、「原子力発電は社会に貢献している」との理由が多い。
- 原子力が魅力のない産業となった場合、原子力分野を専攻する学生も減る可能性あり。

原子力分野を専攻した理由



備考:

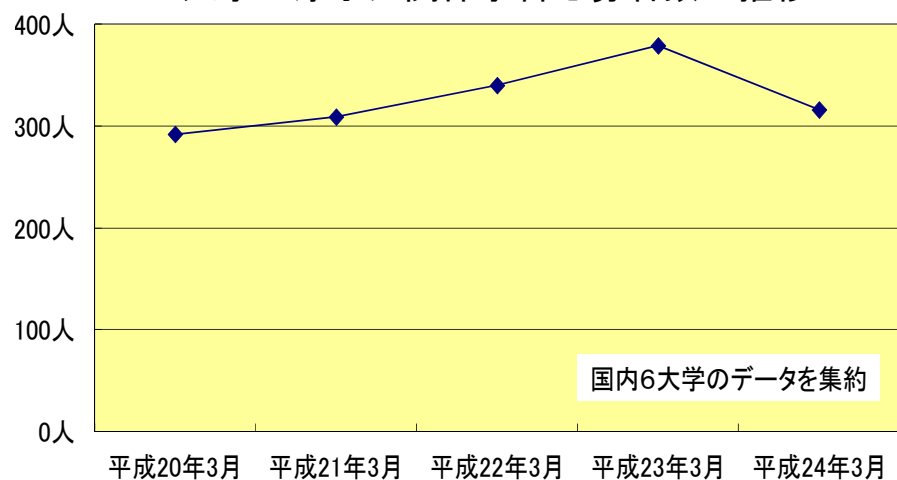
1. 複数回答可
2. 回答比率の母数はアンケート人数

出典: 原子力人材育成関係者協議会報告書(H21.4)より

原子力志望の学生の状況(震災前後)

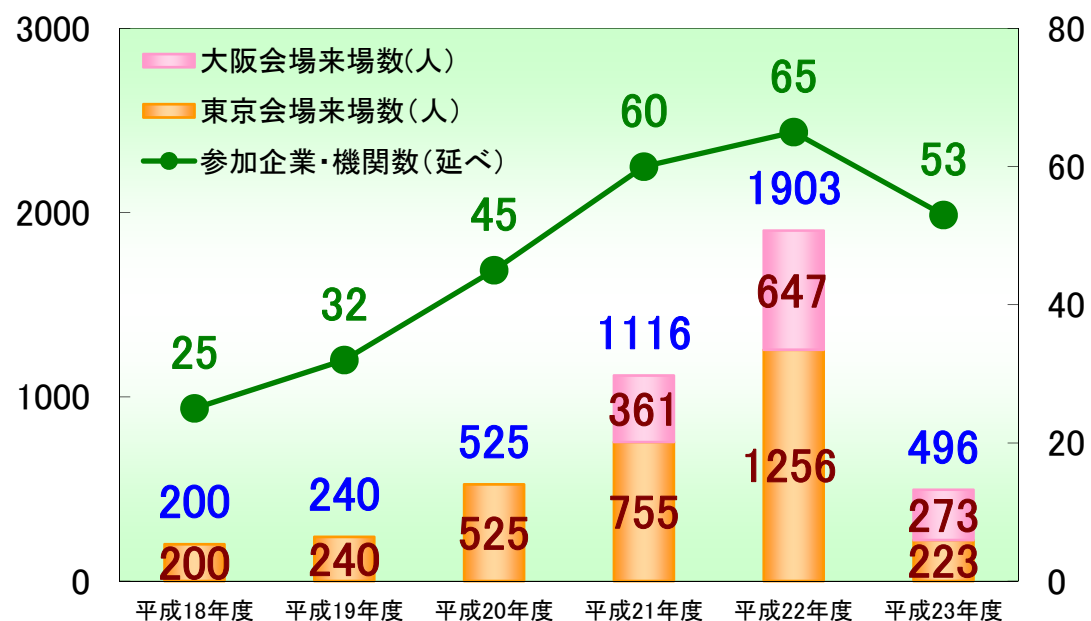
- 平成23年3月11日以降、大学の原子力関係学科への応募者数の低減が見られた。
- 原子力産業セミナーへの来場学生数、参加企業・機関数は、震災の後、減少している。

大学の原子力関係学科応募者数の推移



日本原子力産業協会調べ

原子力産業セミナーへの来場学生数、参加企業・機関数

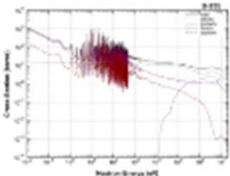


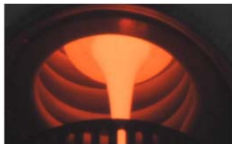


4. 我が国の原子力技術基盤について

我が国の原子力研究開発

○我が国では、原子炉に係る基盤技術から、高速増殖炉サイクル技術、再処理、核融合、量子ビームなど、幅広く原子力の研究開発を実施。

原子力研究開発の段階と取組課題の事例

○基礎的・基盤的な段階	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力安全研究 ・原子力の共通基盤技術(核工学、炉工学、材料工学、原子力シミュレーション工学等) ・保障措置技術 ・再処理の経済性の飛躍的向上を目指す技術 ・分離変換技術 ・量子ビームテクノロジー 等 	 <p>核データライブラリ JENDL4.0</p>
○革新的な技術概念に基づく技術システムの実現可能性を探索する段階	<ul style="list-style-type: none"> ・ITER(国際熱核融合実験炉)計画 等 ・核融合エネルギーを取り出す技術システム ・高温ガス炉とこれによる水素製造 ・小型加速器がん治療システム 等 	 <p>高温ガス炉 (HTTR)</p>
○革新的な技術システムを実用化候補まで発展させる段階	<ul style="list-style-type: none"> ・高速増殖炉及びそのサイクル技術 等 	<p>高速増殖炉サイクル 実用化研究開発 (FaCT)</p> 
○革新技術システムを実用化する段階	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性廃棄物処分技術 ・改良型軽水炉技術 ・軽水炉の全炉心ウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)利用技術 ・放射線を利用した環境浄化技術 等 	
○既に実用化された技術を改良・改善する段階	<ul style="list-style-type: none"> ・既存軽水炉技術の高度化 ・遠心法ウラン濃縮技術の高度化 ・MOX燃料加工技術の確証 ・高レベル廃液のガラス固化技術の高度化 等 	 <p>KMOX(確証 改良溶融炉)</p>

原子力発電に固有の技術

○原子力を活用する点で、原子力固有の技術が必要になると共に、火力発電等以上の安全性が要求され、膨大な物量の部品や厚肉の部品を高精度に取り扱う技術が求められ、かつ高い品質要求を満足させながらの作業となるため、高度なプロジェクトマネジメント、エンジニアリング能力が必要とされる。

プラント建設
の各工程

基本設計

⇒ 詳細設計

⇒ 製作・検査・建設

⇒ 試運転

●炉心・燃料計画

- ・所定の運転計画を達成できる燃料のウラン濃縮度、新燃料体数を決定
- ・核的・熱的な安全上の制限を満足する炉内燃料配置、制御棒パターン等を決定
- ・中性子や核分裂挙動等の原子炉物理に関する専門知識、核熱特性の高精度シミュレーション技術が必要

●安全設計、安全解析

- ・深層防護の思想的確に機器・系統・構造物に展開・反映、各種の異常・事故事象を解析してその妥当性を確認
- ・原子炉の異常・事故事象に特有な核熱現象の把握やシミュレーション技術(炉心動特性計算技術、伝熱流動計算技術)が必要

●系統設計

●配置設計、フロートプラン

●遮蔽・被ばく評価

- ・放射性物質を内包する配管等からの放射線を遮蔽し、従業員の過度の被ばくを防ぐとともに、事故時や通常運転時における周辺公衆や従業員への被ばく影響を評価
- ・放射性物質の挙動の物理的知識、内包流体等の化学的挙動等の幅広い知識が必要

●炉構造・熱水力設計

- ・高温高速流体の中で使われる構造物の設計(熱過渡、流動振動等)技術が必要
- ・放射線照射影響の考慮(γ 発熱等)が必要
- ・燃料健全性(冷却性、構造強度)評価技術が必要

●制御・保護設計

●電気計画、計装計画

●材料計画 …等

●原子力特有の特殊設備の設計・製造

- ・原子炉容器、炉内構造物、制御棒駆動装置、原子燃料、燃料取扱装置、蒸気発生器、安全系のバルブ等

●構造設計

●耐震設計

- ・基準地震動の設定条件が他産業プラントと比較し非常に厳しく、また、プラント個別設備(機器、配管等)ごとに重要度に応じて耐震クラスが設定されるのが特徴

●工事計画

●建設計画

●各種技術規格・基準

●高精度厚肉設計

…等

●機器製造、調達

- ・大型鋼塊の鍛造技術、火力プラント等よりも高精度な溶接・加工・組立・検査技術が必要(電子ビーム溶接、超大型複合工作機による大型機械加工等)

●溶接等、資格取得

- 成形加工：鏡、管台、管曲

●機械加工：大物加工

●組立：重量物、低歪

●清浄度：副資材、異物

●溶接事業者検査

- ・高放射線環境下での遠隔操作による高精度な溶接と検査技術

●非破壊検査、特殊検査

●使用前検査対応 …等

●工事安全計画・管理

●工程管理、人員管理

●ヤード計画

●クレーン計画

●使用前検査対応

●高度な重機器据付技術

●格納容器据付技術

●マテハン技術

●建設工法高度化技術

- ・建設プロセス改革、IT活用、大型クレーン活用、機電・建築一体モジュール工法

…等

●単品機能試験

●試験工程・計画(使用前検査含)

●試運転プラント操作

●全系統フラッシング

●プラント異常診断

●不測事態対応

…等

・原子力固有のもの：●色

・他電源でも共通するが、原子力と要求レベルが異なるもの：●色

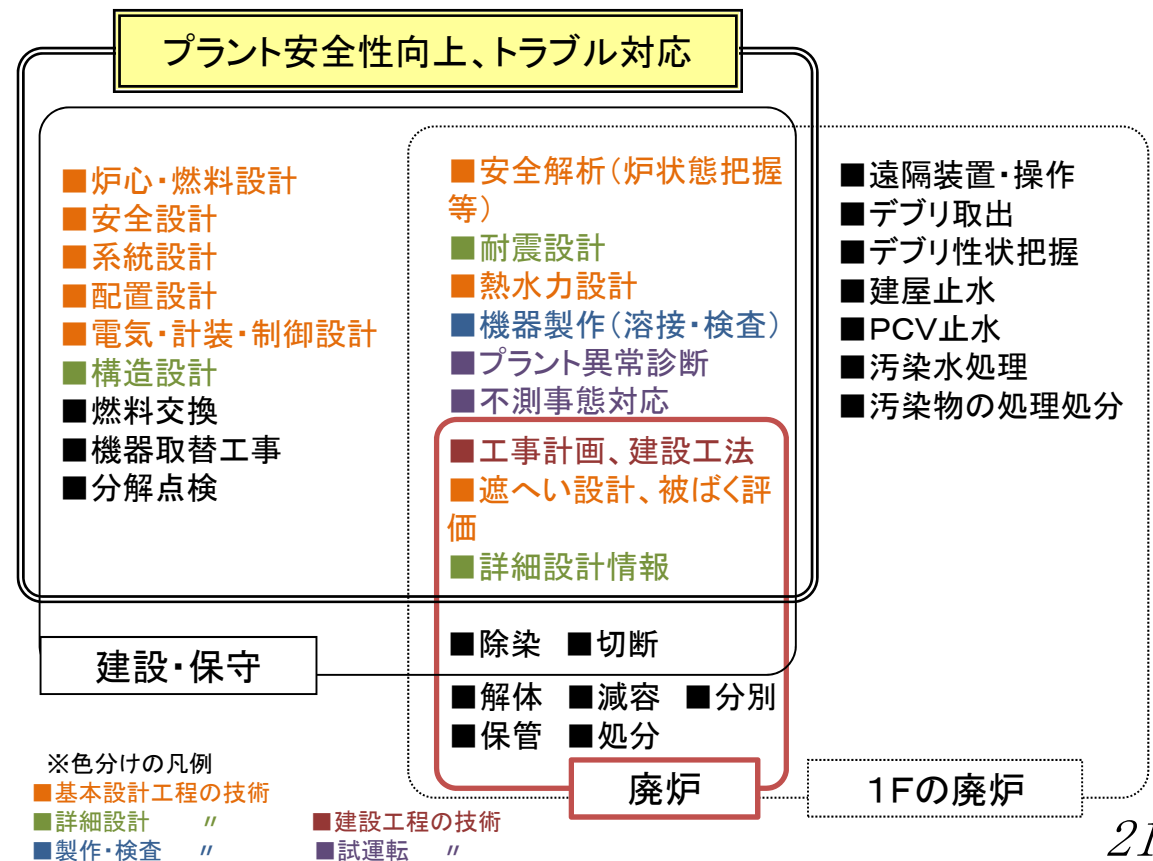
プラント安全性向上、トラブル対応、廃炉に必要な技術

- プラント建設の各工程及び運転・保守における知識・経験が更なる技術開発にフィードバックし、プラント安全性向上が図られてきた(次ページ参照)。
- また、トラブル発生時における原因分析、的確な対応の決定及び実行にも、各工程における知識・経験が重要となる。
- 安全・確実な廃炉を行うためには、詳細設計情報、工事計画・建設工法等のプラント建設に係る技術や被ばく評価等の知見が必要となる。

技術開発とのフィードバック



プラント建設・保守とプラント安全性向上、トラブル対応、廃炉に必要な技術の関係

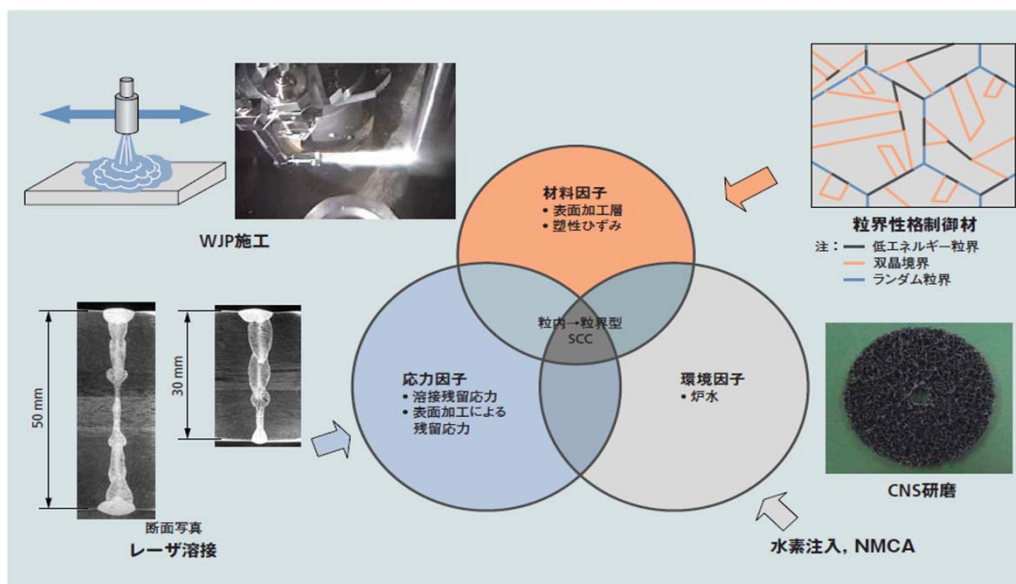


原子力発電所の安全を支える技術開発(応力腐食割れの例)

○ 1970年代にBWRプラントでステンレス鋼の鋭敏化応力腐食割れ(SCC)を経験。2000年代には、鋭敏化していない低炭素ステンレス鋼のSCCを経験。

○ その後の研究で、SCCの発生は、材料因子、応力因子、環境因子の3つが関与していることが明らかになり、それぞれの要因について電力会社、メーカー、研究機関が協力し、技術開発を実施、実プラントに適用した。

○ 材料分野、機械分野、化学分野等の幅広い知見、プラント設計、製造、保守・点検等の各業務プロセスの経験等を生かした、総合的な取り組みが必要であり、現在もなお継続して検討が行われている。



注:略語説明 SCC(Stress Corrosion Cracking), WJP(Water Jet Peening), CNS(Clean N Strip), NMCA(Noble Metal Chemical Addition)

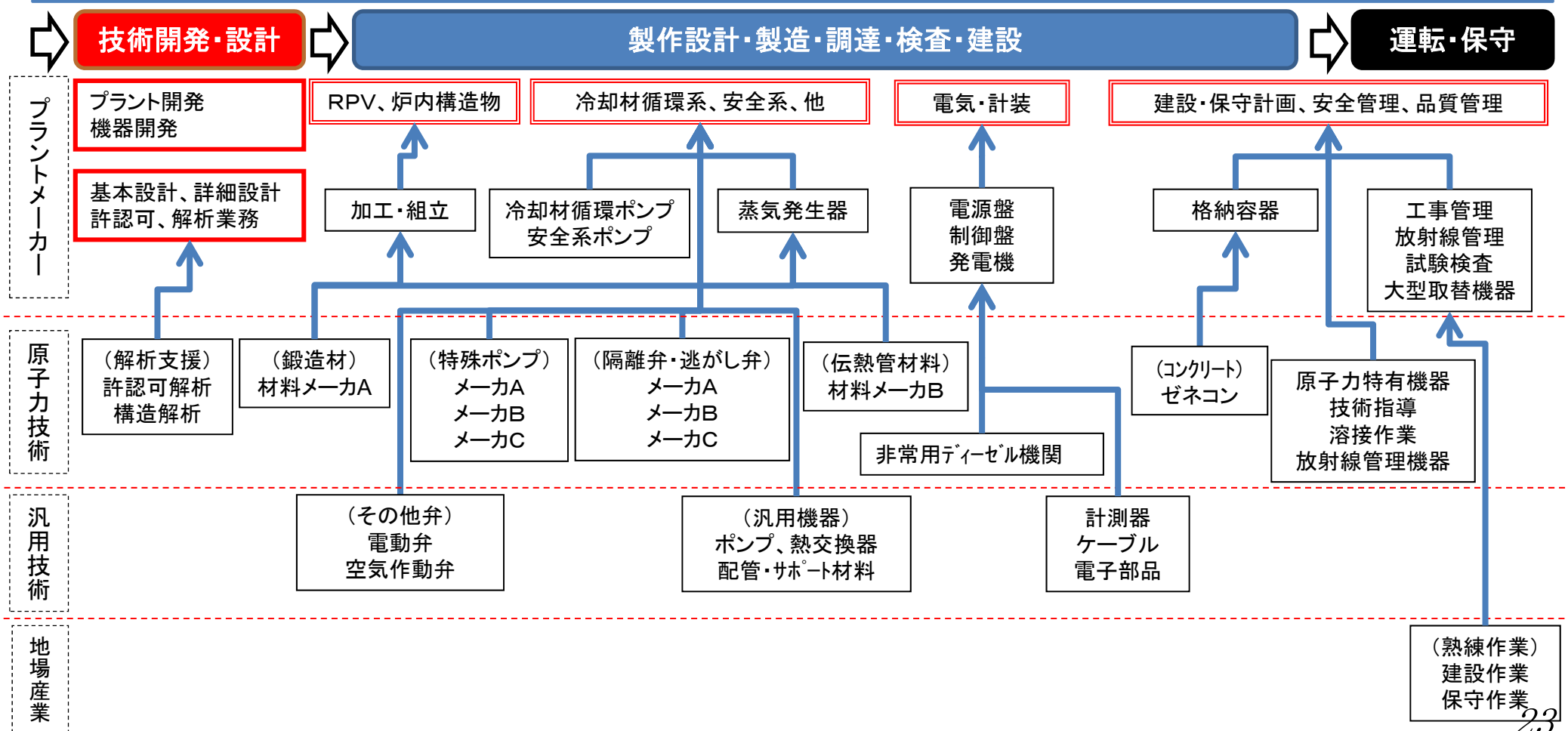
年	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030
BWR形式	BWR-3/4 BWR-5			ABWR			次世代軽水炉
材料および製造プロセス改善	304	304L	低炭素ステンレス鋼 316L/316 (NG)				
	182/82/600合金		ニオブ添加ニッケル基合金 182M/82M/600M				
			溶接入熱管理			耐SCC性改良材	
			冷間加工管理			粒界性格制御材など	
	304の鋭敏化SCC		316L/316 (NG)の非鋭敏化SCC			最適製造プロセス管理	
						加工層除去 (CNS研磨など) レーザ溶接	
環境緩和	NWC			HWC		NMCA	
						On-line NMCA	
応力改善			IHSI		WJP		
						ReNew*	
評価			SCC発生/進展試験			試験技術高精度化	
						維持規格, 炉内構造物など点検評価ガイドライン	

注:略語説明ほか BWR(Boiling Water Reactor), ABWR(Advanced BWR), NWC(Normal Water Chemistry), HWC(Hydrogen Water Chemistry), IHSI(Induction Heating Stress Improvement)
* ReNewは, GE-Hitachi Nuclear Energy Americas LLCが開発した研磨技術である。

BWRプラント材料の応力腐食割れ対策の経緯

原子力発電所の安全を支える産業構造と基盤維持

- 我が国では国内にプラントメーカー及びサプライチェーンが存在し、①信頼性の高いプラントの提供、②柔軟できめ細かいアフターサービス、③迅速なトラブル対応等の面で強みを持つ。
- 原子力の安全を支える産業は、原子力プラントメーカーを中心に、材料メーカー、安全上重要な機器の製造メーカー等の他、ゼネコンや発電所周辺の地場産業等の裾野の広い産業によって支えられている。
- 建設、保守を支える企業では、技術開発、製造・建設、保守のサイクルを通じて、高い品質維持と技術の向上が図られてきた。



日本の代表的な原子力関連部品メーカー

○我が国の原子力関連メーカーは500社程度存在する。総合プラントメーカーとの摺り合わせ作業を通じて改良を重ね、安全性の高い素材・部材を提供している。現在では、国内のみならず国際的信頼性も確保している。

※原子炉容器

原子炉の炉心部を収納する容器。高温高圧、中性子の照射に耐える構造であることが必要。

大型鍛鋼品：原子力炉容器、加圧器、蒸気発生器、炉内構造物

【A社】

原子炉容器と蒸気発生器の大型鍛鋼品で世界シェアの約8割を占める。

鋼(ハガネ)の命である製鋼(精錬及び casting)と熱処理技術が競争力の源泉であり、より安全性・信頼性が高いシームレスな鍛鋼品を製造する能力あり。

【B社】

原子炉容器の上蓋一体鍛造品が世界初の適用。



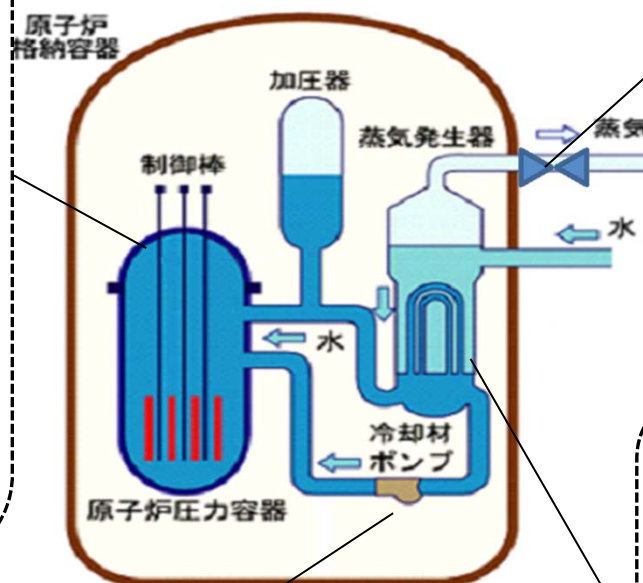
※冷却材ポンプ

原子炉の熱が蒸気発生器に伝わるよう、冷却材(水)を循環させる。

【C社】

大容量・高効率のポンプを開発。安定した特性を持つポンプを製品化。

(PWRの例)



※主蒸気隔離弁(バルブ)

蒸気発生器を必要に応じてタービン設備から隔離する弁。万一、主蒸気管破断事故などが起きた場合に、蒸気発生器中の蒸気が大量に流出するのを防止するためのものであり重要。

【D社】

PWR用バルブのうち「主蒸気隔離弁」で国内シェア100%。鍛造技術の蓄積と一貫生産による信頼性の高い製品製造が強み。

※蒸気発生器

1次冷却水の熱により2次冷却水を加熱し蒸気を発生させる。PWRで用いられる。

【E社】

PWR用蒸気発生器用伝熱管で、世界シェアの約3割を占める。金属の溶解制御技術と高精度加工技術に強み。

日本の代表的な原子力関連部品メーカー

※原子炉圧力容器

原子炉の炉心部を収納する容器。高温高圧、中性子の照射に耐える構造であることが必要。

※原子炉内構造物

炉心を支持するシュラウド、炉心支持板等の炉心支持構造物、及び気水分離器、蒸気乾燥器等の内部構造物等により構成される。原子炉内の高温高圧、中性子の照射の環境下で、運転時に燃料を適切に冷却するための流路を形成する。

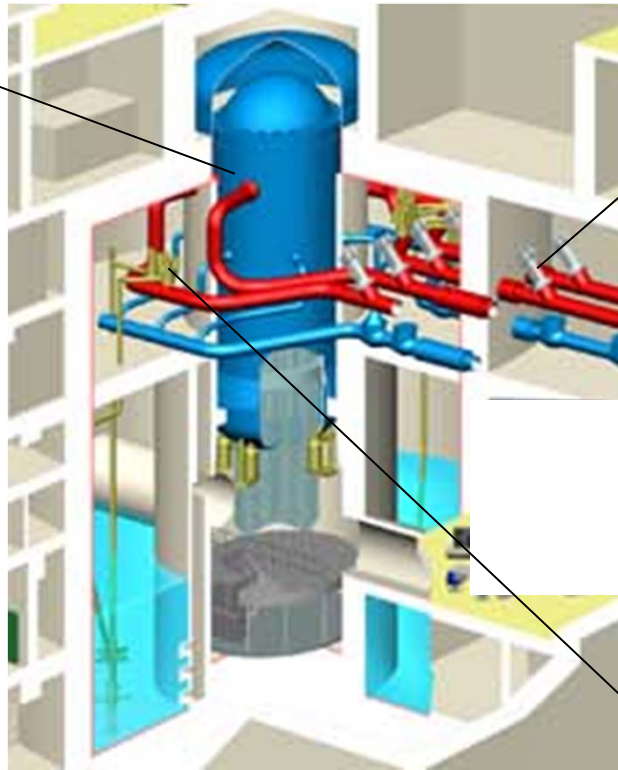


【A社】

原子炉圧力容器等の大型鍛鋼品で世界シェアの約8割を占める。

鋼(ハガネ)の命である製鋼(精錬及び鑄込)と熱処理技術が競争力の源泉であり、より安全性・信頼性が高いシームレスな鍛鋼品を製造する能力あり。

(BWRの例)



※主蒸気隔離弁(MSIV)

万一、配管破断事故などが起きた場合に、主蒸気ラインを隔離し、原子炉中の蒸気が格納容器外に大量に流出するのを防止する安全上重要な弁。

【F社】

BWR用バルブのうち「主蒸気隔離弁」で国内シェア100%。高い密封性を有し、国内第一の実績を有する。

※逃がし安全弁(SRV)

原子炉の過度な圧力上昇を抑えるため、圧力の上昇に伴い自動開放して、圧力抑制プールに蒸気を導き、凝縮させて圧力を下げる安全上重要な弁。

【G社】

BWR用バルブのうち「主蒸気逃がし安全弁」で国内シェア100%。鑄造技術の蓄積と一貫生産による信頼性の高い製品製造が強み。

日本のメーカー等の原子力機器輸出実績

○日本のメーカーは主要な原子力機器を輸出した実績を有する。

日本からの原子力機器の輸出実績

国・地域		品名	輸出年	契約件数	国・地域		品名	輸出年	契約件数		
北米	米国	原子炉圧力容器	1973	1	アジア	中国	炉内構造物	1985	1		
		制御棒駆動装置	2004	1				1986	1		
		取替用上部原子炉容器	2003	1				1999	1		
			2004	1				2011	1		
			2005	4			主給水ポンプ	1987	1		
			2006	2				(2012)	1		
			2009	1				(2012)	1		
			2010	1				(2015)	1		
		取替用蒸気発生器	2006	1			補助給水ポンプ	1986	1		
			2008～ 2010	1			主冷却材ポンプ	2001	1		
取替用加圧器	2006	1		2010			1				
	仏国	取替用蒸気発生器	2008～ 2011	1			充填ポンプ	1999	1		
(2013)～ (2014)			1	2009				1			
(2015)			1	(2012)				2			
フィンランド			原子炉圧力容器	2008				1	循環水ポンプ	(2012)	1
			ベルギー	取替用蒸気発生器				1995	1		(2016)
2001	1	発電タービン及びプラント補助系					2000	1			
2004	1	原子炉再循環ポンプ用モータ等					2011	1			
2009	1	定期検査時予備品等					2005～	1			
スウェーデン	取替用上部原子炉容器	1996	1	タービン、発電機及びプラント補助系			(2012)	1			
		2005	1	(2013)			1				
	制御棒駆動装置	2005	1	デジタル計装制御システム			2010～ 2011	2			
		2008	1				(2012)	2			
スイス	炉内構造物	1978	1				(2013)	3			
スペイン	タービンロータ	1999	1	台湾	原子炉格納容器	1973	1				
スロベニア	タービンロータ	2006	1		原子炉圧力容器、炉内構造物	2004	1				
ロシア	プラント・シミュレータ	1996	1		制御棒駆動機構、水圧制御ユニット、ポンプ等予備品	2011～ 2012	1				
					放射性廃棄物処理設備	2005	1				
メキシコ	蒸気タービン	1976	1		蒸気タービン発電機	2006	1				
ブラジル	取替用上部原子炉容器	2010	1	蒸気タービン発電機	1972	1					
					パキスタン		2008～ 2009 (2015)	1			
					韓国	発電機		1			

出典:一般社団法人 日本電機工業会調べ

出典：一般社団法人 日本電機工業会調べ

原子力産業全体への波及

【製缶板金業の例】

- 直近年度の売上高に占める原子力関連産業の割合：約4%
- 国内の新規原発建設がなかった時期の影響及びその際の対応
 - 原子力発電所のメンテナンス・改造工事の供給、化学プラント向け大型圧力容器の供給により原子力発電所一次系機器の設計、製作、据付のコア技術の維持を図った。
- 国内の原発新規建設が無くなった場合の影響及びその際の対応
 - 国内の新規原発建設で培った一次系機器供給のコア技術を維持することとし、この技術を活かして海外での受注に切り替えていく。

【他に分類されない金属製品製造業の例】

- 直近年度の売上高に占める原子力関連産業の割合：約60%
- 国内の新規原発建設がなかった時期の影響及びその際の対応
 - 3基の製品納入と、稼働号機の予備弁化の活動、取替え弁・部品納入、メンテ工事があったこともあり影響は限定的だった。
- 国内の原発新規建設が無くなった場合の影響及びその際の対応
 - 国内の火力・原子力用を主体としており、原発新規建設がなくなった場合の影響は甚大。国内プラントメーカーが受注活動中の海外原発に対し、製品納入に向け活動中であるが、適用規格、商慣習の壁があり困難な状況。

【鍛鋼製造業の例】

- 直近年度の売上高に占める原子力関連産業の割合：約10%強
- 国内の新規原発建設がなかった時期の影響及びその際の対応
 - 世界的にも新規原発が停滞していた時期であり、売上高は低迷していたが、(1) 大型鋼塊からの大型鍛造品の製造技術、(2) 長年にわたる製造実績をコアとして、北米等の海外の既設原発の蒸気発生器の部材の取替えを積極的に取り組んだ。信頼性向上および定期検査時の被曝減少を目的とし、溶接線の低減を図るため、大型鋼塊からノズル等の一体型鍛造部材等をPRし受注につなげた。
- 国内の原発新規建設が無くなった場合の影響及びその際の対応
 - 原子力用大型鍛造品の製造技術の維持・向上を図り、海外案件の受注に注力していく考え。

【ポンプ・同装置製造業の例】

- 直近年度の売上高に占める原子力関連産業の割合：約10%強程度（ただしポンプ事業に占める原子力向けの比率）
- 国内の新規原発建設がなかった時期の影響及びその際の対応
 - 主に設計、品質管理、製造の各部門での技術の継承が難しく、これを維持発展させるため、老朽化した設備の更新、性能・機能の改善を織り込んだ提案活動を実施した。ベンダーのなかには、製造設備の維持が難しく、原子力から撤退を希望する会社もあり、こうしたベンダー対策も不可欠だった。
- 国内の原発新規建設が無くなった場合の影響及びその際の対応
 - 国内建設が仮に無くなったとしても、原子力分野から早期撤退するものではないが、原子力カルネサンスが叫ばれていたこともあり、設備投資を行い、経営の中長期的計画にも入れていたことから、事業に与える影響は大きい。

【鍛鋼製造業の例】

- 直近年度の売上高に占める原子力関連産業の割合：0%（貯蔵／輸送キャスクは除く）
- 国内の新規原発建設がなかった時期の影響及びその際の対応
 - 国内向け新規原発および取替え機器用鍛鋼品の受注が無い上、折りからの船舶用鑄鍛鋼品の旺盛な需要に応えたため海外案件の受注余力もなくなり、休止状態となった。
- 国内の原発新規建設が無くなった場合の影響及びその際の対応
 - 原子力用鍛鋼品事業の再開を決断したところであり、主要市場は国内新規原発もさるところながら、海外市場の方が大きいことから、国内の新規建設がなくなっても影響は軽微と見ている。

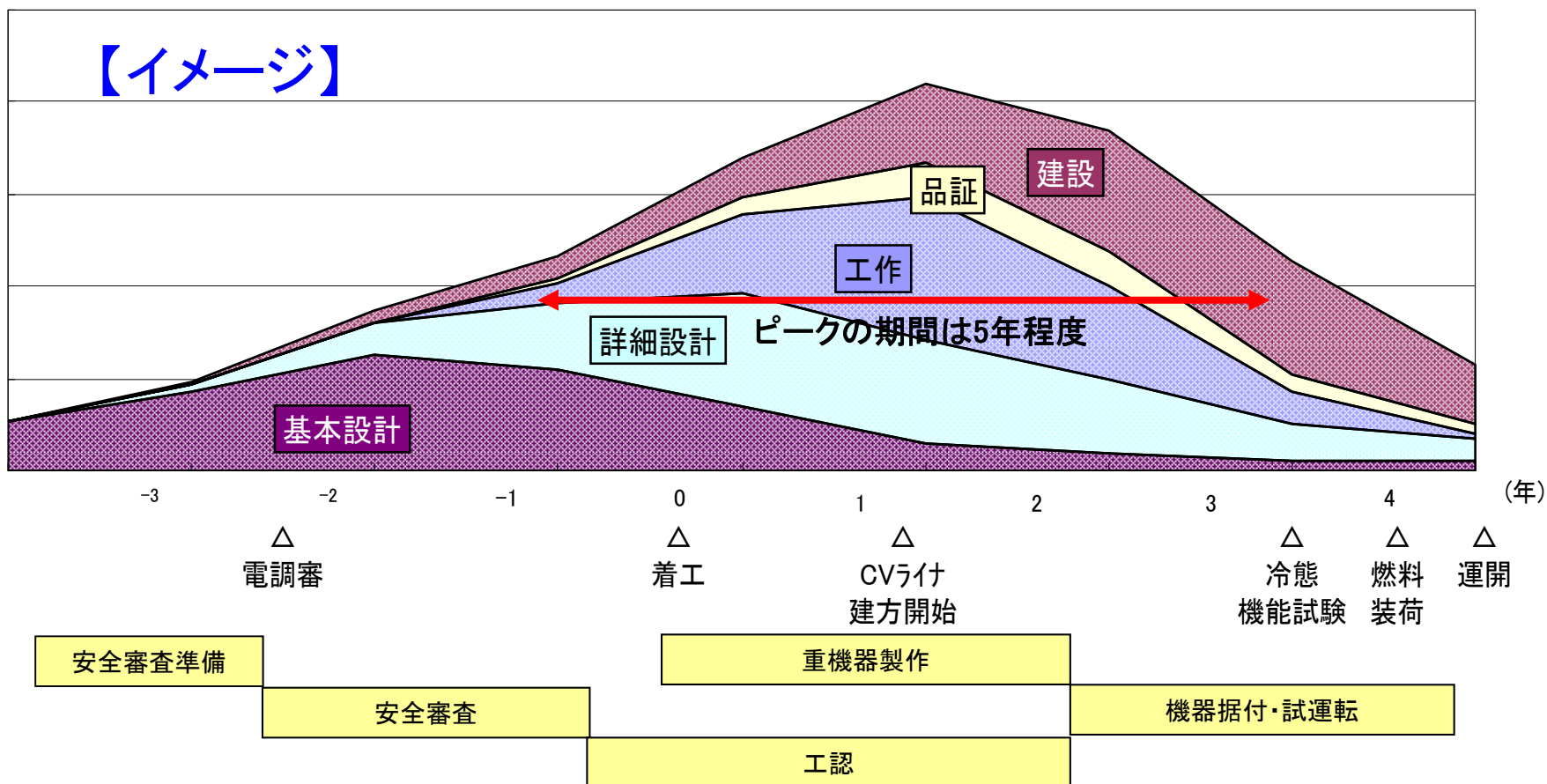
5. 原子力利用の規模が人材・技術基盤の維持 に与える影響

メーカーにおける人材・技術基盤の維持・伝承①

- 原子力発電所の建設工程は、基本設計、詳細設計、工作、品証、建設の分野であるが、いずれの分野においても約5年程度が業務のピーク期間となる。
- 各分野を異なる専門部隊が担い、その分野をまたいだチームワークによって、工程を進めていく。

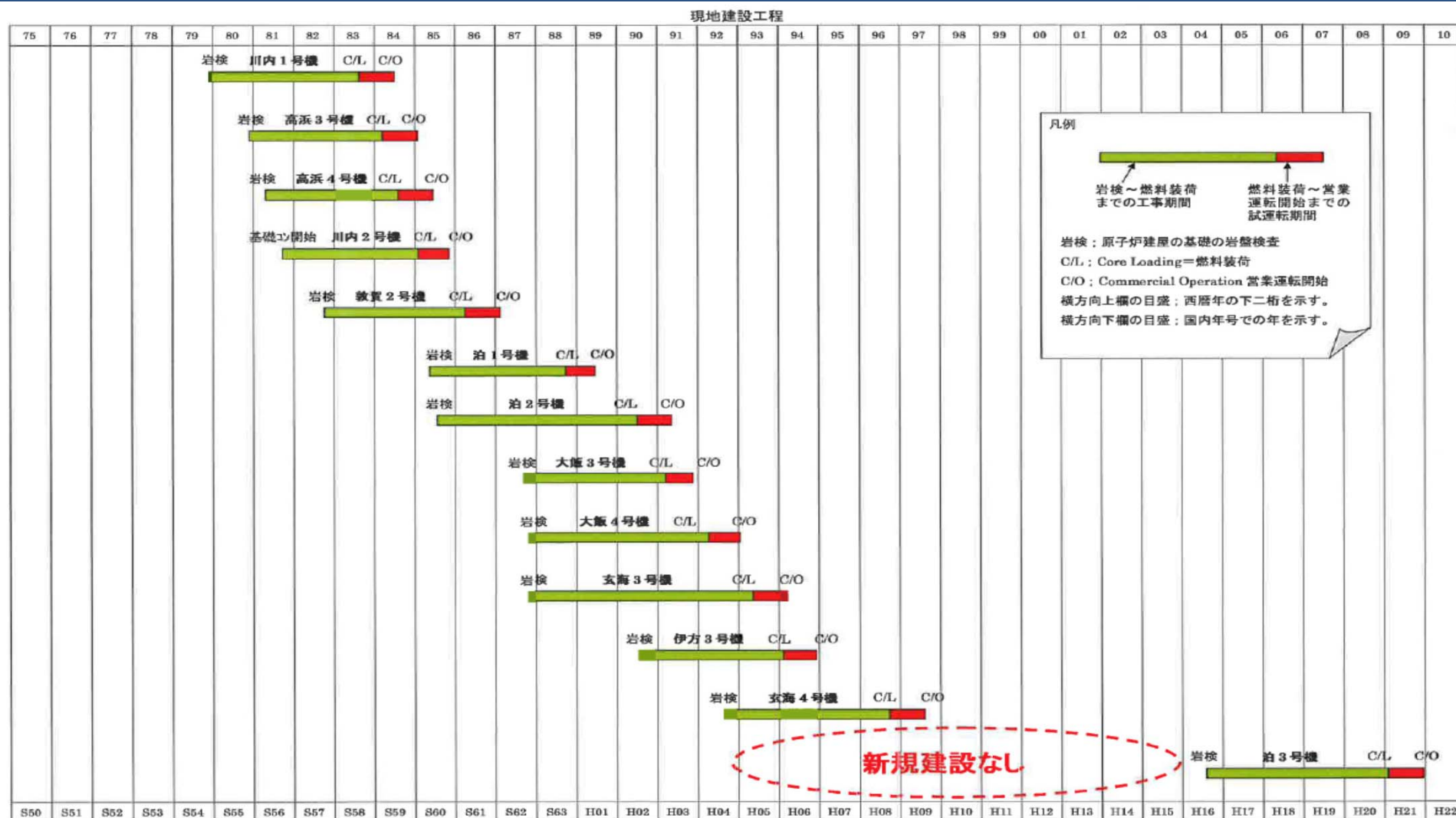
※建設工程・・・基本設計から試運転・完成まで10年以上

※建設工程に従い、各分野の業務が立ち上がるが、いずれの分野においても概ね約5年程度が業務の中心。



メーカーにおける人材・技術基盤の維持・伝承②

- これまでは、継続的な国内建設の受注があったため、各建設工程における専門業務が継続的に発生し、経験の蓄積・維持、若い世代への技術の伝承が成されてきた。
- 他方、新規建設のない端境期も存在。



メーカーにおける人材・技術基盤の維持・伝承③

- 新規建設のない端境期には、**大型機器取替工事等の機会を最大限に活用**し、実務経験による技術力の維持・伝承を図るほか、**ノウハウのデータベース化等**の取組が行われている。
- ただし、国内大型機器取替工事はほぼ一巡、今後は見込みにくく、また、部分的な工事では、プラント新設の全体的な工程における実務経験を積むことはできない。
- また、今後は各メーカーにおいて**経験豊富なベテランの減少**に直面することとなる。

○端境期の取組

建設ギャップの間、人材・技術力を維持するため、メーカーでは以下の取組が行われている。

(1) 技術伝承活動

- ・設計根拠等のデータベース化→若手へのノウハウ伝承
- ・経験豊富なベテランから若手への個別指導・育成プログラム

(2) アフターサービス工事等を活用しての実務経験の蓄積

- ・大型改造工事での実機経験
(蒸気発生器、原子炉容器上蓋、炉内構造物、中央制御盤等の取替工事)
- ・海外輸出コンポーネントの取り込み
- ・軽水炉以外での経験の活用(六ヶ所再処理工場プラント建設等)

メーカーにおける人材・技術基盤の維持・伝承④

- 海外からの新設プラント建設の受注で維持が期待される技術・ノウハウは、プロジェクトマネジメント(一部)、基本設計、詳細設計、製作、検査のみ。
- 建設、試運転等については、海外のローカル企業等が実施。
- プラントメーカーにとって、運転中の現地電力会社からのノウハウ等のフィードバックも期待できない。
- 海外新設プラントの建設は、我が国の原子力に関連する汎用技術を有する企業、地場企業への貢献が期待できない。

	海外新設プラントの建設で 得られる技術・ノウハウ
プロジェクトマネジメント (プラント計画・設計・製造・工事の全体とりまとめ)	△ (現地特有のビジネス習慣に沿った技術の習得)
基本計画／基本設計 (構造設計、制御・保護設計、系統構成等)	△ (基本設計は国内実績をベースに現地要求に合わせて変更)
詳細設計 (材料手配、公認解析、製作情報、原子力特有の要求に応じた特殊設計等)	△ (主要機器の設計・製造は国内技術適用) (現地の条件に合わせて詳細設計を実施) (現地のサプライチェーンに合わせた調達)
製作 (成形加工、組立、溶接等)	
建設 (工事計画、仮設計画、納入品管理、施工管理、設備点検・保守管理等)	△ (基本計画は国内技術、現地の技能に合わせたマネジメント)
試運転 (フラッシング***、プラント運転、系統管理、プラント異常診断、不測の事態への対応等)	△ (国内基準の適用、先進国は現地の法令で実施)
検査 (品質保証計画、非破壊検査、溶接事業者検査、据付検査等)	△ (主要機器についても、調達で対応する可能性が出てくる)

*プラント装置：燃取装置・クレーン、燃料ラック、熱交換機、非常用ディーゼル発電設備、放射性廃棄物処理装置等

**プラントバルク：配管、サポート、弁

***フラッシング：耐圧・機能試験との整合

6. 放射線利用と人材・技術基盤との関係

放射線利用について

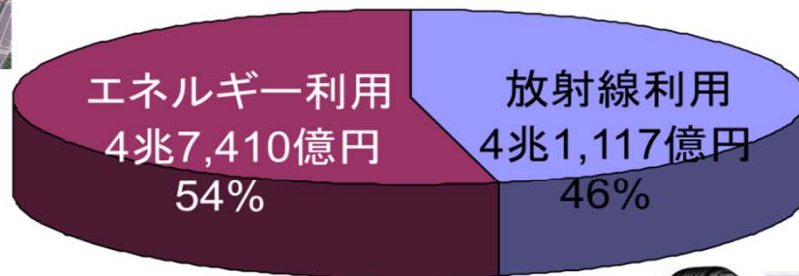
- 原子力利用には、エネルギー利用と放射線利用がある。
○両者はほぼ同じ経済規模で利用されている。

エネルギー利用・・・主に熱→電気エネルギーとして利用
放射線利用・・・放射線の透過性や電離作用などを利用

放射線利用とエネルギー利用の経済規模の比較

調査結果(平成17年度)

総額
8兆8,500億円



軽水炉など



放射線治療
品種改良
食品照射
工業製品加工
など



(独)日本原子力研究開発機構、内閣府委託事業「放射線利用の経済規模に関する調査」報告書より作成(2007).

放射線利用の現状

- 放射線や放射性物質を利用する分野は着実に拡大してきているが、今後ともそれが進展していくためには、潜在的な利用者の技術情報や効用と安全性についての理解の不足を解消していくことが重要。
- 医療分野、農業分野、工業分野、環境保全分野、基礎研究分野など幅広い分野において放射線が利用されている。
- 放射性同位体(RI)や放射線発生装置を利用する事業所は、国内で6,370カ所(平成22年2月現在)。

●医療分野の例

- ・イメージング
(X線CT、PETなど)
- ・放射線治療
(X線、電子線、 γ 線、中性子線、陽子線、重粒子線など)



CT機能とPET機能を有する
PET-CT装置

(出典)原子力委員会
新計画策定会議 資料

●農業分野の例

- ・品種改良
(花の新品種の開発)
- ・害虫防除
(ウリミバエの根絶)
- ・食品照射
(ジャガイモの発芽防止)
など



パステル調の花色のオステオスペルマムの新品種

(出典)日本原子力研究開発機構

●工業分野の例

- ・精密計測
- ・非破壊検査
- ・材料の改良
- ・半導体素子の加工プロセス
- ・自動車タイヤ等の部品製造
- ・医療用具の滅菌 など

●環境保全分野の例

- ・窒素酸化物、硫黄酸化物等の分解、除去
- ・ダイオキシンの要因となる揮発性有機化合物の分解など

●基礎研究分野の例

- ・量子ビームによる研究
- ・ナノテクノロジー
- ・高温超伝導材料の研究開発など



大強度陽子加速器施設J-PARC

(出典)日本原子力研究開発機構

放射線利用における人材育成

➤ 技術士制度における原子力・放射線部門

技術士制度の原子力・放射線部門は、近年のトラブル、不祥事の発生と社会環境の変化に伴い、技術者一人一人の意識や技術を向上させるための仕組みの必要性が認識され、その際、技術者倫理や継続的な能力開発が求められる技術士資格を活用することが有効であるという判断の下、平成16年度に新設され、試験及び登録が行われている。

※平成20年度の技術士試験において、第一次試験は申込者223名、合格者156名であり、第二次試験は申込者193名、合格者61名となっている。平成20年末現在、原子力・放射線部門の技術士登録者数は231名であり、企業、研究機関等の様々な分野において計画、研究、設計、分析、試験、評価又はこれらに関する指導の業務で活躍している。

➤ その他の取組

- ・ 公的機関における人材養成の取組・・・原子力機構、(独)放射線医学総合研究所では研究者、技術者、医療関係者等幅広い職種を対象に種々の研修を実施
- ・ (社)日本アイソトープ協会、(財)原子力安全技術センター等では、放射線取扱主任者資格指定講習等の資格取得に関する講習会を実施している。これらの研修では、研究開発機関はもとより、地方公共団体、大学関係者や民間企業等からの幅広い参加者を受け入れている。

参考：

1. 原子力技術者、研究者への倫理教育の実施状況
2. 東京電力福島第一原子力発電所事故でメーカー・研究機関が果たした役割
3. 諸外国の原子力人材・技術基盤

原子力技術者・研究者への倫理教育について

○原子力利用に対する安全文化醸成のために、原子力関連機関では技術者に対して定期的に倫理教育を行っている。

○電気事業者の例：

- 全社員を対象に、過去の不適合事案や、他社・他産業で発生した事例集を用いたグループ討議、社内外講師による講義、研修等を定期的(毎月、年1回など、対象・内容に応じて異なる)に行っている。

○原子力プラントメーカーの例：

- 協力社員を含む全社員を対象に、コンプライアンス教育、安全文化醸成にむけた技術者倫理教育(過去に発生した技術者倫理に反する不適合事例、技術者として持つべき倫理観等)等を定期的(毎月、年1回など、対象・内容に応じて異なる)に行っている。

○研究機関の例：

- 一般職から管理職の階層別に、毎年行われる職員研修の中で倫理に関する意識付けを行うと共に、国家公務員倫理習慣に合わせて、倫理規定の遵守の呼びかけを行っている。

参考：

原子力関係学科を有する大学では、技術が社会に与える影響の大きさを理解し、技術の目的や役割、社会との関係について考察を深めるため、また、特に、原子力技術という社会的影響の大きい技術に係る者として自己の行為に対する「責任」を理解するため、授業の一環として、過去の原子力事故・トラブル等の事例を参考にした「技術者倫理」等に取り組んでいる例がある。

東京電力福島第一原子力発電所事故でメーカーが果たした役割

○福島事故対応では、メーカーは**事故直後に社内対策本部を設立**すると共に、**東京電力本店と現場に技術支援部隊を派遣**して事故対応に取り組んだ。具体的には、電源復旧、原子炉注水ラインの構築、水処理設備の設置等、放射線管理技術の提供、仮設設備の信頼性向上策等に貢献した。

○福島事故対応では、東京電力、メーカーとも、技術導入や改良標準化における技術開発を経験し、**原子炉の詳細設計等に熟知したベテラン技術者が主導的な役割**を担った。代替冷却等の設計、工事計画は、**建設時における実務の経験を積んだ技術者が**、設備の施工工事においては、**福島原子力発電所を熟知する現場指導員等**が中心的な役割を担った。

具体的な対応（メーカーが果たした役割）

3/11直後～

事故拡大防止

- ・緊急対策本部設置（東京、工場、現地）
- ・東電に支援部隊派遣（本店、現地）
- ・**電源復旧、ケーブル敷設**
- ・**原子炉注水ライン構築**

現場を熟知している東京電力とメーカーの設計者、指導員等技術者、ケーブル接続等の熟練技能者が協力して工事を進めた。

・事象進展推定解析

プラント開発・設計の経験に基づき事象の進展を予測。

- ・放射線防護用鉛マット、視覚線量警報機等寄贈

～7/19まで(STEP1)

安定的な冷却

- ・使用済燃料プール 塩分除去・外部注水・循環冷却
- ・格納容器 窒素封入
- ・原子炉建屋 環境改善・開放
- ・原子炉代替注水
- ・事象解析（圧力容器内挙動）
- ・**汚染水処理設備構築**

原子炉循環冷却

材料腐食対策や従事者被ばく低減を目的とした水処理技術の知見に基づき、各メーカーが得意の技術を持ち寄って建屋に滞留する汚染水の処理設備を構築。

- ・電源復旧
- ・遮蔽機能付特殊車両、低濃度滞留水一時保管用カブト

～12/17(STEP2)

冷温停止状態

- ・原子炉建屋 カバー設置
- ・格納容器 ガス管理システム
- ・**原子炉注水ライン多様化**

プラント安全の考え方に基づき、現場の状況を踏まえた冷却水注入先の多様化、多重化を図った。

- ・使用済燃料プール 塩分除去
- ・事象解析
- ・電源信頼性強化

現在

中長期措置

- ・原子炉建屋 カバー設置（継続）
- ・使用済燃料プール 塩分除去（継続）
- ・信頼性向上対策
- ・恒久設備化
- ・**燃料取出し等研究開発**

これまでほとんど経験したことのない技術的困難性を伴うが、国内外から得た知見や、メーカーの開発の経験に基づき計画を立案し、関係機関が連携して進める。

- ・スラッジー時貯蔵施設（設置中）
- ・格納容器漏洩箇所特定技術、建屋内遠隔除染技術開発等

東京電力福島第一原子力発電所事故における日本原子力研究開発機構の役割

- 福島事故対応では、日本原子力研究開発機構は**事故直後に原子力機構対策本部を設置**するとともに、**指定公共機関として緊急事態への支援活動**に取り組んだ。具体的には、環境モニタリング、専門家派遣、資機材提供（現在も継続中）等に貢献した。
- 内部組織として「福島技術本部」を設置し、我が国唯一の原子力に関する総合的研究開発機関として、**原子力機構全体の人材、研究施設を活用し、最大限の貢献を果たす**とともに、中長期的観点から継続した取組みを行っている。
- 環境モニタリング・環境修復に向けた取組として、環境放射線及び土壌等の放射能測定、航空機による広域モニタリング、除染技術の実証、市町村への専門家派遣等を実施。
- 事故収束に向けた取組として、統合対策室特別プロジェクトチーム（現在は、研究開発推進本部 配下のワーキングチーム等）での課題検討への協力、放射性廃棄物や燃料の処理方法に関する試験・検討、遠隔操作技術に関する取組等を実施。

具体的な対応（原子力機構が果たした役割）

3/11直後～	～現在（今後も継続）		中長期的対策
緊急事態支援 <ul style="list-style-type: none"> ・機構対策本部設置 ・環境放射線モニタリング ・環境放射能分析 ・住民問合せ窓口等の運営 ・科学的知見や技術の提供（原子力安全委員会、文部科学省、福島県、東京電力等） ・資機材の提供（特殊車両、サーバイメータ） 	環境モニタリング等の取組 <ul style="list-style-type: none"> ・環境放射線及び土壌等の放射能測定 ・文部科学省委託事業によるマップ作成 ・文部科学省委託事業による東日本22都県の航空機広域モニタリング ・福島県委託による県民の内部被ばく（WBC）検査、放射線に関するコミュニケーション活動 	環境修復等に向けた取組 <ul style="list-style-type: none"> ・学校等の校庭、通学路、屋外プールの除染実証、マニュアル作成・公表 ・高分子捕集材、固化剤を用いた除染技術の実証等 ・福島県委託による除染業務主任者講習会 ・除染、放射線に関する専門家派遣 ・内閣府委託事業による警戒区域等における除染モデル実証、除染技術実証 	中長期的対策への対応 <ul style="list-style-type: none"> ・政府・東電中長期対策会議 研究開発推進本部 配下のワーキングチーム等において諸課題の検討（使用済燃料プール対策、燃料デブリ取出し準備、放射性廃棄物処理・処分、遠隔技術共通基盤）
	事故収束に向けた取組 <ul style="list-style-type: none"> ・政府・東電統合対策室 特別プロジェクトチームでの諸課題の検討 ・高汚染水等の試料分析、並びに放射性廃棄物や燃料の処理方法に関する試験・検討 ・遠隔操作技術に関する検討、遠隔操作ロボット及びロボット操作車の提供 ・放射線管理要員等の育成研修 		

海外の人材育成の状況について(1)

• 米国

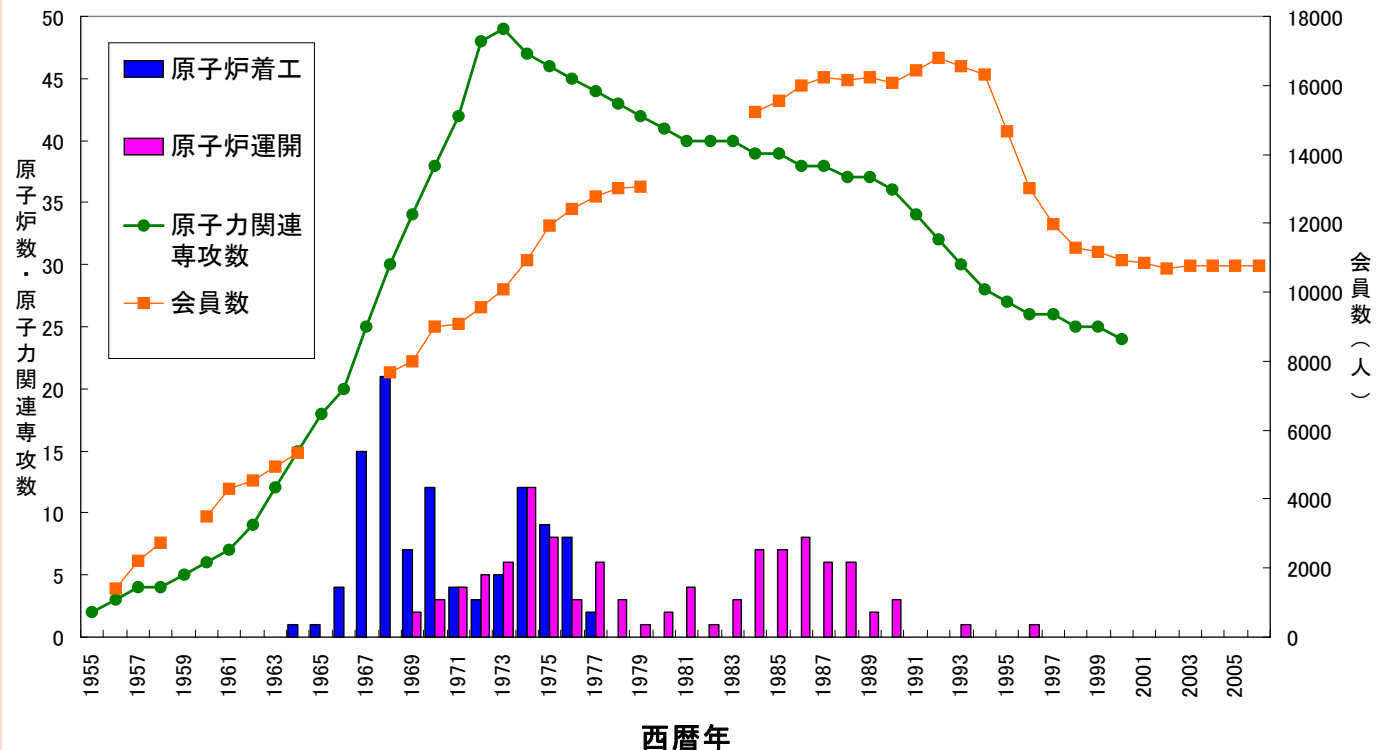
- 1990年代に新規建設のなかった米国では原子力教育インフラが大幅に減少
 - 大学の研究炉：60基 → 25基
 - 大学の原子力工学コース：50以上 → 25
 - 原子力を学ぶ学生数：約1,800名 → 約600名
- 近年は原子力回帰の動きや連邦政府の積極的支援等の影響で原子力を学ぶ学生数は増加傾向にあり、約3,800名の学生が原子力工学系大学、大学院に在籍。環境問題への関心、エネルギー需要の増加、豊富な雇用等により学生の原子力への関心は高まっている。
- 連邦政府は、原子力教育へのインフラの支援を積極的に行っており、現在、9,000万ドルが投資されている。
- DOEと企業が支援している全米エネルギー教育開発プロジェクト(NEED : National Energy Education Development Project)がエネルギー教育について積極的に取り組んでいる。

海外の人材育成の状況について(2)

アメリカの原子力人材基盤の推移

- ・大学における最初の原子力工学講座は、原子力発電所の建設に先駆け1950年代半ばに設置された。
- ・1960～1975年にかけては、原子力発電産業の成長に伴って、原子力工学教育は拡大した。
- ・1979年のTMI事故以降新規プラント計画がなくなったために、1970年代後半以降になると、原子力発電所の発注数減少、見通しより低めの電力需要の伸び、更には現行の規制環境による経済面への悪影響がもとで、教育インフラが縮小の一途を辿る。
- ・プラント建設が計画されると、建設に先駆けて大学では講座もでき、また米国の原子力学会であるANSの会員数も増え始めている。

人材関連データ(米国)



(出典: C, Goodnight[4-4]および ANSより直接入手した資料により作成)

図4-3 米国の大学における原子力関連専攻数と原子力学会(ANS)会員数推移

出典: 原子力人材育成関係協議会原子力分野の人材に係る定量的分析結果原子力人材育成ロードマップ(中間取り纏め)報告書 平成20年7月 社団法人原子力産業協会

海外の人材育成の状況について(3)

• フランス

- フランスでは学部での専門的原子力教育は行なわれず、修士相当の学生を対象にフランス国立原子力科学技術院(INSTN)で一元的に原子力専門教育が行われている。
- INSTNは、フランスの学生だけでなく、欧州を中心とした海外の学生を積極的に受け入れており、原子力教育はフランス語ではなく英語で実施されている。また、産業界から原子力教育へ積極的に支援が行われており、フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)、AREVA、フランス電力会社(EDF)等の多数の専門家が講師として参加している。
- 対象学生:学部卒業相当、修士相当者
- 教育人数:600名／年
うち100名がINSTNで学び、他の500名は連携する大学院で学ぶ。

海外の人材育成の状況について(4)

- 欧州

- 各大学・各機関の特徴を活かした欧州全体の原子力教育ネットワークであるENEN(European Energy Education Network)は、2003年にフランスのINSTNを中核組織として設立された。ヨーロッパ17カ国、51機関が参加し、原子力分野での高等教育、訓練を通じた知識、知見の保存、共有を目的とした活動を展開している。
- 一方、企業間連携による動きとして、2010年1月、欧州の原子力に携わる企業が大学卒業生と高いポテンシャルを持った従業員を対象に原子力産業界で活躍する将来のリーダ達を育成することを目的にENELA(European Nuclear Energy Leadership Academy)と呼ばれる学校の設立に合意。

海外の人材育成の状況について(5)

• ロシア

- 原子力分野で30万人(平均年齢48歳)が働き、毎年、約1万人ものあらゆる教育レベルを経た若手人材が必要になっている。政府は、原子力分野の人材育成を強力に支援しており、モスクワ工科大学をベースとした、国立原子力研究大学を創設した。
- 国立原子力研究大学はモスクワの本部とロシア全土に10の専門高等教育機関を有しているが、これにあわせて、15のカレッジ等を含め、3万4千人もの学生を有する機関からなっている。
- また、ロシアはプラント輸出に意欲的であり、ロスアトムは人材育成に関して国立原子力研究大学と協力し、国外での自国の原子力市場拡大を目的にロシア国内のみならず、国外の人材育成にも積極的に取り組んでいる。

• インド

- 輸入した軽水炉の使用済燃料から取り出したプルトニウムで核実験を行ったため、長い間、世界各国から原子力分野での協力関係を得られず、原子力発電を自主開発せざるを得なかった。研究機関や電力会社が工学、物理、化学等様々な分野から学生を採用し、原子力の人材育成の役割を担っている。大学での原子力教育は開始されたところである。

出典：原子力人材育成関係者協議会報告書ーネットワーク化、ハブ化、国際化ー
平成22年4月 社団法人原子力産業協会 より抜粋一部加工、及び社団法人原子
力産業協会調べ

我が国と海外の原子力人材基盤の比較(1)

各国の原子力人材基盤について

	原子力関連学 科・専攻の 学生数	電力会社におけ る原子力 関連従事者数	メーカー等にお ける原子力 関連従事者数	運転中原子炉基 数 ^{*1} (2011年1月現在)
日本	588 ^{*3}	11,668 ^{*2}	33,714 ^{*2}	54
アメリカ	約3,800 ^{*3}	3,750 ^{*5} (原子力プラント運転員)	21,270 ^{*5} (原子力技術者 + 原子力技能者)	104
フランス	800(学生) 1,100(博士課程) (INSTNの学生数) ^{*4}	約15,000 ^{*8}	約60,000 ^{*6} (AREVA社)	58
ロシア	34,000 ^{*8}	272,090 ^{*7} (ROSATOM社 民生と軍事の両方を含む)		28

出典：*1原子力ポケットブック2011年版電気新聞、*2原子力発電に係る産業動向調査2009 社団法人原子力産業協会、*3原子力人材育成関係者協議会報告書ーネットワーク化、ハブ化、国際化ー 平成22年4月 社団法人原子力産業協会、*4 INSTNホームページより、*5原子力人材育成関係協議会原子力分野の人材に係る定量的分析結果 原子力人材育成ロードマップ(中間取り纏め)報告書 平成20年7月 社団法人原子力産業協会、*6三菱重工株式会社ホームページより、*7ROSATOM社2010年年次報告書より、*8社団法人日本原子力産業協会調べ

我が国と海外の原子力人材基盤の比較(2)

各国の主要な原子力研究機関の規模					
機関名	国名	主な研究開発項目（主な原子力関連施設）	年間予算 （各国通貨 百万）	（参考） 日本円換算 （百万円）	人員数
日本のエネルギー関連研究所 [日本原子力研究開発機構 産業技術総合研究所 高エネルギー加速器研究機構]	日本	高速増殖炉サイクル技術開発、放射性廃棄物処理処分研究開発、核融合研究開発、量子ビーム応用研究等（高速増殖原型炉、試験研究炉、トカマク、加速器、レーザー、ホットセル等）	¥305,500	¥305,500	約7,700名
エネルギー省(DOE)所管の 主な原子力関連研究所*1	米国	原子力(民生用及び国防関連を含む)、原子力・エネルギー科学、エネルギー全般に係る研究開発	\$10,300	¥824,000 (1ドル80円 を仮定)	約43,600名
原子力庁 (CEA)	フランス	エネルギー、情報・健康技術、防衛・国家安全保障（高速原型炉、試験研究炉、臨界実験装置、核燃料サイクル研究施設、トカマク実験装置等）	€3,900	¥429,000 (1ユーロ110 円を仮定)	約15,700名
中国原子能科学研究院 (CIAE)	中国	核物理、原子炉工学、放射線化学、核技術応用、放射線安全、高速炉プロジェクト、放射性廃棄物プロジェクト等（原子炉、ホット施設、タンデム加速器、サイクロトロン加速器等）	不明	不明	約3,000名
*1 アルゴンヌ、ブルックヘブン、アイダホ、ロスアラモス、ローレンス・リバモア、オークリッジ、サンディア国立研究所					

日、韓、米国、フランス政府の原子力関係研究開発予算

米国、フランスにおいては、非軍事以外に軍事部門でも原子力関係研究開発予算を計上。

	非軍事	軍事	総額	円換算
日本	1,954億円	—	1,954億円	
韓国	244,793M ウォン	—	244,793M ウォン	318億円
米国	2,871M\$	15,833M\$	18,704M\$	17,683億円
フランス	2,036M€	1,346M€	3,382M€	4,526億円

換算レート： 1\$ = ¥94.54 1€=¥133.83 1ウォン=¥0.13

出典：GAO-08-556T, “Advanced Energy Technologies, Budget Trends and Challenges for DOE’s Energy R&D Program”
National Defense Budget Estimates for FY2008, Office of the Under Secretary of Defense
CEA Financial Report 2007(日本、米国、フランス)

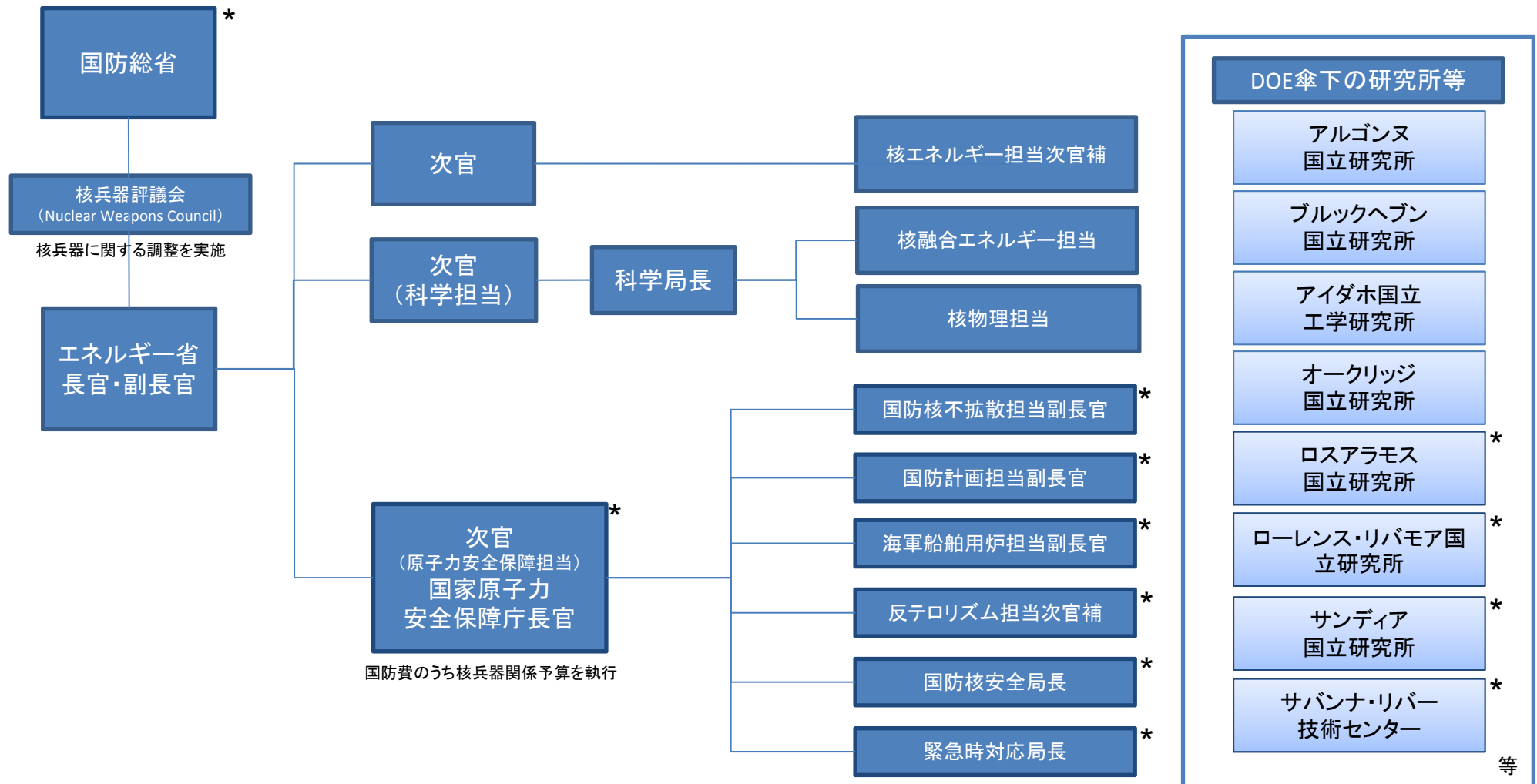
「海外各国における原子炉開発等に対する技術開発政策の実態調査報告書」平成20年3月、株式会社三菱総合研究所(韓国)

出典：原子力委員会 第2回国際専門部会資料より、内閣府にて追記

日本：2008年度、韓国：2008年、米国：2008年、フランス：2007年のデータ

原子力関係公的機関の体制(米国)

○米国エネルギー省が民生原子力とともに原子力安全保障も担当しており、国防計画や海軍船舶炉等の原子力の軍事関係の部署が存在。

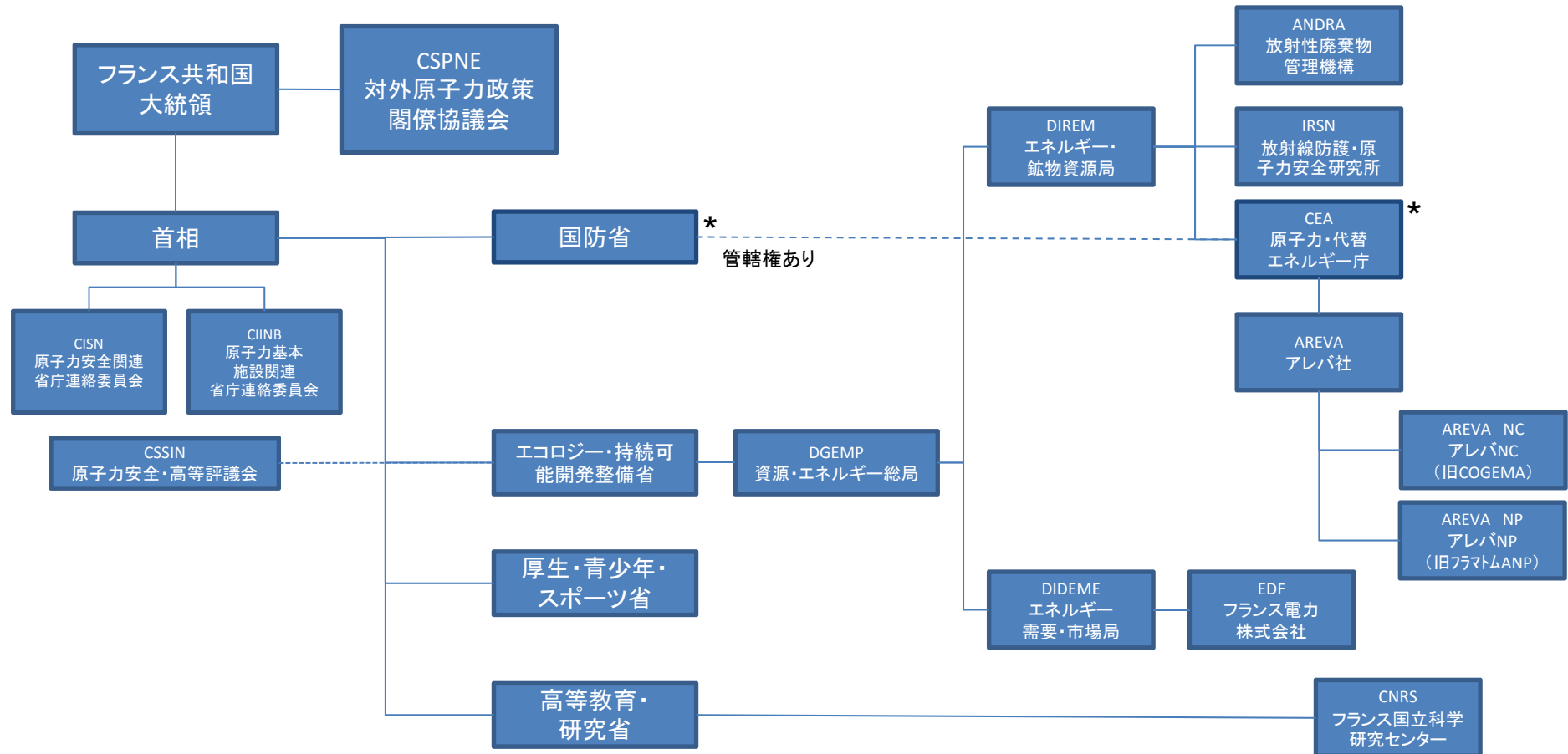


出典：原子力ポケットハンドブック2011年度 一部加工

* :原子力の軍事関係を含む

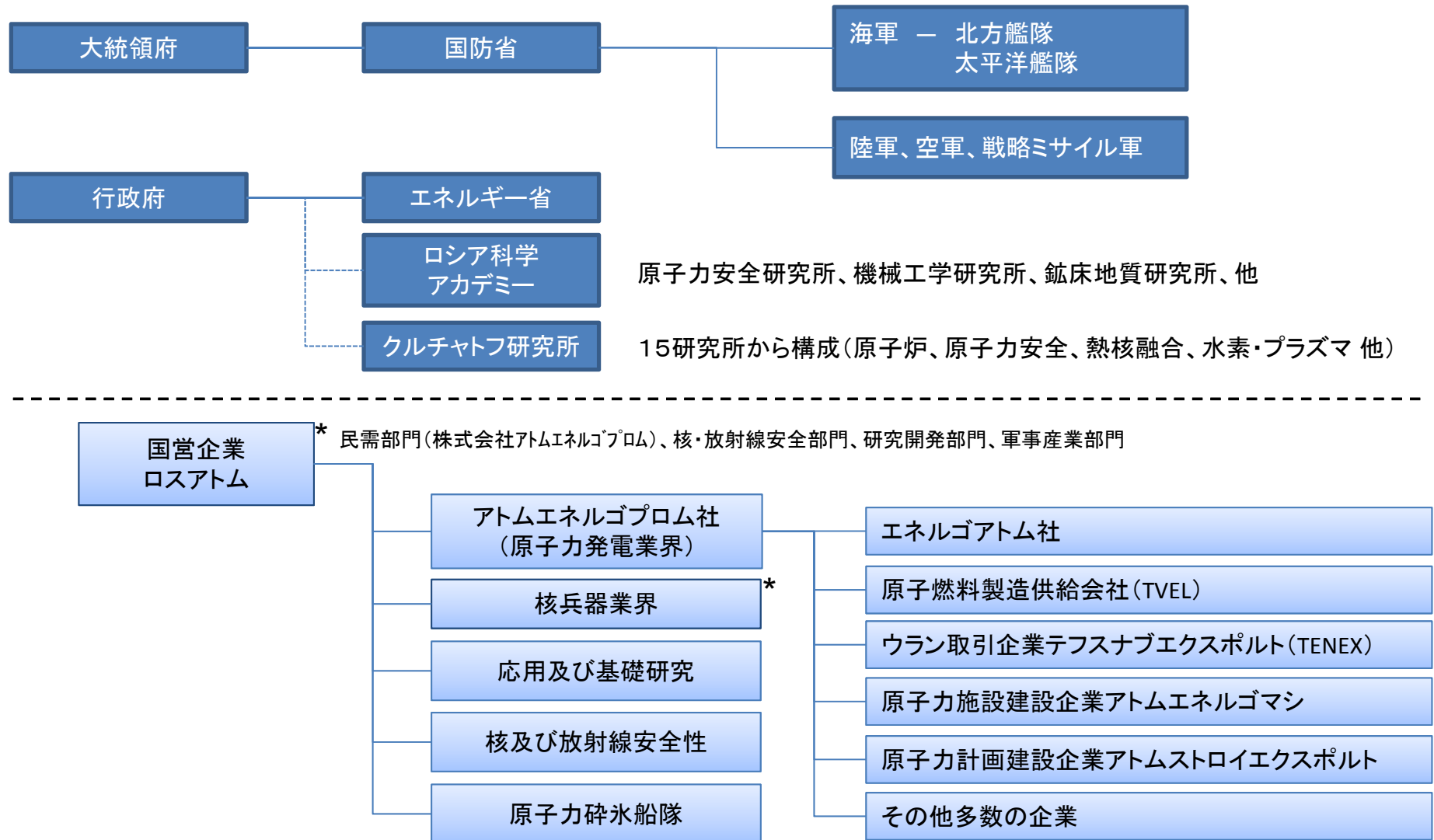
原子力関係公的機関の体制(仏国)

- 国防省は原子力の軍事利用を所管しており、当該分野に係る研究も実施しているCEAの管轄権を有する。
- 原子力・代替エネルギー庁では、国防と包括的なセキュリティ、エネルギー等の研究を実施。



原子力関係公的機関の体制(ロシア)

○国営企業であるロスアトムに軍事産業部門が存在し、原子力の軍事利用及び非軍事利用を実施。

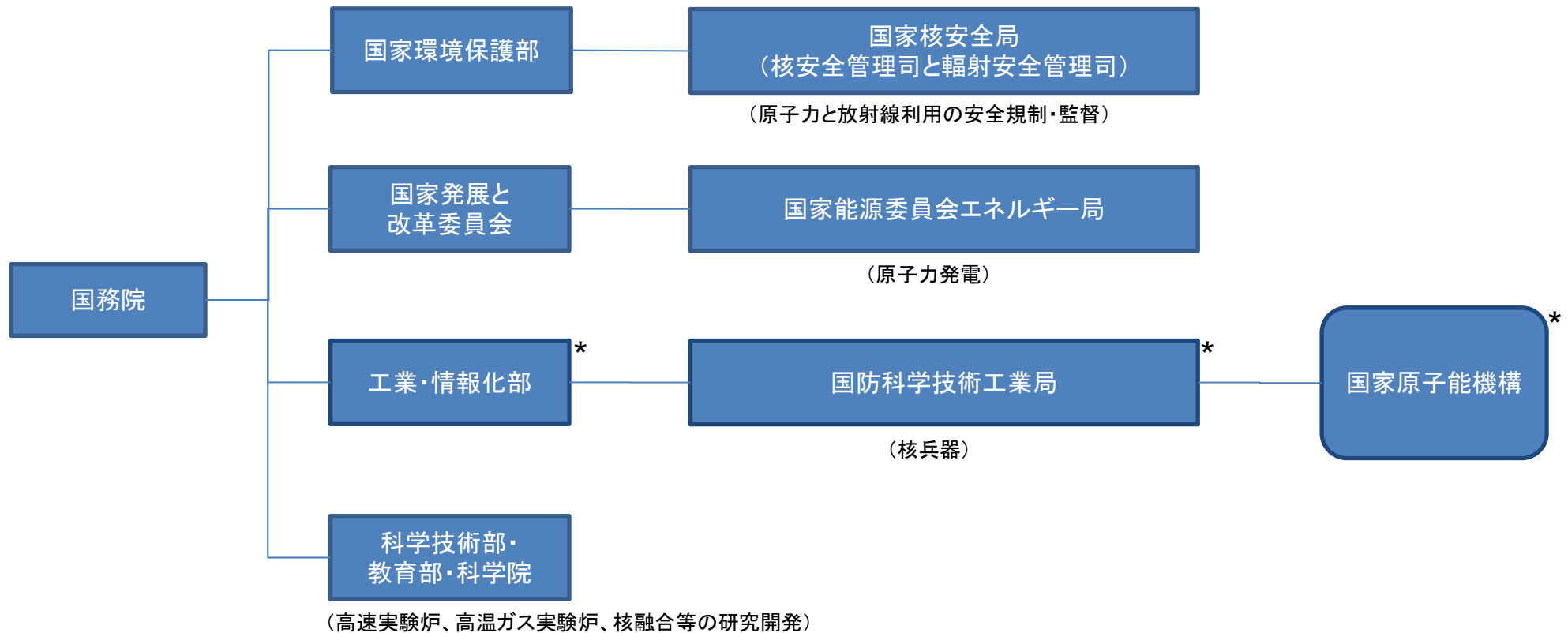


出典:原子力ポケットハンドブック2011年度 一部加工

* : 原子力の軍事関係を含む

原子力関係公的機関の体制(中国)

○ 国務院のもとで原子力の軍事利用及び非軍事利用を担当する部署が存在。



原子力関係公的機関の体制(日本:現時点の体制)

○我が国では原子力の軍事利用は実施せず、エネルギー利用等に係る研究等のみ実施。

