

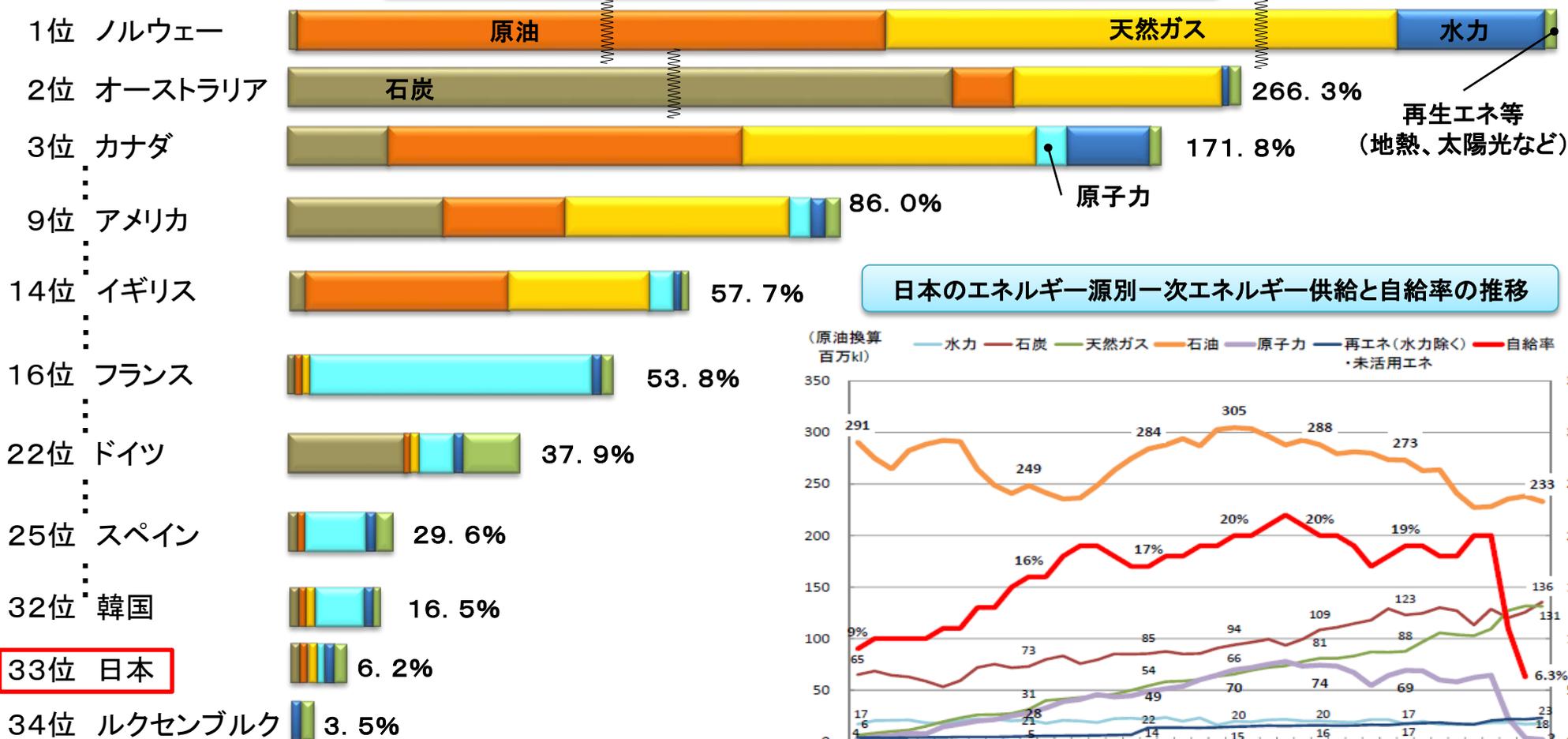
軽水炉利用に関する現状

原子力政策担当室

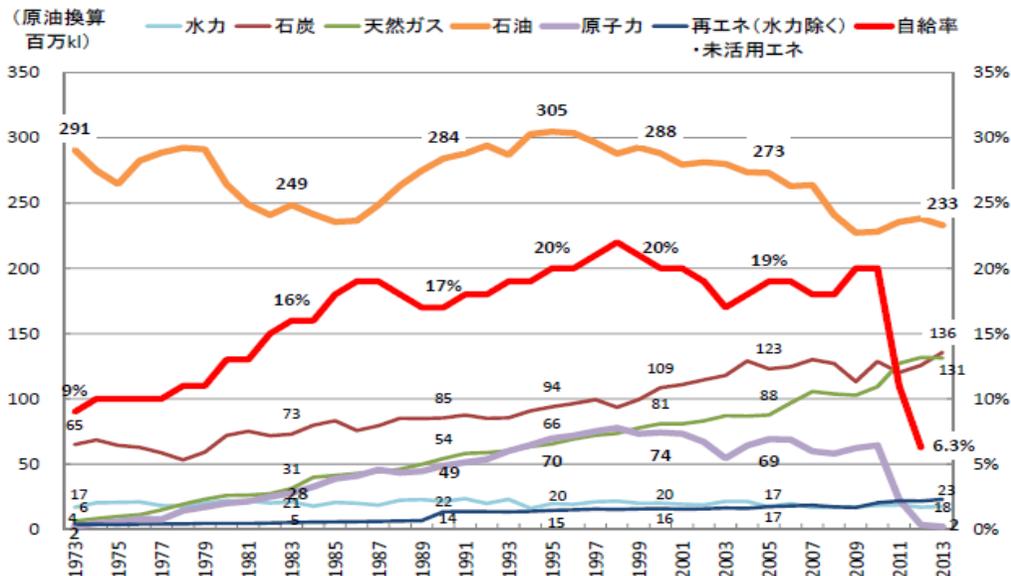
エネルギー自給率の各国比較

- 震災前(2010年:19.9%)に比べ、約6%まで大幅に低下。
- OECD34か国中、2番目に低い水準に。

OECD諸国の一次エネルギー自給率比較 (2013年)



日本のエネルギー源別一次エネルギー供給と自給率の推移

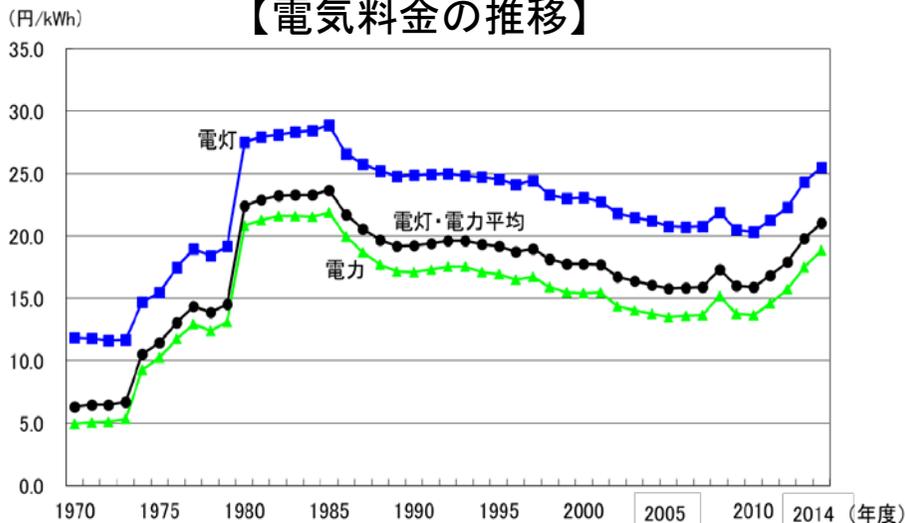


(IEA「Energy Balance of OECD Countries 2015」を基に作成)

電気料金の推移及び燃料費推移

- 東日本大震災後、電気料金は産業用で約3割、家庭用で約2割上昇。
- 原子力発電の停止等に伴った、火力発電の焚きましによる燃料消費量増加の影響額は、累積で約10兆円と試算。

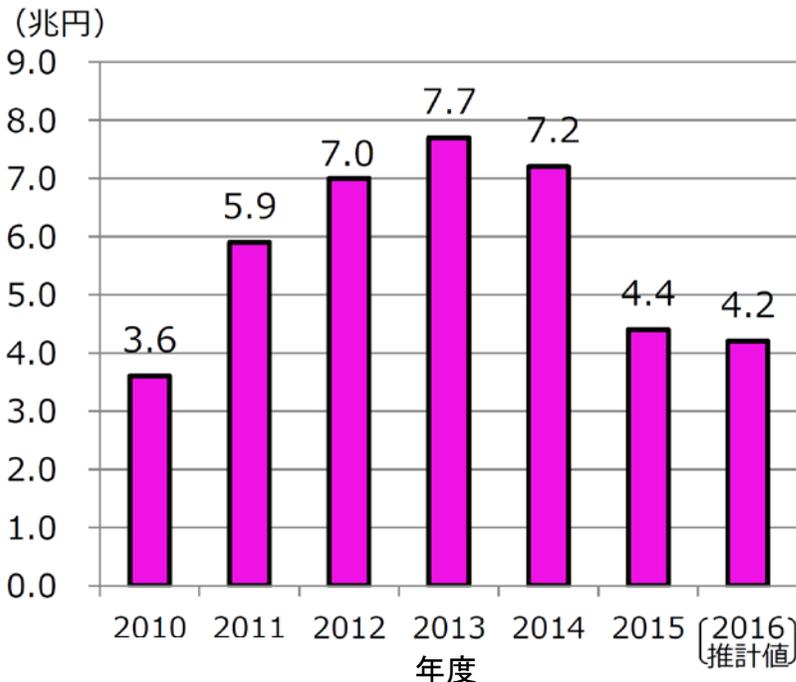
【電気料金の推移】



(注1)一般電気事業者10社を対象。
 (注2)電灯料金は、主に一般家庭部門における電気料金の平均単価で、電力料金は、各時点における自由化対象需要分を含み、主に工場、オフィス等に対する電気料金の平均単価。平均単価は、電灯料収入、電力料収入をそれぞれ電灯、電力の販売電力量(kWh)で除したもの。

出典：平成27年度エネルギーに関する年次報告

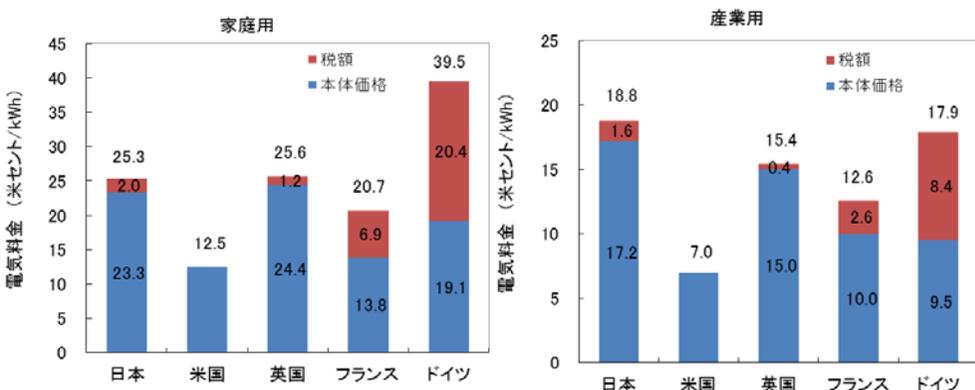
【電力9社の燃料費推移】



年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015
火力比率 (%)	61.7	78.9	88.3	88.3	87.8	84.6

(電気事業連合会調べ)

【電気料金の国際比較】



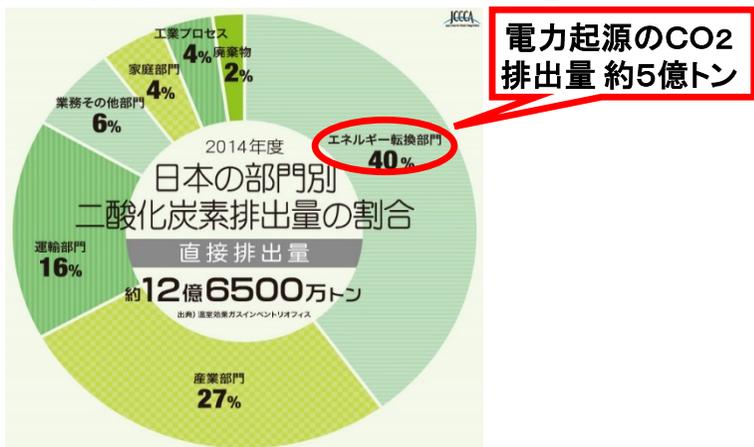
出典：平成27年度エネルギーに関する年次報告

出典：第38回原子力委員会資料第3-1号を基に一部編集

地球温暖化ガス排出量の推移

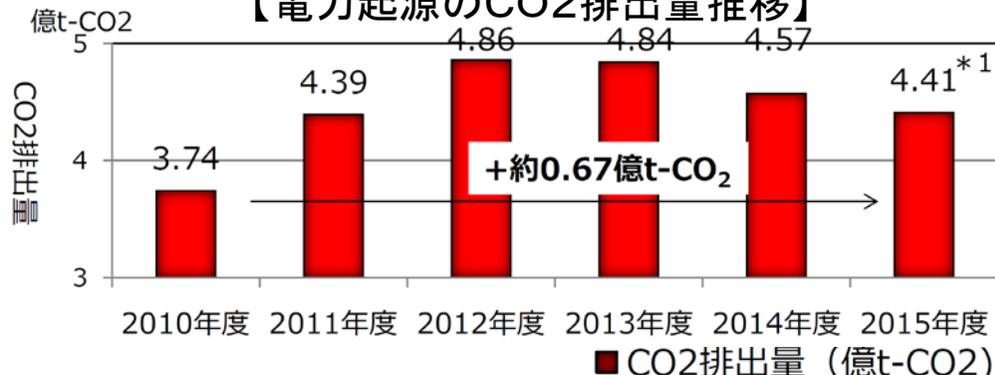
- 電力起源のCO2排出量は我が国全体の40%を占め、約5億トン进行排出。
- 原発の長期停止等の影響により、震災前に比べて約0.67億トン増加。

【日本の部門別CO2排出量の割合】



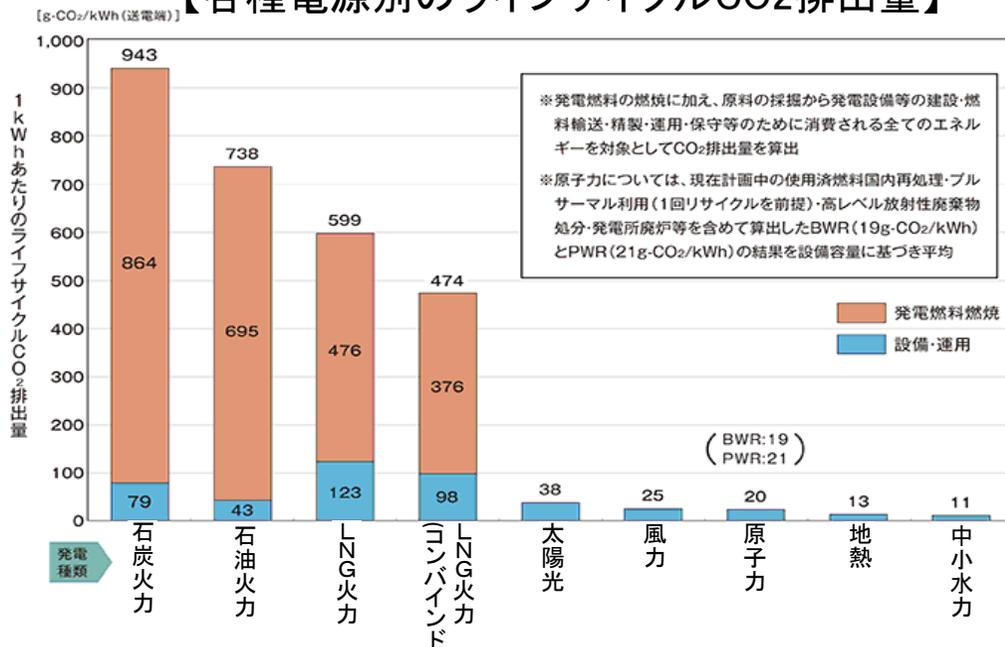
出典: 温室効果ガスインベントリオフィス 全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト(<http://www.jccca.org/>)

【電力起源のCO2排出量推移】



*1) 電気事業低炭素社会協議会の速報値(会員事業者42社のうち、2015年度に事業活動を行っていた39社の実績)
出典: 第38回原子力委員会資料第3-1号

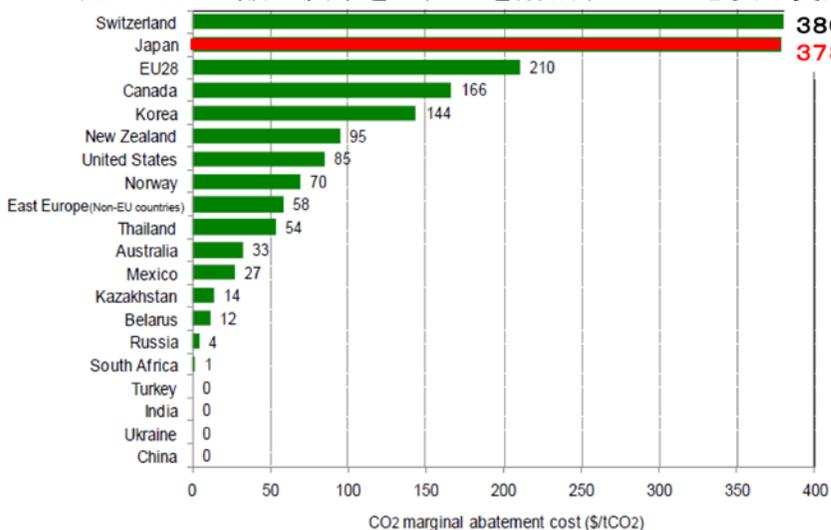
【各種電源別のライフサイクルCO2排出量】



出典: 日本原子力産業協会「原子力・エネルギー」図面集2015

【限界削減費用】

: 追加的に二酸化炭素を一定量を削減するのに必要な費用



出典: 第20回原子力委員会資料第1号

国民及び地元理解

- 依然として国民の原子力への不信・不安が根強く残っている状況。今後、原子力発電を利用するのであれば、**国民理解と地元理解が必要不可欠**である。**この理解を得る上でも、自主的な取組による安全性の向上**が求められる。
- こうした認識の下、電力事業者では主に以下の3つの取組を実施。
①自主的安全性向上、②防災体制の強化、③コミュニケーション活動の推進 等

【電気事業者における取組例】

①自主的安全性向上

- ◆原子力リスク研究センター(NRRC)との連携
 - ・リスク情報活用に向けたPRA活用ロードマップの高度化、PRA基礎基盤の整備を推進。
 - ・日本の状況や発電所の設備や運用等を反映したGood PRAを構築・段階的に実施。
- ◆自主規制組織(JANSI)の活用
- ◆自主的安全性向上ロードマップの策定・着実な実施 等

②防災体制の強化

- ◆防災体制の更なる強化
 - ・自治体避難計画への支援協力、緊急事態支援センターの充実、等
- ◆原子力防災訓練の実施
 - ・輸送力協力、避難帯域時検査支援、放射線防護施設整備、生活物資支援 等
- ◆原子力事業者間の相互協力体制の強化

③コミュニケーション活動の推進

- ◆リスクコミュニケーション活動の推進
(例)関西電力:立地町において日頃の面談4700回実施、電源開発:年2回個別訪問実施 等
- ◆廃止措置工事に係る地元企業等との共同研究
 - ・安全性向上、被ばく低減、廃棄物低減
- ◆PAZ、UPZにまたがる地域全体での協議会の実施。首長、行政(規制庁、原子力防災、エネ庁課長含む)

自主的安全性向上におけるJANSI及びNRRCの取組

➤ 原子力安全推進協会(JANSI)→事業者の自主的継続的安全性向上活動を評価・牽引

活動

- 自主的規制組織としての「原子力安全に焦点を当てる」自覚を職員一人一人に浸透させるとともに、技術能力を高める
- 以下の活動を行うとともに、基盤活動(情報分析活動や人材育成)を実施

➤ 安全性向上策の評価と提言・勧告及び支援

→リスクマネジメント体制の構築(一例)

- ①全事業者CEOへの提言(経営者のコミットメント)
 - ・経営者のコミットメント
 - ・リスク管理の専門部署またはグループ等を設置する 等
- ②JANSIによる事業者のリスクマネジメント特定レビューの実施
- ③エクセレンスガイドライン(特定レビューの基準)の作成・整備、支援

➤ 原子力施設の評価(ピアレビュー)と提言・勧告及び支援

- ①ピアレビューとエクセレンスの追及(上を目指す) ②「名誉と恥」によるピアプレッシャー(横への展開)
- ③再稼働、改善活動を牽引・支援(レベルアップ) ④規制機関との補完関係の確立

将来の姿(問題意識)



- ◆事業者CEOのコミットメントのもと、自主規制組織として、職員ひとりひとりが高いモチベーションと技術力を有し、国内外から高い信頼を得る。これらを基礎として、世界のエクセレンスを追求し、事業者に提供するとともに、事業者の活動を評価・支援する。

➤ 原子力リスク研究センター(NRRC)→事業者の自主的安全性向上に必要な研究開発の中核に

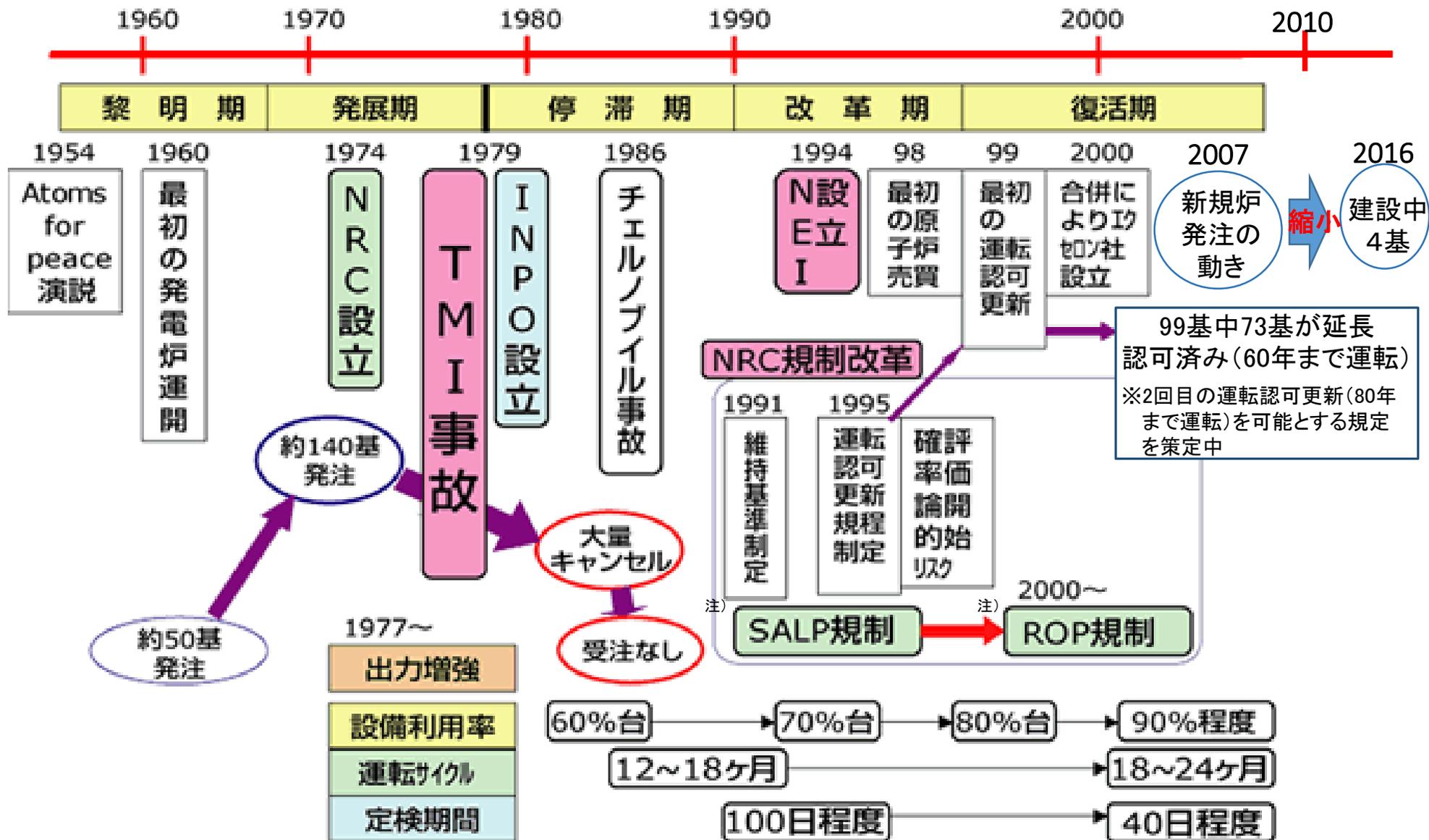
活動

- 各事業者の自主的なリスクマネジメントの強化に加え、低頻度事象に伴うリスクの低減が必要との認識
- このため、事業者の自主的安全性向上の取組に必要な研究開発を実施。
 - ①技術課題解決(発生メカニズム、応答、対策)
 - ②決定論的手法と確率論的手法(確率論的リスク評価:PRAの活用)の効果的な組み合わせ
 - ③一元的研究開発体制構築→現場適用とフィードバックを促進



- ◆リスク情報が事業者の方針決定等に反映(Risk-informed Decision Making: RIDM)されるよう特別チーム(RIDM推進チーム)を平成28年7月に新たに設置。RIDM目標の明確化や実務への導入ロードマップ作成、PRAを活用したRIDM促進(パイロットプロジェクト)等を実施。

米国における軽水炉利用の経緯



注) SALP: Systematic Assessment of Licensee Performance (設置者パフォーマンスの体系的評価)、
 ROP: Reactor Oversight Process (パフォーマンス指標や検査等一連の活動を再構築したもの)
 出典: エネルギー総合工学研究所 季報 エネルギー総合工学Vol29 No.2(2006. 7)を基に一部編集

米国における原子力安全向上の取組

産業界

- 商業用原子力発電所の安全性と信頼性の向上を目的とした自主規制機関である原子力発電運転協会 (INPO) が、以下の取組等を実施。
 - 現場調査等により、運転員の知識と業務遂行能力、施設・装置の状態、運転プログラムと手順、施設管理の効率等の発電所の運転状況を調査。その結果を5段階で評価し、情報の共有のため「CEO会議」でINPO代表から直接報告。評価結果がよい場合、原子力財産保険の保険料が減免されるインセンティブがある。
 - 原子力発電所で起きた事故・事象の評価を支援するとともに、事故原因と対応策等の情報について事業者間で共有を進め、各事業者が最高の業務状況となる様に図っている。
 - 原子炉運転の専門家や運転員の訓練や、運転・営繕などに関する技術や管理方法の具体的な支援を実施。
- 事業者では、日常の運転保守活動においてリスクマネジメントを実践。さらに、INPOではエクセレンス (エクセレンス) を取りまとめ、事業者間で共有している。
 - 経営陣を含めたミーティングを毎日実施し、日々のリスク情報を共有 (日本の場合発電所内での共有の場合が多い)。
 - 設備の変更時やマニュアル変更時に、常にリスク評価を行いレビューを心掛けている。

規制

- 稼働実績とリスク情報に基づいた原子炉監視プロセス (ROP) を実施。
- ROP制度では、検査結果とパフォーマンス指標を用いて、プラント毎にパフォーマンスを評価し、その結果を総合に判断して追加検査等の規制措置を実施。

【TMI以降の産業界とNRCの大まかな動き】

80年代初期

- ◆ 1980年から約20年間 系統的な運転実績評価 (SALP: Systematic Assessment of Licensee Performance) を導入
- ◆ TMI事故以降、NRCの規制は厳格化

80年後半～2000年

- ◆ NRCの活動の中心は、新規建設の許認可から運転プラントの安全監視へ徐々に移行
- ◆ **規制への科学的合理性の導入・効率化**を順次、実施

2000年 4月全発電所に対するROPを施行

- ◆ SLAPを見直して原子炉監視プロセス (ROP: Reactor Oversight Process) を導入
- ◆ **稼働実績、リスク情報**に基づいた規制で、客観性を向上

産業界からNRC規制への懸念等

- 1986年 産業界とNRCの協調・コミュニケーションの重要性を指摘した「Sillinレポート」策定
- 1994年 NRCの規制プロセスに対する「Towers Perrinレポート」策定

等

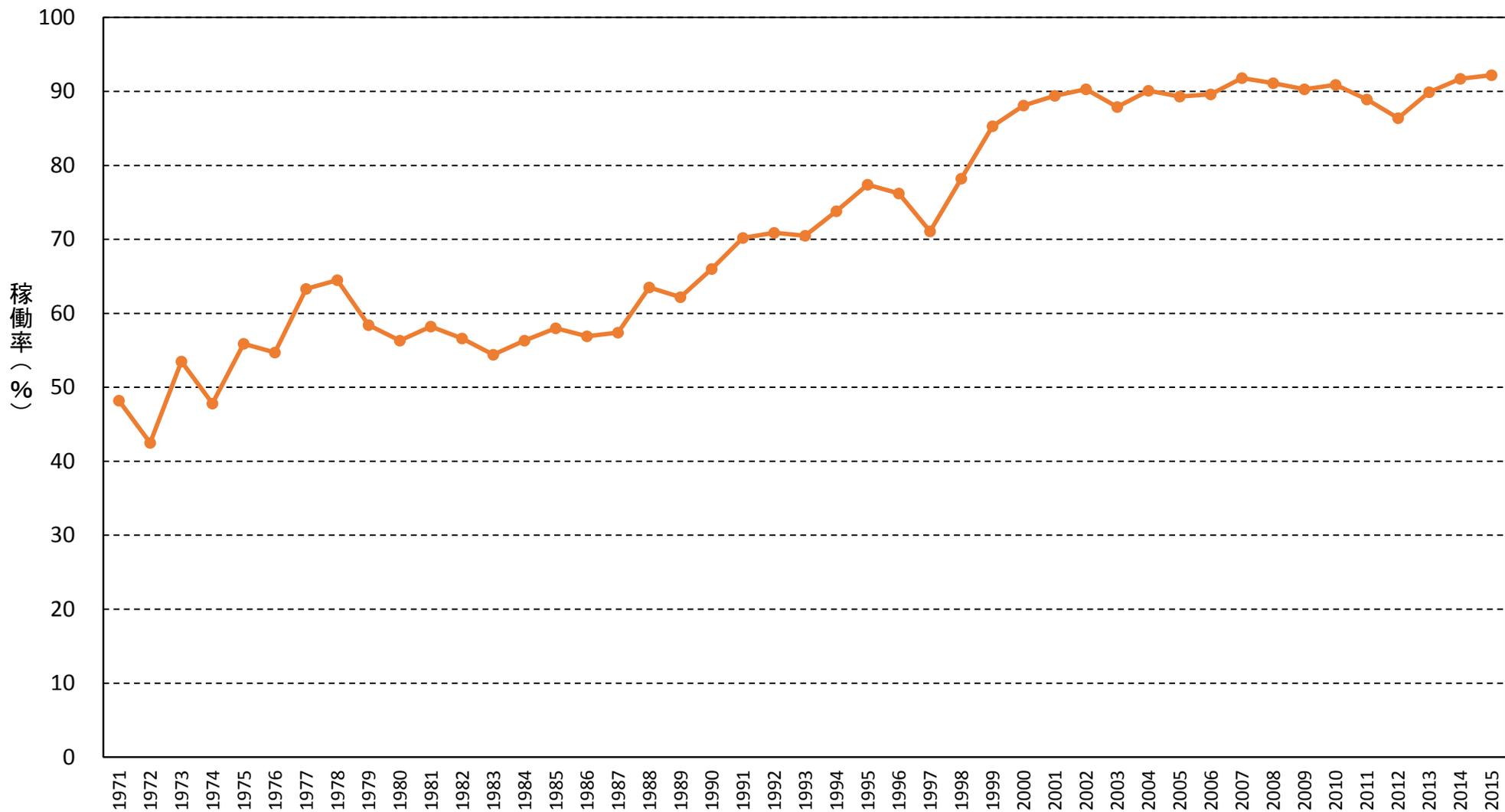
- 1991年 NRCが24か月運転の技術仕様書変更のガイドライン (Generic Letter 91-04) 発行
- 1995年 NRCがPRA政策声明 リスク情報を活用した規制ガイドライン (RG1. 171) 発行
- 1997年 NRCがパフォーマンスベース検査ガイダンス (SECY-97-231) 発行

等

稼働率の推移

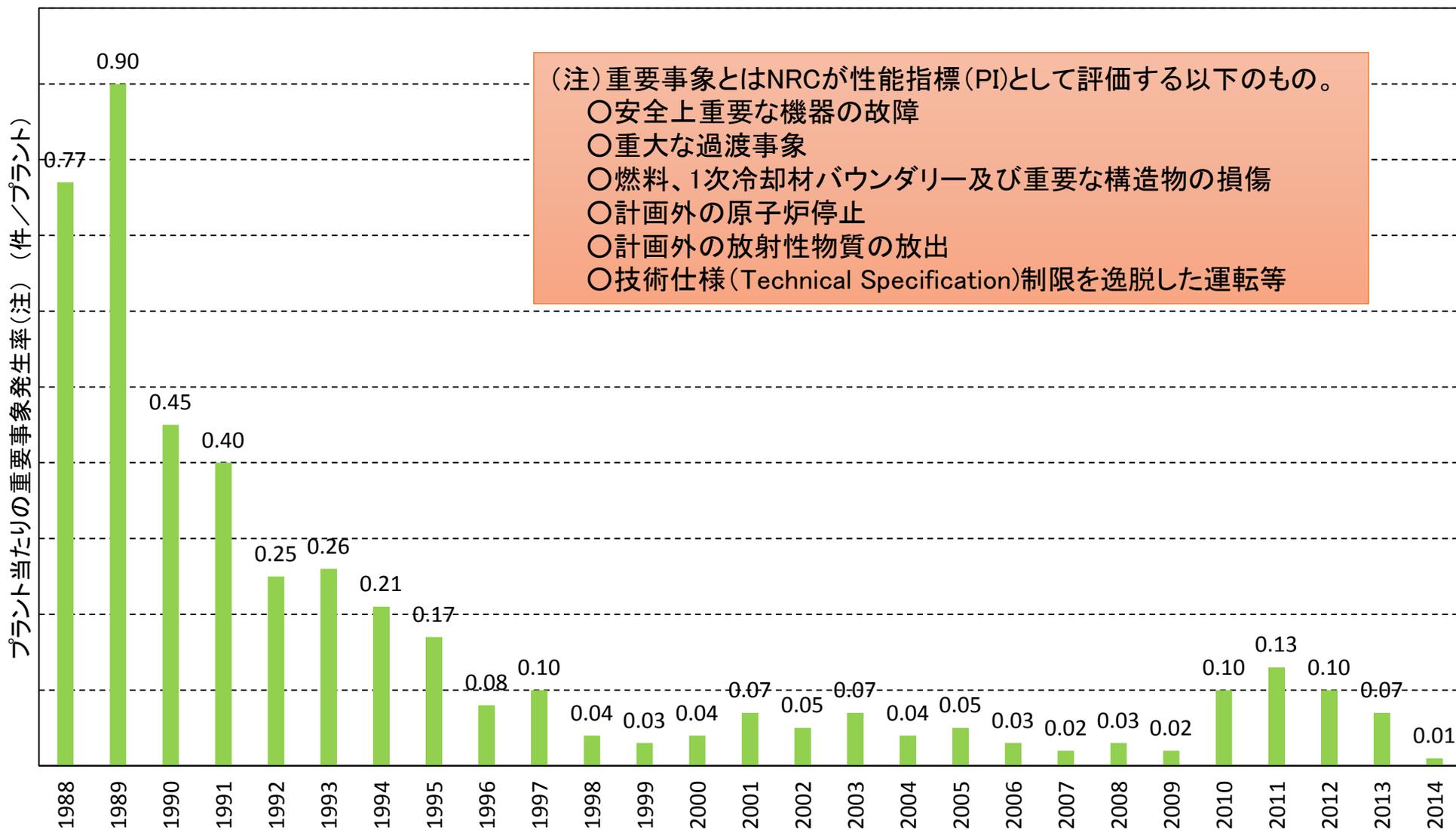
米国では、以下の取組等により稼働率が向上。

- 運転サイクル長期化: 1991年にNRCがガイドラインを発行し、高燃焼度燃料採用により、徐々に12か月から24か月運転へ。
- 燃料交換停止期間の短縮: 1990年約100日→2000年以降約40日
- 事故発生率低減: 次シート参照



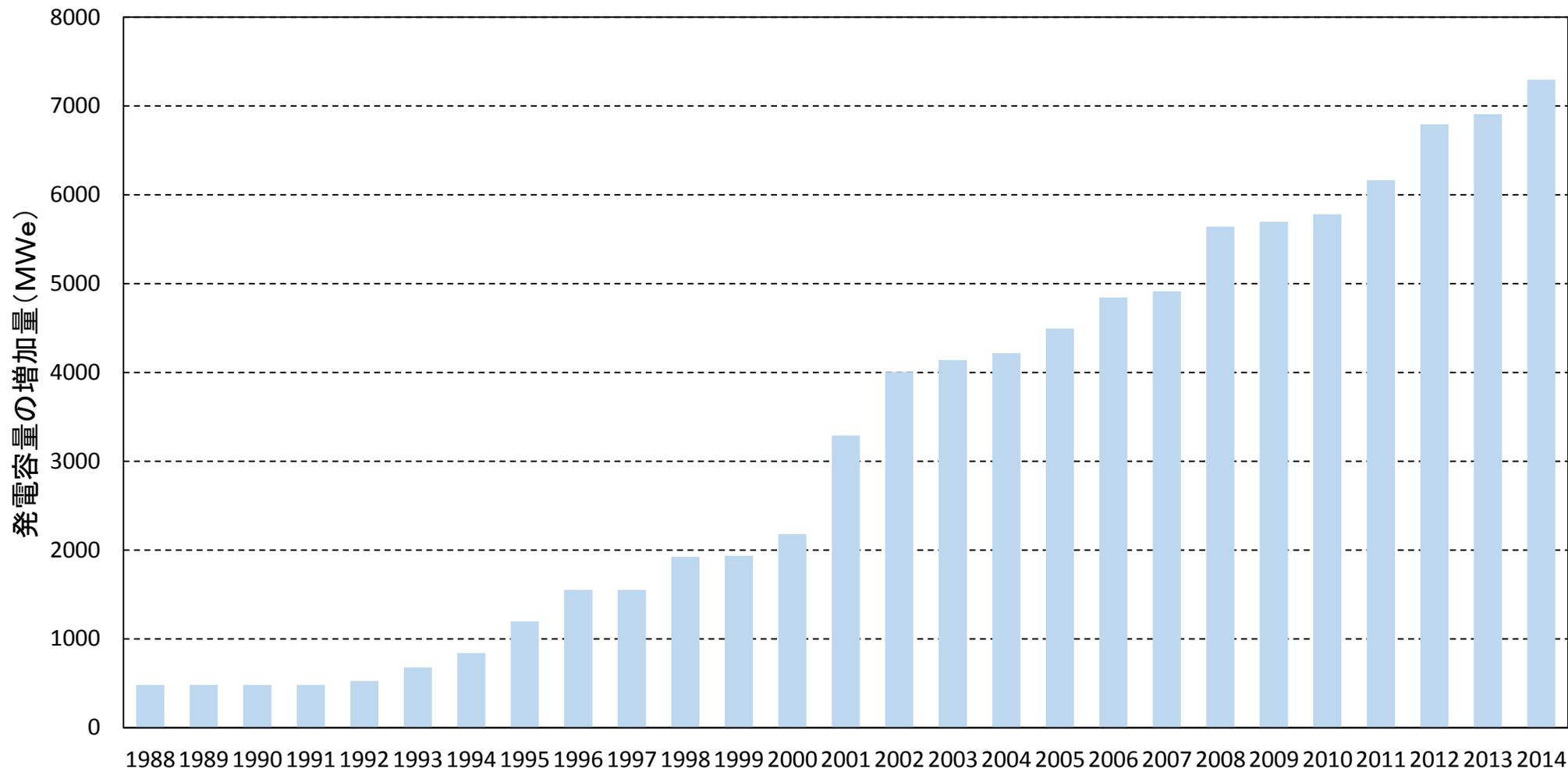
原子力発電所の重要事象発生率の推移

- 重要事象発生率は、1990年頃から減少。2014年は、1プラント当たり0.01件。



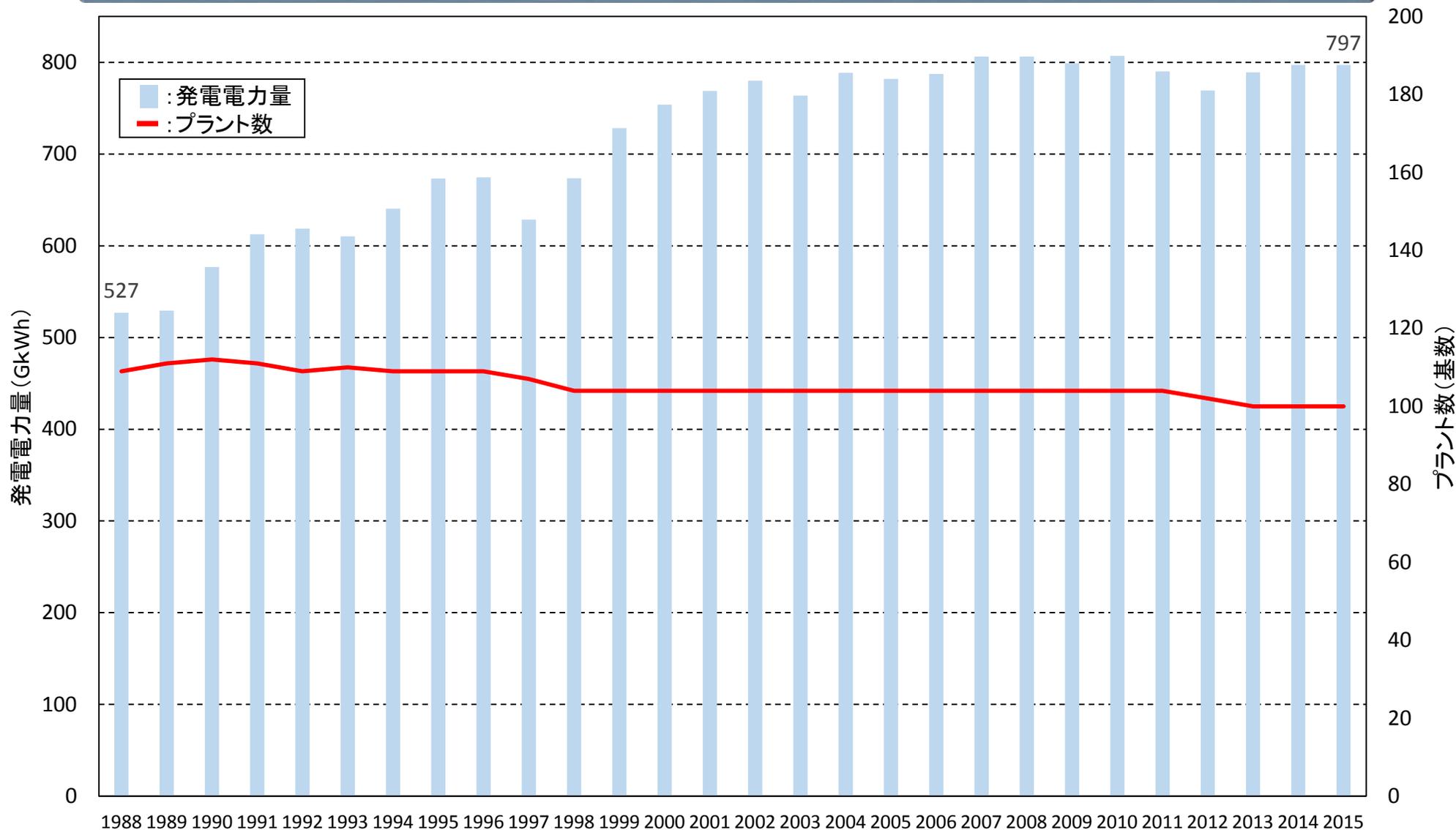
原子力発電所の出力向上

- プラント数は増加していないが、1977年のカルバートクリフ1及び2号の出力向上認可以降、43基の出力向上が認可され、出力向上による発電量の増加は累計7,300MWeに。
- 1,000MW級原子力発電プラント7基の増設に相当



原子力発電所の発電電力量

- プラント数は増加していないが、2015年の発電電力量は1988年の約1.5倍に増加
1988年：109基で発電電力量527GWh → 2015年：100基で発電電力量797GWh



技術の継承・人材確保

- 原子力を活用するには汎用技術に加え、原子力発電所の運転技術や設計技術など**原子力固有の技術**が必要。
- **原子力発電所の安全な運用**には、**幅広い技術と人材の厚みの維持**が必要。

【原子力産業界の全体構造】

(合計約80,000名以上)

【運転・保守】 電力会社 原子力部門 (約12,000名※1)	
【設計・設備工事】 プラントメーカ (約9,600名※2)	【定検工事・保守】 工事会社 (約33,000名※3)
【技術・材料、燃料等の供給】 原子力関連部品・燃料成型加工メーカ (約24,000名以上※4)	

※1「原子力発電に係る産業動向調査 2010報告書」

社団法人日本原子力産業協会による

※2 一般社団法人日本原子力産業協会調べ

※3 電気事業連合会調べ(原子力発電所における通常運転時
定期検査時の平均労働者数を全国の発電所で積算)
(一部、プラントメカとの重複あり)

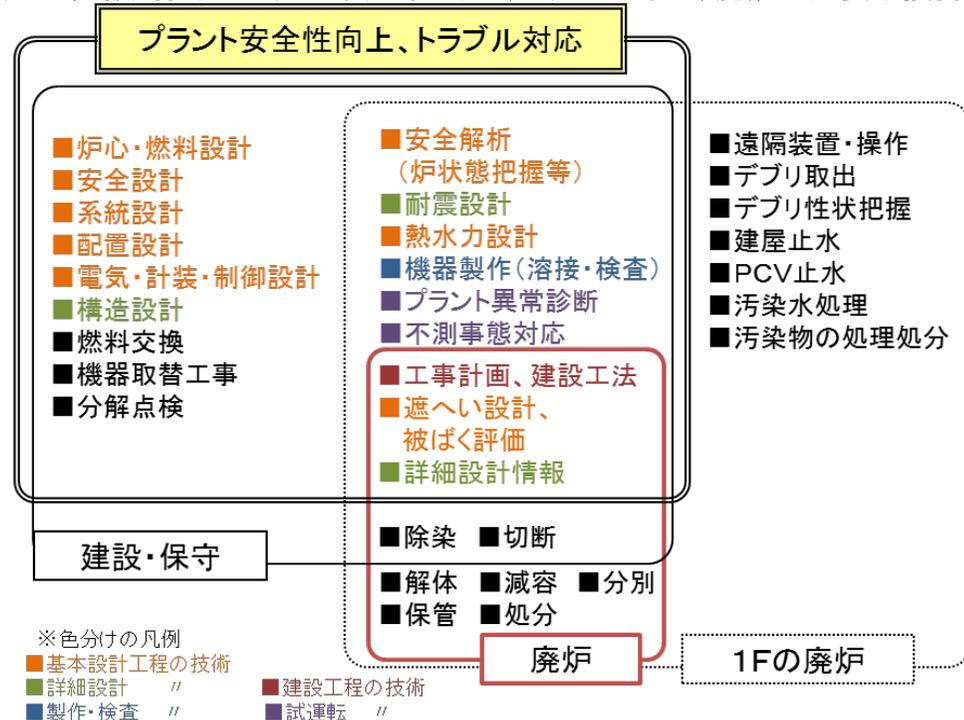
※4 ※1、2より算出

出典: 第38回原子力委員会資料第3-1号

【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】



※色分けの凡例

■基本設計工程の技術

■詳細設計

■製作・検査

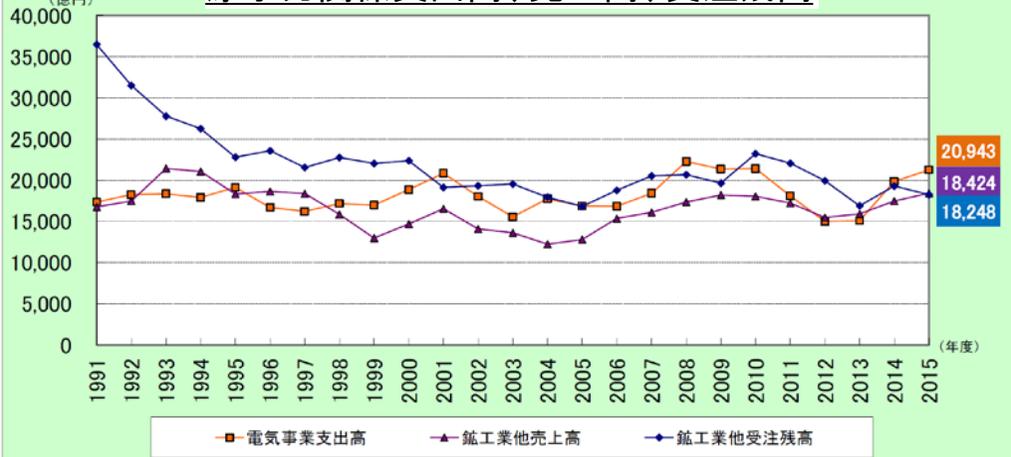
■建設工程の技術

■試運転

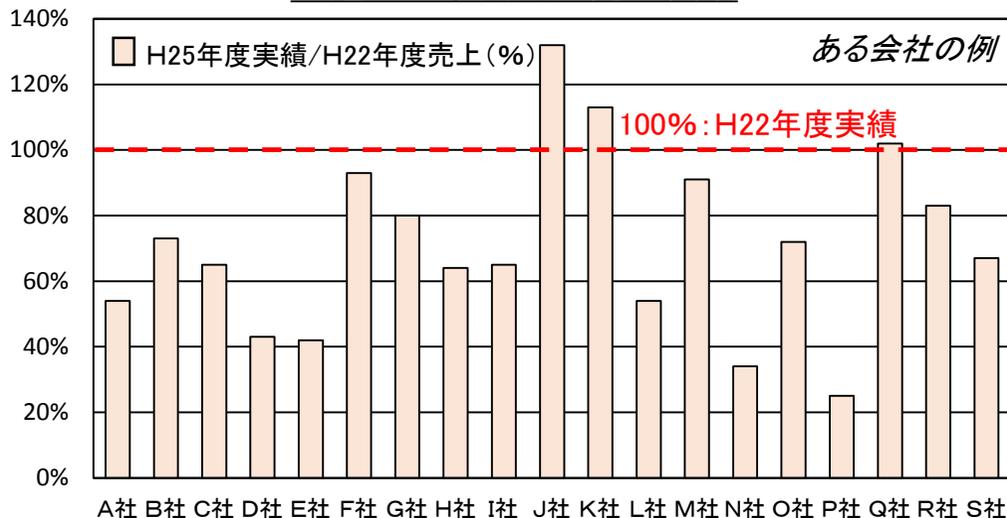
技術の継承・人材確保

- 新規制基準への対応による建設業等の売上増加等があり、原子力関連売上高としては、震災後も全体的としては横ばいとなっている。
- 一方で、原子力発電所の長期停止に伴い、**燃料加工や検査・保守等のコア技術に関する仕事・売上の減少**等が見られる。

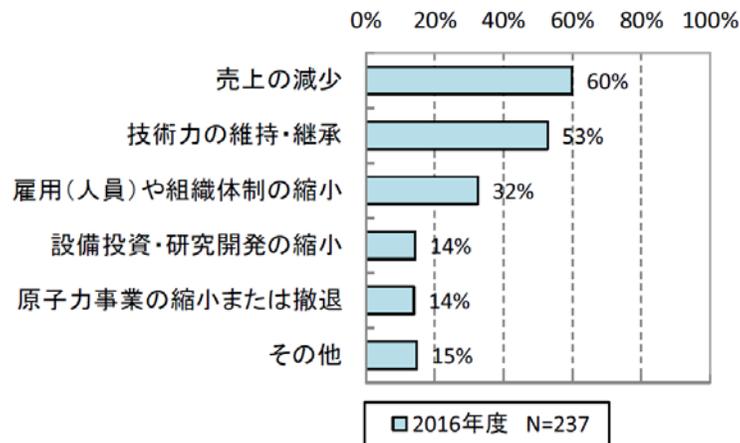
原子力関係支出高、売上高、受注残高



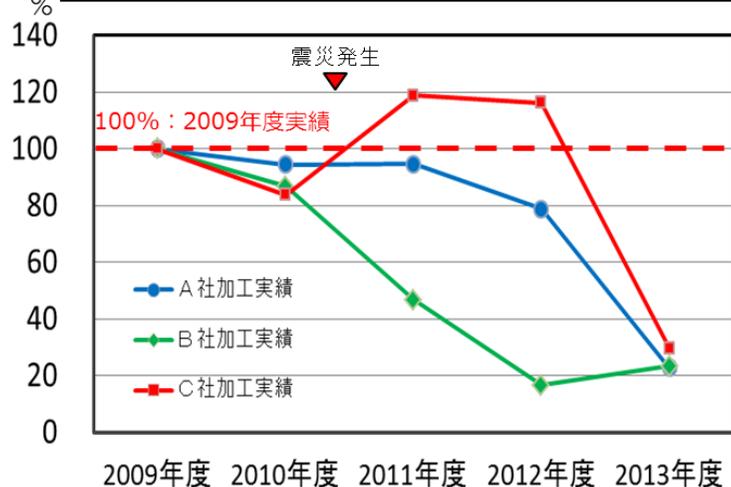
至近の工事会社の売上実績



発電所の運転停止に伴う影響(複数回答)

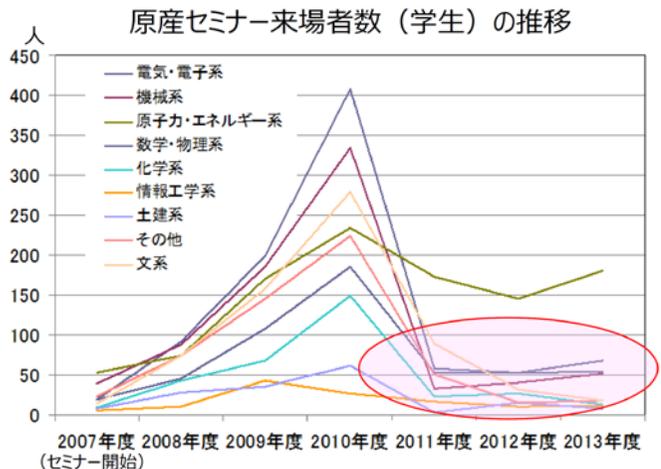


至近の燃焼成型加工メーカーの燃料加工量実績



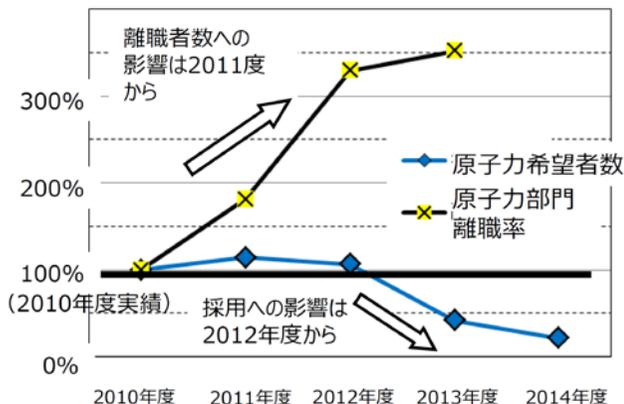
技術の継承・人材確保

- 学生を対象とした原子力関係の**会社説明会への来場数**や電気事業者における**原子力部門の採用数**について、原子力学科出身者数の回復は見られるが、東日本大震災以降、**全体としては減少し、近年は横ばい**。
- 特に、電力事業者においては、プラント全体の安全運転や設計を担う機械・電気・化学系や高専卒の採用は減少したまま。加えて、電力事業者の原子力部門での**離職者数が増加傾向**。



出典：日本原子力産業協会しらべ

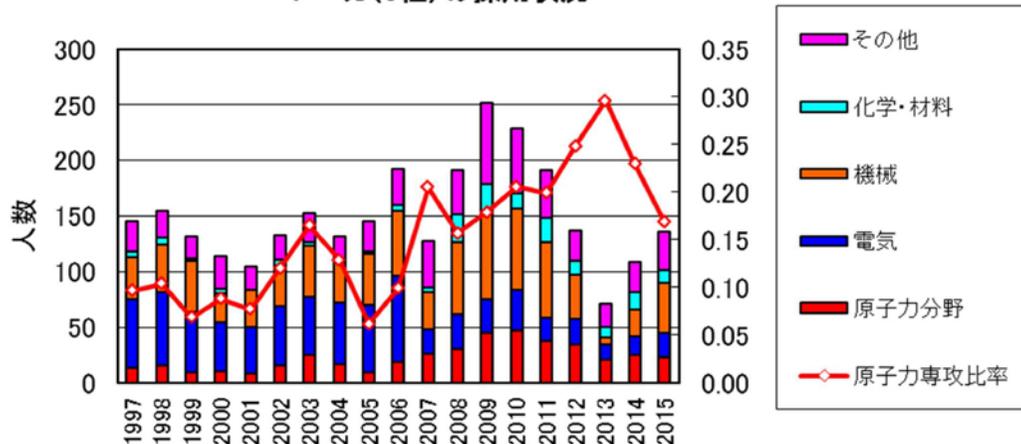
原子力希望者数、離職者数（2010年度比）
（電力会社へのアンケート調査結果）



（アンケート対象11社：北海道、東北、東京、北陸、中部、関西、中国、四国、九州、日本原電、電源開発）
原子力希望者数、原子力部門離職率ともに、11社のうち、回答のあった社のデータを使用：電気事業連合会まとめ

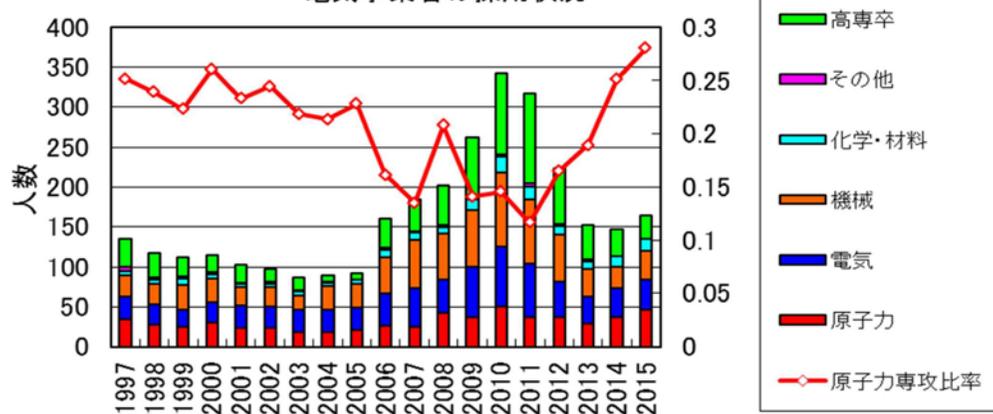
出典：第38回原子力委員会資料第3-1号

メーカー(6社)の採用状況



調査対象機関：IHI、東芝、日立GEニュークリア・エナジー、富士電機、三菱重工業、三菱電機（計6社）
（注）2015年度は、6月時点の原子力部門への配属数（配属予定数を含む）を計上。

電気事業者の採用状況



調査対象機関：北海道、東北、東京、中部、北陸、関西、中国、四国、九州、日本原電、電源開発（計11社）
（注）2015年度は、6月時点の原子力部門配属数（配属予定数を含む）を計上。

出典：文部科学省 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1回）資料6-2

欧州における産業界と大学・研究機関の連携例（NUGENIA）

概要

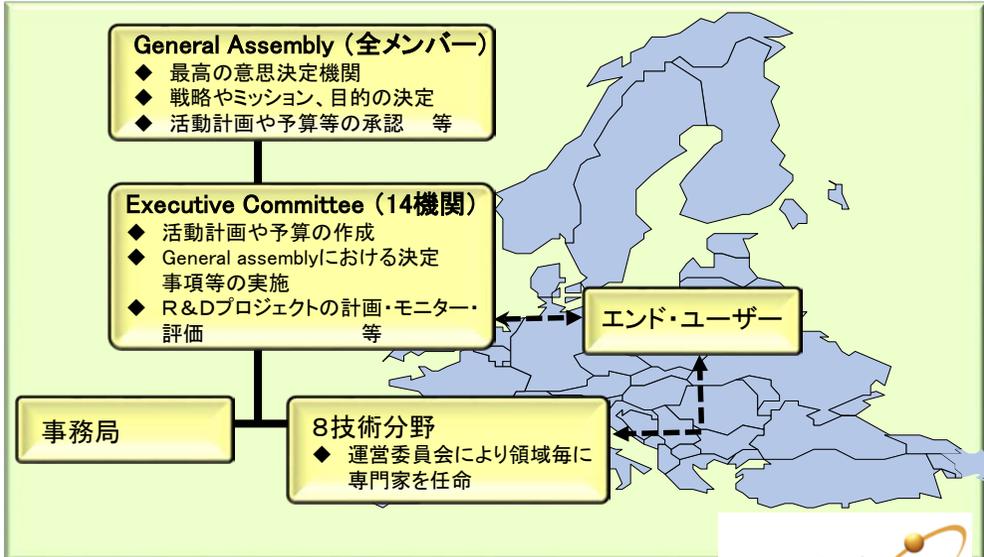
- NUGENIAは、安全で信頼性、競争力のある第二、第三世代の核分裂技術を実現するために、2012年に設立された枠組。
- 欧州を中とした**政府、企業、研究開発機関、大学の103のメンバー**が参画。
- **産業界、研究開発機関、大学、規制機関、業界団体等の連携推進、知識基盤の構築、付加価値の高い研究開発結果を実用化**させることがミッション。
- 8分野(原子炉安全及びリスク評価、過酷事故、原子炉オペレーション改良、軽水炉技術の向上等)をターゲットとして、2012～2014年間で17プロジェクトを実施するとともに、2015年に新たに19のプロジェクトが立ち上げ。
- **各国で重なるプロジェクトの無駄の排除や、産業界と大学・研究機関のコラボレーションを促進。**

運営方法

- NEGENIAの運営方法に特徴について2点あげられる。
 - ①プロジェクト運営費用：
民間企業・各国政府が60%、EC-Euratomが40%を負担。
 - ②運営委員会(Executive Committee)の構成：
半分は研究開発機関や政府、半分は産業界。
産官学すべての視点から重要なプロジェクト決定・評価等を実施。

具体的な取組

- 研究開発やイノベーションの推進
(ロードマップ策定や優先順位の検討、プロジェクト実施)
- ニーズに基づくプロジェクト立案とNUGENIAブランドの付与
- 貴重な技術情報やデータの共有
- 研究開発成果の実用化に向けた産業界とのファシリテーション、共同研究相手の選定
- 研究開発のための設備等へのアクセスの支援・容易化
- オンラインでのコラボレーション・ツールとしてオープンイノベーションプラットフォームを構築・運用
(研究計画立案を支援/テクニカル評価を促進/トレイサビリティ・トランスペアレンシーを確立)
- プロジェクト結果のモニタリングと評価

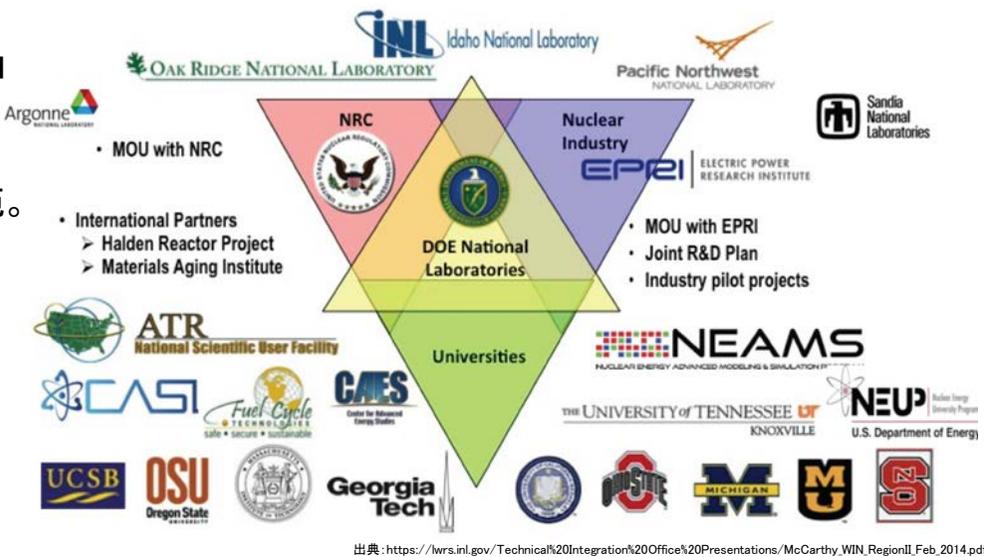


米国における産業界と大学・研究機関の連携例（軽水炉持続プログラム）

概要

- 米国エネルギー省 (DOE) は、原子力エネルギーの研究開発ロードマップを2010年に策定し、これに基づき 軽水炉持続プログラム (LWRS) を実施。
- DOEは既存炉の寿命延長等に関する技術的基礎の確立を目指し、以下の具体的な研究開発領域を設定し、研究開発を実施。

研究 開発 領域	①材料の経年劣化	②原子炉安全
	③リスク情報を活用した安全裕度の評価	
	④改良型計器・情報・制御システム技術	
- 本プログラムでは、アイダホ国立研究所を中心とした国立研究所の研究インフラ・資源を活用するとともに、米国電力研究所 (EPRI)を中心とした産業界等と連携・共同して展開。また、米国原子力規制委員会 (NRC)とも連携。



出典: https://lwrs.inl.gov/Technical%20Integration%20Office%20Presentations/McCarthy_WIN_RegionII_Feb_2014.pdf

連携内容

- DOEでは、民間で取り組み難い 科学的な基礎や広く応用できる技術基盤を中心に研究開発を実施。また、EPRI等との共同研究を通してコストシェアも図られている。
- 産業界では、EPRIが中心となって長期間運転プログラム (LTO) を実施。具体的には、科学的基礎に基づいた、安全や長期運転に資する技術の開発を実施。
- DOEとEPRIで覚書を締結し、プロジェクト毎に 連携 (Coordinated activity) や共同 (Collaborative activity) が図られている。

共同 (Collaborative activity)	連携 (Coordinated activity)
<ul style="list-style-type: none"> ➢ <u>実施計画の策定及び研究開発の実施を共同</u>で行う ➢ 共同出資を行うものもある ➢ 共同のマネージメントは、効果的かつ効率的に実施できる方 (LWRS、LTO、LWRS/LTO) がリードする (プロジェクト毎に判断) 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ <u>実施計画の策定で連携</u>するとともに、<u>研究開発の重複やギャップを避けるためにコミュニケーション</u>を実施 ➢ 連携のマネージメントはDOEかEPRIのいずれか、あるいは共同で実施 (プロジェクト毎に判断)

米国における産業界と大学・研究機関の連携例（軽水炉持続プログラム）

LWRSとLTOでの連携・共同の例



LWRS Program R&D Activity	Related LTO Program R&D Activity	Coordinated Activity	Collaborative Activity	Program Unique Activity
Materials Aging and Degradation	Understanding, Prediction, and Mitigation of Primary System Aging Degradation			
Expanded Materials Degradation Assessment				LWRS
	Materials Degradation Matrix and Issues Management Tables			LTO
RPV – High Fluence, Materials Variability, and Attenuation Effects on RPV Steels	RPV Embrittlement from Long-Term Fluence (focus on power reactor surveillance capsules irradiation and analyses)	LWRS-LTO joint lead		
Mechanisms of Irradiation-Assisted Stress Corrosion Cracking (IASCC)	IASCC: Identifying Mechanisms and Mitigation Strategies for IASCC of Austenitic Steels and LWR Core Components		LWRS-LTO joint lead	
Irradiation Effects (core internals – IASCC, swelling, phase transformations, and segregation)	Irradiation Effects (core internals – IASCC, swelling, and phase transformations)	LWRS-LTO joint lead		
Crack Initiation in Ni-Base Alloys	Environmental-Assisted Cracking: Evaluation of Crack Initiation and Propagation Mechanisms in LWR Components	LWRS-LTO joint lead		
EAF	EAF – long-term focus; EPRI has a short-term focus effort (i.e., current operating plants) as well	LWRS-LTO joint lead		
Thermal Aging of Cast Austenitic Stainless Steel (CASS)	Thermal Aging of CASS and Stainless Steel Welds	LWRS-LTO joint lead		
Concrete (irradiation effects and alkali silica reaction [ASR])	Comprehensive Aging Management of Concrete Structures		LWRS-LTO joint lead	
Cabling	Technical Basis for Aging Management and Life-Cycle Management of Cables		LWRS-LTO joint lead	

出典) DOE-NE Light Water Reactor Sustainability Program and EPRI Long Term Operations Program – Joint Research and Development Plan

我が国におけるプルトニウムの平和利用

我が国における取組概要

- 我が国は、核不拡散条約(NPT)の下、全ての原子力物質・活動を国際原子力機関(IAEA)保障措置の下に置いており、特にプルトニウムに関しては、平和利用を大前提に、利用目的のないプルトニウムは持たない原則を堅持。
- プルトニウム利用の透明性向上を図ることにより、国内外の理解を得ることが重要であるとの認識から、内閣府は我が国のプルトニウム保有量を毎年公表するとともに、電気事業者に対してプルトニウム利用計画を策定・公表することを求めている。
 (「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方について」(平成15年8月5日、原子力委員会決定))

分離プルトニウムの管理状況

			平成26年末時点	平成27年末時点
総量 (国内+海外)			約47.8トン	約47.9トン
内 訳	国内	(総量)	約10.8トン	約10.8トン
		海外	約37.0トン	約37.1トン
	内 訳	英国	約20.7トン	約20.9トン
		仏国	約16.3トン	約16.2トン

出典:第24回原子力委員会資料第1号



- 平成28年9月に開催された第60回国際原子力機関(IAEA)総会に、石原内閣府副大臣が出席し、政府代表として演説。この中で、『「利用目的のないプルトニウムは持たない」との原則を堅持し、プルスーマルの推進によりプルトニウムを着実に利用する考え』について言及。
- 近年、核不拡散に対する世界的な潮流が強まり、プルトニウム管理とその削減の必要性に対する関心が高まっている中、プルトニウムの回収と利用のバランスを十分考慮し、適切な管理と利用を進めるとともに、従前にも増して透明性の向上を図るための取組が必要。