

# 参考資料

# 目次

1) ゼロリスクはないとの前提での安全への取組 .....	3
2) 地球温暖化問題や国民生活・経済への影響を踏まえた 原子力エネルギー利用の在り方 .....	17
3) 国際潮流を踏まえた国内外での取組 .....	48
4) 平和利用と核不拡散・核セキュリティの確保 .....	50
5) 原子力利用の前提となる国民からの信頼回復 .....	54
6) 廃止措置及び放射性廃棄物への対応 .....	63
7) 放射線・放射性同位元素の利用の展開 .....	79
8) 原子力利用の基盤強化 .....	85

# 1. ゼロリスクはないとの前提での安全への取組

# 過酷事故への対応

- 国会事故調で指摘されている通り、我が国では、外部事象も考慮したシビアアクシデント対策が十分な検討を経ないまま、事業者の自主性に任されてきた。また、知識基盤の共有まで至っていないと認識。
- 欧米では、過酷事故に関する知見の蓄積や共有、必要な対策の検討が図られてきた。

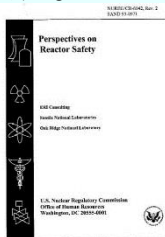
## 米国規制委員会NRCの取組事例

- NRCが主導して、25か国以上が参加する国際プログラム『過酷事故研究共同プログラム (Cooperative Severe Accident Research Program)』を1988年より実施。

### 具体的な取組例

- ✓ 過酷事故の現象解明研究やコードの開発・改良等を実施。また、開発したコードを用いて、事故時の放射性物質挙動などオフサイトへの影響評価を実施。
- ✓ メンバー間でのデータや知見を共有。

- CSARPをはじめとしたNRCが主導する研究プログラムや国立研究所が蓄積した、過酷事故に関するデータ・研究成果等を基に体系化。技術ガイダンスやマネジメントガイド、研修資料を作成。



NRCで作成した研修資料

### Perspectives on Reactor Safety NUREG/CR6042, Rev.2

#### 目次

- 第1章：米国の原子力安全規制の変遷
- 第2章：過酷事故の考え方
- 第3章：原子炉容器内での事故進展
- 第4章：格納容器内での事故進展
- 第5章：オフサイトの事故影響

## 欧州の取組事例

### 過酷事故研究ネットワーク

(Severe Accident Research Network)



- 欧州委員会のフレームワーク6及び7において実施。現在は、**NUGENIA(※)に引き継がれている**。
- 過酷事故に対する理解を深めることを目的とした国際ネットワーク活動。
- 欧州や米国等の21か国から42の研究機関・大学・原子力事業者等が参加。

### 具体的な取組例

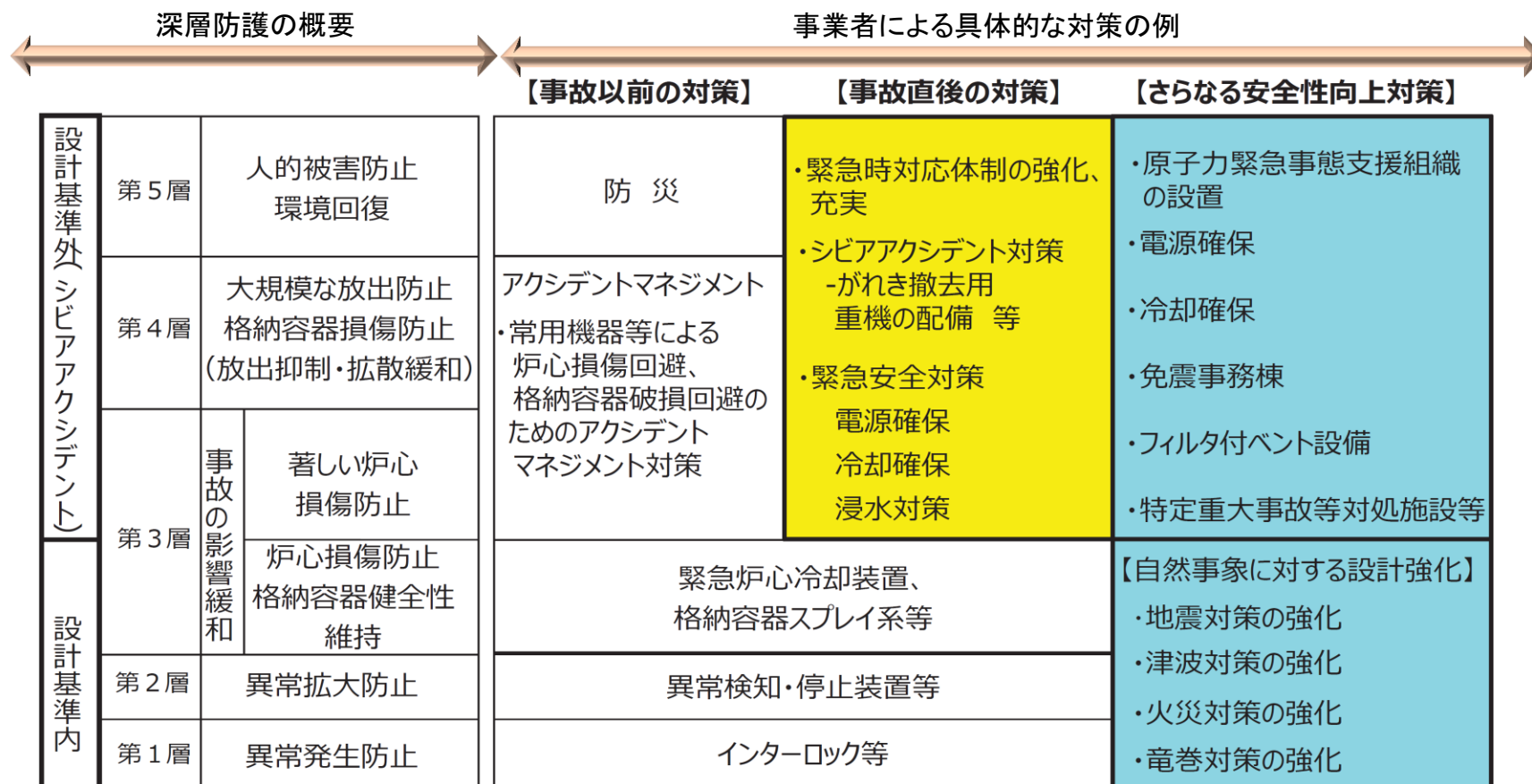
- ✓ 各機関に散在する研究成果や知見を収集して体系化。例えば、研究成果のデータベース化や標準コードの作成。
- ✓ 優先度の高い6つの課題について共同研究を実施。
  - ー 再冠水後の炉心の冷却及びデブリの冷却
  - ー 溶融した燃料とコンクリートが反応した時の炉外溶融プールの性状及びコリウムの冷却
- ✓ 知見を普及させるために、学生や若手研究者等を対象にした一流の研究者による研修・教育プログラム等を実施。また、教科書を出版。

※NUGENIA：欧州を中とした政府、企業、研究開発機関、大学の103のメンバーが参加する枠組



# 深層防護

- 東電福島原発事故後、見直された新規制基準では、「深層防護」を基本とし、その徹底を要求している。
- 事故前の基準では、重大事故対策が規制の対象となっていなかったが、新規制基準では、万一シビアアクシデントが発生した場合に備え、シビアアクシデントの進展を防止する対策を要求している。
- しかし、シビアアクシデントに関する、知識基盤の共有が出来ていない。



(凡例)

福島第一原子力発電所  
事故以前の対策の範囲

福島第一原子力発電所  
事故後の対策の範囲

# 安全文化

- 「安全文化」は、国際原子力機関(IAEA)の国際原子力安全諮問グループ(INSAG)によるINSAG-1(チェルノブイリ事故の事故後検討会議の概要報告書(1986年))において初めて提唱。

※INSAG(International Nuclear Safety Advisory Group):

原子力安全の指導的専門家が主として国際的に重要な安全問題についての情報を交換するために結成された集団

## IAEA INSAG-4:「Safety Culture」(1991 年)

Safety culture is that assembly of characteristics and attitudes in organizations and individuals which establishes that, as an overriding priority, nuclear plant safety issues receive the attention warranted by their significance. The definition relates Safety Culture to personal attitudes and habits of thought and to the style of organizations. A second proposition then follows, namely that such matters are generally intangible; that nevertheless such qualities lead to tangible manifestations; and that a principal requirement is the development of means to use the tangible manifestations to test what is underlying. INSAG takes the view that sound procedures and good practices are not fully adequate if merely practised mechanically. This leads to a third proposition: that Safety Culture requires all duties important to safety to be carried out correctly, with alertness, due thought and full knowledge, sound judgement and a proper sense of accountability.

『安全文化とは、全てに優先して原子力施設等の安全問題が取り扱われ、その重要性に相応しい注意が確実に払われるようになっている組織、個人の備えるべき特性、及び態度が組み合わさったもの』

### ➤ 定義に対する補遺1

定義では、安全文化を個人の姿勢と考え方、並びに組織のあり方と関連づけているが、これらは概ね目に見えないものである。それにも拘らず、このような特質は目に見える形となって現れる。この目に見える形となって現れたものの背後にあるものを検証するための方法を作り上げることが必要である。

### ➤ 定義に対する補遺2

健全な手順や良き慣行を単に機械的に実施するだけでは、完全に適切なものではない。安全文化は、安全上重要な全ての任務を正確に、油断なく、しかるべき考え方、十分な知識、健全な判断及び適正な責任を以って遂行することが必要である。

出典: Safety Culture(IAEA INSAG-4,1991)

## 米国原子力規制委員会(NRC)の安全文化の定義

A good safety culture in a nuclear installation is a reflection of the values, which are shared throughout all levels of the organization and which are based on the belief that safety is important and that it is everyone's responsibility.

- 原子力施設における良い安全文化とは、安全が重要で全員が責任を有しているとの信念に基づく価値観が、その組織の構成員全員に共有されている状態である。

出典: NRCのホームページ(<https://www.nrc.gov/>)

# 国民性と安全文化

- OECD/NEA報告書(2016年)「The Safety Culture of an Effective Nuclear Regulatory Body」でも、安全文化に国民性が影響を及ぼすという指摘がある。

## OECD/NEA報告書(2016年)「The Safety Culture of an Effective Nuclear Regulatory Body」の該当部分(P13)

### National culture's influence on the safety culture

(中略)

The effect of national culture to safety culture of an organisation is twofold. Firstly, the individuals working in an organisation always execute some features of their national culture (e.g. certain values or social norms) in their work behaviour. Secondly, national culture is embedded in the societal structures around nuclear safety (e.g. legislation, education, roles of different stakeholders) which may affect the organisations' activities to a great extent.

National cultures are evolving continuously. The culture, cultural values and the cultural changes depend on the history and origins of the countries, even the climate and environment where the cultures have evolved around the globe have influenced the cultural characteristics. Nowadays also more and more globalisation is influencing the national cultures. These are factors that should be taken into consideration when analysing and developing nuclear safety culture. For example, the cultural trait of individualism versus collectivism and the status quo versus innovation can tend to differ between countries. If the trend of collectivism is strong, it is important to clarify the accountability of individuals on the process of decision-making. Similarly, if the trend of the status quo is strong, it is necessary to establish a climate within the organisation of continuous change to be able to foster the continuous improvement of activities.

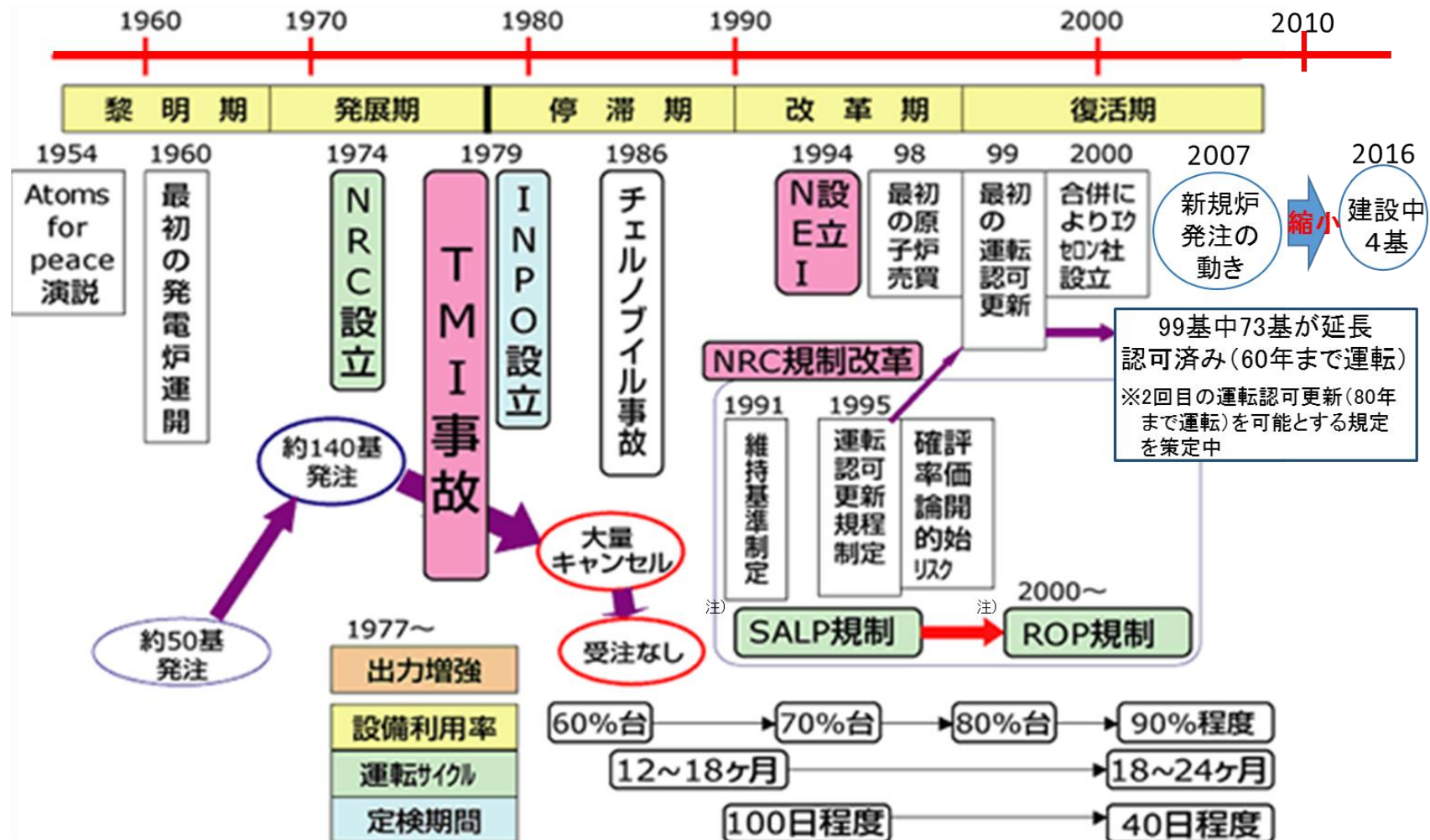
It is important that characteristics of national culture should not be viewed as an impediment to safety culture but rather as characteristics and cultural strengths to be aware of and to be used and fostered in developing safety culture. It is therefore useful for organisations, where possible, to compare experiences and benchmark with similar organisations from their own country as well as internationally.

### 下線部分の仮訳

- 国民性は個人の価値観や社会構造の中に組み込まれている。それが仕事の仕方に影響する。
- 国民の集団主義・集団意識が強い場合は、意思決定に際して、個人の責任を明らかにするのが重要である。現状維持意識が強い場合は、継続的改善活動の推進によって、変革を強化する文化を組織に確立することが必要である。
- 国民性は安全文化確立の障害として考えるのではなく、その特徴を生かす必要がある。国内外の組織と経験を相互比較したり、ベンチマークを実施したりするのも有用だろう。

# 米国における軽水炉利用の経緯①

- 米国では、スリー・マイルアイランド原子力発電所事故以降、原子力発電運転協会(INPO)・原子力エネルギー協会(NEI)等を中心とした自主的な安全性向上やリスクマネジメントの実践とともに、稼働実績及びリスク情報に基づいた規制の導入による客観性の向上に取り組んできた。
- その結果として、重要事象の発生頻度の減少や、稼働率向上、出力向上を達成し、発電電力量の増加にもつながり、安全性と経済性を両立。





# 米国における軽水炉利用の経緯②～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

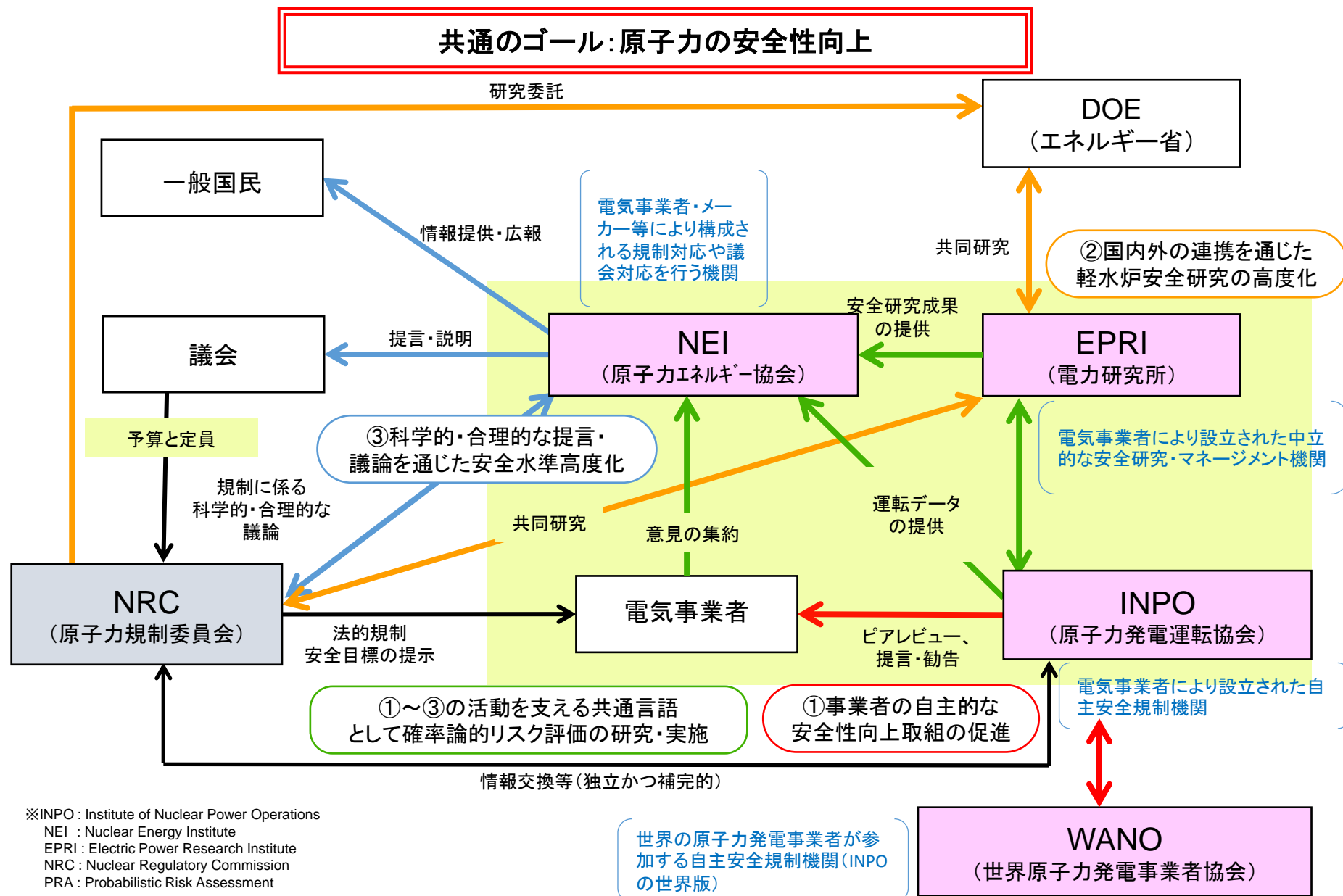
- 1986年 産業界とNRCの協調・コミュニケーションの重要性を指摘した「Sillinレポート」策定
- 1994年 NRCの規制プロセスに対する「Towers Perrinレポート」策定

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

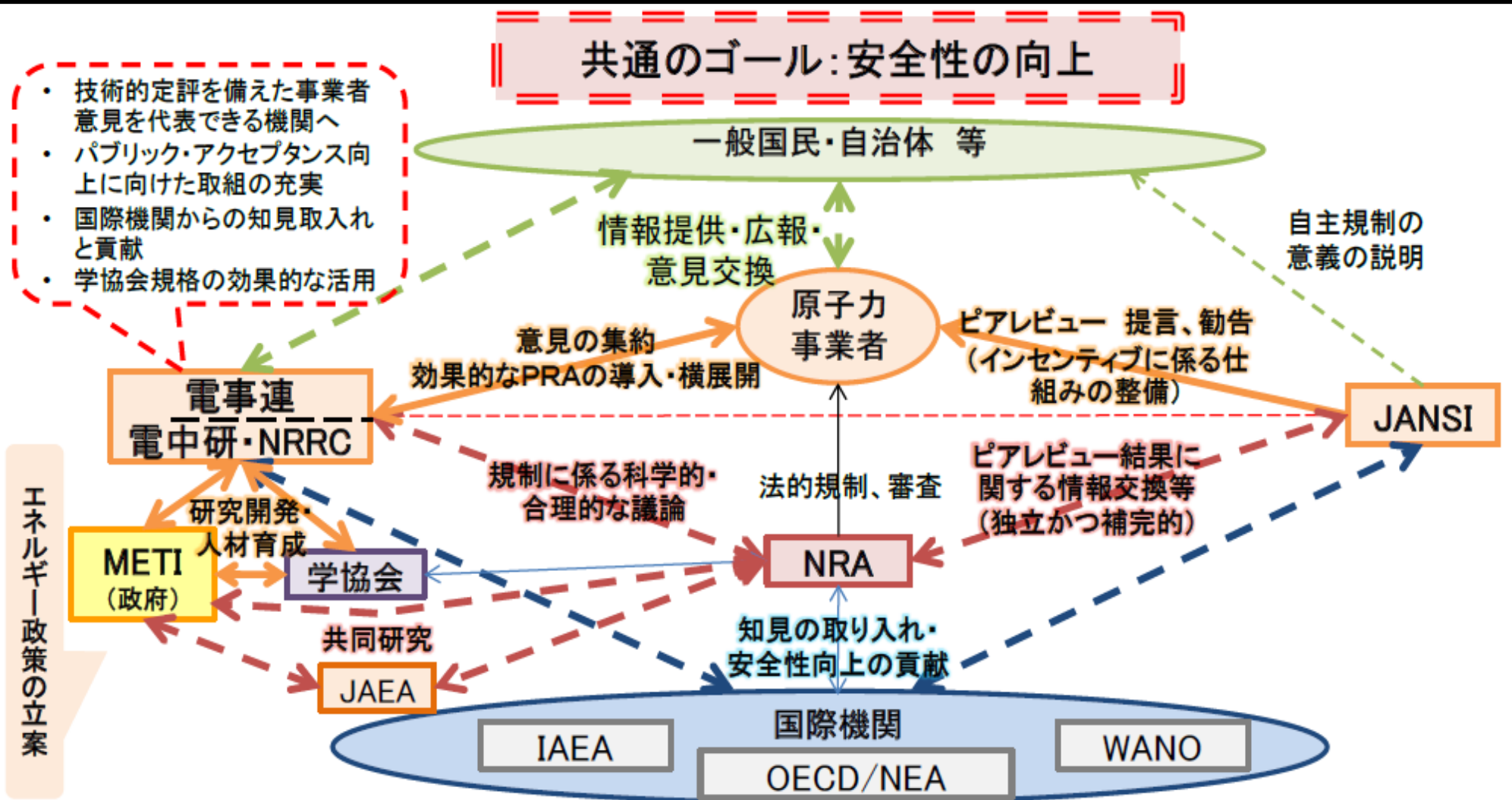
等

# 米国における軽水炉利用の経緯③～自主的安全向上に向けた体制～



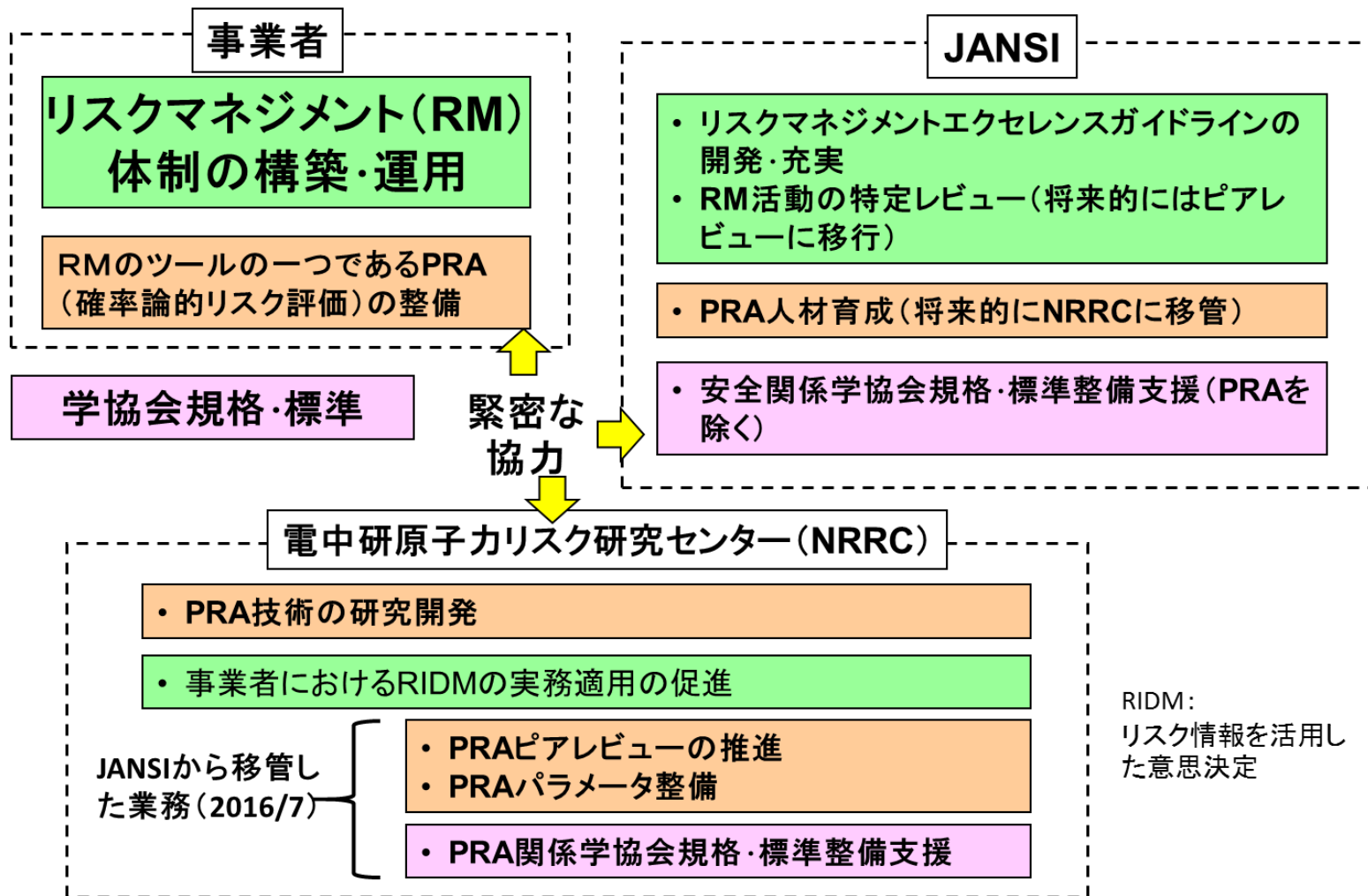
# 自主的安全向上に関する我が国の取組①

- 東電福島原発事故以前、規制基準を満たせば安全であるという認識が原子力関係者に共有され、事業者による継続的かつ自主的な安全性向上に向けた取組が定着してこなかった。
- これを反省し、現在、事業者が中心となって、自主的安全性向上のための活動に取り組んでいる。



## 自主的安全向上に関する我が国の取組②

- 安全性向上の自律的システムの構築に向け、確率論的リスク(PRA)の活用やピアレビューを通じた自主規制について、原子力事業者が取組を進めている。





# 自主的安全向上に関する我が国の取組③～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

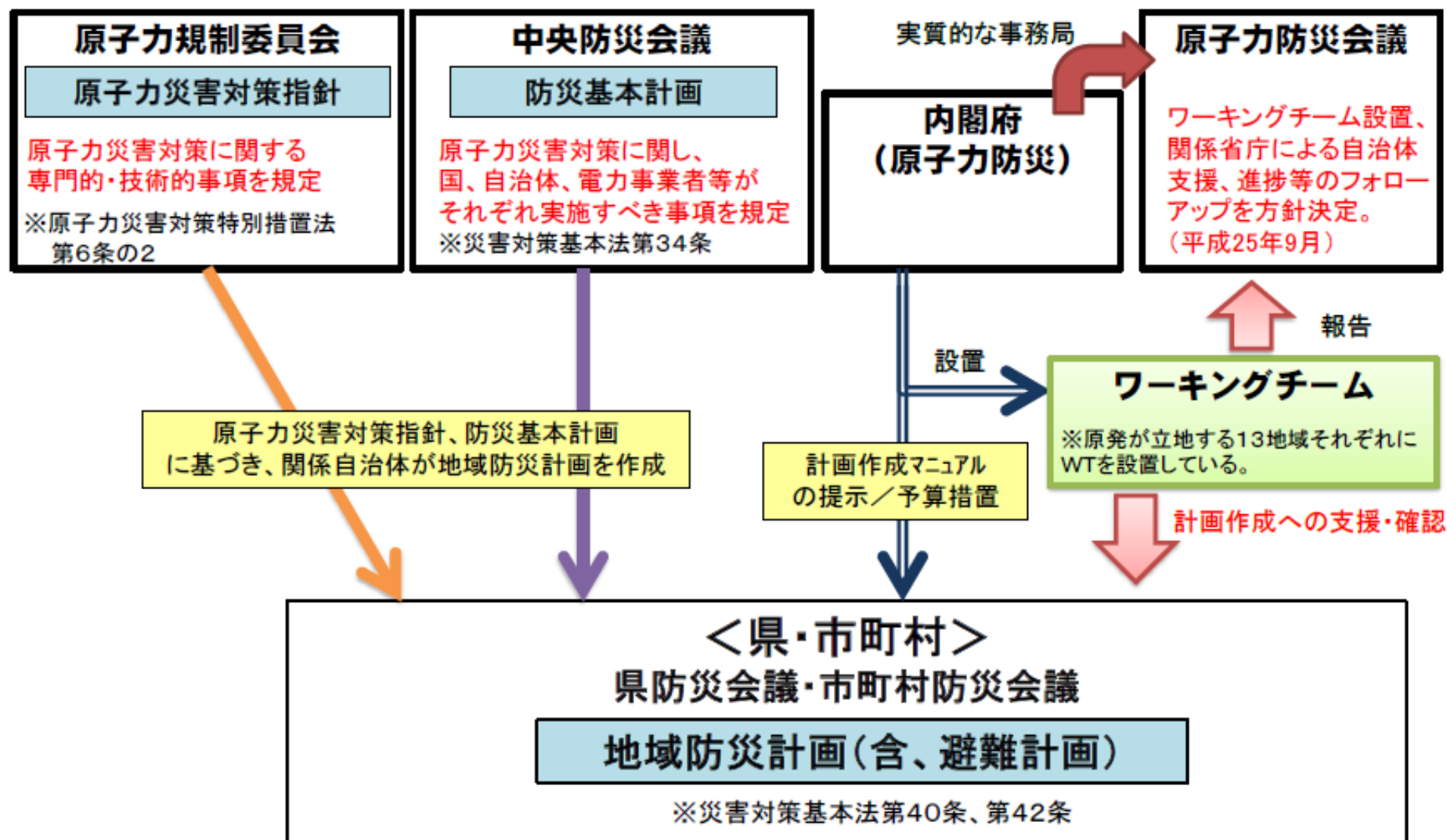
- 各事業者の自主的なリスクマネジメントの強化に加え、低頻度事象に伴うリスクの低減が必要との認識
- このため、事業者の自主的安全性向上の取組に必要な研究開発を実施。
  - ①技術課題解決(発生メカニズム、応答、対策)
  - ②決定論的手法と確率論的手法(確率論的リスク評価:PRAの活用)の効果的な組み合わせ
  - ③一元的研究開発体制構築→現場適用とフィードバックを促進



- ◆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。

# 原子力災害対策に関する枠組みの見直し

- 東電福島原発事故後、原子力災害対策に関する枠組みが抜本的に見直され、「原子力災害対策特別措置法」等の関連法令・指針・計画等が改正された。



# 現行の原子力損害賠償制度

## 【原子力損害の賠償に関する法律】

- 原子力損害の被害者の保護を図り、及び原子力事業の健全な発達に資することを目的とする。
- 原子炉の運転等により生じた原子力損害は、**原子力事業者が賠償責任を負う**。(無過失責任、責任集中、**無限責任**)  
ただし、異常に巨大な天災地変又は社会的動乱によって生じた場合を除く。
- 原子力事業者には、**損害賠償措置**(責任保険契約及び政府補償契約の締結等)を義務付け。

## 原子力損害賠償に係る制度

損害額

原子力事業者による負担(**無限責任**)

(第3条第1項本文)

[ + 必要と認めるときは政府が援助 (第16条) ]

⇒原子力損害賠償・廃炉等支援機構による資金援助

責任保険契約

(原子力損害賠償責任保険契約)

一般的な事故

政府補償契約

(原子力損害賠償補償契約)

地震、噴火、津波

事業者の免責

(第3条第1項ただし書)

政府の措置

被災者の救助及び  
被害の拡大の防止  
のため必要な措置

第17条

異常に巨大な天災地変、  
社会的動乱

原子力事業者(無過失責任・責任集中)

政府

賠償

措置

被害者

損害賠償措置による  
賠償措置額  
最大で1200億円

## 被害者救済手続

原子力損害賠償紛争審査会において①原子力損害の範囲等の判定指針の策定、②賠償に関する紛争の和解の仲介等を実施  
※東電福島原発事故への対応では、②について、審査会の下に置かれた原子力損害賠償紛争解決センター(原賠ADRセンター)で実施

# 原子力損害賠償制度の見直しの方向性及び論点の整理（概要）

## I. 原子力損害賠償制度の基本的枠組み

- ◆原子力損害と認められる損害についてはすべて填補される「適切な賠償」のための制度設計が必要
- ◆税・電気料金による国民負担の在り方について、国と原子力事業者の責任分担等に関する議論と併せて検討が必要
- ◆エネルギー基本計画における原子力の位置付けや電力システム改革を受け、原子力事業者の予見可能性確保の観点に留意が必要

## II. 原子力損害賠償に係る制度の在り方

○無過失責任、責任集中 ⇒ 現行制度の考え方及び我が国が締結している原子力損害補完的補償条約(CSC)を踏まえ、現行制度を維持

○原子力事業者の責任の範囲(無限責任・有限責任)について、以下のとおり論点を整理

### 無限責任に関する論点

- ・現行の賠償措置額(最大で1,200億円)は重大事故のための備えとしては過小であり、**引上げが必要**。ただし、民間保険契約の大幅な引上げは困難
- ・損害額が賠償措置額を超えた場合の**原賠法第16条に基づく国の措置**について、国が**どのような措置を行うべきか検討が必要**

この他以下のような意見があり、併せて検討

- ・国が民法第715条(使用者等の責任)に類する責任を負うべき
- ・事故の態様に応じ柔軟な対応ができるよう原賠法第16・17条を改正すべき

### 有限責任に関する論点

- ・原子力事業者の予見可能性を確保する観点から、**原子力事業者の賠償責任を制限し、有限責任とすることが必要**
- ・責任限度額は重大事故に対応できるよう**相当高額とすることが必要**
- ・責任限度額を超える損害が生じた場合には**国家補償が必要**
- ・賠償に公的資金を投入する場合には、**原子力事業者の法的整理を行い、ステークホルダーに責任を負わせることが必要**

(有限責任に関する反対意見)

- ・原子力事業者に**過失等がある場合には、有限責任は不適当**
- ・安全性向上への投資の減少という**事故抑止の観点から問題**
- ・国家補償を行う場合の**財源が問題**

○原子力事業者の免責規定 ⇒ 免責規定の適用の在り方や、免責となった場合の国の措置について検討

## III. 被害者救済手続の在り方

○国による立替払い ⇒ 東電福島原発事故への対応として立法された**国による賠償の立替払いの制度**について、原子力事業者による本賠償・仮払いが迅速に行えないなどの場合に備え、**法改正が必要**

○時効中断効 ⇒ 東電福島原発事故への対応として立法された**裁判外紛争解決手続(ADR)**を利用した際の**時効中断効**について、**一般化するための法改正が必要**

○和解仲介以外の紛争解決手続 ⇒ 紛争解決ニーズに即して実効的な解決を図る観点から、**原子力事業者によるADRにおける和解仲介の尊重の方法や、拘束力を持った手続を追加的に整備するか否かについて検討**

## 2. 地球温暖問題や国民生活・経済への影響を踏まえた 原子力エネルギー利用の在り方

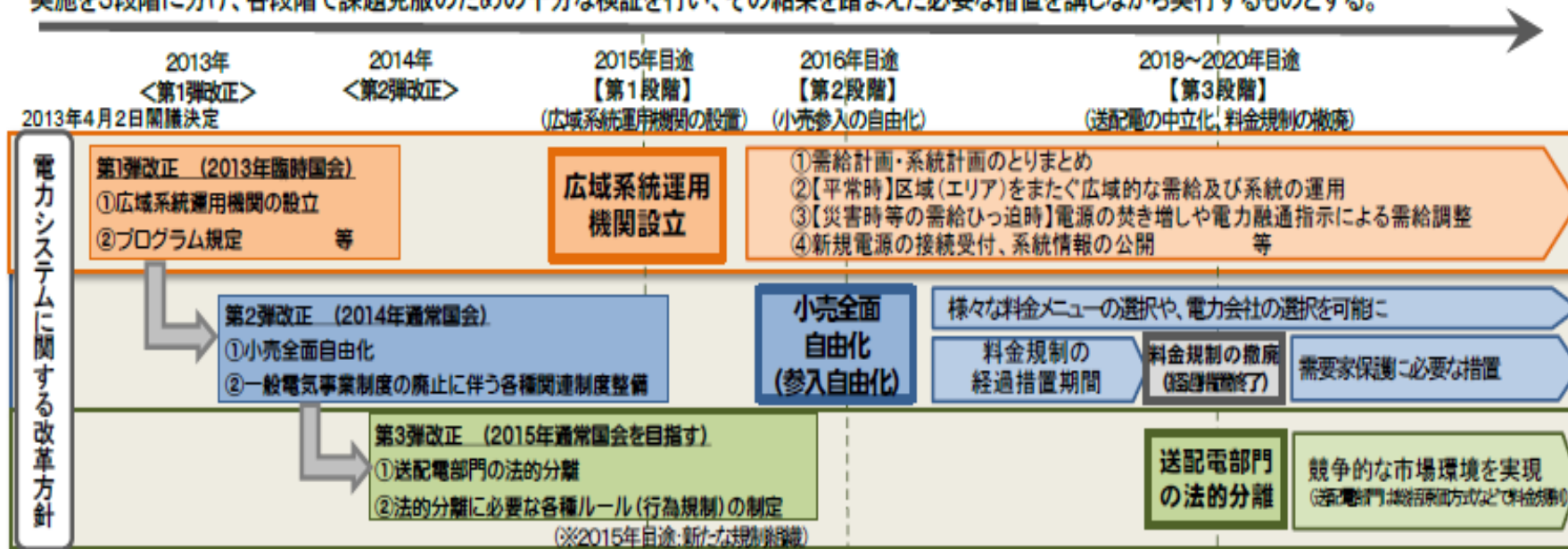


# 我が国における電力自由化の進展

- 従来までは、総括原価方式や地域独占による料金規制の下、巨額な設備投資等の費用回収が担保される環境下で事業が行われてきた。
- 電力小売全面自由化に伴って、**国内電力市場の競争環境が出現**した。

## 電力システム改革の工程

実施を3段階に分け、各段階で課題克服のための十分な検証を行い、その結果を踏まえた必要な措置を講じながら実行するものとする。



(注1) 送配電部門の法的分離の実施に当たっては、電力の安定供給に必要な資金調達に支障を来さないようにする。

(注2) 第3段階において料金規制の撤廃については、

- ー 送配電部門の法的分離の実施と同時に、又は、実施の後に行う。
- ー 小売全面自由化の制度改正を決定する段階での電力市場、事業環境、競争の状態等も踏まえ、実施時期の見直しもあり得る。

出典：総合資源エネルギー調査会原子力事業環境整備検討専門WG第1回会合（平成27年8月）参考資料1

(参考)「総括原価方式」の電気料金：総原価と電気料金の収入が等しくなるように設定

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{総原価} \\ \hline \text{電気料金を安定的に供給するために必要な費用} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{営業費} \\ \hline \begin{array}{l} \cdot \text{燃料費} \\ \cdot \text{購入電力料} \\ \cdot \text{減価償却費} \\ \cdot \text{人件費等} \end{array} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{事業報酬} \\ \hline *1 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{控除収益} \\ \hline *2 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{電気料金収入} \\ \hline \end{array}$$

\*1) 発電所や送電線など電力設備運用のための資金調達によって発生する支払利息や配当など  
\*2) 電気料金以外で得られる収入(他社販売電力料など)

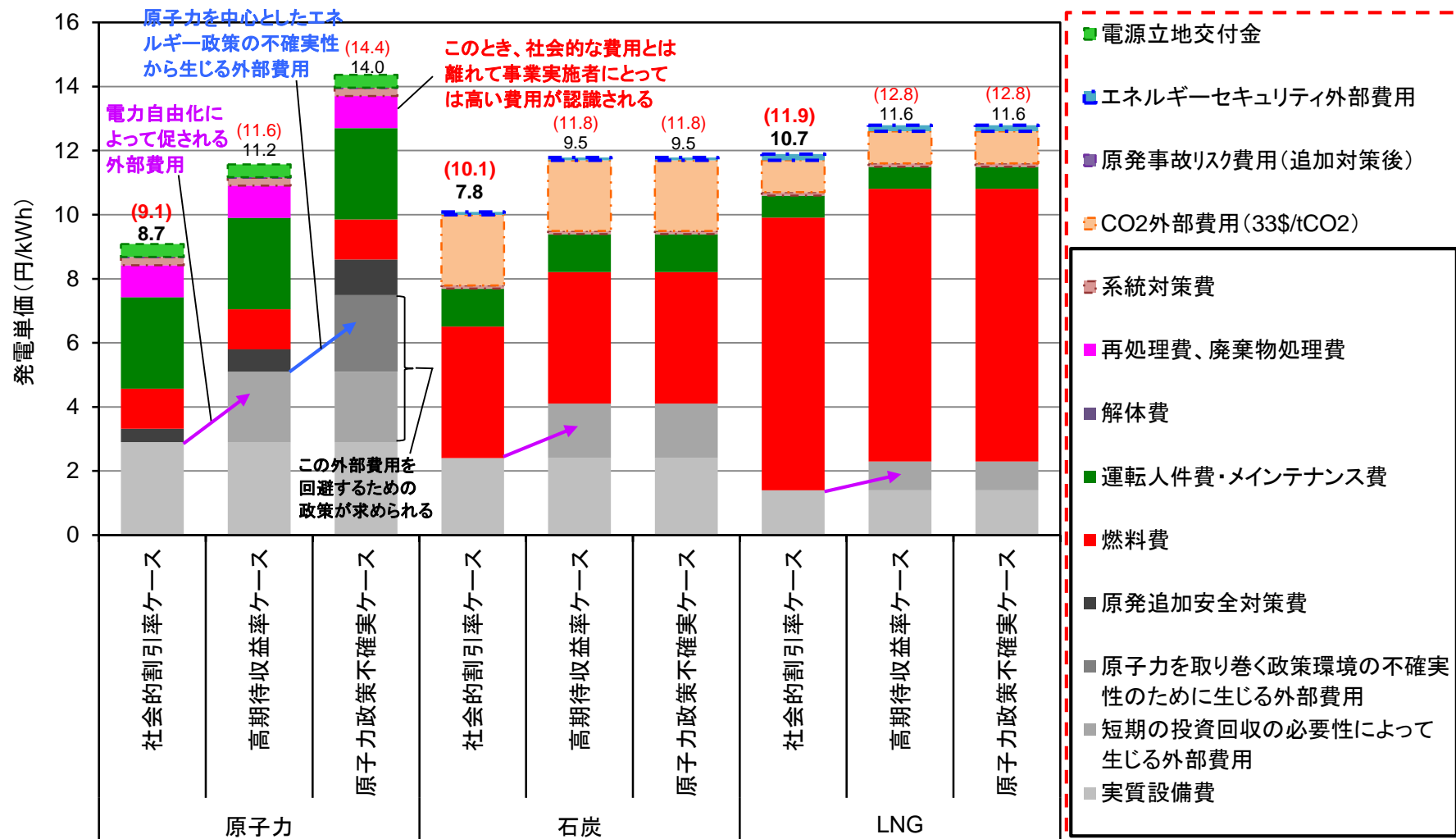
出典：資源エネルギーHP「電気料金の仕組み」

# 競争環境下における事業者のコスト認識（日本）

- 原子力発電では、設備投資等の巨額な初期投資を回収する期間が長期に及ぶとともに、政策変更リスク等多くの特殊なリスクから事業の予見可能性の確保が難しい状況である。

「社会的割引率ケース」：割引率5%  
 「高期待収益率ケース」：割引率10%  
 「原子力政策不確実ケース」：割引率15%  
 と想定した場合

RITEによる2030年のコスト評価  
 を基に試算したもの



# 欧米諸国の電力自由化と原子力の状況

- 欧米諸国では、1990年代以降、電力自由化を進めてきた。
- 一定の競争環境が存在する英国では、FIT-CfD制度(※)の導入による投資リスクの低減を図っている。

(※) FIT-CfD制度

原子力を含む低炭素電源の投資回収に必要な予想価格と卸電力市場での市場価格との差分を発電事業者に提供する制度

国	電力自由化の状況	原子力の状況
イギリス	1990年以降、国営電力会社の分割民営化とともに自由化を推進、現在は、6大電力会社の間で一定の競争。	野心的な低炭素目標を達成するために新增設を進める計画を立て、差額契約による固定価格買取制度（FIT-CfD）を原子力発電に適用。
フランス	2000年代に自由化はしているが、競争はそれほど進まず、フランス電力公社の一強体制。	将来的に今の高い依存度は低下させる方針だが、原子力は維持する。
ドイツ	1990年代後半から自由化を進め、現在は4大電力会社の間で一定の競争があるが、再エネの増加に伴う賦課金で、電気料金は上昇。	2011年に脱原子力政策を決め、2022年までに全原子力発電所を廃止予定。バックエンドの事業者の費用負担について、国も検討を開始。
米国	1990年代から自由化している地域と、今でも自由化していない地域が存在、電源間の競争は進んでいる。	新設は自由化していない地域で計画。先進的原子力発電プラントの建設に対しては、連邦政府が債務保証。

出所：各国公表資料に基づき電力中央研究所にて作成



# パリ協定の概要及び主要国の温室効果ガス削減目標

- 2015年12月のCOP21において、「京都議定書」に代わる、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組み「パリ協定」を採択。史上初めて、全ての国が参加。

目的	<ul style="list-style-type: none"><li>● 世界全体の平均気温の上昇を産業革命前に比べ2℃未満に十分に(“well below”)抑える。</li><li>● さらに、1.5℃に抑えるような努力を追求する。</li></ul>
目標	<ul style="list-style-type: none"><li>● 上記の長期目標を達成するため、世界の温室効果ガス排出をできる限り早期にピークにする。</li><li>● その後、急速に削減し、今世紀後半には、温室効果ガスについて人為的起源排出とシンクによる吸収をバランスさせる。</li></ul>
各国の目標	<ul style="list-style-type: none"><li>● 全ての国が、削減目標を作成・提出する(目標達成は義務ではない)。5年毎に提出・更新する(更新にあたっては、従前の目標に比べて前進させるよう求めている)。</li></ul>
報告・レビュー	<ul style="list-style-type: none"><li>● 5年ごとに世界全体としての実施状況を検討する仕組み(グローバル・ストックテイク)。</li><li>● すべての国が共通かつ柔軟な方法でその実施状況を報告しレビューを受ける。</li></ul>

## 主要国の温室効果ガス削減目標

※我が国は、エネルギーミックスと統合的な温室効果ガス排出を2013年度比で26%削減する目標を提出している

国名	達成年	基準年※1	削減目標
EU	2030年	1990年比	40% ~
米国	2025年	2005年比	26% ~ 28%
ロシア	2030年	1990年比	25% ~ 30%
カナダ	2030年	2005年比	30%
日本	2030年	2013年比	26%
		2005年比	25.4%
中国※2	2030年	2005年比	60% ~ 65%
韓国	2030年	BAU比※3	37%

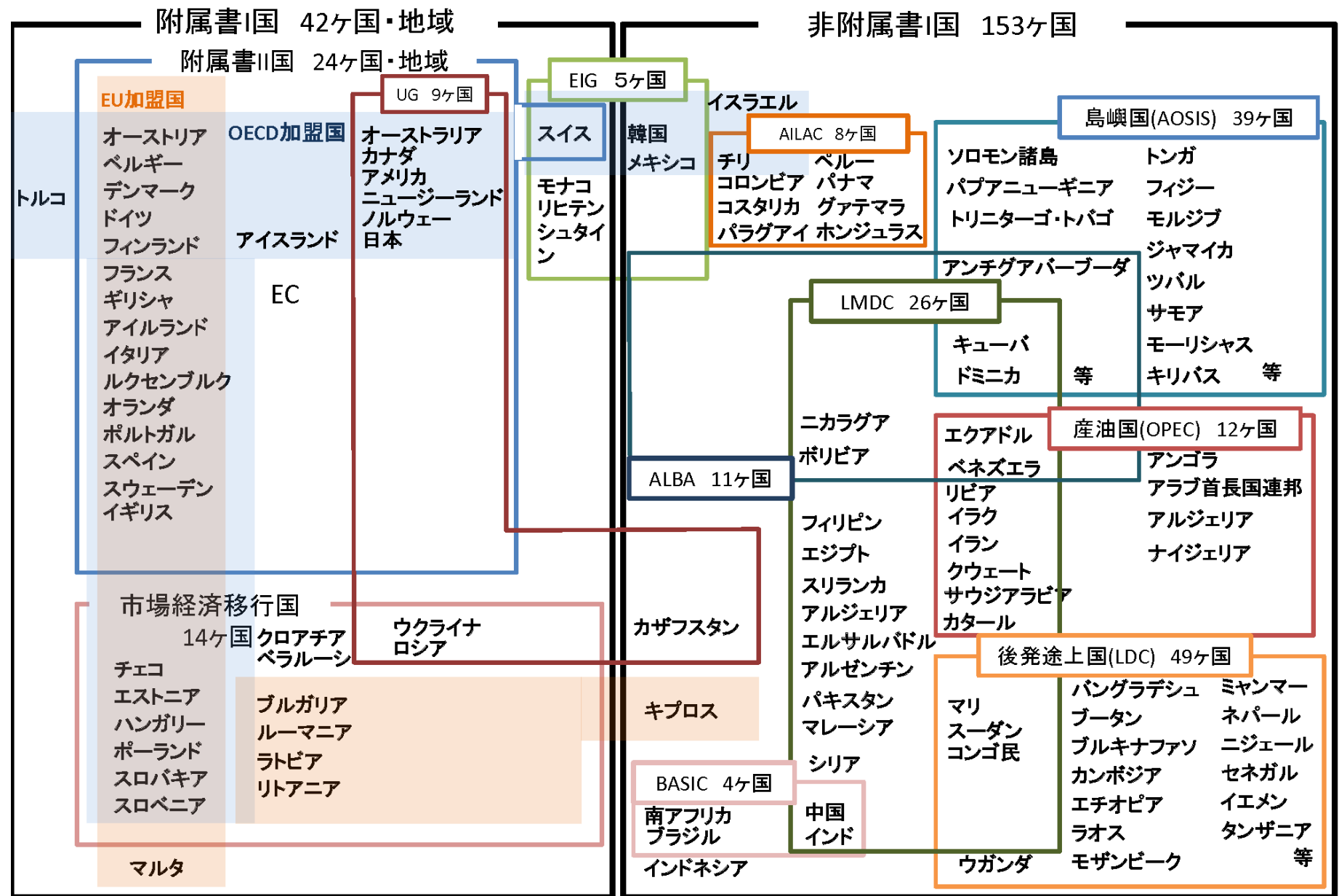
削減目標の基準が他国と大きく異なる

※1: 基準年は国によって異なる。

※2: 中国の削減目標は単位GDPあたりとなっており経済成長に伴う排出量増加が考慮されていない。

※3: 韓国は「何ら対策をとらなかった場合(Business As Usual)」を基準にした削減目標。

# 国連気候変動交渉における交渉グループ



注:オブザーバーは除く

※2015年12月時点

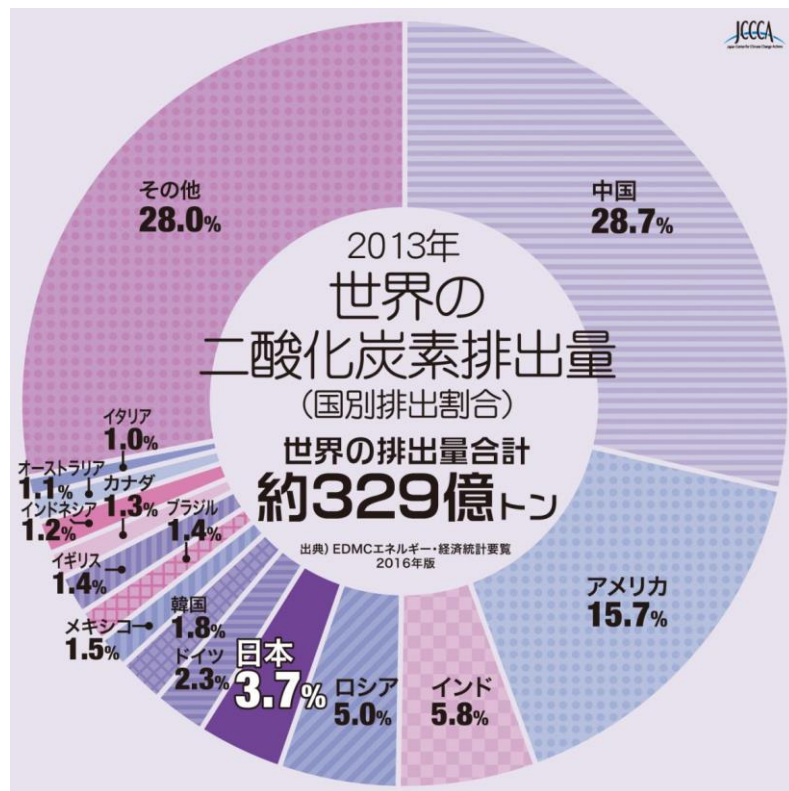
# 世界全体での二酸化炭素排出量

- 世界の二酸化炭素排出量のうち我が国が占める割合は3.7%である。従って、世界全体の温室効果ガスを削減していくには、世界全体で効果的な削減を実現する必要がある。我が国が有する優れた技術を活かし、世界全体の温室効果ガスの排出削減に最大限貢献していくことも重要である。
- 気候感度(※)に留意する必要があるが、気温上昇を66%以上の確率で2℃に抑えるには、2011年以降の人為起源の累積CO<sub>2</sub>排出量を約1兆トンに抑える必要があると言われている。

(※) 気候感度

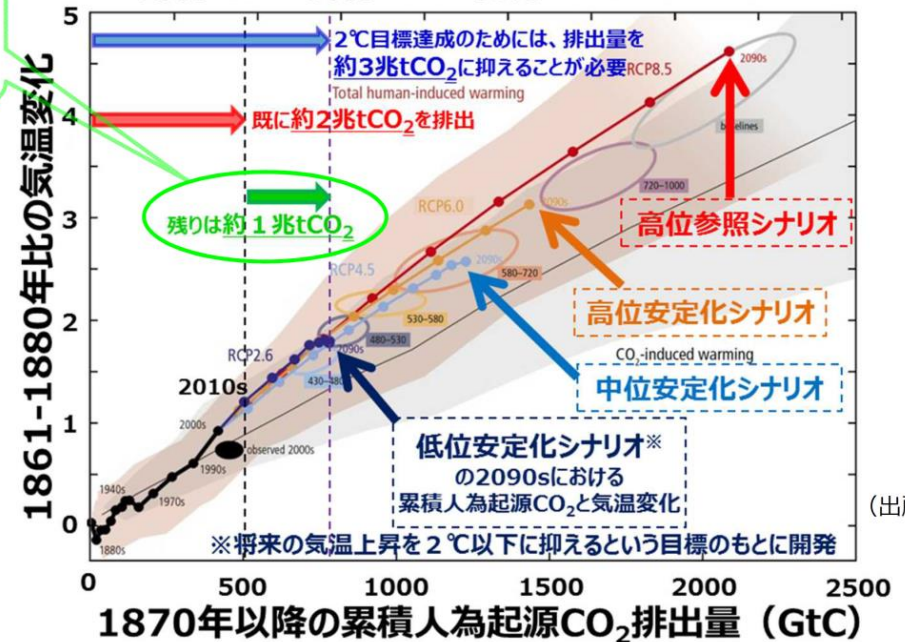
大気中の二酸化炭素濃度を倍増させることにより引き起こされる(気候システムの)変化が平衡状態に達したときの世界平均地上気温の変化量として定義される。

## 世界のCO<sub>2</sub>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/>)

## 【累積人為起源CO<sub>2</sub>排出量と気候変化】 1870年以降の累積人為起源CO<sub>2</sub>排出量 (GtCO<sub>2</sub>)



(出所) IPCC AR5 SYR  
Figure 2.3より作成

出典: 地球環境部会(第135回)配布資料3-3「長期低炭素ビジョン(素案)参考資料集」

# パリ協定を踏まえた我が国の地球温暖化対策の取組

- ▶ 我が国の約束草案(2020年以降の削減目標)として、**2030年度に2013年度比▲26.0%(2005年度比▲25.4%)**を提出。
- ▶ パリ協定及び約束草案を踏まえて策定された「地球温暖化対策計画」では、目標の達成に向けて着実に取り組むこと、長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指すこと等が盛り込まれた。

## 日本の約束草案

- ◆ 我が国の約束草案(2020年以降の削減目標)は、**2030年度に2013年度比▲26.0%(2005年度比▲25.4%)**とする。
- ◆ これは、エネルギーミックスと整合的なものとなるよう、技術的制約、コスト面の課題などを十分に考慮した**裏付けのある対策・施策や技術の積み上げによる実現可能な削減目標。削減率やGDO当たり・1人当たり排出量等を総合的に勘案すると、国際的にも遜色のない野心的な水準。**

## 地球温暖化対策計画

- ◆ パリ協定及び我が国の約束草案を踏まえ、我が国の地球温暖化に関する総合計画として「**地球温暖化対策計画(平成28年5月閣議決定)**」を策定。

### 中期目標(2030年度削減目標)の達成に向けた取組

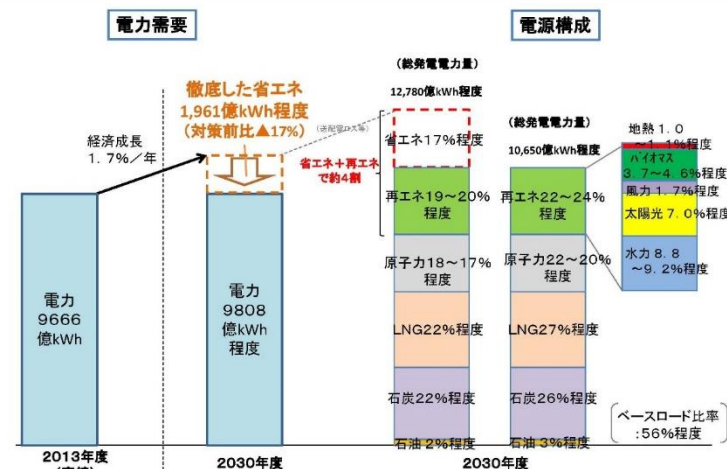
- 国内の排出削減・吸収量の確保により、2030年度において、2013年度比26.0%減(2005年度比25.4%減)の水準にするとの中期目標の達成に向けて着実に取り組む。

### 長期的な目標を見据えた戦略的取組

- 地球温暖化対策と経済成長を両立させながら、長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す。このような大幅な排出削減は、従来の取組の延長では実現が困難である。したがって、抜本的排出削減を可能とする革新的技術の開発・普及などイノベーションによる解決を最大限に追求するとともに、世界全体での削減にも貢献。

### 世界の温室効果ガスの削減に向けた取組

- 地球温暖化対策と経済成長を両立させる鍵は、革新的技術の開発である。また、我が国が有する優れた技術を活かし、世界全体の温室効果ガスの排出削減に最大限貢献する。



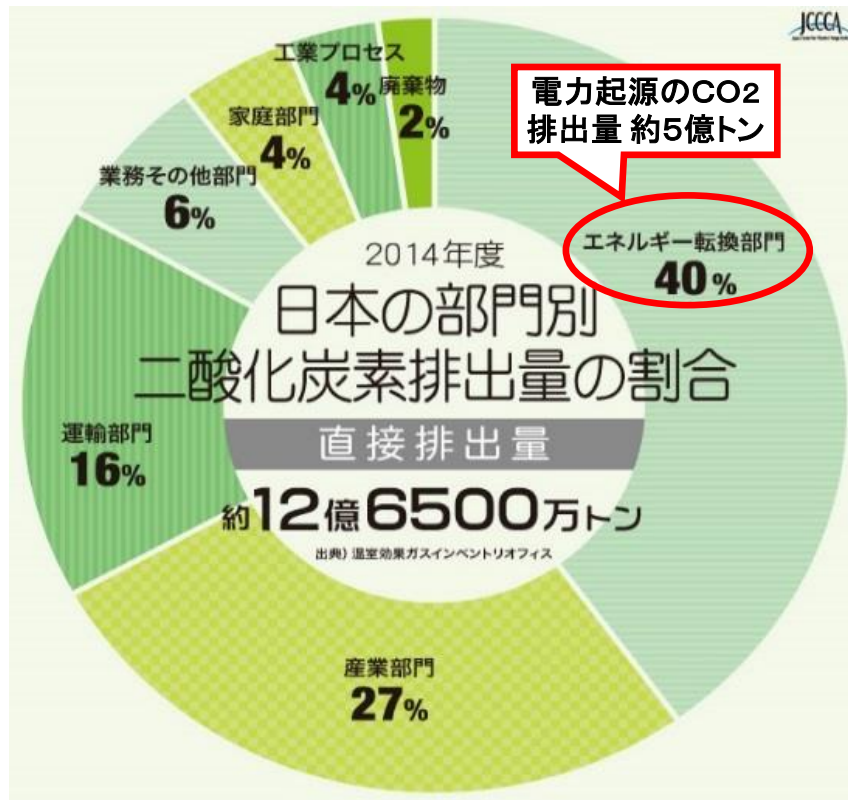
出典:資源エネルギー庁 長期エネルギー見通し関連資料(平成27年7月)



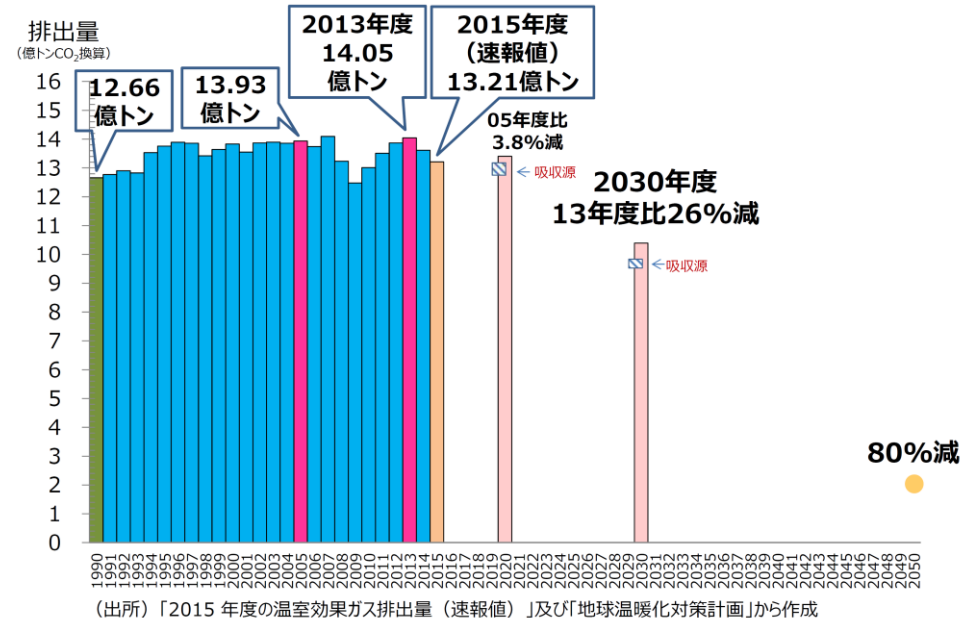
# 我が国の二酸化炭素排出量の推移

- 我が国のCO2排出量は、約12.7億トンである(2014年度)。そのうち、電力起源のCO2排出量は全体の40%を占める。
- 近年の排出量増加は、原発の運転停止による火力発電の増加によって化石燃料消費量が増加したこと等が挙げられる。

## 日本の温暖化ガス排出量の推移と目標(2015 年度速報値)

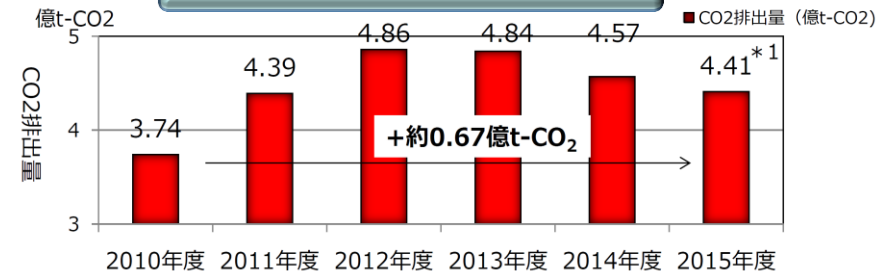


出典: 温室効果ガスインベントリオフィス 全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト(<http://www.jccca.org/>)



出典: 地球環境部会(第135回)配布資料3-3「長期低炭素ビジョン(素案)参考資料集」

## 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)

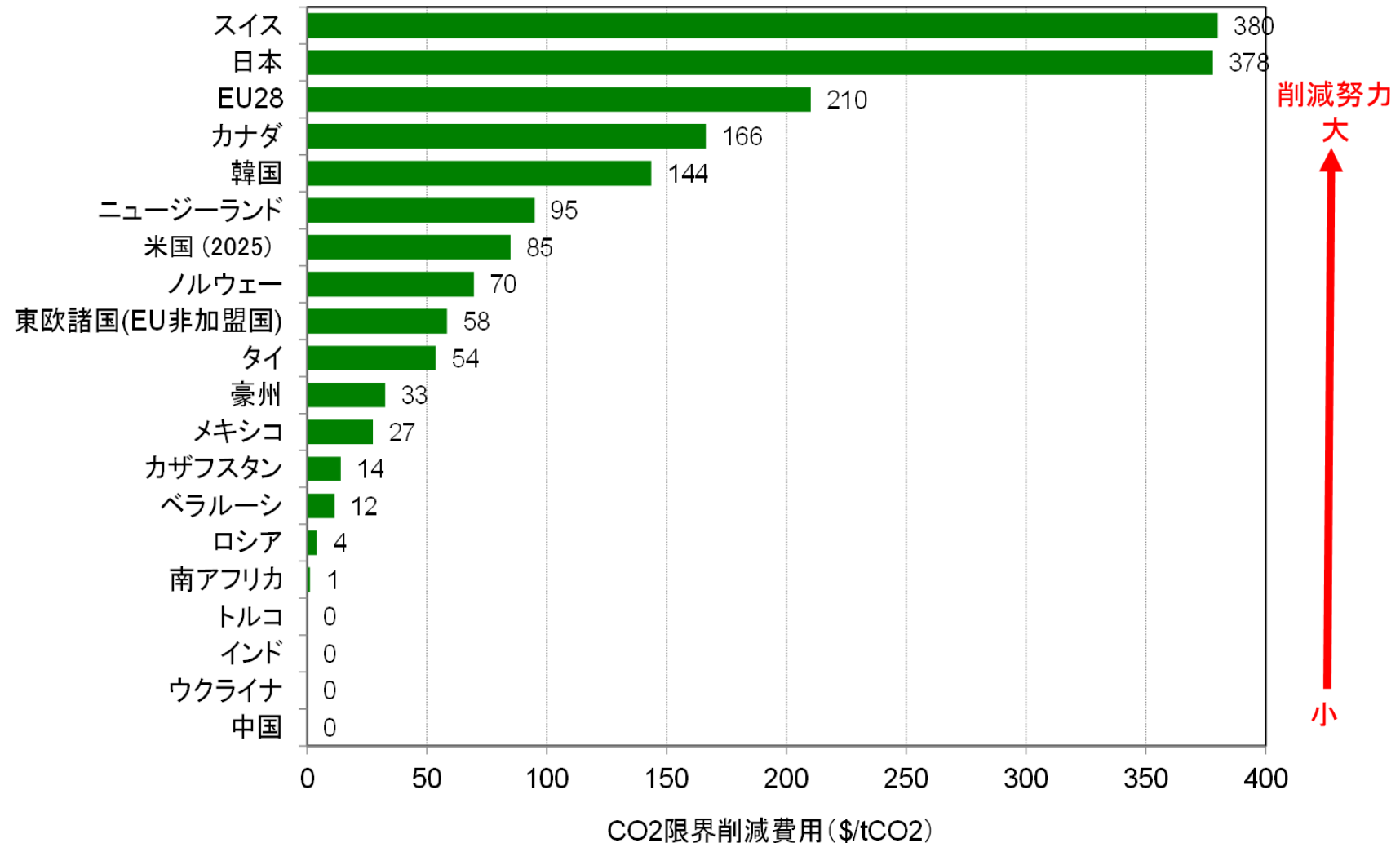
出典: 平成28年第38回原子力委員会資料第3-1号「原子力発電の現状について」(電気事業連合会)

# 二酸化炭素限界削減費用の国際比較

➤ 二酸化炭素の限界削減費用には各国間で大きな差異があり、産業の国際競争力阻害に留意することも必要である。

## 二酸化炭素限界削減費用の国際比較

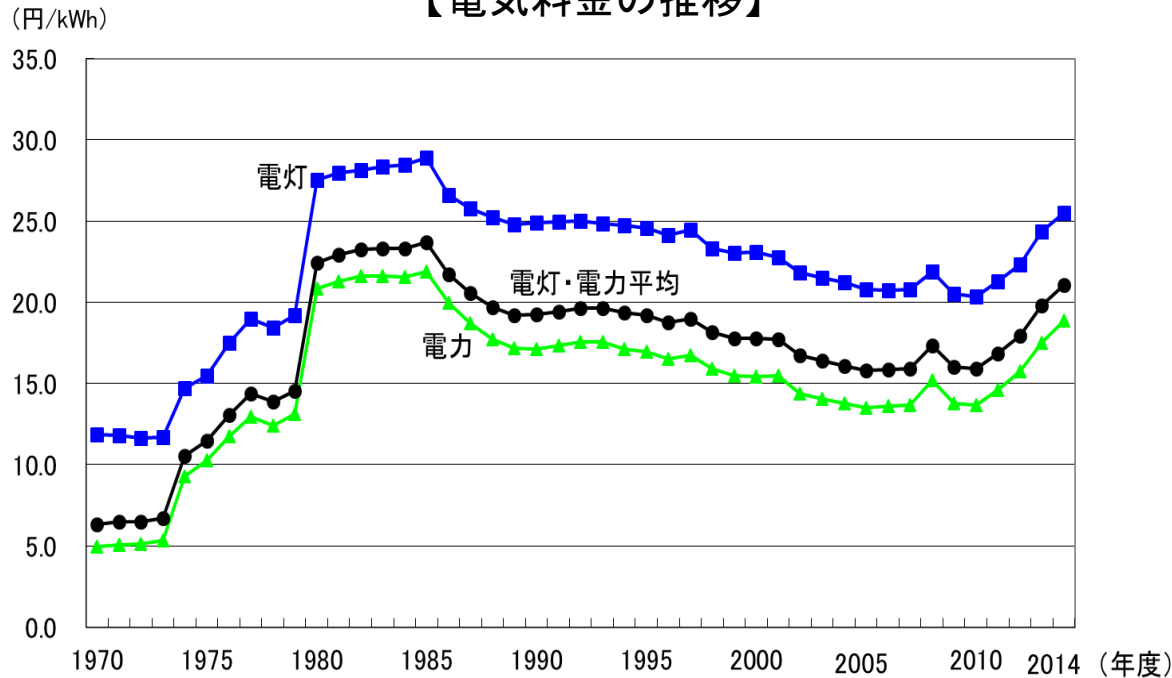
※限界削減費用：追加的に二酸化炭素を一定量を削減するのに必要な費用



# 我が国の電気料金及び燃料費の推移

- 東日本大震災後、**電気料金は産業用(電力)で約3割、家庭用(電灯)で約2割上昇**している。
- 原子力発電の停止等に伴った、火力発電の**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】

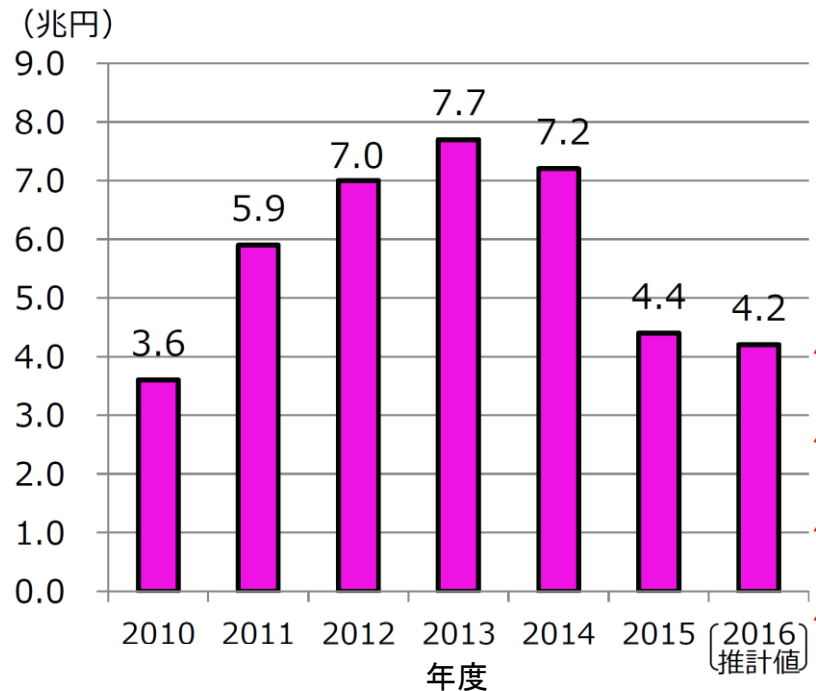


(注1)一般電気事業者10社を対象。

(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

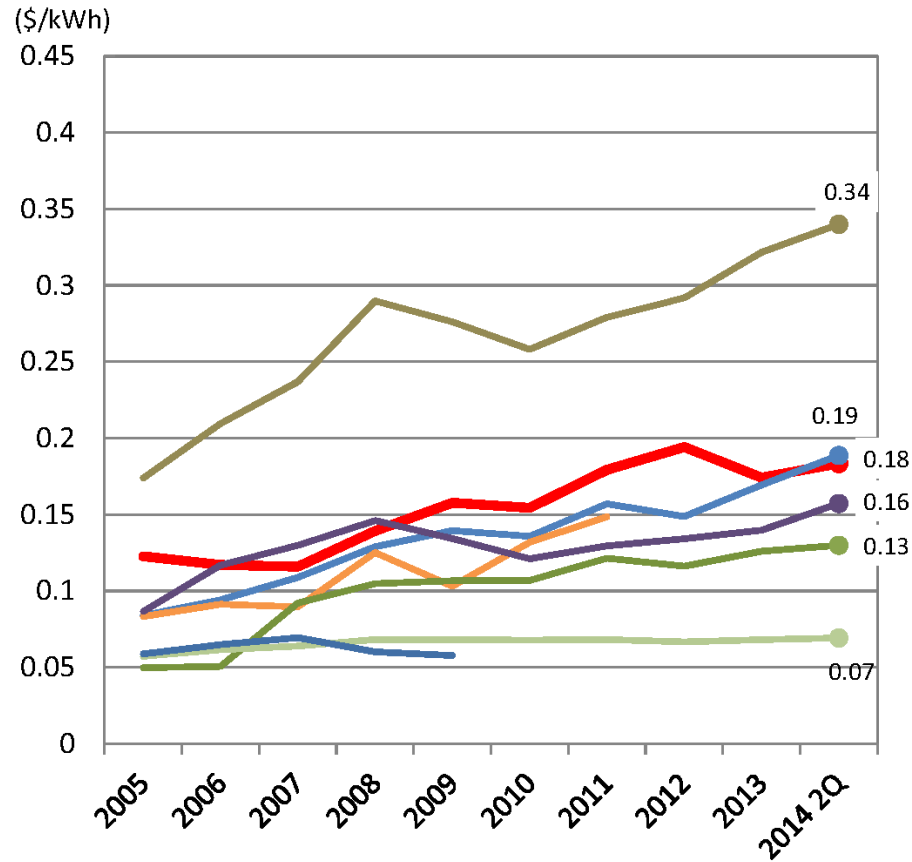
(電気事業連合会調べ)

出典：平成28年第38回原子力委員会資料第3-1号「原子力発電の現状について」(電気事業連合会)を一部編集

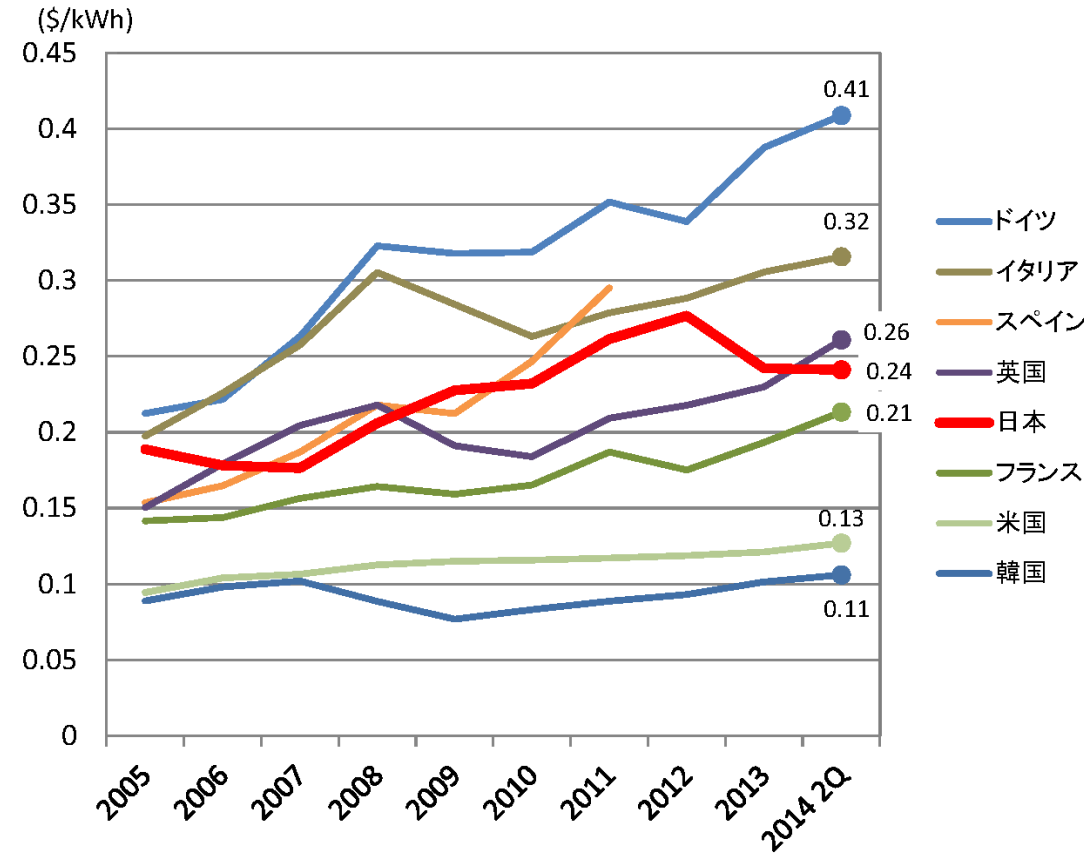
# 電気料金の諸外国との比較

- 我が国の電気料金は、主要国の中で、産業用、家庭用ともに高い状況である。
- また、再生可能エネルギーが電源構成の約3～4割を占めるドイツやイタリアの電気料金も高い状況である。

## 【産業用電気料金】



## 【家庭用電気料金】



(※1) フランスの値が2007年に急激に上昇しているのは、IEAが利用するフランスのデータの出所が変わったことによる。

(※2) 日本の電気料金は震災以降上昇しているが、本グラフではドル建て表記のため、為替相場の影響を反映した形となっている。

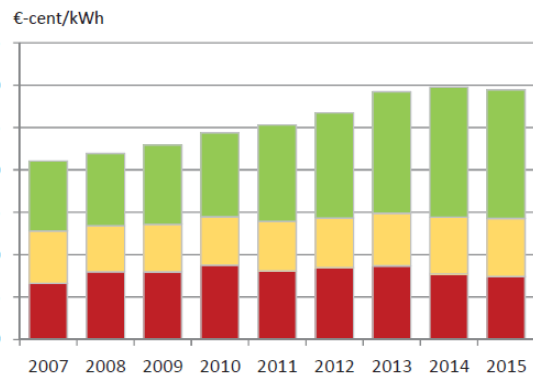
【出典】IEA Energy Prices and Taxes



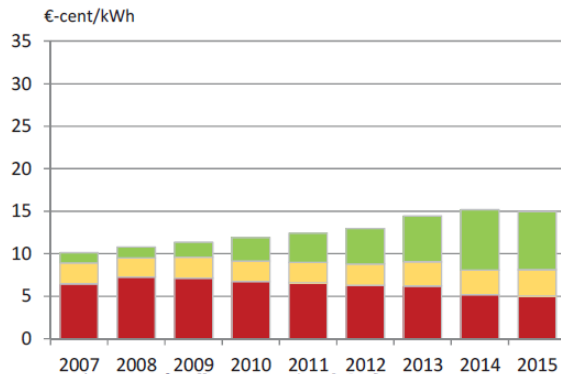
# ドイツ・デンマークにおける電気料金の現状

- ドイツやデンマークでは、再生可能エネルギー比率の急増し、電気料金に占める公租公課部分(再エネ賦課金を含む)が徐々に増加している。

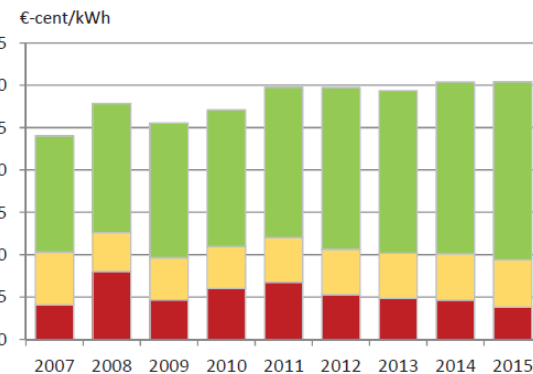
## ドイツとデンマークの電気料金内訳



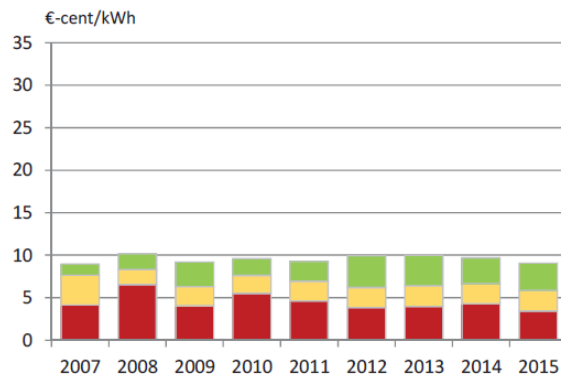
ドイツ:家庭用電気料金



ドイツ産業用電気料金

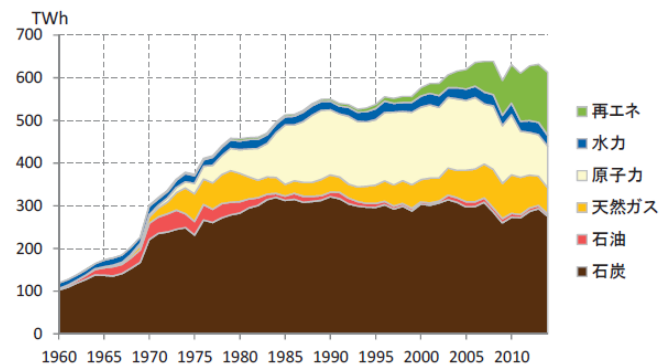


デンマーク:家庭用電気料金

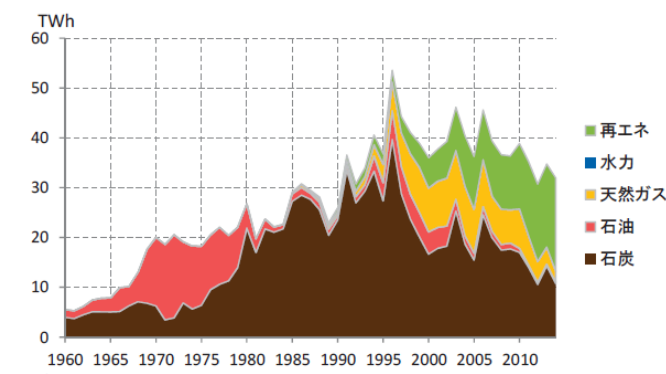


デンマーク:産業用電気料金

## ドイツとデンマークの電源構成の推移



ドイツ



デンマーク

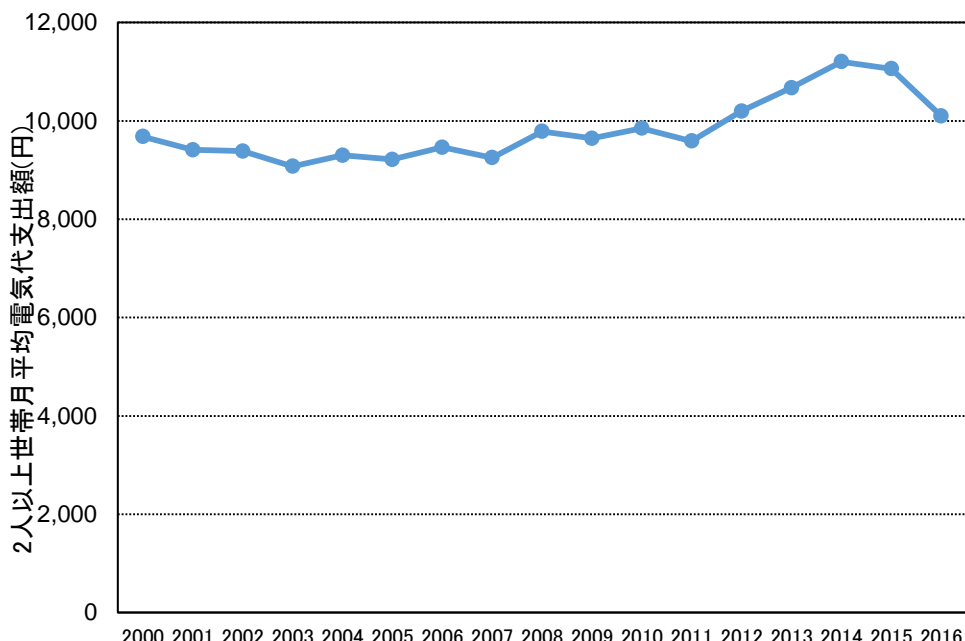
注) 家庭用は、年間利用電力量が2500～5000kWhの需要家の料金  
産業用は、年間利用電力量が500～2000MWhの需要家の料金

出典: (一財)電力中央研究所社会経済研究所 研究資料 Y16501「電気料金の国際比較-2015年までのアップデート-」

# 我が国のエネルギーコストの国民生活への影響

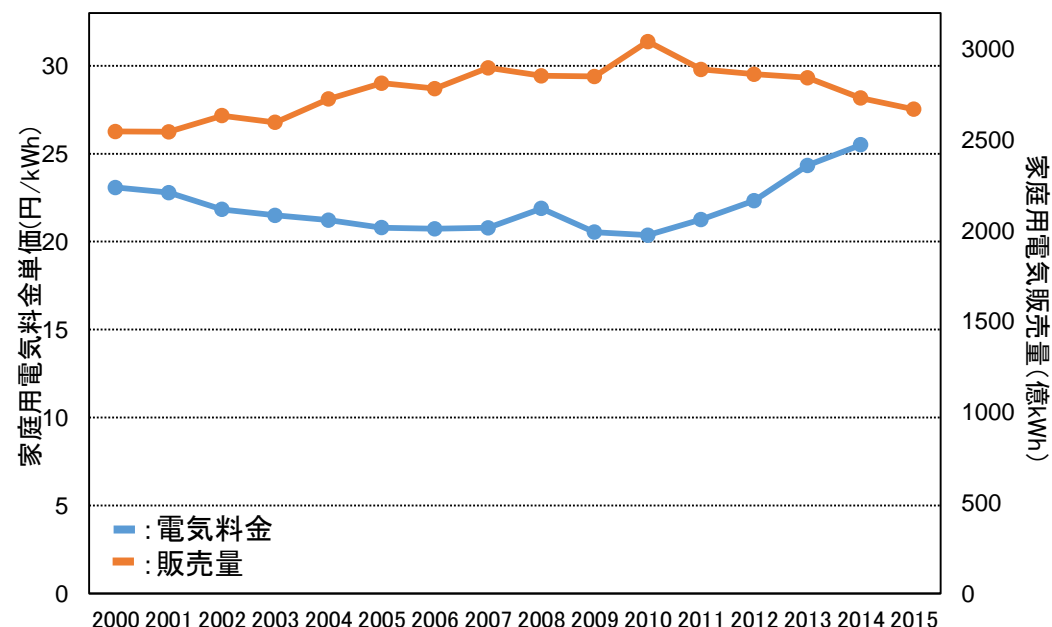
- 家庭用電気料金は、震災以降、25%上昇している(2014年時点)。
- その一方で、月平均での電気代への支出額の増加は抑えられていることから、節電していることがわかる。

2人以上世帯月平均電気代支出額推移



出典:総務省家計調査(家計収支編)

家庭用電気料金及び販売量の推移



出典:電気事業のデータベース(INFOBASE)(電気事業連合会) 注1)販売量は右軸、電気料金は左軸  
注2)一般電気事業者10社を対象。

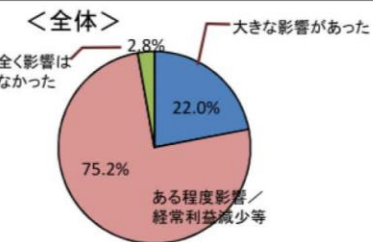
料金及び支出の2010年比

	2010	2011	2012	2013	2014
家庭用電気料金(円)	20.37	21.26	22.33	24.33	25.51
2010年比	—	4%	10%	19%	25%
2人以上世帯 月平均支出額推移(円)	9,850	9,591	10,198	10,674	11,203
2010年比	—	-3%	4%	8%	14%

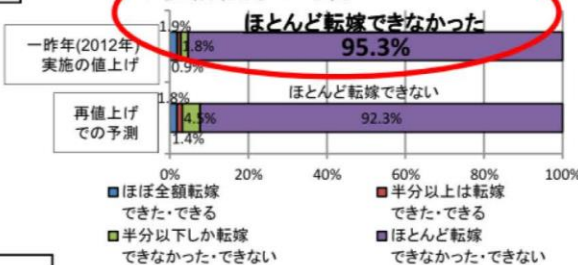
# 我が国のエネルギーコストの経済活動への影響①

- 日本商工会議所(2014)のアンケート結果によると、約95%の企業では電力料金値上げ分の販売価格への転嫁ができず、3割を超える企業が事業縮小策を実施、うち約45%の企業では雇用・人件費の削減を実施。
- 2014年における我が国の製造業従業員一人当たりの年間電気代増額分(震災前比)は、約15.2万円と推計される。また、全製造業の年間電気代増分額は、年間1.17兆円と推計され、これは製造業における約27.4万人分の給与に相当する。

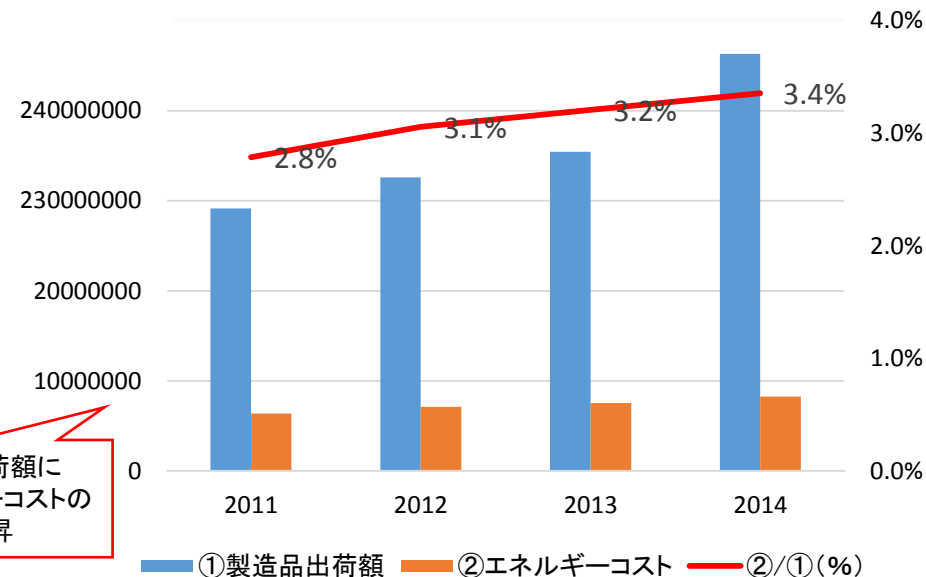
一昨年(2012年)実施された値上げの影響



価格転嫁の可否

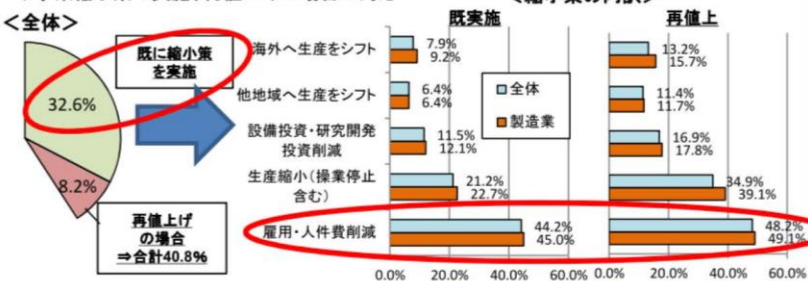


出荷額とエネルギーコストの推移



震災以降、出荷額に占めるエネルギーコストの割合は上昇

◆事業縮小策の実施、再値上げの場合の対応



出典：日本商工会議所 [http://www.jcci.or.jp/260612\\_energykyuujyou.pdf](http://www.jcci.or.jp/260612_energykyuujyou.pdf)

出典：経済産業省 工業統計調査 平成26年確報 産業編

電気料金値上げによる影響

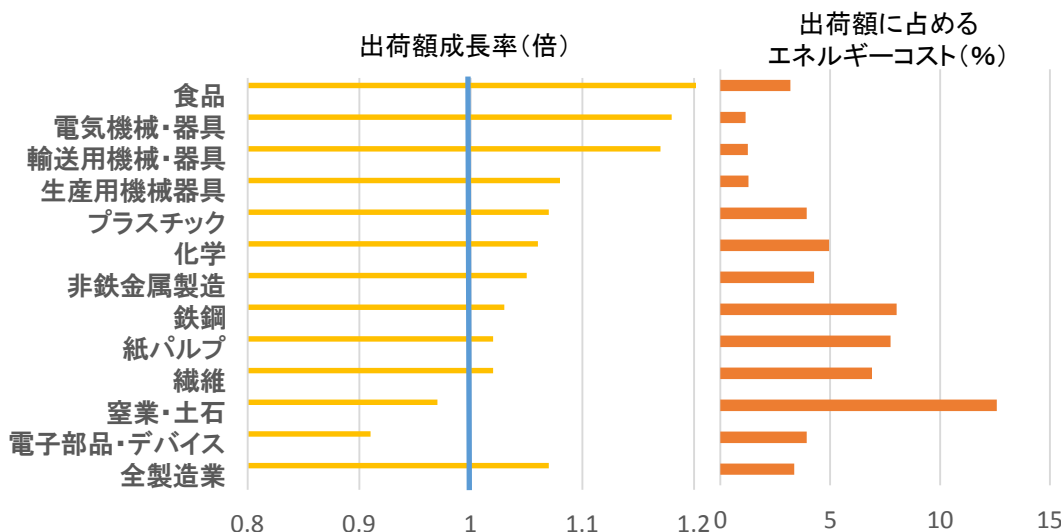
	合計	各電力会社の値上げ幅 (燃調・FIT分は含まず)	燃料費調整制度による 調整額	現稼働開始分のみを 想定したFIT賦課金
製造業従業員一人当たりの年間電気代増額分(震災前比)	約15.2万円	約5.5万円	約7.3万円	約2.4万円
全製造業の年間電気代増分額	約1.17兆円	0.42兆円 (火力発電への代替)	0.56兆円	0.18兆円

出典：(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)システム研究グループ 資料

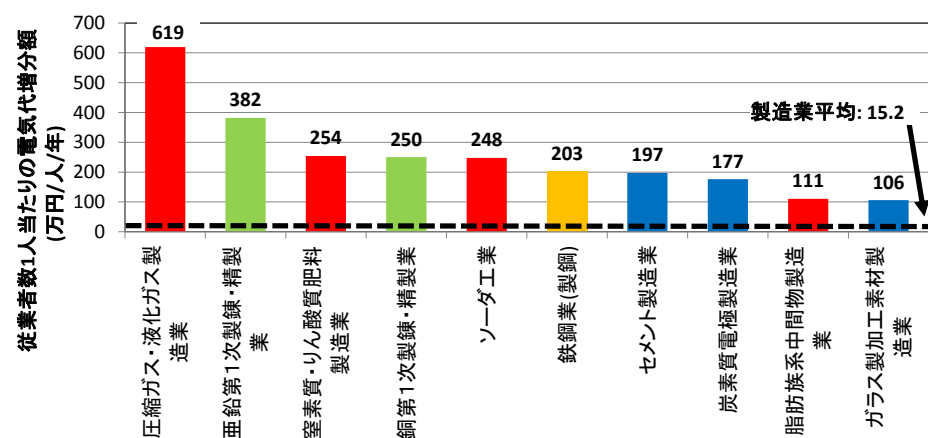
# 我が国のエネルギーコストの経済活動への影響②

- 震災以降の「出荷額成長率」と「出荷額に占めるエネルギーコスト」には概ね相関関係が認められる。「**出荷額に占めるエネルギーコスト**」が高い業種ほど成長率が低い傾向にある。
- 産業別の従業員一人当たり年間電気代増分額は、電力多消費産業において非常に影響が大きく、代表的なものとしては、**①圧縮ガス・液化ガス製造:約619万円、②亜鉛第1次製錬・精製:約382万円、③鉄鋼(製鋼):約203万円、④セメント製造:約197万円**となっている。
- 日本鉄鋼連盟の要望書(平成27年4月)では、電力多消費産業を取り巻く厳しい現状が報告されている。

全製造業の中分類区分に基づく各産業の影響



全製造業の細分類区分に基づく上位10産業の影響



\*鉄鋼業(製鋼)は鉄鋼業に属する上流工程の産業を表す。

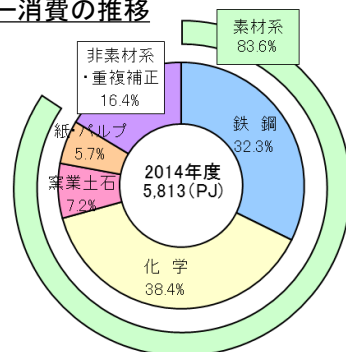
出典:(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)システム研究グループ 資料

電気料金値上げ等に伴う電力多消費産業への影響【2013年度電気使用量をもとに試算】

	電力依存度 (製造業平均比)	コスト 負担増	直面する窮状等
日本鉱業協会	約13倍	200億円	非鉄金属価格はLMEの国際価格で決まるため、電力料金値上げ分を価格転嫁出来ない。資源ナショナリズム台頭により製錬マージンが低く電力負担が極めて大きい。特に、 <b>亜鉛、フェロニッケルは電力原単位が高く、一部の企業は亜鉛生産を中止、事業転換を決定。</b>
日本チタン協会	約20倍	35億円	電力価格高止まりにより、国際的なコスト競争力はますます劣位に。 <b>新たな生産拠点を電力コストの安い海外に求める企業も出てきており、需要動向次第では国内生産拠点の再編、雇用への影響が必至となる。</b>
日本産業・医療ガス協会	約28.5倍	251億円	産業・医療ガス業の電力依存度は製造業平均の約28.5倍。夜間シフト等の自助努力は既に実施済みだが、 <b>電気料金をはじめとするエネルギーコストの上昇もあり生産設備の撤去・縮小が25事業所、工場停止が1社、設備の統廃合が1社、海外投資等も続いている。</b> ライフラインとしての使命もあり電力の安定供給も重要な問題。

出典:(一社)日本鉄鋼連盟「エネルギー政策等に関する電力多消費産業の共同要望」電力依存度上位3協会を抜粋

製造業業種別エネルギー消費の推移



鉄鋼や化学等のエネルギーを比較的多く消費する素材系産業で、製造業全体のエネルギー消費の約8割を占めている。

出典:エネルギー白書2016

# 我が国の固定価格買取制度（FIT）の賦課金見通し

- 長期エネルギー需給見通し小委員会では、電源構成を検討するにあたって、火力・原子力等の燃料費とFIT買取総額をあわせた「電力コスト」を、2013年度9.7兆円から、2030年度9.1～9.5兆円とマイナス5%程度とすることとした。
- 一方、電力中央研究所の試算によれば、再生可能エネルギー導入に伴うFITの賦課金総額は、**2030年に年間3.6兆円、累積44兆円**となる可能性がある。この場合、**2050年には賦課金累積が69兆円**に達すると見込まれる。
- 不透明な要素が多いものの、将来的に膨大な国民負担が発生する可能性がある。

## （参考）ドイツのFITの現状

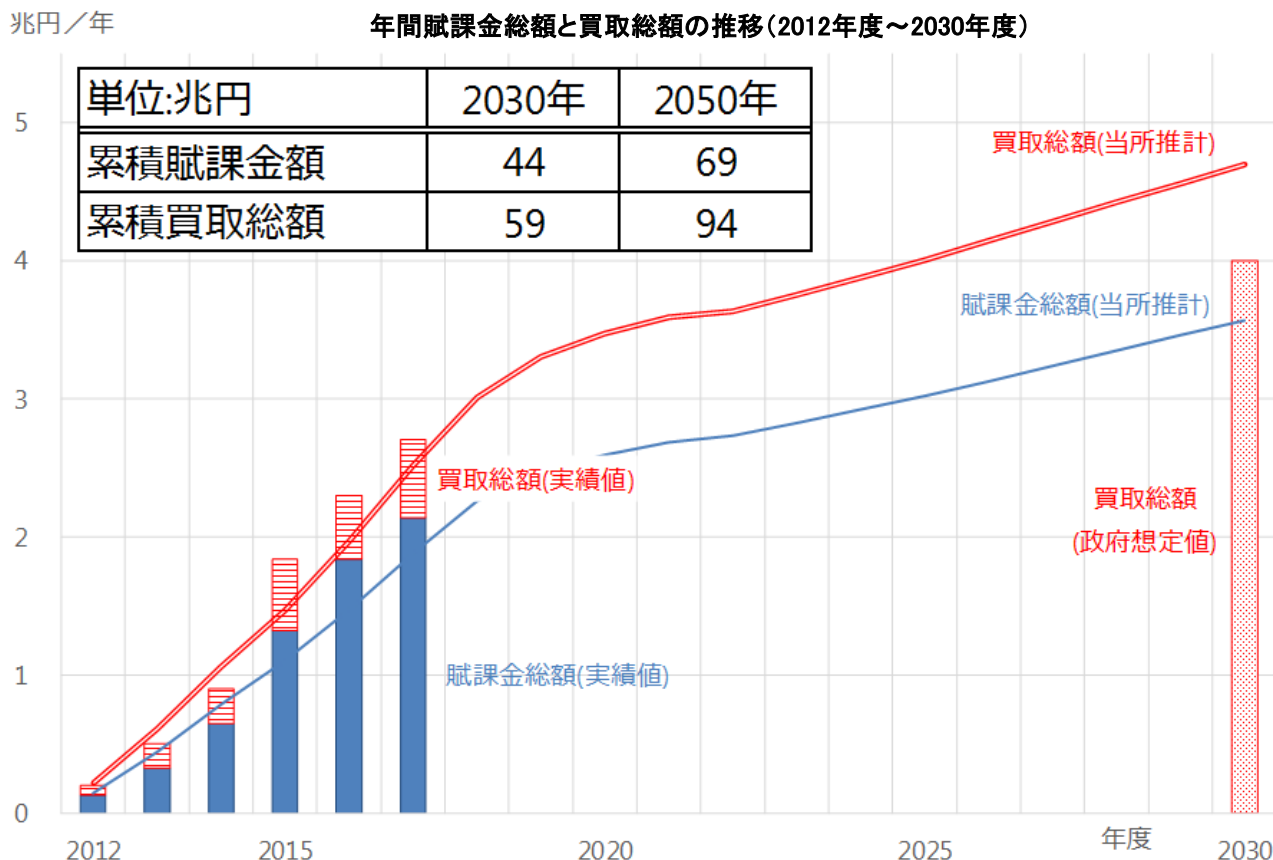
- ドイツでは、エネルギー多消費型事業者を対象に、その国際競争力を維持するため、固定価格買取制度に基づく賦課金の減免が行われている。なお、減免された賦課金は、非減免対象（一般家庭を含む）にシワ寄せされている。
- 2014年の法改正（2014年8月施行）により同制度が見直され、消費者一人当たりの賦課金上昇を抑制するため、減免対象事業者の絞り込みを実施。2015年における減免総額は48億ユーロであり、非減免対象が負担する賦課金の22%を占める。
- また、FITによるPV大量導入に伴う賦課金の高騰への対応等を目的として、卸市場価格に再エネのプレミアムを上乗せした価格で買い取るFIPへの移行を進めており、2014年の法改正により、新規再エネ電源に対し、電源別入札により補助水準を決定し、これと電力売却時の市場価格との差分をプレミアム額として定めることとなった。2015年より試験的に入札を実施しており、2017年より本格実施が予定されている。

出典：電力中央研究所調査報告 Y15022  
「欧州における再生可能エネルギー普及政策と電力市場統合に関する動向」

## （参考）スペインのFITの現状

- スペインでは、2003年に電力小売市場の自由化が施行されて以降、FIT制度のサーチャージを含む電力料金の徴収不足が続き、電力会社の累積赤字が拡大した。2010年以降、政府も対策に乗り出し、2013年7月にはFIT制度を撤廃し新制度に移行することを公表した。
- 2014年6月に新たな政令を定め、新たな支援制度を導入した。本制度については、規認定設備の買取価格を変更する点が制度の遡及適応であり、問題視されるとともに訴訟も提起されている。

出典：平成26年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業  
（海外における新エネルギー等導入促進施策に関する調査）報告書



※長期エネルギー需給見通しに基づく2030年再エネ比率22%が実現する場合を前提とする

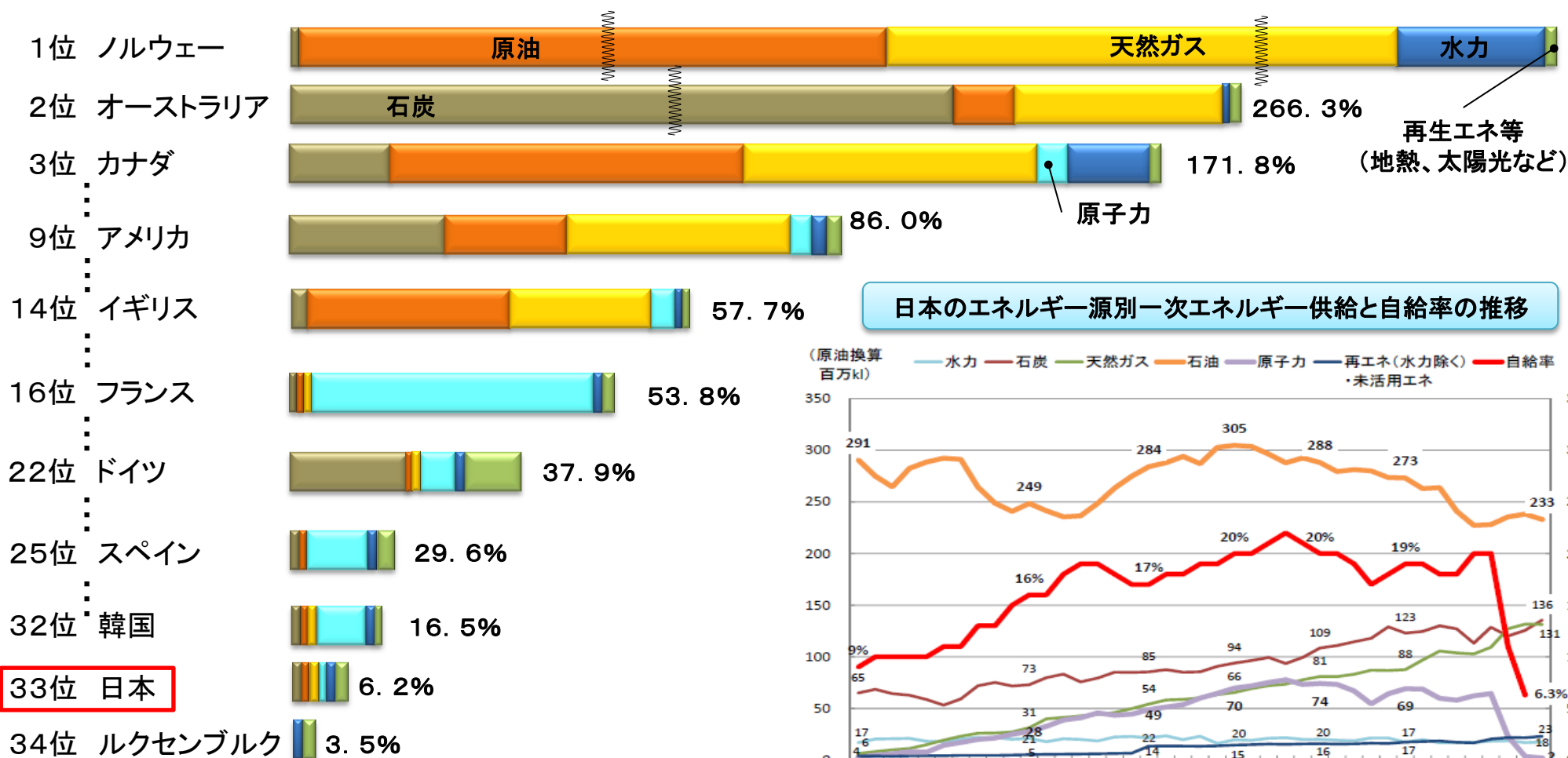
出典：電力中央研究所研究資料 Y16507「固定価格買取制度（FIT）による買取総額・賦課金総額の見通し（2017年版）」（朝野賢司）



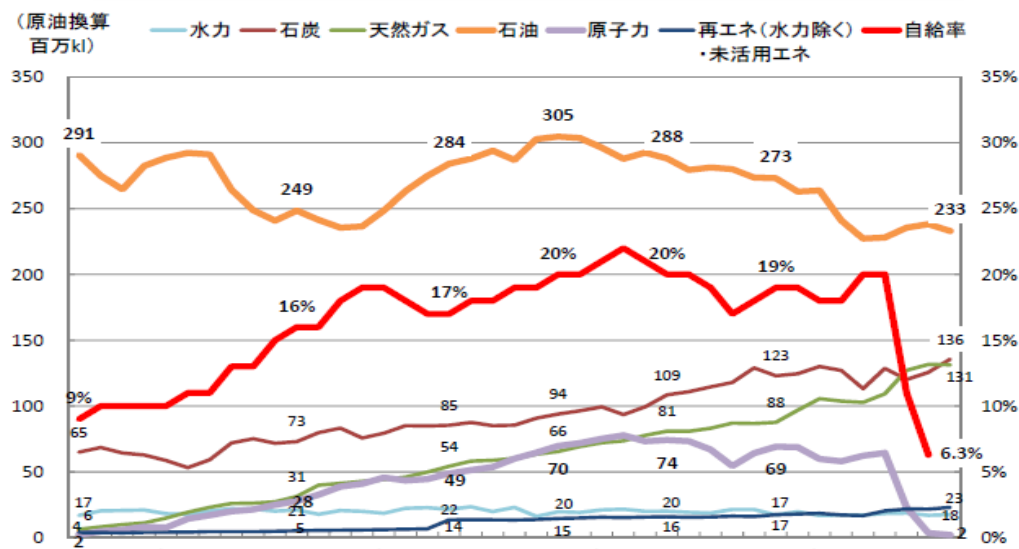
# エネルギー自給率の各国比較

- 我が国のエネルギー自給率は、震災前(2010年:19.9%)に比べ大幅に低下し、約6%の水準である。
- OECD34か国中、2番目に低い水準である。

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



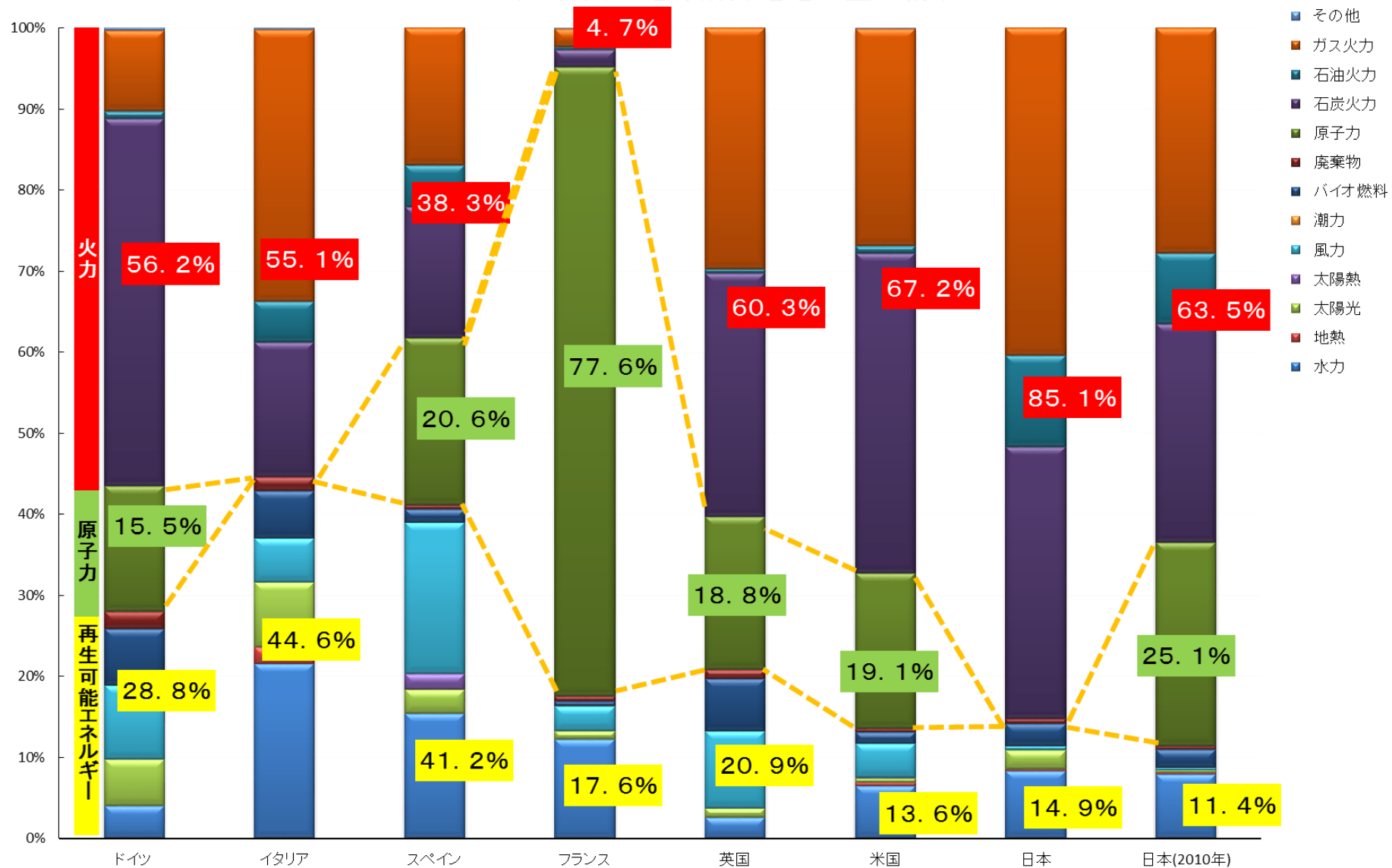
(IEA「Energy Balance of OECD Countries 2015」)

出典: 総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会(第7回会合)資料9

出典: 資源エネルギー庁基本政策分科会(第16回会合)・長期エネルギー需給見通し小委員会(第1回会合)合同会合 資料3

# 各国の電源別発電電力量の構成（2014年）

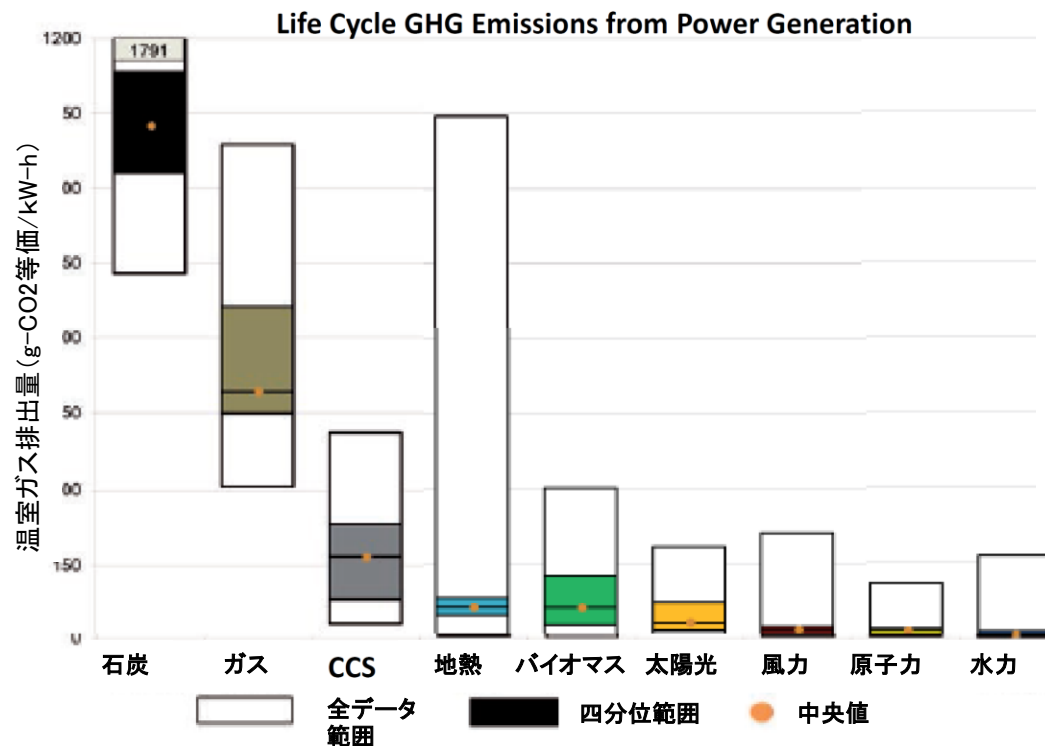
➤ 我が国の電源別発電電力量の構成において、震災以降、火力発電が8割以上を占めている。



# 原子力発電の特徴

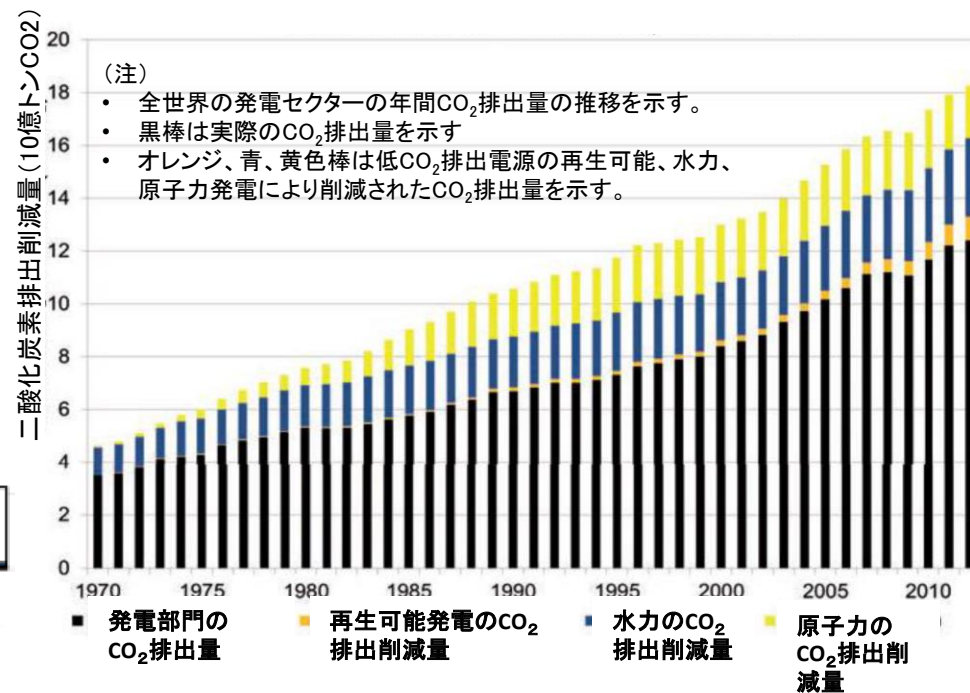
- 原子力発電は、現在、利用可能な技術であり、運転コストが低廉で変動も少なく安定供給に寄与するベースロード電源である。
- ライフサイクルベースで原子力発電は二酸化炭素排出量が少ない。また、低炭素電源（原子力、水力、再生可能）による二酸化炭素排出削減量は2012年世界全体で、水力29.6億トン、原子力19.8億トン、再生可能9.2億トンと見積もられている。

各種電源別のライフサイクル二酸化炭素排出量



Source: Centre for Life Cycle Inventories, National Renewable Energy Laboratory, International EPD

原子力発電による二酸化炭素排出の抑制効果



Source: IAEA Climate Change and Nuclear Power 2015



# 我が国の既設発電所の運転年数の状況

- 2030年時点での既存炉の発電見通し(発電量に占める割合)は、仮にすべての既設炉で**60年運転する場合は24%となるが、40年運転の場合は12%のみ**となる。

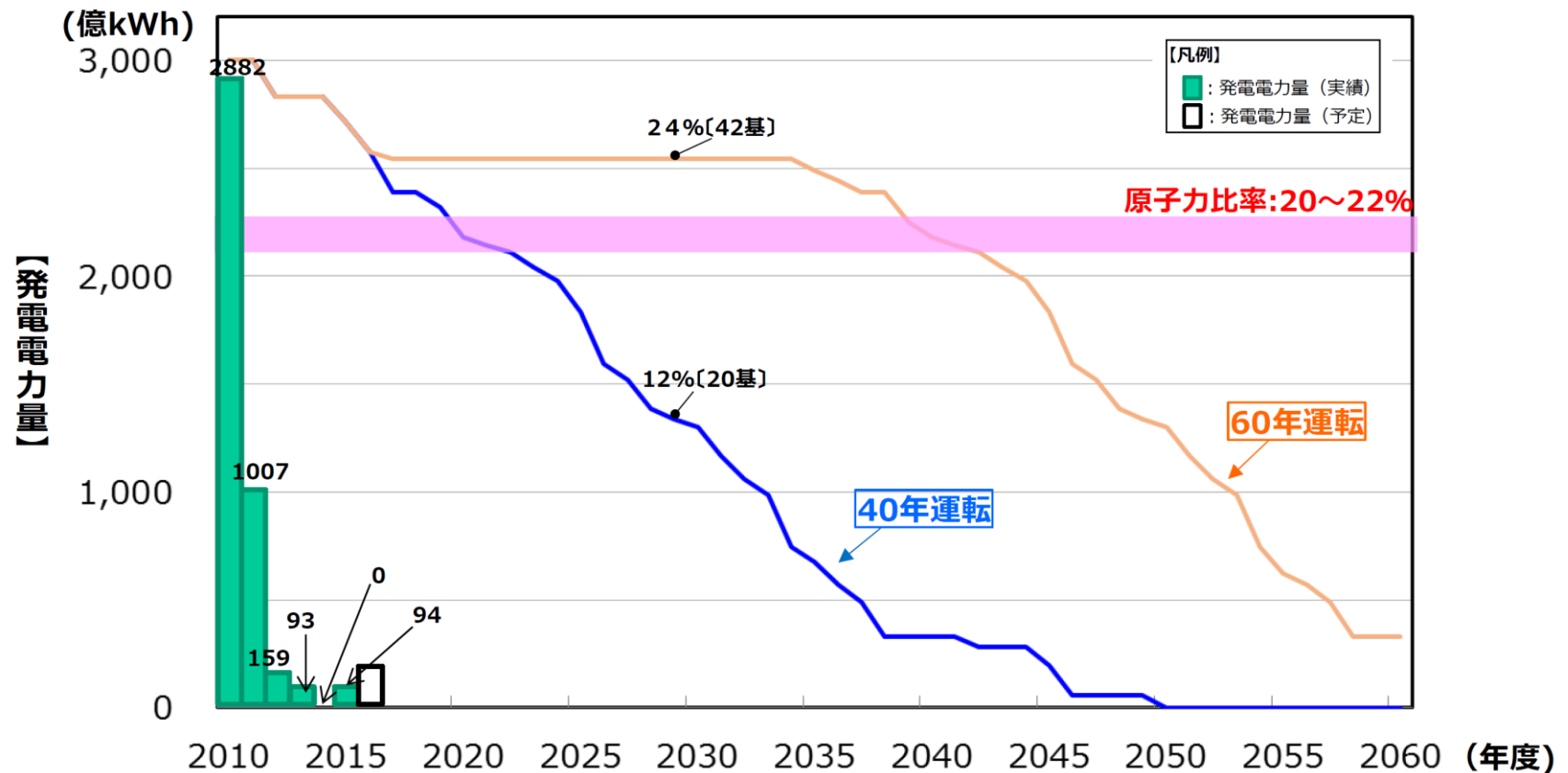
## 既設炉の状況

- **稼働中の炉**  
: 3基
- **原子炉設置変更許可がなされた炉**: 5基  
※うち2基は仮処分を受け停止中
- **新規規制基準への適合審査中の炉**: 18基
- **適合審査未申請の炉**: 19基
- **廃炉を決定した炉**: 15基






(平成28年11月30日時点)

## 発電電力量の推移想定

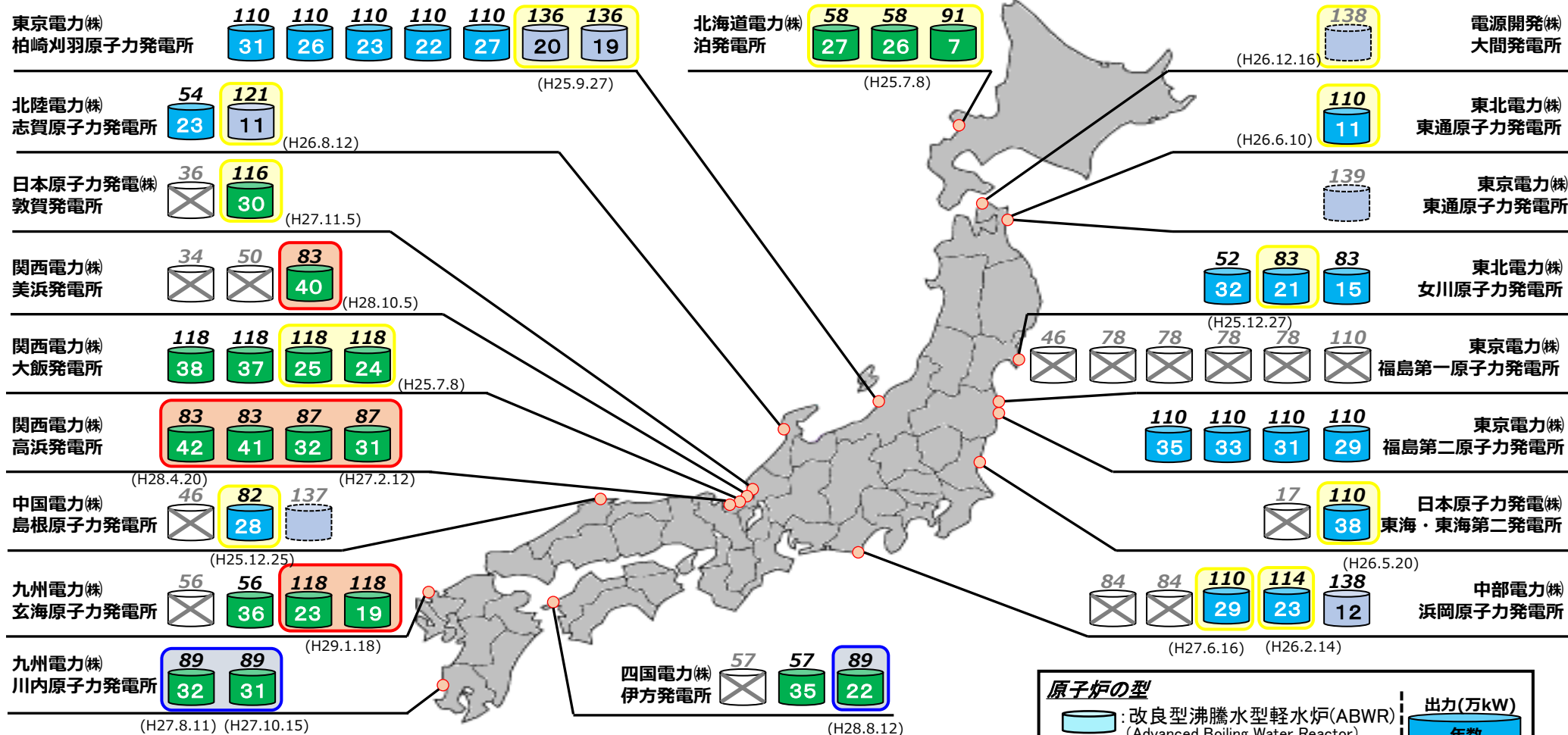
設備利用率: 70%




# 我が国における原子力エネルギー利用の現状

- ▶ **稼働中の炉** : 3基 
 ▶ **原子炉設置変更許可がなされた炉** : 7基 
 ▶ **新規規制基準への適合審査中の炉** : 16基 
 ▶ **適合審査未申請の炉** : 19基 
 ▶ **廃炉を決定した炉** : 15基 

※平成29年4月24日時点



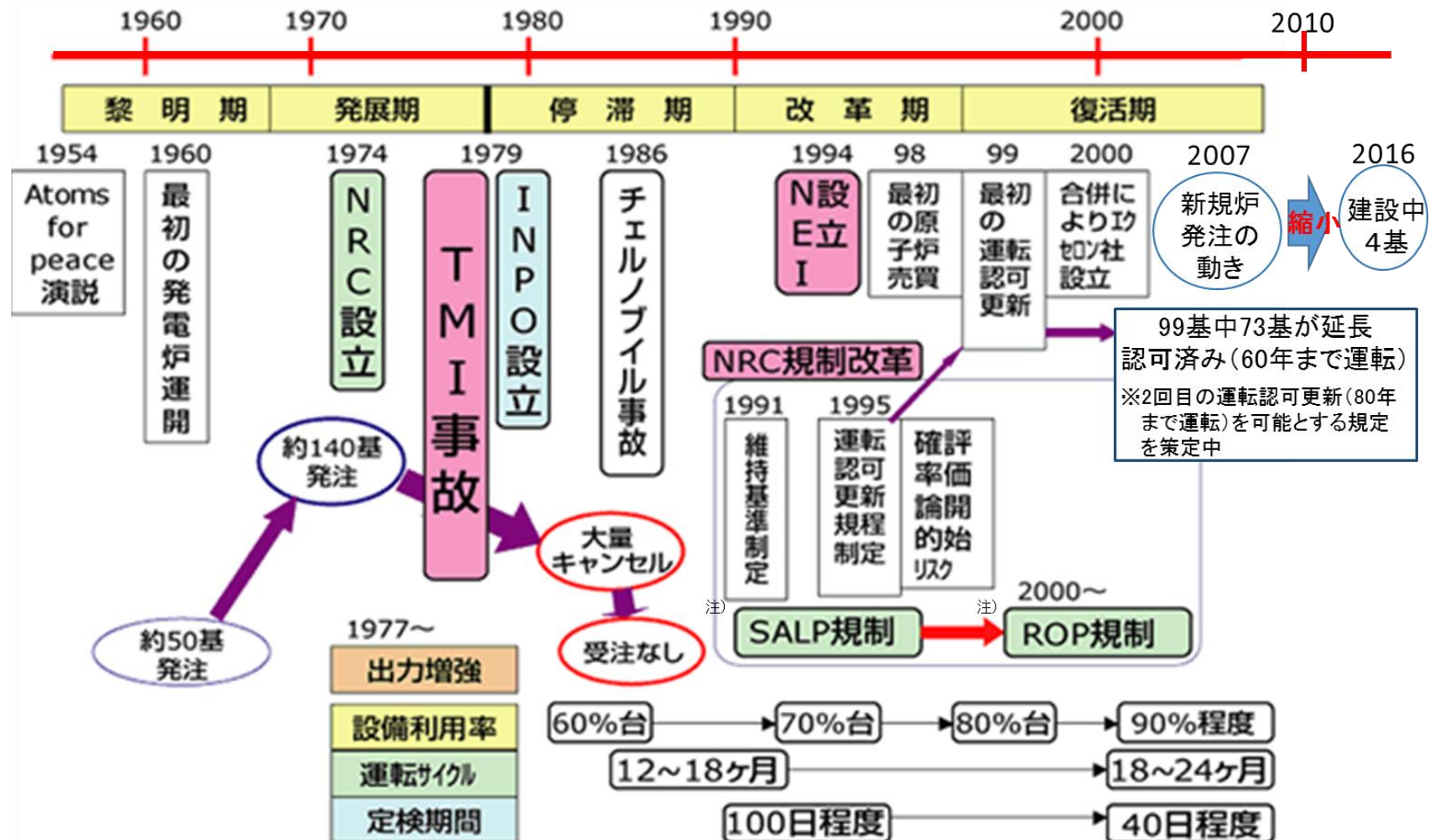
## 原子炉の型

-  : 改良型沸騰水型軽水炉(ABWR)  
(Advanced Boiling Water Reactor)
-  : 沸騰水型軽水炉(BWR)  
(Boiling Water Reactor)
-  : 加圧型軽水炉(PWR)  
(Pressurized Water Reactor)

出力(万kW)  
 年数  
 : 建設中

# 米国における軽水炉利用の経緯①

- 米国では、スリー・マイルアイランド原子力発電所事故以降、原子力発電運転協会(INPO)・原子力エネルギー協会(NEI)等を中心とした自主的な安全性向上やリスクマネジメントの実践とともに、稼働実績及びリスク情報に基づいた規制の導入による客観性の向上に取り組んできた。
- その結果として、重要事象の発生頻度の減少や、稼働率向上、出力向上を達成し、総発電電力量の増加にもつながり、安全性と経済性を両立。



# 米国における軽水炉利用の経緯②～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

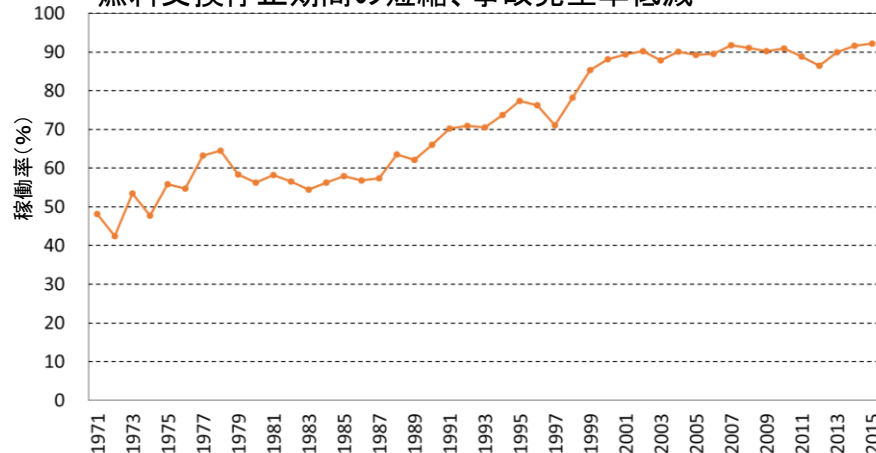


# 米国における軽水炉利用の経緯③～発電電力量の推移～

- 米国では、自主的な安全性向上やリスクマネジメントの実践及び稼働実績及びリスク情報に基づいた規制の導入による客観性の向上に取り組み、その結果として、重要事象の発生頻度の減少や、稼働率向上、出力向上を達成し、総発電電力量の増加にもつながり、安全性と経済性を両立。

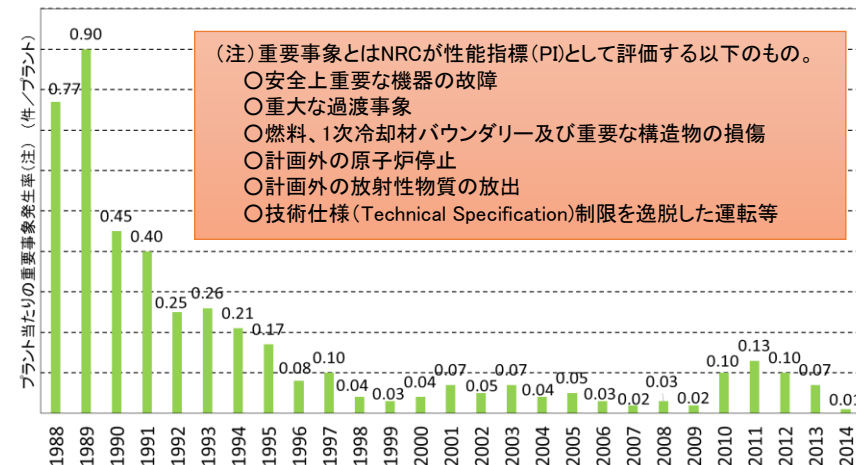
## 稼働率の推移

- 運転サイクル長期化(12か月から段階的に24か月運転)、燃料交換停止期間の短縮、事故発生率低減



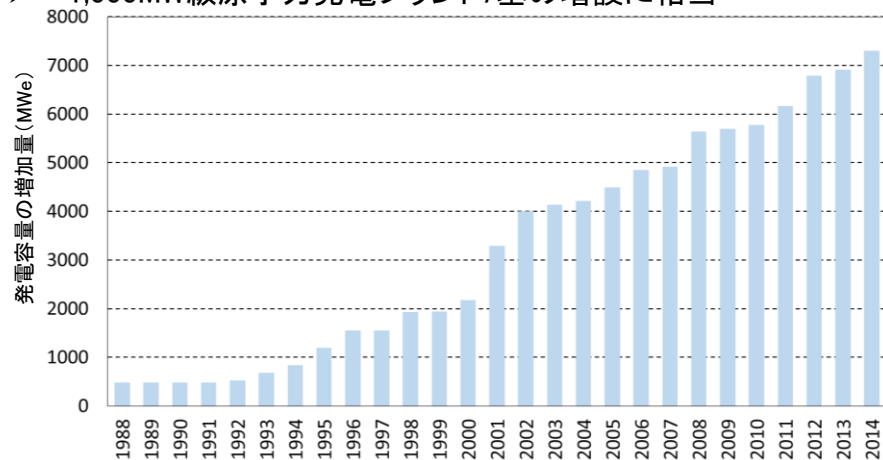
## 重要事象発生率の推移

- 重要事象発生率は、1990年頃から減少。



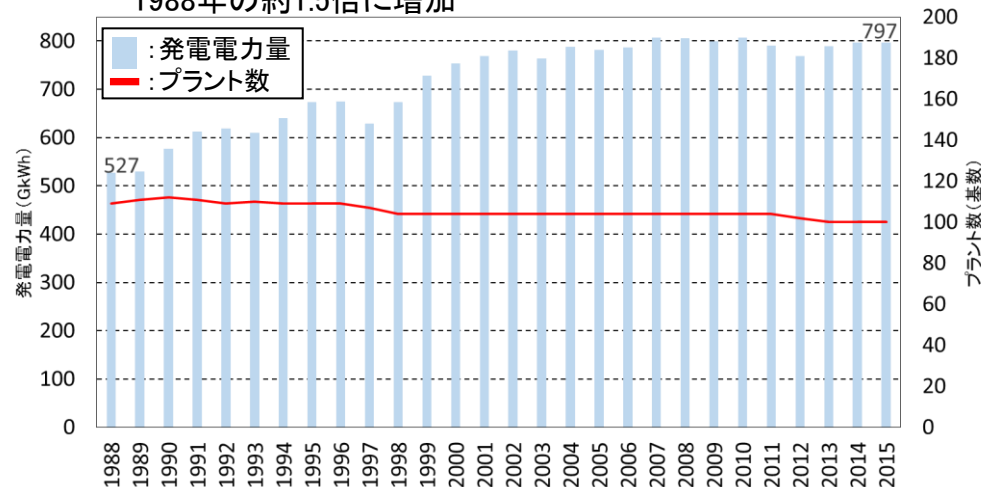
## 出力向上による発電容量の増加量の推移

- 43基の出力向上が認可され、発電容量の増加は累計7,300MWeに。  
➤ 1,000MW級原子力発電プラント7基の増設に相当



## 発電電力量の推移

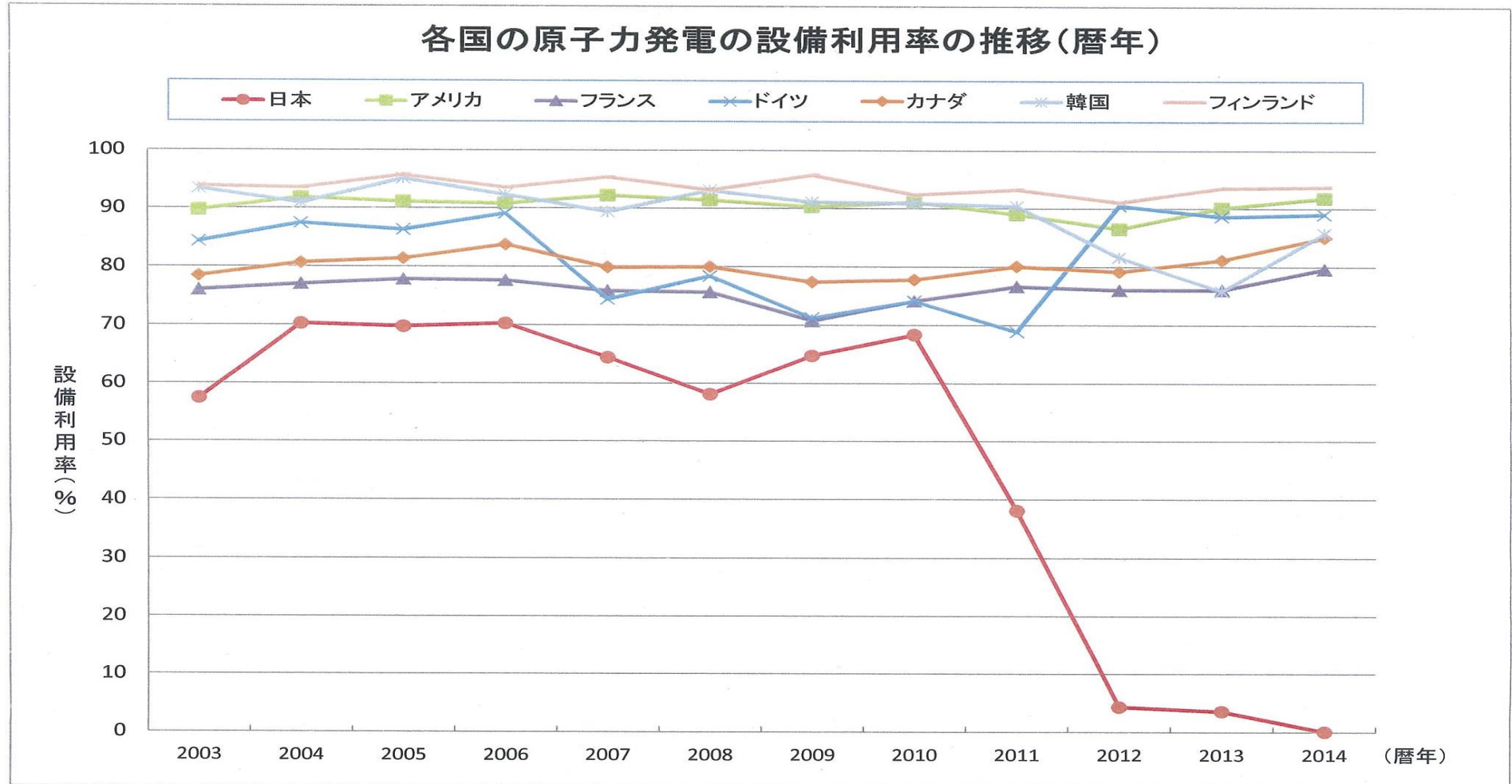
- プラント数は増加していないが、2015年の発電電力量は1988年の約1.5倍に増加



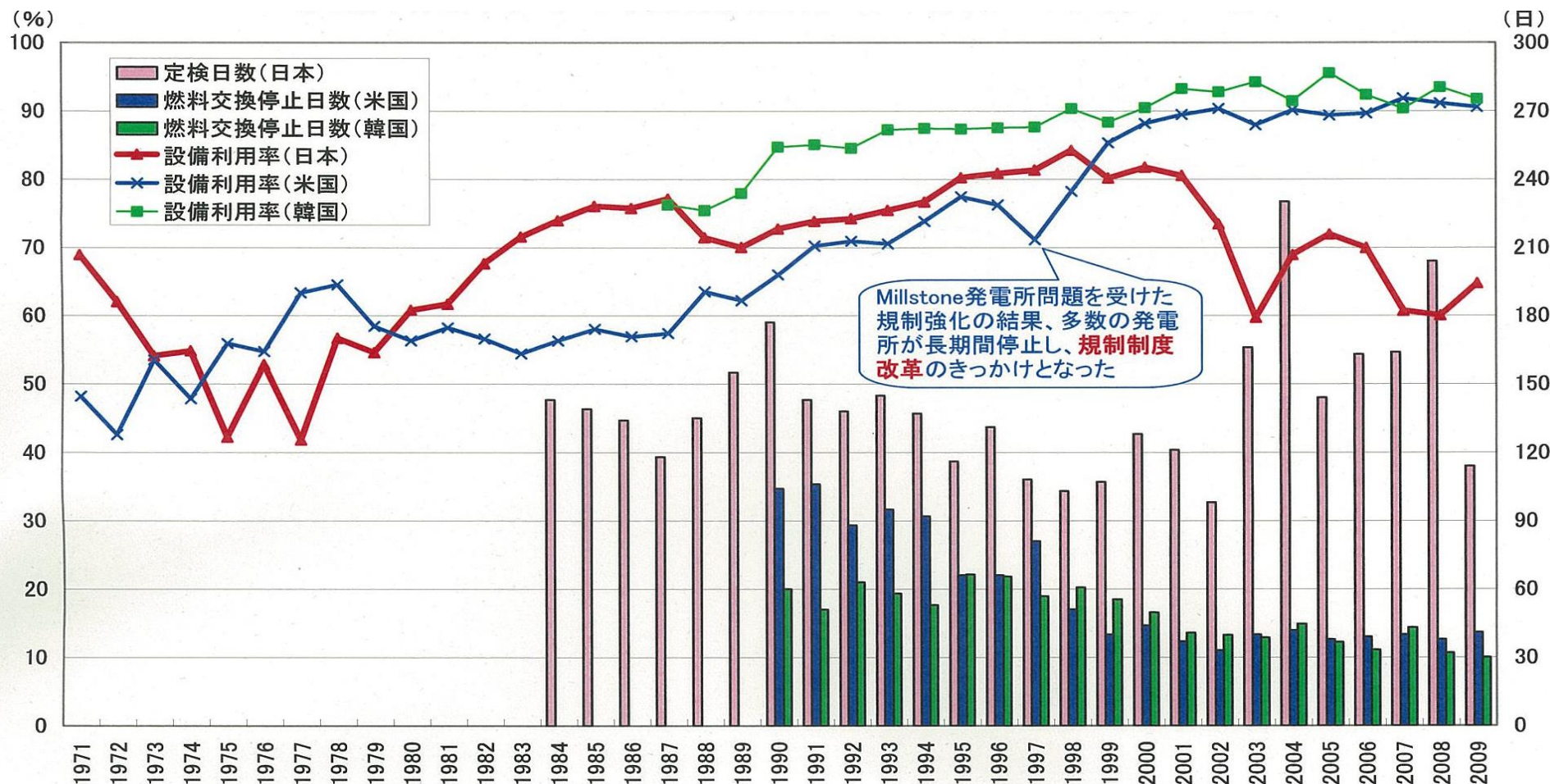


# 設備利用率の国際比較

➤ 米国や韓国等では、原子力発電の設備利用率は約90%であるが、震災前の我が国の利用率は70%程度に留まっている。



# 定期検査停止日数の国際比較



(出典) 米国: NEI(米国原子力エネルギー協会)のデータより

韓国: 韓国水力原子力会社発表より。ただし、1987年～1991年の設備利用率はIAEAのデータより

日本: 運転管理年報より (注1: 日本は年度データ 注2: 日本の定検日数には調整運転期間の約1ヶ月を含む。)

(注3: 定検日数は、当該年度に終了した定検を対象として、平均値を算出している。

このため、日本の2003年の設備利用率は前後の年よりも低くなっているが、定検日数は2004年が前後の年よりも長くなっている。)

# 我が国の中間貯蔵の現状

- 最終処分に向けた取組を進める間も、原子力発電に伴って発生する使用済燃料を安全に管理する必要があり、使用済燃料の貯蔵能力の拡大に向けた取組を進める必要。この取組は再稼働や廃炉のためにも重要。
- 第3回最終処分関係閣僚会議において、使用済燃料対策の強化に向けた国としての基本姿勢及び国や事業者による具体策を盛り込んだ「使用済燃料対策に関するアクションプラン」を策定。
- これを踏まえ、電力9社と日本原子力発電で構成する協議会を設置し、使用済燃料貯蔵能力拡大に向けた検討を実施。使用済燃料プールの貯蔵能力の拡大(リラッキング)、原子力発電所敷地内外に使用済燃料を収納するキャスクを保管するための施設を設置(乾式貯蔵施設、中間貯蔵施設の例を参照)。

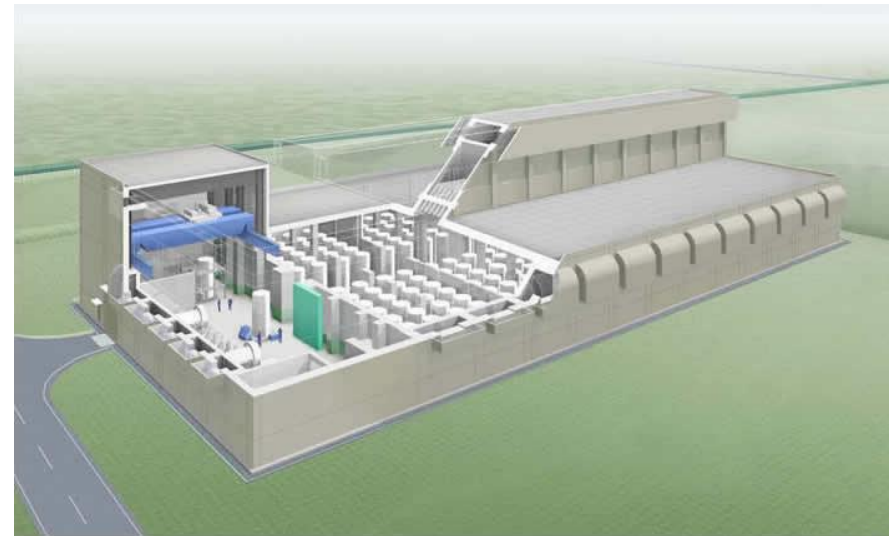
## 【乾式貯蔵施設の例】



日本原子力発電(株)東海第二発電所(乾式貯蔵方式)  
(発電所敷地内)

所在地：茨城県那珂郡東海村      運用開始：2001年  
建屋規模：54m×26m×高さ21m      貯蔵容量：約250tU

## 【中間貯蔵施設の例】



リサイクル燃料貯蔵(株)の建屋イメージ(乾式貯蔵方式)  
(発電所敷地外)

所在地：青森県むつ市  
建屋規模：約131m×約62m×高さ約28m  
貯蔵容量：最終貯蔵量5,000tU (1棟目3,000tU)



# 我が国の原子力発電所の使用済燃料の貯蔵状況

- 各原子力発電所では使用済燃料プールや乾式キャスクにより使用済燃料を貯蔵。管理容量が約21,000トンであるところ、現在、約14,000トンの使用済燃料が貯蔵されている。
- 全体として一定の貯蔵余地が確保されている状況にあるが、貯蔵容量に余裕のないサイトも存在する。使用済燃料貯蔵対策の充実・強化は重要な政策課題である。

(2014年3月末時点)【単位:トンU】

発電所名		1 炉心	1 取替分 (A)	使用済燃料貯蔵量 (B)	管理容量 (C)	管理余裕 (C) - (B)	管理容量を超過するまでの期間 (年) $((C) - (B)) / ((A) * 12 / 16)$
北海道	泊	170	50	400	1,020	620	16.5
東北	女川	260	60	420	790	370	8.2
	東通	130	30	100	440	340	15.1
東京	福島第一	—	—	1,960	2,270	—	—
	福島第二	520	120	1,120	1,360	—	—
	柏崎刈羽	960	230	2,370	2,910	540	3.1
中部	浜岡	410	100	1,140	1,740	600	8.0
北陸	志賀	210	50	150	690	540	14.4
関西	美浜	160	50	390	670	280	7.5
	高浜	290	100	1,160	1,730	570	7.6
	大飯	360	110	1,420	2,020	600	7.3
中国	島根	170	40	390	600	210	7.0
四国	伊方	170	50	610	940	330	8.8
九州	玄海	270	90	870	1,070	200	3.0
	川内	140	50	890	1,290	400	10.7
原電	敦賀	140	40	580	860	280	9.3
	東海第二	130	30	370	440	70	3.1
合計		4,490	1,200	14,330	20,810	5,950	—

注) 管理容量は、原則として「貯蔵容量から1炉心+1取替分を差し引いた容量」。なお、中部電力の浜岡の管理容量は、運転を終了した1、2号機の管理容量を含めた値としている。

注) 四捨五入の関係で、合計値は各項目を加算した数値と一致しない場合がある。

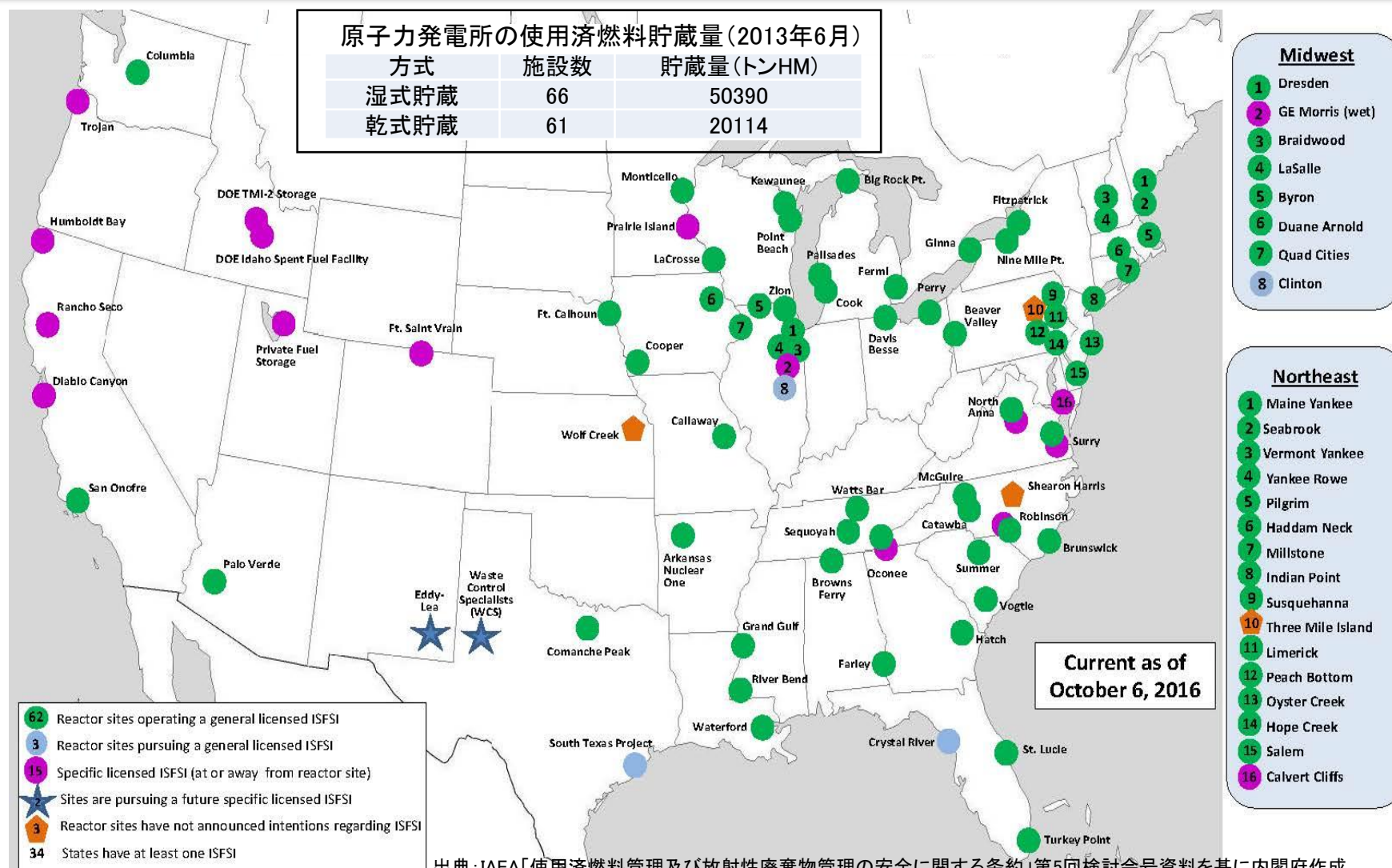
注) 管理容量を超過するまでの期間は、仮に再処理工場への搬出がなく発電所の全機が一斉稼働し、燃料取替を16ヶ月毎に行うと仮定した場合の試算(資源エネルギー庁)

参考: 六ヶ所再処理工場の使用済燃料貯蔵量: 2,951トンU(最大貯蔵能力: 3,000トンU)

むつりサイクル燃料貯蔵センターの使用済燃料貯蔵量: 0トンU(最大貯蔵能力: 3,000トンU、2015年3月事業開始予定。将来的に5,000トンUまで拡張予定。)

# 米国の原子力発電所の使用済燃料の貯蔵状況

- NRCは1990年にオンサイトのキャスク貯蔵施設の認可に関する規制を修正
- 原子力発電所で発生する使用済燃料は主に発電所の使用済燃料貯蔵プール(湿式)、キャスク貯蔵施設(乾式)で貯蔵
  - ✓ 全ての事業者はNRCが認可した原子力発電所内の使用済燃料貯蔵プールで貯蔵
  - ✓ NRCが認可した独立使用済燃料貯蔵施設(ISFSI)で貯蔵: ● オンサイト62施設、● オン又はオフサイト15施設



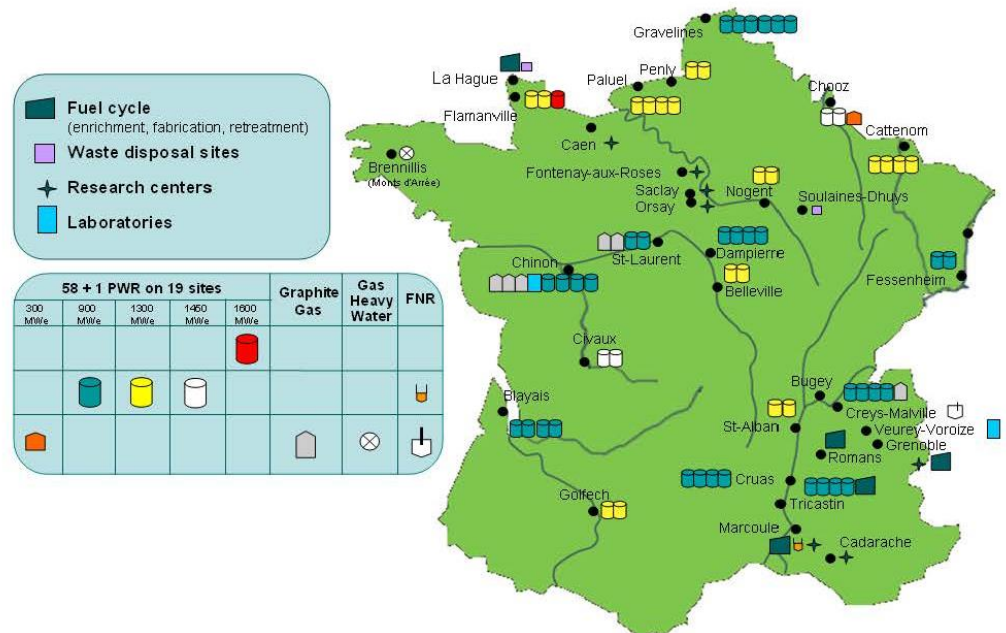


## フランスの原子力発電所の使用済燃料の貯蔵状況

- フランスでは原子力発電所で発生する使用済燃料は再処理するまでの期間、次の2ステップで貯蔵
- ✓ 第1ステップ： 原子力発電所サイトのプールで貯蔵
  - ✓ 第2ステップ： その後、La Hague施設のプールで貯蔵

場所	使用済燃料貯蔵量(トン) 2012年末時点
La Hague	9790
EDF原子力発電所サイト	4172
CEAセンター	120

- La Hague施設の使用済燃料貯蔵容量  
プールC:4800トン  
プールD:4600トン  
プールE:6200トン  
プールNPH:2000トン  
合計:17,600トン
- AREVAの再処理施設はLa Hagueにあり、UP2とUP3の2施設で1700トン/年の再処理が可能。



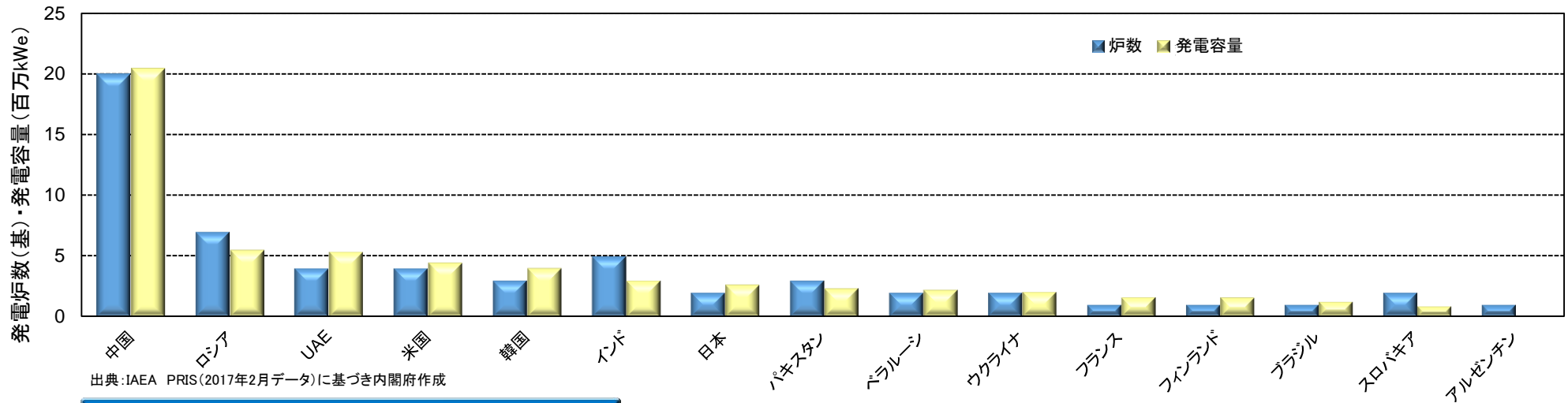
フランス国内の原子力発電所・再処理関連施設 2013年12月

### 3. 国際潮流を踏まえた国内外での取組

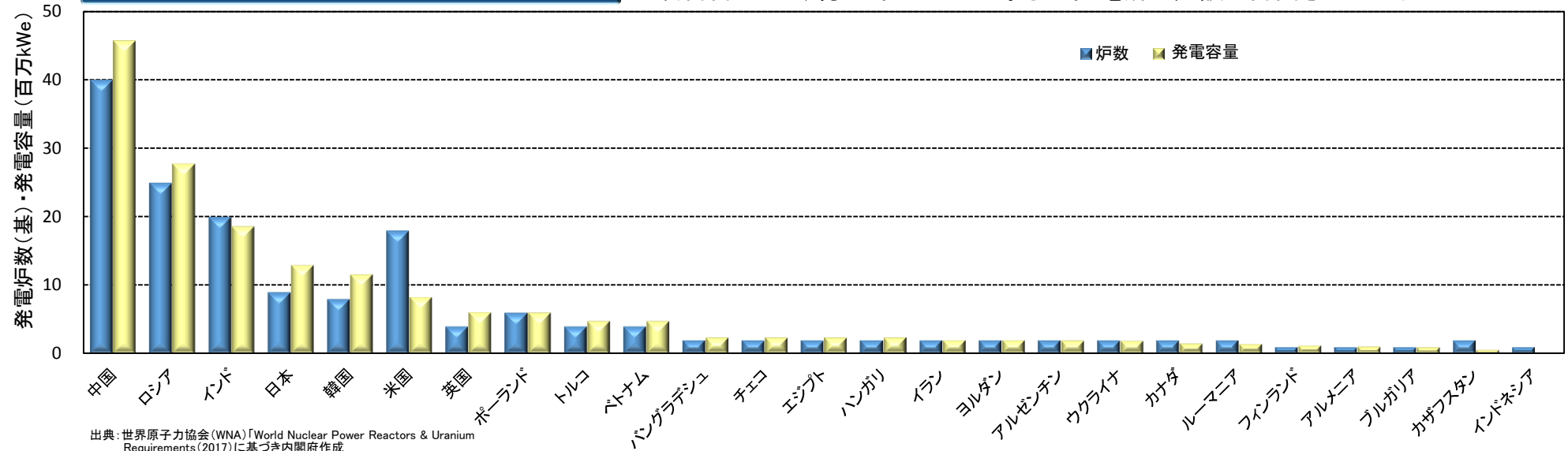
# 世界の原子力発電所建設計画

- IAEAは、2030年までに、世界の原子力発電所の設備容量は約10～90%増加すると予測している。
- 東アジア、南アジア、東欧等において、現在、原子力発電所の建設が計画されている。

## 建設中の原子力発電所(2017年2月現在) ※合計60基、約60百万kWeの原子力発電所が建設中である



## 計画中の原子力発電所(2017年1月現在) ※合計計164基、約170百万kWeの原子力発電所の建設が計画されている



## 4. 平和利用と核不拡散・核セキュリティの確保

# 核軍縮・核不拡散と平和利用

- 唯一の被爆国として、核軍縮・核不拡散と原子力の平和利用の推進に貢献する役割を担っている。
- 我が国としては、国際原子力機関(IAEA)に参画し、核兵器不拡散条約(NPT)等を通じ、原子力の平和利用に対する透明性の向上を図ることにより、国内外の理解を得る努力を継続している。

## 国際原子力機関 (IAEA: International Atomic Energy Agency)

- 1957年に発足。167か国が加盟(2016年5月現在)。
- 「原子力の平和的利用の促進」及び「軍事的利用への転用の防止(保障措置)」を目的とした機関。

## 核兵器不拡散条約 (NPT: Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons)

- 1970年に発効。我が国は1970年2月署名、1976年6月批准。
- 締約国は191か国・地域(2015年2月現在)。非締約国はインド、パキスタン、イスラエル、南スーダン。
- 条約には以下の事項等が盛り込まれている。
  - ・米、露、英、仏、中の5か国を「核兵器国」と定め、「核兵器国」以外への核兵器の拡散を防止
  - ・各締約国による誠実に核軍縮交渉を行う義務を規定
  - ・原子力の平和的利用は締約国の「奪い得ない権利」と規定するとともに、原子力の平和的利用の軍事技術への転用を防止するため、非核兵器国がIAEAの保障措置を受諾する義務を規定

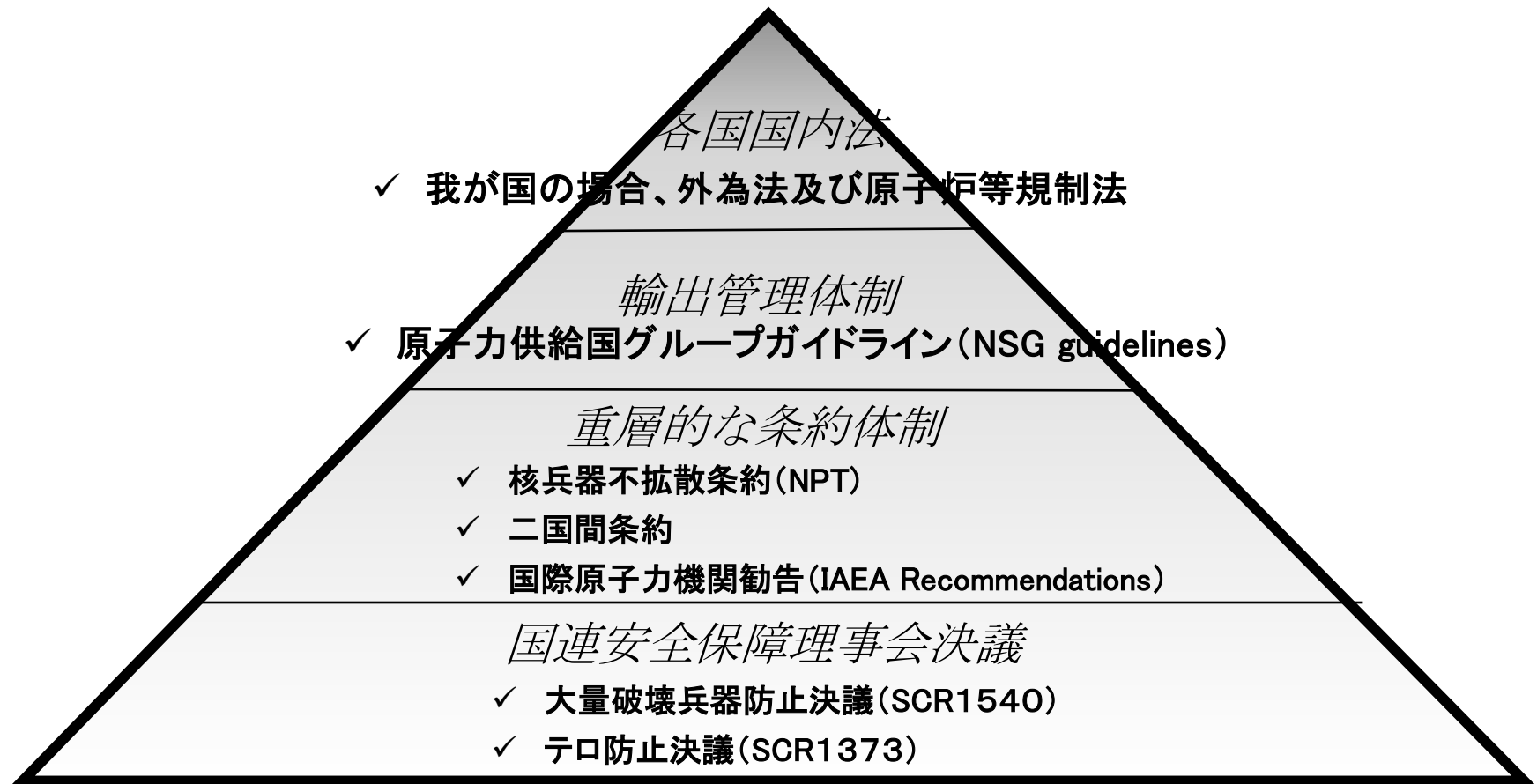
## 原子力供給国グループ (NSG : nuclear suppliers group)

- 1978年にNSGガイドラインを制定。
- 48か国が参加(2016年6月現在)。
- NSGでは、「NSGガイドライン」と呼ばれる原子力関連資機材・技術の輸出国(Suppliers)が守るべき指針(法的拘束力のないいわゆる「紳士協定」: IAEA公開文書)に基づいて輸出管理が実施される。



# 核セキュリティ・核不拡散の担保のための法体系

- 核セキュリティ・核不拡散に向けた取組は、国際的に確立された体制に基づき整備されている。
- 国際的枠組みがしっかりしていることから、準拠していれば、各国国内法の信頼性が高いと言える。



# 我が国におけるプルトニウムの平和利用

- 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			約10. 8トン	約10. 8トン
	海 外	(総量)		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

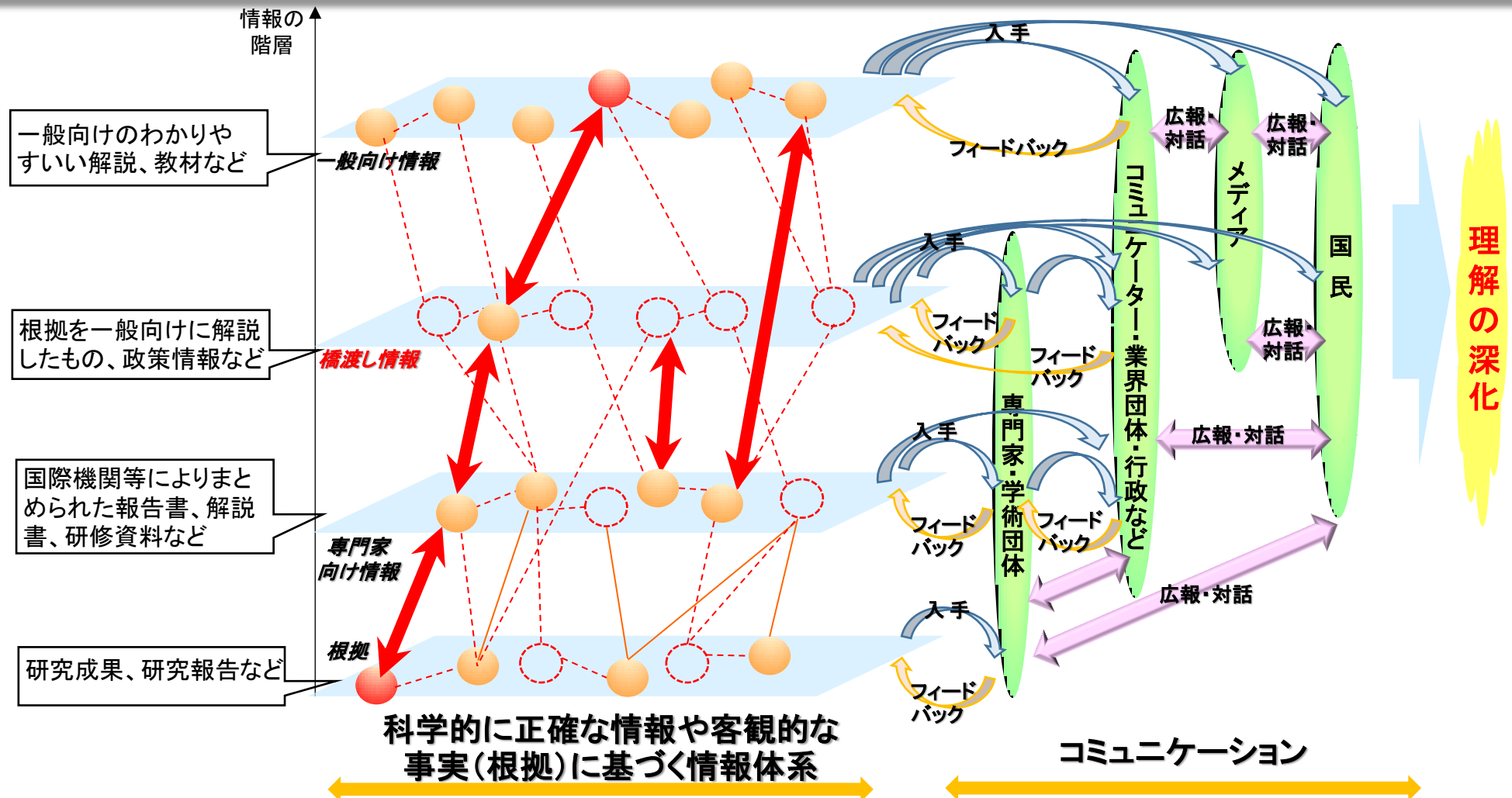
出典: 平成28年第24回原子力委員会資料第1号

- 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。

## 5. 原子力利用の前提となる国民からの信頼回復

# 理解の深化に向けた方向性

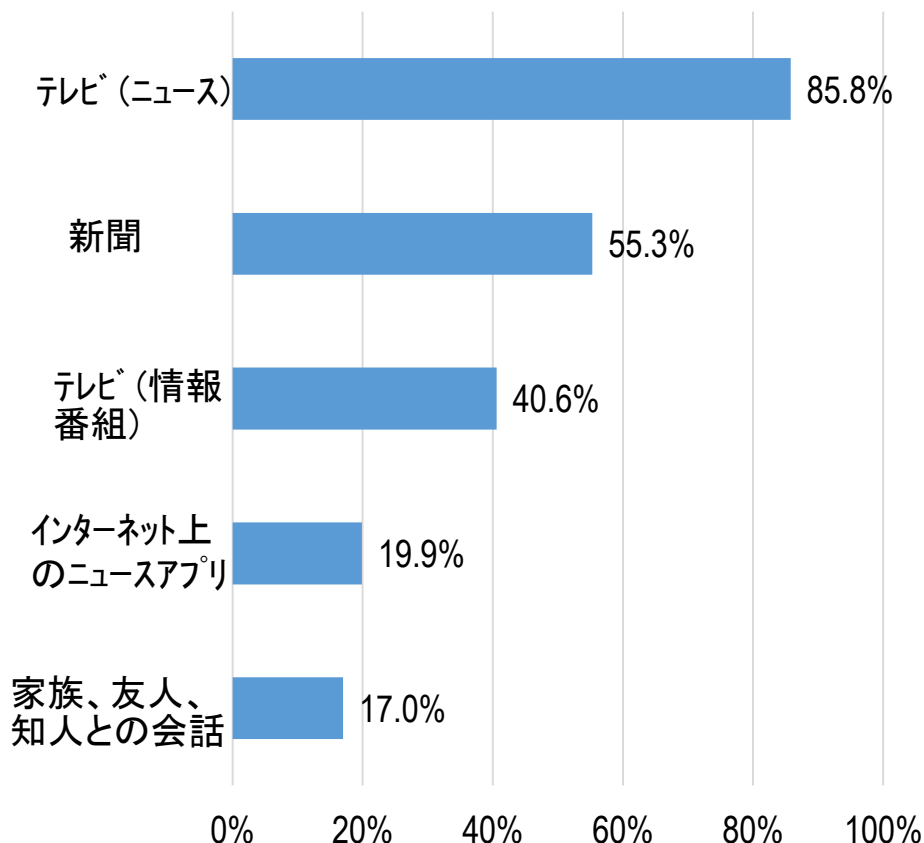
- 今後、原子力の利用を考えるに当たっては、国民一人一人が、科学的に正確な情報や客観的な事実(根拠)に基づいて理解を深め、個々人がそれぞれの意見を形成していくことが不可欠である。
- 原発立地地域に加え、世の中の大半を占める一般の方々の関心に応えるためには、科学の不確実性やリスクに十分留意しながら以下の取組が不可欠である。
  - ・疑問に思ったときに、自ら調べ、疑問を解決し、理解を深められるような情報体系(左側)
  - ・双方向の対話や広報等のコミュニケーション活動(右側)



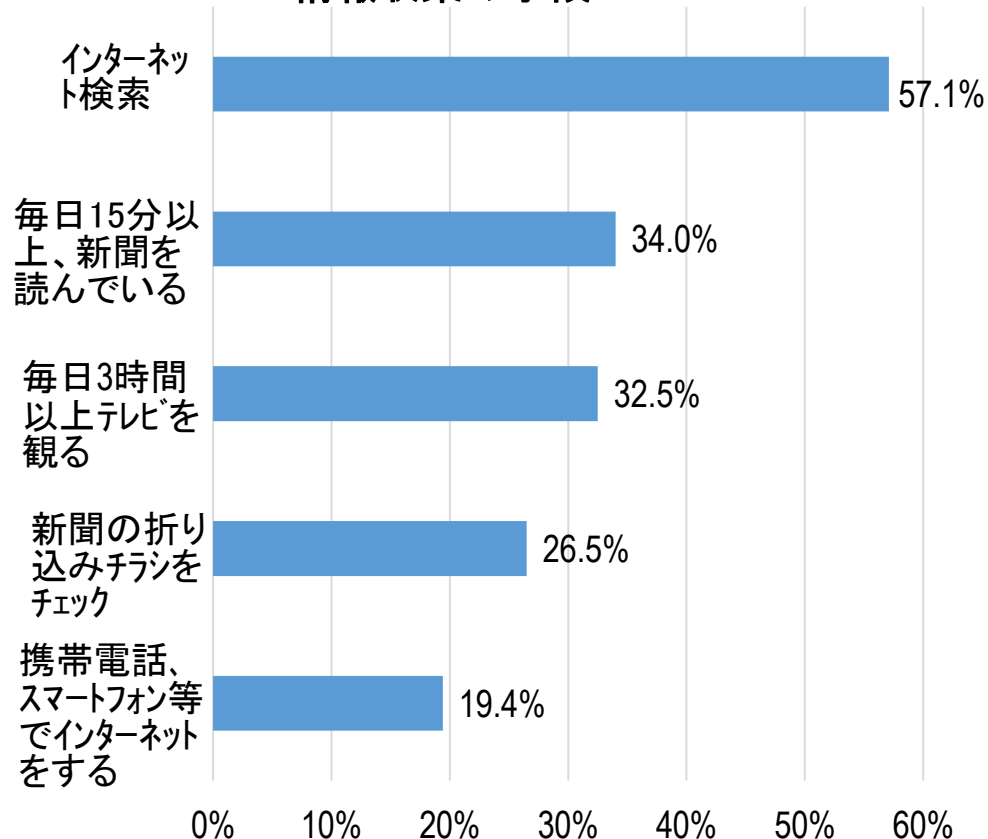
# 原子力やエネルギーに関する日頃の情報源

- インターネットの普及により、知りたい情報、興味を持った情報を容易にインターネットで探せる時代に。
- 原子力やエネルギーに関する日頃の情報源としては依然として新聞やテレビが多い一方で、情報収集ではインターネットを活用することが多くなっている。
- 原子力やエネルギーに関する日頃の情報源を尋ねた結果
  - 情報収集の手段： 1. **インターネット検索**、2. 新聞購読、3. テレビの視聴

## 原子力やエネルギーに関する日頃の情報源



## 情報収集の手段





# 科学的に正確な情報や客観的な事実（根拠）に基づく情報体系

- 我が国では、国民の方々にとって、知りたい情報を探し当てることが容易ではなく、たとえ情報を見つけたとしてもその根拠をわかり易く解説した文献等がないことが多いため理解を深めることが困難である。
- 3つの重要な課題：
  - 情報が個別的、断片的で関連付けされていない
  - 一般向けにわかり易く解説した文献等（橋渡し情報）がないことが多い
  - インターネットの検索性に配慮されていない
- 米国や英国では、客観的な事実や科学的に正確な情報及びそれに関する国民の方々向けの解説を提供。各情報が横断的に連携されかつインターネットの検索性が配慮されているため根拠情報まで辿ることが容易。

## 米国原子力エネルギー（NEI）ウェブサイトの情報提供の事例

The diagram illustrates the information architecture of the NEI website. Red arrows trace a path from the 'Clean Air Energy' link in the main menu to the 'Clean Air Energy' page, then to the 'Climate Change' page, then to the 'FAQ About Nuclear Energy' page, and finally to the 'white paper' titled 'Nuclear Costs in Context'. A red box labeled 'An analysis' points to the 'white paper'.

**◆ Why Nuclear Energy**

- [Why Nuclear Energy](#)
- [Clean Air Energy](#)
- [Value of Electricity Diversity](#)
- [Reliable & Affordable Energy](#)
- [Economic Growth & Job Creation](#)

**◆ Issues & Policy**

**◆ Knowledge Center**

- [FAQ About Nuclear Energy](#)
- [Powered by Our People](#)
- [Map of US Nuclear Plants](#)
- [How Nuclear Reactors Work](#)
- [Nuclear Statistics](#)
- [Nuclear Fuel Processes](#)
- [Industry Innovation](#)
- [Other Nuclear Energy Applications](#)
- [Backgrounders](#)
- [Public Opinion](#)

**◆ Careers & Education**

**◆ Conferences**

**◆ News & Media**

**Clean Air Energy**

Concern about clean air is a main reason that 60 reactors are under construction around the country, including four in the United States.

Clean Air Benefits

Nuclear energy is by far the largest source of electricity that doesn't emit any air pollution. It's the only one that can produce large amounts of electricity around the clock. Nuclear energy has a major role in protecting America's air quality. [Learn more>>](#)

**Climate Change**

While some predict meaningful climate change policy may take several years to finalize, nuclear energy, which provides almost two-thirds of America's clean-air electricity, must continue to be part of the energy mix to solve our clean air challenges. [Learn more>>](#)

**FAQ About Nuclear Energy**

+ The Basics

- Economic Benefits

How do nuclear energy plants benefit the economy?

Every dollar spent by the typical nuclear power plant results in the creation of \$1.04 in the local community, \$1.18 in the state economy, and \$1.87 in the U.S. economy, according to an analysis of 23 nuclear plants representing 41 reactors.

**Climate Change**

To move toward a clean-energy, low-carbon economy, nuclear energy must continue to be a part of the energy mix.

Nuclear energy facilities produce no air pollution that could threaten our atmosphere by causing ground-level ozone formation, smog and acid rain. The plants produce about 40 percent of our CO<sub>2</sub> electricity. More nuclear energy means less air pollution.

**Resources**

U.S. Environmental Protection Agency, "EPA Analysis of the American Power Act of 2010 (Kerry/Lieberman)", June 2010. The core policy scenario for reducing greenhouse gas emissions would require more than doubling total nuclear capacity by 2050. If all existing U.S. operating reactors retire at 60 years, the United States will need to build another 253 gigawatts of nuclear capacity (about 181 new reactors).

Analysis of the American Clean Energy and Security Act of 2009 (Waxman-Markey). The core policy scenario for reducing greenhouse gas emissions would require more than doubling total nuclear capacity by 2050. If all existing U.S. operating reactors retire at 60 years, the United States will need to build another 253 gigawatts of nuclear capacity (about 181 new reactors).

**white paper**

**Nuclear Costs in Context**

Prepared by the Nuclear Energy Institute April 2016

**NEI**

The Nuclear Energy Institute is the nuclear energy industry's policy organization. This white paper and additional information about nuclear energy are available at [nei.org](#).

1201 F Street NW Washington, DC 20004 NEI.org

© 2016 Nuclear Energy Institute

# 米国原子力規制委員会（NRC）における取組事例

- NRCは ミッション達成には、「開示(openness)」と「公衆参加(public participation)」、「共同(collaboration)」が 必要不可欠と考え、NRCの行動計画である「NRC戦略(Strategic plan)」に以下を盛り込み、必要な取組を実施。

- ・行政情報の透明性を徹底
- ・様々なコミュニケーション活動によるステークホルダー・インボルブメントの促進

## 行政情報の透明性

- 行政情報の透明性(説明文書の作成と開示)は国民の信頼確保に必須と認識。
- NRCの役割や予算、活動・ディシジョンメイキング、規制原則・目標・規制方法、ステークホルダーの認識・明示、NRCの存在価値を高める方法などについて、正しく、わかりやすい情報を作成し、タイムリーに公開。
- 例えば、以下のようなものを作成・公開。
  - 独立した原子力安全規制機関NRCの目的・役割や活動(NRC Independent Regulator of Nuclear Safety)  
(<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/brochures/br0164/>)
  - 毎年発行しているインフォメーションダイジェスト(Information Digest)  
(<https://www.nrc.gov/docs/ML1624/ML16243A018.pdf>)
  - 活動概要、作成・公開している情報、その入手方法等をまとめた一般向けガイド(Citizen's Guide to NRC Information)  
(<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/brochures/br0010/br0010v4.pdf>)
  - NRCの行動計画をまとめたNRC戦略2014-2018(NRC Strategic Plan 2014-2018)  
(<https://www.nrc.gov/docs/ML1424/ML14246A439.pdf>)

## コミュニケーション活動

- 様々なコミュニケーション活動を行い、ステークホルダー・インボルブメントを促進。
- 年間1000件以上のパブリックミーティング等も開催し、ステークホルダーの巻き込みや対話(議論)を実施。近年は、計画や規制策定等、初期の段階から時間をかけて行うようにしている。
- また、ソーシャルメディア(ブログ、フェイスブック、You Tubeなど)も積極的に活用している(ソーシャルメディアを専門に扱うスタッフだけで15人)。

# 各国におけるコミュニケーション活動の動向

## 原子力の意思決定におけるステークホルダー・インボルブメントに関するワークショップ（OECD・NEA主催で2017年1月に開催）



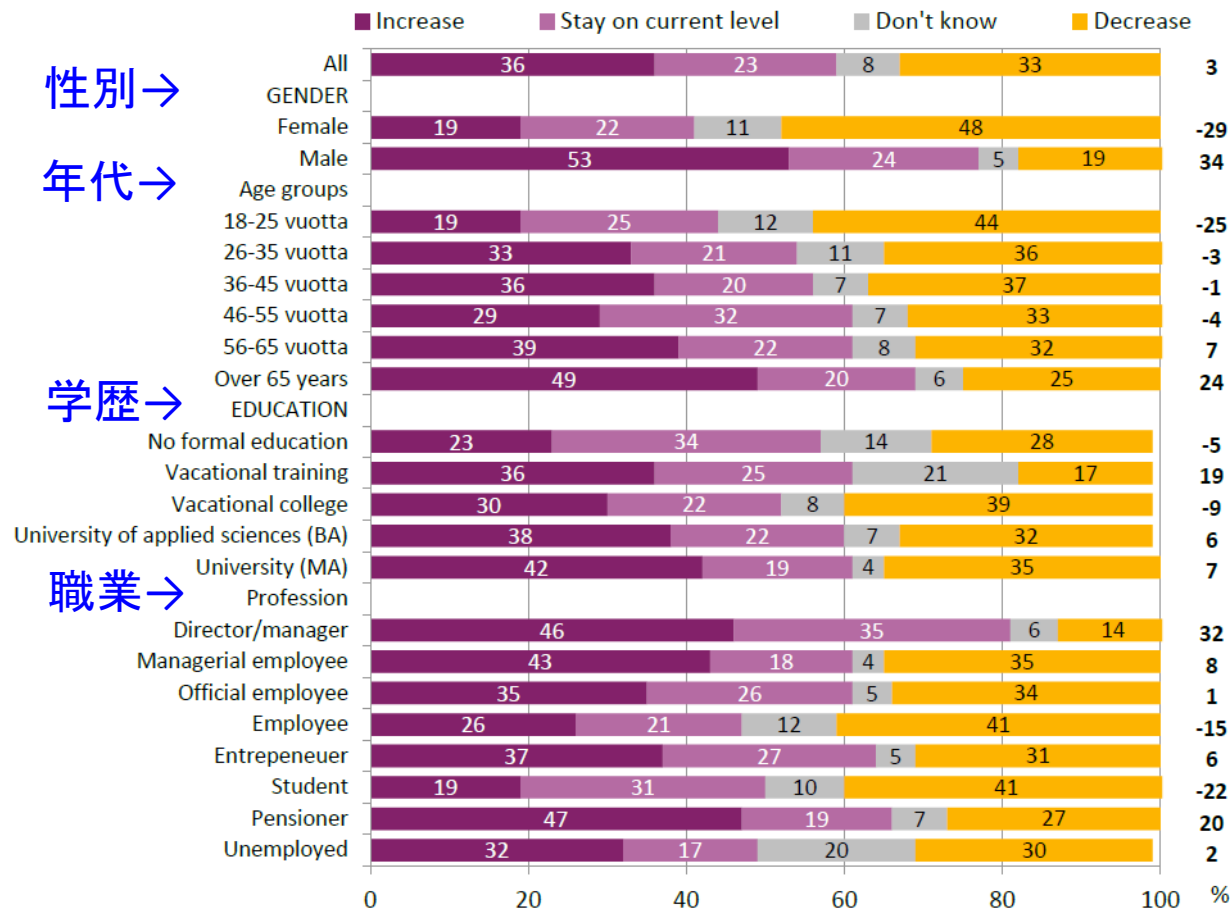
➤ 26カ国の政府（推進・規制双方）・民間・研究開発機関関係者が参加し、以下ポイントなどを共有。

- 決められた方式は存在せず、各国の状況によるところが大きい、face-to-face による取組の重要性は万国共通。
- 全てのステークホルダーを巻き込まなければならない。多くの国でボトムアップ（コミュニティ等の活用）による取組が成功している事例がある。
- ステークホルダーの巻き込みや対話（議論）は、計画の最も初期の段階から時間をかけて行うべきである。時間と予算が非常にかかる行程である。
- 持続的な対話を確かなものにするためにも、若い世代の参加が必要不可欠である。
- ソーシャルメディアなど新しいツールの活用等を検討すべきである。
- 用語の共通認識は有効である。常に確認が必要である。
- パブリック・コンサルテーションを越えたステーク・ホルダーインボルブメントは、原子力の意思決定の質の向上をもたらす。
- ステークホルダーとは、地元（原発立地）に限らず、一般の方も含む。
- 根拠のある情報を出し続けることが大事。それが、サイレントマジョリティに大切である。

# フィンランドにおける原子力発電に対する世論調査の例

- フィンランドにおける原子力発電に対する世論調査において、年代や性別、学歴、職業によっても意見が異なっていることから、「どんな人々がどんな意見を持っているか」といった分析は重要である。

## -フィンランドにおける原子力発電に対する世論調査（2014年）-



- フィンランド・エネルギー研究所（Finnish Energy Institute）では1980年代より継続的に世論調査を実施。
- 特に、2000年の同国における高レベル放射性廃棄物処分場決定後には、年代別・性別・学歴別・職業別等の詳細な調査をほぼ毎年実施。

# 原子力立地地域での電力事業者によるコミュニケーションの取組事例

- 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
- ◆予防的防護措置を準備する区域(PAZ)、緊急時防護措置を準備する区域(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)



# 説明責任を持つ原子力事業者のコミュニケーション活動の取組事例

- 米国原子力エネルギー協会 (NEI) では、**産業界のコミュニケーションの要**であり、原子力産業に関する情報について、協会会員や政策立案者、メディア及び公衆に対し、正確かつタイムリーに発信するなどコミュニケーション活動を実施。
- 6部門のうちの1つがコミュニケーション部門。**技術的知識や映像・ネット知識を備えた専門職員が担当**。  
5つある諮問委員会の1つがコミュニケーションで、コミュニケーション部門の活動を支援。

## 具体的な活動内容

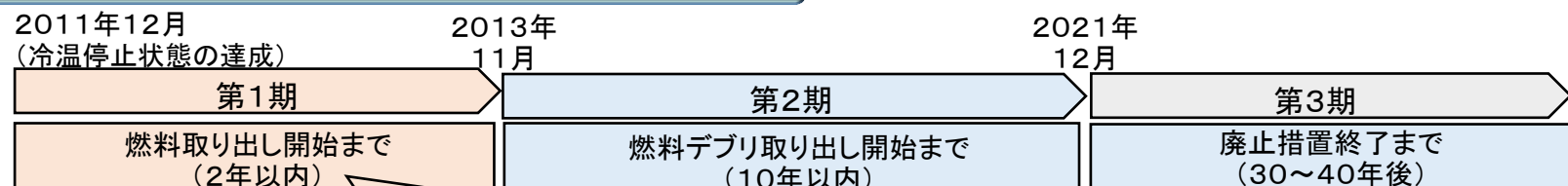
1. 会員第一のコミュニケーション:  
産業界のコミュニケーションの要、原子力の将来を発信するためのコミュニケーションの運営。  
よい経験の共有、産業界のリーダー向けの重要課題を話す要点の配布。コミュニケーション訓練。ネットワーキング。  
活動家の活動の追跡。ソーシャルメディア統合連携。産業界のための緊急時対応の連携。
2. 原子力エネルギーのブランド化:  
研究に基づくテーマ設定、公衆意識調査や公衆意見の研究。  
政策リーダーに焦点。州のリーダーに2次的焦点。目標を絞った宣伝とソーシャルメディア利用。
3. メディア関係:  
全国メディアに産業界の声を届ける
4. ネットワーキング:  
Clean and safeエネルギー連携を運営(4000以上の組織が参加)。
5. 論説サービス:  
ファクトシートや政策説明発表、原子力エネルギーやNEIの概要を発信、日刊・週刊の情報発信。  
ウェブやソーシャルメディア(ブログ、ツイッター、フェースブック、リンクトイン、ユーチューブ)を最大限に利用、小冊子、ビデオ
6. 創造的サービス:  
NEIと産業界のプロダクトに対するブランド戦略の立案。
7. 世論の研究:  
研究機関(ビスコンティ研究所)と連携して米国民や原発立地地域住民の意識調査等も実施。

## 6. 廃止措置及び放射性廃棄物への対応

# 東電福島原発の廃炉

- 東電福島原発における廃炉・汚染水対策は、長期にわたる世界に前例のない事業である。
- 「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ（平成27年6月廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議改訂）」に基づき、廃炉・汚染水対策とその進捗管理等が実施されている。
- また、中長期ロードマップの中では、東電福島原発の廃止措置等を、放射性物質によるリスクから、人と環境を守るための継続的なリスク低減活動と位置付け、基本原則を掲げ、適切な対応の実施を求めている。

## 中長期ロードマップにおける廃止措置終了までの期間区分



2013年11月より、4号機使用済燃料プールから燃料の取り出しを開始したことをもって終了。

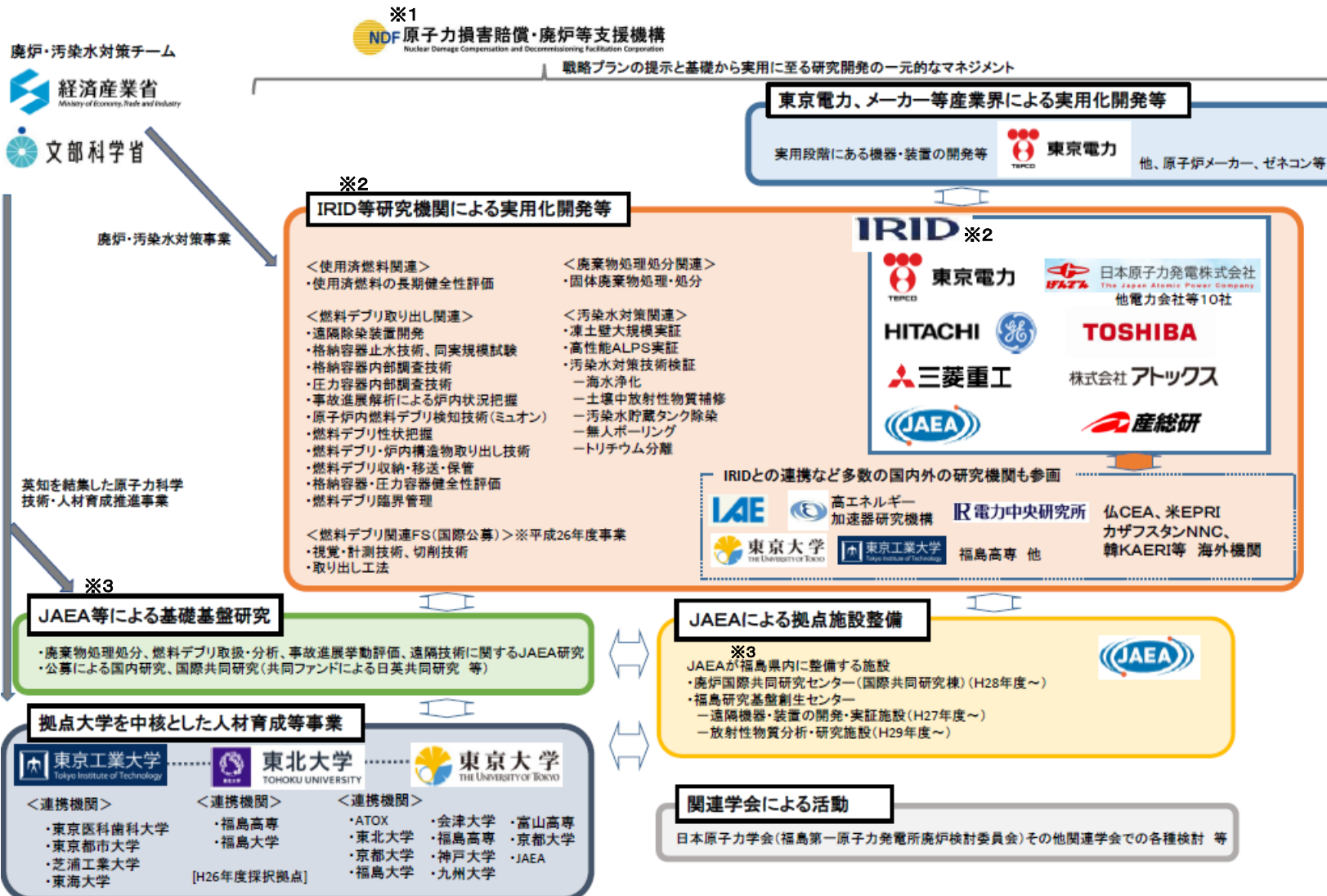
## 中長期の取組の実施に向けた基本原則

- 中長期ロードマップでは、下記の原則が掲げられている。

- 【原則1】地域の皆様、周辺環境及び作業員に対する安全確保を最優先に、現場状況・合理性・迅速性・確実性を考慮した計画的なリスク低減を実現していく。
- 【原則2】中長期の取組を実施していくに当たっては、透明性を確保し、積極的かつ能動的な情報発信を行うことで、地域及び国民の皆様の御理解をいただきながら進めていく。
- 【原則3】現場状況や研究開発成果等を踏まえ、中長期ロードマップの継続的な見直しを行う。
- 【原則4】中長期ロードマップに示す目標達成に向け、東京電力や政府を始めとした関係機関は、各々の役割に基づき、連携を図った取組を進めていく。政府は、前面に立ち、安全かつ着実に廃止措置等に向けた中長期の取組を進めていく。

# 東電福島原発の廃炉に向けた連携

- 「廃炉研究開発連携会議」のもと、原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)を中心に、基礎から実用に至るまでの研究開発の一元的なマネジメントを進め、関係機関が連携強化を図りながら研究成果の廃炉現場への適用を目指している。



## 各略称と正式名称

※1) NDF:  
原子力損害賠償・廃炉  
等支援機構

※2) IRID:  
技術研究組合 国際廃炉  
研究開発機構

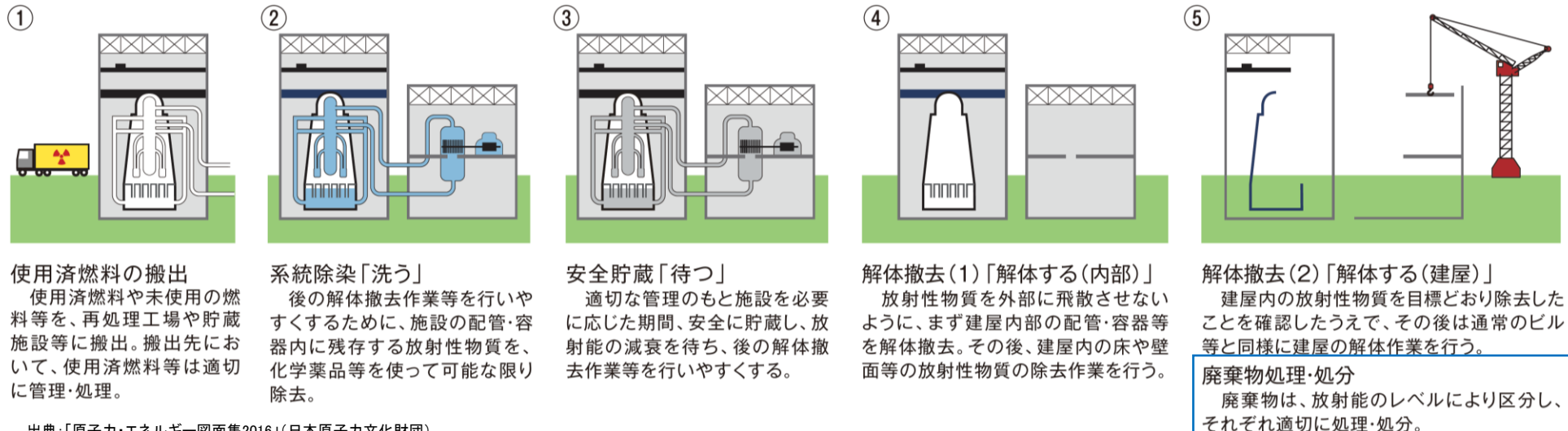
※3) JAEA:  
国立研究開発法人日本  
原子力研究開発機構

# 原子力施設の廃止措置の概要

- 原子力施設の廃止措置では、廃止措置計画の認可を原子力規制委員会から受けた上で、運転を終了した施設から保有する核燃料物質等を搬出し、核燃料物質による汚染の除去を行なった後、設備を解体・撤去する。また、放射性廃棄物については、放射能のレベルに応じて適切に処理・処分する。
- 廃止措置計画は、数十年に渡る長期的な計画である。
- 解体・除染等によって大量の廃棄物が発生することから、必要な処分地を確保しなければ、廃止措置にも影響が出てしまう。

## 原子炉の廃止措置の流れ

### ●廃止措置の標準工程<sup>(注)</sup>:沸騰水型原子炉(BWR) <sup>(注)</sup>具体的な方法については、状況に応じて事業者が決定し、原子力規制委員会が安全性を確認



## 廃止措置に伴う廃棄物量

### 【BWR中規模の場合】

- 低レベル放射性廃棄物: 7,650トン
- 放射性廃棄物ではない廃棄物: 220,430トン
- 放射性廃棄物として扱う必要のないもの(クリアランス対象物): 9,750トン
- L3(浅地中(トレンチ)処分): 6,750トン
- L2(浅地中(ピット)処分): 830トン
- L1(余裕深度処分): 70トン

### 【PWR中規模の場合】

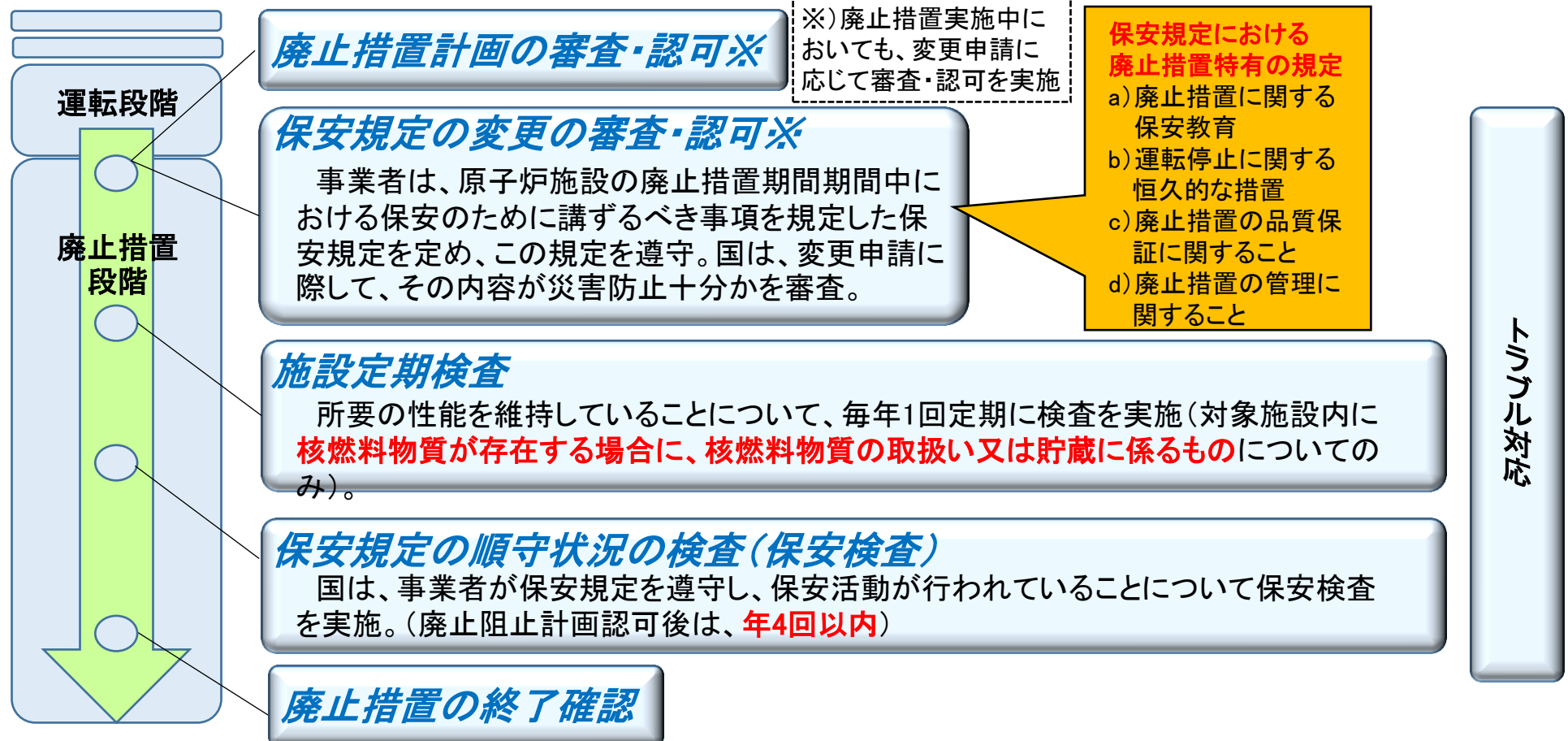
- 低レベル放射性廃棄物: 3,990トン
- 放射性廃棄物ではない廃棄物: 215,750トン
- 放射性廃棄物として扱う必要のないもの(クリアランス対象物): 8,080トン
- L3(浅地中(トレンチ)処分): 2,570トン
- L2(浅地中(ピット)処分): 1,230トン
- L1(余裕深度処分): 190トン

出典: 第2回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合配布資料2-1「原子力発電所等の廃止措置及び運転に伴い発生する放射性廃棄物の処分について」(電気事業連合会)



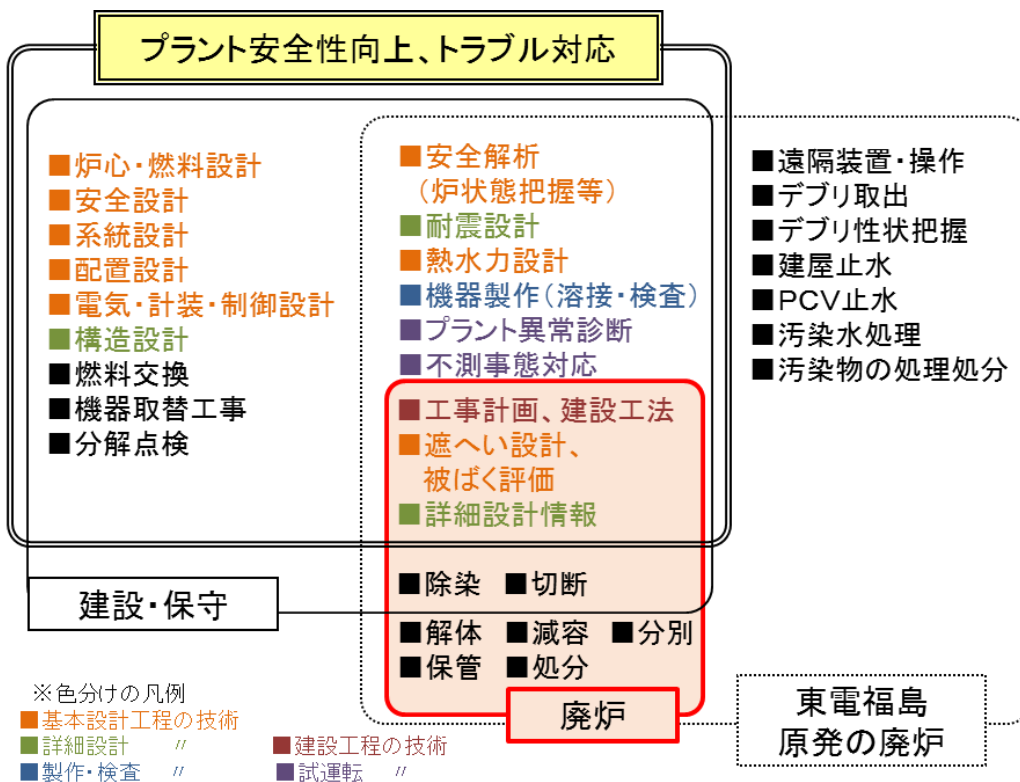
# 原子力施設の廃止措置の安全規制

- 原子力施設の廃止措置に当たっては、廃止措置計画を原子力規制委員会が認可。終了までの間、厳格な安全規制を実施。さらに、終了時点に、原子力規制委員会が終了確認を行う。
- 廃止措置段階において、安全確保のために要求される主な機能は、施設内の放射性物質の「閉じ込め」や放射線の遮へいである（原子炉の運転中は、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」が要求される）。
- 具体的には、(1)解体中における保安のために必要な原子炉施設の適切な維持管理の方法、(2)一般公衆及び放射線業務従事者の放射線被ばくの低減策、(3)放射性廃棄物の処理等の方法が適切なものであるか、廃止措置計画の認可の際に確認。



# 原子力施設の廃止措置に必要な経験と人材

- 原子力施設の廃止措置を行う際には、通常のプラント運転時に必要となる経験や知識・技術に加え、解体や減容など異なる分野の経験・知識・技術が必要となる。
- 長期にわたる原子力施設の廃止措置における特徴を踏まえると、対象施設の運転管理に携わった人材や他の施設での廃止措置の経験を活用し、継承することが必要である。



## 原子力施設の廃止措置における特徴

- 放射性物質の汚染拡大防止のための特別な管理
- 放射性物質で汚染又は放射化された設備のため、特殊な工法や工具による解体
- 放射線量が高い設備の解体は、人がそばに寄れないため、遠隔操作での実施 等

廃止措置における特徴等を踏まえると、

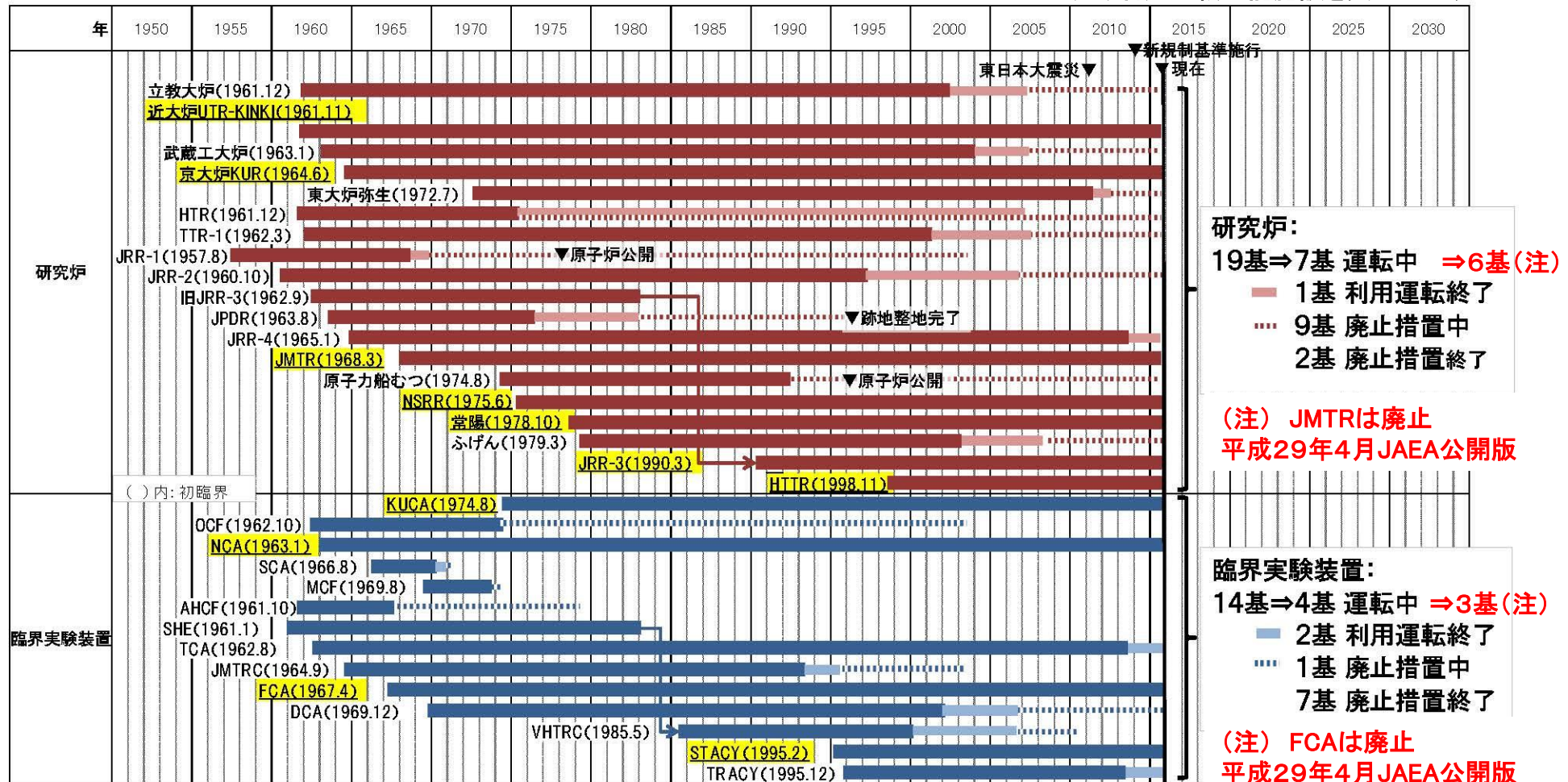
- ・ 対象施設の運転管理に携わった人材
- ・ 他の施設での廃止措置の経験

の活用が必要である。

# 試験研究炉等の廃止措置の推移と現状

- 累計33基の試験研究炉(臨界実験装置を含む)の多くは1960～1970年代に建設され、研究開発・人材育成に大きく貢献。
- 最盛期では約20基運転されていたが、現在は11基まで減少、全て停止中。稼動可能な施設も高経年化が進行。  
東日本大震災後は5基の研究炉・臨界実験装置の廃止措置が決定し、利用運転を終了。
- このような試験研究炉を含めた原子力施設の廃止措置を計画的に進めていくことが必要である。

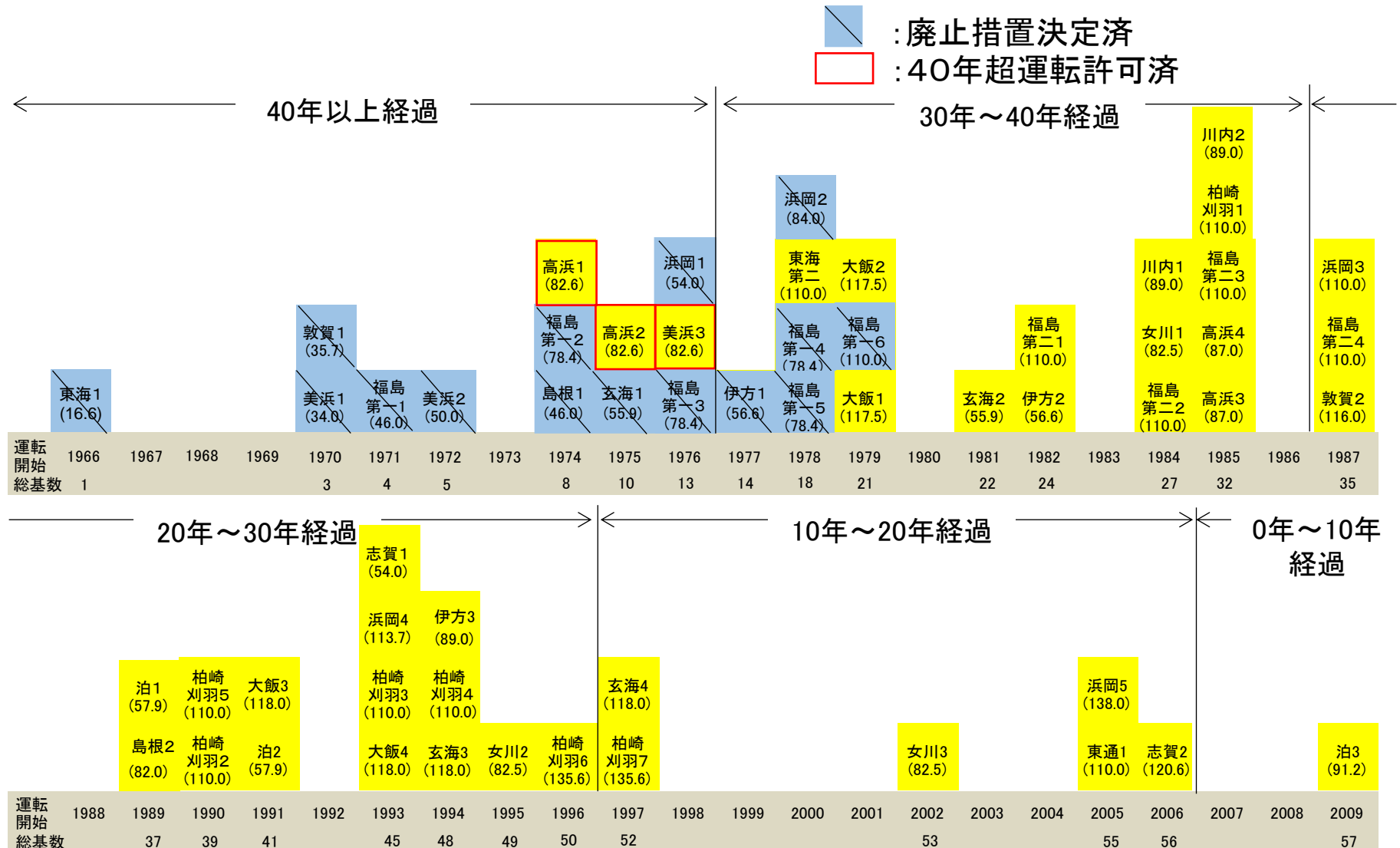
(注) 利用運転可能施設を黄色で示す





# 商業炉の現状（運転開始）

- 運転開始から40年以上経過した原発の多くが廃炉となっており、現時点（2017年3月）で40年を超えて20年間の運転延長が認可されている原発は3基のみ。



# 米国における研究炉・原子力研究施設等の廃止措置の状況

- 米国エネルギー省が、核兵器開発により汚染された施設・エリア、国立研究所の原子炉・原子力研究施設のクリーンアップを1989年から実施し、このための予算として、毎年60億ドルを措置している。
- 廃止措置は長期間に渡るとともに、放射性物質で汚染された設備の解体や、汚染拡大防止の特別な管理等が必要である。このため、長期的かつ安定的な財源確保を図っていく必要がある。

## 概要

- エネルギー省環境管理局(DOE・EM)は、核兵器開発により汚染された施設・エリア、国立研究所の原子炉・原子力研究施設のクリーンアップを実施。
- 1989年より放射性物質に汚染された35州の107サイト(約3,100平方マイル)を対象にクリーンアップを実施。
- これまでに91サイト、汚染された面積90%のクリーンアップを達成。現在、16サイトでクリーンアップを実施中。

### 具体的内容

- 液体放射性廃棄物処理施設の建設、運転
- 役割を終えた施設の除染、廃止措置
- 核セキュリティを確保した核物質管理
- 低レベル放射性廃棄物、TRU廃棄物の処理処分
- 汚染された土壌、地下水の環境修復
- 水銀の長期管理、貯蔵

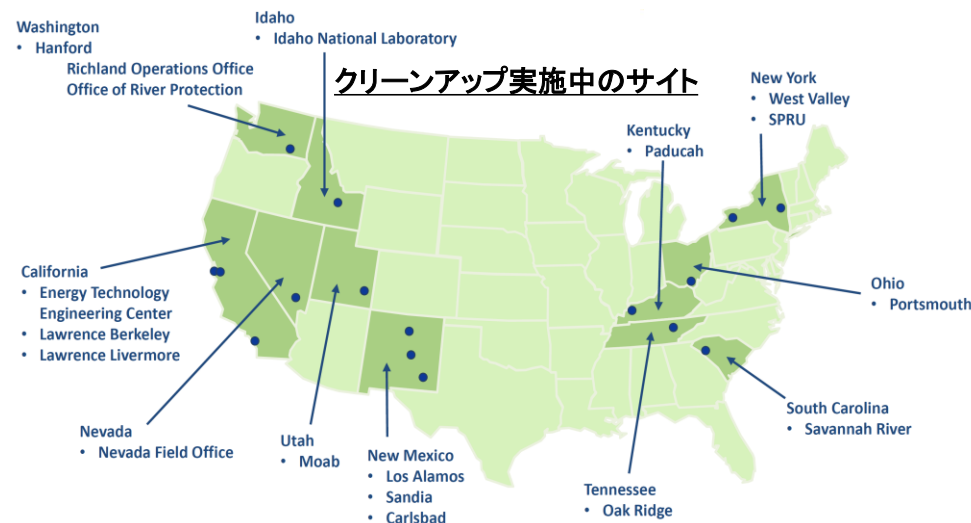
※大学の研究炉については、米国原子力規制委員会(NRC)の規制に基づき各組織の責任で実施。

## 財源

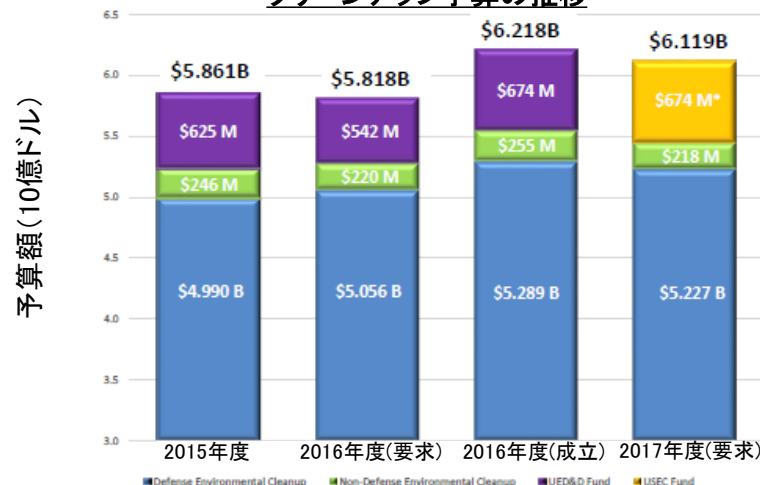
- これまでに総額1520億ドルがかかっている。
- 2017年度予算要求額は61.2億ドルである。

### 内訳

- 液体廃棄物処理施設の建設、運転: 24.1億ドル(約40%)
- 特殊核物質、使用済核燃料の管理: 8.7億ドル(約14%)
- 役割を終えた施設の除染、廃止措置: 8.9億ドル(約14%)
- TRU廃棄物、固体廃棄物の処理処分: 7.7億ドル(約13%)
- 技術開発等: 7.3億ドル(約12%)
- 汚染された土壌、地下水の環境修復: 4.5億ドル(約7%)



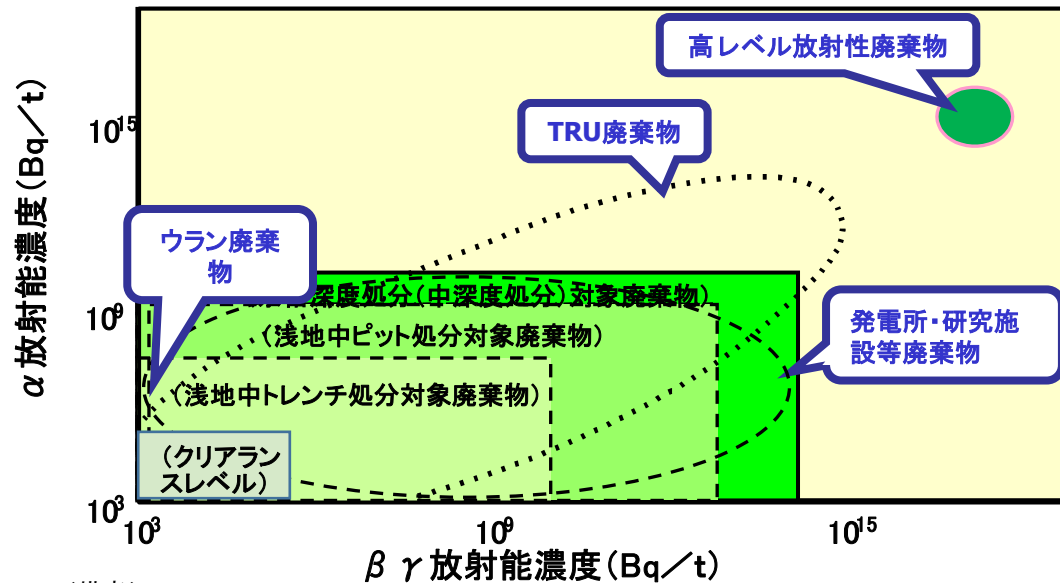
クリーンアップ予算の推移





# 放射性廃棄物の種類と処分方法

## 放射性廃棄物の区分、核種濃度分布等のイメージ



(備考)

【高レベル放射性廃棄物】 使用済燃料からウラン、プルトニウムを分離・回収した後に発生する高レベルの放射性廃液。我が国ではガラスと混ぜて固化処理している。

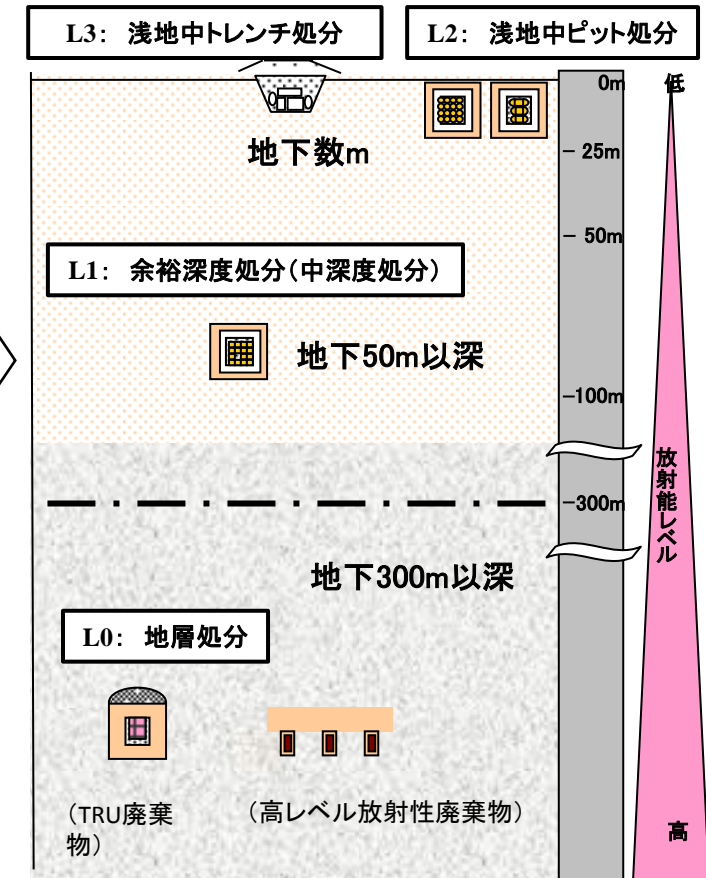
【ウラン廃棄物】 ウラン濃縮施設、ウラン燃料成形加工施設において発生する放射性廃棄物

【TRU廃棄物】 長半減期低発熱放射性廃棄物。再処理施設、MOX燃料加工施設において発生する放射性廃棄物

【発電所廃棄物】 原子力発電所において発生する放射性廃棄物

【研究施設等廃棄物】 研究開発施設、医療施設等において発生する放射性廃棄物

## 処分方法



(出所) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会「低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る安全規制について(中間報告)」(平成19年3月20日)等を基に当室が作成

# 放射性廃棄物の処分量と保管量

処分量	処分施設	平成19年度末処分量 <sup>*1</sup>	平成22年度末処分量 <sup>*2</sup>	平成25年度末処分量 <sup>*3</sup>
	発電所廃棄物／浅地中ピット処分	200,619本 <sup>*4</sup>	229,417本 <sup>*4</sup>	260,179本 <sup>*4</sup>
	研究施設等廃棄物／浅地中トレンチ処分	1,670t	1,670t	1,670t

保管量	廃棄物の種類		平成19年度末保管量 <sup>*1</sup>	平成22年度末保管量 <sup>*2</sup>	平成25年度末保管量 <sup>*3</sup>
	高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体)	国内分	304本 <sup>*5</sup> + 404m <sup>3*10</sup>	365本 <sup>*5</sup> + 380m <sup>3*10</sup>	593本 <sup>*5</sup> + 415m <sup>3*10</sup>
		返還分	1,310本 <sup>*6</sup>	1,338本 <sup>*6</sup>	1,442本 <sup>*6</sup>
	低レベル放射性廃棄物	国内分	約103,305本 <sup>*4*7</sup> + 3,908m <sup>3*10</sup>	約110,277本 <sup>*4*7</sup> + 4,009m <sup>3*10</sup>	約110,296本 <sup>*4*7</sup> + 4,146m <sup>3*10</sup>
		返還分	0本	0本	0本
	発電所廃棄物	余裕深度処分 (中深度処分)対象	制御棒: 約8,992本 + 91m <sup>3*8</sup> チャンネルボックス等: 約62,375本 樹脂等: 17,370m <sup>3</sup> 蒸気発生器: 29基	制御棒 <sup>*9</sup> : 約8,644本 + 91m <sup>3*8</sup> チャンネルボックス等 <sup>*9</sup> : 約47,599本 樹脂等 <sup>*9</sup> : 14,691m <sup>3</sup> 蒸気発生器: 32基	制御棒: 約10,437本 + 91m <sup>3*8</sup> チャンネルボックス等: 約71,018本 樹脂等: 18,686m <sup>3</sup> 蒸気発生器: 32基
		浅地中ピット処分対象	制御棒駆動機構案内管等: 5本 その他: 1,665m <sup>3</sup>	制御棒駆動機構案内管等: 5本 その他 <sup>*9</sup> : 1,495m <sup>3</sup>	制御棒駆動機構案内管等: 5本 その他: 1,682m <sup>3</sup>
		浅地中トレンチ処分対象	均質固化体、充填固化体及び 雑固体: 約568,336本 <sup>*4</sup>	均質固化体、充填固化体及び 雑固体 <sup>*9</sup> : 約504,897本 <sup>*4*</sup>	均質固化体、充填固化体及び 雑固体: 約696,896本 <sup>*4</sup>
	研究施設等廃棄物 <sup>*11</sup>		約614,775本 <sup>*4</sup> + 62.33m <sup>3*10</sup>	約575,472本 <sup>*4</sup> + 89.0m <sup>3*10</sup>	約595,743本 <sup>*4</sup> + 78.68m <sup>3*10</sup>
	ウラン廃棄物		約44,139本 <sup>*4</sup> + 21.19m <sup>3*10</sup>	約49,066本 <sup>*4</sup> + 22.16m <sup>3*10</sup>	約50,963本 <sup>*4</sup> + 23.616m <sup>3*10</sup>

(備考) \*1: 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約  
\*2: 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約  
\*3: 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約

日本国第3回国別報告 平成20年10月  
日本国第4回国別報告 平成23年10月  
日本国第5回国別報告 平成26年10月

\*4: 2000ドラム缶換算本数  
\*5: 1200容器[JAEA]、1600容器[日本原燃]の合計本数  
\*6: 1700容器本数

\*7: せん断被覆片等: 10000ドラム缶本数を含む  
\*8: 日本原電東海発電所  
\*9: 東電福島第一原子力発電所保管量を除く  
\*10: 液体廃棄物等  
\*11: 医療廃棄物を除く

# 放射性廃棄物の保管容量の確保状況

- 一部の原子力事業者等の有する放射性廃棄物の保管容量は逼迫しつつある。

## 実用発電用原子炉施設※3

### 放射性廃棄物の保管状況

実用発電用原子炉施設	保管量(本※2)	保管容量(本※2)	占有率
	約493,800	約674,900	73%

## 日本原子力研究開発機構※4

### 各拠点の放射性廃棄物の保管状況

拠点	保管量(本※2)	保管容量(本※2)	保管率
原子力科学研究所	128,559	139,350	92%
核燃料サイクル工学研究所	147,412	187,596	79%
再処理	(83,110)	(102,460)	81%
Pu	(29,269)	(37,560)	78%
ウラン、他	(35,033)	(47,576)	74%
大洗研究開発センター	30,379	42,795	71%
ふげん	19,048	21,500	89%
もんじゅ	6,224	23,000	27%
人形峠環境技術センター	15,805	16,903	94%
むつ	1,079	1,768	61%
合計	348,506	432,912	81%

※1 保管量は平成27年度末の値

※2 本数は200リットルドラム缶換算の値

※3 原子力規制庁、原子力施設に係る平成27年度放射線管理等報告について(平成28年11月16日))より引用。福島第一原子力発電所を除く。

※4 原子力規制委員会公開資料(平成27年度放射線管理状況報告書、平成27年度放射性廃棄物管理状況報告書、放射線業務従事者線量等報告書平成27年度分)よりJAEAが作成したものより引用

# 放射性廃棄物の処分場確保等の状況

- 現在操業中の処分場は、日本原燃㈱の浅地中ピット処分場（「低レベル放射性廃棄物埋設センター」）のみ。
- ウラン廃棄物等、処分方法が明確になっていない放射性廃棄物も存在する。

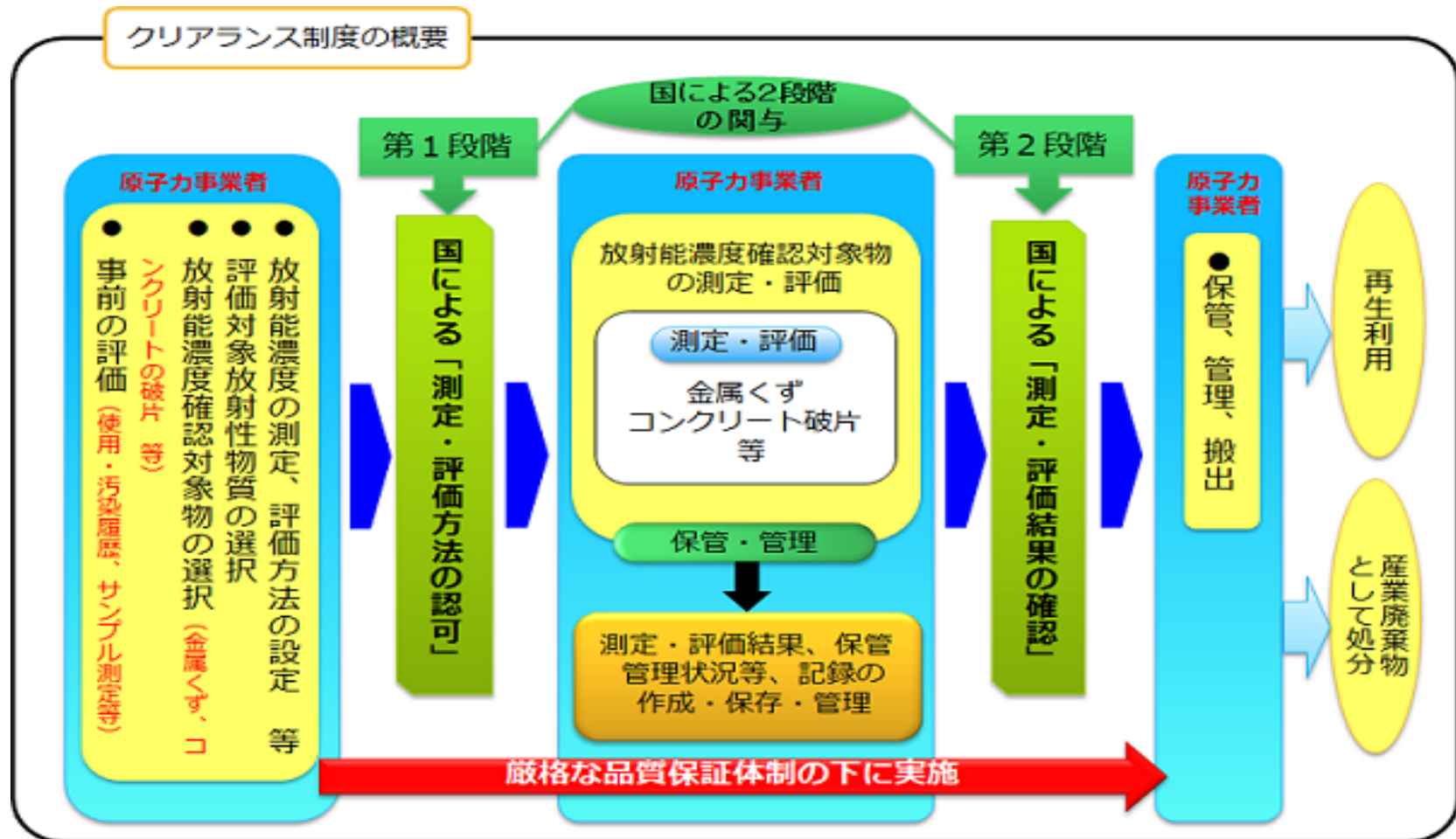
	処分方法	処分場確保の状況	処分実施主体
原子力事業関連	浅地中トレンチ処分（L3）	日本原子力発電㈱が申請中	各原子力事業者
	浅地中ピット処分（L2）	確保済・操業中	日本原燃㈱
	余裕深度処分（中深度処分）（L1）	未定	未定
	地層処分（L0）	未定	原子力発電環境整備機構（NUMO）
研究開発等関連 ※2	浅地中トレンチ処分（L3）	未定※1	日本原子力研究開発機構（JAEA）
	浅地中ピット処分（L2）	未定	日本原子力研究開発機構（JAEA）
	余裕深度処分（中深度処分）（L1）	未定	日本原子力研究開発機構（JAEA）
	地層処分（L0）	未定	未定

※1 動力試験炉（JPDR）の解体時に発生した極低レベルコンクリート廃棄物の埋設施設は平成9年から埋設地の保全段階に移行。

※2 研究開発施設、医療施設等において発生する放射性廃棄物

# クリアランス制度の概要

- クリアランスとは、放射線レベルが低く人の健康への影響が無視できる放射性物質又は放射性の物体を放射線防護規制の対象から除外すること。
- 原子力規制委員会による確認等を経て再利用等されることになっているが、まだその実績は乏しい。





# 主要国における放射性廃棄物処分の全体的な進捗管理への国の関与等の状況

➤ 欧州諸国は、放射性廃棄物処分の全体的な進捗管理に国が積極的に関与している。

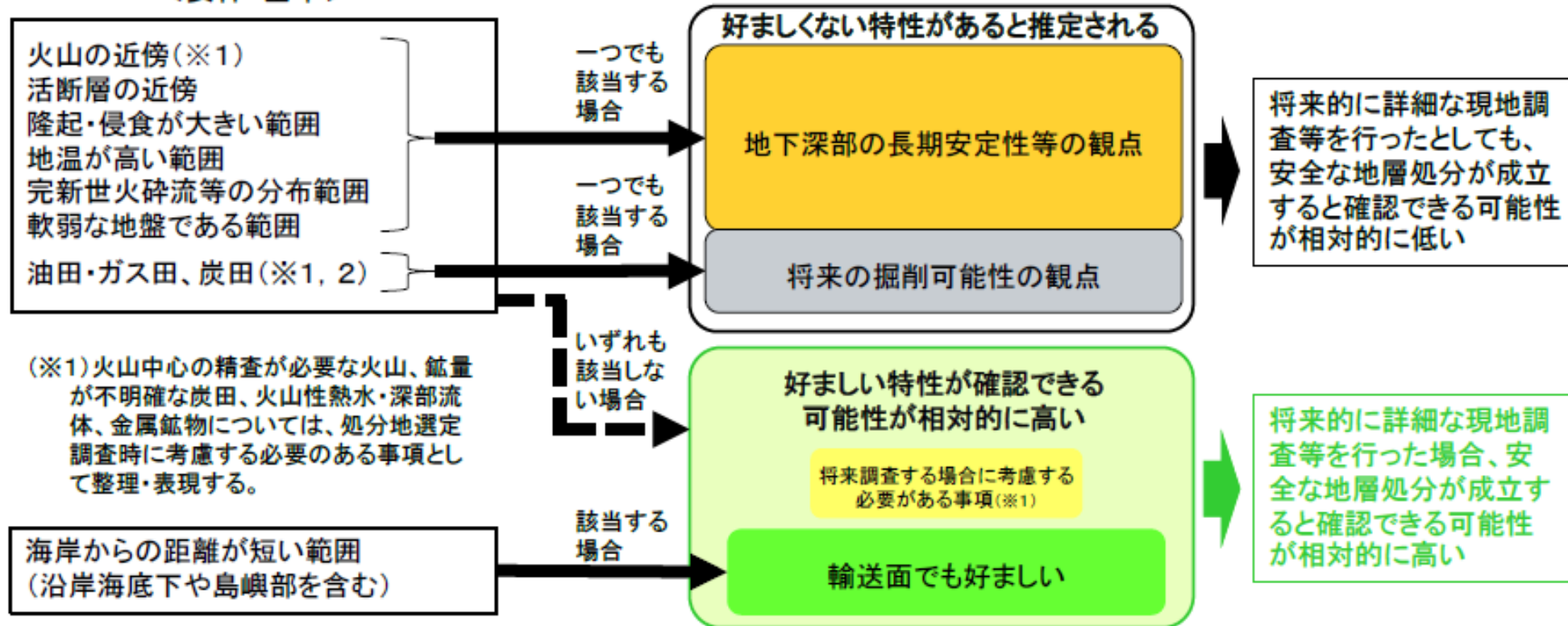
		フィンランド	仏国	独国	米国	日本
政府		・全体計画の策定、実施状況の監督・監視 ・放射性廃棄物在庫目録 ・規制	・全体計画の策定、実施状況の監督・監視 ・放射性廃棄物在庫目録 ・規制	・全体計画の策定、実施状況の監督・監視 ・放射性廃棄物在庫目録 ・規制	・全体計画・全体在庫目録は作成せず。 ・推進 ・発生源別に在庫目録を整備 <u>高レベル放射性廃棄物</u> ・推進(エネルギー省(DOE)) ・規制(原子力規制委員会(NRC)) <u>低レベル放射性廃棄物</u> ・推進(州政府) ・規制(NRC、またはNRCとの協定州は州政府)	・全体計画・全体在庫目録は作成せず(ただし、事業者の報告する保管状況を取りまとめて公表)。 ・規制
実施主体	高レベル放射性廃棄物	ポンヴァ社(原子力発電事業者が共同出資した会社)	放射性廃棄物管理機関 ANDRA(公社)	連邦放射性廃棄物機関(BGE)(100%国有組織)	エネルギー省(DOE)(国)	原子力発電環境整備機構(NUMO)
	低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物 原子力発電事業者(TVO社、FPH社) 研究施設等廃棄物 放射線・原子力安全センター(STUK)が貯蔵中。 TVO社のVLJ処分場での処分が承認。	同上	同上	クラスCを超える(GTCC)廃棄物 エネルギー省(DOE)(国) <u>クラスA、B、C廃棄物</u> 民間企業	原子力事業関連廃棄物 日本原燃株(原子力事業者等の共同出資会社) 研究施設等廃棄物 日本原子力研究開発機構(JAEA)
処分場の確保	高レベル放射性廃棄物	建設中	処分場設置許可申請書の提出準備中	連邦政府の「高レベル放射性廃棄物処分委員会」においてサイト選定プロセスを見直し中	サイト選定プロセスを見直し中。ただし、ユッカマウンテンを処分場として定めた法律は存続。	調査段階前
	低レベル放射性廃棄物	オルキルト処分場、ロビーサ処分場を操業中	オーブ処分場、モルビリエ処分場を操業中	コンラッド処分場を建設中	バーンウェル処分場、リッチランド処分場、クライブ処分場、WCSテキサス処分場(いずれも民間)を操業中	日本原燃株「低レベル放射性廃棄物埋設センター」を操業中

備考：公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターからのヒアリング等に基づき当室作成。軍事廃棄物は除く。

# 「科学的特性マップ」の提示

- 高レベル放射性廃棄物等の最終処分に関しては、最終処分法上の基本方針等に基づき、国が「科学的特性マップ」を提示することとなっている。

## ＜要件・基準＞



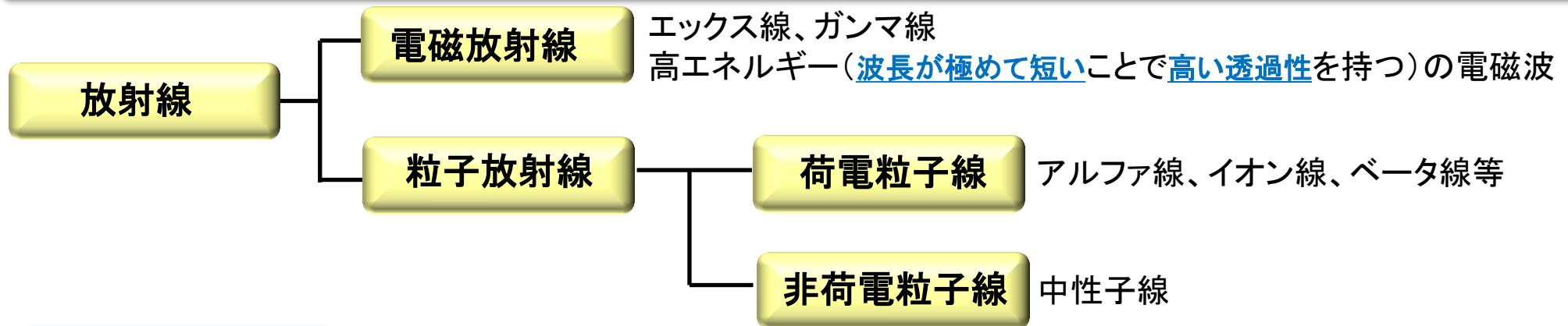
(※2) 鉱物資源については、当該資源が存在しうる範囲を広域的に示したものであることに留意が必要。

出典：平成29年4月17日に経済産業省ホームページにて公表された「地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果(地層処分技術WGとりまとめ) 平成29年4月 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術WG」より抜粋。

## 7. 放射線・放射性同位元素の利用の展開

# 放射線利用の概要

- **放射線**とは、**電磁放射線**（高エネルギーの電磁波）と**粒子放射線**（高い運動エネルギーを持って流れる粒子）の総称。
- **放射線**は、**原子核反応や原子核の壊変により発生**するものと、**原子のエネルギーレベルの変化によって発生**するものがあり、いずれも直接あるいは間接的に**物質中の原子や分子を電離**（電離作用）する他、物質によっては**発光**（蛍光作用）させたり、**化学変化**を起こしたりする。
- **放射線を、医療、工業、農業、学術等の分野において利用することを「放射線利用」という。**



## 放射線利用の特徴

- ① 物質を透過したり、原子核で散乱したりするため、その物質や生体の内部を細部まで調べることができること
- ② 局部的に大きなエネルギーを付与して微細加工を行ったり、材料に特殊な機能を与えてこれまでの技術では得られない新しい材料を創生したりすること
- ③ 周囲への影響を抑えながら、集中的に細菌やがん細胞などを殺傷する能力を有していること
- ④ 有害な化学物質等を利用せずに加工処理ができるため、環境への負荷が小さいこと

## 量子ビームテクノロジー

- 技術進展により、従来と比較して強度が強く、目的にあった質の高い粒子線や電磁波の発生・制御が可能に。
- 加速器、高出力レーザー装置、研究用原子炉等の施設・設備を用いて、**高強度で高品質な量子ビームを発生・制御する技術**及びこれらを用いて高精度な加工や観察等を行う利用技術を「量子ビームテクノロジー」という。

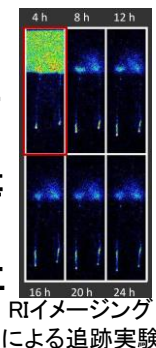
# 放射線利用の現状①

- 放射線は科学技術、工業、医療、農業、環境保全など幅広い分野において利用されており、科学技術の進歩、国民の福祉、国民生活の水準向上等に大きな貢献をしている。さらに、量子ビームテクノロジーの活用も進んでいる。
- 放射線発生装置や放射線同位体(RI)を利用する事業所は、国内で7,985か所(平成27年3月現在)

## 主な放射線利用の例

### 【科学技術】

- X線・中性子・量子ビームによる構造解析や材料開発等
- 放射性同位元素(RI)イメージングによる追跡解析



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

### 【工業】

- 精密計測
- 非破壊検査
- 材料の改良・機能性材料の創製  
(自動車タイヤ、半導体素子加工プロセス等)
- 滅菌・殺菌等(医療器具等)

半導体

半導体の製造

ラジアルタイヤの製造



微細加工、不純物導入等、放射線による加工技術を利用して半導体を製造。



電子線照射によりゴムの粘着性の制御を容易にできることを利用。

### 【農業】

#### ○品種改良

耐病性イネの作出



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

ウリミバエの根絶



放射線を照射し不妊化したオスを大量に放ち、孵化しない卵を産ませ、害虫を根絶

#### ○食品照射

ジャガイモ芽止め



(未照射)(照射済み)  
放射線照射によってジャガイモ発芽を防止

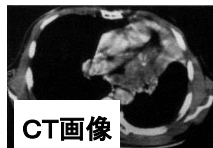
### 【核セキュリティ】

- 核鑑識技術(核物質等の出所、履歴、輸送経路、目的等)を分析・解析)
- 隠匿された核物質の検出

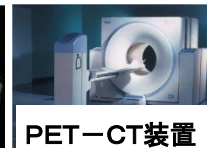
### 【医療】

#### <放射線による診断>

- レントゲン、X線CT
- PET  
(陽電子放射断層撮象法)



CT画像



PET-CT装置

#### <放射線による治療>

- リニアック  
線形加速器で作成したX線により治療する方法
- ガンマナイフ  
放射性同位元素から発生するガンマ線により治療する方法
- 重粒子線による治療  
加速器により加速した重粒子線(陽子線・炭素線)により治療する方法


### 【環境保全】

- 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等



# 放射線利用の現状②

- 放射線は、『創る・加工する(原子・分子レベルで加工する)』、『観る(原子・分子レベルで観察する)』、『治す(細胞レベルで治療する)』といった形で、科学技術イノベーションや産業活動の重要なツールとして幅広い分野で利用されている。

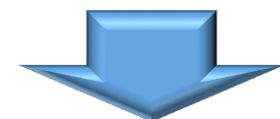
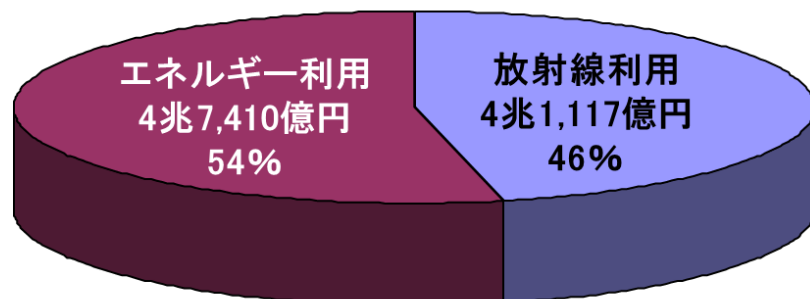
<div></div> <div>創る・加工する</div> <div>半導体製造(イオン注入) 半導体製造(中性子ドーピング) タイヤ ボタン電池膜 燃料電池膜 超耐熱炭化ケイ素 創傷被覆材 形状記憶性樹脂 カーボンニュートラル・プラスチック 有用・有害金属捕集材 植物新品種の育種 新品種酵母 害虫駆除 食品照射</div>	<div></div> <div>観る</div> <div>高温超電導材料 磁性材料 スピントロニクス材料 表面機能材料 省エネ材料 水素貯蔵材料 リチウムイオン電池 スーパーインテリジェント触媒 宇宙用マイクロプロセッサ 遺伝子試薬 観ることに よって創れる</div>	<div></div> <div>観る</div> <div>X線診断 X線CT MRI 骨シンチレーション検査 PET 創薬 抗がん剤の物質分布解析 バイスタンダー効果 観ることに よって治せる</div>	<div></div> <div>治す</div> <div>X線治療 ガンマ線治療 粒子線治療 レーザー加速粒子線治療 BNCT (ホウ素中性子捕捉療法) 内用放射線治療(RI) 非侵襲血糖値センサー</div>
海水中ウラン捕集技術 セシウム捕集用給水器 FELによる解体技術 白金族元素分離回収技術		電線・ケーブル類健全性試験 応力腐食割れミクロ診断 炉内検査技術 配管変形監視技術 核鑑識技術 疑惑物資産地同定技術	<div></div> <div>←原子力エネルギーへの援用</div>

# 放射線利用の経済規模と利用実態

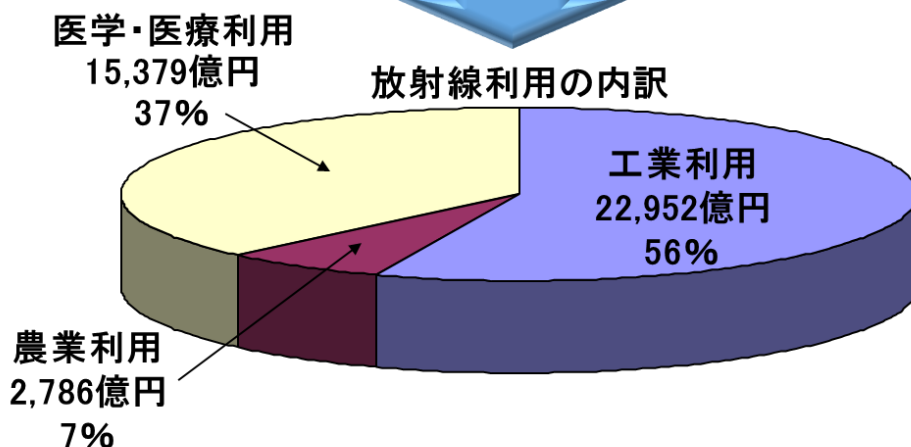
- 放射線利用はエネルギー利用と**ほぼ同じ経済規模**で利用されている。
- 放射線同位体(RI)や放射線発生装置を利用する事業所は、近年増加傾向であり、7,515か所(平成27年3月現在)である。この増加の要因は、平成17年度の設計認証制度導入に伴った表示付認証機器の届出事業者(主に民間)の増加である。一方、研究機関の数は、近年、減少傾向にある。

## 平成17年度の放射線利用の経済規模

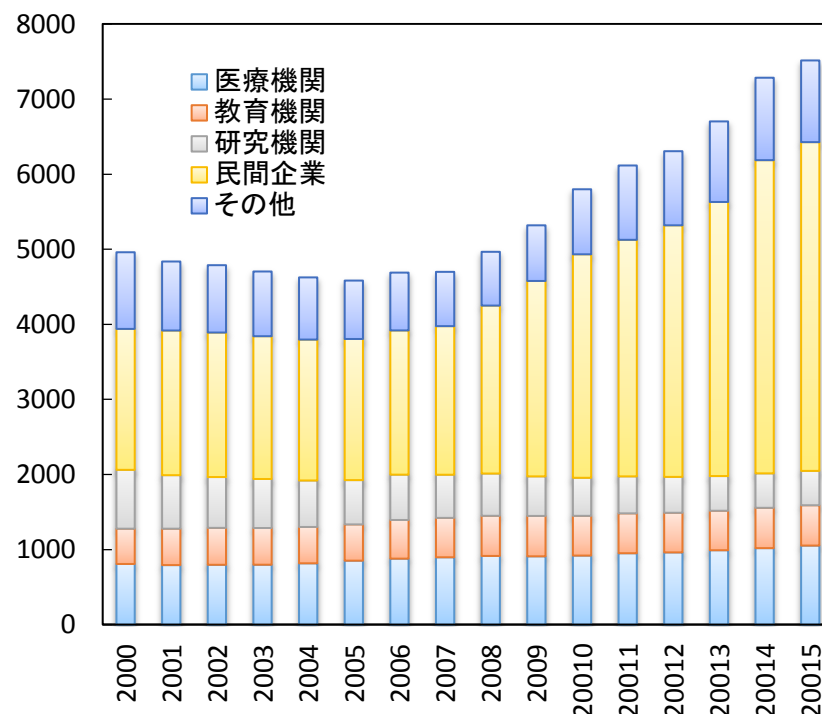
総額 8兆8,500億円



放射線利用の内訳



## 放射線同位体(RI)・放射線発生装置の使用許可・届出事業所数の推移



注1) 放射線障害防止法の規定にもとづいて、RIまたは放射線発生装置の使用を原子力規制委員会に許可された事業所(許可事業者)及び、1個または1式あたりの放射能が下限数量の1,000倍以下の密封された放射性同位元素のみの使用を原子力規制委員会に届け出た事業所、表示付認証機器の使用を届け出た事業所の推移  
 注2) 放射線障害防止のための機能を有する部分の設計や使用条件等が、国または登録機関による認証を受けた設計に合致することがあらかじめ認証された機器

# 米国における放射線利用の経済規模

- 放射線同位体を用いた技術の産業への応用(放射線利用)は、1995年の時点で3000億ドル以上の経済効果をもたらし、400万人の雇用を生み出している。
- 放射線利用分野は広く産業に影響を与えており、その経済効果や雇用への影響は、エネルギー利用分野の影響を大きく上回る。

## 米国の産業における核エネルギーや放射性同位体を用いた技術による売上高や雇用(1995年)

産業	売上高(100万\$)			雇用(件数)		
	原子力産業	放射性同位体	総計	原子力産業	放射性同位体	総計
家畜や関連生産物	53	1,753	1,806	366	15,221	15,587
鉄鉱、鉱業	23	981	1,004	103	5,532	5,635
建築保守、修理	4,742	5,062	9,804	36,199	48,633	84,832
材木、木製品	233	2,531	2,764	1,989	27,211	29,200
製紙、関連商品	243	4,825	5,067	1,029	25,795	26,825
化学薬品や化学製品	756	9,491	10,247	2,673	42,277	44,950
ゴムやプラスチック製品	303	6,802	7,105	2,343	66,213	68,555
素材鉄、スチール加工	495	7,118	7,614	2,390	43,239	45,630
暖房装置、金属製品	289	1,534	1,823	2,562	17,119	19,682
エンジン、タービン	623	1,028	1,651	2,761	5,747	8,508
一般産業機械	180	1,840	2,020	1,299	16,727	18,026
通信機器	255	3,322	3,577	2,179	35,754	37,933
運輸、倉庫	3,615	10,915	14,530	34,536	131,300	165,836
電気、ガス、衛生サービス	40,756	13,620	54,376	118,586	49,918	168,505
販売と小売り	1,428	11,705	13,133	23,910	246,888	270,798
金融、保険	1,437	5,695	7,131	14,096	70,384	84,480
ホテル、サービス	204	2,373	2,577	4,290	62,758	67,048
ビジネスサービス	1,903	15,819	17,722	24,181	253,116	277,297
健康、教育、非営利	147	47,546	47,693	2,657	1,081,805	1,084,462
全産業 ※	\$90,151	\$330,739	\$420,890	442,406	3,953,461	4,395,866

※全産業には個々にリストアップされていないすべての産業を含む

## 8. 原子力利用の基盤強化

# 米国における研究開発を加速するための技術支援体制の構築

- 米国では、研究開発を加速するための支援体制を構築。
- この取組では、**国立研究所が中心的な役割**を担い、**原子力事業者等に対して、施設・設備や技術サポート等を提供**。

## 米国の取組事例 ～ Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear ～

- 米国エネルギー省(DOE)では、**先進的な原子力エネルギー技術を迅速かつ効率的に商業化**につなげるために、GAIN (Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear)を2015年から開始。



問題意識

- 原子力エネルギー技術の商業化には**非常に時間がかかる**
- 研究開発施設の**開発・維持に係る費用が非常に高い**。さらに、**DOEや国立研究所が持つ有用な研究開発資源**(研究開発施設や専門家、データ等)が**外部から利用しづらい**。
- 新しい原子力エネルギー技術の**規制手続きへの支援**を求める声が多い

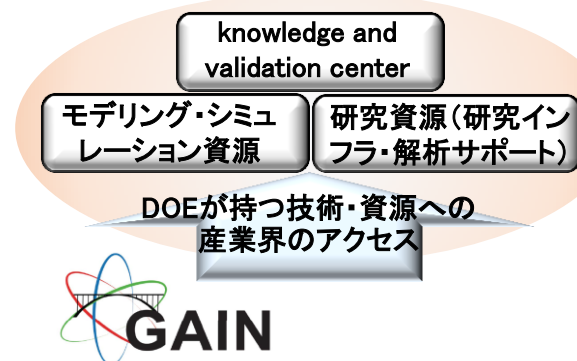
等

- 既存の原子力発電所の安全性・信頼性・経済的運用の継続の確保や、先進的な原子力エネルギー技術の商業化に向けて必要となる支援を原子力事業者をはじめとした**原子力エネルギー・コミュニティに包括的に提供する仕組み**を構築

- ①**技術・資源面**: 人的資源や施設・設備の提供 ②**規則面**: 規制手続きへの指導協力  
③**財政面**: 官民折半の支援等

### 技術・資源面の支援例

- 国立研究所が保有する**試験研究炉や制御システム試験装置**などの施設・設備の利用提供
- **モデリングやシミュレーション・ツールを備えたコンピューター施設**の利用提供
- 米国内外の132機関が保有する465施設の963の設備に関する情報を網羅的に**検索できるカタログ**(NEID)を提供
- **knowledge and validation center**を通じた**情報やデータ**の提供



- 上記の支援を通して、軽水炉持続プログラムなど**DOEの関連プログラムを実施する上での基盤として機能**

## 国立研究所が担う役割

- GAINは、DOEが所管する**アイダホ国立研究所(INL)**に本部を設置。特に、**技術・資源面での支援について中心となってマネジメント**。例えば、INLやその他の国立研究所が運営しているテストベッド(技術検証を行うプラットフォーム)やデモプラット等の**一括窓口をINLが担当**。さらに、試験研究炉等を利用する際には**技術的支援も提供**。



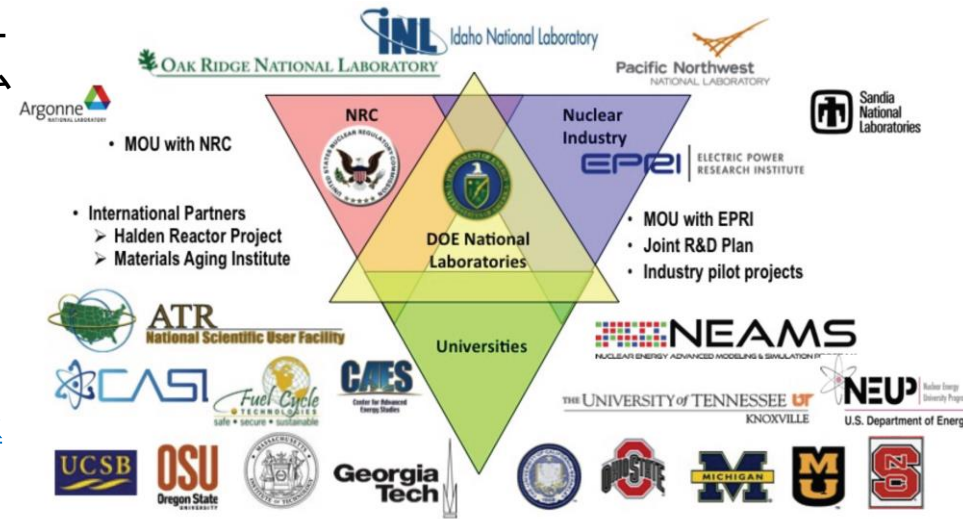
# 欧米における産業界と大学・研究機関の連携例①

- 新しい技術を市場に導入するのは主として原子力事業者である一方、技術創出に必要な新たな知識や価値を生み出すのは研究機関・大学であり、両者の連携は、技術開発において有効である。
- 米国や欧州では、原子力事業者と研究機関・大学が知識基盤を共有しつつ、強みを活かして連携・共同が図られている。

## 米国の取組事例 ～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](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)

- 実施計画の策定及び研究開発の実施を共同で行う
- 共同出資を行うものもある
- 共同のマネジメントは、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)

#### 連携(Coordinated activity)

- 実施計画の策定で連携するとともに、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を実施
- 連携のマネジメントは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)

# 欧米における産業界と大学・研究機関の連携例②

## 欧州の取組事例 ～NUGENIA～

### 概要

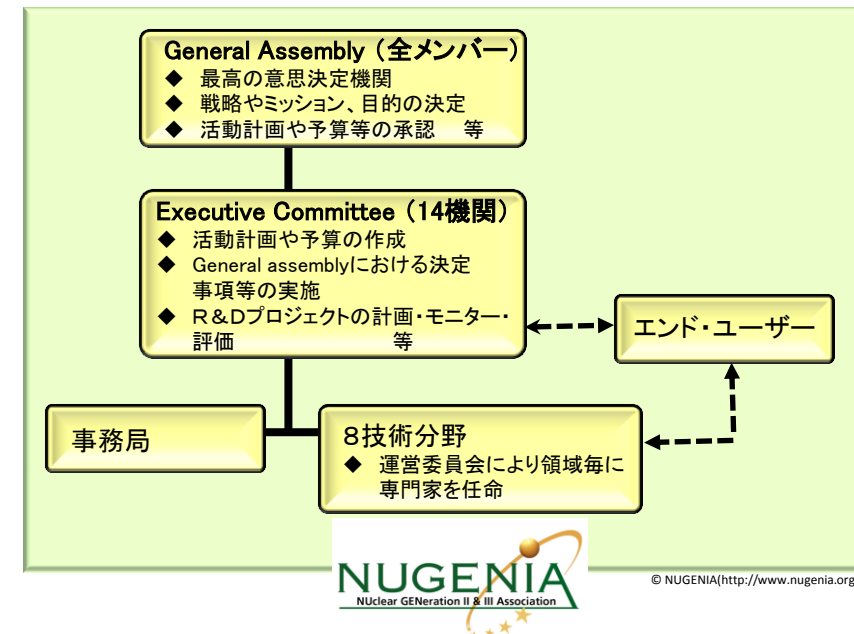
- NUGENIAは、安全で信頼性、競争力のある第二、第三世代の核分裂技術を実現するために、2012年に設立された枠組。
- 欧州を中とした政府、企業、研究開発機関、大学の103のメンバーが参画。
- 産業界、研究開発機関、大学、規制機関、業界団体等の連携推進、知識基盤の構築、付加価値の高い研究開発結果を実用化させることがミッション。
- 8分野(原子炉安全及びリスク評価、過酷事故、原子炉オペレーション改良、軽水炉技術の向上等))をターゲットとして、2012～2014年間で17プロジェクトを実施するとともに、2015年に新たに19のプロジェクトが立ち上げ。
- 各国で重なるプロジェクトの無駄の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

- NUGENIA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を中心とした連携例

- 米国では、電力中央研究所 (EPRI) を中心として産業界内での連携も実践されている。

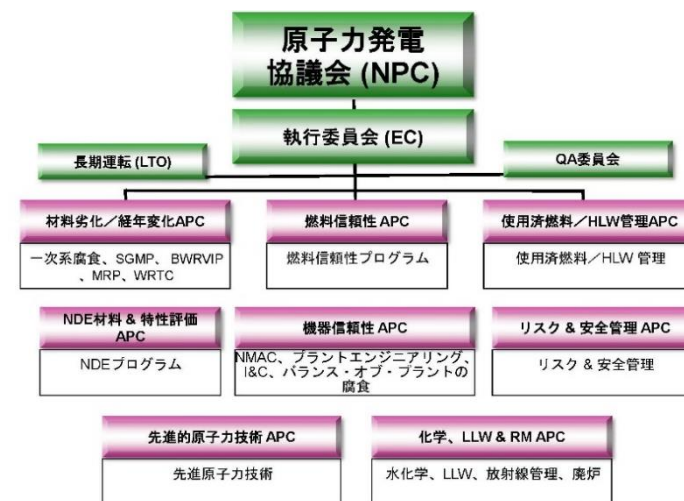
## 米国EPRI(Electric Power Research Institute電力中央研究所)の取組事例

### 概要

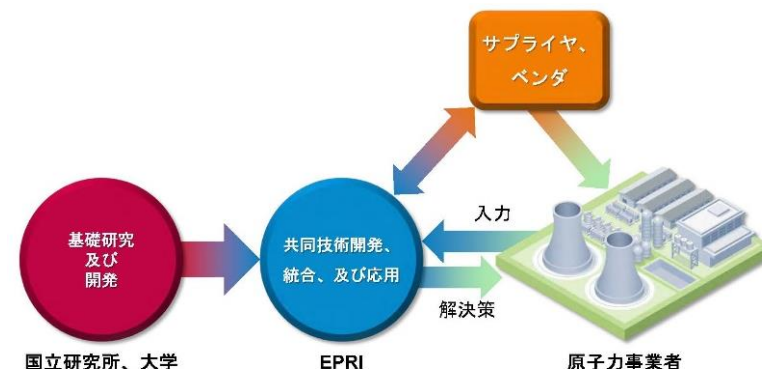
- EPRIは1972年、電気事業者により、電気事業者のために創設。
- 公益エネルギー及び環境研究のための独立非営利組織。
  - ー原子力、発電、電力の供給と利用及び環境
- 世界各国からの参加
  - ・米国の電力会社全23社(米国)
  - ・CEZ(チェコ共和国)
  - ・COG(カナダ、ルーマニア)
  - ・CFE(メキシコ)
  - ・中部電力、中国電力、関西電力、四国電力、東京電力他(日本)
  - ・EDF(フランス)
  - ・EDFエナジー(英国)他

### 活動内容

- 会員と発電所のニーズに焦点を合わせる。
  - 諮問会議、ワークショップなどを通じて会員の声を聴く。
- 予算の範囲内で、期限内にニーズに対応した結果を発表する。
- 予算プロセス
  - 財源: 政府、企業の研究開発資金、O&M予算、個人グループ
  - 意思決定レベル
    - ・ 1990年以前は企業/グループレベルで、CEO
    - ・ 現在はグループレベルとプログラムレベルの組み合わせ
- 成果
  - 技術ガイドライン ・保守及びプロセス手引書 ・技術開発
  - ソフトウェア(MAAP事故解析コード等)他



【EPRIの構造】



【EPRIのアプローチ】



# 欧米における過酷事故に関する知識基盤の産学連携による構築

- 欧米では、研究機関・大学・原子力事業者が連携・協働して過酷事故に関する知見を収集・体系化・共有し、必要な対策の検討を図っている。

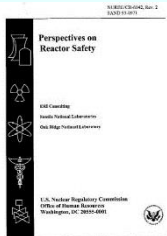
## 米国規制委員会NRCの取組事例

- NRCが主導して、25か国以上が参加する国際プログラム『過酷事故研究共同プログラム (Cooperative Severe Accident Research Program)』を1988年より実施。

### 具体的な取組例

- ✓ 過酷事故の現象解明研究やコードの開発・改良等を実施。また、開発したコードを用いて、事故時の放射性物質挙動などオフサイトへの影響評価を実施。
- ✓ メンバー間でのデータや知見を共有。

- CSARPをはじめとしたNRCが主導する研究プログラムや国立研究所が蓄積した、過酷事故に関するデータ・研究成果等を基に体系化。技術ガイダンスやマネジメントガイド、研修資料を作成。



### Perspectives on Reactor Safety NUREG/CR6042, Rev.2

#### 目次

- 第1章：米国の原子力安全規制の変遷
- 第2章：過酷事故の考え方
- 第3章：原子炉容器内での事故進展
- 第4章：格納容器内での事故進展
- 第5章：オフサイトの事故影響

NRCで作成した研修資料

## 欧州の取組事例

### 過酷事故研究ネットワーク

(Severe Accident Research Network)



- 欧州委員会のフレームワーク6及び7において実施。現在は、**NUGENIA(※)**に引き継がれている。
- 過酷事故に対する理解を深めることを目的とした国際ネットワーク活動。
- 欧州や米国等の21か国から42の研究機関・大学・原子力事業者等が参加。

### 具体的な取組例

- ✓ 各機関に散在する研究成果や知見を収集して体系化。例えば、研究成果のデータベース化や標準コードの作成。
- ✓ 優先度の高い6つの課題について共同研究を実施。
  - 一 再冠水後の炉心の冷却及びデブリの冷却
  - 一 溶融した燃料とコンクリートが反応した時の炉外溶融プールの性状及びコリウムの冷却
- ✓ 知見を普及させるために、学生や若手研究者等を対象にした一流の研究者による研修・教育プログラム等を実施。また、教科書を出版。

※NUGENIA：欧州を中とした政府、企業、研究開発機関、大学の103のメンバーが参加する枠組

# 研究開発機関と原子力事業者の連携・協働のイメージ

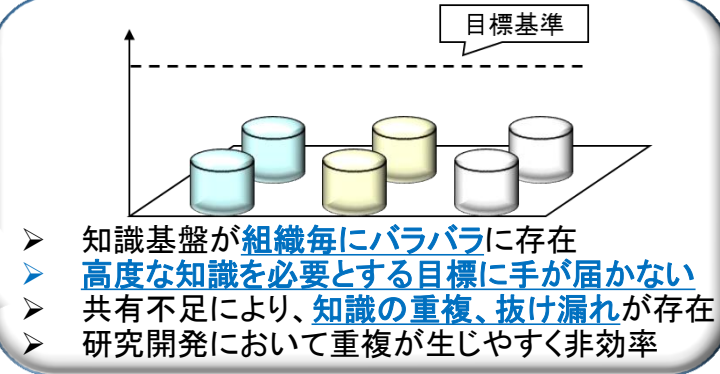
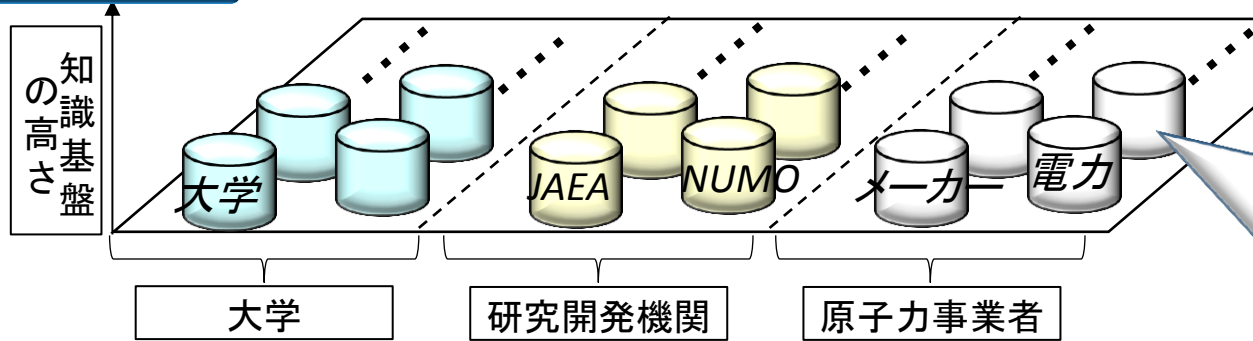
- 技術創出において原子力事業と研究開発機関・大学の連携は不可欠であり、以下の2つの取組が連携の効果と言える。

① 組織を超えた知識基盤の共有、② 新しい技術を迅速に市場に導入するための連携・協働

- 欧米では、原子力事業者と研究機関・大学が知識基盤を共有しつつ、強みを活かして連携・共同が図られているが、一方、我が国では、こうした取組が不十分である。

例) 欧州のNUGENIA、過酷事故研究ネットワーク(SARnet)や米国のGAIN、軽水炉持続プログラム

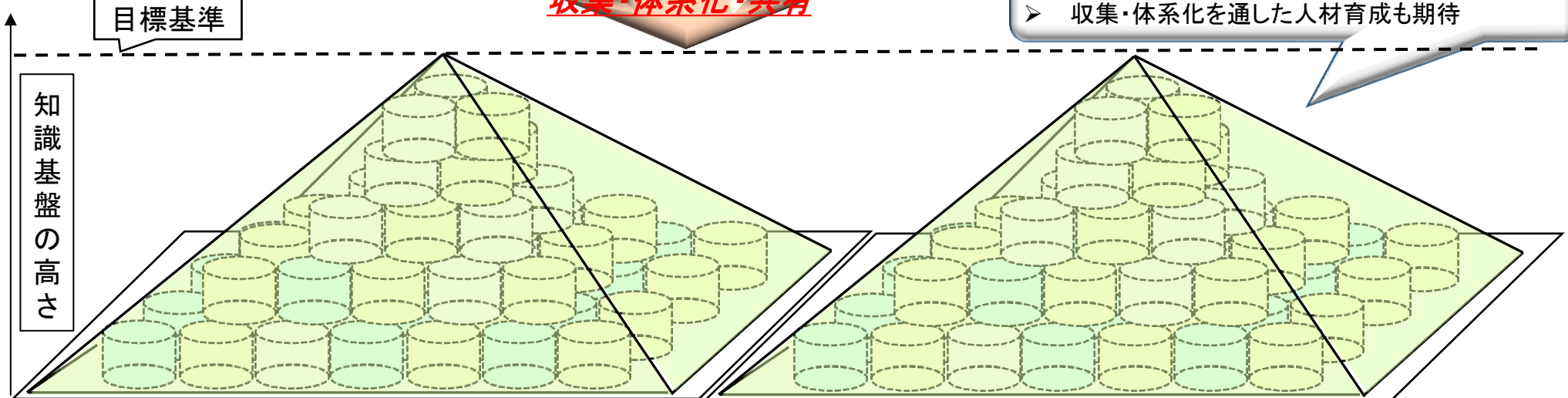
## 現状のイメージ



## 目指すべき方向性

散在する研究開発成果や知見の  
収集・体系化・共有

- 組織・分野の壁を越えた高い知識基盤を構築
- 効率的な研究開発、産学の連携・共同を実現
- 収集・体系化を通じた人材育成も期待

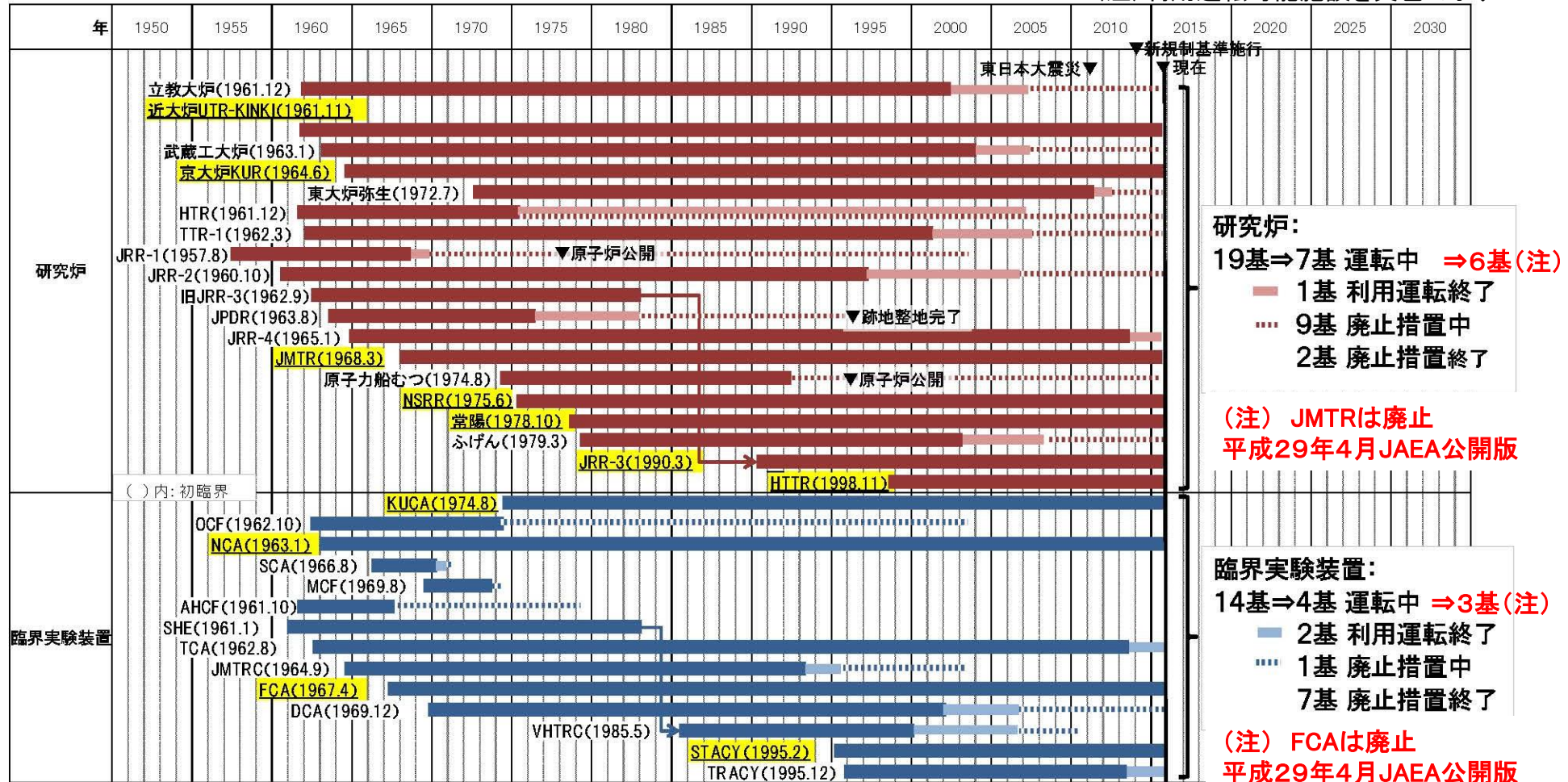




# 試験研究炉等の原子炉施設

- 試験研究炉等の基盤的施設・設備は研究開発と人材育成の基盤をなすもので、不可欠なもの。
- JAEA及び大学の試験研究炉及び臨界実験施設は、最も多い時期に20基適度運転していたが、現在、11基まで減少。さらに、老朽化も進んでいる。
- さらに、新規規制基準への対応を求められ、現在は、全て停止中である。また、発電炉同様に、従来にない想定レベルの自然現象への対応、基準地震動等の評価に関する厳密な論証等が求められているため審査に時間を要している。

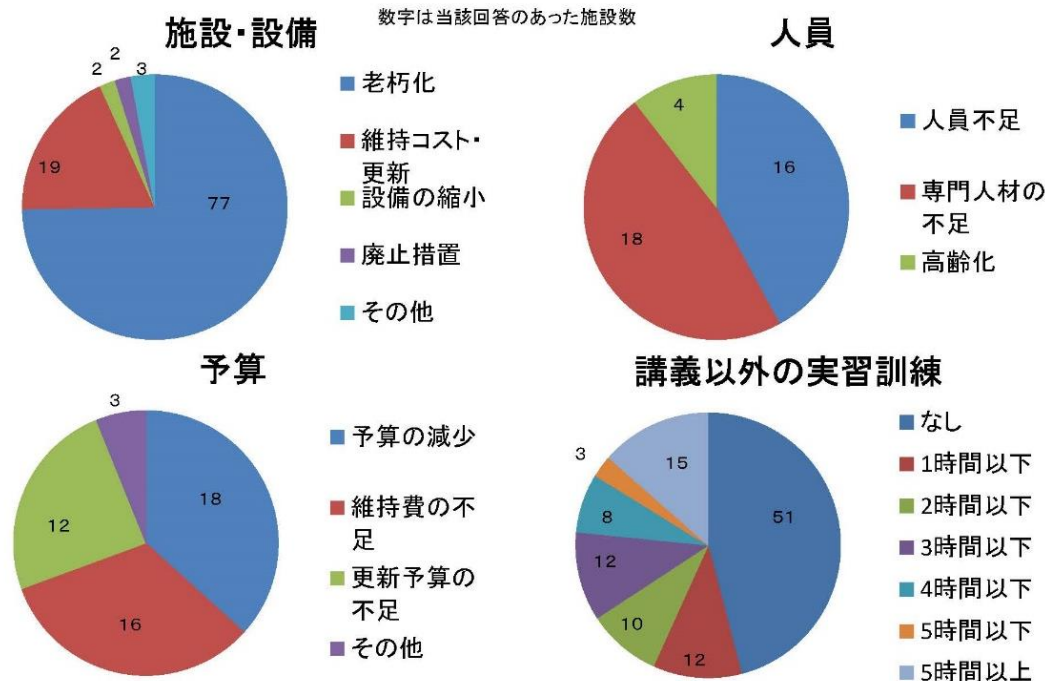
(注) 利用運転可能施設を黄色で示す



# 大学等における放射線及び放射性同位元素の利用施設の状況

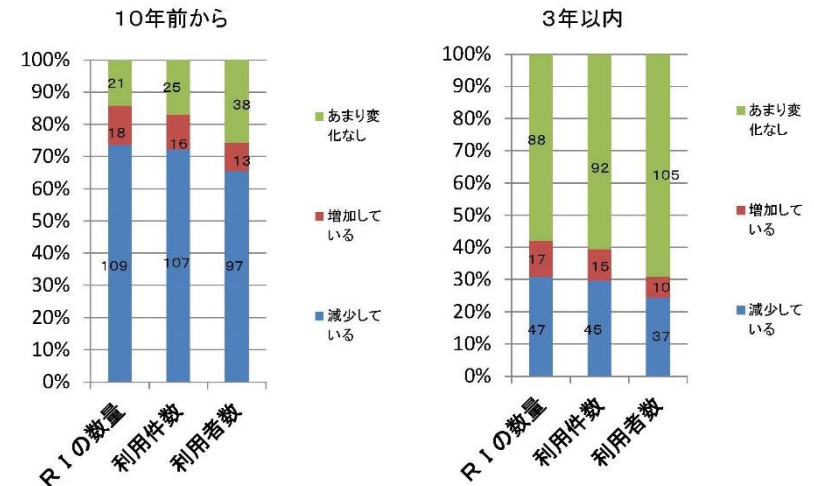
- 大学等における放射線及び放射性同位元素の利用施設では、予算の減少による施設の老朽化、教員や専門人材の不足といった問題が生じている。また、施設の利用も10年前と比較して、約70%の施設で減少している。
- 放射線・放射性同位元素の利用技術や知識の伝承が途絶えてしまう懸念があるとともに、これらの利用に際しての安全管理に支障をきたす状況が生じかねない。

## 大学等の放射線施設の懸案事項

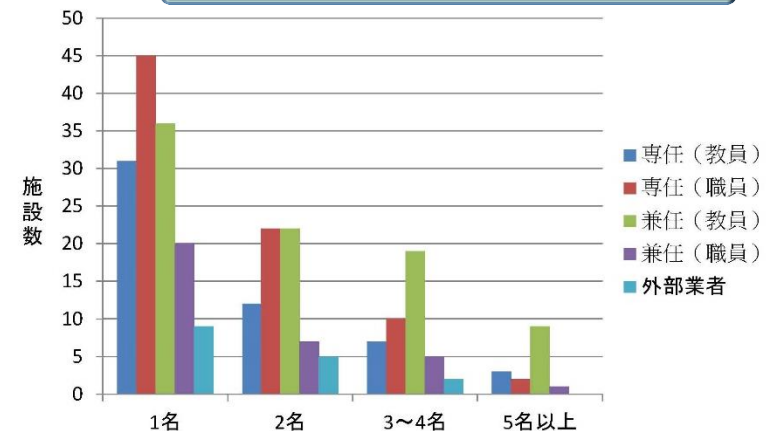


大学等放射線施設協議会アンケート(平成27年8月)より

## 大学等の放射線施設の利用動向



## 大学等の放射線施設の管理担当職員数





# 海外の原子炉の状況

- 世界全体では、現在、227基の研究炉が運転しており、研究開発や教育・訓練用に活用されている（IAEA “Research Reactor Database” 2017年3月）。

運転中：227基、計画・建設中：19基、停止中：36基、廃止措置中・廃止措置完了・恒久停止等：502基

## ■ 北米

- 多くの研究炉が停止するも、世界の研究炉の約1/4がこの地域で稼働
- 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。

# 幅広い技術と人材の厚みの維持

- 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及び更なる安全性の向上に加えて、東京電力福島第一原子力発電所をはじめとした廃止措置等の課題への対応も必要であり、幅広い技術と人材の厚みの維持が不可欠。

【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※ <sup>1</sup> )	
【設計・設備工事】 プラントメーカ (約9,600名※ <sup>2</sup> )	【定検工事・保守】 工事会社 (約33,000名※ <sup>3</sup> )
【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※ <sup>4</sup> )	

※<sup>1</sup>「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

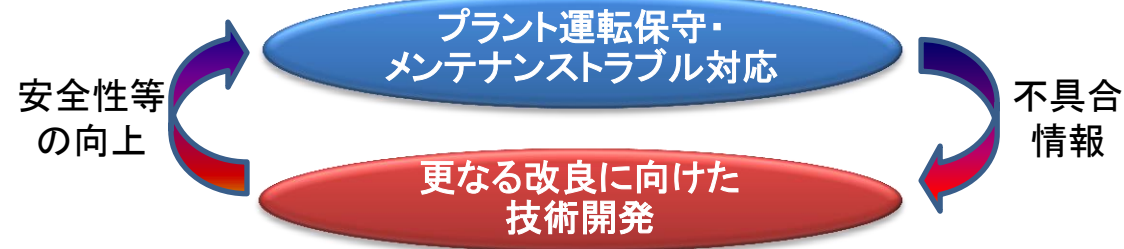
※<sup>2</sup> 一般社団法人日本原子力産業協会調べ

※<sup>3</sup> 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）

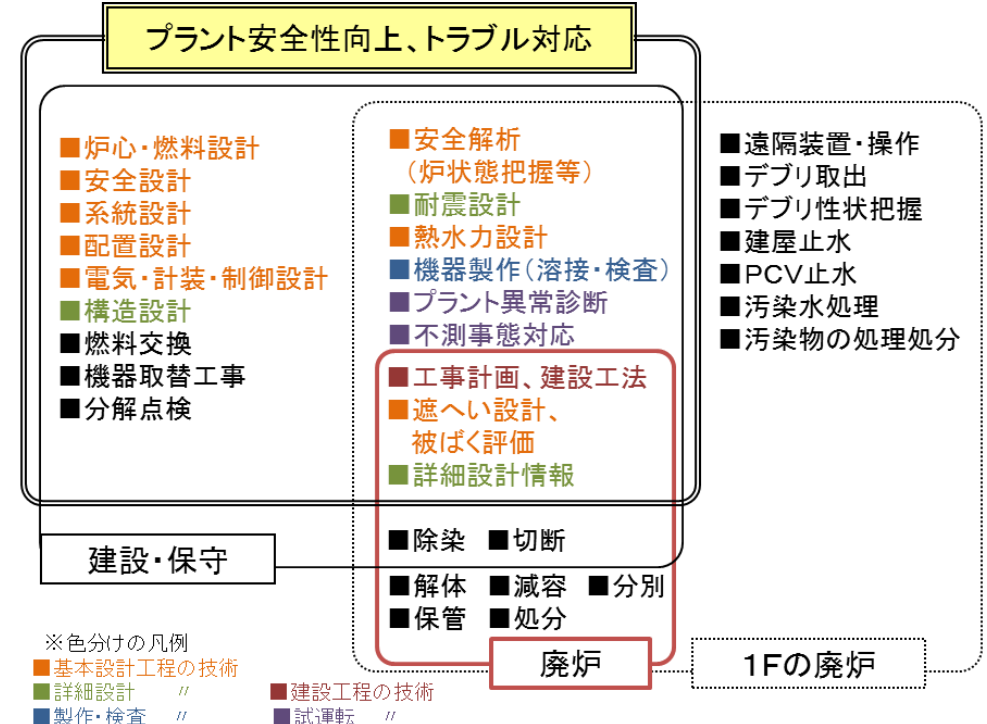
※<sup>4</sup> ※<sup>1</sup>、<sup>2</sup>より算出

※<sup>5</sup> 廃止措置関係は除く

【技術開発とのフィードバック】



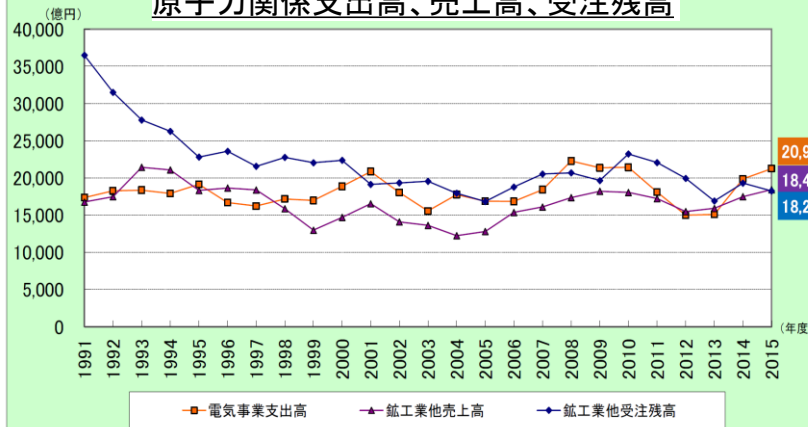
【プラント建設・保守とプラント安全性向上、トラブル対応、廃炉に必要な技術の関係】



# 技術の継承・人材確保

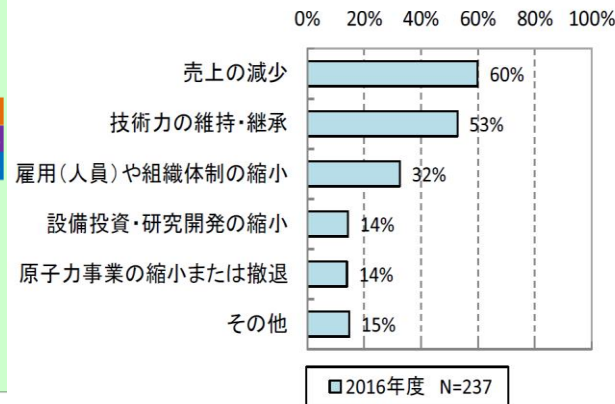
- 新規制基準への対応による建設業等の売上増加等があり、原子力関連売上高としては、震災後も全体的としては横ばい。一方で、原子力発電所の長期停止に伴い、**燃料加工や検査・保守等のコア技術に関する仕事・売上の減少**等が見られる。
- 原子力関連学科の大学教員総数の減少、若手教員の育成も課題となっている。

原子力関係支出高、売上高、受注残高

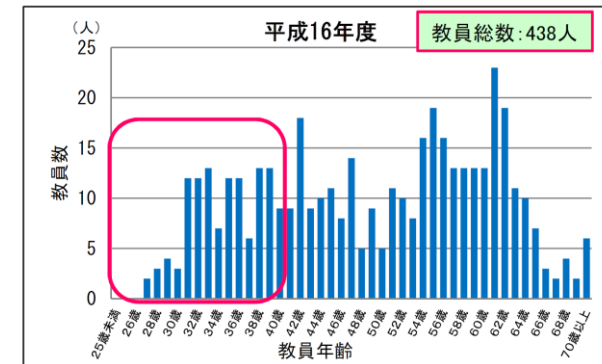


出典：日本原子力産業協会「原子力発電に係る産業動向調査2016」

発電所の運転停止に伴う影響(複数回答)

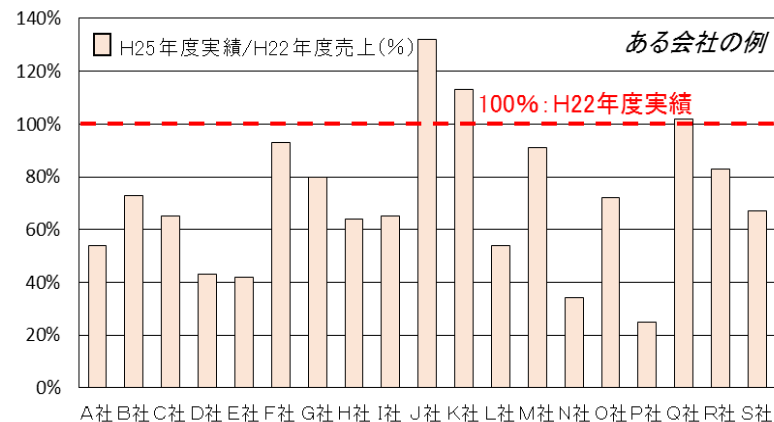


原子力関連の年齢別大学教員数推移

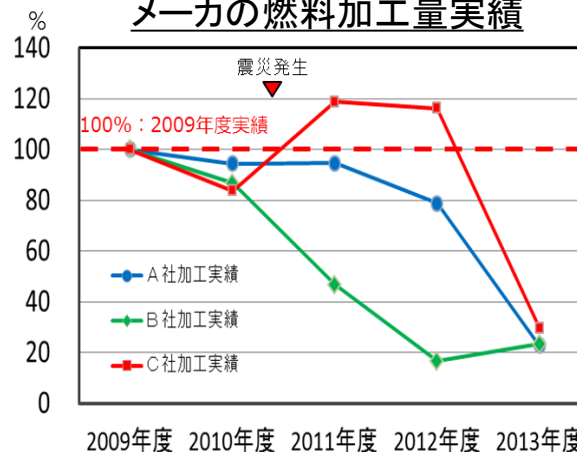


➤ 平成16年度に比べ、平成25年度に教員総数が約100名減少。若手教員の育成も課題。

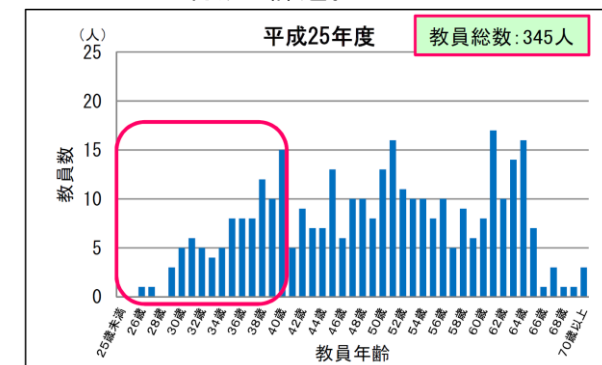
至近の工事会社の売上実績



至近の燃焼成型加工メーカの燃料加工量実績



2009年度 2010年度 2011年度 2012年度 2013年度



※学校教員統計の専門(専攻)分野一覧表における中分類「原子力理学関係」及び「原子力工学関係」の合計。  
 原子力理学関係: 原子核物理学、原子核宇宙線学及び原子物理学  
 原子力工学関係: 原子核工学、原子力工学、原子工学、応用原子核工学、量子エネルギー工学、エネルギー工学、原子力・エネルギー安全工学、共同原子力、原子力システム安全工学、量子放射線系

出典：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5

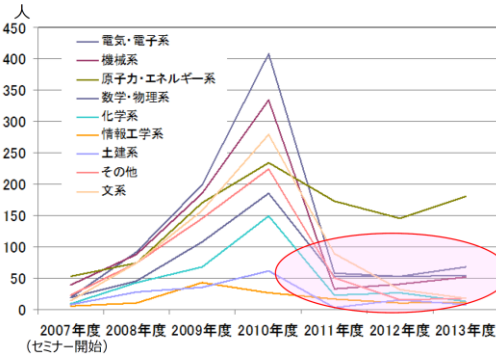
出典：平成28年第38回原子力委員会資料第3-1号



## 人材確保①

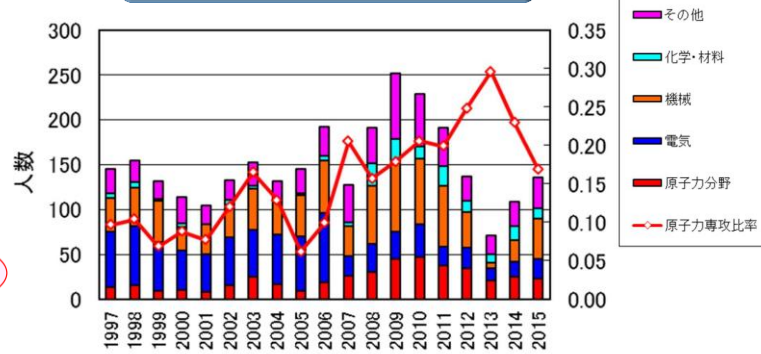
- 学生数は大学院重点化により、原子力を冠する学科数が減ったため、平成6年度をピークに減少、近年は少し増加。
- 原子力関係の会社説明会の学生来場者数は、原子力・エネルギー系は横ばいだが、それ以外は2010年度をピークに減少。また、メーカーにおける採用数も減少。
- 電力事業者の採用数は、2000年代前半と比べると増加しているものの、東日本大震災以降は減少傾向である。プラント全体の安全運転や設計を担う機械・電気・化学系や高専卒の採用は減少したまま。加えて、原子力部門での離職者数が増加。

## 原産セミナー来場者数(学生の推移)



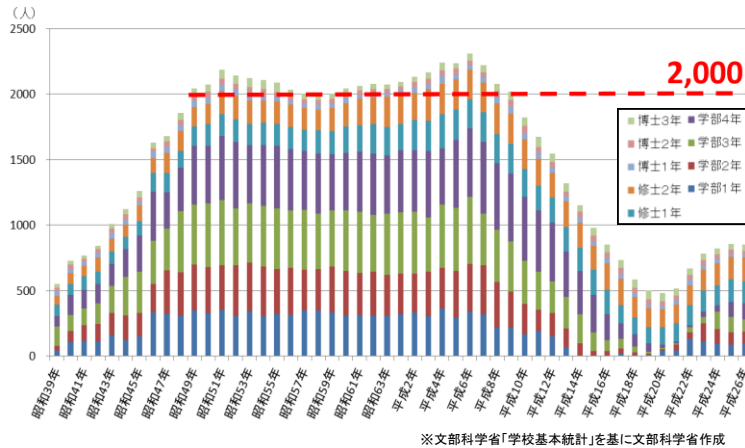
出典：日本原子力産業協会しらべ

## 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。

## 原子力関連学科等における学生数の推移

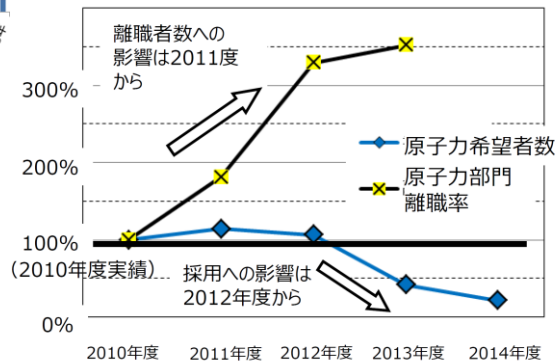


※文部科学省「学校基本統計」を基に文部科学省作成

※学校基本統計の学科系統分類表における中分類「原子力工学関係」及び「原子力工学関係」の合計。  
 原子力工学関係(大学): 原子力(核)工学、原子力工学、原子炉工学、原子力工学、応用原子核工学、  
 システム工学、量子エネルギー工学、原子力技術応用工学、原子力安全工学  
 原子力理学関係(大学院): 原子核工学、原子核宇宙線学、原子物理学  
 原子力工学関係(大学院): 原子核工学、原子核理学、原子核宇宙線学、原子物理学、原子力工学、  
 原子工学、応用原子核工学、量子エネルギー工学、エネルギー工学、  
 原子力エネルギー安全工学、共同原子力、原子力システム安全工学、量子放射線系

出典：平成28年第14回原子力委員会資料第1-1号「我が国における研究炉等の役割（中間報告書）」について  
（日本原子力学会「原子力アゴラ」特別専門委員会研究炉等の役割検討・提言分科会）

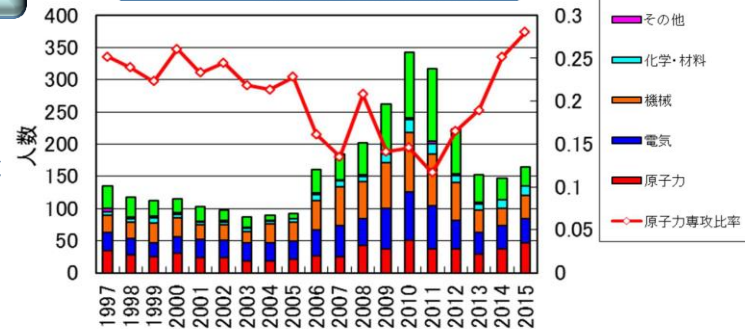
原子力希望者数、離職者数(2010年度比)  
(電力会社へのアンケート調査結果)



- ・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：平成28年第38回原子力委員会資料第3-1号

## 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

# 人材確保②～原子力分野における歴代のノーベル賞受賞者～

- 原子力エネルギー・放射線分野の研究によるノーベル賞受賞者は、物理学賞においては25%以上、自然科学(物理、化学、生理・医学)の3賞においても15%程度を占めており、同分野の研究が科学技術の発展に与えた影響は非常に大きい。
- 科学技術のフロンティアとその応用の可能性や魅力のみならず、社会インフラ産業としての重要性を発信するなど、優秀な人材の確保に努める必要がある。

## X線

M.T.F.ラウエ(1914)

X線の回折の発見

W.H.ブラッグ

W.L.ブラッグ(1915)

X線を用いた結晶構造の研究

P.J.W.デバイ(1936)

X線回折粉末法の考案

H.A.ハウプトマン

J.カール(1985)

結晶構造直接決定法の確立

A.M.コーマック

G.N.ハウンスフィールド(1979)

X線CTの開発

W.C.レントゲン(1901)

X線の発見

H.J.マラー(1946)

X線による人工突然変異の発見

J.D.ワトソン

F.H.C.クリック(1962)

M.H.F.ウィルキンス

DNAの分子構造の発見

D.M.C.ホジキン(1964)

生体物質分子構造の解明

J.ダイゼンホーファー

R.フーバー

H.ミヒエル(1988)

光合成の機構解明

## 電子・陽電子

J.J.トムソン(1906)

電子の発見

A.H.コンプトン(1927)

コンプトン効果の発見

L.W.ド・ブロイ(1929)

電子の波動性の発見

C.J.デヴィソン

G.P.トムソン(1937)

電子の回折の発見

E.ルスカ(1986)

電子顕微鏡の開発

C.T.R.ウィルソン(1927)

ウィルソン霧箱の発明

P.A.M.ディラック(1933)

陽電子・反粒子の予言

C.D.アンダーソン(1936)

陽電子の発見

P.M.S.ブラケット(1948)

電子・陽電子対創生の発見

## 中性子

J.チャドウィック(1935)

中性子の発見

E.O.ローレンス(1939)

サイクロトロン発明

C.G.シャル

B.N.ブロックハウス(1994)

中性子回折・散乱法の開発

## イオンビーム アイソトープ

G.D.ヘヴェシ(1933)

同位体トレーサー技術の確立

W.F.リビー(1960)

放射性炭素による  
年代決定法の確立

M.カルヴィン(1961)

放射性炭素による  
光合成の研究

R.S.ヤロー(1977)

ラジオイムノアッセイ法の開発

## 電磁波

## ニュートリノ

F.ブロッホ

E.M.パーセル(1952)

核磁気共鳴法の開発

P.A.チェレンコフ

I.M.フランク

I.E.タム(1958)

チェレンコフ放射の発見

小柴昌俊(2002)

宇宙ニュートリノ検出

P.C.ロータバー

P.マンスフィールド(2003)

磁気共鳴断層画像法(MRI)の開発

梶田隆章(2015)

ニュートリノに質量

## 放射性物質

A.H.ベクレル(1903)

放射能の発見

P.キュリー

M.キュリー(1903)

放射能の研究

E.ラザフォード(1908)

元素の崩壊及び放射性物質  
の化学に関する研究

F.ソディ(1921)

放射性物質の研究  
同位体の起源と性質の研究

I.ジョリオ・キュリー

J.F.ジョリオ・キュリー(1935)

新種の放射性同位元素の作出

## 理論物理

M.K.E.L.プランク(1918)

熱放射の研究  
エネルギー量子の仮説

N.H.D.ボーア(1922)

原子の構造と原子からの  
放射に関する研究

W.K.ハイゼンベルク(1932)

量子力学の創始

E.シュレディンガー(1933)

新しい形式の原子理論の発見

湯川秀樹(1949)

核力の理論研究に基づく  
中間子の存在の予言

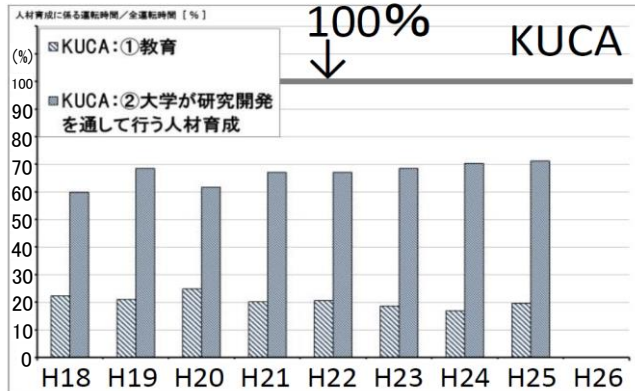
# 研究炉等を用いた人材育成

- 人材育成において研究炉等は、以下の2点の役割を担っている。
- ① **カリキュラムに沿って進める教育、実習、研修による育成**、② **研究開発を通じた研究者・技術者の育成**
- 全運転時間のうち、この2点が占める割合は、**大学(※)の研究炉等では90%程度、JAEA(※)においても30~40%。**
- 東日本大震災以前は、**毎年1,400~1,700名(実人数(※))を育成**(研究炉等の稼働の有無を問わない)。しかし、震災以降、研究炉等は停止し、現在、原子炉運転シミュレータ等を用いた実習等となり、**動いている実機に触れて行うものではなく、実践的な能力育成に影響も。**
- ※日本原子力学会の調査に基づくデータで、その調査対象施設は、研究炉6基(JRR-3、NSRR、JMTR及び常陽(JAEA)、KUR(京都大学)、UTR-KINKI(近畿大学))、臨界実験装置4基(STACY及びFCA(JAEA)、KUCA(京都大学)、NCA(東芝))。

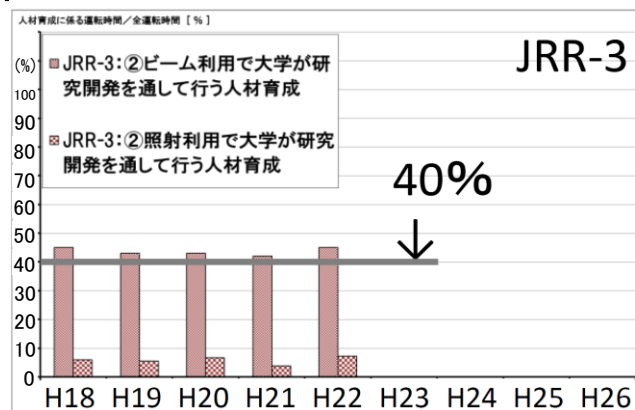
## 研究炉の運転時間に占める教育の割合

※人材育成に係る運転時間(①教育・実習等及び②研究開発を通して行う人材育成)/全運転時間(%)

### 【京大炉】: 人材育成に係る運転が約90%



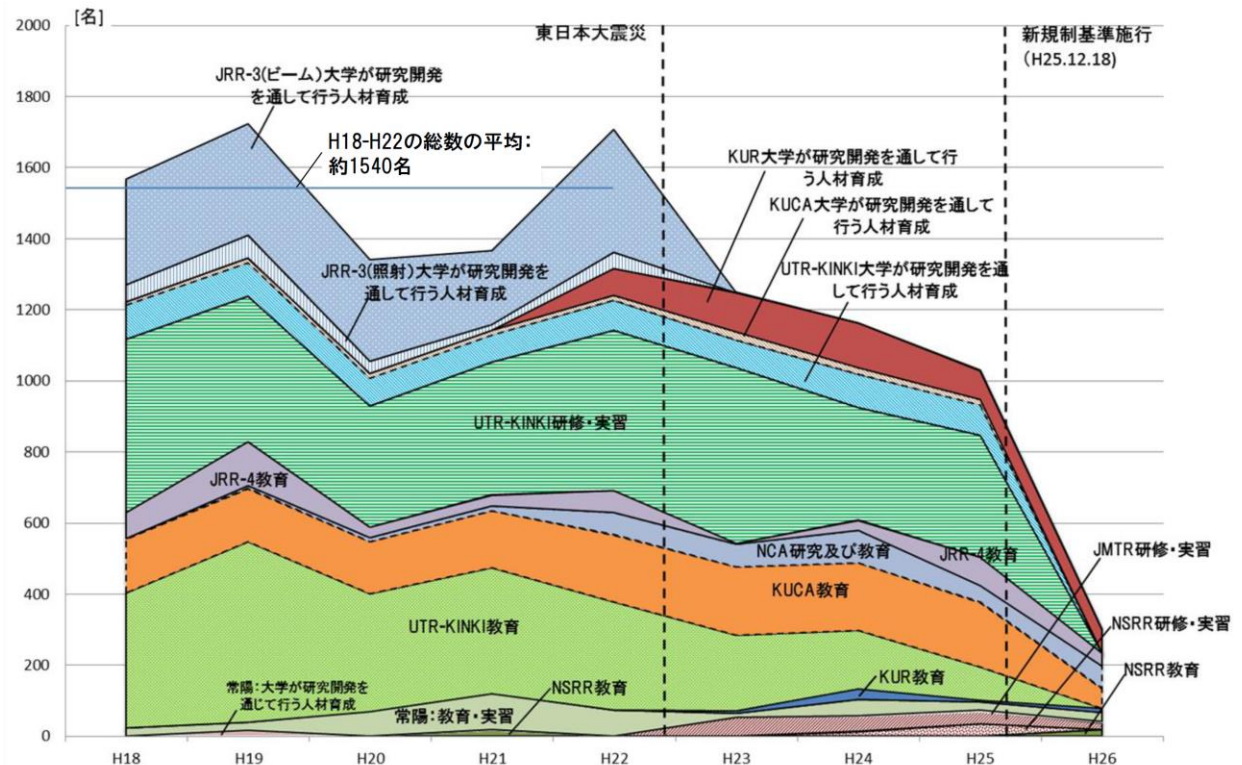
### 【JAEA JRR-3】: 人材育成に係る運転が40%以上



## 研究炉等を使って育成した人材数の推移

※教育・実習等及び研究開発を通して育成した人員数(人)  
(調査対象施設)

- ・研究炉6基: JRR-3、NSRR、JMTR及び常陽(JAEA)、KUR(京都大学)、UTR-KINKI(近畿大学)
- ・臨界実験装置4基: STACY及びFCA(JAEA)、KUCA(京都大学)、NCA(東芝)





# 世界の主な研究機関における原子力関連研究の活動実態

➤ 論文の被引用数で世界の研究所を比較すると、その上位には原子力関連の研究活動で有名な研究所が散見される。

## 論文の被引用数の総合世界ランキング(大学と企業を除く)

総合 順位	研究機関名	論文の被引用数
1	フランス国立科学研究センター	8,911,223
☆ 2	アメリカ合衆国エネルギー省	4,546,355
3	アメリカ国立衛生研究所	3,654,931
4	中国科学院	3,361,890
5	マックス・プランク協会	2,972,980
☆ 6	ローレンス・バークレー国立研究	2,232,965
7	フランス国立保健医学研究機構	2,144,462
8	ハワード・ヒューズ医学研究所	1,945,784
9	スペイン高等科学研究院	1,614,610
10	メイヨー・クリニック	1,267,335
11	ロシア科学アカデミー	1,262,948
12	VAボストンヘルスケアシステム	1,159,846
13	アメリカ国立がん研究所	1,134,484
14	イタリア国立研究機構	1,067,141
15	アメリカ合衆国農務省	1,047,383
16	ヘルムホルツ協会	1,032,861
☆ 17	フランス原子力・代替エネルギー	1,025,250
18	科学技術振興機構	977,247
19	アメリカ航空宇宙局	934,723
20	アメリカ合衆国国防総省	915,608
21	フランス国立農学研究所	762,616
22	アメリカ疾病管理予防センター	746,529
23	メモリアル・スローン・ケタリングが	717,978
24	理化学研究所	645,474
25	インド科学技術研究機構	637,654

総合 順位	研究機関名	論文の被引用数
26	UNICANCER	559,366
27	産業技術総合研究所	532,012
28	オーストラリア連邦科学産業研究機	507,719
☆ 29	ロシアラモス国立研究所	486,525
30	アメリカ合衆国退役軍人省	486,309
31	チェコ科学アカデミー	486,170
32	イタリア国立核物理研究所	455,186
33	パスツール研究所	447,655
34	スミソニアン協会	441,177
35	アメリカ海洋大気庁	425,543
☆ 36	アルゴンヌ国立研究所	406,957
37	自然環境研究機構	403,418
38	ポーランド科学アカデミー	398,064
39	アメリカ地質調査所	384,097
☆ 40	オークリッジ国立研究所	381,999
41	アメリカ合衆国海軍	381,723
42	ハンガリー科学アカデミー	380,158
43	アルゼンチン科学技術研究委員会	347,559
44	アメリカ合衆国陸軍	336,898
☆ 45	ローレンス・リバモア国立研究所	334,690
46	アメリカ国立標準技術研究所	320,116
47	台湾中央研究院	314,557
48	物質・材料研究機構	244,037
49	長庚記念病院	157,788
50	スロバキア科学アカデミー	140,192
51	ウクライナ国立科学アカデミー	122,002

☆: 歴史的経緯や研究実績において、原子力分野との結び付きが強い研究機関。

出典: トムソン・ロイター提供データ(2003年1月～2015年3月分)の上位500位