
日本原子力学会 創立60周年シンポジウム、東京工業大学くらまえホール、
2019年4月25日(木)

地球環境と原子力

GLOBAL ENVIRONMENTAL ISSUES AND NUCLEAR

東京大学 小宮山 涼一

はじめに

- 「原子力発電プラントの進歩に関する国際会議(ICAPP)2015」において、日本を含む39 の原子力学会が憲章「Nuclear for Climate DECLARATION」に署名
- 日本原子力学会は、「原子力アゴラ調査専門委員会 地球環境問題対応検討・提言分科会」を立ち上げ、地球環境問題に対する原子力発電の活用について社会的提言を行うための検討を開始
- 原子力の役割の検討に際して、**地球環境問題**に加えて、**エネルギーセキュリティ**、**電力市場**の課題も含めて提言を作成(※)

※下記リンクに掲載予定

http://www.aesj.net/sp_committee/com_agora

委員等名簿

主査	小宮山 涼一	東京大学
幹事	駒野 康男	MHI NSエンジニアリング株式会社
委員	上坂 充	東京大学
委員	岡嶋 成晃	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
委員	下郡 けい	日本エネルギー経済研究所
委員	白木 貴子	三菱重工業株式会社
委員	杉山 昌広	東京大学
委員	田中 治邦	日本原燃株式会社
委員	千葉 敏	東京工業大学
委員	藤澤 義隆	中部電力株式会社
委員	中島 健	京都大学
委員	西野 由高	株式会社日立製作所
委員	布目 礼子	原子力環境整備促進・資金管理センター
委員	松尾 雄司	日本エネルギー経済研究所
委員	山内 澄	株式会社三菱総合研究所
委員	山口 彰	東京大学
オブザーバー	上塚 寛	放射線計測協会
オブザーバー	黒沢 厚志	エネルギー総合工学研究所
オブザーバー	田中 隆則	原子力環境整備促進・資金管理センター

背景

地球環境問題

- COP21(2015年)にて、パリ協定採択
 - ・ 世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べ2°C以内とし、1.5°Cに抑える努力を追及
- エネルギー需給のゼロエミッション化→原子力は重要な技術選択肢

エネルギーセキュリティ

- 世界経済の多極化、世界情勢の行方の不確実性の増大
 - ・ 中国など新興国の経済、技術、軍事上の台頭など
- 日本の極端に低いエネルギー自給率→基盤技術を保有する原子力は重要な選択肢

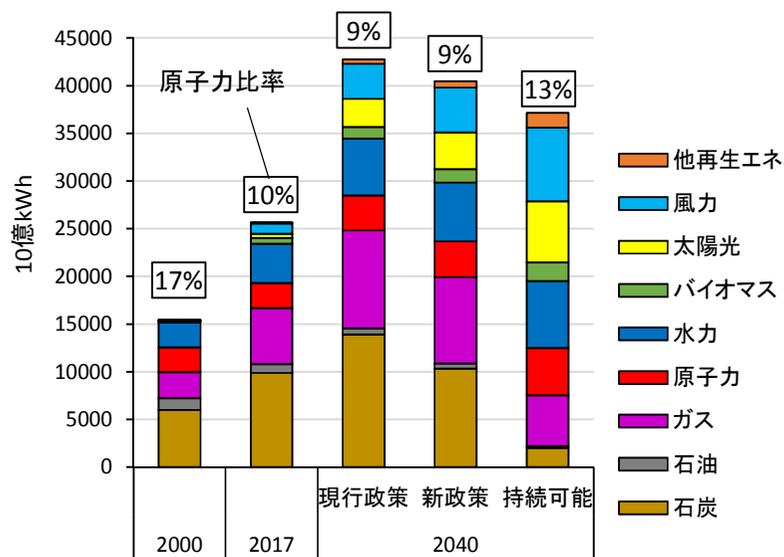
電力市場

- 電力自由化が内外のトレンド
 - ・ 原子力の新增設・リプレース、維持に向けたディスインセンティブに
- 電力自由化と地球環境・エネルギーセキュリティへの対応との両立を考える必要

提言①：地球環境問題に対処するためには、全ての技術選択肢を総動員することが肝要である。その中で原子力発電は重要な役割を担い、再エネ大量導入によるコスト上昇の緩和や再生可能エネルギーの供給電力の変動への対応を可能とするものである。

世界の電源構成の展望

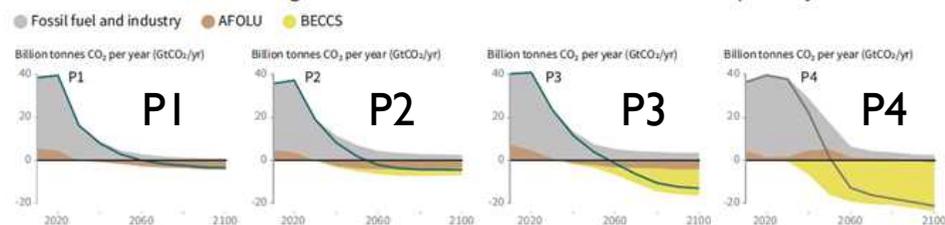
原子力発電量	現行政策	新政策	持続可能
2040年 (2017年比)	1.4倍	1.4倍	1.9倍



(出典)IEA, WEO2018, OECD, Paris, 2018

1.5°C目標と原子力

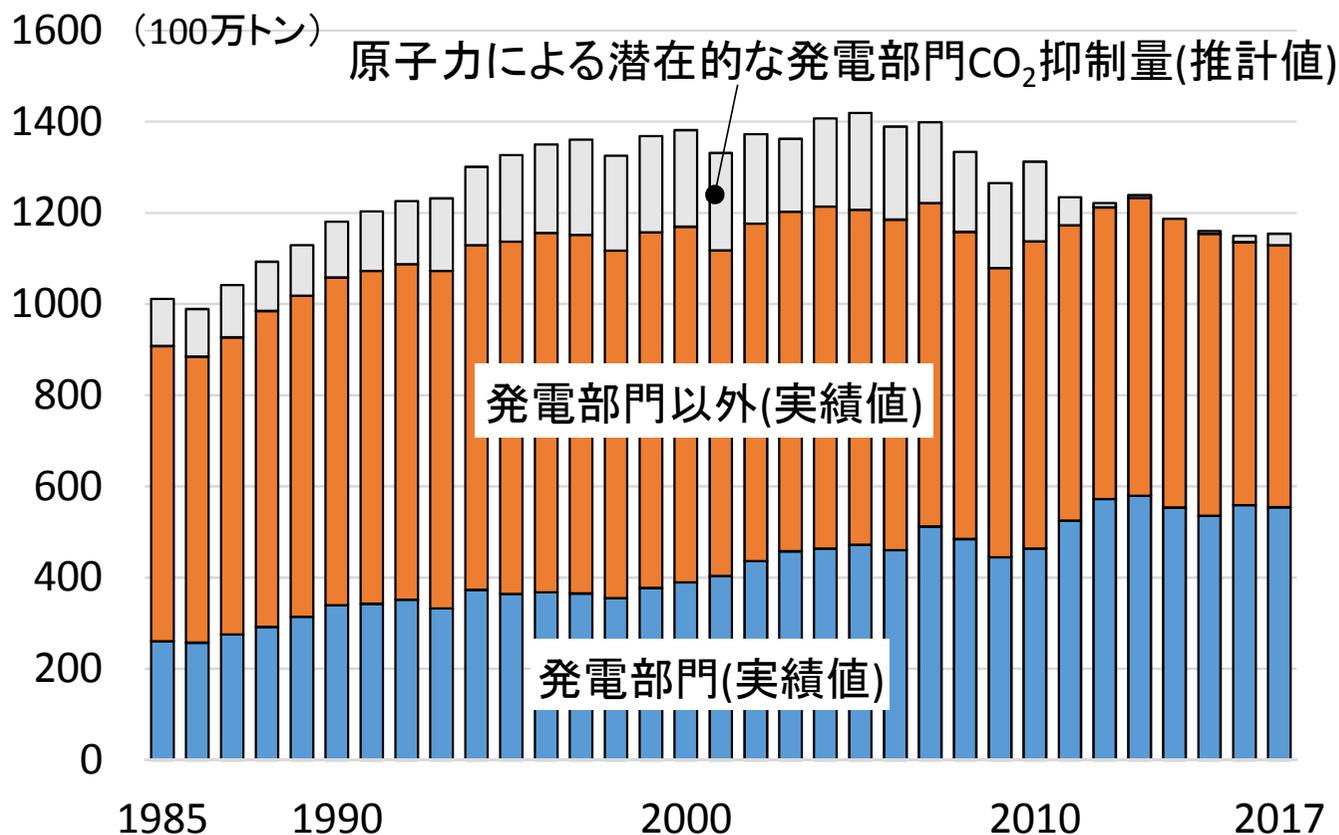
Breakdown of contributions to global net CO₂ emissions in four illustrative model pathways



原子力発電量	2030年 (2010年比)	2050年 (2010年比)	シナリオ概要
P1	0.6倍	1.5倍	技術革新による省エネ実現
P2	0.8倍	1.0倍	持続可能性重視、再エネ普及拡大
P3	1.0倍	5.0倍	中間的見通し、全般的な技術進展
P4	1.1倍	4.7倍	エネ消費増大、CCS依存増大

(出典) IPCC: Special Report: Global Warming of 1.5 °C, Summary for Policymakers, 2018

日本のCO₂排出量の推移



発電部門のCO₂排出量 再エネの拡大下でも、高止まり

太陽光発電

2011年

490万kW



2017年

4,450万kW

(9.1倍増)

CO₂(発電)

2011年

5.3億トン



2017年

5.6億トン

(1.1倍増)

提言②：地球環境問題への対応に際して、技術の環境価値が市場で適切に評価される枠組み(例：非化石価値取引市場、ゼロエミッション・クレジット取引)の構築が重要であり、その枠組みの中で、技術選択肢の一つとして原子力発電が重要な役割を果し得る。

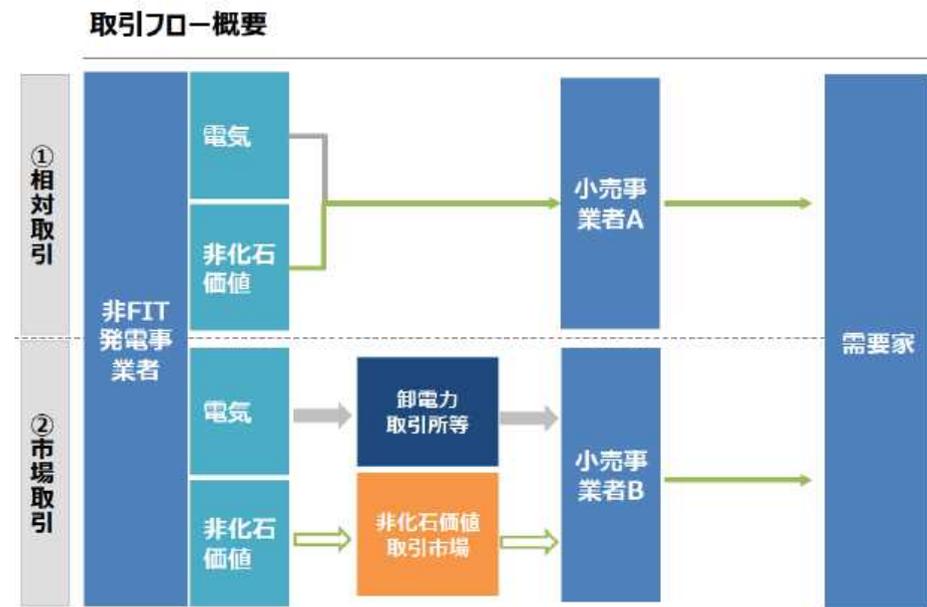
米国:

- シェール革命、再エネ拡大→既設炉の早期閉鎖
- 小売電気事業者にゼロ排出クレジット(ZEC: zero emission credit)の購入を義務付け
 - 既設炉に非化石価値の対価(報酬)を与える制度の導入
 - ニューヨーク州(原子力比率3割)、イリノイ州(同5割)、ニュージャージー州(同4割)

日本:

- 高度化法→小売に非化石比率目標値(44%, 2030年)を導入
- 非化石価値取引市場が2018年に創設(FIT非化石電源)
- 非FIT非化石電源(原子力、水力等)に対する非化石価値取引市場も創設の予定
 - 原子力発電の新設・維持インセンティブに貢献する制度設計を期待

非FIT非化石証書の取引



(出典)経済産業省,非FIT非化石証書の取引に係る制度設計について,2018年11月26日

提言③：原子力技術先進国である日本は、世界全体の問題である地球環境問題に対してその優れた技術を活用するとともに、更に技術開発の一層の強化を図り、国際的イニシアティブを発揮することが求められる。

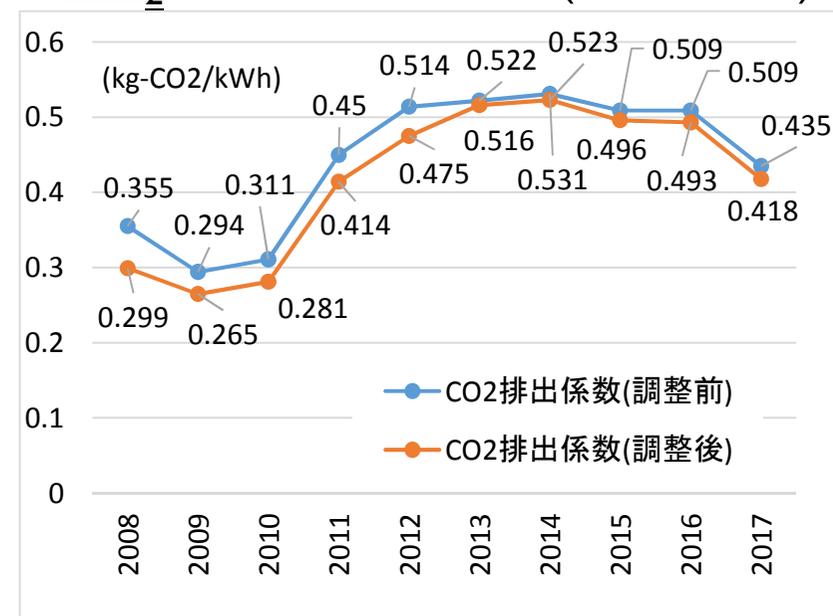
電力の低炭素化：

- 原子力を安定稼働させた電力会社の電力CO₂排出原単位
→2030年目標値(0.37 kg/kWh)を下回る水準
 - 関西電力の電力CO₂排出係数(2008年度～2010年度)：
0.265～0.299 kg/kWh(調整後)、0.294～0.355 kg/kWh(調整前)
- 原子力発電は現在実用化している脱炭素化の有力な選択肢
 - フランス、スウェーデンなど(経済的にCO₂削減)
→水力に加え、原子力を主力電源化

国際的イニシアティブ：

- 新興国の旺盛な電力需要 → 新興国でのCO₂削減が必須の課題
- 日本のさらなる安全性を高めた新興国での原子力開発による国際貢献は重要な意義
- 技術自給率の高い原子力技術の国際展開
→ 原子力産業の活性化、経済成長の実現

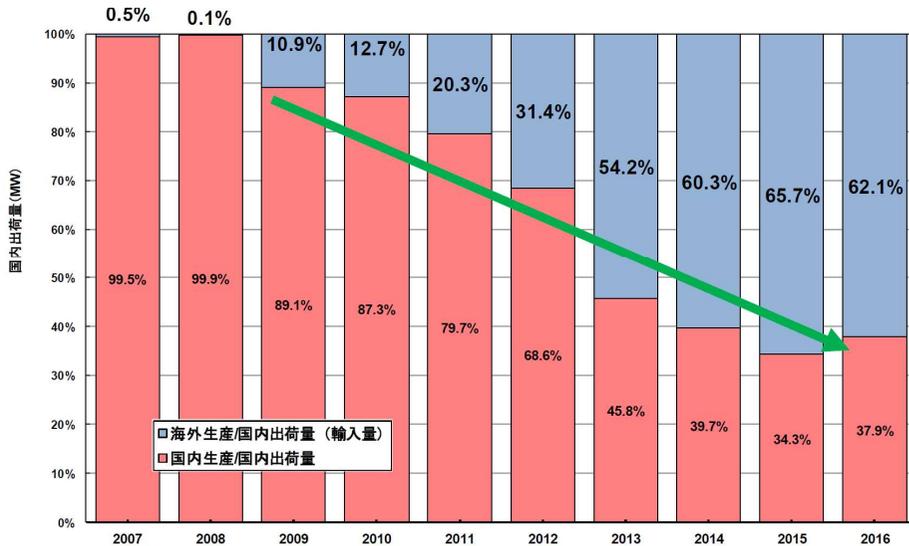
CO₂排出係数の推移(関西電力)



(出典)関西電力ホームページより作成

提言④：世界情勢の不確実性が増す中、エネルギー自給率の極端に低い日本は、原子力発電の維持を図るとともに、**自前の技術である原子力発電でエネルギーセキュリティを強化する視点が不可欠**であり、**技術自給率を重視し、中長期的かつ国家的視点で、原子力発電の新增設・リプレイス、維持が必要**である。

太陽光発電の国内出荷量に占める海外パネル比率



(出典)経済産業省：エネルギー情勢懇談会配布資料(第9回)、平成30年4月10日

■ 米国

- エネルギー源の市場間競争を重視
- シェールガスや再エネの影響→原発の早期閉鎖

■ イギリス

- 北海油田の枯渇化、石炭火力老朽化、原子力を重視
- 原発建設は国際資本が中心、技術自給率が低い

■ ドイツ

- 脱原子力政策、再エネ拡大、石炭火力への依存度大
- CO₂削減が進まず、電気料金が高水準

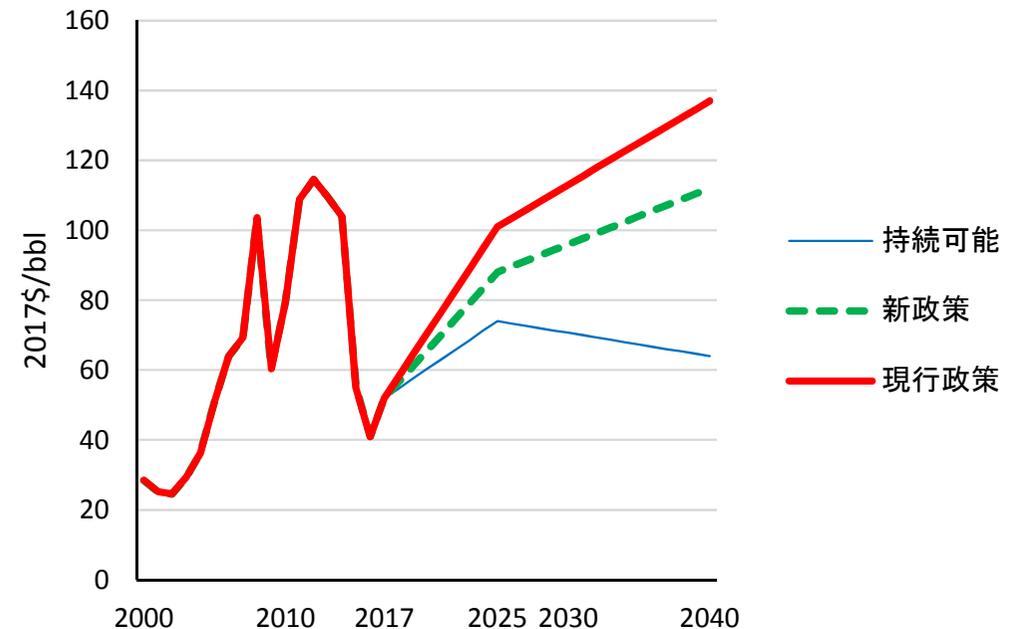
■ 日本

- エネルギー資源に乏しい
- 原子力の技術自給率が高く、自前の技術によりエネルギーセキュリティ向上に大きく貢献しうる環境

CO₂削減に際しても、エネルギーセキュリティは重要な課題

- 世界は中長期的に化石燃料に依存
 - 世界の化石燃料比率(一次供給)
2000年：80%, 2017年：81%, 2040年：60%*
*持続可能な開発シナリオ(IEA WEO2018)
 - 地政学的リスクの影響
 - 化石燃料市場のパワーバランスの影響
- エネルギーセキュリティへの原子力の貢献
 - エネルギー価格高騰の抑制
 - 燃料備蓄効果
 - 核燃料サイクルによる資源の有効利用
 - 化石燃料の安定調達への対応

原油価格の展望



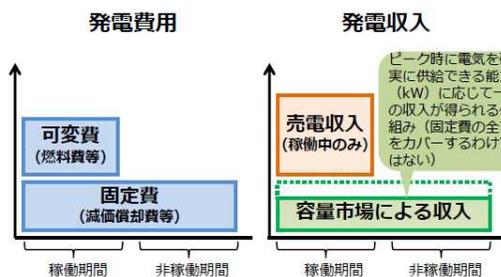
(出典) IEA/OECD: World Energy Outlook 2018, OECD, Paris, 2018

提言⑤：電力市場自由化が進められ、市場の予見可能性が低下する中、原子力事業への適切な投資サイクルを維持するための制度設計が求められる。

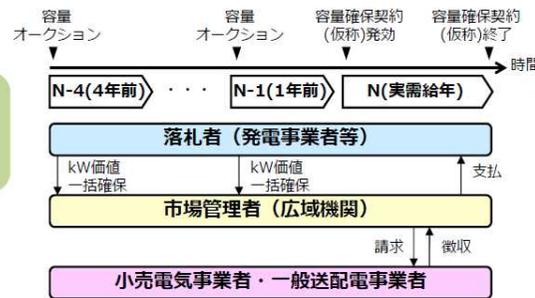
容量市場

市場管理者が最大電力供給能力(kW)を確保、
発電事業者に一定の費用を支払い
→投資の予見性を高め、適切な発電投資を促進

容量市場創設後の収入（イメージ）

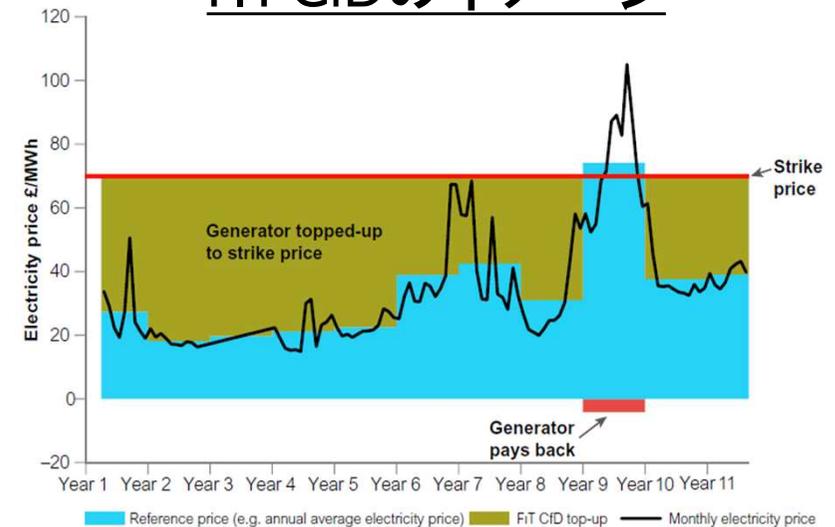


容量市場の取引（イメージ）



(出典) 経済産業省:中間取りまとめについて(概要資料)、2018年5月18日

FIT-CfDのイメージ



電力市場価格（黒線）と基準価格（赤線）の差分のうち、図中の緑色部分を発電事業者は受け取る。また、黒線が赤線を上回っている部分（図中の赤色部分）について、発電事業者は買取事業者へ支払いを行なう。

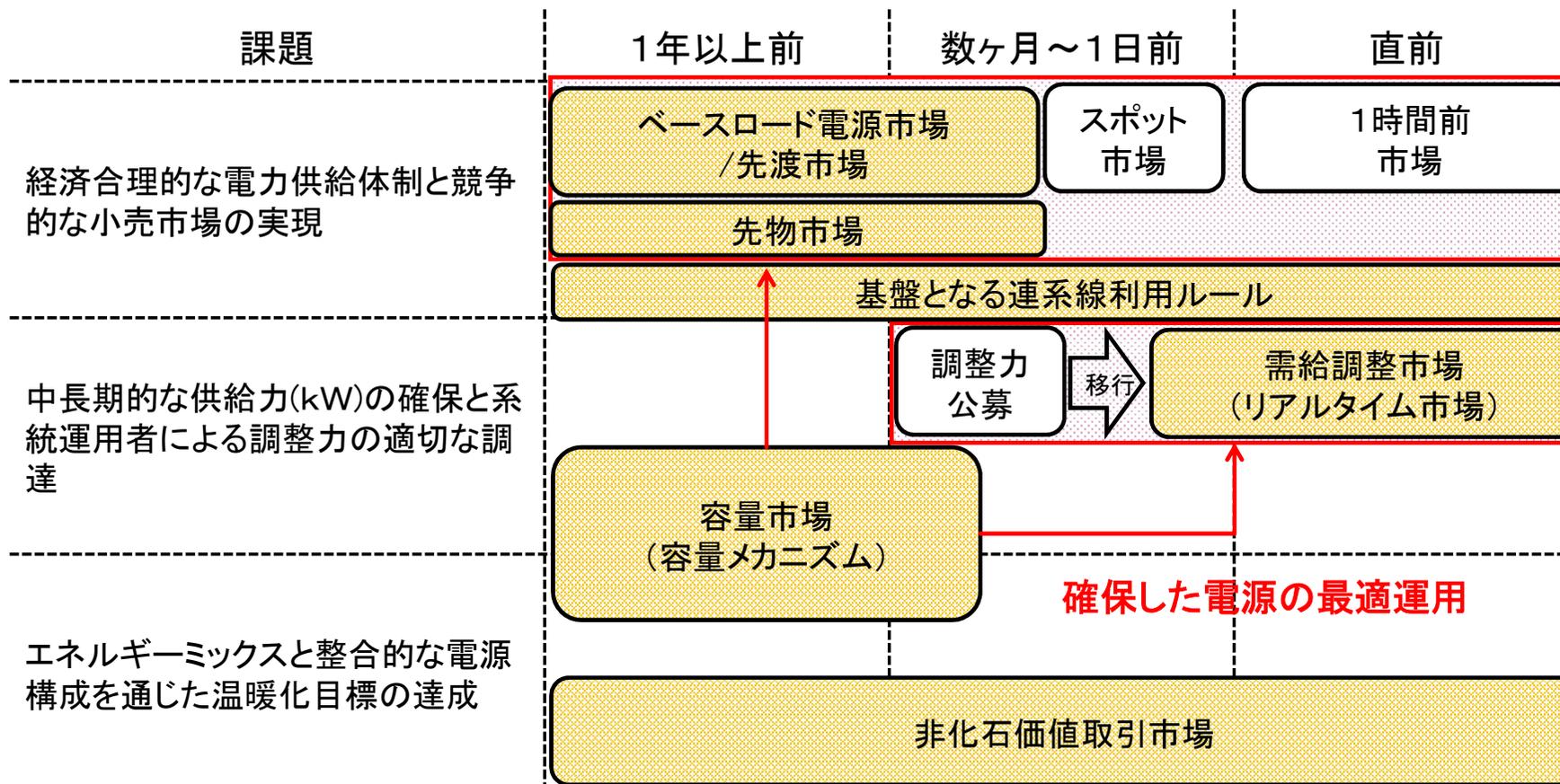
(出典)UK, Department of Energy & Climate Change (現：Department for Business, Energy & Industrial Strategy)

電力システム改革(電力自由化)

原子力にどのような影響を及ぼしうるか？

 : 今後整備すべき市場

実需給と取引時期の関係



※新市場における取引の時期については、今後の検討によって変動しうる。

(出所) 経済産業省 資源エネルギー庁

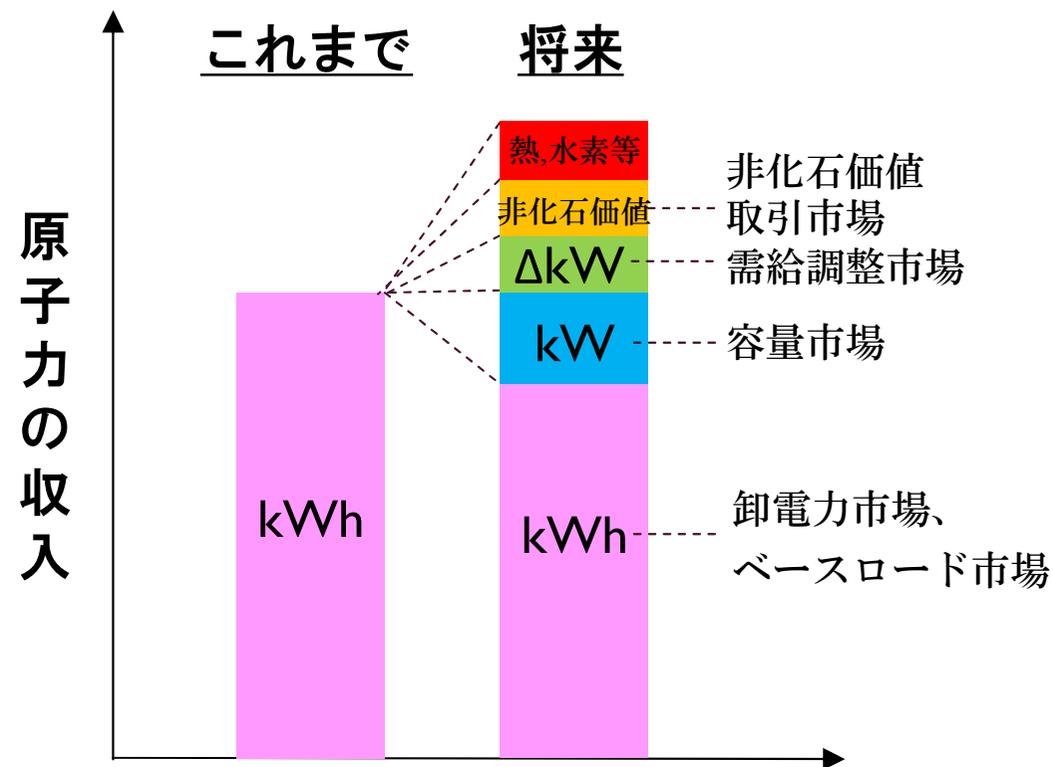
原子力のエネルギー市場戦略

➤ 原子力は多様な価値を保有

- ベースロード電力(kWh価値)
- 供給信頼度 (kW価値)
- 出力調整能力 (Δ kW価値)
- 非化石価値 (環境価値)
- 原子力多目的利用 (熱・水素等)

➤ 原子力の多様な潜在的機能の活用

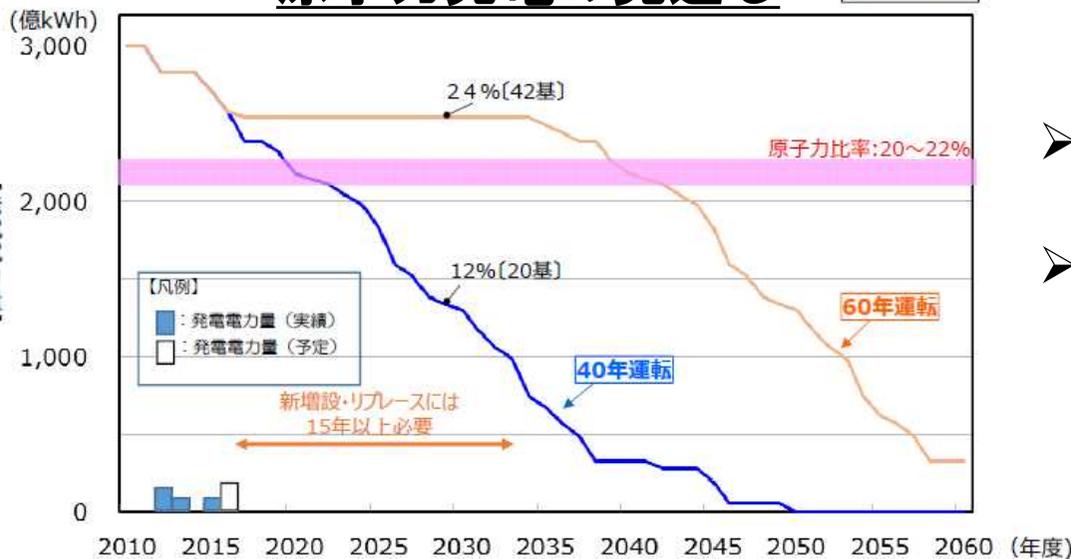
→ 市場競争力の向上を期待



提言⑥：原子力発電がエネルギーセキュリティ、環境問題の解決に貢献する電源であることを規制当局と事業者が共有し、安全確保を大前提としたうえで、安全審査の合理化を通じて、再稼動に必要となるプロセスの迅速化を図ることが必要である。

原子力発電の見通し

設備利用率：70%



➤ 原子力の電源比率目標値(2030年)：20%～22%

➤ 約30基の原子力発電稼働が必要

- ・ 新規基準に適合した15基(9基稼働済み)と審査中の12基(2018年)の安定稼働

直面する課題

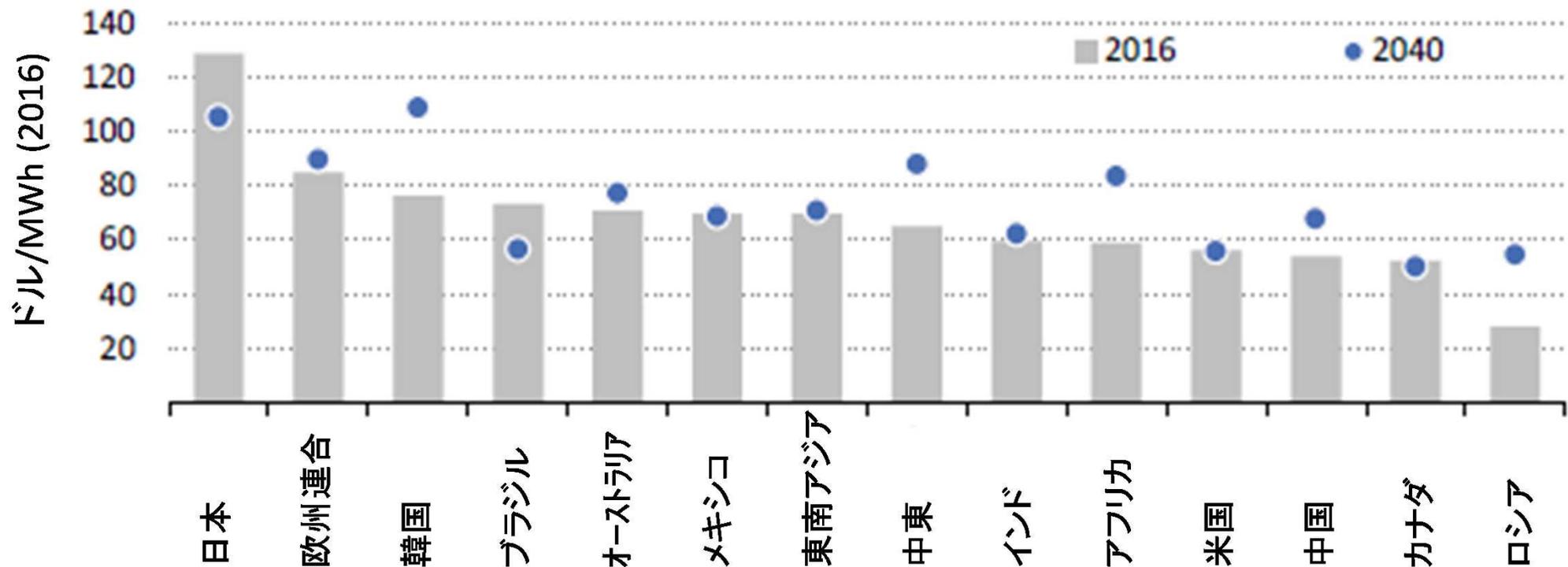
- ①再稼動 ②稼働率の向上 ③40年超運転 ④新增設・リブレース

(出典)主要原子力施設設置者(北海道電力等9社、日本原電、日本原燃及び電源開発)：原子力発電の課題について、原子力規制委員会、2017年1月18日

発電コストの現状・展望

*2040年はWEO2017(新政策シナリオ)の数値

- 日本の発電コストは高く、現状では米国や中国の約2倍の水準、将来も高止まり
- 原子力発電は電力価格の安定化に資する重要な技術オプション



(出典)IEA,World Energy Outlook 2017, pp.277, Figure6.25を翻訳し転載

提言⑦：安全性強化、電力自由化、再生可能エネルギーの導入拡大、災害時の電力安定供給といった社会のニーズ・トレンドへの対応や**原子力の持続的利用の実現**に向けて、**多様な原子力技術開発**(新型炉、再処理技術、出力調整機能や運転継続機能の拡充、原子力エネルギーの多目的利用(熱利用等)、再生可能エネルギーとの共存に向けた技術開発)が引き続き重要である。

原子力と再エネの調和・共存→原子力も再エネも最大限に有効活用

- 原子力が潜在的に具備する高度な出力調整機能の活用(GF, LFC, EDC)
- 熱利用(熱貯蔵による原子力発電の柔軟性向上、原子力コージェネ)
- SMR(小型モジュール炉)
 - ・ 投資リスク低減、段階的な容量調整、出力調整、電力システムの分散化、安全対策コスト低減、防災計画エリア縮小などへの期待

再生可能エネルギーの特徴

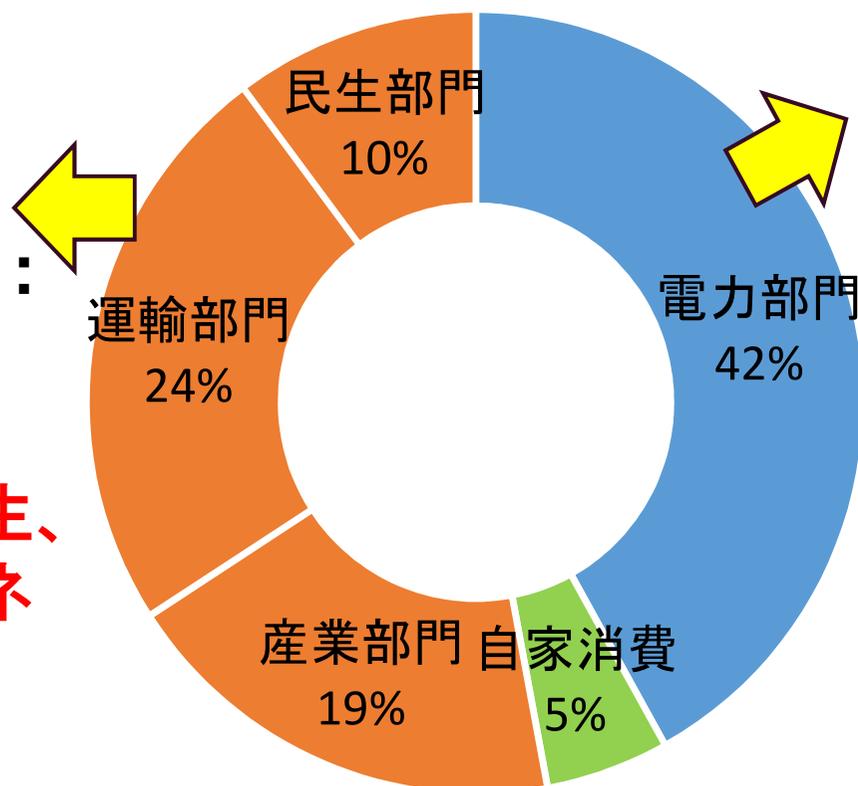
- 環境問題への貢献（ゼロ・エミッション）
- エネルギー自給率への貢献
- 低エネルギー密度（分散型電源、送配電線への多数の連系）
- 地域偏在性（例：風力発電）
- 出力の変動と不確実性（大量導入時の需給バランス維持）
 - 再エネ比率の大幅拡大による潜在的な影響
 - 系統増強や調整力確保に伴う電力コストの増加
 - 系統維持・運用コストの上昇（ドイツやイギリス）

世界の部門別CO₂排出量(2015年)

→ 産業、運輸部門等：6割、電力部門：4割

非化石エネ比率
(産業、民生、運輸)：
1割

→ 熱利用(産業、民生、
運輸)での非化石エネ
ルギー拡大が必要



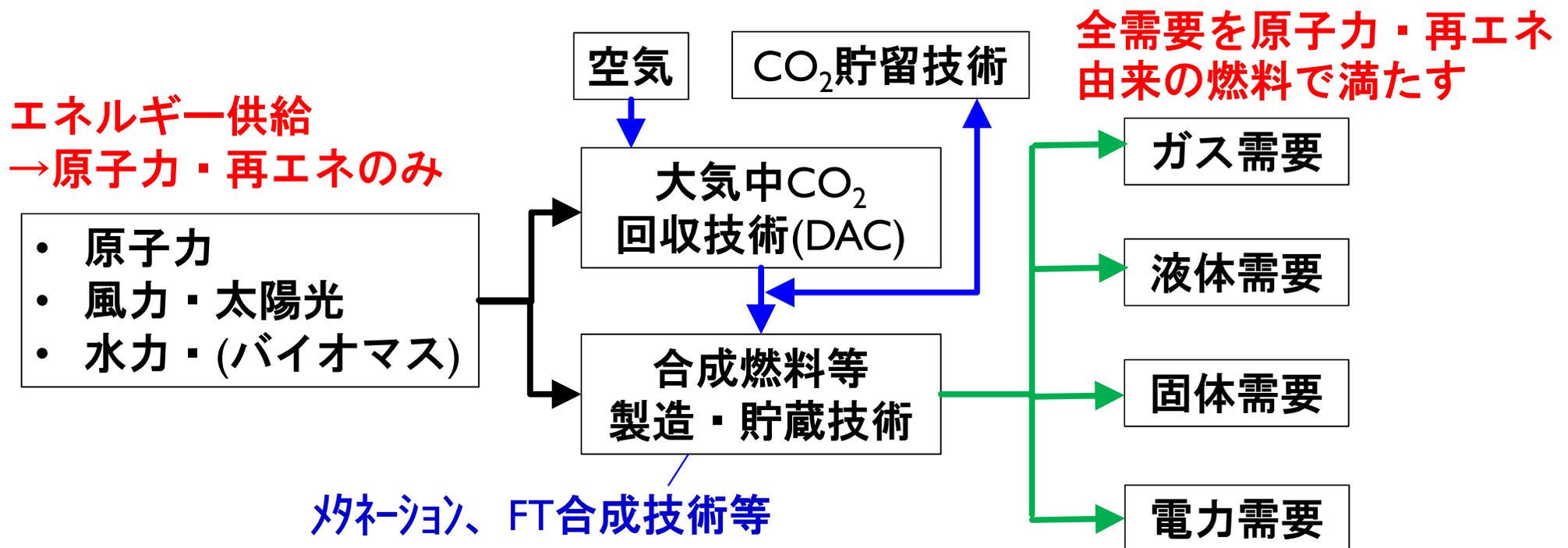
非化石エネ比率(電力)：
3割強

(出典)IEA: CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2017, OECD, Paris, 2017

原子力はエネルギーシステム全体のイノベーション 実現に貢献しうる技術オプション

ゼロ・エミッション型エネルギーシステム(例)

- 原子力・再エネによるゼロ・エミッション電力・合成燃料製造と部門横断的利用
- 大気中CO₂回収技術(DAC)+CO₂貯留→ネガティブエミッション、1.5°C目標の達成



結語

- 地球環境問題、エネルギーセキュリティ、電力安定供給への対応
 - 原子力は中核的な技術選択肢

- 原子力エネルギー利用の重要性
 - 再生可能エネルギーとの共存
 - 新增設
 - 運転期間60年でも今世紀中頃には半減、地球環境問題への対応が困難に
 - 技術自給率の高い技術選択肢、技術基盤と人材の維持・継承
 - 技術の高度化と安全性・社会受容性の実現
 - ✓ 福島事故・軽水炉の教訓を踏まえた技術開発
 - バックエンドを巡る問題(高レベル放射性廃棄物処分等)
 - 処分場の建設に向けての国民との対話など、国・原子力産業界挙げて一層の努力を