



欧州での今後のエネルギーミックスにおける原子力とその役割

イヴ・デバゼイユ

FORATOM 事務局長

2019年4月9日



FORATOMとは



FORATOMとは...



**FORATOMは、欧州原子力産業界の代弁者として、
EU機関および主要ステークホルダーと
エネルギー政策について話し合う立場にある。**



メンバー



FORATOMは15か国の原子力協会を会員とし、3,000を超える企業を代表する

ベルギー
ブルガリア
フィンランド
フランス
ハンガリー
イタリア
オランダ
ルーマニア



スロバキア
スロベニア
スペイン
スウェーデン
スイス
ウクライナ
英国

CEZ(チェコ)とPGE EJ 1(ポーランド)は企業がメンバーである。

主な論点



EUエネルギー政策:

- 原子力の経済性
- EUエネルギーミックス
- 環境
- ユーラトム条約
- エネルギー供給の保証
- 特別テーマー 英国離脱

原子力技術:

- 原子力安全
- 原子力輸送
- R&D
- サプライチェーン
- 廃棄物処分

コミュニケーション:

- 原子力支持アピール
- 原子力エネルギーについての認識
- 原子力エネルギーの促進
- 世論
- 原子力における若い世代



欧州経済への原子力エネルギーの貢献



126

EUにおける
運転中原子炉の数



700

億ユーロ／年間



800,000

雇用



26%

発電量の割合





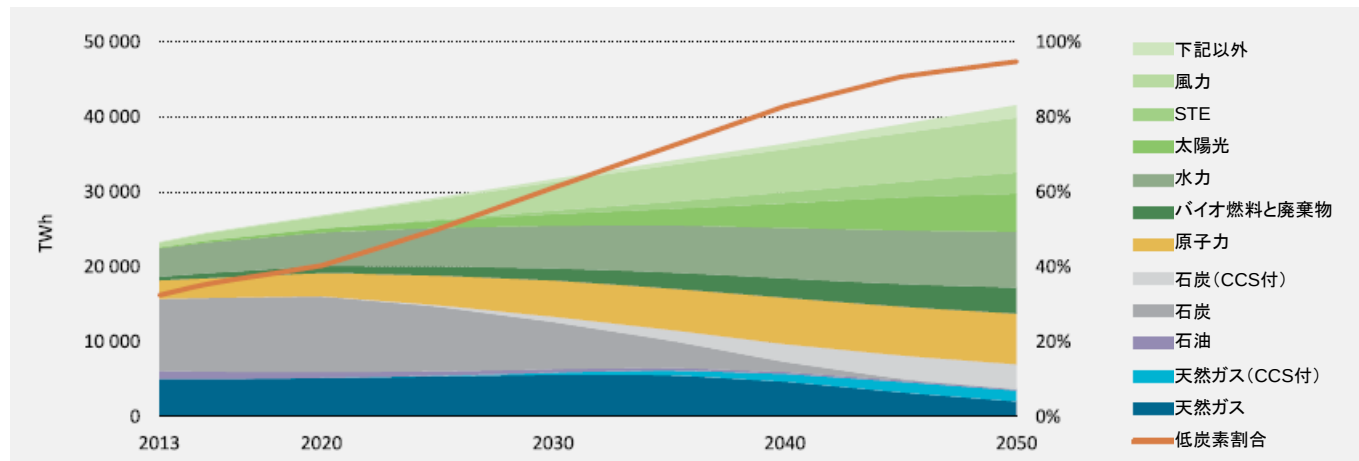
気候変動に立ち向かう上での原子力の役割



気候を守るために、世界が達成すべきこと



IEA 2°Cシナリオ(2DS)での世界の発電量および発電技術



出典: IEA, ETP2016, OECD/NEA 2018

533 gCO₂/kWh

68% 化石燃料
22% 再生可能
11% 原子力

40 gCO₂/kWh

17% 化石燃料
67% 再生可能
16% 原子力

- 2050年までに発電システムを全く新しいものに再構成する必要がある。
- 石炭と石油による発電の段階的な完全フェーズアウト、天然ガスの大幅な減少、CCSの発展、再生可能エネルギーの著しい増加に伴い、原子力が増加している。
- エネルギーセクターへの大規模な投資: 40兆米ドル + 35兆米ドルのエネルギー効率改善

パリ協定

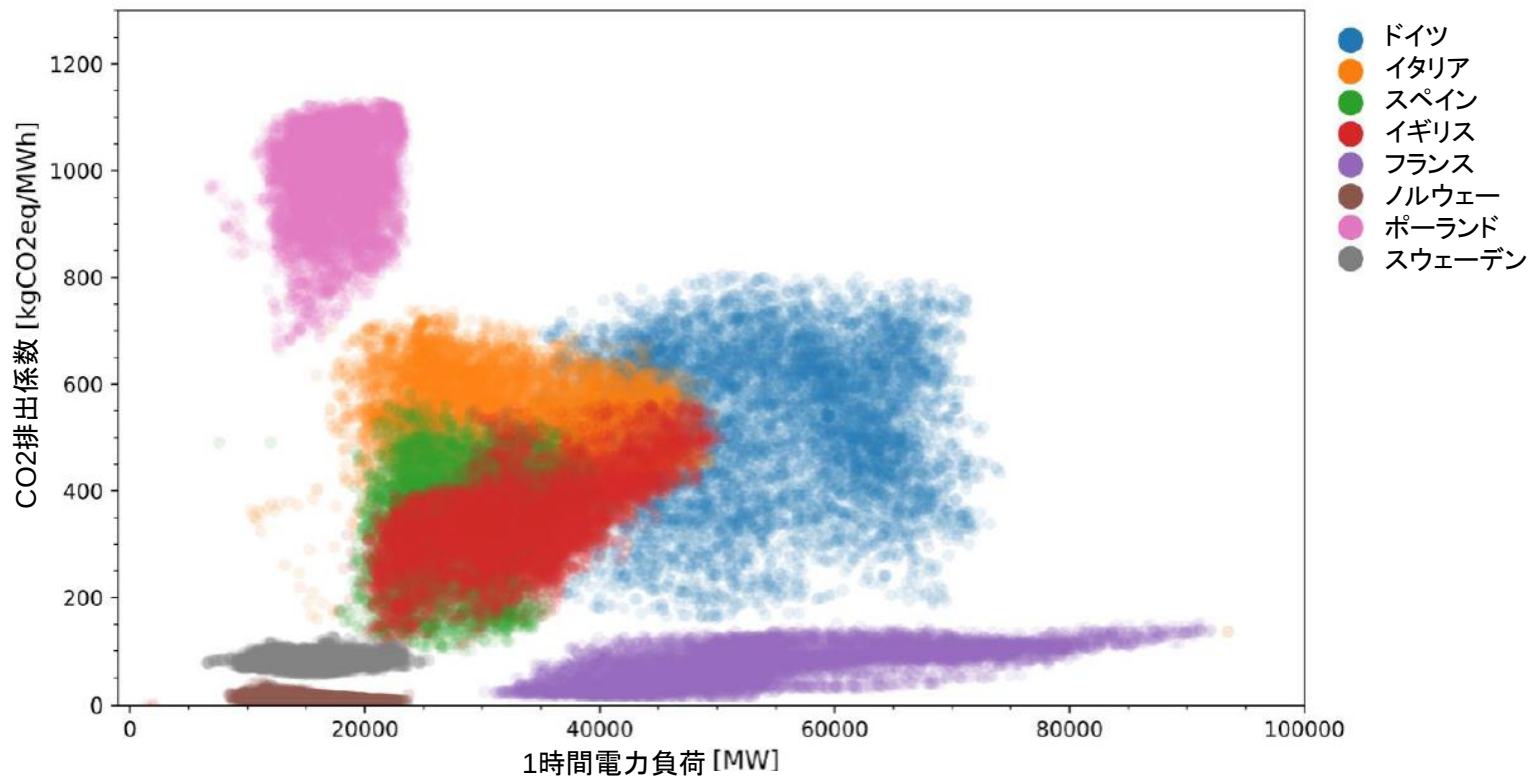


2015年、**196か国**がパリ協定を採択し、
温室効果ガス排出量削減に向けた共通目標
に取り組むことを約束した。

この協定は、世界の平均気温上昇を
「**2°C未満**」に十分に抑えるとともに、
気温上昇を**1.5°C未満**とする取り組みを
続けるものである。



EU主要国のCO2排出量



Source: Tranberg, B., Corradi, O., Lajoie, B., Gibon, T., Staffell, I., & Andresen, G. B. (2018). Real-Time Carbon Accounting.



www.foratom.org | foratom@foratom.org



EUにおける原子力ー現状と今後

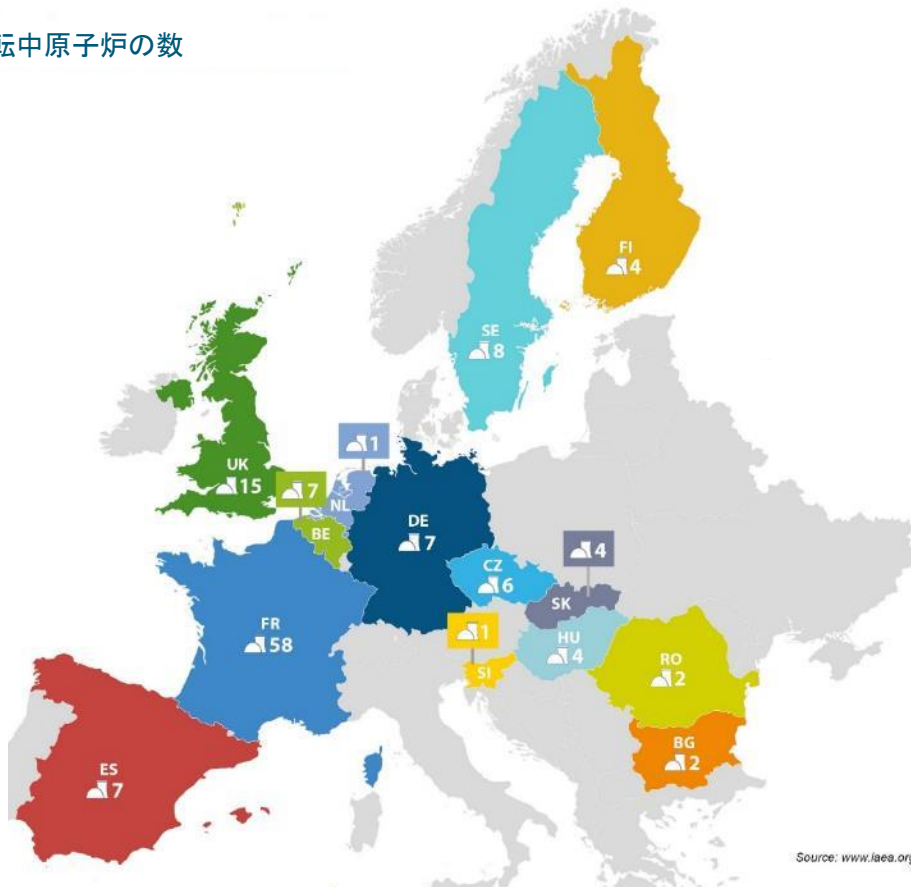


EUにおける原子力エネルギー

126 EUにおける運転中原子炉の数

原子力発電の割合

	フランス: 72%
	58基 - 63,130MW
	スロバキア: 54%
	4基 - 1,814MW
	ベルギー: 50%
	7基 - 5,913MW
	ハンガリー: 50%
	4基 - 1,889MW
	スウェーデン: 40%
	8基 - 8,629MW
	スロベニア: 39%
	1基 - 688MW
	ブルガリア: 34%
	2基 - 1,926MW
	フィンランド: 33%
	4基 - 2,764MW
	チェコ: 33%
	6基 - 3,930MW
	スペイン: 21%
	7基 - 7,121MW
	英国: 19%
	15基 - 8,918MW
	ルーマニア: 18%
	2基 - 1,300MW
	ドイツ: 12%
	7基 - 9,515MW
	オランダ: 3%
	1基 - 482MW



Source: www.iaea.org/pris, 2018

発電量の
割合

26%



低炭素電力の
割合

50%



EUにおける新規建設ー建設と計画

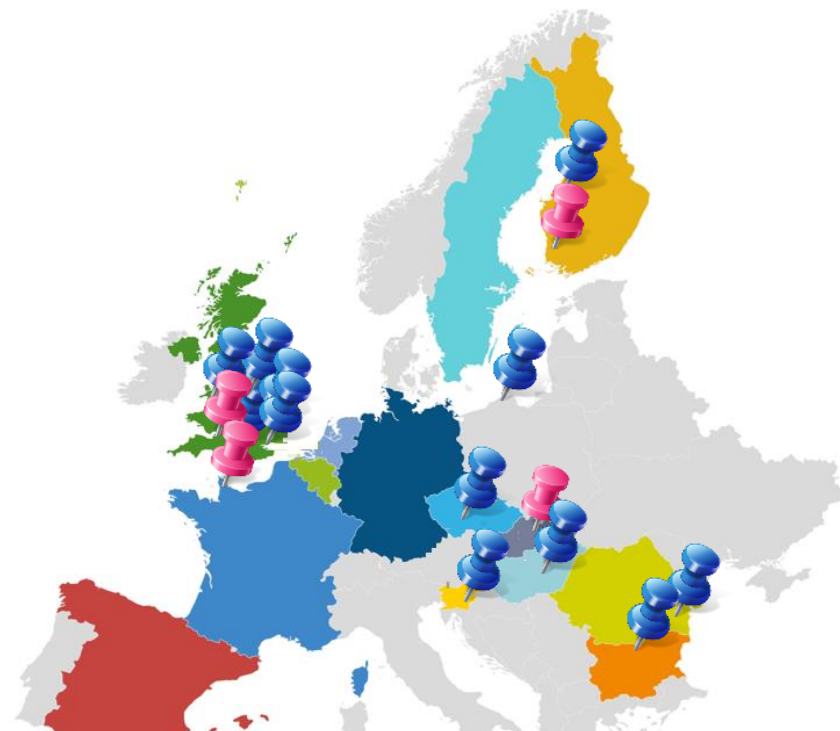


建設中原子炉



新規建設準備中 または新規建設検討中

- ✓ ブルガリア
- ✓ チェコ
- ✓ フィンランド
- ✓ フランス
- ✓ ハンガリー
- ✓ ポーランド
- ✓ ルーマニア
- ✓ スロベニア
- ✓ 英国



- 建設中の原子炉

- 原子力プロジェクト検討中または計画中

長期GHG排出
低減に向けた
EUの戦略
#EU2050



FTI CL社の調査 (FORATOM委託)



2050年に向けた道のり: 欧州の低炭素化に向けた原子力の役割

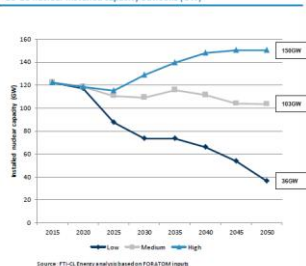
最終報告書

The nuclear scenarios cover a range of installed capacities reflecting different assumptions for retirements, life extensions and new build

Scenarios design

- Each scenario is based on current nuclear plants and projects under construction as well as planned nuclear phase-down policies. Each scenario then assumes different life extension decisions as well as different commissioning date for future new nuclear plants. As a result:
 - In the **short term**, in all scenarios, nuclear capacity drops by 5 to 20GW by 2025.
 - In the **longer-term**, variation of extension and new built decisions lead to the following scenarios:
 - In the **low scenario**, most of the existing plants close without further extensions and new plants projects fail to conclude. The nuclear capacity decreases to 360GW by 2050.
 - In the **medium scenario**, a number of long term operation (LTO) extensions are awarded and new plants are built, in line with current advanced projects. The nuclear capacity reaches 100GW by 2050.
 - In the **high scenario**, a number of additional new plants (including c5GW of SMR and <10GW of Gen-IV) are commissioned replacing thermal baseload and contributing to decarbonisation of the power sector and wider European economy. The nuclear capacity reaches 150GW by 2050.

EU-28 nuclear installed capacity outlooks (GW)



Installed capacity outlook

In the medium scenario, RES capacity reaches 1570 GW (+231%) by 2050, while the flexible capacity hits 500 GW (+695%)

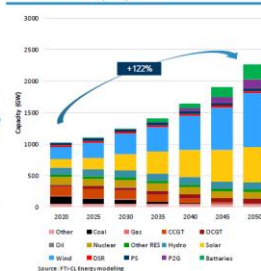
Modelling approach

- The model is set up so that sufficient capacity is operational to ensure security of supply at least cost

Installed capacity outlook:

- Thermal plant closure:**
 - Between 2020 and 2050, 300GW of the existing 310GW of thermal capacity (97%), would close due to anticipated closure or reaching their end of life.
- This would be replaced by:**
 - 1100GW of new RES over 2020-2050 reaching a total of 1570GW in 2050
 - Wind: 860GW; and
 - Solar: 560GW
- 445 GW additional new flexible capacity:**
 - 240GW battery;
 - 5GW DSR;
 - 55GW thermal peakers; and
 - 145GW Power to Gas**

Medium scenario capacity outlook



Daily generation outlook

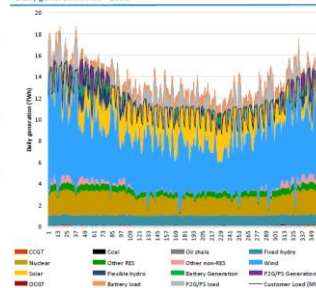
Optimising the use of short term and long term storage will be critical to maintain an efficient and economic operation of nuclear plants

- Nuclear contributes to providing flexibility and baseload power to the system by cycling at different times:
 - It can complement solar and wind variability by providing flexible and dependable carbon free generation.

Seasonal utilisation of storage and P2G:

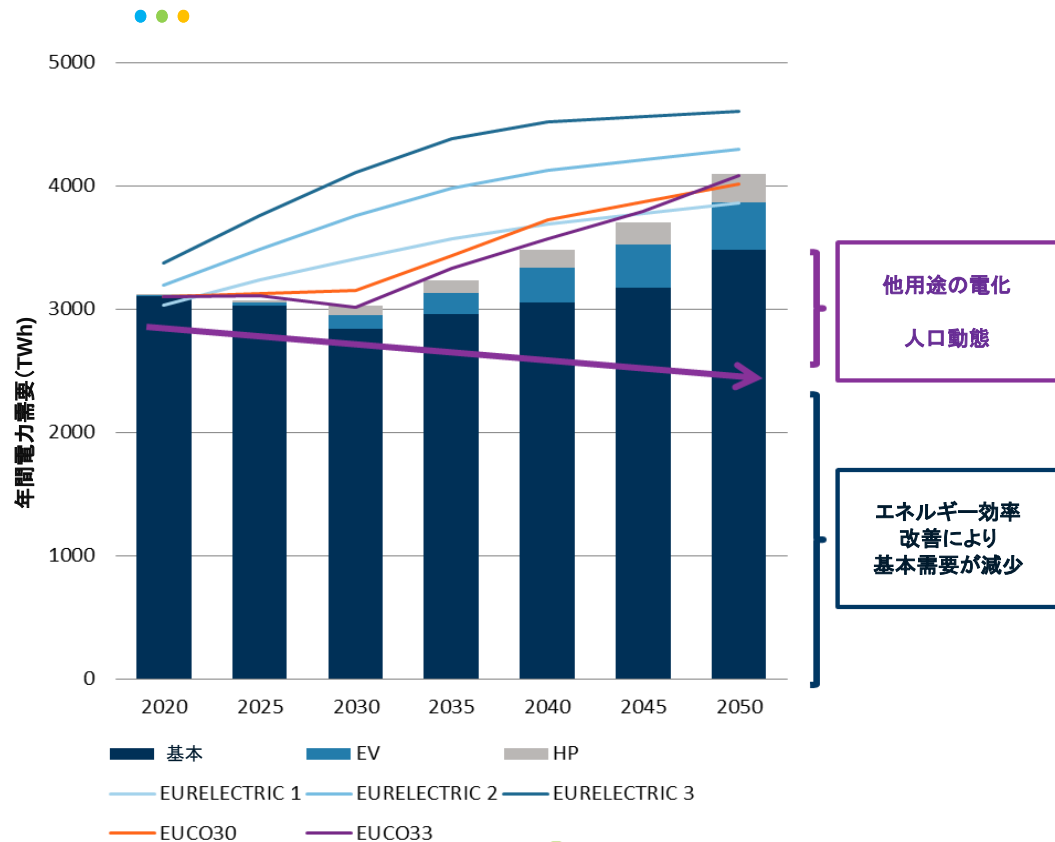
- Storage capacities are essential to stabilise the power system by capturing excessive production and generating in scarcity situations.
- In summer, beyond batteries transferring solar power from day to night, P2G enables solar power to be transferred from one day to the next. It can represent up to 10% of the customer load.
- In winter, P2G enables to offset low wind days and weeks, transferring power on a seasonal timeframe. P2G can represent up to 20% of the customer load.

Daily generation mix - 2050

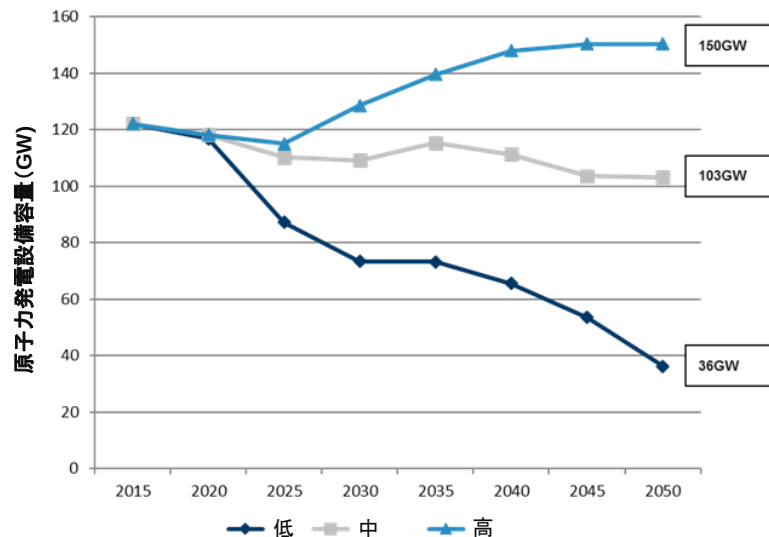


調査における主な想定

- 2050年のエネルギーミックスは1990年比で95%脱炭素化



3つの原子カシナリオ



3つの原子カシナリオ:

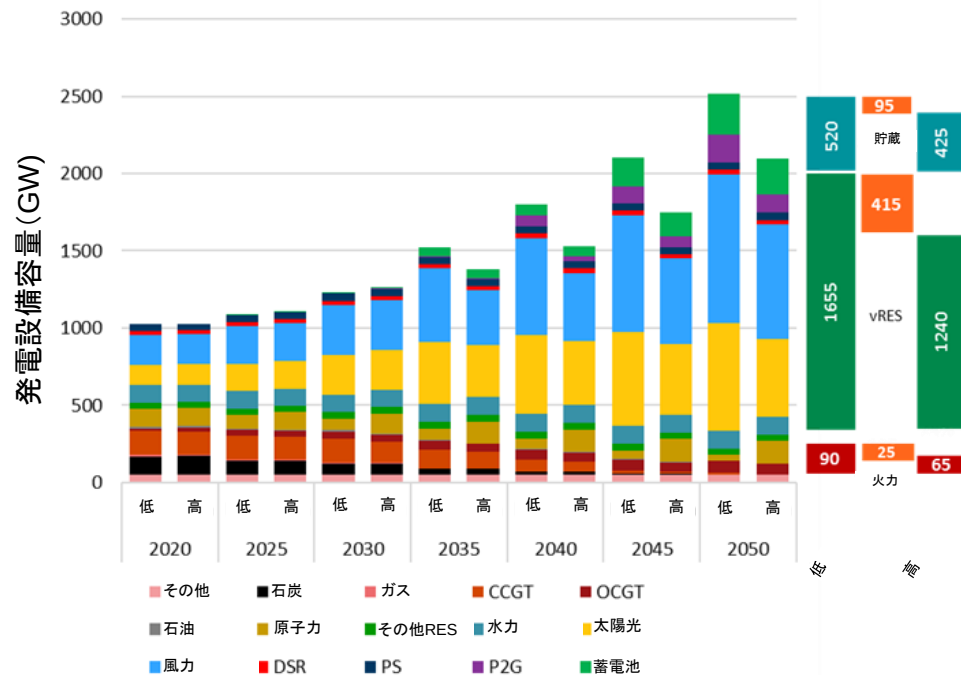
1. 高 – 150 GW, 割合～25%(現在の割合を維持)
2. 中 – 103 GW, 割合～15%(EC戦略と整合)
3. 低 – 36 GW, 割合～4%

この調査では、各シナリオが欧州エネルギー政策の主要事項に及ぼす影響を評価している。

1. 供給の保証
2. 持続可能性
3. 経済性

主な結論

追加発電設備容量の必要性



高原子力シナリオは、
「正味」設備容量の
大幅削減につながる

- 原子力: +114 GW
を置き換えるには:
- 貯蔵: +95 GW
- 変動再生可能エネルギー (vRES): +415 GW
- 火力: +25 GW

主な結論－エネルギー供給の保証

2035年までに電力貯蔵技術が商業的に十分成長しないため、給電可能な電源が必要となる。

- 見込まれている原子炉の停止(低原子力シナリオ)により、**20 GW/7 GW**の新規火力発電/寿命延長が必要となり、それが長期的に固定化されることになる。

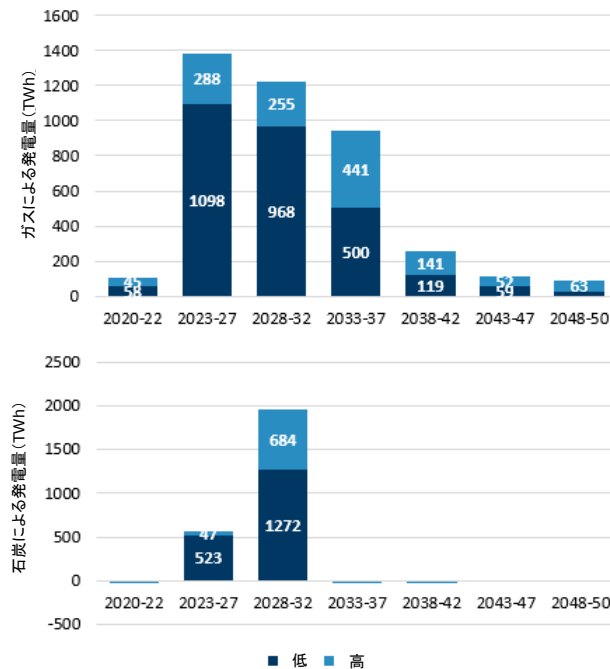
変動再生可能エネルギーの増加から、EUの電力システムは短期(調整)と長期(週単位/季節単位)の両方における柔軟性の必要性が高まる。

- 原子力は既に柔軟性があり(例:フランス)、時間をかけてさらに高めることができる。
- 低原子力シナリオでは、エネルギー供給を確保するため、未実証の柔軟な貯蔵能力を大幅に追加する必要がある(**40 GWバッテリー & 61 GW PT-X**)

輸入エネルギーへの依存

- 見込まれている原子炉停止(低原子力シナリオ)で、化石燃料の消費が**6,500 TWh**まで増加し、2020年～2050年にかけての電力消費における天然ガスと石炭への依存割合がEUではそれぞれ**36%/18%**増加する。

電力セクターによる化石燃料による発電量の差



主な結論－気候と持続可能性

2050年気候目標

- 全てのシナリオにおいて2050年目標を達成できているものの、高原子力シナリオでは、少ないクリフエッジ効果でこの目標を**達成できる可能性が高い**。

環境影響の面から見た高原子力シナリオとは

- 2020年～2050年で**2,270Mt/17%**のCO₂を削減できる(特に短期/中期)。
- 大気/水の汚染を約**14%**低減できる。
- 土地の使用を約**15,800 km²** (ベルギーの面積の1/2) 低減できる。
- 低原子力シナリオで削減される発電容量 (**+66 TWh**)を 確保できる。

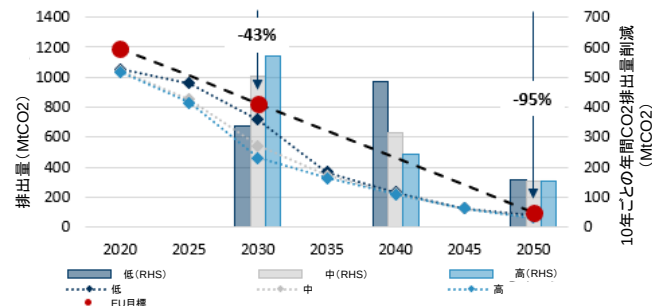
原子力は大規模技術として唯一、廃棄物に対する全責任を負い、その費用も全て一本化している

- 原子力発電による廃棄物の量は、**他エネルギー源に比べると非常に少ない**。
- 単位エネルギー当たりの原材料量は、太陽光発電に比べ**最大1/20**である。

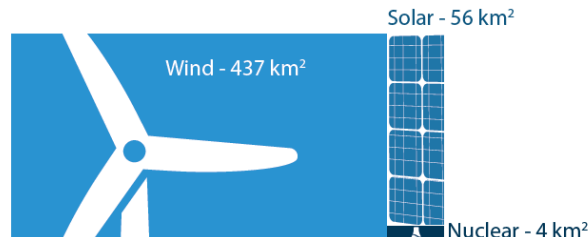
原子炉寿命の長さ

- 原子炉(60年超、第3世代)は20年後、残存価額の高い資産となることから(均等化発電原価LCOEで負けることなく)、**原子力は優れた持続可能なインフラである**。

電力セクターからのCO₂排出量予想



1,800MWの原子力発電所と比較した
土地面積の必要量



主な結論－料金 & 競争力



消費者は、原子力を含む様々な技術によって費用削減の利益を享受する(試行錯誤とイノベーション)

- 技術への投資により、2020年～2050年で、原子力の資本支出は**37%低減可能**。2020年～2050年にかけて陸上風力発電(31%)、洋上風力発電(50%)、太陽光発電(59%)のコストをさらに削減可能。

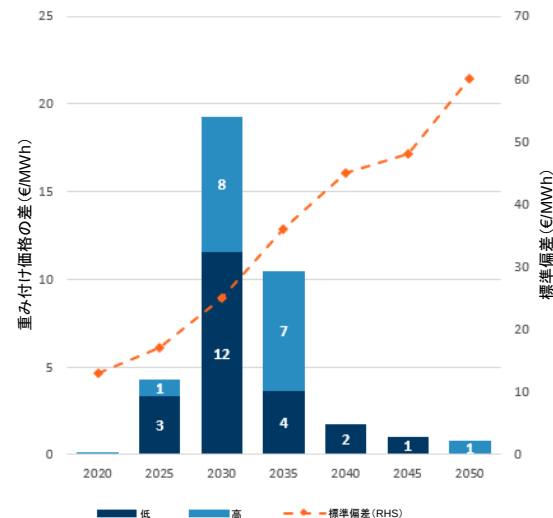
消費者の費用負担

- 原子力をさらに増加させていくことで(高原子力シナリオ)総発電費用を抑え、**低炭素への移行における消費者の費用負担**を3,500億ユーロ低減することができる(2030年には最大€20/MWh)。

ネットワークと調整費用

- 高原子力シナリオでは、ネットワークと調整に係る費用をそれぞれ**約1,600億ユーロ、約1,300億ユーロ**低減することができる。

各シナリオでの電力料金差予想(2017年度料金)



Source: FTI-CL Energy modelling



戦略の公表—2018年11月28日

EC戦略における原子力エネルギー(2018年11月)



ECのメッセージ*:

「再生可能エネルギーと原子力が
炭素ゼロの欧州電力システムの柱となる」

ECの詳細分析**:

- EU2050年エネルギーミックスにおいて、原子力は引き続き重要な電源の一部として位置付けられる。
- 2050年の原子力発電容量－**99～121GW**
- 2050年の電気ミックスにおける原子力の割合－**約15%**
- 全てのシナリオにおいて、**天然ガス**の消費量は2050年までに大幅に低減すると予想されている。
- ベースラインでは、**水素**利用は陸上輸送および産業利用のみに限定して発展する。

戦略はFORATOMが実施した調査について直接言及している。

* https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_en.pdf

** https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf

分析したシナリオ

長期戦略オプション

	Electrification (ELEC)	Hydrogen (H2)	Power-to-X (P2X)	Energy Efficiency (EE)	Circular Economy (CIRC)	Combination (COMBO)	1.5°C Technical (1.5TECH)	1.5°C Sustainable Lifestyles (1.5LIFE)
Main Drivers	Electrification in all sectors	Hydrogen in industry, transport and buildings	E-fuels in industry, transport and buildings	Pursuing deep energy efficiency in all sectors	Increased resource and material efficiency	Cost-efficient combination of options from 2°C scenarios	Based on COMBO with more BECCS, CCS	Based on COMBO and CIRC with lifestyle changes
GHG target in 2050	-80% GHG (excluding sinks) ["well below 2°C" ambition]					-90% GHG (incl. sinks)	-100% GHG (incl. sinks) ["1.5°C" ambition]	

電力セクター 2050年までに電力をほぼ脱炭素化させる。システムの最適化により再エネをさらに浸透させる(需要側反応、貯蔵、系統連携、生産消費者の役割)。原子力は電力セクターにおいて引き続きその役割を果たす。CCS配備では限界に直面する。

Industry	Electrification of processes	Use of H2 in targeted applications	Use of e-gas in targeted applications	Reducing energy demand via Energy Efficiency	Increasing resource efficiency, rates, material substitution, circular measures	Combination of most Cost-efficient options from "well below 2°C" scenarios with targeted application (excluding CIRC)	CIRC+COMBO but stronger
Buildings	Increased deployment of heat pumps	Deployment of H2 for heating	Deployment of e-gas for heating	Increased renovation rates and depth	Sustainable buildings	COMBO but stronger	CIRC+COMBO but stronger
Transport sector	Faster electrification for all transport modes	H2 deployment for HDVs and some for LDVs	E-fuels deployment for all modes	- Increased modal shift - Electrification as in ELEC	Mobility as a service		- CIRC+COMBO but stronger - Alternatives to air travel
Other Drivers		H2 in gas distribution grid	E-gas in gas distribution grid			Limited enhancement natural sink	- Dietary changes - Enhancement natural sink



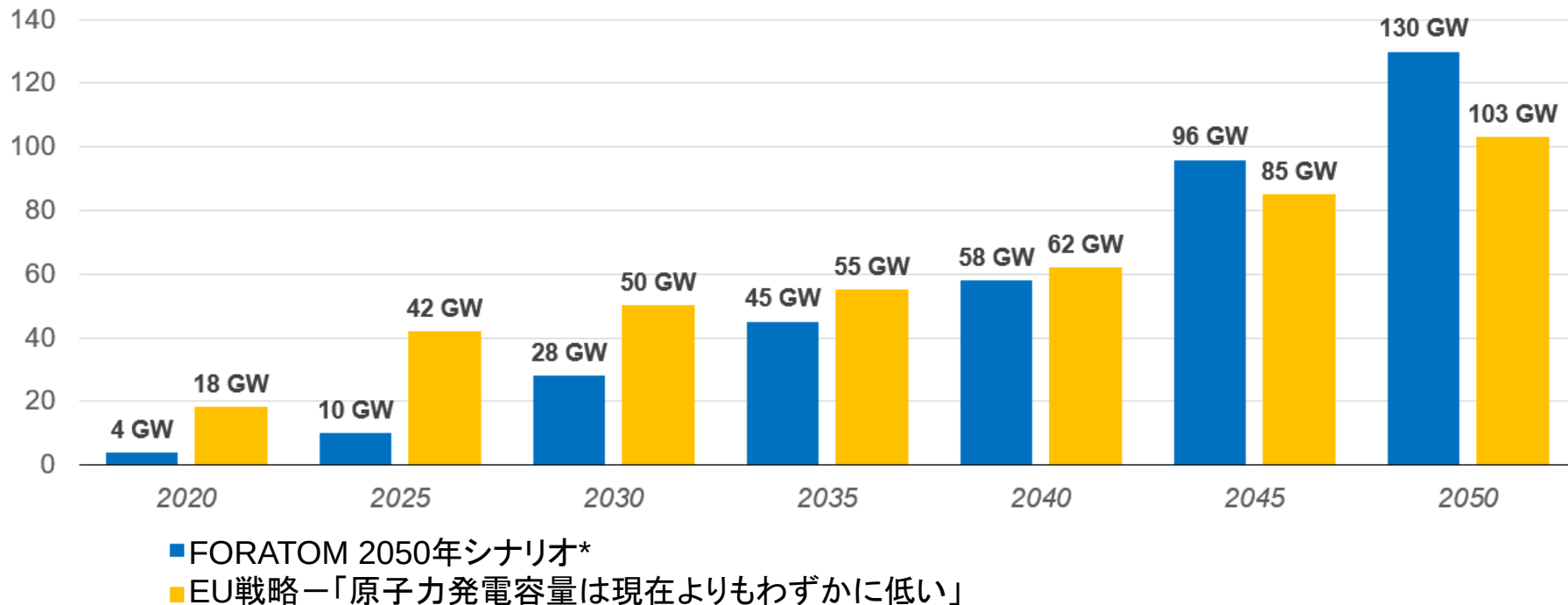
結論



EUにおける原子力の未来



新たに必要な原子力発電容量合計



なすべきこと

EUレベル

- ✓ 気候変動に関するあらゆる政策において、原子力を考慮する
- ✓ 原子力産業政策
- ✓ 市場の失敗への対応
- ✓ R&D予算の増額

産業界レベル

- ✓ 競争性向上
- ✓ 標準化/協調への取り組み
- ✓ セクターの近代化
- ✓ プロジェクト/プログラムの策定
- ✓ 若い才能に対する魅力の強化

ありがとうございました



欧州でのあなたの声

FORATOMの一員として、
持続可能で信頼できる、革新的な
未来を実現しよう！

詳しくはこちらまで
membership@foratom.org



www.foratom.org | foratom@foratom.org |