

# エネルギーの未来と原子力利用

## 刊行のことば

世界は今、エネルギー安全保障と脱炭素化という二つの大きな課題に直面しています。気候変動対策の加速、国際情勢の不安定化、化石燃料価格の高騰と供給リスクの顕在化などにより、各国はエネルギーを安定的に確保しつつ温室効果ガス排出を削減するという、極めて困難な課題に向き合わざるを得なくなっています。

日本は、一次エネルギーの大半を海外に依存するという構造的な脆弱性を抱えています。再生可能エネルギーの導入は進んでいるものの、気象条件に左右される特性や広大な設置面積の必要性、系統制約など、単独でエネルギー供給の主軸を担うには限界があります。安定供給と脱炭素化を同時に達成するためには、高いエネルギー密度と安定した出力を持つ原子力の活用が不可欠です。

原子力は、運転時にCO<sub>2</sub>を排出せず、天候に左右されず、長期間にわたり大量の電力を安定して供給できる唯一の電源です。さらに、革新軽水炉や高速炉、核燃料サイクル、そして将来の核融合技術など、原子力分野では安全性・経済性・持続性を飛躍的に高める技術革新が進んでいます。これらは、日本のエネルギー自立性を高め、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた強力な選択肢となります。

本稿は、地球が持つエネルギーの起源から、世界と日本の温暖化対策、各種電源の特徴、そして原子力技術の最新動向まで、エネルギー政策を考えるうえで必要な基礎情報を収集・集約し、体系的に整理しました。特に、将来のエネルギーミックスにおける原子力の役割について、科学的知見と国際的な動向を踏まえて解説しています。

エネルギーは国家の基盤であり、国民生活と産業を支える不可欠のインフラです。本稿が、原子力の価値を正しく理解し、我が国のエネルギーの未来をともに考えるための一助となれば幸いです。

2026年1月30日

特定非営利活動法人 革新的原子炉推進協議会

理事長 田中 敏幸

◆執筆者・編集者一覧◆  
(執筆順)

◆執筆

● 第1章

地球上のエネルギーの起源と賦存量

辻倉 米蔵

革新的原子炉推進協議会  
副理事長

● 第2章

温暖化防止への取り組み

谷川 信吾

革新的原子炉推進協議会  
委員

● 第3章

将来のエネルギー選択について

肥田 善雄

革新的原子炉推進協議会  
委員

● 第4章 4.1～4.6

原子力利用

中島 文明

革新的原子炉推進協議会  
委員

● 第4章 4.7～4.9

原子力利用

駒野 康男

革新的原子炉推進協議会  
委員

● 第5章

原子力・放射線の多様な利用

石隈 和雄

革新的原子炉推進協議会  
委員

● 付録

福島第一原子力発電所の廃止措置の現状

駒野 康男

革新的原子炉推進協議会  
委員

◆編集

駒野 康男

革新的原子炉推進協議会  
委員

石隈 和雄

革新的原子炉推進協議会  
委員

小林 綾子

革新的原子炉推進協議会  
事務局

# 目次

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1.地球上のエネルギーの起源と賦存量 .....          | 8  |
| 1.1.地球の持つエネルギー概要 .....            | 8  |
| 1.1.1.主な利用可能エネルギーの種類 .....        | 8  |
| 1.1.2.エネルギーの使用状況 .....            | 8  |
| 1.1.3.世界の再エネ発電導入量 .....           | 10 |
| 1.2 太陽エネルギー起源のエネルギー .....         | 11 |
| 1.2.1. 太陽エネルギーの賦存量.....           | 11 |
| 1.2.2. 太陽光・風力エネルギー利用の困難性 .....    | 12 |
| 1.2.3. 風力エネルギーの賦存量と利用状況 .....     | 13 |
| 1.3. 水力.....                      | 14 |
| 1.3.1. 水力賦存量と利用状況 .....           | 14 |
| 1.3.2. 我が国の水力開発ポテンシャル.....        | 15 |
| 1.4. 地熱.....                      | 16 |
| 1.4.1.地熱の起源と賦存量.....              | 16 |
| 1.4.2. 地熱エネルギーの賦存量と地熱発電 .....     | 16 |
| 1.5. バイオマス .....                  | 17 |
| 1.5.1.バイオマス燃料の起源と賦存量 .....        | 17 |
| 1.5.2. バイオマスエネルギーの利用実績 .....      | 17 |
| 1.6. 波力、潮力 .....                  | 18 |
| 1.6.1.波力、潮力の起源と賦存量.....           | 18 |
| 1.7. 化石燃料.....                    | 18 |
| 1.7.1. 化石燃料生成期.....               | 18 |
| 1.7.2. 化石燃料・石炭賦存量 .....           | 19 |
| 1.8.核燃料.....                      | 20 |
| 1.8.1.核分裂エネルギー（ウラン 235 の起源） ..... | 20 |
| 1.8.2.核融合エネルギー.....               | 22 |
| 1.9.参考資料.....                     | 22 |
| 1.9.1. 地球が持っているエネルギー .....        | 22 |
| 1.9.2.エネルギー供給に関する基本的事項 .....      | 22 |

|   |    |
|---|----|
| 1.9.3. 我が国における太陽光・風力による電力供給の限界 .....  | 23 |
| 1.9.4. 石炭が出来る過程 .....   | 23 |
| 1.9.5. 世界の石炭埋蔵量（2020年） .....  | 24 |
| 1.9.6. 石油ができるまで .....   | 25 |
| 1.9.7. 既知ウラン資源の世界分布 .....   | 26 |
| 1.9.8. 海水ウランの埋蔵量 .....  | 26 |
| 1.9.9. 核融合エネルギーの原理 .....  | 27 |
| 2. 温暖化防止への取り組み .....  | 28 |
| 2.1. 地球温暖化とは .....  | 28 |
| 2.1.1. 地球温暖化 .....  | 28 |
| 2.1.2. トランプ発言について .....   | 29 |
| 2.1.3. IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル） ..... | 30 |
| 2.2. 世界の取り組み .....  | 30 |
| 2.2.1. 米国の取り組み（1） .....   | 32 |
| 2.2.2. 米国の取り組み（2） .....   | 33 |
| 2.2.3. 英国の取り組み .....  | 34 |
| 2.2.4. 仏国の取り組み .....  | 35 |
| 2.2.5. 独国の取り組み .....  | 37 |
| 2.2.6. 中国の取り組み .....  | 38 |
| 2.3. 日本の取り組み .....  | 39 |
| 2.3.1. 温室効果ガス排出状況 .....   | 39 |
| 2.3.2. 部門別CO <sub>2</sub> 排出状況 .....  | 41 |
| 2.3.3. 日本のCO <sub>2</sub> 削減目標 .....  | 43 |
| 2.3.4. 2050年CN実現にむけた取組 .....  | 44 |
| 2.3.5. 火力の脱炭素化(水素・アンモニア発電/化石+CCUS)に向けた取り組み .....                            | 45 |
| 2.3.6. 電源以外のエネルギーの脱炭素化 .....  | 47 |
| 3. 将来のエネルギー選択について .....   | 51 |
| 3.1. 日本のエネルギーの現状 .....  | 51 |
| 3.1.1. エネルギーの自給率 .....  | 51 |
| 3.1.2. 電源構成比率 .....   | 51 |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.3.エネルギー需給の見通し .....                     | 52 |
| 3.1.4.エネルギー選択の大原則 S+3E .....                | 53 |
| 3.2.各種発電方法の特徴 .....                         | 53 |
| 3.2.1.太陽光発電・風力発電 .....                      | 53 |
| 3.2.2.水力発電 .....                            | 59 |
| 3.2.3.地熱発電 .....                            | 60 |
| 3.2.4.原子力発電 .....                           | 63 |
| 3.2.5.化石燃料火力発電 .....                        | 65 |
| 3.2.6.電源の特徴まとめ .....                        | 67 |
| 3.3. エネルギーの安全保障 .....                       | 67 |
| 3.3.1. 日本の化石燃料の輸入先 .....                    | 67 |
| 3.3.2. 中東情勢の緊迫化 .....                       | 68 |
| 3.4. 電力の安定性（同時・同量と出力調整） .....               | 69 |
| 3.4.1. エネルギー自立性・長期の価格安定性 .....              | 69 |
| 3.4.2.出力調整の必要性と運用の現状 .....                  | 70 |
| 3.4.3.出力調整の方法 .....                         | 70 |
| 3.4.4. 仏・原子力での出力調整運転実績例 .....               | 72 |
| 3.5. 発電コスト .....                            | 73 |
| 3.5.1. モデルプラント方式の発電コスト .....                | 73 |
| 3.6. 2050 年の電源の在り方 .....                    | 74 |
| 3.7.参考資料 .....                              | 76 |
| 3.7.1. 今後 10 年の電力需要の想定（電力広域的運営推進機関推計） ..... | 76 |
| 3.7.2. 変動性再生可能エネルギーに対する調整電源の必要性 .....       | 76 |
| 3.7.3. システムコストの構成要素イメージ .....               | 78 |
| 3.7.4. 変動再エネ導入量によるコスト上昇 .....               | 79 |
| 3.7.5. 原子力発電の出力調整能力 .....                   | 79 |
| 3.7.6. 原子力発電の制御方法・設備改良による更なる出力調整能力の向上 ..... | 80 |
| 3.7.7. 原子力のコストと火力発電の CO2 対策にかかる費用の試算 .....  | 80 |
| 3.7.8. 1 kWh 当たりの発電コスト .....                | 81 |
| 4.原子力利用 .....                               | 84 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 4.1.原子力のエネルギー利用 .....              | 84  |
| 4.2.原子力のメリット、デメリット .....           | 84  |
| 4.3.軽水炉（軽水炉安全性向上や革新炉の開発も含める） ..... | 85  |
| 4.4. 革新軽水炉 .....                   | 87  |
| 4.5.高速炉（高速炉の意義や開発状況も含める） .....     | 88  |
| 4.6.核燃料サイクル .....                  | 89  |
| 4.7. 核セキュリティと核不拡散 .....            | 92  |
| 4.8. 核融合エネルギー .....                | 93  |
| 4.8.1. 核融合の原理 .....                | 93  |
| 4.8.2. 核融合エネルギーの利点と課題 .....        | 94  |
| 4.9. 放射性廃棄物の処理・処分.....             | 95  |
| 4.9.1. 放射性廃棄物の処理・処分 .....          | 95  |
| 4.9.2. 高レベル放射性廃棄物の処理・処分 .....      | 96  |
| 4.9.3. 最終処分選定プロセス.....             | 96  |
| 4.9.4. 最終処分プロセスの諸外国の進捗状況.....      | 97  |
| 4.9.5. クリアランス制度.....               | 98  |
| 4.9.6. クリアランスの利用例.....             | 99  |
| 4.9.7. 参考資料 .....                  | 100 |
| 5.原子力・放射線の多様な利用.....               | 103 |
| 5.1.放射線の多様な利用.....                 | 103 |
| 5.1.1.放射線利用の経済規模.....              | 103 |
| 5.1.2.放射線利用の具体例 .....              | 104 |
| 5.2. 原子力の多様な利用.....                | 106 |
| 5.2.1. 原子力の医療利用 .....              | 106 |
| 5.2.2. 原子力の農業利用 .....              | 111 |
| 5.2.3. 原子力の宇宙への応用.....             | 113 |
| 5.2.4. 年代測定への利用 .....              | 115 |
| 付録：福島第一原子力発電所の廃止措置の現状.....         | 117 |
| 福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた進捗状況 .....      | 118 |
| 1. 汚染水対策・ALPS 処理水対策：汚染発生量の抑制.....  | 119 |

|   |     |
|---|-----|
| 2. 汚染水対策 ・ ALPS 処理水対策 : ALPS 処理水の海洋放出 ..... | 120 |
| 3. 使用済燃料プール内の 燃料の取り出し .....                 | 121 |
| 4. 燃料デブリの 取り出し .....                        | 123 |
| 5. 燃料デブリの取り出し工法.....                        | 124 |
| 6. 廃棄物対策.....                               | 125 |

## 1.地球上のエネルギーの起源と賦存量

産業活動や日常生活のために多くのエネルギーが使われている。其の為には、エネルギーが継続的に、かつ環境にも悪影響なく利用できることが必要である。その背景として、地球にはどのようなエネルギーがどれだけ存在するのか。また、その内、人類はどれだけ利用できるのかを把握しておくことが必要である。

地球にどのようなエネルギーがどれだけ賦存しているのか全体像について以下に解説する。

### 1.1.地球の持つエネルギー概要

#### 1.1.1.主な利用可能エネルギーの種類

我々が現時点で利用可能と考えられる主なエネルギーの種類は開発中のものも含めて、以下のとおりである。

| 種類              | エネルギー |
|-----------------|-------|
| 再生可能エネルギー（※）    | 太陽光   |
|                 | 風力    |
|                 | 水力    |
|                 | 地熱    |
|                 | バイオマス |
|                 | 波力・潮力 |
| 化石燃料            | 石炭    |
|                 | 石油    |
|                 | 天然ガス  |
| 原子力（増殖可能なエネルギー） | 核分裂   |
|                 | 核融合   |

※再生可能エネルギーとは：太陽からのエネルギーや地球が持っているエネルギーに由来し、利用する以上の速度で自然に補充され、エネルギー源として永続的に利用することができるエネルギー全般を指す。

#### 1.1.2.エネルギーの使用状況

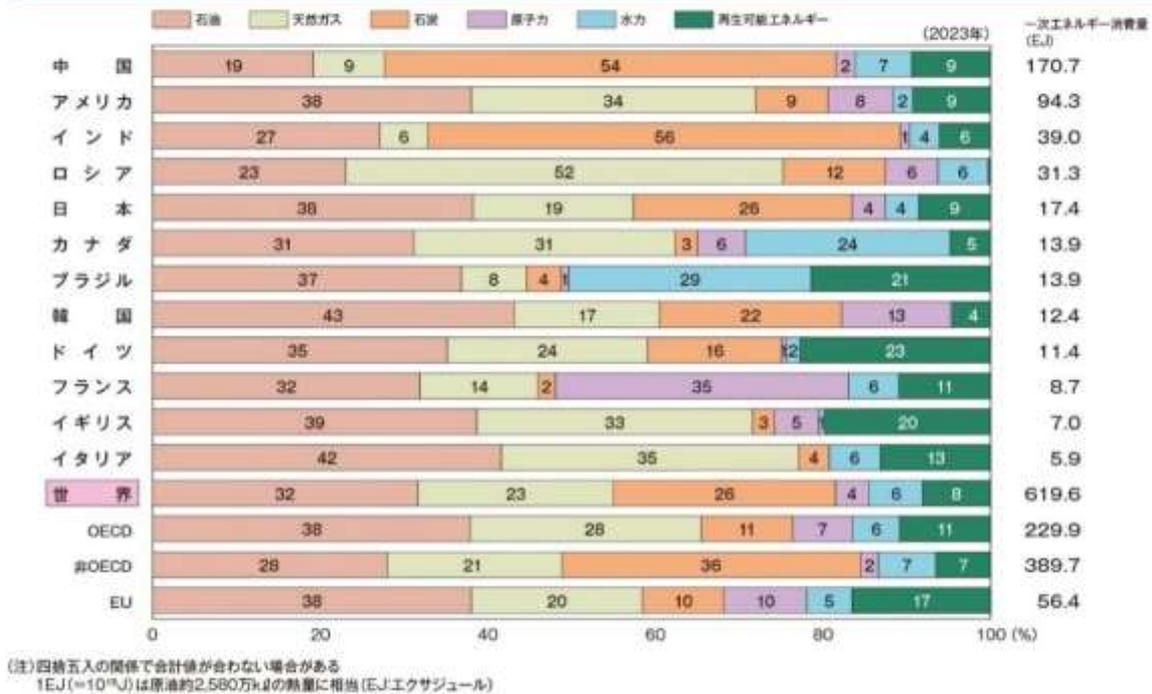
現在全世界でどれだけのエネルギーが使われているのか、また、それにはどのようなエネルギーが使われているのかを示す。消費されているエネルギーの総量とそのエネルギーの種類は以下のとおりである。

世界全体（2023年）の総消費量：619.6EJ（約17.2万TWh）

内訳：化石燃料=81%、原子力=4%、再生可能エネルギー（水力込）=15%

世界の各国によるエネルギーの消費総量と消費エネルギーの構成を示す。

## 主要国の一次エネルギー構成



1-1-B

出典: 2024 Energy Institute Statistical Review of World Energy 2024

原子力・エネルギー調査会

図 1：主要国の一次エネルギー構成 出典: 日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/1-1-8>)

我が国のエネルギー消費の総量と内訳を示している。

日本（2023年）の総消費量：17.575 EJ

内訳：化石燃料=81%、原子力=4%、再生可能エネルギー（水力込）=12%

また、消費するエネルギーの種類は時代とともに推移している。特に近年においては温暖化防止の観点から化石燃料の消費を抑制し、再生可能エネルギーへの移行が政策的に行われてきた。更に、原子力については福島事故以降停止していた原子力は、安全性の確認を終えたものから再起動に移行する動きが具体化してきている。利用するエネルギーの種類はこのような動向を反映して変化して来ている。

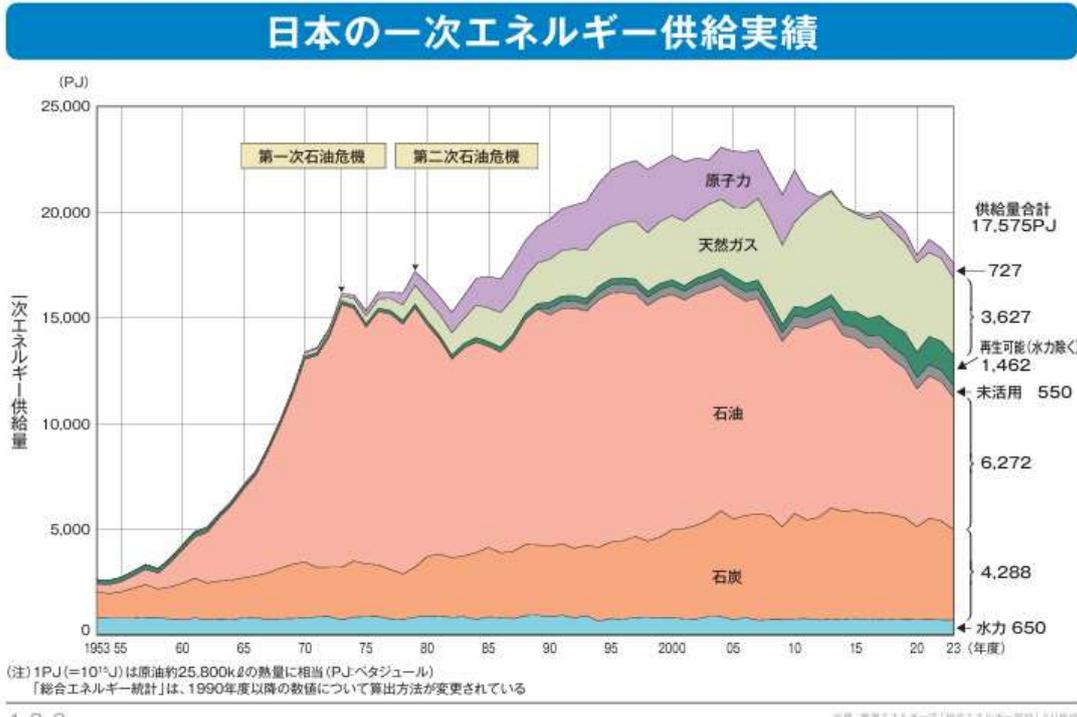


図 2：日本の一次エネルギー供給実績 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト  
(<https://www.ene100.jp/zumen/1-2-3>)

### 1.1.3. 世界の再エネ発電導入量

エネルギー消費に伴う温室効果ガスの増加が環境に大きく影響してきている。温暖化効果ガスの排出の少ないエネルギーの利用が求められ、世界各国はその削減に努力してきている。環境への影響の少ないエネルギー源として再生可能エネルギーの利用が進められている。世界の再生可能のエネルギーによる発電電力状況及び我が国の取り組み状況を示す。

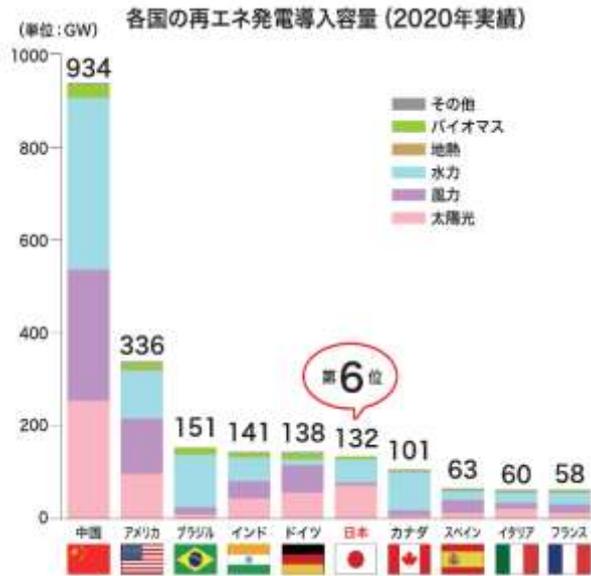


図 3：世界の再エネ発電導入量 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト  
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2022/007/>)

日本は既に、再生エネルギーの導入容量では世界6位の実績。特に太陽光発電の導入量については、世界3位となっている。なお、中国や米国の敷地面積は、日本の約25倍であり、面積当たりで考えると日本が上回っている。

## 1.2 太陽エネルギー起源のエネルギー

地球は太陽から膨大な量のエネルギーを得ている。また、その形態は直接太陽光発電のように利用しやすい電力として得るものもあるが、太陽エネルギーが起源である風力の利用や、太陽エネルギーによる地球上の水の循環として得る降雨による水力や潮流の利用などがある。

まず、初めに太陽からどれくらいのエネルギーが地上に注がれているのについて説明する。

### 1.2.1. 太陽エネルギーの賦存量

図には太陽が放出しているエネルギー総量とその内、地球が得ているエネルギー量、更に、地球が得たエネルギーがどのようなエネルギーに変換されるとともに、最終的には宇宙に熱となって放出されエネルギーバランスが保たれているかを示している。

量的な概念をイメージ的にとらえると、太陽が放出しているエネルギーを20万トンタンカーに例えると、地球が受けているエネルギーはペットボトル1本程度、その内人類が収集可能と思われる量は小匙一杯程度、また現在人類が利用しているエネルギー総量は一滴の水程度である。

量的には、再生可能エネルギーとして利用できる大きなポテンシャルを持っている。

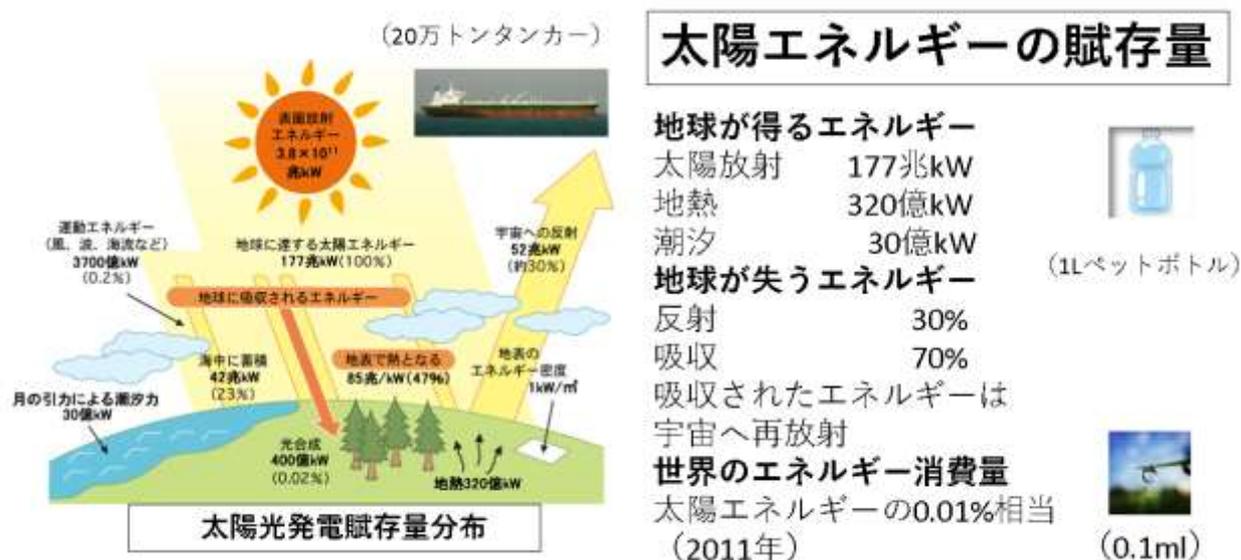


図4：太陽エネルギーの賦存量 出典：日本太陽エネルギー学会(確認中)をもとに作成。

| 分類         | 内訳                    | 量・割合     |
|------------|-----------------------|----------|
| 地球が得るエネルギー | 太陽放射                  | 177 兆 kW |
|            | 地熱                    | 320 億 kW |
|            | 潮汐                    | 30 億 kW  |
| 地球が失うエネルギー | 反射                    | 30%      |
|            | 吸収（吸収されたエネルギーは宇宙へ再放射） | 70%      |

世界のエネルギー消費量：太陽エネルギーの 0.01%相当（2011 年）。

世界の家屋と砂漠の 5%での太陽光発電可能量 = 61TW と算定。

世界エネルギー消費（約 18TW）を量的には上回ることは可能（電中研報告）。

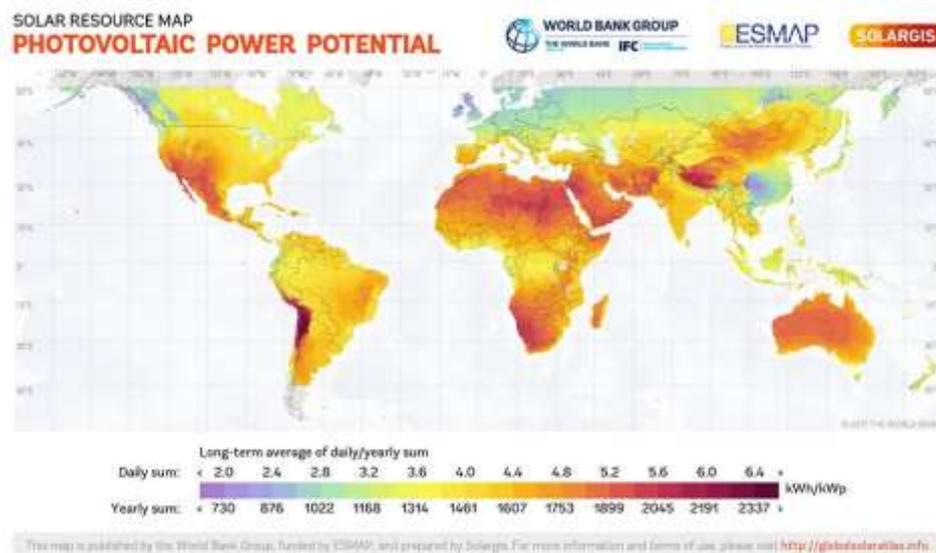


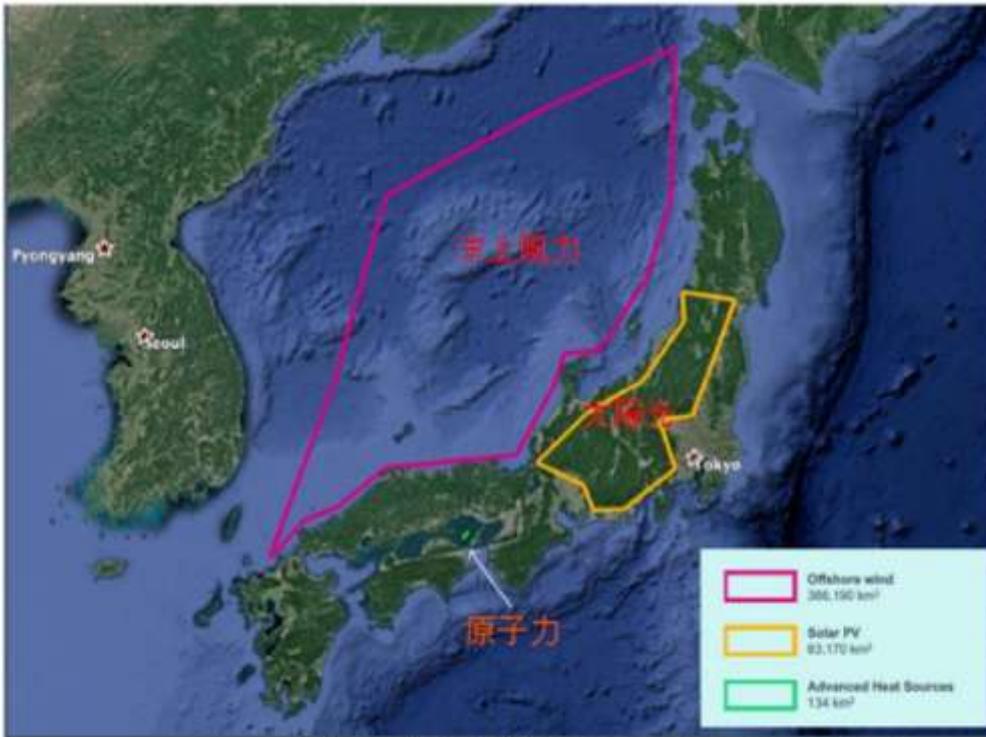
図 5：ソーラーリソースマップ 出典：世界銀行、太陽資源データ SOLARGIS  
<https://ja.dsisolar.com/info/solar-resource-maps-of-world-31088503.html>

### 1.2.2. 太陽光・風力エネルギー利用の困難性

地球が受けている太陽エネルギーの分布は図 5 に示すとおりである。そのエネルギー分布からわかるように分布が地球全体から見ると偏りがあることや、広く薄く分布することからその収集や輸送から利用が限定的となることである。

我が国エネルギー消費の 75%を占める熱消費量の全部を太陽光・風力で賄うとなれば、希薄なエネルギー源であることと設備利用率が低いために、本州面積の 1/3 を太陽光パネルが占め、日本海排他的経済水域（EEZ）以上の面積を風車が占めるということになる。

太陽光・風力エネルギーの賦存量も大きく持続できるエネルギーであるが、利用には広い面積が必要で利用率も低いので利用には限度がある。



出典：米英研究機関LUCID CATALYSTレポート

図 6 排他的水域、微弱なエネルギー源 出典：LUCID CATALYST REPORT「Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals」を加工して作成。

### 太陽光・風力はエネルギー密度が小さい・微弱なエネルギー源

|                               | 太陽光  | 洋上風力 | 原子力    |
|-------------------------------|------|------|--------|
| 出力密度 (MW/km <sup>2</sup> )    | 50   | 2.3  | 2,080  |
| 年間稼働率                         | 12%  | 50%  | 90%    |
| 年間発電量 (GWh/km <sup>2</sup> 年) | 52.6 | 9.1  | 16,399 |

図 7 排他的水域、微弱なエネルギー源 出典：LUCID CATALYST REPORT「Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals」をもとに作成。

#### 1.2.3. 風力エネルギーの賦存量と利用状況

風力は太陽から受けるエネルギーの一部が大気の運動エネルギーとなったものである。

風力エネルギーの賦存量は大きいですが、地球上の風力分布についても、偏在しており、またそのエネルギー密度も小さいので利用できるエネルギーとしては限定されているのが現状である。

世界の風力エネルギーの賦存量の技術的ポテンシャル推定値： 数百 TW  
(IPCC の再生可能エネルギー特別報告書 (2011) )

世界の風力発電導入実績

2022 年末の累計導入：906GW(0.906TW)。その内、洋上風力は累計：64.3GW、比率は累で 7.1%。2022 年新規導入量：77.6GW/年。

日本の風力発電賦存量：陸上 14 億 kW、洋上 77 億 kW。

導入ポテンシャル：陸上風力で 7,000 万～3.0 億 kW。

洋上風力の着床式：510 万～3.1 億 kW。

洋上風力の浮体式：5,600 万～13 億 kW。

日本の風力発電導入実績：

陸上風力発電：約 500 万 kW。

洋上風力発電（着床式）：約 30 万 kW が運用中。

洋上風力発電（浮体式）：実証段階のプロジェクトが中心。

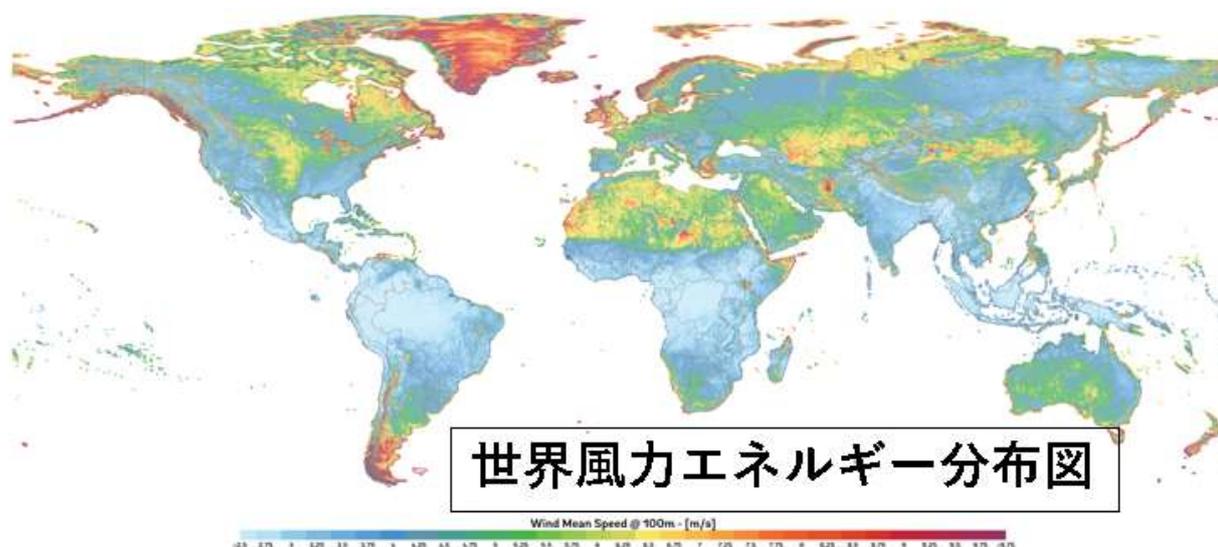


図 8 風速世界マップ 出典: [Global Map of Wind Speed.png \(File:Global Map of Wind Speed.png - Wikimedia Commons\)](#)

### 1.3. 水力

水力は、太陽エネルギーにより海や陸地から蒸発した水が地上に降り注ぐ雨となり、山や高地に降った雨が重力により低地に流れることで、エネルギーを利用するものである。

#### 1.3.1. 水力賦存量と利用状況

地上に降り注いだ雨量のうち、水力として利用できるエネルギーは、次のように推定されている。

世界の包蔵水力： 約 14,000TWh/年と推定

経済性を見込めるもの： 約 8,000TWh /年と推定

(下表はその大部分の分布について示している)

[Hydropower & Dams, World Atlas and Industry Guide, 2000の好意により]

|          | 技術的に開発可能な<br>包蔵水力 (TWh/年) | 経済的に開発可能な<br>包蔵水力 (TWh/年) |
|----------|---------------------------|---------------------------|
| アフリカ     | 1750                      | 1000                      |
| アジア      | 6800                      | 3600                      |
| 北+中央アメリカ | 1660                      | 1000                      |
| 南アメリカ    | 2665                      | 1600                      |

図 9 水力賦存量 出典:国際水力協会、IEA 水力実施協会、カナダ水力協会「水力発電および世界のエネルギーの将来」([https://www.nef.or.jp/ieahydro/contents/pdf/a6/IEA\\_AVI\\_Japanese-white-paper.pdf](https://www.nef.or.jp/ieahydro/contents/pdf/a6/IEA_AVI_Japanese-white-paper.pdf))

現状では、経済性を見込めるものの約 1 / 2 が開発されている。

### 1.3.2. 我が国の水力開発ポテンシャル

大規模な水力発電は、環境破壊の観点から実現が難しい状況ではあるが、中小水力の開発等が進められている。しかし、出力及び電力量ベースのポテンシャルでみると、我が国の水力資源は7割弱程度が開発済みであること、また、未開発地点についても、出力が小さいことや奥地化等により、開発は困難になっていくことが想定されている。

○わが国の包蔵水力のうち、出力及び電力量ベースで7割弱程度、地点数で約4割が開発済みとなっている。

○水力発電の未開発地点は約2,700地点存在し、3万kW未満の地点数が多く、開発地点の奥地化・出力の小規模化による経済性や、自然・社会環境上の制約などの課題がある。



図 10：我が国水力発電ポテンシャル 出典:中小水力発電4団体「2030年 中小水力発電の導入見込みについて」

([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/saisei\\_kano/pdf/030\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/030_05_00.pdf))(p.8)

## 1.4. 地熱

### 1.4.1. 地熱の起源と賦存量

地熱エネルギーの主な供給源は、以下の 3 項目である。

| 供給源         |   |                |
|-------------|---|----------------|
| 1.地球形成時の残留熱 | 地球が誕生した約 46 億年前の衝突や圧縮によって生じた熱が、今なお内部に残留。    | 約数百万 TW        |
| 2.放射性崩壊     | ウラン、トリウム、カリウムなどの放射性同位体が地殻やマントル内で崩壊する際の熱の放出。 | 約 20～25TW      |
| 3.マグマ活動     | プレートの境界や火山地帯では、マグマが地表近くまで上昇し、大量の熱を供給。       | 地球からの放熱：約 47TW |

これらの熱が地下水や岩石を温め、それを掘削して熱水や蒸気として取り出し、発電や暖房に利用。地球全体で見ると、理論上の地熱エネルギーの貯蔵量は人類が何千年も使っても尽きないほどのエネルギー量である。

### 1.4.2. 地熱エネルギーの賦存量と地熱発電

日本の地熱ポテンシャル：世界第 3 位、約 2,300 万 kW

発電設備容量：約 550 万kW（2020 年）

地熱発電に用いることができる熱水の温度が低く、効率が低いこと、温泉地と立地地点が重なること等から導入に制約がある。

世界各国の地熱発電設備容量



図 11：世界地熱発電設備容量 出典：エネルギー・金属鉱物資源機構ウェブサイト  
([https://www.jogmec.go.jp/carbonneutral/carbonneutral\\_01\\_00006.html](https://www.jogmec.go.jp/carbonneutral/carbonneutral_01_00006.html))

| 順位 | 国名     | 資源量<br>(万 kW) | 順位 | 国名       | 資源量<br>(万 kW) |
|----|--------|---------------|----|----------|---------------|
| 1  | アメリカ   | 3000          | 6  | メキシコ     | 600           |
| 2  | インドネシア | 2779          | 7  | アイスランド   | 580           |
| 3  | 日本     | 2347          | 8  | ニュージーランド | 365           |
| 4  | ケニア    | 700           | 9  | イタリア     | 327           |
| 5  | フィリピン  | 600           | 10 | ペルー      | 300           |

図 12 地熱資源量 出典：資源エネルギー庁「地熱資源開発の現状と課題について」

([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen\\_nenryo/pdf/018\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/pdf/018_02_00.pdf)) (p.2)を  
もとに作成

## 1.5. バイオマス

### 1.5.1. バイオマス燃料の起源と賦存量

バイオマス燃料の起源は、植物が光合成によって太陽エネルギーをバイオマスに変換したものである。（一部動物のあからのメタンガスなどがあるが、これらの起源も植物由来が主となる。）

理論上の賦存量：

太陽から地上に届くエネルギー177 兆 kW（177TW）の約 0.02%の約 400 億kWが地上での光合成に用いられている。しかし、理論上のポテンシャルのうち、実際にエネルギーとして利用されているのはごく一部である。

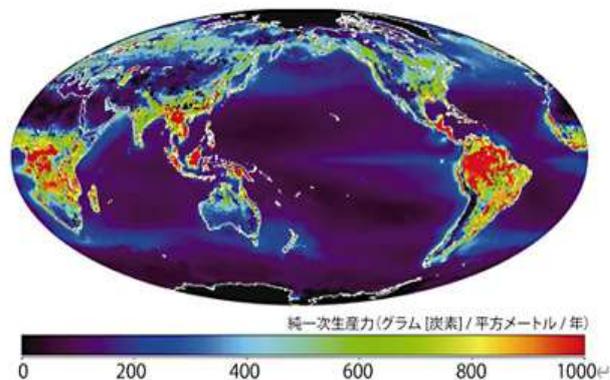


図 1 地球上の純一次生産力の分布

国立環境研究所による陸域モデルと海洋研究開発機構（笹岡晃征博士）による海洋モデル

図 13：地球上の純一次生産力の分布 出典：国立環境研究所ウェブサイト  
(<https://www.nies.go.jp/kanko/news/30/30-3/30-3-04.html>)

### 1.5.2. バイオマスエネルギーの利用実績

世界全体の一次エネルギー供給に占めるバイオマスの割合：約 4.0%（2024 年時点）

日本では、一次エネルギー供給のうちバイオマスの割合：約 2%前後（2011 年時点）

日本の再生可能エネルギーの中では、バイオマスは 5.5GW、電源構成の約 3.7%（2022 年度）を占めており、2030 年には 5%程度を目指す。

出典：国際エネルギー機関（IEA: International Energy Agency）の資料、PPT43 による

## 1.6. 波力、潮力

### 1.6.1. 波力、潮力の起源と賦存量

潮力発電は、月や太陽の引力によって生じる潮の満ち引きや潮流を利用した再生可能エネルギーの一つ。現在、世界全体で潮力発電の推定可能エネルギー量は約 3TW とされている。このうち効率的に利用できるのは約 3%（約 100GW）に留まる。

先進的な導入例：

| 国    | プロジェクト名、発電所名等           | 概要  |
|------|-------------------------|---|
| イギリス | スコットランドの「MeyGen プロジェクト」 | 世界最大級の潮流発電で、約 398MW の発電を目指す。  |
| フランス | ランス潮汐発電所                | 世界で初めての潮力発電所で、1966 年に建設され現在も稼働中。設備容量は 240MW、年間発電量は約 6 億 kWh。設備利用率は約 40%。ランス川の干満差は平均で 8m、大潮時には最大 13.5m に達する。 |
| 韓国   | 始華湖潮汐発電所                | アジア最大規模で出力 254MW。   |
| カナダ  | ファンディ湾                  | 世界最大級の潮差を利用したプロジェクトが進行中。  |

設置コストの高さや適地の限定性、海洋環境への影響などの課題がある。

日本でも、長崎県五島列島での実証プロジェクトが進行中である。

## 1.7. 化石燃料

### 1.7.1. 化石燃料生成期

化石燃料生成期までにほとんどの炭素は地殻に移行。3 億 7 千万年以降植物の多様化が進展。石炭紀 3.59～2.99 億年の間に植物由来の炭素固定が進んだ。石油は古生代末期（2.5 億年～中生代、新生代にかけて主に海洋性プランクトン由来で生成、動物の炭素固定が進んだ。

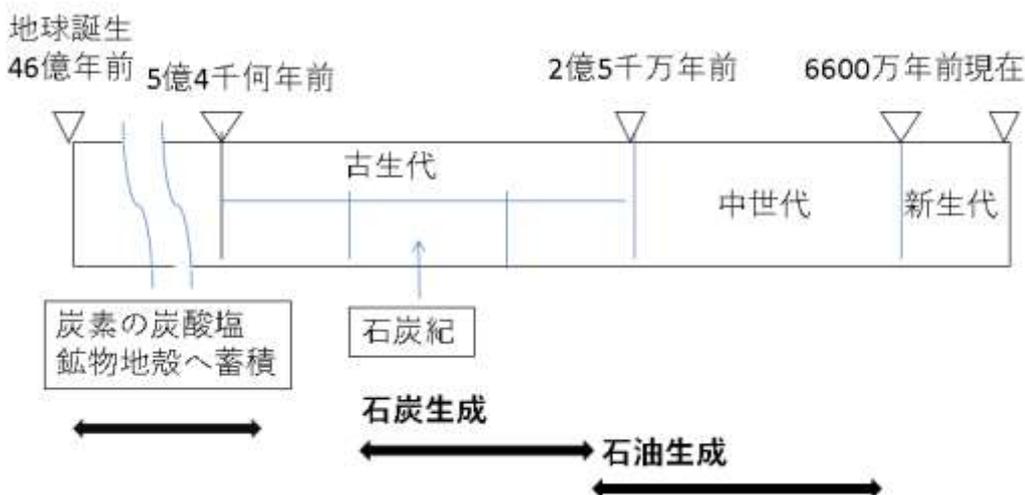


図 14 地球史における炭素固定と化石燃料の形成

## 1.7.2. 化石燃料・石炭賦存量

### 石炭の生成過程

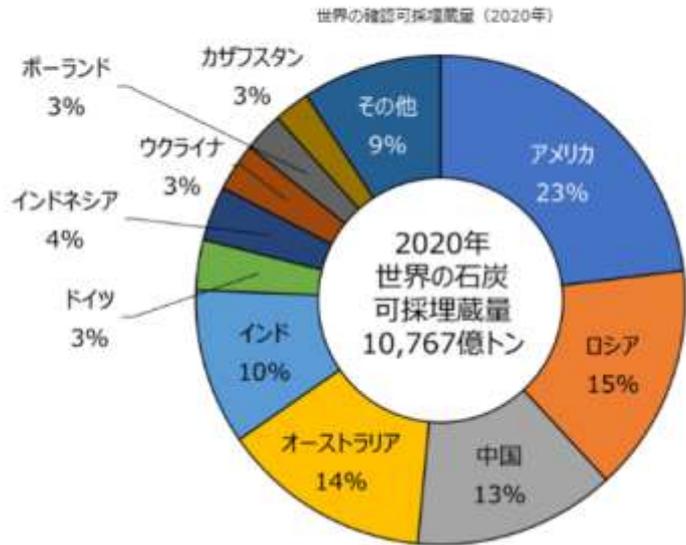
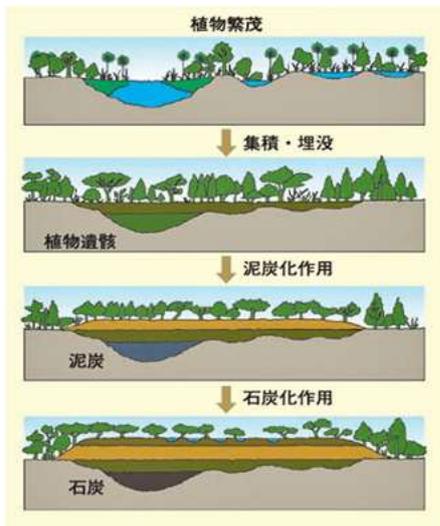


図 15 石炭の生成過程 出典：西田進ウェブサイト (<http://www.nishida-s.com/main/categ4/34sekitanngyou/>)

図 16 世界の確認可採埋蔵量 出典：一般財団法人カーボンフロンティア機構ウェブサイト (<https://www.jcoal.or.jp/intern/cucoal/01.html>)

### 世界の石油・天然ガス分布状況

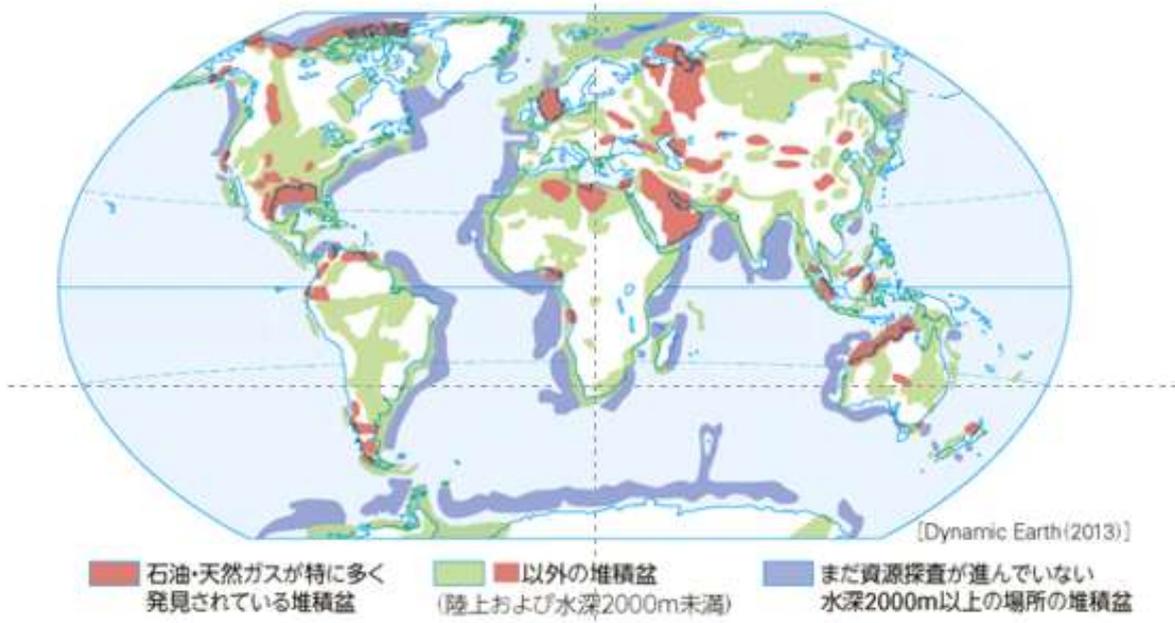
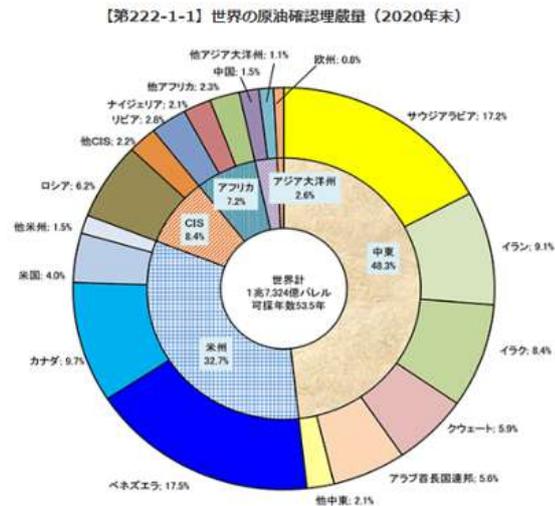
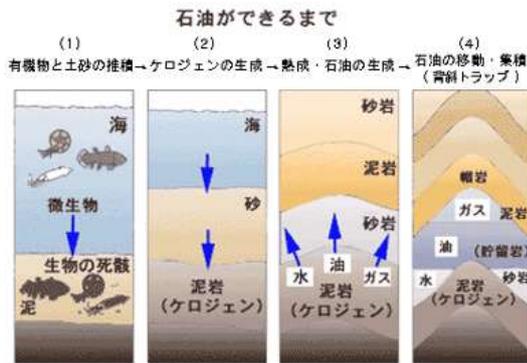


図 17 世界の石油・天然ガスの分布状況 出典：山川出版社ウェブサイト ([https://www.ninomiya-shoten.co.jp/chiri\\_q\\_and\\_a/2018-003](https://www.ninomiya-shoten.co.jp/chiri_q_and_a/2018-003))



【第222-1-1】世界の原油確認埋蔵量 (2020年末) (xls/xlsx形式28KB)

図 18 石油が出来るまで 出典：日本エネルギー経済研究所石油情報センターウェブサイト ([https://oil-info.ieej.or.jp/whats\\_sekiyu/1-2.html](https://oil-info.ieej.or.jp/whats_sekiyu/1-2.html))

図 19 世界の原油確認埋蔵量 (2020 年) 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト (<https://www.enecho.meti.go.jp/about/energytrends/202506/html/s-2-2.html>)

## 1.8.核燃料

### 1.8.1.核分裂エネルギー (ウラン 235 の起源)

核分裂性物質ウラン 235 は、地球誕生時にはウランの 24%あったが、現在で減衰して 0.7%となっている。ウランは、岩石中に広く分布しているが、濃度の高い部分が鉱床として利用されている。

海水中のウラン：

炭酸錯体 (UO<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub><sup>-</sup>) 3ppb の濃度で 約 45 億トン溶解している。更に、また、海底の岩盤表層にはこの 1000 倍のウランを含有しており、海水からウランを回収しても、岩盤からの溶出により溶存濃度は一定に保たれると考えられている。

海水ウランはその濃度が薄いことから、その実用的な利用は将来の課題であるが、高速炉サイクルでの利用を考慮すれば無尽蔵の資源が賦存していると言える。

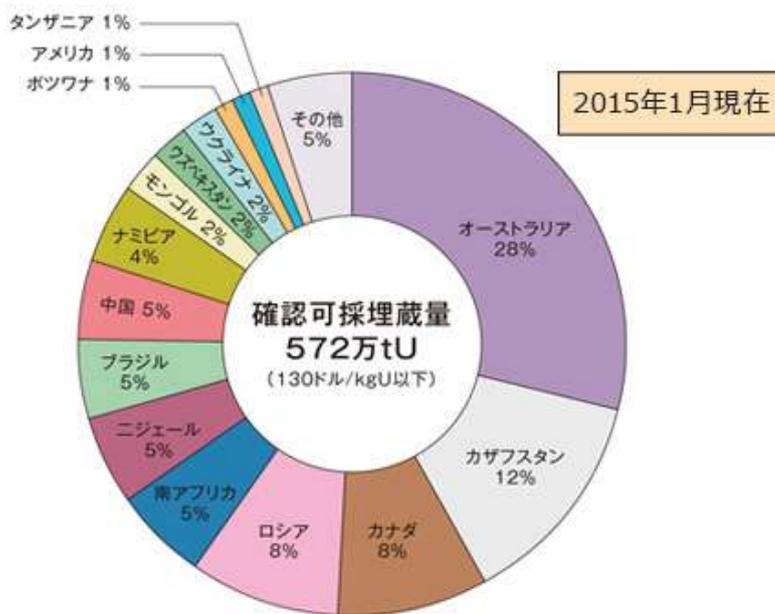


図 20 ウラン可採埋蔵量 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト  
<https://www.ene100.jp/zumen/4-1-2>

### 世界のエネルギー資源確認埋蔵量



(注) 採掘年数=確認可採埋蔵量/年間生産量  
 ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

図 21 世界のエネルギー資源確認埋蔵量 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト  
<https://www.ene100.jp/zumen/1-1-6>

### 1.8.2.核融合エネルギー

核融合は、将来のエネルギー供給を支える新たな選択肢として期待されている。

水素などの軽い原子核を融合させることで、燃料 1g あたり石油数トン分に相当する膨大なエネルギーを生み出す可能性がある。燃料資源が豊富で、長寿命の放射性廃棄物が少ない点も大きな特長である。現在、国際協力のもとで実証炉・原型炉の研究開発が進められており、核融合は、将来の安定的かつ大規模なエネルギー供給源として注目されている。

## 1.9.参考資料

### 1.9.1. 地球が持っているエネルギー

| 分類              | エネルギー   | 概要                                      |
|-----------------|---------|---|
| 地球外部から注がれるエネルギー | 太陽エネルギー | 太陽光として地球に注がれるエネルギー。光、熱、水力、風力、海流などの源となる。 |
|                 | 潮汐      | 月や太陽の重力による潮の満ち引き、海面の上下運動。               |
| 地球が持っているエネルギー   | 化石燃料    |   |
|                 | 地熱      |   |
|                 | 核燃料     |   |

再生可能エネルギーとは：

太陽からのエネルギーや地球が持っているエネルギーに由来し、利用する以上の速度で自然に補充され、エネルギー源として持続的に利用することができるエネルギー全般を指す。

これらのエネルギーの由来を考える上で、太陽が与えてくれるエネルギーの種類や量、化石燃料の元となる生命の誕生から化石燃料の生成、核燃料の生成から今日までどのように利用可能な状態で残されたか等の背景要因や賦存量並びに現在の利用状況について以下に解説する。

### 1.9.2.エネルギー供給に関する基本的事項

エネルギーに関する基本的事項は3E+Sを満たすことが必要。3E+Sとは、

「Safety（安全性）」

「Energy Security（エネルギーの安定供給）」

「Economic Efficiency（経済性）」

「Environment（環境への適合）」

### 1.9.3. 我が国における太陽光・風力による電力供給の限界

我が国エネルギー消費の75%を占める熱消費量の全部を太陽光・風力で賄うとなれば、希薄なエネルギー源であることと設備利用率が低いために、本州面積の1/3を太陽光パネルが占め、日本海排他的経済水域（EEZ）以上の面積を風車が占めるということになる



出典：米英研究機関LUCID CATALYSTレポート

太陽光・風力はエネルギー密度が小さい・微弱なエネルギー源

|                               | 太陽光  | 洋上風力 | 原子力    |
|-------------------------------|------|------|--------|
| 出力密度 (MW/km <sup>2</sup> )    | 50   | 2.3  | 2,080  |
| 年間稼働率                         | 12%  | 50%  | 90%    |
| 年間発電量 (GWh/km <sup>2</sup> 年) | 52.6 | 9.1  | 16,399 |

出典：米英研究機関LUCID CATALYSTレポート2020年9月

図 22 出典：LUCID CATALYST REPORT「Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals」

([https://www.lucidcatalyst.com/\\_files/ugd/2fed7a\\_f532181b09b2455f9f5eefc97cc58ea.pdf](https://www.lucidcatalyst.com/_files/ugd/2fed7a_f532181b09b2455f9f5eefc97cc58ea.pdf))を加工して作成。

### 1.9.4. 石炭が出来る過程

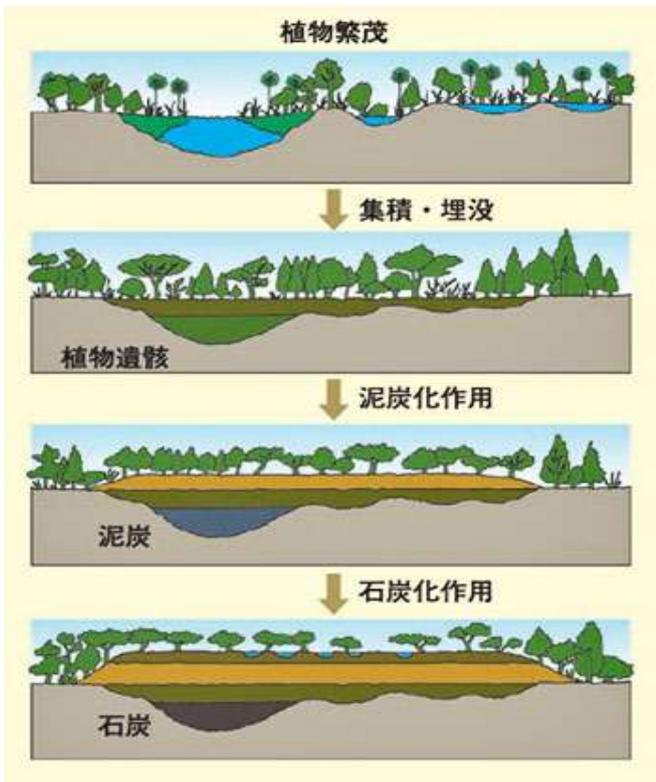


図 23 出典：西田進ウェブサイト (<http://www.nishida-s.com/main/categ4/34sekitanngyou/>)

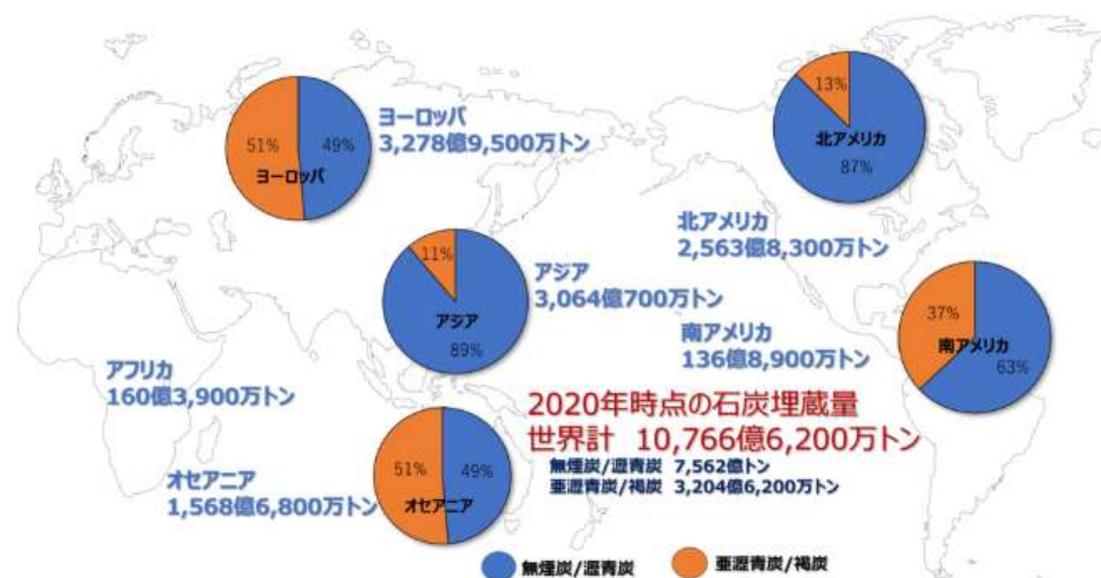
泥炭化：湿地や沼地で植物が積み重なり、水によって酸素の供給が遮断される。この環境では植物が完全に分解されず、有機物が保存されます。これが泥炭層となり、

石炭化：泥炭層が圧力と熱によってさらに変化し、徐々に硬い石炭へと変わる段階。

地下の地層が重なることで圧力が増し、さらに地下熱の影響を受けることで有機物の成分が変化し、泥炭→亜炭→瀝青炭→無煙炭と変化が進行。

カーボン含有率が高くなるにつれより硬い石炭となる。

### 1.9.5. 世界の石炭埋蔵量(2020年)



世界の確認可採埋蔵量 (2020年)

図 24 出典：一般財団法人カーボンフロンティア機構ウェブサイト  
(<https://www.jcoal.or.jp/intern/cucoal/01.html>)

### 1.9.6. 石油ができるまで

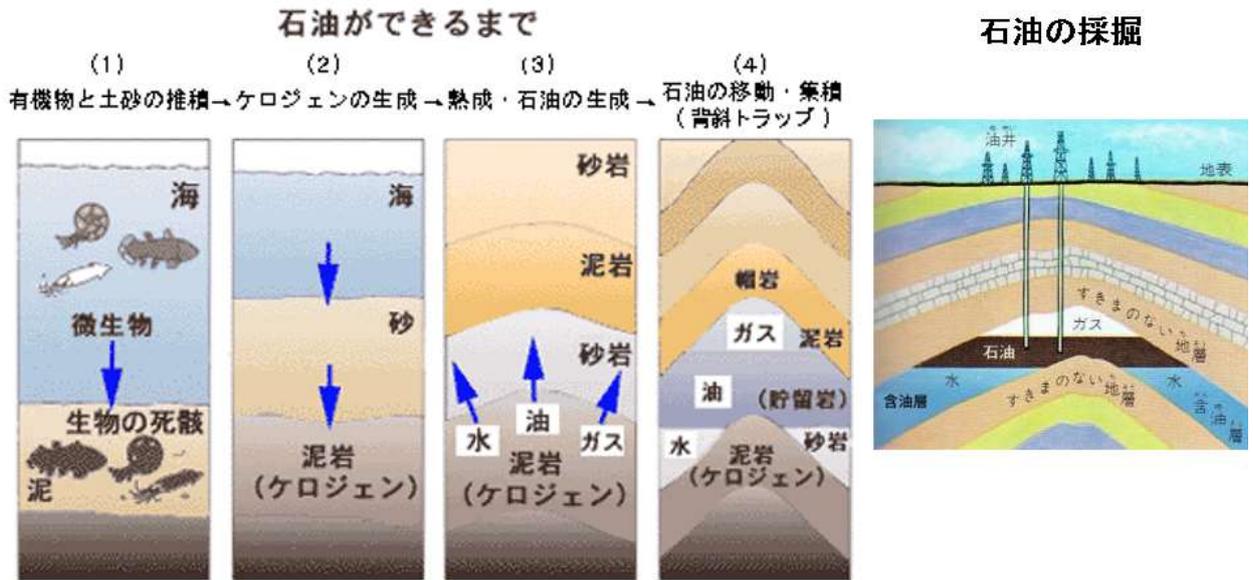


図 25 出典：日本エネルギー経済研究所 石油情報センターウェブサイト([https://oil-info.ieej.or.jp/whats\\_sekiyu/1-2.html](https://oil-info.ieej.or.jp/whats_sekiyu/1-2.html))

ケロジェン：

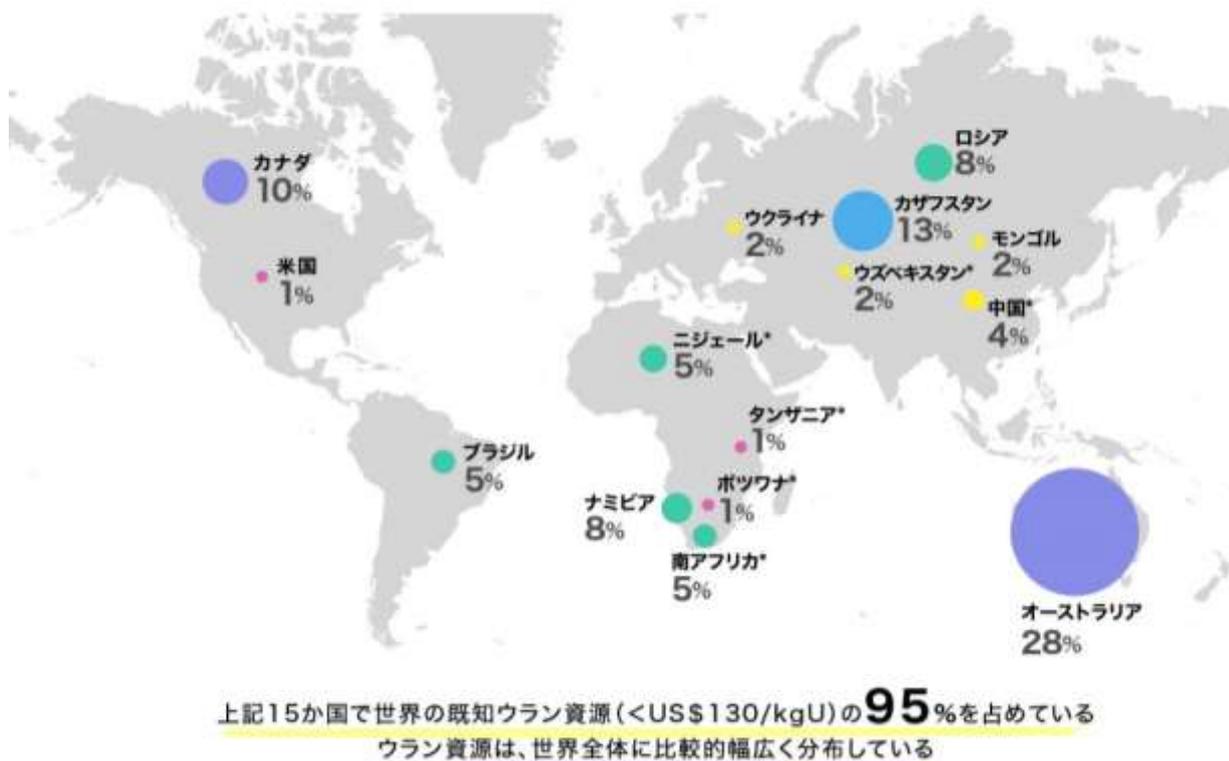
石油や天然ガスのもととなる有機物の一種。植物や微生物が分解されて堆積したもので、岩石に含まれている。この有機物が高温や高圧環境で長い時間をかけて変化することにより、石油や天然ガスが生成される。

1.9.7. 既知ウラン資源の世界分布

既知ウラン資源の世界分布 (主要15か国)

(<US\$130/kgU)

(2021年1月1日現在)



\*事務局による推定、または一部推定

図 26 出典：日本原子力産業協会ウェブサイト「OECD/NEA・IAEA 共同報告書「ウラン 2022——資源、生産、需要」ポイント紹介」(<https://www.jaif.or.jp/information/uranium2022>)

1.9.8. 海水ウランの埋蔵量

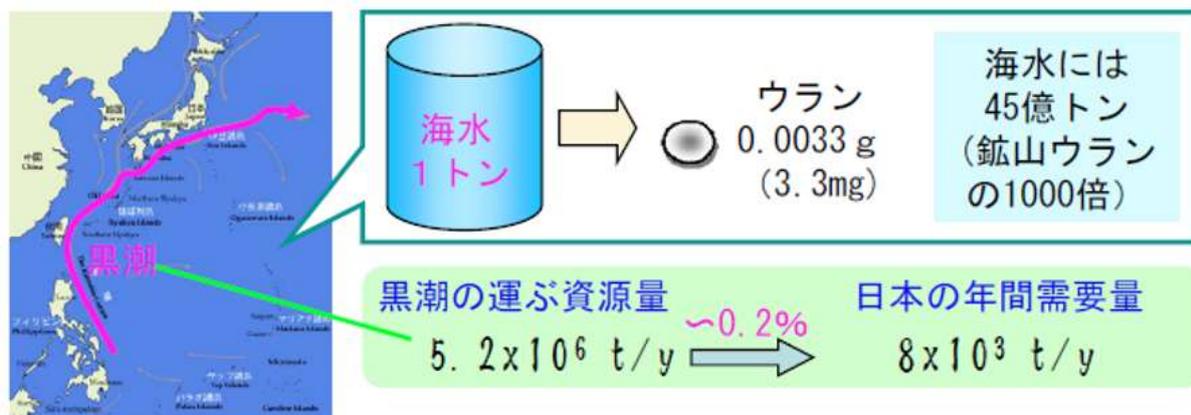


図 27 出典：日本原子力研究開発機構セミナー資料「海水ウラン回収技術の現状と展望」(<https://www.jaea.go.jp/03/senryaku/seminar/s09-3.pdf>)

黒潮が運ぶ約 0.2%のウランで日本の需要量を充足。

### 1.9.9. 核融合エネルギーの原理

核融合炉における燃料は、2重水素と3重水素（トリチウム）である。これらが核融合することによりエネルギーを発生する。

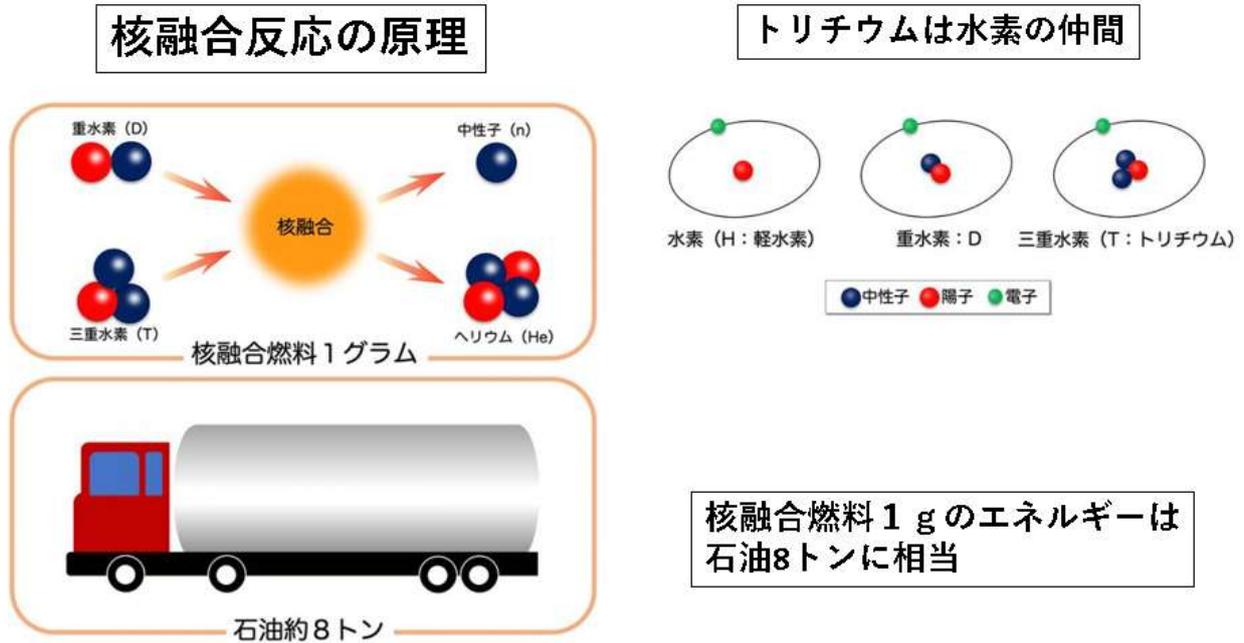


図 28 出典：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構ウェブサイト

(<https://www.qst.go.jp/site/jt60/4933.html>,  
<https://www.qst.go.jp/site/jt60/4935.html>)

## 2. 温暖化防止への取り組み

### 2.1. 地球温暖化とは

#### 2.1.1. 地球温暖化

地球は太陽からの熱により暖められ、暖められた地球から熱が宇宙に放出されている。

その放出される熱の一部を吸収し、地表から熱が逃げすぎないようにしているのが、「温室効果ガス」である。しかし、温室効果ガス(GHG)が増え過ぎると、宇宙に逃げるはずの熱が放出されず、地表にたまりすぎてしまい、そのため、気温が上昇したり、地球全体の気候が変化したりする。

「温室効果ガス」：大気中にある二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)やメタン、フロンなど

GHG : GreenHouse Gas

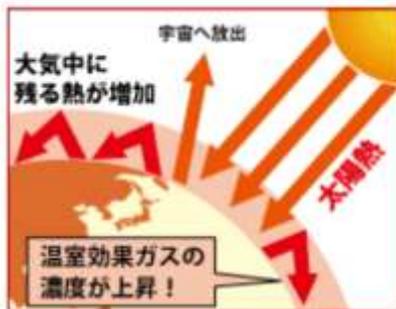


図 29 出典：WWF ジャパンウェブサイト(<https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/40.html>)

#### 世界の年平均気温

世界の年平均気温は図のように様々な変動を繰り返しながら上昇しており、特に 1990 年代半ば以降は上昇幅が拡大している。2024 年の世界平均気温は観測史上で最高値を更新し、産業革命前と比べた上昇幅は 1.55°C に達した。

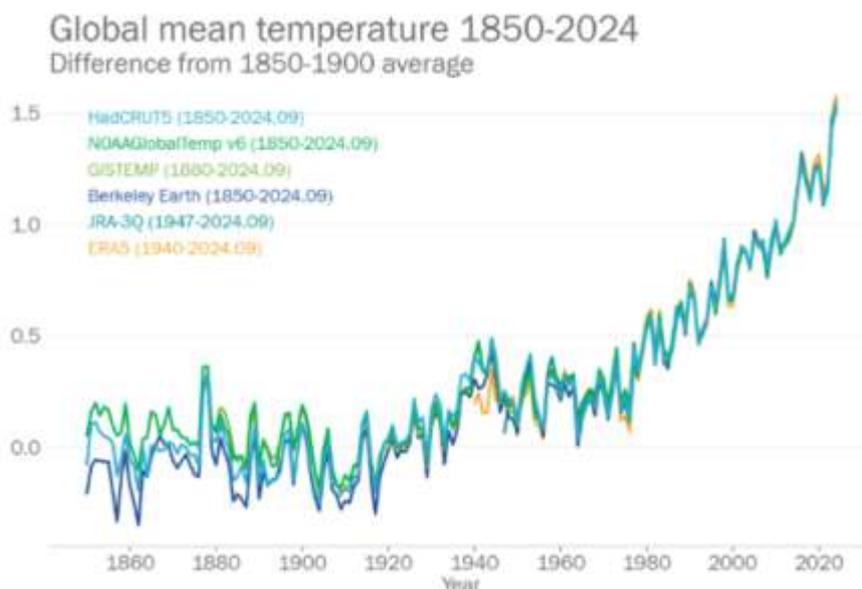


図 30 Global mean temperature 1850-2024 出典：World Meteorological Organization ウェブサイト(<https://wmo.int/media/news/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>)

## 大気中のCO<sub>2</sub>濃度

大気中のCO<sub>2</sub>濃度は図のように上昇してきており、産業革命以前（1750年以前）の約278ppmに対し、2023年には約420ppmと51%増加している。

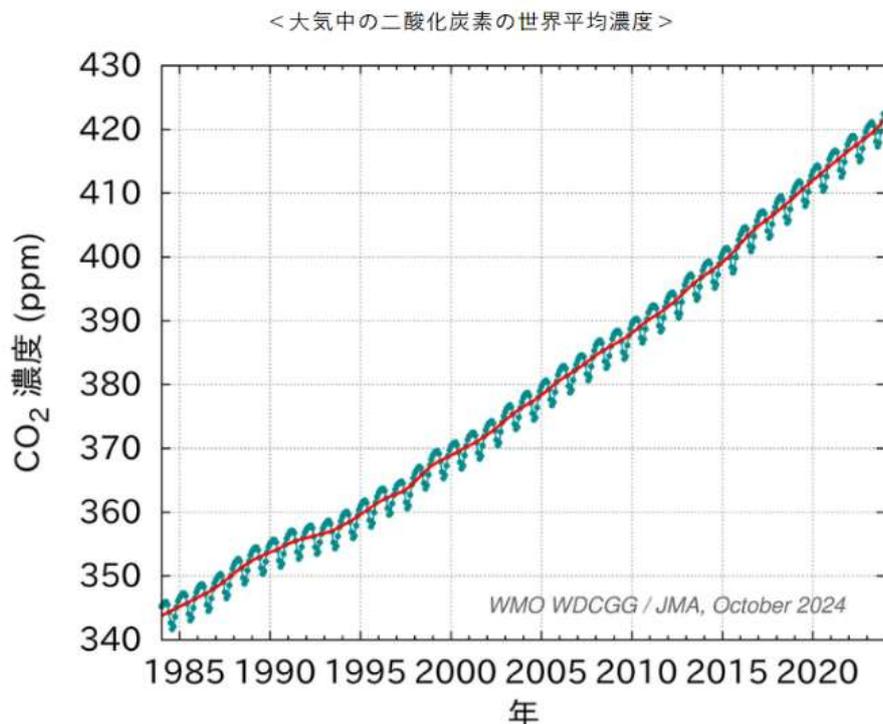


図 31 大気中の二酸化炭素の世界平均濃度 出典：気象庁ウェブサイト  
([https://www.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2\\_trend.html](https://www.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html))

### 2.1.2. トランプ発言について

米国では、共和党の第2次トランプ政権が発足し、それまでの民主党のバイデン政権が進めた脱炭素化を中心とする政策を見直し、大統領就任演説や国連総会での一般討論演説でのトランプ大統領の発言による脱炭素化への影響が懸念される。これらは「アメリカの主権と経済成長を守ること」を最優先とする政策に基づくものである。

| 演説                     | 概要  |
|------------------------|---|
| 2025年1月20日就任演説         | 「不公平で一方的なパリ協定から即時離脱する。中国が平気で汚染を続けているのに、米国が自国の産業を妨害することはしない」とし、気候変動を「いかさま」と表現。パリ協定からの離脱、化石燃料の推進、環境規制の緩和を進めている。 |
| 2025年9月23日国連総会での一般討論演説 | 地球温暖化を「現実には起きていない」と断言。国連の気候変動予測を「悪意を持ったもの」と批判。気候変動対策全体を「世界が経験した史上最大の詐欺」と非難。グリーンエネルギー政策を「グリーン詐欺」と呼び、欧州諸国などに警告。 |

### 2.1.3. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)

IPCCとは「Intergovernmental Panel on Climate Change」の略で、日本語では「気候変動に関する政府間パネル」と呼ばれ、世界気象機関（WMO）及び国連環境計画（UNEP）により、1988年に設立された気候変動とその対策に関する科学的な知見を提供している世界的な組織(195の国と地域が参加)である。

IPCCが果たしている重要な役割は、各国政府の気候変動に関する政策に対し、科学的な基礎をあたえることであり、世界中の科学者が協力して、科学誌などに掲載された論文などの文献に基づいた定期的な報告書を作成し、公表している。

定期的な報告書として第6次評価報告書(AR6)が2023年3月に公表され、「人間活動が温室効果ガスの排出により地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がない」と述べている。この報告書作成には世界各国の第一線の研究者約800名(WG1~3)が参加しており、報告書の主なメッセージは以下の通りである。

- 1850~1900年を基準とした世界平均気温は2011~2020年に1.1℃の温暖化に達した。
- 大気、海洋、雪氷圏、及び生物圏に広範かつ急速な変化が起こっている。
- 「国が決定する貢献(NDCs : Nationally Determined Contribution)」によって示唆される2030年の世界全体のGHG排出量では、温暖化が21世紀の間に1.5℃を超える可能性が高く、温暖化を2℃より低く抑えることが更に困難になる可能性が高い。

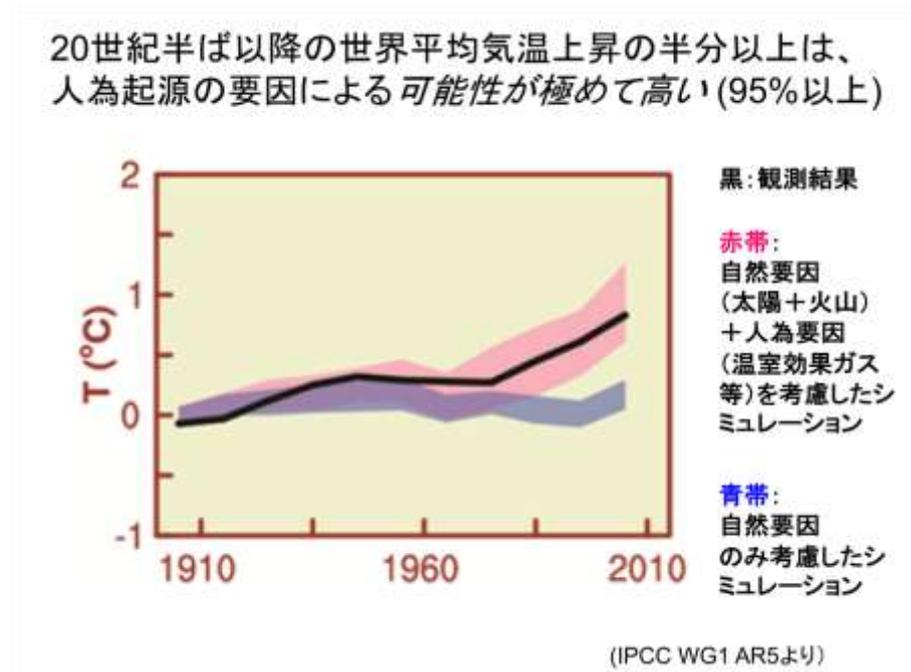


図 32 観測及びシミュレーションにより再現された気候変動の比較 出典：環境省「IPCC 第5次評価報告書の概要」

([https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5\\_wg1\\_overview\\_presentation.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg1_overview_presentation.pdf))(p.32)

## 2.2. 世界の取り組み

世界各国のCO<sub>2</sub>排出量は、1990年から現在にかけて大きく変化しており、世界のCO<sub>2</sub>排出削減には、主要排出国である中国、米国、インドなどの取り組みが鍵を握っている。日本は世界の排出量の約3%である。

### 世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量(2022年)

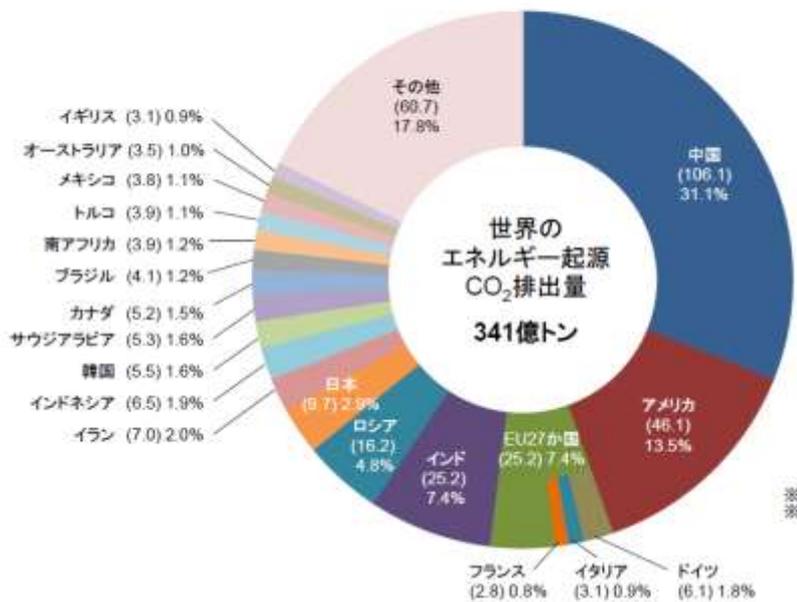


図 33 主な国別エネルギー起源温室効果ガス排出量の推移 出典：環境省ウェブサイト (<https://www.env.go.jp/content/000296313.pdf>)

### 主な国別エネルギー起源温室効果ガス排出量※の推移

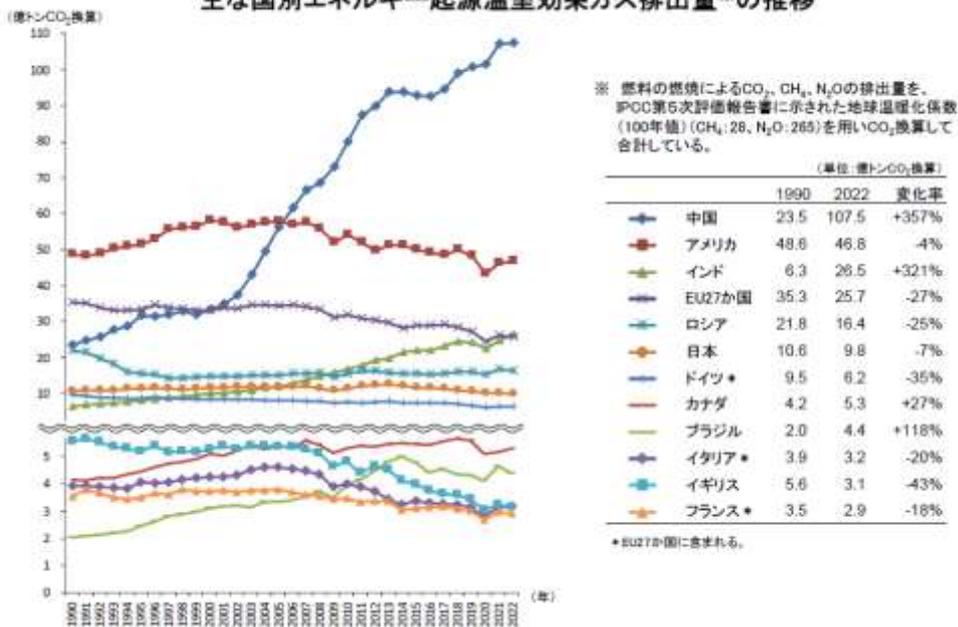


図 34 主な国別エネルギー起源温室効果ガス排出量の推移 出典：環境省ウェブサイト (<https://www.env.go.jp/content/000296313.pdf>)

2015年のCOP21でパリ協定が採択され、それまでの「京都議定書」とは異なり、先進国・途上国の区別なく、すべてのパリ協定締約国(195カ国・地域)が、温室効果ガスの削減目標を作ることとなり、各国がその目標に向けて取り組むこととなった。主要国の温室効果ガス削減の中期・長期目標は以下の通りである。

主要国の中期・長期目標（2023年12月時点のもの）

|             | 中期目標  | 対象ガス               | ネットゼロ<br>長期目標 |
|-------------|---|--------------------|---------------|
| 日本          | 2030年度に▲46%（2013年比）<br>50%の高みに向けて挑戦を続ける   | 全てのGHG             | 2050年         |
| 米国          | 2030年に▲50-52%（2005年比） ※2013年比▲45-47%相当  | 全てのGHG             | 2050年         |
| 英国          | 2030年に少なくとも▲68%（1990年比） ※2013年比▲55%相当<br>2035年までに▲78%（1990年比） ※2013年比▲69%相当     | 全てのGHG             | 2050年         |
| EU<br>(仏・伊) | 2030年に少なくとも▲55%（1990年比） ※2013年比▲44%相当   | 全てのGHG             | 2050年         |
| ドイツ         | 2030年に▲65%（1990年比） ※2013年比▲54%相当<br>2040年に▲88%（1990年比） ※2013年比▲84%相当            | 全てのGHG             | 2045年         |
| カナダ         | 2030年までに▲40-45%（2005年比） ※2013年比▲39-44%相当  | 全てのGHG             | 2050年         |
| 中国          | 2030年までにCO <sub>2</sub> 排出量を削減に転じさせる<br>GDP当たりCO <sub>2</sub> 排出量を▲65%超（2005年比） | CO <sub>2</sub> のみ | 2060年         |
| インド         | 2030年までにGDP当たりCO <sub>2</sub> 排出量を▲45%（2005年比）<br>発電設備容量の50%を非化石燃料電源            | CO <sub>2</sub> のみ | 2070年         |

図 35 主要国の中期・長期目標（NDC） 出典：環境省「国内外の最近の動向について（報告）」  
(<https://www.env.go.jp/content/000198600.pdf>)(p.3)

2.2.1. 米国の取り組み(1)

前バイデン政権は2050年カーボンニュートラル（CN）を宣言し、2035年に2005年比で61～66%のGHG排出削減目標を掲げていたが、トランプ政権は政策を大幅に転換し、2025年1月就任直後にパリ協定からの離脱を表明した。

2025年1月以降、エネルギー政策に関して以下に示す複数の大統領令に署名している。

| 大統領令                              | 詳細   |
|-----------------------------------|--|
| 米国のエネルギーを解放                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>グリーン・ニュー・ディールを終了。IRA（インフレ削減法）による資金配分を即時停止</li> <li>2030年までのEVの年間新車販売シェア50%目標などのバイデン政権下における大統領令を撤回</li> <li>国内のエネルギー開発に負担をかけ得る措置を特定し、速やかに停止・改定・撤回</li> </ul> |
| アラスカの並外れた資源の潜在能力を解放               | <ul style="list-style-type: none"> <li>アラスカの天然資源の開発と生産を、効率的かつ効果的に最大化。アラスカのエネルギー・天然資源プロジェクトの許可とリースを迅速化。同盟国への販売等、アラスカのLNGの潜在能力の開発を優先。</li> </ul>   |
| 国家エネルギー非常事態宣言                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>米国の不十分なエネルギー生産・輸送・精製・発電は、米国の経済、国家安保、外交政策にとって並外れた脅威。石油や天然ガスの増産を通じてエネルギー価格を引き下げ、物価上昇を抑える。</li> </ul>  |
| 国際環境協定において米国を第1とする                | <ul style="list-style-type: none"> <li>パリ協定からの米国の脱退について、国際連合事務局長に直ちに正式な書面で通知を提出。</li> <li>国連気候変動枠組条約の下の協定等から脱退し、財政的コミットメントを直ちに停止又は取り消す。</li> </ul>   |
| 洋上風力発電のリースからの撤退と連邦政府のリースや許可慣行の見直し | <ul style="list-style-type: none"> <li>大陸棚外海域内の風力エネルギー開発のためのリース処分を撤回。</li> <li>風力発電のリース・許可に関する慣行の見直しが完了するまで、陸上・洋上風力発電プロジェクトに対する新規又は更新の承認、許可、リース、融資を発行しない</li> </ul>                                |
| アメリカのエネルギーを州の過剰規制から守る             | <ul style="list-style-type: none"> <li>州境を超えエネルギー使用の在り方を制限すること等を、憲法や法律で定められた州政府の権限を超えた行為とし、これらの制度の特定、それらを通る民事訴訟、制度の執行停止のための措置を検討。</li> </ul>   |
| アメリカの美しいクリーンな石炭産業の再活性化 等          | <ul style="list-style-type: none"> <li>石炭技術の開発等の加速化、データセンターの電力需要を満たすために石炭を使用することの推進。</li> </ul>  |

図 36 米国大統領令 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト「エネルギーを巡る最近の動向について」  
([https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2025/069/069\\_005.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2025/069/069_005.pdf))(p.3)

また、トランプ大統領は、2025年5月23日、以下に示す4つの原子力に関する大統領令を公表しており、原子力を推進する方針が窺える。

- ① 原子力産業基盤の再活性化：国内核燃料サイクルの強化、2030年までに大型炉10基建設
- ② エネルギー省における原子炉試験に係るプロセスの改革：先進的な原子力技術の国内開発と導入
- ③ 原子力規制委員会(NRC)の改革：許認可プロセスを新しい炉で18か月以内、運転延長で1年以内
- ④ 国家安全のための先進的な原子炉技術の導入：先進的な原子力技術の輸出の強化

## 2.2.2. 米国の取り組み(2)

前バイデン政権での取り組みからトランプ政権でどのように取り組もうとしているのか、その動向を以下に示す。



図 37 出典：経済産業省 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2025 について」(p.10)

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2025/pdf/whitepaper2025.pdf>)

次期 NDC 提出済：数値は 2022 年のもの。

|             |             |           |                   |     |       |     |           |      |  |
|-------------|-------------|-----------|-------------------|-----|-------|-----|-----------|------|--|
| エネルギー起源 CO2 | GHG 全体の 76% |           |                   |     |       |     |           |      |  |
|             | 供給側         | 電力部門の CO2 | エネルギー起源 CO2 の 32% |     |       |     |           |      |  |
|             |             | 電源構成      | 再エネ：21%           |     |       |     | 再エネ以外：77% |      |  |
|             |             | 水力        | 太陽光               | 風力  | バイオマス | 原子力 | 石炭        | 天然ガス |  |
|             |             | 6%        | 4%                | 10% | 1%    | 18% | 20%       | 39%  |  |
| 需要側         | 電化率：22%     |           |                   |     |       |     |           |      |  |
|             | 最終エネ消費量：-   |           |                   |     |       |     |           |      |  |

|                    |      |
|--------------------|------|
| GHG 削減目標 (2005 年比) | -17% |
|--------------------|------|

| 項目      | 概要  |
|---------|---|
| 省エネルギー  | 前バイデン政権は、「インフレ削減法」により省エネを推進。トランプ政権は、機器が満たすべき省エネ基準の規制を緩和・撤回等。  |
| 電源の非石灰化 | 【再エネ】前バイデン政権は、「インフレ削減法」による支援により、クリーンエネルギー政策を展開。トランプ政権は、「インフレ削減法」に基づく関連支出の一時停止の決定、新たな風力発電プロジェクトの停止等、政策を大幅に転換。<br>【原子力】ボーグル原子力発電所 3・4 号機が新規稼働(約 30 年ぶりの新設)。前バイデン政権は、2050 年に 300GW 程度まで原子力 |

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 | の設備容量を増強する目標を設定。トランプ政権も原子力は促進する方針がうかがえる。  |
| 次世代エネルギー・CCUS 等 | 【水素】【CCUS】前バイデン政権は、「インフレ削減法」により支援。トランプ政権は「インフレ削減法」による関連支出を一時停止。                 |
| その他（資源開発）       | トランプ政権は、国産エネルギー資源の開発を進める方針(アラスカでの開発にも意欲)。地熱発電は促進する方針がうかがえる。                     |
| 各産業の GHG 排出量    | 運輸部門、エネルギー転換部門で全体の約 6 割。<br>シェール革命により石炭から天然ガスへの転換が進み、エネルギー転換部門の排出量が減少し、運輸部門と逆転。 |
| GHG 削減の取り組み     | 一部の州では排出量取引制度を導入。   |

### 2.2.3. 英国の取り組み

英国は 2050 年の CN に向け、2035 年に 1990 年比で少なくとも 81%GHG 排出を削減する目標を掲げており、「エネルギー安全保障戦略」(2022 年)等に基づき電源の非化石化を推進している。また、再エネに加え、新設を含めた原子力の活用を推進する方針である。

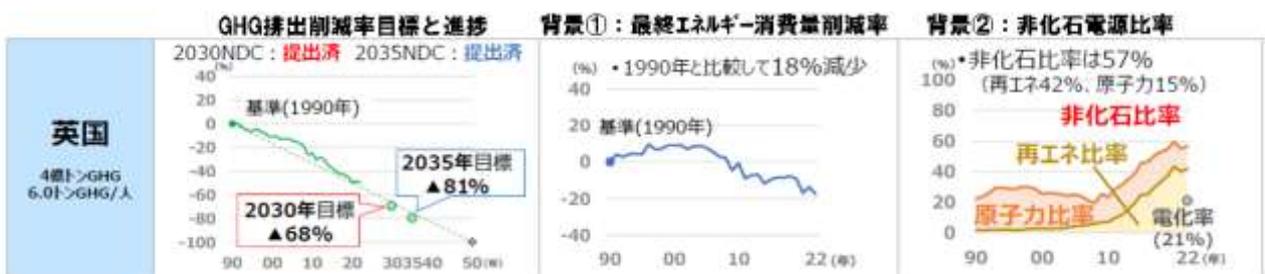


図 38 出典：経済産業省 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2025 について」(p.11)

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2025/pdf/whitepaper2025.pdf>)

次期 NDC 提出済：数値は 2022 年のもの。

|             |             |                        |     |                   |       |           |    |      |
|-------------|-------------|------------------------|-----|-------------------|-------|-----------|----|------|
| エネルギー起源 CO2 | GHG 全体の 76% |                        |     |                   |       |           |    |      |
|             | 供給側         | 電力部門の CO2              |     | エネルギー起源 CO2 の 18% |       |           |    |      |
|             |             | 電源構成                   |     |                   |       | 再エネ以外：56% |    |      |
|             | 需要側         | 電化率：21%<br>最終エネ消費量：-5% |     |                   |       |           |    |      |
|             |             | 水力                     | 太陽光 | 風力                | バイオマス | 原子力       | 石炭 | 天然ガス |
|             |             | 2%                     | 4%  | 25%               | 10%   | 15%       | 2% | 39%  |

|                    |      |
|--------------------|------|
| GHG 削減目標 (2005 年比) | -50% |
|--------------------|------|

| 項目             | 概要  |
|----------------|---|
| 方針             | 2050年CNに向け、2035年に1990年比で少なくとも81%GHG排出を削減する目標を掲げており、「エネルギー安全保障戦略」(2022年)等に基づき電源の非化石化を推進。再エネに加え、新設含め原子力を活用する方針。   |
| 省エネルギー         | 2030年の最終エネ消費15%削減(2021年比)を目標に、住宅・建築物への低炭素暖房システムの導入等を推進。   |
| 電源の非化石化        | 【再エネ】太陽光を2035年までに70GWに増強(現在の5倍)、洋上風力を2030年までに最大50GW導入、等の目標を掲げ、FITやCfD等の導入支援を実施中。<br>【原子力】2030年までに最大8基新設、2050年までに最大24GWの発電容量確保(英国電力需要の25%相当)等の目標を掲げ、発電所を新設中。SMRの開発も推進。 |
| 次世代エネルギー・CCUS等 | 【水素】2030年までの低炭素水素の生産能力の目標を10GW(6GWはグリーン水素)と掲げ、プロジェクトを支援。<br>【CCUS】2030年までに年2~3千万トンの回収を目標。   |
| 各産業のGHG排出量     | エネルギー転換部門の排出量が最も多く、約4割を占める。2010年代にかけてエネルギー転換部門の排出量は増加したが、石炭火力発電の発電量減少や高効率なガス火力発電の導入等により、2018年以降は減少傾向。   |
| GHG削減の取り組み     | 2015年から排出量取引制度を導入。CO2排出量の7割程度をカバー。  |

#### 2.2.4. 仏国の取り組み

仏国は2050年のCNに向けて、2030年に1990年比で50%GHG排出を削減する目標を掲げており、「国家エネルギー・気候計画」(2024年)等に基づき、省エネを促進しつつ、再エネの更なる加速と原子力を推進する方針である。

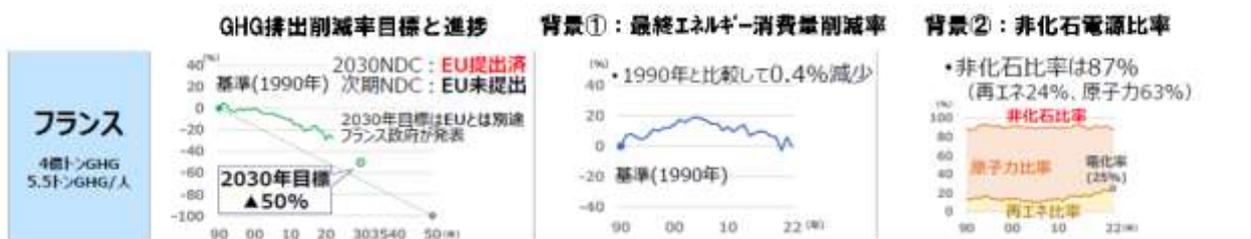


図 39 出典：経済産業省 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2025 について」(p.12)

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2025/pdf/whitepaper2025.pdf>)

次期 NDC 提出済：数値は 2022 年のもの。

|             |                         |           |                  |    |       |     |           |      |     |    |    |    |     |
|-------------|-------------------------|-----------|------------------|----|-------|-----|-----------|------|-----|----|----|----|-----|
| エネルギー起源 CO2 | GHG 全体の 68%             |           |                  |    |       |     |           |      |     |    |    |    |     |
|             | 供給側                     | 電力部門の CO2 | エネルギー起源 CO2 の 9% |    |       |     |           |      |     |    |    |    |     |
|             |                         | 電源構成      | 再エネ：24%          |    |       |     | 再エネ以外：74% |      |     |    |    |    |     |
|             | 水力                      |           | 太陽光              | 風力 | バイオマス | 原子力 | 石炭        | 天然ガス | 10% | 4% | 8% | 2% | 63% |
| 需要側         | 電化率：25%<br>最終エネ消費量：-11% |           |                  |    |       |     |           |      |     |    |    |    |     |

|                   |      |
|-------------------|------|
| GHG 削減目標（2005 年比） | -28% |
|-------------------|------|

| 項目              | 概要  |
|-----------------|---|
| 方針              | 2050 年 CN に向けて、2030 年に 1990 年比で 50%GHG 排出を削減する目標を掲げており、「国家エネルギー・気候計画」(2024 年)等に基づき、省エネを促進しつつ、再エネの更なる加速と原子力を推進する方針。                            |
| 省エネルギー          | 2030 年の最終エネルギー消費削減目標(2012 年比で 30%減)を設定し、建築物の省エネ改築等を推進。  |
| 電源の非石灰化         | 【再エネ】2035 年の設備容量目標を設定(例えば、太陽光発電は現在の 3~4 倍に拡大)し、税制優遇等の導入支援を実施。<br>【原子力】既存原子力の運転期間の延長や発電容量の増強等、今後も原子力を推進。フランマルビル原子力発電所 3 号機が 2024 年 12 月に送電を開始。 |
| 次世代エネルギー・CCUS 等 | 【水素】2030 年に 6.5GW、2035 年に 10GW の水電解装置を導入する目標を掲げ、再エネや原子力から製造される脱炭素水素の製造能力を拡大。<br>【CCUS】2050 年までに年 3,000~5,000 万トンの CO2 の回収目標を掲げ、国内の貯留地の開発等を推進。 |
| 各産業の GHG 排出量    | 運輸部門、家庭・業務部門で全体の約 5 割。<br>エネルギー転換部門の排出量は、非化石電源の比率が高いため少ない。  |
| GHG 削減の取り組み     | 排出量取引制度(EU-ETS)に加え、燃料に対する炭素税を 2014 年から運用。   |

## 2.2.5. 独国の取り組み

独国は 2045 年に CN という EU 全体(2050 年 CN)より高い目標を宣言しており、2040 年に 1990 年比で少なくとも 88%GHG 排出を削減する目標を掲げている。5 月に発足したメルツ政権も、引き続き 2045 年 CN の実現を目指す方針で、再エネをエネルギー政策の中心に位置付けている。



図 40 出典：経済産業省 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2025 について」(p.12)

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2025/pdf/whitepaper2025.pdf>)

次期 NDC EU 未提出：数値は 2022 年のもの。

|             |             |           |                   |    |       |           |     |      |
|-------------|-------------|-----------|-------------------|----|-------|-----------|-----|------|
| エネルギー起源 CO2 | GHG 全体の 83% |           |                   |    |       |           |     |      |
|             | 供給側         | 電力部門の CO2 | エネルギー起源 CO2 の 29% |    |       |           |     |      |
|             |             | 電源構成      | 再エネ：44%           |    |       | 再エネ以外：54% |     |      |
|             |             | 水力        | 太陽光               | 風力 | バイオマス | 原子力       | 石炭  | 天然ガス |
|             | 3%          | 11%       | 22%               | 7% | 6%    | 33%       | 15% |      |
| 需要側         | 電化率：20%     |           |                   |    |       |           |     |      |
|             | 最終エネ消費量：-9% |           |                   |    |       |           |     |      |

|                    |      |
|--------------------|------|
| GHG 削減目標 (2005 年比) | -41% |
|--------------------|------|

| 項目      | 概要   |
|---------|--|
| 方針      | 2045 年 CN という EU 全体(2050 年 CN)より高い目標を宣言し、2040 年に 1990 年比で少なくとも 88%GHG 排出を削減する目標を掲げている。5 月に発足したメルツ政権も、引き続き 2045 年 CN の実現を目指す方針。 |
| 省エネルギー  | 最終エネ消費量を 2030 年までに 2008 年比で 27%削減する目標を掲げ、公共部門の省エネ義務化等を推進。  |
| 電源の非石灰化 | 【再エネ】エネルギー政策の中心に位置づけ。2030 年に再エネ比率を 80%まで引き上げることが目標。<br>【原子力】2002 年に脱原子力を法制化し、段階的に閉鎖。2023 年 4 月に脱原子力発電を完了。                      |

|                 |  |
|-----------------|--|
|                 | 【火力】遅くとも 2038 年までに石炭火力発電を廃止する方針。水素混焼・専焼が可能なガス火力を新設。  |
| 次世代エネルギー・CCUS 等 | 【水素】国内水素生産能力の強化(2030 年に生産能力を 10GW に倍増させる目標)に加え、水素輸入戦略に基づく取組を推進 (H2Global、輸入インフラ整備等)。<br>【CCUS】CO2 貯留法改正法案等に基づき、CO2 の海上輸送や海底貯留等を推進。 |
| 各産業の GHG 排出量    | エネルギー転換部門、運輸部門で全体の約 5 割。<br>石炭火力発電のフェーズアウト等により、エネルギー転換部門の排出量は 2010 年代半ば以降減少。   |
| GHG 削減の取り組み     | 排出量取引制度(EU-ETS)に加え、運輸部門等を対象にした独自の排出量取引制度を 2021 年から運用。  |

### 2.2.6. 中国の取り組み

中国での GHG 排出は増加傾向にあり、増加する電力需要を賄うため、再エネや原子力に加え、石炭火力発電の利用を拡大している。このため中国の CN の目標時期は 2060 年としており、2030 年までに CO2 排出量がピークを迎えられるように努めるとしている。

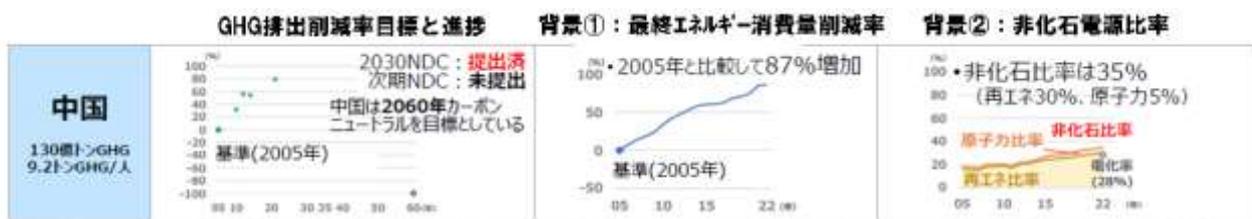


図 41 出典：経済産業省 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2025 について」(p.12)

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2025/pdf/whitepaper2025.pdf>)

次期 NDC 未提出：数値は 2022 年のもの。

|             |             |           |                   |    |       |     |           |      |
|-------------|-------------|-----------|-------------------|----|-------|-----|-----------|------|
| エネルギー起源 CO2 | GHG 全体の 71% |           |                   |    |       |     |           |      |
|             | 供給側         | 電力部門の CO2 | エネルギー起源 CO2 の 31% |    |       |     |           |      |
|             |             | 電源構成      | 再エネ：30%           |    |       |     | 再エネ以外：70% |      |
|             |             | 水力        | 太陽光               | 風力 | バイオマス | 原子力 | 石炭        | 天然ガス |
|             | 15%         | 5%        | 9%                | 2% | 5%    | 62% | 3%        |      |
| 需要側         | 電化率：28%     |           |                   |    |       |     |           |      |
|             | 最終エネ消費量：-   |           |                   |    |       |     |           |      |

|                    |   |
|--------------------|---|
| GHG 削減目標 (2005 年比) | - |
|--------------------|---|

| 項目              | 概要   |
|-----------------|--|
| 方針              | GHG 排出は増加傾向にあり、増加する電力需要を賄うため、再エネや原子力に加え、石炭火力発電の利用を拡大。2060 年の CN を掲げており、2030 年までに CO2 排出量がピークを迎えられるように努めるとしている。   |
| 省エネルギー          | 2025 年の単位 GDP 当たりのエネルギー消費量を 2020 年比で 13.5%引き下げる目標を設定。鉄鋼等の重点業種の設備改良支援や新築建築物の省エネ等を促進。  |
| 電源の非石灰化         | 【再エネ】太陽光と風力の合計の設備容量を 2030 年までに 1,200GW 以上に拡大する等の目標を掲げている。<br>【原子力】設備容量を 2025 年までに 70GW に引き上げる方針 (2024 年 8 月時点で約 58GW が稼働中)。直近では 2024 年 11 月に漳州原子力発電所が新たに稼働。<br>【火力】増加する電力需要を賄うため、石炭火力発電の利用を拡大。 |
| 次世代エネルギー・CCUS 等 | 【水素】2025 年までに FCV 保有 5 万台、年間 10 万～20 万トンのグリーン水素製造、等の目標を設定。<br>【CCUS】技術実証の一環として、国内最大の石炭火力発電所の CCUS プロジェクトが 2023 年 6 月に稼働。   |
| 各産業の GHG 排出量    | エネルギー転換部門、製造・建設部門で全体の約 7 割。<br>石炭火力の増加によりエネルギー転換部門の排出量も増加傾向。石炭の消費量を 2025 年以降に減少させる方針。  |
| GHG 削減の取り組み     | 2021 年から排出量取引制度を運用。世界最大規模。   |

## 2.3.日本の取り組み

### 2.3.1.温室効果ガス排出状況

日本の温室効果ガスの排出量は 2022 年度で 11.4 億トンである。その内燃料の燃焼で発生・排出される CO<sub>2</sub>、すなわちエネルギー起源 CO<sub>2</sub> が 85%を占めている。なお、工業プロセスの化学反応で発生・排出されるもの（セメントの生産によるものが約 9 割を占める）や、廃棄物の焼却で発生・排出されるものは非エネルギー起源 CO<sub>2</sub> と言われ、温室効果ガス排出量の約 6%を占めている。

## 日本の温室効果ガス排出量(2022年度)

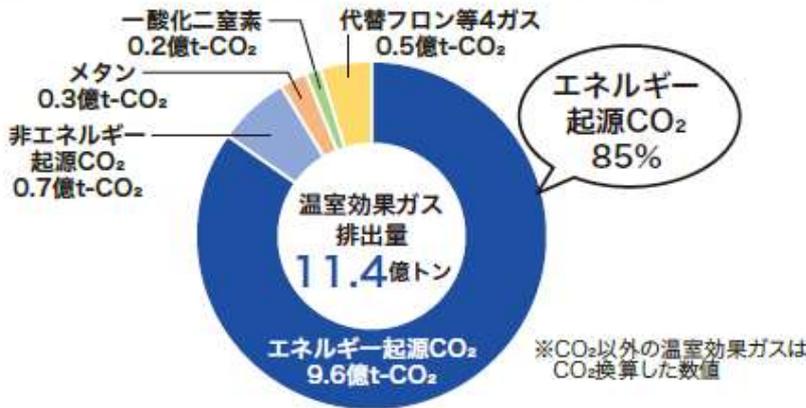


図 42 日本の温室効果ガス排出量 出典：資源エネルギー庁  
[\(https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2022/003/\)](https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2022/003/)

日本の温室効果ガス排出力の推移を見ると、東日本大震災(2011.3)以降、日本の温室効果ガス排出量は増加し2013年度に14億トンとなるが、その後2022年度の11.4億トンまで減少している(約18%減)。1990年度比では約10%減となる(1990年度の排出量：12.75億トン)。

減少した主な要因は

- ・エネルギー消費量の減少：省エネの進展等
- ・電力の低炭素化に伴う電力由来のCO<sub>2</sub>排出量の減少：再エネ拡大、原子力発電の再稼働によるものである。

## 日本の温室効果ガス排出量の推移

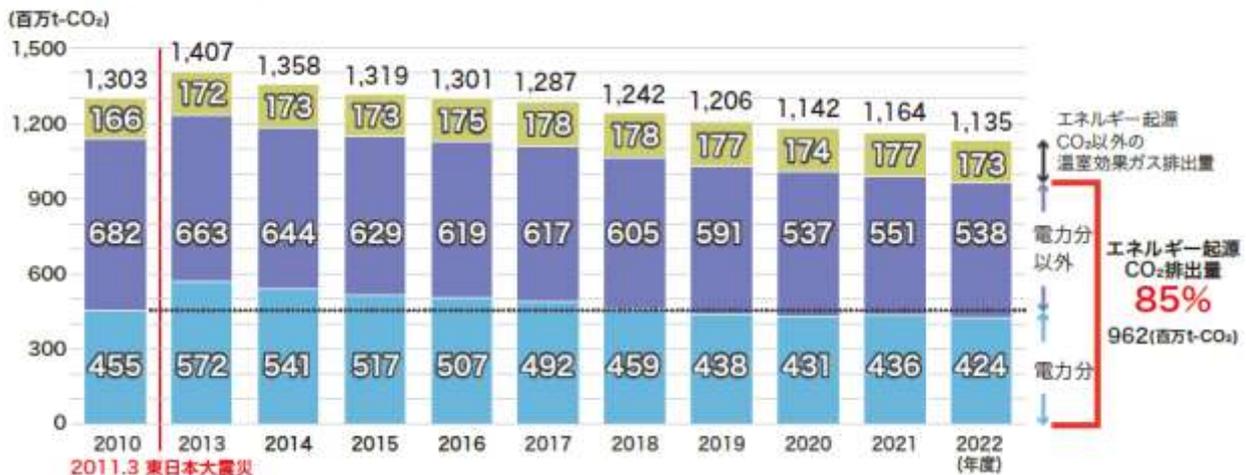


図 43 日本の温室効果ガス排出量の推移 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト  
 [\(https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2024/04.html\)](https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2024/04.html)

### 2.3.2.部門別CO2排出状況

日本のエネルギー起源 CO2 排出量を部門別に見ると、電気・熱配分前排出量（エネルギー転換部門の発電及び熱発生に伴う CO2 排出量を各最終消費部門に配分する前の排出量）では、エネルギー転換部門からの排出が最も多く、全体の約 40%を占めている。

CO2 排出量の多い部門(電気・熱配分前)

| 部門                | 割合       |
|-------------------|----------|
| エネルギー転換部門（発電等）    | 全体の約 40% |
| 産業部門（鉄鋼、化学工業、その他） | 全体の約 25% |
| 運輸部門              | 全体の約 15% |

日本の部門別 CO2 の排出量構成比(2022 年度)



図 44 日本の部門別 CO2 の排出量構成比 出典：全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト ([https://www.jccca.org/download/65477?orderby=title&p\\_page=4#search](https://www.jccca.org/download/65477?orderby=title&p_page=4#search))

電気・熱配分後排出量では、産業部門からの排出が約 35%と最も多く、業種別に見ると、鉄鋼業からの排出が最も多く、産業部門全体の 4 割弱を占めている。次いで、化学工業、機械製造業が続いており、この 3 業種で産業部門全体の排出量の 65%を占めている。次いで運輸部門が全体の約 20%で旅客輸送が約 6 割、貨物輸送が約 4 割となっている。業務部門も全体の約 20%で、業種別に見ると卸売業・小売業が最も多く、宿泊業・飲食サービス業、医療・福祉と続いている。家庭部門でも全体の約 15%であり、用途別に見ると照明・家電製品等に由来する排出、次いで、給湯用、暖房用となっている。

CO2 排出量の多い部門(電気・熱配分後)

| 部門                | 割合       |
|-------------------|----------|
| 産業部門(鉄鋼、化学工業、その他) | 全体の約 35% |
| 運輸部門              | 全体の約 20% |
| 業務部門              | 全体の約 20% |
| 家庭部門              | 全体の約 15% |
| エネルギー転換部門 (発電等)   | 全体の約 10% |

日本の CO2 排出量を削減するためには、エネルギー転換部門 (発電等) に加えて、電気・熱配分後の CO2 排出量の多くを占める鉄鋼・化学工業等の産業部門や、国民の暮らしに深く関連する部門 (家庭、運輸、教育施設等の業務部門) における CO2 排出削減の取り組みも不可欠である。

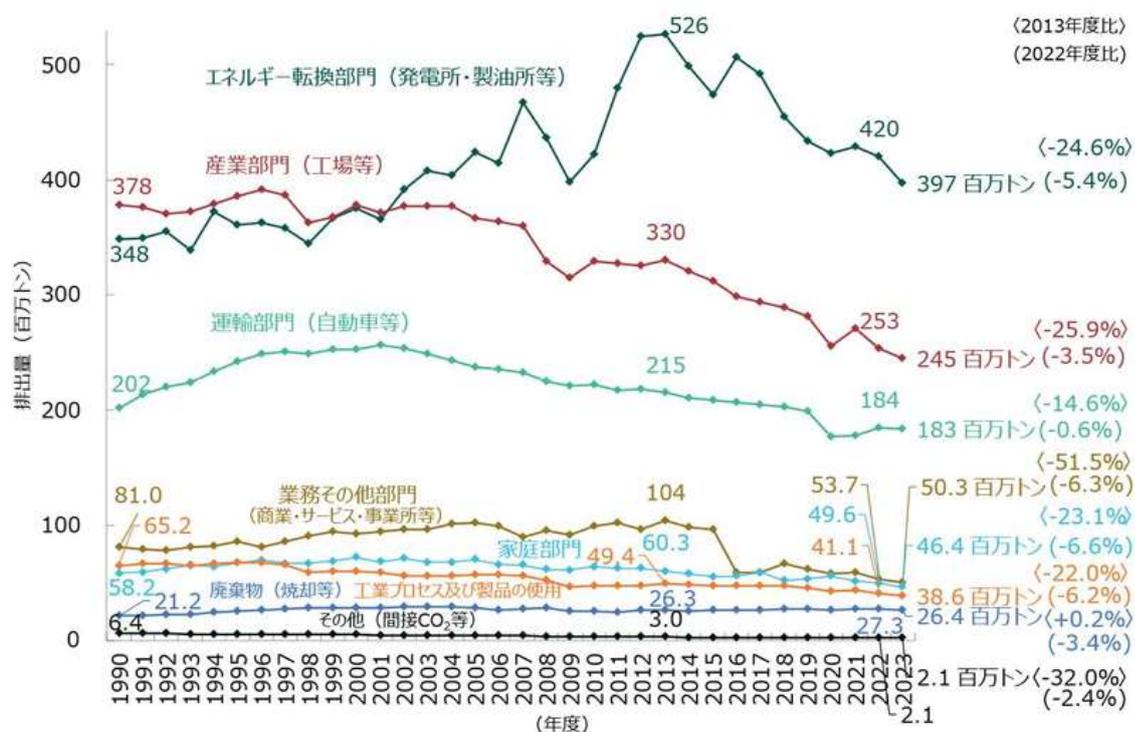


図 45 CO2 の部門別排出量 (電気・熱配分前) 出典：環境省「温室効果ガス排出量及び吸収量等の算定と報告(全体版)」(<https://www.env.go.jp/content/000310244.pdf>)(p.5)



図 46 CO<sub>2</sub>の部門別排出量(電気・熱配分後) 出典：環境省「温室効果ガス排出量及び吸収量等の算定と報告(全体版)」(<https://www.env.go.jp/content/000310244.pdf>)(p.6)

### 2.3.3. 日本のCO<sub>2</sub>削減目標

2020年以降の気候変動問題に関する国際的な枠組みである「パリ協定」が2015年に合意された。その世界共通の長期目標は以下の通りである。

- ・温室効果ガスの排出量と吸収量を差し引きゼロにする。
- ・産業革命前からの平均気温上昇を2℃未満より低く抑える（1.5℃の努力目標）

このパリ協定の枠組みを受け、日本では2020年10月に菅総理が「2050年カーボンニュートラル（CN）宣言」を行い、温室効果ガスについて「排出を全体としてゼロにする」と述べている。

「全体としてゼロに」とは、「排出量から吸収量と除去量を差し引いた合計をゼロにする」ことを意味しており、排出を完全にゼロに抑えることは現実的に難しいため、排出せざるを得なかった分については同じ量を「吸収」または「除去」することで、差し引きゼロ、正味ゼロ（ネットゼロ）を目指すということである。これが、「カーボンニュートラル」の「ニュートラル（中立）」が意味するところである。

2050年のCN宣言に基づき2021年10月に、この2050年目標と整合的で野心的な目標として、2030年度において温室効果ガス46%削減（2013年度比）を目指すこと、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けることを表明し、2030年度の削減目標46%減が閣議決定され、日本の「国が決定する貢献」NDCとして国連へ提出された。

| 時期      | 概要   |
|---------|--|
| 2020/10 | 菅総理大臣が国会所信表明演説で「2050年までにカーボンニュートラルを目指す」ことを宣言：  |
| 2021/10 | 2030年度の削減目標を反映した「国が決定する貢献」(NDC：Nationally Determined Contribution) を決定し、国連気候変動枠組条約事務局へ提出。  |
| 2025/2  | 2035年度、2040年度目標を閣議決定し、NDCとして国連気候変動枠組条約事務局に提出。<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・2035年度目標：60%削減</li> <li>・2040年度目標：73%削減</li> <li>・2050年度目標：ネットゼロ</li> </ul> |

このNDCは5年毎に提出・更新されるもので、最新の温室効果ガスの削減目標は世界全体での1.5°C目標と統合的で、2050年ネットゼロの実現に向けた直線的な経路にある野心的な目標として、2035年度、2040年度において、温室効果ガスを2013年度からそれぞれ60%、73%削減することを目指すとし、この目標実現に向け様々な取り組みが進められている。



図 47 日本のCO<sub>2</sub>削減目標 出典：環境省「気候変動政策を巡る最近の動向について」  
[https://www.env.go.jp/council/content/i\\_02/000289228.pdf](https://www.env.go.jp/council/content/i_02/000289228.pdf)(p.5)

#### 2.3.4.2050年CN実現にむけた取組

2050年CNを達成するためにまずできることはエネルギー消費量を減らすこと（省エネ）であり、徹底した省エネが求められているが、それだけでは達成は困難である。

目標の達成に向け電力部門の脱炭素化が重要であり、このためあらゆる選択肢の追求として以下の取り組みが行われている。

- ・再生可能エネルギーの最大限の導入

- ・原子力の最大限の活用
- ・トランジションとして LNG 火力の活用
- ・水素・アンモニア、CCUS（※）などを活用した火力の脱炭素化
- ・非効率な石炭火力のフェードアウトを促進

※CCUS : Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage. CO2 の回収・貯留・有効利用。

● 電源の脱炭素化、需要側の最大限の電化のイメージ

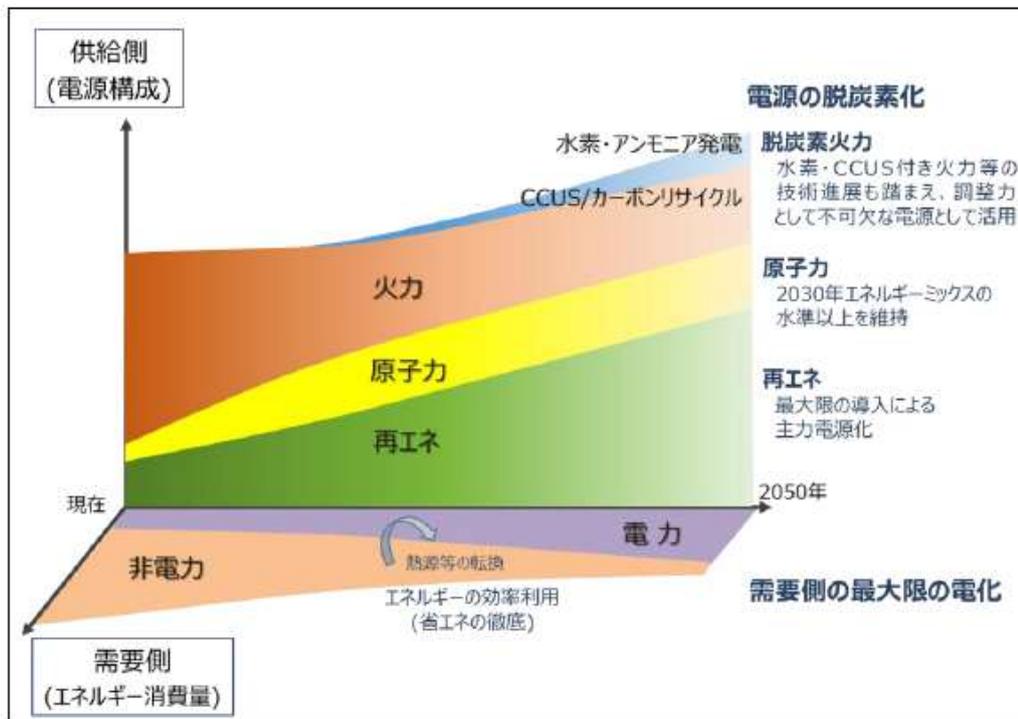


図 48 電源の脱炭素化、需要側の最大限の電化のイメージ 出展：電気事業連合会「電気事業における 2050 年カーボンニュートラル実現に向けた取り組みと課題について」

([https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx\\_jikkou\\_kaigi/carbon\\_pricing\\_wg/dai1/siryou7.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaigi/carbon_pricing_wg/dai1/siryou7.pdf))(p.2)

2.3.5.火力の脱炭素化(水素・アンモニア発電/化石+CCUS)に向けた取り組み

火力発電における脱炭素化の取り組み例を以下に示す。

● 水素発電に向けた実証試験（関西電力）

既設火力発電所に設置のガスタービン発電設備を活用した水素混焼発電実証を行い、水素発電の社会実装に資する運用技術の確立を目指している。(研究開発期間：2021 年度～2025 年度)

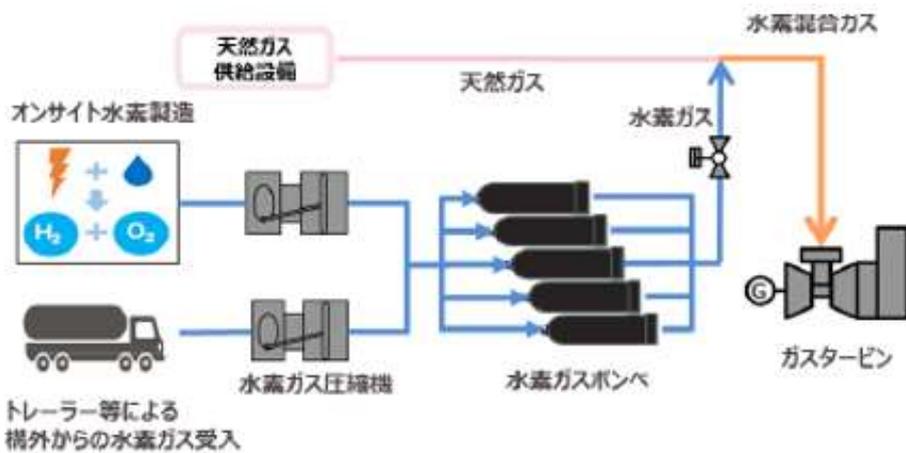


図 49 出展：電気事業連合会「電気事業における 2050 年カーボンニュートラル実現に向けた取り組みと課題について」

([https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx\\_jikkou\\_kaigi/carbon\\_pricing\\_wg/dai1/siryou7.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaigi/carbon_pricing_wg/dai1/siryou7.pdf)) (p.8)

- 福井県・嶺南産 CO2 フリー水素の大阪・関西万博会場での活用
- ・2025 万博では、原子力発電(美浜、大飯、高浜各発電所)由来の福井県嶺南産 CO2 フリー水素を会場で運航する水素燃料電池船「まほろば」の燃料に供給（福井県・関西電力等の連携事業）。
- ・さらに、姫路第二火力発電所での水素混焼発電でも活用され、その電力を万博会場に供給。



図 50 福井県・嶺南産 CO2 フリー水素の大阪・関西万博会場での活用 出典：資源エネルギー庁「原子力に関する最近の動向について」

([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/pdf/045\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/045_01_00.pdf)) (p.9)

### 2.3.6. 電源以外のエネルギーの脱炭素化

● 産業・運輸・業務・家庭部門では電化中心。熱需要には水素化。

- ・産業：水素還元製鉄など製造プロセスの変革
- ・運輸：電動化、バイオ燃料、水素燃料、合成燃料
- ・業務・家庭：電化、水素化、蓄電池活用

非電力部門では、工場などの産業分野において、機器のエネルギー源を電力にする「電化」の促進や、バイオマスの活用、合成燃料の製造技術開発などに取り組むとともに、製造プロセスにおいても新しい技術の導入が試みられ脱炭素化を図る技術開発が行われている。

産業部門で CO2 排出量が多いのは鉄鋼業で産業部門全体の約 40%を占めている。その 40%の内製鉄の高炉関係が約 8 割を占めている。高炉に投入するコークス (C) の役割の一部を水素 (H) に代替させることにより脱炭素化を図るもので、水素 (H) を鉄鉱石「Fe2O3」の酸素「O」と結びつけて水 (H2O) を作ることで、鉄鉱石から酸素をとりのぞく「還元」をおこなう製造技術、「水素還元製鉄技術」の開発が進められている。

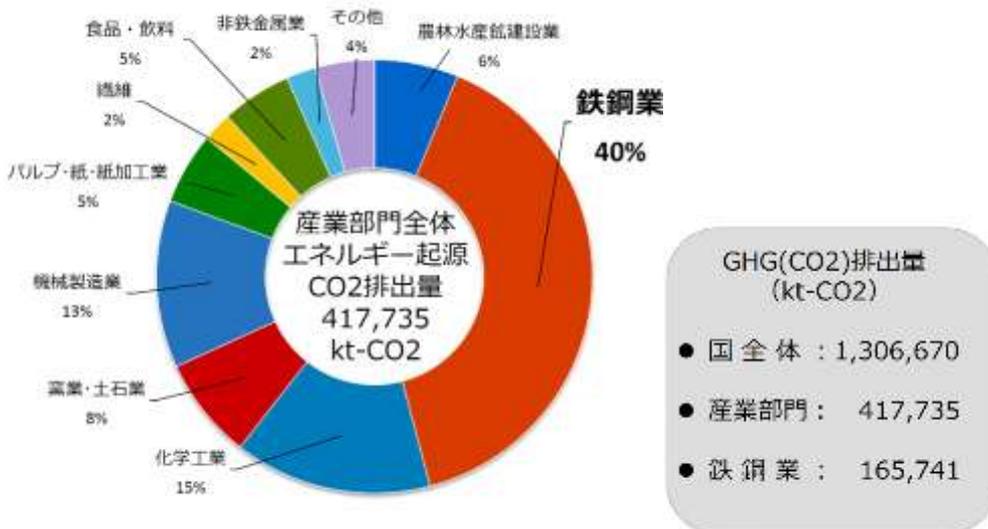
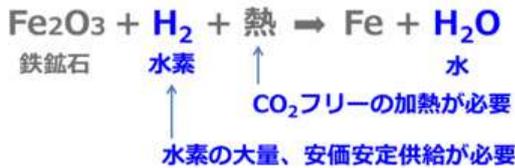


図 51 2023 年度産業部門からのエネルギー起源 CO2 排出量 出典：環境省「2023 年度温室効果ガス排出量及び吸収量について」(<https://www.env.go.jp/content/000357136.pdf>)等をもとに作成。

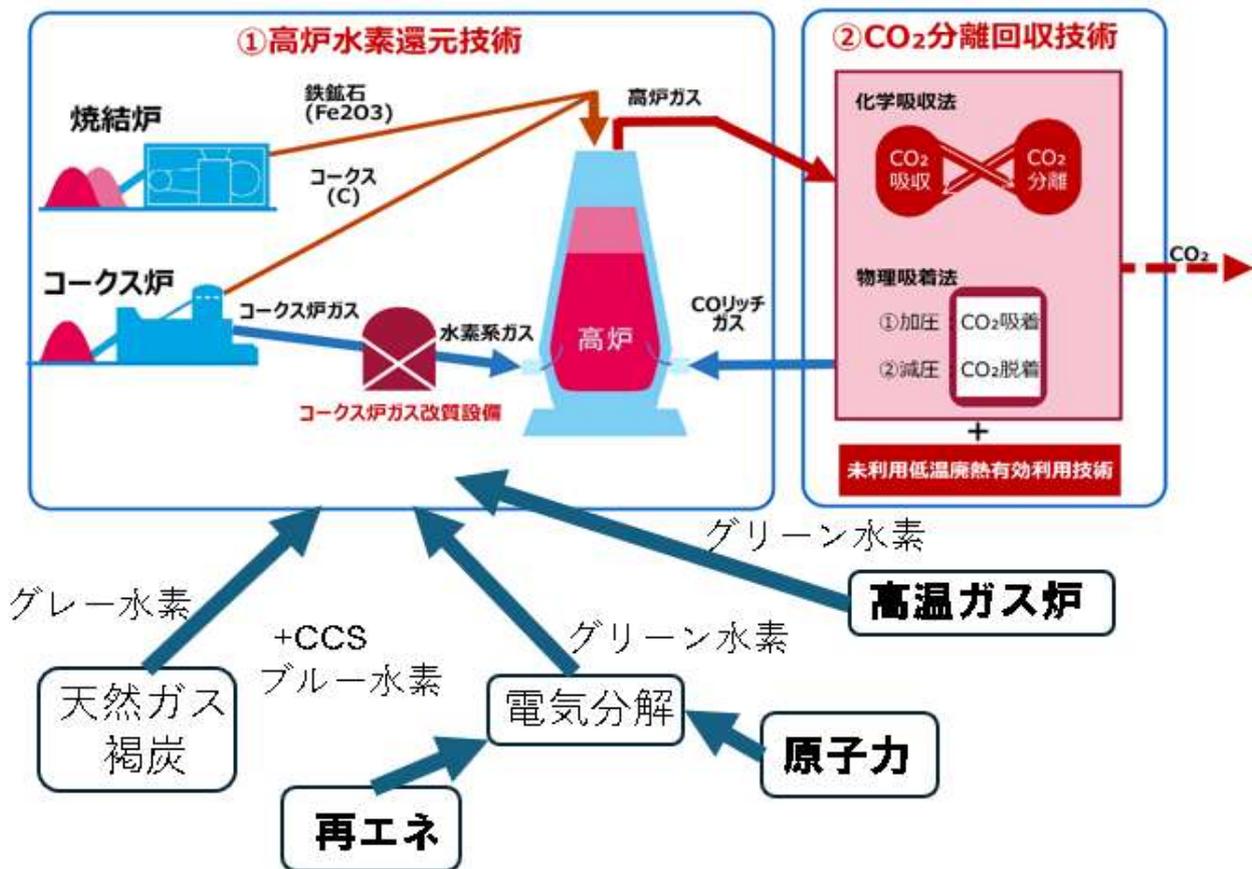


図 52 電源以外のエネルギーの脱炭素化 製鉄業の脱炭素化 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト ([https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/suiso\\_seitetsu.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/suiso_seitetsu.html)) を加工して作成

●輸送用エネルギー

合成燃料は、CO<sub>2</sub>(二酸化炭素)とH<sub>2</sub>(水素)を合成して製造される燃料で、複数の炭化水素化合物の集合体で、“人工的な原油”とも言われており、自動車、航空機や船舶の燃料としての活用が期待されている。原料となるCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)は発電所や工場などから排出されたCO<sub>2</sub>を利用する。将来的には大気中のCO<sub>2</sub>を直接分離・回収する「DAC (Direct Air Capture) 技術」を使って、直接回収されたCO<sub>2</sub>を再利用することが想定されている。

もう一方の原料となるH<sub>2</sub>(水素)は、再エネ・原子力で作った電力エネルギーを使って、水から水素（グリーン水素）をつくる「水電解」により調達する方法が基本となる。

合成燃料における CO2 の再利用のイメージ

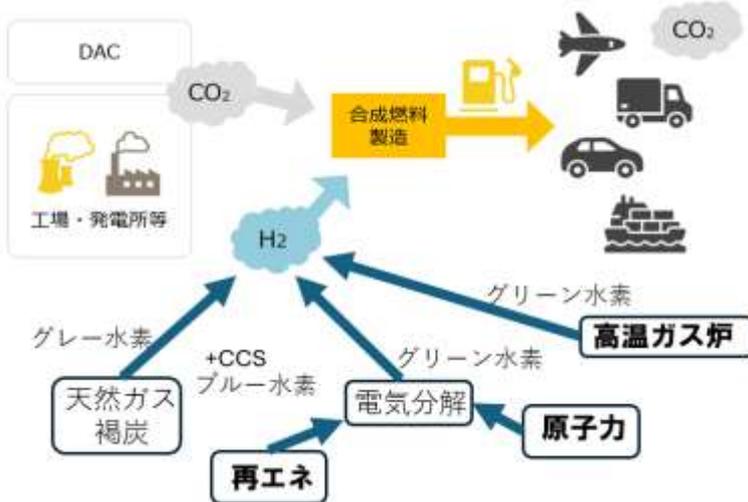


図 53 電源以外の脱炭素化 輸送用エネルギー 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト

([https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/gosei\\_nenryo.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/gosei_nenryo.html)) を加工して作成

合成燃料の残る課題は製造効率の向上と製造コストである。現状では化石燃料よりも製造コストが高く、国内の水素製造コストや輸送コストを考えると、海外で製造するケースが最もコストをおさえることができると見込まれている。

大量に安定した H2 を供給できるようにするため原子力（高温ガス炉）による高温熱源によりグリーン水素を製造する技術の実証が進められている。



図 54 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト

([https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/gosei\\_nenryo.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/gosei_nenryo.html)) を加工して作成

● 高温ガス炉を用いた水素大量製造技術実証

令和 4 年度より、日本原子力研究開発機構（JAEA）所有の高温ガス炉試験炉（HTTR）の超高温（950℃）を用いた水素製造技術の実証が行われている。

### 超高温を利用した水素大量製造技術実証

- 800℃以上の脱炭素高温熱源（例えば、高温ガス炉、太陽熱、核融合等）を活用したカーボンフリー水素製造法によって、**2050年には約12円/Nm3で大量の水素を安定的に供給し**、製鉄や化学等での産業利用に繋げることを目指す。
- 高温でも利用可能な高温隔離弁の開発等、**HTTRと水素製造施設を安全に接続する技術開発**を実施。
- 国内外の様々なカーボンフリー水素製造技術（IS法、メタン熱分解法、高温水蒸気電解等）の**フィージビリティスタディ**を実施。超高温熱源の活用に適した水素製造技術を検討。
- 並行して、上記で検討した技術の**実用化スケール向けの実現性及び成立性を確認**。



高温熱による産業界への水素活用のイメージ



HTTR-水素製造施設の構成（イメージ）

図 55 高温ガス炉を用いた水素大量製造実証 出典：資源エネルギー庁「エネルギーを巡る社会動向と原子力の技術開発」

([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/pdf/025\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/025_03_00.pdf)) (p.74)

### 3. 将来のエネルギー選択について

#### 3.1. 日本のエネルギーの現状

##### 3.1.1. エネルギーの自給率

我が国の自給率は 2022 年度で 12.6%と大変低く、主要国中際立って低い。

震災後原子力発電所の停止で自給率は大幅に低下、その後原子力の再稼働と太陽光などの再エネが増えるにしたがって徐々に回復するも、震災前に至っていない

自給エネルギーの内訳は、太陽光等の再エネ、水力、原子力となっている。

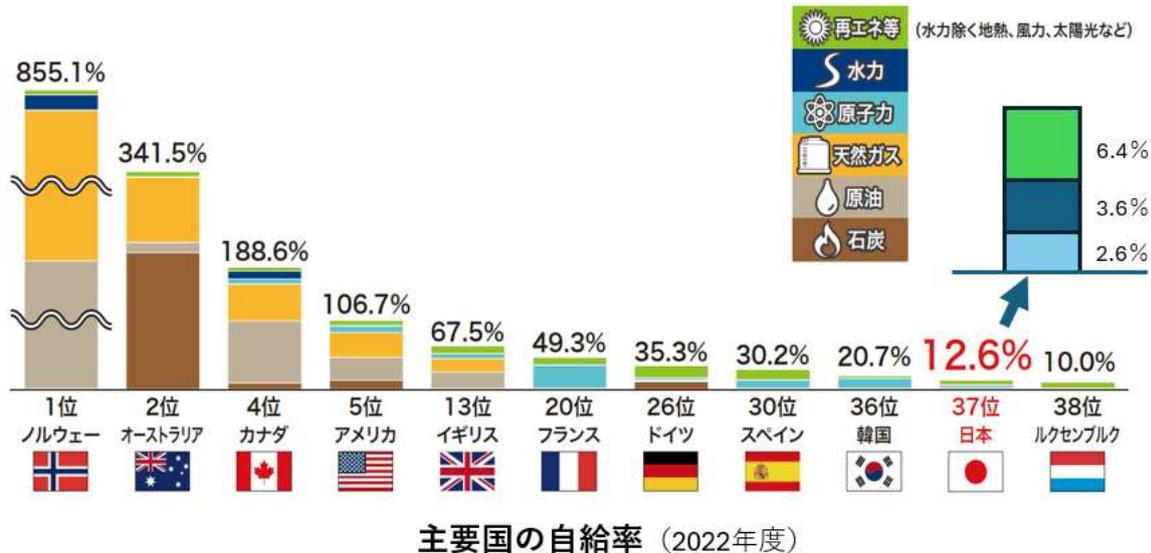


図 56 主要国の自給率の推移 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2024/02.html>)



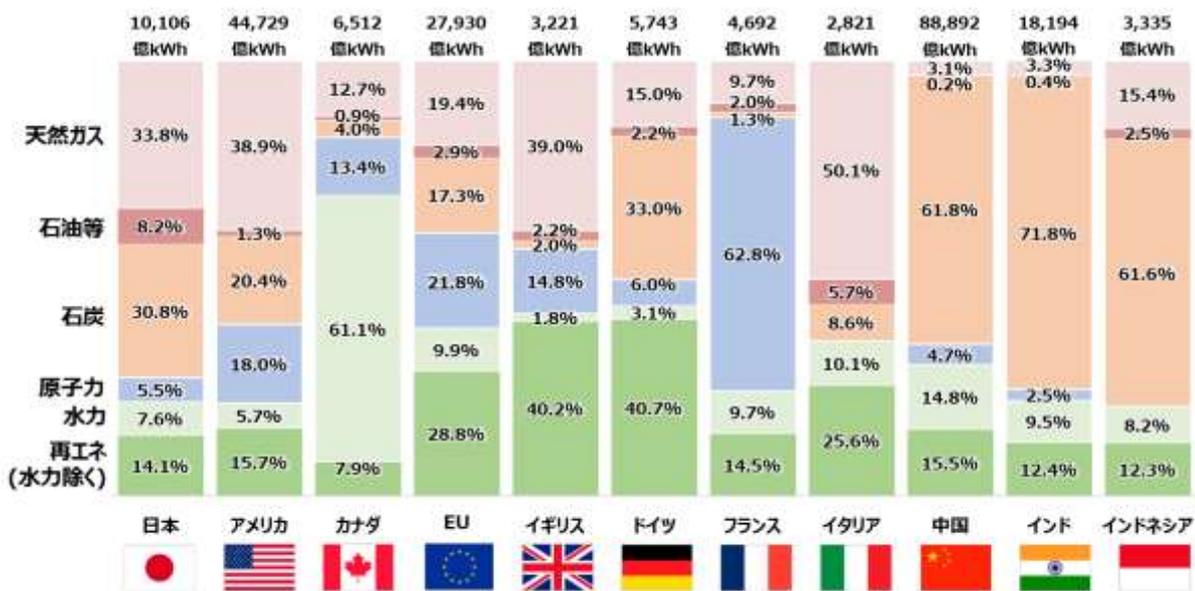
図 57 我が国の自給率の推移 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2024/02.html>)

##### 3.1.2. 電源構成比率

各国では、それぞれの経済やエネルギー状況を踏まえ、電源構成を決定している。

欧州各国は、再エネや原子力の活用により、電源構成に占める火力の比率は、日本と比べると低い。一方、アジア各国は、特に石炭火力の比率が高い状況にある。



出典：IEA World Energy Balances (各国2022年の発電量)、総合エネルギー統計(2022年度概報)をもとに資源エネルギー庁作成

図 58 各国の電源構成の比較 出典：資源エネルギー庁「安定供給の現状と課題と火力の脱炭素化の在り方について」

([https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/059/059\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/059/059_004.pdf)) (p.22)

### 3.1.3.エネルギー需給の見通し

第7次エネルギー基本計画における2040年の需給見通しでは、徹底した省エネと製造業の燃料転換により最終エネルギー消費量は減少するが、DXやGXの進展による電力需要増加から発電電力量は増加の見通しである。

再生可能エネルギーを主力電源として最大限導入する。

原子力は再稼働とリプレースで最大限活用していく。

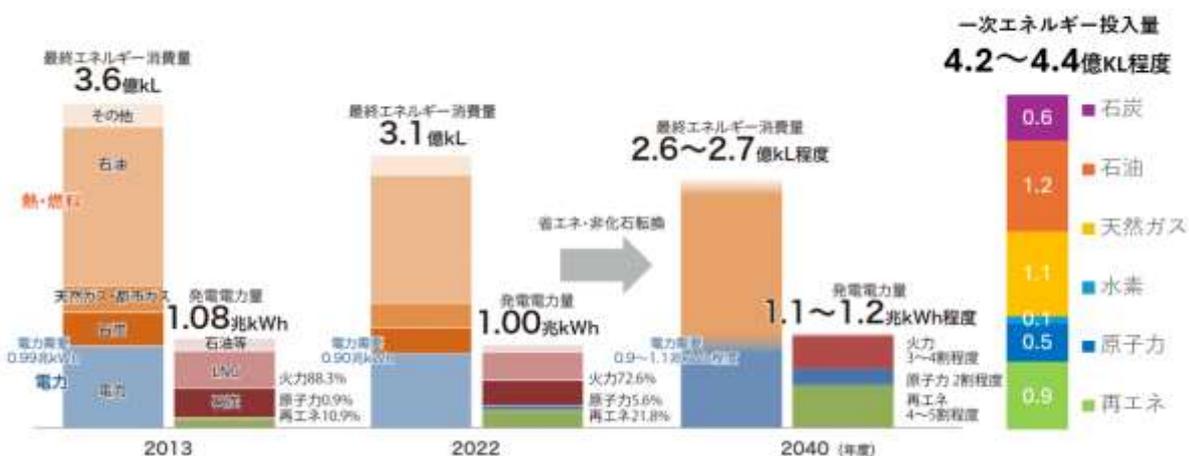


図 59 エネルギー需給の見通し(2040年) 出典：資源エネルギー庁「エネルギー基本計画の概要」

([https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/20250218\\_02.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_02.pdf)) (p.10)を加工して作成

### 3.1.4. エネルギー選択の大原則 S+3E

将来のエネルギー選択にはS+3Eが重要

- ・安全性の確保が大前提 (Safety)
- ・安定供給 (Energy Security)
- ・自給率の向上、輸入先の多様化 (Energy Security)
- ・産業および市民生活が成り立つ価格 (Economic Efficiency)
- ・CO2削減と、立地環境に配慮 (Environment)



図 60 S+3Eの大原則 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2024/01.html>)

## 3.2. 各種発電方法の特徴

### 3.2.1. 太陽光発電・風力発電

再生可能エネルギー（太陽光・風力）の特徴、導入量

メリット

1. 資源枯渇の心配がない
  2. 発電に伴い炭酸ガスを出さない
  3. 単体の発電単価は従来電源（火力、原子力）並みに低減されつつある  
→2012年7月の「再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)」開始後、太陽光発電を中心に着実に導入量拡大。
- ・ 日本は既に、再エネ発電の導入容量では世界6位の実績。
  - ・ 特に太陽光発電の導入量は、世界3位。国土面積あたりの日本の太陽光導入容量は主要国の中で最大級。  
→今後の導入余地となり得る適地が減少している

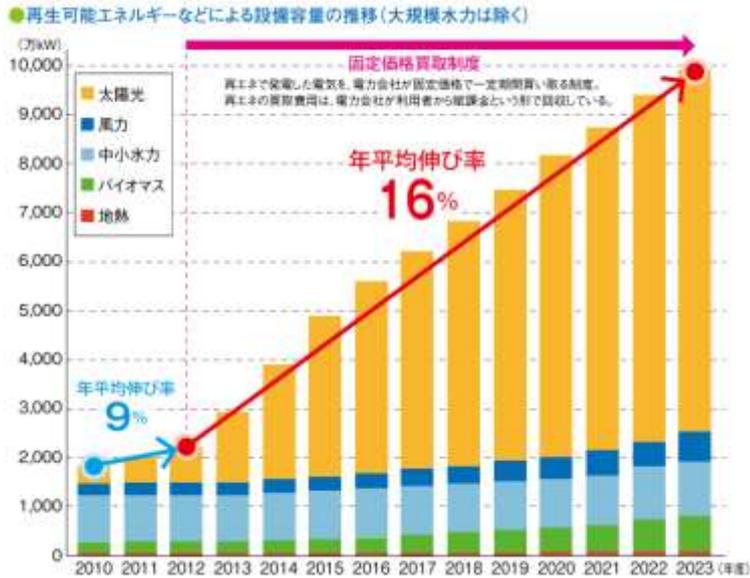


図 61 再生可能エネルギーなどによる設備容量の推移 出典：電気事業連合会「FEPC INFOBASE g-再生可能エネルギー」([https://www.fepec.or.jp/resource\\_sw/INFOBASE\\_2024\\_g.pdf](https://www.fepec.or.jp/resource_sw/INFOBASE_2024_g.pdf)) (p.107)



図 62 各国の再エネ発電導入容量(2022年実績)、各国の太陽光発電導入容量(2022年実績) 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト (<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2024/07.html>)

### 再生可能エネルギー（太陽光・風力）の導入拡大に向けた課題

#### デメリット

1. 発電量が天候に左右され不安定、バックアップ電源が必要
2. 設備利用率が低い
3. 設置には広大な面積が必要
4. 系統周波数維持機能が無い

## 5. 周辺環境に影響を与える恐れ

太陽光：反射光、景観への影響、傾斜地の安全性

風力：低周波音、バードストライク

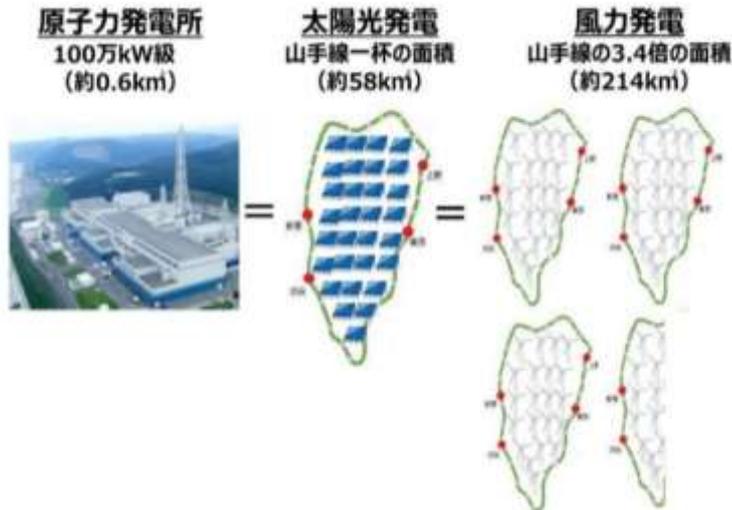


図 63 原子力発電 1 年間分と同じ発電量を得るために必要な面積 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト (<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/nuclear/nuclearcost.html>)

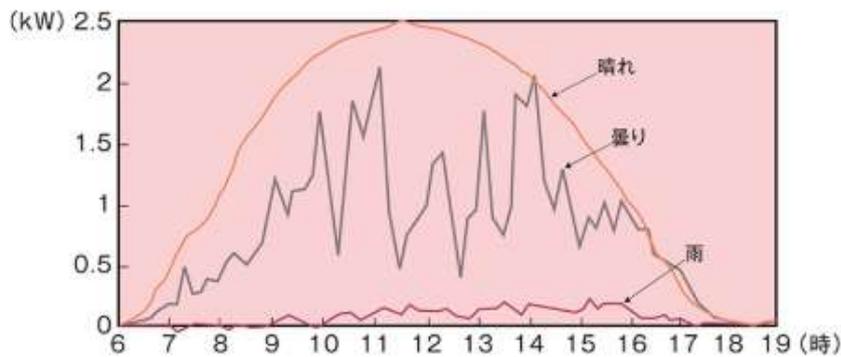


図 64 太陽光発電の出力変動(春季) 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/3-1-3>)

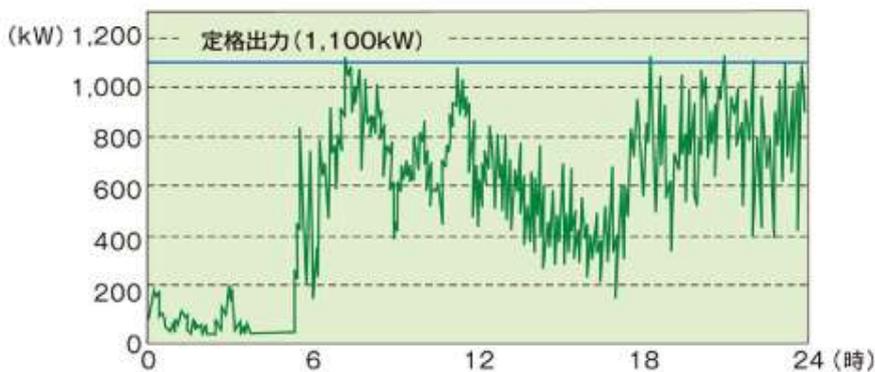


図 65 風力発電の出力変動 (冬季) 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/3-1-3>)

## 太陽光・風力はエネルギー密度が小さい・微弱なエネルギー源

|                               | 太陽光  | 洋上風力 | 原子力    |
|-------------------------------|------|------|--------|
| 出力密度 (MW/km <sup>2</sup> )    | 50   | 2.3  | 2,080  |
| 年間稼働率                         | 12%  | 50%  | 90%    |
| 年間発電量 (GWh/km <sup>2</sup> 年) | 52.6 | 9.1  | 16,399 |

原子力の僅か0.3%

出典：米英研究機関LUCID CATALYSTレポート2020年9月

図 66 太陽光・風力はエネルギー密度が小さい微弱なエネルギー源 出典：LUCID CATALYST REPORT「Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals」をもとに作成。

電気は基本的に貯めることができない。刻々と変動している需要(電力消費量)に合わせて供給する電力量(発電量)を常に一致させ続けることが必要。

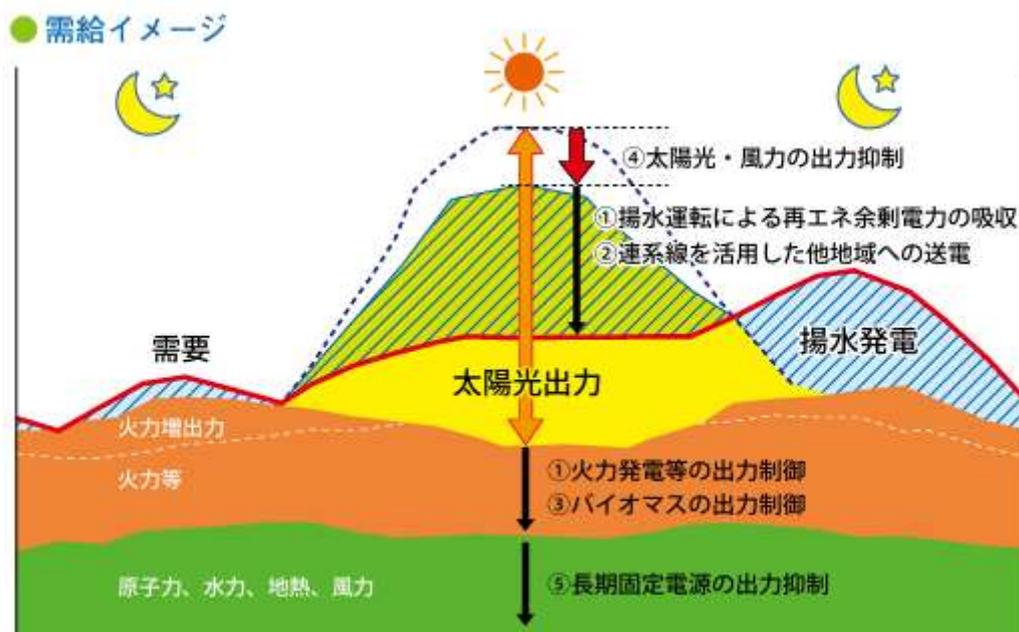


図 69 需給イメージ図 出典：電気事業連合会「FEPC INFOBASE g-再生可能エネルギー」([https://www.fepec.or.jp/resource\\_sw/INFOBASE\\_2024\\_g.pdf](https://www.fepec.or.jp/resource_sw/INFOBASE_2024_g.pdf))(p.110)

変動面の対応：出力変動に備えた調整力やバックアップ用の電源確保(火力・揚水発電等)、蓄電池の設置等追加的な強化が必要

容量面の対応：全体の需給バランスの確保のため「優先給電ルール」に基づく需給バランスの維持

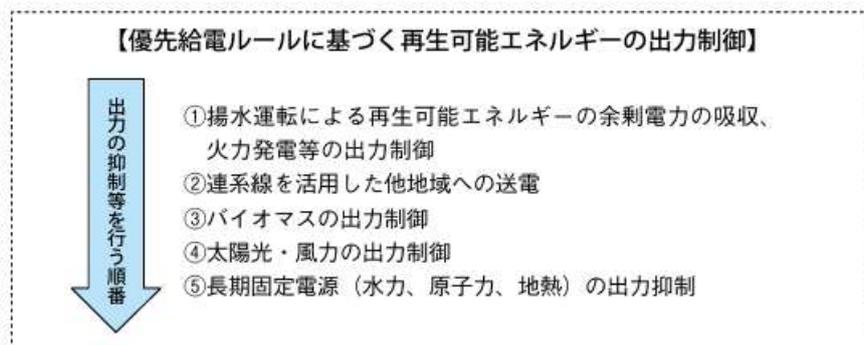


図 70 出典：電気事業連合会「FEPC INFOBASE g-再生可能エネルギー」  
[https://www.fepec.or.jp/resource\\_sw/INFOBASE\\_2024\\_g.pdf](https://www.fepec.or.jp/resource_sw/INFOBASE_2024_g.pdf)(p.110)

送電容量の強化：配電線、変電設備、送電線などの設備の増強および 2050 年カーボンニュートラルも見据えた広域連携システムの強化

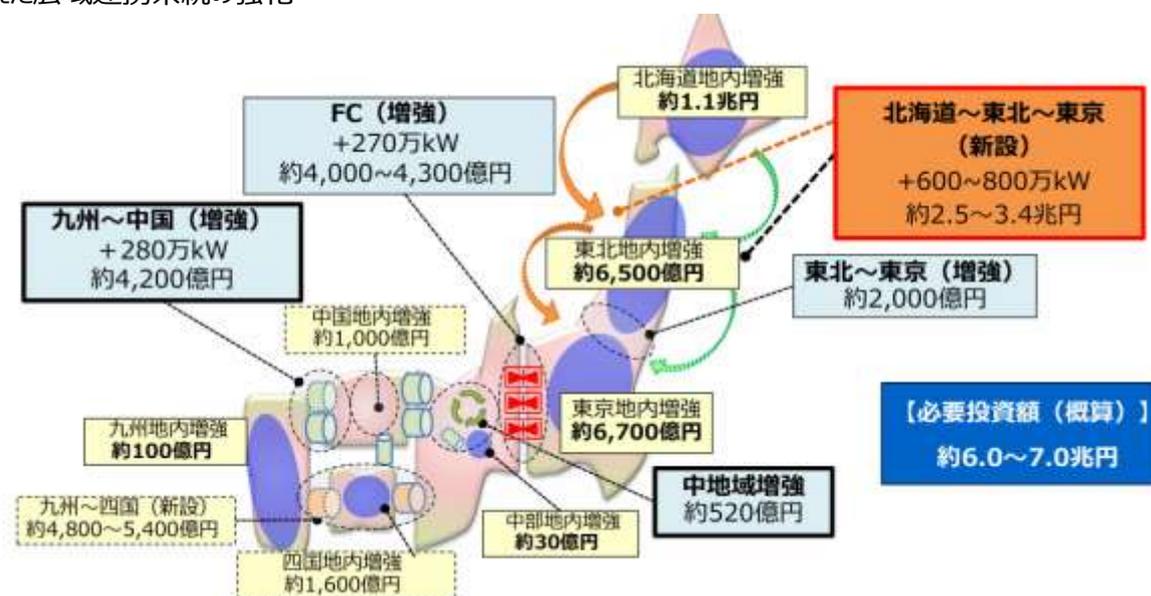


図 71 広域系統整備に関する長期展望 出典：資源エネルギー庁「エネルギーを巡る状況について」  
[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/055/055\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/055/055_004.pdf) (p.69)

イノベーションの加速・サプライチェーンの構築

- ・ 地理的要件により新たな再エネ適地が必要  
 ⇒ペロブスカイト太陽電池や浮体式洋上風力などの実用化が必要

使用済み太陽光パネルへの対応

再生可能エネルギー（太陽光、風力）導入拡大に伴うシステムコストの増加  
 （OECD のケーススタディー結果）

太陽光、風力などの再生可能エネルギーは利用率が低く変動性が大きいため今の電力需要を満たすためには、より大きい発電容量とバックアップ電源や送電網の強化が必要になり、コストが増大する。

OECD 報告は、ヨーロッパの現状をベースとしてシステムコストの評価を実施

1. 評価対象 フランスの現状の電力システムをモデル  
 （電力需要 537TWh、 周辺国との接続容量 7.2GW）
2. 電源の CO<sub>2</sub> 原単位 50gCO<sub>2</sub>/kWh に抑制 （炭酸ガスを出さない電源並みの値）
3. 再生可能エネルギー発電比率が、10%～75%になった場合の電源構成について評価

・再生可能エネルギー比率が 50%、75%では、現状の 2～3 倍に電源の増加が必要

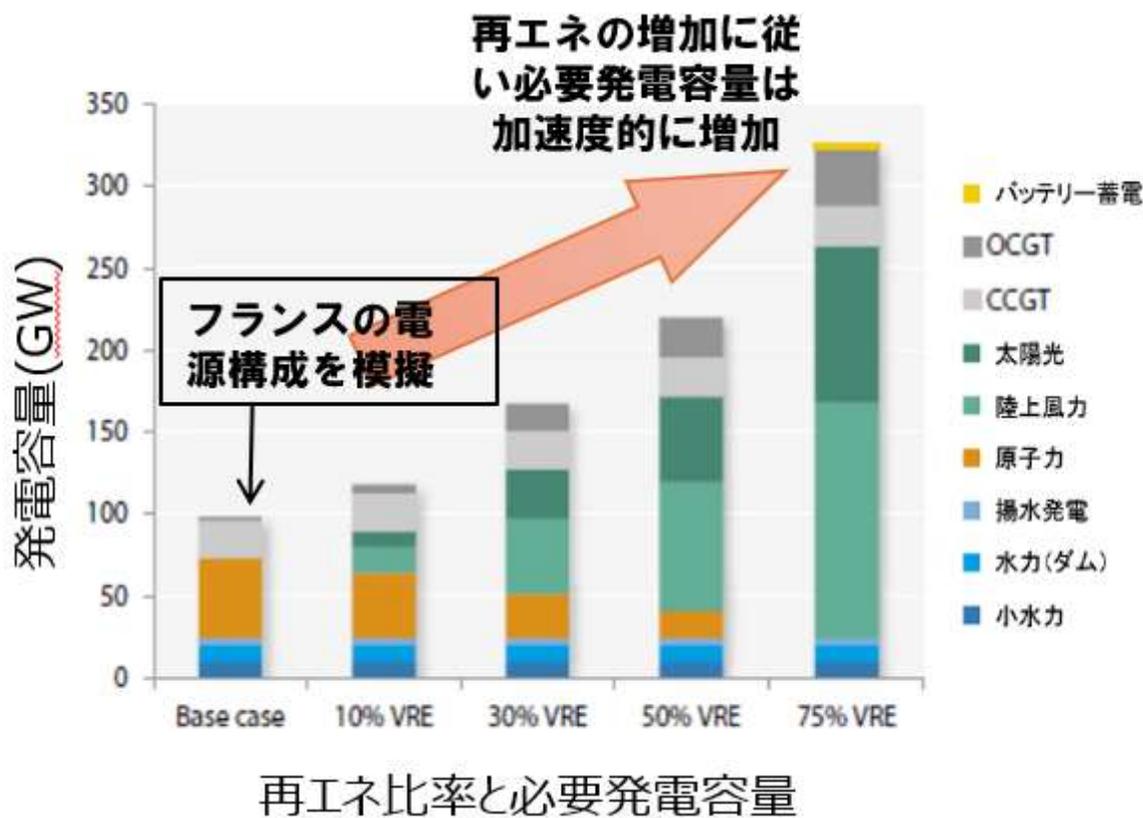
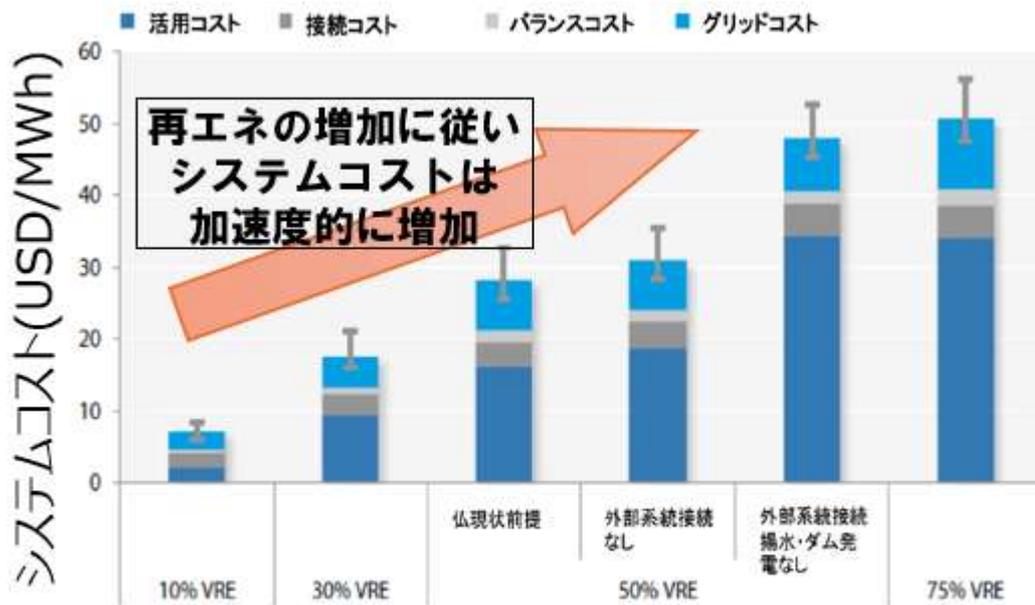


図 67 再エネ比率と必要発電容量 出典：国際環境経済研究所ウェブサイト  
 (<https://ieei.or.jp/2019/06/opinion190611/>)に加筆

- ・再生可能エネルギー比率が増加すると急激にシステムコストが増加
- ・再生可能エネルギー比率 10%の場合に比べて、再生可能エネルギー比率が 50%、75%ではシステムコストは 3～5 倍に増加



## 再エネ比率によるシステムコスト変化

図 68 再エネ比率によるシステムコスト変化 出典：国際環境経済研究所ウェブサイト (<https://ieei.or.jp/2019/06/opinion190611/>)に加筆

### 3.2.2.水力発電

#### 利点

1. 資源枯渇の心配がない
2. 発電に伴い炭酸ガスを出さない
3. 発電単価は中水力では低廉
4. 系統負荷調整能力を有する

#### 弱点

1. 我が国の水力資源は7割弱程度が開発済みであること、また、未開発地点についても、出力が小さいことや奥地化等により、開発は困難
2. 規模が小さくなると発電単価は高くなる

水力発電による年間電力量は、近年 800～900 億 kWh 付近を推移し、近年の全電源の発電電力量 (kWh) のうち 8%程度を占める。

#### 大規模水力(3万kW～)の現状と課題

- ・大規模水力は 1950～1960 年代に開発が進み、現在では残された適地も少なく、大規模水力の開発は 1990 年代以降大きく進展していない

・既存ダムの運用改善(デジタル技術活用・多目的ダムの弾力運用・リプレース等)や未利用ダムの積極的な活用を進める

#### 中小水力（3万kW未満）の現状と課題

・2012年度のFIT制度開始以降、新規開発も進み、FIT前導入量+FIT認定量は1,032万kWとなっている。

・中小水力発電は、初期投資の回収に時間がかかる一方で利幅は大きくない。

・残された開発余地が奥地化しているほか、大規模な開発余地が少なくなっており開発期間が長期化するとともに、開発リスクが増大している。

・地域の治水目的などと併せて地域との共生やコスト低減を図りつつ、自立化を実現していく。

また、既存設備については、リプレースの機会をとらえた既存設備の最適化・高効率化により、発電電力量(kWh)の増大を図る

### 2021年度 電源種別発電実績

(資源エネルギー庁総合エネルギー統計等より作成)

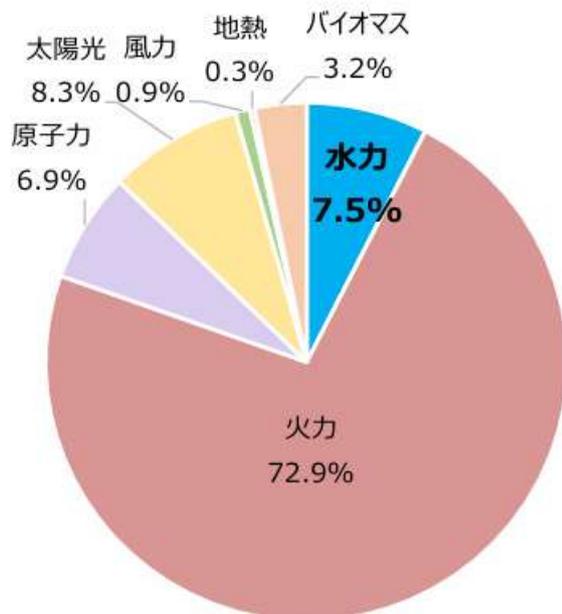


図 69 2021年度電源種別発電実績 出典：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

([https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/results.html#headline2](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline2)) をもとに作成。

#### 3.2.3.地熱発電

##### 利点

1. 資源枯渇の心配がない
2. 世界有数の地熱資源量を有する(世界3位)
3. 発電に伴い炭酸ガスを出さない

## 弱点

1. 地熱発電に用いることができる熱水の温度が低く、効率が低い
2. 敵地近くに温泉地があることが多く、関係者との調整が難しい
3. 資源に地域偏在性がある(北海道、東北、九州に集中)
4. 地下熱源を確認し蒸気を取り出すために数千 m 程度のボーリングが必要で、その蒸気も経年的に減衰するため開発リスクを伴う
5. 運転開始までのリードタイムが長いことや適地が山間部に多く、熱源量の制約で大規模開発が難しいため建設コストが高価

国別地熱資源量ランキング 1万kW=10MW 1MW=1,000kW

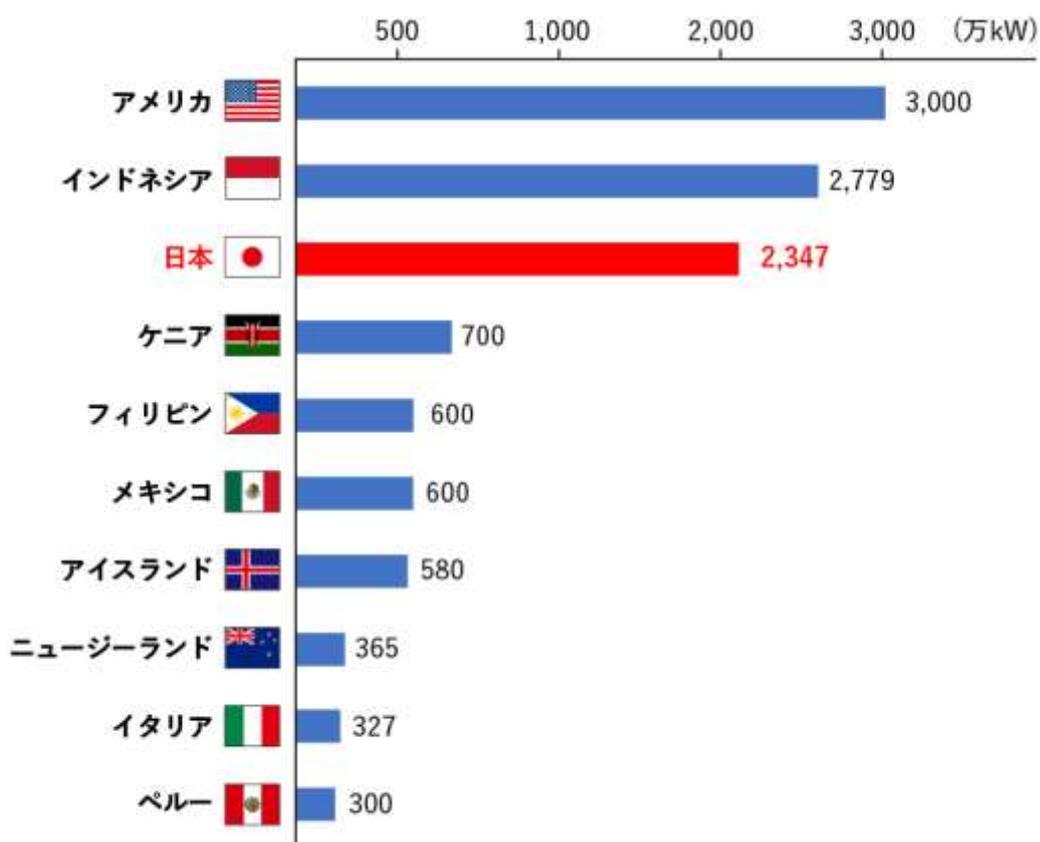


図 70 国別地熱資源量ランキング 出典：エネルギー・金属鉱物資源機構ウェブサイト ([https://www.jogmec.go.jp/publish/plus\\_vol13.html](https://www.jogmec.go.jp/publish/plus_vol13.html))

主な日本の地熱発電所位置図



図 71 主な日本の地熱発電所位置図 出典：産総研地質調査総合センター「(2009) 全国地熱ポテンシャルマップ」

●世界の地熱発電導入量 (2022年末時点)

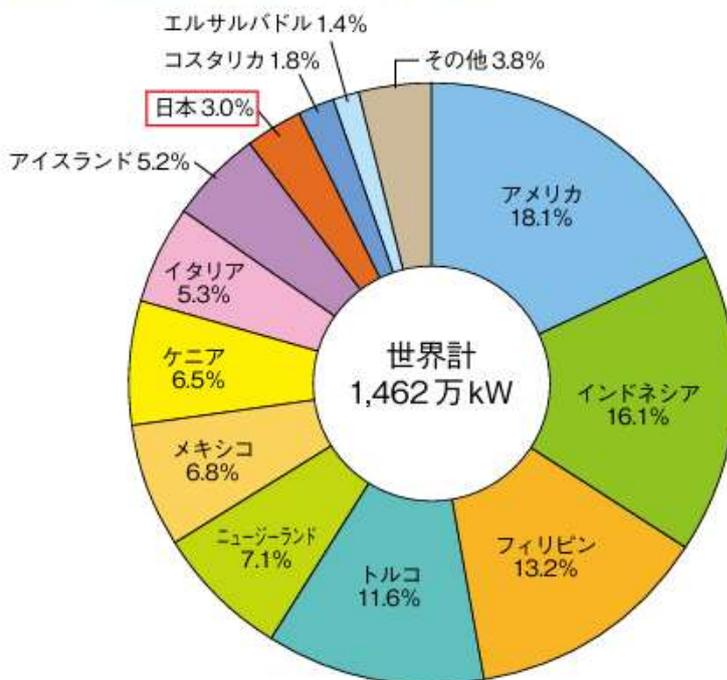


図 72 世界の地熱発電量 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト  
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2024/html/2-1-3.html>) を加工して作成。

### 3.2.4.原子力発電

#### 利点

1. 発電コストが安い(他電源と遜色ないコスト水準)
2. 供給が持続できる(優れた安定供給性)
3. 発電に伴い炭酸ガスを出さない
4. 立地効率が良い
5. 出力調整が可能

#### 弱点

1. 安全には十分な管理が必要
2. 使用済み燃料・放射性廃棄物について処理処分の解決が必要
3. 安全性・環境問題から社会的コンセンサスを得ていくことが必要
4. 初期投資額が大きく回収に長期間を要する

#### 将来性

1. 燃料サイクル・高速炉への発展が可能でエネルギーの国産化、持続可能な供給が可能
2. 水素利用、高温熱利用への適用
3. 医療用 RI(放射性同位元素)製造等多様な用途有

## 100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料

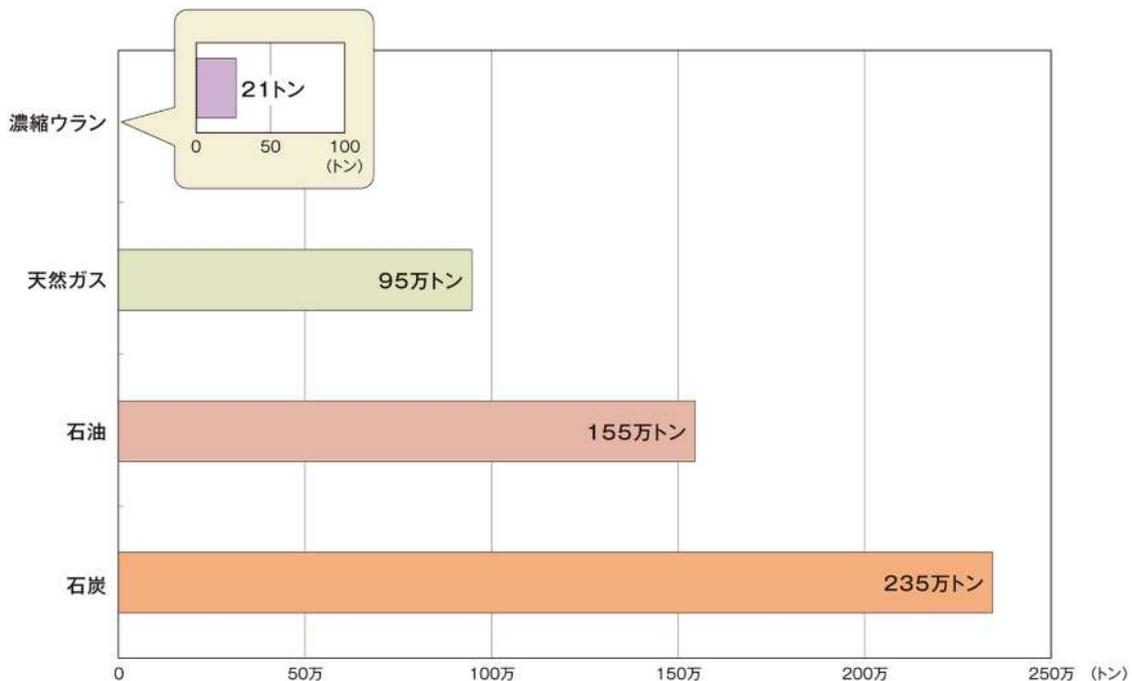
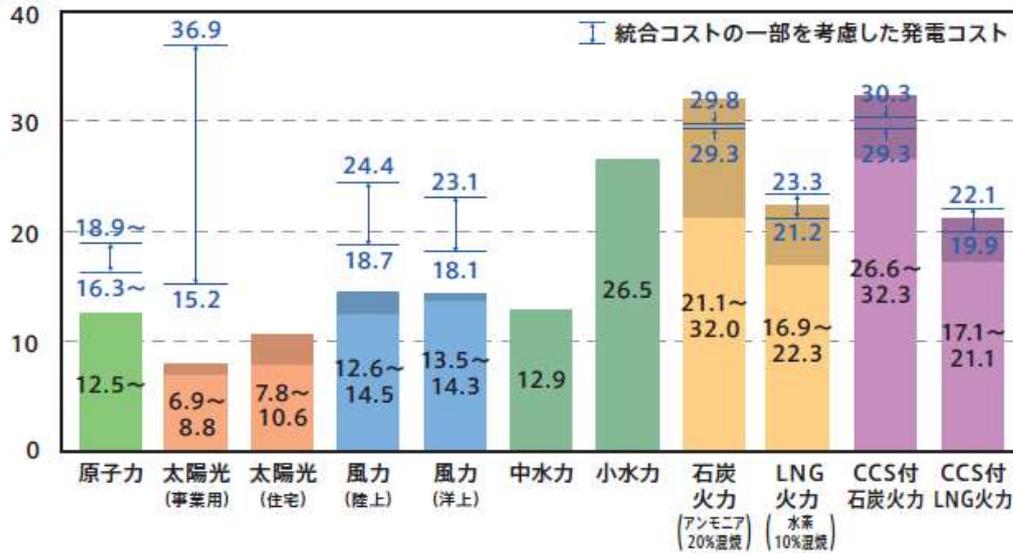


図 73 100 万 kW の発電所を 1 年間運転するために必要な燃料 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/2-1-16>)

## 電源種別発電コスト

(円/kWh)



|       |     |       |       |       |       |       |       |     |     |     |     |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| 設備利用率 | 70% | 18.3% | 15.8% | 29.6% | 40.2% | 54.7% | 54.4% | 70% | 70% | 70% | 70% |
| 稼働年数  | 40年 | 25年   | 25年   | 25年   | 25年   | 40年   | 40年   | 40年 | 40年 | 40年 | 40年 |

図 74 電源種別発電コスト 出典：資源エネルギー庁「発電コスト検証に関するとりまとめ」

([https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/pdf/cost\\_wg\\_20250206\\_01.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_20250206_01.pdf)) をもとに作成。

### ■ 優れた効率性と安定供給性

100万kW級発電所と同量の発電量を得るための施設面積

|     |                      |
|-----|----------------------|
| 原子力 | 約0.6 km <sup>2</sup> |
| 火力  | 約0.5 km <sup>2</sup> |
| 太陽光 | 約58 km <sup>2</sup>  |
| 風力  | 約214 km <sup>2</sup> |

100万kW級発電所の年間発電量を代替する場合に必要な燃料

|             |             |
|-------------|-------------|
| 原子力 (濃縮ウラン) | 21トン        |
| 天然ガス        | 950,000トン   |
| 石油          | 1,550,000トン |
| 石炭          | 2,350,000トン |

国内在庫日数

|              |        |
|--------------|--------|
| 原子力 (ウラン) ※1 | 約2.9年分 |
| 天然ガス ※2      | 約20日分  |
| 石油 ※3        | 約200日分 |
| 石炭 ※4        | 約29日分  |

※山手線の内側の面積が約63 km<sup>2</sup>

図 75 優れた効率性と安定供給性 出典：資源エネルギー庁「電力調査統計 2019年度火力発電燃料実績」

([https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric\\_power/ep002/results\\_archive.html#r01](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results_archive.html#r01)) をもとに作成。

### 3.2.5.化石燃料火力発電

#### メリット

1. 石炭・ガスはコストが安い
2. 発電システムが安価
3. 出力調整が容易
4. 立地効率が良い
5. 消費地立地が可能
6. 周辺への安全性に問題が少ない

#### デメリット

1. 炭酸ガスが発生
2. 炭酸ガス放出防止の技術開発とそれに伴うコスト増加
3. 燃料供給・燃料コストが不安定
4. 燃料枯渇の可能性

#### 将来性

1. エネルギー消費に占める割合は低減
2. 再生可能電源の系統安定・周波数調整・バックアップ電源としての役割
3. 水素、アンモニア、CCUS 等を活用した脱炭素火力発電

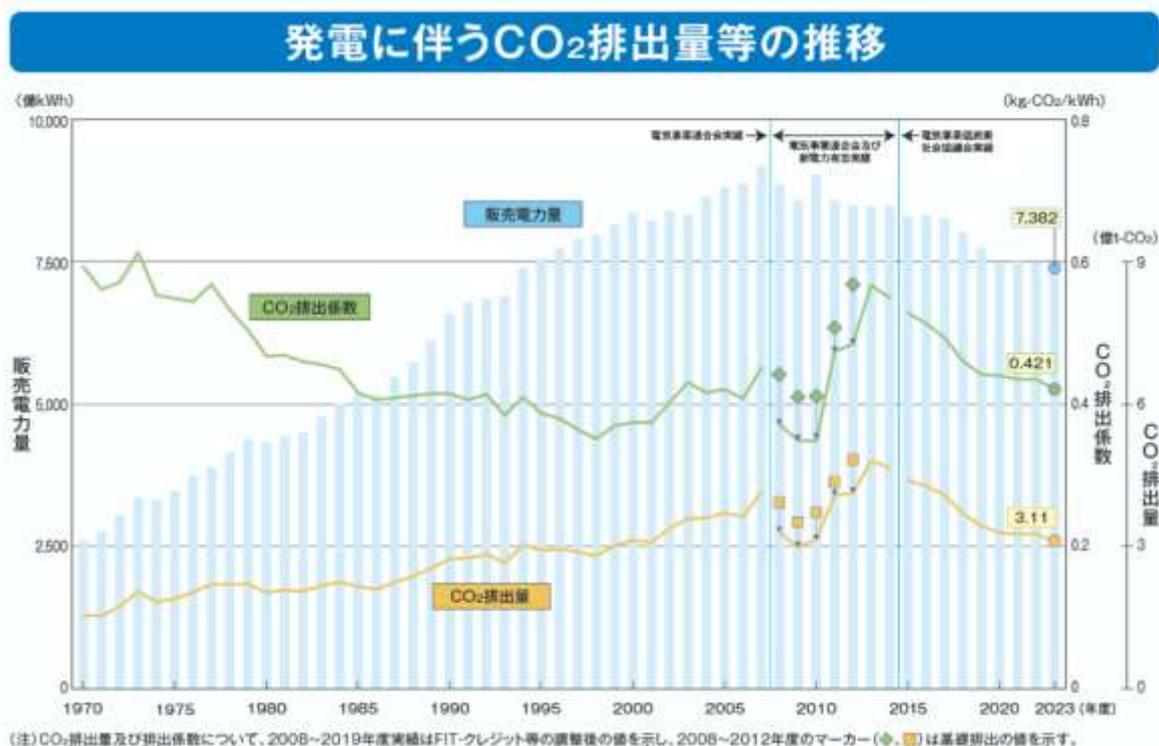


図 76 発電に伴う CO<sub>2</sub> 排出量等の推移 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト

(<https://www.ene100.jp/zumen/2-1-16>)

東日本大震災の影響に伴う原子力発電所の長期停止等により、火力発電量が増加したことで、CO<sub>2</sub>排出係数は、2011年度以降増加しているが、原子力発電の再稼働により2023年度は0.421kg-CO<sub>2</sub>/kWhまで減少した

●日本の電源種別ライフサイクルCO<sub>2</sub>の比較

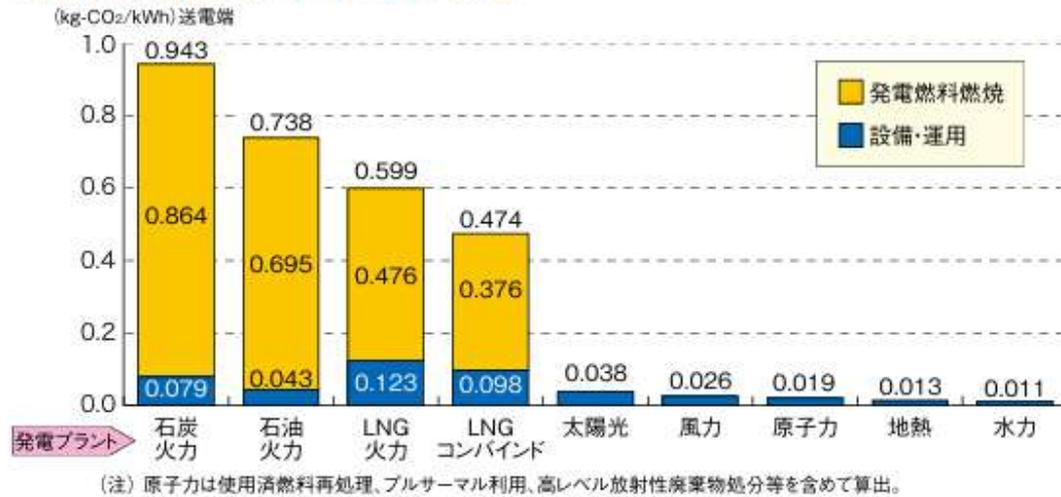


図 77 日本の電源種別ライフサイクル CO<sub>2</sub> の比較 出典：電力中央研究所ウェブサイト ([https://www.eneres.jp/journal/japan\\_power\\_generation/](https://www.eneres.jp/journal/japan_power_generation/))

●電力需給に対応した電源構成

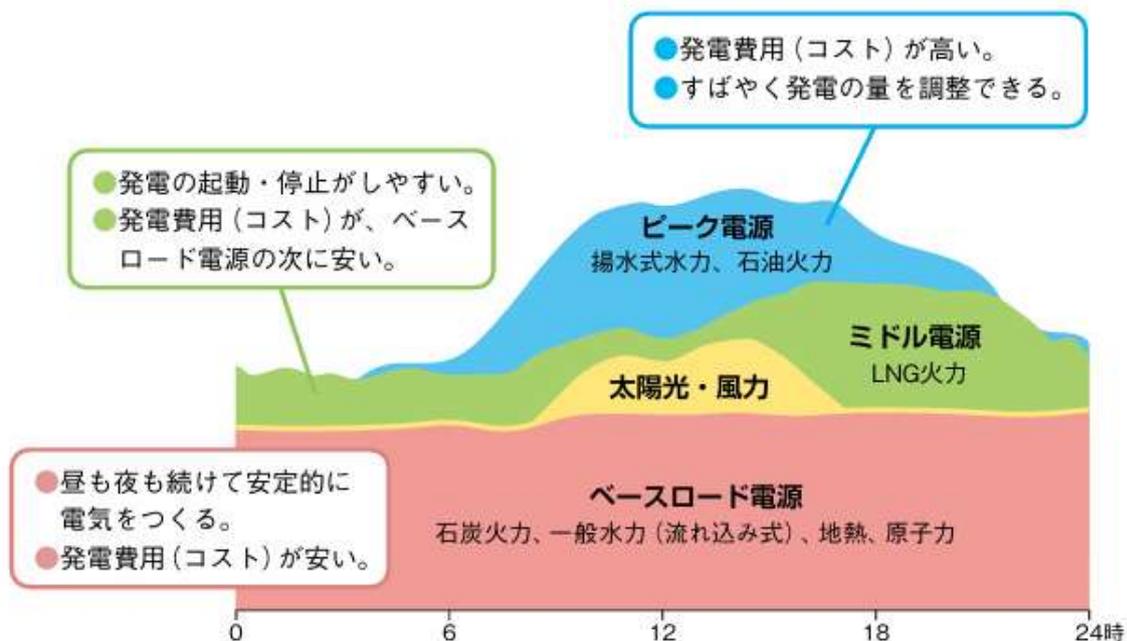


図 78 電力需要に対応した電源構成 出典：電気事業連合会「FEPC INFOBASE g-再生可能エネルギー」([https://www.fepec.or.jp/resource\\_sw/INFOBASE\\_2024\\_b.pdf](https://www.fepec.or.jp/resource_sw/INFOBASE_2024_b.pdf))(p.11)

### 3.2.6. 電源の特徴まとめ

| 電源                              | コスト※1<br>(円/kWh) | 発電時<br>CO <sub>2</sub><br>排出 | エネルギー<br>自給 | 安定性<br>(発電<br>予見性) | 調整力        | 系統擾乱耐性<br>(慣性力・<br>レスポンス) | 熱利用・カーボ<br>ンリサイクル<br>製造 | 開発<br>ポテンシャル<br>(立地可能性)                              |
|---------------------------------|------------------|------------------------------|-------------|--------------------|------------|---------------------------|-------------------------|--|
| 原子力                             | 12.5~            | ゼロ                           | 準国産         | 計画的                | 可能         | 有り                        | 熱：○ 水素：○                | 制約なし   |
| LNG火力<br>(CO2排出権※2)             | 16.0~21.0        | 排出権                          | 輸入依存        | 計画的                | 容易         | 有り                        | 熱：○ 水素：-                | 制約なし   |
| LNG火力<br>(H <sub>2</sub> 10%混焼) | 16.8~22.2        | 排出権+<br>水素                   | 輸入依存        | 計画的                | 容易         | 有り                        | 熱：○ 水素：-                | 制約なし   |
| 水素専焼                            | 24.6~33.0        | ゼロ                           | 輸入依存        | 計画的                | 容易         | 有り                        | 熱：○ 水素：-                | 制約なし   |
| LNG火力(ccs付)                     | 17.1~21.1        | ゼロ<br>(貯留)                   | 輸入依存        | 計画的                | 容易         | 有り                        | 熱：○ 水素：-                | 制約なし   |
| 石炭(70%720%混焼)                   | 20.9~30.2        | 排出権+<br>アンモニア                | 輸入依存        | 計画的                | 容易         | 有り                        | 熱：○ 水素：-                | 制約なし   |
| アンモニア専焼                         | 22.3~27.9        | ゼロ                           | 輸入依存        | 計画的                | 容易         | 有り                        | 熱：○ 水素：-                | 制約なし   |
| 石炭火力(ccs付)                      | 26.6~32.2        | ゼロ<br>(貯留)                   | 輸入依存        | 計画的                | 容易         | 有り                        | 熱：○ 水素：-                | 制約なし   |
| 太陽光 (メガソーラー)                    | 7.0~8.9          | ゼロ                           | 燃料不要        | 変動                 | ×          | なし                        | 熱：× 水素：○                | 受容性を重視した<br>場合には全ての発<br>電を太陽光+風<br>力のみで賄うことは<br>できない |
| 陸上風力                            | 13.5~15.3        | ゼロ                           | 燃料不要        | 変動                 | ×          | 若干有り                      | 熱：× 水素：○                |  |
| 洋上風力 (着床)                       | 14.4~15.1        | ゼロ                           | 燃料不要        | 変動                 | ×          | 若干有り                      | 熱：× 水素：○                |  |
| 地熱                              | 16.7             | ゼロ                           | 燃料不要        | 計画的                | 可能         | 有り                        | 熱：○ 水素：○                | 温泉地/ 新地帯<br>開発余地が大きい                                 |
| 水力 (小水力)                        | 26.6             | ゼロ                           | 燃料不要        | 計画的                | 可能<br>(揚水) | 有り                        | 熱：× 水素：○                | 国内水力の開発<br>余地は少ない                                    |
| 水力 (中水力)                        | 13.0             | ゼロ                           | 燃料不要        | 計画的                | 可能<br>(揚水) | 有り                        | 熱：× 水素：○                |  |

※1：基本政策分科会第67回 資料1 発電コスト検証に関する議論について（概要）より、2040年の試算結果（概要）から、LCOE（政策経費あり）を引用  
 ※2：CO2対策費用は排出権取引により賄う事を仮定 出典：NPO革新的原子炉推進協議会2023年シンポジウムより

図 79 電源の特徴まとめ 出典：経済産業省「発電コスト検証に関する議論について（概要）」

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/067/067\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/067/067_004.pdf) をもとに作成。

## 3.3. エネルギーの安全保障

### 3.3.1. 日本の化石燃料の輸入先

- ・化石燃料のほぼ全量を海外から輸入。原油は中東依存度が9割超。
- ・LNGは原油に比べ調達先の多角化が進んでおり、中東依存度は1割弱。今後も豪州やマレーシア、北米等も含めた多様な地域からの調達が見込まれる。
- ・石炭の中東依存度は0%。豪州など、地政学的リスクが低く、地理的に近い国からも輸入ができる。

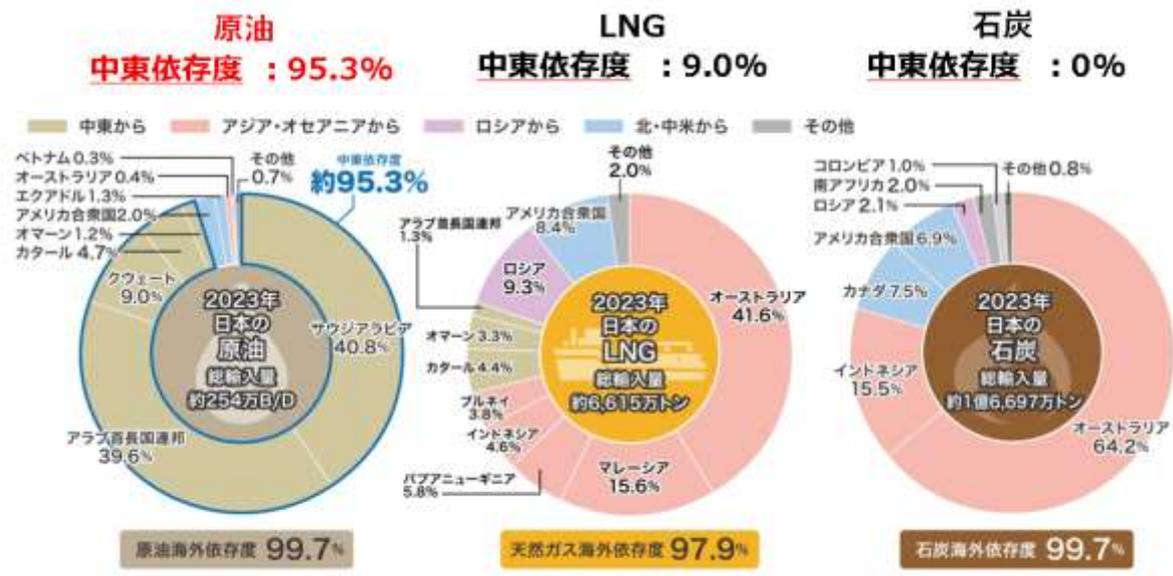


図 80 日本の化石燃料の輸入先 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト  
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2024/02.html>)

### 3.3.2. 中東情勢の緊迫化

- ・イスラエル・パレスチナ情勢の悪化や、イスラエル・イラン間の軍事的緊張関係が上昇。
- ・原油の約 9 割以上を中東からの輸入に依存する我が国にとって、チョークポイントが集結する中東地域の情勢悪化はエネルギー安全保障に直結し、我が国産業競争力に大きな影響。

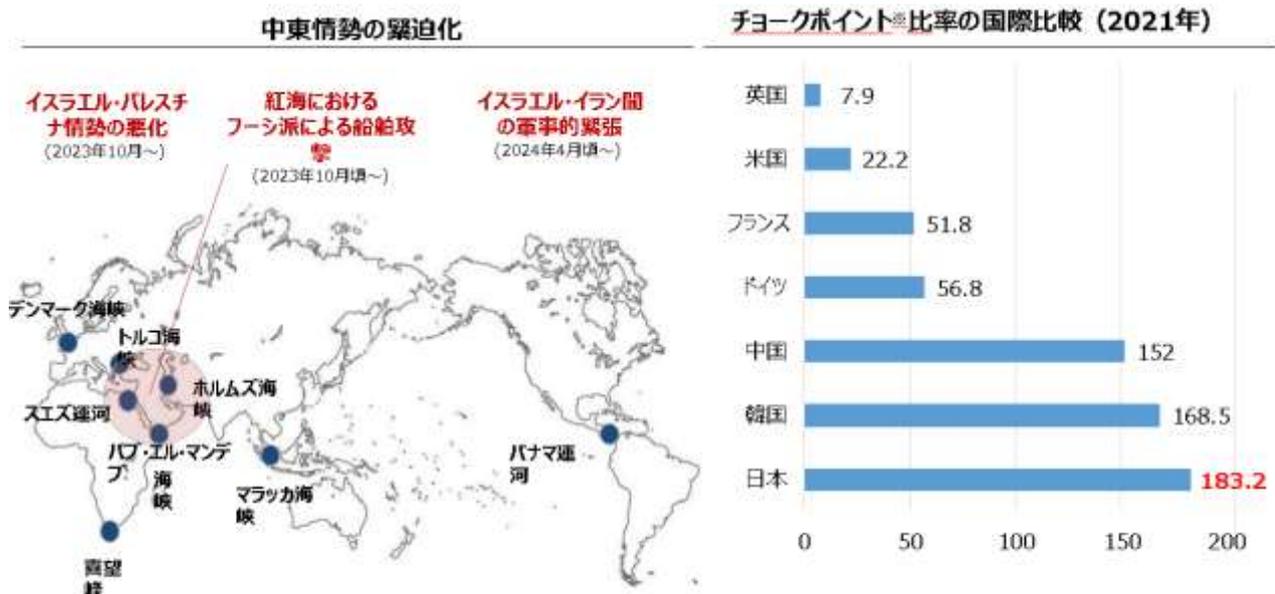


図 81 中東情勢の緊迫化 出典：資源エネルギー庁「エネルギーを巡る状況について」  
([https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/05/055\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/05/055_004.pdf))(p.7)

※エネルギー輸入のチョークポイントとは、エネルギー資源を輸送する際に重要な狭い海峡や運河のことを指します。

※チョークポイント比率は、チョークポイントを通過する各国の輸入原油の数量を合計し、総輸入に対する割合を計算したものです。一般に、チョークポイント比率が低いほど、チョークポイント通過せずに輸入できる原油が多いため、リスクが低い。

### 3.4. 電力の安定性(同時・同量と出力調整)

#### 3.4.1. エネルギー自立性・長期の価格安定性

・ウラン燃料は、化石燃料に比べて、

- ①燃料のエネルギー出力密度が大きい。
- ②国内の在庫日数が長い。
- ③燃料交換後1年以上、発電の継続が可能なおことから、化石燃料と比べて、国際市場価格の変動の影響を受けにくい。

・国際エネルギー機関（IEA）は、原子力を一次エネルギー自給率に含めている。

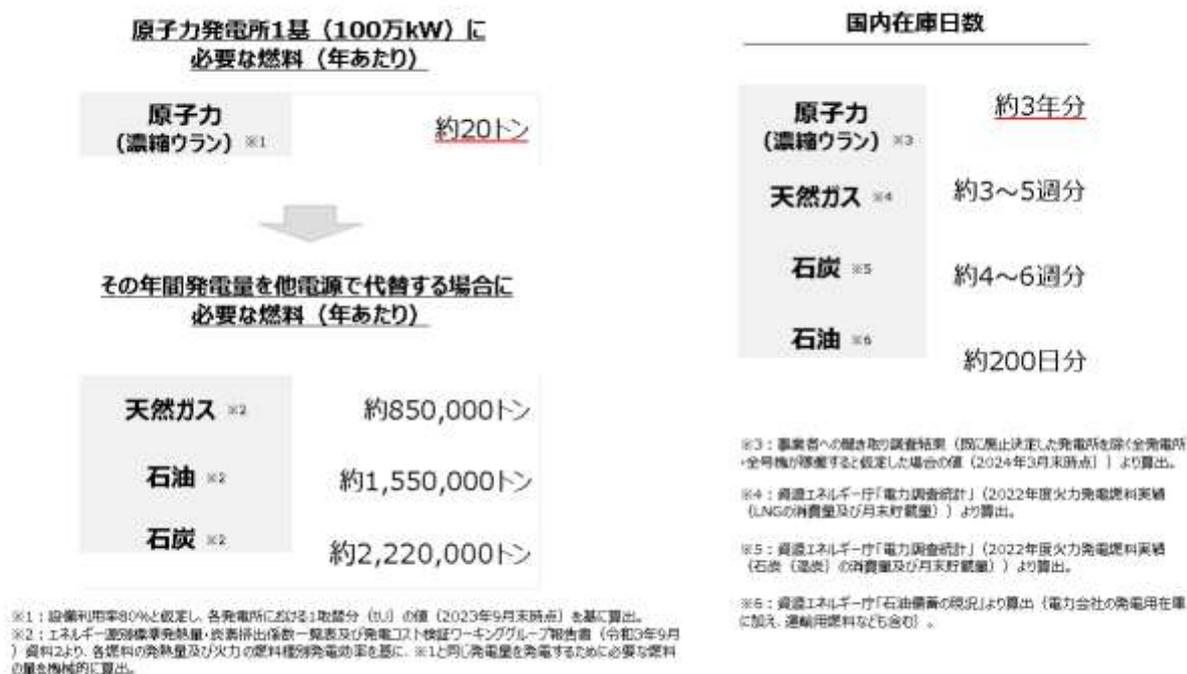


図 82 エネルギー自立性・長期の価格安定性 出典：資源エネルギー庁：「エネルギー源別標準発電量・炭素排出係数一覧表」

([https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/carbon\\_2023.html](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/carbon_2023.html))、「発電コスト検証に関する取りまとめ（案）」

([https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/2021/data/08\\_05.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/2021/data/08_05.pdf))、「電力調査統計」

([https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric\\_power/ep002/](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/))、「石油備蓄の状況」([https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum\\_and\\_lpgas/pl001/](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl001/))をもとに作成。

### 3.4.2.出力調整の必要性と運用の現状

#### ・出力調整の必要性：

電力需要や再エネの出力の変動に対して需給の過不足を調整電源により補完する必要がある。短期的には需給バランスが絶えず変動するので周波数調整の為、瞬時に同時同量を維持することが必要である。

#### ・現状の運用：

原子力は燃料費が安い為、現状は、経済性の観点より、国内ではベースロード運転を実施。再エネの変動対応には、現状、火力発電や揚水発電利用により対応。将来的には、原子力による出力調整が必要。

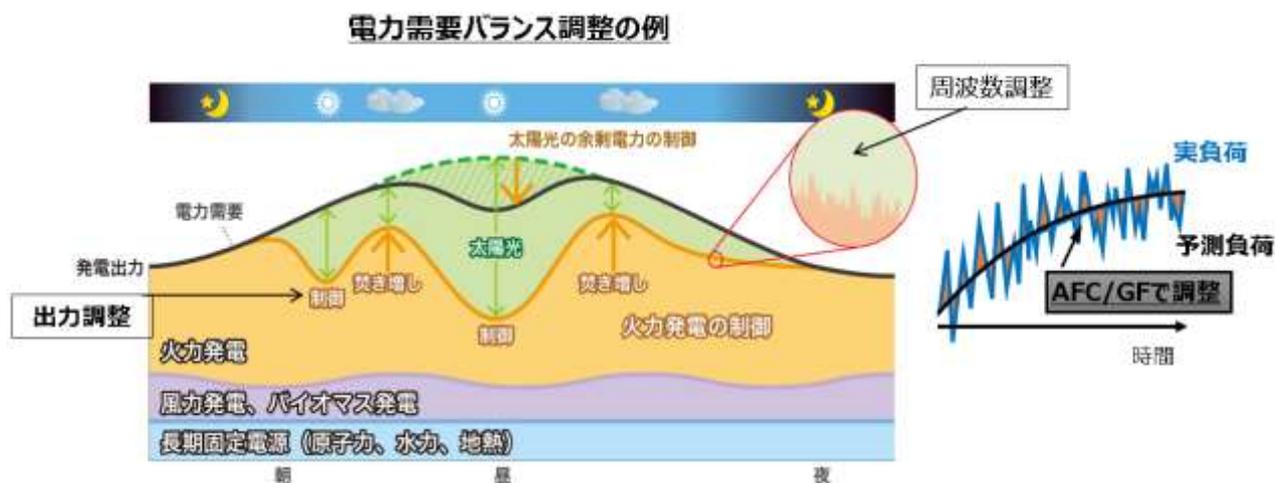


図 83 電力需要バランス調整の例 出典：2025年2月15日 CINRAT シンポジウム「エネルギーの未来を考える」発表資料

### 3.4.3.出力調整の方法

出力調整には、下図に示すように周期と負荷変化量 に応じた調整方法がある。

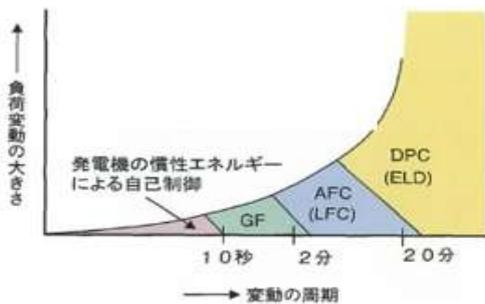


図 84 出典：2025年2月15日 CINRAT シンポジウム「エネルギーの未来を考える」発表資料

①システムの慣性力：10秒以下の微小な需給変動は、システムの慣性力により吸収される。系統に繋がれる慣性力のある発電設備が多い程系統は安定する。

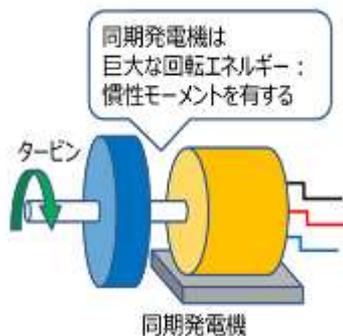


図 85 出典：2025年2月15日 CINRAT シンポジウム「エネルギーの未来を考える」発表資料

②AFC/GF 運転：

1. ガバナフリー運転（GF）（数分程度まで）慣性力を上回る周波数変動に対し、タービンのガバナを自動制御し周波数（発電機回転数）を一定に保つよう調整。
2. 自動周波数制御装置（AFC）GFより長い周期（数分～20分）の需要変動は系統運用側からの信号により出力調整。

③日負荷追従運転

需要予測に基づき昼夜の需要等に応じた大きな出力変更

（需要の多い昼に出力を上げるパターン運転、給電指令に基づく負荷変更等）。

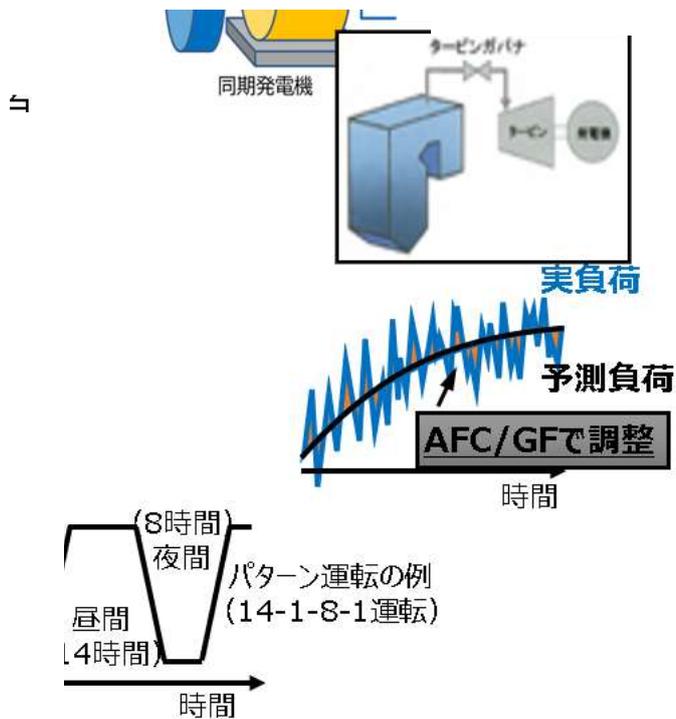


図 86 出典：2025年2月15日 CINRAT シンポジウム「エネルギーの未来を考える」発表資料

#### 3.4.4. 仏・原子力での出力調整運転実績例

仏では、原子力の電源構成比が約70%超のため、出力調整運転が必須であり、多数のPWRプラントで日常的に出力調整運転を実施中。

- ・系統全体の最適な運用のために各プラントで役割を分担し日間出力調整やAFC/GFを組合せて運転。
- ・日間出力調整運転として約20～30%出力まで低減可能。
- ・AFC運転 最大±7%出力変化に対応。
- ・設備対応：出力調整用にグレイ制御棒(※)を設置/ほう素濃度の濃縮・希釈は自動制御 等。

※中性子吸収能力の低い制御棒を一部に配置し、制御棒の挿入/引抜に伴う炉内軸方向出力分布の歪を緩和。

下の図に示す通り、原子力は周波数維持や出力調整の実績を有している。

- ・1日の内に約1回程度60～70%の負荷減少
- ・約10%を超える負荷変動は毎日
- ・約30%までの負荷減少は頻度高く実施

Figure 3.17: Example of a typical power history during a cycle in a EDF reactor (in % of the rated power)

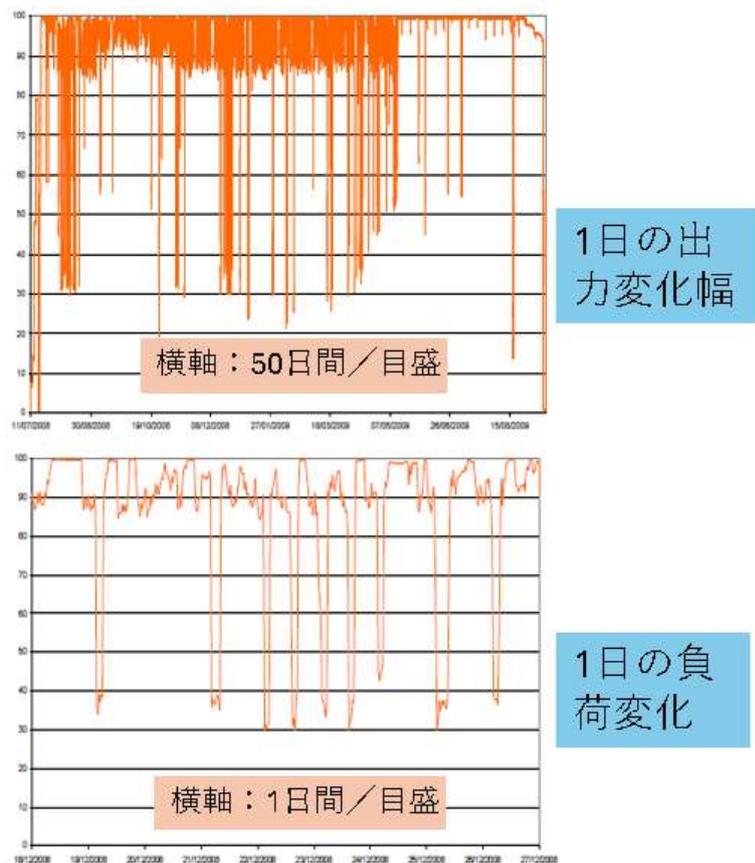


図 87 フランスの原子力発電所負荷変動 出典：NEA「*Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plants* (NEA 2011) 」  
([https://www.oecd.org/en/publications/technical-and-economic-aspects-of-load-following-with-nuclear-power-plants\\_29e7df00-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/technical-and-economic-aspects-of-load-following-with-nuclear-power-plants_29e7df00-en.html))

### 3.5. 発電コスト

#### 3.5.1. モデルプラント方式の発電コスト

2040 年の試算の結果概要（暫定）

- 1.各電源のコスト面での特徴を踏まえ、どの電源に政策の力点を置くかといった、2040 年に向けたエネルギー政策の議論の参考材料とするために試算。
- 2.2040 年に、発電設備を新設・運転した際の kWh 当たりのコストを、一定の前提で機械的に試算したもの（既存設備を運転するコストではない）。
- 3.2040 年のコストは、燃料費の見通し、設備の稼働年数・設備利用率、自然変動電源の導入量、気象状況などの試算の前提を変えれば、結果は変わる。また、今回想定されていない更なる技術革新などが起こる可能性にも留意する必要がある。

4. 事業者が現実に発電設備を建設する際は、下記の発電コストだけでなく様々な条件（立地制約・燃料供給制約等）が勘案され、総合的に判断される。

| 電源              | 自然エネルギー      |             |          |          | 水力   |      | 地熱    | バイオガス<br>(再成) | 廃棄物  | LHG  | 化石燃料        |             |            |            |                   |                           | CO <sub>2</sub> 削減<br>コスト |                           |
|-----------------|--------------|-------------|----------|----------|------|------|-------|---------------|------|------|-------------|-------------|------------|------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | 太陽光<br>(浮体式) | 太陽光<br>(陸上) | 陸上<br>風力 | 洋上<br>風力 | 中水力  | 小水力  |       |               |      |      | LNG<br>(再成) | LHG<br>(再成) | 石炭<br>(再成) | 石炭<br>(再成) | アンモ<br>ニア<br>(再成) | CO <sub>2</sub> 削減<br>コスト |                           | CO <sub>2</sub> 削減<br>コスト |
| LCOE<br>(円/kWh) | 2025         | 7.0         | 7.9      | 13.3     | 14.4 | 13.0 | 26.6  | 10.7          | 32.0 | 12.5 | 16.0        | 18.0        | 24.6       | 20.9       | 22.3              | 17.3                      | 26.6                      | 35.9                      |
|                 | 2040         | 0.9         | 10.7     | 15.3     | 15.1 |      |       |               |      |      | 21.0        | 22.2        | 33.0       | 32.0       | 27.9              | 21.4                      | 32.2                      | 17.3                      |
| 設備利用率<br>稼働率(%) | 2025         | 6.8         | 7.9      | 10.1     | 9.5  | 10.3 | 54.7% | 10.9          | 31.4 | 11.2 | 15.9        | 18.0        | 24.6       | 20.8       | 22.3              | 17.0                      | 26.5                      | 35.9                      |
|                 | 2040         | 0.4         | 10.4     | 11.6     | 10.1 |      | 40%   |               |      |      | 20.9        | 22.2        | 33.0       | 31.9       | 27.8              | 21.9                      | 32.2                      | 17.3                      |

【注1】 表の数値は最新の燃料価格、CO<sub>2</sub>削減費用、太陽光・風力の導入拡大に伴う機器価格低下などをどう見込むかにより、幅を伴った試算となる。例えばCO<sub>2</sub>削減費用は、IEA「World Energy Outlook 2024」(WEO2024)における韓国  
の公表政策シナリオ(STEPS)とEUの脱炭素シナリオ(APS)を参考にしている。  
【注2】 グラフの値は、WED2024のSTEPSのケースベース。CO<sub>2</sub>価格はWED2024のEUのSTEPSのケース。水素・アンモニアは海外からブルー水素・ブルーアンモニアを輸入するケース。CCSはパイプライン輸送のケース。CO<sub>2</sub>削減はCF価格で計算し  
たコストを使用。その他の詳細は、後述の各電源ごとの「発電コストの内訳」(グラフ)のとおり。  
【注3】 発電コストはWEDで考慮した政策経費は、国際的に確立した半導体は算入しないことが一般的であることから、政策経費を算入しないケースについても併せて記載することとした。  
【注4】 同様に入りに合計が一覧しないことがある。【注5】 水素、アンモニア変換は熱量ベース。【注6】 「CO<sub>2</sub>削減費用」は環境外部費用の一部を、便宜上WEDで示された政策経費に算入したものである。

図 88 発電コスト図 出典：経済産業省「発電コスト検証に関する議論について（概要）」

([https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/067/067\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/067/067_004.pdf))(p.5)

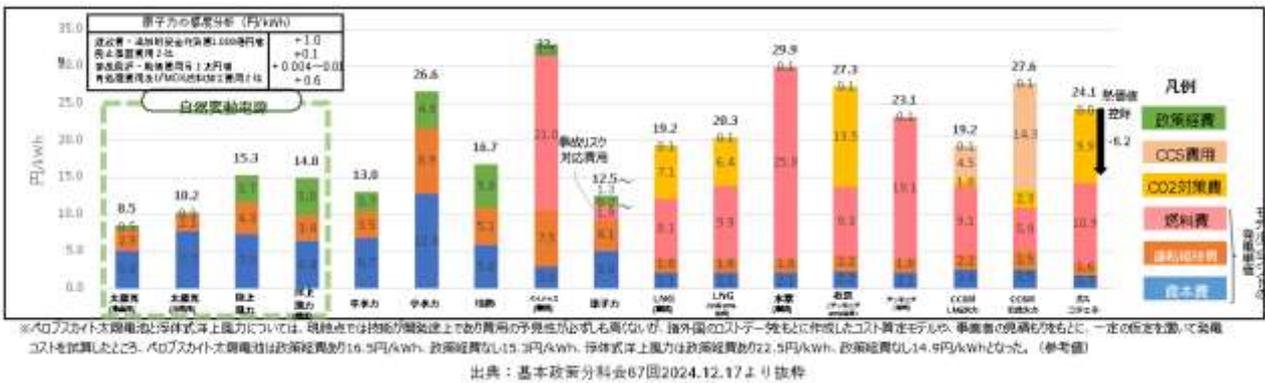


図 89 原子力の感度分析 出典：経済産業省「発電コスト検証に関する議論について（概要）」

([https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/067/067\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/067/067_004.pdf))(p.4)

### 3.6. 2050 年の電源の在り方

2050 年のカーボンニュートラルに向けての電源構成は、確立した脱炭素電源の最大限の導入活用と、脱炭素化へのイノベーションが必要。

|               |          |   |
|---------------|----------|---|
| 確立した脱炭素電源     | 再エネ      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○2050年の主力電源として最大限導入</li> <li>×調整力、慣性力を有さない他、自然条件や社会制約への対応、電気コスト増への社会的受容性を高めるといった課題</li> <li>⇒新技術の開発・導入促進及び更なるコストの低減</li> </ul>                       |
|               | 原子力      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○確立した脱炭素電源として安全を大前提に一定規模の活用</li> <li>○供給力、低廉なコスト、出力調整力、慣性力を有する</li> <li>×国民の信頼回復、廃棄物処分、人材・技術力維持等が課題</li> <li>⇒新たな安全システムを組み込んだ次世代革新炉の開発・設置</li> </ul> |
| イノベーションが必要な電源 | 化石+CCS   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○供給力、調整力、慣性力を有する</li> <li>×CCSの技術開発、適地の開発、コスト低減等に課題</li> <li>⇒水素、アンモニア、CCUS等を活用した火力の脱炭素化</li> </ul>  |
|               | 水素・アンモニア | <ul style="list-style-type: none"> <li>○調整力、慣性力を有する</li> <li>×大規模発電に向けた技術確立、供給力の確保、コスト低減が課題</li> <li>⇒コストの低減と利用の拡大、安定したサプライチェーンの構築</li> </ul>   |

図 90 2050年の電源構成の在り方 出典：資源エネルギー庁「エネルギー基本計画の概要」  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/20250218\\_02.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_02.pdf) をもとに作成。

信頼性高く、持続可能で低廉な電力が供給可能な電源構成のベストミックスを確立することが必要



図 91 2050年の電源構成イメージ 出典：資源エネルギー庁「エネルギー基本計画の概要」  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/20250218\\_02.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_02.pdf) をもとに作成。

### 3.7.参考資料

#### 3.7.1. 今後 10 年の電力需要の想定(電力広域的運営推進機関推計)

- ・ 毎年、電力広域的運営推進機関は、一般送配電事業者から提出された電力需要の想定を取りまとめ公表。
- ・ 2024 年 1 月 24 日に公表された想定では、人口減少や節電・省エネ等により家庭部門の電力需要は減少傾向だが、人手不足対応のための省人化、遠隔化に加え、データセンターや半導体工場の新增設等による産業部門の電力需要の大幅増加により、全体として電力需要は増加傾向となった。



図 92 需要電力量 (全国合計) の想定 出典：電力広域的運営推進機関「全国及び供給区域ごとの需要想定(2024 年度)」

([https://www.occto.or.jp/assets/juyousoutei/2023/files/240124\\_juyousoutei.pdf](https://www.occto.or.jp/assets/juyousoutei/2023/files/240124_juyousoutei.pdf))(p.4)

#### 3.7.2. 変動性再生可能エネルギーに対する調整電源の必要性

- ・ 自然エネルギーは天候により絶えず変動するので、調整電源による出力調整や起動停止により需要と供給のバランスをとる必要がある。
- ・ 長期の雨天等による出力が低下に備えたバックアップ電源の必要がある。
- ・ 過剰な再エネの導入は、好天時には出力抑制が必要となり、稼働率が低下する。これらに伴うコストの増加は、再エネが大量に導入されるに従って増大する。
- ・ 現在、水力を除く再エネは国内総発電量の約 12%を賄うまで増加しているが、出力抑制が必要となるケースが既に発生している。

・再エネは地域的な偏在があり、需要地への送電システムの整備などが必要となる。

(例：太陽光は九州に多く、陸上風力は北海道に多い)

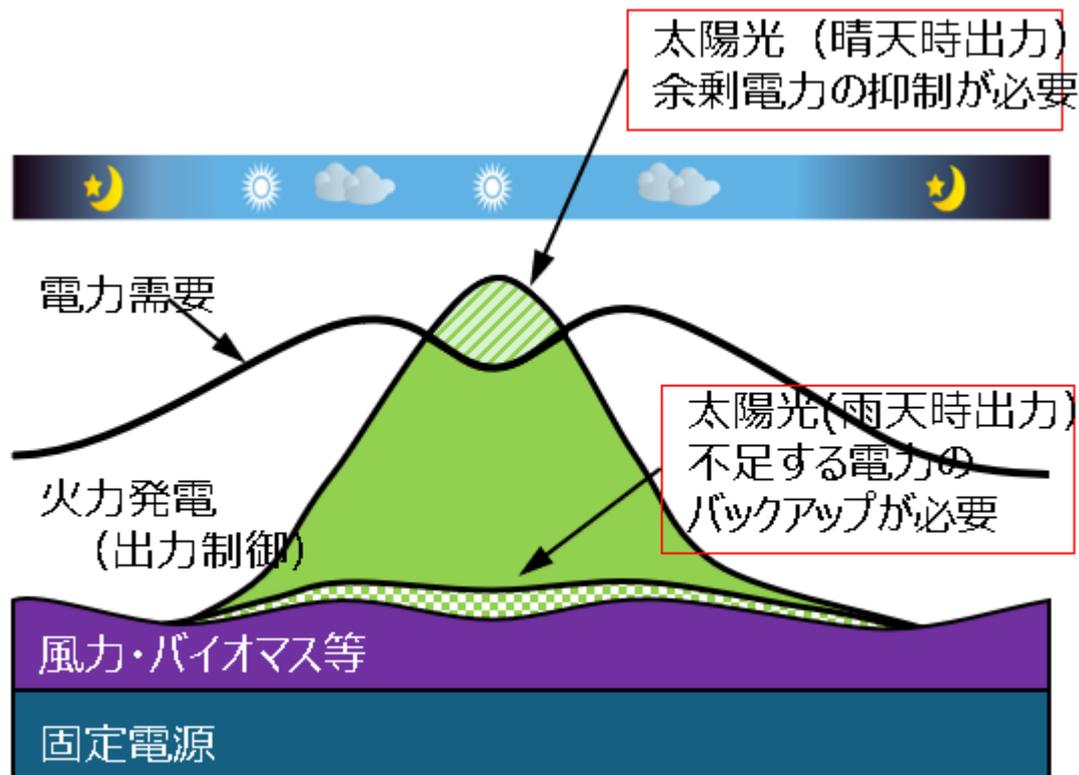


図 93 1日の需給バランス図 出典：CINRAT 令和7年2月15日シンポジウム資料「原子力政策の動向及びGX推進に対する原子力の役割」のp.25 出典不明

以上の要因から再エネ導入には、次のことが主な課題となる。

- ①再エネのコストに加えて変動性に対する調整電源の費用が必要となり、発電にかかるコストは、変動性に対する対策費用を含めたトータルコストで評価することが必要。
- ②調整電源による周波数維持、出力調整能力が必要

### 3.7.3. システムコストの構成要素イメージ

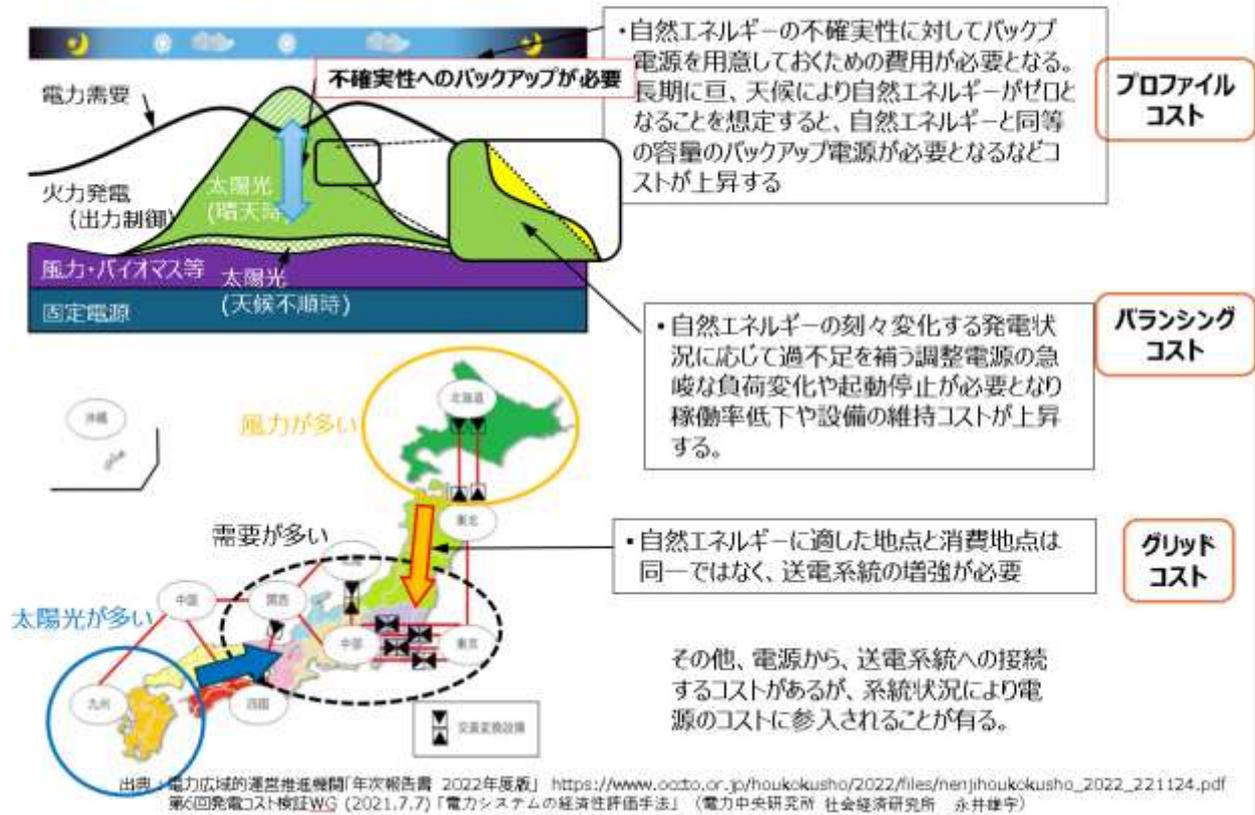


図 94 システムコスト図 出典：電力広域的運営推進機関「年次報告書 2022 年度版」  
([https://www.occto.or.jp/houkokusho/2022/files/nenjihoukokusho\\_2022\\_221124.pdf](https://www.occto.or.jp/houkokusho/2022/files/nenjihoukokusho_2022_221124.pdf))  
等から作成。

### 3.7.4. 変動再エネ導入量によるコスト上昇

#### 【統合コストの一部を考慮した発電コスト】2040年の試算の結果概要

委員試算を踏まえた検証結果。政策支援を前提に達成すべき性能や目標値とも一致しない。

1. 太陽光や風力といった安定した供給が難しい電源の比率が増えていくと、電力システム全体を安定させるために電力システム全体で生じるコストも増加する。電源別の発電コストを比較する際、従来から計算してきた①に加え、一定の仮定を置いて、②も算定した。  
 ①新たな発電設備を建設・運転した際のkWh当たりのコストを、一定の前提で機械的に試算したもの（＝「LCOE」）  
 ②ある電源を追加した場合、**電力システム全体に追加で生じるコスト**（例：他電源や蓄電池で調整するコスト）を考慮したコスト（＝**統合コストの一部を考慮した発電コスト**）
2. 統合コストの一部を考慮した発電コストは、**既存の発電設備が稼働する中で、ある特定の電源を追加した際に電力システムに追加で生じるコスト**を計算している。具体的には、LNG火力など他の電源による調整、揚水や系統用蓄電池による蓄電・放電ロス、再エネの出力制御等に関するコストを加味する。
3. 将来のコストは、燃料費の見直し、設備の稼働年数・設備利用率、ある特定の電源を追加した際に電力システムで代替されると想定される電源の設定（今回は、費用が一番高い石炭火力とした）などの**試算の前提を変えれば、結果は変わる**。今回は、3ケースについて算定。更なる技術革新などが起こる可能性も留意する必要がある。

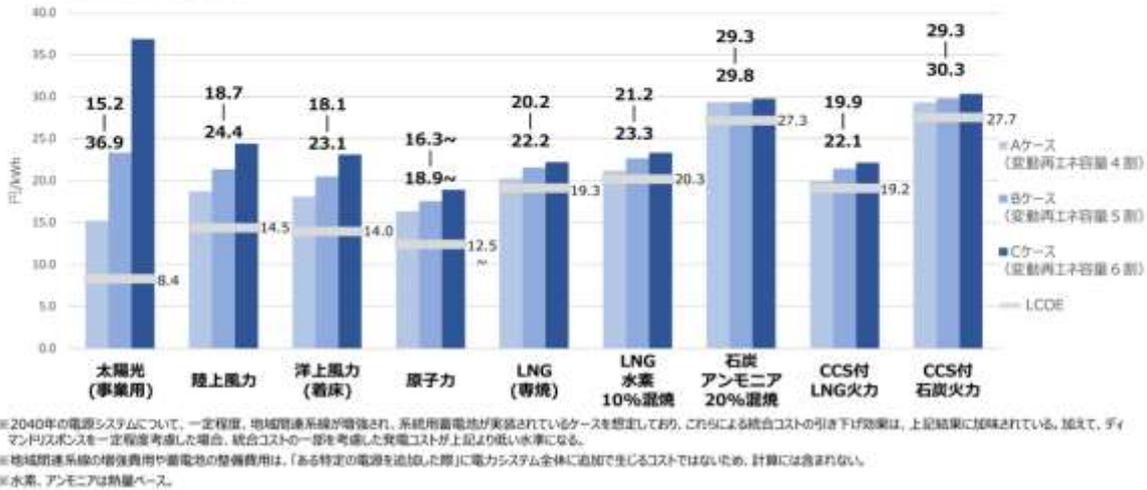


図 95 統合コストを考慮した発電コスト 出典：経済産業省「発電コスト検証に関する議論について（概要）」

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/067/067\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/067/067_004.pdf) (p.6)

### 3.7.5. 原子力発電の出力調整能力

炉型により制御方法が異なるが、現状でも石炭火力並みの性能を持っている。

以下の負荷変化応答能力が有る。

| PWR の出力調整能力                  | BWR の出力調整能力                               |
|------------------------------|---|
| ±5%/分 ランプ状負荷変化               | 2%/分の負荷変化（制御棒による）                         |
| ±10%のステップ状負荷変化               | 30%/分の負荷変化                                |
| 大幅なステップ状負荷急減<br>（50～95%負荷急減） | （再循環流量制御による、65%～100%出力時）<br>30%のステップ状負荷減少 |
|                              | 100%負荷遮断（100%バイパス容量プラント）                  |

図 96 出典：地球環境問題対応検討・提言分科会 フェーズⅡ 成果取りまとめ（最終報告）、日本原子力学会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、2022.5 原子力発電所

の負荷追従運転,若林 二郎ら,日本原子力学会誌 28 卷(1986)10 号 p.913-923 *The ABWR Plant General Description, GE Hitachi Nuclear Energy, 2007/7/1* 等より筆者作成

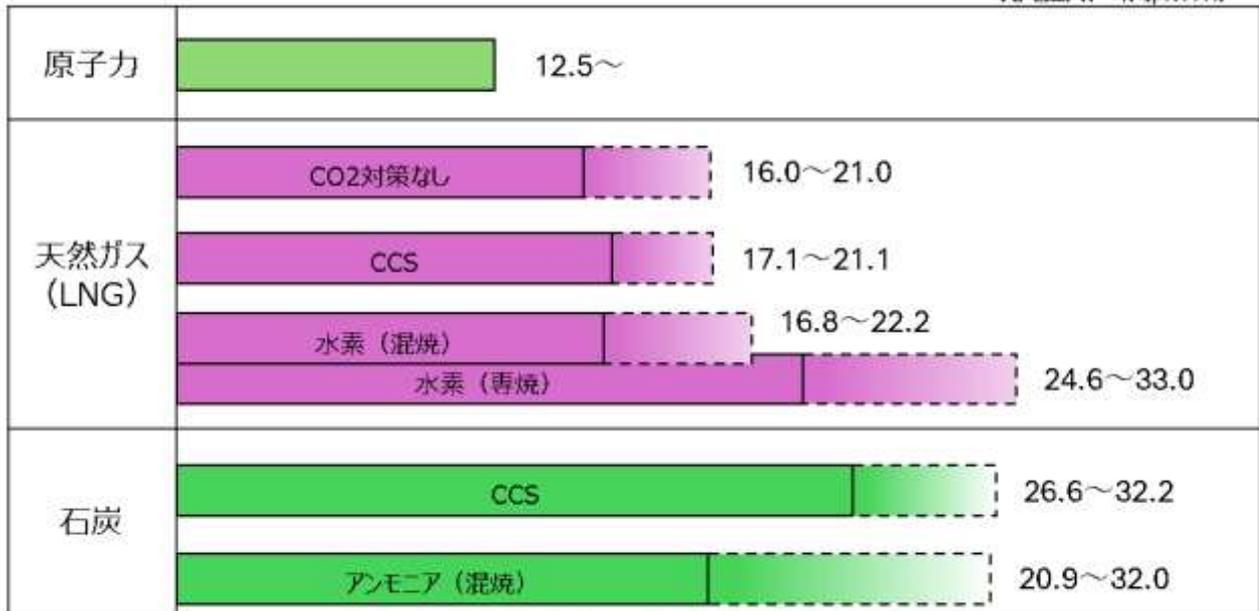
- ・ガバナフリー運転、AFC 運転に対応する性能を有している。
- ・日負荷追従運転についても PWR では 100%～50%出力の範囲での 12-3-6-3 負荷追従運転や、ガバナフリー運転と AFC を重畳した実証試験実施済み。14-1-8-1 の負荷追従能力も確認済み。BWR についても 100%～75%出力の範囲で、可能確認済み。出力調整装置が開発済み。
- ・実用に移行するためには、運用の観点から制御の自動化（開発済み）や制御棒の改良などの取り組みが必要と考えられる。

### 3.7.6. 原子力発電の制御方法・設備改良による更なる出力調整能力の向上

- ・各炉型に応じた出力調整能力向上への取組
- ・PWR の取組
  - ・制御棒の改良：弱吸収制御棒の採用
  - ・ホウ素濃度の自動制御
  - ・出力分布に応じた制御方法の改良等により出力調整能力の向上が可能
- ・BWR の取組
  - ・インターナルポンプの採用
  - ・制御棒の電動駆動化
  - ・再循環流量制御と制御棒を併用した制御
  - ・Zr ライナー燃料の採用による燃料の健全性確保
- ・改良型の APWR の設計においては、既に改良設計が反映されており、十分な出力調整能力を有した設計となっている。また、PWR を採用しているフランスでは出力制御用の制御棒の採用によりガス火力並み出力調整を実施している。
- ・ABWR では既にガス火力並みの出力調整機能が設計されている。
- ・将来的には、出力調整能力の高い新設プラントの建設が、再エネとの共存を図った CN 社会構築には必要。これらの改良は既設プラントへの反映も可能。

### 3.7.7. 原子力のコストと火力発電の CO2 対策にかかる費用の試算

- ・カーボンニュートラル実現のために、火力発電所では CO2 対策が必要となる。
- ・2024 年 12 月 17 日コスト検証 WG により 2040 年での発電コストの暫定評価が公開され、CCS 付 LNG や水素、アンモニア混焼の発電コストは下記の通り
- ・今後の技術として開発が進められている水素、アンモニアはコスト増加要因となっている。
- ・原子力は発電時に CO2 を排出されないことから対策は必要とせずコスト優位性があると言える。



出典：第67回基本政策分科会資料より抜粋、作成

図 97 原子力のコストと火力発電の CO<sub>2</sub> 対策にかかる費用の試算 出典：経済産業省「発電コスト検証に関する議論について（概要）」

([https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/067/067\\_004.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/067/067_004.pdf)) をもとに作成。

### 3.7.8. 1kWh 当たりの発電コスト

- ・石炭火力や LNG 火力のコストは、CO<sub>2</sub>対策費用や燃料費上昇を加味するとコスト高になる。
- ・風力、太陽光は、系統安定化などの課題がありコスト高になる。
- ・原子力発電の発電コストは、燃料費の割合が小さいため、燃料価格に左右されにくい特徴があり、事故のリスクを踏まえた社会的な費用の発生を考慮してもコスト優位性がある。

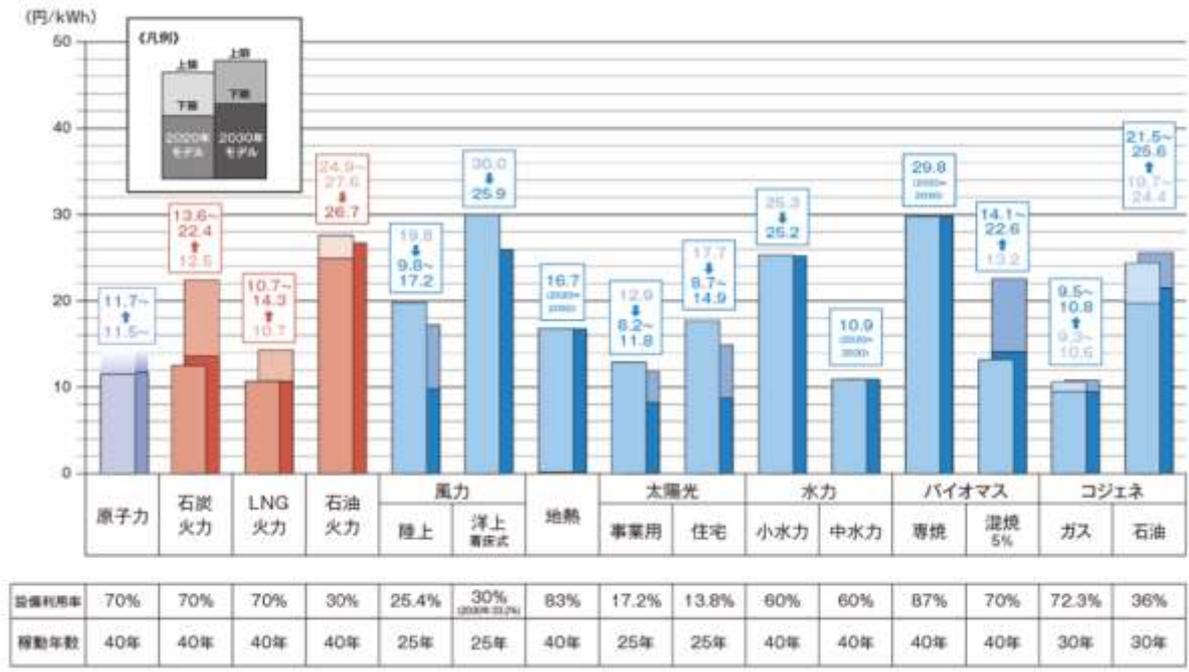


図 98 1kwh 当たりの発電コスト 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/1-2-14>)

### 3.7.9. 高温ガス炉を用いた水素大量製造技術実証

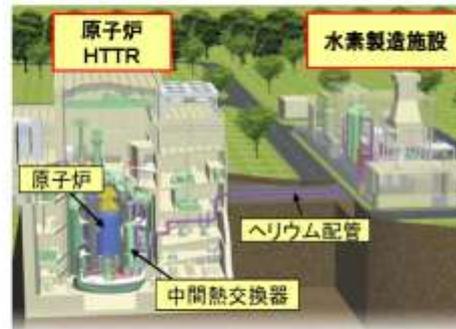
- 令和4年度より、日本原子力研究開発機構（JAEA）所有の**高温ガス炉試験炉（HTTR）の超高温（950℃）を用いた水素製造技術の実証を開始。**

#### 超高温を利用した水素大量製造技術実証

- 800℃以上の脱炭素高温熱源（例えば、高温ガス炉、太陽熱、核融合等）を活用したカーボンフリー水素製造法によって、**2050年には約12円/Nm3で大量の水素を安定的に供給し**、製鉄や化学等での産業利用に繋げることを目指す。
- 高温でも利用可能な高温隔離弁の開発等、**HTTRと水素製造施設を安全に接続する技術開発**を実施。
- 国内外の様々な**カーボンフリー水素製造技術**（IS法、メタン熱分解法、高温水蒸気電解等）の**フィージビリティスタディ**を実施。超高温熱源の活用に適した水素製造技術を検討。
- 並行して、上記で検討した技術の**実用化スケール向けの実現性及び成立性を確認**。



高温熱による産業界への水素活用のイメージ



HTTR-水素製造施設の構成（イメージ）

出典：原子力小委エネルギーをめぐる社会動向と原子力の技術開（令和4.3.28）より抜粋

図 99 出典：資源エネルギー庁「エネルギーを巡る社会動向と原子力の技術開発」

([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/pdf/025\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/025_03_00.pdf)) (p.74)

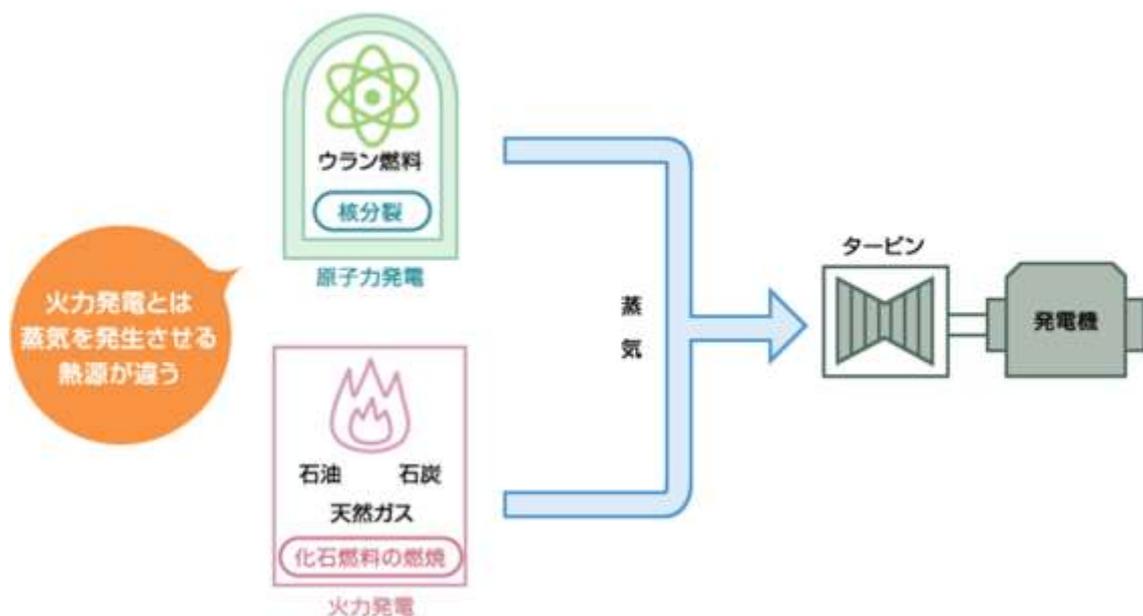
## 4.原子力利用

### 4.1.原子力のエネルギー利用

原子力発電ではウランやプルトニウムを核燃料として連鎖反応（\*）をおこし、大きなエネルギー（熱）を発生させ利用する。発生した熱で蒸気を作り発電するのは火力発電と同じである。

\*ウラン 235 やプルトニウム 239 という物質に中性子がぶつかると原子核が2つに割れて大きなエネルギー（熱）と新たな中性子を放出し（核分裂）、その新しい中性子が他の原子核に当たり、連鎖的に反応が続く（連鎖反応）

■原子力発電と火力発電の違い



出典：電気事業連合会「原子力コンセンサス2015」

図 100 出典：電気事業連合会「原子力コンセンサス2015」

### 4.2.原子力のメリット、デメリット

原子力のメリット

- ・CO<sub>2</sub>を出さず、地球温暖化対策に有効
- ・少量の燃料で大量のエネルギーを得られる
- ・安定して電力供給が可能（天候に左右されない）

原子力のデメリット・課題

- ・放射性廃棄物の処理問題（何万年も安全に管理が必要）
- ・事故のリスク
- ・核兵器への転用リスク（核拡散問題）

| 発電方法       | メリット  | デメリット   | 最適な用途          |
|------------|---|---|----------------|
| 火力発電       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・たくさんの電気を作れるうえに発電量が調整しやすい</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料のほとんどが海外からの輸入</li> <li>・発電時に二酸化炭素を出す</li> </ul> | 変動が大きい部分       |
| 原子力発電      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・少ない燃料で安く、たくさんの電気を作れる</li> <li>・発電時に二酸化炭素を出さない</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・放射性物質の管理を厳重に行う必要がある</li> </ul>                    | ベース部分          |
| 水力発電       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電量が調整しやすい</li> <li>・燃料を輸入する必要がない</li> <li>・発電時に二酸化炭素を出さない</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・降水量の影響を受けやすい</li> </ul>                           | ベース部分<br>ピーク部分 |
| 風力発電・太陽光発電 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料を輸入する必要がない</li> <li>・発電時に二酸化炭素を出さない</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・天候や時間帯によって、発電量が大きく変わり不安定</li> </ul>               | 変動が大きい部分       |



図 101 原子力のメリット、デメリット 出典：四国電力ウェブサイト  
[https://www.yonden.co.jp/cnt\\_landl/1901/promenade.html](https://www.yonden.co.jp/cnt_landl/1901/promenade.html)

#### 4.3.軽水炉(軽水炉安全性向上や革新炉の開発も含める)

現在、わが国で利用されている原子力発電は濃縮ウランを主燃料とし、水を冷却材として使用する「軽水炉」と呼ばれるものである。「軽水炉」は加圧水型軽水炉（PWR）と沸騰水型軽水炉（BWR）の2種類があります。2011年の東電事故を踏まえて地震や津波など大規模な自然災害の対策などを強化した新規制基準による対策工事が行われ徐々に再稼動が行われている。

また、安全性や信頼性等を更に向上させた次世代の原子力発電として「革新軽水炉」の開発が進められている。

原子力発電所稼働状況(2025年7月30日時点)



図 102 原子力発電所稼働状況 出典：電気事業連合会ウェブサイト  
(<https://www.fepec.or.jp/sp/re-operation/>)

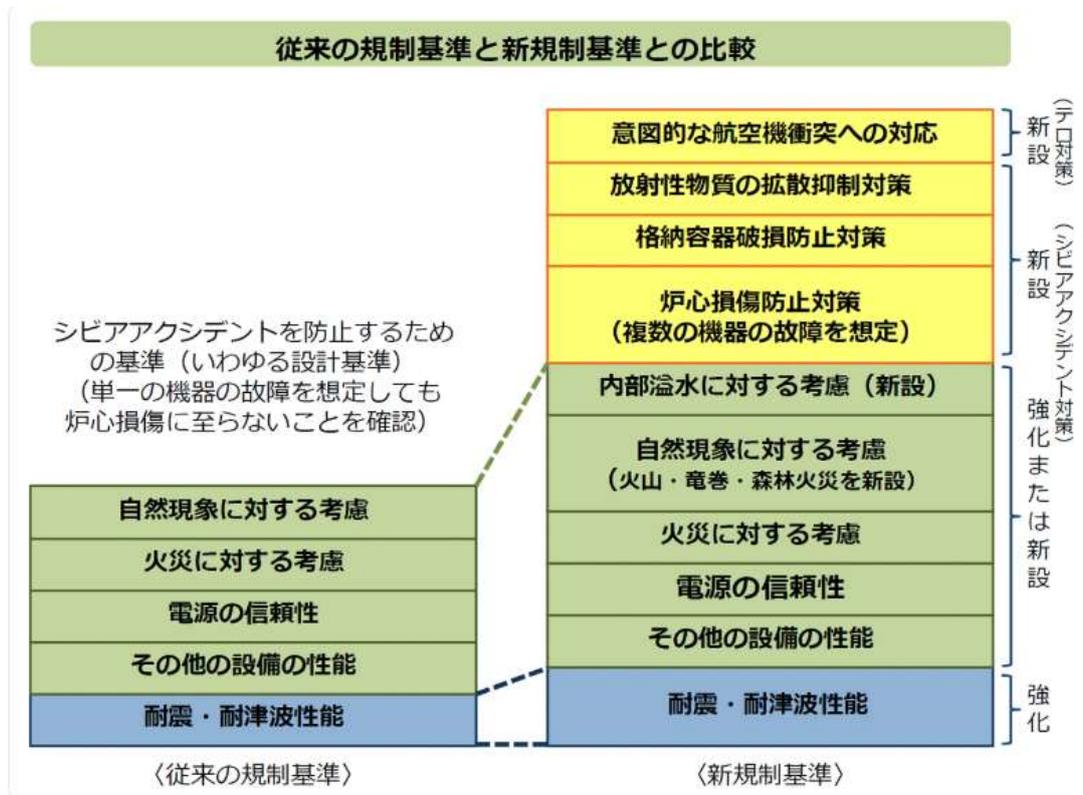


図 103 従来規制基準と新規規制基準との比較 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト  
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/nuclear/shinkijun.html>)

#### 4.4. 革新軽水炉

次世代の原子力発電として、現在の軽水炉をベースに安全性、信頼性等を大幅に向上させた革新軽水炉の開発が進められている。

地震や津波などの自然災害、テロへの対策強化に加え、重大事故時にも炉心溶融（メルトダウン）が起きても放射性物質の敷地外への流出を防ぐための設計が盛り込まれている。また、電力需要の変化に柔軟に対応する運用性向上や、水素製造への対応なども検討されている。

### 国内の革新軽水炉の開発状況

2

- 国内PWR 4 電力と三菱重工業は、革新軽水炉「SRZ-1200」の共同開発を推進しており、2022年9月に基本設計を進めていくことを公表。
- 日立GEや東芝ESSにおいても「HI-ABWR」や「iBR」の開発を推進。

|   |  |                                       |
|---|--|---------------------------------------|
| <b>三菱重工業 SRZ-1200</b><br>電気出力：約1,210MWe | <b>日立GE HI-ABWR</b><br>電気出力：1,350~1,500MWe | <b>東芝ESS iBR</b><br>電気出力：800~1,600MWe |
|---|--|---------------------------------------|



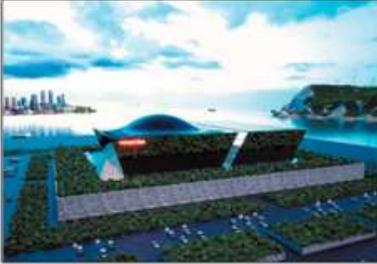


図 104 国内の革新軽水炉の開発状況 出典：原子力エネルギー協議会「革新軽水炉の取り組みについて」([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/pdf/040\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/040_04_00.pdf))(p.2)

### 三菱重工の革新軽水炉“SRZ-1200”



**■ 新設ならではの安全対策と革新技術を採用した世界最高水準の安全性を実現する革新軽水炉“SRZ-1200”の開発を推進**



電気出力: 120万kW級

- ブレーンな技術をベースに、新設ならではの安全対策と革新技術導入により大幅に安全性を向上
- 現行の規制基準に適合し、既に実用化段階
- 万一の事故時にも放射能影響を発電所内に留める

## SRZ-1200

**超安全・安心**

地震／津波／テロに高い耐性を持ち、放射性物質を閉じ込め、影響を発電所内に限定

**地球に優しく**

CO<sub>2</sub>を出さず、柔軟な出力調整で再生可能エネルギーと共存

**大規模な電気を安定供給**

国際情勢、天候に左右されない単国産エネルギー

名称のSRZにはそれぞれ以下の意味を込めています。  
**S** : Supreme Safety (超安全)、Sustainability (持続可能性)  
**R** : Resilient (しなやかで強靱な) light water Reactor (軽水炉)  
**Z** : Zero Carbon (CO<sub>2</sub> 排出ゼロ) で社会に貢献する究極品 (Z)

図 105 三菱重工の革新軽水炉 出典：原子力委員「次世代革新炉の取組みについて」([https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2025/siryu05/2\\_haifu.pdf](https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2025/siryu05/2_haifu.pdf))(p.7)

#### 4.5.高速炉(高速炉の意義や開発状況も含める)

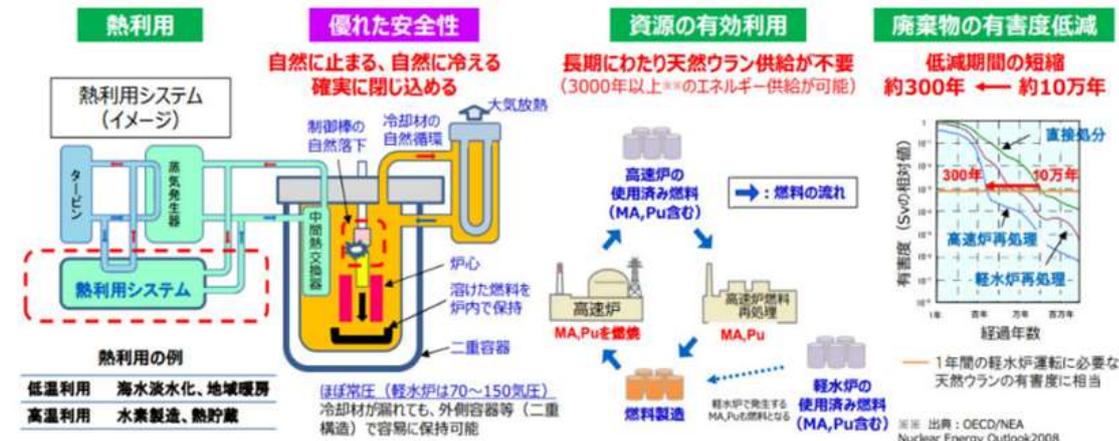
高速炉(\*)は、核分裂で発生する中性子(高速中性子)をそのまま利用して核分裂連鎖反応を維持する原子炉で将来のエネルギー確保や高レベル放射性廃棄物の減量化などに貢献すると期待されている。特に、高速増殖炉(\*)は使った以上の燃料(プルトニウム)を生成することで、ウラン資源の利用効率を大幅に向上させることができ、わが国では原型炉「もんじゅ」を開発し、実験炉「常陽」での研究開発が進められている。

(\*) 高速炉のうち燃料を増殖させる炉を高速増殖炉と呼んでいる。

### ナトリウム冷却高速炉の特徴



|           |  |
|-----------|--|
| <b>定義</b> | ○ 高速中性子により核分裂連鎖反応が維持される原子炉   |
| <b>利点</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 高温(約500~550℃)を活用した熱利用</li> <li>○ 優れた安全性(自然に止まる・冷える・確実に閉じ込める)</li> <li>○ 加圧せずほぼ大気圧であるため、薄肉構造が可能かつ冷却材液位確保が容易</li> <li>○ 資源の有効活用、プルトニウム・MA*燃焼による高レベル放射性廃棄物の減容化、有害度低減</li> </ul> <p style="text-align: right;">*MA:マイナーアクチノイド<br/>半減期が長く、強い放射線を出す</p> |
| <b>課題</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 化学的に活性なナトリウムの取り扱い</li> <li>○ 日本が国際安全基準の議論をリードするも、安全規制等の整備に時間を要する</li> <li>○ 3次元地震装置、MAを含有したウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)燃料の製造技術等の開発</li> </ul>   |



第3回革新炉WG(2022/7/1)、資料3, P.114, 【参考】ナトリウム冷却高速炉の特徴、経済産業省  
([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/kakushinro\\_wg/pdf/003\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/003_03_00.pdf))を加工

19

図 106 ナトリウム冷却高速炉の特徴 出典：資源エネルギー庁「エネルギーを巡る社会動向を踏まえた革新炉開発の課題」

([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/kakushinro\\_wg/pdf/003\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/003_03_00.pdf))(p.114)

- ロシアでは**2016年に実証炉**が商業運転開始。中国では**2023年に実証炉**が稼働（報道情報）。両国とも**2030年代に商用炉**の運転開始を目指す。
- 米（テラパワー社など）・加（ARC社（米））は**2030年頃の実証炉**の運転開始を目指して官民連携にて挑戦
- 仏は革新炉を公募プロジェクトを進めるとともに、**今世紀末までに高速炉サイクルを実現**するためのロードマップを作成中

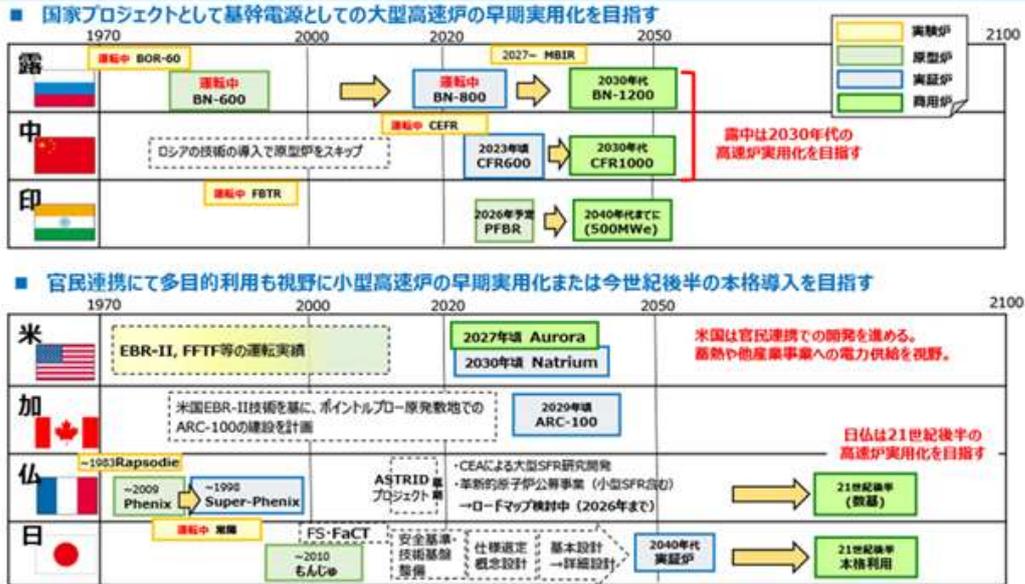


図 107 世界のナトリウム冷却高速炉開発の進展 出典：IAEA

([https://x.com/JAEA\\_japan/status/1953752725122081148](https://x.com/JAEA_japan/status/1953752725122081148))

## 4.6.核燃料サイクル

核燃料サイクルとは、原子力発電で使用済みとなった燃料からウランやプルトニウムを回収し、再び燃料としてリサイクルする一連の工程を指す。資源の少ない我が国は、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルの推進を基本の方針としている。

現在は、軽水炉の使用済燃料を再処理してプルサーマル燃料としての利用（軽水炉サイクル）が進められており、六ヶ所再処理工場（青森県）では本格稼働に向けた使用済燃料を用いたアクティブ試験を行い、新規規制基準適合のための取り組みを実施している。試験段階で処理されたプルトニウムはプルサーマル燃料（MOX 燃料）として再利用されている。

また、将来のエネルギー安定供給を目指し、高速炉を利用した高速炉サイクルの研究開発が実験炉「常陽」を利用して進められている。

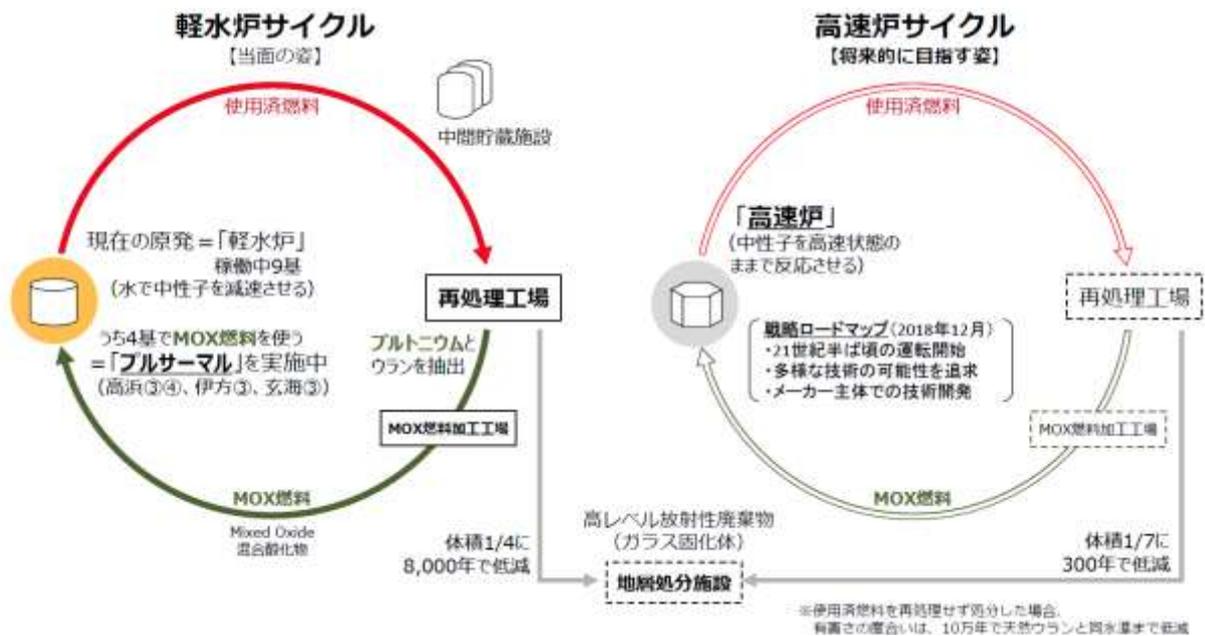


図 108 核燃料サイクル 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト

([https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/rokkasho\\_1.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/rokkasho_1.html))

### 六ヶ所再処理工場



図 109 六ヶ所村再処理工場 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト

([https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/rokkasho\\_1.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/rokkasho_1.html))

再処理により回収したウランやプルトニウムを軽水炉で利用することにより1~2割のウラン資源節約効果が得られ、さらに将来的にプルトニウムの転換効率に優れた高速増殖炉でプルトニウムを利用することができれば、利用効率は格段に向上すると期待されている。

再処理工場の最大処理能力は、800トン・ウラン/年で、これは100万kW級原子力発電所約40基分の使用済燃料を処理する能力に相当する。

#### 高速実験炉常陽



図 110 高速実験炉常陽：写真提供 日本原子力研究開発機構 JAEA ウェブサイト (<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/joyo/>)

高速炉は、運転しながら燃えない「ウラン 238」を燃やせる「プルトニウム 239」に変えることができウラン資源を60倍も有効に利用できることが可能な原子炉で、次世代の原子炉として、国際的な注目の中で安全性や経済性に関する研究開発が進められている。「常陽」は、次世代の燃料や材料の開発や安全性に関する実験等を行うことができる世界的にも貴重な実験炉である。また、がん治療など医療用ラジオアイソトープ製造開発にも取り組んでいる。

#### 4.7. 核セキュリティと核不拡散

エネルギー供給や医療・産業利用などの原子力の平和利用を推進する上で、核セキュリティ（核物質防護）と核不拡散への取り組みが重要である。

- ・核セキュリティ（核物質防護）：核物質や放射性物質の盗難、不正使用、テロ行為からの保護。
- ・核不拡散：核兵器の開発や拡散の防止。

核不拡散の代表的な枠組みとして、核拡散防止条約 NPT（Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons）があるが、核兵器保有国を増やさないために、核物質の兵器転用防止を目指した条約である。核兵器の保有を米国、ロシア、英国、フランス、中国の 5 カ国に限定し、条約に参加する非核保有国は、国際原子力機関（IAEA）による査察受け入れが義務付けられている。

核セキュリティと核不拡散は、核の脅威を減らし世界の安全を守るために欠かせない取り組みであり、国際協力が重要な鍵を握っている。

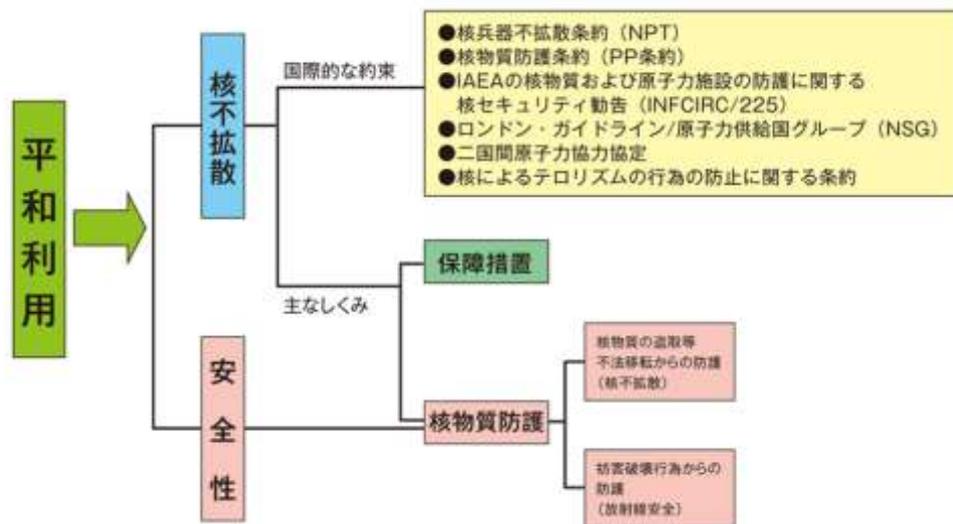


図 111 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/9-2-1>)

## 4.8. 核融合エネルギー

### 4.8.1. 核融合の原理

核融合とは、水素のような軽い原子核同士がくっついて（融合して）、ヘリウムなどのより重い原子核に変わる際にエネルギーを放出する反応であり、太陽がその例である。

地球上で実施が期待される核融合反応として、重水素（D）と三重水素（T）の原子核の融合がある。この融合により、ヘリウムと中性子が生じ、その際に核融合 1 グラムあたりで石油 8 トン相当のエネルギーの放出がある。

地球上には、原料となる重水素は海水等に多く存在する。一方、トリチウムは自然界にあるものの少量であり、核融合の際に発生した中性子により、ブランケット内に配置したリチウムに衝突させることでトリチウムを生産することが可能である。その際に中性子が不足しないように中性子の増倍も行う。

重水素は海水中に 48 兆トン以上があり、事実上無尽蔵といえる。また、リチウムは海水中に 2,330 億トンがあり、これは数千万年分の燃料に相当し、核融合の利用可能年数は、数百万～数千万年規模あるといわれている。

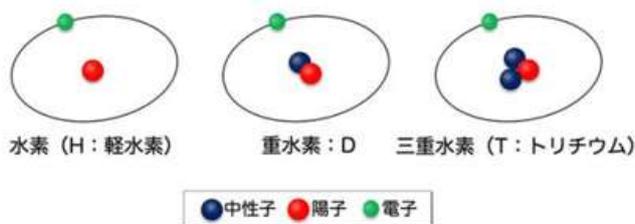


図 112 出典：量子科学技術開発機構ウェブサイト(<https://www.qst.go.jp/site/jt60/4933.html>)

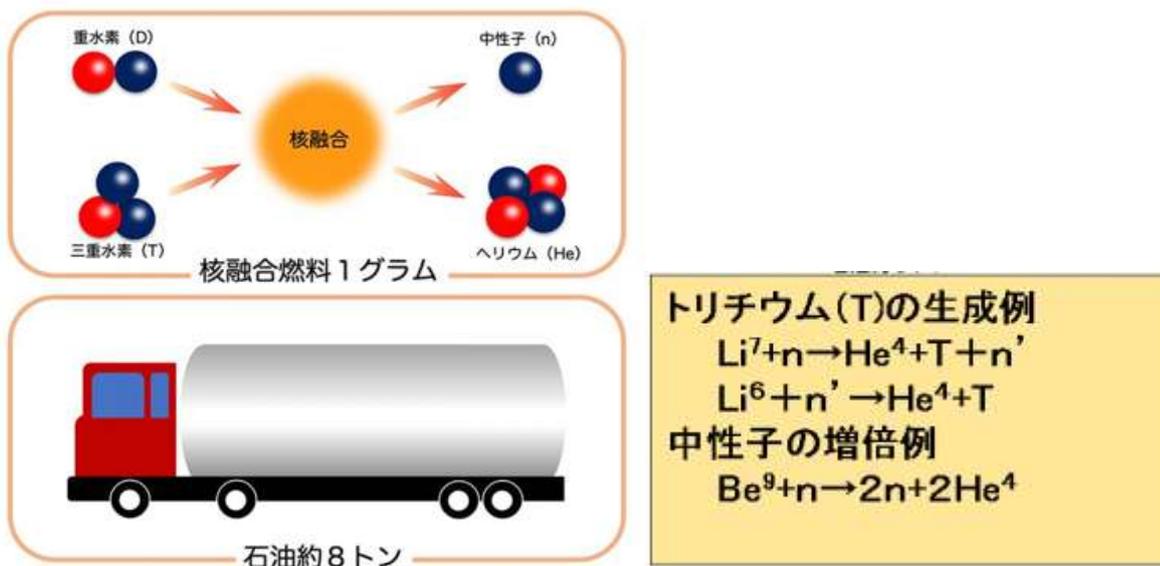


図 113 出典：国立研究開発法人量子科学技術開発機構ウェブサイト  
 (<https://www.qst.go.jp/site/jt60/4935.html>)

#### 4.8.2. 核融合エネルギーの利点と課題

核融合エネルギーの利点と課題を整理すると下記となる。

##### (利点)

実現できれば、人類のエネルギー問題を根本から解決できる可能性を秘めたエネルギー源として期待される。

##### 1. エネルギー問題の解決

- ・化石燃料への依存からの脱却
- ・資源の偏在や枯渇の心配がない
- ・高効率なエネルギー（核融合 1g で、石油約 8 トンに相当のエネルギー生成）

##### 2. 環境問題の解決

- ・燃焼時に CO<sub>2</sub> を排出しないため、地球温暖化対策に貢献
- ・核融合の廃棄物は、放射能の減衰が早く、高レベル放射性廃棄物も出ない

##### 3. 安全性の向上

- ・核融合は、暴走や爆発の危険性が低い
- ・ウランなどの核物質を必要としないため、核拡散の問題は生じない

##### 4. エネルギー安全保障の強化

- ・エネルギー源の多様化が可能。特定の国への依存が減少
- ・核融合発電は、天候に左右されずに安定した電力を供給可能

##### (課題)

核融合の実現には、超高温・高圧状態の維持、プラズマの制御、高強度磁場や特殊材料の開発など、多くの技術的な課題とともに、経済的な課題も大きい。これらの課題を克服するため、世界協力（日本、欧州（EU）、アメリカ、ロシア、中国、韓国、インドの 7 極が参加）で ITER 計画の実施の他、世界中で研究開発が進められているが、商業的にエネルギーを取り出すまでの実用化にはまだ時間がかかると考えられる。

##### 1. 技術的な課題：

- ・超高温・高圧状態の維持：核融合を起こすには、1 億度を超える超高温状態を維持する必要がある。しかし、現在の技術では、この高温に耐えられる炉壁の開発や、プラズマを安定して閉じ込める技術が課題である。
- ・プラズマの制御：核融合反応はプラズマという特殊な状態で行われるが、このプラズマを安定的に閉じ込め、制御することが非常に難しく、不安定になると閉じ込めが解けて反応が止まってしまう可能性がある。
- ・特殊材料の開発：高温、高圧、高放射線環境に耐える炉壁材料や、強力な磁場を発生させるための超伝導コイルなど、特殊な材料の開発も必要

##### 2. 経済的な課題：

巨額のコスト：核融合炉の建設には、莫大なコストがかかる。例えば、国際熱核融合実験炉（ITER）の建設には、数兆円規模の費用が投じられている。

最近、米国の核融合スタートアップ企業を中心に、2030 年前後での核融合実用化を掲げ、多様な炉型の開発への挑戦が発表されているが、核融合反応の連続化や、投入したエネルギー量を超えるエネルギーの回収など解決すべき課題もある。

## 4.9. 放射性廃棄物の処理・処分

### 4.9.1. 放射性廃棄物の処理・処分

放射性廃棄物は、人間の生活環境に影響がないように、廃棄物の種類と放射性物質の放射能レベル（放射能濃度）に応じて適切な処分を行う。

| 廃棄物の種類          |                          | 廃棄物の例           | 発生場所            | 処分の方法(例)                       |
|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|
| 低レベル放射性廃棄物      | 発電所廃棄物                   | 放射能レベルの極めて低い廃棄物 | 原子力発電所          | トレンチ処分                         |
|                 |                          | 放射能レベルの比較的低い廃棄物 |                 | ピット処分                          |
|                 |                          | 放射能レベルの比較的高い廃棄物 |                 | 中深度処分                          |
|                 | ウラン廃棄物                   | 消耗品、スラッジ、廃器材    | ウラン濃縮・燃料加工施設    | 中深度処分、ピット処分、トレンチ処分、場合によっては地層処分 |
|                 | 超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物) | 燃料棒の部品、廃液、フィルター | 再処理施設、MOX燃料加工施設 | 地層処分、中深度処分、ピット処分               |
| 高レベル放射性廃棄物      |                          | ガラス固化体          | 再処理施設           | 地層処分                           |
| クリアランスレベル以下の廃棄物 |                          | 原子力発電所解体廃棄物の大部分 | 上に示した全ての発生場所    | 再利用/一般の物品としての処分                |

図 114 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/8-1-4>)

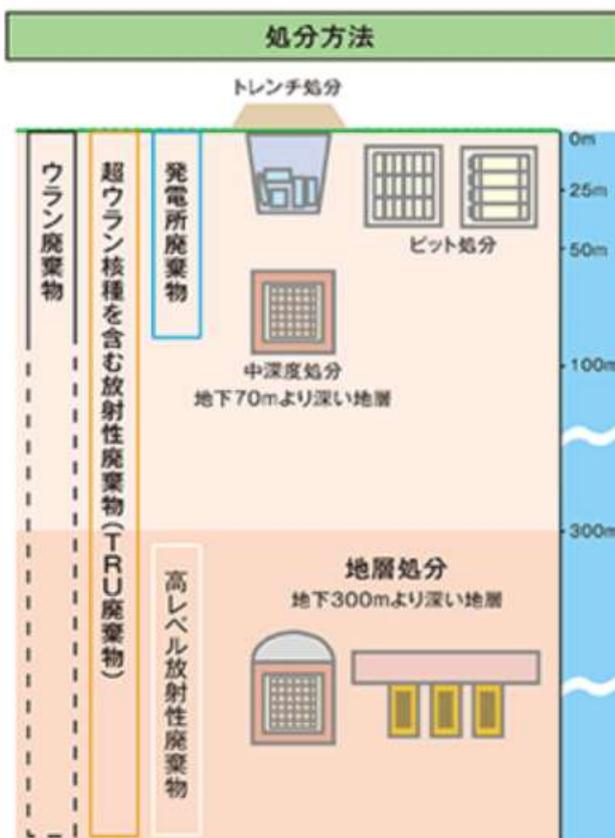


図 115 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/8-1-5>)

#### 4.9.2. 高レベル放射性廃棄物の処理・処分

高レベル放射性廃棄物については、将来、人間や自然環境に影響を及ぼさないよう、生活環境から長期間にわたり隔離する必要があります。地下 300m より深い適切な条件を持つ地層に多重バリアシステムを構築して埋設する「地層処分」が計画されている。

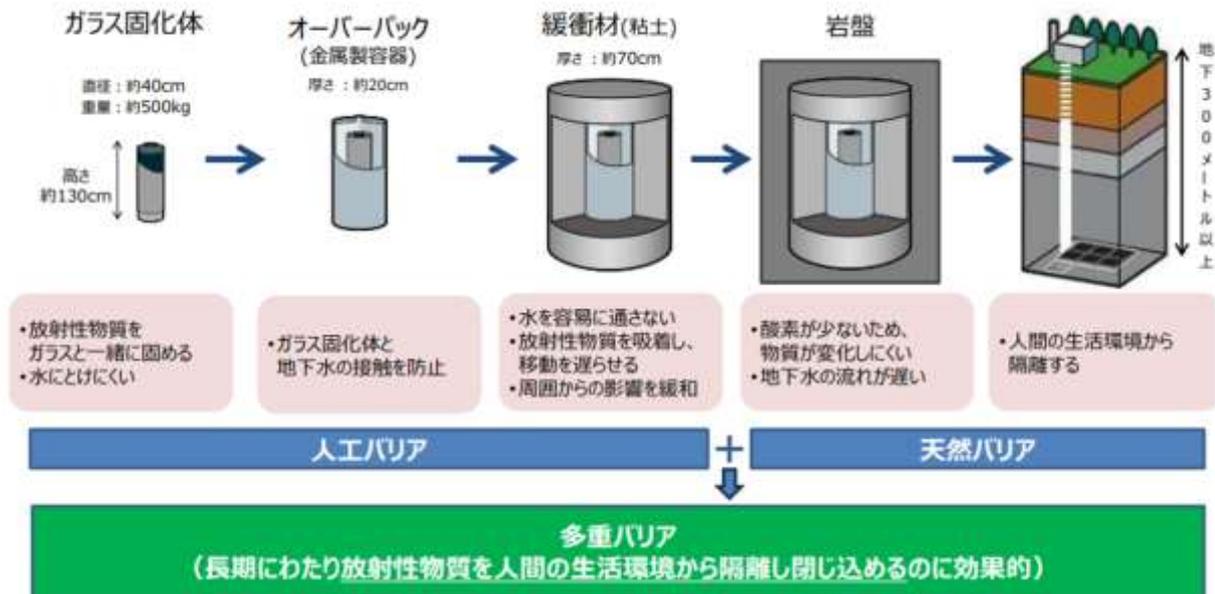


図 116 出典：NUMO「高レベル放射性廃棄物の地層処分について」([https://www.numo.or.jp/pr-info/to\\_media/pdf/houshaseihaikibutsu\\_shobun\\_20250509.pdf](https://www.numo.or.jp/pr-info/to_media/pdf/houshaseihaikibutsu_shobun_20250509.pdf))(p.26)

#### 4.9.3. 最終処分選定プロセス

最終処分地の選定にあたっては、文献調査、概要調査、精密調査を実施の上、建設地の選定が行われる。日本においては、処分実施主体である NUMO（原子力発電環境整備機構）により、全国の市町村を対象に処分地の公募が行われている。現在は、北海道の寿都町と神恵内村、佐賀県の玄海町において、地質図や学術論文などの文献・データをもとにした文献調査が進められている。



図 117 出典：NUMO「高レベル放射性廃棄物の地層処分について」([https://www.numo.or.jp/pr-info/to\\_media/pdf/houshaseihaikibutsu\\_shobun\\_20250509.pdf](https://www.numo.or.jp/pr-info/to_media/pdf/houshaseihaikibutsu_shobun_20250509.pdf))(p.57)

#### 4.9.4. 最終処分プロセスの諸外国の進捗状況

最終処分については、各国で検討が進められており、ここ数年で最終処分地が決定している国が増えている。最も進んでいるのが、フィンランドであり、建設が行われ 2024 年 8 月より試運転が開始されている。

| ○最終処分地が決定している国 |  |
|----------------|--|
| ・フィンランド        | ：1983年より選定開始。2000年に処分地（オルキオト）を決定。<br>2015年11月に処分施設建設を許可。 <b>2016年12月建設開始、2024年8月より試運転開始。</b>         |
| ・スウェーデン        | ：1977年より選定開始。2009年に処分地（フォルスマルク）を選定。<br>2022年1月に施設建設計画を承認。 <b>2025年1月より建設開始。</b>                      |
| ・フランス          | ：1983年より選定開始。 <b>2023年1月にビュール近郊の処分地設置を申請。</b>  |
| ・スイス           | ：2008年より選定開始。 <b>2022年9月にNAGRAが北部レグレンを候補地として提案、2024年11月に最初の許認可手続きとなる「概要承認」の申請書を連邦エネルギー庁（BFE）へ提出。</b> |
| ・カナダ           | ：2010年より選定開始。 <b>2024年11月にNWMOが「WLON-イグナス・エリア」を処分地として選定。</b>   |



図 118 出典：NUMO「高レベル放射性廃棄物の地層処分について」([https://www.numo.or.jp/pr-info/to\\_media/pdf/houshaseihaikibutsu\\_shobun\\_20250509.pdf](https://www.numo.or.jp/pr-info/to_media/pdf/houshaseihaikibutsu_shobun_20250509.pdf))(p.65)

#### 4.9.5. クリアランス制度

放射能濃度が極めて低く（自然放射線の200分の1以下の影響）、人の健康への影響を無視できる「放射性物質として扱う必要のないもの（クリアランス対象物）」として、一般の廃棄物と同様に再利用や処分できる制度を、「クリアランス制度」という。

原子力発電所で発生する廃材等のうち、約93%は放射性廃棄物でない廃棄物、約5%がクリアランス対象物、約2%が低レベル放射性廃棄物である。

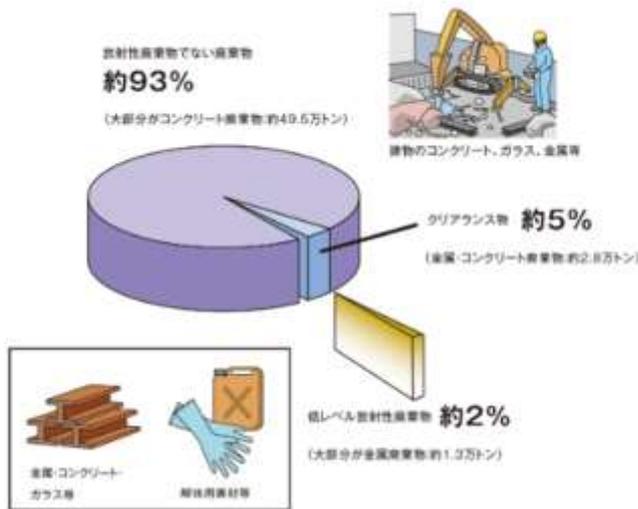


図 119 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト (<https://www.ene100.jp/zumen/9-1-2>)

#### ■放射線を受ける量の比較

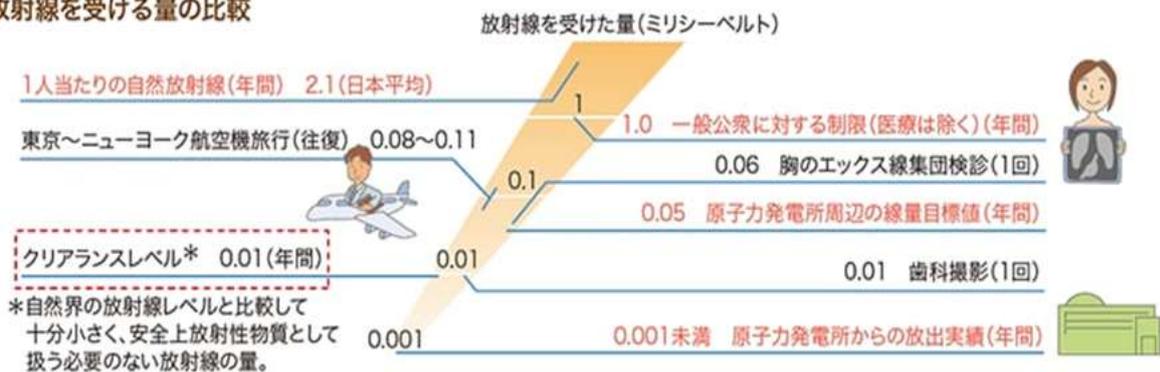


図 120 出典：UNSCEAR 2008 report、(公財)原子力安全研究協会「新版 生活環境放射線(国民線量の算定)」ほか

#### 4.9.6. クリアランスの利用例

クリアランスの利用の検討については、福井県が最も進んでおり、学生たちも参加してその利用のアイデアを出したりしている。廃炉の本格化に伴い、非常に重要な取組である。



図 121 クリアランス利用例 出典：福井県嶺南 E コースト計画室「嶺南 E コースト計画と原子力サイクルビジネス」([https://www.mext.go.jp/a\\_menu/kaihatu/gensi/tis/pdf/4-1.pdf](https://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/gensi/tis/pdf/4-1.pdf))(p.13)

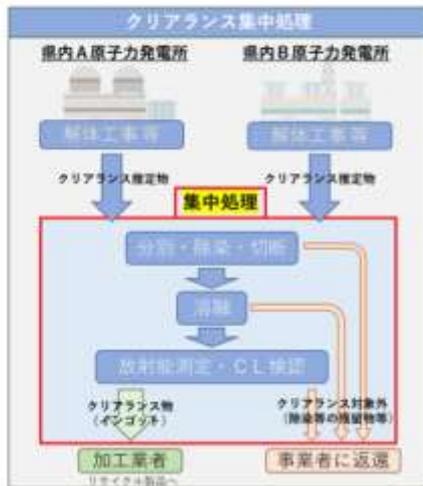
#### 4.9.7. 参考資料

##### 1) 原子力リサイクルビジネスに係る取組

欧州では、原子力発電所から出る金属のリサイクルを実施する企業があるが、我が国では、2025年8月に、福井県に原子力リサイクルビジネス準備株式会社が発足した。

#### (参考) 原子力リサイクルビジネスに係る取組

- 欧州では、原子力発電所から生じる金属のリサイクルを目的とする溶融処理サービスを提供している企業が存在。
- 我が国でも、福井県が中心となり、**クリアランス推定物を複数の発電用原子炉設置者から受け入れ、集中処理施設で溶融し、原子力規制委員会の検認を受ける事業**の具体化を進めている。
- **クリアランスプロセスの効率化は重要な課題**であり、この実現に向け、規制対応を含め必要な検討を進めていくことが重要。
- 資源エネルギー庁としても、福井県原子力リサイクルビジネス準備株式会社に対し、集中処理施設の詳細設計等に対する補助を実施しているところ（令和7年10月交付決定）。



#### (海外事例) Cyclife Sweden社のSMA

- 金属溶融施設SMAは、スウェーデン南東の沿岸にあるニーショーピン自治体のスタスビック・テクノパークと呼ばれる産業エリアにあり、1987年から操業。
- 溶融を円滑に進めるため、英国西部のワーキントンにある大型金属機器の前処理施設MRFと一体的に運用されている。



溶融炉

(出典) 令和5年度放射性廃棄物共通技術調査等事業放射性廃棄物海外総合情報調査報告書

#### (国内の動き)

福井県原子力リサイクルビジネス準備株式会社 設立 (2025年8月1日)



図 122 原子力リサイクルビジネスに係る取組 出典：資源エネルギー庁「日本における廃止措置や放射性廃棄物の処理・処分に関する政策動向」

([https://www.mext.go.jp/a\\_menu/kaihatu/gensi/tis/pdf/1-3.pdf](https://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/gensi/tis/pdf/1-3.pdf))(p.13)

2) 原子力発電所の廃止措置に伴う廃棄物量

原子力発電所の廃止措置をした場合の廃棄物量としては、下記の量が発生すると試算されている。

単位: ton

| 区分 | 商業用原子力発電所<br>(57プラント)の合計 |          |
|----|--------------------------|----------|
| L1 | 約8,000                   | LLW合計:   |
| L2 | 約63,000                  | 約450,000 |
| L3 | 約380,000                 | ⇒約2%     |
| CL | 約890,000                 | CL:約5%   |
| NR | 約18,500,000              | NR:約93%  |
| 合計 | 約20,000,000              | 合計:100%  |

【注】東海発電所、浜岡1,2号機は実態調査を反映。それ以外は標準プラント(BWR/PWR×大中小規模)の評価データをもとに積算・集計。(建設中の2プラントは含まない)

単位: ton

| 区分 | BWR<br>小規模 | BWR<br>中規模 | BWR<br>大規模 | PWR<br>小規模 | PWR<br>中規模 | PWR<br>大規模 | GCR     |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|
| L1 | 50         | 70         | 80         | 120        | 190        | 200        | 1,540   |
| L2 | 760        | 830        | 850        | 710        | 1,230      | 1,720      | 8,950   |
| L3 | 5,530      | 6,750      | 11,810     | 1,850      | 2,570      | 4,040      | 12,300  |
| CL | 9,710      | 9,750      | 28,490     | 3,970      | 8,080      | 11,660     | 41,100  |
| NR | 130,620    | 220,430    | 495,420    | 187,150    | 215,750    | 477,300    | 128,700 |
| 合計 | 146,670    | 237,830    | 536,650    | 193,810    | 227,820    | 494,920    | 192,400 |

図 123 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 出典：電気事業連合会「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」  
(<https://www2.nra.go.jp/data/000293617.pdf>)(p.7)

3) 日本で発生する廃棄物の量

日本で発生する一般廃棄物や産業廃棄物に比べ、放射性廃棄物は1日あたりの発生量が圧倒的に少ない。

## 日本で発生する廃棄物の量

|        | 発生廃棄物量(トン/日)                              |           | 備考             |
|--------|---|-----------|----------------|
| 一般廃棄物  | 主に家庭から排出される生ゴミ、粗大ゴミ<br>およびオフィスから排出される紙くず等 | 117,057   | 平成29年度実績       |
| 産業廃棄物  | 事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、<br>廃プラスチック、廃酸、廃アルカリ等   | 1,060,274 | 平成28年度実績       |
| 放射性廃棄物 | 原子力施設の運転、保守等に伴って<br>発生する放射性的の廃棄物          | 高レベル 1.4  | 平成12~18年<br>推定 |
|        |   | 低レベル 44   | 平成29年度実績       |

図 124 日本で発生する廃棄物量 出典：日本原子力文化財団ウェブサイト  
(<https://www.ene100.jp/zumen/8-1-2>)

## 5.原子力・放射線の多様な利用

国内における原子力の利用は、原子力発電などエネルギー利用と、医療、工業、農業などの放射線利用が、経済規模では、それぞれ約4兆円超と、ほぼ半々の規模での利用が行われている。

### 5.1.放射線の多様な利用

#### 5.1.1.放射線利用の経済規模

原子力・放射線利用の経済規模については、内閣府による10年ごとの調査が行われている。

ここでは、2005年度（平成17年度）と2015年度（平成27年度）の調査結果を取り上げる。

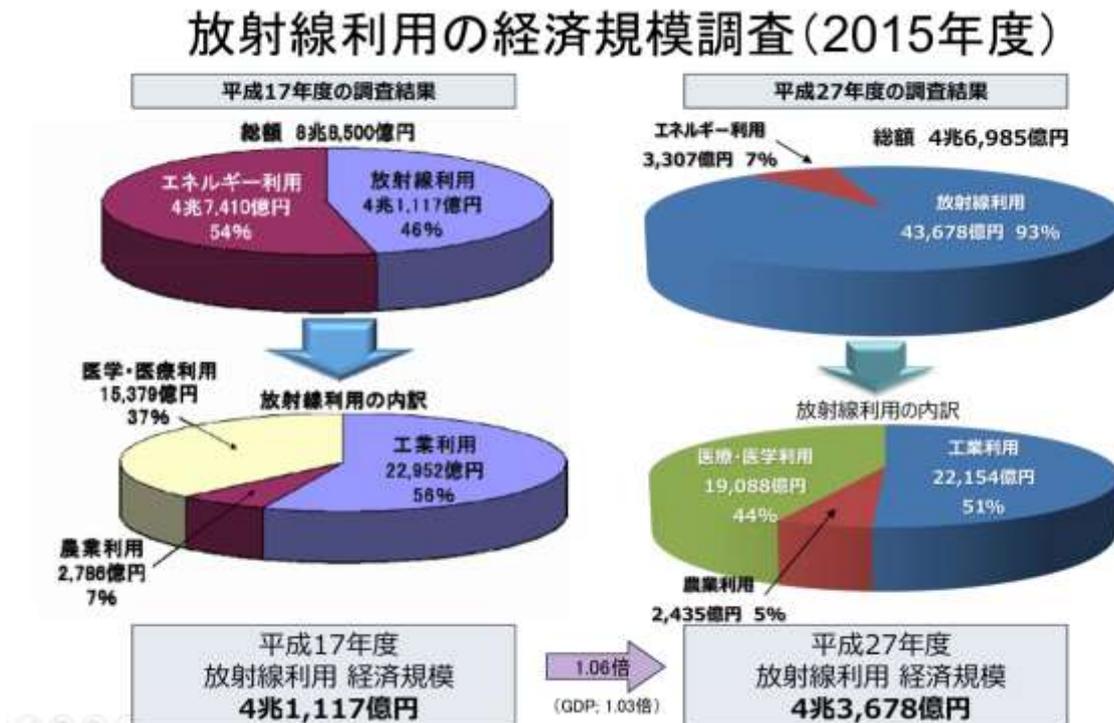


図 125 出典：内閣府「放射線利用の経済規模調査（平成27年）」

([https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2017/siryu29/1-1\\_haifu.pdf](https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2017/siryu29/1-1_haifu.pdf))(p.11)

平成17年（2005年）の調査では、次のような特徴があった。

- ・経済規模がエネルギー利用と放射線利用が同等規模
- ・最先端の研究会は鵜を支える技術として、理学、工学、医療、農学等の様々な分野において学術の進歩、国民の生活や健康の水準向上、産業振興などに貢献。

出所：第22回原子力委員会 資料第1-1 高度放射線利用技術について

2011年の大震災以後、定期検査に入った原子力発電所が順次停止していき、2014年度には原子力発電量はゼロとなった。

2015年8月に川内1号が、9月に川内2号が新規規制基準に合格した原子力発電所として再稼働した。2015年度の内閣府の統計で、エネルギー利用が7%にとどまっているが、新たな安全規制をクリアした原子力発電所が再稼働することによって、その経済規模も拡大している。

原産協会の2023年度統計によると

●原子力（発電等）に関わる直近の産業規模・支出（電力会社の支出＋電気事業者以外の売上）は、約4.0兆円（＝約3.99兆円、2023年度ベース）。電力事業者の原子力関連支出が約2.05兆円、電力事業者以外（部品・建設等）の原子力関連売上が約1.94兆円。また受注残高は約2.24兆円。  
（一般社団法人 日本原子力産業協会）

このように2023年には、原子力エネルギー利用と放射線利用が、経済的にはほぼ同規模に戻った。

●放射線利用（工業・医療・農業等）についての公的な包括的調査（政府系）の最新フル集計は、2015年度（平成27年度）の調査で、当時の合計は約4.37兆円（工業：約2.22兆円、医療：約1.91兆円、農業：約0.24兆円）

### 平成27年(2015年)度の放射線利用の経済規模



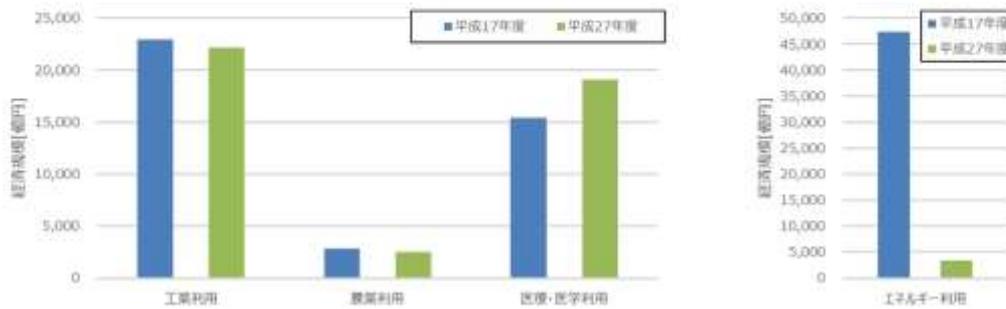
図 126 出典：内閣府「放射線利用の経済規模調査（平成27年）」  
([https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2017/siryu29/1-1\\_haifu.pdf](https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2017/siryu29/1-1_haifu.pdf))(p.12)

#### 5.1.2.放射線利用の具体例

2005年（平成17年）と2015年（平成27年）の原子力・放射線利用の特徴が次のように記述されている。

この時点では、エネルギー利用については、多くの原子力発電所が運転停止していることを要因に挙げているが、前述の原産協会による2023年度ベースでは約4兆円となっている。

## 6. 前回調査からの変化と本調査の特徴



- 工業利用
  - ✓ 若干の減少。工業利用の中でも、最も大きい半導体加工が減少したことが要因。
  - ✓ 工業利用の中でも、医療機器の減価や診断・治療機器は増加。
- 農業利用
  - ✓ ほぼ横ばい。農業利用の中でも、最も大きいイネの突然変異育種がほぼ横ばいであることが要因。
- 医療・医学分野
  - ✓ 大幅な増加。医科における放射線利用での大幅な増加が要因。
  - ✓ また、CT・PETによるがん診断、粒子線治療でも若干の増加。
- エネルギー利用
  - ✓ 大幅な減少。エネルギー利用の中で大きな原子力発電について、多くの原子力発電所の運転が停止していることが要因。

図 127 様々な分野における放射線利用の具体例 出典：内閣府「放射線利用の経済規模調査（平成27年）」([https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2017/siryu29/1-1\\_haifu.pdf](https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2017/siryu29/1-1_haifu.pdf))(p.14)

令和6年版の原子力白書には、放射線利用について次の通り、要約されている。

## 令和6年版原子力白書（2024年度）

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p><b>【医療】</b></p> <p>〈放射線による診断〉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○レントゲン</li> <li>○X線CT</li> <li>○PET</li> <li>○シンチグラフィ（SPECT）</li> </ul> <p>〈放射線による治療〉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○X線治療</li> <li>○ガンマナイフ</li> <li>○粒子線治療</li> <li>○水の素中性子捕捉療法（BNCT）</li> <li>○核医学治療（RI内服療法）</li> </ul> <p>PET-CT検査<br/>CT画像</p> | <p><b>【工業】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○材料の改良・機軸性材料の創製（自動車タイヤ、半導体素子加工プロセス等）</li> <li>○精密計測</li> <li>○非破壊検査</li> <li>○滅菌・殺菌等（医療器具等）</li> </ul> <p>半導体の製造<br/>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</p> <p>ラジアルタイヤの製造<br/>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</p> | <p><b>【農業】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○品種改良</li> <li>○食品照射</li> <li>○害虫防除</li> </ul> <p>画柄ナシ品種の開発<br/>黒斑病への耐病性を有するナシ品種「ゴールド二十世紀」</p> <p>ウリムバエの駆絶<br/>放射線照射により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</p> |
| <p><b>【科学技術】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○X線・中性子等の量子ビームによる構造解析、材料開発等</li> <li>○RIイメージングによる過剰解析</li> </ul> <p>大強度陽子加速器施設 J-PARC<br/>イタゴの RIイメージング</p>  | <p><b>【核セキュリティ】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○核燃料技術（核物質等の出所 履歴 輸送経路 目的等の分析 解析）</li> <li>○隠匿された核物質等の検出</li> </ul> <p><b>【環境保全】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○窒素酸化物、硫黄酸化物等の分解、除去</li> <li>○ダイオキシンの要因となる揮発性有機化合物の分解等</li> </ul>          |  |

図 7-5 様々な分野における放射線利用の具体例

（出典）河地有木、RIイメージングの研究について～植物RIイメージング研究と未来の農業に資する栽培技術の創出に向けて～、第12回原子力委員会【資料第1号】（2025年）、基本コンセプト、J-PARCウェブサイト（2025年）、国産初の次世代フォトンカウンティングCTを目指した臨床研究開始、国立がん研究センターウェブサイト（2025年）、医学部附属病院、山形大学ウェブサイト（2025年）、先端半導体研究センターについて、産業技術総合研究所ウェブサイト（2025年）、作物研究部門、農業・食品産業技術総合研究機構ウェブサイト（2025年）、侵入生物データベース、国立環境研究所ウェブサイト（2025年）を基に内閣府作成

図 128 出典：原子力委員会「令和6年版 原子力白書」

(<https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2024/pdf/zentai.pdf>)(p.197)

医療用ラジオアイソトープ（RI）製造に活用されている中性子照射施設およびJAEAの試験研究炉（JRR-3）と高速実験炉「常陽」において、Mo-99やAc-225の製造が可能とされている。

## エネルギー利用以外（医療用）での原子力の活用

- 原子炉はエネルギー利用のみならず、医療分野で利用される放射性同位体（RI）の製造に活用することが可能。
- 日本原子力研究開発機構（JAEA）の試験研究炉「JRR-3」や高速実験炉「常陽」において、RI製造が可能。

①大量生産：中性子の密度が高く、加速器に比べて大量のRI製造が安価に製造可能

原子炉と加速器でのモリブデン（Mo-99）の製造量・コスト面比較

|                   | 製造量(μg) | コスト(円/μg) |
|-------------------|---------|-----------|
| 原子炉(JRR-3) ※年間当たり | 3,900   | 1,000     |
| 加速器 ※1照射当たり       | 42      | 33,000    |

モリブデン（Mo-99）：核医学検査でがん転移の発見等に利用  
※JRR-3、常陽にて製造可能

②希少なRI：高速中性子を活用して、希少なRI製造が可能

例：がん治療に使えるアクチニウム（Ac-225）の製造が可能

アクチニウム（Ac-225等）：アルファ内用療法によるガン治療等に利用  
※常陽にて製造可能

| 試験研究炉「JRR-3」   | 高速実験炉「常陽」  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 日本原子力研究開発機構（東海村）にある研究用原子炉。</li> <li>▶ 2017年新規制基準適合性にかかる許可取得。2021年運転再開。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 日本原子力研究開発機構（大洗研究所）にある高速実験炉。</li> <li>▶ 1977年に臨界以降、40年間稼働。</li> <li>▶ 新規制基準適合性に係る審査を2017年より継続。2024年度運転再開予定。</li> </ul>  |

今後、高速中性子利用による種々の技術開発が必要となるので、高速中性子照射炉を2030年代半ばに運転開始する目標で開発計画が検討されている。

図 129 エネルギー利用以外（医療用）での原子力の活用 出典：資源エネルギー庁「革新的原子炉の開発に向けた政府の検討状況について」(原子力政策課長 遠藤 量太 革新的原子炉推進協議会 シンポジウム 今、なぜ革新炉か？(2022.11.26) )

## 5.2. 原子力の多様な利用

### 5.2.1. 原子力の医療利用

がんの治療は、手術による外科療法、抗がん剤による化学療法、エックス線などの放射線療法があります。重粒子線や陽子線はいずれもがん細胞をピンポイントで集中的にたたくことができるので、従来の放射線治療に比べて、正常細胞へのダメージが少なく済み、治療に伴う痛みもない。

放射線医学総合研究所では、重粒子線によるがん治療専門施設を開発し、1994年から実施しており、16年間で5400人以上が治療を受けている。

重粒子線の照射部位はおおむね8-9割が治癒している、とりわけ前立腺がんの治療成績は世界でも一番であるが、照射した部位は治しても、他へ転移してしまう例はある。

# 原子力（放射線）の医療利用

## ・重粒子線によるがん治療の効果

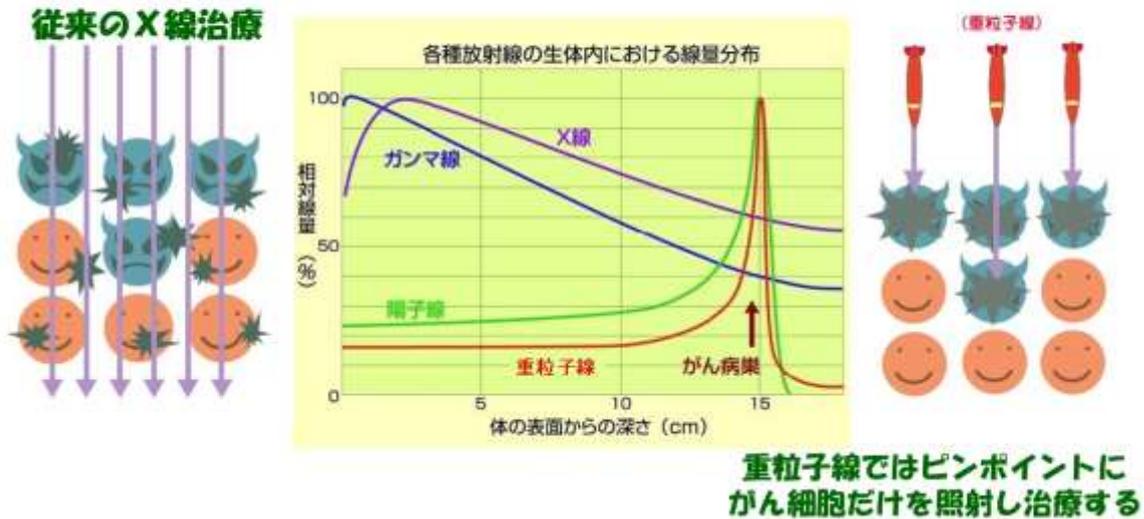


図 130 出典：九州国際重粒子線がん治療センター（SAGA HIMAT）ウェブサイト  
(<https://www.saga-himat.jp/patient/treatment/#s01>) ※現在は別の画像になっている。

最先端のがん治療施設として、炭素線を使った重粒子線照射システムを所有する九州国際重粒子線がん治療センター（鳥栖市）がある。

このがん治療センターでは、通院だけで、一回の治療時間も 30 分程度である。

重粒子線の照射を、肝臓がんで 2 - 4 回、初期の肺がんなら 1 - 4 回実施する。

治療費は公的医療保険の適用外で 3 0 0 万円程度である。

## 粒子線照射による腫瘍（がん）治療

わが国における粒子線治療を実施している医療機関が、次の図 7-13 に示されている。

陽子線治療、重粒子線治療ともに、一部は保険適用されており、それ以外は先進医療として実施されている。



図 7-13 我が国において粒子線治療を実施している医療機関 (2021 年 3 月末時点)

図 131 出典：厚生労働省「先進医療を実施している医療機関の一覧」等に基づき作成

## 標的α線治療

原子力白書によると、ドイツ・ハイデルベルク大学の研究チームが 2016 年にα線放出 R I であるアクチニウム (Ac-225) を用いて、前立腺がんが寛解したと発表した。

現状では Ac-225 供給は多くを海外輸入に依存しており、国内での供給が待たれている。

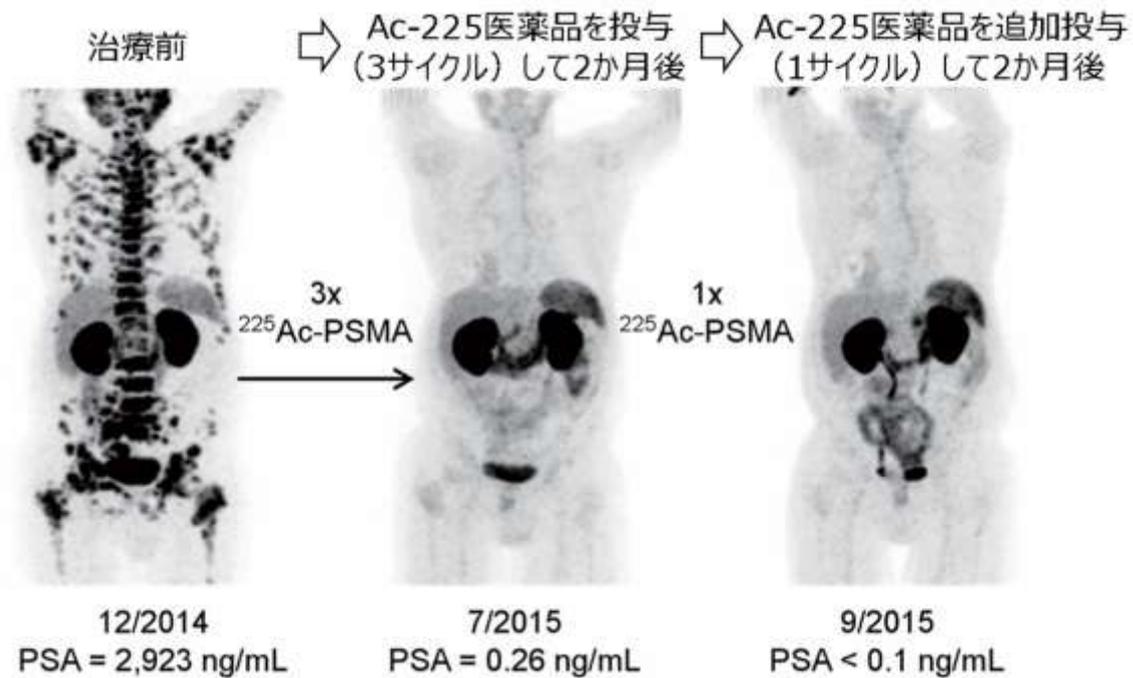
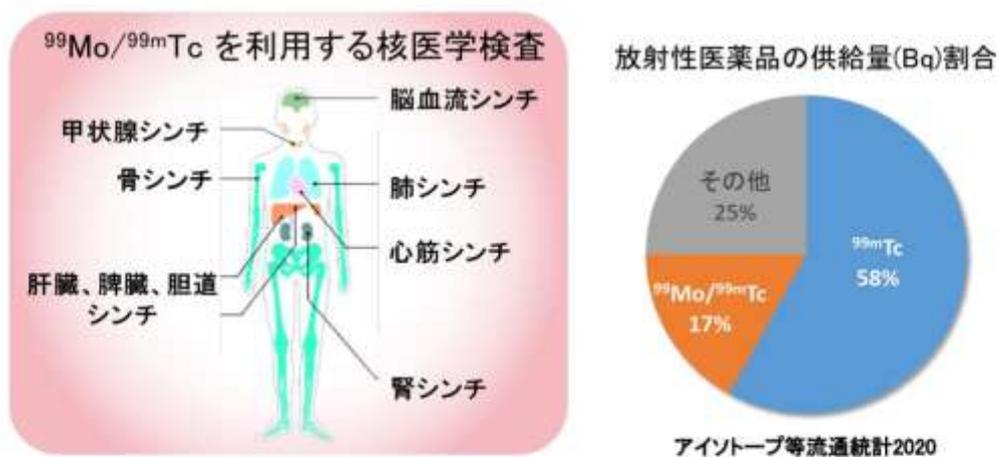


図 132 標的 $\alpha$ 線治療による全身に転移したがんの消失例

出典 : Kratochwil C, et al.「 *$^{225}\text{Ac-PSMA-617}$  for PSMA-Targeted  $\alpha$ -Radiation Therapy of Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer*」(2016年)に基づき作成 (令和2年度版原子力白書 p.213より)

【モリブデンを取り巻く状況、今後の課題と要望】

## 核医学における $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ の利用



- ・日本で流通している放射性医薬品に使用される核種の75%を $^{99\text{m}}\text{Tc}$ とその原料となる $^{99}\text{Mo}$ が占めている。
- ・日本における $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製剤の市場規模は150億円弱程度。

11

図 133 医学における  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  の利用 出典：内閣府 原子力委員会 20211215 第2回原子力委員会・RI 製造部会 参考資料 2

## 原子力の産業利用（品種改良）

鹿児島県と日本原子力研究開発機構が共同で重イオンビームを菊に照射し、不要な側枝が出ない新品種「新神（アラジン）」を作った。側枝の数が減った上に、しゃがまなくていいので、生産性が向上した。

倒れにくい水稻・レイメイ

黒斑病に強い二十世紀梨

ウリミバエの撲滅（1993年）

（沖縄産ゴーヤ、パパイア）



無側枝性秋輪菊「新神」

図 134 原子力の産業利用（品種改良のイメージ） 出典：内閣府 原子力委員会 2020 年版原子力白書 第 7 章

原子力利用はエネルギー利用だけでなく、放射線を使った、品種改良や、がん治療など、さまざまな分野で人類の役に立っている。

これは、菊の花の例であるが、特定の遺伝子の鎖を放射線で切ることにより、側面の小さな花がつかないようにして、大輪の花がひとつだけ咲くように品種改良されたものである。これによって、たくさんの小さな花をしゃがんで剪定したり、出荷の際にそろえたりする作業が大幅になくなったことで生産性向上に役立った例である。

また、風などで倒れにくい稲の改良や、じゃがいもの放射線照射による発芽を防止する芽止め、病気に強い梨の改良などがある。

沖縄のウリミバエの撲滅によって、本土でも沖縄産雄ゴーヤやパパイアを移入して食べることができるようになったなどの効果がある。

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、害虫を根絶したもの。

## 原子力の産業利用（品種改良） 黒斑病に強い二十世紀梨

二十世紀梨は黒斑病に弱かった。  
日本原子力研究開発機構が、1962年ガンマーフィールドに「二十世紀」の苗木を定植、ガンマ線の照射を開始。  
1981年、線源に最も近い樹にナシ黒斑病徴の見られない一枝を発見。  
1990年「なし農林15号『ゴールド二十世紀』と命名・登録された。  
同様に、赤なしでは農林18号「寿新水」が登録された。



**ゴールド二十世紀**

図 135 出典：内閣府 原子力委員会 2020 年版原子力白書 第 7 章

世界の食品照射処理量の総量は 40 万 5 千トンであり、経済規模は 1 兆 6,100 億円と求められた。品目別では、香辛料類の殺菌 18.6 万トン、穀物・果実の殺虫 8.2 万トン、ニンニクなどの発芽防止 8.8 万トン、肉・魚介類の殺菌 3.2 万トン、その他 1.7 万トンであった。

品種改良のイメージを図 7-9 に示す。植物にガンマ線を照射して突然変異体を作り、その中から有用な性質を持つものを選抜し、効果的に品種改良を行っている。

## 原子力の産業利用（品種改良のイメージ） 2020年版原子力白書 第7章

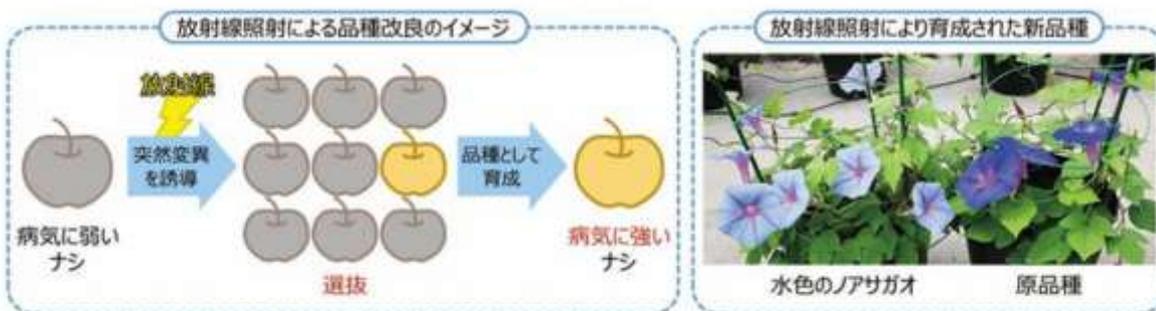


図 7-9 放射線照射による品種改良のイメージ

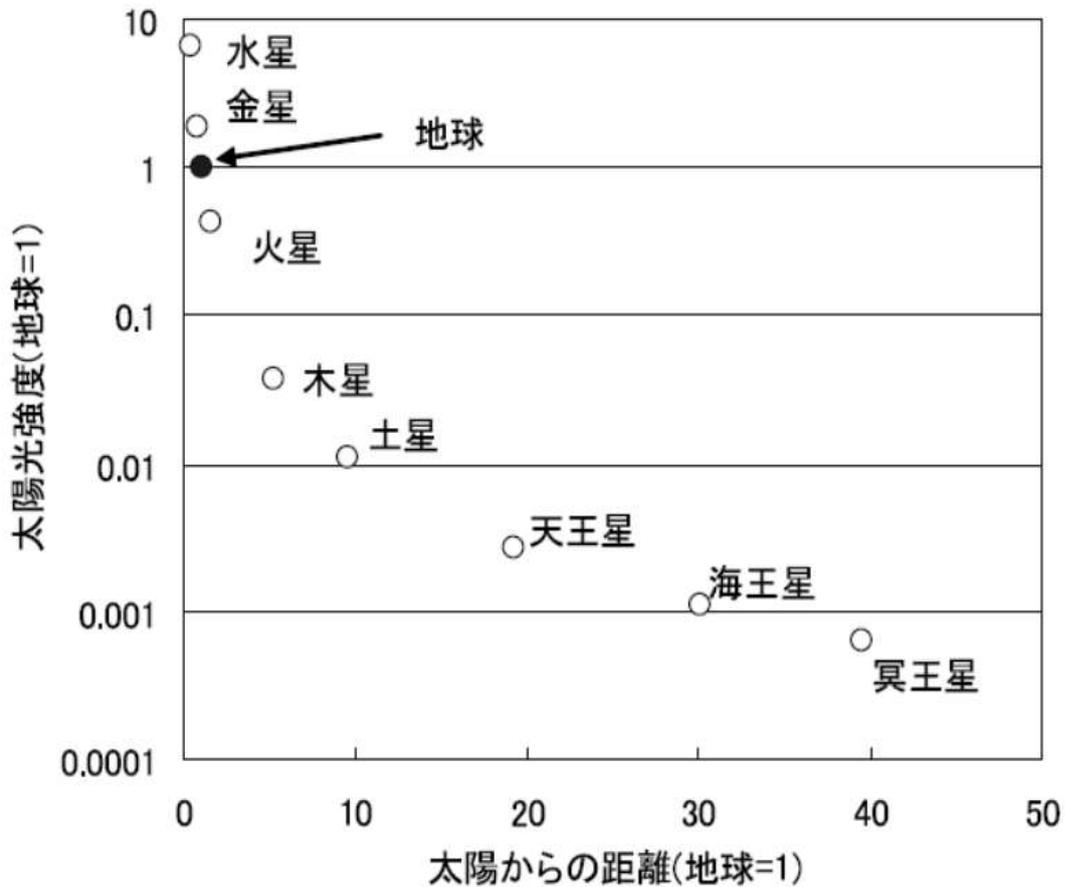
図 136 出典：内閣府 原子力委員会「2020 年版原子力白書 第 7 章」  
(<https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2020/html/7-2.html>)

### 5.2.3. 原子力の宇宙への応用

#### なぜ宇宙では原子力が必要か

NASA のボイジャーは太陽系の外からも信号を送信している（エネルギー源は Pu-238）

- ・太陽光の強度は、火星では地球の約半分、木星では 1/25、それ以遠では太陽光発電のエネルギーが使えなくなり、アイソトープ電池（原子力電池）が必須となる。
- ・線源は、遮蔽の容易な $\alpha$ 崩壊の同位体 Pu-238(半減期 87.7 年)Am-241（半減期 432 年）などが使われる。日本では Pu-238 の利用は難しいので、民生利用の経験もある Am-241 が利用されている。
- ・日本では、JAXA の宇宙戦略基金事業で、JAEA が「半永久電源システム」を開発（令和 7 年 3 月 28 日 JAEA 発表）
- ・遠宇宙や昼夜のある月面や惑星、深海の地震計、地層処分場のモニターへの活用も検討されている



第 2 図 太陽からの距離と太陽光強度

図 137 太陽からの距離と太陽光強度 出典：「宇宙探査とエネルギー」星野 健 原子力学会誌 Vol.51 No. 3 (2009) p183



#### 5.2.4. 年代測定への利用

### ウランの発見

1789年にドイツ人化学者クラプロートが、チェコの銀鉱山で発見  
鮮やかな色や緑色の蛍光は、ガラス、陶器、磁器などの着色剤として利用



- ◎ 放射性同位元素の半減期を利用した年代測定  
地質年代測定…ウラン・鉛年代法 (U半減期45億年)  
炭素 14 年代測定 (C<sub>14</sub> 半減期約5,730年)

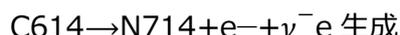
図 139 出典：妖精の森ガラス美術館ウェブサイト  
(<https://fairywood.jp/museum/#uraniumGlass>)

岡山県鏡野町にある、世界で唯一のウランガラス専門の美術館「妖精の森ガラス美術館」には、ウランの発見当初から、ガラスの着色に使われた美術品を展示している。

また、放射性同位元素である炭素 14 (C-14) の検出による年代測定は有名である。二酸化炭素を取り込んで生きる植物は、その組織内に炭素が存在します。生きている植物組織内においては、C-14 の割合は一定だが、木材等に加工されるなど植物としての生態機能が止まった後は、C-14 は  $\beta$  崩壊により窒素 14 (N-14) になることで減少していく。他の炭素の同位体との比率を測定することにより、C-14 の半減期 (約 5730 年) から年代を推定することができる。

炭素 12 は 6 個の陽子と 6 個の中性子からなる

半減期は 5,730 年でベータ崩壊をして窒素 14 (14N) になる。



ウラン・鉛年代測定法は、炭素 12 では年代測定できない、さらに長期の年代測定に用いられる。

ウランの同位体は、238U、235U の二つである。238U は合計 8 回の  $\alpha$  崩壊と 6 回の  $\beta$  崩壊を繰り返して 206Pb に壊変する [1] (詳細はウラン系列の記事を参照)。また、235U は合計 7 回の  $\alpha$  崩壊と 4 回の  $\beta$  崩壊を繰り返して 207Pb に壊変する

238U から 206Pb までの一連の崩壊に対応する半減期は約 45 億年、235U から 207Pb までの一連の崩壊に対応する半減期は約 7 億年である

ウラン・鉛年代測定法は、ジルコン ( $ZrSiO_4$ ) を含んだ鉱石に対して試みるのが普通である (ただし、ジルコン以外にも、モナズ石 (リン酸塩鉱物の 1 種)、チタン石 (クサビ石、 $CaTiOSiO_4$ )、バツデリ石 ( $ZrO_2$ ) に対しても試みられる)。ジルコンは、結晶中にウランやトリウムを含有しやすいという性質がある

## 付録:福島第一原子力発電所の廃止措置の現状

2011年3月の福島第一原子力発電所の事故から十数年が経過した。

「復興と廃炉の両立」に向け、長きにわたる廃炉作業を安全最優先に、着実に進めて行く必要がある。ここでは、福島第一原子力発電所の廃止措置の現状について、まとめた。

詳細については、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2025」(下記)を参照願う。

[https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20251030\\_SP2025FT.pdf](https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20251030_SP2025FT.pdf)

また、図面集としては、「これからの廃炉の取り組み 2025-廃炉中長期実行プラン別冊」を参照願う。

[https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf)

福島第一原子力発電所の廃止措置のこれまでの実績及び今後の予定は、下記の通りである。

### 1. 汚染水対策・ALPS 処理水対策

- ・汚染水発生量は各種対策により、470m<sup>3</sup> (2014年度) ⇒80m<sup>3</sup> (2023年度)
- ・ALPS 処理水は、安全確保をしながら2023年8月より放出開始 (放出は30年間程度)

### 2. 使用済燃料プール内の 燃料の取り出し

- ・3号機と4号機は取り出しが完了。
- ・2号機は、燃料取出用構台や燃料取出設備を設置の上、取出開始予定 (2024~2026)。
- ・1号機は、がれき撤去等や燃料取出設備を設置の上、取出開始予定 (2027~2028)

### 3. 燃料デブリの 取り出し

- ・2024年秋に2号機の燃料デブリの試験的な取り出しに成功。今後は工法の検討を進めるとともに、段階的な取り出し規模の拡大を図る予定。

### 4. 廃棄物対策

- ・屋外に保管中の廃棄物の焼却・減容処理を進め、固体廃棄物貯蔵庫で保管予定 (2028年)

# 福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた進捗状況



図 140 福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた進捗状況 出典：東京電力「これからの廃炉の取り組み 2025 – 廃炉中長期実行プラン別冊」

([https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf))(p.4)

## 1. 汚染水対策・ALPS 処理水対策:汚染発生量の抑制

汚染水の発生量は、各種対策により、約 470m<sup>3</sup>/日(2014 年度)から約 80m<sup>3</sup>/日(2023 年度)まで減少しているが、建屋への地下水流入対策により、さらなる低減を図るべく対策を実施中である。

### 汚染水発生量の抑制

現在は、地下水バイパス/サブドレン/陸側遮水壁の維持管理運転を継続し、建屋周辺の地下水を低位で安定的に管理しています。また、雨水浸透防止対策として、「陸側遮水壁内側の敷地舗装」および「建屋屋根破損部の補修」、「建屋間ギャップ止水」を実施しています。

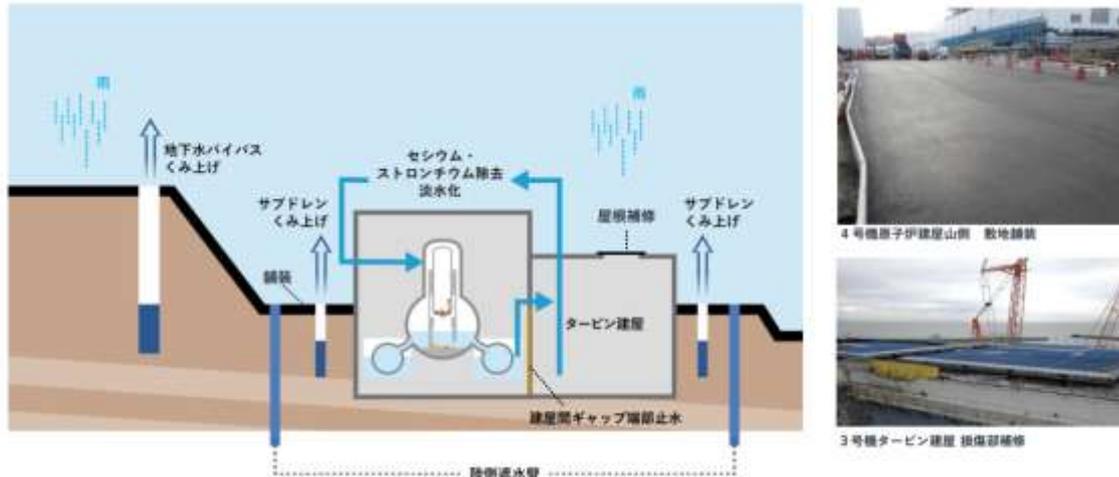


図 141 汚染水対策・ALPS 処理水対策：汚染発生量の抑制 出典：東京電力「これからの廃炉の取り組み 2025 – 廃炉中長期実行プラン別冊」

([https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf))(p.7)

## 2. 汚染水対策 ・ALPS 処理水対策:ALPS 処理水の海洋放出

多核種除去設備 ALPS により、事故で発生した汚染水を、トリチウム以外の放射性物質を安全基準に満たすまで浄化が可能である。この処理された水(ALPS 処理水)が、タンクに 1000 基(130 万 t)以上貯蔵がされ、廃炉作業のスペース確保上、タンクの増設は困難であった。ALPS 処理水を、2023 年 8 月から、トリチウム濃度を国際基準の 1/7 以下(1500 ベクレル/リットル未満)に海水で大幅に希釈し、下記の通り、安全を確認しながら、海洋放出を実施している。

### ALPS処理水の海洋放出の流れ

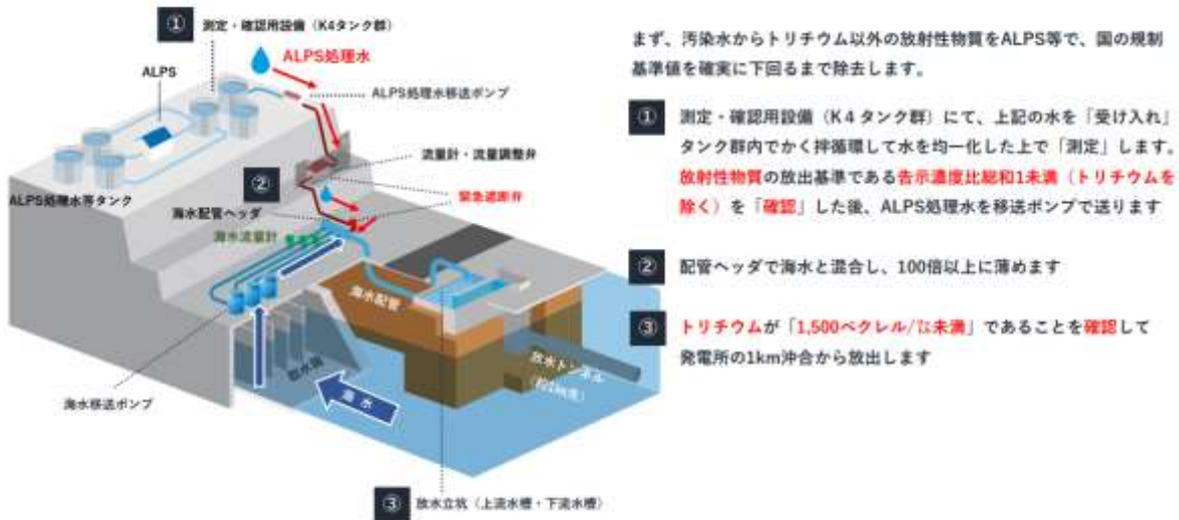


図 142 ALPS 処理水の海洋放出 出典：東京電力「これからの廃炉の取り組み 2025－廃炉中長期実行プラン別冊」

([https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf))(p.18)

### 3. 使用済燃料プール内の 燃料の取り出し

使用済燃料については、3号機及び4号機は取り出し済みであるが、1号機と2号機については、がれきの撤去や燃料取扱装置の設置等により、実施することとしている。2031年内にはすべての使用済燃料の取り出し完了を目指し進めている。

#### 1～4号機の状況

使用済燃料プールからの燃料取り出しに当たっては、作業に伴って放射性物質が飛散しないよう、慎重に実施する必要があります。そのため、号機ごとに最適な工程の下、作業や準備を進めており、2031年内に全ての号機（1～6号）で燃料の取り出し完了を目指しています。



図 143 使用済燃料プール内の 燃料の取り出し 出典：東京電力「これからの廃炉の取り組み 2025－廃炉中長期実行プラン別冊」

([https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf))(p.22)



#### 4. 燃料デブリの 取り出し

燃料デブリの取り出しは、溶け落ちた核燃料と構造物が混ざったデブリを回収する、廃炉の最大難関作業である。2024年に2号機で初の試験的な取り出し(数グラム)に成功したが、今後、各種方法を検証・確認した上で、段階的に取り出し規模を拡大していく予定である。

##### 燃料デブリの取り出しの作業工程

作業工程は3つのフェーズに分けられます。取り出し作業における「現場の放射線量が比較的低く、早期に原子炉格納容器内部にアクセス可能」等の状況から「2号機」を燃料デブリ取り出しの初号機に設定しました。  
2号機は試験的取り出しに成功したため、フェーズ2に入りました。



図 146 燃料取り出しの作業工程 出典：東京電力「これからの廃炉の取り組み 2025－廃炉中長期実行プラン別冊」

([https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf))(p.38)

#### 燃料デブリ分布の推定

##### 1～3号機の燃料デブリ分布の推定

現在に至るまで、様々な調査と事故分析を行っており、それらの結果から「各号機における燃料デブリの分布」を推定しています。

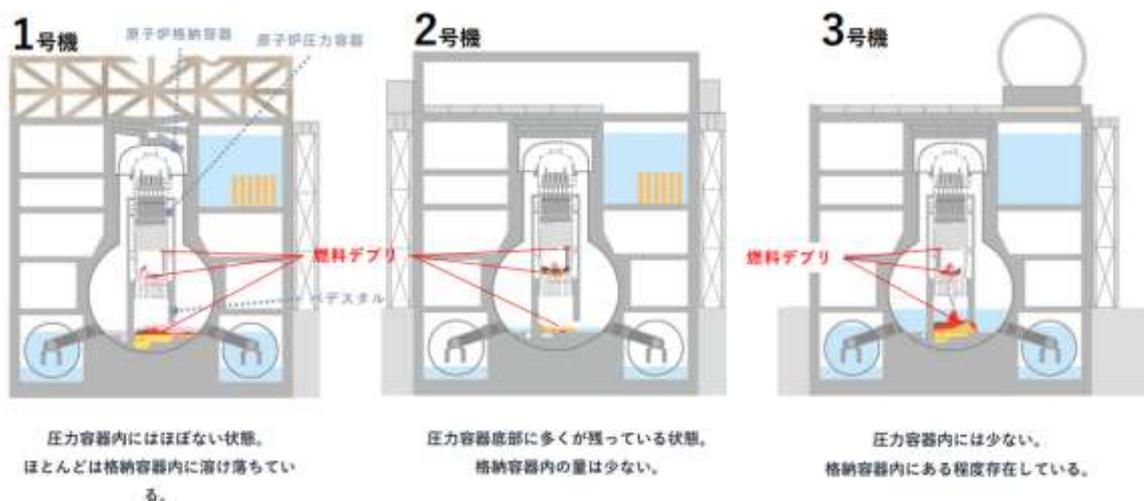


図 147 燃料デブリの推定 出典：東京電力「これからの廃炉の取り組み 2025－廃炉中長期実行プラン別冊」([https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf))(p.39)

## 5. 燃料デブリの取り出し工法

燃料デブリの取り出しについては、2号機において試験的に横アクセスにより取り出しを実施したが、大規模取り出しに向けては、横アクセス方法に加え、上/横アクセスの組み合わせ方法も検討している。

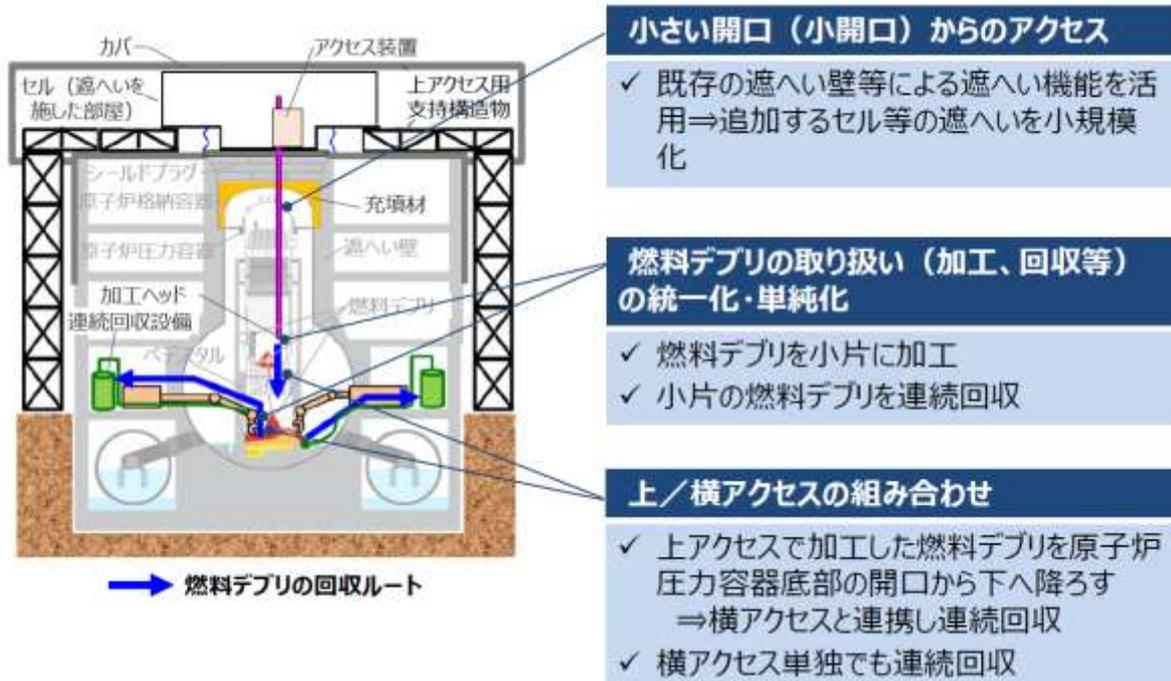


図 148 燃料デブリの取り出し工法 出典：東京電力「3号機 燃料デブリ取り出しに係る設計検討について」(<https://www.tepco.co.jp/press/release/2025/pdf3/250729j0102.pdf>)(p.5)

## 6. 廃棄物対策

廃棄物対策は、発生から保管・管理、処理等を経て表面線量率が極めて低い金属・コンクリートの構内再利用（以下「再利用」という。）、処分に至るまでの各段階でリスクを低減しつつ、最終的な処分の実施の見通しを得る必要がある長期にわたる取組である。

当面 10 年間程度に発生する固体廃棄物の物量予測を定期的に見直しながら、固体廃棄物の保管管理計画の策定・更新を実施するとともに、それに基づいて発生抑制と減容、保管・管理状況のモニタリング等の適正な保管管理を遂行する。

### 廃棄物対策 [固体廃棄物]

毎年度、廃棄物の発生量実績および今後10年程度の廃棄物発生量予測値を反映した「固体廃棄物の保管管理計画」を公表しており、2024年12月に8回目の改訂を行いました。屋外に一時的保管している廃棄物の焼却・減容処理を進め「固体廃棄物貯蔵庫」で保管します。

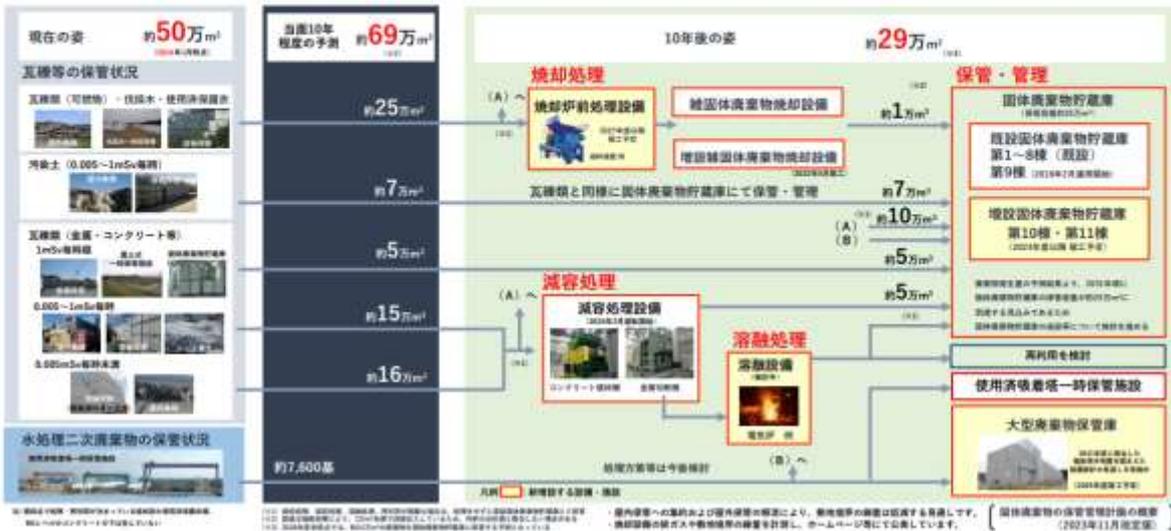


図 149 廃棄物対策(固体廃棄物) 出典：東京電力「これからの廃炉の取り組み 2025 - 廃炉中長期実行プラン別冊」

([https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf))(p.48)

## 廃棄物対策〔固体廃棄物〕

中長期ロードマップの目標工程である「2028年度内までに、水処理二次廃棄物および再利用・再使用対象を除く、全ての固体廃棄物の屋外での保管を解消」の達成に向け、屋外に一時保管している廃棄物の焼却・減容処理を進め「固体廃棄物貯蔵庫」で保管する計画です。現在建設が計画されている「固体廃棄物貯蔵庫第11棟」までの保管容量は約25万 $m^3$ ですが、中長期ロードマップ目標工程の2028年度末時点では「約24万 $m^3$ 」と予測されており、中長期ロードマップの目標工程につきましては「達成の見込み」と考えております。



図 150 廃棄物対策のロードマップ 出典：東京電力「これからの廃炉の取り組み 2025－廃炉中長期実行プラン別冊」

([https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327\\_02.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/plan/pdf/20250327_02.pdf))(p.49)