



Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options

(発電オプションのライフサイクル評価)

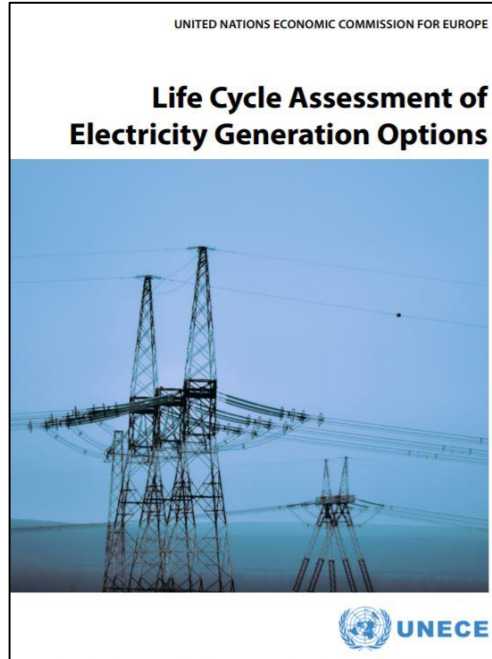
原子力発電に関するポイント紹介

国連欧州経済委員会 (UNECE) 2021年10月29日発表

(一社)日本原子力産業協会
情報・コミュニケーション部
2021年12月

Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options (発電オプションのライフサイクル評価)

国連欧州経済委員会 (UNECE) 2021年10月29日発表



◆報告書目次

- ・謝辞 ・略語と頭字語
- ・エグゼクティブサマリー
- ・イントロダクション
- ・手法 ・技術 ・全体比較
- ・結論 ほか (合計107頁)

- ✓ 国連経済社会理事会の欧州経済委員会 (UNECE) は2021年10月29日、報告書「発電オプションのライフサイクル評価 (Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options)」を発表しました。主な発電オプション (石炭、天然ガス、水力、原子力、集光型太陽熱 (CSP)、太陽光 (PV)、風力) のライフサイクルにおける環境影響を評価しています。また地域による変動についても考慮しています。主な指標は、気候変動、淡水の富栄養化、電離放射線、人体への毒性、土地の占有などです。報告書は、**原子力発電は他電源よりもライフサイクル全体を通じてCO₂の排出量が最も少ない**と結論しています
- ✓ 国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC) によると、最も野心的な気候変動緩和シナリオでは、経済の大部分が電化される必要があるとしていますが、本報告書は温室効果ガスの排出量を削減する一方で、気候以外の環境影響を増加させることを回避するためには、現在と将来の発電による潜在的な影響の規模を完全に把握する必要がある、としています
- ✓ そのうえですべての発電技術は例外なく、そのライフサイクルにおいて環境負荷を発生させるとし、これらの影響は、設置場所やその他の設計上の選択によって大きく異なる可能性があるとして指摘。適切なエネルギー政策は、ライフサイクル評価に基づき、すべての発電技術とエネルギーシステム全体を支えるインフラの環境影響を考慮する必要があると指摘しています。詳細については、報告書本体をご参照下さい。

目次

- ✓ **UNECE(国連欧州経済委員会)について**
- ✓ **報告書の主なポイント①**
- ✓ **ライフサイクルにおけるGHG排出量(2020年)**
- ✓ **報告書の主なポイント②**
- ✓ **発電による公衆および職業被ばく線量**
- ✓ **報告書の主なポイント③**
- ✓ **発電技術向けの特定材料のライフサイクル必要量**
- ✓ **世界の発電プラントの設備容量と発電電力量(2019年)**
- ✓ **従来型原子力発電の環境影響評価**
- ✓ **世界の平均的原子炉(1kWh当たり)での原子力発電のライフサイクルにおける影響**
- ✓ **小型モジュール炉(SMR)について**
- ✓ **小型モジュール炉(SMR)の環境影響評価**

UNECE(国連欧州経済委員会)について



- ✓ 設立年：1947年
(国連経済社会理事会の下にある5つの地域委員会の1つ)
- ✓ 加盟国：56カ国(欧州、北米、中央アジア/西アジア)
- ✓ 概要：UNECEは、第2次世界大戦後、欧州の破壊からの復興・回復のために設置された。主な目的は、加盟国の経済における関係強化であり、情報交換や相互協力方法の立案などを実施。現在では欧州諸国だけでなく、北米や中央アジア、西アジア諸国も加盟している

UNECE加盟国



出典: UNECEウェブサイト

報告書の主なポイント①

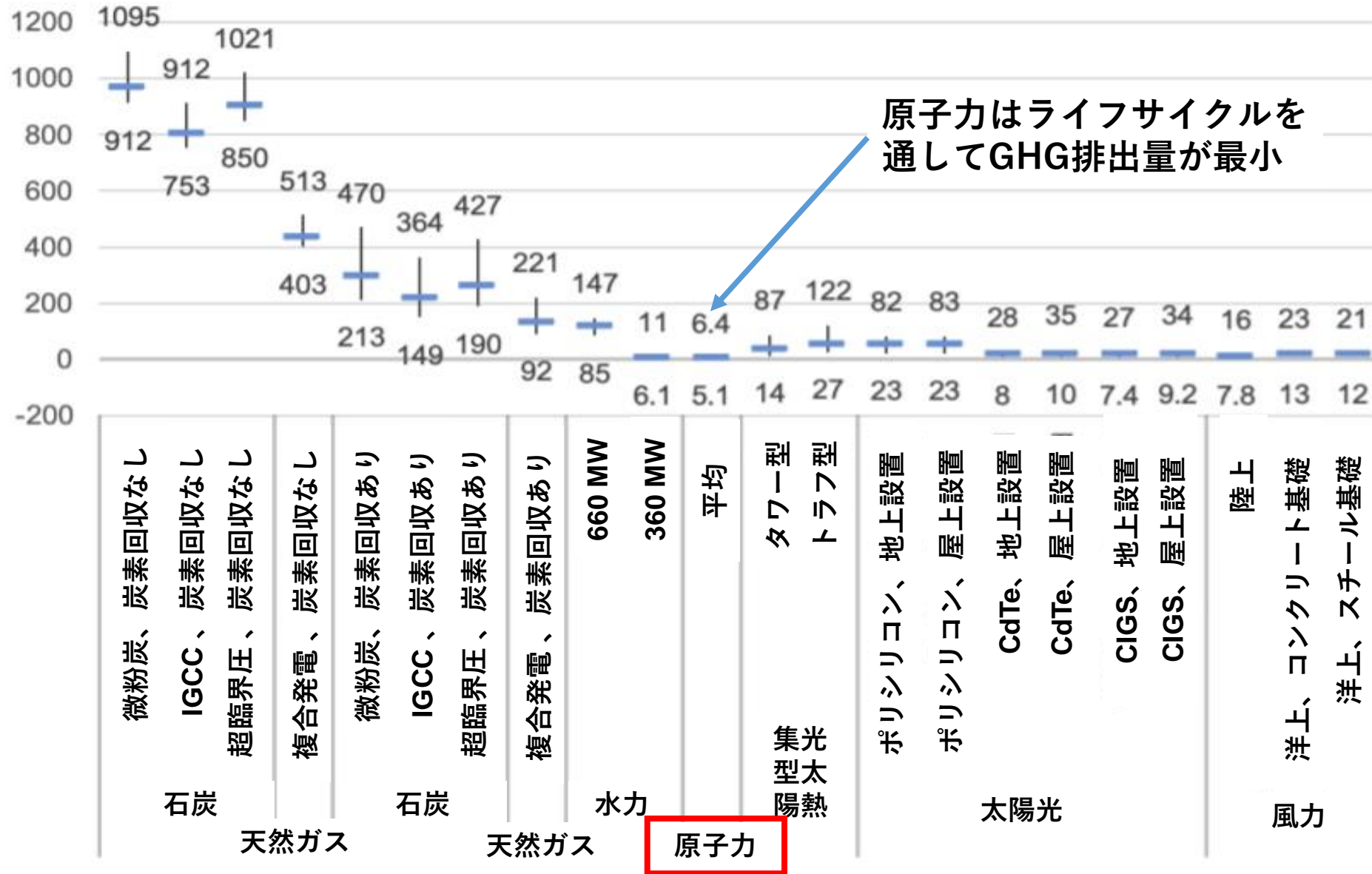
温室効果ガスの排出量について

- ✓ GHG（温室効果ガス）の排出量は、**石炭発電**が最も高く、最小で751* g CO₂ eq./kWh（石炭ガス化複合発電プラント<IGCC>、米国）、最大で1,095 g CO₂ eq./kWh（微粉炭、中国）。炭素回収設備を備え、CO₂の貯留を考慮するとそれぞれ147*~469* g CO₂ eq./kWhに低下する
- ✓ **天然ガス**コンバインドサイクル発電は、403~513g CO₂ eq./kWh、CCSの場合は49*~220* g CO₂ eq./kWhとなる。石炭やガス火力の場合、燃料の採掘・輸送時のメタン漏洩も考慮しているが、ライフサイクル評価としては燃焼時の影響が支配的である
- ✓ **原子力発電**は、モデルの地域性が限定されているため変動が少なく、5.1~6.4g CO₂ eq./kWhとなっており、フロントエンドが全体の排出量に最も影響している
- ✓ **再生可能エネルギー**では、**水力発電**が最も変動が大きく、排出量はサイトごとに大きく異なり、6~147 g CO₂ eq./kWhとなっている。貯水池に蓄積された堆積物からの生物起源の排出はほとんど除外されているが、熱帯地域では非常に高い可能性がある
- ✓ 太陽技術の場合、GHG排出量の範囲は、**集光型太陽熱（トラフ型）**では27~122g CO₂ eq./kWh、**太陽光発電**では8.0~83g CO₂ eq./kWhとなっており、薄膜技術はシリコン系太陽光よりも低炭素である。集光型太陽熱は経済的に成立するためには高い日射量が必要であり、日本や北欧ではこの条件が満たされていないため、GHG排出量を大幅に削減できない
- ✓ **風力発電**のGHG排出量は、陸上では7.8~16g CO₂ eq./kWh、洋上では12~23g CO₂ eq./kWh
- ✓ 再生エネ技術のGHG排出量のほとんどはインフラに組み込まれている（太陽光発電では最大99%）。これは、原材料の産地や生産に使用されるエネルギーミックス、製造や設置の様々な段階での輸送手段などにより、ライフサイクルの影響において大きなばらつきがあることを示唆している

* P6の図と数値が異なるが、ここでは報告書どおりの記載とする

ライフサイクルにおけるGHG排出量(2020年)

(単位：g CO₂ eq./kWh)



— 平均

報告書の主なポイント②

淡水の富栄養化について

- ✓ すべての技術は、ライフサイクルの過程で淡水の富栄養化が非常に少ないことを示しているが、石炭は、採鉱時にテイル（鉱滓）が発生し、リン酸塩が河川や地下水に溶出する。採鉱段階で発生するため、CCSはこれらの排出量に影響を与えない

電離放射線について

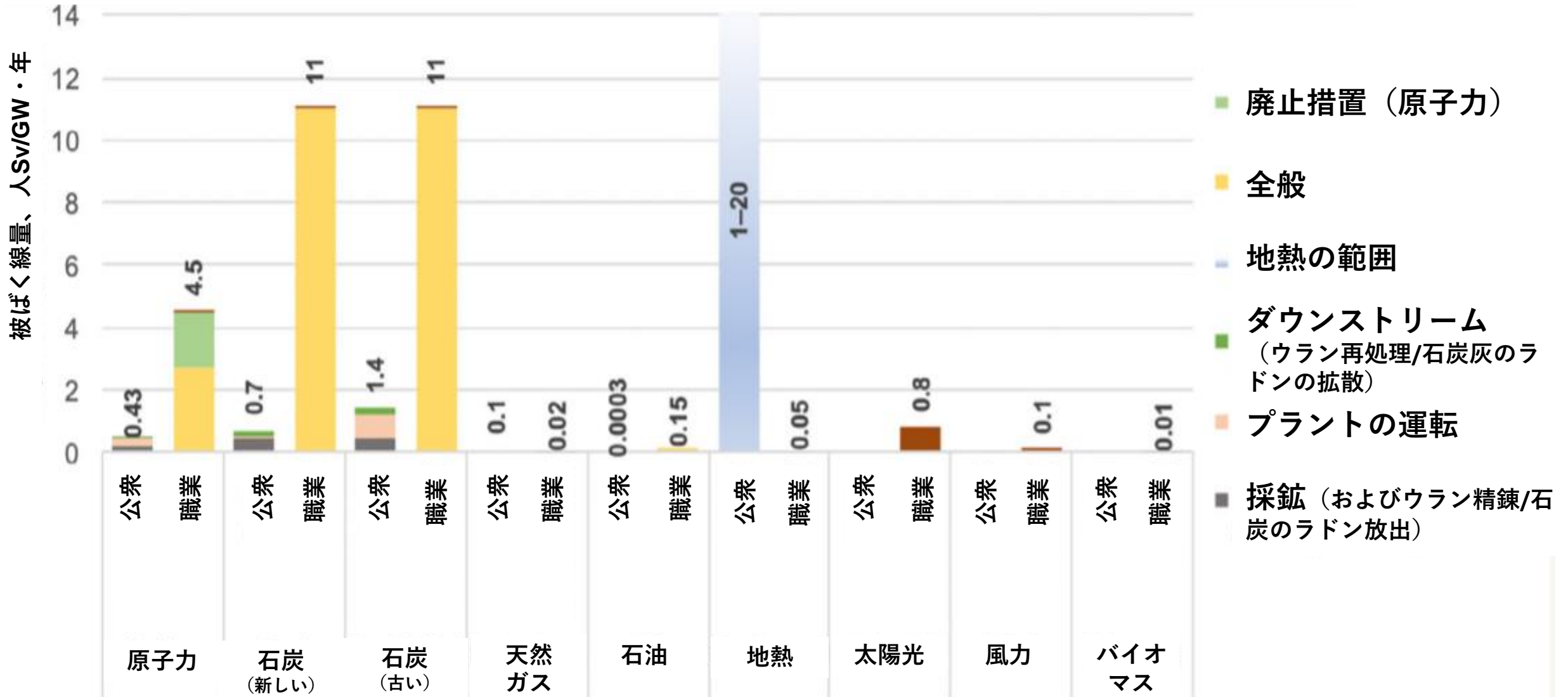
- ✓ 電離放射線は主に、原子力発電のウラン採鉱・精錬や、石炭発電のための石炭採鉱の際に発生するテイルに含まれる放射性核種・ラドン222からの放射性物質の放出により発生する。石炭の燃焼により、ラドン222やトリウム230などの放射性核種が放出される可能性があるため、石炭発電は重大な放射エネルギーとなる可能性がある（地域によって大きく異なる）

人体への毒性について

- ✓ 発がん性のない人体への毒性は、採鉱残渣（石炭、銅）の埋め立てに関連するヒ素イオンの排出と高い相関性があることが分かっており、石炭火力発電が高いスコア結果となっている。発がん性のある人体への毒性は、クロムを含むステンレス鋼の製造に関連する六価クロムの排出により高いとされている。その結果、集光型太陽熱プラントでは、発電量に比べてプラントのインフラに大量のスチールを必要とするため、中程度の高いスコアとなっている

発電による公衆および職業被ばく線量

(単位:人Sv/GW・年)



出典：原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)

報告書の主なポイント③

土地占有率について

- ✓ 土地占有率は、集光型太陽熱発電（CSP）が最も高く、次いで石炭火力発電、地上設置型太陽光発電（PV）の順となっている。気候に依存する技術の場合、土地利用の変動は大きく、ほとんどが直接的に負荷率に比例する。変動幅はCSPでは1対5, PVでは1対3.5, 風力発電では1対2。また、水や材料の必要量についても同様の違いが見られる。天然ガス、原子力、風力発電では、ライフサイクルにおける土地占有率は最小である

水利用について

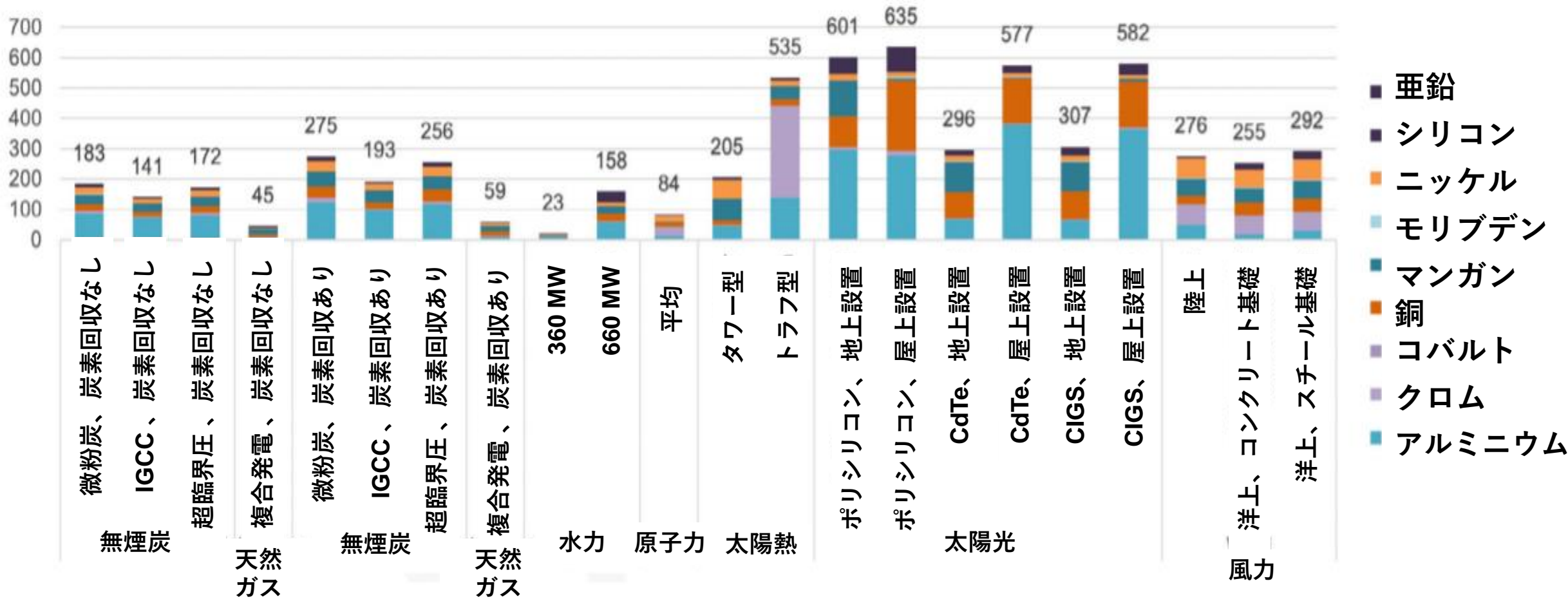
- ✓ 水の使用量は、汽力発電（石炭、天然ガス、原子力）では0.90～5.9リットル/kWhと多く、それ以外では比較的少ない。ただし、シリコンを使用した太陽光発電では、太陽電池の製造に適度な水の投入が必要となるため例外である

材料資源について

- ✓ 材料資源は太陽光発電では多く、希少金属の場合、5～10 g Sb eq./MWh, 非鉄金属の場合、300～600g/MWh, 風力発電では非鉄金属は約300g/MWhとほぼ一定している。火力発電は100～200gの範囲内で、炭素回収付きの場合は若干追加となる。化石資源の枯渇は当然ながら化石技術と関連しており、石炭は10～15 MJ/kWh, 天然ガスは8.5～10 MJ/kWhとなっている

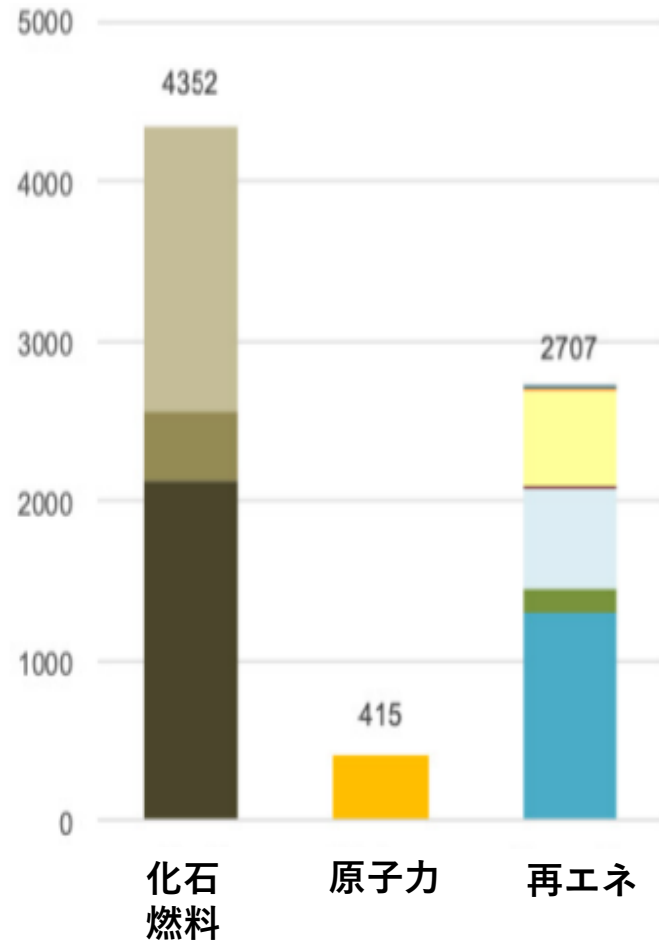
発電技術向けの特定材料のライフサイクル必要量

(単位:g/MWh)

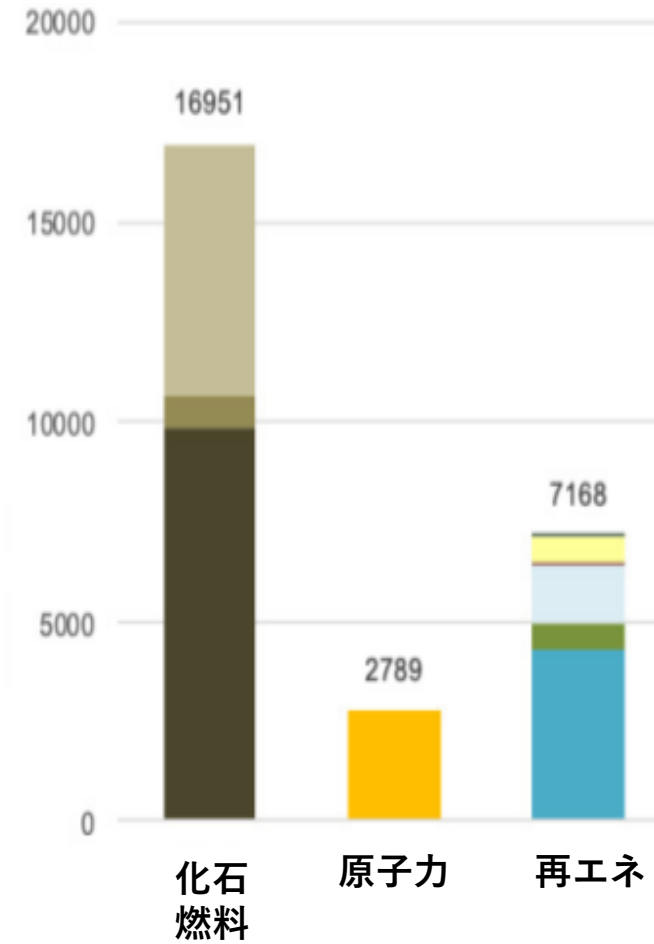


世界の発電プラントの設備容量と発電電力量(2019年)

(1GW=100万kW) 発電設備容量 (GW)



(1TWh=10億kWh) 発電電力量 (TWh)

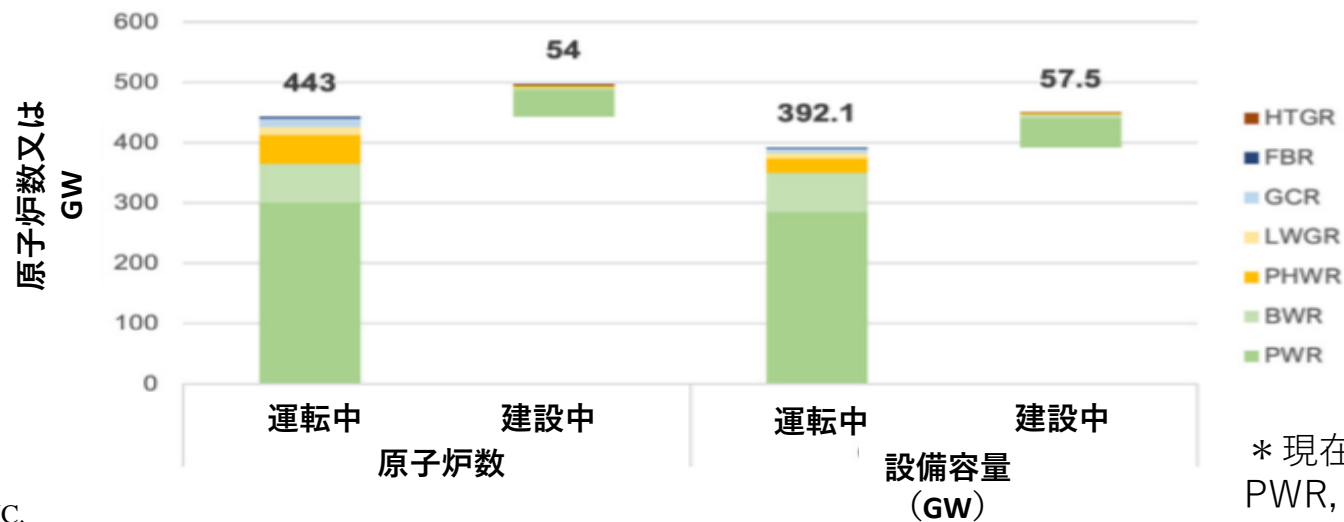


- 海洋
- 集光型太陽熱
- 太陽光
- 地熱
- 風力
- バイオ
- 水力
- 原子力
- 天然ガス
- 石油
- 石炭

従来型原子力発電*の環境影響評価

- ✓ 環境ライフサイクルの観点から見ると、原子力発電は低炭素であるだけでなく、多くの恩恵をもたらしている。また、燃料のエネルギー密度が高いため、1kWhあたりの採鉱面積が最小になり、発電所の敷地の占有率も比較的低いことから、ライフサイクルにおける土地の占有等が低い。健康と生物多様性への影響は、PWRとBWR技術において全体的に低い
- ✓ 一方、原子力発電は、火力発電所と同様に、冷却のために大量の水を必要とする。また、ライフサイクルアセスメント研究では、採鉱と精錬による中程度の潜在的な毒性の影響が示されている。さらには原子力発電は、そのサプライチェーンにおいて大量の電離放射線を示す技術の1つである（もう一つは石炭）。
- ✓ フロントエンド、特に採鉱が原子力発電のライフサイクル全体の影響に与える主な要因となっている。指標によっては、コアプロセス（建設、運転、廃止措置）とバックエンドがその次に来るが、全体の影響に占める割合はそれぞれ30%と10%を超えない。主にディーゼル発電機による現場でのエネルギー使用が、採鉱と精錬プロセスからのGHG排出の主な原因となっている

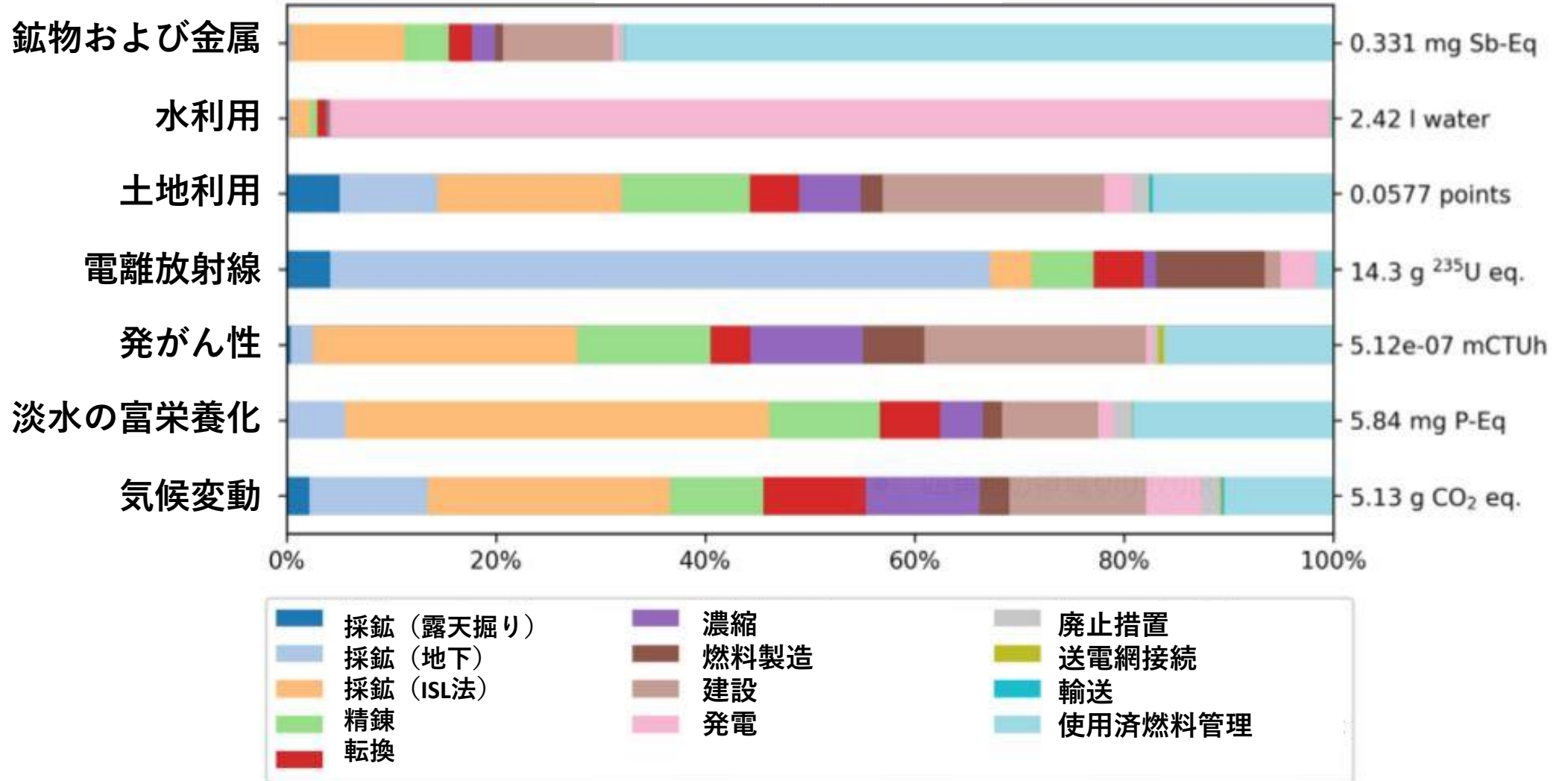
(1GW=100万kW) 世界の運転中・建設中の原子炉 (2019年12月時点)



* 現在運転中の多くを占める PWR, BWR, PHWR, LWGRを指す

世界の平均的原子炉(1kWhあたり)での 原子力発電のライフサイクル*における影響

原子炉 (PWR)



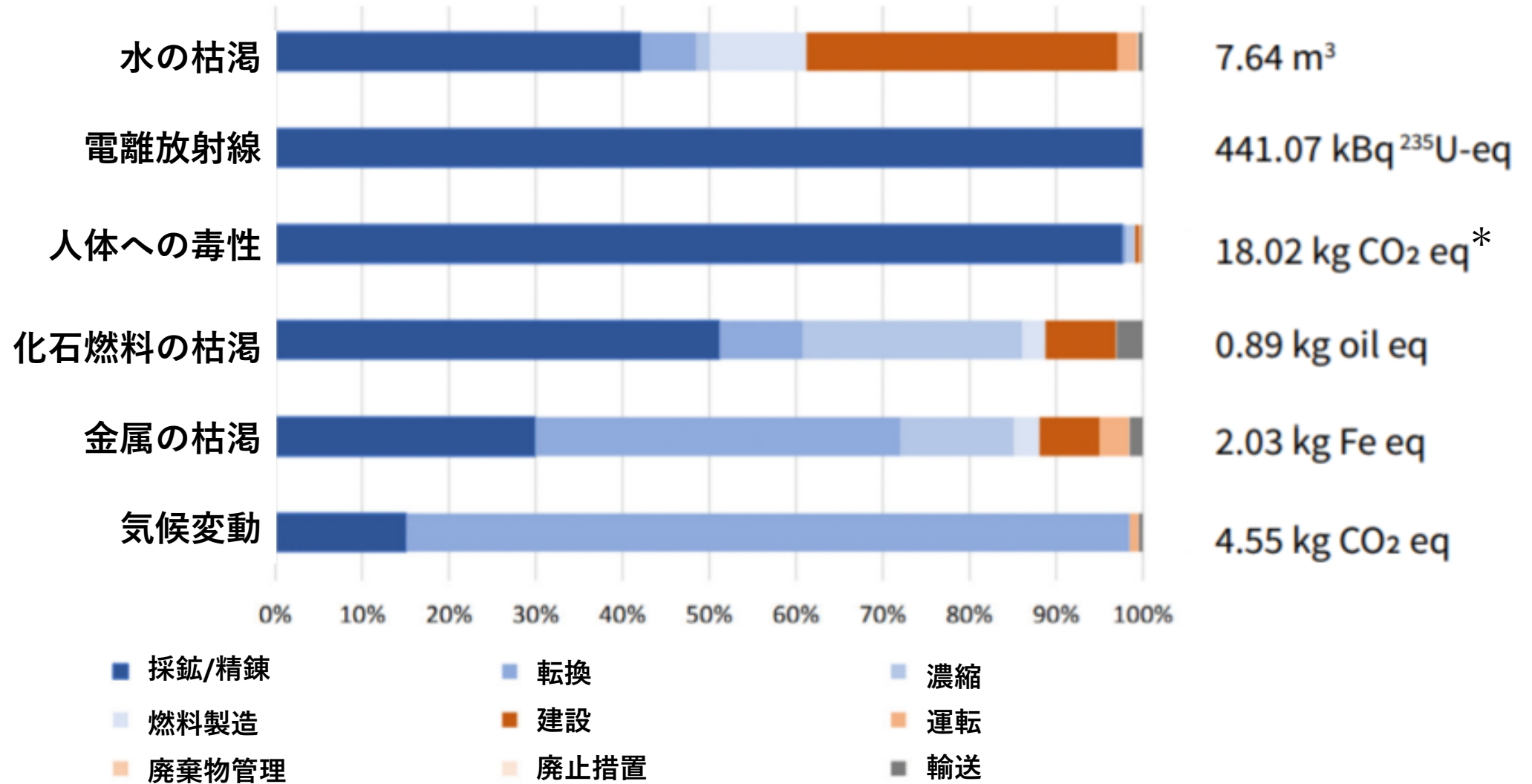
* フロントエンド (ウラン採鉱～燃料製造)、発電所建設～運転～廃止措置、バックエンド (使用済燃料管理、貯蔵、最終処分)、送電網接続を含む。再処理は除く

小型モジュール炉(SMR)について

- ✓ 現在、約70種類のSMRが開発中である。SMRの厳密な定義はないが、実際には30万kW以下の原子炉が対象で、高度なモジュール化が可能で、例えば、原子炉全体をトラックで輸送し、最小限の準備でどんなサイトにも設置できるように設計されている。この柔軟性により、理論上は建設やアップスケールの時間を短縮できる。また、従来の原子力発電所よりも効率的に負荷追従できる設計もあり、SMRはグリッドの調和の課題に対して魅力的なものとなる。概してSMRの開発は、コストやエネルギー政策上の理由から大型の原子力発電所を設置できない国に、原子力発電へのアクセスを提供する。SMRを商業的に展開することで、新しい分野や地域での原子力へのアクセスを可能にすることが認識されている
- ✓ SMRには、水冷却型小型モジュール炉、高温ガス炉 (HTGR)、ナトリウム冷却型高速炉 (SFR)、熔融塩炉 (MSR) の4つの主なカテゴリーがある
- ✓ NuScale社の SMRのライフサイクル評価は、4.6g CO₂ eq./kWhを排出するとしている。一方、WH社の一体型PWRは8.4g CO₂ eq./kWhである。どちらの原子炉も従来の軽水炉を小型化したものであり、この排出量の範囲は、一般的に報告されている100万kW規模の原子炉のライフサイクルにおけるGHG排出量と一致している。GHG排出量以外では、同じ特徴が見られる。P13の図とP15の図を大まかに比較すると、電離放射線と毒性の指標では、採鉱と精錬のプロセスが支配的であり、資源の枯渇と気候変動の影響では、ウラン燃料チェーンが全般的に大きな割合を占める

小型モジュール炉(SMR)の環境影響評価

SMR技術のライフサイクルにおける影響、ライフサイクルの各段階における分布
 (NuScale社のSMRとWH社の一体型PWRを使用して評価) 基本ケース分析



*単位が誤っていると思われるが、報告書の記載どおりとする