

原子力エネルギー： 複雑な将来をナビゲートする

ウィリアム D. マグウッド4世
経済協力開発機構/原子力機関
事務局長

第51回原産年次大会
2018年4月9日

NEA: 加盟33ヶ国による、原子力安全、技術、政策のエクセレンスの追求

- 加盟国33ヶ国 + 戦略的パートナー(例: 中国、インド)
- 7つの常設技術委員会、72の作業部会及び専門家会合
- NEA データバンク - 核データ、原子力コード、検証サービスの提供
- 22の国際共同プロジェクト(例: ノルウェー、ハルデン原子炉プロジェクト)



NEAは、グローバルな課題に取り組むための 枠組として機能

NEAの役割:

- 平和目的の原子力エネルギーの安全で環境に優しく経済的な利用に必要な科学・技術・法制上の基盤開発のため、国際協力を促進する。
- 各国政府が原子力技術政策を決定する上で役立つ権威ある評価方法を開発し、重要な問題に関する共通理解を構築する。
- 科学的・技術的な諸問題に取り組むための多国間共同研究を実施する。



NEA加盟国だけで世界の原子力発電設備容量の
90%近くを運転している

NEA の常設技術委員会



NEAの委員会は、様々な難問の解決に取り組み、ベストプラクティスを確立し、国際協力を促進するため、NEA加盟国や戦略パートナー各国の政府高官及び技術専門家によって構成されている

Nuclear Energy Agency

NEA の常設技術委員会

原子力運営委員会(ステアリング・コミティ)

原子力
規制活
動委員
会

CNRA

原子力
施設安
全委員
会

CSNI

放射性
廃棄物
管理委
員会

RWMC

放射線
防護及
び公衆
衛生委
員会

CRPPH

原子力
法委員
会

NLC

原子力
エネル
ギー開
発・核燃
料サイク
ルに関
する技
術的経
済的検
討委員
会

NDC

原子力
科学委
員会

NSC

核データ
及び
コードの
開発・応
用及び
妥当性
検証の
ための
管理委
員会

MBDAV

新たな常設技術
委員会の設置
-2018年4月に決定

CDLM

原子力施設の廃止及び原
子力遺産管理に関する委員
会

NEAの委員会は、様々な分野の専門家から構成され、ベストプラクティスを確立し、国際協力を促進するため、NEA加盟国や戦略的パートナー各国の政府高官及び技術専門家によって構成されている

NEAの原子力科学分野における活動

原子力科学委員会(NSC)

マイナーアクチノイド管理
のための積分実験に関
する専門家会合
(EGIEMAM-II)

原子力マルチフィジックスのデー
タ、ベンチマーク及び検証に関す
る専門家会合
(EGMPEBV)

軽水炉の事故耐性燃料に関する
専門家会合
(EGATFL)

核データ評価国際協力
に関する作業部会
(WPEC)

- High Priority Request List for Nuclear Data

燃料サイクルの科学的課題に
関する作業部会(WPFC)

- Heavy Liquid Metal Technologies
- Fuel Recycling Chemistry
- Advanced Fuel Cycle Scenarios
- Innovative Structural Materials
- Innovative Fuels
- Benchmarking of Thermal-hydraulic Loop Models for Lead-alloy-cooled Advanced Nuclear Energy Systems

原子力システムの燃料及び構
造材料のマルチスケールモデ
リングに関する作業部会
(WPMM)

- validation and benchmarks of Methods
- Multi-scale Modelling Methods
- Structural Materials Modelling
- Multi-scale Modelling of Fuels
- Primary Radiation Damage

臨界安全性に関する作
業部会(WPNCS)

- Advanced Monte Carlo Techniques
- International Criticality Safety Benchmarks Evaluation Project
- Criticality Excursions Analyses
- Assay Data of Spent Nuclear Fuel
- Uncertainty Analyses for Criticality Safety Assessment

原子炉システムの科学的課題に
関する作業部会
(WPRS)

- Reactor Physics and Advanced Nuclear Systems
- Uncertainty Analysis in Modelling
- Reactor Fuel Performance
- Radiation Transport and Shielding

原子力科学分野に おけるNEA共同プ ロジェクト

先進的核燃料の熱
力学の国際データ
ベース(TAF-ID)に
関するプロジェクト

原子力科学分野における NEA共同プロジェクト(現在 準備中):

福島第一原子力発電所の
シビアアクシデント進展シナ
リオ解析に基づく燃料、デブ
リ、核分裂生成物の熱力学
的特性の解明(TCOFF)

NEAの原子力教育・スキ
ル・技術(NEST) に関する
枠組

NEAの原子力科学分野における活動

原子力科学委員会(NSC)

マイナーアクチノイド管理
のための積分実験に関
する専門家会合
(EGIEMAM-II)

原子力マルチフィジックスのデータ、
ベンチマーク及び検証に関する専門
家会合
(EGMPEBV)

軽水炉の事故耐性燃料に関する専門家
会合
(EGATFL)

Working Party on
International Nuclear Data
Evaluation
(WPEC)
Request List for

燃料サイクルの科学的課題に
関する作業部会(WPEC)

- Heavy Liquid Metal Technologies
- Fuel Recycling Chemistry
- Advanced Fuel Cycle Scenarios
- Innovative Structural Materials
- Innovative Fuels
- Benchmarking of Thermal-hydraulic Loop Models for Lead-alloy-cooled Advanced Nuclear Energy Systems

原子炉システムの燃料及び構造材料
のマルチスケールモデリングに関する
作業部会

臨界安全性に関する作
業部会(WPNCS)

- Advanced Monte Carlo Techniques
- International Criticality Safety Benchmarks Evaluation Project
- Criticality Excursions Analyses
- Assay Data of Spent Nuclear Fuel
- Uncertainty Analyses for Criticality Safety Assessment

原子炉システムの科学的課題に
関する作業部会
(WPRS)

原子力科学分野に
おけるNEA共同プ
ロジェクト

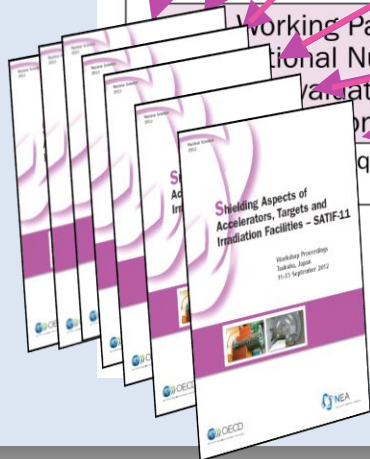
先進的核燃料の熱
力学の国際デー
タベース(TAF-ID)に
関するプロジェクト

原子力科学分野における
NEA共同プロジェクト(現在
準備中):

福島第一原子力発電所の
シビアアクシデント進展シナ
リオ解析に基づく燃料、デブ
リ、核分裂生成物の熱力学
的特性の解明(TCOFF)

原子力科学に関する作業分野

- 最先端のレビュー
- 指標に基づく改良研究
- 感度解析及び不確定性解析
- ワークショップ/セミナー/カンファレンスの記録



NEAが別途資金拠出(提供)している主な活動

NEAが協力している組織

- **第4世代国際フォーラム(GIF)**
持続可能性(燃料の効果的利用や廃棄物の最少化を含む)、経済性、安全性、信頼性、核拡散抵抗性、核物質防護の改善・向上を目的とする。
- **多国間設計評価プログラム(MDEP)**
各国の安全当局による、新型炉の設計レビューに関するリソースや知識を活用するためのイニシアチブ。
- **国際原子力エネルギー協力フレームワーク(IFNEC)**
原子力の様々な問題について、先進国と新興国が力を合わせて協議する国際的フォーラム。

22の主要な共同プロジェクト (NEA加盟国、非加盟国の枠を超えて多くの国々が参加)

- **原子力安全に関する研究及び実験データ**
(例: 熱流力学、燃料挙動、シビアアクシデント)
- **原子力安全データベース**(例: 火災、共通原因故障)
- **原子力科学**(例: 先進的燃料の熱力学)
- **放射性廃棄物の管理**(例: 熱化学データベース)
- **放射線防護**(例: 職業被ばく)
- **ハルデン原子炉プロジェクト**(燃料及び材料、ヒューマンファクター研究、他)

COP 21とエネルギー生産

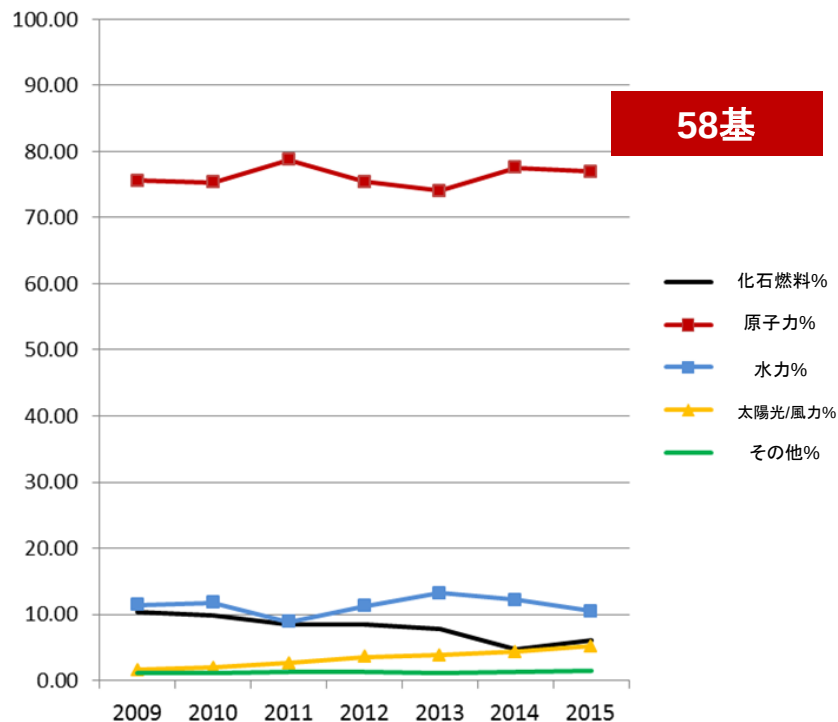
- 国連主催による会合は、世界の気温上昇を2° C 未満に抑えるための方策を開発することに195ヶ国が合意して閉幕した。
- 世界のCO2排出の60%がエネルギー関連で占められている – 今日、世界の発電電力の4分の3が化石燃料に依存している。
- 中国やインドを含む多くの国々が、今後原子力が重要な役割を果たすであろうと示唆。



フランス、ドイツにおける電源構成の近年の動向

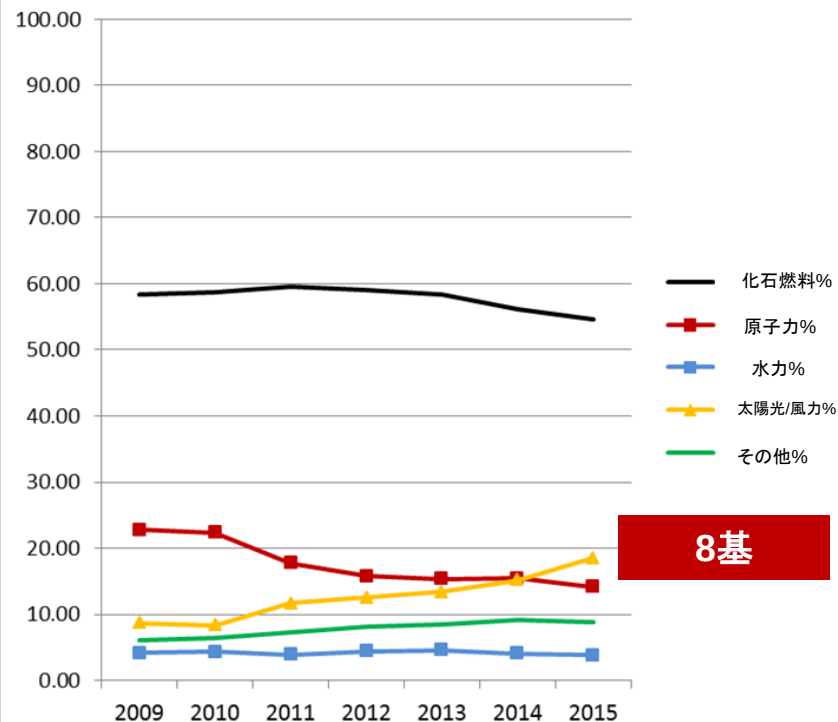
フランスにおける電源構成(2009～2015年)

低炭素電力の割合は、2009年の89%から2014年には93%へ(+4%)



ドイツにおける電源構成(2009～2015年)

低炭素電力の割合は、2009年の36%から2014年には37%へ(+1%)

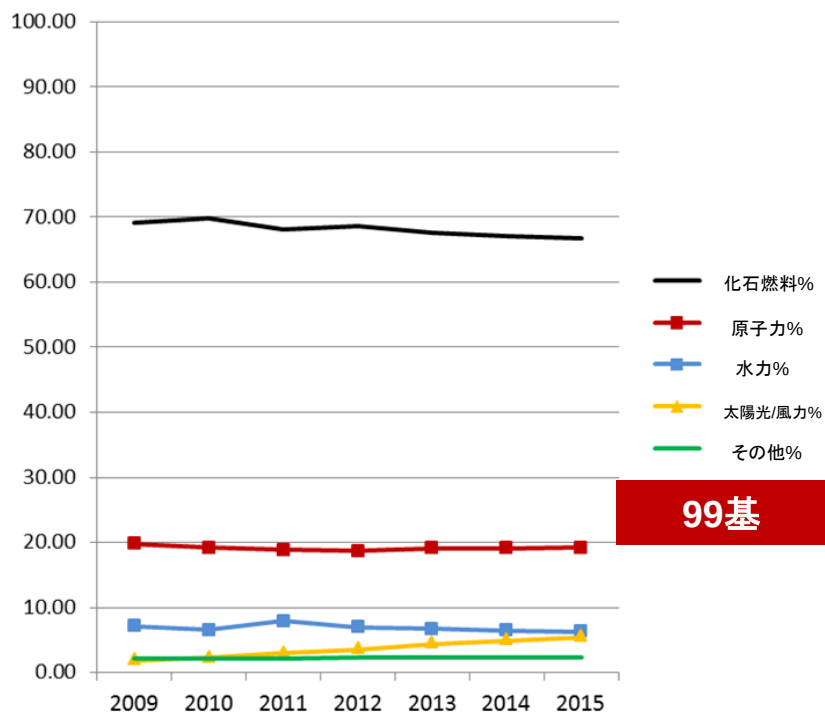


出所: IEAのデータ

米国、日本における電源構成の近年の動向

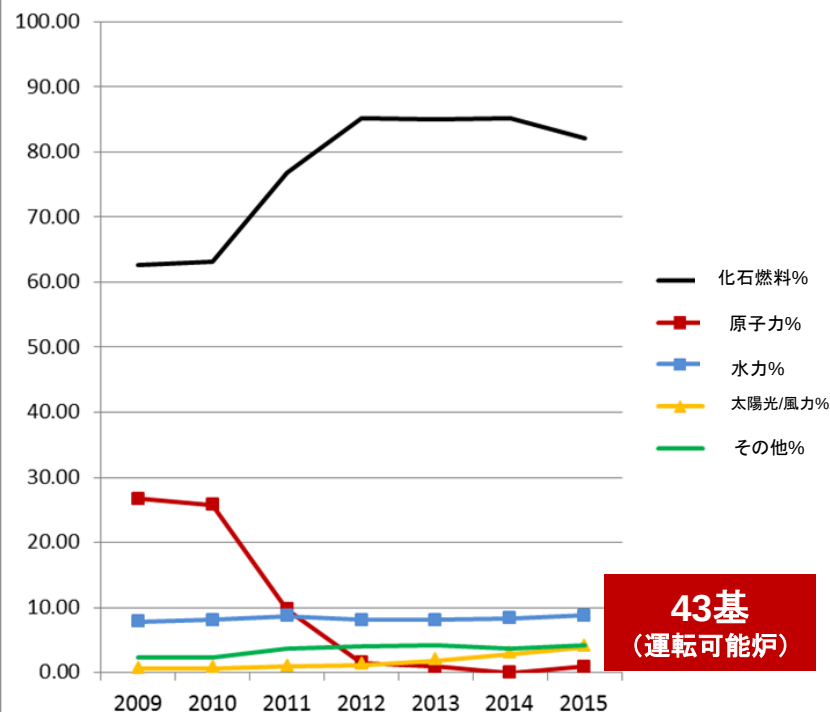
米国における電源構成(2009～2015年)

低炭素電力の割合は、2009年の29%から2014年には31%へ(+2%)



日本における電源構成(2009～2015年)

低炭素電力の割合は、2009年の35%から2014年には14%へ(-21%)



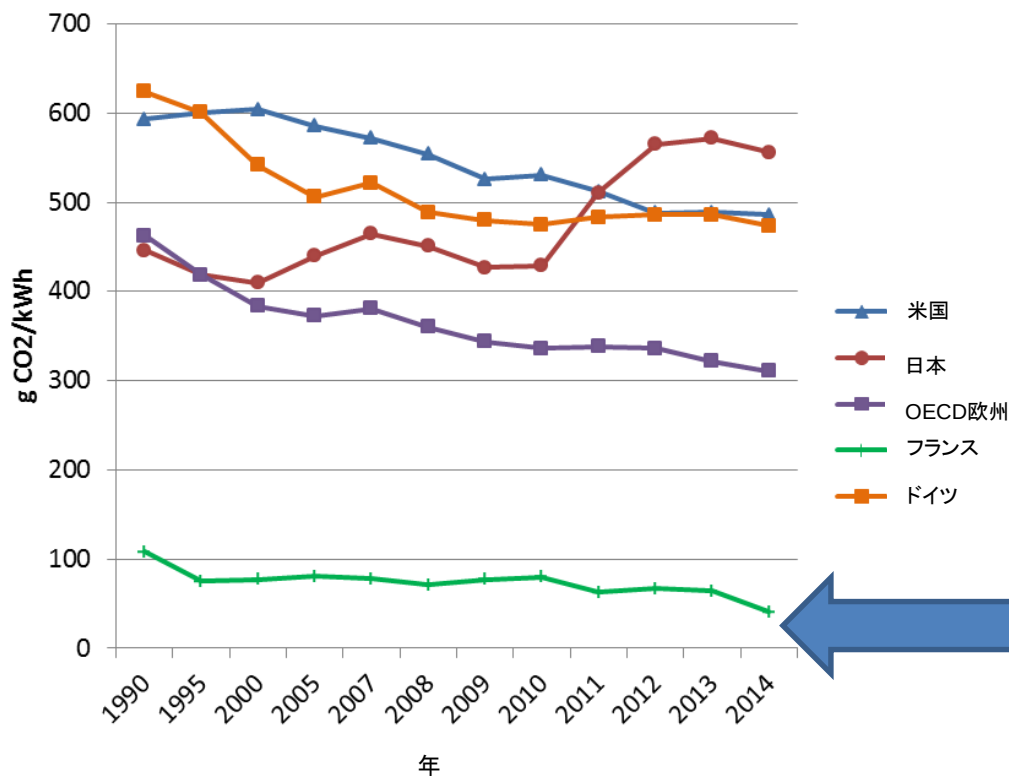
出所: IEAのデータ

電源構成とカーボンフットプリント

(発電電力量1 KWhあたりCO₂排出量: g CO₂ /kWh)

発電電力量1 KWhあたりCO₂排出量

(「IEA、燃料の燃焼によるCO₂排出量: 2015年」より)



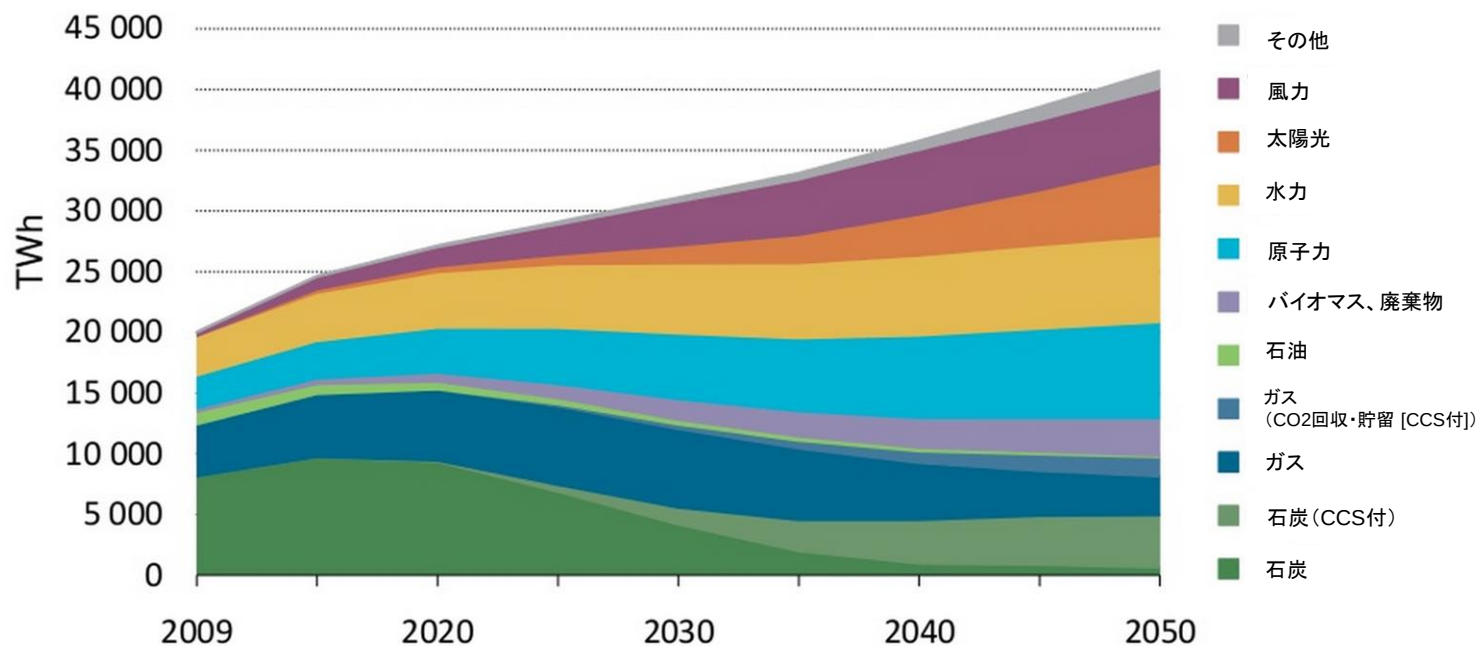
主要なトレンド:

- 米国: 石炭からガスへの切り替え、 $\nearrow$ 再生可能エネルギー (RES)
- 日本: 原子力 $\searrow\searrow\searrow$ 、化石燃料 $\nearrow\nearrow\nearrow$
- フランス: 化石燃料 $\searrow$ 、RES $\nearrow$
- ドイツ: 原子力 $\searrow\searrow$ 、RES $\nearrow\nearrow$

COP 21 の目標:
~40g CO₂ /kWh

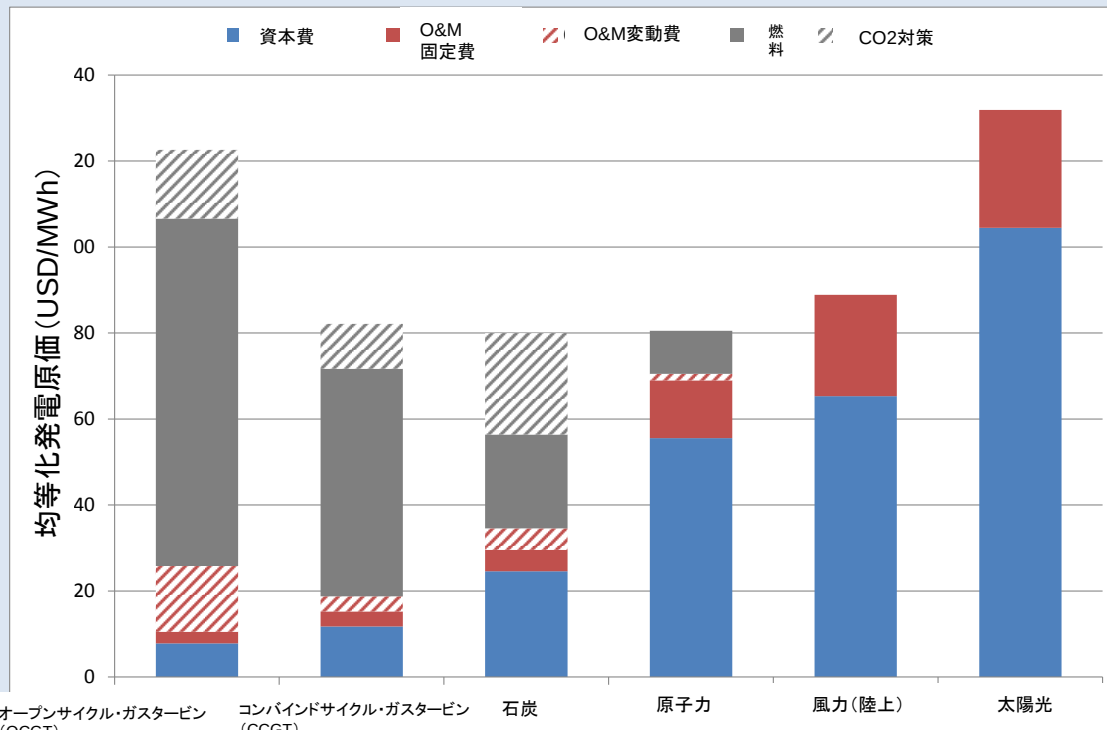
出所: IEAのデータ

IEAの「地球温暖化を2°C未満に抑制するシナリオ (2°Cシナリオ)」: 2050年、原子力は世界の電力において 最大の貢献を果たすことが求められる



出所: IEA

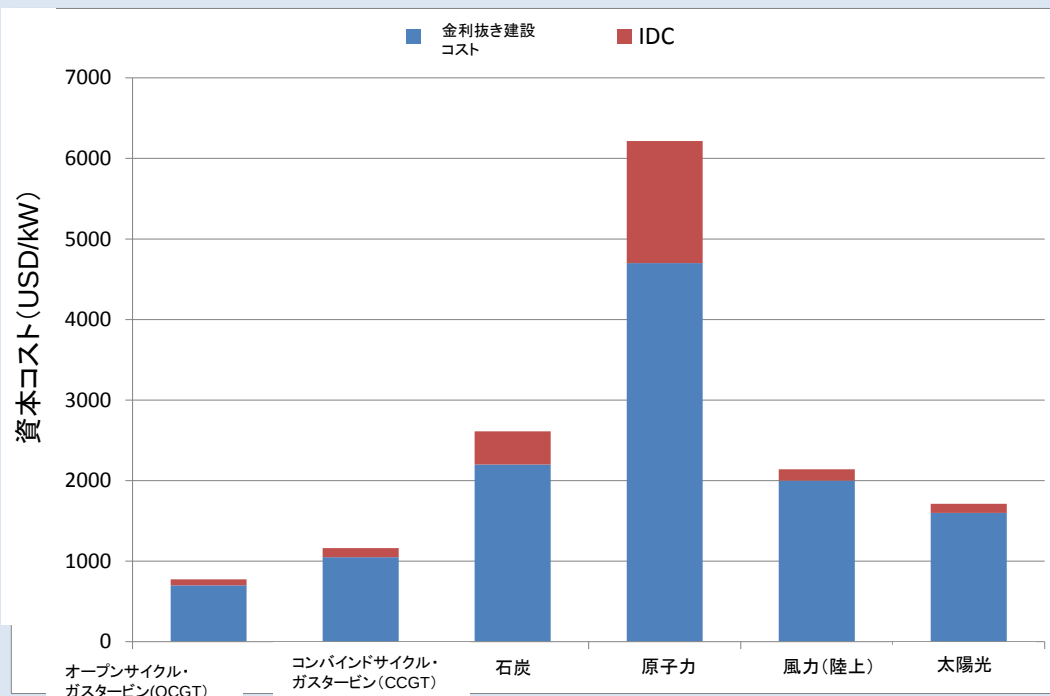
原子力発電のコスト競争力は？



- 今日の原子力発電プラントは、長期的な電力供給源として非常にコスト競争力が高い。
- 再生可能エネルギーのコストは低下しているが、補助金がなければ依然として高コストである。
- 天然ガスのコストは依然市場の指標となっており、概して低コストである。

2020年に建設されるプラントの
均等化発電原価

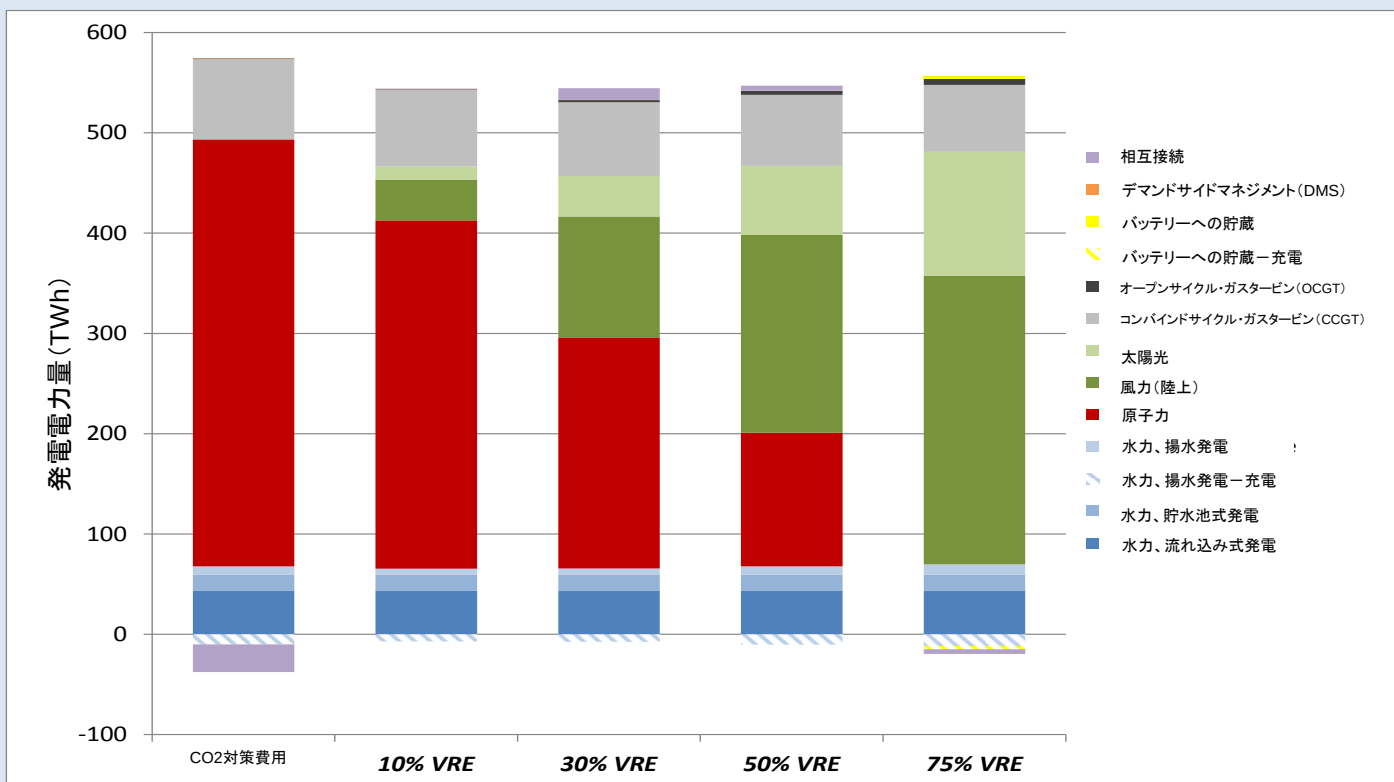
原子力発電のコスト競争力は？



2020年に建設されるプラントの
金利抜き建設コスト

- 今日の市場において、原子力発電の資本コストは大きな問題となっている。
- 建設経験の欠如やサプライチェーンの脆弱さが、建設コストを不確実なものにしている。
- 代替エネルギーのコスト低下に伴い、このような高コストの原子力発電は持続可能ではなくなっている。

低炭素シナリオにおいて 原子力はVREに対抗できるか？



VREの普及率が上昇するにつれ、原子力発電は主として資本コストが高いという理由から、VREに置き換えられている

主な現状

- 再生可能エネルギーの大規模な展開が今後進むことから、電力市場の様相も劇的に変わりつつある。
- 多くの市場で天然ガスの価格が歴史的に低価格な状況にあり、今後何年間は(数十年間とはいかないまでも)、その傾向が続くと予測される。
- 原子力エネルギーは、ゼロエミッションエネルギーとしては唯一、拡大可能で、大規模送電可能な電源である。将来大きな役割を果たすことが期待される一方、技術の改変が必要。



水冷却原子炉： 成功点と課題

世界的にみた成功点

- よく理解されている技術であり、大規模な建設が可能。
- 3・11の事故を経験したものの、世界中で安全運転の優れた実績を有する。
- 信頼性が高く、送電可能なゼロエミッションエネルギーである。

継続的な課題

- 他のエネルギー源と比較して、安全設計・運転、効果的な規制により高コストである。
- 放射性廃棄物処分の問題。
- 一部の国々では、安全性に関する一般公衆の懸念が根強い。

原子力エネルギーが長期的な役割を担うために 必要なイノベーション

- 「固有の安全性」に加えて「本質的にコスト効果的な」核分裂エネルギーの追究。
- 複数のエネルギー市場のニーズに対応できる柔軟性の向上。
- 天然資源から得られるエネルギーを最大化し、放射性廃棄物の毒性を最小化する。
- 総論：未だ不確定な要素が存在する世界の将来のエネルギーシステムに適合する原子力技術確立することが必要である。

しかし、新たなイノベーションを開発・導入するためには、先進的な原子力エネルギー技術の研究開発に世界が今、再び取り組むことが必要である

第4世代炉： 約20年間の歩み



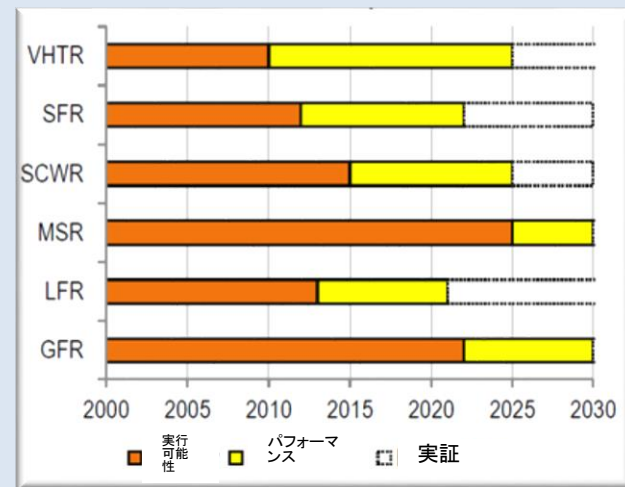
第4世代炉： 次のアクションに向けてのロードマップ



2002年



2014年



- 世界中の100名の専門家が協力して、130件以上のコンセプトを評価した結果をもとに、今後開発と国際協力に向けて、6種類の第4世代システムが選定された。
- GIF 技術ロードマップの初版が2002年に公表された。
- 2014年、福島第一原子力発電所の事故を受けて安全面での活動にさらに重点を置くべく、ロードマップの改定が行われた。

原子力イノベーションに対する逆風： ほとんど進展のみられなかった過去25年間

インフラ面

- 他の多くのイノベーション分野と違い、原子力技術の開発・進歩には、特殊な施設（試験炉、ホットセル、テストループなど）と原子力に関して高いスキルをもった労働者の確保が必要である。
- 核分裂性物質の試験には適切な施設、十分な訓練を受けた作業員、そしてセキュリティと許認可が必要である。
- 世界各地のインフラの多くは40年以上前に建設されたもので、着実に縮小が進んでいる。

規制面

- 今日の原子力規制当局に課せられている業務はイノベーションの促進ではなく、公衆の安全を確保することである。
- 多くの国々では、規制当局自らが技術開発に積極的に関与することはないであろう - 規制当局はむしろ、新たな技術の完成を受けて承認を行う立場にある。
- 規制当局はしばしば、研究者や産業界からはイノベーションの障害とみなされることがある。

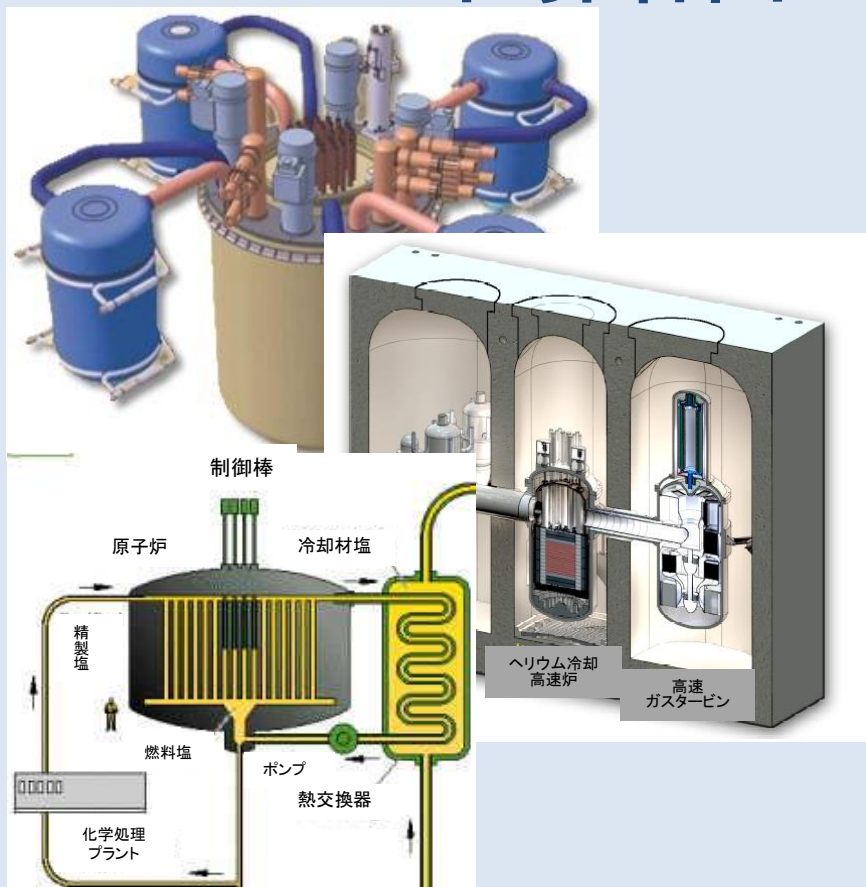
コスト面

- この10年間、多くの国々で原子力技術の研究に割り当てられる予算がプレッシャーにさらされている。
- 原子力技術の場合、研究段階から技術実証段階への移行に際して桁違いの資金増が必要となることが多い。
- 多くの国々で、原子力技術のイノベーションに関わるコストとリスクが採算の取れないものとなっている。

原子力イノベーションに対する逆風

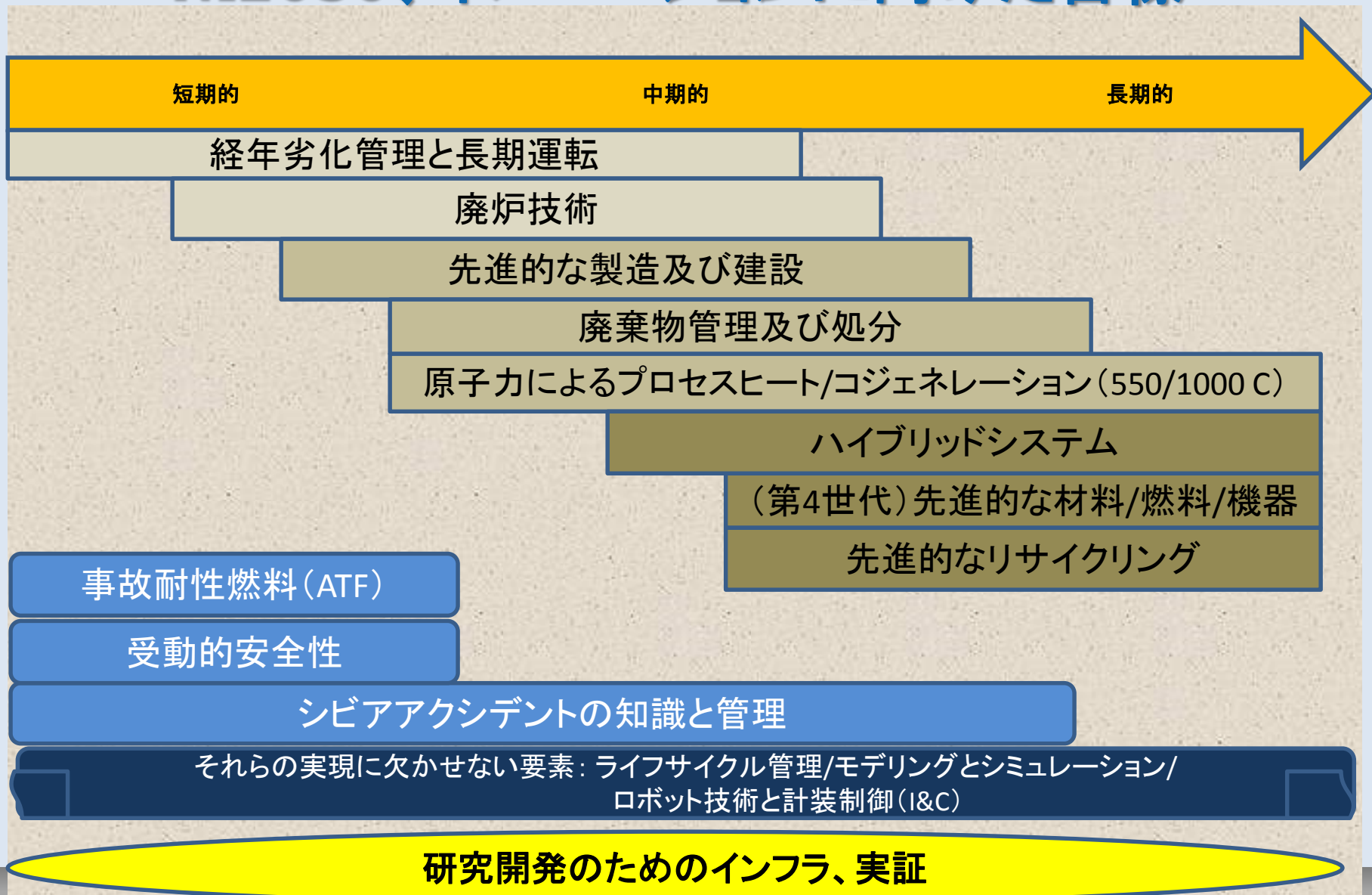
- 原子力エネルギーが進歩を続け長期的な将来において重要な役割を担っていくためには、イノベーションが不可欠である。
- しかし今日、将来の様々な問題の解決に向けて革新的なコンセプトの実現を以前のように迅速に進めていない。
- 長期にわたる開発や確証期間、高いコスト、インフラ面での制約などが、新たな原子力イノベーションにとっての障害となっている。
- これらの障害の中には多国間の協力によって緩和できるものもあるが、集中的かつ入念に調整された対応が必要である。
- 原子力エネルギー技術の重要分野におけるイノベーションの進め方について全世界の研究者、産業界、規制当局、政府が協調して取り組むことを支援するため、NEAは「原子力イノベーション2050」(NI 2050)を立ち上げた。

原子力イノベーション2050(NI 2050): 将来に向けた原子力の研究開発ニーズに関して 世界各国が合意するために



- 10年後、30年後、50年後にはどのような技術が必要となっているであろうか？
- これらの技術を実現させるにはどのような研究開発が必要か？
- 世界は将来に備えて必要な研究開発を実施しているか？
- 我々が協力し合うことで、そうした取り組みをさらに推進することはできないか？

NI2050、イノベーションに向けた目標



まとめ

- エネルギー・環境要件に対応していくためには、今後多くの国々で水冷却原子炉が必要となってくるであろう。
- 一部の軽水小型モジュール炉（SMR）の設計は、よりコスト競争力と柔軟性の高い原子力エネルギーの実現に向けての素晴らしい前進であるといえる。
- しかしより長期的には、他のエネルギー技術と同じぐらいのコストで建設・運転が可能な核分裂エネルギー技術が必要となるであろう。
- 核分裂エネルギー技術はさらに進化していく必要がある。さもないと、すでに古い技術となってしまう可能性がある。
- 今こそ、21世紀のための核分裂エネルギーの開発・展開に向けて現実的な対応が必要である。

ご清聴ありがとうございました



詳細はこちらをご覧ください: @www.oecd-nea.org
NEAの報告書は全て無料でダウンロードすることができます。

こちらもあわせてご覧ください:

