



“TRACKING CLEAN ENERGY PROGRESS”

IEA「クリーンエネルギーの進展評価」

SDS目標達成に向けた主な電力部門の取組状況——原子力を中心に

JAIF 国際部
2018年7月

目次

- IEA ” Tracking Clean Energy Progress” とは
- SDS vs NPSにおけるCO2排出量
- 世界のエネルギー関連のCO2排出量
- いかによりエネルギーの各部門が脱炭素化への努力に貢献しうるか？
- SDS目標達成に向けたエネルギーの各部門の取組状況と評価
- 電力部門概観
 - －電力部門のCO2排出量
 - －SDSにおける電源別発電シェア (1) (2)
 - －電力部門における低炭素投資の割合
 - －SDS目標達成に向けた電源別取組状況と評価 (1) (2)
- 原子力概観
 - －SDSにおける原子力発電設備容量導入目標
 - －最近の原子力動向 (1) (2)
 - －建設中の原子力発電所
 - －SDS目標達成に向けた原子力の取組状況
 - －原子力イノベーションの状況
 - －原子力イノベーションの課題

IEA “TRACKING CLEAN ENERGY PROGRESS” とは

2018年5月23日 Web更新発表

- IEA（国際エネルギー機関）の“Tracking Clean Energy Progress（クリーンエネルギーの進展評価）”は、グローバルなクリーンエネルギーへの移行に不可欠なあらゆる種類のエネルギー技術や部門について包括的かつ厳密に評価
- IEAの持続可能な開発シナリオ（SDS）、すなわち、今世紀末までに世界の気温上昇を2°C未満に抑えるというパリ協定やユニバーサル・エネルギー・アクセスの達成、大気質の改善を図るための道筋に沿って、エネルギー技術の現状とあるべき姿について、最新の情報を提供
- 今回は、エネルギーの5部門（電力・建物・輸送・産業・エネルギー統合）・計38のエネルギー技術のうち4技術のみ（太陽光、照明、データセンター&ネットワーク、電気自動車）長期気候目標の達成に向け、順調に進捗していると評価。その他は順調ではなく、一層の努力が必要と指摘



SDS vs NPS におけるCO2排出量

持続可能な開発シナリオ (SDS) ではエネルギー関連のCO2排出量は2020年以前にピークを迎え、それ以降急速に減少する

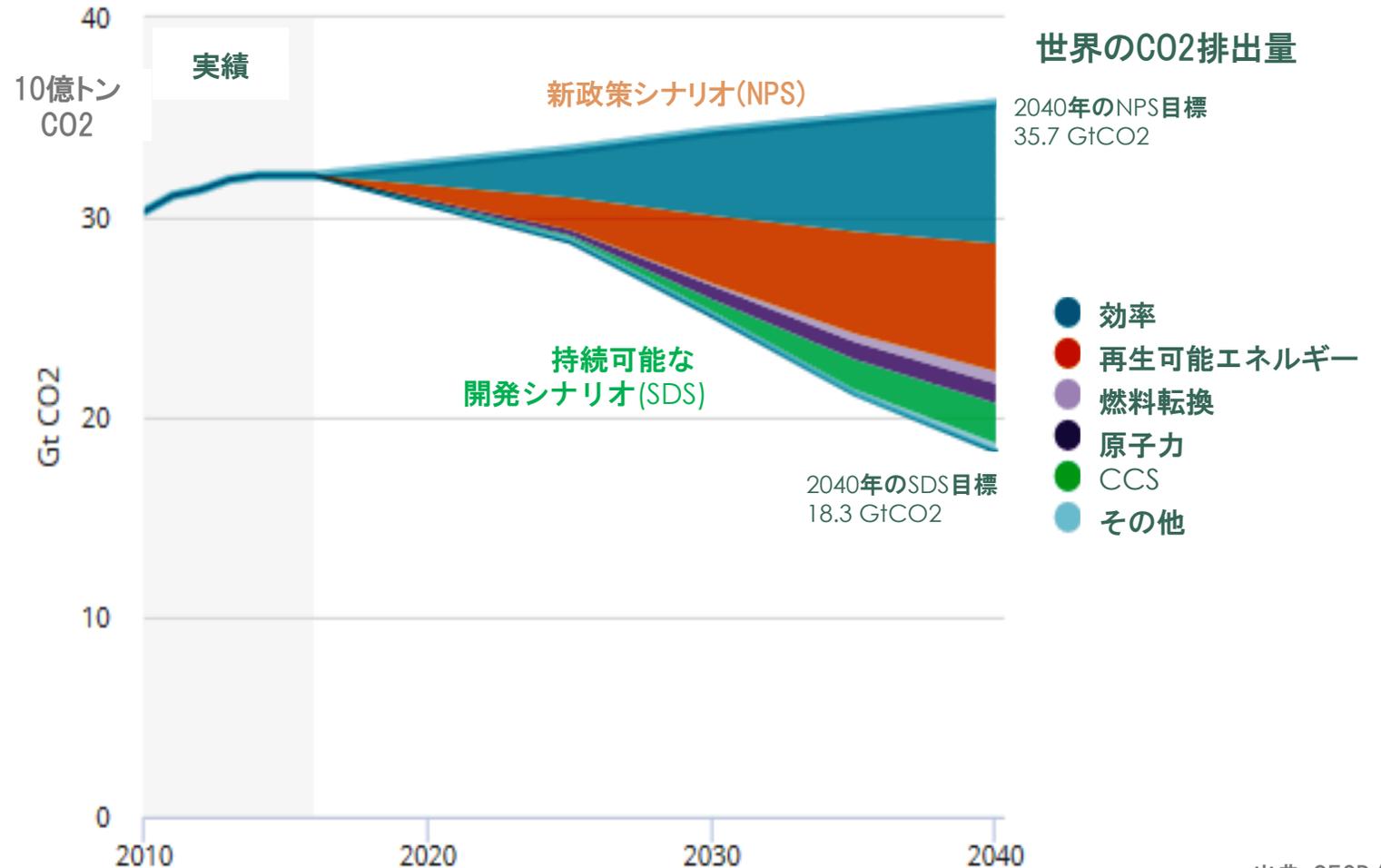
パリ協定の目標に沿って、2040年までに今日の水準のおよそ半分となり、今世紀後半には正味ゼロ排出に向かう

新政策シナリオ (NPS)

2017年央までに発表されたエネルギー政策や関連計画が実施されると想定

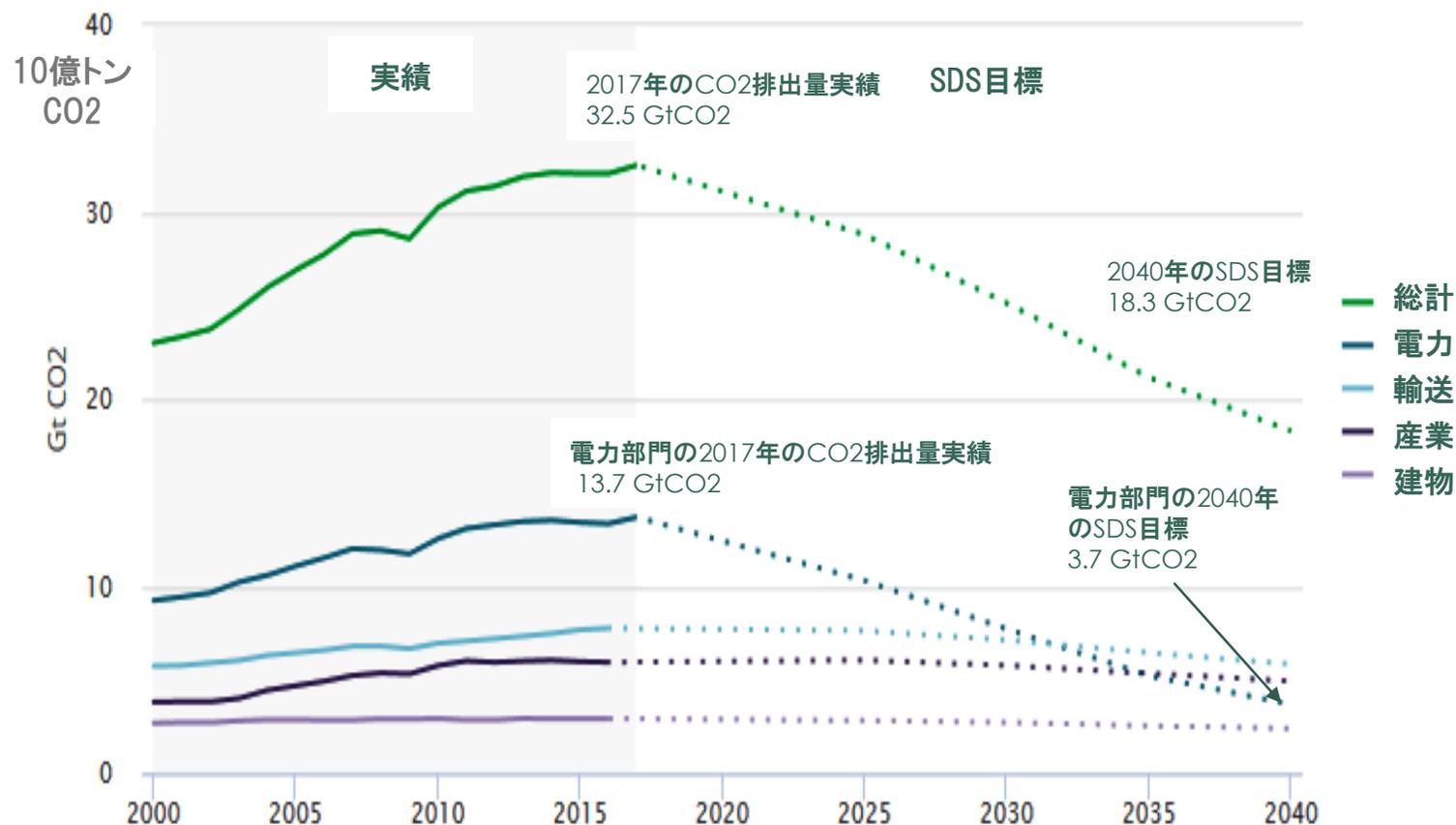
持続可能な開発シナリオ (SDS)

誰もがきれいなエネルギーを利用でき（ユニバーサル・エネルギー・アクセス）、大気質の改善（大気汚染防止）を図りつつ、パリ協定（気候変動対策）の目標に沿って、CO2排出を削減するエネルギーシナリオ



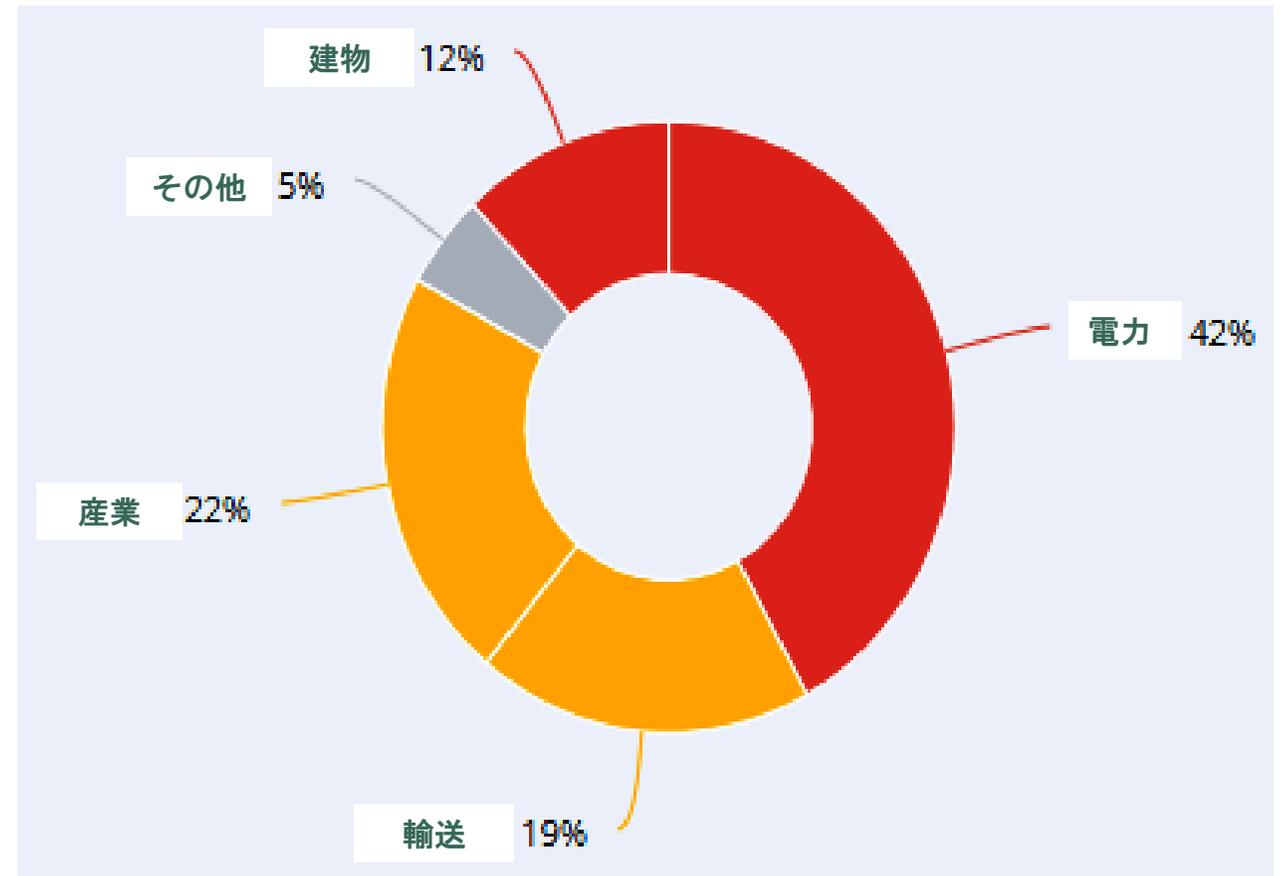
世界のエネルギー関連のCO2排出量

- 世界のエネルギー関連のCO2排出量は過去3年間横ばいに推移していたが、2017年は1.4%増加。長期的な気候緩和目標を達成するためには、CO2排出量は2020年以前にピークを迎え、それ以降急速に減少する必要がある
- IEAのSDSによれば、パリ協定を遵守するためには、年間CO2排出量を2040年までに現在の水準より43%（年平均2.4%）下げる必要がある



いかにエネルギーの各部門が脱炭素化への努力に貢献しうるか？

- 電力部門の脱炭素化は、排出量削減の基本的なステップである
- 建物部門は、冷暖房や電気機器からの需要増加に対応して、前例のない効率改善が必要
- 輸送部門は、クリーン電力のメリットを享受するために、石油から電気へのシフトを含む大きな変革が必要
- 電化が容易でない産業部門は、効率化や積極的なイノベーション、炭素回収を通じて排出を削減しなければならない
- エネルギーの統合技術は、出力変動性の再エネのシェアが増加するにつれて、ますます重要となる



NPSと比較したSDSにおける各部門の2017～40年までの累積排出削減量
(間接排出含む)

SDS目標達成に向けたエネルギーの各部門の取組状況と評価

● 順調 ● より努力が必要 ● 順調でない

エネルギー部門	評価	2017年の傾向
電力	●	排出量は3年間の減少後、2017年は2.6%増加。SDS達成には、排出量を2030年まで年平均4%の削減が必要。2017年は発電の排出原単位の減少も停滞（主にCO ₂ 排出削減の対策を行っていない石炭火力の増加が要因）。排出原単位が2030年までに年間5.6%の減少が必要であることに対して非常に貧弱
建物	●	排出量は2013年にピークを迎えたように見える。2017年の最終エネルギー消費量のほぼ3分の1を占めたが、SDS目標を達成するためにはまだ順調ではない。エネルギーと排出の削減の可能性は、低効率な技術の継続的使用や効果的な政策の欠如、持続可能な建物への低投資のため、未開拓のまま
輸送	●	2017年の排出量はわずか0.6%増加（過去10年間は年間1.7%増加）。効率改善や電化、バイオ燃料がエネルギー需要の伸びを抑制。SDS目標を達成するためには、直接輸送の排出量は2020年頃にピークを迎え、それ以降2030年までに9.1%減少する必要あり
産業	●	予備的な推計では、直接的なCO ₂ 排出量は2010～16年にかけて年間1.3%増加し、83億トンCO ₂ 、すなわち世界全体の排出量の24%に達する。近年、排出量の伸び率は低下。排出量は2015～16年にかけて0.3%増加し、2014～15年の0.5%減少からわずかにリバウンド
エネルギー統合	●	個々のクリーンエネルギー技術はクリーンエネルギー移行への基礎的要素であるが、スマートグリッドやエネルギー貯蔵、水素などのさまざまな「エネルギー統合」技術は、個々の技術の集積的効果を最大限にし、SDSの軌道に乗せるために、重要性が高まっている。一部の分野では進展の兆しが見えるが、全体としてますます重要性を増す統合技術は、一層のイノベーションと政策の重視が必要

電力部門概観

SDS目標達成への道筋は順調ではない

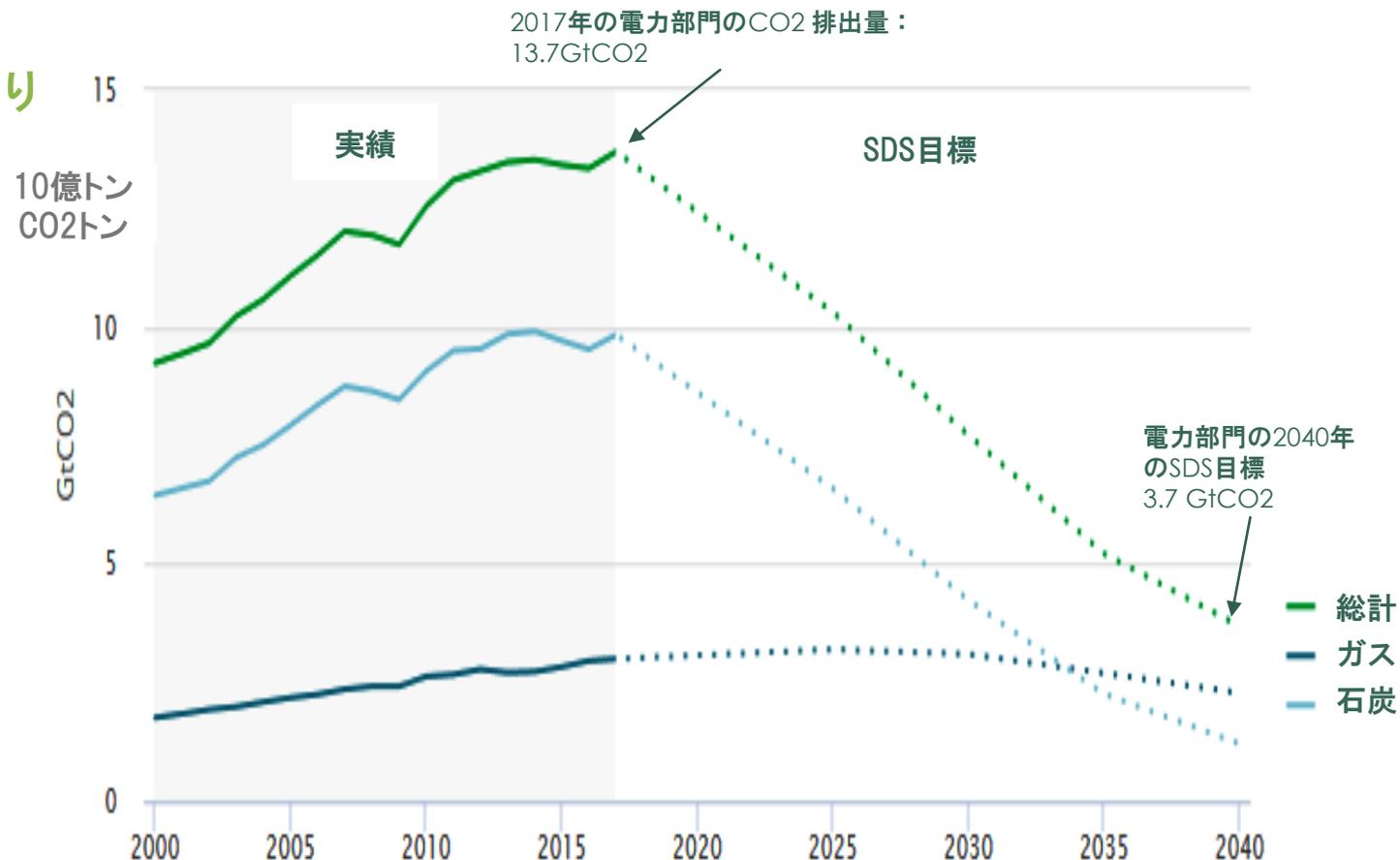
—“Not on track”

電力部門のCO2排出量

2030年のSDS目標達成には

今後CO2排出量を年平均4%減少する必要あり

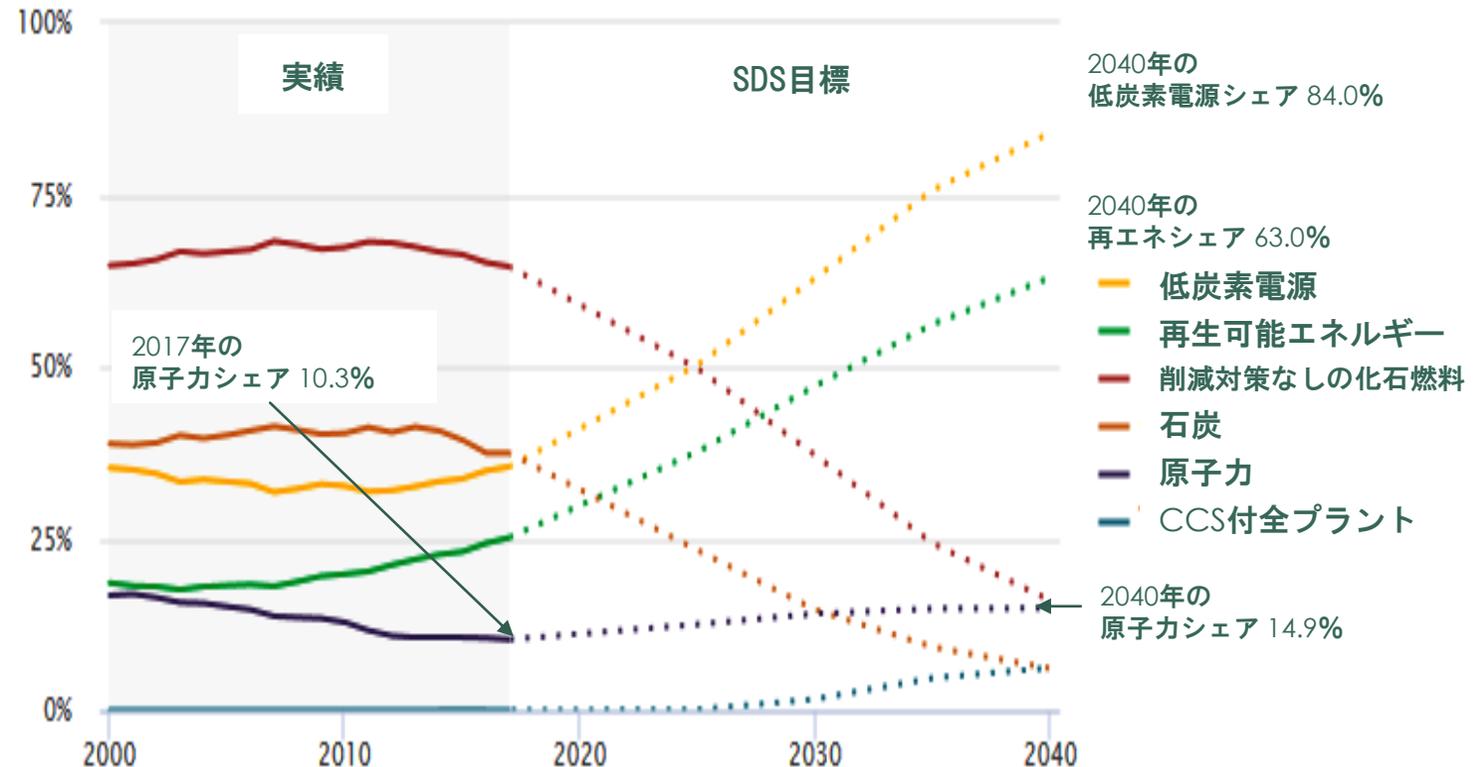
- 2017年の電力部門におけるCO2排出量は2.6%増加（過去3年間は減少）
- 電力部門は、クリーンエネルギーへの移行に中心的な役割を果たす。その理由は、エネルギー関連のCO2排出量において最大の排出源（2017年42%）、かつ最終エネルギー消費において電力の割合が上昇しているため
- 最近の低炭素発電技術の価格下落は、低炭素発電拡大にとって大きなチャンス



SDSにおける電源別発電シェア（1）

低炭素技術*は2030年までにエネルギーミックスの約3分の2が必要

- 2017年は、発電量の約3分の1（35%）が低炭素電源による（再エネ：25%、原子力：10%）
- 2016年と2017年には、再エネの設備容量が記録的に増加し、太陽光が最も展開された
- SDSでは、2030年に低炭素技術による発電シェアが約3分の2（63%）まで増加し、風力と太陽光がその成長の50%以上を占める



*低炭素技術＝再エネ、原子力、CCS（炭素回収・貯留）

SDSにおける電源別発電シェア（2）

■ 再生可能エネルギー

風力と太陽光は増加傾向が継続し、2030年までに新規追加設備容量のほぼ60%を占める。その他の再エネと原子力は、新規追加設備容量のそれぞれ17%、5%を占める。CO₂回収・利用・貯留（CCUS）が2020年代後半から展開されはじめ、2040年までに新規追加設備容量の約4%、新規発電量の5%程度を占める

■ 石炭

SDSから消えていないがその重要性は大きく後退し、2020年代後半から多くの新規石炭火力にはCCUS技術が導入される。SDS目標を達成するためには、2030年の世界の発電量の石炭シェアを15%まで低下させなければならず、2040年までにさらに加速させ6%まで低下させなければならない

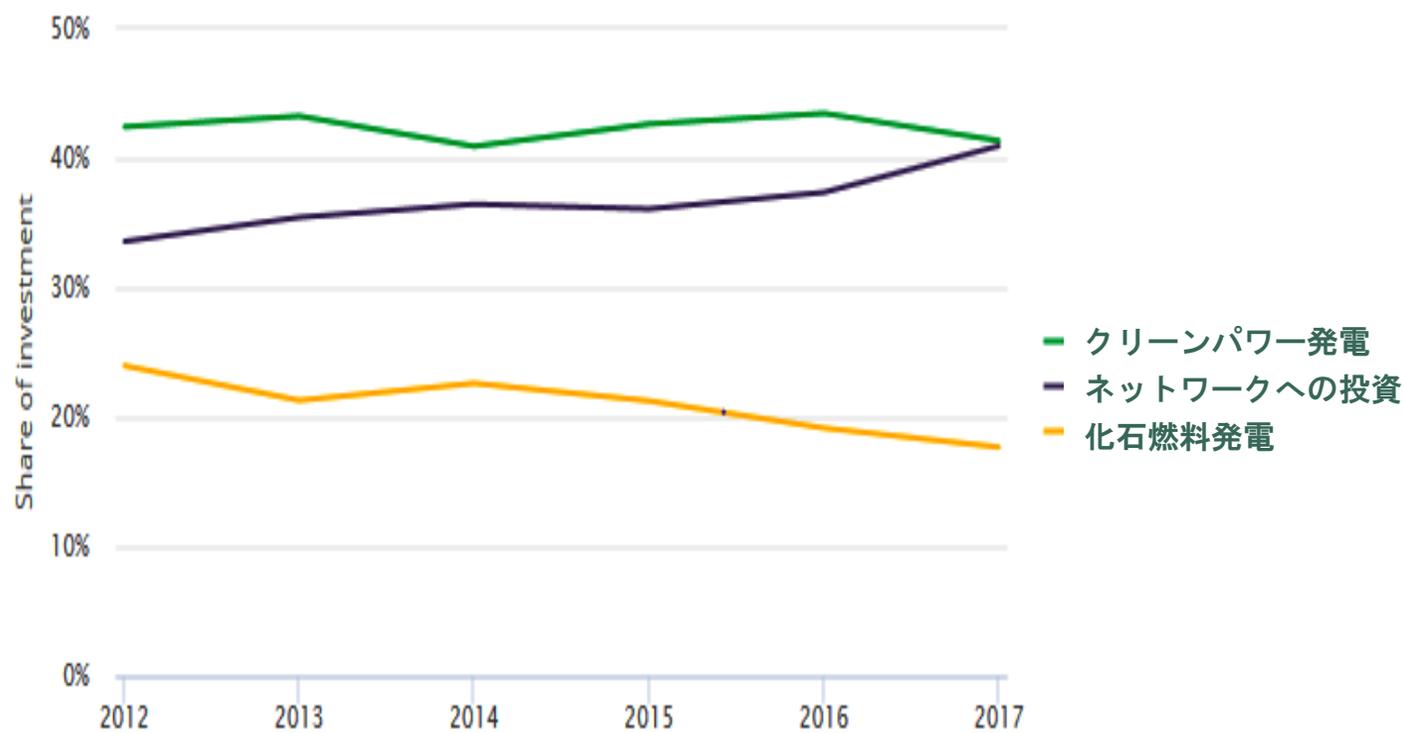
■ 天然ガス

天然ガスは今後十年間ミドルおよびベースロード電源向けの石炭に代わる比較的低炭素な電源であり、出力変動性の再エネとの統合を支援する柔軟性のある電源として機能する。電力部門におけるガス利用の全体的なレベルは、2030年直前にピークを迎え、その後年間3.5%以上の割合で減少し、2040年には現在のレベルより下回る。ガス火力は2025年にCCUSが導入され、2040年までに世界のガス火力の設備容量の1%程度になる

電力部門における低炭素投資の割合

2030年までにSDS目標を達成するためには、年平均9,000億ドルの投資が必要

- 2017年の電力部門における世界の投資額は約7,600億ドル（5%減）。石炭火力への支出が3分の1減少したことが主要因。再エネや原子力を含む低炭素電源への投資のシェアは、発電所への投資全体の70%を超え、最高水準。10年前の50%未満から急速に拡大
- 2017年に送電開始した再エネへの投資は約3,000億ドルで、2016年に比べて7%近く減少。太陽光は設備コストが13%近く下がったが、支出は記録的な水準にまで上昇した。送電開始した原子力発電関連投資は、5年間で最低水準となったが、既存プラントへの改造工事に多くが費やされた
- クリーンエネルギーへの移行のための重要な要素であり、実現手段となる電力網は、5年前の3分の1から増加して、電力部門の総投資額の40%以上を占めた
- SDSの軌道を追求するためには、2030年までに合計約12.5兆ドルの投資拡大が必要。新規発電所やネットワークの建設、改造工事、老朽化したインフラのアップグレードに年平均9,000億ドルの投資が必要。発電所への投資がその約3分の2（6,000億ドル）を占める
- 再エネは発電所の投資の4分の3を占める。電力の送配電に必要なインフラの設置や改造も投資が必要となり、総投資額の3分の1以上を占める



出典: OECD/IEA

SDS目標達成に向けた電源別取組状況と評価（1）

● 順調 ● より努力が必要 ● 順調でない

電源	評価	2017年の傾向
再生可能エネルギー	●	2017年の発電量は6%増加。風力と太陽光の急速な発展により、世界の発電量の4分の1以上に到達。好調な傾向だが、再エネ全体がSDS目標を達成するためには改善が必要。世界の再エネシェアが2017年の25%から2030年には46%に達するためには、全ての再エネの発電設備容量追加分（正味）は、年間6.5%の割合で再エネ発電量が増加するよう加速する必要あり
一太陽光	●	2017年の発電量は34%増加。2017～30年にかけて、年平均17%の成長が必要なSDS目標達成に向け順調
一風力（陸上）	●	2017年の発電設備容量追加は10%減少（2年連続）。この傾向はSDS目標（2030年までに年率12%の発電量増加を維持するために新規建設の継続的な成長が必要）から乖離している
一風力（海上）	●	2017年の発電量は23%増加したが、SDS目標達成には成長をさらに加速させる必要あり
一水力	●	2017年の発電量は2%増加。設備容量は2013年以降、4年連続で減少。SDS目標達成には、2030年までに発電量5,800TWh以上の達成が必要（現在の約40%の増加）
一バイオ	●	2017年の発電量は10%増加。前年より成長率が低く、今後5年間で年間わずか6%だけの増加を予測。2030年までに1,100TWh以上を発電する目標を掲げたSDS目標を達成するためには、改善が必要

SDS目標達成に向けた電源別取組状況と評価（2）

● 順調 ● より努力が必要 ● 順調でない

電源	評価	2017年の傾向
一地熱	●	地熱の開発前リスクは依然として高く、過去10年間に掘削コストが増加。一部の国では投資コストが高騰。地熱の発電設備容量はSDS目標を達成するために十分なスピードで成長していない
原子力	●	2017年の新規運開はわずか360万kWと急減。建設開始も依然低調。投資の低迷や脱原子力政策、閉鎖により、2030年までに必要とされる1億8,500万kWの正味増加目標を達成することは非常に困難な見通し。2018～20年にかけての中国、インド、ロシアの建設意思決定が、2030年以降に原子力発電がSDS目標を達成するかどうかのカギを握る
天然ガス	●	2017年の発電量は1.6%減少。米国の発電量の減少による。現状の成長率では、SDS目標達成には不十分。出力変動性の低炭素な再エネとの統合を促進する移行燃料、かつ柔軟な発電源として、SDSでは2027年まで成長軌道を辿るが、これをピークに着実に減少
石炭	●	2017年の発電量は3%増加。主にアジア、特に中国とインドの堅調な成長による。石炭への投資は2017年に3分の1減少し、新規建設への最終投資決定は減少継続。SDS目標を達成するためには、2030年までにCO2排出削減の対策を行っていない石炭火力の発電量を年5.6%ずつ削減する必要あり
CO2回収・利用・貯留（CCUS）	●	2017年末時点で2基の大規模CCUSのみ稼働、年間240万トンのCO2回収能力を持つ。CCUSは、2030年までに年間3億5,000万トン回収を掲げるSDS目標を達成するためには不十分

原子力概観

SDS目標達成には努力が必要

—“More efforts needed”

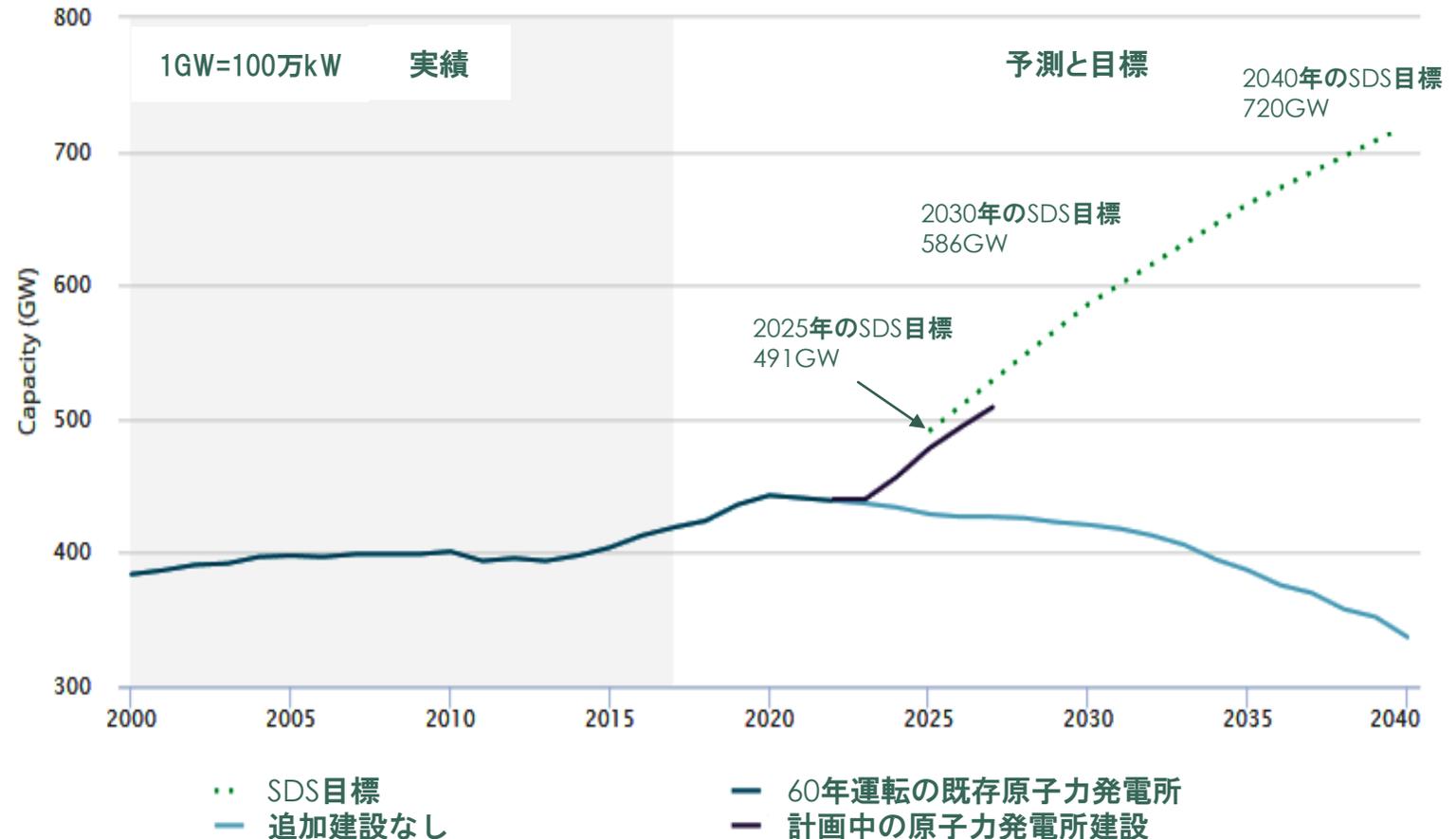
SDSにおける原子力発電設備容量導入目標

今後数年内の

計画中原子力発電所の建設決定がカギ

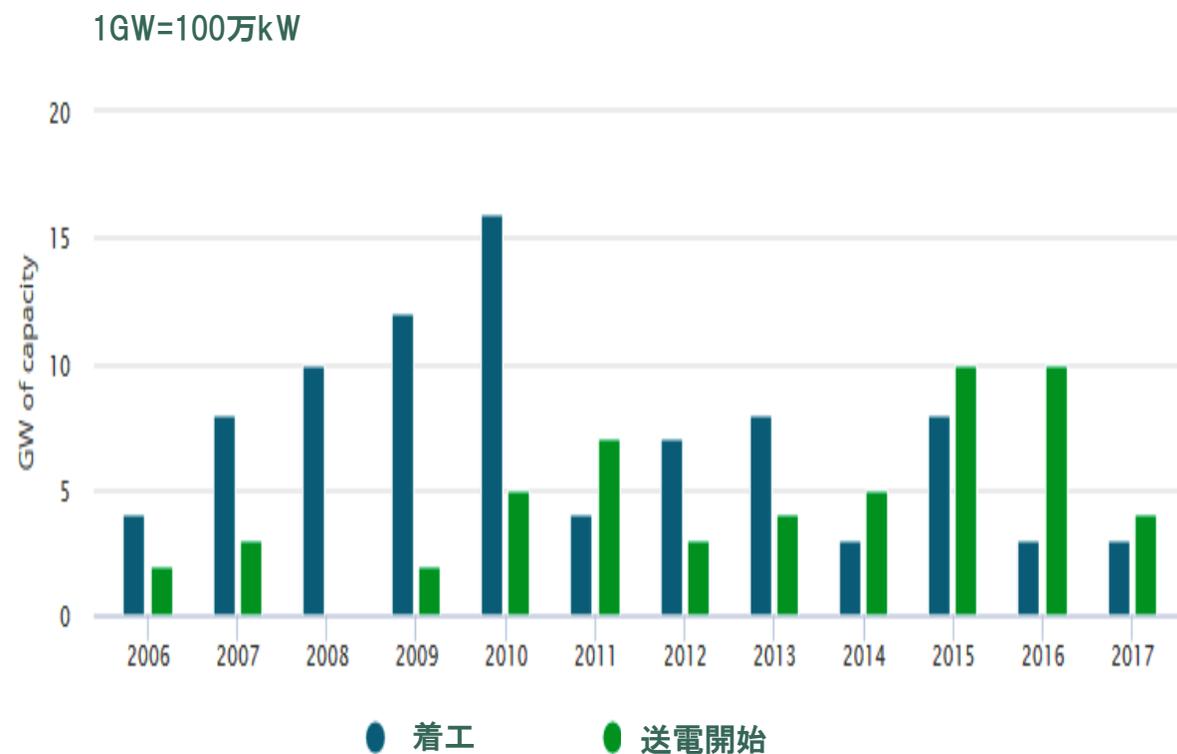
2017年の傾向

- 新規運開は360万kWと減少
(2016年:1,000万kW)
- 新規建設が低迷
投資の低下や脱原子力政策、閉鎖により建設中は5,600万kW
- このままでは2030年までに必要な正味増加分の1億8,500万kWの目標達成は、非常に困難な見通し
- 2018～20年の中国、インド、ロシアの建設決定が、原子力発電が2030年以降にSDSの目標を達成するかどうかのカギを握る



最近の原子力動向（1）

- 2017年の原子力発電設備容量の追加分: 360万kW
 - 2016年の1,000万kWから大幅に低下
- 過去5年間の送電開始: 3,300万kW
 - 中国が3分の2を占める
- 過去5年間の閉鎖: 1,800万kW
 - 日本で730万kW、米国で490万kWがそれぞれ閉鎖
- 最近の建設はアジアが中心
 - 中国、インド、韓国が建設中の半分以上を占める
- 中国の建設開始はここ2年鈍化
 - 2016年230万kW、2017年60万kW（高速炉）
 - 2018年には8基程度の見通し
- 世界の発電設備容量において中国が占める割合は、2010年の3%から2017年には9%に上昇
 - 2030年までのすべての純増が非OECD諸国に由来すると予測するSDSと一致
- 2017年の投資額: 90億ドル（2016年に比べて約70%減）
 - 最終投資決定の指標となる着工数は依然低迷
 - OECD諸国を中心とした既存プラントの運転寿命延長に向けた改造工事に対する投資は約80億ドルに上昇



出典: OECD/IEA

最近の原子力動向（2）

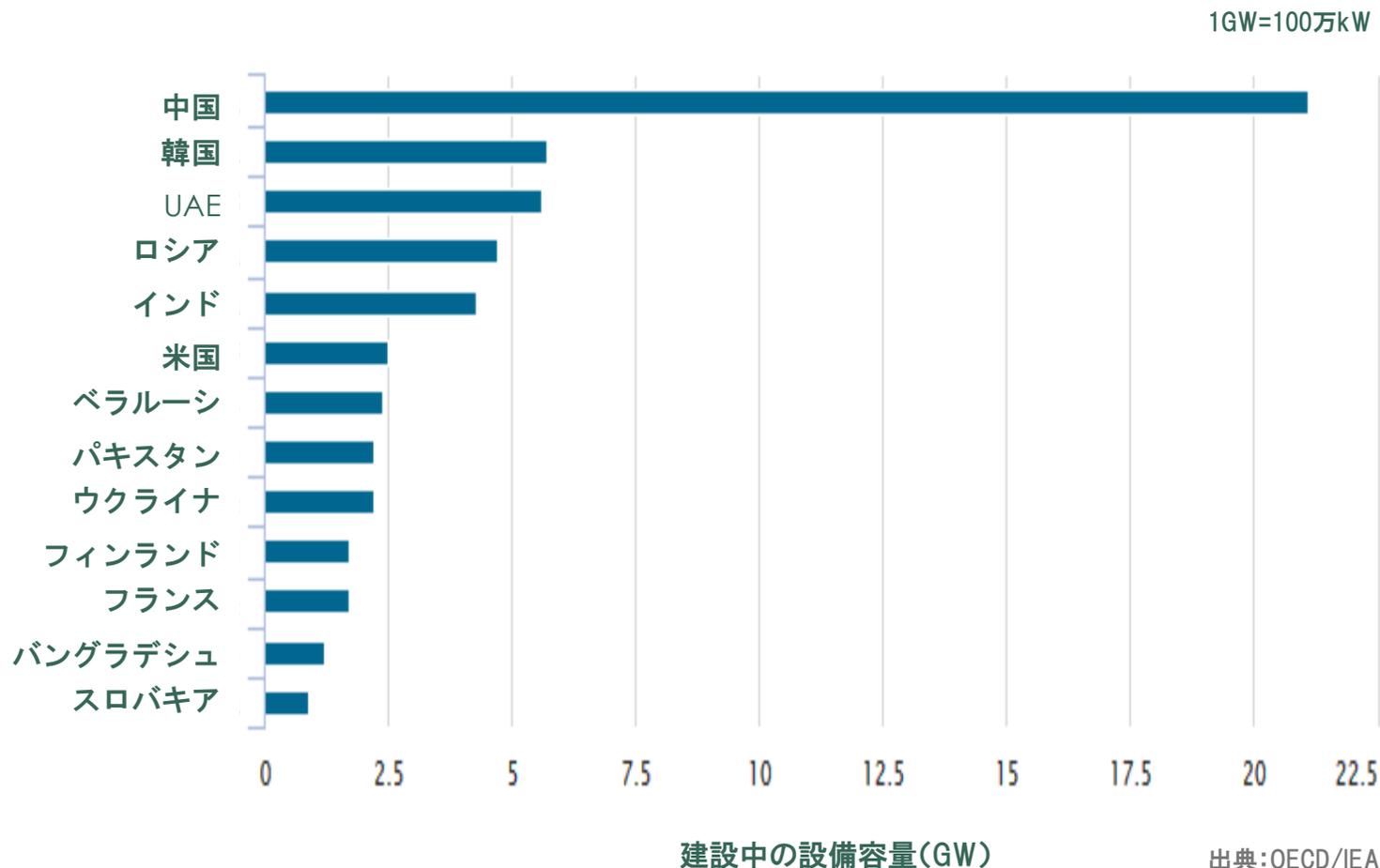
国	2017年の主な動き	
パキスタン	送電開始 (4基)	チャシュマ4号機
中国		福清4号機、田湾3号機、陽江4号機
インド	着工 (4基)	クダンクラム3、4号機
バングラデシュ		ルプール1号機
韓国		新古里5号機
韓国	閉鎖 (5基)	古里1号機
日本		もんじゅ
スウェーデン		オスカーシャム1号機
ドイツ		グンドレミンゲンB号機
スペイン		サンタ・マリアデガローニャ
米国	建設中止 (2基)	V.C. サマー2、3号機
フランス	政策上の動き	2025年までに原子力シェアを75%から50%に低減する目標を2030～35年に変更
スイス		新たなエネルギー戦略に関する国民投票で、新規建設禁止が維持される一方、既存炉の運転寿命制限は否決
韓国		市民陪審団が文大統領の新古里5、6号機の即時建設中止計画を否決する一方、新規建設を禁止し、2030年までに全体の3分の1にあたる800万kWを退役させるという脱原子力政策は支持

建設中の原子力発電所

2017年末

建設中の多くの原子炉はアジアに集中

- 中国や韓国は、予測可能なコストとスケジュールで複数基の建設能力を有する。韓国はUAEで4基建設中、初号機は2019年に運開予定
- 中国が5カ年計画（2020年までに運転中58GW＋建設中30GW）を履行し、かつインドが2032年までに6,300万kWの原子力発電導入計画を実行すれば、2030年以降のSDS目標の達成は手の届く範囲内となる
- ロシアの国営原子力企業Rosatomは、2017年中だけで10以上の協力協定を締結。多くは予備調査だが、中には、実際の建設に向け詳細協議中のものも存在



出典:OECD/IEA

SDS目標達成に向けた原子力の取組状況

- 2020年のSDS目標である原子力発電設備容量4億3,800万kWは、4,000万kWの建設が完了する見通しであるため、達成の見込み
- 但し、2025年目標の4億9,000万kWの達成は、脱原子力の進展により危うい。原子力発電所の建設には5年以上かかるため、今建設しても2023年前には運転開始しない。短期的な予測は可能だが、原子力政策が不透明なため、2025年以降の見通しは難しい
- ベルギーやドイツ、韓国、台湾の最近の脱原子力政策により、現在の世界の原子力発電設備容量4億1,400万kWのうち、2025年までに2,500万kWが退役する。米国や欧州における追加の500万kWの閉鎖は、政府の政策や税制を含む様々な経済的な理由により発表された
- 追加の運転認可延長がなければ、2030年までに5,500万kW以上が退役する。2030年までに世界の原子力発電設備容量の純増分1億8,500万kWの目標を達成することはさらに困難になるであろう
- これらの退役は現在の許認可制度や政策では、2040年までに約2億kWに増加するが、もし全ての既存炉の80年運転が可能になれば、260万kWとなる
- 恐らく80年運転は広く採用されないであろうが、この違いは、原子炉の運転期間延長が近い将来、大きなインパクトを与える可能性があることを示している。1億kW以上の原子力発電設備容量を有する米国では、原子力規制者は既に、80年運転に向けた許認可申請のためのガイドラインの準備を進めている

原子力イノベーションの状況

- 原子力分野におけるいくつかの大きな努力は、投資リスクの減少、小規模グリッドや非電力分野への潜在的な利用の拡大、安全性の向上により、原子力利用展開の増加に対する障壁を軽減することをめざしている
- 世界原子力協会（WNA）によると、世界では5基の小型モジュール炉（SMR）が建設中であり、少なくとも10種類のSMR設計が近い将来の利用に向けて準備されている。SMRは出力30万kW以下の原子炉の総称である。SMRは、工場での製造を大幅に増やし、小規模グリッドでの利用に適し、先行投資を軽減する。建設中の5基に加え、カナダ、英国、米国の3カ国は最近、実証プロジェクトとして少なくとも1基のSMRの展開に向け、政策措置を講じている
- 事故耐性燃料は、SDS目標の達成に重要な貢献を果たすことができる。これらの燃料は、事故状況下でより堅固なパフォーマンスを提供し、既存炉の運転寿命延長に役立つ可能性がある。多くの燃料供給者は、このような燃料を開発中である。GNF社は最近、米国の商業炉で先進的な燃料被覆材を使用した初の燃料集合体を装荷した

原子カインベーションの課題

テーマ	RD&Dが重要な理由	今後5年間の主要なRD&D分野	主な取組
50～60年運転 (運転期間延長)	建設に必要な資金が既存炉の寿命延長によって低下する可能性。SDS目標達成のためには、多くのプラントが改造工事や寿命延長を実施する必要あり。しかし、コスト低減と寿命延長の可能性を高めるための重要な研究開発ギャップあり	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運転延長のための新材料や改良技術の探究 ・ 柔軟性のある運転のための蒸気発生器の設計や開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 総額6億7,000万ドルが廃棄物処分やサイト評価を含む原子力の寿命延長に大きく帰することができるIEAのRD&D予算に織込済 ・ 系統・構造物・機器の経年劣化評価。核燃料・被覆材の性能に関する科学的知識の改善と高性能・高燃焼度燃料の開発への利用
SMR	新規導入国やニッチ市場への展開可能性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 先進的SMRの設計のために改善された材料/燃料開発 ・ 大型炉の「規模の経済」と競合するための製造プロセスへの直接的な研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 米DOE (LWRと高速炉設計を用いたSMRを含む先進原子炉技術に向けた3,000万ドルの資金提供プログラム) ・ 英国のSMRプログラム (SMRの潜在的な設計や開発加速のため、5,600万ポンド提供)
電熱併給	原子力は低炭素の熱源でもあり、エネルギーシステムの他の部分を脱炭素化する重要な役割も持つ	地域暖房や海水脱塩、工業生産プロセス、燃料合成のための抽出技術やプロセスの探究	約74のプラントで地域暖房や海水淡水化用に熱を利用 その多くは古い技術 (例: ノルウェーのハルデン炉、スイスのゲスゲン炉)