

原子力事業環境整備の海外事例 費用回収とファイナンスの課題への対応

電力中央研究所 社会経済研究所

研究参事 服部 徹

第40回 原子力小委員会

2024年8月20日

 電力中央研究所

アウトライン

- ◆ はじめに
- ◆ 新增設に向けた事業環境整備
 - 英国HPCに対する事業環境整備（FIT-CfDと債務保証）
 - 英国SZCに対する事業環境整備（RABモデルと国の出資）
 - フィンランドの「マンカラ方式」（需要家コンソーシアムとの長期契約）
 - フランスにおける事業環境整備（需要家との契約、CfD）
 - 米国の革新炉に対する債務保証
- ◆ 既設炉の維持に向けた事業環境整備
 - 米国の州による既設炉への施策（ゼロ・エミッション・クレジット）
 - 米国連邦政府による既設炉への施策（生産税控除、債務保証など）
 - ベルギーの運転期間延長に伴う施策（CfDなど）
- ◆ バックエンドに関する事業環境整備
- ◆ 【参考】事業者による資金調達の実践
- ◆ まとめ

はじめに

- ◆ 脱炭素化やエネルギー安全保障の確保に向けて、再生可能エネルギーのさらなる拡大だけでなく、安定的な脱炭素電源としての原子力発電の活用が諸外国で再評価されつつある
- ◆ しかし、電力市場が自由化されている欧米諸国では、巨額の初期投資が求められ、事業期間が長期にわたり、不確実性の高いバックエンド等に対する責任を負うなど、原子力発電の特性に起因する様々な経済的リスクが、その投資・費用回収やファイナンスを困難にしており、わが国でも同様の懸念が示されている
 - ▶ わが国での懸念については、第38回原子力小委 資料4「次世代革新炉への投資や再稼働投資に関わる原子力事業環境面での課題」（2024年2月20日）を参照
- ◆ 以下では、電力市場が自由化された中で、脱炭素化やエネルギー安全保障の確保に向けて、再エネに加えて原子力発電を活用しようとする諸外国において、費用回収やファイナンス面を中心とする事業環境整備の取り組みについて概観する
- ◆ なお、本報告では、海外において、原子力発電所の費用回収や資金調達のために、どのような対応策が採られてきたのかを説明するが、**わが国と諸外国では、国の関与や電力市場の制度など、原子力事業を取り巻く状況が異なり、日本での適用可能性については、別途議論・検討されるべきものであることを前提**としていることにご留意いただきたい

新增設の費用回収・ファイナンス

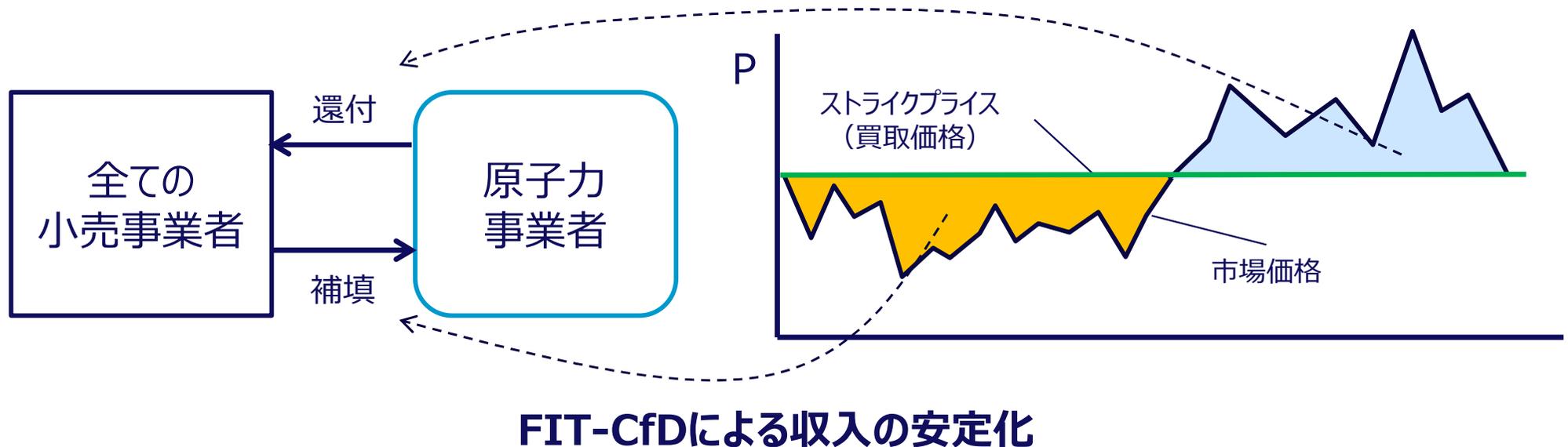
- ◆ 先進国における近年の原子力の新規投資は、費用回収やファイナンスにおいて様々な手法が採られている

	英国		フィンランド	フランス	米国・ジョージア州
発電所	Hinkley Point C	Sizewell C	Olkiluoto 3	Flamanville 3	Vogtle 3&4
所有者	EDF、CGN	EDF、英国政府	TVO (非営利有限責任会社)	EDF	民営および公営の複数の電力会社
電力市場	自由化		自由化	自由化	小売は規制
ファイナンス	プロジェクトファイナンス		ハイブリッド (マンカラ方式)	コーポレートファイナンス	プロジェクトファイナンス
費用回収手法	小売事業者との差額契約 (CfD)	規制資産ベース (RAB) モデル	株主 (大口需要家) との契約	事業者自身の売電収益	需要家が支払う規制料金
費用回収開始時期	運転開始後	建設期間中から一部回収可	建設期間中から一部回収可	運転開始後	建設期間中から一部回収可
債務保証	英国政府		フランスの輸出信用機関		連邦政府
バックエンドの資金管理	廃止措置基金プログラム (FDP) に基づき、外部基金に拠出 (国営時代に建設された既設炉については国が負担)		外部基金に拠出 (新設・既設共通)	内部分離勘定で管理 (新設・既設共通)	外部基金に拠出 (新設・既設共通)

出典：OECD/NEA (2020)などを参考に作成

英国HPCに対する事業環境整備

- ◆ 英国で電力の自由化後初となる新規の原子力発電所Hinkley Point C (HPC) に対しては、再エネと同様に、国が差額契約型固定価格買取制度 (FIT-CfD) を適用し、運転開始後35年間の収入の予見性を確保して、その投資を促そうとした
- ◆ 国による重要なインフラプロジェクトに対する債務保証の適用も検討されていた
 - 2015年には、第1段階として条件付きで20億ポンドの債務保証が提示されていたが*1、実際には、債務保証の契約は締結されなかった模様
 - 2024年に入り、EDFが英国政府に債務保証を求めたものの、英国政府は拒否したとの報道も*2

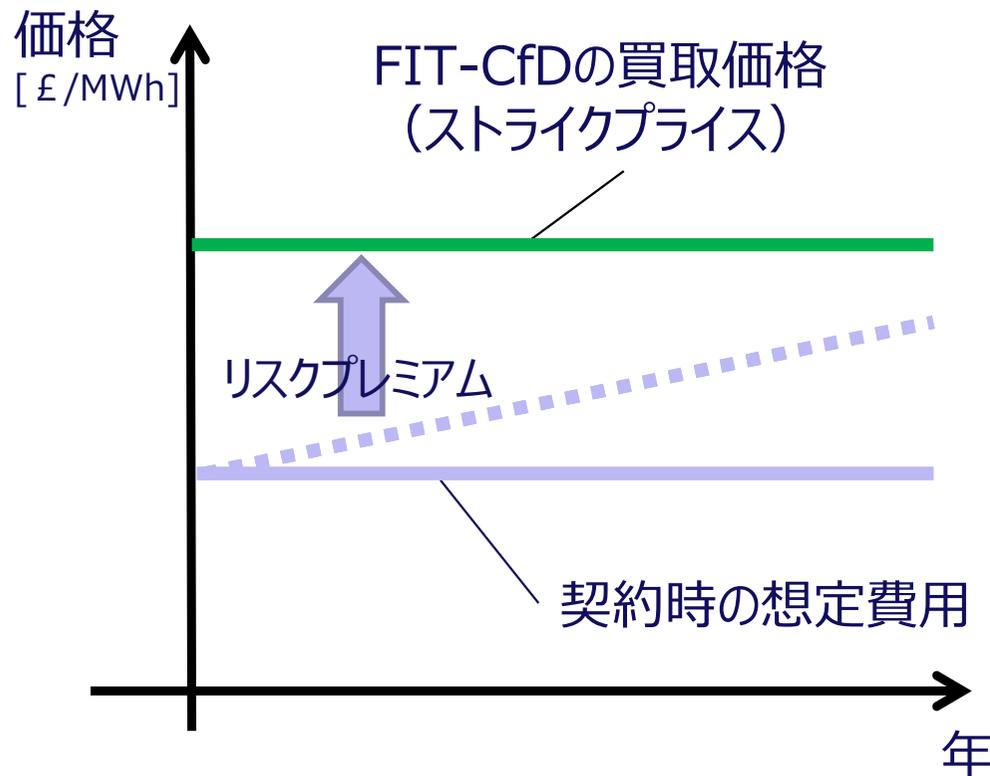


*1 GOV.UK "£ 2 billion support for Hinkley Point," News story, 21 September 2015

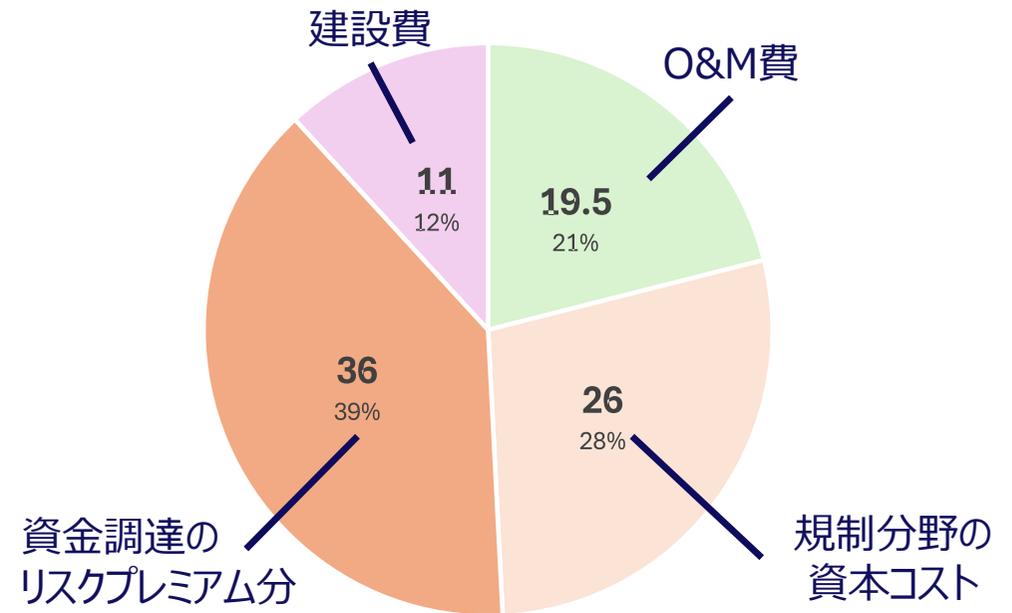
*2 The Institution of Engineering and Technology "UK set to refuse request for Hinkley C loan guarantees," 31 January 2024

HPCに対するFIT-CfDの課題

- ◆ FIT-CfDにより、長期で固定化する買取価格（ストライクプライス）は英国政府とEDFの交渉で決められたが、建設費用の上振れリスクなどに起因して、リスクプレミアムが大きく膨らんだこともあり、かなり高い水準に押し上げられた
 - その高さに対する批判もあって、その後の新設計画（Horizonなど）も中止に追い込まれた



費用の不確実性の下でのFIT-CfD

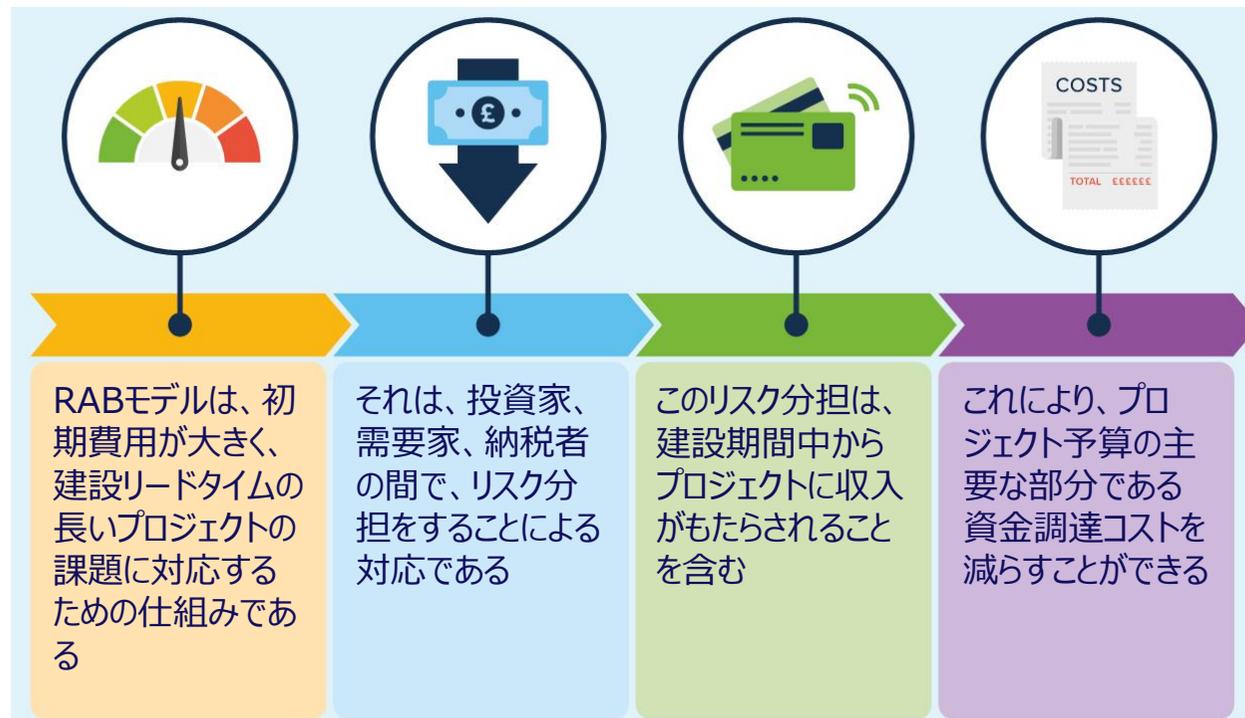


出典：UK NIA (2020)のデータをもとに作成

Hinkley Point Cのストライクプライス (92.5ポンド/MWh) の内訳

英国SZCに対する事業環境整備

- ◆ 英国でHPCの次に建設予定のSizewell C (SZC) に対しては、需要家と投資家が費用の変動リスクを分担して負うことで資金調達コストを低減できる「規制資産ベース (Regulated Asset Base) モデル」が適用されることになっている*1
- ◆ また、英国政府が自らSZCの運営会社の50%の株式を取得することを決定*2



出典：DESNZ(2024)

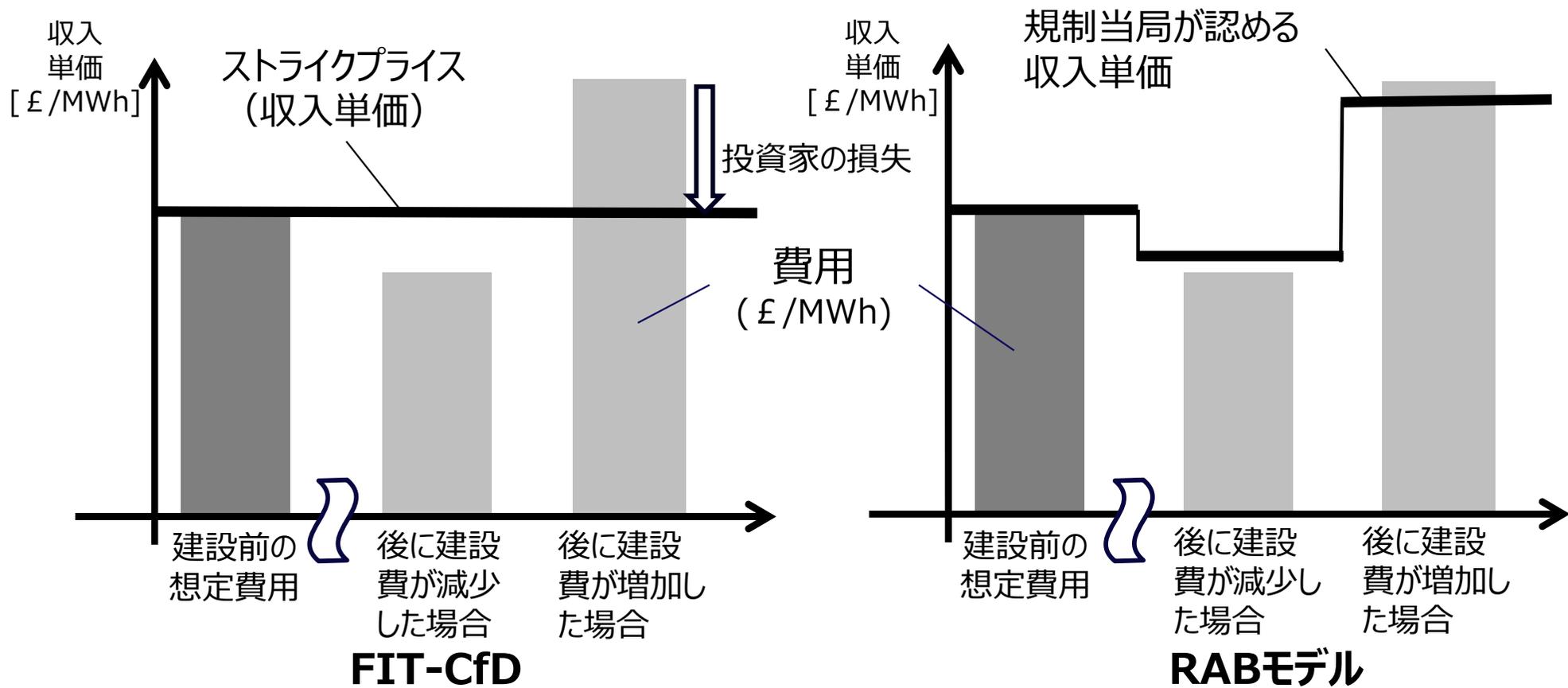
英国RABモデルにおけるリスク分担とその狙い

*1 服部(2022a)を参照

*2 GOV.UK "UK government takes major steps forward to secure Britain's energy independence" Press release (November 29, 2022)を参照

FIT-CfDとRABモデルの比較

- ◆ FIT-CfDの下では、建設費が後で増加した場合の損失のリスクを投資家が負うが、RABモデルでは、需要家も広く薄くリスクを分担して投資家が負うリスクを軽減する
 - その結果として、総費用の大きな部分を占める資金調達コストを削減できる*1



*1 英国政府によると、RABモデルの適用で、FIT-CfDの場合と比べて少なくとも300億ポンドの節約が可能とされている。BEIS(2021)参照。

RABモデルの詳細設計

- ◆ 英国のRABモデルでは、遅滞なく建設を進め、効率的な運転を促すため、様々なインセンティブ条項が組み込まれる一方で、長期の計画外停止になった場合に、事業者が申請できる収入支援等が設けられる予定である

RABモデルにおけるインセンティブ等

CAPEXインセンティブ

実際の投資額が一定の閾値を下回った場合は、事業者が獲得できる収入が増える

商業運転開始日に関するリクワイアメント

建設に遅延が生じた場合は、事業者が確保できる収入は減額される

利用率に関するインセンティブ

目標とする利用率を上回った場合に、追加的な収入が認められる

RABモデルにおける収入支援等

計画外停止等に伴う収入支援

計画外停止の場合、事業者は、当面の流動性の確保に必要な資金もしくは2年後の収入の追加のいずれかを申請することができる

最低収入の保証

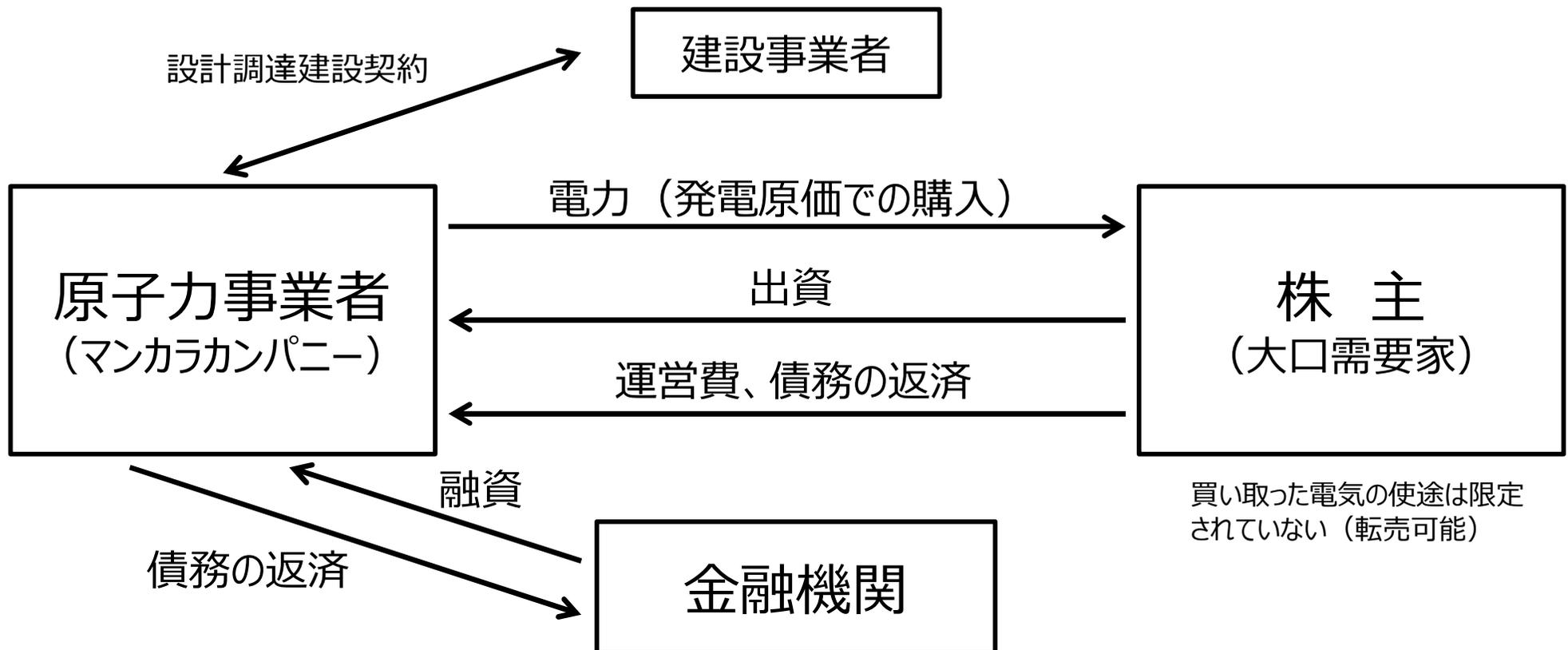
事業者が運転期間中に債務不履行に至らぬよう、毎年、最低限確保できる収入を設定

法改正等の影響を判断するための手続き

法改正の影響を調整するかどうかを規制当局が判断するための手続きを定める

フィンランドの「マンカラ方式」

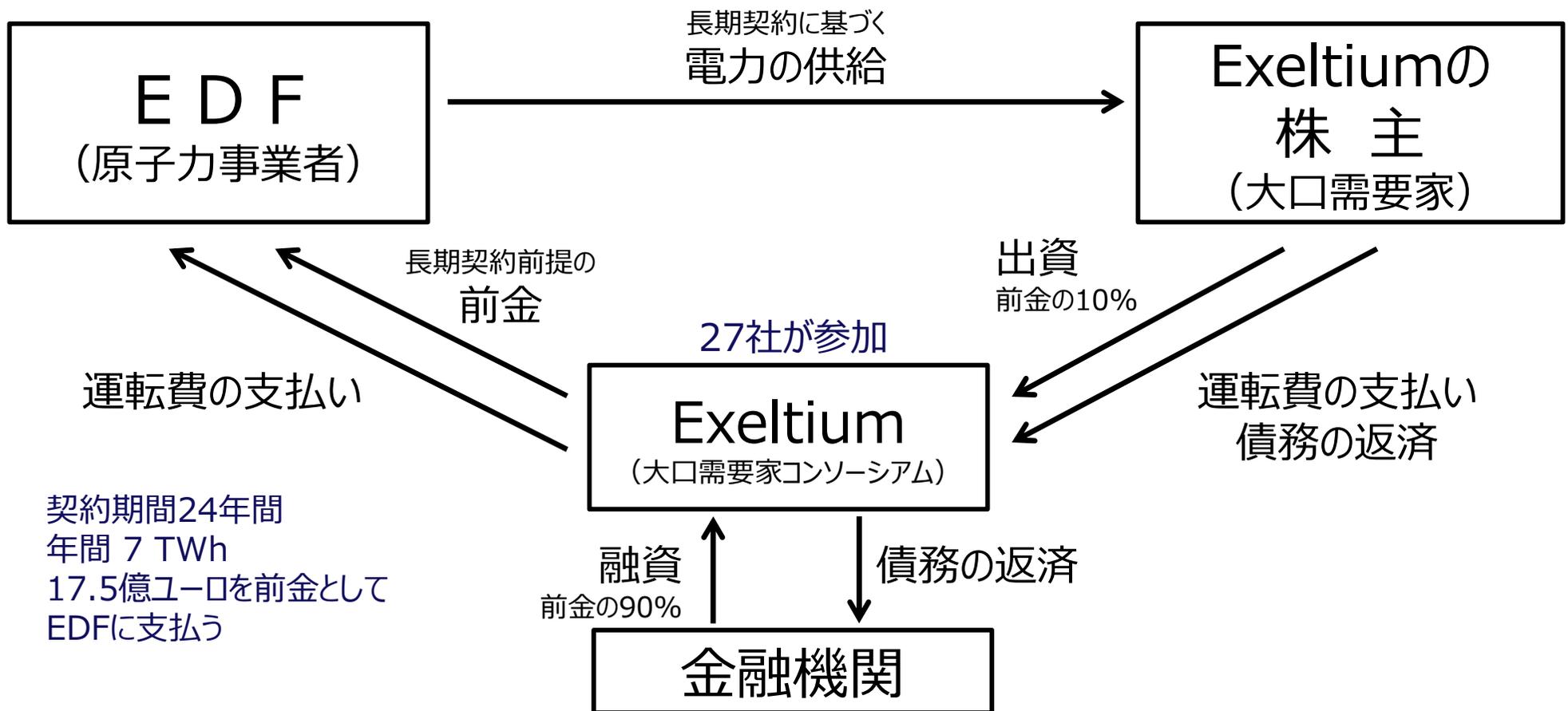
- ◆ フィンランドで建設されたOlkiluoto-3では、大口需要家のコンソーシアムが、非営利の有限責任会社として設立された原子力発電事業者の株主となって出資するのと引き換えに、出資比率に応じて発電した電力を発電原価で購入できる契約を結ぶ、「マンカラ方式」と呼ばれる方法で資金調達を行っている 「マンカラ」とはもともと水力発電所の名前



出典：服部 (2015)に基づき作成

フランスの需要家との契約による資金調達

- ◆ フランスのEDF*1は、基本的にはコーポレートファイナンスで資金調達を行っているが、大口需要家のコンソーシアムとの長期契約による資金調達も行っていた
 - Flamanville-3の建設に活用された可能性もあるが、個別の発電所との関係については不明

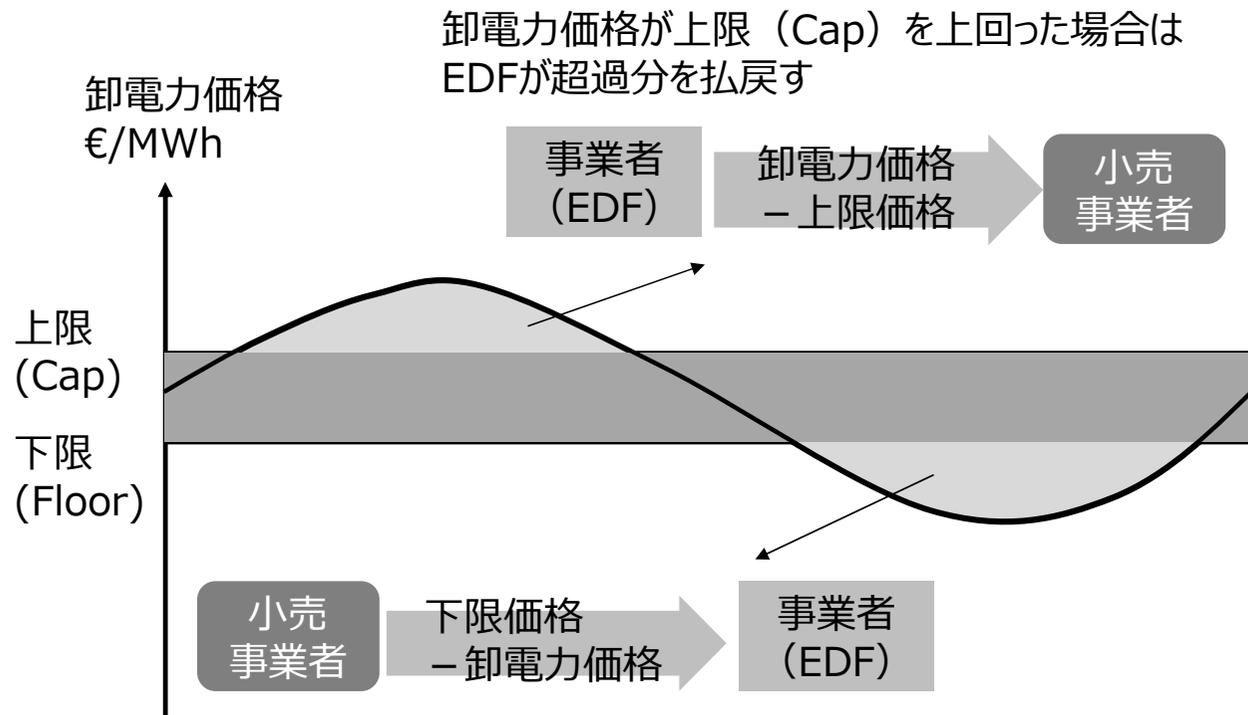


出典：服部 (2015)に基づき作成

*1 現在は、フランス政府がEDFの株式の100%を保有している

フランスで検討されていたCfD

- ◆ フランスでは、既設炉に加え、Flamanville-3などの新設炉も対象に、EDFの原子力発電に対し、価格の上限と下限を設定する双方向のCfDの導入を検討していた
 - ただし、2023年11月にフランス政府とEDFが合意した内容によると、現在は、原子力発電所で発電した電力の先渡し契約を70ユーロ/MWhで販売することを目標とする制度の導入を検討中^{*1}



卸電力価格が上限 (Cap) を上回った場合は
EDFが超過分を払戻す

卸電力価格が下限 (Floor) を下回った場合は
小売事業者が不足分を補填する

出典：服部 (2022c)を参照

^{*1} EDF "Launch by the French government of a public consultation on a proposed system to protect electricity consumers from 1 January 2026" Press Release. 24 November 2023

米国の革新炉に対する債務保証

- ◆ 米国ジョージア州^{*1}で建設されたVogtle-3&4に対しては、連邦政府からの債務（融資）保証が2回にわたって供与されている

米国では、2005年のエネルギー政策法（Energy Policy Act of 2005）により、革新的技術を採用する低炭素電源（原子力発電も対象）のプロジェクトに対し、債務保証を供与する権限をエネルギー省（Department of Energy, DOE）に付与（建設費の80%を上限とする）

Vogtle発電所^{*2}に対する債務保証の供与額

主な所有者	2014年 ^{*3}	2019年
Georgia Power Company	34.6億ドル	16.7億ドル
Oglethorpe Power Corp	30.7億ドル	16.0億ドル
Municipal Electric Authority of Georgia	18.0億ドル	4.15億ドル
計（最大）	約83億ドル	約37億ドル

^{*1} 米国ジョージア州の小売電力市場は規制下にあり、自由化されていない

^{*2} Vogtle原子力発電所3号機・4号機の建設計画は2012年に原子力規制委員会により建設計画が承認された

^{*3} Municipal Electric Authority of Georgiaに対する債務保証は2015年に供与

出典：World Nuclear Association, Nuclear Power in the USA, Country Profiles.
 およびWorld Nuclear News, Issuance of Vogtle loan guarantees, 20 February 2014

米国の州による既設炉への施策

- ◆ ニューヨーク州やイリノイ州では、原子力発電のゼロエミッション電源としての価値を認定するゼロ・エミッション・クレジット（ZEC）を期限付きで導入し、早期閉鎖のリスクがあった原子力発電所の維持につなげている
 - 米国政府が推定する炭素の社会的費用に基づく価格（卸電力・容量市場の価格変動分は調整）で、小売事業者がクレジットを買い取る義務を負う
 - 同様の維持策は、他の州（ペンシルバニア、オハイオ、コネチカットなど）でも導入されている

	ニューヨーク	イリノイ
制度・法律名	Clean Energy Standard 2016年8月1日	Future Energy Jobs Bill 2016年12月7日
契約期間	NYSERDA（州のエネルギー研究開発機構）と 12年の契約	IPA（州の電力調達機関）と 10年の契約
クレジットの価格 (MWh当たり)	最初の2年間は\$17.48/MWh その後、2年毎に見直し (卸電力市場や容量市場の価格変動を考慮)	最初は\$16.50/MWh 2023年から1ドルずつ加算
その他	ZECは既設原子力発電所が対象で、 再エネ普及策は別途講じられている	小売料金の上昇は2009年比で2.015%に 抑える。クレジットは再エネも対象

出典：服部 (2018)に基づき作成

米国連邦政府による既設炉への施策

- ◆ 米国では、近年、連邦レベルでも、既設炉の早期閉鎖を防ぎ、活用するための支援策などを講じている

支援策	内容	適用事例
民生用原子力クレジット・プログラム ^{*1}	超党派インフラ法に基づき創設された60億ドルの基金で、早期閉鎖予定の既設炉に対し、4年間の期間限定で発電電力量に応じたクレジットを付与する	PEG社のDiablo Canyon発電所に最大で11億ドルを供与（2022年11月21日）
生産税控除 ^{*2} Production Tax Credit (PTC)	インフレ抑制法に基づき、クリーン電力に対する発電電力量に応じた税控除が、稼働中の原子力発電所にも適用される（2024年開始、2032年終了。最大で\$15/MWh） また、既設炉の出力向上を含む投資に対する税控除もある	PSEG社やConstellation社が、生産税控除の適用を踏まえ、既設炉の運転期間の延長を検討 ^{*3}
債務保証 ^{*4}	「クリーンエネルギー・ファイナンス・プログラム」では、革新原子炉に対する債務保証に加えて、「エネルギーインフラ再投資プロジェクト」で、革新性の要件を満たさない既設原子炉（再稼働を目指す炉を含む）にも債務保証を供与する	稼働停止したHoltec社のPalisades原子力発電所の再稼働向けに、条件付きで最大15億2千万ドルの債務保証を供与（2024年3月27日に認定）

^{*1} 米国エネルギー省Civil Nuclear Credit Program

^{*2} 米国エネルギー省原子力局Inflation Reduction Act Keeps Momentum Building for Nuclear Power (September 8, 2022)

^{*3} World Nuclear News "PSEG to apply for second licence renewals for New Jersey plants," (08 April 2024)および"Nuclear tax credits underpin growth, says Constellation," 27 February 2024

^{*4} 米国エネルギー省Biden-Harris Administration Announces \$1.5 Billion Conditional Commitment to Holtec Palisades to Support Recommission of Michigan Nuclear Power Plant ((March 27, 2024)

ベルギーの運転期間延長に伴う施策

- ◆ ベルギーの既設炉であるTihange-3とDoel-4の再稼働と運転期間延長の決定に際し、ベルギー政府と事業者（Engie社）は、CfDの適用や財政支援で合意した*¹
 - ただし、これらの施策については、現在、欧州委員会の国家補助規則の審査が行われている*²

合意内容

- 再稼働する原子力発電所を所有し運営するため、ベルギー政府とEngie社で出資比率50:50のジョイントベンチャーを設立
- 5億8千万ユーロの融資と営業CFの保証
- 再開後の運転期間中にCfDを適用し、そのストライクプライスは運転期間延長に必要な適正な費用に基づいて設定（2025年に決定し、その後2028年に最終的な費用に基づき再設定）

また、バックエンド事業の費用に関する国と民間の役割分担についても合意している
(次スライド参照)

*¹ ENGIE社ウェブサイト“[What was agreed between ENGIE and the Belgian government on the 10-year operating extension of Doel 4 and Tihange 3?](#)”参照

*³ 欧州委員会プレスリリース（2024年7月22日）“[Commission opens in-depth State aid investigation into Belgian support for lifetime extension of two nuclear reactors](#)”

バックエンドに関する事業環境整備

- ◆ バックエンド事業の費用については、発生者負担原則に基づき、事業者が必要な資金を確保する責任を負うが、欧州では、長期にわたり不確実性の高い放射性廃棄物の管理等に必要な資金については、想定される費用に、不確実性を踏まえたリスクプレミアムを加算した金額を国に支払うことで、事業者はその責任を果たすとともに、将来、その水準を上回る費用の増加に対する責任は国が負うというリスク分担の事例が複数ある



*1 服部(2022b)を参照

*2 佐藤(2021)を参照

*3 Engie社のプレスリリース（2023年6月29日）"ENGIE signs an agreement with the Belgian government on the extension of Tihange 3 and Doel 4 nuclear reactors and all obligations related to nuclear waste"

【参考】事業者による資金調達の取り組み

- ◆ 原子力事業者が、既設炉の維持や改修工事のために、グリーンボンドを発行して資金調達を行う事例も増えており、EUタクソミーなどで原子力発電がトランジショナルな活動に位置付けられたことも*¹、その拡大を促す可能性がある

	カナダ Bruce Power	カナダ Ontario Power Generation	フランス EDF	米国 Constellation
発行時期	2021年11月22日	2022年7月15日	2023年11月28日	2024年3月18日
規模	原子力グリーンボンド 5億カナダドル* ²	原子力グリーンボンド 3億カナダドル	シニアグリーンボンド 10億ユーロ	グリーンボンド 9億ドル
使途	既設炉の運転期間延長等のための改修工事資金	既設炉の運転延長のための改修工事	既設炉の耐用年数の延長に必要な投資	原子力発電の維持／拡大、運転期間延長などの投資

出典

Bruce Power社ウェブサイト: Bruce Power announces \$500 million issuance of first Green Bond globally for nuclear power

OPG社メディアリリース: OPG issues inaugural nuclear green bond (2022.7.15)

EDF社プレスリリース: EDF announces the success of its first senior green bond issue dedicated to the financing of the existing nuclear fleet, for a nominal amount of 1 billion euros (2023.11.28)

Constellation社ウェブサイト: Constellation Offers Nation's First Corporate Green Bond for Nuclear Energy

*¹ 堀尾・富田(2023)を参照

*² これまでに3回、17億カナダドルを募集

まとめ

- ◆ 原子力発電の新增設を進めてきた欧米諸国では、投資回収の予見性を高め、事業者や投資家だけでなく、需要家や国も経済的なリスクを分担して、収入を安定化させたり、建設期間中の支出負担を緩和する等、資金調達を行いやすくするための事業環境整備に取り組んできた
 - なお、その多くは、再生可能エネルギーなど、他の脱炭素電源に対しても行われている
- ◆ 米国では、脱炭素社会への移行期における原子力発電の環境面での価値などに基づき、基本的には期限付きで、州政府や連邦政府が、収益性を理由とする既設炉の早期閉鎖を防ぐための施策も進めている
- ◆ 欧州では、バックエンド事業の費用の不確実性に対して、国が事業者から一定のリスクプレミアムを受け取って、その後の費用の変動に対して責任を負うことを決めた事例が複数ある

参考文献

- BEIS (2021). "Regulated Asset Base model for new nuclear," Impact Assessment (IA), BEIS039(F)-21-ESNM
- DESNZ (2023). "Regulated Asset Base Licence Consultation: Modifications to Sizewell C Limited's electricity generation licence"
- DESNZ (2024). "Civil Nuclear: Roadmap to 2050"
- OECD/NEA (2020). "Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders"
- UK NIA (2020). "Nuclear Sector Deal: Nuclear New Build Cost Reduction."
- 稲村智昌(2024).「英国における将来の原子力発電所の廃止措置及び廃棄物処分費用を巡る動向－将来の不確実性への対処を中心に－」電力中央研究所報告SE23001
- 佐藤佳邦(2021).「ドイツの放射性廃棄物管理責任をめぐる議論と資金確保に向けた制度的対応－放射性廃棄物処分基金（KENFO）について」電力中央研究所報告Y20003
- 服部徹(2015).「欧州における競争環境下の原子力発電の維持に資する経済的手法の有効性と課題」電力中央研究所報告Y14007
- 服部徹(2018).「米国の電力市場改革と原子力発電の収益性－収益の見通しに関する総合評価－」電力中央研究所報告Y17005
- 服部徹(2022a).「英国における新規原子力発電所の資金調達手法「規制資産ベース（RAB）モデル」の導入をめぐる議論」電力経済研究No.68, 31-46.
- 服部徹(2022b).「英国の新設原子力発電所を対象とする廃棄物移転価格制度の概要－政府と民間の責任分担のアプローチ」電力経済研究No.68, 47-53
- 服部徹(2022c).「フランスの原子力発電への規制アクセス制度ARENHの見直しと新たな制度的措置の概要案」電力経済研究No.68, 57-63.
- 堀尾健太・富田基史(2023).「EUタクソミーにおける天然ガスと原子力－「トランジショナルな活動」に位置づけられた経緯とスクリーニング基準の分析－」電力中央研究所報告SE22003