

イギリスにおけるEMR2.0と水素社会・CCUS構築 に向けた検討状況

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

電力・新エネルギーユニット 担任補佐・研究理事
小笠原潤一

はじめに

- イギリスでは電力市場改革（Electricity Market Reform）を実施する2013年エネルギー法が可決し、①低炭素電源のCfD制度、②容量市場、③炭素価格下限制度、④炭素排出基準（EPS（Emissions performance standard））等を柱とする改革が実施された。
- 2020年12月に政府は「エネルギー白書～ネットゼロの将来」を公表し、2050年までにエネルギーシステムをネットゼロとするための戦略を明らかにした。これを受け、電力部門でもEMR2.0とも呼ぶべき制度改革を検討している。
- CCSレディから脱炭素レディへの移行、政府は容量市場の見直し、低炭素型ネットワーク形成に向けたFSOの設立、電力需給の弾力化に向けた行動計画に関して論点を提示し、パブリックコメントを実施している。
- なおCfD制度に関してはCCUS付き火力発電を対象とする案を提案している。また石炭火力の閉鎖を2025年10月1日から2024年10月1日へ前倒しするため、固形化石燃料を使用する発電ユニットへのCO₂排出原単位規制を450g-CO₂/kWhと強化することも提案している（バイオマス混焼化することを防止するためにライフサイクル排出量規制も導入する）。CCUSは輸送・貯蔵事業者と発電・産業部門に分け制度提案を行っている。
- 水素に関しては政府は2021年8月に“UK Hydrogen Strategy”を公表し、2030年に向けた水素の製造、ネットワーク及び使用に関するロードマップを示すと共に、政府が支援対象とすべき水素製造や水素製造に対する支援の在り方について意見募集を行っている。
- CCUSに関しては“BUSINESS MODELS FOR CARBON CAPTURE, USAGE AND STORAGE - A consultation seeking views on potential business models for carbon capture, usage and storage”（2019年9月）公表移行、支援方法に関する検討が進められ意見募集が行われている。

CCSレディから脱炭素レディへの移行

- 2009年にイングランド&ウェールズ地域で300MW以上の火力発電に対し、CCSレディとすることを求める要件が規定された。今回、全ての火力発電に対し、脱炭素レディとすることを求める規制案を公表し、意見募集を行っている（2021年9月22日意見募集終了）。CCSや100%水素燃烧発電は商業的に大規模利用できる状態にないため、当面の間はガス火力に依存せざるを得ないが、これら投資が座礁資産化するリスクのため投資が行われないリスクに備えてのものである。
- 規制は新設と改修を行う全ての火力発電（熱のみを生成するプラントを対象とするか検討中）に適用され、2023年までに規制を導入することを目指す。緊急時用のバックアップ電源や稼働率が非常に低い年間排出量の少ない発電所への免除の適用も検討されている。規制は立地許可規制ではなく、環境許可を通じての適用が検討されている。
- 全ての火力発電所は水素レディとCCSレディの両方について評価を行うことが求められる。水素レディが選択された場合には、2030年より前に建設された場合には20%水素混焼を可能とすること、2030年以降に建設された場合には100%水素燃烧が可能である必要がある。水素の燃料供給網やCO₂輸送・貯蔵ネットワークは政府でも検討を進めており、水素ネットワーク及びCO₂輸送・貯蔵ネットワークへのアクセスに関する評価は当面合格する必要はない。

容量市場の見直し

- 供給力の低炭素化に向け、容量市場の改革が検討されている。これはT-4オークションは15年契約が可能であるため、これかたのT-4オークションで落札した供給力は2040年まで固定化される可能性があるためである。改革案が公表され、2021年10月18日まで意見募集が行われている。
- 2021年規制改正で炭素排出制限規制が導入されたが、低炭素容量を別途定義し、その他の容量と分けてオークションを通じて調達する方法が検討されている（同一オークションの中で価格を別とする案も検討中）。炭素排出ゼロないしほぼゼロの低炭素容量は、CCUS対応ガス火力、100%水素燃焼発電、長期貯蔵、上げDSR等が挙げられる。水素混焼発電を含めるため炭素排出制限を参照して定義する必要があるか、議論が必要としている。Net-CONEはOCGTの新設費用を参照していたが、代替アプローチも検討対象となっている。
- 揚水発電等、建設に長期を要する技術の参入を促すため、T-4オークションの受渡を2年間遅らせる（事実上、T-6オークションとする）案を検討している。なお揚水発電については、別途、規制資産型支払い、キャップ&フロアー型報酬保証、CfD枠組みの活用について別途、意見募集を実施中。
- 今後、NGESOの監視対象外の供給力が増加するため、ペナルティ額の強化が検討されている。現行制度ではストレスイベント中に容量を提供せずとも20%~25%の減収のみで済むため、容量市場価格（ £/MW ） $\times 1/24$ から $1/8$ への引き上げや停電コスト（VOLL : Value of Lost Load）とリンクさせる案も検討されている。

【参考】 2021年容量市場の炭素排出制限規制の導入

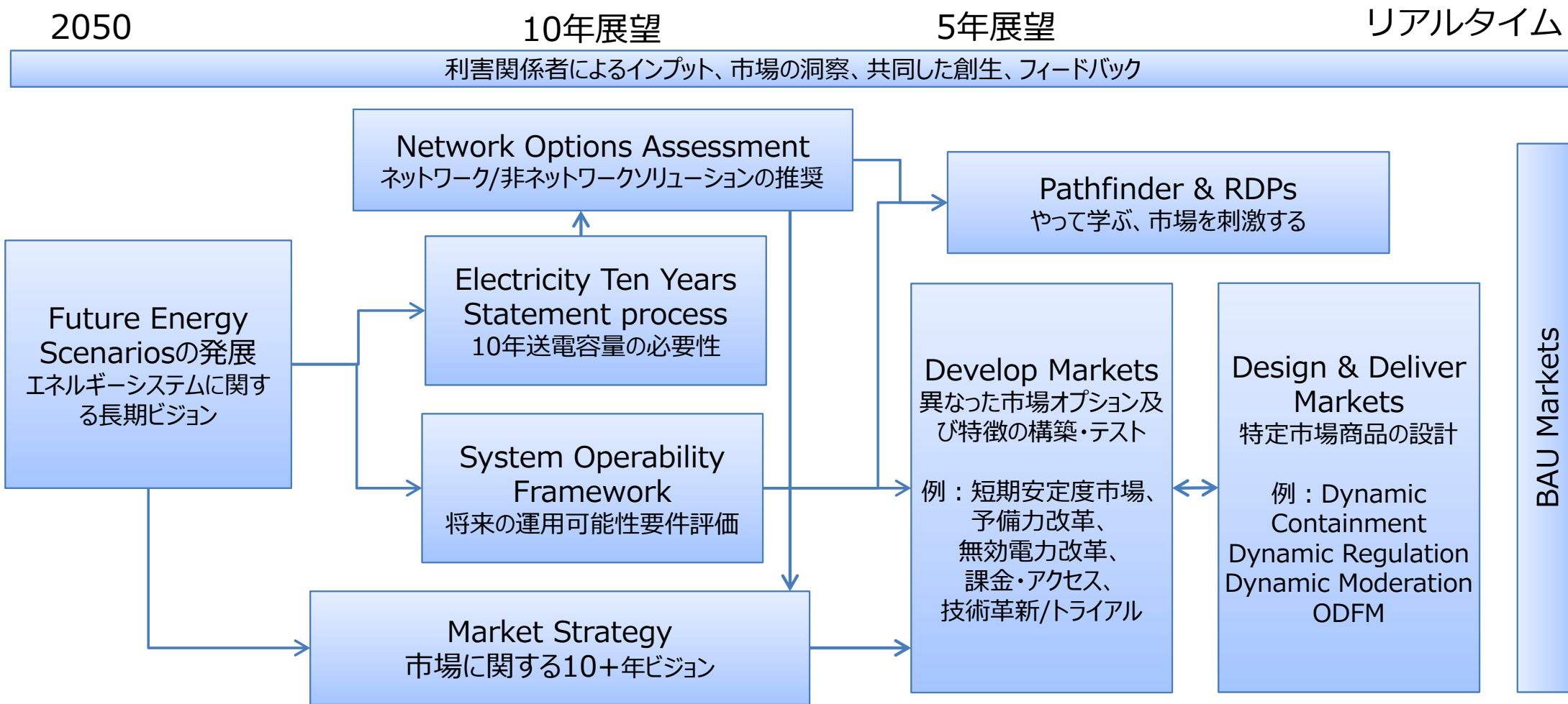
- 容量市場規則が修正され全ての新しい容量による炭素排出制限の順守を要求している（2021年6月30日発効）。2019年7月4日以降に商業運転を開始した全ての化石燃料発電に適用される。化石燃料を使用して発電を行う容量に容量市場で適用される2つの炭素排出制限がある。通常ガス火力は排出制限を下回っており、今のところ影響は少ない。
 - a. 発電量1kWhあたり化石燃料由来の550g-CO₂（化石燃料排出制限）
 - b. 設備容量kWeあたり年間平均化石燃料由来の350g-CO₂（化石燃料の年間排出制限）
- 全ての事前資格申請者は容量市場ユニットが化石燃料を使用するか否かに関わらず、受渡件の容量義務が与えられた場合、申請プロセスの一部として炭素排出制限を遵守することを約束する必要がある。2019年7月4日以降、化石燃料の排出制限を超えた場合に、事前認証を受けることができない。
- $FFE(\text{Fossile Fuel Emissions}) = \frac{0.0036 \times EF_{f,CO_2}}{\eta_{des}} = \left[\frac{gCO_2}{kWh} \right]$
- ※ 0.0036は0.0036GJ=1kWhとなる変換係数、 EF_{f,CO_2} は排出係数で指定された値を使用（ガス火力の場合、56,100kgCO₂/TJ）、 η_{des} は設計効率で各発電ユニットの平常時運用を最もよく表すと見なされる値を使用する必要あり
- CCUSの場合は、 $FFE(\text{Fossile Fuel Emissions}) = \frac{0.0036 \times (1 - TCF) EF_{f,CO_2}}{\eta_{des}} = \left[\frac{gCO_2}{kWh} \right]$ が適用される。
- ※ TCF（Transfer CO₂ factor）はCO₂回収・輸送された割合を示す値

FSO (Future System Operator) の設立

- 低炭素エネルギーシステムへの移行のために現在のNGESOの機能を強化させて、FSO (Future System Operator) とすることが提案されている。将来シナリオを基に電力やガス、水素等のエネルギーネットワーク構築に向けたオプション評価を通じたネットワーク計画策定機能を担いつつ、電力送電系統運用も担う。CCUSの発展と共にCO2輸送・貯蔵ネットワークの役割に加えるかは今後の検討課題。水素の制御を行う場合にはガス制御室をFSOの機能に追加する可能性がある。
- FSOの役割と機能は、**①系統・導管計画とネットワーク開発**、②エネルギーネットワークにおける競争促進、③エネルギー市場の設計、④配電網・配給網との調整、⑤熱と輸送の脱炭素化、⑥エネルギーデータ、⑦エンジニアリング標準化とエネルギーコードの開発、⑧水素、⑨CCUSが含まれる。
- ※ **今後、電力、水素及びCO2でのネットワーク・貯蔵での設備形成が課題になるが、計画策定段階をFSOが主導することが期待されている。**
- 組織体制としては、以下の2つの選択肢がある。
 - ✓ エネルギー部門の利益に依存しない独立した民間所有モデル。政府又はOfgemからの承認が無い限り、規制されていない分野での活動は制限される。
 - ✓ 公的部門に分類されるが、政府からの運用上の独立性を備えた法人モデル。役員の任命は透明なプロセスを通じて行われる。職員には金銭的及び評価に関するインセンティブが適用される可能性がある。

NGESOにおける市場変革プロセス

- イギリスにおけるエネルギー転換に関わる市場変革プロセスは下図の通り。ネットワークと非ネットワークの解決方法を探りながら、長期契約での設備的対応と短期的な市場設計を進める。ガスや水素でも同様の枠組みによりネットワーク投資を評価し、提案を行うものと考えられる。



(出所) National Grid ESO, "Markets Roadmap to 2025", 2021年3月

電力需給の弾力化に向けた行動計画

- 政府は電力需給の弾力化に向けた行動計画“Transitioning to a net zero energy system～Smart Systems and Flexibility Plan 2021”を2021年7月に公表した。
- **需要家からの弾力性促進**：システムに需要家から柔軟性を提供し、エネルギー料金を削減するために需要家を支援する方法を探っている。スマート技術の導入と使用、需要家の柔軟性サービス提供に対する障壁の除去、柔軟性サービス供給者の適切な規制、消費者保護、サーバーセキュリティ対策が必要である。建物や電気自動車の柔軟性を高めるための行動計画を策定し、地域の柔軟性ソリューションを促進する方法について検討する。
- **システムへの柔軟性への障壁の除去**：電力貯蔵と国際連系線は、特に小規模・大規模ソリューションの点で電力貯蔵が直面する政策と規制の障壁（充放電に際する二重課税等）にどう対処するのかを示す。国際連系線の容量向上に必要な変更と、国境を跨る市場への効率的かつ柔軟なアクセスを促進する方針。
- **柔軟性へ報いるための市場改革**：電力市場の取決めにより、柔軟性に十分な利益を提供できるか、これら市場とシグナルの改善をどう推進するか探る。全国及び地域の柔軟性市場、CfD制度及び容量市場について検討する。全てのレベルでの市場間の調整と柔軟性のある市場及びサービスの低炭素化についても探る。
- **システムのデジタル化**：よりスマートで柔軟なエネルギーシステムへの移行を管理する上でデータとデジタル化が重要。詳細は“Digitalising our energy system for net zero～Strategy and Action Plan 2021”（2021年7月）で記載。

水素経済ロードマップの概要

- イギリスではグリーン水素とブルー水素の両方の分野で水素の供給を構築させていく方針。2030年までに5GWの製造容量と大規模ネットワーク・貯蔵の構築を目指す。

	2022～2024	2025～2027	2028～2030	2030年代半ば以降
水素製造	小規模電気分解製造	2025年1GW製造容量、2025年までにCCUS2基	2030年5GW製造容量目指す、2030年までにCCUS4基、2030年洋上風力40GW	原子力・バイオマス等での大規模・広範な製造増加
水素ネットワーク	直接導管、共同立地、直接使用	専用の小規模パイプラインネットワーク、トラック輸送と小規模貯蔵	大規模ネットワーク、大規模貯蔵、ガスネットワークとの統合	地域・国大ネットワーク、CCUSと統合した大規模貯蔵、ガス・電力ネットワーク
水素使用	輸送（バス、HGV、鉄道・航空試験）、産業実証、住宅熱利用トライアル	産業での適用、輸送（HGV、鉄道及び船トライアル）、村熱トライアル、水素ブレンディング（tbc）	産業分野での広範な利用、発電・弾力性、輸送（HGV、船）、町パイロット熱利用（tbc）	最終需要家を含む広範囲利用、鉄鋼、発電、船、航空、潜在的にはガス導管網転換

水素基準の概要

- 使用及び異なった製造方法及び立地を跨って網羅することを含む基準の範囲
- ✓ ネットゼロを満たすために必要な水準の水素を供給するために、様々な製造方法を支援することが期待される。従ってGHG基準を満たす全ての製造方法に適用できる低炭素の単一ラベルを採用するよう心掛ける。
- 基準の境界、一連の管理、純度と圧力、具現化された排出量及び地球温暖化係数
- ✓ 製造時点でシステムの境界を設定することを考えている。これには原材料の取得、上流の排出及び水素製造の排出が含まれる。
- 様々な一次エネルギー投入と原料排出量の考慮
- ✓ 電解層の一次エネルギー投入としての電気の使用等、エネルギー投入をどのように扱うかオプションを検討する必要がある。低炭素電力の利用可能性や電源構成の変化を扱うために更なる分析が必要。
- 更なるGHG手法/計算上の考慮事項
- ✓ GHG排出係数を測定する際にはg-CO₂/MJ(LHV)を使用する。水素製造における負の排出を基準でどのように扱うべきか検討する必要がある。発電CCSのGHGクレジットを含めることで、効率の低いバイオ水素製造が効率的な排出量よりも多くの負の排出量をもたらす可能性もある。
- GHG排出量の閾値
- ✓ GHG排出量に閾値を設ける場合、基準が炭素削減目標に直接貢献することを保証する必要性とバランスを取る必要がある。どの閾値が適切か、時間の経過と共にどう変化させるべきか。
- イギリス低炭素水素基準の実行と管理
- ✓ 基準の厳格さ・信頼性と実行可能性の間にはバランスが必要。基準を誰が管理・運営するか。

水素買取制度の概要

- イギリスの水素戦略では様々な水素製造方法が許容されているが、政府からの支援を受けるには水素の炭素原単位の基準を超える必要がある。系統電力を使用する電解プロジェクトも低炭素電源の使用が求められており、電力市場との相互作用の観点で留意が必要である（一般的には低炭素電源のシェアが高い時間帯は卸価格が安価）。
- 水素の供給サイドにCfD型の価格支援制度を検討中。これに加え水素供給の量的リスク対策（売れ残りリスク）としては天然ガス価格を最低価格とするスライディング・スケール方式を考慮した変動型プレミアム方式での補填（CfDの価格設定で反映）が検討されている。
- 水素製造方法も複数あり、水素利用も複数あり、これらの組み合わせで支援を考える必要があることが分かった。多様性を考慮して個別性を高めると制度が複雑化する可能性あり。

供給サイド

CCUS付天然ガス
改質

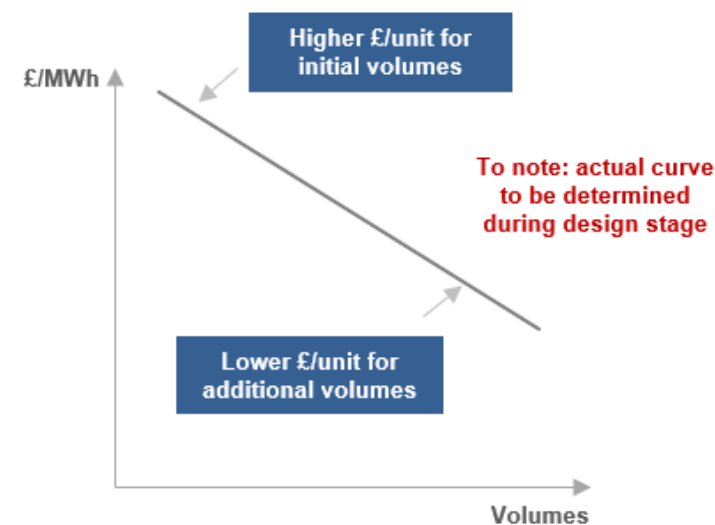
低炭素電力を使っ
た電気分解

需要サイド

輸送利用（ディー
ゼルから転換）

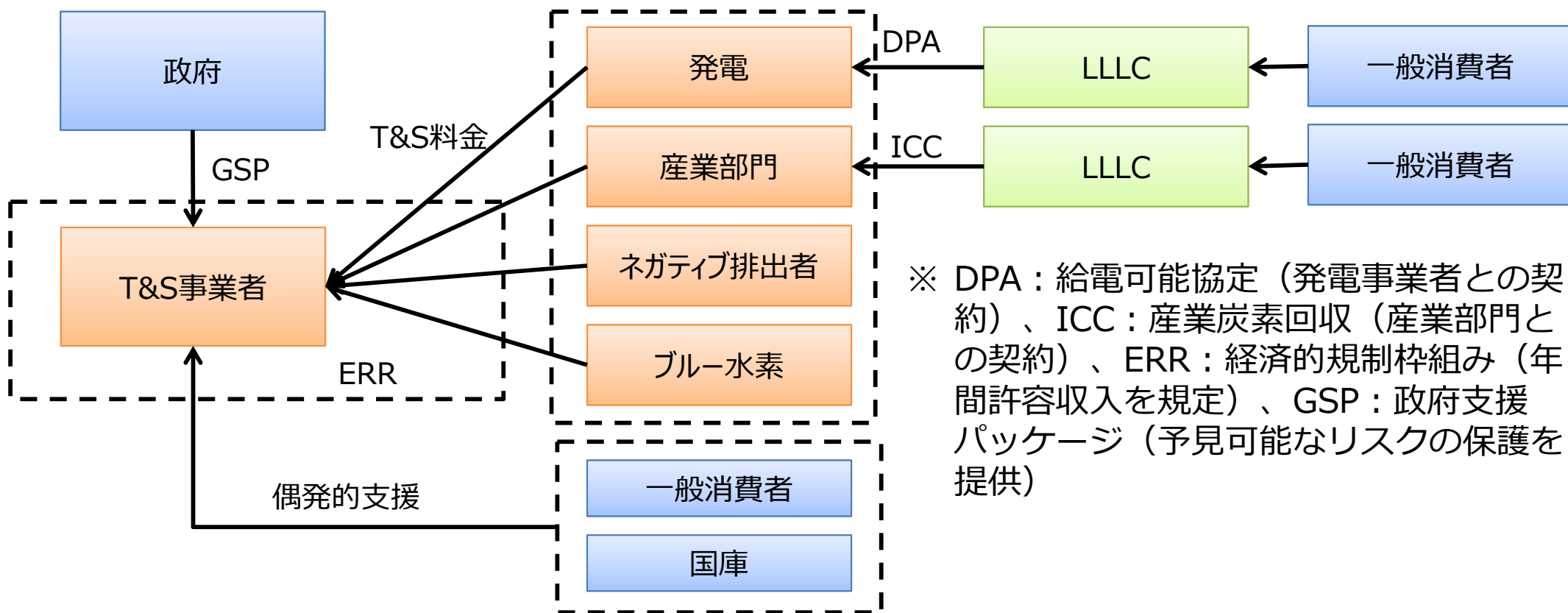
熱利用（天然ガス
から転換）

スライディング・スケール方式



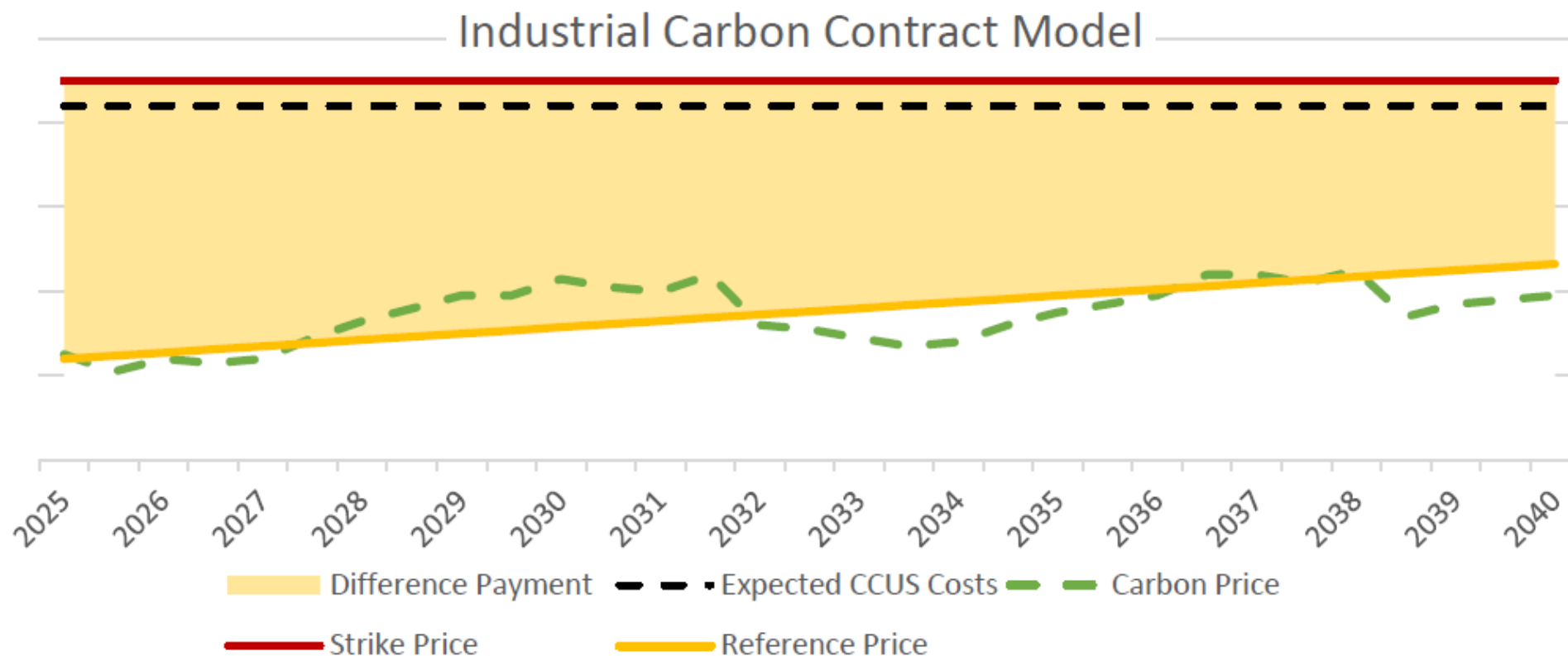
CCUS支援スキーム

- CCUSを巡る関係者は下記の通り。ネガティブ排出者とブルー水素は別の枠組みで支援を実施する。T&S事業者はT&S利用料金を原価保証型の収入キャップ規制を通じて費用回収の保証を行う。発電と産業部門にはT&S利用料金の転嫁を行い、自らの投資費用の回収を保証する形でCfD型の支払いを行うことで投資を促す。発電はkW型の利用可能性料金とkWh型の変動料金の二部料金制（CfDは変動料金部分）、産業はCO2価格型のCfD制度を適用する方針。
- T&S事業者は漏出基金（Leakage fund）を上乗せして収入を保証し、発電と産業にはCO2回収率を少なくとも85%以上とすることを求める。自らの責に帰する負担以外の費用回収は原則認められる。



CCUSに適用されるCfD制度のイメージ

- 初期のICC契約ではETSの炭素価格を参照せず、予め定められた傾斜での参照価格と予想されるCCUS費用に基づく行使価格の差額を支払うこととされている。これによりCCUS設置に伴う収益の予見性が高まり、投資を促すことが期待されている。不確実性は回収されるCO₂の量のみとなる。産業部門のCCUS設置が成熟した場合にはETS市場の炭素価格を参照するとしている。



(出所) BEIS, "Carbon Capture, Usage and Storage – An update on business models for Carbon Capture, Usage and Storage", 2020年12月

おわりに

- EUの新しい政策パッケージは電力分野では再生可能エネルギー発電の導入目標の見直し等で、電気事業への制度面での影響は小さいが、イギリスの一連の低炭素型エネルギーシステムへの移行を目指した一連の政策パッケージは電力部門の改革を含む包括的な改革となっている。
- 将来のエネルギーシステムは電力と水素（及びガス）、CCUSが相互に関係することと高度に専門性を要求されるため、FSOを設立して将来のネットワーク・貯蔵（水素・CO₂）の投資計画や各種技術的規則策定において中心的役割を担わせることで、円滑な低炭素型エネルギーシステムへの移行を目指している。
- 燃焼設備に対して脱炭素レディを求め、容量市場でも低炭素要件を設ける等、低炭素電源の投資に向けて必要な条件が示されたものと言える。「電力需給の弾力化に向けた行動計画」でも弾力的な電力需給の実現に向けて政府が行うべき行動計画が示されており、蓄電池やEVの活用に向けた障壁除去等を進めていく予定になっている。
- 水素でもグリーン水素とブルー水素の両方の分野で水素の供給を構築させていく方針。2030年までに5GWの製造容量と大規模ネットワーク・貯蔵の構築を目指す。CfD制度を活用した水素製造への支援を行うことを検討している。
- CCUSでは輸送・貯蔵事業者は収入キャップ規制で費用回収を保証し、発電・産業のCO₂回収ではCfD制度を活用した支援を実施することを検討している。