Deloitte.
デロイト トーマツ



二酸化炭素回収・貯留技術
資金調達可能なビジネスモデルの模索

ホワイトペーパー（2023年11月）

背景

- 国際エネルギー機関（IEA）と気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、二酸化炭素回収・貯留技術（CCS）を2050年までにネットゼロ目標を達成するための重要な技術と認識している[1]
- IEAの持続可能な開発シナリオでは、世界の排出量削減の約15%をCCSで達成することを提言している[1]が、そのためには世界規模で少なくとも1兆5000億ドルの投資が必要となる[2]
- このレベルの資金調達を達成するには、デットファイナンス、資本市場、その他の資本源を含む民間部門の投資が必要である
- **本レポートでは、CCSの新たなビジネスモデルの概要を、特にその資金調達可能性**（潜在的な民間投資家にとっての財務的実行可能性と魅力）**に焦点を当てて紹介する**
- 世界各地で様々なCCSプロジェクトやモデルが登場しているが、**本レポートでは、CCS先進国である欧米における最近の動向に焦点を当てている**
- 投資決定プロセスにおいて**二酸化炭素の輸送・貯留に関する許認可プロセスは非常に重要な要素であるが、その点についての詳細な分析は今後の研究に委ねる**

エグゼクティブサマリー

CCSの概要

- **二酸化炭素回収・貯留技術（CCS）は、排出削減が困難な産業の脱炭素化だけでなく、バイオエネルギー生産への活用によりネガティブエミッションを達成するための重要なソリューションの一つと考えられている**
- **1970年代以降、CCS技術の一部が**石油・ガスおよび化学産業で**使用されている。しかし、必要な規模を達成するためには、CCSを**大規模なインフラに支えられた様々な排出者向けの**包括的な商用ソリューションに発展させる必要がある**
- 欧米では本格的なCCSクラスターの開発が活発化しており、2024年には年間150万トン[7]の二酸化炭素を貯留する初のCO_2貯留プロジェクトがノルウェーで始動する。一方、欧州各国政府は、2030年までに貯留容量を100倍に拡大するために、プッシュ型とプル型の両方の規制を積極的に導入している

CCSの投資可能性

- **最初のCCSプロジェクトには多額の政府補助金が投入されているが、次の波を起こすには民間投資が必要となる。**現在のリスク想定では、中規模のCO_2輸送・貯留プロジェクトへの投資は、1桁台の中盤から後半のリターンをもたらす可能性がある
- しかし、**「資金調達可能」となるためには、CCS投資に関する特定の課題に対処する必要がある。**第一に、**CCSが排出者にとって経済的に魅力的なものになると**同時に、**様々な連鎖的リスクや長期的な貯留による漏洩リスクを軽減する必要がある**
- **分析によると、英国のみが、**インフラを統合してクラスターとする視点を持ち、**規制資産ベースのアプローチを導入することで投資可能なCCSビジネスモデルを実践しているが、これにより期待リターンが制限される可能性があることが判明した**

欧州におけるCCS投資促進に向けた支援

- 英国、オランダ、デンマークの排出者は、CO_2回収コストとEU ETS（EU域内排出量取引制度）価格とのギャップを埋めるために各国の補助金を受けることができるが、**排出者のビジネスケースを支援するために、CCS向けの差金決済（CfD）のような補助金を欧州全域に導入するべきである**
- **CCSを投資可能なものにするために、**CCS向けの保険商品が開発され、手頃な価格になるまでの間、**発生確率は低いが影響が大きい事象**（CO_2漏洩など）**が生じた場合の支援として、保証型のリスク保護**（例えば、規制資産ベースのモデルやEU ETSに基づく資金）**を確立するべきである**
- **排出者が理想的な貯留場所を利用できるようにする**とともに、開発者間の競争を促進し、また**貯留施設をより幅広い排出者に向けて展開することで施設の利用低迷というリスクを軽減する**ために、ロンドン議定書が定める**国境を越えたCO_2の輸送・貯留を実現するべきである**

1. CCSの概要

CCSは従来、EORやガス処理に使用されてきた。気候変動目標を達成するためには、今後10年間で、排出削減が困難な産業やBECCS向けにCCSを急速に拡大する必要がある

本調査の重点分野



原油増進回収（EOR）

古い油田に残っている回収困難な原油を抽出するためにCO_2を油層に圧入



自社事業の脱炭素化

操業許可を維持するために自社事業（ガス処理など）においてCO_2を回収



排出削減が困難な産業の脱炭素化

様々な産業排出者（セメント製造業者など）からのCO_2を貯留することで排出を回避



二酸化炭素の回収・貯蔵を伴うバイオエネルギー（BECCS）

バイオ廃棄物（廃棄物発電プラントなど）から発電し、CO_2を貯留することで、ネガティブエミッションを達成



直接空気回収（DAC）

空気中のCO_2を貯留により除去することで、ネガティブエミッションを達成

1970年代以降用いられてきた技術

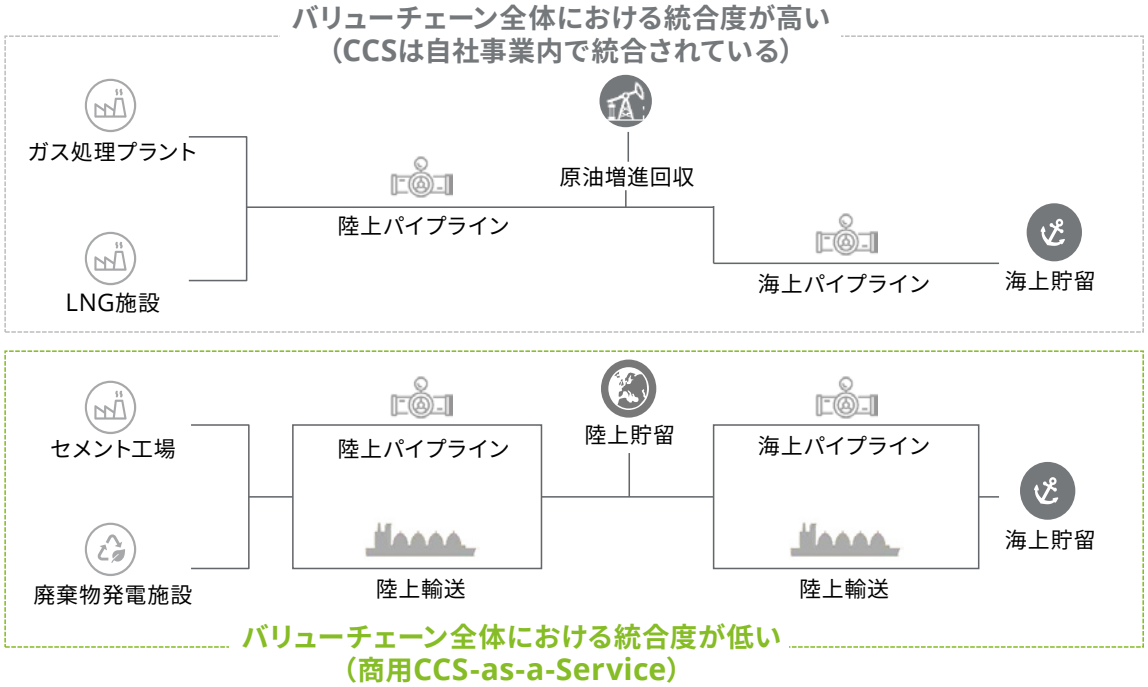
今後10年で拡大する技術

準備が整っていない技術

様々な排出者にソリューションを提供するためには、自社の石油・ガス事業に沿って統合するのではなく、より適切な商業的アプローチを使用した商用CCS-as-a-Serviceが必要になる

CCSバリューチェーンとビジネスモデル

イメージ図



出所：デロイトの分析

CCSビジネスモデル

統合型CCS

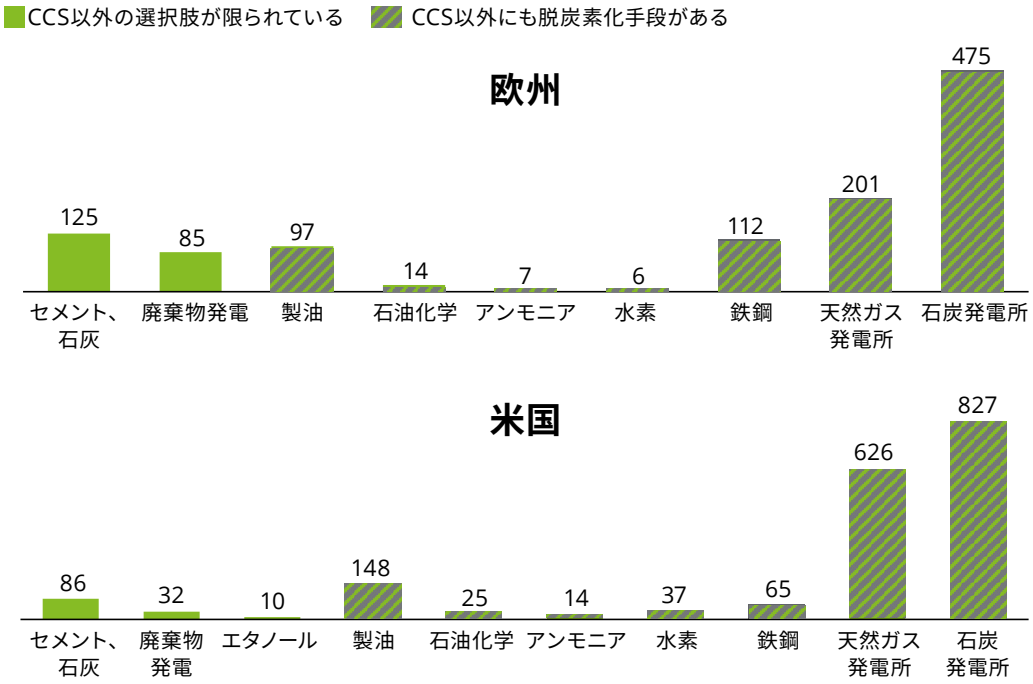
- 垂直統合型の石油・ガス会社がEOR/CO_2貯留施設を開発、所有、運営
- **自社の上流・中流事業からのみCO_2を回収**
- 統合された事業の一部である自社の陸上・海上パイプラインを通じてCO_2を輸送

商用CCS-as-a-Service

- CO_2貯留施設の開発、所有、運営を複数の関係者に割り当てることが可能
- **複数の独立した排出者から回収したCO_2を複数のCO_2貯留施設に貯留**
- 複数の独立した関係者が様々な手段（海上輸送など）でCO_2を輸送する可能性あり

CCS-as-a-Service 市場は、排出者にとっての代替的な脱炭素化オプションの利用可能性とコスト次第では、大規模になる可能性がある

部門別 CCS ポテンシャル[3、4、5、6]（2021 年の二酸化炭素排出量　単位：100 万トン／年）



出所：欧州経済領域の排出量取引制度[3]、エネルギー・クリーンエアー研究センター[4]、米国環境保護庁の温室効果ガス報告プログラム[5]、米国エネルギー情報局[6]、デロイトの分析

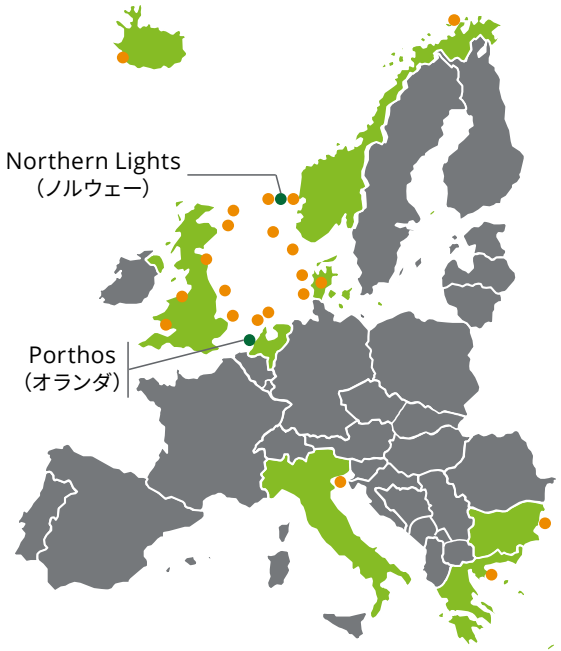
備考

- CCS の活用度は、特定の分野や地域における代替的な脱炭素化ソリューションの技術的準備状況、利用可能性およびコストに左右される
  - **セメント、石灰、廃棄物発電分野は**代替的な脱炭素化ソリューションがないため、**今後 CCS を使用する必要が生じる**
  - **製油、石油化学、アンモニア分野は、**低炭素水素や電化を含む**様々なソリューションの一つとして CCS を活用する可能性がある**
  - **CCS による**化石ガスからの**ブルー水素**製造は、**米国で大きな可能性を秘めている**
  - **鉄鋼分野は、**残余排出量の対策として CCS を検討し、**低炭素水素を還元剤として使用**することや、電化**することを目指す可能性がある**
  - **電力分野は、**再生可能エネルギー比率の高いネットワークで安定したベースロードを実現するために、**CCS を検討する可能性がある。このソリューションは英国と米国で検討されているが、現在 EU では議論の的となっている**

欧州の政策では、需要を満たすために、CO_2貯留容量を現在の年間約400万トン（最終投資決定済み）から2030年までに年間約1億トンまで拡大することを推進している

欧州で開発中のCO_2貯留プロジェクトの概要[7]（2023年）

- 主要CO_2貯留施設の開発
- 最終投資決定[1]されたCO_2貯留施設



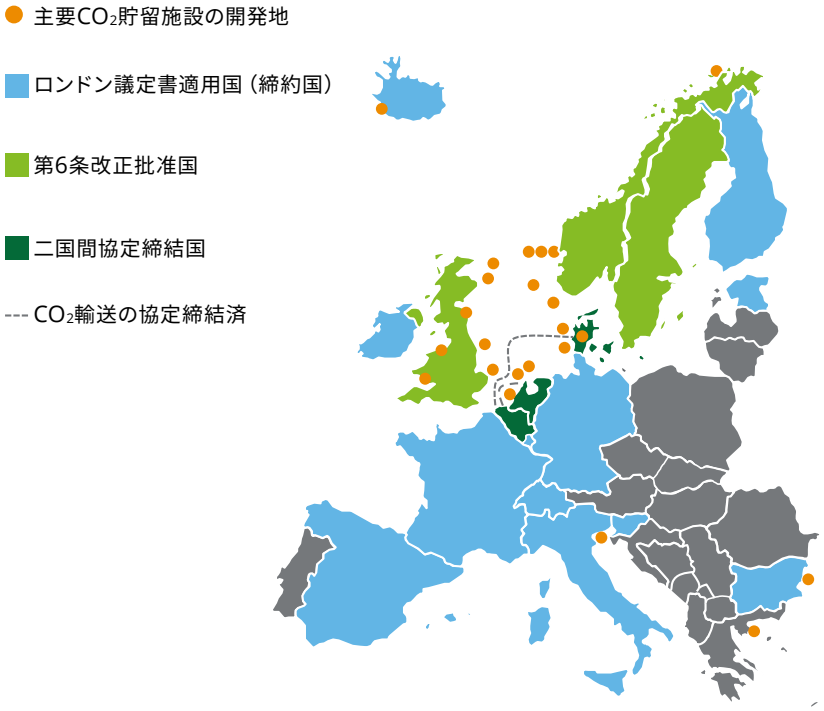
脚注：1）最終投資決定：資本プロジェクト計画プロセスにおいて、大規模な資金拠出が決定されて建設開始となったことを指す
出所：国際石油・天然ガス生産者協会[7]、デロイトの分析

備考

- **EUネットゼロ産業法**では、**2030年までに少なくとも年間5,000万トンのCO_2貯留**を達成することを目標に、**EU域内の石油・ガス生産者に**CO_2圧入容量（CO_2貯留）増加に関与するよう**義務付けること**が検討されている[8]
- **EUで**発表された**CO_2貯留プロジェクト**は合計年間3,500万トンであるが[7]、進捗状況の分析によると、**先行開発段階の容量は年間約2,000～2,500万トンである**
- **CO_2貯蔵プロジェクトは北海で活発に開発されているが、地中海**での開発は（イタリア、南フランス、スペインの排出者にとってソリューションを見出すことは極めて重要であるにもかかわらず）**遅々として進んでいない**
- EU域外では、**ノルウェー**の貯留ポテンシャルが高く、サポート環境も整っている。**現在発表されているプロジェクトの総計は年間約2,000万トンに達する[7]**
- **英国は2030年までに年間2,000～3,000万トンのCO_2を回収・貯蔵する目標を掲げており[9]**、さらなる開発に向けて、合計年間約900万トンのCO_2を貯蔵できる2つのクラスターの選定を進めている[14]

欧州のプロジェクトは、商業リスクを軽減し規模の経済を達成する上で国境を越えたCO_2輸入の恩恵を享受することができるが、法的取り決めを行う必要がある

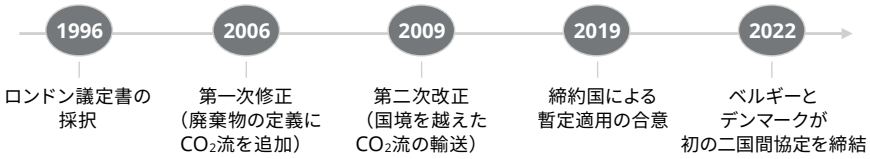
欧州における国境を越えたCO_2輸送（2023年）[15、16]



出所：OSPAR Commission、デロイトの分析

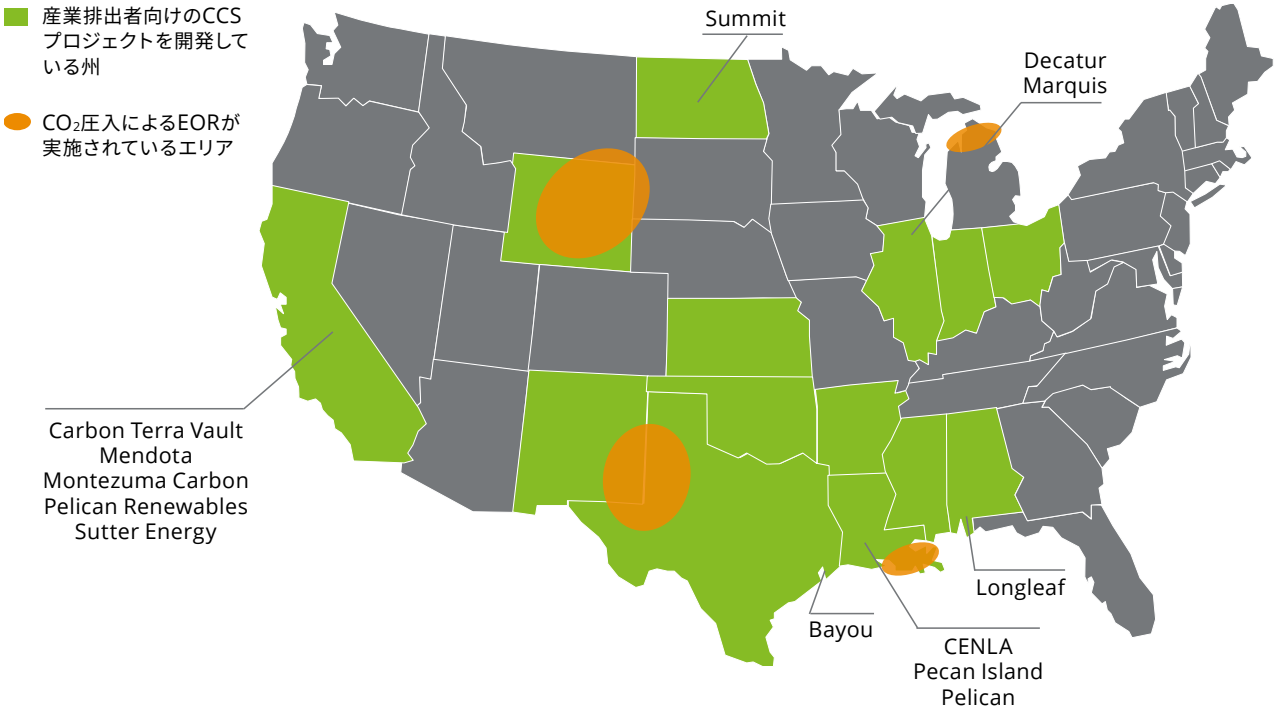
備考

- **ロンドン議定書の目的は、CO_2を含む全ての海洋汚染源の効果的な管理を促進することである**
- ロンドン議定書第6条では当初、恒久的なCO_2貯留を目的としたCO_2の国境を越えた輸送を禁止していた
- 2009年、ノルウェーはCCSのためのCO_2輸出を認める第6条改正案を提出した。しかし、それはまだ発効していない
- **2019年、追加決議が採択され、各国が第6条改正を批准し、二国間協定を締結しているなど、一定の条件を満たせば、2カ国以上の国がCO_2を輸出できるようになった**[17]
- **現在締結されているのは、ベルギーとデンマーク、ベルギーとオランダの間の2つの二国間協定のみで、**これらの国間では恒久的な貯留を目的としたCO_2の国境を越えた輸送が認められている
- **他のいくつかの欧州諸国は、二国間協定を確立し、**国境を越えたCO_2輸送に向けて欧州域内市場を本格的に立ち上げるために**緊密に協力している**



米国におけるCO_2貯留の明確な目標はないが、DOE[1)]による資金援助とIRA[2)]およびIIJA[3)]に基づく補助金により、産業排出者向けのCCSプロジェクトが促進されると期待されている

米国で開発中のCO_2貯留プロジェクトの概要[10]（2023年）



備考

- **1970年代以降、**米国では、より多くの原油を抽出するために**枯渇寸前の油田にCO_2を圧入する方法**が用いられており、**これはCO_2の地下貯留の最初の事例となっている**
- EORからも収入が生じることに加え、**回収・貯留した$CO_2$1トン当たりの特定税額控除が2018年に導入されたことを受けて、発電所における黎明的な産業用CCSプロジェクト開発が数件開始された**
- **2022年のIRA[2)]による税額控除のさらなる延長**やその他の支援法案**をきっかけに、全米で多くのCCSプロジェクトが発表された**
- しかし、**プロジェクトパイプラインには大きな不確実性があり、実際に開発が進んでいるプロジェクトと単なる構想に過ぎないプロジェクト**を区別することは難しい

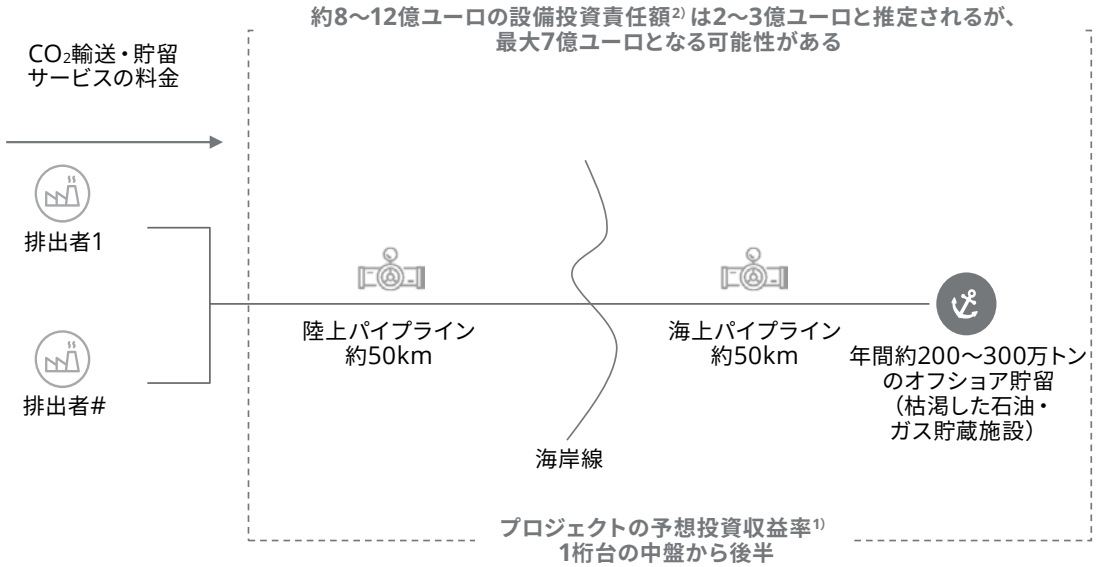
脚注：1) United States Department of Energy 2) Inflation Reduction Act 3) Infrastructure Investment and Jobs Act
出所：United States Environmental Protection Agency (EPA), Clean Air Task Force (CATF)、デロイトの分析

2. CCSプロジェクトの投資可能性

CCSは数十億ユーロ規模の資本プロジェクトであり、リスクが高いと考えられている。現在のリスク想定に基づくと、投資収益率は1桁台の中盤から後半になる可能性がある

中規模CCSプロジェクトの予想投資収益率[1)]

イメージ図



備考

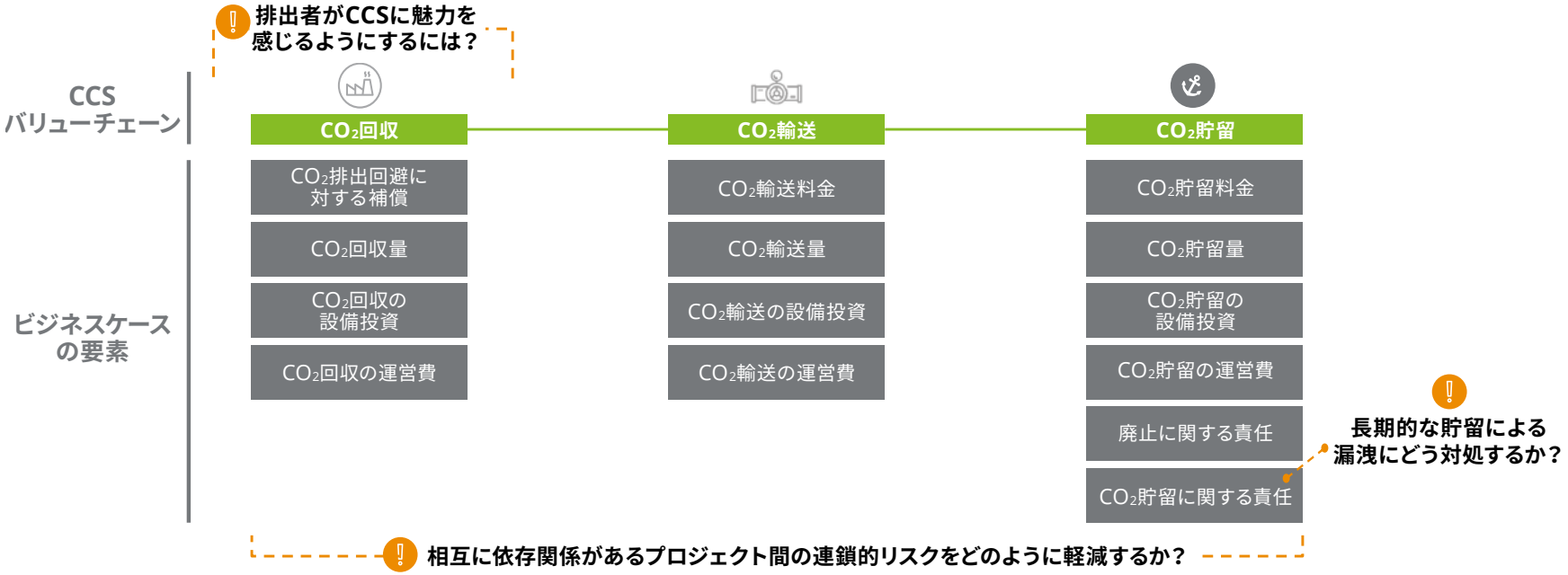
- **CCSの商用ビジネスモデル**が世界中で出現しているが、**ビジネスケースの一部の要素**や期待リターンについては**依然として大きな不確実性がある**
- **CO_2回収・輸送・貯留の技術的パフォーマンスに関する実証データが限られており**、稼働中のプロジェクトが数件しかないため、**技術的リスクを取り巻く不確実性が増し、予想投資収益率が低下している**
- **最初の本格的なCO_2貯留・輸送プロジェクトの開発は、主に大手石油・ガス会社の**資本から**資金を調達し、様々な政府補助金の支援を受けているため、ハイリスク・ローリターンな案件でも成立している**

脚注：1）プロジェクト内部収益率（IRR）、2）廃止やCO_2漏洩に関する責任額

しかし、CCSを民間セクターにとって魅力的な投資とするためには、融資基準を確実に満たす「資金調達可能」なプロジェクトとなるよう、特定のCCSリスクを軽減する必要がある

CCSのビジネスケースの概要と投資に関する具体的な課題

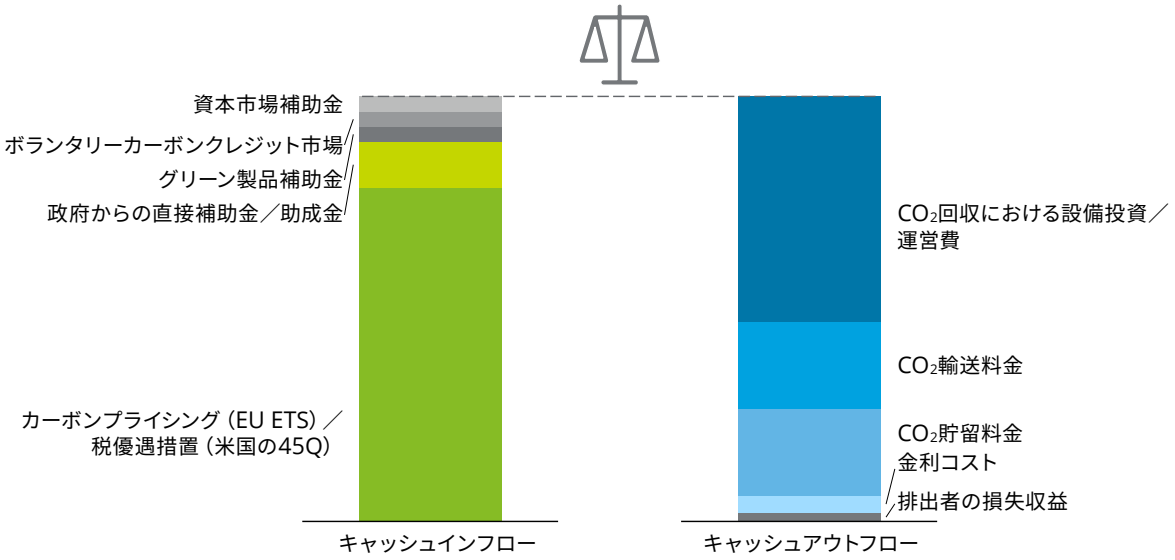
一部のみを紹介



出所：デロイトの分析

第一に、CCSが排出者にとって経済的に魅力的なものになる必要がある。CO_2回収コストをカバーするために、政府や市場による様々な施策が展開されている

排出者に対するCO_2回収コストの補償



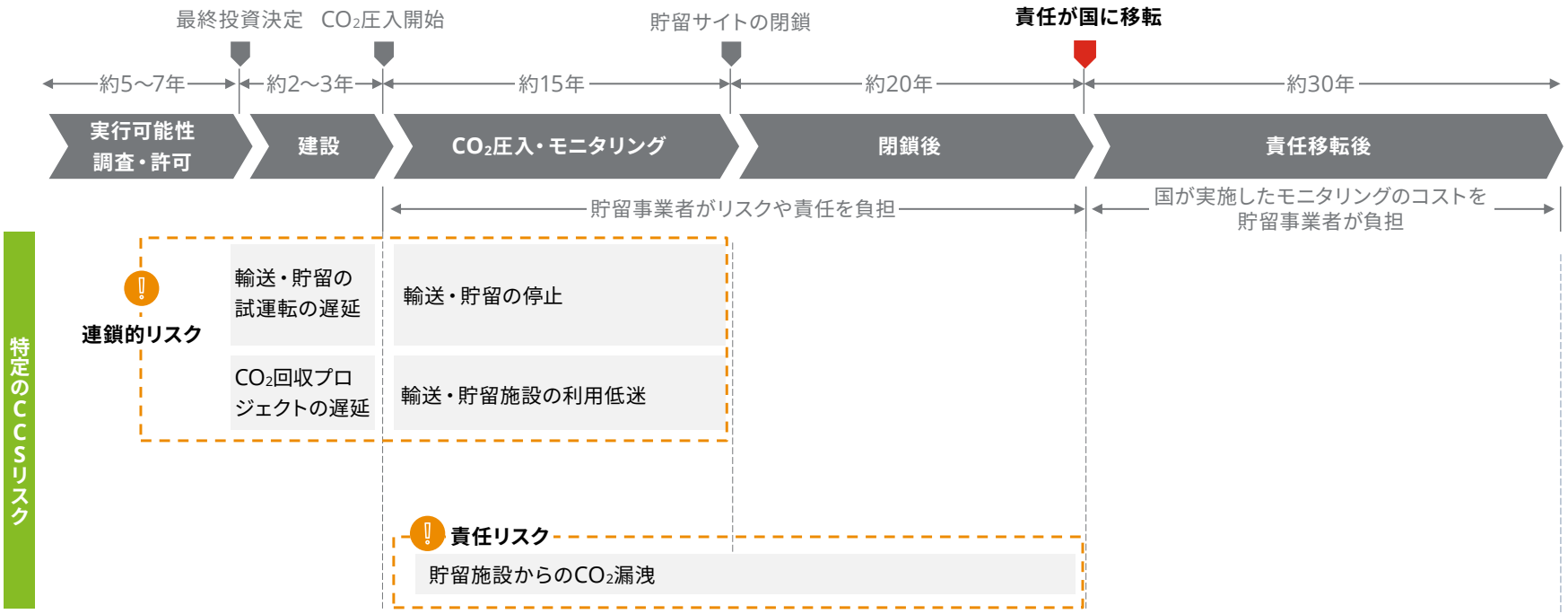
出所：デロイトの分析

備考

- **炭素回収はコストのかかる複雑な技術**であり、排出者のCCSの総コストの最大50%を占める可能性がある
- CO_2貯留地に近接する**一部の産業施設に対する特定のCCSソリューションが、欧州の排出量取引制度の下で経済的に実行可能になりつつある**
- しかし、**一般的には、**排出者のビジネスケースを支援するために、**様々な政府補助金や助成金が依然として必要である**
- **排出者は、**CCSのビジネスケースを実行可能にするために、**ボランタリーカーボンクレジット市場やグリーン製品に対する補助金など、他の収入源も模索することができる**
- **しかし、自主的炭素市場の拡大には時間がかかり**、さらなるコンプライアンス検証の仕組みが必要である
- 製品の価格プレミアムのためのCCSの追加コストは微々たるものであるが、グリーン市場がさらに発展しない限り、**グリーンスチールへの補助金のようなものをキャッシュインフローに織り込むことはまだできない**

第二に、特定のCCSリスク、すなわちバリューチェーン内で相互に依存関係があるプロジェクト間の連鎖的リスクや長期的な貯留によるCO_2漏洩リスクを軽減する必要がある

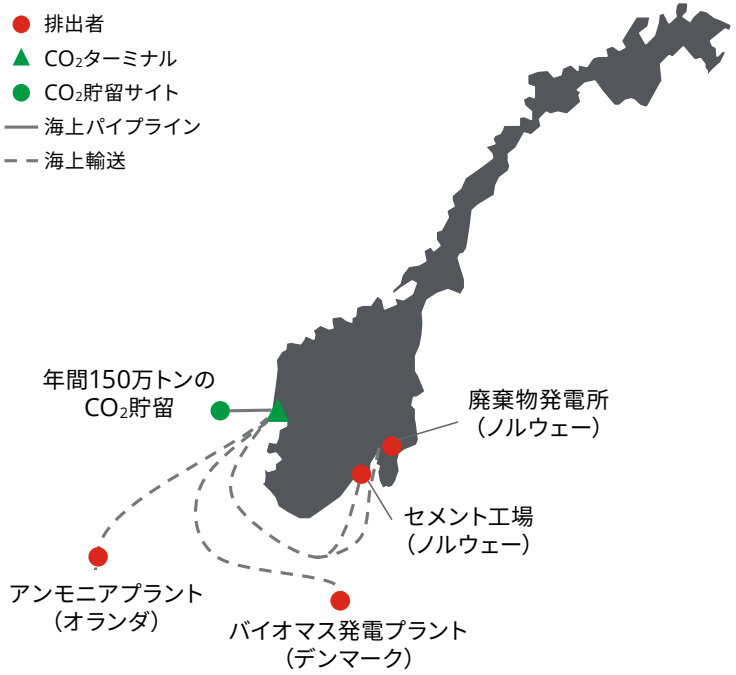
プロジェクトライフサイクルにおける特定のCCSリスク



出所：EU CCS Directive、デロイトの分析

ノルウェーのNorthern Lights CCSプロジェクトは、一部の排出者がCCSプロジェクトを一時的に停止したことで連鎖的リスクに直面しており、ネットワークが十分に活用されなくなる可能性がある

ノルウェーのNorthern Lights CCSプロジェクト[11]



出所：CCS Norway, Longship CCS website、デロイトの分析

備考

- **ノルウェーのNorthern Lightsプロジェクトは、世界初のオープンソースCO_2輸送・貯留インフラ**を構築している
- **Northern LightsのフェーズI**は2020年に最終投資決定を受け、**2025年**（当初は2024年後半）**時点で年間150万トンのCO_2を輸送・貯留する計画である**[7]
- **Northern Lightsプロジェクトとその最初の顧客**（セメント工場と廃棄物発電所）**は、ノルウェー政府から**設備投資と運営費に対する**多額の補助金を受けた**
- **2023年4月、最初の顧客2社のうちの1社**（廃棄物発電所）は、コスト見積もりが大幅に増加したため、**CO_2回収プロジェクトを保留することを決定した**
- Northern Lightsは、未契約容量を埋めるために、新規の商業顧客（オランダのアンモニアプラントとデンマークのバイオマス発電プラント）を積極的に確保している
- しかし、**初期段階のある程度のところまでは、CO_2輸送・貯留インフラが十分に活用されない可能性が高い**
- 民間投資家からの出資のみで成り立っている**完全に商業的なプロジェクトでこのようなリスクが顕在化すると、ビジネスケースとして成り立たなくなる可能性がある**

欧米では様々なCCSビジネスモデルが開発されている。しかし、包括的で資金調達可能なCCSの枠組みを設定しているのは英国だけとみられる（但しまだ実証はされていない）

	英国	欧州経済領域			米国
		オランダ	デンマーク	ノルウェー	
スキームの範囲	CCSプロジェクト向け	幅広い技術 （再生可能エネルギーをはじめとするCO_2削減技術）	CCSプロジェクト向け	再現可能なアプローチがまだ導入されていない	CCSプロジェクト向け
支援対象者	排出者 輸送・貯留事業者	排出者	排出者		排出者
期間	10+5年	15年	15年		12年
特定のCCSリスクに対する保護	主要なリスクに対して政府の保護あり	なし	なし		なし
その他の考慮事項	✓包括的な規制、商業的枠組み ✓調整可能なCfD型補助金 X リターンが制限されているため、民間投資家の関心が低い X プロセスが複雑で時間がかかる	✓排出者向けのCfD型補助金 ✓補助金支給基準が明確 X 特定のCCS補助金領域なし X 補助金を柔軟に調整できない	✓排出者向けの調整可能なCfD型補助金 ✓CCS向け基金からの補助金 X 補助金支給基準の複雑度が増している	✓政府はCCSと輸入CO_2をノルウェーに貯留することを支持していると思われる X 代表的なプロジェクトに特化した支援を提供しているが、次の波となるプロジェクトの明確なビジネスモデルがまだない	✓直接的な税額控除制度 X 回収コストが高い分野は依然として収益性が低い X 税額控除適用期間終了後どうなるかは不明 X 税額控除予算総額が十分でない可能性がある
資金調達可能性	✓	X	X	X	X

出所：各国のCCS規則[9, 12, 13, 18, 19]、専門家インタビュー、デロイトの分析

英国は、排出者とCO_2輸送・貯留事業者に財政的支援とリスク軽減支援をする規制および商業的枠組みを策定した



財政的支援

- 資本助成金、設備投資の返金
- 運営費に対する補助金（差金決済制度）
- パススルーとしての輸送・貯留料金に対する補助金

- 輸送・貯留事業者（陸上・海上両方のインフラの単一所有者および運営者）が排出者に一定の輸送・貯留料金を請求することができる収益規制モデル

リスク保護

主なリスク	政府保護
建設リスク	✓
輸送・貯留の試運転の遅延	✓
商業リスク	X
運営リスク	✓
輸送・貯留の停止、輸送・貯留容量の制約	✓
利用者の座礁資産	✓
廃止リスク	X

主なリスク	政府保護
建設リスク	X
資産座礁リスク（輸送・貯留時での需要リスク）	✓
利用低迷リスク	✓
CO_2漏洩	✓
停止リスク	X
廃止リスク	✓

出所：英国政府のICCと輸送・貯留のビジネスモデル[9, 12]、デロイトの分析

排出者に対する財政支援は最長15年まで延長可能で、資本助成金、各種返金のほか、CfD型の補助金が含まれる

産業排出者に対する財政支援の概要

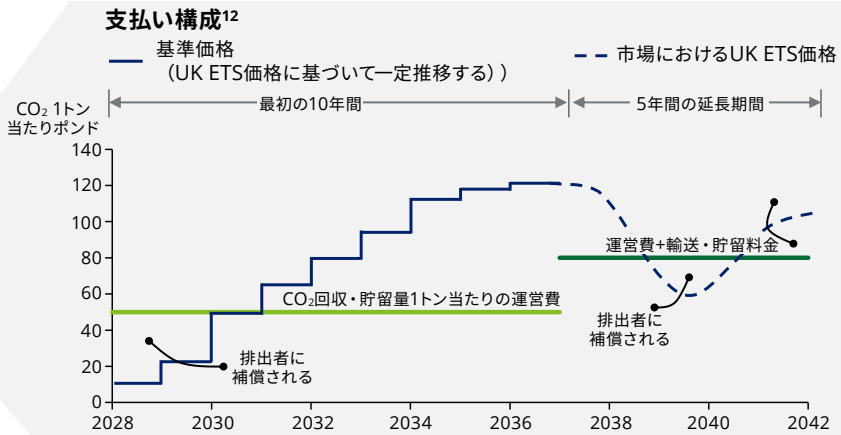
イメージ図

最初の10年間は、輸送・貯留料金が排出者に支払われ、パススルーとして扱われる

排出者は、運営費と実効基準価格との差額を補助金として支給される（例えば、UK ETS における無償排出割当）

排出者は、資本助成金や、最初の10年間[1]に回収・貯留したCO_2 1トン当たりの固定額として設備投資の返金を受けることができる





- 最初の10年間は、CO_2貯留量1トン当たりの運営費が基準価格を下回った場合、排出者は補償を受ける
- 排出者は、一定の実績と市場条件を満たせば、さらに5年間の延長を受けることができる
- 延長後の5年間はUK ETS価格が基準価格となり、UK ETS価格が運営費+輸送・貯留料金を上回った場合、排出者は差額を償還しなければならない

脚注：1）設備投資の不足期間：CO_2回収量が少ないために最初の5年間で設備投資相当分が全額支払われなかった場合、さらに最長5年間適用される
出所：英国政府のICCビジネスモデル[12]、デロイトの分析

政府が主要なリスクに対して排出者と輸送・貯留事業者を包括的に保護しているため、CCS計画は投資可能なものとなっている

	リスク	説明	政府からの保護
CO_2排出者	建設リスク	コスト超過、遅延、契約上の問題など、建設段階に関連する一連のリスク	✓
	輸送・貯留の試運転の遅延	輸送・貯留プロジェクトの試運転段階における遅延リスク。この段階の遅延は、プロジェクト全体のスケジュールに影響を与え、運用開始の延期につながる可能性がある	✓
	商業リスク	資金調達、キャッシュフローの管理、商業的な産業活動の継続に関連するリスク	X
	運営リスク	CO_2を回収・貯留する施設での運営状況が、当初合意された条件を上回る、または下回るリスク	✓
	輸送・貯留の停止、輸送・貯留容量の制約	輸送・貯留の停止とは、輸送・貯留システムが一時的に使用不能になるか、稼働しなくなる場合のリスク 輸送・貯留容量の制約とは、輸送・貯留インフラの容量が制限されるリスク	✓
	利用者の座礁資産	輸送・貯留ネットワークが廃止され、代替の輸送・貯留策がない場合に、回収プロジェクトが継続不可能になったとみなされるリスク	✓
	廃止リスク	CCS施設が運転期間を終了した時に、どのように安全かつ効果的な閉鎖、解体、修復をするかという課題	X
輸送・貯留事業者	建設リスク	コスト超過、遅延、契約上の問題など、建設段階に関連する一連のリスク	X
	座礁資産リスク（輸送・貯留での需要リスク）	ネットワークと利用者の関係構築までに時間がかかるといった、輸送・貯留時に直面する需要リスク	✓
	利用低迷リスク	輸送・貯留システムが十分に活用されない、または最適な容量を下回って稼働する潜在的なリスク	✓
	CO_2漏洩	CO_2が貯留用の施設から漏洩する潜在的なリスク	✓
	停止リスク	輸送・貯留のための資産が稼働せず、プロジェクト対象から回収したCO_2を輸送・貯留できないリスク	X
	廃止リスク	CCS施設が運転期間を終了した時に、どのように安全かつ効果的な閉鎖、解体、修復をするかという課題	✓

出所：英国政府のICCと輸送・貯留のビジネスモデル[9, 12]、デロイトの分析

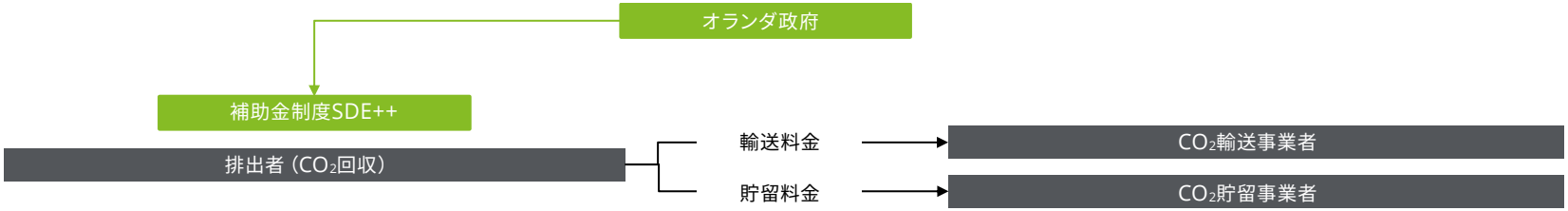
しかし、輸送・貯留事業者は収益規制スキームの下で運営されている。透明性が高い反面、期待されるリターンが限られているため、民間投資家が投資を躊躇する可能性がある

許容収益[9]

自己資本利益率	• **資本利益率＝規制資産価値（RAV）×加重平均資本コスト** • **RAV=開発費**（Devex）＋**建設費・資産拡大**（Capex）＋**総資本コスト**（建設期間中の加重平均資本コスト）－**減価償却費・処分費** • **加重平均資本コスト**では以下が考慮される - **予想される資金調達コスト** - **輸送・貯留事業者が負担するリスク**（建設リスク、開発リスク、技術リスク、運営リスク等） - **当初の加重平均資本コストは、輸送・貯留事業者との対話により決定される**
減価償却費	• 減価償却費：運営期間中の資産の減価償却費をカバーするために利用者から徴収する収益で、プロジェクトの初期段階に運用初期の支払いを削減できるように計画されている
運営費	• 最初の契約で合意された効率的な運営費として許容される支出 • 運営費引当金には、利用者の不良債権、予想されるヘッジ費用、予想される民間セクター保険料なども含まれる可能性がある
廃止費用	• 廃止費用：資産の耐用年数終了時に輸送・貯留ネットワークの廃止費用をカバーするための引当金
税金	• 許容収益には、予想される税金費用に対する引当金が含まれる
調整	• 調整：パススルーコストの調整やその他の必要な調整に加え、利用可能性インセンティブ、漏洩インセンティブ、接続インセンティブ、建設遅延のようなプラスにもマイナスにもなり得るインセンティブの調整

出所：英国政府の輸送・貯留のビジネスモデル[9]、デロイトの分析

オランダはまだ包括的な商業的CCSの枠組みを確立していない。排出者は補助金を受けることができるが、輸送・貯留事業者に対する特別な支援はない



財政支援

- 排出者はオランダのSDE++補助金を申請することができるが、他の脱炭素化プロジェクトと資金調達を競うことになる[1)]
- 排出者はEUの補助金制度からも財政支援を受けることができる（例えば、EUイノベーション基金）

- 自由市場でのアプローチに基づいて、独立して機能するCO_2輸送・貯留事業者は、期待リターンを基に料金を設定できる
- CO_2輸送・貯留事業者は、EUの補助金制度からも財政支援を受けることができる（例えば、「共同利益プロジェクト」のステータスを獲得してConnecting Europe Facilityの基金を受ける

リスク保護

- 排出者を主要なリスクから保護するための具体的な仕組みはない

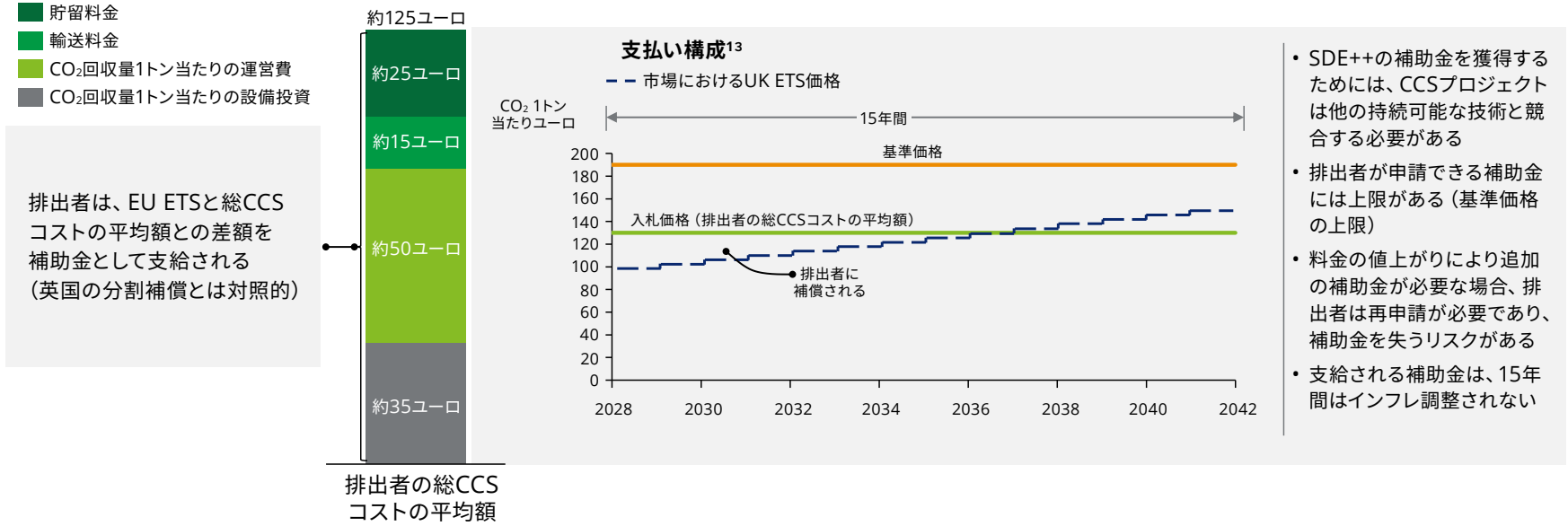
- 輸送・貯留事業者を主要なリスクから保護するための具体的な仕組みはない
- しかし、CCSの輸送・貯留インフラ整備に国有企業が積極的に関与するなど、政府からの間接的な支援があることは明白である

脚注：1）2023年以降、加熱や分子といった特定の技術に対してはドメインフェンス（領域の境界）が導入されているが、CO_2回収・有効利用・貯留（CCUS）には導入されていない
出所：SDE++スキーム[13]、デロイトの分析

排出者は、CfD型の補助金を申請し、EU ETS価格を上回るCCSの費用をカバーする15年間の支援を受けることができる

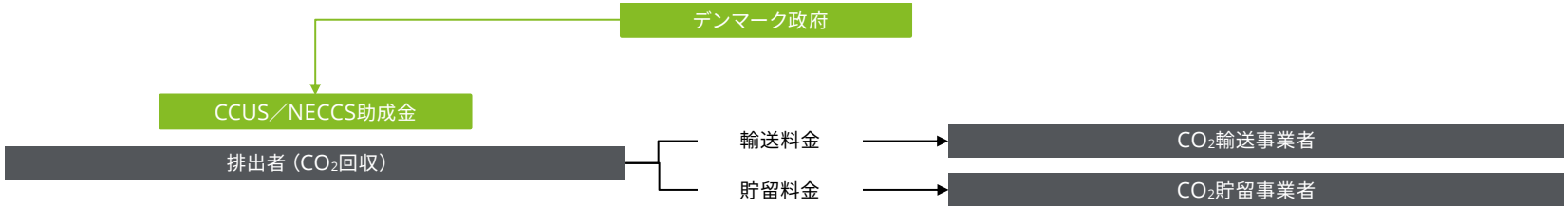
排出者に対する財政支援の概要

イメージ図



出所：SDE++スキーム[13]、デロイトの分析

デンマークは最近、排出者向けに2つのCCS補助金制度を導入したが、輸送・貯留事業者に対する特別な支援はない



財政支援

- 排出者は、化石および生物由来のCO_2源を対象とするCCUS助成金を申請することができる（2029年から、合計年間270万トンのCO_2を貯留する目標）
- 排出者は、生物由来のCO_2源（直接空気回収を含む）のみを対象とする、ネガティブエミッションに特化したNECCS助成金も申請することができる（2029年から、合計年間50万トンのCO_2を貯留する目標）

- 自由市場でのアプローチに基づいて、独立して機能するCO_2輸送・貯留事業者は、期待リターンを基に料金を設定できる
- CO_2輸送・貯留事業者は、EUの補助金制度からも財政支援を受けることができる（例えば、「共同利益プロジェクト」のステータスを獲得してConnecting Europe Facilityの基金を受ける）

リスク保護

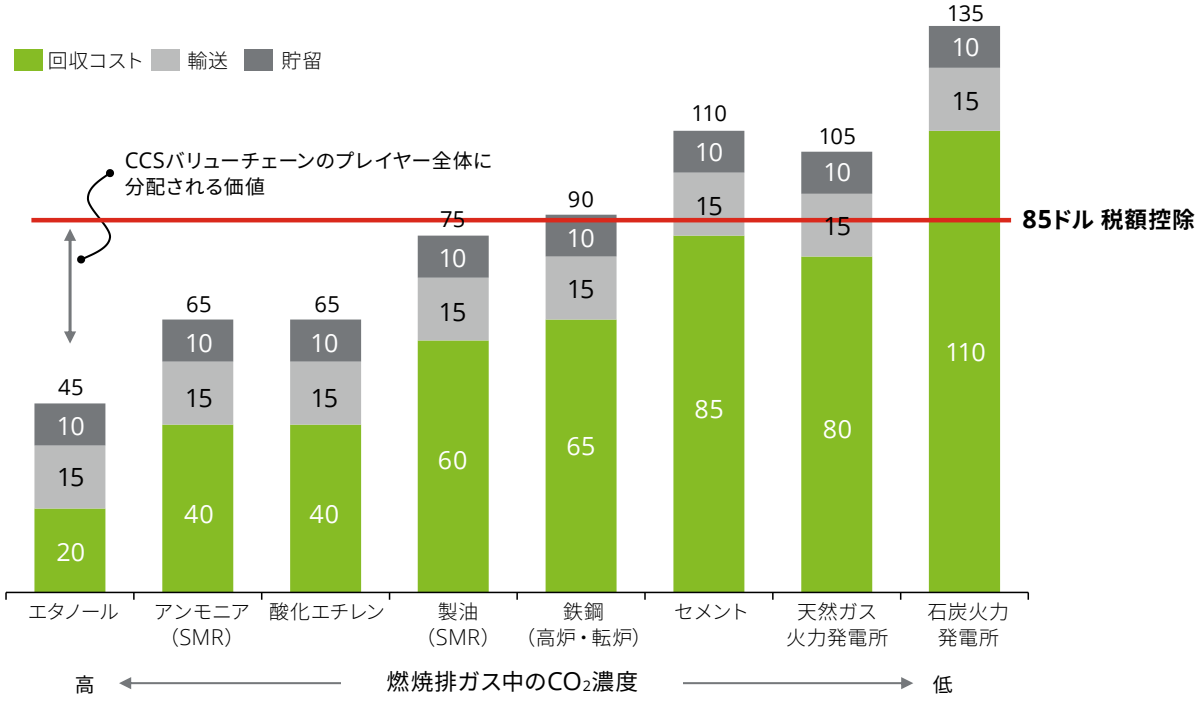
- 排出者を主要なリスクから保護するための具体的な仕組みはない

- 輸送・貯留事業者を主要なリスクから保護するための具体的な仕組みはない

出所：デンマークエネルギー庁[18]、デロイトの分析

インフレ抑制法45Qの税額控除は魅力的に見えるかもしれない。しかし、一部の排出者にとっては十分とはいえず、控除後の不確実性があり、発生確率は低いが影響が大きい事象に対する支援が不足している

米国における税額控除（45Q）の仕組み（CO_2 1トン当たり米ドル）



出所：国際エネルギー機関[19]、専門家インタビュー、デロイトの分析

備考

- **インフレ抑制法（IRA）**により、産業施設や発電施設から回収されて含塩層に**貯留された$CO_2$1トン当たり85ドルが税額控除される**
- **請求期間は12年間**で、開発者は、税金の過払いと同様に、全額返金可能な直接支払いとして、45Qの税額控除を受けることができる（最初の5年間）
- CO_2輸送・貯留分のコストを考慮すると、セメント工場や発電所のように**排ガス中のCO_2濃度が低い排出者にとって、CO_2貯蔵量1トン当たり85ドルは、ビジネスケースを成り立たせるのに十分とはいえない**
- **排出者は他の資金源からも融資を受けることができる。**一例としてインフラ投資雇用法（IIJA）や米国エネルギー省（DoE）の補助金があるが、限定的であり、またFEED調査のような特定の目的のためのものである
- **リスク分担の仕組みや、発生確率は低いが影響が大きい事象に対する保護が不足しているため、特定のプロジェクトの資金調達可能性が著しく制限されている**

3. 欧州におけるCCS投資促進に向けた支援

包括的で投資可能なCCS計画があるのは英国のビジネスモデルのみ。他の地域におけるCCSへの民間投資については、ケースバイケースで評価する必要がある

CCSの資金調達可能性パラメータによる評価

			英国	オランダ	デンマーク	ノルウェー	米国
基礎となる政策・規制	各国のCCS目標	• CCSが気候目標の達成に貢献する実行可能な技術として受け入れられているか	2030年までに年間2,000～3,000万トン	言及されていないが、代表的なプロジェクトは支援されている	2030年までに年間400～900万トン	言及されていないが、代表的なプロジェクトは支援されている	言及されていないが、CCSの重要性は認識されている
	CCSの法規制の枠組み	• 許可、運営、閉鎖、閉鎖後の義務を含む法的枠組みが確立されているか	EU CCS指令を適用	EU CCS指令を適用	EU CCS指令を適用	EU CCS指令を適用	連邦および州で様々な法律が存在
	CCSの商業的枠組み	• 経済的インセンティブ、法的構造、市場メカニズムを含む体系的な商業的枠組みが確立されているか	CCSビジネスモデル	排出者への補助金のみ	排出者への補助金のみ	なし	排出者の税額控除のみ
	国境を越えたCO_2輸送	• CO_2輸送・貯留に関する国境を越えた単一市場アプローチが実現されているか	ロンドン議定書第6条の暫定的適用	ベルギーとの二国間協定あり	ベルギーとの二国間協定あり	ロンドン議定書第6条の暫定的適用	なし
排出者に対する財政支援	カーボンプライシング	• 排出者に向けてCCSソリューション検討を促す制度はあるか	UK ETS	EU ETSと炭素税	EU ETSと炭素税	EU ETSと炭素税	カーボンプライシング制度なし
	CCS補助金	• CCSプロジェクトを排出者にとって経済的に実行可能なものにするための安定した支援スキームを提供しているか	国家予算CCSインフラ基金	SDE++スキーム	CCUS支援スキーム	なし	インフレ抑制法45Q税額控除
	追加資金	• CCSプロジェクトがイノベーションとインフラに向けた財政支援をより広範に利用できるようにする機会を提供しているか	なし	EUイノベーション基金 Connecting Europe Facility基金	EUイノベーション基金 Connecting Europe Facility基金	Enova EUイノベーション基金	IIJAとDoEによるCCSへの資金提供、州レベルの支援
リスク軽減	連鎖的なリスク	• インフラ整備の最初の段階で、複雑なCCSバリューチェーンを支援しているか	CCSビジネスモデル	排出者と輸送・貯留事業者が全てのリスクを負担	排出者と輸送・貯留事業者が全てのリスクを負担	排出者と輸送・貯留事業者が全てのリスクを負担	排出者と輸送・貯留事業者が全てのリスクを負担
	CO_2漏洩リスク	• CCSソリューションの技術的および運用面での成熟期において、発生確率は低いが影響が大きい事象からプロジェクトは保護されているか	CCSビジネスモデル	輸送・貯留事業者が全てのリスクを負担	輸送・貯留事業者が全てのリスクを負担	輸送・貯留事業者が全てのリスクを負担	輸送・貯留事業者が全てのリスクを負担

商用CCS-as-a-Serviceを欧州の民間投資家にとって魅力的なものにし、ソリューションを拡大するには、複数の措置を講じる必要がある



排出者向けの財政支援

- **欧州は最も先進的な炭素排出量取引制度**を確立しており、CO_2排出量1トン当たりの価格を設定することで**排出者に炭素排出量削減を奨励している**
- しかし、CCSは依然としてコストが高い。**CfD型の補助金を活用することで、排出者はCCSの総コストとEU ETS価格とのギャップを効果的に埋めることができ、**プロジェクトを経済的に実行可能なものにすることができる
- **補助金制度をCCSに特化したものにする**（例えば、必要な補助金額の一定の再計算を認める）**ことで、必要とされる安定性と予測可能性を実現できるだろう**



発生確率は低いが影響が大きい事象に対する保護

- 北米と欧州の**少数の事業プロジェクトに限られ**、かつその大半は石油増進回収を目的としてCO_2を使用しているものではあるが、**CCSの実践は進められている**。しかし、**CCSの運用実績に関する実証データは限られている**
- ノルウェーとオランダにおける**最初の本格的な大規模商業CCSプロジェクトは、欧州政府から多額の支援を受けた。しかし、少数のプロジェクトだけでは、民間投資家にとってCCSのリスクを軽減するには不十分である**
- 保険商品が開発され、手頃な価格になるまでの間、**発生確率は低いが影響が大きい事象**（CO_2漏洩など）**が生じた場合の支援として、保証型のリスク保護**（例えば、規制資産ベースのモデルやEU ETSに基づく資金）**を確立できるだろう**



欧州の国境を越えたCO_2輸送の批准

- **欧州は、北海と地中海に2つの大規模なCO_2貯留エリアを開発する可能性を秘めている。**これにより、最適なCO_2輸送・貯留インフラを構築することができる
- 近年、**恒久的な海上貯留のための国境を越えたCO_2の輸送に関する初めての二国間協定が数件締結された**（ベルギーとデンマークなど）。**他の欧州諸国がこの動きに追随すれば、共通のCO_2輸送・貯留市場が開かれる可能性がある**
- これにより、**排出者が最も経済的な方法で貯留施設を利用できるようになるとともに、CO_2貯留施設を**より幅広い排出者に向けて展開することで**商業的リスクを最小限に抑えつつ、規模の経済を達成することができる**

参考文献

1. International Energy Agency, CCUS in the transition to net-zero emissions, 2020
2. Global CCS Institute, Unlocking Private Finance to Support CCS Investments, 28 June 2021
3. European Environment Agency, EU Emissions Trading System (ETS) data viewer, 27 July 2023
4. CREA, EU CO2 emission tracker, 2023
5. United States Environmental Protection Agency, Greenhouse Gas Reporting Program (GHGRP), 2022
6. U.S. Energy Information Administration, How much carbon dioxide is produced per kilowatt-hour of U.S. electricity generation?, 2022
7. International Association of Oil & Gas Producers, Map of CO2 storage Projects in Europe, 10 October 2023
8. International Energy Agency, Net Zero Industry Act: CCUS, 12 June 2023
9. Department for Business, Energy & Industrial Strategy UK, Carbon Capture, Usage and Storage: An update on the business model for Transport and Storage, January 2022
10. Clean Air Task Force, Carbon Capture Activity and Project Map, 2023
11. Northern Lights Project, What we do section, 2023
12. Department for Business, Energy & Industrial Strategy UK, Carbon Capture, Usage and Storage: Industrial Carbon Capture business models summary, December 2022
13. Ministry of Economic Affairs and Climate Policy, SDE++ 2023 Stimulation of Sustainable Energy Production and Climate Transition, August 2023
14. HM Government, CCUS Net Zero Investment Roadmap, Capturing carbon and a global opportunity, April 2023
15. Columbia Law School, Carolina Arlota, Beyond troubled waters? Unprecedented cross-border transportation and injection of carbon dioxide (CO2) for offshore storage shows promise, March 23 2023
16. GE Gas Power, The London Protocol and carbon capture
17. IEA Technology Collaboration Programme, Exporting CO2 for Offshore Storage – The London Protocol's Export Amendment and Associated Guidelines and Guidance, April 2021
18. Danish Energy Agency, About CCS
19. International Energy Agency, Inflation Reduction Act 2022: Sec. 13104 Extension and Modification of Credit for Carbon Oxide Sequestration, 17 November 2022

日本版の刊行にあたって

2022年3月に、経済産業省からCCS長期ロードマップが発表され[1]、日本国内でもCCS事業法が成立し、今後CCSに向けた取り組みが具体化する見込みである。本レポートは、デロイトの欧州チームが、先行する欧州、米国の状況を整理した内容であり、CCSプロジェクトの実現可能性向上に向けた要諦や、各国の状況を解説したものである。

CCSプロジェクトは、二酸化炭素の回収から輸送、貯留といった形で、サプライチェーンが長く、国間の輸送といったケースも想定されることから、プロジェクト実現に向けたリスクが多く、また炭素取引市場や政府による補助、また環境価値の移転やCO_2の国間輸送に関する政府間での調整など、ステークホルダーが多岐にわたる。

一方で、今後10年間で、炭素市場が本格的に立ち上がり、GHG排出量削減に向けた具体的な取り組みが開始されるなかで、CCSプロジェクトの成立は不可欠であり、官民で協力して体制を整備していく必要がある。今後、2030年の操業開始に向けて各種取り組みが推進される予定だが、現時点の状況は、欧州地域より環境整備が遅れている状況だ（次ページ参照）。

特に、日本国内における政策的取り組みという観点では、2030年度までにCCS事業支援を行い、年間約1,300万トンのCO_2を貯留することを目標としてCCS導入が進み、2050年のCO_2貯留量の目安として1.2億トン～2.4億トン／年が具体的な数値として提示されている。

CO_2排出者という観点では、鉄鋼や化学工業、セメント製造、発電事業者など、日本国内でもCCSが必要な産業が多く、CO_2回収技術も国内メーカが技術を保有していることも多く、早期に取り組むことで自国の産業競争力の底上げに繋がるといった特徴がある。

しかし、財政支援という観点では、現状、GX-ETS等の市場環境の整備が途上であり、事業者へのインセンティブが乏しい状況であり、インセンティブ制度の整備状況次第では、先進的CCS事業の後続となる事業の立ち上がりが遅れる可能性がある。

また、アジア周辺国を含めると、日本が主導するアジア・エネルギー・トランジション・イニシアティブ（AETI）に基づき日本がCCS技術やCO_2越境輸送をリードしていく立場にあり、アジアとの連携強化が不可欠であるといった特徴がある。一方で、周辺国の法整備や受入環境整備の進捗は、欧州に比べてばらつきがある状況である。

こうした状況を踏まえつつ、CCSへの取り組みを活発化させるためにも、まずは、早期にCCSに係る法制度の整備を進め、資金調達を円滑化する仕組みづくりやカーボンプライシングなどの市場環境整備を行うことで、事業者の参画を促し、先進的CCS事業の後続となる事業立ち上げを後押しする仕組みづくりを実施すべきである。さらには、周辺国の法整備や受入環境整備への支援も順次実施すべきである。

日本国内でのCCSプロジェクト実現に向けた議論の活性化にむけて、本レポートが少しでも貢献できれば幸いである。

[1] CCS長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ（METI/経済産業省）

日本は、CCS目標を提示しているものの、その他の政策・財政支援・リスク軽減については今後の対応が求められる状況である

CCSの資金調達可能性パラメータによる評価：日本

			日本（進捗状況：高 ● ＞ ● ＞ ● 低）
基礎となる政策・規制	各国のCCS目標	• CCSが気候目標の達成に貢献する実行可能な技術として受け入れられているか	● • 2030年までに1,300万トン／年貯留を目標に導入が進む • 2050年のCO_2貯留量の目安として1.2億トン～2.4億トン／年を提示
	CCSの法規制の枠組み	• 許可、運営、閉鎖、閉鎖後の義務を含む法的枠組みが確立されているか	● • 政府は、CCSに係る制度的措置の在り方に関する中間取りまとめを公表済 • 令和6年5月に公布されたCCS事業法において、2030年までに民間事業者がCCS事業を開始するための法的な枠組みが整備された（採掘・貯留事業の許可制度創設等）
	CCSの商業的枠組み	• 経済的インセンティブ、法的構造、市場メカニズムを含む体系的な商業的枠組みが確立されているか	● • 現時点で詳細は決まっておらず、2026年を目途に事業者による投資決定が行われる前までに支援制度を整備する予定 • JCMに関する枠組み・方法論も現時点では決まっていない
	国境を越えたCO_2輸送	• CO_2輸送・貯留に関する国境を越えた単一市場アプローチが実現されているか	● • 2023年9月に経済産業省、JOGMEC、マレーシア・ペトロナス社の三者による越境CO_2輸送のMOC締結に留まる • ロンドン議定書は第6条改正については、未締結かつ暫定的適用も宣言していない
排出者に対する財政支援	カーボンプライシング	• 排出者に向けてCCSソリューション検討を促す制度はあるか	● • 2026年からGXリーグが本格稼働予定であるが、当面無償割当で進むため価格が上昇しない可能性がある • 発電部門が有償割当へ移行予定の2030年代に、ようやく海外と遜色ない水準に達する可能性
	CCS補助金	• CCSプロジェクトを排出者にとって経済的に実行可能なものにするための安定した支援スキームを提供しているか	● • 現時点で詳細は決まっておらず、2026年に投資決定をする前までに支援制度を整備する予定
	追加資金	• CCSプロジェクトがイノベーションとインフラに向けた財政支援をより広範に利用できるようにする機会を提供しているか	● • JOGMECによる出資・債務保証による支援を整備するに留まる（必要資金の1/2を出資、特に重要なものは3/4まで出資可）
リスク軽減	連鎖的なリスク	• インフラ整備の最初の段階で、複雑なCCSバリューチェーンを支援しているか	● • 日本政府よる貯留事業の許可制度整備や、CO_2注入停止後に、貯留事業場の管理業務をJOGMECに移管するような仕組みの構築等について、CCS事業法において明記された
	CO_2漏洩リスク	• CCSソリューションの技術的および運用面での成熟期において、発生確率は低いが影響が大きい事象からプロジェクトは保護されているか	● • 特に現時点では漏洩リスクを保証する制度はない（JOGMECに貯留・モニタリング業務を移管する方向性は提示されている）

著者紹介



Kirill Kalinkin
Director, Amsterdam

kirkalinkin@deloitte.nl
+31 6 50 08 84 56



Stefano Ferri
Director, Paris

sferri@deloitte.fr
+33 7 86 93 83 63

本レポートは、デロイト オランダとデロイト フランスの共同執筆によるものである。
以下のメンバーの貢献に謝意を表する。

Jeroen van der Wal | Partner, Amsterdam | jvanderwal@deloitte.nl
Michiel Engelaar | Director, Amsterdam | mengelaar@deloitte.nl
Ivan Shadrin | Consultant, Amsterdam | ishadrin@deloitte.nl
Edouard-Alexandre Van Grembergen | Consultant, Paris | evangrembergen@deloitte.fr

日本語訳版問合せ先

筆耕者



吉見 望(小久保)
Nozomu Kokubo Yoshimi
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
ディレクター

筑波大学大学院で博士号（理学）を取得。日系リサーチ会社を経て現職。資源・エネルギー・素材業界を中心に、事業戦略立案・実行、新規事業創出などのテーマを手掛ける。2014年よりタイ・インドネシアを拠点として、新興国市場への新規参入や現地企業のオペレーション支援などに従事したのち、2019年より石油・ガスチームの立ち上げに参画。昨今はエネルギー・素材トランジションや関連する企業変革案件に数多く従事している。



森 薫
Kaoru Mori
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
コンサルタント

国内化学メーカーを経て現職。DTC入社後、化学・石油・ガスの案件を中心に、事業戦略立案、新規事業立案、ビジネスデューデリジェンスなど幅広い領域を担当。近年は、GX関連の案件に数多く従事している。



福嶋 勇太
Yuta Fukushima
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
ディレクター

資源エネルギーの低炭素化、循環利用、地産地消をテーマに、官公庁の政策・施策検討や計画策定・実行支援に関するプロジェクトを担当。その他、様々な業界の民間企業をクライアントとした、脱炭素技術調査や事業戦略立案、研究開発体制強化支援や産学連携支援等に従事。



川村 淳貴
Junki Kawamura
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
マネジャー

民間シンクタンクでの環境・エネルギー部門における温室効果ガス削減目標やカーボンプライシングに関する官公庁・民間企業への支援を経て、2021年にDTCに参画。DTCでは主に次世代エネルギー（水素・合成燃料）やエネルギー需給シミュレーションを用いた官公庁・民間企業への支援に従事。

発行者

森田 哲平
Teppei Morita
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
執行役員／パートナー

米系総合ファームを経て、現職。主に化学・素材、消費財等の日本企業のグローバル競争力強化に向けて、全社／事業戦略、M&A戦略・PMI、組織機構改革、新規事業戦略、技術マーケティング、デジタル変革、各種コスト削減など幅広い領域における支援を実施。

Quest バックナンバー　バックナンバー送付をご希望の方はご連絡ください。

Vol.1　COVID-19：エネルギー業界への影響と今後の展望
〜コロナ危機がエネルギーの未来（Future of Energy）をどう変えるか?〜

Vol.2　石油・ガス業界におけるエネルギー転換
ー石油・ガス企業は低炭素社会に向けて何をすべきかー

Vol.3　脱炭素化に向けた2030年までの課題
“エネルギーの未来”への道筋

Vol.4　石油メジャーによる脱炭素戦略
〜ネットゼロへの移行は存亡の危機か、変革のチャンスか〜

Vol.5　実現可能な水素エコノミーを創造する
“Future of Energy”の観点で

Vol.6　石油・ガス業界 アウトルック2022

Vol.7　石油・ガス業界 アウトルック2023

Vol.8　石油・ガス業界 アウトルック2024

Webページ

弊社ECMMセクター関連のwebページへは下記よりアクセスが可能です。

弊社ECMMセクターの紹介ページ
https://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/energy-and-resources/topics/energy-chemicals.html

弊社ECMMセクターの刊行物の紹介・DLページ
https://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/manufacturing/articles/pr/newsletter-quest.html

本誌はDeloitte The Netherlands が2023年に発表した内容をもとに、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社が翻訳したものです。なお、この翻訳文と原文に相違がある場合には、原文の記載事項を優先します。

Deloitte.
デロイト トーマツ

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト トーマツ リスクアドバイザリー合同会社、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャルアドバイザリー合同会社、デロイト トーマツ税理士法人、DT弁護士法人およびデロイト トーマツ グループ合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザリー、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市に約2万人の専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループWebサイト、www.deloitte.com/jpをご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイトネットワーク”）のひとつまたは複数を指します。DTTL（または“Deloitte Global”）ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTLおよびDTTLの各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。DTTLはクライアントへのサービス提供を行いません。詳細はwww.deloitte.com/jp/aboutをご覧ください。
デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ベンガルール、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、ムンバイ、ニューデリー、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、リスクアドバイザリー、税務・法務などに関連する最先端のサービスを、Fortune Global 500®の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来175年余りの歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters”をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの45万人超の人材の活動の詳細については、www.deloitte.comをご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。DTTLならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2024. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.