

インフラとエネルギー移行：電子や分子の移動問題

2024年4月



Olivier Eugène
気候研究責任者
アクサ IM



Anais El Kasm
ESG アナリスト
アクサ IM

キーポイント

- エネルギー移行は大規模な取り組みです。大規模な経済的・社会的変化が必要となり、適正なインフラが適正なペースで開発されなければ達成することはできません
- 重要な課題は、脱炭素電力の輸送と配電です。電力網、貯蔵メカニズム、接続ポイントはすでに重要ですが、今後さらに重要になっていくと見ています
- 炭素回収・貯留が大規模に開発されれば、輸送と貯蔵のインフラが必要となります。
- 石油精製所、製鉄所、肥料工場で使用される水素は、輸送の限られた近隣での製造が主流となりますが、その利用が長距離輸送、航空輸送、大型トラック輸送にまで広がれば、相応な大規模な輸送・流通インフラが必要になります

- 電力網に対して必要となる巨額の投資のその規模と実行の確実性は、投資家に透明性と先行きの安心感につながります
- 水素の回収・貯蔵については、既存企業がシェア獲得に有利である一方、二酸化炭素については個々の案件ごとに成長の可能性があるため、当社グループは考えます

ネットゼロへの移行は、単にエネルギー供給源を切り替えたり、消費習慣を多少調整することで達成できるものではなく、はるかに複雑なものであると考えます。そのためには、需要と供給の両面で、行動や心理を大きく切り替えるとともに、経済エコシステムの全面的な変革が必要であると見ています。

移行が成功することは、排出量がネットゼロに達することを意味します。それは、大気中の温室効果ガスの濃度が上昇しなくなる瞬間です。これを達成するのはたやすいことではなく、2023年に二酸化炭素（CO₂）排出量が過去最高を記録したように、この道のりはまだ始まっていません。¹

排出削減の速度が将来の気温上昇を左右します。速く削減できるほど、将来の気温上昇幅は小さくなります。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）から国際エネルギー機関（IEA）および国連環境計画（UNEP）まで、多くの報告書が、世界の気温が産業革命以前の水準より2.5°C以上上昇しつつあると結論づけています。これは、地球温

¹ [CO2 Emissions in 2023, IEA, 2024年3月](#)

暖化を「産業革命以前の水準より2°Cをはるかに下回る上昇水準」に抑えるために、世界全体の温室効果ガス排出量を大幅に削減するというパリ協定の目標をはるかに上回るものです。²

すべての移行は同じ技術手段に依存していますが、その活用の仕方や組み合わせは異なります。この技術手段のうち、電気、二酸化炭素、水素が大きな役割を果たすと見ていますが、いずれも生産者と消費者をつなぐ専用のインフラを必要とします。

本稿では、社会の電化、炭素回収、水素経済の実現に必要なインフラと、それが投資家にとって何を意味するかについて論じます。

電力網：移行の神経系統

IEAは『世界エネルギー見通し2023』³の中で、将来のエネルギーシステムを分析するために3つの異なるシナリオを設定しています。いずれの場合も、世界のエネルギーミックスにおける電力の重要性が増しています。最終エネルギー消費に占める電力の割合は、1990年の13%から2022年には22%にすでに増加しており、さらに30%~53%にまで増加すると予想され、総発電量はシナリオによっては186%~265%増加すると予想されています。

100を超える各国中央銀行で構成される『金融システムのグリーン化のためのネットワーク』⁴は、中央銀行と金融規制当局がパリ協定を満たすために何をすべきかをより良く評価するために、7つの状況を策定し、3つのモデル化の方法、いわゆる統合評価モデルを使用しています。モデルを組み合わせると21の起こりうる移行の道筋が作成されますが、これによれば、電力消費量は平均125%増加（55%増から212%増の範囲）となります。

Réseau de Transport d'Electricité（RTE、電力輸送ネットワーク）はフランスの送電網運営業者です。同社は2021年10月、フランス電力網のさまざまなエネルギー移行シナリオを評価する研究の主な結果を発表しました。⁵RTEはその多くの所見と結論の中で、すべての場合で電力消費は15%から60%まで増加し、「エネルギー移行を可能にするために送配電網の規模を速やかに変更しなければなら

ない」、しかも再生可能電力の割合が高いほど変更の必要性が強くなると述べています。

ワシントン・ポスト紙の記事⁶は、アメリカにおける電力に対する予想以上に速い実際の需要の増加が特定の地域の電力システムにいかにかストレスを与えているか、そして老朽化した電力網がいかにか役立たなくなっているかを論じています。

これらはそれぞれ別々の情報源から得られた複雑で込み入った分析であり、また世界的な場合と各国の場合に関してそれぞれ分析していますが、いずれも同じメッセージを伝えています。それは、電力需要はすでに増加を続けていて、今後もさらに増加を続け、そしてインフラ、つまり電力網は極めて重要ですが、今後10年間はその重要性がさらに高まるであろうということです。

電力網とは？

電力網は、相互に接続された構成部品からなる複雑なシステムであり、これらの構成部品が一体となって、電力源から家庭、企業、製造業といった顧客に電力を供給しています。電力は経済全体の機能にとって不可欠なものです。現代生活にあまりにも浸透しているため、私たちは電力が依存しているインフラが、時には隠れて、時には非常に目に見える形で存在していることにあまり気づいていません。

発電：いくつかの主要な発電技術があり、それぞれが異なる一次エネルギー（自然から直接採取できるエネルギー）源を使用しています。電力は、火力発電所における化石燃料の燃焼から発生させることができ、これは現在でもまだ最も普及している方法です⁷が、原子力発電所における原子の核分裂から発生させることもできるし、水、風、太陽などの再生可能エネルギーを利用することもできます。

送電：電力が作り出されると、送電網を通じてリアルタイムで需要地に送らなければなりません。電力はまず変電所に送られ、そこで変圧器が非常に高い電圧レベル⁸に変換し、損失を減らします。その後、電力は大規模な送電線を通して地域の変電所に送られるか、アルミニウム製錬所のような非常に大規模な消費地に直接電力が供給

² [The Paris Agreement | UNFCCC](#)

³ [World Energy Outlook 2023, IEA, 2023年10月](#)

⁴ [NGFS](#)

⁵ [RTE | Futurs énergétiques 2050](#), RTE, 2021年10月

⁶ [Amid record high energy demand, America is running out of electricity - The Washington Post](#)

⁷ [Electricity 2024, IEA, 2024年1月](#)

⁸ 送電は50kV（5万ボルト）以上。高電圧は63kVから90kVの間、超高電圧は225kVから400kVの間です。

されます。送電網は送電システム運営者によって管理されています。

配電：送電が終了した時点で配電が始まります。変電所は、家庭や企業が使用できる低い電圧⁹に電力を変換します。電力は変電所から配電網を通じて最終消費者に送られますが、中電圧線を通じて中小企業や製造業に供給され、また、低電圧線を通じて住宅消費者に供給されます¹⁰。配電網は配電システム運営者によって管理されています。

送電(Transmission)と配電(Distribution)は、しばしば「T&D」という略称で呼ばれます。

電力を貯蔵することは可能ですが、大規模に行うのは困難でコストもかかります。これは、システムの安定性を維持するためには、発電して送電網に送る電力量と消費する電力量が常に等しくなければならないことを意味します。しかし、分散型の再生可能エネルギー源の利用が拡大していることから、このバランスと電力供給の信頼性を維持する上で新たな課題が生じています。電力網はこうした課題に対応できなければなりません。¹¹

現在の電力網と将来の電力網

現在、世界中に約8,000万kmの架空送電線と地下ケーブルがあり、7%が高圧送電線、93%が配電網を形成しています。IEAが公表する発表誓約シナリオ（APS、各国が宣言した目標を反映したシナリオ）¹²の中で、2021年から2050年の間に世界の電力網の総延長は2倍以上の1億6,600万kmになると推定しています。各地域はそれぞれ独自の発展の道を歩んでいますが、拡大の大半が新興国・途上国（EMDEs）で敷設されると見込まれています¹³。

したがって電力網の重要性はますます高まると見ています。問題は電力網に多額の投資をする必要があるかどうかではなく、どこにどれだけ投資するかということと考えています。これを図表1に示します：

図表1：予想される電力網の発展（単位：百万km）

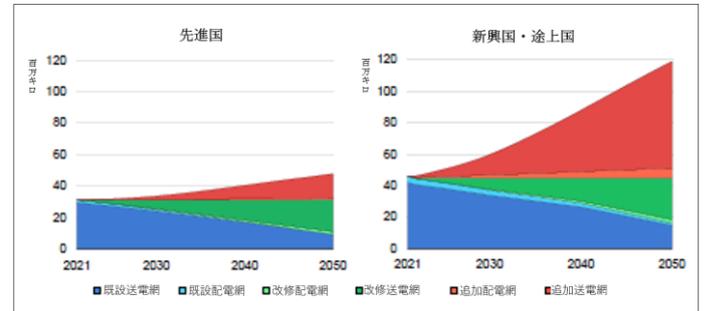
APS	2021	2030	伸び率	2050	伸び率
先進国	31.2	33.7	7%	47.5	52%
EMDEs	45.9	59.7	23%	118.8	159%
合計	77.1	93.4	18%	166.4	116%

出所：IEA Electricity Grid and Secure Energy Transitions、2023年9月

拡大だけでなく、IEAによればAPSでは2021年時点の電力網の3分の2が2050年までに置き換えられるとされています。新興国・途上国は拡大の影響を最も受ける地域であるなら、先進国は改修が最も重要になる地域で、2050年までに送電網と配電網の70%以上が交換されると予想されています。これは、20世紀末に建設された電力網インフラの老朽化と、近年の電力網の拡大不足の直接的な結果です。

対照的に、過去10年間における世界の電力網拡張の3分の1以上を中国が占め、インドとブラジルがそれに続きました。シナリオにかかわらず、電力網の改修はどの地域でも電力網投資の主要な推進要因のひとつです。電力網は電線やケーブルで構成されているだけでなく、関連する変電所や機器もまた追加や交換が必要となります。¹⁴

図表2：APSにおける地域別・性質別電力網長の発展



出所：IEA Electricity Grid and Secure Energy Transitions、2023年9月

先進国も新興国・途上国も、電力網には多大な開発と投資が必要ですが、それぞれの課題は異なります。先進国にとって、改修と拡張の必要性とは主に、インフラの改良、回復力と安全性の向上、再生可能エネルギーに対応するための高度メータリングのような新技術の統合を意味します。新興国・途上国にとって重要な目的は、電力を広く確実に使えるようにし、効率を改善し、エネルギー損失を削減することです。

⁹ 配電は 50kV 以下の電圧用。中電圧は 20kV、低電圧は 230V～400V

¹⁰ 電力ネットワーク - CRE

¹¹ World Energy Markets Observatory, Capgemini、2023年

¹² APS は、2050年までにネットゼロを達成し、気温上昇を 1.7°C に抑えるシナリオです。

¹³ Electricity Grid and Secure Energy Transitions、IEA、2023年9月

¹⁴ Electricity Grid and Secure Energy Transitions、IEA、2023年9月

送電網の整備：相互接続の必要性

送電線増設の必要性の一部は、送電網を強化し、再生可能エネルギーの統合を加速するための新たな相互接続の開発に起因しています。例えば米国では、大陸や国をまたいだ相互接続、あるいは国内の地域間の相互接続が一般的になりつつあります。その建設には多くの場合、高圧直流（HVDC）送電線が使用されます。HVDC送電線は、あらゆる定格の電圧と周波数に対応でき、より柔軟で損失率の低い送電を可能にするものです。¹⁵

相互接続は安定性と安全性を向上させるだけでなく、余剰のクリーンエネルギーを持つ地域が、需要の高い地域や発電能力の低い地域に効率的にエネルギーを供給することを可能にするため、エネルギー移行にとって極めて重要と思われます。相互接続は、電力がリアルタイムで国境を越えて移動できるようにすることによって、風力発電や太陽光発電の地理的変動のバランスを取り、出力変動や出力抑制を最小限に抑え、蓄電容量の必要性を減らすことができる、より柔軟なシステムの構築に役立ちます。

しかし、相互接続には高い投資コスト、多くの規制上の課題、遅延と長い準備期間（欧州では平均9年）が伴います。相互接続の適切な展開には国や地域間の計画の調整、規制の調和における協力的な取り組みが求められます。¹⁶

世界最大の同期電力網

欧州大陸同期地域（CESA）は、世界最大の同期電力網です。欧州連合の大半を含む24カ国で4億人以上の顧客に電力を供給しています。この相互接続された電力網は、地域全体の効率的で信頼性の高い送電を保証し、地域全体における電力の継続的な生産と消費のバランスを求め、参加国間の国境を越えたエネルギー取引と協力を促進します。欧州送電系統運営者ネットワークによると、2030年までに40以上の新しい相互接続が開発中または完成予定です。¹⁷

電力網がこれほど重要な理由

電力網は1世紀以上にわたって電力システムの基幹となってきました。電化需要の増大と、より分散化された電源を接続する必要性を満たすためには、その拡張と更新が不可欠です。しかし現在、電力網への注目度はあまりにも低く、クリーンエネルギー移行におけるアキレス腱となる危険性があります。¹⁸

電力需要の増加と電化率の上昇：IEAによれば、世界の最終電力消費量は2000年以来ほぼ倍増しており、この傾向は今後も続く予想されています。運輸、ビル、製造業などの部門での電化需要は、炭素排出量を削減し、効率を向上させる有望な機会であると同時に、電力網の安全の重要性を強調しています。

IEAは、2050年までに電力需要が各シナリオに応じて179%から206%増加すると予測しています。¹⁹新興国・途上国は2050年までに世界の電力需要の3分の2を占めると予想されており、電力網の拡張はこれらの市場で起こると考えられます。²⁰

需要を手頃な価格で常に満たすことのできる安定した信頼性の高い電力供給を通じて、電力システムの安全性を確保することは、これまで以上に重要になると見えています。発電事業者は俊敏性の向上が必要ですが、消費者も敏感に反応するようになるために、電力網のインフラは頻繁に変動する電力とデータの流れに対応できるよう強化され、デジタル化される必要があると思われます。²¹

分散型電源からの再生可能エネルギー：従来の電力網は、もともと中央集約型の化石燃料発電所を支えるために設計されたもので、分散型の断続的な再生可能エネルギー源を扱うための設備はありませんでした。太陽光発電や風力発電を中心とする再生可能エネルギー源が世界で脱炭素化目標の達成に重要な役割を果たすには、これらのエネルギー源を電力網に統合する上でいくつかの技術的課題があります。集中型発電所とは対照的に、再生可能エネルギー源は送電網と配電網の両方に接続することができますが、大部分は配電網に直接接続されるため、分散型発電設備からの電力注入量が多くなり、システム全体が複雑化します。こうした分散型エネルギー源の台頭

¹⁵ [Electricity Grid and Secure Energy Transitions, IEA, 2023年9月](#)

¹⁶ [Breaking borders: The future of Europe's electricity is in interconnectors | Ember \(ember-climate.org\)](#)

¹⁷ [Continental Europe successful synchronisation with Ukraine and Moldova power systems \(entsoe.eu\)](#)

¹⁸ [Electricity Grid and Secure Energy Transitions, IEA, 2023年9月](#)

¹⁹ [World Energy Outlook 2023, IEA, 2023年10月](#)

²⁰ [Electricity Grid and Secure Energy Transitions, IEA, 2023年9月](#)

²¹ [World Energy Outlook 2023, IEA, 2023年10月](#)

により、エネルギー・ネットワークは双方向の電力フローを管理できるように適応しなければなりません。²²

再生可能エネルギーは、消費量が最も上昇しているときに利用できない可能性があり、電力需給のバランスが崩れ、電力網の品質と信頼性の低下に繋がりがねません。しかし、各国のエネルギーと気候に関する国家目標が予定通り十分に達成されれば、今後20年間での世界の電力容量増加分のうち、80%以上を再生可能エネルギーが占めるようになる（これに対し、過去20年間では40%未満）と予想されます²³。この加速により送電線とケーブルだけでなく、変電所、安定性制御装置、電力潮流制御装置、エネルギー貯蔵、および電力網資産の利用を高めるデジタル化技術などの構成部品を含む電力網の拡張と改修が必要となります。

現在、すでに約3,000ギガワット（GW）の再生可能エネルギー・プロジェクトが電力網接続の順番待ちをしています。このことは、接続を必要とする再生可能エネルギー・プロジェクトのリストが増え続けるにつれて、電力網が急速に（そしてすでに）ボトルネックになりつつあることを示しています。²⁴

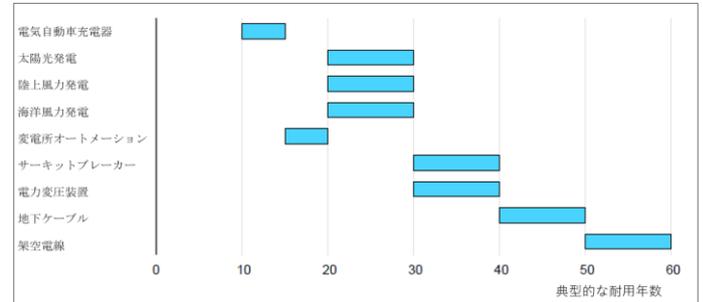
老朽化した電力網とインフラ：電力網の老朽化度合いは国によって異なり、開発の歴史や投資、更新努力などの影響を受けます。電力網は通常40年から60年使用できるように設計されていますが、その電力網に接続される機器よりもはるかに長く使用されることが多くなっています。これらの老朽化した電力網では安全性と信頼性のリスクが高まり、停電の可能性や機器の損傷、安全上の危険につながります。

電力網の寿命は、負荷の状況、メンテナンスの方法、技術の進歩、環境要因に左右されます。気候変動は異常気象による停電のリスクを大幅に高め、電力網を脆弱にしています。世界の電力網の約4分の1が激しい暴風雨にさらされ、半数近くが火災が発生しやすい気象条件に年間50日以上さらされており、気候変動に大きく影響を受けています²⁵。新技術によって、予防的なメンテナンス、耐用年数の延長、コスト削減の機会を得ただけでなく、ソフトウェアのライフサイクルやサイバーセキュリティなどの問題にも対処しています。

²² [World Energy Markets Observatory, Capgemini, 2023年](#)
電力系統における双方向の流れとは、電力が上流（発電）と下流（消費）の間でどちらの方向にも流れることができることを指します。

²³ [Electricity Grid and Secure Energy Transitions, IEA, 2023年9月](#)

図表3：標準的な設計寿命



出所：IEA Electricity Grid and Secure Energy Transitions, 2023年9月

柔軟性と最新化の必要性

スマートグリッド（次世代型電力供給システム）やエネルギー貯蔵技術、需要応答システム、通信技術等を通じて電力網を最新化することは、分散型エネルギーシステムの利点を活用し、再生可能エネルギーを効率的に統合するための鍵となります。デジタル化は、配電の段階で優先順位が高くなり、発電事業者、電力網運営者、さらには最終利用者を含むすべての電力系統関係者のニーズと能力を調整する上で極めて重要な役割を果たしています。スマートグリッドは、電力潮流の可視性を高めると同時に、顧客に電力消費を把握しやすくし、需給変動を予測しバランスを取り、双方向の流れを制御することが容易になるような新しい料金体系を可能にします。スマートグリッド技術の開発がコストと環境への影響を最小化すると同時に、監視のための可視性を高め、電力需要の柔軟性（信頼性とコスト効率性を維持しながら電力需給を調整する能力）を高めることにつながると、当社グループは考えます。²⁶

各国の気候変動目標を達成するためには、再生可能エネルギー源の割合が増え続ける2022年から2030年の間に、システムの柔軟性を2倍にする必要があります。現在の柔軟性の多くは、需要に応じて出力を調整できる配給可能な火力発電および水力発電によって提供されており、季節的に柔軟性が必要な場合、今後もこの状況が続くと思われる。しかしデジタル化は、バッテリー、出力抑制、需要応答システムを通じた短期的な柔軟性にとって極めて重要になるでしょう。一方で、デジタル化はサイバー攻撃に対する脆弱性の増加といった新たな課題ももたら

²⁴ 同上

²⁵ 同上

²⁶ [Executive summary – Unlocking Smart Grid Opportunities in Emerging Markets and Developing Economies – Analysis - IEA](#)

し、電力系統を保護するための効率的なサイバーセキュリティ・プロトコル（インターネット上で機密性を確保するための技術）と措置を開発する必要性を浮き彫りにしています。²⁷

ハードウェアとソフトウェア、サイバーセキュリティにおける新たな課題

電力網には情報技術が組み込まれていて、複雑なソフトウェアを通じて需給バランスの調整や消費データの収集・処理を行い、他の用途や利点のなかでも特に負荷の管理を改善しています。これにより効率性と生産性が向上していますが、課題も生まれています。例えば、図表3にあるように、物理的資産の寿命は一般的なソフトウェアの寿命よりも長く、更新サイクルも異なります。

もうひとつの課題は、サイバー攻撃のリスクです。電力網は戦略的かつ重要なインフラであり、機能停止はシステム全体に影響を及ぼします。物理的にも仮想的にも、それを守ることが不可欠です。ウクライナ戦争は現実の例証となります²⁸。IEAは最近の報告書²⁹の中で、増大するリスクを強調し、電力網運営者や電力会社など電力系統の対応が不十分であると指摘しています。最近、欧州連合³⁰と米国上院³¹が超党派の支持を示す珍しい形で合意したように、各国政府は電力網をサイバー攻撃に対して強化しなければならないことを認識しています。

蓄電：小規模な蓄電は、バッテリーを通して以前から可能でした。しかし電力網の規模では、選択肢は限られています。エネルギー移行は、部分的に再生可能エネルギーの断続性を管理する解決策として、電力貯蔵の必要性が高まることを意味します。

現在利用可能な主な蓄電オプションは揚水発電です。水力発電は、再生可能な電力の最大の供給源であるだけでなく³²、貯水池の水という潜在的な形でエネルギーを蓄える手段でもあります。IEA³³によると、2021年の揚水発電容量は160GWで、総蓄電容量の90%以上を占めます。一

部の地域でこれを増大する可能性はありますが、谷を氾濫させることは人々の支持を得にくく、現地社会でしばしば問題となり、また、生物多様性への懸念もあります。また、気候変動が降水パターンに与える影響や、それが将来の水力発電生産にどう影響するのかという疑問もあります。

蓄電池はもうひとつの選択肢であり、これまで導入量は非常に低い水準でしたが、急成長しています。2016年には年間1GW未満だった導入量が、2022年には10GWを超え、同年の総容量は45GWに達しています。IEAは、この10年およびそれ以降も極めて急速に普及が進むと予測しており、2030年までに少なくとも12倍、2050年までに最大で93倍の容量が見込まれています。蓄電池は主にリチウムイオンバッテリーで構成され、再生可能な電力を需要の弱い間に生産し、後で使用するために貯蔵できること—例えば太陽光による電力を正午に貯蔵し、夜間に放出すること—ができます。

電気自動車：課題か機会か

道路交通の電化はエネルギー移行の重要な柱のひとつであり、電気自動車（EV）は重要な役割を果たすでしょう。IEAは発表誓約シナリオ（APS）の中で、2050年までに電力が輸送用エネルギー需要の40%を占めるようになり、総電力需要増加の主要な原動力となり、それに適応したインフラ整備が必要になると予測しています。³⁴ EV充電は夕刻や日中の制御が難しい電力ピーク時間を悪化させ、配電網を圧迫する可能性があります。

しかし電気輸送はその貯蔵能力により、エネルギー安全保障と柔軟性にとって有益となる可能性があります。このポテンシャルを引き出すには、アクティブ制御による充電に重点を置いた、適切な技術的解決策への投資が必要となります。³⁵ EV充電を正しく管理することは、再生可能エネルギーとの相乗効果を生み出し、電力網の受け入れ能力を高める機会を表します。³⁶

²⁷ [Electricity Grid and Secure Energy Transitions、IEA、2023年9月](#)

²⁸ [Sandworm Hackers Caused Another Blackout in Ukraine、WIRED、2023年11月](#)

²⁹ [Cybersecurity – is the power system lagging behind?、IEA、2023年8月](#)

³⁰ [An EU Action Plan for Grids、EU Commission、2023年11月](#)

³¹ [Infrastructure Cybersecurity : The U.S. Electric Grid、米国上院、2021年7月](#)

³² [Renewables 2023、IEA、2024年1月](#)

³³ [Energy storage - IEA](#)

³⁴ [Global EV Outlook 2023 : Catching up with climate ambitions、IEA、2023年4月](#)

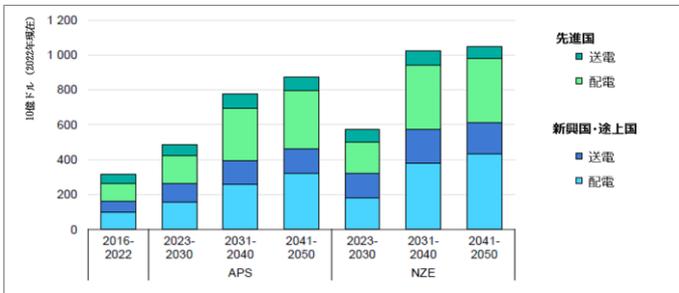
³⁵ 一方向充電によるアクティブ制御（V1G）、ビルや家屋への双方向充電によるアクティブ制御（V2B/H）、電力網への双方向充電によるアクティブ制御（V2G）。

³⁶ [Grid Integration of Electric Vehicles – A manual for policy makers、IEA、2022年12月](#)

投資と計画のニーズ

IEAによれば、電力網への投資額は2015年～2022年の平均で年間3,200億ドルに上ります。発表誓約シナリオ（APS）では、2030年までに6,000億ドル、その10年後には8,000億ドルの大台を突破しなければなりません。しかし2050年までにネットゼロ排出量（NZE）を達成する道筋に基づく、その増加は速度を増し、2035年までに年間1兆ドルの投資が必要となります。この投資の大部分は配電網に当てられます。³⁷

図表4：2つのIEAシナリオにおける2016年～2050年の年間平均T&D投資額



出所：IEA Electricity Grid and Secure Energy Transitions、2023年9月

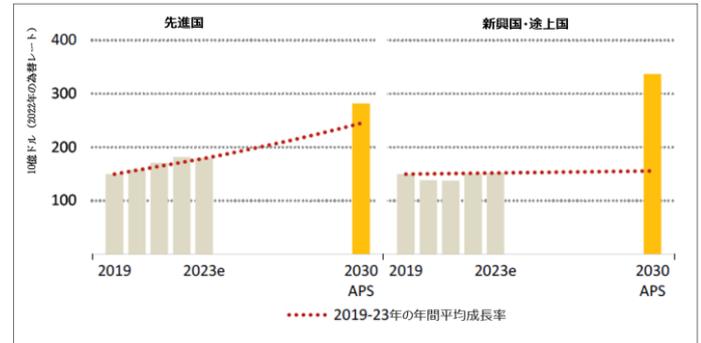
再生可能エネルギーへの投資は2010年以来ほぼ倍増していますが、電力網への投資は世界全体で年間約3,000億ドルと比較的停滞しており、現在の傾向と、特に新興国・途上国における気候変動目標の達成に必要な投資との間に重要なギャップがあることが示されています。中国を除く新興国・途上国では、2015年～2022年にかけて、電力網への投資は年間1,000億ドル以上から700億ドル以下に減少していますが、一方でエネルギー需要と信頼性は急激に向上し続けています。³⁸

これは資金力不足や規制の壁、政治的に不安定な国が多いことなどが主な原因です。こうした最近の傾向に基づけば、2030年の新興国・途上国の電力網への投資は、APSで必要とされる投資額（3,350億ドル）の半分以下となる一方、先進国におけるこのギャップはかなり小さくなるでしょう。³⁹

実際の例として、欧州委員会の試算⁴⁰では、REPower（リパワー）EU 戦略（ロシア産化石燃料依存からの脱却計画）

を実施するためには、この10年間で欧州連合（EU）の電力網に5,840億ユーロを投資する必要があります。

図表5：APSに関する電力網の投資動向



出所：IEA World Energy Outlook 2023、2023年10月

予想される投資は、電力網の将来的な成長と発展、および再生可能エネルギー源との統合を考慮したものです。これらを考慮すると、IEAは再生可能エネルギーに1ドル費やすごとに、電力網に1～3ドルを費やす必要があると見積もっています。こうした投資を先駆けて行い、戦略的に電力網のインフラを事前にアップグレードすることで、電力系統は需要の増加や供給パターンの変化に積極的に適応することができます。接続の遅れを減らし、再生可能エネルギー資産の迅速な統合を可能にし、事後になって追加的なインフラの導入にかかる費用を回避することで、持続可能なエネルギーシステムへのスムーズな移行をより確実に進められます。⁴¹

運営上の課題：計画、準備期間、調整の必要性。送電線プロジェクト、特に高圧送電線プロジェクトの導入には一般的に、再生可能エネルギーや充電ステーションよりもはるかに長く時間がかかります。電力網プロジェクトは先進国では10年以上かかる可能性があります。中国やインドでは中央集権的な意思決定と政府の優先順位付けにより、準備期間が大幅に短縮されています。これらのプロジェクトに関連してすでに長い準備期間は、スコープ作成（環境アセスメントを行う際、事業計画、評価の対象、評価の枠組みなどを定めた方法書を確定する手続き）、許認可、建設段階での遅れによってさらに延長されます。新興国では財政難、政情不安、許認可手続きの複雑さが遅れの原因となっている一方、先進国では社会的支持や政治的な問題、許認可手続きの長さが問題に

³⁷ [Electricity Grid and Secure Energy Transitions、IEA、2023年9月](#)

³⁸ [Electricity Grid and Secure Energy Transitions、IEA、2023年9月](#)

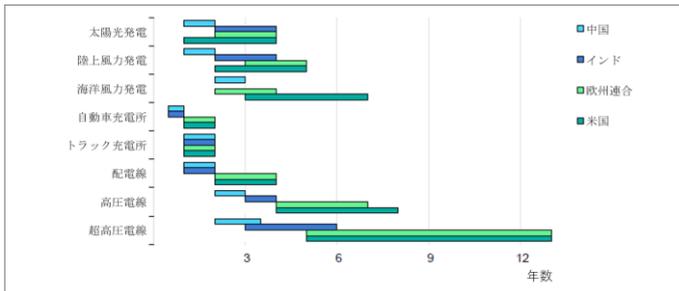
³⁹ [Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector、IEA、2023年9月](#)

⁴⁰ [An EU Action Plan for Grids、EU Commission、2023年11月](#)

⁴¹ [World Energy Markets Observatory、Capgemini、2023年](#)

なっています。機器納入の制限や技術的な制約は、プロジェクトの遅延や予算の膨張につながる可能性があります。⁴²

図表6：電力資産の一般的な導入時間



出所：IEA Electricity Grid and Secure Energy Transitions、2023年9月

こうした課題に対処するには、発電と電力網、配電と送電、そして地域間の計画を調整することが必要です。個々の大規模発電プロジェクトに基づく従来の送電網拡張の方法にはまだ利点がありますが、小規模な再生可能エネルギー・プロジェクトの統合が不十分で、系統全体の視点に欠けています。計画プロセスは、より多くの再生可能エネルギー・システムや相互接続の複雑さを反映しなければなりません。それと並行して、社会的反発を抑えるためには、利害関係者によるプロジェクトの企画への関与を高めるための連携とコミュニケーションが必要です。⁴³

投資家にとっての機会

世界経済がエネルギー移行を進めていくためには、電力網は戦略的かつ重要な資産であり、また電力網の規模が増し複雑になることが少なくとも当社グループにとって一明らかであると考えます。そのためには巨額の投資が必要となることは上述の通りです。

したがって投資家にとっては上場株式や債券だけでなく、私募や流動性の低い投資スキームを通じて、資金を配分する多くの機会が提供されることとなります。これらの投資には、規制された資産基盤や費用構造をもった安全性の高いものもあれば、伝統的な競争力がものを言うリスクの高いものもあります。

恩恵を受ける企業や発行体には、以下に代表される多様な種類やカテゴリーがあります。

- 電力網運営者および統合公益企業
- ケーブル、高圧機器、電池の製造業者などの機器供給企業
- スマートグリッド管理ソフトウェアやサイバー・セキュリティ・ツールの開発者などの情報技術供給企業
- 送電網の拡大や改修で増加する鉄鋼やセメントの需要に対応する土木・建設業の企業

水素：水素ベースの輸送燃料にはインフラが必要

理論的には水素は多くの産業プロセスや最終用途を脱炭素化できるため、エネルギー転換にとって魔法の杖のように思えます。[前稿](#)⁴⁴では、残念ながら現実世界に魔法はほとんど存在しないこと、可能な限り直接電化（電力を直接的に利用する電化）がより良い解決策であること、そして水素は限られた最終用途に適した脱炭素化ソリューションであると当社グループが考える旨を説明しました。

そのため、水素の長期的な見通しは、エネルギーのエコシステムへの水素の浸透度合い、および、その浸透の特性に大きく左右されます。その状況によって、関連するインフラのニーズが決まってきます。水素は周期表の中で最も軽く、最も小さい元素であるため、生産地から遠く離れた場所で消費される場合は圧縮または液化しなければならず、その物流には難しさがあります。その場合、エネルギーが消費されます。つまり、液化プロセスでは⁴⁵水素に含まれるエネルギーの30%以上が消費され、圧縮プロセスではこのエネルギー消費が、目標とする圧力によって11~17%の間で上下すると推定されています。このため、水素を長いパイプラインで送ったり、液化してタンクで移動させたりするよりも、消費地の近くで水素を製造する、つまり物流の必要性を抑える方が効率的になります。

IEAの最新の水素市場レビュー⁴⁶によると、2022年の生産量は9,500万トンに達し、99.3%は炭素排出プロセスに由

⁴² [Electricity Grid and Secure Energy Transitions、IEA、2023年9月](#)

⁴³ [同上](#)

⁴⁴ [水素とエネルギー移行：1つの分子で全てを制する試み | AXA IM JP \(axa-im.co.jp\)2022年10月](#)

⁴⁵ [Hydrogen liquefaction: a review of the fundamental physics, engineering practice and future opportunities、Royal Society and Chemistry、2022年4月](#)

⁴⁶ [Global Hydrogen Review 2023、IEA、2023年9月](#)

来します。約8,400万トン（原油精製、アンモニア、メタノール生産、製鉄の4つの最終市場に由来するもののみで、90%は現地で生産されました。水素は非常に地域限定的なビジネスであるため、パイプラインは現在、西ヨーロッパと米国メキシコ湾岸を中心に、わずか5,000kmと限られたインフラしかありません。

IEAは最近の報告書⁴⁷で、ネットゼロ排出量シナリオ（NZE）の中では世界の水素需要が2022年の9,500万トンから、2050年までに4億トン以上に拡大し、その90%が再生可能な電力で水を電気分解して製造されるグリーン水素になると予測しています。この場合、水素需要の45%が、アンモニアやメタノールのような水素ベースの燃料を含む輸送によるものです。IEAは、このためには20万9,000kmのパイプラインが必要になると推算しています。他の2つのシナリオ、すなわち、公表政策シナリオ（STEPS）と発表誓約シナリオ（APS）でも需要は増加しますが、規模はこれより小さくなっています。

水素と投資

IEAは水素市場のレビュー⁴⁸の中で、低炭素水素インフラへの投資は2億ドルと小さい金額ですが、2030年までにSTEPSで55億ドル、NZEで360億ドルに増加すると推定しています。

水素の強い推進者であるシンクタンク、Hydrogen Councilは2023年12月に報告書を発表⁴⁹し、水素パイプラインのプロジェクトが5,700億ドルに上る反面、インフラに割り当てられる金額は10%に過ぎないと推定しています。しかし、これらのインフラ・プロジェクトの半分以上は発表されたばかりで、計画段階にすらありません。例えば、最終的に投資が決定されたパイプラインは、まだ600kmにもなりません。

「欧州水素バックボーン（EHB）」イニシアチブ（構想）は、主に天然ガスネットワーク事業者からなるコンソーシアム（連合事業体）で、欧州における水素ネットワーク構築に関するいくつかの研究を発表しています。最近のレポート⁵⁰で、パイプラインの費用に関する有用なデータを提供しています。これはEHBメンバーによる積み上げ作業の結果であり、各規則の違い、地域の課題、特定の地域を反映しています。費用の構成要素は、材料費、

人件費、雑費、敷設権の4つのグループに分類されます。その結果を図表7に示しています。加えて同調査は、典型的な水素圧縮ステーションには400万ユーロかかる旨指摘しています。

図表7：水素パイプライン費用の中央値、単位：パイプライン1kmあたり百万ユーロ

1kmあたり百万ユーロ	新設パイプライン	既設用途変更パイプライン
20番陸上パイプ	1.80	0.54
36番陸上パイプ	3.20	0.64
48番陸上パイプ	4.40	0.88
36番海洋パイプ	5.44	1.09
48番海洋パイプ	7.48	1.50

出所：欧州水素バックボーン 2023年11月

この分析からいくつかの洞察が得られます：

- 用途を変更して使われる既設のパイプラインの建設コストは新設よりも70%から80%少ない。欧州の天然ガス・ネットワークは、水素を扱うのに十分な品質の鋼管を使用しているという利点がある（米国ではそうではない）。既存の天然ガス・パイプラインを水素に切り替えることは可能ながら、水素はメタンよりも分子が小さいため、シールやバルブなどの物理的完全性への投資が必要であり、また、水素の密度が低いため、より強力なコンプレッサーへの投資が必要となる
- 海洋パイプラインのコストは、およそ70%高い。地中海と北海でのプロジェクトがある
- これらコストは中央値であり、調査では、上記の要因によって費用が20%から35%上下する可能性があることも示されている
- 総費用の70%~80%が材料費と人件費で占められているため、それらの増減は最終的な集計に大きく影響する

オランダの天然ガス・ネットワーク事業者Gasunieが、計画中の水素ネットワークを管理する予定です。建設は2023年10月⁵¹に開始され、1,200kmの水素パイプラインの敷設（うち85%は既存の天然ガスパイプラインの改修）を目標とし⁵²、投資総額は15億ユーロに上ります。EHBの取り組み（GasunieはEHBのメンバー企業）によると、再

⁴⁷ 同上、[World Energy Outlook 2023](#)、IEA、2023年10月

⁴⁸ [Global Hydrogen Review 2023](#)、IEA、2023年9月

⁴⁹ [Hydrogen Insights, Hydrogen Council、2023年12月](#)

⁵⁰ [European Hydrogen Backbone Projects and Costs Update、2023年11月](#)

⁵¹ [King Willem-Alexander marks the start of construction of Gasunie's national hydrogen network、Gasunie](#)

⁵² [Hydrogen network Netherlands、Gasunie](#)

利用されるガス・パイプラインは、新設のパイプラインよりも75%安いと言われています。

焦点：アンモニアに関して

アンモニアは水素と窒素を結合させた分子で、化学式はNH₃であり、尿素をはじめとする合成肥料を製造するために、すでに広く生産・取引されています。現在の生産量は約1億9,000万トンで、そのうち1,800~2,000万トンが専用船による海外取引、またはパイプラインやトラック、列車による内陸取引の対象となっています。⁵³

水素を海外に輸送するには、大量のエネルギーを消費する極低温プロセスで液化する必要があります。NH₃が液体になる温度は-33℃であるのに対し、純水素では-253℃であるため、NH₃は海を越えて水素を輸送するには比較的効率性の高い手段になる可能性があります。NH₃はその後、目的地で分解して水素に戻すことができます。この種のプロジェクトはすでに発表されています。⁵⁴

しかしNH₃は燃料としての元来の利点、特に長距離輸送の脱炭素化目的で追求することも可能です。NH₃は二酸化炭素を排出しない燃料ですが、人体には有毒であるため、慎重な取り扱いと適切な規制が必要です。また、人体に有害なガスである亜酸化窒素を燃焼中に発生させるため、スクラバー（除去装置）として知られる搭載排ガス浄化システムが必要となります。

NH₃が軌道に乗れば、より多くの船舶が必要になり、その数は容量によって異なるでしょう。想定される金額の一例として、韓国の大手造船会社であるサムスン重工業は2024年1月、NH₃用大型船2隻を2億3500万ドルで⁵⁵受注したと発表しました。

水素貯蔵。 将来的に水素の量が増えれば、石油や天然ガスのように貯蔵インフラを整備する必要があります。最善の解決策は、天然ガスと同様に地下の岩塩層を利用することだと思われます。IEAによれば⁵⁶、現時点で稼働中の岩塩層があるのはアメリカ（3つ）とイギリス（1つ）だけで、その容量はエネルギー量換算で500ギガワット時（GWh）です。また、特にドイツとフランスで、いくつかのプロジェクトが進行中です。水素の密度が低いことを考えると、岩塩層が貯蔵できる量は、同じ体積の天然ガスの3分の1から4分の1のエネルギー量になります。枯渇した油田やガス田の利用も可能ですが、メタンに有効なもののが純粋な水素に有効かどうか、まだ明らかではありません。このような貯留層における水素の挙動、特

に拡散、溶解、バクテリアによる消費によってどれだけの水素が散逸するかをよりよく理解するために、さまざまな試験が行われてきており、現在も行われています。

水素と電力。 グリーン水素は電気分解を通して生産されることから、水素と再生可能電力には密接な関係があります。したがって、グリーン水素の成長とグリーン電力の需要の間にはフィードバック・メカニズムが存在します。

IEAによると、発電量のうち、水素およびNH₄（アンモニウム）の生産に使用される割合は、現在ではゼロですが、発表誓約シナリオで2050年までに発電の1%、ネット・ゼロ排出シナリオでは（NZE）では1.5%になると推定されています。

これは電力生産の増加に貢献するでしょうが、数ある原動力のひとつに過ぎません。大規模なグリーン水素のサイトは大規模なグリーン発電サイトの近くにある可能性が高く、これは限定された電力インフラのニーズを示唆しています。

投資家にとっての機会

電力網の場合と異なり、水素インフラ開発の視界は限られています。将来の市場規模と需要の性質は、強い不確実性をもたらす2つの重要な変数です。

また、水素の開発が予想ほどには進展しない場合、座礁資産を開発することになるリスクもあります。

そのため、水素に関連した投資を行いたい投資家は、この市場を理解し、すでに利益を上げている産業ガス会社や、水素供給網が建設される場合には、その開発者となる天然ガス・ネットワーク事業者など、実績のある水素関係企業を選ぶべきだと、当社グループは考えます。

炭素回収と二酸化炭素ロジスティクス：開発順序の逆転

炭素回収・貯留（CCS）とは、産業施設の排気ガスから二酸化炭素を回収し、地下の貯蔵場所に運ぶことです。回収は施設ごとの作業であり、インフラは必要なく、必要なのは専用機器のみです。輸送とは、貯蔵場所までのパ

⁵³ [Fertilizer Industry Handbook 2022](#)、Yara、2022年12月

⁵⁴ [Air Liquide paves the way for ammonia conversion into hydrogen with new cracking technology](#)

⁵⁵ [Samsung Heavy Industries bags \\$235 million gas carrier deal - Offshore Energy](#)

⁵⁶ [Global Hydrogen Review 2023](#)、IEA、2023年9月

イプラインや、貯蔵場所が海洋の場合は港や船舶を意味します。貯蔵とは、地下施設や注入ステーションを開発することを指します。二酸化炭素のロジスティクスは電力網や天然ガス・ネットワークのような共通の、あるいは集合的なインフラとして見ることができます。CCSの性質と役割については、[前稿](#)⁵⁷で取り上げました。

ほとんどすべてのエネルギー移行のケースにおいて、CCSは解決策の一部であり、場合によっては非常に大きな解決策となります。そのため水素に関しては、必要なインフラの規模をどうするかという問題は、個々の状況やCCSがどのような規模で開発されるかを見ることによるのみ、答えることができます。しかし、水素との大きな違いは、回収した二酸化炭素を輸送・貯蔵しなければならないため、常にインフラが必要であることです。そして実際、このインフラ整備は通常、二酸化炭素を回収する前に行われます。というのも、回収前にまず貯蔵場所を確保する必要があるからです。

2022年には4,500万トンの二酸化炭素が回収されました。IEAは『世界エネルギー見通し2023』の中で、3つのシナリオで予想される変化を示しています（図表8参照）。

図表8：炭素回収に関するIEAのシナリオ

回収CO ₂ (10億トン)	2022	2030	2050
STEPS		0.12	0.45
APS	45百万トン	0.50	3.80
NZE		1.02	6.04

出所：IEA World Energy Outlook 2023

STEPSは公表政策シナリオ、APSは発表誓約シナリオ、NZEはネット・ゼロ・シナリオをそれぞれ示します

この表から、インフラ整備の必要性とその開発ペースは「少しかつゆっくり」から「大きくかつ速く」までであると結論づけられます。

シナリオのデータを現場で起きていることと対比してみると、その姿はいくぶん鮮明になり、現実の世界はCCS開発のAPSのサブ・シナリオのレベルに一致しているように見えます：

- シンクタンクであるGlobal CCS Instituteは、CCSに関する最新の年次レビュー⁵⁸において、2023年7月現在、建設中の容量は3,200万トン、さまざまな開発段階にある容量は2億7,900万トンと推算しています

⁵⁷ [Carbon Capture and Storage:Hiding dirt under the rug or a real clean up?, AXA IM, 2022年3月](#)

⁵⁸ [Global-Status-of-CCS, CCS Institute, 2023年11月](#)

- 調査機関のBloombergNEFは、2030年代初頭にはCCSの容量が年間4億トンを超えると推定しています
- IEA自身、発表されたプロジェクトがすべて建設された場合、2030年までに約4億トンの二酸化炭素を回収できると見積もっています⁵⁹
- EUは2040年までに排出量を90%削減するという最近のエネルギー移行戦略⁶⁰において、明確にCCSをその手段の一つとして含めており、「炭素回収・利用・貯留は、排出削減が困難なセクターにおいて他の解決策がない場合の解決策である」と述べています。定量化された目標は、2030年までに5,000万トン、2050年までに4億5,000万トンです

IEAによると、現在、既存の二酸化炭素パイプラインは9,500kmあり（そのほとんどが米国南部にある）、ネットゼロのシナリオでは、2030年までに20,000~40,000km、2050年までに90,000~590,000km⁶¹を追加する必要があります。IEAは他のシナリオのデータを提供していないため、当社グループは独自に計算しました。結果を図表9に示しています。

図表9：シナリオ別二酸化炭素パイプラインの長さ

千km	2022	2030	2050
STEPS		10-15	15-25
APS	9.5	15-30	60-380
NZE		30-50	100-600

出所：IEA World Energy Outlook 2023, AXA IM

STEPSは公表政策シナリオ、APSは発表誓約シナリオ、NZEはネット・ゼロ・シナリオをそれぞれ示します

その予測幅は広く、CCS開発の規模と性質の両方において不確実性が強いことを反映しています。例えば貯蔵場所が陸上にあり、産業拠点の近くにある地域では、パイプライン・インフラは、長距離にある場所とは異なり、限られた規模になるでしょう。同様に、ヨーロッパで多く見られるように、貯留が沖合で行われる場合、陸上パイプラインは海岸に向かうだけで短く済むかも知れませんが、一方で、港湾施設を建設し、二酸化炭素船を発注するか、沖合パイプラインを建設（または再利用）しなければならないでしょう。

この不確実性は、投資ニーズの算定における不確実性につながります。

⁵⁹ [Carbon Capture, Utilisation and Storage - Energy System - IEA](#)

⁶⁰ [EU Climate strategy for 2040, 2024年2月6日](#)

⁶¹ これはAPSと比べて50~60%の削減を意味します

IEA は『世界エネルギー見通し2023』の中で、2022年に CCS プロジェクトに30億ドルが投資され、過去最高となったとしていますが、これはバリューチェーン（価値連鎖）全体を指しており、インフラ部分のみではありません。

ノルウェー政府は2020年、回収から海洋貯留への輸送までのバリューチェーン全体をカバーするロングシップ（Longship）プロジェクトを開始しました。総コストは、150万トンの二酸化炭素に対して251億ノルウェークローネ（NOK）⁶²（うち171億 NOK が投資コスト、80億 NOK が10年間の運営コスト）と見積もられました。ノーザンライツ・プロジェクト（ロングシップの輸送・貯蔵部門）の総費用は142億NOKとされ、そのうち80%はノルウェー政府が出資します。

2023年10月、ロッテルダムのパルトスCCSプロジェクトの投資が最終的に決定されました⁶³。このプロジェクトは年間250万トンの二酸化炭素貯蔵能力に対し、13億ユーロと見積もられています。このプロジェクトには30kmの陸上集合パイプライン、圧縮ステーション、22kmの海洋パイプライン、枯渇したガス田への注入ステーションが含まれます。このプロジェクトはオランダと EU の双方から資金援助を受けます。

2024年2月26日、ドイツは政策を転換し、⁶⁴ CCS、特に輸送と貯蔵段階を促進することを決定しました。EU の戦略に沿って、ドイツは自国内での二酸化炭素貯蔵を合法化することを選択しました（以前は合法化されていなかった）が、沖合のみであり、石炭火力発電所から回収された二酸化炭素は対象外としています。ルールやサポートの仕組みはまだ検討が必要です。

大まかな傾向や具体的な事例だけでなく、プロジェクトによって直面する条件が異なるという単純な現実もあります。所定の二酸化炭素パイプラインでは、長さや直径、特定の土地の配置、人口密度、（建設するための経路を提供できる）既存のインフラの有無が、全体的なコストに影響します。海底貯蔵のプロジェクトでは、海底パイプラインであれ二酸化炭素船団であれ、海底施設のコストが加算されます。

⁶² [Longship Report - ノルウェー政府 - 2020年9月](#)

⁶³ [First CO2 storage project in the Netherlands is launched - Porthos](#)

CCS と貯蔵

水素と二酸化炭素の貯蔵には大きな違いがあります。前者では数日から場合によっては3カ月程度の一時的な保管であるのに対し、後者では永久的な保管を意味します。

さらに、これまで見てきたように、水素貯蔵施設は地下の岩塩層に人間によって作られます。二酸化炭素の貯蔵は、枯渇した油田やガス田がほとんどで、以前炭化水素がそうであったように、分子は岩石の孔の中に押し込まれ、地下に閉じ込められます。石油・ガス会社数社が CCS の貯蔵面で積極的に活動しているのはこのためであり、彼らは適切な地質学的・地球物理学的技術や知識を持っているからです。

投資家にとっての機会

今日、CCS インフラのニーズと、それに関連する投資家のビジネスチャンスの規模を評価するのは困難です。水素よりは多少可視性はありますが、広範にCCSに特化した戦略を構築するのは難しいと思われます。しかし、所定のプロジェクトの見通しが立つ場合、また、二酸化炭素に適應できるドッキング施設やパイプラインの改造など、活用できる既存の資産がある場合には、特定の場所に特定の投資機会があるかも知れません。このことは上場証券の投資家だけでなく、インフラ・プロジェクトやプライベート・デットの投資家にとっても興味深いことかも知れません。

バイオメタン：インフラはすでに存在

バイオメタンは化学的にメタンと同等であり（まったく同じCH₄分子）、既存の天然ガス・インフラを利用することができます。

IEA⁶⁵によると、2022年の天然ガス生産量は4兆1,380億m³（立法メートル）で、世界の輸送パイプライン網は100万kmを超えました。対照的に、バイオメタン生産量はわずか90億m³でした。

IEA はそのエネルギー・シナリオで、バイオメタンについて、APS シナリオでは2030年までに660億m³、2050年までに2350億m³、NZE シナリオではそれぞれ1260億m³、2830

⁶⁴ [BMWK - Minister Habeck intends to make it possible to use CCS: "Without CCS, there is no way we can reach our climate targets."](#)

⁶⁵ [World Energy Outlook 2023](#)、IEA、2023年10月

億m³と、急成長から超急成長まですると予測しています。これは大規模な開発ではあるものの、その量は今日の総ガス需要に比べればわずかなものです。

さらにIEAは、農業廃棄物や残渣から生産の可能なバイオガスやバイオメタンが、既存のガス・パイプラインから20km以内に3000億m³あると見積もっています。これは、既存のネットワークに接続するための必要なインフラが小さくて短いパイプで構成されることを意味します。したがって、これは大規模な投資機会ではないと見ています。

共通の課題と問題

資金調達：電力網にはかなりの資金が必要であり、CCSや水素インフラにも大きな資金が必要であることは上述しました。グリーンボンドやサステナビリティ連動ローンなど、再生可能発電や電力網に資金を供給するための大規模な金融メカニズムはすでに確立されています。将来のニーズを考えれば、さらに活用される必要があります。またおそらく、上場市場や実物資産への直接投資など、株式投資の機会もかなりの数あると思われる。

しかし成長性があり展望も広いものの、これらの投資の収益見通しは十分に魅力的でなければなりません。資金を十分に活用するためには、持続可能性と収益性を両立させなければなりません。

生産上及び設置上の能力：ここでは広範な問題はありませんが、例えばHVDCケーブルのように、機器によっては、提供できる企業が少なく、生産能力が限界に達しやすくなっています。一例として、ケーブルメーカーのネクサンス(Nexans)は2023年7月に、ギリシャとキプロス間の海底HVDCケーブル敷設契約を獲得し、プロジェクトは約6年後の2029年に完成すると発表しました⁶⁶。このような準備期間はよくあることで、一握りの企業しか生産できず、専用の船舶(この例では水深3,000メートルまで)を必要とする製品に対する強い需要を反映しています。

同じ論理で、架空送電線の建設は、専門技術を持った限られた数の作業員によって行われます。そのため、トレーニングや計画が適切に管理されなければ、不足と遅れが生じる可能性があります。

認可：多くの管轄区域におけるほとんどのプロジェクトに共通する課題は、適切な認可を期限内に取得することです。認可手続きの複雑さに戸惑い、人的資源の不足がこの課題をさらに深刻にする可能性があります。IEAは『World Energy Outlook 2023』の中で、電力網は許認可に関するリスクが特に高いと見積もっています。図表6は、電力網の展開に長い時間がかかることをすでに示しました。

移行を遅滞なく進めるためには、エネルギー・インフラのプロジェクトだけでなく、貢献する可能性があるあらゆるプロジェクトにおいて、より迅速な許認可が必要となります。これは、規則を合理化したり、業務を単一の組織や窓口集中させたり、戦略的なプロジェクトに優先順位をつけたりすることで可能になります。遅れが引き起こすもうひとつの結果は、財務コストの増大とリターン低下です。

多数の国が許認可のプロセスを合理化するための計画を立てています。例えばEUのリパワーEU計画には許認可を簡素化するための勧告が含まれており、米国ではホワイトハウスにより許認可行動計画⁶⁷が提案されています。

これは、生物多様性や地域社会の権利といった重要な問題を軽視することなく行われなければなりません。同じ問題を口実にして、価値あるプロジェクトを阻止すべきではないと思います。エネルギー移行が持続可能な独自の道を進むためには、バランスを取る必要があります。

規制：規制は当然、認可に関連するものですが、ここでは投資に動機付けを与えるための適切な規制について触れたいと思います。送電系統運営者および配電系統運営者は、主に規制資産ベースの仕組みや規制当局との交渉を通じて、規制された収益を得ることがほとんどであり、投資に対する可視性を提供しています。電力網の拡張と最新化には、電力網事業者への適切な利益と顧客へのコストとの適切なバランスを見つけることが重要です。水素と二酸化炭素は別の領域のものです。水素市場はすでに存在しており、供給者と顧客のほとんどは、テイク・オア・ペイ(売買契約において、買い手が契約量の一部を引き取らない場合でも、契約量の全量相当の代金を支払うこと)の契約に基づいて業務を行っているため、双方が可視性を得ています。これは、さらなる水素開発を支える構造です。もし当社グループが予想するように、天然ガス・ネットワーク事業者が水素ネットワークの開

⁶⁶ [Nexans - Nexans remporte un contrat record avec l'EuroAsia Interconnector](#)

⁶⁷ [Permitting Action Plan to Accelerate and Deliver Infrastructure Projects, The White House, 2022年5月](#)

発者になるとすれば、天然ガスや電力網に存在するような構造が予想されます。

二酸化炭素については、現在はほぼ何もないために、市場を發明し、ビジネスモデルを設計する必要があります。二酸化炭素の輸送と貯蔵に関しては、パイプラインや海辺の施設、貯蔵場所を運営する企業が、二酸化炭素の1トンあたりで課金する、料金徴収契約の観点から考えるのが論理的であるように思われます。

社会的な受け入れ： インフラはその性質上、大規模で目に見える可能性があります。パイプラインは埋設されていなければ見逃すことはできないし、架空送電線は景観の一部となっています。これらの開発は、しばしば遠隔地での開発とみなされて、社会的に受け入れられていますが、それが自分の近隣に及ぶとなると、受け入れ難いものとなる可能性があります。

電力網については、既存の送電経路を利用することが困難を回避するひとつの方法です。配電網が人々の生活圏に入るにつれ、地下に埋設することは明確な（ただしより高価な）選択肢となります。

当社グループが強調したように、今日、二酸化炭素と水素のパイプラインのネットワークは非常に限られています。地域によって異なるでしょうが、このようなインフラの設置には抵抗がある可能性があります。確かに欧州では、例えばテキサスよりも大きな反響があるかも知れません。

安全： このトピックは前の受け入れに関するトピックと明らかに関連しており、二酸化炭素と水素にとって重要なポイントだと当社グループは考えます。

水素は非常によく燃えるため、火災や爆発のリスクを心配しやすく、理にかなっています。これは天然ガスも同じ状況ですが、天然ガスのパイプラインは何十年も前から存在しています。二酸化炭素のパイプラインはあまり見かけませんが、破裂するとニュースになります⁶⁸。CO₂や水素の長大なパイプラインを建設するのであれば、インフラ建設を許可しながらも安全性で妥協しないような、適切な安全規則を設計しなければなりません。水素に関しては、少なくとも当面は、需要地点に近い場所での生産が政策的に有利になると、当社グループは見ています。

⁶⁸ [A pipeline rupture in Satartia, Mississippi has lessons for future CO2 projects :NPR](#)

送電線については、安全性は森林火災や気候変動との関連がますます高まっています。2019年にカリフォルニア州の電力会社である PG&E の倒産（同社は1年後に倒産から脱却した）は、気候変動が関係していると思われました。送電線の落下による火災が干ばつに見舞われた土地で広範囲に広がったからです。このことは、鉄塔や電線、そしてそれらが通過する土地の適切なメンテナンスの必要性を浮き彫りにしており、天候の変化を考慮に入れる必要性も明らかになりました。しかしこのテーマはもっと広範に及び、作業スタッフから通行人に至るまで、高電圧機器に近づくすべての人に関わるものであり、電力網の拡大は、作業慣行や兆候伝達の面で、緊急かつ賢明な安全対策が不可欠と思われます。

基礎素材のボトルネック： リチウムイオン電池や電解槽のような特定の技術とは異なり、インフラには昔ながらのコンクリートや鉄、アルミニウムが必要です。コストが懸念事項になる可能性があるのに対し、将来的に需要が高まり、供給もそれに追従することが必要となる可能性があるものの、調達自体は現在は一般に懸念事項ではなく、特に気温があまり上がらないシナリオでは懸念事項ではないと思われます。

企業への参照は例証のみを目的としており、投資の推奨と見なされるものではありません。

当社グループとしての見解：アクサ IM オルツ、インフラストラクチャー責任者、Mark Gilligan 氏とのQ&A

なぜエネルギー移行がインフラ投資と関係があるのですか？

当社グループは、気候変動が今世紀の大問題であり、明日の中心的なリスクであると考えています。したがってネットゼロの世界に適合する、または、適応可能なインフラだけを所有したいと考えるのが当然です。その世界に適合するインフラを決定することは比較的容易です。例えば風力発電や太陽光発電、光ファイバー・ネットワークなどがあります。より複雑な問題は、適応可能なインフラを決定することです。

この質問に対する当社グループのアプローチは、買収前のデューデリジェンスの一環として、2050年までにインフラを実質的にネットゼロに適合させるためのすべての資本支出を含む、信頼できる事業計画を策定できるかどうかを評価することです。これは、これから25年弱の期間であり、長いと感じられる可能性はありますが、当社グループの長期的な投資視野と脱炭素化の課題を考えれば、賢明な選択だと考えます。

一例として、当社グループは世界最大級の地域暖房会社であるストックホルム・エクセルギ（Stockholm Exergi）に投資しています。エクセルギは、過去20年間に脱炭素化において大きな進歩を遂げ、暖房1平方メートルあたりの二酸化炭素排出量を80%削減しましたが、ネットゼロを達成するには、バイオエネルギーの炭素回収・貯留（BECCS）が必要となります。当社グループでは共同株主や経営陣と協力して、このような BECCS プロジェクトを開発し、資金を調達しています。現在（執筆時）の計画通りに実行されれば、エクセルギは2032年までにネットゼロになります。

まとめると、エネルギー移行およびその課題と機会をインフラ投資戦略の中心に据えなければ、投資家の資本を預かる信頼できる管理者になれるとは思えないということです。

選択しているもの、回避しているものは？

インフラ投資は今後30年以上、脱炭素化、電化、デジタル化が主流になると、当社グループは判断しています。当社グループはデジタル、エネルギー、社会、交通、公共事業のインフラの全領域に投資しており、サブ・セクター間の融合がますます進んでいます。

たとえば、当社グループの戦略には、電気機関車の全欧州の列車が含まれており、これは、膨大な量のデータを生成する輸送事業であり、デジタル化への継続的な投資により、運用実績の向上を可能にしています。

当社グループの選好といえ、デジタル分野では、超大型規模のデータセンター・ネットワーク、防御的な光ファイバー・ネットワーク、そしてセルラータワー（携帯電話基地）ネットワーク、つまりインターネットの3つの核となる要素です。当社グループの経験では、データセンターと再生可能エネルギー供給を組み合わせることで、ネットゼロ・ソリューションを実現できます。エネルギーについては、垂直統合型の独立系発電事業者を重視し、外部の関係者が管理する風力や太陽光をあれこれ盛り込んだポートフォリオは避けます。

その理由は、再生可能エネルギー発電とは、卓越した操業と、時間をかけて商業市場への関わりを強めていくことだからです。こうした課題に真に取り組むことができるのは、垂直統合型の独立系発電事業者だけであると、当社グループは考えます。輸送に関しては、電車や機関車から電気自動車の充電まで、電化に焦点を置いています。そして公益企業について、当社グループは、ネットゼロへの確かな道筋を持つエクセルギのような企業のために努力を続けています。

回避しているものとしては、単純に、2050年までに実質的にネット・ゼロの世界に移行できないインフラ事業や経営陣です。化石燃料による発電、ディーゼル機関車、石油ターミナル、石炭港は、当社グループの戦略には含まれていません。

これにどれほどのリスクがあるか

エネルギー移行は複雑で、本質的にリスクが伴います。エネルギー移行に沿った比較的保守的な中核インフラ事業機会が残っています。例えば、当社グループは世界最大の洋上風力発電所ホーンシー・ツー（Hornsea Two）に投資しており、2040年頃まで100%の出力契約を結んでいますが、契約はインフレに連動しています。これは“中核”のインフラです。とはいえ、これは北海の過酷な環境で稼働する複雑な実用規模の発電機であり、短期的にも長期的にも風の変動にさらされます。

確かに債券ではないし、そのリスクは管理されるべきものです。そこから「コア・プラス」と呼ばれるリスクカーブを超えていくにつれ、投資家は開発、建設、商業、新興技術、その他のリスクにさらされることとなります。

このようなリスクは3つの主要なメカニズムで管理できると、当社グループは考えます。すなわち、事業計画が信頼でき、実現可能であることを確認するための買収前の厳格なスクリーニング、ポートフォリオの多様化、そし

て、エネルギー移行が進みすべてのインフラに新たな予期せぬ形で影響を与える中で、ポートフォリオの価値創造に毎年絶え間なく注目することです。

過去の実績は将来の成果を保証するものではありません。

企業への参照は例証のみを目的としており、個別銘柄への投資を推奨するものではありません。

(オリジナル記事は4月22日に掲載されました。[こちら](#)をご覧ください。)

ご留意事項

本資料は情報提供のみを目的としており、特定の有価証券やアクサ・インベストメント・マネージャーズまたはその関連会社による投資、商品またはサービスを購入または売却するオファーを構成するものではなく、またこれらは勧誘、投資、法的または税務アドバイスとして考慮すべきではありません。本資料で説明された戦略は、管轄区域または特定のタイプの投資家によってはご利用できない可能性があります。本資料で提示された意見、推計および予測は掲載時の主観的なものであり、予告なしに変更される可能性があります。予測が現実になるという保証はありません。本資料に記載されている情報に依存するか否かについては、読者の独自の判断に委ねられています。本資料には投資判断に必要な十分な情報は含まれていません。

投資リスクおよび費用について

当社が提供する戦略は、主に有価証券への投資を行います。当該有価証券の価格の下落により、投資元本を割り込む恐れがあります。また、外貨建資産に投資する場合には、為替の変動によっては投資元本を割り込む恐れがあります。したがって、お客様の投資元本は保証されているものではなく、運用の結果生じた利益及び損失はすべてお客様に帰属します。

また、当社の投資運用業務に係る報酬額およびその他費用は、お客様の運用資産の額や運用戦略（方針）等によって異なりますので、その合計額を表示することはできません。また、運用資産において行う有価証券等の取引に伴う売買手数料等はお客様の負担となります。

アクサ・インベストメント・マネージャーズ株式会社

金融商品取引業者 登録番号: 関東財務局長（金商）第16号

加入協会: 一般社団法人日本投資顧問業協会、一般社団法人投資信託協会、一般社団法人第二種金融商品取引業協会、日本証券業協会