

2020年12月

グリーン水素による脱炭素社会の実現

～欧州が目指す2050年CO₂排出実質ゼロ
目標とEU-ETS（排出量取引制度）の未来～



要約

1.1 燃料転換パラダイムシフト:

EU-ETS（欧州連合域内排出量取引制度）とCO₂排出実質ゼロ目標

コロナ禍による経済的なショックはEU-ETS（欧州連合域内排出量取引制度）に影響しましたが、直近の欧州のEUA（炭素排出枠）の取引価格は順調に推移しています。基準となるEUA 2020年12月満期の先物価格は、コロナの影響によって欧州全体がロックダウンを始めた頃には€14.3/tと低水準でしたが、2020年6月には直近高値の€30.8/tとなり、コロナ禍以前の水準まで戻っている状況です。

（図1）より重要な点は、EUA 2020年12月満期の先物価格は、石炭から天然ガスへの「燃料転換価格帯」の上限を超える価格で取引されていることです。このようにEUA（炭素排出枠）が「燃料転換価格帯」の上限を超えたのは、欧州の炭素取引市場の15年間の歴史の中で初めてのことです。これまでは「燃料転換価格帯」とは、電力を発電する際に二酸化炭素の排出がより多い石炭火力発電から排出が少ない天然ガス火力発電への切り替えを促す転換点となっていました。



BNP PARIBAS
ASSET MANAGEMENT

The asset manager
for a changing
world

図1: EUA（炭素排出権）の取引価格（2020年12月満期先物）対インプライド燃料転換水準、2018年1月～2020年9月（€/t）



出所: BNPパリバ・エグザース

前述の点が非常に重要な理由は、15年間の歴史の大半において、欧州のEUA（炭素排出権）の取引価格は石炭から天然ガスへの「燃料転換価格帯」の中間範囲付近、あるいはEUAの供給が過剰の時には、この価格帯を大きく下回る水準で取引されていたからです。EUAの取引価格が「燃料転換価格帯」の上限を超えて取引されていることは、EU-ETS（欧州連合域内排出量取引制度）に対して市場が新しい見解を示しているのではないかと考えられます。

新しい1つ目の見解は、市場関係者の考え方の変化です。コロナ禍においてCO₂排出量の削減が進んでいますが、電力セクターの石炭から天然ガスへ移行切り替えを促す「価格転換価格帯」の段階を超えて更なる限界排出削減の選択肢（グリーン水素など）が最終的に長期に渡ってEU-ETSの需要と供給のバランスを取ると考え始めている可能性があります。

EU-ETSは政策に基づいて運営されており、その最終的な目標として、2050年までに欧州のCO₂排出実質ゼロの達成を掲げていることを勘案すると、現在のEU-ETSは既に新しい炭素取引価格の枠組みを織り込んでいると考えることができます。

1.2 カーボノミクス（炭素経済）における理論： CO₂排出権価格はコンタンゴ（順ざや）に

全体のCO₂排出量の上限（キャップ）を設定するEU-ETSはキャップ・アンド・トレード・スキームとして設計されています。理論的には、一定期間に一定のCO₂排出量を削減するなど、特定の政策成果を達成するために構築された制度であるといえます。EU-ETSが炭素税と異なる点は、市場メカニズムです。EU-ETSでは、規制当局が目標とする一定期間内のCO₂排出量の削減をあらかじめ設定し、排出権取引の市場を通じてその目標値の削減を実現するために必要な価格を決定します。これに対し、炭素税は、規制当局が一定期間のCO₂排出価格を設定し、それによってCO₂排出量の水準が決まってきます。

同時に、EU-ETSが他の商品市場と異なるのは、規制当局が求める政策目標を達成するために供給を調整できることです。言い換えると、他の商品市場は需要と供給に応じて価格が変動しますが、それに対し、EU-ETS（欧州連合域内排出権取引制度）は、目標期日までにCO₂排出量の削減目標を達成すると期待される供給水準を規制当局が設定します。この点が非常に重要です。

EUA（炭素排出権）の取引期間において、EUAの将来の価格を示すフォワード・カーブは、理論的には伝統的なコンタンゴ（順ざや）になります。コンタンゴとは、（穀物やエネルギーのような）商品市場において商品の保管コストが将来の価格に上乗せされるため、現在の価格は将来の最も高い理論価格を現在価値に割り引いたものになります。将来の最も高い理論価格は政策目標を実現するのに必要な水準ということになります。

EU（欧州連合）が2050年までのCO₂排出実質ゼロ目標を法制化していき、かつ「グリーン水素戦略」の積極的な推進をこの実質ゼロ目標の中心の柱としていることより、今後のEU-ETS（欧州連合域内排出量取引制度）の政策目標の中心は実質的にグリーン水素の製造です。すなわち再生可能エネルギーから作られる再生可能電気によって電気分解を行い、生産される水素を2030年までにエネルギー源として商用化し、2040年までに確立したエネルギー源として利用可能にすることを目標としています。

ここではグリーン水素の商用化される時期を「収束時点」と呼び、2030年を収束する年とみています。

1.3 グリーン水素はEUの2050年「実質ゼロ目標」の中心に

気候変動に関する政府間パネル（IPCC、Inter-governmental Panel on Climate Change）は2018年、地球温暖化1.5°Cのシナリオで気候変動の影響を調査する特別報告書を発表しました。この報告書によると、地球全体の平均気温上昇が1.5°Cと2°Cの違いは重要であり、かつ注意を払う点であるとされています。また、もし世界が気温上昇を1.5°Cに抑えようとするのであれば、2050年までにCO₂排出量を実質ゼロにする必要があると示されました。

2020年3月に、欧州委員会（European Commission）は2050年までにEUにおいてCO₂排出実質ゼロを達成するための法案を提出し、2020年第4四半期または2021年第1四半期までに正式な法制化が見込まれています。2020年7月には、実質ゼロ目標達成の枠組みの柱として、2050年までに現在のEUの最終エネルギー消費量が2%である水素を15%まで引き上げる意欲的な「水素戦略」を掲げています。

1.4 2050年までに「実質ゼロ目標」を達成するには、「グリーン水素」が2030年までに競争力のあるエネルギー源でなければならない

2050年水素ビジョン達成のための前提条件は、グリーン水素を2030年までに産業用のエネルギー源として商用化することです。そのように考える理由は、暖房や輸送機器、発電のエネルギー源として現在用いられている天然ガスや石油製品などの化石燃料エネルギーに対して、化石燃料から生成されるグレー水素ではなく、（再生可能エネルギーを使って生成される）グリーン水素がこれからのエネルギー源として、もっとも競争力が高いと考えているからです。

1.5 グリーン水素の目標が、EUA（炭素排出枠）の主な推進力に

現在EU（欧州連合）では、約8.2メガトンの水素が製造されていますが、その大半は、天然ガスを利用する水蒸気改質法（SMR、Stream Reforming Method）で作られ、この化石燃料ベースの水素は「グレー水素」と呼ばれています。グレー水素は産業用として、石油精製、アンモニア及びメタノール生産などに利用されています。水蒸気改質法（SMR）の問題点は炭素集約度が高く、水素1キログラム当たり9キログラムのCO₂を排出します。これは、1時間当たりの電力量に換算すると、1メガワット時で0.27トンのCO₂排出（0.27トン/MWh）に相当します。

水蒸気改質法による水素製造はEU-ETSの対象です。現在の水素製造を2030年までに再生可能エネルギーを用いた電気分解によるグリーン水素に置き換えるだけで、EU-ETSのCO₂排出量は年間80～90メガトンも削減できます。これは、2019年のEU-ETS（欧州連合域内排出量取引制度）によるCO₂排出量全体の6%に相当します。これ自体で十分な削減ですが、EUの真の目標はさらに高い所にあります。2030年までに、グリーン水素を産業用のエネルギー源として商用化することは、EU全体の2050年水素戦略を達成するための必要条件です。

過去10年間のEUの再生可能エネルギー産業の歴史から学んだことは、風力発電と太陽光発電エネルギーが、当初は補助金や規制によって奨励され、その後、好循環へと発展し、商業化されたことです。これらの補助金や規制が資本を呼び込み、産業の拡大や技術の向上に貢献しました。再生可能エネルギーの発電コストの低下に伴い、事業者にとってのインセンティブは徐々に薄れましたが、次に再生可能エネルギー市場の拡大が新たな目標となっています。このことによって、市場規模の拡大と継続的な技術革新が実現されています。

重要な点は、再生可能エネルギーの市場規模の拡大は炭素価格ではなく補助金と規制によって達成された一方で、現在の炭素価格である€25/tから€30/tでも十分に風力発電や太陽光発電が経済的に存続可能な水準に達していることです。同様にEU（欧州連合）のグリーン水素計画では、補助金と規制により2030年までに生産量を300TWh（テラワット/時）まで拡大し、それにより製造コストを€2/kg（€51/MWh（メガワット/時））以下に削減して、石化燃料から製造されるグレー水素に対して競争力を持たせることを目指します。

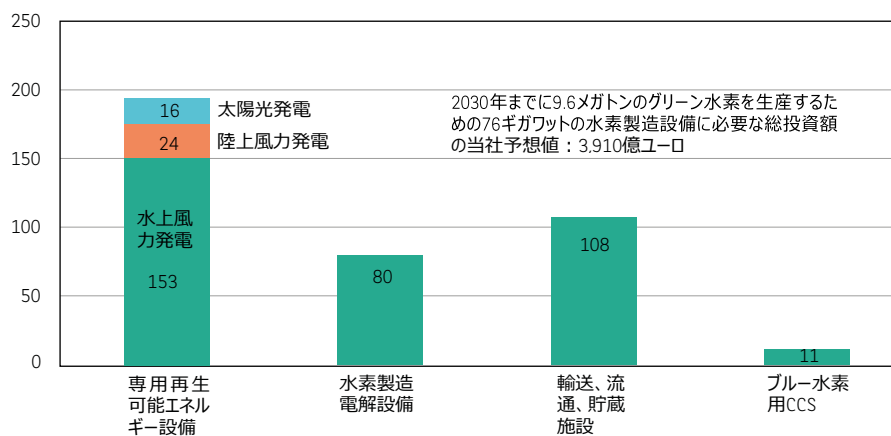
EC（欧州委員会）は2030年の水素ビジョン達成に必要な投資総額を3,200億から4,600億ユーロと試算しており、そのうち2,200億～3,400億ユーロは80GW～120GW（ギガワット）の出力が得られる水素専用の風力発電・太陽光発電設備へ、240億～420億ユーロは40GW（ギガワット）の水素製造の電解設備のために必要と推定しています。

文献の検証を行い、当社独自の分析からは欧州委員会の数値は楽観的でもあり、悲観的でもあると思われます。

まずは楽観的な点ですが、単純に10メガトンのグリーン水素を製造するために40GWの水素製造電解設備（エレクトロライザー）では不十分です。当社の試算では、少なくとも76GWの水素製造電解設備と96GWの水素専用の新規再生可能エネルギー発電設備が必要と考えます。これは、水素製造電解設備に電力を供給する殆どの再生可能エネルギー設備が、水素製造電解設備へ直接取り付けられているのではなく、送電線網（グリッド）に接続されていることを前提としています。これは、送電線網への接続の方が水素製造電解設備の稼働率が大幅に向上するからです。

一方で、ECのコスト予想は悲観的すぎると思われる。水素専用再生可能エネルギー発電設備に必要な資本コストは、既に現時点で市場で予測できる新規の風力発電及び太陽光発電プロジェクトより大幅に高く見積もられています。この試算には、今後5年間に達成しうる更なるコスト低下は含まれていません。従って、水素製造電解設備と水素専用再生可能エネルギー設備の投資必要総額は、当社の試算では3,910億ユーロとなります。これには2030年までに10メガトンの水素を製造するのに必要な貯蔵及び輸送インフラストラクチャーのコストも含まれています。（図2）この試算値は欧州委員会試算の3,400億から4,600億ユーロの中央に位置します。

図 2: 2030年までにEUのグリーン水素経済を実現するための当社試算コスト（10億ユーロ）



出所: BNPパリバ・アセットマネジメント・リサーチによる推定値

1.6 当社の分析では、2030年のEUA（炭素排出権）の理論価格水準は34ユーロ/Tから149ユーロ/T

2030年におけるグリーン水素の予想製造コストの水準と、2030年のEU天然ガスの予想価格水準から、2030年にグリーン水素がグレー水素に対して競争力を持ちうるEUA（炭素排出権）の理論価格を算出しました。（図3）

2030年のグリーン水素の予想製造コストは、1.75ユーロ/kg～2.5ユーロ/kgに、2030年の天然ガスの予想製造コストは、10ユーロ/メガワット時、15ユーロ/メガワット時、20ユーロ/メガワット時としました。これらの2つのプロセスで生じる12の組み合わせに対して理論価格を算出します。まず、グリーン水素の4段階の予想製造コストと、3段階の異なる天然ガスの予想製造コストにおけるグレー水素の予想製造コストとの差額を計算します。次に、この差額にグレー水素のCO₂排出量である炭素集約度（0.27t/MWh）を掛け合わせます。

グレー水素の製造コストは燃料価格に非常に敏感な動きをします。2030年の天然ガス価格に5ユーロ/メガワット時の変化があったと仮定した場合、2030年にグリーン水素がグレー水素に対して競争力を持つためには、2030年におけるEUAの予想価格が上下に23ユーロ/t変動します。

2030年におけるEUAの予想価格は、2030年のEUにおけるグリーン水素の予想製造コストと天然ガス価格の予想価格を反映させ、1トン当たり34ユーロから149ユーロの範囲で変動します。2030年における潜在的なグリーン水素の製造コストを中央値の1キログラム当たり2ユーロと2.25ユーロとすると、2030年のEUAのフェアバリューは各々1トン当たり79ユーロと、103ユーロとなります。

図3: 天然ガス価格が10ユーロ/MWh、15ユーロ/MWh、20ユーロ/MWhの時に、グリーン水素がグレー水素に置き換わる、2030年におけるEUA（炭素排出権）インプライド・フェアバリュー

2030年におけるグリーン水素の予想製造コストを4つのシナリオにした場合の、EUA（炭素排出権）のインプライド・フェアバリュー

	€1.75	€2	€2.25	€2.5
€10/MWh	€79/t	€103/t	€126/t	€149/t
€15/MWh	€56/t	€79/t	€103/t	€126/t
€20/MWh	€34/t	€57/t	€81/t	€104/t

出所: BNPパリバ・アセットマネジメント・リサーチによる推定値

2030年までにEUにおけるグリーン水素の予想製造コストと天然ガス予想価格に関する仮定に基づいて、2030年にグリーン水素が（天然ガスを用いる）グレー水素に対して競争力を持つためには、EUA価格は1トン当たり79ユーロから103ユーロが適正な水準となります。

2031年から2040年までの10年間の課題は、グリーン水素がエネルギー源としての競争力を持てるかどうかになります。これは、グリーン水素の製造コストとEUの天然ガス価格に依存してきますが、当社は2040年にEUA価格が1トン当たり100ユーロから140ユーロの範囲内であればグリーン水素の競争力を保てると考えております。2040年までにグリーン水素の製造コストが1キログラム当たり1.25ユーロまで低下し、天然ガス価格が15ユーロ/メガワット時と仮定すると、EUA（炭素排出権）価格が1トン当たり100ユーロでグリーン水素が発電用燃料として競争力を得ると考えています。また、グリーン水素の製造コストが変わらず1キログラム当たり1.25ユーロ、天然ガスの前提価格を10ユーロ/メガワット時とすると、発電用燃料としてグリーン水素の競争力を保てる水準は1トン当たり137ユーロとなります。

1.7 炭素の適切な割引率は

炭素価格の割引率は、理論的には、（排出権取引市場において排出量ルールを達成するために排出権を購入しなければならない）買い手や（金融リターンを目的とする）投資家にとって2つの価格の裁定が反映された資本コストとなるべきです。ひとつは現在の実勢市場価格であり、もうひとつは2030年までにグリーン水素をエネルギー源として商用化するために求められる2030年のインプライド・フェアバリューです。

現状のEUにおける超低金利環境を鑑みると、EU-ETS（欧州連合域内排出量取引制度）の参加者の資本コストは4%から10%と見られ、ここでは6%として試算します。

1.8 当社の分析では、2020年のEUA（炭素排出権）の理論フェアバリューは18ユーロ/Tから80ユーロ/Tの範囲であり、中央値は49ユーロ/T

図4は、上記の様々なシナリオで示される全ての組み合わせに2030年から6%に割り引いたEUA（炭素排出権）のフェアバリューを示しています。

図4: グリーン水素がグレー水素と置き換えられるための2030年EUA（炭素排出権）インプライド・フェアバリュー

2030年から割り引いた2020年のEUA（炭素排出権）のフェアバリュー

	€1.75	€2	€2.25	€2.5
€10/MWh	€43/t	€55/t	€68/t	€80/t
€15/MWh	€30/t	€42/t	€55/t	€68/t
€20/MWh	€18/t	€31/t	€43/t	€56/t

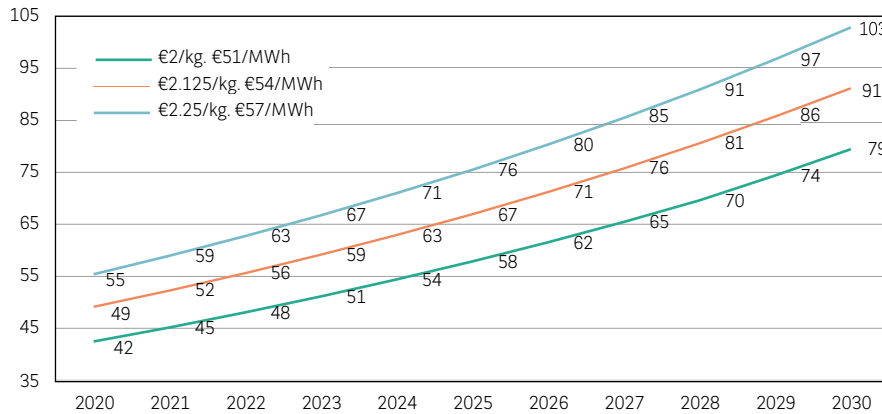
出所: BNPパリバ・アセットマネジメント・リサーチによる推定値

2020年のインプライド・フェアバリューは18ユーロ/tから80ユーロ/tとなっています。2030年のグリーン水素の予想製造コストに中央値の€2/kgと€2.25/kgを適用すると、2030年から割り引かれた2020年の炭素のインプライド・フェアバリューは各々€42/tと€55/tとなります。

当社としては、2030年にグリーン水素が産業用エネルギー源として競争力を有するためには、現在のEUA（炭素排出権）の理論的適正価値は€42/tから€55/tと考えられます。

図5は、2030年のグリーン水素の予想製造コストの中央値の€2/kgから€2.25/kgの範囲を用いたEUAの理論フェアバリューより算出したインプライド・フォワード曲線を示します。これによると、2030年のEUの天然ガス価格が€15/MWhで、2030年のグリーン水素製造コストが€2.213/kgの場合、EUA価格のインプライド・フェアバリューは€91/tになることを示しています。これを6%で割り引いた場合、2020年の理論インプライド・フェアバリューは€49/tとなります。

図5: 2030年におけるグリーン水素の予想製造コストを€2/kgから€2.25/kgの範囲、グレー水素を製造するためのガス投入コストを€15/MWhとした場合のEUA（炭素排出権）価格のフォワード曲線の形状



出所: BNPパリバ・アセットマネジメント・リサーチによる推定値

1.9 EUA（炭素排出権）価格の現状は短期的な要因で動いているが燃料転換の枠組みは既に走り出している

最近、欧州委員会により提案された2030年までのEU全体のCO₂排出量削減目標55%を適用したEU-ETS（欧州連合域内排出量制度）シナリオと、現在の40%のCO₂排出量削減目標のEU-ETSを比較しました。コロナ禍の影響が今後10年間の予測に大きく影響するため、55%のCO₂排出削減目標におけるEU-ETSの当社シナリオは、2030年にEUA（炭素排出権）が余剰になると予想しています。しかしながら、現在の40%削減目標の場合は余剰が1,150Mtとなるのに対して、55%削減目標の場合は大幅に少ない462tになるとみています。

一方で、価格設定の観点から重要な点は、2030年に向けたより意欲的な目標が市場心理や市場参加者の行動にどのように影響するかという点です。グリーン水素のフル活用を抜きにしては、2050年までにCO₂排出実質ゼロ達成の可能性はありません。そのために2030年までにグリーン水素が産業用エネルギー源として商用化され、その後は確立されたエネルギー源になることが重要です。

最終的な結論として、更なる脱炭素化が最優先課題であるということを市場が確信することで、唯一無二の大転換点になるかもしれません。その時は、(i)本編のセクション2で述べるEUAの価格はグリーン水素の製造コストとEUの天然ガス価格に対する市場の見方に依存しているという論理的分析、(ii)本編のセクション3で述べるモデルを活用したシナリオ分析、に沿ってEUA価格のフォワード曲線は段階的に変化していくことになるのではないかと考えています。

なぜなら、市場が更なる脱炭素化が最優先課題と認識するならば、産業界および金融界の市場参加者は、2030年までに炭素価格を当レポートで試算した水準になるように、欧州委員会がその条件を整えていくであろうと考えるからです。

- 本資料はBNP PARIBAS ASSET MANAGEMENT Franceが作成した情報提供用資料を、BNPパリバ・アセットマネジメント株式会社(以下、「BNPP AMJ」)が翻訳したもので、特定の金融商品の取得勧誘を目的としたものではありません。また、金融商品取引法に基づく開示書類ではありません。
- BNPP AMJは、翻訳には正確性を期していますが、必ずしもその完全性を担保するものではありません。万一、原文と和訳との間に齟齬がある場合には、英語の原文が優先することをご了承下さい。
- 本資料における統計等は、信頼できるとされる外部情報等に基づいて作成しておりますが、その正確性や完全性を保証するものではありません。
- 本資料中の情報は作成時点のものであり、予告なく変更する場合があります。
- 本資料中の過去の実績に関する数値、図表、見解や予測などを含むいかなる内容も将来の運用成績を示唆または保証するものではありません。
- BNPP AMJは、記載された情報の正確性及び完全性について、明示的であるか黙示的であるかを問わず、なんらの表明又は保証を行うものではなく、また、一切の責任を負いません。なお、事前の承諾なく掲載した見解、予想、資料等を複製、転用等することはお断りいたします。

BNPパリバ・アセットマネジメント株式会社

金融商品取引業者：関東財務局長（金商）第378号

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



BNP PARIBAS
ASSET MANAGEMENT

The asset manager
for a changing
world