

CO₂ 排出権のデリバティブ取引の動向

Short Review
2022 年 12 月

投資工学研究所
二俣 新

1. はじめに

CO₂ の排出量に応じて企業に金銭的な負担を求める「カーボンプライシング」の導入が国内で検討されている。GX リーグ本格稼働に向けて、東京証券取引所が 2022 年 9 月に試行取引を開始したが、欧州では 2005 年に欧州連合域内排出量取引制度（EU-ETS）が導入され、すでに多くの経験を積んでいる。EU-ETS はキャップ&トレード型であり、欧州の企業は、排出枠の範囲内に CO₂ 排出量を抑える必要があり、排出枠を超える場合は、排出権をトレードにより仕入れて排出量を各企業に割り当てられた排出枠に収める必要がある。

欧州証券市場監督局（ESMA）は「Final Report - Emission allowances and associated derivatives」において CO₂ 排出権の取引市場について報告しており、CO₂ 排出権のみならず、CO₂ 排出権のデリバティブ取引の拡大についても報告している。

我が国においても CO₂ 排出量取引が拡大すれば、ヘッジツールとしてデリバティブ取引（先物取引、オプション取引）が重要になるだろう。

そこで、本稿では、EU-ETS のデリバティブ取引の概要を紹介し、取引の動向を見ていく。そして、オプション取引については、株式のオプション取引で観測されるようなボラティリティの構造（スマイル）が見られるかどうか、また、気候変動に関連するイベントの前後でのボラティリティの水準の変化についても確認した事柄を報告する。

2. CO₂ 排出権のデリバティブ取引の概要

2. 1. EU-ETS の概要

欧州において、2005 年に欧州連合域内排出量取引制度（EU-ETS: European Union Emissions Trading System）が導入された。EU-ETS 制度は導入後変遷しており、Phase1（2005～7 年）に始まり、Phase2（2008～12 年）、Phase3（2013～20 年）を経て、現在は Phase4（2021～30 年）となっている。対象活動については、当初、EU25 か国の燃料燃焼施設及び一定規模以上の 10 セクターの施設であったが、対象国は欧州経済領域（EEA: European Economic Area）の 31 か国となり、対象セクターは、航空及び 15 セクターが追加となり、国・施設共に拡大している¹。

¹ 上野、水野（2019） p7 総括表

EU-ETS はキャップ&トレード型であり、対象となる施設等からの排出可能量に、上限（キャップ）となる排出枠（EUA : European Union Allowance）を設定する。規制対象者は、排出量の削減や市場取引（トレード）の活用により、EUA に排出量を取める必要がある。なお、EUA が不足した際には、ペナルティ（課徴金）²が課されるため、EUA の遵守及びトレードの活用が期待される。EU-ETS 導入当初、EUA は主に無償配分でありオークションによる割当は一部であったが³、Phase3 以降は、オークションがデフォルトとなっている。

EUA の総枠について、現行の Phase4 において、年率 2.2%で削減しており、2030 年の気候変動とエネルギーの枠組み⁴と整合的に、CO₂の排出量を削減している。

2. 2. デリバティブ取引の概要

EU-ETS の CO₂ 排出権は、ドイツ取引所グループ及びインターコンチネンタル取引所グループ傘下の取引所において取引可能であり、取引概要は、図表 1 の通りである。どちらもほぼ同様な条件での取引となっており、オプション取引については、12 月限先物を原資産とした、European タイプのオプションとなっている。

図表 1 CO₂ 排出権のデリバティブ取引の概要

略	EEX	ICE
取引所	親会社: Deutsche Börse AG European Energy Exchange AG	親会社: Intercontinental Exchange, Inc. The European Climate Exchange
スポット	EUA Spot 取引単位: 1,000EUA(=1,000t)	Daily Future 取引単位: 1,000EUA(=1,000t)
先物	<ul style="list-style-type: none"> ・年次: 直近と 8 年 ・四半期: 直近と 11 四半期 ・月次: 直近と 2 カ月 	<ul style="list-style-type: none"> ・年次: 7 年 ・四半期: 9 四半期 ・月次: 2 カ月
オプション	<ul style="list-style-type: none"> ・原資産: 12 月限先物 ・取引タイプ: European ・行使: 取引終了時、インザマネーは自動行使 	<ul style="list-style-type: none"> ・原資産: 12 月限先物 ・取引タイプ: European ・行使: 取引終了時、インザマネーは自動行使。 インザマネーにも関わらず放棄は出来ない。アウトオブマネーやアットマネーの際に行使不可。

(出所) EEX 及び ICE の Product Specifications⁵より当社作成

² Phase1 : €40/tCO₂、Phase2 : €100/tCO₂、Phase3 以降 : €100/tCO₂ に対し 2013 年基準でインフレ調整

³ Phase1 : 無償配分 95%以上 (5%までオークション可能)、Phase2 : 同 90%以上 (同 10%)

⁴ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_14_54

⁵ EEX: <https://www.eex.com/en/markets/environmental-markets/eu-ets-spot-futures-options>

ICE: <https://www.theice.com/products/Futures-Options/Energy/Emissions>

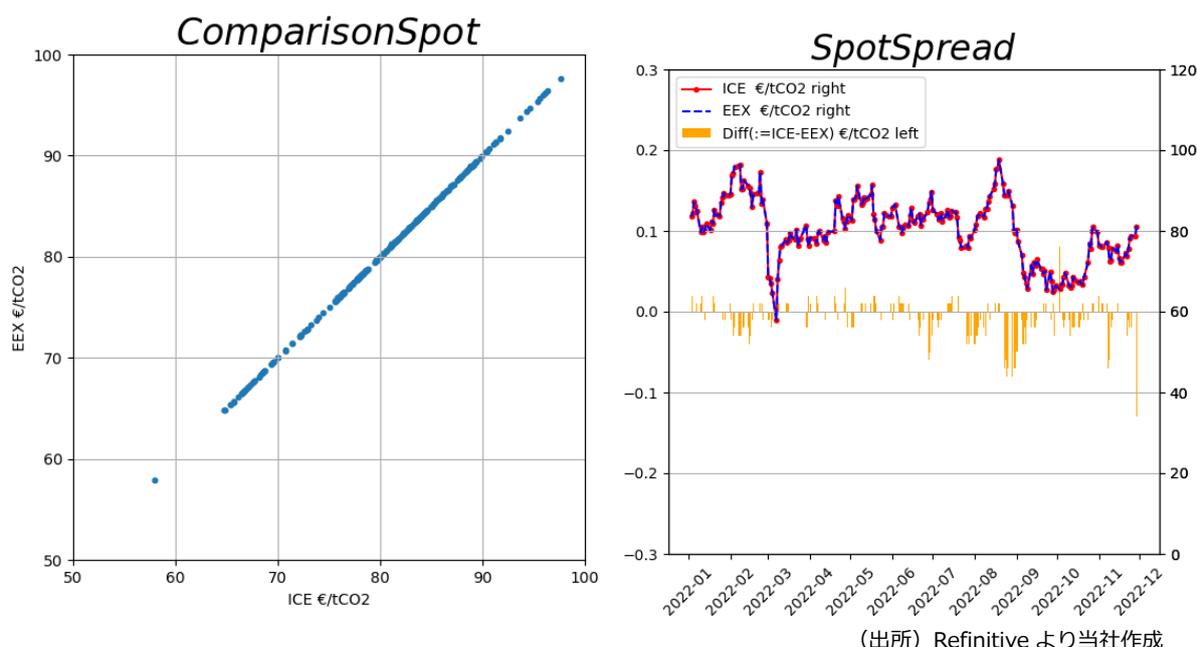
3. デリバティブ取引の動向

3. 1. スポット取引の動向

デリバティブ取引の動向を確認するうえで、土台となるスポット（CO₂ 排出権）取引の状況について、最初に確認する。欧州証券市場監督局（ESMA : European Securities and Markets Authority)の「Final Report - Emission allowances and associated derivatives」（2022年3月）（以下、ESMA-FR）によれば、EEX と ICE のスポット価格の差は、絶対値の平均が€0.015 であり裁定機会はないとされている。2022年以降の状況を確認した結果、引き続き価格差が小さい状況に変化は見られなかった。

以下、図表2の左グラフにおいて、横軸をICEの価格、縦軸をEEXの価格とすると、ほぼ45度の直線上に並んでおり価格差は小さい状況にある。また、右グラフは時系列の推移となるが、€0.1程度の価格差が発生することもあるが、スポット価格が€80等に対して、価格差は小さい状況である。

図表2 EEX及びICEのスポット価格の比較



3. 2. 先物取引の動向

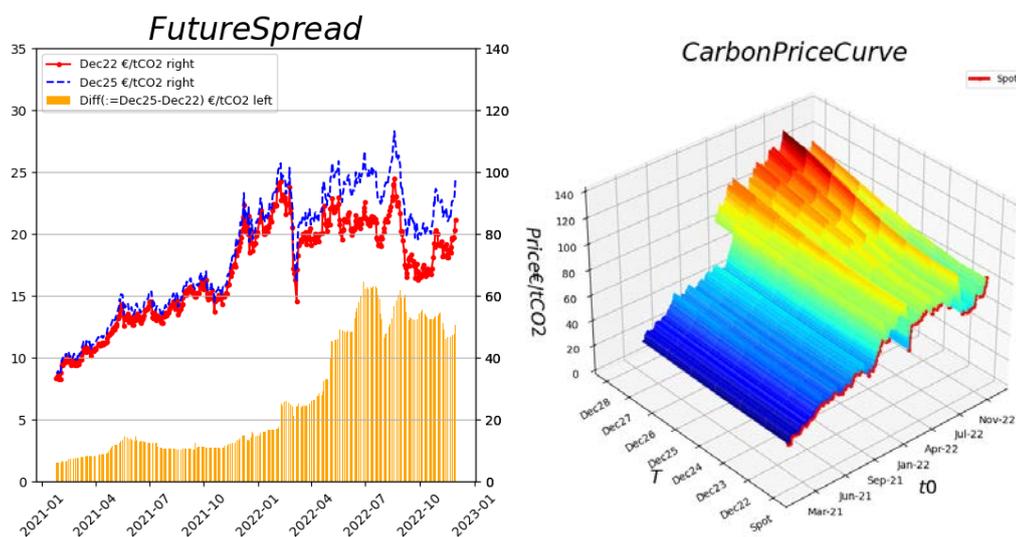
続いて、先物取引の動向について確認する。ESMA-FRにおいては、12月限先物の4限月分（4年分）を用いて先物カーブの形状を確認している。期先の2025年12月限（以下、Dec25）と期近の2022年12月限（以下、Dec22、その他の年も同様）の価格差は、概ね€0～€5程度で推移し2022年2月の時点で最大の€6.5であった。

ESMA-FRは2022年3月の報告書であり、その後、世界的な金利上昇局面となっている。一般的に先物価格は、受け渡しまでの期間が長い、または金利上昇するほど、スポット価格対比で高くなる。

図表3の左グラフは、先物価格であるが、2022年4月以降、期先の先物価格は更に上昇し、Dec25

と Dec22 の価格差は、2022 年 6 月には最大の€16.5 までスプレッドの拡大が確認された。金利上昇が、スプレッド拡大の一因となっている。図表 3 の右グラフは、時系列 (t0) に限月別 (T) に先物価格を確認した。最長 Dec28 までの先物価格を確認したところ、スプレッドについて上記と同様の傾向が見られ、2021 年前半は、先物カーブが概ねフラットの形状であったが、2022 年 4 月以降は、相対的に期先の価格が高くなっており、スティーピングの傾向が見られる。期先の先物価格について€100 を上回る水準となっているものの、EUA 不足によるペナルティは€100 にインフレ率を調整した額となっているため、ペナルティが、スポット価格や先物価格の上値に影響を与える可能性が考えられる。

図表 3 スポット及び先物価格の時系列データ



(出所) Refinitive より当社作成

3. 3. オプション取引の動向

ESMA-FR によれば、オプション取引の想定元本がデリバティブ取引全体に占める割合は、17%から27%に増加⁶しており、オプション取引の重要性が増している。

一般的に、オプション価格はスポット価格や行使価格に大きく依存するため、ボラティリティによって動向を確認することが多い。ボラティリティを確認するためには、オプション価格からボラティリティを算出するため、CO₂ 排出権のオプション取引の評価式が必要となる。

株式等を原資産とするオプション取引について、Black/Scholes[1973] (BS 式) により評価式を得ることが出来るが、CO₂ 排出権のオプション取引の原資産は、排出権の先物となっているため、BS 式の原資産を先物に拡張した Black[1976] (Black76) により評価されると考えた。

⁶ デリバティブ取引の種類別の想定元本の割合 (2020 年初から 2021 年末) 先物は 70%から 53%に減少、オプションは 17%から 27%に増加。なお、取引量については、先物が約 90%。

Black76 によるオプション評価式を以下に示す。

$$PV\ Call = e^{-rt}(FN(d_1) - KN(d_2))$$

$$PV\ Put = e^{-rt}(KN(-d_2) - FN(-d_1))$$

$$d_1 = \frac{\ln(F/K) + (\sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}, d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

$N(x)$: 標準正規分布の分布関数

F : 先物価格

K : 行使価格

T : オプション満期までの年数

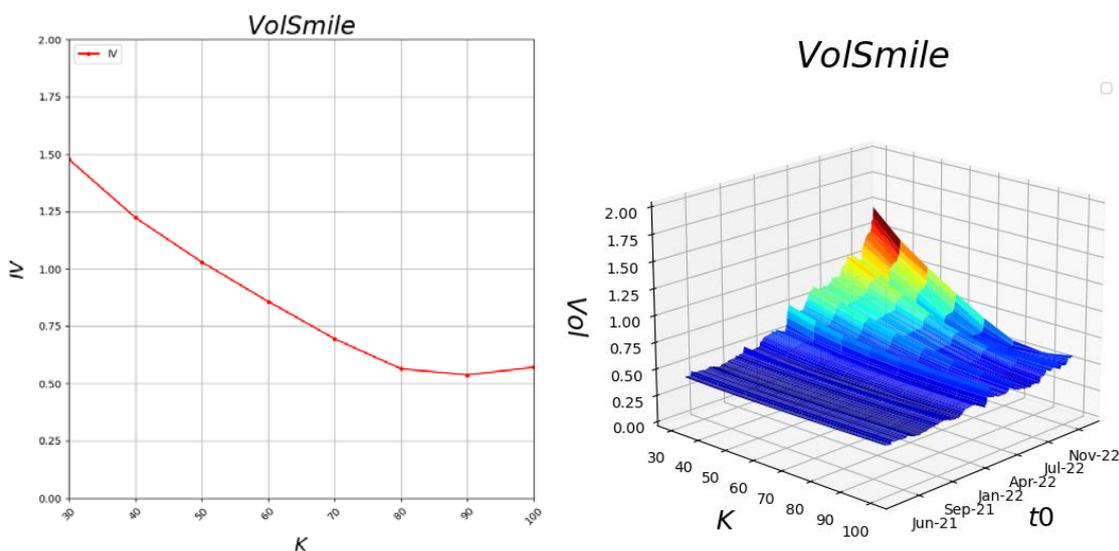
r : オプション満期までの金利

σ : 原資産価格のボラティリティ

上記のうち σ 以外は、オプションの条件及びマーケット情報をインプットとするが、 σ は、取引するトレーダーが決定してオプションの価格を算出することになる。そのため、オプション取引は、実質的にはボラティリティを取引していると言われることがある。反対に、取引所からオプション価格を取得し、Black76 にインプットすることにより、 σ を逆算可能であり、これをインプライド・ボラティリティ (IV) と呼ぶ。IV は、株式等のオプション取引の場合であれば、行使価格を横軸に、ボラティリティの水準を縦軸にとった際に、下に凸の形状が観測され、それをスマイル等と呼んでいる。

そこで CO₂ 排出権のオプション取引の IV について時系列に観測し、どのような挙動、そしてどのような形状をしているか確認する。

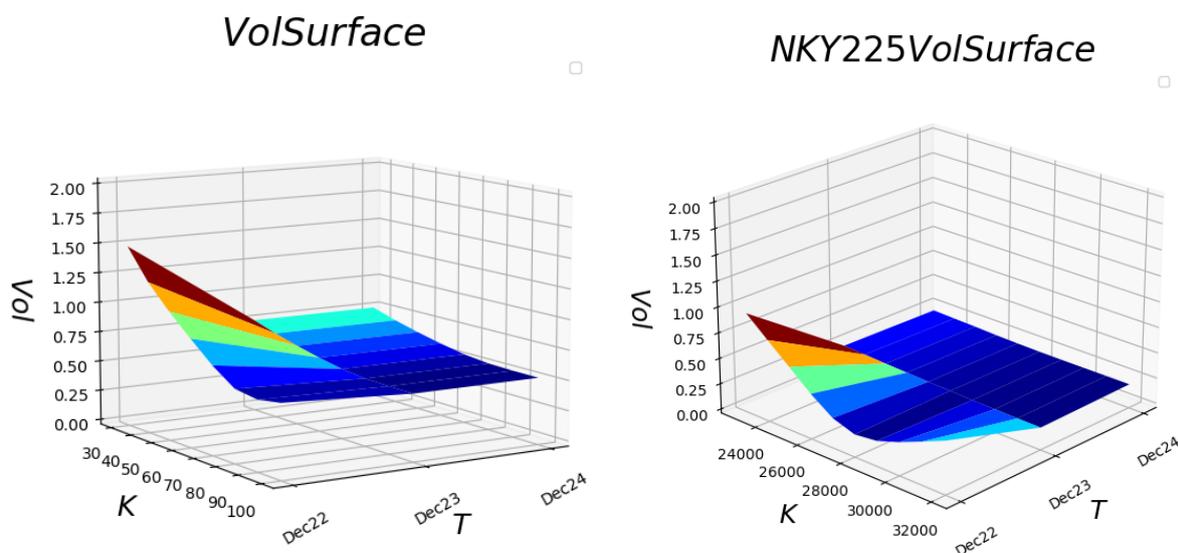
図表 4 Volatility Smile の状況



(出所) Refinitive 及び Bloomberg より当社作成

図表4の左グラフは、2022年11月末基準のDec22を原資産としたIVである⁷。行使価格（K）が低い水準で、高いボラティリティとなっており、ボラティリティのスマイルが確認できた。図表4の右グラフは、IVを時系列（t0）に確認したグラフである。IVを2021年から確認したところ、2021年当時は、行使価格（K）に依存せず、IVは50%未満でほぼ水平であったが、直近になり、低行使価格においてIVが100%を超えて高まっており、スマイルが観測され始めている。

図表5 Volatility Surface の状況



(出所) Refinitive 及び日本取引所グループより当社作成

図表5の左グラフは、2022年11月末基準の行使価格（K）別、限月（T）別のIVであるが、期近のDec22について、スマイルが強く観測されたが、Dec24については、ほぼ水平となっていた。また、スポット価格に近い€80の行使価格（ATM）で確認すると、Dec22からDec24の残存期間が長期化する方向に対して、IVは概ね水平であった。図表5の右グラフは、日経225のIV⁸である。CO₂排出権と日経225のIVのサーフェイスは、水準は異なるものの良く似た形状となっていることが確認できた。株式の場合はイベント前後に大きく期近のIVが変動することがあるが、CO₂排出権オプションのDec22からDec24までのATM近傍のIVを残存期間方向に確認をしたところ、2022年11月末基準で概ね水平で2022年10月末基準と同様であったため、COP27のイベント時に期近のIVが一時的に高まる等の事象は観測できなかった。

⁷ Call と Put では、IV の形状が同様であることを確認した。

⁸ 日本取引所グループのHP 日経225 2022/12/5のCallのボラティリティ
<https://www.jpx.co.jp/markets/derivatives/jnet-derivative/index.html>

4. おわりに

本稿では、EU-ETS の取引市場について、スポット価格の裁定の状況を確認の上、先物価格と IV の状況について調査した。先物価格に金利上昇の影響が反映されており、また、IV についてはスマイルが観測され、概ね一般的な有価証券の先物やオプション取引と同様の傾向が確認出来た。一方、国内においては、GX リーグ本格稼働に向けスポットについての試行取引が開始されたところであり、EU-ETS の取引市場と比較し成熟度の差は大きい、国内市場の発展にあたり、貴重な知見をもたらす EU-ETS の取引市場の動向を、引き続き注視したい。

参考文献

ESMA(2022). Final Report Emission allowances and associated derivatives

[https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/](https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/esma70-445-38_final_report_on_emission_allowances_and_associated_derivatives.pdf)

[esma70-445-38_final_report_on_emission_allowances_and_associated_derivatives.pdf](https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/esma70-445-38_final_report_on_emission_allowances_and_associated_derivatives.pdf)

EU(2015).EU ETS Handbook

https://climate.ec.europa.eu/system/files/2017-03/ets_handbook_en.pdf

上野訓弘、水野勇史(2019). 欧州連合域内排出量取引制度の解説,

公益財団法人地球環境戦略研究機関(IGES), IGES Working Paper

高村幸治(2022). 欧州で拡大する排出量取引と金融機関の現状,

野村総合研究所 金融 IT フォーカス 2022 年 9 月号 サステナブルファイナンス

Black, F、M.Scholes(1973). "The Pricing of Options and Corporate Liabilities,"

Journal of Political Economy, Vol.81, pp.637-654.

Black, F(1976). "The Pricing of Commodity Contracts,"

Journal of Financial Economics, Vol.3, pp.167-179.

マーティ・スブラマニウム、宇野淳、斎藤和久(1989). 日本の株式指数オプション市場－初期の株価形

成とインプライド・ボラティリティ, 証券アナリストジャーナル 1989 年 9 月号,pp.30-42

村瀬安紀子(1997). 日経 225 オプション・ボラティリティのシステムティック・エラーと原資産価

格トレンド,現代ファイナンス 1997 年 3 月号

加藤敏康、吉羽要(1999). 金利派生商品モデルの実務的活用について,

IMES Discussion Paper Series 99-J-24 補論 1.ブラック・モデル

森本祐司、吉羽要直(1999). BGM 金利モデルの実用化に向けて,

IMES Discussion Paper Series 99-J-39 2.2 ブラック・モデル

服部努(2000). 債券先物オプションのスマイルカーブについて,

証券アナリストジャーナル 2000 年 10 月号,pp.66-81

服部孝洋(2022). 国債先物オプション入門, 東京大学公共政策大学院,日本取引所グループ

(END)