

# 一次エネルギー発電コストから推計した 二酸化炭素の排出価格と排出総額

Short Review  
2022年1月

資産運用研究所  
主任研究員  
藤原 崇幸

## 1. はじめに

2015年12月、フランスのパリにおいて第21回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）が開催され、2020年以降の温室効果ガス排出削減に向けた「パリ協定」が採択された。

パリ協定では、

- 世界の平均気温の上昇を産業革命前に比べ+2℃より十分低く保ち、+1.5℃に抑える努力を追求することなどを目標として掲げた。

近年の先進国の温室効果ガス排出量は省エネ技術の進展などから緩やかながらも減少傾向にあり、1990年時点との比較では2019年時点の温室効果ガス排出量は約20%減少している。しかし、中国やインドなど発展途上国の経済発展に伴い、世界全体では依然として温室効果ガス排出量は増加傾向にある。現在も世界の平均気温の上昇が一因ではないかと懸念される甚大な自然災害が世界各国で発生しており、2021年4月には、アメリカ政府により気候変動に関する首脳会議（気候変動リーダーズサミット）が開かれ、先進国を中心に非常に野心的な温室効果ガス排出量削減方針が表明された。そして、2021年11月にはイギリスのグラスゴーにおいてCOP26が開催され、「グラスゴー気候合意」が採択された。

グラスゴー気候合意では、

- 世界の平均気温の上昇を産業革命前に比べ+2℃を十分下回る水準に抑え、+1.5℃に抑えるための努力を継続

するとし、パリ協定からさらに踏み込んだ表現を盛り込んだ。

このような中、企業に対し気候変動等に関する開示の充実に向けた動きが国内外で行われている。例えば、国内でも上場企業等に対し、温室効果ガス排出量の測定や気温上昇に伴う経済的な損失額の試算などの開示検討が報じられている。そして、そのためには企業等が排出する温室効果ガスの経済的費用を把握する必要がある。

そこで、本稿では、一次エネルギー源のうち温室効果ガスの一つである二酸化炭素を多く排出する石炭やLNGなど化石エネルギーによる発電、発電時に二酸化炭素を排出しない原子力エネルギーや再生

可能エネルギーといった非化石エネルギーによる発電に着目し、それぞれの発電コストを用いて二酸化炭素の排出価格や国内で排出される二酸化炭素の排出総額を 2020 年時点、2030 年時点の 2 時点推計した。化石エネルギー由来の電力も非化石エネルギー由来の電力も、それ自体の品質は同等であるものの、発生源の電源が異なることで発電コストが異なっている。本稿では、化石エネルギーによる発電コストが非化石エネルギーによる発電コストを下回っている場合、その差額が二酸化炭素の排出価格に帰着するとの仮定をおいている。

次章以降では二酸化炭素の排出価格推計に用いたデータや推計方法などについて順を追って説明し、推計された排出価格等の考察を行う。

## 2. 二酸化炭素の排出価格の推計に用いた基礎データ

第 2 章では二酸化炭素の排出価格の推計に用いた基礎データについて説明する。なお、二酸化炭素の排出価格の推計では、一次エネルギー源による発電部門として図表 1 の部門（以下、電源）を用いた。

図表 1 二酸化炭素の排出価格の推計に用いた発電部門

化石エネルギー	石油火力	石炭火力	LNG火力	
原子力エネルギー	原子力			
再生可能エネルギー	太陽光（事業用）	太陽光（住宅）	風力（陸上）	風力（洋上）
	水力（中水力）	バイオマス（混焼）	バイオマス（専焼）	地熱

（出所）日興リサーチセンター作成

図表 2 電源別発電コスト（2020 年の試算結果）

電源別 発電コスト (円/kWh)	2020年				
	資本費	運転維持費	燃料費	社会的費用	政策費
石油火力	4.9	3.3	14.8	3.5	0.2
石炭火力	2.0	2.3	4.3	3.9	0.0
LNG火力	1.3	1.2	6.4	1.7	0.1
原子力	4.2	3.7	1.7	0.6	1.3
太陽光（事業用）	8.8	3.2	0.0	0.0	0.9
太陽光（住宅）	14.6	2.5	0.0	0.0	0.6
風力（陸上）	10.0	4.7	0.0	0.0	5.2
風力（洋上）	12.5	8.6	0.0	0.0	9.0
水力（中水力）	5.7	3.0	0.0	0.0	2.3
バイオマス（混焼）	2.1	2.4	4.4	3.8	0.5
バイオマス（専焼）	3.0	4.2	21.0	0.0	1.7
地熱	5.8	5.1	0.0	0.0	5.8

（出所）資源エネルギー庁より日興リサーチセンター作成

図表 3 電源別発電コスト（2030年の試算結果）

電源別 発電コスト (円/kWh)	2030年				
	資本費	運転維持費	燃料費	社会的費用	政策費
石油火力	4.9	3.3	12.9	3.7	0.1
石炭火力	2.0	2.3	4.3	4.9	0.1
LNG火力	1.3	1.2	6.0	2.1	0.1
原子力	4.2	3.7	1.7	0.6	1.5
太陽光（事業用）	7.3	3.2	0.0	0.0	0.7
太陽光（住宅）	11.4	2.5	0.0	0.0	0.3
風力（陸上）	7.1	4.7	0.0	0.0	2.9
風力（洋上）	11.9	6.3	0.0	0.0	7.7
水力（中水力）	5.7	3.0	0.0	0.0	2.3
バイオマス（混焼）	2.1	2.4	4.4	4.8	0.5
バイオマス（専焼）	3.0	4.2	21.0	0.0	1.7
地熱	5.8	5.1	0.0	0.0	5.8

(出所) 資源エネルギー庁より日興リサーチセンター作成

一次エネルギー源による発電コスト、プラントの建設費や固定資産税などの「資本費」、人件費や修繕費などの「運転維持費」、排出される二酸化炭素対策費用や原子力安全対策費用などの「社会的費用」、化石燃料費や核燃料サイクル費などの「燃料費」、そして「政策費」の主に5つに分けられる。本稿では、資源エネルギー庁が公表する「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」に基づき、モデルプラント方式による2020年および2030年の電源別発電コスト試算の結果を用いた。詳細は図表2、図表3の通りである。

図表 4 電源別発電量構成のシナリオ

電源別 発電量構成 (%)	2020年	2030年
石油火力	6.35	2.00
石炭火力	30.97	19.00
LNG火力	39.01	20.00
原子力	3.87	21.00
太陽光	7.90	16.00
風力	0.90	5.00
水力	7.83	11.00
バイオマス	2.88	5.00
地熱	0.30	1.00

(出所) 資源エネルギー庁より日興リサーチセンター作成

また、電源別の発電構成(図表4)は資源エネルギー庁が公表する「総合エネルギー統計(1990~2020年度速報)」および「2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2030年度の発電電力量・電力構成)」に基づいている。

さらに、化石エネルギーにおいては、それぞれの標準発熱量や炭素排出係数、熱効率などの諸元データ(図表5)が必要であり、それらについても資源エネルギー庁が公表する「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数(2018年度改訂)の解説」、また経済産業省から公表されている「発電コスト検証に関するこれまでの議論について」のモデルプラントの数値に基づいている。

図表5 化石エネルギー別諸元データ

化石エネルギー 諸元データ	標準 発熱量	炭素 排出係数 (g-C/MJ)	熱効率 (%)
原油	39.50	19.18	39.00
石炭	26.08	24.29	43.50
天然ガス	39.26	13.87	54.50

※標準発熱量単位：原油(MJ/L)、石炭(MJ/kg)、天然ガス(MJ/m<sup>3</sup>)

(出所) 資源エネルギー庁、経済産業省より日興リサーチセンター作成

このほか、原油や石炭、天然ガスといった化石エネルギーの価格(図表6)は世界銀行の「Commodity Markets Outlook」、ドル円の為替レート(図表7)はOECDの「Economic Outlook」に基づいている。なお、2030年の為替レートは公表されておらず、現時点で公表されている最も将来時点の為替レートは2023年となっている。そのため、本稿では2023年の予測為替レートを2030年の予測為替レートとして用いた。

図表6 化石エネルギー価格

エネルギー価格 (USD)	2020年	2030年
原油(\$/bbl)	41.30	67.90
石炭(\$/mt)	60.80	67.50
天然ガス(\$/mmBtu)	8.30	8.50

(出所) 世界銀行より日興リサーチセンター作成

図表7 ドル円為替レート

為替(円)	2020年	2030年
ドル円	106.76	113.56

※2030年の予測為替レートは2023年の予測為替レートを利用

(出所) OECDより日興リサーチセンター作成

### 3. 二酸化炭素の排出価格の推計条件および推計方法

第3章では、前章で説明した基礎データを用いて二酸化炭素の排出価格の推計を行うにあたり、定めた推計条件および推計方法を記す。

#### 【推計条件】

- 化石エネルギー電源（石油火力、石炭火力、LNG火力）について、発電コストのうち燃料費を除く費用について図表2, 3の数値を用いた。国内の電力会社は長期契約により燃料を調達しているが、燃料費は市場での取引価格の変動の影響が大きいことから、現時点における市場取引価格および市場の予測価格を用いることとし、図表5~7のデータより算出した数値を用いた。
- 非化石エネルギー電源（原子力、太陽光、風力、水力、バイオマス、地熱）について、発電コストは図表2, 3の数値を用いた。
- 現在の発電能力を基に、2020年時点および2030年時点の両時点で事業用太陽光発電の割合を80%、住宅太陽光発電の割合を20%と仮定した。
- 現在の発電能力や今後の見通し<sup>1</sup>を基に、2020年時点は陸上風力発電の割合を98%、洋上風力発電の割合を2%、2030年時点は陸上風力発電の割合を75%、洋上風力発電の割合を25%と仮定した。
- 水力発電には中水力発電のほか小水力発電もあるが、現在の発電能力の大部分が中水力発電のため、中水力発電の数値を用いた。
- 現在の発電能力を基に、2020年時点および2030年時点の両時点で専焼バイオマス発電の割合を70%、混焼バイオマス発電の割合を30%と仮定した。
- 二酸化炭素の排出価格の推計は2020年および2030年の2時点について行った。

#### 【推計方法】

- 化石エネルギー電源（石油火力、石炭火力、LNG火力）それぞれの発電コストと非化石エネルギー電源（原子力、太陽光、風力、水力、バイオマス、地熱）の発電コストを用いて、化石エネルギー電源それぞれの発電コストから二酸化炭素の排出価格を推計する。
- 発電コストのうち、化石エネルギー電源の燃料費については、単位量当たりの発熱量と熱効率から単位量当たりの発電量（単位発電量）を求め、化石エネルギーの単位量当たりの価格によって算出したものを用いた。（第4章：算出手順A,D,E,F参照）

<sup>1</sup> 日本風力発電協会による風力発電の導入予測（2020年（陸上風力1110万kW、洋上風力31万kW）、2030年（陸上風力2600万kW、洋上風力1000万kW））を基に割合を仮定。

- 化石エネルギー電源の単位量当たりの二酸化炭素排出量は、単位量当たりの発熱量と炭素排出係数から算出した。(第4章：算出手順 B,C 参照)
- 非化石エネルギー電源に対する化石エネルギー電源の単位量当たりの二酸化炭素価格は、( (非化石エネルギー電源の発電コスト ÷ 化石エネルギーの燃料費 - 化石エネルギーの発電コスト ÷ 化石エネルギーの燃料費) × 化石エネルギーの単位量当たりの価格) ÷ 単位量当たりの二酸化炭素排出量として算出したものに各非化石エネルギー電源の電源構成を加味した加重平均として推計する。(第4章：算出手順 G,H 参照)
- 非化石エネルギー電源に対する最終的な二酸化炭素の排出価格は化石エネルギー電源の電源構成を加味した加重平均として推計する。ただし、非化石エネルギー電源に対する化石エネルギー電源の単位量当たりの二酸化炭素価格の加重平均がマイナスとなっている場合は、安定した電力供給としての役割などコスト面以外の理由で該当する化石エネルギー電源を用いて発電せざるを得ない状況と推測し、最終的な二酸化炭素の排出価格の推計から除外した。(第4章：算出手順 I 参照)

#### 4. 二酸化炭素の排出価格および排出総額

第4章では、はじめに LNG 火力発電を例に、2020 年の二酸化炭素排出価格の算出手順を例示する。その後、二酸化炭素排出価格(図表 8) および国内で排出されるエネルギー起源の二酸化炭素排出量に対する二酸化炭素排出総額(図表 10) について、2020 年および 2030 年の推計結果を示す。

##### 【算出手順】

- A) LNG 火力発電の 1 m<sup>3</sup>当たりの発電量<sup>2</sup>を求める。

$$\text{単位発電量} \left( \frac{kWh}{m^3} \right) = \frac{39.26 \times 10^6 \times 54.5\%}{3.6 \times 10^6} = 5.94$$

- B) LNG の二酸化炭素排出係数<sup>3</sup>を求める。

$$\text{二酸化炭素排出係数} \left( \frac{kg - CO_2}{MJ} \right) = \frac{13.87 \times \frac{44}{12}}{1.0 \times 10^3} = 0.05$$

- C) LNG の 1 m<sup>3</sup>当たりの二酸化炭素排出量を求める。

$$\text{二酸化炭素排出量} \left( \frac{t - CO_2}{m^3} \right) = 39.26 \times 0.05 \times 10^{-3} = 2.00 \times 10^{-3}$$

<sup>2</sup> 1[Wh]=3600[J]として算出。

<sup>3</sup> 炭素の原子量を 12、二酸化炭素の分子量を 44 として算出。

D) 1mmBtu 当たりの LNG 価格を 1 m<sup>3</sup>当たりの LNG 価格<sup>4</sup>に換算する。

$$\text{LNG 価格} \left( \frac{\text{円}}{\text{m}^3} \right) = 8.30 \times 106.76 \times \frac{46}{1360} = 29.97$$

E) LNG 火力発電の 1kWh 当たりの燃料単価を求める。

$$\text{燃料単価} \left( \frac{\text{円}}{\text{kWh}} \right) = \frac{29.97}{5.94} = 5.04$$

F) LNG 火力発電の 1kWh 当たりの発電コストを求める。

$$\text{発電コスト} \left( \frac{\text{円}}{\text{kWh}} \right) = 1.30 + 1.20 + 5.04 + 1.70 + 0.10 = 9.34$$

G) 非化石エネルギー電源に対する LNG 火力発電の 1 トン当たりの二酸化炭素排出価格を求める。

$$\begin{aligned} & \text{非化石エネルギー発電コスト} \left( \frac{\text{円}}{\text{kWh}} \right) - \text{LNG 火力発電コスト} \left( \frac{\text{円}}{\text{kWh}} \right) \\ &= \text{LNG 二酸化炭素排出価格} \left( \frac{\text{円}}{\text{t} - \text{CO}_2} \right) \times \text{LNG 二酸化炭素排出量} \left( \text{t} - \text{CO}_2 / \text{m}^3 \right) \\ & \times \text{LNG 発電単価} \left( \frac{\text{円}}{\text{kWh}} \right) \div \text{LNG 価格} \left( \frac{\text{円}}{\text{m}^3} \right) \end{aligned}$$

という関係式を仮定する。つまり、化石エネルギーの燃料費で調整した非化石エネルギーと化石エネルギーの発電コスト差に二酸化炭素排出価格が内包していると仮定して二酸化炭素排出価格を求める。

(例：対原子力発電)

$$\text{二酸化炭素排出価格} \left( \frac{\text{円}}{\text{t} - \text{CO}_2} \right) = \frac{\left( \frac{11.50}{5.04} - \frac{9.34}{5.04} \right) \times 29.97}{2.00 \times 10^{-3}} = 6422$$

H) LNG 火力発電の非化石エネルギー電源に対する 1 トン当たりの二酸化炭素排出価格を求める。

$$\begin{aligned} & \text{二酸化炭素排出価格} \left( \frac{\text{円}}{\text{t} - \text{CO}_2} \right) \\ &= \text{各非化石エネルギー電源に対する二酸化炭素排出価格の加重平均} = 14284 \end{aligned}$$

<sup>4</sup> 天然ガス 1360 m<sup>3</sup> = 46mmBtu として算出。

同様の算出手順で、2020年の石油火力発電、石炭火力発電の非化石エネルギー電源に対する1トン当たりの二酸化炭素排出価格を算出した。石油火力発電は-6,531円となり推計から除外し、石炭火力発電は5,266円との算出結果となった。

- I) 非化石エネルギー電源に対する各化石エネルギー電源の1トン当たりの二酸化炭素排出価格の加重平均より最終的な1トン当たりの二酸化炭素排出価格を求める。(化石エネルギー電源の二酸化炭素排出価格がマイナスとなるものは加重平均から除外する)

$$\text{最終的な二酸化炭素排出価格} \left( \frac{\text{円}}{t - CO_2} \right) = \frac{14284 \times 39.01\% + 5266 \times 30.97\%}{39.01\% + 30.97\%} = 10293$$

これより、各化石エネルギー電源の二酸化炭素排出価格を加重平均した結果、2020年における二酸化炭素排出価格は、二酸化炭素1トン当たり10,293円と推計される。

また、上記と同様の算出手順で、2030年における二酸化炭素排出価格を推計した結果、二酸化炭素1トン当たり5,814円となった。

図表 8 二酸化炭素排出価格

二酸化炭素 排出価格 (円/t-CO2)	2020年	2030年
	10,293	5,814

(出所) 日興リサーチセンター作成

続いて、資源エネルギー庁が公表する「総合エネルギー統計」より、国内で排出されるエネルギー起源の二酸化炭素排出量(図表9)を用いて、国内で排出される二酸化炭素の排出総額を算出する。

図表 9 国内で排出される二酸化炭素排出量

二酸化炭素 排出量 (Mt-CO2)	2020年	2030年
企業・事業所他	538	378
家庭	167	112
運輸	185	121
エネルギー転換	78	55
総計	967	667

(出所) 資源エネルギー庁より日興リサーチセンター作成

国内で排出される二酸化炭素の排出量を1990年以降で見ると、2013年の年間12億3,539万トンがピークで、2020年はピークから22%減少の年間9億6,744万トンと推計される。また、2030年は、



昨年の気候変動リーダーズサミットで菅首相（当時）が表明した目標値である 2013 年比で 46%減の年間 6 億 6,711 万トンとしている。

この二酸化炭素排出量を用いて算出した 2020 年における国内の二酸化炭素排出総額は、金額に換算して 9 兆 9,575 億円（図表 10）と推計される。そのうち、5 兆 5,332 億円が企業・事業所等を経由する二酸化炭素排出額などとなっている。また、2030 年の二酸化炭素排出量が目標通りであれば、国内の二酸化炭素排出総額 3 兆 8,787 億円と推計され、二酸化炭素排出量の減少予想に加え、二酸化炭素価格の低下予測から 2020 年比で 61%減と大幅な減額が見込まれる。

図表 10 二酸化炭素排出総額

CO2 排出総額 (億円)	推計時点	総額	部門別			
			企業・事業所他	家庭	運輸	エネルギー転換
	2020年	99,575	55,332	17,233	19,027	7,982
	2030年	38,787	22,004	6,518	7,040	3,225

（出所）日興リサーチセンター作成

## 5. おわりに

本稿では、化石エネルギーや非化石エネルギーといった一次エネルギーの発電コストの差異を用いて、二酸化炭素排出価格や国内で排出されるエネルギー起源の二酸化炭素排出総額の推計を行った。

化石エネルギーの発電コストの上昇が見込まれる一方、太陽光や風力など再生可能エネルギーによる発電コストは低下が見込まれることなどから、化石エネルギーと非化石エネルギーの発電コスト差が縮小することで、二酸化炭素の排出価格は減少する推計結果となった。

2021 年は、世界全体で温室効果ガスの削減に向けた取組みへの加速の必要性を共通認識として共有した 1 年であった。その中で、メタネーション<sup>5</sup>などカーボンニュートラルを実現するための新しい技術の開発が期待されている。

また国内では、経済産業省や環境省で企業の温室効果ガス排出量の報告内容や公表の手法の見直しが検討されるなど、さまざまな分野で温室効果ガス削減に向けた取組みが加速している。このような中、今回の分析結果がカーボンニュートラルに向けた取組みへの一助になることを期待する。

<sup>5</sup> メタネーションとは、二酸化炭素と水素を原料として、LNG 火力発電の主原料であるメタンを合成する技術。原料の水素は再生可能エネルギーを用いて、水を水素と酸素に分離して獲得。合成したメタンと酸素を燃焼させ、二酸化炭素と水を生成する。実質的に、サイクル内で再生可能エネルギーを除くすべての原料を獲得することが可能となる技術で、カーボンニュートラルの実現に向けた取組みの中で大いに期待されている。

## 【参考文献】

資源エネルギー庁[2021], 「2030 年度におけるエネルギー需給の見通し」

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/opinion/data/03.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/opinion/data/03.pdf)

資源エネルギー庁[2021], 「総合エネルギー統計」

[https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/results.html#headline7](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline7)

資源エネルギー庁[2020], 「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数（2018 年度改訂）の解説」

[https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/pdf/stte\\_028.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/stte_028.pdf)

経済産業省[2021], 「発電コスト検証に関するこれまでの議論について」

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/2021/data/07\\_05.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/2021/data/07_05.pdf)

世界銀行[2021], 「Commodity Markets Outlook」

<https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>

OECD[2021], 「Economic Outlook」

<https://www.oecd.org/economic-outlook/>

(END)