

# むつ小川原だより

**Pick up!** 今号では、「第11回エネルギーに関する講演会」の講演要旨をお届けいたします。

9月3日に開催した当講演会には、135名にご参加いただきました。  
今後もエネルギー関連プロジェクトの推進及び企業・研究機関の誘致へつなげて参ります。

## THEME

### 世界におけるエネルギー需給の展望 - エネルギー転換リスクの定量評価 -

デロイトトーマツコンサルティング合同会社  
マネージングディレクター 濱崎 博 様

## I はじめに

本題に入る前に、デロイトトーマツコンサルティングがどのような業務に携わっているのか紹介させていただきたい。エネルギーシミュレーションモデルを活用した企業の脱炭素戦略、投資戦略、将来の水素、電力価格の推計を通じた産業立地戦略などのご支援をさせていただいている。最近ではウクライナ問題を発端にエネルギー安全保障を絡めたグローバルシミュレーションの開発も行っている。エネルギー問題において脱炭素は、なかなかエビデンスを持って議論することが難しい。我々がシミュレーションモデルを開発することで、エビデンスをベースにした議論や判断がなされる等、政策議論に貢献していきたい。

### ◆実績

- 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会において、「再生可能エネルギーポテンシャル」算出結果を提出。
- 電力広域的運営推進機関に設置された「将来の電力需給シナリオに関する検討会」に委員として参加。将来の電力事業シナリオについての検討やシミュレーション結果等を提供。
- IEA にシミュレーション結果を提供。
- 中央省庁や自治体、自動車業界やエネルギー業界など、官民へのシミュレーションを利用したEBPM<sup>※</sup>業務に従事。

※ EBPM とは、Evidence-based Policy making の略。  
政策立案において政策目的を明確化し、合理的根拠（エビデンス）に基づいて行うことを指す。

### ◆エネルギー転換についての見直し

皆様は「化石燃料は一直線に下がっていく」といったイメージをお持ちかもしれない。だが、実際はそうに進む世界ではなく、転換の見直しも難しい。脱炭素社会実現の初期段階では、ガスへの燃料転換が CO<sub>2</sub> 削減へ貢献することも考えられる。

### ◆気候変動の不透明性が投資判断の先送りを誘発する

我々が国内・海外のクライアントから聞く限り、ガスやオイル、石炭に関しては投資控えが生じている。では、再エネ投資が十分に活発かといえばそうでもない。再エネ投資が炭素集約型への投資と同等の利益をすぐに生み出さない限り、低炭素およびエネルギー効率技術への投資を遅らせる要因になるだろう。

## II エネルギー転換リスク

エネルギー転換リスクとは、「当初の予想どおりのエネルギー転換が生じなかった」ことを指す。なぜそのようなことが起きるのか、2点理由を述べたい。

① IEA は 2021 年に 2050 年ネットゼロに向けたロードマップを公表した。本報告書では排出量ネットゼロ達成を目標としたシナリオであるが、この中で「発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合は 2050 年に 88% に達する」と想定した。今までのエネルギーシステムでは、電力の需給を一致させることが重要であったが、太陽光と風力発電が大部分を占める本シナリオでは、需給一致のためには、蓄電池容量の増加や CCS、ヒートポンプ、アンモニア混焼や水素製造や系統整備などエネルギー全体を一つのシステムとして考える必要がある。このことが、今までのエネルギーと大きく異なる点で理解を難しくしている。

② 有事・自然災害時におけるエネルギー価格への影響は不透明であり、予測が難しい。系統などインフラ整備のコストやレアメタルの安全保障問題についても同様である。併せて、各国の状況を反映した国別脱炭素社会の予測が必要であるが、水素など新たなエネルギーを評価することは難しい。

### Ⅲ 国際視点での水素検討

今後 GX が進展していく中で、水素やアンモニアといった次世代グリーン燃料の国際的な輸出入が増加すると予想されているが、「具体的にどの地域で製造するのが最適なのか」「国際的な流動量はどれくらいか」といった問いに、定量的かつ合理的に回答することは難しい状況だ。本日は弊社が開発したモデルを用いて、水素について検討したい。

—今回使用したモデル—

世界を 30 の主要な国や地域に分け、地域内の電源構成や発電所単位でのデータの他、LNG 配管敷設状況や次世代技術である水素の情報をインプットした。

#### ◆ CO<sub>2</sub> 削減目標 2.7 度（日欧米は NDC 達成と想定）と 1.5 度の世界観の対比

	2.7℃シナリオ	1.5℃シナリオ
一次エネルギー供給量	化石燃料が大多数を占める	化石燃料が大幅に削減され、再エネや原子力が増加
最終エネルギー消費量	化石燃料が 1/3 を占める	水素が 1/5 を占める
水素需給	1.5℃シナリオに向かうほど水素需要が増加する。 産業部門や運輸部門など、CO <sub>2</sub> 削減が難しい部門で水素利用が広がる。	
水素需給と水素価格	日本が突出して水素価格が高い状態	水素輸入国が総じて水素価格が高い状態
電源構成と電力価格	欧州のような電力融通が難しいため日本が突出して電力価格が高い状態	水素輸入国が総じて電力価格が高い状態
LNG 予測の例（世界）	2050 年以降も継続して緩やかに右肩上がりである	2050 年までは並行推移に近いが、それ以降は需要減

※ NDC とは、Nationally Determined Contribution の略。

パリ協定では、世界の国々が 5 年ごとに温室効果ガスの排出量削減目標として NDC を提出することが義務化されている。

#### ◆ 水素輸出国の実態

ここでやや踏み込んだ議論をしたい。我々は「輸入水素が安いので輸入水素にシフトしよう」と考えがちであるが、輸出国も当然脱炭素化を求められている。だが、輸出国側の実態についてはあまり考慮されていない。そこで、水素輸出国であるカナダと豪州について、本モデルを使用して説明したい。

- カナダは、2020 年比で発電電力量 3.2 倍、電力価格 1.6 倍が必要である。水素を製造し輸出するためには、今より 3 倍作らないといけないこととなるが、付随して電力価格が 1.6 倍となることを国民が受け入れられるかはわからない。
- 豪州は、2020 年比で発電電力量 4 倍、電力価格 1.6 倍が必要である。4 倍の電気をつくるためのインフラの有無が今後の議論になる。併せてカナダ同様、電力価格の上昇について理解が得られるかどうか論点になる。

#### ◆ CO<sub>2</sub> 削減目標 1.5 度達成時の世界観

- 主要国では NDC<sup>\*</sup> 達成
- 2050 年における水素需給は中国が突出している。
- 2050 年における水素輸出国は、豪州やカナダ、アメリカである。これらの国は、CCS や再エネのポテンシャルが大きいので、水素を安く生産し他国への輸出が可能である。対して主な輸入国は、韓国、日本である。
- 2050 年における電力価格は、グリーン水素輸出国の平均が 12 円に対し、輸入国は 25 円である。

#### ◆ 水素輸入と港湾整備

水素を 2,000 万トン輸入すると仮定すると、現状港湾で処理している LNG の約 2 倍の体積が必要となる。既存の石油設備も活用できる MCH<sup>\*</sup> 等も含めて複数キャリアを組み合わせることが必要だろう。

#### ◆ LNG 予測の例（世界）

化石燃料需要に関しては、多くの人は脱炭素社会において直線的に低下していくと考えるが、実際には、その移行期において需要が増える可能性もある。

※ MCH とは、水素キャリアの一つである。トルエンに水素を付加させて作る液体であり、水素ガスと比べると体積当たり 500 倍以上の水素を含んでいるため、効率よく水素を運ぶことができる。

## IV 国内視点での水素検討

弊社が開発したエネルギーシミュレーションモデルを用いて、2050年カーボンニュートラルの実現について3つのシナリオを紹介する。GXでは大規模なCCSの可能性を前提として議論されているが、実際に成り立つのか、また水素の安定的な輸入について、その可能性や影響を説明したい。

ー今回使用したモデルー

系統情報や再エネ導入可能量の他、人口動態、発電所情報（能力、位置）等、エネルギー転換に必要なデータはすべてインプットした。なお、原発に関しては現状廃炉以外の全ての発電所の合計36基が稼働、寿命は60年に停止期間分を上乗せすると想定している。

シナリオ名	CCS貯留量	水素輸入量
1. GX技術活用シナリオ	2050年 / 1.8億トンを上限	2050年 / 上限なし
2. CCS限定的シナリオ	2050年 / 900万トンを上限	2050年 / 上限なし
3. CCS/輸入水素限定的シナリオ	2050年 / 900万トンを上限	2050年 / 300万トンを上限

いずれのシナリオも、CO<sub>2</sub>削減目標は2030年46%削減（2013年比）、2050年カーボンニュートラル達成を前提とする

### ◆水素需給

3つのシナリオに共通して、将来的に水素は非常に使われる結果になった。中でもCCS限定的シナリオは、2050年における輸入水素量が他のシナリオの2倍程度だった。つまり、水素を輸入し発電所を回す絵姿とも言えよう。もし水素の輸入が滞ってしまえば国内生産が必要となる。

### ◆地域別の水素価格（2050年）

CCS貯留量・水素輸入量いずれも限定的であった場合は、水素の国内調達が必要になるため水素価格が高止まりする。この結果から、輸入水素が安定的に確保できるか否かは、産業競争力を左右するため将来的な産業構造に影響を与える。

### ◆地域別の電力価格（2050年）

シナリオ1のように、CCSや輸入水素が十分活用されている場合は、各都道府県それほど大きな差はない。シナリオ2、3と制限が増えていくほど地域差が出てくる。特に三大都市圏のような再エネ導入量が限定的な地域では、大きな価格差が生じる可能性がある。

### ◆電源構成（全国）

CCSが十分活用されている場合、LNGは安定的に残る。シナリオ2、3のようにCCSや輸入水素への制限が増えると、不足分の水素をつくるだけの電力を国内再エネで賄う必要が出てくる。再エネの更なる導入拡大に比例して、蓄電池も導入拡大する。またシナリオ3では、蓄電池は東京や九州、四国などの太陽光が比較的多く導入されている地域に偏在する結果となった。

### ◆地域別火力発電所の発電容量及び稼働率

CCSや輸入水素が十分活用されている場合の稼働率は並行推移に近いが、シナリオ2、3のようにCCSや輸入水素への制限が増えると、右肩下がりにっていく。

### ◆どこで水素を製造しているか

輸入水素が限定的となると、再エネが豊富な北海道や九州を中心に水素の地産地消が進む結果になった。

## V さらなる論点 - ペロブスカイトを例に -

冒頭で、「再エネが大部分を占めるシナリオでは、需給一致のためには蓄電池容量の増加やCCS、水素製造や系統整備など広域で考える必要がある」と申し上げた。一般的にペロブスカイトは発電量あたりのコストがネックになるが、エネルギーシステム全体で考えた場合には選ばれる可能性がある。我々が1年間の太陽の軌道や角度をもとにペロブスカイトによる壁面発電量を計算したところ、南面においては意外にも夏より冬の発電量が多い結果になった。また壁面の方向によって発電電力量のピークに差が生じた。今後は、屋上設置の太陽光発電と壁面のペロブスカイトの併用などを検討する余地がある。

## VI 論点まとめ

ウクライナ侵略以降、国際的なエネルギー供給に大きな影響が生じ、エネルギー安全保障が注目を集めるようになった。今後ますます輸入水素の安定確保が重要になるため、水素輸出国では、再エネポテンシャルがあるとしても下記を検討し



ていく必要がある。

- ① 系統整備や水電解装置などのインフラ整備ができるのか。
- ② 水素輸出国での電力価格の上昇を水素輸出国の国民に受け入れられるのか。
- ③ 水素輸入国は、水素を輸入するための十分な港湾整備と船の製造が重要視される。もし国際協調が維持できない場合、日本の電力価格は他の国と比して高くなることに注意が必要である。国内視点では、輸入水素の国際的な安定調達が維持できない場合、日本の電力価格は他の国と比して高くなることから、本シナリオが CCS 貯留量と輸入水素の供給力に左右される点を念頭に置き、需要サイドの柔軟性を検討していくことが重要である。

## VII 質疑応答

Q：ペロブスカイトの発電量が夏よりも冬が高いのは、壁面における太陽光の入射角の違いか。

A：ご質問のとおり入射角によるものである。

Q：蓄電池は、東京や九州など太陽光が比較的多く導入されている地域に偏在していると伺った。何が一番ネックになってこのようなシミュレーション結果になったのか、モデル分析の印象を伺いたい。

A：前提条件の設定により影響が変わってくるが、やや楽観的な数値で試算している。シミュレーションの前提条件の際に述べたように、廃炉が決定していない原発については再稼働している想定であるため、最大で 36 基、約 80% の稼働

率を前提としている。併せて、ガス火力発電の CCS による CO<sub>2</sub> 削減量を 1.8 億 t / 年と見積もっている。

Q：シミュレーションとはやや別の話かもしれないが、エネルギーの需要側、供給側のチャンスについて感触を伺いたい。  
A：本日は輸入水素についてお話した。そもそもなぜ水素を輸入するかといえば、日本国内で水素から鉄や化学製品などをつくるためである。しかし、海外では、「水素を輸出するのではなく、グリーン鉄として輸出すればよい」と言う方がいる。コスト計算をすると、確かにそのような結果になりがちであるが、その状況は日本にとってよいこととは言えない。産業競争力を維持しつつ、脱炭素実現を検討する時期に来ている。エネルギーを一つのシステムと考えた場合、ペロブスカイト太陽光発電を活用することで系統整備などのシステム全体での費用逓減、需要サイドに注目すれば BTM (Behind The Meter) の活用は期待ができる。

Q：シミュレーション時に選定した国数はデータ制約等によるものか。また、ロシアからの水素輸入フローについて、資源輸出大国ではあるものの足元の戦争当事国である。モデル上の見立てについて伺いたい。

A：本日は世界を 30 の主要な国や地域に分けて需要側のシミュレーション結果を示したが、実際のモデル自体は 120 か国程度のデータを入れて 30 に集約している。ロシアについては、政策的な判断や現状の制約は考慮せず、「世界全体で最もコストが安い」との視点で示した。実際のシミュレーションでは政治的な要素も当然加味して算出している。



デロイトトーマツ  
コンサルティング合同会社  
マネージングディレクター  
濱崎 博

## PROFILE

- |            |   |
|------------|---|
| 平成 7 年     | 京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻 (修士)   |
| 9 年        | Imperial College of Science, Technology and Medicine, Imperial College Centre for Environmental Technology, Energy Policy Option (MSc   修士) |
| 20 年       | University of Cambridge, Wolfson College, Institute for Manufacturing, Manufacturing Leaders Programme (MSt   修士)                           |
| 21 年       | Cardiff University, School of City and Regional Planning (PhD   博士)   |
| 平成 7 年 4 月 | 富士総合研究所 (現：みずほリサーチ & テクノロジー株式会社)  |
| 9 年 11 月   | 富士通総研経済研究所  |
| 14 年 4 月   | 東京工業品取引所市場構造研究所 (兼務、至 H16 年 3 月)  |
| 19 年 4 月   | 国際公共政策研究センター (出向、至 H21 年 3 月)   |
| 21 年 4 月   | 国際公共政策研究センター (兼務、至 H26 年 3 月)   |
| 31 年 4 月   | デロイトトーマツ コンサルティング合同会社   |