

2050 年に向けたエネルギー展望 ～エネルギー・資源学会における検討事例～

Energy Perspective to 2050 - An Analytical Example in Japan Society of
Energy and Resources -

黒沢厚志*

1. はじめに

気候変動問題への関心は従来にも増して高まっている。世界全体での温室効果ガス排出は増加を続け、CO₂濃度は上昇を続けている。その結果、将来想定される世界全体での温度上昇は、現在のペースで温室効果ガス排出量が増加した場合、産業革命時点と比較してかなり高いレベルに達するとされており、人間活動に大きな影響を与える可能性が高い。持続可能な成長を実現するためには、低炭素型のエネルギーシステムを構築する必要がある。再生可能エネルギーはゼロエミッションのエネルギーキャリアを供給できる手段として大きな期待が寄せられている。そこで本稿では、エネルギー・資源学会の2050年に向けたエネルギー需給研究委員会の活動、パリ協定と長期戦略、および2050年のエネルギー需給システムの検討事例をまとめることとする。

2. エネルギー・資源学会と2050年に向けたエネルギー需給研究委員会の概要

2.1 エネルギー・資源学会

エネルギー・資源学会は1980年にエネルギー・資源研究会として設立され、1990年に現在のエネルギー・資源学会に改称され、現在に至っている。そのミッションは産・学・官における電気、機械、化学、建築、原子力、バイオ、経済等の広範な分野の研究者、技術者の知見を集積し、学術団体として、様々に変化するエネルギー、資源、環境の諸課題に学術的、業際的な取り組みを実施、多様な分野の専門家の連携と総合力の発揮による社会的責任を果たすことにある。近年では、地球温暖化対策、石油価格変動、資源獲得競争などの課題が顕在化するとともに、東日本大震災と原子力発電所事故、および再生

可能エネルギー利用の世界的拡大機運など、新しいエネルギー・資源の分野における社会的課題が存在し、それらを意識して多様な活動を実施している。

2.2 2050年に向けたエネルギー需給研究委員会

2050年に向けたエネルギー需給研究委員会は、学会の研究発表会やコンファレンスにおける「2050年に関するエネルギー需給」企画セッションがきっかけとなり発足した。

その背景は、①2016年に発効したパリ協定、再生可能エネルギーの費用の低下などを背景に再生可能エネルギー導入の流れは確かなものとなり、2050年などで再生可能エネルギー100%などの内容を含めた低炭素化の検討を加速する必要があること②エネルギーの供給費用や安定供給を考えると、再生可能エネルギーの導入ばかりではなく、全般的な省エネルギー、電力需給の柔軟性の確保、エネルギー貯蔵などを、技術ばかりではなく、市場制度整備を含めた政策検討などを包括的に進める必要があること③パリ協定ではすべての国に温室効果ガス低減のための長期発展戦略の策定を努力すべきことが定められ、提出期限は2020年であり、我が国でも、エネルギー基本計画、環境基本計画などと併せ、長期発展戦略の議論が進められると考えられることにある。

委員会の目的は、日本の温室効果ガス低減のための長期発展戦略の策定のための情報整理と議論に併せて、長期的なエネルギー需給の道筋に関する調査・検討を行い、その成果を学会会員、学会外の一般に対し提供することにある。委員会は、研究会、内外の検討や報告書の紹介、シンポジウムなどを通じた

* エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長
(〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 新橋SYビル)

✉ e-mail: kurosawa@iae.or.jp

エネルギー・資源学会内外での議論促進を目指し、2018年9月に活動を開始した。

3. パリ協定と長期戦略

3.1 気候変動枠組条約におけるパリ協定

近年発効した気候変動枠組条約におけるパリ協定⁽¹⁾は、世界のすべての国が気候変動に関する諸政策について協力していく国際条約としての性格を有する。目的として、産業革命前からの平均気温上昇を2℃未満に抑制（1.5℃未満に抑制努力）するとしており、排出削減に関しては、早期のピークアウト、今世紀後半に人為起源のGHG排出と吸収をバランス、5年ごとの国別約束の提出などに触れている。しかし、それらの達成は容易ではない。国連環境計画（United Nations Environment Programme, UN Environment）が毎年発行しているEmissions Gap reportの2018年版⁽²⁾を見ると、2030年頃のGHG削減国別目標（Nationally Determined Contribution, NDC）の世界積み上げは、2℃達成ラインに乗っていないことが明らかであり、削減の上乗せが必要である。さらに、努力目標である1.5℃の達成に関しては、最近公表されたIPCC 1.5℃特別報告書に示される通り、負の排出が今世紀後半には大量に必要ななど、その実現のハードルはさらに上がっている。

3.2 パリ協定のもとでの長期戦略

パリ協定は、2050年頃を想定した長期戦略の提出も各国に対して求めており、2020年までに各国が提出することになっている。これまではドイツ、フランス、イギリス、カナダおよびアメリカなどの諸国が長期目標を明らかにしており、日本も2019年4月に基本方針を提示した⁽³⁾。その内容をみると、非連続なイノベーションを推進するとしており、2050年に向けて、省エネ、再エネ、水素、原子力、CO₂回収貯留・利用（CO₂ capture and storage・CO₂ capture and utilization, CCS・CCU）等あらゆる選択肢を追求し、エネルギー転換・脱炭素化を図るとして、①再生可能エネルギーの主力電源化（劇的な低コスト化、投資の促進）、②水素社会の実現（CO₂フリー水素の製造コストを10分の1にすること等による生産拡大）、③パリ協定の長期目標と整合的に石炭火力からのCO₂排出を削減、④CCS・CCUを2030年までに実用化し世界への輸出を検討、⑤ゼロカーボンスチール等製造過程の脱炭素化や化石燃料を使用しない素材の開発利用によるモノづくりの脱炭素化を主導、⑥自動車での「Well-to-Wheel

Zero Emission」に貢献などの技術的要素が含まれている。

また、欧州委員会（EC）は、1.5℃目標を意識し、2018年11月に2050年までに欧州の気候中立を実現するための戦略長期ビジョン⁽⁴⁾を発表している。

4. 2050年のエネルギー需給システムの検討事例

4.1 ソフトリンクによる分析のフレームワーク

以下には、ソフトリンクによる日本の長期エネルギー需給システム分析の事例を示す⁽⁵⁾。分析は、太陽光発電導入可能量推定、風力発電導入可能量推定、民生（家庭・業務）需要推定、および電力需給などのボトムアップ分析と、エネルギーシステム全体分析をソフトリンク形式で整合性をとり、2050年頃までの日本のエネルギーの姿を定量的に示すことを意図して行った。2017年6月の学会研究発表会企画セッションでは、パリ協定の国別約束に対応する2030年長期エネルギー需給見通しを踏まえるとともに、2050年CO₂大幅削減に対応するエネルギー部門の対応について、最適化型エネルギーモデルTIMES-Japanを用いて、2050年までの日本の中長期エネルギー需給分析の試算結果を報告した。

TIMES-Japanモデルは、エネルギーサービス需要を所与とし、1990年から2050年までの12期（1期5年）を対象とし、エネルギーの供給と転換の構造を出力とする最適化型のモデルであり、期間全体の割引後総コストの和を目的関数としている。また、電力に関しては、負荷曲線を簡易表現するため、1年を中間期、冬期、夏期のそれぞれについて昼・夜に計6分割するほか、年間最大負荷を考慮している。

変動型再生可能エネルギー発電に関しては、松川他⁽⁶⁾、斉藤他⁽⁷⁾、荻本他⁽⁸⁾参考に、太陽光発電設備容量の上限を、家庭用および大規模発電の合計で2050年に約260GWとし、風力発電設備容量の上限については、陸上と洋上の合計で2050年で約100GWと想定した。なお、これらの発電オプションの設備利用率は太陽光発電設備のDC容量に余裕をもたせてAC最大出力の時間を長めにとることができるようにする過積載や、洋上発電設備の風況が陸上のそれよりよいことを反映して、将来に向けて上昇すると仮定した。

また、需要側では民生部門の需要想定を、できる限り山口他⁽⁹⁾の推定と合致させるようにしている。

4.2 試算結果

長期的な CO₂ 削減を仮定して分析を行った。2030 年削減は、2013 年比 GHG 削減 26% の削減目標に準拠し、2050 年のエネルギーシステムからの CO₂ 削減は、基準年比 80% 減とした。エネルギー輸入価格は、国際エネルギー機関の World Energy Outlook 2016⁽¹⁰⁾ の 450 シナリオを参考とし、CO₂ 制約による需要減退もあり価格は長期的に上昇しない設定としている。

一次エネルギー供給構成を図 1 に示す。現状は化石燃料が供給の中心であるが、そのシェアは徐々に低下し、2050 年では 29% となった。太陽光、風力的大幅導入を反映して、再生可能エネルギーのシェアは 2050 年で 52% となる。

発電量構成を図 2 に示す。2015 年時点での発電量は、原子力の一次的な低下を反映して、化石燃料や水力が主力となっている。2020 年頃までの短期的な不確実性はあるものの、原子力再稼働を想定し、設備容量も大きく減少しないと仮定したため、その発電量はほぼ一定量を維持して 2050 年まで推移する。太陽光や風力は、設備利用率が火力発電や原子力発電よりも低く、設備容量の伸びと比較すると、シェア増加は低くとどまるが、2050 年におけるシ

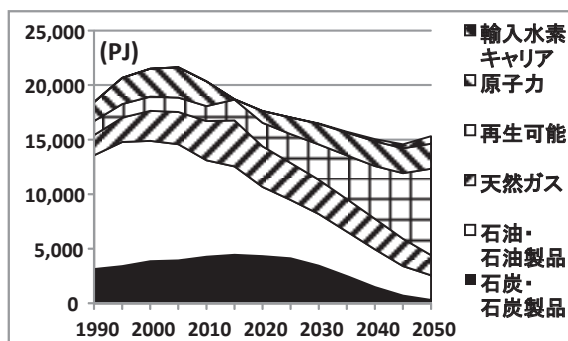


Fig. 1 Low Carbon Primary Energy Supply of Japan.
図 1 日本における低炭素一次エネルギー供給。

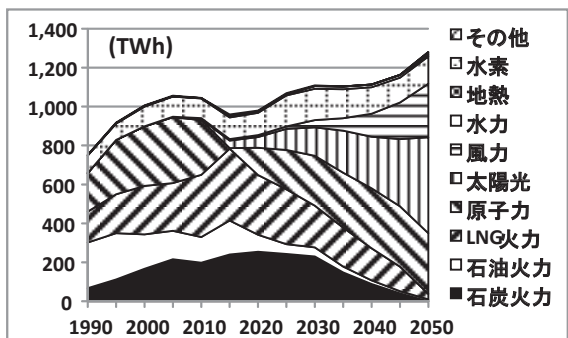


Fig. 2 Low Carbon Power Generation of Japan.
図 2 日本における低炭素発電量構成。

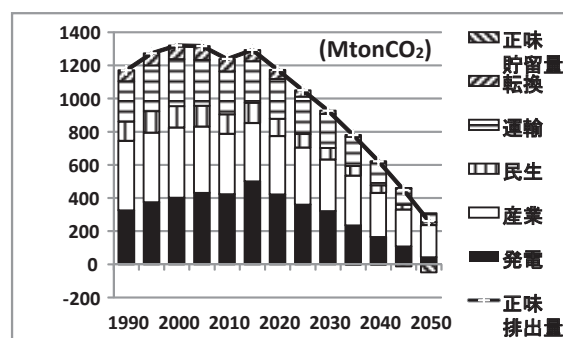


Fig. 3 Low CO₂ Emissions Pathways of Japan.
図 3 日本における低 CO₂ 排出経路。

アは太陽光 38%、風力 21% となった。それらの結果、2050 年におけるゼロエミッション電源比率は 97% に達している。LNG 火力の約 6 割は CCS つきであることを考慮すると、発電セクターのゼロエミッション化はほぼ達成されている。

CO₂ 排出量を図 3 に示す。2050 年の排出量は 260 Mton CO₂ である。今回の試算では CO₂ 貯留量上限を年間 5000 万 ton と制約したことや、太陽光、風力的大幅導入が可能であるというシナリオに基づいて分析を行ったため、2050 年になって初めて本格的に CCS が対策として本格導入される結果となった。

部門別で見ると、発電や民生、運輸といった部門での排出シェアが低下しているのに対し、産業部門排出のシェアが拡大し、2050 年のシェアは 74% となった。このことは、前述したように、炭素を含む原料としての化石燃料と、素材生産量が大きく変化しないという前提のもとでは、産業部門での CO₂ 削減対策が大変困難であることを改めて示唆している。

5. まとめ

パリ協定を意識した長期的な大幅 CO₂ 削減を仮定した日本のエネルギー需給システム分析の試算結果をみると、再生可能エネルギーが大きな役割を果たし、電力供給がほぼゼロエミッション化するとともに、民生部門と運輸部門で電力や水素といったゼロエミキャリアシェアが大幅に増加する可能性が示された。一方で産業部門の CO₂ 削減の困難さも浮き彫りとなった。

エネルギーシステムの低炭素化において、太陽エネルギーを含めた再生可能エネルギーの役割は大変大きい。太陽エネルギー学会の今後の活動に期待したい。

6. 謝辞

本稿は、環境再生保全機構 環境研究総合推進費 2-1704「日本における長期地球温暖化対策経路の複数モデルを用いた評価と不確実性の分析」の成果の一部を含むものである。関係者に深謝する次第である。

7. 参考文献

- 1) United Nations Framework Convention on Climate Change: The Paris Agreement (English) (2015).
- 2) UN Environment: Emissions Gap report 2018, (2018).
- 3) 内閣官房：パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略策定に向けた懇談会 提言 (2019).
- 4) European Commission, IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM (2018) 773, A Clean Planet for all : A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy (2018).
- 5) 黒沢, 加藤, 宮近, 荻本, 山口, 2050 年に向けた日本のエネルギー需給検討：TIMES-Japan を用いたエネルギーシステム全体分析, エネルギー・資源学会 第 36 回 研究発表会 論文集 (2017 年 6 月).
- 6) 松川, 山谷, 大東, 荻本, 2050 年に向けた日本のエネルギー需給検討：太陽光発電の導入量の検討, 第 36 回エネルギー資源学会研究発表会 論文集, (2017 年 6 月).
- 7) 齊藤, 占部, 荻本, 2050 年に向けた日本のエネルギー需給検討：風力発電の導入量推定, 第 36 回エネルギー資源学会研究発表会 論文集, (2017 年 6 月).
- 8) 荻本, 岩船, 片岡, 齊藤, 東, 福留, 松岡, 山口, 下, 松川, 大東, 山谷, 黒沢, 加藤, 2050 年に向けた日本のエネルギー需給検討：電力需給モデルによる分析 (II), 第 36 回エネルギー資源学会研究発表会 論文集, (2017 年 6 月).
- 9) 山口, 金, 木村, 黄, 池田, 下田, 業務部門エネルギー需要モデルの開発, 第 36 回エネルギー資源学会研究発表会 論文集, (2017 年 6 月).
- 10) World Energy Outlook 2016, International Energy Agency (2016).

略歴



黒沢厚志 (くろさわ あつし)

1987 年 3 月東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年 4 月財団法人エネルギー総合工学研究所入所。その後、スタンフォード大学客員研究員、財団法人地球環境産業技術研究機構主任研究員を兼務。現在、東京農工大学非常勤講師、東京大学生産技術研究所リサーチフェロー、科学技術振興機構客員研究員、新エネルギー・産業総合開発機構フェロー、九州大学 WPI 招聘教授を兼務。国際エネルギー機関 研究開発プライオリティセッティング専門家会合メンバー。専門分野は、地球環境・エネルギーシステムのシステム分析、エネルギー技術戦略。博士 (工学)。