

特集 日本における再エネ早期大量導入には何が必要か?

*本稿は和文翻訳されたもので、原文は本会Webサイトに掲載しています。

100% Renewable Electricity System in a 100% Renewable Energy System

100%自然エネルギーシステムにおける100%自然エネルギー電力システム

Tomas Kåberger*

(翻訳) 高瀬 香絵**・斉藤 哲夫***

Kae Takase

Tetsuo Saito

1. はじめに

21世紀に入ってから、自然エネルギーからの発電は、産業の経験蓄積によってコストが下がることにより、加速度的に成長してきた。これは、OECDから2000年に出版されたクラスオットー・ウェネ著の「エネルギー技術政策の経験曲線」¹⁾にて予想されていた。ウェネは、太陽光発電や風力発電の技術がいかに安価な電力を生み出す可能性を秘めているかを説明し、まだ高価なうちに各国が補助金を出せば、単純な市場競争力によってさらなる成長が見込めるレベルまでコストが下がるだろうと予想した。

その通り実施した国があった。特に欧州、その中でもドイツは太陽光と風力に対してかなり充実した支援を提供し、それによって自然エネルギーによる発電を急成長させ、化石燃料の使用を減らすと同時に、原子力発電所の稼働を完全に終了させるという野望を成功させた²⁾。

欧州全域において自然エネルギーの利用は増加しており、目標は国レベルだけでなく、欧州連合(EU)として設定している。EUにとって、この目標は益々重要性を増している。EUは日本と同じように、化石燃料やウランの輸入に頼っている。最も重要な供給国はロシアであり、ロシアがウクライナに侵攻して以来、この依存関係に対する不満が増している³⁾。

2. 欧州における成功の要因

欧州連合(EU)は、国境に関わりなく、域内のすべての企業間の透明で公正な競争に基づく欧州諸国間の協力に基づいている。これには、すべての加盟国が尊重しなければならない規制が必要である⁴⁾。電力市場について、これは困難な改革であった。なぜなら、電力は伝統的に国の重要なものであると考えられてきたため、他国の発電所の競争を認めるといった考えは、すべての人に容易に受け入れられるものではなかったからである。

しかし、より重要なのは、オープンで公正な競争を規定するルールによって、分散型の新しい電力生産が、従来の電力会社が支配する大規模な集中型発電に打ち勝つようになったことである。

電力市場の原則は、送電システムの制御と発電の運営を分離することである。送電網に接続して使用しようとする発電事業者は、使用するエネルギー源や技術に関係なく、いくつかの技術的基準を満たさなければならない。

生産者と消費者の間で電力を取引する場合、生産者が提供する電力と同量の電力を同時に使用する需要家に対して、当事者はバランスの責任と経済的責任を負う必要がある。送電システム運用者は、バランスを確保するために透明性のある短期バランシング市場に依存しているが、これらの短期バランシングのコストは、バランス責任を果たせなかったバランス責任者に転嫁される。

予想されていたこととは異なり、太陽光発電や風力発電の予測可能な変動は、低コストで管理することが容易であることが証明された。一方、大規模な原子力発電や石炭火力発電の予測不可能な故障は、大規模なインバランス状況を短期間で均衡させるために大きなコストをもたらす結果となった。

1秒から1分という非常に短い時間スケールでの周波数と電圧の安定化も、技術的に重要な課題である。従来は、電力網に接続された同期発電機の運動エネルギーと無効電力制御によって、短時間スケールにおける周波数と電圧の安定化を図ってきた。

自然エネルギー発電が電力網に接続する比率が高まると同期発電機による非常に短い時間スケールの安定化が果たせなくなるとの懸念があったが、バッテリーやパワーエレクトロニクス技術の発達により、もはや大きな課題ではなくなった。送電システム運用者が開かれた透明性の高い市場を使って安定化サービスを提供する際には、太陽光や風力の導入と関連したバッテリーやパワーエレクトロニクスによって提供されることが多くなってきている。これは、欧州においてのみならず、米国⁵⁾やオーストラリア⁶⁾においても起こっていることが知られている。そして、これ

*公益財団法人自然エネルギー財団理事長、チャルマース工科大学教授

**公益財団法人自然エネルギー財団 シニアコーディネーター

***公益財団法人自然エネルギー財団 上級研究員

は理論上だけではなく、実際に起こっているのだ⁷⁾。

また、同期発電機の「回転質量」ないしは「慣性」によって提供される安定化エネルギーは、バッテリーによって提供されるものに比べて小さいことが明らかになってきた。スウェーデンの送電システム運用者が現在行っている高速周波数応答のオークションでは、あるインテグレーターが複数のパートナー企業が所有するバッテリーも活用して必要な安定化エネルギーの半分を入札したこともあった⁸⁾。

ヨーロッパ北部における風力発電の総コストは、現在、石油の世界市場価格よりも低く、化石ガスの価格よりも低いことが多く、石炭よりも低いことさえある。欧州のCO₂排出コストを含めれば、風力発電の方が化石燃料よりも単位エネルギーあたりのコストが安いことは一般的な事実である⁹⁾。

その結果、化石燃料フリーの電力を使用して、化石燃料を代替する燃料を生産するプロジェクトが、いくつか稼働中または建設中となっている。これは、HYBRIT®（訳注：スウェーデンを拠点とする世界的鉄鋼メーカー SSABが、LLKB（鋳業会社）、Vattenfall（エネルギー会社）と共同で進めている化石燃料フリーの鉄鋼生産プロジェクト。鉄鉱石の採鉱から水素還元製鉄、鋼材製造までの全工程を化石燃料フリーのエネルギーで賄う。2026年に商業運転開始を目指す）やH₂グリーン・スチール（訳注：2020年にスウェーデンにて設立された水素還元製鉄のスタートアップ。神戸製鋼所のMIDREX技術を用いて水素還元製鉄プラントを建設中。2025年末に運転開始を予定、その後製造量の拡大を目指す）といった鉄鋼業だけでなく、船舶用燃料の生産¹⁰⁾や、従来化石燃料を使ってきた化学工業の原料についても起こっている¹¹⁾。

電気から燃料を生産するこのようなプラントの運転は、価格に敏感である。つまり、電気代が燃料代より高くなれば、発電所は稼働しない。その結果、電力システムのバランスに貢献することになる。長期的には、化石燃料が電力系統外で代替されることで、電力システムのバランス自体が容易になる¹²⁾。このようなエネルギーシステム全体の転換の可能性を理解したことによって、EUが水素開発戦略を策定する動機となった¹³⁾。

3. 結論

予測されたコスト削減を現実にすることに成功したことで、発電における化石燃料の代替が経済的に有益になっただけでなく、エネルギーシステム全体における化石燃料の代替にも道が開かれたのだ。

参考文献

1) IEA, "Experience Curves for Energy Technology Policy",

- <https://www.iea.org/reports/experience-curves-for-energy-technology-policy> (July, 2000) (Accessed on December 25, 2023)
- 2) Wikipedia, "German Renewable Energy Sources Act", https://en.wikipedia.org/wiki/German_Renewable_Energy_Sources_Act (Accessed on December 25, 2023)
- 3) European Commission, "REPowerEU", https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en (Accessed on December 25, 2023)
- 4) European Commission, "Electricity market design", https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/market-legislation/electricity-market-design_en (Accessed on December 25, 2023)
- 5) National Renewable Energy Laboratory (NREL), "Understanding Inertia Without the Spin" <https://www.youtube.com/watch?v=b9JN7kjlts0> (Accessed on December 25, 2023)
- 6) Mountain, B.R and Percy, S., 2021. "Inertia and System Strength in the National Energy Market: A report prepared for the Australia Institute". VEPC, Melbourne. <https://australiainstitute.org.au/wp-content/uploads/2021/03/VEPC-system-security-report-FINAL.pdf> (Accessed on December 25, 2023)
- 7) Andy Colthorpe, 2022. "Upgrade at Tesla battery project demonstrates feasibility of 'once-in-a-century energy transformation' for Australia". <https://www.energy-storage.news/upgrade-at-tesla-battery-project-demonstrates-feasibility-of-once-in-a-century-energy-transformation-for-australia/> (Accessed on December 25, 2023)
- 8) Check Watt, "CheckWatt lämnar anbud på hälften av kapaciteten för snabb frekvensreglering", <https://www.mynewsdesk.com/se/checkwatt/pressreleases/checkwatt-laemnar-anbud-paa-haelften-av-kapaciteten-foer-snabb-frekvensreglering-3293175> (Accessed on December 25, 2023)
- 9) Tomas Käberger, 2018. "Progress of renewable electricity replacing fossil fuels" Global Energy Interconnection, Volume 1, Issue 1, January 2018, Pages 48-52, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096511718300069> (Accessed on December 25, 2023)
- 10) Ørsted, 2022. "Ørsted assumes full ownership and takes final investment decision on FlagshipONE, the largest green e-methanol project in Europe". <https://orsted.com/en/media/news/2022/12/20221220609311> (Accessed on December 25, 2023)
- 11) Louise Rasmussen, 2023. "LEGO, Novo Nordisk agree to buy green methanol for plastic production". <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/lego-novo-nordisk-agree-buy-green-methanol-plastic-production-2023-04-20/> (Accessed on December 25, 2023)
- 12) Käberger, T. (2022). Turning around the direction of the fuel-electricity system. *Academia Letters*, Article 5578. <https://doi.org/10.20935/AL5578> (Accessed on December 25, 2023)
- 13) European Commission, "Key actions of the EU Hydrogen Strategy". https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy_en (Accessed on December 25, 2023)

<著者紹介>



Tomas Käberger (トーマス コーベリエル) 工学物理の理学修士号, 物理資源理論の博士号を取得し, チャルマース工科大学で環境科学の講師, ルンド大学の産業環境経済国際研究所の教授(持続可能なエネルギーシステム)として教鞭を執る。

産業界では, バイオマス・エネルギーで燃料や技術を提供する企業や, 自動車業界向け持続可能なエネルギーソリューション開発会社, 風力発電所運営会社などの企業で, 主導的な役割を果たしてきた。現在は, 風力や太

陽光発電所の建設およびトラックやバスの販売事業者でEV販売台数増加中のパーシオン・インベスト社の社外取締役。循環型経済スウェーデン代表団の団長も務める。

スウェーデン政府エネルギー庁長官や気候変動委員会委員およびエネルギー・環境政策委員, 電力会社ヴァッテンフォール社外取締役を歴任。また, スウェーデンおよび欧州の環境市民団体の理事として活動する傍ら, 中国の環境と開発に関する国際協力委員のタスクフォースメンバーも兼任。

スウェーデン王立工学科学アカデミーおよびスウェーデン・エネルギー経済学会会員。