

「脱炭素化」と茨城県のエネルギー

佐藤 初音

現在、化石燃料の大量利用や工場や自動車の排ガスにより温室効果ガスが生じ、地球温暖化が問題視されている。そこで、解決策として温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させる「脱炭素化」を目指し、世界中で様々な取り組みが行われている。日本では、第五次エネルギー基本計画により高度な「3E+S」（安定供給、経済効率、環境適合+安全性）が掲げられている。主な取り組みとしては再生可能エネルギーの利用、化石燃料資源への依存度の低減、省エネルギーなどが挙げられる。図1に第五次エネルギー基本計画にある日本の一次エネルギー供給と電源構成を示す。2018年度と2030年度では一次エネルギー供給はほとんど変わらない。一方、2030年度の電源構成を見ると石油などの化石燃料資源が大幅に減少し、太陽光や風力などの再生可能エネルギー、原子力の割合が大きく増大している。しかし、現在の原子力発電所の稼働状況[1]を踏まえると日本全体で約15%（9/59台）程度の稼働率であり、また複数の原子力発電所で廃止措置が行われていることから原子力発電を用いて17~18%程度の電力を賄うのはほぼ不可能と言える。

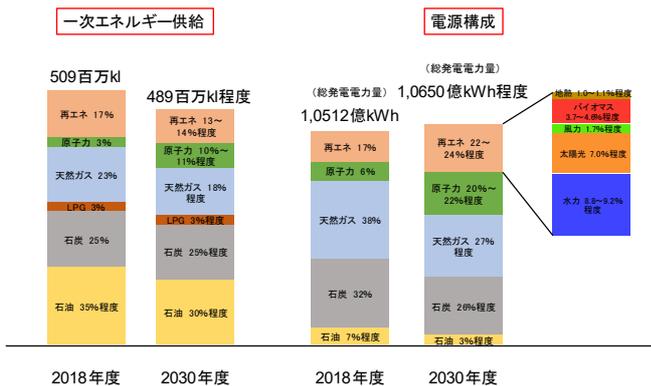
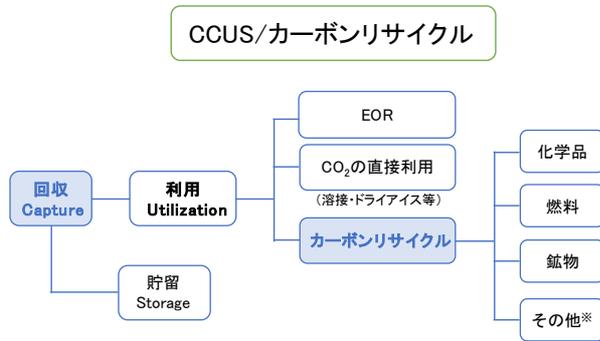


図1 日本の一次エネルギー供給と電源構成（経済産業省 日本のエネルギー2020 [energy_in_japan2020.pdf \(meti.go.jp\)](https://www.meti.go.jp/energy_in_japan2020.pdf)をもとに作成)

また、温室効果ガスであるCO₂を削減、もしくは何か別の物質に変換することは、地球温暖化の解決策になりうる。主なCO₂を削減する手段としては、燃焼排ガスなどから回収したCO₂を原料として燃料や化学品などを製造するCCU (CO₂回収・利用) という方法がある。CO₂回収には様々な方法があり、CCS (CO₂の貯蓄) という方法もある (図2)。図3に主なCCUのフローを示す。図3よりCO₂から燃料や化学品などを製造する際には水素を必要とするプロセスが主に検討されている。そのため、CCUとは別に水素を製造しなければならない。しかし、現存の水素製造法は化石燃料等を使用するため出来るだけ避けたい。そこで、化石燃料を用いない水素製造法として再生可能エネルギーを利用した水電解がある。水を電気化学的に分解して水素を発生させる手法で、水を用いる場合と水蒸気を用いる場合がある。再生可能エネルギーを用いたCCUを利用することで、CO₂の排出量ゼロでCO₂吸収量を増加させることができる。そこで

我々は、再生可能エネルギーの有効利用に着目した。



※その他: ネガティブ・エミッション (BECCS、ブルーカーボン/マリンバイオマス、風化促進等)

図2 CO₂の回収方法 (カーボンリサイクル技術ロードマップ改訂版

<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>) をもとに作成)

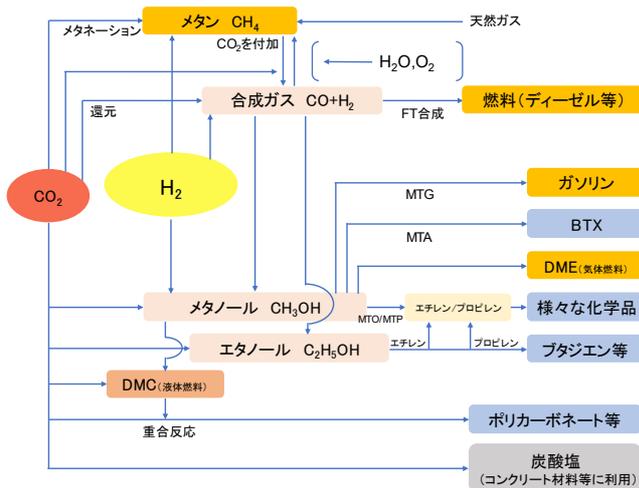


図3 主な CCU のフロー (カーボンリサイクル技術ロードマップ改訂版

<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>) をもとに作成)

茨城県の再生可能エネルギー事情を調べたところ、FIT 制度における再生可能エネルギーの導入量は全国 1 位となっている[2]。図4にエレクトリカル・ジャパン[3]をもとに計算し、作成した茨城県の水力、太陽光、風力発電、再生可能エネルギー全体、エネルギー全体の発電出力を示す。現在のバイオマス発電は、バイオマス燃料だけでは発電出力が低く、化石燃料とバイオマス燃料を同時に燃やしている。そのため、再生可能エネルギーの項目にバイオマス発電は含めていない。再生可能エネルギー全体の発電出力は約 2600MW であり、全体のエネルギーの約 16%である。残りの 84%はバイオマス発電含む火力発電、原子力発電である。そして、再生可能エネルギー源の約 95%は太陽光である。また、風力発電に関しては神栖地域を中心に陸上風力発電の導入が進み、鹿島港湾区域内では大規模洋上風力発電事業が計画されている。したがって、茨城県の再生可能エネルギー事業はかなり進んでおり、今後「脱炭素化」に向けて大いなる

働きをすることが見込める。しかし、再生可能エネルギーから発電できる電力量は、現在の化石資源燃料に比べて昼夜、天候、季節等の影響を受けるため不安定である。そのため、FIT 制度における再生可能エネルギーの導入量 1 位の茨城県でも再生可能エネルギーだけで電力消費を賄うことは難しい。また、再生可能エネルギーで得た電力は変動しやすく、逆流によるシステム電圧の障害を引き起こす可能性がある。そこで我々は、再生可能エネルギーを化学エネルギーに変換する電解を提案する。化学エネルギーに変換することで大規模かつ長期的な貯蔵が可能になる。具体的には、再生可能エネルギーで得た電力を用いて CO₂ を化成品や燃料など (CH₄ や CH₃OH) に利用できる有用物質に変換するシステムである。

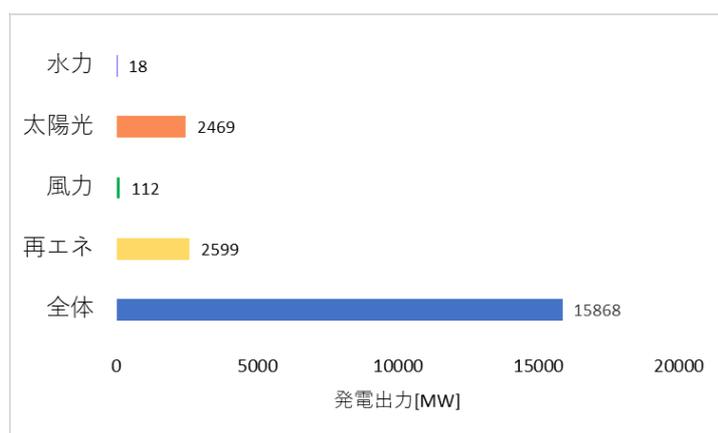


図 4 茨城県の水力、太陽光、風力、再生可能エネルギー、エネルギー全体の発電出力 ([茨城県の発電所一覧地図・ランキング | エレクトリカル・ジャパン - 発電所マップと夜景マップから考える日本の電力問題 \(nii.ac.jp\)](#)をもとに計算し、作成)

2017 年時点での茨城県の CO₂ 間接排出量は約 4800 万トンである。そのうち 6 割弱を産業系が占める。これは、全国の CO₂ 排出量における産業系の割合 (4 割強) よりも高い。また、産業系の排出量は臨海部に集中している傾向がある。例えば、鹿島臨海工業地域の年間 CO₂ 排出量 (2017 年) を見ると、神栖市で 680 万トン[4]、鹿嶋市で 550 万トン[4]になり、県全体の約 25%を占める。ここで我々は、鹿島臨海工業地域での CO₂ 排出の 90%以上が鉄鋼業と化学工業に由来していることに着目した。排出した CO₂ が仮に 10% の効率で CH₄ (都市ガス) に変換できたと仮定すると、都市ガス生成量は 180 万世帯の年間使用量に匹敵する (1 世帯、340 m³/年と仮定)。このことから、鹿島臨海工業地域での CO₂ 有効利用には将来性があると考えられる。

CO₂ から都市ガスに変換する技術はメタネーションとして知られており、国内外で実用化に向けて検討が進められている。再生可能エネルギーを利用した水電解により H₂ を生成し、これと大気中・排ガス中の CO₂ を反応させることで、CH₄ (都市ガス) を製造するプロセスである。このプロセスでは、水電解のコストが高いため、プロセス全体の運転コストが膨れ上がってしまうことが課題である。これを受けて我々は、中温域 (200 度近傍) での水電解に着目することで、プロセスコストを低減できるのではないかと考えた (図 5)。これにより、茨城県の CO₂ 排出量を削減できると期待される。まず、メタネーションが発熱反応であることに着目した。水電解自体は吸熱反応であるため、メタネーションから出てくる熱を効

率よく使うことができれば、水電解自体の効率を格段に向上させることが可能となる。また、鹿島臨海工業地域のプラントで使用することを考慮に入れると、中温域（200 度近傍）で水電解を行うことが有望である。これは、プラント内には 200 度程度の熱媒が多く存在しており、これらを流用することが比較的容易なためである。また、CO₂を化学変化させる観点からも中温域での運用が魅力的である。一般に、(電極)触媒上で CO₂は CH₄に変換されるが、200 度以上の温度が必要である場合が多い。これら 3 つの理由から、中温域で水電解とメタネーション反応を同時に行うことで、既存のプロセスよりも高効率になると我々は考えている。しかしながら、水電解を行う電気化学セルといえ、低温域（100 度以下）または高温域（600 度以上）にて運用可能なものに限定されており、中温域で運用可能な電気化学セルは次世代の技術であるといえる。これは、中温域でイオン（プロトンや OH⁻など）を伝導可能な固体電解質が実用化されていないことに起因する。

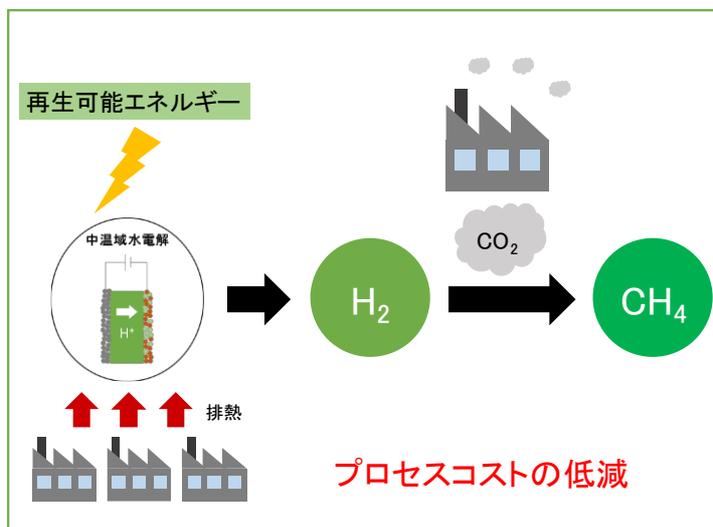


図5 中温域水電解による CH₄ 製造のプロセス

茨城県の再生可能エネルギーから中温域水電解を用いて H₂ を合成、そして鹿島臨海工業地域の CO₂ と反応させることで CH₄ や CH₃OH などの有用物質を合成することができれば再生可能エネルギーの電力、排ガス (CO₂) の有効利用が期待できる。これらは茨城県ないし日本全体にとって「脱炭素化」に大きな貢献をもたらすと考えられる。そのため我々は、中温域で運用可能な電気化学セルの開発に尽力している。2030 年までに茨城県の再生可能エネルギーの割合を少なくとも 2 倍 (3 割程度) までは増大させたい。また、2050 年には茨城県の CO₂ の排出量と吸収量を足すと実質ゼロになるカーボンニュートラルを実現しなくてはならない。そのためには、火力発電から再生可能エネルギーへの移行、CO₂ の回収・利用 (CCU) が必要である。

また、茨城県で設置に取り組んでいる洋上風力発電所等も大きな働きをもたらすと考える。前述したように、再生可能エネルギーの電力は気候などに変動されやすく不安定である。3 割程度まで再生可能エネルギーで賄うと考えると少なくとも最大 4 割程度賄えるような発電出力を確保したい。また、水電解含む CCU 技術を実用化し、火力発電や工場などで出た CO₂ をすべて回収・利用しなくてはならない。我々は、日本全体として CCU 技術に積極的に取り組むことが重要であると考えている。

- [1] [原子力発電所の現在の運転状況 | 原子力規制委員会 \(nsr.go.jp\)](http://nsr.go.jp)
- [2] [再生可能エネルギー導入可能性調査 / 茨城県 \(pref.ibaraki.jp\)](http://pref.ibaraki.jp)
- [3] [茨城県の発電所一覧地図・ランキング | エレクトリカル・ジャパン - 発電所マップと夜景マップから考える日本の電力問題 \(nii.ac.jp\)](http://nii.ac.jp)
- [4] [茨城県の自治体別エネルギー消費量・CO2 排出量ライブラリー \(e-konzal.co.jp\)](http://e-konzal.co.jp)