

九州大学における脱炭素技術の研究

Research of Decarbonization Technologies in Kyushu University

国立大学法人九州大学 学術研究・産学官連携本部教授

水野 治彦

平成4年4月 特許庁入庁、平成8年4月 審査官昇任、平成28年7月 審査管理官（特許審査第二部）、平成30年4月 審判長（審判第十部門）、令和2年4月 九州大学

1 はじめに

現在、地球温暖化の防止と持続可能な社会の構築に向けた取り組みが地球規模で進められており、これを実現するために必要な技術である排出 CO₂ ガスの削減、エネルギー転換等の脱炭素技術のブレークスルーが求められている。そして、これら脱炭素を実現する際の様々な課題を解決するために、九州大学を含む世界中の研究機関、企業等で積極的な研究開発活動が行われている。本稿では、九州大学で行っている脱炭素技術に関連する研究開発活動の一端を紹介する。また、この中からネガティブエミッションテクノロジーに関する研究開発の概要及び知財管理の取り組みを説明する。

2 九州大学における脱炭素技術の研究

九州大学における脱炭素技術に関連する様々な研究活動の中では、水素エネルギー研究教育拠点における水素エネルギーに関する研究、及び環境に調和した持続可能な社会の創生に貢献するためにカーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（I²CNER）で行われている低炭素排出、経済効果の高いエネルギーシステムの構築やエネルギー効率の向上等に関する基礎研究が知られている。

脱炭素社会におけるキーテクノロジーの一つといわれる水素エネルギーに関する研究開発を行う水素エネルギー研究教育拠点は、水素エネルギー国際研究センター、水素材料先端科学研究センター、次世代燃料電池産学連

携研究センターを中核とした研究拠点であり、燃料電池の研究開発をはじめとして水素エネルギーを安全に利用するための技術の開発と普及を進めるための活動を推進している。また、水素エネルギー研究教育拠点は、水素エネルギー分野の人材育成の推進、及び基礎基盤研究から産学連携並びに社会実装の実現に至る研究を一体的に行い得る施設及び体制を整え、他の研究機関及び地域との連携により水素エネルギーを利用した脱炭素社会を実現するための包括的な取り組みを行っている。

I²CNER では、例えば工場及び火力発電所の排出ガスに含まれる CO₂ ガスの効率的な回収、回収した CO₂ ガスの燃料等の付加価値を有する他の材料への効率的な変換、回収した CO₂ ガスの効率的な貯留及び貯留中の CO₂ の漏れを防止する方法の開発等の基礎研究で世界トップクラスの成果を生み出している。また、I²CNER は産業界とも積極的に連携しており、50 を超えるプロジェクトで技術移転を通じた製品化・事業化を行うなど、多くの研究成果を社会に還元している。次に紹介するネガティブエミッションテクノロジーの研究開発についても、I²CNER で行われた様々な基礎研究の成果をさらに発展させ、実現を目指すものである。

3 ネガティブエミッションテクノロジー（NETs）

植林、BECCS（Biomass Energy with Carbon Capture/Storage）のように、過去に排出され大気中に蓄積されている CO₂ ガスを回収・除去する技術がネガティブエミッションテクノロジーである。パリ協定で

合意された2度目標（工業化以降の世界全体の平均気温の上昇を、セ氏2度を十分下回る水準に留める）を達成するためには、CO₂ガスの排出量を抑制することに加え、既に大気中に蓄積されたCO₂ガスを回収することが必要不可欠であり、ネガティブエミッションテクノロジーは地球温暖化を抑止するきわめて重要な技術として、世界中で実用化及び普及をするための様々な研究開発が行われている。

ネガティブエミッションテクノロジーには、植林、BECCSの他に海藻吸収（Costal Blue Carbon）、岩石風化（Accelerated Chemical Weathering of Rock）、土壌炭素（Soiled Carbon）、DAC（Direct Air CO₂ Capture）などの方式があり、この中で大気中のCO₂ガスを直接分離して回収するDACはCO₂ガスの回収ポテンシャルが高いことから、研究開発及び投資が増加している分野である。

九州大学では、排出ガスから選択透過膜を用いてCO₂ガスを分離・回収をする際のコストを下げるため、選択透過膜のCO₂透過性を改善する研究を行ってきた。そして、透過膜の膜厚を薄くすることによってCO₂透過性が改善できることを見出し、最もガス透過性の高い材料を用いて超薄膜を形成する取り組みを進めた結果、高性能の選択透過膜を開発した。新たに開発された選択透過膜は、厚さ34nmと非常に薄くCO₂透過量が40,000GPU以上（従来は2,000～3,000GPU）のポリジメチルシロキサン（PDMS）ナノ膜で、この選択透過膜を利用することによって、大気のようなCO₂濃度が極めて低いガスからもCO₂ガスが分離できることも確認された。



図1 世界最高性能のCO₂透過性を持つ自立ナノ膜

この高性能の分離ナノ膜の開発によって、これまで実

用化が困難とされていた膜分離方式によるDACの開発を目標とした研究を進めることが可能となった。大気中のCO₂ガスを直接分離する主な方式として、溶液を用いて分離する溶液吸収法、ゼオライト等の吸着材により分離する固体吸着法と選択透過膜を用いる膜分離方式がある。これらの方式の中で実用化が先行しているのは溶液吸収法であり、海外で建設がされているDACの施設は溶液吸収法が採用されている。一方、膜分離方式はCO₂回収コストが他の方式の半分程度である等の優れた特徴を備え、開発が進むことによって普及が急速に進むポテンシャルがある。今般九州大学で開発された高性能選択透過膜は、膜分離方式によるDACの実現という、ネガティブエミッションテクノロジーの社会実装に向けた新たな可能性を示したものと見える。

4 DAC-U システムの開発

高性能な選択透過膜を利用して新たに九州大学で開発を行っているシステムがDAC-U（Direct Air Capture and Utilization）システムである。これは高性能選択透過膜を有する膜分離ユニットで大気からCO₂ガスを分離、回収し、CO₂変換触媒ナノ粒子を備えた電気化学的／熱化学的CO₂変換ユニットで回収したCO₂ガスを電気化学的に連続変換してメタン、アルコールなどの有用な炭素物質を生成する、大気中のCO₂ガスの回収からグリーン燃料などの有用な炭素材料の製造を連続・一貫して行うシステムである。電気化学的／熱化学的CO₂変換ユニットで用いるCO₂変換触媒ナノ粒子も九州大学で開発されたものであり、DAC-Uシステムの開発は、九州大学で開発されたデバイスを融合して進化させるものと見える。

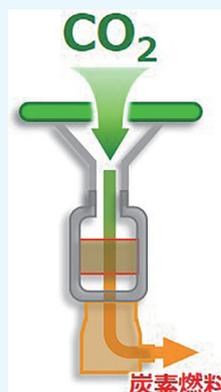
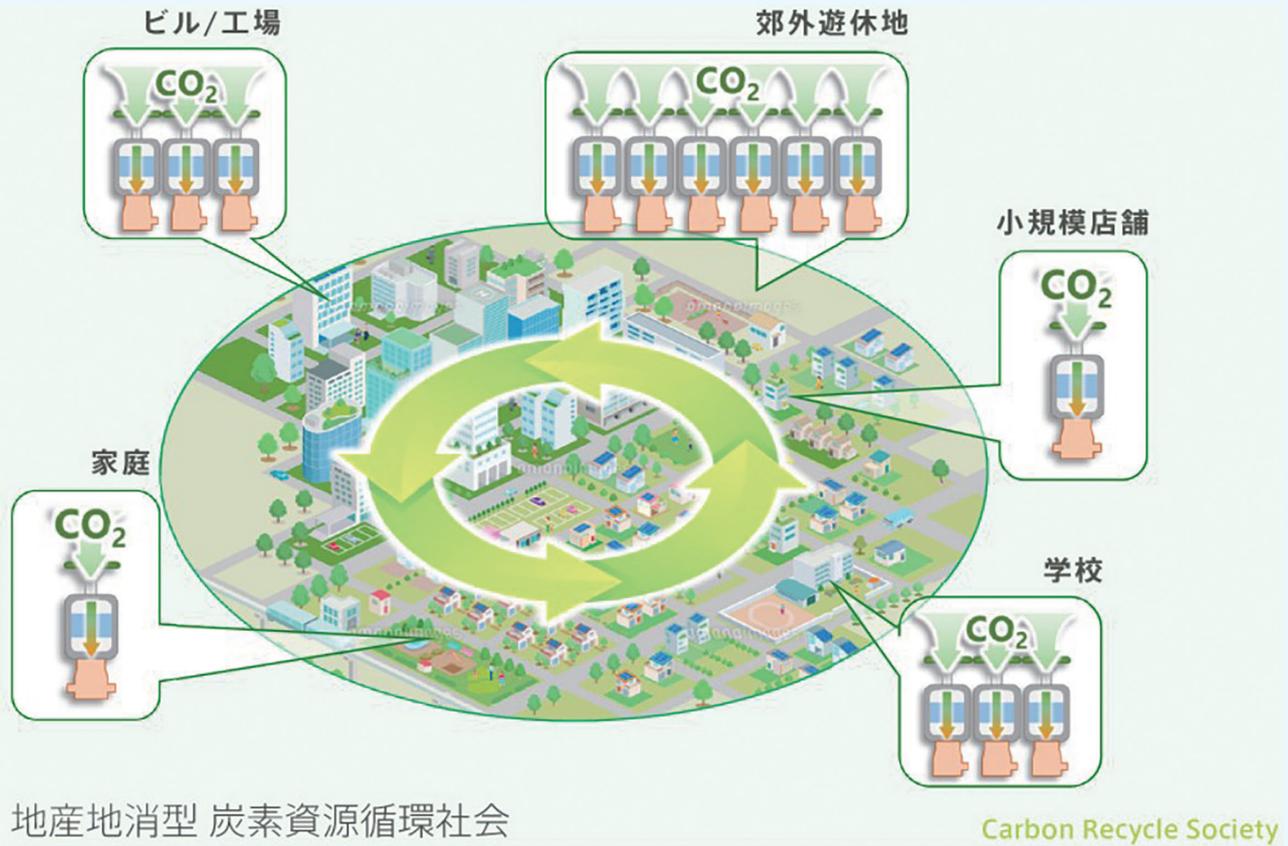


図2 DAC-U システムの概念図



地産地消型 炭素資源循環社会

Carbon Recycle Society

モジュール方式の利点

- ・要件に応じて性能を柔軟に調整・調節可能
- ・大規模導入に比べて導入リスクを低減
- ・普及によって短期間での多数導入が期待
- ・ユニット単位で交換可能なためシステム更新負荷が低い

図3 地産地消型炭素資源循環社会イメージ図

膜分離ユニットと電気化学的／熱化学的 CO₂ 変換ユニットとからなる DAC-U システムの基本ユニットは概ねエアコンの室外機大の大きさであり、設置する場所の広さ或いは特徴に応じて必要な数の基本ユニットを配置することができる。これによって、DAC-U システムは、基本ユニットの数を変更することでサイズの調整が可能というサイズ拡張性を備え、これを生かして複数の設置場所のそれぞれの広さに応じてサイズの基本システムを分散配置し、必要な CO₂ 回収能力及び炭素材料の生産能力を得ることも可能となる。このような特徴によって、DAC-U システムは地域等の持つ様々なニーズに柔軟に対応した施設を構築することが可能となる。先行する溶液吸収法の場合、採算性を高めるためには施設の大規模化が必要であり、また、溶液処理施設の設けることから設置場所が制約される。これと比べ、DAC-U システムの持つ柔軟性は、実用化の利点となり得る。そして、この機能と特徴を生かすことによって、地域でエネルギー、炭素資源を自給できる地産地消型の

炭素資源循環社会を実現することも可能である。

DAC-U システムの実用化には、システム自体の完成の他に、システムを社会実装する過程で社会的に生じる課題も検討する必要がある。例えば、システムを稼働するためのエネルギーを低コストで安定的に確保して供給すること、DAC-U システムを社会に定着させるための社会システム工学の観点からの検討である。こうした課題を解決するため、九州大学はネガティブエミッションテクノロジー研究センター（センター長：藤川茂紀教授）を2021年4月に設置し、DAC-U システム等のネガティブエミッションテクノロジーを実用化等、炭素資源循環社会、さらには大気中の CO₂ 濃度が恒久的に削減された「ビヨンド・ゼロ社会」の実現に向けた研究活動を行っている。

5 DAC-U システムと知財管理

DAC-U システムを実現するためには、様々な解決す

べき技術的課題が残されている。例えば、電気化学的／熱化学的 CO₂ 変換ユニットで炭素物質を生成するためには、膜分離ユニットで回収した CO₂ ガスを濃縮して、変換を可能とする濃度の CO₂ 混合ガスを得る必要がある。また、大気中の O₂ を含む濃縮した CO₂ 混合ガスから炭素物質を得るためには酸素共存化で CO₂ ガスを還元することも求められる。こうした技術的課題を克服するため、九州大学を代表機関とした 8 機関の連携による CO₂ の最先端ネガティブエミッションテクノロジーの確立と社会実装を目的とした共同プロジェクト“Moonshot for beyond Zero Emission Society (MOZES)”において DAC-U システムの研究開発が進められている。DAC-U システムは九州大学におけるこれまでの研究成果を融合し、さらに他機関との連携で開発が行われるものである。

こうしたプロジェクトの研究成果の社会実装を円滑に進めるためには、成果の知的財産保護及び運用を適切に行う必要がある。MOZES の場合、創出される知的財産権は全て MOZES のポリシーに基づき九州大学に設置した知財運営委員会でマネジメントされている。そして、九州大学は、MOZES をプロジェクト独自の知財戦略に基づく知的財産の管理と運用を一定の条件の下で認める知財特区として承認をすることで、独自の知財管理活動を支援している。このような取り組みにより、DAC-U システムの実用化が効果的に進むことが望まれる。

6 脱炭素技術と特許情報

本稿では、九州大学が進めている脱炭素技術の研究開発を紹介したが、最後に、脱炭素技術の研究開発からみえる特許情報の価値について私見を述べる。

脱炭素技術については、次の特徴があると考えられる。一つは、本稿における紹介からもわかるように、脱炭素技術はきわめて多様な技術を含む幅広い技術的概念といえることである。例えば、ネガティブエミッションテクノロジーは、脱炭素技術における一つの技術領域であるが、その中には多くの方式が含まれている。また、CO₂ ガスを大気から回収する技術と回収した CO₂ ガスを新たな炭素資源に変換する技術を融合させる DAC-U システムの様に、幅広い分野で開発された技術を融合させる

ことで新たな技術領域が創造されるという一面もある。さらに、燃料電池の開発によって次世代燃料電池自動車、電動航空機等の脱炭素技術を用いた輸送機器等の開発が促進させるように、技術領域のすそ野も広がることも予想される。このような脱炭素技術の持つ多様性は、今後も様々な分野と技術と関連してより広がるものと考えられる。

また、脱炭素技術の研究開発はこれまでと異なるニーズ、技術的課題を解決するために、これまでの技術常識を超えた新規技術を創出し、或いは技術の融合がなされることも特徴の一つである。この観点からは、脱炭素技術の開発は、新たな技術体系を構築するものといえる。脱炭素技術の普及によって今後の産業構造及び経済活動が変容してゆくことを想起すると、新たな時代の技術標準を示すものと考えるのが自然であるかもしれない。

こうした脱炭素技術の動向は、特許情報を調査することで網羅的かつ効率的に知ることができると思われる。特許制度において保護が可能な技術の幅は広く、脱炭素技術の多くが権利保護のために特許出願を行うことが予想されることから、脱炭素技術の概要及び体系を把握するためには特許情報の分析が効率的である。

重複研究の排除、効率的な課題発見等によって研究開発を合理的、効果的に進め、発明を適切に保護するために特許情報を調査することは、効率的な研究マネジメントと研究成果の効果的な社会実装を実現するために有用である。今後、出願の増加が予想される脱炭素技術は、特許情報を分析することで研究開発の方向性の特定、権利化及び社会実装を効率的に行うことができると考えられる。さらに、特許情報に対するアクセスの向上及び活用手段が進化することで脱炭素技術の特許情報はより価値を高まるものが予想される。

脱炭素技術の研究開発及び社会実装において、特許情報がより貢献できることを期待したい。