(資源経済小特集)

地球エコシステム具現化に関する調査・研究* — CO₂ 分離・地中隔離・エココンビナートの導入—

久留島 守広¹

Basic Study on CO₂ Separation/Geological Sequestration/Bio-factory as the "Earth Eco System" for Industrial Use

by Morihiro KURUSHIMA^a

a. Prof. New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), (Corresponding author: E-mail kurushimamrh@nedo.go.jp)

"Earth Eco System" is essential for the sustainable development in the near future. From 2001, NEDO, Japan started the project with universities and industries on innovative ceramics absorbent material and the CO₂ recovery system for Geological Sequestration.

This material is a powdered substance named lithium silicate, a combination of lithium that easily reacts with CO₂. As the reaction formula is $\text{Li}_4\text{SiO}_4 + \text{CO}_2 = \text{Li}_2\text{SiO}_3 + \text{Li}_2\text{CO}_3$, repeated recovery and recovering of CO₂ is possible. It absorbs CO₂ at a high temperature around 500 to 600 degrees centigrade (C). The reaction heat can be recovered and reused for generation of steam and electricity. Applying effectively to industrial heat and power systems, this material may enable significant reduction of CO₂ emissions with a small energy penalty.

As 80% of the world primary energy is dependant on fossil fuel, it is essential to address large-scale emission sources to achieve the reduction targets set by the Kyoto Protocol of COP3. Even though promotion of utilizing renewable energy, energy conservation, fuel conversion to natural gas, etc. are important measures for reducing CO₂ emissions, sustained utilization of fossil fuels including coal resources cannot be denied from the viewpoint of efficient use of resources. For this reason, the implementation of an effective CO₂ recovery and sequestration system is the key to efficient use of fossil fuel for the sake of the global environment.

CO₂ separation/geological sequestration/bio-factory as the "Earth Eco System" for industrial use should be the major way to establish the sustainable energy system by using fossil fuel including coal resources for the global environment.

KEY WORDS : Environment, Earth Eco System, CO₂ Separation, Geological Sequestration, Bio-factory

1. はじめに

1997年気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)が京都で開催され、先進各国は温室効果ガスの大幅削減(90年比2010年平均目標:日本は-6%, EUは-8%, 米は-7%他)を約束した。

また、地球温暖化問題は、①「将来の危機ではなく現に今ある危機」であり、②上記削減目標(京都議定書)の実施規則が、2001年のCOP7で定められ、さらに③各国政府・企業は「新たなグローバル・スタンダード」として戦略的に活用しようとする姿勢が視えること等から、本分野におけるわが国の技術戦略として短・中期的に産業技術に組込むテーマについて選択と集中が必要である。

このような状況において、「地中隔離技術」が21世紀の地球環境技術戦略の要として注目を浴びており、海外においては①ノルウェー北海油田(洋上で天然ガスからCO₂分離・海底下注入)及び②カナダ油田(米国石炭ガス化プラントからCO₂を回収し、パ

イプライン輸送の上油田増産に利用)等で既に事業化がなされている。

2. 背景

温室効果ガス削減の技術的メニューに関し、①省エネルギー、②新エネルギー及び③原子力・天然ガスへの燃料転換などにつき、導入促進への努力が国内外で行われている。しかしながら、発展途上国では引き続き増大するエネルギー需要を化石燃料に依存すること等から、世界のエネルギー供給の見通し(OECD/IEA「World Energy Outlook 2002 Edition」)では、2020年でも再生可能エネルギーの割合は10.0%(廃棄物発電等を含み水力を除く)と限られている(2000年実績では同11.5%)。

この見通しでは、現在(2000年実績で、石炭・石油・ガス等で79.5%)及び将来(2020年見通し同83.5%)とも大部分は化石燃料に依存するとされている。

このため、④化石燃料からのCO₂の回収・利用をわが国はもとより、発展途上国も含めた世界における短・中期的な対応の柱とすることが不可避であろう。

ここでは、メジャーなエネルギー供給源への対応と地球全体を活用するものとして「地球エコシステム」と仮称してみたい。

* 2003年11月10日受付 2004年1月29日受理
1. 普通会員 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
[著者連絡先] FAX 044-520-5190 (NEDO・久留島)
E-mail: kurushimamrh@nedo.go.jp

キーワード: 地球環境, 地球エコシステム, CO₂ 分離, 地中隔離, エココンビナート

3. NEDO/東京農工大/東芝/日建設計(株)における取組み

(1) 概要

筆者らは、主として次の研究に取り組んでいる。

① CO₂ 分離・回収技術(脱炭技術)

CO₂ 分離・回収のためにはエネルギーが必要であり(エネルギー・ペナルティ)そのためのコストも発生する。これらを極小化し、社会システムとしての導入を可能とすべく「セラミック粒子を活用した物理的吸着法」の研究を実施。

② CO₂ を活用する植物工場「地球環境工場」

CO₂ 有効利用のため農業生産の成長促進に利用し、太陽光の集約的利用を可能とする「光ダクト」を活用した温室等の農業施設において、CO₂ リサイクルに関する研究を実施。

(2) CO₂ 分離・回収技術(脱炭技術)

① 目標

(株)東芝は、体積の400倍の二酸化炭素を吸収できる画期的なCO₂ 吸収セラミックスを開発した。この材料は、二酸化炭素と反応しやすいリチウム(Li)と腐食しにくいシリカ(SiO₂)とを組み合わせたリチウムシリケート(Li₄SiO₄)という粉末状の物質で、反応式: $\text{Li}_4\text{SiO}_4 + \text{CO}_2 = \text{Li}_2\text{SiO}_3 + \text{Li}_2\text{CO}_3$ により二酸化炭素の吸収・再生を繰り返し行うことができる。この吸収材のCO₂ 吸収温度は500～600℃と高く、反応熱は回収して蒸気発生や発電などに再利用できるので、この吸収材を活用して産業用ボイラーや火力発電からの排煙中のCO₂ 排出量を、小さなエネルギー・ペナルティで大きく削減できる¹⁾。

このため、筆者らは、火力発電システムなどからのCO₂ 排出量削減を目的に、セラミックス吸収材を用いた次世代二酸化炭素回収・利用システムの研究開発につき、特許出願を行うとともに、先導研究を行っている²⁾。

この目標は、本セラミックス吸収材に最適なプロセスを提案し、パイロットプラント(特に、吸収器や再生器)概念設計を行うことである。これにより、本セラミックス吸収材を用いたプロセスが、従来方式に比べてCO₂ 回収に伴うエネルギー・ペ

ナルティが小さく、前述の地中隔離、農業利用等と組み合わせることにより、社会システムとしての実用性を有することを検証することにある。

② 研究の現状

現在、(株)東芝、東京農工大学及びNEDOの共同研究として、(株)東芝が開発したCO₂ 吸収セラミックス「リチウムシリケート(Li₄SiO₄)」の提供を受け、化石燃料を燃料とする火力発電プラントへの適用プロセスを対象として、熱力学データに基づいて熱/物質収支検討を行っている。

この手法は、(i) 小型装置による反応特性基礎試験(図1)とともに、(ii) 基礎試験データに基づく実規模反応器の性能予測法の確立を行い、これらデータから実用プラントの性能を予測する手法を確立する。これらに基づき、パイロットプラントの概念設計や評価を行う。

これまでの結果では、図2に示すように短時間(約1～2分)で所要の吸収がなされる目処が得られた³⁾。

今後、これらの結果を基に、実験プラントの概念設計へ向けたシミュレーション等を行い、実用化へ向けたエネルギー及びコスト試算を行うこととしている。

(3) 回収CO₂ を活用する植物工場「地球環境工場」の概念確立等

① 目標

(株)日建設計は、居室用高効率光ダクトシステムを開発し、人工光に代わる照明設備の実用化を可能とした。

回収CO₂ を固定し、かつ有効利用できる手法として生物的固定(バイオマス・エネルギー、植林などが知られている)を挙げることが出来るが、生物的固定を効率的に行うには、自然光や熱を効率的に利用する必要がある。このため、回収CO₂ の施肥、光ダクトシステムを利用した自然光の高密度化利用、および廃熱を効率的にできる植物工場「地球環境工場」の概念を確立し、この構想を展開したCO₂ 利用生物生産工業団地(エココンビナートと仮称し、その概念を図3に示す)の実現性について検討し、その構想を具体化する。さらに、前述のCO₂ 分離・回収技術(脱炭技術)と地中隔離等と組み合わせることにより、地球エコロジーシステムとしての実用性を有することを検証する。

② 研究の現状

現在、(株)日建設計及びNEDOの共同研究として、高効率光ダクトシステムを植物工場、事務所、地下施設等に広く適用するための諸条件の抽出、コスト試算及びCO₂ 排出抑制効果の試算等を行っている。

さらに、この研究開発では栽培対象を数品目に限定して、そ

図1 反応特性基礎試験実験装置

図2 CO₂ 吸収速度の変化: Fluidizing gas N₂-16wt%CO₂

図3 エココンビナートの概念(素案)

表1 わが国におけるCO₂大規模発生源

	年間排出量(炭素換算)		排出ガスの特性		
	排出総量 (1999年度)	1箇所あたり	CO ₂ 濃度	その他排ガス中物質	排ガス温度
石炭火力発電所(電力事業)	3,831万t	(平均規模) 約64万t (大規模) 210~280万t	13~15%	・SOX: 30~70ppm ・ダスト: 5~25mg/Nm ³	100度前後
石油火力発電所(電力事業)	1,695万t	(平均規模) 約9.8万t (大規模) 180~250万t	12~13%	・SOX: ~100ppm	100度以下
天然ガス火力発電所(電力事業)	2,790万t	(平均規模) 約24万t (大規模) 100~130万t	8~10%	不純物は少ないが、水分が15~17%と多い	100度前後
一貫製鉄所(高炉+転炉)	3,585万t	(平均規模) 約84万t (大規模) 93万t	高炉ガス:22% 熱風炉ガス:27%	高炉ガスには、CO、H ₂ の含有量が高い	数百度
セメント工場(キルン保有工場)	887万t	(平均規模) 約46万t (大規模) 95万t	23~37%	・SOX: ~30ppm ・ダスト: 50mg/Nm ³ 程度	100度前後

【出典:各種資料を基に当機構で作成】

の栽培品目による、高効率光ダクトシステムの適用方法及びCO₂濃度の差異による植物成長促進効果の検証など、小規模温室・チャンパーを利用し計測を行っている。現在まで、レタスなどの葉野菜においては、CO₂濃度を高めると収穫量が大幅に増大するなど顕著な差異が確認された。

4. 事業化の展望

上記のシステムの社会への導入において、その前提となる地中隔離の対象フィールドについて、NEDOにおけるわが国の調査結果から、貯留能力の高い帯水層が日本海側北部沿岸及び太平洋沿岸全域に存在することが確認されている。この構造性帯水層が確認された地域は、陸域16カ所、海域13カ所の計29カ所におよび、その隔離能力は約15億CO₂tと見込まれる。(各機関の過去の試算によると最大約880億CO₂tとも言われている。)

これらにフィールドに、上記システムを適応することにより、国内の大規模発生源から排出されるCO₂を分離・回収し地中隔離を行うと仮定する。1990年の温室効果ガス排出量CO₂換算1233百万tを基準とした削減目標6%の約2割、年間15百万t(全体の約1.2%)をこのフィールドに適応すると仮定しても、これらフィールドに約100年分に当たる膨大な量の地中隔離が可能となる⁴⁾。

また、わが国における石炭火力発電所・製鉄所等大規模発生源について集計した。その一覧表を表1に示す。これらの大規模発生源の大部分は、前述の29ヶ所におよぶ構造性帯水層が確認された地域から数百kmの範囲にある。このため、次の課題の克服を前提として、わが国の産業システムとして今後の導入の可能性が高く、そのための技術開発の体制・事業化に際して費用負担のあり方など推進方策を今後とも示していきたい。

① 社会的受容性・法的整合性の確保

CO₂の地中への注入については、前述のとおり海外では既実用化されているものの、科学的・技術的な知見をさらに集積し、環境影響評価やリスク評価を積重ねるとともに、より簡便で有効なモニタリング技術を確立することが重要である。

現在、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)において、分離・隔離技術に関する特別報告書の作成作業が進められている。この中では個々の技術の現状を整理するだけでなく、リスク評価や環境影響評価等の社会的合意形成を図る上で欠かせない項目についても議論される予定である。

② 経済性の確保

隔離技術についてのコスト試算は国内外で実施されているが、NEDOの調査資料によると、分離・回収から隔離に至るまでのトータルコストは、地中貯留(LNG複合発電から化学吸収法によりCO₂を分離回収した後、パイプラインで100km輸送

後、帯水層に隔離した場合)では、約 6,800 円/t CO₂ と試算される。特に、トータルコストのうち約 60 ～ 70% 程度を占めるのが分離コストであり、また、その所要エネルギー(エネルギー・ペナルティ)も、多くの部分が分離のプロセスで発生する。(実用化されている化学法のエネルギー・ペナルティは、OECD/IEA によると約 25% と報告されている。)

上記の CO₂ 分離・回収技術(脱炭技術)は、このエネルギー・ペナルティの数 % まで低減が可能であり、今後の技術開発によりシステムが確立され、前述ような導入への制度が整備されたならば、省エネルギー、新エネルギー、燃料転換などに次ぐいわば第四の路が拓ける事になる。

これら技術が、まさに環境の世紀を支えるキー・テクノロジー

「地球エコ・システム」となることを期待し、全力を傾注する所存であり、関係各位のご意見・ご助言を頂ければ幸いである。

References

- 1) K. Nakagawa: Kagaku-to-Kogyo, **53**(1999), 285.
- 2) K. Kuwaki, M. Horio, M. Kurushima, K. Nakagawa and K. Murata: CO₂ Kyusyu-seramic wo motiita Tansan-gas Koukouritsu Kaisyu-system wo motiita Tansan-gas Koukouritsu Kaisyu-system no Gainen-sekkei, Kagaku-kougakukai, (2000).
- 3) T. Kimuta, M. Horio, K. Nishimura and T. Nagashima: CO₂ kyusyu Process you Eki-sou-hoji-gata-ryushi no Sekkei-seisaku oyobi Tokusei-hyouka, Kagakukougakukai symposium, (2002).
- 4) M. Kurushima: Shakai-system toshiten CO₂ Bunri Chichu-kakuri nikansuru Kisoteki Kenkyu, Energy-Shigen gakkai, (2002).