

CIGS 国際シンポジウム
「Geoengineering and CCUS:
Their Role in Managing Climate Change Risks」
【シンポジウム要旨】

キャノングローバル戦略研究所
研究主幹 杉山 大志

日時：2019年10月8日（火）13：30～16：00
会場：東京大学弥生講堂 一条ホール

以下は、CIGS 国際シンポジウム「Geoengineering and CCUS : Their Role in Managing Climate Change Risks」における講演及び討論の結果を、筆者の文責においてまとめたものである。

直接空気回収技術 (Direct Air Capture, DAC) およびソーラー geoengineering (Solar Geoengineering) の順に書く。

1 直接空気回収技術 (Direct Air Capture ; DAC)

DAC とは、大気から CO₂ を回収し、地中に貯留する技術である。David Keith 氏が所属する Carbon Engineering 社では、図 1 のようなシステムを考案し、要素技術の開発をほぼ終え、システムとしての実証事業に着手しつつある。

このシステムは大気中の CO₂ (現在は約 0.04%、将来的には 0.06%程度を想定) を、98% の純度まで高めるものであり、回収された CO₂ は地中にポンプで圧入する。

設計の特徴は、他産業で確立した技術を転用することで、技術開発および設備費用を低くすることである。基本的なアイデアは、CO₂ は酸であることから、アルカリで吸収するというもの。

CO₂ の回収は 2 段階で行われる。第 1 段階は、水酸化カリウム (KOH) で大気中の CO₂ を回収する。この際に用いられる設備は、排熱処理設備を改造したものである (図 2)。すなわち、工場などで多く見られる排熱処理設備は、温水をシャワーのように落として外気で冷却するところ、この湿式 CO₂ 回収設備では、KOH 水溶液のシャワーを落とし、そこに外気を通すことで、空気から CO₂ を回収する。

その CO₂ をペレット反応器でカルシウムに受け渡すと、炭酸カルシウム (CaCO₃) が得られ、その CaCO₃ を 900°C の高温で処理すると CO₂ が得られる。最後の工程は、これも広く工業用に普及している流動層鉱石焙焼炉を転用している (図 3)。高温で炭酸カルシウムから CO₂ を追い出す反応は、セメント製造工程において石灰石から生石灰を生成するのと同じものである。

Direct Air Capture – Chemical Looping, CO₂ from 0.06 → 98%

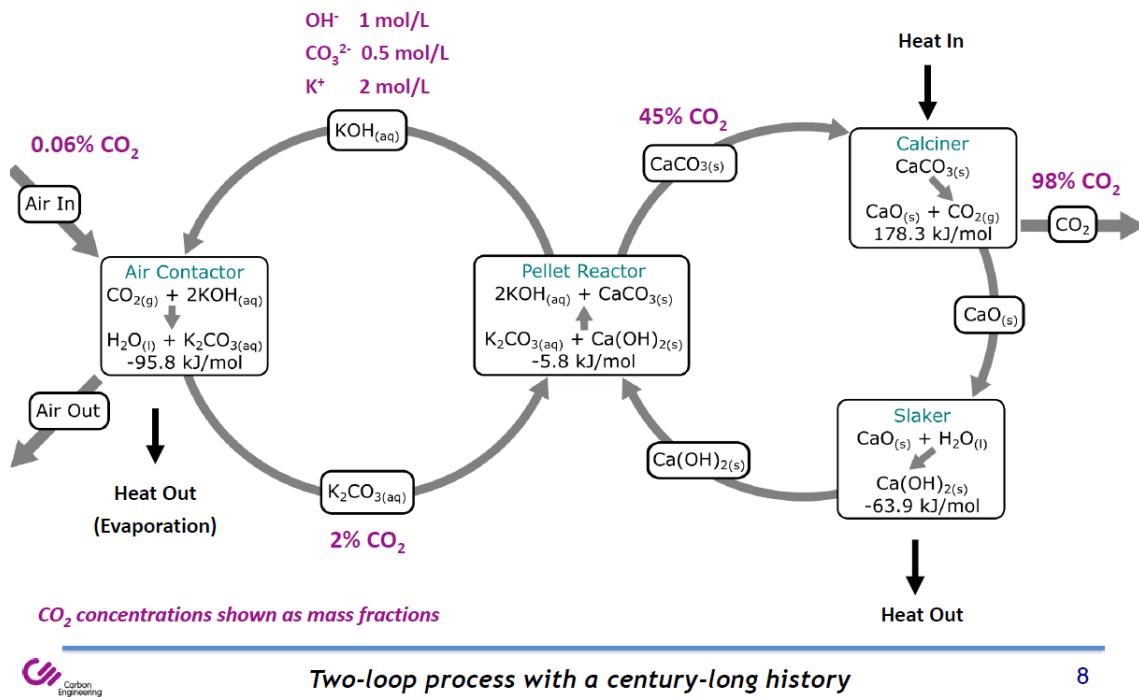


図1 Carbon Engineering 社の提案する DAC システム (Keith 氏講演資料より)

Aqueous Air Contactor



図2 DAC で用いる CO₂ の湿式回収装置 (Keith 氏講演資料より)

Calciner – Design



図3 DAC で用いる流動層鉱石焙焼炉 (Keith 氏講演資料より)

以上のシステムについて、その性能を試算したものが表1である。A から D まで4つの試算があるが、C を見ると、113~163 ドル/tCO₂程度でCO₂を回収できるとしている。

この前提としては安価な電力(3~6 セント/KWh)、ガス(3.5 ドル/GJ)の供給がある。また回収したCO₂の圧入にもコストがかかるが、これは貯留の適地が近くにあれば、さほどは大きくならない。

DAC と CCS (Carbon Capture and Storage, CO₂を回収して地中に貯留する技術)を比較するとどうか。DAC はCO₂濃度が0.04%と極めて低い大気からCO₂を回収して濃度を高めるので、CCSによって火力発電所からの濃度の高いCO₂を回収・濃縮するのに比べて、熱力学理論的には不利である。しかし、立地地点を貯留の容易な場所に出来ること、既存の発電所等に隣接する必要がないことは、大きなメリットになる。加えて、DAC も CCS も熱力学理論による限界からは何れも遠いことから、エンジニアリング的に低コストで実現できるかどうかがかぎとなる。

安価なエネルギー供給と貯留に適した立地地点は、米国等の大陸諸国には多く存在する。残念ながら日本は適地に乏しい。ありうる日本の当面の寄与としてはプラントエンジニアリング等の技術によるものが主となるだろう。

Summary performance of various DAC configurations

Scenario	Gas input ¹ GJ/tCO ₂	Electricity input ¹ kWh/tCO ₂	C-gas/ C-air	Capital \$ per t-CO ₂ /yr	O&M ² \$/t-CO ₂	Levelized ¹ \$/t-CO ₂	
						7.5% CRF ³	12.5%
A: Baseline: gas fired → 15 MPa CO ₂ output	8.81	0	0.48	1,127	37	168	232
B: Baseline with N th -plant financials	8.81	0	0.48	779	26	126	170
C: Gas and electricity → 15 MPa CO ₂ output	5.25	366	0.30	778	26	113-124	152-163
D: Gas & electricity input → 0.1 MPa CO ₂ output assuming zero cost O ₂	5.25	77	0.30	683	23	94-97	128-130

表1 DACの性能 (Keith氏講演資料より)

では、取らぬ狸の皮算用のようでもあるが、仮に1トンCO₂あたり150ドルでDACが活用できるならば、大規模に実用化した場合の市場規模はどの程度だろうか。

日本のCO₂排出の1割程度の0.1 Gt CO₂を対象とすると、総額で\$15 G/year = 150 億ドル/年 = 1.5 兆円/年となる。

これは巨額だけれども、現在の再生可能エネルギー賦課金が年間3兆円に達していることと比較すると、不可能な数字ではないと分かる。

以上は日本だけを対象にしていたが、もしも地球規模であればこの30倍になり、またCO₂排出量の1割ではなく3割を対象とするならばさらに3倍になる。すると、地球全体のCO₂排出の3割に相当する量をDACで回収すると150兆円/年程度ということになる。

なお以上で紹介したDACのシステムの最大の弱点はCaCO₃を900°Cの高温で処理しなければならないことで、ここで多くのエネルギーが必要になっている(178.3KJ/mol: 図1)。セメント産業がエネルギー多消費産業とよばれ、それと類似の工程を用いていることから、この工程がエネルギーを多く消費することに納得できる。CaCO₃を用いない代替案も検討されているとのことであり、さらなるコスト低減の可能性が期待される。

2 ソーラージオエンジニアリング (Solar Geoengineering)

1991年にピナツボ火山が噴火(図4)した後、1993年にかけて地球の平均気温は約0.5°C低下した。この影響で、日本でもコメが不作になり、タイから緊急に輸入するなどの「平成の米騒動」が起きた。



図4 ピナツボ火山の噴火、1991年

<https://pubs.usgs.gov/fs/1997/fs113-97/>

この原理を活用して、温暖化する地球を冷却化しようというのがソーラージオエンジニアリング (Solar Geoengineering) である。

具体的には、飛行機を成層圏 (上空 2 万メートル以上) に飛ばし、硫酸エアロゾルを噴霧する。これは通常の温暖化対策に比べてはるかに安価で、CO₂ 1 トンあたりのコストに換算すると 0.5 ドル/t CO₂ で実施できると試算される (Keith 氏講演資料)。

ただし、これは CO₂ 排出削減が不要という意味ではない。ソーラージオエンジニアリングは、あくまでそれらの通常の温暖化対策を補完するものと位置づけられる (図 5)。

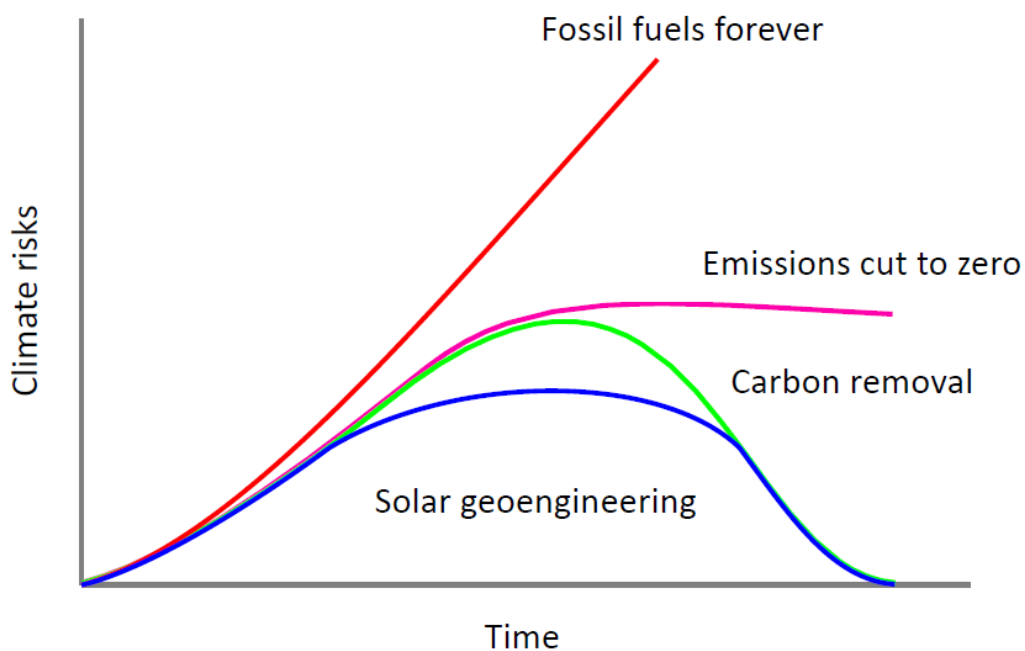


図5 ソーラージオエンジニアリングの位置づけ

排出削減(Emission cut)および DAC 等による CO₂ の大気からの除去(carbon removal)を補完するものである (Keith 氏講演資料)。

ソーラージオエンジニアリングを巡っては、副作用の可能性が指摘されている。のみならず、道徳的な問題、国際的にどのように管理するかというガバナンスの問題も指摘され、タブー視する人も多い。

これまで 20 年間の研究においては、ソーラージオエンジニアリングには地球を冷却化する効果があり、副作用も殆ど無いとされている。しかしなお、科学およびエンジニアリングの両面について更に深掘して検討しないと、果たして実用に耐えるかどうかはまだ何とも言えない。基礎研究を実施して知見を深め、将来世代が最良の情報に基づく利用の判断を出来るようにすることが望ましいだろう。

以上