

原子力利用のカーボンネガティブ・ エネルギーシステム

—地球気候工学分野で国際的に注目—

堀 雅夫

原子力システム研究懇話会が昨年発行した NSA コメンタリー別冊シリーズ「再生可能エネルギーと原子力による—カーボンネガティブ・エネルギーシステム—地球環境の回復と持続的エネルギー供給」(著者:堀雅夫)が、ジオエンジニアリング分野の世界の重要資料の 1 つに選ばれた。

ジオエンジニアリング(気候工学)とは大気中 CO₂ の除去などにより地球環境の改善を図る技術で、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)や気候変動枠組条約締約国会議(COP)での温暖化の評価や対策に関連して最近非常に多くの研究/発表が行われている。

世界の気候工学の関係者が Google 社のメール同報配信システムを利用して情報交換や討論など活発な技術交流を行っている。このグループ¹が、2015 年 1 年間に広く議論されたり新しい知見を提示した重要資料(研究報告、レビュー記事、論説、討論資料、影響力のある新聞記事など)約 60 件のリストを年末に発表した。その 1 つに「カーボンネガティブ・エネルギーシステム」の英

¹ Google Geoengineering Group
<https://groups.google.com/forum/#!forum/geoengineering>

文要約(10 ページ)が選ばれた。

このコメンタリー「カーボンネガティブ・エネルギーシステム」は、地球環境の改善のために、化石燃料をフェーズアウトして、原子力・太陽光・風力・バイオマスなどのエネルギーを総動員して、大気中 CO₂ の除去と世界のエネルギー供給を統合的に行うコンセプトを提示したもの。

コメンタリーの印刷物は原子力システム研究懇話会から有料で頒布しており、PDF ファイルはホームページ²から無料で入手できる。

気温上昇を 2°C 以下に抑えるには負排出が必要

IPCC の第 5 次評価報告書には 2100 年までの 1000 以上の排出経路によるシナリオ評価の結果(図 1)が示されている。

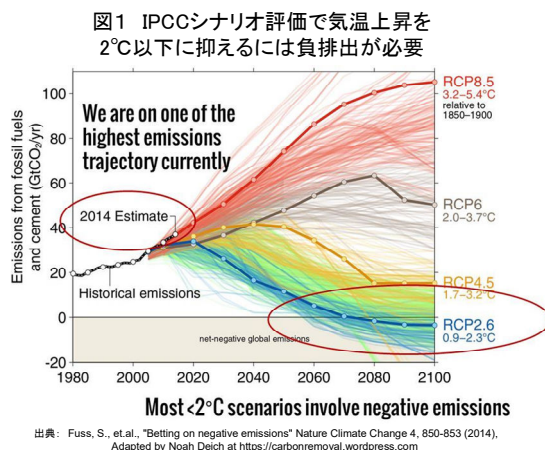


図 1 の中で RCP(代表濃度経路シナリオ)=2.6 の線群が将来の気温上昇を 2°C 以下に抑えるシナリオの評価結果で、この

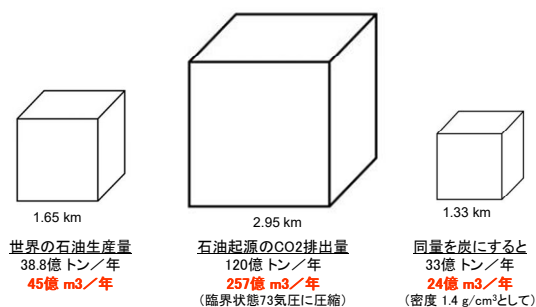
² PDF 資料の入手
<http://syskon.jp/nsacoms2.html>

大部分(116 シナリオ中の 101)が 21 世紀後半にネガティブエミッション(負排出)を想定している。すなわち、気温上昇を 2°C 以下に抑えるには CO₂ 排出を削減してゼロエミッションにするだけでは間に合わず、既に大気中に出ている CO₂ を何らかの方法で除去することが必要になる。

負排出の方法—BECCS、バイオ炭

IPCC では、バイオマス発電と CO₂ の回収・貯留(CCS)を組み合わせた「BECCS」と呼ぶ方法を使用して実質的に負排出にすることを想定している。

図2 石油とその燃焼から排出するCO₂の体積の比較
炭にすると体積は小さく地上で安定に貯留できる



出所: Oxford Conference on Negative Emission Technologies, September 2013
における発表をヒントに作成

CO₂ を回収して地中に貯留する CCS 法は、火力発電プラントの CO₂ の処分でも使用が考えられており、各国で開発・試験が進められている。将来大量の CO₂ をこの方法で処分することは、貯留可能量の限界、回収貯留プロセスのエネルギー消費、社会的受容性などの問題があり、より難度の低い別の方式の検討が望まれる。

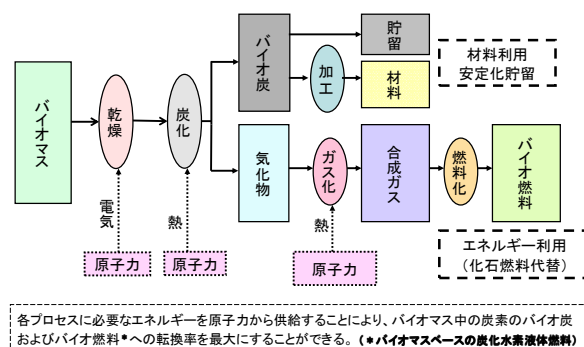
図 2 は、臨界状態に圧縮した CO₂ の体積・重量を元の石油と比較したもので、扱う

CO₂ の体積は石油の数倍になっており、CCS を実施するとしたら非常に大きな作業規模になることが判る。同量の炭素を炭にすると CO₂ の 1/10 程度、石油の 1/2 程度の体積になり、また炭は空気中に放置しても数百年～数千年間安定なので扱いが容易になる。

バイオマスと原子力の利用

筆者は 2007 年に、原子力を利用してバイオマスを炭化・燃料化して、バイオ炭とバイオ燃料を製造して、CO₂ 除去と燃料供給を行う方法(図 3)を提案した。

図3 バイオマス・原子力利用のCO₂除去+燃料製造プロセス
バイオマス+原子力→バイオ炭+バイオ燃料



この方法で製造されるバイオ炭は材料として利用しても安定なので地球規模の炭素サイクルから除外される。また、同時に製造されるバイオ燃料は、化石燃料を代替するのでその分 CO₂ 排出量を削減できる。

環境・エネルギーの統合システム

現在の温暖化の進行状態から、世界が必要とするエネルギーを持続的に供給しつつ大気中から CO₂ を除去して CO₂ 濃度を

許容範囲に調整していくことが可能な「環境・エネルギー統合システム」を構築・運用することが喫緊の課題となっている。

「カーボンネガティブ・エネルギーシステム」は [バイオマス+原子力→バイオ炭+バイオ燃料] のプロセスを中核として統合システムを構想したもの。

この将来型の統合システムの特長は、

◆ 供給する一次エネルギーは、現在の化石燃料主体に代わって再生可能エネルギーと原子力のみとする。

◆ エネルギーキャリアー(二次エネルギー)の構成を現在の燃料主・電力従から電力主・燃料従に変えてエネルギー効率を向上させ、エネルギーキャリアー生産に使用する一次エネルギーの使用量を抑制する。

◆ 定置用のエネルギー需要は熱需要を含めて電力で供給してエネルギー使用効率を向上させる。

◆ 運輸用のエネルギー需要は系統充電型自動車による電動化で燃料需要を削減し、航続距離確保上必要な燃料は配送インフラおよび取扱の便益から炭化水素の液体燃料を主として使用する。燃料成分中の炭素はバイオマスベースとする。なお、特別な用途には水素を使用する。

統合システムを使用する将来社会の一次エネルギーとエネルギーキャリアーを現在の社会と比較して表1に示す。

現在の社会を「化石燃料社会」と呼ぶならば、将来の社会は大気中のCO₂を除

去・制御しつつエネルギーを供給する「カーボンネガティブ・エネルギー社会」と呼ぶことが出来よう。

表1 社会が使用する主なエネルギー：現在と将来

	エネルギー社会	主な一次エネルギー	主なエネルギーキャリアー(二次エネルギー)	エネルギーキャリアーの製造に使用される一次エネルギー量の大小
現在	化石燃料社会 大気中CO ₂ の増加	化石燃料 再生可能 原子力	化石燃料ベースの燃料 (ガソリン、軽油、灯油、都市ガス、...) 電気	製造に使用される一次エネルギーは 燃料>電力
将来	カーボンネガティブ・エネルギー社会 大気中CO ₂ の除去・制御	再生可能 原子力	電気 バイオマスベースの燃料 (一部水素)	製造に使用される一次エネルギーは 電力>燃料

① Masao Hori

50年後の2065年のビジョン

この環境・エネルギー統合システムのイメージとして、50年後(2065年)の世界のエネルギー供給の姿を現在との比較で定量的に示す。

一次エネルギー供給量 [GtonOE]

年	化石燃料	再生可能	原子力	合計
2000	8.1	0.7	0.6	9.3
2013	11.0	1.1	0.6	12.7
2065	0.0	14.4	6.4	20.8

各エネルギーキャリアー生産への一次エネルギー供給量 [GtonOE]

年	発電	燃料製造	合計
2000	3.5	5.8	9.3
2013	5.3	7.5	12.7
2065	15.7	5.1	20.8

(GtonOE:石油換算10億トン)

2065 年時点の炭素およびエネルギーの収支は図4のようになる。

業の実施は世界規模の巨大な公共事業となり、国際的な資金確保と制度運用の仕組みを構築していく必要がある。

カーボンネガティブ・エネルギーシステムでは、バイオ炭による CO₂ 除去とバイオ燃料製造が統合的に行われるので、これらを合わせた新たな環境・エネルギー産業の展開が予見される。

(2016.2.12)

原子力システム研究懇話会
堀 雅夫
Email: mhori@mx.mesh.ne.jp

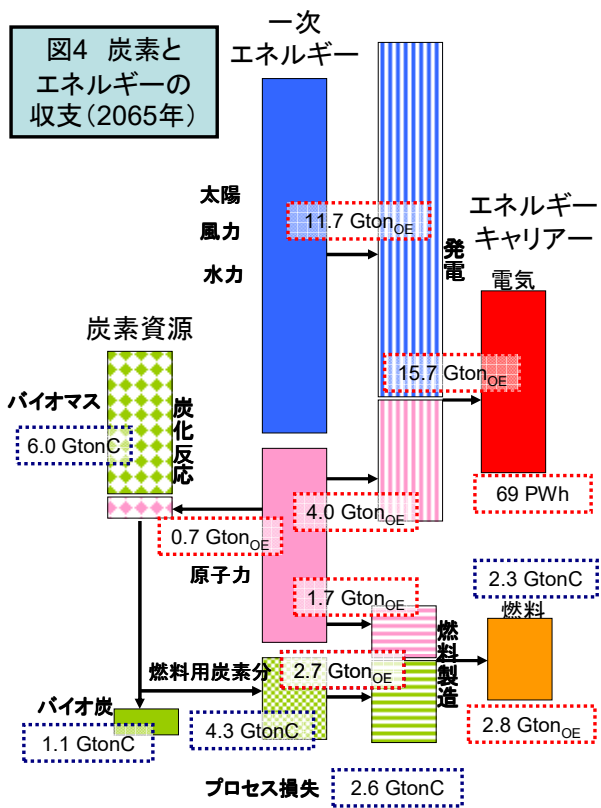


図 4 はバイオマスを年 6 GtonC (GtonC は炭素にして 10 億トン) 処理する場合の収支で、必要な電力・燃料のエネルギー供給をした上で CO₂ を年 1.1 GtonC 除去できる。バイオマス処理量を年 10 GtonC にした加速ケースでは CO₂ を年 4.5 GtonC 除去できる。因みに、2000-2005 年平均の大気中 CO₂ 量は年 4 GtonC の増加。

これらの評価で想定したバイオマス処理量は IPCC などの評価による 2050 年生産可能量の範囲内であり、また原子力使用量は高速増殖炉による Pu リサイクル方式の適時導入により供給可能な量である。

ここで説明したような大気中 CO₂ 除去作