

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 ～

2017 年9月21日
エネルギー問題に発言する会・座談会

堀 雅夫

堀の座談会での講演歴

- 2003 「原子力による水素エネルギー」
- 2005 「2050年の原子力 ― ビジョンとロードマップ ―」
- 2006 「電気自動車・プラグインハイブリッド車の主な動き」
(BEV: 東電・姉川尚史氏、 PHEV: 電中研・岡野邦彦氏)
- 2007 「プラグインハイブリッド車の動向・展望」
- 2009 「電動自動車導入のエネルギー効果と関連技術の現状」

原子力の電力で自動車を駆動

エネルギー新時代を拓くオピニオンマガジン

ISSN 0265-5437

Vol. 38
No. 8
2005

エネルギー

月刊

8

【特集】クリーンエネルギーの時代
—風力発電・太陽光発電の現状と展望—
クリーンエネルギーで国際協力
NPTを考える
地域共生とコミュニケーション

フジサンケイグループのEnergy総合誌

持続的発展 への提言

どちらが安価で地球にやさしい?

従来ハイブリッド車 VS プラグイン・ハイブリッド車

原子力システム研究会 堀 雅夫

石油の値上がりが続くなが、日本でも米国でも、トヨタのプリウスに代表されるハイブリッド車、いわゆる複数の動力源で駆動する自動車の人気が集まっている。ハイブリッド車の主流は、ガソリンエンジンと電気モーターを組み合わせたもので、エネルギー源はガソリン、つまり石油である。これをエンジンで機械エネルギーに変換して車を駆動するとともに、その一部を発電機により電気エネルギーに変換してバッテリーに貯蔵し、車の走行状態に応じてエンジン駆動とともに電気モーターで駆動させ、またブレーキ時に失われる運動エネルギーも電気として回収する。一方、最近注目されているプラグイン・ハイブリッド・電気自動車(Plug-in Hybrid



プラグイン・ハイブリッド車
ダイムラー・クライスラーの「スプリンター」

Electric Vehicle, PHEV)は、外部から充電するための差し込みプラグを備え、車を使用しない夜間などに商用電源からバッテリーを充電する。走行時には、ある距離までは主としてバッテリーで駆動し、バッテリーの充電量が減少するとエンジン駆動のハイブリッド走行に切り替わる。つまり駆動エネルギーは



ハイブリッド車トヨタの「プリウス」

ガソリンと外部から充電された電力である。果たしてどちらが安価で地球にやさしいか? それはプラグイン車が大量に普及した場合、増設される発電所が火力(石炭、石油、天然ガス)なのか、再生可能エネルギー(太陽光発電など)か、原子力かによって決ってくる。いずれにせよ充電電力で走行した分だけガソリンの使用量が減り、充電電力に原子力や再生可能エネルギーを使えば、その分CO₂の排出量を削減できることになる。

【米国における試算】

ガソリン用石油消費74%減、原子力発電200基新設 運輸部門のCO₂排出を大幅削減

プラグイン車ではダイムラーがリード

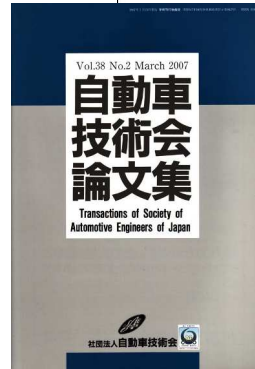
現在、プラグイン・ハイブリッド車を発表しているのは、米国電力研究所EPRと協力して開発したダイムラー・クライスラーの配達用の商用バン「スプリンター(Sprinter)」のみである。プリウスでハイブリ

ッド車の先頭を走るトヨタは、「充電のためにプラグインする必要はありません」と広告して、まだプラグイン車市場への参入を表明していない。しかし、米国ではすでにいくつもの小企業が独自に、プリウ

プラグインハイブリッド車導入の 環境・エネルギーへの効果

06年5月
自動車技術会春季学術講演会で発表

07年3月
自動車技術会論文集に掲載



- PHEVは、石油消費の削減、車のエネルギー利用効率の向上、電力需要の平坦化などに効果(定量的提示)
- PHEVの導入に伴って電源構成を自給可能・炭酸ガス排出削減可能な原子力発電などにシフトしていけば、日本のエネルギーセキュリティと地球環境の保全に貢献(定量的提示)
- この発表から1年以上後に、トヨタのPHVの公道試験、GMのシボレーVoltの開発などが始まり、国内外の自動車メーカーの動きも本格化

プラグインハイブリッド車導入の環境・エネルギーへの効果*

堀 雅夫¹⁾

Plug-in Hybrid Electric Vehicles for Energy and Environment

Masao Hori

Plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) can contribute to petroleum saving, overall energy efficiency and economy, electric power saving, and, by shifting the electric power source to self-sufficient and cleaner energies, energy security and environmental protection. Average fractions of traveling by the electric vehicle mode are estimated for capacity of equipped battery based on the average on daily travel distance of Japanese vehicles. The favorable effects of PHEV introduction are discussed quantitatively.

Key Words: Energy, Efficiency, Environment, Plug-in, Hybrid Vehicle, Electric Vehicle ①

1. ま え が き

エネルギー消費の中で輸送部門の消費は日本では約4分のおり、このエネルギーの大部分がガソリンなどの石油によって賄われている。石油などの化石燃料ベースの燃料に代わるクリーンで効率的な自動車用のエネルギーとしては、電気と水素が有望視されているが、(BEV)はその価格と航続距離などに課題があり、また水素燃料電池車(FCEV)は価格とインフラ整備などに課題があり、これらを一般的な用途へ実用的に導入するまでには未だ時間が掛かると見られている。これに対して、ここ1~2年とくに米国で輸入石油削減のために注目されているのが、プラグインハイブリッド車(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)である。これはエンジンと電気モーターを有するハイブリッド車(HEV)の電池の容量を大きくして、外部から充電するための差込プラグを備えた車である。車を使用していない夜間などに商用電源から電池を充電し、走行時には最初の一定距離は電池と電気モーターによる電力走行をし、電池の充電量が一定値まで減少した後はエンジン駆動のハイブリッド走行に切り替わる¹⁾。

使用するエネルギーで見ると、ガソリンエンジンのHEVの場合は駆動するエネルギー源はすべてガソリン(石油)であるのに対して、PHEVの駆動エネルギー源は、ハイブリッド走行時は石油であるが、電力走行時は充電電力の電源構成(化石燃料、原子力、再生可能エネルギーなど)による。(Fig.1)

米国の電源構成は、石炭50%、原子力20%、石油は僅かに2%であるために、PHEV導入の石油削減効果は大きい。PHEVのエネルギー効率も、一般にエンジン車(ICEV)より高いので、高効率によるエネルギー削減・炭酸ガス

排出削減も期待でき、充電電力に占める再生可能エネルギーや原子力の割合がさらに大きくなれば、その分炭酸ガス排出が小さくなる。

米国の車(大型を除く)の半数は一日の走行距離が20マイル以下なので、適当な容量の電池を搭載したPHEVを使用することにより、相当量の石油削減が期待できる。例えば、軽量輸送用自動車(乗用車、軽量トラック、SUV、バン、ピックアップなど)2004年現在の保有台数は2億2500万台)に35マイルの航続距離の電池を搭載してPHEVにした場合には、石油消費量を平均74%削減できるという試算が出されている。また、電池の充電は、家庭のコンセントから夜間電力を使用して容量的にも問題なく出来る、電力走行の費用はガソリン走行の1/2~1/3と安価になる、などの考察も行っている。PHEVは現在検討されているFCEVなどの他の方法に比べて、インフラ整備も必要なく、より簡易で、より早く達成でき、費用対効果も良いと結論している^{2) 3)}。

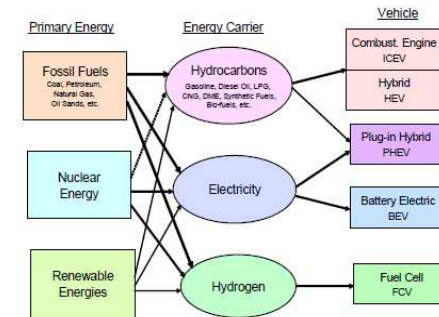


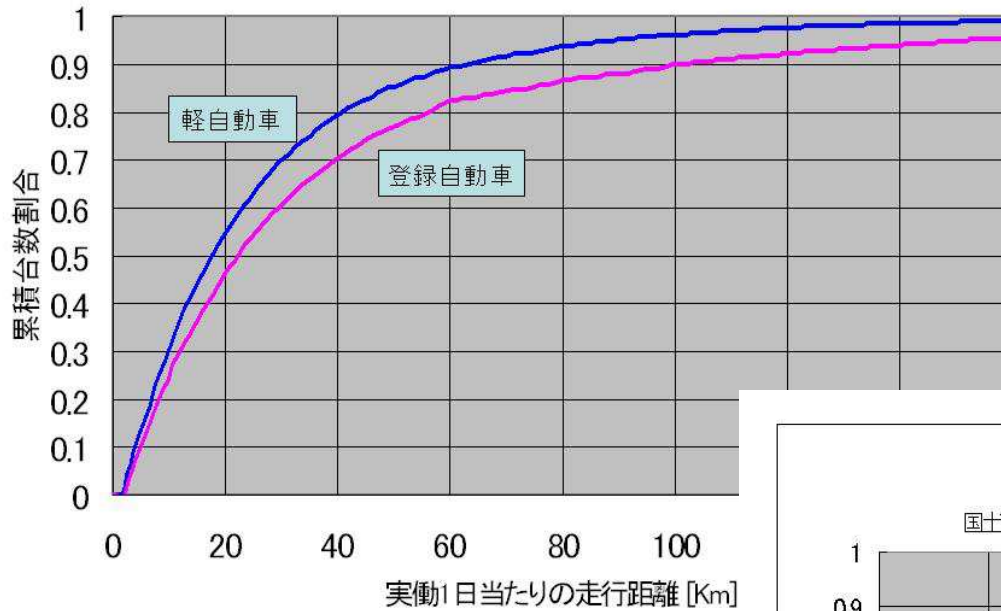
Fig. 1 Energy Flows to Vehicles with Various Drive Trains

* 2006年7月11日受理。2006年5月24日自動車技術

¹⁾ ユニバーサルエネルギー研究所 (105-0001 港区虎ノ門 5-3-20) (Email: mhori@mxh.mesh.ne.jp)

自家用乗用車のドライブパターン

国土交通省・陸運統計要覧(2003)および自動車輸送統計報告書(2004)のデータから推定



ユーティリティファクターとは

- ✓ 全走行距離に占める外部充電電力によって走行する距離の割合
- ✓ この割合は左図のドライブパターン(1日あたりの走行距離の分布)から下図のような電池容量km(充電電力走行距離)の関数として計算される

数値計算式

$$\text{電力走行割合(距離)} = \frac{[\sum\{X * \Delta V\} \text{ (for } X=0 \text{ to } X) + (1-V) * X]}{\sum\{X * \Delta V\} \text{ (for } X=0 \text{ to maximum)}}$$

X: 走行距離および電池容量 [Km]

V: 累積台数割合 [-]

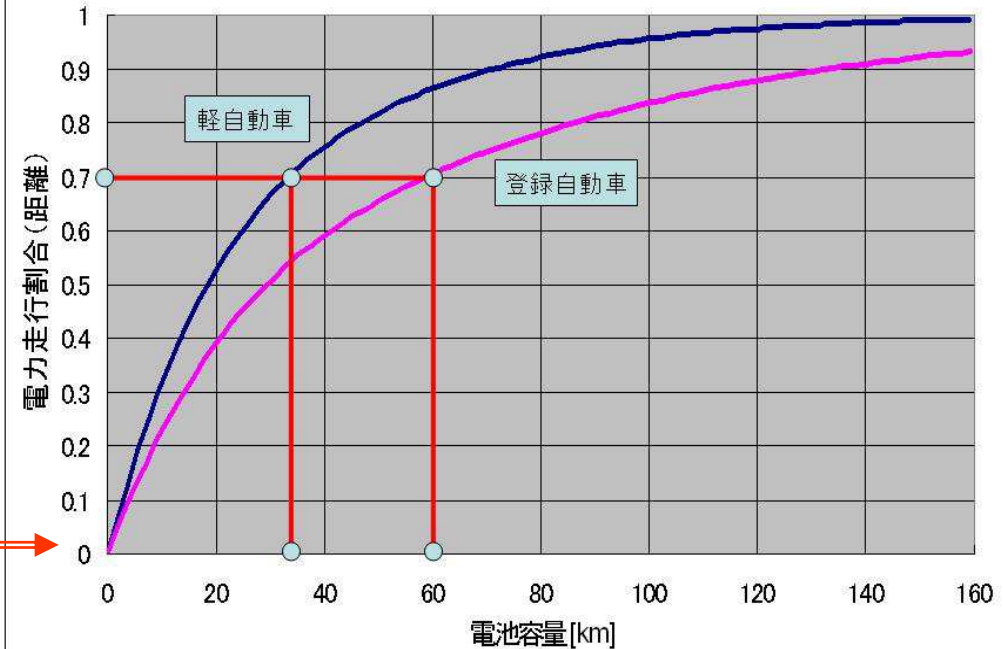
電力走行割合70%の電池容量 →

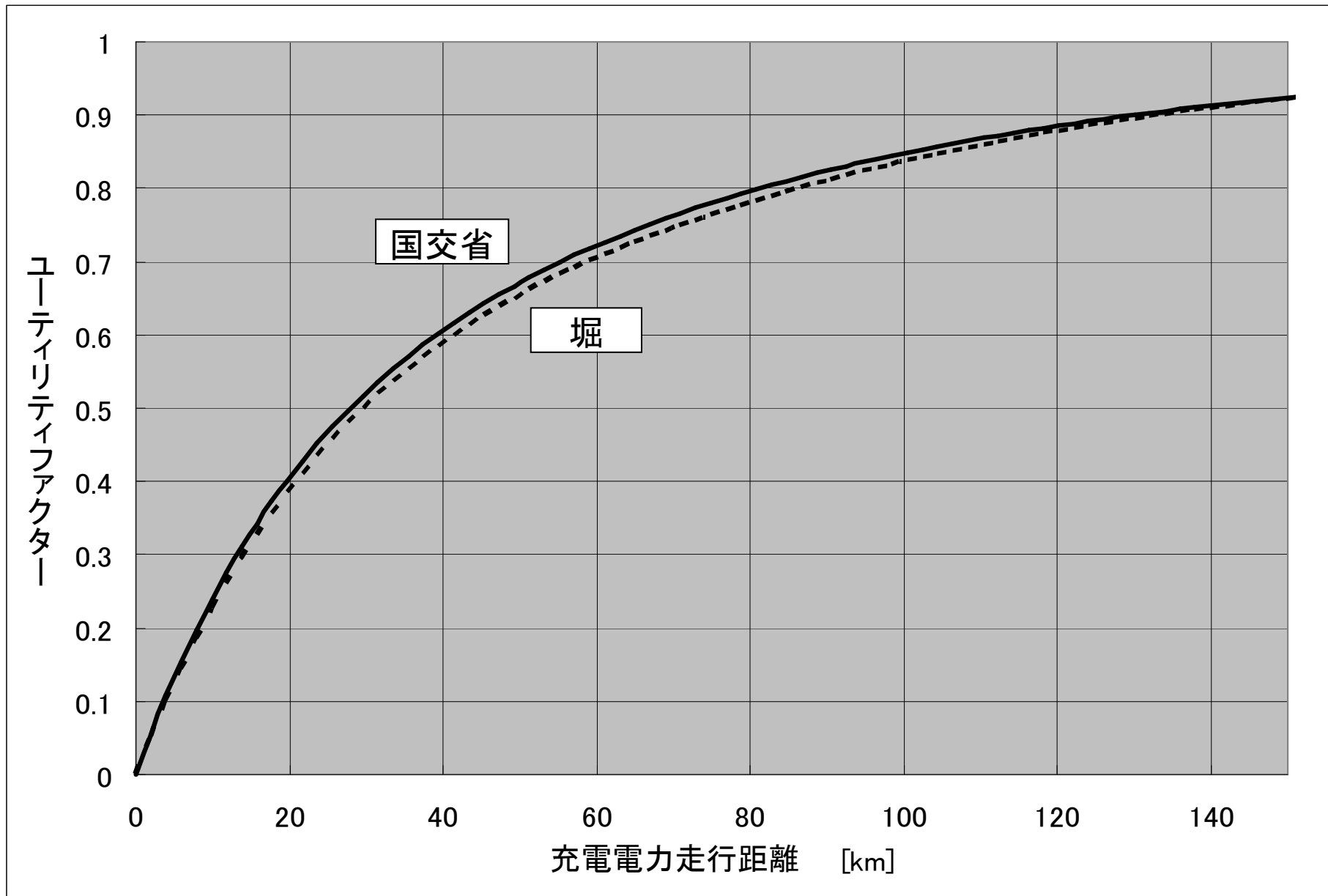
軽自動車: 35 Km走行可能電池

登録自動車: 60 Km走行可能電池

自家用乗用車の電池による電力走行の割合

国土交通省・陸運統計要覧(2003)および自動車輸送統計報告書(2004)のデータから推定





国交省：国土交通省「プラグインハイブリッド自動車の燃費算定等に関する実施要領について」国自環第85号(2009.7.30)
 堀：堀 雅夫「プラグインハイブリッド車導入の環境・エネルギーへの効果」自動車技術会論文集 Vol.38, No.2, p.265 (2007)

自動車技術会からの執筆依頼により 会誌「自動車技術」にPHEVの燃費 に関する解説を掲載



プラグインハイブリッド車の燃料消費率—ユーティリティ ファクタ、電力・ガソリン等価合成の考え方—

プラグインハイブリッド車のエネルギー消費率を単一の代表的指標で表示する場合における、燃費の単位・尺度、電力走行とガソリン走行のユーティリティファクタによる加重、電力からガソリンへのエネルギー等価性による変換の考え方などについて解説し、これらに関連する話題を紹介する。

プラグインハイブリッド車の燃料消費率* —ユーティリティファクタ、電力・ガソリン等価合成の考え方—

Fuel Consumption Metrics of PHEV with the Utility Factor and Energy Equivalency

堀 雅夫¹⁾
Masao Hori

The fuel consumption metrics of a plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) can be defined by composing the energy consumption in charge depleting and charge sustaining modes using the utility factor, and incorporating the energy equivalency of electricity and gasoline by using appropriate energy conversion factors. In this review, the utility factor and the equivalent composite of electricity and gasoline are reviewed, representative metrics of PHEV fuel consumption to be issued are illustrated, and energy-related topics of PHEV are discussed.

Key Words : EV and HV Systems / PHEV, Fuel Consumption, Utility Factor, Energy Equivalency

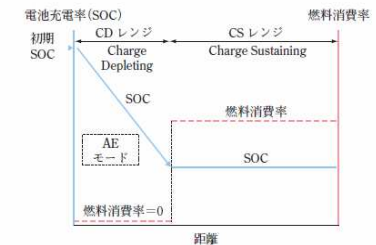
1 はじめに

プラグインハイブリッド車(PHEV)は、最初の一定距離は外部電力によって充電した電気による電力走行をし、電池の充電率(SOC)が一定値まで減少した後はエンジン駆動のハイブリッド走行に切り替わる。エンジン自動車(ICEV)やハイブリッド車(HEV)では駆動エネルギー源はすべてガソリンなどの燃料であるのに対して、PHEVの駆動エネルギー源は外部から充電した電力とガソリンなどの燃料の2種類になる。このようなPHEVのエネルギー消費率を単一の代表的燃費値で表示する場合のエネルギー消費率の単位・尺度(Metrics)、電力/燃料の共通単位への変換、電力/燃料の走行距離割合による加重の考え方などについて解説し、これらに関連する話題を紹介する。

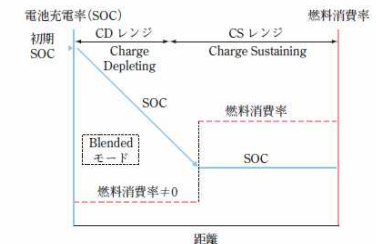
2 走行領域・走行モード・電池SOC・燃料消費率

PHEVでは一般に、外部充電電力による電力走行の領域をCharge Depleting(CD)レンジと呼び、エンジン駆動によるハイブリッド走行の領域をCharge Sustaining

(CS)レンジと呼んでいる。この二つの領域における電池のSOC及びエンジン用燃料の消費率を、走行距離との関係で示すと図1のようになる。図1(a)は、CDレ



(a) AE(All Electric)モードの場合



(b) Blendedモードの場合

図1 PHEVの電池充電率と燃料消費率

* 2014年3月17日受付

1) 株式会社エネエス エネルギー研究所 技術顧問
(105-0001 港区虎ノ門5-3-20)
E-mail: mhori@mx.mesh.ne.jp

原子力の熱を炭素資源に供給

エネルギー新時代を拓くオピニオンマガジン

ISSN 0285-5497

Vol. 39
No. 2
2006

エネルギー

月刊

2

【特集】石油生産のピークはいつか？
 待ったなしの省エネルギー
 続・エネルギー安全保障へ“これしかない”
 なぜ、米国は原子力発電に再度注目したのか

OIL AND GAS LIQUIDS
2004 Scenario

1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050

10億バレル/年

■ USA ■ Other ■ Russia ■ Europe ■ US-48 ■ Middle East ■ North America ■ Other ■ Asia ■ Europe ■ Middle East ■ Natural Gas Liquids

フジサンケイグループのEnergy総合誌

エネルギー安全保障へ“これしかない”

原子力で化石燃料に熱供給を！

高効率エネルギー転換, 化石燃料ノーブルユース

化石燃料(石油, 天然ガス, 石炭)と原子力の両方を使用して
 電力, 水素, 炭化水素へ転換する「協働的プロセス」を提案!

原子力システム研究懇話会 堀 雅夫

高効率のエネルギー転換・利用が必要

石油, 石炭, 天然ガスなどの化石燃料には炭酸ガス排出による環境問題があり, また石炭以外はその資源量から将来の供給に不安がある。一方, 原子力も世界エネルギー協議会(WEC)が予測しているような需要増大に対して, 核燃料の核分裂性物質(ウラン235およびプルトニウム239など)の供給がひっ迫することが心配されるが, 高速炉によるプルトニウム・リサイクルをタイムリーに導入することにより, この問題は回避可能である。

今後, 資源と環境の制約のなか, 増大する世界の電力, 炭化水素(ガソリン, 灯油, ガスなど), 水素などのエネルギー・キャリア(二次エネルギー)の需要に応じていくには, 化石燃料と原子力などの一次エネルギーをエネルギーキャリアへ転換するプロセスの高効率化と, さらにその利用における高効率化が必要になってくる。

原子力の積極利用で地球環境を安定化

WECの予測 (WEC-IIASA 1998年)によると, 中道コースのBケースの場合に2100年の一次エネルギー需要は1990年の約4倍で, 原子力はその24%を電力として供給するとしている。これは100万kWの原子力発電所5200基の発電容量に相当する。これらの原子力発電所への核燃料の供給は, 天然ウランの究極資源量を16.3Mtとすると, 増倍比1.2~1.3の高速炉によるプルトニウム・リサイクルを2030~2050年の間に導入すれば可能と計算される。(図1, サイクル機構・小野2000年)

さらに高速炉によるプルトニウム・リサイクルを最適化すれば, 原子力の最大エネルギー供給量は2050年にはWEC-Bケースの原子力供給量の約1.5倍, 2100年には同約2倍まで増大することができ, その

図1 世界の原子力エネルギー供給可能量

表1 1990~2100年の一次エネルギー供給
 WEC中道(B)ケース-原子力積極利用ケース
 単位は石油換算10億t (Dtoe)

	1990年	2050年	2100年
化石燃料	6.9	12.7~11.4	10.0~5.0
原子力	0.45	2.7~4.0	6.3~18.3
水力, 再生可能	1.6	4.4	11.4
合計	9.0	19.8	34.7

26 ENERGY 2006-2

協働的エネルギー転換プロセス

日本原子力学会誌, Vol. 49, No. 5 (2007)

原子力と化石燃料による協働的エネルギー転換プロセス

原子力システム研究懇話会 堀 雅夫

化石燃料、原子力、再生可能エネルギーなど、いずれの1次エネルギーも資源量、供給量が有限なため、エネルギー需要の増大が必至の今世紀においては、これら入手可能なエネルギーを環境を保全しつつ効率的に使用していくことが必要である。そのための方法として、原子力を化石燃料と共に使用して、電気、水素、合成燃料などのエネルギー・キャリアへ効率よく転換していく協働のプロセスが有効と考える。本稿では、原子力が関わる協働的エネルギー転換プロセスを展望し、これらプロセスの資源節約、CO₂排出削減などの効果について解説する。

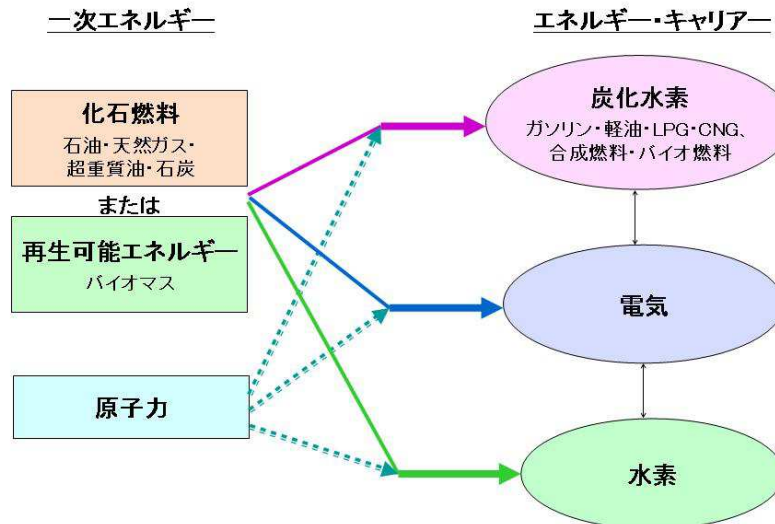
解説

359

- ✓ 原子力から炭素資源(化石燃料・バイオマス)に熱を供給
- ✓ CO₂排出の削減
- ✓ 高効率エネルギー転換
- ✓ 炭素資源のノーブルユース

協働的エネルギー転換プロセス

Synergistic Energy Conversion





[OPEN](#) The News in 2 minutes

News services

Your news when you want it



News Front Page



Africa

Americas

Asia-Pacific

Europe

Middle East

South Asia

UK

Business

Health

Science/Nature

Technology

Entertainment

Video and Audio

Have Your Say

In

Country

Special

RELATED BBC

WE

ON THIS DAY

EDITORS' BLOG

Last Updated: Friday, 9 February 2007, 10:41 GMT

[E-mail this to a friend](#)

[Printable version](#)

Branson launches \$25m climate bid

Millions of pounds are on offer for the person who comes up with the best way of removing significant amounts of carbon dioxide from the atmosphere.

Virgin boss Sir Richard Branson launched the competition today in London alongside former US vice-president Al Gore.

A panel of judges will oversee the prize, including James Lovelock and Nasa scientist James Hansen.



Richard Branson and Al Gore launched the climate initiative

CLIMATE CHANGE



Animated guide

Find out how the greenhouse effect works and more...

RECENT STORIES

[Politicians sign new climate pact](#)

[Humans blamed for climate](#)

[At a glance: IPCC report](#)

[Climate change: In graphics](#)

[Through the climate window](#)

[EU car firms fail green test](#)

GLOBAL POLITICS

[Nairobi climate talks end in deal](#)

[Global climate efforts 'woeful'](#)

Virgin Earth Challenge

大気中CO₂除去の実用技術の提案者に

2千5百万ドル(27億円)の賞金!

He said if the planet was to survive, it was vital to find a way of getting rid of the greenhouse gas carbon dioxide.

He said he believed offering the \$25m (£12.5m) Earth Challenge Prize was the best way of finding a solution.

BACKGROUND

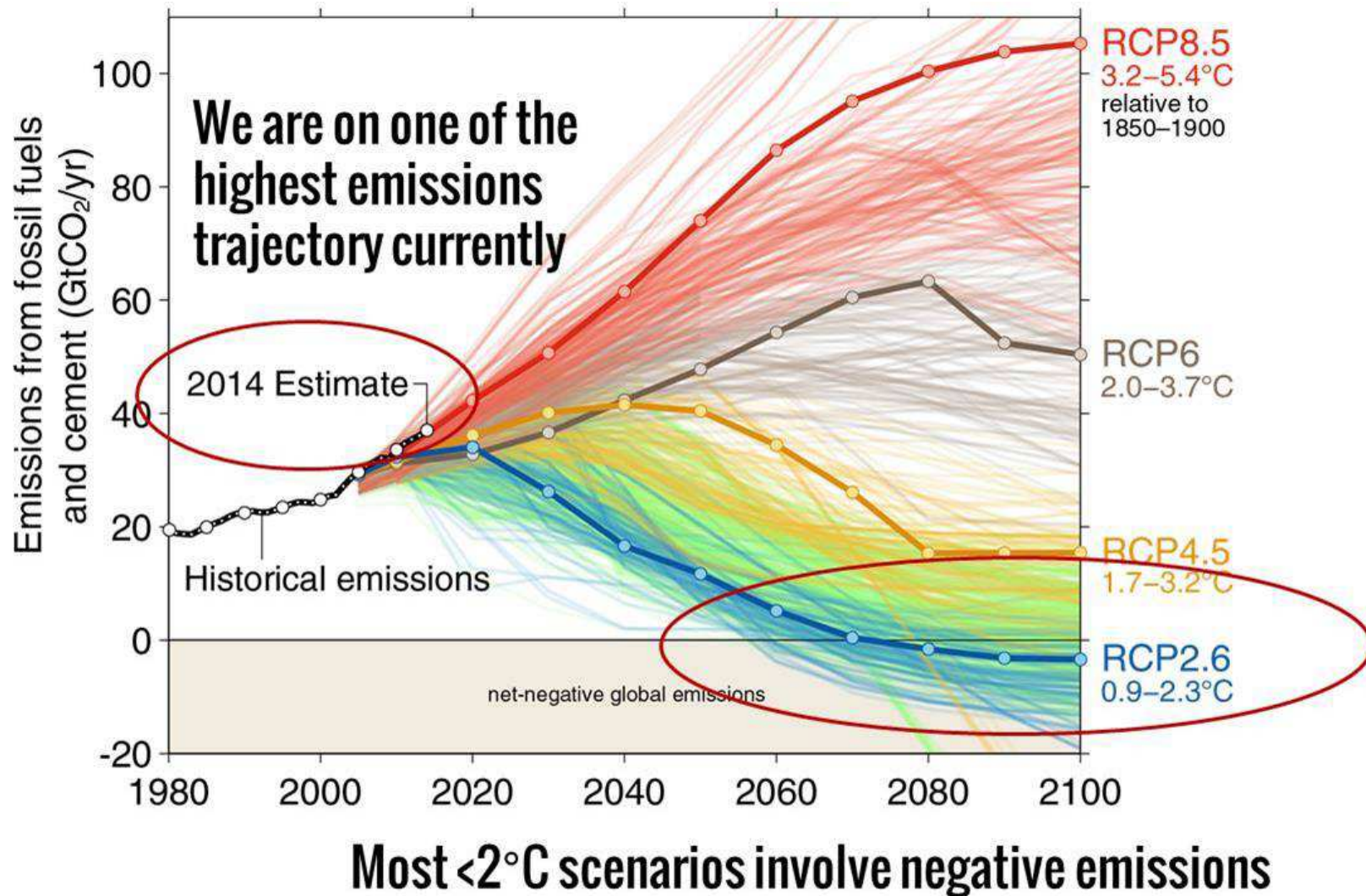
[Q&A: Climate change](#)

[Earth - melting in the heat?](#)

[OPEN](#) The evidence

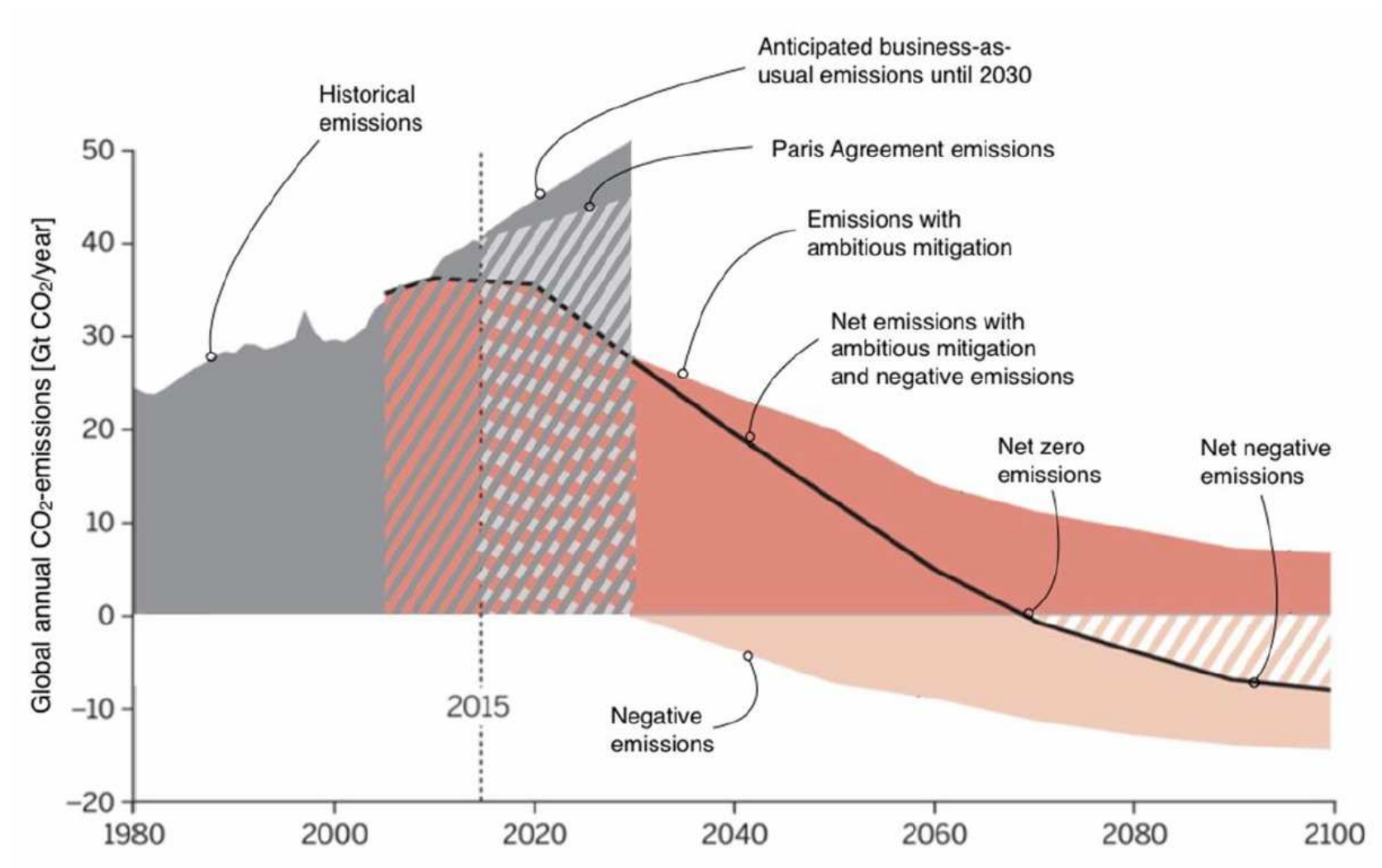
HAVE YOUR SAY

IPCCシナリオ評価で気温上昇を 2°C未満に抑えるには負排出が必要



出典: Fuss, S., et al., "Betting on negative emissions" Nature Climate Change 4, 850-853 (2014),
Adapted by Noah Deich at <https://carbonremoval.wordpress.com>

排出削減、ネガティブ・エミッション、実質ネガティブ・エミッション Emissions reductions, Negative emissions, and Net negative emissions

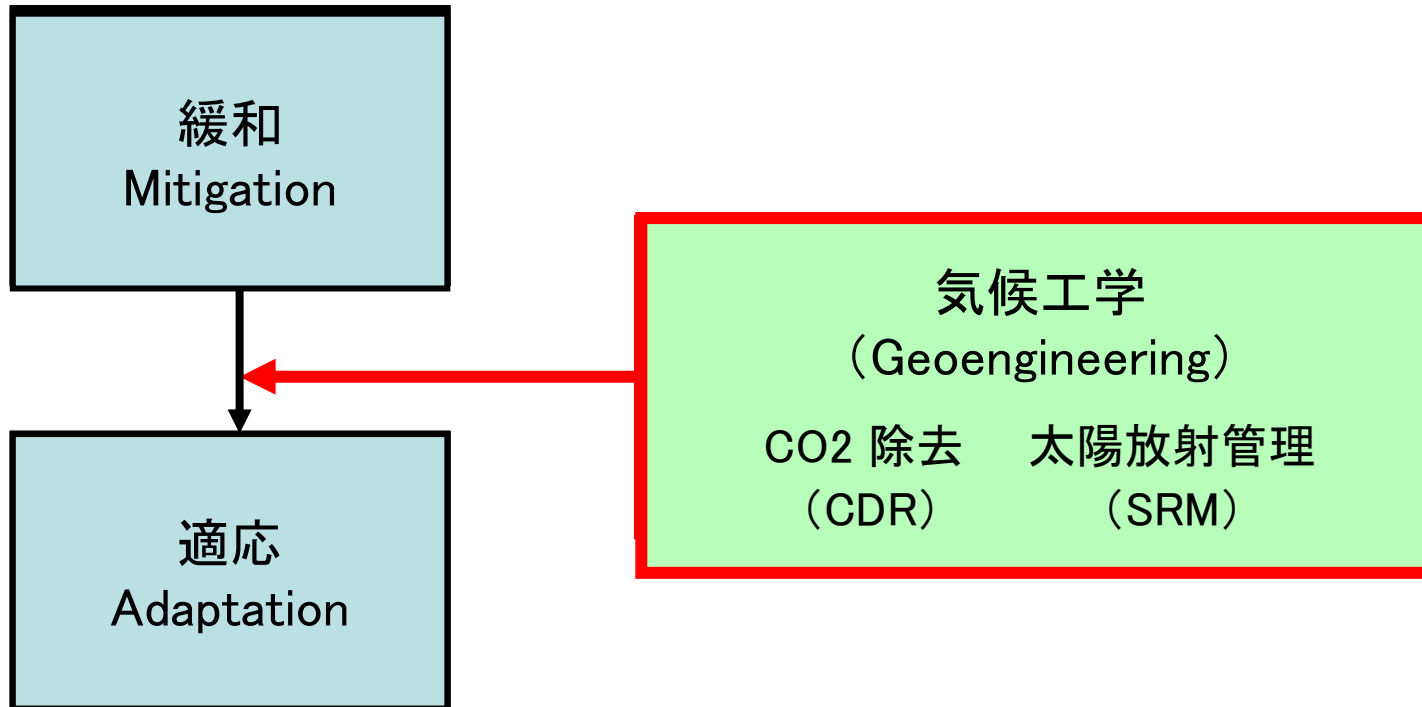


Adapted from: Anderson, K., & Peters, G. (2016). *The trouble with negative emissions*. *Science*, 354(6309), 182-183.

Honegger, M., et al., (2017). "Climate change, negative emissions and solar radiation management: It is time for an open societal conversation", White Paper by Risk-Dialogue Foundation St.Gallen for the Swiss Federal Office for the Environment.

地球温暖化対策

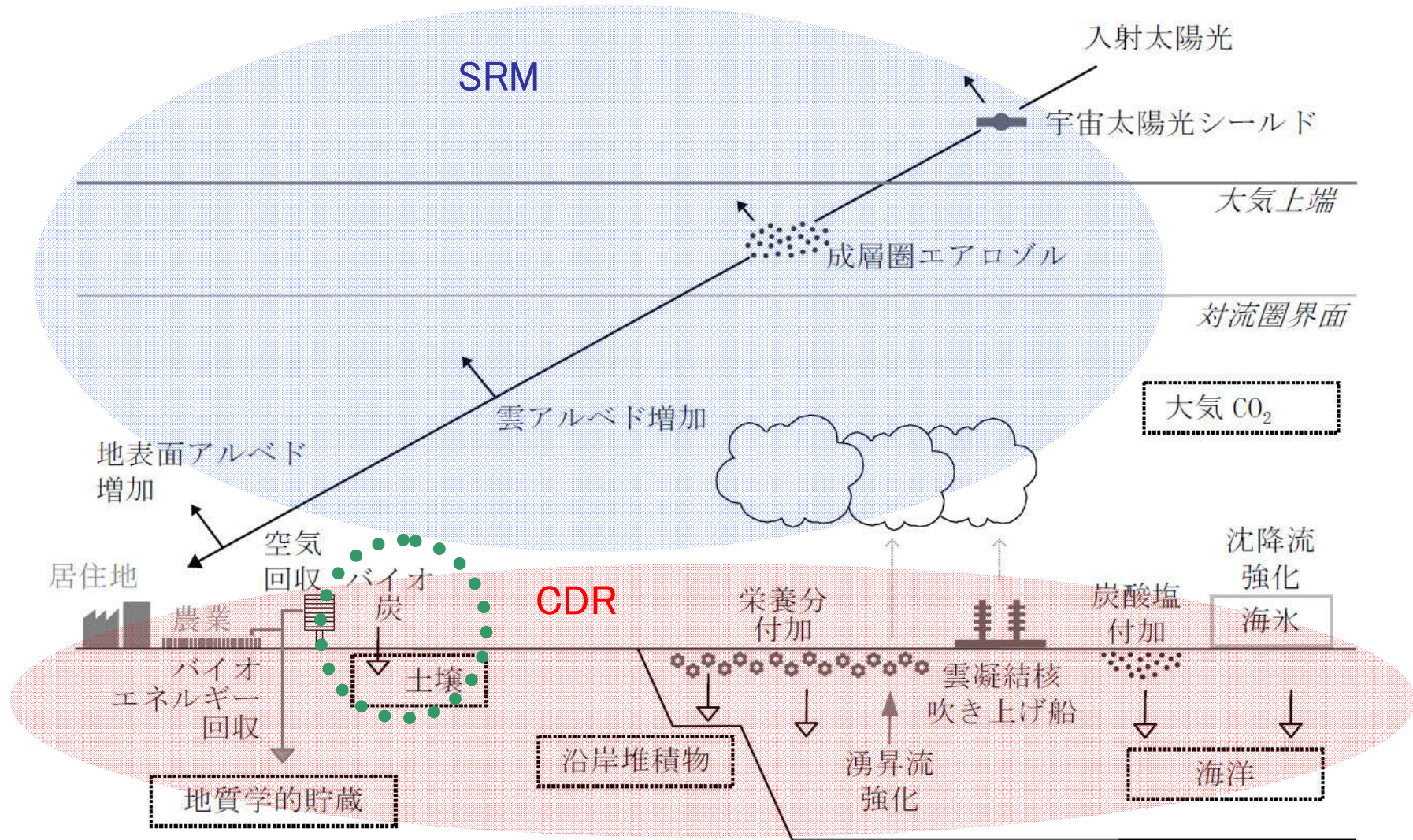
緩和・適応・気候工学



「緩和」策を踏まえて、さらに積極的に地球気候を「改善・回復」する方策として、大気中からCO₂を除去する技術およびそれと同様の効果が期待される技術が研究されている。

地球気候を改善/復元するための技術

太陽放射管理 (SRM) と 大気中CO₂除去 (CDR)



杉山 昌広「気候工学(ジオエンジニアリング)に関する文献調査」電力中央研究所調査報告: Y09003(2010年)掲載の図を編集
 原図の出所: Lenton TM & Vaughan N. "Radiative Forcing potential of climate geoengineering". Atmos. Chem. Phys. 9, 5539-5561 (2009)

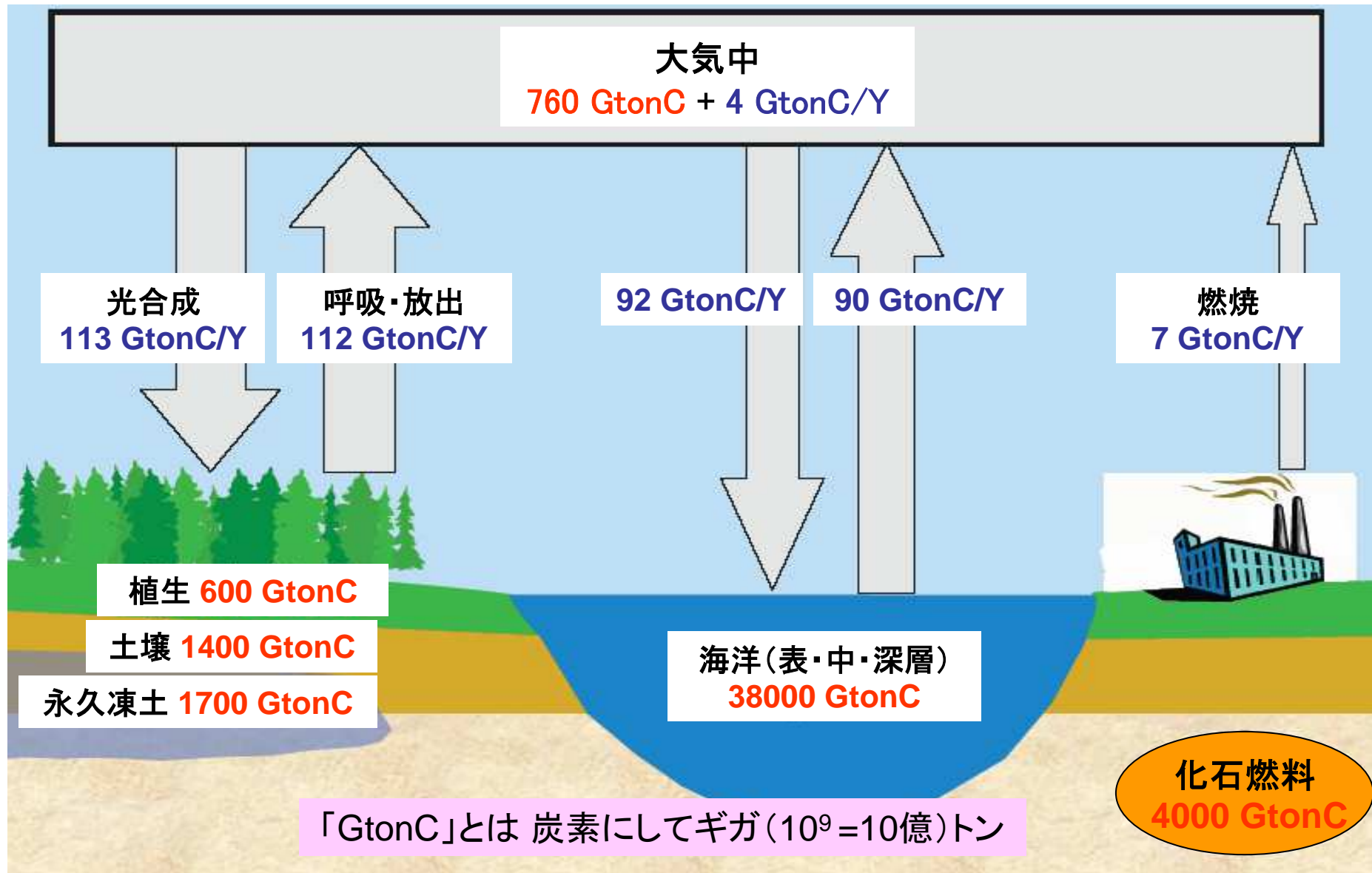
大気中CO₂の直接捕集 Direct Air Capture (DAC)

2017年5月運転開始した
世界最初のDACプラント
スイス Climeworks社 ↓



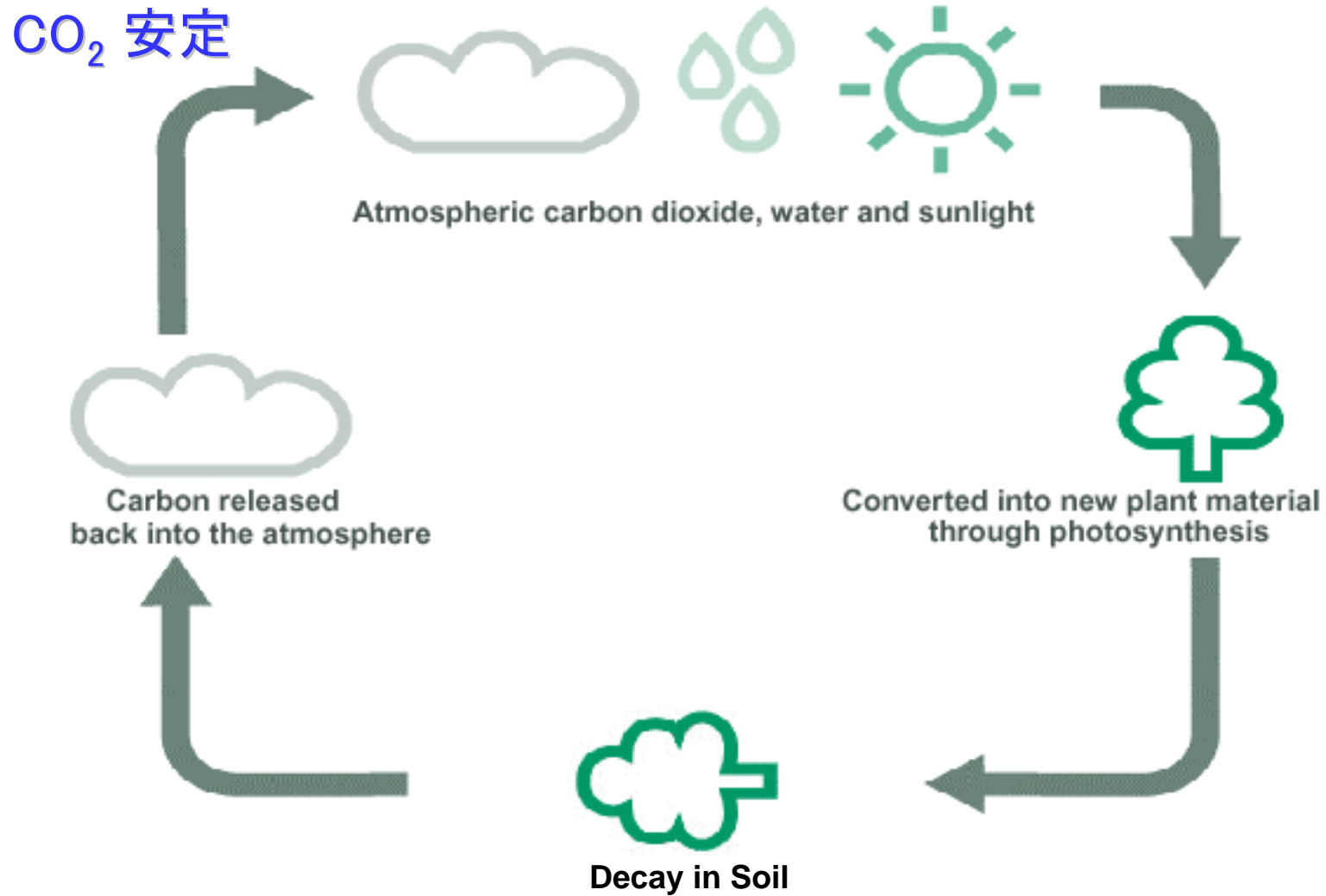
↑ 将来の実用DAC
プラント想像図
米国 Carbon
Engineering社

地球規模炭素循環 (2000-2005)



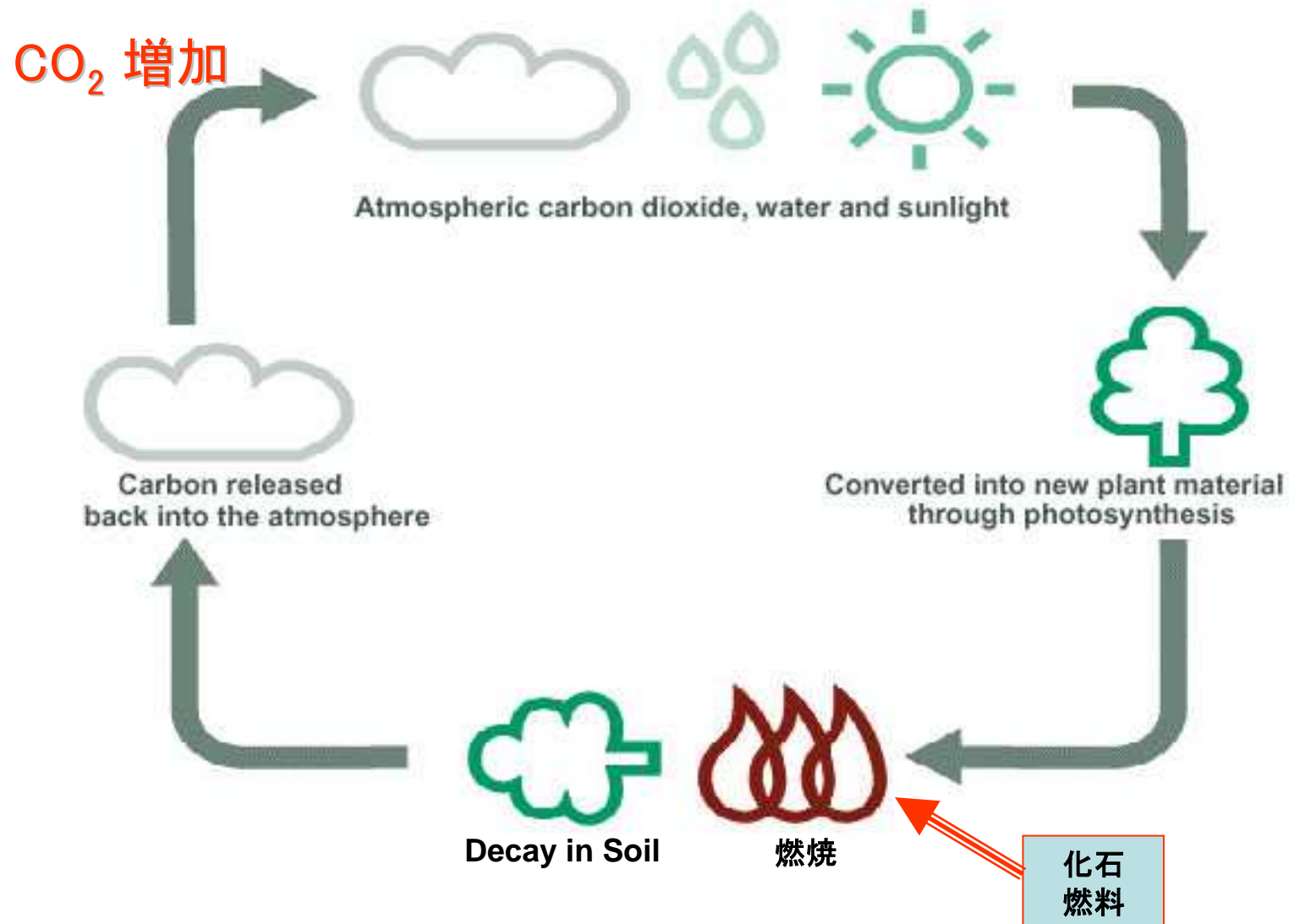
参考: IPCC-AR4 2007 Report、Kevin Schaefer (NSIDC)、Charles Koven (Berkeley Lab)

地球規模炭素循環 自然の状態



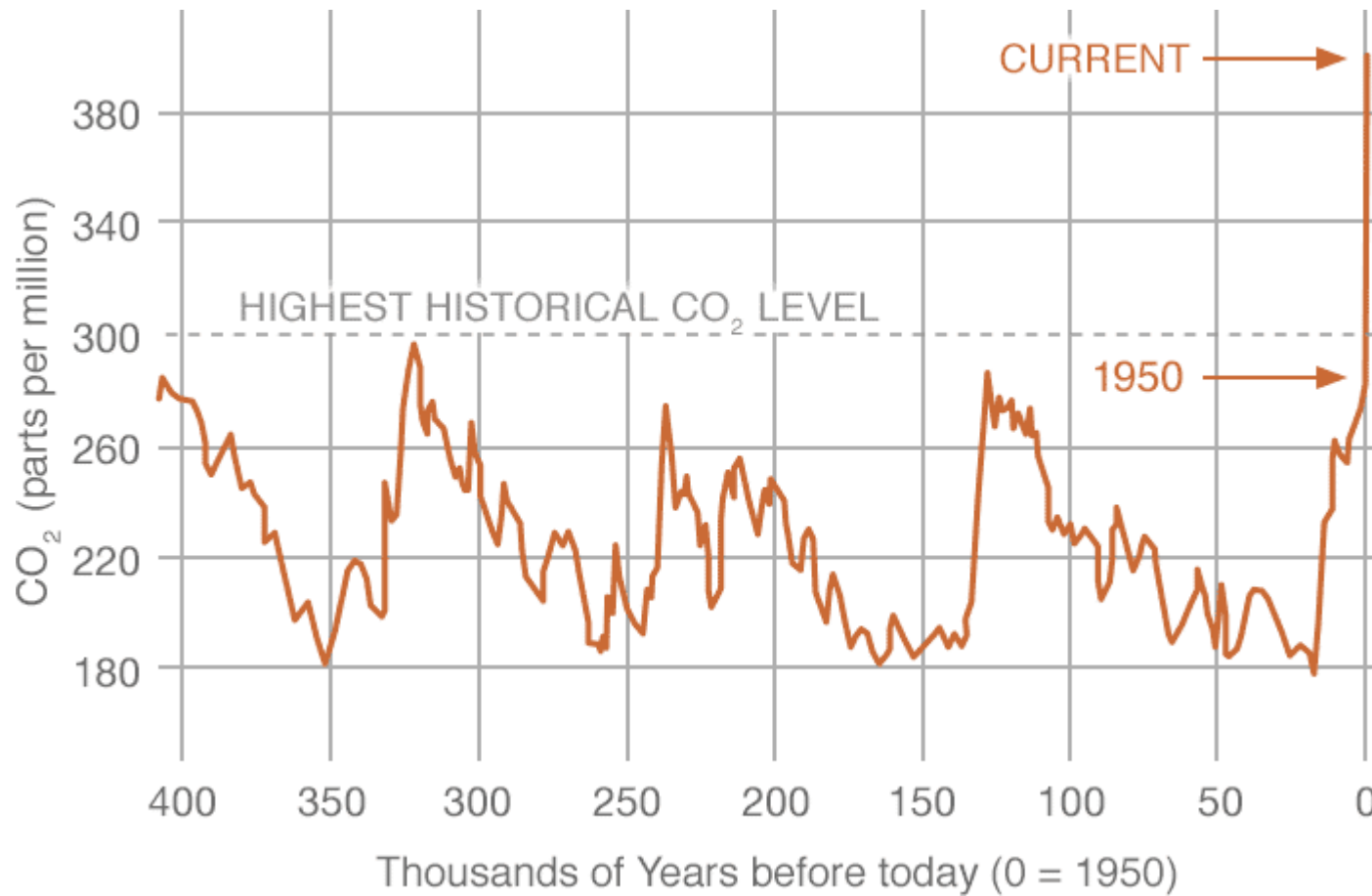
地球規模炭素循環

人為的化石燃料燃燒



大気中CO₂濃度の年代変化

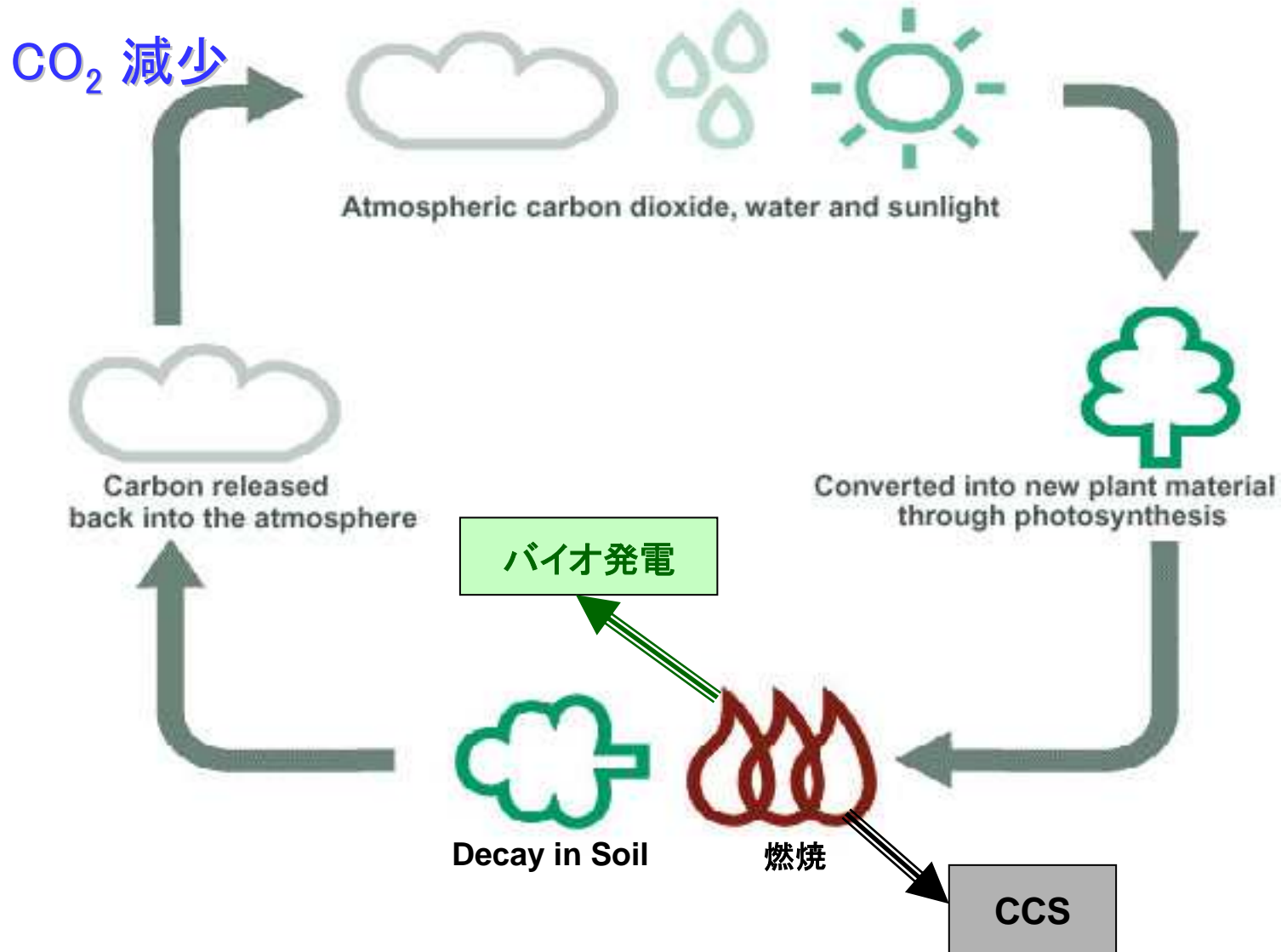
PROXY (INDIRECT) MEASUREMENTS
Data source: Reconstruction from ice cores.
Credit: NOAA



図の出所: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>

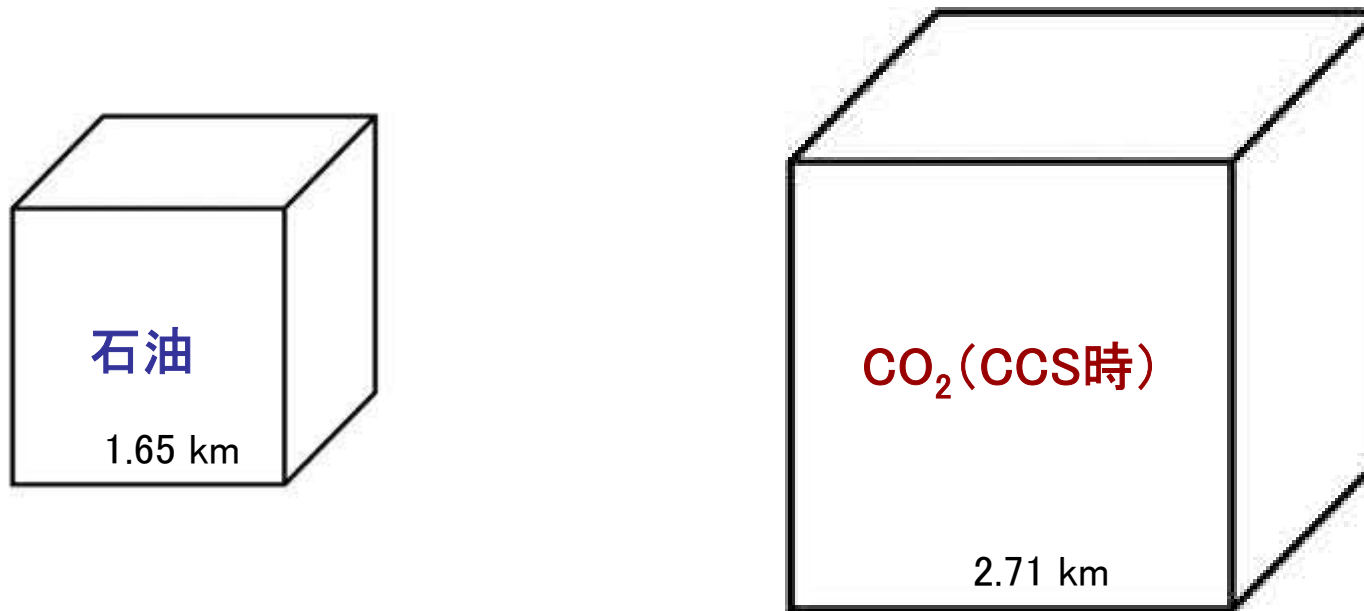
地球規模炭素循環 BECCSでCDR

BECCS=バイオ発電
+CCS



石油とその燃焼から排出するCO₂

超臨界流体に圧縮してもCO₂の体積は元の石油の4~5倍になる！



世界の石油生産量

38.8億トン／年

45億 m³／年

石油起源のCO₂排出量

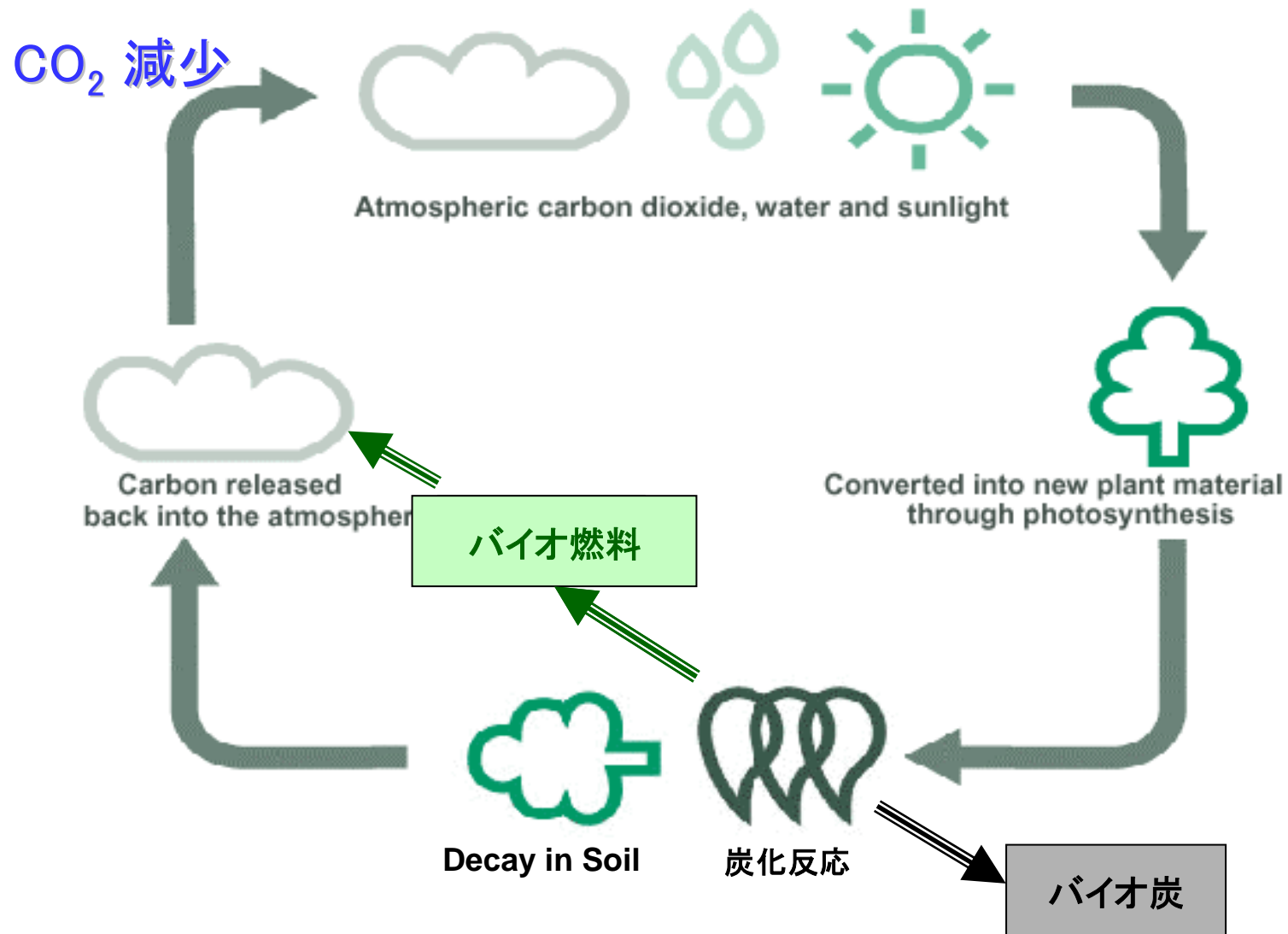
120億トン／年

200億 m³／年

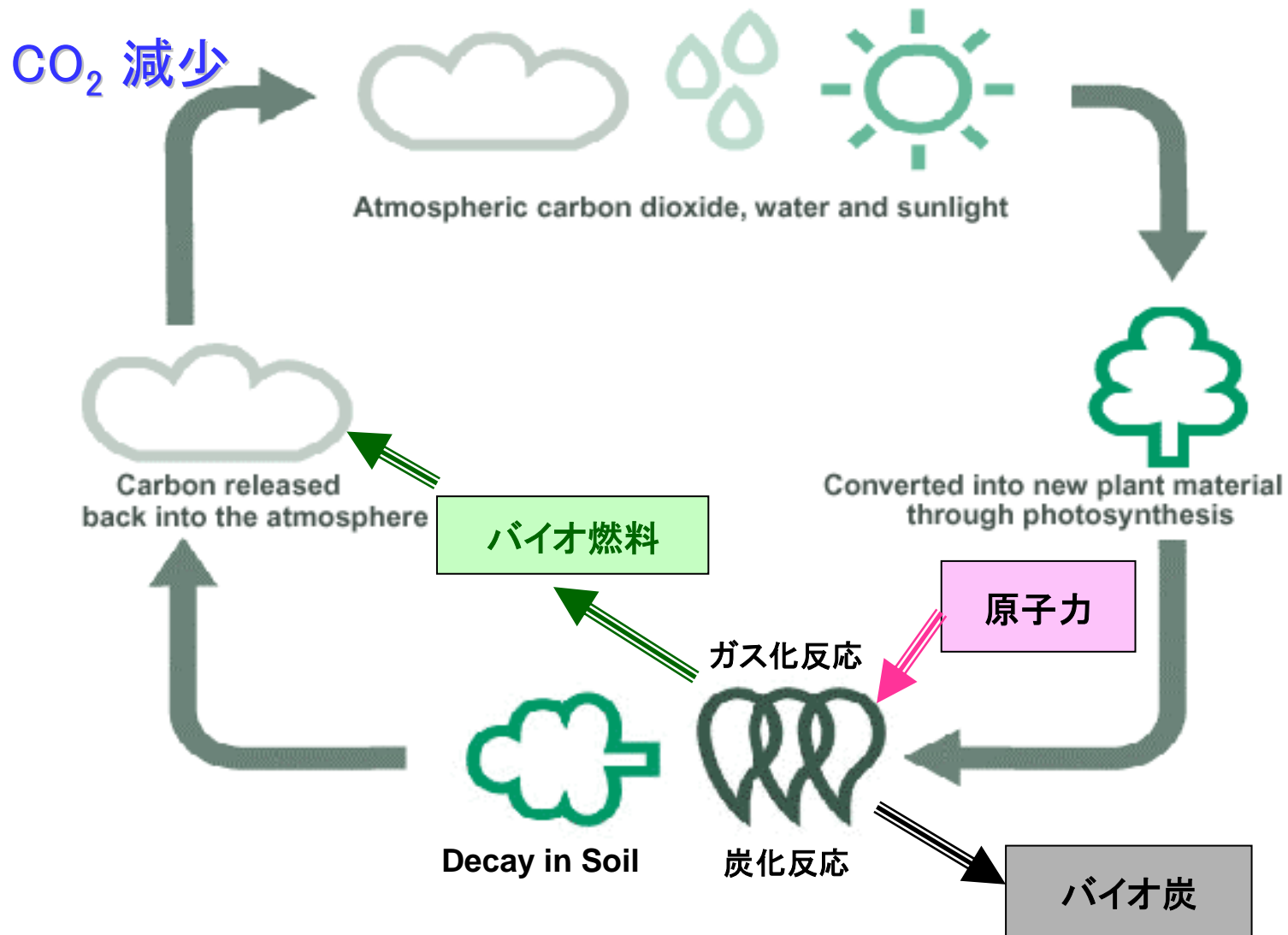
(地中圧入時、密度 0.6 g/cm³として)

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

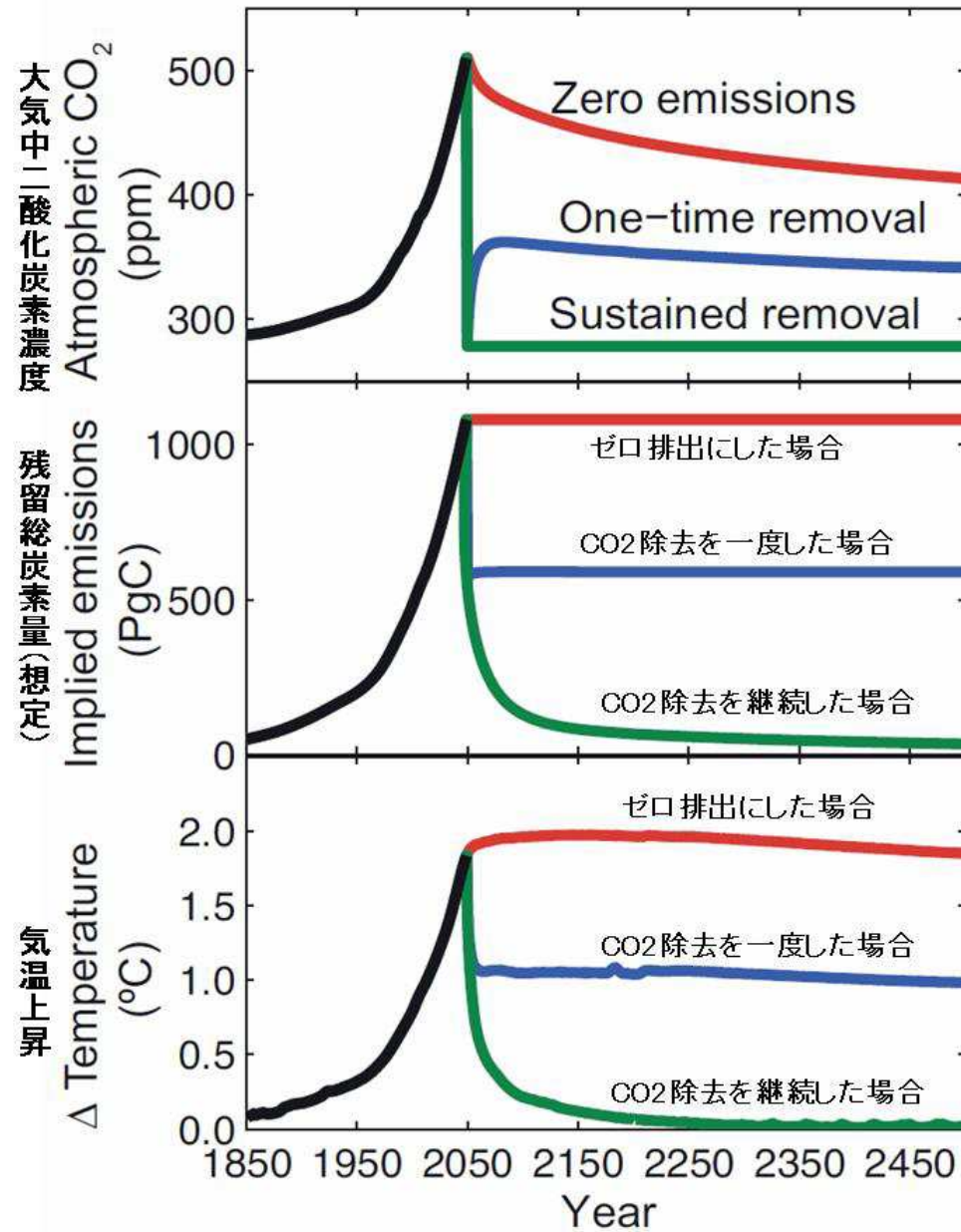
地球規模炭素循環 バイオ炭でCDR



地球規模炭素循環 原子力利用のバイオ炭でCDR



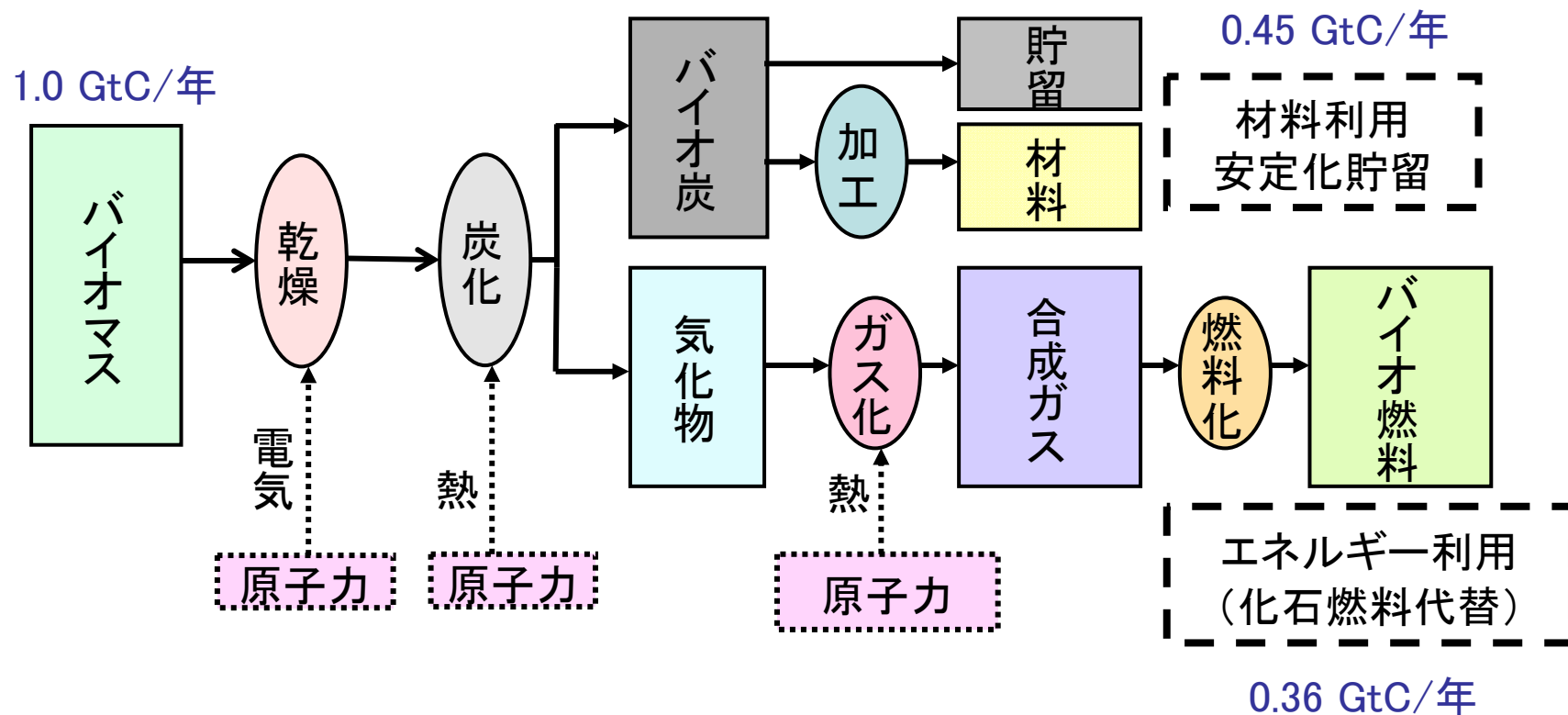
CO₂除去による
「大気中CO₂濃度」と
「気温上昇」の
長期変化
(モデル計算結果)



原図: Ciais, P., et al., "Carbon and Other Biogeochemical Cycles" IPCC-AR5 Chapter 6 (2014)
元のデータ: Long Cao and Ken Caldeira, "Atmospheric carbon dioxide removal: long-term consequences and commitment" ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS Vol.5 (2010) 024011 (6pp)

バイオマス・原子力利用の協働的CO2除去プロセス

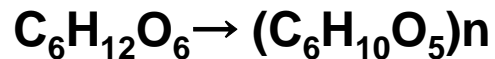
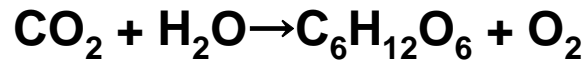
バイオマス+原子力→バイオ炭+バイオ燃料



- ✓ 各プロセスに必要なエネルギーを原子力から供給することにより、バイオマス中の炭素のバイオ炭およびバイオ燃料への転換率を最大にすることができる
- ✓ 1.0 GtonCのCO₂除去に使用する原子力エネルギー量は年0.36 GtonOE、1200 MWe (3000 MWt) プラント 150基(設備利用率 85%)に相当

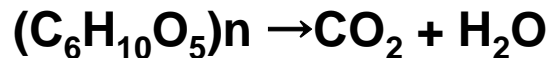
炭素の関わる反応 (1)

- 大気中のCO₂と水から太陽光をエネルギーとして光合成反応でグルコース(ブドウ糖)と酸素を生成し、グルコースはバイオマスを構成するセルロースなどの炭水化物(多糖類)になる。



ここで、C₆H₁₂O₆ はグルコース、(C₆H₁₀O₅)_nはバイオマスを構成する炭水化物。

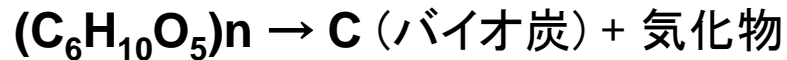
- 自然の炭素循環では、バイオマスは土壌中で微生物などにより分解してCO₂になって大気中に戻る。



- 本方法では、放置すれば分解してCO₂になるバイオマスを炭化反応(空気を遮断した状態での熱分解)により固体の炭素「炭」(Biochar、バイオ炭)と炭素を含む気化物(Volatile、成分はC、H、Oなど)にする。

炭素の関わる反応 (2)

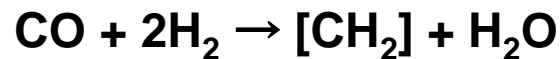
- 本方法では、放置すれば分解してCO₂になるバイオマスを炭化反応(空気を遮断した状態での熱分解)により固体の炭素「炭」(Biochar、バイオ炭)と炭素を含む気化物(Volatile、成分はC、H、Oなど)にする。バイオマス中の炭素は炭化の条件により最大約5割までバイオ炭になる。



- 気化物は、温度を下げると凝縮して乾留液・木酢液になる成分とCO・メタン・水素などの気体から成り、この気化物中の炭素成分を水蒸気ガス化反応(吸熱反応、原子力熱を供給)させると合成ガス(CO + H₂)になる。



- 合成ガスはそのままで気体燃料であるが、この水素分を調整してフィッシャー・トロプシュ(Fischer-Tropsch、FT)合成反応などにより炭化水素の合成燃料にすることができる。



ここで、[CH₂] はFTディーゼル軽油など合成燃料の代表的組成比。

2007年5月、鹿児島での「木質炭化学会」に発表
「バイオマスの原子力炭化・ガス化による大気中炭酸ガスの削減」
原子力システム研究懇話会・堀 雅夫

第5回 木質炭化学会 研究発表会 (2007)

[日時]平成19年5月23日(水)～5月24日(木)

[発表会]5月23日(水)10:30～17:00

24日(木)09:00～11:30

[見学会]5月24日(木)13:00～16:00(予定)

黎明館 → 尚古集成館 → 竹炭の家 他 → 鹿児島空港

[会場]鹿児島県歴史資料センター

黎明館 講堂

鹿児島市城山町7番2号

電話092-222-5100

特別講演

■ 薩摩のルネッサンス

株式会社 島津興業

代表取締役社長

島津公保 氏

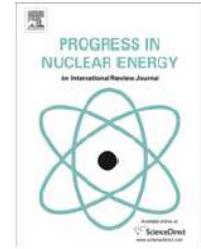




Contents lists available at ScienceDirect

Progress in Nuclear Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/pnucene



Nuclear carbonization and gasification of biomass for effective removal of atmospheric CO₂

Masao Hori*

Nuclear Systems Association, 1-7-6 Toranomon, Minato-ku, Tokyo 105-0001, Japan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 November 2010

Received in revised form

5 April 2011

Accepted 29 April 2011

Keywords:

Nuclear energy

Carbonization

Gasification

Biomass

Atmospheric CO₂

ABSTRACT

By the process of carbonization of biomass a portion of carbon element in biomass is stabilized as solid carbon, and the remaining portion of carbon, which is the volatile product from carbonization, is converted by the subsequent gasification and conversion process to carbon-neutral synthetic fuels, which can replace the fossil derived fuels currently used.

In these processes, nuclear energy can effectively be utilized for supplying energy, thus avoiding the CO₂ emission from any biomass or fossil combustion. By utilizing nuclear energy, most of the carbons in biomass are converted to either stabilized solid carbon or carbon-neutral fuels.

Thus, significant amount of CO₂ can efficiently be removed from the atmosphere by processing a part of annual growth of biomass, which leads to the decrease of atmospheric CO₂ concentration.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

英国で開催されたネガティブエミッションの会議に参加

Oxford Conference on Negative Emissions Technologies

24-26 September 2013

Organised by: the Oxford Geoengineering Programme,
Oxford Martin School, University of Oxford

Co-sponsored by: Living With Environmental Change
and the Virgin Earth Challenge

Venue: Queen's College, Oxford.
Talks in the Shulman Auditorium. Meals in the Dining Hall.



Virgin Earth Challenge

Finalists (最終選考) に11候補

Approach	Company	Country
Biochar (バイオ炭)	Biochar Solutions Black Carbon Full Circle Biochar	US Denmark US
BECCS (バイオマス発電+CCS)	Biorecro	Sweden
Direct Air Capture (直接空気回収)	Carbon Engineering Carbon Sink -- Infnitree Climeworks CoAway Global Thermostat	Canada US Switzerland US US
Enhanced Weathering (加速風化)	Smartstones – Olivine Foundation	Netherlands
Grassland Restoration (草地回復)	The Savory Institute	US

Source: <http://www.virginearth.com/> & <http://www.theenergycollective.com>

世界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

カーボンネガティブ・エネルギーシステム エネルギー供給におけるポイント

- 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
- 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
- 定置用のエネルギー需要は熱需要を含めて出来得る限り電力で供給してエネルギー使用効率を向上
- 運輸用のエネルギー需要は電動化により燃料需要を削減した上、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(燃料成分中の炭素はバイオマスベース)を主として使用。特別な用途には水素を使用。

一次エネルギー； 現在～2065年

供給量・エネルギー構成・電力/非電力

一次エネルギーの供給源と供給量 [GtonOE]

	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

電力化率(一次エネルギーベース)[%]

	電力	非電力
2000	38 %	62 %
2013	41 %	59 %
2065	75 %	25 %

発電・燃料製造への一次エネルギー供給量 [GtonOE]

	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

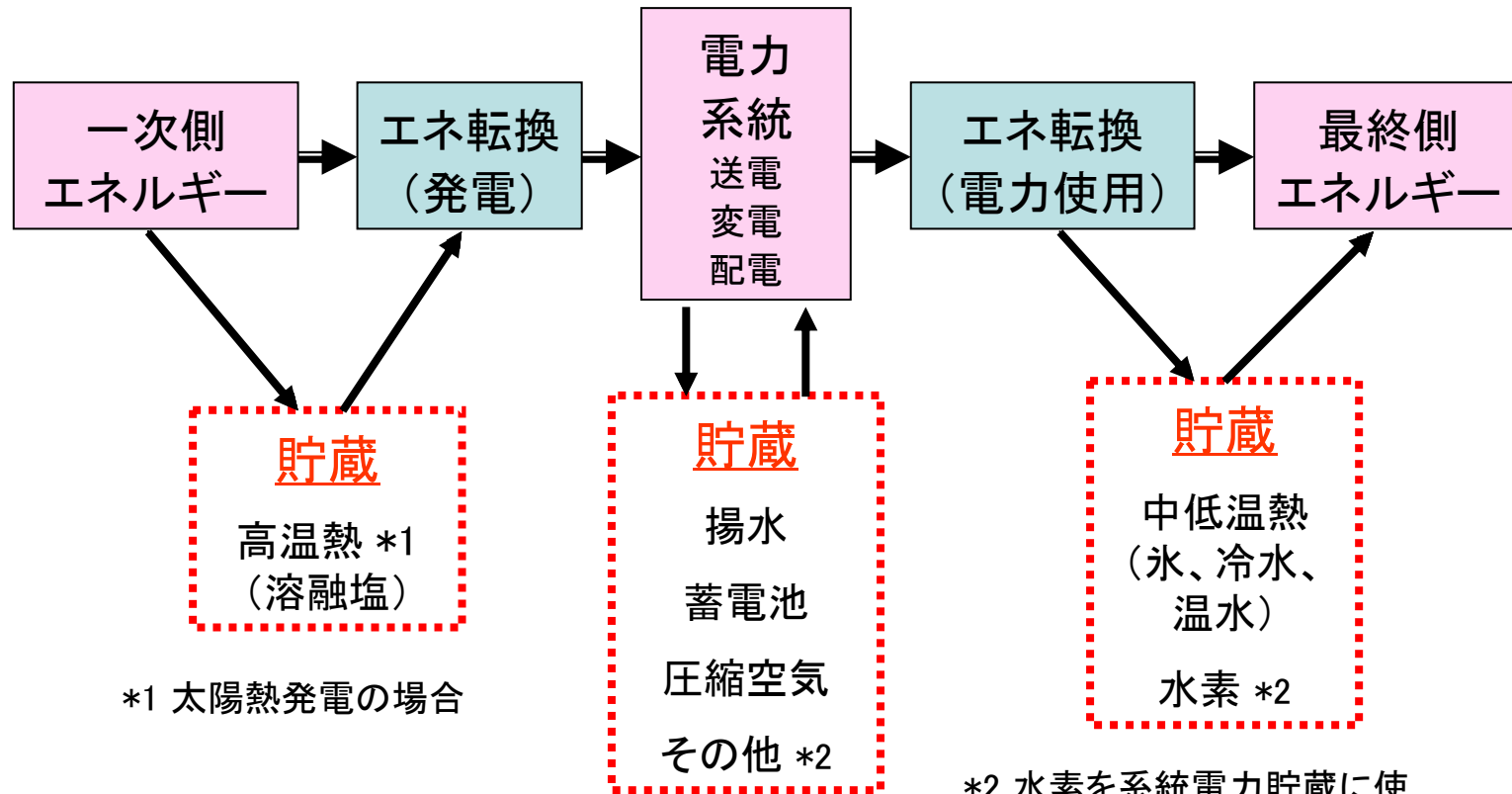
カーボン ネガティブ・エネルギー システム 実現のための主要方策

- 再生可能エネルギー発電拡大時の系統安定化
 - 電力貯蔵の容量と範囲の拡大
 - ・ 電池のコストダウン
 - ・ 需要側での「司令可能な」エネルギー貯蔵
 - 自動車と系統のエネルギー統合
- 非電力二次エネルギー(燃料)の縮小
 - 熱はヒートポンプに転換
 - 自動車用燃料はBEV・PHEVなどの電動化で削減

「電力貯蔵」の考え方

「電力貯蔵」は、揚水発電・蓄電池・圧縮空気貯蔵などのエネルギー貯蔵システムと電力系統との双方向の電力流通によって電力系統の周波数・電圧維持や負荷調整などの合理的運用を目的としている。

図に示すような電力系統の上流の一次側エネルギーでの貯蔵や下流の最終側エネルギーでの貯蔵も、系統からの電力供給指令・電力使用指令などの「指令可能な」(dispatchable)方式であれば「電力貯蔵」の目的を充たしているので同等と考えられる。

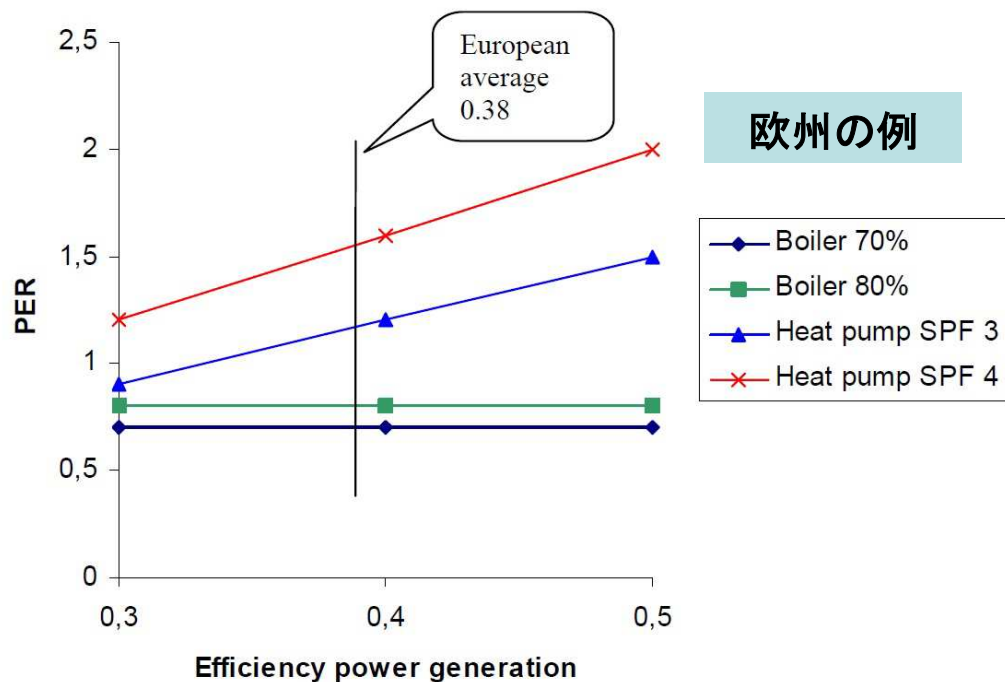


ヒートポンプによる熱の供給

燃焼から電気へ！

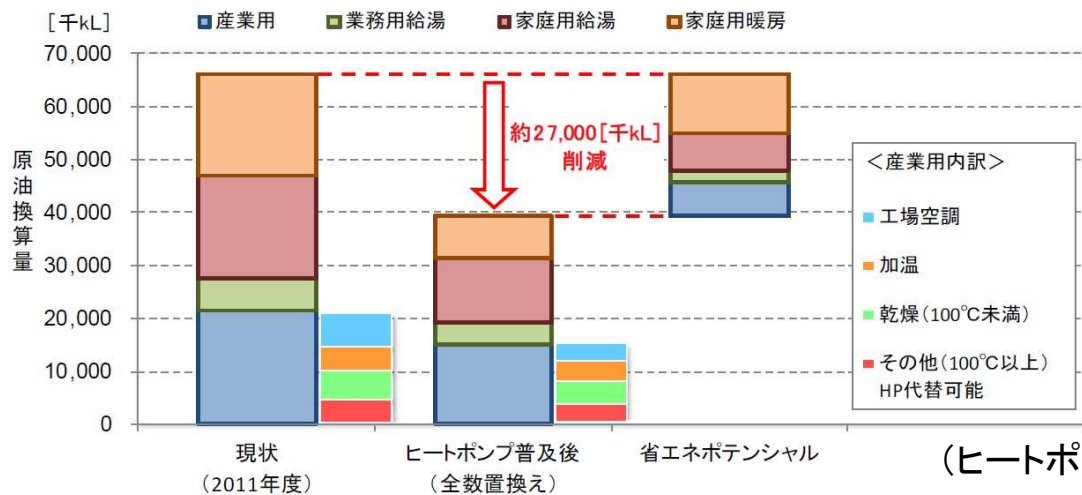
一次エネルギーを
40%程度削減可能

『ヒートポンプの普及による省エネポテンシャル』



欧州の例

(The Swedish Heat Pump Association)



日本の例

(ヒートポンプ・蓄熱センター)

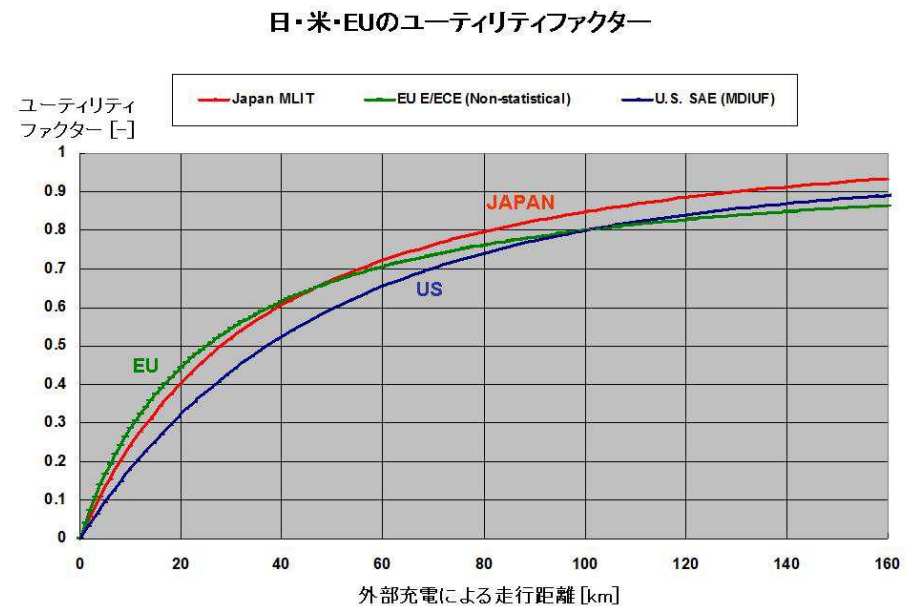
PHEVなど自動車電動化による 運輸用エネルギーの削減

➤ 運輸部門のエネルギー消費の約70 %を占める自動車は
現在の約3倍に増加

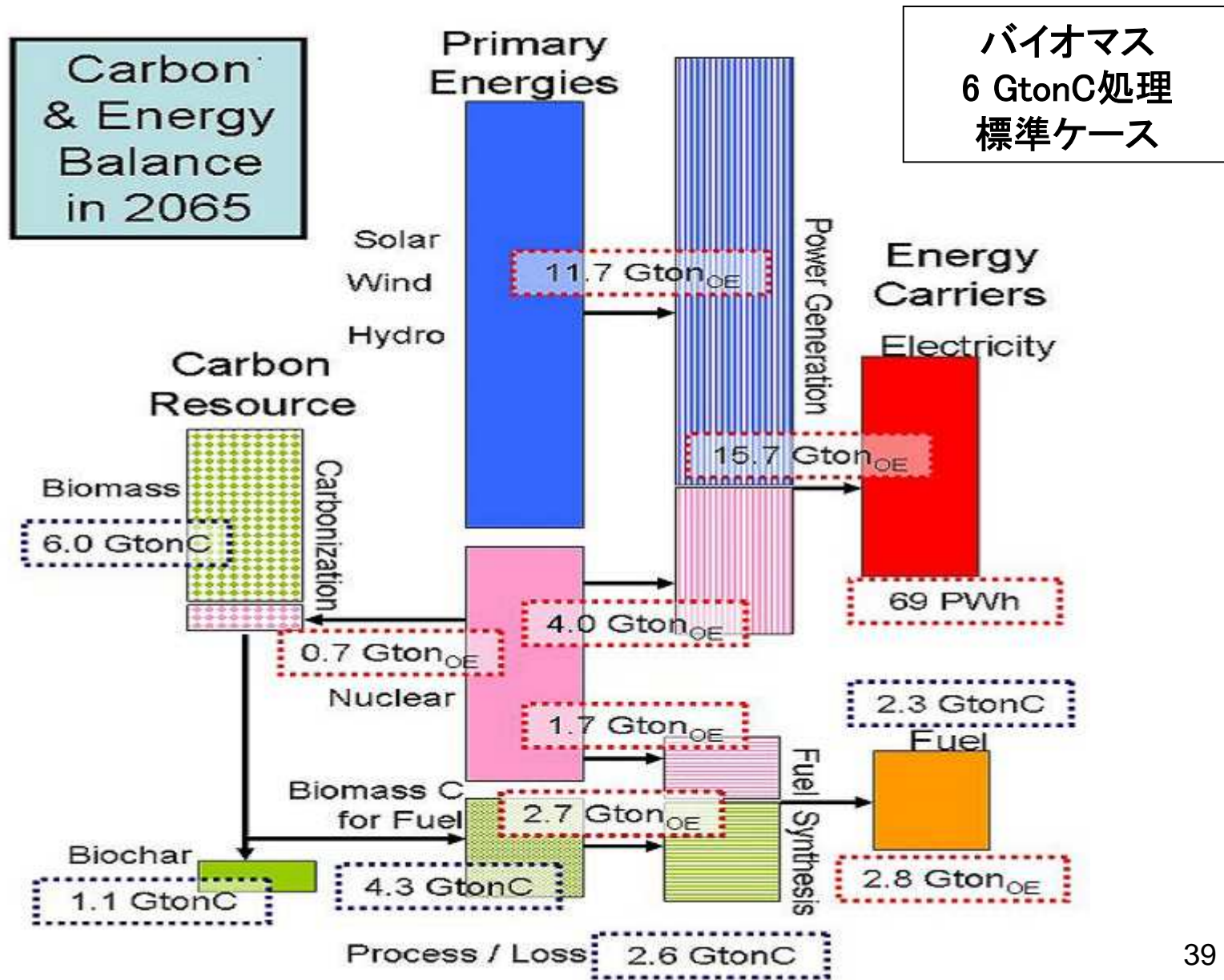
➤ プラグイン自動車 (PHEVとBEV) の
導入によって燃料消費率を現在の
9 %に削減 (ハイブリッド化で40%減、
ユーティリティファクター (電力走行
割合) 0.85のプラグイン化でさらに
85%減)

➤ 3倍に増加する自動車の液体燃料
消費量は0.3倍に減少

➤ 自動車の走行距離当たりの液体燃料 + 電力の合計のエ
ネルギー消費率も5割以上減少。3倍に増加する自動車
の全エネルギー (電力 + 燃料) 消費量は1.4倍に抑制



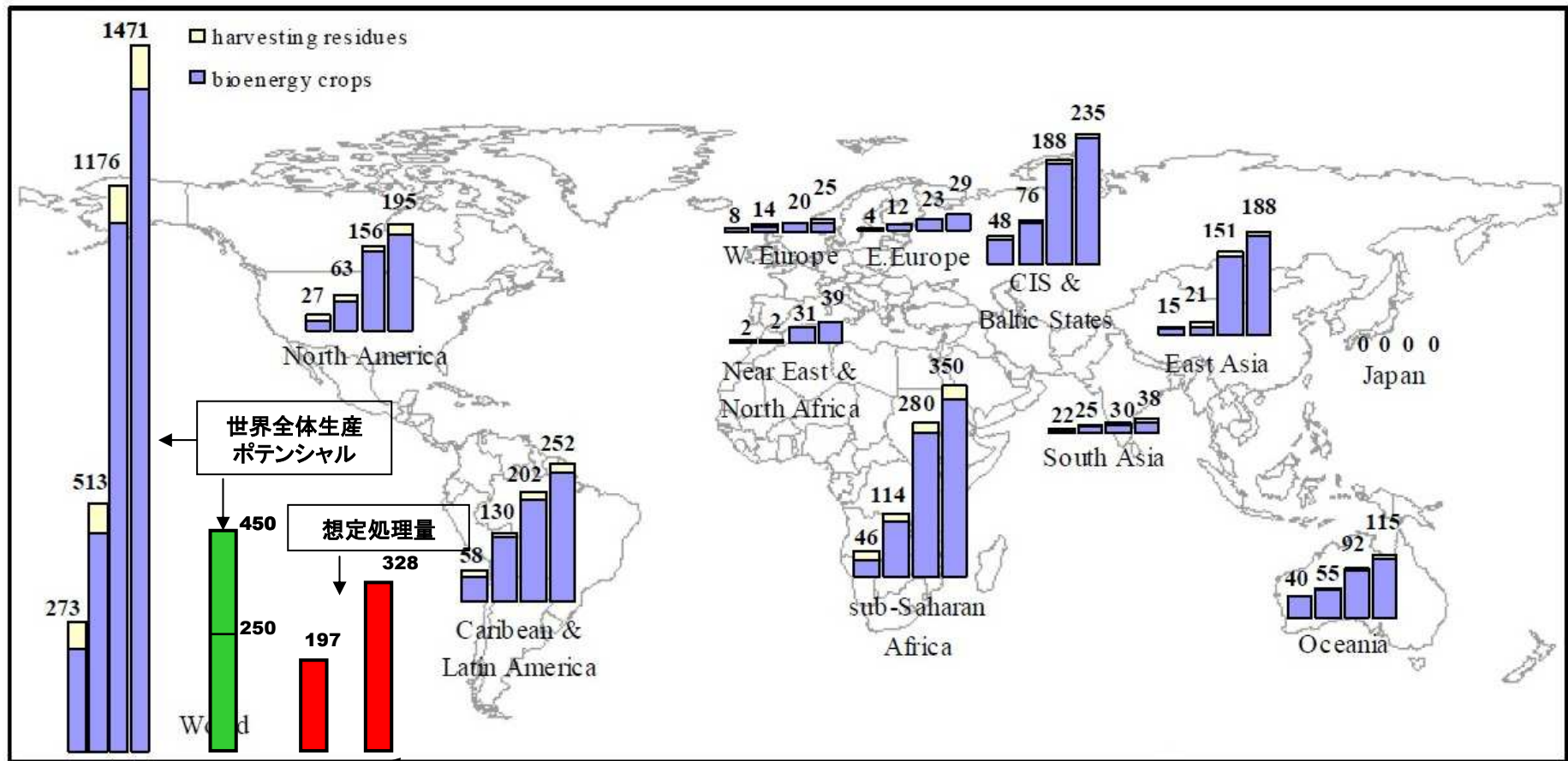
カーボンネガティブ・エネルギーシステムの炭素・エネルギー収支(2065)



カーボンネガティブ・エネルギーシステム
CO2除去とエネルギー供給 — 2065年のビジョン

	2065		参考データ
一次エネルギー	<p>標準ケース バイオマス 6 GtonC処理</p> <p>一次エネルギー 20.8 GtonOE 内訳 化石燃料 0 % 再生可能 69 % 原子力 31 %</p>	<p>加速ケース バイオマス 10 GtonC処理</p> <p>一次エネルギー 21.4 GtonOE 内訳 化石燃料 0 % 再生可能 68 % 原子力 32 %</p>	<p>21.0 GtonOE (WEC-Jazz 2050) 内 化石燃料 77 %</p> <p>18.5 GtonOE (Z650 2050) 内訳 化石燃料 5 割 再生可能 3 割 原子力 2 割</p>
電力化率	75 %	73 %	67 % (Z650 2100)
電力	<p>15.7 GtonOE 69 PWh 内訳 化石燃料 0% 0 GtonOE 再生可能 75% 11.7 GtonOE 原子力 25% 4.0 GtonOE</p>		<p>53 PWh (WEC-Jazz 2050) 電源構成 化石燃料 63% 再生可能 31% 原子力 6% 42 PWh (Z650 2050) 電源構成 化石燃料 28 % 再生可能 41 % 原子力 31 %</p>
非電力割合	25 %	27%	
非電力	<p>5.1 GtonOE 内訳 バイオマス(燃料分) 2.7 GtonOE 原子力 2.4 GtonOE 合成液体燃料 2.8 GtonOE</p>	<p>5.7 GtonOE 内訳 バイオマス(燃料分) 2.8 GtonOE 原子力 2.9 GtonOE 合成液体燃料 2.9 GtonOE</p>	<p>バイオマスエネルギー ポテンシャル 2.4~7.2 GtonOE (IPCC-SRREN 2050)</p>
CO ₂ 排出	-1.1 GtonC	-4.5 GtonC	+5.2 GtonC (Z650 2050) +12 GtonC (WEC-Jazz 2050)

2050年の世界のバイオエネルギー生産ポテンシャル 2065年のカーボンネガティブ・エネルギーシステムでの想定処理量との比較 [EJ/Y]



WEC, WEA and IPCC による予想量

2065年のカーボンネガティブ・エネルギーシステムでの想定処理量;
10 GtonC/Y = 328 EJ/Y

2065年のカーボンネガティブ・エネルギーシステムでの想定処理量;
6 GtonC/Y = 197 EJ/Y

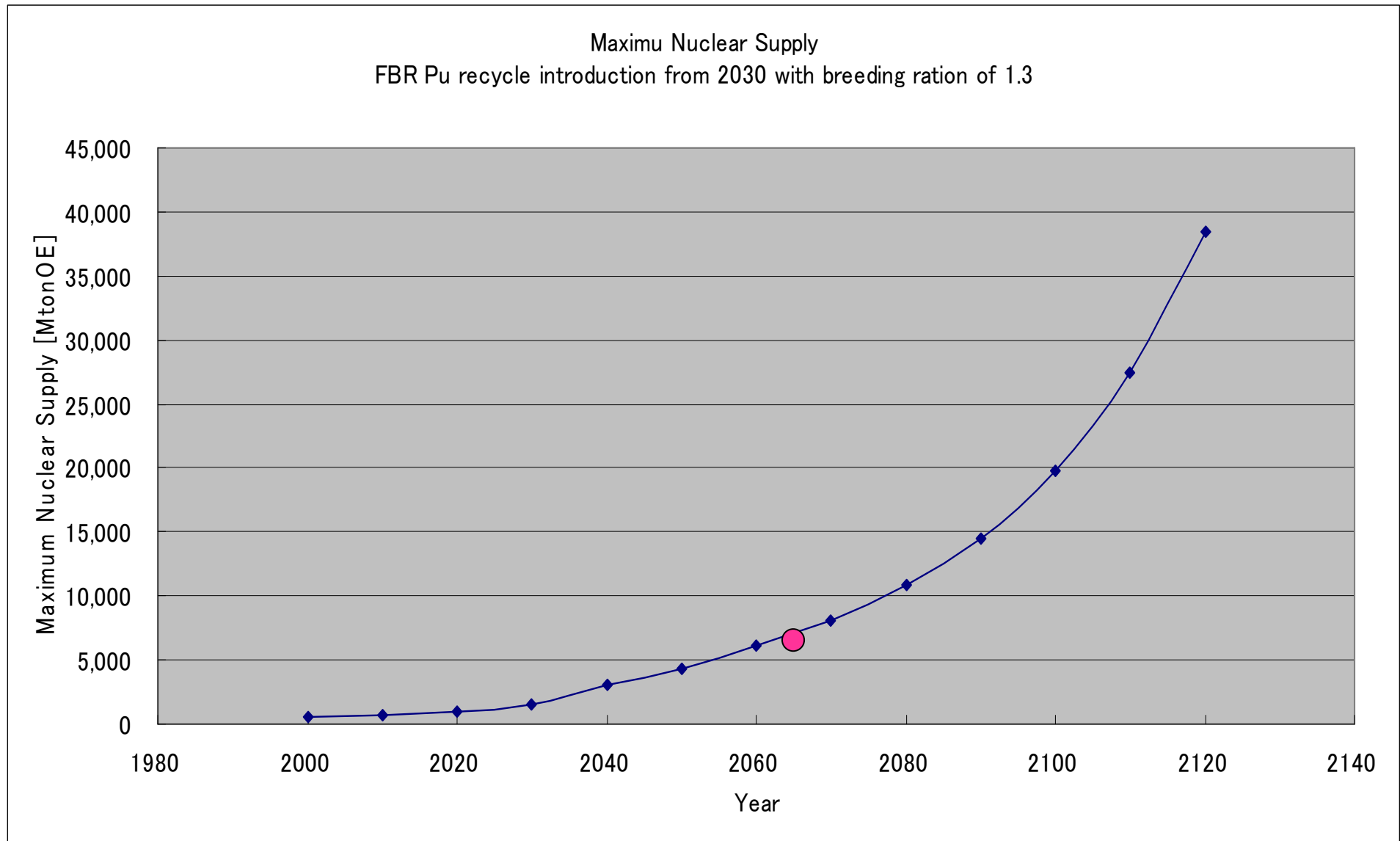
元の図: Edward Smeets et al., "A quickscan of global bio-energy potentials to 2050" Report NWS-E-2004-109 (2004)によるシナリオ1~4

単位換算: 1 Gton_{OE} = 41.87 EJ
1 GtonC = 0.784 Gton_{OE}

原子力によるエネルギー最大供給可能量

FBR・Puリサイクル導入2030年、増殖率1.3

(出典: 小野 清、ほか「世界における原子力エネルギー最大供給可能量の検討」JNC TN9400 2001-028(2000年12月)



換算: 一次エネルギー消費量(原子力分)(Mtoe) = \sum 炉型i [(炉型iの発電設備容量(GWe))*10E9*24時間*365日
(炉型i稼働率)/10E12/(熱効率0.4)(TWh→Mtoe換算係数0.086)]

ここまでのまとめ

- 現在の地球温暖化の進行状態から、エネルギーを持続的に供給しつつ大気中からCO₂を除去可能な「カーボンネガティブ・エネルギーシステム」を21世紀の半ば頃までに構築・運用することが必要と考える。
- 提示したシステムは、バイオマスと原子力からバイオ炭と炭化水素合成燃料を製造するプロセスを用いて、地球規模炭素循環からCO₂を効果的に除去すると同時に必要な燃料供給を行う。
- 想定したバイオマス処理量はWEC/IPCCなどの評価による2050年生産可能量の範囲内、また原子力使用量は高速増殖炉・Puリサイクル利用による原子力供給可能量の範囲内である。
- このシステムの運用は、CO₂除去を行う世界規模の巨大な公共事業、同時に燃料供給を統合的に行うので新たな環境・エネルギー産業となり得る。

日本の長期エネルギー計画の進め方(私考)

- 日本は「2030年温室効果ガス26%削減目標」(2015年12月パリ協定採択)の実施、「2050年温室効果ガス80%削減目標」(2016年5月閣議決定)の計画を進めている。
- これら日本の長期エネルギー計画は、世界の地球温暖化対策の一環であり、温室効果ガスのゼロ・エミッション～ネガティブ・エミッションへ至る過程の一つの通過点と考える。
- 2030年、2050年、さらにその先の段階を考えて、一連の共通する技術の採用など発展的・体系的に計画する。
- CO2除去は世界規模の「**巨大な公共事業**」であり、CO2除去とそれに伴う燃料供給事業は新しい大きな「**環境・エネルギー産業**」となり得る。
- 日本は先導的な技術確立により、世界規模での温暖化対策実施に技術的に先行し、国際的環境・エネルギー事業を展開していく。

バイオマスの炭化・ガス化プロセスのケース・バイ・ケースの運用

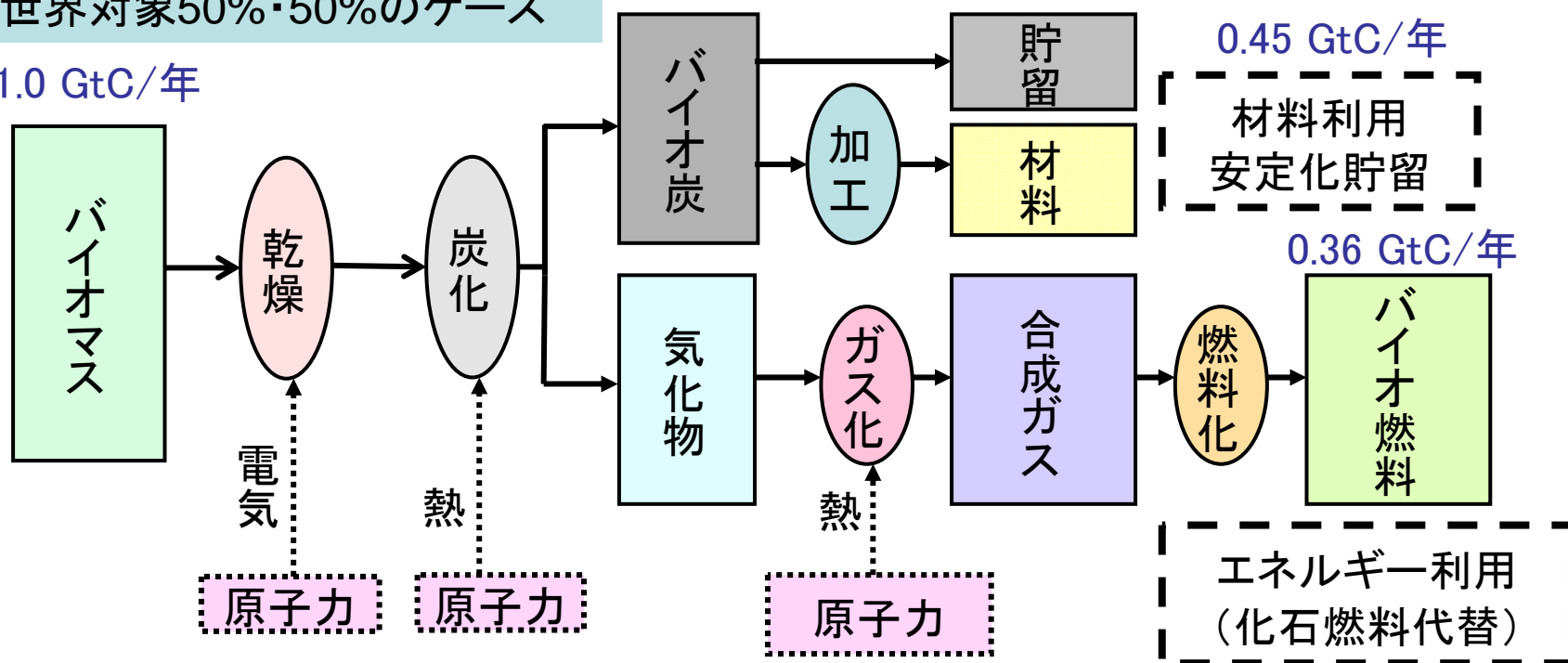
バイオマス (+原子力) → バイオ炭 + バイオ燃料

炭化の温度条件によりバイオマス中の炭素Cは

バイオ炭に [最大50%~最小0%]、バイオ燃料に [最小50%~最大100%]

世界対象50%・50%のケース

1.0 GtC/年



✓日本の2050年80%削減のケースでは、バイオ炭0%・バイオ燃料100%で運用

✓将来のネガティブエミッションではバイオ炭50%までで運用

2050年目標達成のためのエネルギー供給・利用における主な方策

1. 発電と燃料製造には、石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料を使用せず、再生可能エネルギーと原子力のみを使用
2. 燃料(非電力二次エネルギー)の製造は、バイオマスに原子力熱を供給して合成ガス(CO+H₂)を製造し燃料化して使用(2050年以降のネガティブ・エミッションには、一部バイオ炭生成によりその安定貯留効果を利用)
3. 運輸動力や熱の用途の燃料需要は、電動推進やヒートポンプなどにより電力に置換して、必要な燃料の量の抑制・エネルギー利用効率の向上。(二次エネルギーに占める電力の割合(電力化率)は現在の約2倍の50%以上)
4. 製鉄・セメント製造などには、2050年時点では石炭を使用し、これによるCO₂はCCS方式の貯留を行わずそのまま排出。将来的には鉄鋼・セメント製造などのプロセスの革新とバイオマス起源の合成ガス・合成燃料の余剰分供給によりCO₂排出を抑制

2050年の最終エネルギー構成案
燃料供給にバイオマス・原子力プロセス採用の場合

	電力		非電力		エネルギー 合計
			燃料用	鉄鋼 セメント用	
最終エネルギー	105 Mtoe 1221 TWh		90 Mtoe		195 Mtoe
	原子力 60% 63 Mtoe 733 TWh	再生可能 40% 42 Mtoe 488 TWh	合成ガス 50 Mtoe	石炭 40 Mtoe	
一次エネルギー (参考)	277.6 Mtoe		65.6 Mtoe	42.1 Mtoe	385.3 Mtoe
	原子力 60% 166.5 Mtoe 1936.8 TWh熱	再生可能 40% 111.0 Mtoe 1291.2 TWh熱	バイオマス 50.0 Mtoe 2093 PJ 原子力 15.6 Mtoe 181.9 TWh熱	石炭 42.1 Mtoe	

- RITE報告書「2℃目標と我が国の2050年排出削減目標との関係」(2016年3月)のケースの最終エネルギー値を基に作成。
- これに化学工業などのプロセスからの排出CO₂、他の温室効果ガス(5種類)を加えて、2050年81%削減をCCSなしで達成。

これからの日本のエネルギー -- 技術と事業の展開

日本は、2050年80%削減を世界の地球温暖化対策への重要な道標としてエネルギー供給利用計画を設定し、その先の世界規模の環境・エネルギー技術/事業への展開を図っていく。推進のポイントは下記。

- 日本が研究・開発・産業で優位にある技術の積極利用
 - 原子力技術(軽水炉・高速炉・高温炉、燃料サイクル)
 - バイオマス技術(炭化・ガス化、藻類・エネルギー植物、人工光合成)
 - 自動車技術(BEV、PHEV、自動運転、コネクテッドカー、Vehicle-Grid Integration)
 - 情報通信技術(次世代通信、ネットワーク、AI、Blockchain)
- 実用化・事業化・国際化を円滑に進めるための規制・基準の合理化
- 競争的環境による経済性注視の開発・事業化・国際展開支援
- 炭素プライシングによるネガティブエミッション事業化推進