

BECCS* (バイオマスエネルギー ＋CO₂回収貯留)の可能性

*Bio-energy with
Carbon dioxide Capture and Storage

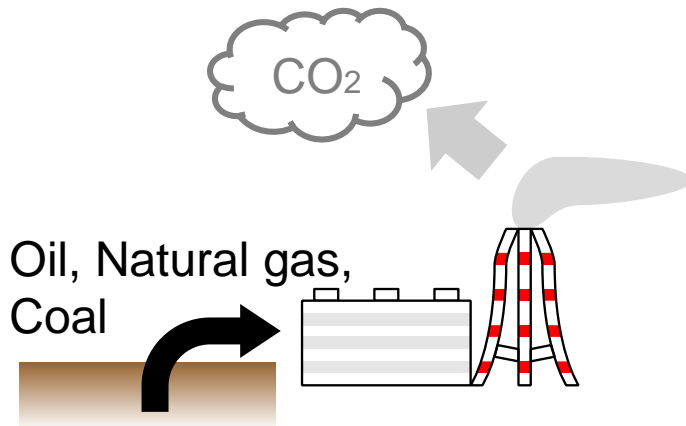
信州大学繊維学部

高橋 伸英

BECCSのコンセプト

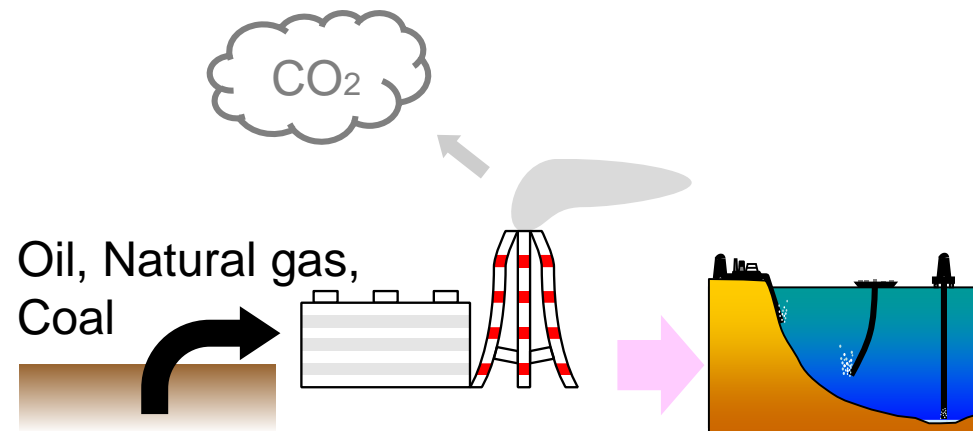
①化石燃料燃焼

Positive emission



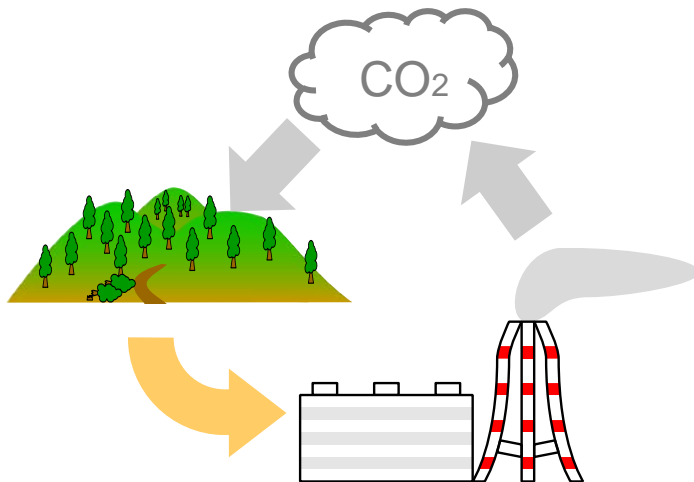
②化石燃料燃焼＋CCS (FECCS)

Positive emission



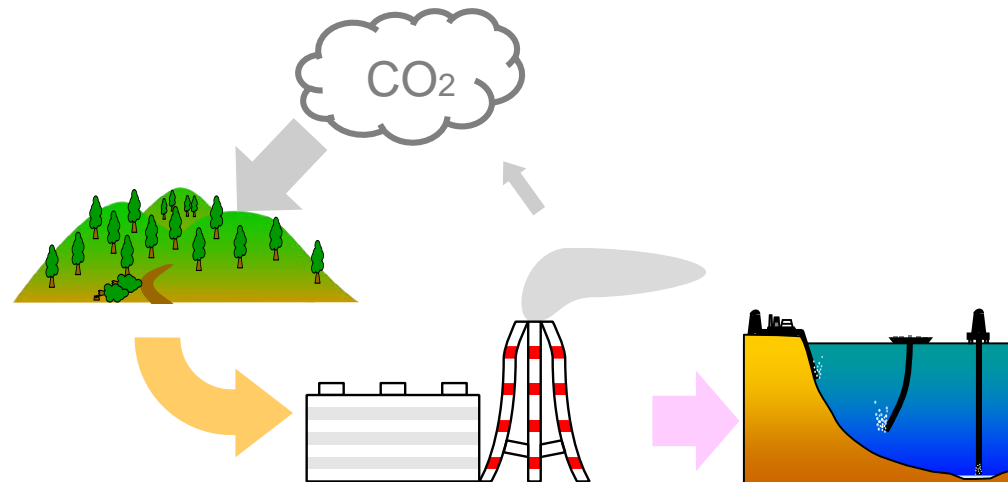
③バイオマス燃焼

Zero emission



③バイオマス燃焼＋CCS (BECCS)

Negative emission



バイオマスの分類

		廃棄物系	未利用系	生産系
乾燥系	木質系	建築廃材, 製材残材	間伐材	栽培木材(ユーカリ, ヤナギ等)
	草本系	バガス	稲わら	栽培草本(ネピアグ ラス, ソルガム等)
含水系	ふん 尿・ 汚泥系	家畜ふん尿, 下水汚泥		
	一般食 品系	食品加工廃棄 物, 厨芥		
その他	その他	モラセス, 廃食 用油	埋立地ガス	栽培トウモロコシ, 栽培サトウキビ

出典: バイオマス技術ハンドブック

乾燥系・・含水率80%(湿重基準)以下

含水系・・含水率80%(湿重基準)以上

バイオマスのエネルギー変換プロセス

熱化学的変換

主に乾燥系
に適している

直接燃焼

→ 熱利用、発電

気体燃料製造

ガス化

水熱ガス化

} → 熱利用、発電

液体燃料製造

BTL(ガス化→液体燃料製造)

バイオディーゼル(BDF)製造

急速熱分解

水熱液化

} → 熱利用
発電
輸送用

固体燃料製造

炭化, 半炭化

→ 熱利用、発電

生物学的変換

主に含水系
に適している

気体燃料製造

メタン発酵

バイオ水素製造

} → 熱利用、発電

液体燃料製造

アルコール発酵(エタノール、ブタノール)

藻類由来のバイオ燃料製造

→ 熱利用、発電、輸送用

木質バイオマスを用いた発電（直接燃焼）

●直接燃焼

専焼 バイオマスのみを燃料とする。ボイラー＋蒸気タービン。

混焼 バイオマスと主に石炭を混合し燃料とする

バイオマス発電のメリット

1. 設備利用率が高い安定電源
（バイオマス80%, 太陽光:12%, 風力:20%）
2. 発電量を主体的にコントロールできる
3. 燃料を貯蔵、輸送できる

混焼発電のメリット

1. 既設の微粉炭ボイラーを活用できれば経済的に有利
2. バイオマス量の変動を化石燃料で調整できる
3. 小規模専焼発電よりも発電効率が低い

木質バイオマス発電（専焼）

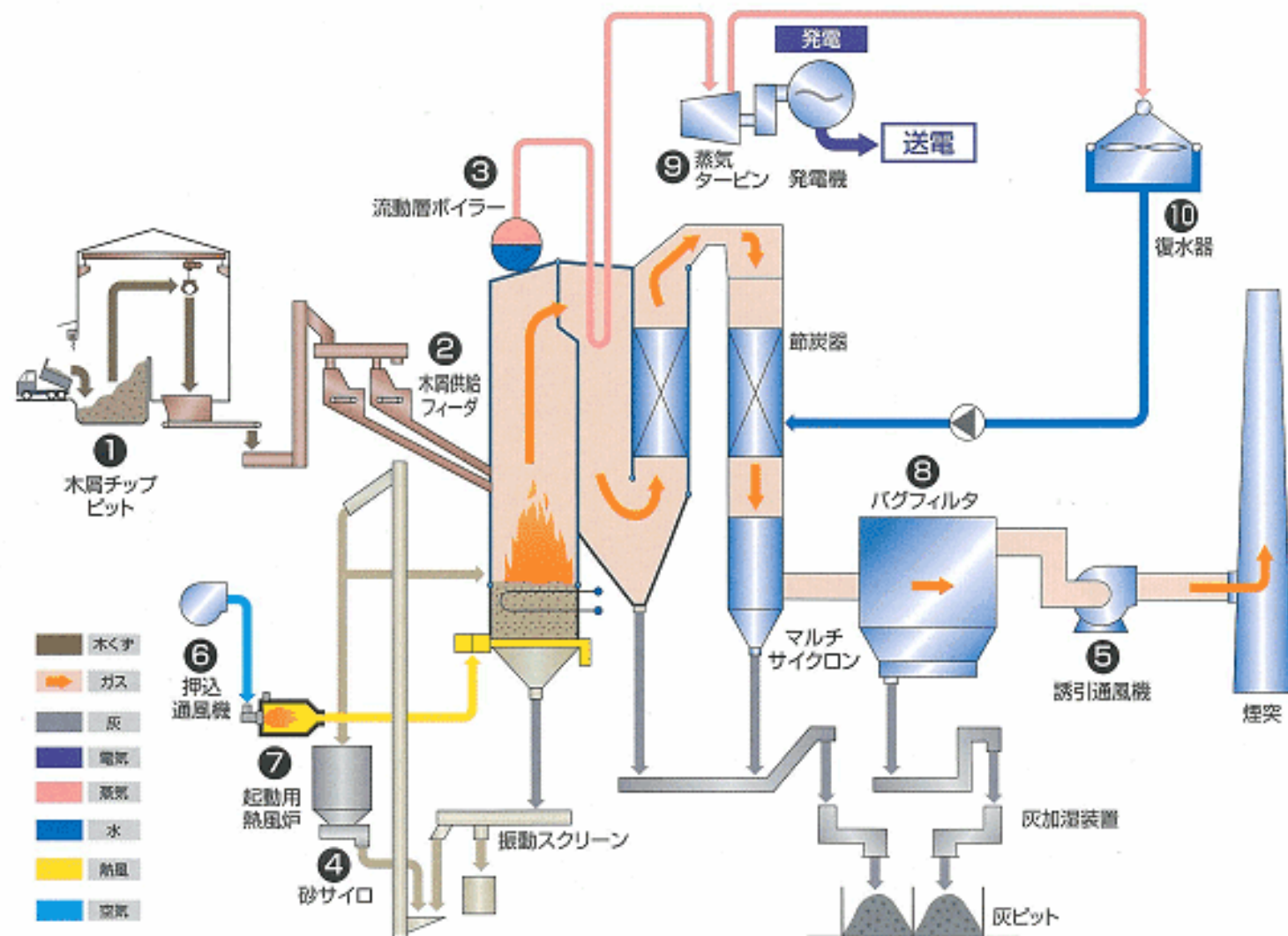
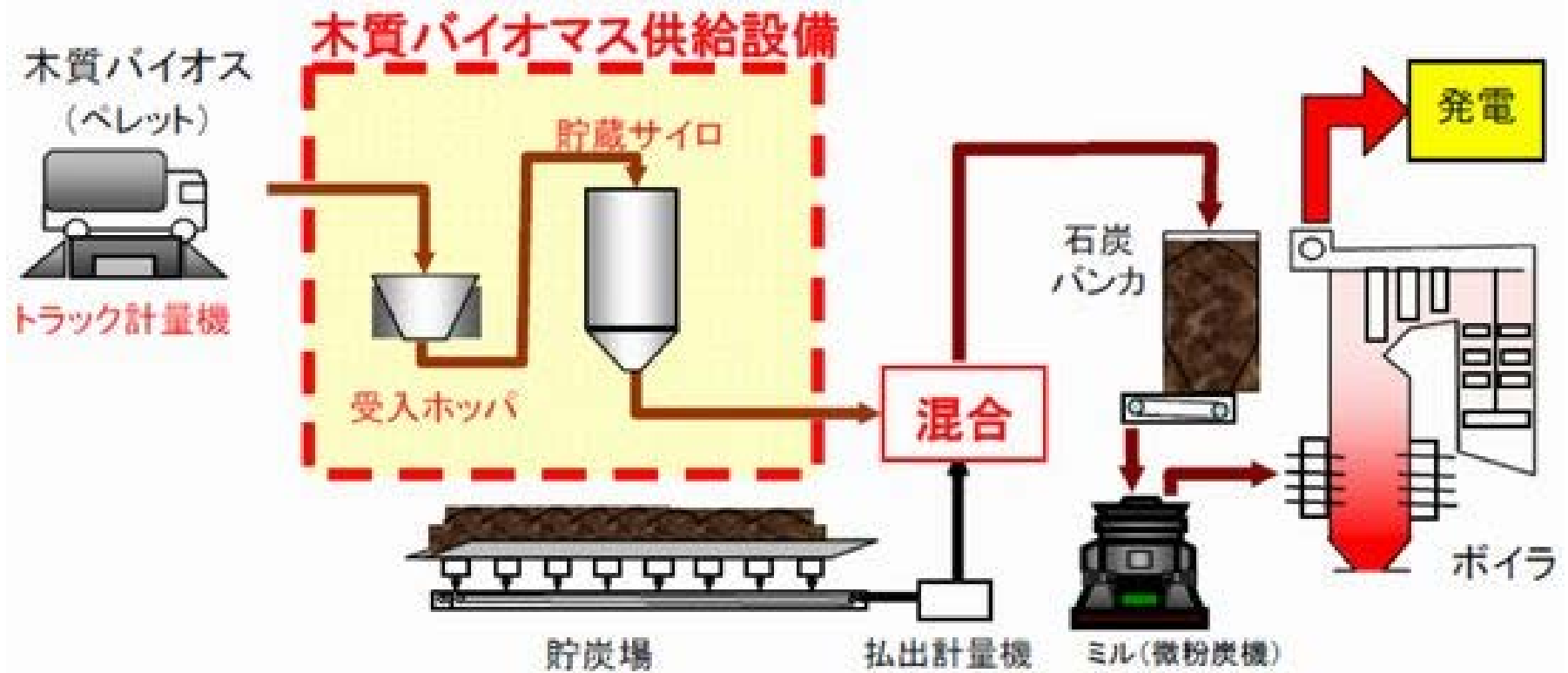


図3 木質バイオマス発電事業者(株式会社バイオパワー勝田)フローシート

[資料提供]株式会社バイオパワー勝田

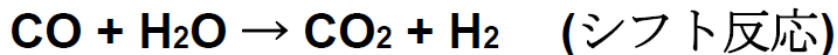
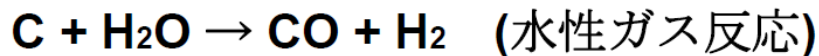
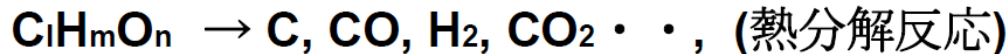
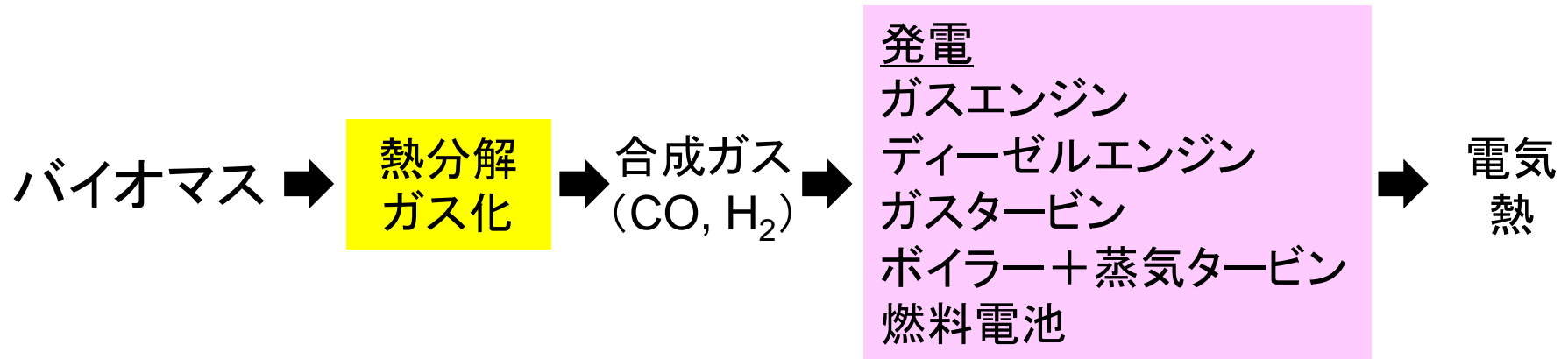
木質バイオマスの微粉炭火力発電所での混焼



出典：沖縄電力株式会社HP，具志川火力発電所
木質バイオマス供給設備概要

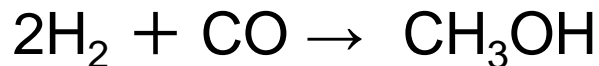
木質バイオマスを用いた発電（熱分解ガス化）

木材チップやワラを蒸し焼きにして、 H_2 や CO を得る。

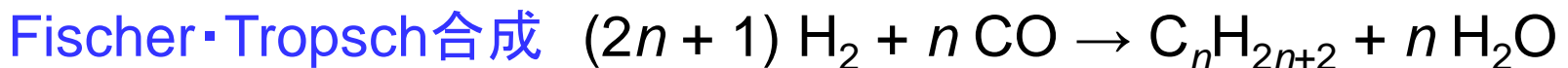


得られた H_2 や CO は発電燃料の他に、次のような反応の原料として利用可能

メタノール合成



Fischer・Tropsch合成

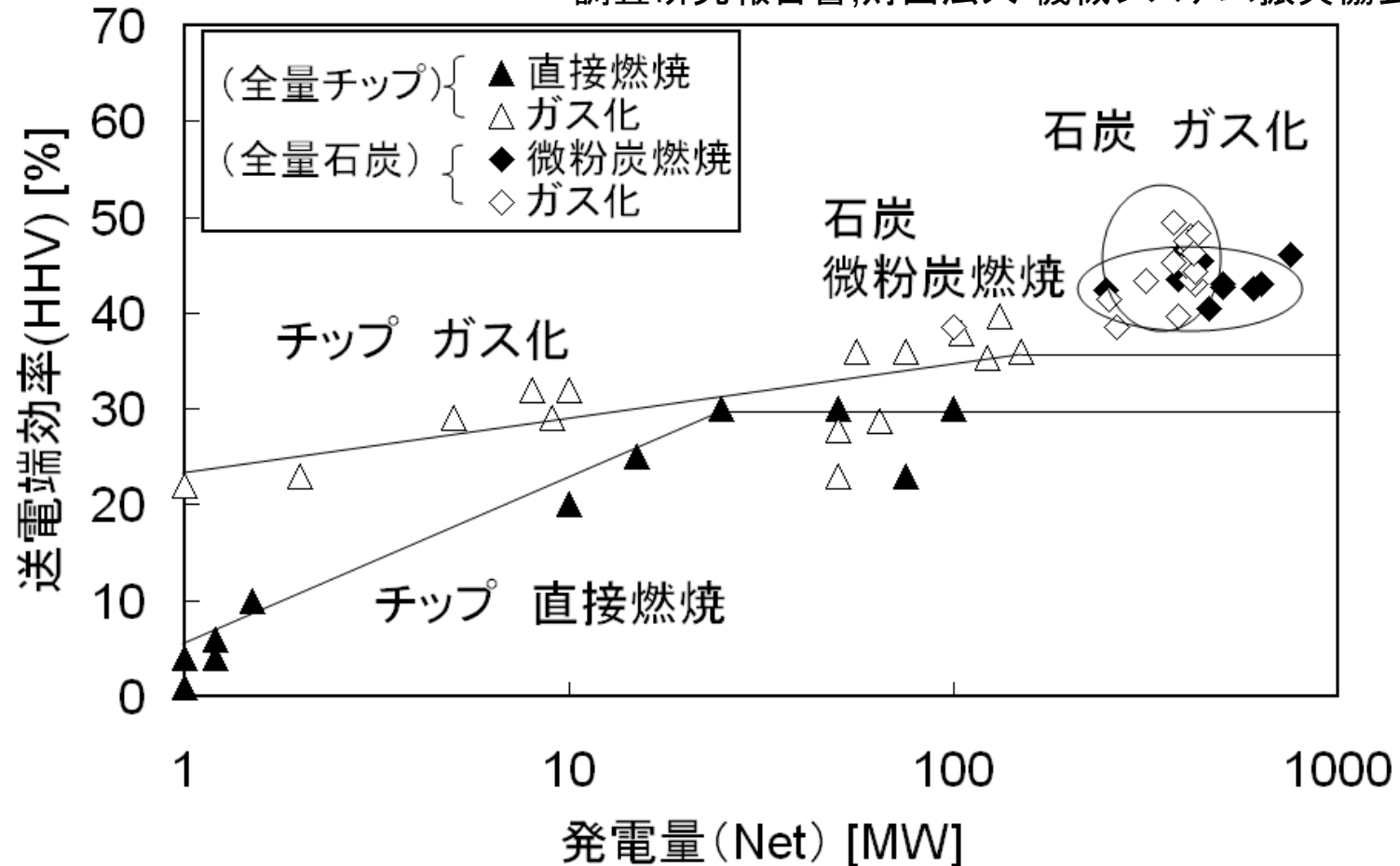


バイオマスエネルギー利用の問題点(燃烧, ガス化)

技術		問題点
直接燃烧	1) 発電	<ul style="list-style-type: none">・原料輸送コストが高価(低エネルギー密度のため) ⇒小規模発電=低発電効率・アルカリ金属の混入による灰の融点低下 ⇒ボイラー損傷、熱交換器効率低下・水分含有による発電効率の低下・混焼率が低い(無改造の場合数%が上限)・粉碎エネルギー大(原料の粉碎特性が悪い)
	2) 暖房	<ul style="list-style-type: none">・木材チップ化はコスト的に不利
ガス化	1) 発電	<ul style="list-style-type: none">・新規設備の建設が必要・原料輸送コストが高価 ⇒小規模利用の場合、設備費により電力コストが高価・タール発生により生産性低下(メンテナンス必要)・粉碎エネルギー大(原料の粉碎特性が悪い)
	2) 液体燃料合成	<ul style="list-style-type: none">・ガス化が高コスト(タール発生などの問題)・メタノール以外の燃料化のためには新たな触媒の開発が必要・FT合成では副生成物が多く単一成分の収率は低い

バイオマス発電の効率

出典: 革新的バイオマス利用システム有望シナリオに関する
調査研究報告書, 財団法人 機械システム振興協会(2008)

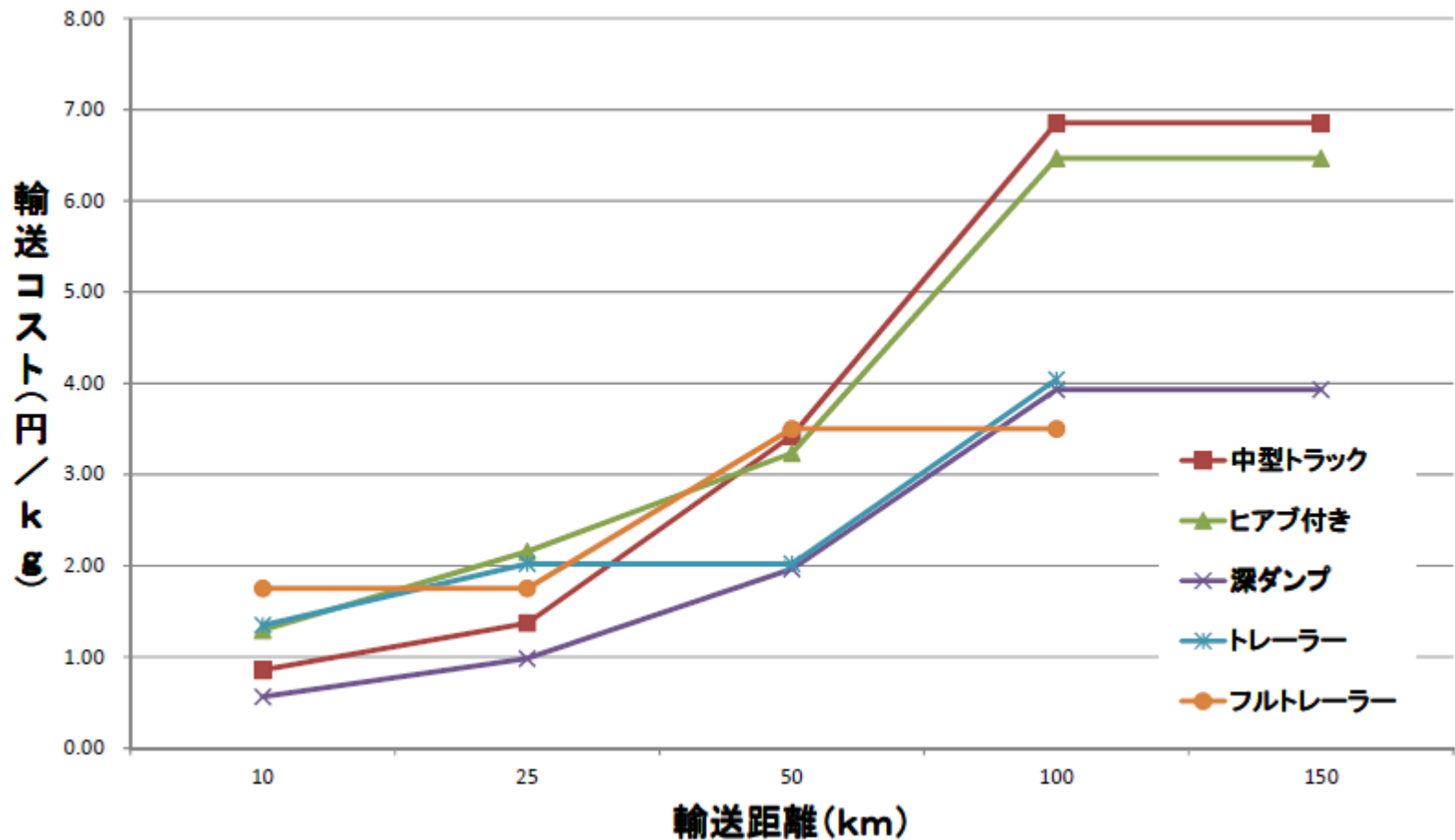


規模が小さいほど発電効率は低い

⇒専焼発電は効率的に不利

大規模石炭火力発電所での混焼は効率的に有利

バイオマスの輸送コスト



出典: 平成23年度庄内地域再生可能エネルギー推進研究会第4回勉強会
(H23年2月21日), 森のエネルギー研究所 菅野氏 講演資料

発電効率を高めたい⇒設備規模を大きくする＝大量のバイオマスが必要
⇒遠隔地からも収集＝距離が遠くなるほど輸送高コスト・・・ジレンマ

再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）

H26年以前

	メタン発酵ガス (バイオマス由来)	間伐材等由来の木 質バイオマス	一般木質バイ オマス 農作物残さ	建設資材 廃棄物	一般廃棄物 その他のバ イオマス
調達価格	39円+税	32円+税	24円+税	13円+税	17円+税
調達期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間

採算とれる規模：
5000 kW以上

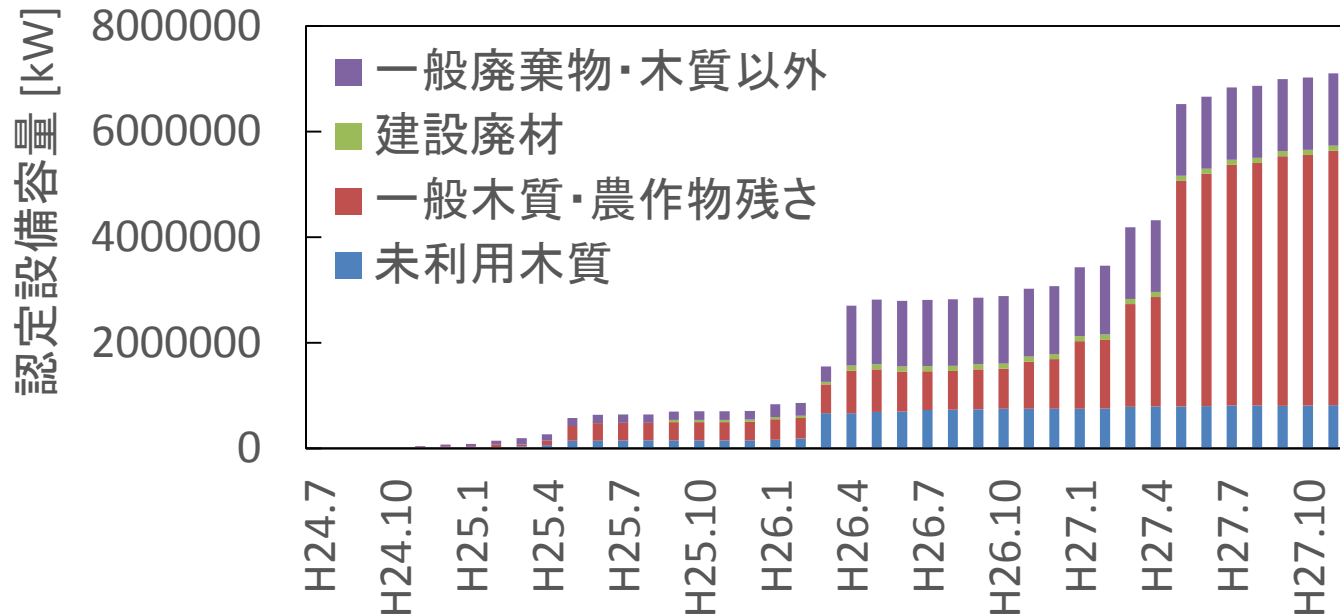
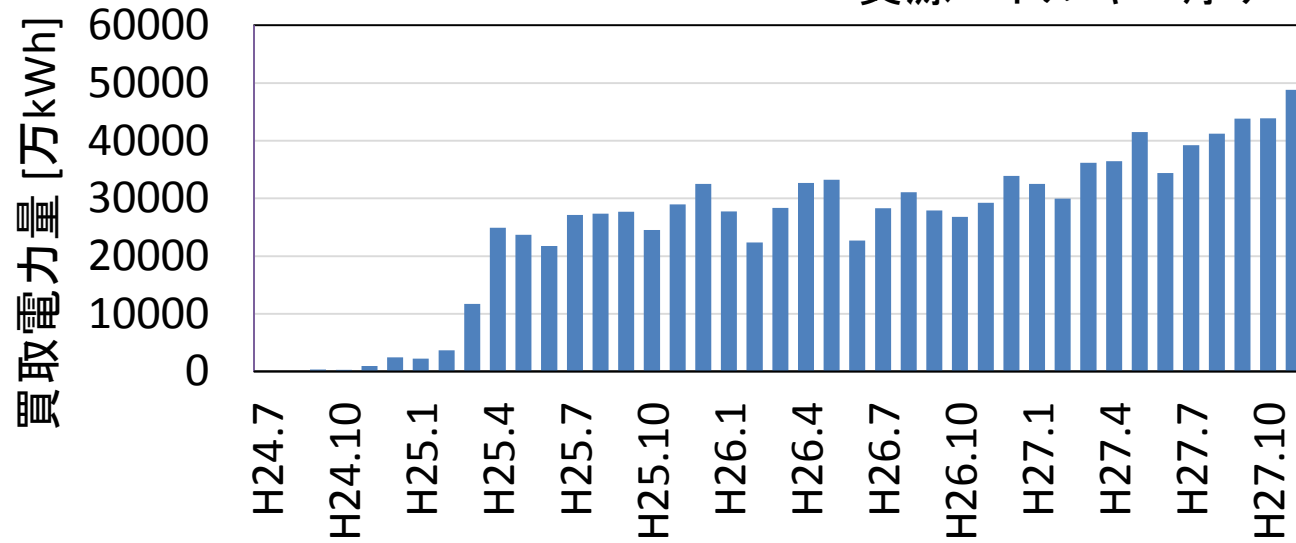
H26年以前

	メタン発酵ガス (バイオマス由来)	間伐材等由来の 木質バイオマス		一般木質バイ オマス 農作物残さ	建設資材 廃棄物	一般廃棄物 その他のバ イオマス
		2,000kW 未満	2,000kW 以上			
調達価格	39円+税	40円+税	32円+税	24円+税	13円+税	17円+税
調達期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間

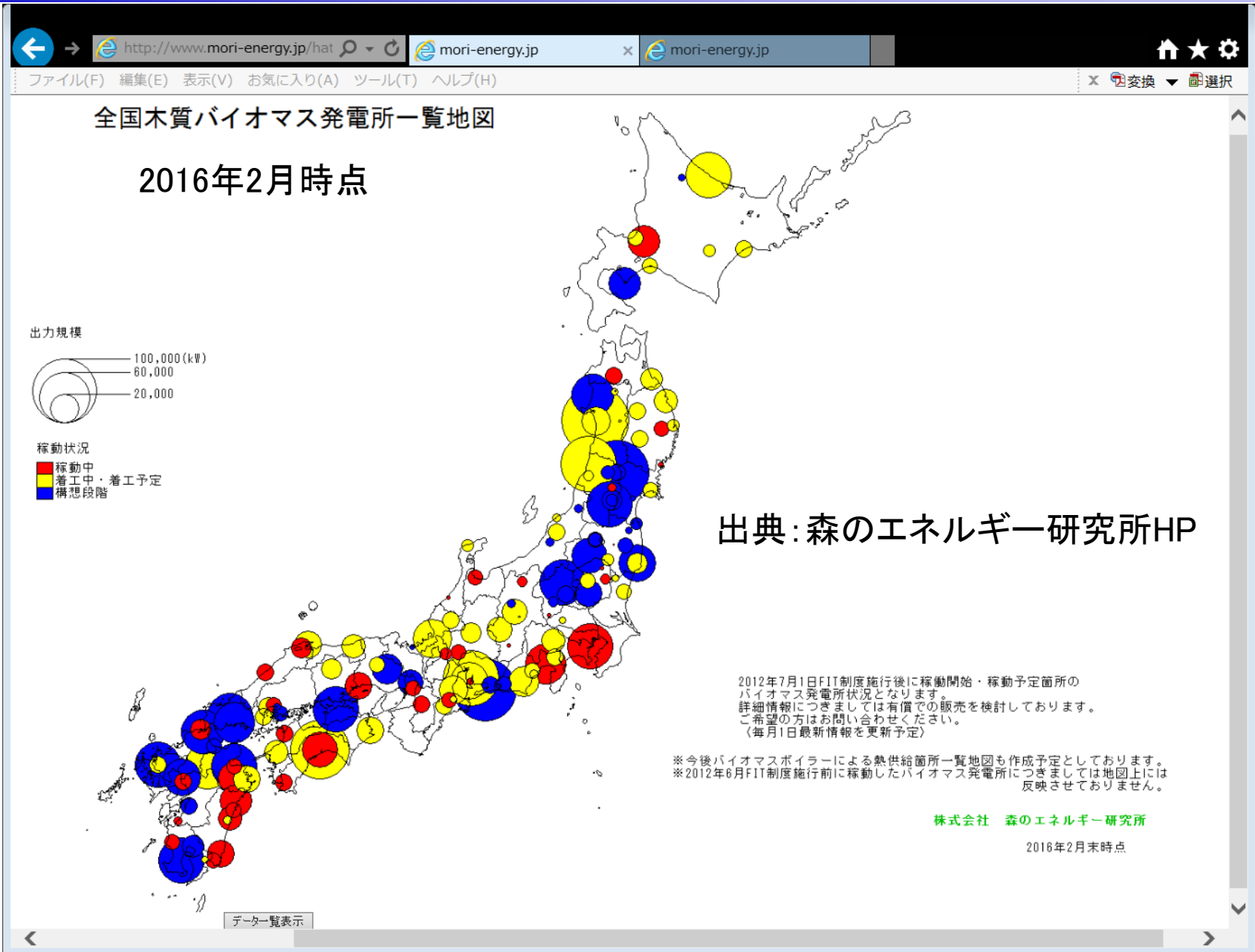
小規模への優遇

FITにより導入されたバイオマス発電

資源エネルギー庁データより作成



日本の木質バイオマス発電所



長野県の木質バイオマス発電

長野県「信州F・POWERプロジェクト」(2017年稼働予定)



事業主体: 征矢野建材(株)他

計画概要

計画予定地: 塩尻市片丘

総事業費: 約 70 億円

集中型製材工場

○主に床材の生産

○多樹種に対応した製造ライン

○原木消費量: 約 8~12 万 m³

木質バイオマス発電施設

○森林資源 100%利用型

○毎時 1 万 kW

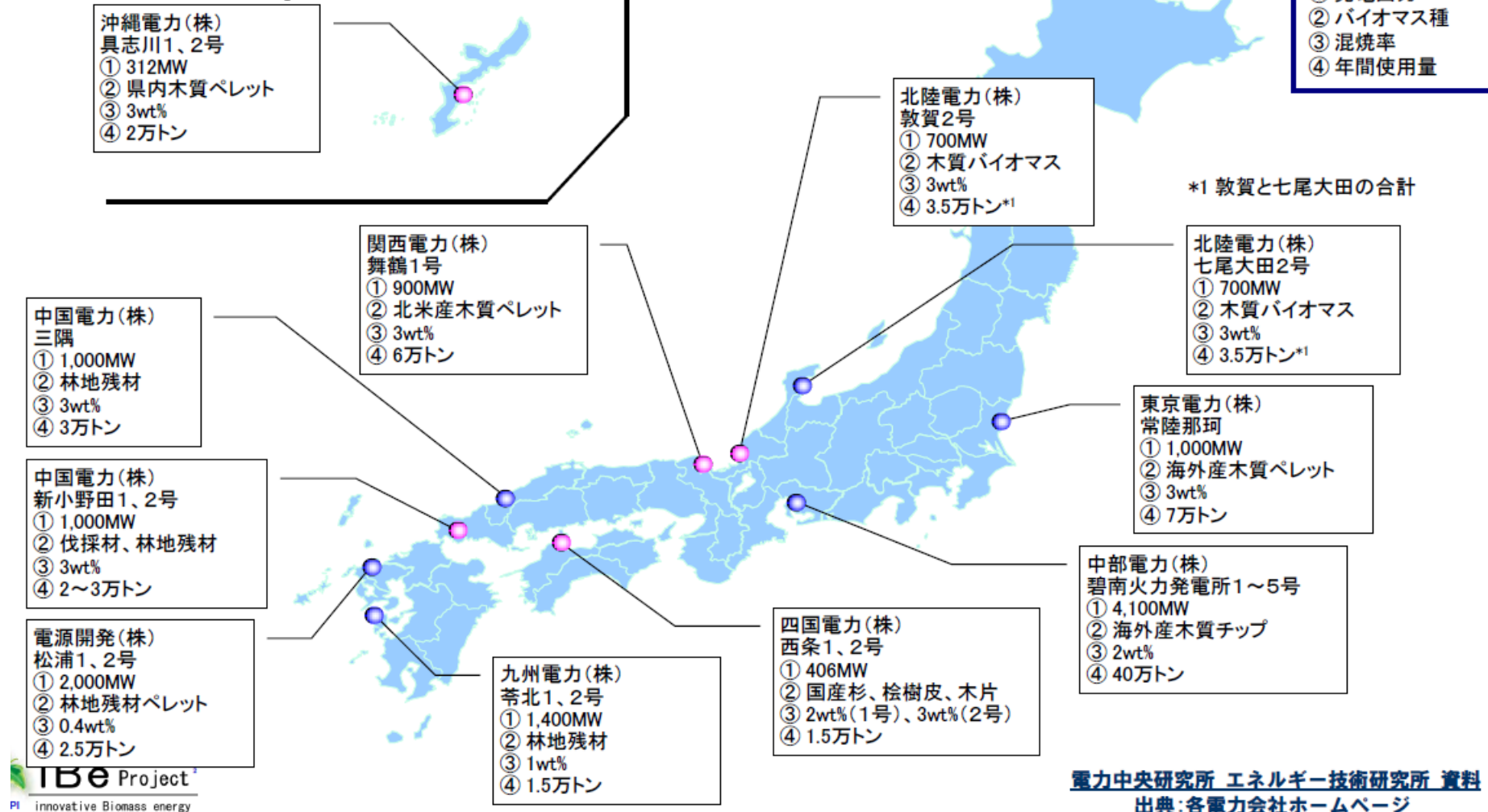
○地域熱供給を検討

○原木消費量: 約 21 万 m³

木質バイオマス混焼火力発電所(電気事業)

混焼のメリット: ①既存の設備が使用可 ②発電効率が高い
③RPS法に対応

- 運開中
- 運開(予定)
- ① 発電出力
- ② バイオマス種
- ③ 混焼率
- ④ 年間使用量



Copyright, CRIEPI, All rights reserved, 2010

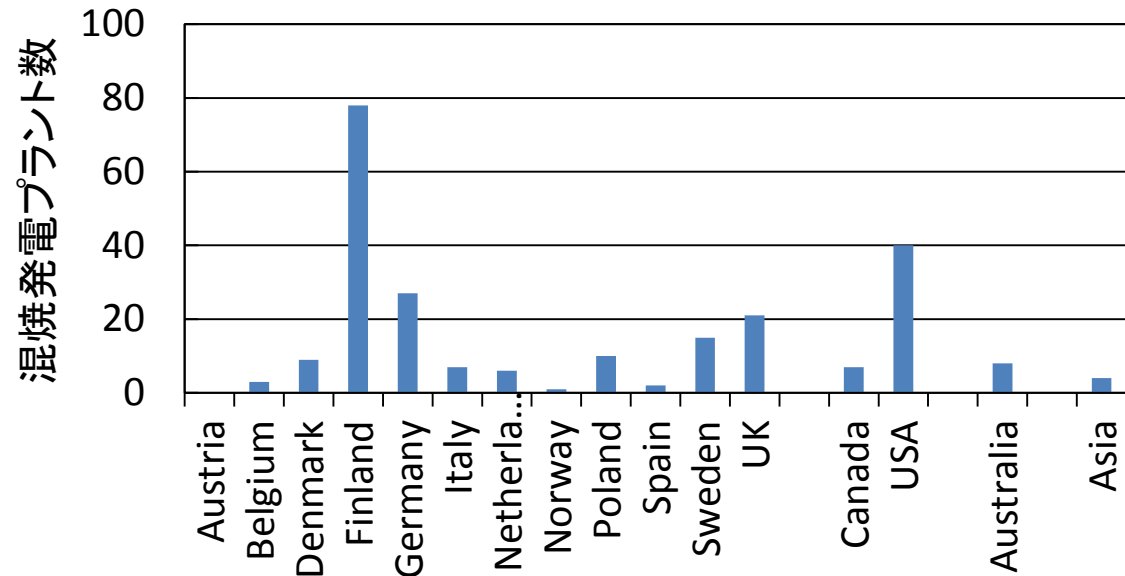
出典: (財)電力中央研究所 井内正直, -未来を創る木材産業イノベーション研究会第3回研究会「電力業界から見た木質バイオマス～混焼利用を中心に～」(2010)講演資料

混焼発電の現況

●世界の混焼発電プラント

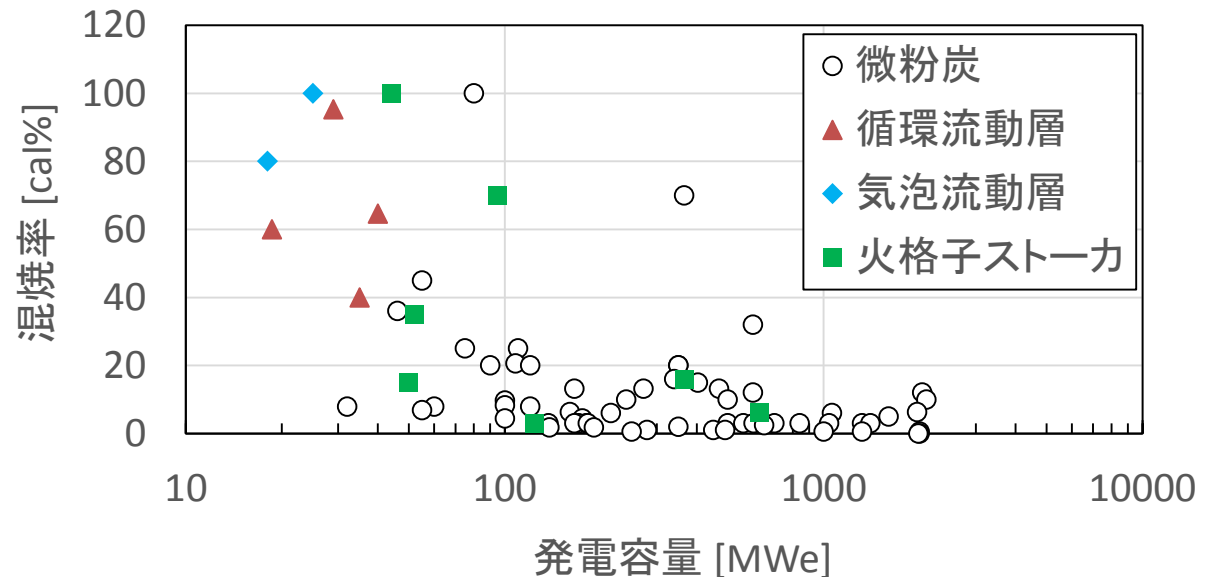
IEA, Database of Biomass Cofiring initiativesより作成

2013年時点
試験段階、試験終了、混焼から専焼への転換を含む



微粉炭燃焼が全体の8割を占める

混焼率20%以上は
ほぼ100MWe未満



バイオマス発電所視察

●サミット明星パワー糸魚川バイオマス発電所(新潟県糸魚川市)

設備容量: 50 MW (国内最大級)

発電した電力は、隣接の明星セメント、スーパーマーケット、商業施設、
電気小売業者、東北電力に販売

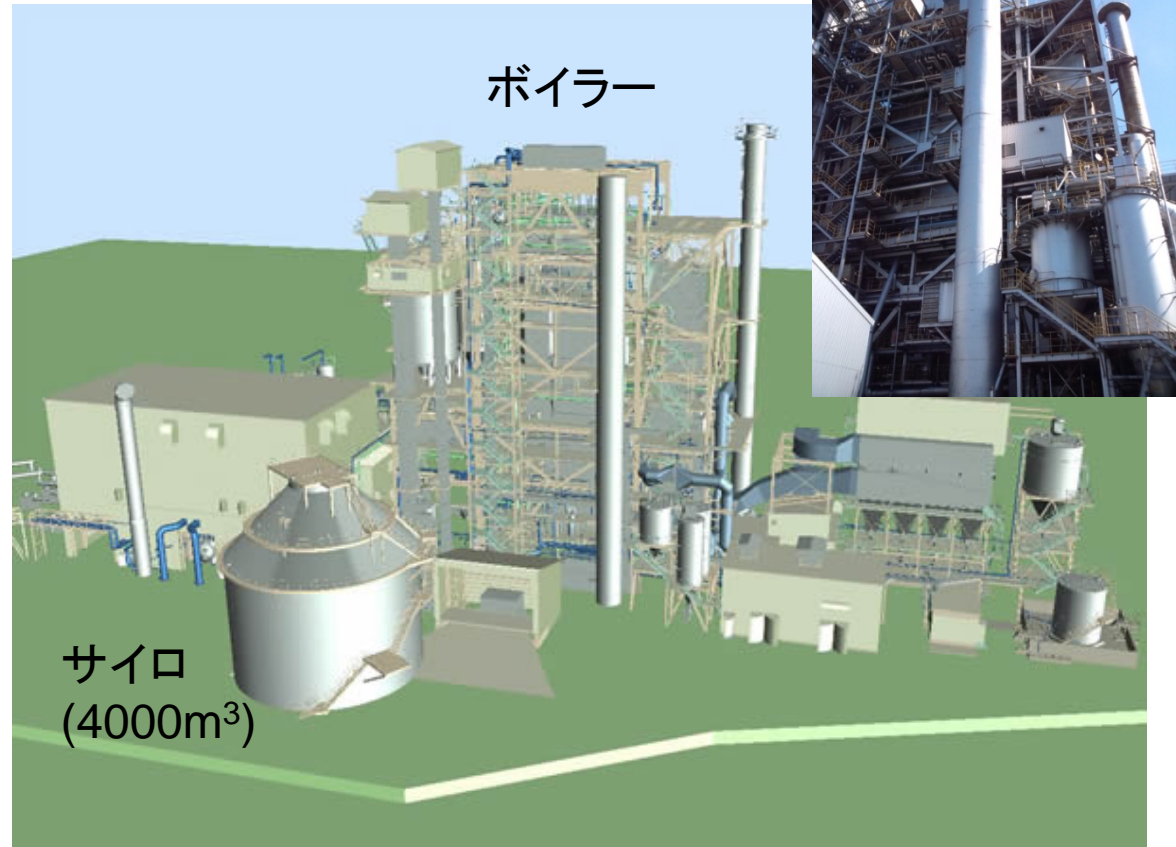
発電効率: 35% (最高)

燃料: **木質バイオマス+石炭**
バイオマス比率60%以上
バイオマス消費量800t/日
バイオマス調達量変動、
含水率変動の季節変動に
よる出力変動を石炭で調節

ボイラ: 循環流動層
砂を流動媒体。多様な
燃料に対応

熱利用: なし

灰の処理: 明星セメントで再利用



混焼発電の現況

●IHIプレスリリース（2015年12月2日）

石炭焚火力発電所でバイオマス混焼率**25%（熱量比率）**を実証
～国内最大規模の混焼試験による安定運転を達成～

＜バイオマス混焼試験の概要＞

所在地：新日鐵住金株式会社 釜石製鐵所内
エネルギー工場（岩手県釜石市）

発電出力：149 MW

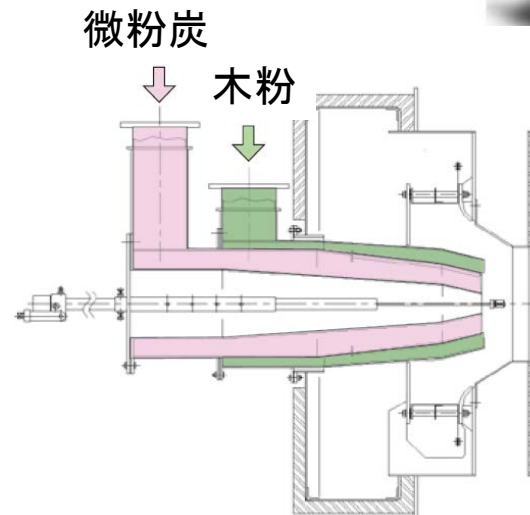
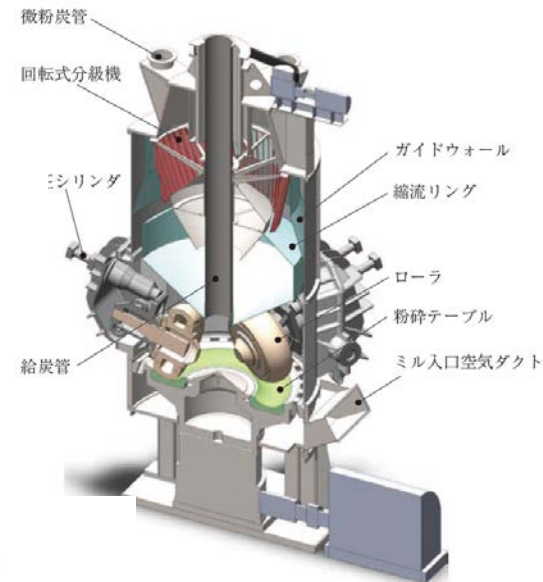
発電方式：石炭焚汽力発電

混焼率：25%（熱量比率），33%（重量比率）



バイオマ
バイオマス混焼実証機

木質バイオ
マス単独粉
砕ミル



木粉・微粉炭
専焼バーナ

出典：IHI 技報, Vo.52,
No.4 (2012)

混焼発電の現況

●日本製紙株式会社プレスリリース（2013年4月3日）

ニュースリリース既存石炭火力ボイラーへのバイオマス混焼を従来の約10倍 CO2発生量の低減に有効な新規バイオマス固形燃料を開発

～平成23年度採択NEDO事業で微粉炭ボイラーでの**25%混焼**を確認～



トレファイドペレット

トレファクション燃料の特徴

		木質チップ*	木質ペレット	トレファイト* 木質ペレット
粉碎性	HGI*	17～20	20～25	35～60
石炭混焼率	%	3	5	15～100
エネルギー密度	kcal/l	600～900	2500～3400	3000～4000
耐水性		△	×	◎
自然発火耐性		×	×	○

*石炭(HGI=40～60)の粉碎性の指標で高いほど粉碎性が良好

木質バイオマスエネルギー利用の課題

◎資源の確保

FITの導入により、発電事業の増加が予想される

バイオマス燃料の奪い合い⇒燃料価格高騰⇒共倒れ

海外バイオマスの利用 ⇒ 資金の流出, 国内林業の停滞

経済効率優先 ⇒ 間伐→皆伐 ⇒ 禿げ山化

適正な資源供給調整、植林を含んだ資源確保が必要

◎総合効率の向上・・所詮、一次エネルギーの5%程度しかない！

小規模ほど発電効率低い=エネルギーの無駄

→**熱の利用を前提に！！**

石炭混焼は、効率、コストの面からも有利

◎経済性の向上

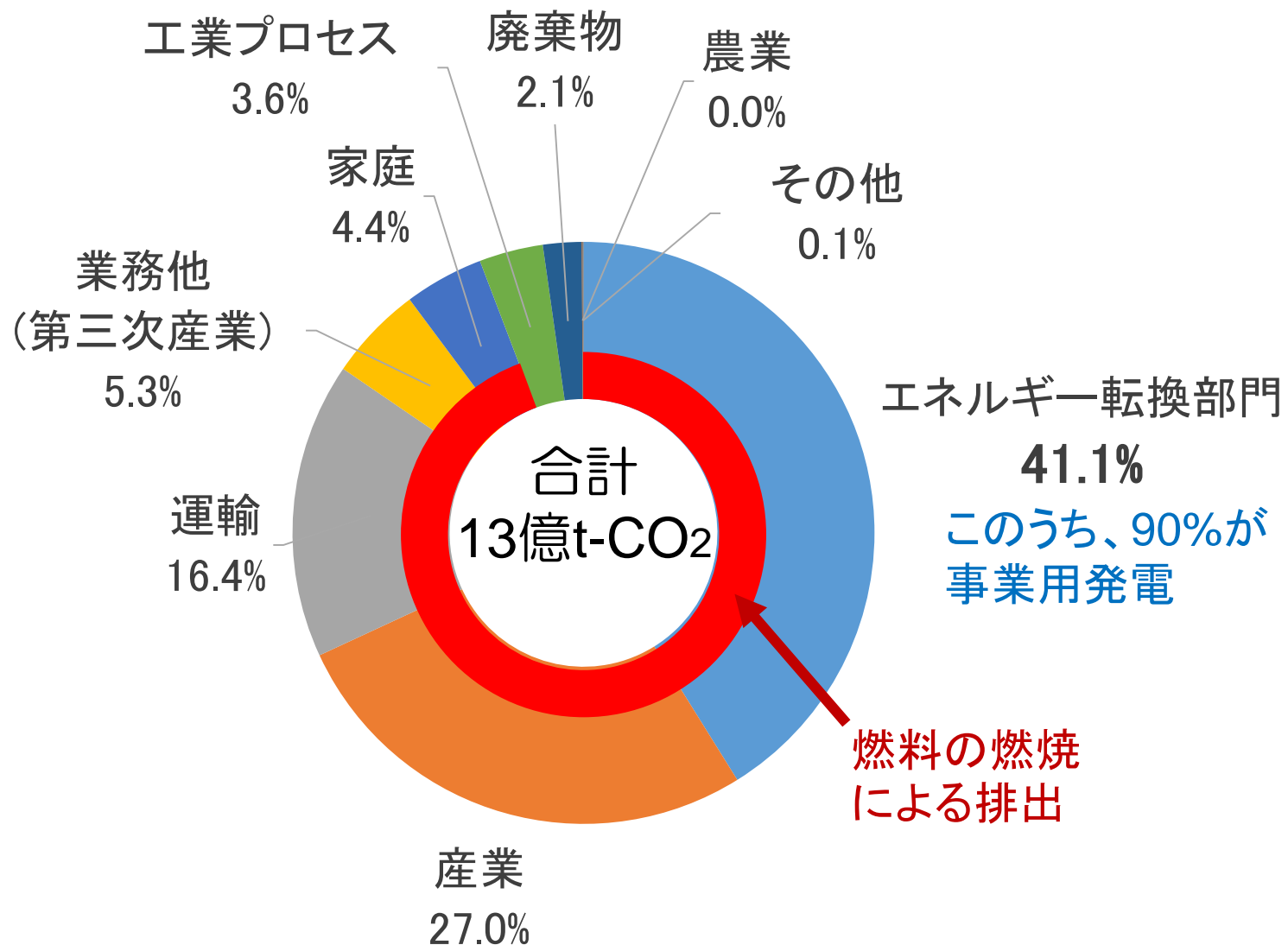
廃棄物の有効利用、燃焼排出物(灰)の有効利用

付加価値の向上、マテリアル利用、カスケード利用

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage)



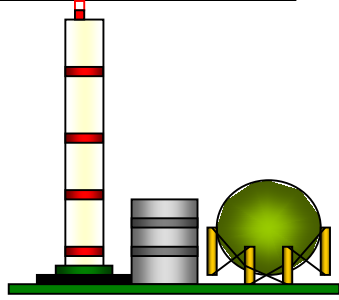
日本の部門別CO₂排出量（2013年度）



CO₂排出源と分離・回収・貯留の全体システム

排出源

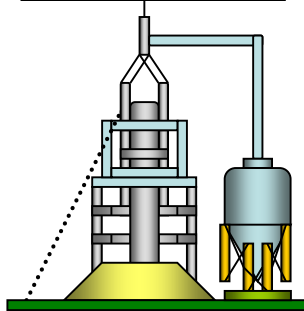
火力発電所



年間排出量 3.7億t-CO₂

CO₂濃度 6-14%

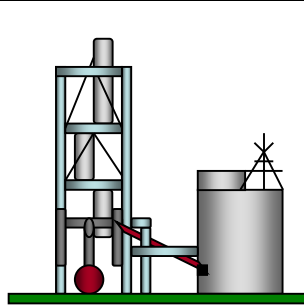
製鉄高炉



1.8億t-CO₂

25%

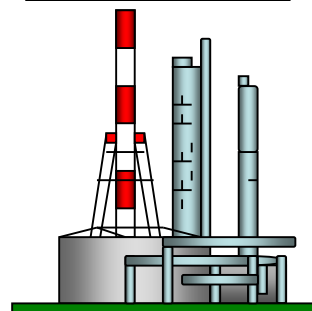
セメント工場



0.3億t-CO₂

20%

石油化学



0.1億t-CO₂

30-50%

分離・回収 技術

吸収

吸着

膜分離

深冷分離

酸素燃烧

輸送

パイプライン

船舶

車両

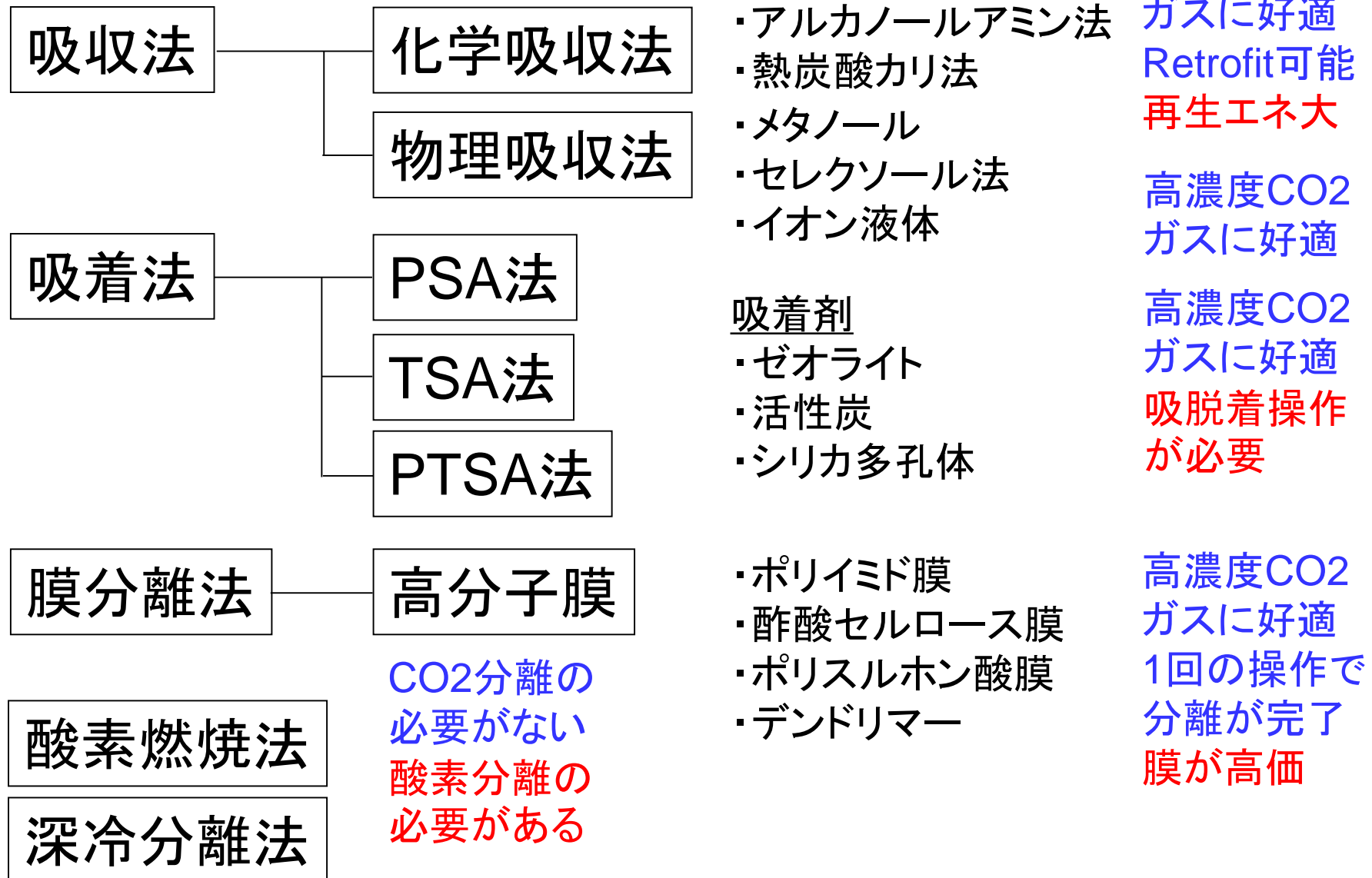
貯留・隔離

地中

海洋

排出源に適した分離技術の選択、隔離場所に適した輸送手段の選択が必要

工業的分離・回収技術

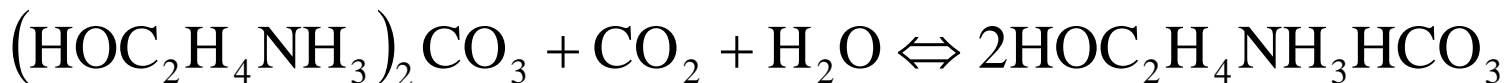


化学吸収法

排ガスと吸収液を接触させ、CO₂と吸収液中溶質の化学反応を利用した分離法。CO₂の吸収速度がCO₂分圧の影響を受けにくく、常圧、低濃度の排ガスに好適。吸収液の再生に多くの熱を要する。

○アルカノールアミン法

CO₂-MEA(モノエタノールアミン)系の反応



40～50℃で吸収を行い、110～130℃で吸収液の再生を行う。

○熱炭酸カリ法



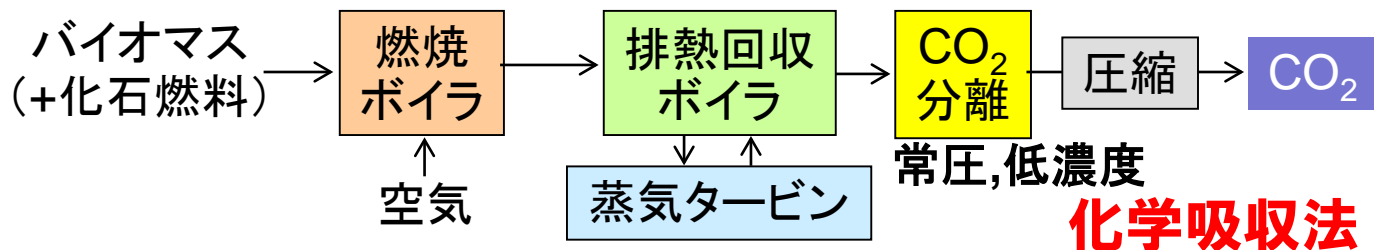
70～120℃で吸収を行い、100～110℃に減圧加熱し吸収液を再生する。アミン法より熱効率が高いが、排ガスに適用する場合は加圧が必要。

CO₂回収プロセスの形式による分類

●発電方式とCO₂分離回収技術

・直接燃焼発電(専焼/混焼)-燃焼後回収

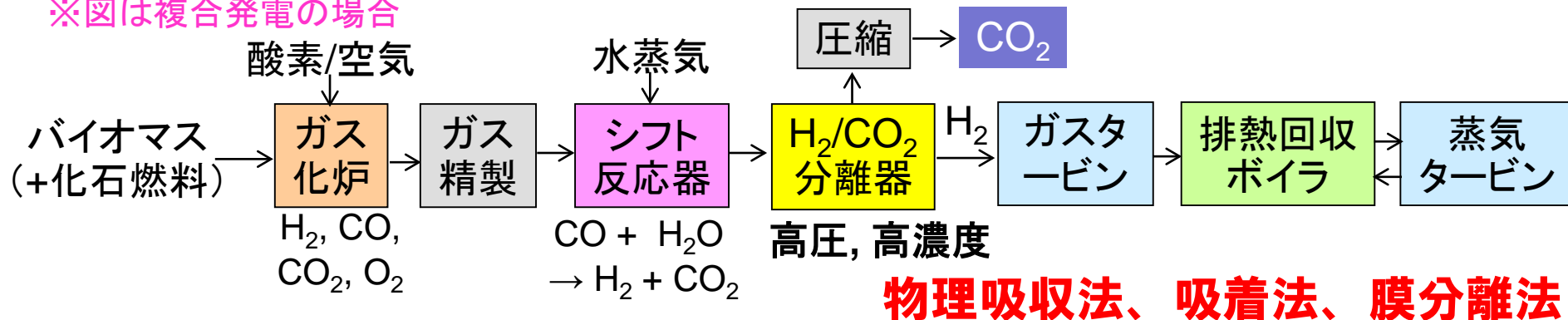
発電効率: 5-40%



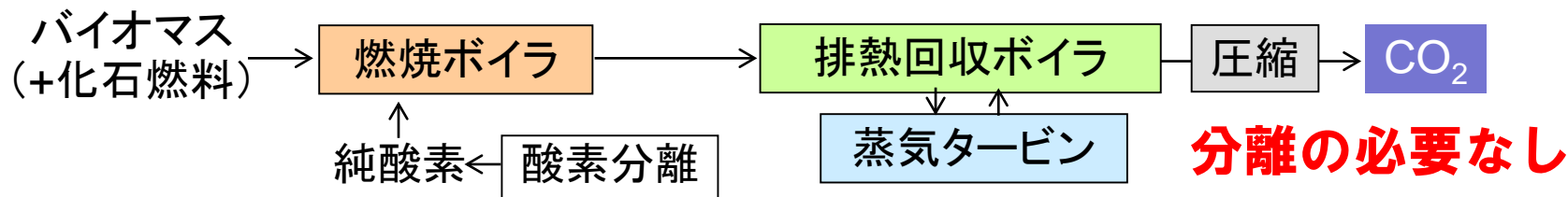
・ガス化(複合)発電(専焼/混焼)-燃焼前回収

発電効率: 20-50%

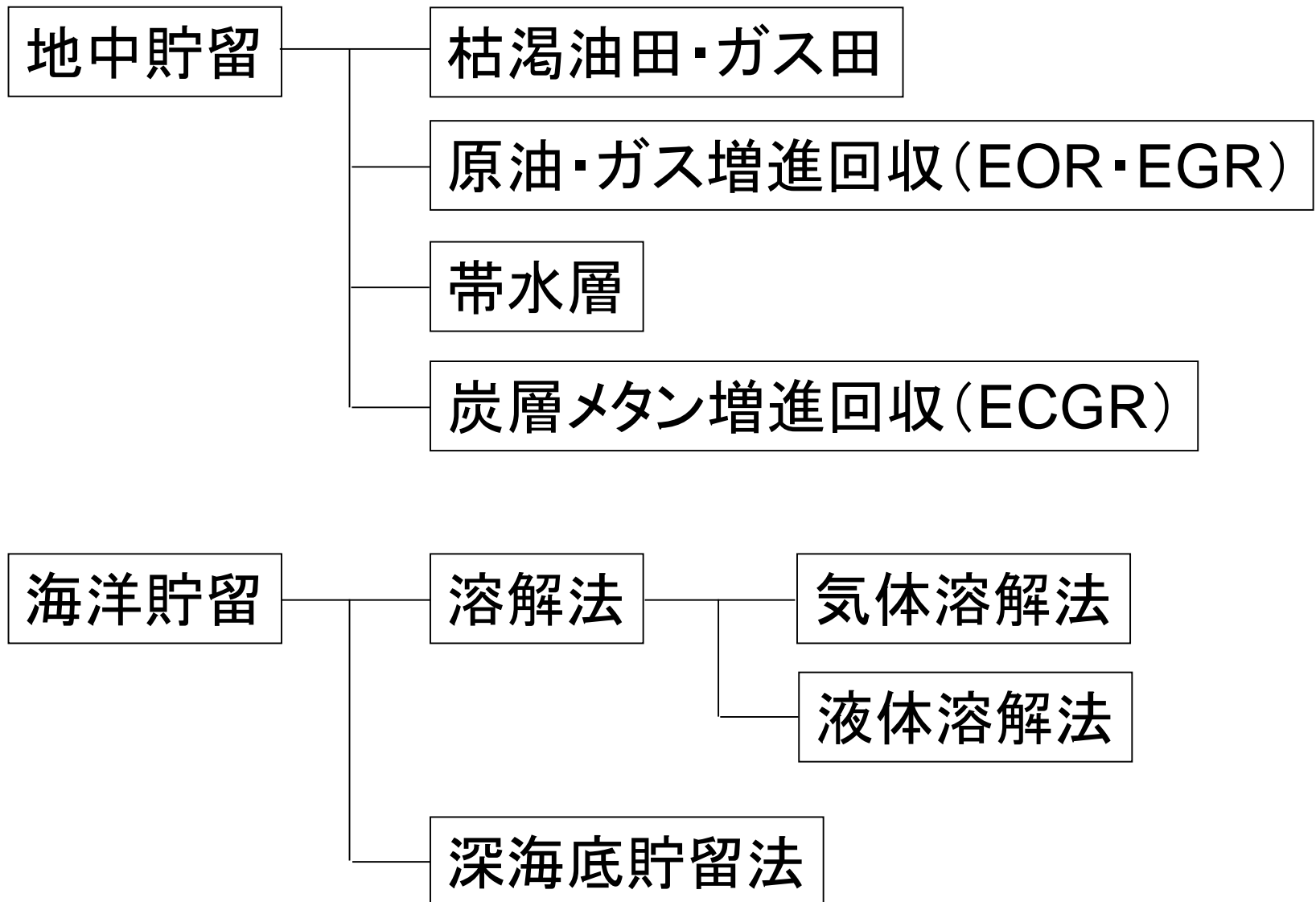
※図は複合発電の場合



・純酸素燃焼(専焼/混焼)

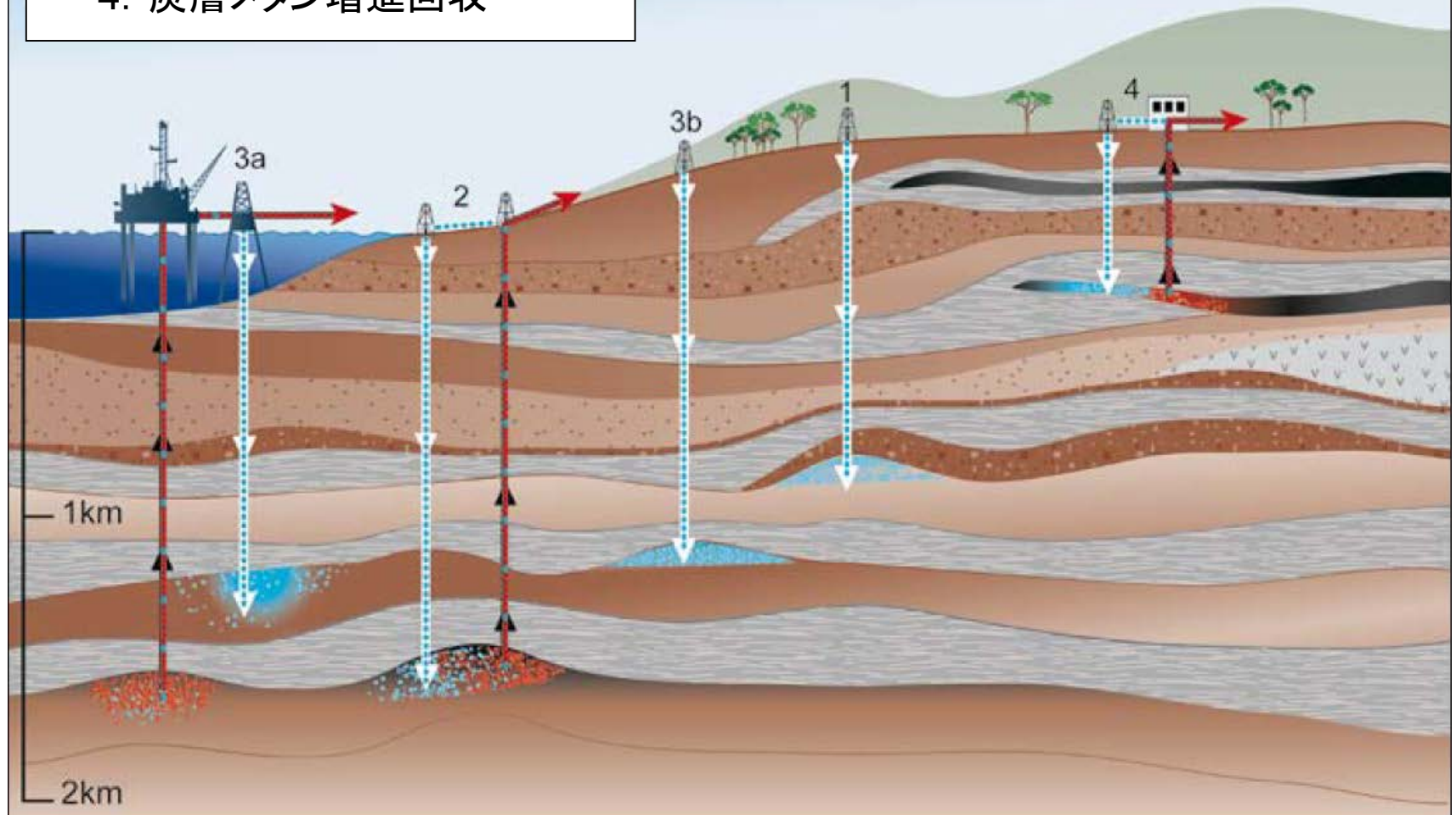
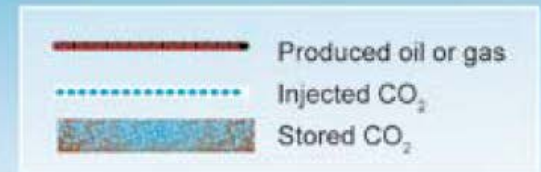


貯留技術



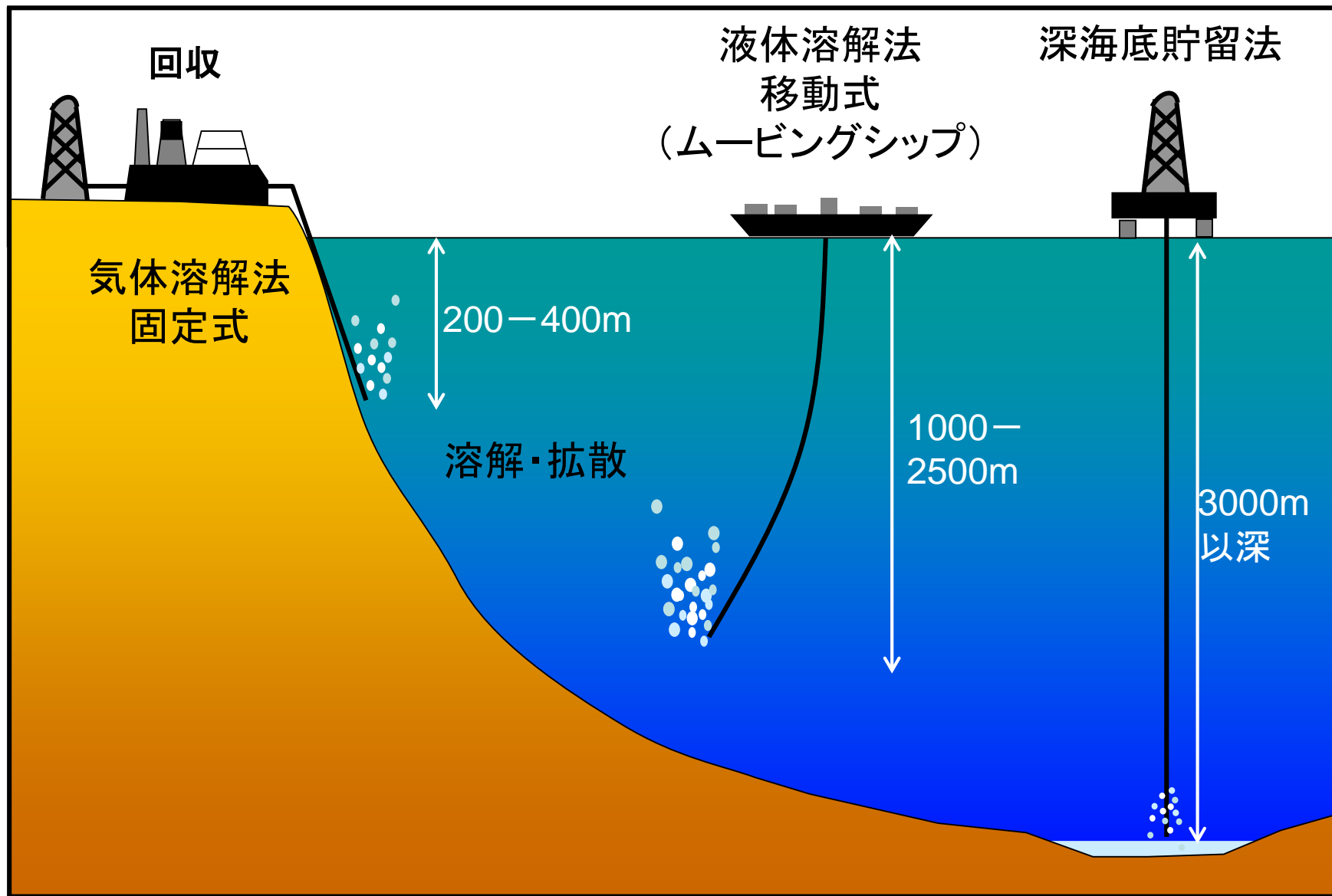
貯留技術—地中貯留

1. 枯渇油田・ガス田
2. 原油、ガス増進回収
3. 帯水層(塩水溶解)
4. 炭層メタン増進回収



出典: IPCC Special Report "Carbon Dioxide Capture and Storage"

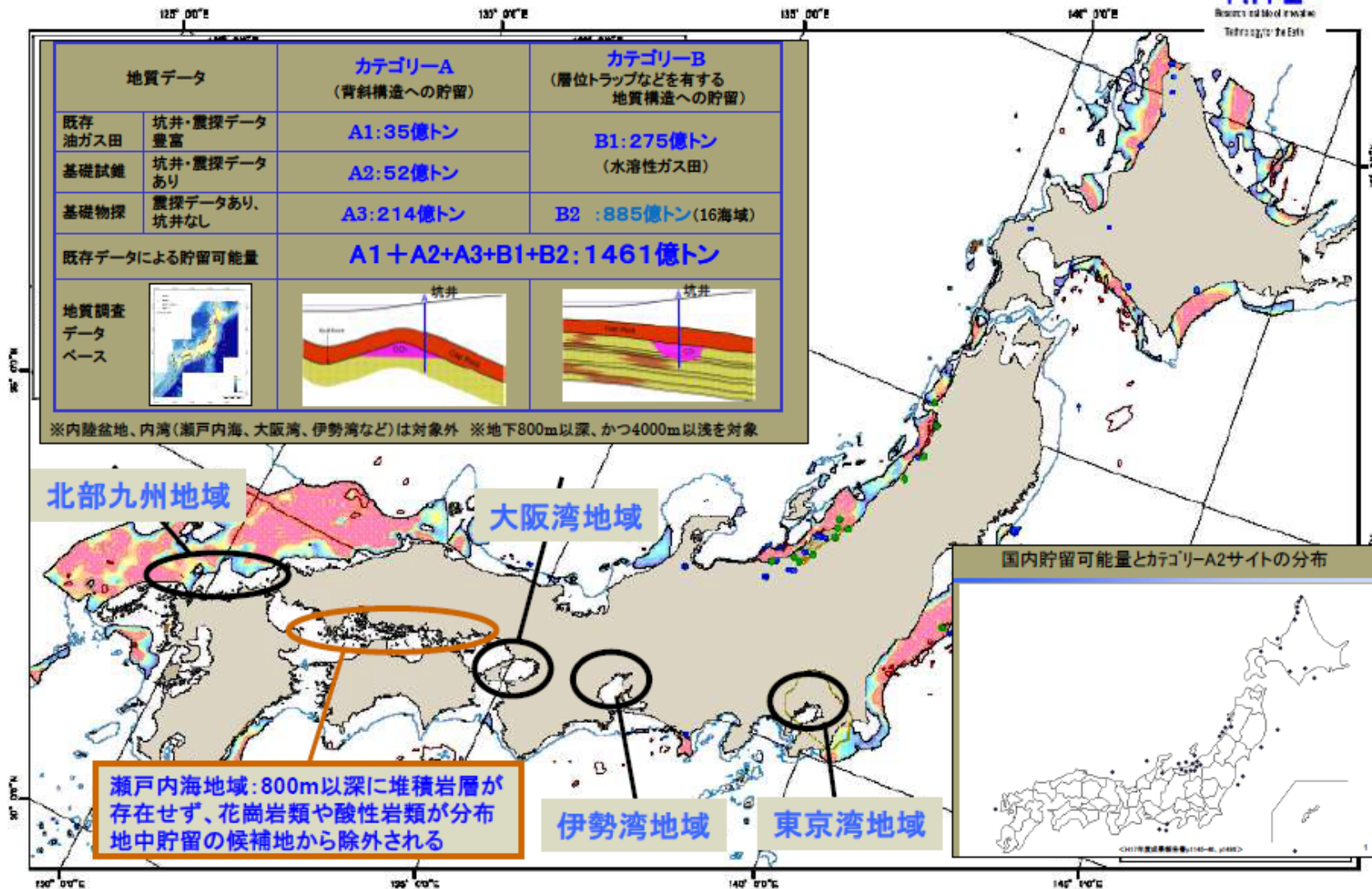
貯留技術－海洋貯留



日本のCO₂貯留可能量と分布

1. CO₂貯留の仕組み

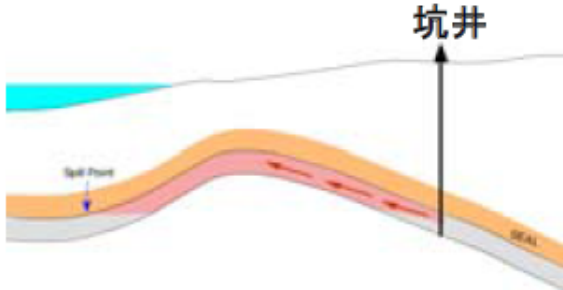
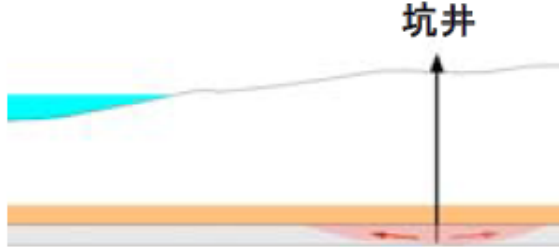
貯留可能量と帯水層分布(沿岸域の貯留層調査)



出典: (公財)地球環境産業技術研究機構

日本CCS調査(株)による注記: 黒丸で囲った地域の内、東京湾地域以外は上記貯留可能量には含まれないが、貯留層があることが確認されている。

日本のCO₂貯留可能量

地質データ		構造的帯水層 カテゴリーA	非構造的帯水層 カテゴリーB
油ガス田	坑井・震探 データが豊富	A1 35億t-CO ₂	B1 275億t-CO ₂
基礎試錐	坑井・震探 データあり	A2 52億t-CO ₂	
基礎物探	坑井データなし、 震探データあり	A3 214億t-CO ₂	B2 885億t-CO ₂
貯留概念図			
特記事項		トラップメカニズム検証済み	トラップメカニズム検証中
小 計		301億t-CO ₂	1, 160億t-CO ₂
合 計		1, 461億t-CO ₂	

(注) 内陸盆地、湾(瀬戸内海、大阪湾、伊勢湾など)は対象外。B1、B2は水深200m以浅を対象。

出典) RITE/ENAA、「二酸化炭素地中貯留技術開発 平成17年度成果報告書」、2006

CO₂回収貯留による総合効率の低下

(出典：NEDO平成4年度調査報告書P-9210)

	ベースケース	CO ₂ 回収・処理 ケース
	送電端効率(%)	送電端効率(%)
微粉炭焚火力+排ガス分離(化学吸収) +輸送(100km)+地中貯留(EOR)	40.9	30.5
微粉炭焚火力+排ガス直接回収 (O ₂ /CO ₂ 燃焼)+輸送(100km)+地中貯 留(EOR)	40.9	30.1
空気吹きIGCC+燃焼前分離・回収+輸 送(100km)+地中貯留(EOR)	43	32.7

CCSによる効率低下 = エネルギーペナルティ



燃料使用量の増加 ⇒ 化石燃料の枯渇促進

分離回収エネルギーの削減が必要

CO₂回収貯留コスト

(出典: NEDO平成4年度調査報告書P-9210)

	CO ₂ 回収・処理コスト(円/t-CO ₂)				
	分離回収	液化	輸送	処理	合計
微粉炭焚火力+排ガス分離(化学吸収)+輸送(100km)+地中貯留(EOR)	4,220	2,280	1,600	190	8,290
微粉炭焚火力+排ガス直接回収(O ₂ /CO ₂ 燃焼)+輸送(100km)+地中貯留(EOR)	3,730	2,520	1,940	219	8,409
空気吹きIGCC+燃焼前分離・回収+輸送(100km)+地中貯留(EOR)	3,108	2,573	1,602	193	7,476

CCS = 外部不経済

⇒ 炭素税、インセンティブがなければ進まない

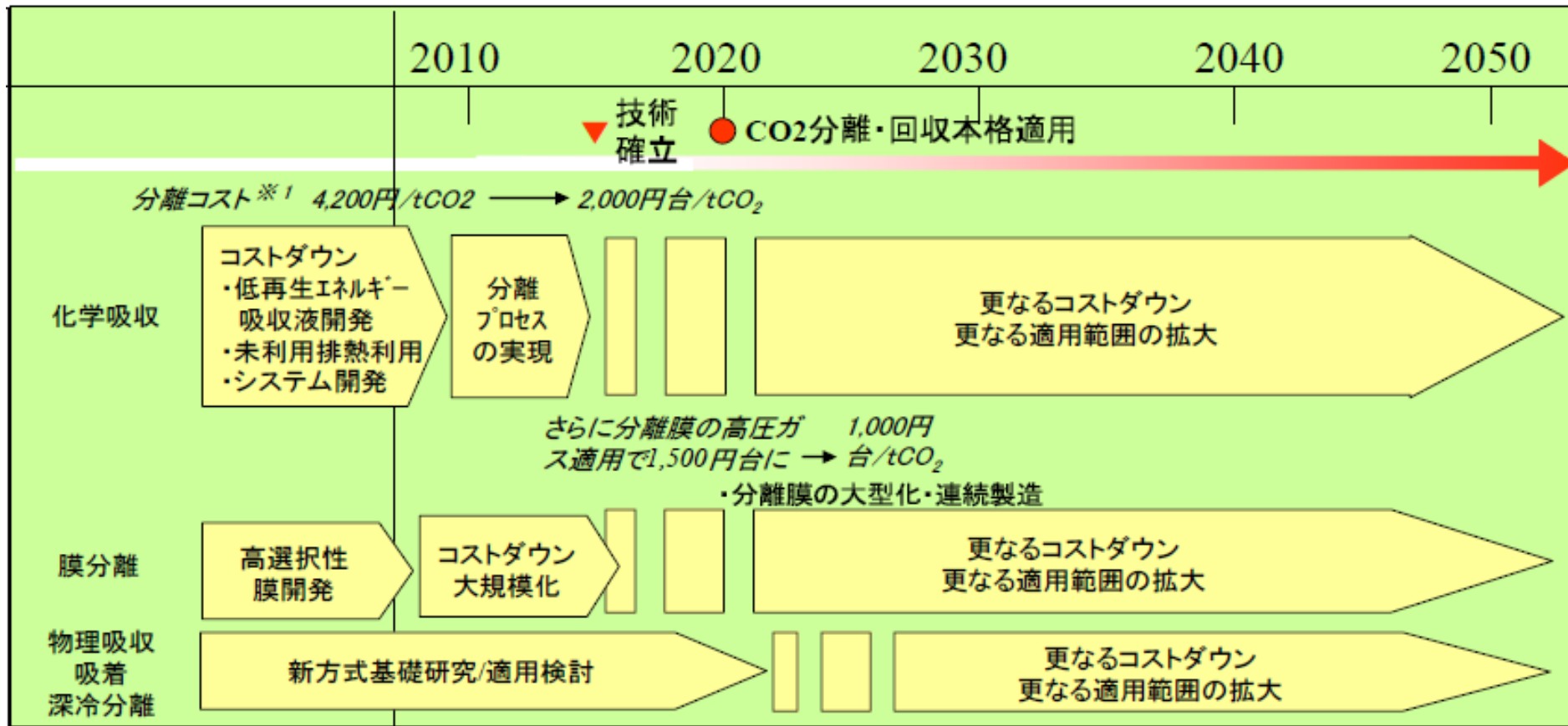
分離回収コストの大幅な削減が必要

技術戦略マップ（METI, 2008）

2-5 環境

2-5-① CO₂固定化・有効利用分野

◆技術ロードマップ（分離・回収のみ抜粋）



分離コスト[円/t-CO₂] : 現状4,200 → 2,000(2020) → 1,000(2030)

分離エネルギー[GJ/t-CO₂] : 現状4.0 → 2.0(2020) → 1.0(2030)

CO2回収貯留に関する取り組み

- G8洞爺湖サミット(2008年7月)
「2020年までに CCSの広範な展開を始めるために、各国毎の様々な事情を考慮しつつ、2010年までに世界的に20の大規模なCCSの実証プロジェクトが開始されることを、強く支持する。」
- CCSプロジェクト推進のための国際的組織GCCSI(Global Carbon Capture and Storage Institute)が設立(2009年4月)
- 日本CCS調査株式会社が設立(2008年5月)
株主:北海道電力(株) 東北電力(株) 東京電力(株) 中部電力(株) 北陸電力(株) 関西電力(株) 中国電力(株) 四国電力(株) 九州電力(株) 沖縄電力(株) 電源開発(株) 出光興産(株) コスモ石油(株) JX日鉱日石エネルギー(株) 昭和シェル石油(株) 新日鉄エンジニアリング(株) JFEエンジニアリング(株) 千代田化工建設(株) 東洋エンジニアリング(株) 日揮(株) 伊藤忠商事(株) 住友商事(株) 丸紅(株) 三菱商事(株) 伊藤忠丸紅鉄鋼(株) アラビア石油(株) 国際石油開発帝石(株) 石油資源開発(株) 三井石油開発(株) JFEスチール(株) 住友金属工業(株) エヌケーケー シームレス鋼管(株) 東京ガス(株) 大阪ガス(株) 三菱ガス化学(株) 三菱マテリアル(株)
設立趣旨:
 - 1.CO2 の分離、回収、輸送、地中貯留の実証プロジェクトの調査に一貫して取り組む
 - 2.日本におけるCCSに対する適用法規の整理や技術水準の早急な確立に向けての民間ベースの意見集約を図る
 - 3.国内においてCCSを普及させるための諸活動を行う
 - 4.海外におけるCCS実証プロジェクトの普及・促進を図るための協力を行う
 - 5.国内外におけるCCSに関わる最新情報の取得とCCSに関する国際研究機関等との交流を図る

世界のCCSプロジェクト

Projects Database

The database below provides an overview of all the large-scale CCS projects identified by the Global CCS Institute around the world. Global CCS Institute descriptions of these projects are available to Members only, although in some instances links to project websites have been provided.



Map data ©2016 Terms of Use

Stage: -- Stage -- Region: -- Region -- Industry: -- Industry -- Capture type: -- Capture type -- Transport type: -- Transport type -- Storage type: -- Storage type --

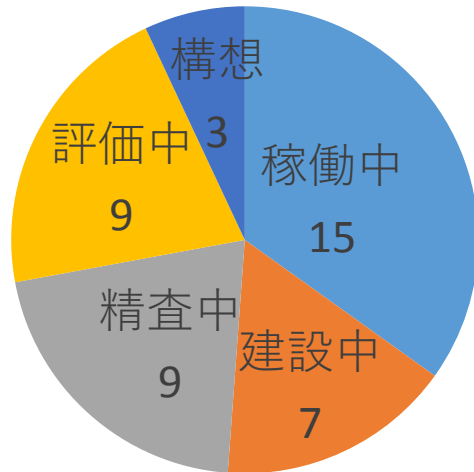
[Reset Filters](#)

世界のCCSプロジェクト

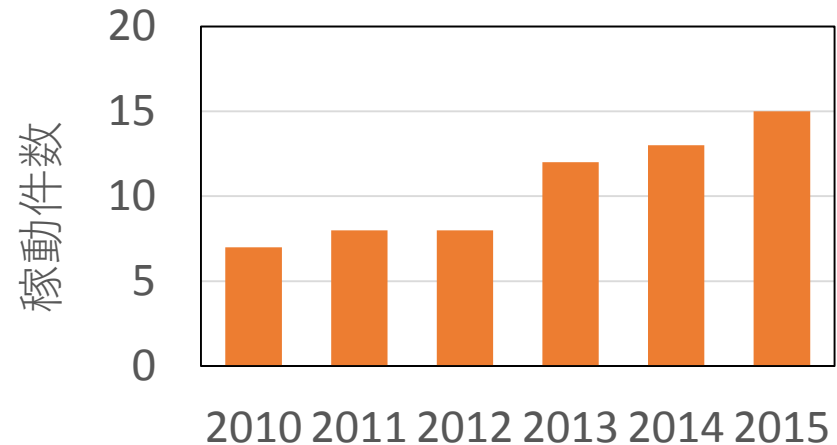
出典) Global CCS Institute, Projects Databaseより作成

●プロジェクトのステージ別内訳

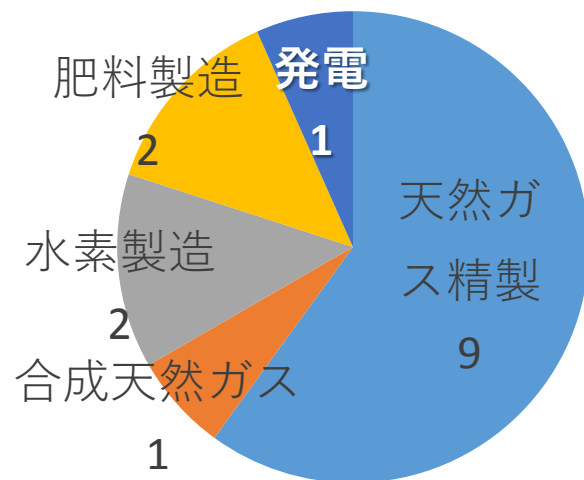
合計43件



●稼働プロジェクト数の推移



●稼働プロジェクトの産業別内訳



発電所からの回収は1件のみ
(計画を含めると、43件中13件)

稼働プロジェクト中、11件がEOR
(石油増進回収)
→商用プラントとして採算がとれる

日本でのCCS実証試験（苫小牧）

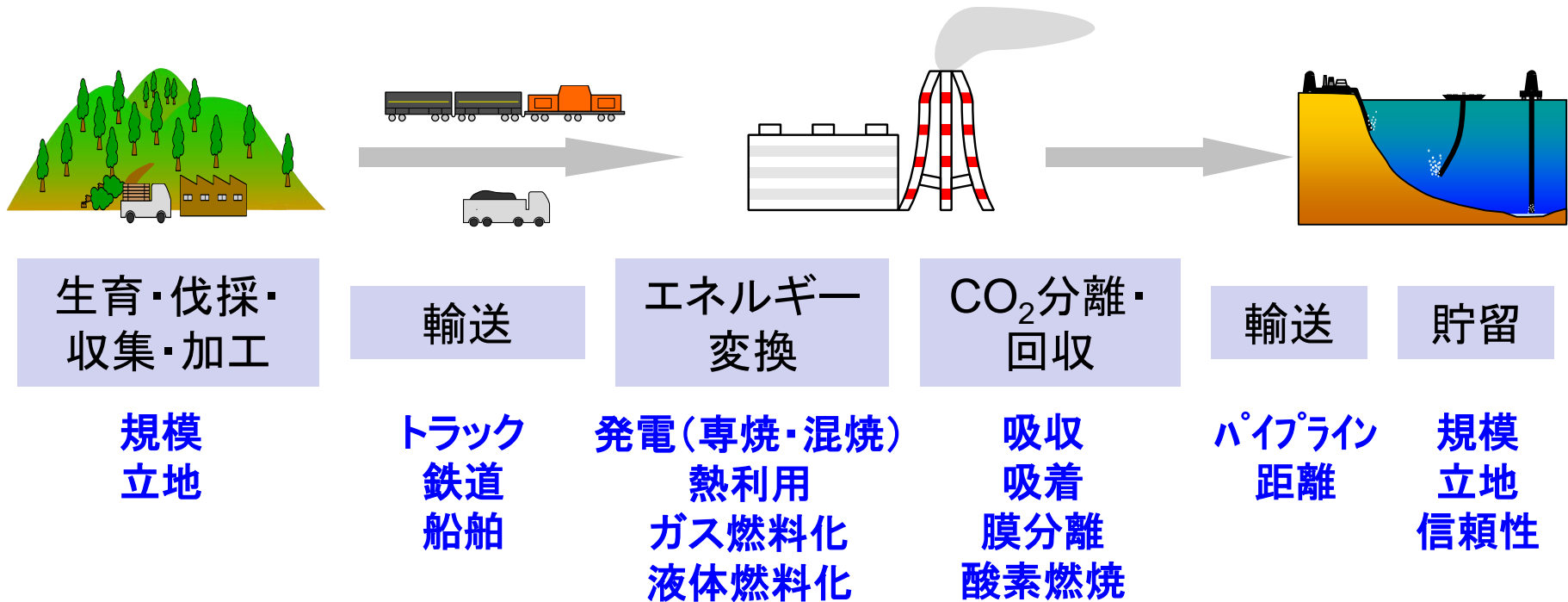


CCSのまとめ

- ・CO₂の排出量を大幅に削減するためには、少なくとも短期的には、大規模排出源からのCO₂回収・貯留技術が重要な役割を果たすと期待される。
- ・CO₂の分離技術には様々な種類があり、排ガスの性質(CO₂濃度、圧力など)によって、適した技術を選択する必要がある。
- ・CCSは外部不経済であり、市場原理だけでは普及しない。
CCSの普及促進のためには、補助金・税制、仮想市場などの制度の確立が必須である。
導入を容易にするために、技術の低コスト化、省エネルギーが必須である。
- ・貯留ポテンシャルは十分存在しているが、貯留の長期安定性、周辺環境への影響、安全性など調査を要する。
CCSの安全性に対する社会的受容性の涵養も重要である。

BECCSの可能性

●BECCSに関わる工程および技術



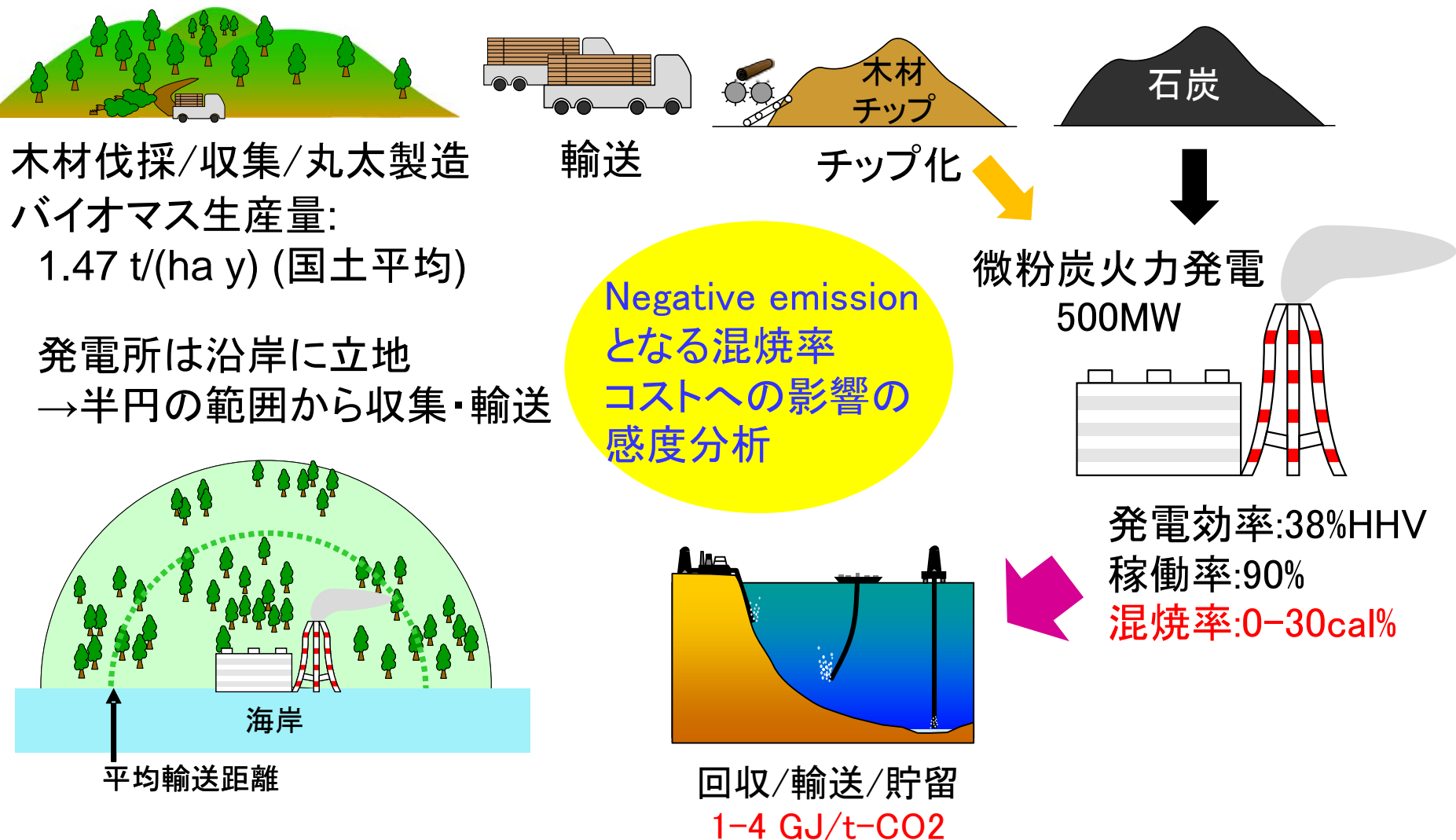
BECCS成立条件

CO₂固定量 >> CO₂排出量
最終利用可能エネルギー > 所要エネルギー



Negative emissionとなるための規模、立地、技術の選択、組み合わせを明らかにする必要がある

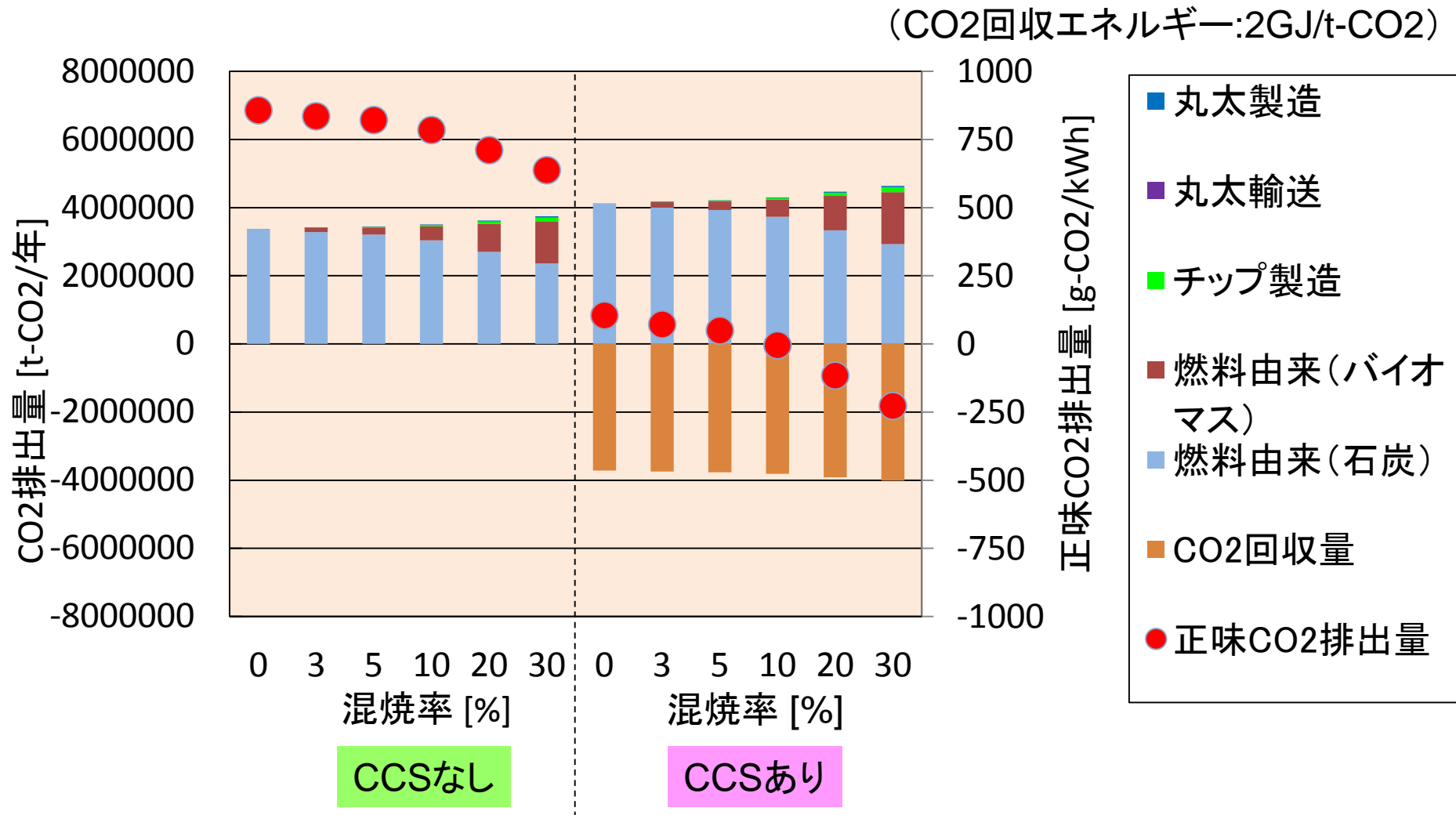
BECCSの可能性試算（石炭混焼の場合）



参考:①財団法人 機械システム振興協会革新的バイオマス利用システム有望シナリオ
に関する調査研究報告書(2008)

②(株)森のエネルギー研究所, 木質バイオマスLCA評価事業報告書 (2012)

BECCSの可能性試算（石炭混焼の場合）



CCSありの場合、混焼率10%以上でNegative emissionになる
⇒10%未満はCCSしてもNegativeにならない

BECCSの展望と課題

- ・BECCSは大気中のCO₂を純減できる技術として、温度安定化のためのCO₂削減方策として期待が大きい。
- ・バイオマスエネルギー、CCSともに、技術、コスト、社会制度等の課題を有しており、そのすべてがBECCSの課題である。
- ・バイオマスエネルギーとCCSを組み合わせれば、Negative emissionになるわけではない。Negative emissionとするためには、バイオマスエネルギーとCCSの規模、立地条件、技術の組み合わせを適切に選択する必要がある。
- ・CCSは小規模分散には不適であり、大規模エネルギー利用箇所での適用が優先的と思われる。大規模エネルギー利用方法の一つとして、大規模火力発電でのバイオマス混焼がまずは適していると考えられる。そのための技術の開発が必要である。