

革新的CO<sub>2</sub>分離回収技術シンポジウム

2020年1月20日

14:25～15:00

東大・伊藤謝恩ホール

～地球温暖化防止に貢献する固体吸収材  
及び膜による分離回収技術の最新動向～

# CO<sub>2</sub>分離回収技術の課題と展望

中垣 隆雄



早稲田大学 創造理工学部

School of Creative Science and Engineering, Waseda University

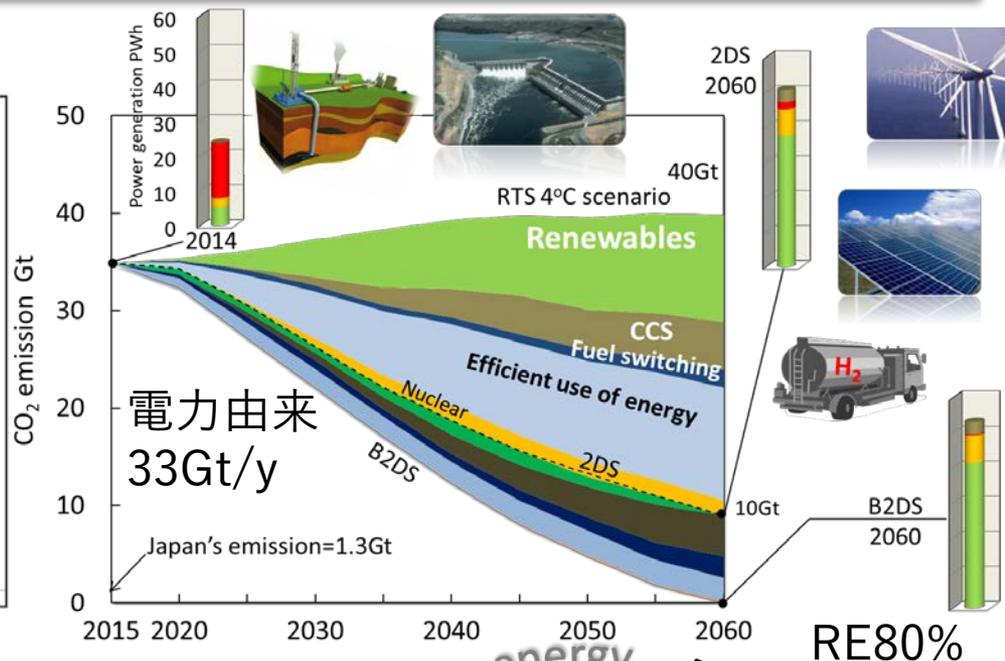
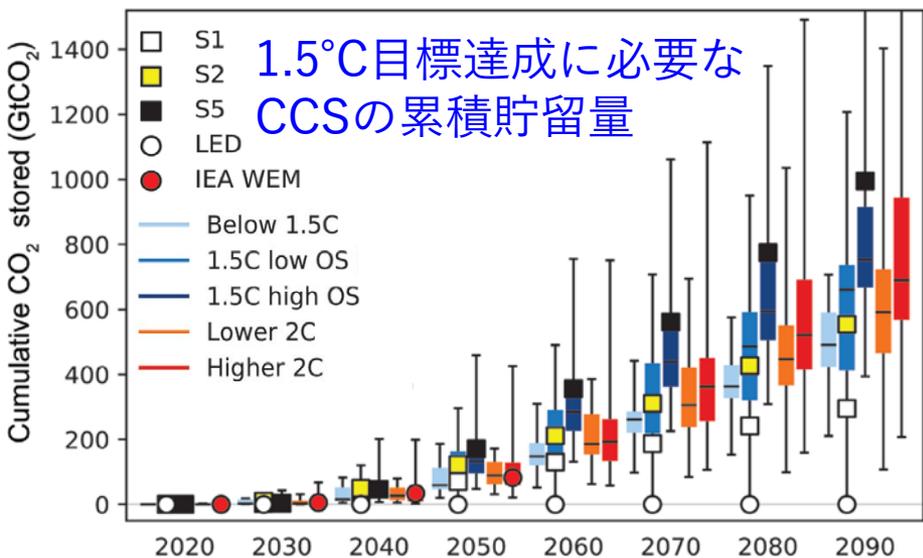
※当該講演資料に関するお問い合わせは[takao.nakagaki@waseda.jp](mailto:takao.nakagaki@waseda.jp) へ

# 講演の内容

- 温暖化対策としてのCCUSの役割の再確認
- CO<sub>2</sub>排出源の整理
- 主なターゲット事業用火力・産業集中排出源
- CO<sub>2</sub>分離回収技術の整理，官製ロードマップ
- 固体吸収材の容量と適用温度
- 追加的エネルギー，コスト
- 化学吸収法の吸収液探索，プロセス改良
- 劣化の原因と対策
- CCU，CO<sub>2</sub>分離機能を持つ固定化
- まとめと展望

# IPCC1.5°C目標 NZE ETP2017

たった30~40年しかない！？



2050~2060には正味ゼロ~ネガティブ(NZE)  
CCS(BECCS含む)

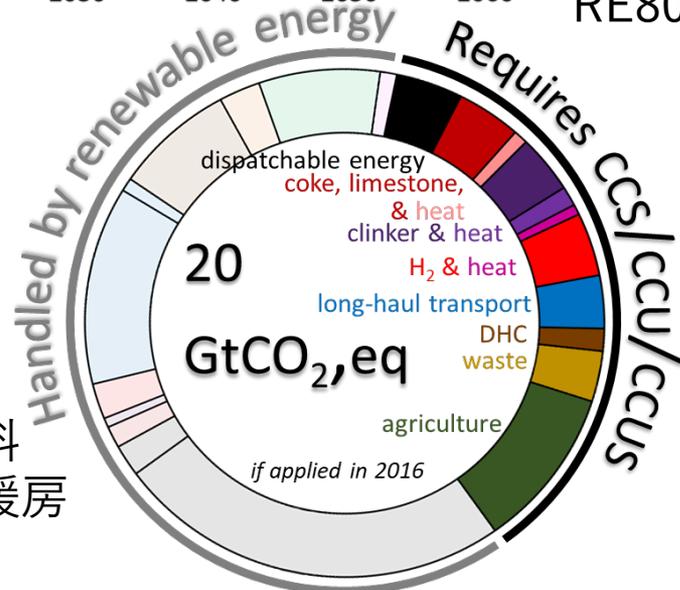
⇒2060年ごろまでに累積200Gt

2018の1年間：全世界で0.032Gt

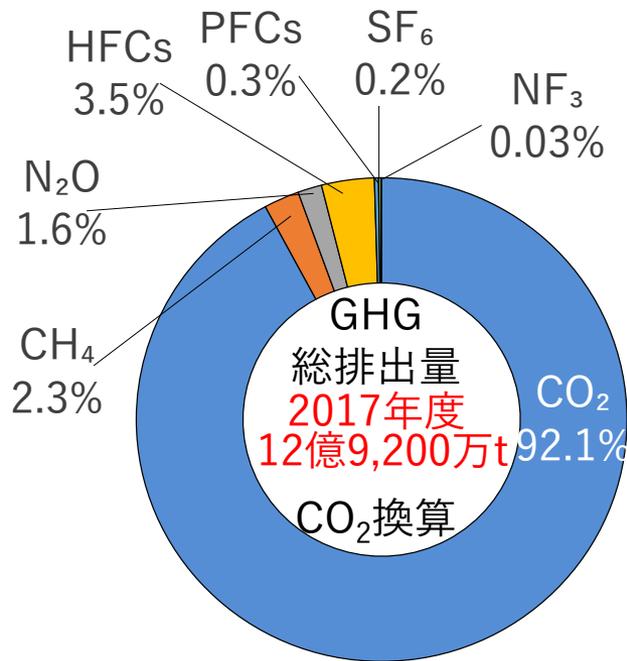
大気からのCDRに  
よるNETsを含む  
CCS/CCUのみで可能



REでは削減困難なGHG  
航空機・船舶の液体燃料  
農業・廃棄物・極寒地暖房  
石灰産業, etc...



# 2017年度GHG確報 国環研GIOより

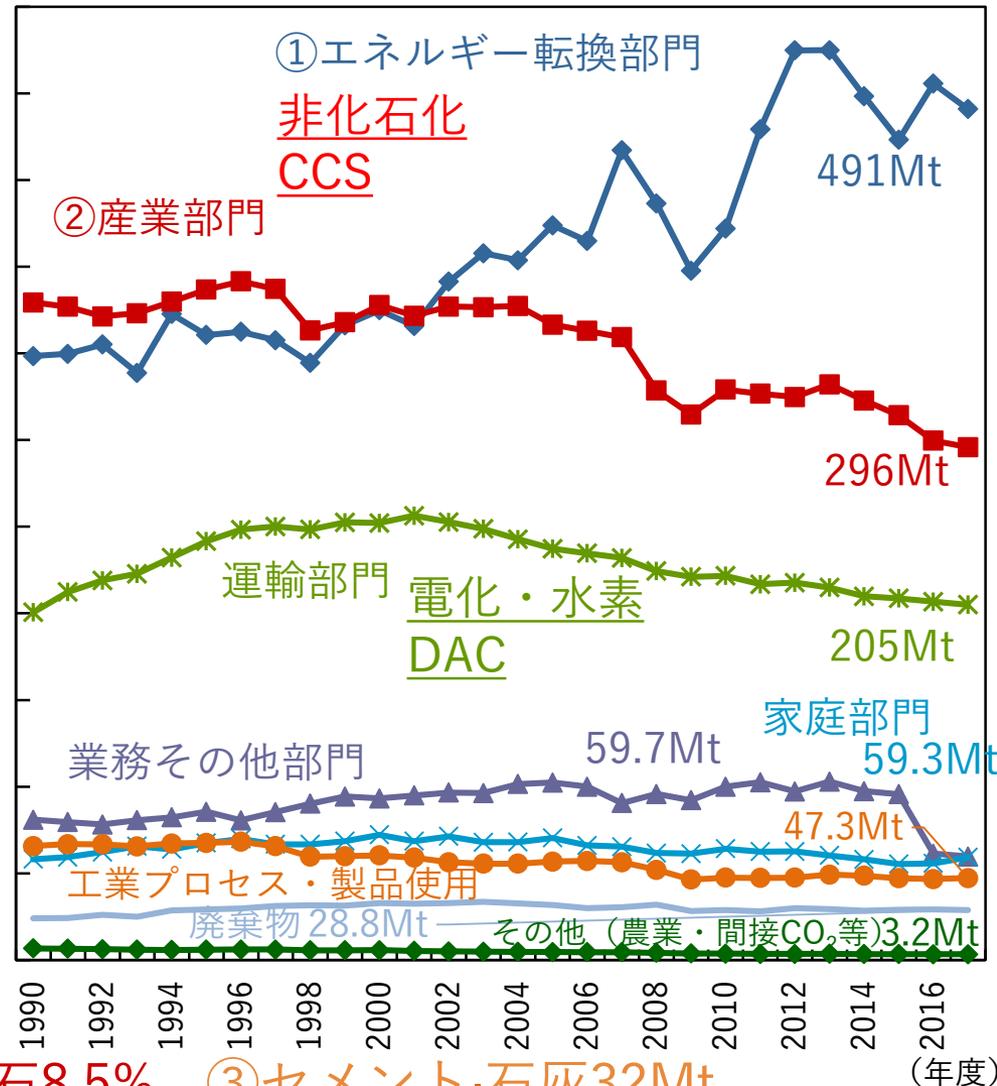


エネルギー起源のCO<sub>2</sub> = GHGの86%

エネルギー起源 93.3%



部門別 CO<sub>2</sub> 排出量の（電気・熱配分前）推移



CO<sub>2</sub>分離回収の役割  
≒CCUSによる**早期**の  
**10Mt級**のCO<sub>2</sub>削減  
主なターゲット:

③非エネルギー起源

①事業用発電92.4%

②鉄鋼47%, 化学工業20.2%, 窯業・土石8.5%

③セメント・石灰32Mt

# 火力発電 CO<sub>2</sub>80%削減の技術オプション

## CO<sub>2</sub>大気放散の実質的な回避

- VRE + 揚水の最大利用
- 需給（特にVRE発電の）予測精度向上
- 連系線を利用した他社融通 etc..

火力発電：入れない，作らない，出さない

### Input

#### 投入燃料の脱化石化

- バイオマスや水素
- 炭素循環燃料
- これらの混焼・専焼
- 燃焼前分離(IGCC)

### Conversion system

#### 高効率化 ※80%削減の解なし

- 作動流体の高温化
- ガス化\*，SOFCトッピング
- 部分負荷効率維持

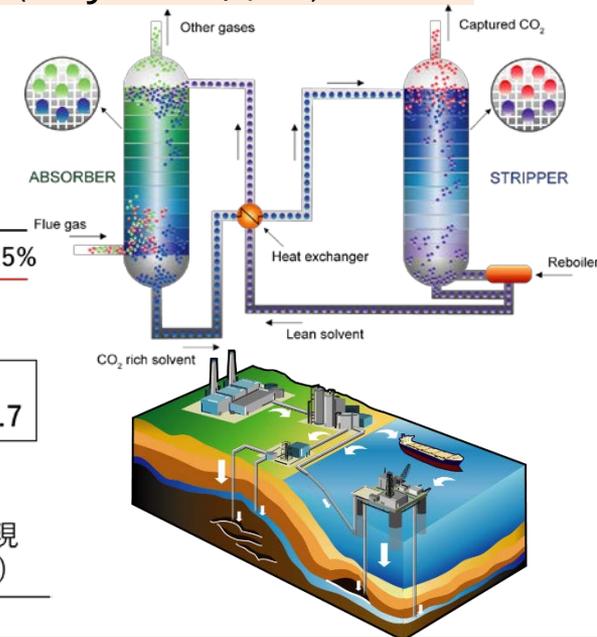
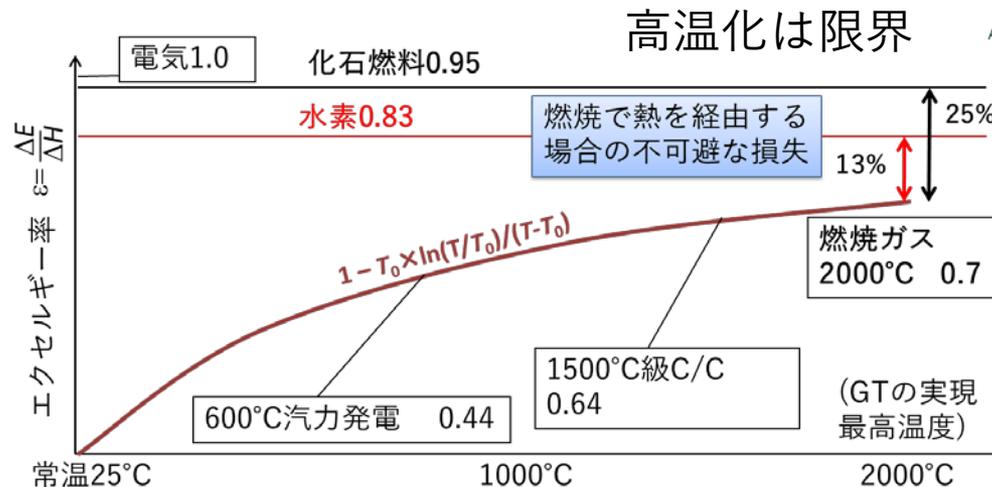
### Output

電力エクセルギー  
ロスなく届ける

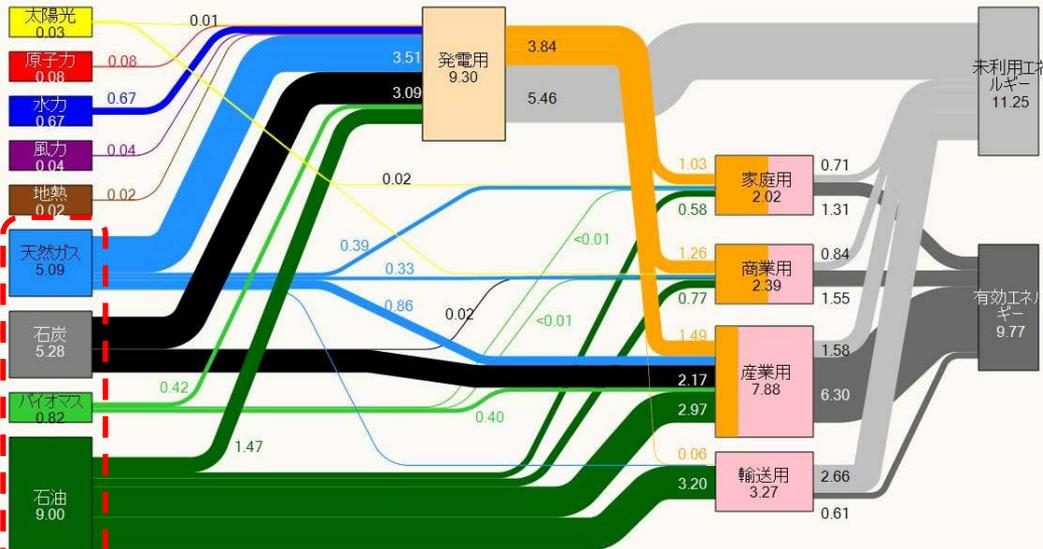
### Emission

煙道ガスのCO<sub>2</sub>回収  
⇒CCS/CCUS  
(Oxy-fuel含む)

\*コプロダクションでエクセルギー保存

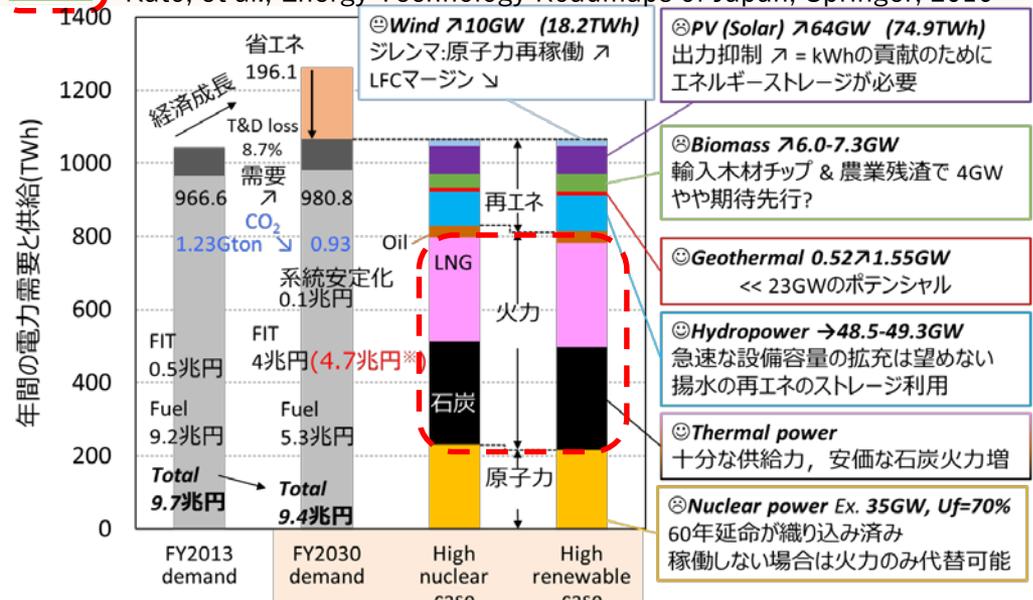


# 電力システム改革下のCCS

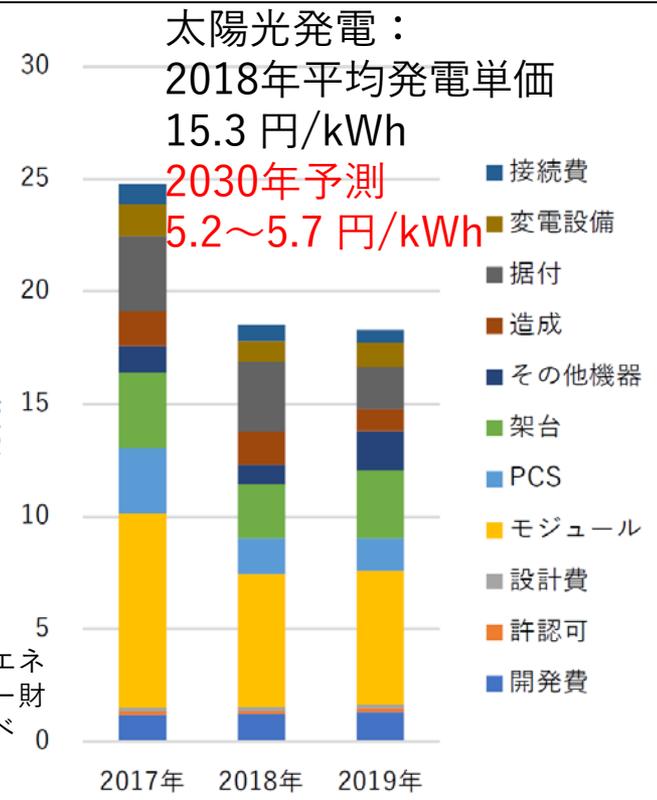


電力システム改革：  
 発送電分離，完全自由化  
 VREとのコスト競争・離脱需要  
 ⇒新設・更新△  
 ⇒燃焼後分離のレトロフィット  
 ⇒早期に大規模 = **TRL高の技術**

Kato, et al., Energy Technology Roadmaps of Japan, Springer, 2016



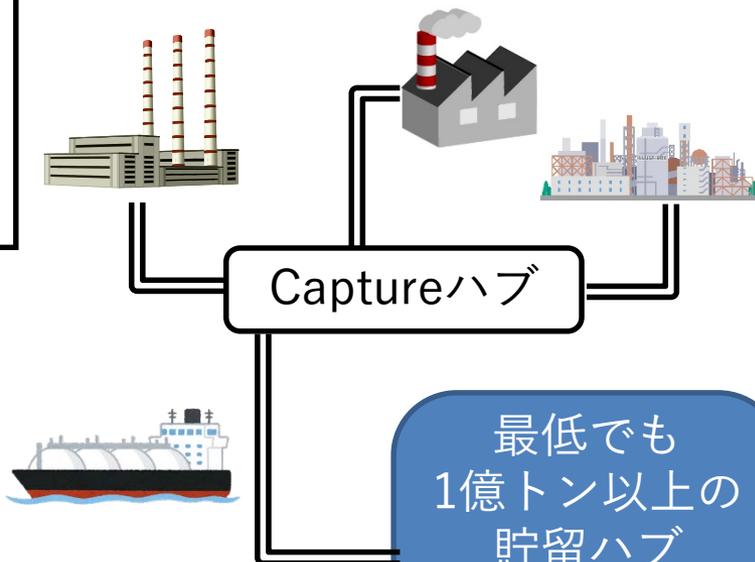
総合資源エネルギー調査会 長期エネルギー需給見通し小委員会 第8回会合資料 2015年4月28日を基に作成  
 ※電中研報告Y16507, 固定価格買取制度 (FIT) による買取総額・賦課金総額の見直し (2017年版)



# CCSの大規模展開

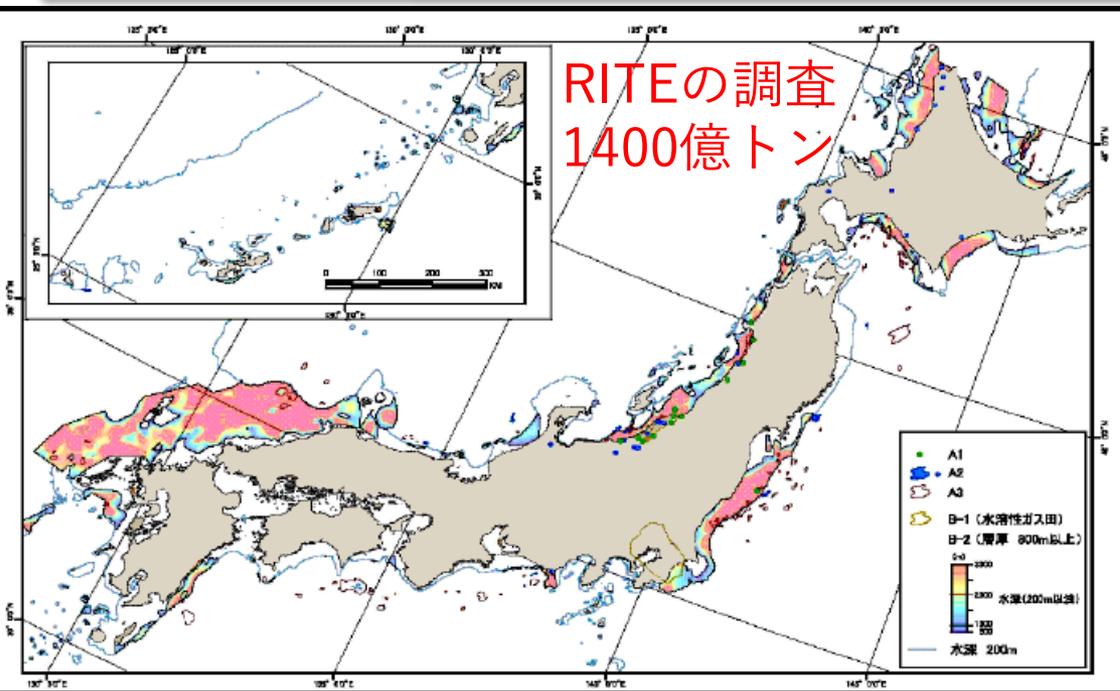
CCS(分離回収・地下貯留)  
安価※だが、大規模展開のボトルネックは「貯留」  
数多のフルチェーンCCSは困難  
⇒ クラスター&ハブ

※DNE21を用いた限界削減費用に対する導入量予測結果 (RITE)



パイプライン  
専用船輸送

RITEの調査  
1400億トン



2019JCCSの適地調査 6地点100億トン  
CCS付き1GW石炭火力1基≡年間5000万トン  
10基×20年分は2Dor3D探査済み

課題：展開に年月がかかる EOR適地なし  
貯留層探索・環境アセス・各種法規対応  
地元ステークホルダー調整  
事業計画・ファイナンス・工事…

出典：経済産業省 [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/ccs\\_kondankai/pdf/001\\_03\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/ccs_kondankai/pdf/001_03_00.pdf)

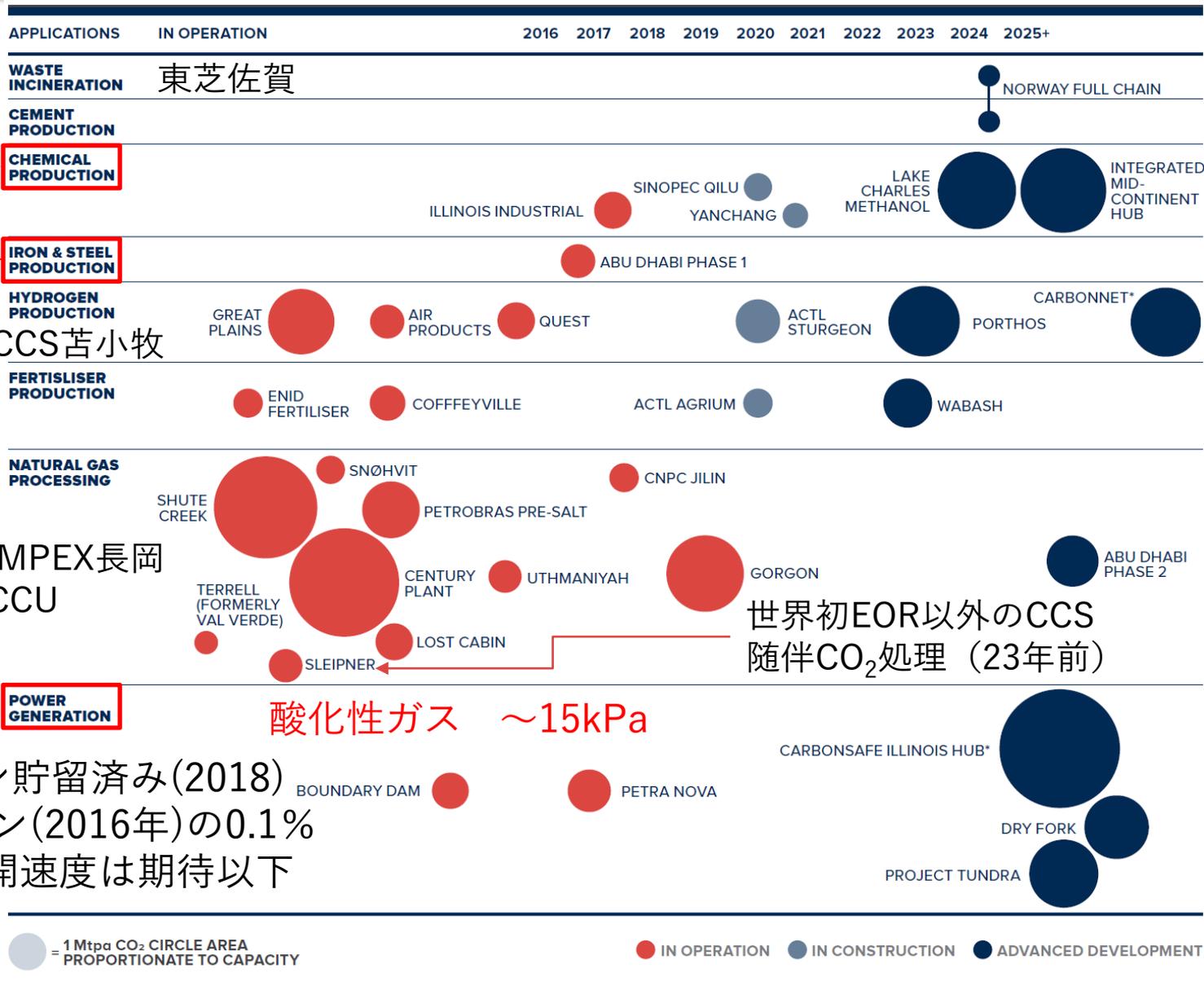
# 世界のCCS展開状況

出典:GCCSI, Global status of CCS 2019

酸化性ガス  
~50kPa

非酸化性ガス  
/酸化性ガス  
> 100kPa

非酸化性ガス  
> 100kPa



世界初EOR以外のCCS  
随伴CO<sub>2</sub>処理 (23年前)

酸化性ガス ~15kPa

全世界で3200万トン貯留済み(2018)  
年間排出量358億トン(2016年)の0.1%  
1MTPAクラスの展開速度は期待以下

# CO<sub>2</sub>分離回収

ガスプロセッシング等

CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>分離

石炭・天然ガス・石油由来液体燃料

バイオマス・カーボンリサイクル燃料



～数MPaの高圧  
非酸化性雰囲気

- 物理吸収/化学吸収
- 吸着分離
- 膜分離

ガス化・改質

CO<sub>2</sub>分離

CO<sub>2</sub>

H<sub>2</sub>

※既に技術的に可能  
純度 > 99%  
回収率 > 99%

酸化剤

空気

O<sub>2</sub>

空気分離

N<sub>2</sub>

DAC  
CO<sub>2</sub>

動力  
便益

燃焼前分離

燃焼後分離

燃焼・酸化

純酸素燃焼 (Oxyfuel)

- 深冷分離
- Allam Cycle
- ケミカルルーピング

大気圧

酸化性雰囲気

- 化学吸収法(液・固体)

N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>  
NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>

CO<sub>2</sub>分離

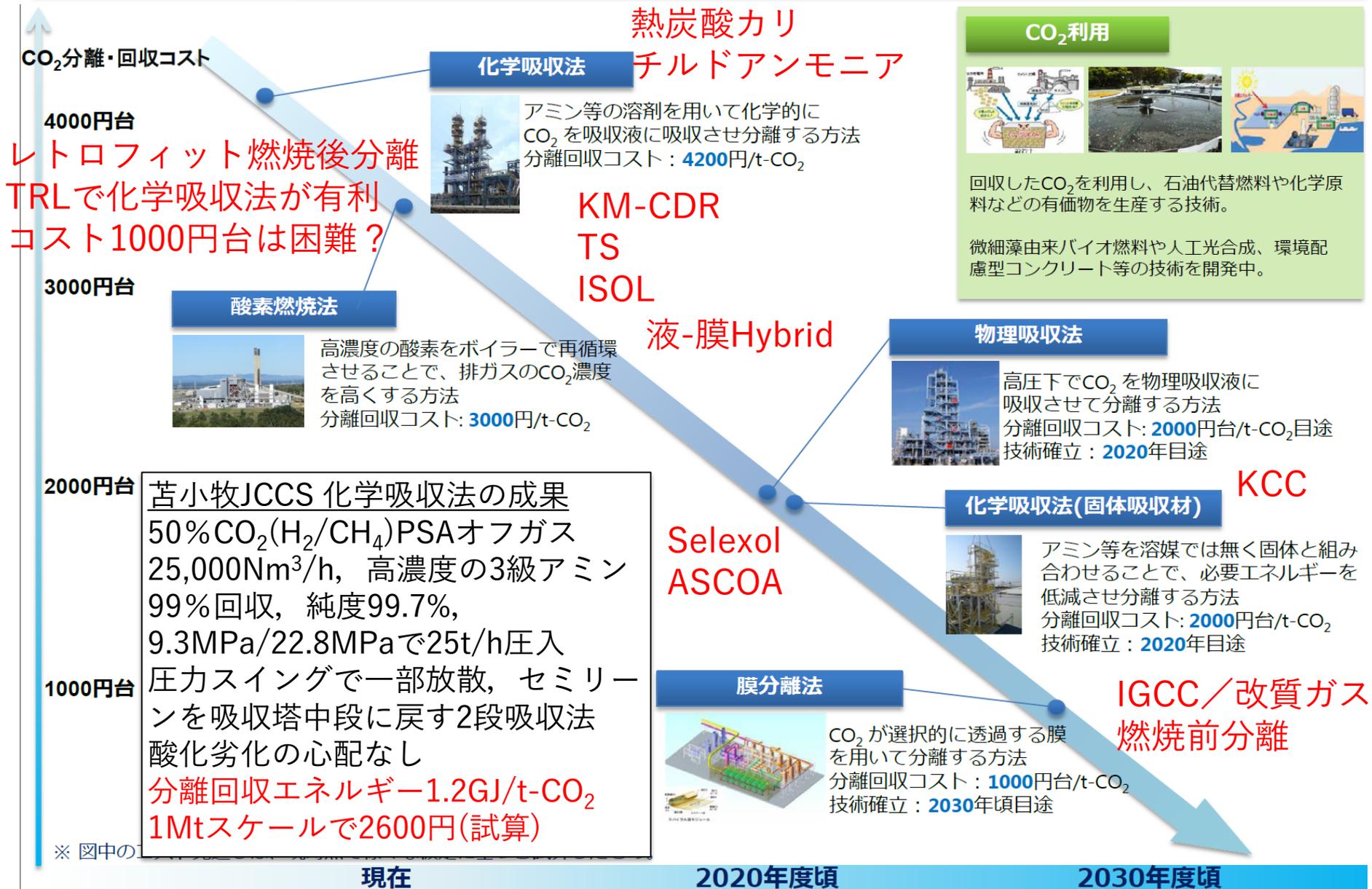
CO<sub>2</sub>

H<sub>2</sub>O  
気液分離

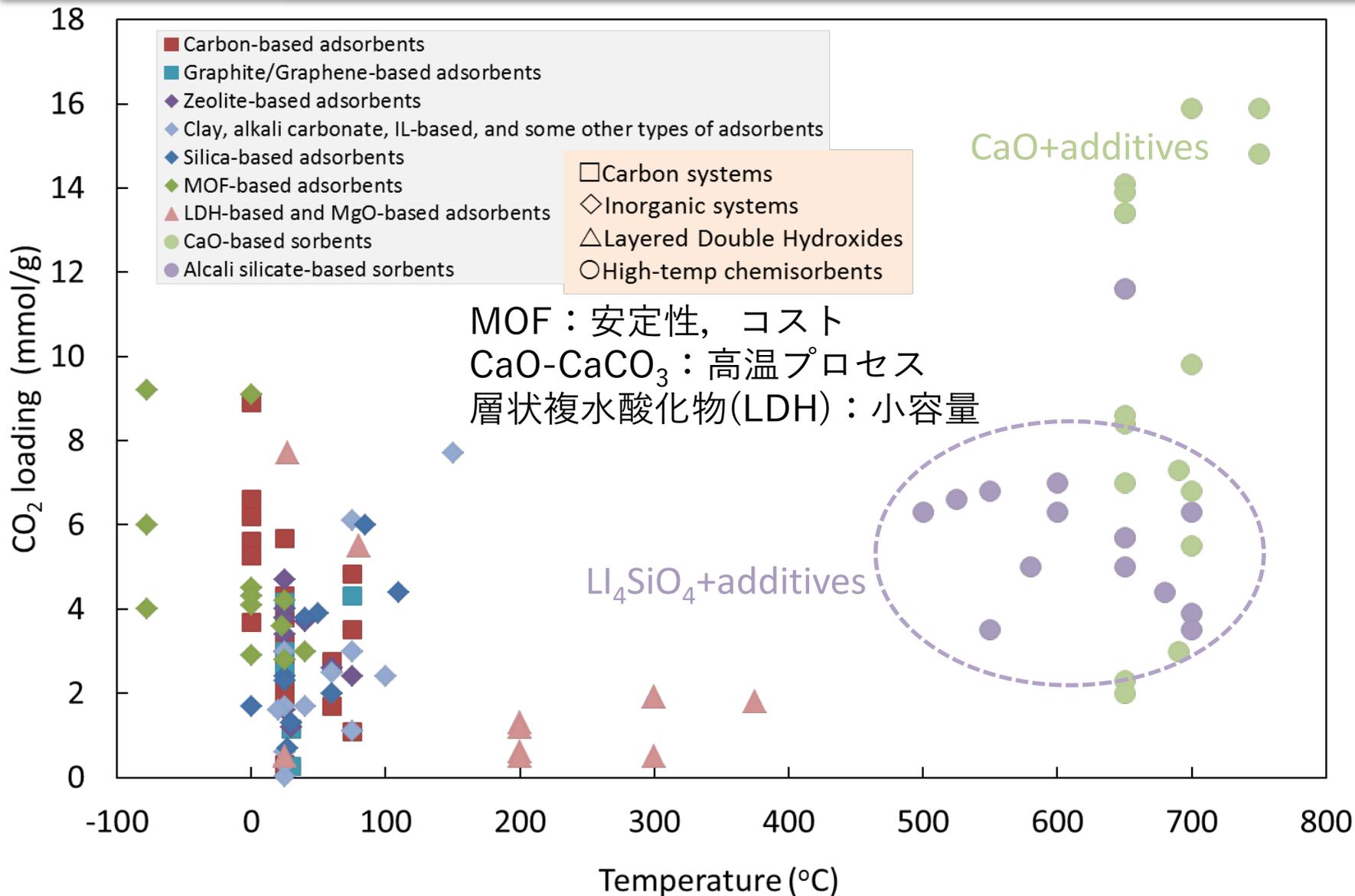


# 次世代火力のCO<sub>2</sub>分離回収技術

次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 平成27年7月



# 固体吸収材 温度vs吸収容量の整理

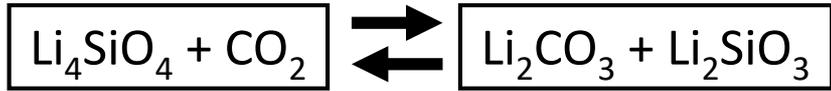


Energy Environ. Sci., 2014, 7, pp 3478-3518を元に中垣作成. CO<sub>2</sub>分圧が100kPaを超えるデータは除く.

# 高温固体吸収材の研究例

CO<sub>2</sub>吸収 (500-650°C)

発熱反応



吸熱反応

CO<sub>2</sub>放出 (750-850°C)

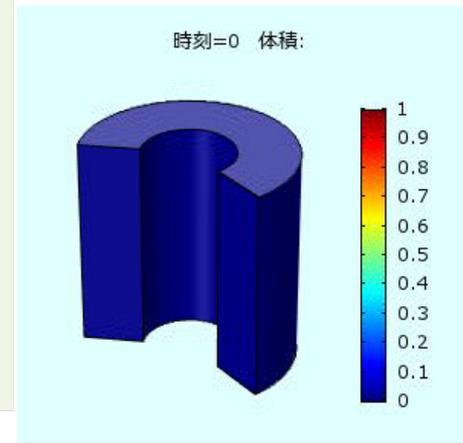
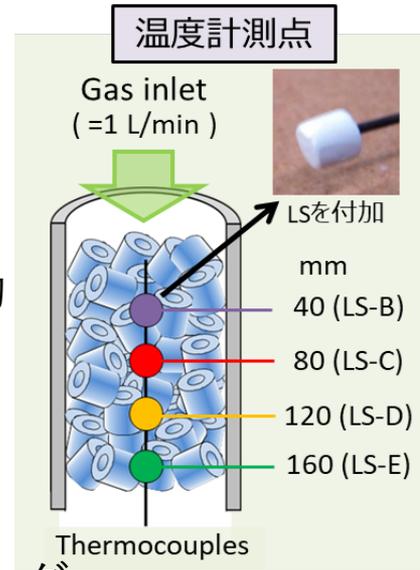
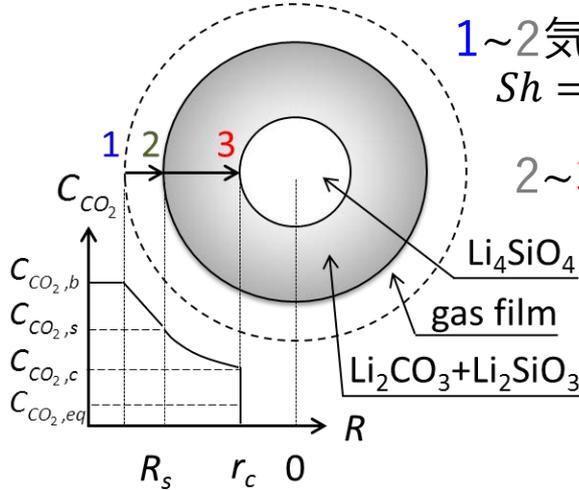
円筒型ペレット



1~2気相境膜

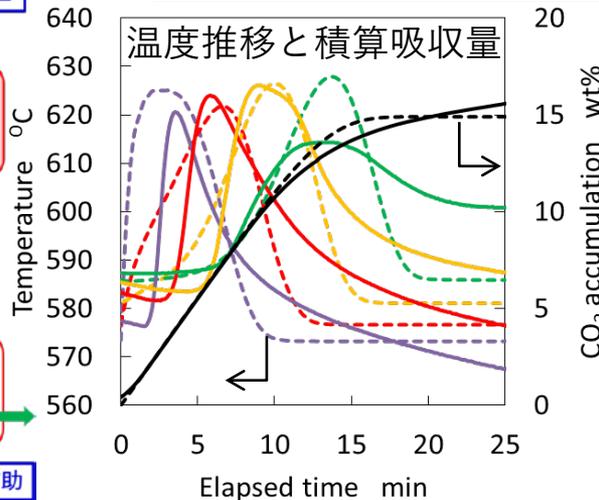
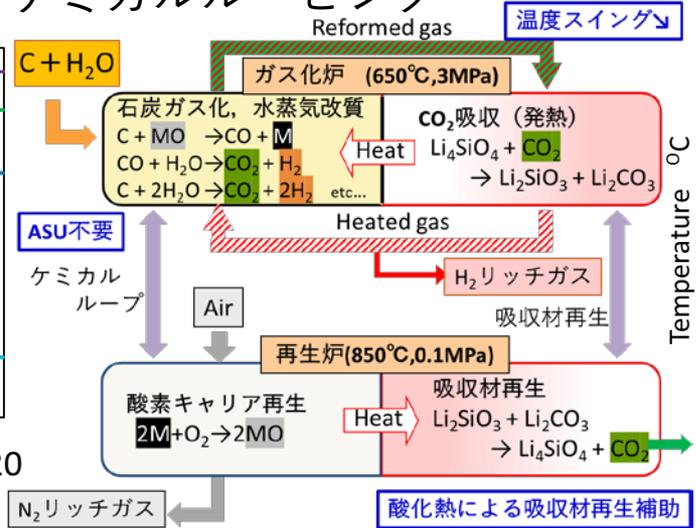
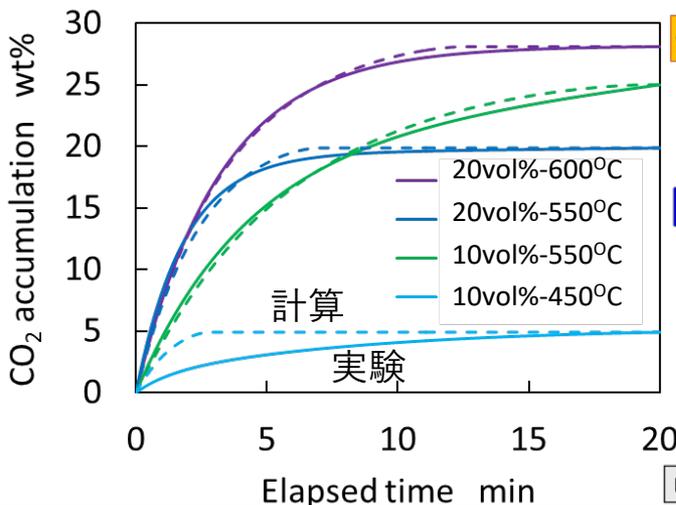
$$Sh = 1.12 + 0.61Sc^{1/3}Re^{0.6}$$

2~3反応済み層拡散移動  
⇒ 拡散律速

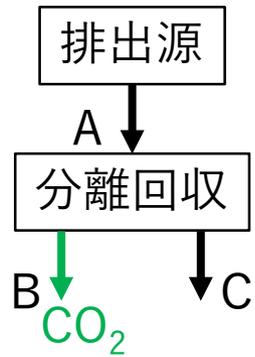


燃焼前分離

ケミカルルーピング



# 最低限必要な分離仕事とコスト



~2000TPD

COURSE50(CAT30)  
試算例 1Mt/y, BFG  
回収のみ2000円

物理吸着

Hasan, M. M. F., et al., *Ind. Eng. Chem. Res.* 2012, 51, 15665-15682

NGCC  
排気  
↓  
化学吸収

↑  
物理吸着(負圧)  
PCPP排気

苫小牧(MDEA)  
回収・圧縮5500円

膜分離

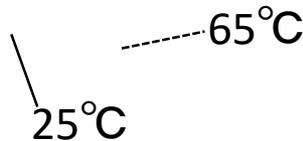
J.Wilcox, *Carbon Capture*,  
(2012)Springer

①事業用発電

②鉄鋼・化学工業・窯業・土石

③セメント・石灰

気液・気固界面現象 → 膜分離=2次元円筒構造  
液体・充填層=3次元構造



←分離に必要な  
理論最小仕事

$$W_{min} = \Delta G_{sep} = \Delta G_B + \Delta G_C - \Delta G_A$$

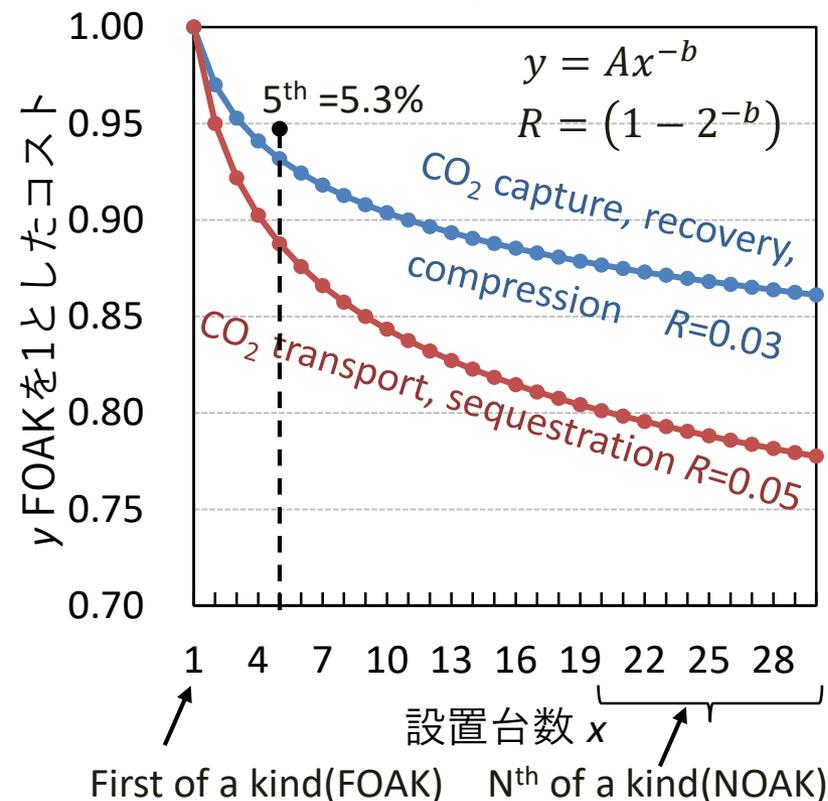
$$W_{min} = RT \left[ n_B^{CO_2} \ln(y_B^{CO_2}) + n_B^{B-CO_2} \ln(y_B^{B-CO_2}) \right]$$

$$+ RT \left[ n_C^{CO_2} \ln(y_C^{CO_2}) + n_C^{C-CO_2} \ln(y_C^{C-CO_2}) \right]$$

$$- RT \left[ n_A^{CO_2} \ln(y_A^{CO_2}) + n_A^{A-CO_2} \ln(y_A^{A-CO_2}) \right]$$

# 地上設備の技術の進展によるコストダウン

Learning Curve



影響因子:  
 Market  
 Manufacturing  
 Scale

Material price  
 Inflation  
 Location  
 Regulatory

PCC System	FOAK \$/kW	%	R Value	5 <sup>th</sup> OAK \$/kW
Coal Handling	85	2.9%	0.01*	84
Coal Prep & Feed System	41	1.4%	0.04	37
Feedwater/Misc. BOP	186	6.4%	0.05	166
Boiler & Accessories	671	23.0%	0.01*	656
Gas cleanup	297	10.2%	0.03	277
CO <sub>2</sub> Removal/Compression	852	29.3%	0.03	794
Ductwork/Stack	68	2.3%	0.00*	68
Steam Turbine/Generator	240	8.2%	0.04	218
Cooling Water System	111	3.8%	0.01*	108
Ash Handling	27	0.9%	0.02	26
Accessory Electric Plant	147	5.1%	0.01*	144
Instrumentation and Control	47	1.6%	0.01*	46
Site Preparation	29	1.0%	0.01*	28
Buildings and Structures	110	3.8%	0.01*	108
<b>Total Cost</b>	<b>2,913</b>	<b>100%</b>	<b>0.023</b>	<b>2,759</b>
% Difference, FOAK to NOAK (5th plant)				<b>5.3%</b>

\*既に成熟度の高い技術（枯れた技術）はR値が小さい  
 固体吸収材・膜分離は大きなR値が可能か？

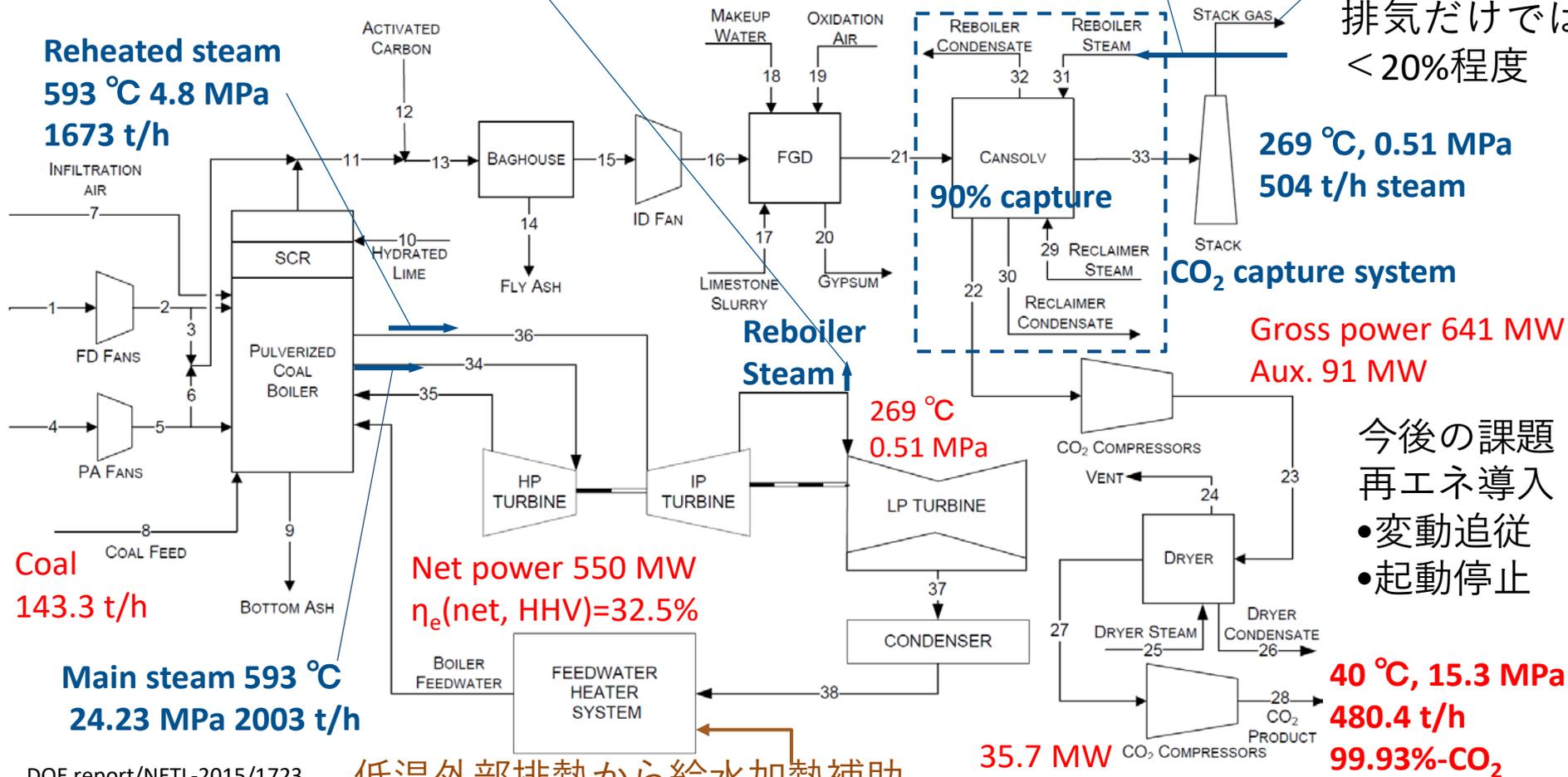
NETL Technology Learning Curve (FOAK to NOAK)(2013)を元に作成

# CCS適用発電システムのPFD

再生塔のリボイラ熱源  
IPT-LPTクロスオーバー管からの抽気  
⇒蒸気タービンの設計変更

ヒートインテグレーション  
再生熱供給専用のボイラ・コジェネ  
熱ポンプ追加, 補助的に太陽熱など

固体吸収材の  
低温熱再生  
排気だけでは  
< 20%程度



低温外部排熱から給水加熱補助

“Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants Volume 1a: Bituminous Coal (PC) and Natural Gas to Electricity Revision 3”

# CO<sub>2</sub>分離回収コスト・効率ロス

2015エネ総工研

NETLモデルを基に、ロケーションファクターを考慮

1GW-USCとIGCCで試算 いずれも1500°C級GT, CO<sub>2</sub>の90%回収で比較

NEDO成果報告書 クリーン・コール・テクノロジー推進事業CO<sub>2</sub>分離回収技術の検討

## CO<sub>2</sub>回収コスト ¥/t-CO<sub>2</sub>

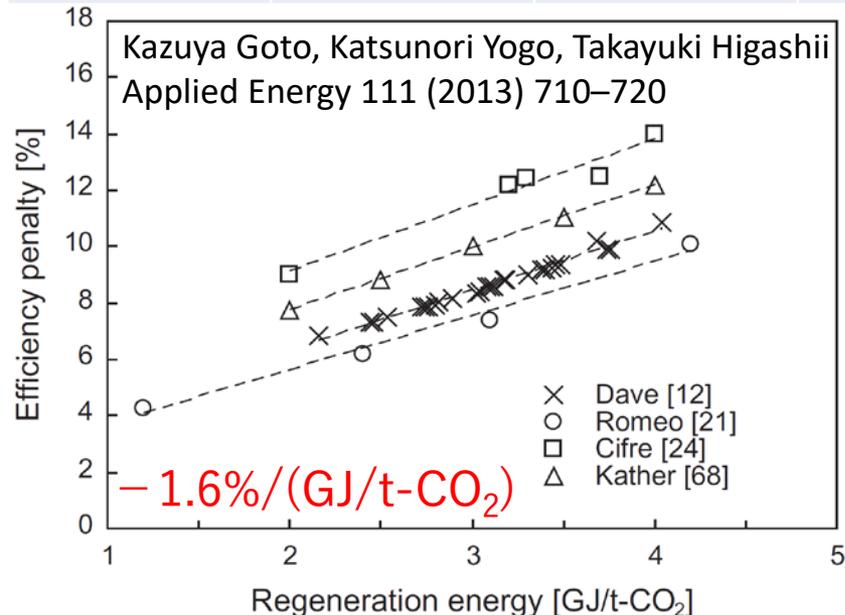
### 1GW 石炭USC

### 1GW IGCC

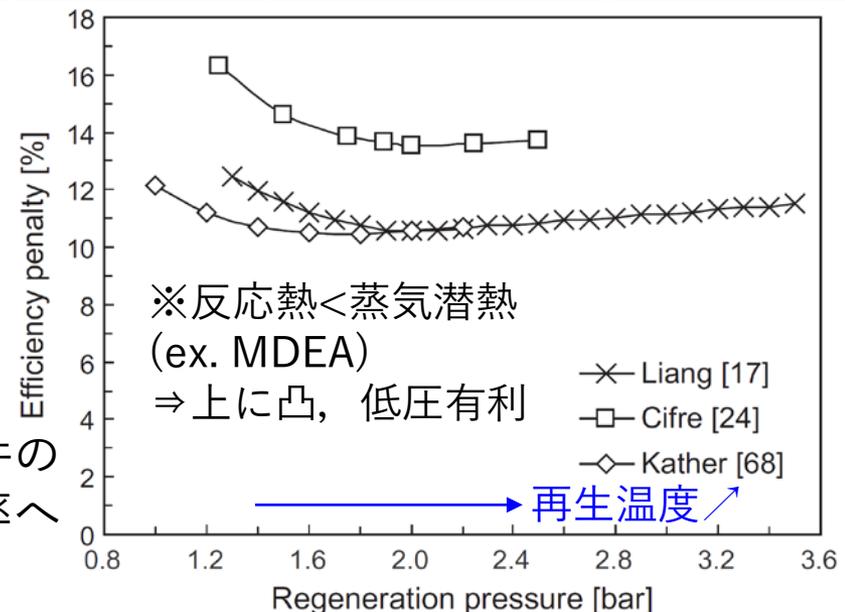
固体KCC	PSA	Chilled NH <sub>3</sub>	アミン RITE-6系	Oxy-fuel (100%)	Selexol	MDEA
4500	5700	5400	3225	3400	2790	4800

## 発電単価 ¥/kWh

11.6	14.2	12.6	10.2	11	9.6	10.0
------	------	------	------	----	-----	------

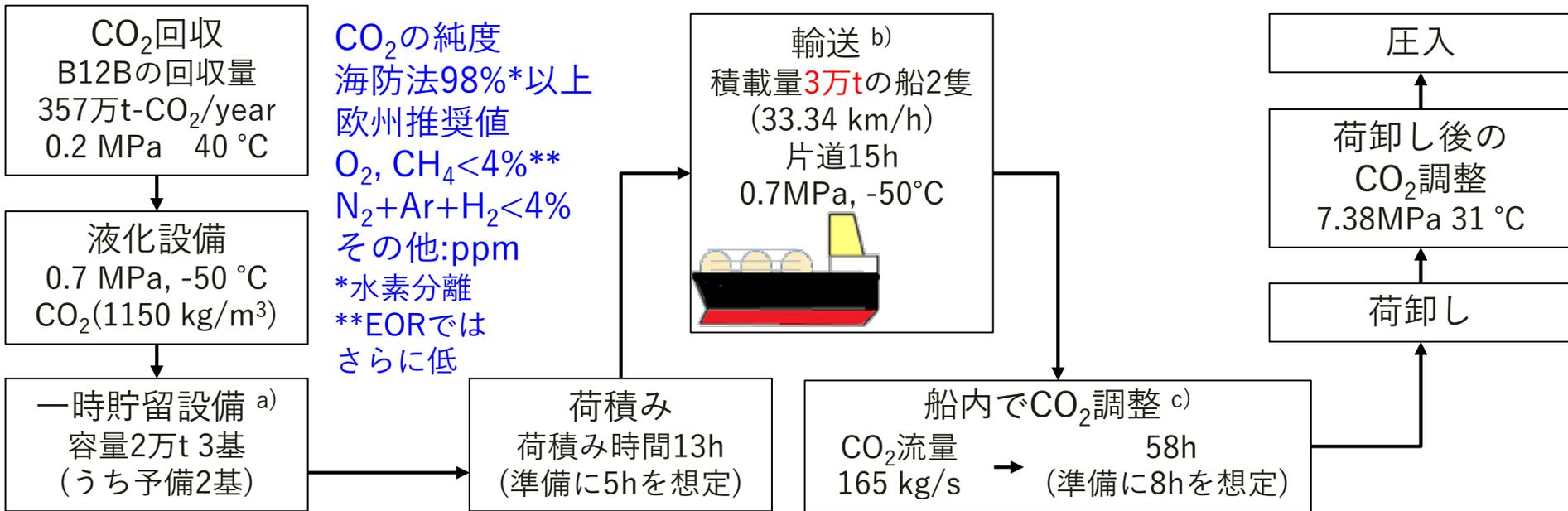


運転条件の  
発電効率への影響



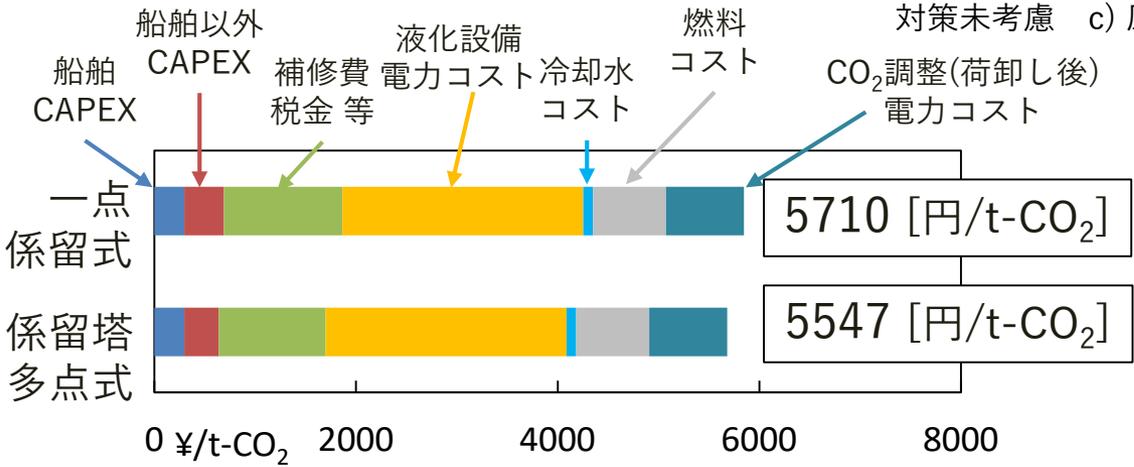
# 船舶によるCO<sub>2</sub>の輸送コスト

船舶による輸送工程 (357万t-CO<sub>2</sub>/year、500km輸送)



CO<sub>2</sub>の純度  
海防法98%\*以上  
欧州推奨値  
O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub><4%\*\*  
N<sub>2</sub>+Ar+H<sub>2</sub><4%  
その他:ppm  
\*水素分離  
\*\*EORでは  
さらに低

a) CO<sub>2</sub>漏洩対策未考慮 b) 2、3年に1回 約2週間の定期検査が必要で対策未考慮 c) 圧入サイドにおいて船内および荷卸し後にCO<sub>2</sub>調整



減価償却年数

- 船舶、CO<sub>2</sub>調整設備(船内) → 15年
- その他の設備 → 30年

液化設備電力コスト:2341[¥/t-CO<sub>2</sub>]  
⇒全体の40%以上

# 2000円/t-CO<sub>2</sub> CO<sub>2</sub>分離回収の展望

○石炭焚き火力/GTCCレトロフィット：燃焼後分離  
CO<sub>2</sub>分圧が低い→TRL高のアミン系の化学吸収法

課題：

**コスト低減**→分離回収エネルギーの低減（現状は2.0～2.5GJ/t-CO<sub>2</sub>）  
反応熱(新規アミン, 混合アミン), 液昇温熱(相分離液, 固体吸収材)  
潜熱ロス(有機溶媒など), プロセス改良, ヒートインテグレーション  
**液の劣化**→酸化劣化の抑制と効果的な運転条件の変更, リクレーミング処理  
**アミンエミッション**→デミスタ, 洗浄塔などで解決可能

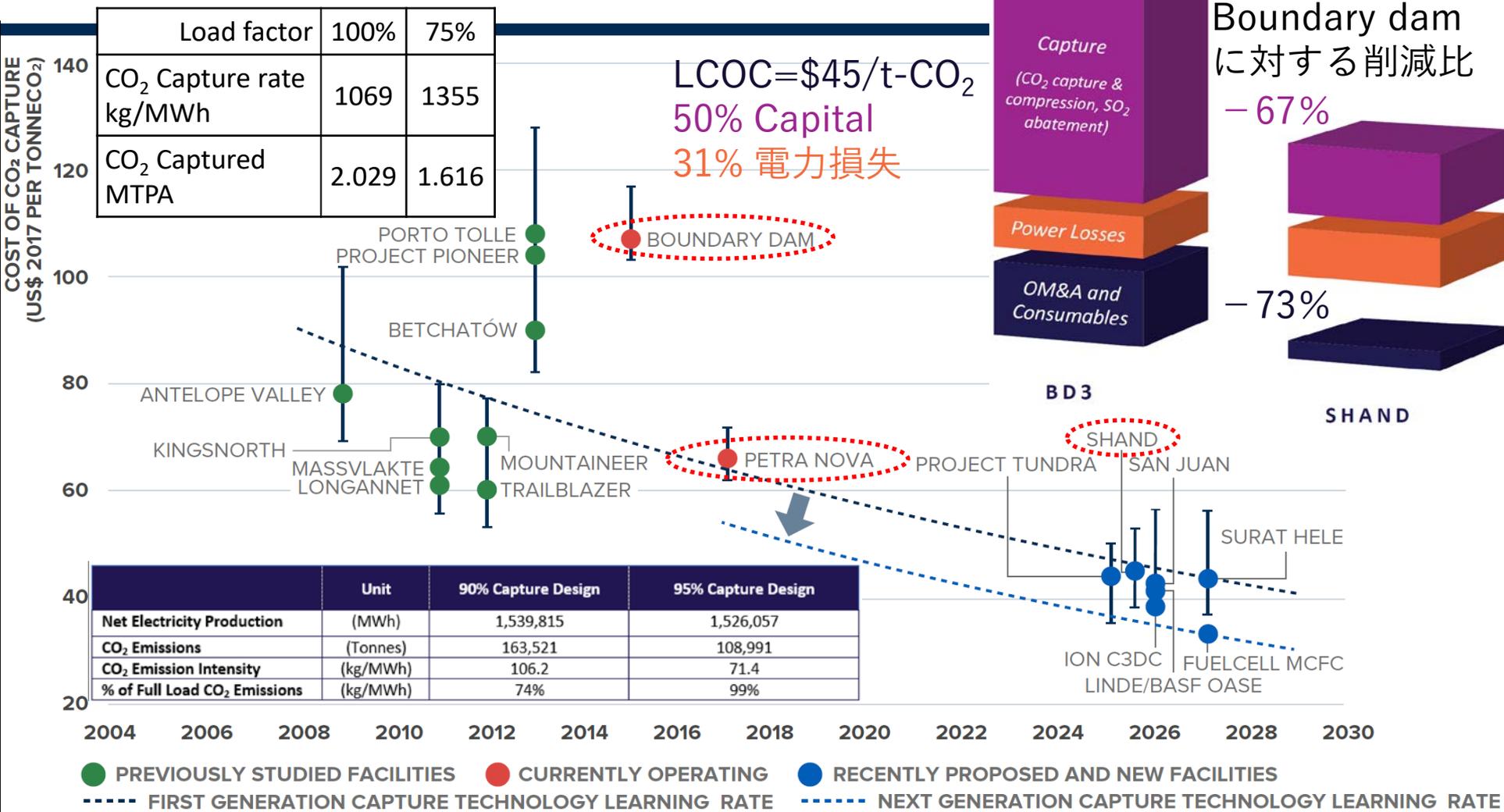
◎IGCC：高圧・高濃度CO<sub>2</sub> 燃焼前分離 フラッシュ再生  
物理吸収 Selexol: DME/polyethylene glycol (DMPEG)  
KemperとOCGで採用 選択率：45 vs.水素 (H<sub>2</sub>Sの方が高い)  
メタノール/NMP (N-Methyl-2-Pyrrolidone)/Propylene Carbonateなども有  
溶媒は高価だが, 運転費が安い  
分離膜, CLCの実用化はもう少し先か? MOF, イオン液体はもっと??

○酸素燃焼Oxy-fuel

燃焼場にCO<sub>2</sub>再循環, カライドで実証済み, ASU動力損(酸素吹きIGCCも同)  
運転柔軟性を確保できればクローズドIGCC(CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC)にも期待

# Shand CCS FEED

USC-PCPP, 300MW維持, 90%Capture-KM-CDR  
 蒸気タービン変更, 脱気器高压化...



# 化学吸収法における再生エネルギーの低減

$\Delta H_r \downarrow$

アミン探索(混合・合成)

- 計算化学
- 機械学習

による効率的な探索

$\Delta H_v \downarrow$

✓ 再生圧力  $\nearrow$

○ 潜熱  $\downarrow$   $\times \alpha_{Lean\_out} \nearrow$

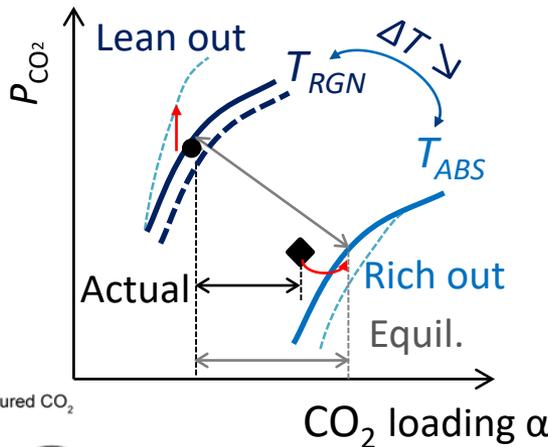
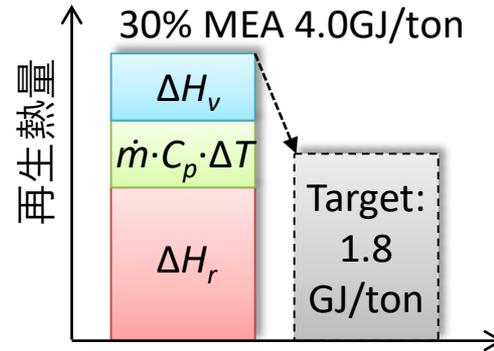
✓ 再生圧力  $\downarrow$

○  $\Delta H_r < \Delta H_{rv} \Rightarrow$  低圧有利

✓ リボイラ温度  $\downarrow$

○  $\Delta T \downarrow \times \alpha_{Lean\_out} \nearrow$

✓ 溶媒変更(低潜熱)



さらなる要求事項  
 液コスト低減  
 酸化劣化対策  
 アミンロス低減  
 腐食対策...

✓ 液昇温熱  $\downarrow$  流量  $\downarrow$   $\dot{m}C_p\Delta T \downarrow$

温度スイング  $\downarrow$

✓ アミン濃度  $\nearrow$   $\times$  析出・増粘

✓  $\Delta CO_2$  ローディング  $\nearrow$

→ 容量の大きいアミンの探索 (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>など)

✓ 化学反応速度

高速:  $RN-COO^- H^+ (pK_a)$

$H^+$  受容体  $R'N-H^+ \leftarrow H^+ \rightarrow RN-H^+$

pH  $\nearrow \rightarrow HCO_3^- \nearrow$  (低再生エネ)

水 + CO<sub>2</sub>  $\nearrow$  (Enzyme)

✓ 物質移動速度  $\nearrow$

ガス側 Sh 数  $\Leftrightarrow$  圧損増

液中拡散係数・ヘンリー一定数

液相境膜輸送係数

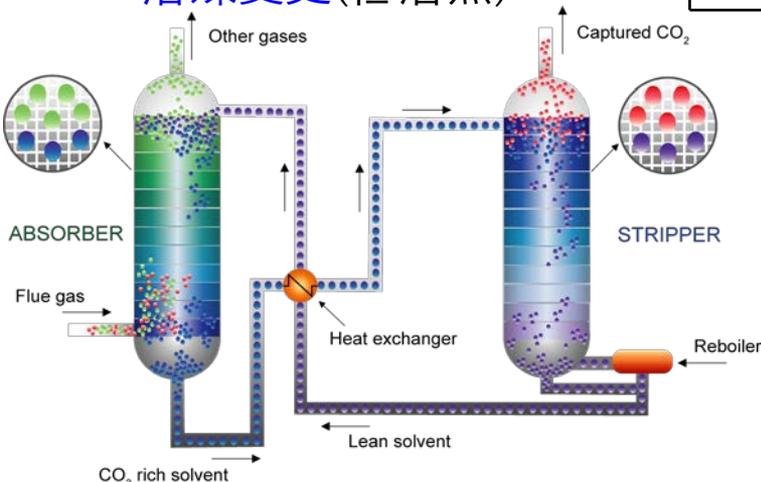
不規則  $\Rightarrow$  構造体充填物

ロータリなどプロセス強化策

✓ 相分離プロセス

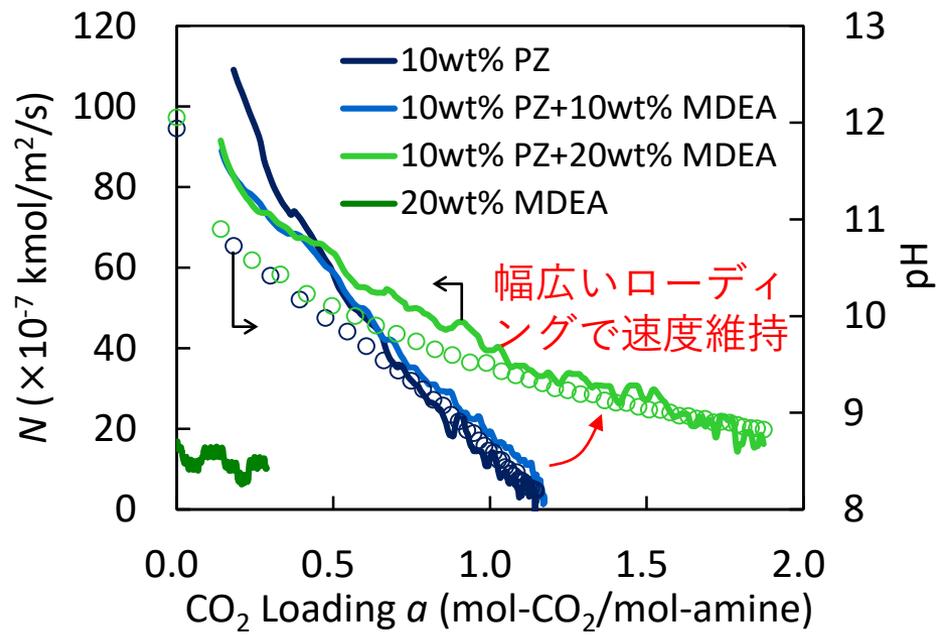
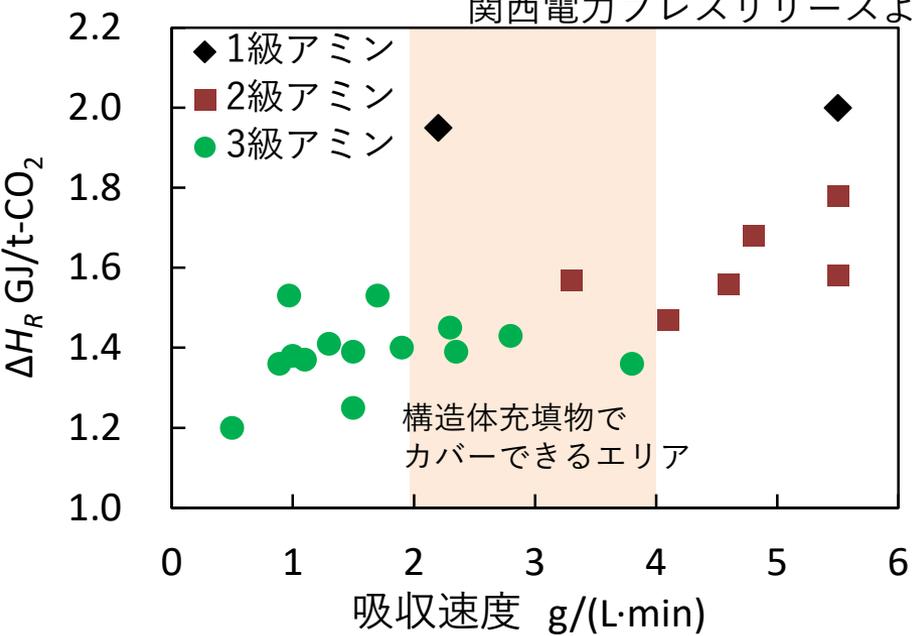
固液分離(高濃度AMP)

液-液比重分離など



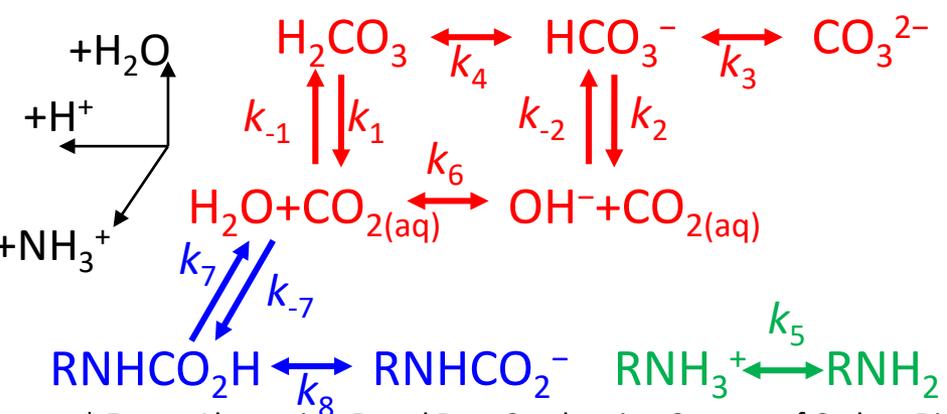
# 吸収液の探索とCO<sub>2</sub>吸収反応

関西電力プレスリリースより



カルバメート生成  $\text{CO}_2:\text{RNH}_2=1:2$  < 立体障害アミン  $\text{HCO}_3^-$   $\text{CO}_2:\text{RNH}_2=1:1$

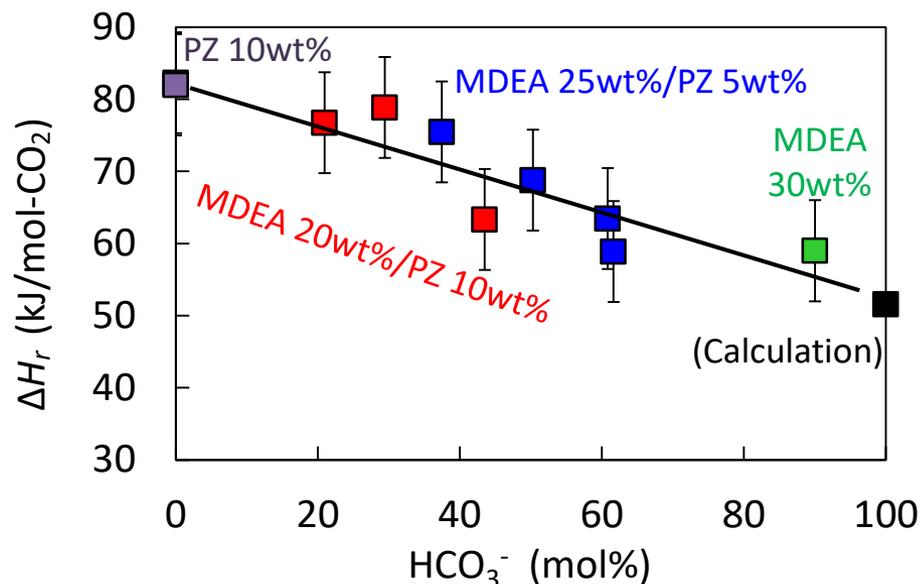
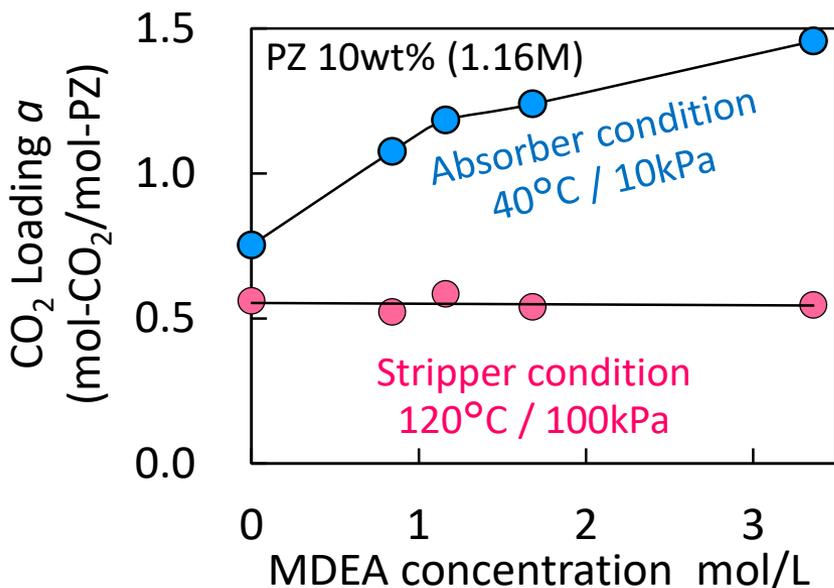
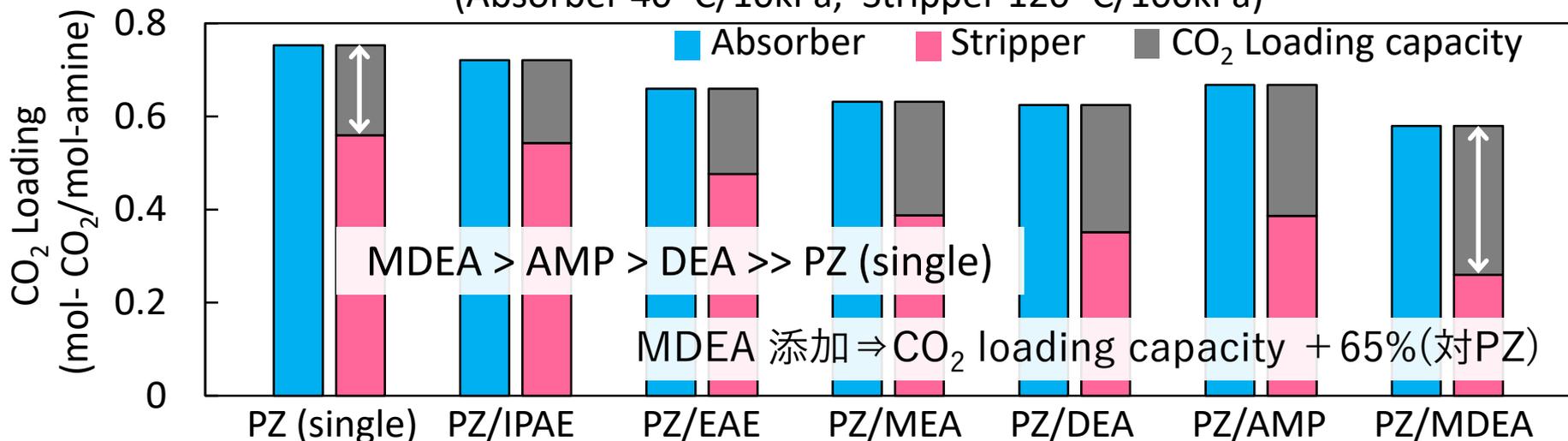
立体障害なし1~2級  $\text{H}^+$ 受容  $\equiv$  カルバメート生成



\* Feron, Absorption-Based Post-Combustion Capture of Carbon Dioxide, WOODHEAD PUBLISHING (2016)

# 混合液によるローディング↑ 反応熱↓の例

PZ 0.33M + アルカノールアミン 0.66Mの2元系混合液  
(Absorber 40°C/10kPa, Stripper 120°C/100kPa)



# プロセス改良

中間  
Cooler

デミスタ  
+ 水洗  
液滴成長  
Knockout

吸収塔均温化

蒸気潜熱回収

冷熱低減

ショート  
カット

吸収速度の遅いアミン

濃縮防止

二重化

ショート  
カット

$\Delta$  loadingの大きいアミン

再生塔均温化

フラッシュ再生

\* Feron, Absorption-Based Post-Combustion Capture of Carbon Dioxide, WOODHEAD PUBLISHING (2016)

# 吸収材の劣化（吸収液MEAのケース）

吸収塔内

全ての派生物質の  
模擬は不可能⇒  
総体的アプローチ

放散塔内

高温高圧場での  
熱劣化

煙道中の  
酸性ガス  
(NO<sub>x</sub> SO<sub>x</sub> etc.)

酸化劣化(O<sub>2</sub>)

塩基性アミン  
の中性化

(+MEA)

熱安定性塩  
(HSS)の生成

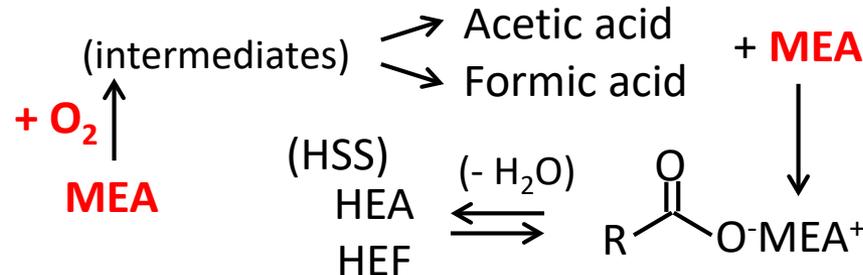
Ni, Feなどの金属  
イオンによる加速

劣化による  
影響

アミン派生物質\*

無機系 微量成分	NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
アミド類	HEF, HEA, Formamides, Acetamides, Oxamides
派生アミン	Methylamines, MAE, HEEDA
有機酸類	HCOO <sup>-</sup> , CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> , (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>
環状物質	HEI, HEIA, HEP

HEED, HEI, OZD  
などの生成

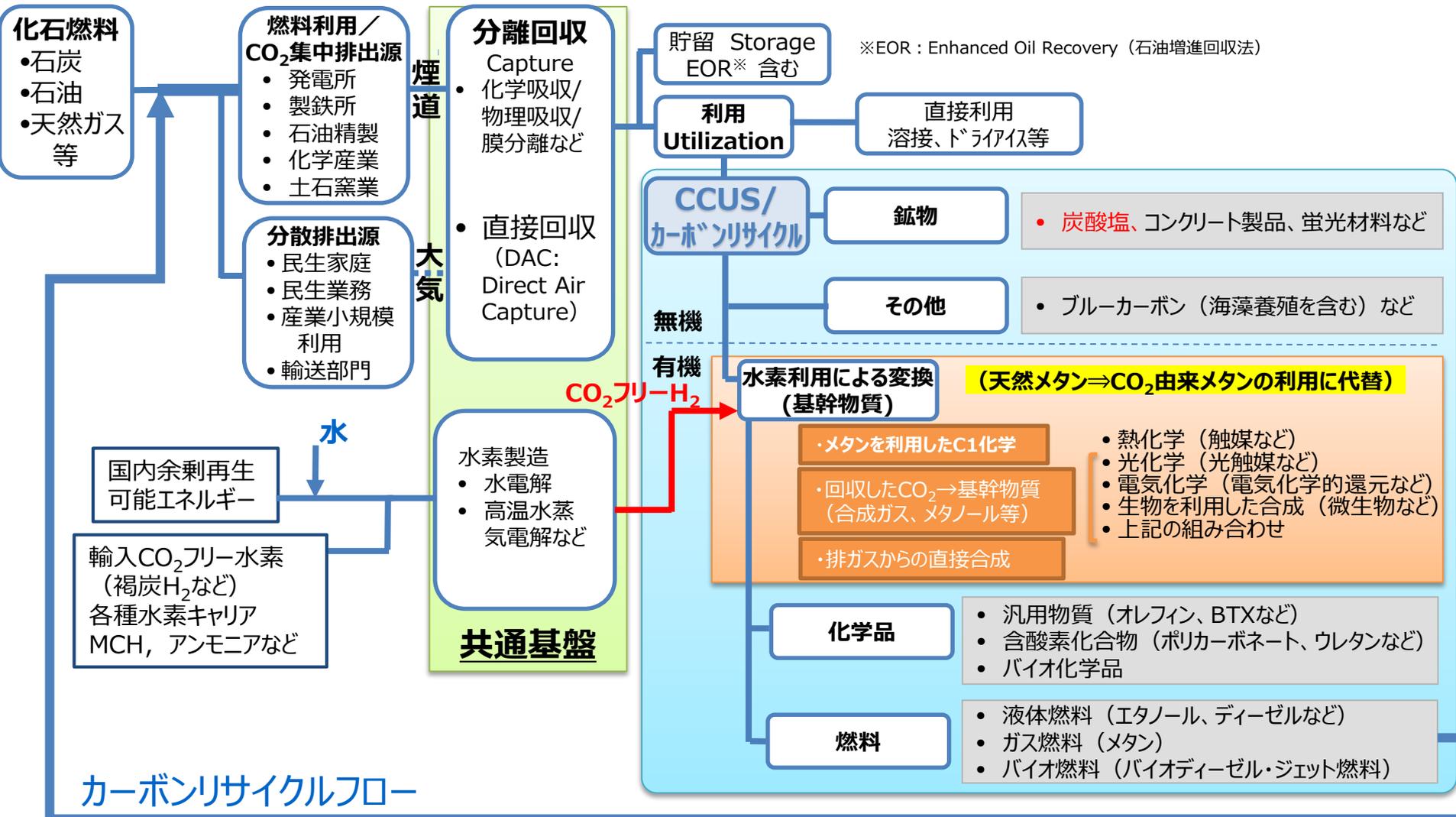


CO<sub>2</sub>解離反応熱↗ 液比熱↗ 粘性・張力の変化⇒発泡トラブル  
実効アミン↘ → CO<sub>2</sub> loading capacity↘

\* S.B.Fredriksen, Oxidative degradation of aqueous amine solutions of MEA

# CCUS/カーボンリサイクル (R1年6月7日公開に私案加筆)

- **カーボンリサイクル**：利用 (Utilization) に焦点を当て、世界の産学官と連携しつつ研究開発によるイノベーションを図り、地球温暖化、エネルギーセキュリティ等の課題解決に貢献。



共通課題： 熱・圧力・物質等の全体最適化 (低コスト化など)、LCA (現行プロセスとの比較)

# CCUとCO<sub>2</sub>分離

水電解: 50 kWh/kg-H<sub>2</sub>



その他CO<sub>2</sub>フリー-H<sub>2</sub>

+CaO ⇒ CaCO<sub>3</sub> 発熱 分離回収不要の固定化  
 +MgO ⇒ MgCO<sub>3</sub> 発熱

逆シフト反応  
 41.2kJ/mol吸熱, 高温有利 (脱水でDME)  
 $+\text{H}_2 \Rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$

$+2\text{H}_2 \Rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$  / 0.5(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>O + 0.5H<sub>2</sub>O  
 メタノール合成反応  
 90.6kJ/mol発熱 ⇒ ガソリン・BTX  
 オレフィン

CO + 0.5O<sub>2</sub>  
 直接電解/水と共電解/電気化学的合成

$+4\text{H}_2 \Rightarrow \text{CH}_4$  サバティエ反応  
 低純度CO<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O 165kJ/mol発熱  
 でも可 (都市ガス網利用可)

$\text{H}_2\text{O} \Rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2$   
 太陽光光合成 (触媒/藻類・バイオ)

ドライ改質 247kJ/mol吸熱  
 (当面)+CH<sub>4</sub>  
 $\Rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$   
 $+2\text{H}_2 \rightarrow (1/n)(\text{CH}_2)_n + \text{H}_2\text{O}$   
 FT合成反応 167kJ/mol

ギ酸合成反応  
 31kJ/mol発熱  $\Rightarrow \text{HCOOH}$

シュウ酸合成反応  
 34.1kJ/mol発熱  $\Rightarrow (\text{COOH})_2$

ローテク・新技術が早くて確実

※海水電解は塩素が発生するため脱塩プラントが必須  
 水素源の飲料水・農業用水との競合懸念

# 無機系CCUポテンシャル・市場規模

## 製鉄製鋼スラグ

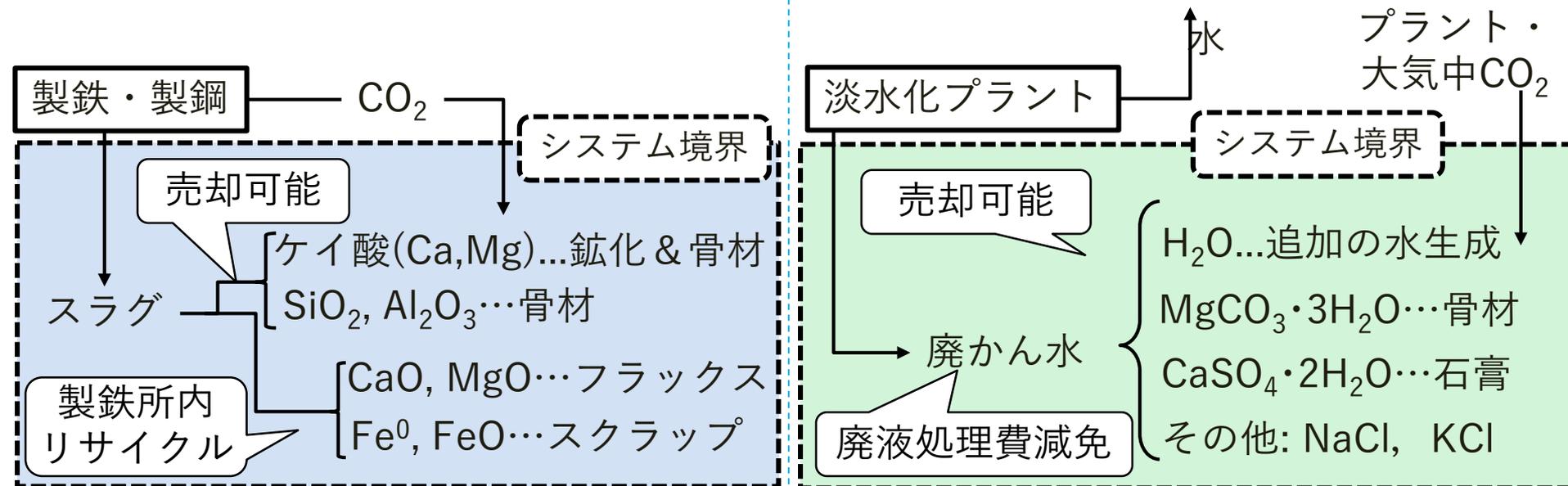
- ✓ 高炉・転炉・アーク炉スラグ
- ✓ 4~10%正味CO<sub>2</sub>排出削減  
→ 累積 12.2-20.1 GtCO<sub>2</sub> (2050まで)
- ✓ 製鋼スラグのFeO回収
- ✓ 未反応CaO回収, 脱珪に再利用
- ✓ 微量元素(リン等)の回収
- ✓ CO<sub>2</sub>分離・回収なし
- ✓ 現在の骨材市場 + “CO<sub>2</sub>削減”の価値

## 廃かん水

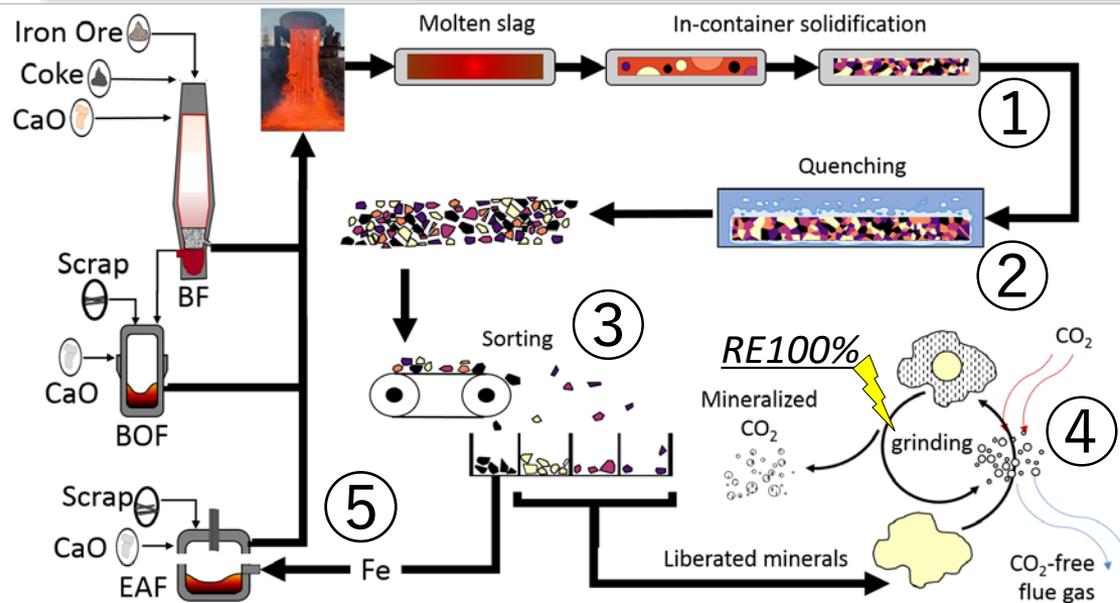
- ✓ 人口増加に伴う淡水化市場の拡大
- ✓ 全世界のCO<sub>2</sub>鉱化ポテンシャル  
0.136 GtCO<sub>2</sub>/y (2018)  
→ 0.216-0.361 GtCO<sub>2</sub>/y (2030)  
→ 0.343-1.783 GtCO<sub>2</sub>/y (2050)

## 市場規模

- ✓ 現在: 1.8 - 3.0万円 /t-CO<sub>2</sub>
- ✓ 2050年: 1.7万円 /t-CO<sub>2</sub>

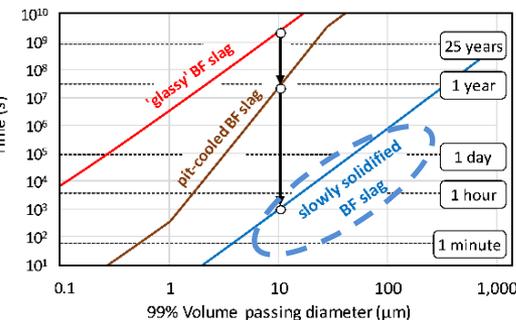


# CO<sub>2</sub>分離なしの鉱化(スラグ利用)

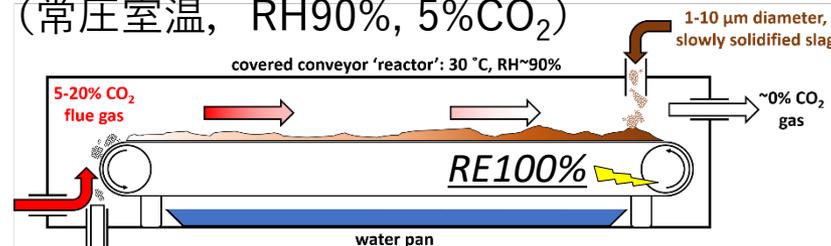


## 5つの単位操作

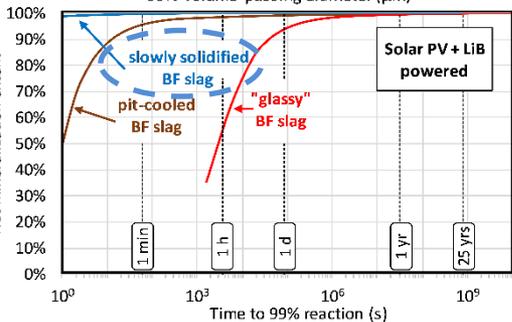
- ① 熔融スラグ固化 (超徐冷)
  - 生成化合物の変化
  - 粒子径の成長
- ② 急冷・熱衝撃(固体スラグ)
  - 完全な分離
- ③ 補助としての研削・分離
  - エネルギーの削減
- ④ CO<sub>2</sub>鉱化
  - 排気CO<sub>2</sub>直接利用
- ⑤ スクラップのリサイクル



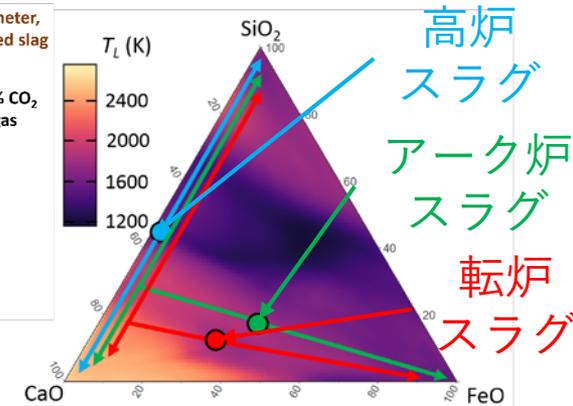
← 粒子径に対する反応完了時間  
(常圧室温, RH90%, 5%CO<sub>2</sub>)



加湿排ガスのフード付き  
ベルトコンベヤによる常  
温常圧CO<sub>2</sub>鉱化プロセス



← 反応完了時間に対する  
正味CO<sub>2</sub>固定率 (RE100%)



溶融状態の混合溶液の凝固点を機械学習によって推測

# 国内外の分離回収テストセンター



○貯留まで可能なテストセンター

大規模・早期展開  
テストセンターの方向性：

新技術の迅速なフィードバック  
 中立な評価基準(GJ/t-CO<sub>2</sub>)  
 材料とプロセス研究のシナジー  
 課題解決(劣化/負荷追従)

非競争領域/国際協力



○JCCS 苫小牧  
25000kg/h



東芝 三川発電所  
500t-CO<sub>2</sub>/d (15万t/y)



OCG IGCC  
166MW 15%のCO<sub>2</sub>回収



MHI/関電 大阪南港  
 IHI 相生, 豪州  
 KHI 明石, ワイミング

# まとめ

- CO<sub>2</sub>分離回収はCCUS, やるなら早期に大量に REだけではNZEは困難
- 世界のCCSはほぼEOR, 排出源は還元性ガスが多い
- 国内の主たる排出源は事業用発電, 鉄鋼・化学工業・窯業・土石・セメント
- 高圧では物理吸収/吸着・膜分離, 固体吸収材は多目的に利用可能
- 主戦場は常圧低濃度の燃焼後分離, 化学吸収液に一日の長
- 国内CCSの追加コスト 液化船舶輸送
- 追加エネルギー削減: 液探索・プロセス改良・ヒートインテグレーション
- 劣化の主要因は酸化性雰囲気, 高温・酸性ガスで加速
- CCUS CO<sub>2</sub>純度の緩いメタン合成・改質 無機固定は分離不要
- 分離回収だけでなく, 貯留まで一貫したテストセンターに期待



The banner for CUUTE-1 features a green funnel shape on a blue sky background. The funnel is filled with a green liquid, symbolizing carbon capture and utilization. The text is arranged as follows:

**CUUTE** (Logo with a green leaf)  
**CUUTE-1** The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment  
**Date** Tue 27 – Fri 30 October, 2020  
**Venue** Nara Kasugano International Forum 麓 IRAKA  
<http://web.apollon.nta.co.jp/CUUTE-1/>

On the left side of the banner, there is a vertical navigation menu with the following items:

- Top Page
- Introduction
- Organizing Committee
- Call for abstracts
- Registration
- Program