

高効率CO₂分離回収技術 の実用化に向けた取り組み

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)
化学研究グループ グループリーダー
中尾 真一



CCSとCO₂分離・回収技術

「環境エネルギー技術革新計画(2013年9月)」における技術ロードマップ(CCS)

当該技術を必要とする背景

- 本技術は大規模なCO₂の削減を可能とする技術であり、特に、途上国を中心に今後も利用拡大が見込まれる石炭をはじめとする化石燃料から生じるCO₂排出削減として有効。
- 製鉄の工程で原料として利用される石炭は代替が困難であり、製造プロセスから生じるCO₂を削減する手段としても有効。

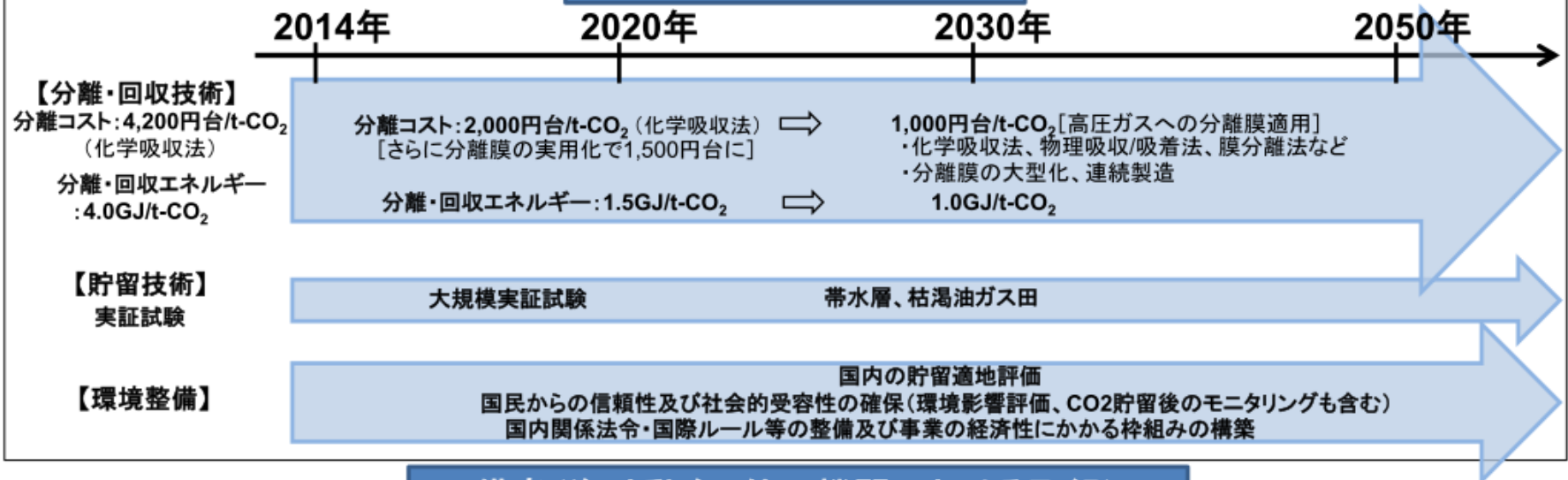
当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

- CCSは、大規模排出源の排ガス等からCO₂を分離・回収し、地下貯留することにより、CO₂排出の削減に貢献する技術。
- 実用化への課題であるコストの低減に有効なCO₂分離回収技術や、安全性向上に有効な地下貯留したCO₂のモニタリング技術の研究開発を実施。

導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

- 安全にCO₂を地下貯留するためのCO₂貯留適地評価を実施
- CCS導入に関する国内ルールの整備
- 国際的な安全・管理基準の整備

技術ロードマップ

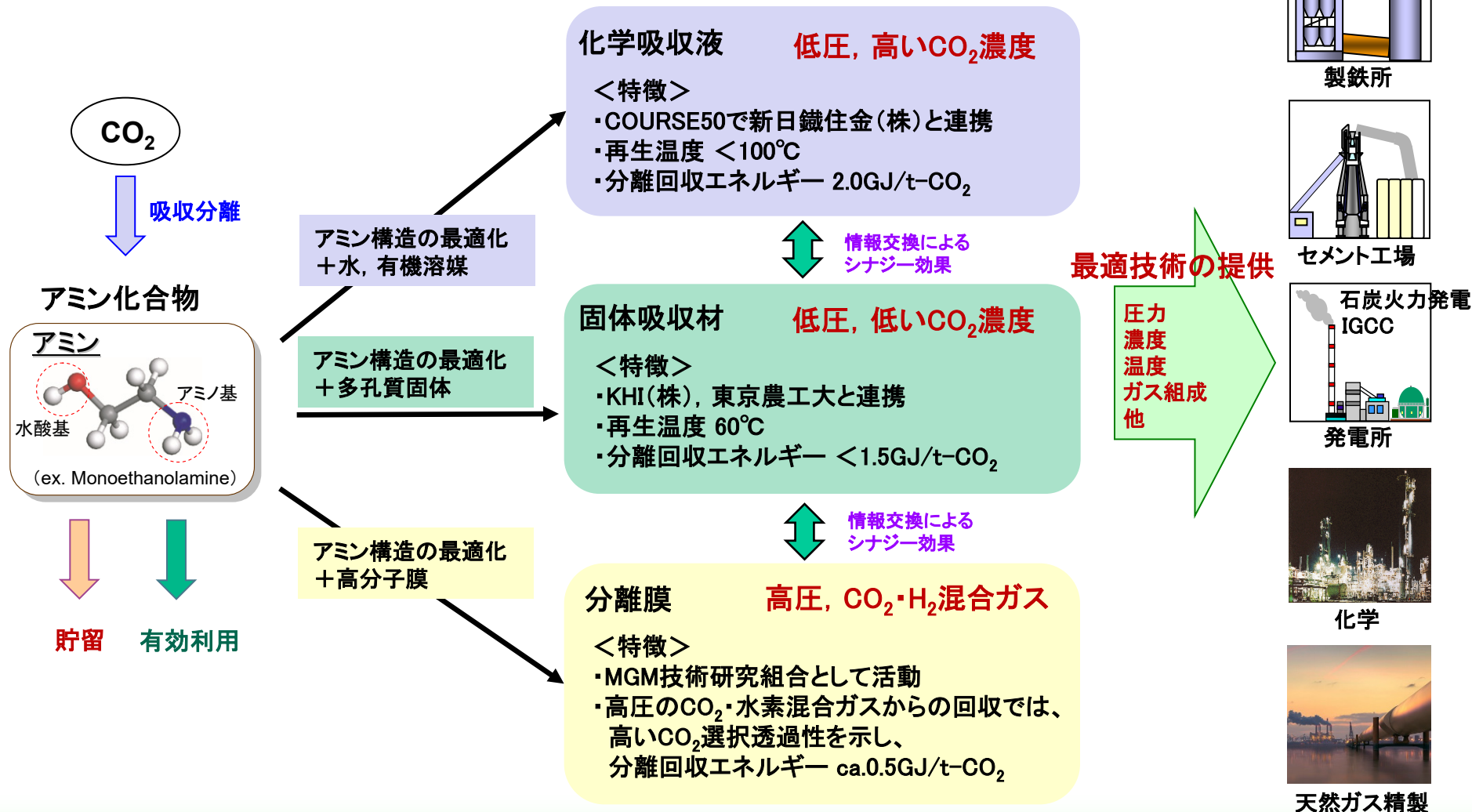


備考(海外動向、他の機関における取組)

- CCSプロジェクトは、炭素税等を背景にノルウェー等で数件が実施されている。
- CO₂圧入によるEOR(石油増進回収法)は、米国を中心に10件程度進行中である。

アミン化合物を中心とした CO₂分離回収技術の研究開発

地球温暖化防止 → 発生源に適したCO₂分離・回収技術



RITEにおけるCO₂分離・回収技術

【化学吸収法】FY2008～(NEDO委託事業)

環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発
(フェーズⅡ－STEP1)/CO₂分離回収技術開発/高性能吸収液の開発
(高炉ガスからのCO₂分離・回収)

体制: 新日鐵住金(株) → (共同実施) RITE (吸収液開発)

【固体吸収法】FY2015～2017(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発
/先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発
(石炭火力発電所からのCO₂分離・回収)

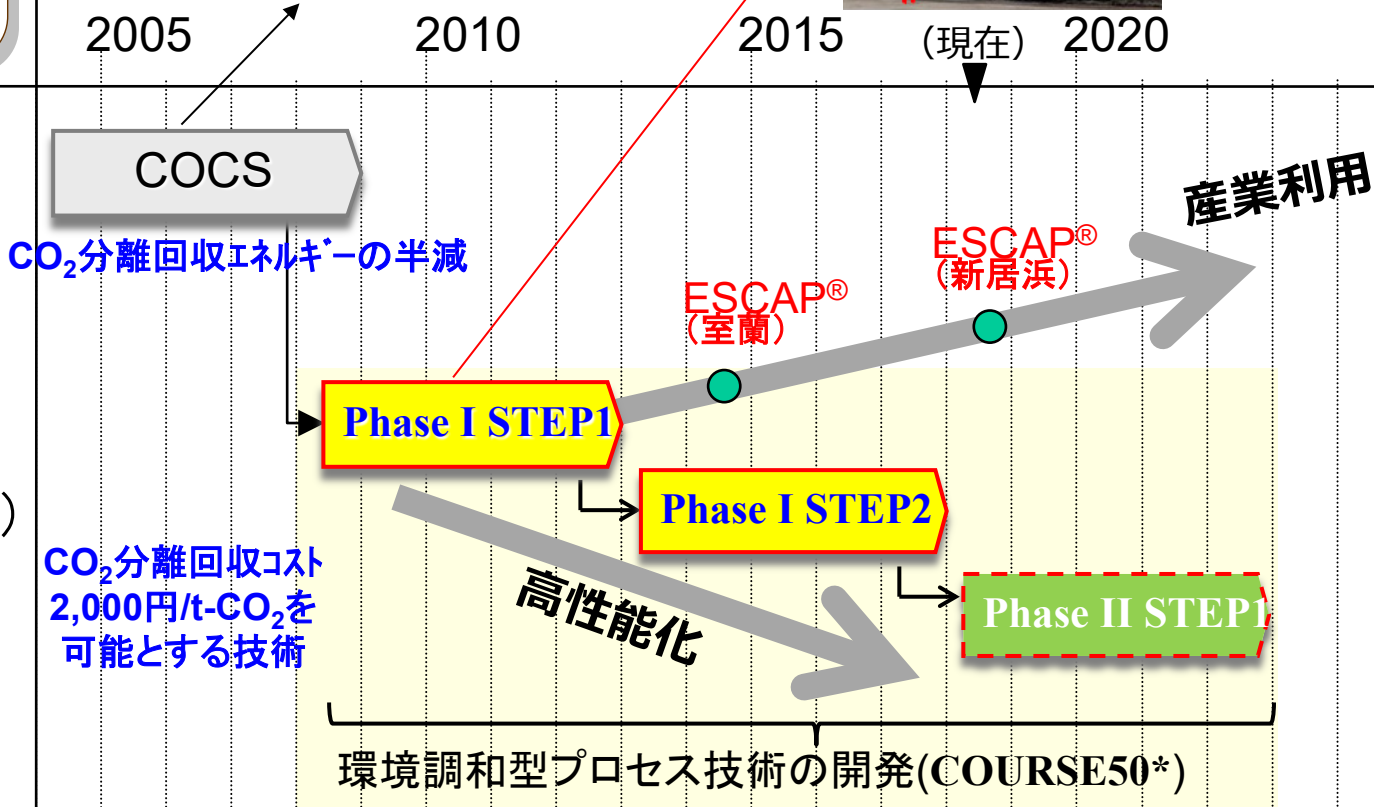
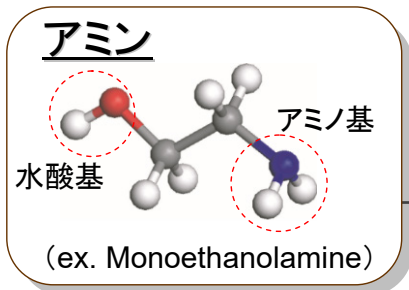
体制: RITE → (再委託) 川崎重工業(株) (移動層)、TUAT (シミュレーション)

【膜分離法】FY2015～2018(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発
/二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
(IGCCガスからのCO₂分離・回収)

体制: MGM技術研究組合

吸収液の研究開発プロジェクト



*COURSE50: CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50) Project

※ESCAP®は、新日鉄住金エンジニアリング(株)の省エネ型二酸化炭素回収設備の商用機

Phase I において開発した化学吸収液の一つは、
新日鉄住金エンジニアリング(株)の省エネ型CO₂回収設備(ESCAP®)に採用。

- 1号機 (120 t/day) 稼働中 (製鉄所)
- 2号機 (143 t/day) 2018年秋稼働予定 (発電所)



商業化1号機
(新日鐵室蘭製鐵所)

- ✓ 2号機は、化学吸収法による
石炭火力発電所の燃焼排ガス
からのCO₂分離回収として、
日本で初めての商業設備となる。

(住友共同電力株式会社
新居浜西火力発電所構内)

COURSE50の技術課題とCO₂削減目標

世界初の水素還元活用とCO₂分離回収によるCO₂排出量30%削減を目指す

(1) CO₂排出量削減技術開発

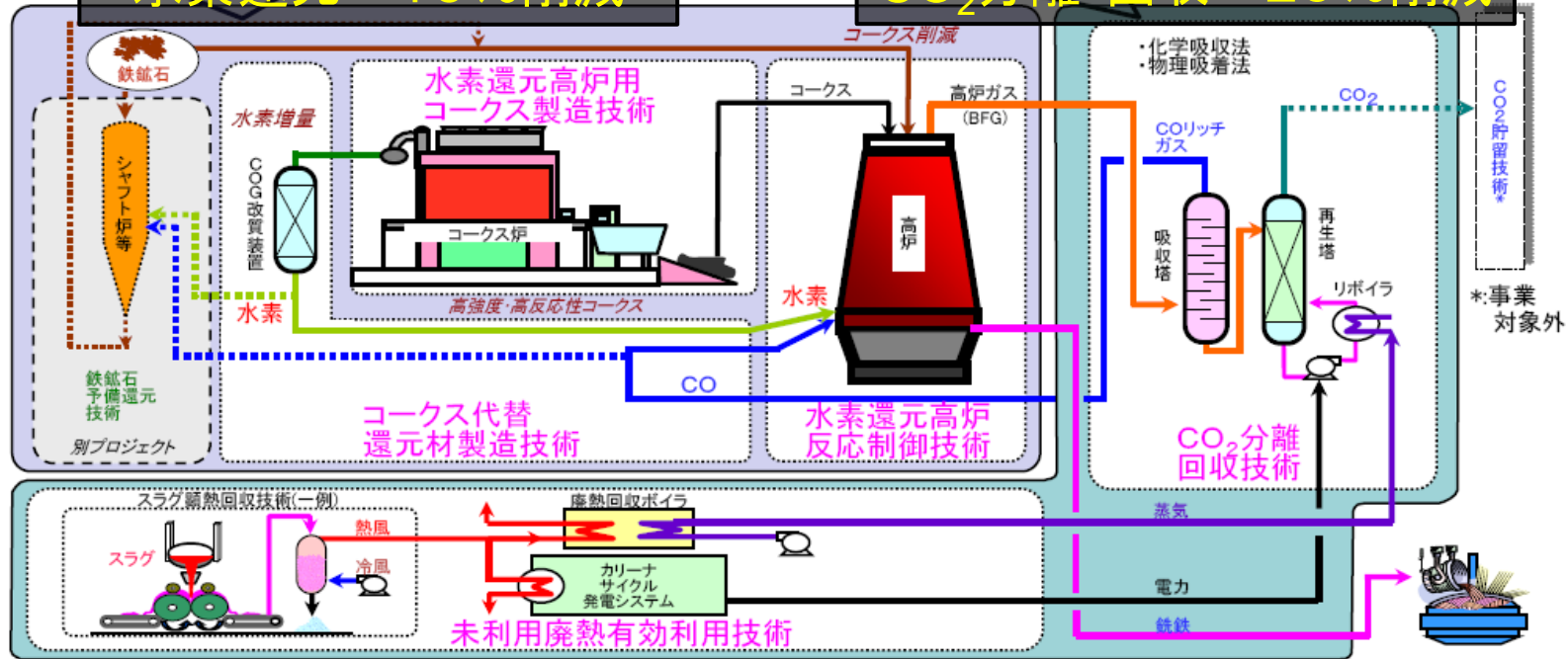
水素をコークスの一部代替として
鉄鉱石を還元し、CO₂を10%削減

水素還元⇒10%削減

(2) CO₂分離・回収技術開発

高炉ガスからCO₂を分離・回収し、
CO₂を20%削減

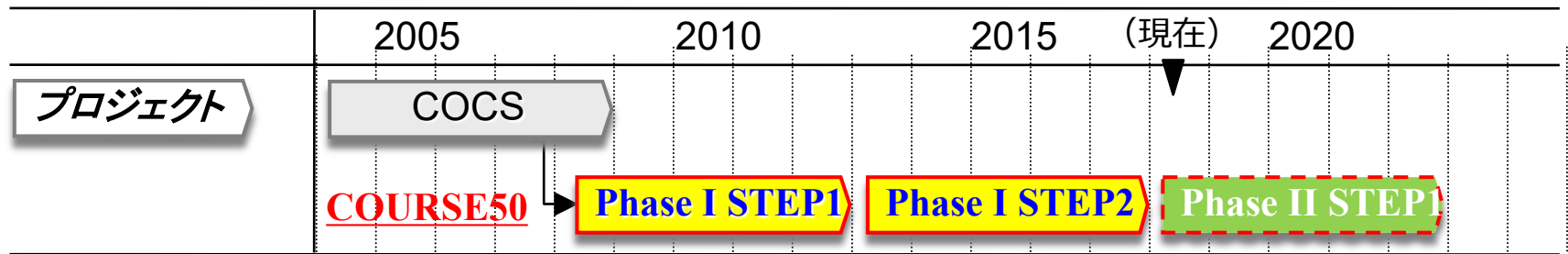
CO₂分離・回収⇒20%削減



出典) NEDO環境技術分野事業報告会(H開30.7.19開)資料に加筆

➤ RITEはCOURSE50におけるCO₂分離・回収の技術開発を推進

CO₂分離・回収技術開発の成果 (RITE)



Phase I STEP1

目標: 分離回収エネルギー2.0GJ/t-CO₂以下

成果: ・高性能吸収剤を開発し、それを用いた吸収液が、
平衡モデルによる分離回収エネルギー2.0GJ/t-CO₂を達成。
・再生温度を従来よりも約30°C低温化できる吸収液を開発。

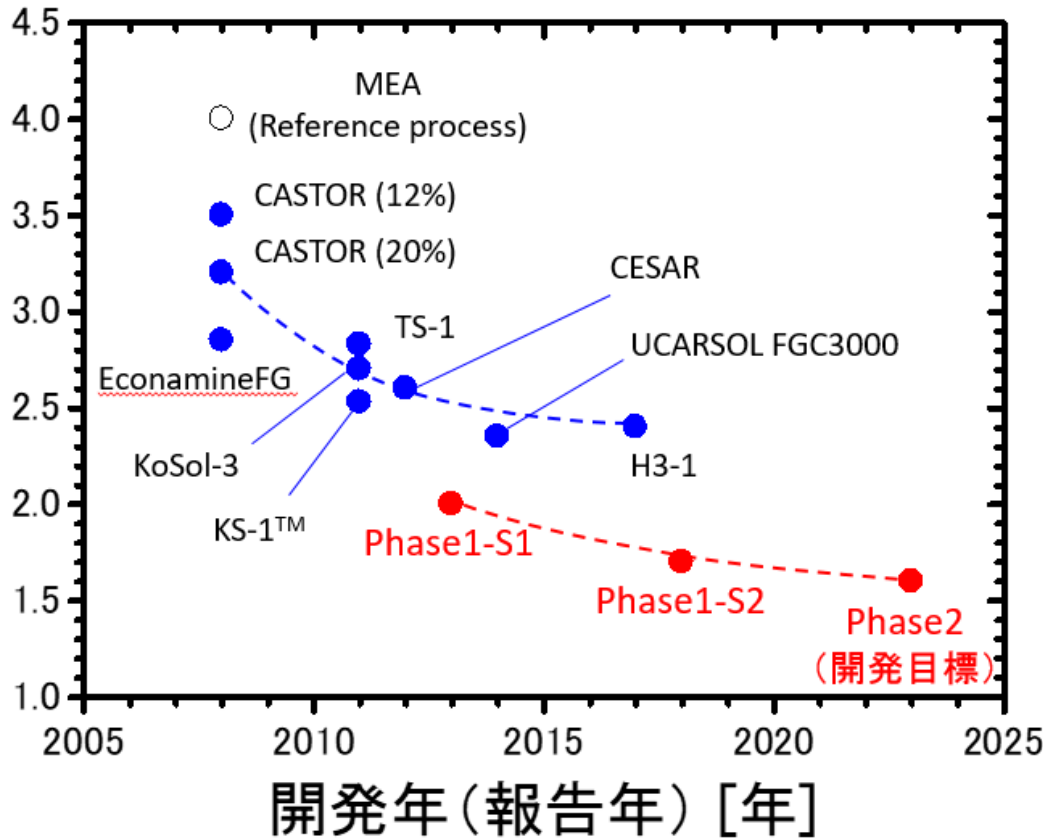
Phase I STEP2

目標: 分離回収エネルギーをより一層低減可能な吸収液の開発
(努力目標: 1.6GJ/t-CO₂を設定)

成果: STEP1を凌駕するエネルギー性能の新規吸収液を開発。
新規吸収液の性能発現機構を解明。 (CAT-LAB試験で、
CO₂吸収・放散を促進可能な触媒を開発。 1.69-1.78GJ/t-CO₂確認)
相変化エネルギーを活用した吸収液の基本技術を構築。

高性能吸収液開発の成果とPhase IIの目標

分離回収エネルギー [GJ/t-CO₂]



Phase 1 STEP1:

- ・新規アミン開発
- ・新規組成開発

Phase 1 STEP2:

(革新技术探索)

- ・新規溶媒探索
- ・相変化現象利用
- ・反応促進触媒開発、等



Phase 2 :

更に高性能な吸収液の開発を目指す

⇒ RITEは吸収液の研究開発に優位性を持つ

高炉ガスからのCO₂分離回収技術開発

吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出し、その相乗効果発揮を狙い、量子化学計算および連続分離回収実験による対策の集積で開発目標到達に取り組む。

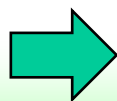
[開発目標： 分離回収エネルギー 1.6GJ/t-CO₂]

◎吸収形態改善

吸収熱低減に有利なバイカーボネート型のCO₂吸収反応機構を指向しつつ、吸収速度がトレードオフ関係に陥らないアミン化合物および液組成の開発

◎分極影響の緩和

吸収剤であるアミン化合物や添加剤だけでなく、溶媒をも含めた総合的な組成検討による吸収液高性能化技術の開発



両技術により吸収熱寄与分の低減を期待

RITEにおけるCO₂分離・回収技術

【化学吸収法】FY2008～(NEDO委託事業)

環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発
(フェーズⅡ-STEP1)/CO₂分離回収技術開発/高性能吸収液の開発
(高炉ガスからのCO₂分離・回収)

体制: 新日鐵住金(株) → (共同実施) RITE (吸収液開発)

【固体吸収法】FY2015～2017(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発
/先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発
(石炭火力発電所からのCO₂分離・回収)

体制: RITE → (再委託) 川崎重工業(株) (移動層)、TUAT (シミュレーション)

【膜分離法】FY2015～2018(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発
/二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
(IGCCガスからのCO₂分離・回収)

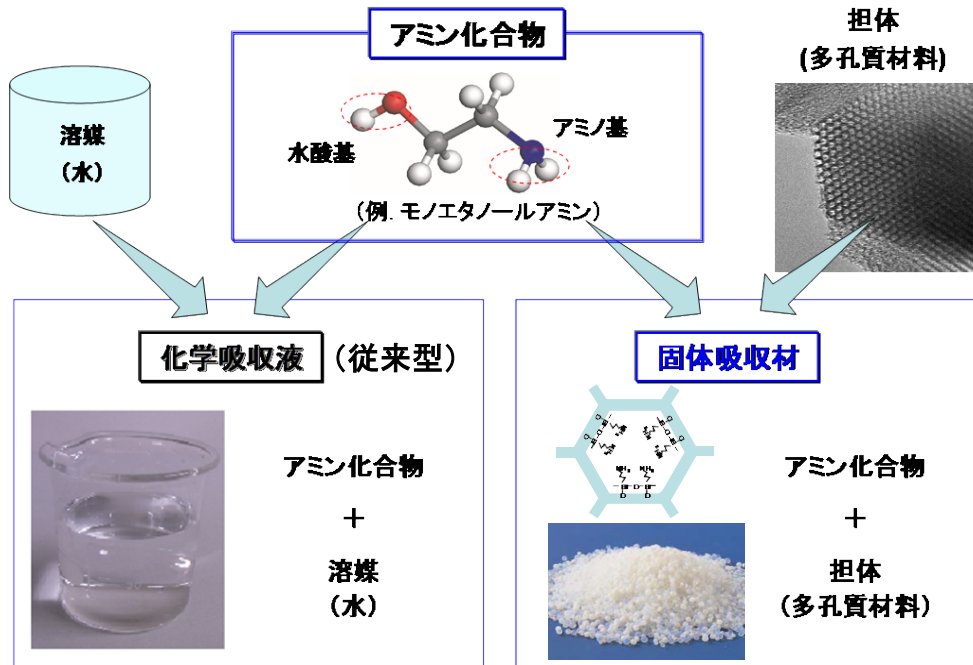
体制: MGM技術研究組合

固体吸収材

<対象> 石炭火力発電所(燃焼後回収)

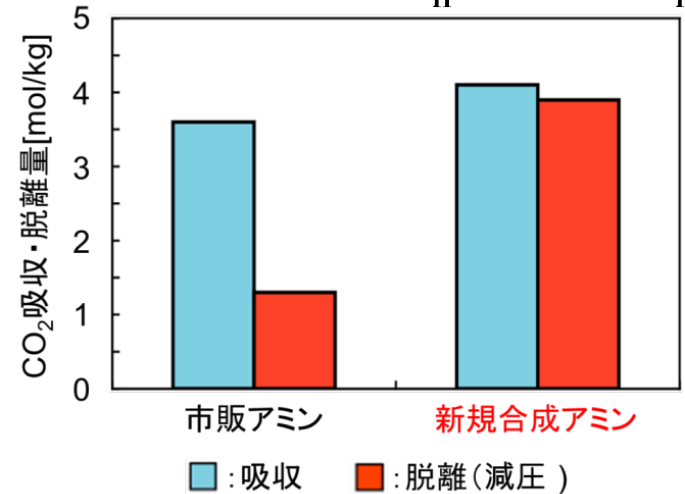
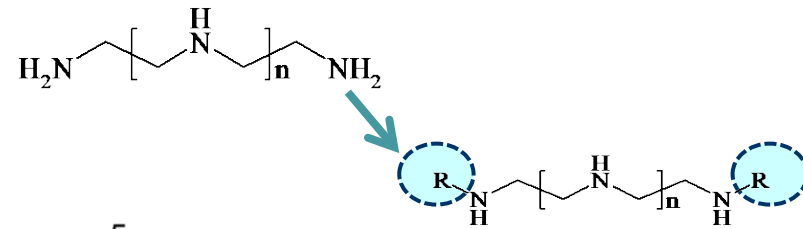
<目標> 分離回収コスト2,000円台/t-CO₂、エネルギー< 1.5 GJ/t-CO₂

○固体吸収材とは



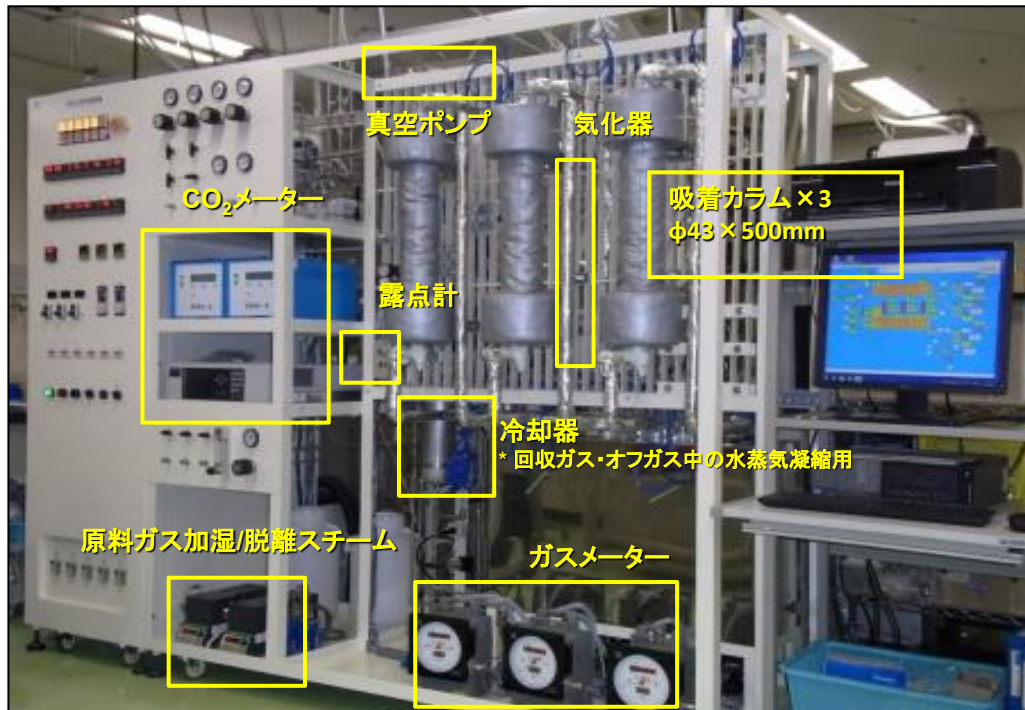
CO₂再生時に比熱の大きい水を加熱する必要が無い
ため、CO₂分離回収エネルギーの低減が可能

○RITE固体吸収材の特徴

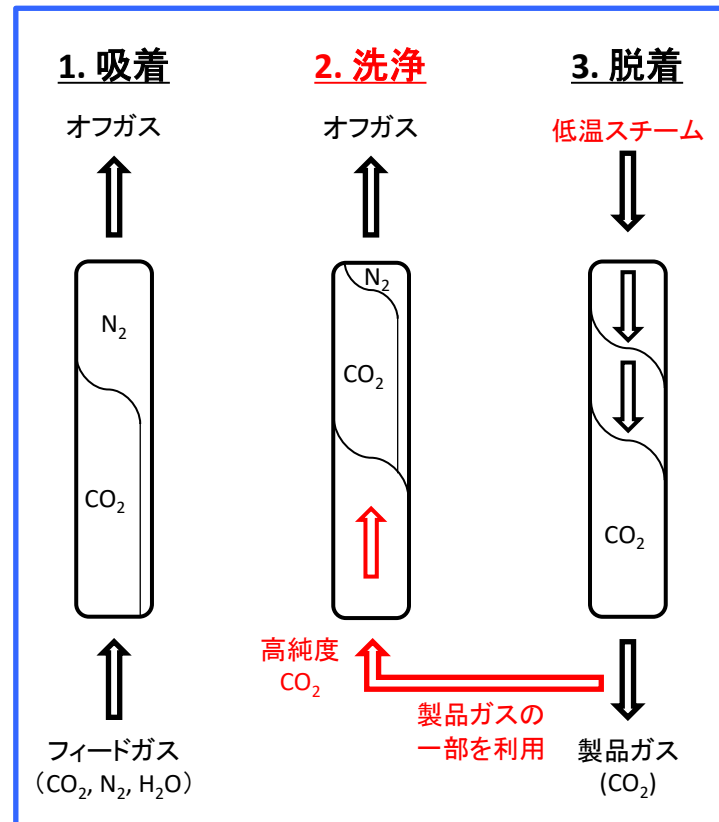


低温(60°C)でCO₂再生率に優れる固体吸収材を開発
RITE: 特許取得(米国、日本)

ラボスケール固定層試験



RITEのラボスケール固定層試験装置（～3kg/day）



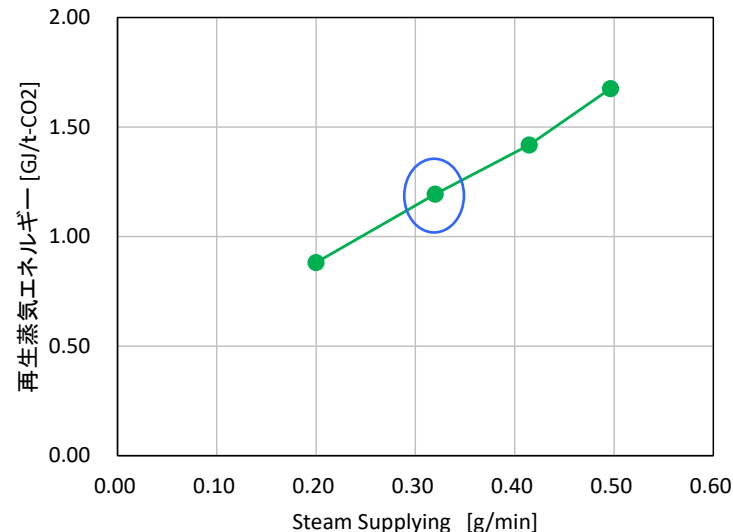
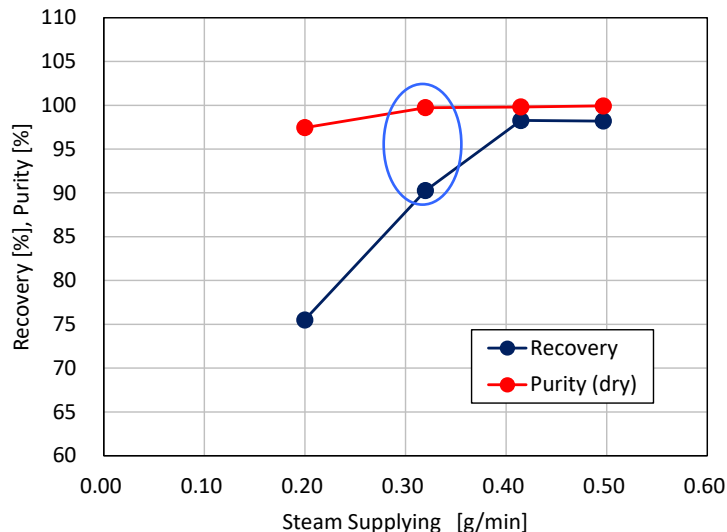
◎ 操作パラメータ

- ・ **運転温度** (50～70 °C)
- ・ **洗浄時間** (10～40 sec)
- ・ **サイクル時間** (9～18 min)
- ・ **再生スチーム量** (0.2～0.5 g/min)
- ・ **供給ガス湿度** (50～100 %-RH)



RITE固体吸収材の性能ポテンシャルを最大限に引き出す最適運転条件を精査

再生蒸気エネルギーの低減検討



吸収材	蒸気量 [g/min]	回収率 [%]	回収純度 [%]		消費E [GJ/t]
			wet	dry	
RITEアミン担持 固体吸収材	0.50	98.2	98.2	≧ 99.9	1.68
	0.41	99.0	97.3	≧ 99.9	1.39
	0.32	90.3	97.3	99.7	1.19
	0.20	75.5	95.0	97.4	0.88

◎ 回収率 ≧ 90% および 純度 ≧ 99% を達成し得る
 必要十分な蒸気量で再生することで再生蒸気E ≦ 1.2 GJ/t-CO₂ を達成.

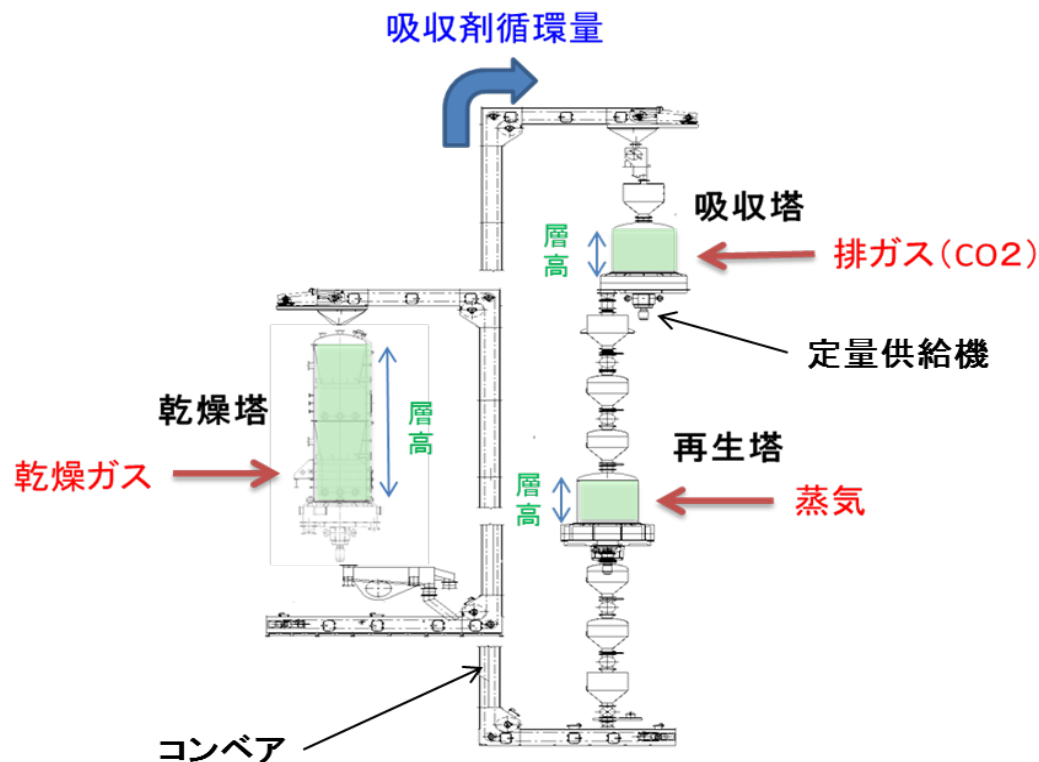
固体吸収材のスケールアップ合成



	RITEアミン合成	固体吸収材製造
H28	<u>0.5t合成</u>	担持に有機溶媒を使用 処理量小(バッチあたり $< 10^{-2} \text{ m}^3$)
H29	<u>3.5t合成</u>	水を溶媒として使用 処理量を大幅増大(バッチあたり $\sim 10 \text{ m}^3$) KHI明石工場内の吸収材製造設備を使用
H30	<u>4.0tを合成</u> (蒸留で低沸点成分、不純物カット)	10m³規模の合成技術を確立 → 更なるスケールアップ・低コスト化へ

移動層ベンチスケール試験：装置概要

(川崎重工業(株)への再委託)



＜ベンチ試験装置の概観＞

(川崎重工業(株) 明石工場内に設置)

設備仕様

吸収材循環量 4～12 m³/h

吸収塔：層高 0.4～1.8 m

再生塔：層高 0.4～1.8 m

蒸気量 ～500 kg/h

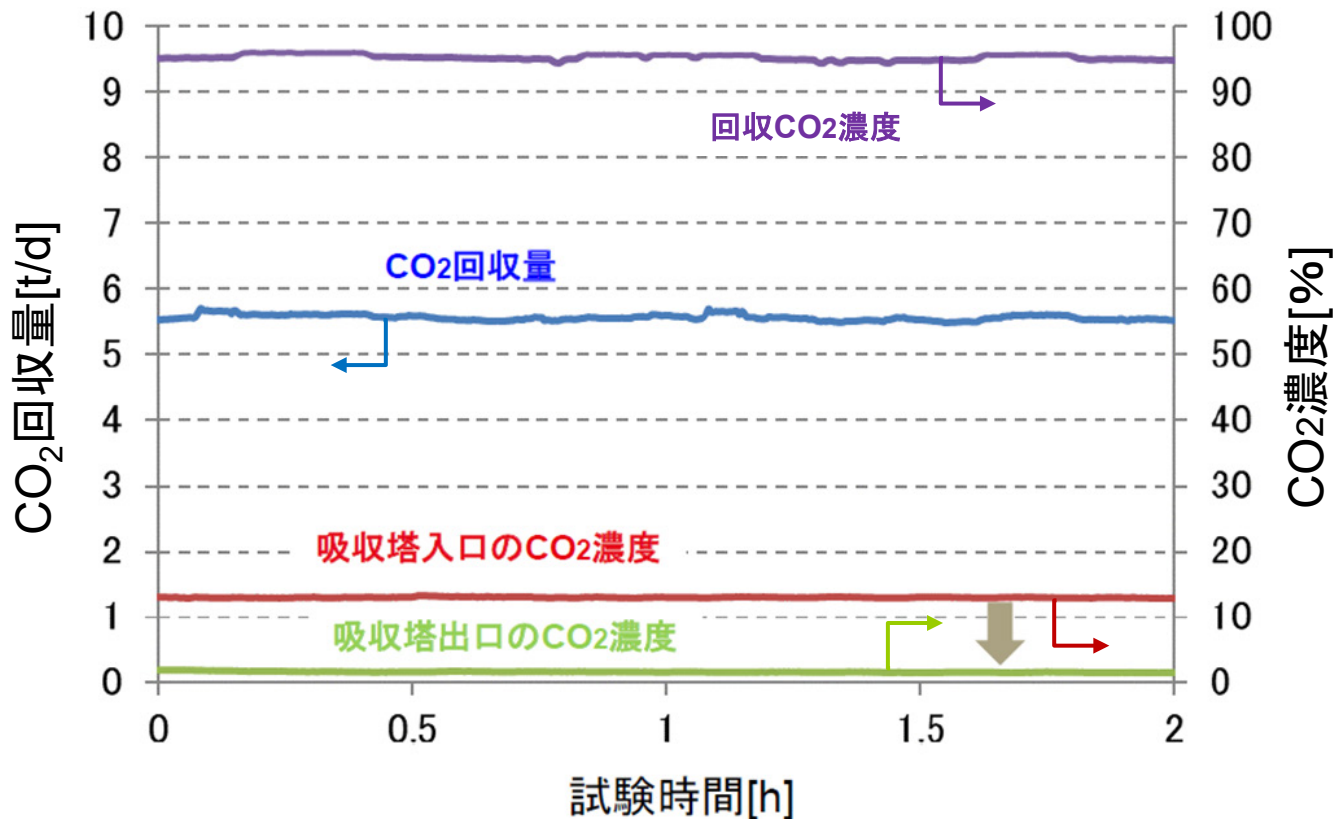
乾燥塔：乾燥ガス量 ～3,400 Nm³/h

＜試験目的＞

- ・実ガス試験に向けた課題抽出
- ・要素機器改善および計測機器選定
- ・吸収材の移動特性とCO₂回収性能の把握

移動層ベンチスケール試験：試験結果

(川崎重工業(株)への再委託)



これまでの試験結果

- ◎ 市販アミンと比較して回収量、回収率、消費E、共に大幅な性能向上を確認.
 - ◎ 再生蒸気およびCO₂の供給量を増加させることで回収量5.5 t/d、回収率92%を達成.
- ⇒ さらなる回収量の増大(目標: 6.5t/d)と消費Eの性能を両立させるべく、ラボ試験の結果を参考に最適条件を検討中.

目的達成までのロードマップ

基盤技術研究
フェーズ

2010~2014

実用化研究フェーズ

2015~

実証・商用化
フェーズ

2030

大規模
CCS

ラボスケール試験
(~3 kg/day)

ベンチスケール試験
(~5t/day)

スケールアップ試験
(30~40t/day)

石炭火カプラント
+ 制度的仕組みの導入



移動層への
適用検討



スケールアップ
(~8倍規模)



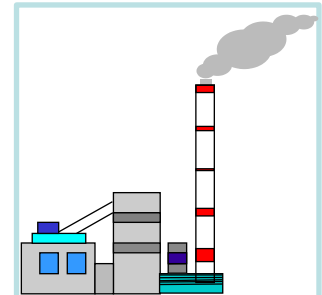
課題点の整理
試験計画・準備

実施に向けて
検討中

固体吸収材
基本データの取得

効率改善
用途展開

川崎重工業(株)
KCC移動層
ベンチ試験装置



石炭ボイラ
排ガスへ適用
(3000t/day)

他分野への適用
(他の固定発生源、室内、閉鎖空間等)

RITEにおけるCO₂分離・回収技術

【化学吸収法】 FY2008～(NEDO委託事業)

環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術開発
(フェーズⅡ-STEP1)/CO₂分離回収技術開発/高性能吸収液の開発
(高炉ガスからのCO₂分離・回収)
体制: 新日鐵住金(株) → (共同実施) RITE (吸収液開発)

【固体吸収法】 FY2015～2017(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発
/先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発
(石炭火力発電からのCO₂分離・回収)
体制: RITE → (再委託) 川崎重工業(株) (移動層)、TUAT (シミュレーション)

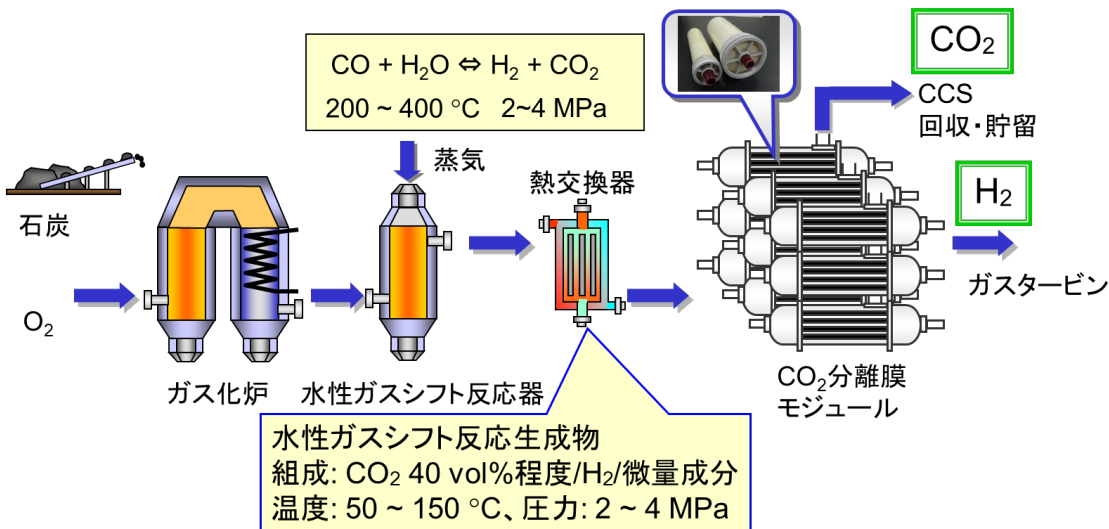
【膜分離法】 FY2015～2018(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発
/二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
(IGCCガスからのCO₂分離・回収)
体制: MGM技術研究組合

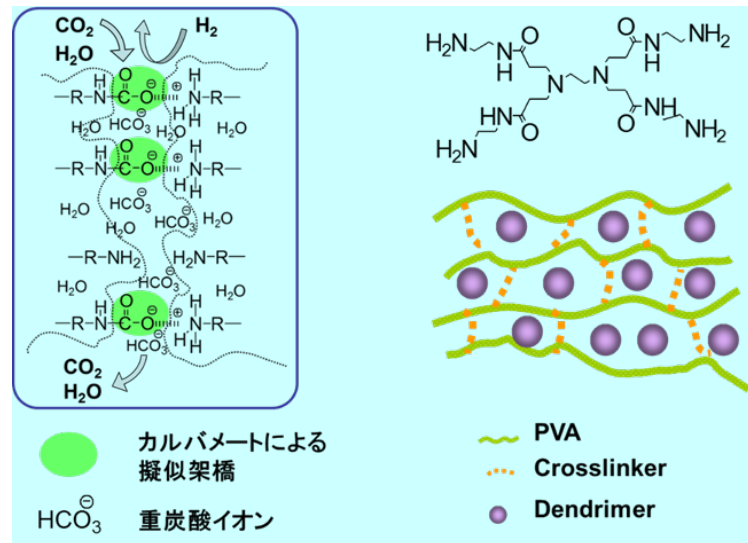
二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

<対象> **高圧**の燃料ガスから省エネルギー、低コストでCO₂を分離回収しうる
高性能CO₂選択透過膜(分子ゲート膜)技術の実用化研究(**燃焼前回収**)

<目標> CO₂分離・回収コスト : ≤1,500円/t- CO₂
CO₂分離・回収エネルギー : ≤0.5 GJ/t- CO₂



石炭ガス化ガスからの膜分離によるCO₂回収




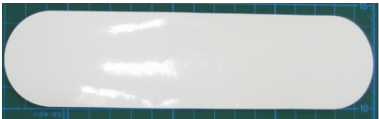

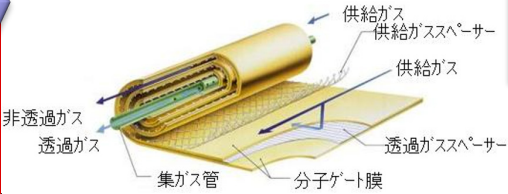
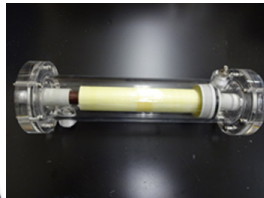

分子ゲート膜のCO₂透過機構

分離膜の開発段階のイメージ

(基盤技術開発)

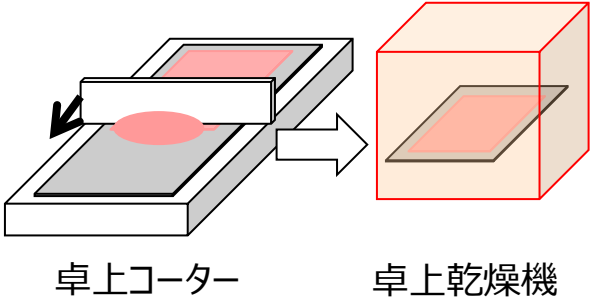
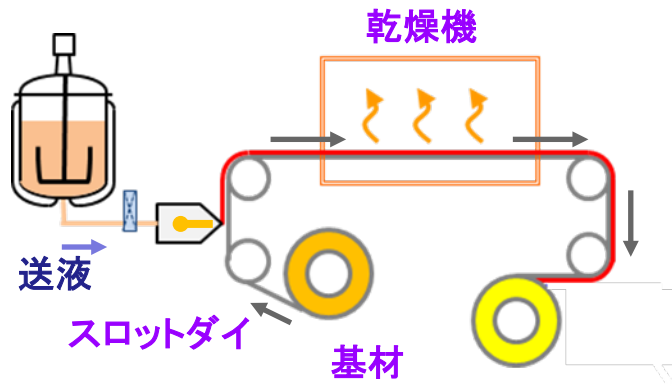
(実用化研究)

(実機)

名称	単膜	膜エレメント	膜モジュール
概要	ラボスケールの平膜 (膜面積: 1.2~58cm ² 程度)	大面積の膜を用いた構造体 膜・支持体・流路材などを一体化したもの	膜エレメントとそれを収納する 容器 (ハウジング) を組み合わせたもの
サイズ、 外観	 (膜面積: 1.2 cm ²)  (膜面積: 58 cm ²)	 (2~4inch、長さ 200mm)  <p>供給ガス 供給ガススペーサー 供給ガス 非透過ガス 透過ガス 集ガス管 分子ゲート膜 透過ガススペーサー</p>	 (8 inch、長さ 1,000mm程度) 
課題等	膜素材開発 (分離性能向上、 耐圧性・耐久性等 向上)	製膜法、エレメント部材 開発 (連続製膜、大面積化、 シール技術等)	実機モジュール開発 (容器形状、量産化、 システム化)

連続製膜技術の開発

実機適用を念頭に、大面積塗布が可能で生産性も高い連続製膜法を開発

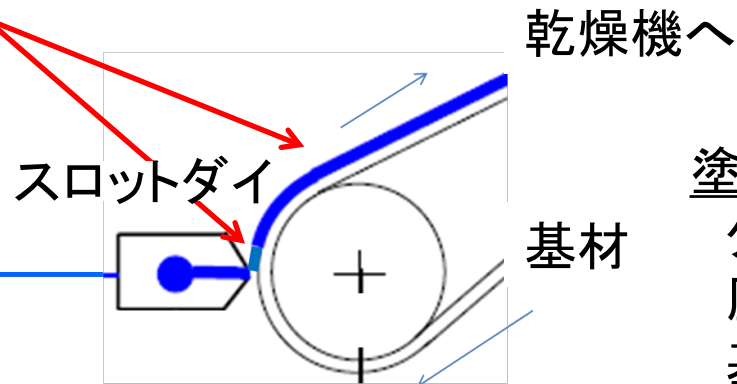
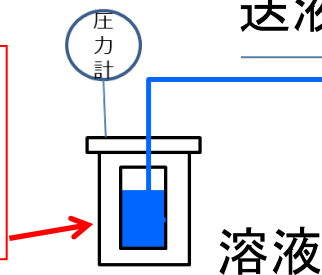
方式	枚葉製膜	連続製膜
装置	 <p>卓上コーター 卓上乾燥機</p>	 <p>送液 スロットダイ 基材 乾燥機</p>
長尺生産	不可	可
生産性	低	高
溶液粘度	広範囲の塗布可能	枚葉製膜よりは範囲限定
基材固定	可	完全固定は難

連続製膜に適した製膜条件の設定

1) スロットダイ塗布に適した粘度を設定し、塗布条件を確定

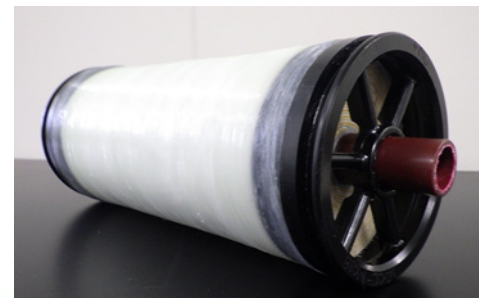
塗布液の粘度
が低いと
下方に垂れる

塗布処理の間
溶液の粘度変化
がないことを確認



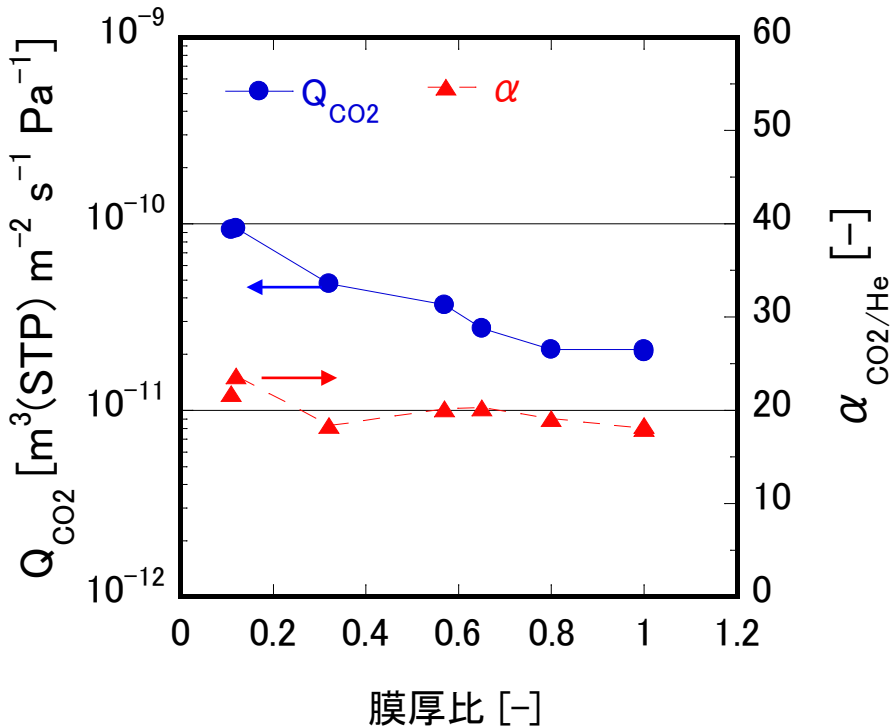
塗布条件の確定
ダイの配置
圧力
基材搬送速度

2) 生産性と良好な膜外観を両立する乾燥温度の設定

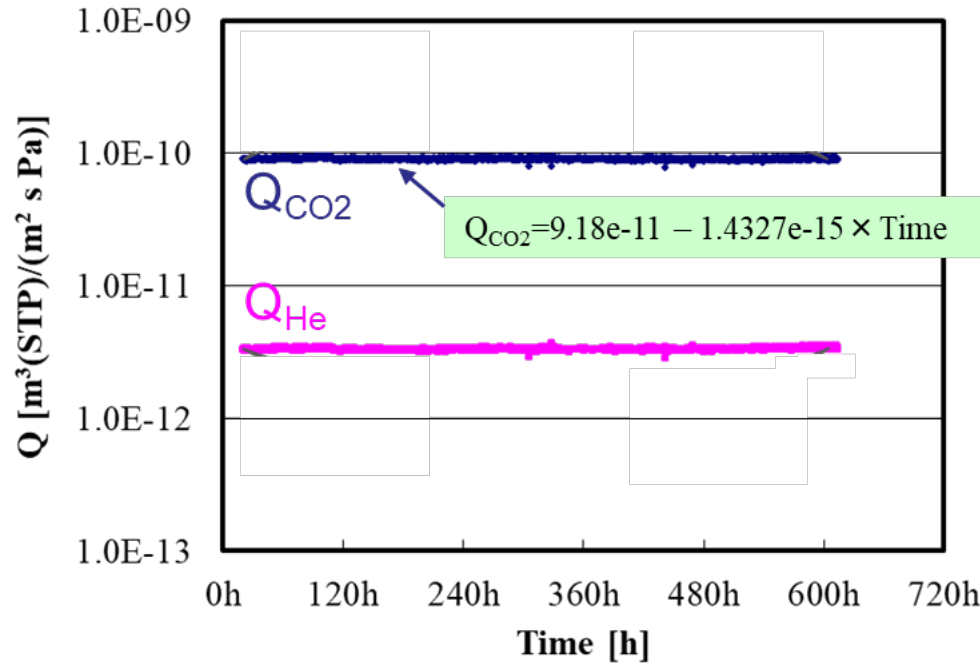


連続製膜法による薄膜化と性能評価

膜厚比と分離性能との関係



分離性能の経時変化



連続製膜法での薄膜化によりIGCC想定圧(2.4MPa)において

- ・CO₂の透過性能が向上(選択性は維持)
- ・約600時間の耐久性を確認(Q_{CO_2} 低下率: 25%/2年(16,000h))

膜エレメントの実ガス試験

米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター（UK-CAER）※で石炭ガス化炉からの実ガスを用いた検証試験を開始（10月～）

※University of Kentucky – Center for Applied Energy Research

ケンタッキー大学（UK-CAER）

MGM技術研究組合

石炭ガス化炉（酸素吹き）＋シフト反応器＋ガス精製

石炭使用量
1Ton/Day

ガス流量
80Nm³/h

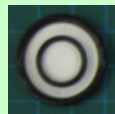
Feed Preparation

Gasification Unit

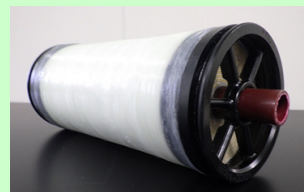


シフト反応
↓
ガス精製

<https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Events/2015/gas-ccbtl-proceedings/Gasification-and-CTL-Workshop-Presentation-2015-UKCAER.pdf>



単膜



膜エレメント

加湿器

単膜
膜エレメント

非透過ガス

透過ガス

各種ガスの
定量分析

供給ガス組成（例）

CO ₂	36.4%
CO	2.9%
H ₂	53.3%
N ₂ , Ar	7%
CH ₄	0.4%
H ₂ S	30ppm
COS	10ppm

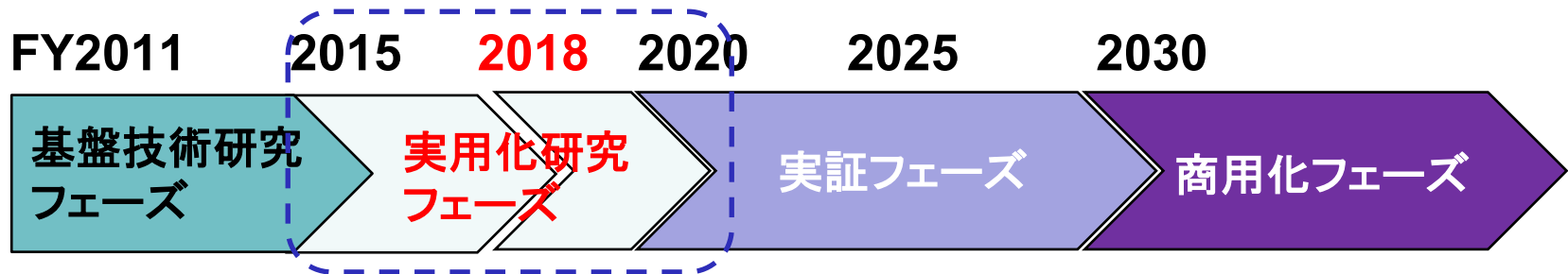
石炭ガス化ガスによる検証試験：
⇒ IGCCへの適用性確認および製膜技術の確立

今後の予定と実用化に向けたロードマップ

【現行事業における課題と今後の予定】

- 実ガス等の実用化試験による技術課題の抽出、解決（耐不純物性、分離性能低下等）
- 製膜法・エレメント部材の最適化、実機膜モジュールシステムの開発

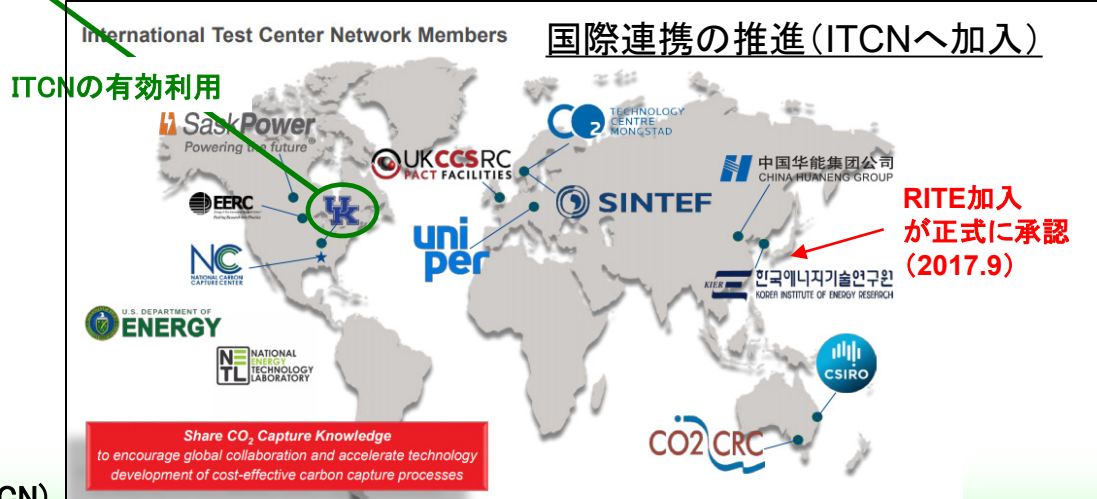
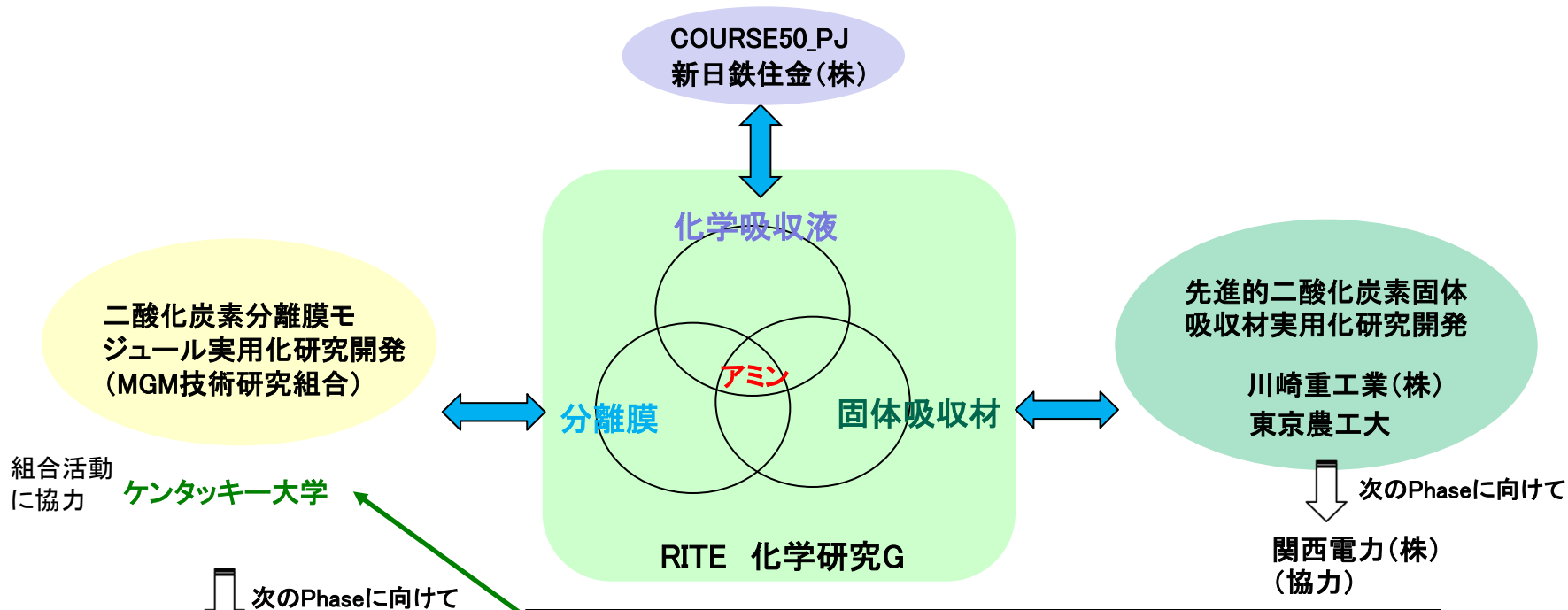
⇒ これらを解決、検証後、実機膜モジュールによる大規模実証へ
（商業生産プロセスの検討、膜大面積化、量産体制の構築）



研究・開発体制



CO₂分離回収技術の早期実用化に向けた 国内外のネットワーク作り



International Test Center Network (ITCN)

CO₂分離回収技術の研究開発を推進する世界各地の施設のグローバル連合(2012年設立)

1. 化学吸収法（高炉ガス）

- ・開発液を実用化・稼働中。2018年に商業化2号機へ適用予定。
- ・分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂に向けてさらに高性能化を目指す。

2. 固体吸収法（石炭火力ガス）

- ・ラボスケール試験で再生蒸気エネルギー~1.2 GJ/t-CO₂を達成。
- ・移動層ベンチ試験評価で回収量5.5 t/d、回収率92%を達成。
- ・要素技術完成、パイロット試験を経て2,000円台/t-CO₂を目指す。

3. 膜分離法（IGCCガス）

- ・実機適用を念頭に、大面積塗布が可能な連続製膜法を開発。
- ・米国UK-CAERの石炭ガス化炉で実ガスを用いた検証試験を開始。
- ・膜材料・膜エレメント部材の最適化により1,500円台/t-CO₂を目指す。

謝辞：本研究開発は、METI委託事業
ならびにNEDO委託事業の一環として
実施しました。

ご清聴ありがとうございました。

Research Institute
of
Innovative Technology for the Earth