

## 「石炭によるケミカルルーピング技術開発計画 の策定」に係わる委託業務

財団法人エネルギー総合工学研究所

(1) 活動状況

(2) ケミカルルーピングの現状

(3) 国内外の研究開発

(4) 評価検討

(5) 開発提案

(6) 今後の展開

# (1) 活動状況－1 (目的、体制)

## 目的

我が国でケミカルルーピング技術開発を進める上で、その方向性を明確にし、今後、産学官が一体となって研究開発を進めるための計画を策定する。

## 体制

JCOAL、エネ総研及びメーカー各社で研究会を組織する。合わせて、JCOAL技術開発委員会の小委員会として運営する。

- ・委員長： 大庭 准教授(神奈川工科大学)
- ・事務局： エネ総工研(IAE)
- ・メンバー
  - ・神奈川工科大学
  - ・石炭エネルギーセンター(JCOAL)
  - ・バブコック日立株式会社
  - ・株式会社IHI
  - ・日揮株式会社
  - ・出光興産株式会社
  - ・(独)産業技術総合研究所

分野	CL燃焼 (CLC)	CLガス化 (CLG)
メンバー	神奈川工科大学	産業技術総合研究所
	バブコック日立	日揮
	エネ総工研	I H I
		石炭エネルギーセンター
	出光興産	

CLC: Chemical Looping Combustion

CLG: Chemical Looping Gasification

# (1) 活動状況一 2 (H22年度実施)

	平成22年度									
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1) ケミカルヒング 燃焼・ガス化に関する知的財産の調査										
2) 石炭の反応特性試験										
3) 開発方針の検討										
4) 技術開発計画の策定										
5) エンジニアリング予備検討及び経済性予備評価										
6) 成果報告書作成										
小委員会の実施*	○	○		○			○		○	○

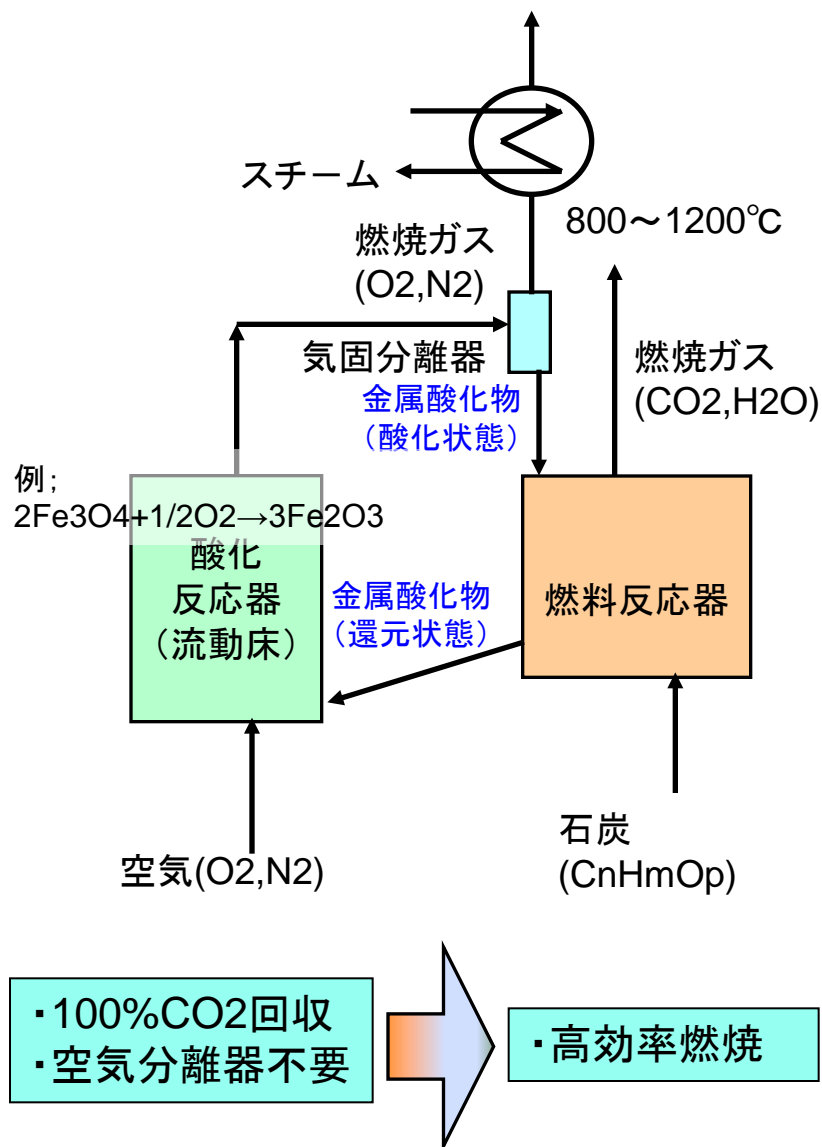
- \* 第1回 (6月17日)
- 第2回 (7月8日)
- 第3回 (9月27日)
- 第4回 (12月8日)
- 第5回 (2月7日)
- 第6回 (3月9日予定)

# (1) 活動状況—3 (各社分担と内容)

		基礎研究	調査及び技術検討	開発方針の検討	技術開発計画の策定	エンジニアリング予備検討及び経済性評価
日揮 IHI	CL ガス化			・複数選定プロセスのMB、HB ・各プロセスの課題	商業機へのアプローチ検討 (コールドモデル→実証試験)	経済性 予備評価
産総研		・酸素キャリア粒子の反応性(熱天秤) ・粒子循環simulation		システム構築の検討		
JCOAL		・CaOのCLガス化 ・CO2吸収剤活性化の検討	・Ca-CLG技術調査 ・ガス化及びCO2回収の技術調査			
バブ コック 日立	CL 燃焼		知財財産調査			・既存の実機計画の内容調査 ・実プラントの概略試算
神奈川 工科 大学		パルス反応器を用いた石炭反応性		・流動システム及び分離方法 ・酸素キャリア粒子の検討		
IAE			CLCの開発動向調査及び技術検討	応用システムの検討(提案)	計画検討(コールドモデル→実証試験)	経済性予備評価(既往の研究見直し)
出光 興産	ガス化・ 燃焼		燃料・酸素担体粒子の物性及び反応性の予備調査			

## (2) ケミカルルーピングの現状-1

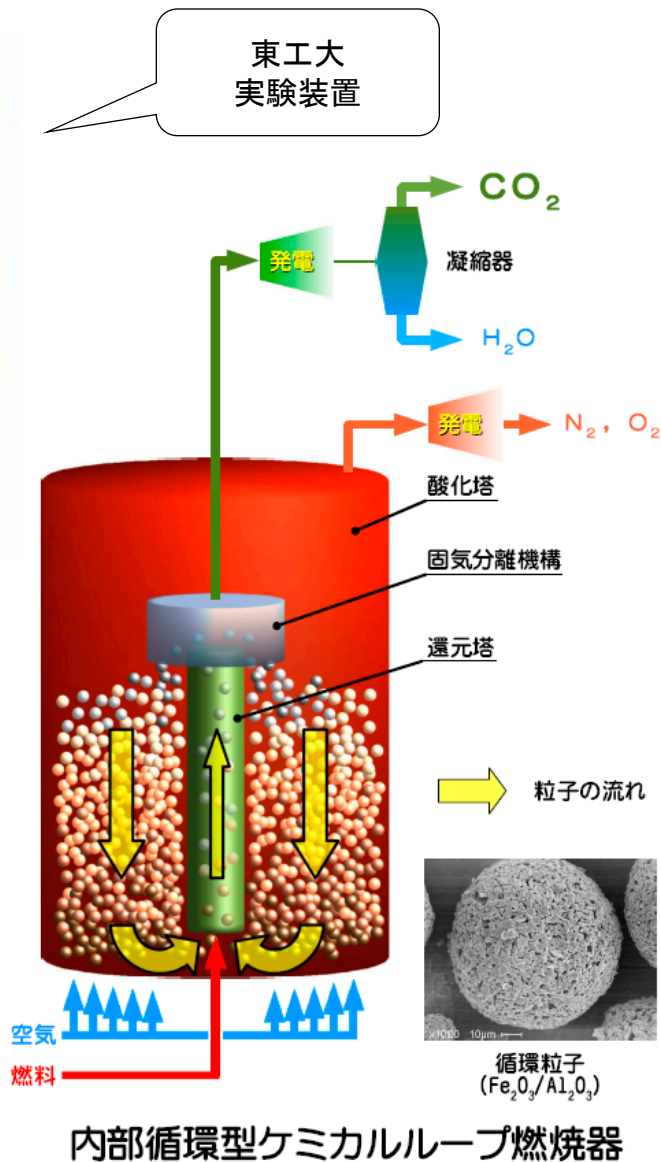
- CO2回収を行うことによる効率低下がなく、A-USC以上の発電効率が期待できる革新的な燃焼方法。2030年以降の実用化を目指した技術。
- 1994年に、石田教授(東工大教授、現在神奈川工科大学客員教授)による論文が発表され、ここで初めて、Chemical Looping Combustionの名称が使われた。
- 欧米では120kW~150kWのパイロット試験実施中。独Darmstadt大学で1MWのパイロットP建設中。
- 金属酸化物をキャリアーとして、空気によるキャリアーの酸化反応器と燃料(天然ガス、石炭など)によるキャリアーを還元する燃料反応器から構成される。酸化反応器では窒素と残存の酸素が排出され、一方、燃料反応器からは、CO2と水が排出される。各反応器からの高温ガスの熱は、スチームとして回収し発電する。



## (2) ケミカルループピングの現状-2



パイロットスケール  
燃焼器



Chalmers大学、  
10kW実験装置

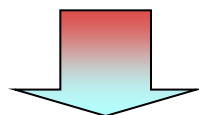


出典; 神奈川工科大学大庭研究室  
作成資料

#### 我が国のケミカルルーピング研究

時期	研究開発グループ	スポンサー	実験装置	燃料	酸素キャリア
1995-1996年	東工大石田教授グループ	NEDO	熱天秤, 流通式固定床型反応器	天然ガス	Ni系
1997-1998年	東工大石田教授グループ	RITE	小型内部循環型ラボスケール(42- 65mmφ)	天然ガス	Ni系
2000-2002年	東工大石田教授グループ	文科省	内部循環型ベンチプラント(150mmφ)	天然ガス	Fe系

- ・耐高温酸素キャリアの知見(Fe系)
- ・内部循環型で得た流動特性に関する知見
- ・天然ガスを燃料とした場合の反応特性に関する知見



2010年～	JCOAL技術開発委員会小委員会(ケミカルルーピング開発チーム)	JCOAL ↓ (石炭課)	石炭を主流とした将来の商業化を想定した適切な方式	石炭	Fe系
--------	----------------------------------	---------------------	--------------------------	----	-----

#### 石炭を対象とした世界のケミカルルーピング試験装置

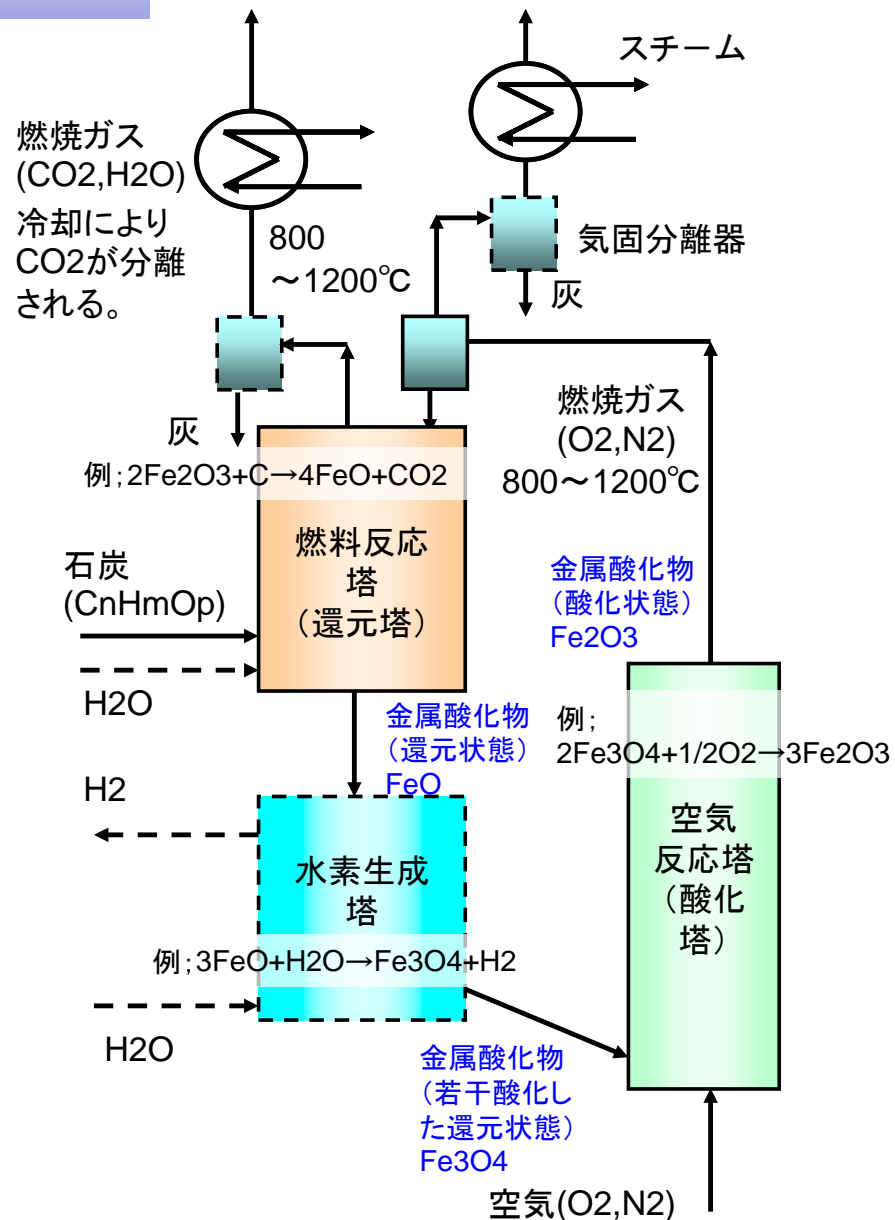
時期	研究開発グループ	プロジェクト名	規模	装置サイズ	酸素キャリア
2004年～試験中	Chalmers大学, スウェーデン		10kWth	酸化反応器; 150φ 燃料反応器; 80φ	天然鉱石
試験中	CSIC、スペイン	ÉCLAIR		酸化反応器; 80φ 燃料反応器; 50φ	天然鉱石
試験中 建設中	米Alstom		65kWth 3MWth		CaO
2011年～建設中	Darmstadt工科大学	ÉCLAIR	1MWth		

- ・天然ガスを燃料とした試験は、2002年頃から10kW～500kWth規模で多数実施。
- ・酸素キャリアには、Ni系、Cu系、Fe系、Ca系など。
- ・ヨーロッパ(スウェーデン、ドイツ、オーストリア、フランス、スペインなど)、米国の他、中国、韓国でも試験中。

# (4) 評価検討－1 (検討システム)

## プロセス構想

- **金属酸化物をキャリアーとして、空気によりキャリアーを酸化する空気反応塔**と燃料(天然ガス、石炭など)によりキャリアーを還元する**燃料反応塔**から構成され、さらに**水素生成塔**により水素製造を行なう3塔構成も考えられる。
- 酸化反応塔では窒素と残存の酸素が排出され、一方、**燃料反応塔からは、CO2と水**が排出される。水素反応塔では水から水素が製造される。
- 発電の場合は、各反応塔からのガスの熱量をスチームとして回収し発電される。水素生成塔からの水素は化学用品としても利用可能である。



## (4) 評価検討－2 (技術課題)

### 酸素キャリア粒子の開発

- 反応性(①酸素及び石炭との高い反応性、②石炭を完全にCO<sub>2</sub>と水に転換する能力)
- 耐性(粒子が凝集し難く、破碎や磨耗に対して強い。耐高温性)
- 製造法(生産コストが低く、環境への影響が小さい)

### 反応器の開発

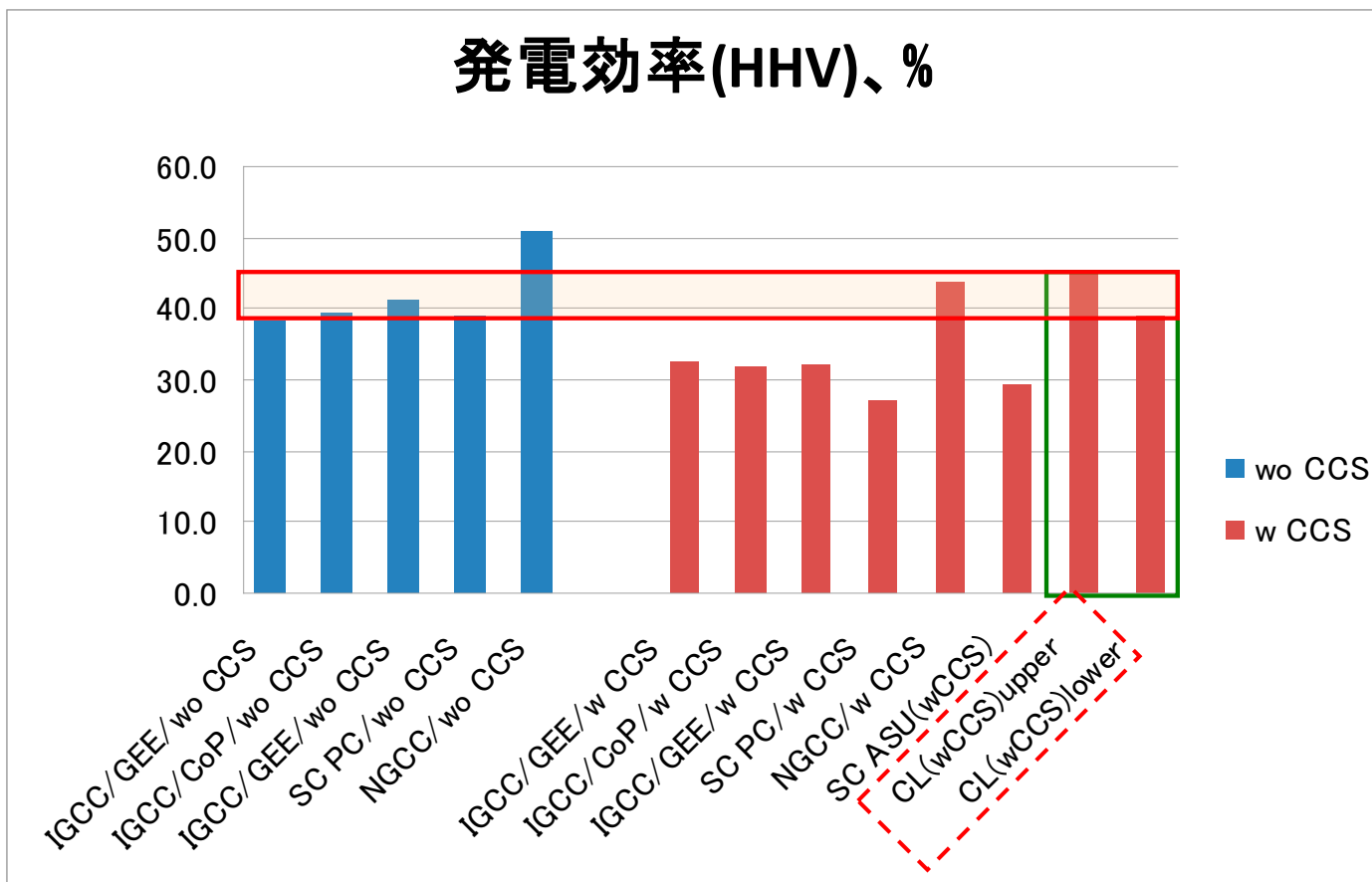
- 燃料反応塔: 移動層における石炭と酸化金属の反応速度、石炭のガス化率、粒子の反応率、不純物挙動、反応の特定、排ガス性状の特定、温度・圧力の最適化(高炉を参考)
- 水素生成塔: 移動層における金属と水蒸気の反応速度、粒子の反応率、最適Steam/Metal比、不純物の挙動、反応の特定、製品水素ガスの性状特定、温度・圧力の最適化
- 空気反応塔: ライザー反応器での反応の特定、排ガスの性状特定、温度・圧力の最適化、不純物挙動
- 流動・構造: 粒子流動性確認、石炭投入方法、灰の抜き出し方法、粒子・灰の捕捉方法、分離方法の検討、各反応器への粒子供給／抜き出し方法、装置の耐熱・耐摩耗の検討
- 重金属や微量元素の挙動
- 熱バランスの確認 必要に応じ、加熱・冷却装置の検討

### 反応システムの検討

- 粒子熱交換器: FR低温化時はほぼ不要
- 温度・圧力設定の最適化、熱回収の最適化、粒子循環量の最適化、ガス精製必要性(微量成分)の検討
- 低温排(廃)熱を利用したスチーム発生・供給 → 高効率化
- 脱硫・灰抜き出し方法、抜き出し位置の最適化
- H<sub>2</sub>ガスタービン発電と組み合わせた熱回収最適化。

## (4) 評価検討-3 (効率比較)

ケミカルルーピングによる発電では、IGCCや超臨界微粉炭石炭火力に比べて同等以上の発電効率が可能である。CCSを行なう場合には、酸素を使うことがなく、また、CO2回収のための追加のエネルギーが不要のため、発電効率低下がない。

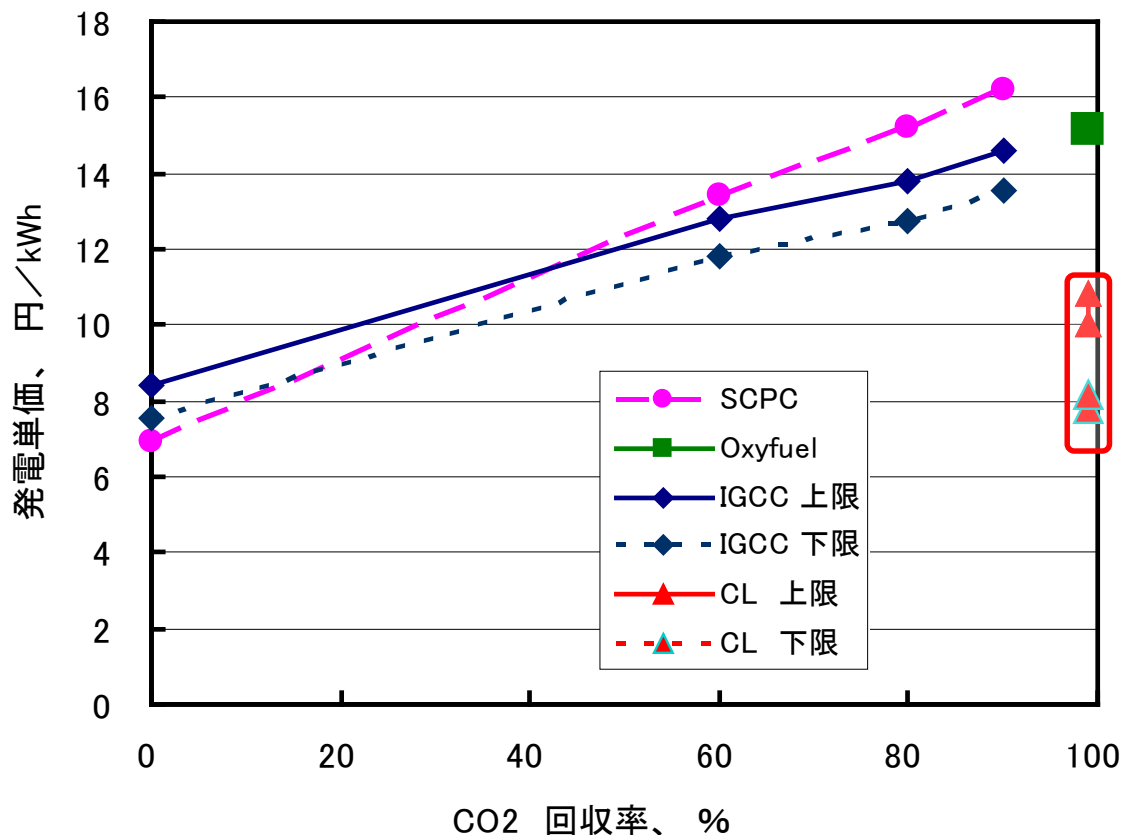


DOE/NETL-2007/1282 Fossil Energy Power Plant Desk Reference  
DOE/NETL-2007/1291 Pulverized Coal Oxycombustion Power Plants

Copyright; 2011 IAE. All rights reserved.

## (4) 評価検討－4 (経済性評価)

本質的にCO<sub>2</sub>が分離される方式のため、高いCO<sub>2</sub>回収率が求められる場合には、他の方式に比べて発電単価が低く抑えられる。



検討基準；

- ・ケミカルルーピングは石炭 1000ton-dry/日 (10万kW相当)、他は2000ton/日 (22~24万kW)。
- ・建設費；NETL報告を参照。100 円/US\$。
- ・償却年数；20年、残存簿価；10%
- ・石炭；6000kcal/kg(HHV)、1万 円/ton
- ・CO<sub>2</sub>処理費 (回収以降の圧縮、輸送、貯蔵費)；2000円/ton-CO<sub>2</sub>

# (5) 開発提案-1

## 開発目標

- ・ 空気吹きでCO2回収に有利な石炭等燃焼およびガス化・改質装置の開発。
- ・ CO2回収付きSCPC、A-SCPC、IGCCより経済性が優れていること。
- ・ 中規模発電(100MW相当)が可能なこと。
- ・ 欧米で開発中のCLに対して、特徴を有すること。
- ・ 炭素回収率 90%以上。

## 基本コンセプト

- ・ 石炭を対象とする。石油コークス、重質油へも転用が可能。
- ・ 空気反応塔、燃料反応塔、(水素生成塔)から構成。
- ・ Fe系もしくは天然鉱物(例えばイルメナイト)系の格子酸素キャリア。
- ・ 反応特性に合った常圧～加圧。
- ・ 温度は600～1100℃。
- ・ AR上部およびサイクロン出口後熱回収(スチーム発生)。
- ・ 排煙脱硫、もしくは炉内脱硫。

## 推進体制

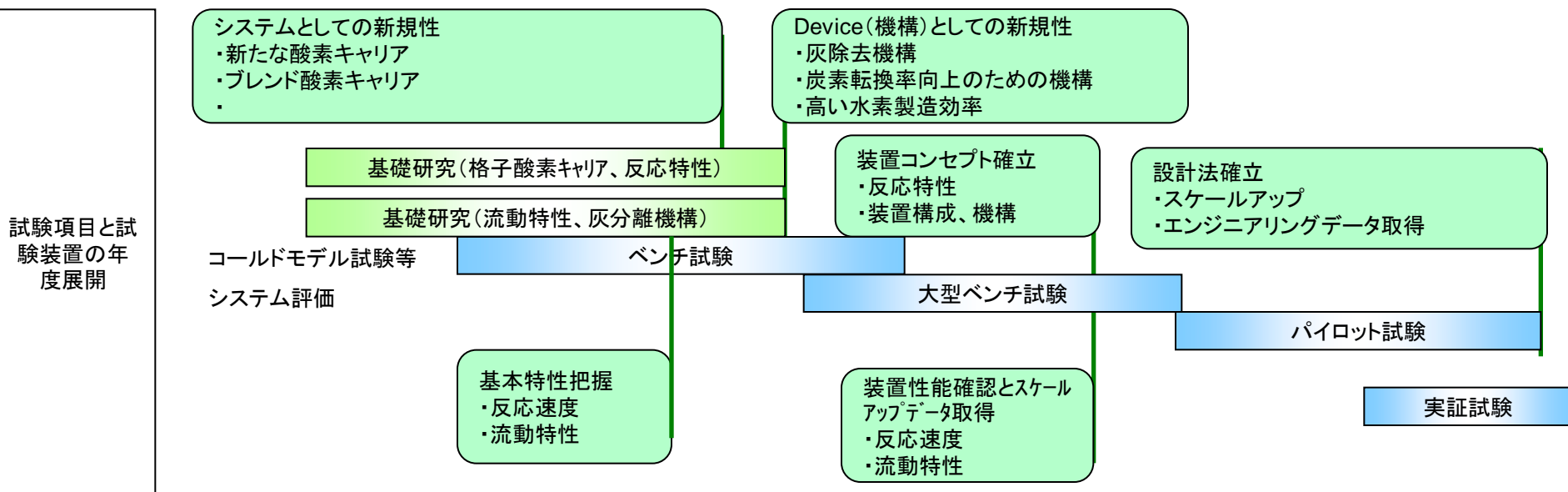
- ・ 複数のボイラーメーカー、エンジ会社、研究機関、大学等が国の支援を受け研究組合を構成し推進する。

## 国際協力

- ・ 欧米の研究グループとの相互協力による開発のスピード化。

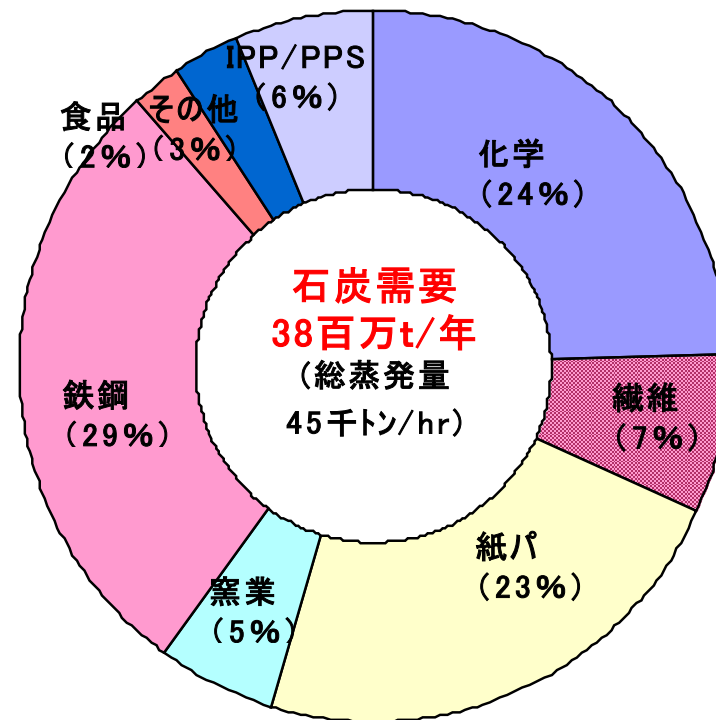
## 経済性

- ・ 高回収率でCO2回収を行い、IGCCより有利とする。



## (6) 今後の展開

- ケミカルルーピングは、流動層を用いることから中小規模(最大でも10万kW程度か)のボイラーや発電設備、化学原料製造に適している。
- 産業用ボイラーでは、鉄鋼、化学、紙パ、IPP/PPSを中心に年間3800万トンの石炭需要がある。原油高により過去10年の微増傾向が今後とも続くと考えられる。
- 現在は、3/4が微粉炭焚、1/5が循環流動層、ストーカや流動層はわずかである。
- ケミカルルーピングの普及によりCO<sub>2</sub>の大幅削減が可能。



出典:火力・原子力発電設備要覧(H20)他

- ケミカルルーピングの基盤研究(キャリア粒子、流動特性、石炭灰など)を元に新規アイデアに基づく「CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術」の基本構想を確立する。
- その後、ベンチ、パイロットプラント試験を経て、2030年以前の実用化を目指す。