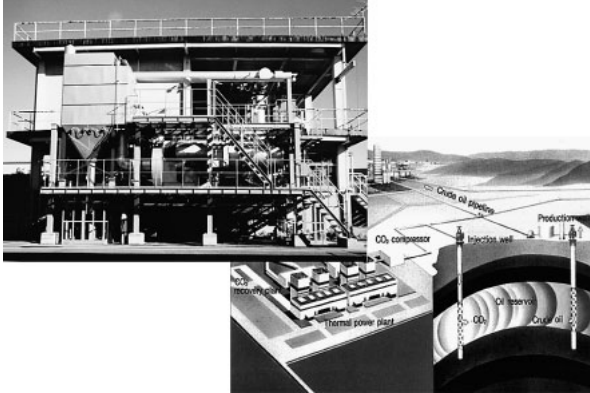


## 炭素固定技術に関するLCA 評価事例

## The Case Study of Life Cycle Assessment for Carbon Capture and Storage Technology



村松恵理子\*1  
Eriko Muramatsu

荒岡 衛\*2  
Mamoru Araoka

飯嶋正樹\*3  
Masaki Iijima

地球温暖化防止の観点から、現在最も注目されているCO<sub>2</sub>削減のために当社が開発した技術の中から“石炭焼き火力プラント排ガスからのCO<sub>2</sub>回収技術”と“炭化炉による廃棄物中の炭素固定技術”を取り上げ、LCA（ライフサイクルアセスメント）手法を用いてその削減効果を定量的に既存技術と比較検討した。その結果、各製品のライフサイクル全体にわたるCO<sub>2</sub>削減量として、前者ではCO<sub>2</sub>回収率が90%の場合86%、後者では20%低減できることが確認できた。

## 1. はじめに

地球環境保全、特に地球温暖化防止の観点から温室効果ガスである二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出削減が世界規模で社会ニーズとなり、1997年12月に開催された“気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）”で京都議定書が締結され、日本は温室効果ガスを1990年比で6%削減することが義務付けられた。この責務を果たすため、当社は燃焼ガス中のCO<sub>2</sub>回収固定技術、及びCO<sub>2</sub>を発生させずに廃棄物を処理する熱分解炭化技術を開発してきた。本報はこれらの技術をLCA

（ライフサイクルアセスメント）の手法を用いて定量的に評価した結果を紹介する。

2. 石炭焼き火力プラント排ガスからのCO<sub>2</sub>回収技術

## 2.1 技術概要

微粉炭焼きボイラからの排ガスを化学吸収処理によりCO<sub>2</sub>回収し、貯留するシステムの評価を行った（図1）。

評価対象は化石燃料（石炭）の探査・試掘、採掘・選炭及び燃料輸送、発電、CO<sub>2</sub>回収、CO<sub>2</sub>輸送、CO<sub>2</sub>

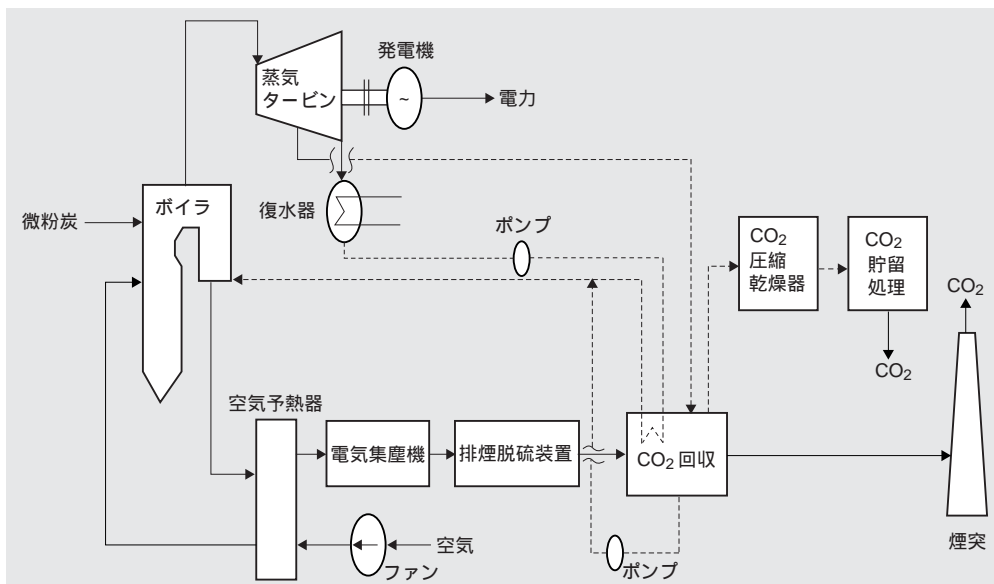


図1 石炭焼き火力プラント排ガスからのCO<sub>2</sub>回収・貯留システムフロー 微粉炭焼き火力発電システムフローを示す。CO<sub>2</sub>回収・貯留を付帯設備（網掛け・点線部分）とする。

\*1 技術本部横浜研究所環境装置推進研究室

\*2 横浜製作所環境ソリューション技術部環境システム計画課主席

\*3 プラント・交通システム事業センターCO<sub>2</sub>事業推進グループ長

貯留とした。

石炭の探査・試掘は採掘用ボーリングマシンを用い、埋蔵・試掘条件は石狩炭田（日本）の実績例を用い試算した。石炭の採掘・選炭の設備は建築物、維持坑道、機械設備とし、国内の炭鉱例を参考として年間石炭使用量で按分し求めた。石炭輸送は豪州炭とし、日本へ船輸送（8000 km）及び鉄道輸送（150 km）とした。発電は微粉炭焚き超臨界圧ボイラとし排ガスからのCO<sub>2</sub>回収は化学吸収処理とした。CO<sub>2</sub>輸送はパイプライン輸送（20 km）とし、貯留サイトは耐圧部注入深度（1250～2000 m）を見込んだ超臨界圧入（11.77～13.73 MPa）による地中貯留（隔離）とした。システム条件を表1に示す。ライフサイクルは建設、運用段階を評価範囲とした。

CO<sub>2</sub>回収では従来のモノエタノールアミン吸収液による方法（以下従来方式）と当社が関西電力(株)と共同開発したMHI-KEPCOプロセス（以下MHI方式）の比較をした。

## 2.2 評価方法

(財)エネルギー総合工学研究所のレポート<sup>(1)</sup>から、火力発電システムや石炭燃料サイクル、CO<sub>2</sub>回収・貯留インフラのインベントリデータを抽出し、これを基準に当社の熱収支、炭素収支プロセスデータを試算し反映させた。環境負荷原単位データは1985年度版産業連関表から算出された排出係数を使用した。環境影響評価は地球温暖化評価を対象とし、温室効果ガスとしてはCO<sub>2</sub>のほかに、燃料の発電時や採掘時に随伴

表1 石炭焚き火力プラント排ガスからのCO<sub>2</sub>回収技術・システム条件

記述項目	CO <sub>2</sub> 回収無し	CO <sub>2</sub> 回収MHI方式	CO <sub>2</sub> 回収従来方式
石炭輸送	採掘資源	豪州炭	
	輸送方法	船 / 鉄道	
	輸送距離	8000 km / 150 km	
発電設備	発電方式	微粉炭焚き発電	
	発電端出力	1000 MW	600 MW
	耐用年数	15年	
	稼働率	70%	
	石炭使用量	1777400 t/年	1161135 t/年
CO <sub>2</sub> 回収	CO <sub>2</sub> 回収率	90%	
	CO <sub>2</sub> 発生量（排出量）	735.56 t/h	440.50 t/h
	CO <sub>2</sub> 回収量	662.00 t/h	396.45 t/h
CO <sub>2</sub> 輸送	輸送処理	EOR / 液化処理せず	
	輸送方式	パイプライン	
	輸送距離	20 km	
CO <sub>2</sub> 貯留	地中注入圧力	超臨界圧 11.77-13.73 MPa	
	地中注入深度	1250-2000 m	

する発生ガス（メタン、窒素酸化物等）を考慮した。温暖化係数はIPPCレポート<sup>(2)</sup>の気体寿命100年を採用した。

## 2.3 試算結果

(1) CO<sub>2</sub>回収しない場合のCO<sub>2</sub>排出量では94%が発電時燃料からの排出で、次いで石炭輸送や採掘、採炭時のエネルギーからの排出が5%となり、これら運用段階からの排出が支配的であった。建設段階の設備素材等からの排出は1%程度でほとんど影響しないことが分かった。

CO<sub>2</sub>回収率90%で回収した場合のCO<sub>2</sub>排出量では発電設備や回収・貯留設備インフラからの建設資材に関わるCO<sub>2</sub>排出分を差し引くと85～86%の回収率となった（表2）。

(2) CO<sub>2</sub>回収による自己消費エネルギーの影響は送電端効率に現れ、約2割程度の低下となった。全燃料サイクルのエネルギー効率は燃料や回収されたCO<sub>2</sub>の輸送距離によるエネルギー消費の影響が大きく効いてくるが本ケーススタディでは同一条件とした。その結果、全燃料サイクル効率ではオフサイトのエネルギー消費を含めたが微少であったため、影響は出ず同様に約2割程度の低下となった（図2）。

(3) 温室効果ガスによる地球温暖化影響では石炭採掘時のメタンや発電時の窒素酸化物の発生ガスがあるが、これらは炭種や採掘深度により異なり、上下限値を設定し評価した。その結果、CO<sub>2</sub>回収による温暖化影響効果は回収しない場合の約3割以下になり、大幅な低減効果が確認された（図3）。

## 2.4 環境負荷低減考察

(1) 石炭焚き火力プラントにおいてCO<sub>2</sub>回収率90%で回収したケーススタディでは、全燃料サイクルの

表2 石炭焚き火力プラント排ガスからのCO<sub>2</sub>回収技術・ケーススタディ比較（g-C/MJ）

ライフサイクル	ケーススタディ	探査・試掘	採掘・選炭	石炭輸送	発電	CO <sub>2</sub> 回収	CO <sub>2</sub> 輸送	計
建設設備資材	回収無し	0.0	168.9	48.7	310.2			527.8
	MHI方式	0.0	206.1	59.5	378.5	18.3	13.0	675.2
	従来方式	0.0	223.2	64.4	410.0	19.8	14.0	731.5
ユーティリティ及び直接排出（オフサイト側）	回収無し	0.0	1147.5	1666.3	0.0			2813.8
	MHI方式	0.0	1400.1	2033.2	0.0	0.0	0.0	3433.3
	従来方式	0.0	1516.8	2202.5	0.0	0.0	0.0	3719.3
ユーティリティ及び直接排出（オンサイト側）	回収無し	0.0	0.0	0.0	58970.7			58970.7
	MHI方式	0.0	0.0	0.0	71955.2	-64755.7	0.0	7199.4
	従来方式	0.0	0.0	0.0	78279.9	-70150.3	0.0	8129.6
ライフサイクル全体	回収無し	0.0	1316.4	1715.0	59280.8			62312.2
	MHI方式	0.0	1606.2	2092.6	72333.6	-64737.4	13.0	11308.0
	従来方式	0.0	1740.0	2266.9	78689.9	-70130.4	14.0	12580.4

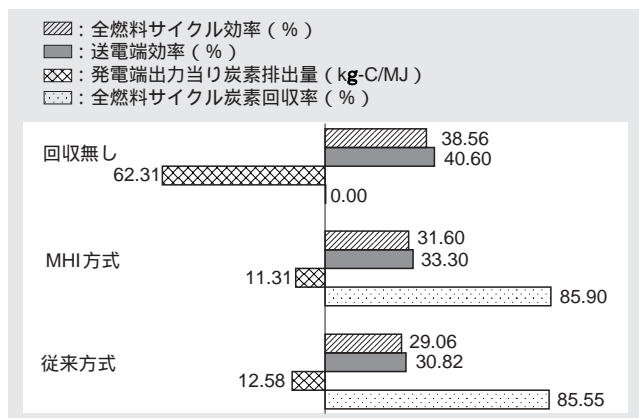


図2 全燃料サイクル・エネルギー収支及び炭素収支比較 CO<sub>2</sub>回収方式のケーススタディ比較を示す。

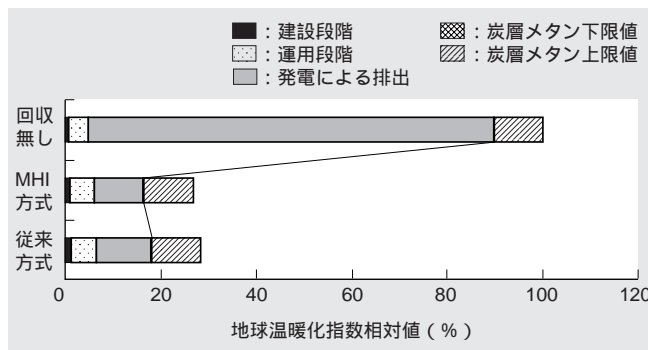


図3 地球温暖化影響評価相対比較 全燃料サイクルから排出される温室効果ガスの地球温暖化影響指数を従来型を基準(1)とした相対値で示す。点線表示はCO<sub>2</sub>排出の影響。

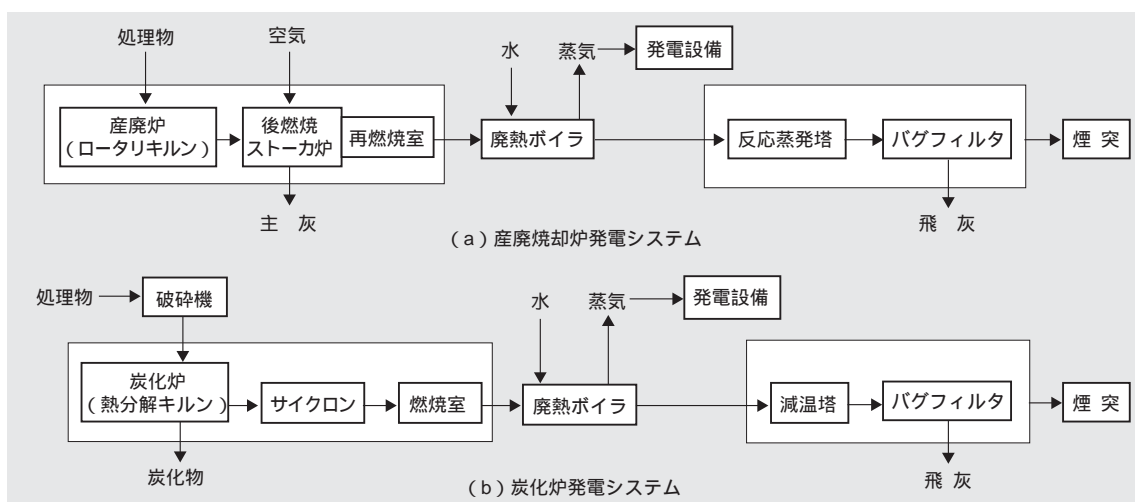


図4 炭化炉発電/産廃焼却炉発電システムフローを示す。キルン炉熱分解システム及び発電システムフローを示す。

CO<sub>2</sub>回収率はCO<sub>2</sub>回収・貯留に伴う自消費電力や石炭の採掘・選炭，輸送や建設時の素材や運用時の修繕，保守から排出されるCO<sub>2</sub>を差し引き，5%以内(86~85%)の回収率低下に留まった<sup>3)</sup>。今後，更なる改良により，この回収時の低下率を改善させることでCO<sub>2</sub>排出の抑制が進み，地球温暖化に大きく貢献できると考えられる。

(2) MHI方式によるCO<sub>2</sub>回収プロセスを従来方式と比較した結果，エネルギー効率では29から32%へと3%程度向上し，CO<sub>2</sub>回収率では90%で回収した場合，全燃料サイクルでの回収率は85から86%へと1%程度向上し，いずれも従来方式と比べてMHI方式の優位性が確認された(図2)。

### 3. 炭化炉による廃棄物の炭素固定技術

#### 3.1 技術概要

これまで可燃性廃棄物は図4(a)に示すような焼却炉にて処理されてきたが，この方法では廃棄物に含まれる炭素はすべて燃焼され，CO<sub>2</sub>に転換される。当

社が開発した炭化炉では図4(b)に示すとおり，間接加熱式ロータリーキルン炉で廃棄物を低酸素雰囲気下で熱分解する。このため廃棄物中の炭素の一部は熱分解し，後流の燃焼室にて燃焼，CO<sub>2</sub>に転換されるが，残りは灰分とともに炭化物として固定される。固定された炭素は管理型処分場に埋め立てられる。固定された炭素の割合は処理物の性状に依存するが，工業分析における固定炭素分が炭化物に残ると考える。

#### 3.2 評価方法

本技術によるライフサイクルにおけるCO<sub>2</sub>低減効果の評価を300t/dの産業廃棄物処理施設を代表例として取上げ試算した。その試算条件を表3に示す。処理対象廃棄物としてはシュレッダーダスト(SD)とRDFを選定した。環境負荷原単位データは1995年版産業連関表ほか<sup>4)</sup>を使用した。

#### 3.3 試算結果

焼却処理と炭化処理によるライフサイクルにおけるCO<sub>2</sub>排出量の比較を図5に示す。これらの処理では総CO<sub>2</sub>排出量の95~98%が運用時の排ガスより排出

表3 炭化炉による廃棄物中の炭素固定技術・システム条件

項目		内容		備考	
稼働条件	処理規模	300 t/d			
	稼働日数	300日 / 年		24時間連続運転	
	休止回数	12回 / 年		年間起動回数	
	プラント寿命	25年			
炭化炉炭化条件		RDF	SD		
原料仕様	LHV	19.59 MJ/kg	21.31 MJ/kg		
	性状	水分	5.37 %	0.02 %	
		灰分	9.63 %	25.60 %	
		可燃分	90.40 %	74.40 %	
排ガス量	31433.7 kg/h	25216.7 kg/h			
発電量	209.9 kWh/t	324.2 kWh/t	処理物 1 t 当り		
CO <sub>2</sub> 排出量 焼却プロセス 相対値	排ガス	77.4 %	85.4 %		
	設備	70.0 %	70.0 %		
	ユーティリティ	72.9 %	61.8 %		
	売電	57.2 %	75.5 %	同量の排出制御	
	排出計	77.3 %	84.7 %		

される。炭化技術を用いることにより、排ガス中のCO<sub>2</sub>が80%に低減される。一方、燃焼可能な炭素分を固定するため、燃焼排ガスの保有エネルギーが少なくなり、この回収による発電量は低下している。この分を既存の発電設備で補うと仮定すれば逆にCO<sub>2</sub>排出量が増加したと言える。建設段階におけるCO<sub>2</sub>排出量は全ライフサイクル排出量の1%と少ないがここにおいても排ガス量の低減により建設段階に必要な材料が低減する効果により、70%に低減されている。これらを総合的に評価すると全ライフサイクルで焼却処理方式と比べると20%低減できる。処理対象物はRDF、SDの2ケースを検討したが傾向は同様であった。

### 3.4 環境負荷低減考察

可燃性廃棄物の処理において焼却にかわり炭化を行うことで、全ライフサイクルにおいてCO<sub>2</sub>の排出を20%低減できることが試算された。我が国の廃棄物焼却に由来するCO<sub>2</sub>排出量が平成12年度では2500万トンに達している。もし、これらをすべて炭化処理に置き替えられたとすれば、排出CO<sub>2</sub>の低減量は500万トンになり、1990年の日本全体での排出量の約0.3~0.5%に相当する。これはCOP3で公約した目標の

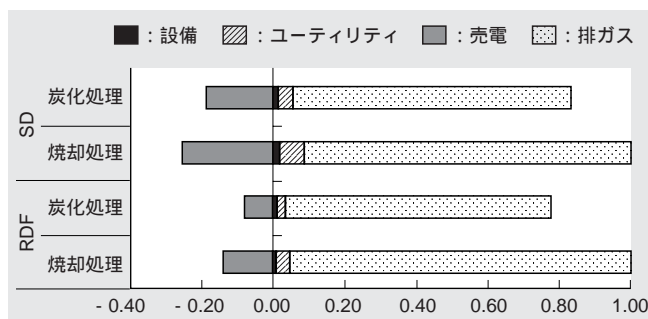


図5 CO<sub>2</sub>排出量ライフサイクル相対比較 焼却プロセスを基準(1)とした炭化プロセスのCO<sub>2</sub>排出量相対値を示す。

6%を達成するための有効手段となると期待できる。

## 4.まとめ

- (1) 当社の炭素固定技術に対し、CO<sub>2</sub>排出量及び地球温暖化影響の低減効果がLCAにより定量的に評価することができた。又、当社製品に対する優位性も確認できた。今後、LCAを環境ソリューションビジネスの有効手段として活用していく。
- (2) 当社の他製品においても製品企画の妥当性や開発計画の要否判断、及び製品の開発設計や生産工程改善をする上で環境配慮の視点における環境配慮優先順位の設定等でLCAの考え方を今後、積極的に取り入れていく。

### 参考文献

- (1) NEDO, 平成7年度地球環境から見た総合的化石燃料サイクル分析評価手法の調査(1995)
- (2) IPPC, 気候変動に関する政府間パネル(1996)
- (3) 村松恵理子ほか, 第6回温室効果ガス抑制技術学会論文集(2002)p.57
- (4) 総務庁統計局, 平成7年度産業連関表(1995), 通商産業大臣官房調査統計部, 工業統計表・品目編(1995), 環境庁, 平成5年度流域別水道整備計画調査資料・指針と解説(1993)



村松恵理子



荒岡衛



飯嶋正樹