

O₂/CO₂ 燃焼による CO₂ 回収型石炭火力システム

A New PCF Power Plant with O₂/CO₂ Combustion Process for CO₂ Recovery

中山寿美枝*・宮前 茂広**・前田 潮***・田中 隆****

Sumie Nakayama Shigehiro Miyamae Ushio Maeda Takashi Tanaka

(1992年7月20日 原稿受理)

はじめに

1992年6月リオデジャネイロで行われた国連環境開発会議(UNCED)において気候変動枠組み条約が人類共通の課題として多くの国によって署名された。この条約の主な内容は地球温暖化の主因とされるCO₂等の排出量の抑制努力を求めたものである。しかし、エネルギー源を化石燃料に大きく依存している今日の社会構造ではその排出抑制が非常に困難な状況であり、産業、運輸、エネルギー転換、民生の各部門でCO₂対策技術の検討が必要になってきている。

エネルギー転換部門の中で発電部門におけるCO₂対策は、主に①エネルギー利用効率の向上、②非化石燃料または低CO₂排出エネルギーへの転換、③CO₂除去・固定化、の3つに分類できる。この中で、現状において比較的短期間に実現可能な技術オプションは、①エネルギー利用効率向上、②非化石燃料または低CO₂排出エネルギー源の導入である。ただし、②については、電力の安定供給、セキュリティー、コスト、環境面への影響、各電源の特徴などを十分加味したバランスのとれた電源構成を構築することが実施の前提条件である。

一方、CO₂除去・固定化技術についても長期的に研究開発に取り組んでいく必要があり、日本国内でも電気事業者の多くは火力発電所排ガスからCO₂を回収する手法の検討を開始している。

火力発電所排ガス中のCO₂を回収する方法を考える場合、従来型の火力発電所では、燃焼に空気を用いているため排ガス中のCO₂濃度は3~15%程度であるため、他のガスからCO₂のみを分離するプロセスを経てから回収することになる。分離法としては、化学吸収

法、吸着法などが特定の用途において既に実用化されているが、火力発電所排ガスのような大量の低濃度CO₂の分離に適用された例はまだ少ない。

このような分離・回収法とは異なるCO₂回収を前提とした新しい燃焼方法として、米国・アルゴンヌ国立研究所はO₂/CO₂微粉炭燃焼によるCO₂回収方法^{1),2)}を提案している。この燃焼方式では排ガスの95%程度がCO₂であるため、分離のプロセスを必要とせずそのまま回収できるという特徴がある。また、この方法では酸素と再循環させた100%近くCO₂からなる排ガスの混合気体を燃焼に供するので、排ガスの再循環比率を変えることにより酸素濃度を調節することができ、酸素富化燃焼も可能である。

ただし、アルゴンヌ国立研究所の検討は、燃焼技術に主眼をおいたもので、発電システムとしての詳細検討・評価は行われていない。従って、ここでは、アルゴンヌ国立研究所の考え方にに基づき、O₂/CO₂微粉炭燃焼方式によるCO₂回収法の発電システムとしてのシステム検討・評価および他の有望なCO₂分離回収法との比較評価を行い、そのCO₂回収法としての可能性、課題を検討した。また、これまで実施してきた基礎燃焼試験の結果についても述べる。

1. 概要

O₂/CO₂燃焼によるCO₂回収型発電システムと従来型の発電所からCO₂を回収するシステムのフローを比較のため、図-1に並べて示す。

従来型の空気による化石燃料の燃焼排ガス成分は窒素が70~80%で、残りをCO₂、O₂、H₂Oが占め、SO_x、NO_x等がppmのオーダーで、また固体成分としてばいじんが含まれる。このような排ガス中からCO₂を回

* 電源開発技術開発部 地球環境技術対策チーム

〒104 東京都中央区銀座6-15-1

** 石川島播磨重工業㈱ボイラ事業部燃焼技術部課長

〒135 東京都江東区豊洲3-2-16

*** 日本酸素㈱技術本部川崎研究所 数値解析研究室室長

〒210 神奈川県川崎市幸区塚越4-320

**** ㈱電力中央研究所 横須賀研究所 エネルギー部

石炭技術研究室室長

〒240-01 神奈川県横須賀市長坂2-6-1

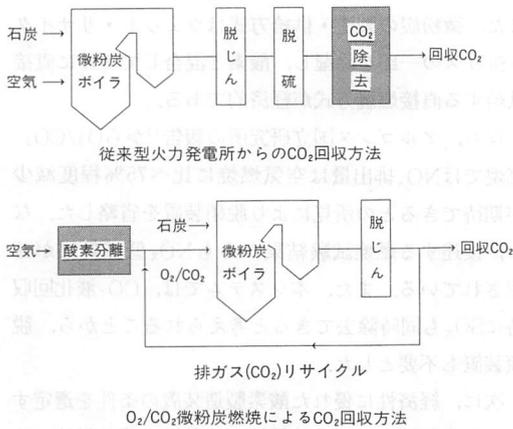


図-1 CO₂回収の2つのフロー

収するためには、脱じん、脱硫（場合によっては除湿）を行った後、CO₂を他のガスから分離してから回収を行う。分離法としては、アミン法に代表される化学吸収法、PSA法に代表される吸着法や膜分離法などがある。いずれの分離方法もSO_x等不純物やばいじんにより吸収液や吸着剤の劣化、被毒等の影響を受けるため、分離回収装置入口の処理ガス中のばいじん、SO_x濃度などに制約がある。その他、分離方法によってはNO_x、酸素、水蒸気等の濃度も制約条件となる。

SO_xを例にとると、日本の平均的な火力発電所煙突出口SO_x濃度はLNG、石油、石炭の順に、約0 ppm

／～100ppm／～100ppmであるため、石油、石炭を燃料とする火力発電所排ガスの場合は脱硫を強化する必要があり、そのことはCO₂回収のコストを高くする要因となる。ばいじんについても同様である。一方、O₂/CO₂燃焼によるシステムではボイラー前段で酸素製造のプロセスが増えているが、排ガスの7～8割を再循環するので再循環ガス取出口以降のガス量は5分の1程度まで減少して排ガス処理装置を簡略化できる可能性がある。このため、ボイラー後流の排煙処理は従来型燃焼排ガスからのCO₂分離・回収法と較べてシンプルになる。

代表的な分離回収法とO₂/CO₂燃焼法の概要、特徴等を表1に示す。

O₂/CO₂燃焼法によるメリットとして次のような点が考えられる。

- ・排ガスからのCO₂分離プロセス不要の直接CO₂回収
- ・酸素富化燃焼に伴う燃焼効率の向上
- ・排ガス量減少に伴う所内動力の低減
- ・NO_x排出量の低減
- ・排煙処理装置（脱硝、脱硫）の簡略化
- ・排煙大気放出量の削減

2. 技術的検討および経済性評価

O₂/CO₂燃焼によるCO₂回収型発電システムを検討するため、これまでの知見を基に、最も効率的なシス

表1 CO₂分離回収技術の概要

方法	燃焼排ガスからの分離回収法					排ガスの直接回収法
	化学吸収		物理吸収	吸着	膜分離	
	アルカノールアミン法	炭酸カリ法				
原理	<ul style="list-style-type: none"> ・弱アルカリのアルカノールアミン液で、常圧、40～50℃でCO₂を吸収。 ・100～120℃加熱でCO₂と吸収液を解離させ再生。 	<ul style="list-style-type: none"> ・炭酸カリウム液で、加圧条件、70～120℃でCO₂を吸収。 ・減圧・加熱によりCO₂と吸収液を解離させ再生。 	<ul style="list-style-type: none"> ・メタノール、ポリエチレングリコール等の吸収液で高圧・低温（常温以下）で物理的にCO₂を吸収。 ・減圧・加熱によりCO₂と吸収液を解離させ再生。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ゼオライト、炭素系固体吸着剤でCO₂を吸着。 ・吸脱着を圧力変化で行うPSA法、温度変化で行うTSA法、それらを組み合わせたPTS法がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ポリイミド、酢酸セルロース膜等を透過させCO₂を選択的に分離。 	<ul style="list-style-type: none"> ・酸素燃焼により排ガス中CO₂濃度を95%以上の高濃度として排ガスをそのまま回収。 ・燃焼用酸素濃度は排ガスをリサイクルさせ純酸素と混合して調整。
特徴・課題	<ul style="list-style-type: none"> ・常圧条件の吸収に適する（適用圧力範囲が広い） ・大容量化が比較的容易。 ・硫酸化合物により吸収液が劣化。排ガス中SO_xを考慮する必要あり。 ・腐食性が高い。 ・天然ガス・石油精製等で実績多数。 	<ul style="list-style-type: none"> ・加圧条件での吸収に適する。 ・大容量化が比較的容易。 ・アミン法に比べ所要熱量が小さい。 ・硫酸化合物により吸収液劣化が小さい。 ・腐食性が高い。 ・天然ガス・石油精製等で実績多数。 	<ul style="list-style-type: none"> ・加圧、低温条件での吸収に適する。 ・大容量化が比較的容易。 ・アミン法に比べ所要熱量が小さい。 ・硫酸化合物による吸収液劣化が小さい。 ・腐食性が小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・操作、保守が容易。 ・現在、大容量での実績が少ない。 ・回収率が低いため、2段以上が必要。 ・排ガス中SO_x、水などの前処理が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プロセスが簡単。 ・現在、大容量での実績が少ない。 ・高圧（17～35atm）にする必要。 ・回収率が低いため、2段以上が必要。 ・膜材料の耐久性が問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・排ガス中SO_x等の不純物の影響を考慮する必要がない。 ・石炭燃焼に適する。 ・大容量化が比較的容易。 ・新しいシステムとなるため、十分な検証が必要。 ・まだ基礎研究段階。

テムを選定し、他のCO₂分離・回収方式との比較を行い、この方式の技術的・経済的フィージビリティを明らかにした。CO₂の処理方法により必要とされる回収CO₂純度や状態（液/ガス）等が異なるが、ここでは回収CO₂の液化も含めて検討した。

2.1 モデルとすべきシステムの抽出

O₂/CO₂燃焼方式は、排ガス再循環の方法により大きく2つに分類される。即ち、排ガスから水分除去した後に再循環させるドライ・リサイクルと、水分除去を行わないで再循環させるウェット・リサイクルの2方式である。表2は、それぞれについて考えられるいくつかのシステムについて、各構成機器ごとに適用可能性を比較評価したものである。

この比較によれば、ドライ・リサイクル方式ではガス冷却装置（酸素予熱器）と除湿装置の容量が巨大化して設備費、運転費の面で不利であることからウェット・リサイクル方式、また、その中でもノンリーク型酸素予熱器の適用性および排ガス再循環装置の容量を考慮し、高温での集じんとガス冷却後に再循環させる

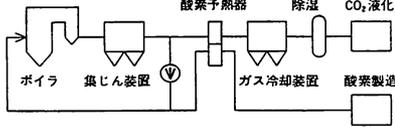
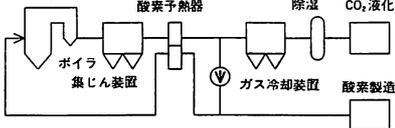
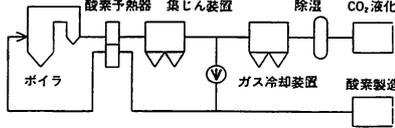
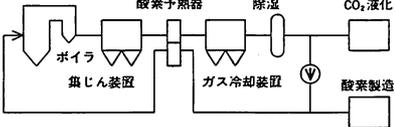
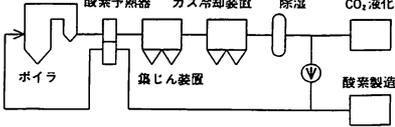
方式、すなわち表2のなかのタイプ2が有利である。また、微粉炭の製造・供給方式はウェット・リサイクル排ガスの一部を除湿し、酸素と混合してミルに直接供給する直接燃焼方式が経済的である。

なお、アルゴンヌ国立研究所の報告¹⁾からO₂/CO₂燃焼ではNO_x排出量は空気燃焼に比べ75%程度減少が期待できるとの所見により脱硝装置を省略した。なお、後述する燃焼試験結果からもNO_x低減効果が確認されている。また、本システムでは、CO₂液化回収時にSO_xも同時除去できると考えられることから、脱硫装置も不要とした。

次に、経済性に優れた酸素製造装置の条件を選定する。酸素製造には深冷分離法、吸着法、膜分離法、化学吸収法の4つの方法があるが、大規模プラントの実績があること、低コストで酸素を製造できるという点から、深冷分離法を採用することとする。

酸素製造装置の設計O₂純度はこのシステムの経済性に影響するため、最適な値を選定する。製造酸素純度が高いほど、酸素製造動力は大きくなるが、同時に

表2 酸素吹き微粉炭燃焼システムの比較

システム	システム構成	酸素予熱器	集じん装置	ガス冷却装置、除湿装置	排ガス再循環ファン	総合評価
Wet Recycle (Type 1)		◎	○ 高温集じん装置採用のため装置がやや大型化する。	○	△ 高温の排ガスを扱うため、装置および動力費が極めて大きい。	△
Wet Recycle (Type 2)		○ 処理ガス量が大きく、容量大となる。	○ 高温集じん装置採用のため装置がやや大型化する。	○	○ やや排ガスの温度が高く、動力費が増える。	○
Wet Recycle (Type 3)		× 含塵量が大きいため、ノンリークの熱交換器が使用できない。	◎	○	○ やや排ガスの温度が高く、動力費が増える。	×
Dry Recycle (Type 1)		○ 処理ガス量が大きく、容量大となる。	○ 高温集じん装置採用のため装置がやや大型化する。	△ 処理ガス量が大きく、容量大となる。	◎	△
Dry Recycle (Type 2)		× 含塵量が大きいため、ノンリークの熱交換器が使用できない。	◎	△ 処理ガス量が大きく、容量大となる。	◎	×

*注) 総合評価にあたっては、◎、○は採用可能、△、×は採用不可あるいは困難との基準にて評価を行っている。

回収CO₂純度も高くなるためCO₂液化動力は低減されることになる。図-2にO₂純度に対するO₂製造、CO₂液化の合計動力の関係を示す。この図に示されるように合計消費動力が最も小さくなる97.5%を製造酸素純度とした。

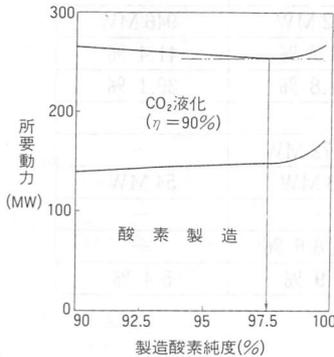


図-2 酸素純度と所要動力の関係

以上のシステム選定により、本検討では、酸素製造装置として酸素純度97.5%の深冷分離法、燃焼システムとしてガス冷却後のウェット・リサイクルをモデルとして選定し、以下の検討を行った。

2.2 検討対象としたプラントの条件

アルゴンヌ国立研究所の報告¹⁾によれば、O₂/CO₂燃焼は空気燃焼用ボイラーで空気燃焼とほぼ同じ伝熱性能が得られることが確認されているため、同一のプラント諸元において本システムと従来型空気燃焼からのCO₂分離回収システムの比較を行うことができる。表3に検討対象とするプラント諸元を示す。なお、CO₂分離回収システムとしては、前述の幾つかの方法の中

表3 検討プラント条件

プラントタイプ	微粉炭燃焼方式
プラント容量	1,000 MW
排煙処理設備	脱硫, 脱硝
蒸気条件	超臨界圧再熱式
蒸気圧力 高圧タービン入口	246.0kg/cm ² G
蒸気温度 高圧タービン入口 中圧タービン入口	538°C 566°C
効率 ボイラー効率* タービン効率* 発電端効率* 所内率* 送電端効率*	88.8% 46.6% 41.4% 5.4% 39.4%

* 高位発熱量ベースの空気燃焼時の値

から現状では大型化に適しているアミン吸収法を想定し、CO₂分離装置入口SO_x濃度は10ppmとして脱硫を強化した。

2.3 構内機器レイアウトの検討

従来型空気燃焼方式による微粉炭火力発電プラントをベースとして、CO₂回収による構内機器レイアウトの変更を検討した。検討対象プラントの発電容量は1000MW×2基、敷地面積は貯炭場、灰捨場を除きおよそ15万m²とする。

この検討によれば、O₂/CO₂燃焼方式によるCO₂回収型プラントと従来型空気燃焼方式のプラントでは全体面積の変更はない結果となっている。これは従来型プラントでは排煙処理装置としての脱硫装置(石膏設備を含む)に大きな設置面積を必要としているが、CO₂回収型プラントでは脱硫装置を必要としないため、この面積を利用して酸素製造設備・CO₂液化設備などを配置したことによる。一方、アミン法によるCO₂回収を加えたシステムではベースプラントと比べて50%程度の敷地面積の増加となる。

2.4 発電効率および経済性の評価

O₂/CO₂燃焼方式について、酸素製造装置およびCO₂液化装置を含めた全体システムを対象に発電効率および経済性を評価した。

このO₂/CO₂燃焼の評価を行うために、従来の空気吹き燃焼方式をベースに、これにCO₂回収法としてアミン吸収法を採用した場合を比較対象とした。CO₂の回収率は両方式とも90%とした。

発電効率の評価を図-3および表4に示す。

検討結果によれば、アミン法では発電端効率がかなり小さくなっているが、これは吸収液再生用にタービンから低圧蒸気を多量に抽気するためで、更にCO₂液

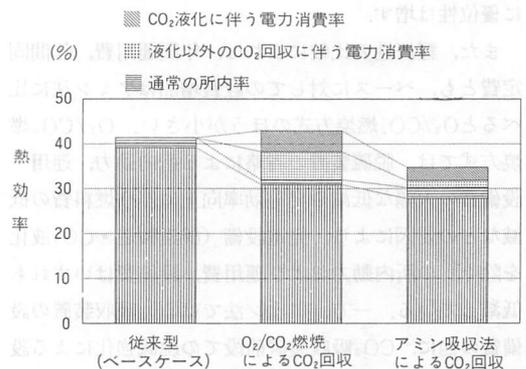


図-3 熱効率の比較

表4 発電効率および経済性の評価

		O ₂ /CO ₂ 燃焼法	アミン吸収法	従来型PCF
CO ₂ 排出原単位		0.101t-C/MWh	0.110t-C/MWh	0.780t-C/MWh
CO ₂ 回収率		90 %	90 %	0 %
発電端出力		1000 MW	840 MW	1000 MW
送電端出力		720 MW	672 MW	946 MW
発電端効率		42.9 %	34.7 %	41.4 %
送電端効率		30.9 %	27.8 %	39.1 %
所内動力	酸素製造/CO ₂ 液化	147/108 MW	—	—
	アミン吸収/CO ₂ 液化	—	38/72 MW	—
	その他の所内動力	25 MW	58 MW	54 MW
所内率	酸素製造/CO ₂ 液化	14.7/10.8 %	—	—
	アミン吸収/CO ₂ 液化	—	4.5/8.6 %	—
	その他の所内率	2.5 %	6.9 %	5.4 %

化動力を含めた所内率を考慮すると、送電端効率は27.8%とベースに比べて約29%低くなっている。O₂/CO₂燃焼法では、排ガス量が大幅に減少することから、排ガスによるボイラー損失が低減され、ボイラー効率で約3.2%、発電端効率で約1.5%空気吹き燃焼方式に比べて改善されているため、酸素製造・CO₂液化動力を加えるとアミン法よりかなり大きい所内率を考慮に入れても、送電端効率は30.9%とベースに比べて約21%の低下で、アミン法より効率面で優れている。なお、エアー・プロダクト社の同様な試算では、CO₂回収率98%、脱硫・脱硝効率99%の条件で、液化も含め送電端効率は28.6%（本論文では、CO₂回収率90%、液化も含め効率30.9%）である³⁾。

一方、CO₂をガス状で回収する場合は液化プロセスが不要となるため、アミン法では送電端効率30.8%でベースに比べて21.4%の低下、O₂/CO₂燃焼法では最終処理ガスにSO_x、NO_x等若干の不純物は含まれるが送電端効率35.5%でベースに比べて9.4%の低下と更に優位性は増す。

また、経済性の比較によれば、年間運用費、年間固定費とも、ベースに対する経費増加はアミン法に比べるとO₂/CO₂燃焼方式のほうが小さい。O₂/CO₂燃焼方式では、脱硫装置の省略による所内動力、運用・設備費の大幅な低減や発電効率向上に伴う燃料費の低減などの要因により、発電設備（酸素製造・CO₂液化を除く）の所内動力および運用費、設備費はいずれも低減している。一方、アミン法ではCO₂吸収装置の設備費の他に、CO₂吸収装置前段での脱硫強化による設備費の増加が固定費を押し上げており、吸収液のランニングコストが運用費を増加させていることなどによ

るものである。

大まかな試算では、この年間経費の増加に更に効率低下分を加味したkWh当たりのコスト上昇は、CO₂液化を行う場合で、アミン法では約71%増、O₂/CO₂燃焼法で約40%増となる。また、CO₂液化を行わない場合では、アミン法では約48%増、O₂/CO₂燃焼法で約14%増、と明らかにO₂/CO₂燃焼システムが有利な結果が出ている。但し、この試算では、O₂/CO₂燃焼法では脱硫、脱硝装置が不要との前提条件が大きく

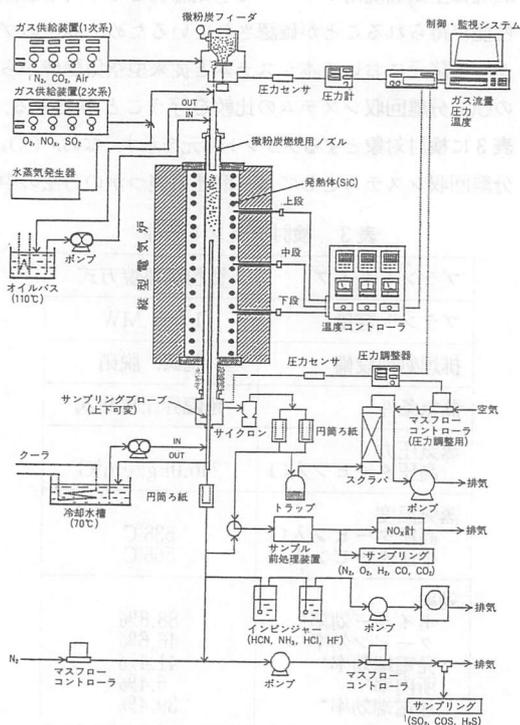


図4 反応管燃焼試験装置概略

影響しており、それに関しては今後検証してゆく必要がある。

3. O₂/CO₂微粉炭燃焼基礎試験結果

O₂/CO₂雰囲気における微粉炭の基礎的な燃焼特性を把握するため、電気炉式反応管試験装置を用いていくつかの炭種について試験を行った。図-4に試験装置図を示す。

基礎試験として、N₂/CO₂置換による燃焼特性変化試験、および、O₂/CO₂雰囲気下で酸素比およびO₂濃度を变化させたときの、燃焼効率、排ガス性状の変化について試験を行った。

3.1 N₂→CO₂置換による燃焼特性変化試験

酸素濃度21%、酸素比1.2の一定条件における、N₂とCO₂の置換率に対する石炭燃焼率の変化、およびNO_x転換率の変化を図-5に示す。この図より燃焼用空気中のN₂をCO₂に100%置換しても微粉炭の燃焼効率はどの炭種においてもほとんど変化しないこと、また、CO₂置換によりNO_x転換率は減少する傾向にあることがわかる。

3.2 酸素濃度変化試験

排ガスリサイクル比を低くすれば酸素濃度は高くなるという関係から、排ガスリサイクル比で酸素濃度を調整することになる。そこで、温度1500℃における、ドライ条件での排ガスリサイクル比、および酸素濃度に対するNO_x転換率の変化を酸素比0.8/1.0/1.2の3条件について調べた結果を図-6に示す。

この図より、酸素比1.0以上のときは排ガスリサイクル比が大きくなるに従ってNO_x転換率が下がるという傾向があるが、酸素比0.8のときNO_x転換率は排ガスリサイクル比に係わりなく低い値を示すことがわかる。即ち、このような還元雰囲気の中ではNO_xはほとんど発生しないということになる。どの酸素比においても空気と同じ酸素濃度21%において従来型空気燃焼時のNO_x転換率に比べて75%程度減少していることから、O₂/CO₂燃焼がNO_x低減に非常に大きな効果のあることがわかる。

また、酸素濃度30%においてNO_xを1000ppm添加して燃焼させたときに還元されたNO_xの割合を、3炭種について酸素比を変えて調べた結果、酸素比0.8においていずれの炭種でも100%近く還元されて消滅するという結果が得られた。これは、再循環排ガス中に高濃度NO_xが含まれている場合も、このような還元雰囲気中でほとんど還元され、NO_xは大幅に低減

されることを意味する。この原因については、再循環排ガス中の高濃度CO₂がチャーと反応しCOとなり、還元剤であるCOによりチャー表面でNO_xが還元されるとの推定がなされている。

試験の結果をまとめると次のようになる。

- 燃焼用空気中のN₂がCO₂に置換されても、微粉炭の燃焼特性はほとんど変化しない。
- N₂をCO₂に置換することにより、NO_x排出量は減少する。
- O₂/CO₂雰囲気下においても、二段燃焼はNO_x低減に有効であり、その効果は酸素富化燃焼により拡大する。
- 酸素富化燃焼により反応速度が大きくなり、燃焼効

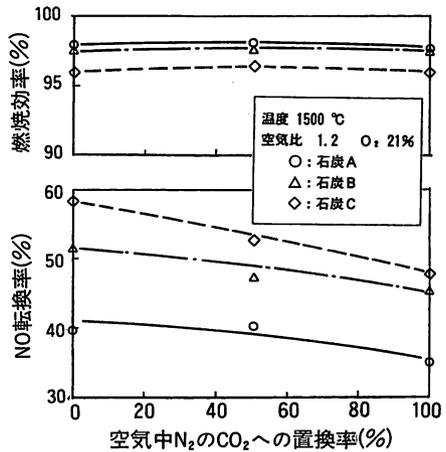


図-5 N₂→CO₂置換率と燃焼効率、NO_x転換率の関係

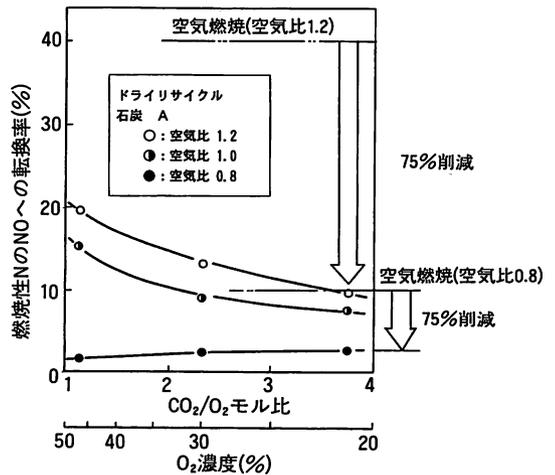


図-6 O₂濃度、または排ガスリサイクル比とNO_x転換率の関係

表5 O₂/CO₂燃焼によるCO₂回収システムの研究開発計画

	H2年度	3年度	4年度	5年度	6年度	7年度
1. FS	←————→					
2. ラボ試験		←————→				
3. ベンチ試験			←————→			
4. パイロット試験						←-----

率が向上する。

4. 今後の計画

ここまでの検討結果により、O₂/CO₂燃焼法は微粉炭火力におけるCO₂回収法として有効なシステムと成りうる事が明らかになったが、実用化には以下のような課題が残されている。

- ・従来とは異なる新しい発電システムとなるため、信頼性、運用性等の十分な確認が必要なこと。
- ・現状ではまだ基礎的な研究段階であり、実用化には長期的な研究開発が必要なこと。
- ・所要動力、コストのより一層の低減が必要なこと。
- ・排煙処理装置の省略、簡略化が効率、経済性に大きく影響するため、その可能性確認が必要なこと。

このような課題を解決するため、今後もより詳細な検討を行い、より大きなスケールで全体システムの試験を行いたいと考えている。

O₂/CO₂燃焼によるCO₂回収技術の今後の開発計画は表5に示すとおりである。1992年度は、①排ガスリサイクルを行わせたときの燃焼特性を検討するための石炭使用量100kg/h程度の試験炉を用いたベンチ規模の燃焼試験、②排ガス回収プロセスにおける不純物の影響を評価するため模擬ガスをを用いたCO₂液化回収試験、を中心に試験を進める予定である。

5. 結論

O₂/CO₂燃焼によるCO₂回収型発電システムのフィージビリティスタディを行った結果、このシステムの特徴は次のようであることが明らかになった。

従来型空気燃焼発電プラントに比べて、1000MW容

量の条件で、

- ・CO₂回収を行うことによる送電端効率の低下は、O₂/CO₂燃焼法のほうがアミン吸収法より小さい。
 - ・CO₂回収のための設備費・運用費を含めた年間合計経費の増加はO₂/CO₂燃焼法のほうがアミン吸収法より小さい。
 - ・CO₂回収システムを含めたプラントレイアウトは、O₂/CO₂燃焼法では同じ敷地面積に収まり、アミン法では約50%の敷地面積増加となる。
- O₂/CO₂燃焼基礎試験から、
- ・N₂とCO₂を置換しても燃焼効率は変わらない。
 - ・O₂/CO₂燃焼ではNO_x発生率は従来型より約75%低く、また、二段燃焼により更に低減できると考えられる。

以上の結果から、O₂/CO₂燃焼法を用いたCO₂回収法は通常の微粉炭火力においては有効な方法であることが明らかになった。

参考文献

- 1) Wolsky A M (1986) A new method of CO₂ recovery. In Proceedings of the 79th annual meeting of the Air Pollution Control Association, Minneapolis, USA, 22-27 Jun 1986.
- 2) Wolsky A M, Brooks C (1989) Recovering CO₂ from large stationary combustors. In IEA/OECD Experts' seminar on energy technologies for reducing emissions of gases, Paris, France, 12-14 Apr. 1989.
- 3) R J Allam and C G Spilsbury, Energy Conversion and Management, 33, 373(1992).
- 4) 電力中央研究所報告W91040 (平成4年5月) 酸素吹き微粉炭燃焼の基礎燃焼特性.