

■ 技術報告 ■

高濃度石炭水スラリー燃料 (CWM) の燃焼試験

Combustion Tests of Coal-Water Mixture

片岡 静夫*・野上 晴夫**・山本 義彦**・永井 伸樹***
 Shizuo Kataoka, Haruo Nogami, Yoshihiko Yamamoto, Nobuki Nagai

1. はじめに

高濃度石炭・水スラリー(CWM)は石炭利用技術の中で最も実用化が可能な技術と注目され活発な開発が実施されている。従来、重油から石炭への燃料転換はメリットの大きな火力発電用を中心とした大型ボイラから予想以上に進められてきた¹⁾。

一方、一般産業用中小ボイラの燃料転換は、ストーカ式、微粉炭式、流動床式などの石炭燃焼方式では、経済的、工場立地、公害規制などの問題から制約があり、新しい石炭利用技術の開発が望まれている。

CWMは流体としての貯蔵、輸送の取り扱いが可能であり、灰分も1%以下に脱灰が可能である。高度脱灰CWMは一般産業用中小ボイラの重油から石炭への燃料転換を推進するに適した燃料であり、重油との切替も容易なコンビネーションボイラの燃料として最も実用化が有望であるとの観点から燃焼の開発に取り組んできた。

CWM用バーナ開発の為に噴霧試験と試作バーナによる燃焼試験結果を報告する。

2. CWMの性状

表1に石炭性状、表2にCWMの性状、図-1にCWMの粘度特性を示す。

石炭性状はCWMを製造する前の脱灰、調整された分析の1例である。燃料比は1.3程度である。石炭微粒度の平均値は約44 μm であり、最大粒子径は590 μm 以下である。

CWMの性状は試験に使用した代表例であり、粘度特性ではせん断力の増大に伴って粘性が小さくなっていることが示されている。

表1 石炭性状

発熱量(恒温ベース)		kcal/kg	7,410	
工(恒 業温 分ベ 析ス)	水	分	%	5.1
	灰	分	%	2.3
	揮	発	%	40.8
	固	定	%	51.8
元(無 素水 分ベ 析)	C		%	78.2
	H		%	5.1
	O		%	12.4
	N		%	1.4
	S		%	0.6

表2 CWMの性状

項目	種別	B-1037	B-1043	B-1053
		石炭湿度	%	68.0
石炭粒度				
100メッシュノズ	%	88.8	88.3	92.4
200メッシュノズ	%	71.5	68.3	73.0
粘 度	cP	950	1,230	1,050
比 重	—	1.17	1.17	1.17
灰 分	%	1.8	1.6	1.4
低位発熱量	kcal/kg	5,300	5,320	5,350

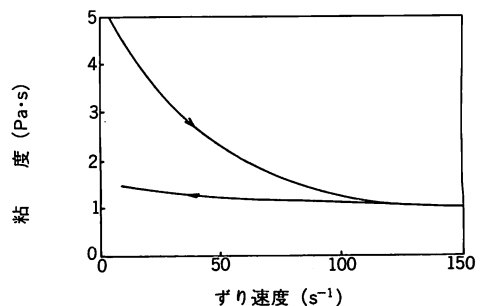


図-1 CWMのレオロジー特性

* ㈱タクマ技術本部ボイラ技術部課長代理

〒530 大阪市北区堂島浜1-3-23

** ㈱タクマ技術本部ボイラ技術部

*** 東北大学工学部教授

3. 噴霧試験

CWMの燃焼では、特に良好な微粒化が重要である。

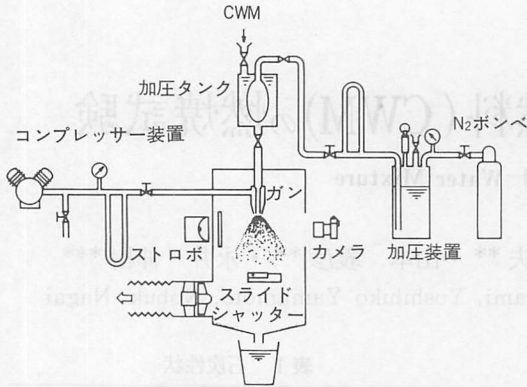


図-2 噴霧試験装置系統図

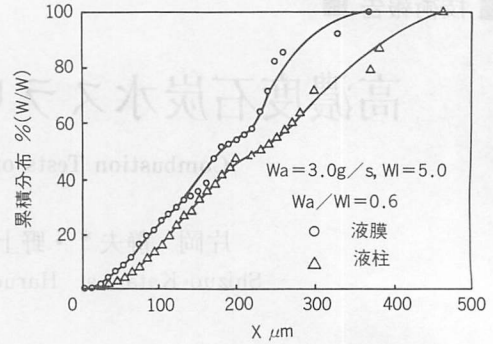


図-3 液膜微粒化と液柱微粒化方式による累積分布

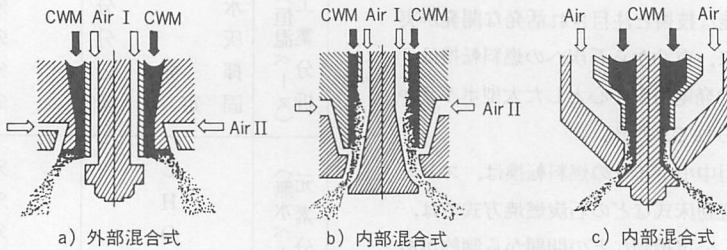


図-4 試作アトマイザと分裂の様子

この為には、CWMの分裂機構、微粒化特性の解明が基本であり、微粒化の良否が着火と火災の安定性、燃焼効率に大きく影響を及ぼす²⁾。CWMの微粒化については各種のアトマイザが提案されているが³⁾、CWMの性状から液膜微粒化方式に着目して⁴⁾、液膜式による3種のアトマイザを試作して噴霧模様を観察し、燃焼試験用アトマイザを選定した。

3.1 試験装置及び試験方法

図-2に、試験装置の系統を示す。微粒化用空気はコンプレッサにより加圧され、ニードル弁、オリフィス流量計により流量を調整されガンに供給される。CWMは一定量を加圧タンクに貯留して、加圧N₂により所定の圧力に加圧されガンに供給される。微粒化現象はストロボカメラにより透過光撮影して観察するとともに、スライドシャッターにより噴霧粒を採取して顕微鏡写真撮影から粒度分布を求めた。

3.2 試験結果

図-3に液膜微粒化方式と液柱微粒化方式の噴霧試験による粒度分布の比較を累積体積分布で示す。液膜方式の方が液柱方式に比し、特に粒径の大きなところでの微粒化特性が良いことがわかる。

図-4に液膜微粒化方式による3種の試作アトマイザの概念図を示す。(a)は外部混合形、(b)及び(c)は内部混

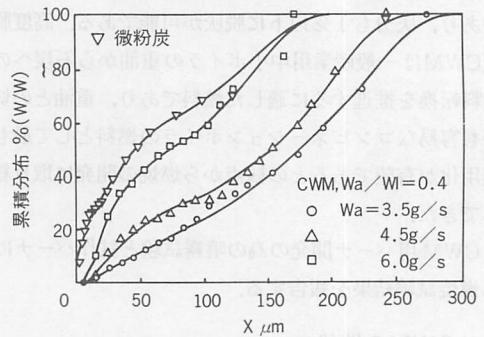


図-5 微粉体粒子とCWM噴霧液滴との粒度分布の比較

合形である。微粒化の良否とアトマイザ内部でのCWMのつまりなどの問題から(c)のアトマイザが実用的と判断された。

図-5に(c)アトマイザによるCWM噴霧液滴の粒度分布とCWM中の微粉炭の粒度分布を示す。CWMの噴霧液滴は石炭粒子同志の強力な凝集力により噴霧液滴径は微粉炭粒子径より大きいことがわかる。このことからCWMの燃焼における良好な微粒化が重要であることがうかがえる。

4. 燃焼試験

着火と火災の安定性、燃焼効率、NO_xの低減化、及

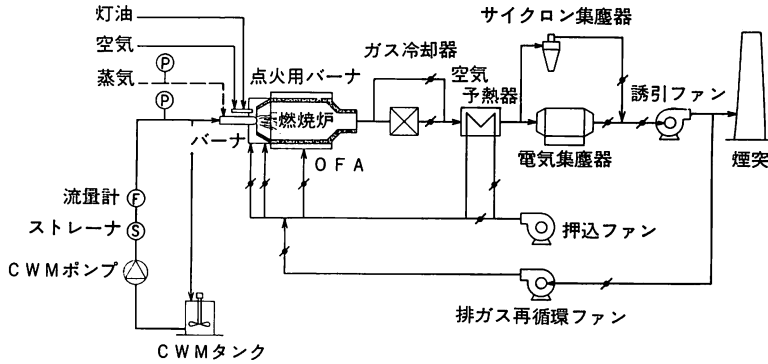


図-6 CWM燃焼試験装置

び燃焼灰の特性の把握を目的として試験を実施した。

4.1 試験装置

図-6に燃焼試験装置系統を示す。試験炉は内径0.85m、炉長6.4mで、CWM燃焼容量150kg/h(石炭濃度70wt%)の横型円筒形水冷炉である。試験炉は外側が水冷ジャケットで、内面は耐火材を内張りし実缶と同程度の炉内雰囲気温度に保持され、炉内の燃焼状況観察、炉内温度計測、炉内ガスなどの計測用孔と視窓が各所に設けられている。

CWMはタンクより噴燃ポンプでバーナに供給され、CWM噴霧用気体として圧縮空気及び蒸気を使用できる。燃焼用空気は押込ファンにより空気予熱器を経てバーナに供給され、一部は2段燃焼用空気(OFA)として炉内へ供給される。また集塵器出口の燃焼ガスを燃焼用空気中に混合できる排ガス再循環装置を備えている。燃焼後の排ガスはガス冷却器、空気予熱器、電気集塵器を経て誘引ファンにより煙突から放出される。

4.2 CWMバーナ

図-7に液膜微粒化方式による試験に使用したアトマイザの構造を示す。

アトマイザは内部混合形であるが、CWM液膜と噴霧気体の衝突部から混合噴霧されるまでが短く、構造も簡単である。この為つまりもなく、耐摩耗を考慮すべき箇所が少なく、耐摩耗にセラミックスを使用している部材の取付も容易で実用的なものである。

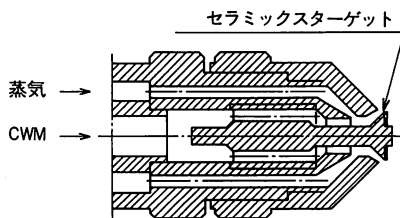


図-7 アトマイザ

レジスタは旋回力が自由に変わられ、保炎器も含めてCWM燃焼用に開発されたものである。

4.3 試験結果

4.3.1 着火状態及び火炎の安定性

図-8に通常燃焼時と2段燃焼時(OFA 30%)の火炎軸方向の温度分布を示す。図-9はバーナ近傍と灯後部から見た火炎状況を示す。

試験ではまず目視により火炎の状況を観察しながら燃焼用空気の旋回度、1次と2次の空気割合、及び空気温度を変えた。最も良くない場合には、CWMが炉内の高温壁面上で燃えたり、着火遅れが観察されたが、バーナ構造の適正化と旋回力の強化、燃焼用空気割合の調整などにより液膜微粒化方式の特徴である環状の火炎がアトマイザ近傍から形成され、安定した火炎が得られた。

燃焼用空気の旋回度をスワール数で0.5から1.5の範囲で変化させたがS=0.9以上で、空気噴出速度30-60m/sの範囲で火炎の安定に効果的である。

アトマイザ先端より噴霧された環状のCWM液滴は環状内部に形成される負圧により微細なCWM液滴を含めて環状中心部への還流を形成する。一方、強い旋

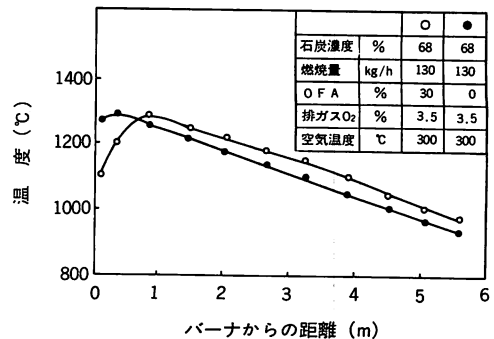
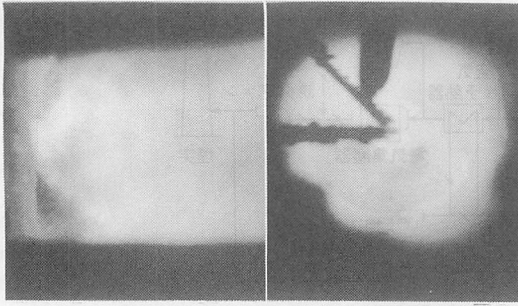


図-8 火炎温度分布



(a) 火炎近傍 (b) 炉後部より

図-9 火炎の状況

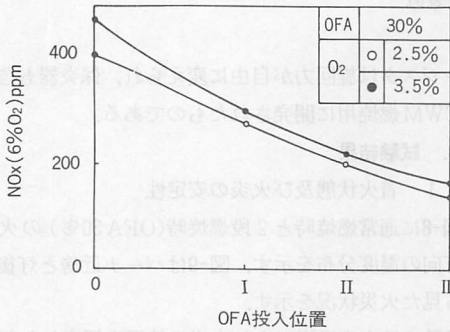


図-10 OFA投入位置とNOxの関係

回力を持つ燃焼用空気が、環状噴霧流を包むように供給されることによって、火炎の外側からの高温燃焼ガスの火炎近傍への還流を促す。これにより噴霧されたCWMに含まれる水分の蒸発、乾燥と揮発分の放出による着火までに必要な熱量が供給され、安定した火炎が形成されている。

火炎は高い輝度が観察され、燃料比が小さいこともあって重油燃焼火炎に近いと言える。

4.3.2 燃焼条件による燃焼性とNOxへの影響

図-10にOFAの投入位置によるNOx発生量低減効果を示す。OFA投入位置I、II、及びIIIはアトマイザ先端からの距離を示し、火炎の先端はほぼIとIIの間にある。図-11は排ガスO₂%に対する未燃損失とNOx値の変化とともに、OFA投入位置IIにおける2段燃焼によるNOx低減効果を示す。OFA割合は(OFA/全空気)を示す。図-12は2段燃焼時のOFA割合によるNOx値の変化を示し、図-13は1次空気比(1次空気/全空気)とNOx値の関係を示す。未燃損失を考慮してO₂ 2.5% ($\lambda = 1.15$)、OFA30%、1次空気比0.8がNOxの低減化に効果的である。

図-14は火炉中心軸上での燃焼排出物の変化を示す。COの排出量は2段燃焼に影響されずに少ない。2段燃焼時は揮発分燃焼域の位置でO₂=0%であり2段燃

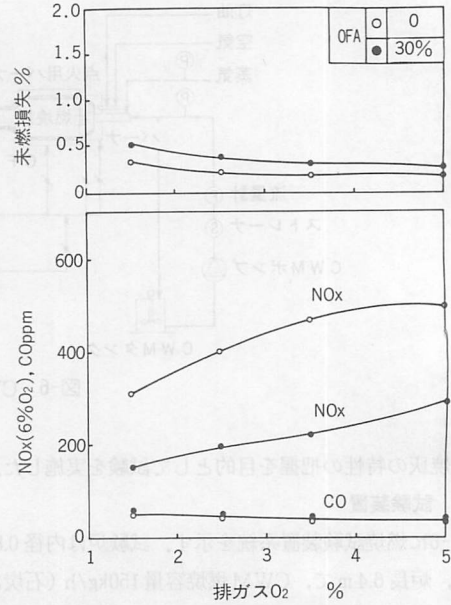


図-11 排ガスO₂とNOx, 未燃損失の関係

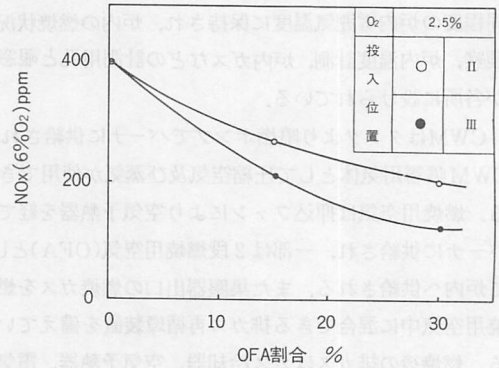


図-12 OFA割合とNOxの関係

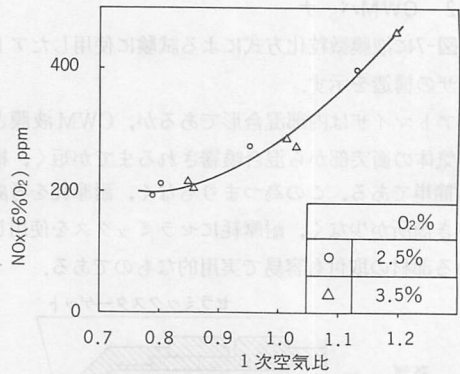


図-13 1次空気比とNOxの関係

焼効果によりNOx値が大幅に低減している。図中3の位置にNOxのピークがあるのは火炎先端とほぼ同位置と考えられ、旋回空気の還流によりO₂濃度が上が

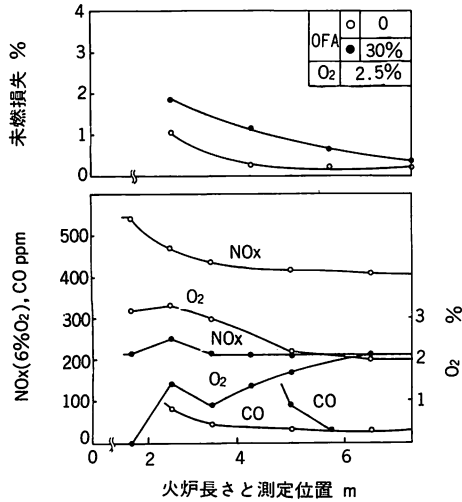


図-14 炉内での燃焼排出物の変化

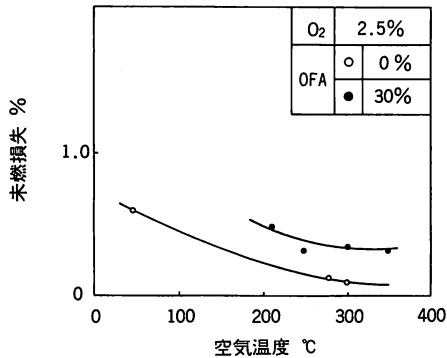


図-15 空気温度と未燃損失の関係

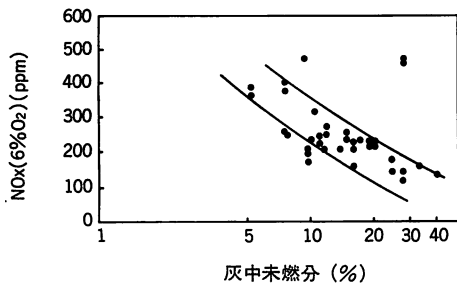


図-16 灰中未燃分とNOxの関係

た為と考えられる。

図-15は燃焼用空気温度と未燃損失の関係を示す。

図-16は灰中未燃分とNOxの関係を示す。

なお、排ガス再循環によるNOx低減化は、顕著な効果が認められなかった。

4. 3. 3 燃焼灰の性状

表3に電気集塵器で捕集した灰の性状を示す。ガス温度は150—180℃で比較的電気固有抵抗値が高い温度

表3 EP捕集灰の性状

項目	試料		
	CWM中の灰分	EP捕集灰	
灰の成分分析	SiO ₂ %	42.05	38.6
	Al ₂ O ₃ %	29.17	31.7
	Fe ₂ O ₃ %	20.05	21.4
	CaO %	1.37	0.49
	MgO %	1.77	1.6
	Na ₂ O %	1.03	1.1
	K ₂ O %	1.32	1.9
	SO ₃ %	0.41	1.5
	TiO ₂ %	1.55	1.3

域であるが、集塵効率の平均は98%以上であった。したがって、ばいじんは電気集塵器で捕集可能である。

5. おわりに

CWMの微粒化特性を含む基礎研究と150kg/hバーナでの燃焼試験を実施した。主な結果は、次のとおりである。

- (1) 液膜微粒化方式を採用したCWMバーナにより、つまりもなく、良好な微粒化と安定した火炎が得られた。
- (2) 2段燃焼法によりNOx値の低減化が十分可能である。
- (3) 通常燃焼、2段燃焼、あるいは低O₂燃焼のいずれの場合にも高い燃焼効率を得られた。
- (4) ばいじん対策は電気集塵器で十分対応できる。
- (5) CWM焚一般産業用中小ボイラの実用化へ向けての基本的知見が得られた。

なお、CWM焚一般産業用中小ボイラの実用化を進めるべく、水管ボイラによる実証試験を準備中である。また試験遂行にあたり、宇部興産㈱の御協力、御好意を賜ったことに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 山邊美嗣；我が国のエネルギー事情と石炭，第7回石炭利用技術研究発表会講演集(1985)，p.1～16。
- 2) J. M. Beér 他；Das Verhalten von Konzentrierten Kohlenwasserschlämmen hinsichtlich Verbrennung, Wärmeübertragung, Schads toffemissionen und Asheablagerung, VGB KRAFTWERKSTECHNIK 65 Heft 10 (1985)，p.939～956。
- 3) 蔵田 他；石炭・水スラリー燃料の燃焼，燃料協会誌 第65巻2号(1986)，p.100～108。
- 4) 稲村 他；固液混相流体の基本微粒化特性に関する研究，第13回液体の微粒化に関する講演会論文(1985)，p.35～40。