

■ 展望・解説 ■

CWM技術の現状と課題

Present and Future Aspect on Coal Water Mixtures

橋本 升*

Noboru Hashimoto



1. はじめに

CWM (Coal Water Mixture) とは、少量の添加剤の作用によって、ある特定の粒子径分布を有した石炭粒子が、60数重量%以上の濃度で安定的に均一分散した石炭・水系のスラリーのことをいう(図-1参照)。CWMは水と石炭の混合物であることにより、固体石炭が持つ貯蔵、輸送中の自然発火や粉塵等の問題がなく、また固体ハンドリングに必要な大がかりな設備が不要となる。また消防法上の危険物でないため、安全および環境面も含めてその取扱いが簡素化・合理化できる。

1973年のオイルショックを契機とし、石油の代替燃料として開発が世界的に進められてきたCWMは、ボイラ燃料として問題なく使用できることが、数十～数百MWe規模ボイラで実証され、現在は実証規模段階から大規模使用段階への移行時期にある。

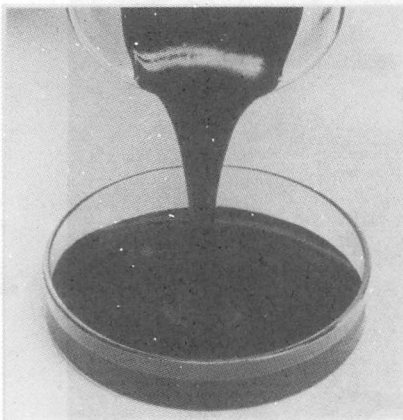


図-1 CWM

2. CWMの基礎

2.1 炭種

CWMとして現在実用化段階にあるのは、瀝青炭CWMであり、亜瀝青炭や褐炭あるいは石油コークス等の高濃度スラリー化については、未だ開発途上にある。一般的傾向として、炭化度が高く、固有水分が低く(工業分析値として約5%以下)、酸素含有量の少ない(元素分析値として約8%以下)石炭が高濃度スラリーを作るのに適している。

2.2 添加剤

添加剤には、水スラリー系の中に石炭粒子を分散させるための分散剤と、スラリー中の石炭粒子の沈降を防止し安定化するための安定剤とがある。分散剤には、イオン系と非イオン系とがあるが、現在はイオン系が中心である。ナフタレン、ポリスチレン、ポリメタアクリレート、ポリオレフィン等々のスルホン酸ソーダが用いられている。安定剤としてはCMC、キサンタンガム等がある。

イオン系分散剤の場合は、主として静電的反発効果、非イオン系の場合は立体反発効果により、石炭粒子同志の凝集を防止し分散効果を高める。最近のイオン系分散剤には立体反発効果を合わせ持つものもある。安定剤は、保護コロイド的效果で石炭粒子の安定化を促進する。

2.3 粒子径分布

スラリーの高濃度化・安定化を図るには、粉砕された石炭粒子の粒子径分布は、一般的にはシャープな分布よりも、より幅の広い分布の方が好ましい。通常用いられている粒子径は、概略次のようになっている。最大粒子径：150～500 μm 、平均粒子径：20 μm 前後、74 μm 以下の粒子：80%以上、数 μm 以下の微粒子：10%程度以上。

2.4 レオロジー特性

CWMの特徴の一つに、その非ニュートン流動特性

* 日揮(株)原子力・環境・エネルギー事業本部
CWM事業部事業部長
〒232 横浜市南区別所1-14-1

がある。炭種、濃度、添加剤及び流動状態等によっても流動特性は変化する。近似的には、ビンガム流体として取り扱える。見かけ粘度は概略1000mPa・s（室温、剪断速度=100 1/sにおいて）。

2.5 CWM物性の例

CWMの物性値の一例を、表1に示す。

表1 CWMの物性値の例

石炭濃度	wt%	68~70
高位発熱量	kcal/kg	5000~5200
低位発熱量	kcal/kg	4600~4800
見掛粘度	mPa・s	1000
比重		1.25
灰分	%	6.0~6.3
燃焼性硫黄	%	0.2
200メッシュ以下微粒量	%	80~85

3. CWMの安全・環境特性

CWMは水と石炭の混合物であることにより、次のような特徴を持ち、安全と環境面からその取扱いが簡素化・合理化できる。

- ①固体石炭が持つ貯蔵、輸送中の自然発火や粉塵飛散等の問題がなく、また固体ハンドリングに必要な大がかりな設備が不要となる。
- ②消防法上の危険物でないため、貯蔵タンクのタンク間距離に制限がない。また、地下タンクとし、その上

部空間を利用することもできる。これに基づいた地下タンク概念図を、図-2に示す。

③CWMは石炭そのものに比べ、貯蔵単位容積当たりの発熱量が高いため、同じ発熱量に対し貯蔵スペースをコンパクトに出来る。

④CWMは本質的に水スラリーであるので、その製造過程あるいは燃焼直前に炭酸カルシウム等の脱硫剤をスラリー中に混合することが容易であり、これによりボイラ内での燃焼過程で脱硫が可能となる。

4. CWM技術開発経緯

1973年のオイルショックを契機として、石油の代替燃料としての石炭が見直されると同時に、流体化石炭としてのCWMが注目されるようになった。実験室規模での基礎研究を経て、実ボイラによる実証試験が1980年代前半からアメリカ、スウェーデン、イタリア、中国、日本等で行われてきた。その結果、世界各地での数十MWe規模の発電実証が終了し、商業規模でのボイラ燃料として必要な特性を具備していることが実証された。アメリカ等では、80年代後半からの原油価格の低値安定化によりCWMの実用化に対する関心が薄れているが、日本、中国、イタリア、ロシアにおいて、その実用化が促進されつつある。その中でも、開発から実用化に至るまで、最も成果を挙げているのは日本であると言って過言ではない。

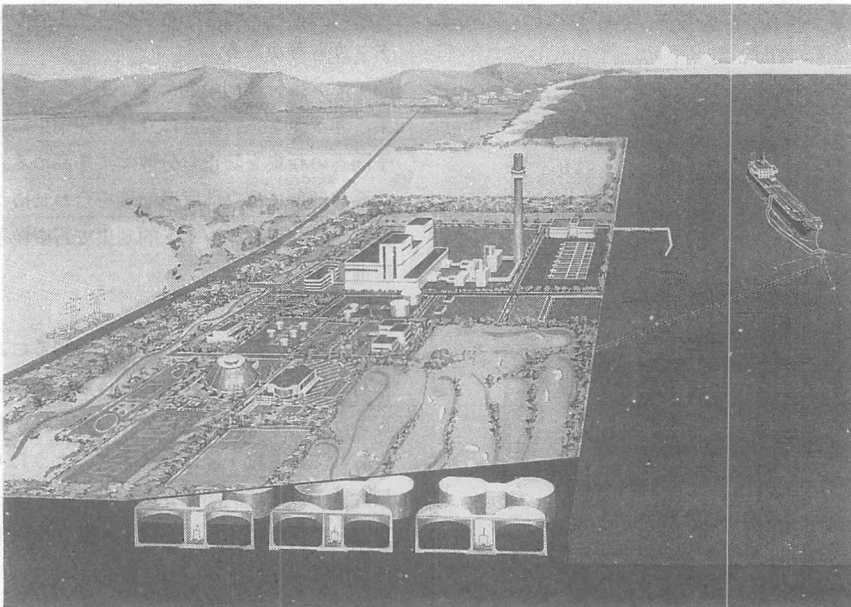


図-2 CWM地下タンク概念図

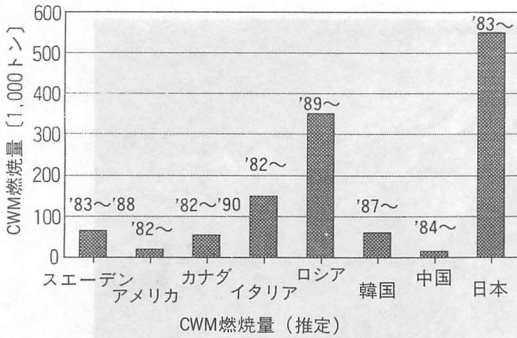


図-3 93年末までの世界におけるCWM燃焼量 (推定)

世界各国で1980年代初期から93年末までに、ボイラ燃料として使用されたCWMの量 (推定) を図-3に示す。

4.1 日本における技術開発

日本におけるCWMの製造技術開発および燃焼試験は、電源開発(株)を中心としたグループによって、1980年代初期に開始された¹⁾。より大規模な実証試験が、東京電力と東北電力によって85~86年度に常磐共同火力勿来発電所4号ボイラ(75MWe)で²⁾、また86~87年度に関西電力によって姫路第一発電所1号ボイラ(33MWe)において行われた³⁾。前者の場合、CWM使用量は56,000トン(三菱重工及び日立プロセスにより製造)。後者では、7,500トン(日揮が製造)。また、1990年に、脱灰後の灰分1.5%という超低灰分CWMの製造、燃焼実証試験が日本COM(株)、出光興産によって重油焚きボイラを使用して行われた⁴⁾。これらの試験を通して、CWMはボイラ燃料として燃焼のみならず、製造、貯蔵、輸送を含め十分な実用性を有することが実証された。すなわち

- ・バーナー前までは、重油と同等の流体としての取扱が出来る。
- ・ボイラの運用性に関して、重油並である。
- ・燃焼後の環境特性は、石炭と同等。

なお、低硫黄・低灰分の亜瀝青炭や褐炭の表面を熱的に改質し、クリーンCWMを製造する技術の開発が現在進められている。

4.2 現在日本で稼働しているCWM関連設備

(1) CWM製造および燃焼^{5), 6)}

①日本COM(株)：年産50万トン (50トン/hの2系列) CWM製造プラントを小名浜に完成、93年6月より運転開始。常磐共同火力(株)勿来発電所600MWe発電ボイラの燃料の一部として供給。CWMバーナーは、11トン/h/本×12本。燃料混焼率：CWM=40%、石炭=40%

%、油=20%。

小名浜と勿来の間9kmは、パイプライン輸送(直径350~400mm配管)されている。93年12月までの製造、燃焼量は概略30万トン。

②宇部興産：CWM製造能力=15トン/h、自社ボイラ(蒸発量80トン/h)での燃焼を89年から91年まで実施。現在も断続的に製造、燃焼を継続している。

(2) CWMチェーンの形成⁷⁾

次項で述べる日中CWM製造合弁会社によるCWM製造が92年3月から運転を開始、製品CWMは日本に向けて輸出されている。中国山東省から北九州市の西日本CWM(株)の中継基地へのタンカーによる海上輸送、中継基地でのタンク貯蔵を経て、岡山市のテイカ(株)の蒸発量45トン/hのボイラに至るまでの、千数百kmにおよぶ世界初の二国間CWMチェーンが形成された。

①西日本CWM(株)中継基地(北九州市若松)：中国からの輸入CWMの中継基地業務を92年3月から開始。10,000KlのCWM貯蔵タンクを保有(図-4参照)。中国山東省日照港-北九州市若松港の間1,100kmを重油輸送船を改造した5,000DWTタンカーで輸送している。93年12月までの中国からの受け入れ回数は21回、受入れCWM量は72,000トンとなっている。

②テイカ(株)(岡山市)：92年5月からCWM専焼ボイラ(蒸発量45トン/h)の運転を開始。西日本CWM(株)経由する中国兗日CWM有限公司製造のCWMを年間約5万トン使用している。CWMバーナーは、2.5トン/h/本×4本。若松-岡山間400kmを700DWTのCWM用新造船で輸送。

上記いずれも、カーゴポンプは2軸スクリュウポンプであり、CWMの荷役は耐圧ゴムホースを介して行っており(図-5参照)、簡便な設備となっている。

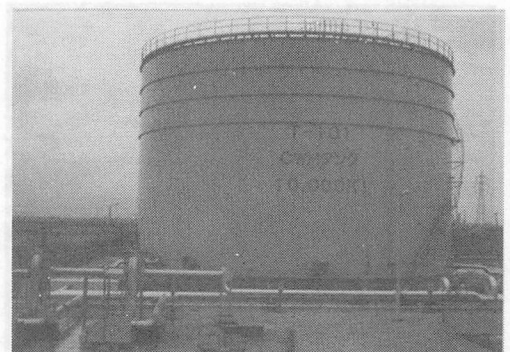


図-4 10,000Kl CWM貯蔵タンク

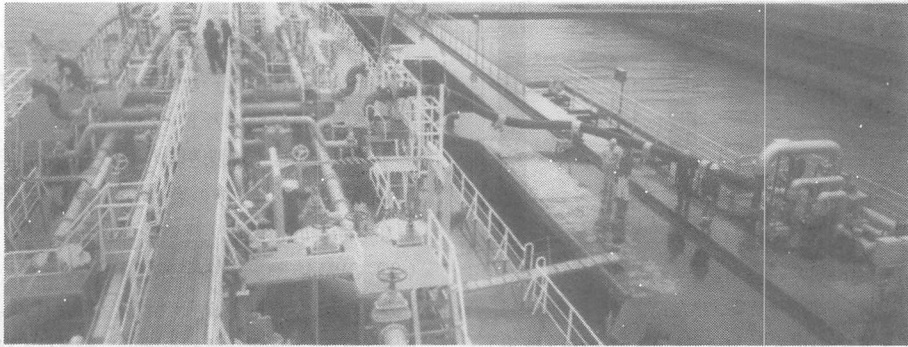


図-5 CWMの荷役 (1,000トン/h; ゴムホースを使用)

4.3 世界におけるCWM製造と燃焼の現状

現在、日本以外でCWM製造および燃焼設備を実証規模で保有しているか、あるいは何らかの開発を行っているのは、中国、アメリカ、イタリア、オーストラリア、ロシアである。これらの国における現状を下記に述べる。

(1) 中国

1980年代初頭から石油代替燃料の開発が国策としてうたわれた。これを受けて、CWM製造に関しては北京鉱業学院で基礎開発、撫順磁務局や棗荘磁務局等でパイロット規模(数トン/h)の試験が行われ、一方燃焼技術開発が浙江大学で行われてきたが、自国技術での商業規模での実証には至っていない。石油輸入国になりつつある等のエネルギー事情から、CWMへの関心は高い。CWM実用化規模の現状は下記のような。

① 兗日(えんにち)CWM有限公司(中国・兗州磁務局、日商岩井、日揮による日中合弁会社。1990年設立): 日揮の技術による年産25万トン(36トン/h)CWM製造プラントが、92年3月から運転開始。図-6参照。年

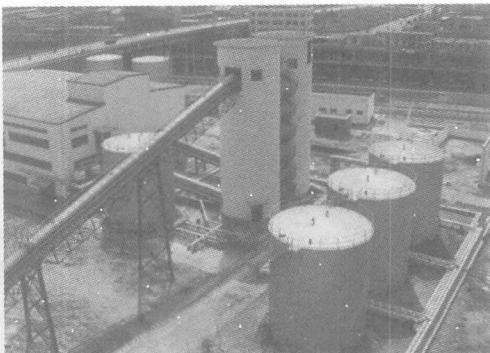


図-6 日中合弁CWM製造工場

間製造量5万トンを全量日本向けに輸出している⁷⁾。

② 北京磁務局: スウェーデンの技術による年産25万トンCWM製造設備を92年に完成しているが、需要家の関係から現在まで断続的製造。94年から北京第一造紙工場のCWM専焼ボイラ(新缶)で年間約5万トン使用予定。また、北京熱電工場でも試験焚きの計画がある。

③ 白楊河発電所: 蒸発量230トン/h油焚きボイラ(元々は石炭焚き)の4つのコーナーファイアリングの一つをCWMバーナー(最大3本)に変えて燃焼試験を92年に行った。CWM使用量は最大9.2t/h。CWM(石炭濃度=59%)は、山東省棗荘(なつめそう)磁務局八一礦が製造⁸⁾。94年以降、CWM専焼に切り替える計画がある。

(2) 米国

米国における発電所の約50%が石炭発電所であり、環境問題から「石炭」に課せられた課題は大きく、現在、DOEは「COMBUSTION 2000」と名付けた21世紀に向けての、石炭のクリーン且つ高効率発電技術開発プログラムを推進している。現在、米国におけるCWMの位置付けは次のようである。すなわち、85年以降の原油価格低下によりCWMへの開発意欲は減少し、今なお、価格面から近い将来におけるCWM市場の展開は期待薄との見方が強い。しかし一方、環境面から「クリーンコールテクノロジー(例えば、微小気泡による浮選技術、その他)」と結合した形での「高品質石炭スラリー(スーパークリーンCWM)」が新たにCWMの生きる道として注目されつつある。さらにこれに関連して、脱硫コスト、脱硝コストを考えればCWMの潜在的ポテンシャルは十分にあるとの見解も出つつある。また、米国では、年間約1億トンの選炭テーリングが捨てられているが、これらの廃炭の有効利用の一方法としてCWMが見直さ

れる動きもある。また、亜瀝青炭のスラリー化研究も行われている。

(3) イタリア⁹⁾

Enichem社石油化学工場 (Porto Torres, サルジニア島における蒸発量300トン/hのボイラ (既設の油焚の改造) 用燃料としての、年産50万トンCWM製造プラント (Snamprogetti技術による) が、93年5月に完成。重液サイクロンとオイルアグロメレーションによる脱灰プロセス (目標: 灰分10%→3%) を組み込んでいる。CWMの製造量は現在まで数千トン (脱灰なし、濃度は約63%, 粘度1200mPa・s)。94年3月までに脱灰CWMを25,000トン製造予定。今のところ、それ以上の計画は予算の関係から未定。

(4) ロシア⁹⁾

Belovoにて年間300万トン/年のCWMを製造し、Novosibirsk発電所 (220MWe×6 UNIT) 向けにCWMパイプライン (262km, 500mmφ, ポンプステーション3ヶ所) にて輸送する計画があり、その第一段階として、年間120万トン製造プラント (60トン/h×4系列 (1系列予備)) と輸送用パイプラインを86年建設開始、89年完成。各種技術的問題は解決しているが、政治・経済的問題から、パイプラインの連続運転はされておらず、93年秋までのCWM製造量は37万トンとのこと。なお、CWM技術はイタリアのSnamprogetti社が提供している。

(5) オーストラリア

ヴィクトリア褐炭の高度利用を目的に、ヴィクトリア州電力庁が中心となって、タービン用燃料としての褐炭スラリーについての研究が行われている。

5. CWMの製造プロセス

CWM技術のソフト面は、所与の石炭種に対して「粉碎粒子の適切な粒径分布」と「適正な添加剤 (分散剤と安定剤) の選定」にあり、機械的側面は「石炭の粉碎」と「石炭、水、添加剤の混合・混練」につきる。これらの要素を適切に制御することにより、高濃度・低粘性・高安定性の良質なCWMの製造が可能となる。

CWMの製造プロセスのブロックフローを、図-7に示す。プロセスによっては、これに脱灰工程が組み込まれる。粉碎、混合工程の組合せによって、多様なプロセスが存在する。

粉碎工程は、湿式粉碎と乾式粉碎があるが、現状では湿式粉碎が主流をなしている。ボールミルあるいは

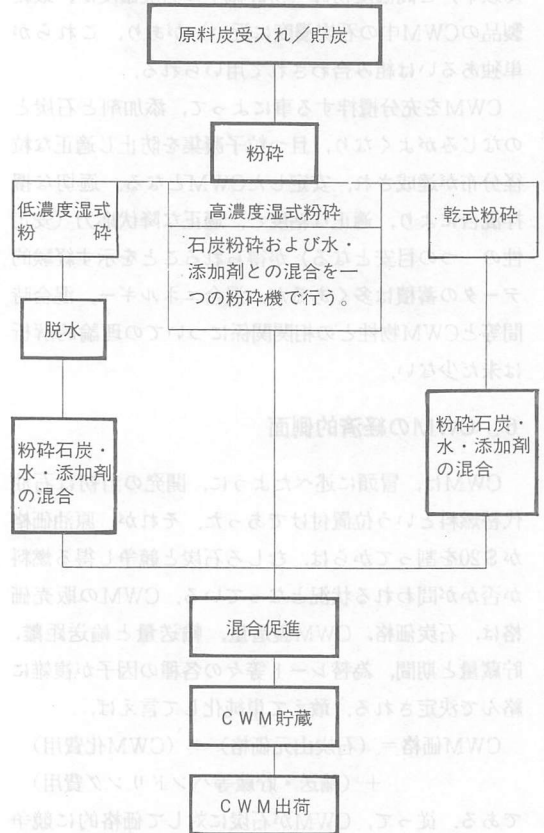


図-7 CWM製造プロセスのブロックフロー

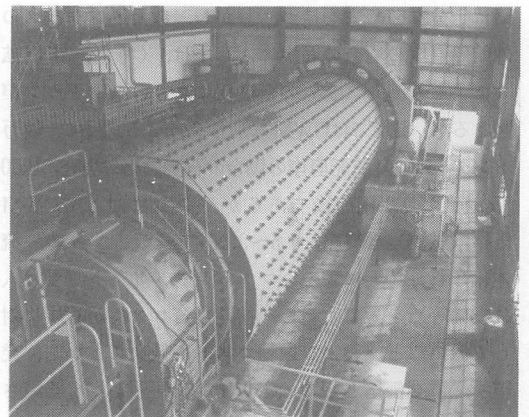


図-8 CWM製造用ボールミル

ロッドミルが多く用いられ、ミル1基あたりのCWM製造量は40~50トン/hとなっている。図-8に、発日CWM有限公司で使われているボールミルの例を示す。湿式粉碎には、低濃度粉碎 (粉碎機中の石炭濃度が概略50

%以下)と高濃度粉碎(粉碎機中の石炭濃度が、最終製品のCWM中の石炭濃度に近い)があり、これらが単独あるいは組み合わせられて用いられる。

CWMを充分攪拌する事によって、添加剤と石炭とのなじみがよくなり、且つ粒子凝集を防止し適正な粒径分布が達成され、安定したCWMとなる。適切な攪拌混合により、適正な粘度と、適正な降伏応力(安定性の一つの目安となる)が得られることを示す経験的データの蓄積は多くあるが、混合エネルギー、混合時間等とCWM物性との相関関係についての理論的解析は未だ少ない。

6. CWMの経済的側面

CWMは、冒頭に述べたように、開発の当初は石油代替燃料という位置付けであった。それが、原油価格が\$20を割ってからは、むしろ石炭と競争し得る燃料か否かが問われる状況となっている。CWMの販売価格は、石炭価格、CWM製造量、輸送量と輸送距離、貯蔵量と期間、為替レート等々の各種の因子が複雑に絡んで決定される。敢えて単純化して言えば、

$$\text{CWM価格} = (\text{石炭山元価格}) + (\text{CWM化費用}) \\ + (\text{輸送・貯蔵等ハンドリング費用})$$

である。従って、CWMが石炭に対して价格的に競争し得るのは、輸送・貯蔵等ハンドリング費用が石炭に比べて低減される場合である。具体的には、コールセンター等を経由し2次輸送される石炭に対しては、CWMは十分な競争力を持つ。しかし、数万トンクラスの外航船直岸の場合の石炭に対しては、(将来、市場拡大による物流システムの合理化によりコストダウンが図れるが)現状ではCWMは割高になる。因に、数万トンクラスの外航船直岸の場合の石炭価格は現在、1000 Kcal当たり1円前後であるが、これに対してCWM価格(試算)は概略、1.5~2.0円である。さらに、流体化されたことによるハンドリングメリット(受け入れ設備等)を考慮すると、初期投資コストが石炭に対して低いこと、および運転コストも低いことから、発電所送電端価格としてはCWMの方が石炭より低減される場合も多く存在する。

7. CWMの将来的課題

国連が提唱しているアジェンダ21によれば、現状の成長率(シナリオA)、調整成長率(同B, B1)、エコロジカルな観点をいれた成長率(同C)の下での2020年における石炭、石油使用量と発生炭酸ガス量を次の

ように予測している。

(単位:10億トン)

シナリオ	A	B1	B	C
石炭	4.9	3.8	3.0	2.1
石油	4.6	4.5	3.8	2.9
CO ₂	11	10	8.3	6.4

今後世界的に必要とされるエネルギーの85%は開発途上国においてであり、世界の化石燃料の70%が石炭であることを考えると石炭に課せられた使命は大きい。その中で、CWMが単に流体化されハンドリングが容易であることだけに甘んじていることは許されない。21世紀に向けて生き残るためには、環境汚染物質排出低減および炭酸ガス排出量低減と言う課題に応えなければならないであろう。そのためには、燃焼技術も含めた「クリーンコールテクノロジー」の一環としてのCWM技術とすることが必要である。当面の課題は、高度脱灰、脱硫技術と結合した形での「高品質石炭スラリー」の製造技術確立であり、将来的には「発電効率向上による環境問題解決型発電技術」として期待されているPFBC(加圧流動層)およびIGCC(ガス化コンバインドサイクル)等への燃料として、CWMがそれぞれの技術的要求にどう応え得るかが課題と言える。

8. おわりに

新エネルギーがエネルギーとしての地位を確立するためには、次の条件を満たす必要がある。

- ①資源として豊富に存在すること。
- ②低コストであること。
- ③需要に対して安定して供給されること。
- ④既存のエネルギー利用システムへの組み込みが技術的、経済的に容易であること。
- ⑤環境と調和が図れること。

CWMについては、①に関しては問題はない。②は、他のエネルギー価格との相対的問題である。将来、CWM市場の拡大と共に物流システムの合理化によってさらにコストは低減する。③は、既に二国間貿易商品としての実績も出ているが、将来の電力用大量需要への対応が今後の課題である。すなわち、製造場所選定、製造設備や専用タンカー建造費用等に対し必要となる数百億円以上の設備投資、物流システムの構築等々。④は、現在までの各方面での試験から技術的には問題

ないことが実証されてきた。経済的にはボイラ新設あるいは改造，受入れ設備等々，各種の設備投資が必要となる。⑤に関しては，既に述べたようなメリットがある。

現在CWMは，実証規模段階から大規模使用段階への移行時期にあるが，世界的な景気低迷と原油価格の安値安定がCWMの普及を抑えていると言える。しかし，今後21世紀に向けて「環境調和型」エネルギーとして，大規模なCWM市場が必ず拓かれるものと確信している。

参考文献

- 1) Nakabayashi, Y., et al ; Proceedings of the Sixth International Symposium on Coal Slurry Combustion and Technology, p.30 (1984).
- 2) Shirato, R., et al ; Proceedings of the Eighth International Symposium on Coal Slurry Combustion and Technology, p.30 (1984).
- 3) Miyamoto, S., et al ; Proceedings of the 13th International Conference on Coal & Slurry Technology, p. 521 (1988).
- 4) Oka, N., et al ; Proceedings of the 16th International Conference on Coal & Slurry Technologies, p.575 (1991).
- 5) Hakozaki, S., ; Preprint of Papers, Japan-Australia-China Joint Symposium on Preparation and Transportation of Coal Slurries, p.62 (1993).
- 6) Nakanishi, T., ; ibid., p. 10 (1993).
- 7) Hashimoto, N., ; Proceedings of the IEA-CLM Workshop, Florida, April 26, 1993.
- 8) Xiang Zhao, et al ; Proceedings of the 18th International Conference on Coal & Slurry Technologies, p. 369 (1993).
- 9) Ercolani, D., ; Proceedings of the IEA-CLM Workshop, Florida, April 26, 1993.

- national Symposium on Coal Slurry Fuels Preparation and Utilization, p.738 (1986).
- 3) Miyamoto, S., et al ; Proceedings of the 13th International Conference on Coal & Slurry Technology, p. 521 (1988).
- 4) Oka, N., et al ; Proceedings of the 16th International Conference on Coal & Slurry Technologies, p.575 (1991).
- 5) Hakozaki, S., ; Preprint of Papers, Japan-Australia-China Joint Symposium on Preparation and Transportation of Coal Slurries, p.62 (1993).
- 6) Nakanishi, T., ; ibid., p. 10 (1993).
- 7) Hashimoto, N., ; Proceedings of the IEA-CLM Workshop, Florida, April 26, 1993.
- 8) Xiang Zhao, et al ; Proceedings of the 18th International Conference on Coal & Slurry Technologies, p. 369 (1993).
- 9) Ercolani, D., ; Proceedings of the IEA-CLM Workshop, Florida, April 26, 1993.



図1 煤質検査用試料採取器の構造図
 1. 試料採取器の構造図
 2. 試料採取器の構造図
 3. 試料採取器の構造図
 4. 試料採取器の構造図
 5. 試料採取器の構造図
 6. 試料採取器の構造図
 7. 試料採取器の構造図
 8. 試料採取器の構造図
 9. 試料採取器の構造図
 10. 試料採取器の構造図