

© 1989 ISIJ

解 説

石炭・水スラリー (CWM) の利用と課題

薄 井 洋 基*

R & D and the Use of Coal-Water Mixtures

Hiromoto USUI

1. はじめに

石油需給の緩和からエネルギー供給に対する危機感が薄れている昨今であるが、石油資源の枯渇はいずれ訪れる問題であり、石油代替エネルギーの利用技術の開発を積極的に進める必要がある。石炭資源は地球上に石油よりも豊富に埋蔵されており、現在の技術の延長上で利用可能な石油代替エネルギーの最も有力なものの一つである。第2次石油ショックの後で多くの微粉炭焚き火力発電所が建設され、現在も稼動中であるが、石油価格の低迷している現在では新しい石炭火力の建設はそれほど魅力的でないかも知れない。しかしながら近い将来石油価格が上昇してきた時に、新しい石炭火力発電システムにいつせいに転換することが予想され、次期石炭火力発電として期待されているのが石炭ガス化複合発電システムである。石炭ガス化複合発電システムの高効率化には高温に耐えるガスタービンの開発と石炭ガス化プロセスの開発が必要である。

一方、固体である石炭のハンドリングは石炭の輸送・貯蔵時にコスト増を招き、他のエネルギー資源との競争性を弱める。そこで石炭を山元で微粉碎し、適当な溶媒と混合してスラリーとし、石油と同様にパイプライン輸送・タンカー輸送を行いハンドリングコストの大幅な削減を行うことが検討されている¹⁾。図1に示すような石炭スラリー利用システムが可能になれば石炭スラリーの製造コストは余分に必要ではあるが、輸送・貯蔵費の削減により製造コスト増分を補える可能性がある。このよ

うに石炭のガス化・液化等を行う以前にスラリー化による石炭の流体化を行うことは石炭転換利用を加速することとなると考えられ、活発な研究開発が続けられている。スラリー化の際の溶媒として現在最も有望視されているのは水であり、この場合石炭-水スラリー (CWM; Coal-Water Mixture の略) と呼ばれる。とくに石炭濃度が 70 wt% 程度のスラリーは適当な粉碎と添加剤の使用により写真1に示すように重油とほぼ同様な流動性を示すものが得られる。またこのスラリーは直接燃焼が可能であり²⁾、燃焼以外にも種々の用途が考えられており、各方面での研究開発が続けられている。本解説では

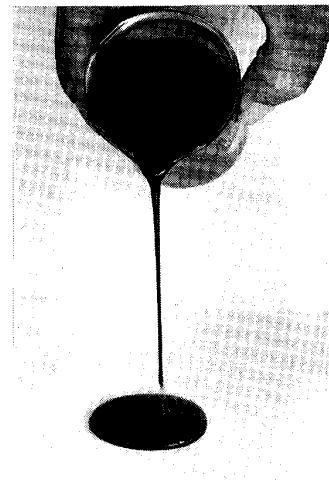


写真 1 CWM (石炭-水混合物)

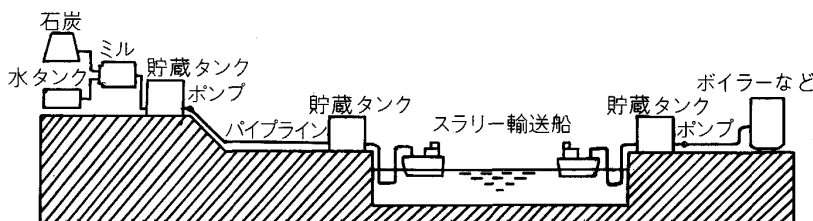
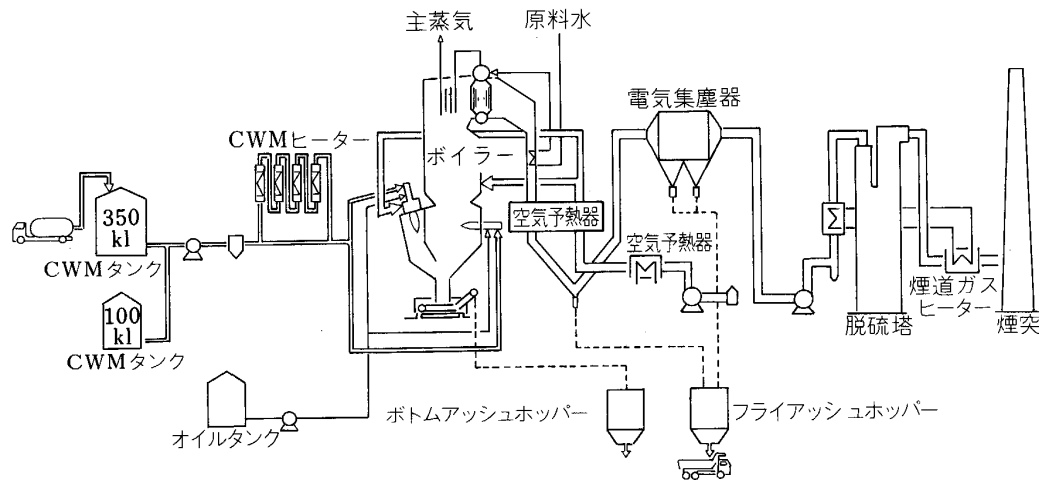


図 1 石炭スラリーの山元製造によるトータル利用システム

昭和 63 年 8 月 29 日受付 (Received Aug. 29, 1988) (依頼解説)

* 山口大学工学部助教授 工博 (Faculty of Engineering, Yamaguchi University, 2557 Tokiwadai Ube 755)

Key words : energy ; coal ; coal utilization ; slurry ; coal-water mixture.



(日立造船(株), NEDO 主催: Proc. of IEA COM/CLM Meetings, Tokyo (1988), p.67 より引用)

図 2 CWM 直接燃焼プロセスの例

CWM の使用目的別の研究開発の現状を概説し、次に CWM 製造技術上の問題点について述べる。

2. CWM 利用プロセス

2.1 CWM 直接燃焼

CWM の直接燃焼が可能であることは実証されており²⁾³⁾、現有ボイラーに対して、(1)新しくスラリー用ポンプ、配管系を設置、(2)重油タンクをスラリー用タンクに改造、(3)オイルバーナーを CWM 用バーナーに交換、(4)空気予熱器を改造、(5)灰分の処理システムを付加する等の改良を加えることにより重油から CWM への燃料転換が可能である。直接燃焼のプロセス例を図 2 に示した。実際に燃料の転換が行われるには技術的な転換の可能性に加えて、石油価格の変動・CWM 製造コストの低減・対象とするボイラーの規模等により CWM 転換の優位性が確保されなければならない。一例として IEA (International Energy Agency, 国際エネルギー機構) の最近の評価例⁴⁾を図 3 に示した。この図は残渣油と CWM との価格差が 1.5 \$/GJ の場合、2000 MW のボイラーに対して評価されたものである。これより新規に建設する場合は微粉炭焼きボイラーのみが現有重油焼きボイラーを続けて使用するよりも有利であることを示している。CWM への転換が可能であるためには、図 1 に示したような CWM のトータル利用システムが確立されて CWM 価格がもつと低下する必要がある。

2.2 石炭ガス化プロセス用湿式原料

石炭ガス化プロセスは先に述べた石炭ガス化複合発電システムまたはガス化による水素・メタノール等の化学原料の製造に関連して考えられている。石炭ガス化複合発電の実証プラントとして有名なクールウォーター石炭ガス化プラントの系統図を図 4 に示す。石炭ガス化炉は一部実用化されているが^{5)~8)}、高効率のガス化炉として

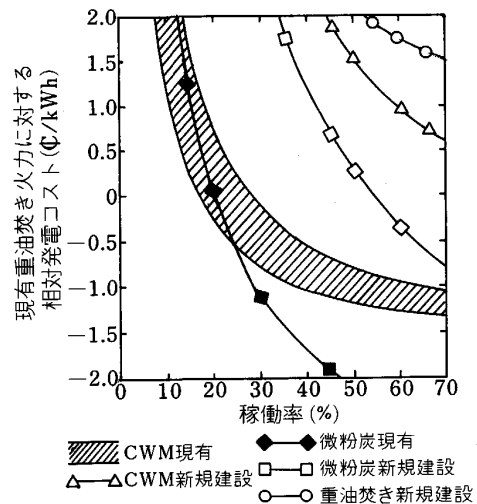


図 3 燃料転換の際の現有重油焼き火力発電に対する相対発電コスト

最近検討される炉は加圧炉がほとんどであると考えてよい。このような高圧炉内に固体である石炭を原料として供給することは一般にかなりの困難を伴い、原料石炭の供給技術の開発は石炭ガス化主要構成技術の一つに数えられる。原料供給方式としては湿式と乾式の両方が考えられる。

湿式供給方式とは石炭スラリーを原料として使用するもので、現在までの経緯から CWM が今後の湿式原料の主流となると思われる。CWM を用いた場合ブランチャーポンプ (Cool water⁵⁾)、ダイヤフラムポンプ (宇部アンモニア(株)⁶⁾)、ハイドロホイスト (日立(株)) 等によつて容易に昇圧され、原料供給の制御が安全かつ容易であるという長所がある。また水スラリーであるため 70 wt% CWM で考えた場合、水の蒸発潜熱ロスが石炭入熱の約 3% ある。これを少なくして効率を上げるた

る。他の非鉄金属用の炉、キルンなどにも CWM の使用が可能と思われる。

2.4 ディーゼルエンジン用燃料としての CWM 使用

ディーゼルエンジン用燃料として CWM を使用した例が SHANG ら¹²⁾により報告されている。短い燃焼時間内に燃焼を完了する必要があるために、通常の CWM よりも平均粒子径を小さくする必要がある。実際には平均粒子径が 3 μm 程度にとられており、このような CWM は Ultrafine coal-water mixture と呼ばれている。またシリンダー部の摩耗を防ぐために CWM の脱灰を十分行うとか、エンジンの耐摩耗材質を考えるとかの考慮が必要であるとされている。

3. CWM 製造技術

3.1 CWM の満たすべき条件

さきに述べたように CWM 使用の経済性優位が成り立つためには種々の目的に応じた CWM の製造技術を確立し、CWM 利用のトータルシステムを確立することが重要である。CWM に対する要求項目としては、1) 高濃度スラリーであること。(石炭重量パーセントで 70 wt% 以上) 2) 低粘度であること。(室温において通常のせん断速度域で 1 Pa·s 以下) 3) 沈降安定性が保たれること。(タンクなどでの貯蔵、船舶・タンクローリーなどでの輸送時に固体である石炭の沈降が防げること)、などが挙げられる。また具体的な検討事項として、a) 高濃度化を可能とする最適粒度分布の決定と、それを実現するための粉砕機的设计^{13)~15)}、b) スラリーの低粘度化を実現するための分散用添加剤の開発¹⁶⁾¹⁷⁾、c) 安定なスラリーを得るための安定化用添加剤の開発と pH 調整などによる表面状態の調整¹⁸⁾¹⁹⁾、などが研究開発の対照となつている。上記の問題点についてはさきに総説²⁰⁾で述べられており、現在までに高濃度化・低粘度化のための粉砕プロセスの最適化と分散用添加剤の開発はほぼ実用上問題のないところまで来ているようである。ここでは残された問題として特に CWM の安定性を達成するための技術開発のその後の進展状況について述べる。

3.2 CWM の安定化技術

通常コロイド化学で安定なコロイドと言え、粒子間反発力により凝集を妨げ各粒子が分散した状態をさす。ところが CWM の場合、粒子径が 0.1~数百 μm と大きい、表面電位を調節して非常に分散性がよい状態にすると石炭粒子が沈降して圧密層を形成することが多い。それゆえ安定な CWM とはある程度凝集による内部構造を持つように調整されたものであつて、これにより石炭粒子の沈降を防止しようとするので、通常のコロイド溶液とは安定性に及ばず分散・凝集の効果が逆になるので注意を要する。ただし CWM の最大粒子径・平均粒子径が小さい場合には分散性を良くするだけで流動性

・安定性が共に良くなる場合もあるようで、このような CWM の安定性は上述と逆の理由付けで説明されている。

CWM の安定性の発現機構はまだ良く理解されていないのが現状であると思われるが、石炭粒子間構造の強弱が安定性に対する最も直接的なパラメーターであると思われる。中ら²¹⁾は CWM の降伏値と安定性とに間に定量的な関係が見いだされるとしており、Usui ら²²⁾は CWM のチキソトロピーモデルパラメーターの一つである最終到達内部構造応力により安定性を評価できるとしている。いずれにしても石炭粒子間構造の生成機構に関する基礎研究は今後も続ける必要があるものと思われる。

CWM の安定化を促進するための粒径分布の調整方法については YUCEL ら²³⁾、大佐々ら²⁴⁾により議論されている。微粉の割合が多くなるほど内部構造ができやすく、安定な CWM が得られやすいが、それに伴い流動性も失われる傾向がある。どのような評価基準で安定性・流動性を兼ね備えた最適 CWM を得るのかは今後に残された問題である。

安定化用添加剤の最近の検討結果は、非イオン系界面活性剤¹⁸⁾、天然多糖類・膨潤性粘土²⁵⁾、塩類の添加²⁶⁾などにより CWM の安定化が達成できることを明らかにしている。また溶出灰分が CWM の安定性に大きく影響することが指摘されており²⁷⁾、pH の調整も安定な CWM を得るために重要な因子であることが分かつてきている¹⁹⁾。しかしながら多様な石炭を原料として CWM を製造することは種々の困難を伴い、個々の石炭のスラリー化をケースバイケースで検討しているのが現状である。

CWM の安定性の評価は大きく分けて静止安定性と振動安定性の二つが考えられる。静止安定性はタンクに貯蔵中の石炭粒子の沈降防止に関連しており、振動安定性は船舶・タンクローリーなどでの輸送中の石炭粒子の沈降防止に関連している。静止安定性試験は実験室中の静止容器に CWM を入れておくだけで沈降実験ができるが、振動安定性試験は簡単ではない。実験室規模での振動安定性試験機が試作され、評価基準となるべき振動条件が提案されているが²⁸⁾²⁹⁾、最終的には船舶・トラックによる輸送試験が行われるべきであろう。

4. おわりに

はじめに述べたようにエネルギー供給の緩和されている現状では石炭への急速なエネルギー転換は望めないであろう。しかしながら石炭資源の埋蔵量の豊富さ、石炭利用技術の確実さのために、将来的に石炭の利用が急増してくることは十分予想される。当面の与えられた時間的余裕を有効に活用して CWM による石炭利用技術をはじめ、よりクリーンで効率のよい石炭転換技術の研究

開発を進めるべきであろう。

文 献

- 1) 梶内俊夫: 石炭化学工学 (化学工学協会編) (1986), p. 35 [化学工業社]
- 2) T. KIGA, H. SAITOH, S. MIYAMAE, K. TAKAHASHI and T. KATAOKA: Proc. of 7th Int. Symp. on Coal Slurry Combustion Technology (1985), p. 631
- 3) K. SATO, A. BABA, K. OKIURA, Y. TAKAHASHI and K. SHOJI: Proc. 8th Int. Symp. on Coal Slurry Fuels Preparation and Utilization (1986), p. 178
- 4) J. R. SIEMON: IEA/ICEAS-E-8 (1985)
- 5) 荒木成光: 燃料協会誌, 64 (1985), p. 973
- 6) 松浦庸夫: 化学工学協会第 18 回秋期大会講演要旨集 (1984), SC118
- 7) J. P. HENLEY and D. G. SUNDSTROM: Proc. 4th Annual Pittsburgh Coal Conference (1987), p. 497
- 8) A. E. COVER and M. J. van SICKELS: Proc. 4th Annual Pittsburgh Coal Conference (1987), p. 504
- 9) G. ROFFE: US DOE-METC-85-6023 (1985)
- 10) 薄井洋基, 佐野雄二: 化学工学協会第 21 回秋期大会講演要旨集 (1988), SN-301
- 11) S. SAKURAI, H. TAKAHASHI and A. SUEMORI: Ironmaking Steelmaking, 10 (1983), p. 137
- 12) S. SHANG, S. HOU, H. GO, T. FONG and C. WEI: Proc. 8th Int. Symp. on Coal Slurry Fuels Preparation and Utilization (1986), p. 513
- 13) J. E. FUNK: USP 4,282,006 または公表特許昭 56-501568
- 14) 薄井洋基, 佐野雄二, 沢田守彦, 本郷 孝: 化学工学論文集, 12 (1986), p. 51
- 15) 吉川博文, 武崎 博, 大谷義則, 正路一紀: 化学工学論文集, 14 (1988), p. 470
- 16) A. NAKA, H. HONJO, T. IMAMURA and Y. MIZUNO: Proc. 4th Int. Symp. on Coal Slurry Combustion (1982), paper V-3
- 17) 中 昭廣, 杉山 浩, 西崎勝一, 杉山友男: 油化学, 35 (1986), p. 188
- 18) 中 昭廣, 西田善久, 村上 修, 杉山 浩: 日本化学会誌 (1986), p. 1342
- 19) 東谷 公, 鹿毛明子, 栗田直明: 化学工学論文集, 5 (1986), p. 557
- 20) 薄井洋基: 化学工学, 50 (1986), p. 242
- 21) 中 昭廣, 杉山 浩, 西田善久: 日本化学会誌 (1986), p. 899
- 22) H. USUI, T. SAEKI and Y. SANO: J. Chem. Eng. Jpn., 21 (1988), p. 602
- 23) O. YUCEL and T. DAVAK: Proc. 7th Int. Symp. on Coal Slurry Combustion Technology (1985), p. 91
- 24) 大佐々邦夫, 三分一政男, 中倉英雄, 田畑一昭: 化学工学論文集, 13 (1987), p. 749
- 25) H. USUI, K. MACHIHARA and Y. SANO: J. Chem. Eng. Jpn., 20 (1987), p. 192
- 26) R. KAJI, Y. MURANAKA, H. MIYADERA and Y. HISHINUMA: AIChE J., 33 (1987), p. 11
- 27) 梶 隆一, 村中 廉, 宮寺 博, 菱沼孝夫: 燃料協会誌, 66 (1987), p. 842
- 28) M. ITAI, Y. KATO, H. SOMA and K. NAGATA: Proc. 8th Int. Symp. on Coal Slurry Fuels Preparation and Utilization (1986), p. 879
- 29) 薄井洋基: ケミカルエンジニアリング, 32 (1987), p. 40