

ジウム講演予稿集, 燃料電池開発情報センター (FCDIC) (2008)

6.1.3 固体高分子形燃料電池

地球環境問題に対する世界的な関心の高まりや原油高騰を背景に、固体高分子形燃料電池 (PEFC, PEMFC) の開発が進められている。日本でも燃料電池自動車、家庭用・業務用コジェネシステム、携帯情報機器用等の PEFC の実用化に向けた研究開発が国や民間で活発に行われ進展してきており世界をリードしている。燃料電池自動車および家庭用 PEFC コジェネシステムは既にリース契約の形で限定的な市場導入が始まっており、燃料電池を搭載したバスも試験的に運行されてきている。燃料電池自動車の実証試験が経済省の補助事業として各地で実施されている (JHFC 水素・燃料電池実証プロジェクト¹⁾)。国は燃料電池開発を積極的に推進する方向で、2007年に提案された「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」において CO₂ を大幅削減する 21 の革新的技術の中に燃料電池自動車と定置用燃料電池が選定されており、「次世代自動車燃料イニシアティブ」でも燃料電池・水素社会実現に向けたプロジェクトの推進があげられている。

しかしながら PEFC が本格的に普及するためには、耐久性向上及び大幅な低コスト化等で現状レベルよりも一層の技術向上が必要なのが実情で、今後さらに実用化促進のための技術開発を行う必要がある。経済産業省は「新エネルギー技術開発プログラム」の中で積極的に PEFC 関連プロジェクトを推進しており、NEDO はこれを受けて「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発」として耐久性・信頼性向上や低コスト化に資するものを中心に、実用化・普及のための技術開発プロジェクトを進めている²⁾。産官学連携コンソーシアム形式で劣化機構解明や加速試験法開発、耐久性向上のための研究開発を行っている。また、コスト低減については低価格部材の開発や生産技術開発等に取り組んでいる。特にポンプ・ブローア・弁・センサ等補機類の開発については、導入初期段階ではこれらを共用化することを基本にシステムメーカーが連携・分担して補機メーカーに再委託するコンソーシアムプロジェクトが実施されコストダウンに大きく貢献する成果があがっている。さらに、白金代替触媒等難度の高い長期的技術課題や研究開発ツールとなる高度な解析評価技術について、主に大学や研究機関に委託して基礎基盤的な取り組みを行っている。一方、1 kW 級定置用燃料電池システムの大規模かつ広域的な実証研究が実施されており、17年度に600万円の助成金(上限)で480台、18年度には450万円で777台、19年度にはさらに助成を350万円に下げて930台が設置され一般家庭等の実際の使用状況における実測データを蓄積して分析評価し課題抽出がなされている (NEDO「定置用燃料電池大規模実証事業」)³⁾。さらに、水素社会構築のためのインフラに係る法令等の再点検に関連するデータや、高度な技術基準、標準化案を国内及び国際標準に提案するためのデータの取得、試験・評価手法の開発等も行われている。携帯用燃料電池の開発及び標準化についてもNEDO事業として行われ、「新利用形態燃料電池標準化等技術開発」として実施されている²⁾。

文献: References

- 1) JHFC, 平成19年度JHFCセミナー講演資(2008) http://www.jhfc.jp/data/seminar_report/06/exhibition.html
- 2) NEDO, パンフレット「燃料電池・水素技術開発2008」, <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/pamphlets/nenryo/nenryo2008.pdf>
- 3) NEF, 平成19年度定置用燃料電池大規模実証事業報告会資料, <http://happyfc.nef.or.jp/pdf/19fc.pdf>

6.2 流動床燃焼

国際会議などの動向

最近の流動層燃焼 (FBC) の研究は、主に常圧流動層燃焼 (AFBC) を対象としており、加圧流動層燃焼 (PFBC) についての研究は少ない。燃料として、バイオマス、廃棄物を対象としたものが多く見られる。CO₂ 回収が可能な新しい FBC の方式として、金属酸化物を酸素キャリアとしたケミカルループ燃焼 (CLC または O₂ Looping Cycle と呼ばれる)、CaO 等の CO₂ 吸収剤を用いた分離 (CO₂ Looping Cycle と呼ばれる)、CO₂ 希釈 O₂ による流動層燃焼 (O₂/CO₂ 燃焼) が研究されている。

第12回流動層国際会議 (12th Int. Conf. on Fluidization) が、カナダのバンクーバーで開催された。本会議の Web サイトは http://services.bepress.com/eci/fluidization_xii/ である。展望講演のひとつは “Fluidized bed combustion for clean energy” であり、AFBC、O₂/CO₂燃焼、CLC が取り上げられ、流動状態が燃焼に及ぼす影響について論じられた¹⁾。流動の影響として、水平方向の燃料の混合と空気の浸透の重要性が論じられた。O₂/CO₂ 燃焼では微粉炭燃焼より FBC の方が供給 O₂ 濃度を上げられ、装置のコンパクト化が期待できるとのことである。

2007 Int. Conf. on Coal Science & Technology がイギリスの Nottingham で開催された。O₂ Looping cycle と CO₂ Looping cycle についての展望講演があったが、その内容の大部分については別途学術誌にて発表されるのでそちらを参照されたい²⁾。

1. 石炭の流動層燃焼装置の研究開発

2 台の 235MWe 循環流動層燃焼装置 (CFBC) を用いて底部分散板のガスノズル形状を変えて、燃焼、ガス排出に及ぼす影響が調べられたとともに、底部での温度、ガス流れのモデル化がなされた。Pig tail 型ノズルの方が Arrow head 型ノズルより NO_x 排出が低く炉内温度も低めになった³⁾。装置が大型になるほど燃料粒子の水平方向分散が難しくなるが、燃料を模擬した粒子の気泡流動層内水平方向分散のコールドモデルによる検討⁴⁾、燃料粒子の水平方向混合のモデルと 12MWth の結果との比較⁵⁾ がなされた。石炭を炉内に投入した際の粒子破碎の基礎研究として、加熱時の脱揮発化による粒子内部圧力を予測するためのモデルが提案され、粒径、温度依存性が示された⁶⁾。

石灰石による炉内脱硫に関して、石灰石の磨耗・破碎特性の評価法としてのインパクトローディング法の提案⁷⁾、石灰石

磨耗が炉内で起こったときの炉内脱硫速度に及ぼす影響が検討された⁸⁾。PFBCにおける石灰石磨耗速度が粒径の2乗に比例すると仮定すると、炉内粒子の粒度分布と脱硫特性の両方を説明できることがモデル計算で示された⁹⁾。また、石灰石の利用効率を最大にする最適粒径を与えるモデルが提案された¹⁰⁾。100MWeCFBCで石油コークスを燃焼した際の炉内デブリットの分析では、CaSO₄のシタリングが析出の原因であり、融点の低いバナジウムの影響はないことが分かった¹¹⁾。

温室効果ガスであるCH₄、N₂Oの大型流動層燃焼装置からの排出についてFinlandで調査され、CH₄は1~4 mg/MJfuel、N₂Oは30mg/MJfuel(石炭焚CFBC)~3 mg/MJfuel(ピート、バイオマス焚BFBC)であることが報告された¹²⁾。

2. バイオマス・廃棄物の燃焼

流動層でのバイオマス・廃棄物の燃焼の問題のひとつがアルカリに起因する流動媒体の焼結による流動停止ならびに伝熱管へのアルカリ析出である。対策法として木質バイオマスを燃焼する35MW(26MWth+9MWe)CFBCにKaolinの微粉(2μm以下55%)がフライアッシュ発生量とほぼ同じ供給速度で供給された。Kaolinは非常に細かくてほとんど飛び出すものの、アルカリトラブルに対する効果が見られた¹³⁾。石炭や汚泥をバイオマスと循環流動層で混焼すると伝熱管への粒子析出を防止できるが、石灰石供給は析出防止に効果はなかった¹⁴⁾。1123Kでのガス状NaClを捕集するための吸収材としてカオリナイト等6種を試験した結果、活性アルミナが優れていることが分かった¹⁵⁾。アルカリ金属の塩化物の付着による伝熱管腐食防止のため、(NH₄)₂SO₄の水溶液を高温排ガスに吹き込み塩化物を硫酸塩にするとともに、NO_xを還元する方法が提案され、パークを燃焼する96MWthCFBCで試験が行われ、粒子析出の低減と管材料テストピースの腐食低減が確認された¹⁶⁾。また、HCl、SO₂を添加したときのカリウムの炉内灰、フライアッシュへの移行等の挙動について大型CFBCによる実験が行われた¹⁷⁾。104MWthCFBC(コンパクトタイプセパレーター付き)で木質バイオマスを燃焼したときのサイクロン内析出物の分析が行われ、アルカリが蓄積したベッド材(砂)の析出が見られたと報告された¹⁸⁾。

粒子の焼結による流動不良を圧変動のカオスを用いて早期検出する方法が、80MWthバイオマス流動層燃焼でテストされた¹⁹⁾。

バイオマスの燃料としての特徴は石炭と比較して揮発分が多いことであり、フリーボードでの燃焼が増える、供給速度の変動が燃焼状態の変動にダイレクトに影響するなどとして現れる。バイオマスのCFBC燃焼時で、負荷変動、燃料性状変動の動的解析がなされ小型装置と大型装置で比較された²⁰⁾。燃料供給速度変動時の炉内圧力変動、局所的ガス濃度変動が12MWthCFBCで測定された²¹⁾。また、揮発分を捕集するとともに伝熱係数を低減できる方法として多孔質粒子を流動媒体に用いる方法が検討された^{22) 23)}。揮発分を捕集した多孔質粒子を流動層内水平方向分散速度測定へ適用することが提案された²⁴⁾。

下水汚泥もバイオマスの1種であり、FBCの対象となる。汚泥の流動層燃焼で流動媒体(シリカ)の焼結を起こす原因としてFe₂O₃とアルカリのリン酸塩があることが指摘された²⁵⁾。また、汚泥灰が炉内に蓄積するとNO_x排出が増加し、CFBCよりBFBCの方がNO_x増加が顕著に起こったが、これはガス流速が低いと灰磨耗が遅くなって炉内に灰が蓄積しやすいと説明された^{26) 27)}。

FBCに限ったことではないが、燃料に含まれる重金属には水銀等の揮発しやすい物があり、フライアッシュや活性炭を用いた燃焼排ガスからの除去について研究がなされている^{28)~30)}。また、バグフィルターを通過後にガス状物質が凝縮して生成する凝縮性粒子状物質の測定法の評価がなされ、RDF排ガスを用いた小型装置の研究ではCd、Pb、Znがフィルターを通過しやすいことがわかった³¹⁾。また、廃棄物のCFBCと火格子燃焼が大型装置で行われ、重金属のガス中粒子への排出、1μm以下への濃縮などについて比較がなされた³²⁾。

また、バイオマスの流動層転換技術においては、バイオマスの形状が石炭等に比べて多様であることから、流体力学的挙動が(球形粒子に近似できる)石炭等とかなり異なる。バイオマスを想定した非球形粒子の流動化、流動層内粒子混合等の流体力学的性質についての研究のレビューがCuiによってなされた³³⁾。

3. 新しい流動層燃焼方式(CO₂回収燃焼方式)の研究

CLCの研究では、酸素キャリア粒子の調製から、小型装置による連続実験へ研究方向がシフトしてきている。メタンを用いた10kWh CLCでCu系を用いた連続運転³⁴⁾、300Wh CLCによるFe系粒子を用いた連続運転³⁵⁾、NiO、Fe₂O₃/ベントナイト粒子を用いた2重円筒型気泡流動層の連続・半連続実験³⁶⁾、石炭ガス化を想定した模擬合成ガスを用いた500Wh CLCでCu、Ni系粒子を用いた連続運転³⁷⁾がなされた。合成ガスを燃料とする加圧CLC(1-2MPa、1400K程度)を想定し、Cu、Ni、Fe系粒子適用が検討された³⁸⁾。固体燃料である石油コークスを用い、酸素キャリア(Fe₂O₃/MgAl₂O₄)粒子共存下でガス化して酸素キャリアと反応させる方法が試験され、炭素のガス化が律速になること、SO₂濃度が高いほど反応が早くなったと報告された。新しい酸素キャリアとしてCo-Ni系粒子、スピネル担持Ni系粒子も提案された^{39) 40)}。酸化側高速流動層、還元側気泡流動層のCLCのモデル化がなされた⁴¹⁾。

CaO等のCO₂吸収剤を用いた排ガスからの分離については、高温CO₂中で原料をか焼する必要があるが、か焼条件、原料、共存SO₂、水蒸気、加圧と反応性の関連が検討された^{42)~46)}。CaOの磨耗特性も検討され、最初の数サイクルで破砕が起きるがその後は磨耗が起きること、ごくわずかの硫酸化で磨耗速度を減らせることが分かった⁴⁷⁾。繰り返し利用や硫酸化で反応性の低下した粒子を200℃の水蒸気で再活性化できることが報告された⁴⁸⁾。PFBCにCaO-CO₂吸収サイクルを適用した場合のコスト試算では、本方式のコストが23.7カナダドル/tCO₂であるのに対して、他方式(の文献値)では39~90カナダドル/tCO₂であることから、本方式に優位性があるとされた⁴⁹⁾。CaO

再生のための流動層反応装置の新しい形式として、櫛型にして面積を増やした伝熱壁を通じて空気燃焼流動層とCaO再生熱分解炉を接触させて熱供給を行う方法が提案され、そのための基礎研究として櫛型部を模擬した2次元流動層内部での粒子の水平方向拡散が測定された⁵⁰⁾。

O₂/CO₂燃焼の小型装置実験結果では、空気燃焼の場合と比較した脱硫、脱硝の効果は、燃料(瀝青炭、亜瀝青炭)によって異なった⁵¹⁾。また、パイロットスケールで排ガス循環をすると脱硫が良くなることが報告された⁵²⁾。

文 献：References

- 1) Johnsson, F., *Fluidization XII*, p.47 2) Anthony, E.J., *Ind. Eng. Chem. Res.*, **47**, 1747, 2008 3) Mirek, P., *Fluidization XII*, p.969 4) Pallares, D., *Fluidization XII*, p.929 5) Pallares, D., *Fluidization XII*, p.953 6) Paprika, M.J., *Fluidization XII*, p.985 7) Scara, F., *Energy Fuels*, **21**, 2566 8) Saastamoinen, J., *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**, 1079 9) Saastamoinen, J., *Chem. Eng. Sci.*, **62**, 574 10) Saastamoinen, J., *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**, 7308 11) Anthony, E.J., *Fuel Process. Technol.*, **88**, 535 12) Tsupari, E., *Int. J. Greenhouse Gas Control*, **1**, 289 13) Davidsson, K.O., *Energy Fuels*, **21**, 1959 14) Davidsson, K.O., *Energy Fuels*, **21**, 3180 15) Li, Y., *Energy Fuels*, **21**, 3259 16) Brostrom, M., *Fuel Process. Technol.*, **88**, 1171 17) Davidsson, K.O., *Energy Fuels*, **21**, 71 18) Tranvik, A.C., *Energy Fuels*, **21**, 104 19) Nijenhuis, J., *Chem. Eng. Sci.*, **62**, 644 20) Nevalanien, H., *Fuel*, **86**, 2043 21) Johansson, A., *Chem. Eng. Sci.*, **62**, 550 22) Shimizu, T., *Chem. Eng. Sci.*, **62**, 5549 23) Winaya, I.N.S., *Chem. Eng. Technol.*, **30**, 1003 24) Winaya, I.N.S., *Powder Technol.*, **178**, 176 25) Shao, J., *Energy Fuels*, **21**, 2608 26) Shimizu, T., *Fuel*, **86**, 957 27) Shimizu, T., *Fuel*, **86**, 2308 28) Suarez-Ruiz, I., *Energy Fuels*, **21**, 59 29) Lopez-Anton, M.A., *Energy Fuels*, **21**, 99 30) Scala, F., *Fluidization XII*, p.593 31) Tsukada, M., *J. Chem. Eng. Jpn.*, **40**, 869 32) Lind, T., *Fuel Process. Technol.*, **88**, 737 33) Cui, H., *Chem. Eng. Sci.*, **62**, 45 34) de Diego, *Fuel*, **86**, 1036 35) Abad, A., *Fuel*, **86**, 1021 36) Son, S.R., *Fluidization XII*, p.961 37) Garcia-Labiano, F., *Proc. Int. Conf. Coal Sci. Technol. 2007* (以FICCST2007と略記), 2A5 38) Abad, A., *ICCST2007*, 1P18 39) Hossain, M.M., *Chem. Eng. Sci.*, **62**, 5464 40) Erri, P., *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**, 8597 41) Xu, M., *Fluidization XII*, p.921

- 42) Wang, Y., *Energy Fuels*, **21**, 3317 43) Grasa, G., *Energy Fuels*, **21**, 3560 44) Alvarez, D., *Energy Fuels*, **21**, 1534 45) Wu, S.F., *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**, 7896 46) Sun, P., *Energy Fuels*, **21**, 163 47) Jia, L., *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**, 5199 48) Miltner, M., *Appl. Therm. Eng.*, **27**, 1138 49) MacKenzie, A., *Energy Fuels*, **21**, 920 50) Grasa, G.S., *Chem. Eng. Sci.*, **62**, 619 51) Jia, L., *Energy Fuels*, **21**, 3160 52) Pikkariainen, T., *ICCST2007*, 4A3

6.3 ガスタービン発電

1. 市場の動向

2006年6月から2007年5月に全世界での出力1MW以上の発電用ガスタービン発注台数は916台で前年実績(831台)に対し10%の増加。出力ベースでは58.358GWと前年実績(42.020GW)に対し39%の大幅増となった(図1参照)¹⁾。台数ベースに対し出力ベースの増加率が大きく60MW以上の大型機種の発注台数が増加している。台数、出力は2000年から2001年の電力バブル以前の1998~99年レベルに回復し増加傾向が継続し今後も安定的な市場拡大が期待されている。地域的に見ると北米地域での増加が目立つ。Dual Fuel 焚きのピークカットプラントが増加しており昨年までとは傾向が異なる。

一方、国内のガスタービン生産台数は2005年に対し台数、総出力共に(437台→420台, 5,171MW→4,635MW)わずかに減少した。用途別では国内の自家発電用の台数が減少したにもかかわらず総出力は増加しており、自家発電用ガスタービンが大型化している現われと考えられる²⁾。

2. 研究開発の動向

ALSTOM社が高温部の冷却をGEのH Systemの様な蒸気冷却ではなく空冷とし、コンバインドサイクル効率60%達成を狙ったSGT5-8000Hの商用運用を2007年12月より開始した³⁾。一方、GEのH System 2番目のプラントである東京電

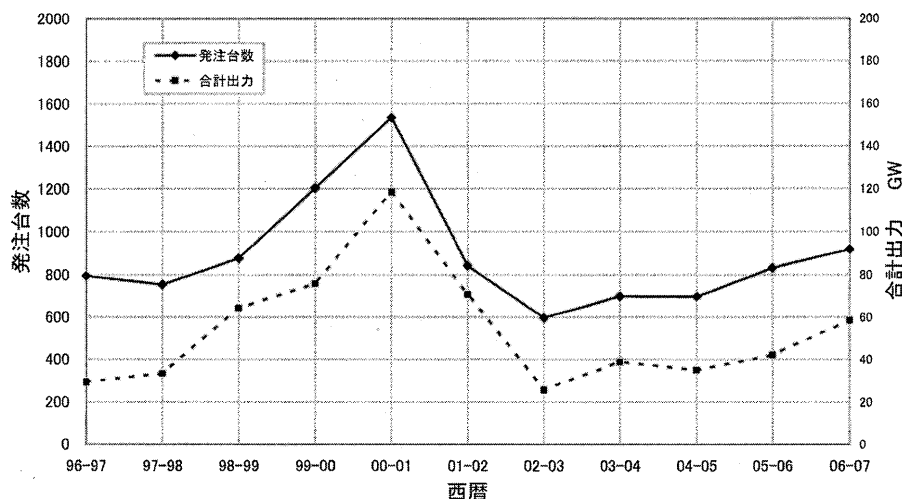


図1 世界の発電用ガスタービン発注実績の推移