

制見直しに貢献するなど積極的に活動している。

(4)「携帯用燃料電池技術開発」(平成15年度～17年度)⁸⁾

近年、携帯電話や情報端末機器などの携帯機器においては、高機能化に伴う消費電力の増加に伴い、エネルギー密度の高い電源が必要とされるため、携帯用の燃料電池の実用化を目指すものである。また、性能や安全性の評価に関わる標準化が求められ、さらに現状ではメタノール等の燃料容器が航空機内に持ち込めない危険物とみなされるなどの制度上の問題があるため、それらに資する技術開発が実施されている。現在、IEC/TC105においては日本と米国を中心として標準化が進められている。危険物輸送に関する国連規制改正への提案は米国が提案し日本が支持する形で行われ、平成16年12月にクラス3(危険物液体)として位置づけられた。

(5)「固体高分子形燃料電池システム実証等研究」

(平成14年度～16年度)(経済産業省で計上)^{2) 3)}

本プロジェクトは、環境性能、エネルギー総合効率等のデータや技術的課題など、開発・普及に必要となる基礎的な情報を得るため、技術の進展を踏まえつつ、燃料供給ステーションの実証を含む燃料電池自動車の公道走行試験、定置用燃料電池コージェネレーションシステムの実使用条件下での運転試験等を行い、併せて、燃料電池及び水素の普及啓発を図るものである。なお、燃料電池自動車の公道走行試験については平成17年度まで延長されることになっている。

文 献：References

- 1) 第14回燃料電池実用化戦略研究会資料(2005.3) 2) 定置型燃料電池実証試験報告会, 新エネルギー財団, (2005) 3) JHFC報告会(2005)
4) <http://www.iphe.net/> 5) http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/annual_report04.html 6) 蜂須, *PETROTECH*, 28, 15(2005) 7) http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt/nn_rt_hlg/article_1261_en.htm 8) NEDO燃料電池・水素技術開発成果報告会要旨集—燃料電池技術開発—(2005.7)

6.2 流動床燃焼

国際会議などの開催

第11回国際流動層会議(Fluidization XI)がイタリアのIschiaで、VGB-Workshop“Operating Experience with Fluidised Bed Firing Systems 2004”がベルリンで、21st International Pittsburgh Coal Conferenceが大阪で、それぞれ開催され、流動層燃焼の報告があった。第48回IEA-FBC会議(ウィーン)での発表の一部は、<http://www.iea.org/tech/fbc/index.html>で公開された。第49回IEA-FBC会議はフィンランドのVaasaで開催された。

(1)大型常圧流動層燃焼装置の研究開発

ポーランドTurow循環流動層燃焼(CFBC)発電所(合計出力1500MWe)内のFoster Wheeler型コンパクトタイプ260MWe CFBCの建設中の内部の写真、粒子分離装置の分離粒子径、脱硫、NO_x排出、CO排出等が報告された^{1) 2)}。高硫黄燃料を用いた160MW CFB(燃料:褐炭)と、150MWe CFB(燃料:石油コークス)の運転結果が報告された³⁾。後者のCFBでは炉内脱硫に加えて、煙道に脱硫剤(Ca(OH)₂)を水とともに噴霧する半乾式脱硫を適用した。ALSTOMの250～350MWeクラスのCFBCの運転実績と、600MWeまでのスケールアップおよび蒸気条件の超臨界化の展望が論じられた⁴⁾。ガスの出口が下についている特殊なサイクロンを用いている中国のII型CFBC(25th-75t/h)の運転実績が紹介された⁵⁾。フランスProvence 250MWe CFBで石油コークスを石炭と混焼した結果、CaSO₄とアルミナ、シリカで構成された焼結物が発見され、この焼結物の生成にはバナジウムは関与しないが、混焼した石炭灰中のアルミナ、シリカの影響があったと考えられ、Ca-Al-Siの組成から焼結しやすさを予測する方法が議論された⁶⁾。石油コークス燃焼時のVの形態は、主にCa等との化合物(Ca₂V₂O₇)として存在し酸化物は少なかった⁷⁾。大型CFBCの底部分散板と空気ノズルにおきたトラブル事例、その対策法と実施結果が報告された⁸⁾。3次元モデルにより大型CFBC内の揮発分発生を計算し、燃料供給方法でCOなどの未燃ガス発生が変化すること、揮発分の多い燃料では燃料供給口を多くする必要のあることを示した⁹⁾。CFBC内の粒子セグレーションを推定するためのモデルが提案された¹⁰⁾。CFBC炉内粒子の粒子径分布の測定、モデル計算が行われた^{11) 12)}。

(2)加圧流動層燃焼(PFBC)および高度加圧流動層燃焼(APFBC)

九電菊田360MWe PFBCの長時間運転世界記録が達成され、そのときの燃料性状と燃焼状態、ベッド材粒子径管理などの知見が報告された¹³⁾。360MWe PFBCで270MWと285MWで運転しているときの炉内粒子を採取し、高負荷では焼結・凝集した粒子が見られたことを報告し、高負荷時のトラブルの原因について考察した¹⁴⁾。360MWe PFBCの流動媒体焼結・凝集問題の原因を探るために、PFBCで使用した2種類の石炭の燃焼反応性を熱天秤で調べた¹⁵⁾。若松71MWe PFBCにおける石灰石磨耗モデルから石灰石供給時の粒子破碎を推定した¹⁶⁾。ドイツCottobusのPFBCの運転実績(稼働率など)、装置内デポジット形成などが報告された¹⁷⁾。

小型PFBCで2種類の石炭を燃焼し、燃料粒径、温度、酸素濃度、圧、石炭灰組成がNO_x、N₂O排出に及ぼす影響が報告された¹⁸⁾。PFBCの下水汚泥燃焼への適用について、PFBC+ガスタービン、PFBC+過給器などのいくつかのタイプの概念設計がなされ、発電、電力購入低減、CO₂発生などの観点から評価・比較された¹⁹⁾。

ガス化炉と燃焼炉を組み合わせたAPFBCの日本における15t/Dプラントの運転試験結果が報告された²⁰⁾。APFBCのガス化炉から排出されるアルカリ蒸気を高温で捕捉するため、

各種アルミノシリケートが評価された²¹⁾。

石油コークスを燃焼するPFBCにCaOを供給して生成したCO₂をCaCO₃として除去し、別の反応器でCaCO₃を燃料の酸素燃焼で熱分解してCaOに戻すプロセスが設計された²²⁾。同様のコンセプトで加圧流動層ガス化装置から生成した燃料ガスからCO₂を除去してH₂として燃料電池を駆動するプロセスも設計された²²⁾。

(3) バイオマス・廃棄物との混焼

多様な性状の燃料の燃焼結果が報告されたとともに、塩素およびアルカリによる伝熱管のファウリングと腐食、流動媒体の焼結による流動不良、重金属挙動などが重要な問題点として研究されている。

肉骨粉と下水汚泥の混焼時²³⁾ および肉骨粉と石炭の混焼²⁴⁾の排ガス及び重金属排出が報告された。肉骨粉と石炭を100 MWth CFBCで混焼する際に、アルカリ、Clによる伝熱管(過熱器)ファウリングと腐食の問題がおき、対策としてアルミノシリケートを多く含む石炭や別種のバイオマスを混焼することが提案された²⁵⁾。皮革廃棄物を小型気泡流動層燃焼装置(BFBC)で燃焼しN化合物(NO, N₂O, HCN, NH₃)の発生を調べるとともに、灰中Cr₂O₃の粒子径分布を調べた²⁶⁾²⁷⁾。オリーブオイルの絞り粕と褐炭の混焼における排ガス組成が報告された²⁸⁾。石炭と汚泥、バイオマス、都市ごみをBFBCで混焼したときの揮発性有機化合物VOCの排出が測定され、石炭がVOCの発生源であり揮発分のフリーボードでの燃焼がVOC低減に効果があった²⁹⁾。タイヤと石炭のBFBCでのZnの挙動ならびにPAH排出が報告された³⁰⁾。製鉄所から排出されたPAH、ダイオキシン類を含有するタール汚泥をCFBCで石炭と混焼したところ、炭化水素などの排出量は通常のCFBC石炭燃焼とほとんど変わらなかった³¹⁾。12MWthのCFBCで通常の2段燃焼条件および改良型2段燃焼条件で下水汚泥を石炭、木質燃料と混焼してNO_x, SO₂などの排ガスを測定し、HClを除いてはEUとドイツの排出基準をクリアできた³²⁾。石炭と下水汚泥を混焼したときに、CaO + P₂O₅ → Ca₃(PO₄)₂の反応でCaOが消費されて脱硫が阻害された³³⁾。塩化ビニルの多い廃棄物をFBCで焼却する前に200 - 400°C, N₂中で加熱してHClを除去する方式が提案され小型実験装置でのテスト結果が報告された³⁴⁾。CFBCにおける石炭とバークの混焼時の炭素転換率の予測モデルと実測値が比較された³⁵⁾。砂浜の油汚染などで発生した油を含んだ砂を流動化させる実験をコールドモデルで行い、流動化不能になる油の量、油の重質さ、砂の粒子径の関係を求めた³⁶⁾。

大型CFBC(59 - 235MWth)で褐炭とRDF、汚泥を混焼し、後段伝熱管群のところに置いた付着物測定プローブと電気化学的プローブで、ファウリングと腐食可能性を評価した³⁷⁾³⁸⁾。廃棄物焼却用の大型CFBC(91MW, INTEREX 外部熱交換器付)での伝熱管への付着、伝熱管腐食などのトラブルとその対策が論じられた³⁹⁾。550MWth CFBCでのバイオマスと石炭の混焼におけるボイラチューブ上への析出物の析出速度測定と組成分析を行い、ガス中SO₂濃度40ppm以上では析出物中

Cl濃度が低くなることを報告した⁴⁰⁾。後段伝熱面へのCl含有物の付着防止や流動層内の焼結防止のため、アルミノシリケートを灰中に多く含んだ燃料を混ぜて燃焼することが提案された⁴¹⁾。アルカリ金属蒸気濃度を、高電圧をかけたイオン化検出器で連続測定する方法を用いてカオリナイトによるアルカリ蒸気捕集性能を評価した⁴²⁾。排ガス中アルカリ濃度測定法として、排ガスを窒素プラズマトーチで高温化し、その中に光を照射してアルカリによる吸光を測定する方法が提案された⁴³⁾。ポリエチレンとおがくずのBFBC時にNa, Mg, Caを外部から添加し、流動媒体の焼結と流動停止に及ぼす影響を調べ、Na濃度が低いときにはMg, Caは焼結を抑制するが、Na濃度が高いときにはかえって焼結を促進することが報告された⁴⁴⁾。大型BFBCでバイオマスを専焼したときの焼結・凝集対策として、温度制御及び排ガス再循環法が提案された⁴⁵⁾⁴⁶⁾。バイオマス燃焼時の流動媒体表面に生成するコーティング層が分析されて凝集体の作りやすさとの関連が論じられた⁴⁷⁾。焼結・凝集を防ぐ代替流動媒体として、高炉スラグが試験された⁴⁸⁾。もみ殻のBFBC燃焼で、砂の代わりに多孔質アルミナを用いることで、未燃ガスとNO_xが同時に低減でき、また流動不良を起こさなかった⁴⁹⁾。流動層の圧変動の標準偏差から流動不良を検出する方法が提案された⁵⁰⁾。

下水汚泥と石炭、木をCFBCで燃焼したときの重金属の挙動を測定し、Hg, Cdは揮発しやすく炉内粒子には残りにくくフライアッシュに濃縮されること、フライアッシュにはHgの捕集効果があったことが報告された⁵¹⁾。汚泥と褐炭のCFBCで、排ガス組成、灰中金属濃度、灰中鉱物質形態が報告された⁵²⁾。PbとCdの捕集材として、シリカ、ゼオライト、カオリナイト、石灰石、貝殻などをテストし、カオリナイトが効果的であることを報告した⁵³⁾。カオリナイトによるCdとKの捕集を酸化、還元両雰囲気下で行った⁵⁴⁾。小型BFBCとCFBCで廃棄物と石炭を混焼し、ガスならびに粒子状物質(2.5 μ以下のPM2.5を含む)を測定した⁵⁵⁾。

(4) その他基礎研究

レーザー光吸収法を用いてBFBCのフリーボードに置かれた石炭粒子・木片より1 cm上のガス中CO, CH₄濃度を測定する方法が提案され、揮発分燃焼モデル計算結果と比較した⁵⁶⁾。軽油のBFBC燃焼における炉内の燃料の分布と、NO_x, 中間体としてのHCNの生成をモデル計算で求めた⁵⁷⁾。樹皮の加熱時に放出されるHCNなどのN化合物を測定し、生成メカニズムを議論した⁵⁸⁾。CFBC内でチャー磨耗、破碎により微粉が増えると、NO_x生成が還元より優位になって、NO_x排出が増える可能性があることをモデル計算で示した⁵⁹⁾。石油コークスによるNOの還元速度はバナジウムの含有量と相関が強かった⁶⁰⁾。バイオマス燃焼時のCFBCベッド材によるN₂O分解触媒効果が評価された⁶¹⁾。脱硫剤(CaO)によるNH₃酸化でCaOのCaSO₄への転化率が高くなるほどNOへの選択率が低下することが示された⁶²⁾。石灰石、貝殻の表面積、細孔容積と脱硫性能の関連を調べた⁶³⁾。CFBC燃焼灰を水和して脱硫剤として再利用することを検討し、ベッド灰は再活性化したが、フライアッ

シユはあまり再活性化しなかった^{64) 65)}。金属酸化物を酸素キャリアとするケミカルループ燃焼に用いるため各種金属酸化物が評価された⁶⁶⁾。

文献: References

- 1) Nowak, W., 21st Int. Pittsburgh Coal Conference, Osaka (以下 PCC21 と略記), paper 9
- 2) Nowak, W., VGB-Workshop "Operating Experience with Fluidised Bed Firing Systems 2004" (以下 VGB2004 と略記), Vortrag 3
- 3) Gabriel, C., VGB2004, Vortrag 4
- 4) Seeber, J., VGB2004, Vortrag 5
- 5) Chen, H. P., VGB2004, Vortrag 7
- 6) Le Guève, T., VGB2004, Vortrag 9
- 7) Anthony, E. J., 48th IEA-FBC meeting, Vienna (以下 IEA-FBC48 と略記), paper 17
- 8) Hartge, E.-U., VGB2004, Vortrag 18
- 9) Luecke, K., Fluidization XI (ed. by Arena), Engineering Conference International, p. 803
- 10) Hua, Y., *Chem. Eng. Process.*, **43**, 971
- 11) Winter, F., Fluidization XI, p. 819
- 12) Haiurui, Y., *Fuel Process. Technol.*, **85**, 1403
- 13) 奥旗ら, 第10回流動層シンボ(東京), p. 291
- 14) Ishom, F., *Fuel*, **83**, 1019
- 15) Huda, M. Y., *Fuel*, **83**, 2151
- 16) Shimizu, VGB2004, Vortrag 17
- 17) Kather, VGB2004, Vortrag 16
- 18) Svoboda, K., *Fuel*, **83**, 1095
- 19) 高角ら, 第10回流動層シンボ, p. 325
- 20) 有森ら, 第10回流動層シンボ, p. 283
- 21) Wolf, K. J., *Energy Fuels*, **18**, 1841
- 22) Wang, J. S., *Fuel*, **83**, 1341
- 23) Morf, L. S., IEA-FBC48, paper 15
- 24) Gulyurtlu, I., IEA-FBC48, paper 14
- 25) Ferrer, E., VGB2004, Vortrag 13
- 26) Tunon, A. T., IEA-FBC48, paper 9a
- 27) Bahillo, A., IEA-FBC48, paper 9b
- 28) Atimtay, A. T., *Fuel*, **83**, 859
- 29) Gulyurtlu, I., *Energy Fuels*, **18**, 605
- 30) Alvarez, R., *Energy Fuels*, **18**, 1633
- 31) Anthony, E. J., IEA-FBC48, paper 10
- 32) Leckner, B., *Fuel*, **83**, 477
- 33) L. E. Amand, IEA-FBC48, paper 5
- 34) Saeed, L., IEA-FBC48, paper 3
- 35) Gayana, P., *Fuel*, **83**, 277
- 36) Alappat, B. J., Fluidization XI, p. 787
- 37) Peltola, K., IEA-FBC48, paper 4
- 38) Westerlund, K., VGB2004, Vortrag 14
- 39) Sunderberg, J., VGB2004, Vortrag 12
- 40) Yrjas, P., PCC21, paper 7
- 41) Aho, M., *Fuel*, **83**, 1299
- 42) Tran, K. Q., *Fuel*, **83**, 807
- 43) Häyrynen, V., *Fuel*, **83**, 791
- 44) Lin, C. L., *Fuel*, **83**, 2335
- 45) Kobylecki, R., PCC21, paper 28
- 46) Kobylecki, R., IEA-FBC48, paper 6
- 47) Nuutinen, L.H., *Energy Fuels*, **18**, 127
- 48) Brus, E., *Energy Fuels*, **18**, 1187
- 49) Shimizu, T., IEA-FBC48, paper 16
- 50) van Ommen, J. R., *Chem. Eng. Process.*, **43**, 1329
- 51) Åmand, L. E., *Fuel*, **83**, 1803
- 52) Kolat, P., PCC21, paper 17
- 53) Yao, H., *Fuel*, **83**, 1001
- 54) Tran, Q. K., *Energy Fuels*, **18**, 1870
- 55) Rajczyk, R., IEA-FBC48, paper 7
- 56) Lackner, M., *Fuel*, **83**, 1289
- 57) Faravelli, T., Fluidization XI, p. 779
- 58) Hansson, K.-M., *Combust. Flame*, **137**, 265
- 59) Kallio, S., Fluidization XI, p. 827
- 60) Salvador, S., *Energy Fuels*, **18**, 296
- 61) Barisic, V., *Energy Fuels*, **18**, 1909
- 62) Zijlma, G. J., *Fuel*, **83**, 237
- 63) Chen, L., *Fuel*, **83**, 932
- 64) Wu, Y., *Fuel*, **83**, 1357
- 65) Wu, Y., *Energy Fuels*, **18**, 830
- 66) Adanez, J., *Energy Fuels*, **18**, 371

6.3 ガスタービン発電

1. 市場の動向

2003年6月から2004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698台で前年実績(597台)

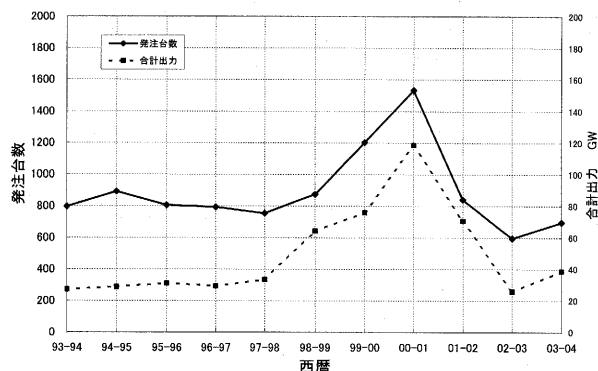


図1 世界の発電用ガスタービン発注実績の推移

に対し17%の増加となった。出力ベースでも38.7GWと前年実績(25.7GW)の50%増となった。過去2年続けて台数ベースで前年比20%以上の減少傾向が続いていたが世界経済の回復を反映してガスタービン市場も回復傾向となった(図1参照)¹⁾。

一方、2003年1月から12月の国内ガスタービン生産統計によると合計台数472台(前年比8%減)、合計出力1,997MW(前年比49%減)となっている²⁾。

ほとんどの出力域および地域で増加傾向が見られ、市場が北米の大型ガスタービン一極集中型から中小型ガスタービンによる分散電源も含め、世界市場に移行し、今後は国内も含め安定的に成長して行くと期待される。

2. 研究開発の動向^{3)~5)}

GE社がHeavy Dutyガスタービンと航空転用形ガスタービン技術を融合した100MW級中間冷却ガスタービンLMS100™を、Solar社が6MW級再生サイクルガスタービンMercury50の市場投入を開始するなど、これまでの高温ガスタービンの開発とは異なるサイクル改良により単機効率の向上を図る開発が目立った。

また、小型ガスタービンを中心にSOFC等の燃料電池とガスタービンのハイブリッドサイクルの研究が進められている。定格運転時のサイクル性能評価だけでなく、実用化に向けて反応時定数の大きく異なる燃料電池とガスタービンの組み合わせによるトランジェント性能評価が行われている。

ミリスケールガスタービン(MEMS)では要素試験や熱損失の評価結果等が報告され、実用化に向けた研究開発が活発化している。

空力要素の研究開発では圧縮機の翼面吸い込み等によるフローコントロールの研究開発が目立って来ている。動翼あるいは静翼の表面からの噴出しあるいは吸い込みにより、衝撃波制御等を行い、圧縮機効率向上や作動域の拡大を図るもので次世代技術として実機適用を目指して米国を中心に研究開発が行われている。

近年、普及が進んでいる希薄予混合方式の低公害燃焼器における大きな技術課題である振動燃焼の研究開発も盛んになっている。熱音響方程式をベースとした燃焼振動評価ツールの研究のような数値解析とヘルムホルツ共鳴器等を用いた