

等のPEFCの実用化に向けた研究開発が国や民間レベルで積極的に行われている。平成17年4月には新首相公邸に家庭用PEFCコージェネレーションシステムの商用1号機が世界に先駆けて導入され、限定的な市場導入が始まった。燃料電池車も一部で既に型式認証を取得し、政府関係機関等へ限定的なリース販売が開始されている。燃料電池を搭載したバスも試験的に運行され、昨年の愛知万博では計8台の燃料電池バスが会場間の輸送手段として利用された。また、自動車用燃料電池の実証試験が経済産業省の補助事業として各地で実施されている。燃料電池関係のシンポジウム等では燃料電池車の一般向け試乗会も開催されるようになってきている。しかしながらPEFCの本格的普及のためには、現状レベルよりも一層の技術向上、特に長寿命化及び大幅な低コスト化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。また、商品化を急ぐだけでなく、基礎的・基盤的な技術面での地道かつ着実な発展も望まれている。

経済産業省は「新エネルギー技術開発プログラム」の一環として積極的にPEFC関連プロジェクトを推進しており、この中でNEDOは「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¹⁾。耐久性向上については産官学連携のコンソーシアム形式で劣化機構解明と加速試験法開発を行っている。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・量産技術開発、補機類（ポンプ、ブロワ、電磁弁、センサー等）の開発等に取り組んでいる。さらに、白金代替触媒や高温で作動できる電解質膜等難度の高い長期的技術課題についても、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、1kW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を実施しており、平成17年度は480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取得して今後の技術開発の課題を抽出している²⁾。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っている。

文献：References

- 1) NEDO, 「次代を担う燃料電池・水素技術～クリーンエネルギー社会への挑戦～」および「固体高分子形燃料電池産学連携プロジェクト～コンソーシアムによるメカニズム解明への挑戦～」, <http://www.nedo.go.jp/nenryo/pamphlet/index.html> 2) NEF, 平成17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/info.html>

6.2 流動床燃焼

国際会議などの開催

第18回流動層燃焼層国際会議（18th Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion）がカナダのトロントで、第8回循環流動層

国際会議（8th Int. Conf. on Circulating Fluidized Beds）が中国の杭州で、国際石炭科学・技術会議2005（Int. Conf. on Coal Science and Technology, 2005）が沖縄県宜野湾市で、それぞれ開催され、流動層燃焼関連の報告があった。国際エネルギー機関流動層転換技術会議（IEA-Fluidized Bed Conversion）はカナダのトロントならびにイタリアのサルジニアで開催されたが、発表要旨などは公開されていない。

1. 大型常圧流動層燃焼装置

Wertherは、大型循環流動層燃焼装置（CFBC）内の粒子濃度分布、温度・ガス濃度分布、分散板設計が流動に与える影響、サイクロン設計、炉内粒径分布の計算などをレビューし、大型化に伴う問題点として、水平方向燃料混合、垂直方向温度分布、伝熱管配置を指摘した¹⁾。大型化に対する検討として、800MWeの超臨界蒸気CFBCの概念設計²⁾、最大600MWeの装置に向けたサイクロン配置、超臨界圧化、流動層熱交換器の大型化、チューブ材質についての議論があった³⁾。ポーランドTurow 235MWe CFBC内のガス濃度分布測定が行われ、壁面で0.5m厚さの燃料濃厚域が見られた⁴⁾。また炉内で不均一な濃度が見られたが、サイクロンでの混合で良好な燃焼成績が得られた。中国のCFBCから発生したフライアッシュの未燃焼炭素を測定し、石炭インデックス（揮発分含有量（DAF）をLHVで割ったもの）、燃焼温度、炉内ガスと粒子の混合、炉内粒子ホールドアップなどの操作因子と未燃焼炭素率の関係が評価された⁵⁾。

新しい燃焼装置形式として、旋回流を形成するように二次空気をフリーボードへ吹き込むSwirling流動層⁶⁾、2重円筒型で内筒をライザーに外筒をダウンカマーにして内筒上部出口に旋回流を設ける内部サイクロン型CFBCが提案された⁷⁾。CFBC用粒子分離装置として、Babcock & WilcoxによるUビーム式粒子捕集装置⁸⁾、Uビームの一種で捕集した粒子の再飛散を防止するためのガイドをつけたもの⁹⁾、サイクロン入口を傾ける、内筒の形状の改善、内筒位置の偏心によって集じん効率を上げる工夫¹⁰⁾ などがある。

粒子磨耗・破砕による粒径変化モデルに関する研究も多くなされている。粒子投入後初期の磨耗速度の高い領域を表すためにstress history parameterを導入し、サイクロン、ベッド、ジェットによるそれぞれの効果を統一的に表すことが提案された¹¹⁾。

最近では、特に使用済み脱硫剤（未反応CaO含有CaSO₄）の再活性化あるいは安定化の研究が進められている。水和させる¹²⁾、水和させるときに粉炭を混ぜて固化を防止する¹³⁾、CO₂と反応させる¹⁴⁾方法などが提案された。機械的衝撃を与えて粒子にクラックを作り再活性化させる方法はポーランドのTurowのCFBCに適用された¹⁵⁾。燃焼条件で石膏（使用済み脱硫剤）が石炭灰と接触すると、脱硫剤熱分解温度が低下することが示された¹⁶⁾。なお、以上の研究の他に、運転実績、炉内シミュレーション、NO_x、N₂O排出に関する研究結果などが数多く報告されている。

2. 加圧流動層燃焼 (PFBC) および高度加圧流動層燃焼 (APFBC)

通常のPFBCに関して、層内伝熱管への伝熱モデルが提案された¹⁷⁾。加圧流動層燃焼条件での炉内粒子アグロメレーションの生成について検討され、カルシウムアルミノシリケートが多い石炭ほどアグロメ生成の傾向があった¹⁸⁾。大型PFBC炉内粒子の熱分解と、燃料として用いた石炭の燃焼性の関係が論じられた¹⁹⁾。

部分ガス化炉と燃焼炉を組み合わせたAPFBCについて、ガス化パイロットプラントの試験結果が報告された^{20) 21)}。ルーブシールで粒子循環量制御が試みられた²¹⁾。燃焼装置に加圧CFBCを用いる470MWe APFBCの概念設計がなされ、発電効率48.2% (HHV) が達成できることが示された²²⁾。天然ガストッピングサイクルの理論計算で、高温フィルタ、アルカリ濃度による限界を考慮に入れた効率計算がなされた²³⁾。

3. バイオマス・廃棄物

バイオマスはCO₂ニュートラルエネルギーと考えられているので、最近では燃料としての有効活用がわが国でもなされている。サミット明星パワー(糸魚川市)のCFBC(出力50MW)、バイオパワー勝田(ひたちなか市)の気泡流動層(4900kW)、日本製紙(株)(いわき市)の内部循環流動層(15MW)などが完成または運転を開始した。バイオマスの燃焼に関しては、数多くの運転結果、基礎研究結果、モデル化、燃料の評価などの報告がなされている。

バイオマス・廃棄物の燃焼の問題は、①アルカリによる流動媒体の焼結と流動不良、②アルカリと塩素の伝熱管への析出による腐食とファウリング、③重金属挙動がある。バイオマスの問題についてはHupaが研究動向をレビューした²⁴⁾。

流動不良に関しては、焼結メカニズムならびに灰組成との関係^{25)~27)}、非シリカ系流動媒体の利用^{28) 29)}やピート混焼³⁰⁾による焼結防止が提案された。また流動層の流動性低下を圧力変動から解析する手法が検討された^{31)~33)}。

アルカリ・塩素による伝熱管トラブル対策として、石炭を混焼し灰中成分(アルミノシリケート、カオリナイト)ならびに石炭中硫黄を利用することが提案された^{34)~36)}。また灰の多い粉殻を用いると粉殻灰による伝熱管クリーニング作用が見られた³⁷⁾。CFBCでは排ガスと接触させるより粒子循環ラインの流動層熱交換器を用いる方が腐食を低減できた³⁸⁾。塩素析出を予測するインデックスとして反応性(AI+Si)/Clが提案された³⁶⁾。気相中アルカリ濃度を測定する方法としてELIF(エキシマレーザー蛍光)³⁹⁾、イオン化電流測定法⁴⁰⁾が用いられた。

重金属対策として、ドロマイト、石灰石を用いた捕集あるいはフライアッシュへの移行促進が挙げられる^{41) 42)}。新しい装置として、高温(最高1450K)と低温の領域を作り、灰が高温領域を通過するときに灰粒子の中心に重金属を閉じ込めることが提案されCdとCrで試された⁴³⁾。廃棄物の流動層燃焼で焼結による流動化停止が起こるときに重金属(Pb, Cr, Cd)、ガス状有機物(PAH, BTEX)などの排出がどのように

変化するかが測定され、重金属は流動化が停止すると急激に増加した⁴⁴⁾。

下水汚泥はりんを多く含むことから将来のりん資源の枯渇に備えた対応が考えられている。下水汚泥の燃焼ではりんが脱硫剤のカルシウムと結合し脱硫を阻害すること⁴⁵⁾、燃焼灰からの酸によるりん抽出では鉄が阻害効果を持つこと⁴⁶⁾が報告された。下水汚泥の窒素挙動を明らかにするために、窒素と炭素の安定同位体のチャーへの残存率が調べられた⁴⁷⁾。

4. その他基礎研究

ALSTOMの循環流動層燃焼技術の将来展望として、3種類の新型燃焼装置(O₂/CO₂燃焼、循環移動層、ケミカルループ燃焼(CLC))が論じられ、CLCではCaSO₄⇌CaSの酸化・還元の利用が提案された⁴⁸⁾。CLCを燃焼器としたCO₂回収つきガスタービン燃焼システムの概念設計が行われ、800MW級の装置サイズが計算された⁴⁹⁾。CLCで、流動層酸化装置と流動層還元装置の間を酸素キャリアとして循環させる金属酸化物として、NiまたはFe^{49) 50)}、Cu^{51) 52)}をTiO₂、アルミナなどに担持させることが検討された。CLCにおける酸素キャリア粒子の反応に伴う温度上昇予測モデルが提案された⁵³⁾。O₂/CO₂燃焼条件で小型循環流動層燃焼装置内でのバッチ燃焼が行われた⁵⁴⁾。CO₂回収のために流動層内でCaOなどとCO₂を反応させるプロセスのASPENによるシミュレーション⁵⁵⁾、石灰石、ドロマイトを用いたCO₂とSO₂の同時吸収実験が行われた⁵⁶⁾。

文 献 : References

- 1) Werther, J., Proc. 8th Int. Conf. on Circulating Fluidized Beds(以下CFB8と省略), p. 1
- 2) Yuxin, W., CFB8, p. 529
- 3) George, N., Proc 18th Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion(以下FBC2005と省略)-78081
- 4) Hartge, E.-U., FBC2005-78136
- 5) Xiao, X., *Energy Fuels*, **19**, 1520
- 6) Zhu, S., *Waste Manag.*, **25**, 511(2005)
- 7) Shin, D., *Waste Manag.*, **25**, 680(2005)
- 8) Maryamchik, M., FBC2005-78004
- 9) Chen, H.-P., FBC2005-78113
- 10) Loehr, S., FBC2005-78015
- 11) Klett, C., *Proc. Combust. Inst.*, **30**, 2947
- 12) Montagnaro, F., *Energy Fuels*, **19**, 1822
- 13) Trass, O., FBC2005-78121
- 14) Li, Y., *Energy Fuels*, **19**, 1927
- 15) Szymanek, A., CFB8, p. 455
- 16) Shimizu, T., Proc. Int. Conf. on Coal Sci. and Technol. 2005(以下ICCST2005と省略), 1A06
- 17) Sakata, T., ICCST2005, 1D10
- 18) Al-Otoom, A. Y., *Fuel*, **84**, 109
- 19) Huda, M., ICCST2005, 1D11
- 20) Rui, X., FBC2005-78008
- 21) Fang, M., FBC2005-78021
- 22) Robertson, A., FBC2005-78077
- 23) Xiao, J., FBC2005-78029
- 24) Hupa, M., *Fuel*, **84**, 1312
- 25) Atakul, H., *Fuel Proces. Technol.*, **86**, 1369
- 26) Brus, E., *Energy Fuels*, **19**, 825
- 27) Yan, R., *Energy Conv. Manag.*, **46**, 1165
- 28) Almark, M., FBC2005-78094
- 29) Shimizu, T., FBC2005-78028
- 30) Lundholm, K., *Energy Fuels*, **19**, 2273
- 31) McDougall, S., *Chem. Eng. Proces.*, **44**, 701
- 32) Cammarota, A., FBC2005-78098
- 33) Bartels, M., CFB8, p. 943
- 34) Ferrer, E., *Fuel Proces. Technol.*, **87**, 33
- 35) Kokko, A., FBC2005-78035
- 36) Silvennoinen, J., FBC2005-78120
- 37) Skrifvars, B.-J., *Energy Fuels*, **19**, 1512
- 38) Tagashira, K., CFB8, p. 574
- 39) Glazer, M. P., *Energy Fuels*, **19**, 1889
- 40) Tran, K.-Q., *Fuel*, **84**, 169-175
- 41) Huang, Y., FBC2005-78030
- 42) Selçuk, N., FBC2005-

78068 43) Eldabbagh, F., *Combust. Flame*, **142**, 249 44) Lin, C.-L., *Combust. Flame*, **143**, 139 45) Pettersson, A., FBC2005-78017 46) Elled, A. L., FBC2005-78072 47) Arenillas, A., *Energy Fuels*, **19**, 485 48) Jukkola, G., FBC2005-78104 49) Wolf, J., *Fuel*, **84**, 993 50) Son, S.-R., CFB8, p. 623 51) de Diego, L., *Energy Fuels*, **19**, 1850 52) Corbella, B. M., *Energy Fuels*, **19**, 433 53) García-Labiano, F., *Chem. Eng. Sci.*, **60**, 851 54) Czakiert, T., CFB8, p. 447 55) Hughes, R. W., *Fuel Proces. Technol.*, **86**, 1523 56) Sun, P., FBC2005-78125

6.3 ガスタービン発電

1. 市場の動向

2004年6月から2005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697台で前年実績(698台)とほぼ同等で変化がなかった。出力ベースでは34943GWと前年実績(38.698GW)の10%減となった(図1参照)¹⁾。台数ベースでは変化がなかったのに対し出力ベースでは減少傾向になっていることから判るとおり60MW以上のベースロード用大型ガスタービンの発注台数が減少し、10~30MWのピークカット用中型ガスタービンの発注が増加している。2000年以降の2年間、台数ベースで前年比20%以上の減少傾向が昨年とまり、増加に転じたがその傾向は継続しなかった。世界的な経済回復による電力需要は増加している一方で、ガスタービンの燃料である原油および天然ガスの高騰により、しばらくの間、ガスタービン発電の市場は急拡大、急縮小はなくこのレベルで安定するものと考えられる。

一方、2004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386台(前年比20%減)、合計出力4.019MW(前年比200%増)となっている²⁾。統計の取得時期が半年間ずれているが、国内の生産状況は大型のベースロード用ガスタービンの生産が増加している。

2. 研究開発の動向

燃焼器、タービンを蒸気冷却としたタービン入口温度1500℃級のGE社H型ガスタービンの運用状況³⁾⁴⁾やSolar社の6MW級再生サイクルスタービンMercury50⁵⁾の運用状況が報告

され、新規開発されたエンジンが順調に運用実績を重ねている。

また、小型ガスタービンとSOFCを主とした燃料電池とのハイブリッドサイクルの研究は引き続き盛んに進められている。マイクロガスタービンに関する研究開発も進められており、ごみ等の各種低カロリー燃料への対応、セラミック化や熱交換器材料の変更等による単機効率の向上などが報告されている³⁾。

空力要素の研究開発では軸流圧縮機の翼間に遠心圧縮機のようなSplitter翼を追加する方法、静翼ピッチを不均一にして空力的、機械的干渉を弱める方法、翼面あるいはハブ壁面からの境界層吸い込みによるフローコントロール等による空力特性改善の研究開発が報告されている。伝熱関係ではThermal Barrier Coatingの表面粗さの効果や内部冷却における表面粗さの効果、粗さ効果を含む遷移モデルの提案等、粗さに関する研究が多数報告されこの方面への関心が引き続き継続している³⁾。

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関連して燃焼の不安定性およびその制御・解析モデルの研究が盛んに行われている。熱音響的解析による研究、火炎伝達関数に関する研究、燃焼のアクティブコントロールシステム等が報告されている³⁾。

燃料費高騰に伴う運用コスト削減に関連し、メンテナンスコスト削減に関する研究や部品の修理技術に関する研究開発が盛んになっている他、代替燃料および代替燃料プラントとして石炭ガス化複合プラント(IGCC)について多くの最新の取り組みや運転状況の報告があった³⁾⁶⁾。

文 献：References

- 1) McNeely M., A Mixed Bag : Recipes Exceptional Turbines Flat, DIESEL & GAS TURBINE, p. 40, Oct. 2005
- 2) ガスタービン統計作成委員会, 2004年ガスタービン及び過吸気機生産統計, ガスタービン学会誌, **33**(5), 488 (2005)
- 3) 川口他, 2005年第50回ASME国際ガスタービン会議, ガスタービン学会誌, **33**(5), 407(2005)
- 4) Mark Feigl, et. al, Field Test Validation of the DLN2.5H Combustion System on the 9H Gas Turbine at Baglan Bay Power Station, ASME2005-68843
- 5) David Teraji, et. al, MERCURY™50 PRODUCTS DURABILITY, OPERATION AND MAINTENANCE REVIEW, ASME2005-69134
- 6) McNeely M., IGCC : An Update, DIESEL & GAS TURBINE, p. 32, Oct. 2005

6.4 超々臨界圧発電

1. はじめに

火力発電の歴史の中で、プラントの蒸気条件の高温・高圧化は、大容量化と並んで重要かつ基本課題として取り組まれてきた。然るに、1967年に24.1MPa 538/566℃・一段再熱の超臨界圧蒸気条件が採用され、わが国の事業用火力発電プラントの標準的蒸気条件として確立されて以降は、最近に至るま

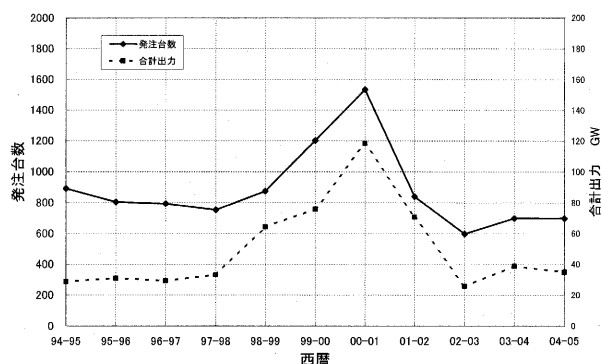


図1 世界の発電用ガスタービン発注実績の推移