

電力供給の中核を担う火力発電と火力新技術の展望

1. 進化を続ける火力発電の現状—低炭

火力発電は、これまで約50年間に亘って、我が国の最大の電力供給源として貢献してきました。火力発電の優れている点は、高い信頼性に加えて、大容量化が可能で、しかも需要に応じた出力の変化も容易なことなどが挙げられます。その一方で、化石燃料を利用するため、CO₂の排出が避けられないことが大きな難点です。

低炭素社会の構築が世界的な要請となっている中で、自然エネルギーが注目されていますが、火力発電は自然エネルギーの弱点である頻繁な出力変動を最も確実にバックアップできます。また、東日本大震災以降、原子力発電からの電力供給が減少している状況の中で、補完するための中心的な役割を果たしています。

火力発電は、今後も主力電源として多くの発電量を確保し続けるため、これまでに使用経験のない燃料も含めた多様な燃料の利用技術を確認する事に加え、CO₂排出量を抑制するため、更なる発電効率の向上やカーボンニュートラルなバイオマスの効率的利用を図るなど、多くの課題を解決して行かなければなりません。これらの複雑な課題に挑戦して行くためには、広範な火力技術分野において、従来の実験主体の段階的な開発手法に加え、大型計算機を利用した革新的な数値シミュレーション手法の積極的な採用が不可欠です。

電力中央研究所では、火力発電技術の更なる進化に向け、新たな研究手法の導入・高度化も図りつつ、精力的に研究を実施しています。

エネルギー技術研究所
副所長
研究参事 牧野 尚夫



エネルギー技術研究所
主任研究員 渡邊 裕章



磯子火力発電所(電源開発提供)

素社会への挑戦一

1.1 火力発電技術をめぐる状況

火力発電は、1960年代前半、水力発電に替わり最大の電力供給源になって以来、常に主力電源として電力を供給してきた。現在でも、火力発電からの供給電力量が最も多く、東日本大震災以後は、原子力発電所の運転停止等による供給不足を、主に火力発電の供給量を増加して対応する等、従来以上に火力発電の重要性が高まっている。今後、原子力発電の再稼働スケジュールによっては、この状況が暫く続く可能性があると思われる。

火力発電は大容量化に適し、負荷追従性に優れる等、技術的信頼性が高い方式であり、大量の発電を担える事に加え、自然エネルギーなど出力が変動しやすい電源に対して出力調整のための補完機能も有している。一方、化石燃料をエネルギー源とするため、CO₂の排出は避けられず、温暖化への影響が懸念されている。

このような状況において、火力発電では、まず主力電源としての電力供給力強化の観点から、燃料供給力を高める必要がある。世界的に燃料需要が急増する中、火力用燃料の確保のためには、これまで未利用であった燃料を使用可能とする技術が重要となる。また、火力の発電量を拡大しつつCO₂の排出削減を図るには、単位発電量あたりのCO₂排出量を低減する高効率化に加え、炭素含有率の低い燃料やカーボンニュートラルなバイオマスの利用が重要となる。更に、自然エネルギーの導入拡大に応じ、一層の負荷調整能力も要求される。

本章では、火力発電の状況と課題を、燃料、発電方式ならびに開発手法の点から概説する。

1.2 燃料供給動向の展望

図1-1には、火力発電に用いられる化石燃料の可採埋蔵量と可採年数を示す。石炭に比べて天然ガス、石油は、いずれも低い値を示し、長期的利用の観点から安定供給が不安視される。特に石油系燃料については、大型火力の新設は見込めず、既存の発電所や小規模火力が、ピーク対応等の目的で、利用されて行くと思われる。

当面の火力発電における主力燃料は、天然ガスと石炭になるものと思われる。天然ガスは、石炭に比べ埋蔵量は少ないものの、燃料の炭素比率が低く、ガスタービン等と複合化すれば高効率な発電が見込めるため、CO₂の排出量も相対的に低くできるメリットがある。近年、頁岩層に賦存する天然ガス(シェールガス)量が膨大であることが判明し、アメリカを中心に、その採掘技術の開発が進められている。今後の採掘技術の進展により、大きく供給量が増大する可能性も秘めており、ガス火力の一層の燃料供給力の強化に貢献できるものと期待される。

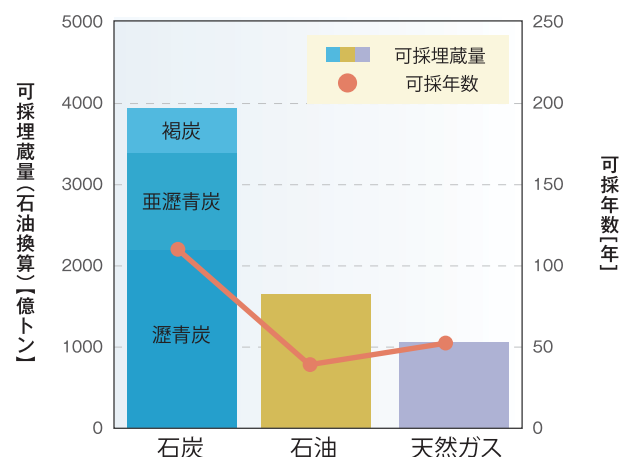


図1-1 化石燃料資源の可採埋蔵量および可採年数

出典:2010 Survey of Energy Resources
World Energy Council

一方、石炭は賦存量は多いものの、現在の微粉炭火力で主に用いられる瀝青炭に限ると、利用可能量が大幅に少なくなる。このため、従来あまり利用されなかった炭化度の低い低品位炭(亜瀝青炭、褐炭)や、逆に炭化の進んだ高燃料比炭の利用が検討されている。低品位炭のうち、比較的品質の良い亜瀝青炭は、部分的にはあるが我が国の微粉炭火力でも導入が進められている。今後は、亜瀝青炭利用量の増大を図るとともに、亜瀝青炭より水分含有率の高い褐炭を改質・高品位化しての利用、高燃料比炭の利用拡大や、燃焼性は良いものの微粉化し難い石炭の利用拡大などが考えられている。また、カーボンニュートラルなバイオマスの利用促進も重要であり、微粉炭火力への混焼での利用が進められている。

1.3 火力発電技術開発の展望

火力発電に関わる技術開発は、今後も主力電源として期待される天然ガス火力と石炭火力が中心になる。

天然ガス火力に関しては、既存の高効率なガスタービン複合発電の一層の高効率化を目指して、ガスタービンの高温化が今後も重要となる。また、コストや大容量化等に課題は多いものの、燃料電池を組み込めば、更なる高効率化が期待できるため、本技術の着実な進展も望まれる。

石炭火力においては、現在の発電方式である微粉炭火力における燃料多様化が、至近年の課題となる。水分の多い亜瀝青炭の混焼量を増やすため、粉碎、燃焼を中心とした新技術の開発が必要となる。また、バイオマスの微粉炭火力への混焼利用には、粉碎機所要動力の増大等が課題になっており、更なる利用量拡大に向けては、

バイオマスに適した粉碎技術等の開発が重要である。バイオマスは発熱量が低い上に大量に収集することが困難な点も大きな問題点である。そこで、微粉炭火力への混焼利用に加え、バイオマス単独利用の小規模な高効率発電技術の開発も必要となる。

微粉炭火力の高効率化には、発電に用いられる蒸気条件の向上(高温・高圧化)が最も有効である。我が国の火力発電の蒸気条件は、世界で最も高いレベルでの運転が達成されている。近年、ヨーロッパを中心に、蒸気条件の大幅な向上を目指した技術開発が進められており、高温強度に優れた材料の開発が不可欠とされている。

ガスタービンを利用した石炭ガス化複合発電(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)は更なる効率化が期待できる方式である。既に、IGCC実証機が、クリーンコールパワー研究所により順調に運転されているが、今後の効率改善に向け、乾式ガス精製技術の導入やガスタービンの一層の高温化が望まれる。

CO₂排出量の大幅な削減を期待できる技術として、CO₂分離・回収技術が注目されている。しかし、CO₂の分離・回収には、多くの動力とコストが必要な上に、回収後のCO₂の処分方法も確立されていないため、実際の利用には、更なる革新的な技術開発の進展が必要になる。

1.4 シミュレーション技術を活用した新たな研究開発手法

火力機器内部は、極めて高温の乱流条件において、多様な燃料が複雑な反応を生じている場であるため、個々の現象を詳細に解明できず、研究開発はこれまで実験的手法によらざるを得なかった。すなわち、電気炉による燃料反応性評価、単一バーナ

試験による基礎燃焼特性評価、バーナ本数や容量を増加したスケールアップ検討という各段階を経て、ようやく実用技術を確立してきた。このような手法では、10倍程度でスケールアップを行っていかため、実用化までに膨大な時間と労力を要していた。一方、近年の計算機能力の飛躍的な進歩により、燃焼場の複雑な反応解析も可能となり、実験的検討の一部を数値シミュレーションにより代替することに加え、実験では得られない貴重な情報も得られるようになってきた。

火力機器には、微粉炭ボイラや石炭ガス化炉等、様々な基幹設備が存在するが、それらを対象とする数値シミュレーションに共通して要求される性能は、第一に複雑な形状を有する機器内の高温乱流場を精度良く計算することである。これには、複雑な形状を正確かつ簡便に取り扱うことが可能な非構造格子法と、数千の計算機を同時に使用して計算速度を大幅に向上させる超並列計算法を組み合わせることで、計算規模が大きい対象についても高精度な計算が可能になりつつある。

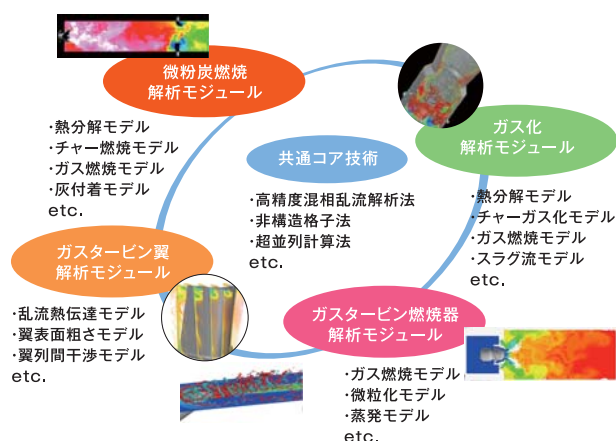


図1-2 汎用的火力機器数値シミュレータ

この共通技術に対して、微粉炭燃焼、ガス化反応、ガスタービン翼乱流熱伝達およびガスタービン燃焼器内反応等の固有現象に対応した物理モデル

を組み込むことで、火力機器に対する汎用的数値シミュレータ(図1-2)を構築することが可能となる。

例えば石炭ガス化では、微粉炭を含む固気混相乱流と、石炭の熱分解に伴う揮発分放出、チャー粒子と空気との固気反応、および揮発ガスの燃焼等の化学反応を同時に考慮する必要がある。図1-3は、当所の石炭ガス化研究炉において、ガス化性能に及ぼす運転条件(酸化剤組成)の影響を検討した事例で、運転条件が変わった際のガス化特性の変化を的確に把握できた。今後、より詳細な物理現象の解明とモデル化、ならびに規模の異なる実験による検証作業を進め、対象機器の規模に依存しない汎用性の高い技術を確立する予定である。これにより、火力機器のスケールアップ検討を数値シミュレーションに置き換えることができれば、劇的な省力化や低コスト化が期待できる。

数値シミュレーションは、それを構成する物理モデルにより適用範囲が限定されるという制約はあるが、モデルの適用範囲を正確に把握した上で、モデルの改良を通じて適用範囲を拡大していくことで、今後の技術開発の極めて有効なツールに発展できるものと期待される。

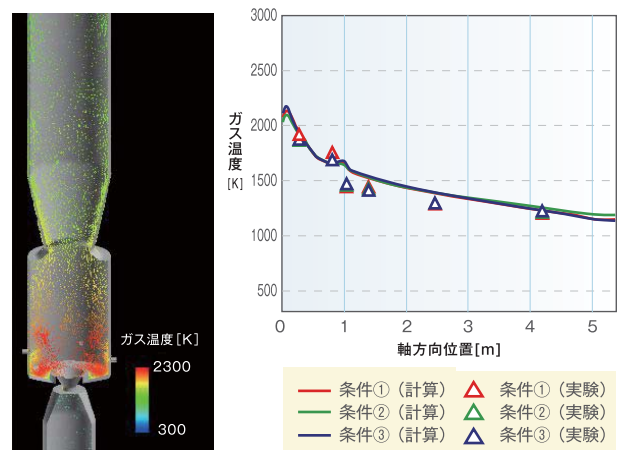


図1-3 石炭ガス化炉の数値シミュレーション(ガス温度分布)

電力供給の中核を担う火力発電と火力新技術の展望

2.LNG複合発電の現況と将来型ガス

液化天然ガス(LNG)を燃料とするLNG複合発電は、クリーンかつ高効率な発電システムとして、火力発電における中心的役割を担っています。地球温暖化問題の解決に貢献するためにも、高効率火力発電プラントの普及によるCO₂排出量の削減は、欠かすことはできません。また、起動停止が容易で負荷追従性に優れるガスタービンは、太陽光発電など自然エネルギーによる発電が増加した際、天候等に左右される不安定な出力の調整電源としての活用も期待されています。

電力中央研究所は、LNG複合発電設備の中核をなすガスタービンの安定運転を担保する合理的な保守技術の研究、石炭ガス化複合発電用のガスタービン燃焼技術開発などに取り組み、より高性能なガスタービンの開発に貢献する基盤技術を獲得してきました。本章では、LNG複合発電の特長を整理するとともに、ガスタービンの高性能化に向けた技術開発状況と、新しいコンセプトに基づく将来型ガスタービンの開発状況について紹介します。

エネルギー技術研究所
上席研究員 渡辺 和徳



ガスタービン動翼列

タービン

2.1 LNG複合発電の特長と発電設備としての役割

LNG複合発電は、LNGを燃焼して高温・高圧の燃焼ガス流を発生させ、ガスタービンにより発電し、更に高温の排気ガスを用いて排熱回収ボイラ(HRSG:Heat Recovery Steam Generator)により蒸気を製造して、蒸気タービンも駆動することで高効率を実現する発電システムである。今日では、製造した蒸気をガスタービンの燃焼器や動静翼などの高温部品の冷却に用いてから回収して蒸気ラインに戻す、より高効率なシステムも商用運転されている(図2-1)。また、燃料のLNGには硫黄分や不純物などが含まれないため、排気ガス中に硫黄酸化物(SO_x)やアルカリ金属、重金属等が含まれず、環境適合性にも優れる特長を有する。

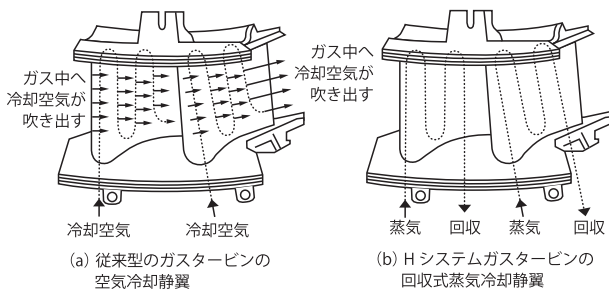


図2-1 空気冷却翼と蒸気冷却翼の違い¹⁾

LNGを燃料とする火力発電は、2009年度実績として国内の全発電電力量の約30%を賄う重要な電源となっている。特にLNG複合発電については、今後も主力電源としての役割を担うべく、多くの新設電源計画が発表されている。また、東日本大震災による電源設備の被害を補うために、将来のLNG複合発電設備への改造も視野に入れて急遽導入されたガスタービンもあり、当面、LNG複合発電の設備容量が増え続けることは確実である。運用面では、起動時間の速さと負荷変化

への対応の容易さから、ミドル/ピーク電源としての役割を担うことが多いが、効率の高さを重視してベース電源として運用することも可能であり、ユーザにとっては使い勝手の良い発電設備といえる。近年、電力需要が大きい夏季の暑い時期に、大気密度が小さくなることで出力が低下してしまう特性を補うための増出力対策として、ガスタービンの圧縮機に導入する大気に水滴を噴霧することによる冷却効果で大気密度の増加を狙う、吸気冷却方式が採用されたプラントの実運用も開始されている(図2-2)。

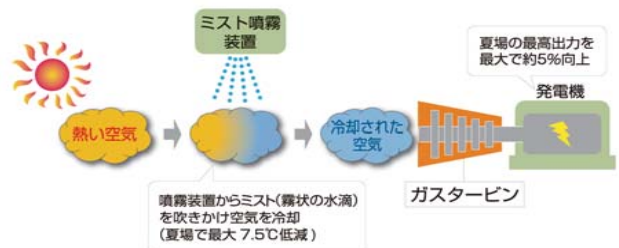


図2-2 ミスト噴霧による吸気温度低減イメージ図²⁾

<引用>

- 1) 松下ほか、「環境調和型Hシステムコンバインドサイクル発電所」東芝レビュー、Vol.63 No.9 18ページ 2008年
- 2) 「低炭素社会実現に向けた取組みの今・未来 ～電気をつくる～」東北電力NOW CSR Report 2010、10ページ 2010年7月

2.2 LNG複合発電設備の技術進展

我が国におけるLNG複合発電設備の初号機は、1984年に東北電力 東新潟火力発電所において運開した、タービン入口ガス温度(TIT:Turbine Inlet Temperature:)1100℃級(D型、E型)のガスタービンを用いたプラントである。今日まで、主として高温化と大型化によりガスタービンの著しい性能向上が図られている。その結果、30年も経たないうちにTITは1300℃級(F型)が主流となり、1500℃級(G型、H型)も導入され始め、複合発電

プラント効率(高位発熱量*基準)も送電端で43%から53%まで向上している。このような高温化、高効率化を可能としたのは、燃焼器やタービン動静翼に対して高温強度特性に優れる材料が開発・適用されたことに加え、冷却技術やコーティング技術の向上によるところが大きい(図2-3)。

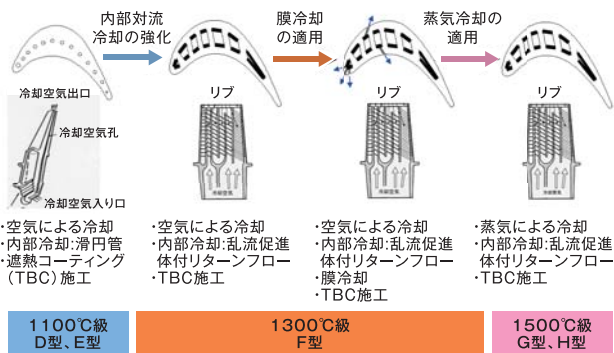


図2-3 発電用大型ガスタービン初段動翼における冷却技術の変遷³⁾

F型ガスタービン以上の高温化が進むと、空気冷却による場合は、タービン翼内部冷却のみでは十分な冷却性能が得られなくなることから、内部冷却に供した空気を翼面から燃焼ガス流中に吹き出して翼表面を覆うことにより温度を下げる、膜冷却技術が採用される。当所では、その詳細な冷却メカニズムを明らかにすることで、従来よりも高性能な冷却構造を提案するべく、基礎的な熱流動実験と数値解析による検討を進めている。これまでに、高精度のモデルを用いた数値解析により、翼内部冷却流路から翼面に吹き出される膜冷却流れの詳細な構造について明らかにするとともに、翼内部冷却に用いられる乱流促進リブと膜冷却孔を適切に配置することで、膜冷却性能が向上する可能性を見出した(図2-4)。

また、将来の高性能な遮熱コーティング(TBC: Thermal Barrier Coating)の開発に向けて、トランスピレーション冷却**の概念を取り込み、TBCの気孔

率を増大させることにより翼の内部を冷却した空気を通わせてから燃焼ガス流中に吹き出す構造を持つ、新たなTBCの開発にも取り組んでいる。これまでに、提案するTBCの試作と熱流動実験、および導出した熱伝導・熱応力理論による数値解析を行い、気孔率の増大による遮熱性能の向上効果を明らかにするとともに、実験結果の妥当性を検証した(図2-5)。

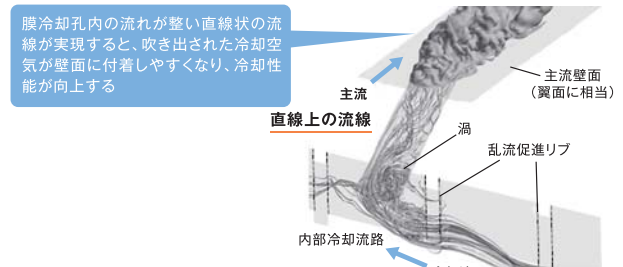


図2-4 膜冷却効率向上メカニズムのイメージ図

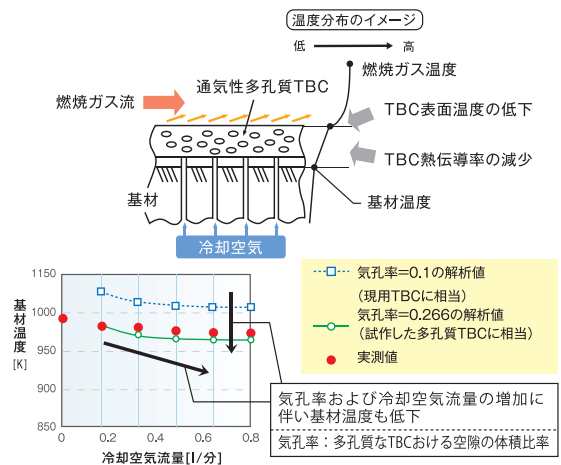


図2-5 開発中のTBCの概念と遮熱性能評価例

* 燃焼ガス中の水蒸気が凝縮し、水であるとした場合の発熱量。複合発電システムでは、高位発熱量 (HHV) を用いて表すのが一般的。一方、燃焼ガス中の水分が水蒸気であるとした場合の発熱量を低位発熱量 (LHV) という。ガスタービン単体では水蒸気が凝縮しないで放出されるため、低位発熱量を用いて表すことが一般的。
** 表面積の大きい多孔質中を冷却媒体が通過する構造による高性能冷却技術

<引用>

- 3) ① 吉岡ほか、「発電用ガスタービンの材料技術」日本ガスタービン学会誌、Vol.32 No.3 2004年
- ② 「ガスタービンの高温化と冷却技術」日本ガスタービン学会、第21期調査研究委員会、54ページ 1997年 (①及び②の一部を引用・合成)

2.3 将来型ガスタービンの開発動向

LNG複合発電システムの更なる高効率化を目指して、今日、国レベルにおいて材料開発も含めて純国産技術による1700℃級ガスタービン(目標プラント効率56%;高位発熱量基準)の開発が進められている。得られた成果の一部は、2013年度より商用運転が開始される予定の最新鋭機種である1600℃級ガスタービンに、先行的に反映されている。

ところで、今後予想される太陽光発電など再生可能エネルギーによる発電比率の増大に伴い、システムの安定運用への影響が懸念されることから、火力発電に対して、需給調整力や周波数調整力が従来以上に求められるようになって考えられる。具体的な特性としては、①幅広い出力調整範囲および高効率の維持に向けてのより少ない台数での調整力確保や、②短い起動時間や早い負荷応答性など出力変動への対応の容易性などである。この要求を満たす性能を有すると期待されている新しいガスタービンシステムが、アドバンスド高湿分空気利用ガスタービン(AHAT:Advanced Humid Air Gas Turbine)であり、200MW以下の中小容量ガスタービン単機で大型複合発電設備並みの効率を目標に開発が進められている(図2-6)。

システムの特長としては、空気流量の15~20%相当量を加湿して燃焼用空気に加付することによる質量流量増加の効果、および圧縮機入口で空気流量の3%程度の水滴を噴霧して吸気冷却の効果を働かせることによる高効率化と、排気ガスの低NO_x化を同時に実現することである(図2-7)。システム構成上、排熱回収ボイラ(HRSG)や蒸気タービンを持たないことから、建設コストも抑えられる。また、複合発電システムと比較して、起動時間の短縮や負荷変化率の増大が図られることから、経済負荷配分制御(ELD)や負荷周波数制御(LFC)による運用に適しており、ミドル/ピーク対応電源として系統

安定化に貢献するものと期待されている。

AHATの開発は2004年度より国の補助金事業として開始されており、当所も主にユーザの視点からシステム特性の評価と開発課題抽出の役割を担い参画している。これまでに3MW級検証機により、140時間の運転試験を実施し、計画熱効率である42.5%(低位発熱量基準)とNO_x排出量10ppm未満の達成、大気温度による効率の変動が少ない運転特性など、AHATがシステムとして成立することを確認している。2011年度には、主要要素機器であるガスタービンや再生熱交換器をスケールアップして運転試験を行う予定である。

今後は、実証機の開発・試験により更なる大型化を図り、商用化を目指している。

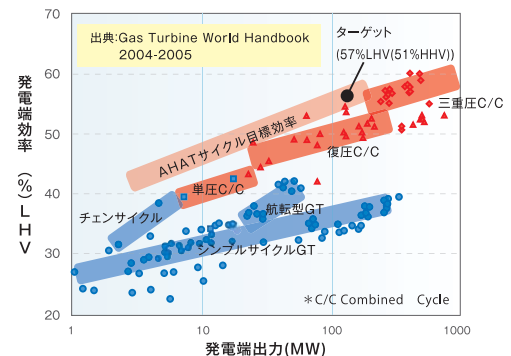


図2-6 既存のガスタービン発電システムとAHATの目標効率⁴⁾

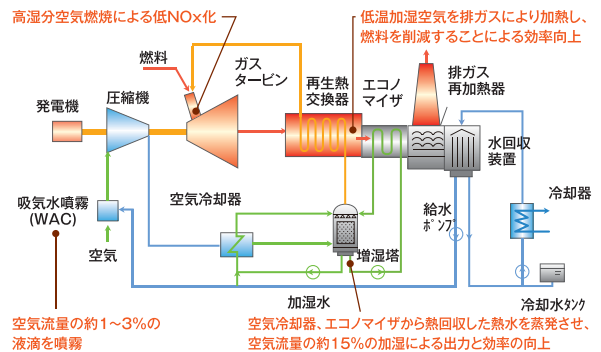


図2-7 AHATのシステム概要⁵⁾

<引用>

- 4) 幡宮、「ガスタービンを利用した新型発電システム 高湿分ガスタービン」日本ガスタービン学会誌、Vol.34 No.2 103ページ 2006年3月
- 5) 幡宮、「高湿分を利用したガスタービン発電技術」火力原子力発電技術協会誌、Vol.53 No.9 1035ページ 2002年 [一部改変]

電力供給の中核を担う火力発電と火力新技術の展望

3. 微粉炭火力の燃料種拡大

石炭火力は世界の電力供給の中核であり、途上国を中心に拡大が続いています。我が国においても、石炭火力はLNG火力と並ぶ電力の根幹を支える電源であり、東日本大震災に伴う原子力発電所の事故以降、国内の需要を賄うため高負荷の運転が続いています。国外の石炭火力も高い稼働率で運用されていることから、短・中期的には、石炭の需給はこれまで以上の逼迫が予想されます。

石炭火力としては、石炭を微粉碎しボイラの熱源とする微粉炭火力が世界的に主流であり、我が国では石油ショック以降、微粉炭火力の増設に努め、高品位な瀝青炭の利用を図ってきました。しかしながら、瀝青炭の需給逼迫等により、最近ではインドネシアの亜瀝青炭を中心とする低品位炭の導入が進められています。

石炭資源を安定に確保し、燃料コストの上昇を抑制するためには、引き続き、利用可能な燃料種の拡大に努める必要があります。電力中央研究所ではエネルギーセキュリティの向上に貢献するため、亜瀝青炭の拡大とともに、新たな石炭資源を利用するための技術、バイオマス/廃棄物等の利用を可能とする技術の開発を進めています。

エネルギー技術研究所
燃料高度利用領域リーダー
上席研究員 伊藤 茂男



亜瀝青炭の炭層と採炭用の機械

3.1 燃料種拡大の必要性

海外の石炭火力は産炭地の近郊に建設され、地元の石炭を使う地産地消が基本である。一方、資源の乏しい我が国では一つの発電所で世界各地から輸入された多様な石炭を使うという特殊な環境にある。

我が国の石炭火力の殆どは、石炭を微粉砕しボイラで燃焼させる微粉炭火力であり、燃焼効率、環境保全性の向上や石炭灰の低減のために、良質な石炭を海外から輸入してきた。しかしながら、近年の石炭需給の逼迫の中で、燃料の確保とコストの抑制のために、良質な瀝青炭に加え、亜瀝青炭等の低品位な石炭の導入が進められている。将来的には、亜瀝青炭以外に、これまで利用が困難と考えられてきた石炭やバイオマス/廃棄物由来の燃料を幅広い負荷において効率的に利用していく必要性が高まると考えられる。

これらの燃料を利用するには、燃料の探索から廃棄物の処分に至る多種多様な課題を克服する必要がある。当所は、これらの燃料に関して、燃焼特性や環境保全性の検討を進め、その成果

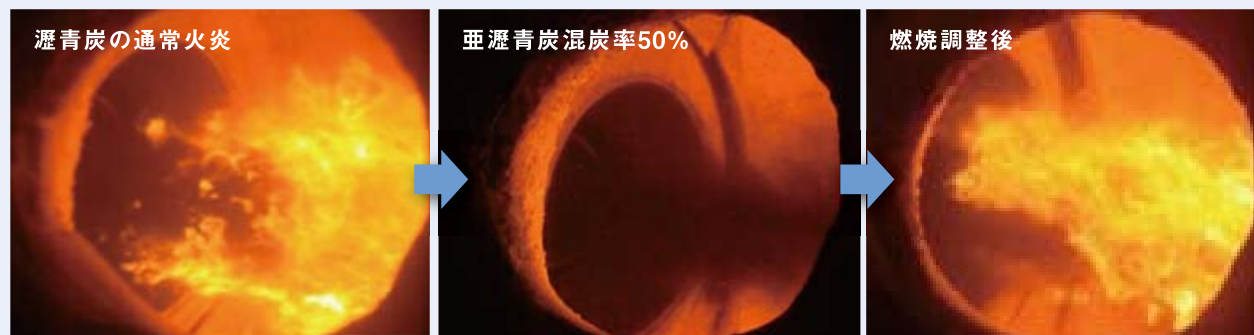
を電力会社に提供してきた。また、燃料種の一層の拡大に向けて、新たな燃料資源として、賦存量は多いが、粉碎性の劣る低HGI瀝青炭、難燃性の高燃料比瀝青炭、水分が多いためそのままでは利用が困難な褐炭に注目している。これらの石炭はこれまで殆ど利用されていないため、発電用に利用できれば、石炭資源の安定供給に大きく貢献するものである。

3.2 燃料種拡大のための課題

既設微粉炭火力発電所において新たな燃料を利用するには、瀝青炭との混焼が可能でなければならない。そのため、燃焼性、ボイラへの影響、環境保全への影響を明らかにし、対策技術を確認する必要がある。また、低品位な資源に関しては、火力燃料として活用できるよう、あらかじめ高品位化に向けた改質が必要となるものもある。そのため、当所は以下の研究開発を進めている。

(1) 燃焼技術

微粉炭火力ではNO_xの生成を抑制しながら



高水分の亜瀝青炭の混炭率を高めると、亜瀝青炭の水分によって着火が遅れ、燃焼が悪化する。そのため、バーナー一次空気の調整によって50%までの混炭が可能となること、バーナー操作条件の適正化によって亜瀝青炭の混炭率を更に高められることを明らかにした。

図3-1 亜瀝青炭の混焼による火炎の変化

未燃分を低減する低NO_x燃焼が行われている。瀝青炭用に設計された我が国の微粉炭火力プラントでは、水分の多い亜瀝青炭の混焼を進めると粉碎性や燃焼への影響が生じる。そのため、バーナの燃焼用空気の調整などが必要となり、混焼率を高めることは簡単ではない。また、我が国でこれまで利用されていない低HGI瀝青炭、高燃料比瀝青炭を用いるには、粉碎特性、燃焼特性を明らかにし、燃焼条件の適正化を進める必要がある。

当所は、亜瀝青炭の利用拡大のため、瀝青炭との混焼率を高めた際の粉碎性への影響や燃焼条件を明らかにしており(図3-1)、新たに低HGI瀝青炭について粉碎性、燃焼特性の解明に着手した。

(2) ボイラ伝熱管の管理技術

最近の微粉炭火力は、排気ガスの低NO_x化を図るため空気を絞った燃焼を行っている。その結果、石炭中の硫黄が硫化水素となり、火炉壁を腐食させる問題が生じている。また、石炭中の灰分が火炉壁や蒸気管に付着、成長するファウリング、スラッシング現象は、伝熱阻害や付着物の落下による火炉の損傷等の問題を引き起こしている。定期検査前には付着堆積物の除去が必要であることから、検査期間や検査コストにも影響する。そのため、灰の付着抑制は石炭ボイラの運用上の重要な課題となっている。

当所は、硫化腐食に関して、ガス組成、材料温度と腐食挙動の関係を把握し、ボイラの硫化腐食環境を判定する評価マップを作成した(図3-2)。本図を用いることで、ボイラ毎に硫化腐食対策の必要性が判断できる。また、蒸気管

材の腐食速度を予測する手法を構築するとともに、伝熱、燃焼面の評価を加えた伝熱面健全性評価手法を開発している。さらに、硫化腐食対策として、耐食コーティング技術を開発しており、火力発電所の火炉壁に施工し実証試験を継続している(図3-3)。

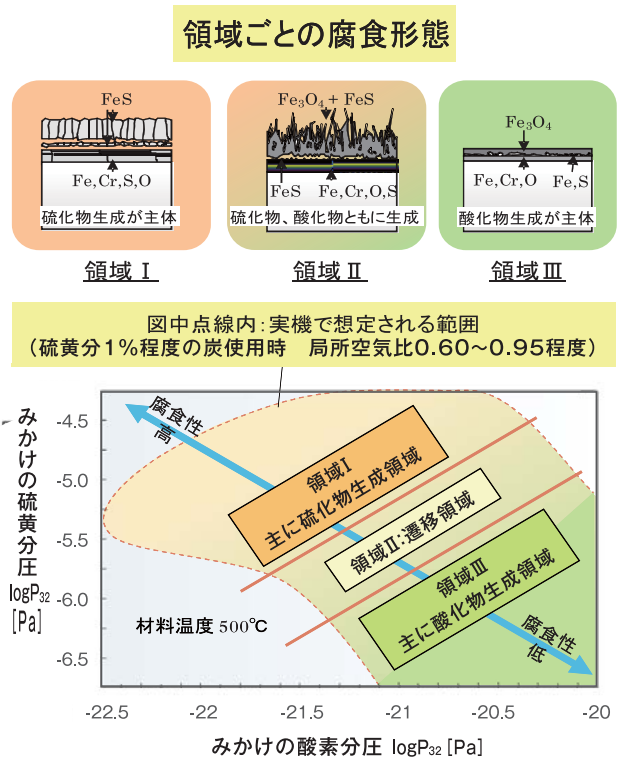


図3-2 硫化腐食の評価手法

火炉内の灰付着現象は古くからの問題で、従来、石炭灰の性状をもとにした評価が行われてきた。当所は、灰付着現象の理解のため、石炭灰の性状に加えて炉内の局所的な温度の影響の解明に着手した。ボイラ内の温度は、炭種や燃焼条件によって変化するため、実機ボイラ内の温度推定法と石炭灰性状から、ファウリング、スラッシング性を評価する新たな手法の開発を進めている。



現在、左の3種類の改良型コーティング(上からZrSiO₄系、Fe₂O₃系、Al₂O₃系)を実機蒸気管に施工し、耐久性試験を実施中である。

図3-3 耐硫化腐食コーティングの実証試験

(3) 環境影響評価と対策

石炭火力では環境対策のため、脱硝、集じん、脱硫などの排煙処理装置を設置し、NO_x、ばいじん、SO_xの排出量を低減しており、これらの対策は世界最高水準にある。新たな燃料を導入するにあたって、環境保全性への影響を明らかにする必要があるが、これらの対策技術は想定される新燃料に対しても十分な性能を発揮すると考えてよいであろう。

近年、世界的に排ガスや石炭灰、排水中に含まれる微量物質への関心が高まっている。排煙処理装置は微量物質の排出抑制にも一定の効果を発揮している。当所は、環境保全性の一層の向上を目指し、微量物質の計測技術の開発、挙動解明を進め、さらに必要と思われるものについて対策技術の開発を行っている。

微量物質の測定技術に関しては、排ガス中の化学形態別水銀連続分析計を実用化するとともに、排ガス中のホウ素、セレンについて測定法の検証と標準化を進めている。また、炭種の選定や設備の適切な運用のため、これらの物質の発電プラント内の挙動解明を行っている。特にホウ素に関して、石炭性状や発電プラントの仕様、運転条件等から、クリンカ、石炭灰、排ガス、排水中への移動量ならびに濃度を予測できる微量物質移行量予測システムを開発し、複数の発電所に提供している(図3-4)。また、微量物質対策技術として石炭灰からの溶出抑制、排水処理の負担を軽減するための技術開発を行っている。

(4) 燃料の改質

高水分の褐炭やバイオマス、廃棄物を火力発電用の燃料とするには脱水や炭化、あるいは液体燃料への変換など、燃料の改質が必要である。当所が開発した液化ジメチルエーテル(DME)を用いた脱水・脱油技術は常温付近で動作し、外部から大量の熱エネルギーを投入することが不要である。このため、省エネルギー性が高く、褐炭、バイオマス、廃棄物の脱水等への適用を進めている。また、バイオマス、廃棄物を石炭火力で利用可能とするには、粉碎性や燃焼性の改善に寄与する炭化燃料化が有効な方策と考えられることから、当所は炭化技術の開発にも取り組んでいる。

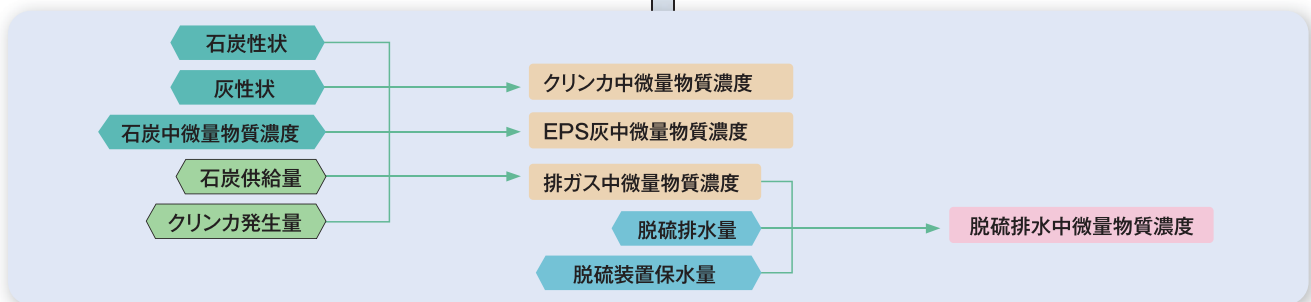


図3-4 微量物質移行量予測システム

電力供給の中核を担う火力発電と火力新技術の展望

4. 未来の石炭火力発電技術への挑戦

低炭素社会の実現に向けて、石炭火力発電におけるCO₂排出量低減のための新技術開発が行われています。その一つとして、高効率化技術の開発が進められており、現在の微粉炭火力発電の更なる効率向上だけでなく、新しい石炭火力発電技術として石炭ガス化複合発電(IGCC)の開発などが実施されています。欧米では、IGCC実証・商用計画として、四つの30万kW級IGCCプラントが、また、我が国では電気事業大のプロジェクトである25万kW級IGCC実証プラントが、運転を行なっています。

CO₂の分離回収・貯留(CCS)についても、近年国内外で調査・研究が進められ、石炭火力発電からのCO₂の分離回収技術の開発も行なわれており、中長期的なCO₂削減オプションの一つとして、その有効性と課題を検証しておく必要があります。

本章では、低炭素化に向けた未来の石炭火力発電技術として、現在、電気事業大で開発が進められている、我が国独自の高効率なIGCC技術開発に対する電力中央研究所の取組み、さらに、CCSに備えた新しいCO₂回収型IGCCシステムの特長について述べます。

エネルギー技術研究所
高効率発電領域リーダー
上席研究員 原 三郎



エネルギー技術研究所
上席研究員 森 則之



当所 横須賀地区に設置された 2トン／日石炭ガス化実験設備(左奥)
— IGCC実証機の原型炉

4.1 低炭素化に向けた新しい石炭火力発電技術

現状の石炭利用発電技術の中で最も効率が
高いシステムは、微粉炭焚き600℃級超々臨界圧
(USC)プラントであり、送電端、高位発熱量(HHV)
基準で約42%を実現している。今日、更なる高効率
化に向けて、石炭ガス化複合発電(IGCC)と次世代
超々臨界圧発電(A-USC)の開発が、国レベルで進
められている(図4-1)。IGCCに関しては、実証プラ
ントの段階にあり、2010年度までに、長期連続運
転試験などが順調に実施され、現在も試験運転を
継続している。当所は、1980年代より石炭ガス化
技術やガスタービン燃焼技術等の開発に取り組ん
でおり、これまでに蓄積した多くの知見を最大限に
発揮して、実証プラントの開発を支援している。

一方、蒸気温度が700℃以上になるA-USCの開発
プロジェクトは、2008年度より経済産業省の補助
事業として開始されており、これまでにA-USCボイラ
タービン候補材料に対するクリープ、高温腐食、
溶接等の材料特性評価試験が進められている。
当所は、ボイラ候補Ni基合金溶接継手のクリープ

疲労試験を担当しており、その一端を担っている。

また、更に将来を見据えたCO₂の大幅抑制技術
として、CO₂を分離回収するCCSシステムのうち、
O₂-CO₂吹きガス化炉と酸素燃焼クローズドガス
タービンを組み合わせた、次世代高効率IGCCシ
ステムの開発にも取り組んでいる。

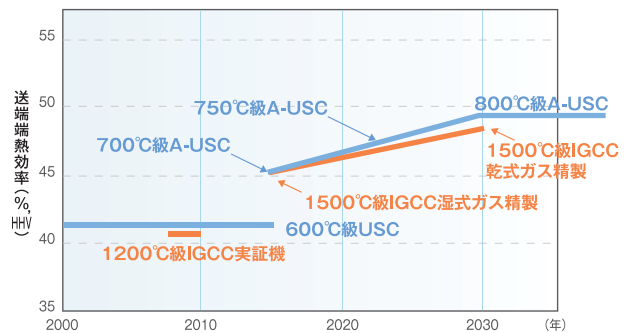


図4-1 石炭利用発電システムの効率の比較¹⁾

<引用>

1)「P-SCD353 調査研究分科会成果報告書」機械学会 121ページ 2007年12月

4.2 高効率なIGCC技術の実用化に向けて

高効率なIGCCは、電気事業にとってCO₂排出
原単位削減に欠かすことのできない次世代の

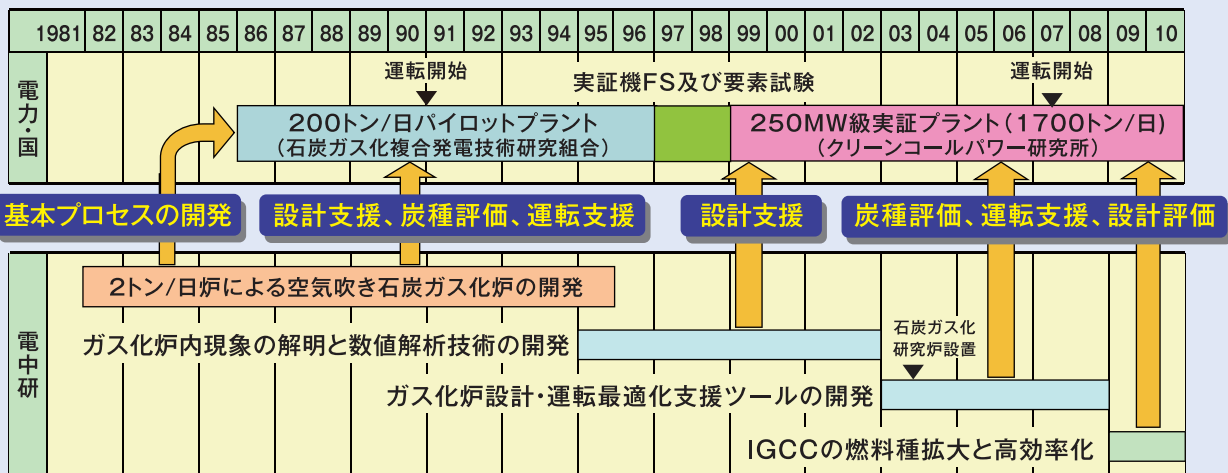


図4-2 空気吹きIGCC開発の経緯と電力中央研究所の取組み

石炭火力発電として極めて重要な技術である。当所は、図4-2に示すよう、IGCC開発創生期から研究に携わり、横須賀地区に設置されたプロセス開発用の2トン/日炉により世界で初めて空気吹きガス化基本プロセスを開発した(三菱重工業との共同研究)。

福島県いわき市の200トン/日パイロットプラントに対しては、基本計画段階から2トン/日炉を用いた数多くの支援研究を行い、パイロットプラント運転研究の成功に大きく貢献した。特に、運転初期に発生したガス化炉壁面への灰付着トラブルに対し、メカニズム解明ため、2トン/日炉による再現試験を行い、その結果をパイロットプラントでの対策検討に反映し、トラブルを解決している。

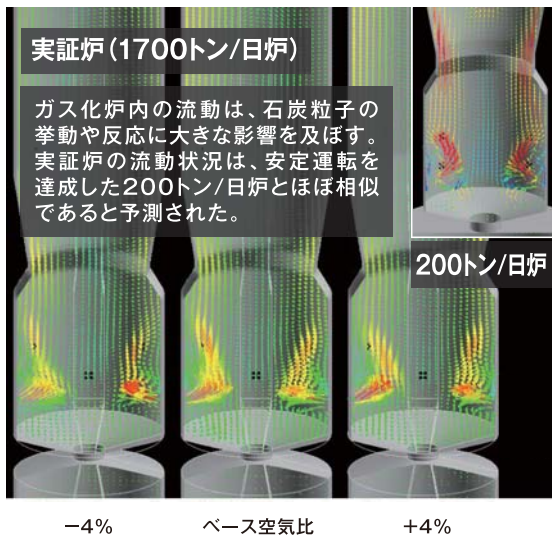


図4-3 実証プラントガス化炉内流動の評価

その後、実証・商用機へのスケールアップに向けて、石炭ガス化技術実用化の鍵となる、運転信頼性の確保、高効率運転の達成、コスト低減のため、実験技術と数値解析技術を融合した「石炭ガス化炉設計・運転最適化支援ツール」の開発を進めてきた。数値解析技術については、2トン/日

炉やパイロットプラントのデータで検証された高精度の技術として確立し、実証プラントガス化炉の設計支援に活用してきている。図4-3はその一例で、実証プラントガス化炉の炉内流動について評価したものである。200トン/日パイロットプラントとほぼ相似の旋回流が形成され、ガス化炉内の流動状況は良好であると予測された。

また、実証プラントの円滑な試験遂行のため、石炭のガス化反応速度を測定する基礎実験や、2トン/日炉に替わる研究用小型ガス化炉である3トン/日石炭ガス化研究炉による試験炭のガス化特性評価および、数値解析による実証プラントのガス化性能予測を行い、多様な貢献を行なっている。数値解析による実証プラントガス化性能予測の一例として生成チャー量予測結果を図4-4に示す。生成チャーは回収後、炉内に再投入されることから、安定運転のための条件を決定する際に、各炭種の生成チャー量予測値は極めて有用な情報となる。

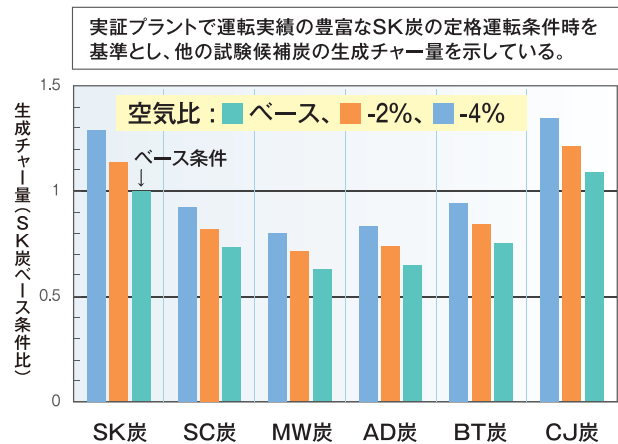


図4-4 実証プラントガス化性能の予測

以上のように、当所は、将来のIGCC商用機導入を見据えて、技術開発の各段階で、一貫して中核となる石炭ガス化技術の開発に取り組んできている。引き続き、実証プラントの着実な支援、商用化に

に向けた、燃料種の拡大や一層の信頼性向上・高効率化の研究を進めていく。

4.3 IGCCをベースとした更なる低炭素化への取組み

現在、国内外で検討されているCO₂回収型IGCCシステムは、燃焼前回収方式であり、送電端効率の低下と発電コストの上昇が大きな課題となっている。

当所では、将来の革新的オプションの提供を目指し、CO₂を回収しながら高い送電端効率を維持できる、新しいCO₂回収型高効率IGCCシステムを提案し、実現可能性の評価および実用化に向けた課題の抽出を実施している。

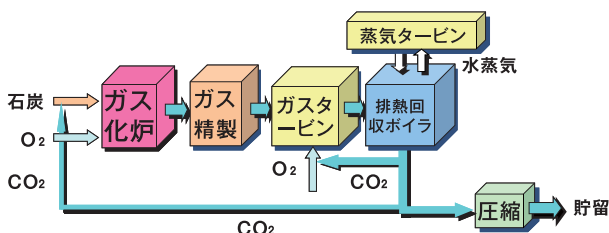


図4-5 CO₂回収型高効率IGCCシステムのご概念

本システムは、図4-5に示すように、回収したCO₂を効果的に利用する新たなO₂-CO₂吹き石炭ガス化炉と、リサイクルした排ガスにO₂を混合して燃焼させるクローズドガスタービンを組み合わせたものである。本システムの送電端効率を試算した結果、従来から提案されている方式ではCO₂を回収すると送電端効率(HHV基準)は、32%程度まで低下してしまうのに対して、本システムでは40%以上と、極めて高効率でCO₂回収型発電を実現できる可能性があることが判った。

IGCCを更に高効率化する将来のシステムとして、燃料電池(FC:Fuel Cell)を利用した石炭ガス化燃料電池複合発電技術(IGFC:Integrated coal Gasification Fuel Cell combined cycle)発電

システムも考えられている。このシステムでは、石炭ガス化ガスをFC、ガスタービン(GT)の燃料にして発電を行ない、更に、石炭ガス化、電池、燃焼などの各反応で生じる熱から蒸気を生成し蒸気タービン(ST)でも発電するものである。当所では、FCの研究開発で培った電池性能を詳細に推測する技術を活用し、発電システムをシミュレーション解析して、IGFCが50%(HHV基準)を超える熱効率を期待できるシステムであることを確認した。

CCSへの対応として、前述のCO₂回収型高効率発電システム以外に、IGFC発電システムでCO₂を回収することが考えられる。当所では、低炭素化を図りつつ高効率化が期待できるシステムの検討に役立てるため、IGFCでCO₂を回収するシステムについても、その特徴や熱効率を検討した。

IGFCの場合には、ガス精製後、あるいは電池反応後の石炭ガス化ガスや、GT燃焼器で燃焼後のガスからCO₂を回収することが考えられる。また、FCやGT燃焼器の酸化剤に空気をを用いるか、またはO₂を製造して用いるかなど、CO₂回収の対象となるガスや発電の方法などに様々な組合せがあり、多様なシステム構成が考えられる。当所では、システム構成ごとの特徴を整理し、どのようなシステムの組合せが熱効率の点で有利であるかなどを検討して、性能解析を実施した。その結果、図4-6に示すシステム構成により、45%(HHV基準)超の熱効率が期待できることを明らかにした。

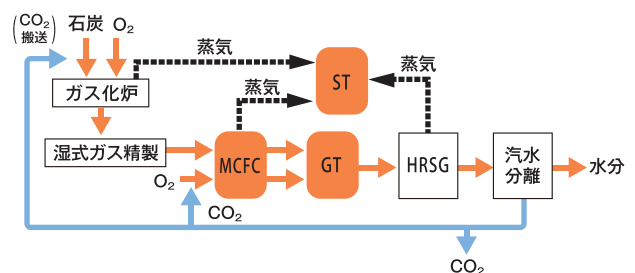


図4-6 CO₂回収型IGFCシステムの構成例

DEN-CHU-KEN
TOPICS

発行：一般財団法人 電力中央研究所 広報グループ

〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1 (大手町ビル7階)

TEL:03-3201-6601 FAX:03-3287-2863

<http://criepi.denken.or.jp/>