

特集：石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について

「石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について」特集によせて

Recent Technologies to reduce CO₂ Emission in Coal-fired Power Generation



金子 祥三*¹
KANEKO Shozo

化石燃料は数億年かけて地球が育ててきた貴重な資源であり、人類の重要な財産である。現在、我々が享受しているこの文明社会も、化石燃料をベースとした産業革命がなかったら実現していないであろう。

しかし、この化石燃料は一度使ってしまうと二度と再生できない。つまり、無駄に使うことなく大事に、大事に、使って行かなければならないのである。このように化石燃料利用の高効率化は我々の義務であり、発電に携わる技術者の永遠の課題である。効率向上により燃料を節減することは、自動的に排出するCO₂量を削減することを意味する。従って地球温暖化防止のためにも、ますます高効率化技術が重要になって来ている。

2030年のエネルギーミックスでは再生可能エネルギー23%、原子力21%、天然ガス27%、石炭26%、石油3%と、それぞれバランス良く利用しながら発電し、(S+3E)つまり安全と資源の確保、経済性、環境性の同時成立を目指している。

しかしここ数年、一部で、“石炭は座礁資産”、“先進国はやめているのに日本はなぜ”、“このままではバスに乗り遅れる”といった、一般の人々の不安を煽るような報道が見られる。果たしてそうであろうか。我々は技術者として、しっかりと冷静に議論をした上で判断し、国民や世界の人々に本当に貢献できる“正しい”選択を行うよう努力しなければならない。

基本的に発電用燃料として何を選択するかはユーザーの選択であり、その国の人々がいろいろな条件を勘案して最適と思うものが採用される。私も発電技術に携わって50年を超えるので、ここで個人的な経験をお話させて戴くことをお許し願いたい。

大学を卒業してメーカーに入社した時は、圧倒的な経済性から重油ボイラ全盛であった。古い石炭火力も次々に重油焚きに改造して行った。その中で世界初のLNG焚

きボイラを担当することになり、米国の人からは、“貴重で高価な天然ガスを発電用に使うなんて本気か？”といわれた。

そのうちオイルショックが起こり、国内は一大パニックとなり、トイレトペーパーやティッシュペーパーが店頭から無くなり大騒ぎになった（オイルショックの最大の影響がトイレトペーパーというのは未だ良く分からない）。この時の大騒動は東日本大震災を凌ぐものだったと思われ、“日本沈没”が起こるかと思われた。この時、最終的に取られたのが①石油備蓄 ②エネルギーの石油への異常な偏在を止める（何と日本の一次エネルギーの77%が中東の原油に依存していた）——原子力と石炭火力の推進であった。石炭火力を重油火力に改造したばかりなのに、数年も経たずにまた石炭火力に戻した。また海外から本格的に石炭を輸入し、次々に高効率大型石炭火力が建設されていった。また日本が世界に先駆けて建設した100万kW級の天然ガスコンバインドサイクル発電が見事にうまく行ったので、米国も欧州も後を追ってコンバインドを建設するようになった。

その他、エネルギー源の多様化を求めて、超重質油、重油残渣、石炭-油スラリー、石炭-水スラリー、メタノール、バイオマスなどいろいろな燃焼技術を開発した。燃料に関して一言言えることは“経済性を無視した燃料は存続できない”ということである。

若い頃、多くの海外プラントを経験した。ほとんどが発展途上国であった。子供たちは学校にも行けず、裸足で、我々に花を買って貰おうと必死で追いかけて来た。今、世界には電気の無い人々が10億人いる。また電気が来ていても高く買えない人も多い。この人たちに、安くて、環境にやさしい、クリーンな高効率発電の技術を提供することは我々日本の技術者の責務ではないだろうか。

原稿受付 2019年5月29日

*1 東京大学生産技術研究所
〒153-8505 目黒区駒場4-6-1

特集：石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について

地球温暖化問題と石炭火力発電 –世界の最新動向–

Climate Change and Coal Fired Power Generation -Latest Trends in the World -



西村 邦幸*¹
NISHIMURA Kuniyuki

キーワード：地球温暖化問題，パリ協定，CO₂削減，石炭火力発電，座礁資産，ダイベストメント
Key Words：Global Warming, Paris Agreement, CO₂ reduction, Coal Fired Power Generation, Stranded Assets, Divestment

1. 緒言

パリ協定は2020年以降の各国及び世界の地球温暖化対策の根幹である。日本を含む先進国は、パリ協定の下で2050年に向けて温室効果ガス排出量の概ね80%削減を目標としている。日本の温室効果ガス排出量の9割弱は化石燃料から排出されるCO₂であることから、2050年の80%削減はエネルギー需給構造の抜本的な変革を伴うことになる。我が国における全電源に占める石炭火力の発電電力量の割合は2017年で33.5%と大きく、今後、石炭火力への規制が強まる可能性がある。

本稿は、パリ協定の内容、化石燃料資源の価値に関する議論、各国の石炭火力発電の規制状況を概観した上で、我が国における石炭火力に求められる要件について考察を行う。

2. パリ協定により求められる温室効果ガスの削減

2.1 2050年目標

2020年からはパリ協定に基づき世界各国の地球温暖化対策が進められる。パリ協定は2015年のCOP21（気候変動枠組条約第21回締約国会議）で採択され、2016年11月に発効した世界全体での地球温暖化対策の枠組みである。196か国が参加しており、温室効果ガスの削減目標は各国が独自に決定し、削減に向けて対策が採られる。

パリ協定の主要ポイントは、次のとおりである。

- ①世界共通の長期目標として、世界全体の平均気温の上昇を産業革命以前よりも2℃未満に抑制する、および1.5℃までに抑制するための努力を継続する。
- ②すべての国が削減目標を策定し、対策を行う。また5年ごとにその目標を更新し、レビューを受ける。さらに、共通かつ柔軟な方法でその実施状況を報告し、レ

ビューを受ける。

①の長期目標の対象年は2050年である。2020年までに各国は長期目標とその達成のための戦略を策定し国連に提出することが求められていることから、日本は2019年6月に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を閣議決定した。目標部分を抜粋すると次のとおりであり、2050年までに80%の排出削減を行い、今世紀後半のできるだけ早期に炭素排出をゼロにすると述べられている。

我が国は、最終到達点として「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現していくことを目指す。それに向けて、2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減という長期的目標を掲げており、その実現に向けて、大胆に施策に取り組む。

Table 1には既に各国から提出されている2050年目標とそのための長期戦略の内容を掲げた。目標の基準年は異なるが、削減率は各国とも概ね80%以上である。日本は削減の基準年を明示していないものの、削減率は各国と同程度である。現状排出している温室効果ガス（主としてCO₂）を80%削減する訳であるから、いずれの国においてもエネルギー需給構造が抜本的に変わることを意味し、日本にとっても例外ではない。

2.2 2030年目標

パリ協定では2030年の中期目標も設定する必要がある。各国はこの目標を設定済みであり、主要国についての目標をTable 2に示す。日本は基準年を2013年として2013年の排出量から26%削減することを目指している。

ちなみに日本、米国、EUについては、いずれも2030年の目標に対する削減率が最も高くなる年を基準年として

原稿受付 2019年5月29日

* 1 (株)三菱総合研究所 環境・エネルギー事業本部
〒100-8141 千代田区永田町2-10-3
東京農業大学非常勤講師

Table 1 Long-term goals of major countries under the Paris Agreement and their positioning ⁽¹⁾

| 国 | 2050年目標 | 長期戦略の位置付け |
|------|---------------------|---|
| ドイツ | 80～95%削減 (90年比) | すべての関係者に必要な方向性を示す長期的な気候変動対策の基本方針 |
| フランス | 75%削減 (90年比) | 目標達成に向けた全体的な枠組みと解決法の明確化（公的機関に法的拘束力、企業への投資指針などの参考） |
| 英国 | 80%以上削減 (90年比) | 「クリーン成長」のベース加速を目指した包括的な政策及び提案 |
| カナダ | 80%削減 (2005年比) | 長期大幅削減に向けた課題と機会に関する基本的な枠組みの提供 |
| 米国 | 80%以上削減 (2005年比) | 政策及び投資を導く戦略的枠組みの提供 |

Table 2 Comparison of greenhouse gas emission reduction targets in major countries ⁽²⁾

| 国名 | 1990年比 | 2005年比 | 2013年比 |
|----|--|--------------------|--------------------|
| 日本 | ▲18.0% (2030年) | ▲25.4% (2030年) | ▲26.0% (2030年) |
| 米国 | ▲14～16% (2025年) | ▲26～28% (2025年) | ▲18～21% (2025年) |
| EU | ▲40% (2030年) | ▲35% (2030年) | ▲24% (2030年) |
| 中国 | 2030年までに、2005年比でGDP当たりの二酸化炭素排出を-60～-65% (2005年比) 2030年頃に、二酸化炭素排出のピークを達成 | | |
| 韓国 | +81% (2030年) | ▲4% (2030年) | ▲22% (2030年) |

◆ 米国は2005年比の数字を、E Uは1990年比の数字を削減目標として提出
◆ 韓国は「2030年（対策無しケース）比37%削減」を削減目標として提出

いることが見て取れる。これは国際社会で自分の削減率がいかに高いかをアピールするための一つの手段である。

同じ理由から、今後も排出量の増加が見込まれる中国は総量目標ではなくGDP当たりの排出量目標を採用し、韓国は総量目標ではあるが2030年までに特段の対策を採らない場合と比較した削減目標を国連に報告している。ちなみに韓国の排出量は1990年比でみると2030年には81%増加するが、これは1990年代の経済成長に伴いCO₂排出量が大きく増加したことが理由である。

2030年の中期目標の達成についてはそれ自体も重要であるが、2050年の長期目標に至る過程の一つであるという認識が大事である。地球温暖化の度合いは大気中に累積されたCO₂をはじめとする温室効果ガスの濃度で決まり、毎年の排出量を下げても濃度がすぐに下がる訳ではない。したがって一朝一夕には達成は難しく長期の取組が必要なことが理由である。

特に電力部門における大型の発電所については、大規模な設備投資を伴い、建設に関しては環境影響評価も含めて長い期間が必要なこと、設備の運用年数も長期にわたることから、パリ協定に伴う地球温暖化対策の政策動向を見据えて、2030年よりもむしろ2050年を考えて長期的に電源設備への投資及び電源構成を考えていく必要がある。

3. 化石燃料資源の価値に関する動向

3.1 座礁資産

座礁資産という言葉がある。これは社会環境が変化することにより、価値が減ってしまう資産のことを指す。2011年に非営利シンクタンクのカーボン・トラッカー・イニシアチブから化石燃料資源に関する本概念が発表され、化石燃料資源が座礁資産とされた。この研究は、2012年に設立されたオックスフォード大学のスミス企業環境スクールに引き継がれており、カーボン・トラッカー・イニシアチブは現在も研究のパートナーである。

化石燃料資源に関する座礁資産の概念を説明すると次のとおりである。

- ①地球の平均気温の上昇が産業革命前と比べて2℃以内であれば、地球温暖化が人類に大きなダメージを与えないですむ。
- ②この気温に抑えるには、民間企業の開発対象である石炭・石油・天然ガスの可採埋蔵量の60～80%を利用することができない。
- ③化石燃料の開発には企業から年間6,740億ドルが投資されており、10年続くと世界経済で6兆ドル以上のお金が費やされる。
- ④この多くの部分が座礁資産として無駄な投資になる。

スミス企業環境スクールは、2016年5月に既存石炭火力の更新や他の電源との競合などを考慮すると、多くの日本の石炭火力発電所が座礁資産化するのではないかと報告書を発表し、座礁資産となる発電所の価値は7～9兆円と試算した。

また、スミス企業環境スクールはパリ協定に基づく1.5℃あるいは2℃目標を目指す過程で、世界の石油・ガス会社が受ける影響について分析した報告書を2018年3月に発表した。この中では次の事項が指摘されている。

- ・パリ協定に基づき、地球温暖化を1.5℃あるいは2℃以下に抑える目標達成に向けて低炭素移行が進んでいる。
- ・将来の気候変動に起因する事象の時期や重大性及び政府の地球温暖化対策には不確実性があるが、石油・ガス会社のリスクは増加することはあっても減少することはない。
- ・石油・ガス会社が現在の世界全体の石油埋蔵量の80%～90%を管理していることを考えると、今後、開発にあたって高あるいは中程度の開発費を必要とする埋蔵量が数十年にわたって座礁資産化していくという重大なリスクに直面している。

3.2 化石燃料ダイベストメント

ダイベストメント（投資撤退）とはインベストメント（投資）とは逆の意味であり、化石燃料に関するダイベストメントといえは、CO₂排出に結びつく化石燃料産業への投資資金を引き揚げることである。具体的には融資、株式の引き揚げ、事業投資の引き揚げや売却に加えて新

たな投資を行わないことも含む。

化石燃料ダイベストメントは、資金規模が大きい機関投資家である年金基金から始まり、現状では銀行、保険などの金融業界にも広がりつつある。

ダイベストメントの方針を発表している基金を次に示す。この中でも資金規模が1兆ドルと大きいノルウェー政府年金基金は、2015年という早い段階でダイベストメントの開始を発表した。そのための基準は次のとおりであり、既に石炭関連事業からの利益の割合が30%超、また石炭火力の発電量が30%超の企業（日本企業も含む）からの投資撤退を完了している。

- ・石炭採掘企業および発電会社に対して、自らまたは管理している企業において、石炭火力からの収益が全体の30%以上、または石炭火力が事業の30%以上を占める企業について、投資対象から除外するか、観察対象とすることができる。
- ・企業が石炭火力の収益・事業の比率を縮小する計画もしくは再生可能エネルギー源の収益・事業を増加させる計画を持っているかなど、将来見通し評価に重点を置いて判断する。

ダイベストメント方針を表明している年金基金

- ・ノルウェー政府年金基金
- ・フランス年金準備基金
- ・スウェーデン公的年金
- ・デンマーク年金基金
- ・デンマーク年金生活ファンド
- ・オランダ公務員年金基金
- ・米国カリフォルニア州教職員年金基金
- ・米国カリフォルニア州職員退職年金基金

また、石炭火力へ燃料供給を行う炭鉱、石炭火力へのファイナンス（融資）を停止した世界の銀行をまとめるとTable 3のとおりである。

国内の状況であるが、3大メガバンクである三菱UFJフィナンシャル・グループ（MUFG）、三井住友銀行（SMBC）、みずほフィナンシャルグループ（MHFG）は、国内外に立地する石炭火力に対してTable 4に示す融資方針を採用している。MUFGとMHFGは2019年になり方針を強化している。

ダイベストメントに関しては以上に示した状況であるが、カーボンプライシング（炭素税や排出量取引などCO₂の排出に価格付けし、排出を抑制する仕組み）の導入など将来の地球温暖化対策が不透明な中で、企業価値を算出する手法が確立している訳ではない。また、現在、主な利益を化石燃料使用により得ている場合でも、将来的にその割合を下げ、化石燃料に依存しない新たなビジネスへ展開の意思がきちんと示されていれば、必ずしもダイベストメントの対象となる訳ではない。

企業の側もこのことをしっかり意識し、現状に留まる

Table 3 Global financial institutions deciding on coal divestment ⁽³⁾

| 国 | 新設石炭火力及び石炭火力用新規鉱山開発 | 新設石炭火力 | 石炭火力用新規鉱山開発 |
|---------|---|------------------------|-----------------------|
| ベルギー | ・KBC | | |
| ドイツ | ・コメルツ銀行 ・ドイツ銀行 | ・DZ銀行 | |
| スペイン | ・サンタンデール | | |
| フランス | ・ナティクシス ・クレディ ・アグリコル ・ソシエテ ・ジェネラル ・BNPパリバ | | |
| オランダ | ・ING ・ラボバンク ・ABNアムロ | | |
| スウェーデン | | ・スカンジナビア・エンスキルダ銀行(SEB) | |
| スイス | | | ・クレディスイス |
| 英国 | ・ロイヤル・バンク・オブ・スコットランド (RBS) ・ロイズ・バンキング・グループ・スタンダードチャータード ・パークレイズ | | ・HSBC |
| 米国 | ・USバンコープ | ・PNC | ・JPモルガンチェイス |
| オーストラリア | | | ・ナショナルオーストラリア銀行 (NAB) |
| シンガポール | | | ・DBS |
| 南アフリカ | | ・ネドバンク | |

のではなく自ら低炭素化時代の新しいエネルギー供給に留意した戦略を示した上で実行して行けば、ダイベストメントを恐れることはない。

4. 各国の石炭火力規制

4.1 各国の動向

Table 5に石炭火力の廃止予定を持つ主要国の状況（廃止決定年、廃止目標年、全電源に占める石炭火力の発電量の割合）を示す。

2015年に採択され、2016年に発効したパリ協定の流れを受け、早い国では英国、ポルトガルのように2016年に、遅い国でもドイツ、フィンランドのように2019年に廃止目標を決定している。また、廃止目標年が遠いものではドイツの2038年、近いものではフランスの2021年と幅がある。これは石炭火力比率が高い国ほど石炭火力廃止へ円滑に移行していくために時間が必要であることが反映されていると解釈できる。

4.2 ドイツの動向

石炭火力の比率が4割近くを占めるドイツは、電源構成の移行にはほぼ20年を要する計画である。これは脱石炭委員会（正式名称：「成長、構造改革と雇用に関する委員会」）が難航の末、2019年に1月26日に発表した336

Table 4 Financing policy for coal fired power generation of Japan's three megabanks ⁽⁴⁾

| 銀行名 | 内容 |
|------|--|
| MUFG | 環境・社会ポリシーフレームワーク [2018年5月15日] 石炭火力発電に係る新規与信採り上げに際しては、OECD 公的輸出信用アレンジメントなどの国際的ガイドラインを参考に、石炭火力発電を巡る各国ならびに国際的状況を十分に認識した上で、ファイナンスの可否を慎重に検討します。 [2019年5月15日（7月1日より適用）] 新設の石炭火力発電所へのファイナンスは、原則として実行しません。但し、当該国のエネルギー政策・事情等を踏まえ、OECD 公的輸出信用アレンジメントなどの国際的ガイドラインを参照し、他の実行可能な代替技術等を個別に検討した上で、ファイナンスを取り組む場合があります。 |
| SMBC | 事業別融資方針の制定およびクレジットポリシーの改定について [2018年6月18日] ・先進国における脱炭素社会へ向けた取組が進むなか、今後は、低炭素社会への移行段階として、石炭火力発電所に対する融資方針をより厳格化し、新規融資は国や地域を問わず超々臨界及びそれ以上の高効率の案件に融資を限定します。 |
| MHFG | 責任ある投融資等に関する具体的な対応 [2018年6月13日] ・石炭火力発電を資金使途とする与信案件については、主として温室効果ガス排出に関わる技術が、同等のエネルギー効率を持つ実行可能な代替技術と比較しても、経済合理性を踏まえて適切な選択肢であるか等を検証したうえで、与信判断を行う。 [2019年5月22日（7月1日より適用）] ・石炭火力発電の新規建設を資金使途とする投融資等については、国際的なガイドライン（OECD 公的輸出信用ガイドラインなど）、導入国のエネルギー政策・気候変動対策、日本のエネルギー政策や法規制と整合する場合に限り対応します。その上で、原則、世界最新鋭である超々臨界圧及び、それ以上の高効率の案件に限定します。 |

Table 5 Target year of major countries with coal-fired power generation phase-out target ⁽⁵⁾

| 国名 | 廃止決定年 | 廃止目標年 | 全電源に占める石炭火力の発電量割合 [2017年] (%) |
|----------|-------|-------|-------------------------------|
| ドイツ | 2019 | 2038 | 38.9 |
| オランダ | 2017 | 2030 | 29.2 |
| ポルトガル | 2016 | 2030 | 25.5 |
| デンマーク | 2017 | 2030 | 19.6 |
| スペイン | 2018 | 2030 | 17.2 |
| アイルランド | 2018 | 2025 | 11.9 |
| イタリア | 2017 | 2025 | 11.8 |
| フィンランド | 2019 | 2029 | 9.9 |
| カナダ | 2017 | 2030 | 9.0 |
| 英国 | 2016 | 2025 | 7.0 |
| オーストリア | 2017 | 2025 | 5.8 |
| ニュージーランド | 2017 | 2030 | 2.8 |
| フランス | 2018 | 2021 | 2.5 |
| スウェーデン | 2017 | 2022 | 1.2 |

注. ドイツについては今後政府の承認が必要。

頁に及ぶ報告書に記載されたスケジュールである。今後、政府が内容を検討し結論が出されるが、概ね今の内容で承認されると考えられている。

また、報告書には2030年までに系統・市場を混乱させないかたちで再生可能エネルギーを65%まで拡大すること、石炭火力廃止によって影響を受ける石炭火力への燃料を供給する炭鉱や石炭火力が多く立地する州への少なくとも400億ユーロの財政支援を実施することも含まれている。

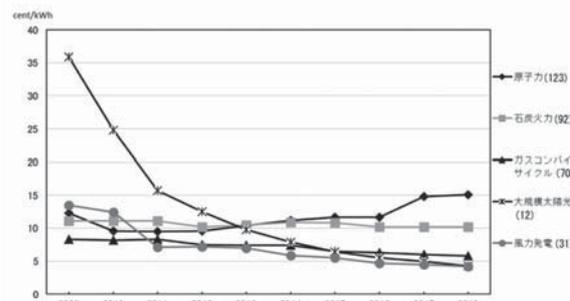
20世紀のドイツは石炭産業を基幹として発展してきたと言っても過言ではない。このドイツにおいて、石炭火力を廃止し再生可能エネルギーといった他のエネルギー源に転換する計画が20年をかけて進められようとしている。ドイツにおける低炭素化社会への転換は、エネルギー供給構造の転換だけではなく、痛みも伴う産業構造の転換をも意味する中で、CO₂削減を進めていこうというドイツの意思が示された計画である。

ドイツがこのような政策を採用しようとしている背景には、風力発電や太陽電池などの再生可能エネルギーの価格が低下し、既存電源と十分に競合し得るまでに育ってきたことが挙げられる。しかしながら、石炭火力の比率が4割近くを占めるドイツにおいて産業構造転換を伴うこの計画が予定通りに進むのか、あるいは内容の変更があり得るのかなど、我が国のエネルギー政策にも影響を与える可能性があるため、ドイツの状況を注意深く見守る必要がある。

5. 再生可能エネルギーの状況

5.1 コスト

Fig. 1に2009年から2018年までの電源別の発電原価の推移を示す。太陽光発電は36.9から4.2 cent/kWhへと、風力発電は13.5から4.3 cent/kWhへとそれぞれ88%、69%安くなった。ガスコンバインドサイクルや石炭火力もそれぞれ30%、9%安くなったが、それぞれの発電原価は5.8、10.2 cent/kWhであり再生可能エネルギーよりも高い。なお、ガスコンバインドサイクルの発電原価低減率が石炭火力よりも大きいのは、米国でシェールガス



注. 凡例の右側のかっこ内の数値は2009年の発電原価を100とした場合の2018年の値

Fig. 1 Levelized Cost of Energy Comparison -Historical Utility-Scale Generation Comparison ⁽⁶⁾

が産出されるようになり天然ガス価格が下がったことが原因である。

Fig. 1は世界における発電原価であり、再生可能エネルギーが化石燃料電源よりも高い現在の日本の状況と一致するものではないが、日本においても将来は再生可能エネルギーが安くなるであろうことに留意が必要である。

5.2 設備投資額

Fig. 2に世界における電力部門の2005年から2018年の技術別の投資額を示す。5.1で示した再生可能エネルギーの発電原価の低減に基づき、化石燃料発電所よりも再生可能エネルギーへの投資が増加している。

具体的には、化石燃料発電所への投資額は2010年頃が最も多く、2018年にかけて徐々に減少してきた。一方、再生可能エネルギーへの投資額は2011年にかけて増加し、以降は概ね安定している。その結果、2000年代半ば以降、再生可能エネルギーへの投資額は化石燃料発電所を上回り、2018年には約2.5倍の水準である。

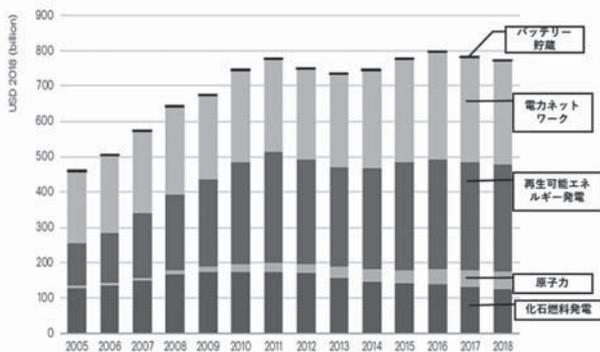


Fig. 2 Global investment in the power sector by technology (7)

6. エネルギーの将来見通し

6.1 世界エネルギー見通し2018

国際エネルギー機関の「世界エネルギー見通し2018」による2040年の世界の電源別発電電力量をFig. 3に示す。シナリオは次のとおり三つある。

- ①現行政策シナリオ：現在行われている政策のみ実施
- ②新政策シナリオ：最新のエネルギー政策が実施

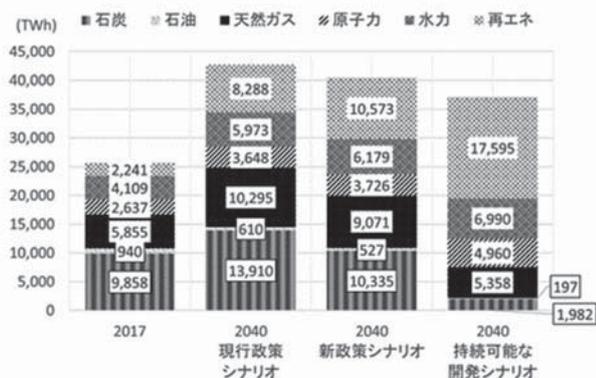


Fig. 3 Power Generation by Source by Scenario in the World Energy Outlook 2018 (8)

- ③持続可能な開発シナリオ：パリ協定で述べられた2℃目標達成のための政策が実施

②及び③の2040年の石炭火力の発電量は2017年の実績と比較して、それぞれ5%増加、80%減少である。2℃目標達成のために③では石炭火力を大きく減少させ、再生可能エネルギー（全電源に占める比率は47.4%）、原子力（13.4%）、水力（18.8%）を合わせて約80%にする必要性が示されている。今後、途上国での化石燃料発電の増加が見込まれる中で、あと20年で③の電源構成を達成することは極めて厳しい。ちなみに、明示されていないがTable 2に示した石炭火力の廃止についての各国の政策は、②及び③に含まれると考えるのが妥当であろう。

6.2 日本の長期エネルギー需給見通し

前述のとおり我が国の2050年目標は、80%の温室効果ガスの排出削減である。したがって、2030年までの電源構成が示された現行の長期エネルギー需給見通し（2015年に策定）の次の改訂では、2050年の80%削減を念頭においた2040年目標のあり方が提示されると考えられる。こういった電源構成が示されるかが注目されるが、世界エネルギー見通しが参考になる。世界エネルギー見通しの3つのシナリオの2030年に着目すると、前回の2015年の日本の長期エネルギー需給見通しと整合しているのは②の新政策シナリオである。

次回の長期エネルギー需給見通しが、世界エネルギー見通しのとおりになるとは限らないが、参考にTable 6に新政策シナリオに示された2030年と2040年、また2017年実績の電源別発電電力量の割合と、両年の2017年実績との比較を示す。いずれの年も合計の発電電力量はほぼ同じであり、2017年から2040年間で電力需要は増えない想定である。

Table 6 Japan's percentage of power generation by source in the new policy scenario in the World Energy Outlook 2018 (9)

| 電源 | 2017 | 2030 | 2040 | 2030/2017 | 2040/2017 |
|--------|------|------|------|-----------|-----------|
| 石炭火力 | 33.6 | 24.6 | 22.1 | 0.73 | 0.66 |
| 石油火力 | 7.2 | 3.1 | 0.9 | 0.43 | 0.13 |
| LNG火力 | 37.3 | 26.8 | 26.2 | 0.72 | 0.70 |
| 原子力 | 3.1 | 20.1 | 21.4 | 6.55 | 6.96 |
| 再エネ | 17.2 | 23.3 | 27.4 | 1.36 | 1.60 |
| (うち水力) | 9.7 | 14.5 | 17.9 | 1.49 | 1.85 |
| 合計 | 100 | 100 | 100 | - | - |

注：総発電量：
2017 1,077TWh 2030 1,072TWh 2040 1,088TWh

石炭火力の発電量は2017年と比較して2030年には73%、2040年には66%へ減少する。同様にLNG火力は72%、70%に減少する。一方、再生可能エネルギーは1.4倍弱から1.6倍に増加する。現在あまり稼働していない原子力は、現状の7倍近くになる、といった状況である。

簡単にまとめるとCO₂を排出する石炭火力とLNG火力は、2030年と2040年とも現状よりも3割程度発電量を減らすことで、電力部門からの排出を減らすことを意味している。

今回の長期エネルギー需給見通しの検討に当たっては、2040年を念頭においた次の事項が重要と考えられる。

- ・日本のエネルギーセキュリティの確保のあり方（石炭火力はエネルギーセキュリティに寄与）
- ・原子力稼働の見通し（他電源の発電量に影響を与える）
- ・石炭火力抑制の世界的な潮流をどう考えるか（石炭火力発電の減少要因）
- ・再生可能エネルギー、蓄電池など低炭素化技術に係るコストの予測（他電源の発電量に影響を与える）
- ・CCS（Carbon Capture and Storage）/CCU（Carbon Capture and Utilization）の開発の見通し（実装されれば化石燃料発電の発電量を増やすことができる）

注. CCS: CO₂回収・貯留（発電所や化学工場などから排出されたCO₂を回収し、地中深くに貯留・圧入すること）、CCU: CO₂回収・利用（回収されたCO₂を利用すること）。

留意すべきは、電力自由化が進みつつある日本では、長期エネルギー需給見通しは計画であり将来を規定するものではないことである。すなわち、2040年の電源構成は将来の電力需要、電源の経済合理性、新規電源立地あるいは既存電源のリプレースのしやすさ、またそれらの将来の見通しなどを勘案した民間企業である電力会社の意思の集積で決まる。その過程では、関連省庁により示された政策の方向性（電力関連技術に対する研究開発費・当該技術の導入に関する補助金等の優遇策・カーボンプライシング等のCO₂抑制施策などの方向性）も考慮される。

本稿で述べてきたとおり、ここ数年CO₂削減に向けた要請は世界的に厳しくなっており、また電力自由化の下で供給する電力に対する経済性の要求も高い。電力会社は相反する条件を満たしつつ電力を供給することが求められ、経営の舵取りは今までとは比較にならないほど難しい。

7. 石炭火力の役割

7.1 石炭火力に求められる要件

以上述べてきたようにCO₂削減に向けた強い要請があること、今後再生可能エネルギーが一層導入されるであろうこと、さらに日本は資源小国であることを考慮すると、我が国における石炭火力に求められる要件は次のとおりと考えられる。

- ・日本のエネルギーセキュリティへの寄与
- ・CO₂を極力排出しないこと
- ・経済合理性

・負荷調整能力

7.1.1 日本のエネルギーセキュリティへの寄与 賦存量が豊富な石炭を使用する石炭火力は、資源小国である日本にとってエネルギーセキュリティ確保に重要な電源である。国のGDP成長にはエネルギーが必要であり、これは長期的にも変わらない。

将来再生可能エネルギーが主要電源になる時代がくれば、再生可能エネルギーもエネルギーセキュリティに資するため、石炭火力の寄与度が落ちる可能性はある。しかしながら、再生可能エネルギーの出力は天候に依存することから、一定容量の石炭火力、蓄電池などのバックアップ電源は必要と考えられる。

7.1.2 CO₂を極力排出しないこと 化石燃料発電にとってCO₂の排出は宿命であるが、今まで述べてきたようにCO₂を極力排出しない電源が求められる時代になってきた。CCSやCCUについては現状ではコストの点で見合わないが、例えば2050年など将来的には、石炭火力とペアで考える時代が来ると考えられる。それまでは、日本全体の電源構成において低炭素化を十分に図りつつ、石炭火力を使用していくのがエネルギーセキュリティ確保の点からも現実的である。

7.1.3 経済合理性 経済性を考えるにあたっては、将来的にはカーボンプライシングやCCS/CCUのコストを考慮した上で、石炭火力の経済合理性が求められる。再生可能エネルギー導入への対応としての負荷調整に伴い設備利用率が低下すれば発電原価が上昇することから、これも念頭に置く必要がある。

7.1.4 負荷調整能力 日本においても、再生可能エネルギーは将来一層導入されるであろう。この場合、再生可能エネルギーの設備容量や揚水発電及び負荷調整能力に優れているLNG火力の設備容量にも依存するが、石炭火力にも一定の負荷調整能力が求められる。石炭火力発電所での大型の蓄電池、あるいは需要家側での小型の蓄電池の導入状況によっても負荷調整能力の程度は異なるであろうが、今以上に必要になることは間違いない。

7.2 石炭火力の今後

7.2.1 石炭火力の特徴 他電源と比較し、石炭火力発電所の特徴はエネルギーセキュリティへ寄与すること、CO₂排出量が多いこと、経済合理性が高いことに集約される。それぞれの状況は次のとおりである。

①エネルギーセキュリティ

石炭火力発電が日本のエネルギーセキュリティに寄与することは前節で述べたとおりである。ただし、石炭火力発電所への投資主体は民間企業であることから、意思決定時に日本全体のエネルギーセキュリティへの寄与は省みられない。

②CO₂排出量

座礁資産やダイベストメントは、地球温暖化問題の観

点から見て化石燃料資源を使用することで利益を得ている企業あるいは設備に関する価値が減じる懸念から発生したものである。逆に言えばこの懸念をクリアし、石炭火力の価値を向上させる手段は何かということになる。

CCS/CCUの技術開発によって、これらを実装できればそれに応えることができる。CCS/CCUに関してはまだコストが高いなど課題はあるが、ブレイクスルーが求められる状況である。

③経済合理性

日本における化石燃料と再生可能エネルギーの発電原価は次のとおりである（発電コスト検証ワーキンググループによる2014年モデルプラント（2015年5月）。単位は円/kWh）。原子力については幅を持って示されているが、原子力を除き、石炭火力が最も安いことが分かる。

- ・原子力発電：10.1～
- ・石炭火力：12.3
- ・LNG火力：13.7
- ・陸上風力：21.6
- ・太陽光（メガソーラー）：24.2
- ・太陽光（住宅）：29.4

7.2.2 エネルギー政策の基本視点と石炭火力 2018年7月のエネルギー基本計画では、エネルギー政策の基本視点として、次のとおり述べられている（3E+S）。

エネルギー政策の要諦は、安全性（Safety）を前提とした上で、エネルギーの安定供給（Energy Security）を第一とし、経済効率性の向上（Economic Efficiency）による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合（Environment）を図るため、最大限の取組を行うことである。

この視点と比較すれば、石炭火力は2E+Sは満たすという点では優れているが、CO₂排出量が多いという点からは最後のE（Environment）が課題である。熱効率向上の技術開発は当然のこととして、日本が温室効果ガスの80%削減を目指す2050年程度には、石炭火力にCCS/CCUの実装が求められる時代が来るであろう。

なお、80%削減というハードルを考慮すると、2050年はLNG火力においてもCCS/CCUの実装が求められる時代といえよう。

8. おわりに

パリ協定に代表される地球温暖化対策の強化が世界で行われており、日本ではパリ協定に基づき2050年に温室

効果ガスを80%削減し、さらには今世紀後半のできるだけ早期に脱炭素社会を実現する方針にある。また、座礁資産、ダイベストメントのように化石燃料資源の価値についての懸念も世界的に呈されるようになった。各国はと見れば、欧州は石炭火力廃止に向けて動いている。再生可能エネルギーは安くなってきており海外での導入量は大きく拡大している。

以上示したように、現在、世界のエネルギー構造は大きな転換期を迎えおり、日本も例外ではない。こうした中で我が国における石炭火力をどう考えるかが大きな課題とされている。

電源に求められる要請は時代により異なる。これからは一層CO₂削減に向けた要請が強くなっていくことは間違いない。石炭火力も時代の要請を見据えて関連技術を開発していくことが求められる。その技術開発とは、熱効率向上はもとよりCCS/CCUの実装といった野心的な目標なども念頭においたものとするべきである。

電源については、複数の電源をミックスして使うことでそれぞれの長短を相補い、リスク少なく安定した電力供給が可能である。「卵を一つの籠に盛るな」という格言が投資業界にはある。筆者は電力供給においてもこの格言が当てはまると考えている。

参考文献

- (1) 2018年9月4日 パリ協定長期成長戦略懇談会（第2回）環境省提出資料を基に作成。
- (2) 2016年1月20日 公益財団法人 地球環境戦略研究機関（IGES）／一般財団法人 地球産業文化研究所（GISPRI）共催「COP21報告シンポジウム」経済産業省発表資料。
- (3) Bank Track <https://www.banktrack.org/page/list_of_banks_which_have_ended_direct_finance_for_new_coal_minesplants> (accessed on May 17, 2019)
IEEFA（エネルギー経済・財務分析研究所）<http://ieefa.org/wp-content/uploads/2019/02/IEEFA-Report_100-and-counting_Coal-Exit_Feb-2019.pdf> (accessed on May 17, 2019).
- (4) 各銀行ウェブサイト（参照日 2019年5月24日）。
- (5) 廃止決定年・廃止目標年：各国政府関係資料等を基に作成。
全電源に占める石炭火力の発電量割合：International Energy Agency, World Energy Outlook 2018, (2018) のデータを基に作成。
- (6) Lazard, Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - Version 12.0, (2018) のデータを基に作成。
- (7) International Energy Agency, World Energy Investment 2019, (2019), p. 51を基に作成。
- (8) International Energy Agency, World Energy Outlook 2018, (2018) のデータを基に作成。
- (9) International Energy Agency, World Energy Outlook 2018, (2018) のデータを基に作成。

特集：石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について

大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況

Progress of the OSAKI COOLGEN Project



遠山 克己*1
TOYAMA Katsumi

キーワード：石炭ガス化燃料電池複合発電，酸素吹石炭ガス化複合発電，実証試験，CO₂分離回収設備

Key Words：IGFC，IGCC，demonstration test，CO₂ capture unit

1. 緒言

エネルギー政策の基本は3E+Sであり，安全性のS (Safety) を前提とした上で，エネルギーの安定供給 (Energy Security) を第一とし，経済効率性の向上 (Economic Efficiency) による低コストでのエネルギー供給と同時に環境への適合 (Environment) が必要とされる。

石炭は供給安定性及び経済性に優れたエネルギー資源で，安全性についても長年にわたる実績を有しており，Fig. 1に示す通り，石炭火力は世界の発電電力量の約4割を占める重要な電源である。国内においては，2018年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」において，石炭は引き続き「3E+S」のエネルギーミックス実現のため長期的に活用していくエネルギー源として位置付けられている。さらに，再生可能エネルギー導入拡大のための出力調整を行う必要性が高まると見込まれる。

石炭は他の化石燃料に比べ発電電力量当たりのCO₂排出量が大きく，Fig. 2に示す通り，将来にわたって世界のCO₂排出量の約3割が石炭火力からの排出であり，高効率なクリーンコールテクノロジー開発の重要性は非常に高い。Fig. 3の次世代火力発電技術の見通しに示す通り，高効率な石炭ガス化複合発電 (IGCC, Integrated Coal Gasification Combined Cycle) に対する期待は高く，2016年6月に次世代火力発電の早期実現に向けた協議会で策定された「次世代火力発電に係るロードマップ」において，超々臨界圧 (USC, Ultra Super Critical) よりもなおCO₂排出量を低減可能な技術として，IGCCや究極の高効率発電技術である石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC, Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle) が位置づけられている。

このような状況の下，当社はIGCCに燃料電池を組込

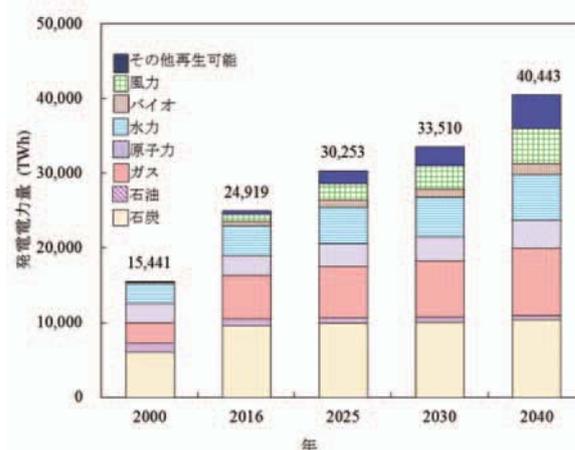


Fig. 1 Amount of generated electric power in the world⁽¹⁾

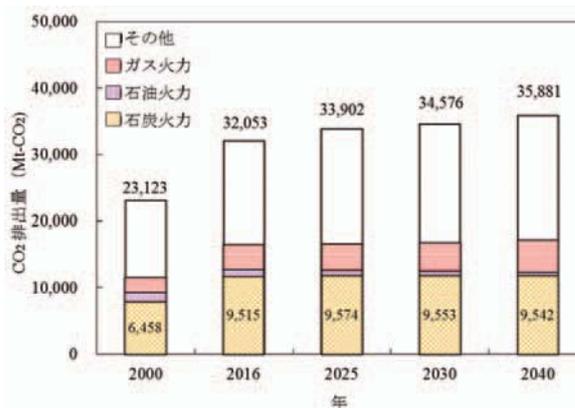


Fig. 2 Amount of CO₂ emission in the world⁽¹⁾

んだIGFCとCO₂分離・回収を組合せた革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指し，大崎クールジェンプロジェクトを2012年度に経済産業省の補助事業として開始し，2016年度からは国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO, New Energy and Industrial Technology Development Organization) の助成事業として実施している。本稿では，大崎クールジェンプロジェクトの概要及び進捗状況について紹介する。

原稿受付 2019年5月22日

*1 大崎クールジェン(株) 技術部技術グループ
〒725-0301 豊田郡大崎上島町中野6208番地1
E-mail: tooyama@osaki-coolgen.jp



Fig. 3 Thermal power generation technology outlook in future⁽²⁾

2. 石炭ガス化技術

2.1 石炭ガス化技術の経緯

我が国における石炭ガス化・IGCCの研究開発は、Fig. 4に示す通り1970年代から石炭火力発電の高効率化を目指し本格的に技術開発が行われている。酸素吹石炭ガス化方式は、高温ガスタービンの適用とIGFCへの発展による更なる高効率化が期待できる。その中で高効率化に加えて幅広い石炭が利用できる多炭種対応性の高い石炭ガス化技術としてEAGLE (coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity) 炉の研究開発が進められた。

2.2 EAGLEパイロット試験

EAGLEパイロット試験は、電源開発(株)とNEDOとの共同研究事業として北九州市の若松研究所において進められてきたもので、石炭使用量150t/日のパイロット試験設備によって、石炭ガス化性能、ガス精製性能、多炭種適用性等を確認するとともに、石炭ガス化発電システムにおける石炭ガス化ガスからのCO₂分離・回収技術

としての化学吸収法及び物理吸収法の検証が実施された。大崎クールジェンプロジェクトは、このEAGLEパイロット試験に続く商用化を目指した大型実証試験に位置付けられる。

EAGLE炉は、1室2段旋回型噴流床方式のガス化炉であり、ドライフィード方式、水冷耐火壁構造である。特徴は1室のガス化部に上下2段に石炭バーナが配置されている点と、更に上段バーナからも酸素を供給できる方式を採用している点にある。この方式により、下段で石炭灰を溶融させた溶融スラグが安定的に下部のクエンチ部へ排出できる高温雰囲気を作りながら、全体の酸素供給量をコントロールすることができ、最適なガス化状態を形成しやすい特徴がある。またバーナ噴出方向をガス化炉中心部よりずらして石炭を投入することで、炉内でガスと粒子が旋回流を形成する。この効果により粒子の炉内滞留時間、すなわちガス化反応時間を十分に確保することができ高いガス化性能を得ることができる。この特徴を活かすことで灰溶融温度が高い石炭でも効率良く運転することができ、幅広い炭種に対して適合性を有するガス化炉である。Fig. 5にEAGLE炉概略構造図を示す。

EAGLEプロジェクトでは、パイロット試験規模において、燃料が持つ発熱量に対する生成ガス発熱量の比率である冷ガス効率が82%以上と高い効率を達成している。また、多炭種適用性においては、Fig. 6に示す通り、燃料比が低くガス化に適し、灰溶融点温度が低くスラグの安定排出に適している低品位炭(亜瀝青炭や褐炭)はもとより、微粉炭火力で利用される燃料比や灰溶流点温度の高い高品位炭(瀝青炭)まで幅広い石炭に対応可能である。⁽³⁾

| | | '80 | '90 | 2000 | '10 |
|--------|-----------------------------------|-----|-------|------------------|------------------|
| 流動床ガス化 | 低カロリーガス化パイロット試験 (夕張) | | 40t/日 | | |
| | 高カロリーガス化パイロット試験 (いわさ) | | 12t/日 | | |
| 噴流床ガス化 | <空気吹> 空気吹石炭ガス化パイロット試験 (IGCC組合・勿来) | | | 200t/日 | |
| | 空気吹IGCC実証試験 (CCP・勿来) | | | 1,700t/日 (250MW) | |
| | <酸素吹> HYCOLパイロット試験 (旭ヶ浦) | | 50t/日 | | |
| | EAGLEパイロット試験 (若松) | | | 150t/日 | |
| | 大崎クールジェン実証試験(第1段階) (大崎) | | | | 1,180t/日 (166MW) |

Fig. 4 Development of major coal gasification and IGCC technology in Japan

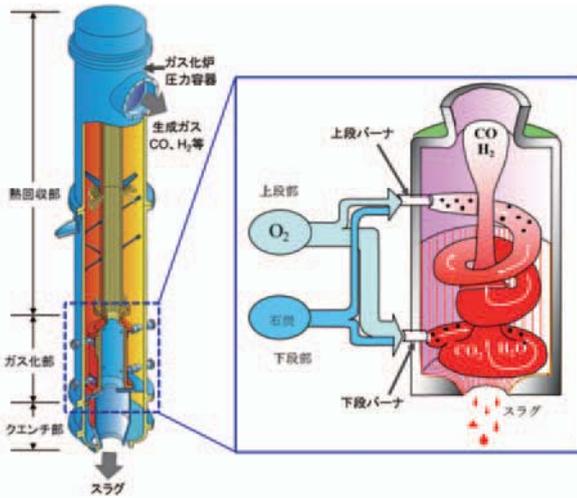


Fig. 5 Structure of EAGLE Gasifier

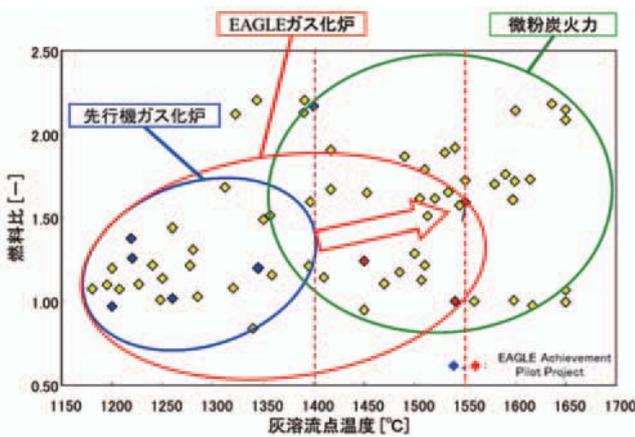


Fig. 6 Applicable coal types of EAGLE gasifier in demonstration test

収型IGFCの実証試験を計画している。なお、分離回収後のCO₂の輸送・貯留については本プロジェクトの対象外としている。Fig. 8に実証試験設備配置図を示す。

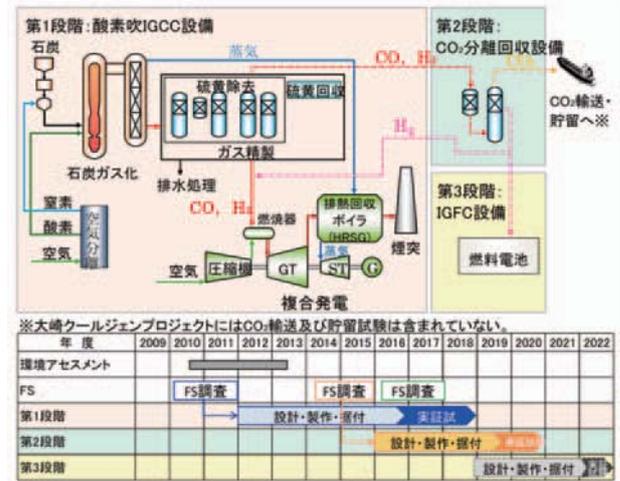


Fig. 7 Outline of Osaki CoolGen project



Fig. 8 Layout of demonstration test facilities

3. 大崎クールジェンプロジェクト

3.1 会社概要

大崎クールジェン(株)は、国のクリーンコール政策に則り、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す目的で、中国電力(株)と電源開発(株)の共同出資によるプロジェクト実施事業主体として2009年7月に設立された。社名には、国のクリーンコール政策である「Cool Gen計画」を実現し、広島県の大崎上島から世界に発信することを目指すという主旨が込められている。

3.2 プロジェクト計画

大崎クールジェンプロジェクトは、石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、究極の高効率発電技術であるIGFCとCO₂分離・回収を組合わせた革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す目的で実証試験を実施している。Fig. 7にプロジェクト全体計画を示す。実証試験は3段階に分けて計画され、第1段階ではIGFCの基盤技術である酸素吹IGCC実証試験を実施し、第2段階では酸素吹IGCCにCO₂分離回収設備を付加したCO₂分離・回収型IGCCの実証試験を実施する。そして最終段階として燃料電池と組み合わせたCO₂分離・回

4. 第1段階実証事業

4.1 酸素吹IGCC実証試験の設備概要

Table 1に酸素吹IGCC実証試験(第1段階)の主要設備概要、Fig. 9に試験設備の概略フロー図を示す。

第1段階の主要設備は、石炭ガス化設備、ガス精製設備、空気分離設備、排水処理設備、複合発電設備で構成されている。

燃料である石炭は微粉炭機で粉碎され、空気分離設備(ASU)により分離された窒素によってガス化設備に搬送される。ガス化炉ではASUで製造された酸素により、一酸化炭素と水素を主成分とする石炭ガス化ガスを生成する。石炭ガス化ガスは、熱回収ボイラ(SGC)で熱回収され、ガス精製設備で硫黄分等の不純物を除去した後にガスタービン(GT)燃焼器へ送られる。硫黄分は硫黄回収システムに送られ、石膏として固定化・回収される。

ガス精製設備から出る排水は、排水処理設備にて処理し海域へ放流される。GT燃焼器では圧縮空気により石炭ガス化ガスを燃焼させ、その燃焼ガスによりGTを駆動させる。GT駆動後の燃焼排ガスは排熱回収ボイラ

(HRSG)で熱回収された後、煙突から放出される。

また、SGC及びHRSGでの熱回収によって発生した蒸気で、蒸気タービン(ST)を駆動させ、GTとSTとの複合発電を行うことにより、従来の微粉炭火力を上回る発電効率の達成が可能となる。

Table 1 Main facilities Outline of oxygen-blown IGCC

| 主要機器 | 設備仕様 | |
|------------------|--|-----|
| 石炭ガス化設備 | 酸素吹1室2段旋回型噴流床方式(EAGLE炉) 石炭使用量:1,180t/日 | |
| ガス精製設備 | 硫黄除去設備:湿式化学吸収法 硫黄回収設備:湿式石灰石石膏法 | |
| 空気分離設備 | 深冷分離方式 | |
| 排水処理設備 | 低塩系(既設) | 高塩系 |
| ガスタービン 蒸気タービン | コンバインドサイクル発電方式(出力:166MW) ガスタービン:開放サイクル型 蒸気タービン:再熱復水型 | |
| 排熱回収ボイラ | 再熱複圧自然循環型 | |
| 発電機 | 全閉横置円筒回転界磁型同期発電機 | |
| 排煙脱硝設備 | 乾式アンモニア接触還元法 | |
| 煙突(既設) | 鋼製自立型(高さ:200m) | |
| 揚炭設備 | 揚炭設備(既設) 屋内貯炭場(45,000t)(既設) 運炭設備(300t/h)(一部既設) | |
| 港湾設備(既設) | 揚炭棧橋(6,000DWT級) 荷揚棧橋(2,000DWT級×2) | |
| 取放水設備(既設) | 深層取水(海底取水管方式) 水中放水 | |
| 所内ボイラ(既設) | 自然循環式(約21t/h) | |

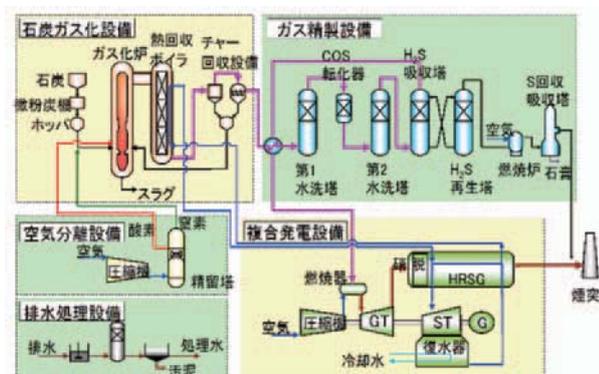


Fig. 9 Schematic flow of Oxygen-blown IGCC

4.2 実証試験設備の設備計画・規模の考え方

ガス化炉などの設備規模決定方法は以下の通りである。

実証試験設備として、EAGLEパイロット試験炉から10倍以内のスケールアップ(石炭使用量1,500t/日以内)をした場合の生成ガス量(燃料量)を考慮し、既存GTのラインナップから同出力規模で最高効率である1,300℃級GT(MHPS社H-100シリーズ)を選定した(Fig. 10)。

また、燃焼器は低NO_x性及び高水素濃度に対応した同社マルチクラスターバーナ型低NO_x燃焼器を選定した(Fig. 11)。GT設備仕様をTable 2に示す。

このGTに必要な燃料ガス量に見合うガス化炉の大きさを検討し、石炭使用量を1,180t/日と決定した。

ガス精製設備及び空気分離設備はガス化炉の規模に

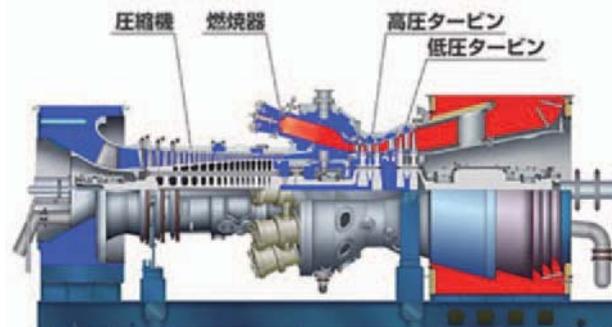


Fig. 10 H-100 series gas turbine

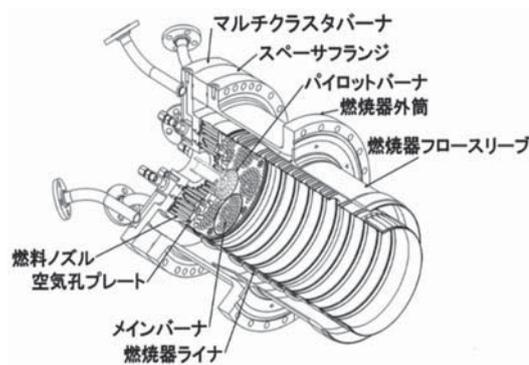


Fig. 11 Multi-cluster burner type low NO_x combustor

Table 2 Technical specification of gas turbine facility

| 項目 | 設備仕様 | |
|-------|--------|----------------------------------|
| GT | 型式 | ヘビーデューティ型, 2軸形 |
| | 定格回転速度 | 高圧:4,580rpm, 低圧:3,600rpm |
| 空気圧縮機 | 型式 | 軸流式17段 |
| | 圧力比 | 17 |
| タービン | 型式 | 高圧:2段軸流形, 低圧:2段軸流形 |
| | 冷却方式 | 空気冷却式(1~3段静翼, 1,2段動翼) |
| 燃焼器 | 型式 | リバースフロー形, 乾式低NO _x 燃焼器 |
| | 缶数 | 10缶 |

応じた設備規模、HRSGはGTの排ガス量に応じた設備規模、STはガス化炉とHRSGの発生蒸気条件に対し最適な型式を選定した結果、実証試験設備の発電出力は166MWとなった⁽⁴⁾。

各設備のスケールアップ方法として、ガス化炉設備は、HYCOL(石炭使用量50t/日)及びEAGLEパイロ

EAGLEパイロット試験で構築したガス化設備とGTを連系させた制御システムに、STを含めたIGCCプラントとしてのトータル制御性を確認した。

負荷変化率向上試験結果をFig. 13に示す。目標を大幅に上回る負荷変化率16%/分(増負荷時)を達成し、酸素吹ガス化炉の負荷追従性の高さを示した。これはGTで先行して発電負荷を変化させ、応答性の良い酸素吹ガス化炉を追従させることや系統内のガスボリュームが圧力変動を抑制することにより実現した。

Fig. 14に高負荷変化率を可能とする酸素吹IGCCの特徴を示す。再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、火力発電による調整力が求められる状況において、酸素吹IGCCが高い運用性を備えていることを実証した。また、送電端出力を安定して制御可能であること、送電端出力0MWで運転可能なこと、さらに連続した増減負荷運転(V字型)におけるプラントの安定運転を確認している。

制御システムはIGCCシステム全体をカバーするものとして本プロジェクト用に新規に構築したものであるが、プラント起動・停止を含むあらゆる運転において高い信頼性と安定性を有することが確認された。

第1段階実証試験終了後、燃焼器を含むGTの定期点検を行い、設備の健全性を確認している。Fig. 15 (a), (b)にGT点検状況を示す。

経済性については、実証試験の結果を踏まえ、酸素吹IGCCの建設費や発電コストを試算し評価した結果、商



Fig. 15 (a) Lifting HP gas turbine



Fig. 15 (b) Inspection of gas turbine
(front: HP turbine, back: LP turbine)

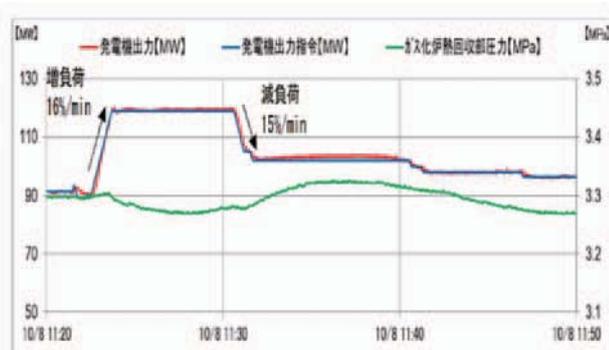


Fig. 13 Result of flexibility improving test

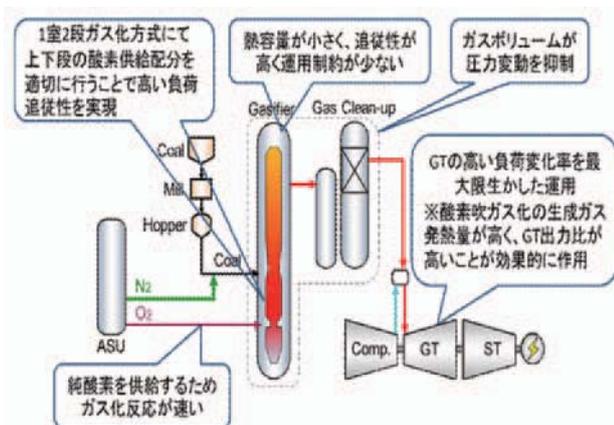


Fig. 14 Characteristic of Oxygen-blown IGCC

用機レベルで発電原価が微粉炭火力と同等になる見通しを得た。

5. 第2段階実証事業

5.1 CO₂分離・回収型IGCC実証試験の設備概要

CO₂分離・回収型IGCC実証試験(第2段階)では、第1段階の酸素吹IGCCにCO₂分離回収設備を追設したCO₂分離・回収型IGCCの実証試験及び低温作動型サワーシフト触媒試験研究を実施する。

Fig. 16にCO₂分離・回収型IGCC実証試験設備の概略フロー図を示す。CO₂分離回収設備は、酸素吹IGCCで発生した脱硫後の石炭ガス中のCOをSweetシフト反応器でCO₂に転化する「COシフト系統設備」及びCO₂をCO₂吸収塔で分離回収する「CO₂吸収再生系統設備」で構成される。

本実証試験は、石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減するため、商用スケールでの実用化を目指すものである。

CO₂分離回収設備でのCO₂回収率を90%以上とする計画としており、商用化に向けた実証に必要な規模として、石炭ガス化ガスの約17%を導入する設備を設置する。こ

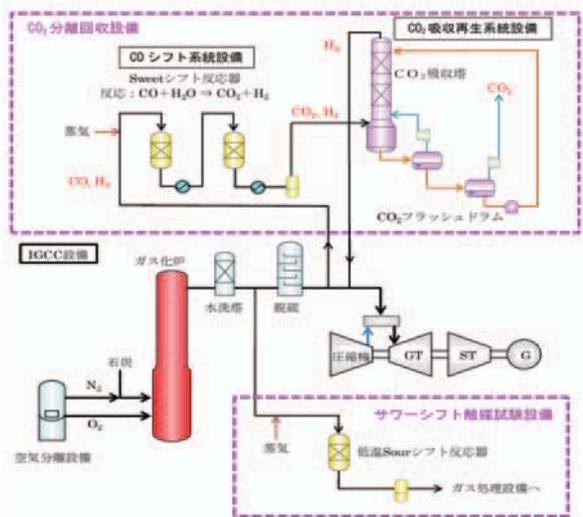


Fig. 16 Schematic flow of IGCC with CO₂ capture

れはIGCCプロセス全体で発生する炭素成分の15%相当量を分離・回収できる規模である。

CO₂分離・回収方式は、分離回収に伴う発電効率低下が小さく、将来的に更なる回収エネルギーの低減が見込まれる物理吸収法を採用した。

一方、サワーシフト触媒試験設備は、脱硫前の石炭ガス中のCOを低温sourシフト反応器でCO₂に転化する試験設備である。

5.2 第2段階実証事業の目標

CO₂分離・回収型IGCC実証試験では、CO₂分離回収設備の性能以外にIGCCとの連系も含め火力発電システムとしての運用性、経済性、環境性能及びCO₂分離回収設備の追設による発電効率への影響等を検証する計画としている。Table 5に第2段階実証事業の目標を示す。

性能目標として、新設IGCC商用機においてCO₂を90%回収しつつ発電効率約40%（新設IGCC、1,500℃級ガスタービン採用、送電端、HHVベース）を達成できる見通しを得ることを掲げている。

運用性及び信頼性については、IGCC本体の負荷変動に追従したCO₂分離回収設備の運用手法を確立すると共に、信頼性を検証していく。

Table 5 Demonstration targets in the second step

| 項目 | 目標 |
|---------|--|
| 効率 | 送電端効率:新設商用機において、CO ₂ を90%回収しつつ、発電効率40% ^{※1} （送電端、HHV ^{※2} ）程度の見通しを得る。 |
| 回収効率・純度 | CO ₂ 分離回収設備におけるCO ₂ 回収効率:90%以上、回収CO ₂ 純度:99%以上 |
| 運用性・信頼性 | CO ₂ 分離・回収型IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性について検証する。 |
| 経済性 | 商用機におけるCO ₂ 分離回収の費用原単位について技術ロードマップに示された費用原単位をベンチマークとして評価する。 |

※1 発電効率には分離回収プロセスまでを含む（貯留に係る動力は含まない）

※2 高位発熱量基準

5.3 第2段階実証事業の進捗状況

現在、CO₂分離回収設備及びサワーシフト触媒試験設備の製作・据え付けを進めており、2019年夏ころをめどに完了次第、試運転を経て、本格的な実証試験及び試験研究を開始する予定である。

Fig. 17 (a), (b)に第2段階設備の工事状況を示す。



Fig. 17 (a) Transport of CO₂ absorber (October, 2018)



Fig. 17 (b) Construction of CO₂ capture unit (June, 2019)

6. 第3段階実証事業

6.1 CO₂分離・回収型IGFC実証試験の設備概要

CO₂分離・回収型IGFC実証試験（第3段階）では、事業向けに開発された固体酸化物形燃料電池（SOFC, solid oxide fuel cell）の最小構成単位となる燃料電池モジュールを並べ、CO₂分離後の水素リッチガスを分岐してSOFCへ導入し、CO₂分離・回収型IGFCに関する試験を行う。

また、高効率IGFC開発に向けたガスクリーンナップ技術の検証として、IGCCから脱硫後の石炭ガス化ガスを分岐し、吸着剤について評価試験を行う。

Fig. 18に第3段階を含めた大崎クールジェンプロジェクト概略フロー図を示す。

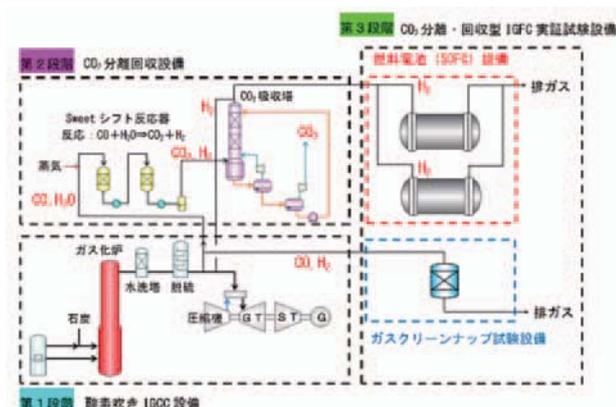


Fig. 18 Schematic flow of OCG project

6.2 第3段階実証事業の目標

CO₂分離・回収型IGFC実証試験では、酸素吹きIGCC設備とCO₂分離回収設備に燃料電池を組み合わせたCO₂分離・回収型石炭火力システムとしての性能、運用性、信頼性及び経済性に係る検証を行う。Table 6に第3段階実証事業の目標を示す。

Table 6 Demonstration target in the third step

| 目標 |
|--|
| 新設商用機 (1,500℃級IGCC) において、CO ₂ 回収率90%の条件で、発電効率47% ^{※1} (送電端, HHV ^{※2}) 程度の見通しを得る。 |

※1 発電効率には分離回収プロセスまでを含む (貯留に係る動力は含まない)

※2 高位発熱量基準

6.3 第3段階実証事業の進捗状況

CO₂分離・回収型酸素吹きIGCC設備に燃料電池を組み込んだCO₂分離・回収型IGFC実証試験設備の設計作業を開始し、第3段階実証事業に着手した。

7. おわりに

本稿では、本プロジェクトの概要、第1段階実証事業である酸素吹きIGCC実証試験の成果、第2段階実証事業であるCO₂分離・回収型IGCCの実証試験及び第3段階実証事業であるCO₂分離・回収型IGFCの実証試験についての設備概要、試験目標及び進捗状況について報告した。

本プロジェクトは、クリーンコールテクノロジーの1つであるIGCC / IGFC及びCO₂分離・回収の実現に向けた取り組みである。

本プロジェクトの成果を国内外に展開することで、グローバルな地球温暖化対策にも貢献できると考えており、今後の事業を着実に進めていきたい。

本プロジェクトは、今後も安全最優先で環境保全に万全を期しながら進めていく所存である。

謝辞

最後に、本プロジェクトは、NEDO共同研究の「EAGLEパイロット試験」、「燃料電池対応型石炭ガス化複合発電最適化調査研究」の成果を反映しここに至るものであり、経済産業省、NEDO、その他多数の関係各位のご支援、ご指導に深く感謝の意を表すとともに、引き続きご支援、ご指導をお願いしたい。

参考文献

- (1) IEA PUBLICATIONS, World Energy Outlook 2018, (2018), p. 528.
- (2) 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会, 次世代火力発電に係る技術ロードマップ技術参考資料集, (2016), p. 1.
- (3) NEDO成果報告書『平成16年度～平成21年度成果報告書 多目的石炭ガス製造技術開発 (EAGLE) パイロット試験設備による研究及びゼロエミッション化技術に関する研究』, p. II-50.
- (4) NEDO成果報告書『平成22～平成23年度成果報告書 ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト 燃料電池対応型石炭ガス化複合発電最適化調査研究』, p. 5-7.

特集：石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について

高効率IGCCと石炭ガス化技術に関わる最新動向

Current Status of Highly Efficient IGCC & Coal Gasification Technology



橋本 貴雄*¹
HASHIMOTO Takao



坂本 康一*¹
SAKAMOTO Koichi



藤井 貴*¹
FUJII Takashi

キーワード：石炭ガス化複合発電，CO₂回収

Key Words：Integrated coal Gasification Combined Cycle，CO₂ capture

1. はじめに

2018年7月、第5次エネルギー基本計画が閣議決定された⁽¹⁾。エネルギー基本計画は、「安全性」、「安定供給」、「経済効率性の向上」、「環境への適合」というエネルギー政策の基本方針に則り、エネルギー政策の基本的な方向性を示すために政府が策定するものであり、エネルギーを巡る国内外の情勢変化を踏まえ、2030年、更に2050年を見据えた新たなエネルギー政策の方向性を示している。2030年に向けた方針としては、エネルギーミックスの確実な実現へ向けた取組の強化を行うこと、2050年に向けては、エネルギー転換・脱炭素化に向けた挑戦を掲げている。

火力燃料については、将来的なカーボンフリー社会が実現するまでの間は、主力エネルギー源であることから、火力発電の脱炭素化に向けた取組や、よりクリーンなガス利用へのシフトが求められている。エネルギーミックス実現のため、省エネ法や高度化法における規制的措置の実効性をより高めていくことが必要であり、高効率石炭・LNG火力発電の有効利用が促進されている。温室効果ガスの大気中への排出を抑えるためには、IGCC・IGFC等の次世代高効率石炭火力発電技術の開発・実用化の推進に取り組むとされている。

石炭ガス化複合発電(IGCC：Integrated coal Gasification Combined Cycle)とは石炭をガス化し、高効率のガスタービン複合発電(GTCC：Gas Turbine Combined Cycle)技術を適用した世界最高水準のクリーンコール技術である。当社は1980年代から空気吹きおよび酸素吹きIGCCの開発に取り組み、現在大型商用機普及の段階

を迎えている。

空気吹きIGCCでは、発電出力250MWのIGCC実証機が、実証目標をすべて達成し、2013年4月より常磐共同火力(株)勿来発電所10号機として日本初の商用運転が行われている。2020年には福島県いわき市で540MW級IGCCプラントが商用運転を開始し、翌年同双葉郡広野町で同規模のプラントが同じく商用運転を開始する予定である。

酸素吹きIGCCでは、EAGLE(多目的石炭ガス製造技術開発：Coal Energy Application for Gas, Liquid, and Electricity)プロジェクトのガス化技術検証が完了し、2017年3月より大崎クールジェンプロジェクト第1段階(NEDO助成事業)として166MW実証機の実証試験が開始された。約2年間に亘り、酸素吹きIGCCの基本性能や制御性・運用性などの検証を行い、第1段階の全ての試験項目で目標を達成して完了した。第2段階(2016～2020年度)では、第1段階の酸素吹きIGCCにCO₂分離回収設備を追設したCO₂分離・回収型酸素吹きIGCCの実証試験を2019年度中に開始することを目指し、建設工事を進めている。

さらに、第3段階(2018～2022年度)として、CO₂分離・回収型酸素吹きIGCC設備に燃料電池を組み込んだCO₂分離・回収型IGFCの実証事業を計画している。

空気吹きガス化技術は大容量IGCCの商用普及を図るとともに、酸素吹きガス化技術はIGCCのほか石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC：Integrated coal Gasification Fuel Cell combined cycle)や水素製造など多用途展開を想定し、両技術の特長を活かした幅広い事業展開を目指している。そしてCO₂の分離・回収・貯留および再利用に対応したCO₂回収型IGCCシステムの実現も視野に入れている。

本稿では、IGCCの概要、CO₂回収技術、商用機プロジェクトの最新状況、並びに石炭ガス化技術の利用先について紹介する。

原稿受付 2019年5月22日

*1 三菱日立パワーシステムズ(株)
エンジニアリング本部プロジェクト総括部
〒220-8401 横浜市西区みなとみらい3-3-1
E-mail: t_fujii@mhps.com

2. IGCCの概要

2.1 IGCCの構成

IGCCは、ガス化炉設備、ガス精製設備、並びにガスタービン、蒸気タービン、発電機および排熱回収ボイラ(HRSG: Heat Recovery Steam Generator) から成る複合発電設備で構成されている。Fig. 1に空気吹きIGCCシステムの系統例を示す。

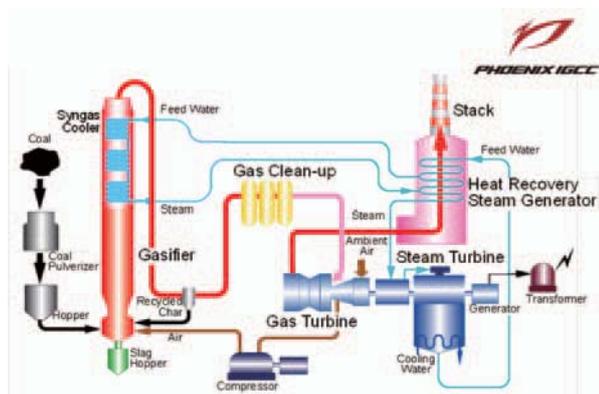


Fig. 1 Air-blown IGCC system

当社空気吹きIGCCでは、酸化剤である空気をガスタービンから抽気し、ガス化炉に供給するシステムを採用しており、PHOENIX IGCC™と称している。本システムでは、水蒸気システムに加え、抽気空気システムの連携で高度なインテグレーションを行うことで、高い発電効率を達成可能である。

ガス化炉設備は、空気や空気分離設備(ASU: Air Separation Unit)で製造される酸素等を酸化剤として、燃焼反応やガス化反応等により石炭を石炭ガスに転換する設備である。石炭中の灰は炉内で一旦溶融状態(溶融スラグ)となり、それが炉底に設置された水槽で急冷された後、ガラス状の固化スラグとして排出される。また、未反応炭素を多く含むチャー(固定炭素と灰分から成る残留固形物)が石炭ガス中に含まれているが、ガス化炉後流のチャー回収設備で回収し、ガス化炉へリサイクルすることで未反応炭素をほぼ100%反応させ、これによりエネルギー損失を防いでいる。

ガス精製設備は、石炭ガスをガスタービン燃料基準、およびガスタービンで石炭ガス燃焼後の排ガスの環境基準に適合するように石炭ガス中に含まれる不純物(アンモニア、硫化水素、塩酸など)を除去する設備である。

ガス精製には固形の脱硫剤を用いる乾式法とMDEA(Methyldiethanolamine)吸収液などを用いる湿式法があるが、乾式法の実用化を今後期待しつつ、現時点では化学プラント等で実績のある湿式法を採用している。乾式法が実用化されれば、さらなる効率向上とシステムの簡略化が期待できる。

複合発電設備では、ガス精製設備で精製された石炭ガスを燃料としてガスタービンで発電を行い、さらにその燃焼排ガスの熱をHRSGで回収して蒸気を発生させ、蒸

気タービンでも発電を行う。IGCCにおける複合発電設備は、天然ガス焼き複合発電設備と同様にガスタービン、蒸気タービンおよび発電機で構成される。

2.2 IGCCの特長

1) 高い発電効率

空気吹きIGCCは他のIGCC技術にくらべ、ASUに要する動力を最低限に抑えており、送電端(発電所出口)における発電効率が高い。また、天然ガス焼きガスタービンの高温化技術を適用することで効率向上を可能としている。例えば当社天然ガス焼き複合発電設備で実用化済みの、燃焼温度1,600℃級J形ガスタービンをIGCCへ適用することで将来更なる効率向上が可能である。

2) 幅広い石炭が使用可能

従来型石炭火力発電では、灰が炉壁や伝熱面に付着してトラブルを引き起こすスラッキングやファウリングのため、石炭に含まれる灰の融点が高い石炭の使用に課題がある。一方、IGCCはガス化炉で灰を溶融して排出することから灰の融点が高い石炭に適しており、これまで制約があった低品位の石炭(亜瀝青炭や褐炭等)も使用可能である。

3) 高い環境特性

IGCCシステムは高効率であるため、従来型石炭火力発電と比較して発電電力量(kWh)あたりのCO₂の排出量を低減できる。石炭にバイオマスを混ぜたバイオマス混焼が可能であり、これによりCO₂を更に低減できる。加えて、温排水量の大幅な低減が可能である。

4) 副生物の有効利用

従来型石炭火力発電が灰をフライアッシュとして排出するのに対し、IGCCはガラス状のスラグとして排出する。同じ重量で比べてスラグの容積はフライアッシュの半分以下(Fig. 2)である。また、化学的に安定であるなど品質が優れているためコンクリートの骨材や路盤材等として有効利用が可能であり、JIS規格化を目指して取り組みがなされている⁽²⁾。

石炭中に含まれる硫黄分は、ガス精製設備で市場のニーズに応じて、石膏(石灰石膏法)や硫酸等として回収し、有効利用される。



Fig. 2 Fly ash and slag

5) 運用性

負荷変化率に関し、勿来10号機（IHIGCC実証機）では3% /分を達成しているが、さらに負荷変化率を向上することは原理的に容易である。それは、微粉炭機で製造した微粉炭をビンに貯留してガス化炉に供給しているため、微粉炭焚きボイラにあるような負荷変化中の微粉炭機の台数切替の影響を受けないためである。

最低負荷に関し、最低負荷設計値50%である勿来10号機で、36%までの低減を達成しており、当初より設計に配慮することで、より最低負荷を低減することは可能である。

3. CO₂回収技術の概要

上述の通り、IGCCはその高効率により燃料消費量ひいてはCO₂排出量を低減できるが、より積極的に排出量を低減するためのCO₂回収技術にも効率的に対応可能である。本章ではIGCCに適用するCO₂回収技術について紹介する。

3.1 CO₂回収方式

石炭火力からのCO₂回収方式には、次の3技術がある（Fig. 3）。

- ① IGCC燃料ガスCO₂回収（Pre-Combustion）
- ② ボイラ排ガスCO₂回収（Post-Combustion）
- ③ 酸素燃焼排ガスCO₂回収（Oxy-Fuel Combustion）

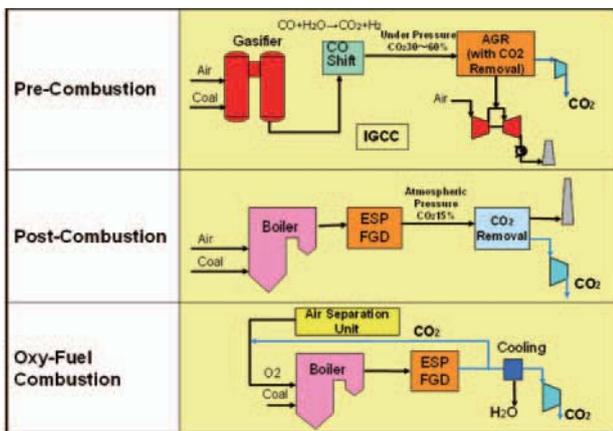


Fig. 3 CO₂ capture process for coal fired power plant

Pre-Combustion法は、ガスタービンで燃焼する前に高圧の燃料ガス（石炭ガス化ガス）からCO₂を回収して、IGCCに適用する技術で、化学吸収法、物理吸収法、物理吸着法などの種類がある。CO₂を回収するための所要蒸気量が少なく、エネルギー消費が比較的少ないなどの理由から「IGCCはCCSとの親和性が高い」と言われている。

Post-Combustion法は、燃焼後のボイラ排ガスから常圧でCO₂を回収する技術で、ボイラ排ガスを対象としていることから、既に運転中の石炭火力への追設・適用が可能である。回収技術として、化学吸収法、物理吸収法、膜分離法などがある。

Oxy-Fuel Combustion法は、石炭を酸素で燃焼させ、CO₂濃度の高い排気ガスを生成させ、このCO₂を回収する方法である。

CO₂回収技術には、既に実用化されている技術もあるが、CO₂回収に掛かる設備コストやエネルギー消費の削減が課題である。Pre-Combustionは、化学プラントに採用された事例で数千t-CO₂ /日級のCO₂回収量実績があるが、IGCCへは今後の適用となる。

Post-Combustionは、三菱重工グループが開発に取り組んでおり、国内・海外でのパイロットプラント試験によりノウハウを積み重ねてきた。2011年には500トン/日のCO₂回収装置を米国大手電力会社サザンカンパニー / 米国電力研究所と共同で建設し、世界初の石炭火力発電所排ガスからのCO₂回収・貯留一貫実証試験に成功した。さらに米国Petra Nova社に納入したCO₂回収装置は、世界最大のCO₂回収能力（4776トン/日）を有し、2016年12月末より商業運転が行われている。

3.2 CO₂回収型空気吹きIGCCの特長

CO₂回収型IGCCの概略系統をFig. 4に示す。ガス化炉で生成された石炭ガス化ガス中の一酸化炭素（CO）は、COシフト反応器にて、水蒸気（H₂O）とのシフト反応（CO+H₂O→CO₂+H₂）により、CO₂と水素（H₂）に転換され、CO₂はAGR（Acid Gas Removal : 脱硫・CO₂回収）設備で分離・回収される。CO₂が回収された高H₂濃度の精製ガスは、ガスタービン燃料として利用され、複合発電設備を構成する。一方、回収されたCO₂ガスは圧縮機にて昇圧され、プラント外へ輸送・貯留または再利用される。

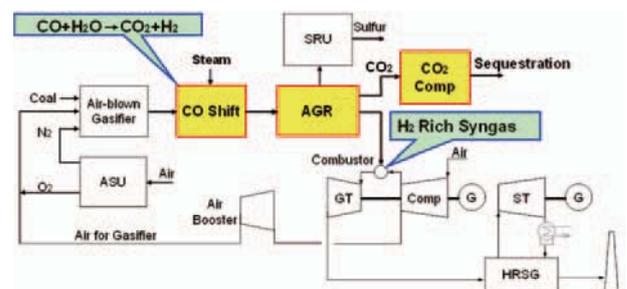


Fig. 4 Block flow diagram of the air-blown IGCC system with CO₂ capture

一般にCO₂回収によりプラント効率が低下するが、その主要因は次の3点による。

① COシフトによる蒸気使用量増

シフト反応に必要な蒸気の多くは複合発電設備から蒸気を抽気して供給するため、蒸気タービンの出力が低下する。

② AGR補機動力増

従来の湿式脱硫設備に加え、CO₂回収設備内にて、CO₂吸収液の循環ポンプ動力・吸収液の再生動力等が追加となる。

③ CO₂圧縮機動力増

CO₂輸送等のため、高圧まで昇圧する必要があり、同圧縮機の動力が追加となる。

これらのことから、CO₂回収型IGCCでは、プラント性能・経済性を考えるにおいて、ベースとなるIGCCに加え、COシフトやAGRプロセスを包括したCO₂回収システム全体としての最適化が重要である。

4. 福島IGCCプロジェクト（勿来，広野）

当社を幹事会社とする共同企業体（三菱日立パワーシステムズ(株)、三菱重工エンジニアリング(株)、三菱電機(株)、三菱日立パワーシステムズ環境ソリューション(株)の4社で構成）は、2016年12月に勿来IGCCパワー合同会社および広野IGCCパワー合同会社より、543MW IGCC設備2基をEPC請負工事契約（土建工事込み）で連続受注した。本プロジェクトは常磐共同火力(株)勿来発電所（福島県いわき市）の隣接地に勿来IGCCパワー合同会社が、また(株)JERA広野火力発電所（福島県双葉郡）構内に広野IGCCパワー合同会社が、それぞれIGCC各1基を建設するものである。

同プロジェクトは「世界最新鋭の石炭焼き火力発電所」を福島で世界に先駆けて建設し、福島県の経済再生と産業基盤の創出に貢献すると共に、クリーンコール技術で世界を牽引することを目指している。

Table 1に福島IGCCプロジェクトの主要諸元を示す。

同プロジェクトでは、勿来10号機（IHIGCC実証機）の経験を随所に織り込み、信頼性向上を図るとともに、高効率GTの採用により、大幅な出力・効率の向上を図っている。

Table 1 Specification of Fukushima IGCC Project

| | |
|--------------------|----------------------------------|
| Output | 543 MW |
| Coal | Bituminous / Sub-bituminous |
| Gasifier | Air-blown Dry Feed |
| Gas Clean-Up | MDEA |
| Gas Turbine | M701F (1 on 1) |
| Start of Operation | 2020 in Nakoso 2021 in Hirono |

ガス化炉は、我国独自の石炭ガス化技術CORE GASIFICATION TECHNOLOGY™を採用、主にガス中のH₂Sガスを処理するガス精製設備は、勿来10号機と同様に、MDEA吸収液による湿式脱硫（+石灰石膏法）を採用した。

ガスタービンは、豊富な実績のある高効率M701F形ガスタービンに、高炉ガス（BFG：Blast Furnace Gas）をはじめとする低カロリーガス焼きの技術を適用した石炭ガス用の燃焼器を採用している。最新の高効率ガスタービンを組合せた500MW級IGCCでは、従来型石炭火力に比べCO₂排出原単位の大幅な低減が可能となる。

石炭ガス化炉の製造について、当社長崎工場に「石炭ガス化炉工場」が竣工しており、IGCCの一貫生産体制を構築して量産化に備えている（Fig. 5）。高温高圧に対応するために、従来型石炭火力向けボイラ製造により培った溶接などの要素技術に加え、新たに独自開発した自動溶接装置、ITを駆使した生産方式を導入した。石炭ガス化炉は、現地における建設工事を簡素化するため、輸送できる最大重量までモジュール化している。

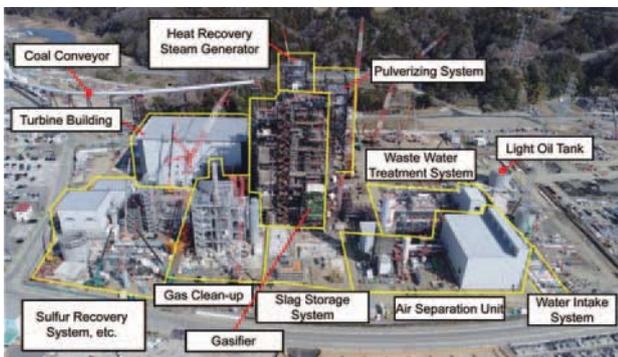
勿来IGCC向けに製作されたガス化炉圧力容器は2018年6月から順次出荷され（Fig. 6）、小名浜港まで船で海上輸送されて、建設現地まで内陸輸送された⁽³⁾。2018年12月にはガスタービン、蒸気タービン、発電機が輸送され（Fig. 7）、2019年4月に大物機器輸送を完了し、現在土木建築工事、機械工事、電気工事が順調に進捗している。2019年度中には試運転が開始され、2020年9月の営業運転開始に向けて、関係者一丸となって進めている。広野IGCCも2021年9月の運転開始に向けて建設工事が進められている。2019年3月末時点の勿来IGCCの建設状況をFig. 8に、工事エリア全景をFig. 9に示す⁽³⁾。



Fig. 5 Furnace production process



Fig. 6 Coal gasification furnace pressure containers

Fig. 7 Transporter⁽³⁾Fig. 8 Construction status of Nakoso site⁽³⁾Fig. 9 Bird's-eye view of Nakoso site⁽³⁾

5. 遠隔監視

当社は、長崎工場（長崎県長崎市）の本館内に「遠隔監視センター（RMC：Remote Monitoring Center）」を開設した（Fig. 10）。火力発電をはじめ、IGCC、GTCC、ならびに地熱発電などの各種発電設備のユーザーを運転および保守（O&M）の面でサポートすることで、発電設備の稼働率や信頼性の向上に貢献するとともに、当社デジタルソリューション「MHPS-TOMONI®」を駆使したソリューション提案力の強化によりアフターサービス機能の拡充につなげるのが狙いである。当社の遠隔監視拠点としては、高砂工場（兵庫県高砂市）、米国オーランド（フロリダ州）、フィリピンのアラバン（モンテンルパ市）に次いで4ヵ所目となる。

IGCC向けでは石炭ガス化炉を中心に発電所全体の状



Fig. 10 Remote monitoring center in Nagasaki works

態監視を通じてO&Mをサポートする。福島IGCCプロジェクトにおいても遠隔監視を含めたデジタルソリューションMHPS-TOMONI®の適用拡大をはかり、ユーザーのO&Mに貢献していく考えである。

6. ガス化技術の利用先

前述3章にてCO₂分離回収技術について触れたが、石炭ガス化技術は、同技術との組み合わせにより、Fig. 11に示すように、化学品合成やメタン/液体燃料の製造、さらには水素や燃料電池用の燃料ガスの製造への利用が可能となる。

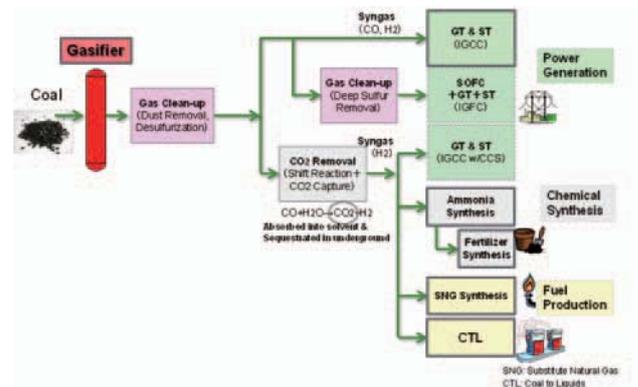


Fig. 11 Product Lines utilizing gasification technology

6.1 SNG合成

Fig. 12に石炭ガス化ガスを用いたSNG合成プラントの概略フローを示す。前述のCO₂回収型IGCCと類似のプロセスであるが、最終設備と製品が発電・電気ではなく、SNG合成プロセス・SNGとなる。

本プラントでは、石炭をガス化して得られた石炭ガス化ガスが、まず熱回収を行った後、水洗装置にて不純物が除去される。次に、COシフト反応に必要な蒸気を加え、触媒反応装置にて一部のCOがH₂とCO₂に転化される。

高温の粗合成ガスは、冷却された後、H₂SやCO₂等の酸性ガスが、吸収剤に吸収され、粗合成ガスは精製される。

主にH₂Sを含む酸性ガスは、そのままでは大気中へ放出することができないため、触媒燃焼にて硫酸へ転化して再利用するか、もしくは硫黄回収装置にて溶融硫黄単

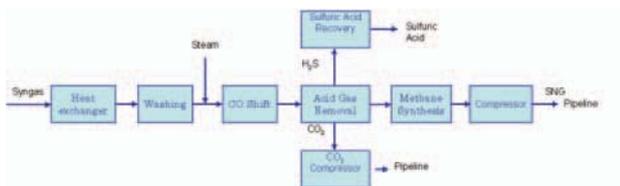


Fig. 12 Block flow diagram of the SNG plant

体へ転化される。

主にCO₂を含む酸性ガスは、圧縮機にて昇圧され、パイプラインへ送られ、CCS / EORなどに利用される。

酸性ガスを除去した合成ガスは主としてH₂、COおよびCO₂にて構成され、触媒反応にてメタンに転化される。メタン合成反応器を出た製品がSNG（合成天然ガス）であり、これらのプロセスは工業的に多くの実績がある。

6.2 化学合成／燃料製造

SNGの他、石炭ガス化ガスはアンモニアやメタノールなどの化学合成やDME（ジメチルエーテル）などの燃料製造に利用が可能である。

アンモニア合成技術は、ドイツのハーバーとボッシュにより発明されたハーバーボッシュ法が有名である。石炭ガス化ガスをシフト反応させることにより水素を製造し、窒素と反応させてアンモニアを製造する。またアンモニアを起点に(2NH₃+CO₂→(NH₂)₂CO+H₂O)尿素(化学肥料)が合成できる。

一方メタノールは、石炭ガス化ガスをシフト反応によりCO/H₂比を調整し、触媒により合成する。また、メタノールから脱水反応によりDME（ジメチルエーテル）が製造できるほか、MTO（Methanol To Olefin）プロセスにてエチレンやプロピレンなどを含む化学品原料も生成可能である。

またFischer-Tropsch法による液体燃料製造はCTL（Coal To Liquid）としても知られており、南アフリカで大規模に実用化されている。

6.3 水素製造

石炭ガス化ガスはCOとH₂が主成分であるが、シフト反応により一旦生成したCO₂を分離・除去することで純度の高い水素が製造できる。水素は燃料電池の燃料やエネルギー媒体として有効利用される。

6.4 発電／化学併用 ハイブリッドIGCC

石炭ガス化炉からの生成ガスを発電と化学品両方に利用可能なハイブリッドIGCCも適用可能である（Fig. 13）。電気料金の高い昼間は発電主体、電気料金の安い夜間は化学品の製造主体などユーザーの要望に応じた計画が出来る。

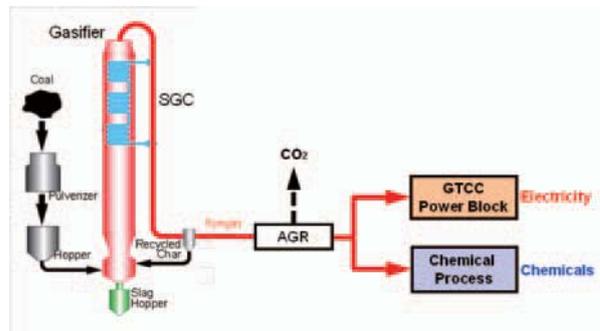


Fig. 13 Hybrid IGCC system

7. おわりに

当社は長年に亘りIGCCの技術開発と実用化を推進してきた。従来型石炭火力と比べ大幅なCO₂排出量の低減が可能であり、またバイオマスの混焼やCCSとの組合せも可能である。

国内で進む福島IGCCプロジェクトに続いて海外展開を計ることにより、次世代を担う我が国のIGCC技術が国際的貢献にも繋がるものと確信している。

当社は最先端の高効率発電技術であるIGCCの普及に積極的に取り組み、資源の有効活用と地球環境保全・CO₂削減に一層貢献していきたいと考えている。

参考文献

- (1) 経済産業省
<https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001.html>
- (2) 内田信一, 堀江嘉彦, 中下明文, 赤津英一, 真田洋一, 石川嘉崇, IGCC石炭ガス化溶融スラグの有効利用に関する取組み, 第25回エネルギー学会講演要旨集, (2016), pp. 188-189.
- (3) 勿来IGCCパワー合同会社
<http://www.nakoso-igcc.co.jp/>

特集：石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について

化学吸収法を用いたCO₂分離回収技術

CO₂ Capture Technology using Chemical Absorption



北村 英夫*¹
KITAMURA Hideo

キーワード：地球温暖化, CCS, CO₂分離回収, 化学吸収法, アミン

Key Words : Global warming, CCS, CO₂ Capture, Chemical Absorption, Amine

1. 緒言

東芝エネルギーシステムズ(株) (以下, 当社) は, 火力発電所や産業分野において発生する排ガスに含まれる二酸化炭素 (CO₂) を分離回収して地中に隔離貯留するCCS (Carbon dioxide Capture and Storage) を早期に実現し, 地球温暖化抑制に寄与すべく, CO₂分離回収技術の開発と実用化を進めている。

本稿においては, この技術開発を紹介するとともに, 佐賀市清掃工場に納入したCO₂分離回収プラントおよび環境省委託事業の一環として実施しているCO₂分離回収実証設備の建設について紹介する。

2. CO₂分離回収技術開発

Fig. 1に示す通り, 火力発電所を対象とする場合の回収技術は, ①燃焼後回収方式 ②酸素燃焼方式 ③燃焼前回収方式の三つに大別される。燃焼後回収方式においては, 煙突手前の排ガスからCO₂回収を行う。酸素燃焼方式は, 空気分離設備により空気から酸素のみを取り出してボイラで燃焼させるが, 排ガスの大半がCO₂と水分となるため, これを冷却することによってCO₂を分離する。燃焼前回収方式は, 主としてIGCC (石炭ガス化複合発電: Integrated Gasification Combined Cycle) に適用することを前提としたものであり, 石炭をガス化した合成ガス中の一酸化炭素を水蒸気と反応させてCO₂と水素に改質し, ここからCO₂を回収するものである。CO₂除去後のガスは, ガスタービンに供給して発電する。

これらの方式のうち, 当社においては燃焼後回収方式を採用しているが, 排ガス発生源が新設と既設の双方に対して適用可能, 火力発電所や産業分野に幅広く適用で

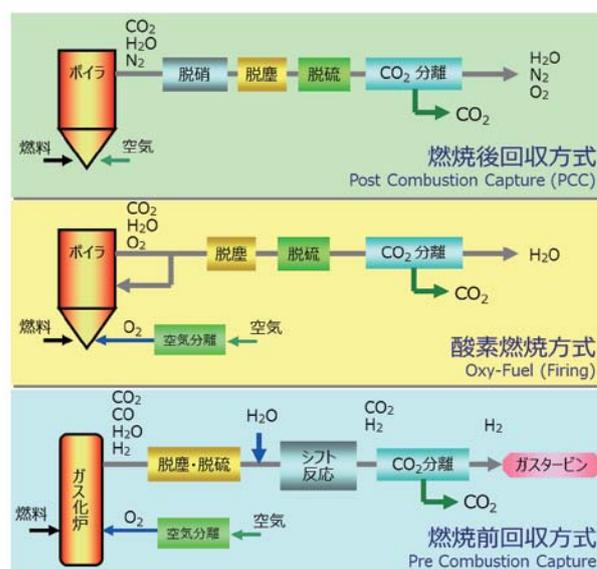


Fig. 1 Comparison of CO₂ capture technologies applied to thermal power plant

きる, 排ガス中CO₂の一部分のみを回収するといった柔軟な運用が可能, などの多くの利点を有する。

この燃焼後回収方式にはいくつかの種類があるが, CO₂濃度が比較的 low 常圧の排ガスからの回収に適した化学吸収法を採用しており, 主としてCO₂と選択的に反応・吸収するアミン系吸収液を用いている。

Fig. 2にこの方式のシステムを示す。CO₂を含んだ排ガスが, 必要であれば前処理を施された後に吸収塔下部

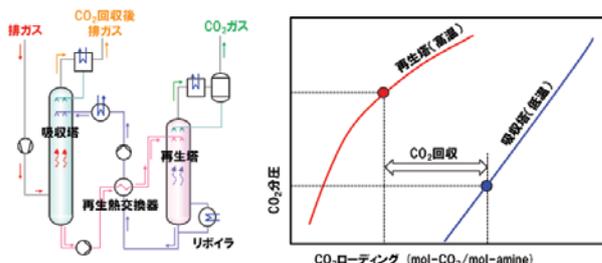


Fig. 2 CO₂ capture system and characteristic of amine solvent

原稿受付 2019年6月5日

* 1 東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部
火力サービス技術部 CCS事業化・技術開発担当
E-mail: hide.kitamura@toshiba.co.jp

から導入され、吸収液が上部から供給される。塔内では対向流として両者が気液接触し、低温でCO₂を吸収するアミン系吸収液の特性によりCO₂が気相から液相に移行する。CO₂を含んだ吸収液は再生塔に移送されるが、途中で再生熱交換器により昇温される。

再生塔では高温で放出反応が生じるアミン系吸収液の特性によりCO₂が液相から気相に移行するが、この反応が吸熱反応であるためにこの反応熱を供給し続けるための蒸気などの熱源が必要であり、リボイラという名称の熱交換器を介して熱伝達を行う。CO₂を放出した吸収液は前記再生熱交換器により冷却されて吸収塔に送られる。

このように吸収液はプラント内を循環し、CO₂の分離回収が連続的に行われる。回収したCO₂は冷却後に再生塔上部より排出されるが、用途に応じて脱水などの後処理を実施することも可能である。

以下のFig. 3に、CO₂分離回収技術の開発・検証・適用のフローを示す。

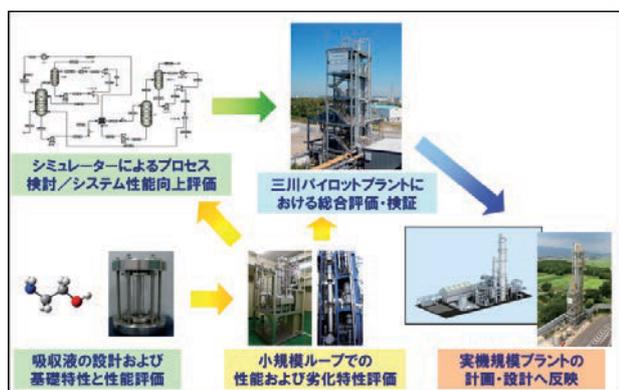


Fig. 3 Flow diagram of development, verification, adoption of CO₂ capture technologies

CO₂分離回収プラントにおいては、低エネルギー消費、機器のコンパクト化と低コスト化などが求められるが、これを吸収液の性能向上や、機器・プロセスの最適設計により実現する。なお、機器としては、吸収塔・再生塔・再生熱交換器・リボイラの四つが、主要なものとなる。

上記フローにおいては、ラボスケールからベンチスケール、パイロットスケールへと、プロセスシミュレーションや数値流体解析も適宜活用しつつスケールアップを行い、得られた知見を反映して実機規模プラントの設計を行うが、このスケールアップにおいて特に重要なのは、(株)シグマパワー有明 三川発電所（福岡県大牟田市）内に設置したパイロットプラント（Fig. 4）を用いた検証である。

本プラントは、2009年に同発電所内に設置したものであり、発電所排ガスの一部を処理して日量10tのCO₂を分離回収する能力を有する。このプラントを用いてシステム性能の検証、実排ガスの状態やその含有不純物が吸

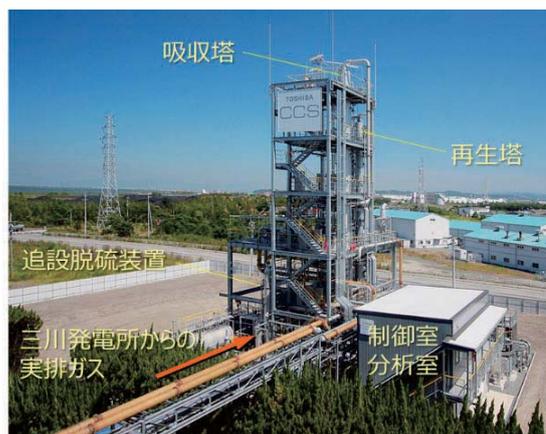


Fig. 4 Mikawa pilot plant

収液性能などに及ぼす影響の検証、運転性・運用性・保守性についての検証などを行い、その結果を実機規模プラントに適用している¹⁾。

例えば、前述のように再生塔においてCO₂放出反応を継続させるために熱を供給する必要があるが、典型的には発電用蒸気の一部を抽気して用いるが、処理する排ガス量が膨大であるために供給熱量も非常に大きく、発電効率を低下させる原因となる。これを抑制するために反応熱の小さい吸収液を開発し、また熱回収プロセスの採用や再生熱交換器の最適設計によってプラント内における回収熱量の増加を図っている。

更に、このようなアミン系吸収液を用いた化学吸収法において、吸収塔から大気へ排出される排ガスに吸収液由来の微量アミン成分が含まれ、これが環境に影響を与える可能性が指摘されているが、この実態の調査および排出抑制技術の開発も進めている。

Fig. 5にこの調査の一例を示す。これは、吸収液としてMEA（Monoethanolamine）水溶液を用いた三川パイロットプラント試験において、吸収塔出口排ガス中に含まれるMEA濃度を示したものである。アミンの存在形態としてはミスト状と気体状の二種類が存在するが、ミスト状の割合が全体の半分以上、また、ミストにおいては粒径10μm以下のものが半分以上を占めることがわかる。なお、これらの割合については、吸収液種類や吸収塔入口排ガス性状に依存することがわかっている。

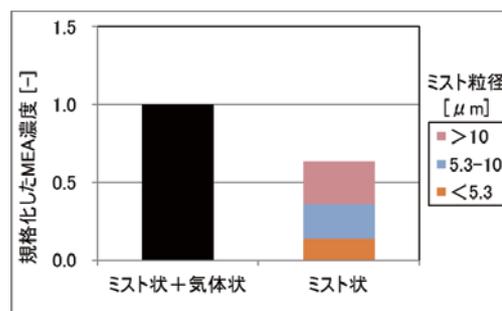


Fig. 5 Existence form of MEA in the flue gas at the outlet of absorber

3. 佐賀市清掃工場向けCO₂分離回収プラント

化学吸収法により分離回収したCO₂については、これを隔離貯留するだけでなく、有効利用する方法もあり、CCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) と呼ばれる。当社は、清掃工場由来のCO₂の有効活用を検討するための佐賀市「清掃工場バイオマス利活用促進事業」に参画し、2013年10月にCO₂回収量が10～20kg/日の小型実験プラントを佐賀市清掃工場に納入した⁽²⁾ (Fig. 6)。



Fig. 6 Small test plant at Saga waste incineration plant

佐賀市によるこの運用を通じて、回収CO₂の純度が高く、農業などに提供可能であることがわかった。一方で、清掃工場排ガスについては、これまで当社が取り扱ってきた火力発電所排ガスとは異なる成分を含有しており、特にごみ中の塩化物由来の塩化水素 (HCl) が、排出基準値内ではあるが数十mg/m³Nの濃度で排ガス中に含まれるため、吸収液劣化対策のみならずプラント構成部材の腐食対策が必要となることがわかった。また、火力発電所とは異なり排ガス中CO₂濃度の変動が非常に大きいことも明らかになった。

この小型実験プラントの運用で得られた知見と、前述の、種々の濃度のCO₂含有排ガスをテスト可能な三川パイロットプラントでの知見を組合せることにより、清掃工場排ガスから一定量のCO₂を安定して分離回収できる見通しが得られた。佐賀市は環境省の「二酸化炭素回収機能付き廃棄物発電検討事業」に採択され、また当社は佐賀市の公募に対して回収量10t/日のCO₂分離回収プラントを提案、これの受注に至った。

2016年8月から稼動を始めた本プラントは、清掃工場で商用利用される世界初のCO₂分離回収プラントであり、回収したCO₂は藻類の培養などに活用するために、佐賀市が事業者に売却している。

以下のFig. 7にこの外観を示す。またFig. 8にはシステムフローを示すが、本プラントは、排ガス中の塩化水素を主に除去する排ガス前処理設備、CO₂の分離回収を行うCO₂分離回収設備、CO₂の圧縮と貯蔵を行って適宜必要量を需要家に供給するためのCO₂貯留設備から構成される。清掃工場からは、排ガスに加えて蒸気の供給を受けて、CO₂放出反応に必要な熱量を確保している。



Fig. 7 CO₂ capture plant at Saga waste incineration plant

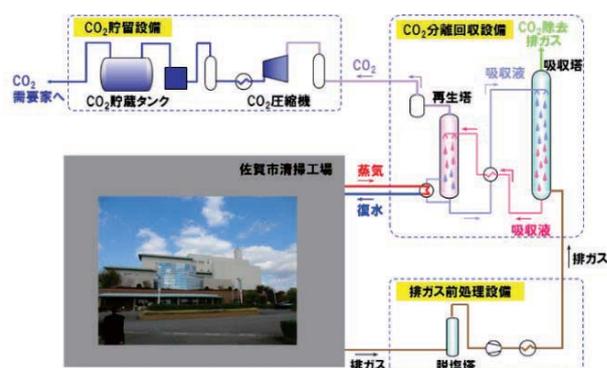


Fig. 8 System flow of CO₂ capture plant

4. CO₂分離回収実証設備 (環境省委託事業)

現在当社は、(株)シグマパワー有明 三川発電所 (出力50MW) の隣接地において、発電所排ガスから500t/日以上量のCO₂分離回収を行う大規模実証設備を建設中である。

これは、環境省の「環境配慮型CCS実証事業」として、みずほ情報総研(株)をはじめとするコンソーシアムで採択された事業の一環として建設するもので、CO₂分離回収実証設備の設計・建設を当社が担当している⁽³⁾。

本実証設備において特徴的なのは、以下の二点である。

まず、回収するCO₂の量が、火力発電所から排出されるCO₂量の50%以上にあたるということであり、これは、世界的にも数少ない事例である。このようなCO₂分離回収設備においては、必然的に発電用蒸気を大量に抽気することになり、火力発電システムへの影響が大きい。本実証事業においては、定常運転時のみならず、将来の再生可能エネルギーの大量導入時に火力発電所に頻繁に要求されるであろう出力変動運転時における、このような影響を検証することも、目的の一つとしている。

次の特徴は、三川発電所は、石炭だけではなくパーム椰子殻 (Palm Kernel Shell) を主燃料としたバイオマス発電にも対応する設備への更新を2017年に実施しており、本実証設備完成時には、これが世界初の実用規模の

CO₂分離回収設備付設バイオマス発電所になる予定ということである。

化石燃料である石炭の燃焼に伴って発生するCO₂を分離回収して貯留する場合、地中に存在していた炭素成分を気相中に開放し、これを回収して地中に戻すことになるので、炭素循環の観点から見ると“carbon neutral”に過ぎない。一方、大気中CO₂を光合成により固定化したバイオマスを燃焼し、これに伴って発生するCO₂を分離回収・貯留すれば、大気中に存在していた炭素成分を地中に隔離することになるので、炭素循環の観点からは“carbon negative”となり、大気中のCO₂量を削減できることになる。

後者の手法はBECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage) と呼ばれ、IPCC (気候変動に関する最新の科学的知見についてとりまとめた報告書を作成し、各国政府の気候変動に関する政策に科学的な基礎を与えることを目的とする組織) が発行した第5次評価報告書においては、地球温暖化抑制のために重要な役割を果たし得る技術の一つとして位置づけられている。

以下、本実証設備の完成予想図をFig. 9に、火力発電所を含めたシステムフローをFig. 10に示す。

本実証設備の設計においては、前述の三川パイロットプラントや佐賀市清掃工場向けCO₂分離回収プラントで得られた知見を十分に反映している。機器の納入・据付・試運転を経て2020年に実証運転を開始し、技術、性

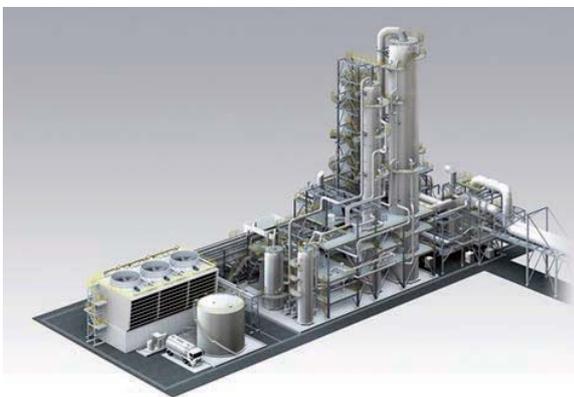


Fig. 9 Carbon capture demonstration facility (3D image)

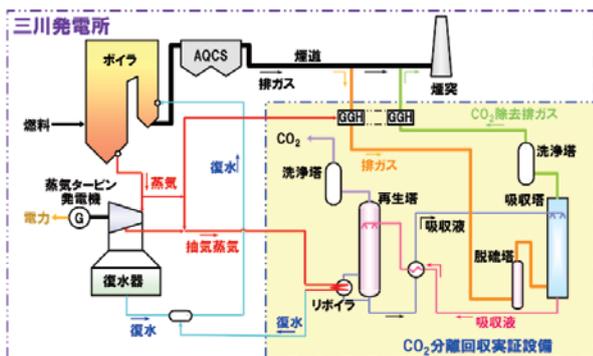


Fig. 10 Flow of integrated system of demonstration facility and thermal power plant

能、コストなどの評価を行う予定である。また、評価項目として環境影響も挙げており、前述の、三川パイロットプラントにおいて開発した排出抑制技術を組込み、この効果も検証する予定である。

機器のうち、主要な吸収塔や再生塔については2019年3月に据付を完了しており⁽⁴⁾、据付後の写真をFig. 11に示す。



Fig. 11 Installed towers of demonstration facility

5. 結言

本稿においては、CO₂分離回収技術の開発と実用化に関する当社の取り組みを述べた。地球温暖化抑制のためには、再生可能エネルギー導入などによるCO₂排出削減対策はもとより、排出CO₂の大気中からの隔離の必要性が広く認識されつつあるが、火力発電所だけでなく産業分野からの排出CO₂への対策についても、その必要性が言及されている⁽⁵⁾。

当社が採用している化学吸収法による燃焼後回収方式は、その守備範囲の広さと技術成熟度の高さから、これら排出源への適用に好都合であると考えられ、当社は大規模CCSの早期の実現に向けて貢献していく。

参考文献

- (1) 東芝レビュー Vol.65 石炭火力発電所排ガスからのCO₂分離回収パイロット試験
https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2010/08/65_08pdf/a09.pdf
- (2) TOSHIBA CLIP (2017/9/6)
<http://www.toshiba-clip.com/detail/3646>
- (3) 東芝エネルギーシステムズ株式会社
プレスリリース&ニュース (2017/12/15)
https://www.toshiba-energy.com/info/info2017_1215.htm
- (4) 東芝エネルギーシステムズ株式会社
プレスリリース&ニュース (2019/3/29)
<https://www.toshiba-energy.com/thermal/topics/ccs-1.htm>
- (5) The Global Status of CCS: 2017 (p22)
<https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/2017-Global-Status-Report.pdf>

特集：石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について

アンモニアを利用した発電技術の研究開発

Development of Technology to Use Ammonia in Power Plant



須田 俊之*¹ 藤森 俊郎*²
SUDA Toshiyuki FUJIMORI Toshiro

キーワード：エネルギーキャリア，アンモニア，微粉炭焚きボイラ，ガスタービン，SOFC

Key Words：Energy Carrier, Ammonia, Pulverized Coal Fired Boiler, Gas Turbine, SOFC

1. エネルギーキャリアとしてのアンモニアの特徴

1.1 水素

昨今、地球温暖化問題に対する取り組みの重要性が拡大している。一つは規制など国としての動きであり、パリ協定を踏まえた温室効果ガスの排出削減目標として、日本は2030年度までに26%削減（2013年度比）、2050年までに80%削減する目標を掲げている。もう一つは企業経営の中での重要性であり、投資判断の中でESG（環境、社会、ガバナンス）を重視する動きなど、地球温暖化問題に対して民間資金を積極的に回そうとする動きが活発化している。この動きの中、温室効果ガスの代表格であるCO₂を削減するための様々な技術開発が求められている。

2018年に資源エネルギー庁が発表した第5次エネルギー基本計画⁽¹⁾では、温室効果ガス削減目標を達成するための方策の一つとして、水素エネルギーの推進があげられている。水素は利用時にCO₂を発生しないため、例えば自動車や発電所の燃料を従来の化石燃料から水素に転換することで、直接的にCO₂を削減することが可能である。但し、水素は自然からは直接採取できない2次エネルギーであり、化石燃料からの変換による製造や、太陽光・風力発電などの再生可能エネルギーからの製造が必要となる。日本は1次エネルギーの90%以上を海外の化石燃料に依存しているが、海外でCO₂フリー水素を製造し日本に輸入・利用することで、国内利用時のCO₂を直接的に削減できるとともに、海外の再生可能エネルギーを水素の形で輸入できるため、エネルギーセキュリティの向上（供給構造の多様化）にも寄与すると考えられる。

1.2 エネルギーキャリアとしてのアンモニアの特徴

2017年末に国から発表された「水素基本戦略」の中では、水素社会実現のために国際的な水素サプライチェーンの開発が重要とされており、水素を効率的に輸送・貯蔵することを可能とするエネルギーキャリアの技術が必要とされている。このエネルギーキャリアとして、液化水素、有機ハイドライド（MCH：メチルシクロヘキサン）、アンモニア、メタネーション（水素とCO₂により合成したメタン）などが候補として上げられている。

Fig. 1に主なキャリアの比較を示す。これらキャリアの中で、著者らはアンモニアに注目しているところである。アンモニアは他のキャリアに比較して、①単位体積当たりの水素含有量が大きい、②液化しやすく既存の製造・輸送・貯蔵インフラを活用できる、③水素に再変換することなく直接燃焼が可能である、などの特徴から、早期に社会実装が可能と考えられるためである。特に、アンモニアは既に肥料や化学原料として広く流通しており、鉄触媒により窒素と水素からアンモニアを合成するハーバー・ボッシュ法という完成された製法があること、また、アンモニアは可燃性ガスであり、火力発電用燃料として直接利用できる（水素を取り出す必要が無い）ことがチェーン構築上の大きなメリットと言える。アンモニアの主なメリットをTable 1にまとめる。

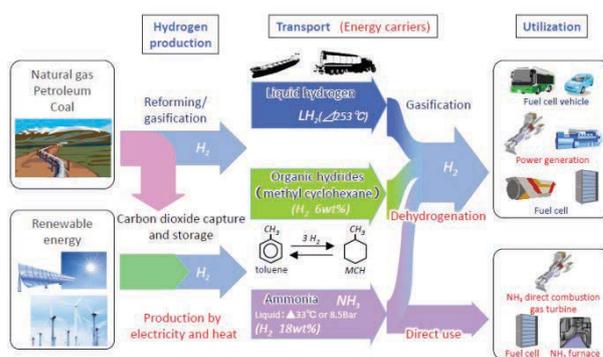


Fig. 1 Comparison of energy carriers⁽²⁾

原稿受付 2019年5月14日

* 1 (株)IHI 資源・エネルギー・環境事業領域
E-mail: toshiyuki_suda@ihi.co.jp

* 2 (株)IHI 産業システム・汎用機械事業領域
E-mail: toshiro_fujimori@ihi.co.jp

Table 1 Advantages of ammonia as an energy carrier

| Supply Chain | Advantage |
|--------------------------|--|
| Production | <ul style="list-style-type: none"> Efficient production method from natural gas is already established (Haber-Bosch process) Can be synthesized from hydrogen made by renewable electricity. |
| Storage & Transportation | <ul style="list-style-type: none"> Large hydrogen content per unit volume Easy to liquefy Already widely used as fertilizer, chemical feedstock and de-NO_x agent. Existing infrastructure can be used. |
| Utilization | Ammonia is a combustible gas and can be used directly as a fuel in thermal power plant. |

1.3 アンモニアを利用した発電技術の課題

アンモニアはエネルギーキャリアとして有望な物資であるが、利用する上ではいくつか課題がある。主な課題をTable 2に示す。例えばガスタービン用燃料としての利用を考えた場合、ガスタービンで燃料として用いられる天然ガスと比べるとアンモニアは燃焼速度が約1/5⁽³⁾、発熱量が約1/2、断熱火炎温度が200～400℃低い等の特徴があり、安定して燃焼させることが課題となる。特に重要なのが、分子中に含まれる窒素原子由来のFuel-NO_xの生成が予想されるため、NO_xの生成を抑制した燃焼手法の開発が必要であることである。但し、Fuel-NO_xの生成メカニズムや低NO_x燃焼法については、特に石炭燃焼の分野において長く研究されてきており、それら技術を適切に応用すればアンモニア燃焼においても早期に低NO_x燃焼法が開発できる可能性がある。その他、アンモニアの毒性に対する安全性の確保や、経済性などサプライチェーンの確立が課題として挙げられる。

これら課題を解決するため、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「エネルギーキャリア」において、産官学共同で様々な研究開発が実施されている。その中でも著者らは、アンモニアを、2MWe級中型ガスタービン、石炭火力、固体酸化物形燃料電池(SOFC)で利用するための課題解決を担当した。以下、各機器に対応した研究開発成果の概略を述べる。

Table 2 Problems to overcome to use ammonia in power plant

| Items | Problems |
|------------------|---|
| System designing | Optimized combustor design for stable flame and reduction of fuel-NO _x |
| Performance | Evaluation of performance of power plant |
| Safety | Safety measures to avoid poisoning |
| Feasibility | Cost evaluation of the system |

2. ガスタービンにおけるアンモニア混焼技術

2.1 ガスタービンでのアンモニア混焼の課題

ガスタービン燃焼器においてアンモニアを利用する場合、安定して燃焼させる技術(失火・不完全燃焼などの抑制)や、アンモニアからのFuel-NO_xの生成を抑制す

る燃焼器コンセプトが重要となる。天然ガスを利用するガスタービンで発生するNO_xは、空気中窒素分起源のThermal-NO_xであり、燃料中の窒素分を起源とするFuel-NO_xは発生しない。Thermal-NO_xは温度依存性が高いため、従来の低NO_x手法は希薄予混合燃焼など高温場の発生を抑制するための手法である。一方、Fuel-NO_xの場合、温度依存性はThermal-NO_xほど高くは無く、二段燃焼など還元雰囲気を利用した低NO_x手法が一般的である。従って、Fuel-NO_xに適合したガスタービン用低NO_x手法を確立する必要がある。

筆者らは、数値解析や燃焼器単体の加圧燃焼試験等により、安定燃焼・低NO_xを達成するアンモニア/天然ガス混焼燃焼器の研究開発を進めた。その詳細はここでは割愛するが⁽⁴⁾、新しく開発した燃焼器を実際のガスタービンに搭載、実証試験を実施した。

2.2 実証試験設備

Fig. 2に実証試験設備の概略図を示す。設備は主に、天然ガスコンプレッサ、アンモニア供給装置、ガスタービンエンジン、脱硝装置の4つで構成される。ガスタービンエンジンにはFig. 3に示すIHI製2MWe級ガスタービンであるIM270を用いた。設備改造は燃焼器のみとし、開発したアンモニア/天然ガス混焼用燃焼器を搭載、それ以外のエンジン構成部品については天然ガス焼き用標準品を使用した。タービン出口には、選択還元方式の脱硝装置を設置した。高圧の燃料用アンモニアガスを安定してガスタービンに供給するため、Fig. 4に示すアンモニア供給装置を設置した。アンモニアは液体状態でタンク

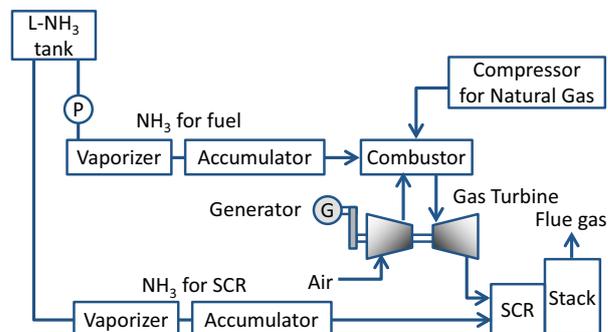


Fig. 2 System of ammonia co-firing gas turbine power plant



Fig. 3 Appearance of 2MWe Gas Turbine (IM270)



Fig. 4 Appearance of ammonia supply unit

に貯留し、液体のままポンプで加圧した後、気化器で気化させる構成とした。アンモニアを液体で加圧することで、圧縮動力を低く抑えることが可能である。脱硝用アンモニアも本装置から供給しており、供給方法は燃料用アンモニアとほぼ同じである。ただし、供給圧力が低いいため、ポンプは使用していない。なお、天然ガスコンプレッサについては、天然ガス焚きガスタービンで一般的に使用されるものを使用した。

2.3 試験結果

試験では、起動から2MWe発電までの運転を天然ガス専焼にて行った後、発電出力を2MWeで一定に保持した状態で、アンモニアの供給を開始した。燃焼器やエンジンに異常がないことを確認しつつ、徐々に供給量を増加させたところ、発電出力を2MWeで一定に保持させながら、アンモニアを20%（低位発熱量基準）まで安定して混焼させることに成功した。

Fig. 5にアンモニア混焼率の変化に対するタービン出口でのCO₂濃度、NO_x濃度の変化を示す。アンモニア混焼率が増加するとCO₂濃度は単調に減少し、直接的な低減が可能であることが分かる。NO_x濃度はアンモニア混焼開始とともに急増するが、アンモニア混焼率5%以上では大きく変化しない。脱硝装置通過後のNO_x濃度は横浜市環境規制値7ppm@16% O₂以下まで低減可能であった。その他成分は、COは3ppm以下、NH₃、THC (Total Hydro Carbon)、N₂Oは1ppm以下であり、いずれも計測器の定量下限値以下であった。以上の結果より、ガスタービンでアンモニアを安定して

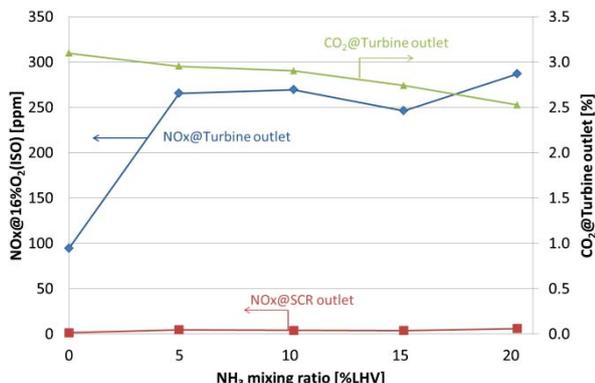


Fig. 5 Effect of ammonia co-firing ratio on CO₂ and NO_x

混焼可能であることを実証することができた。

3. 石炭火力におけるアンモニア混焼技術

3.1 課題

現在、石炭火力はベースロード電源として引き続き重要な役割を担っているが、CO₂排出量が他の火力に比べて大きいことが大きな課題である。例えばCO₂排出原単位を比較すると、石炭火力の中でも最新鋭のUSC：超々臨界圧ボイラは0.8kg-CO₂/kWh程度であるが、天然ガスを燃料とするGTCC（ガスタービン・コンバインドサイクル）は0.4kg-CO₂/kWh程度である。従って、石炭火力にアンモニア混焼技術を適用することにより、早期にCO₂削減へ貢献することが期待できる。現状の国内の石炭火力全てを20%アンモニア混焼とした場合、日本国内の総CO₂排出量のおよそ6%を削減できると考えられる。

石炭火力の各種方式の中でも、石炭をおよそ40μmまで粉碎し、バーナにより炉内に吹込み燃焼させ蒸気を生ずる微粉炭焚きボイラが主流である。この微粉炭焚きボイラにアンモニアを混焼させる上での主な課題として、先に述べたFuel-NO_xの増加、輻射伝熱量の減少等によるボイラ性能への影響、排ガス処理設備等への影響などが考えられる。Fig. 6に検討した主な課題を示す。ここでは特にアンモニア燃焼方法の検討についての成果を述べる。

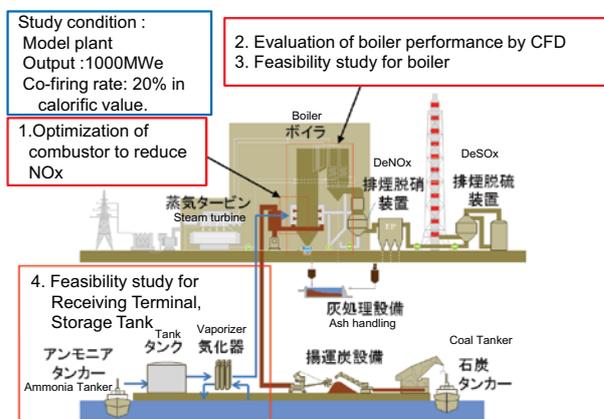


Fig. 6 Studies made for applying ammonia co-firing on pulverized coal fired boiler

3.2 Fuel-NO_x 低減手法

Table 2に示した課題の中ではFuel-NO_xの低減が最大の課題と考えられるが、幸い、石炭燃焼におけるFuel-NO_x生成のメカニズムについては長く研究されており、その抑制も複数の手法が既に利用されている。

微粉炭燃焼におけるNO_xはおよそ80%がFuel-NO_xとされているが、これは石炭中の窒素分がHCNやNH₃の形で放出され、燃焼場で酸化されることで生成することが分かっている。一方で、一部のNO_xはHCN・NH₃やチャーによって還元されN₂となり、最終的に放出

されるNO_xが決まる。従って、この酸化反応と還元反応をコントロールすることが基本的な低NO_x手法となる。代表的な低NO_x手法として、低NO_xバーナや二段燃焼法などが既に実機では利用されている。このように、Fuel-NO_xの抑制手法は既に存在するが、石炭中の窒素分は数%と低く、今回のように大量のアンモニアを混焼させた場合のNO_xの挙動・従来の低NO_x手法が応用できるかどうかは不明である。

従って、まずは数値解析により、火炉内のアンモニアを吹込む位置によってどのようにNO_xが変化するか検討するため、0次元リアクタネットワークを用いた詳細化学反応解析を実施した。Fig. 7にネットワーク図を示す。ここでは、燃焼用空気に旋回流を印加することで内部循環流を起し、低NO_x化を図る低NO_xバーナを模擬している。バーナの混合部、火炎、循環流、2段燃焼部など、バーナ後流部を模擬的に反応器の組み合わせと仮定し、アンモニアを各反応器に投入してNO_x等を比較することで、どこにアンモニアを投入すれば最もNO_xが低減可能か検討できる。

Fig. 8にアンモニア20%混焼時のNO_xおよびCO濃度の変化を示す。Fig. 8から分かる通り、アンモニアを、バーナ上流の石炭と燃焼用空気が混合する領域では無く、

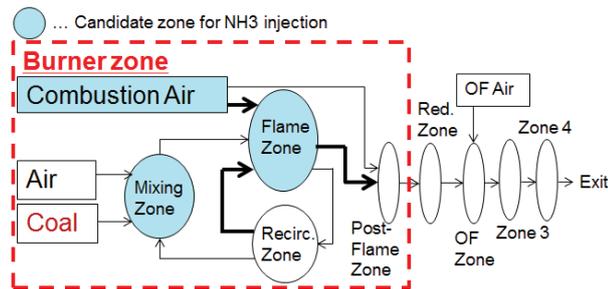


Fig. 7 Reactor network used in detailed chemical kinetic analysis

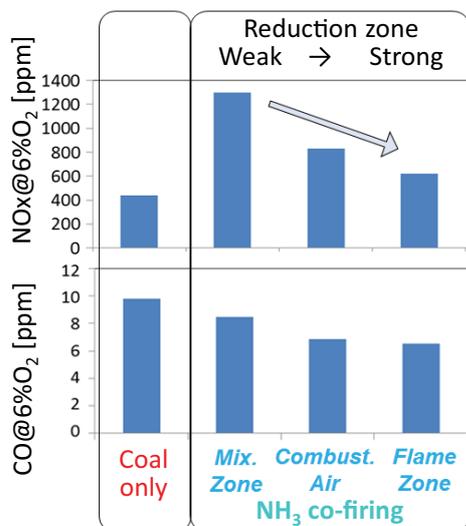


Fig. 8 Effect of ammonia injection point on NO_x and CO emission

より後流の酸素濃度が減少した還元雰囲気吹き込む方がNO_x低減に有利であることが分かった。また、NO_x濃度は、アンモニアの燃焼量(20%)から考えると大幅に低減できる(転換率が大幅に低い)ことも分かった。但し、還元雰囲気が強すぎると未燃アンモニアが残り、2段燃焼部でFuel-NO_xが生成する可能性もあるため、実際の燃焼場で確認する必要がある。

3.3 試験設備

3.2の数値解析結果より最適な燃焼方法の検討を行い、安定・低NO_x燃焼を達成可能なバーナコンセプトを立案した。本バーナを、兵庫県相生市内にあるIHI相生工場内の大容量燃焼試験設備を使用し燃焼試験を行った。試験設備の外観・系統をFig. 9に示す。本設備は微粉炭を燃焼させた際の燃焼挙動、排気ガス特性を探るための設備であり、今回、アンモニア供給設備を追加することで試験を行った。試験条件としては、空気比1.10—1.30、二段燃焼率20%—40%とし、Table 3に示す燃料供給条件で燃料供給を行った。アンモニアはバーナ部から投入することとし、アンモニア混焼率は低位発熱量ベースで20%とした。



Main flow diagram 主系統図

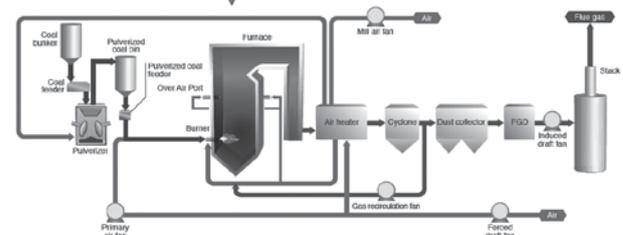


Fig. 9 Appearance and flow diagram of coal firing test facility

Table 3 Fuel feed rate

| Case | Coal [t/h] | Ammonia [t/h] |
|-------------------------------|------------|---------------|
| Coal only | 1.3 | - |
| Ammonia co-firing (20% (LHV)) | 1.0 | 0.38 |

3.4 試験結果

Fig. 10に、石炭専焼時及びアンモニア20%混焼時の火炎の様子を示す。アンモニア混焼時の火炎は微粉炭専焼時と同等で安定しており、火炎の安定性については

問題無いことが分かる。また、Fig. 11には、空気比1.20、二段燃焼率30%の試験条件で得られた排気ガス中CO₂、O₂、煙突入口NH₃の履歴を示す。Fig. 11より、排出CO₂は20%アンモニア混焼によって、13.3%から10.6%

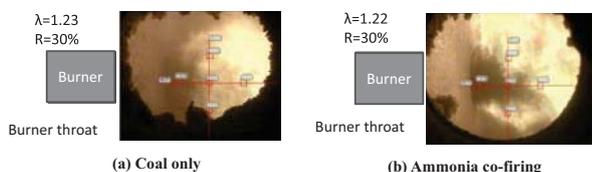


Fig. 10 Flame behavior of pulverized coal burner λ=Excess air ratio, R=Air staging ratio

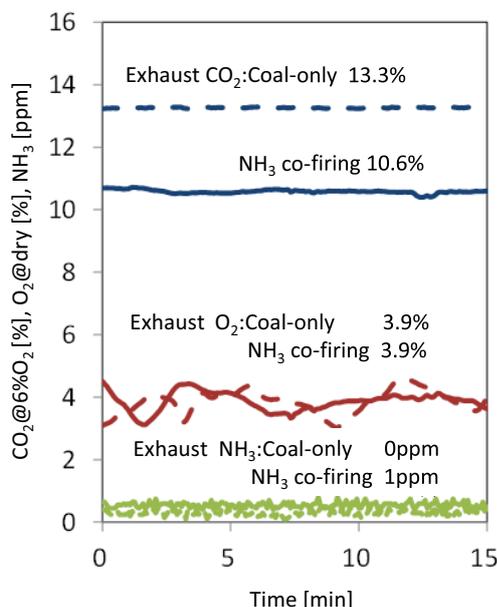


Fig. 11 Exhaust gas composition

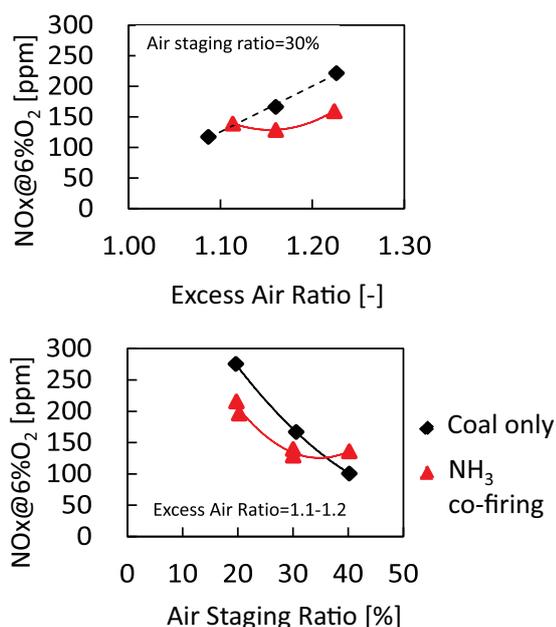


Fig. 12 Effect of excess air ratio and air staging ratio on NOx emissio

へと20%削減されていることが確認できる。なお、排気ガス中のO₂濃度は3.9%で、石炭専焼とアンモニア混焼とで同等になるようにして試験を行っている。

未燃アンモニアについては、Fig. 11に示すように煙突入口においては0 - 1 ppmであった。試験全体を通して、煙突部でアンモニアは検知されておらず、このことから、投入したアンモニアはすべて火炉内で分解、燃焼されており、アンモニアを安全に燃焼できることがわかった。

Fig. 12には、排気ガス中NO_x濃度に対する各種パラメータ（空気比、二段燃焼率）の影響を示す。アンモニア混焼時のNO_xは石炭専焼と同等もしくはそれ以下であり、天然ガスとの混焼の場合と同様、石炭との混焼の場合もNO_x抑制が可能であることが分かった。以上の結果より、石炭火力においても、アンモニアを安定して混焼可能であることを実証することができた。

4. 固体酸化物形燃料電池におけるアンモニア利用技術

4.1 課題

固体酸化物形燃料電池（SOFC : Solid Oxide Fuel Cell）については、混焼とは異なり100%アンモニアを燃料として直接供給するSOFC発電システムの開発を実施している。本システムは燃料処理装置等が不要になるメリットがあるものの、アンモニアを燃料電池内で分解するため分解時の吸熱反応により電池温度が低下し、電池電圧の低下さらには熱自立運転ができない可能性がある。従って、システムの熱マネージメントが重要となる。

4.2 試験装置

燃料電池・熱交換器等の高温機器を収納したホットモジュールの断熱性能を確保するため、熱流体解析ソフトを用いた3次元熱解析を行った。その結果を設計に反映し、最終的にはホットモジュールの要素試験結果を基に、1kWe級発電システムを試作した。ホットモジュール及びシステム外観をFig. 13に示す。

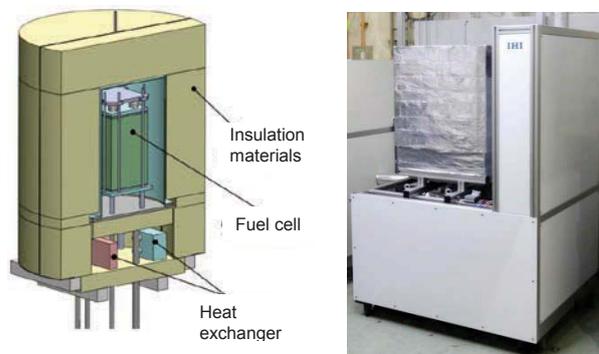


Fig. 13 Appearance of SOFC hot module and 1kWe system

4.3 試験結果

試作した1kWe級発電システムを用い、起動・停止も含めた発電試験を行った。発電出力、スタック温度等、

主なパラメータの試験結果をFig. 14に示す。性能評価の結果、システムの熱自立を達成するとともに、起動・停止も含めた安定した発電試験に成功し、DC発電出力として1,370W、DC発電効率56%を確認した。

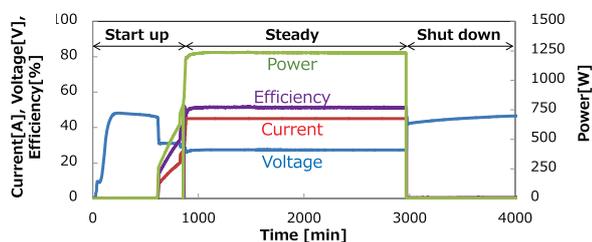


Fig. 14 Result of continuous run of SOFC 1kW system

5. アンモニアサプライチェーンの構築

以上の通り、アンモニアを燃料として発電する技術については、Fuel-NOx抑制など最も重要な課題については解決されつつある。一方で、アンモニアの製造・輸送・利用のチェーンを実現するためには、アンモニアの価格が一つの課題となる。アンモニアは、水素キャリアの中では最も安価と考えられるが、それでも従来用いられている化石燃料に比較すると高価であり、例えば製造プラントの大型化や大規模輸入・大規模利用 (Fig. 15) など、コスト低減の工夫が必要である。

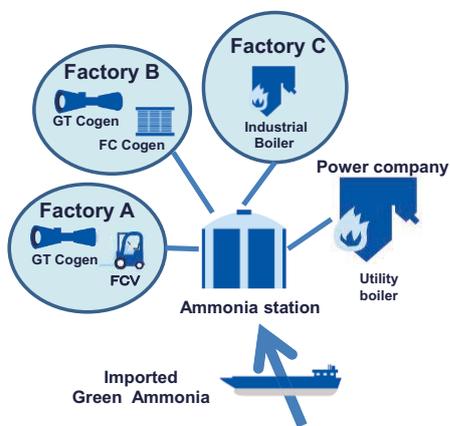


Fig. 15 Image of large scale ammonia utilization

6. まとめ

本報で示したように、エネルギーキャリアであるアンモニアを、ガスタービン、石炭火力、固体酸化物形燃料

電池で利用する技術の要素技術を確立することができた。今後、技術の向上とともに、商用化を目指した取り組みを加速させる予定である。最終的には、Fig. 16に示すCO₂フリー水素/アンモニアサプライチェーン全体の構築を目指し、早期の技術確立・社会実装に挑戦していく。

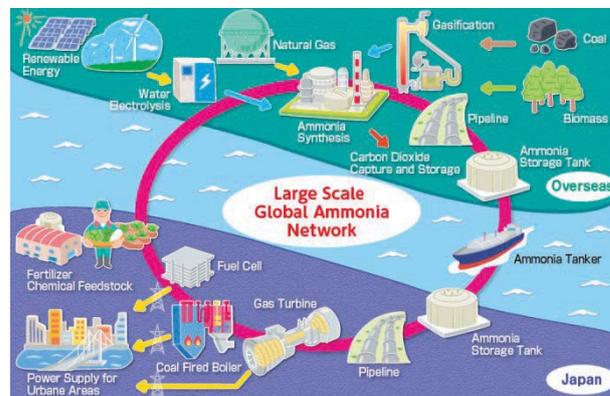


Fig. 16 Image of green ammonia supply chain

謝辞

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「エネルギーキャリア」(管理人: 国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)) によって実施された。ここに謝意を表す。

参考文献

- (1) 資源エネルギー庁 第5次エネルギー基本計画
<<https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001.html>> (参照日: 2018年7月3日)
- (2) 国立研究開発法人科学技術振興機構 エネルギーキャリアパンフレット
<http://www.jst.go.jp/sip/pdf/SIP_energycarriers2015_en.pdf> (参照日: 2016年4月1日)
- (3) Hayakawa, A., Goto, T., Mimoto, R., Arakawa, Y., Kudo, H. and Kobayashi, H., Laminar burning velocity and Markstein length of ammonia/air premixed flames at various pressures, Fuel, 159 (2015), pp. 98-106

特集：石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について

ボイラにおける燃焼制御最適化の実現

Realization of Boiler Combustion Control Optimization



岡村 雄治*¹ 宇野 貴博*² 松迫 淳也*³
OKAMURA Yuji UNO Takahiro MATSUSAKO Junya

キーワード：ボイラ，燃焼制御，効率改善，ULTY，安定化

Key Words：Boiler, Combustion Control, Efficiency Improvement, ULTY, Stabilization

1. はじめに

我々にとって電気は必要不可欠なものである。多くの発電設備が世界中で稼働しておりその方式は化石燃料を使った火力，自然エネルギーを利用した水力や太陽光，さらには原子力を利用した発電方式がある。中でも発電量の調整が比較的容易でありその価格の安さから火力発電がわが国だけでなくおよそ8割を占めている。しかし近年，火力発電は他の発電方式と比較しCO₂排出量が多いため，いかにして効率の良い発電を行うかということに各社とも試行錯誤している現状である。

ここでボイラ制御に着目した。制御パターンにはボイラ追従，タービン追従，協調制御の3パターンがあるがここではそれぞれの詳細説明は省略し，現在主流である協調制御を前提とする。協調制御ではボイラ出口圧力を一定に保つよう投入燃料量を決定するが，燃料性状の変化や伝熱面の劣化などの外乱によりボイラ周りの熱量は常に変動しているためボイラ出口圧力が変動する。その圧力変動をいかに抑制するかが課題である。

我々はその課題に対しボイラマスタ制御へのアプローチにより解決でき，それだけでなくボイラ出口圧力が安定することで燃料削減にもつながることを見出した。具体的な手法については後述するが主として，ボイラ要求量（発電機出力や主蒸気流量）とそれに主蒸気圧力補正量を加えたボイラマスタ信号の2点を用い，係数を1点

ボイラマスタ信号へ乗算するというシステムである。これを製品化したものをULTY（アルティ）と名付けた。

ULTYの特長は，LNG専焼以外のいかなるボイラへも接続が可能であり，コンベンショナル，CFB（Circulating-Fluidized-Bed）などボイラタイプを問わない。また，DCS（Distributed-Control-System）メーカーを問わず後付けも可能である。さらにスイッチによる既設制御とULTY制御の切り替えが可能のため効果検証が容易であるなど，国内外のULTY稼働中プラントはおよそ80基である。もっとも，導入プラントにおける平均燃料削減率はおよそ1.0%でありこれは石炭焼き事業用発電プラントにおいて年間約1億円分以上の削減を意味する。本書はULTYによるボイラ制御の改善手法および燃料削減に至るプロセスについて解説する。

2. 汽力発電ボイラについて

2.1 ボイラ制御概要

ボイラは，給水，燃料，空気から蒸気を生成する設備であり，そのボイラの基本的な制御は，ボイラで生成される主蒸気の圧力を規定値に整定させるボイラマスタ制御である。ボイラマスタ制御は発電要求量・発電量・主蒸気流量などから生成されるボイラデマンド信号を先行信号とし，ボイラへの燃料投入量を決定する燃料関数により求められた燃料をボイラに供給し，発生した主蒸気圧力を測定して，これと予め設定された主蒸気圧力との差分に基づいてPID（Proportional-Integral-Differential）制御によってフィードバック補正量を求め，これを負荷要求量に加算してボイラへの燃料投入量を補正するという制御が一般的に行われている。このボイラマスタ信号から燃料関数，空燃比関数を通じて燃料投入量および空気流量を決定する。つまり，ボイラマスタ制御がボイラを制御の根源ともいえ，その制御の安定化がボイラ燃焼

原稿受付 2019年5月10日

*1 郵船出光グリーンソリューションズ(株)

〒105-6134 港区浜松町2-4-1

世界貿易センタービル34階

E-mail: yuji-okamura@nyk-idemitsu-gs.co.jp

*2 郵船出光グリーンソリューションズ(株)

E-mail: takahiro-uno@nyk-idemitsu-gs.co.jp

*3 郵船出光グリーンソリューションズ(株)

E-mail: junya-matsusako@nyk-idemitsu-gs.co.jp

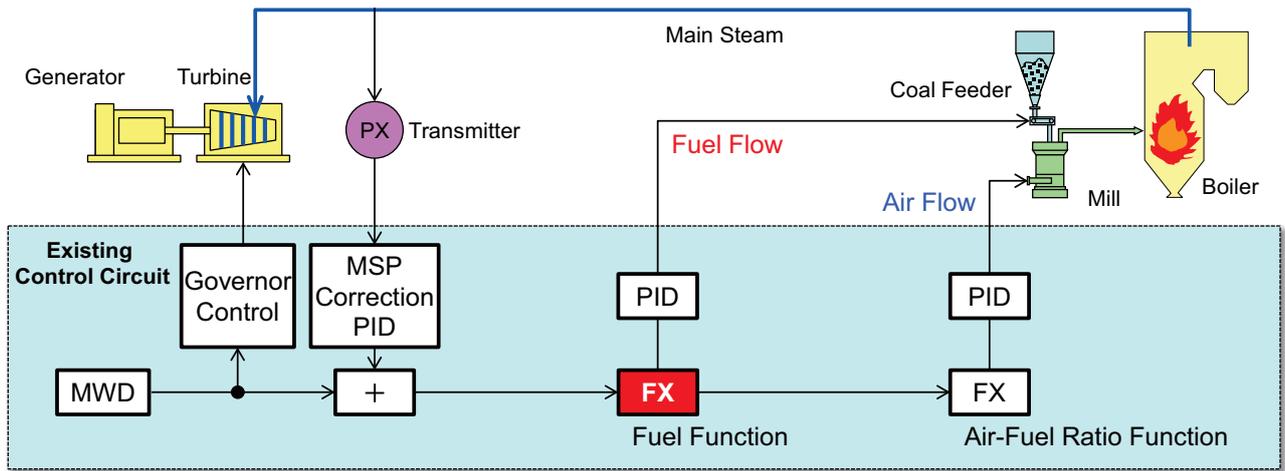


Fig. 1 Control diagram of thermal power plant

の効率に大きな影響を及ぼす (Fig. 1)。

2.2 ボイラ制御の課題

いかなるボイラでも建設当初は安定した運転となるが、経時変化やその他の外乱、例えば、石炭ボイラでは、燃料性状（水分、発熱量など）の変化、炭種の切り替わり、灰付着による伝熱面の汚れ、気温・水温の変化などにより、常に運転状態が変動、燃焼特性が変化し、ボイラマスタ制御が次第に不安定化し、燃焼効率が下がる (Table 1)。ボイラ設備に係る諸因子、先述の、燃料性状や発熱量、火炉汚れ、スツブロウ、気水温などによる影響により、ボイラの運転状態、特に、主蒸気圧に変動が生じる場合がある。この因子による影響は、通常ボイラマスタ制御により主蒸気圧力を補正し、変動を安定化させようとする。しかし、それでも主蒸気圧力補正量のみでは、この変動を抑える技術には限界があり、また微調整にも手間がかかり過ぎるために常時特性変化を捉えるには不十分だった。

これらの不安定要素を解消する既設制御の課題について着目したので次項に述べる。

Table 1 Factors that make combustion unstable

| No. | Factor |
|-----|---|
| 1 | Difference with designed fuel (Properties,Moisture) |
| 2 | Load Fluctuation, Disturbance |
| 3 | Temperature (Water or Air) |
| 4 | Mixed Burning Rate |
| 5 | Boiler Aging |

2.2.1 主蒸気圧力補正PIDゲインの課題 熱容量が大きい石炭焼きボイラは、燃料投入後の入熱が主蒸気圧力に反映されるまでの遅れ時間が長いことが多く、燃料投入から主蒸気圧力の変化まで時間を要する。故に主蒸気圧力補正量は、この時定数に影響されやすいため、本来の燃料流量制御（ボイラマスタ制御）では主蒸気圧力PIDゲインを大きくして、主蒸気圧力変動に対する燃料

投入量の追従性を向上させる必要がある。

しかし、経時的な運転状態変化も大きいので、PIDゲインを高く設定しているボイラの場合、高発熱量の燃料を燃焼させた場合などにハンチングを誘発するなど、圧力補正自体が主蒸気圧力の変動を誘発してしまいさらなる変動を誘発することになる。

2.2.2 既設の燃料換算関数の課題 燃料関数は、先にも述べたようにボイラマスタ信号から燃料流量指令値を算出する関数である (Fig. 1)。この燃料換算関数パラメータは、試運転調整時の基準燃料熱量（設計炭発熱量）および、その時点でのユニット効率をベースにプロセス応答モデルを作成し無駄時間・時定数・ゲインを導いて最適な制御パラメータでチューニングされている (Fig. 2)。このモデルとボイラ特性が合致しているほど制御パラメータが上手く機能しておりボイラの安定化を図る。しかし、炭種（熱量など）の変更・伝熱面の経時変化の影響などにより、設計時のボイラ状態とはかけ離れた状態へと常に変動し続け、結果的には、設定値と実際の値にはズレが発生する (Fig. 2)。この燃料関数のズレが、燃料投入量や主蒸気圧力の偏差を生み、変動の拡大を誘発することになる。

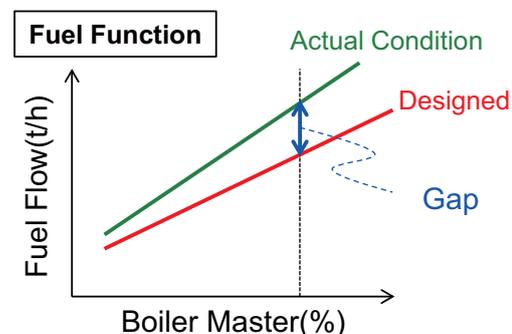


Fig. 2 Difference between designed and actual condition for Fuel Function

3. ULTYの制御概要について

3.1 ボイラ制御概要

これまで述べてきた主蒸気圧力PID制御部と燃料関数の課題について、設計当初の良好な制御性を維持させるには、変化するボイラ特性に応じて制御パラメータを最適化していく必要があるが、そのためには外乱の影響を精密に分析する必要があり難解な課題が山積する。

このボイラ制御上の課題を解決するべく、長年、発電プラントのエンジニアリングで培ってきた技術力を基盤とし、新日本製鐵(株) (現：日本製鐵(株)) と共同で開発した装置が、ボイラ燃焼制御最適化システム「ULTY (アルティ)」(以下、ULTYと称する。)である。

最大の特長は、既設の制御回路の「負荷要求量信号若しくは主蒸気流量信号」および「ボイラマスタ信号」の2点のアナログ信号のみをULTYに取り入れ、ULTYからの出力信号(以下、補正係数と称す)をULTYへ取り出すボイラマスタ信号の直後に乗算するのみで、補正制御を行うという点である (Fig. 3)。

本制御技術は、負荷要求量信号とボイラマスタ信号の関係から弊社が独自で開発したプログラムを利用して指標化することで、リアルタイムにボイラ燃焼状態を把握し、最適制御状態を維持させるべく演算、学習し得られた補正係数を既設ボイラマスタ系統の回路に乗算させ、ボイラマスタ信号を常時補正する制御システムである。

これにより石炭発熱量の変化、負荷変化、ボイラ設備の経時変化などによる主蒸気圧力の変動抑制および、こ

れに起因するボイラマスタの変動を抑制し、過剰な燃料供給を抑え、ボイラマスタ制御の安定化を実現。常に最適な燃焼状態で運転することが可能となった。

また、開発当時から改良を重ね、現在ではあらゆるメーカーの計算機に接続可能であり、導入可能ボイラは天然ガス焚き以外の全種類の燃料のボイラ、そして石炭焚きの場合には微粉炭燃焼方式・流動床燃焼方式のいずれにも対応できる非常に汎用性に優れたシステムである。

3.2 主蒸気圧力偏差PIDの解消加速

ULTY補正係数は主蒸気圧力の変動に合わせて、燃料挙動を加速させることが出来る。そのため、状況に応じたPIDゲインの増幅が可能となる。

例えば、主蒸気圧力が上昇した場合、既設の主蒸気圧力PIDは上昇した圧力を抑制するため燃料量削減動作をする。その時に、ULTYは燃料投入量を削減する方向へ加速させる。その結果、圧力上昇後の圧力収束が改善する。一方で、主蒸気圧力が下降した場合、既設の主蒸気圧力PIDは下降した主蒸気圧力を回復するため燃料量増加動作をする。その時に、ULTYは燃料投入量を増加する方向へ加速させる。その結果、圧力下降後の圧力収束が改善する。

これまで運用上の制約と定数設定の問題により常に最適な主蒸気圧力偏差PIDの設定にすることが出来なかった場合においても、ULTYの制御により、主蒸気圧力補正PIDゲインを適正にさせ、従来よりもプロセス変動幅を小さくし、プロセス挙動の安定速度を早める。

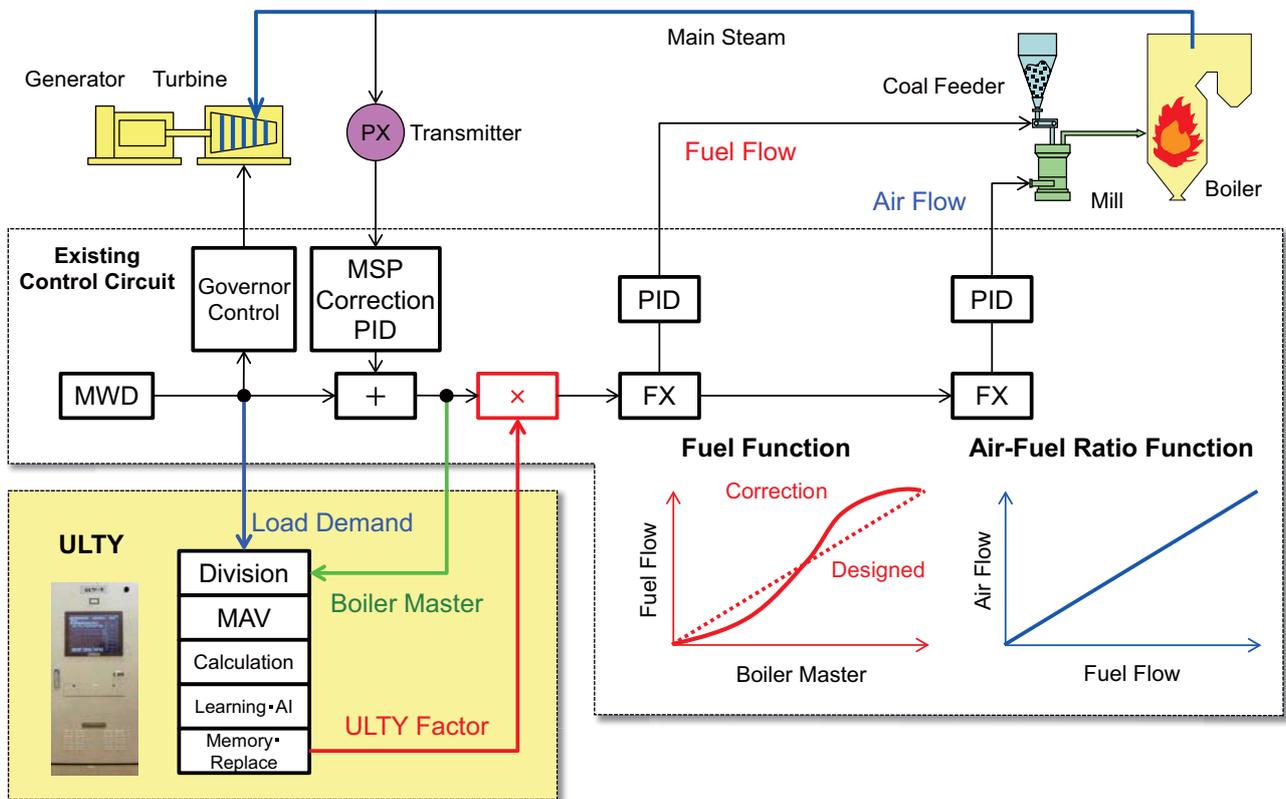


Fig. 3 Control diagram and connection diagram with ULTY

3.3 燃料関数の補正

ULTYは、燃料関数設定値と実機とのズレを、各運用負荷帯において補正し、常時記憶・書き換えし続けることで、実機曲線を実現する。例えば、負荷変化時にはULTY記憶値のカーブ上を推移するため、実機に適した負荷変化が可能となる。また、負荷変化到達後の負荷一定時には、随時補正係数の更新を実施し、実機に適した状態を提供する (Fig. 4)。随時補正係数の更新を実施するので、例え負荷が変化しようとも、実機に適した状態を提供することができる。

4. ULTY導入効果

ULTYを導入することにより、①主蒸気圧力の安定
②燃料流量の低減 の効果を期待することができる。

4.1 主蒸気圧力の安定

ULTYの制御効果により燃料投入量が最適化されると、燃焼状態が安定するためボイラから生成される主蒸気圧力も同様に安定する。実際にULTYを導入頂いた御客様 (A社 / 216MW / 石炭焚き) のボイラデータを用いて、プロセストレンド図示した (Fig. 5)。Fig. 5は、左側がULTYを除外した時のデータである。右側がULTYの制御時のデータである。ULTY制御時は、除外時よりも主蒸気圧力の変動幅が小さくなっていることが分かる。また、主蒸気圧力の確率密度の例を示す (Fig. 6)。導入後では主蒸気圧力設定値付近に主蒸気圧力の中心が近接し、導入前に比べ裾野が狭まると共に確率密度が高くなり、主蒸気圧力が安定していることが確認できる。

4.2 投入燃料の削減

ボイラ燃焼状態の安定は、燃料低減効果として表れる。これは燃料投入量の変動による系外への熱エネルギーロスが生じるためである。燃料低減の実績として納入事例 (B社 175MW / 石炭焚き) を紹介する (Fig. 7)。

本プラントではシステム入・切を繰返してデータ収集を実施頂き、燃料低減率を計測した。燃料低減率は、発電倍数のシステム入 / 切時を比較し、発電倍数の向上率から算出した。

最終的にシステム導入により最大負荷試験において1.347%程の燃料低減効果が確認された。

5. 導入実績

ボイラ型式、運転方式、DCSメーカーを問わず、多様なプラントに導入可能な高い汎用性をもつ本システムは2005年に実証試験が終了して以降、電力会社をはじめ製鉄会社、製紙会社、化学会社など様々な業種のボイラへ80基が稼働中であり (Table 2)、全ての導入ボイラにおいて燃料使用量削減およびCO₂排出量削減を達成してきた。

投入燃料に関しても石炭やバイオマス、ガス / 重油混焼など多岐に渡る燃料投入方式に対応している。

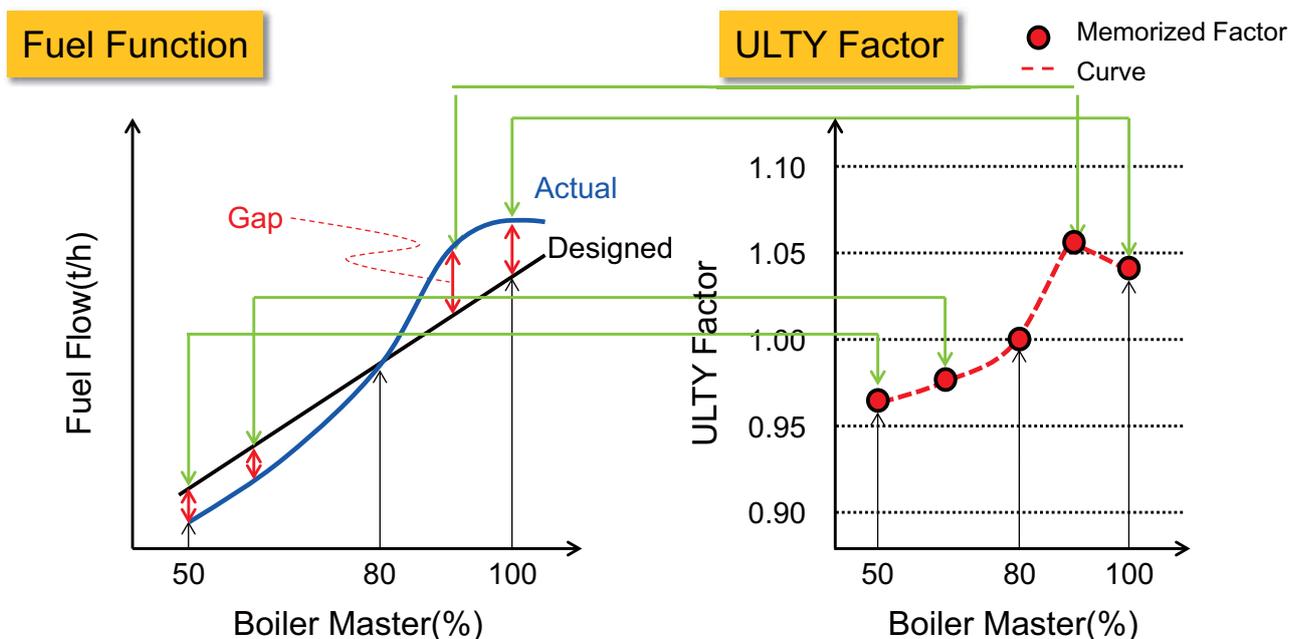


Fig. 4 Image of ULTY correction

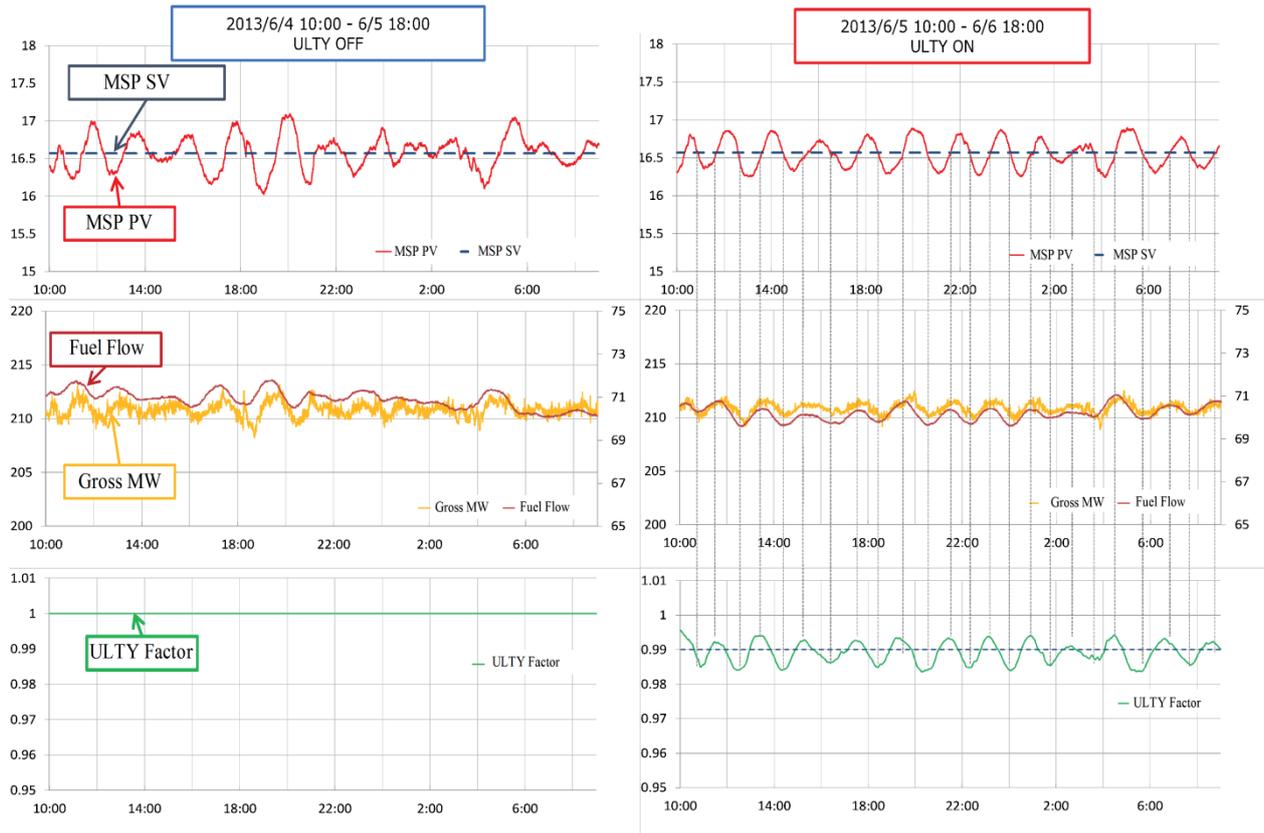


Fig. 5 Comparison of ULTY" ON" and ULTY "OFF" -1

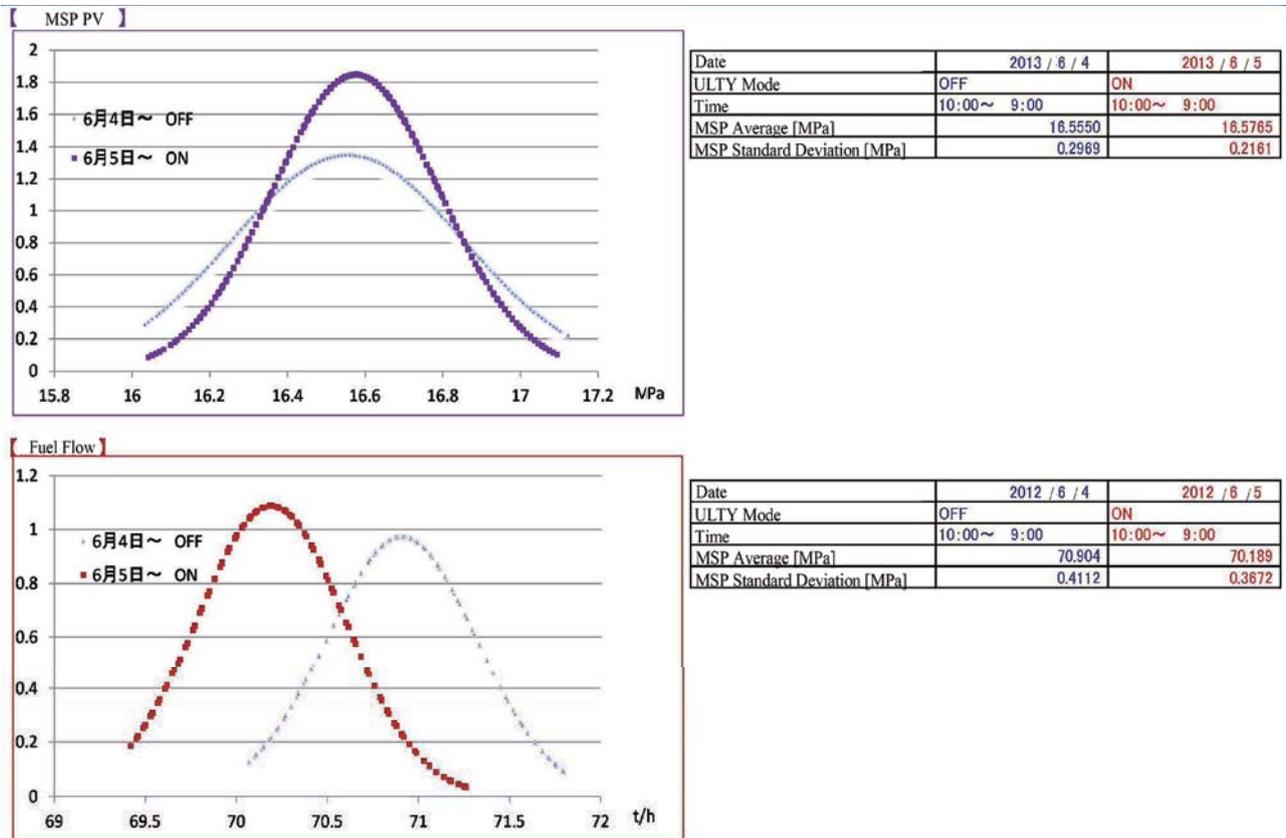


Fig. 6 Probability density of main steam pressure and fuel flow

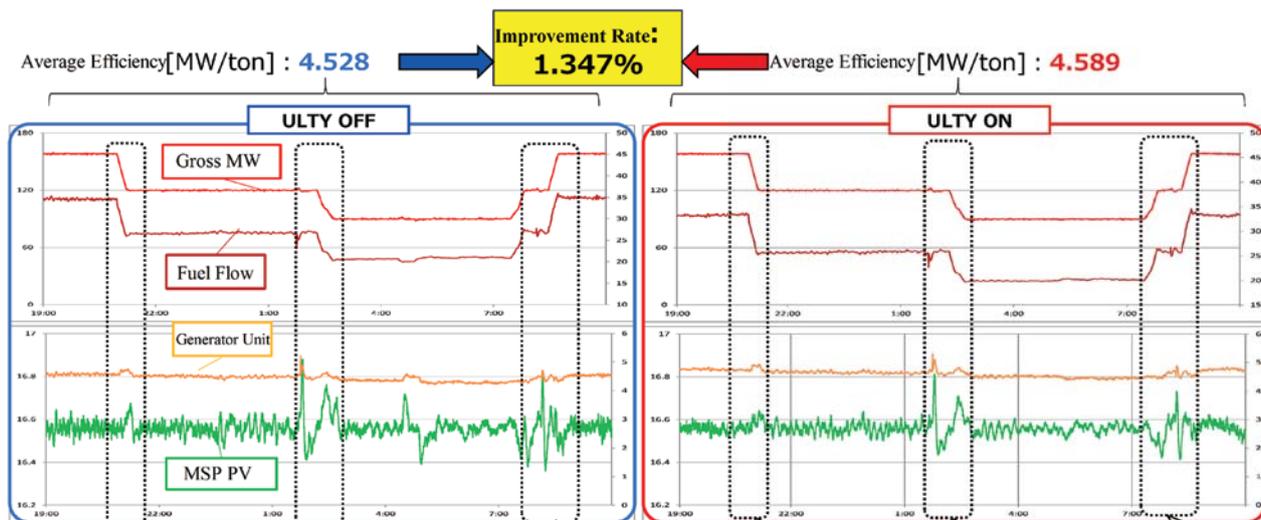


Fig. 7 Comparison of ULTY "ON" and ULTY "OFF" -2

Table 2 Actual list of ULTY

| Industry | | Conventional | CFB (Circulating- Fluidized-Bed) | Amount |
|--------------|----------------|--------------|--|--------|
| For Business | Power | 12 | 1 | 18 |
| | IPP | 5 | 0 | |
| For Industry | Steel | 14 | 1 | 62 |
| | Papermaking | 12 | 11 | |
| | Petrochemistry | 15 | 0 | |
| | Cement | 3 | 5 | |
| Amount | | 61 | 19 | 80 |

6. おわりに

我が国のボイラ効率は世界最高水準の効率化を達成しているが由に、ボイラ制御技術は既に完成された技術とされ、効率改善の画期的な技術革新が生まれにくいのが現状である。もし仮に開発できたとしても高額な費用が発生するため、既にある程度の高効率を達成できているボイラ単体への新技術導入のニーズは薄い。そこで我々は本システムをシステム導入後の燃料費削減により僅か1～2年間で導入費用が回収可能な価格に抑え、システム導入への敷居を低くしてきた。日本製鉄(株)殿をはじめ、この優れたコストパフォーマンスを高く評価いただき実績を重ねてきた。今後もより適切な燃焼制御を目標に新技術の開発を行っていきたい。

特集：石炭火力発電のCO₂排出低減技術の最新動向について

能代火力1号機低圧タービン取替による効率向上

Efficiency Improvement of Noshiro Thermal Power Station No. 1 Unit by Replacement of Low Pressure Turbines



坂下 秀信*¹ 小嶋 裕之*¹ 酒井 吉弘*² 竹ヶ原 孝廣*³ 菅原 大輔*³ 竹内 啓祐*⁴
SAKASHITA Hidenobu KOJIMA Hiroyuki SAKAI Yoshihiro TAKEGAHARA Takahiro SUGAWARA Daisuke TAKEUCHI Keisuke

キーワード：蒸気タービン，原動機，低圧翼，効率向上，予防保全

Key Words：Steam Turbine, Prime Mover, Low Pressure Blade, Efficiency Improvement, Preventive Maintenance

1. 緒言

東日本大震災後，石炭火力が国内の発電電力量に占める割合は約3割に増大し，電力の安定供給に大きな役割を果たしているが，石炭はLNGなど他の化石燃料に比べて地球温暖化の原因となる二酸化炭素（CO₂）排出量が多いため，既設石炭火力発電所のCO₂排出量削減が重要な課題になっている。石炭焼きである能代火力発電所1号機は，東北電力では初めてのタンデム型600MW機として1993年に運転を開始して以来，約26年にわたって順調に運転を継続し電力安定供給に貢献してきた。本機の外観をFig. 1に示す。



Fig. 1 Noshiro Thermal Power Station No. 1 unit (600MW)

原稿受付 2019年5月15日

- * 1 富士電機(株) 発電プラント事業本部
火力・地熱プラントサービス部
〒210-9530 川崎市川崎区田辺新田1-1
- * 2 富士電機(株) 発電プラント事業本部 川崎工場
〒210-9530 川崎市川崎区田辺新田1-1
- * 3 東北電力(株) 能代火力発電所
〒016-0807 能代市宇大森山1-6
- * 4 東北電力(株) 発電・販売カンパニー火力部
〒980-8550 仙台市青葉区本町1-7-1

本機の最終段には，性能向上を目的として3,000min⁻¹機としては，当時国内最長の1,050mm（41.3インチ）翼が採用されていた。最終段を含む低圧長翼には運転中に大きな遠心力や蒸気力が作用するため，水質の悪化や停止中の湿潤環境，頻繁な起動停止などの条件が重畳して，経年機の翼植込み部（翼脚および脚溝）に応力腐食割れ（SCC=Stress Corrosion Cracking）や腐食疲労割れなどの不具合が発生した事例がある。万一，運転中に割れが進展し翼が破損すると甚大な損傷をもたらす，運転復旧まで長期間の停止を余儀なくされる。能代火力1号機も運転時間が約17万時間に達していたので，事故未然防止の観点から翼植込み部の精密点検を計画することになっていた。

一方，精密点検のための費用や停止期間，また万一割れ等の不具合が発見された場合の対策費用や長期停止による経済的損失を考慮すると，既設低圧タービンの内部部品（ロータ，内部車室等）について最新技術を適用した新品に更新することにより，耐力強化・寿命延伸だけでなく熱効率向上をも図った方が経済性の上で有利であり，また地球温暖化の原因となるCO₂排出量の削減にも貢献できる。詳細検討の結果，2017年度の定期点検時に既設低圧タービン内部部品を新型部品に更新することとした。

取替工事の結果，取替前に比べて熱効率は1.5%（相対値）向上し，期待通りの効果を得ることができた。これは年間のCO₂排出量を5千万トン以上削減したことに相当する。本稿では取替工事の内容と試運転結果について概要を述べる。

2. 低圧タービン取替工事の概要

2.1 能代火力1号機の特徴

能代火力1号機の諸元をTable 1に示す。本機はドイ

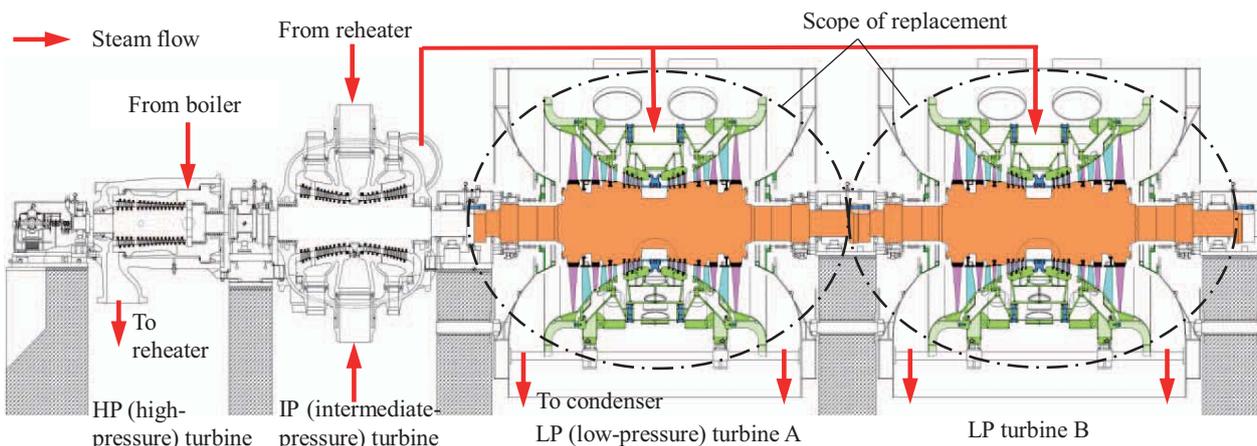


Fig. 2 Turbine cross section of Noshiro Thermal Power Station No. 1 unit (after replacement)

ツ・シーメンス社の技術をベースとして設計された蒸気タービンであり、種々の特徴ある技術が採用されている⁽¹⁾。代表的なものを以下に紹介する。

1) つぼ形高圧タービン

高圧タービンの外部車室として水平フランジがない円筒形状のつぼ形構造を採用し、起動時の熱応力軽減を図っている⁽²⁾。

2) 全周噴射変圧運転方式

高圧タービンに調速段がない全周噴射構造を採用し、負荷に応じて主蒸気圧力を変化させる変圧運転方式と組み合わせることにより、高効率化を図っている。

3) シングルポイント軸受支持

高圧・中圧・低圧タービン間に軸受を1個ずつ配置し、アライメント変化に対するフレキシビリティを高めている。

4) 分離独立型軸受台

軸受台を車室と切り離してタービン基礎に直接設置することにより、車室の変形が軸振動特性に影響を与えないように配慮している。

は3重車室構造になっており、外部車室（既設流用）の中に、低圧第1～4段静翼が植えられた第1内部車室と、第5～7段静翼リングが取り付けられた第2内部車室とが入り子構造で設置されている。第2内部車室にはディフューザが取り付けられており、排気を減速して速度エネルギーの一部を圧力エネルギーとして回収するとともに、流れの向きを変えて復水器へ導く役割を果たしている。外部車室に取り付けられたガイドコーンと基礎上に固定された軸受台（既設流用）は、ベローズ（既設流用）を介して接続されており、外部車室の熱膨張を吸収するとともに、外部車室内を真空に保持している。

取替工事では2台の低圧タービンの内部部品であるロータ、第1、2内部車室、静翼リング、ディフューザ、ガイドコーンについて、最新技術を適用した新部品に更新することにより、熱効率向上ならびに耐力強化・寿命延伸を図った。外部車室や軸受台については既設部品を流用し、現地改造が不要となるよう配慮した。新製部品はあらかじめ工場で製作しておくことにより、定期点検開始後に速やかに取替えできるように計画した。

新旧低圧タービンの主要諸元をTable 2に示す。新低圧タービンの最終段翼は、効率向上を目的として内外径

Table 1 Turbine specification of Noshiro No. 1 unit

| | |
|--|-------------------------|
| Type: Tandem-compound, reaction type, single reheat, 4-cylinder, 4-flow condensing turbine (TC4F-41.3) | |
| Rated output | 600 MW |
| Speed | 3,000 min ⁻¹ |
| Main steam pressure and temperature | 24.5 MPaG 538 °C |
| Reheat steam temperature | 566 °C |
| Exhaust pressure | 4.3 kPa |
| Number of extractions | 8 |

2.2 低圧タービンの構造と取替部品

能代火力1号機のタービン断面図と本工事における取替範囲をFig. 2に示す。本機は高圧タービン、中圧タービン、A低圧タービン、B低圧タービンをタンデム（串形）に連結した構成となっている。低圧タービン組立図および取替部品をFig. 3に示す。本機の低圧タービン

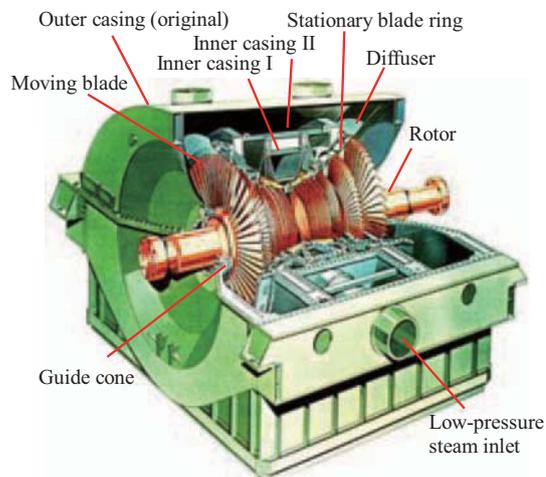


Fig. 3 Assembly of low-pressure turbine (image)

Table 2 Comparison of low-pressure turbines

| | | Original design | New design |
|-------------------|------------------------------------|-----------------|------------|
| Rotor length (mm) | | 8,707 | 8,707 |
| Number of stages | | 7 | 7 |
| Last stage blade | Blade height (mm) | 1,050 | 977 |
| | Mean diameter (mm) | 2,600 | 2,877 |
| | Annular area (m ²) (*) | 8.58 | 8.83 |

(*) $\pi \times \text{Blade height} \times \text{Mean diameter}$

比を大きく選定しているため翼長が旧翼より小さくなっているが、平均径を大きくすることにより排気環状面積は旧低圧タービンより大きくなっており、排気損失の低減に寄与している。

3. 効率向上技術

能代火力1号機は建設当時の最新鋭機であり高効率を実現したが、取替工事にあたっては、その後の技術開発成果を反映した最新技術を適用することにより、さらなる効率向上を図った。以下に適用技術の概要を説明する。

3.1 タービン性能向上技術の推移

タービン熱効率向上のための技術開発は、主蒸気・再熱蒸気の高温・高圧化と、タービン性能（内部効率）向上の両側面から推進されてきた。Fig. 4にタービン性能向上技術による熱効率改善量の推移を示す⁽³⁾。能代火力1号機の運開時と比べて、同じ蒸気条件の下でのタービン熱効率は約3%（相対値）向上している。本機の低圧タービン取替に際しては、適用可能な性能向上技術を取り入れることにより熱効率の向上を図った。

3.2 三次元反動翼による翼列効率向上

本機の低圧第1～4段には、広い流入角範囲に対して高性能を発揮できる反動翼の特長を生かした二次元翼

（ルート断面からチップ断面までの形状が同じ翼）が採用されていたが、最新の解析技術を用いて開発された三次元反動翼を適用することにより高い翼列効率を実現した。

三次元反動翼は、ルート断面からチップ断面までのプロフィール形状を流入角の変化に適合した最適形状とすることによりプロフィール損失を最小にするとともに、ルート部とチップ部を湾曲させることにより二次流れによる損失を低減させていることが特長であり、モデルタービン試験により翼列効率が約2%向上することが確認された⁽⁴⁾（Fig 5, Fig. 6）。

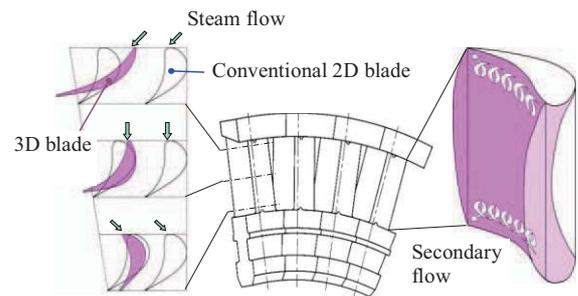


Fig. 5 3D reaction blade

3.3 3DV翼による最適化設計

従来設計では、反動段（低圧第1～4段）の反動度（動翼の熱落差が段の熱落差に占める割合）は約50%前後に選定されていたが、3DV（3D Variable Reaction Blade）翼では、反動度や負荷配分など約80個の翼列パラメータを翼ごとに変化させ、翼列全体として最高効率が得られるように最適化している。

Fig. 7にCFD（Computational Fluid Dynamics）を用いた翼列の流れ解析結果の例を、またFig. 8に従来翼と

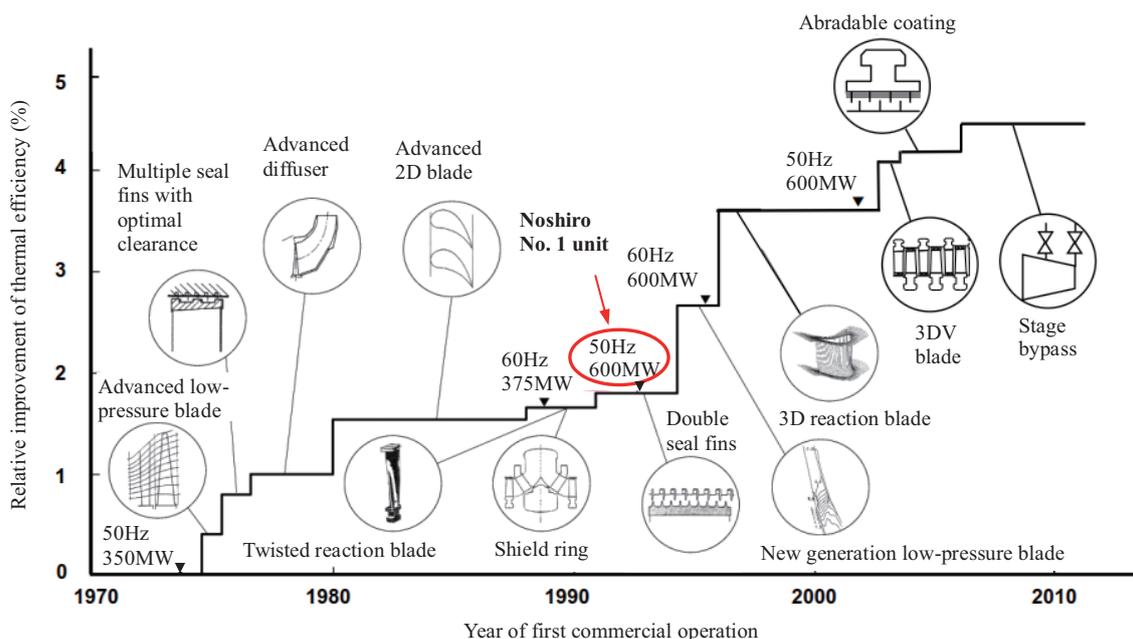


Fig. 4 Improvement of thermal efficiency by new technologies for steam turbines

のタービン膨張線の差を示す。3DV翼を採用した設計では、タービン膨張線のエンドポイントが従来設計より低エンタルピ側に移行するため、有効熱落差（仕事に変換される熱エネルギー）が増大する。

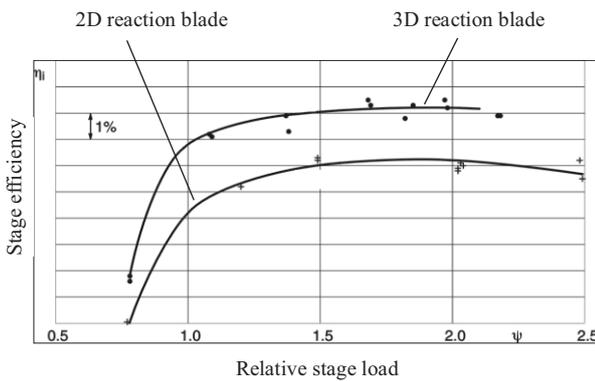


Fig. 6 Comparison of stage efficiency by model turbine tests

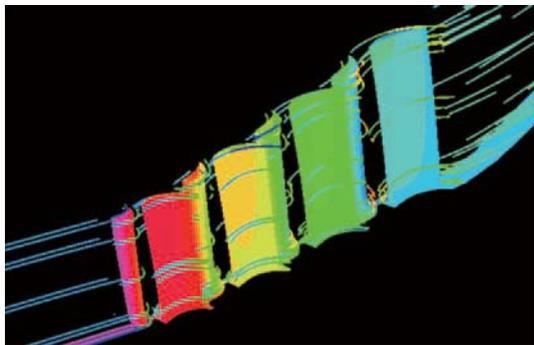


Fig. 7 Example of flow analysis by CFD

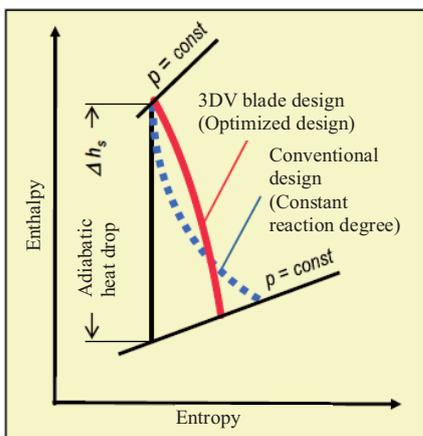


Fig. 8 Turbine expansion lines by conventional design and 3DV blade design

3.4 高効率新世代低圧翼の採用

低圧第5～7段には標準化された低圧翼が採用されているが、最新技術を用いて設計された新世代低圧翼に更新することにより性能向上を図った。本機に採用された新世代低圧翼には以下のような性能向上技術が適用されている⁽⁵⁾。

1) 遷音速プロフィール

最終段のチップ断面には遷音速流れに適したコンバージェント・ダイバージェント翼形（翼間流路が末広がりになるように設計された翼形）を採用することにより、高い翼列効率を実現している（Fig. 9）。

2) リーン・ラジアル静翼

最終段静翼には、内径側では周方向に傾斜をもち、外形側では半径方向を向いている「リーン・ラジアル静翼」を採用することにより、半径方向の流れの分布を最適化して性能向上を図った（Fig.10）。

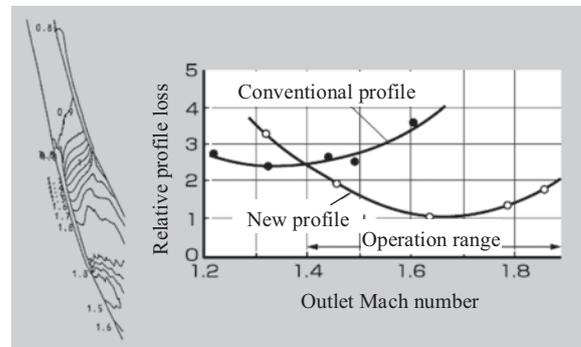


Fig. 9 Distribution of Mach numbers of new profile and comparison of profiles losses



Fig. 10 "Inclined/radial" stationary blade

3) インテグラル・シュラウド翼

最終段動翼を除く動翼には、翼と一体に削り出されたインテグラル・シュラウドを採用し、リーケージ損失を低減した（Fig. 11）。なお、最終段動翼については旧翼と同様にダンピングワイヤやタイ・ボス等がないフリースタANDING翼とし、タイ・ボスがないことによる性能上の利点と、個々の翼の固有振動数を調律することにより確実に共振を回避できる信頼性上の利点を生かした設計とした。



Fig. 11 New low-pressure rotor for Noshiro No. 1 unit

3.5 高性能排気ディフューザの採用

最終段出口に設置された排気ディフューザは、最終段を出た高速の蒸気流の速度エネルギーの一部を圧力エネルギーとして回収するとともに、流れの向きを変えて復水器へ導く役割を担っており、タービンの排気損失に大きな影響を与える。CFD技術を用いてディフューザと排気室一体での流れ解析を行うことによりディフューザ形状を最適化し、タービン排気損失を低減させた⁶⁾ (Fig. 12)。

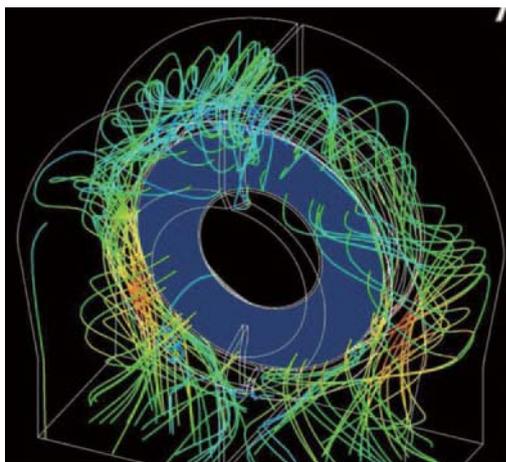


Fig. 12 Flow analysis of diffuser and exhaust casing by CFD

4. 現地取替工事の概要

低圧タービン2台の取替部品であるロータ、第1,2内部車室、静翼リング、ディフューザ、ガイドコーンについて、定期点検開始後に速やかに旧部品を撤去し、あらかじめ工場で製作された新品に取替えることによって、基礎や低圧外部車室、軸受台の現地改造を実施することなく、定期点検工事期間内で工事を完了させた。

4.1 現地工事期間

現地取替工事は、下記の能代火力1号機定期点検期間内にて実施した。

工事開始： 2017年8月12日(解列)

工事完了： 2017年12月27日(給電渡し)

2017年9月12日の新低圧第2内部車室下半の搬入より現地工事を開始し、B低圧タービンと発電機のカップリ

ング締付けを以て、11月30日に機器据付を完了した。

運転前の調整試験後、試運転にて新低圧タービンの運転状態の確認を行い、12月27日に給電渡しをもって定検工事は完了した。翌2018年1月24日に取替工事後の性能確認試験を行い所期の性能が達成されていることを確認した。概略工程をFig. 13, 取替工事状況をFig. 14, Fig. 15に示す。

4.2 作業項目

1) 新低圧タービン内部車室等の据付・調整

対象品は、第1・第2内部車室、第5～7段静翼リング、ディフューザ、ガイドコーン。

2) 新低圧ロータ据付・調整

3) 各部調整・計測・加工

4) センタリング(中圧-A低圧, A低圧-B低圧, B低圧-発電機間)

5) カップリングリーマ加工・接続

4.3 取替工事における検討・処置項目

新製した機器の寸法・重量が変更となるため、下記項目について事前に綿密な検討を行い、既設機器との整合性が確保できるように、必要に応じて対策を行った。

1) 基礎荷重

以下の確認結果、現状設備のまま使用可能であると判断した。

①強度評価として、荷重変更後の梁・柱の応力値が許容値以内であることを確認した。

②耐震強度が建築基準法の基準値以内であることを確認した。

③軸系の一次危険速度が、タービン発電機の定格回転速度に対して±25%以上隔離していることを確認した。

2) ロータのジャッキアップ

①ロータを浮揚させるためのジャッキアップ力を確保するため、既設の第3・第4軸受メタルのジャッキポートを追加加工により拡大して対応した。各軸受のジャッキング油調整弁により油圧を調整し、ロータを確実に浮上させた。

②ジャッキング油ポンプの能力を確認し、油ポンプの改造等なしにそのまま使用可能であることを確認した。

3) 油圧ターニング装置

①規定のターニング回転速度を確保するため、必要によりターニング油止弁の開度を調整してターニング油圧を確認し、油量を変化させる計画だったが、弁開度の調整は必要なくターニングできた。

②補助油ポンプの能力を確認し、油ポンプの改造等無しにそのまま使用可能であることを確認した。

4) タービン起動手順

①新低圧ロータの危険速度、低圧長翼の共振点が変わったため、共振回避のためのタービン回転速度保持禁止域、およびウォーミングのためのヒートソーク回転速度を変更し、それに伴ってタービン起動曲線を変更した。

②変更された起動曲線をATS(タービン自動起動シス

テム)に反映した。

5) 治工具類

①点検用ロータ回転架台は、ローラ及び電動駆動装置の交換が必要になったため、現地にて機器の交換作業を実施した。

②ロータ吊治具、天井クレーン用ワイヤは、耐荷重を確認し現状設備をそのまま使用できることを確認した。

6) その他

現状の運転・制御・設定値において運用変更の要否を検討し、更新前と同等の運転操作となるようにした。

| | 2017 | | | | | | 2018 |
|-----------------------|--------------------|------------|-----|-----|-----|-----|---------------------|
| | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan |
| Periodical inspection | | Start ▽ | | | | | Completion ▽ |
| Replacement work | | | ■ | | | | |
| Adjustment tests | | | | | | ■ | |
| Commissioning | | | | | | | ■ |
| Efficiency tests | Pre-work test ▽ | | | | | | Post-work test ▽ |

Fig. 13 Replacement work schedule



Fig. 14 Installation of new inner casing II



Fig. 15 Installation of new low-pressure rotor

5. 試験・運転結果

2017年12月18日より試運転を開始し、12月26日に定格負荷600MWの運転を行い低圧タービン取替後の機器の状態に問題がないことを確認した。その後の性能確認試験にて保証値を上回る良好な結果が得られていることを確認した。

以下に、試験関係の主要な確認項目及び概要を記載する。

5.1 ジャッキアップ確認

ジャッキング油ポンプ運転状態にて各軸受のジャッキ

ング油圧を調整し、確実にロータが浮上しハンドターニングでスムーズにロータが回転することを確認した。

5.2 ターニング回転速度確認

ターニング油止弁の開度を変更することなく、更新前と同様のターニング回転速度に達することを確認した。

5.3 ヒートソーク回転速度確認

低圧タービン車軸の危険速度、低圧翼の共振点が変更となることから、ヒートソーク回転速度を変更し、制御状態を含め問題ないことを確認した。

5.4 軸受メタル温度確認

ターニング状態から無負荷運転中、併入後の負荷上昇、定格負荷運転までの軸受メタル温度に問題ないことを確認した。また、無負荷運転時にオーバースピードテストを実施し、問題ないことを確認した。

5.5 性能確認

タービン取替工事前後における600MW出力時のタービン室熱効率の改善量1.2%以上(相対値)を保証しており、本取替工事により計画通りの性能向上が達成されていることを確認するため、2017年7月13日に取替工事前、2018年1月24日に取替工事後の性能確認試験を実施した。

試験の結果、工事前後の相対比較にて保証値を上回る良好な結果が得られていることを確認した。

- ・タービン室熱効率改善率(相対) +1.50%
- ・タービン室熱効率改善率(保証値) +1.20%
- ・保証値に対する偏差(絶対) +0.30%

6. あとがき

能代火力1号機の長期にわたる安定運転のために、低圧タービン内部部品を最新技術を適用した新部品に取替え、耐力強化・寿命延伸だけでなく熱効率向上を図った。取替工事の結果、熱効率は取替前より1.5%(相対値)向上し、地球温暖化の原因となるCO₂排出量を年間5千万トン以上削減することができた。

謝辞

本取替工事を無事故・無災害で工期通り完遂するために絶大なご尽力をいただいた関係各位に感謝します。

参考文献

- (1) 酒井吉弘ほか、富士・シーメンスの大容量高温・高圧タービン、富士時報、Vol. 73, No. 12 (2000), pp. 644-649.
- (2) ターボ機械協会編、蒸気タービン(新改訂版)(2013)
- (3) 中村憲司ほか、蒸気タービンの最新技術、富士時報、Vol. 83, No. 3 (2010), pp. 201-206.
- (4) 中村憲司、反動タービンの性能設計技術、ターボ機械、Vol. 34, No. 4 (2006), pp. 201-206.
- (5) Gloger, M. et al., Advanced LP Turbine Blading - A Reliable and Highly Efficient Design, International Joint Power Generation Conference, Atlanta, Georgia (1992).
- (6) 酒井吉弘、発電用蒸気タービンの最新技術と将来展望、ターボ機械、Vol. 32, No. 1 (2004), pp. 19-26.

2019年度特別講演会報告

岡田 満利

OKADA Mitsutoshi

本特別講演会は、4月17日(水)に、川崎市内の東芝エネルギーシステムズ株式会社本社にて、通常総会後に開催されました。講師は、今年度、名誉学会員に推薦された佃嘉章氏にお願いし、「発電用ガスタービン 高効率・大型化への挑戦 ～設計の現場で感じたことごと～」と題して、約1時間講演していただきました。会場には、約60名の方々が参集されました。

佃氏は、三菱重工株式会社に入社後、ガスタービンの設計、製作の現場に長く従事され、同社の副社長などを歴任されました。また、本学会では、2012年度に会長をお務めになるなど、本学会の活動にも大きく貢献していただいていることは、皆様ご存知のとおりです。

講演では、まず、1970年代からの50年近くのガスタービンの発展を振り返り、それぞれの時代における技術の発展やトピックスを解説されました。1970年代には、中東では、燃料が安く調達できたことから、冷却水が不要で、据付が早くでき、遠隔操作もしやすいガスタービンの導入が進められたとのことでした。中東の砂漠地域という過酷環境下で導入、運転を積み重ねることにより、信頼性が向上していったと述べられました。1980年代については、大型事業用コンバインドサイクルプラント(GTCC)への挑戦についてお話されました。1984年に営業運転を開始した東北電力の東新潟発電所3号系列は、我が国初の本格的な事業用大型GTCCであり、ガスタービンには、世界に先駆けて実用化された予混合低NO_x燃焼器が導入されました。この時期、世界では、低NO_x化のため、燃焼器への水噴射が主流でしたが、予混合燃焼器を導入することにより、当時の石炭焚き火力発電所に比べて、相対的に10%程度の効率向上が達成されました。これを機に、世界のガスタービンメーカーも、予混合燃焼器の開発に進んだとのことでした。お話から、当時の激しい技術競争の様子を垣間見ることができました。さらに、1990年代から2010年代の大型事業用GTCCの発展における、ガスタービンの大型化・高効率化に伴う課題と解決策について解説していただきました。大型の精密鋳造部品製造技術の確立や遮熱コーティング(TBC)の信頼性向上のお話は、材料を専門とする私にはとても興味深いものでした。

佃氏は、このようにガスタービンのこれまでの発展を振り返った上で、高温化に有利なガスタービンの特質についてお話されました。それは、燃焼ガス温度が高くとも、高温に曝される部品が比較的少ないこと、また、燃焼器の耐圧負担は少なく、燃焼器差圧のみであることを

挙げられました。一方で、石炭焚きのボイラ、蒸気タービンのシステムでは、高圧蒸気発生部位から蒸気タービン入口まで、高温部が広範囲であり、この違いは大きく、ガスタービンは、さらなる高温化、高効率化を狙うことができ、ガスタービンは21世紀の原動機であると強調されていました。

また、ガスタービンのプラントに関わる課題についてもお話いただきました。中でも、排気ダクトに起因する低周波騒音への対応は、興味深いものでした。オーストラリア南部、アデレード郊外に建設されたシンプルサイクルのガスタービン発電所の付近には、一家族の農家が住んでいるだけで何もないようなところでしたが、低周波騒音が発生し、対策にご苦労されたとのことでした。この低周波音への対応は、ガスタービンを大型化する上で避けては通れない課題であったとのことでした。

講演の最後には、2050年に向けて低炭素化へ挑戦するためにも、再生可能エネルギー(再エネ)と共生するGTCCが有効であるとの思いを語られました。本学会のガスタービンを考える会で検討した結果、再エネの導入が進むと、再エネの供給力が低下する夕方の電力需要に対する対策が重要になってきます。それには、大型ガスタービンにおいて、揚水発電並みの起動時間と負荷変動率を実現することが有効であると述べられました。再エネ大量導入時代でも、ガスタービンの活躍は大きいとのことのお言葉には、学会員として大変励まされました。

最後になりますが、ご講演をいただいた佃氏に感謝の意を表します。また、特別講演会にご参加いただいた皆様、会場の提供と運営でご協力いただいた東芝エネルギーシステムズ株式会社の皆様に深く感謝申し上げます。

(ガスタービン技術普及委員会委員長)



講師：佃嘉章氏

2019年度第1回ガスタービン市民フォーラム開催報告

福山 佳孝

FUKUYAMA Yoshitaka

2019年4月21日に（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）、調布航空宇宙センターで「ガスタービン市民フォーラム」を開催しました。JAXA一般公開では昨年に続き3年連続3回目、JAXA調布広報の皆さんのサポートにより円滑に開催できました。

ジェットエンジンの概要、歴史、作動原理等の「入門編」に相当する内容を正木大作さん（JAXA）に、午前・午後の2回各30分、講演していただきました。

今年の一般公開参加者は10,283人（2018年は9,736人、2017年は9,569人、JAXA広報発表）とここ数年では最も多くなりました。「ガスタービン市民フォーラム」の聴講者は午前82人（10:15～10:45）、午後94人（13:15～13:45）、合計176人で昨年同様に盛況でした。以下にアンケート集計結果（回収数117）を簡単に紹介し、報告者の感想を添えます。

図1に聴講者の属性をまとめました。市民フォーラムの聴講者は大学生以上、会社員等の成人の方が多かったようです。

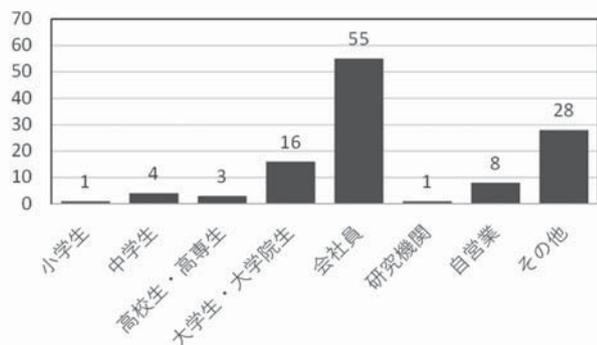


図1 聴講者の職業など

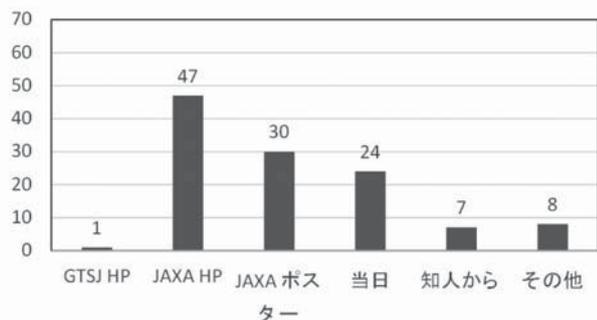


図2 市民フォーラムを何で知ったのか？

JAXA一般公開では家族連れ参加者がかなりの数居られるのに対して、市民フォーラムへの参加者はかなり少ないと思います。本イベントの開催目的が若年層に対する学会広報・技術普及活動である点を考えれば、かならずしも想定した対象者を呼び込めていない事を意味するかも知れません。

図2は市民フォーラム開催を何の情報で知ったのか？の質問に対する回答です。JAXAからの情報が大多数で、残念ながらGTSJのホームページで知り参加したという方は1名でした。つまり、JAXAから発信される講演題目の設定が聴講者増加に効果があるのかも知れません。

講演を聞いて良かった（また聞きたい？の質問への回答）との反応が114名中110名と多かったのですが、毎年同じ講演内容では再度来場はされないと思います。機体技術のトークショーでは毎年異なったテーマの講演を実施し聴講者数が多いこともあり、航空エンジン技術も講演内容を毎年更新する、一回目は「入門編」、二回目は何らかのトピックスに特化した内容にするなどの改訂も検討課題だと感じました。技術普及委員会の中で議論していただきたいと考えております。

（ガスタービン技術普及委員会 前委員長）



講演会の様子（JAXA調布航空宇宙センター講堂）

第7回 日本ガスタービン学会男女共同参画推進イベント 開催報告

旭 睦

ASAHI Mutsumi

日本ガスタービン学会では、ガスタービンおよび関連技術に携わる女性技術者同士のネットワークと、共に成長していける場を提供することを主な目的として、2016年度から活動を続けています。2019年度からは、その委員会名称を「女性参画推進委員会」から「男女共同参画推進委員会」と改め、より充実した活動につなげていきたいと考えております。

名称変更後の1回目（通算で7回目）の会を、2019年6月7日（金）に三菱重工ビル8F会議室（大阪市西区）で開催いたしました。「男女共に働きやすい職場、とは？」～女性比率3%のガスタービン業界で～というテーマで、女性部下を持つ男性上司3名を講師としてお迎えし、互いが働きやすい職場づくりや男性視点の悩みなどをお話いただいた後に意見交換を行う形式で行いました。

参加者は講師を含めて総勢20名で、若手の社会人や男性の方にもご参加いただきました。

講師の皆様

（株）本田技術研究所 輪嶋善彦氏

三菱日立パワーシステムズ（株） 羽田哲氏

川崎重工業（株） 松岡右典氏

各講師の方からは、所属する会社の女性技術者比率、女性活躍の取り組みと成果、女性部下と仕事をする上での悩みや気づき、など赤裸々に語っていただきました（写真1参照）。3名の講演の後、講師を交えて5名×4グループに分かれ、グループディスカッション形式で意見交換を行いました（写真2）。

参加者からは、「男性からの意見を聞くのは初めてで、男性側がどのように考えているのか興味深かった」「各社共通の課題を認識することができ大変参考になった」等の意見があり、さらに各社とも女性比率2～3%であることに関し、「どうしたら技術系に進む女性が増えるのか」についても活発な意見交換が行われました。

短い時間でしたが、参加者の方々にとりまして有意義なイベントとなったことと思います。終了後は交流会の会場に移動し、忌憚のない意見を交わすとともに、参加者同士の交流を深めました。

会の後実施したアンケートより、今回も半分近くの方が初参加であることが分かり、ネットワークがますます広がったと言えます。また、会に期待することは、「女性技術者（及び男性）とのネットワークづくり」が最も多く、日ごろ各組織で少数にとどまる女性の繋がり

として期待されていることが分かりました。今後も所属組織の枠を超えたネットワークを広げることが学会の役割の一つであると再認識いたしました。

最後に、お忙しい中、本イベントの準備、当日の運営に対応して下さいました、三菱日立パワーシステムズ関西支社の皆様に厚く御礼申し上げます。

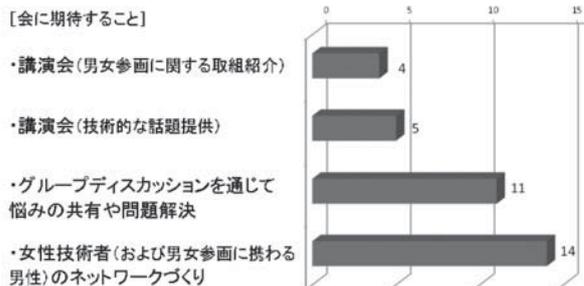
（男女共同参画推進委員会委員）



写真1 講演の様子



写真2 意見交換の様子



アンケート集計結果 抜粋

2019年度日本ガスタービン学会賞候補募集のお知らせ

応募締切日：2019年10月31日(木)

日本ガスタービン学会では、下記の趣旨により2年毎に学会賞（論文賞、技術賞および奨励賞）の贈呈を行っております。つきましては、今年度も下記要領により学会賞の募集を行うこととなりましたので、お知らせ致します。

募集要領

1. 日本ガスタービン学会賞の趣旨

本会はガスタービンおよびエネルギー関連技術に関する工学および技術の発展を奨励することを目的として、優れた論文、技術ならびに新進会員個人の業績に対して、それぞれ日本ガスタービン学会論文賞、技術賞、奨励賞を贈り、表彰を行う。

2. 対象となる業績

- (1)論文賞：日本ガスタービン学会誌および日本ガスタービン学会英文電子ジャーナルJGPP (International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems) に2015年11月以降2019年10月迄に公表された論文で、独創性があり工学および技術に寄与したものの。
- (2)技術賞：ガスタービンおよびエネルギー関連の技術で画期的な新製品の開発、製品の品質または性能の向上、材料開発、制御計測および保守技術の向上等に寄与したものの。
- (3)奨励賞：日本ガスタービン学会誌および日本ガスタービン学会英文電子ジャーナルJGPP (International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems) に2015年11月以降2019年10月迄に公表された独創的な論文（本人が中心的役割を果たしたものの）。なお、萌芽的研究も対象とする。
奨励賞の候補者は、1984年4月2日以降生まれの個人とする。ただし、論文賞、技術賞あるいは奨励賞をすでに受けた者および今年度の論文賞、技術賞内定者は奨励賞を受けることはできない。

3. 受賞件数

論文賞2件、技術賞2件、奨励賞2名程度とする。

4. 表彰の方法

審査の上、表彰状および賞牌を授与する。

5. 表彰の時期

表彰は、2020年4月開催予定の日本ガスタービン学会総会において行う。

6. 応募の方法

公募によるものとし、論文賞、技術賞は推薦または本人より申請、奨励賞は推薦による。なお、一度申請して受賞しなかったものでも、再度応募して差し支えない。

7. 提出書類

推薦または申請には、本会の所定用紙に必要事項を記載して、1件につき正1通、副2通（コピーで可）の計3通を提出する。

- ・日本ガスタービン学会賞（論文・奨励）申請書・推薦書
- ・日本ガスタービン学会賞（技術）申請書・推薦書

所定用紙は本会ホームページ (<http://www.gtsj.org/>) からダウンロード可能。

8. 提出締切日

2019年10月31日(木)17時必着

9. 提出先

〒160-0023
東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
公益社団法人日本ガスタービン学会
表彰委員会 宛

第47回日本ガスタービン学会定期講演会（函館）・見学会のお知らせ

第47回日本ガスタービン学会定期講演会・見学会を、以下のように開催します。
多数のご参加をお待ちしております。

主催：公益社団法人 日本ガスタービン学会
協賛：協賛団体は、学会ホームページ (<http://www.gtsj.org/>) をご覧ください。

開催日：

- ・講演会 2019年9月18日(水)、19日(木)
- ・見学会 2019年9月20日(金)

開催場所：

- ・函館アリーナ
〒042-0932 北海道函館市湯川町1丁目32-2, Tel : 0138-57-3141
<http://www.zaidan-hakodate.com/arena/>

講演会：

- ・講演会プログラムを次ページに示します。
- ・一般講演：空力、燃焼、材料、システム、伝熱、タービンなど
- ・先端技術フォーラム：ガスタービンの構造材料研究開発の最新動向と今後の展望（仮題）
- ・特別講演：「人工知能は世の中をどう変えるか」 松原 仁 氏（公立はこだて未来大学）

参加登録費（税込）：

- ・会員・協賛団体会員 14,040円（ただし、学生は論文集ありで4,320円、論文集なしで1,080円）
- ・会員外 19,440円（ただし、学生は論文集ありで7,560円、論文集なしで4,320円）

宿泊：

会期中のご宿泊は、各自で手配してください。

懇親会：

- ・第1日目（9月18日）終了後、「フォーポイントバイシェラトン函館」にて懇親会を開催します。
懇親会参加費（税込）：4,320円

見学会：

- ・日 時：9月20日(金) 8:00～16:25
* 函館空港（15:45着）、JR函館駅（16:25着）にて解散予定
- ・見学先：北海道電力(株) 新北本連系設備 北斗変換所などの見学を予定しています。
- ・定 員：45名程度、先着順、講演会への参加登録者に限ります。
- ・参加費（税込）：6,480円
- ・申込締切日：8月23日(金)

参加申込方法：

- ・学会ホームページ (<http://www.gtsj.org/>) から登録されるか、本号掲載の参加申込書に必要事項をご記入のうえ、学会事務局宛にお申し込みください。参加登録は、受付の混乱を避けるため、事前登録をお願いします。講演者も参加登録をお願いします。

市民フォーラム：

- ・講演会の前日に、函館工業高等専門学校にて大学生・高専生・高校生・一般の方を対象とする「ガスタービン市民フォーラム2019」を開催します。参加は無料です。
- ・講師：船崎 健一 氏（岩手大学）
- ・演題：「航空機用ガスタービンエンジン-その原理と最新の研究開発動向-」
- ・日時：9月17日(火) 16:30～18:00（16:00開場）
- ・会場：函館工業高等専門学校
- ・詳細については、決まり次第学会ホームページ (<http://www.gtsj.org/>) に掲載予定

第47回日本ガスタービン学会定期講演会・見学会 (2019年9月18日～20日)

参加申込書

(公社) 日本ガスタービン学会 行 FAX: 03-3365-0387 TEL: 03-3365-0095

参加者の連絡先 (複数人申込まれる場合は、代表者の方の連絡先)

| | |
|----------|---|
| 会社/大学等名称 | |
| 所在地 | 〒 |
| TEL/FAX | |
| E-MAIL | |

参加者名

| フリガナ 氏 名*1 | 所 属 | TEL/FAX E-MAIL | 所属学会 (GTSJ会員 番号) | 会員 資格 (正/学) | 懇親会 (18日) (4,320円) | 見学会 (20日) (6,480円) |
|---------------|-----|-------------------|------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | | | 出席 欠席 | 参加 不参加 |
| | | | | | 出席 欠席 | 参加 不参加 |
| | | | | | 出席 欠席 | 参加 不参加 |
| | | | | | 出席 欠席 | 参加 不参加 |

*1 登壇者の方は、氏名の後に○を記入してください。

論文集なし (学生のみ) の場合は、下記の参加登録費の金額に反映してください。

【事務局への連絡事項】

払込方法(○印をつけてください。) 参加登録料・参加費入金予定日 月 日 (9月17日までににお払込みください。)

- 銀行 (みずほ銀行 新宿西口支店 普通 1812298)
- 郵便振替 (00170-9-179578)
- PayPal決済 (クレジットカード)

送金金額 _____円(内訳: 参加登録費 _____円 懇親会参加費 _____円 見学会参加費 _____円)

当日支払いは原則として受け付けません。(当日不参加の場合でも参加費はお支払いいただきます。)

*請求書の発行について

- 要 宛名 ()
- 不要

*領収書の発行について

- 要 宛名 ()
- 不要

第47回日本ガスタービン学会定期講演会プログラム：第1日【暫定版】

(一般講演 講演時間15分 討論5分, [学]: 学生優秀講演賞の審査対象講演, 連盟者の所属が省略されている場合は後者と同じ)

| | A室 | B室 | C室 |
|--------------|---|---|---|
| 第1日 9月18日 | 材料(1) | 空力(1) | システム・伝熱 |
| 10:00 | 【A-1】Ni-Co-Cr拡散対を用いた高効率機械特性評価 *後藤健太, 池田亜矢子, 渡邊育夢, 長田俊郎(物材機構) | 【B-1】将来戦闘機用エンジンに適用したファンの研究開発 *山田誠一, 枝廣美佳, 平野篤, 山根喜三郎, 高村倫太郎(防衛装備庁), 室岡武(IHI) | 【C-1】[学] 負荷追随用地上型圧縮空気貯蔵(CAES)を備えたガスタービンシステムの基礎検討 *野々村弘樹(東北大院), 中野晋, 竹田陽一(東北大) |
| 10:20 | 【A-2】Ni基超合金の破壊靱性 *坂本正雄, 原田広史, 小泉裕, 横川忠晴, 高田裕治, 川岸京子(物材機構), 陶山洋輔(キグチテクニクス) | 【B-2】航空機用エンジンセリンレットの流れ場数値解析 *大庭芳則, 楠田真也, 平川香林(IHI), 成勢弘城(東京理科大), 石井達哉, 生沼秀司(JAXA) | 【C-2】[学] マイクロガスタービンにおけるエタノール噴射の解析について *太田遥己, 土屋利明(金沢工大) |
| 10:40 | 【A-3】Ni基超合金の硫化腐食特性評価 *小泉 裕, 原田広史, 横川忠晴, 湯山道也, 高田裕治, 大澤真人, 坂本正雄, 池田亜矢子(物材機構) | 【B-3】層流領域拡大による高効率ファン設計手法の開発 *林亮輔, 榎友謹, 室岡武, 加藤大(IHI) | 【C-3】[学] 流れ制御片側デバイスによるフィルム冷却性能向上に関する研究 *穴戸昌子, 船崎健一, 谷口英夫, 河村朋広, 齋藤涼(岩手大院) |
| 11:00 | 【A-4】第1世代Ni基単結晶超合金TMS-209Bを用いたタービンディスク向け粉末冶金合金の開発 *森雄飛, 川岸京子, 長田俊郎, 原田広史, 湯山道也, 高田裕治, 大澤真人, 池田亜矢子(物材機構) | 【B-4】多段軸流圧縮機を対象とした翼フィレットが翼周りに及ぼす影響についての数値的研究 *大塩哲哉, 青塚瑞穂, 谷直樹(IHI) | 【C-4】[学] 防除水のためのCFRP電流印加による発熱効果に関する実験的研究 *有賀寛純, 和田展忠(高知工科大), 水野拓哉, 鈴木正也, 賀澤順一(JAXA), 野崎理(高知工科大) |
| 11:20 | 【A-5】ブリッジマン法で作製した組成傾斜単結晶材料を用いたディスク合金のスクリーニング *池田亜矢子, 後藤健太, 長田俊郎, 渡邊育夢, 川岸京子(物材機構) | 【B-5】低圧タービンの下流翼列が上流翼列の空力性能へ与える影響 *西井大亮, 浜辺正昭, 岡村泰明(IHI) | |
| 11:40 | 【A-6】高速アルゴンガス流による急冷却機構を有する二室型超高温大型真空熱処理炉の開発 宮本伸樹, *内田博之(キグチテクニクス), 原田広史, 小林敏治(物材機構) | 【B-6】The Real Gas Effect on the Stagnation Properties for Supercritical CO2 Flows *NAN Xi, HIMENO Takehiro, WATANABE Toshinori(Univ. of Tokyo) | |
| 12:00 | (昼休憩) | | |
| | A室 | B室 | C室 |
| | 材料(2) | 燃焼 | 空力(2) |
| 13:00 | 【A-7】ガスタービン材料のクリープ歪み速度-時間曲線の離散コサイン変換を活用した解析方法について *平口英夫(日本技術士会) | 【B-7】予混合2段燃焼器に用いる燃焼器ライナへのCMC適用による環境性能改善効果 *小島孝之, 山本武, 吉田征二, 北條正弘(JAXA) | 【C-7】[学] ベーンレスディフューザ付き遷音速遠心圧縮機のサージ点近傍流れ場におけるはく離渦流れの成長過程 *伊藤流石(九大), 古川雅人(九大), 山田和豊(岩手大), 富田勲, 林良洋(三菱重工), 岡信仁(MHIET) |
| 13:20 | 【A-8】Near α -Ti合金のクリープ特性に及ぼす組織の影響 *御手洗容子(物材機構), 島上溪(JFEスチール), 増山晴己(物材機構), 芝浦工大), 松永哲也, 戸田佳明(物材機構), 伊藤勉(富山県立大) | 【B-8】300kWアンモニア燃焼マイクロガスタービンの開発 *新井啓介, 河野雅人, 久富直樹, 杉浦寛史, 安井芳則, 石脇史猛(トヨタエナジーソリューションズ) | 【C-8】[学] 遷音速軸流圧縮機における複雑乱流場のLES解析 *齋藤誠志朗(九大), 古川雅人(九大), 山田和豊(岩手大), 渡邊啓介(九大), 松岡右典, 丹羽直之(川崎重工) |
| 13:40 | 【A-9】ガスタービン燃焼器部品のスモールパンチ試験による劣化評価 *伊藤明洋(中部電力) | 【B-9】水素ガスタービン用モデルバーナの燃焼特性 *櫻井毅司, 湯浅三郎(首都大) | 【C-9】[学] 軸流圧縮機の失速初生形態に及ぼす前方スweep動翼の影響 *濱口京之介, 坂田友, 藤澤信道, 太田有(早大), 加藤大(IHI) |
| 14:00 | 【A-10】予備酸化処理による高温酸化物の成長抑制と遮熱コーティングの長寿命化 *根上将大, 日比野真也, 川野野明, 野村嘉道, 田中良造, 井頭賢一郎(川崎重工) | 【B-10】航空用エンジン燃焼器の全周ラージ・エディシミュレーション *渡邊裕章(九大), 内田正宏, 廣光永兆(IHI), 堀高太郎(NuFD) | 【C-10】[学] LES解析を用いた翼列のProfile Loss予測における解析条件の影響 *季允台(東大院), 寺本進, 都木貴彦, 岡本光司(東大) |
| 14:20 | 【A-11】実機で使用された縦割導入遮熱コーティングの微視組織分析 *岡田満利, 高橋俊彦, 藤井智晴(電中研), 伊藤明洋(中部電力) | | 【C-11】[学] 圧縮機翼列から生じる空力騒音の特性と発生機構に関する研究 *光末由宇陽, 渡辺紀徳, 姫野武洋(東大), 大石勉, 楠田真也(IHI) |
| 14:40 | | | 【C-12】[学] 直線翼列風洞を用いた圧縮機翼列の翼端漏れ流れの計測 *伊志嶺朝史, 山城紹吾, 岡優介(高知工科大), 野崎理, 筒井康賢(高知工科大) |
| 15:00 | A室 | B室 | C室 |
| | 伝熱 | 蒸気タービン・振動 | 噴霧・凝縮 |
| 15:20 | 【A-13】翼型熱交換器の伝熱性能に及ぼす主流全温の周期変化の影響 *伊藤優, 渡辺紀徳(東大) | 【B-13】翼・ディスク系の共振応力と不釣り合いの同時最適化に関する研究 *金子康智(龍谷大), 渡邊敏生(三菱重工), 古川達也(MHPS) | 【C-13】[学] タービンにおけるリーン翼のエロージョン特性と空力性能の数値シミュレーション *荒井直己, 福岡功二, 山本誠(東京理科大), 鈴木正也, 大北洋治(JAXA) |
| 15:40 | 【A-14】V字形流れ制御デバイスによるフィルム冷却性能改善に関する研究 *齋藤涼, 船崎健一(岩手大) | 【B-14】蒸気タービン最終段翼の全周非定常流れ解析 *田沼唯士, 秋山久美(帝京大), 洪川直紀, 奥野研一, 佃知彦(東芝エネルギーシステムズ) | 【C-14】[学] Direct Numerical Simulation on Atomization-Evaporation Process of Liquid Jet in an Oscillating Cross *温健, 黒瀬良一(京大) |
| 16:00 | 【A-15】タービン翼の熱伝達評価に及ぼす壁面温度条件の影響-CHT解析による検討- *高橋俊彦, 酒井英司(電中研) | 【B-15】蒸気タービン実流試験における湿度計測および水滴挙動解析 *笹尾泰洋, 瀬川清(MHPS), 山本悟(東北大) | 【C-15】[学] 噴霧流れ中の圧縮機翼周りの液挙動に翼後縁半径が及ぼす影響 *安田貴他(東大院), 渡辺紀徳, 姫野武洋, 南希(東大) |
| 16:20 | | 【B-16】無風時における下向き開口の吸気設備から吸引される火山灰に関する検討 *尾関高行, 西田啓之, 竹内晋吾, 酒井英司, 服部康男, 志田洋, 藤井智晴(電中研) | 【C-16】[学] ガスタービン用圧縮機翼列流れへの湿りの影響に関する数値的研究 第3報: Rotor37における湿り空気の凝縮 *森口昇太, 宮澤弘法, 古澤卓, 山本悟(東北大) |
| 16:40 | | | |
| 18:00 | 懇親会 | | |
| | 司会: 平野 孝典(拓大) | | |
| | [市内] フォーポイントバイシラートン函館 | | |
| 20:00 | | | |

第47回日本ガスタービン学会定期講演会プログラム：第2日【暫定版】

(一般講演 講演時間15分 討論5分, [学]: 学生優秀講演賞の審査対象講演, 連盟者の所属が省略されている場合は後者と同じ)

| | A室 | B室 | C室 |
|--------------|--|--|--|
| 第2日 9月19日 | 性能・システム | 空力(3) | 材料・燃焼 |
| 9:40 | 【A-17】圧縮空気の抽気がターボジェットエンジン性能に及ぼす影響 *伊藤凌大朗, 土屋利明(金沢工大院) | 【B-17】最適化による斜流圧縮機の空力性能向上に関する研究 *賀澤順一, 田口秀之(JAXA), 山下建志(ASI総研) | 【C-17】[学]選択的レーザー溶融法における造形雰囲気Ni基超合金IN718の組織および高温強度特性に及ぼす影響 *長張俊希, 名古屋大義, 出口隼大, 寛幸次(首都大院), 中野禪, 佐藤直子(産総研) |
| 10:00 | 【A-18】エンジンサイクル計算における軸対称流の利用について *二村尚夫(JAXA) | 【B-18】車両過給機用タービン下流のディフューザ内流れに関する研究 *桐明拓郎, 金子雄大, 森田功, 馬場隆弘(IHI) | 【C-18】[学]選択的レーザー溶融法により作製したIN718における予備加熱の影響 *近藤研志, 寛幸次(首都大), 近藤拓未(愛知産業) |
| 10:20 | 【A-19】パルスドネーションエンジンと航空用エンジンとの性能比較 *櫻井毅司(首都大) | 【B-19】2重吹込みが遠心圧縮機の低流量作動域に及ぼす影響 *平野利幸, 辻田星歩(法政大) | 【C-19】[学]選択的レーザー溶融法によって作製したNi基超合金CM247LCの組織と高温強度特性に及ぼすHIPプロセスの影響 *平井篤志, 寛幸次(首都大院), 林重成, 郭妍伶(北大院), 尾ノ井正裕, 米本朋弘(金属技研) |
| 10:40 | 【A-20】タービン冷却空気削減技術導入で航空機運航燃料消費を削減するための航空エンジンシステム再構築方法の検討 *福山佳孝, 山根敬(JAXA) | 【B-20】Kriging応答曲面法と遺伝的アルゴリズムを用いたターボチャージャ用遠心圧縮機の最適化計算 *本田浩範, 岩切健一郎, 西村信祐(三菱重工), 岡信仁(MHIET) | 【C-20】[学]極超音速統合制御実験(HIMICO)用ラム燃焼器内の自己着火現象に関する数値解析 *小松湧介, 山本姫子(早大院), 佐藤哲也(早大), 溝淵泰寛, 南部太介, 田口秀之(JAXA) |
| 11:00 | 【A-21】SOFC複合サイクルエンジンの起動試験 *小島孝之, 田頭剛, 高將治, 岡井敬一, 小林宙, 西沢啓(JAXA) | 【B-21】1800kW非常用ガスタービン発電装置向け遠心圧縮機の開発 *谷口皓一, 浅井尚(新潟原動機), 佐藤涉(IHI) | 【C-21】[学]燃焼振動が燃料液滴の運動特性に及ぼす影響 *長尾順, Abhishek Pillai, 黒瀬良一(京大) |
| 11:20 | 【A-22】5MW級 M5Aガスタービンの開発と運用実績 *寺内晃司(川崎重工) | 【B-22】小型ターボジェットエンジンの性能・ジェット騒音にシェブロンズルが及ぼす影響 *矢崎由実子, 土屋利明(金沢工業大) | 【C-22】[学]蒸発管付きアニュラ型燃焼器の火炎安定性と振動特性 *津金巨輝, 飯吉徹(新潟大院), 松平雄策, 松原幸治(新潟大), 小式澤広之, 阿部和幸(YSEC) |
| 11:40 | (昼休憩) | | |
| 13:00 | A室 | | |
| | 学生優秀講演賞 審査結果報告 座長：渡邊裕章(九大) | | |
| 13:10 | 特別講演 | | |
| | 座長：渡邊裕章(九大) | | |
| | 【S-1】【特別講演】人工知能は世の中をどう変えるか 松原 仁氏(はこだて未来大学) | | |
| 14:40 | A室 | | |
| | 先端技術フォーラム: ガスタービンの構造材料研究開発の最新動向と今後の展望(仮題) | | |
| 15:00 | 講演およびパネルセッションを予定 | | |
| 17:10 | | | |

IGTC2019 Tokyo 事前登録のご案内

IGTC2019実行委員会

International Gas Turbine Congress 2019 Tokyo の参加申込受付（事前登録）を開始いたしました。2019年9月30日（日本時間）までにご登録いただきますと登録料が割安になりますので、是非お早めにご登録くださいますようお願い申し上げます。

International Gas Turbine Congress 2019 Tokyo (IGTC2019)

会期：2019年11月17日(日)から22日(金) (22日は見学会)

場所：虎ノ門ヒルズフォーラム（東京都港区虎ノ門1-23-3 虎ノ門ヒルズ森タワー 4・5階）

URL：<http://igtc2019.org/>

【参加登録概要】

1. 登録料（税別）

| | 早期登録料（9月30日まで） | 後期／当日登録料（10月1日以降） |
|---------|----------------|-------------------|
| 講演者・司会者 | 65,000円 | なし（事前登録必須） |
| 会 員 | 65,000円 | 75,000円 |
| 非会員 | 75,000円 | 85,000円 |
| 学 生 | 15,000円 | |

※登録料には、全てのセッションへの参加、ウエルカムレセプション、電子論文集及び当日配布プログラムが含まれます。

見学会（¥8,000）とバンケット（¥13,500）は追加料金（共に税別）になります。

なお、2019年10月1日以降の入金は消費税率が変更されます。

2. 登録方法

登録受付WEBページURL:

<http://igtc2019.org/>

にて受付します。

IDを取得し（ID Application）、ログインの後、必要情報を入力します。

お支払いは、上記WEBページを通じてのクレジットカード支払にてお願いします。

3. 参加登録についての問合せ先

IGTC2019 Registration Desk（c/o 株式会社イーサイド 担当:根岸/宮本）

Tel：03-6435-8789, Fax：03-6435-8790, E-mail：igtc2019-office@e-side.co.jp

○ 本会協賛行事 ○

| 主催学協会 | 会合名 | 協賛 | 開催日 | 会場 | 詳細問合せ先 |
|-----------------|------------------------------------|----|---------------|-------------------------|---|
| 可視化情報学会 | 第47回可視化情報シンポジウム | 協賛 | 2019/7/25-27 | 京都大学吉田キャンパス国際科学イノベーション棟 | URL : http://www.visualization.jp/symp2019/ |
| 日本機械学会 関西支部 | 第362回講習会「実務者のための騒音防止技術（展示、簡易実習付き）」 | 協賛 | 2019/7/30-31 | 大阪科学技術センター 8階 中ホール | URL : http://www.kansai.jsme.or.jp/ |
| 日本実験力学会 | 日本実験力学会2019年度年次講演会 | 協賛 | 2019/9/1-3 | 徳島大学 | 新潟大学医学部保健学科内 日本実験力学会事務局 TEL:025-368-9310 |
| 日本マリンエンジニアリング学会 | 第89回（令和元年）マリンエンジニアリング学術講演会 | 協賛 | 2019/10/2-4 | 函館アリーナ | URL : http://www.jime.jp |
| 日本燃焼学会 | 第57回燃焼シンポジウム | 協賛 | 2019/11/20-22 | 札幌コンベンションセンター | URL : http://www.combustionsociety.jp/sympo57/index.html |
| 日本流体力学会 | 第33回数値流体力学シンポジウム | 協賛 | 2019/11/27-29 | 北海道大学工学部 | URL : http://www2.nagare.or.jp/cfd/cfd33/ |



▷ 入会者名簿 ◁

〔正会員〕

| | | |
|-------------------|--------------|--------------------|
| 兼子 泰幸(旭化成) | 神戸 清行(桜美林大学) | 松田 博和(川崎重工業) |
| 岡本 光司(東京大学大学院) | 小林 貢(東北電力) | 石野 洋二郎(名古屋工業大学) |
| 池田 亜矢子(物質・材料研究機構) | 室田 正樹(防衛装備庁) | 山中 俊二(防衛装備庁) |
| 山本 佳史(本田技術研究所) | 谷口 直(三菱重工業) | 松見 勇(三菱日立パワーシステムズ) |

〔学生会員〕

| | | |
|-------------------|------------------|-------------------|
| 伊藤 凌大朗(金沢工業大学大学院) | 太田 遥己(金沢工業大学大学院) | 矢崎 由実子(金沢工業大学大学院) |
| 有賀 寛純(高知工科大学大学院) | 光末 由宇陽(東京大学大学院) | 小松 湧介(早稲田大学大学院) |

〔賛助会員〕

中部電力(株)

2019年度役員名簿

会長 渡辺 紀徳 (東大)

副会長 識名 朝春 (IHI)

法人管理担当執理事 大石 勉 (IHI), 飭 雅英 (川崎重工), 寺本 進 (東大), 北山 和弘 (東芝エネルギーシステムズ) (兼務)

公益目的事業担当執理事 伊藤 栄作 (三菱重工), 岡田 満利 (電中研), 岸部 忠晴 (MHPS), 佐藤 哲也 (早大), 高原 雄児 (防衛装備庁), 野崎 理 (高知工科大), 村田 章 (東京農工大), 山本 誠 (東京理科大), 壹岐 典彦 (産総研) (兼務)

理事 石井 達哉 (JAXA), 大塚 裕也 (本田), 黒瀬 良一 (京大), 千葉 秀樹 (酒田共同火力発電), 菟川 宏樹 (JALエンジニアリング)

監事 筒井 康賢 (元高知工科大), 松崎 裕之 (東北発電工業)

2019年度委員名簿 (順不同)

2019年5月20日現在

○は委員長

倫理規定委員会 ○飭 雅英 (川崎重工), 壹岐 典彦 (産総研), 大石 勉 (IHI), 寺本 進 (東大), 山本 誠 (東京理科大)

自己点検委員会 ○飭 雅英 (川崎重工), 壹岐 典彦 (産総研), 大石 勉 (IHI), 寺本 進 (東大), 山本 誠 (東京理科大)

運営委員会 ○寺本 進 (東大), 壹岐 典彦 (産総研), 大石 勉 (IHI), 飭 雅英 (川崎重工), 北山 和弘 (東芝エネルギーシステムズ), 酒井 義明 (東芝エネルギーシステムズ), 佐藤 哲也 (早大), 塚原 章友 (MHPS), 松沼 孝幸 (産総研), 山本 誠 (東京理科大)

国際委員会 ○船崎 健一 (岩手大), 岡井 敬一 (JAXA), 北山 和弘 (東芝エネルギーシステムズ), 小森 豊明 (MHPS), 谷 直樹 (IHI), 都留 智子 (川崎重工), 福田 雅文 (高効率発電システム研究所), 山根 敬 (JAXA), 山本 誠 (東京理科大)

学術講演会委員会 ○渡邊 裕章 (九大), 今野 晋也 (MHPS), 岡嶋 芳史 (三菱重工), 尾関 高行 (電中研), 糟谷 宏樹 (東芝エネルギーシステムズ), 北村 英二郎 (本田), 富永 純一 (JFEエンジニアリング), 中山 健太郎 (川崎重工), 野崎 理 (高知工科大), 姫野 武洋 (東大), 平川 香林 (IHI), 平野 孝典 (拓殖大), 藤原 仁志 (JAXA), 松沼 孝幸 (産総研), 山形 通史 (富士電機)

集行事務委員会 ○山本 誠 (東京理科大), 安藤 友香 (防衛装備庁), 伊藤 栄作 (三菱重工), 小沢 寛二 (IHI), 金澤 直毅 (川崎重工), 河上 誠 (日立), 久保 俊介 (本田), 小島 充大 (富士電機), 澤徹 (東芝エネルギーシステムズ), 秦中 一樹 (電中研), 西村 英彦 (MHPS), 菟川 宏樹 (JALエンジニアリング), 黛 健斗 (三井E&Sマシナリー), 吉田 征二 (JAXA)

ガスタービン技術普及委員会 ○岡田 満利 (電中研), 石田 克彦 (川崎重工), 垣内 大紀 (IHI), 窪谷 悟 (東芝エネルギーシステムズ), 鈴木 正也 (JAXA), 高橋 康雄 (MHPS), 谷岡 忠輝 (MHPS), 長谷川 晃 (JALエンジニアリング), 村田 章 (東京農工大), 山本 誠 (東京理科大)

学会誌編集委員会 ○佐藤 哲也 (早大), 荒木 秀文 (MHPS), 壹岐 典彦 (産総研), 石井 達哉 (JAXA), 岩井 裕 (京大), 大塚 裕也 (本田), 加藤 千幸 (東大), 金子 雅直 (東京電機大), 黒瀬 良一 (京大), 渋川 直紀 (東芝エネルギーシステムズ), 高橋 俊彦 (電中研), 田尻 敬次 (荏原エリオット), 多田 暁 (JALエンジニアリング), 千葉 秀樹 (酒田共同火力発電), 辻田 星歩 (法政大), 寺澤 秀彰 (東京ガス), 寺本 進 (東大), 中野 賢治 (IHI回転機械), 新聞 良樹 (徳島文理大), 野原 弘康 (ダイハツディーゼル), 八田 直樹 (三井E&Sマシナリー), 原 浩之 (MHPS), 北條 正弘

(JAXA), 松崎 裕之 (東北発電工業), 松田 博和 (川崎重工), 村上 秀之 (物材研), 室岡 武 (IHI), 森澤 優一 (東芝エネルギーシステムズ), 山下一憲 (荏原製作所), 山根 喜三郎 (防衛装備庁)

論文委員会 ○村田 章 (東京農工大), 青塚 瑞穂 (IHI), 壹岐 典彦 (産総研), 小田 剛生 (川崎重工), 田頭 剛 (JAXA), 寺本 進 (東大), 中谷 辰爾 (東大), 姫野 武洋 (東大), 山田 和豊 (岩手大), 山根 敬 (JAXA), 山本 武 (JAXA), 山本 誠 (東京理科大), 吉岡 洋明 (東北大)

ガスタービン統計作成委員会 ○太田 有 (早大), 赤澤 弘毅 (川崎重工), 井田 真澄 (ターボシステムズユニテッド), 恵比寿 幹 (三菱重工エンジン&ターボチャージャ), 後藤 裕一 (IHI), 佐々木 慎吾 (MHPS), 澤 徹 (東芝エネルギーシステムズ), 山上 展由 (MHPS), 米田 幸人 (ヤンマー)

産官学連携委員会 ○岸部 忠晴 (MHPS), 壹岐 典彦 (産総研), 岡崎 正和 (長岡技術科学大), 及部 朋紀 (防衛装備庁), 金津 和徳 (IHI), 幸田 栄一 (電中研), 佐々木 隆 (東芝エネルギーシステムズ), 野崎 理 (高知工科大), 原田 広史 (物材研), 二村 尚夫 (JAXA), 松崎 裕之 (東北発電工業), 吉田 英生 (京大), 笠 正憲 (川崎重工), 輪嶋 善彦 (本田), 渡辺 紀徳 (東大)

広報委員会 ○高原 雄児 (防衛装備庁), 壹岐 典彦 (産総研), 尾関 高行 (電中研), 酒井 義明 (東芝エネルギーシステムズ), 谷 直樹 (IHI), 長谷川 晃 (JALエンジニアリング), 姫野 武洋 (東大), 吉田 征二 (JAXA)

調査研究委員会 ○川岸 京子 (物材研), 長田 俊郎 (物材研), 岡崎 正和 (長岡技術科学大), 寛 幸次 (首都大学東京), 金久保 善郎 (IHI), 貫志 公博 (三菱重工航空エンジン), 岸部 忠晴 (MHPS), 日野 武久 (東芝エネルギーシステムズ)

男女共同参画推進委員会 ○都留 智子 (川崎重工), 旭 睦 (IHI), 川岸 京子 (物材研), 川澄 郁絵 (本田), 森川 朋子 (MHPS)

IGTC実行委員会 ○西澤 敏雄 (JAXA), 猪亦 麻子 (東芝エネルギーシステムズ), 太田 有 (早大), 北山 和弘 (東芝エネルギーシステムズ), 渋川 直紀 (東芝エネルギーシステムズ), 鈴木 正也 (JAXA), 塚原 章友 (MHPS), 寺本 進 (東大), 仲俣 千由紀 (IHI), 中村 恵子 (IHI), 牧田 光正 (JAXA), 安田 聡 (MHPS), 山根 敬 (JAXA), 吉田 征二 (JAXA)

IGTC総務委員会 ○山根 敬 (JAXA), 秦中 一樹 (電中研), 吉田 征二 (JAXA)

IGTC論文委員会 ○寺本 進 (東大), 壹岐 典彦 (産総研), 井上 智博 (九大), 大北 洋治 (JAXA), 岡井 敬一 (JAXA), 小田 豊 (関西大), 齋藤 敏彦 (三菱重工), 酒井 英司 (電中研), 柴田 貴範 (三菱重工), 鈴木 正也 (JAXA), 田頭 剛 (JAXA), 高橋 聡 (IHI), 谷 直樹 (IHI), 都留 智子 (川崎重工), 福田 雅文 (高効率発電システム研究所), 北條 正弘 (JAXA), 堀川 敦史 (川崎重工), 山本 誠 (東京理科大)

IGTC展示委員会 ○安田 聡 (MHPS), 赤澤 弘毅 (川崎重工), 高崎 恭子 (本田), 仲真 幸洋 (GEガスパワー), 藤木 貴子 (IHI), 分銅 克 (東芝エネルギーシステムズ), 水野 拓哉 (JAXA), 山形 通史 (富士電機), 安形 友希子 (MHPS), 小森 豊明 (MHPS), 谷岡 忠輝 (MHPS), 塚原 章友 (MHPS), 渡部 文 (MHPS)

IGTC行事委員会 ○仲俣 千由紀 (IHI), 石川智貴 (東芝), 長田 俊郎 (物材研), 川澄 郁絵 (本田), 高田 和正 (MHPS), 玉井 亮嗣 (川崎重工), 中村 恵子 (IHI), 南條 華子 (IHI)

IGTC財務委員会 ○渋川 直紀 (東芝エネルギーシステムズ), 猪亦 麻子 (東芝エネルギーシステムズ)

エキスパート委員会 ○船崎 健一 (岩手大), 田沼 唯士 (帝京大), 二村 尚夫 (JAXA), 山脇 栄道 (アイ・エヌ・シーエンジニアリング)

次号予告 日本ガスタービン学会誌2019年9月号 (Vol.47 No.5)**特集 エネルギー産業への機械学習の応用****論説・解説****巻頭言** 深淵 康二 (慶應義塾大学)

機械学習の概説 (仮題) 矢入 健久 (東京大学)

発電設備におけるデジタルテクノロジーの適用について 新井 信行 (GE Power)

電力設備保全など電力データ活用へのAI技術の適用 堤 富士雄 (電力中央研究所)

データドリブン手法に基づく低次元特徴抽出手法を用いた燃焼不安定性解析 中谷 辰爾 (東京大学)

再使用ロケットエンジンの故障予知に向けた機械学習の適用事例

堤 誠司, 平林 美樹, 佐藤 大和, 河津 要, 安部 賢治, 佐藤 正喜, 橋本 知之, 木村 俊哉 (JAXA)

推進工学への機械学習の適用 佐藤 哲也 (早稲田大学)

機械学習を用いた航空機エンジン排気温度予測の取り組み 茂木 悠佑 (IHI)

MIを用いた極小熱伝導率を有する無機複合材料の開発 徐 一斌 (物質・材料研究機構)

見聞記「2019年ASME国際ガスタービン会議」

執筆者・・・渡辺 紀徳 (東京大学) / 浅子 知昭 (IHI) / 石原 信哉 (川崎重工業) / 金子 雅直 (東京電機大学) /
加藤 大 (IHI) / 木村 泰徳 (三菱重工業) / 玉木 秀明 (IHI) / 山田 和豊 (岩手大学) / 大北 洋治 (JAXA) /
浅井 智広 (三菱重工業) / 坂田 彬 (IHI) / 石川 博司 (三菱重工業) / 金子 康智 (龍谷大学) / 渋谷 直紀 (東
芝エネルギーシステムズ) / 松沼 孝幸 (産業技術総合研究所)

新製品紹介

高効率5MW級ガスタービンコージェネPUC50D 久保 博史, 寺内 晃司, 上村 大助 (川崎重工業)

デジタルツイン・コンセプトによるガスタービンの性能シミュレーションと性能トレンドの監視

杉本 隆雄 (B&B-AGEMA)

2018年ガスタービン及び過給機生産統計

※タイトル, 執筆者は変更する可能性があります。

日本ガスタービン学会 賛助会員のご紹介

本コーナーでは、賛助会員各社の紹介をいたします。ガスタービン・エネルギー関連企業間の連携や情報交換を促進する場としてもご活用いただけるものと考えております。今回は 59 団体からご寄稿いただきました。御礼を申し上げます。

MHPS

三菱日立パワーシステムズ

三菱日立パワーシステムズ株式会社 (MHPS) は 2014年2月に三菱重工株式会社と株式会社日立製作所が両社の火力発電システム事業を統合し誕生した会社です。

MHPSは、最先端のクリーン発電技術によりエネルギーの低炭素化を促進し、環境保全に貢献します。また、多様な燃料への対応と急激な負荷変動に対応する出力調整機能、AIやIoTを活用した運転・保守の最適化により、経済性に優れ、安定した電気を供給します。詳細は以下当社ホームページをご覧ください。

〒220-8401 横浜市西区みなとみらい3-3-1
Tel : 045-200-6100 Fax : 045-200-7989
<http://www.mhps.com/jp/>



IHI Realize your dreams

株式会社 IHI 資源・エネルギー・環境事業領域

弊社ではお客様の多様なニーズに合わせ、航空転用形ガスタービンを中核とした2MW ~ 50MWの幅広いレンジでの発電設備の設計、据付、整備に至るライフサイクルビジネスをグローバルに展開しております。

導入後のメンテナンス体制も、365日24時間お客様の発電設備の運転状況監視や故障前に異常検知する予防保全サービスも提供しております。

緊急時には豊富な経験とノウハウを持った技術者が対策を検討の上、最寄りの国内外整備拠点から緊急対応する体制を整えております。

取扱い業種：ガスタービン発電設備

〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 豊洲IHIビル
株式会社IHI 資源・エネルギー・環境事業領域
陸用原動機プラントSBU 営業部

TEL : 03-6204-7723, FAX : 03-6204-8776
<http://www.ihico.jp/powersystems/>

IHI Realize your dreams

株式会社 IHI 航空・宇宙・防衛事業領域

弊社における航空機用ガスタービンエンジンとの関係は、旧海軍の試作機「橘花」搭載の日本初のターボジェットエンジン「ネ20」の製造に始まります。

以来、この国産開発エンジンを通して培った技術を生かし、戦後 自衛隊で運用される各種航空機用ガスタービンエンジンのライセンス国産製造、並びに国産開発に参画して来ました。

また、海上自衛隊艦艇に搭載される航空機転用型艦艇用ガスタービンのライセンス国産製造・開発を担当し、主機・発電機を提供しています。

民間エンジン事業においても、小型、中型から大型、超大型クラスまで、世界の民間航空機用エンジンの国際共同開発事業に主要なパートナーとして参画し、エンジンのモジュールや部品を開発、設計、製造しています。

さらに弊社では、各種エンジン部品の開発、設計、製造の他、航空機用エンジン・陸空用ガスタービンエンジンの整備や部品修理も担当しており、国内外と官民に広く信頼していただける技術力と高い品質・信頼性で、お客様の運用支援に貢献しております。

取扱い業種：航空用エンジン、艦艇用ガスタービン 他
〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 豊洲IHIビル

株式会社IHI 航空・宇宙・防衛事業領域
防衛システム事業部 営業部 営業グループ
TEL : 03-6204-7663, FAX : 03-6204-8797
<http://www.ihico.jp/>

Kawasaki

川崎重工業株式会社

川崎重工の航空機用エンジン事業は、1942年にジェットエンジン(ネー0〜4)の研究試作に取り組んだことが始まりです。今日では、防衛省向けのヘリコプター用エンジンを製造するとともに、大形旅客機用エンジンの国際共同開発・分担製造を行っています。また、航空機用エンジンで磨いた技術を発電機や機械の駆動源として活かそうと、1972年、自社技術で産業用ガスタービンの開発に着手し、「カワサキガスタービン」を完成しました。現在、150kW級の小形機から3万kW級の大形機までシリーズ化を図り、これを駆動源とした非常用発電設備、コージェネレーションシステムは国内外で高く評価されています。

〒105-8315 東京都港区海岸一丁目14番5号

TEL : 03-3435-2533 FAX : 03-3435-2592

MITSUI E&S

Mitsui E&S Machinery Co., Ltd.

株式会社三井E&Sマシナリー

三井 E&S マシナリーは、2018 年 4 月の三井造船のホールディングス化に伴い、機械関連の事業会社として設立され、三井造船のガスタービン事業をそのまま継承しております。

1950 年からガスタービンの開発に着手し、1954 年に 1 号機を納入。以後、お客様の様々なご要望に合わせたガスタービンシステムを提案しております。

- ・ MSC シリーズ (米国ソーラー社ガスタービン) : 3MW ~ 15MW
- ・ SB シリーズ (三井自社開発ガスタービン) : 1MW ~ 24MW

〒104-8439
東京都中央区築地 5 丁目 6 番地 4 号
Tel. 03-3544-3951 Fax. 03-3544-3055
<https://www.mes.co.jp/>



TOSHIBA

東芝エネルギーシステムズ株式会社

東芝エネルギーシステムズ株式会社は、東芝グループの注力分野であるエネルギーソリューション事業を担う会社として2017年10月1日に(株)東芝より分社し、発足いたしました。



コンバインドサイクル発電設備として
世界最高効率の63.08%*性能達成
*低圧発熱室ベース

「電気をつくる、おくる、ためる、かしくつかう」ための機器・システム・サービスを提供するとともに、これからのエネルギーのあり方を見据えながら、お客様や事業パートナーの皆様と一緒に価値を創造していきます。

〒212-8585 川崎市幸区堀川町72番地34
<https://www.toshiba-energy.com/>

株式会社 本田技術研究所 エアロエンジンセンター

https://www.honda.co.jp/RandD/aero_engine-c/



GE Honda HF120 Engine

エアロエンジンセンターでは、世界 No.1 の航空機エンジンの創出を目指し、小型、軽量、高性能かつ環境性にも優れたガスタービンエンジンの開発を行っています。センター設立以来、GE 社と共同で開発を行ってきた HF120 エンジンは、2013 年 12 月に米国連邦航空局より型式認定を取得し、ノースカロライナ州の自社工場において量産エンジンの生産を開始しました。今後は、お客様からの確固たる信頼を得られる様、高品質なサービスを提供すると共に、エンジンの更なる競争力向上に向けた革新技術の研究も進めていきます。

株式会社 荏原エリオット

当社は、広く社会に貢献する荏原グループの一員として、PWC (Pratt and Whitney Canada) 社の航空転用型ガスタービン ST6 を搭載した、ガスタービンパッケージを提供しています。主力製品は、排水ポンプを駆動する出力約 220 ~ 950 kW の横型および立形ガスタービンパッケージで、集中豪雨や台風による洪水から社会や農地を守る重要な役割を果たしています。特に、立形ガスタービンは、小型軽量の航空転用型の特徴を生かして開発したパッケージで、省スペースな排水機場の建設を実現しています。



ヤンマー株式会社 ヤンマーエネルギーシステム株式会社 A SUSTAINABLE FUTURE

—— テクノロジーで、新しい豊かさへ。 ——

人々の生活や産業活動の高度化が進むことにより、電気の果たす役割は年々大きくなっていきます。ヤンマーでは 250kVA ~ 3000kVA までの 15 機種種のラインアップをそろえ、不測の停電や天災などによる非常時に、さまざまな施設の非常用・予備電源としてガスタービン発電システムが高い信頼性を得ています。

〒530-0014 大阪府大阪市北区鶴野町 1-9 梅田ゲートタワー
TEL : 06-7636-2658 FAX : 06-7636-0217
<http://www.yanmar.com>

IHI株式会社IHI回転機械エンジニアリング

弊社は、圧縮機・分離機・大型過給機・油圧モータ・ポンプ・歯車装置・給油装置の開発・設計・製造・販売、さらに汎用機械・大型回転機設備の設計・据付からメンテナンス(全国33事業所)までを行う、総合エンジニアリング企業です。



1882年の発売以来、数多く世に送り出している IHI のコンプレッサーは、ジェットエンジンや車両用・船用過給機などで蓄積された IHI の技術を結集し、現在では環境にやさしいオイルフリー形式として、モータ出力 15kW ~ 14200kW までの機種で多様なニーズにお応えしています。

〒135-0062 東京都江東区東雲一丁目 7 番 12 号
TEL : 03-6703-0350 FAX : 03-6703-0353
<http://www.ihico.jp/irm/>

ICC 株式会社IHIキャストिंगス IHI GROUP IHI Castings Co., Ltd. Realize your dreams

IHIグループは160年以上にわたるものづくり技術に挑戦しています。当社は、1977年に石川島精密鑄造株式会社として設立し、航空機用ジェットエンジン、宇宙用機器、産業用ガスタービン、車両用および船舶用過給機、人工関節、一般産業用機器などに使用される耐熱合金精密鑄造素材を製造販売する会社です。

また、航空機用ジェットエンジンをはじめとする各分野での需要の拡大に対応すべく、能力増強を図っております。当社はこの技術分野における日本のトップメーカーとして、IHIグループと共同で成長してまいります。

本社：東京都昭島市拜島町3975-18
TEL : 042-500-8352 FAX : 042-500-8376
<https://www.ihico.jp/icc/>



株式会社IHI検査計測

IICは株式会社IHIから分離独立した会社です。発電プラント、機械、インフラなどの非破壊検査・計測業務を主として実施しています。ガスタービン関連では、ひずみ・振動計測、高温ひずみゲージの溶射、残留応力測定(穿孔法、X線回折法など)、材料分析・試験・評価、化学分析・排ガス分析などのサービスを行っております。

〒236-0004 神奈川県横浜市金沢区福浦2-6-17
TEL : 045-791-3518, FAX : 045-791-3542



株式会社IHIジェットサービス(IJS)

IJSは、IHIが製造した陸船用ガスタービン装置の保守・点検・整備をはじめ、航空・宇宙関連機器の設計・製造にかかわる支援業務、工場の営繕業務等を行っている会社です。また、これらの業務を通じて培った高い技術とノウハウを活かし、ガスタービン発電装置(移動電源車も含む)、航空機機体洗浄装置などの製造も行っています。今後とも、「たしかな技術と心のこもったサービスで、お客様の喜びを創造し、豊かで幸せな社会の実現」に貢献できるように努めていきます。

〒196-8686 東京都昭島市拜島町3975番地18
TEL : 042-500-8260 FAX : 042-500-8343
<http://www.ihico.jp/ijs>



株式会社 アイ・エヌ・シー・エンジニアリング

当社は、1977年にIHIグループの防音・防振事業を担当する会社として創設され、その後、その基盤技術を活用して今日に至っています。航空機用・航空機転用型ガスタービンエンジンの試運転設備等の設計・製作・据付工事、防音・防振装置の設計・製作・据付工事、騒音・振動防止対策のコンサルティング、更には各種試験設備・環境保全装置など多方面の分野にわたり活動を行うエンジニアリング会社です。

私たちは幅広い技術(音響・機械・構造・熱・流体・建築)を有した「専門家集団」です。



〒169-0073 東京都新宿区百人町1丁目15番18号
TEL : 03-3360-3223 FAX : 03-3360-6625
<http://www.ihico.jp/inc/>



アイコクアルファ株式会社 AP事業部



1975年に航空機機体部品加工用に同時5軸マシニングセンターを導入し、現在では115台の5軸を保有。ガスタービン・ターボ圧縮機・ターボチャージャーなどの削り出しインペラーを年間400万個と航空機5軸製品を製造しています。

<http://www.aikoku.co.jp/>



株式会社 IDAJ

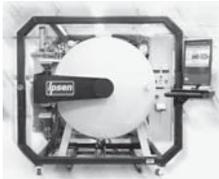


〒220-8137 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-12-11
横浜ランドマークタワー 37F
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp
www.idaj.co.jp

弊社は熱流体解析、構造解析、最適化などを中心としたCAEソリューションを提供することによって、多くのお客様のものづくりをサポートしています。事業内容はCAEソフトウェアの販売・サポートだけでなく、解析手法の構築や精度検証などのエンジニアリング・コンサルティング、システム構築・開発の分野でお客様のCAE環境の整備、および技術構築をお手伝いして参りました。
ガスタービンの分野では、熱流体解析プログラムCONVERGEによる燃焼を含むガスタービン燃焼器の熱流れ解析技術をご提供します。CONVERGEは従来のCFDツールとは異なり、解析メッシュをソルバーが計算実行中に自動的に生成するため、解析メッシュを作成するエンジニアの工数が劇的に削減され、効率的にガスタービン内部の燃焼解析を実施することができます。
また、素反応まで考慮した詳細化学反応計算、LES (Large Eddy Simulation) による詳細乱流現象の計算など高度な物理モデルを採用することにより、ガスタービン燃焼器のエミッション (Nox/Soot) 予測、効率予測、着火性予測、およびLBO (Lean Blow Off) 予測などをコンピュータ・シミュレーションによっておこなうことが可能です。

Ipsen Ipsen株式会社

弊社は、Ipsenグループの日本法人として2008年に設立いたしました。発電部品を要するエネルギー産業を始め、航空産業から宇宙開発に至るまで、広範囲な分野において実績に裏付けされた熱処理設備を提案致します。また当社のグローバルな提携ネットワークを通して、お客様のあらゆる熱処理事業にお応えが出来るサービスやサポートを提案致します。



大阪本社 〒538-0032 大阪府大阪市鶴見区安田2-3-2
東京オフィス 〒104-0041 東京都中央区新富1-9-9 新富3ビル1F
TEL 06-7506-9705 / FAX 06-6915-1132 TEL 03-6222-8223 / FAX 03-6222-8224
www.ipсен.co.jp



宇宙航空研究開発機構 航空技術部門



JAXA 航空技術部門では環境、安全、新分野創造の3つの研究開発プログラムを推進するとともに基礎的・基盤的技術の研究に取り組んでいます。航空エンジン技術に関しては、市場における我が国の国際競争力強化に貢献するため、国内のエンジンメーカーの実績が豊富な「ファン」および「低圧タービン」について環境適合性を向上する技術を開発・実証する「高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR: Advanced Fan Jet Research)」プロジェクトと、更なる環境性能向上のために、これまで日本の担当実績が少ないコアエンジンの高性能化、エンジン騒音低減技術の開発・実証を目指す「グリーンエンジン技術」の研究開発を実施するとともに、燃焼技術、エンジンシステム最適化、脱化石燃料、微粒子吸い込みに対する安全性評価、代替燃料技術などの先端研究にも取り組んでいます。

<http://www.aero.jaxa.jp/>



ウッドワード・ジャパン株式会社

ウッドワード・ジャパン株式会社は、大型フレームガスタービン、航空機エンジン転用型から小型非常用、マイクロガスタービンまで、制御弁、制御装置、燃焼ノズル、アクチュエータ製品などの総合製造メーカーです。



フレームタービン用
チョークフロー電動弁

ガスタービンに要求される、高い信頼性と運転継続性をサポートするため、航空機エンジン制御で培った技術と、産業用ガスタービン向けの永年の納入実績、グローバルなサービス体制の相乗効果を形にした製品をご提供してまいります。

〒261-7118 千葉県千葉市美浜区中瀬2-6-1 WBGマリブウエスト19F
TEL: 043-213-2609
<http://www.woodward.com//Application-IndustrialTurbine.aspx>

NTN株式会社

For New Technology Network



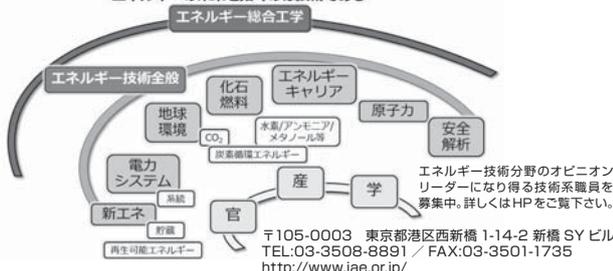
当社はベアリング(軸受)やドライブシャフトなどを製造する精密機器メーカーであり、ガスタービンエンジン主軸用軸受もグローバルに設計・製造・販売しています。特に航空機用軸受は、世界4大ジェットエンジンメーカーからサプライヤー認定を取得し、高い評価と信頼を得ています。三重県桑名市及びフランスアルゴネ市に航空宇宙用軸受の専用工場を有しており、徹底した品質管理のもと、長年にわたり信頼性の高い製品を数多く供給しています。

〒550-0003 大阪市西区京町堀1丁目3番17号
TEL: 06-6443-5001
<https://www.ntn.co.jp/japan/>

IAE 一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

我が国がエネルギーを将来に亘り安定的に確保していくためには、長期的かつグローバルな視点から、戦略的にエネルギー供給確保を企画立案し、それを着実に実行していくことが必要です。
当研究所は、エネルギー技術を中心とする総合工学の立場から、その時々々の社会的要請に応じ幅広いエネルギー分野の調査研究を実施しています。

エネルギーの未来を拓くのは技術である



〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 新橋 SYビル
TEL: 03-3508-8891 / FAX: 03-3501-1735
<http://www.iae.or.jp/>

エバーロイスプレーノズル

Creating the future with a spray nozzle



エバーロイスは、スプレーノズルの設計、開発、製造販売をしている会社です。多くの標準ノズルをラインナップしている他、新たなスプレーノズルの試作から既存ノズルの性能改善まで対応しております。開発に不可欠なスプレーノズルの性能評価機器を保有しているため、様々な実験が可能です。
当社は、スプレーノズルの最適化による改善をソリューションとしています。

エバーロイス商事株式会社

〒553-0002 大阪市福島区鷺洲4丁目2-24
TEL: 06-6452-2272 FAX: 06-6452-2187
E-Mail: nozzle@everloy.co.jp
URL: <http://www.everloy-spray-nozzles.com>





金属熱加工技術をトータルに提案

大阪冶金興業株式会社

Osaka Yakin Kogyo Co., Ltd.

弊社は1941年創業の熱処理メーカーです。
75年以上培ってきた技術を基に、耐熱合金の真空熱処理、真空ろう付、表面改質熱処理に
従事するとともに、MIM（金属粉末射出成形法）による複雑形状部品の製造をいち早く注目し、
幅広い分野に精度の高い部品を提供しています。
時代ニーズを敏感にキャッチし、高い技術力と先端設備でお客様のご要望にお応えしています。



〒533-0005 大阪府大阪市東淀川区瑞光4丁目4番28号
TEL:06-6328-1345 FAX:06-6328-1380 E-mail:info@oasakayakin.co.jp
URL:http://www.oasakayakin.co.jp/



開発建材株式会社



弊社はガスタービンコンバインドサイ
クルに於ける吸気フィルター用の
アルミ製「ウェザールーパー」「遮音
防水ルーバー」の製作を行っており
ます。有効開口率が50%ありながら、台風時を上回る降水量と強風を
用いた性能試験でも防水効率は99.9%。通気性にも優れたコストパ
フォーマンスの高い製品です。

会社創立は1973年。自社にて製作、性能試験も実施しております。
取扱業種：アルミ防水ルーバー、遮音防水ルーバーの製造、販売、施工。

〒124-0006 東京都葛飾区堀切1-40-8
TEL：03-3695-4821、FAX：03-3693-0660
http://www.kaihatsu-kenzai.co.jp



Metal Technology Co., Ltd.

金属技研株式会社

金属技研株式会社 (Metal Technology Co. Ltd., MTC) は1960
年に理化学研究所における研究成果を実社会で生かそうという高い
志を持って設立されて以来、お客様の問題解決に携わってきました。
今では金属に関わるあらゆる分野にわたって、新しい手法、仕組み、
材料の開発に向けた広範な取り組みを行っています。

航空宇宙やガスタービン関連分野を含めた様々な業界のニーズの急
激な変化にも応えるため、HIP処理・熱処理・拡散接合・機械加工・ろ
う付け・溶接さらに金属積層造形やNNS成形などの技術を駆使し、
金属部品の一貫生産サービスを提供しています。



100A ハリフボディ
(Gr.91)
ニア・ネット・シェイプ工法

世界最大サイズを誇る
Giga-HIP装置



〒164-8721 東京都中野区本町 1-32-2 ハーモニータワー 27 階
TEL: 03-5356-3035 E-mail: info@kinzoku.co.jp URL http://www.kinzoku.co.jp



近藤工業株式会社



私たち近藤工業は、パートナーである日本ケンブリッジフィルターと共に、
高性能で長寿命なガスタービン用吸気フィルターを皆様へご提案
致します。

普段、お使いのフィルタ性能にご満足頂けていないお客様、あるいは
今以上のコストパフォーマンスをご希望のお客様は、ぜひ一度私たち
の製品をご検討ください。

私たちは、世界中にケンブリッジブランドを展開しております。

〒105-0014
東京都港区芝3-14-2芝ケンブリッジビル
TEL:03-6400-5005、FAX:03-6400-5006
http://www.cambridgefilter.com/

酒田共同火力発電株式会社

弊社は、石炭（一部、木質バイオマス燃料使用）を使用した火力発電
による電気の卸供給事業を行い、東北電力㈱に全量販売しています。
発電出力は1・2号機合わせて70万kWで、山形県内の電力消費量の
約50%に相当します。

弊社の使命である「電力の安定供給」と「適正かつ低廉な販売電力
料金の達成」を目指し、また企業理念でもある「地域と共生するエネ
ルギー企業」として地域社会との繋がりを密にし、地域貢献・環境保
全に向けた諸活動を積極的に展開しています。

〒998-8622 山形県酒田市宮海字南浜1番19
TEL 0234-34-2321 (代表)
FAX 0234-33-1677
http://www.sakata-power.co.jp/



CRE

株式会社シーアールイー

航空機・宇宙機器 設計会社

弊社は、航空機・宇宙機器に関す
る設計開発に特化しており、国内
の主要な航空宇宙プロジェクトの
ほぼ全てに関与しております。

構造設計にはじまり、解析、電装
設計、ソフト開発及び品質管理に
至る設計開発に於ける幅広いサ
ポートが可能です。

また、国際規格の認証を取得した
組織によるバックアップ体制と共に各ユーザー様に合された各ユーザー様の要
望に応えた当社オリジナルの教育システムを有しております。

〒460-0022 名古屋市中区金山1丁目2-2 クマダ第2ビル
TEL 052-323-7731 http://www.cre-nagoya.com/



SIEMENS

シーメンス株式会社

当社は、4MW～600MWの幅広いライン
アップを有するガスタービンメーカーです。
ガスタービンに加えて、蒸気タービン、発電機、ガスエンジン、プラント制
御装置、排熱回収ボイラーと言った火力発電におけるキーコンポーネントの
OEMとして、世界中で培った豊富な EPC の実績、これまでの国内実績から
の知見に基づき、大型事業用火力発電プラントから分散電源にいたるまで、
お客様にベスト・ソリューションをご提案します。

シーメンス株式会社 パワー & ガス事業本部
〒141-8641 東京都品川区大崎 1-11-1 ゲートシティ大崎ウエストタワー
Mail : fossil-power-generation.jp@siemens.com
http://www.siemens.com/entry/jp/ja



常磐共同火力 株式会社



弊社は勿来発電所を持つ発電事業者であり、1955年、常磐炭鉱の低品
位炭を活用するために創立されました。現在7～10号機、4ユニットで
1,700MWの発電を行ない、東北電力㈱と東京電力エナジーパート
ナー㈱に販売しています。現在は主に海外炭を使用しており、既に使用炭
種は100を超えました。このうち10号機(250MW)は、日本で最初の
IGCC(石炭ガス化複合発電)商用設備であり、国内外から注目を集めて
います。隣接地では、540MWの大型IGCC設備の建設が開始され、弊社
もこれに参画しています。

発電所：福島県いわき市佐糠町大島20
本 社：東京都千代田区神田須田町1-1
神田須田町スクエアビル7F
ホームページ：http://www.joban-power.co.jp/

進和テック株式会社

当社はフィルター・関連設備（フィルターハウス・サイレンサー・ダクト等）を取り扱う技術商社です。製造部門の子会社である日本エアフィルター株式会社と共に、GT 吸気フィルター業界の牽引役としてお客様のGT性能改善・安定稼働をサポートしております。何かお役に立てるような事がありましたら、お気軽にお問い合わせください。

進和テック株式会社
<http://www.shinwatec.co.jp/>

東京都中野区本町1-3-2-2
Tel: 03-5352-7202
FAX: 03-5352-7212
info@shinwatec.co.jp



NuFD Numerical Flow Designing

株式会社 数値フローデザイン

お客様の現場にマッチしたCFDツールをご提供致します。

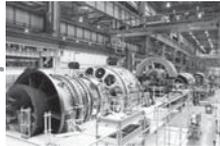
数値フローデザインは、お客様の計算環境や、予算規模、必要とされる解析結果、精度をお聞きし、最適な計算手法、モデルをご提案致します。各燃焼モデル（アレニウス型モデル、flameletモデル等）と乱流モデル（LES、RANS、DES）のカップリング、境界等の各計算条件、並列計算の効率化、解析格子等も含めて総合的に評価し、最高のパフォーマンスを導き出すCFDツールを構築、高精度で高効率な解析を実現します。



次世代流体解析ソフトウェア
NuFD/FrontFlowRed

〒141-0022 東京都品川区東五反田1-10-10 オフィスT&U 9F
TEL: 03-5789-0485 E-mail: info@nufd.jp URL: <http://www.nufd.jp>

GE Gas Power



GEガスパワーは、世界中のお客様が、信頼性に優れ、利用しやすく、そして持続可能な電力を供給できるように、ガスタービン発電機やサービスをご提供しています。世界最高レベルの燃焼効率を誇るHAガスタービンを含む、世界中で発電容量1,600GWというガスタービンの設置実績を有しています。また、GEガスパワーは発電効率を向上し、運用コストを低減させ、再生可能エネルギー源に対応するソフトウェアソリューションもご提供しています。

〒107-6115 東京都港区赤坂5-2-20 赤坂パークビル
TEL: 03-5544-3869
URL: <https://www.ge.com/power/gas>

TURBO SYSTEMS UNITED

An ABB and IHI joint venture

ターボ システムズ ユナイテッド株式会社 (TSU)

弊社はABBとIHIの合弁会社として1998年に設立され、ABBとIHIが生産する陸・船用過給機の販売とアフターサービスを行なっています。

新開発の船用発電補機用MXP形過給機をはじめ、さまざまな過給機および保守運用に関わるデジタルソリューションを取り揃えています。

また、過給機のメンテナンスの計画から実施まで、お客様のニーズに沿ったメニューのご提案もしており、船舶の運航に合わせて、世界100カ所以上のABBサービスステーションにおいて、ABBの高度な技術を持ったスペシャリストが工事を実施します。

私たちはお客様の過給機をトータルライフでサポートし、セーフティオペレーションに貢献します。



〒141-6022 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower 22F
代表TEL: 03-4523-6900 FAX: 03-4523-6990
Homepage: <http://www.turbo.co.jp/>

DAIHATSU

ダイハツディーゼル株式会社 DAIHATSU DIESEL MFG. CO., LTD.



当社は日本初の内燃機関メーカーとして大阪市北区において1907年に創立しました。主に船舶用ディーゼル機関、陸上用ディーゼル機関を製造販売しております。ガスタービンにつきましては、1976年より「純国産」として独自開発を進め、1981年に初号機を納入しました。国内陸上市場におきましては、官庁施設、下水道施設、データセンター等に多数納入しております。お客様からは高品質・高性能の評価を得ており、信頼性抜群のガスタービンです。

〒531-0076 大阪市北区大淀中1丁目1番30号
環境エネルギー統括事業部
TEL: 06-6454-2390 FAX: 06-6454-2682
<http://www.dhtd.co.jp>



TOKYO GAS ENGINEERING SOLUTIONS

東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社

東京ガスエンジニアリングソリューションズは、エネルギーアドバンスと東京ガス・エンジニアリングが2015年4月に統合した会社です。

LNGバリューチェーンにおけるエンジニアリングと、エネルギーサービスを展開、自らもユーザーとして培ったノウハウを活かしたエンジニアリングソリューションで社会に貢献いたします。

〒105-0022 東京都港区海岸1-2-3 汐留芝離宮ビルディング
Tel 03-6452-8400 / Fax 03-6452-8395
<http://www.tokyogas-es.co.jp>

東芝プラントシステム株式会社

弊社は、1923年の創業以来、一貫して重電機・重機械設備の建設に携わり、社会基盤を支える役割を担ってまいりました。現在では「総合エンジニアリング企業」として、IPP、PPSを含む産業用発電設備の分野においては、計画から建設までを一括で行うEPC案件の受注に注力しております。数多くの実績とこれまで培ってきた技術をベースにより、エンジニアリング・調達・現地施工において、お客様から信頼される高品質なプラントづくりを実践しています。

〒230-8691 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央4-36-5
(鶴見東芝ビル)
TEL: 045-500-7050 FAX: 045-500-7155
<http://www.toshiba-tpsc.co.jp/>

TOYO CONTROLS

株式会社東洋コントロールズ

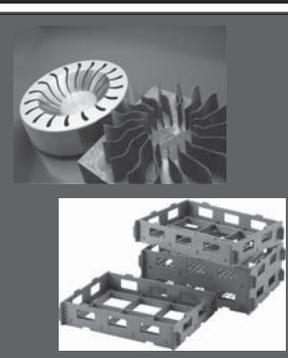


弊社、MAX社独特の広い流量測定レンジャビリティを持つ21/50 MPaピストン、ローターギヤ、ヘリカルロータータイプ低圧損容積式高精度流量計はJP燃料、自動車燃料、航空機作動油等でウルトラ微小流量0.005cc/minから540L/minの測定流量対応可能。出力信号処理はMAX社独ホールセンサCPUソフト処理により高分解能/高速速度応答/リアライズ補正/ポンプ固有及びプロセス流量脈動減衰機能等安定したパルスまたは±10VDC/±4-20mAアナログ出力により高速安定流量計測、高速流量制御及び流量変動特性データ収集が達成されます。

〒174-0051 東京都板橋区小豆沢3-7-30-1F
TEL: 03-5948-6737 FAX: 03-3965-5700
<https://www.toyocontrols.co.jp>

TOYO TANSO
Inspiration for Innovation

<http://www.toyotanso.co.jp/>



弊社ではタービンブレード放電加工用電極ならびに、ブレード含めた金属部品の熱処理用トレイの製造を行っております。熱処理トレイにおきましては、カスタム対応をさせて頂き、軽量化、長寿命化に貢献いたします。

特許庁
JAPAN PATENT OFFICE
法人番号 2000012090003

出願人の所在地近傍の
面接会場に
審査官が出張して面接

特許庁

特許庁は、企業の事業戦略を支援していく審査サービスを提供しています。例えば、出願人が面接審査を希望する特許出願については、希望に応じ審査官の出張面接を行っています。また、事業で活用される知的財産の包括的な取得を支援するため、国内外の事業に結びつく複数の特許・意匠・商標を含む知的財産を、分野横断的に事業展開の時期に合わせて審査・権利化を行う事業戦略対応まとめ審査も行っています。

事業 航空機 デザイン(意匠)

タービン(特許) ロゴ(商標)

出願 審査

審査官が企業の事業戦略を理解
・各分野の審査官による協議

特許
意匠 商標

必要な知的財産の権利化

〒100-8915 東京都千代田区霞が関3丁目4番3号
TEL:03-3581-1101(代表) <https://www.jpo.go.jp/>

Tom EthosEnergy

富永物産株式会社

弊社が代理店を務める
EthosEnergy社はWoodGroup社とSIEMENSによる新ベンチャーです。両社で培われた高い技術は電力、ガス、石油等各産業で世界的に高い評価を得ています。タービン部品供給、修理、他各種サービスを担い、同時に蒸気タービン、発電機のスペシャリストとしてライフサイクルの15%向上を実現します。また弊社では吸気フィルター、制御装置、スターター、燃料制御弁等タービン関連機器の実績ある製品も広く取り扱っております。

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町 3-6-2 小津本館ビル
TEL:03-3639-5315 FAX:03-3639-5360
EthosEnergy <http://www.ethosenergygroup.com>
富永物産 <http://www.tomco.co.jp>

株式会社 トヨタエナジーソリューションズ
TOYOTA ENERGY SOLUTIONS INC.

旧社名: トヨタタービンアンドシステム
※2018年4月より、社名を変更しました。

株式会社トヨタエナジーソリューションズは、トヨタグループのマイクロガスタービン(MGT)技術を使ったコージェネレーションシステムを製造・販売する会社として1998年に設立されました。従来のコージェネレーションシステムに加え、長年にわたって蓄積した技術を元に研究・開発を進めており、優れた燃焼特性を活かしたVOC処理装置やアンモニア燃焼開発、SOFCと組み合わせた発電システムなど多用途展開を行っています。その他、エネルギー管理事業、電力小売事業、環境システムソリューション事業を通じて、エネルギーに関する様々なご要望を多角的に捉え、お客様に役立つエネルギーシステムを提案いたします。

本社
〒471-8573 愛知県豊田市元町1番地 トヨタ自動車元町工場内
TEL:(0565)24-6161(代表) FAX:(0565)24-6160
名古屋事務所
〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目1番1号 日土地名古屋ビル14F
TEL:(052)218-7840 FAX:(052)218-7848
<http://www.toyota-energy.co.jp>

TOYOTA
トヨタ自動車株式会社

弊社のガスタービンの開発は1964年の自動車用ガスタービンに始まります。当時のガスタービンハイブリッドの考えはプリウスに伝承され、培われた技術はターボチャージャーや株式会社トヨタエナジーソリューションズの製品に生かされております。現在は、将来の新しいモビリティへの応用などガスタービンの様々な可能性について研究開発を進めております。今後もガスタービン学会・賛助会員様からのご助言を宜しくお願い申し上げます。

<http://www.toyota.co.jp/>

株式会社 中北製作所

弊社は流体制御装置の総合メーカーとして、ガスタービンに使用される各種弁の製造を行っています。LNGなどの低温ラインから高温高压ラインにいたる幅広いプロセスでご使用頂ける製品ラインナップを備えております。弁の種類として主には調節弁(空気/油圧/サーボ/電動操作式)・バタフライ弁・遮断弁・自力式調整弁・安全弁があり、弁メーカーとして高精度 Cv 実測装置をはじめ充実した検査設備を備え、各種の御要求にお応えし高品質な製品を供給しております。

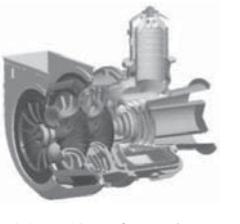
取扱業種: 各種弁および制御装置の製造 (CE マーキング、ASME スタンダード V,UV 対応可)

〒574-8691 大阪府大東市深野南町1-1
TEL:072-871-1341 FAX:072-874-7501
bus@nakakita-s.co.jp
<http://www.nakakita-s.co.jp/>

N/GATA
株式会社IHI原動機

当社では出力200kW ~ 5,000kWクラスのガスタービン製造と、これらを利用した発電装置や駆動装置等の各種パッケージの提供を行っております。前身の新潟鐵工所が創業した1895年以来、日本初の船用ディーゼルを開発する等、日本の産業発展に寄与してきた当社は、ガスタービンの他にディーゼルエンジン、ガスエンジン、Zペラ、ディーゼルエンジン周辺機器等の製造・販売を行っており、製品は発電、船舶、鉄道等民生用に御利用戴いております。

〒101-0021 東京都千代田区外神田2-14-5
TEL: 03-4366-1200, FAX: 03-4366-1300
www.ihico.jp/ips/



ClassNK
一般財団法人 日本海事協会

日本海事協会(ClassNK)は、海上における人命と財産の安全確保及び海洋環境の汚染防止を使命に活動する船級協会です。ClassNKは120年以上に渡って培った知見より、独自に制定された技術規則や国際条約に基づき、建造中と就航後の船舶がこれらの規則等に適合していることを証明する検査を実施しています。

〒102-8567 東京都千代田区紀尾井町4番7号
Tel: 03-5226-2047, Fax: 03-5226-2039
e-mail: eod@classnk.or.jp
URL: www.classnk.or.jp





Donaldson

日本ドナルドソン株式会社

ドナルドソンは世界中の様々な産業分野において、環境にやさしい高品質な製品をお届けしています。ガスタービン営業部は、30年を超える長きにわたり培ったガスタービン用のフィルターシステムとサイレンサーの製品設計開発及び生産の経験をもち、世界に20以上の拠点を所有するガスタービン吸気フィルターのテクノロジーリーダーです。製品はフィルターシステムからアフターマーケットまで幅広く展開しています。

- ・ガスタービン吸気フィルターシステム
- ・ガスエンジン吸気フィルターシステム
- ・エアブロー吸気フィルターシステム
- ・軸流圧縮機吸気フィルターシステム
- ・発電機換気フィルターシステム



〒190-0022 東京都立川市錦町1-8-7
Tel: 042-540-4113 Fax: 042-540-4566
www.donaldson.co.jp



日本無機株式会社

弊社は、エアフィルタ事業のリーディングカンパニーとして常に新しい価値を創造し続け、お客様の要求されるクリーン環境作りのお手伝いを続けています。

ガスタービンに用いられるエアフィルタは空気圧縮機の汚れを抑制し、発電効率の低下抑制に貢献しています。

エアフィルタは高効率・長寿命が要求されており、弊社は多様なラインナップと豊富な経験に基づき、ご使用環境に最適なフィルタシステムをご提案します。

事業内容：エアフィルタ、クリーン機器、
ガラス繊維応用品（耐熱繊維、断熱・吸音材等）

〒110-0045 東京都台東区東上野 5-1-5 日新上野ビル
TEL: 03-6860-7500, FAX: 03-6860-7510
<http://www.nipponmuki.co.jp/>



一般財団法人日本航空機エンジン協会

当協会は、民間航空機用ジェットエンジンの開発を促進し、もって航空機工業の向上発展を図り、産業経済の健全な繁栄に寄与することを目的として、経済産業省の指導の下に(株)IHI、川崎重工業(株)、三菱重工業(株)の協力を得て1981年に設立されました。

現在、日本が参加する民間航空機用エンジンの開発・量産に係る国際共同事業であって、国家プロジェクトとして位置付けられる事業を推進するための日本側の事業主体で、V2500エンジンやPW1100G-JM事業などを遂行しています。

<http://www.jaec.or.jp/>



日本内燃機関連合会

弊会は、1954年に創立以来我が国の燃焼機関工業即ち内燃機関工業の振興と技術の向上に寄与するため、次の3事業について活発な活動を続けております。即ち、CIMAC関係事業、標準化事業、及び技術普及・広報活動事業であります。

CIMAC(国際燃焼機関会議)に関しましては、日本の代表機関としての諸事業を行い、また、国際標準化機構(ISO)の事業中、内燃機関に関する専門委員会[ISO/TC70(往復動内燃機関)及びISO/TC192(ガスタービン)]に関し、日本工業標準調査会に協力すると共に、その他内燃機関に関連し当会で必要ありと認められる諸事業を行い、もって我が国内燃焼機関工業の振興に寄与することを目的としております。

〒105-0004 東京都港区新橋1-17-1 内田ビル7階
TEL: 03-6457-9789 FAX: 03-6457-9787
URL: <http://www.jicef.org>

NUMECAジャパン株式会社

NUMECAインターナショナルは、ベルギー・ブリュッセルに本社を置き、先駆的なCFD(数値流体力学)ソフトウェアとコンサルティングサービスを全世界に提供するグローバルカンパニーです。NUMECAジャパン株式会社は、NUMECA社のソフトウェアと日本のお客様のニーズに合わせたきめ細かいサービスをご提供するために設立されました。



NUMECA社のソフトウェアは、流体の流れと熱伝達に関するシミュレーション、設計、最適化に利用され、開発コストを削減しながら、製品の優れた品質や性能を実現させるため、多くの製品開発者、設計者、研究者の方々にご活用いただいております。

〒105-0003 東京都港区西新橋1丁目17番15号北村ビル4F
TEL: 03-6205-4416 / FAX: 03-6205-4418
<https://www.numeca-jp.com>



パルステック工業株式会社

<http://www.pulstec.co.jp/>

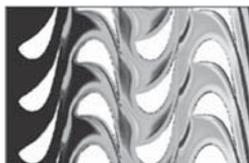


弊社は、「研究開発型モノづくり企業」であり、主力製品は『ポータブル型X線残留応力測定装置』『3Dスキャナ』『光ディスク評価装置』『ヘルスケア関連製品』などで、特に光学系の技術については各業界から高い評価を得ています。弊社が最も注力している『ポータブル型X線残留応力測定装置(μ-X360s)』は、世界最小・最軽量を実現し、操作も非常に簡単で、高精度、高速測定、低価格を実現した画期的な装置です。

各製品の詳細は、弊社ホームページをご覧ください。



<http://www.bub-agema.de/>



B&B-AGEMAは、発電プラントのエンジニアリングとターボ機械の設計サービスを専門に行う会社で、本社はドイツのアーヘン市にあります。

1995年の設立以来、エネルギー変換機械とプラントの設計、解析計算、専門技術に関する革新的なサービスを提供しています。また、ガスタービン、蒸気タービン、その他のターボ機械全般について総合的な設計サービスも提供しています。

また当社は、プラントの監視と予防保全、デジタルツイン・アプリケーション用の高度なソフトウェアを開発しています。

さらに、水素の発生・貯蔵・利用に関する研究開発にも深く関わり、革新的な燃焼のコンセプトも開発しています。

日本語窓口： EAO@bub-agema.de



OUR HERITAGE. YOUR ADVANTAGE. YSSヤスキ/日立

日本製鋼所のグループ、世界のインフラソリューションへ

Hitachi Metals

日立金属は、伝統を基盤に革新的な技術を生み出す「世界トップクラスの高機能材料会社」を目指し、過酷な環境で使用される航空機・エネルギー関連部材に対しても幅広いノウハウと最新の技術による溶解から鍛造、熱処理、機械加工等の一貫製造体制により、確かな品質製品を提供し、お客様の発電効率アップに貢献しています。

日立金属の材料技術と合わせ、2011年に設立した日本エアロフォージ社の世界最大級の500MN油圧型打鍛造プレスの導入、及び2014年にグループ化した日立金属MMCスーパーアロイ社を2018年4月に日立金属に合併致しました。これによりそれぞれの強みを活かしたシナジーを発揮し更なる製品ラインアップの拡充、高い品質要求への対応を図っており、タービンブレードやタービンディスクを初めとして、ガスタービン全体のアプリケーションに深く携わっており、お客様の多種多様な材料ニーズにお応えしております。



〒108-8224 東京都港区港南一丁目2番70号(品川シーズンテラス)
日立金属(株)金属材料事業本部 産機材・航空機エネルギー統括部
TEL (03) 6774-3920 FAX (03) 6774-4312
<http://www.hitachi-metals.co.jp/yss/index.html>

【(公財)日本美術刀剣保存協会提供】

Hitz

Hitachi Zosen

日立造船株式会社

弊社では、3～6MW クラスガスタービン発電設備の製造販売を行う他、100MW クラス発電所の建設保守運営事業も展開しております。茨城県では113.6MW、112.3MW ガスタービンコンバインドサイクルを自社運営し電力卸売事業を実施しております。毎日起動停止という厳しい条件にもかかわらず高い稼働率を誇っており、発電所建設から保守運営まで含めたノウハウを蓄積しております。今後発電事業をご検討されるお客様へのトータルソリューション提供を目的とし活動しております。

取扱業種：発電設備の製造販売、発電設備の保守運営事業、電力の卸売事業
〒140-0013 東京都品川区南大井6丁目26番3号
大森ベルポートD館15階
TEL:03-6404-0842、FAX:03-6404-0849
<http://www.hitachizosen.co.jp>

F 富士電機

富士電機株式会社

富士電機の火力事業は1959年に初号機を納入して以来、蒸気タービンと発電機を核とした火力発電プラントを基本計画から設計・製作・建設・試運転・アフターサービスまで一貫して提供しています。従来型の石炭火力からコンバインドサイクル、熱併給コージェネレーションなどのあらゆる種類の火力発電所に対し、お客様のニーズに合わせた設計と高効率・高信頼性をお約束します。また富士電機は地熱発電の分野で世界をリードしており、CO₂排出量削減などにより環境分野に大きく貢献しています。

住所：〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番2号
ゲートシティ大崎イーストタワー
電話：03-5435-7111
HP：<http://www.fujielectric.co.jp/>

高圧ポンプから精密洗浄装置までニーズに合わせてシステム設計
マルヤマエクスセル株式会社

ガスタービン吸気冷却用 高圧ポンプユニット

経済性に優れたフォグ方式を採用したシステムで火力発電の出力UPに貢献いたします！

ご好評を頂いております丸山の高耐久性「高圧ポンプ」を利用したミストシステム。設置現場、設置規模に応じて丸山の豊富な実績とラインナップで最適なシステムをご提供致します。
接液部材質はステンレスを標準採用し、フィルトレーションとの組合せでノズルの目詰りにも配慮します。

〒101-0047
東京都千代田区内神田3-4-15
マルヤマエクスセル株式会社
TEL03-3252-2283 FAX03-3252-2284
<http://www.maruyamaexcell.co.jp>



MEI 丸和電機株式会社
Maruwa Electronic Inc.

〒277-0814
千葉県柏市正連寺253
TEL 04-7132-0013 FAX 04-7132-5703
E-mail sales@maruwa-denki.co.jp
<http://www.maruwa-denki.co.jp/>

タービン&コンプレッサの材料評価、強度評価に最適です

【回転試験】

最高回転数:260,000rpm 最大外径:φ4,000 最大搭載重量:4,000kg
過回転試験、破壊試験、加熱試験、ひずみ計測試験、エロージョン試験、サイクリック試験
ガスタービン向けのタービンディスクの遠心強度評価
シールラッピング試験、翼振動試験、リーク試験
お客様の仕様に合わせて装置・請負試験を検討いたします。
また高速駆動源の製作・試作も行っており
高速発電機、高速ギアボックスの製作も承っております。



【燃焼試験】

ジェットエンジンの燃焼技術をベースとした装置設計・製作、受託試験
最高温度:1,700℃ 燃料:灯油、軽油、天然ガス等の様々な燃料に対応 流速:300m/s
ターボチャージャー、排気系部品の性能評価試験
先進高温材料試験、TBC評価試験、エロージョン・コロージョン試験
お客様の御要求に合わせたカスタムメイドが可能です。

YOKOGAWA
Co-innovating tomorrow®

横河電子機器株式会社

当社は、1960年の創立以来、「企業理念の実現・行動指針の実行」を追求し、防衛・環境・航海・航空・宇宙等の関連分野において、高品質な製品やサービスをご提供することにより、お客様や社会のお役にたてるよう努力してまいりました。



産業向け点火装置、火炎検出器



航空機エンジン用センサー、油圧機器、点火装置、ハーネス

航空ビジネスでは、耐環境性に優れた温度・圧力・回転センサー、燃料制御用の油圧機器、点火装置および電気・光ハーネスを、開発から生産まで一貫した体制で行い、航空機産業の発展に寄与しています。

燃焼ビジネスでは、バーナおよびガスタービン用や防塵型の高エネルギー点火装置、火炎検出器などの燃焼装置周辺機器を提供し、長年にわたって培った技術力を駆使し、燃焼に関するお客様のご要望にお応えしています。

〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 5-23-13 南新宿野野ビル
TEL: 03-3225-5350 FAX: 03-3225-5320
URL: <http://www.yokogawa.com/jp-ydk>

編集 後記

令和の時代に入り早3か月が過ぎようとしておりますが、皆様はいかがお過ごしでしょうか？私は、編集後記の文面をあれこれ考えていた矢先、単身赴任先の酒田で山形県沖を震源とする地震に遭遇してしまいました。6月18日(火)22時22分、緊急地震速報発令と同時に震度5弱の強い揺れが襲い津波注意報発令。津波の状況を確認し出社。社員の安否確認を行うとともに発電所設備が安定供給に支障がないことを確認し、津波注意報解除を受け夜中に帰宅といった状況でした。今回の地震では、津波の被害がなかったのが不幸中の幸いではなかったかと思えます。東日本大震災被災の経験はあるというものの、あの緊急地震速報を聞くと本当に生きた心地がいたしません。酒田では、ここしばらく震源が近くの津波を伴う大きな地震がなかったのですが、当に「天災は忘れた頃にやってくる」を実感いたしました。皆様も、普段の天災への心の準備をお忘れなく！

さて、エネルギーの世界に目を向けますと、石炭火力発電は、国の第5次エネルギー基本計画において、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と位置づけられているものの「非効率な石炭火力のフェードアウト」という方向性が示されており、石炭火力発電に従事されている皆様の中には、石炭火力発電の今後の将来像をどう描いていけばよいか悩まれている方も多々おられるのではないのでしょうか。そのようなことに鑑み、今月号特集の検討段階において「ガスタービン学会誌なのに、何故、石炭火力発電か？」という声もあがりましたが、過去に本誌にて石炭火力発電を扱ったこともある実績も踏まえ、今回の特集を組ませていただきました。

パリ協定が結ばれ温室効果ガス削減が求められている中、確かに石炭火力発電は、CO₂排出量の多さから逆風に晒されており、巻頭言にもありますように、一部で「石炭は座礁資産」といった見方もされております。しかしながら、資源小国の日本では、エネルギーセキュリティや経済性の観点からも、「疾風に勁草を知る」とい

う諺がありますように、アゲインストの激しい風が吹く中、「勁草」となるべく高効率発電技術を始めとしたCO₂排出量を低減可能な技術を活用し、石炭を有効に使用していくことも必要ではないでしょうか。今月号特集が、そういった石炭火力発電の今後の将来像を描いていく上での一助となれば幸いです。

最後になりますが、大変ご多忙の中、快く執筆をお引き受けいただいた著者の方々には大いに感謝申し上げます。また、このような編集作業が初めての私を強力にサポートしてくださった理事、編集委員および事務局の皆様、さらには今月号において新たに広告に協賛していただいた各企業の皆様に心より御礼申し上げます。

(千葉 秀樹)

- 7月号アソシエイトエディター
千葉 秀樹 (酒田共同火力発電)
- 7月号担当委員
荒木 秀文 (三菱日立パワーシステムズ)
多田 暁 (JALエンジニアリング)
山根 喜三郎 (防衛装備庁)

(表紙写真)

今回の表紙については、【論説・解説】の著者より流用およびお借りしています。

詳細については、下記記事をご参照ください。

- ・「大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況」
..... (P.223 ~ 230)
- ・「高効率IGCCと石炭ガス化技術に関わる最新動向」
..... (P.231 ~ 236)
- ・「アンモニアを利用した発電技術の研究開発」
..... (P.241 ~ 246)
- ・「能代火力1号機低圧タービン取替による効率向上」
..... (P.253 ~ 258)

だより

✿事務局 ✉ ✿

こんにちは。少し前から歯が痛むのを感じ、鎮痛剤を飲んでもズキズキが止まらなくなり寝られない日が出てきたため、しぶしぶ歯医者さんのところへ行くことにしました。ネットで検索すると、最近の歯医者さんは近所でも土日にも開いているところが結構あることが分かり感心しました。今回はおおよそ5年ぶりの歯医者さん通いです。以前とは違う歯医者さんに行ってみるとさらに驚きが。床がピカピカ光る室内にスリッパに履き替えた足を踏み入れると半個室になった治療スペースが縦に並び、忌まわしい歯を削るときのキーン音がほとんど聞こえません。患者さん(主にお子さん?)の待ち時間のストレス解消のための専用の備え付けモニターで飽きさせないアニメ動画を流してくれます。

治療もデジカメ+レントゲンを何枚か撮ったのちに、撮ったばかりの鮮明な虫歯画像を専用モニターですぐ見せてくれ

ながらイラストの資料を使って治療の流れをわかりやすく説明してもらえました。もちろん最大の難関である治療中の痛みもほほなし。かなり虫歯が進行している状態ではあったけれど、「もうちょっとで抜歯」の状態であつたらしい私の歯も延命できることになりました。

以前は、無言の先生が器具を片手に私の顔を覗き込み、私は「次は何をやるんだらう？やっぱ痛いかな？あーやっぱ痛い！痛いわ！やめてえ！（以下ループ）」とドキドキ、半泣きしながら通っていたものですが・・・

ビバ令和。長生きはするものですね。

さて今年の定期講演会は函館アリーナで9月18日から19日開催いたします。また、2か月後、IGTC2019も東京虎ノ門ヒルズにて11月17日から22日まで開催いたします。みなさまのご参加をこころよりお待ちしております。(田頭 味和)

学会誌編集および発行要領（抜粋）

2018年7月13日改定

1. 本会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 依頼原稿：学会誌編集委員会（以下、編集委員会）がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は本学会会員（以下、会員）外でもよい。
 - B. 投稿原稿：会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。
 - C. 学会原稿：本学会の運営・活動に関する記事（報告、会告等）および会員による調査・研究活動の成果等の報告。
- 1.2. 技術論文の投稿については、「技術論文投稿要領」による。
- 1.3. 英文技術論文の投稿については、Instruction to Authors, JGPP (International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems) による。
2. 依頼原稿および投稿原稿は、論説・解説、講義、技術論文、寄書（研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介）、随筆、書評、情報欄記事の掲載欄に掲載することとし、刷り上がりページ数は原則として以下のとおりとする。

| | |
|----------|---------------|
| 論説・解説、講義 | 6ページ以内 |
| 技術論文 | 「技術論文投稿要領」による |
| 寄書、随筆 | 3ページ以内 |
| 書評 | 1ページ以内 |
| 情報欄記事 | 1/2ページ以内 |
3. 原稿の執筆者は、本会誌の「学会誌原稿執筆要領」に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局（以下、編集事務局）まで原稿を提出する。編集事務局の所在は付記1に示す。
4. 依頼原稿は、編集委員会の担当委員が、原稿の構成、理解の容易さ等の観点および図表や参考文献の書式の観点から査読を行う。編集事務局は査読結果に基づいて、執筆者への照会、修正依頼を行う。
5. 投稿原稿のうち技術論文以外のものは、編集委員会が審査し、本会誌への掲載可否を決定する。
6. 投稿原稿のうち技術論文の審査、掲載については、「技術論文投稿要領」に従う。
7. 依頼原稿の執筆者には、学会事務局から原則として「学会誌の執筆謝礼に関する内規」第2条に定めた謝礼を贈呈する。
8. 非会員の第一著者には掲載号学会誌1部を贈呈する。
9. 本会誌に掲載された著作物の著作権は原則として本学会に帰属する。本学会での著作権の取扱いについては別途定める「日本ガスタービン学会著作権規程」による。
10. 他者論文から引用を行う場合、本会誌に掲載するために必要な事務処理及び費用分担は著者に負うところとする。

付記1 原稿提出先および原稿執筆要領請求先（編集事務局）
 ニッセイエブプロ(株) 企画制作部
 学会誌担当：高橋 邦和
 〒105-0003 東京都港区西新橋1-18-17 明産西新橋ビル 6F
 TEL：03-5157-1277
 FAX：03-5157-1273
 E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp

技術論文投稿要領（抜粋）

2018年7月13日改定

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) ガスタービン及びエネルギー関連技術に関連するものであること。
 - 3) 「学会誌原稿執筆要領」に従って執筆された、日本語原稿であること。
 - 4) 一般に公表されている刊行物に未投稿であること。ただし、以下に掲載されたものは未投稿と認め技術論文に投稿することができる。
 - 本学会主催の学術講演会・国際会議のプロシーディングス
 - 特許および実用新案の公報、科学研究費補助金等にかかわる成果報告書
 - 他学協会の講演要旨前刷、社内報・技報、官公庁の紀要等の要旨または抄録
2. 原則として刷り上がり8ページ以内とする。ただし、「学会誌の掲載料に関する内規」第2条に定めた金額の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
3. カラー図は電子版と本学会ホームページ上の「技術論文掲載欄」に掲載し、冊子体にはモノクロ変換した図を掲載する。著者が「学会誌の掲載料に関する内規」第3条に定めた金額を負担する場合には、冊子体もカラー印刷とすることができる。
4. 投稿者は、「学会誌原稿執筆要領」に従って作成された印刷原稿または原稿電子データを、技術論文原稿表紙とともに学会誌編集事務局に提出する。
5. 投稿された論文は、論文委員会が「論文査読に関する内規」に従って査読を行い、掲載可否を決定する。
6. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
7. 本技術論文の著作権に関しては、「学会誌編集および発行要領（抜粋）」9.および10.を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.47 No.4 2019.7

発行日 2019年7月19日
 発行所 公益社団法人日本ガスタービン学会
 編集者 佐藤 哲也
 発行者 渡辺 紀徳
 〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
 第3工新ビル402
 Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387
 郵便振替 00170-9-179578
 銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
 (普) 1703707
 印刷所 ニッセイエブプロ(株)
 〒105-0003 東京都港区西新橋1-18-17
 明産西新橋ビル 6F
 Tel. 03-5157-1277 Fax. 03-5157-1273

©2019, 公益社団法人日本ガスタービン学会

複写複製をご希望の方へ

公益社団法人日本ガスタービン学会では、複写複製に係る著作権を一般社団法人学術著作権協会に委託しています。当該利用をご希望の方は、学術著作権協会 (<https://www.jaacc.org/>) が提供している複製利用許諾システムを通じて申請ください。