

低炭素社会実現に向けた 次世代クリーン石炭火力発電用低 NO_x 燃焼技術

Dry Low NO_x Combustion Technology for Novel Clean Coal Power Generation
Aiming to Realize Low Carbon Society



百々 聡*¹
Satoschi Dodo

荻宿 充博*²
Mitsuhiro Karishuku

八木 宣夫*²
Nobuo Yagi

浅井 智広*³
Tomohiro Asai

亀山 恭大*⁴
Yasuhiro Akiyama

次世代石炭火力発電として期待される IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle; 石炭ガス化複合発電) は、石炭を“水素を含むガス”に転換して燃焼するクリーン石炭火力技術であるが、水素含有燃料特有の課題がある。三菱日立パワーシステムズ(株)(MHPS)では、2008 年から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) のプロジェクトに参画し、CO₂ 回収設備付き IGCC 向けの低 NO_x 燃焼技術として、急速混合技術と浮上火炎技術を組み合わせた革新的な分散混合燃焼技術を開発し、電源開発(株)若松総合事業所内の EAGLE パイロットプラントにおいてガスタービン実機での特性を確認した。その成果を展開して、現在建設中の大崎クールジェン(株)納め IGCC 実証試験設備向けの H-100 ガスタービンに世界初の IGCC 用ドライ低 NO_x 燃焼器を搭載した。なお、H-100 ガスタービンは、従来は初号機の認可出力(約 80MW)に合わせ H-80 の名称を用いていたが、ガスタービン定格出力に合わせ、名称を H-100 に変更した。

1. はじめに

ガスタービン(GT)は、ガスタービンの排熱で蒸気を発生し蒸気タービンで発電するガスタービン複合発電設備(GTCC)や、熱電併給設備(CHP)の中核機器として、高効率・低環境負荷の火力発電システム構築に一層の貢献が期待されている。

近年、地球規模の気候変動などが深刻さを増しており、主要な温暖化物質の二酸化炭素(CO₂)排出を抑制する方法が模索されている。MHPS はその一翼を担うべく、より多様な燃料をガスタービンに有効活用することで、エネルギー安定供給と地球環境保全に寄与すべく努力している。ガスタービン燃料の多様化では、CO₂ 排出の少ない水素含有燃料への対応が、低炭素社会実現のために重要である。中でも石炭をガス化して、ガスタービンで発電し排熱を利用して複合発電する IGCC が、革新的技術として注目されている。本稿では、次世代クリーン石炭火力発電として期待される IGCC 向け低 NO_x 燃焼技術について紹介する。

2. 次世代クリーン石炭火力発電システム(IGCC)

石炭は世界に広く分布し埋蔵量も豊富であり、価格も低廉で安定しているため、今後も重要な化石燃料である。しかし、単位エネルギー当たりの CO₂ 排出量が多く、石炭火力発電からの CO₂ 排出を大幅に抑制することが急務である。

IGCC は石炭をガス化して GTCC に供給するので、従来型微粉炭火力発電に比較して発電効率が低い。また、燃焼前に石炭中の不純物を精製処理できるので煤塵排出量も少なく、排煙脱

*1 三菱日立パワーシステムズ(株)ガスタービン技術本部日立ガスタービン技術部 主席技師

*2 三菱日立パワーシステムズ(株)ガスタービン技術本部日立ガスタービン技術部

*3 三菱日立パワーシステムズ(株)研究所火力システム研究部 主席研究員 工博

*4 三菱日立パワーシステムズ(株)研究所火力システム研究部

硫過程がないので排水量も少ない。さらに、生成した石炭ガスから燃焼前に高圧でCO₂を回収できるので、将来のCO₂回収貯留(CCS)との技術親和性も高い。

IGCCには、石炭を部分酸化する酸化剤として、空気を用いる空気吹きIGCCと、空気から分離した酸素を用いる酸素吹きIGCCがあるが、本稿では酸素吹きIGCC向け燃焼技術を紹介する。

2.1 酸素吹きIGCCの構成と石炭ガス化ガスの特徴

図1に酸素吹きIGCCの概略構成を示す。図1には将来的な拡張予定設備であるCO₂回収設備も記載した。酸素吹きIGCCは空気分離設備(ASU)、ガス化炉、ガス精製設備、CO₂回収設備、及びガスタービン複合発電設備(GTCC)から構成される。

表1に酸素吹きIGCCで想定される燃料ガス(石炭ガス化ガス)の概略の組成を、天然ガス及び水素(H₂)と比較して示す⁽¹⁾。天然ガスはメタンが主成分であるが、石炭ガス化ガスはCO及びH₂を主成分としており、CO₂を回収するとさらにH₂濃度が増加する。石炭ガス化ガス及びH₂は体積当たりの発熱量が低い、燃焼速度が大きいことが特徴である。図2に酸素吹きIGCC石炭ガス化ガスの燃焼速度を天然ガスと比較して示す。

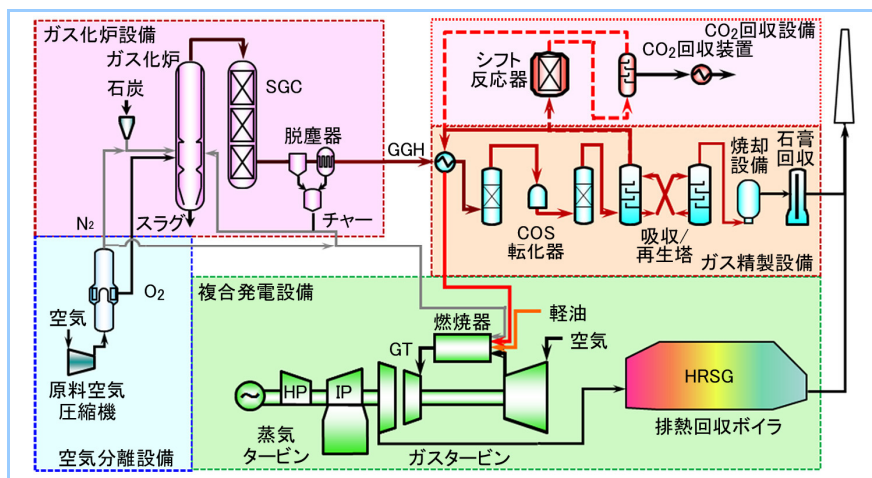


図1 酸素吹き石炭ガス化複合発電設備(IGCC)の概略構成

表1 酸素吹き石炭ガス化ガスの組成例

No.	項目	記号	単位	天然ガス	石炭ガス化ガス				水素
					CCS:0%	CCS:30%	CCS:50%	CCS:90%	
1	水素濃度	[H ₂]	Vol. %	0	26.5	45.5	58.0	83.5	100.0
2	一酸化炭素濃度	[CO]	Vol. %	0	60.0	43.0	30.5	5.0	0.0
3	メタン濃度	[CH ₄]	Vol. %	87	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0
4	その他の炭化水素濃度	[C _n H _m]	Vol. %	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	不活性ガス濃度	[I.G.]	Vol. %	0	12.5	10.5	10.5	10.5	0.0
6	低位発熱量相対値	LHV	体積当たり	1	0.26	0.26	0.26	0.25	0.3
7			質量当たり	1	0.23	0.30	0.37	0.74	2.4
8	層流燃焼速度相対値	Su	天然ガス比	1	3.3	4.5	5.3	6.5	7.8

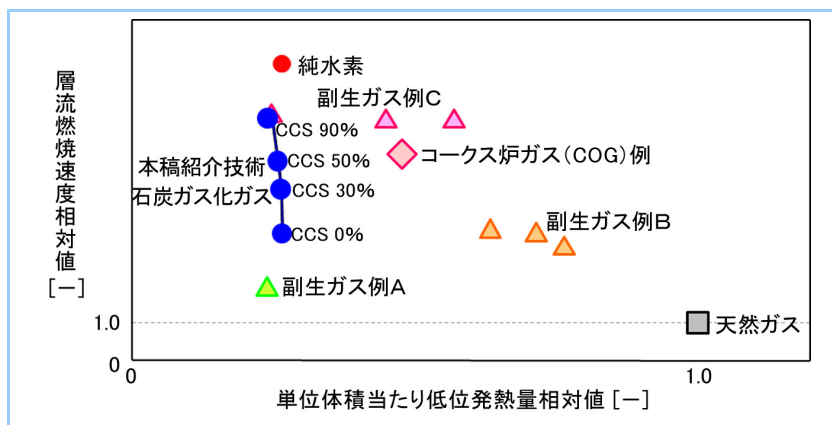


図2 酸素吹き石炭ガス化ガスの発熱量及び燃焼速度

2.2 石炭ガス化ガス低 NO_x 燃焼技術の課題

一般的に窒素酸化物 (NO_x) 排出を抑制するには、燃焼する前に燃料を十分な量の空気と混合して、燃料を希薄な状態で反応させることが有効である。しかし、石炭ガス化ガスをはじめとする水素含有燃料では燃焼速度が大きいので、燃料と空気の混合を行う予混合器内に火炎が逆流したり、予混合器内で自着火したりして、燃焼器の信頼性が低下する懸念が生じる。

このため、水素含有燃料は燃料を直接燃焼室に噴射して、燃焼室内で空気と混合させる拡散燃焼器で燃焼している。拡散燃焼器では燃料と空気の混合が不十分な状態で反応し NO_x 排出量が多くなる場合があるため、窒素などの不活性ガス (希釈剤) を噴射して火炎を冷却し、NO_x 排出量を抑制する必要があるため発電効率が低下する。

したがって、高効率・低環境負荷の IGCC 実現には、希釈剤を用いずに NO_x 排出量を低減できる高度燃焼技術が必要である。MHPS は 2008 年から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) による「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」に参画し、CCS-IGCC を想定した幅広い H₂ 濃度の燃料に対し、希釈剤を用いずに NO_x 排出量を低減するドライ低 NO_x 燃焼技術を開発した。

3. IGCC 用低 NO_x 燃焼技術の開発

CCS-IGCC では表1に示すように、CO₂回収率によって燃料の水素濃度が 27%～84%まで大きく変化し、それに伴い燃焼速度が大きく変化する。CO₂回収率はプラント状態により変化するので、CCS-IGCC では燃料及び燃焼速度が変化しても同一の燃焼器で対処する必要がある。

図3に開発したバーナの概略構造と適用技術の概要を示す。この技術は、多孔同軸噴流バーナ (クラスタバーナ) による急速混合を核としている。さらに石炭ガス化ガスに対応するため、多数の同軸噴流バーナを組み合わせることで噴出方向を調整し、バーナ構造物から離れた空間に安定して火炎を浮上させる技術を開発した。

クラスタバーナは多数の小口径の空気孔を設けた空気孔プレートと、空気孔と同軸に配置された多数の燃料ノズルから構成されている。クラスタバーナでは燃料を分散させるとともに、空気孔内の乱流により燃料と空気が急速に混合されるので、短い混合時間で希薄な混合気が形成され、低 NO_x 燃焼が可能となる。急速混合技術と火炎浮上技術を組み合わせることで、同軸噴流がバーナ構造物から噴出した後で、燃料と空気が十分に混合した状態で、フローパターンにより定まる位置に火炎を形成することができ、バーナ構造物の信頼性を確保できる上に、燃焼速度が変化してもほぼ同じ位置に火炎を保持できるようになった。

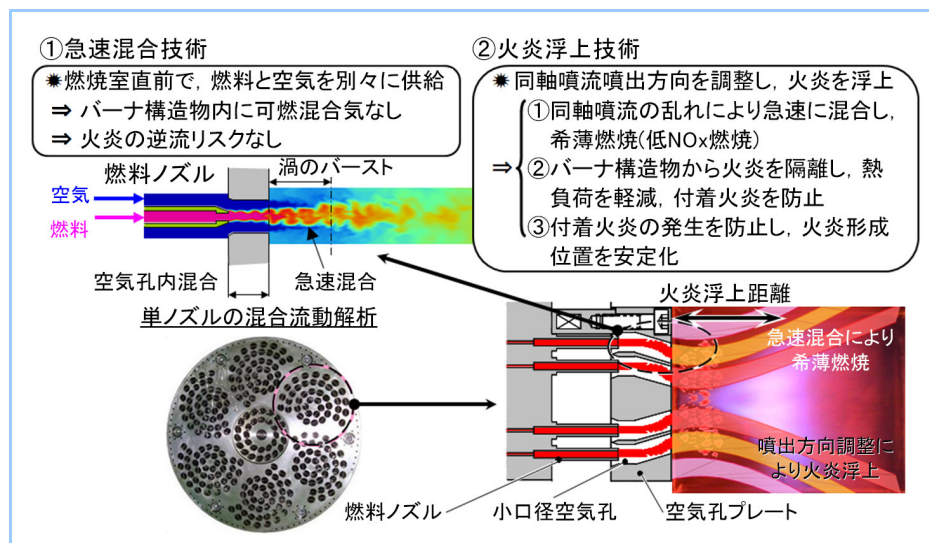


図3 開発バーナ (クラスタバーナ) 構造と適用した技術

また図4に示すように、クラスターバーナの同軸噴流バーナ群を内周系統と外周系統に分割し、それぞれの系統に配分する燃料の比率を制御することで、水素濃度が変化し燃焼速度が変化しても安定に低 NO_x 燃焼する技術確立した。

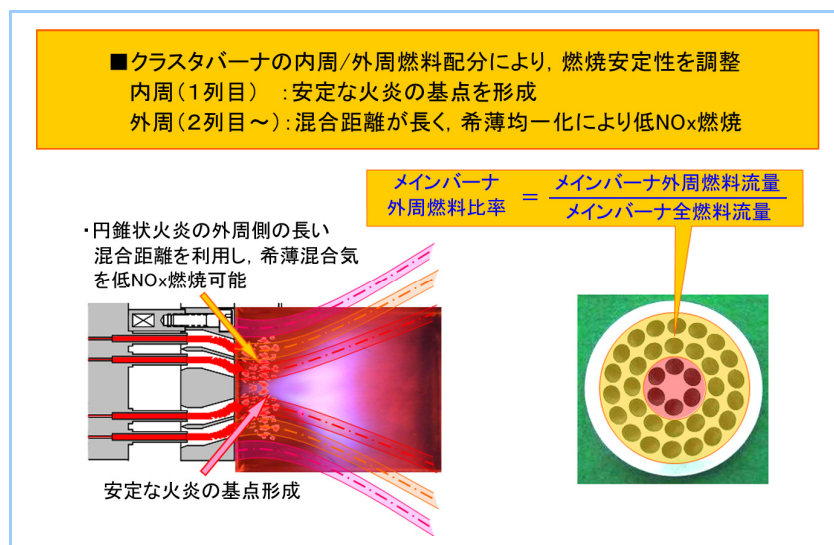


図4 クラスターバーナの系統分割と燃料組成変化に対応する技術

4. CCS-IGCC 対応試作ドライ低 NO_x 燃焼器

開発した技術に基づき、クラスターバーナを複数本配置した燃焼器(実機 H-100 ガスタービンに搭載可能)を試作し、石炭ガス化ガスを模擬した試験用燃料により燃焼特性を検討した。石炭ガス化ガスは CO を主成分とするため、実寸大燃焼器試験に必要な大量のガスは主に安全上の制約から調達できないので、燃焼性が一致するよう調整した試験用燃料を用いて試験した。

図5に CCS-IGCC 用試作ドライ低 NO_x 燃焼器のバーナ部概要を示す。本燃焼器は、中央に燃焼器全体の火種となるパイロットバーナを配置し、その周囲にメインバーナを6本配置した分散混合燃焼方式(マルチクラスタ)燃焼器である。

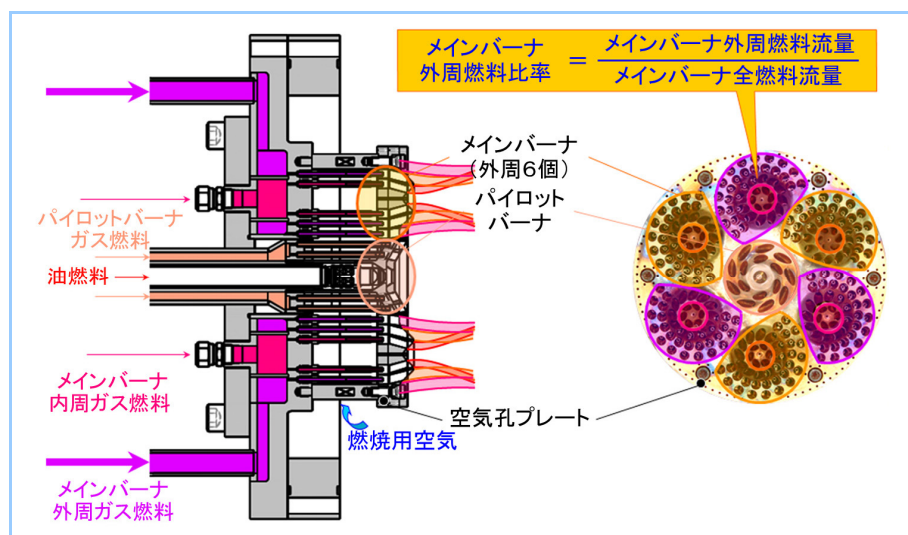
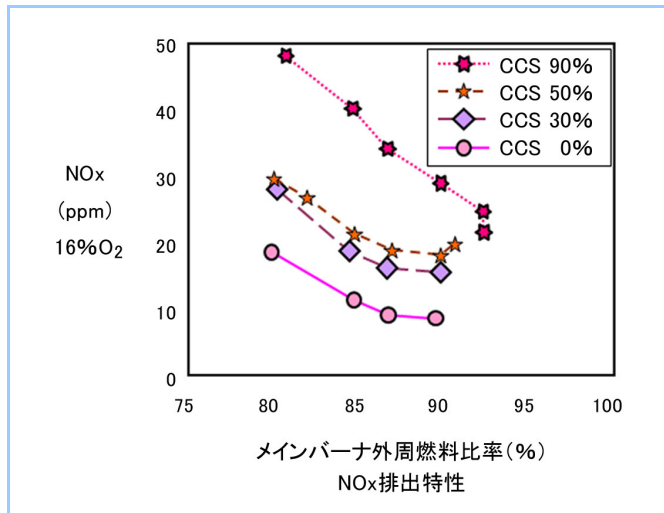


図5 CCS-IGCC 用試作 H-100 マルチクラスタ燃焼器バーナ部概要

図6に試作マルチクラスタ燃焼器の定格負荷における NO_x 排出特性を示す。パラメータはメインバーナの低 NO_x 燃焼性能を担っている外周側に供給する燃料の比率である。CO₂ 回収率 (CCS) が0%から 90%まで、いずれの燃料でも、メインバーナ外周燃料比率の増加に伴い NO_x 排出量は低下し、希釈剤を噴射することなく 30ppm を下回る低 NO_x 燃焼性能を実現した⁽²⁾。

図6 CCS-IGCC 用試作 H-100 マルチクラスタ燃焼器 NO_x 排出特性

5. EAGLE パイロットプラントでの実ガス多缶燃焼試験

開発したマルチクラスタ燃焼器について、実際の石炭ガス化ガスに対する特性を検討するため、酸素吹き石炭ガス化設備のパイロットプラントである、電源開発(株)若松総合事業所内の革新的 CO₂ 回収型石炭ガス化技術開発 (EAGLE: Coal Energy Application for Gas Liquid & Electricity)において、H-14 ガスタービンにマルチクラスタ燃焼器を実装して特性を確認した。

図7に EAGLE パイロットプラントの概観を、図8に H-14 ガスタービンを示す。また図9に実ガス多缶燃焼試験供試マルチクラスタ燃焼器を示す。

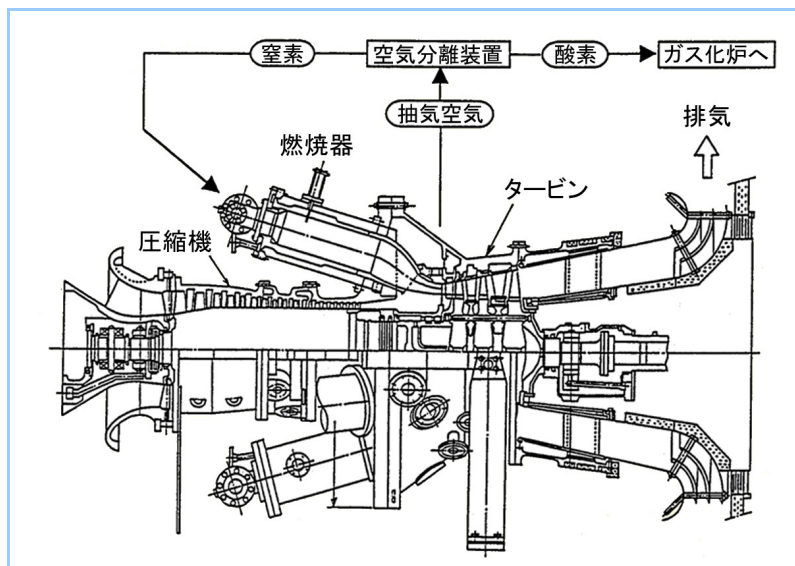
図7 革新的 CO₂ 回収型石炭ガス化技術開発 (Coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity: EAGLE-STEP3)パイロットプラント概要

図8 EAGLE 実ガス多缶燃焼試験 H-14 ガスタービン

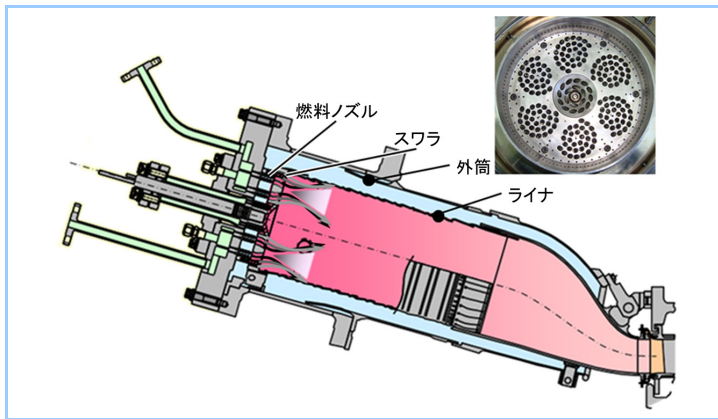
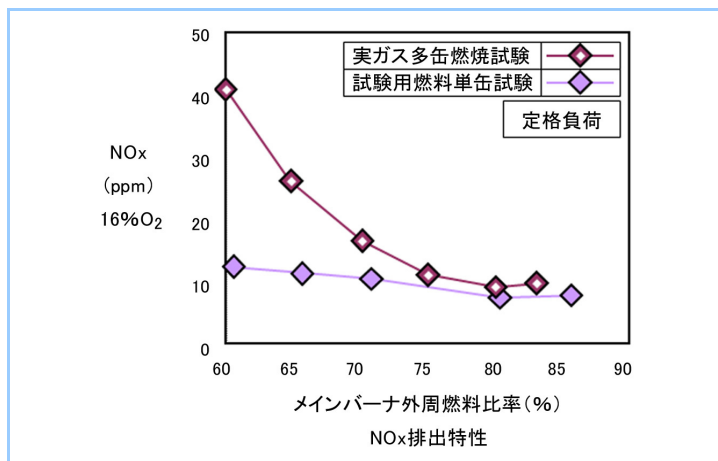


図9 EAGLE 実ガス多缶燃焼試験用マルチクラスタ燃焼器

図10に実ガス多缶燃焼試験最大負荷(定格相当)で得られたNO_x排出特性を、試験用燃料燃き単缶燃焼試験と比較して示す。設計条件(80%)近傍では両者はよく一致しており、試験用燃料による開発の妥当性を立証するとともに、16%O₂換算したNO_x濃度が10ppmを下回る良好な低NO_x燃焼性能を発揮した。

図10 EAGLE 実ガス多缶燃焼試験 NO_x 排出特性

6. IGCC 実証試験設備向けドライ低 NO_x 燃焼器

以上の成果を反映し、広島県大崎上島に建設中のIGCC実証試験発電設備(OCG)納めH-100ガスタービンに、世界初となるIGCC用ドライ低NO_x燃焼器であるマルチクラスタ燃焼器を実装した。図11に開発したOCG向けマルチクラスタ燃焼器の概要を、図12にOCG納めH-100ガスタービンの概要を示す。今後は、2017年2月からの商業運転、実証試験開始に向け注力していく。

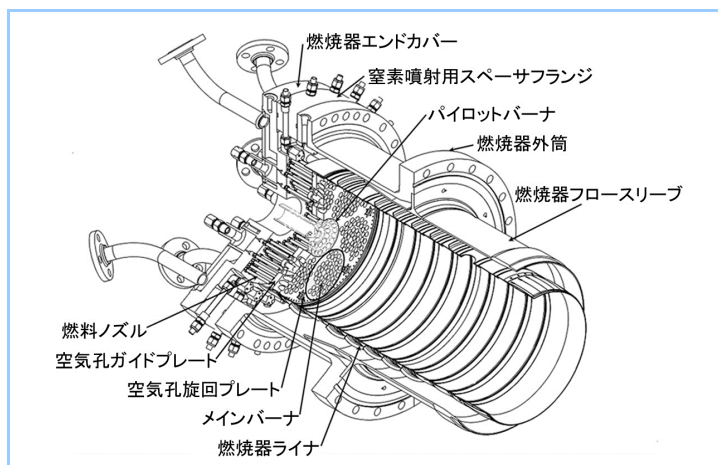


図11 IGCC 実証試験設備向けマルチクラスタ燃焼器概要



図 12 IGCC 実証試験設備(OCG プロジェクト)納め
H-100 ガスタービン

7. まとめ

石炭ガス化複合発電(IGCC)は発電効率がよく、環境負荷の小さい次世代型石炭火力発電として、低炭素社会実現の有力な中核技術として期待を集めている。MHPS は 2008 年から参画した NEDO”革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト”の成果を展開し、大崎クールジェン(株)IGCC 実証試験設備納め H-100 ガスタービンに、世界初の IGCC 用低 NO_x 燃焼器を搭載した。今後は、図 13 に示すように、より多様な水素含有燃料に対して本開発技術を適用し、ガスタービン燃料多様化によりエネルギー資源の有効活用と地球環境保全に貢献していく。

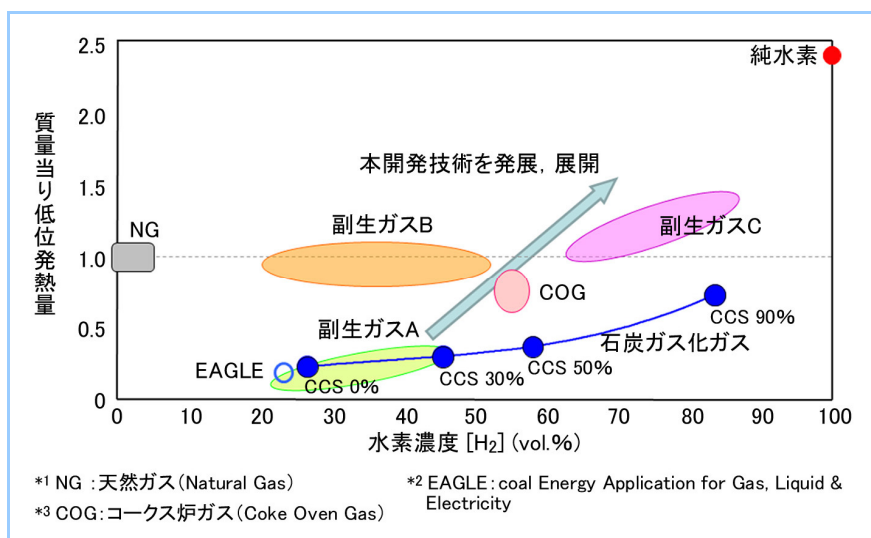


図 13 各種水素含有燃料の水素濃度及び低位発熱量

参考文献

- (1) NEDO ほか:「平成 16 年度クリーン・コール・テクノロジー推進事業 石炭ガス化を核とするコプロダクションシステムに関する調査」調査報告書(2005)
- (2) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構, NEDO プロジェクト評価システム, (2013)
URL: http://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201311/20130000001040.html