

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」
「ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発」
「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」
「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低NOx技術開発」
事後評価分科会資料

株式会社 日立製作所
日立研究所 火力研究センター



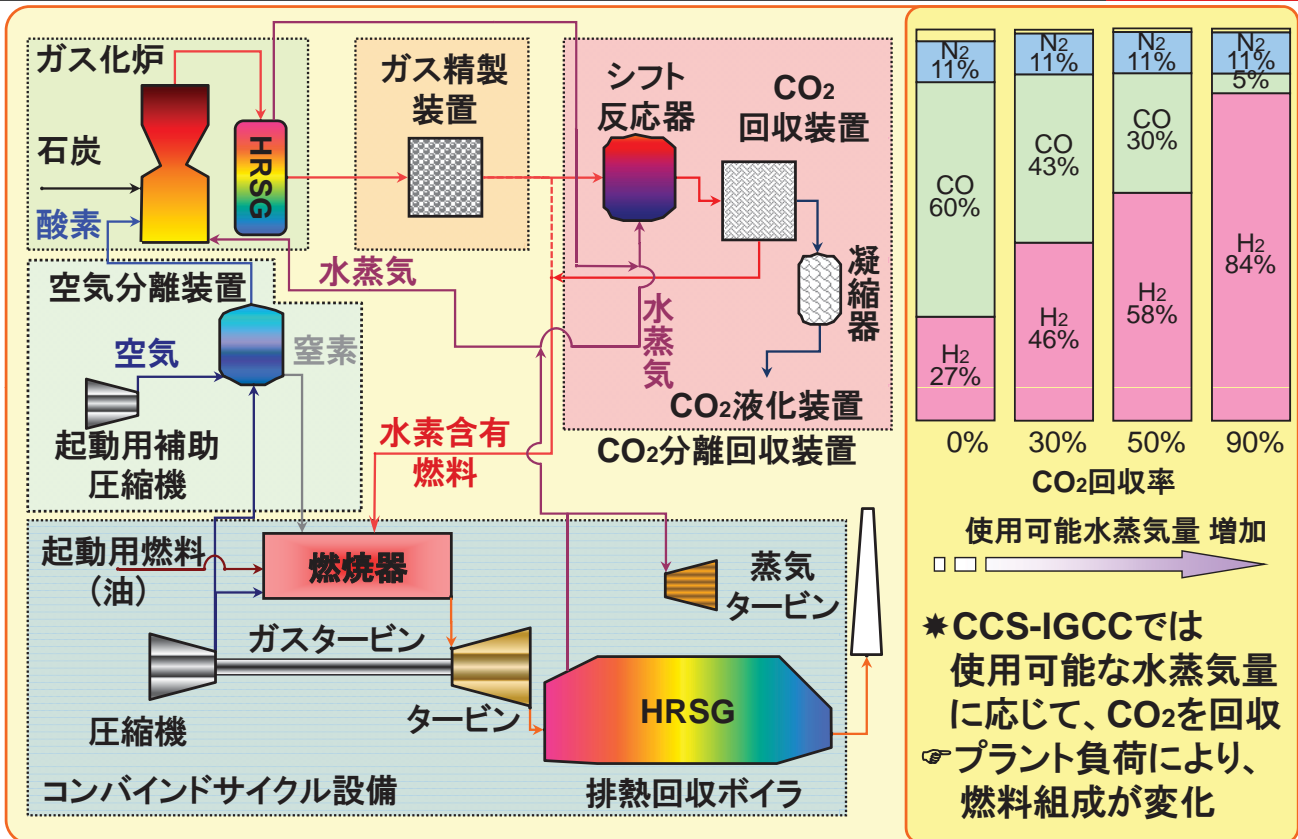
Copyright © 2011, Hitachi, Ltd.

目 次

1. 研究の背景および目的
2. IGCC用燃焼器の燃焼方式と課題に対する対応
3. 実施項目の詳細および成果
4. 今後の展開



Copyright © 2013, Hitachi, Ltd.



1-2. 研究の背景および目的

背景

社会的背景

- ・エネルギー安全保障の確立と低炭素社会への移行

解決策

- ・石炭ガス化複合発電(IGCC^{*1})にCO₂回収・貯留(CCS^{*2})を高効率ゼロエミッション石炭火力発電の早期実現

目的

IGCCのキー構成要素であるガスタービンの高効率化

- ・CCS-IGCCではCO₂回収率の変化に伴い幅広く水素濃度が変化
 - ・既存低NO_x(予混合燃焼)技術では高水素濃度に伴う信頼性に問題あり
 - ・現状(拡散燃焼)技術はNO_x低減に不活性ガスを噴射しプラント効率低下
- ⇒ **世界初の 高水素濃度対応ドライ低NO_x燃焼技術の開発**

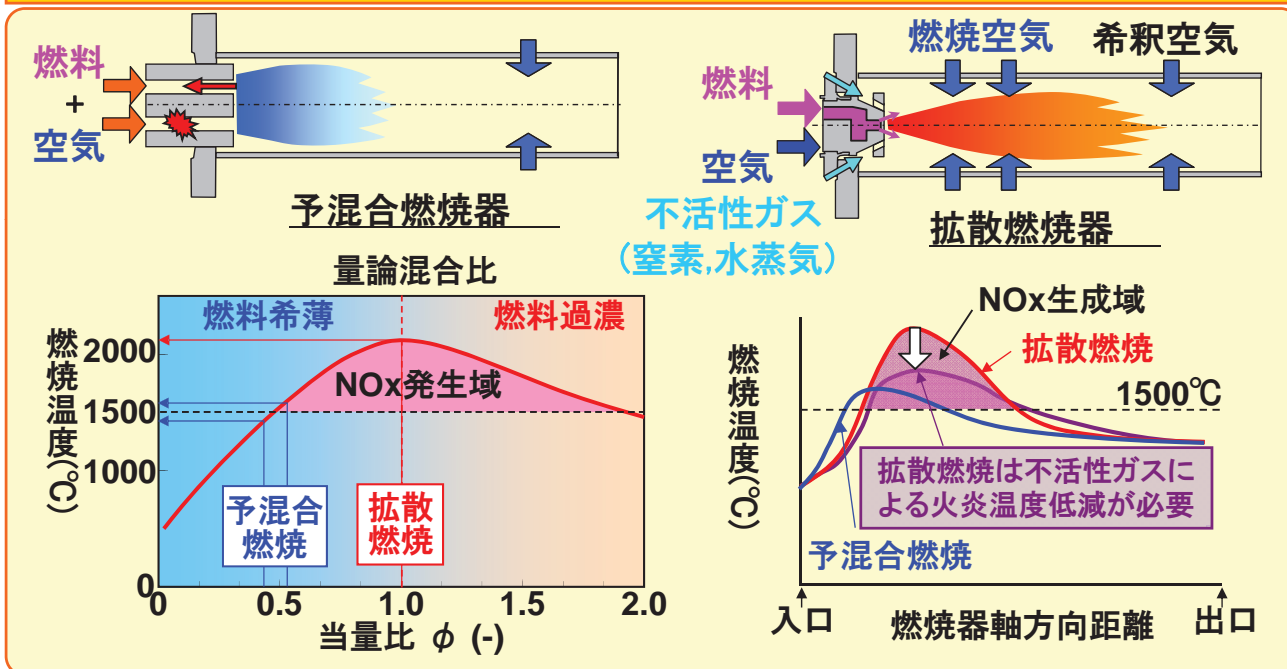
*1IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle, *2CCS: Carbon dioxide Capture and Storage

	FY2008 (H20)	FY2009 (H21)	FY2010 (H22)	FY2011 (H23)	FY2012 (H24)
クラスタバーナー 構造の最適化 (大気圧燃焼試験)	予備 検討 バーナー基本 構造の検討	バーナー基本 構造の最適化	★ 中間評価 火炎内部 詳細計測	バーナー基本 構造の最適化②	
マルチクラスタバーナー の検討 (実寸燃焼試験)	マルチクラスタバーナー 形式低NOx燃焼器 の設計・製作・試験準備	燃焼 試験 小型 燃焼器の 設計・製作	燃焼試験装置 改修・試運転 小型燃焼器 中圧燃焼試験	大型燃焼器 中圧燃焼試験 大型燃焼器 高圧燃焼試験 (定格負荷 特性の検討)	大型燃焼器 高圧燃焼試験 (部分負荷 運用性の検討)
実ガス多缶燃焼 特性の検討 (EAGLE試験)		小型燃焼器の改良設計 実ガス試験用燃焼器の製作・工場内試験	実ガス多缶燃焼試験設備の詳細検討・試験準備	実ガス多缶燃焼試験	
乱流燃焼解析	基礎的の火炎による モデル検証・予備検討	クラスタバーナーの 乱流燃焼解析	マルチクラスタバーナー の乱流燃焼解析①	マルチクラスタバーナー の乱流燃焼解析②	
数値目標	大気圧燃焼試験 NOx<10ppm (@16%O ₂)		中圧燃焼試験 NOx<10ppm (@16%O ₂)		高圧・実寸 NOx<10ppm(@定格負荷) 燃焼効率η a) η>99.0%(@運用負荷) b) η>99.9%(@定格負荷)

2. IGCC用燃焼器の燃焼方式と課題に対する対応

1. 研究の背景および目的
2. IGCC用燃焼器の燃焼方式と課題に対する対応
3. 実施項目の詳細および成果
4. 今後の展開

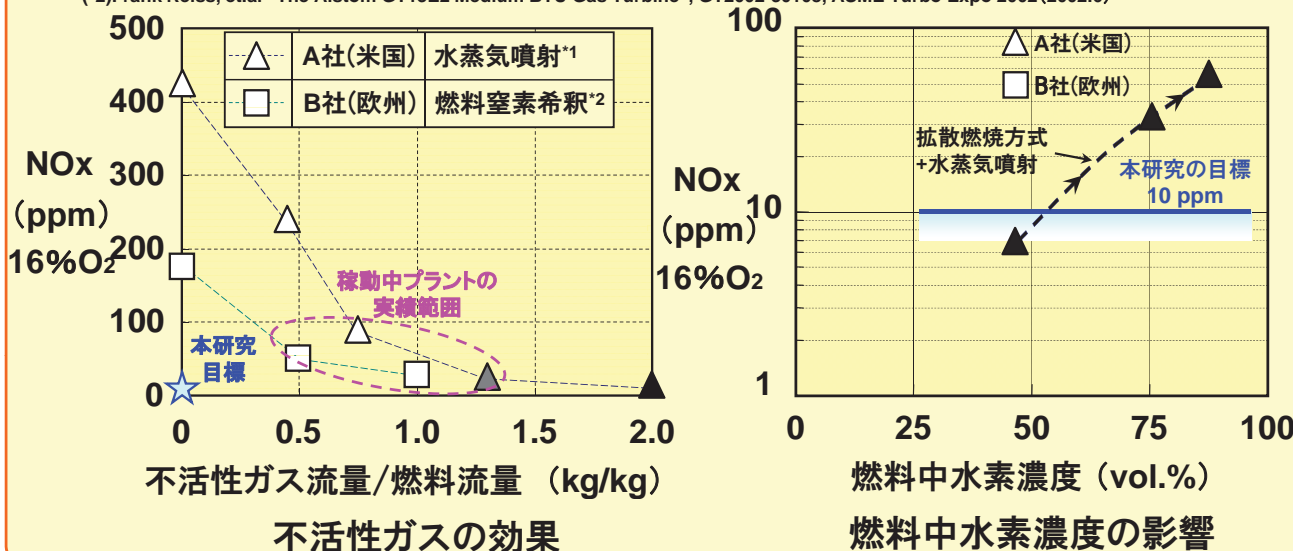
- 予混合燃焼器は低NOxであるが、逆火の危険性あり
- 拡散燃焼器はNOxが高いため、不活性ガスを噴射しNOx低減
しかし、不活性ガスの使用によりプラント効率が低下



2-2. 本研究の目標設定

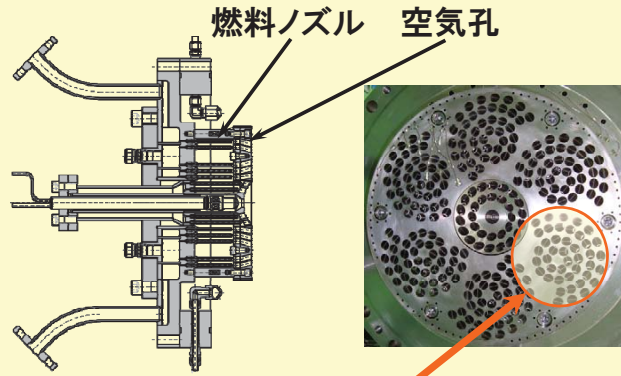
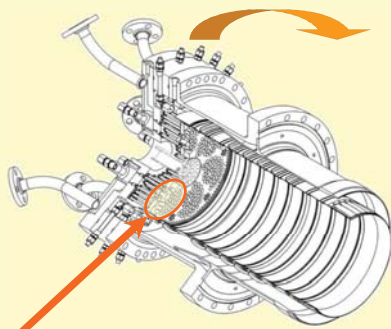
- 拡散燃焼方式(不活性ガス(窒素, 水蒸気)の噴射あり)では、燃料中の水素濃度の増加に伴い、NOxが急増
- CCS 0%~90%で幅広く変化する水素濃度に対して、不活性ガス無しで目標NOx < 10ppmは世界最高水準の革新的低NOx技術

出典: (*1)R.A.Battista, et.al "Coal Gas Combustion Studies for IGCC Power Plants", 12th Conference on Coal Gasification Power Plants (1993.10)
(*2)Frank Reiss, et.al "The Alstom GT13E2 Medium BTU Gas Turbine", GT2002-30108, ASME Turbo Expo 2002 (2002.6)



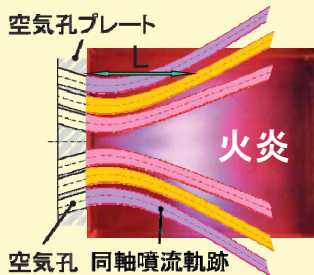
■ クラスタバーナによる分散希薄燃焼で低NO_xと耐逆火性を両立

■ マルチクラスタ燃焼器



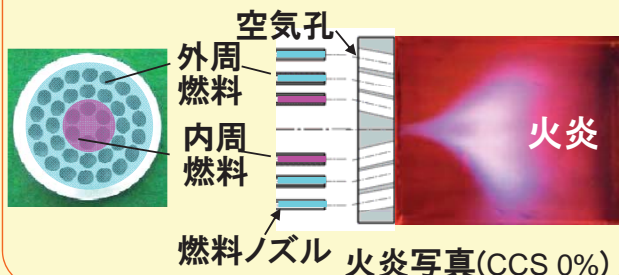
・ 浮上火炎を形成して、火炎付着を防止

空気孔プレート



- ・ 旋回角により旋回流を調整することで、浮上火炎を形成
- ・ バーナ構造物と火炎との距離Lを確保して希薄燃焼を実現

・ 内外周燃料比率制御で組成変化に対応



3. 実施項目の詳細および成果

1. 研究の背景および目的
2. IGCC用燃焼器の燃焼方式と課題に対する対応
3. 実施項目の詳細および成果
4. 今後の展開

■実寸マルチクラスタ燃焼器

項目	目標	成果	達成度
NOx (定格負荷)	NOx < 10ppm	①小型燃焼器(H-25相当) NOx < 10ppm(CCS 0%~90%) ②大型燃焼器(H-80相当) NOx < 10ppm(CCS 0%)	○ △* → ○
燃焼効率 η (定格負荷)	η > 99.9%	η > 99.99%	◎
燃焼効率 η (運用負荷)	η > 99.0%	η > 99.5%	◎
燃焼振動	設計管理値以下	設計管理値を下回った	◎
メタル温度	設計管理値以下	設計管理値を下回った	◎

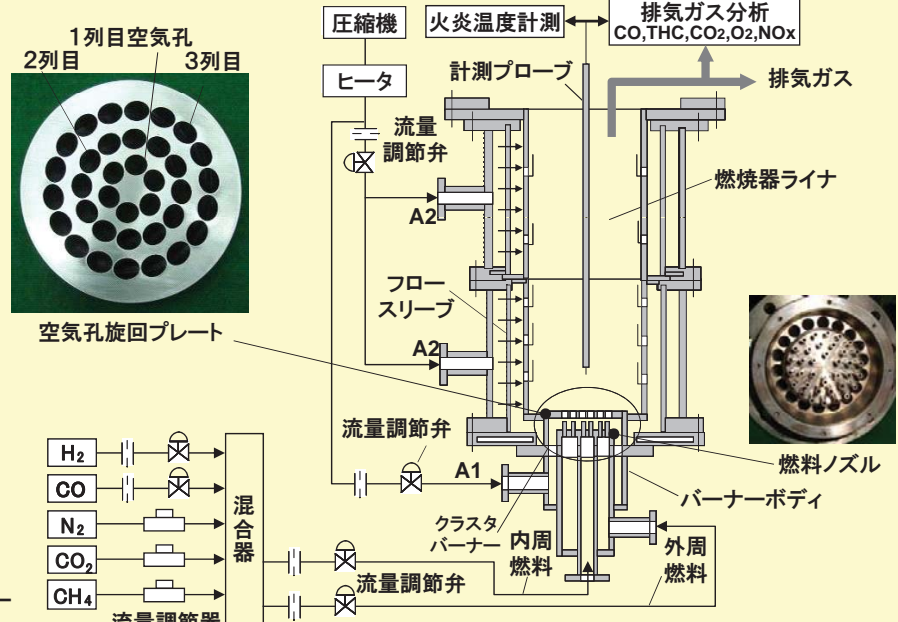
※NOx目標値10ppmは達成には今後最適化が必要で継続研究で達成見込み。
現状でも従来技術に比べ低いNOxを達成でき、実用化可能な技術レベル。

3-1-1. 大気圧要素試験装置の目的・成果まとめ

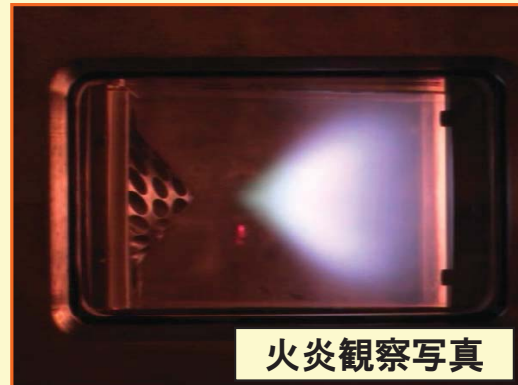
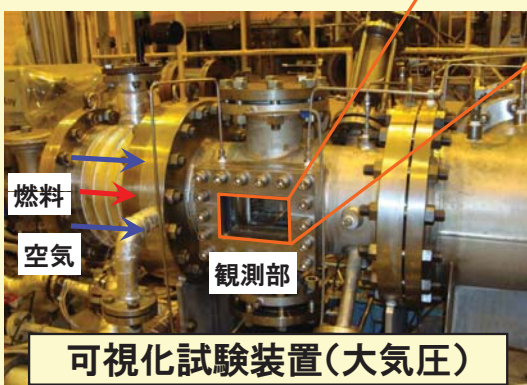
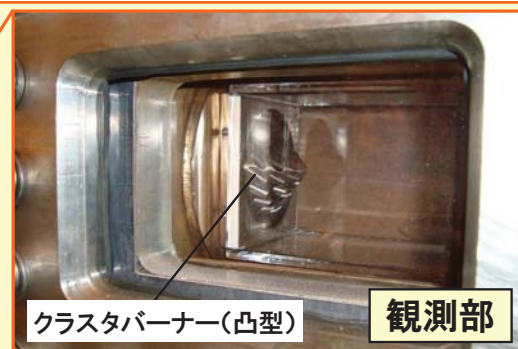
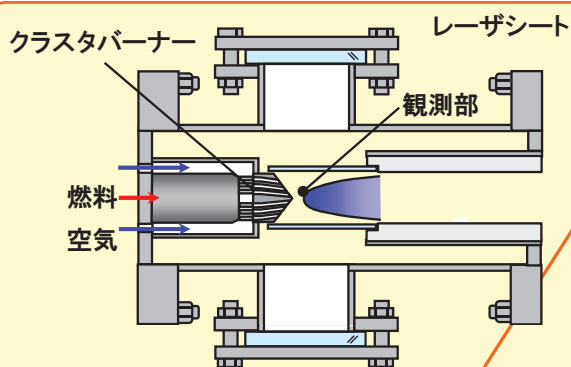
目的	試験装置	成果
バーナ構造最適化	縦型装置	空気孔旋回プレートの旋回角, 形状, 燃料ノズル噴孔径をパラメータに最適構造を抽出
試験用燃料の妥当性の検証	縦型装置	・燃料比率の計画点付近では, 試験用燃料は実ガスのNOxを良く再現 ・計画点以下の比率では, 試験用燃料は実ガスのNOxを過小評価
	燃焼速度計測装置	試験用燃料は実ガスの燃焼速度を良く再現
燃焼振動現象の把握と抑制策の立案	可視化装置	・燃料比率に対する火炎挙動の変化を確認 ・振動抑制策の知見を獲得
	縦型装置(分布計測)	・火炎内の変動圧分布を取得 ・火炎内で2つの周波数の存在を確認

■ クラスタバーナ構造の最適化, 試験用燃料の妥当性の検証

- ・空気孔旋回プレートの旋回角, 形状, ノズル噴孔径をパラメータに構造最適化
- ・試験用燃料と実機想定燃料の燃焼特性を比較し, 試験用燃料の妥当性を検証

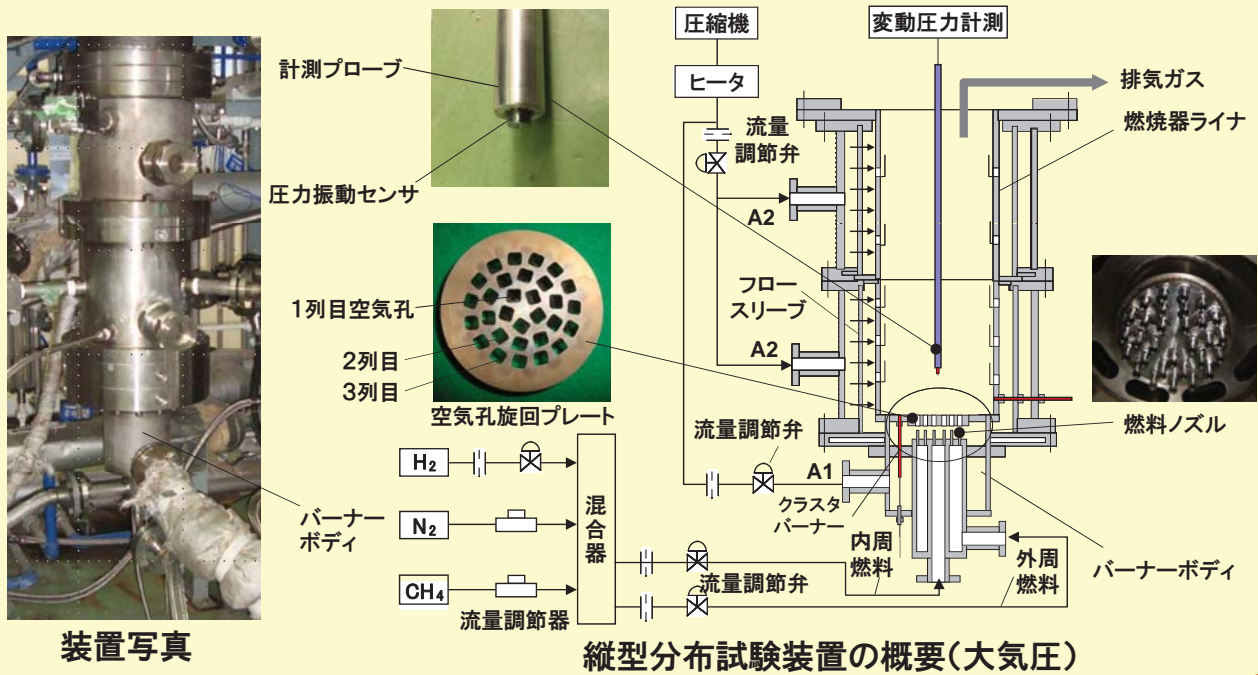


■ 火炎の可視化し, バーナ構造, 試験条件による火炎挙動の変化を検討



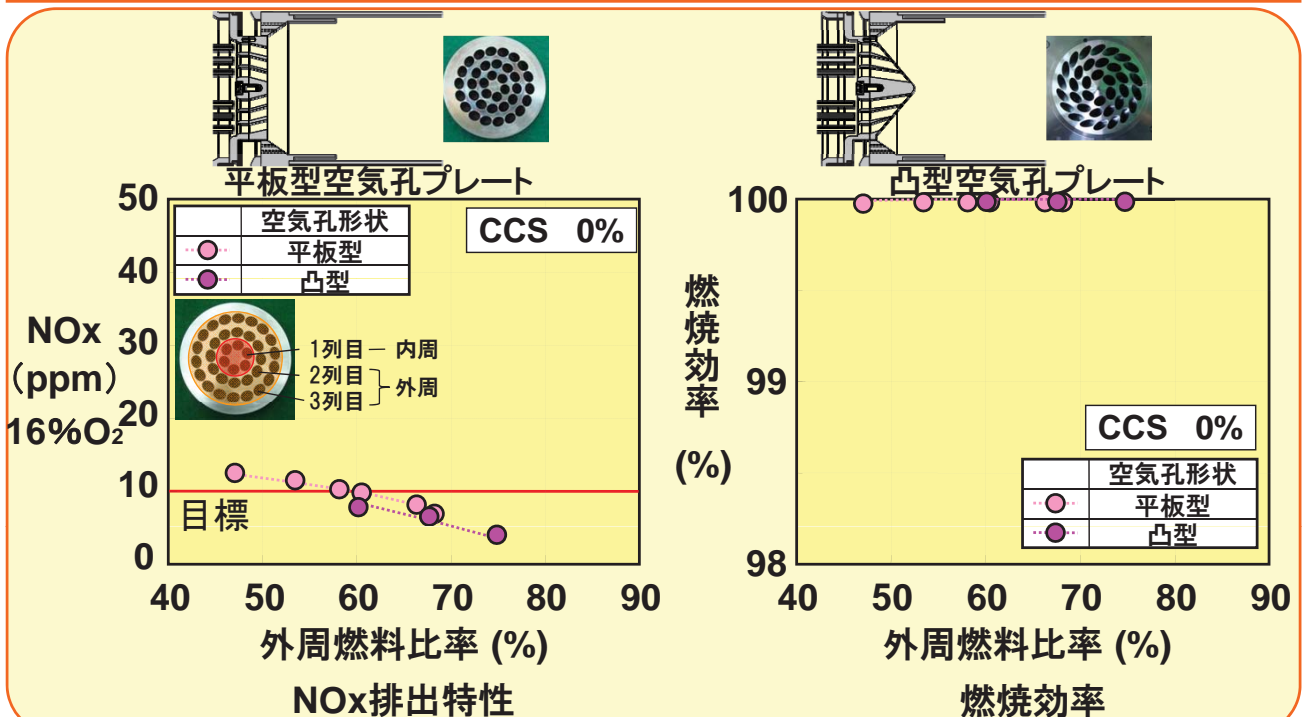
■変動圧力の空間分布を計測

・高耐熱圧力センサを軸方向, 径方向に走査し, 燃焼室内の変動圧分布を計測

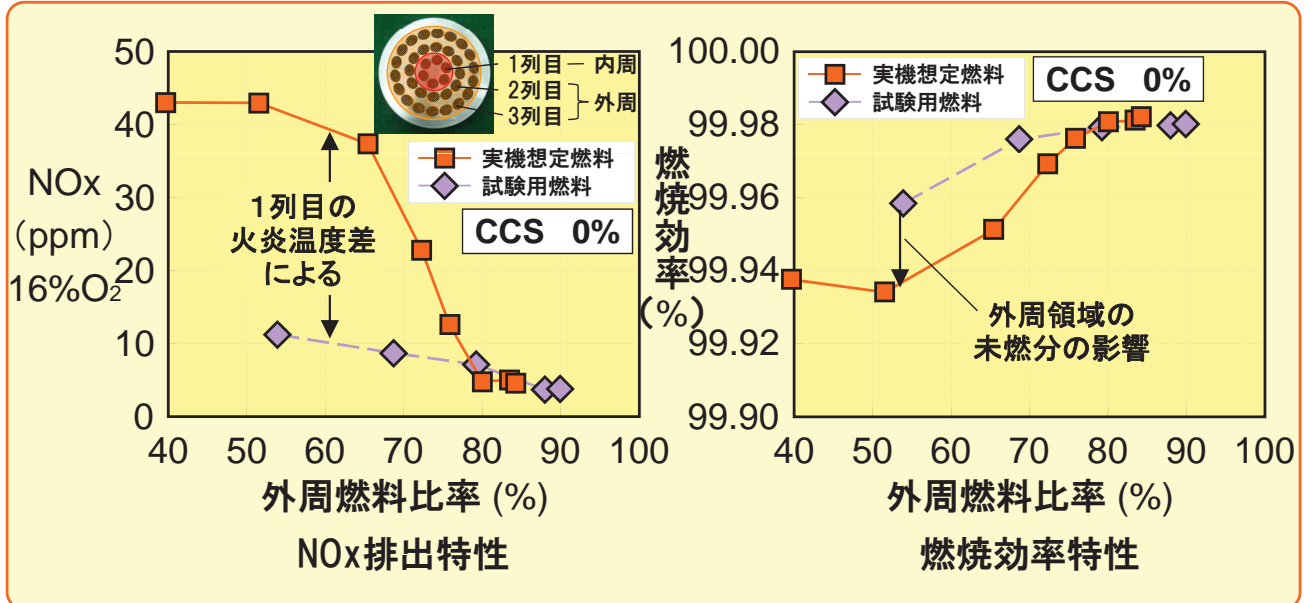


3-1-5. 構造最適化の成果(空気孔プレート形状)

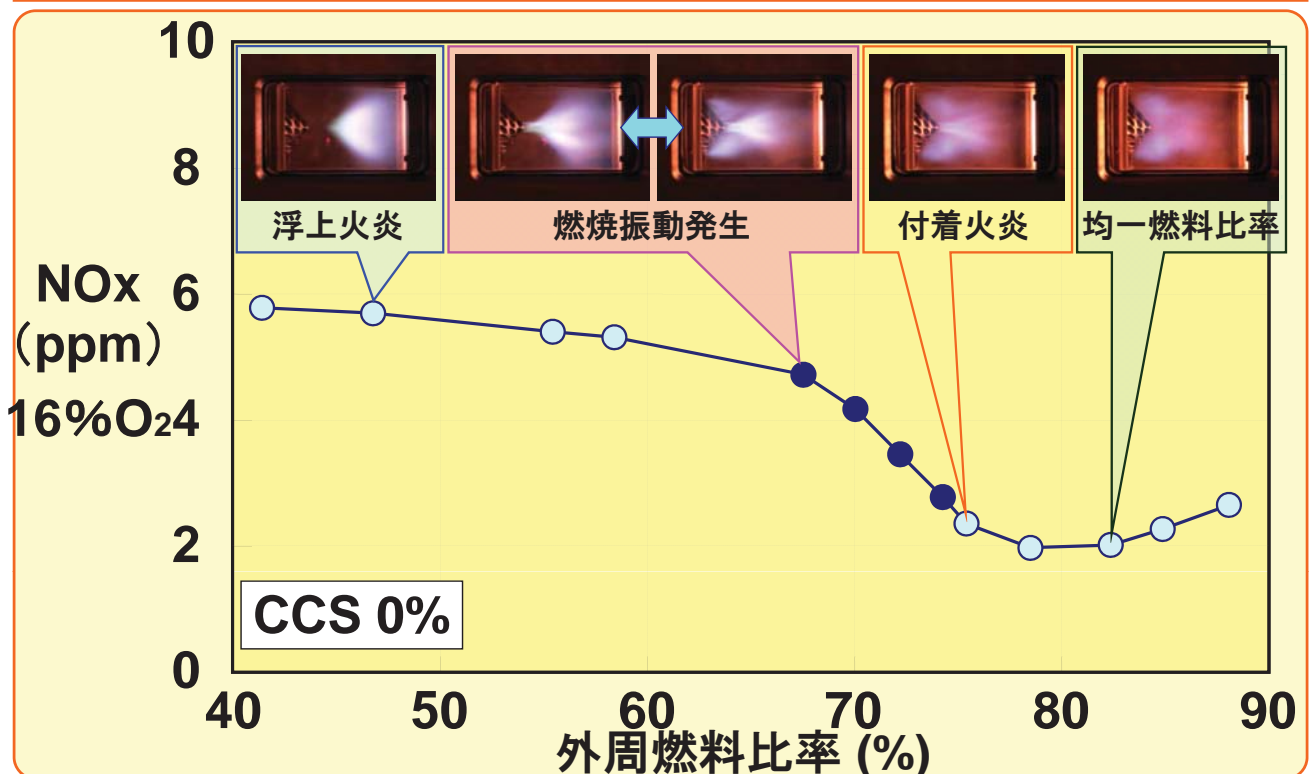
■凸型空気孔プレート形状により, プレートへの火炎付着を防止して, 安定燃焼範囲を拡大でき, 低NOx燃焼を実現



- 外周燃料比率80%以上では試験用燃料は, NOx排出特性および燃焼効率特性ともに, 実機想定燃料の挙動を良く再現
- 外周燃料比率が80%を下回る条件では, 試験用燃料は実機想定燃料のNOxを過小評価, 燃焼効率を過大評価

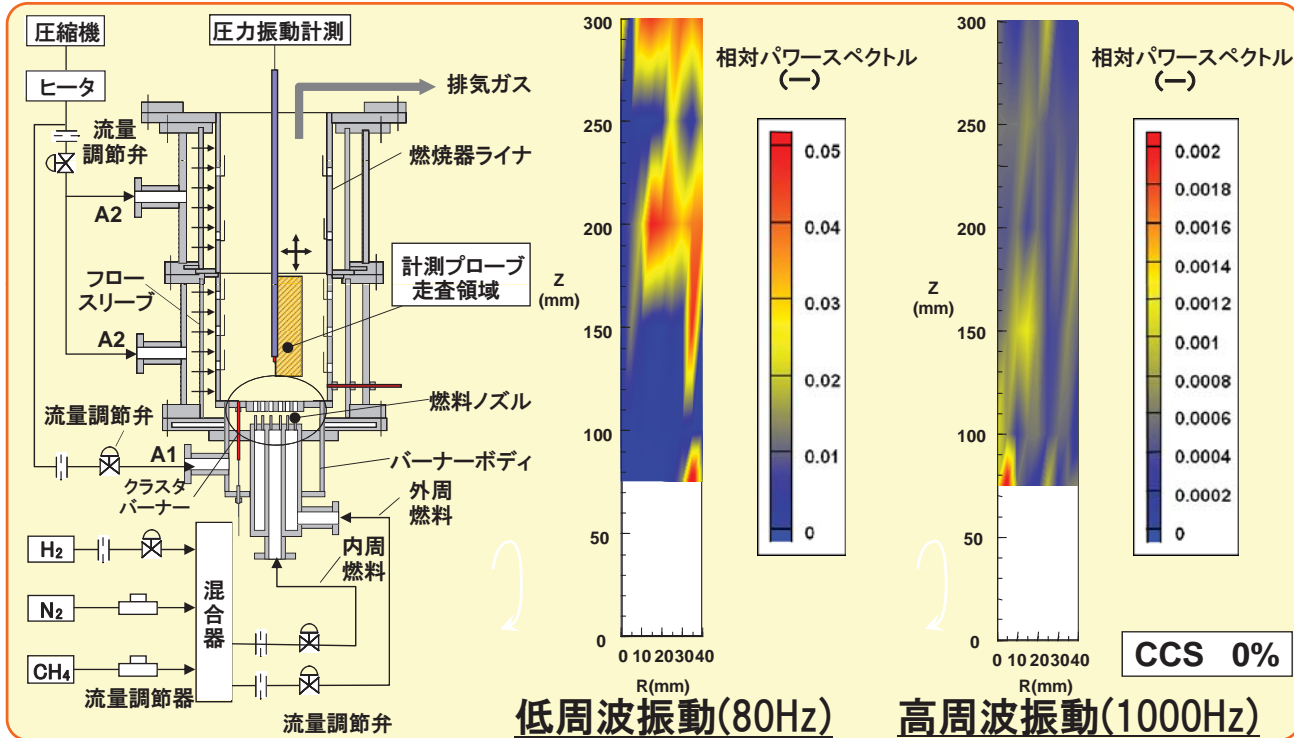


- 外周燃料比率58%~74%の条件で燃焼振動が発生



■ 火炎内の変動圧力分布を取得

■ 低周波(80Hz), 高周波(1000Hz)を基本周波数とする変動圧分布を確認



項目	小型燃焼器	大型燃焼器
バーナ写真		
バーナ構成	<ul style="list-style-type: none"> 中央: 油噴霧ノズル 中央: パイロットバーナ1個 外周: メインバーナ6個 	同左
燃料系統数	油: 1系統, ガス: 5系統	同左
対象ガスタービン	①H-14(14MW級) ②H-25(25MW級)	H-80(80MW級)
燃焼器缶数	①6 ②10	10
備考	本燃焼器6缶をEAGLE実機GTに設置し試験実施	—

3-2-2. 実寸燃焼器試験装置の目的・成果まとめ

公開

HITACHI
Inspire the Next

試験装置	目的	成果
中圧試験装置 (0.6 MPa)	<ul style="list-style-type: none"> 最適構造の性能確認 構造信頼性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 凸型プレートでNOx<10ppmに目途 燃焼器運転方法の指針を獲得 高圧条件への展開の指針を獲得
高圧試験装置 (1.0 MPa)	<ul style="list-style-type: none"> 実機への展開を踏まえた燃焼性能の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ドライ低NOx燃焼を実現 高信頼性の性能を実現
EAGLE	<ul style="list-style-type: none"> 実ガス, 実GTでの性能検証 試験用燃料の妥当性検証 多缶の影響の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 起動から最大負荷まで安定, 高信頼性の運転を実現 計画点付近で試験用燃料は実ガスのNOxを再現(大気圧試験での挙動と一致)。最大負荷にてドライシングルNOx達成。 多缶偏差の影響なし

3-2-3. 実寸マルチクラスタ燃焼器の成果まとめ

公開

HITACHI
Inspire the Next

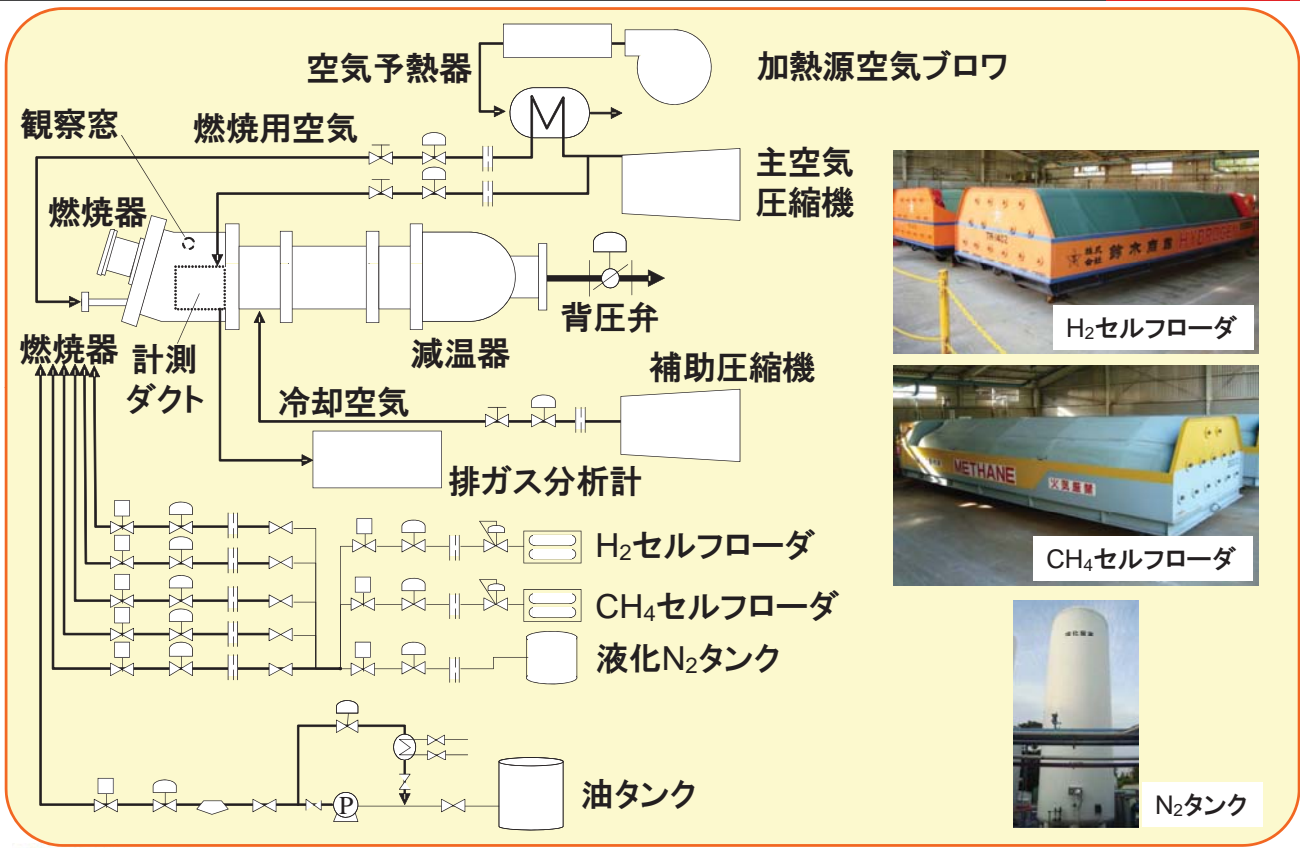
試験	社内単缶								EAGLE多缶	総合評価
	小型(H-14, H-25 GT用)				大型(H-80 GT用)				小型	
	試験用燃料				試験用燃料				実ガス	
燃焼器	CCS 0%	CCS 30%	CCS 50%	CCS 90%	CCS 0%	CCS 30%	CCS 50%	CCS 90%		
NOx	◎	◎	◎	○	◎	△	△	△	◎	○
燃焼効率	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
燃焼振動	◎	△	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎
メタル温度	◎	◎	◎	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎

(◎ 大幅達成, ○ 達成, △ 達成見込み, × 未達)

3-2-4. 実寸大燃焼器試験設備の概要



HITACHI
Inspire the Next



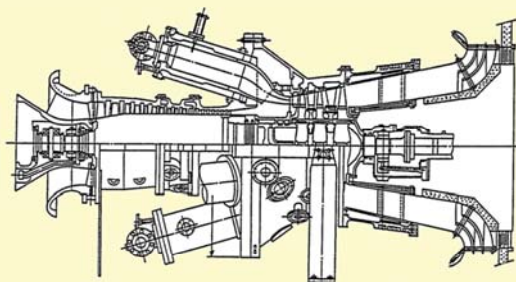
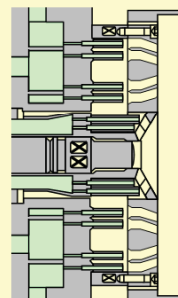
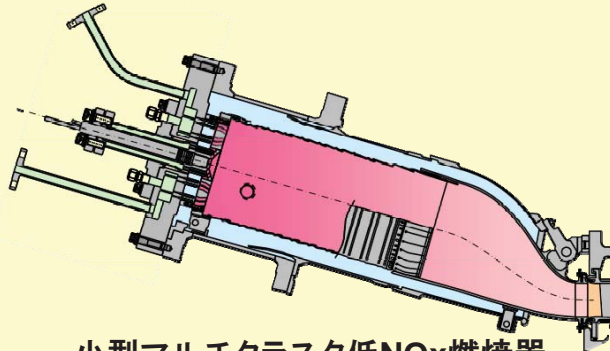
3-2-5. 小型マルチクラスタ燃焼器(EAGLE)の開発



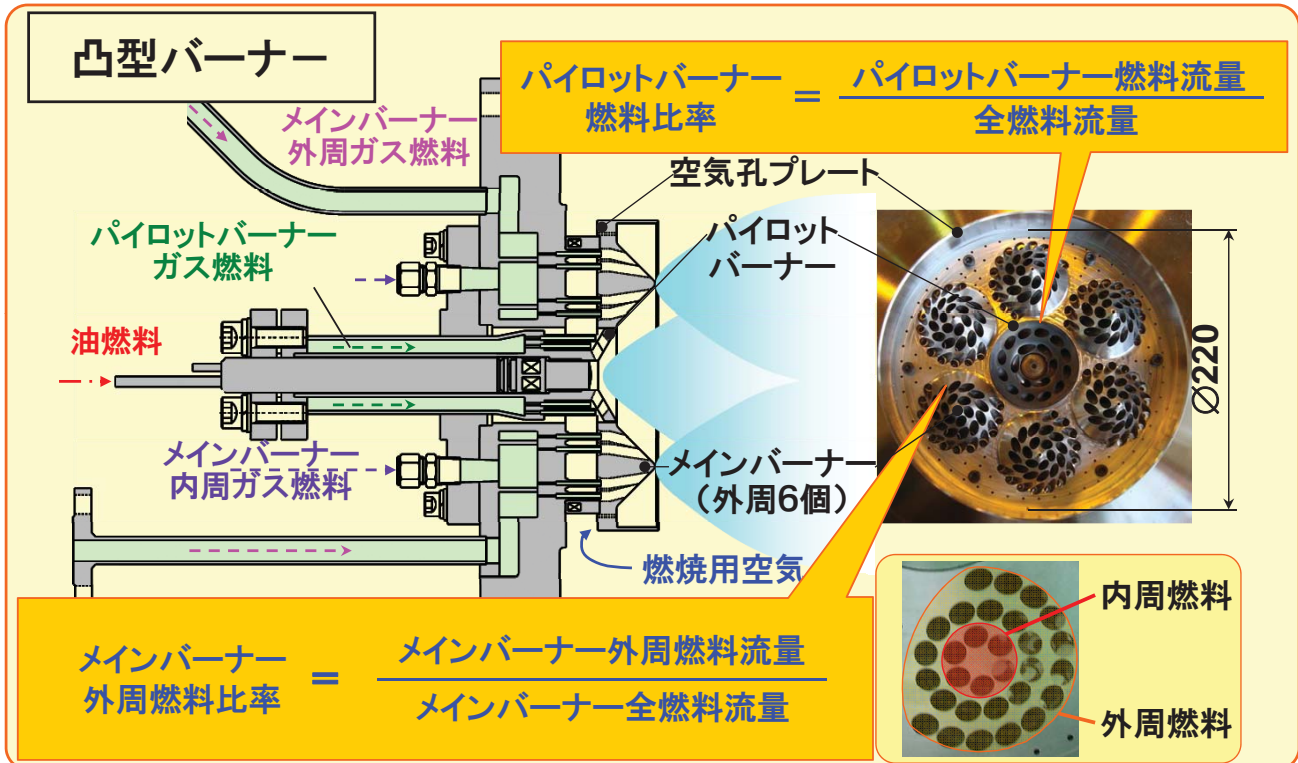
HITACHI
Inspire the Next

■実寸燃焼器により低NOx燃焼性能, 起動・部分負荷運用を検討

・評価項目: NOx, 燃焼効率, 燃焼振動, 各部メタル温度, 火炎観察

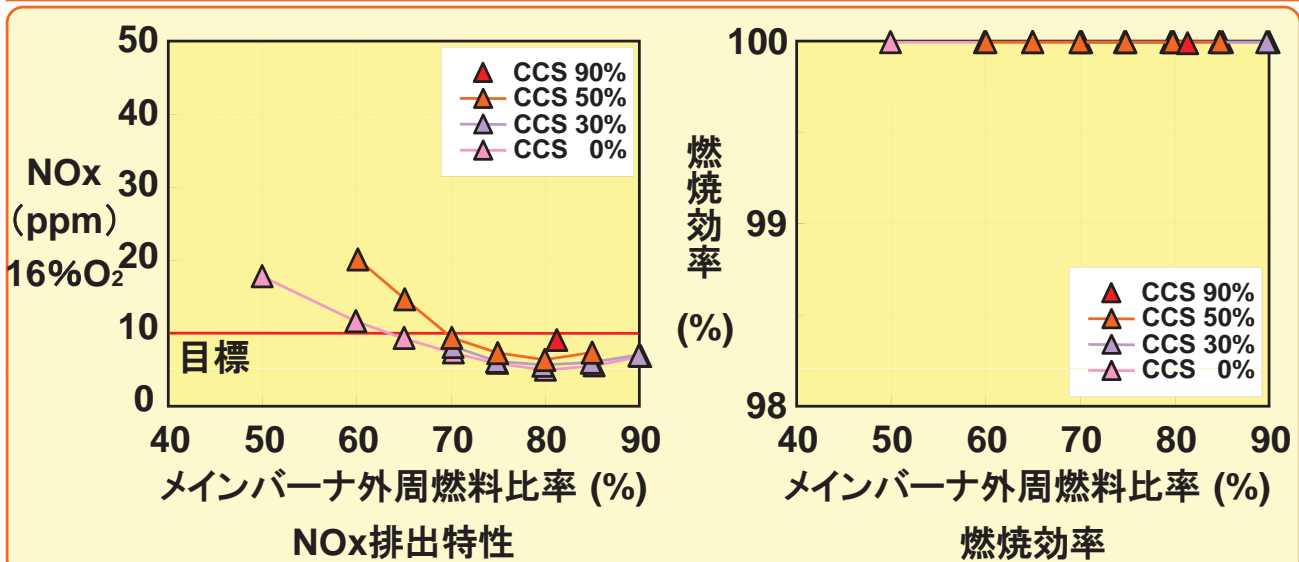


■バーナの燃料配分をパラメータに中圧条件(0.6MPa)にて試験

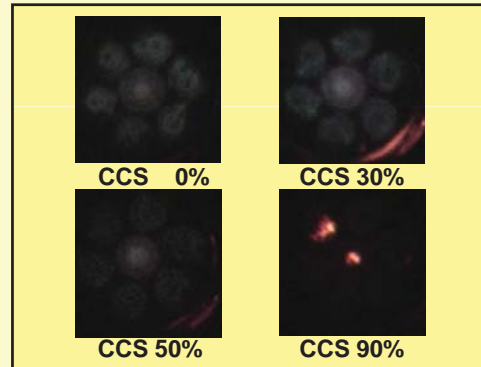
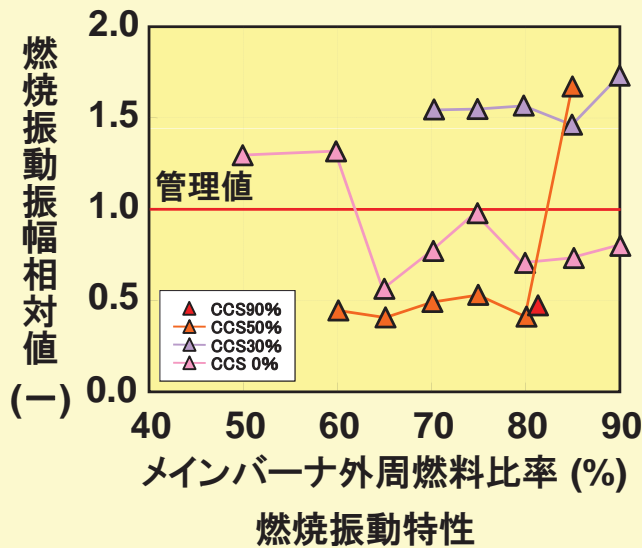


3-2-7. 小型マルチクラスタ燃焼器定格負荷特性①

- CCS 0%, 30%, 50%, 90%燃料におけるNO_x排出濃度は、5.4ppm, 5.8ppm, 6.5ppm, 9.2ppmであり、目標10ppmを達成
- 燃焼効率は99.99%以上であり、完全燃焼を確認
- CCS 0%~90%の水素含有燃料に対し、同一バーナー構造で逆火なく燃焼できることを確認



- 振動振幅が管理値を超える場合があり, 振動特性の改善が必要
- CCS 90%では, 空気孔プレートの一部にホットスポットが発生
- 大型燃焼器への展開には, 燃焼振動, メタル温度の信頼性も重視

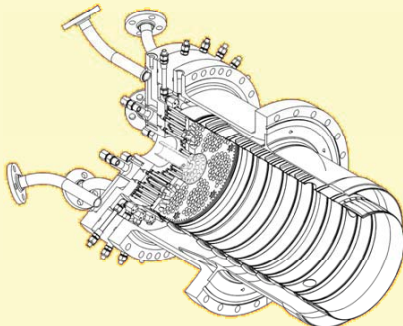


火炎監視画像

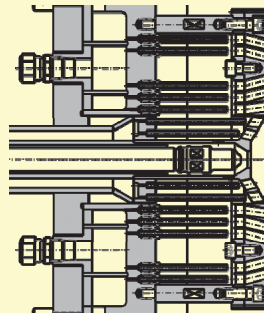
3-2-9. 大型マルチクラスタ燃焼器の開発

- 実寸燃焼器により低NOx燃焼性能, 起動・部分負荷運用を検討

・評価項目: NOx, 燃焼効率, 燃焼振動, 各部メタル温度, 火炎観察



大型マルチクラスタ低NOx燃焼器



マルチクラスタバーナ

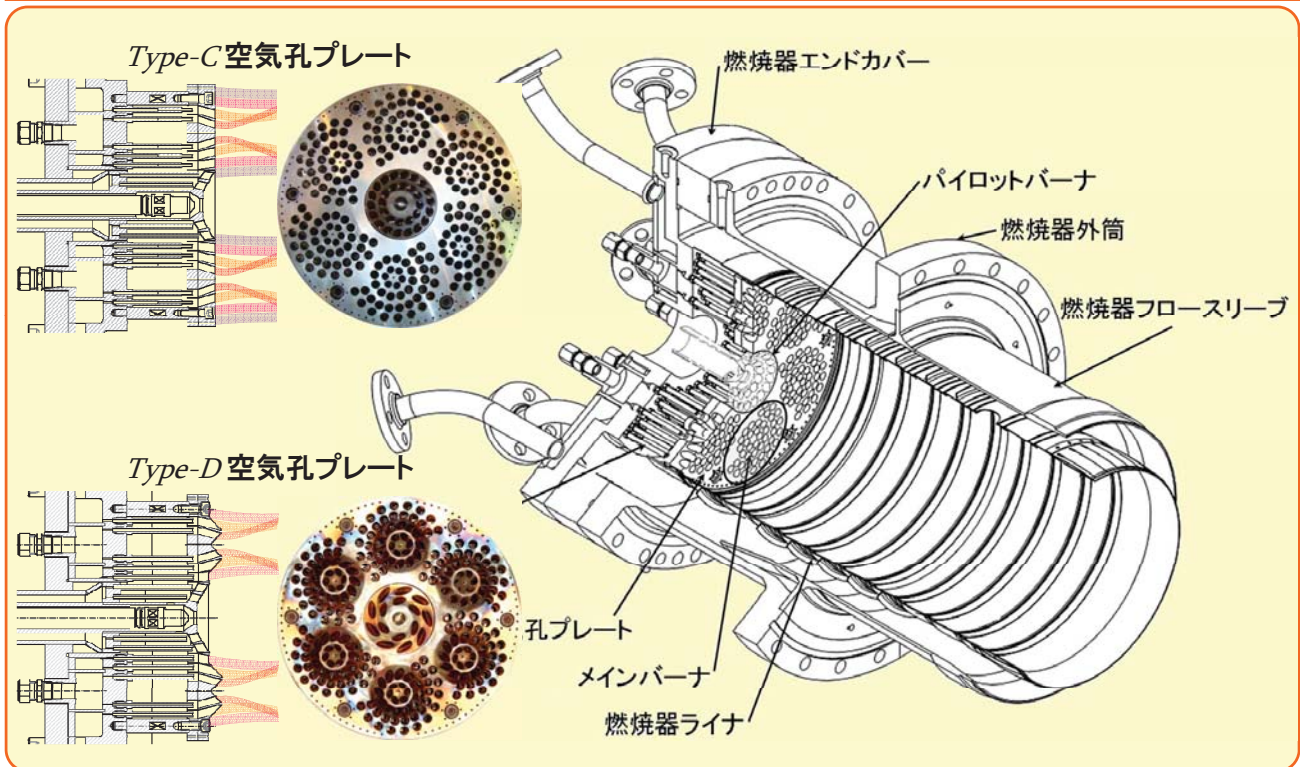


ガスタービン



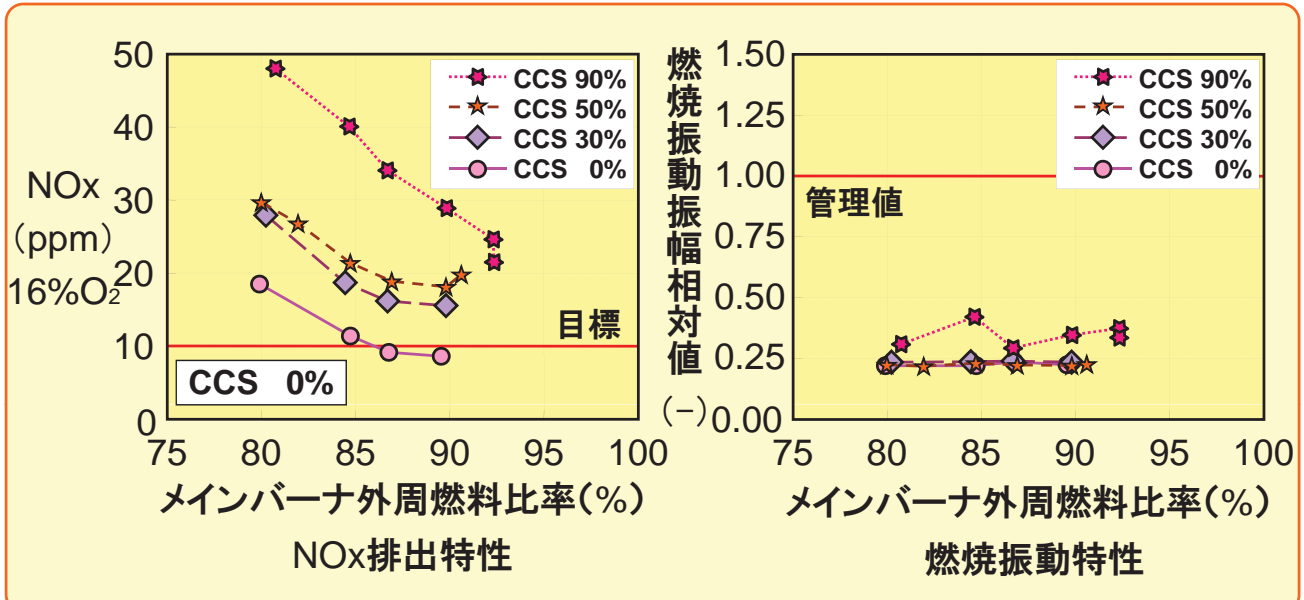
高圧試験装置

■プレートの三次元形状化(Type-D):火炎付着・燃焼振動の防止, 低NOx化

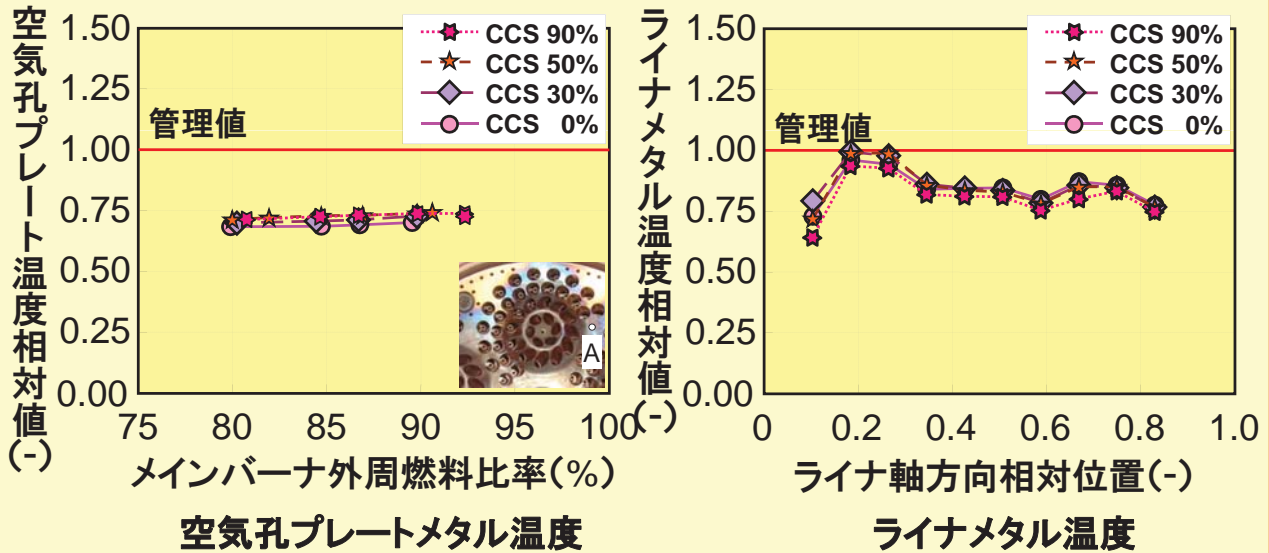


3-2-11. 大型マルチクラスタ燃焼器定格負荷特性①

- CCS 0%, 30%, 50%, 90%燃料におけるNOx排出濃度は、8.6ppm, 15.6ppm, 18.1ppm, 21.6ppm。
CCS 0%で目標10ppm達成。CCS 30%以上で10ppm超え。
- 燃焼振動振幅は管理値より十分低く, 安定燃焼を実現

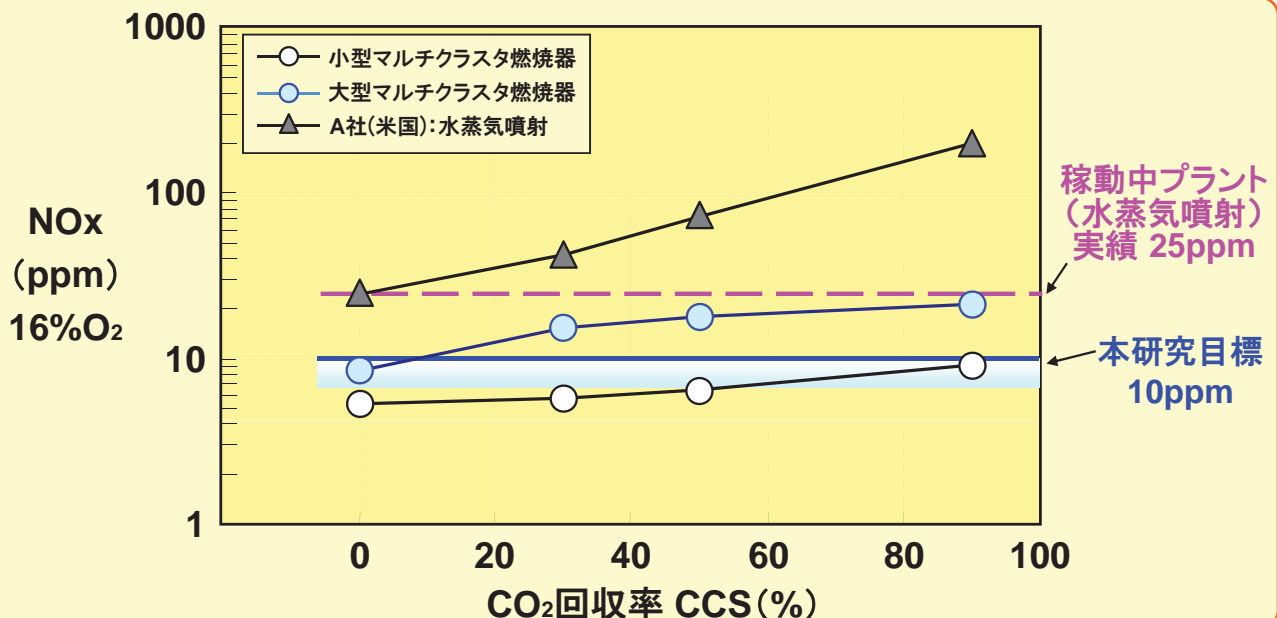


- 空気孔プレート温度は、管理値より十分低く、火炎の接近を防止し安定な浮上火炎を実現
- 燃焼器ライナ上流部の高温領域に対し、冷却を強化しライナメタル温度についても管理値未満

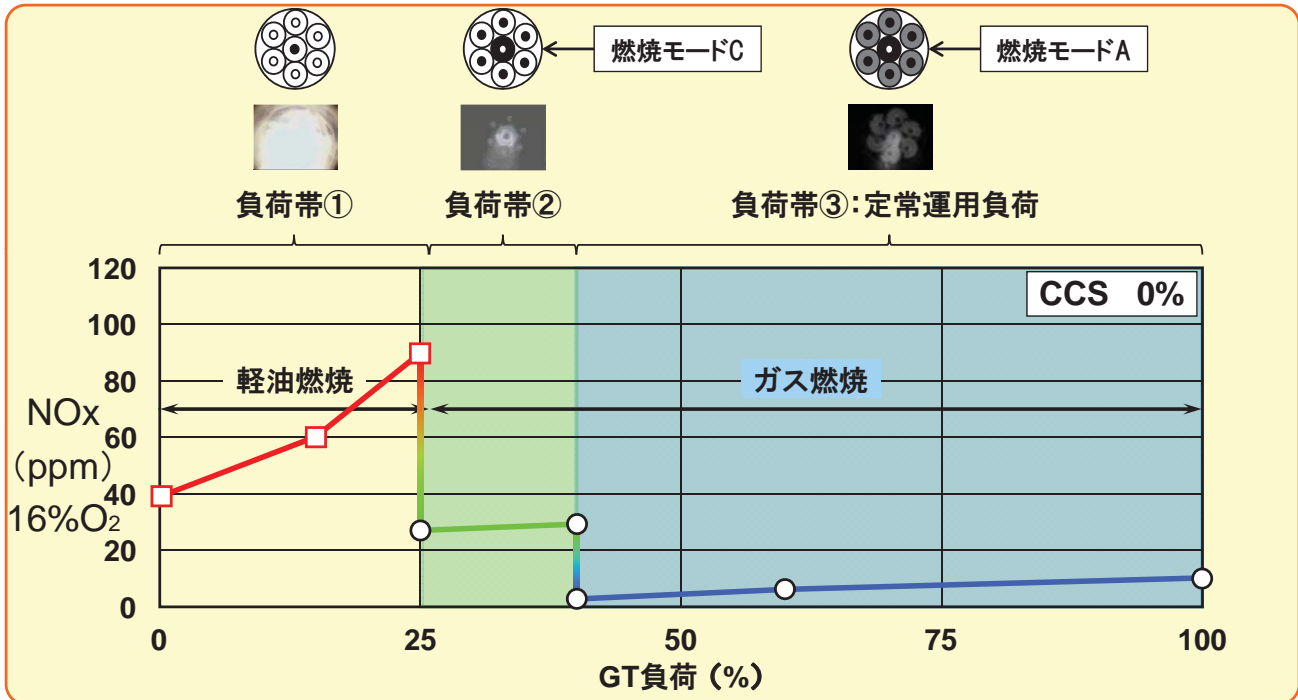


3-2-13. 実寸燃焼器の成果まとめ(定格負荷条件)

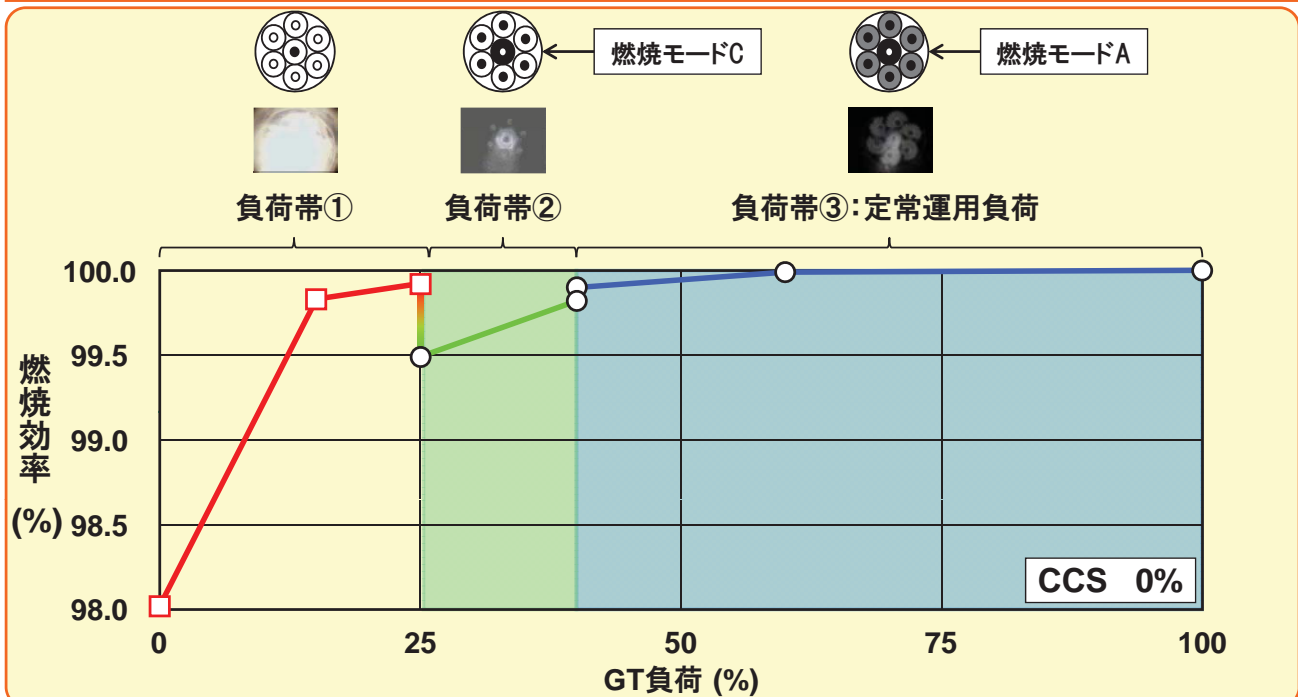
- 小型燃焼器: CCS 0%~90%に対し、目標NOx10ppm達成
- 大型燃焼器: 水蒸気噴射で稼働中のプラントと同等のNOxをドライで達成
 - ・本技術のIGCC実証機への適用を予定
 - ・CCS30%~に対して更なる低NOxを目指し、大型燃焼器の研究継続中



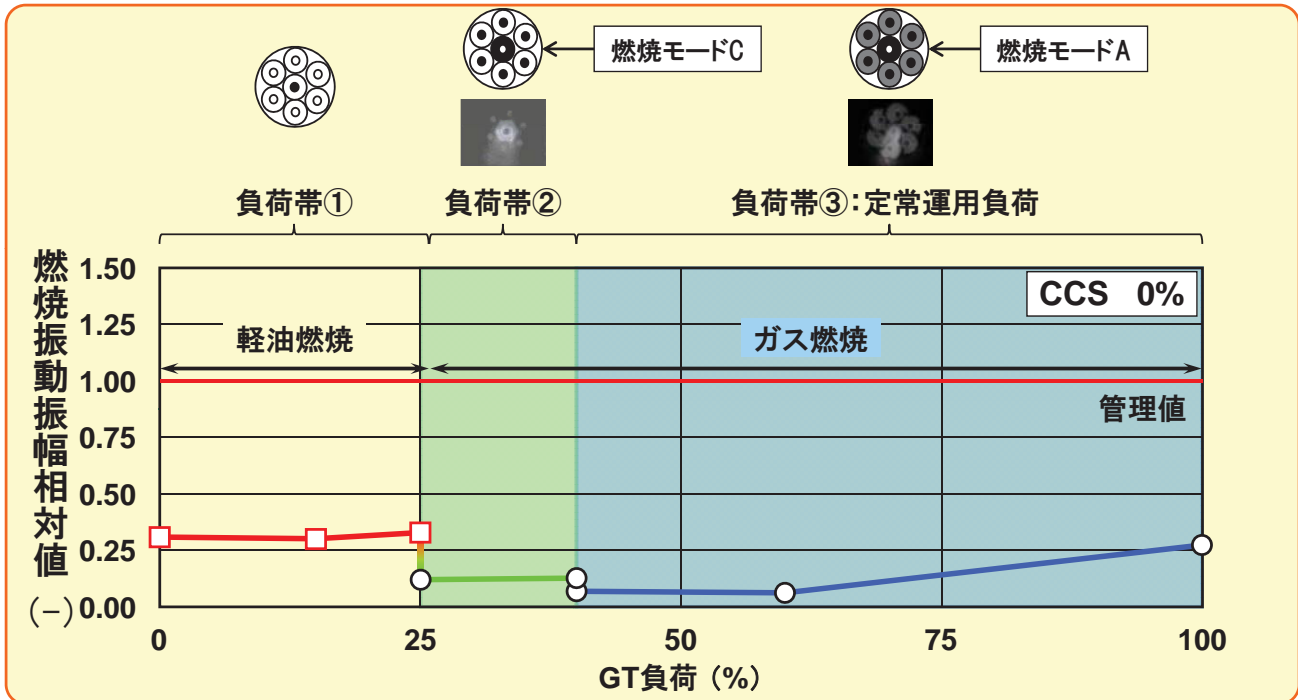
■ガス焚き運転への切替え後は、NOx排出量が低下し全バーナに着火した40%負荷以降は、広範囲で低NOx燃焼を実現



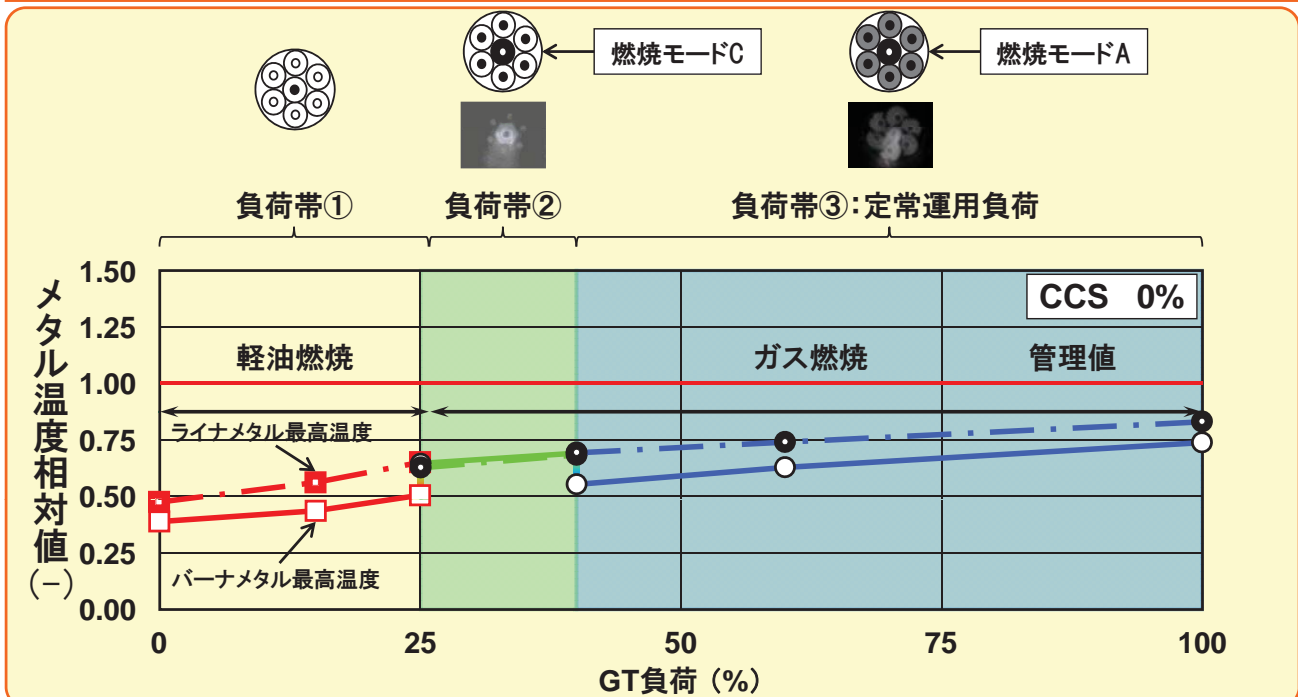
■ガス焚き運転への切替え後は、燃焼効率は99.5%を超えており、広範囲で安定性の良好な低NOx燃焼を実現



■ ガス焼き部分負荷の燃焼振動振幅は管理値に比較して十分低く、安定な燃焼を確認



■ ガス焼き部分負荷においても、燃焼器ライナおよびバーナメタルの温度は、管理値に比較して十分低く、冷却性能は良好



動機

■実寸大燃焼器試験の制約

- ・大容量の一酸化炭素の輸送・購入が不可能
(平成8年改正 道路交通法規定による)

■対策

- ・水素(H₂), メタン(CH₄), 窒素(N₂)の3成分からなる試験用燃料で模擬
- ・大気圧要素燃焼試験で実機想定燃料と特性を比較確認

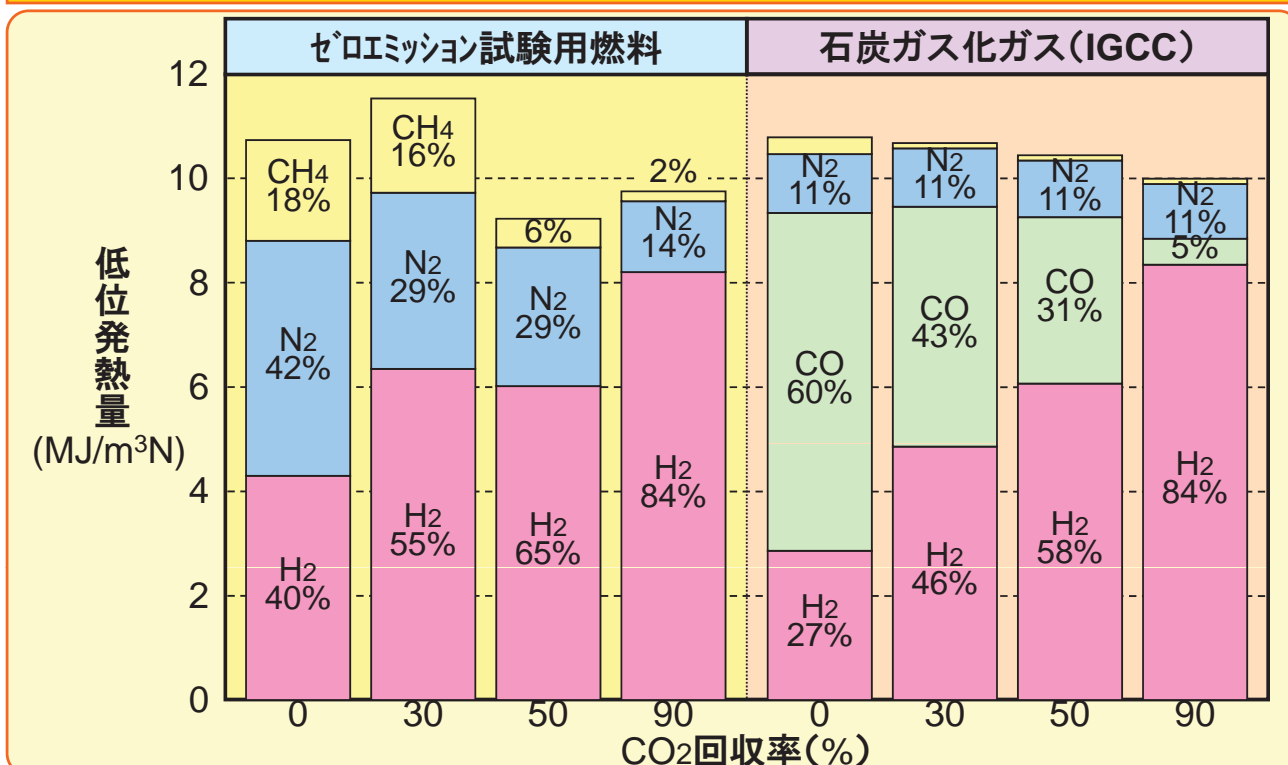
■実ガス多缶燃焼試験の必要性

- ・実際のCOを含む石炭ガス化ガスの高圧燃焼条件における検討
 - ・実ガスタービンにおける多缶同時燃焼の影響の評価
- ⇒実用化に移行する上で、単缶燃焼試験では取得不可能な情報

目的

- 酸素吹きIGCCプラントにおける、一酸化炭素含有燃料を使用したドライ低NO_x燃焼器の多缶高圧燃焼特性の把握と検討

■水素、メタン、窒素の3成分の試験用燃料により燃焼試験を実施



■ EAGLEの石炭ガス化ガスはCCS 0%実機想定燃料とほぼ同等

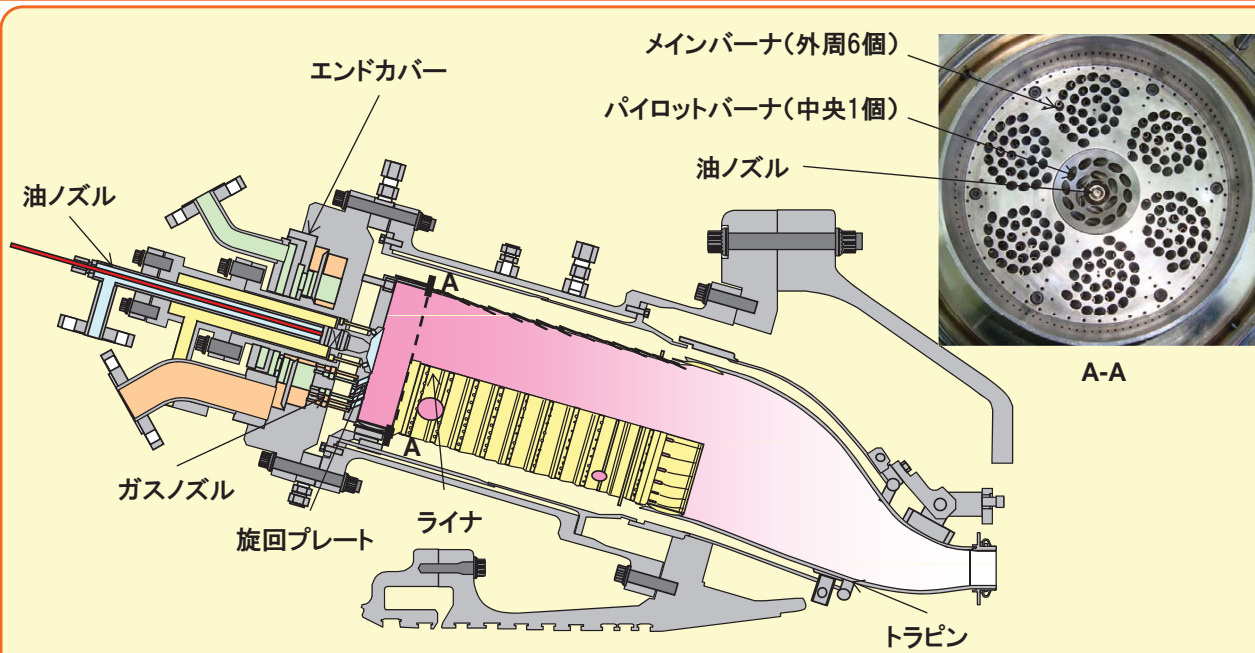
石炭処理量	150 t/日
ガス化炉圧力	2.5 MPa
空気分離設備	加圧深冷分離
酸素容量・純度	4,600m ³ _N /h 95Vol%
生成ガス流量	14,800m ³ _N /h
ガス精製装置	MDEA※湿式脱硫
S分回収	石灰石・石こう法
GT発電機出力	8,000kW

EAGLE 燃料組成例



No.	項目	成果
1	実ガス, 実GTでの燃焼器性能の検証	起動から最大負荷まで安定, 高信頼性の運転を実現
2	試験用燃料の妥当性の検証	<ul style="list-style-type: none"> ・計画点付近で試験用燃料は実ガスのNO_xを再現(大気圧試験での挙動と一致) ・最大負荷にてNO_x<10ppmを達成し, ドライシングルNO_xを実現
3	多缶の影響の確認	多缶偏差の影響なし

■ EAGLE-GTをマルチクラスタ燃烧器に換装, 実ガスを用いて検討

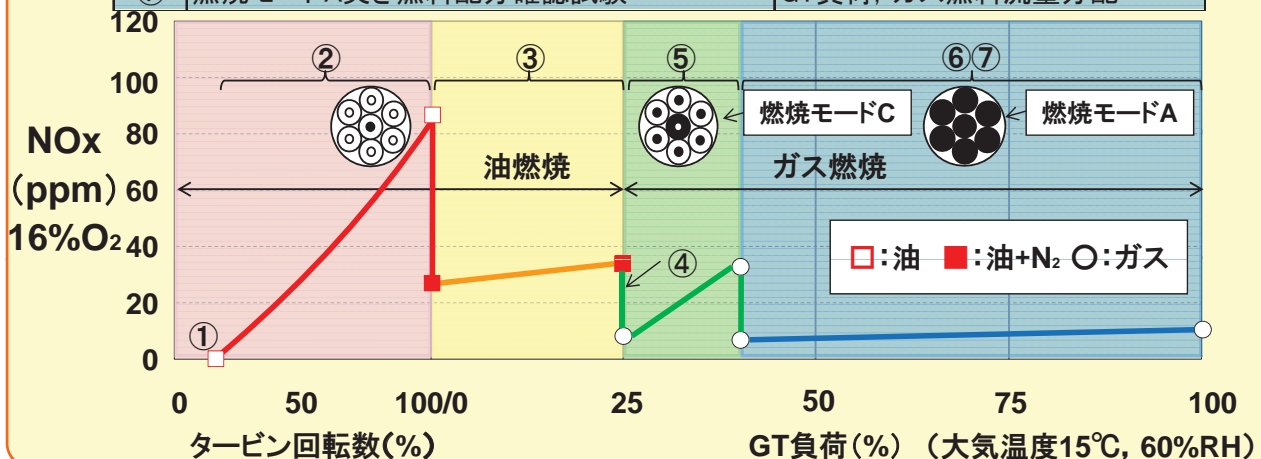


IGCCドライ低NOx燃烧器(マルチクラスタ燃烧器)概略図

3-3-6. EAGLE実ガス多缶燃烧試験の内容

■ ガスタービンの各運転状態において、下記項目の試験により特性を確認する。

項目	試験内容	試験パラメータ
①	着火特性、火炎伝播特性確認試験	着火GT回転数, 着火燃料流量
②	ガスタービン起動特性確認試験	GT回転数に対する燃料流量
③	油焼き部分負荷特性確認試験	燃料流量, NOx低減用窒素噴射量
④	油⇄ガス切替特性確認試験	切替GT負荷, ガス燃料流量分配
⑤	燃烧モードC切替試験	切替GT負荷, ガス燃料流量分配
⑥	燃烧モードA焼き燃烧裕度確認試験	GT負荷, ガス燃料流量分配
⑦	燃烧モードA焼き燃料配分確認試験	GT負荷, ガス燃料流量分配

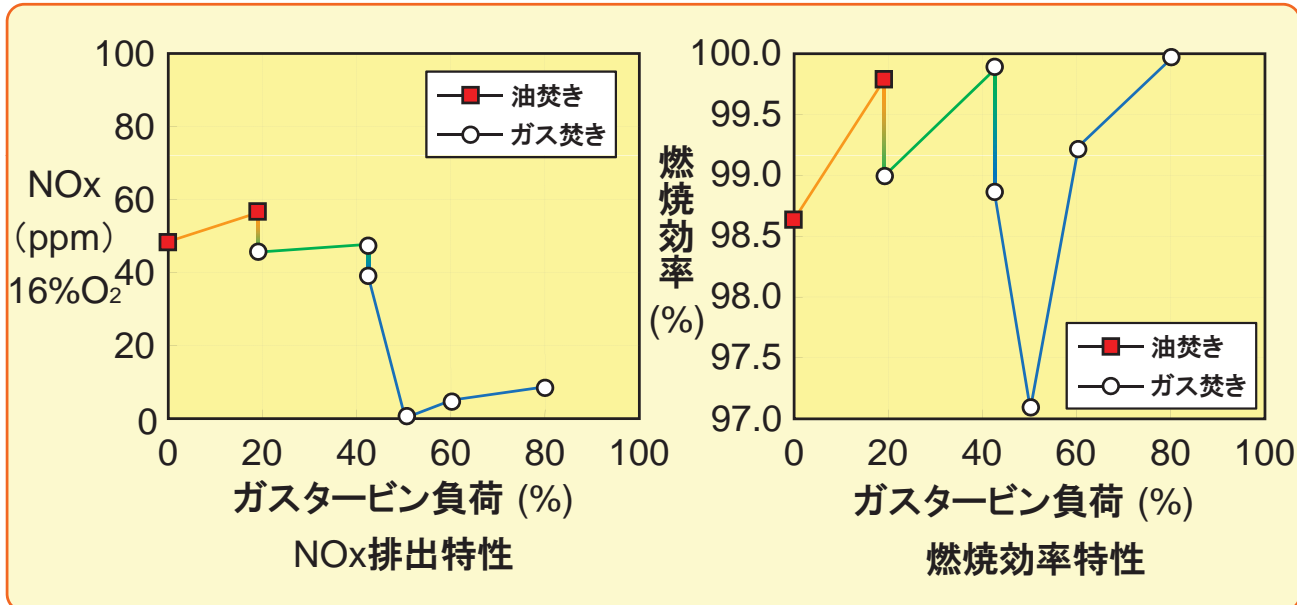


3-3-7. EAGLE試験での部分負荷特性①

公開

HITACHI
Inspire the Next

- 軽油焚き起動から、部分負荷を経てアダロ炭最大負荷(定格負荷)まで安定に燃焼でき、実ガス焚きに切替後はドライ低NOx燃焼。最大負荷にてNOx=8.5ppmのドライ・シングルNOxを達成。
- GT負荷60%以上で燃焼効率>99.3%を達成し、安定燃焼を実現

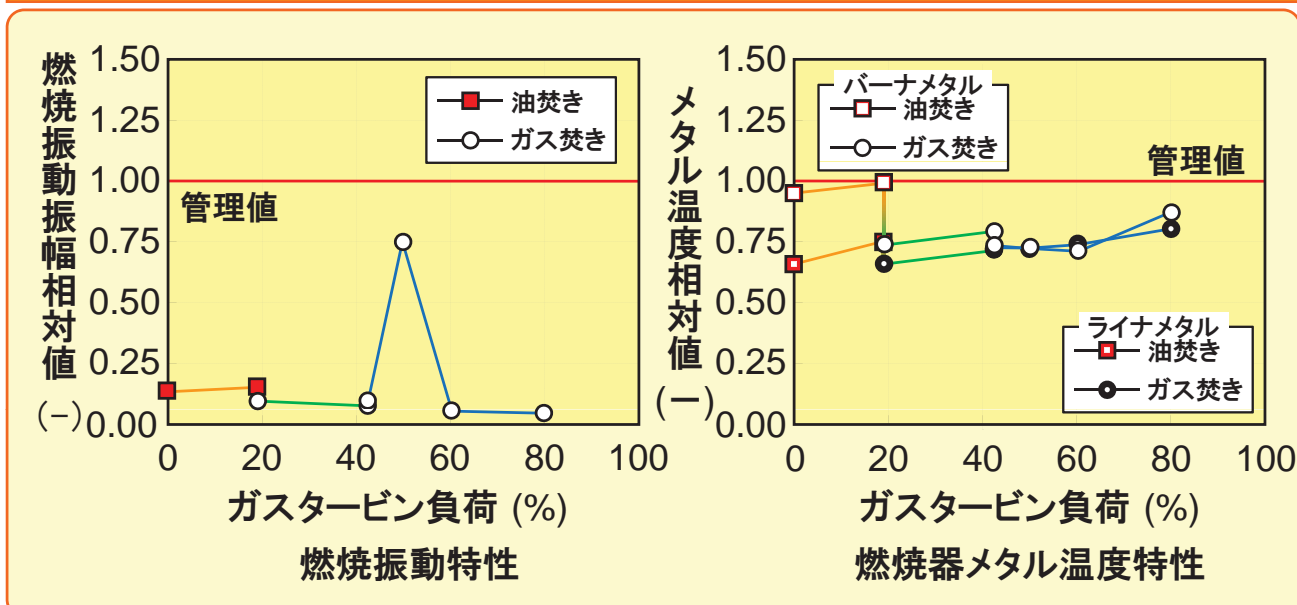


3-3-8. EAGLE試験での部分負荷特性②

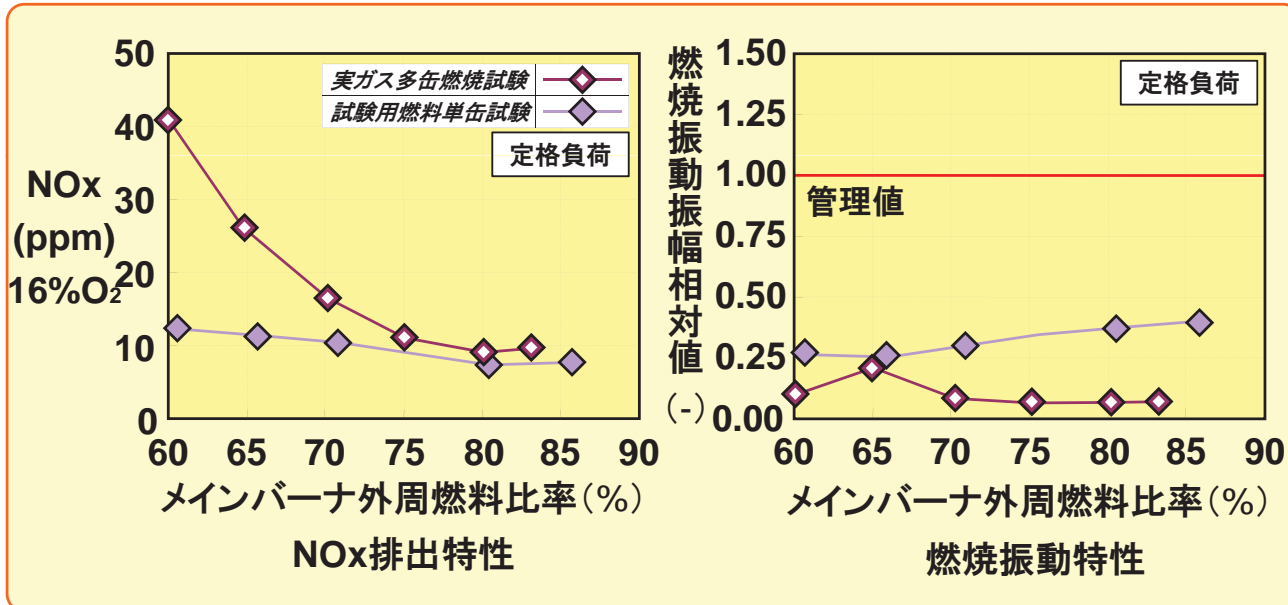
公開

HITACHI
Inspire the Next

- 燃焼振動振幅値は管理値よりも低く、燃焼安定性は良好
- ライナメタル温度、バーナメタル温度ともに管理値以下であり、メタル温度特性は良好



- 計画比率80%付近で試験用燃料は実ガスとNOxを再現(大気圧試験の挙動と一致)し, 試験用燃料による開発の妥当性を確認
- 振動振幅値は管理値よりも十分低く, 燃焼安定性は良好
- 多缶偏差の影響なしを確認



3-4-1. 乱流燃焼解析まとめ

	内容
成果	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂回収率(燃焼速度)や空気孔プレートの形状が, 火炎の形成や循環流の流動に及ぼす影響を定性的に再現 ・解析結果の一部をバーナ設計に反映し, 開発加速
課題	プレート近傍の火炎形成が実験と相違 (推定原因:着火, 消炎のモデル化の精度)
今後の方針	<ul style="list-style-type: none"> ・合成ガスの着火モデルの精度向上 ・合成ガスの消炎モデルの精度向上

Hyperbolic Tangent関数で反応進行度c分布を近似する予混合燃焼モデル

燃料の混合分率 f : $f = f_0$ (一定値)

反応進行度 c :
$$\frac{\partial \rho c}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j c}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((D + D_t) \frac{\partial \rho c}{\partial x_j} \right) + \omega$$

成分の質量分率 Y_i : $Y_i = (1-c)Y_{i,u} + cY_{i,b}$ (添え字 u : unburnt, b : burnt)

予混合燃焼モデル:
$$\omega = \frac{8\rho_u Su}{\delta} c^2(1-c)$$

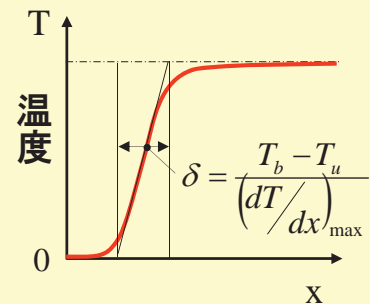
D : 拡散係数, ω : 反応速度

ここに、 Su : 層流燃焼速度、 δ : 層流火炎の厚さ

ρ_u : 未燃焼ガス密度、 c : 反応進行度

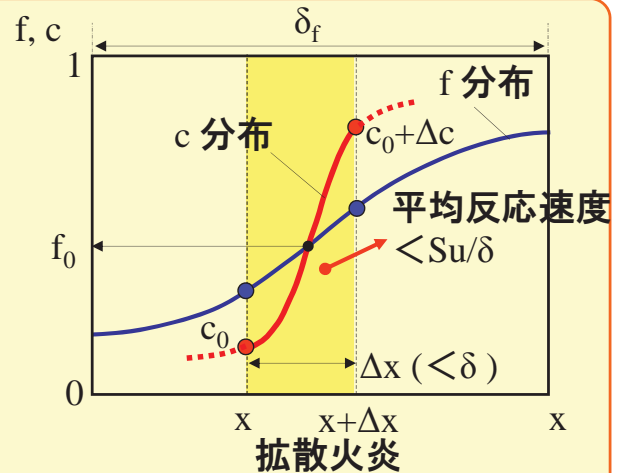
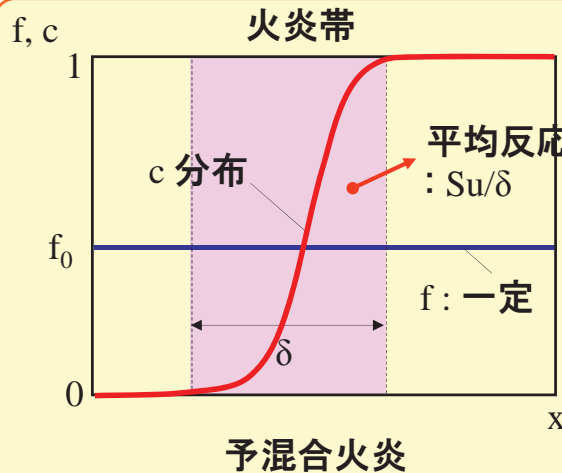
■特徴

- ① Su/δ を通じて、空気温度、圧力、燃空比を考慮
- ② 乱流拡散係数 D_t を通じて、乱流の影響を考慮
- ③ 層流、乱流に共通で適用可能



火炎帯厚さ δ の定義

- 予混合燃焼モデルを拡張し、拡散燃焼に対応
- 予混合～拡散まで対応可能な「統一的燃焼モデル」を開発



統一的燃焼モデル:

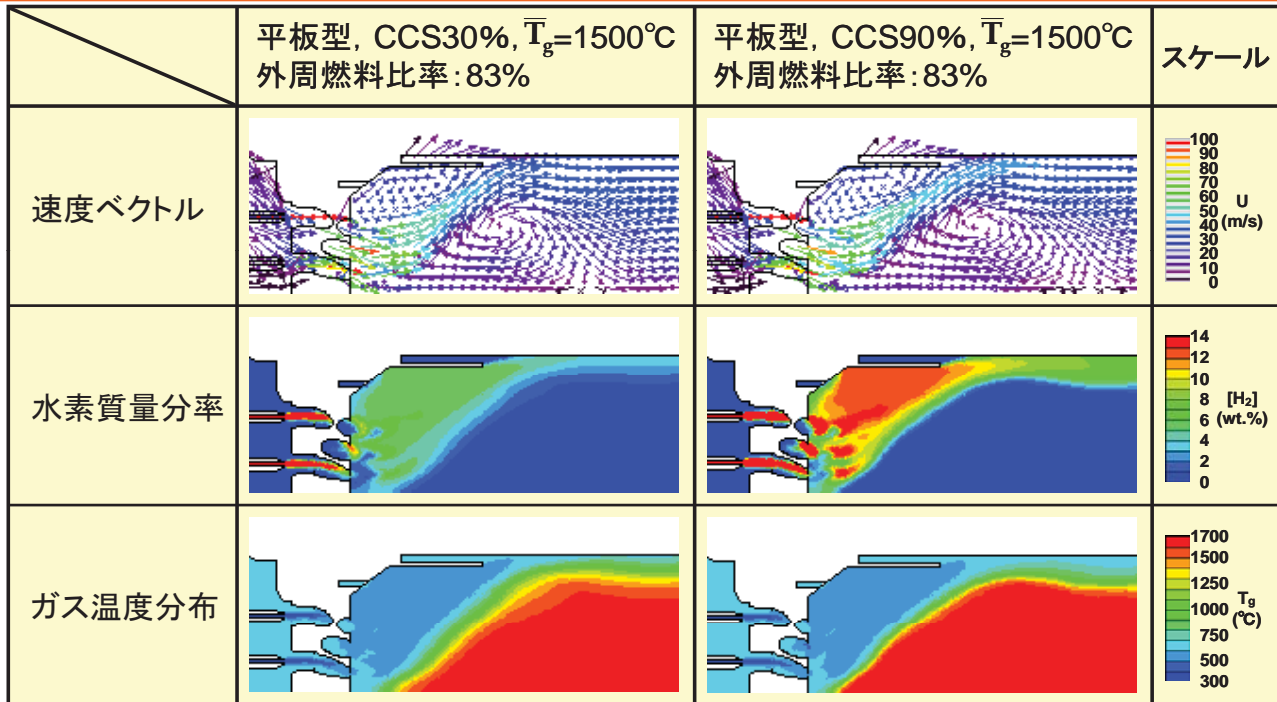
$$\omega(x) = \frac{8\rho_u Su}{\delta} c^2(1-c) \cdot \frac{1}{2} \frac{\hat{\alpha}(1+\hat{\alpha}c)}{(1+\hat{\alpha}(2c-1))^2} \left(\frac{df}{dx} + \frac{\delta}{2} \frac{d^2f}{dx^2} \right) \left(\frac{df}{dx} \right)^{-1}$$

予混合部分

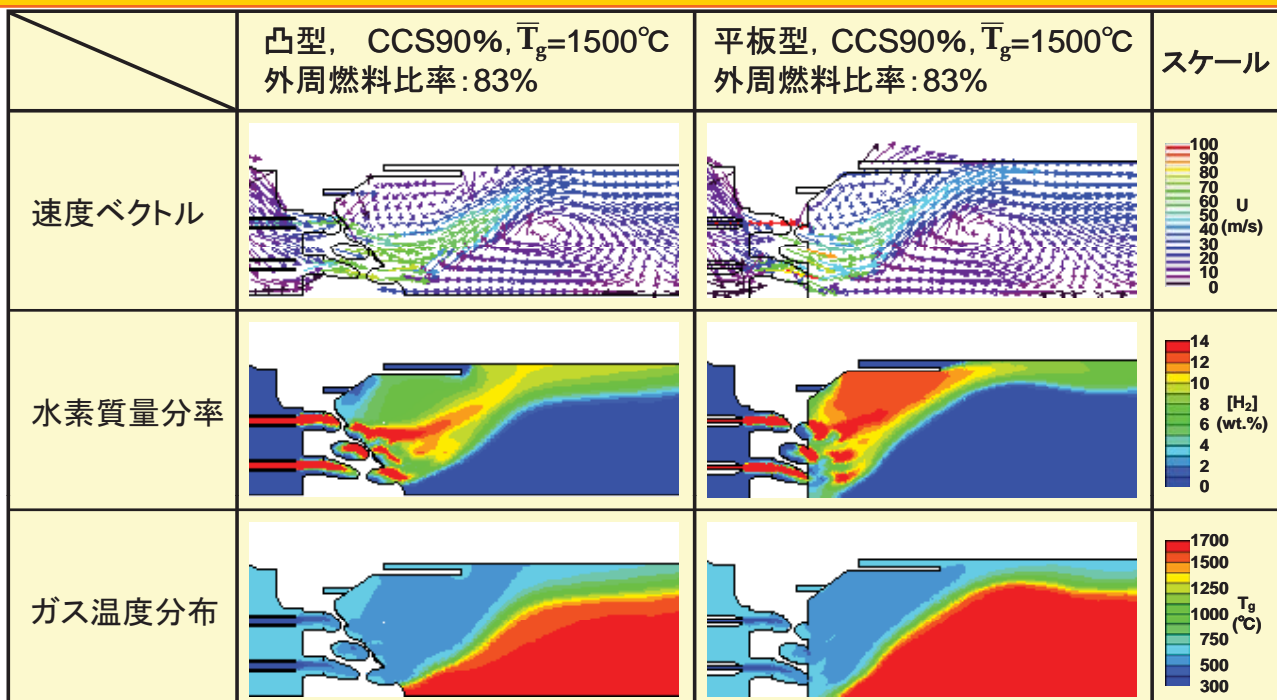
f の分布に伴う修正項

$$\hat{\alpha} = \tanh \left(\frac{2 \frac{df}{dx}}{\frac{df}{dx} + \frac{\delta}{2} \frac{d^2f}{dx^2}} \right)$$

- 円錐形状浮上火炎の形成状況など, 定性的傾向を再現
- CCS 90%での火炎帯厚さの縮小, 火炎の上流側への移動を再現



- 凸型によりバーナ外周部の流動が変化し, 高温ガス領域が縮小
- プレート近傍の火炎形成が実験と相違
→着火, 消炎挙動のモデルの精度向上が必要





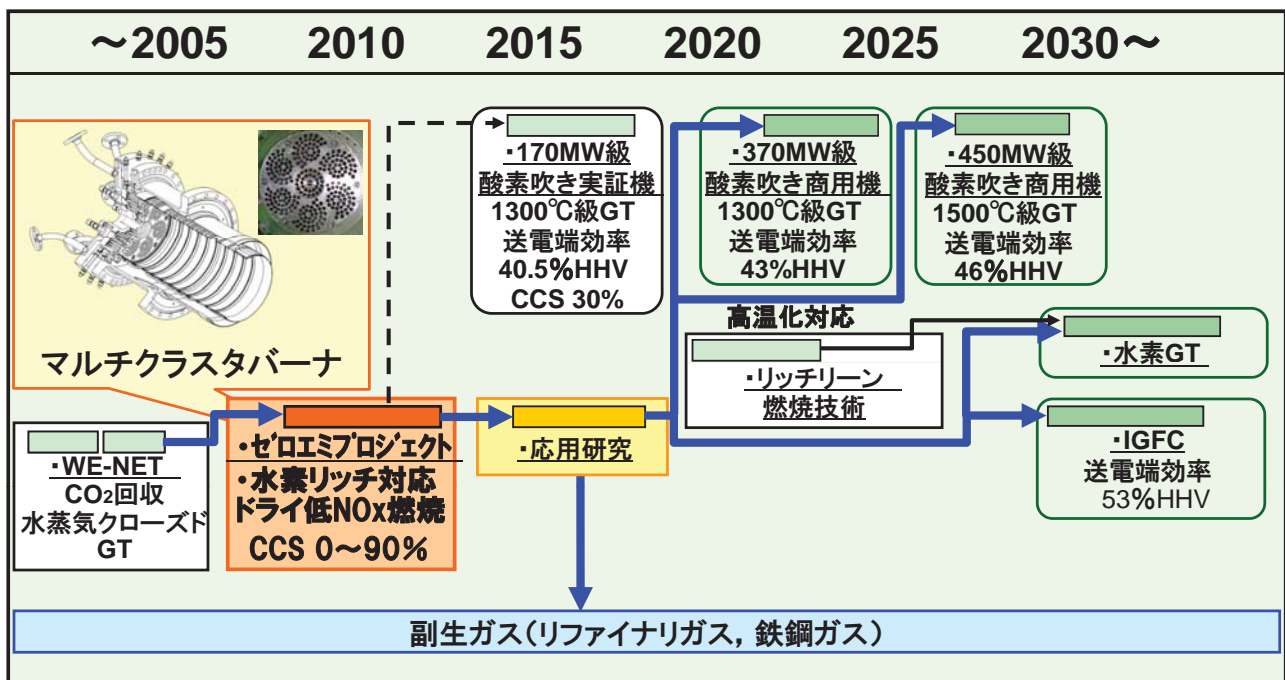
1. 研究の背景および目的
2. IGCC燃焼器の燃焼方式と課題に対する対応
3. 実施項目の詳細および成果
4. 今後の展開

日立の樹
ONLINE
<http://www.hitachinoki.net/>

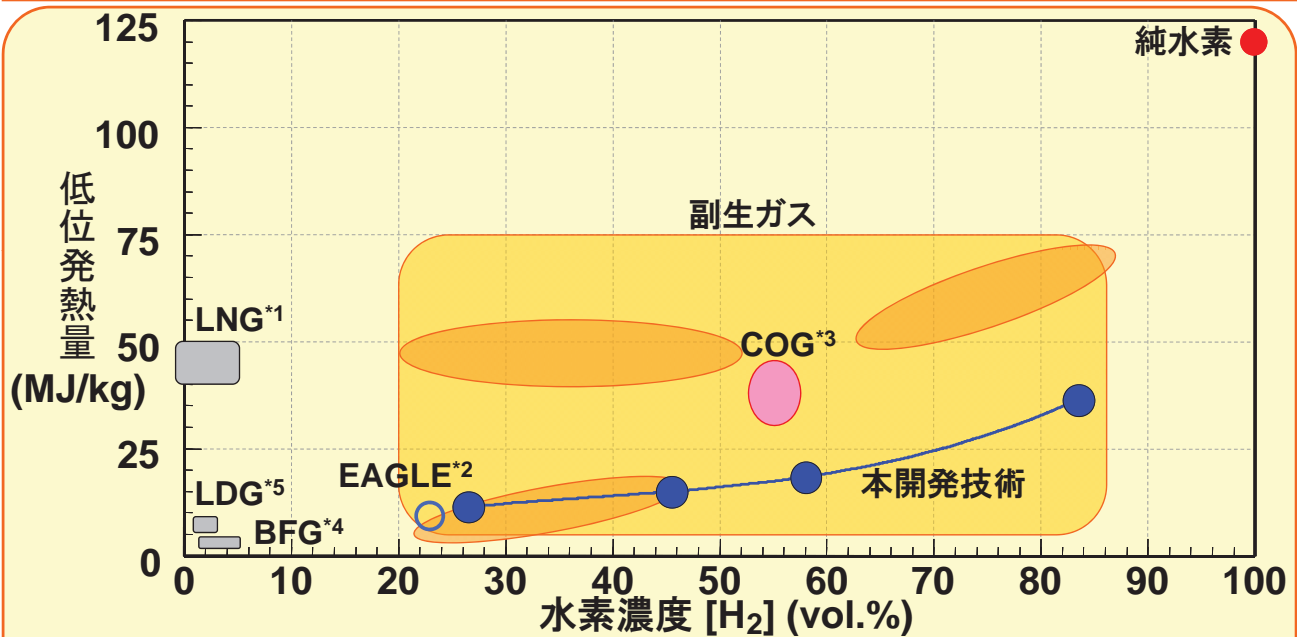
Copyright © 2012, Hitachi, Ltd.

4-1. 本研究技術のロードマップ

広範なH₂含有燃料に対して、燃料に合わせたバーナ構成の変更の必要なく対応可能で、来るべき水素社会に向けた基盤技術



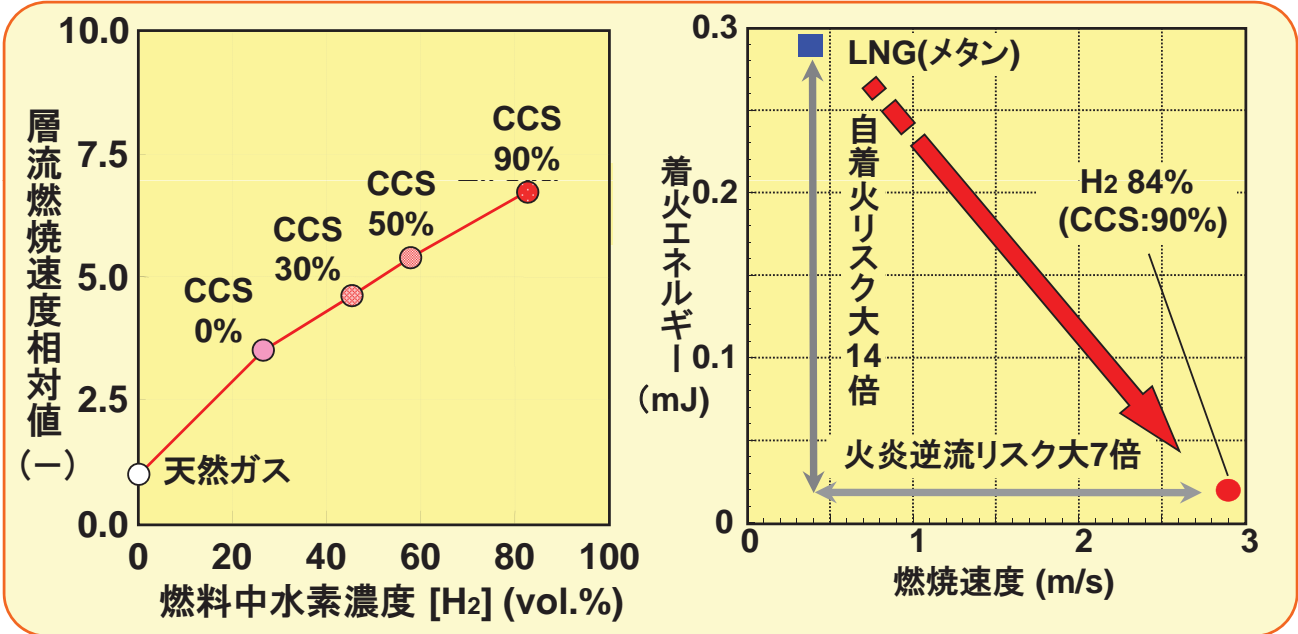
■様々な副生ガス(リファイナリガス, 鉄鋼ガス)に対し, 燃料に合わせたバーナ構成の変更の必要なく対応可能で, 低コスト化に寄与



*1LNG: 液化天然ガス(Liquefied Natural Gas) *2EAGLE: coal Energy Application for Gas, Liquid & Electricity
*3COG: コークス炉ガス(Coke Oven Gas) *4BFG: 高炉ガス(Blast Furnace Gas) *5LDG: 転炉ガス(Linz-Donawitz converter Gas)



- 水素は燃焼速度が速く、着火エネルギーが小さいため混合器内に逆火する可能性があり、予混合燃焼は適用困難
- 低NOx化のため革新的高水素濃度対応低NOx燃焼方式が必要

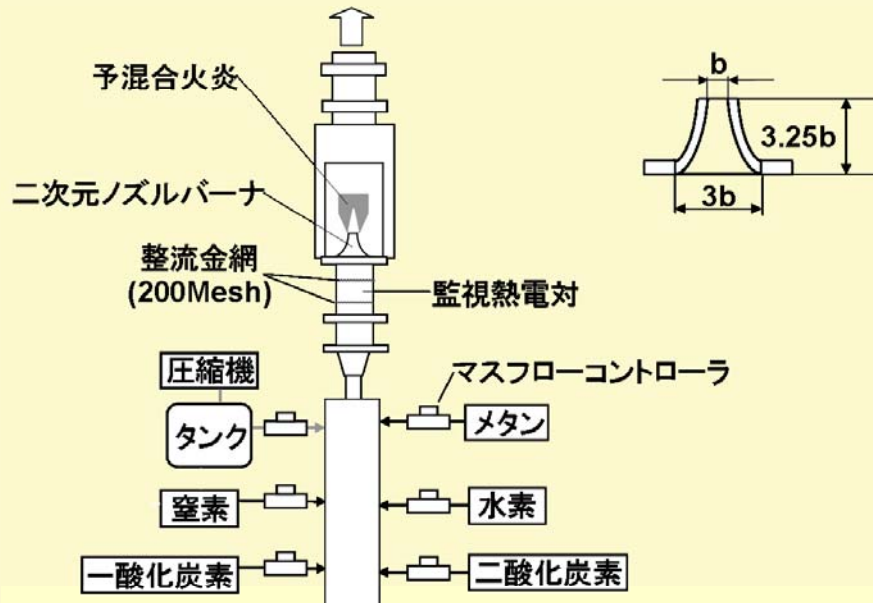


- 燃焼速度から試験用燃料の妥当性を検証

・二次元ノズルバーナを用いて、希薄域での予混合層流火炎の燃焼速度を計測し、試験用燃料と実機想定燃料を比較

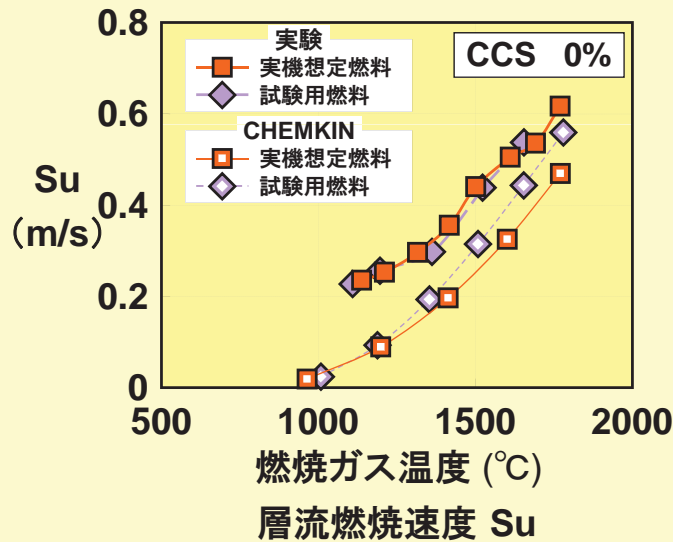


装置写真

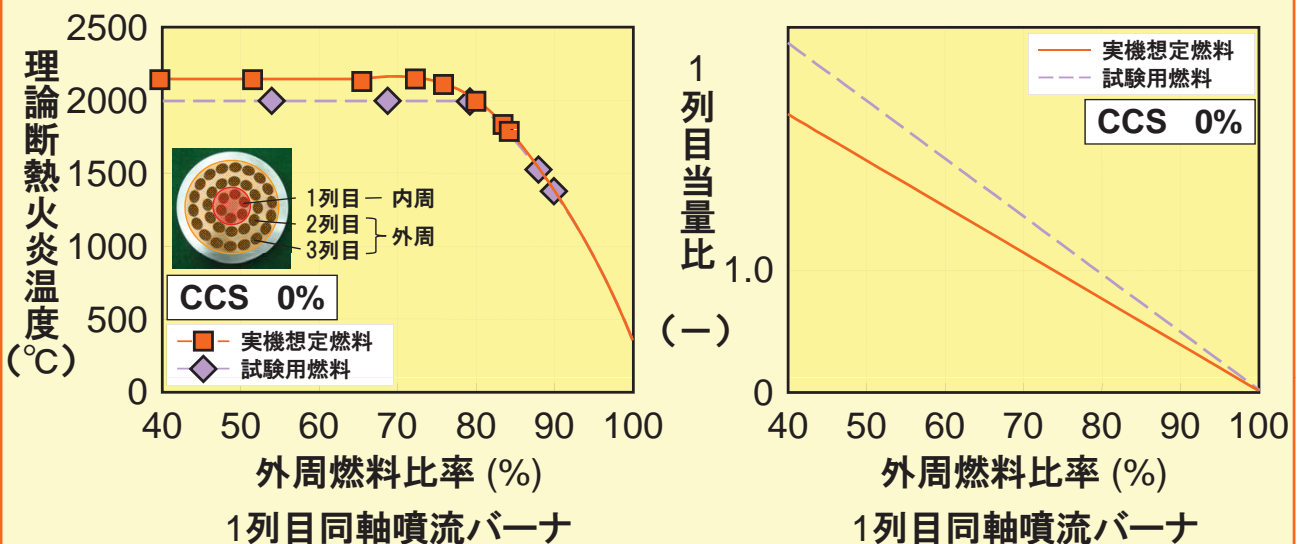


燃焼速度計測装置の概要(大気圧)

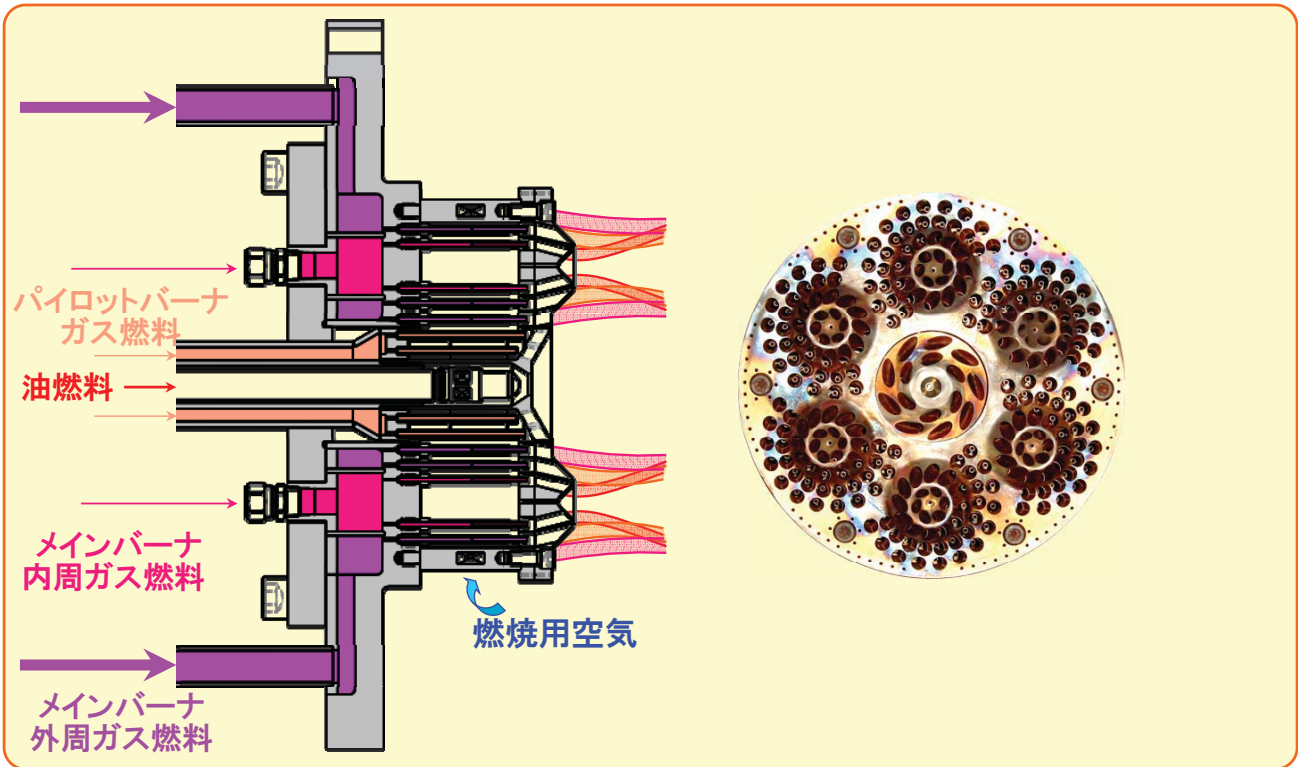
- 燃焼ガス温度が同等な燃料希薄条件では、試験用燃料は、実機想定燃料の燃焼速度を良く再現
- Chemkin GRI-Mech. IIIを用いて計算した層流燃焼速度も、試験用燃料は実機想定燃料の挙動とほぼ同等



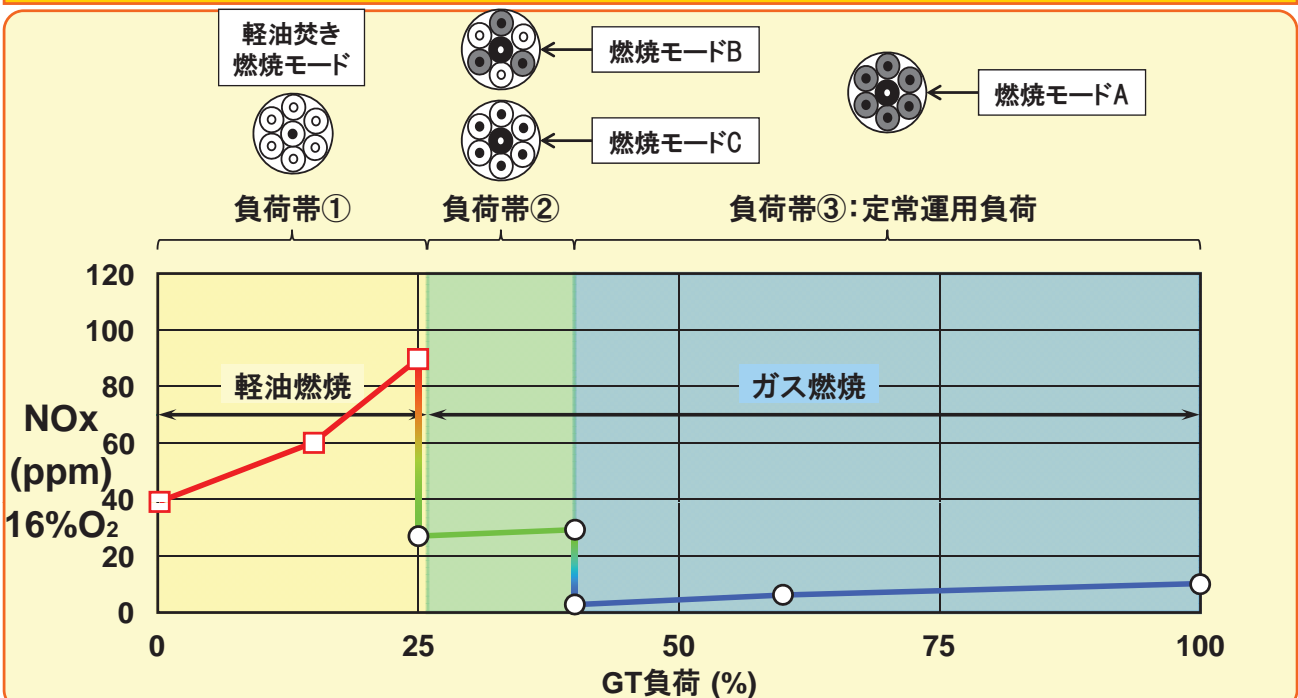
- 外周燃料比率 80%以下の条件で、第1列目同軸噴流バーナは燃料過濃条件
- 実機想定燃料では、燃料比率73%まで局所燃焼ガス温度が上昇し続け、実機想定燃料の方が火炎温度が高いことが相違の原因











■ 空気孔プレートを三次元形状とし、火炎付着および燃焼振動を防止



■ 燃焼器の制御性およびシステムの簡素化と、部分負荷条件信頼性を検討し、新たにガス燃焼モードCを検討



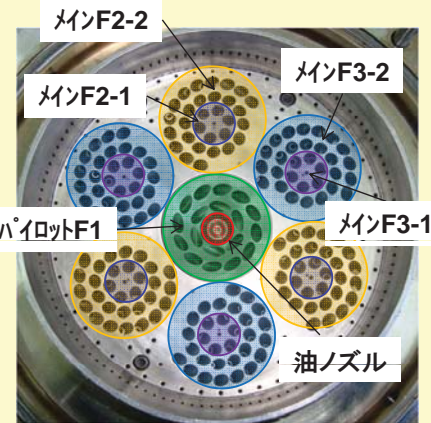
- 燃焼モードB:パイロットバーナ+メインバーナ(3本:内周+外周)
- 燃焼モードC:パイロットバーナ+メインバーナ(6本:内周)

運転方法 I	軽油焚き燃焼モード 	ガスパイロット燃焼モード 	燃焼モードB 	燃焼モードA 
	パイロットバーナ 軽油燃焼	パイロットバーナ ガス燃焼	メインバーナ3本 ガス燃焼	全メインバーナ ガス燃焼
運転方法 II	軽油焚き燃焼モード 	ガスパイロット燃焼モード 	燃焼モードC 	燃焼モードA 
	パイロットバーナ 軽油燃焼	パイロットバーナ ガス燃焼	メインバーナ内周 ガス燃焼	全メインバーナ ガス燃焼

実ガス多缶燃焼試験内容 概略

	試験内容	試験パラメータ
1	着火特性, 着火時火炎伝播特性確認試験	・着火GT回転数 ・着火燃料流量
2	ガスタービン起動条件確認試験	・GT回転数に対する燃料流量
3	軽油焚き部分負荷特性確認試験	・燃料流量 ・NOx低減用窒素噴射量
4	軽油焚き⇔石炭ガス化ガス焚き燃料切替試験	・切替GT負荷 ・ガス燃料流量配分
5	石炭ガス化ガス焚きメインバーナ燃焼モード切替試験	・切替GT負荷 ・ガス燃料流量配分
6	石炭ガス化ガス焚きメインバーナ6本燃焼モード裕度確認試験	・GT負荷 ・ガス燃料流量配分
7	石炭ガス化ガス焚きメインバーナ6本燃焼モード燃料配分変化試験	・GT負荷 ・ガス燃料流量配分

★燃料配管



★パラメータ定義

$$\text{パイロットバーナ燃料比率} = \frac{\text{F1バーナ燃料流量}}{\text{燃焼器全燃料流量}}$$

$$\text{メインバーナ外周燃料比率} = \frac{(F2-2)}{(F2-1)+(F2-2)}, \frac{(F3-2)}{(F3-1)+(F3-2)}$$

燃焼モード	軽油焚き	ガス焚き		
	Oil	A	B	C
着火バーナ	油ノズル	F1, F2-1, F2-2, F3-1, F3-2	F1, F2-1, F2-2	F1, F2-1, F3-1

A-10. ガス焚き部分負荷運転方法の検討

■ 大型マルチクラスタ燃焼器で運転方法Ⅱの優位性を確認

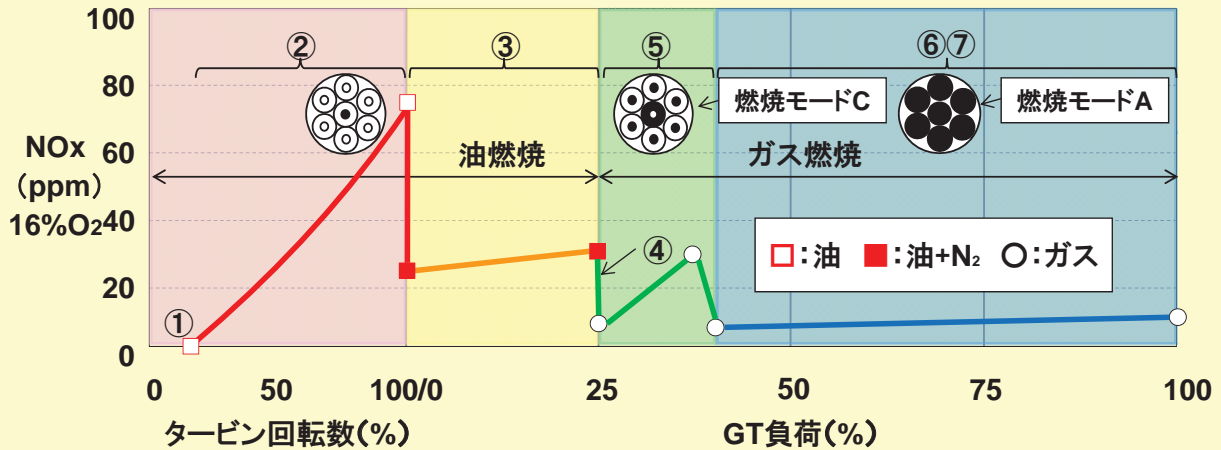
■ 運転方法Ⅱの特徴

- ・燃焼モードCによりメインバーナ内周領域で拡散支配の燃焼をさせることで燃焼安定性を向上させ切替負荷を低減

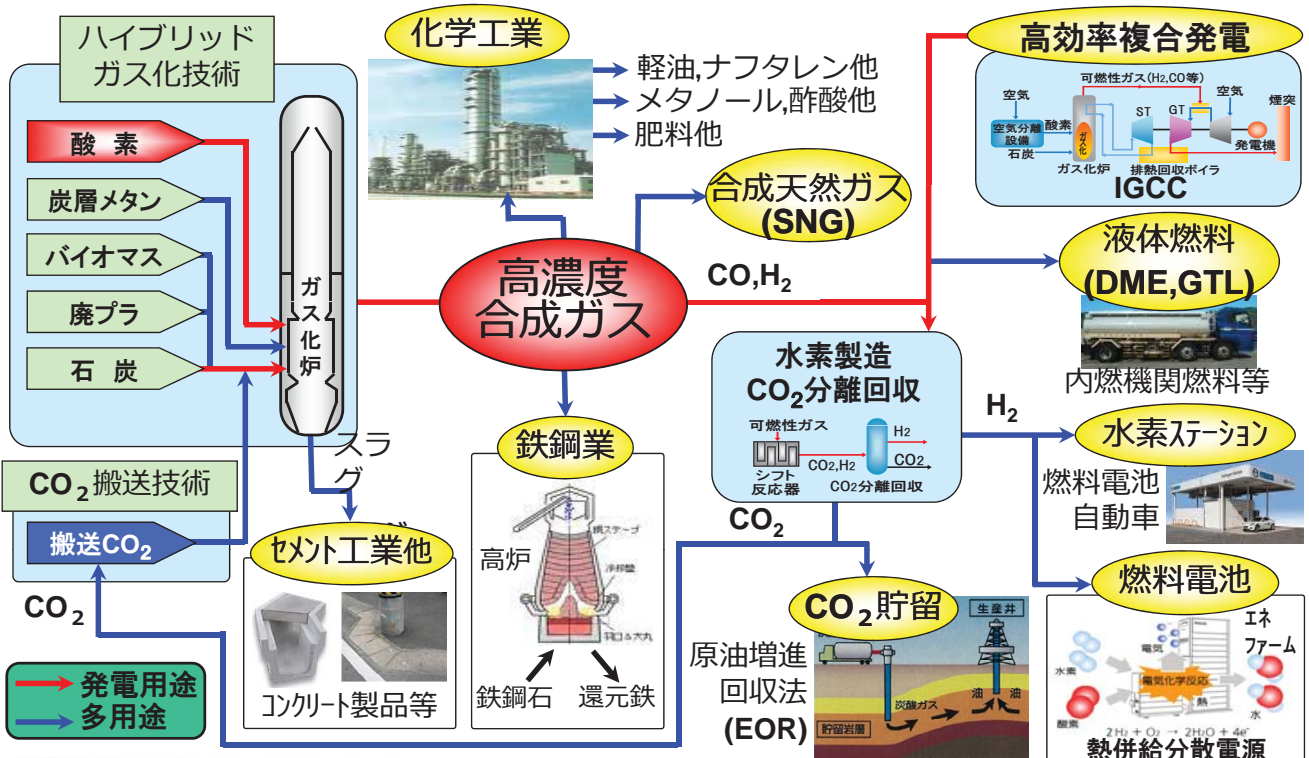
運転方法	起動昇速	GT負荷	
	油	B	A
I			
II			

マルチクラスタ燃焼器の燃焼モード

	運転状態	評価項目
①	着火火炎伝播	スモーク、メタル温度、燃焼振動
②	起動昇速	排ガス組成、スモーク、メタル温度、燃焼振動
③	油焼き部分負荷条件	排ガス組成、スモーク、メタル温度、燃焼振動
④	油→ガス切替	排ガス組成、スモーク、メタル温度、燃焼振動
⑤	ガス焼き燃焼モードC部分負荷条件	排ガス組成、メタル温度、燃焼振動
⑥	ガス焼き燃焼モードC→A切替	排ガス組成、メタル温度、燃焼振動
⑦	ガス焼き燃焼モードA部分・定格負荷条件	排ガス組成、メタル温度、燃焼振動

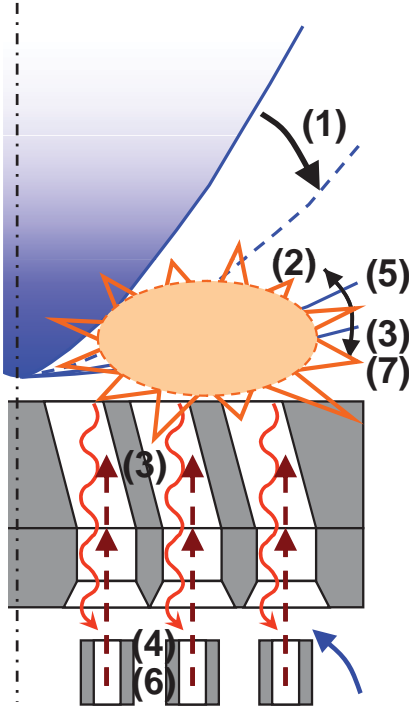


酸素吹きガス化炉を核とするコプロダクション



■ 空気孔間隙の後流で混合気が着火、火炎位置変動が原因と推定

燃焼振動発生機構



- (1) 外周燃料比率の増加に伴い、外周側火炎が空気孔プレートに接近
- (2) 空気孔間隙の後流に存在する混合気に着火
- (3) 空気孔プレートに火炎が付着、圧力波発生
- (4) 圧力波により差圧が縮小し、燃料流量が減少
- (5) 当該空気孔の当量比が減少し、付着火炎が空気孔プレートから離脱し下流に移動
- (6) 下流側背圧の減少に伴い、燃料流量が回復
- (7) 空気孔からの混合気の当量比が増加し、空気孔間隙の後流に混合気が侵入
混合気の当量比増加に伴い、外周側火炎が再接近