

2014年10月30日
第6回東大エネルギー・環境シンポジウム
@東京大学 伊藤国際学術研究センター

日本の火力発電技術の世界展開

馬淵洋三郎

三菱日立パワーシステムズ株式会社
副社長執行役員



目次



1. MHPSの紹介
2. 現在のクリーンコール技術と世界展開
 - 2-1. 超臨界圧 / 超々臨界圧(SC/USC)発電設備
 - 2-2. 排煙処理システム
3. 次世代高効率発電技術



1. MHPSの紹介

三菱日立パワーシステムズ(MHPS)



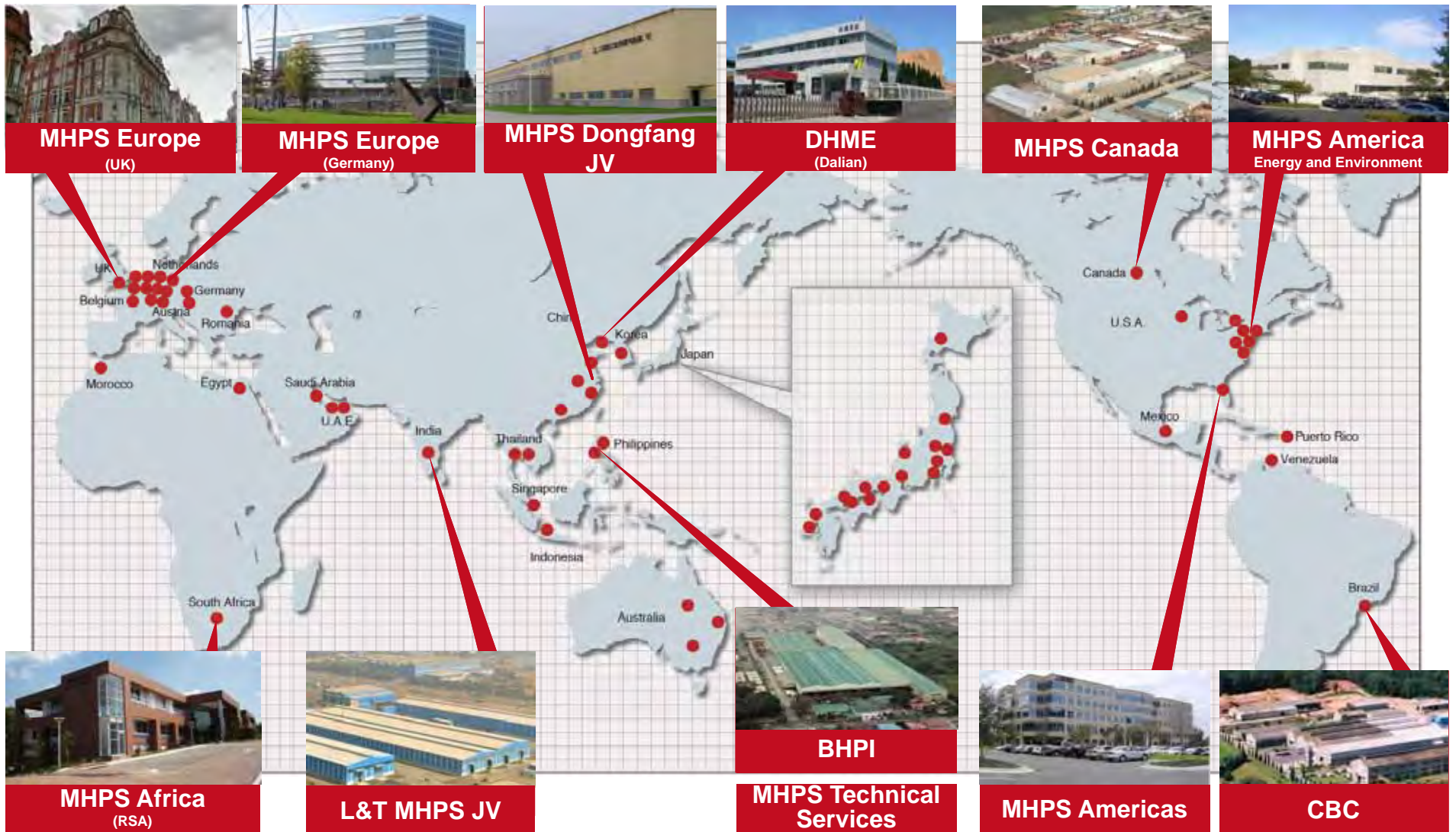
火力発電システム部門を統合

社名	三菱日立パワーシステムズ(株)
本社	神奈川県横浜市
会社代表	田中幸二 (取締役会長) 西澤隆人 (取締役社長)
資本金	1,000億円
設立日	2014年2月1日
従業員数	23,000名 (含7,600名(日本国外))

本社及び国内生産拠点



MHPSのグローバルネットワーク



MHPSは26カ国に58社の拠点があります。

MHPSの事業分野



製品・サービス



ガスタービンコンバインドサイクル発電設備(GTCC)



ボイラ



石炭ガス化複合発電設備(IGCC)



環境プラント(脱硝装置、脱硫装置)



ガスタービン



発電機



ボイラ・タービン発電設備



地熱発電設備



蒸気タービン



発電設備周辺機器



納入実績



製品	ボイラ	蒸気タービン	ガスタービン	脱硫装置*2	脱硝装置*2
合計	936,234t/h (約312GW)*1	341,767MW	106,159MW	121,591MW	91,942MW
合計	4,259 缶	2,385 機	787 機	298 機	153 機

*1; 主蒸気量より発電出力換算

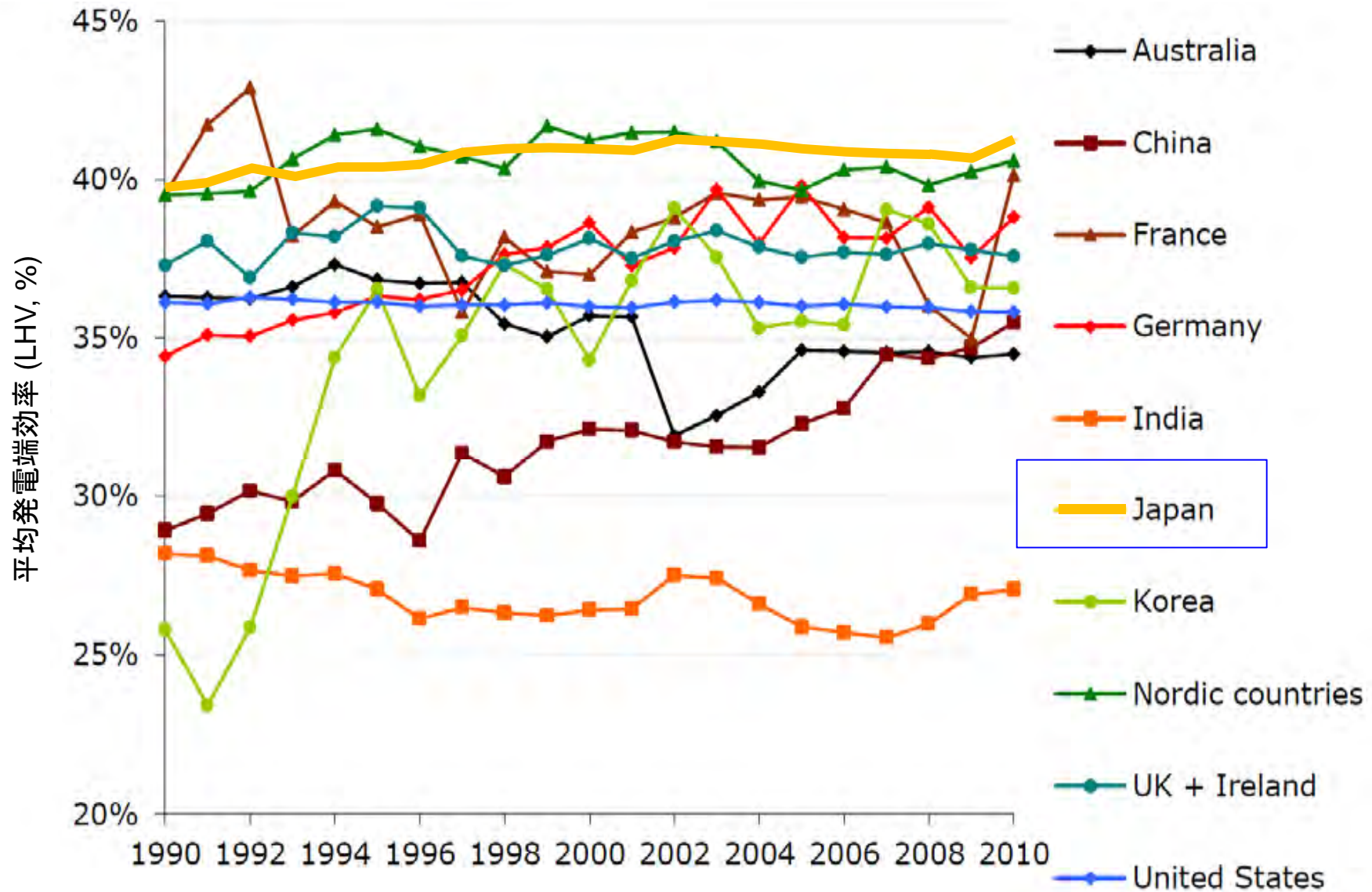
*2; Over 50MW以上の石炭焚きプラント向けを積算



2. 現在のクリーンコール技術と世界展開

2-1. 超臨界圧/超々臨界圧(SC/USC)発電設備

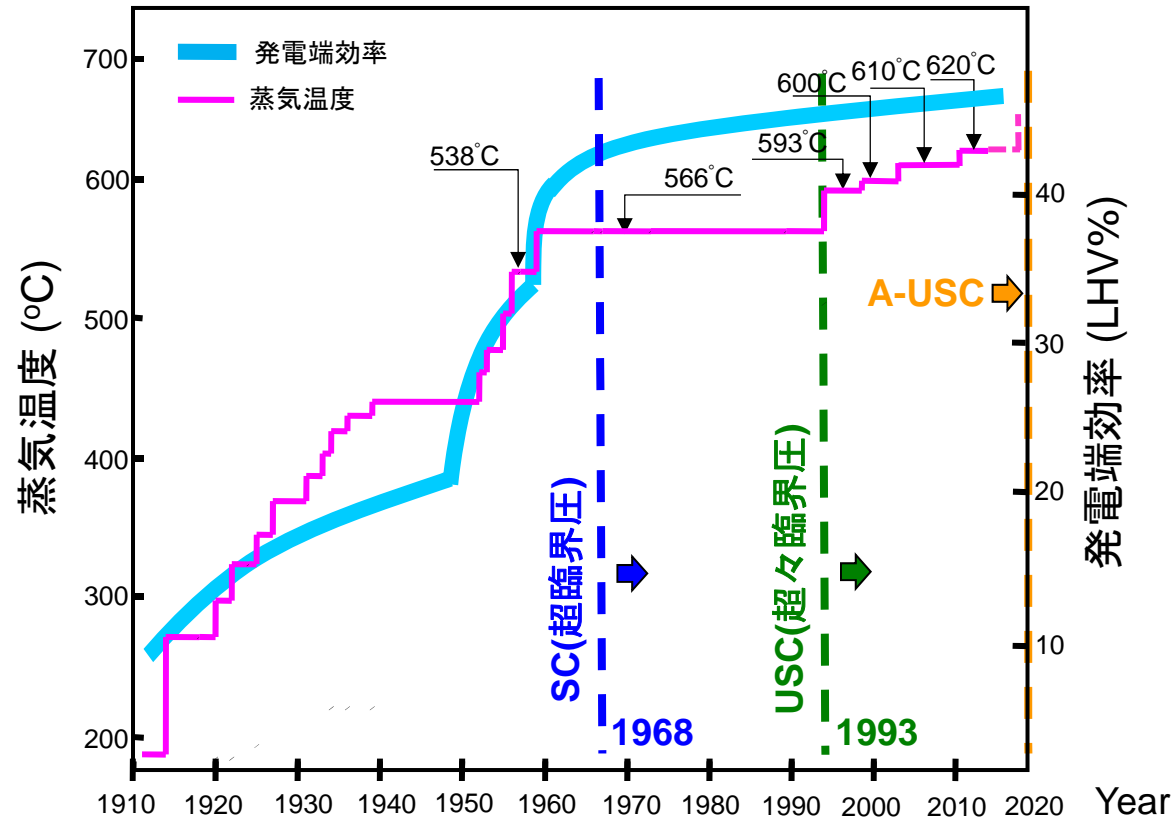
国毎の石炭焚発電設備の効率比較



Source: ; International comparison of fossil power efficiency and CO2 intensity - Update 2013, Ecofys

石炭焚発電設備の効率と蒸気条件

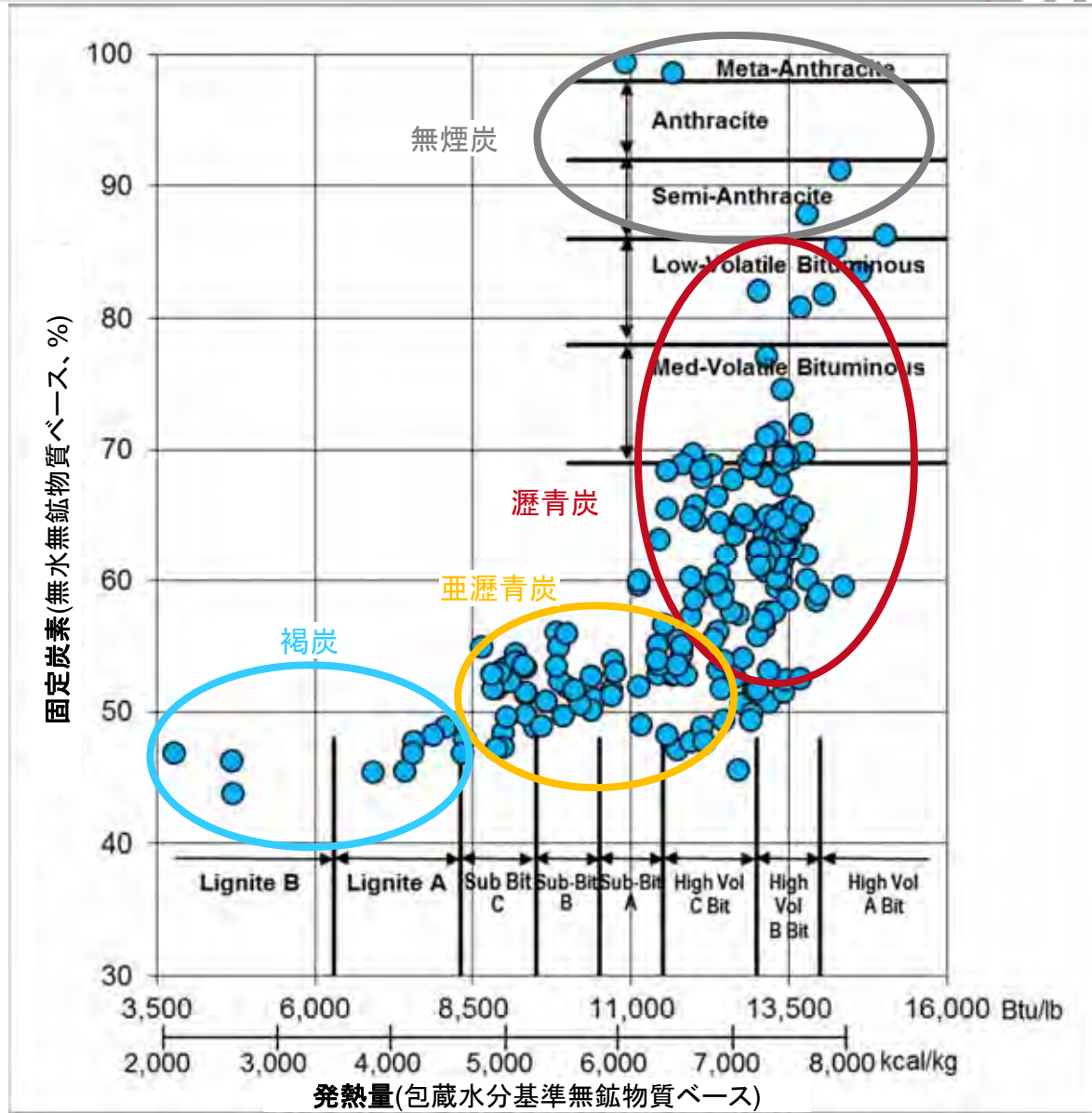
日本国内の火力発電所における蒸気条件と効率の変遷



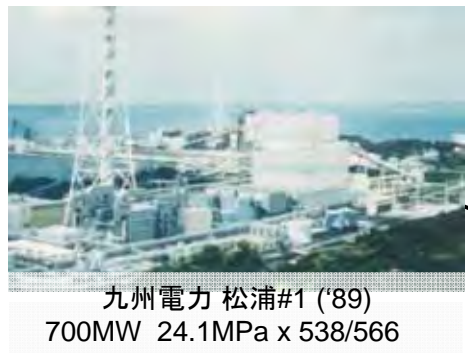
- 蒸気条件(圧力と温度)を上げるにより発電設備の効率が上がる。
- つまりSC/USC技術により経済的な発電、燃料の省エネ、CO2発生量が少ないなど環境にやさしい。

MHPSの様々な石炭の実績

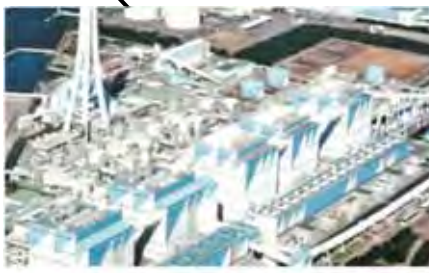
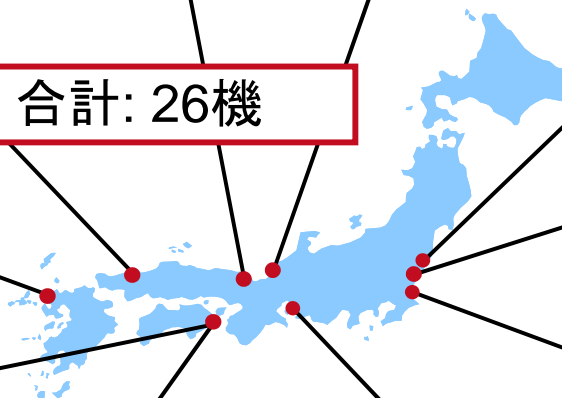
弊社は豊富な実績を有しており、様々な炭種に応じた最適な発電設備を供給。



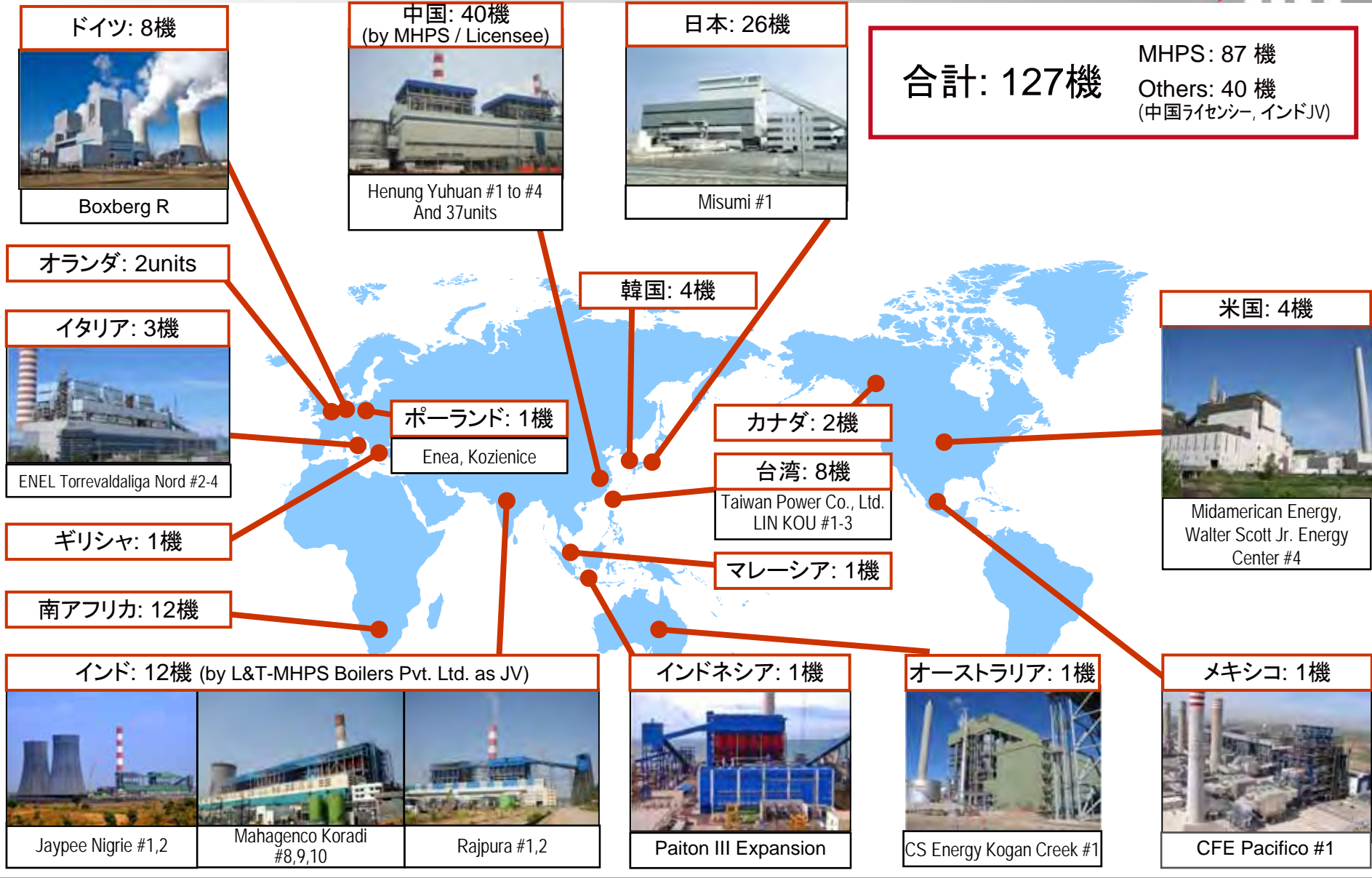
石炭焚SC/USC発電設備主要納入実績(国内)



合計: 26機



石炭焚SC/USC発電設備主要納入実績



SC/USC技術のグローバル展開



インド案件 Rajpura #1

- Rajpura 1号は2014年2月1日に営業運転開始。
- この発電設備はMHPSとインドの現地企業であるLarsen & Toubro社との合弁企業LMB社によって建設。
- 燃料はインドの高灰分瀝青炭 (灰分30%)。
- MHPSの指導のもと設計・製造・据付・試運転を現地スタッフにて対応。
- 日本発の高効率発電技術の高い性能と信頼性がインドにおいても実証された。



定格出力 :	700MW
蒸発量 :	2,322 t/h
主蒸気 :	565 °C / 24.1 MPag
再熱蒸気 :	593 °C
運開 :	2014年2月
燃料 :	瀝青炭
NOx (ppm) :	116 (実績) / 365 (規制値)
効率 :	約4 ~ 5% 良好*1

*1: 標準的な亜臨界圧発電設備(16.7MPag, 538/538°C)の効率に対する相対差

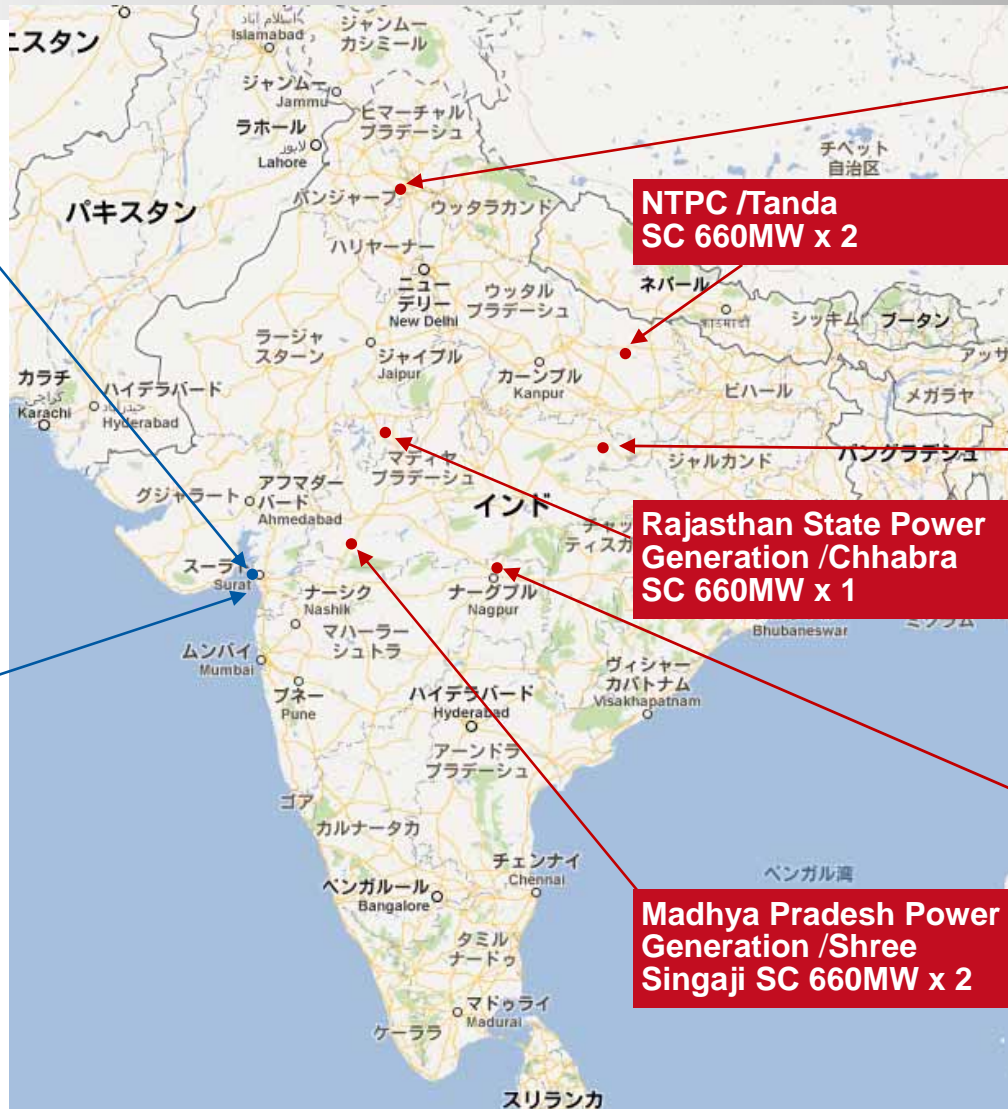
インド市場での取り組み



LMB(L&T-MHPS Boilers Private Ltd.)



LMTG(L&T MHPS Turbine Generators Private Ltd.)



IPP L&T Rajpura SC 700MW x 2



NTPC /Tanda SC 660MW x 2

IPP Jaypee Nigrie SC 660MW x 2



Rajasthan State Power Generation /Chhabra SC 660MW x 1

Maharashtra State Power Generation /Koradi SC 660MW x 3



Madhya Pradesh Power Generation /Shree Singaji SC 660MW x 2

MHPSは インドの現地企業であるLarsen & Toubro社との合弁企業を通じ、日本発のクリーンコール技術によりインドの発電に貢献しています。



インドネシア案件 Paiton III

- インドネシア初の亜瀝青炭焚SC発電設備。
- MHPSがボイラ及び蒸気タービンを納入(据付込み)。



定格出力 :	866MW
蒸発量 :	2,695 t/h
主蒸気 :	538 °C / 24.9 MPag
再熱蒸気 :	566 °C
運開 :	2012年4月
燃料 :	亜瀝青炭
効率 :	約2 ~ 3%良好*1

*1: 標準的な亜臨界圧発電設備(16.7MPag, 538/538°C)の効率に対する相対差



ドイツ案件 Boxberg R

- ドイツ褐炭焚ボイラに超々臨界圧の蒸気条件を適用。
- 石炭水分は約60%で、LHVは約2000kcal/kg。



定格出力：	1 x 670MW
蒸発量：	1,760 t/h
主蒸気：	600 °C/ 29.4 MPag
再熱蒸気：	610 °C
運開：	2012年10月
燃料：	ドイツ褐炭
効率：	約5 ~ 6%良好 ^{*1}

*1: 標準的な亜臨界圧発電設備(16.7MPag, 538/538°C)の効率に対する相対差



2. 現在のクリーンコール技術と世界展開

2-2. 排煙処理システム

石炭発電設備の排煙処理システム



(GGH: Gas to Gas Heater)



* 電気集塵機はMHIマトロシステム
または日立プラントより供給されます。

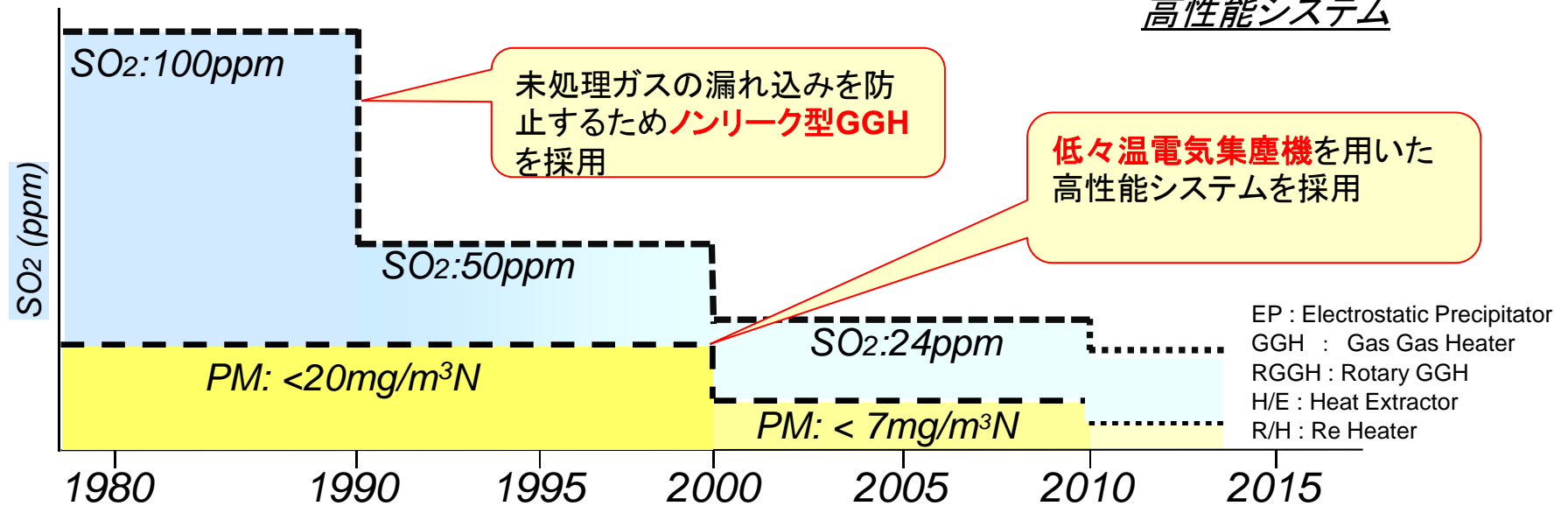
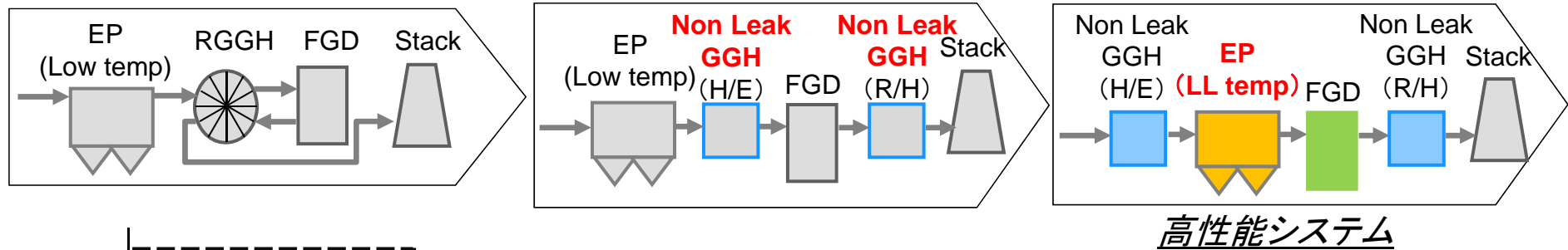


MHPSによる排煙処理システム一括でのソリューション

総合排煙処理システムの適用により世界最高レベルの排出基準(SOx, NOx, ばいじん)を達成しております。

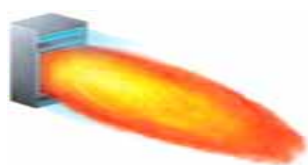
高性能排煙処理システム開発の歴史 (ばいじん, SO₂)

- ✓ 排煙処理システムは1970年代から日本に導入
- ✓ 厳しい環境排出基準要求に応えるために、低々温電気集塵機を適用した高性能排煙処理システムを開発
- ✓ 現在の環境値排出レベルは世界最高レベル



低NOx燃焼技術及び脱硝装置システム

最新の低NOxバーナ



M-PMバーナ

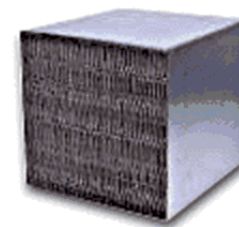


NR3バーナ

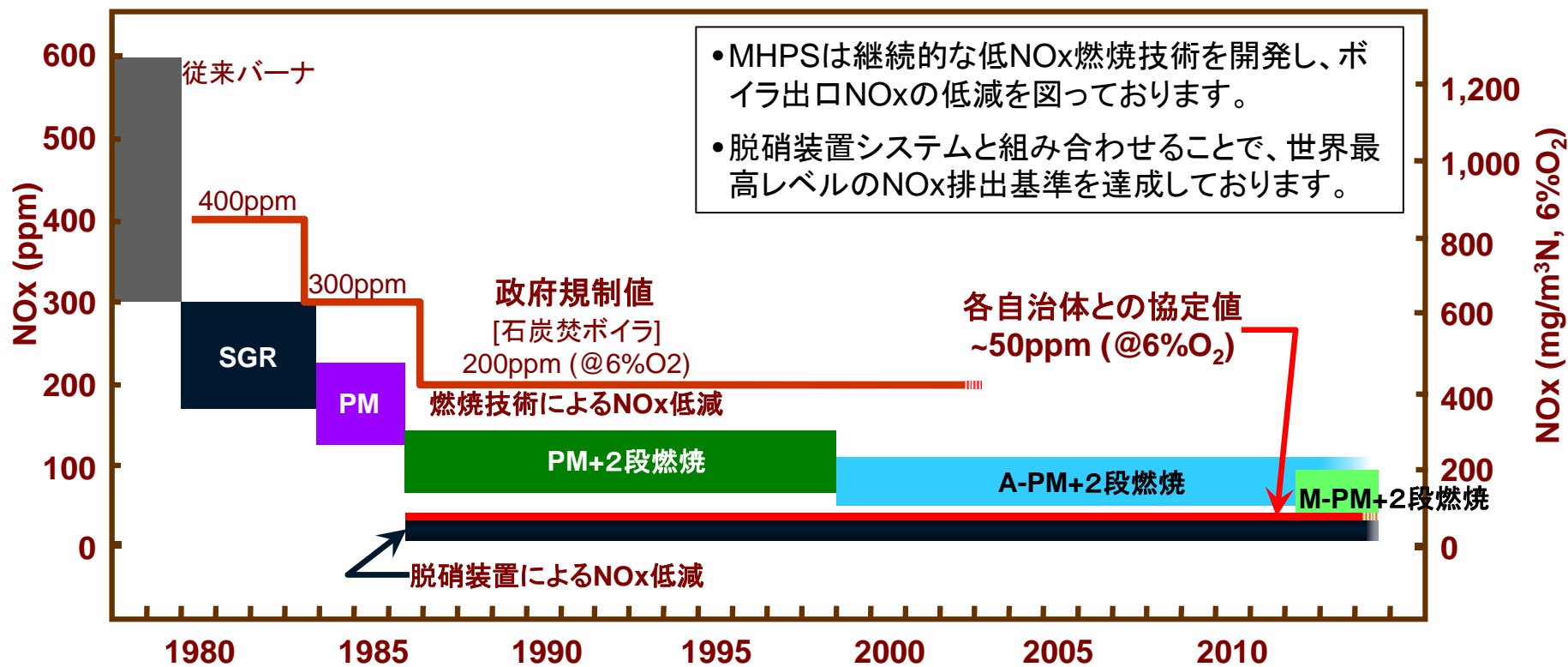
脱硝装置システム



ハニカム触媒

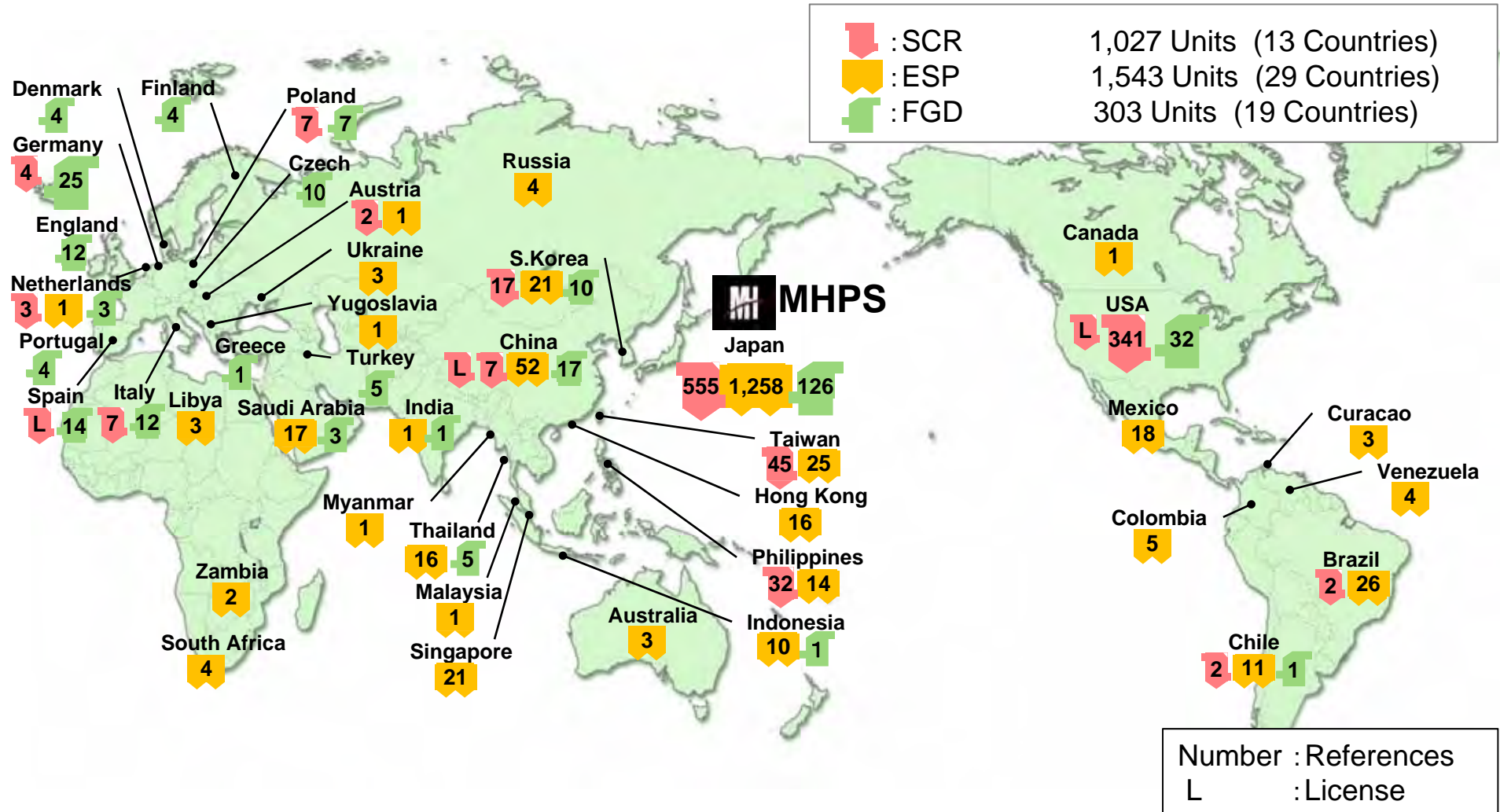


プレート触媒



MHPSの排煙処理システム納入実績

MHPS Delivered AQCS units all over the world





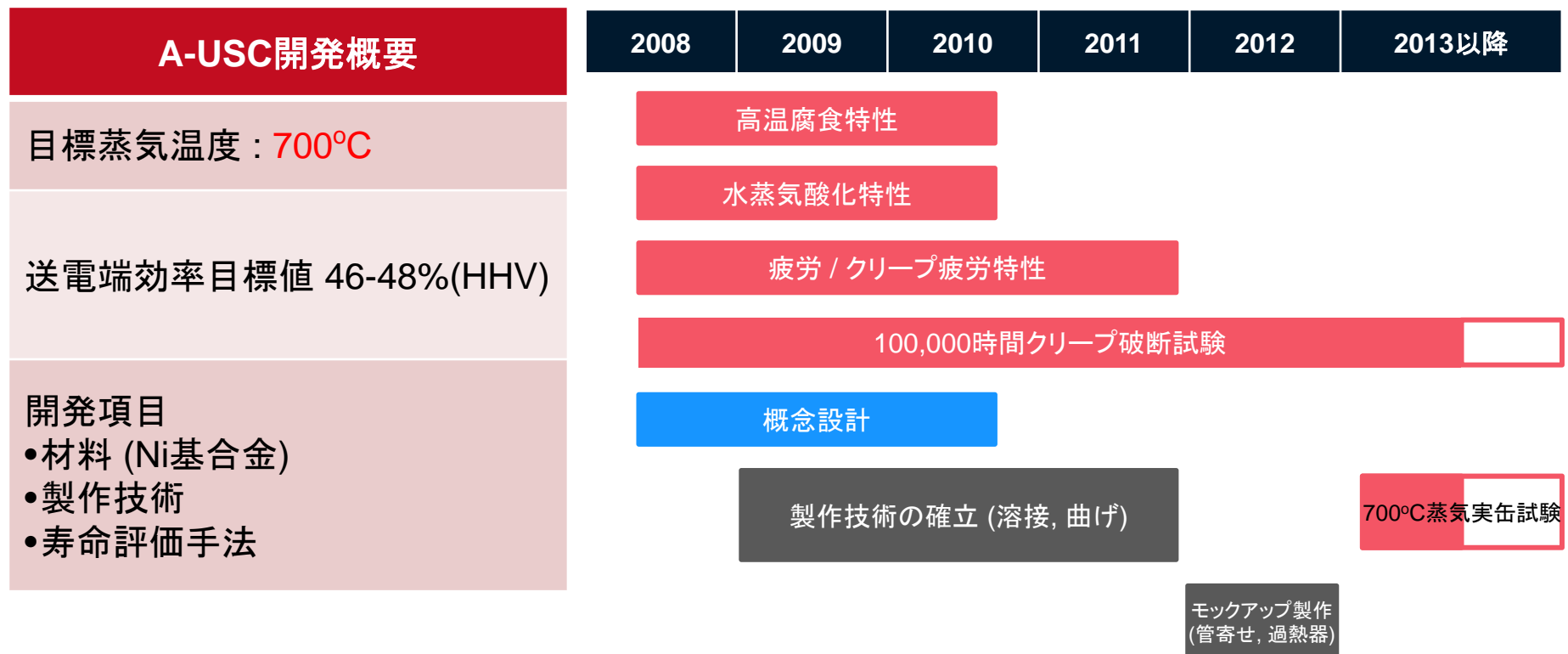
3. 次世代高効率発電技術

先進超々臨界圧(A-USC)



石炭焚発電設備の効率を蒸気条件の高温高压化により向上させる。

A-USC開発スケジュール

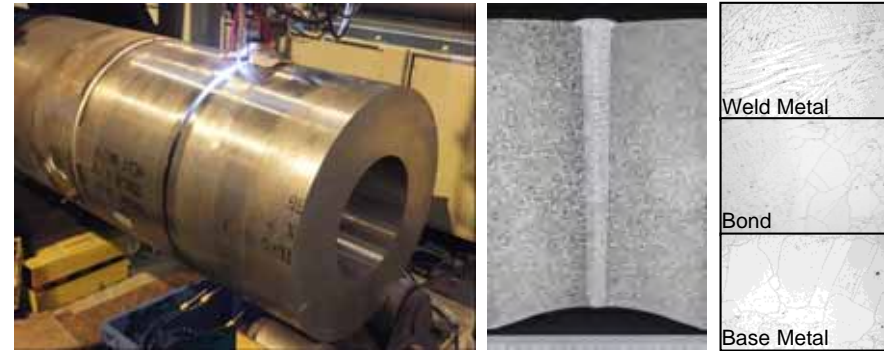


A-USCの材料開発について



- ◆ A-USC技術を達成するために、新しいニッケル基合金が開発された。
- ◆ MHPSは溶接試験、曲げ試験、モックアップ製作などの各種試験を実施。
- ◆ MHPSは溶接継手部を含む材料の100,000時間クリープ強度を確認する試験を継続実施している。(MHPSは現時点で一部候補材の70,000時間試験データを保有)

大径管の溶接試験



Pipe size: $\phi 558.8 \times 138t$

Welding method: Narrow Gap HST

Material: HR6W

Macro / Micro structure

HR6Wの高周波曲げ試験



(350 x 40t, Bend radius 1,400mm, Bend angle 50°)

HR6W管寄せのモックアップ製作



石炭ガス化複合発電 (IGCC)システムの概要

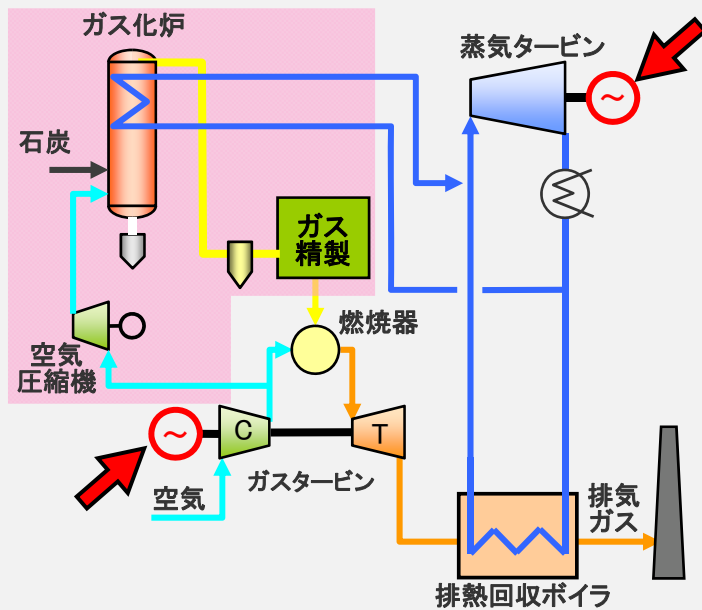
*Integrated coal Gasification Combined Cycle

IGCCとは?

- **コンバインドサイクルシステムと石炭ガス化プロセスを組み合わせることで高効率化**
- **高い効率によりCO₂排出量を低減し、地球温暖化を防止**

複合発電

(ブレイトンサイクルとランキンサイクルの組みあわせ)

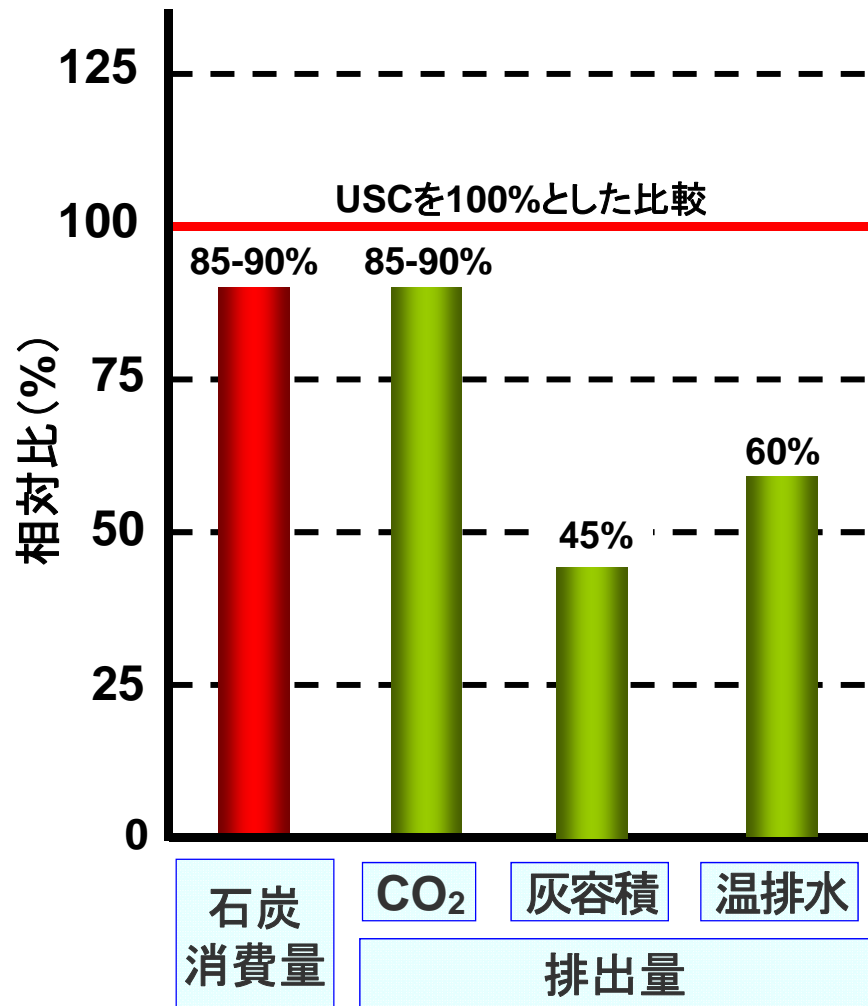


国内のIGCCプロジェクト(実証機および商用機モデル)



IGCCの特長（環境性）

優れた燃費・環境性能



フライアッシュ
(従来石炭火力)

ガラス状スラグ
(IGCC)

- 灰をガス化炉内で溶かし、ガラス状のスラグとして排出するため容積が半減
- 含有物が水に溶けない(非溶出性)ため環境に優しく取扱容易。



道路舗装アスファルトへ利用

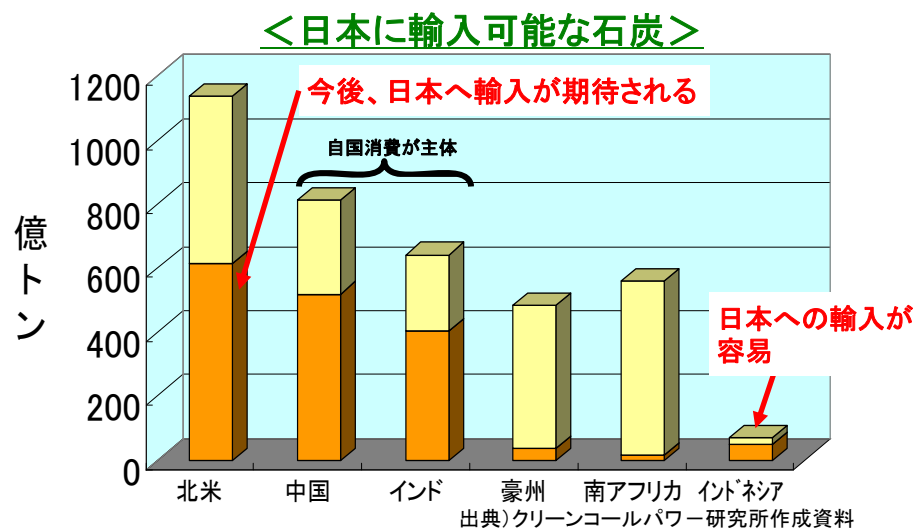


コンクリート成型製品へ利用

セメントの原材料や路盤材等として利用可能であり、
今後JIS規格化が予定されており、利用拡大の可能性。

IGCCの特長（炭種適合性）

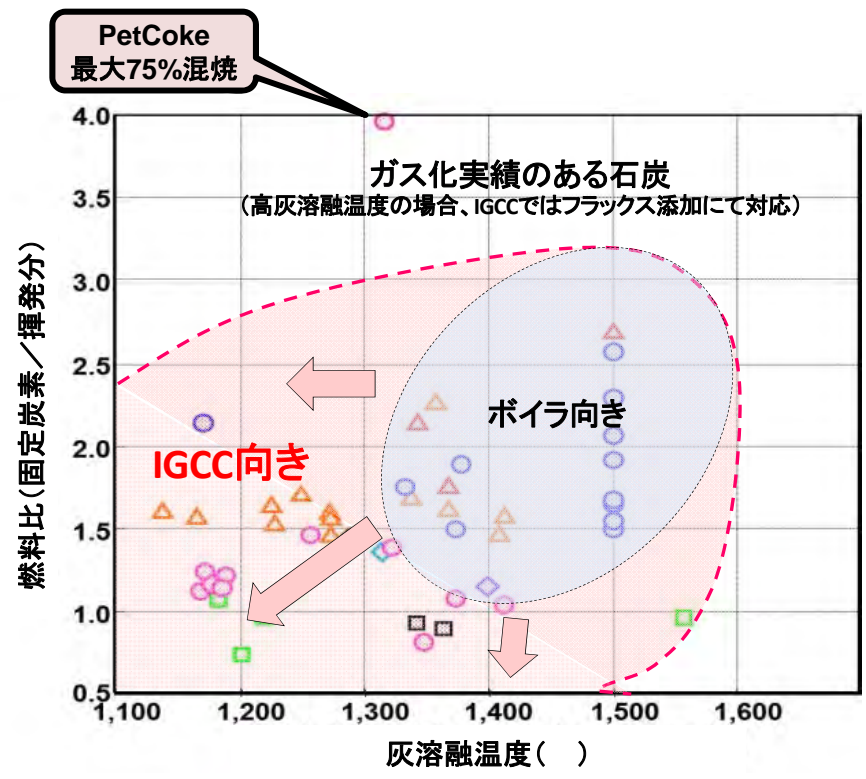
多種類の石炭が利用可能



従来火力で使用中の高灰融点石炭 (IGCCでも利用可能)
新たに利用可能な低灰融点 IGCC向き石炭

低灰融点炭利用の留意点

ボイラでは、灰融点が高い石炭は灰が火炉に付着（スラッジ）し、出力低下や大塊スラッグの形成など運転に支障が発生
火炉大型化が必要



IGCC (石炭ガス化) では、

- ① 灰をコンバスタで積極的に溶融、旋回燃焼による遠心力で捕集。
- ② リダクタへ石炭投入し、ガス温度を灰融点以下に急冷。スラッジ防止が可能で、ガス化炉のサイズを変更せずに低灰融点炭の使用が可能

IGCC実績
 実証機 (250MW) および一貫試験設備でインドネシア、米国等の**亜瀝青炭 (低灰融点炭)** のガス化/発電を確認済

勿来250MW IGCC (旧実証機) 発電設備



主な仕様	
定格出力	250 MW (gross)
ガス化炉	空気吹き乾式給炭
ガス精製	湿式化学吸収法(MDEA) (Methyldiethanol Amine)
ガスタービン	M701DA GT (1 on 1)
プラント効率	42% (LHV, 送電端)
プロジェクトスケジュール	
運転開始	2007年9月
商業運転開始	2013年7月

勿来250MW IGCC 実証機は以下のすべての目標を達成

- ✓ 卓越した性能 (最高効率, 環境負荷最小化)
- ✓ 高い信頼性 (連続運転時間世界最高記録)
- ✓ 優れた運用性 (負荷変化率 >3%/min)
- ✓ 燃料の柔軟性 (低品位炭への適用可能性の立証)



日本で**最初の商用IGCC 発電設備**への転用

勿来10号IGCC(旧実証機)の実績

項目		目標	実績	備考
発電性能	出力	250MW	250MW	
	効率(送電端, LHV)	> 42.0%	42.9%	
	炭素転換率	> 99.9%	> 99.9%	
環境性能	SOx	< 8 ppm	1.0 ppm	
	NOx	< 5 ppm	3.4 ppm	
	煤塵	< 4 mg/m ³ N	< 0.1 mg/m ³ N	
運用性	適用炭種	瀝青炭専焼設計	中国炭, PRB炭, インドネシア炭(3炭種), コロンビア炭, ロシア炭	瀝青炭および亜瀝青炭 合計9炭種の 特性データを取得
	起動時間(冷態)	< 18 時間	15 時間	
	最低負荷	50%	36%	
	負荷変化率	3% / min	3% / min	
信頼性	連続運転時間	2,000 時間	3,917 時間	
	長期信頼性試験	5,000 時間	5,013 時間	累積: 26,000hr超

- 商用機の発電性能の見通しを得る実績
 - 天然ガス火力並みの排ガス環境性能を実証
 - 従来火力と遜色のない運用性を実証、多炭種の適用が可能
- ⇒ 全ての目標を達成し、商用機設計へ反映完了

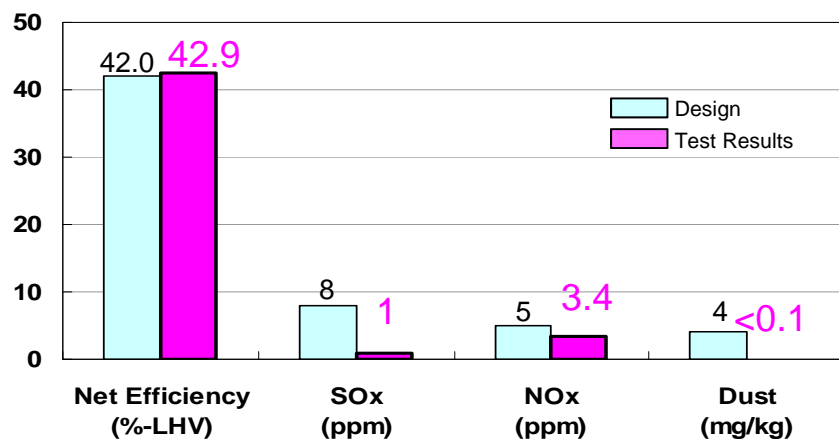
勿来250MW IGCC発電設備の実績

運用性 (負荷変化)

中間負荷運用として要求される負荷変化率
3%/分を確認

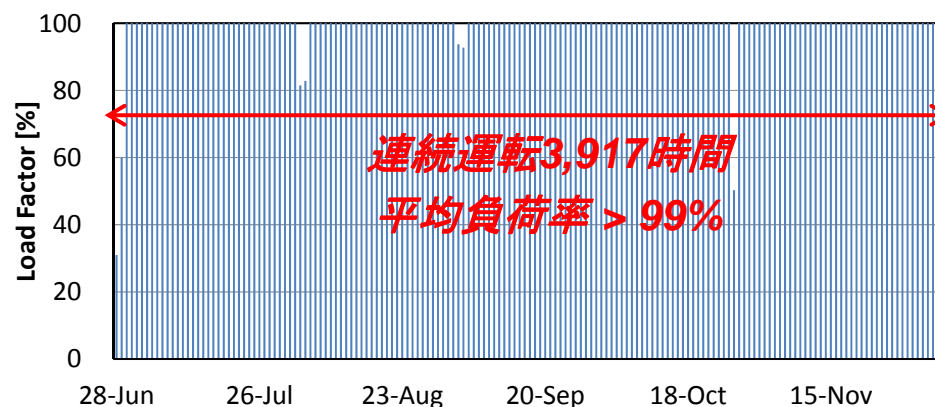


環境性能



信頼性

- 累積運転時間は25,000時間を突破
- 昨年度の連続運転では 事故停止無
- 平均負荷率99%以上
- 連続運転時間は3,917hrで世界記録を更新



日本独自の空気吹きを採用したIGCCの、長年にわたる開発と実証機の成果が評価され、「高効率空気吹きIGCC(石炭ガス化複合発電)の開発」として、2013年度日本機械学会賞を受賞

酸素吹き石炭ガス化炉(EAGLE炉)開発経緯

Coal Energy Application for Gas, Liquid, and Electricity



OCGプロジェクト(*3)(Osaki CoolGen)
(1,180t/d / 2016年度 ~ / @大崎上島)

× 8



EAGLEプロジェクト(*2)
(150t/d / 2002 ~ 2014 / @若松)

× 3

HYCOLプロジェクト(*1)(Hydrogen from Coal)
(50t/d / 1990 ~ 1993 / @袖ヶ浦)



PDU試験(Process Development Unit)
(1t/d / 1981 ~ 1985 / @勝田)



実施主体

- *1: 石炭利用水素製造技術研究組合(HYCOL組合)
(NEDO委託事業)
- *2: 電源開発株式会社(J-POWER/NEDO共同研究)
- *3: 大崎クールジェン株式会社(経産省補助事業)

大崎クールジェンプロジェクト

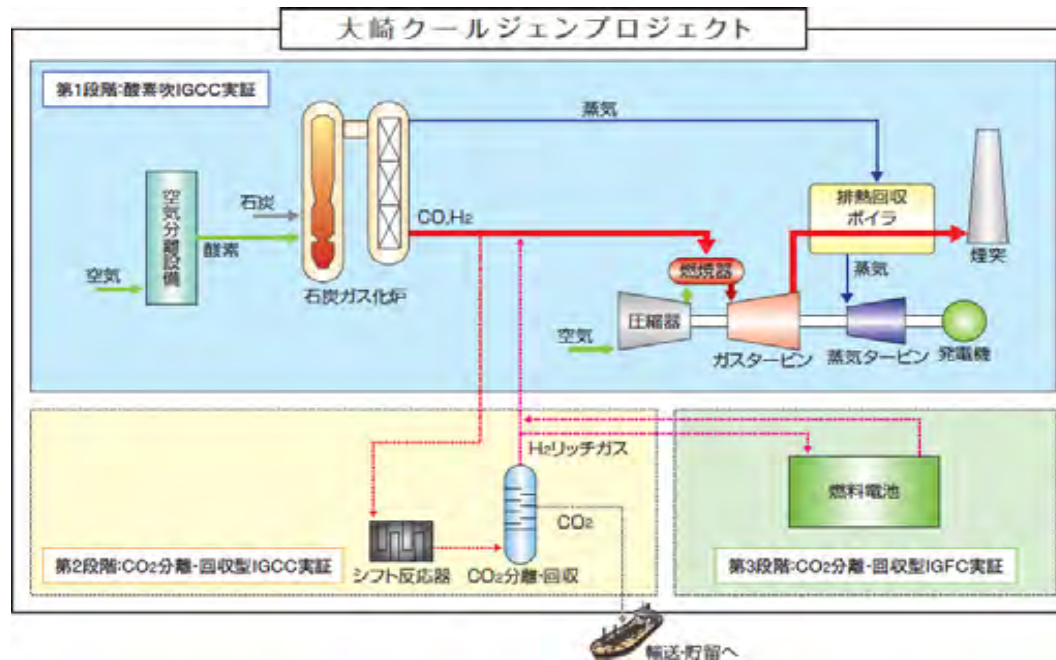


完成予想図

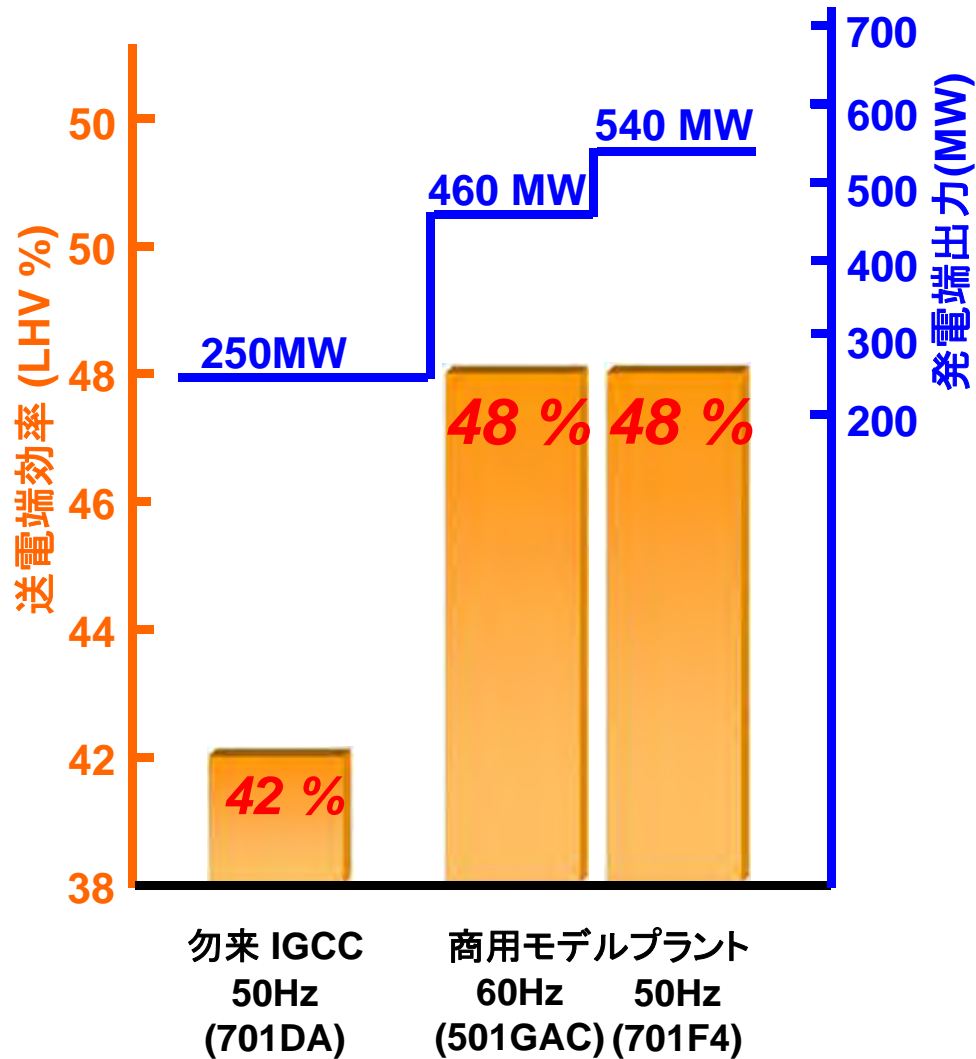
主な仕様
 定格出力
 ガス化炉
 ガス精製
 ガスタービン
 プラント効率
 プロジェクトスケジュール
 建設開始
 実証運転開始

166 MW (gross)
 酸素吹き乾式給炭
 湿式化学吸収法(MDEA)
 (Methyldiethanol Amine)
 1300°C級
 40.5% (HHV, 送電端)

2013年3月
 2017年3月



IGCC商用機



項目	主要仕様	
	60Hz	50Hz
石炭	瀝青炭	
発電出力 発電端	460 MW	540 MW
送電端	410 MW	480 MW
ガス化炉 酸化剤	空気 (酸素富化)	
給炭方式	乾式給炭	
ガス精製方式	湿式 化学吸収法 (MDEA) (Methyl Di-ethanol Amine)	
ガスタービン	M501GAC × 1 (1 on 1)	M701F4 × 1 (1 on 1)
送電端効率 (LHV)	48 %	

Note: 発電出力・効率等の性能数値については、サイト条件や石炭性状等により異なります。

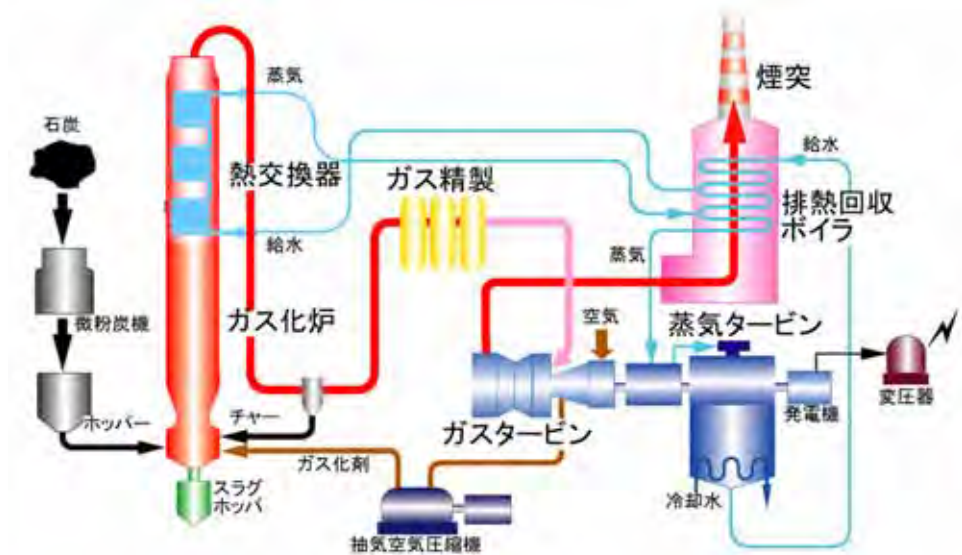
福島復興IGCCプロジェクト



主な仕様

定格出力	540 MW (発電端) 480 MW (送電端)
ガス化炉	空気吹き乾式給炭
ガス精製	湿式化学吸収法(MDEA)
ガスタービン	M701F GT (1 on 1)
プラント効率	48% (LHV, 送電端)

- 最新式のガスタービン採用により効率向上
- 最新のUSC発電設備よりもCO2排出量を低減
- 高水分低品位炭など幅広い炭種適合性
- 勿来250MW IGCC発電設備で実証された高信頼性システム(PHOENIX IGCC)を採用



IGCCの普及にむけて



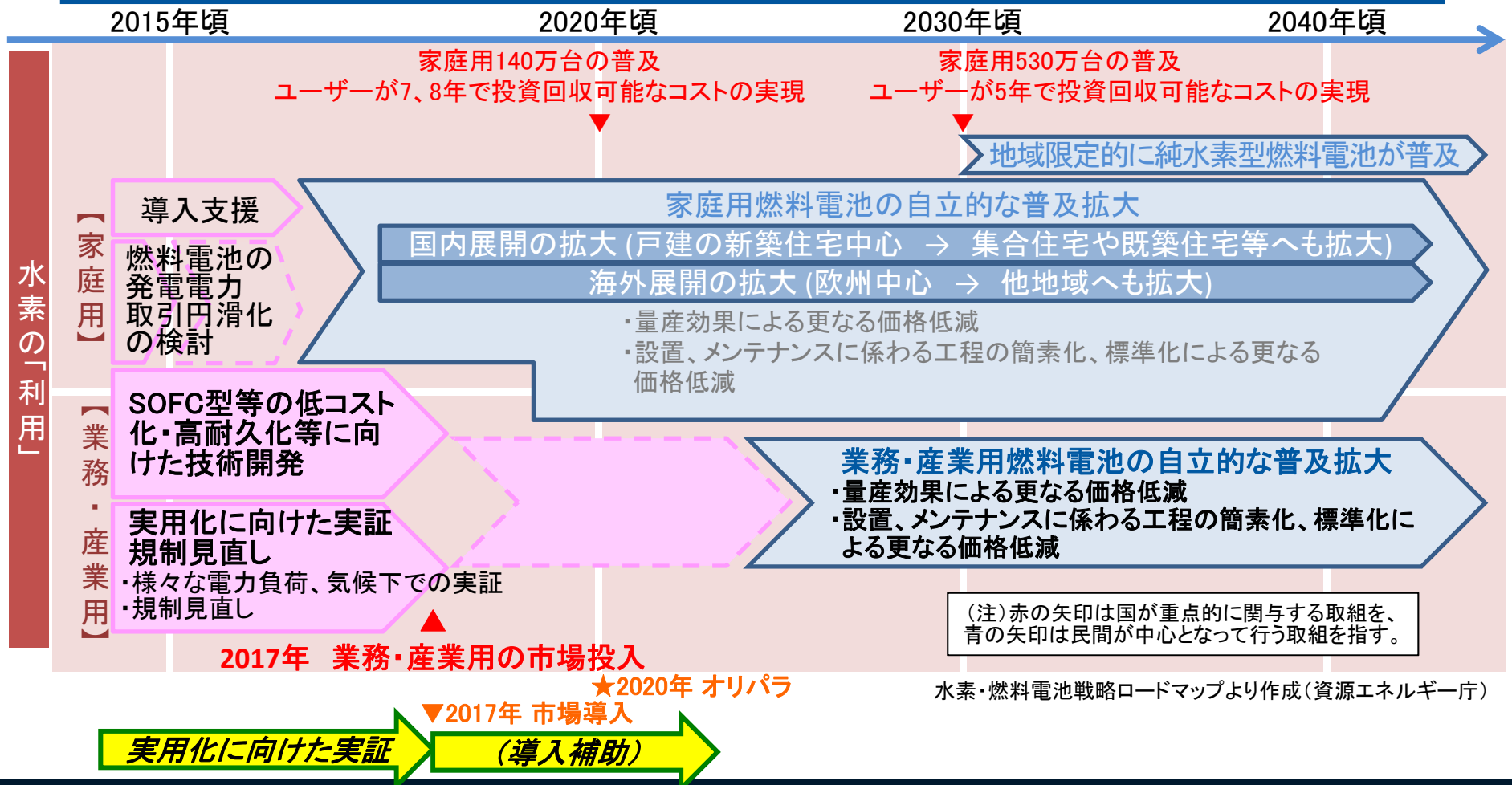
MHPSが目指す石炭ガス化複合発電IGCC

お客様からメリットを評価いただき、発電事業に貢献できる石炭火力発電設備

- 1 . 経済性** 発電原価低減(設備費/燃料費) / 事業性向上
石炭消費量削減、実証機冗長性改善、スケールメリットなどの反映
廉価な石炭活用(低灰融点の亜瀝青炭、米国PRB炭など)
- 2 . 環境性** 石炭火力建設計画推進
CO₂ / NO_x / SO_x / ばいじんなど排出量削減 環境アセスに有利
灰処理低減、取放水量削減などが可能 発電原価低減、リプレイスに有利
- 3 . 信頼性** 発電原価低減 (運転時間拡大/事業性改善)
実証機実績を反映した操業計画、計画停止(定検期間)と計画外停止をmin.に
スケールアップ、高性能ガスタービンの採用の検証
- 4 . その他 (炭種・運用性)**
炭種の選択肢拡大(灰融点の低い石炭、亜瀝青炭)
運用性など向上 (負荷変化などシステムアドバンテージを活かす)

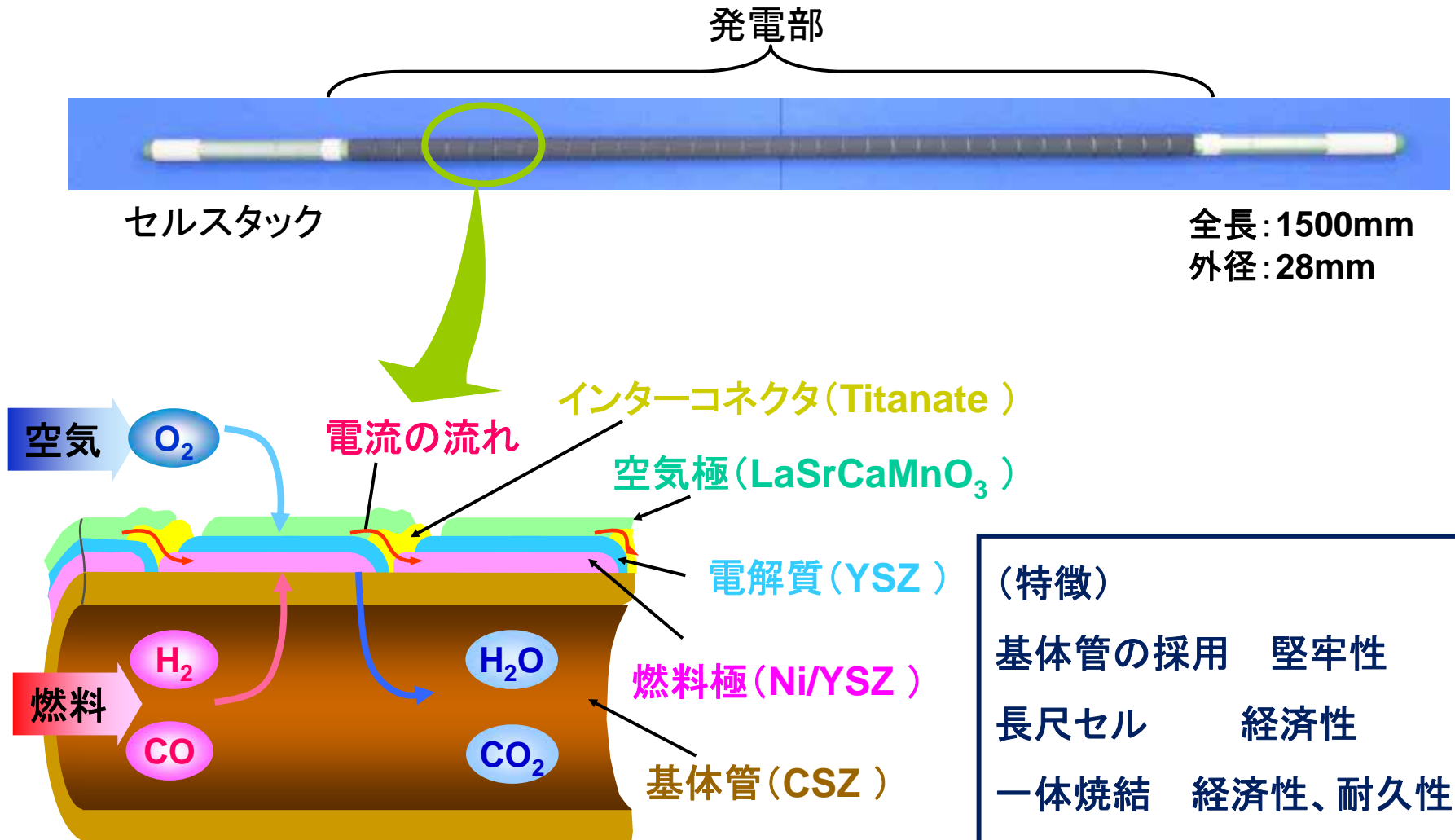
燃料電池の実用化に向けたロードマップ

- 今回の『エネルギー基本計画』において、**業務用・産業用分野の燃料電池の早期の実用化・普及拡大**が明記された。
- 更に、経産省／水素・燃料電池戦略ロードマップでも、2017年からの本格市場導入と国による支援が示された。



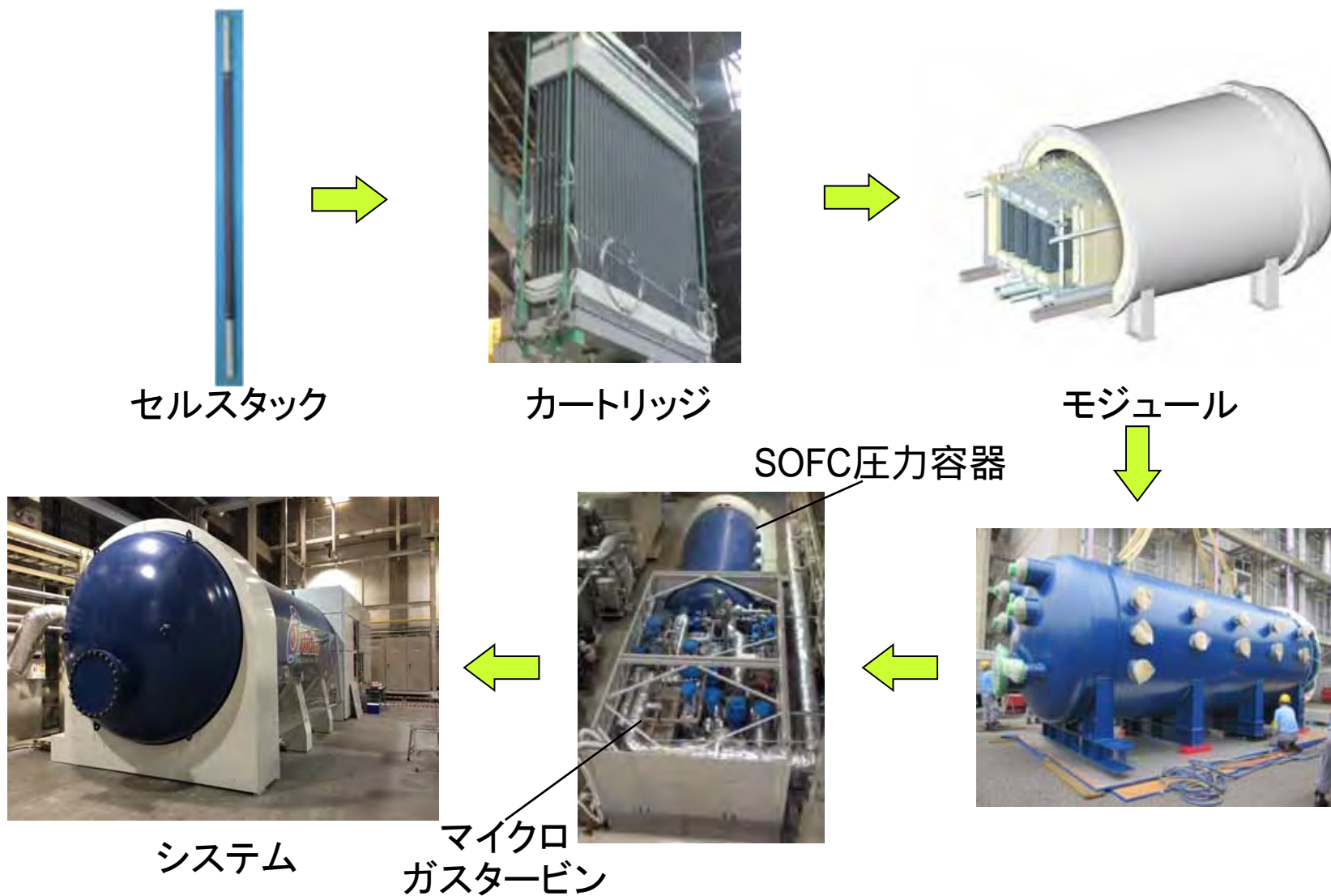
水素・燃料電池戦略ロードマップより作成(資源エネルギー庁)

円筒形SOFCの構造



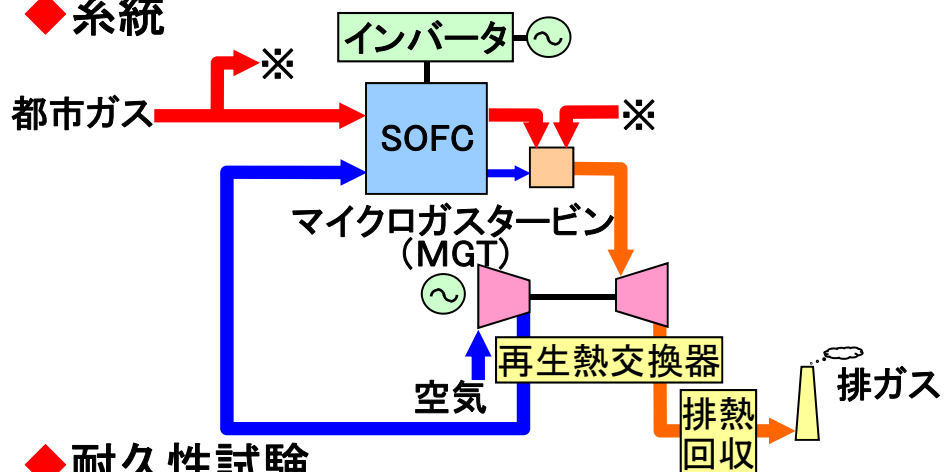
- (特徴)
- 基体管の採用 堅牢性
 - 長尺セル 経済性
 - 一体焼結 経済性、耐久性

円筒形SOFCのシステム構成



SOFC-MGTハイブリッドシステム概要

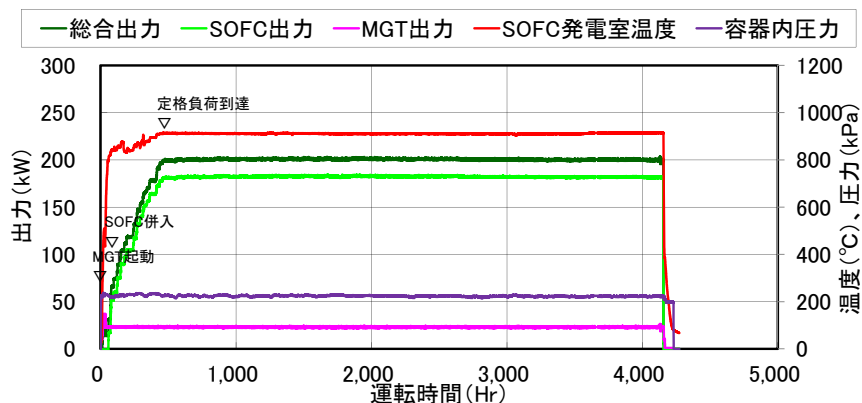
◆ 系統



◆ 据付



◆ 耐久性試験



◆ システム仕様

発電容量 250kW級
 発電効率 55%以上
 総合熱効率 73%以上 (温水:85°C)
 作動圧力 0.3MPa
 燃料 都市ガス
 NOx 15ppm以下、騒音 70dB以下
 完全自動運転対応、1年間ノーメンテ

- 2013/3/15起動後、定格負荷にて連続運転を継続し、9/7に計画停止
連続発電時間4,100h、累積運転時間5,067hを達成
- 定格負荷でのユニット運転状態 出力(AC発電端ベース): 206kW(SOFC: 183kW/MGT: 23kW)
 発電効率(AC発電端LHVベース): 50.2%、総合効率: 75%
- 定格負荷一定条件において経時劣化は見られず、電圧低下率0%/1000hで安定していることを確認

高効率コージェネレーション発電システム

本仕様における全ての数値は今後の開発計画値です。



機種		HYBRID-FC 250
効率	総合効率(%)-LHV, (温水回収の場合)	73
	発電効率(%)-LHV	55
出力	定格発電出力(kW)	250
	発電効率(%)-LHV送電端 (定格出力)	55
	周波数(Hz)	50/60
	相数	3
	電圧 (V)	200/220又は400/440
システム	外形寸法(m)	[W]3.2 [L]13.0 [H]3.5
	重量(ton)	40
	運転音(dB(A))	~ 70
	起動時間(h)	[Cold]12 [Hot]2
熱回収	排熱回収量(kW(MJ/h))	67
	温水()	83 88
	温水流量 標準値(L/min)	428
SOLIDA	種別	固体酸化物形燃料電池 [SOFC]
	燃料	都市ガス 13A
MGT	型式	TG051R (株式会社トヨタタービンアンドシステム)
	排ガス量	1400Nm ³ /h
	Nox排出濃度 (ppm(O ₂ 16%))	~ 15 (起動時も含む)

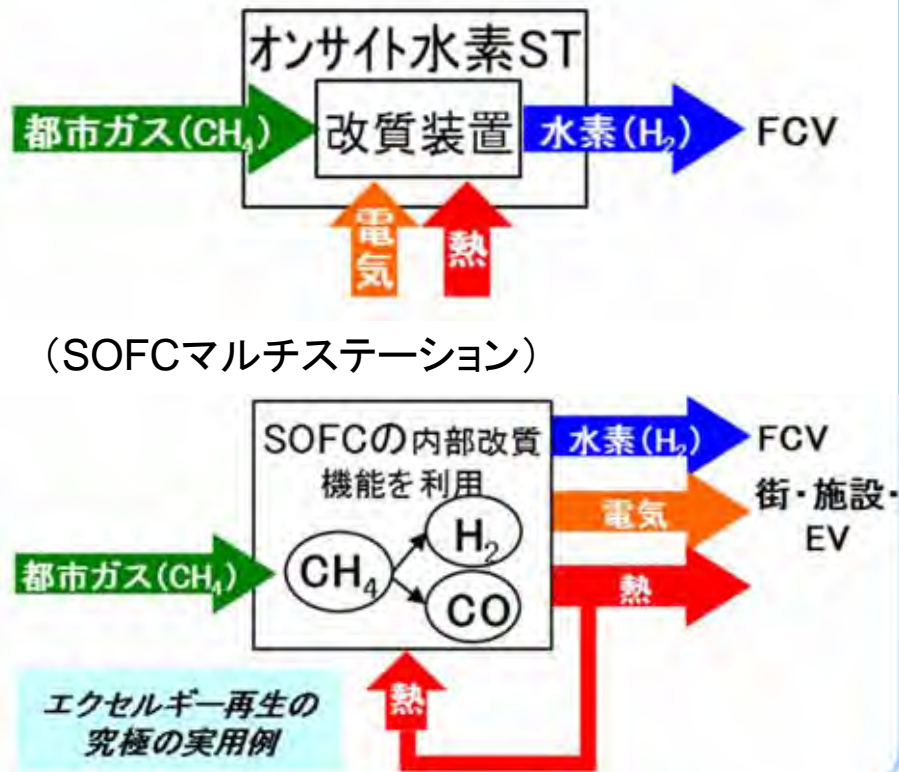


本製品は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (N E D O) の共同研究業務の結果得られた成果を活用しています。

SOFCの活用事例として マルチエネルギーステーション(クアトロジェネレーション)構想(案)

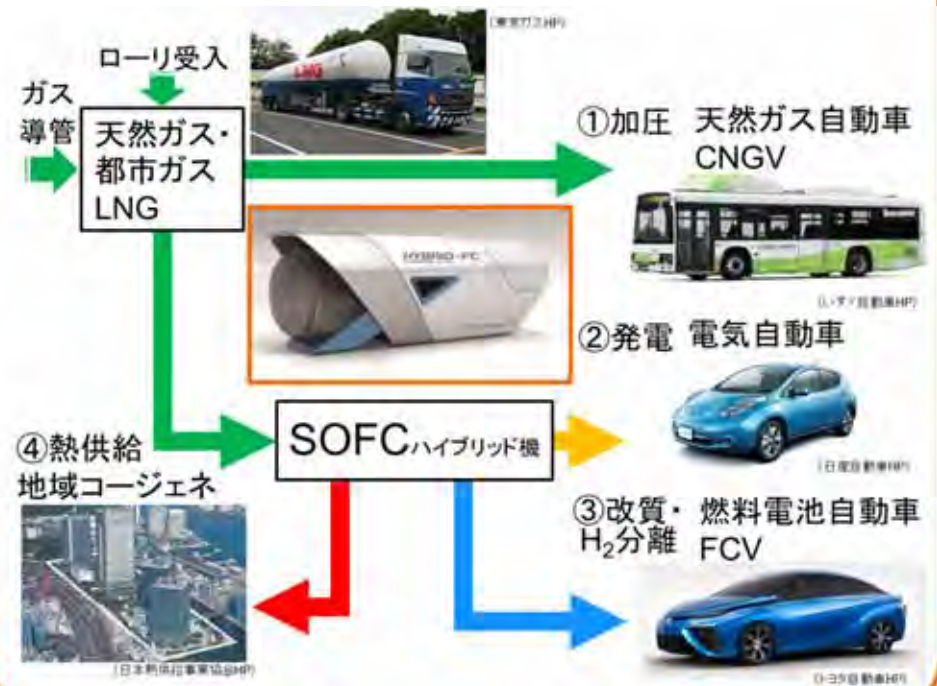
- FCV普及初期に様々な低炭素燃料自動車にエネルギーを供給できるマルチステーションは、稼働率向上が期待できる。

- 水素ステーションとSOFCマルチステーションの比較
(水素ステーション)



マルチエネルギーステーション 「クアトロジェン」

→ (CNG/電気/水素/熱) を供給できる → 様々な低炭素技術に対応





- ◆MHPSはA-USC、IGCC、SOFCといった次世代高効率発電の開発に取り組んでおります。
- ◆IGCCについては既に勿来250MW機にて実証し、現在は商用機を目指したIGCCプロジェクトに取り組んでおります。
- ◆MHPSは今後も高効率発電技術を日本のみならず世界へ展開し、省エネ化を図り、地球規模での二酸化炭素の排出量削減及び環境保全に貢献する所存です。



**MITSUBISHI HITACHI
POWER SYSTEMS**