

勿来IGCCの運転状況と 次期大型IGCCの建設計画

2016年4月15日

常磐共同火力(株) 勿来発電所
IGCC事業本部長
石橋 喜孝



目次

- 1. 常磐共同火力および勿来発電所のご紹介**
- 2. IGCC(石炭ガス化複合発電)技術のご紹介**
- 3. 空気吹きIGCCの開発経緯と勿来IGCCの運転成果**
- 4. 国内外でのIGCCの開発動向**
- 5. 次期大型IGCCの建設計画(福島復興電源)**
- 6. 次期大型IGCCへの反映項目 他**

設 立：1955年12月23日

事業内容：火力発電による電気の卸供給

資本金：560億円

株 主：東北電力、東京電力（各49.1%）
常磐興産、古川機械金属、南悠商社、
戸部商事、日新商事（計1.8%）

電気卸供給先：東北電力、東京電力 各50%

本社所在地：東京都神田須田町1-1



勿来発電所 概要

所在地：福島県いわき市佐糠町大島20

合計出力：187万5千kW（6～10号機）

各ユニット概要

(IGCC)

ユ ニ ッ ト	6号機	7号機	8号機	9号機	10号機
出 力	175,000kW	250,000kW	600,000kW	600,000kW	250,000kW
運転開始年月日	1966年11月30日	1970年10月26日	1983年9月9日	1983年12月15日	2013年4月1日
使 用 燃 料	重油	石炭・炭化燃料 木質ペレット	石炭・炭化燃料 木質ペレット	石炭・重油・炭化燃料 木質ペレット	石炭

<勿来発電所の特徴>

- ・常磐地区の低品位炭を目的に設立され、石炭使用に係わる多くの技術開発を実施
- ・新旧の技術が混在（亜臨界圧発電、超臨界圧発電、IGCC）
- ・港を持たず石炭はトラックによる二次輸送、住宅地に近接

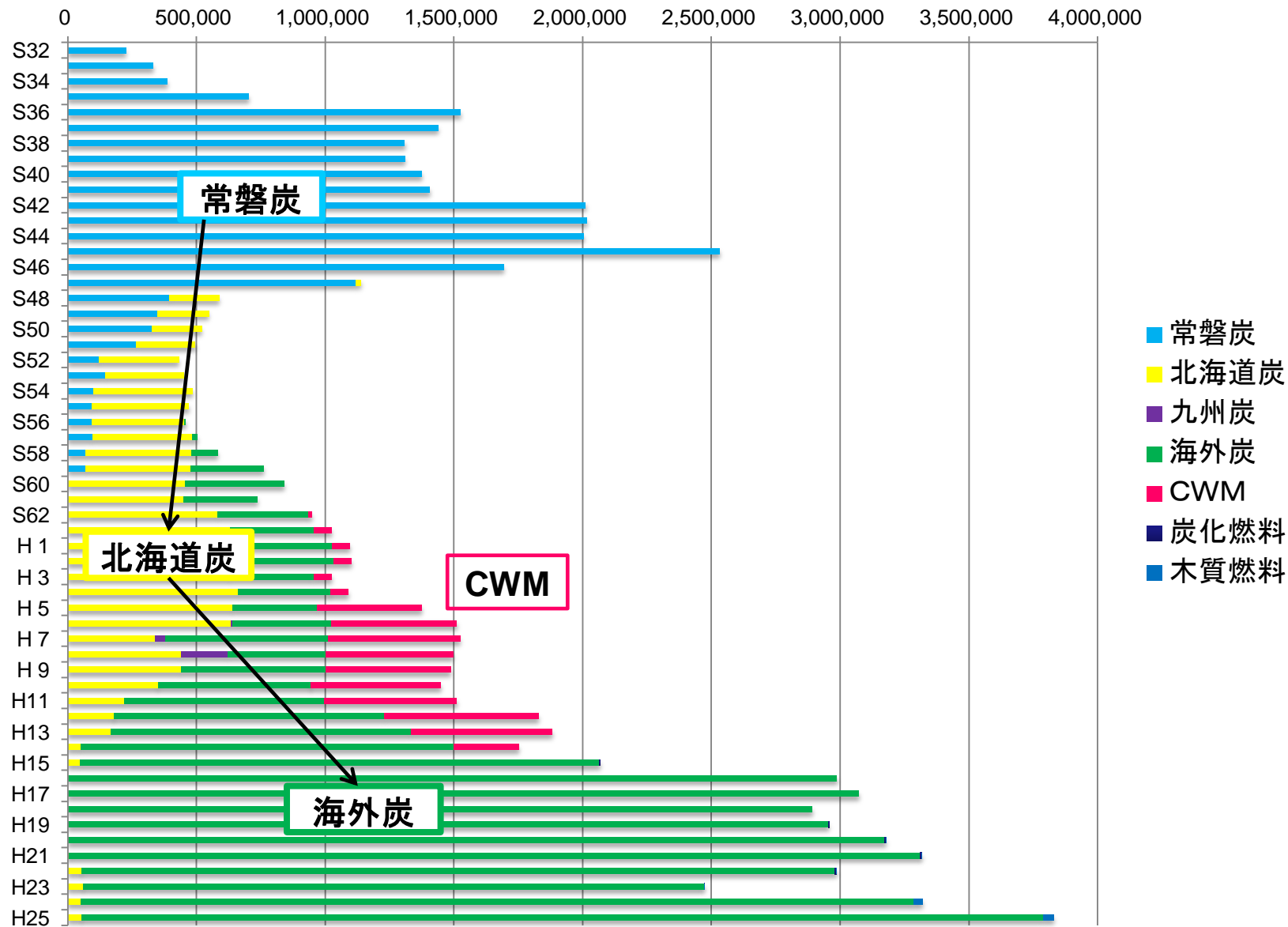


次期大型IGCC
建設予定地

勿来10号機
250MW IGCC

勿来発電所全景

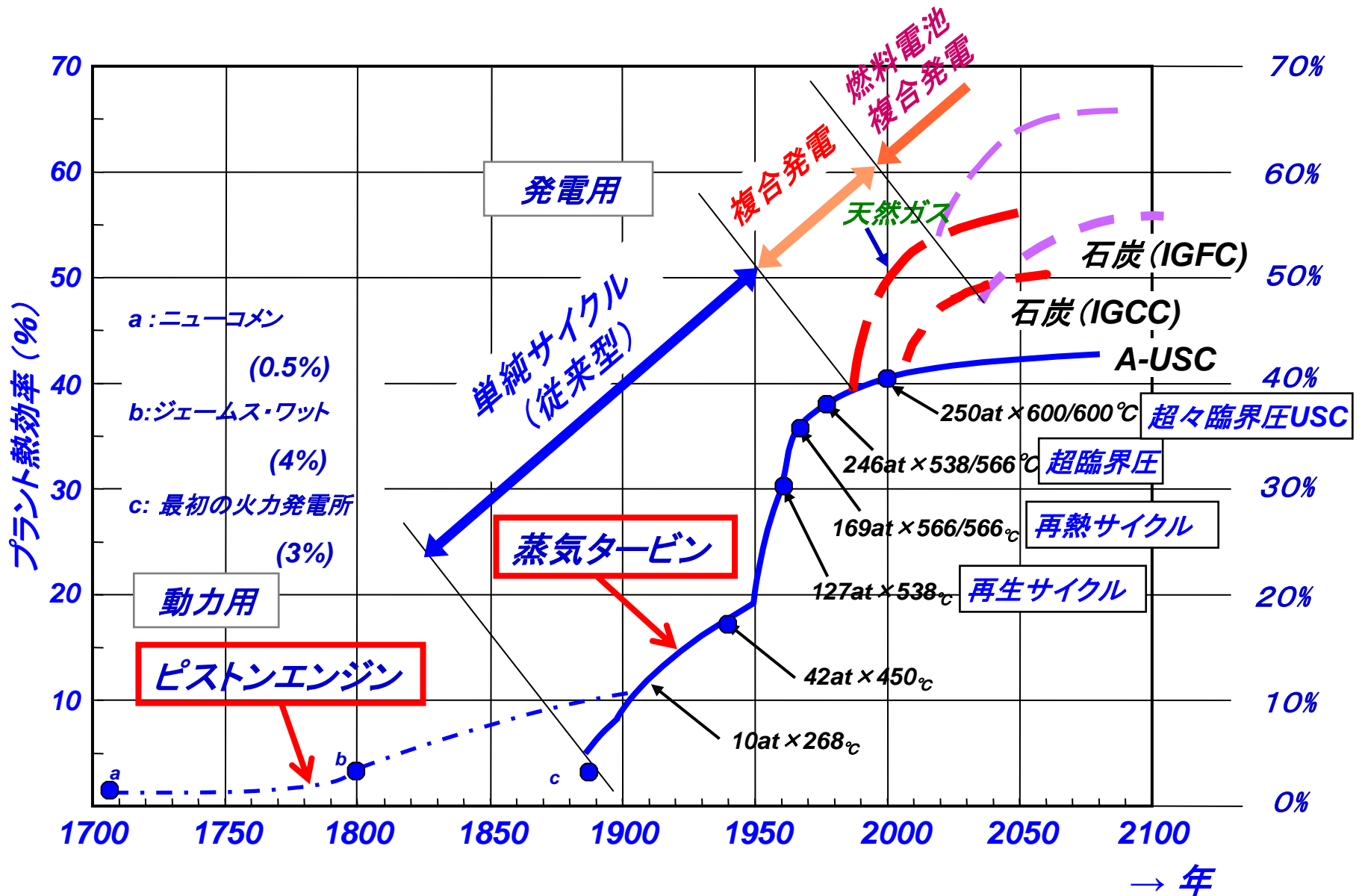
使用燃料の推移 (常磐共同火力)



目次

1. 常磐共同火力および勿来発電所のご紹介
2. IGCC(石炭ガス化複合発電)技術のご紹介
3. 空気吹きIGCCの開発経緯と勿来IGCCの運転成果
4. 国内外でのIGCCの開発動向
5. 次期大型IGCCの建設計画(福島復興電源)
6. 次期大型IGCCへの反映項目 他

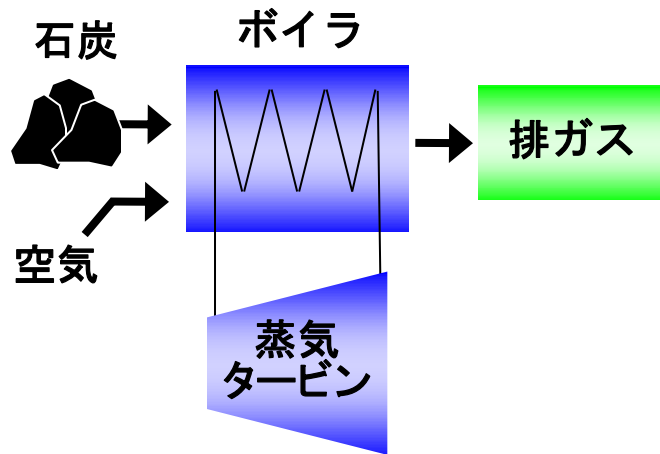
火力発電の熱効率の歴史



IGCCとは

従来型石炭火力(PCF)

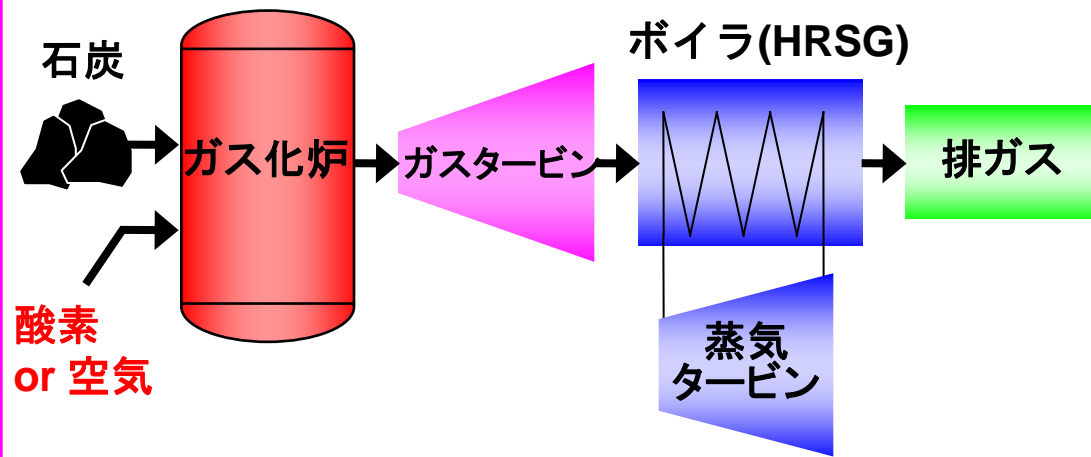
ボイラ+蒸気タービン



PCF : Pulverized Coal Firing

石炭ガス化複合発電(IGCC)

ボイラ+蒸気タービン+ガス化炉+ガスタービン



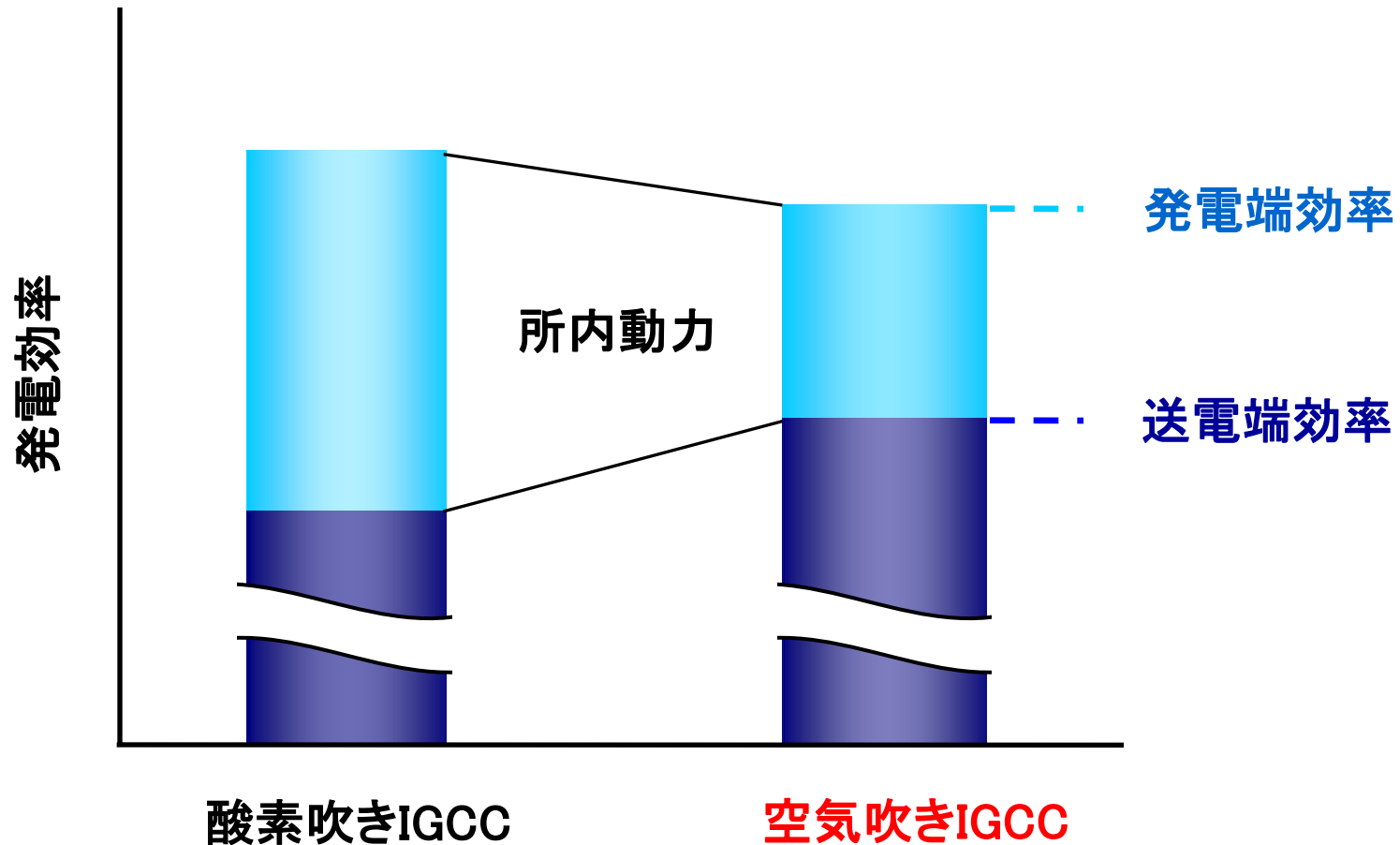
IGCC : Integrated coal Gasification Combined Cycle

- ・IGCCは複合発電技術の採用により、従来型石炭火力に比べて発電効率が低い。
- ・IGCCには酸素吹きと空気吹きとの2方式があり、勿来では世界で唯一の空気吹きIGCCを開発。

世界の主要IGCC プロジェクト

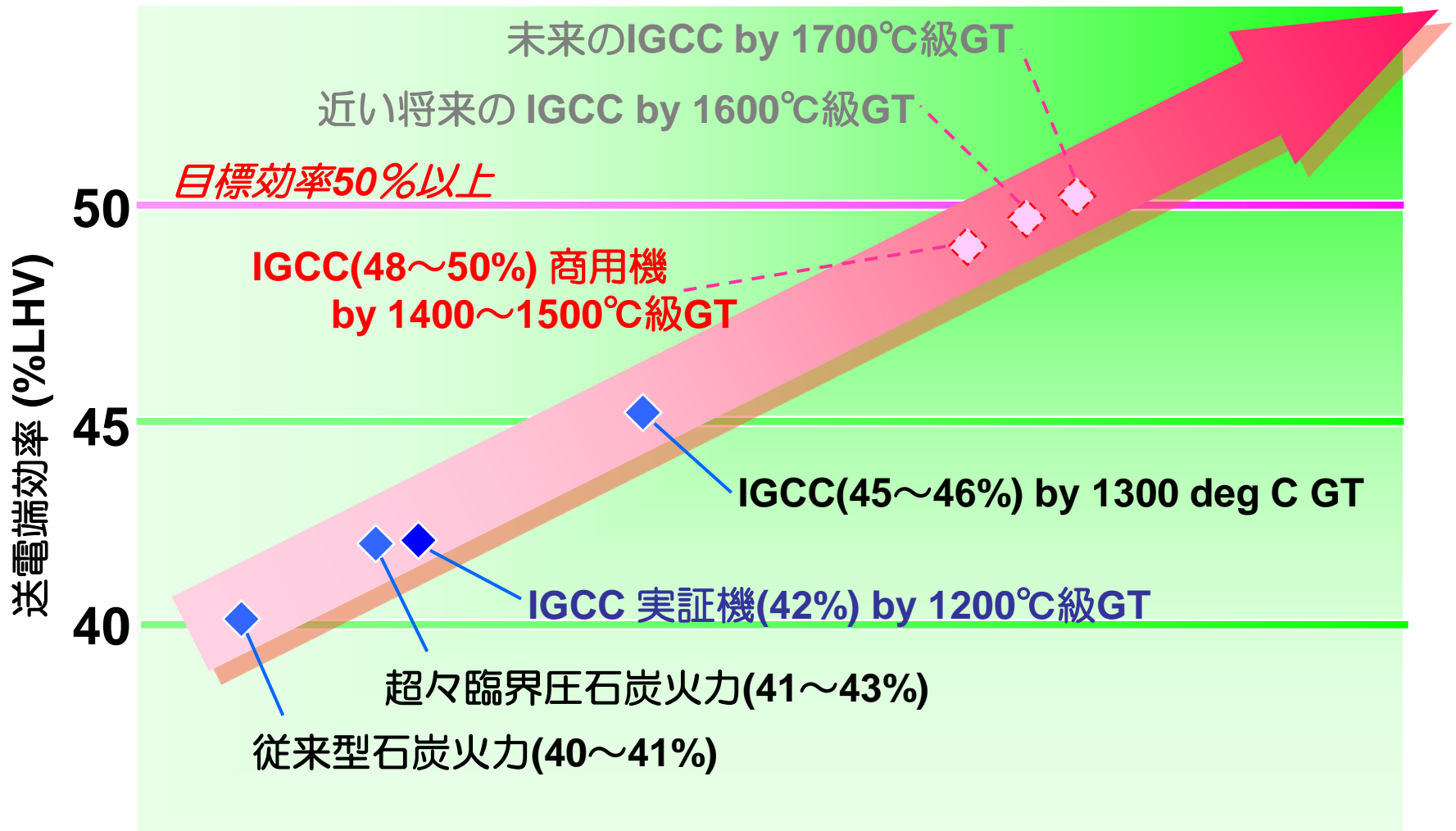
プロジェクト 国	<u>Buggenum</u> Netherland	<u>Puertollano</u> Spain	<u>Wabash River</u> USA	<u>Tampa</u> USA	<u>Nakoso</u> Japan
ガス化炉 タイプ	酸素吹き Dry-feed Shell	酸素吹き Dry-feed Penflo	酸素吹き Slurry-feed E-Gas™	酸素吹き Slurry-feed GE	空気吹き Dry-feed 三菱重工
石炭 消費量	2,000 t/日	2,600 t/日	2,500 t/日	2,500 t/日	1,700 t/日
発電端出力 GT燃焼温度	284 MW 1,100度級	335 MW 1,300度級	297 MW 1,300度級	315 MW 1,300度級	250MW 1,200度級
運転開始 時期	1994年1月	1997年12月	1995年10月	1996年9月	2007年9月
連続運転 時間	3,287時間	1,847時間	1,673時間	953時間	<u>3,917時間</u>

酸素吹きIGCCと空気吹きIGCCの比較



- ・空気吹きIGCCは、酸素製造動力が不要のため、酸素吹きIGCCに比べて所内動力が少なく、送電端効率が2～2.5ポイント高くなる。
- ・化学品製造を伴う場合は石炭ガス中に不純物(窒素)を含まない酸素吹き、発電専用であれば送電端効率の高い空気吹きの採用が妥当と考えられる。

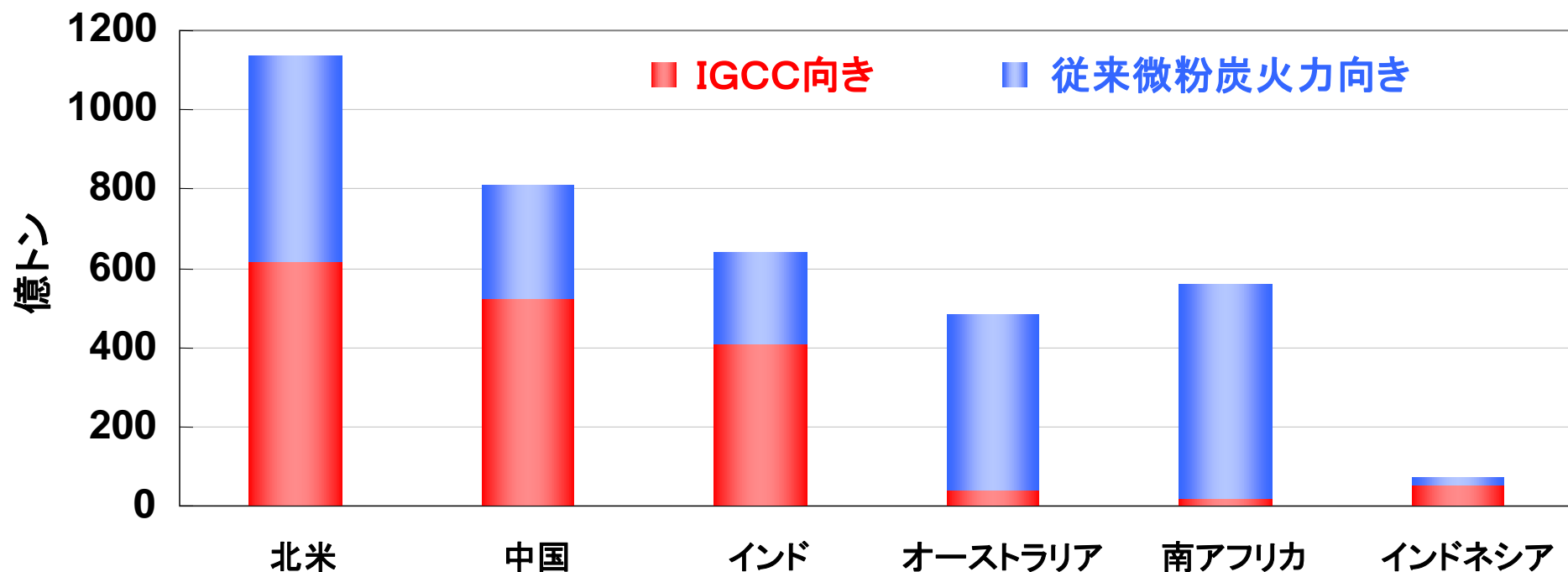
メリット1：発電効率の向上



ガスタービン技術の進展(高温化)によって複合発電の効率は向上する。

メリット2：適用炭種の拡大

世界の石炭資源量



■微粉炭火力向き(高灰融点炭)

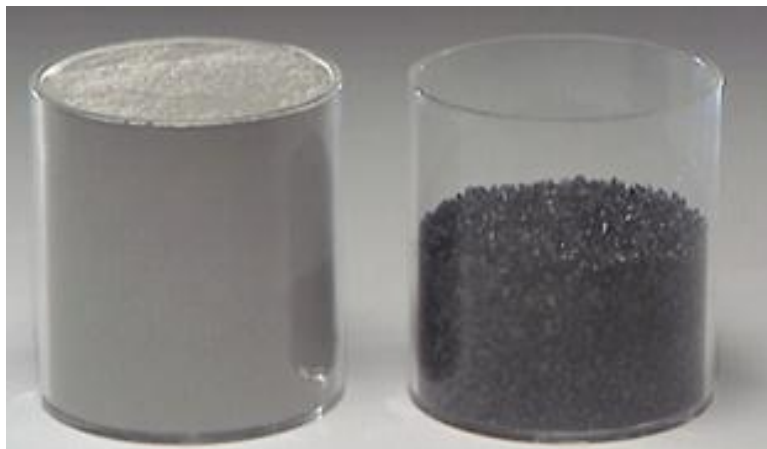
⇒ 高灰融点炭を使用することにより、ボイラの壁に溶融灰が付着して伝熱障害を起こすのを防ぐ

■新たに利用可能(低灰融点炭)

⇒ 低灰融点炭を使用することにより、ガス化炉から溶融スラグとして石炭灰が排出される

IGCCは、微粉炭火力では使いにくい石炭を利用することができる

メリット3：石炭灰スラグの有効利用



灰をガス化炉内で溶かして、ガラス状のスラグとして排出するため容積がほぼ半減

フライアッシュ
(従来石炭火力)

ガラス状スラグ
(IGCC)

セメントの原材料や路盤材等として有効利用可能



道路舗装のアスファルトへの利用



コンクリート成型製品への利用

メリット4：大気環境性能の向上

煙突出口のSO_x、NO_x、煤塵濃度は、8ppm、5ppm、4mg/m³N以下を達成

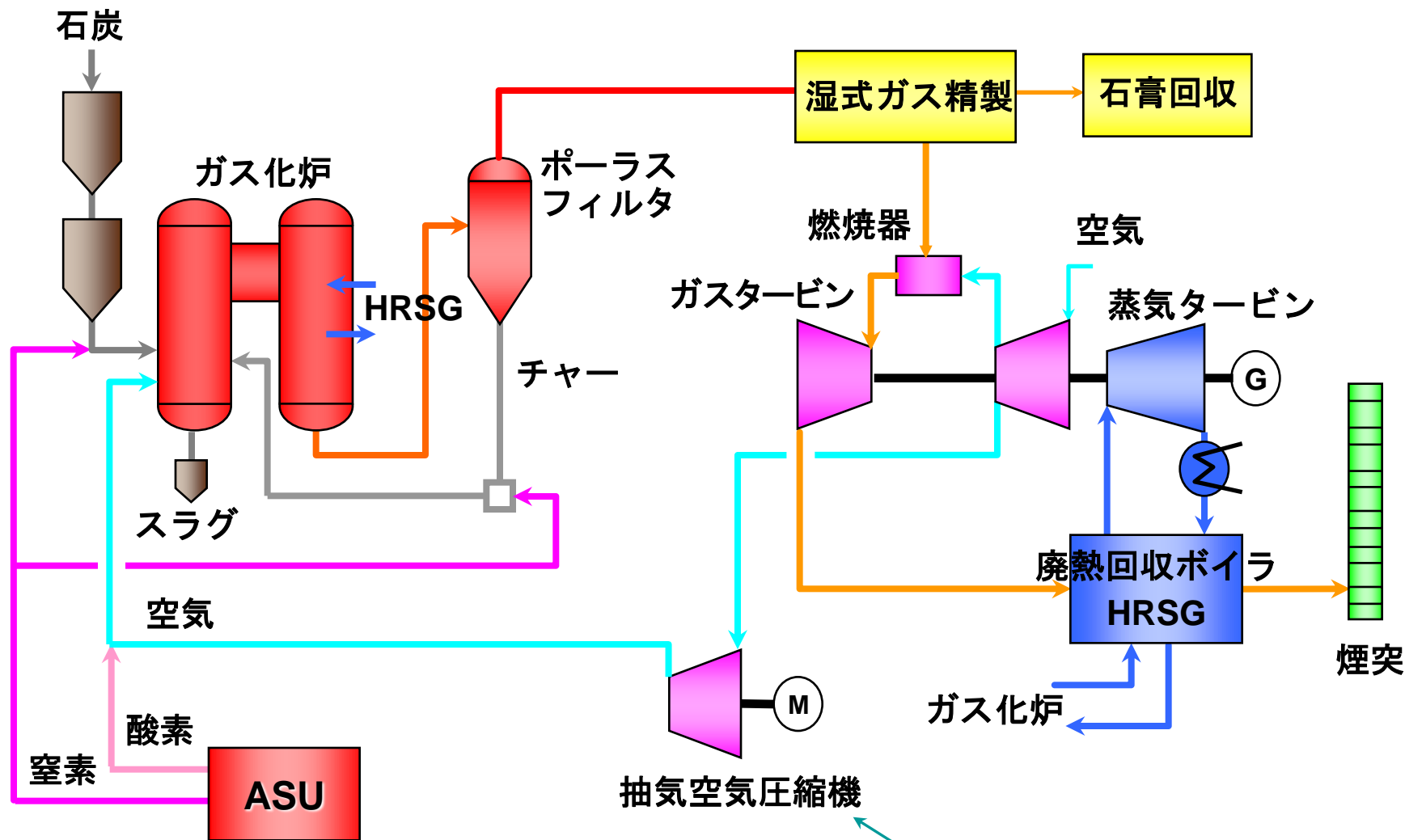
メリット5：温排水量の低減

複合発電方式の採用により、従来型石炭火力に比べて温排水量を約3割低減

メリット6：用水使用量の低減

脱硫装置を設置した従来型石炭火力では大量の用水を必要としたが、IGCCでは燃料段階でのガス精製となるため、用水使用量を大幅に低減

IGCC実証機の系統図

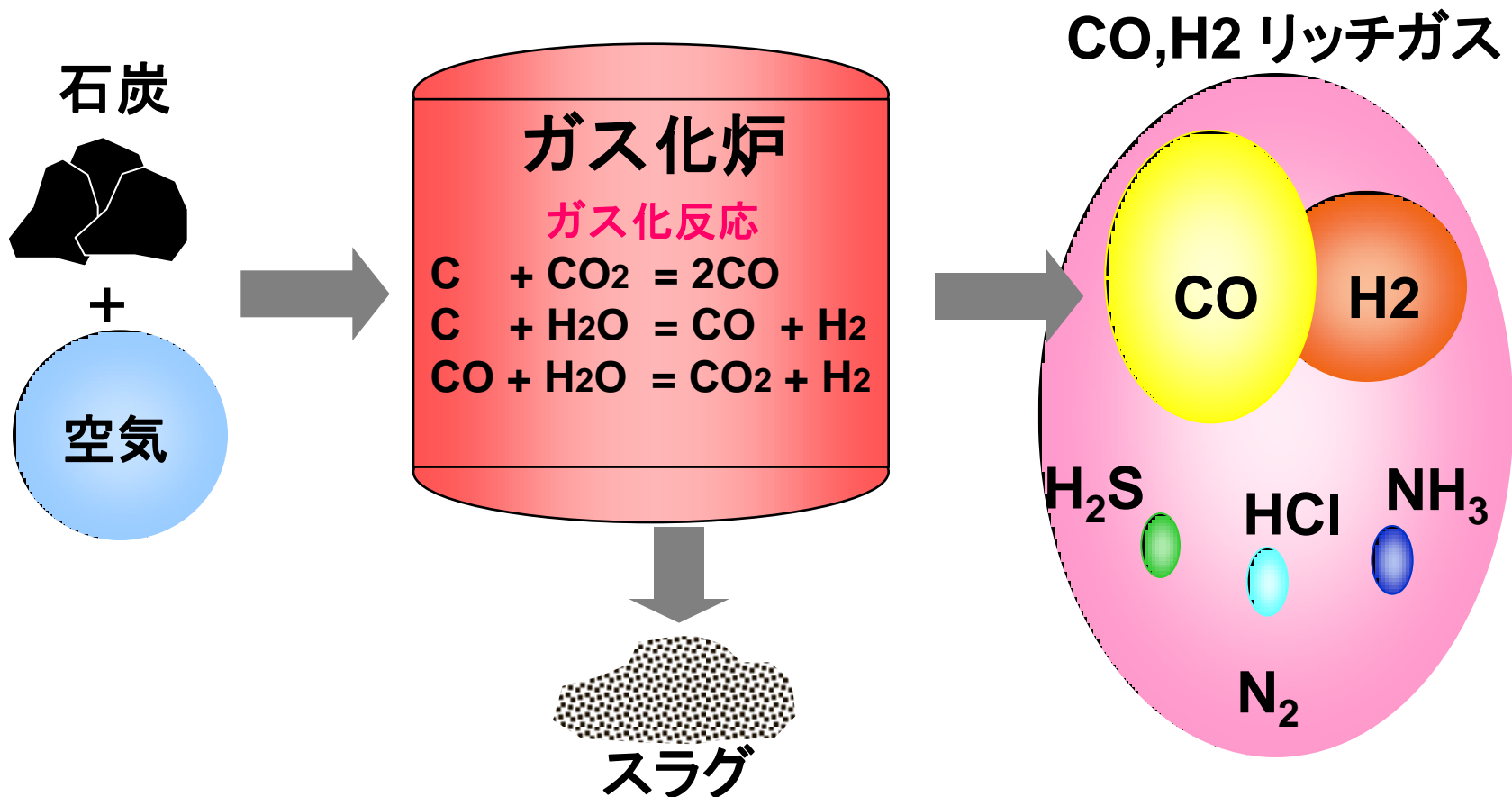


空気分離装置(ASU)は、石炭やチャーを加圧・搬送するための窒素製造が主目的であり、酸素吹きIGCCに比べて非常に小さい。

ガス化に必要な空気はGT空気圧縮機から抽気・昇圧して供給し、所内動力を低減。

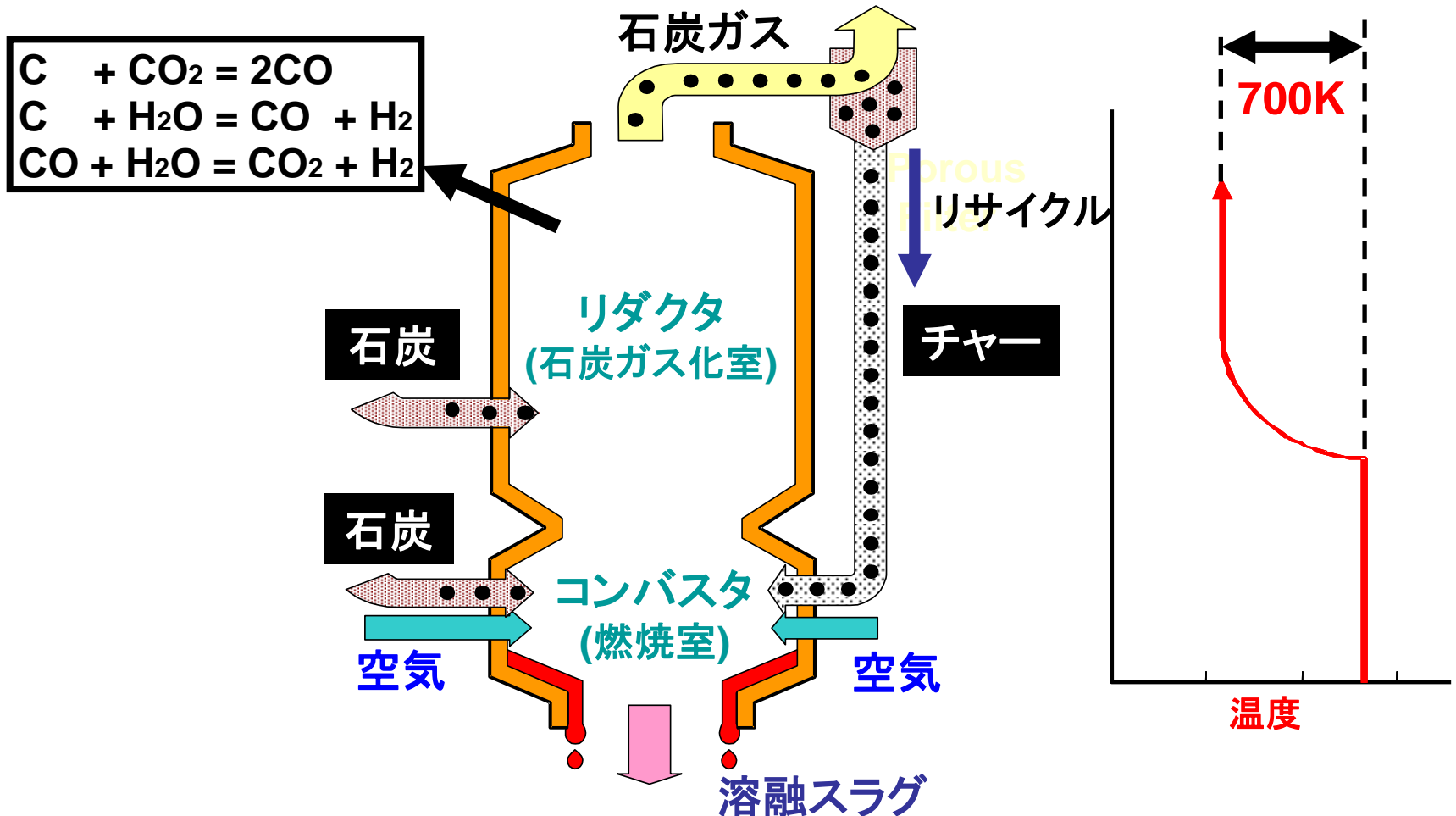
ガス化のしくみ

- ・石炭を空気により部分燃焼(空気比0.4~0.45)させ、発熱量5~5.5MJ/m³N程度のガスタービン燃料に適したガスを製造
- ・石炭灰はガス化炉内で溶融し、水で急冷してガラス質の水砕スラグとして排出
- ・燃料ガス中の不純物は後段のガス精製設備にて除去



ガス化炉本体の特徴

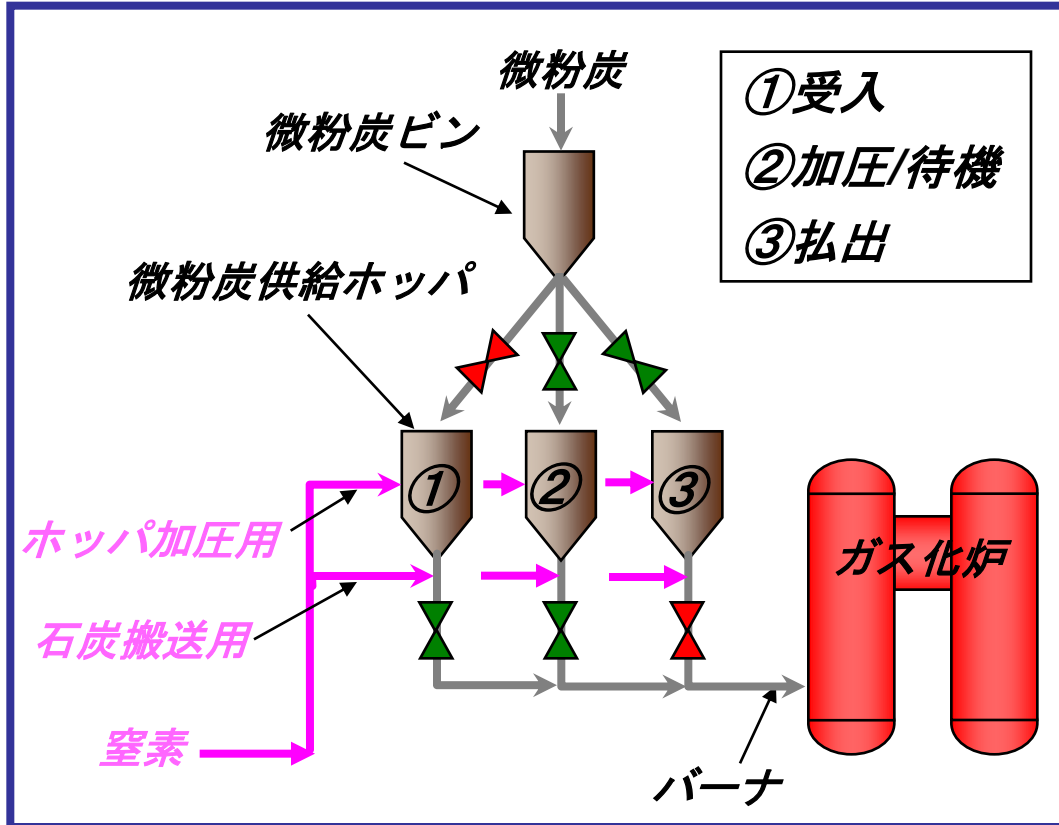
- ・ 空気で効率良くガス化するため二室二段噴流床方式を採用
- ・ 未燃分はチャーリサイクルによりほとんどゼロ（炭素転換率99.9%以上）
- ・ コンバスタは耐火材を用いず、石炭灰によるセルフコーティング方式を採用
- ・ ガス化炉全体を圧力容器内に収め、空間を窒素で充填して安全確保（二重壁構造）



給炭方式の特徴

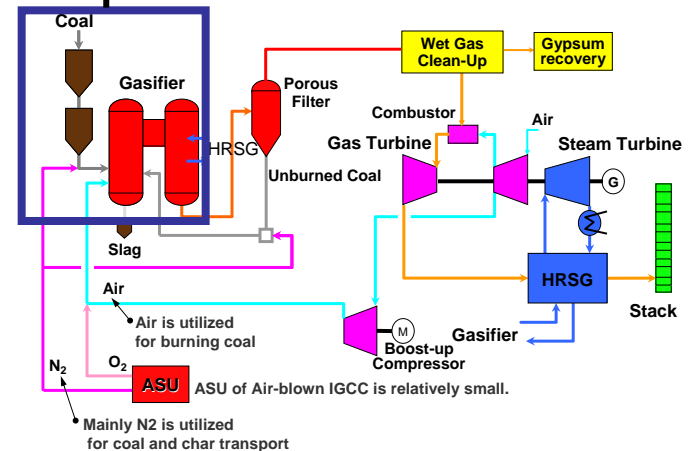
乾式給炭・高濃度搬送・パラレルロックホッパ方式の採用

- ・ 乾式給炭：微粉炭を窒素で加圧し、約30気圧のガス化炉に給炭
- ・ 高濃度搬送：ガス化炉内への窒素を持ち込み量を最小とするため、微粉炭を高濃度で搬送する方式を採用（固気比15～20程度）
- ・ パラレルロックホッパ方式：受入ホッパ、加圧/待機ホッパ、払出ホッパを順次切替ながら給炭



<設備改善>

- ・ ホッパの加圧制御の改善
 - ・ ホッパ底部の流動化の改善
- 等を行いながら、安定給炭を達成

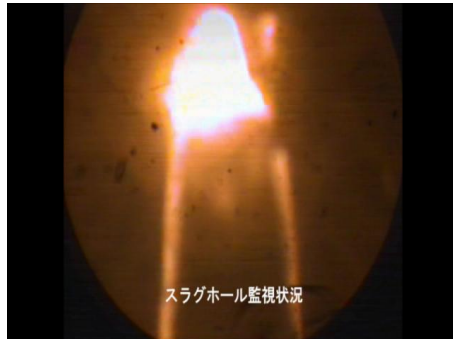


画像監視によるガス化炉安定運転の確認

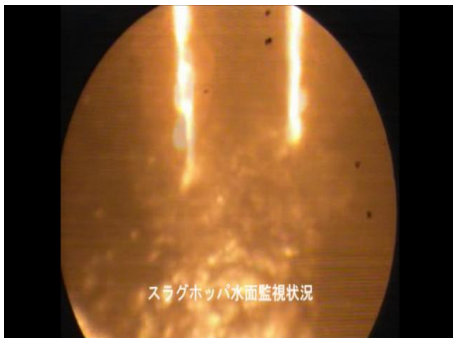
スラグ流下監視装置

- ・ ガス化炉下部にビデオカメラを設置し、①溶融スラグのスラグホールからの流下状況、②溶融スラグのスラグホップ水面への流下状況を画像監視
- ・ 溶融スラグが二筋で安定して流下していれば、ガス化炉安定運転の証明

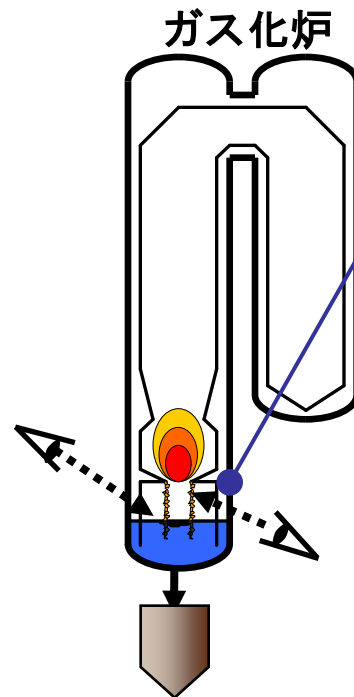
<溶融スラグの安定流下>



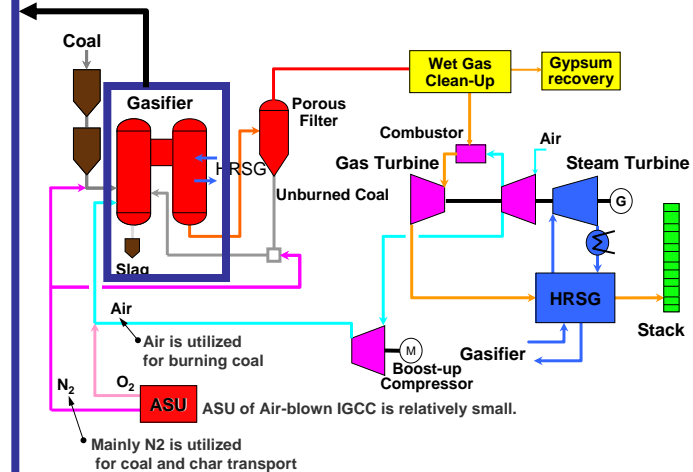
スラグホールからのスラグ流下



スラグホップ水面へのスラグ流下

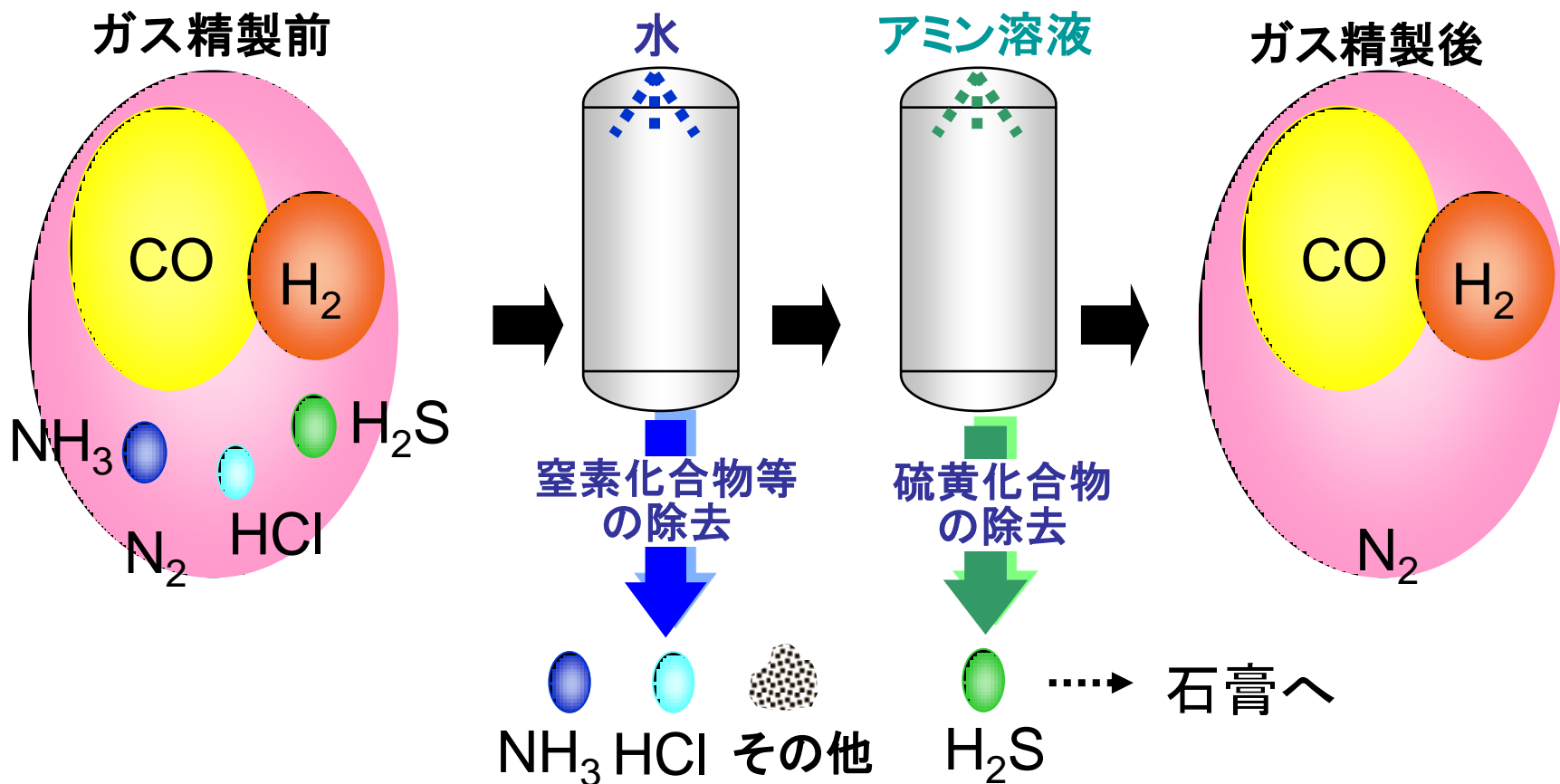


- スラグ流下監視装置
- >画像分析装置
- >音響監視装置



ガス精製のしくみ

- ・ガスタービンで燃焼させる前の高圧化でまだ体積の小さい段階でガスを精製
- ・信頼性の高い湿式ガス精製方式を採用
 - 水洗浄塔で窒素化合物(NH_3)、塩化水素(HCl)等を除去
 - アミン吸収塔で硫黄化合物(H_2S)を除去、石膏として回収
 - hidroカーボン、水銀の除去も考慮
- ・徹底した熱回収により、湿式ガス精製採用による熱効率低下を抑止



目次

1. 常磐共同火力および勿来発電所のご紹介
2. IGCC(石炭ガス化複合発電)技術のご紹介
3. 空気吹きIGCCの開発経緯と勿来IGCCの運転成果
4. 国内外でのIGCCの開発動向
5. 次期大型IGCCの建設計画(福島復興電源)
6. 次期大型IGCCへの反映項目 他

日本における空気吹きIGCCの開発経緯

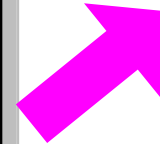
実証プラント

クリーンコールパワー研究所
1700t/d 250MW (2007-2013)
(現在の勿来発電所10号機)



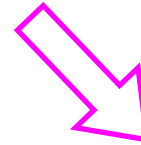
パイロットプラント

石炭ガス化複合発電技術研究組合
200t/d 25MW相当 (1991-1996)



Process development unit

電力中央研究所-三菱重工
2t/d(1983-1995)



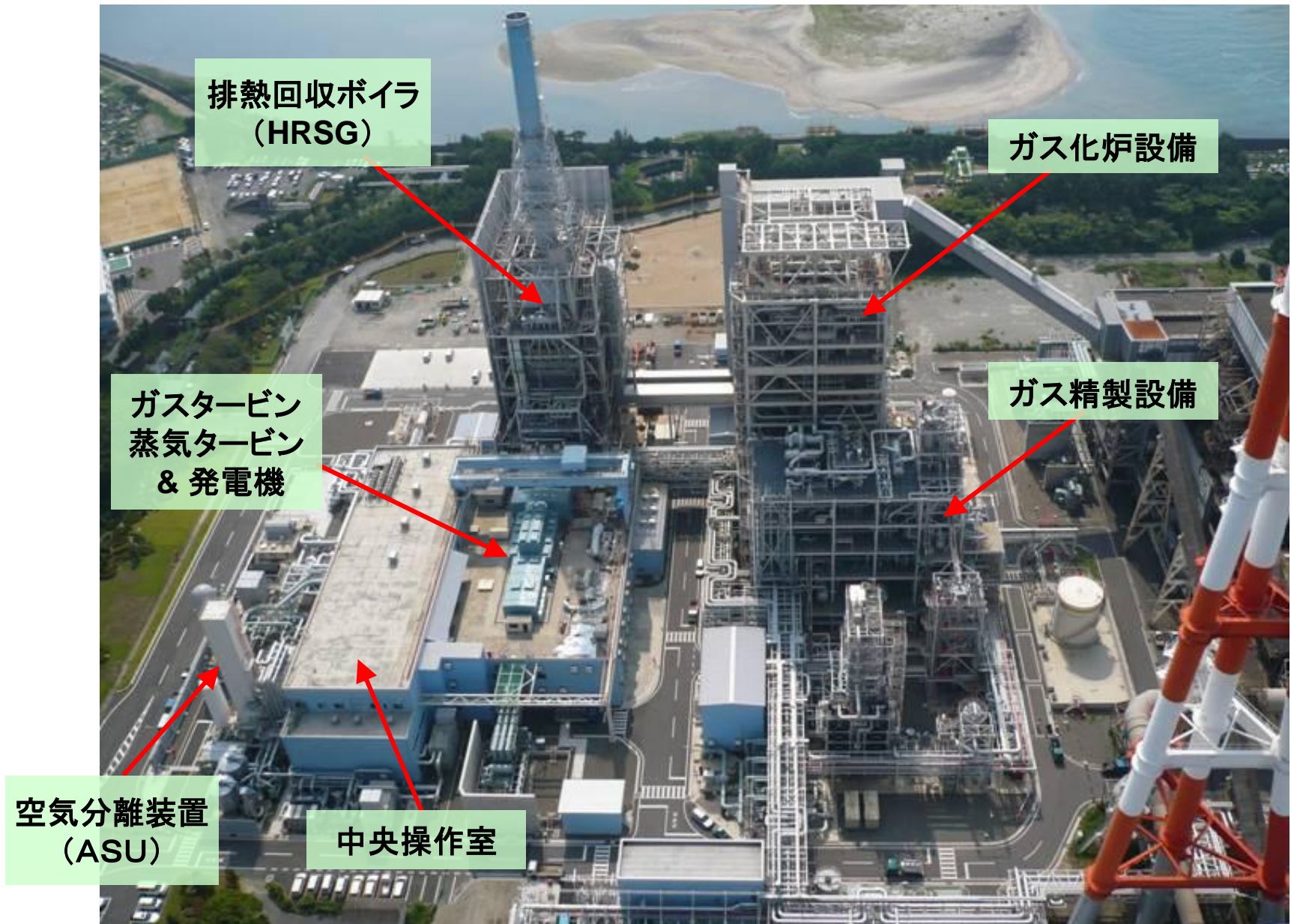
確認テスト用プラント

三菱重工 長崎工場
24t/d (1998-2002)

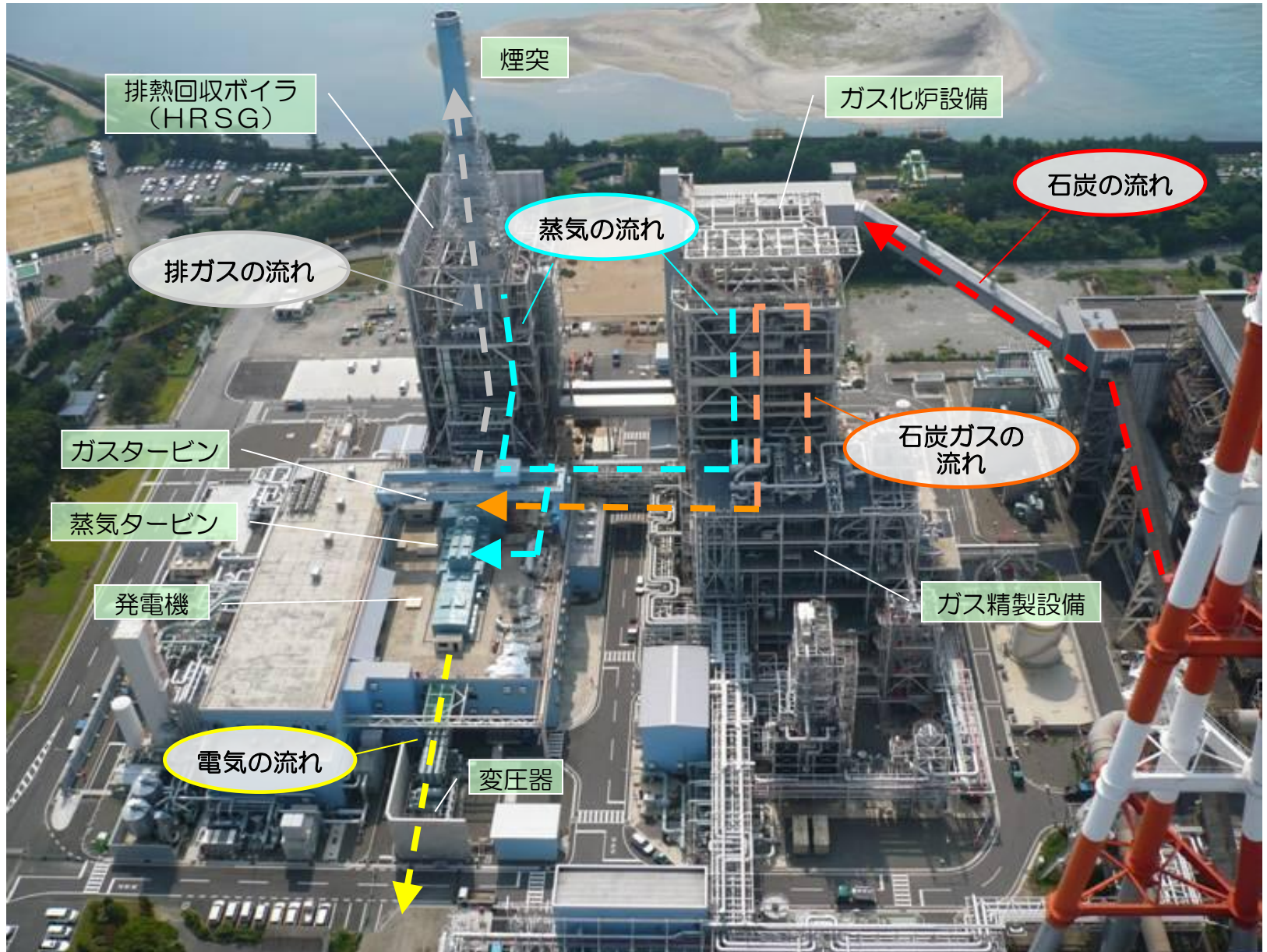


CRIEPI: Central Research Institute of Electric Power Industry

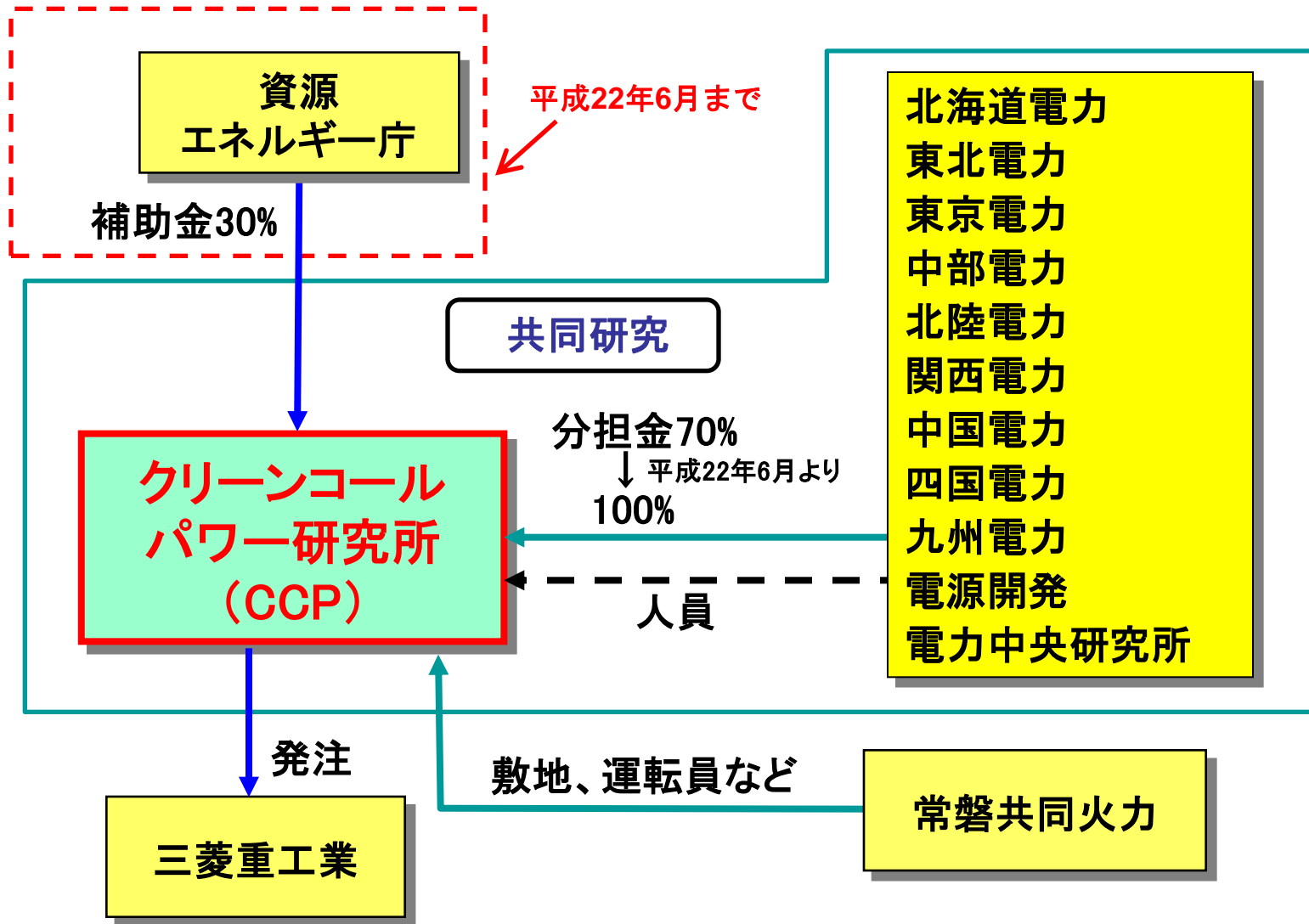
IGCC 実証プラント鳥瞰図



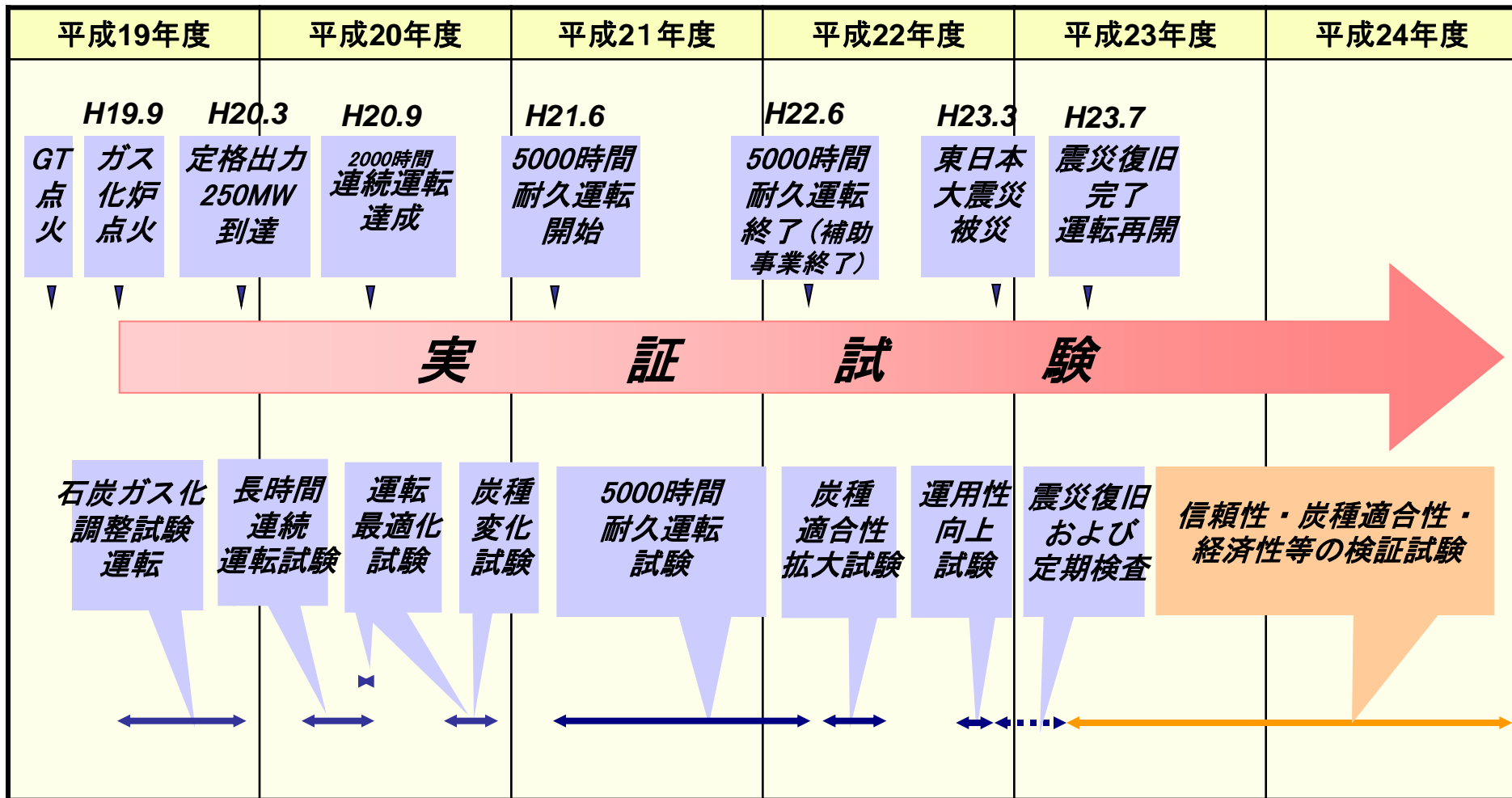
I G C C 実証機全景



IGCC実証試験体制



実証試験実績スケジュール



IGCC実証機の移管と商用転用

2013年3月31日以前

- ・ 設備の所有者：(株)クリーンコールパワー研究所
- ・ 位置付け：実証試験研究
- ・ 設備名称：IGCC実証機
- ・ 結果：5年半に亘る実証試験は成功裏に終了
商用機設計に必要なデータを取得



＜移管の理由＞

- ・ 電源としての供給力活用
- ・ IGCC運転保守技術の一層の成熟化

2013年4月1以降

- ・ 設備の所有者：常磐共同火力(株)
- ・ 位置付け：商用運転
- ・ 設備名称：勿来発電所10号機
- ・ 運転状況：6/28～12/8の間 3,917時間の連続運転を達成



実証試験成果

項目	目標	達成状況
システムの 安全性	定格出力での安定運転、異常時の安全停止を確認	定格出力250MWでの安定運転を確認(H20/3)
環境性	ばい煙濃度(煙突出口) 目標:SOx:8ppm NOx:5ppm ばいじん:4mg/m ³ Nの達成	目標ばい煙濃度以下を確認(H20/3) 実績値: SOx:1.0ppm NOx:3.4ppm ばいじん:0.1mg/m ³ N
信頼性	2000時間(夏季3ヶ月間相当)の連続運転の達成	連続運転2,039時間を達成(H20/9) 震災復旧後連続運転2,238時間を達成(H23/11)
炭種適合性	設計炭(中国神華炭)以外の石炭についても安定運転を確認	北米PRB亜瀝青炭、インドネシア亜瀝青炭、コロンビア炭、ロシア炭、カナダ炭等
高効率性	目標送電端効率42%の達成	送電端効率42.9%を達成(H21/1)
耐久性	5000時間耐久運転試験後、設備の開放点検を行い検証	<ul style="list-style-type: none"> ・年間5000時間運転到達(H22/6) ・開放点検により設備に重大な損傷なしを確認 ・大地震(震度6弱)でも倒壊せず、耐震性を確認
経済性	商用機における建設費、運転費保守費等を総合的に評価	商用機の発電原価は、従来型石炭火力と同等以下となる可能性あり
運用性	火力プラントとしての運用性の向上	従来型石炭火力並の運用性を確認(H23/3) (起動時間15時間、最低負荷36%、負荷変化率3%/分 等)

性能試験結果 (2008年3月)

	設計値	試験結果
大気温度 発電端出力 ガスタービン出力 蒸気タービン出力 送電端効率(LHV)	15°C 250 MW 128.9 MW 121.1 MW 42 %	13.1°C 250.0 MW 124.4 MW 125.8 MW 42.4 %
石炭ガス 発熱量 組成 CO CO ₂ H ₂ CH ₄ N ₂ & Others	4.8 MJ/m ³ N 28.0 % 3.8 % 10.4 % 0.3 % 57.5 %	5.2 MJ/m ³ N 30.5 % 2.8 % 10.5 % 0.7 % 55.5%
環境性能 (16% O ₂ 換算) SO _x NO _x 煤塵	<目標値> 8 ppm 5 ppm 4 mg/m ³ N	1.0ppm 3.4 ppm <0.1 mg/m ³ N

2008年3月に定格出力(250MW)運転を達成、定格出力での安定運転と設計性能が確認された。

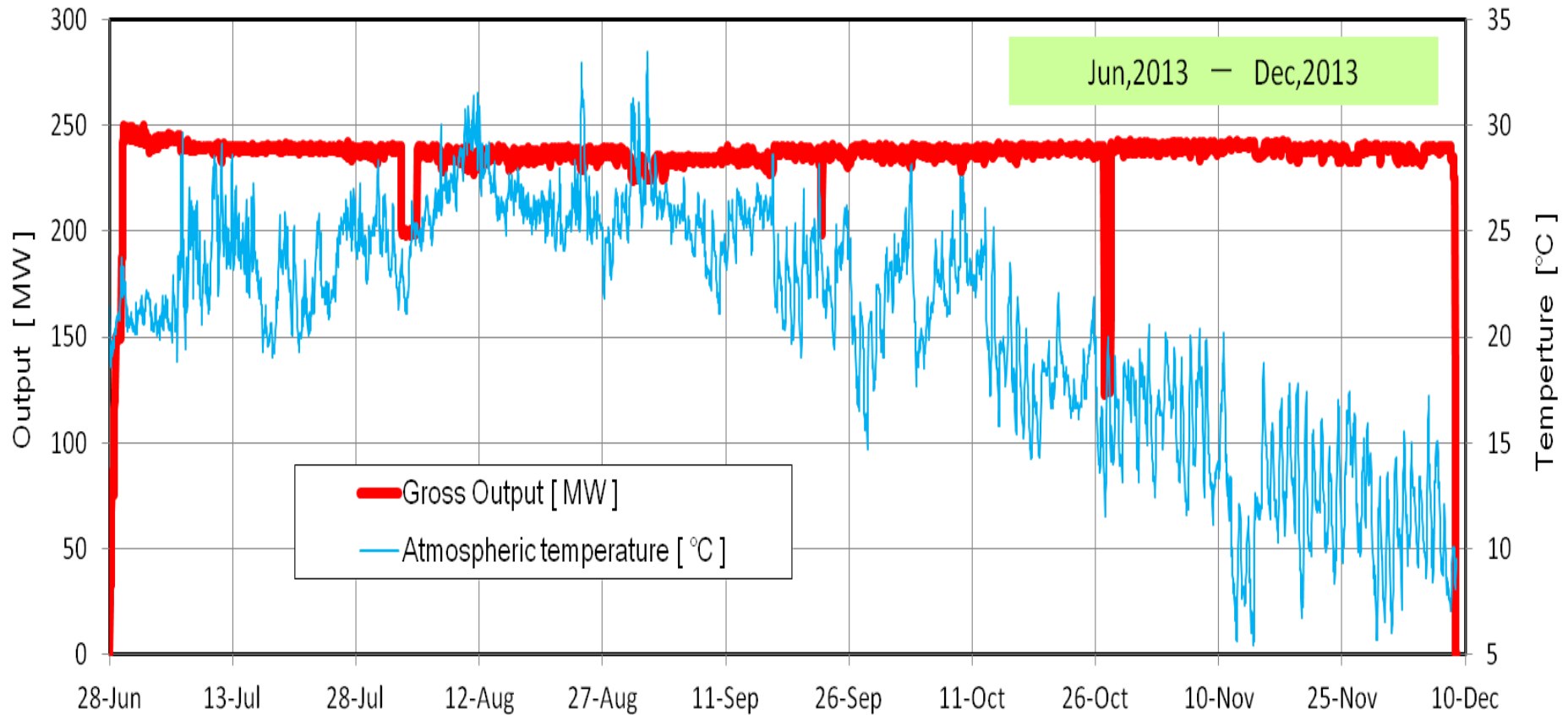
試験炭種

(設計炭)

		中国 2009. 1	北米 (A) 2009. 1	インドネシア (A) 2009. 3	インドネシア (B) 2010. 9	コロンビア (A) 2011. 9	ロシア 2011. 12	インドネシア (C) 2012. 1	北米 (B) 2012. 10	北米 (C) 2013. 1
発熱量 (air dry)	kJ/kg	27,120	26,670	26,370	23,010	28,090	26,560	29,620	25,910	26,790
全水分 (as received)	wt%	15.4	25.3	21.7	29.7	14.7	10.8	8.4	19.6	6.9
全硫黄 (air dry)	wt%	0.25	0.39	0.25	0.12	0.76	0.34	0.62	0.45	0.24
工業分析 (air dry)										
固有水分	wt%	7.5	8.0	7.9	17.1	1.8	3.7	2.7	12.6	5.2
固定炭素	wt%	51.3	47.4	45.2	37.8	49.0	44.8	43.9	46.8	48.1
揮発分	wt%	32.3	39.1	42.5	41.6	35.6	38.2	44.9	35.4	36.8
灰分	wt%	8.9	5.5	4.4	3.5	13.6	13.3	8.5	5.2	9.9
灰溶融温度	deg C	1,225	1,420	1,260	1,230	1,390	1,450	1,570	1,365	1,290

瀝青炭(中国炭等)と亜瀝青炭(北米炭等)の燃焼テストを実施し、安定的に発電できることを確認した。

商用化後の10号機の運転実績



商用化後の勿来IGCCは、2013年の6/28～12/8の間、ほぼ定格出力で3,917時間の連続運転を達成。これまでオランダのブフナムIGCCが持っていたIGCCとしての世界最長連続運転 3,287時間を大きく更新した。

目次

1. 常磐共同火力および勿来発電所のご紹介
2. IGCC(石炭ガス化複合発電)技術のご紹介
3. 空気吹きIGCCの開発経緯と勿来IGCCの運転成果
4. 国内外でのIGCCの開発動向
5. 次期大型IGCCの建設計画(福島復興電源)
6. 次期大型IGCCへの反映項目 他

世界のIGCCプロジェクト（稼働中）

プロジェクト 国	<u>Buggenum</u> Netherland	<u>Puertollano</u> Spain	<u>Wabash River</u> USA	<u>Tampa</u> USA	<u>Nakoso</u> Japan	<u>Edwardsport</u> USA	<u>GreenGen</u> CHINA
ガス化炉 タイプ	酸素吹き Dry-feed Shell	酸素吹き Dry-feed Penflo	酸素吹き Slurry-feed E-Gas™	酸素吹き Slurry-feed GE	空気吹き Dry-feed 三菱重工	酸素吹き Slurry-feed GE	酸素吹き Dry-feed TPRI
石炭 消費量	2,000 t/日	2,600 t/日	2,500 t/日	2,500 t/日	1,700 t/日	5,400 t/日	2,090 t/日
発電端出力 GT燃焼温度	284 MW 1,100度級	335 MW 1,300度級	297 MW 1,300度級	315 MW 1,300度級	250MW 1,200度級	761 MW 1,400度級	265 MW 1,100度級
運転開始 時期	1994年1月	1997年12 月	1995年10 月	1996年9月	2007年9月	2013年6月	2013年6月
連続運転 時間	3,287時間	1,847時間	1,673時間	953時間	<u>3,917時間</u>	2,640時間	—

世界のIGCCプロジェクト（試運転・建設・計画中）

プロジェクト 国	Taeon 韓国	Kemper USA	大崎 CoolGen 日本	福島復興 IGCC 日本	IGCCの導入を検討中の国		
					Chile	Thailand	Poland
ガス化炉 タイプ	酸素吹き Dry-feed Shell	空気吹き Dry-feed 移動床 KBR(TRIG)	酸素吹き Dry-feed MHPS日立	空気吹き Dry-feed MHPS三菱			
石炭 消費量	2,670 t/日	2 × 4,600 t/日	1,180 t/日	— t/日			
発電端出力 GT燃焼温度	380 MW 1,400度級	582 MW 1,300度級	166 MW 1,300度級	540MW × 2 1,400度級			
運転開始 時期	2015年 (試運転中)	2016年 (試運転中)	2017年 (建設中)	2020年 (建設準備 中)			
その他	—	CCS付	将来 CCS,IGFC 実施	—			

目次

1. 常磐共同火力および勿来発電所のご紹介
2. IGCC(石炭ガス化複合発電)技術のご紹介
3. 空気吹きIGCCの開発経緯と勿来IGCCの運転成果
4. 国内外でのIGCCの開発動向
5. 次期大型IGCCの建設計画(福島復興電源)
6. 次期大型IGCCへの反映項目 他

<目的>

- 福島県の経済再生を後押しする産業基盤や雇用機会の創出を目的として、50万kW級IGCCを勿来・広野に各1基建設するもの。
- 福島県がクリーンコール分野で世界を牽引していく拠点となることを目指す

<計画概要(勿来地点)>

○発電設備：出力54万kW IGCC

○設置場所：勿来発電所の隣接スペース

○工程：2016年度末着工、2020年度運転開始予定

現在、環境アセスメントの手続きを実施中。

○実施主体：三菱重工業、三菱商事、三菱電機、東京電力、常磐共同火力、5社によるコンソーシアム

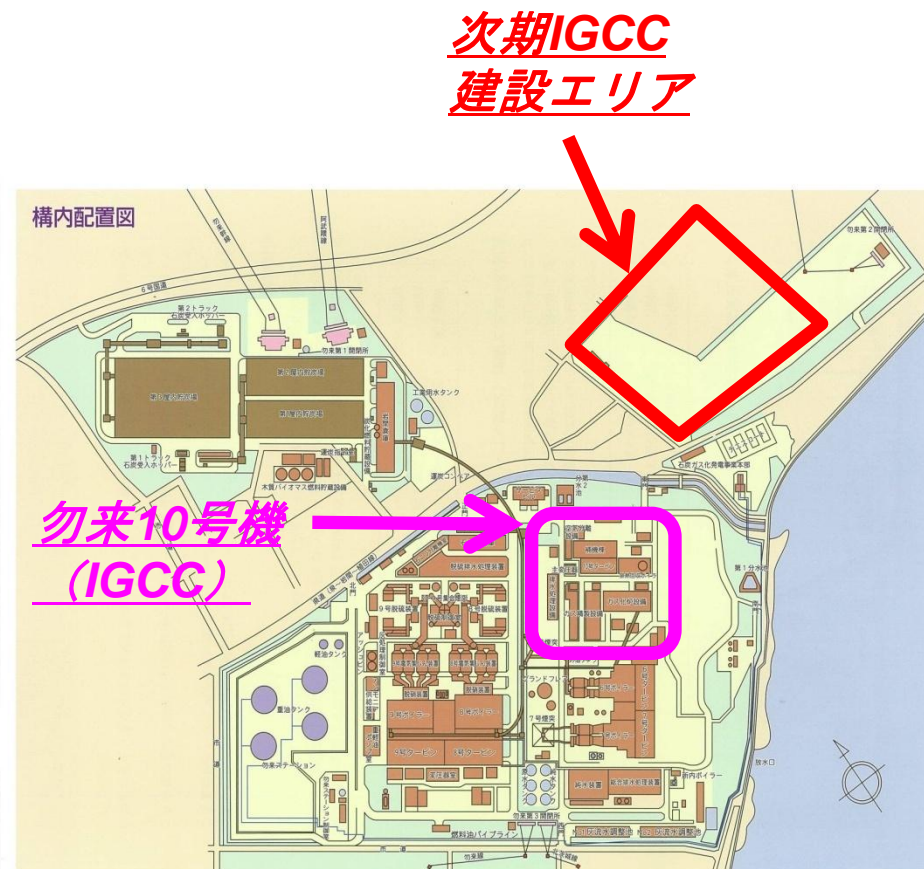
10号機との仕様比較

項目	勿来10号機（既設）	復興IGCC
定格出力	250MW	540MW
発電効率 （送電端, LHV）	約42%	約48%
ガス化炉型式	空気吹き・乾式給炭	空気吹き・乾式給炭
ガス精製設備	湿式（化学吸収法）	湿式（化学吸収法）
ガスタービン	燃焼温度1200℃級	燃焼温度1400℃級

福島復興IGCCの計画工程と設置位置

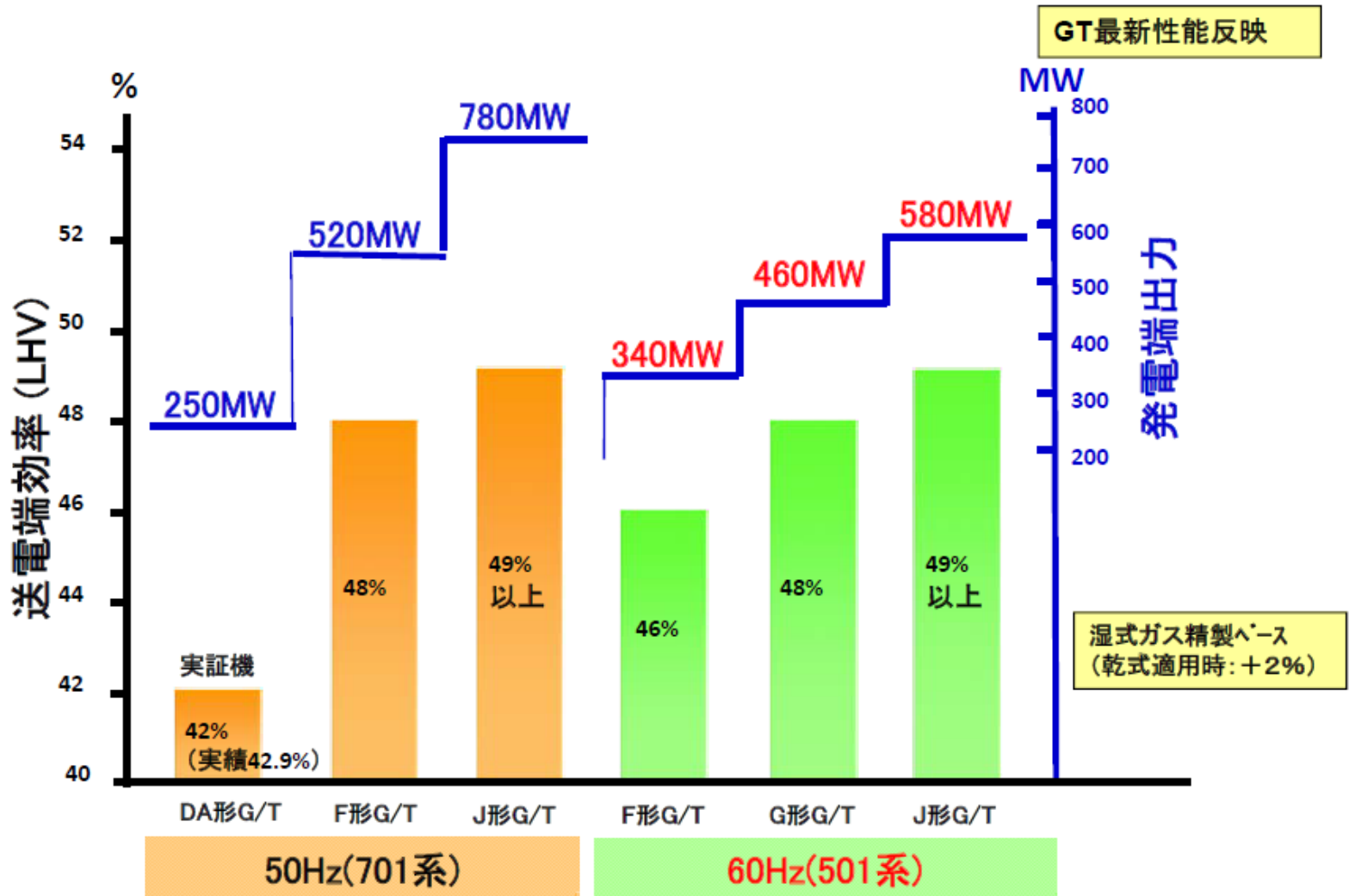
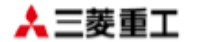
概略工程

年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
届出関係		2014.2~		2016.3Q					
実施主体		環境影響評価		工事計画書					
建設大工程				設立				2020年代初頭 (調整中)	
								据付・試運転	



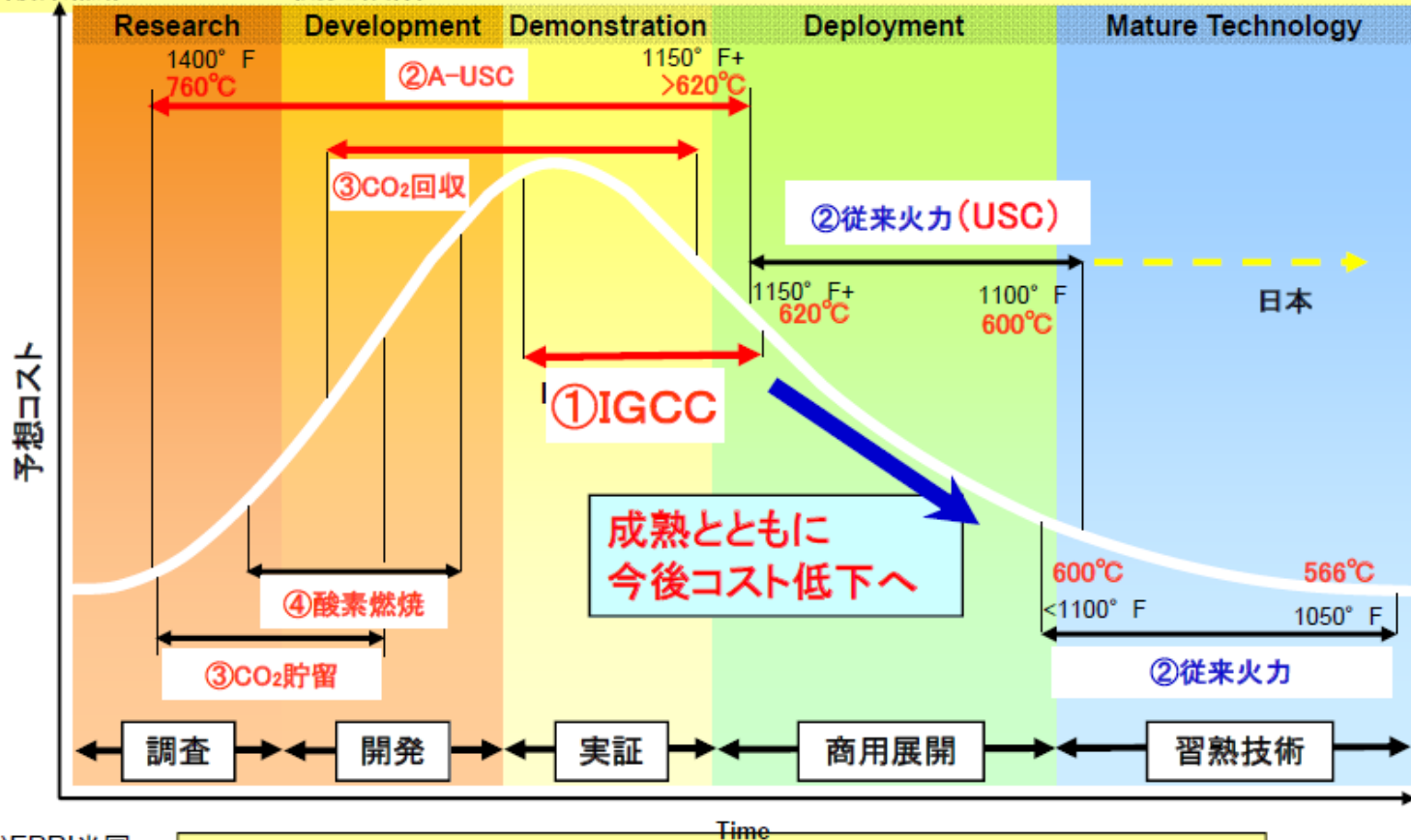
商用機の出力と効率

空気吹きIGCC商用機—性能(50Hz/60Hz)—



新技術の開発段階とコストの関係

- ① IGCC : 実証を完了し商用化の段階(空気吹き)ただしGTCC発電部分は商用段階。
- ② USC/A-USC : USCは商用段階、習熟技術(日本)、A-USC(700°C)は開発段階。
- ③ CCS(Post/Pre) : 石炭火力向けは開発～実証段階
- ④ 酸素燃焼 : 開発段階



(出典)EPRI米国
電力研究機関

Not All Technologies at the Same Level of Maturity.

目次

1. 常磐共同火力および勿来発電所のご紹介
2. IGCC(石炭ガス化複合発電)技術のご紹介
3. 空気吹きIGCCの開発経緯と勿来IGCCの運転成果
4. 国内外でのIGCCの開発動向
5. 次期大型IGCCの建設計画(福島復興電源)
6. 次期大型IGCCへの反映項目 他

○信頼性の向上

- ・ 現在、10号機の年間利用率は50%程度、27年度に耐力強化工事が完了したので、28年度の年間利用率は約70%を計画
(次期大型IGCCの年間利用率は75%以上を計画)

○利用炭種の拡大

- ・ 10号機は中国神華炭1炭種で設計されているため、他の炭種を焚いた場合に、定格出力が取り難い。
(次期大型IGCCでは亜瀝青炭を含む複数炭種で設計)
- ・ 10号機では炭種によっては、チャーの焼結によりSGCの差圧上昇が発生。SGC高圧除媒装置の運用等を工夫し差圧上昇防止に取り組み中。
(次期大型IGCCではチャーが溜まり難い構造、除媒能力の強化等を計画中)

○設備の耐久性の向上

- ・ 10号機では、稼働率向上のため、さらに耐久性の向上が必要な機器があり取り組み中（バーナ冷却管、高頻度作動弁、ポーラスフィルタ等）
（10号機での結果を次期大型IGCCに反映）

○建設コストの低減

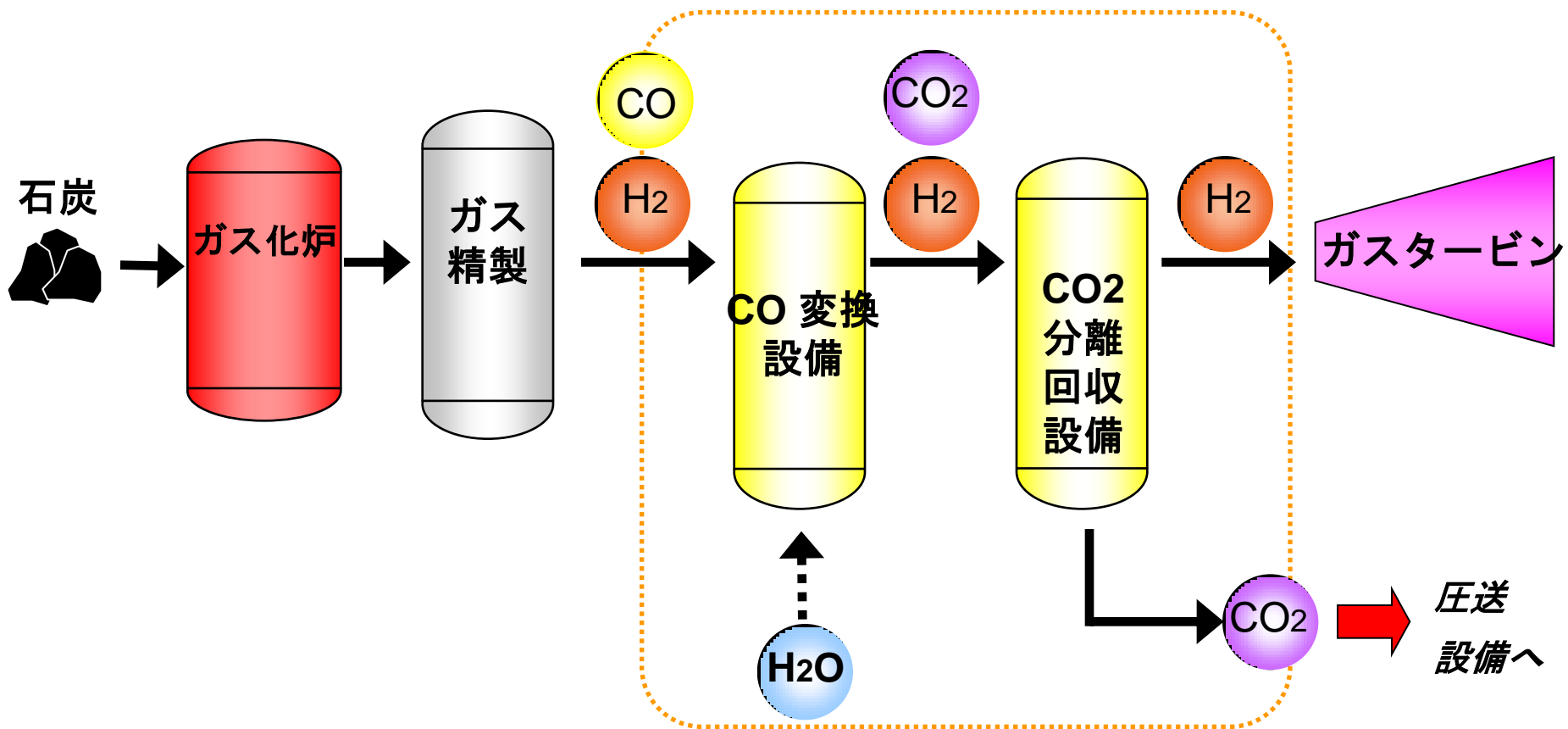
10号機での経験を活かし、次期大型IGCCでは様々なコストダウン
方策を適用予定（SGC熱交換器の小型化、ガス化炉形状の簡略化、
スラグクラッシャの省略、デスラッグの省略等）

○将来的なCCS（CO₂回収貯留）の適用

- ・ 10号機では試験的にCCS適用を検討した時期があったが、東日本大震災等により断念した経緯あり。
IGCCの場合は、燃焼前CO₂回収が可能であり、従来型への適用と比較して、少ないエネルギーでCCSが可能な特徴あり。

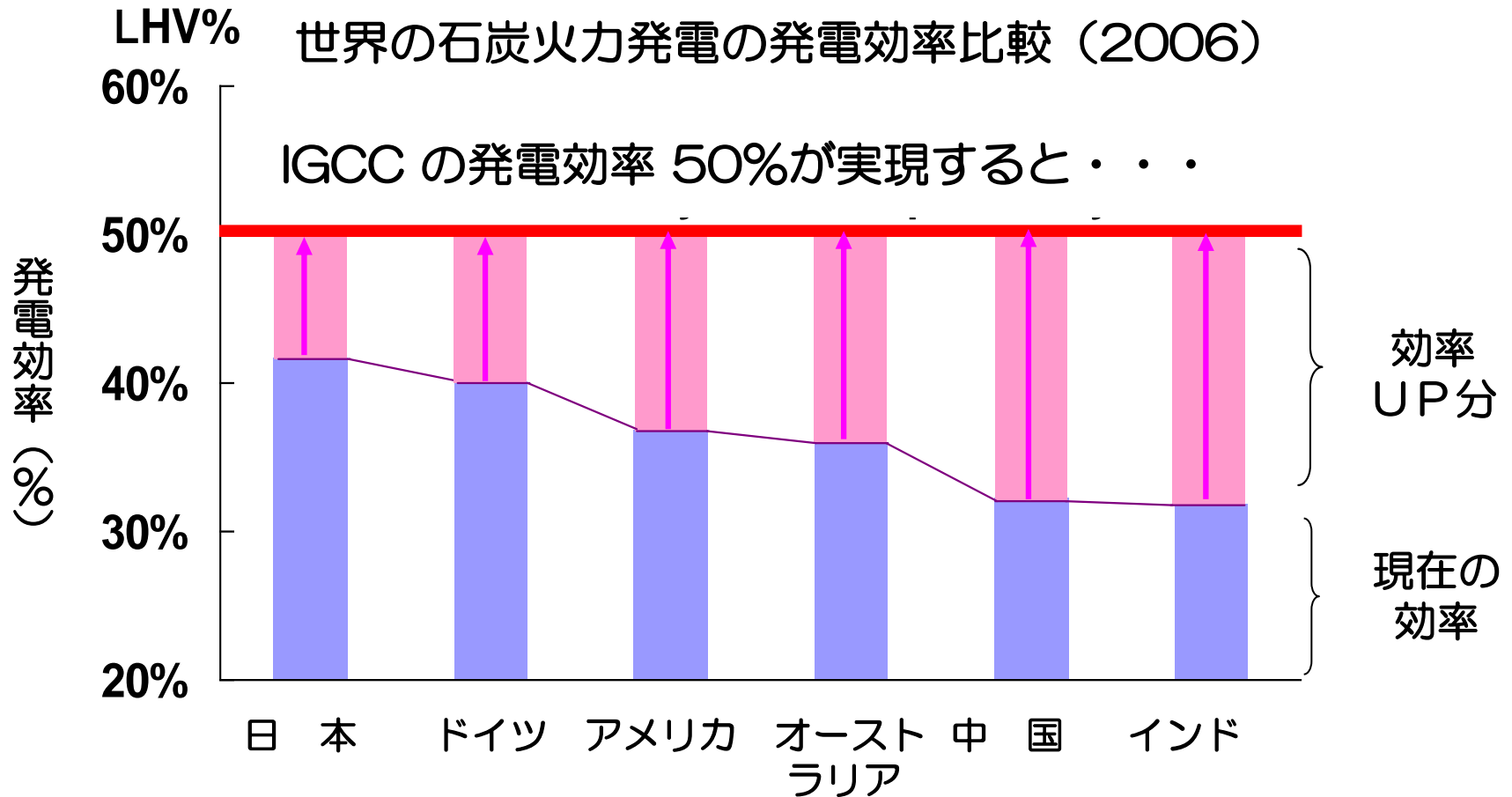
CCS (CO₂分離回収) の適用性

- Pre-combustion Type CCS (燃焼前CO₂分離) の適用により加圧下のガス体積が小さい段階で、効率的なCO₂回収が可能
- 下図のように、ガス精製とガスタービンの間にCO₂分離回収設備を設置するので、IGCC建設後にCCS設備を付加することも容易 (CCS-Readyが容易)



世界の地球温暖化防止に貢献しうるIGCC

IGCCを導入するなら効率の低い海外に導入した方が
地球温暖化対策としては効果的！



出典： ECOFYS, "INTERNATIONAL COMPARISON OF FOSSIL POWER EFFICIENCY" (2008)

ホームページ

<http://www.joban-power.co.jp/>

ご清聴ありがとうございました。