

石炭火力の役割について

～クリーンコールテクノロジー～

2013年12月20日
電源開発株式会社
若松研究所

1

目次

- | | |
|-----------------------------------|---------|
| 1. 電源開発(J-POWER)の概要 | … 3ページ |
| 2. 石炭について | … 9ページ |
| 3. 石炭火力発電
～ 安定、低廉な電力を担う～ | … 16ページ |
| 4. 次世代石炭火力の開発
～ 更なる石炭火力の未来を拓く～ | … 25ページ |

2

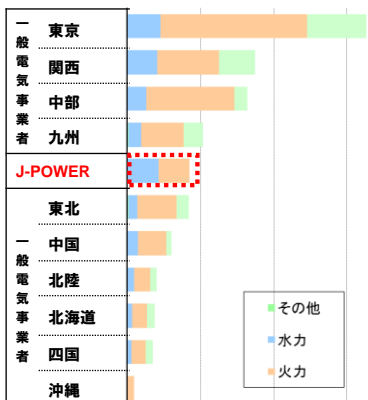
1. 電源開発(J-POWER)の概要

当社の国内電気事業

- ◆ 発電事業及び送電事業を全国展開し、安定供給に寄与
- ◆ 発電設備の出力は、九州電力に次いで日本で第5位

日本の主な電気事業者

(設備出力:MW) 0 20,000 40,000 60,000



J-POWERの発電所(日本国内)



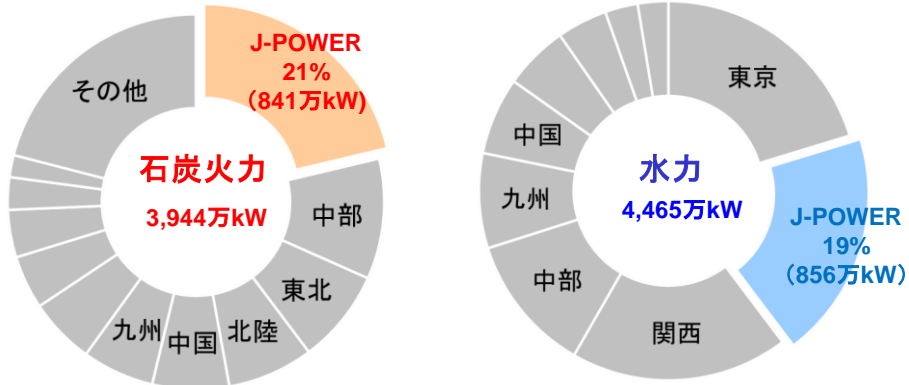
注)2012年3月末現在
出典)資源エネルギー庁「電力調査統計」

当社発電設備の出力シェア



- ◆日本における石炭火力発電、水力発電のリーディングカンパニー
- ◆日本における電気事業を基盤に、海外での発電事業も拡大中

日本における設備出力のシェア



注) 2013年3月末現在
出典) 資源エネルギー庁「電力調査統計」、電気事業連合会「電気事業便覧」

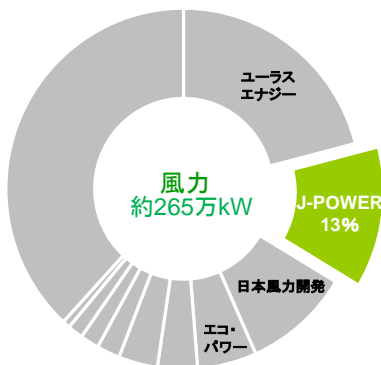
5

当社の再生可能エネルギーへの取り組み



- ◆国内の風力発電所の出力シェア(持分比)で、第二位
- ◆18地点・約35万kWの風力発電所が稼働中

日本における風力発電の設備出力のシェア(持分比)



注) 2013年3月末現在
出所) 一般社団法人日本風力発電協会資料及び各社ホームページより作成

6

- 地熱発電**については、宮城県大崎市鳴子温泉鬼首にて、1万5,000kWが稼働中。
また、現在、秋田県湯沢市の山葵沢・秋ノ宮地域において、三菱マテリアル㈱と三菱ガス化学㈱と共同で環境アセスメントを進めているところ。
- 太陽光発電**については、北九州市の当社研究施設において1MWの太陽光発電が稼働中。
- 既設の石炭火力発電所では、下水汚泥や国内林地残材等を活用した**バイオマス燃料の混焼**を推進中。

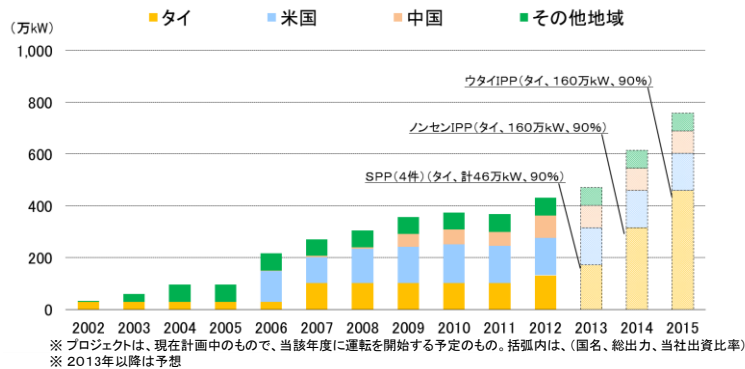
当社の海外事業への取り組み



- ◆ 海外コンサルティング事業は、過去50年に及ぶ実績（アジアや中南米を中心に63ヶ国 335件※の実績）
- ◆ 海外発電事業では、7ヶ国・453万kW（持分出力）※の発電設備が稼働中。更に、タイ国において複数の開発案件（約330万kW）を開発・建設中。
- ◆ また、インドネシア国セントラルジャワ石炭火力IPP入札(100万kW×2基)を経て、2011年10月に長期売電契約を締結。（システム輸出における石炭火力分野の第1号案件）

※ 2013年7月末現在

海外発電事業：当社の持分出力の実績と見通し



7

当社の原子力への取り組み(大間原子力)



- ◆ 所在地 : 青森県下北郡大間町
- ◆ 原子炉型式 : 改良型沸騰水型軽水炉 (ABWR)
- ◆ 燃料 : 濃縮ウランおよびウラン・プルトニウム混合酸化物 (MOX)
- ◆ 出力 : 138.3万kW
- ◆ 経緯 : 1995年8月 フルMOX-ABWRへの計画変更を原子力委員会で決定
 2008年4月 新耐震基準に基づく、原子炉設置許可を取得
 2008年5月 着工（東日本大震災による工事休止を経て、2012年10月に工事再開）
- ◆ 運転開始 : 2014年11月 ⇒ 未定
- ◆ 工事進捗率 : 約38% (2013年3月現在)。
 なお、主要機器の工場製作はほぼ終了。送電線工事は終了。

原子炉建屋



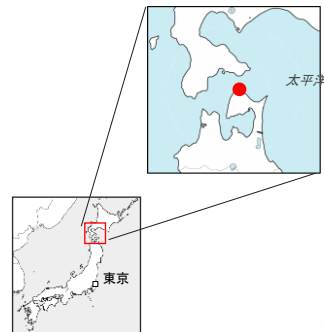
タービン建屋・廃棄物建屋



コントロール建屋・サービス建屋



平成25年1月撮影



8

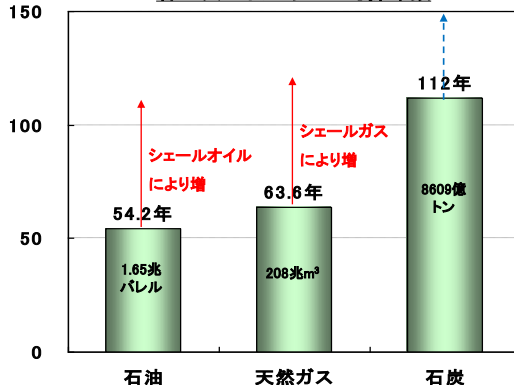
2. 石炭について

9

化石燃料の可採埋蔵量と余寿命

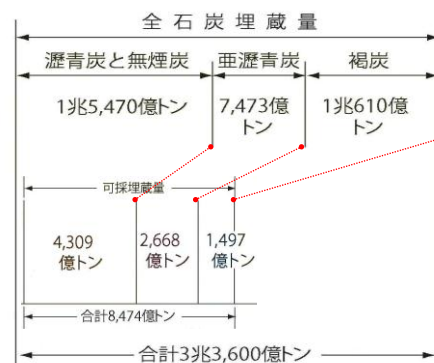
- ◆ 石炭は他の化石燃料に比べ、可採年数が長く、資源量が豊富。
- ◆ 石炭の**可採年数**は石油の**2.1倍**、天然ガスの**1.8倍**（除くシェールガス等の非在来型）。
- ◆ 採炭技術や利用技術の進歩並びに石炭価格動向により経済性が向上すれば、可採埋蔵量は更に増加する。

各一次エネルギーの可採年数



出典) BP統計2012

世界の石炭埋蔵量概念図



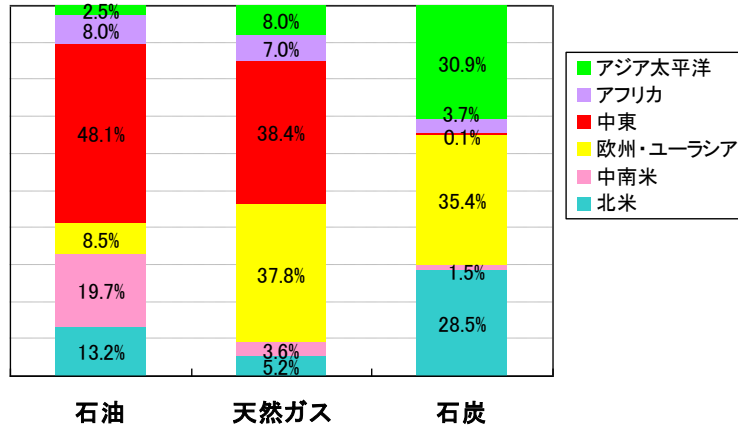
出典) コールノート 2008を一部改変(元データはWEC2007)

注) 可採埋蔵量の合計額8,474億トンについて、BP統計2012では8,609億トン。10

資源埋蔵量の地域分布



◆ 石炭は政情の安定した国を中心に世界中に広く分布。



出典) BP統計2012より作成

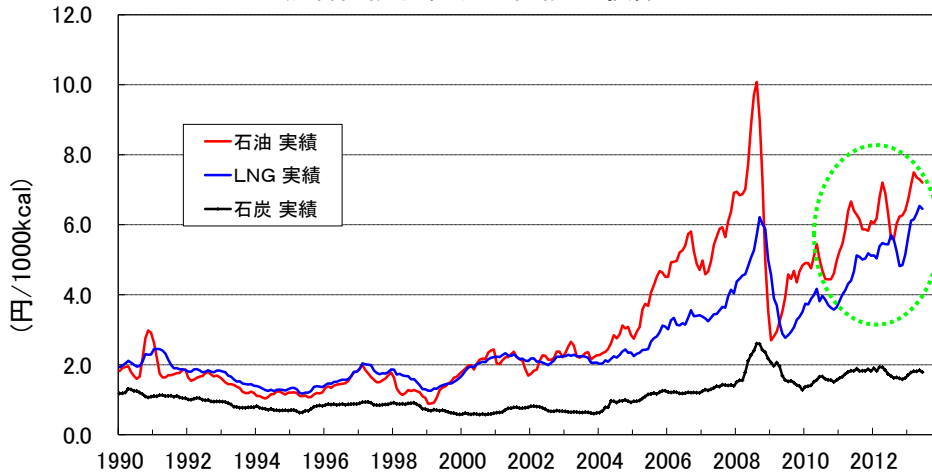
11

化石燃料価格の推移(～2013年6月)



◆ 石炭価格は他の化石燃料(LNG, 石油)に比べ、価格は低位で安定。化石燃料間の価格裁定を通じた燃料価格の安定にも寄与。

燃料価格水準(熱量価格/円換算) 1990年1月～2013年6月



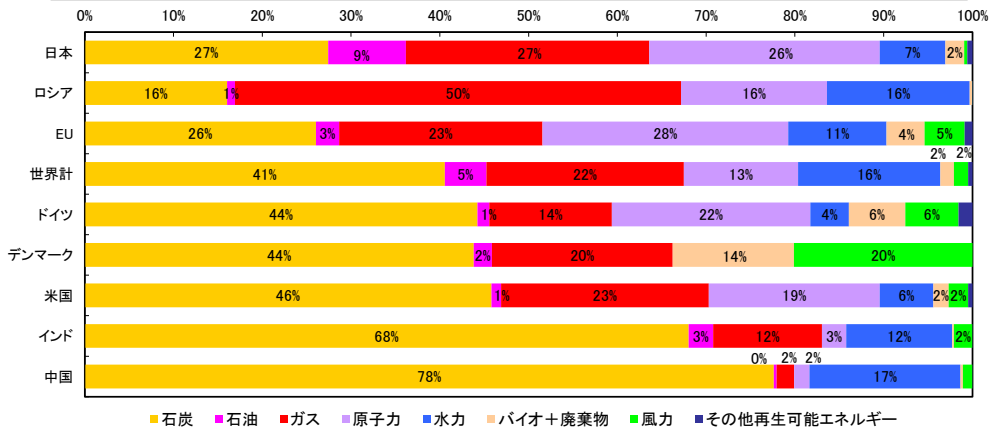
出典) 財務省貿易統計より作成

12

主要国の電源別発電電力量の構成比(2010年)



- ◆ 世界の発電電力量の約41%が石炭火力で、最も大きな割合を占めている。
- ◆ 石炭火力の割合は、エネルギー消費の大きい中国、インド、米国で高い。
- ◆ 再生可能エネルギーの導入が進むドイツ、デンマークにおいても、約半分は石炭火力が占める。
- ◆ 日本では全発電電力量の27%を石炭火力が供給



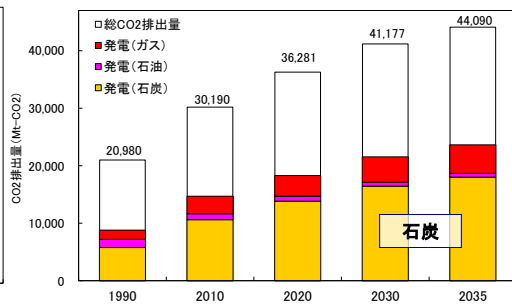
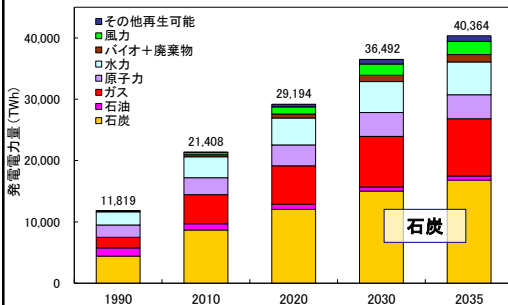
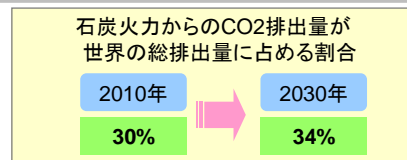
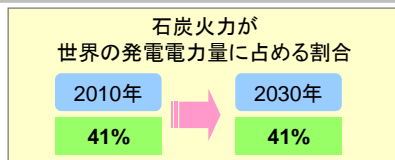
出典) IEA「World Energy Outlook 2012」、ドイツとデンマークはIEA「Electricity Information 2012」

13

世界の発電とCO₂排出の見通し IEA WEO2012 現行政策シナリオ



- ◆ 世界の発電電力量の4割以上を石炭火力が担い、安定供給上今後も重要な位置づけ。
- ◆ 世界のCO₂排出量の約3割が石炭火力からの排出であり、今後も増加傾向。
- ◆ 世界のCO₂排出量の削減には、地球規模での石炭火力からの排出削減が鍵。



出典) IEA "World Energy Outlook 2012"の現行政策シナリオ※

※2012年時点まで公式に採用されている政策を考慮したシナリオ

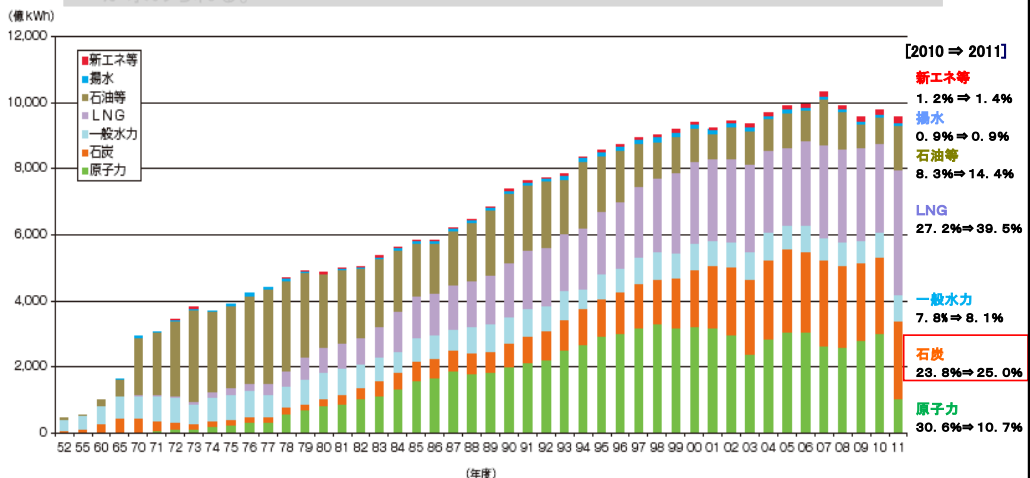
14

2. 石炭火力発電

～ 安定、低廉な電力供給を担う ～

日本の電源構成の推移 (一般電気事業者の発電電力量(自社発電+他社受電))

- ◆ 日本はオイルショック後、電源のベストミックスを追及し、現在の電源構成を実現。
- ◆ 今後も原子力依存度低減の下で、ベース電源を中心にバランスのとれた電源構成が求められる。



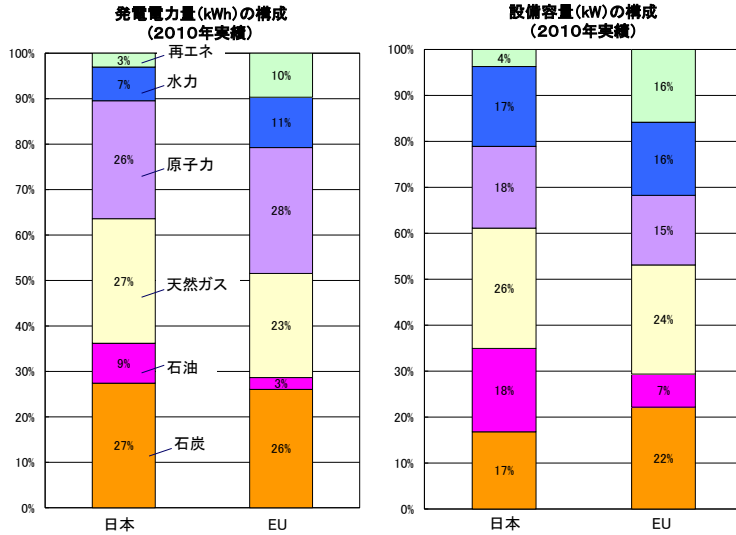
(注) 1971年度までは9電力会社計。

出典) 資源エネルギー庁「平成23年度エネルギー白書」(平成24年11月)(元データは資源エネルギー庁「電源開発の概要」、「電力供給計画の概要」)

エネルギー構成の比較(日本 vs. EU)



◆ 日本のエネルギー構成は、欧州のエネルギー構成と比較的類似。

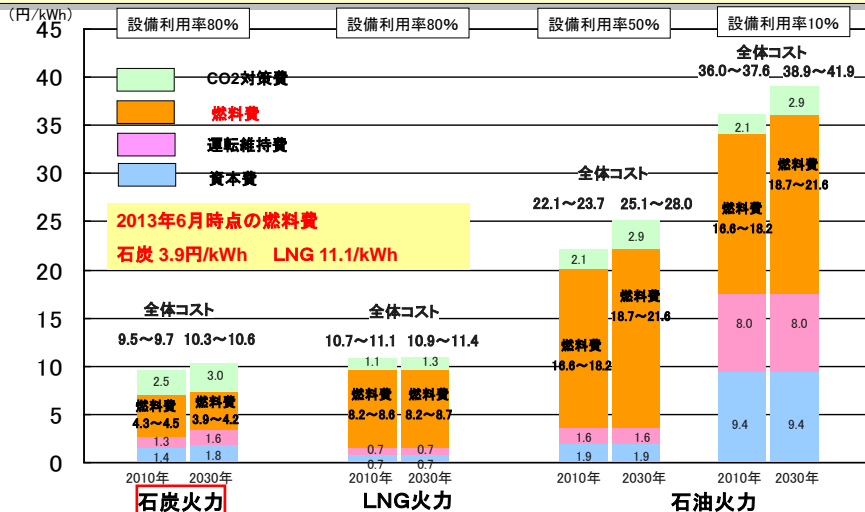


出典) IEA「World Energy Outlook 2012」の2010年実績より作成

産業を支える安定、低廉な電力供給として石炭火力は不可欠



- ◆ 石炭火力が最も経済性に優位。(2010年及び2030年において)
- ◆ 2030年の発電コストでは、想定CO2価格を除くと、石炭火力が7円台/kWhに対して、LNG火力は10円台/kWh。想定CO2価格を加味しても、石炭火力が10円台/kWhに対して、LNG火力は11円台/kWh。

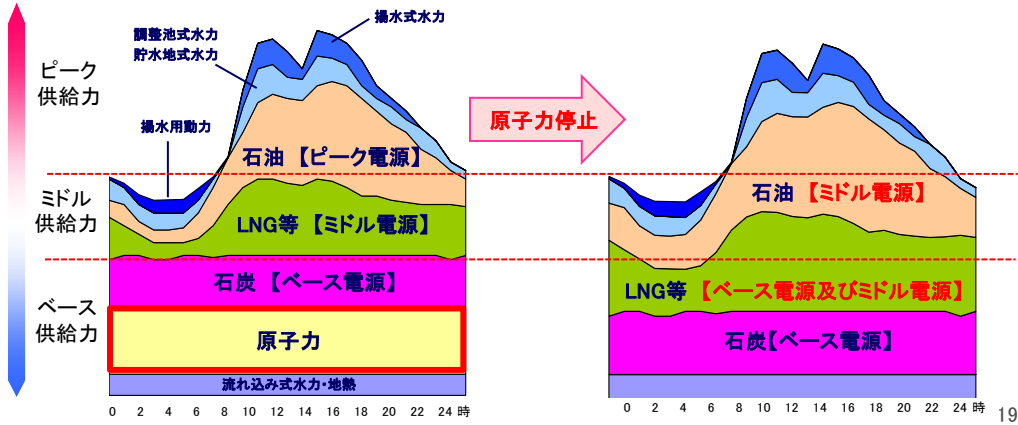


出典) 第5回エネルギー環境会議(平成23年12月21日)「コスト等検証委員会報告書」より作成

ベース電源としての石炭火力はより重要に



- | 震災前 | 震災後 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ◆ 個々の発電方式のメリットを大きく、デメリットを極力削減するような電源構成を追及。需要全体の最小コストを目指して、設備運用。 ・ ベース供給力：原子力、石炭火力等 ・ ミドル供給力：LNG火力 ・ ピーク供給力：揚水式水力、石油火力、LNG火力等 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 原子力発電停止により、LNG火力、石油火力の割合が上昇 <ul style="list-style-type: none"> ・ LNG火力：ベース電源へ ・ 石油火力：ミドル電源へ ◆ 供給力確保対策として、緊急設置電源の導入や長期停止火力の再稼働等を行い、追加コストが発生。 ◆ その結果として、化石燃料の輸入額は年間3.2兆円増加（国富の海外流出）。 |



発電方式毎のメリット・デメリット



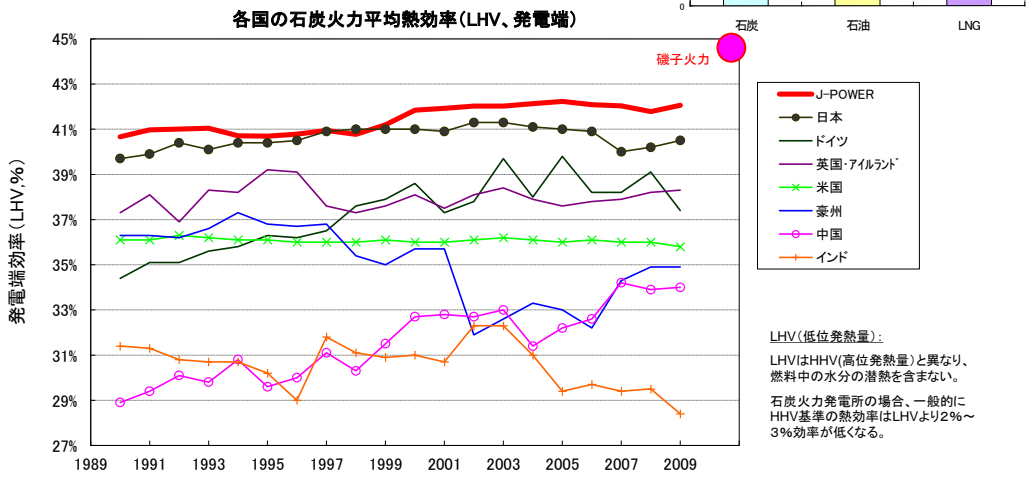
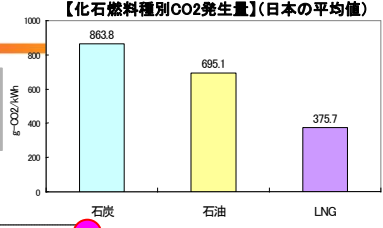
- ◆ 個々の発電方式のメリット・デメリットを考慮し、極力メリットを活かすべく、**長期的・安定的・経済的・クリーン**に電力を供給できるよう、バランスのとれた電源のミックスを図ってきている。
- ◆ 電源構成に関する議論が行われる際は、メリットだけに着目するのではなく、想定されるデメリットも同時に認識しておく必要がある。

発電方式	供給の安定性	経済性	地球温暖化	需要変動対応	備考
揚水・調整池・貯水池式水力	△	△	○	○	急激な需要の変動に対応できる。
石油	△	△	△	○	産出国が政情不安の国に偏在している。
天然ガス (LNG)	△	△	○	○	世界的な需要の拡大による資源の奪い合いに注意が必要。大規模立地・パイプラインが必要
石炭	○	○	△	○	CO2回収やガス化など、低炭素化に向け組中。大規模・分散立地が可能。
原子力	○	○	○	△	更なる安全性の確保のほか国民的合意形成が一層重要に。
地熱	○	○	○	△	化石燃料と比較して小規模。再生可能エネルギー法の施行によって、一層の普及が期待されている。
流込式水力	△	○	○	△	



日本の石炭火力の発電効率は世界最高水準

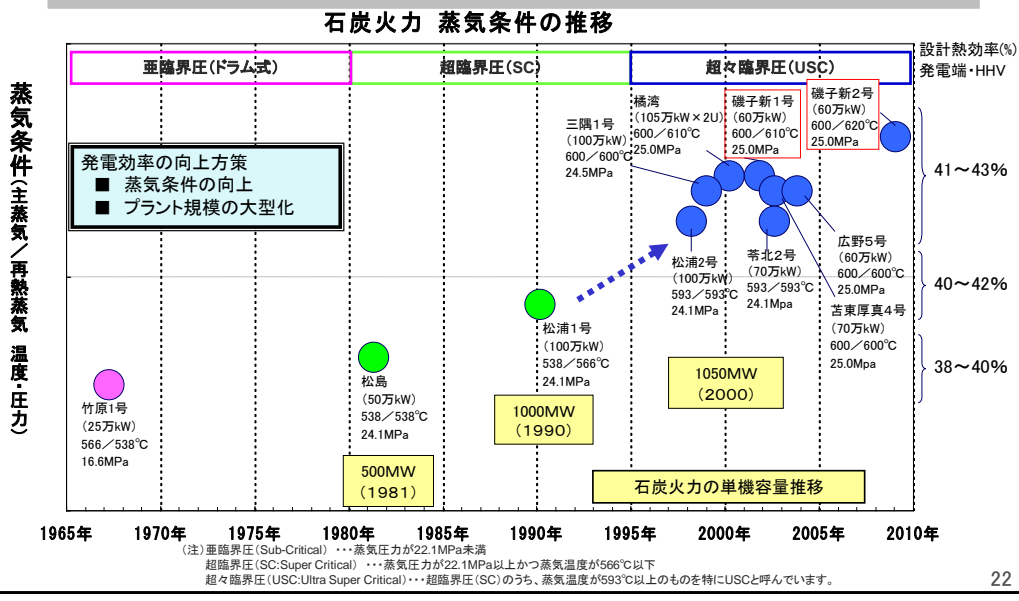
◆ CO₂の主要排出国である米国、中国、インドの石炭火力の効率と比較して、日本の発電効率は1~3割上回る。



出典) 「Ecofys International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO₂ Intensity 2012(電事連提供)」から作成

石炭火力の技術開発の歴史とその成果

◆ 礮子火力では、蒸気条件の向上等により、世界最高水準の発電効率を実現。



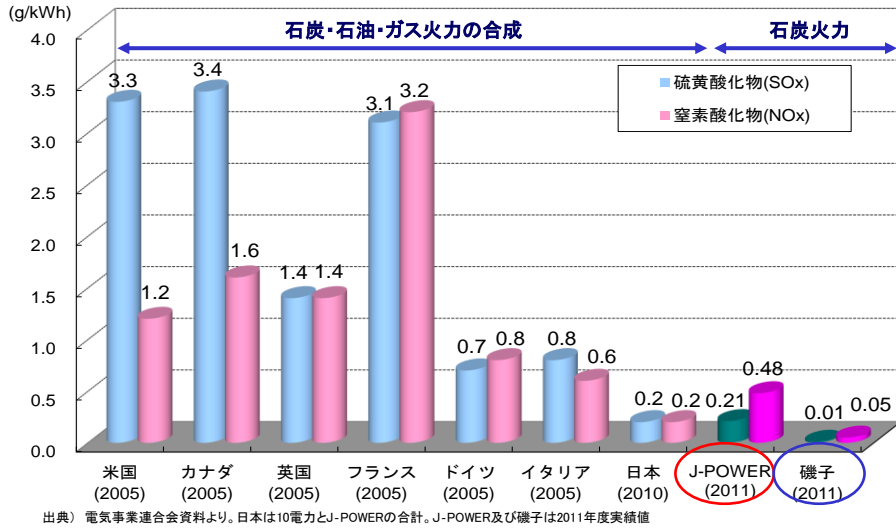
(注) 亜臨界圧(Sub-Critical)・・・蒸気圧力が22.1MPa未満
 超臨界圧(SC:Super Critical)・・・蒸気圧力が22.1MPa以上かつ蒸気温度が566°C以下
 超々臨界圧(USC:Ultra Super Critical)・・・超臨界圧(SC)のうち、蒸気温度が593°C以上のものを特にUSCと呼んでいます。

日本の石炭火力の環境性能も世界最高



◆ 日本は他の主要先進国と比べて圧倒的に低い水準を達成している。

火力発電電力量あたりSO_x、NO_x排出の国際比較



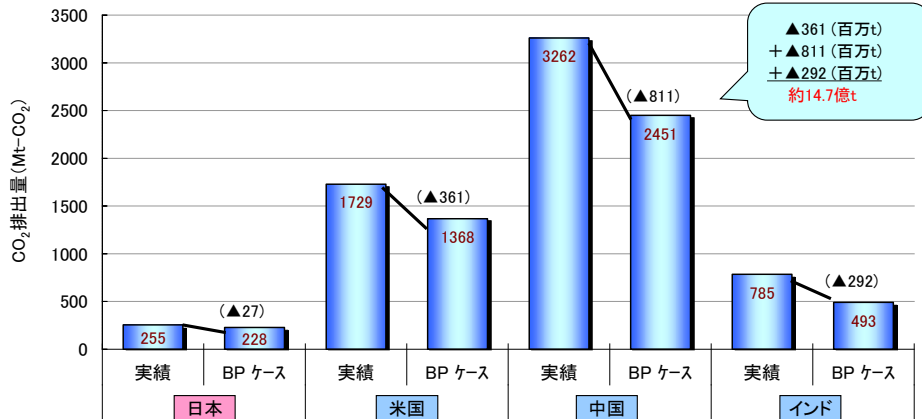
23

日本の石炭火力最高効率を主要排出国へ適用



- ◆ 日本の現状の最高効率を米、中、インドの石炭火力に適用すると、CO₂削減効果は、計14.7億トン。
- ◆ これは、2009年ベースで世界の石炭火力発電所からのCO₂排出量(86億トン)の17%、世界全体のCO₂排出量(288億トン)の5%に相当。また、日本の石炭火力発電所CO₂排出量(2.6億トン)の約5.7倍に相当し、日本全体のCO₂排出量を上回る大きさ。

石炭火力発電からのCO₂排出量実績(2009年)と日本の最高効率適用ケース



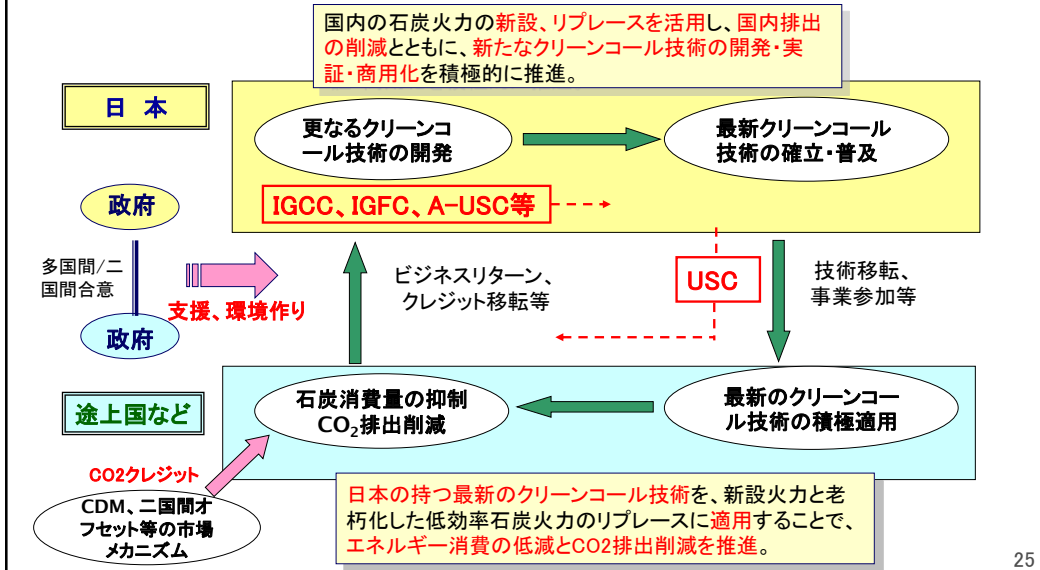
出典: 「IEA World Energy Outlook 2011」, 「Ecofys International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO₂ Intensity 2012 (電事連提供)」から作成

24

クリーンコール技術で世界のCO2削減に貢献・・・同時に成長戦略を実現



国内でのクリーンコール技術の開発・実証・商業化を推進。成果を海外に技術移転し世界のCO2を削減。同時に、日本のビジネスチャンス。



25



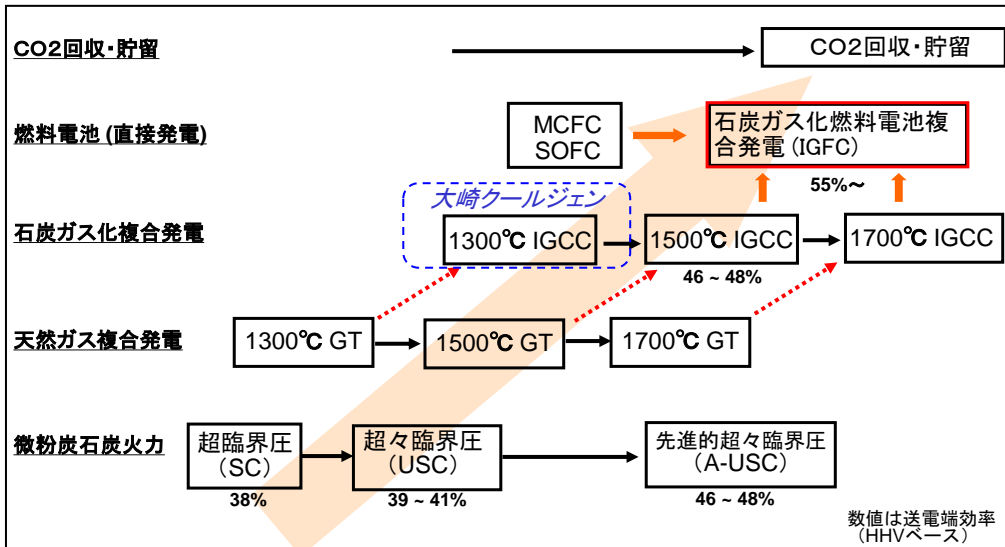
3. 次世代石炭火力の開発 ～ 更なる石炭火力の未来を拓く ～

26

ゼロエミッション石炭火力発電を目指して



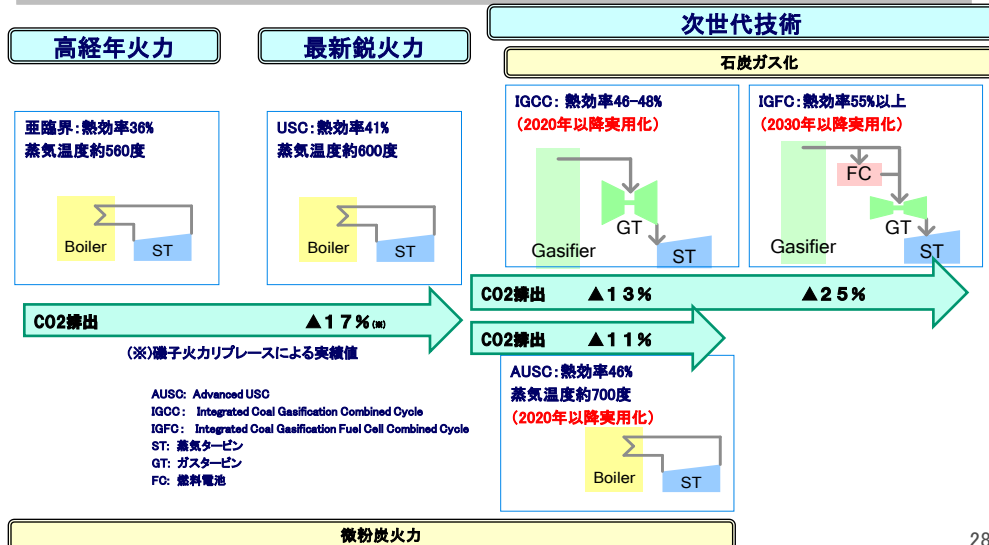
- ◆ 高効率化、バイオマス利用、更にCCSIによるゼロエミッション石炭火力の実現へ



今後の石炭利用高効率発電の技術開発...更に効率向上、CO2削減を目指して



- ◆ 次世代技術(A-USC, 石炭ガス化等)による更なる高効率化で世界トップ維持を目指す。
- ◆ 長期的にはCCS(CO2回収・貯留)との組合せによりゼロエミッション石炭火力を目指す。



微粉炭火力と石炭ガス化で世界の石炭に対応



- ◆ 微粉炭火力とIGCCは各々特徴を有しており、特に適用炭種は相互補完できるところも多い。
現在の石炭火力は殆どが微粉炭火力であるが、IGCCが実用化されれば**ほぼ全世界の石炭に対応可能**。
- ◆ 石炭資源の活用の視点、技術開発の時間軸、将来の炭素制約、電源運用の位置づけなどを考慮し、**微粉炭と石炭ガス化の2方式で技術開発**を図っていくことが重要。

	微粉炭火力 (現状)	微粉炭火力 *1 (A-USC相当)	IGCC *1
発電効率	ベース	○	○ → (技術進展) ◎
最適炭種*2	遼青炭 ← 相互補完 →		亜遼青炭
プラント規模	大規模まで可能		現状は中規模まで
CCS適合性 /CO ₂ 回収法	○ / 燃焼後回収, 酸素燃焼 ← 相互補完 →		◎ / 燃焼前回収
対応負荷	ミドル～ベース		ベース
石炭灰処理*3	○		◎

*1: A-USC, IGCCは技術開発中であり、現在、実用化はされていない。

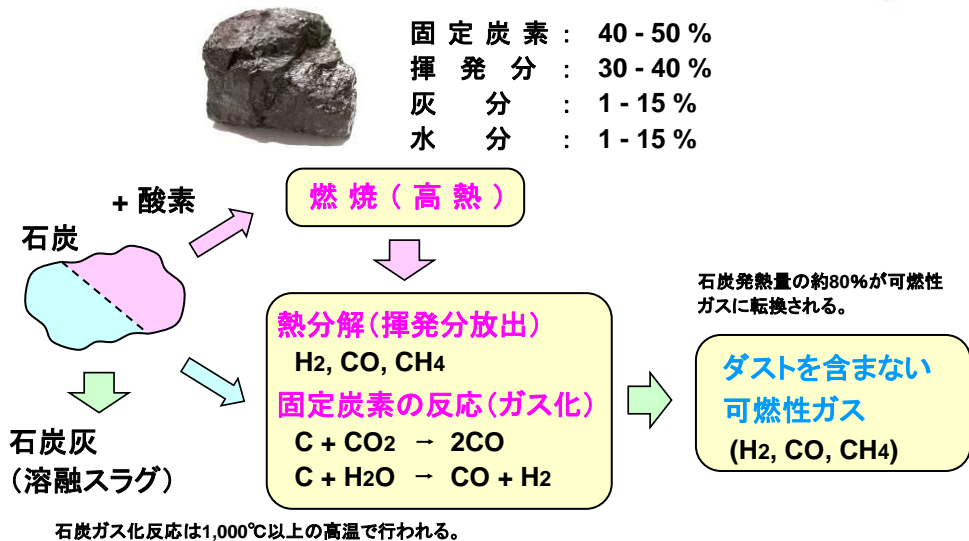
*2: 高効率化を目指した場合に適した炭種を示す。

・石炭埋蔵量は概ね(無煙炭、遼青炭):(亜遼青炭、褐炭)=1:1。微粉炭火力では褐炭、亜遼青炭向けの設計は可能。

*3: IGCCの石炭灰は溶融(ガラス)状態で、容量は微粉炭火力の石炭灰に比べて約1/2に減容できる。

29

石炭ガス化の原理



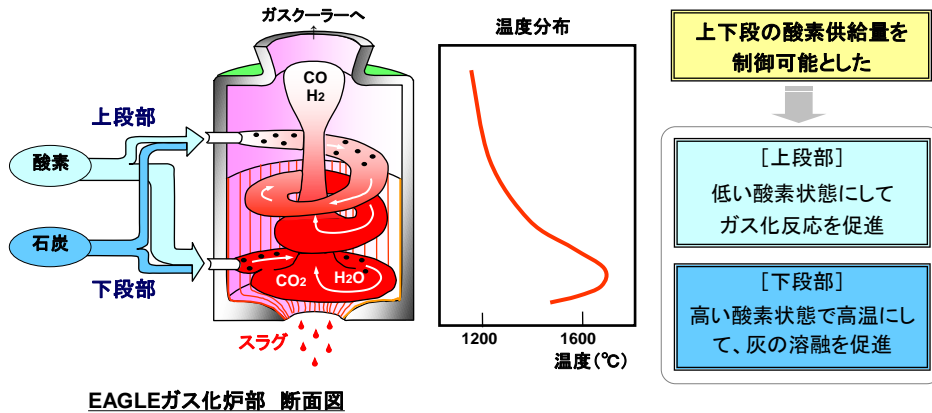
石炭をガス化することで多目的利用が可能

30

石炭ガス化とEAGLE炉の特徴(コア技術)



- ◆ EAGLEは“酸素吹噴流床ガス化方式”(世界のスタンダード)、ガス化炉構造は石炭バーナーを上下2段に配置した“1室2段旋回流方式”を採用。
- ◆ 上段部と下段部の酸素供給量を適切に制御することで、「多炭種(高灰融点炭)への対応」と「高いガス化効率=発電効率の実現」を図ることができる。
- ◆ 旋回流によりガス滞留時間を長くして反応を促進することでもガス化効率を高めている。



31

国内外の石炭ガス化技術



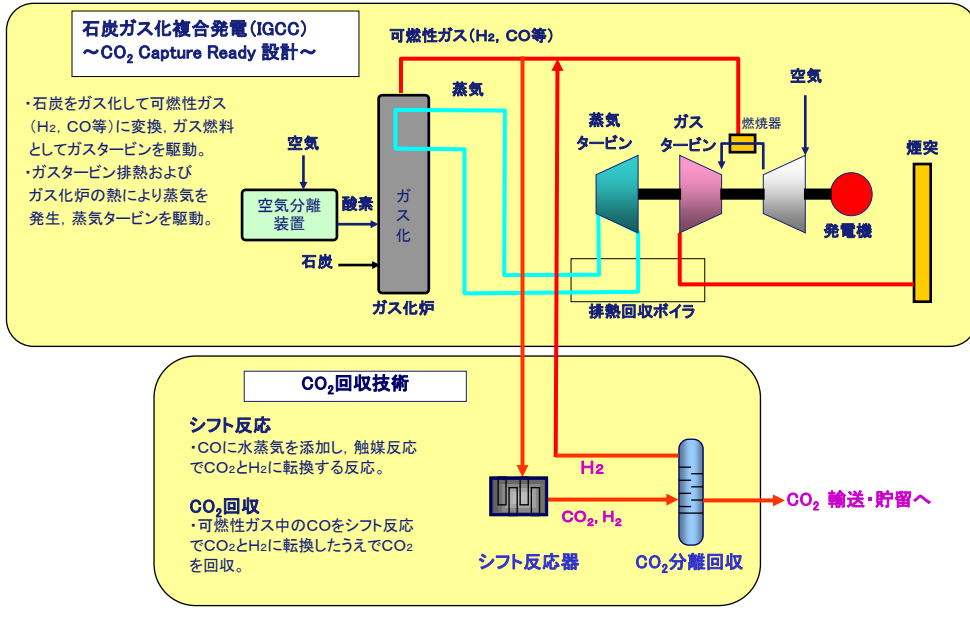
プロジェクト名称	大崎ケルジエン	【参考】OCG商用機	クリーンコールハー	Buggenum	Wabash River	Tampa	Puertollano	
プロジェクト地点	日本	日本	日本	オランダ	アメリカ	アメリカ	スペイン	
実証試験期間	2016年9月～		2007年9月～ 2010年6月	1994年1月～ 1998年1月	1995年1月～ 1999年12月	1996年9月～ 2001年9月	1998年3月～	
ガス化炉	EAGLE炉		電中研/三菱炉	Shell炉	E-Gas(Dow)炉	GE(Texaco)炉	PRENFLO炉	
ガス化炉概略図								
ガス化方式	1室2段	1室2段	2室2段	1室1段	2室2段	1室1段	1室1段	
石炭供給方式	ドライフィード	ドライフィード	ドライフィード	ドライフィード	スラリーフィード	スラリーフィード	ドライフィード	
ガス化炉炉壁	水冷耐火壁	水冷耐火壁	水冷耐火壁	水冷耐火壁	耐火材	耐火材	水冷耐火壁	
ガス化剤	酸素	酸素	空気	酸素	酸素	酸素	酸素	
冷ガス効率	82%	83%	77～75%	77～76%	81～72%	75～73%	76～74%	
使用炭種	インドネシア炭他	海外炭	海外炭3炭種	海外炭 14炭種 (灰種制約有り)	地元(インディアナ)炭 現在はヘトロクス専焼	地元炭 (Pittsburgh#9他) 現在はヘトロクス専焼	地元高灰分炭と ヘトロクス混焼	
排水処理	海域放流	海域放流	海域放流	蒸発乾固	蒸発乾固	蒸発乾固	河川放流	
石炭処理量	t/日	1,100	2,400	1,700	2,000	2,600	2,300	2,600
発電端出力(計画値)	MW	166	369	250	284	296	316	318
送電端効率(計画値)	%	40.5	45.6	40.5	41.4	37.8	39.7	41.5
連続運転時間実績		目標:5,000時間		2,238時間	3,000時間超	1,500時間程度	2,500時間程度	1,000時間程度
スラッシング等による生成ガス流路・熱交換器閉塞	EAGLEパイロット試験では発生無し		発生有り	発生有り	発生有り	発生有り	発生有り	
現況			商用化に向けた運転試験	商用運転中	商用運転中	商用運転中	商用運転中	
最近の稼働率				60～80%	60～80%	60～80%	50～60%	

出典:産業構造審議会産業技術分科会 第34回評価小委員会 資料5(噴流床石炭ガス化発電プラント実証事業 事後評価資料)
 "Gasification Technology Status - December 2006 Product ID Number 1012224" Electric Power Research Institute (EPRI)
 "WABASH RIVER COAL GASIFICATION REPOWERING PROJECT" JULY 2002 U.S. Department of Energy(DOE) Assistant Secretary for Fossil Energy
 "TAMPA ELECTRIC INTEGRATED GASIFICATION COMBINED-CYCLE PROJECT" JUNE 2004 U.S. Department of Energy(DOE) Assistant Secretary for Fossil Energy 他

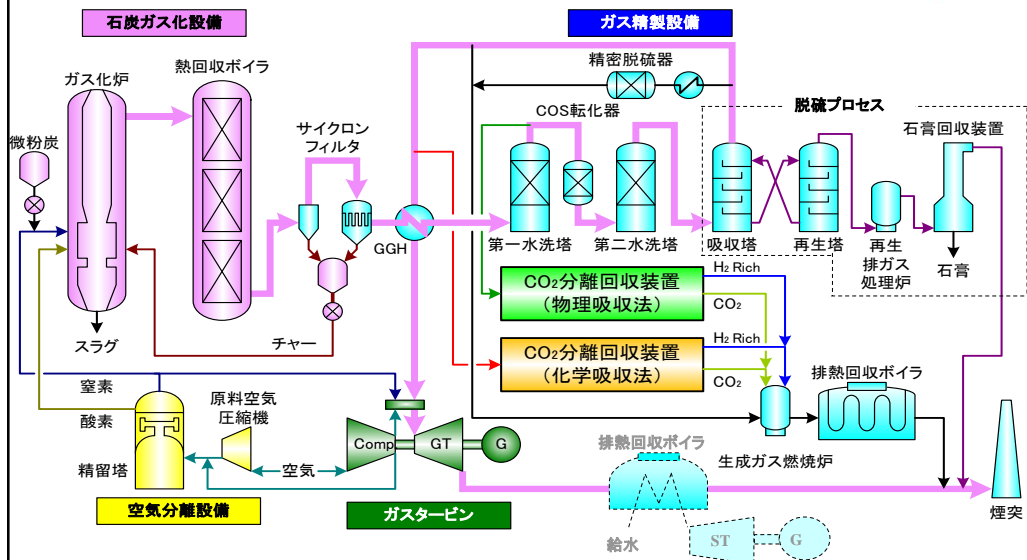
青字: 効率向上要因
赤字: 効率低下要因

32

IGCCにおけるCO₂回収・貯留技術(CCS)



EAGLEパイロットプラント(150t/d)プロセスフロー



(若松EAGLE設備には未設置)

(注) CO₂分離回収には多大なエネルギーが必要であり, 発電事業者としてその低減が大きな課題である。

大崎クールジェンプロジェクト…IGCC大型実証試験



EAGLEパイロット試験

規模：石炭使用量 150 t/日
 試験運転：2002～2009年度
 試験内容：酸素吹石炭ガス化及びCO₂分離回収技術のパイロット試験
世界最高レベルの石炭ガス化効率(82%)を達成



Jパワー若松研究所(北九州市)

大崎クールジェンプロジェクト

規模：石炭使用量 1,180 t/日級(発電出力166MW級)
 試験運転：2016年度開始予定
 試験内容：酸素吹石炭ガス化複合発電システム(IGCC)の
スケールアップ&システム検証とCO₂回収技術の検証
 IGCCとして世界最高効率为目标。



中国電力 大崎発電所(広島県)

大崎クールジェンプロジェクトは、**酸素吹石炭ガス化(IGCC)技術の確立、CO₂分離回収**、さらには**燃料電池を組合せたトリプルコンバインド発電(IGFC)**により、革新的に発電効率を高めるための実証事業。
 (IGFCの商用化段階での発電効率目標は55%超、但しCO₂回収動力を除く)

大崎クールジェンプロジェクトの全体スケジュール



年 度	H21年度 (‘09年度)	H22年度 (‘10年度)	H23年度 (‘11年度)	H24年度 (‘12年度)	H25年度 (‘13年度)	H26年度 (‘14年度)	H27年度 (‘15年度)	H28年度 (‘16年度)	H29年度 (‘17年度)	H30年度 (‘18年度)	H31年度 (‘19年度)	H32年度 (‘20年度)	H33年度 (‘21年度)
環境アセスメント	[Green bar]												
Feasibility Study		[Light blue bar]											
第1段階 IGCC 総事業費 903億円				着工 ↓	[Yellow bar: 設計/製作/建設]			[Orange bar: 実証試験]					
第2段階 CO ₂ 分離回収						[Light blue bar: FS]	[Yellow bar: 設計/建設]		[Orange bar: 実証]				
第3段階 IGFC								[Light blue bar: FS]	[Yellow bar: 設計/建設]			[Orange bar: 実証]	

CO₂ 回収技術に関する J-POWER の取り組み



<p>石炭ガス化発電</p>	<p>■実施機関: J-POWER / NEDO ■処理ガス量: 1,000Nm³/h x 2 方式 ■回収 CO₂ 量: 24 t-CO₂/日 x 2 方式 ■試験期間: 2008.11 ~ 2014.3 予定</p>	 <p>J-POWER 若松研究所 EAGLE 試験装置</p>
<p>燃焼前回収法 (化学吸収法・物理吸収法)</p>		
<p>微粉炭火力発電</p>	<p>■実施機関: 日本 (J-POWER、IHI等) / 豪州 ■試験規模: 30MW規模 ■回収 CO₂ 量: 20,000 t-CO₂/年 (予定) ■試験期間: 2011.3 ~ 2014 年予定</p>	 <p>豪州カライド発電所</p>
<p>酸素燃焼法</p>		
<p>微粉炭火力発電</p>	<p>■実施機関: J-POWER / MHI ■処理ガス量: 1,750Nm³/h ■回収 CO₂ 量: 10 t-CO₂/日 ■試験期間: 2007.4 ~ 2009.3</p>	 <p>J-POWER 松島火力 化学吸収法試験装置</p>
<p>燃焼後回収法</p>		

※ CCS の実用化には、技術的、経済的、社会受容性など解決すべき課題が多く、大型実証試験も必要であり、国の支援と相当の時間を要する。特に貯留に関しては、**広く日本全体をカバーした確度の高い貯留ポテンシャル評価**等が重要課題。

※ CO₂ 分離との親和性は“**燃焼前回収法**”が最も有利 (= 分離エネルギーが最も小) となる。