

石炭火力の置かれている現状と将来展望

2019年7月18日

東京大学生産技術研究所
研究顧問

金子祥三

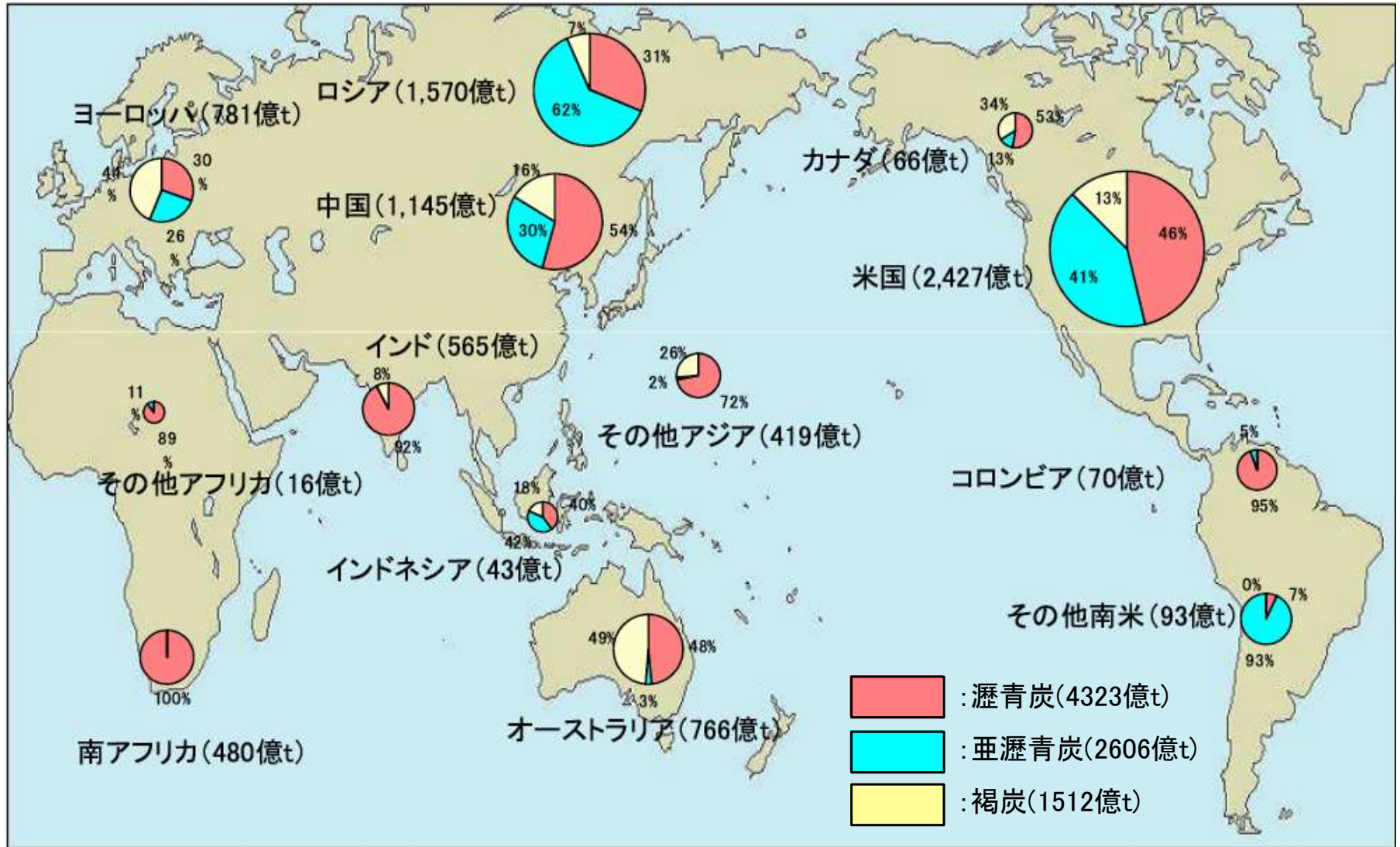
化石燃料と石炭

1. 火力発電は有限な資源である化石燃料を用いて発電する。
従って“**最少の燃料で、最大の出力**”を得ること----すなわち**高効率化**は火力発電に携わる者にとって永遠の課題である。
2. 近年、地球温暖化防止のため**CO2排出量を最少**にすることが求められている。このため**高効率化**は従来にも増して重要となっている。
3. 高効率により、より少ない燃料で同じ電気出力を得ることができる。これは自動的に発生CO2量が減少することを意味する。
4. **高効率化**の技術の変遷を見てみると、**ボイラと蒸気タービン**を組み合わせた**単純サイクル（第1世代）**が1900年代初頭に開発され、今日まで進化を続け火力発電の高効率化を牽引してきた。
5. 航空用ジェットエンジンの発展と共に、これを発電用に応用したガスタービンが急速に進歩し、天然ガスについては蒸気タービンを組み合わせた複合発電---**コンバインドサイクル（第2世代）**の時代となった。
6. この複合発電を石炭にも使えるようにしたのが**石炭ガス化複合発電（IGCC）**である。

石炭の特徴

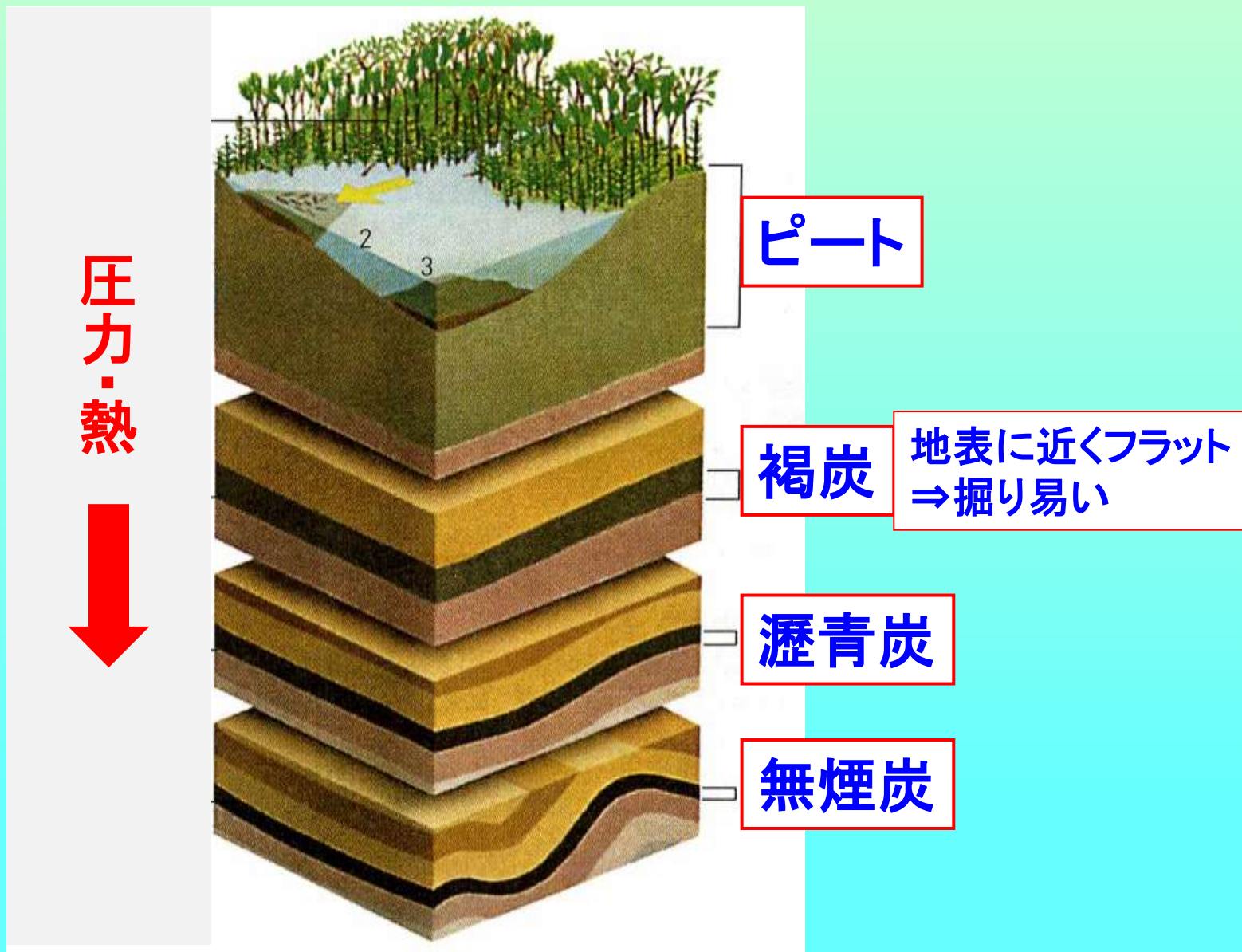
1. 石炭は化石燃料の中で最も埋蔵量が多く、かつ世界中に万遍なく賦存している。
2. 世界で石炭の埋蔵量が最大なのは米国で、これにロシア、中国が続き、いずれも経済大国である。
3. 石炭の価格は天然ガスや石油の1/2~1/3で、しかも長期にわたって安定している。これは石炭の大生産国が同時に大消費国でもあるため、自動的に価格安定メカニズムが働くためである。
4. 石炭は植物が地中に保存され、太古の時代から長期に渡って熟成され、燃料となったものである。
5. 生成年代の古いものから無煙炭、瀝青炭、亜瀝青炭、褐炭があり、古いものほど固定炭素が多く、揮発分が少ない。
6. 石炭は石油や天然ガスに比べ炭素の比率が高いため、CO₂発生量が相対的に多い。石炭を100とすると石油80、天然ガス50の比率である。
7. 石炭を火力発電に使用する場合は、出来るだけ高効率にしてCO₂発生量を減らすと共に、大気汚染のもととなる硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)、ばいじんを最少にするようにしなければならない。
8. このSO_x、NO_x、ばいじんを最少にする公害防止技術は日本が世界最高であり、各国に技術輸出され、世界中で日本の技術が使われている。

世界の石炭資源

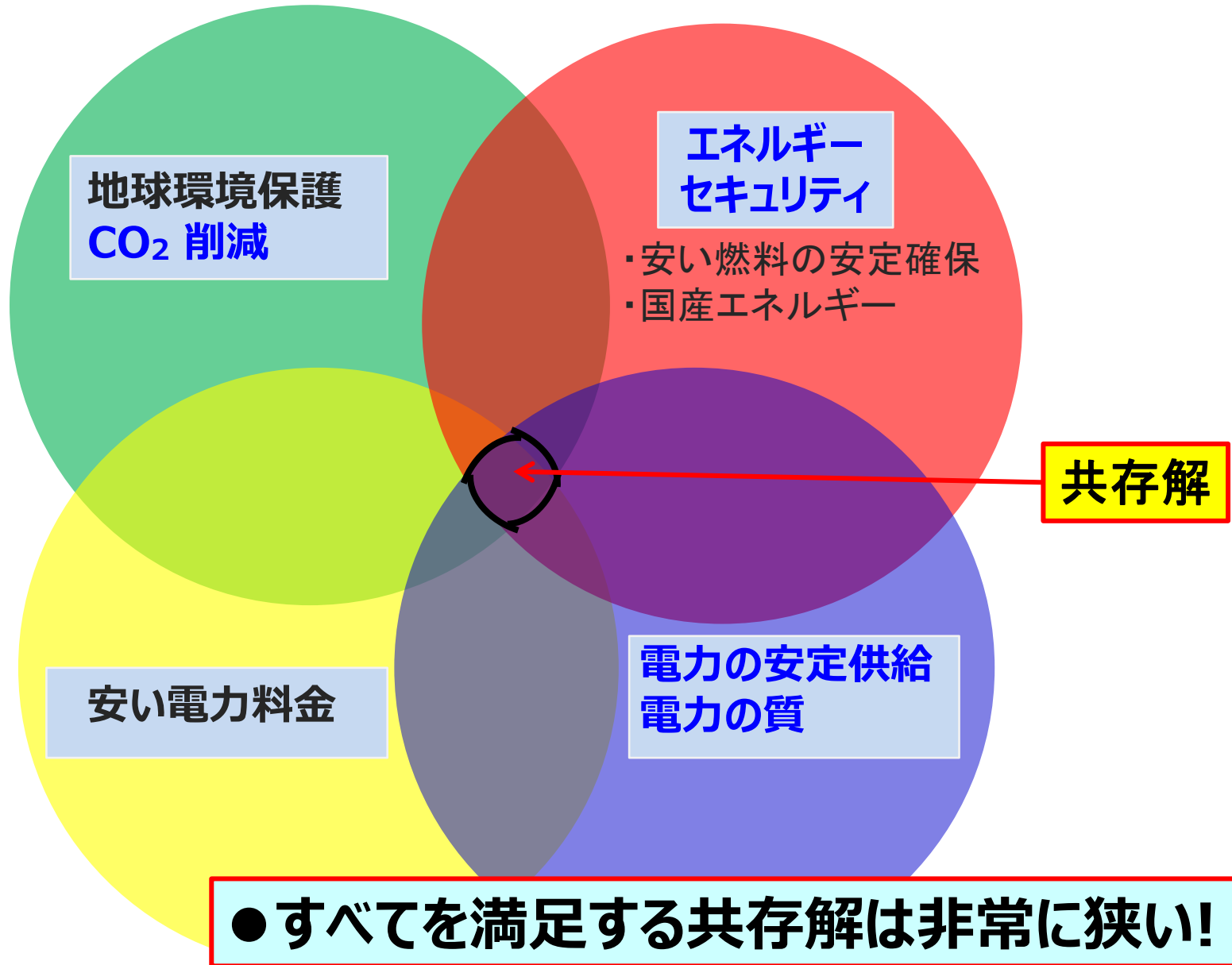


出所: WEC Survey of Energy Resources 2008、BP統計2008

石炭の生成



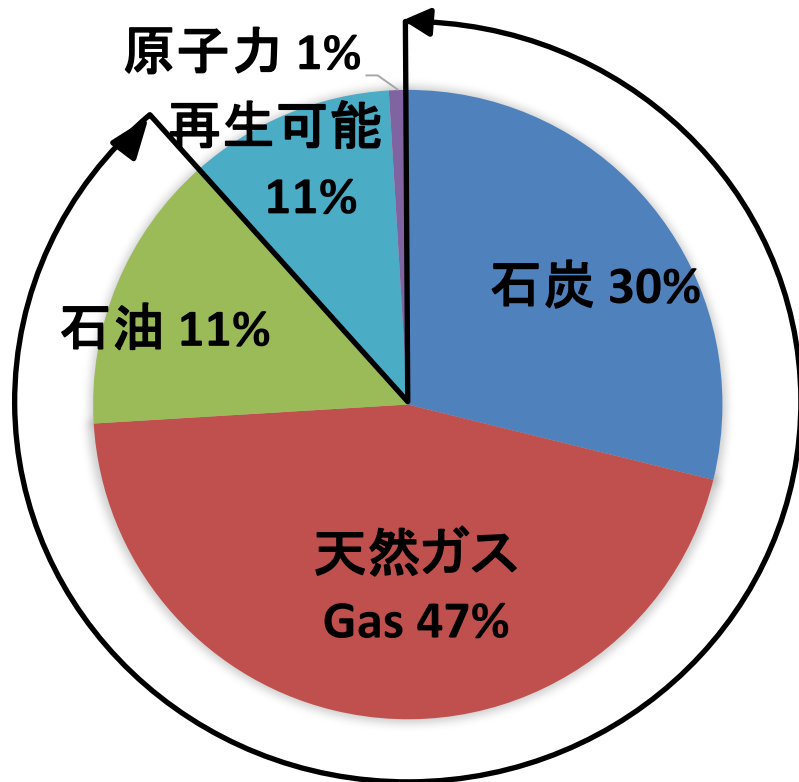
エネルギーミックスの決定



● エネルギーミックスの共存解はこのグリーンのようなもの…



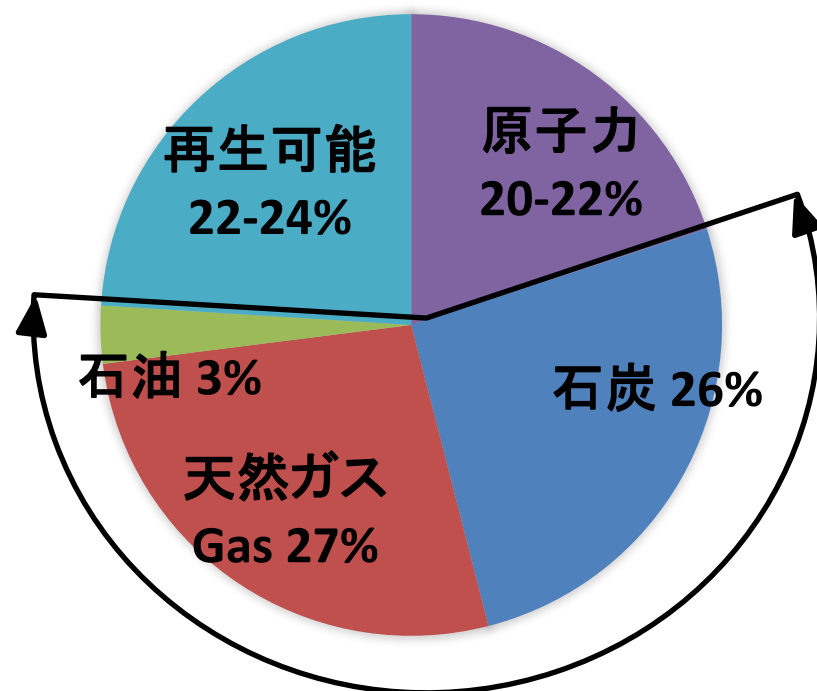
2013 実績



化石燃料 88%

ベースロード電源 = 31%

2030 目標



天然ガス : 石炭 = 50:50

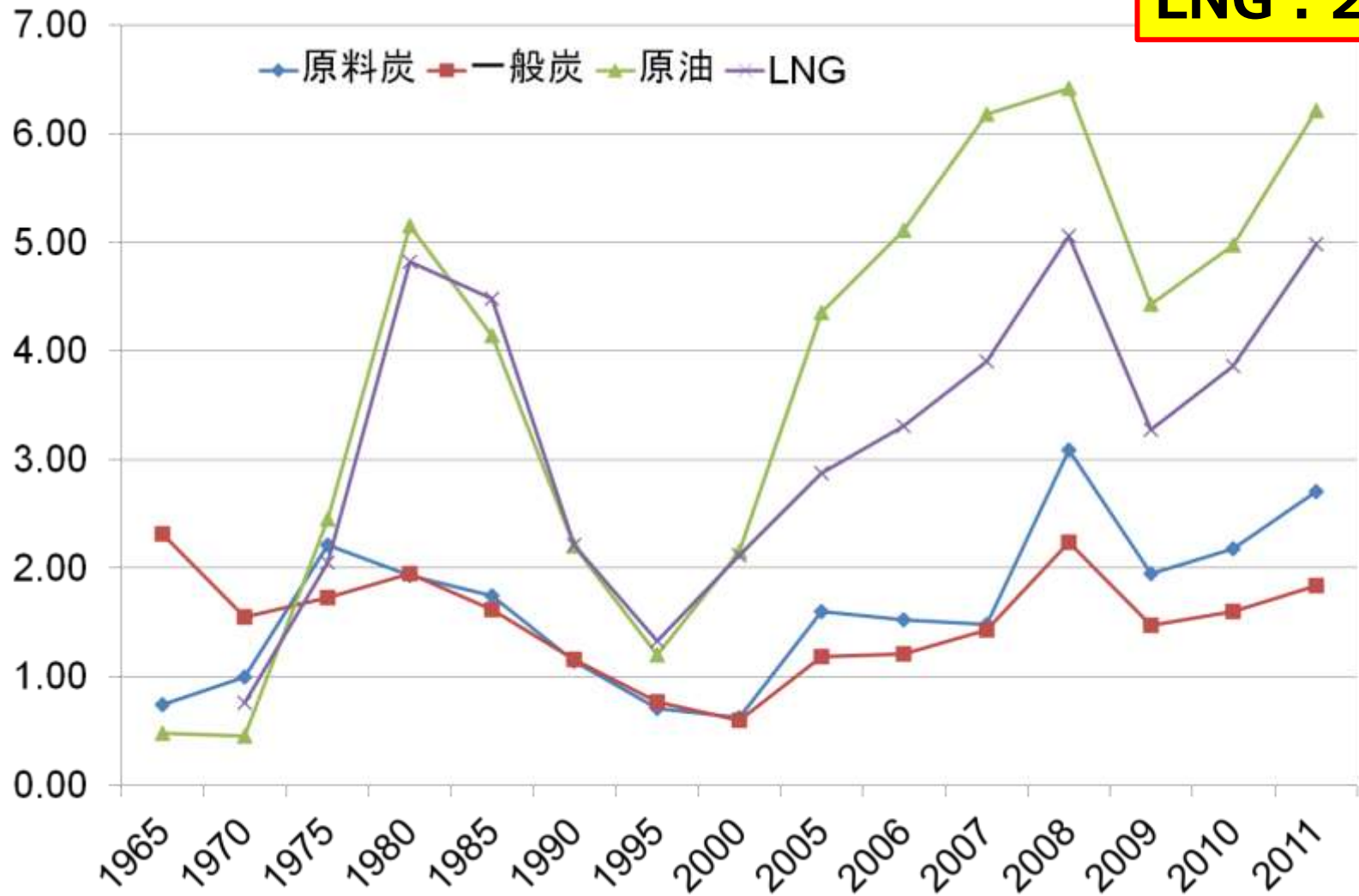
化石燃料 56%

ベースロード電源 = 48%

日本のエネルギー価格（カロリー当り）

石炭比：
石油：3倍
LNG：2.5倍

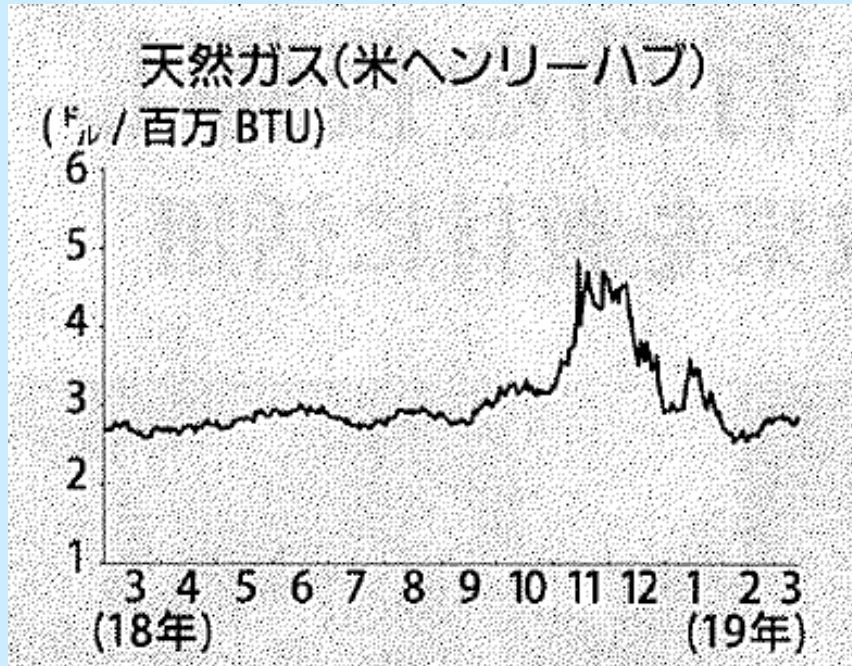
(円/千kcal)



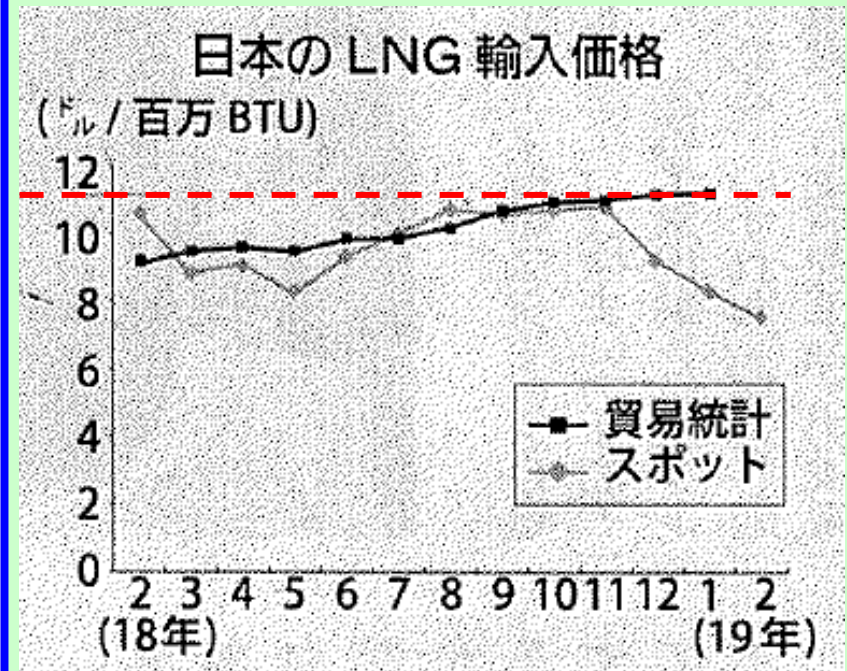
JCOAL資料より作成

天然ガス価格 (2018~)

米国ヘンリーハブ価格



日本着LNG 価格



● 日本着LNG価格 = ヘンリーハブ価格 + (6~9) \$/MMBtu

出典：2019.3.18電気新聞より

日本の電力の発電原価

	石炭	LNG	原子力
a. 資本費	2.1	1.0	3.1
b. 燃料費	5.5	10.8	1.5
c. 運転・保守費	1.7	0.6	3.3
合計=a+b+c	9.3	12.4	7.9

備考:単位: 円/kWh (=cent/kWh, 100 円 = 1 US\$として)

出典: 資源エネルギー庁ホームページ (発電コスト小委員会WG資料より)

一つのバスケットに卵を全部入れてはいけない



- リスクヘッジ
- 危険分散
- 交渉カオプション

● 第1次、第2次オイルショックの体験を忘れてはならない！

● 日本に石炭の選択肢を排除する余裕はない！

世界のCO₂削減の動き

- 日本の削減目標: 26% 削減
(2030年までに2013年ベースから)

COP21とパリ協定



	Target Year	1990 base	2005 base	2013 base
Japan	2030	18.0%	25.4%	26.0%
EU	2030	40%	35%	24%
USA	2025 [2030]*	14~16%	26~28% [30%]*	18~21% [25%]*

[Note]*: President Obama Announcement on 3rd August, 2015 for COP21.

各化石燃料の炭素と水素の比率

燃料	分子式	重量比 C:H	発熱量比 C:H	計算根拠
石炭		95:5	80:20	$8100 \times 0.95 + 33910 \times 0.05$ $= 7695 + 1696 = 9391$ 81.9:18.1
石油	C6H6	85:15	60:40	$8100 \times 0.85 + 33910 \times 0.15$ $= 6885 + 5087 = 11972$ 57.5:42.5
天然ガス	CH4	75:25	40:60	$8100 \times 0.75 + 33910 \times 0.25$ $= 6075 + 8478 = 14533$ 41.8:58.2



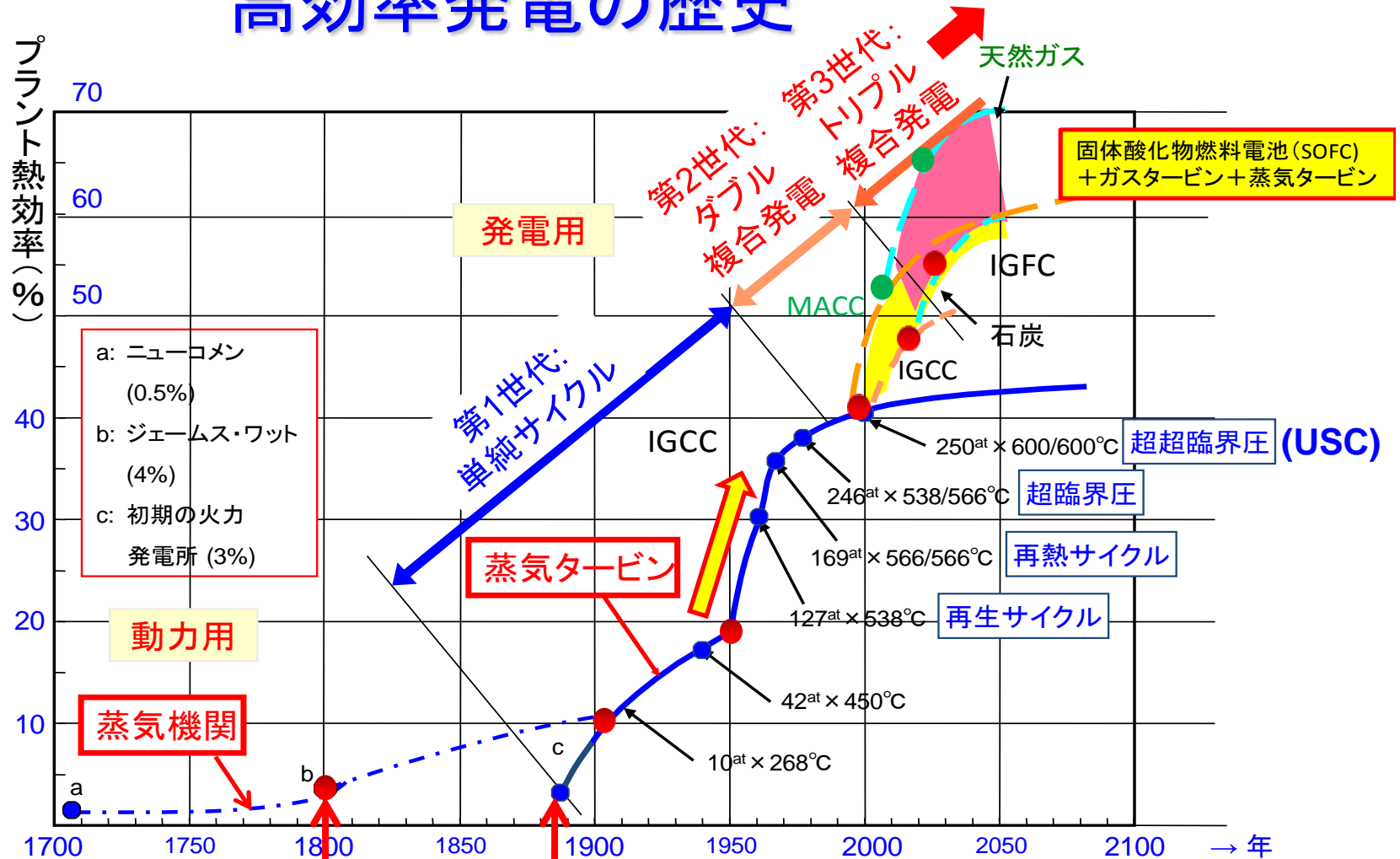
- 天然ガスからのCO2発生量は石炭の約半分になる

さらなる高効率化への道

- **効率向上は火力発電にとって最も重要な技術**である。高効率化によって、より少ない燃料で同じ電気出力を得ることができる。これによって燃料消費量が削減され燃料費の節減になると同時に、CO2発生量も削減され、地球温暖化防止に貢献する。
- 日本では**次世代高効率火力発電ロードマップ**を決定し、第1世代から第2世代、さらには第3世代への着実な進展を目指している。天然ガスについては着実に進んでいるが、石炭については遅れている。
- アジアでは電力不足が深刻であり、石炭火力の要求が強い。中国が**技術・融資とも積極的**である。
- 石炭の高効率発電技術は現状では**石炭ガス化複合発電(IGCC)**が最高であるが、これは日本が世界を圧倒的にリードしている。**福島復興IGCC**はその象徴である。

■ 火力発電の効率化の歴史

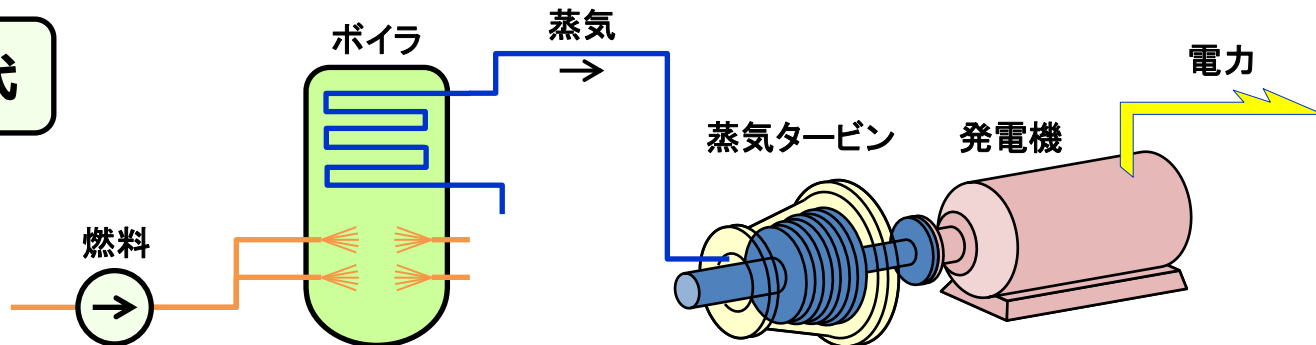
高効率発電の歴史



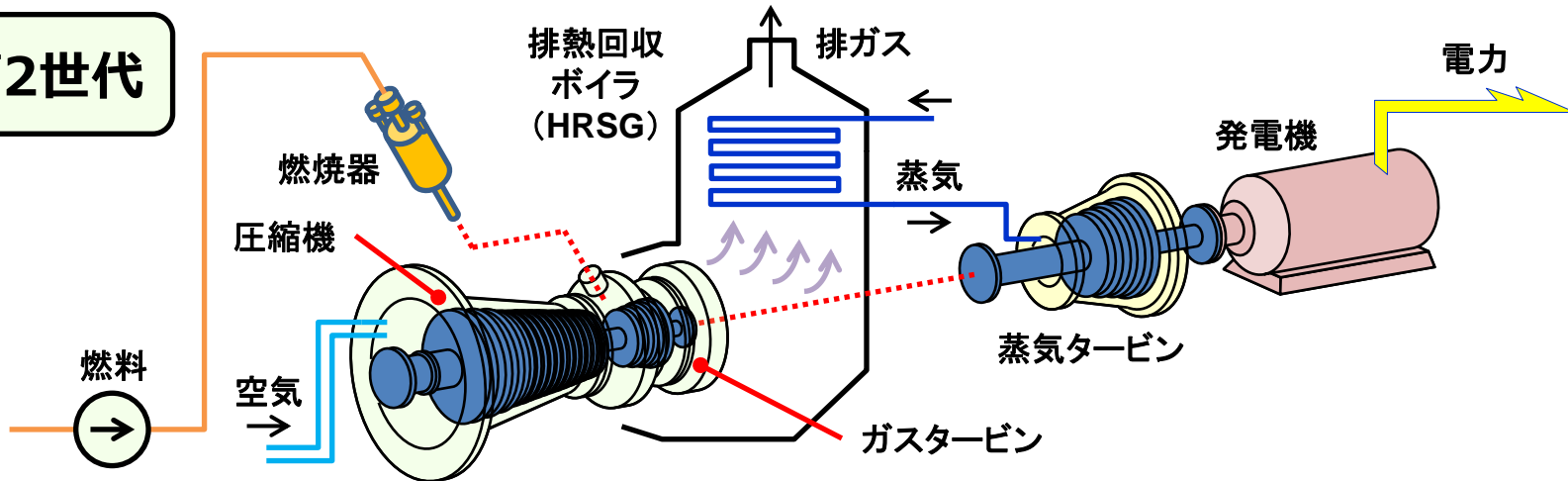
① James Wattの改良

② Parsonsの蒸気タービン(軸流・多段) 1884年

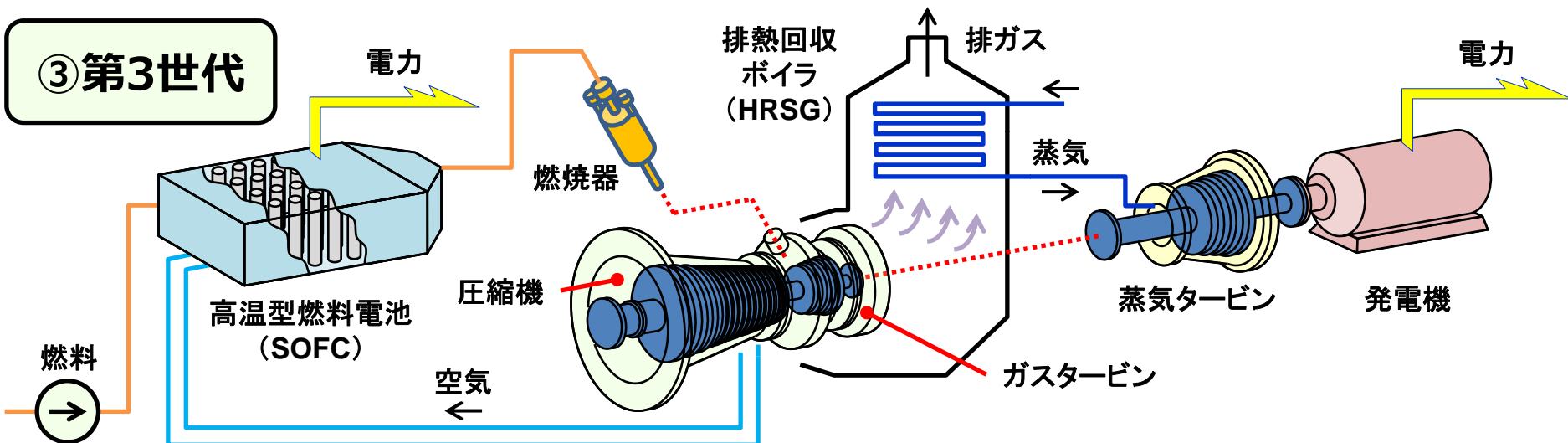
① 第1世代



② 第2世代

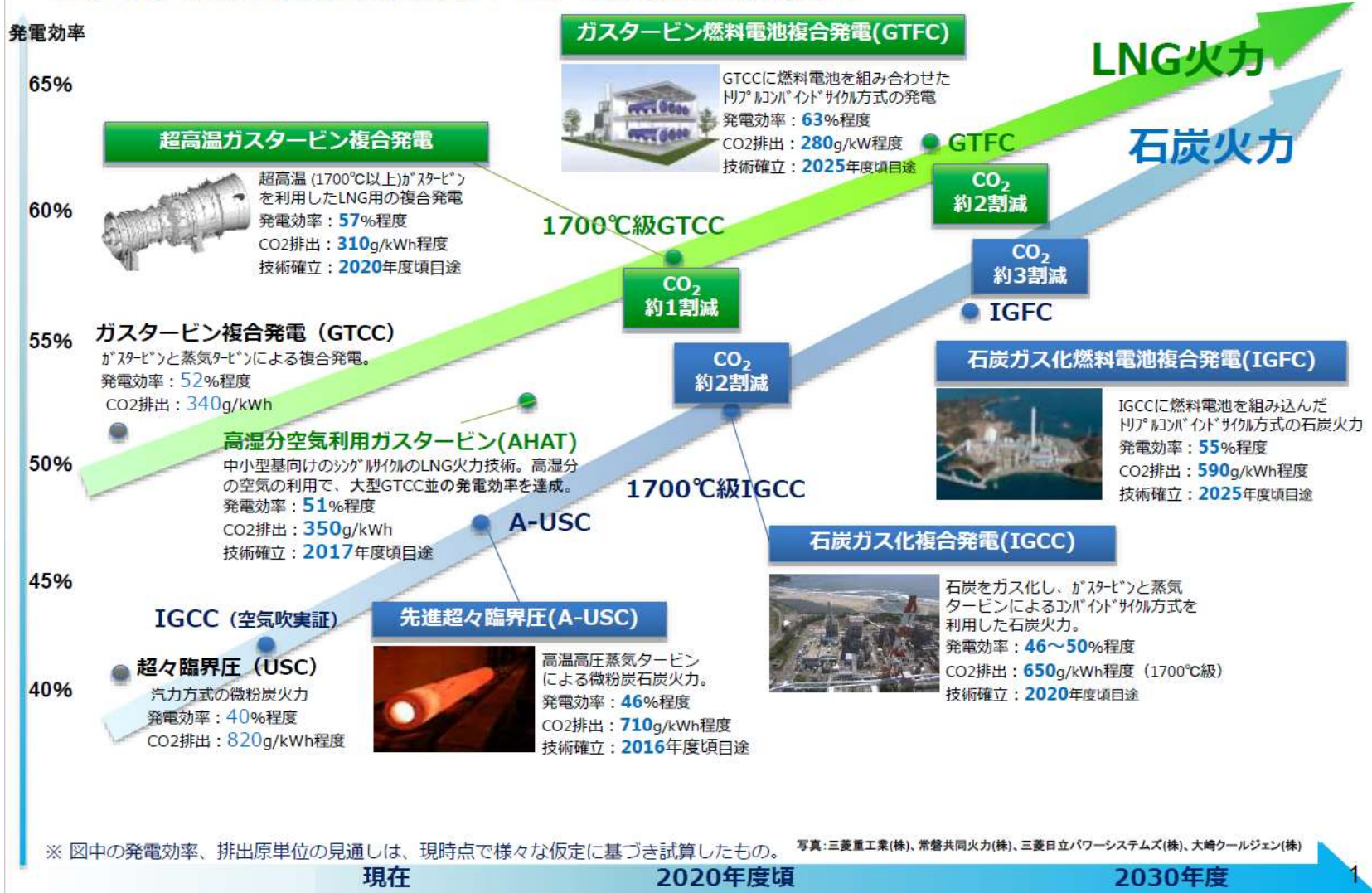


③ 第3世代



次世代高効率火力発電ロードマップ

次世代火力発電技術の高効率化、低炭素化の見通し

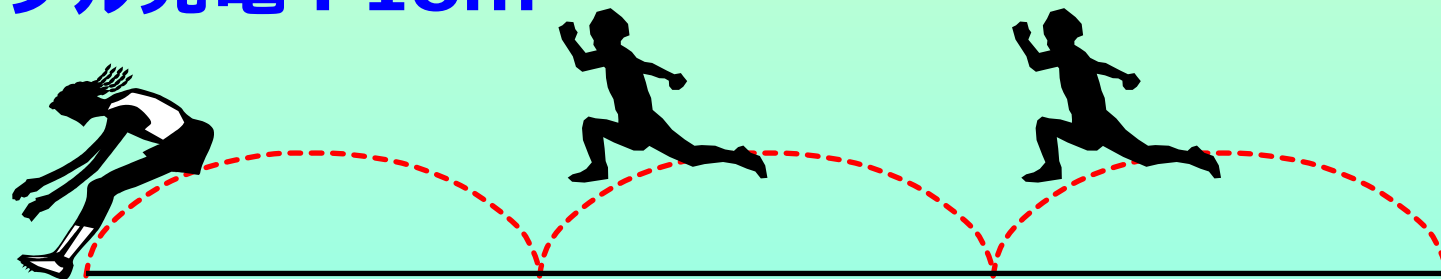


シングル→ダブル→トリプルへ



トリプル発電 : 18m

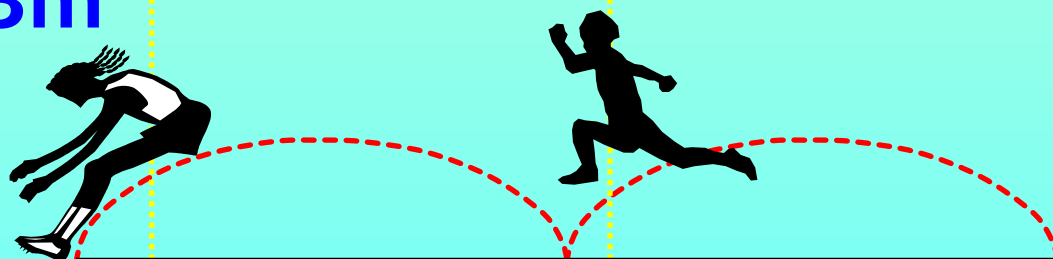
天然ガス 65% : 石炭 55%



3段跳び

ダブル発電 : 13m

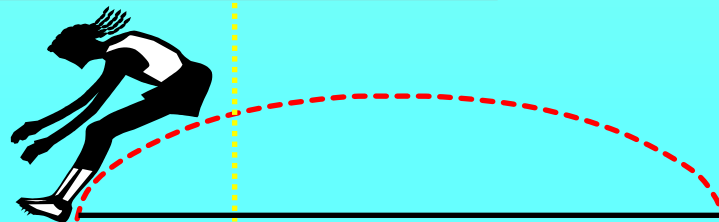
天然ガス 55% : 石炭 48%



2段跳び

シングル発電 : 8m

天然ガス 41% : 石炭 42%



1段跳び
(走幅跳び)

[注] 発電効率はいずれも高位発熱量基準、送電端

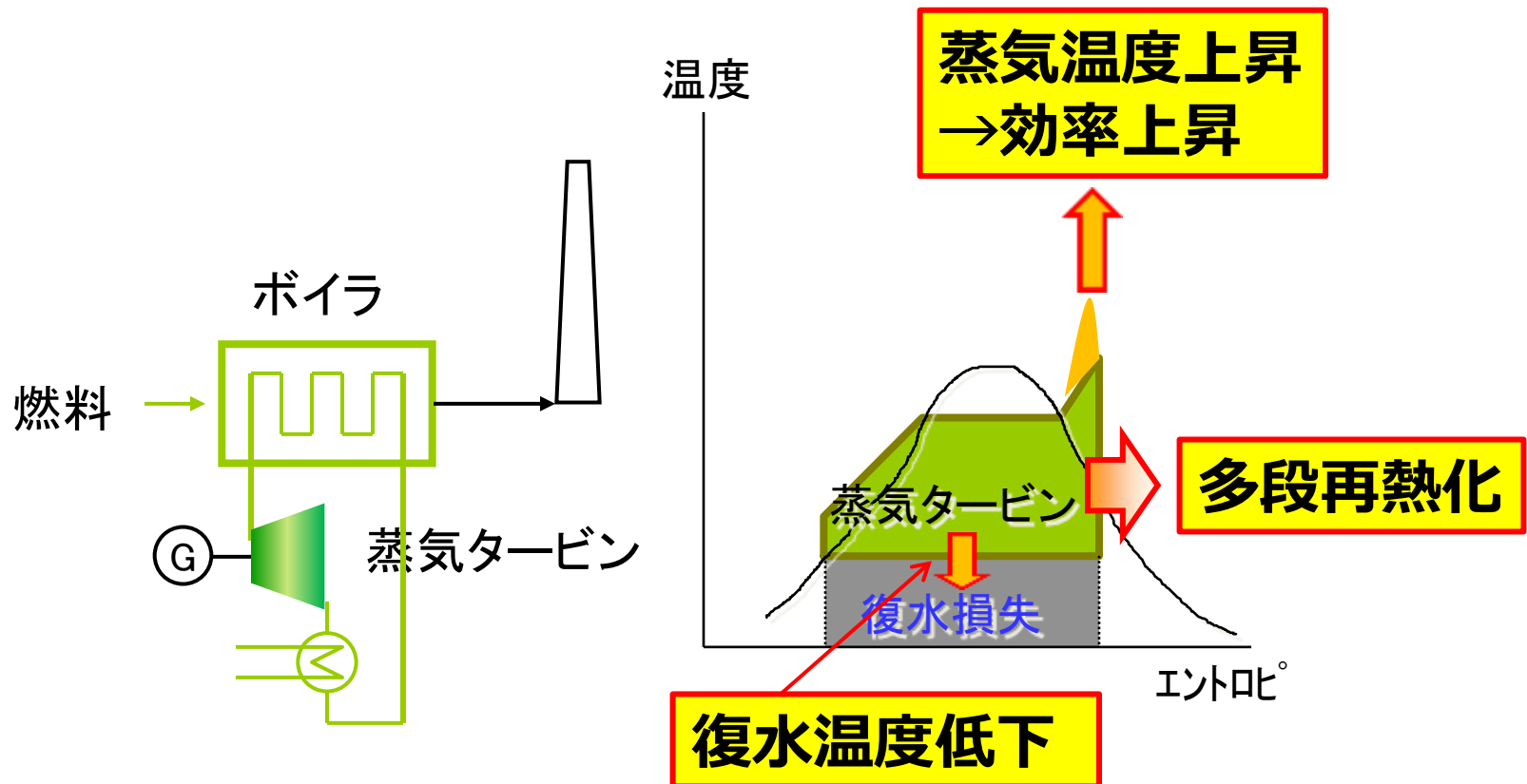
火力発電所の効率基準

[平成30年、31年改正]
平成28年4月1日施行

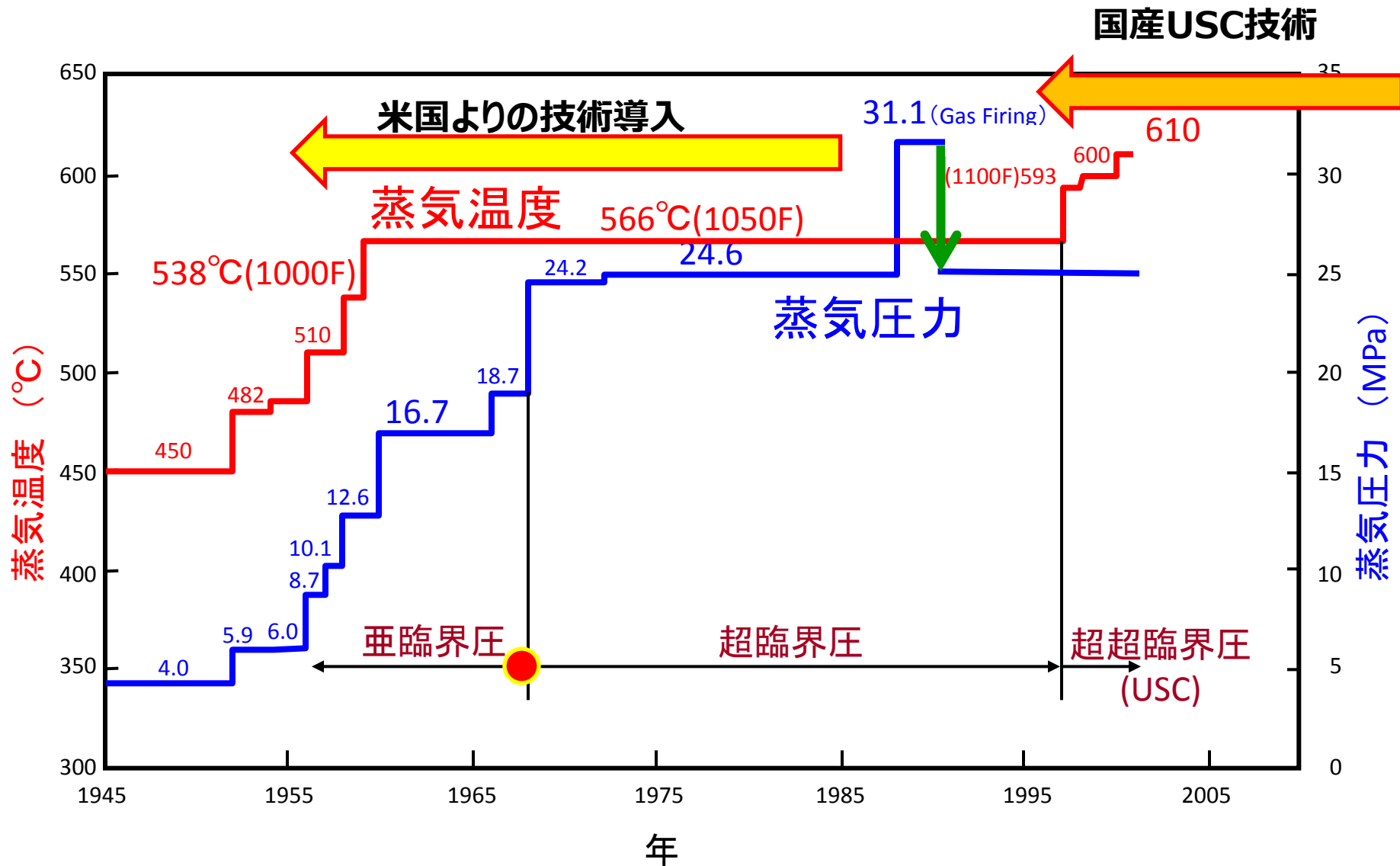
		新設基準 (発電端、HHV)	既設基準 (発電端、HHV)	既設報告要領(発電電力量ベース)	
				A指標	B指標
燃料種	石炭	42.0 %	41 %	A指標 $= \frac{\text{石炭火力実績値}}{\text{目標値(41\%)}} \times \text{石炭比率}$ $+ \frac{\text{天然ガス火力実績値}}{\text{目標値(48\%)}} \times \text{天然ガス比率}$ $+ \frac{\text{石油火力実績値}}{\text{目標値(39\%)}} \times \text{石油比率}$ =A指標【目標 1.00以上】	B指標 $= \text{石炭火力実績値} \times \text{石炭比率}$ $+ \text{天然ガス火力実績値} \times \text{天然ガス比率}$ $+ \text{石油火力実績値} \times \text{石油比率}$ =B指標【目標 44.3%以上】
	天然ガス	50.5 %	48 %		
	石油等	39.0%	39 %		
1.対象事業者		①売電比率 50%以上 ②事業者発電容量 1万kW以上 ③当該発電設備容量 1000kW以上			
2.発電効率換算		①副生物利用: 入力=(投入全エネルギー)-(副生物のエネルギー量) ②コージェネレーション: 出力=(電力エネルギー量)+(活用熱エネルギー量) ③バイオマス: 入力=(投入全エネルギー)-(バイオマス燃料のエネルギー量)			
3.見直し制度の施行		<ul style="list-style-type: none"> 平成28年4月1日、最終達成目標 2030年度 平成30年4月1日、石炭の副生物・バイオマス混焼時の補正に上限値を設定 平成31年4月1日より石炭のバイオマス混焼による効率補正は新設には適用されない 			
4.燃料種に関する補足説明		<ul style="list-style-type: none"> 燃料種の分類判定は50%以上のものとする。また天然ガス利用で設備容量が20万kW未満、起動時間が15分以内、定格出力効率44.5%以上(発電端、HHV)のものは適用免除。 			

単純蒸気サイクルの効率と向上策

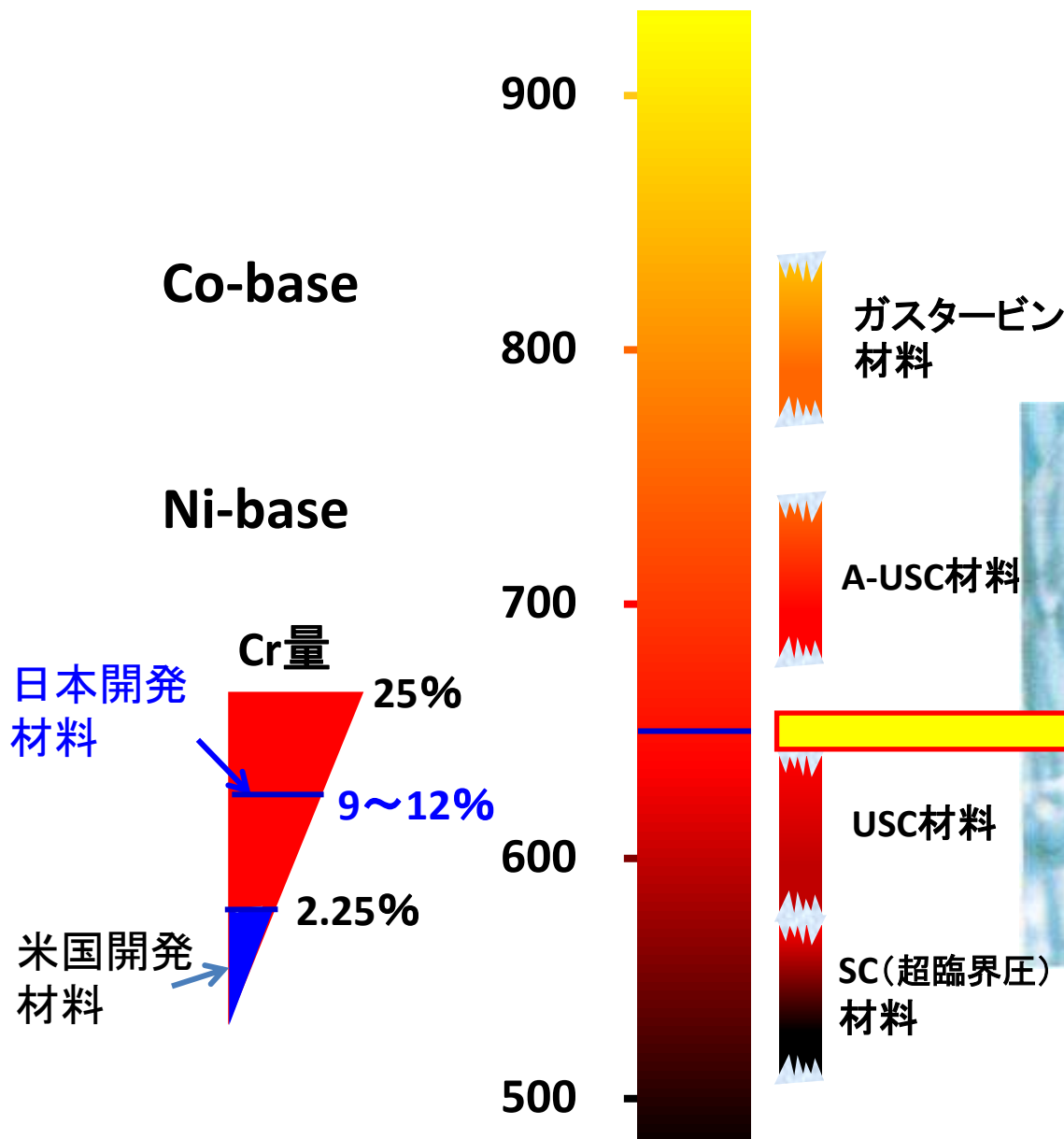
Rankine Cycle



火力プラントの蒸気条件の変遷



耐熱高温材料



➤ 許容応力のベースは
10万時間クリープ強度
→新材料の開発には最低
11年かかる！

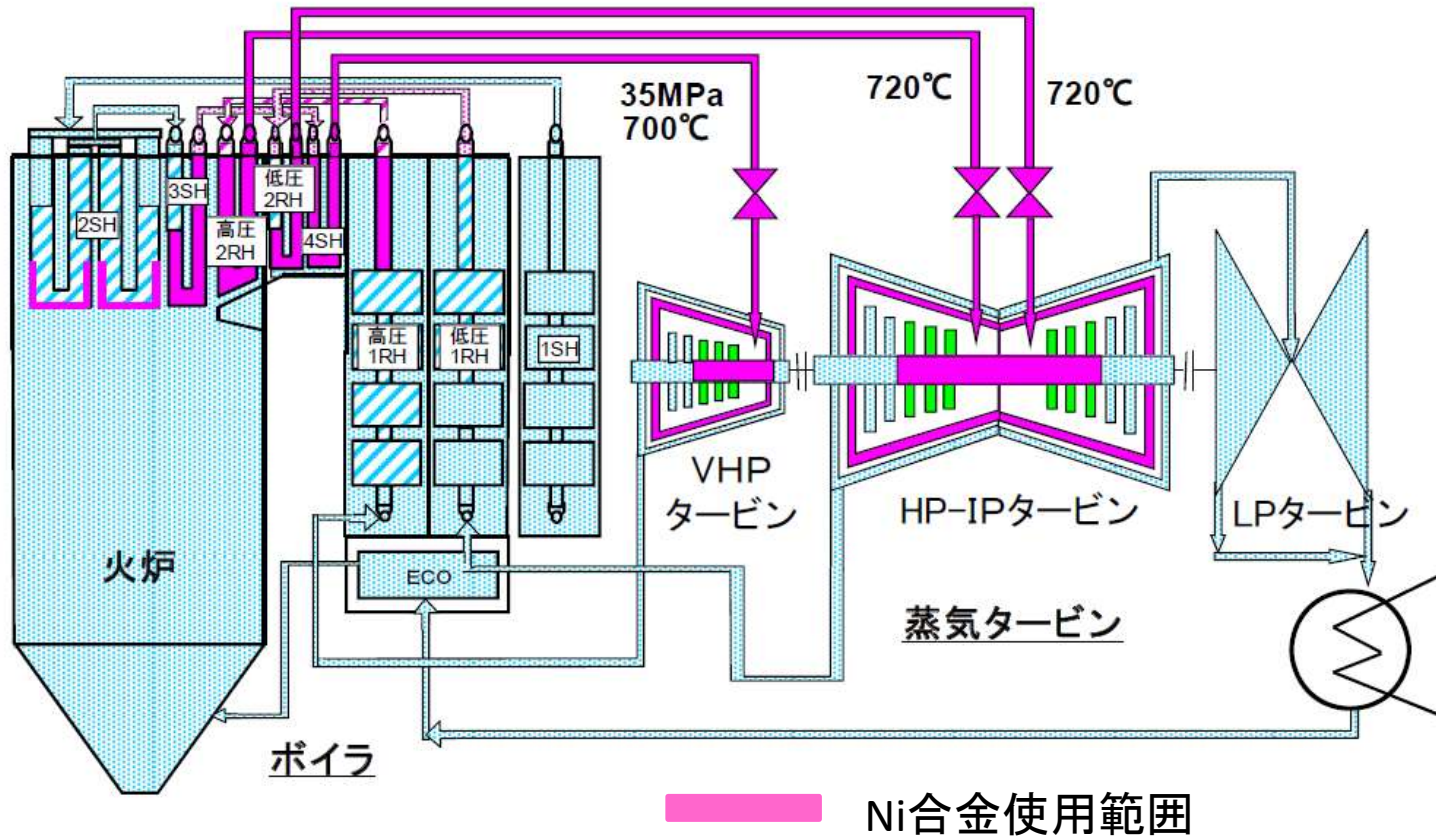


蒸気温度650°Cの主蒸気管

A-USCの開発状況はどうか？

- 大量の安価なNi合金が供給できるか？
---- 経済性の壁を乗り越えられるか？

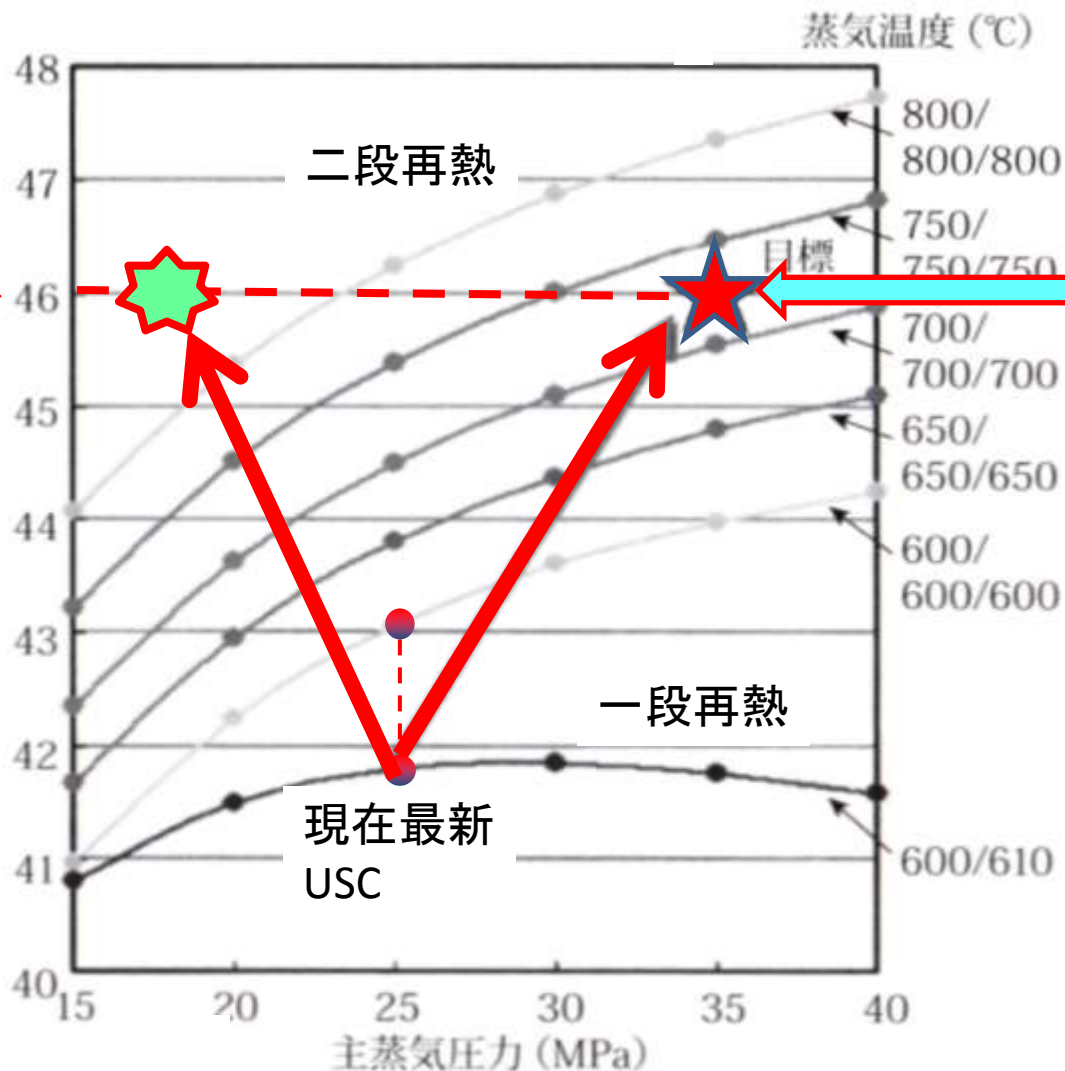
- 35MPa
- 700/720/720°C
- 2段再熱



Ni合金の材料費

	超臨界圧SC (Super-Critical)	超超臨界圧USC (Ultra-Super-Critical)	A-USC (Advanced USC)
蒸気温度	566 °C (1050°F)	600 °C (1112°F)	700 °C (1292°F)
使用材料	P22 (2.25Cr- 1Mo)	P92 (9Cr- 0.5Mo- 1.8W-V-Nb)	(60Ni-18Cr- 10Co-5Mo-) 相当材
コスト指数	1	3	20

A-USCかIGCCか？



現IGCC
の効率

A-USCの
効率

送電端効率 (%)
(HHV)

IGCCおよび A-USCによる効率向上

出典：蒸気タービン（新改訂版）
図2.27(p.33) に金子加筆

第2世代：ダブル複合発電：ガスタービン+蒸気タービン

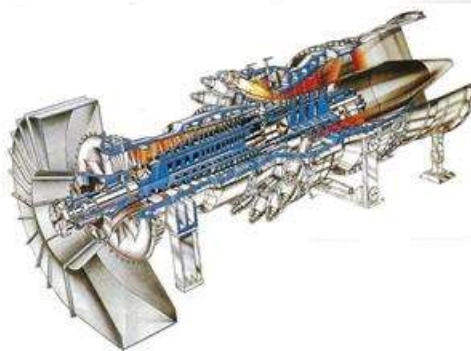
➤ 1984年ころ日本が世界に先駆けて100万KW級のダブル複合発電を実用化



・蒸気タービン



・航空用ジェットエンジン



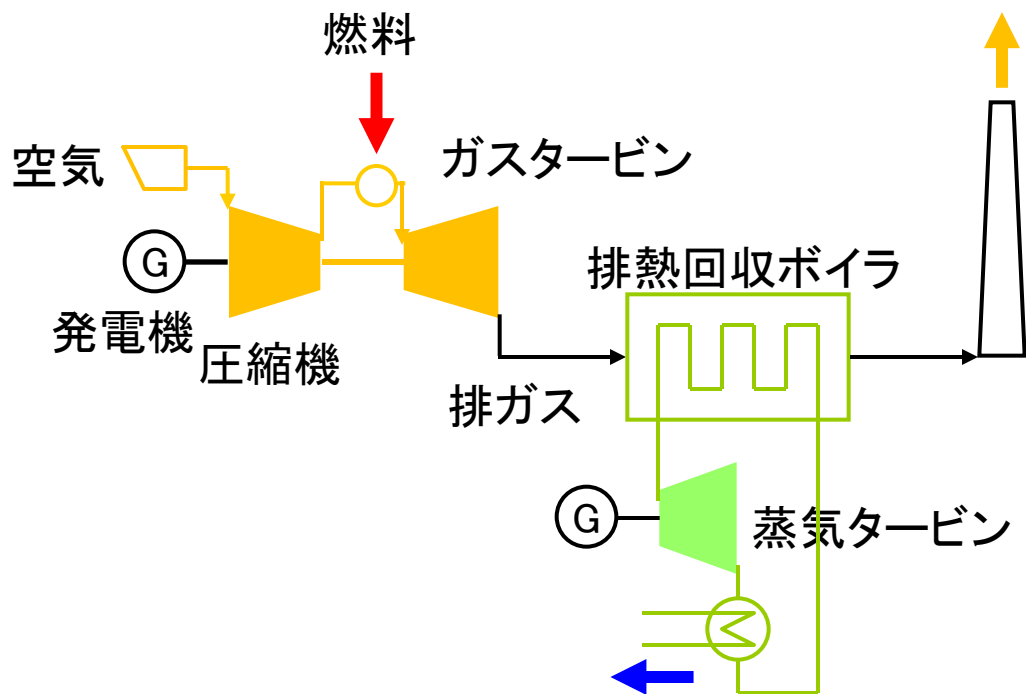
・発電用ガスタービン

複合サイクル

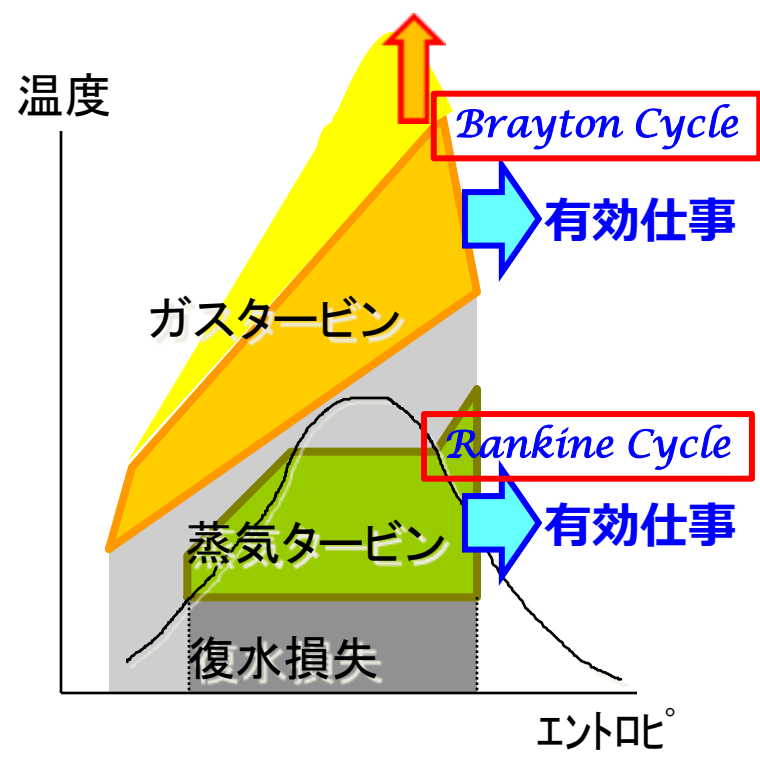
[ガスタービン+排ガスボイラ+蒸気タービン+発電機]



複合発電サイクル



入口ガス温度上昇
→効率上昇



一粒で二度おいしい！

石炭火力発電 岐路に

解説

地球温暖化防止のため、二酸化炭素(CO₂)の排出量が多い石炭火力発電への逆風が強まっている。石炭関連産業への投資をやめる動きも世界的に増えつつある。石炭火力を基幹電源と位置づける日本はどう対応すべきか探った。

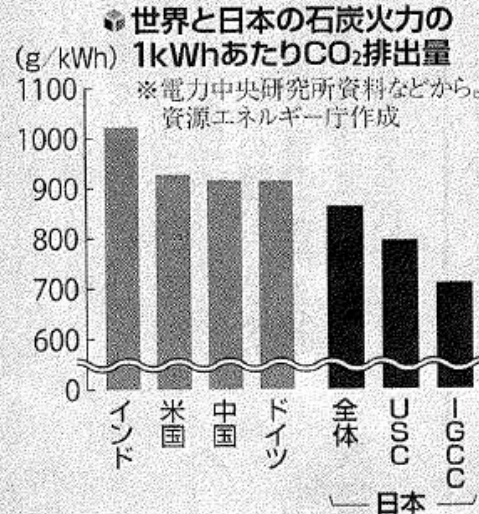
温室ガス削減の波



編集委員
倉貫浩一

読売新聞記事 (2019.1.19)

高効率な石炭火力発電 US C (超々臨界圧発電)は、石炭を燃やして作る蒸気を極限まで高温、高圧にして蒸気タービンを回して発電する。最先端のIGCC (石炭ガス化複合発電)は、石炭をガス化した高温ガスを発電に利用することでさらに効率を上げ、CO₂排出を抑える。1980年代から官民で開発を進め、2013年から福島県いわき市で商業運転を開始した。



天然ガス以外も必要

日本がリードしてきた石炭火力発電の技術基盤の維持も大事だ。発電所建設に関わる企業は大手から部品を製造する下請けまでさまざまな野が広い。日本が輸出してきた火力発電所に対する海外各国の信頼が高いのは、高品質な部品を作る国内企業がいたためだ。日本は、USC(超々臨界圧発電)の技術を中国にライセンス供与した。中国は契約上、輸出できないはずだったが、徐々に「自主開発した」と言って大手を振って安値で海外市場に出てきている。このため、日本は、新技術を開発しなければならぬ。最先端のIGCC(石炭ガス化複合発電)は、ポーランドに輸出できると思う。既にポーランドの最新のUSCは日本製だ。日本の技術力が、各国のエネルギー問題の解決に果たせる役割は大きい。



東大生産技術研究所
金子祥三 研究顧問

石炭火力の活用は、エネルギー安全保障の面で重要だ。日本は、天然ガス、石炭など発電用の燃料を海外に頼っている。二酸化炭素の排出量が少ないからといって天然ガスだけに頼るのは危険だ。石炭という選択肢を持たずに、天然ガスの生産国と価格交渉したのでは、足元を見られてまっとうな取引はできない。



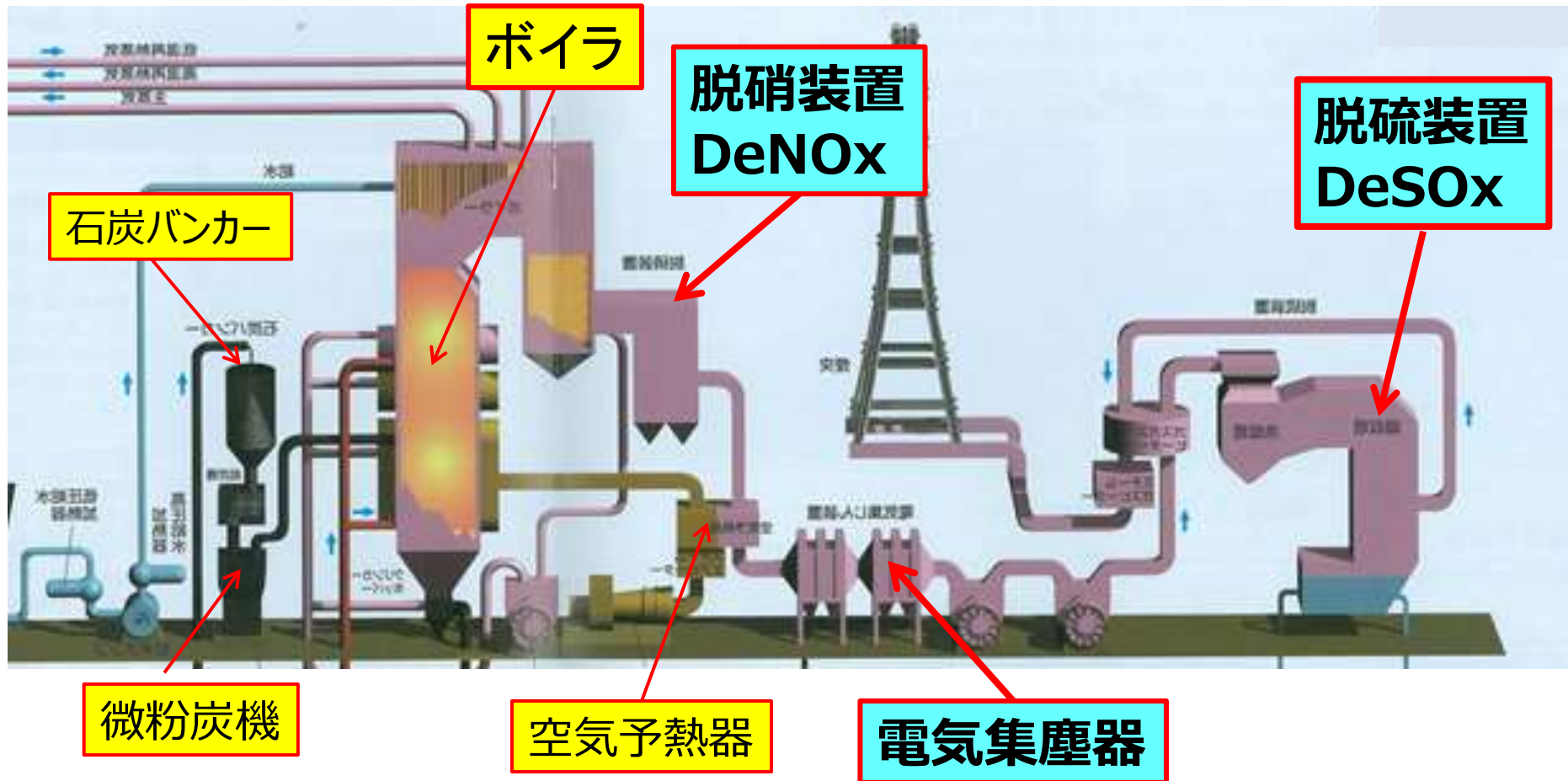
北京の大気汚染(2015年) --- PM2.5 ほかが原因

石炭は汚いのか？

- 大気汚染のほとんどが**家庭用石炭**と**自動車**が原因！

最新鋭の石炭火力発電所

- 脱硝装置も脱硫装置も日本が独自技術で開発した。
- この技術が世界中で使用され、クリーンな石炭火力を実現している



● 多くの人が大気汚染と温暖化ガスを混同している！

大気汚染：
酸性雨, スモッグ, etc.

地球温暖化

温室効果ガス：
無害、無色、透明

SO_x , NO_x
ばいじん(PM)

CO_2

➤ 反石炭の人はわざとこれを混同させている！
(Obama政権の石炭規制、PPCA, など)

- ガス化によって石炭も天然ガス並みにクリーンにできる！

石炭ガス化



石炭



IGCC



高効率化

CO₂削減

天然ガス並みに
クリーン

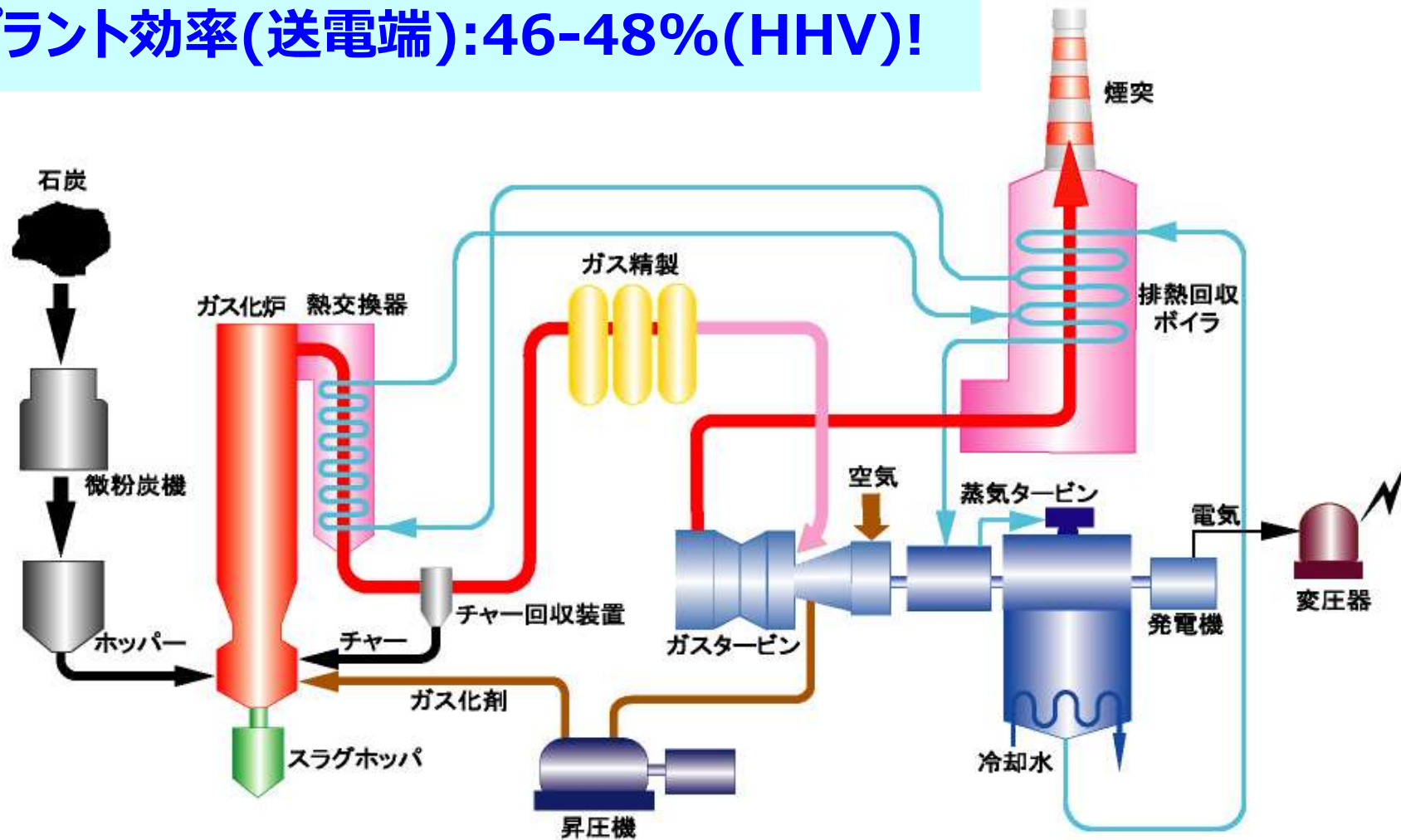
最少化

- Dust (PM)
- SO_x
- NO_x

石炭ガス化複合発電 (IGCC)

(Integrated coal Gasification Combined Cycle)

プラント効率(送電端):46-48%(HHV)!



発電用IGCC – 日本の選択

1. 乾式給炭
2. 空気吹き
3. 2段噴流床
4. ガス上昇流
5. 水冷壁構造



● 世界最高の熱効率



● 安定した連続運転

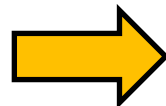


● 高い信頼性と安全性

3段階で容量増大 → 確実な成功を目指す

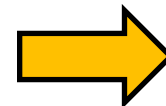
PDU

2T/日



PILOT

200T/日

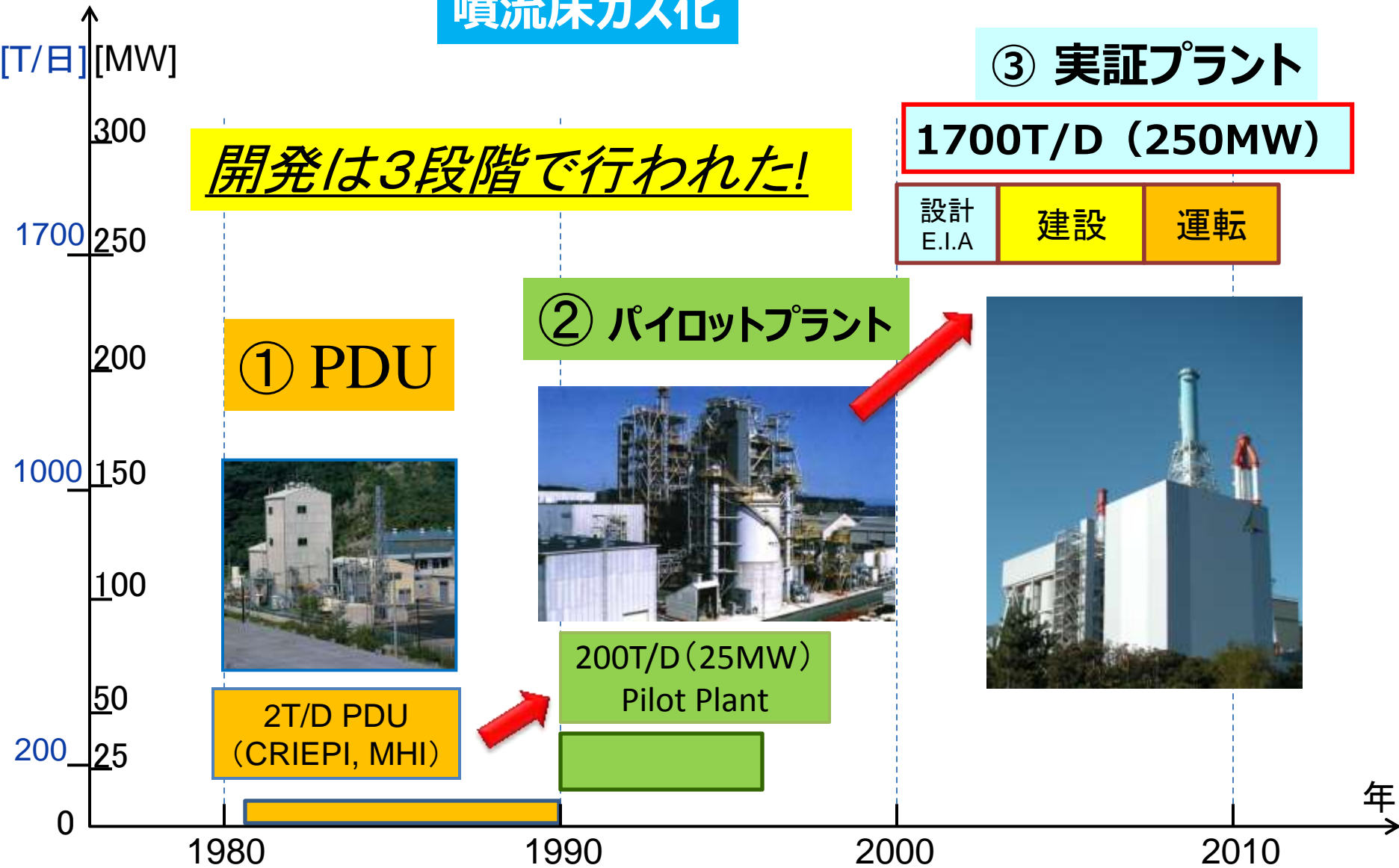


実証機

1700T/日

石炭ガス化複合発電(IGCC)国家プロジェクトの歴史

噴流床ガス化



IGCC実証機(250MW)建設地



● 福島県いわき市勿来地区

IGCC実証機建設前の状況(2005年1月27日)



大物輸送（ガス化炉圧力容器）（2005年10月18日）



ついに完成！



IGCC実証機外観

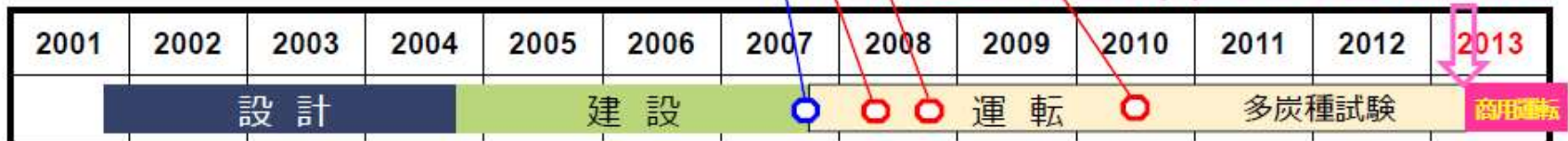
IGCC実証機の主要成果

IGCC実証機の目標と実績

実証試験の検証項目/目標をすべて達成し、商用化決定

		目標	実績(含む商用化後)	評価	備考
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%	○	未燃カーボンゼロ
環境特性	SOx NOx 煤塵	< 8 ppm < 5 ppm < 4 mg/m ³ N	1.0 ppm 3.4 ppm < 0.1 mg/m ³ N	◎	石炭火力として画期的なクリーン性を証明
運用性	適用炭種	3炭種 瀝青炭 (亜瀝青炭)	9炭種(6か国) 瀝青炭 4炭種 亜瀝青炭 5炭種	◎	中国/米国/カタール/インドネシア/ロシア/コロンビアの瀝青炭、低品位炭(亜瀝青炭)のガス化特性を確認
	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	○	従来火力を上回る運用性(ミル発電制限不要)
信頼性	連続運転時間	2,000 時間 (夏季重負荷期3か月考慮)	3,860 時間 (継続中)	◎	世界最長記録を樹立し、記録更新中
	長期信頼性試験	5,000 時間	累積 22,000時間超	◎	商用運転安定運転

IGCC実証機の主要スケジュール



スムーズな溶融スラグ排出と NOx, SOxの値

NOx : 3.5ppm, SOx : 6.8ppm

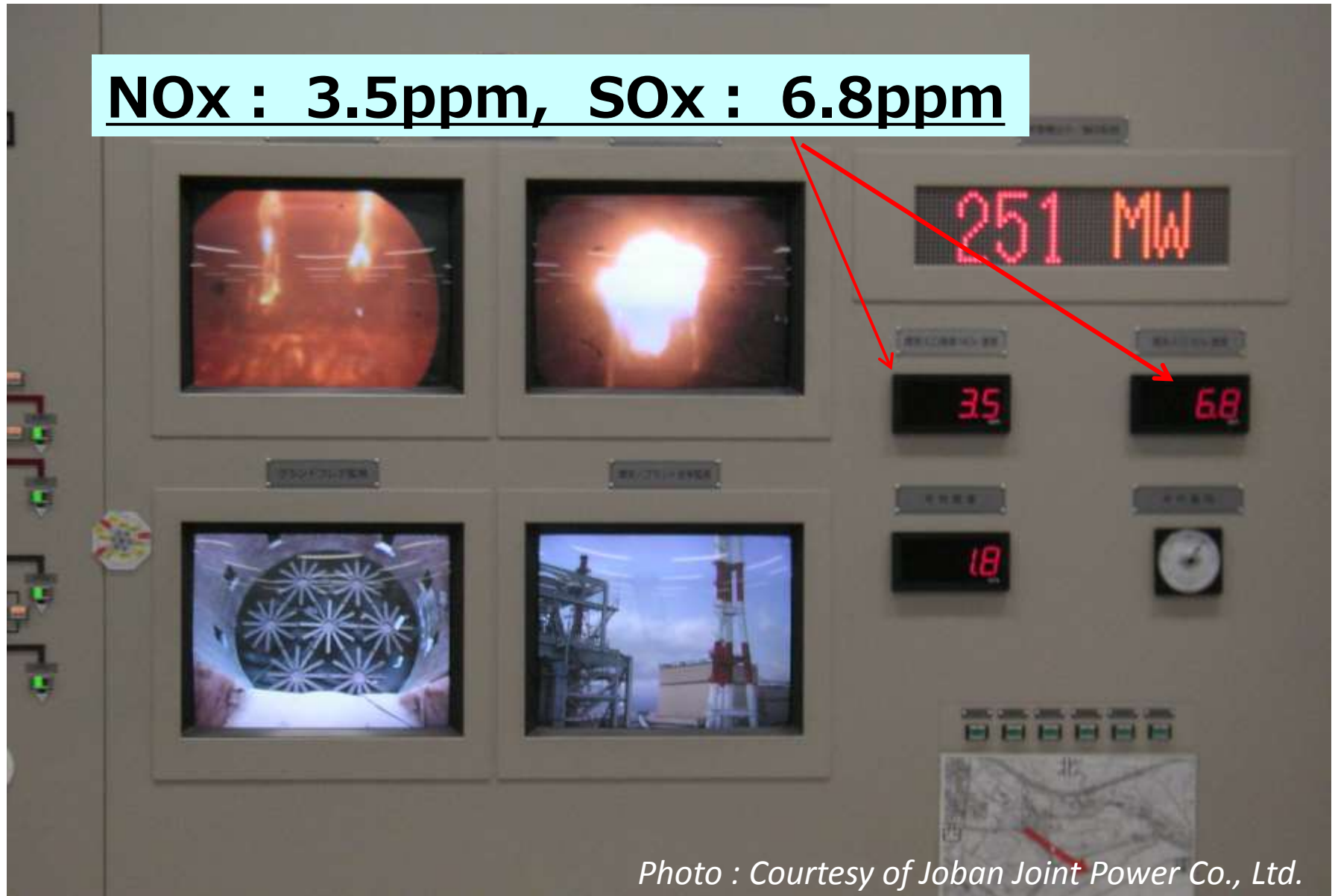
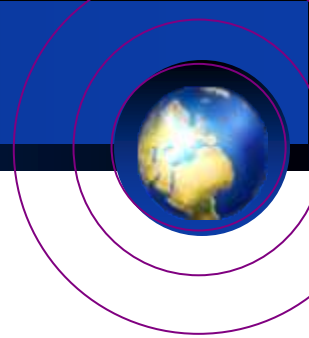
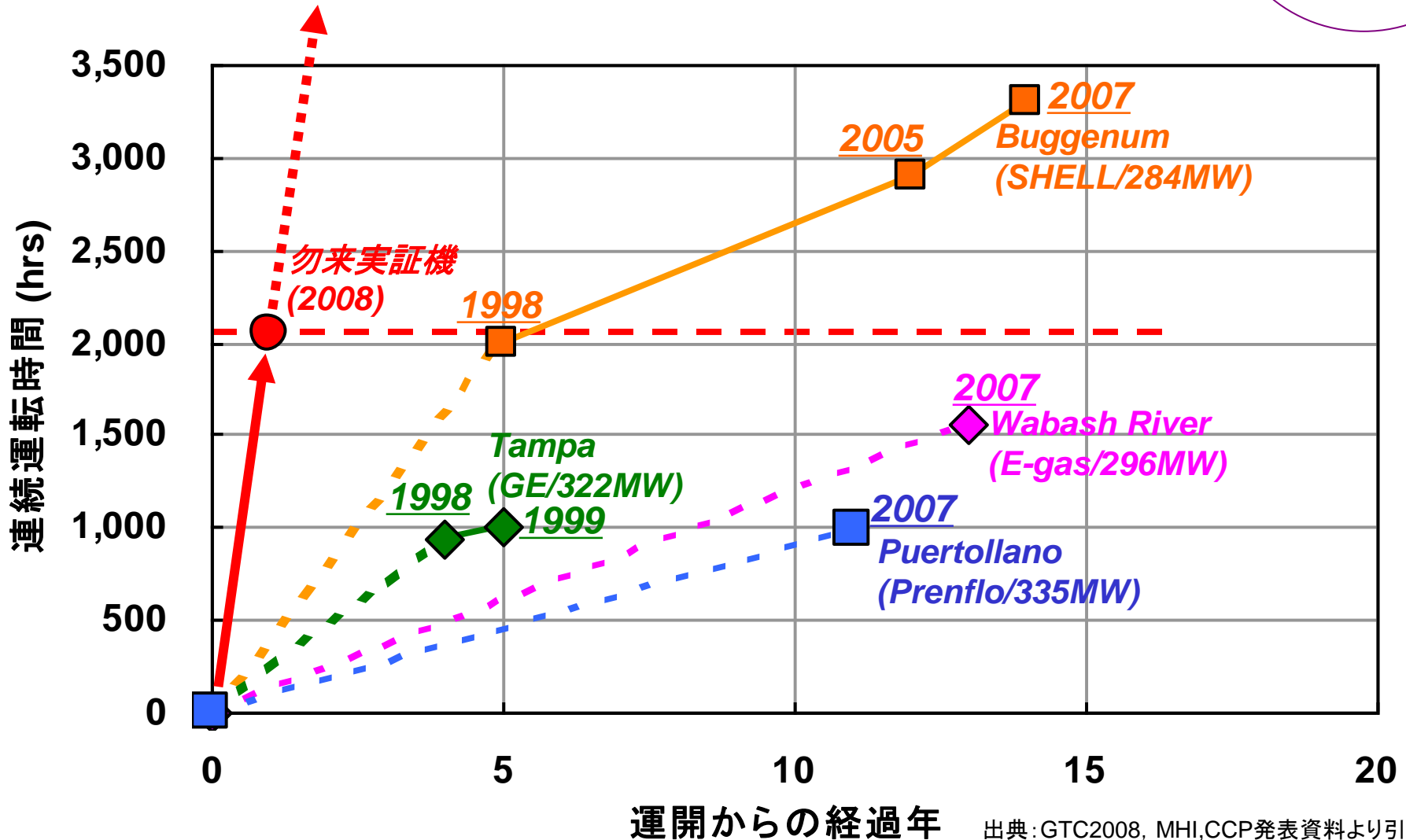


Photo : Courtesy of Joban Joint Power Co., Ltd.

実証機の運転実績



世界最速で2000時間連続運転達成！



出典: GTC2008, MHI, CCP発表資料より引用

IGCCのメリット

1. 効率20%アップで、CO2排出量は石油並み
2. 将来固体酸化物型燃料電池 (SOFC)を追加し、トリプル複合発電として更なる増出力・高効率化が可能
3. 非溶出性ガラス質スラグ
4. 温排水が従来の30%減→漁業への影響最小
5. 所要敷地面積が従来の30%減
6. 木質系バイオマスの利用も可能
7. 天然ガス100%専焼運転も可能

IGCCの溶融スラグ



➤ IGCCの石炭灰はフライアッシュではなく、ガラス質の非溶出性スラグで体積は1/2



2011年3月11日 津波来襲！



Photo : Courtesy of Joban Joint Power Co., Ltd.

被災直後の状況



Courtesy of Clean Coal Power R&D Co.

被災直後の状況



Courtesy of Clean Coal Power R&D Co.

2011年7月---わずか4ヶ月で復旧し運転再開！

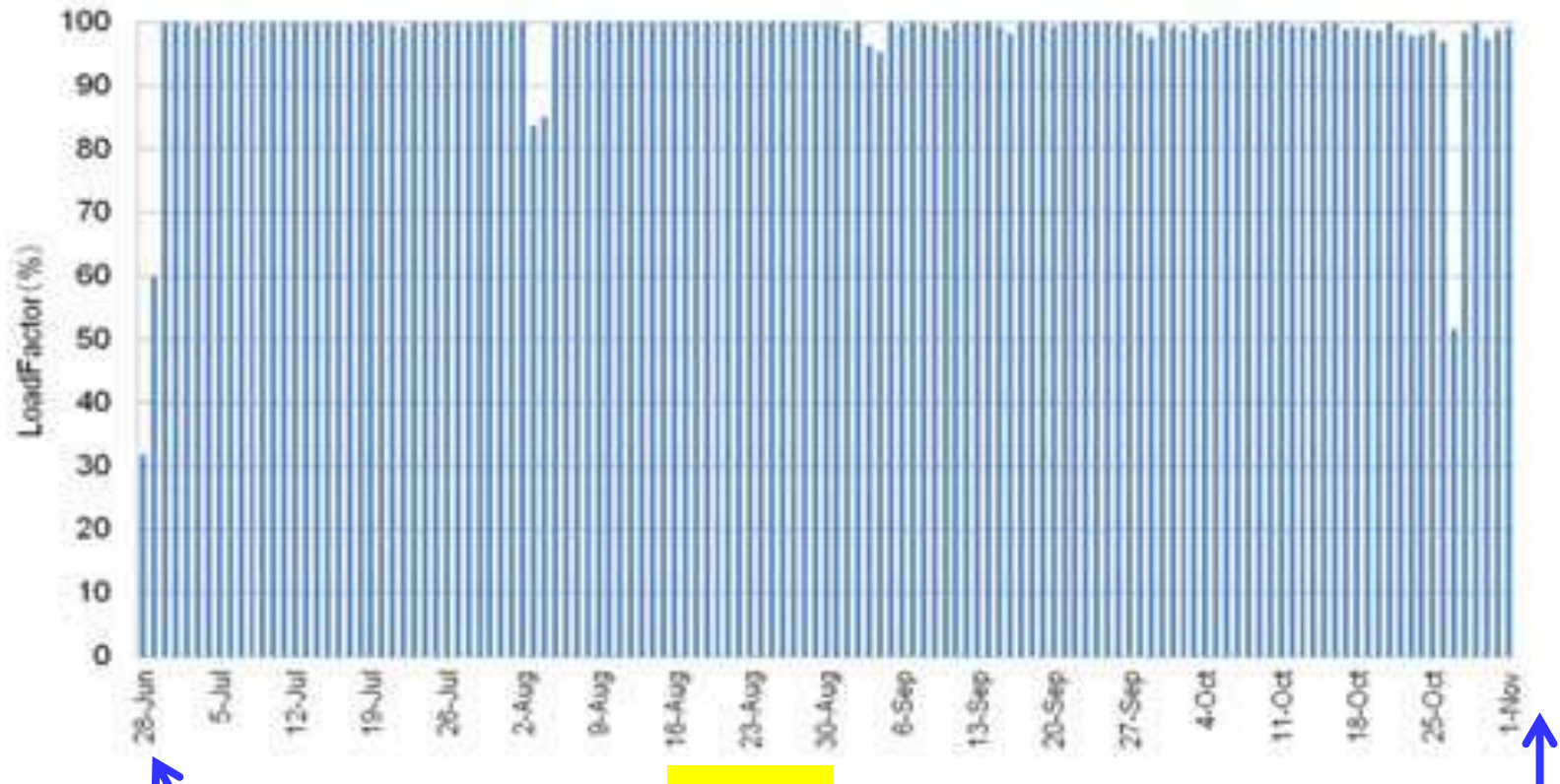


Photo : Courtesy of Joban Joint Power Co., Ltd.

勿来10号機**3917時間**の連続運転世界記録を達成!

負荷(%)

2013年連続運転の記録




運転開始：2013年6月26日

日付

運転開始：2013年12月7日
連続運転時間：3917時間

● 石炭ガス化複合発電 IGCC 勿来 10号機250MW

- 
- ガス化炉：1700 Ton/日、NO_x、SO_x、ばいじんが一桁の数値
 - 2000時間連続運転達成（2008年）
 - 5000 時間耐久運転達成（2010年）
 - 2011.3.11の大震災後、4か月で復旧、8月11日以降3か月連続運転（2238時間以上）
 - 2013.6.28に勿来10号機として商用運転を開始後、12月8日現在で3917時間の連続運転世界記録を達成した。

➤ 5か月以上ノンストップ
連続運転を達成

福島復興IGCCプロジェクト

▶ 第2世代の石炭火力---商用規模IGCCが
2020年の東京オリンピックに運転！



● 広野IGCCパワー : 54万kW IGCC !



● 勿来IGCCパワー : 54万kW IGCC !



成美堂出版: 地図で読む東日本大震災より

IGCCは2020年に営業運転開始

- 福島復興IGCC
- 54万kW2基
- 2020年、2021年営業運転開始



COP24 クルチカ議長との面談



東欧・中欧の石炭・褐炭への依存度（2015年）

石炭および褐炭による発電電力量 (TWh-%):

石炭および褐炭による発電電力量 [TWh] / 国内電力消費量 [TWh]





















国名	石炭	褐炭	合計
ポーランド	49	32	81
セルビア	0	75	75
チェコ	8	53	61
ブルガリア	3	49	52
ドイツ	20	26	46
ギリシャ	0	38	38
ルーマニア	3	26	29
トルコ	15	12	27

- 多くの東欧・中欧諸国が石炭および褐炭に依存。
- これらの国はまだ発展途上で、外国から高価な天然ガスを輸入する余裕無し

* Data for 2015, Source: European Association for Coal and Lignite "EURACOAL"

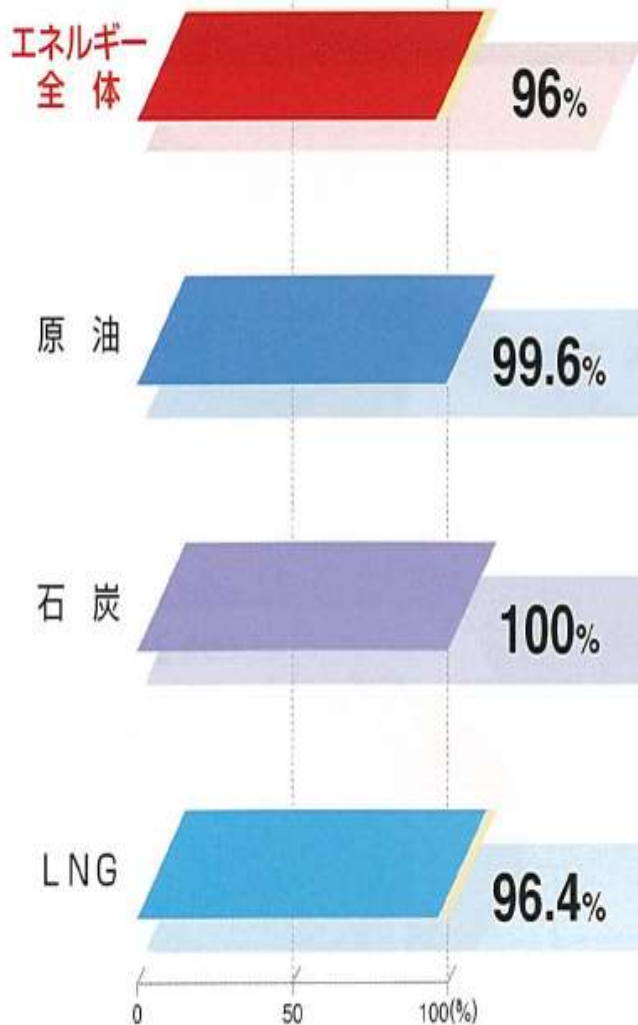
石炭の確認可採埋蔵量

Proved recoverable coal reserves at end-2008 or 2011 (million tonnes)^[148]

Country	Anthracite & Bituminous	SubBituminous	Lignite	Total	Percentage of World Total	Year
 United States	108,501	98,618		237,295	22.6	2011
 Russia	49,088	97,472		157,010	14.4	2011
 China	62,200	33,700		114,500	12.6	2011
 Australia	37,100	2,100		76,400	8.9	2011
 India	56,100	0		60,600	7.0	2011
 Germany	99	0		40,699	4.7	
 Ukraine	15,351	16,577		33,873	3.9	
 Kazakhstan	21,500	0		33,600	3.9	
 South Africa	30,156	0		30,156	3.5	
 Serbia	9	361		13,770	1.6	
 Colombia	6,366	380		6,746	0.8	
 Canada	3,474	872		6,528	0.8	
 Poland	4,338	0		5,709	0.7	
 Indonesia	1,520	2,904		5,529	0.6	
 Brazil	0	4,559		4,559	0.5	
 Greece	0	0		3,020	0.4	
 Bosnia and Herzegovina	484	0		2,853	0.3	
 Mongolia	1,170	0		2,520	0.3	
 Bulgaria	2	190		2,366	0.3	
 Pakistan	0	166		2,070	0.3	

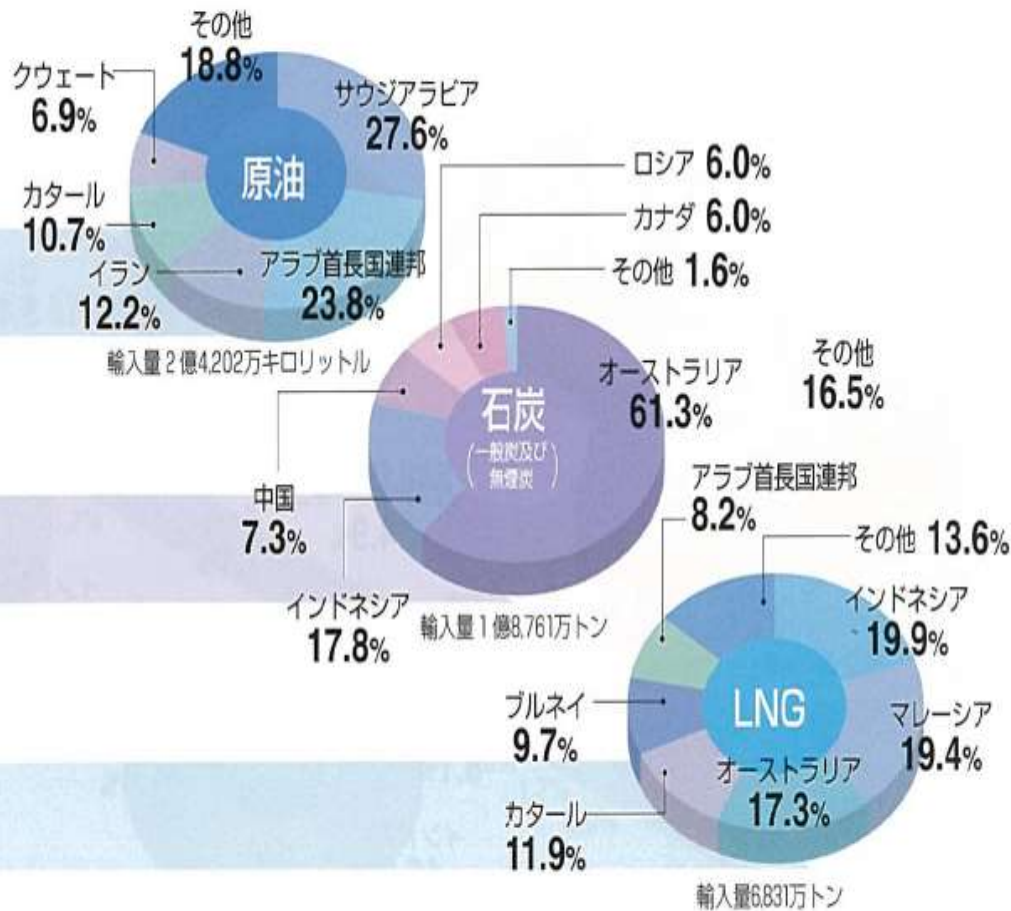
日本の化石エネルギーの海外依存度(2007年度)

エネルギー原料の輸入依存度 (2007年度)



エネルギー原料の主な輸入先 (2007年度)

日本の自給率は僅か4%---先進国で最低！



出典：「エネルギー白書」2009年版

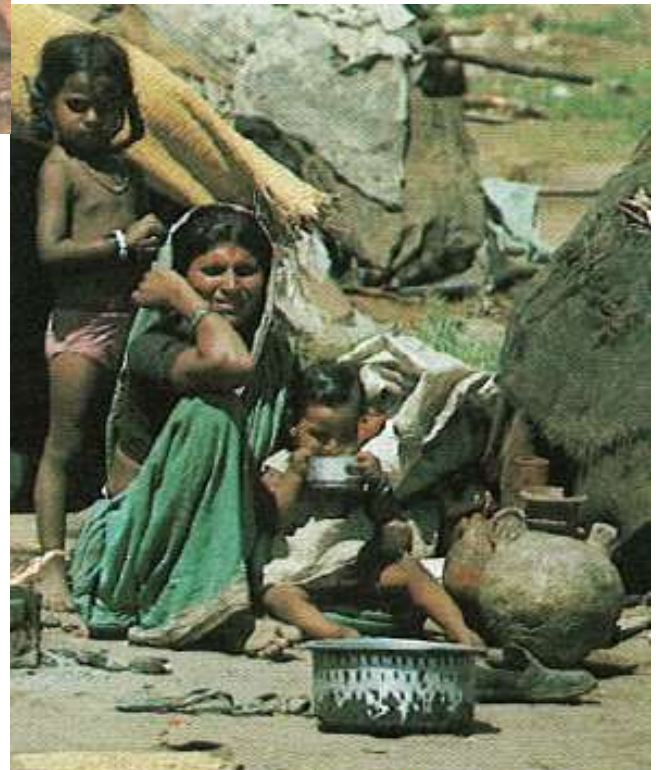
※SHIPPING NOW 2009-2010より引用

資源の無い国という大きな重荷…



- 資源の無い国には、好き勝手な選択の自由は無いのだ!

世界には電気の恩恵を受けられない人が10億人…



電気はあっても買えない人も……



- 世界中の多くの人々に
安くて信頼性の高い電力を供給
- これが日本の使命である
- そのためにはモデルプラントを国内で
しっかりと確立する必要がある。



イラクハルサ発電所建設現場（1977年2月）



The future is bright...



Thank you!

The End

参考資料

➤ 2040年までの世界のエネルギー消費増加

➤ 2040年までの世界の電力消費増加

図4 電力最終消費



	増加 比率	増加量 (PWh)
OECD	1.26	2.4
非OECDの 高中所得国	1.83	7.1
低中・低所得国	3.15	4.3

注: 低中・低所得国は2014年時点の1人あたり実質GDPが\$4,000以下の国・地域とした

[出典] 日本エネルギー経済研究所、エネルギーアウトルック2016より

ASEANの一次エネルギー消費

図14 ASEANの一次エネルギー消費

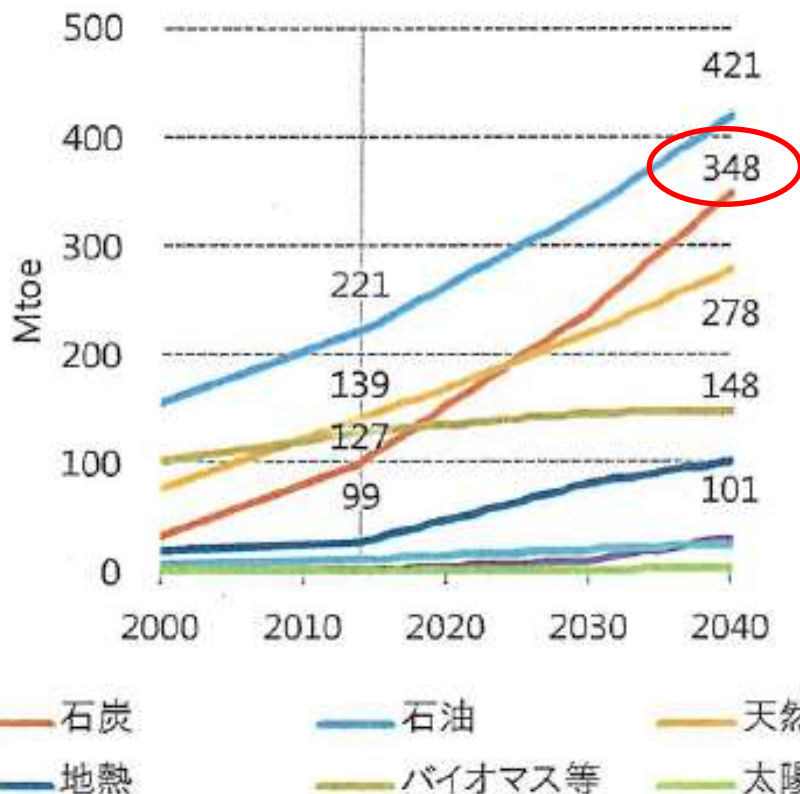
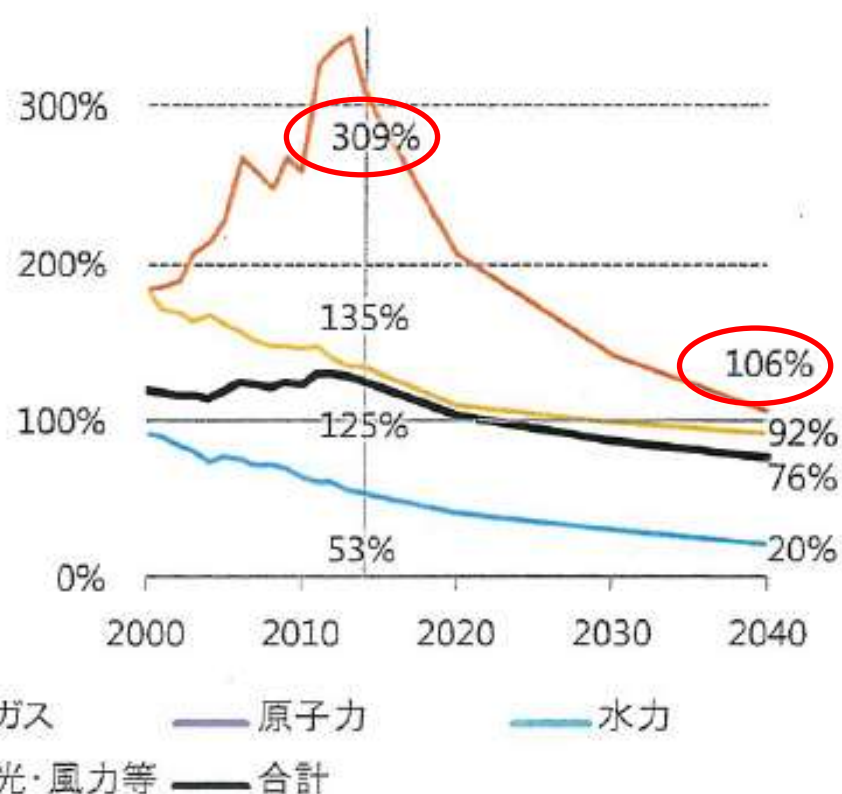


図15 ASEANのエネルギー自給率



- ASEANの一次エネルギー消費はまだまだ石炭中心
- エネルギー自給率は下がり、輸入が増える

出典：日本エネルギー経済研究所、アジア/世界エネルギーアウトルック2016より

日本の石炭資源

● 合計：200億トン
(昭和30年通産省推定)

● その後90億トンに下方修正された。
経済性を加味した可採埋蔵量は
10億トンといわれる。

北海道：100億トン

宇部：8億トン

常磐：12億トン

九州：80億トン



日本の石炭生産量の推移

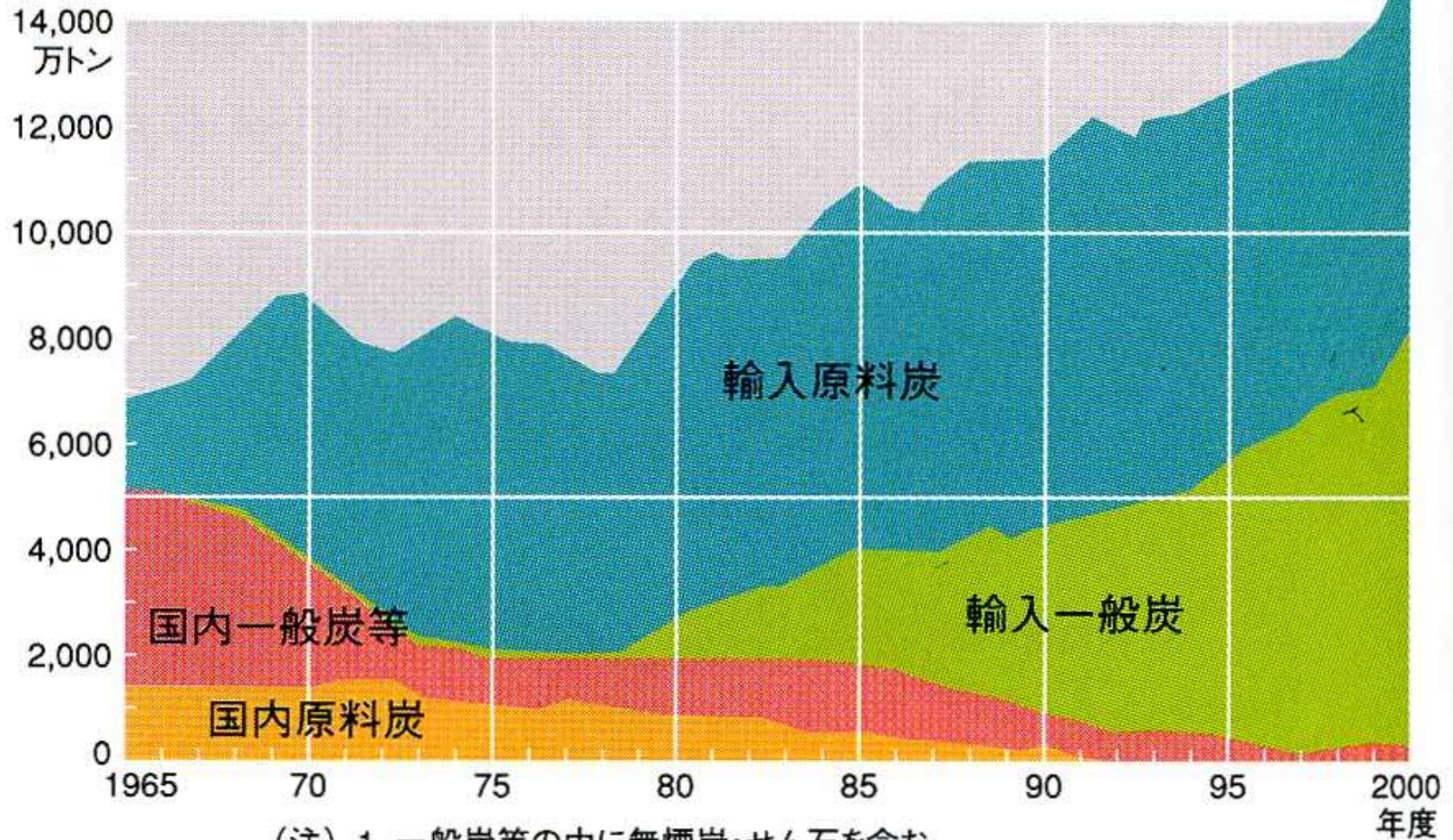


JCOAL資料より作成

日本の石炭供給量の推移

我が国の石炭供給量の推移

出所：エネルギー生産・需給統計



(注) 1. 一般炭等の中に無煙炭・せん石を含む。

2. 国内炭は生産量のみで在庫からの供給等を含まず、輸入炭は入着ベース。

出典：JCOAL資料より

石炭の生成

石炭の成因

石炭は、植物の遺骸が堆積したものが地中に埋没し、地圧や地熱の影響を受けて長い年月をかけて変化して出来たものです。植物が現在私達が見る石炭になるまでには次のような過程を経ています。

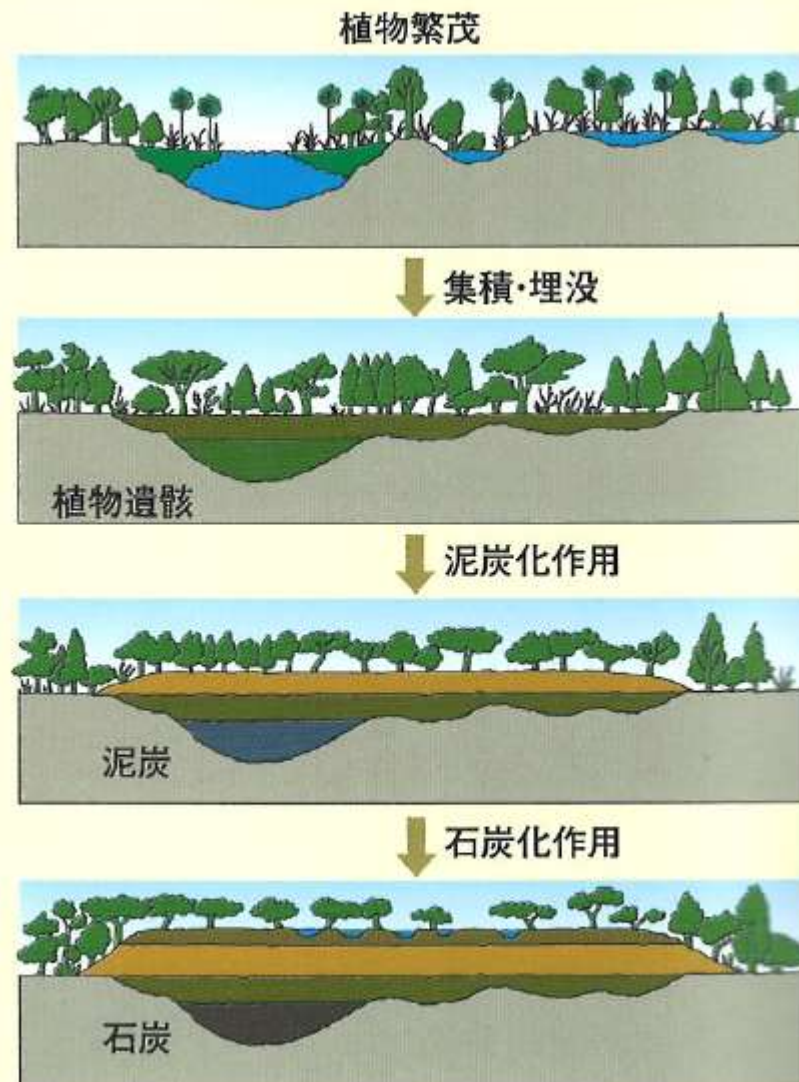
①泥炭化作用

堆積した植物の遺骸は、砂や泥などの堆積物に覆われ空気を遮断されると、微生物の分解作用により腐植質の泥炭に変化します。

②石炭化作用

泥炭が更に深く埋没すると地圧や地熱の影響により脱水、脱炭酸、脱メタン作用が進み石炭へと変化し、色も褐色から黒色へと変わります。

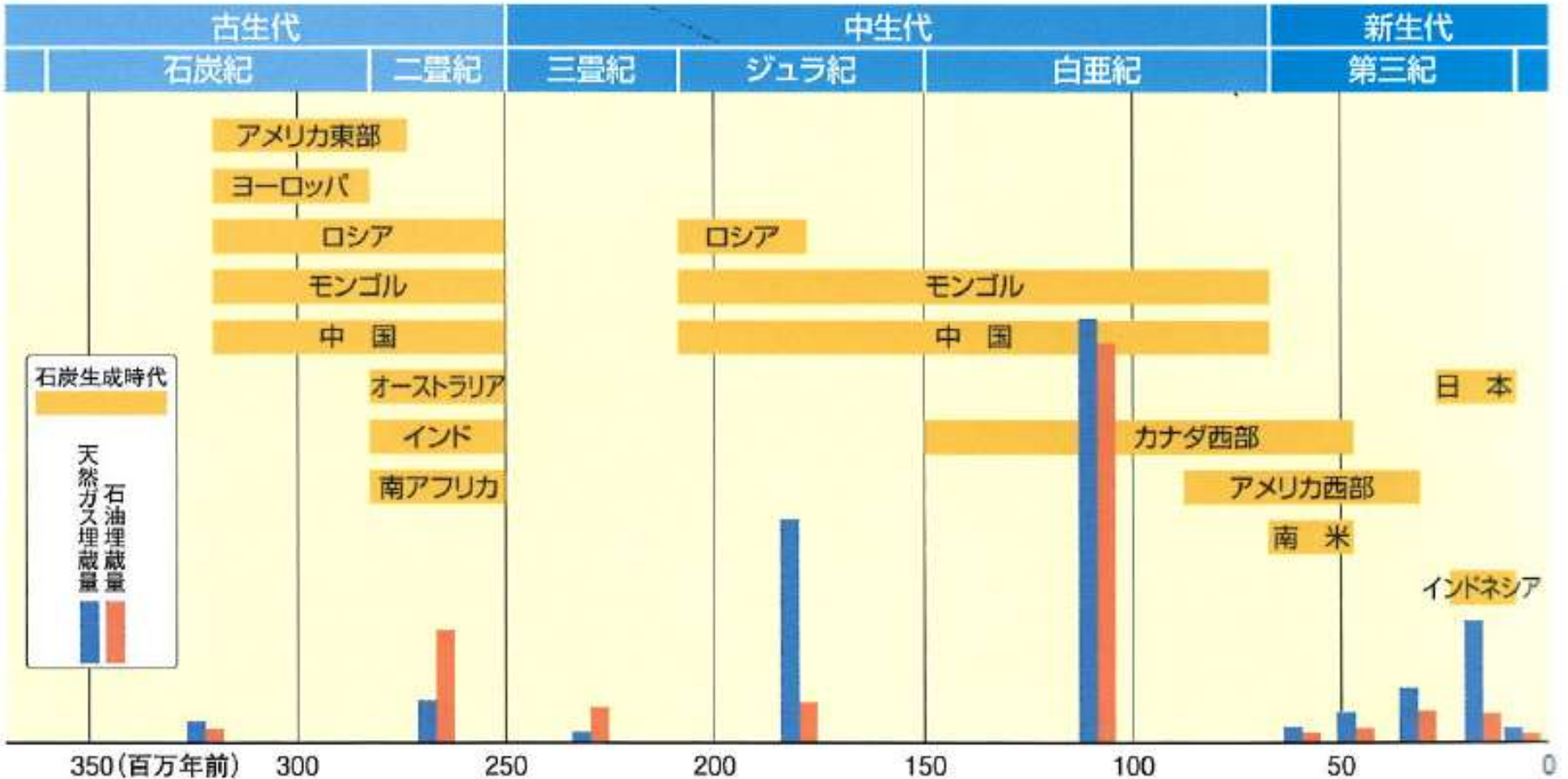
一方、原油は、プランクトンの遺骸などの泥質物質から出来た油母頁岩が変成して生成しました。生成した石油が貯留層（隙間の多い岩石）に集積・貯留した個所を油田と呼んでいます。天然ガスの多くは石油と共に生成したと考えられています。



出典：JCOAL資料より

石炭の生成年代

■石炭生成時代



出典：JCOAL資料より

米国の2大石炭産地

西部炭

東部炭



石炭紀の時代(3億5000万年前)

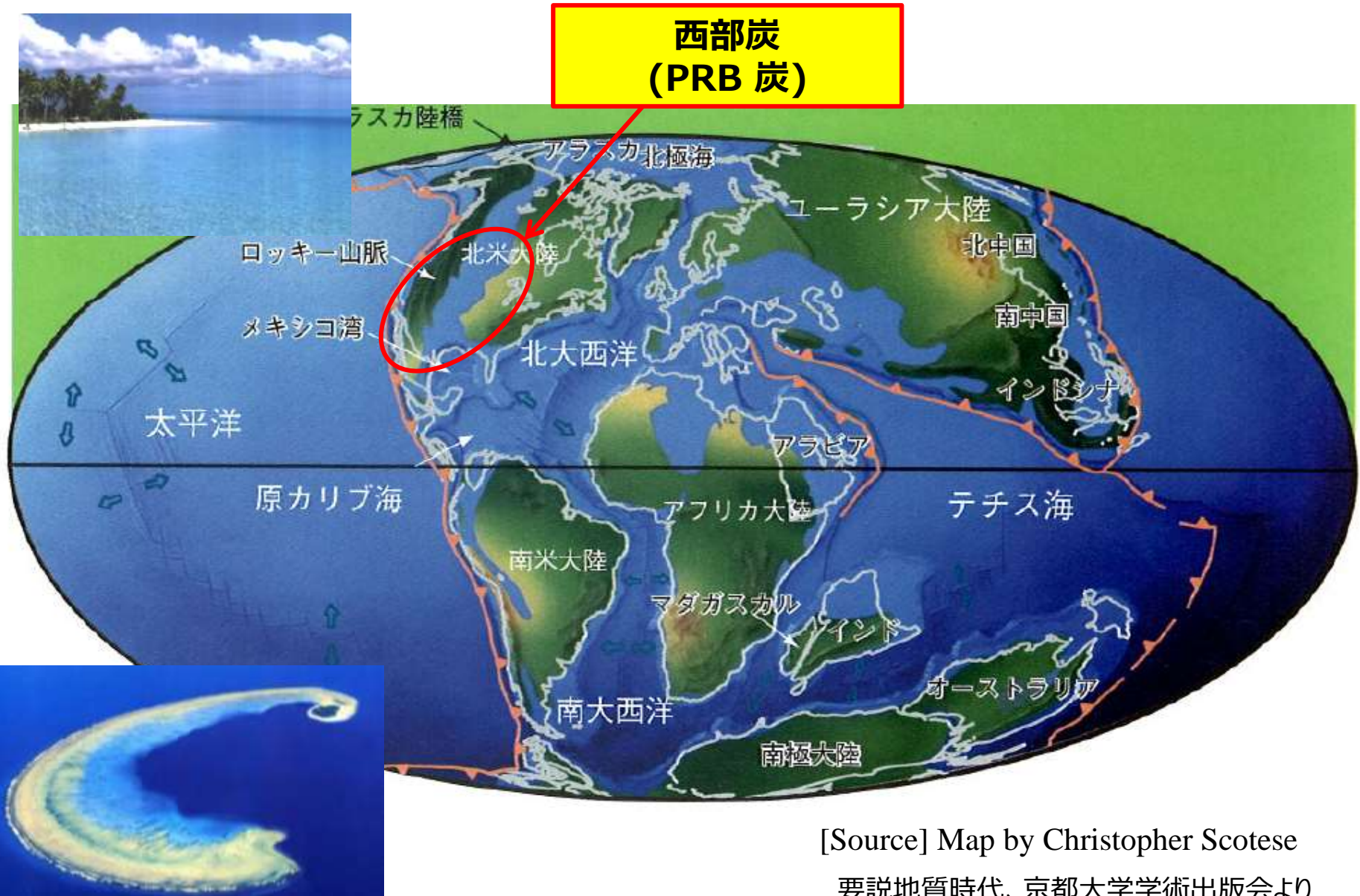


東部炭
(アパラチア炭)



[Source] Map by Christopher Scotese
要説地質時代、京都大学学術出版会より

白亜紀の時代 (9500 万年前)



[Source] Map by Christopher Scotese
要説地質時代、京都大学学術出版会より

米国西部炭の競争力

産地	価格(\$/MMBTU)	比率
中央アパラチア炭	2.75	5.5
北アパラチア炭	2.5	5
イリノイ炭	2.00	4
ロッキーマウンテン 地域	1.5	3
PRB炭	0.5	1

褐炭炭層に残存する木片



堆積盆(Basin) での石炭の生成



雨季には水没

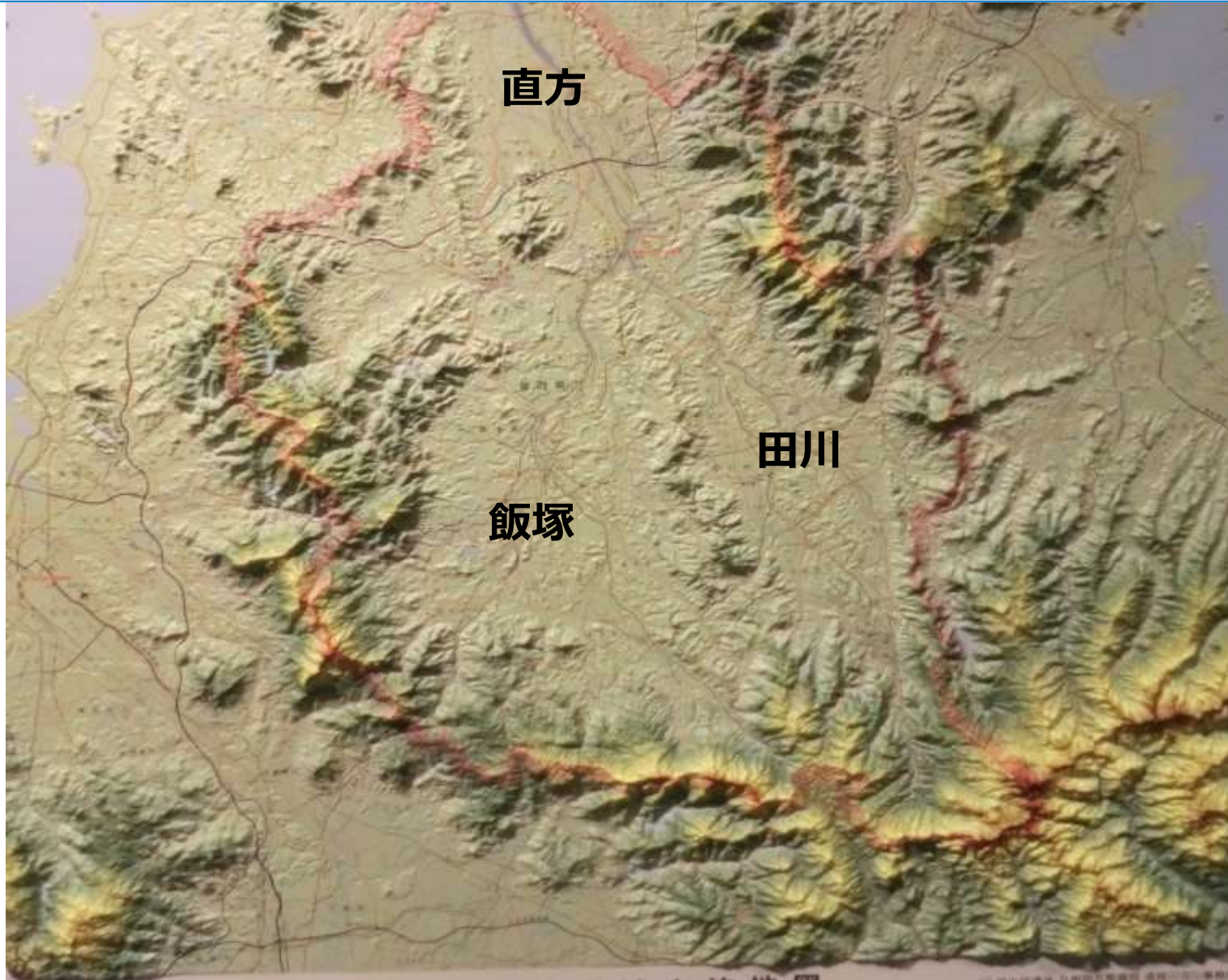


乾季には植物が群生

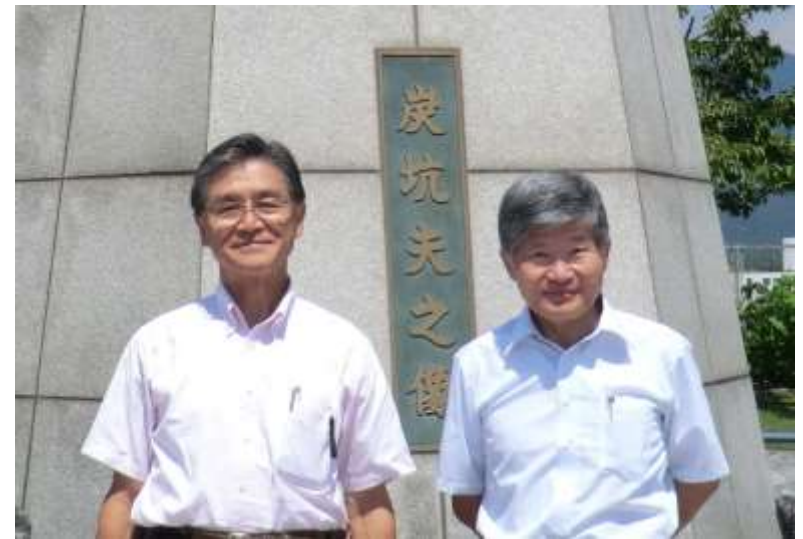


画像はNHK“世界遺産:ブラジル・パンタナール保護地域”より引用

筑豊炭田の堆積盆地

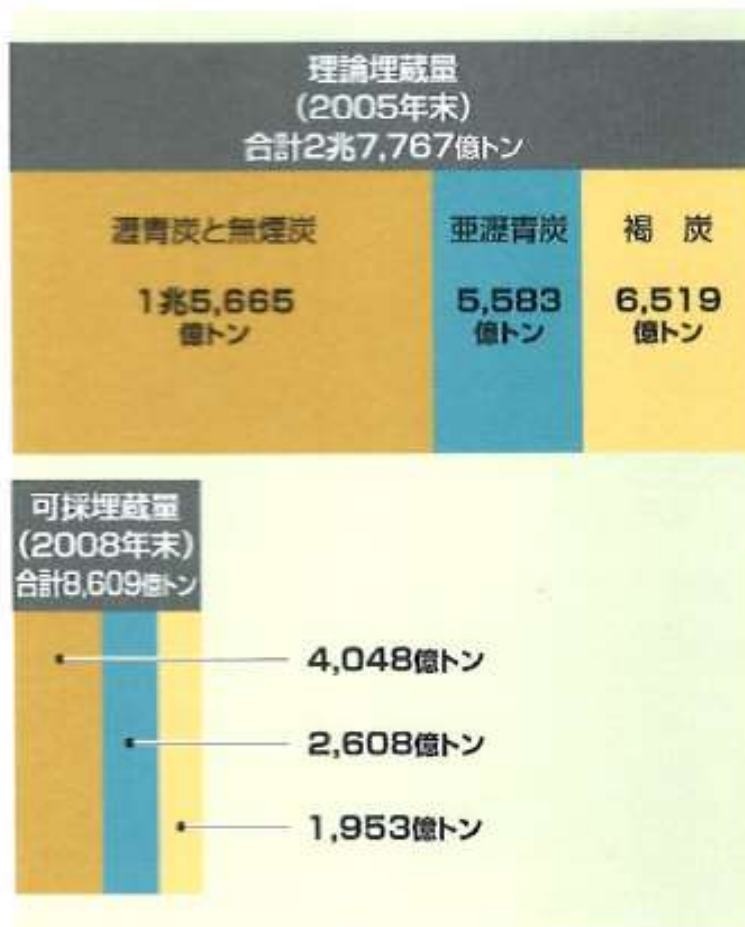


日本にもかって炭鉱があった



石炭の資源量と可採埋蔵量

石炭埋蔵量



出典：WEC*Survey of Energy Resources 2007, 2010*より作成

● 資源量 (Resources) :
2兆7767億トン

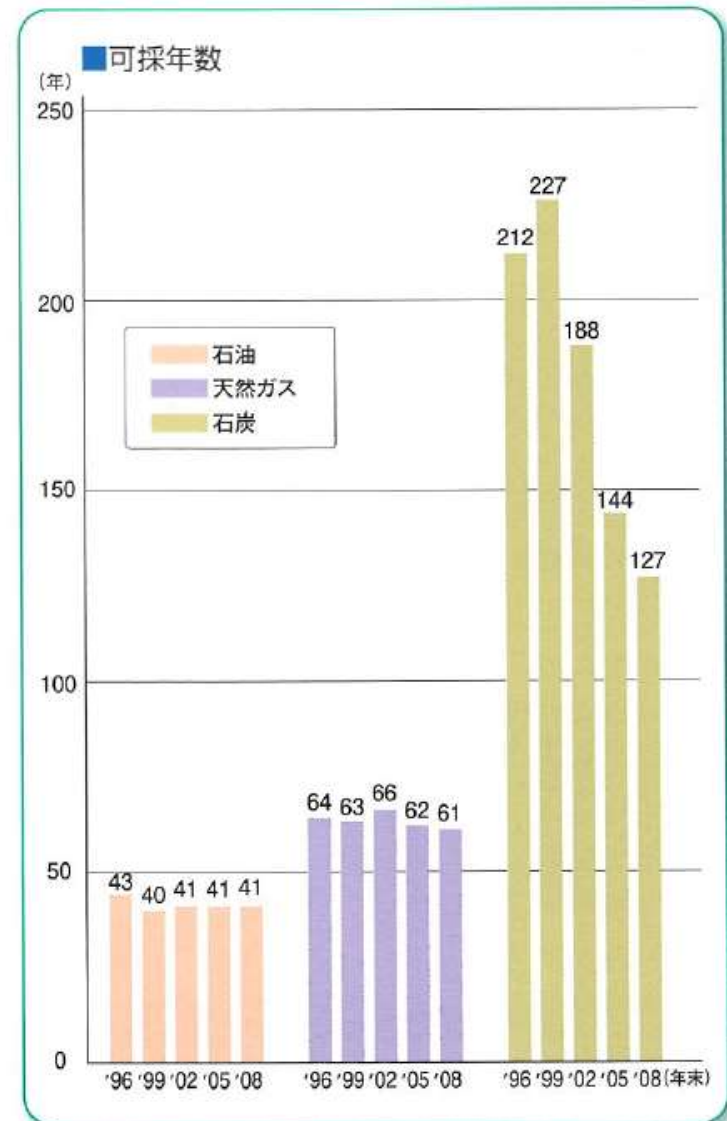
● 可採埋蔵量 (Reserves) :
8609億トン

出典：JCOAL資料より

石炭の可採年数

現在、石炭の可採埋蔵量は約8,609億トン、年間生産量が約67億トン（2008年）のため、可採年数は127年となっています。しかし、石油（可採年数41年）や天然ガス（可採年数61年）に較べて、石炭の可採年数は遥かに長いと見込まれています。

一方、1970年代始めの石油の可採年数は30年と見込まれていましたが、2008年では41年と見込まれています。これは新しい油田の発見・回収技術の向上・埋蔵量評価の見直しなどによるものです。

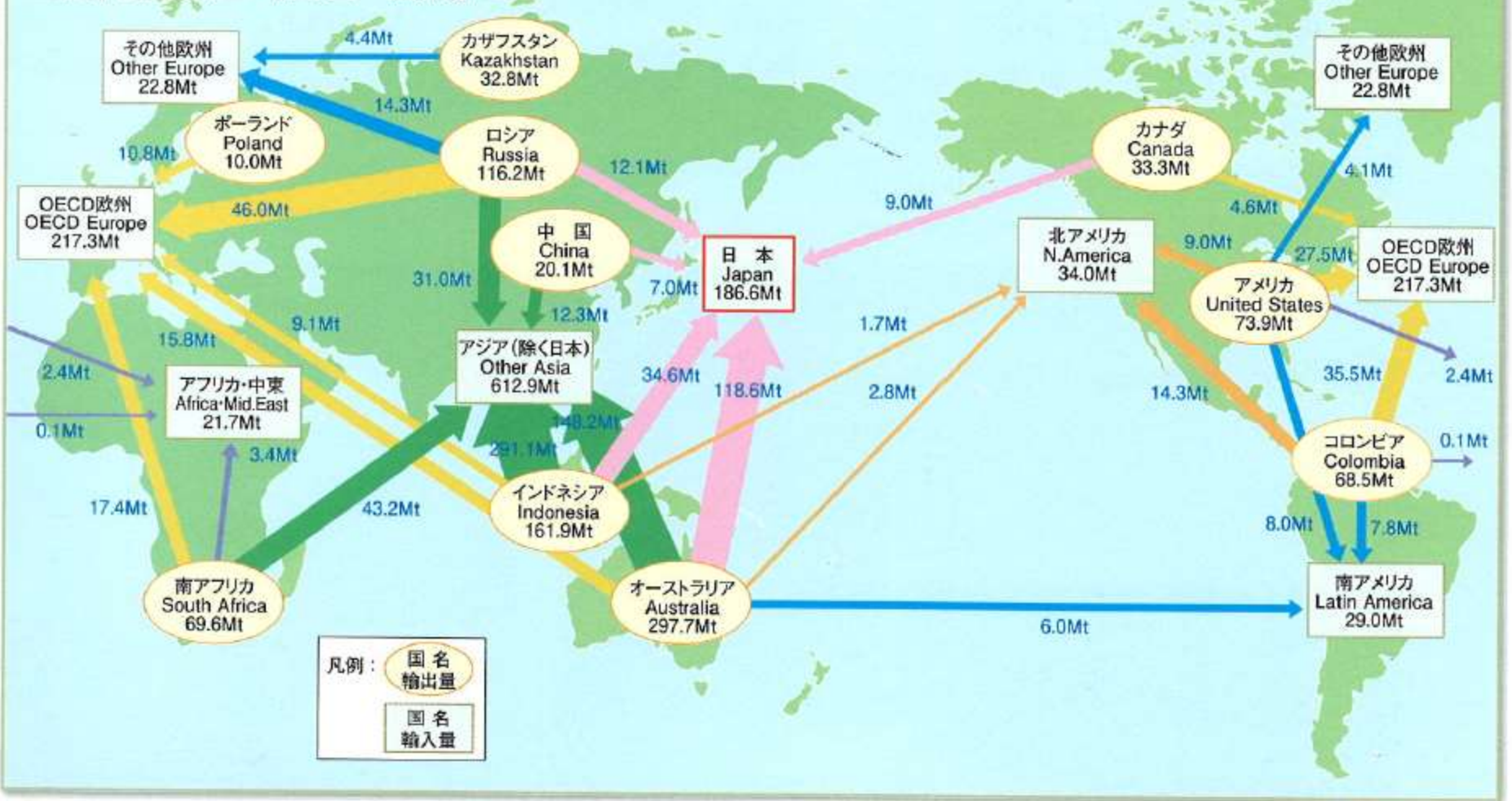


出典：WEC"Survey of Energy Resources 1998.2001.2007, 2010"より作成

出典：JCOAL資料より

世界の石炭輸出入の流れ

世界の主要なコールフロー(2010)



出典：IEA「Coal Information 2011」より作成

出典：JCOAL資料より

世界の一次エネルギーに占める石炭の割合

■世界の一次エネルギーに占める石炭の割合

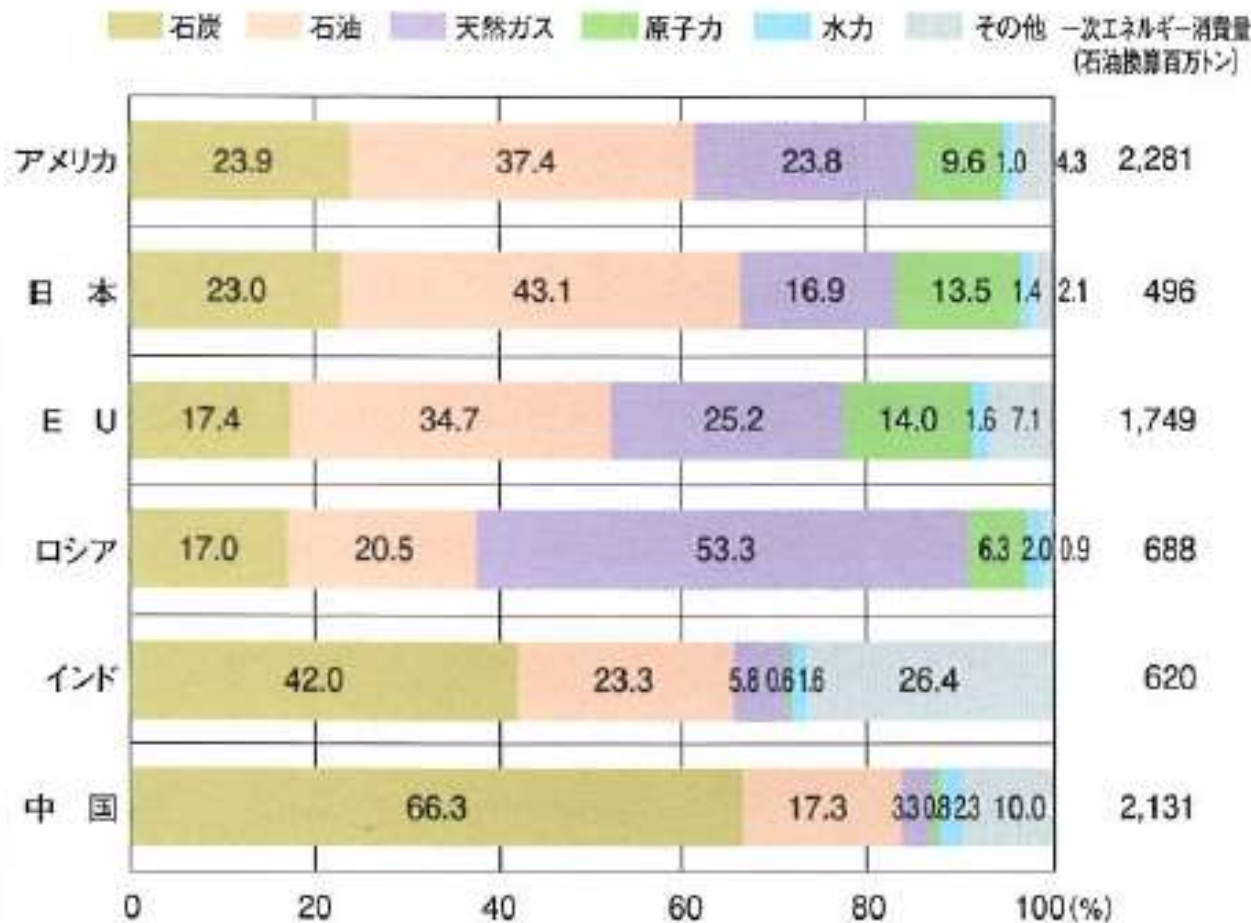


出典：JCOAL資料より

出典：IEA "World Energy Outlook 2010" (Current Policies Scenario) より作成

主要国の一次エネルギー構成

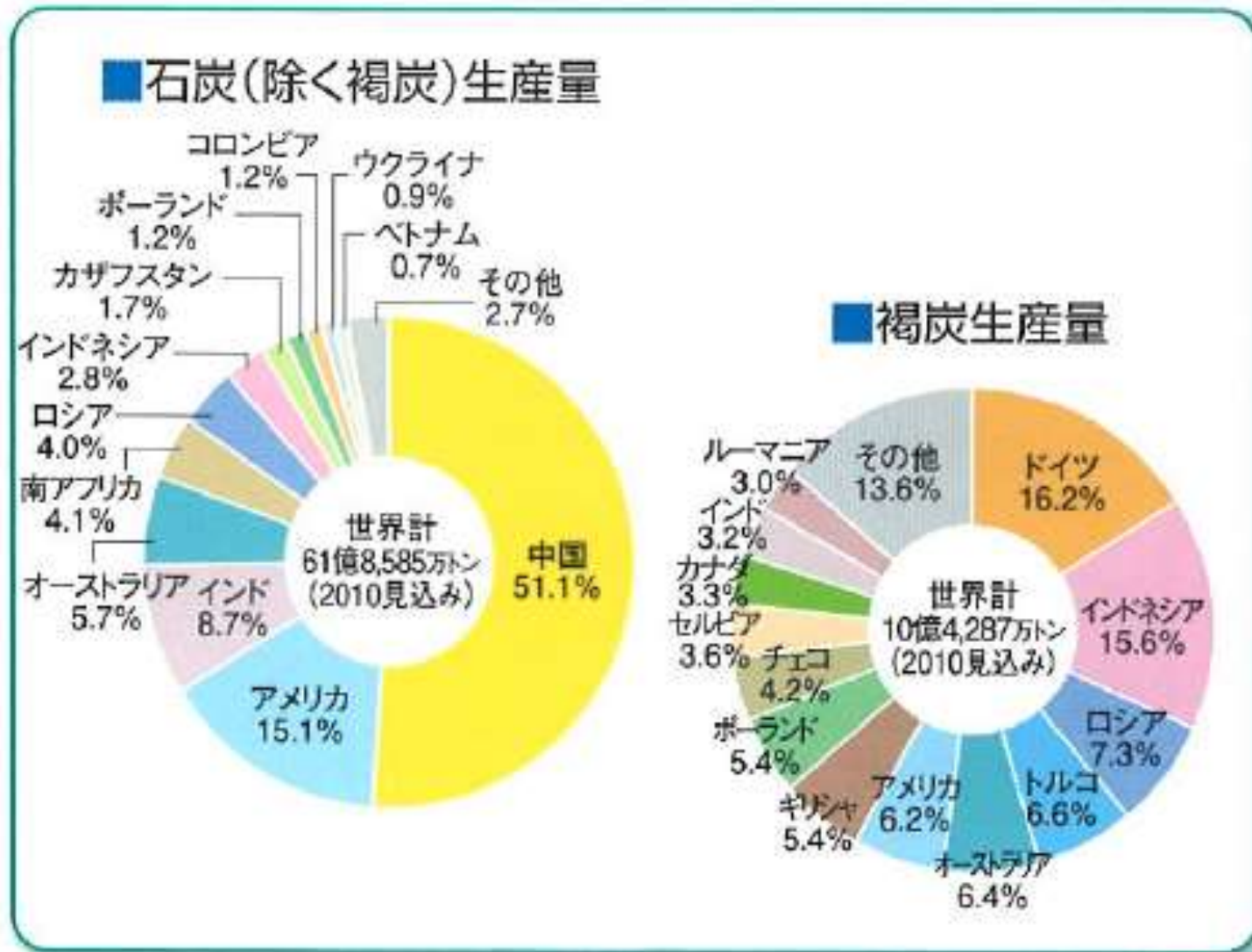
■ 主要国の一次エネルギー構成(2008年)



出典：JCOAL資料より

出典：IEA 'World Energy Outlook 2010' より作成

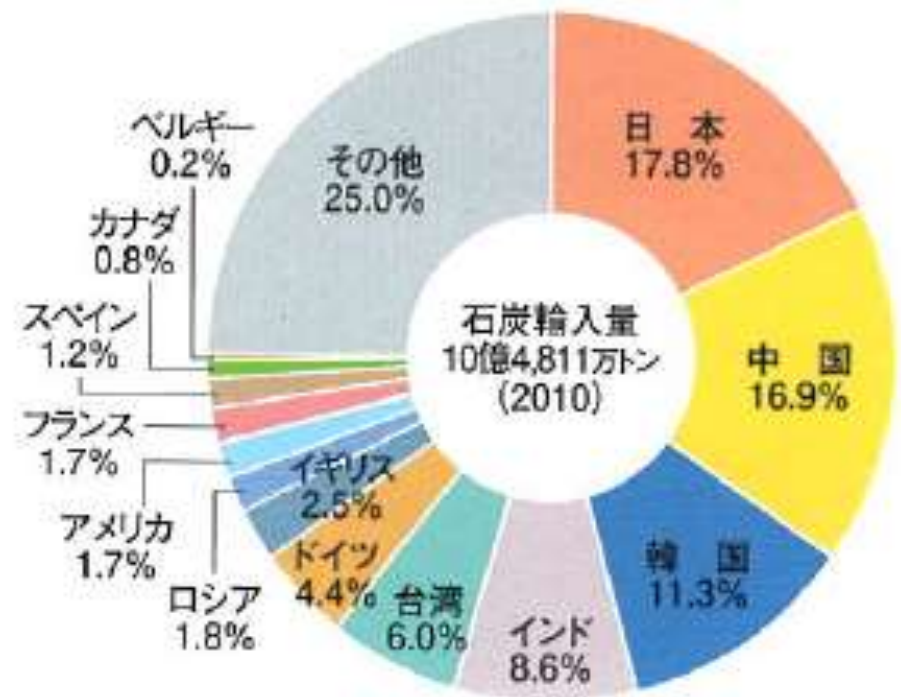
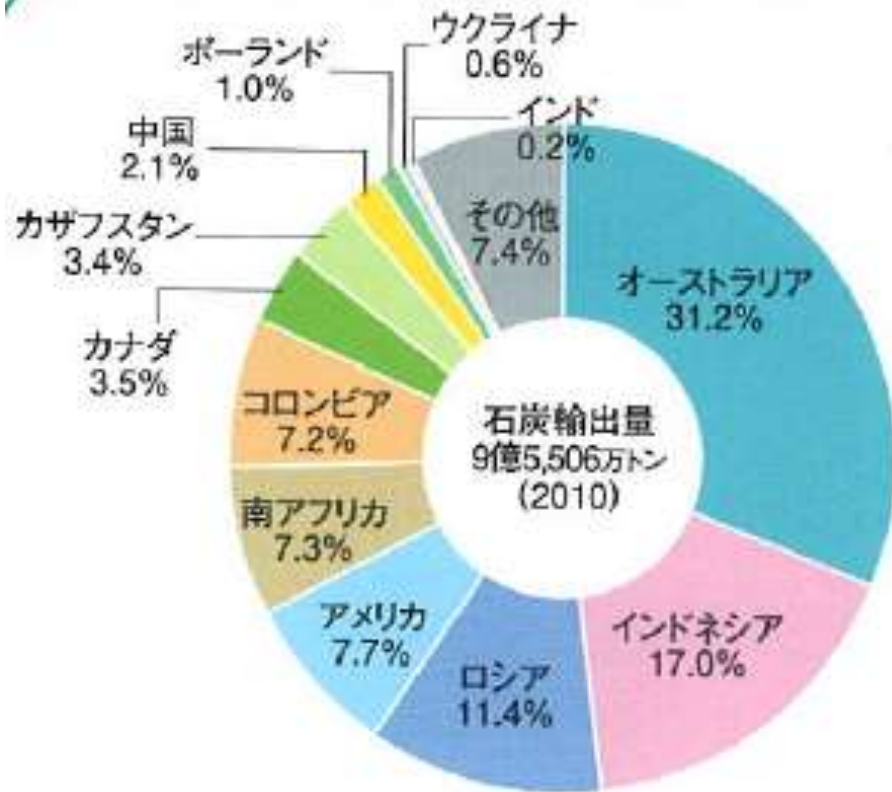
各国の石炭および褐炭の生産量



出典：JCOAL資料より

出典：IEA "Coal Information 2011" より作成

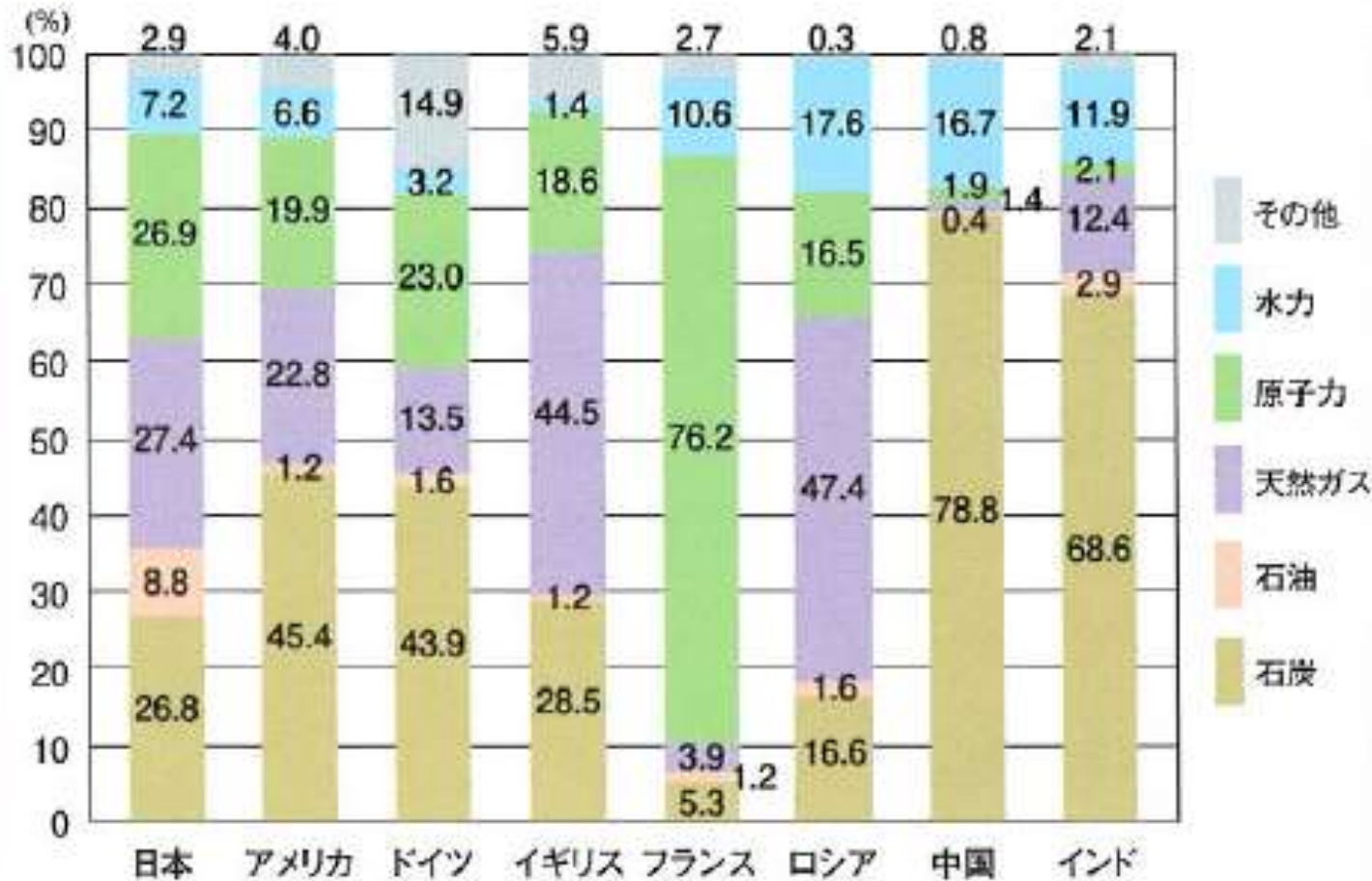
世界各国の石炭の輸入と輸出



出典：JCOAL資料より

主要国の電源構成

■ 主要国の電源構成(2009年)



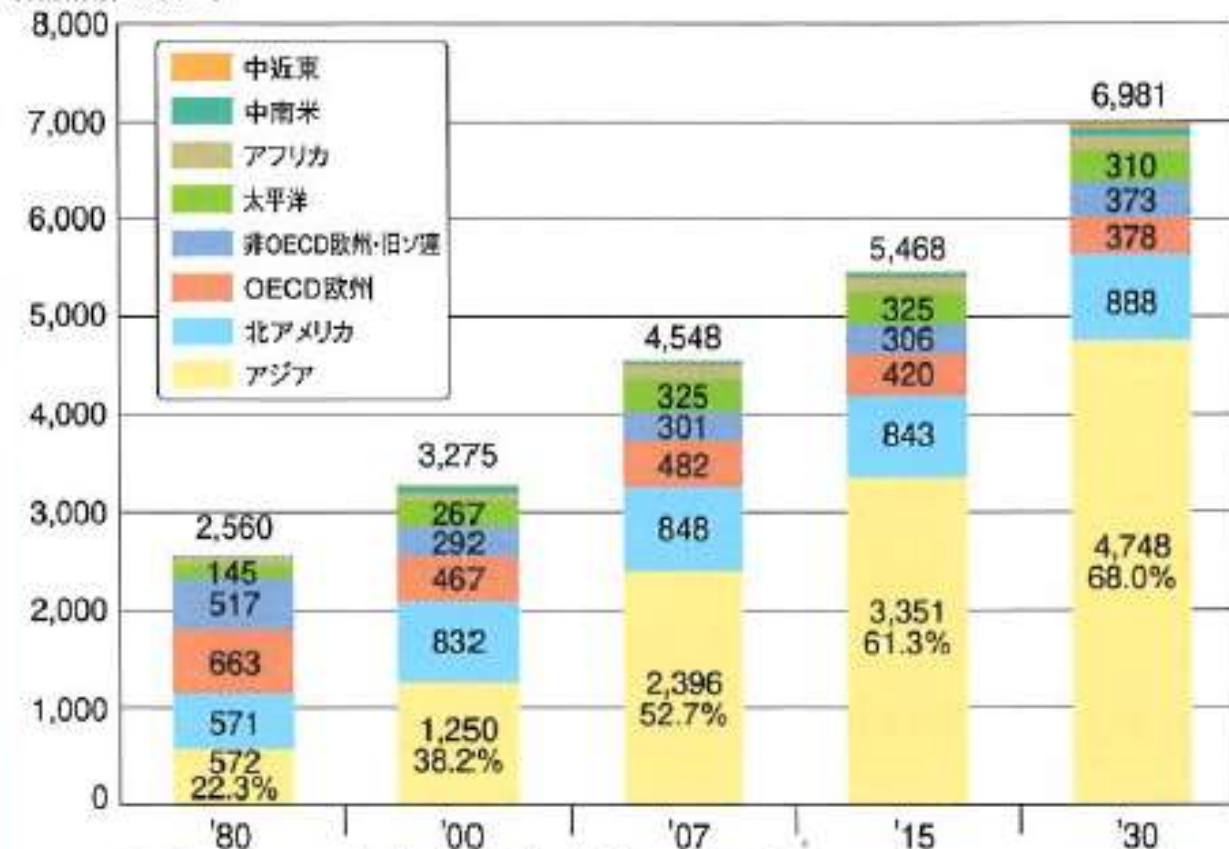
出典：IEA "Energy Balance 2011"より作成

出典：JCOAL資料より

世界の石炭需要見通し

■ 世界の石炭需要見通し(石炭換算量)

(石炭換算百万トン)



注1) 石炭には一般炭、原料炭、褐炭、泥炭を含む

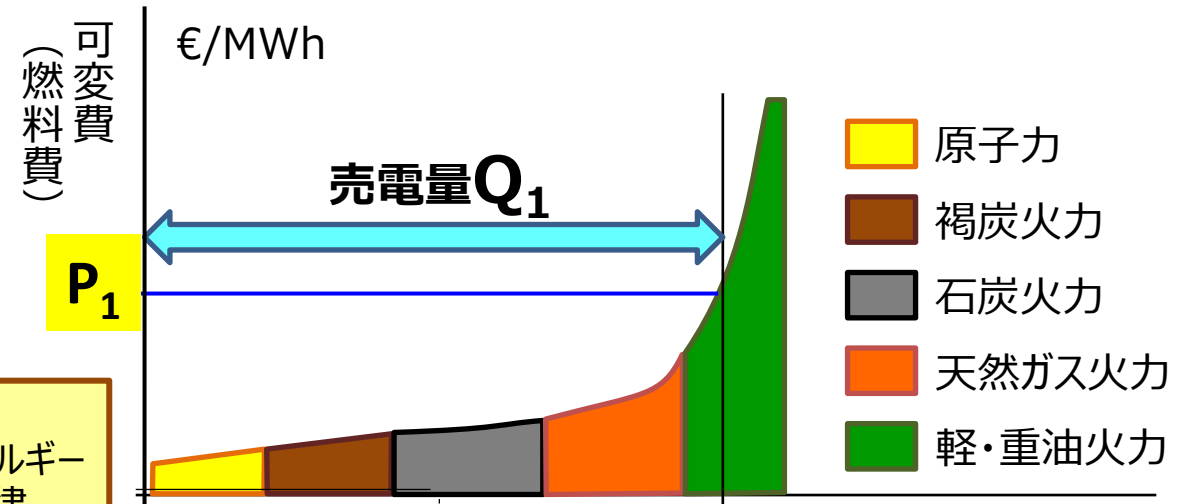
注2) 石炭換算量：発熱量7,000kcal/kgの石炭に換算した石炭量

出典：JCOAL資料より

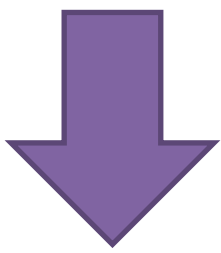
出典：IEA "World Energy Outlook 2009"より作成

電力市場におけるメリットオーダー（ドイツの例）

再生可能エネルギー
導入前

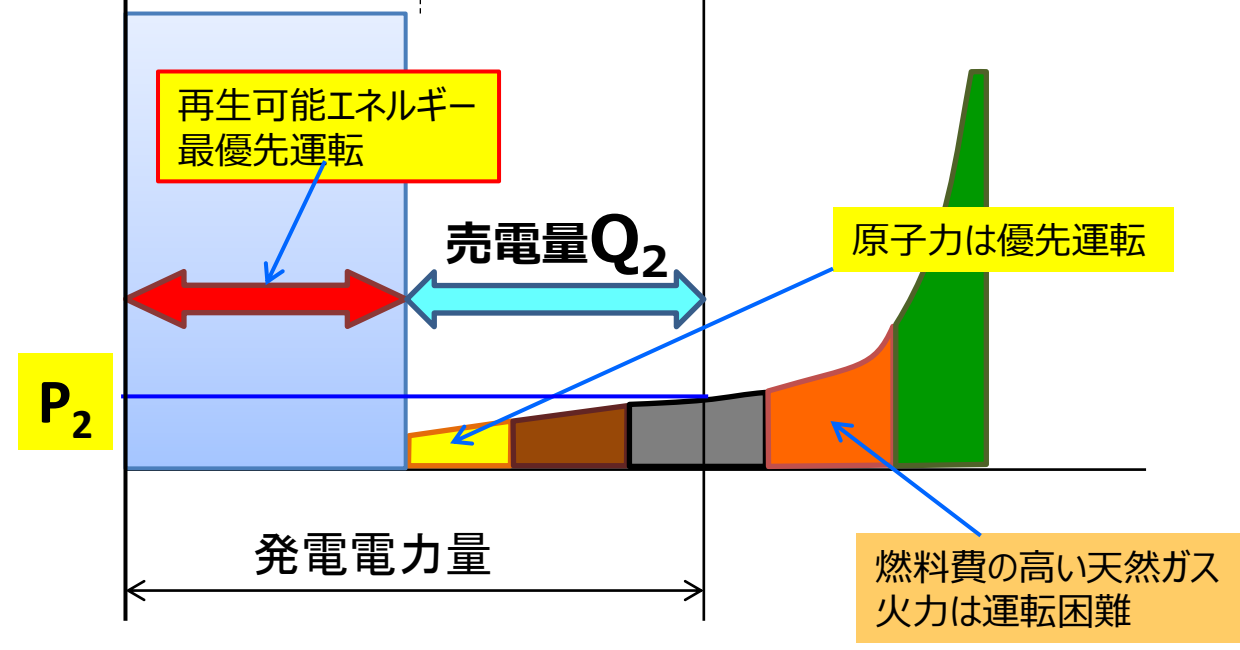


- 1991年 電力買取法
- 2000年 EEG 再生エネルギーに優先権を与えるための法律



再生可能エネルギー
大幅増加後

電力市場価格
 $P_1 \rightarrow P_2$



世界の石炭資源保有国

順位	国名	確認可採埋蔵量（百万トン）	世界での比率（%）
1	米国	237,295	22.6
2	ロシア	157,010	14.4
3	中国	114,500	12.6
4	オーストラリア	76,400	8.9
5	インド	60,600	7.0
6	ドイツ	40,600	4.7
7	ウクライナ	33,873	3.9

[注] 石炭量は無煙炭・瀝青炭・亜瀝青炭・褐炭の総量

- 米国は世界の石炭資源の4分の1を保有する世界最大の資源国
- 米国西部炭のみで米国の全エネルギー消費の300年分が賄える

世界の褐炭資源保有国

順位	国名	確認可採埋蔵量 (百万トン)
1	ドイツ	40,600
2	オーストラリア	37,200
3	米国	30,176
4	中国	18,600
5	セルビア	13,400
6	カザフスタン	12,100
7	ロシア	10,450

- ドイツは世界最大の褐炭資源国である
- ドイツ国内の褐炭だけでドイツの全電力消費を300年間賄うことができる



聖バーバラ：炭坑の守り神

Saint Barbara, The protector of miners

未来は明るい！

