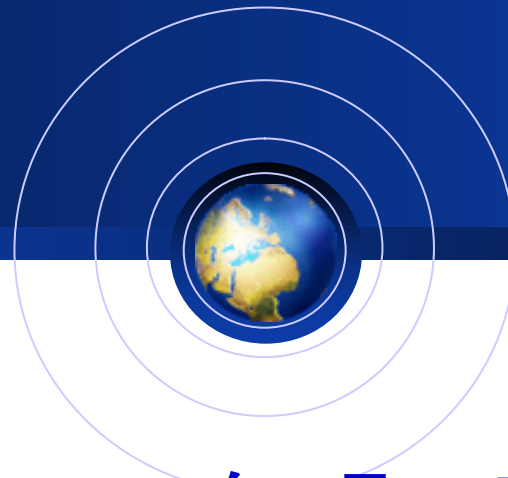


# ----石炭資源について----

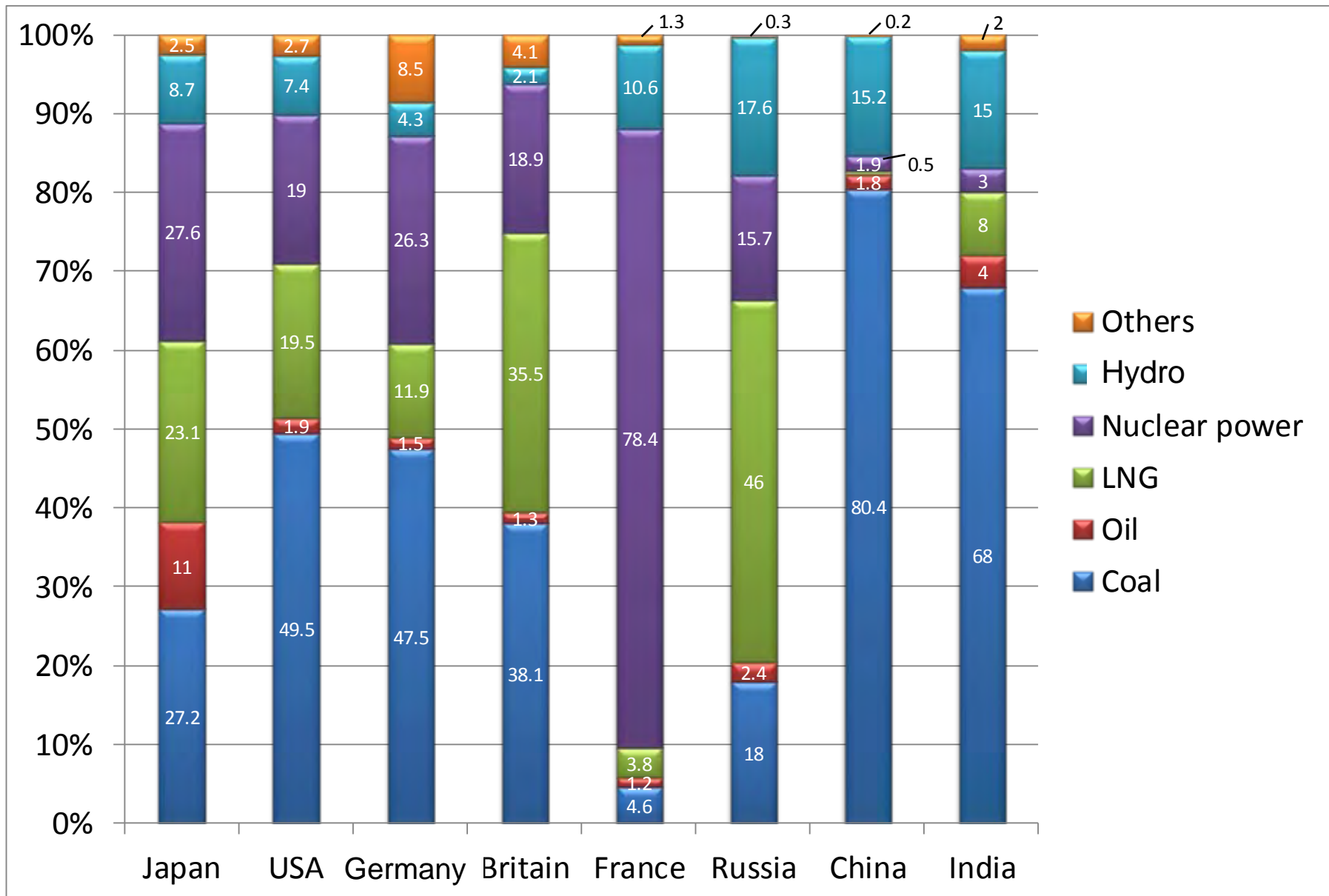


2012年5月18日

東京大学生産技術研究所

特任教授 金子 祥三

# 各国の電力構成比(発電電力量ベース) (2006)



# 2011.3.11東日本大震災と福島第一の事故 -----原子力の喪失分をどうするか？

1. 火力と再生エネルギーで出力をカバーできるか？
2. 火力の場合、燃料は確保できるか？ CO<sub>2</sub>は大丈夫か？
3. 電力料金はどうなるのか？日本経済への影響は？

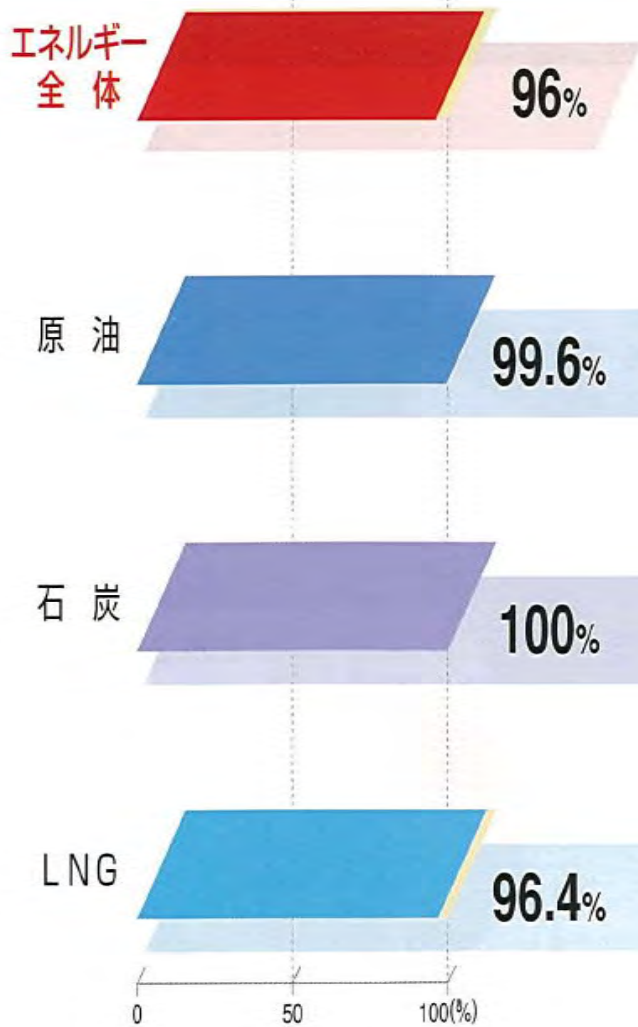
[これに対する回答]



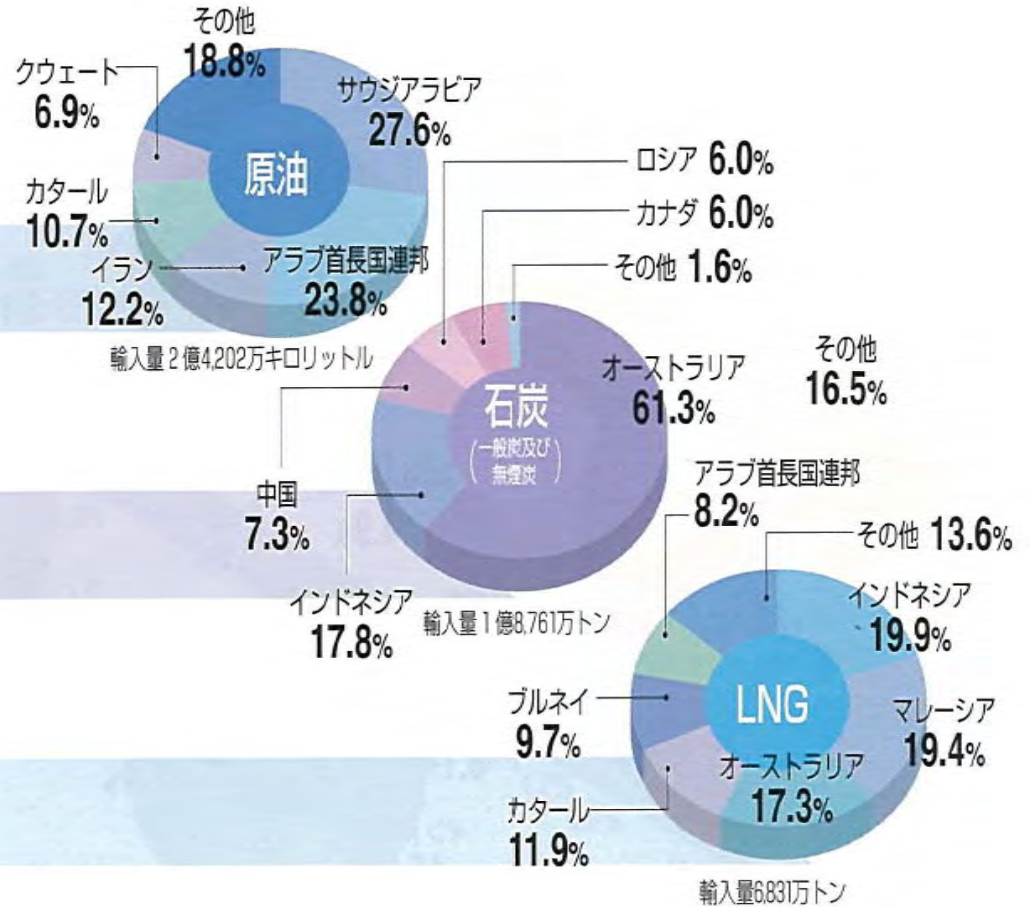
1. 火力発電は燃料の如何を問わず徹底的に高効率化すること！
2. セキュリティ上天然ガス・石炭いずれにも対応できる技術であること

# 日本の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)



出典: 「エネルギー白書」 2009年版

※SHIPPING NOW 2009-2010より引用

# 日本のエネルギーセキュリティ

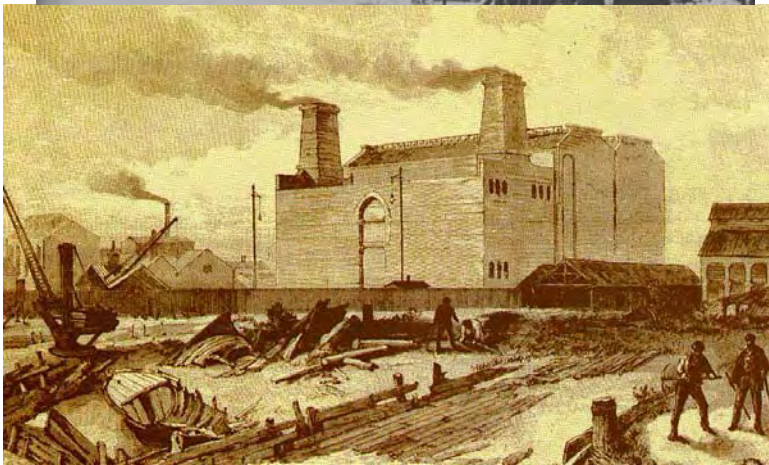
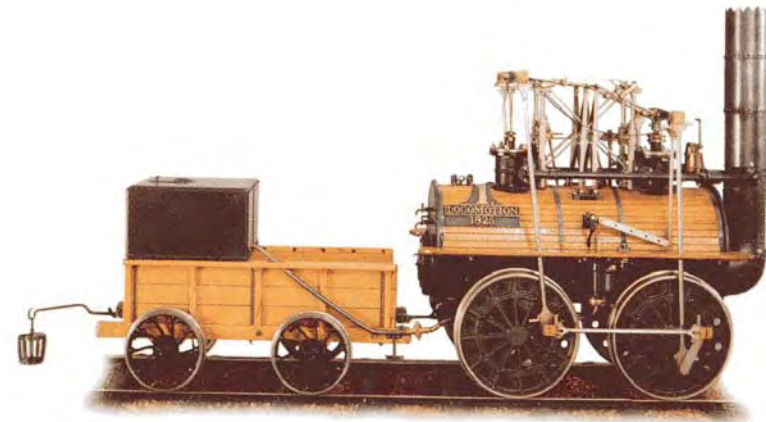
1. 化石燃料自給率4%で先進国では例を見ない脆弱なエネルギー構造
2. その問題点はオイルショックで露呈。  
国の根幹が揺さぶられる。  
→この反省がその後のエネルギー・ベストミックス思想の原点となる。
3. 一つの燃料に過度に依存するのは危険
4. 天然ガス万能主義の危険性と石炭の重要性。
5. 石炭技術は国際的協調に不可欠の技術



石炭資源の重要性を取り上げる理由

産業革命以来石炭は世界のエネルギー源であった

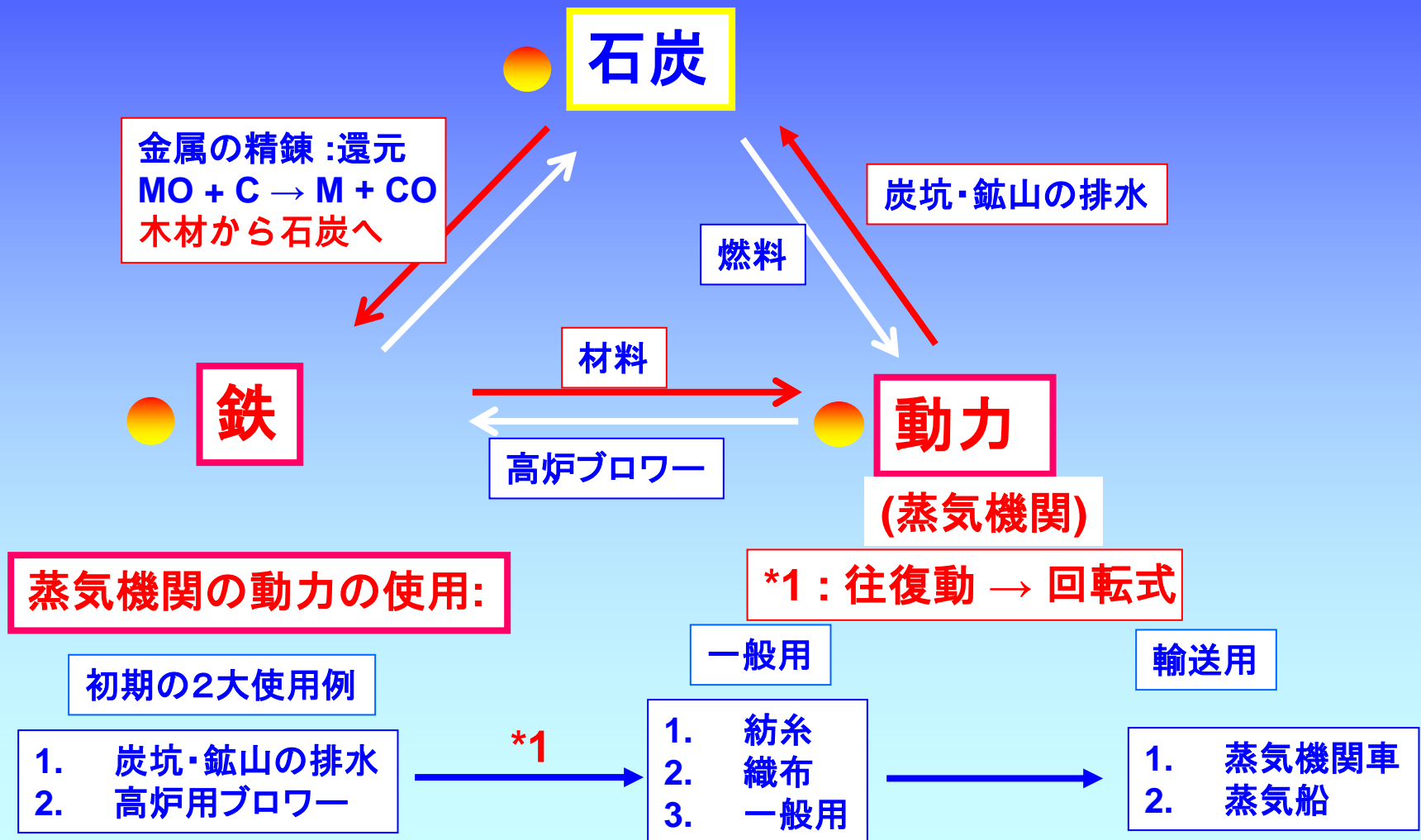
→20世紀が航空機・自動車の発達とともに石油の時代になるまでは



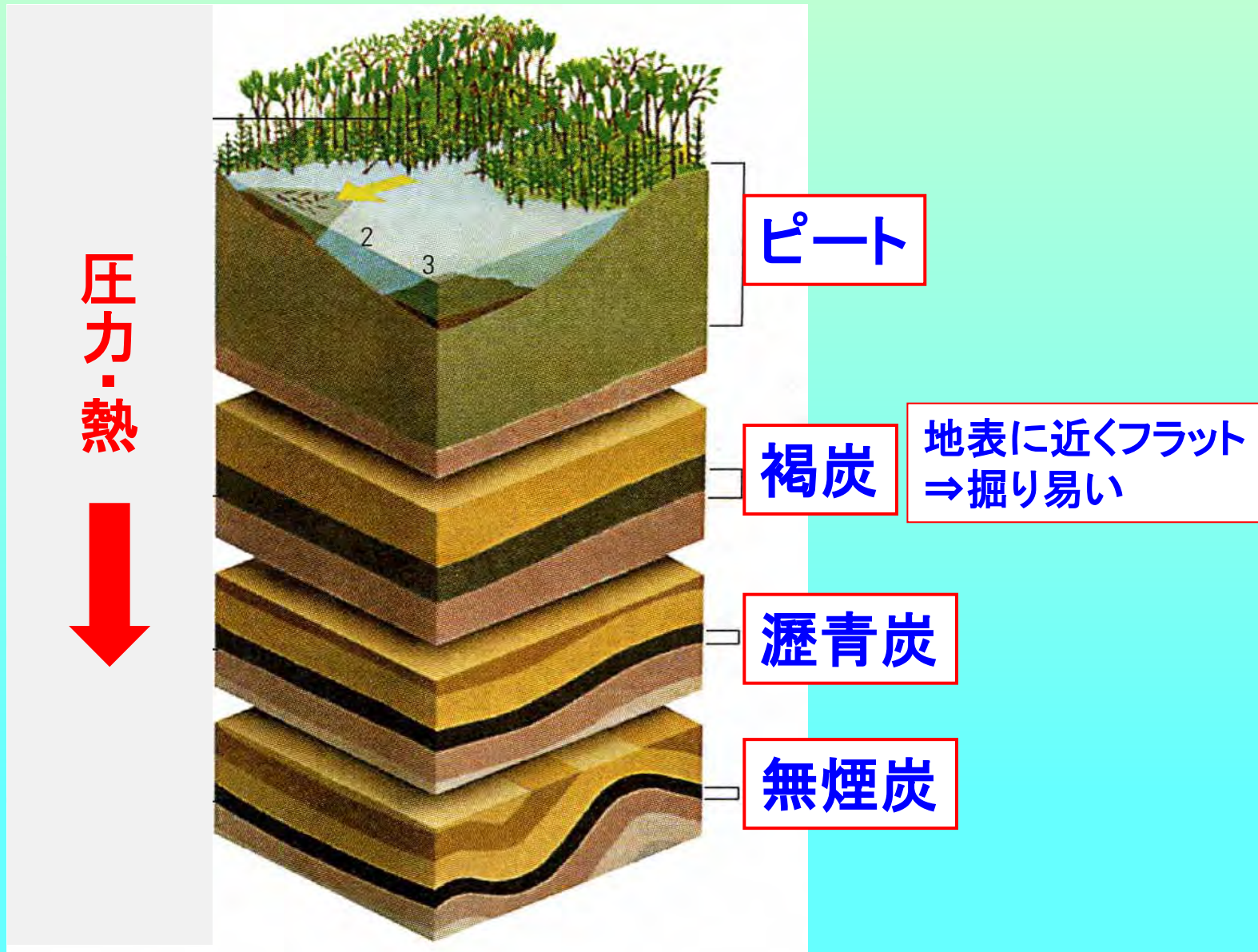
今なお石炭は世界の発電の主力(40%)→しかしダーティ・イメージ根強い  
----SOx・NOx・バイジンなどを徹底的に減らすことが必要

# 産業革命

## “石炭 – 鉄 – 動力” の三角形



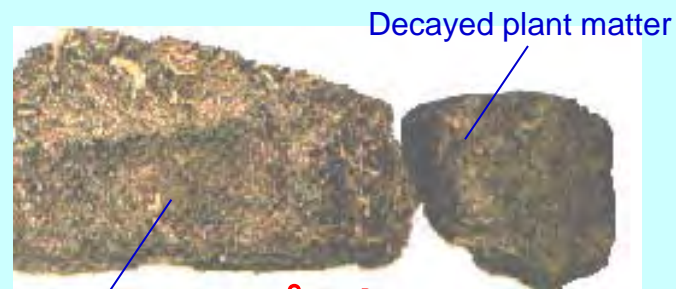
# 石炭の生成(1)





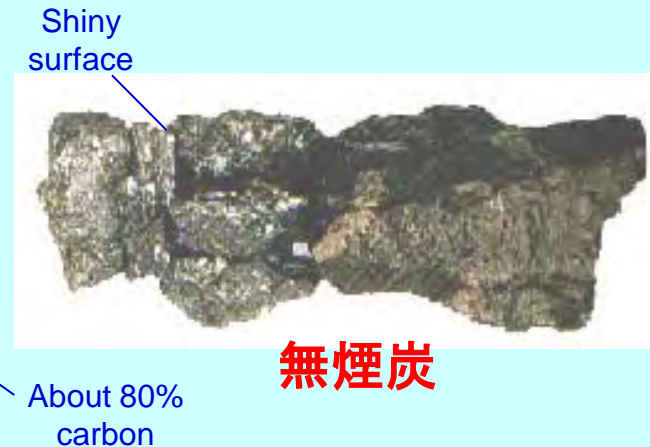
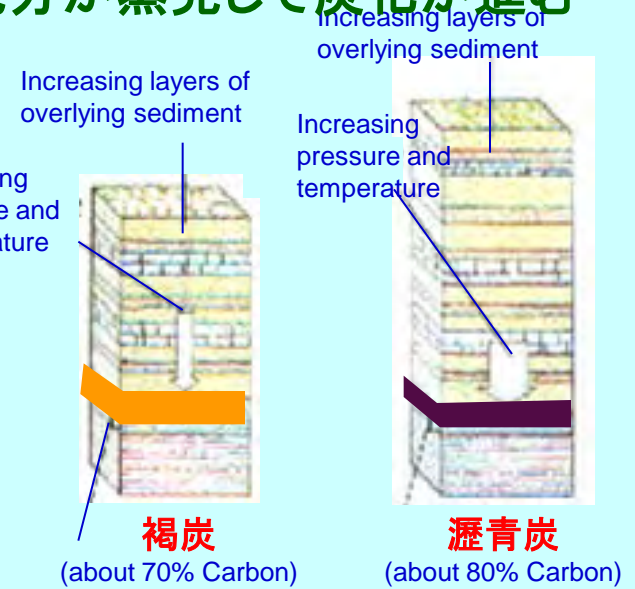
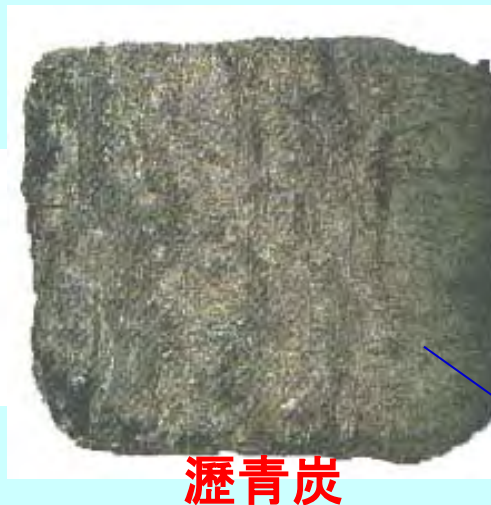
# 石炭の生成(2)

“地中に埋没した植物が時間と共に水分と揮発分が蒸発して炭化が進む”



About 60% carbon

PEAT

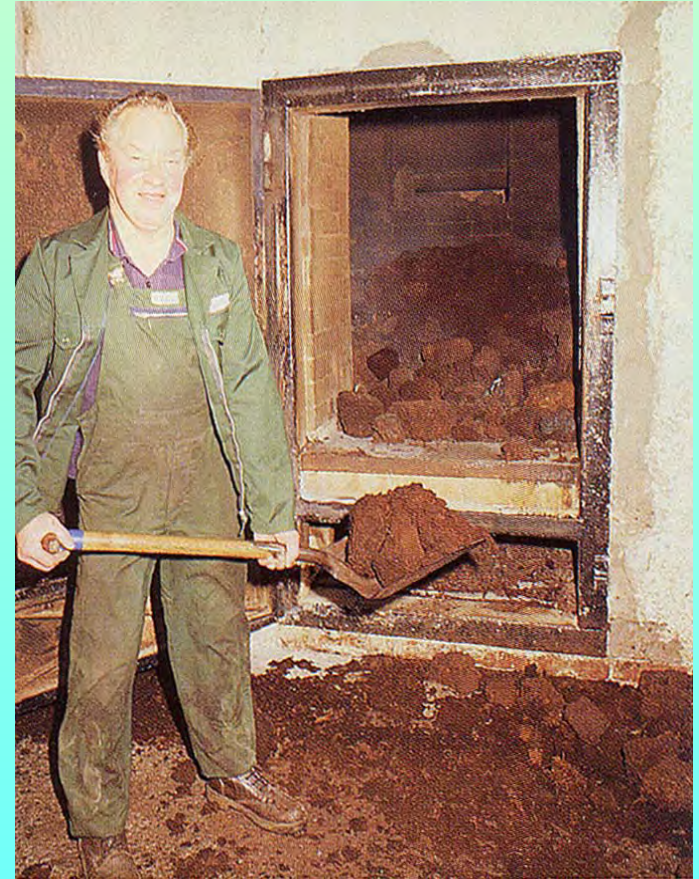


Source: VISUAL ENCYCLOPEDIA, p.280

# ヒースの花(スコットランド) →これがピートになる



# 切り出されたピート(スコットランド)



ピートのサンプル

英国でもかつては石炭が燃料のすべてであった. . . . .  
(スコットランド・アバディーン郊外のグラバーの両親の家)



グラバー家の地下の石炭庫  
(石炭は道路沿いの投入口から投げ入れる)



日本では地熱で温度が高いため炭化の速度が速い  
→年代的には亜瀝青炭や褐炭の地層から瀝青炭並みの性状の石炭が産出

## 石炭の由来



V:ビトリナイト  
植物の木質部に由来

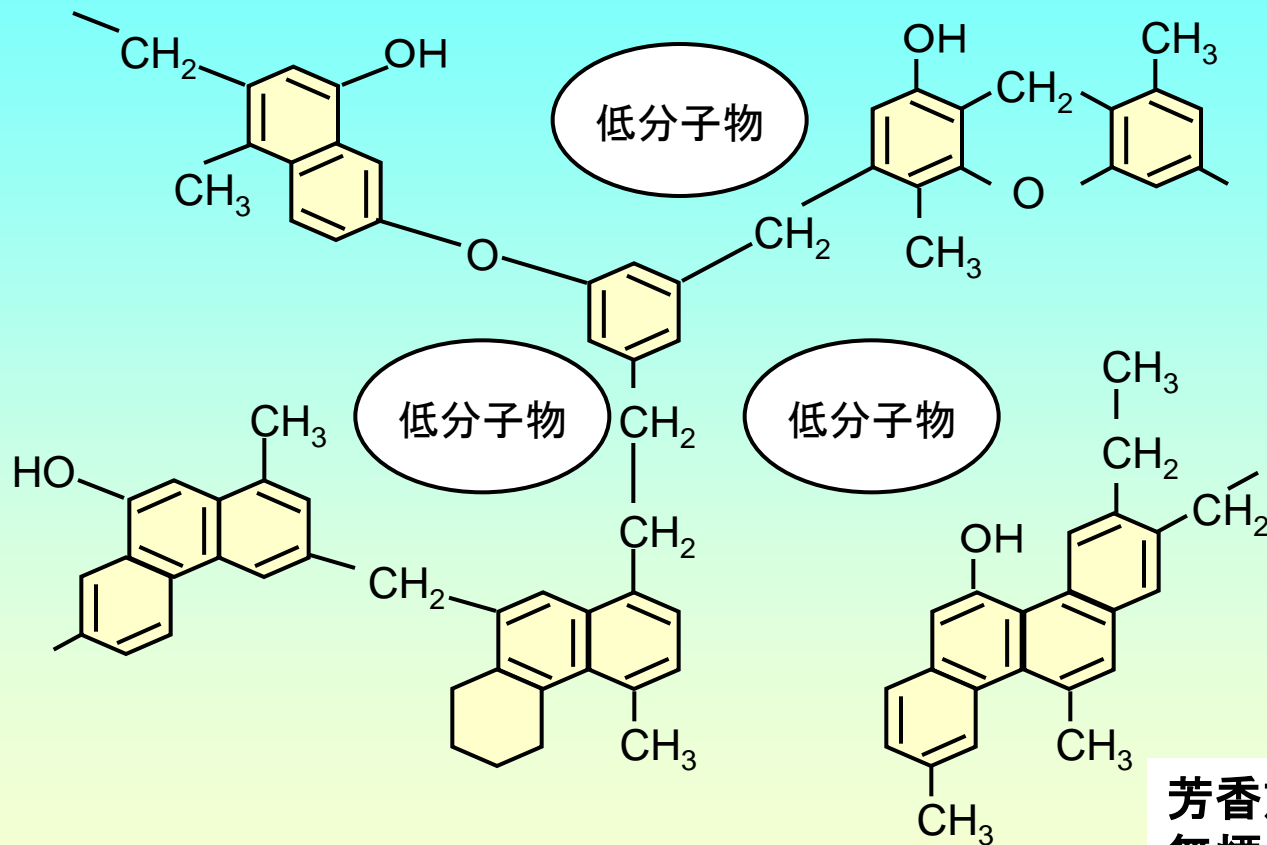
E:エグジナイト  
植物の葉、角皮、花粉、種子、樹脂質に由来

I:イナーチナイト  
植物の木質部、菌類に由来するが強い酸化を受けているもの



石炭マセラルの顕微鏡写真

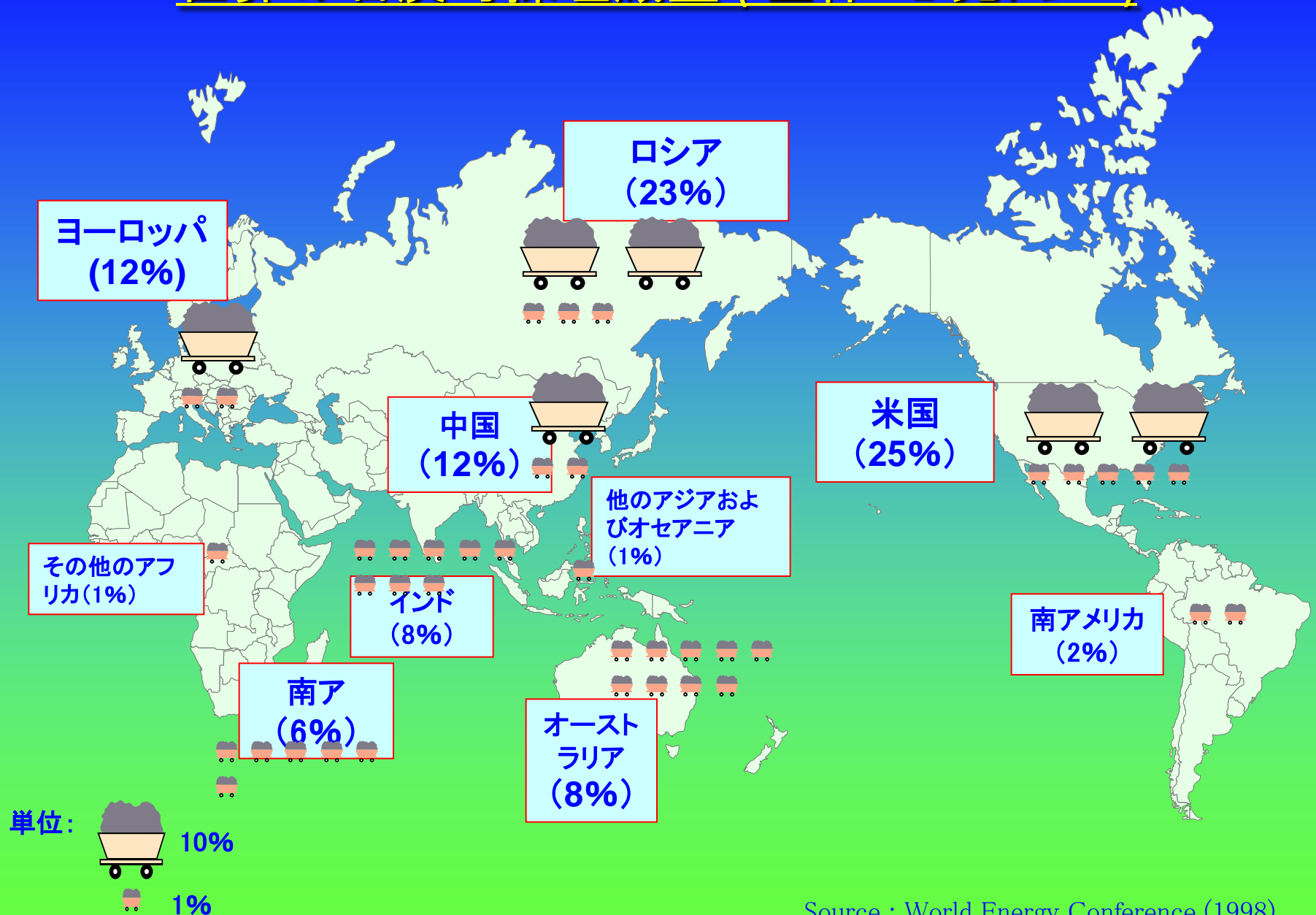
# 石炭の化学構造例



数個の芳香族環が鎖状でつながれ数十万の原子量の分子を構成

芳香族環個数	
無煙炭	: 8~12個
瀝青炭	: ~4個
亜瀝青炭	: 2~3個
褐炭	: 1個

# 世界の石炭可採埋蔵量 (全体 1兆トン)



Source : World Energy Conference (1998)

# 石炭資源

1. 石炭の生成は石油・天然ガスとは根本的に異なる。

元は植物であり地上至る所に生育。“移動と集積”の必要無し。

2. 資源が比較的公平に分布。

資源量第1位 ---- **米国 ( 25 % )** [参考:米国の世界シェア:石油 2%, 天然ガス3%]

資源量第2位 ---- **ロシア( 23 % )**

資源量第3位 ---- **中国 (12 % )**

資源量第4位 ---- **ヨーロッパ( 12 % )**

資源量第5位 ---- **オーストラリア ( 8 % )**

---- 上位5ヶ国で世界資源量の **80%** を占める。

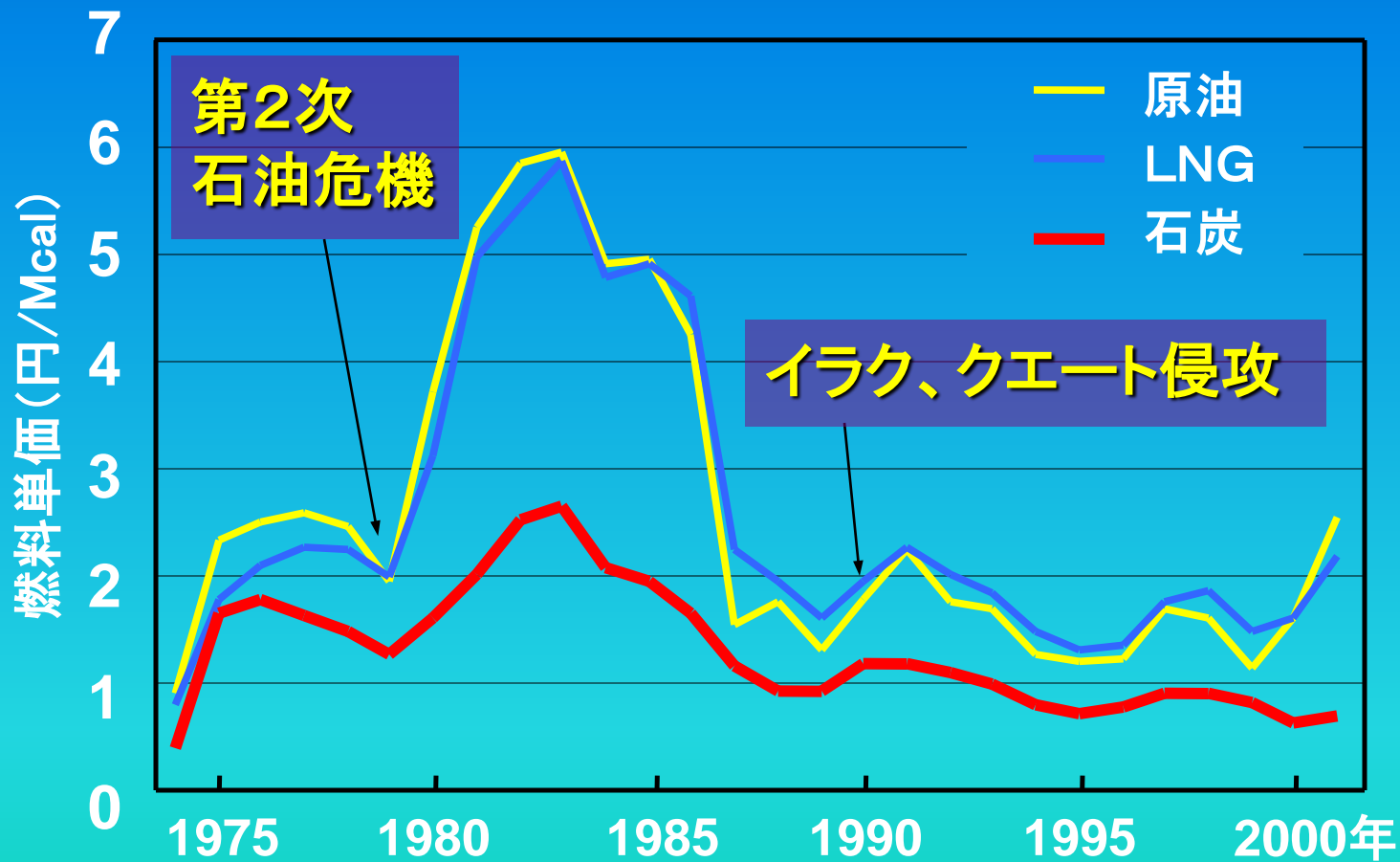
3. 価格が非常に安定:生産国が同時に消費国 (Built-in Stabilizer)

4. 最も豊富な化石燃料 ---- 200 年以上の寿命あり。

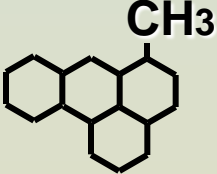
5. クリーンで容易に利用可能な技術の開発が必要。



# 石炭の価格は安定している

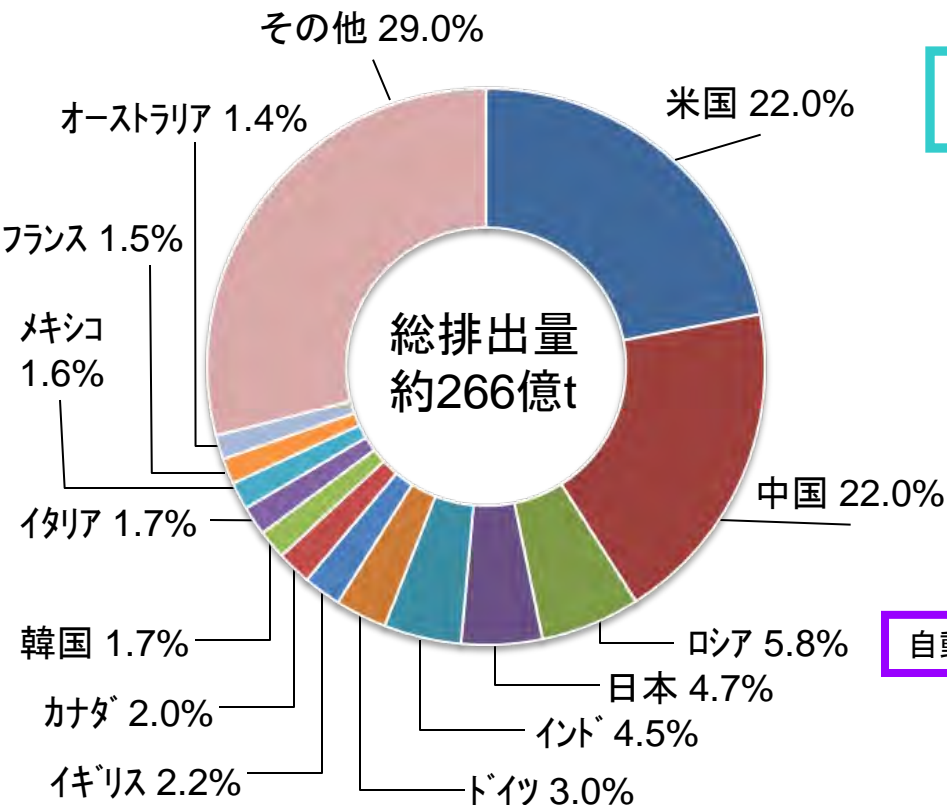


# 石炭はCO<sub>2</sub>発生量が多い

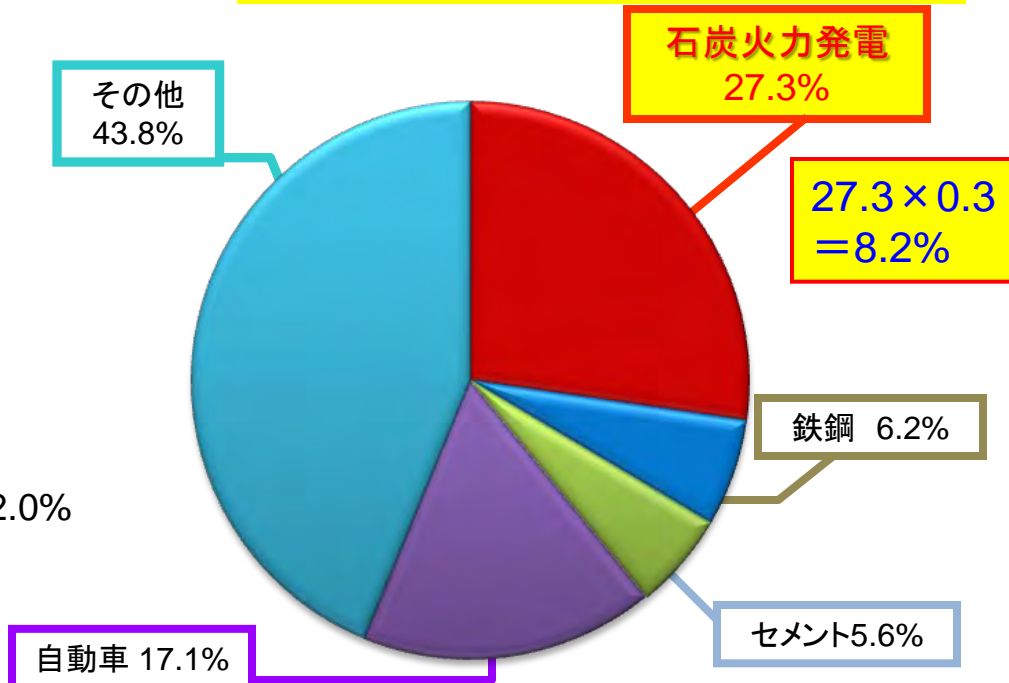
項目	天然ガス	石油	石炭
CO <sub>2</sub> 発生量 (発熱量あたり)	60%	80%	100%
燃料主成分 《炭素重量比》	CH <sub>4</sub> [75%]	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> [85%]	 [95%]

# 世界のCO2排出量

## 国別排出量内訳



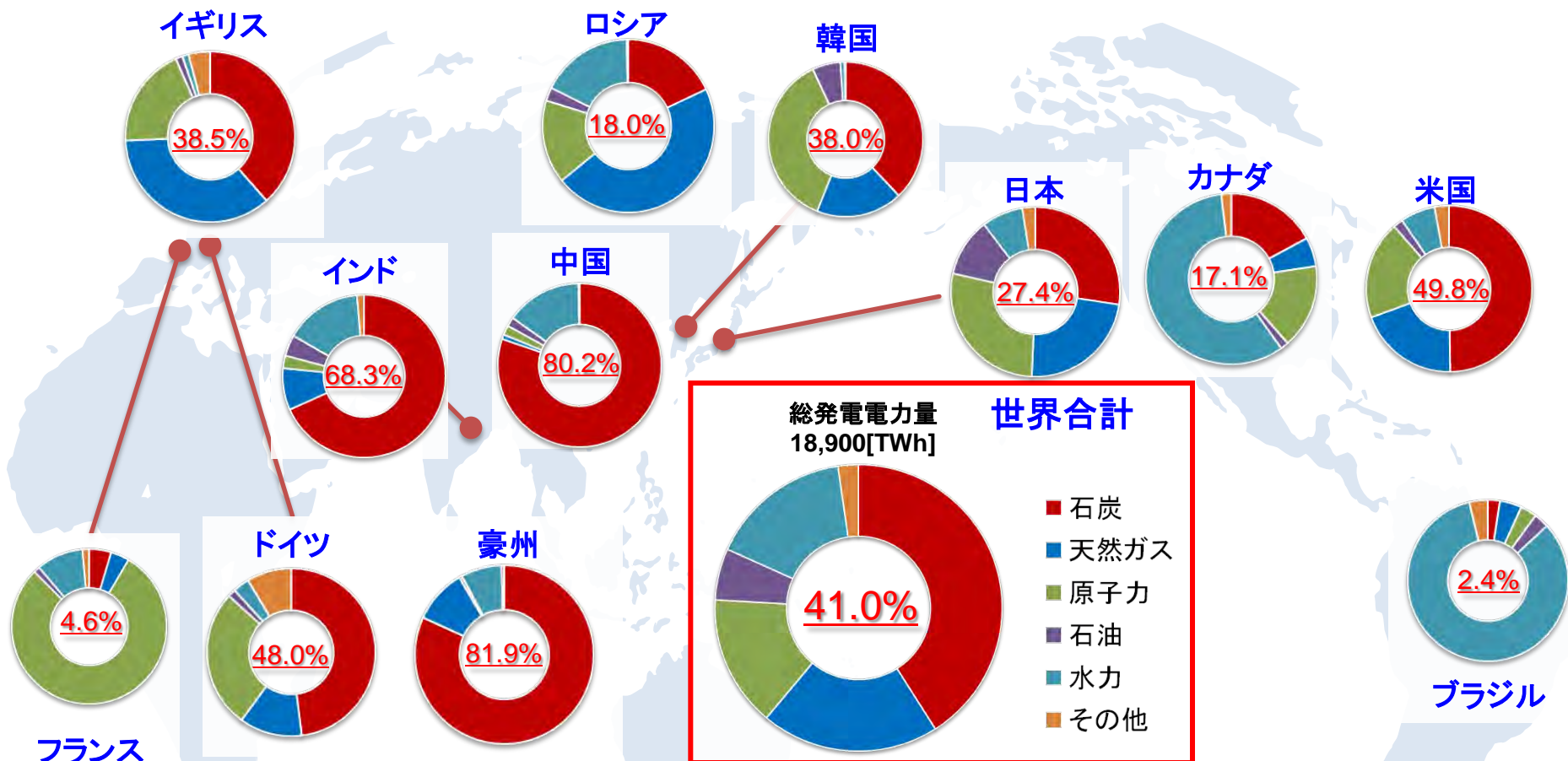
## エネルギー起源CO2排出内訳



※出典：IEA CO2 Emission from fuel combustion

- 石炭火力発電の割合が多い米国、中国等はCO2排出量も多い
- 世界のCO2の約30%は石炭火力から排出
- 石炭火力の効率を30%向上できれば、日本の総排出量の2倍が減らせる

# 世界の主要国電源構成

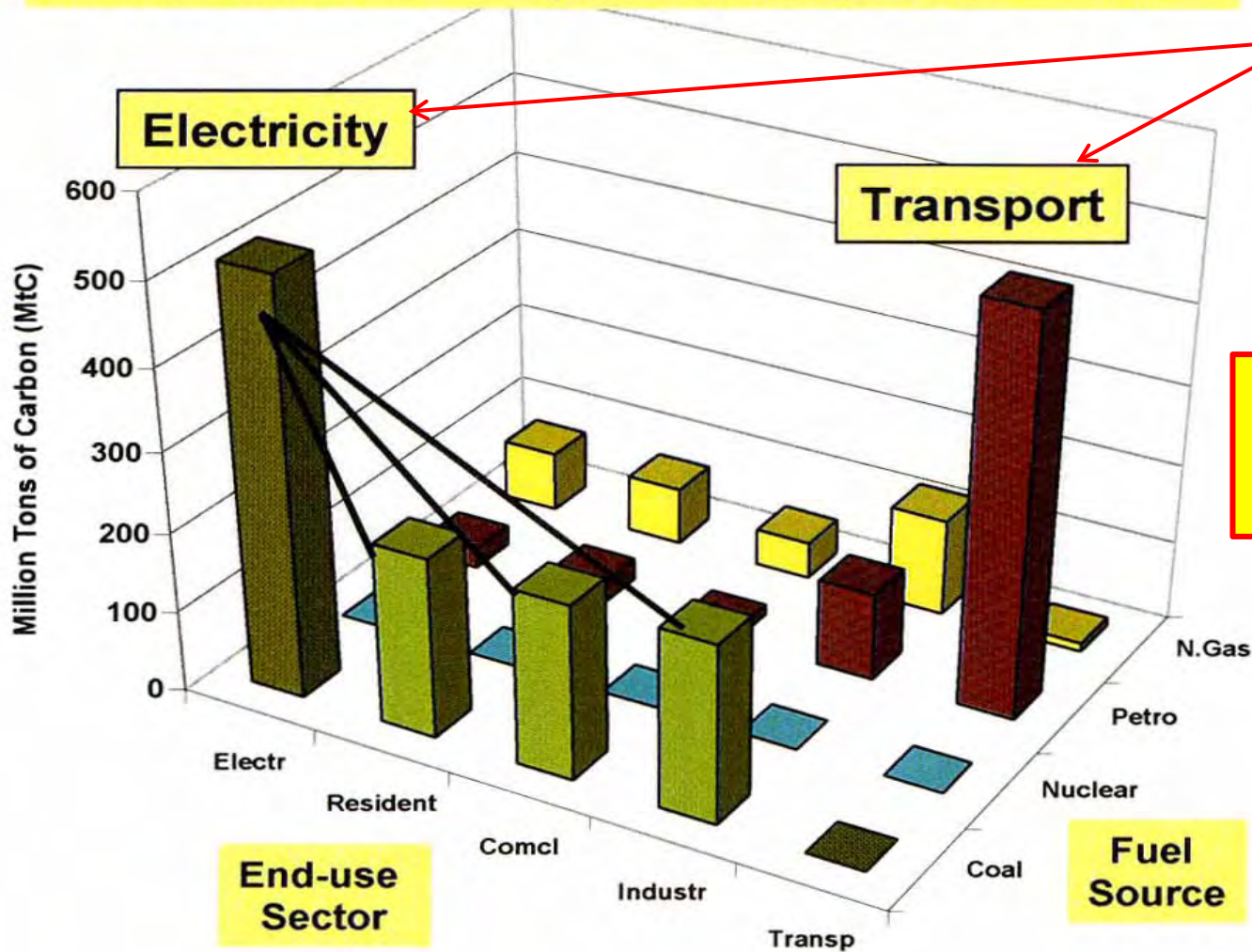


ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES 2008 Edition  
ENERGY BALANCES OF NON-OECD COUNTRIES 2008 Edition  
IEA World Energy Outlook 2006  
より作成

- 世界の電源構成に占める石炭火力の割合は40%
- 日本でも27%が石炭による発電
- 特に米国、豪州、中国、インドでは大半が石炭による発電

# 各SectorのCO<sub>2</sub>発生量(米国の例)

CO<sub>2</sub> from electricity shown in total and then allocated to residential, commercial, and industrial.



発電と輸送が2大発生源

京都議定書離脱の最大の理由  
→経済が成り立たない

# 高度な石炭利用技術が必要！

メリット	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 資源埋蔵量が豊富</li><li>・ 世界中に広く分布</li><li>・ 低廉で安定した価格</li></ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"><li>・ CO<sub>2</sub>排出量が多い</li><li>・ 取り扱いが難しい</li><li>・ 灰などの不純物を含む</li></ul>



高効率でクリーンな石炭  
利用技術の開発が必須

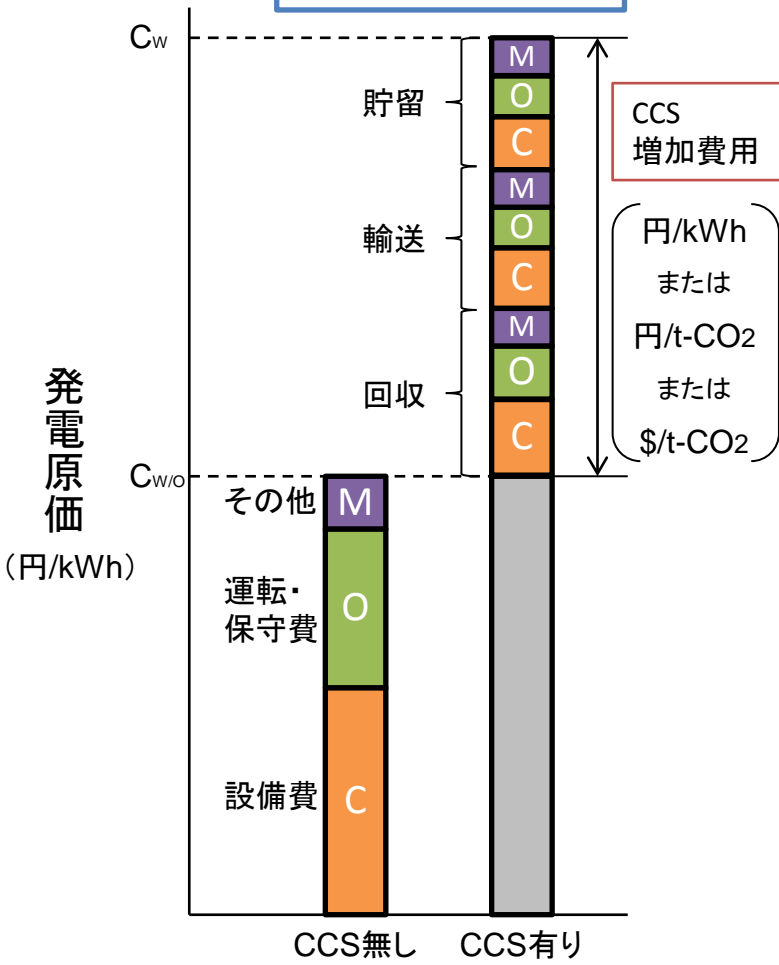


[参考]米国の石炭火力は脱硫装置は3割、脱硝装置は2割しかついていない  
(自由化で書かう競争がすべてとなると法律で強制されない限り、環境改善設備をつける人はいない)

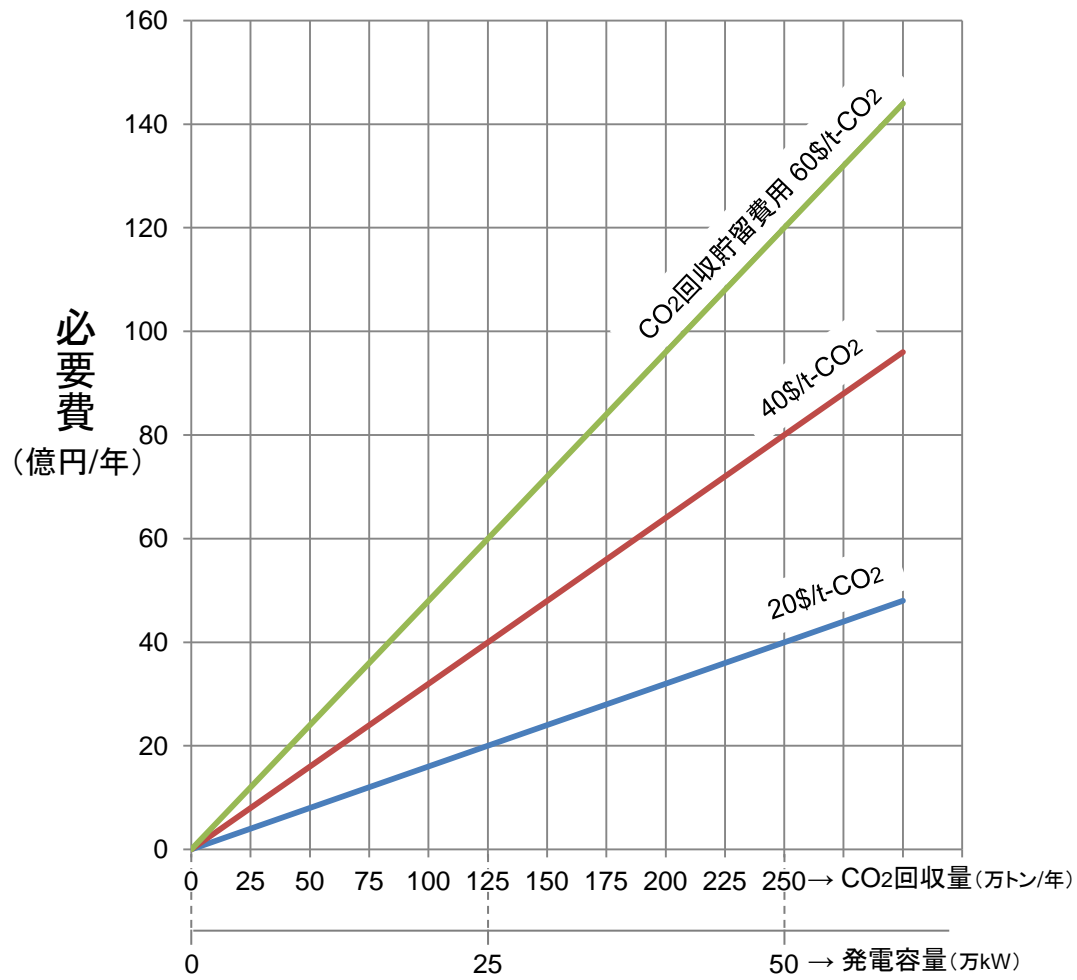
# CCS(Carbon Capture & Storage)の課題(1)

- 技術的にはほぼ検証済み
- 実証機(回収CO<sub>2</sub>量 年間100万トン以上)の段階で停滞
- 最大の停滞理由は、経済的負担(誰が増加費用を負担するか)と官庁や住民の許可や同意の取得

CCSによる増加費用

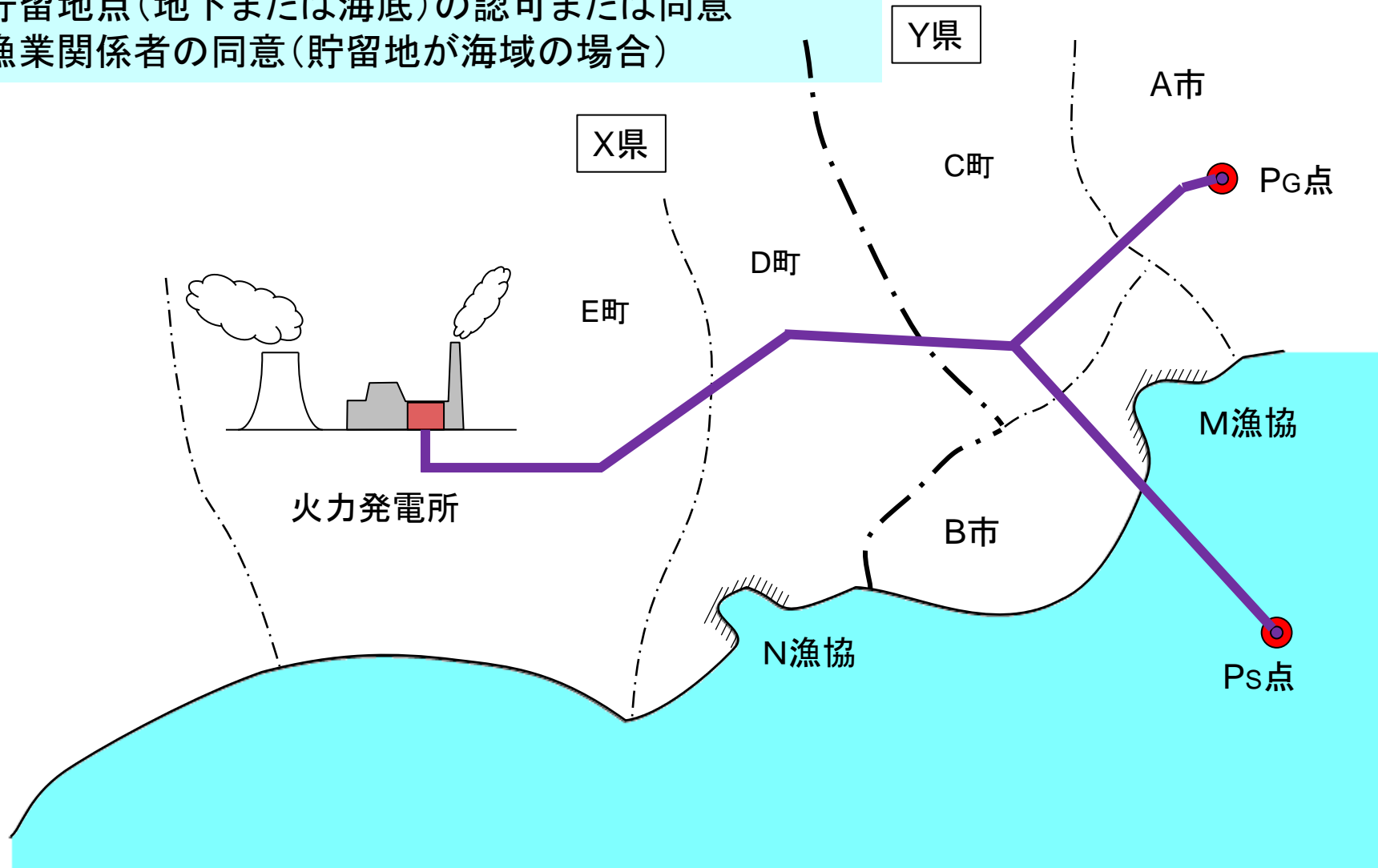


年間必要経費



# CCSの課題(2)

- パイプライン敷設(地上または地下)の認可または同意
- 貯留地点(地下または海底)の認可または同意
- 漁業関係者の同意(貯留地が海域の場合)





# 高効率石炭発電技術

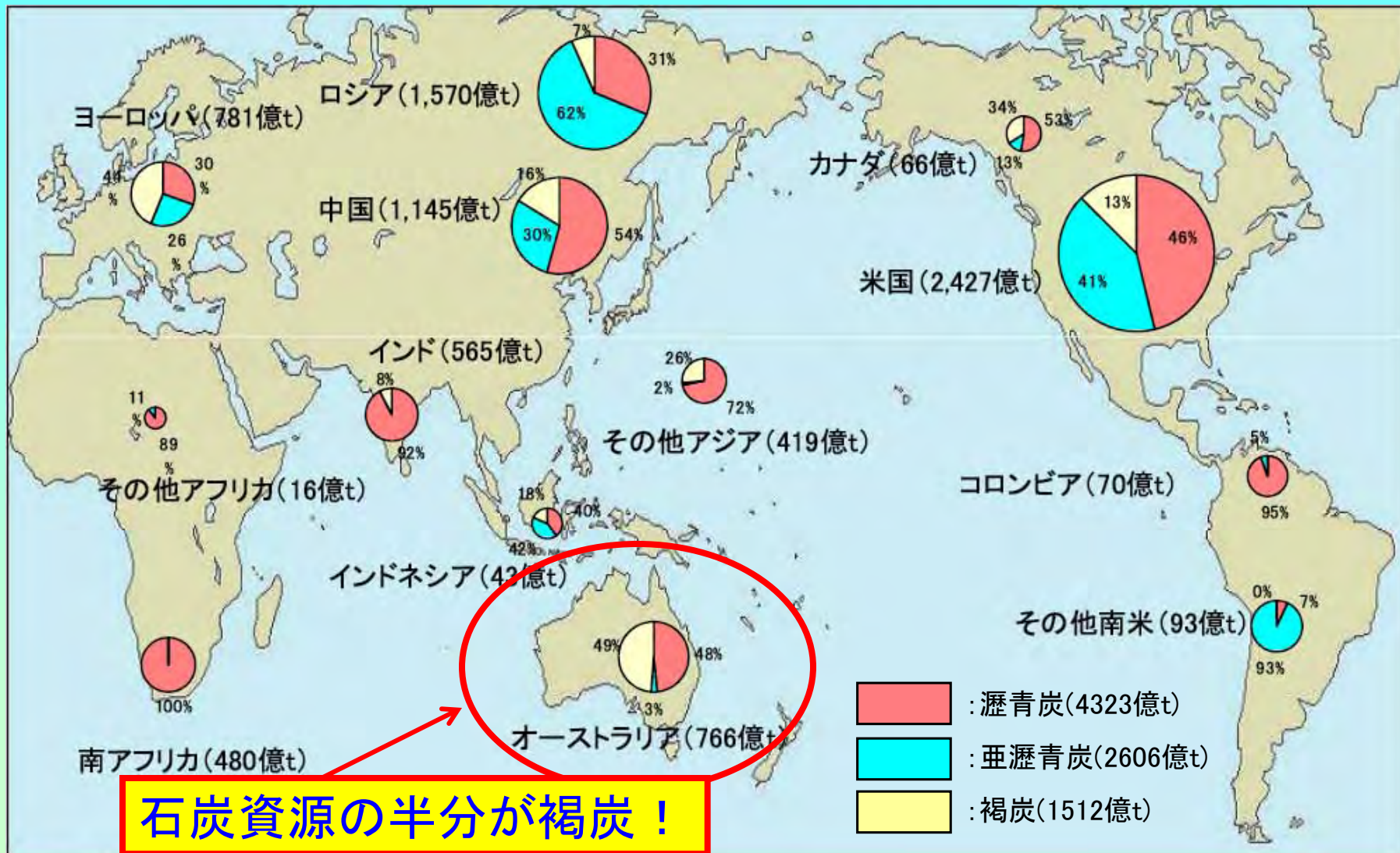
1. 基準：微粉炭火力---USC [効率40%]
2. ダブル複合発電---IGCC [効率48%]
3. トリプル複合発電---IGFC [効率55%]

徹底的に効率を向上することが最も重要

燃料節減と環境改善の同時実現！一正攻法

日本の高効率石炭技術で世界に貢献することができる！

# 世界の褐炭・亜瀝青炭資源



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



TV東京WBSより



# 国別褐炭生産量 (2008年)

	年間採掘量 (百万トン)
豪州	88
ドイツ	213
アメリカ	83
チェコ	58
ポーランド	72
ロシア連邦	92

# 国別褐炭資源量 (2008年末 : World Energy Council)

	確認(精測)可採埋蔵量 (億トン)
豪州	372 *
インドネシア	11
ドイツ	406
カナダ	22
アメリカ	302
ポーランド	14
ロシア連邦	105
セルビア	134
ウクライナ	19

\* : EDR  
(経済的実証資源量)

# 褐炭のサンプル(1)



豪州ヴィクトリア州褐炭

# 褐炭炭層に残存する木片



# 褐炭のサンプル(2)



中には琥珀も！

## インドネシアの褐炭

# 褐炭とブリケット（練炭）

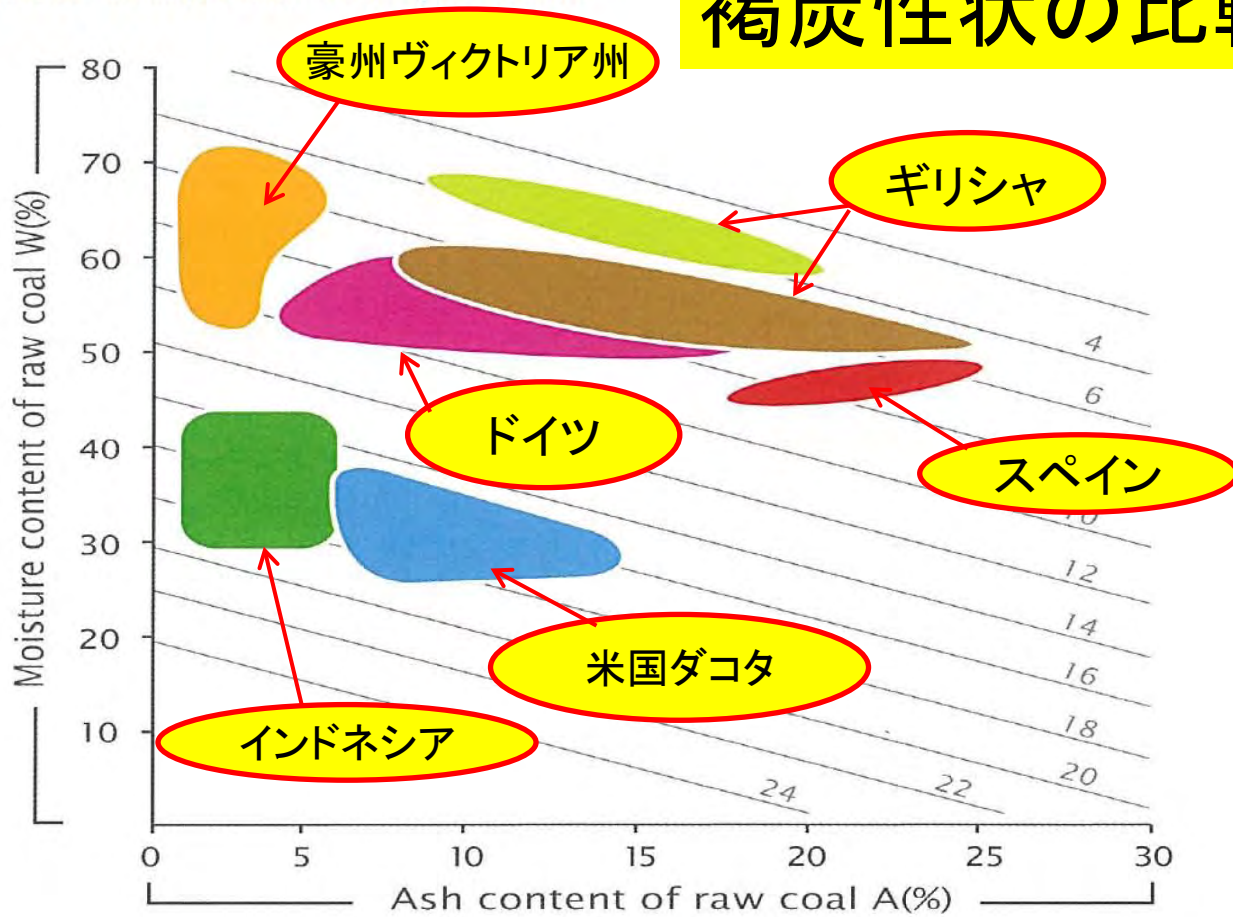


➤ 褐炭は水分が多く、乾くと脆くなり、自然発火もし易くなるので、輸送・貯蔵には工夫が必要  
→粉砕・乾燥した褐炭粉を固めて外皮で覆う



# 褐炭性状の比較

水分



**Key**

- Latrobe Valley
- Megalopolis Greece
- Ptolemais Greece
- Neurath D, Germany
- Puentes Spain
- Dakota Texas U.S.A
- Indonesian Low Bank
- Net Specific Energy=2MJ/Kg

Source: Allardice Consulting Ltd

褐炭は貧者の石炭か？

# 各国の発電電力量に占める褐炭火力の割合

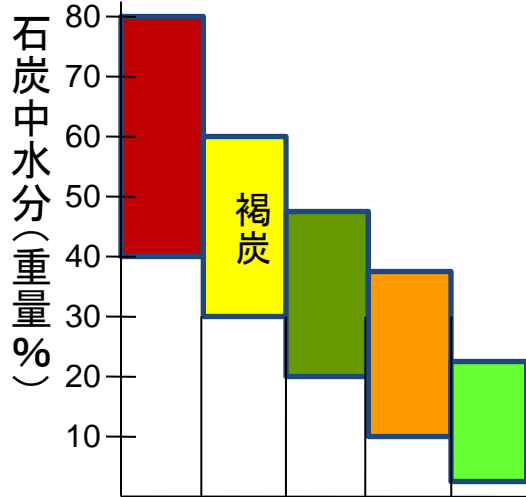
[%]

国名	褐炭	石炭	合計
ドイツ	25	19	44
オーストラリア	25	56	81
ポーランド	34	58	92
ギリシャ	54		
ルーマニア	40		
チェコ	65		
セルビア	78		
トルコ	52		

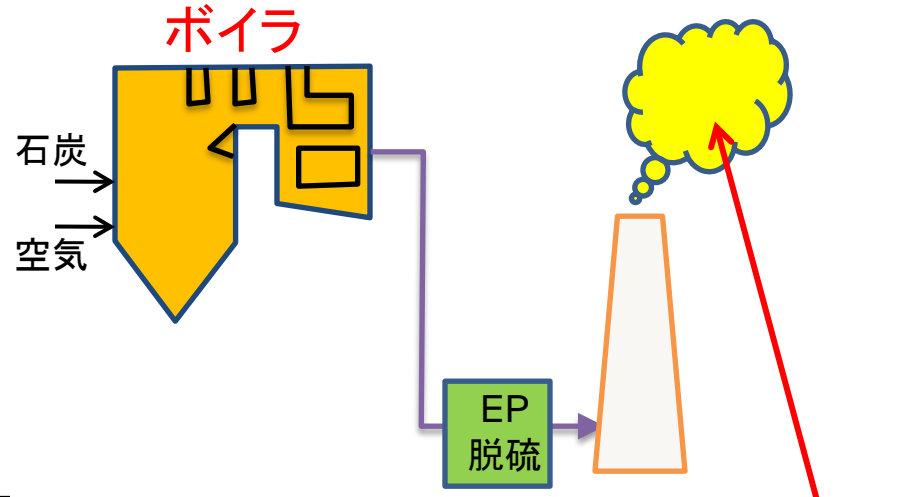
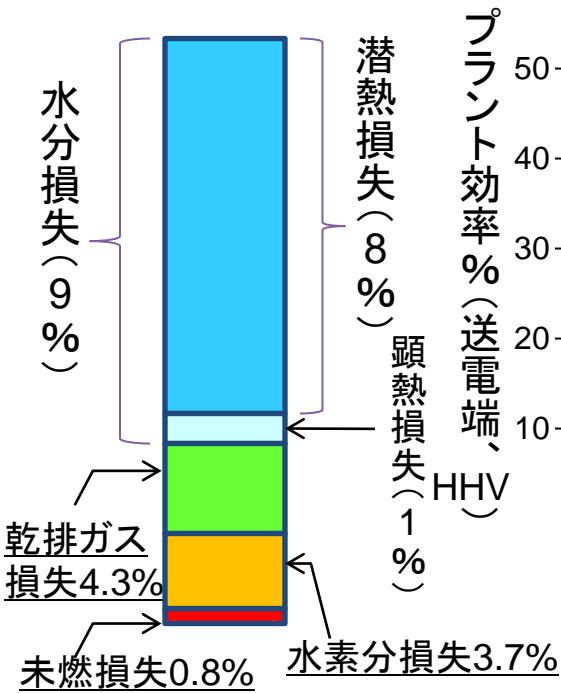
# 褐炭(高水分炭) 焚きの熱損失: 煙突からの蒸発潜熱の放出



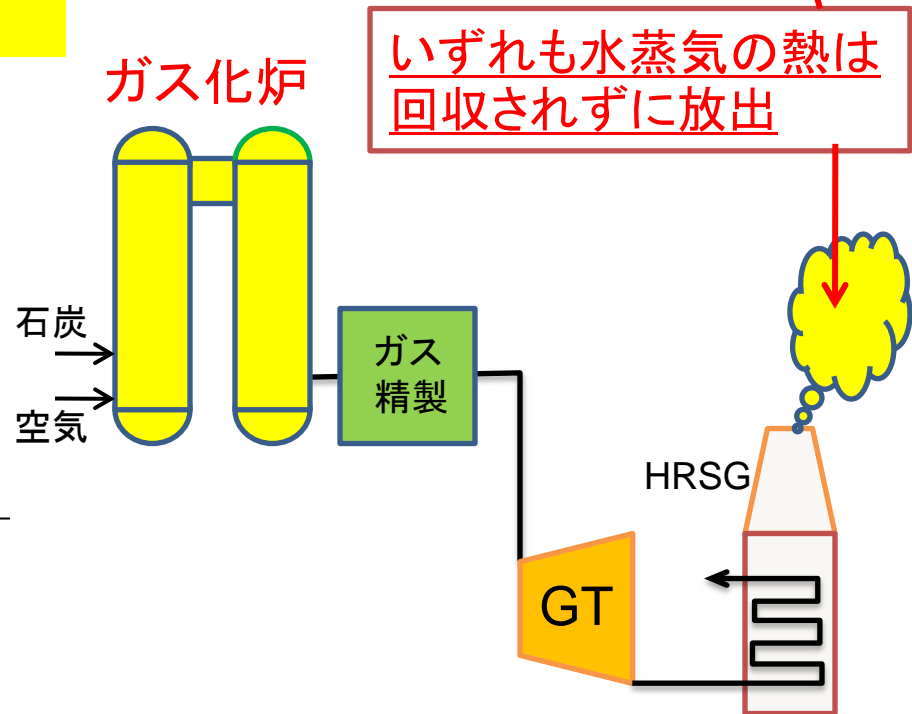
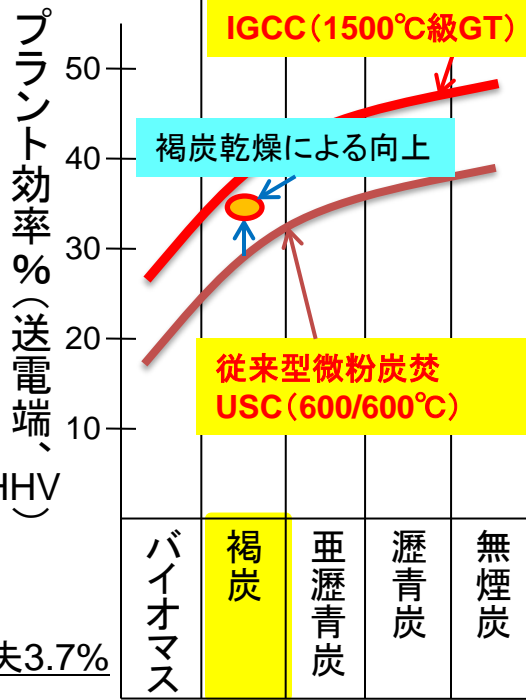
石炭



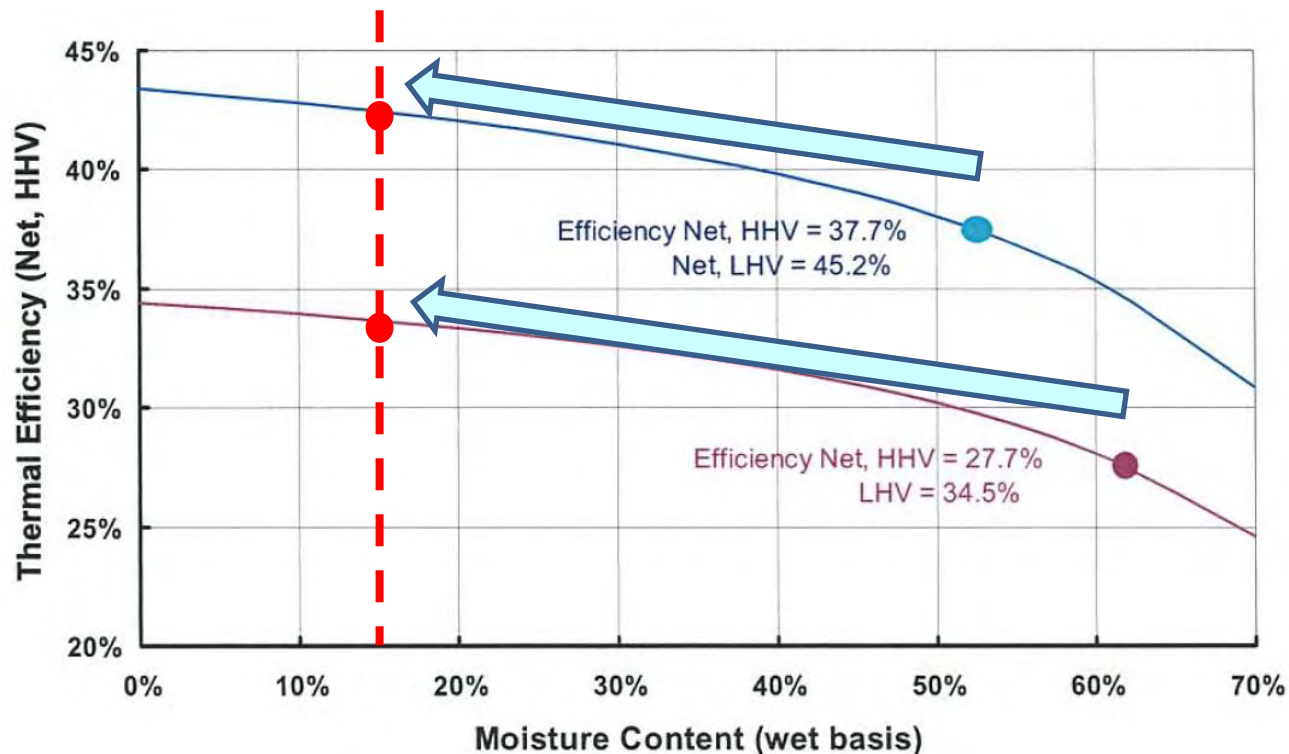
## 熱損失の内訳



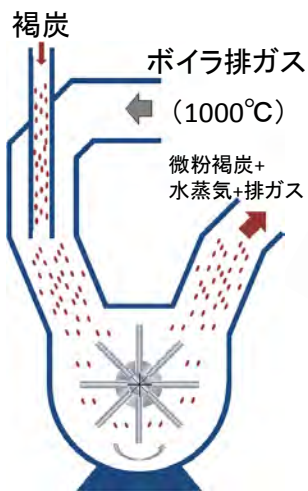
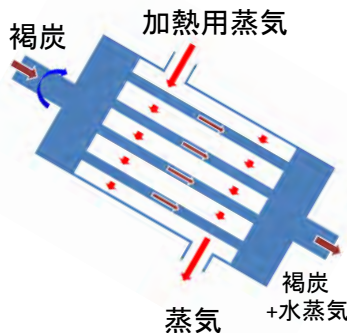
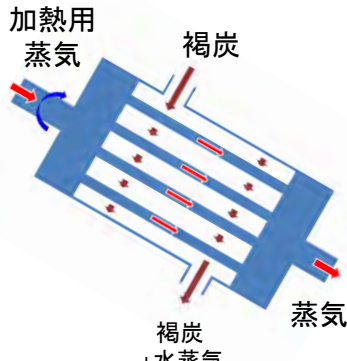
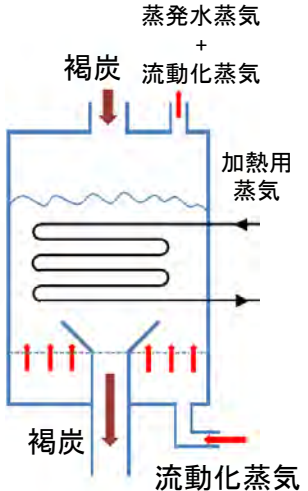
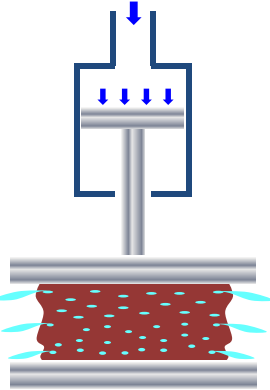
いずれも水蒸気の熱は回収されずに放出



# 褐炭乾燥による熱効率の向上の例

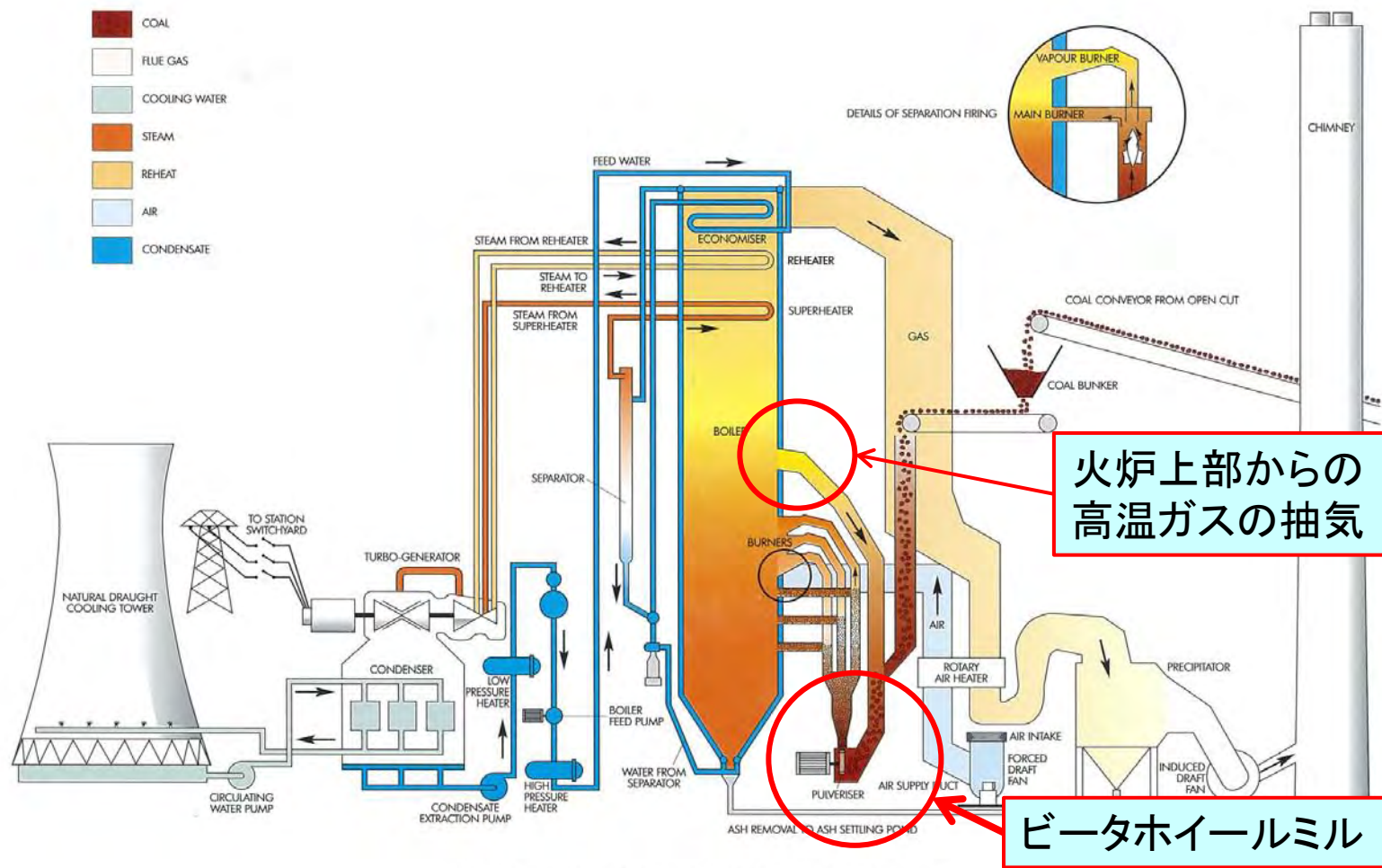


# 褐炭乾燥装置の原理比較

種類	加熱方式				加圧方式
	直接加熱	間接加熱		蒸気流動層方式	
型式	高温排ガス加熱方式	回転式ドライヤ I (Coal-in-Tube)	回転式ドライヤ II (Steam-in-Tube)	蒸気流動層方式	メカニカルプレス方式
略図					
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1000度のボイラ排ガスと褐炭を混合し、ミル内で一気に粉碎と水分蒸発を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管群の入った回転式ドラムで乾燥。</li> <li>・管の内側を褐炭が通る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管群の入った回転式ドラムで乾燥。</li> <li>・管の内側を加熱用の蒸気の流れる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸気流動層に層内蒸気加熱管を通し、両方で加熱する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・油圧または水圧で褐炭を圧縮</li> </ul>

# 従来型褐炭焼きプラント系統図 (ビータホイールミル使用)

- 火炉出口から高温のガスを抽気し、一気にビータホイールミル内で乾燥する。乾燥炭は直ちにバーナで燃焼する。

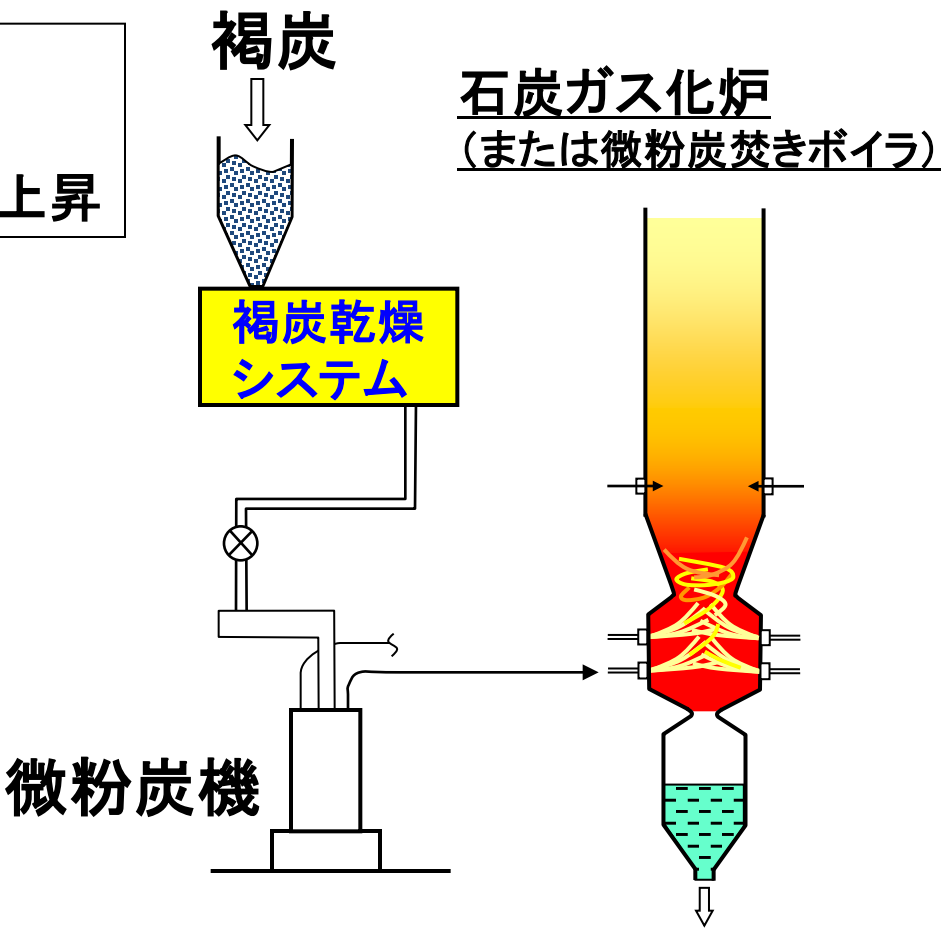
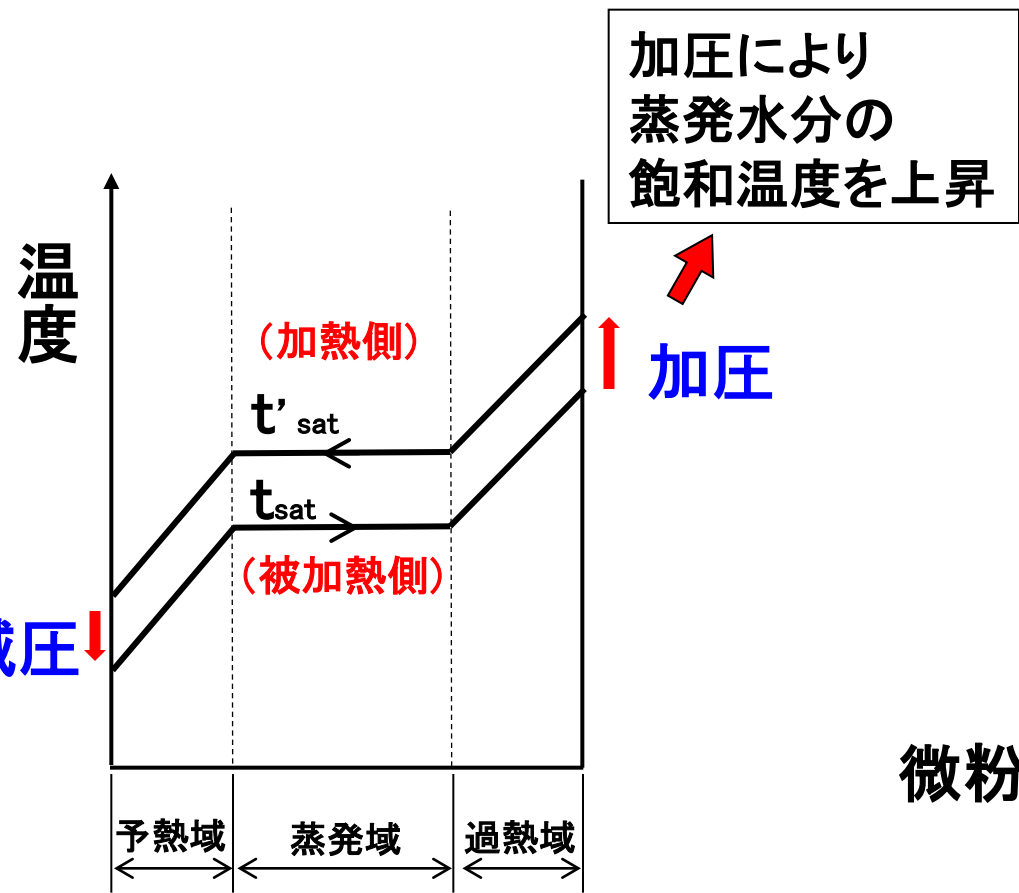


火炉上部からの  
高温ガスの抽気

ビータホイールミル

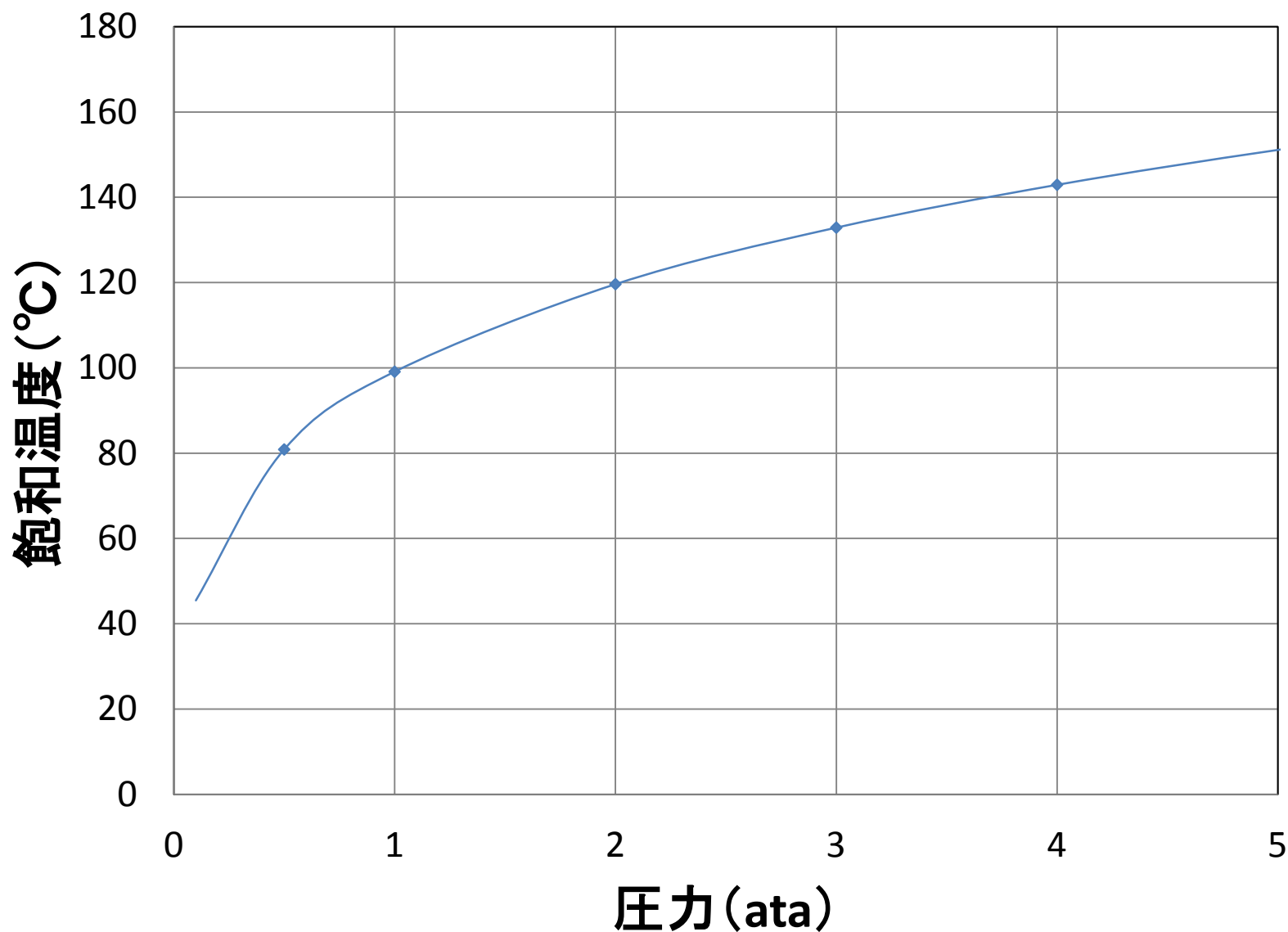
SCHEMATIC LAYOUT OF BROWN COAL FIRED UNITS

# 自己熱再生流動層乾燥システム



蒸発した蒸気で再加熱するので熱損失は加圧動力相当のみとなる

# 蒸気圧力と飽和温度の関係



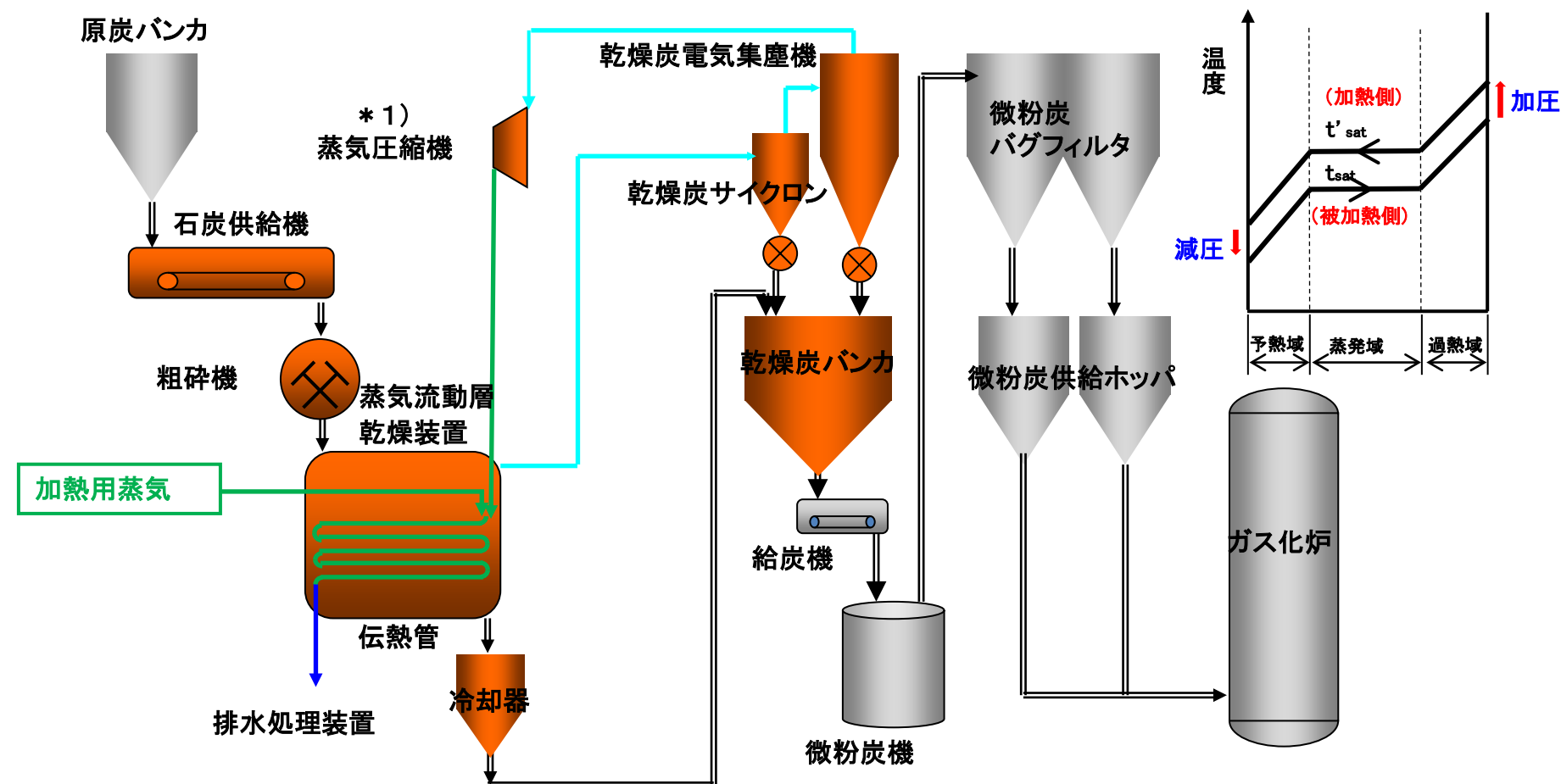


# 自己熱再生型 蒸気流動層乾燥システム

- 蒸気流動層内において褐炭の水分が蒸発し、発生した水蒸気を圧縮機で加圧し、飽和温度を上昇させたうえで加熱用蒸気として活用。熱交換により液化することで潜熱を回収する

## 乾燥システム概略

\* 1) 加圧により蒸発水分の飽和温度を上昇



オーストラリア・ヴィクトリア州  
ロイヤン炭鉱と発電所



2010.02.03

バケットホイール・ドレッジャー  
容量3600t/h



表土厚さ/炭層厚さ=1:5~7

Latrobe Valley 炭層図

# Loy Yang褐炭炭坑諸元

- [褐炭炭鉱データ]
  - 南半球で最大の炭鉱
  - 露天掘り(Open Cut)面積: 70ヘクタール
  - 褐炭生産量: 30Mtpa(年産3000万トン)
  - 現炭層可採年数: 50年
  - 炭層厚さ: 195m
  - 褐炭生成年代: 3000~1500万年前
  - 湿分: 約62%

## [採掘方法]

- 4基のバケット・ホイール・ドレッジャ
- バケット・ホイール: 径13.2m×10バケット/ホイール
- バケット容量: 2.3m<sup>3</sup>/バケット
- ドレッジャ装置寸法・重量: 長さ190m×高さ50m×重量5000トン
- 採掘能力: 褐炭原炭 3600トン/h 表土2500m<sup>3</sup>/h
- 移動速度: 8m/min(0.5km/h)

## [輸送コンベヤ]

- ベルトコンベヤにて発電所の65,000トンの原炭バンカーに直接輸送
- ベルトコンベヤ延べ総長さ: 30km
- コンベヤベルト: 幅2m×長さ3kmまで ベルト速度: 5.2m/sec

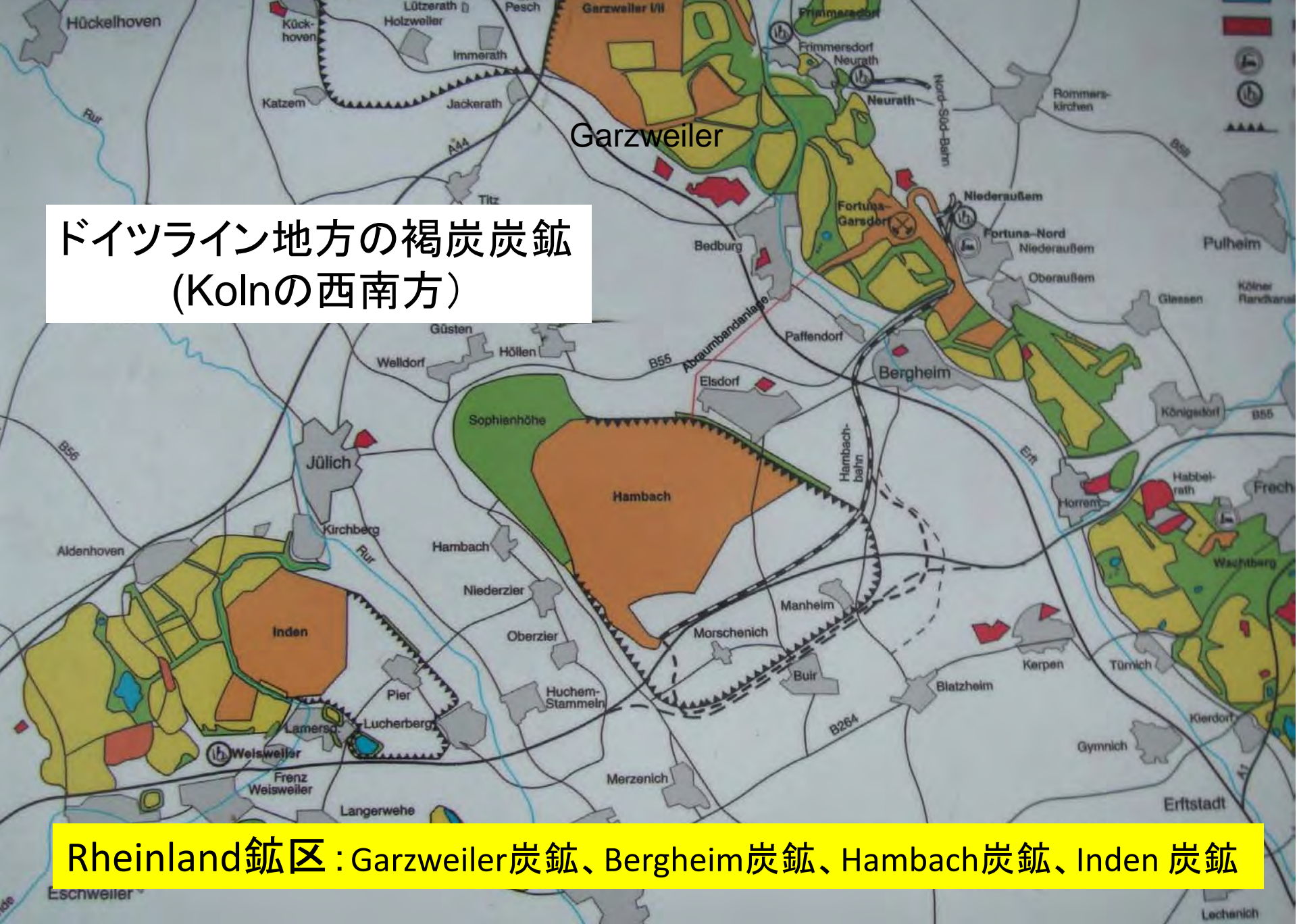
# ドイツの褐炭焼き発電所

- ドイツの発電電力の25%
- しかもあと500年は大丈夫

代表的褐炭炭田：  
ラインラント地方

Niederaussem発電所（100万KW） 既設：運転中

ドイツライン地方の褐炭炭鉱  
(Kölnの西南方)



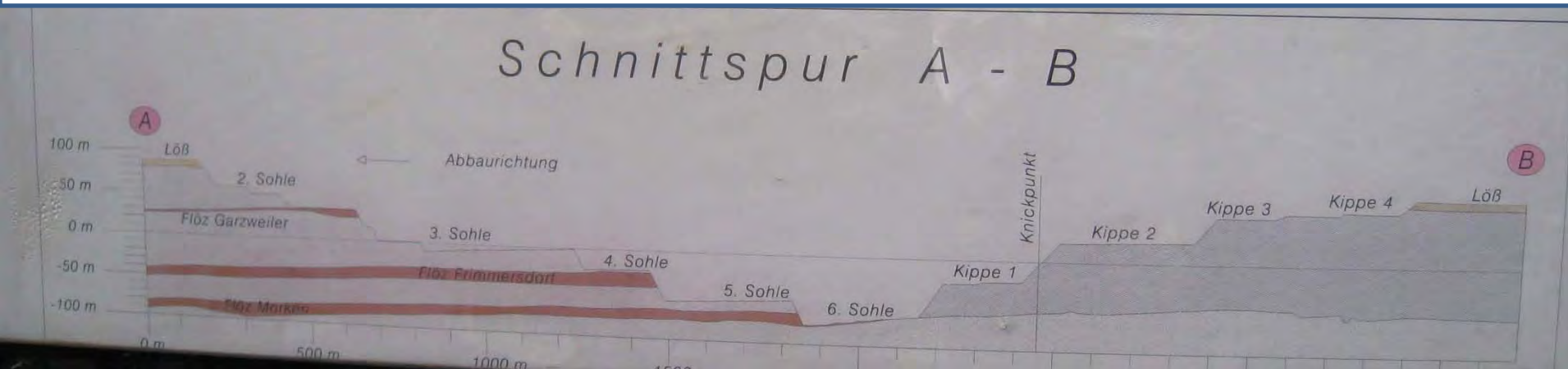
Rheinland 鉱区 : Garzweiler 炭鉱、Bergheim 炭鉱、Hambach 炭鉱、Inden 炭鉱

Garzweiler炭坑：表土厚さ/炭層厚さ=5:1



# Garzweiler炭層断面図

- 深さ約180mの地層に、厚さ10m以下の褐炭層が3層あることがわかる。
- 褐炭の数倍の表土、介在土があり、褐炭を掘るといことはこれらの土を取り除くことでもある。
- 掘った跡は必ず埋め戻して再生処理(リクレーミング)





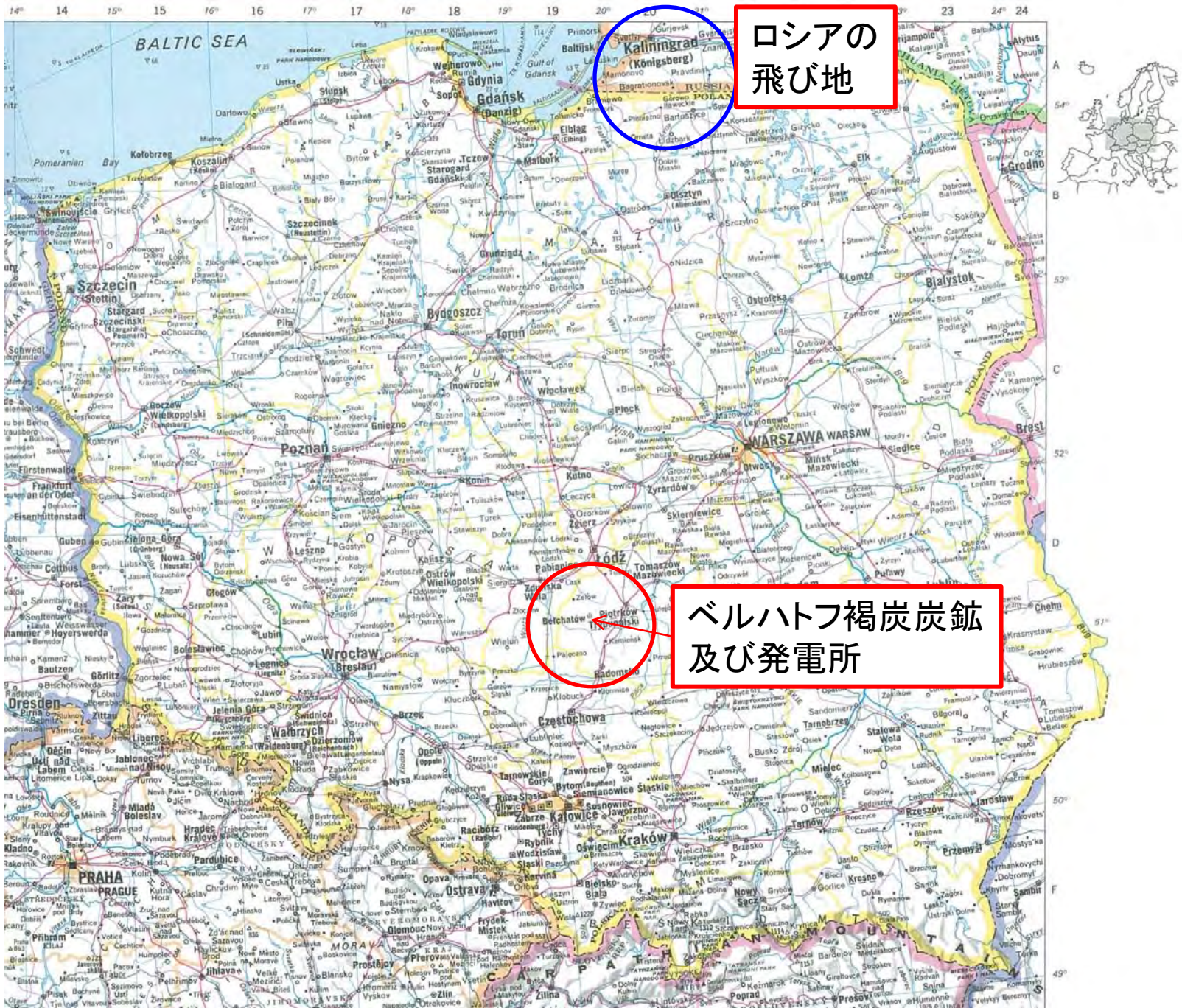
# 発電所より炭坑と再生都市を見る



再生した市街地

ポーランドでは石炭火力比率92%  
→ 石炭利用高効率発電技術が極めて重要  
(特に褐炭焚き発電所)

- 今EUよりCO<sub>2</sub>削減の強い圧力がかかっている
- 日本との技術協力でこれを乗り切りたいとの希望あり
- ポーランド国内に原子力建設の是非について論争中  
(それでもロシアが飛び地のKaliningradに原子力を建設しようとしている)



ロシアの  
飛び地

ベルハトフ褐炭炭鉱  
及び発電所

# ポーランドと日本の比較

	日本	ポーランド
人口	1億2000万人	3800万人
面積 (万km <sup>2</sup> )	37.8	31.3
化石燃料自給率	4 %	100 %
食料自給率	40 %	>100 %
国土利用率	15 %	90 %
国の特徴	島国 / 火山	大陸 / 平地
	島国のため国防容易で、第2次世界大戦後を除き、外国に占領させたことがない	昔から外国の侵略、占領に悩まされる。特にドイツ、ロシアの2大国に蹂躪された過去あり
発電に占める石炭火力の比率	27%	92%

# ポーランドの褐炭焼き火力発電所

▶ ポーランドにとって石炭(特に褐炭)は  
最重要な国のエネルギー源

発電所

炭坑

褐炭炭鉱と山元に設置したベルハトフ褐炭焼き発電所

# ベルハトフの褐炭の露天掘り炭鉱



Plan zagospodarowania KWB „Bełchatów” SA



# ポーランドの最大の褐炭焼き発電所 ベルハトフ発電所 (432万KW) (ポーランドの全発電電力量の18%)



Przemysł i Energetyka Konwencjonalna SA  
Elektrownia Bełchatów



ポーランド大学関係者と  
東京大学生産技術研究所との打ち合わせ  
(2012.2.9)



# AGH工科大学(クラコフ)



Santa Barbara



Coal Mining



Metallurgy





# Santa Barbara



AKADEMIA  
GÓRNICZO - HUTNICZA  
1919  
IM. STANISŁAWA STASZICA



聖バーバラは炭坑・消防  
などの守護聖人

1776 PROJEKTY WPROWADZENIA  
NAUK GÓRNICZYCH  
W UNIWERSYTECIE JAGIELLOŃSKIM  
H. KOŁŁATAJ 1776, 1792, 1910  
S. STASZIC 1909, 1916

KRYTAŁCENIE PRZYKRAKÓW 1833  
BŁEWÓW GÓRNICZWA 1822-1849  
ŚREDNIE SZKOŁY GÓRNICZE  
TARNOWSKIE GÓRY 1839  
1861

# 米国の石炭資源



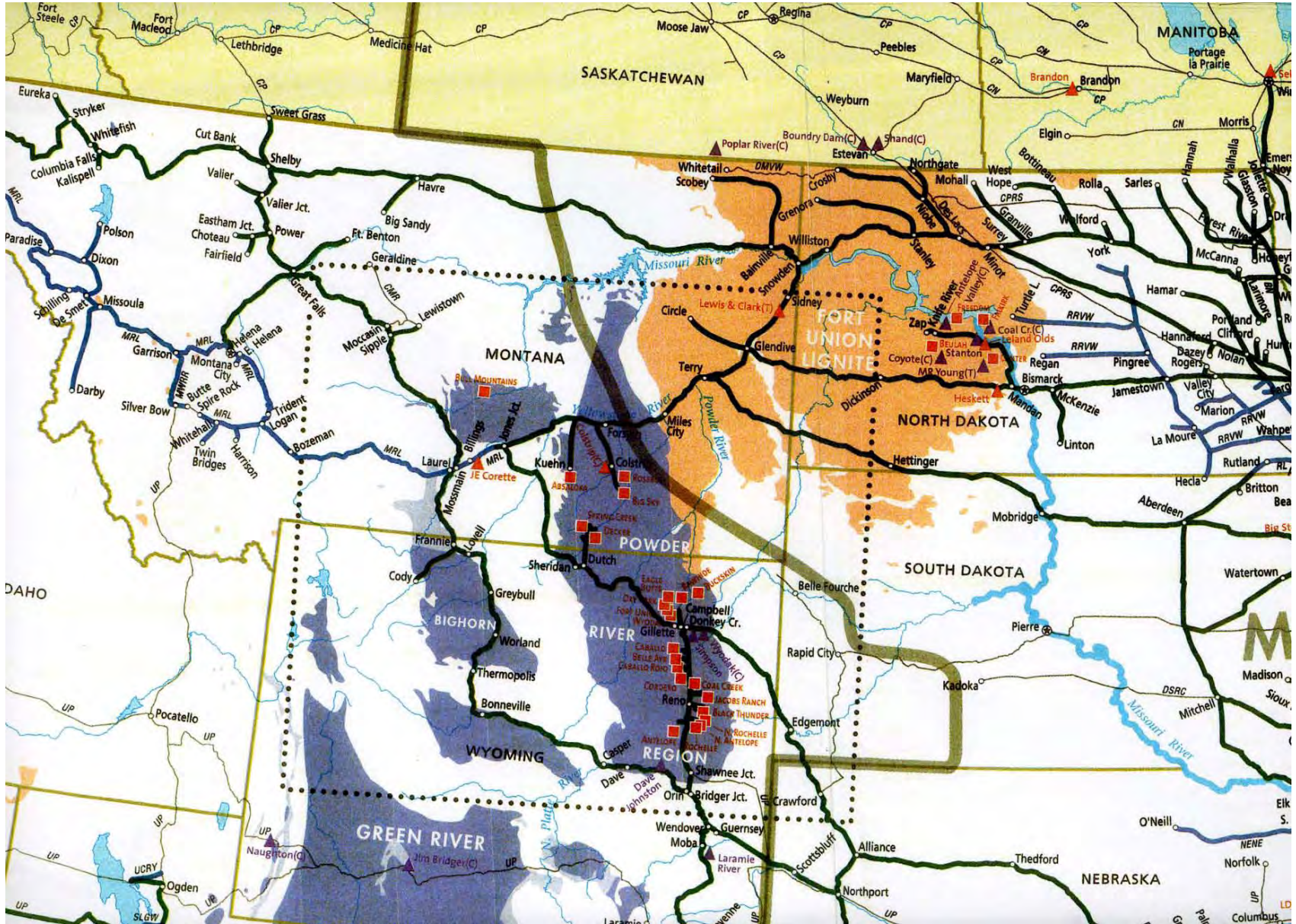
褐炭

亜瀝青炭

瀝青炭

褐炭

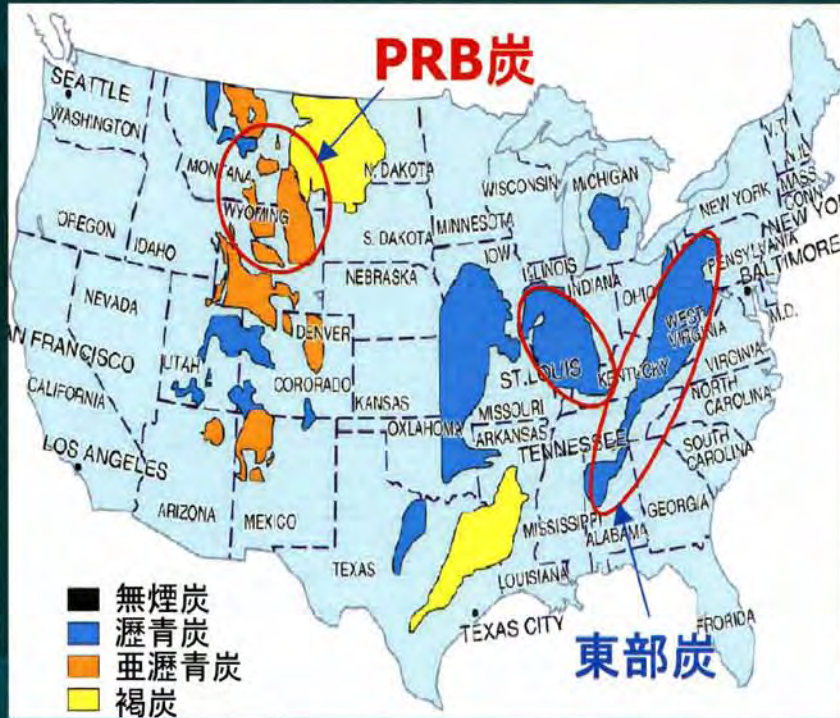
# Powder River Basin Coal 炭鉱



# 米国PRB炭 (Powder River Basin Coal)

埋蔵量	5,200億トン〔米国の石炭埋蔵量:1兆2000億トン〕		
炭坑	大半が連邦政府所有でリースを受けて石炭会社が生産。表層が薄く、炭層は30m以上と厚い。露天掘りも多い。		
生産量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1970年頃生産開始。</li> <li>1970年 700万トン</li> <li>2000年 3億4000万トン</li> </ul>		
特徴	①低硫黄 ②燃焼性良好 ③灰融点低い ④比較的水分多い		
価格		PRB炭	アパラチア東部炭
	山元価格で 1/4	山元渡し 6\$/t	28\$/t
	輸送費込でも 1/2	輸送費込 19\$/t	38\$/t

# 東部炭とPRB炭の比較



項目	単位	東部炭	PRB炭
高位発熱量	kcal/kg	7,000	5,000
全水分	wt%	10以下	20-30
灰分	wt%	10以下	5以下
全S分	wt%	2-4	0.5以下
灰融点	°C(還元)	1,350	1,100-1,250

膨大な資源量で米国のEnergy Independenceの柱  
 →将来は液体燃料、特に航空機燃料をPRB炭から生産

最大の欠点---灰の融点が低いこと

# ペルム紀後期の北米大陸の地層

約2億5千年前

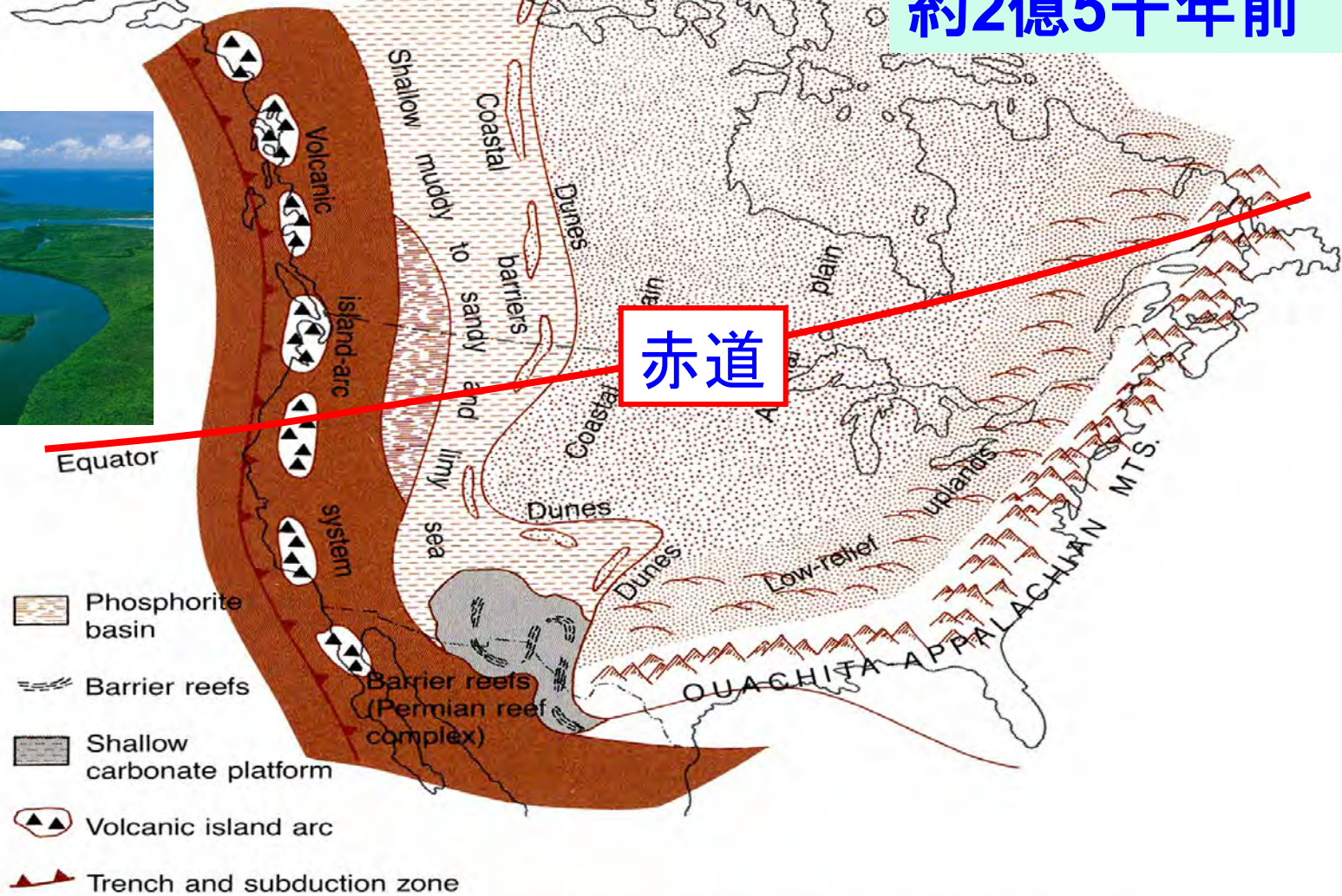
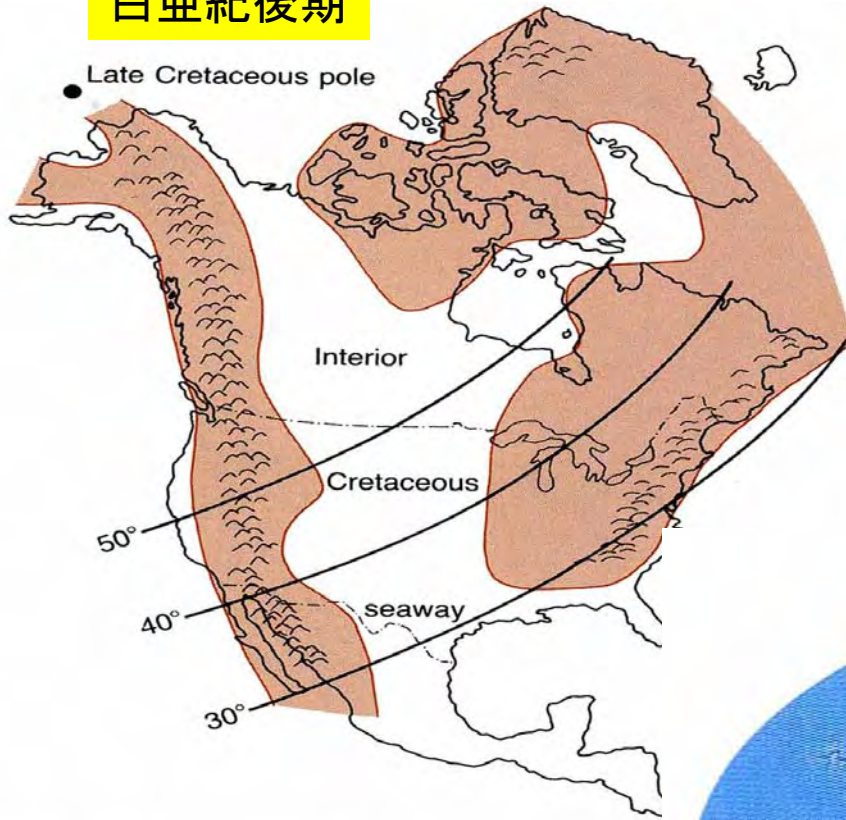


Figure 11-58. Paleogeography of Late Permian superimposed on outline map of present-day North America.

# PRB炭の生成

白亜紀後期

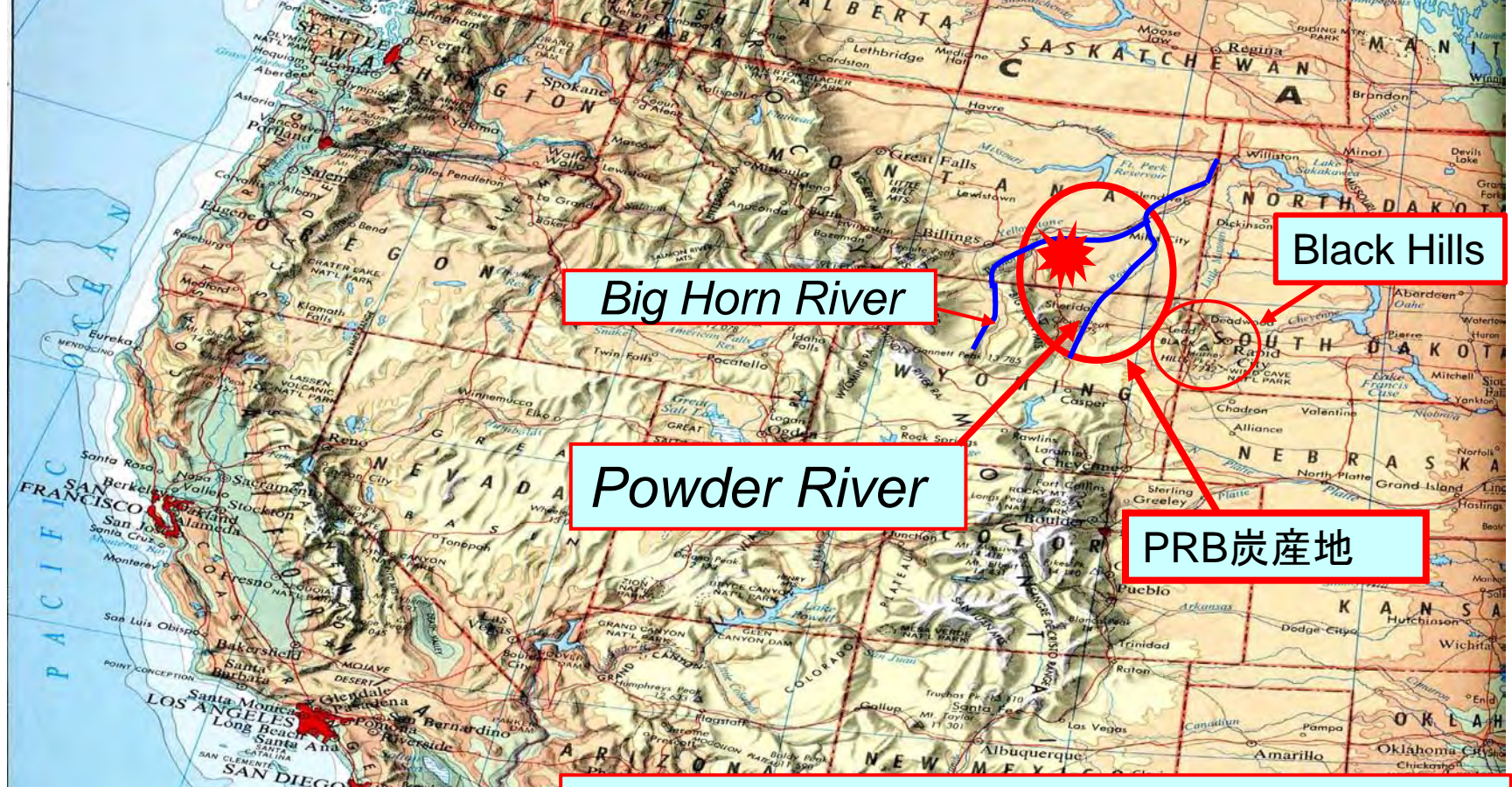


**Figure 12-50.** Generalized Late Cretaceous paleogeography of North America showing extent of interior Cretaceous (Data from several sources)

6500万年前







このPRB産地が現在のように米国政府所有地となったのには歴史的経緯あり:

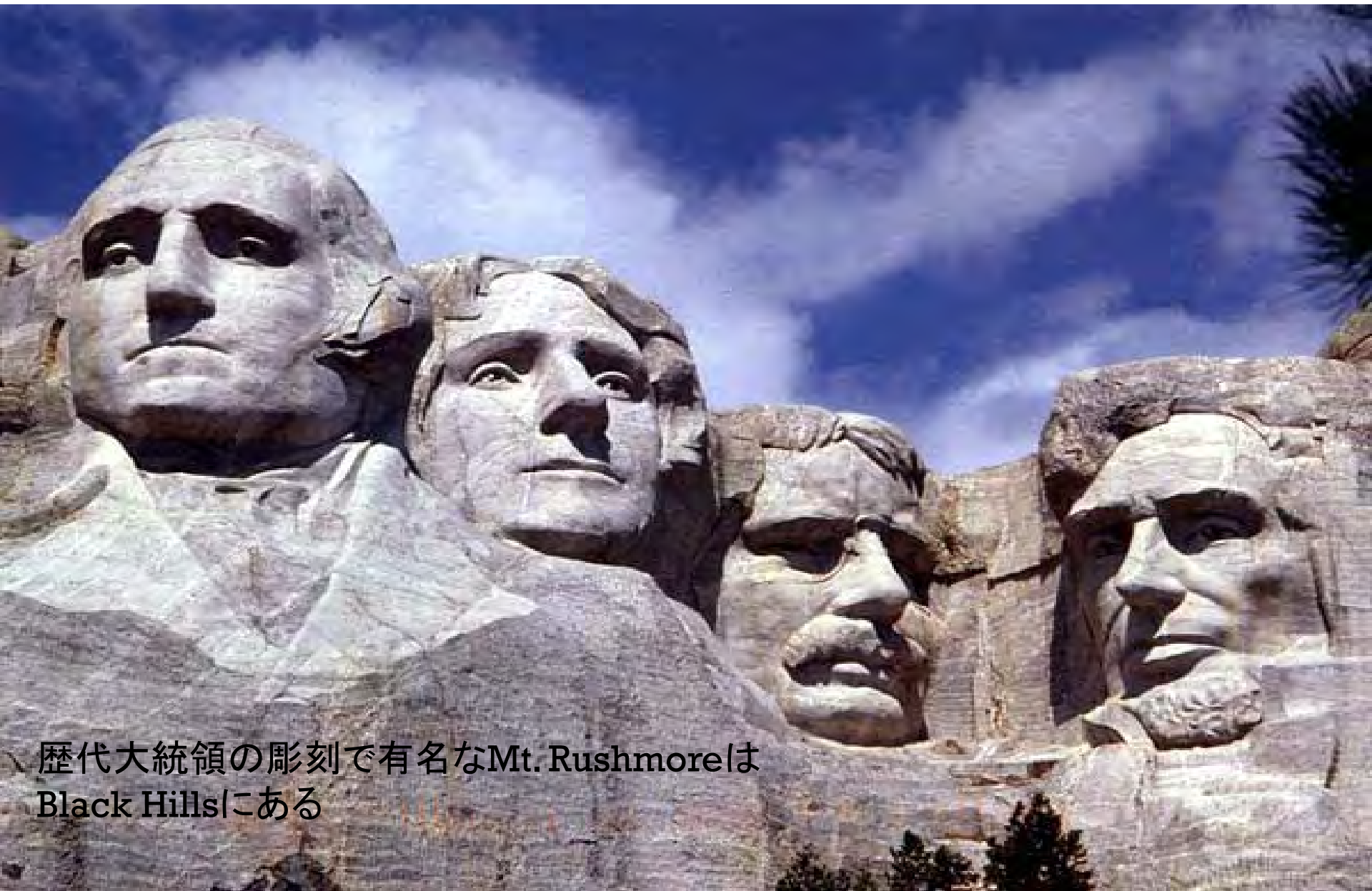
- ▶ 本来この地方は1868年のFort Laramie条約で“Unceded Indian Territory”とされインディアン専用の遊牧地であった。“the hunting grounds along the Powder and Bighorn Rivers are the unceded territory”→これが幾多の闘争を経て、最終的に米国政府所有地となった



## BLACK HILLS で金鉱発見！

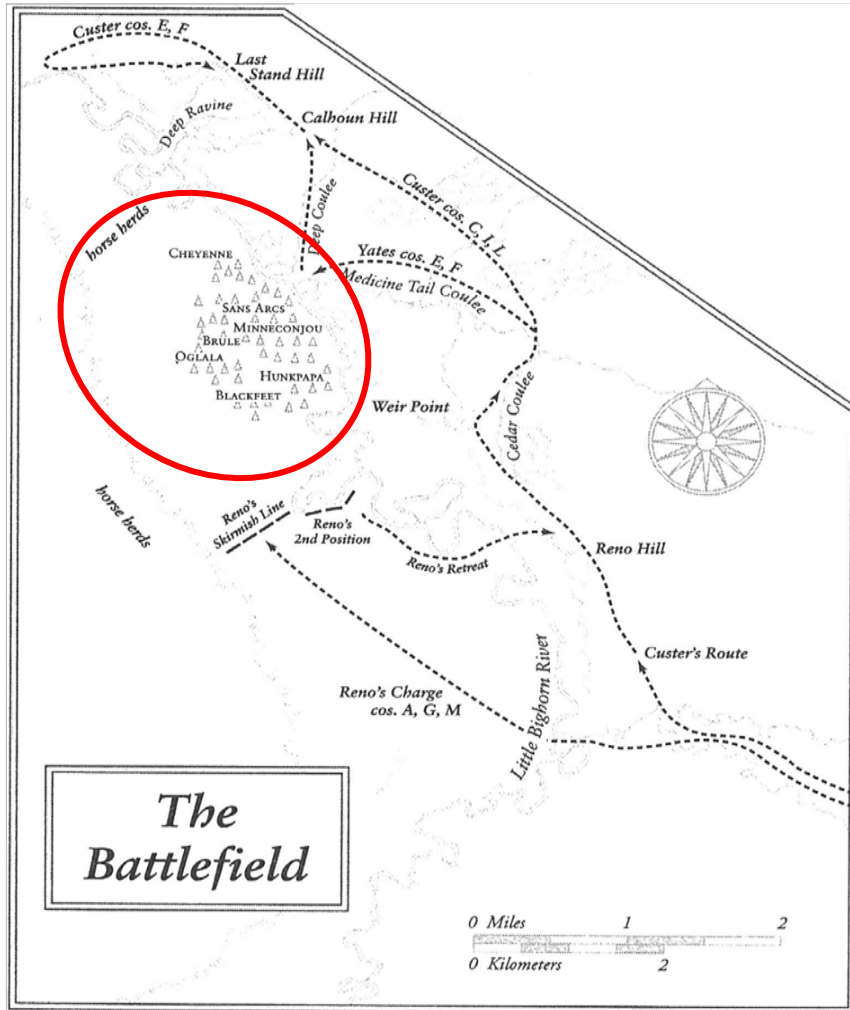
- もともとBlack Hills は”Paha Sapa”(“Hills That Are Black”)と呼ばれ、Indianにとって神聖な場所であった。
- 1857年ころからnuggetやgold dust発見の噂があり、1873年ころから侵入者が目立った
- 1874年連邦政府の調査隊が入る
- その後失業者(大半が南北戦争後の除隊兵士)が押し掛け、その数10万人に達する。
- 1876年1月31日連邦政府はIndian排除命令を出す。
- “Unless they left the hunting ground in the unceded territory and arrive at Great Sioux Reservation, they would be declared hostile and U.S. Government would them make war”

# Mt. RUSHMORE



歴代大統領の彫刻で有名なMt. Rushmoreは  
Black Hillsにある

# LITTLE BIG HORNの戦い(1)



- 金鉱掘りと鉄道建設の要求により、連邦軍は7,000人のインディアン・キャンプ(婦女子を含む)を排斥にかかる
- シャーマン将軍配下の3軍(Terry-Custer軍が東から、Gibbon 将軍が西から、Crook 将軍が南から)挟み撃ちの作戦
- Custer将軍の第7騎兵隊が先行
- Custer将軍の2個中隊が1,800人のSioux、Cheyenne 連合軍と遭遇し襲撃

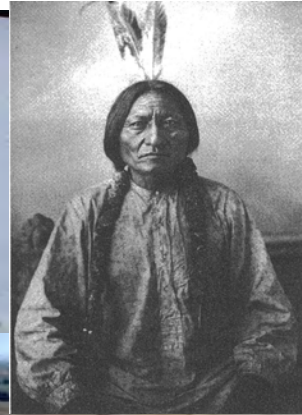
# LITTLE BIG HORNの戦い(2)



George A. Custer



1876年6月25日



Sitting Bull



- Sitting Bull Crazy Horse率いるSioux-Cheyenne連合軍1,800人に包囲されCuster率いる第7騎兵隊E、F2中隊250人が全滅
- 悲報は1876年7月4日の独立記念100年祭で沸き立つワシントンに伝えられ大問題となる
- その後、連邦軍2,500人の増員(当時の連邦正規軍の総人員25,000人)が認められ、一大掃討作戦が始まる
- 1890年12月29日のWounded Knee Massacreで遊牧indianはすべて排除され、Indian 戦争は事実上終結
- これにより偶然にも膨大な石炭資源を有する土地が連邦政府所有地となった

# 中国における石炭の重要性

- ① 全世界の石炭埋蔵量の12%。
- ② 唯一の自給可能な化石燃料。
- ③ 中国の発電電力量の80%は石炭による。
- ④ 中国で生産する石炭の50%は発電用。

中国の石炭資源の中で最大の資源量を有するのが神華炭である

# 中国最大の石炭資源---神華炭

埋蔵量	2,000億トン〔中国の石炭埋蔵量：9,500億トン〕								
炭坑	中国 陝西省・内モンゴル黄河流域。 坑内掘りながら低コスト（水平掘削可能）。 炭層3～5m、傾斜4度以下。								
生産量	<table> <tr> <td>2001年</td> <td>4000万トン</td> </tr> <tr> <td>2002年</td> <td>5000万トン</td> </tr> <tr> <td>2005年</td> <td>1億2000万トン</td> </tr> <tr> <td>2006年目標</td> <td>2億トン</td> </tr> </table> <p>・炭坑、鉄道、積出港などを急ピッチで整備中</p>	2001年	4000万トン	2002年	5000万トン	2005年	1億2000万トン	2006年目標	2億トン
2001年	4000万トン								
2002年	5000万トン								
2005年	1億2000万トン								
2006年目標	2億トン								
特徴	①低硫黄 ②低灰分 ③灰融点低い ④水分量普通								
	<p>2005年 輸出実績 : 2,300万トン(生産量の19%)</p> <p>2005年 主な輸出先 : 韓国、台湾、日本、香港 フィリピン、インド、トルコ</p>								

# 中国





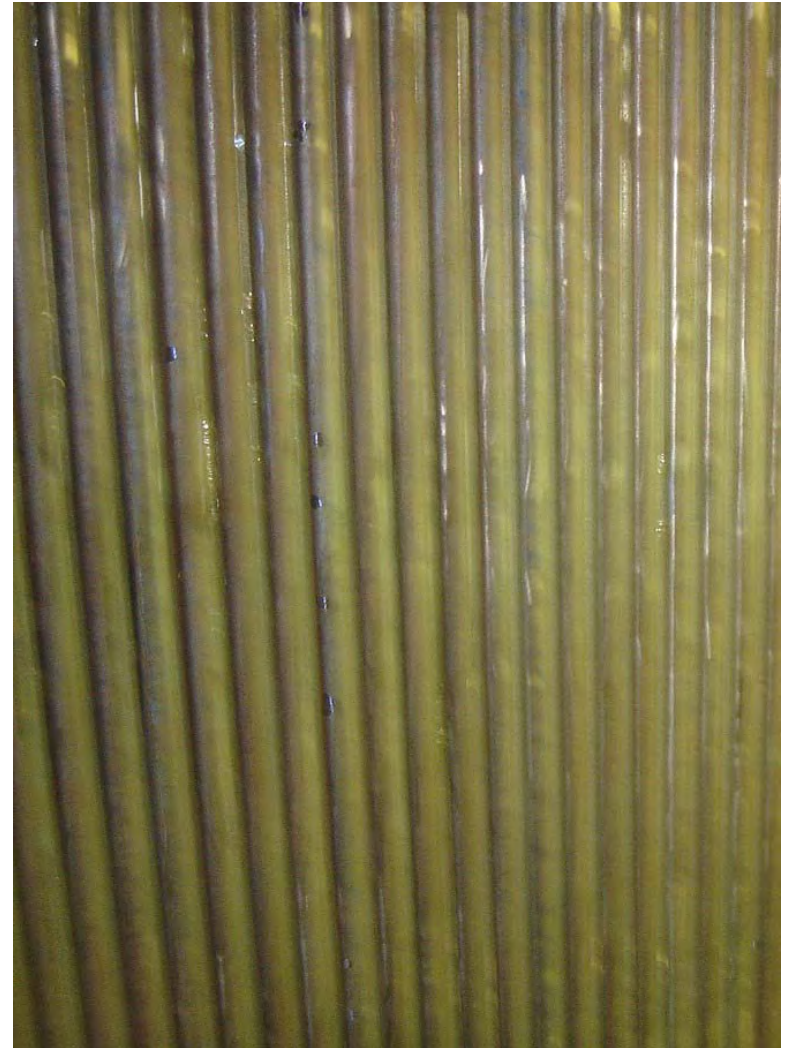
- 米国PRB炭---米国の宝
- 中国神華炭---中国の宝
- 豪州ヴィクトリア褐炭---豪州の宝

→ これらに共通した弱点あり

➤ 灰の融点が低い

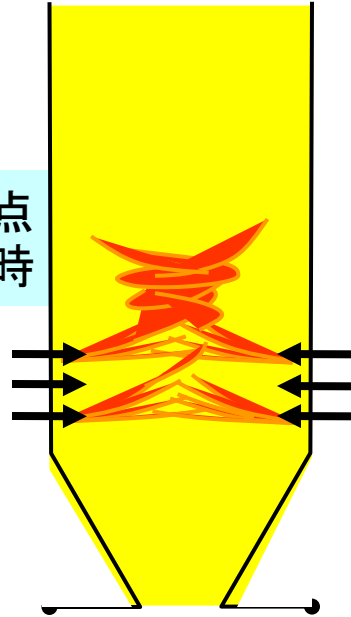
→ 通常の発電用ボイラに使用すると  
重大なトラブル発生の可能性あり

灰の融点が低い石炭をボイラで焚くと炉壁に  
灰が付着し大きなトラブルになることあり



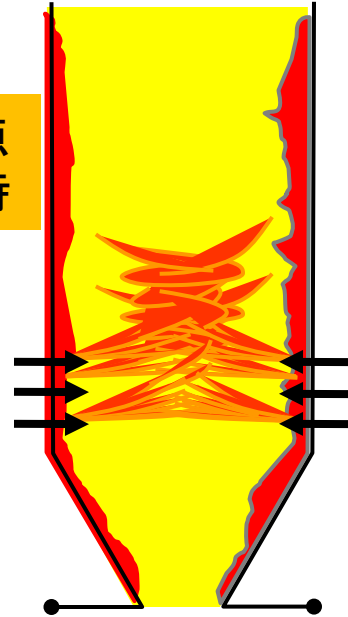
# 低灰融点石炭焼きボイラの火炉のスラッキング問題

高灰融点  
炭使用時



正常な火炉

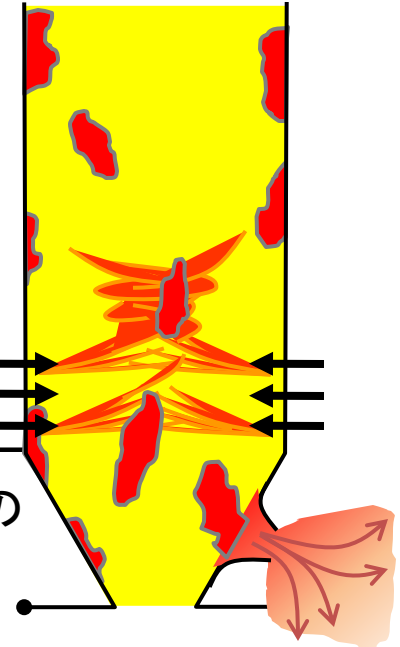
低灰融点  
炭使用時



スラッグの堆積



バーナー  
ノズルの  
閉塞

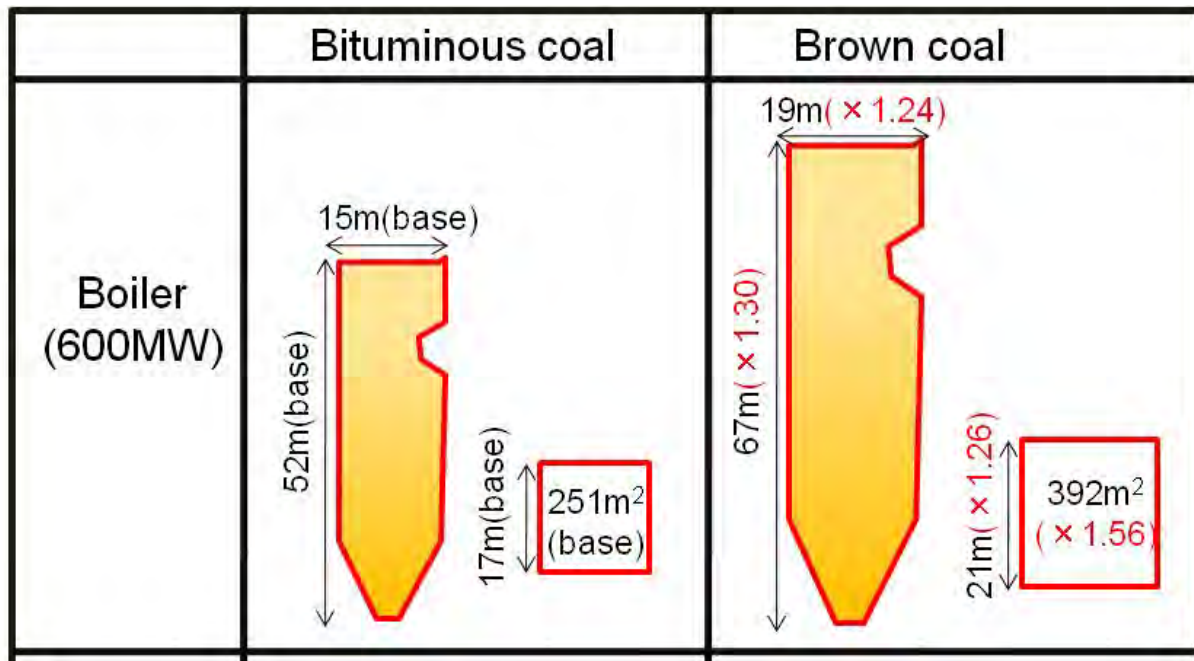


巨大スラッグの崩落

- 火炉の出力低下
- 運転の不安定化

- 落下巨大スラッグによる炉底部の破壊と高温ガス噴出

# 低配融点炭焚きボイラは巨大な火炉が必要!



2.5 倍の体積  
が必要!

褐炭  
→ 高水分  
→ 低い灰融点

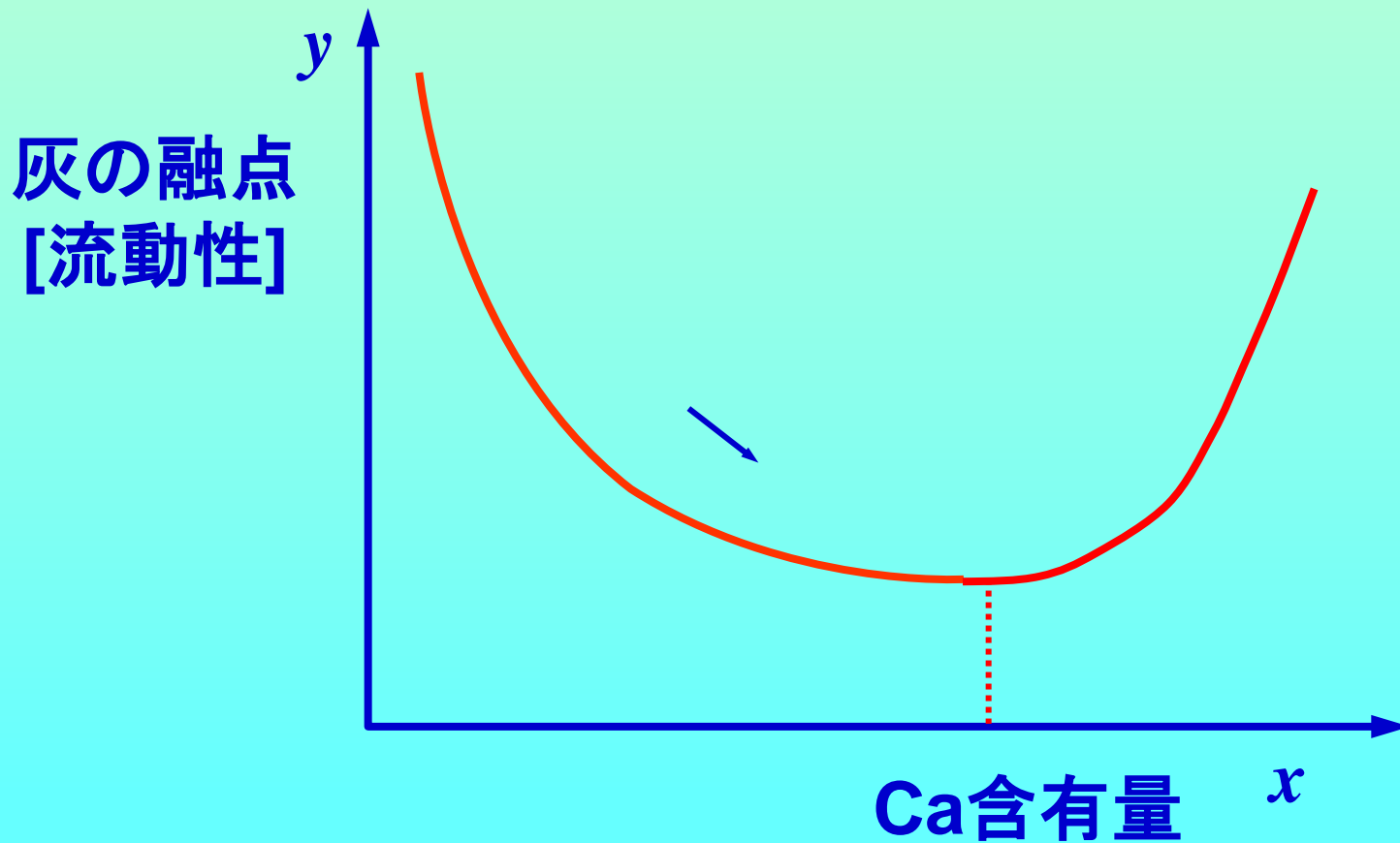
大きな火炉の  
必要性



# 褐炭・亜瀝青炭とサンゴ礁



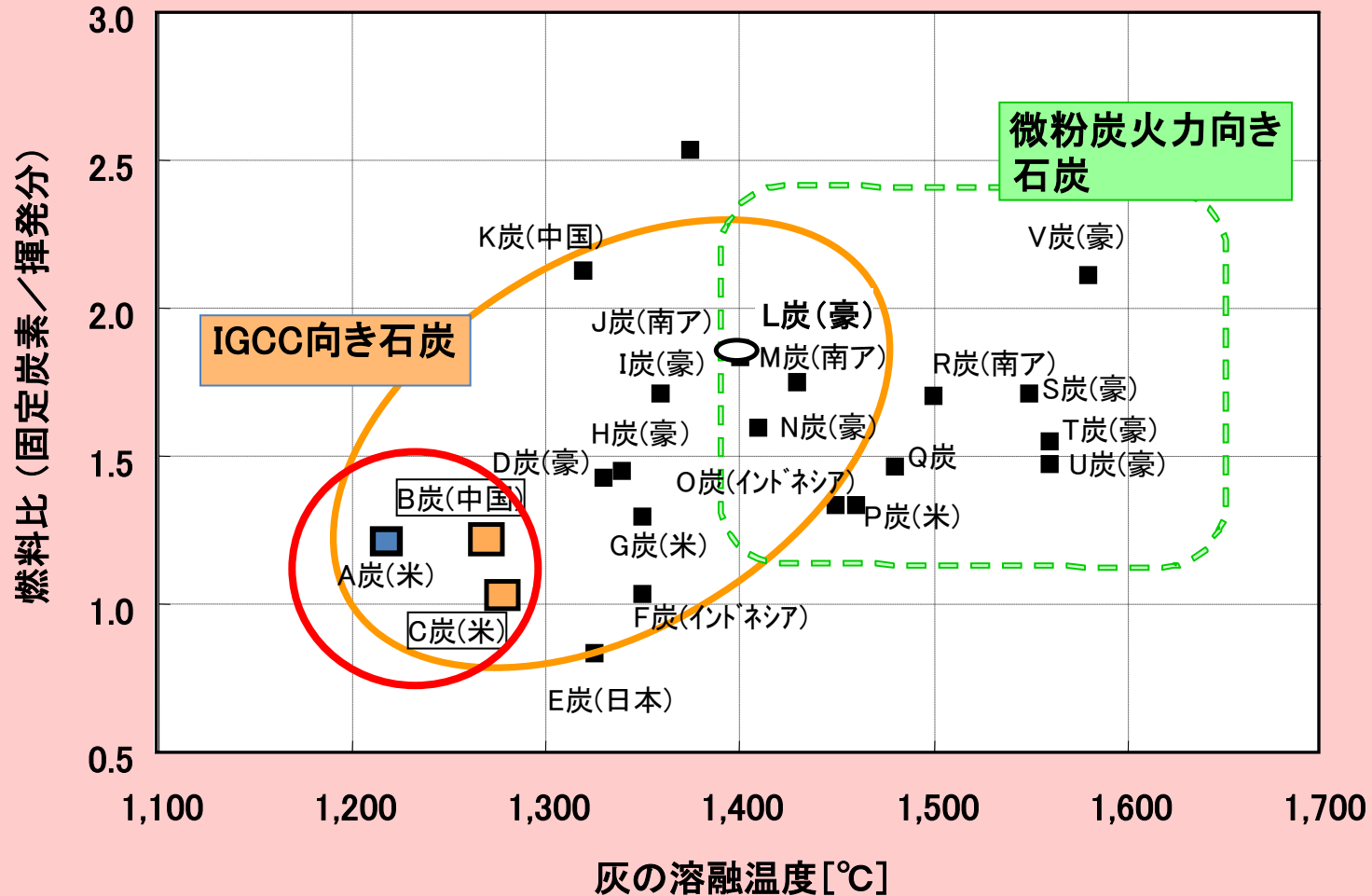
# Ca含有量と灰の融点



**大量のカルシウムを含む石炭は一般に灰の融点が高い！**

# IGCC向きの石炭と微粉炭火力向きの石炭

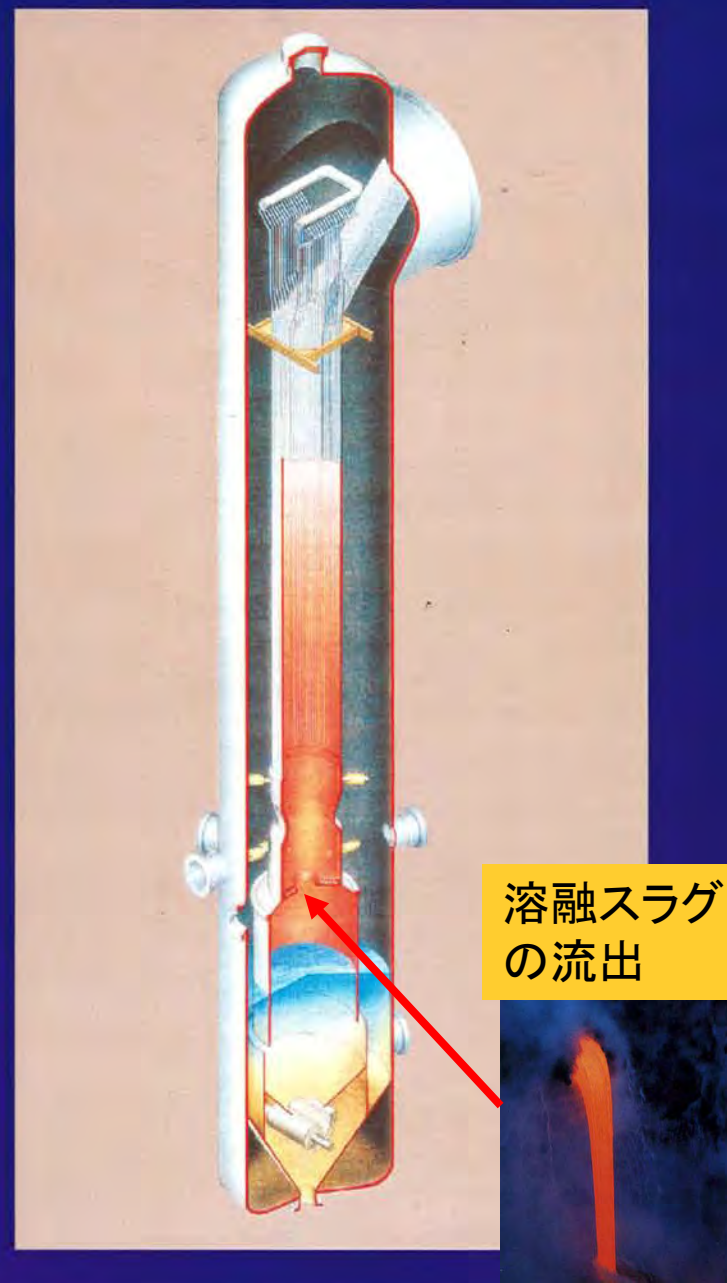
灰の融点が高いと溶融したスラグが流れ易いのでIGCCに適している



# 石炭ガス化の効用 →天然ガスとの互換性

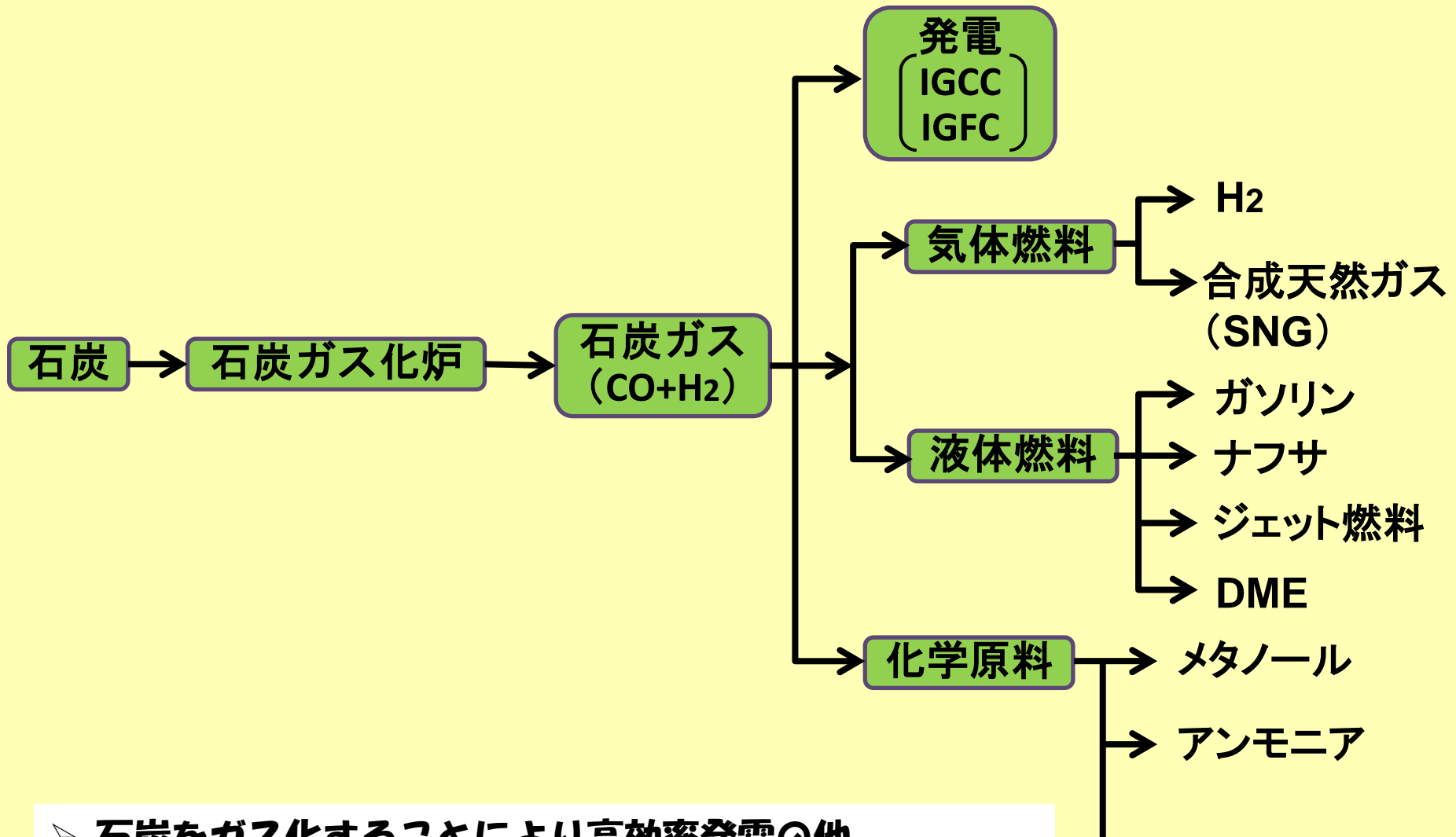
➤ 既設天然ガスコンバインド  
を石炭使用に変更も可能

- 液体燃料の製造も可能
- 低灰融点炭にはガス化  
が最適





# 石炭ガス化の用途



➤ 石炭をガス化することにより高効率発電の他、  
液体燃料製造、ガス燃料製造、化学原料製造も可能となる

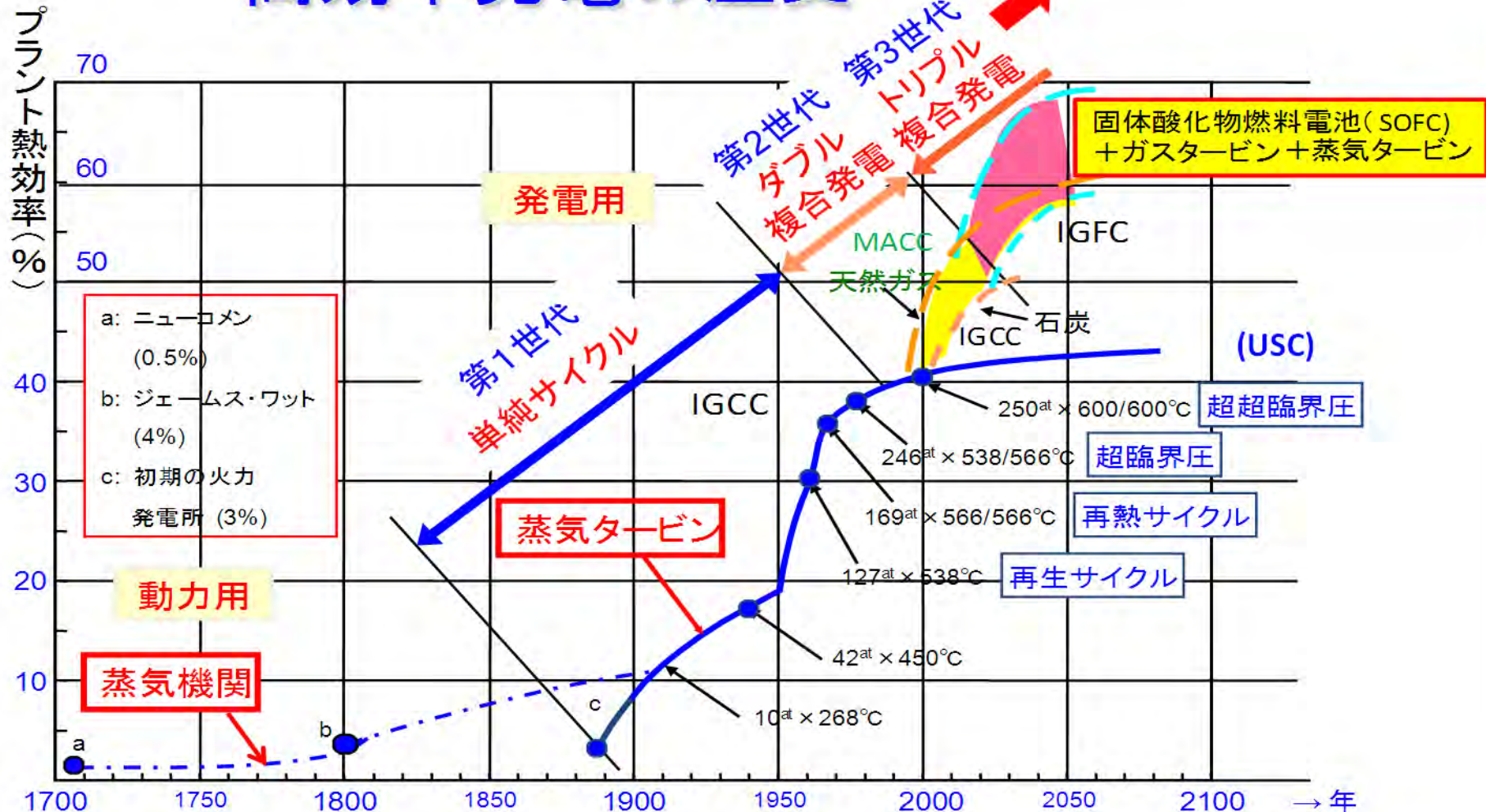
石炭を利用しながら、いかに高効率で発電し  
CO2生成量を減らすか？



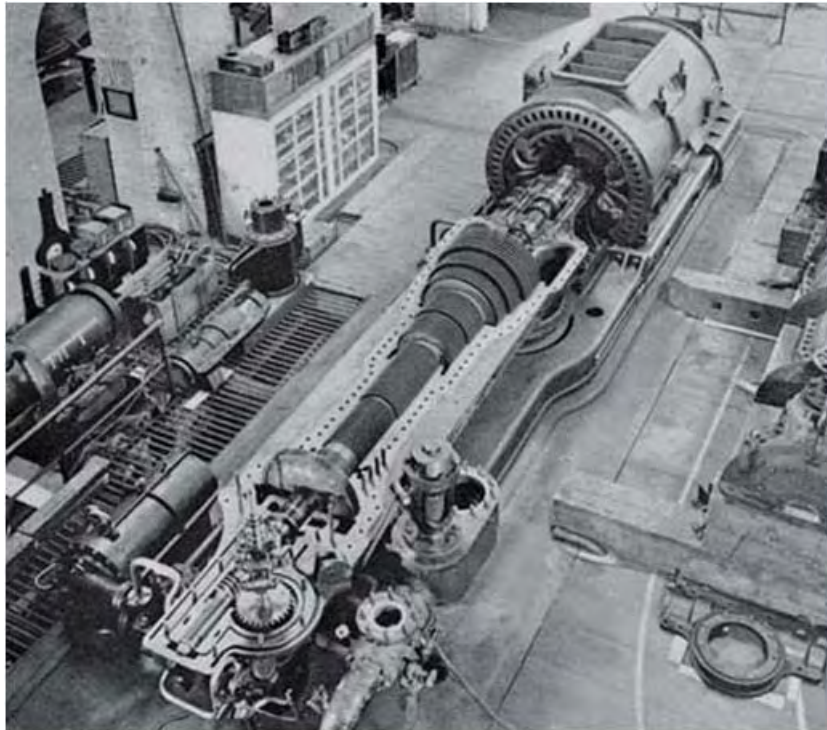
1. 火力発電の効率上昇の歴史をみると、シンプルサイクルから複合発電は歴史の流れである
2. 究極の高効率発電はトリプル複合発電である！

# 火力発電の高效率化の動向

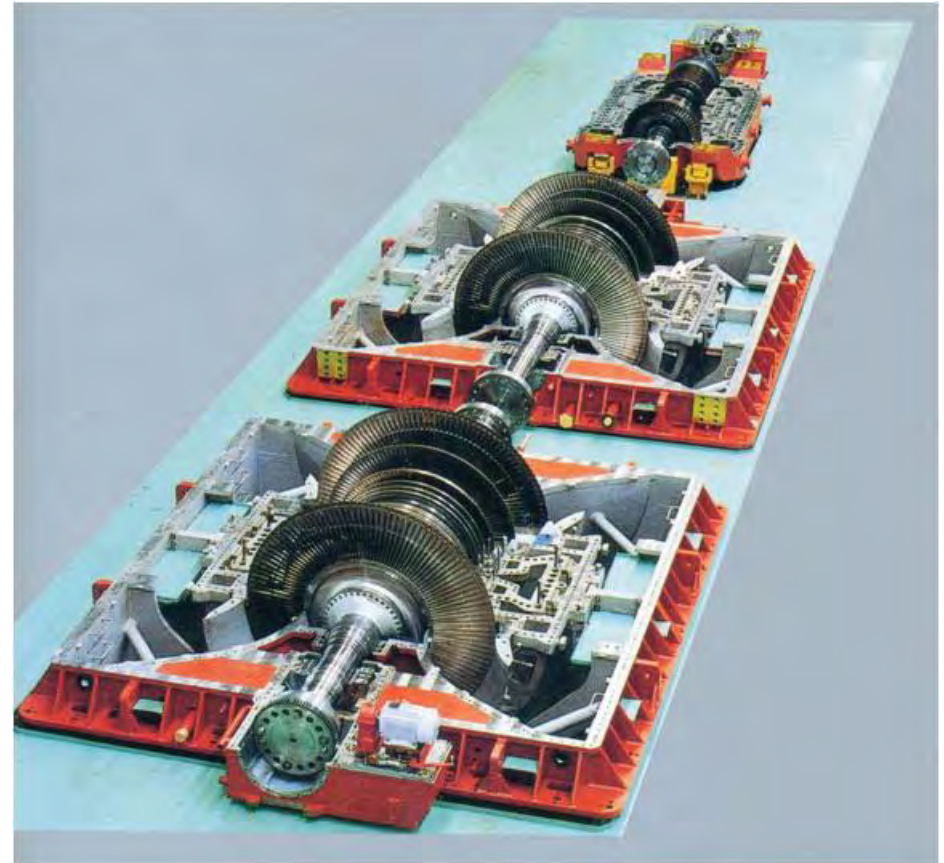
## 高效率発電の歴史



# 第1世代: 単純サイクル 蒸気タービンの時代



最初の発電用蒸気タービン: 500KW  
(1905年)



最近の発電用蒸気タービン: 700,000KW  
(1995年)

# 第2世代:ダブル複合発電:ガスタービンと蒸気タービン

## 単純サイクル

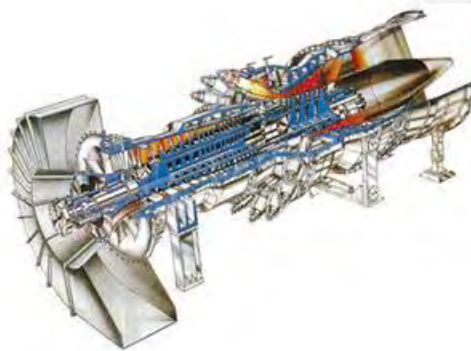
[ボイラ+蒸気タービン+発電機]



・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

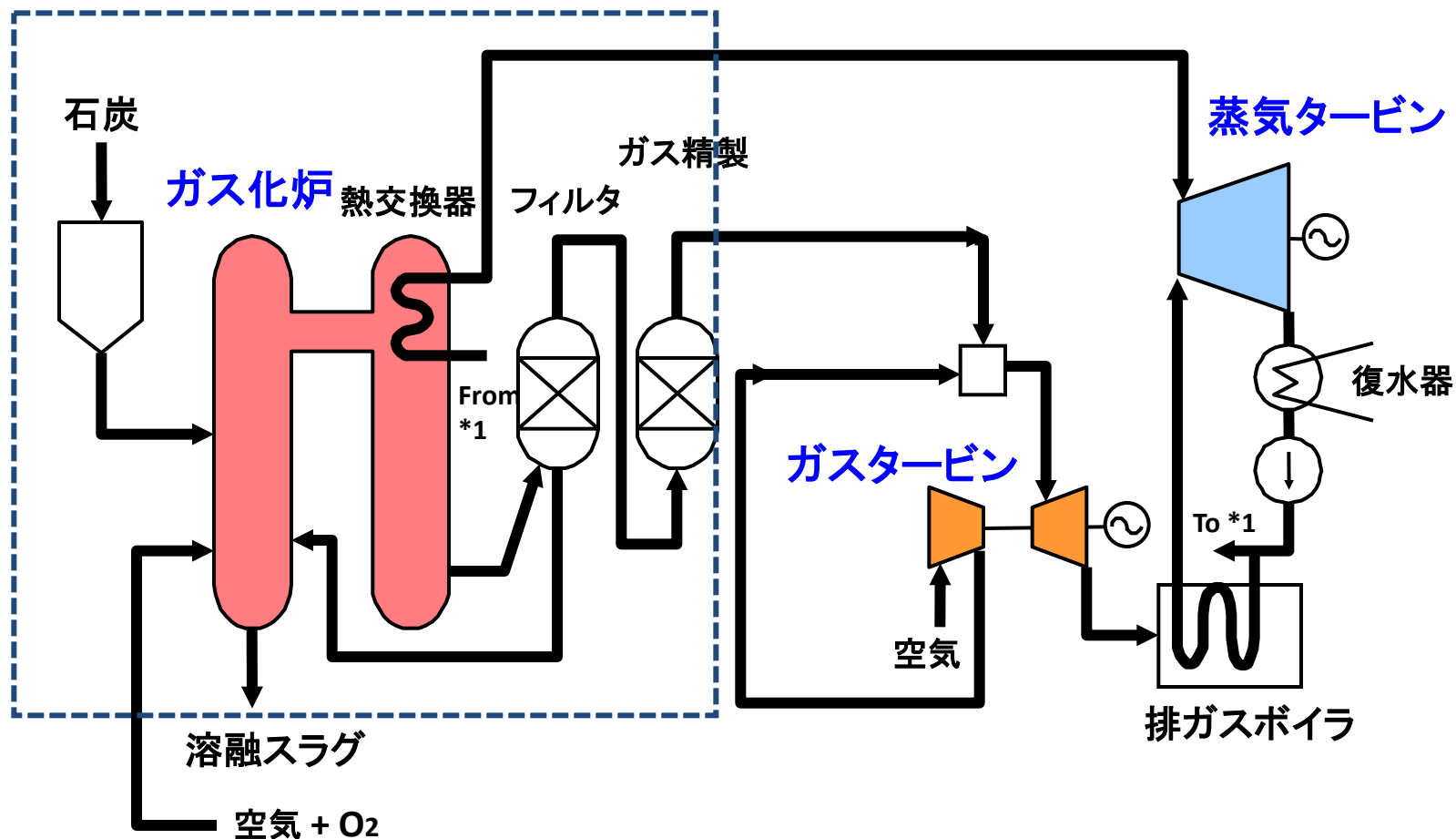
[ガスタービン+排ガスボイラ  
+蒸気タービン+発電機]



複合発電

# 第2世代: 石炭ガス化複合発電 (IGCC)

## ガス化炉およびガス精製

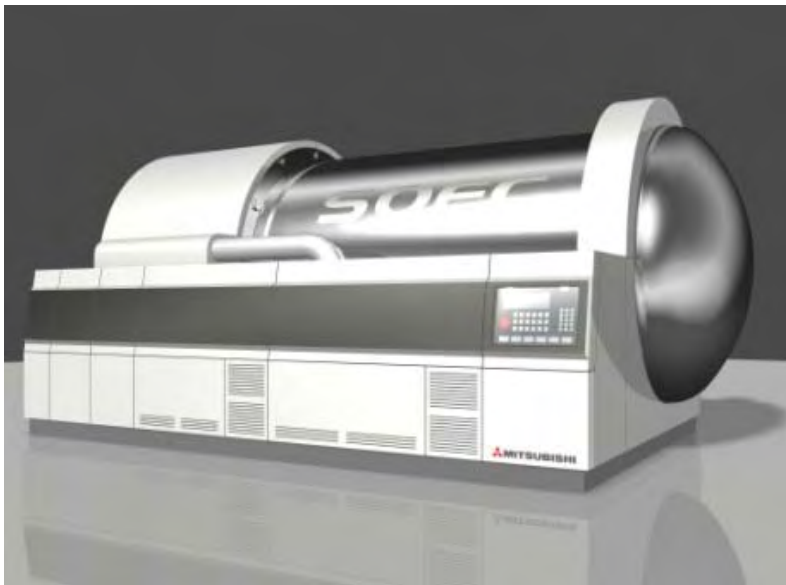


# 火力発電の今後

第3世代

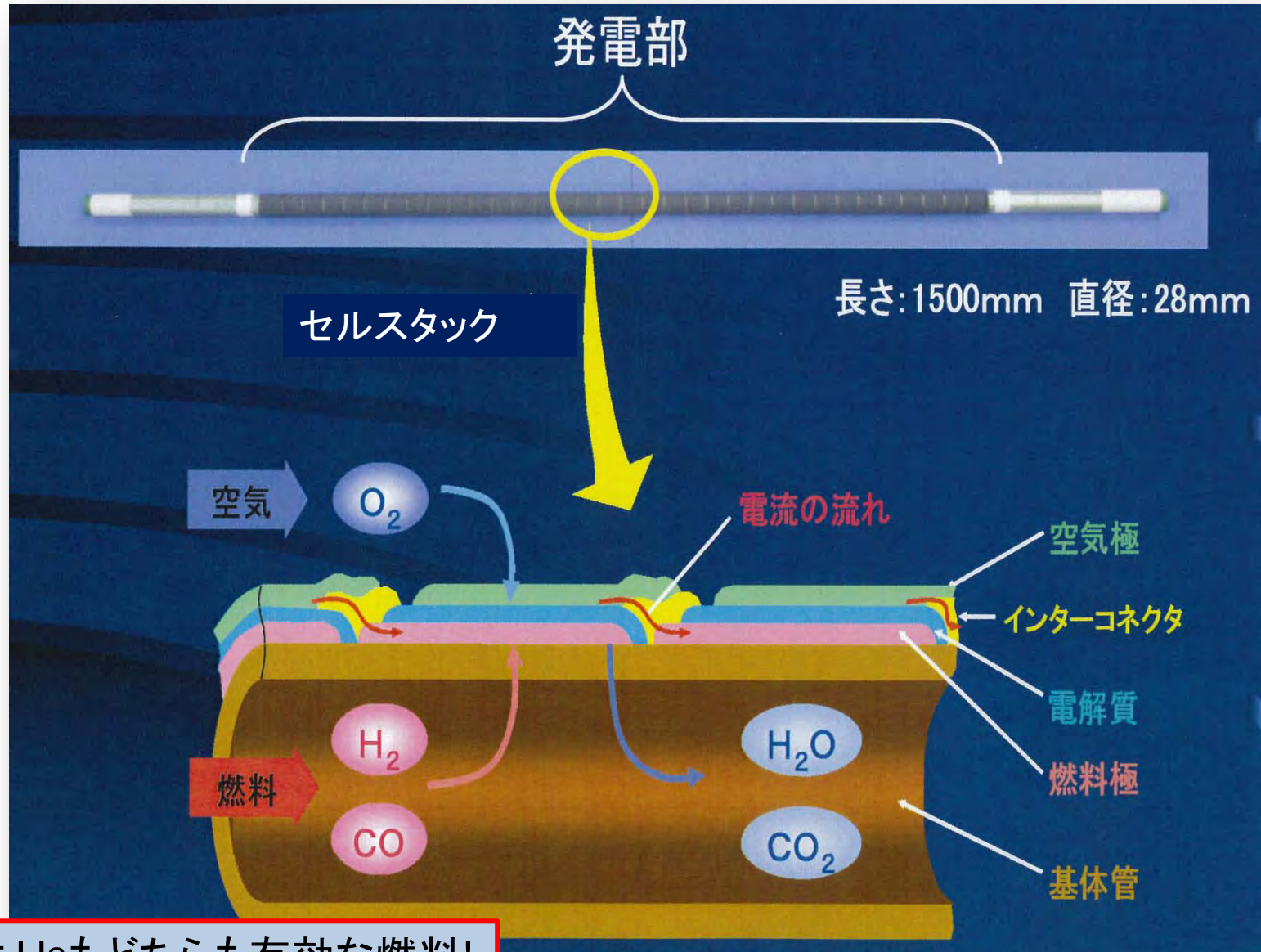
ダブル複合発電からトリプル発電へ！

高温型燃料電池(SOFC)＋ガスタービン＋蒸気タービン



2012年はトリプル複合発電元年の年！

# 高温型燃料電池：固体酸化物型 (SOFC) の構造

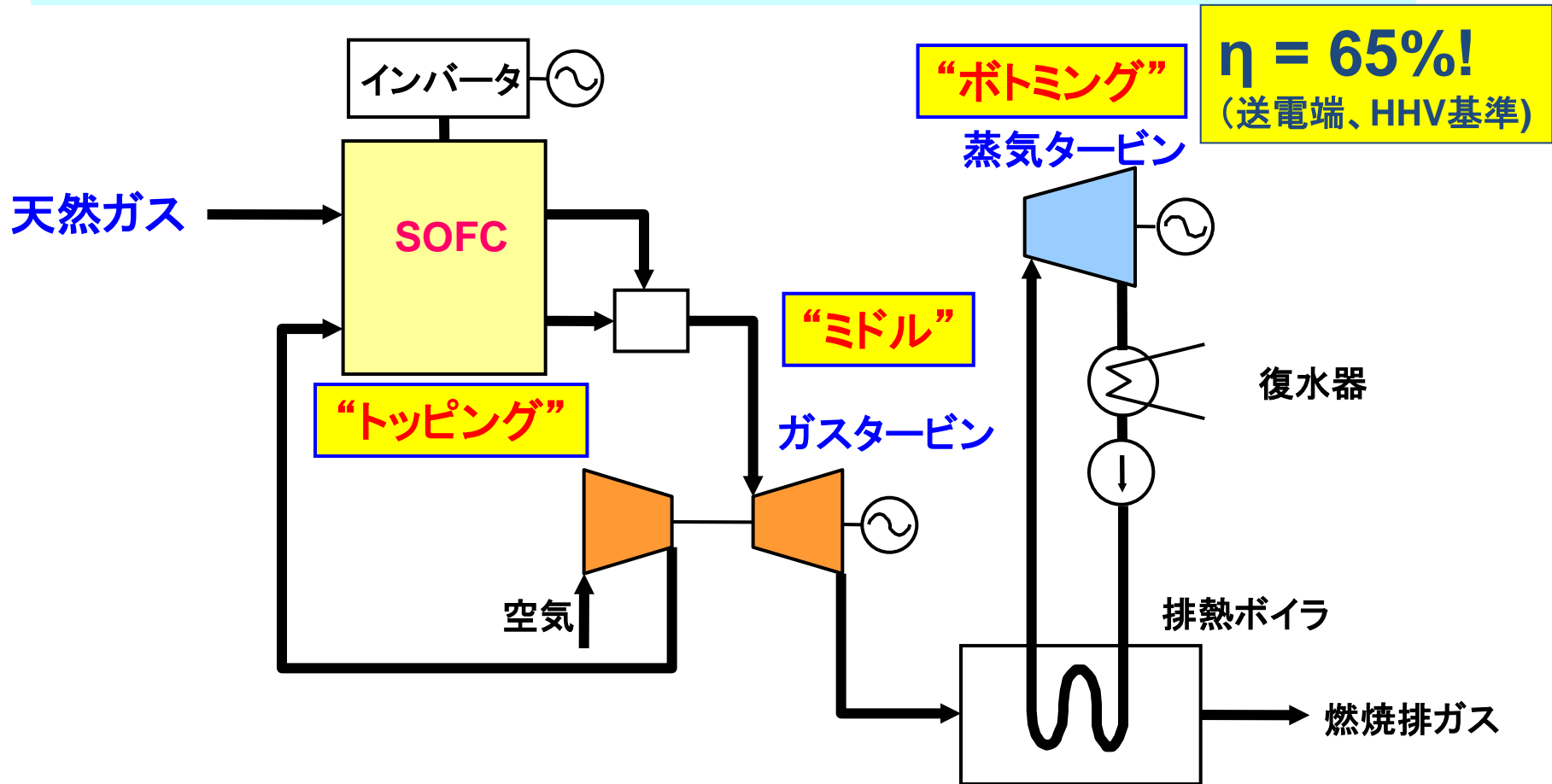


COもH<sub>2</sub>もどちらも有効な燃料!



種類	固体高分子型燃料電池 (PEFC)	固体酸化物型燃料電池 (SOFC)
燃料	H <sub>2</sub> のみ	H <sub>2</sub> , CO
作動温度	~80°C	~1,000°C
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>●低温のため複合発電不可</li> <li>●低温のため活性化にPtが必要</li> <li>●電解質は高分子膜</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●高温のため複合発電可能</li> <li>●燃料がメタンCH<sub>4</sub>などの場合エクセルギー再生により効率2割UP CH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O→CO+3H<sub>2</sub>-205kJ/mol</li> </ul>
		
用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>●燃料電池自動車</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>●大型火力発電所</li> <li>●エネファームもSOFCに</li> </ul> 

# 第3世代 : トリプル複合発電 (LNG)



## トリプル複合発電 :

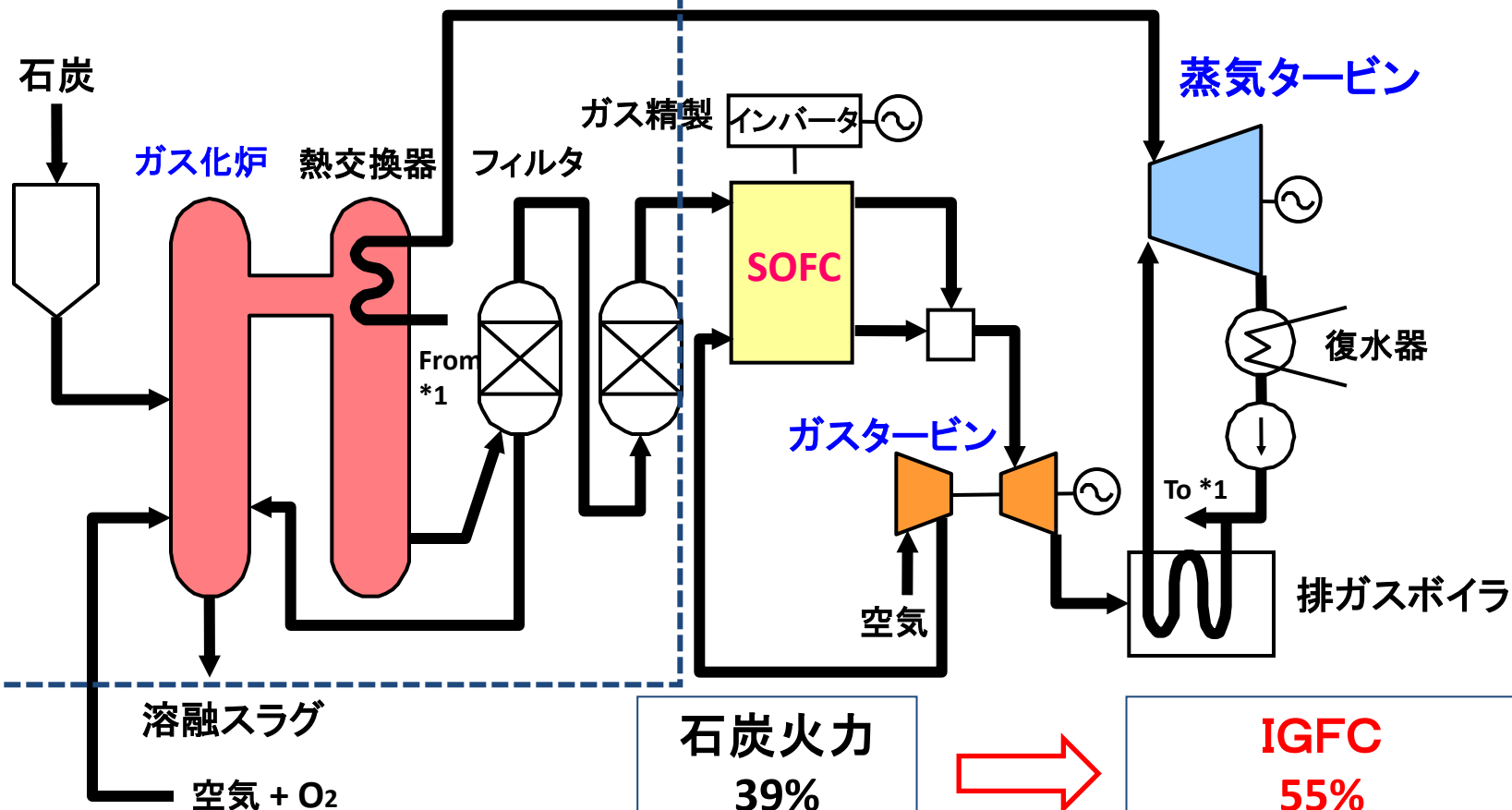
高温燃料電池 (SOFC) とガスタービン・蒸気タービンの組み合わせ

Source : Thermal & Nuclear Power (vol.52, No.10), 2001, p.129

# 第3世代：石炭ガス化トリプル複合発電（IGFC）

（石炭ガス化とSOFC、ガスタービン、蒸気タービンの組合せ）

ガス化炉およびガス精製



石炭火力  
39%

IGFC  
55%

さらに30%バイオマス混焼によりCO<sub>2</sub> 30%減  
さらに30%バイオマス混焼によりCO<sub>2</sub> 50%減

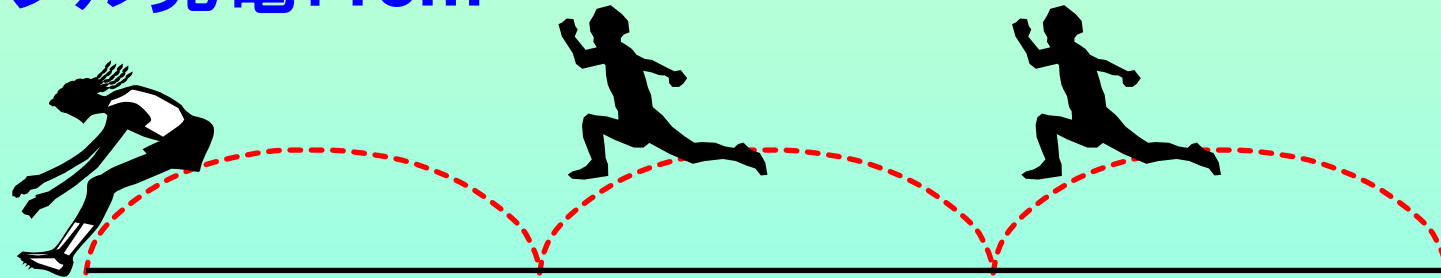


走り幅跳びのオリンピック  
優勝者でも、三段跳びの  
中学生に勝てない！

# トリプル発電は三段跳び

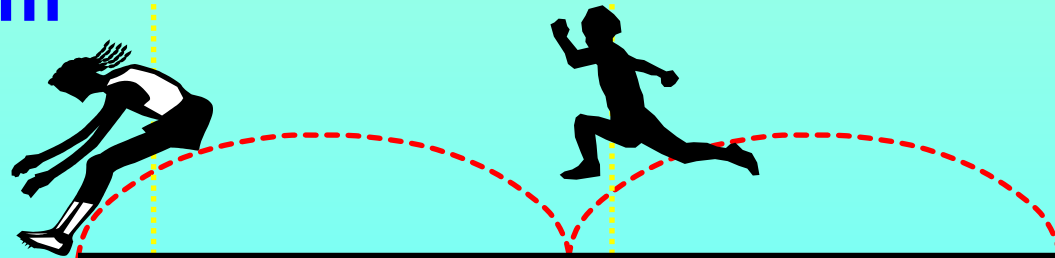


トリプル発電: 18m



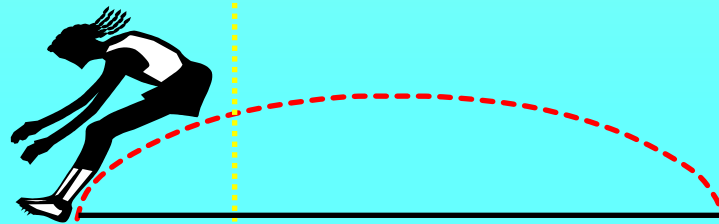
3段跳び

ダブル発電: 13m



2段跳び

シングル発電: 8m



1段跳び  
(走幅跳び)

# 高効率石炭火力の必要性

- 石炭---セキュリティ上重要だがCO<sub>2</sub>の発生量多し  
→高効率化の必要性
- 世界中が石炭で発電  
→国際協力に不可欠の技術

● 日本の最高の技術力を結集したIGCC  
クリーンコールパワー研究所 (CCP) 勿来 250MW IGCC  
---石炭を使いながら天然ガス並みのクリーンさ

➤ ガス化炉: 1700 Ton/日、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、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カ月連続運転  
(2238時間以上)

➤ 48% (送電端、HHV) の高効率が 1600°C GT で実現可能

2007.11.12



◆ 石炭ガス化技術は今が  
絶好のチャンス

◆ 特にIGCC(石炭ガス化複合発電)  
は欧米が眠っている間に日本が  
世界トップの技術力を確立

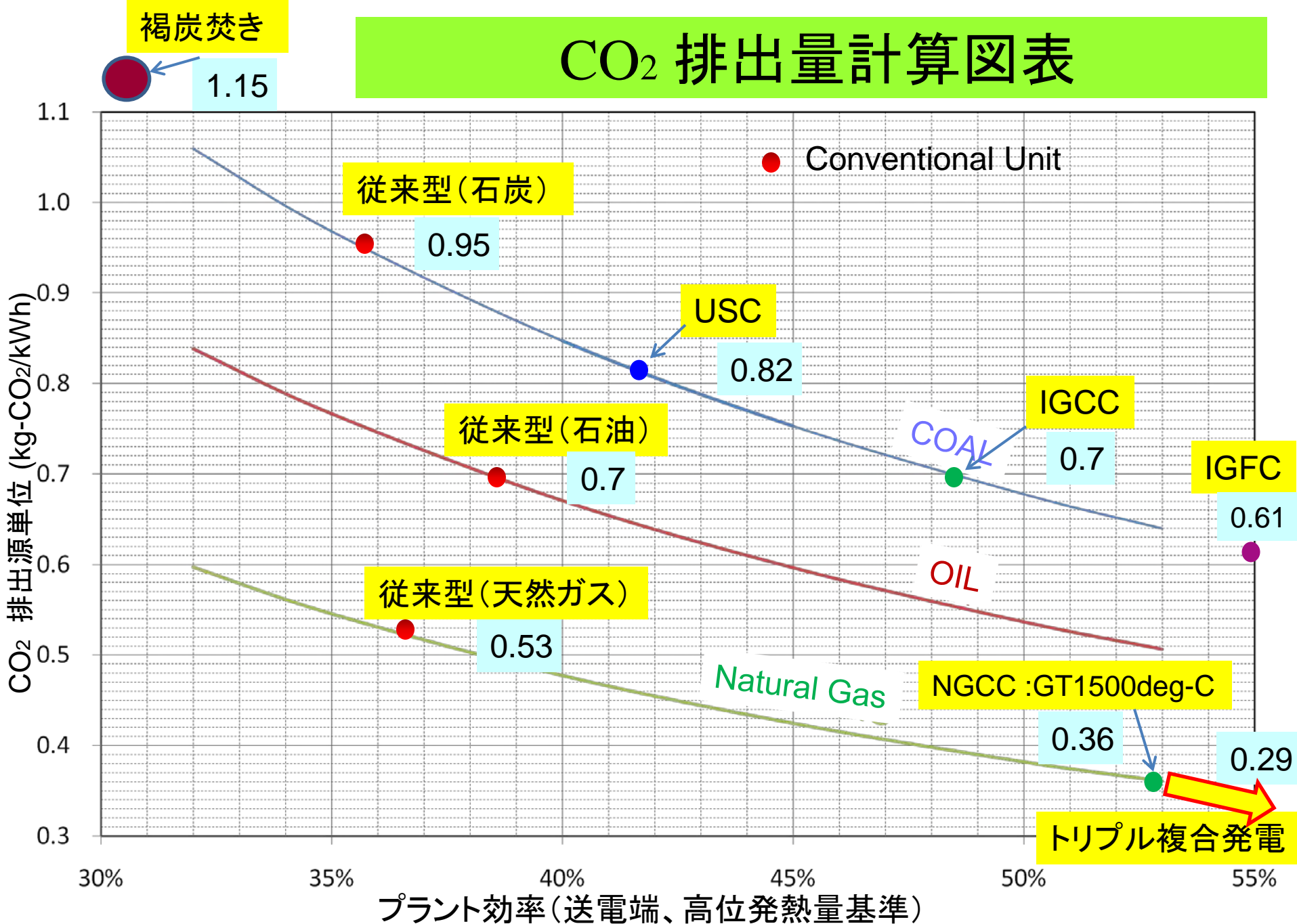
◆ しかし中国の追い上げが激しい  
→特に化学プラント用ガス化炉  
では世界最大の実績

◆ 今こそ官民国を挙げて  
取り組むべき時





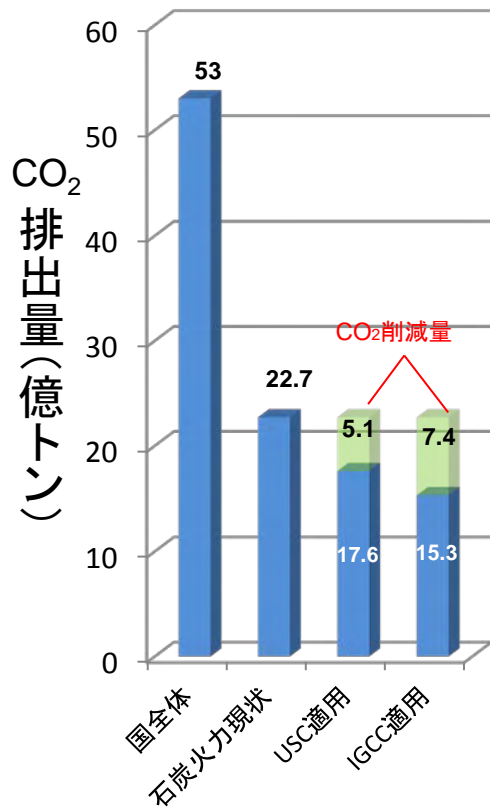
# CO<sub>2</sub> 排出量計算図表



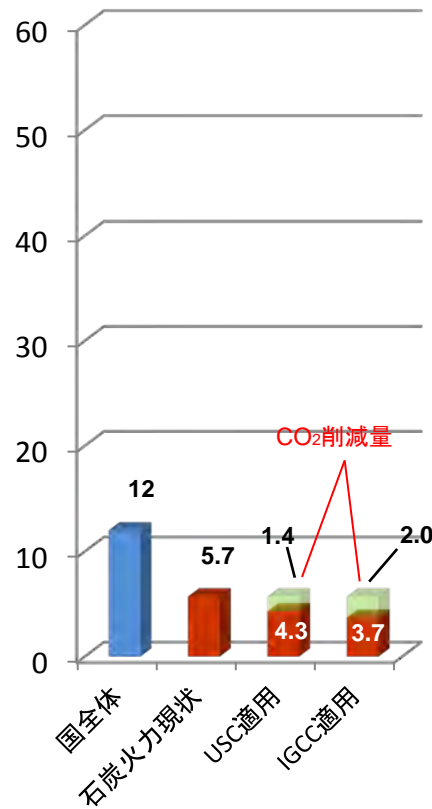
# 日本の石炭技術によるCO<sub>2</sub>削減の可能性

石炭高効率化の国際技術協力はIGCCさらにはIGFCが中心になる

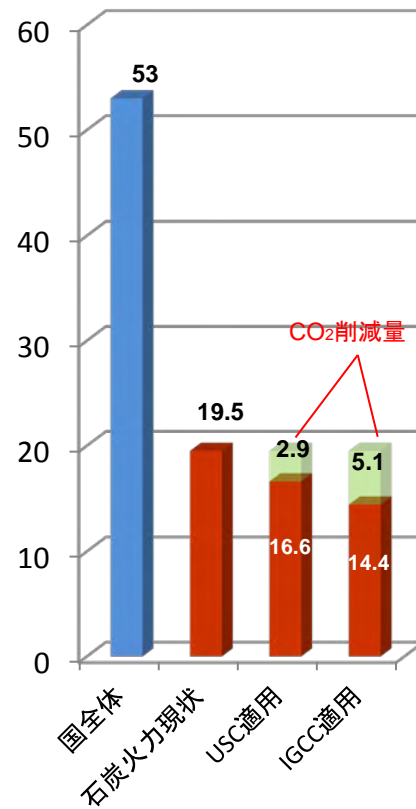
中国



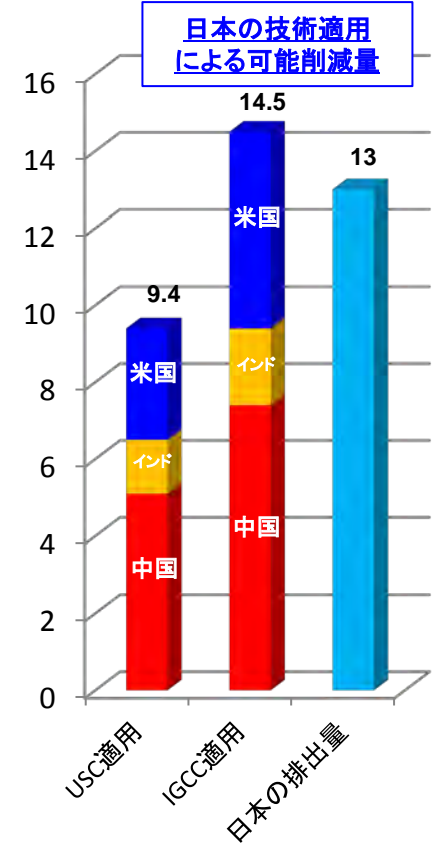
インド



米国



可能削減量



IGCCは高効率・低灰融点炭の多い中国・米国・豪州・インドネシアなどとの協力に有効!



一旦、止まると東京電力の40%(2400万KW)の電源喪失

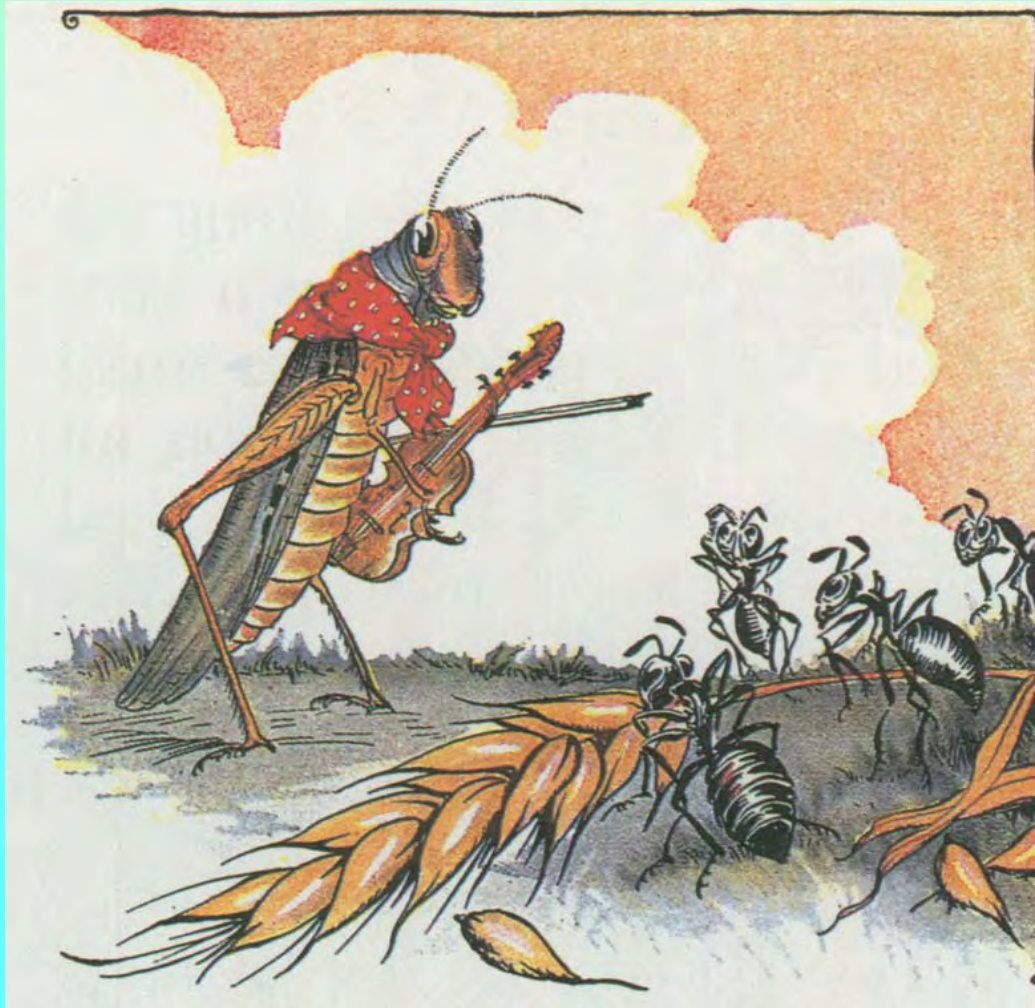
# LNG火力への過度の依存はセキュリティ上問題



LNG火力はサラブレッド → クリーンで高効率で建設費安く短納期  
→しかしLNGが来なくなったら、たちまち使用不能に！



# アリとキリギリス



キリギリス  
- 天然ガス?

アリ  
- 石炭?

# 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

# 歴史の教訓に学べ

◎油断！ ➡ オイルショックの教訓を忘れるな！

◎ガス断！ ➡ LNGの備蓄を！

➡ 石炭の有効利用

◎電断！ ➡ 停電になって初めて分かる電気の有難さ！

➤ “そのうちに……” で結局やらず

➤ いざその時になって “あの時やっておけば……”

“歴史に学んで強い意志で実行” して初めて “真の賢者” に！

# 未来は明るい！

## 提言

1. 原子力の停滞が予想される中、火力発電の比重はますます大きくなる
2. 大規模火力発電の意義は徹底した高効率化とクリーン化にある
3. 第1世代の蒸気タービン単独の時代から、今や第2世代のダブル複合発電の時代に完全に突入した
4. 現時点で第3世代のトリプル複合発電の開発実用化を急ぐべきである
5. トリプル複合発電こそ地球温暖化防止と貴重な化石燃料の有効利用をはかる唯一の解決策である
6. 燃料については天然ガスに偏重することなく石炭の利用も重要。  
“一つのバスケットにすべての卵を入れてはならない”
7. 今こそ行動の時である。このエネルギー激動の時代には将来を見据えた、思い切った新技術への投資が必要！旧態依然たる姑息な技術を踏襲してはならない！

*Thank you!*

*The End*