



令和6年7月19日（金）
第121回ふら村塾

国民生活を支える「石炭」の話

一般財団法人カーボンフロンティア機構
富田 新二

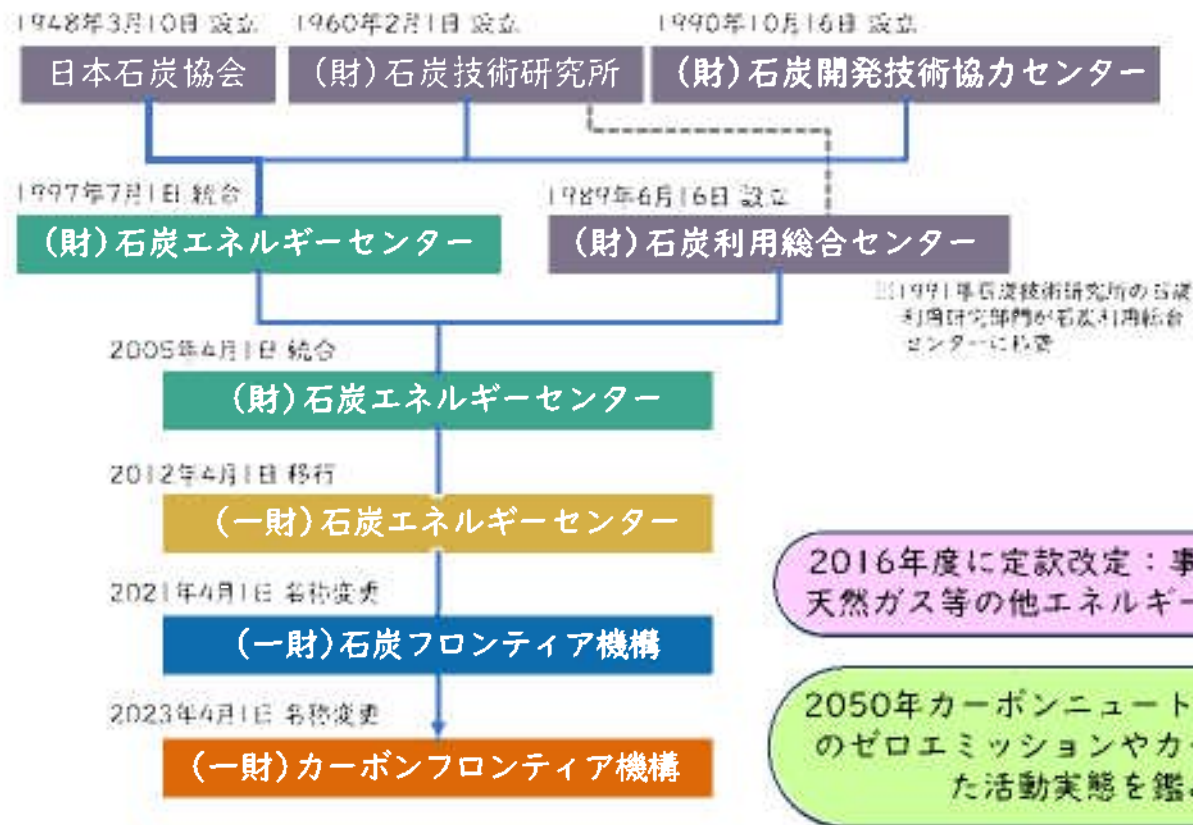
一般財団法人カーボンフロンティア機構



(旧) Japan Coal Energy Center (JCOAL)

(新) Japan Carbon Frontier Organization with Innovative Technologies (JCOAL)

沿革



会員企業 148社/団体 (2024.6.18現在)
(特号会員11、1号会員13、2号会員41、3号会員83)

- 石炭とは
特徴、生成、種類、使い道
- 現在の石炭事情
世界の事情、日本の事情
- 石炭の採掘～輸送～利用
- 石炭の将来

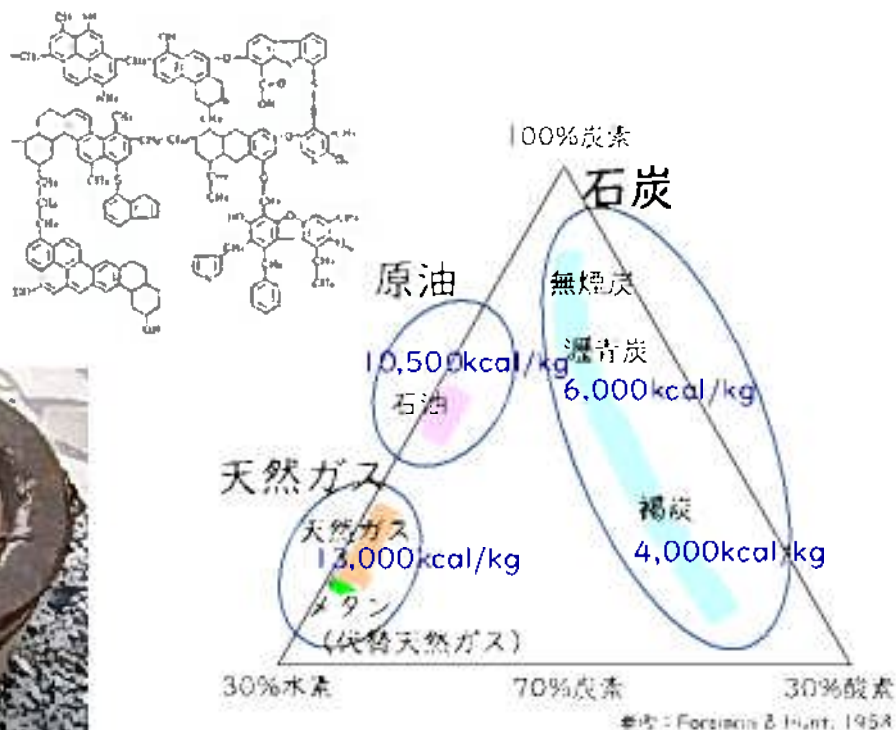


石炭とは



- ▶ 燃える（主に炭素分が燃焼→二酸化炭素を出す）
- ▶ 固体（植物が地中に埋没し、地圧や地熱の影響を受けて石炭となる【石炭化】）
- ▶ 軽い（密度約 $1.2\sim 1.5\text{g/cm}^3$ →普通の岩石の約半分）
- ▶ 日本に欠かせないエネルギー（年間輸入量約1億6,400万トン（2023年度）。製鉄、発電、セメント燃料などに使われる）

鉄鉄1トン生産に石炭0.8~1トンを使う
セメント1トン生産に石炭0.1トンを使う
(セメントには石炭灰も使われる)



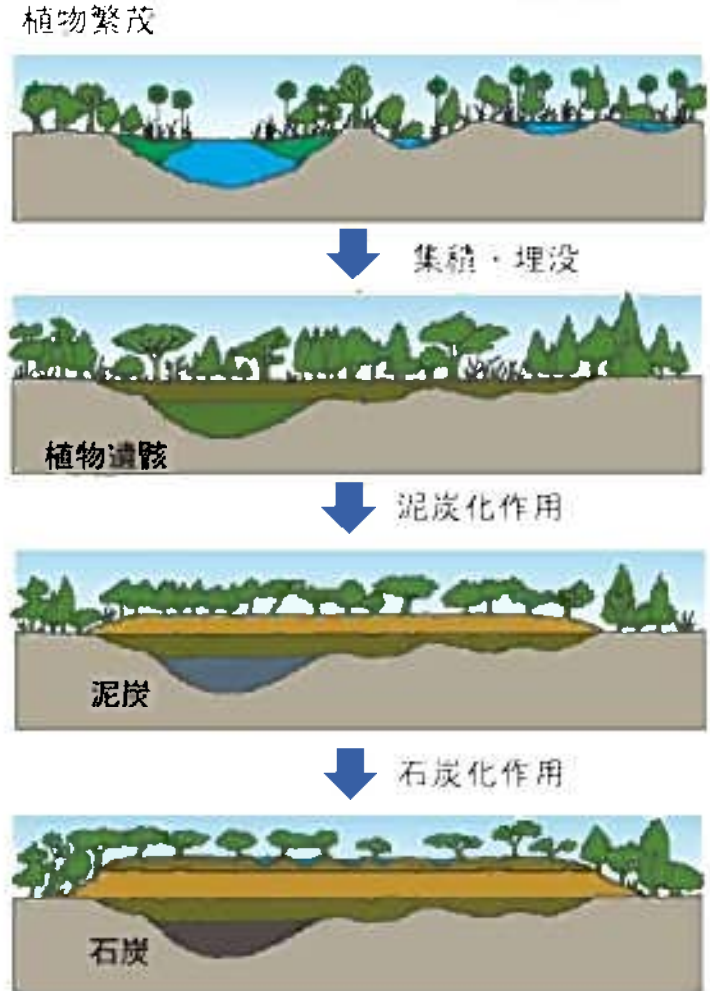
石炭とは



石炭はバイオマス資源！

- 石炭は、大昔の**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できたもの
- 泥炭化作用と石炭化作用という過程を踏まえて植物から石炭になる
- 泥炭がさらに深く埋没すると、長い年月をかけて、地下の圧力と地熱の影響を受けて石炭に変化する

原料（植物） + 高い温度 + 高い圧力 + 時間



出典：石炭の研究と利用のしおり

石炭の生成時期



地質時代		年代	日本	中国	インド	豪州	南ア	ドイツ	英国	ロシア	米国	南極
新生代	第四紀	170万年前～現在										
	第三紀	新第三紀	2400万～170万年前	■		■	■		■		■	
		古第三紀	6500万～2400万年前	■	■	■			■		■	■
中生代	白亜紀	1億4600万～6600万年前						■	■	■	■	
	ジュラ紀	2億800万～1億4600万年前		■	■	■			■	■		
	三畳紀	2億4500万～2億800万年前	■	■		■	■	■				■
古生代	ペルム紀	2億9000万～2億4500万年前		■	■	■	■	■		■		■
	石炭紀	3億6300万～2億9000万年前		■				■	■	■	■	
	デボン紀	4億900万～3億6300万年前								■		
	シルル紀	4億3900万～4億900万年前										
	オルドビス紀	5億1000万～4億3900万年前										
	カンブリア紀	5億7000万～5億1000万年前										
先カンブリア時代		46億～5億7000万年前										

出典：世界の石炭資源（注：ロシアは旧ソ連地域含む）

石炭の分類



①炭素の濃縮の程度：植物がどれだけ石炭化されたか



②用途

原料炭

コークス製造 → 製鉄

一般炭

発電燃料、セメント燃料など

無煙炭

練炭、還元剤、焼結、電極原料など

③粘結性

粘結炭

非粘結炭

強粘結、弱粘結、微粘結という表現も使われる



石炭の利用：発電



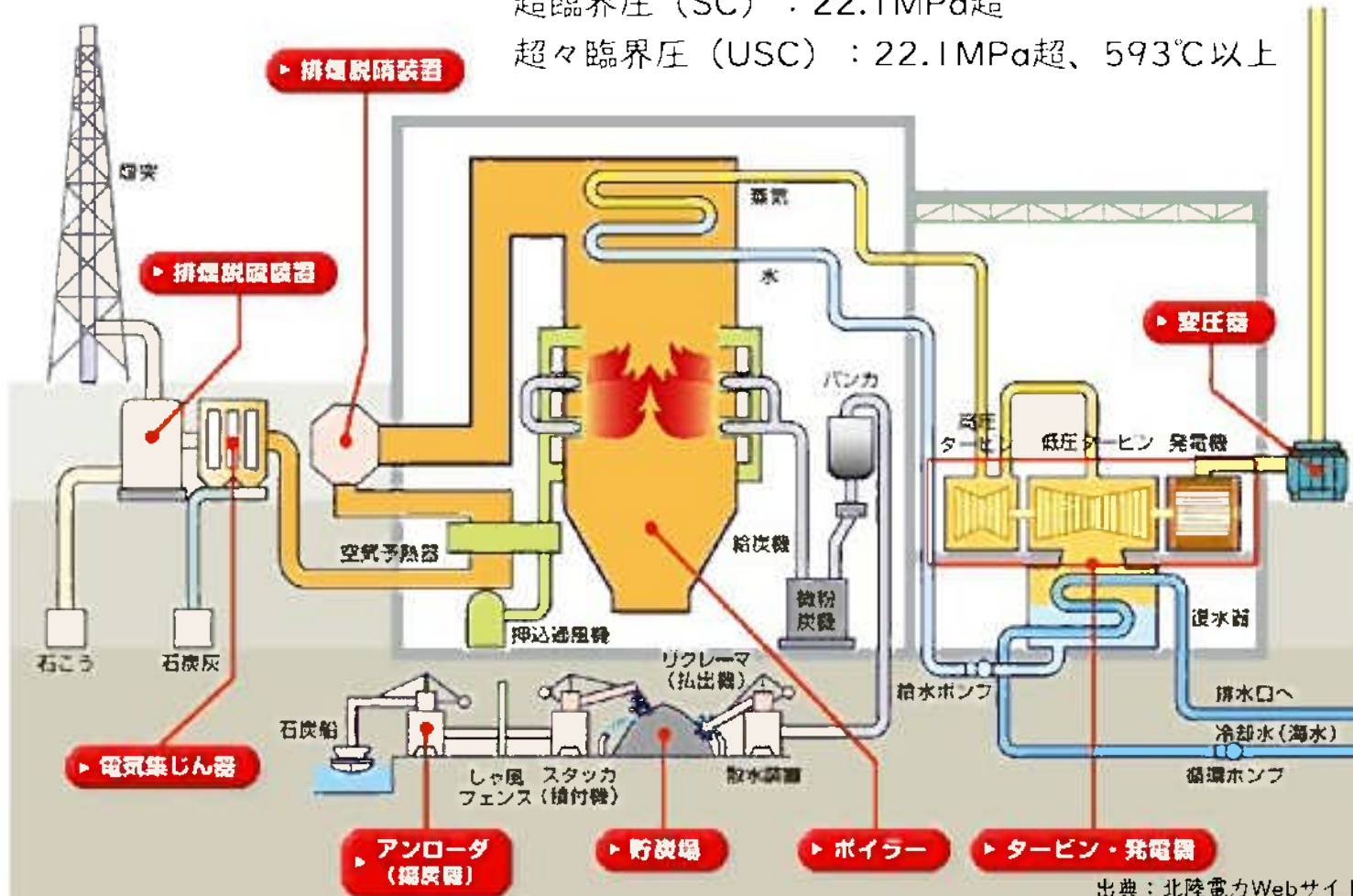
微粉炭火力発電所

蒸気・圧力が高くなれば発電効率がUP

亜臨界圧 (Sub-C) : 22.1MPa以下

超臨界圧 (SC) : 22.1MPa超

超々臨界圧 (USC) : 22.1MPa超、593℃以上

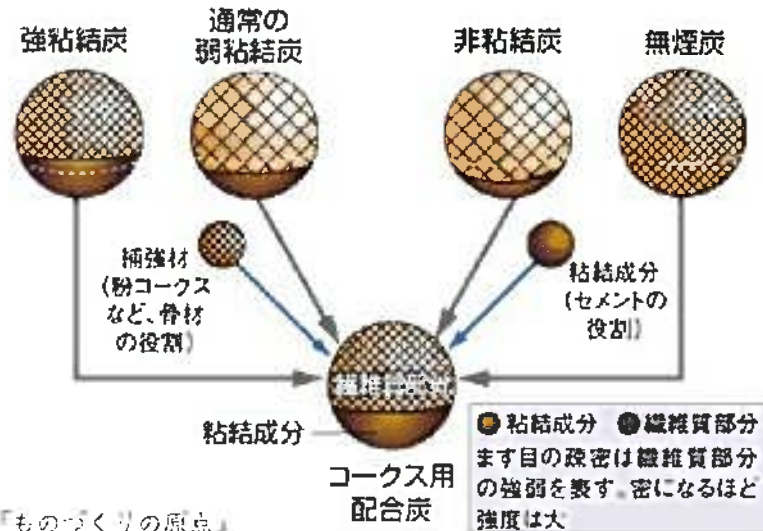
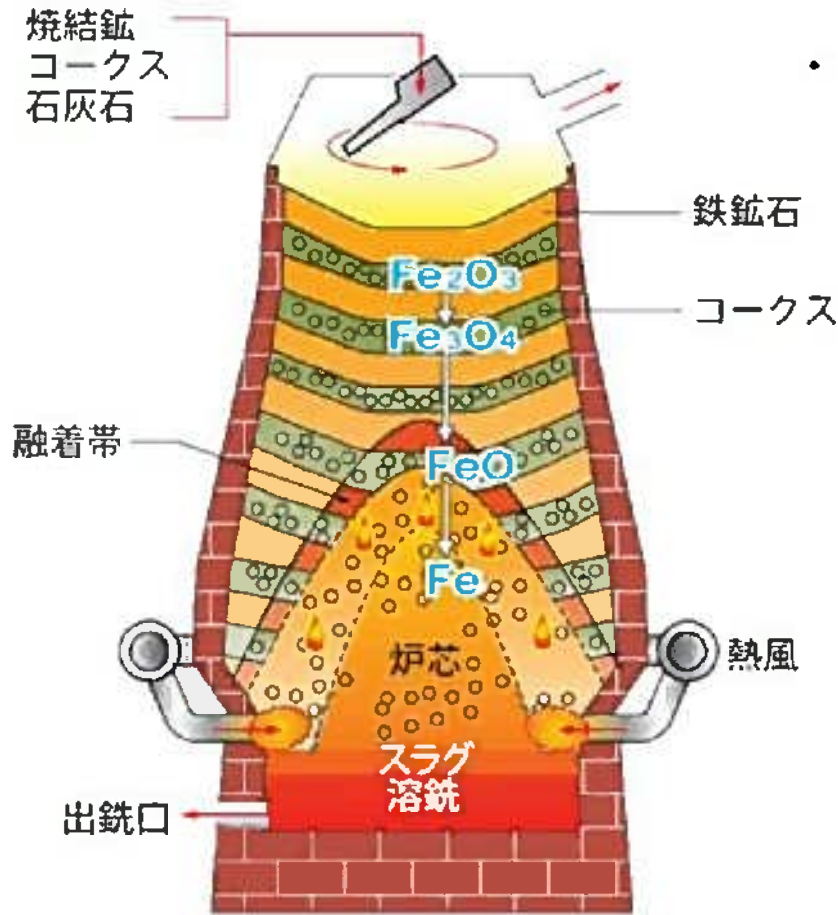


石炭の利用：製鉄



鉄の原料となる銑鉄をつくる

- 鉄鉱石は酸化鉄なので、酸素を取り除くためにコークスを利用する
- コークスは石炭（主に原料炭）を蒸し焼きにしたもので、熱を加えると一酸化炭素が発生し、酸素と結びつき、二酸化炭素となって排出される



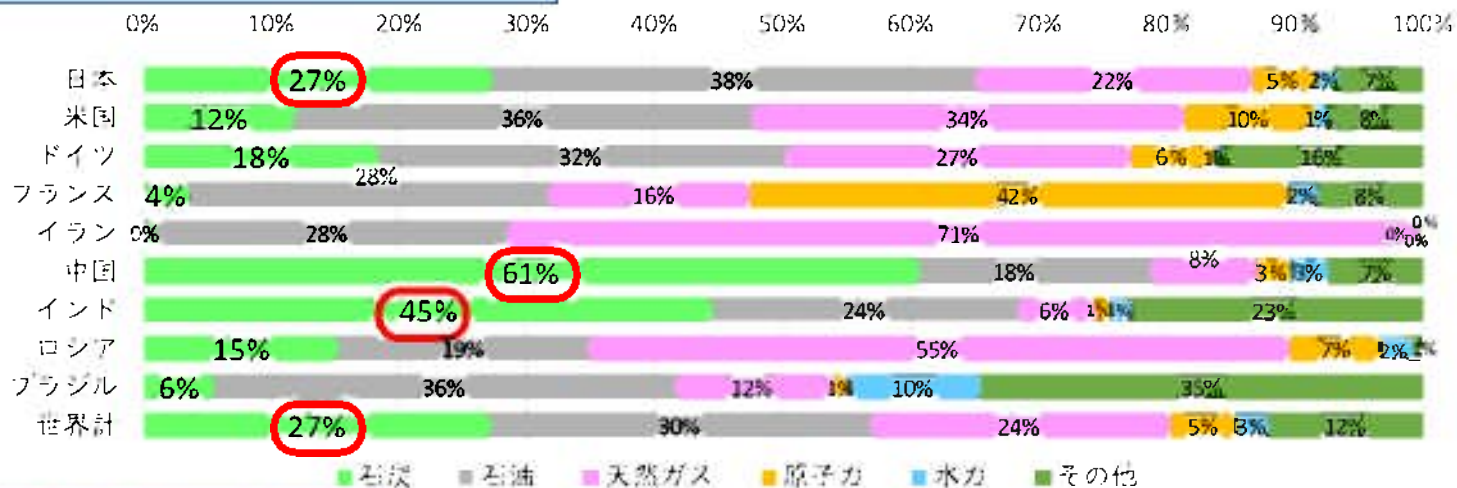
出典：日本製鉄「ものづくりの原点」

エネルギー資源としての石炭

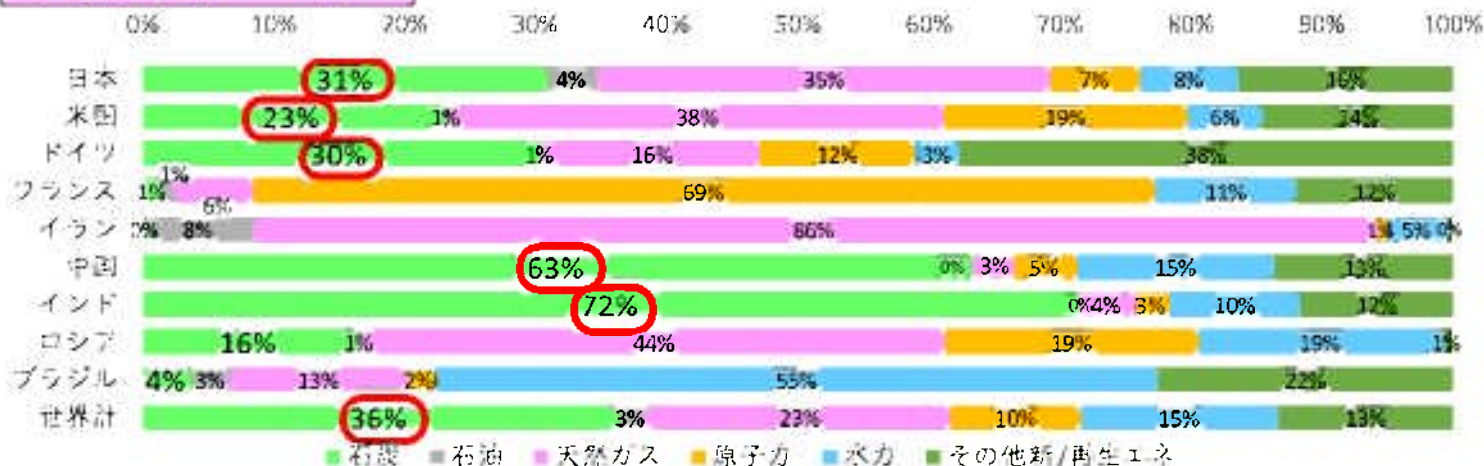


一次エネルギー供給 (2021年)

一次エネルギーの1/4以上、電源構成の1/3以上を占める。



電源構成 (2021年)



出典: IEA World Energy Statistics and Balances 2023

世界の石炭埋蔵量



世界の確認可採埋蔵量(2020年) 1兆741億トン

可採年数
139年

欧州 1,372億トン
(12.8%)

ドイツ 359億
ウクライナ 344億
ポーランド 284億
トルコ 115億

CIS 1,907億トン
(17.8%)

ロシア 1,622億
カザフスタン 256億

北米 2,567億トン
(23.9%)

アメリカ 2,489億
カナダ 66億

中国 1,432億トン
(13.3%)

インド
1,111億トン
(10.3%)

日本
3.5億トン
(0.03%)

その他アジア・
オセアニア 201億トン
(1.9%)

中南米
137億トン
(1.3%)

インドネシア
349億+
(3.2%)

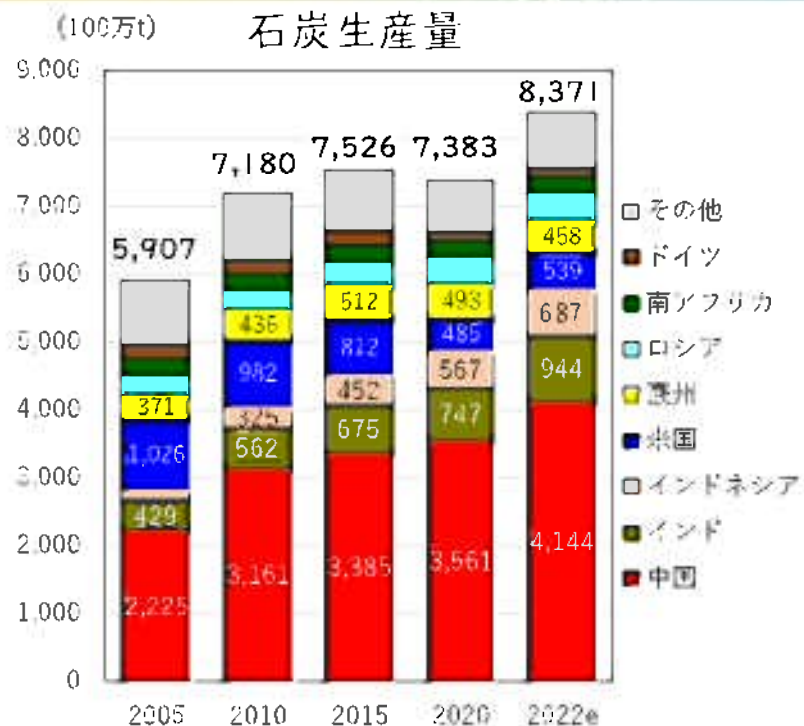
オーストラリア
1,502億トン
(14.0%)

アフリカ・中東
160億トン(1.5%)
南アフリカ 99億

出典: Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023

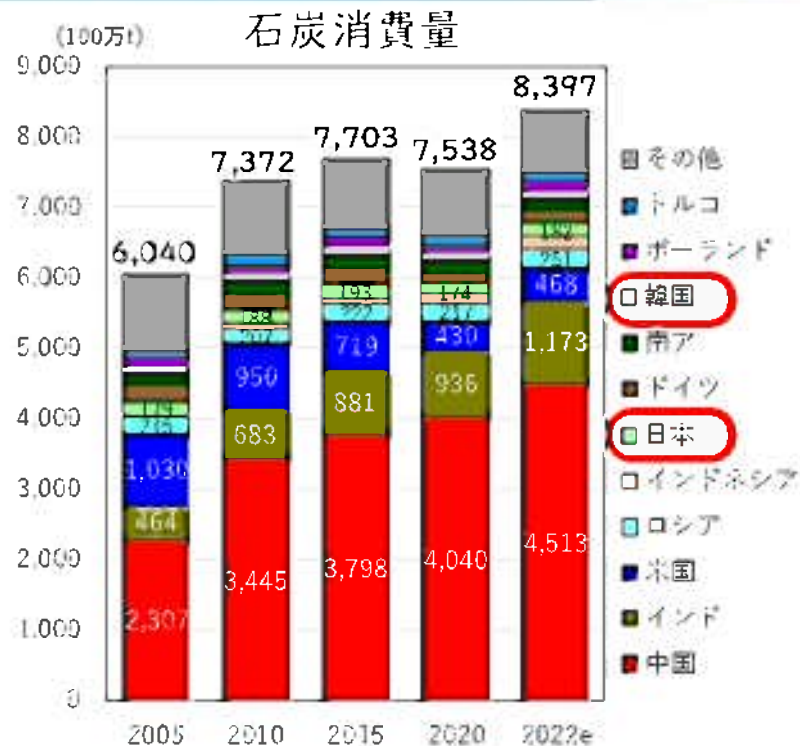
石油は・・・中東48.3%、中南米18.7%、北米14.0%、CIS8.4%、アフリカ7.2%、その他3.4%

世界の石炭生産量／消費量



出典：IEA Coal Information 2023

- 中国が半分を占める
- 上位5カ国で全体の約8割
- まだまだ増加



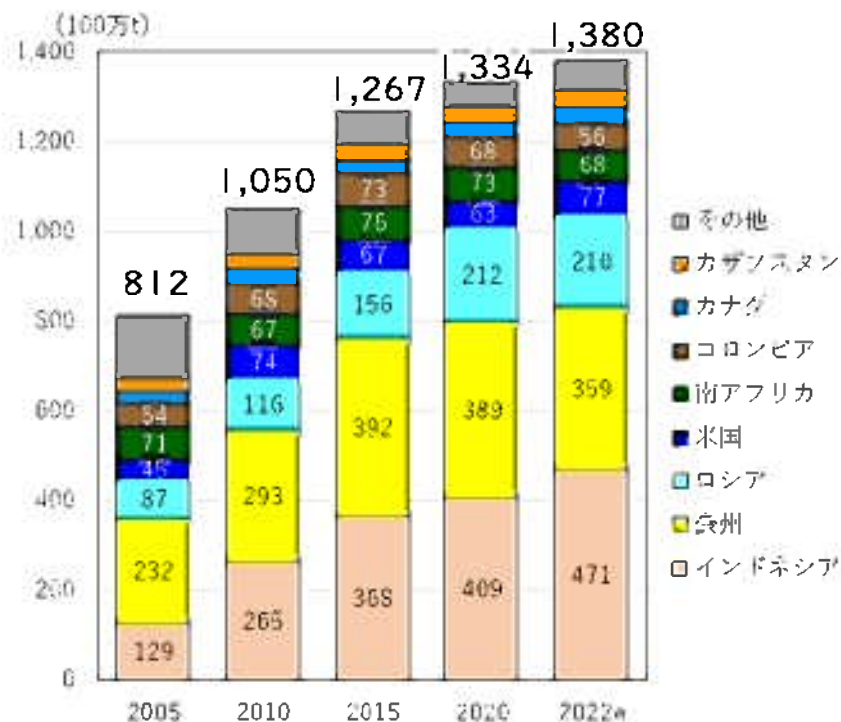
出典：IEA Coal Information 2023

- 中国が半分以上（2022年53.7%）
- 中・印・米で全体の約3/4
- 地産地消割合が高い（2022年で全生産量の83%）
- 日本、韓国は国内生産に乏しくほぼ輸入に頼っている（日本の2022年石炭消費量は世界の2.2%）

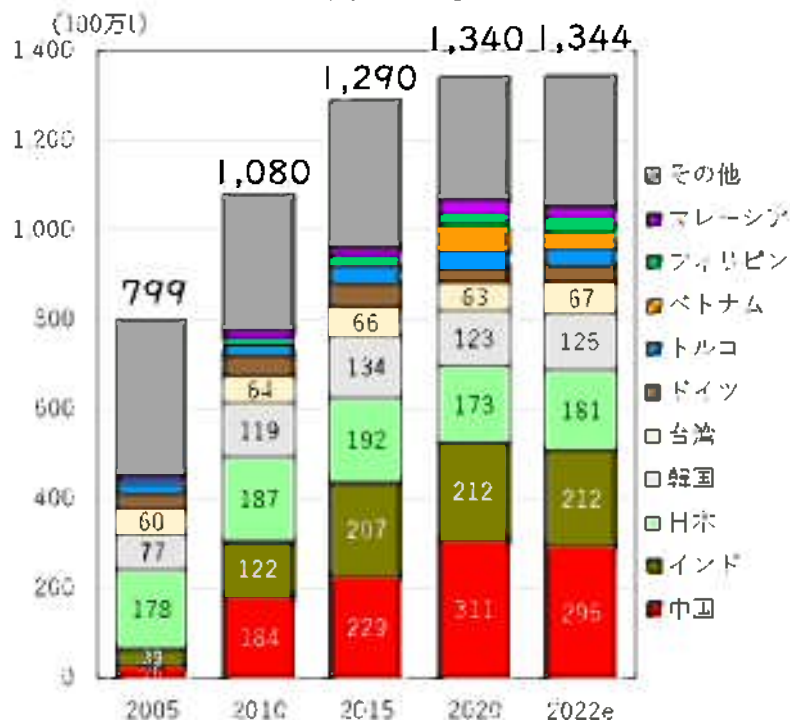
世界の石炭貿易量



石炭輸出量



石炭輸入量



出典：IEA Coal Information 2023

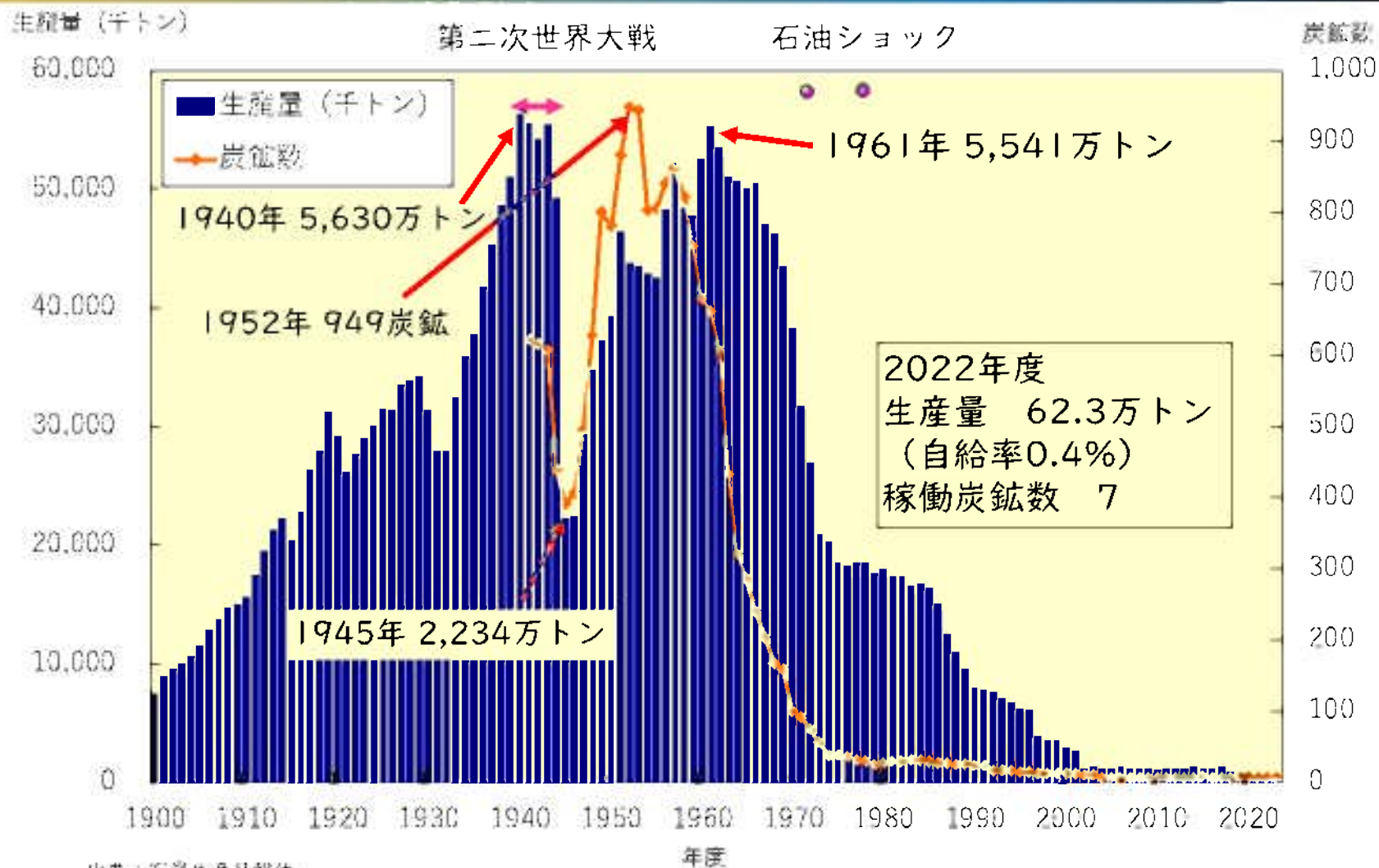
※統計誤差。通関手続きのずれ等により、輸出=輸入とはならない

- インドネシア、豪州2カ国で約6割
- 第3位のロシアまでで75%、ただしロシアの今後は不透明
- 輸出総量は着実に増加

出典：IEA Coal Information 2023

- 中国が2009年に純輸入国となり、2011年以降最大の輸入国
- かつて世界一の石炭輸入国であった日本は現在インドにも抜かれ第3位輸入国
- 上位国のほとんどがアジア諸国

日本の石炭生産量

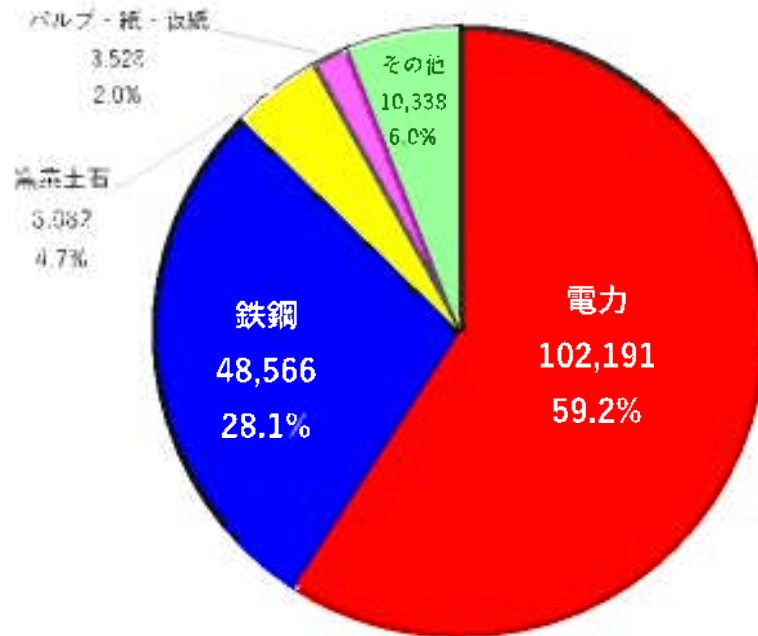


2023年度輸入量 1億6,370万トン

日本の石炭消費量・輸入量



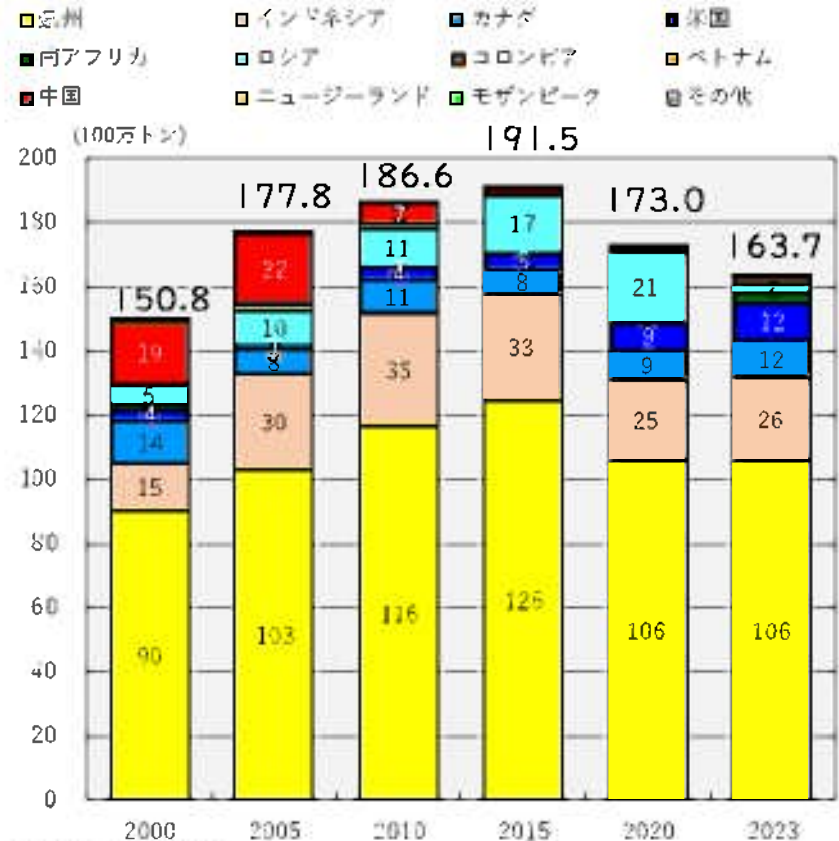
日本の石炭消費量（2023暦年）
1億7,271万トン



出典：（一財）日本エネルギー経済研究所、単位1,000トン

- 1億7,000万トン近くの石炭を毎年消費
- 電力と鉄鋼向けで9割近くを消費
- その他セメント産業や製紙産業等で利用

日本の石炭輸入量推移



出典：財務省貿易統計

(年度)

- 豪州1カ国で65%、上位5カ国で97%を占める
- ロシアはウクライナ侵攻に伴い2022・23年度大幅減、代わりに米国、南アからの輸入が増加

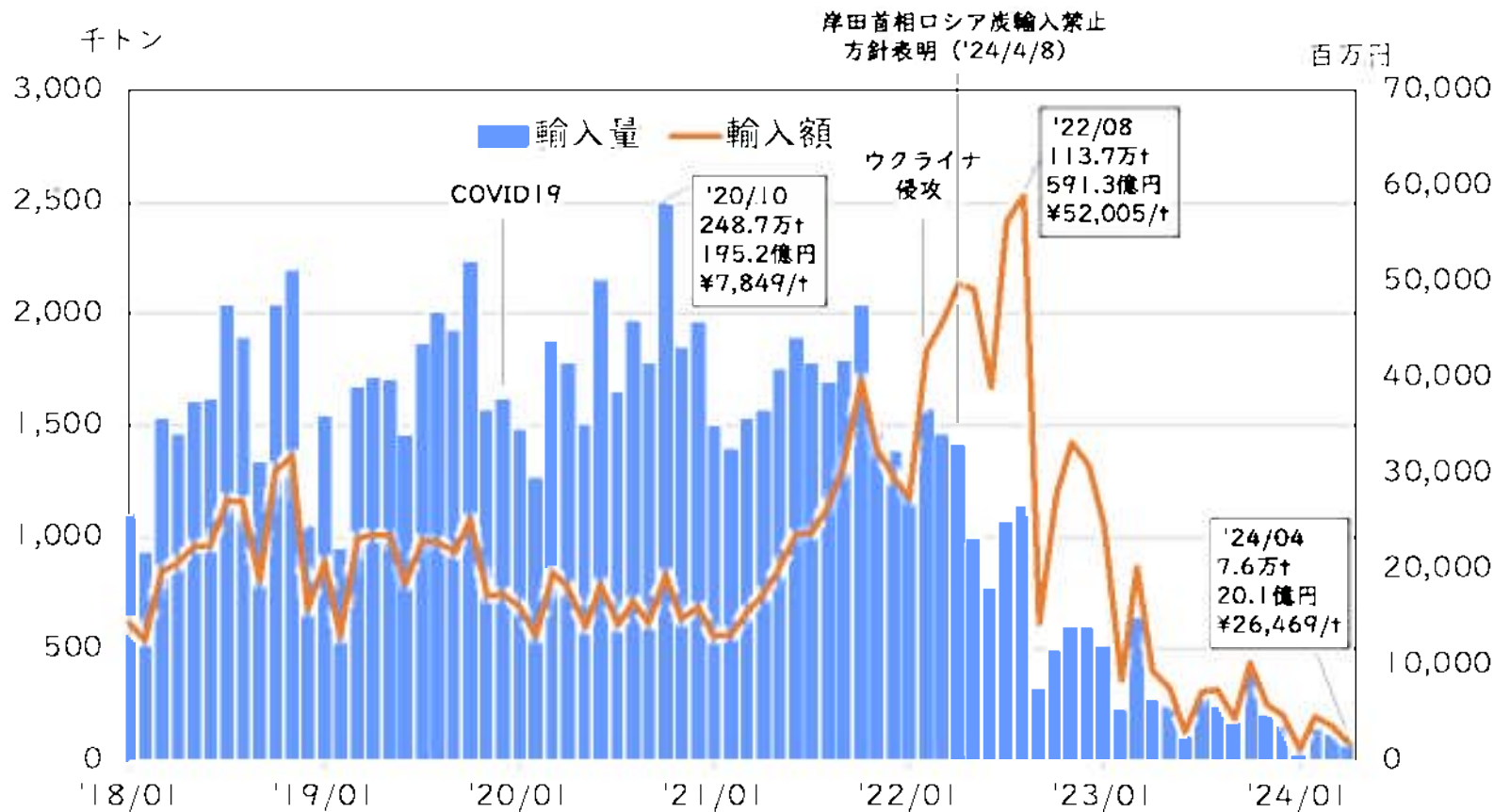
日本の石炭輸入価格推移（CIF、円/t）



出典 財務省貿易統計

- 2005年頃から中国輸入増加、その後アジア諸国でも輸入が増え価格が上昇
- 2008年と2011年には豪州で豪雨発生により生産・輸送が停止し価格高騰
- 新型コロナウイルス拡大による経済停滞で価格が低下→2022年ロシアのウクライナ侵攻に伴い天然ガスとともに石炭の需給も逼迫、過去にない価格急騰。現在も以前より高価格状態継続
- 2022年8月から数ヶ月間は、一般炭価格が原料炭価格を上回る異常事態

日本のロシア炭輸入



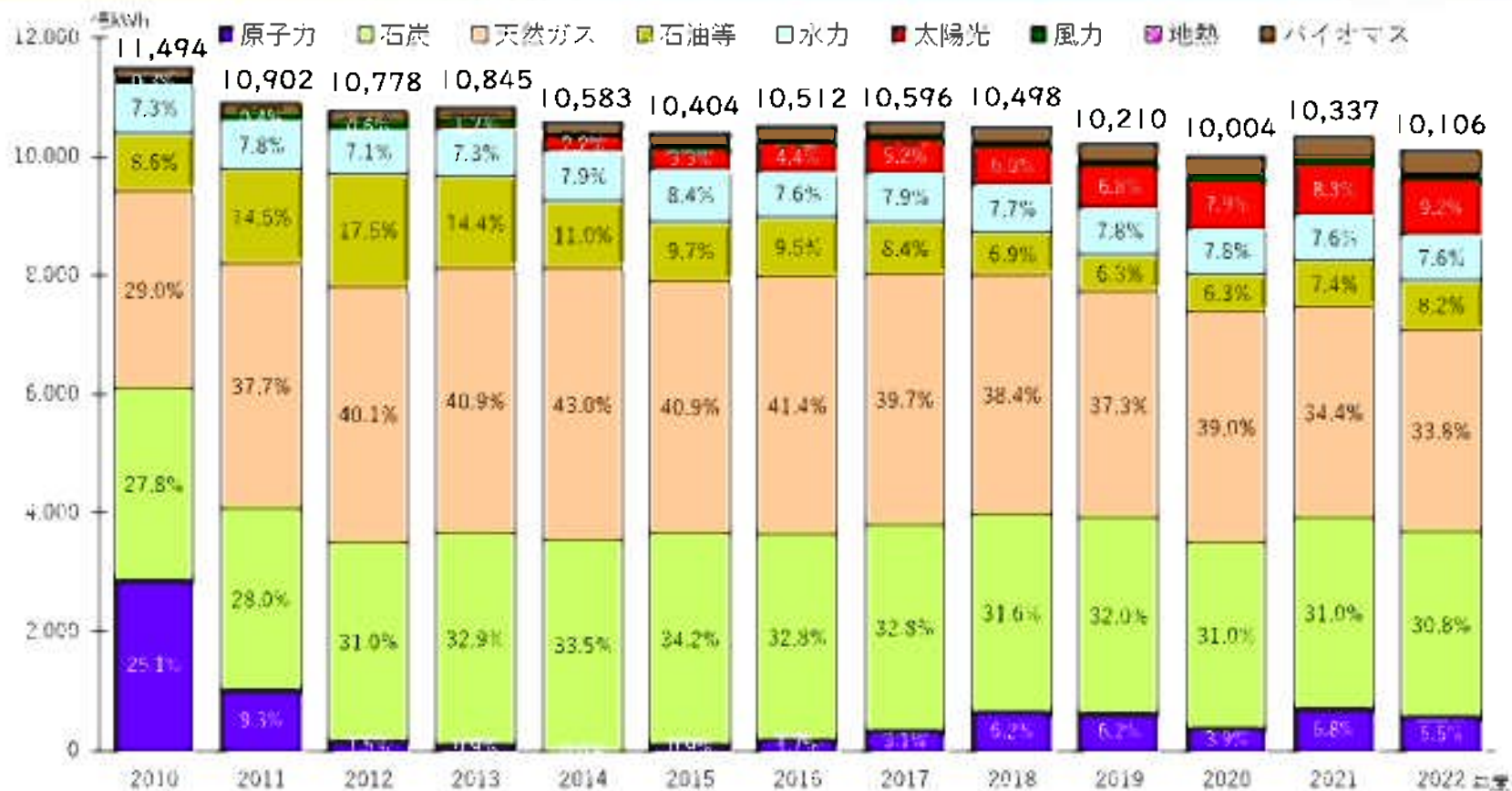
出典：財務省貿易統計

2020年度2,149万トン→2023年度238万トン

ユーザは調達先変更を余儀なくされている

輸入禁止によるロシアへの経済制裁効果は疑問（他国が買えば意味なし）

日本の電源構成（発電量）



出典：総合エネルギー統計

- 東日本大震災後原子力の割合が減少し回復しておらず、その減少分の多くを石炭・天然ガスで補っている
- 非化石比率は着実に増えており、2013年度11.7% → 2022年度27.2%
- 石炭は全体の3割強を占めている

東日本大震災対応



2011.3.11 地震発生 → 原発稼働停止。石炭火力・関連設備もかなりの被害を受けた

震災直後の東北電力原町火力発電所
(東北電力Webより)



- ・ 勿来7号、新地1・2号、原町1・2号が被害甚大
その他は関係者努力で概ね7月までに復旧
- ・ 石炭受入港は岸壁、揚炭設備の被害がひどく復旧に時間を要した → 当初受入予定だった石炭の行き場がなくなったが業界を挙げ助け合い他で受入を実施
- ・ 石炭を利用する化学、金属、製紙、セメント工場等も被災
- ・ 当時日本の電力の1/4を発電していた原子力が停止。石炭火力の早期復旧が電力不足の長期化を防いだ





インドネシア Adaro炭鉱

鉱区の獲得から閉山までの流れ

情報収集・鉱区選定

文献調査、投資環境調査、権利調査、鉱区評価、探査契約

地質調査・探査

踏査、ボーリング、埋蔵量計算→精査

Feasibility Study (FS)

可採埋蔵量計算、基本計画作成、税制・販売・資金計画作成
総合経済性評価

開発設計／資金調達／建設

生産準備、技術者教育、試験採掘

生産

閉山／修復／跡地利用

石炭の採掘から利用までの流れ

採掘

石炭の採掘
選炭場への運搬

選炭

不要鉱物の除去

輸送

炭鉱→(輸出港)→(輸入港)
→使用場所

利用

発電所、製鉄所、
セメント工場、製紙工場、・・・

- ◆ 投資期間は長期（20年～30年）
- ◆ 生産開始までに鉄道、港等のインフラ建設が必要
- ◆ 探査は金属・石油に比べればリスクは少ない
→ただし石炭の品質は販売価格に大きく影響する
- ◆ 操業リスクは比較的高い（地質、労働、機材、天候等）
- ◆ 市場見通しの予測が重要

露头調査



地表に露出している炭層や地層の厚さ、性状、傾斜、連続性等を調査し、炭層露头線が記入された地質図を作成する

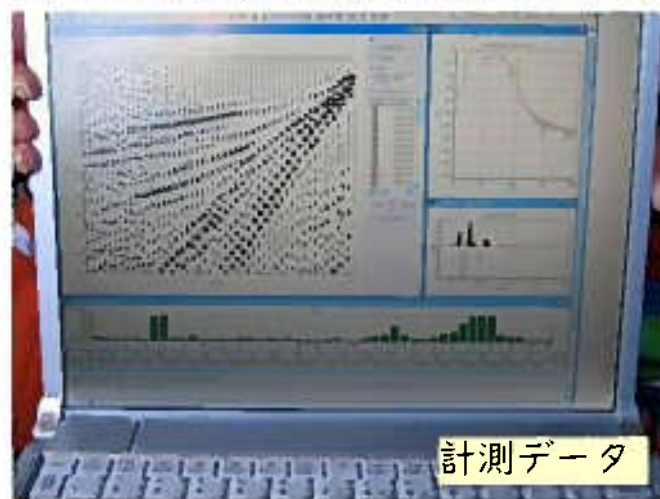
試錐調査

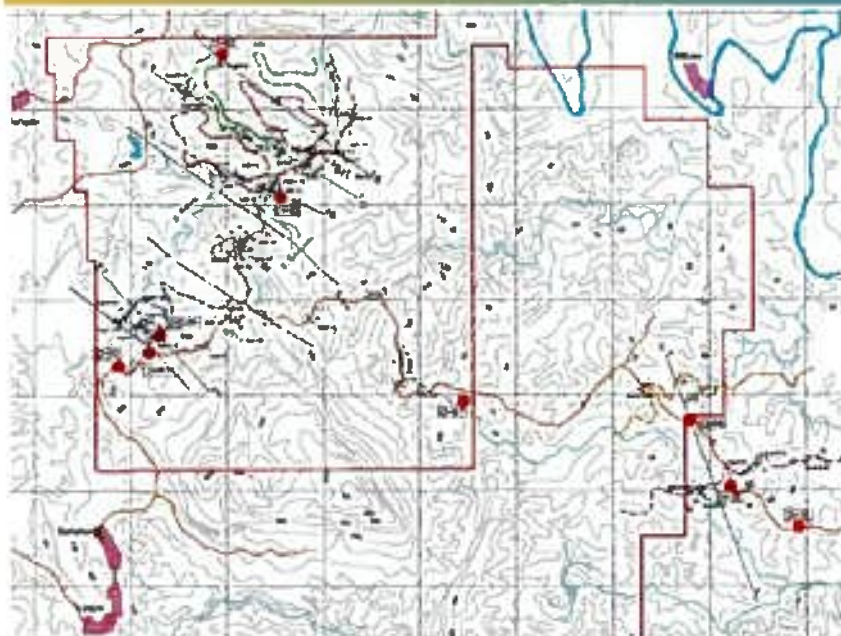


地質状況、炭層賦存状況（炭厚・炭質等）の把握、
石炭・岩石の分析・試験試料採取を目的に実施する。

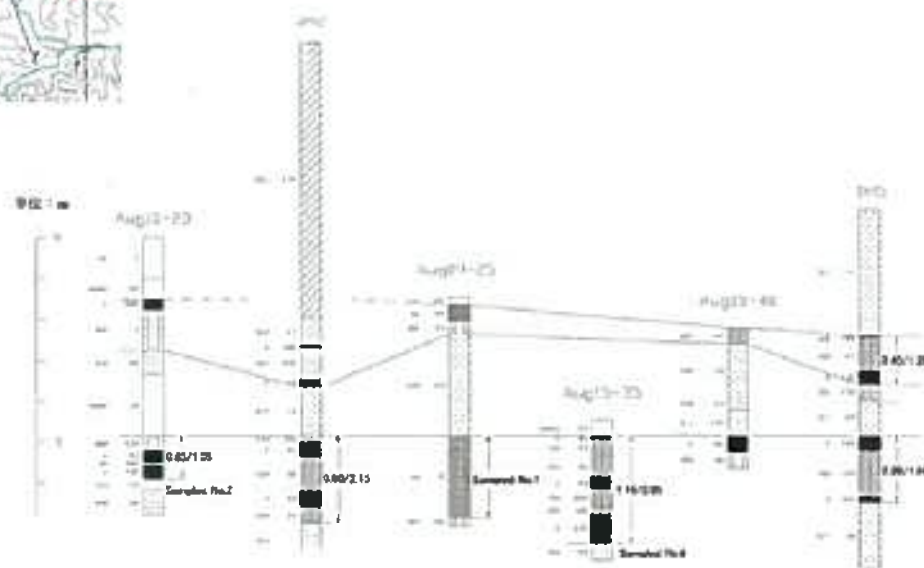


地震波（弾性波）の伝播状況から地下の状態を推定。（反射法／屈折法）





炭層対比図

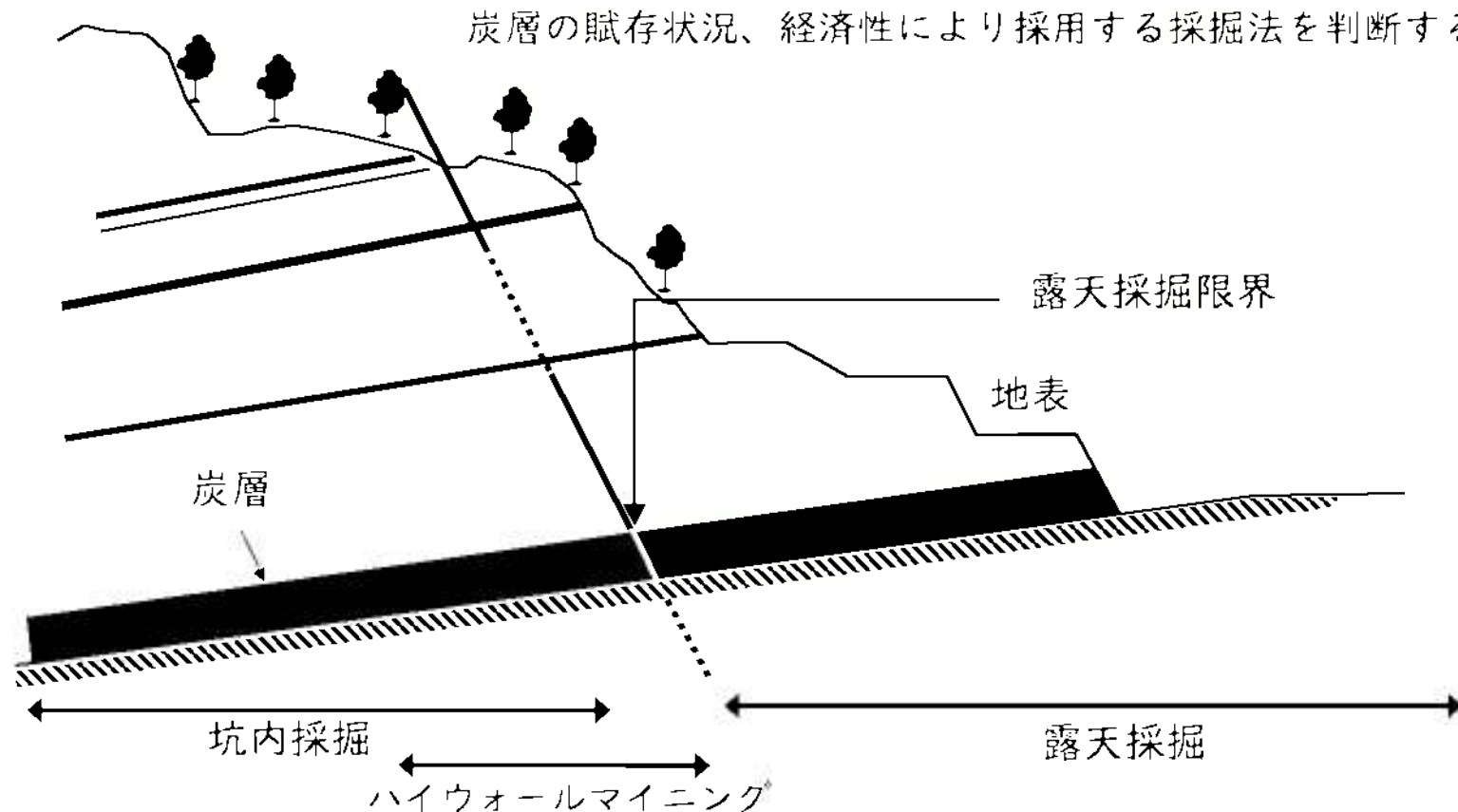




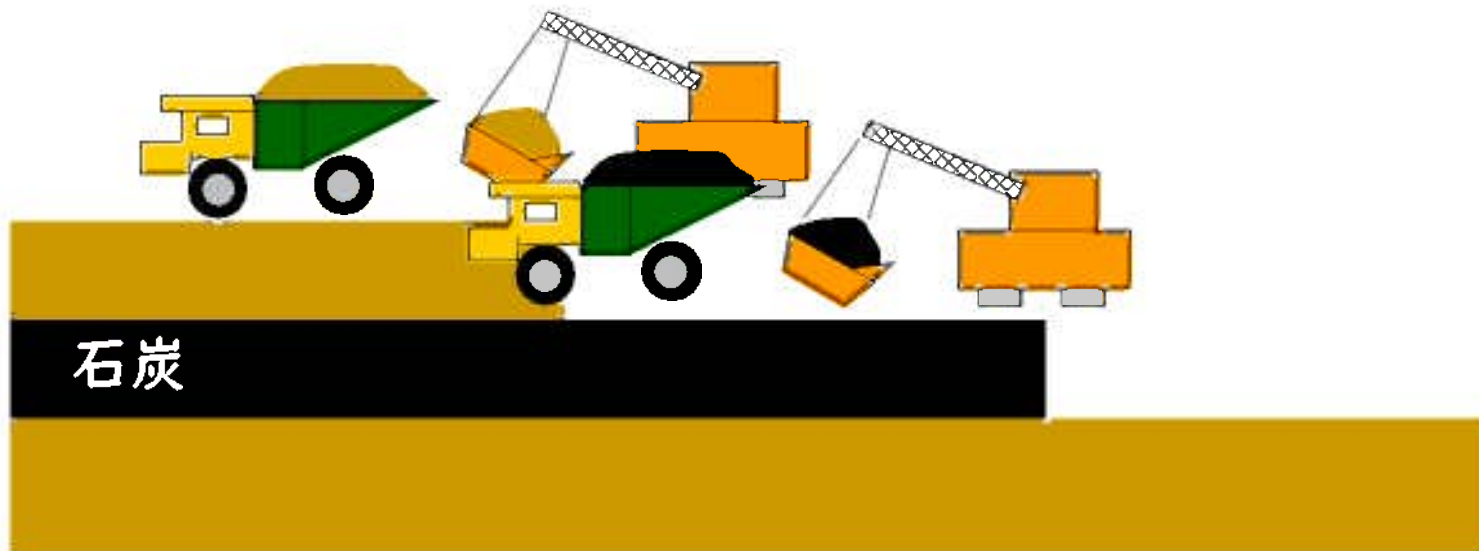
大正時代の炭鉱

- 露天採掘 (Open Cut Mining; Surface Mining)
- 坑内採掘 (Underground Mining)
- ハイウォールマイニング (Highwall Mining)

炭層の賦存状況、経済性により採用する採掘法を判断する。



- ・ 炭層が浅い場所にある場合
- ・ 表土（不要岩石）を取り除き、石炭を採掘





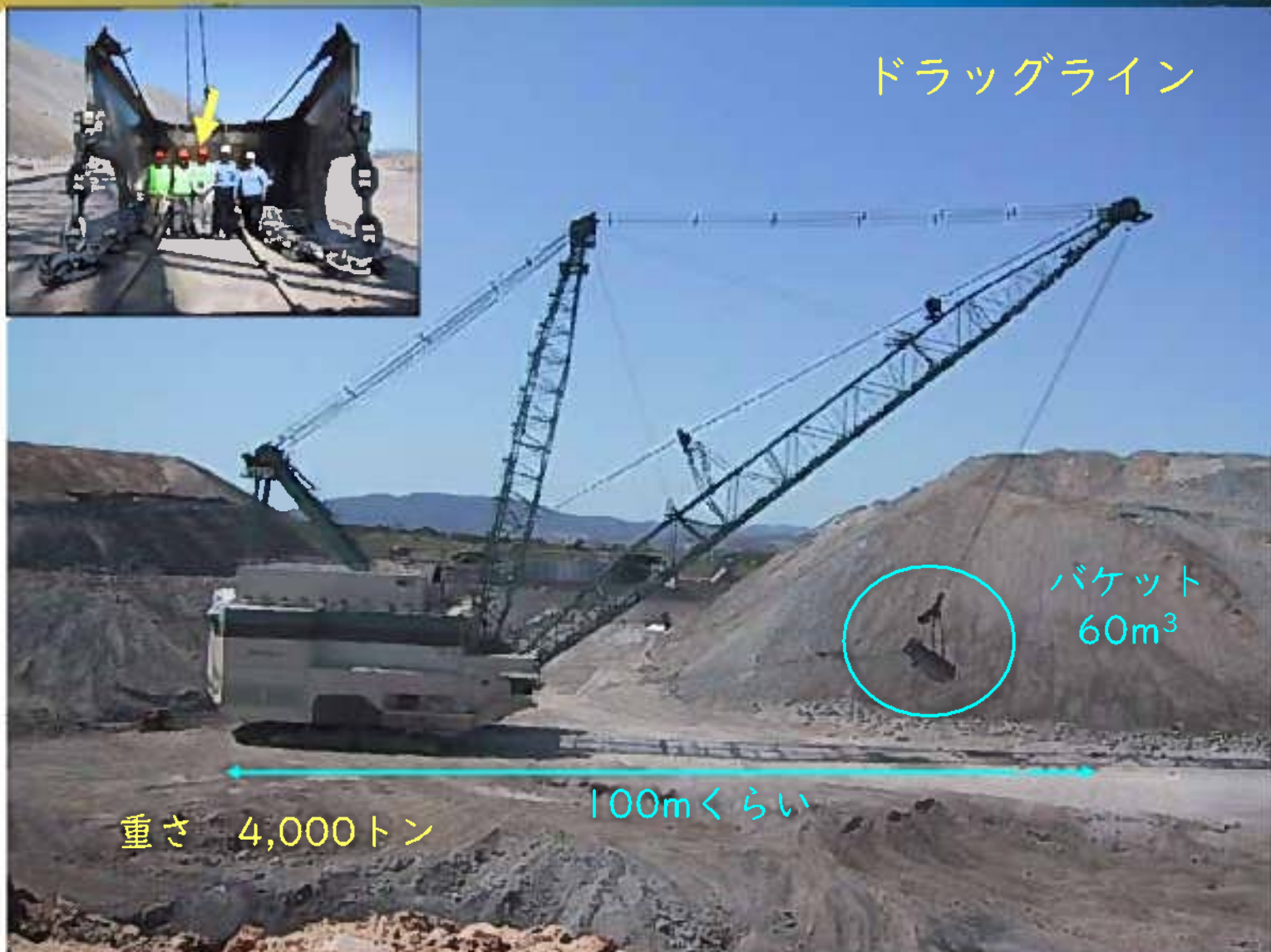
約1.5km

オーストラリアNSW州 M.T. Owen炭鉱





露天採掘：剥土



ドラッグライン

バケット
60m³

重さ 4,000トン

100mくらい



ショベル

ダンプトラック

ダンプトラック



LIEBHERR T282B (360トン)



BWE (Bucket Wheel Excavator)

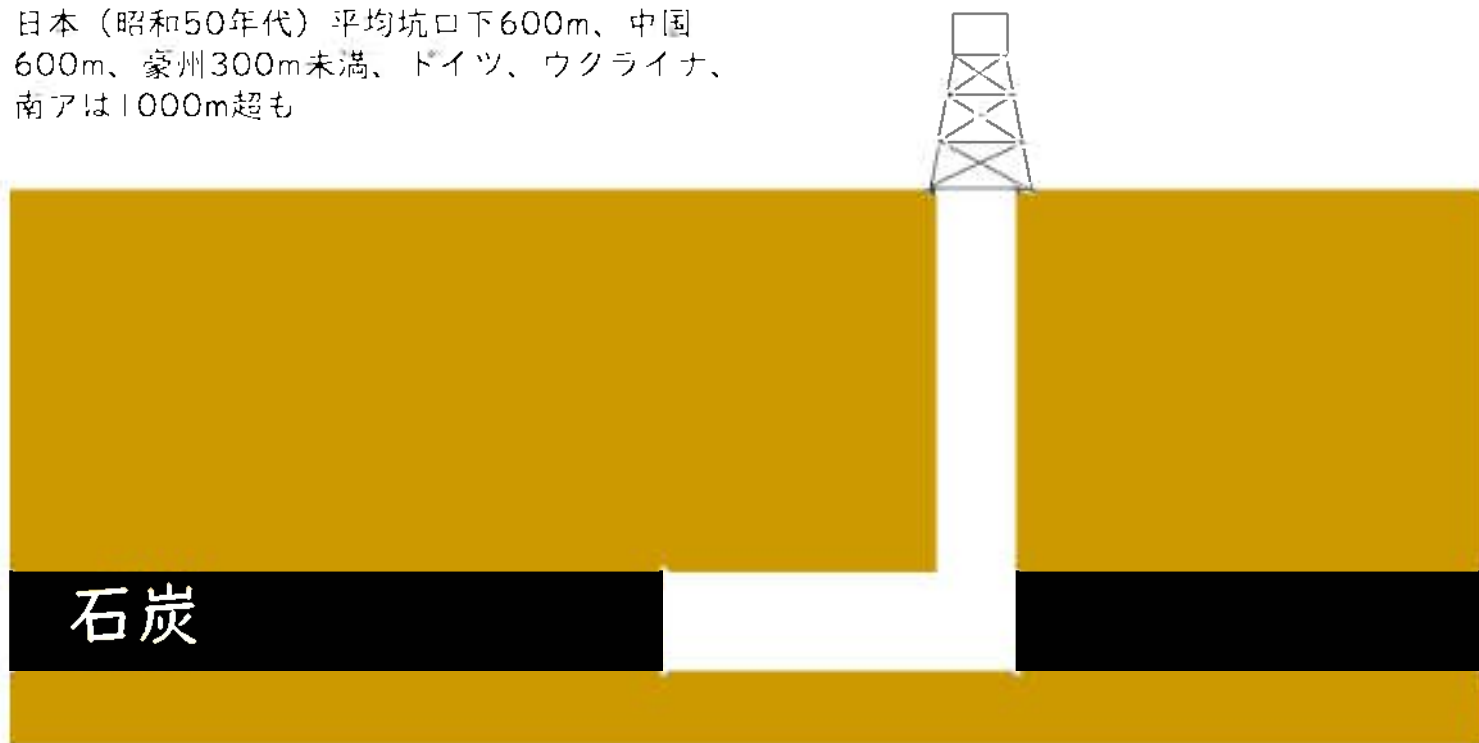




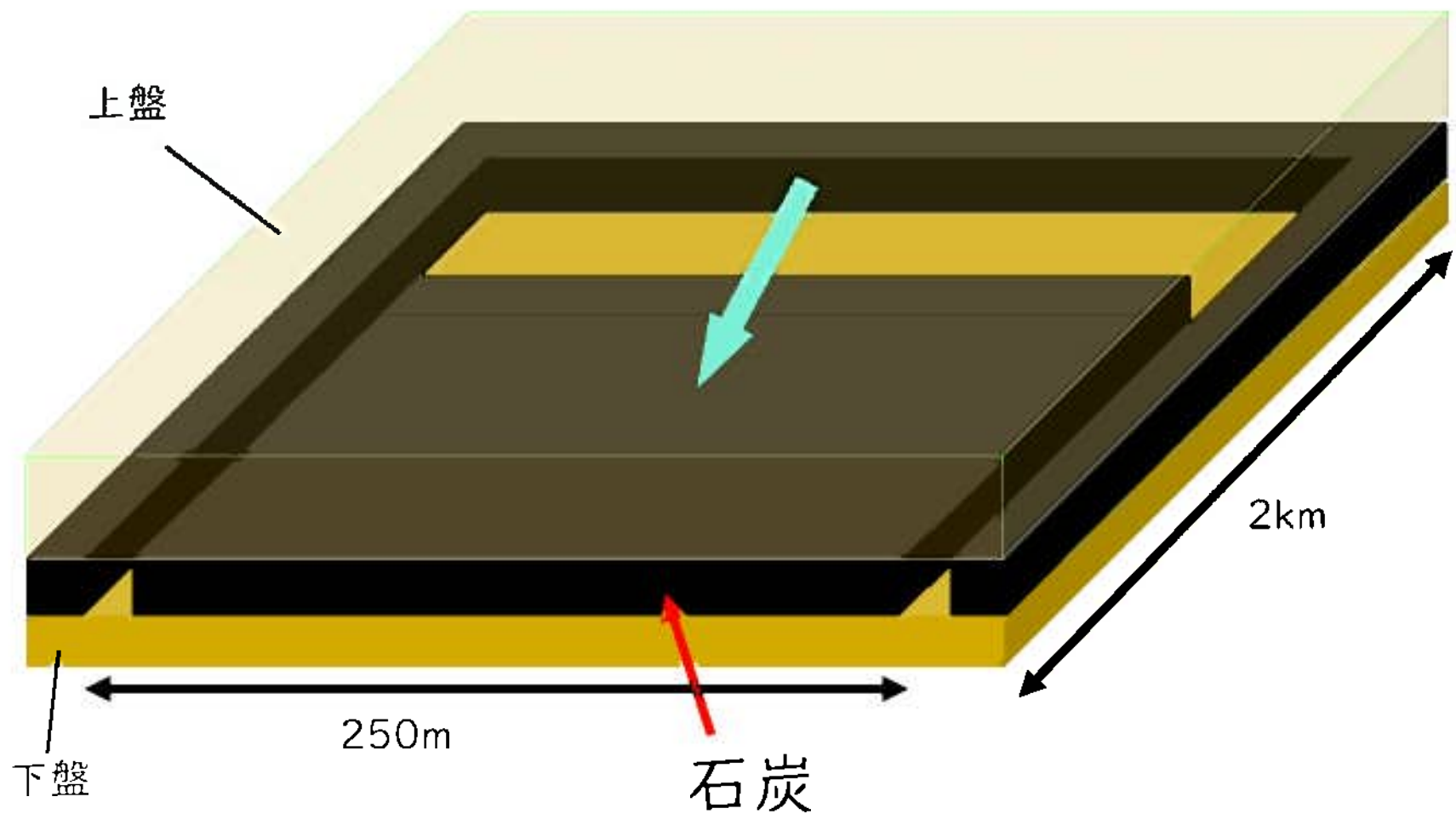


石炭が地下深くにある場合は、地下にある石炭に向けて縦・横・斜め方向に坑道を展開して石炭を掘り出す

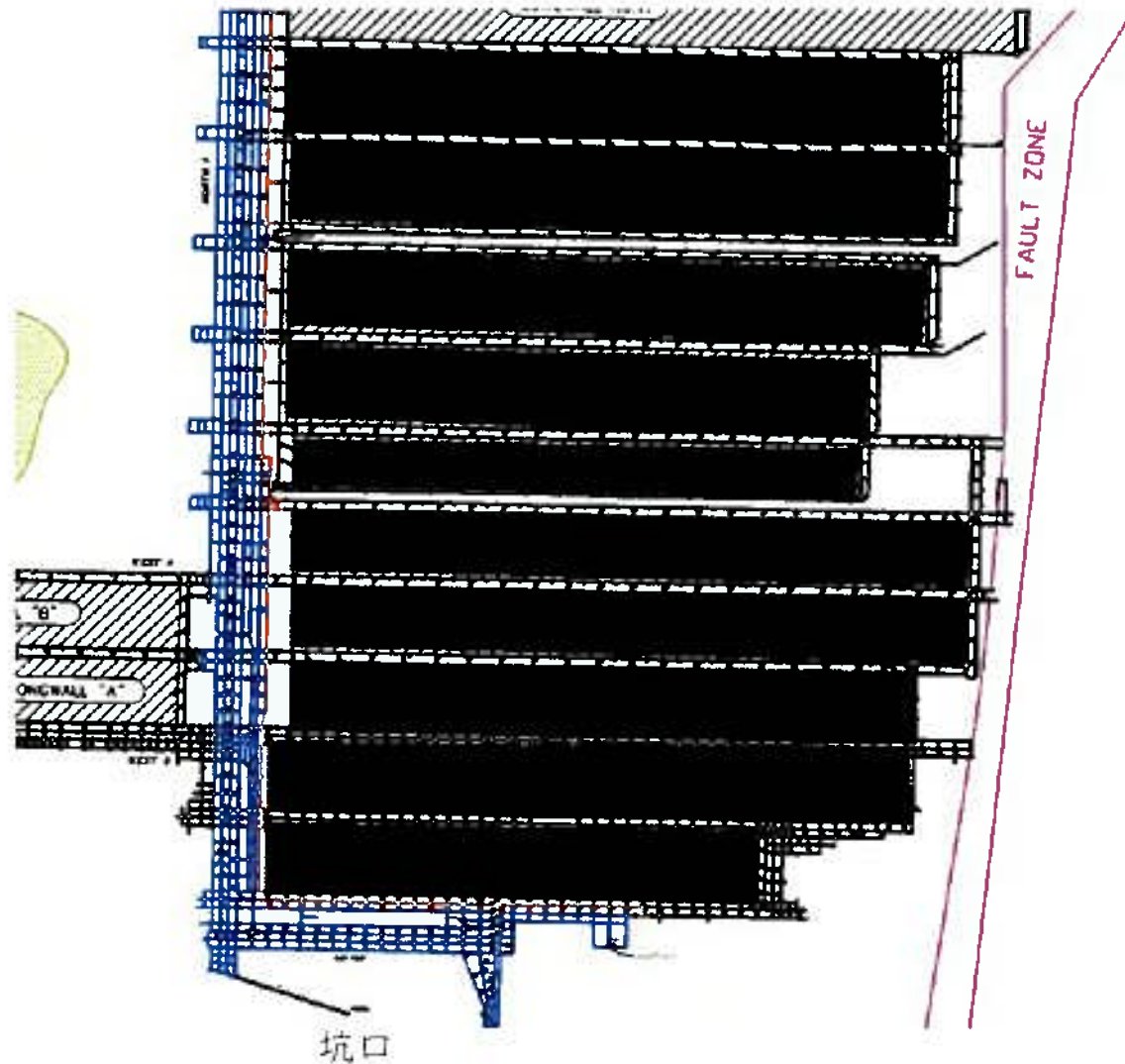
日本（昭和50年代）平均坑口下600m、中国600m、豪州300m未満、ドイツ、ウクライナ、南アは1000m超も



坑内採掘 (Longwall採炭)



Longwallの例



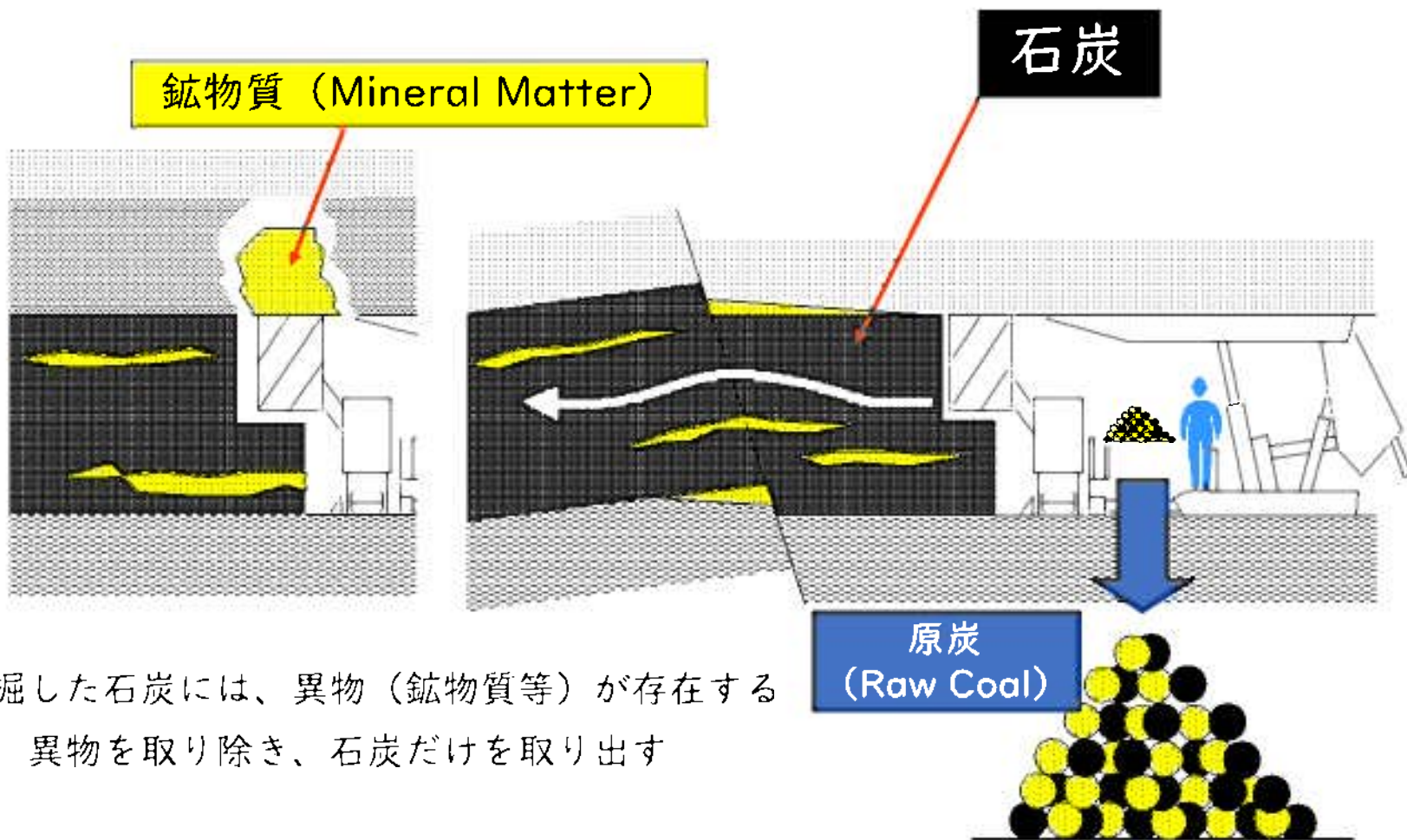
Longwallパネル





コンティニューアスマイナー：沿層坑道掘進用の機械

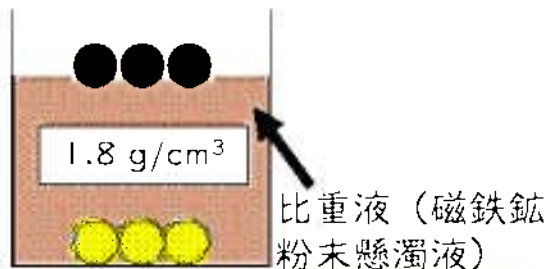




採掘した石炭には、異物（鉱物質等）が存在する
→ 異物を取り除き、石炭だけを取り出す

比重液

石炭比重：1.2~1.5g/cm³
 鉍物質：2.5g/cm³程度

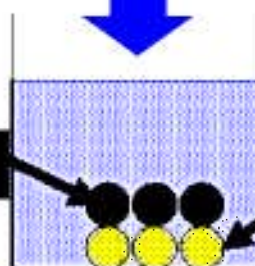
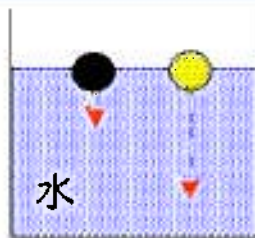


比重液より軽い石炭は浮き、
 重い鉍物質は沈む

石炭

鉍物質

沈降速度



軽い石炭の方が
 沈降速度が遅い

粒径0.5mm以上の
 石炭の選別

水流

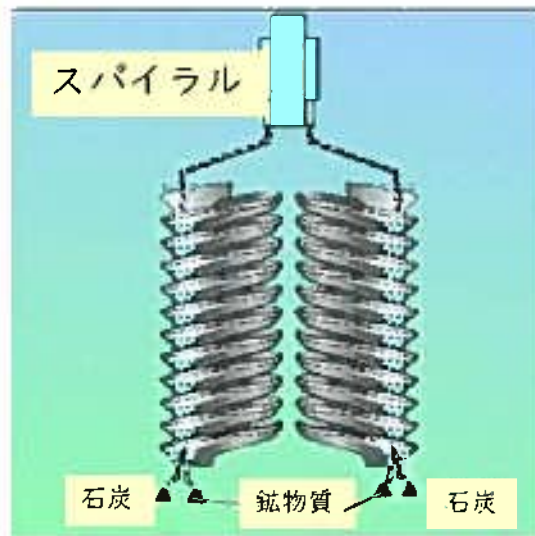
石炭

鉍物質



軽い石炭の方が流されやすい

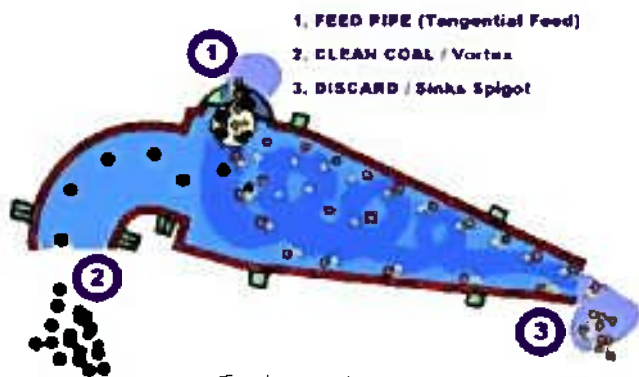
スパイラル



石炭

鉍物質

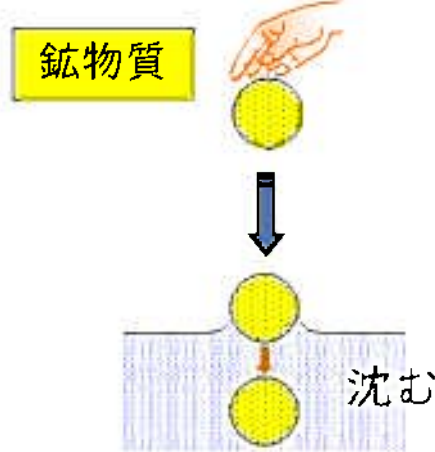
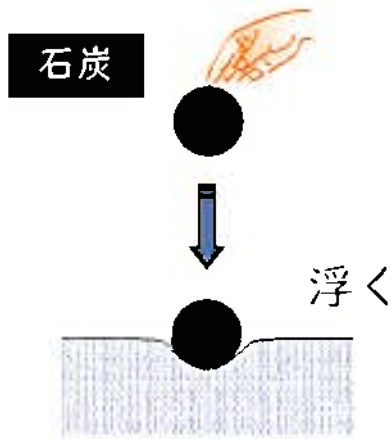
石炭



重液サイクロン

出典: Friendly Cyclones Int'l Ltd.

浮遊選別



粒径0.5mm以下の
微粒子の選別

石炭は気泡にくっつき
浮かび上がる。



出典：Eriez Manufacturing Co.

石炭の輸送例



ユーザー



山元から積出港までの輸送



鉄道



トラック



ベルトコンベヤ



バージ





積出港における石炭積込（豪州Gladstone）



海上積込の例（インドネシア。左：Geared Vessel、右：Floating Transfer Station）

二酸化炭素は大切な気体



石炭利用の最大の課題はCO₂排出対策

- 消費量を減らせばCO₂排出は減る
- **CCUS** (CO₂の貯留、有効利用 [カーボンリサイクル等]) で減らす

温室効果ガスが存在しない場合の地球表面温度

$$S(1 - A_B)\pi R_p^2 = 4\pi R_p^2 \sigma T_0^4$$
$$\therefore T_0 = \left[\frac{S(1 - A_B)}{4\sigma} \right]^{1/4} \cong \mathbf{255K \text{ (約-18}^\circ\text{C)}}$$

S: 平均的太陽定数 (1370 W/m²)

A_B: ボンドアルベド反射率 (0.3)

σ: シュテファンボルツマン定数 (5.67 × 10⁻⁸ W/(m²K⁴))

T₀: 地球表面温度 (K)

現在の地球表面温度は約15°C → 温室効果ガスのおかげで暖かい

CO₂が多くなると地球が暑くなる。しかしCO₂が少なくなりすぎると地球が凍ってしまう

人体の元素構成 (例) :

酸素65%、**炭素18%**、水素10%、窒素3%、カルシウム1.5%、リン1%、その他1.5%

炭素の出発点は植物の光合成。光合成で二酸化炭素から生まれた有機物を取り込むことで生物は生きることができる

大気中の二酸化炭素が減る → 食物生産が減る可能性

**CO₂は悪者ではない。むしろ生物が生きるために必須。
しかし出し過ぎは良くない。うまく管理していくことが重要。**

ご清聴ありがとうございました。