

# 石炭火力発電所と石炭灰処理設備



写真は九州電力松浦発電所と電発松浦発電所

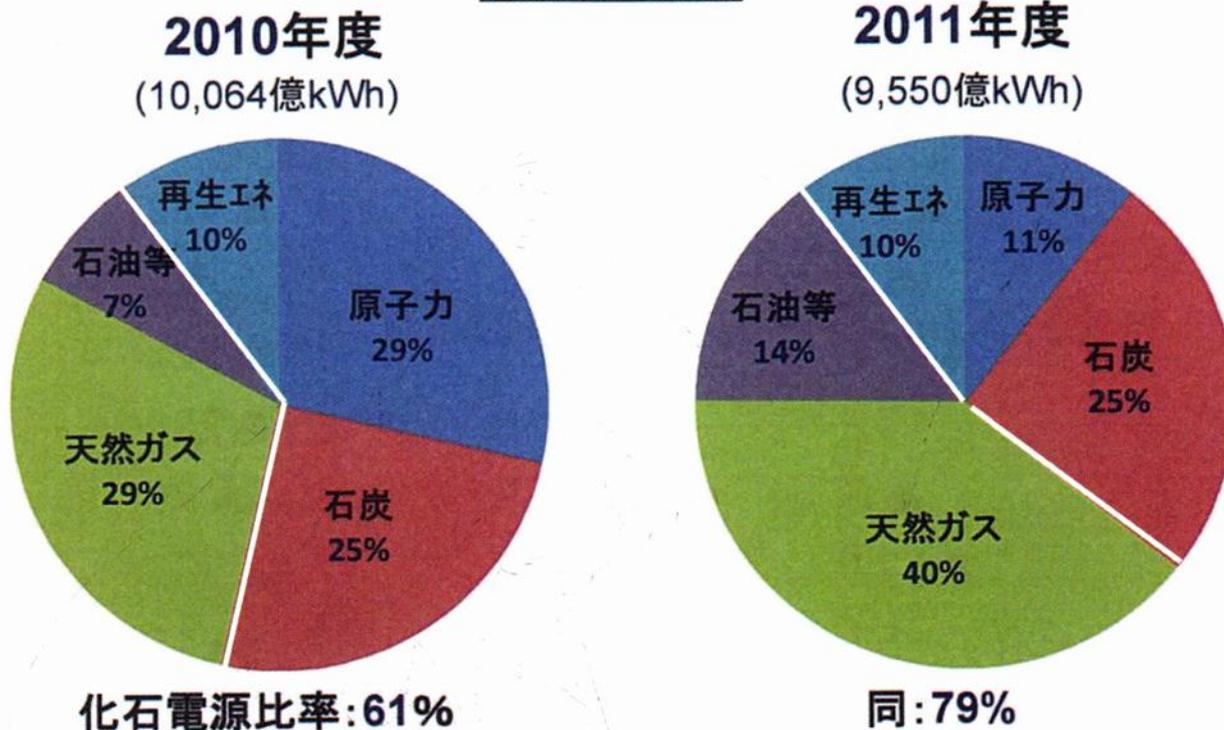
2013.1.10 高橋 泰

# 日本の燃料別発電割合

## 原発事故で高まる化石エネルギーの役割

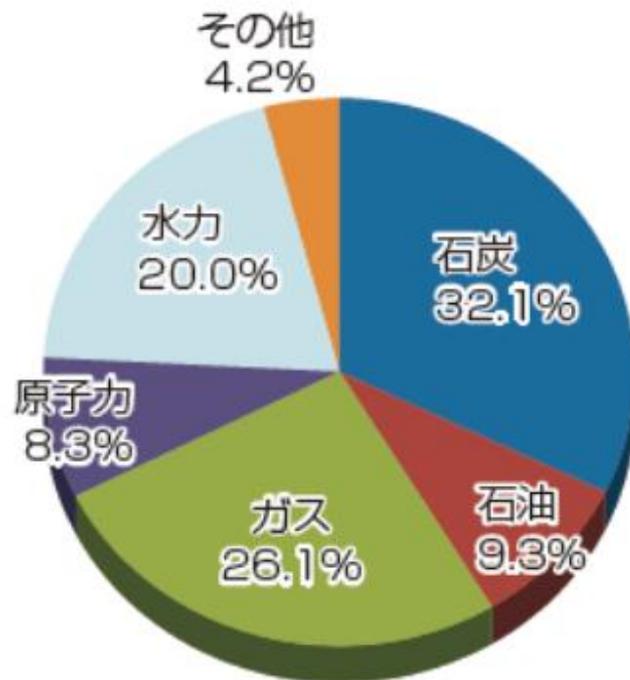
化石燃料発電の比率は2010年度の6割から2011年度は8割に上昇

### 発電量構成

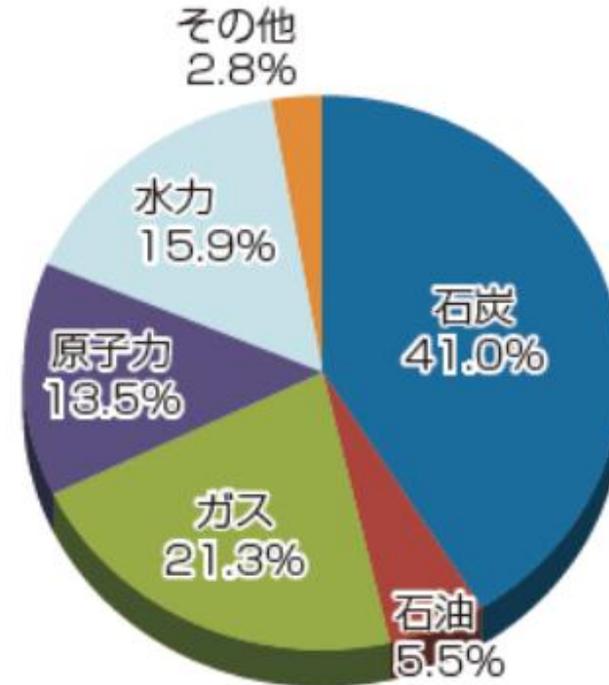


# 世界の燃料別発電割合

発電設備構成47.2億kW (2008年)



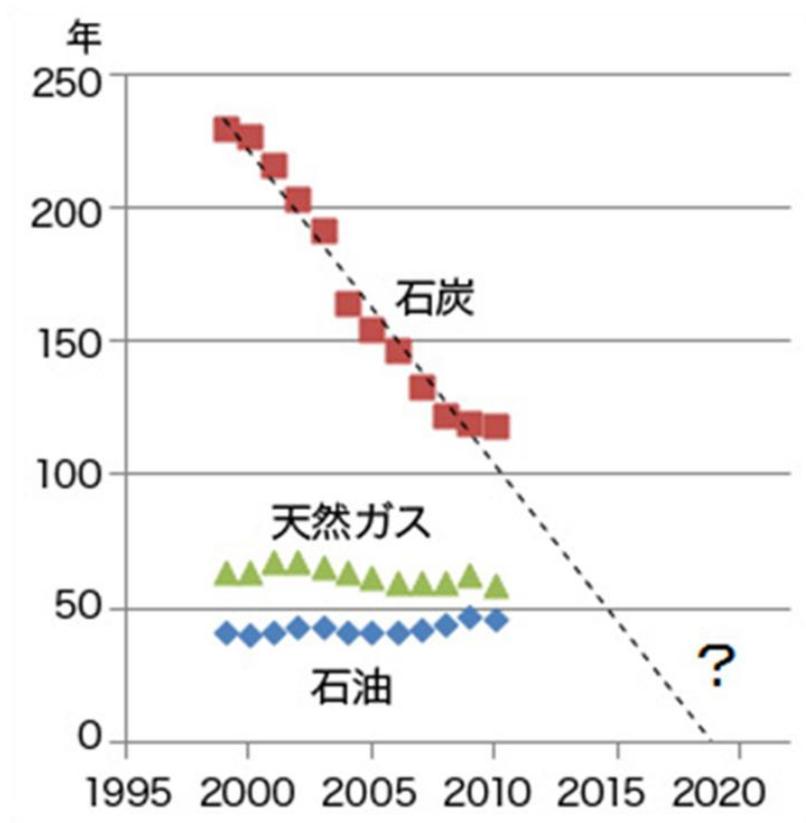
発電電力量20.2兆kWh (2008年)



世界の発電用石炭使用量は年間57億トン

出所： エネルギー白書2011 (IEA, World Energy Outlook 2010)

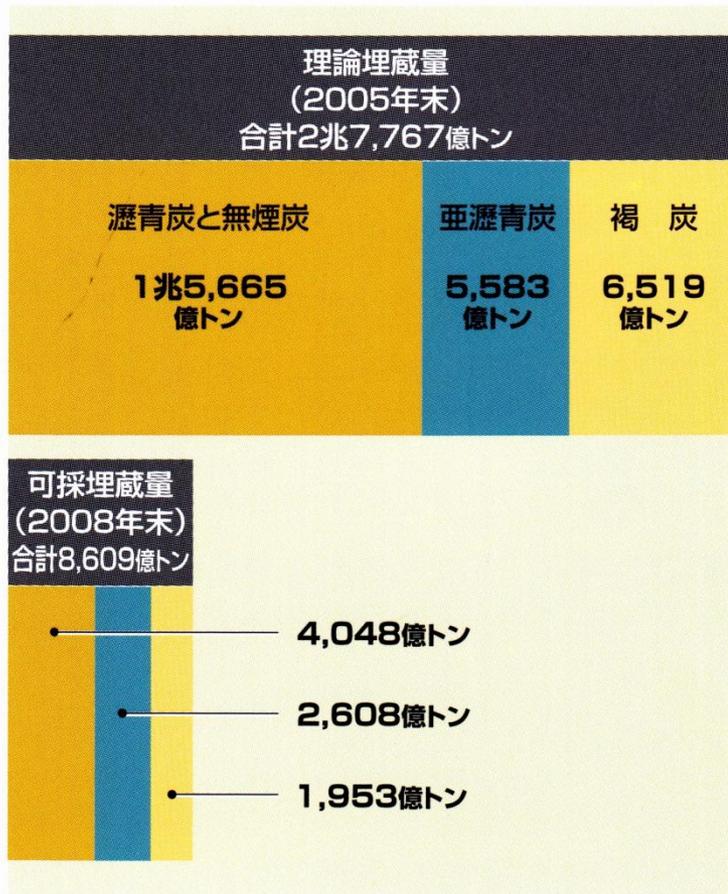
# 可採年数



- 石炭の可採年数は約130年
- 石油、天然ガスに比べて長い可採年
- 石炭価格が上がれば、可採年数が延びる可能性がある

# 石炭の理論埋蔵量と可採埋蔵量

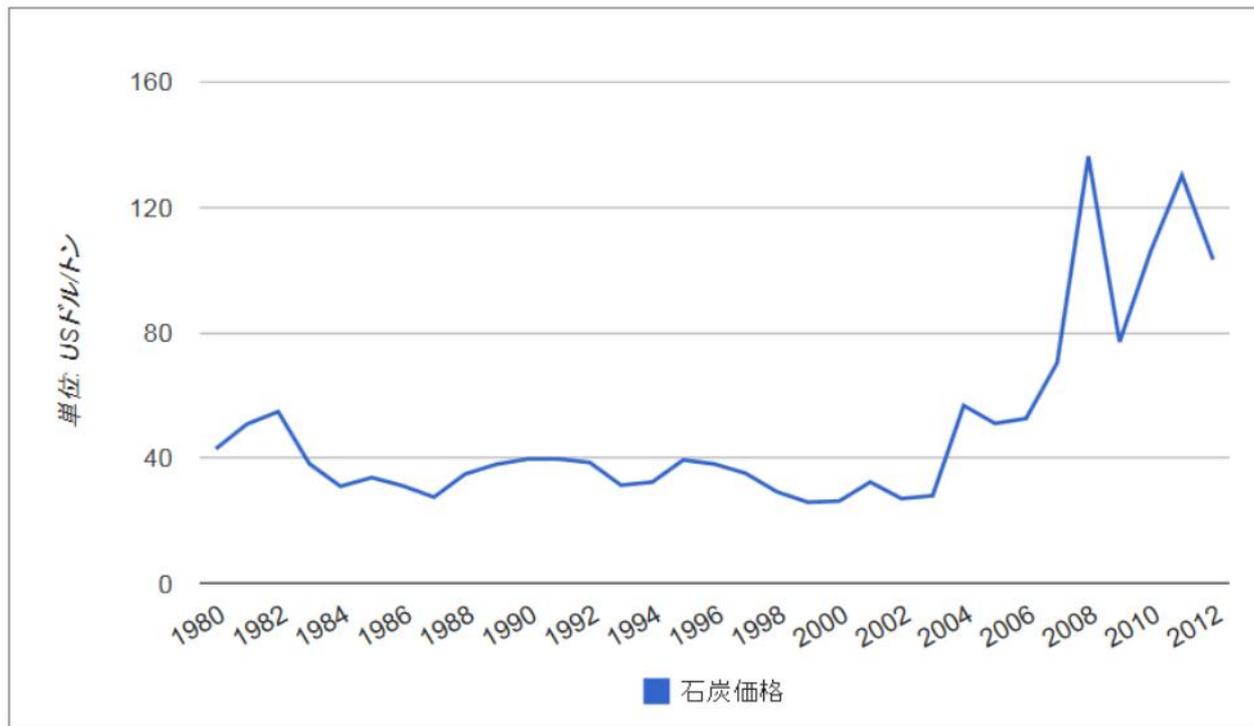
## ■石炭埋蔵量



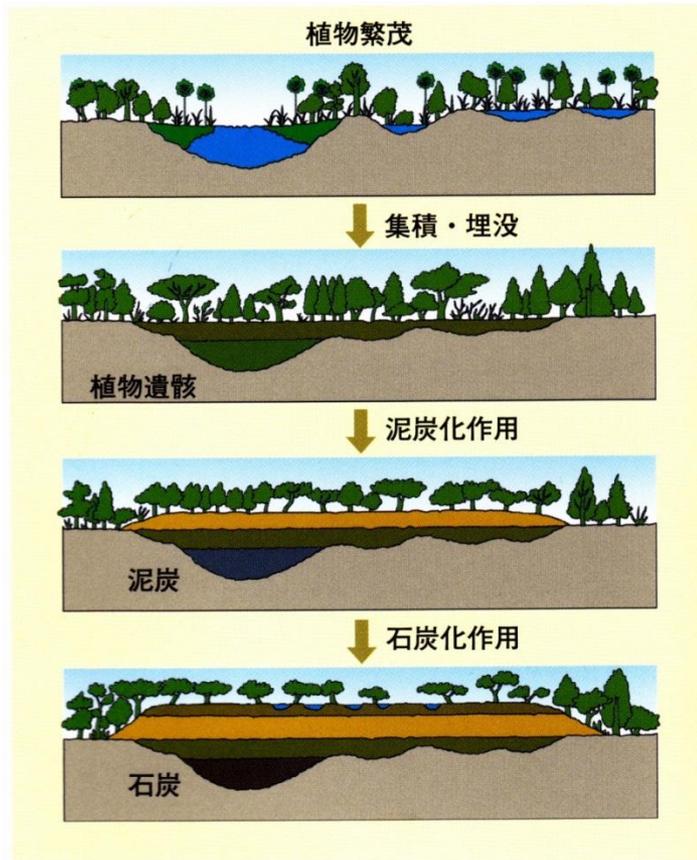
# 一般炭価格の推移

## 石炭価格の推移(年次)

1980年以降の石炭価格の推移(年間の平均価格)。



# 石炭とは



- 石炭は古代の植物の遺骸由来です  
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みます
- 炭化の程度により、泥炭、褐炭、瀝青炭、無煙炭に分類されます
- 現在は瀝青炭が主燃料ですが、褐炭はドイツ他、亜瀝青炭は豪州、インドネシア他で使用されています
- 石炭は埋没時に混入した土石が含まれ、燃焼時に灰となって残ります

# 石炭種別

## ■石炭化度による分類

分類	褐炭	亜瀝青炭	瀝青炭	無煙炭
石炭化度				
発熱量(kcal/kg)	2,500~4,000	4,000~6,000	4,500~7,000	4,500~8,000
水分(%)	60~30	30~15	15以下	10以下

※発熱量や水分は、おおまかな目安。

## ■分類ごとの主な用途

分類	無煙炭	原料炭	一般炭
用途	焼結用、練炭	製鉄、コークス原料	発電、セメント燃料

# 石炭を実際に見たことのある人は？

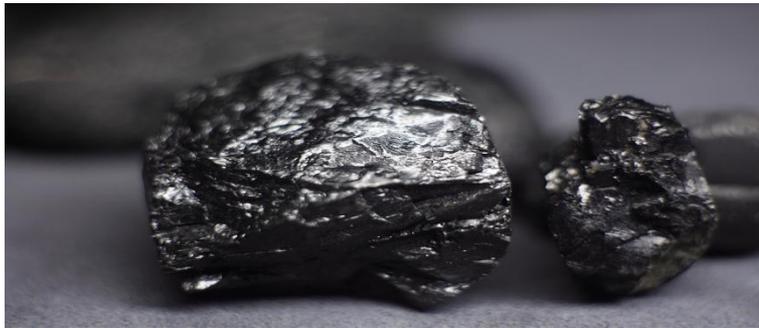
---



- 1960年代までは学校にダルマストーブがあった
- 蒸気機関車も運転していた

今は石炭は身近ではなくなった

石炭 ⇒



# 配布サンプル

---

- 石炭サンプル: 発電用の瀝青炭  
到着時の大きさ(一般に40mm以下)

ボイラで燃焼時には大半を75 $\mu$ m以下に粉砕

- 石炭灰サンプル: 電気集塵機ホツパで採取した灰
- パンフレット: (財)石炭エネルギーセンターの資料

石炭サンプルと「石炭の開発と利用のしおり」は (財)石炭エネルギーセンター殿のご厚意により頂きました。

# NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、煤塵の排出は極僅か

蒸気機関車の  
モクモク煙とは違う



都心のクリーンな発電所

SO<sub>x</sub>: 24ppm以下(1時間平均)

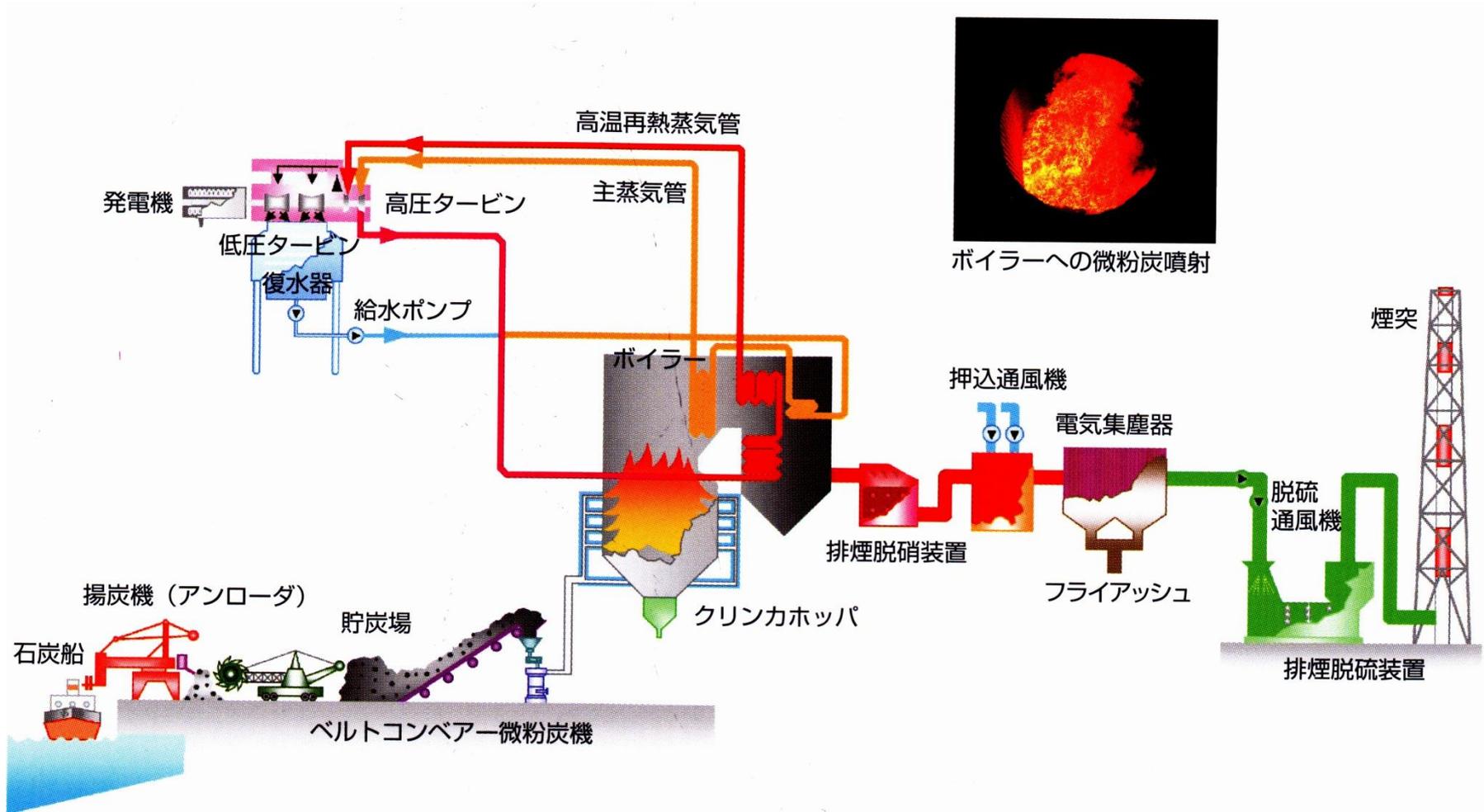
NO<sub>x</sub>: 24ppm以下(1時間平均) ←200ppm

煤塵: 10mg/Nm<sup>3</sup>以下(1時間平均) ←50mg/Nm<sup>3</sup>





# 石炭火力発電所の構成設備



# 石炭輸送船

---



積貨重量  
15万トン

# 揚炭機(コール・アンローダ)

---



# スタッカーと屋外貯炭場



東北電力(株)能代

# リクレーマー

---



# 屋内貯炭場



電源開発(株)竹原3号機

# ボイラ建屋とタービン室



関西電力(株)舞鶴

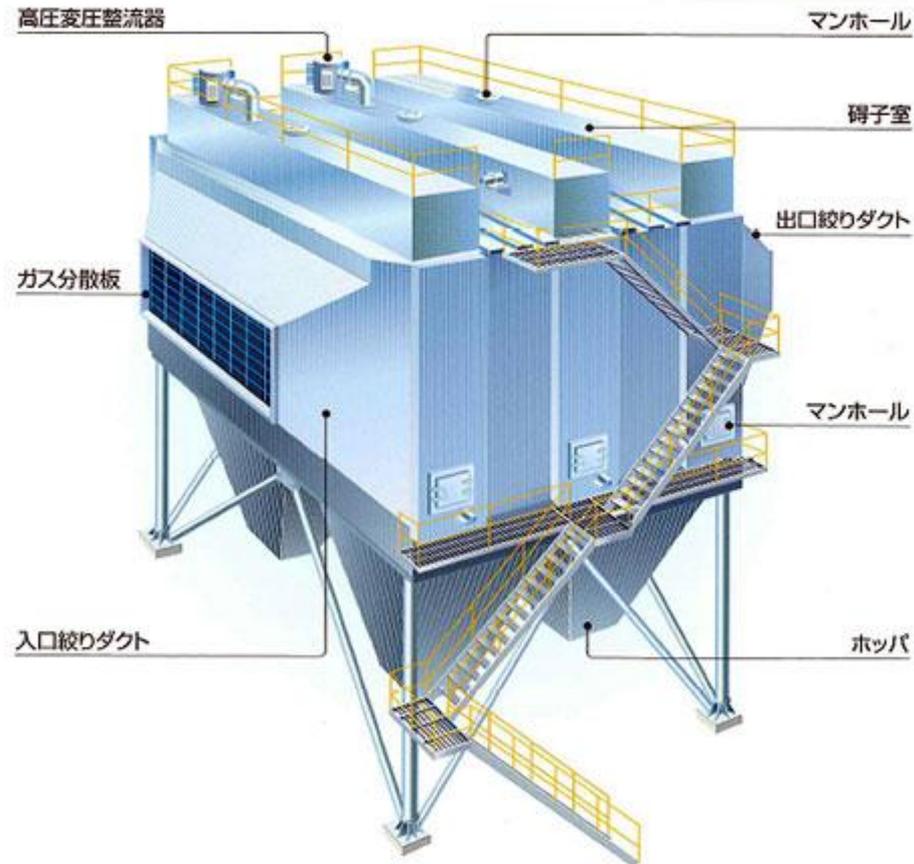
# 蒸気タービン

---



1905年に発明

# 電気集塵機



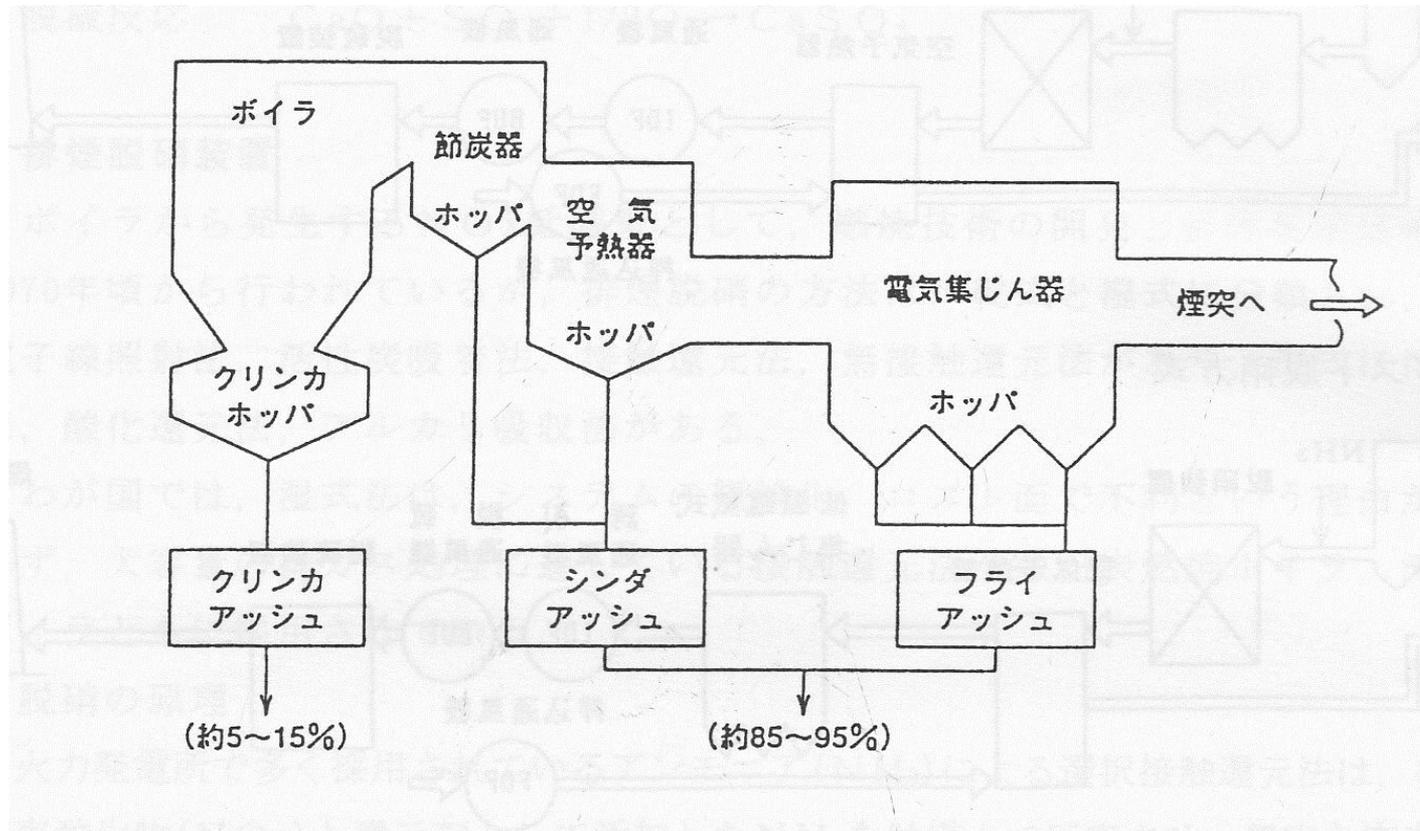
# 発電用ボイラの型式

---

灰処理と密接な関係のあるボイラの型式は下記の通りです

- 微粉炭焚ボイラ  
現在の主流のボイラ型式 ⇒ 本日の説明の対象ボイラ
- ストーカーボイラ  
褐炭燃焼用に使われている
- 常圧流動床ボイラ  
大型化、高蒸気圧力に難があると言われていたが、FW社が超臨界圧で460MWボイラをLagosza発電所に2009年に納入
- IGCC ⇒ 世界中で実証試験中。日本でもクリーンコールパワー(株)勿来250MWで2007年より試験中

# 微粉炭焚きボイラの灰分布・灰温度

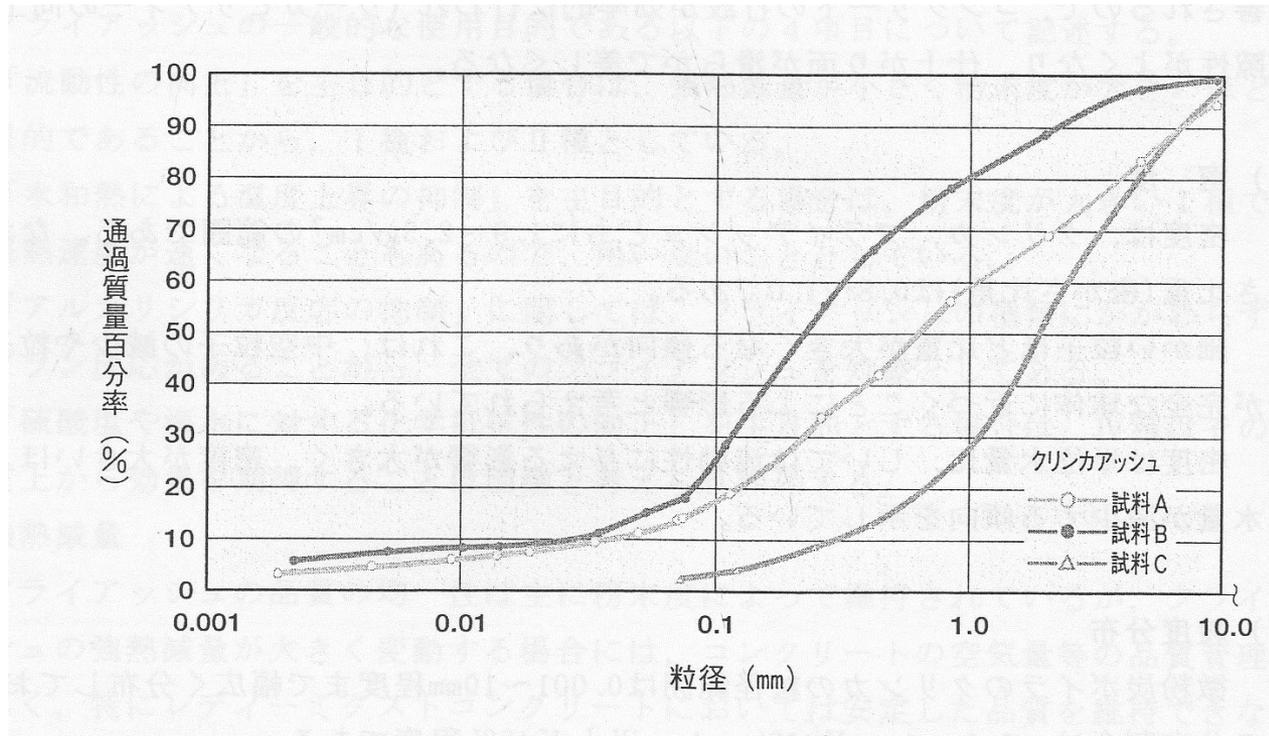


クリンカアッシュ: 850-1000°C程度

フライアッシュ: (ECO)350°C、(AH)150°C、(ESP)130°C、(LESP)80°C

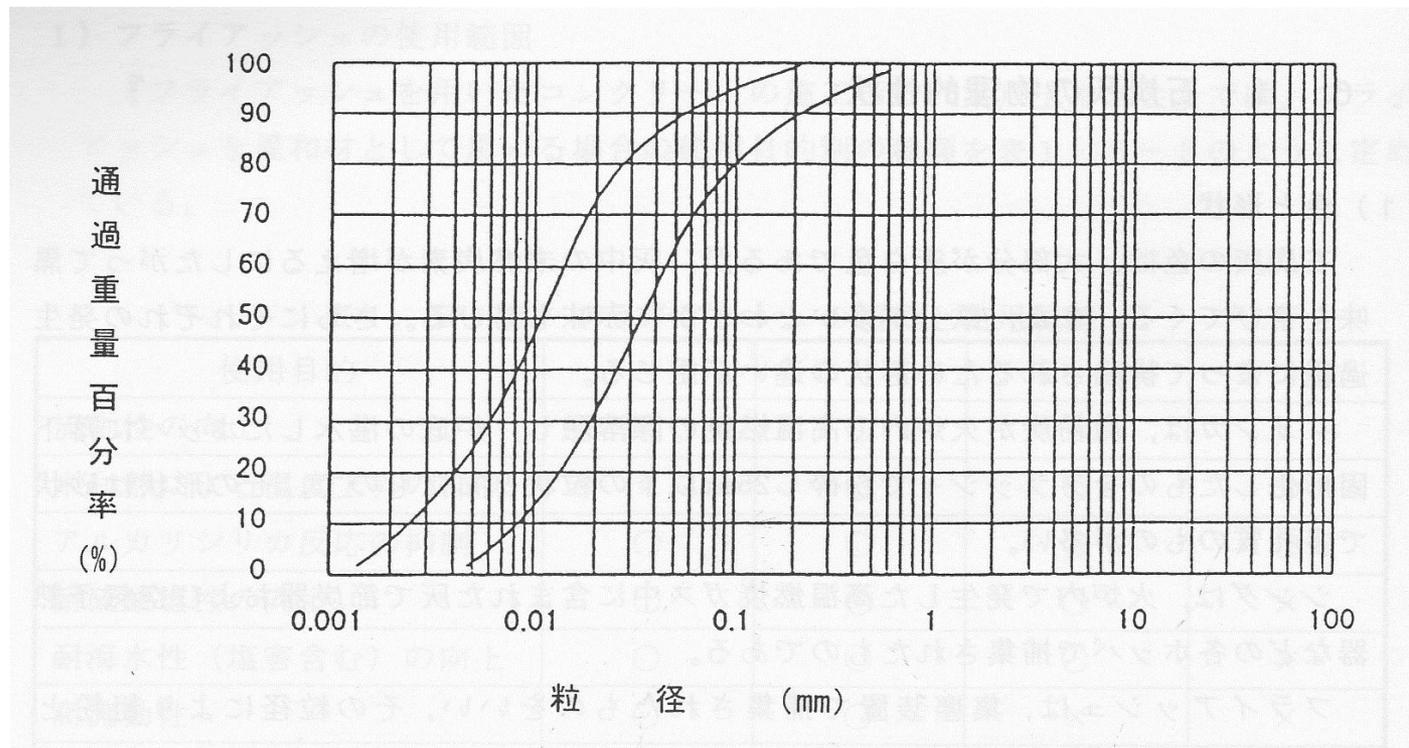
# クリンカアッシュの粒度分布例

平均粒径は0.2~2mm程度(湿式処理時)



# フライアッシュの粒度分布例

平均粒径は10~30 $\mu\text{m}$ 程度



# 石炭灰の化学成分

成分	炭種	国内炭	海外炭
	SiO <sub>2</sub> (%)	50~55	40~75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	25~30	15~35	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4~7	2~20	
CaO (%)	4~7	1~10	
MgO (%)	1~2	1~3	
Na <sub>2</sub> O (%)	1~2	1~2	
K <sub>2</sub> O (%)	0~1	1~4	

石炭灰の主な化学成分は  
二酸化ケイ素と酸化アルミで  
この二成分で70~80%を  
占める

# 石炭灰処理設備とは

---

ボイラ火炉下から排出されるボトムアッシュ(クリンカアッシュ)と煙道ホツパと集塵装置ホツパから排出されるフライアッシュを冷却・拔出し、貯蔵場所まで輸送する設備を灰処理設備と言います。

上記の基本設備に加えて、最近の大規模発電所では石炭灰を発電所からセメント工場に船輸送するので、前述の貯蔵場所から岸壁までの輸送設備と船積設備を備えています。

またフライアッシュをセメント代替材として発電所近隣の生コン工場で利用するために、JISフライアッシュを製造するためのフライアッシュ分級設備、トラック積み設備もあります。

また構内灰捨場までの輸送設備、埋立設備も通常は設置されます。

その為灰処理設備は発電所の広い範囲に設置されています。

# 石炭灰処理設備は粉粒体を扱う

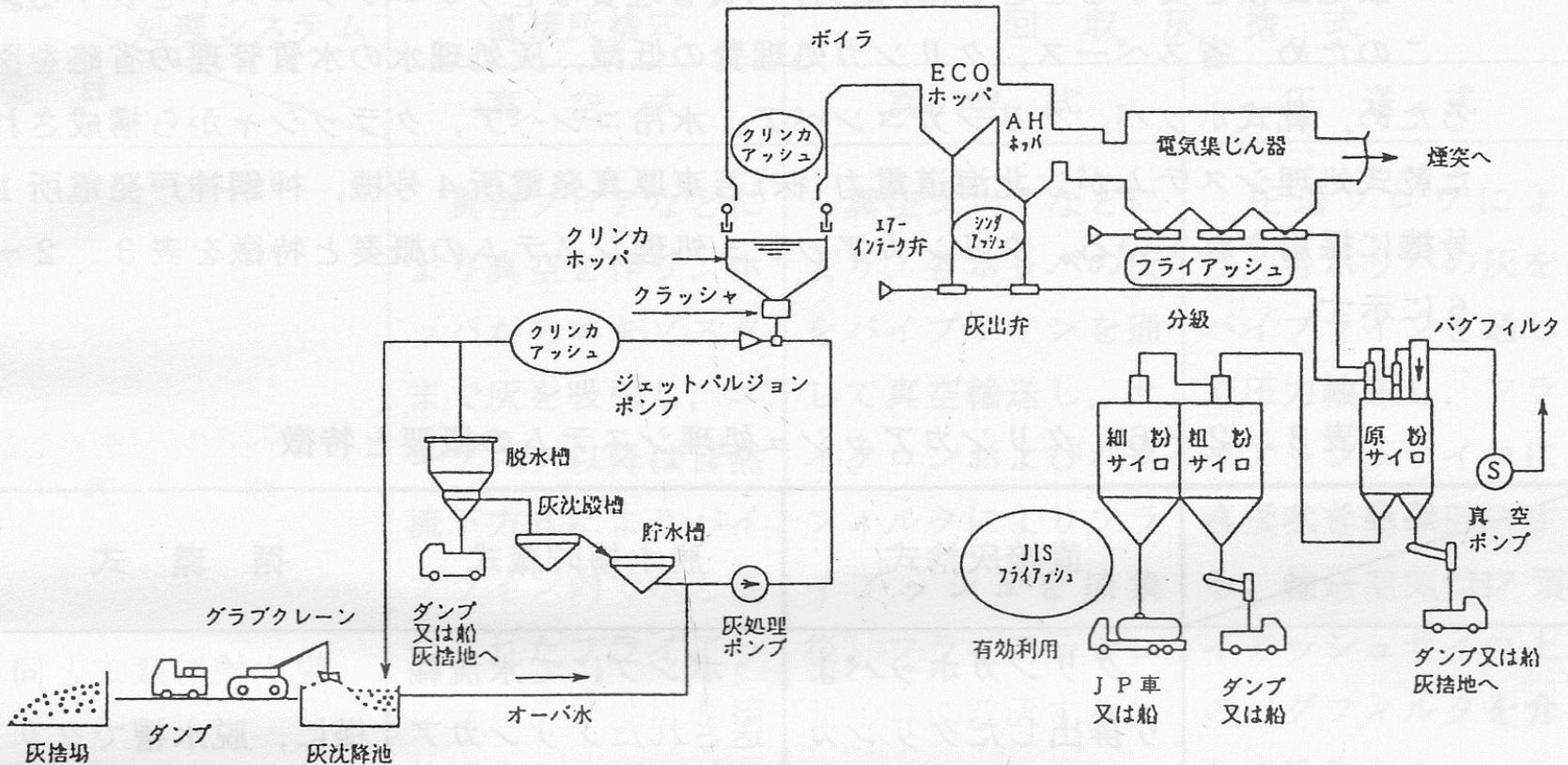
---

粉粒体は、固体、液体、気体の三つの相に加えて、第四の相とも言われています。

粉粒体を取り扱う際の理論が未だに確立されていません。従って、粉粒体の物理性状、化学的性状が変わった場合は、経験・実験により設計をすることになります。

粉粒体の空気輸送の解析をコンピューターでする試みもされていますが、コンピューターの能力の限界があるため、短い輸送距離・薄い粉粒体濃度の範囲でしか計算できていません。

# 灰処理系統図例（クリンカホツパ方式）



# A. クリンカアッシュ処理方式

---

## A1. 乾式処理 (MAC)

## A2. 湿式処理

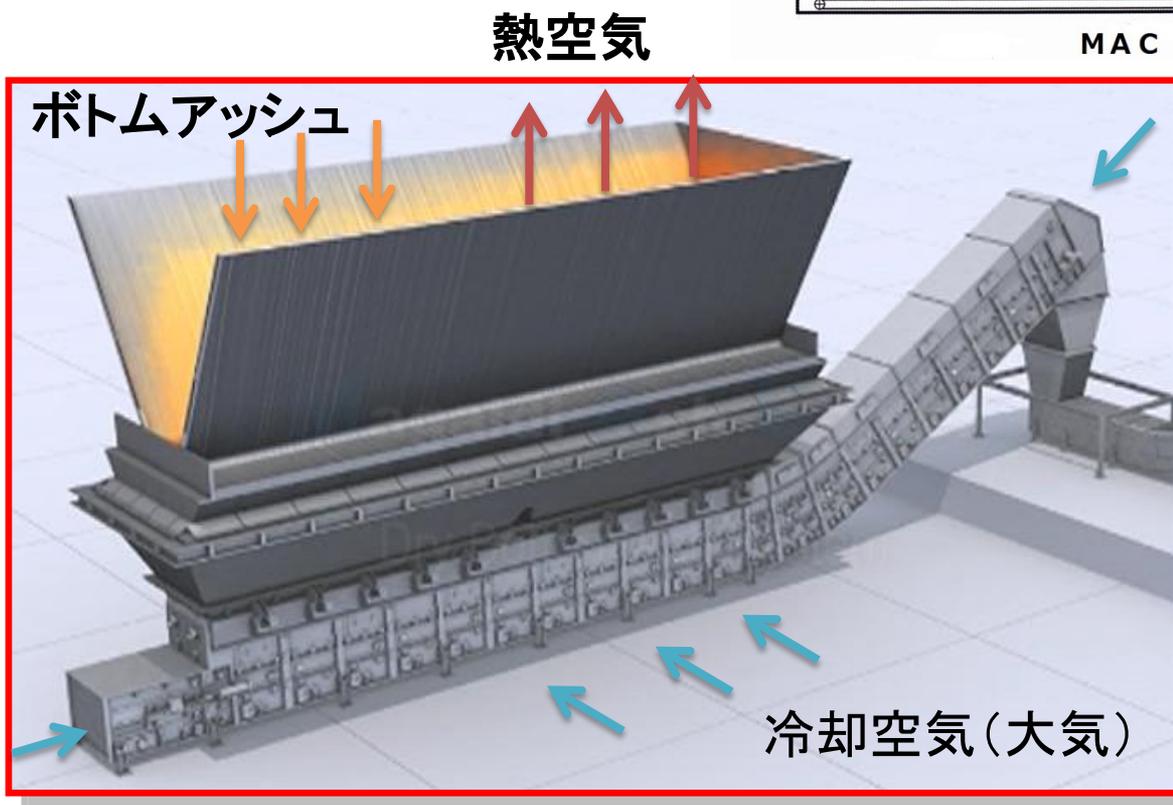
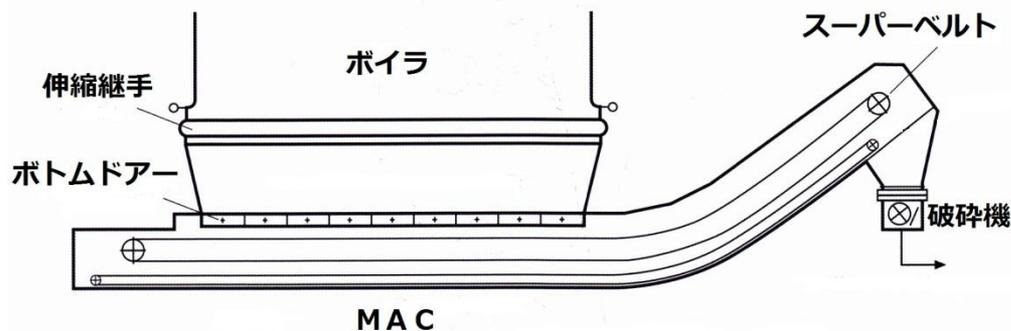
A2. 1 機械式連続処理(水封式チェーンコンベヤ)

A2. 2 間歇水力輸送方式(クリンカホツパ方式)

2. 2. 1 水ジェットポンプ方式

2. 2. 2 遠心ポンプ方式

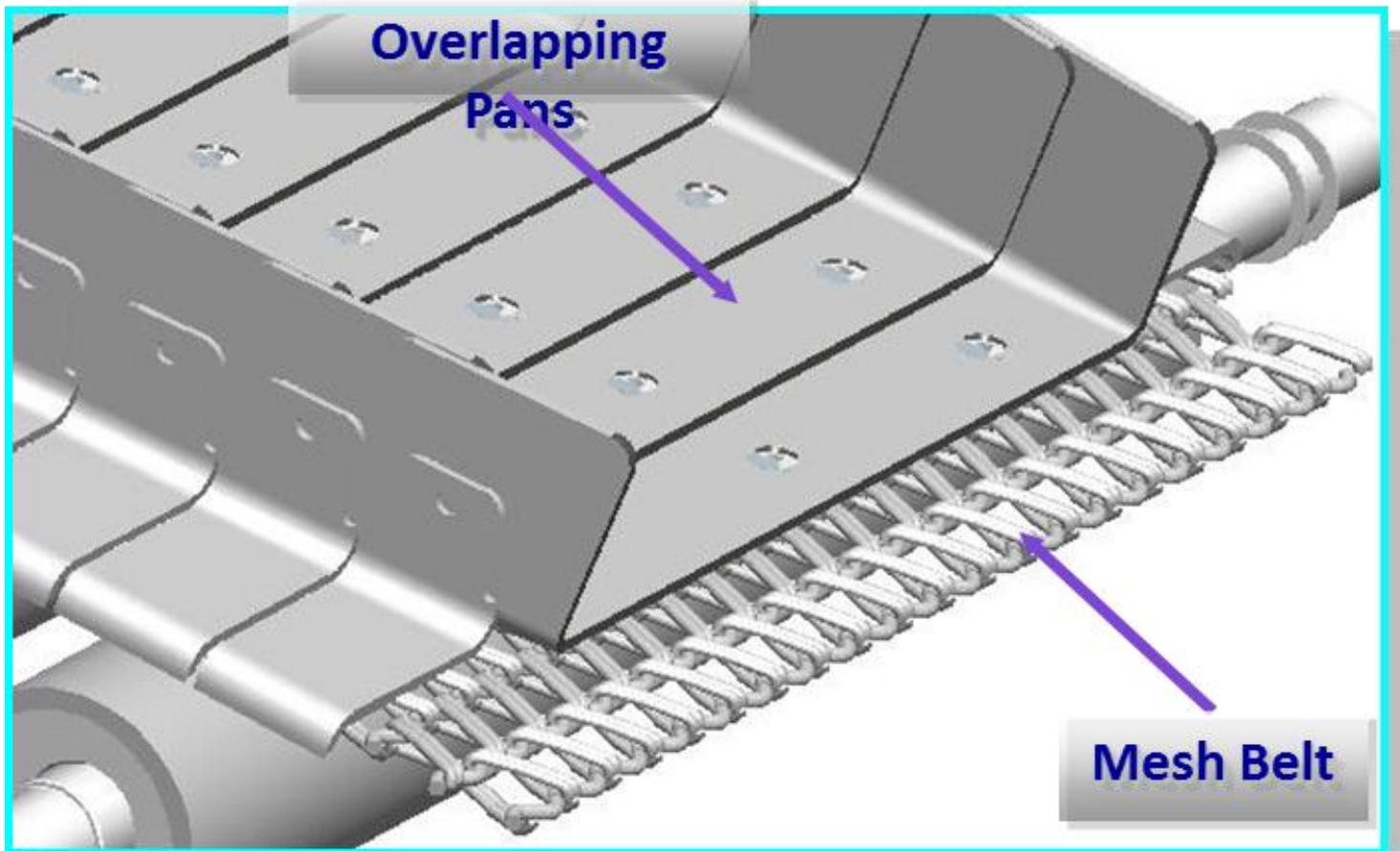
# 1. 乾式処理(MAC)



## 特長

- 1) 給水・排水の問題が無い
- 2) ボイラ効率が増加
- 3) 信頼性が高い
- 4) 冷却空気量は  
燃焼用空気量の  
たった1%

# マガルディ・スーパーベルトの構造



# A1. 乾式処理(MAC)

---

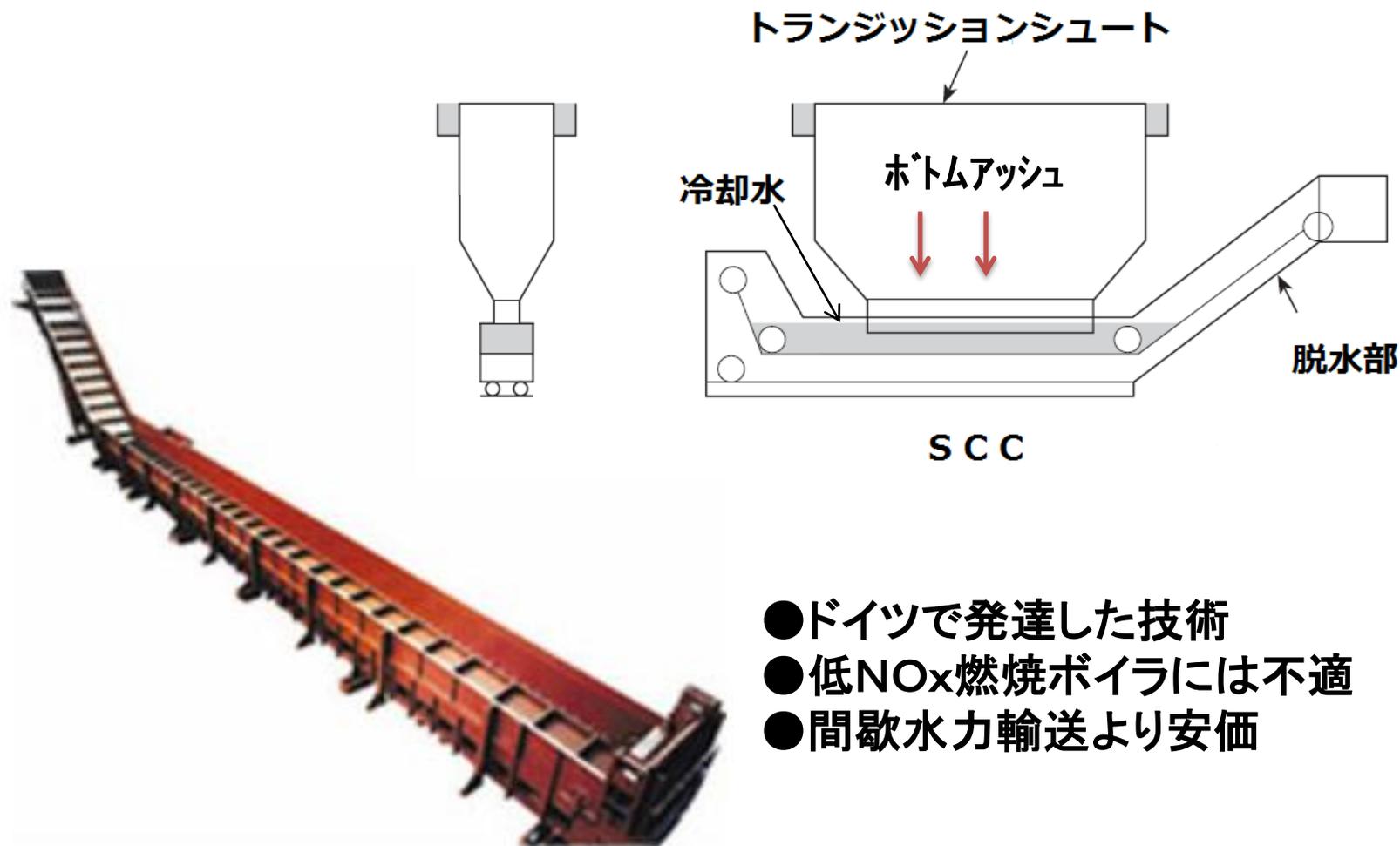
ボイラ火炉から排出される高温(850~1000°C)のボトムアッシュは、従来水槽に入れて冷却していました。  
これは100年以上続いていた常識でした。

この高温ボトムアッシュを空気で冷却するという画期的な新技術をイタリア国マガルディ社が1985年に発明しました。  
この技術は無公害でボイラ効率が少し増えると言う特長があります。  
しかし、画期的な新技術は採用されるのに時間が掛かりました。

本技術は35MWボイラで1985年に採用され、その後10年間で75MW、160MW、320MW、550MWと順次大型ボイラに採用されました。更にその後10年間で世界で最先端の公害対策ボイラの日本で700MWで採用され、その後一気に世界中で認知され、最近では1000MWボイラでも採用されています。

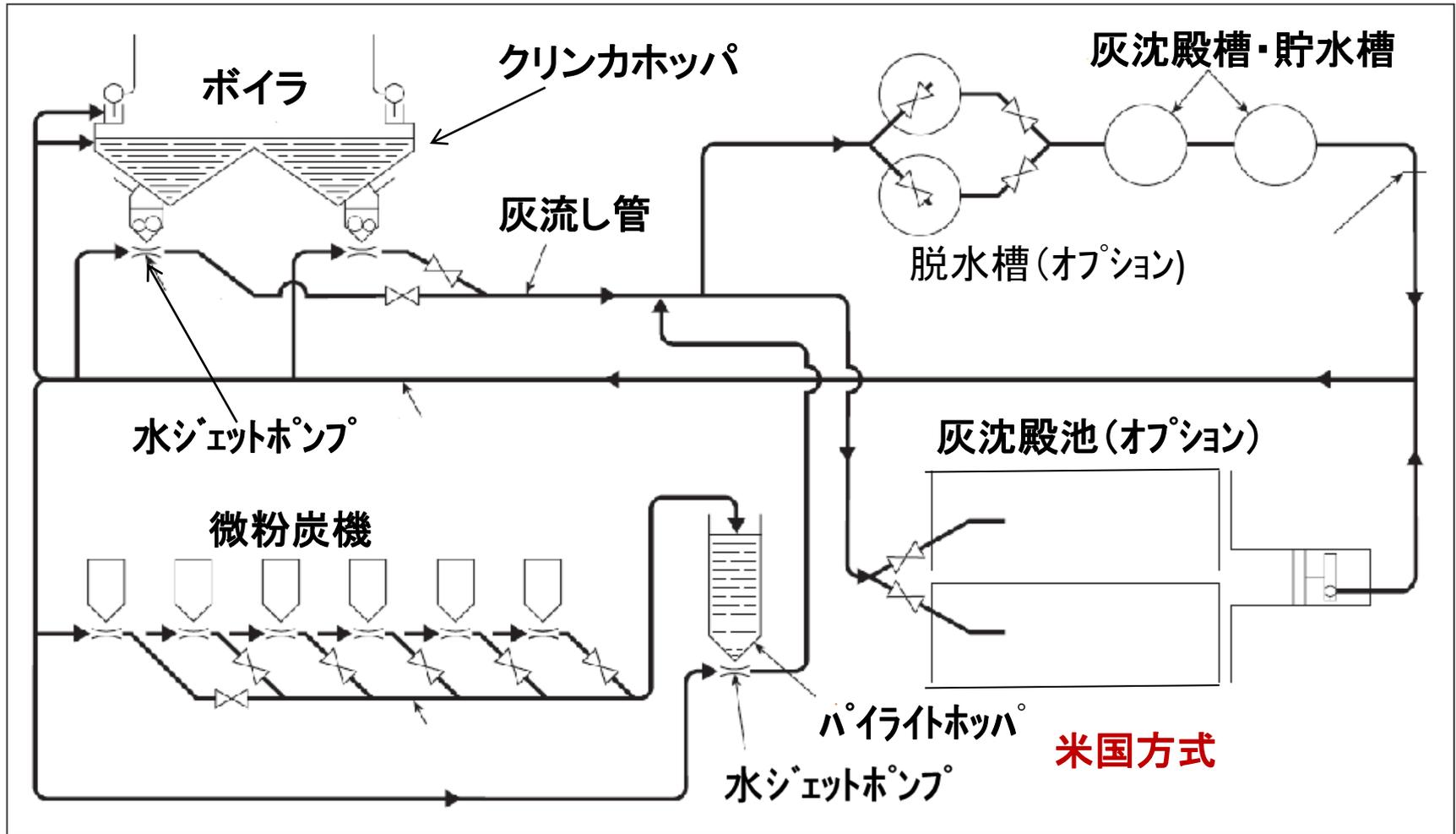
**教訓:常識は覆る！！ 革新的な技術の認知には時間が掛かる！！**

# A2. 1 水封式チェーンコンベヤ



- ドイツで発達した技術
- 低NO<sub>x</sub>燃焼ボイラには不適
- 間歇水力輸送より安価

## A2.2 間歇水力輸送方式



# B.フライアッシュ処理方式

---

## B1.空気輸送方式

- B1. 1 低濃度空気輸送方式(真空輸送、圧力輸送)
- B1. 2 高濃度空気輸送方式

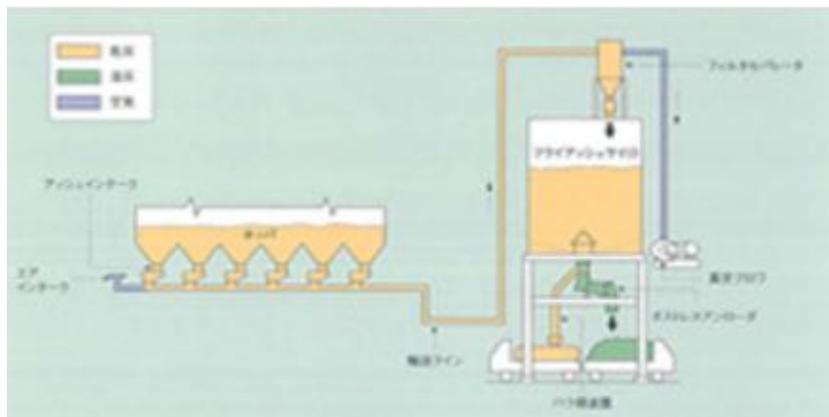
## B2.機械式輸送方式

- B2. 1 ベルト方式
- B2. 2 重力輸送方式

## B3.水力輸送方式

- B3. 1 低濃度輸送方式
- B3. 2 高濃度スラリー輸送方式
- B3. 3 トレンチ輸送方式

# 真空空気輸送



大気圧以下の空気流により輸送します。  
短距離輸送、小輸送能力に適した輸送方式です。

シンプルで経済的な方式で、  
電気集塵機、煙道ホッパの灰の輸送に広く採用されています。

多数の灰発生個所から収集し  
一か所のサイロに投入する場合  
に適しています。





# B1. FA空気輸送

---

## 低濃度と高濃度空気輸送の違い

長距離輸送(数百m以上)、大粒径は低濃度輸送が適當  
短距離輸送、粉体の輸送には高濃度輸送が適當

## 低濃度と高濃度空気輸送の違い

空気の初速:

15-20m/s 対 5-10m/s

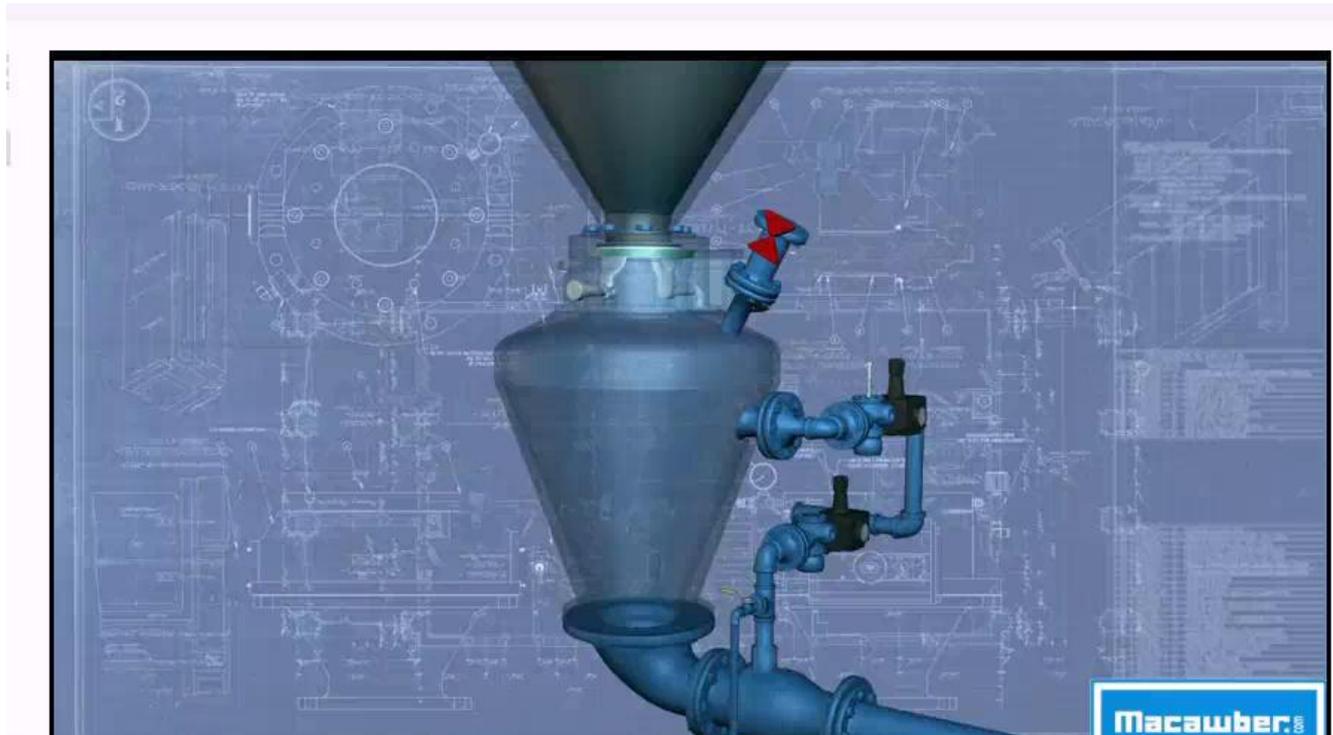
固気比(=灰重量/空気重量):

10-30 対 20-50

# B1. FA空気輸送

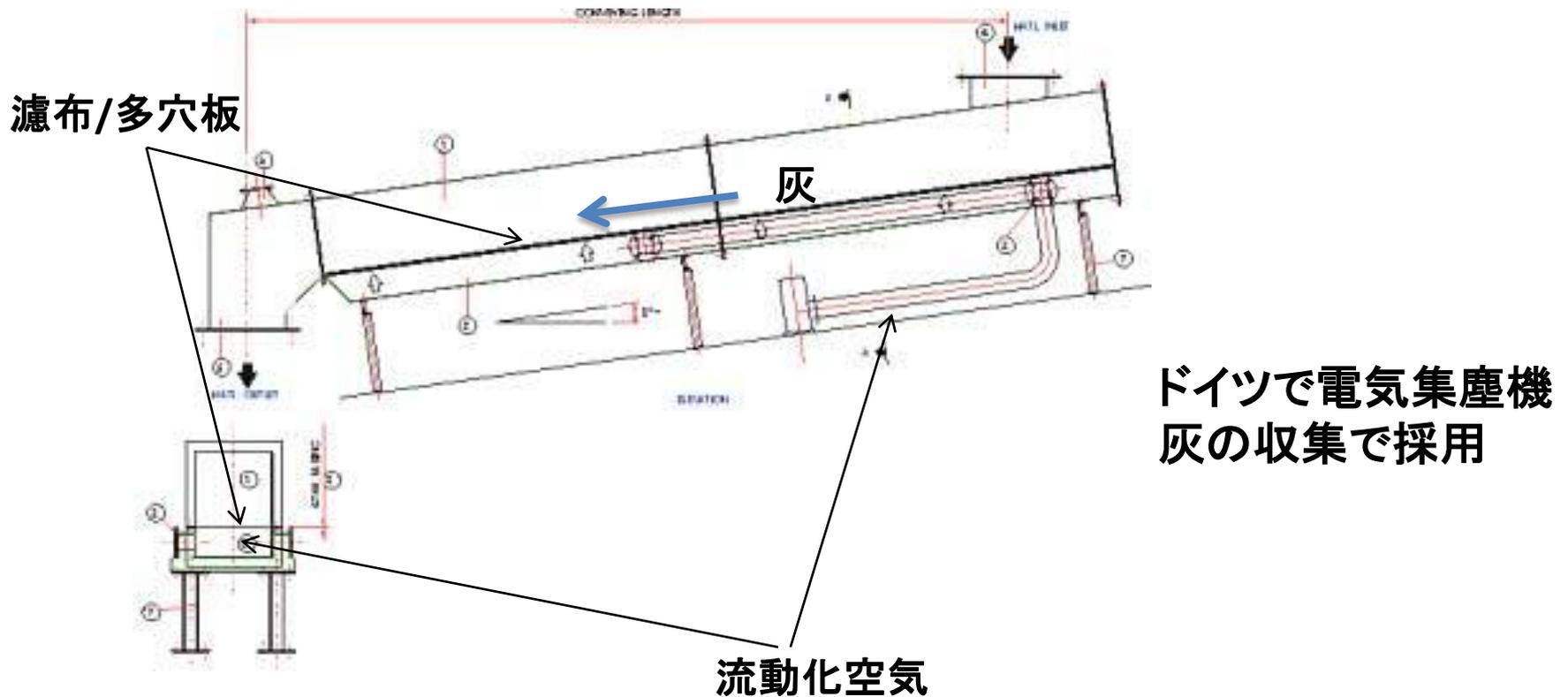
---

高濃度空気輸送 : ドイツで発達した技術



# B2. 機械式輸送方式

## B2.2 重力式輸送方式



## C.その他設備

---

- C1. 灰貯蔵設備：サイロ（鋼板製、コンクリート製）
- C2. 灰船積設備：
- C3. 灰トラック積込設備：乾燥灰積込・加湿灰積込設備
- C4. 灰埋立設備：高濃度スラリー、低濃度スラリー、  
移動コンベヤ方式、トラック方式

⇒ 詳しい説明は省略します。

# 石炭灰船積設備

---



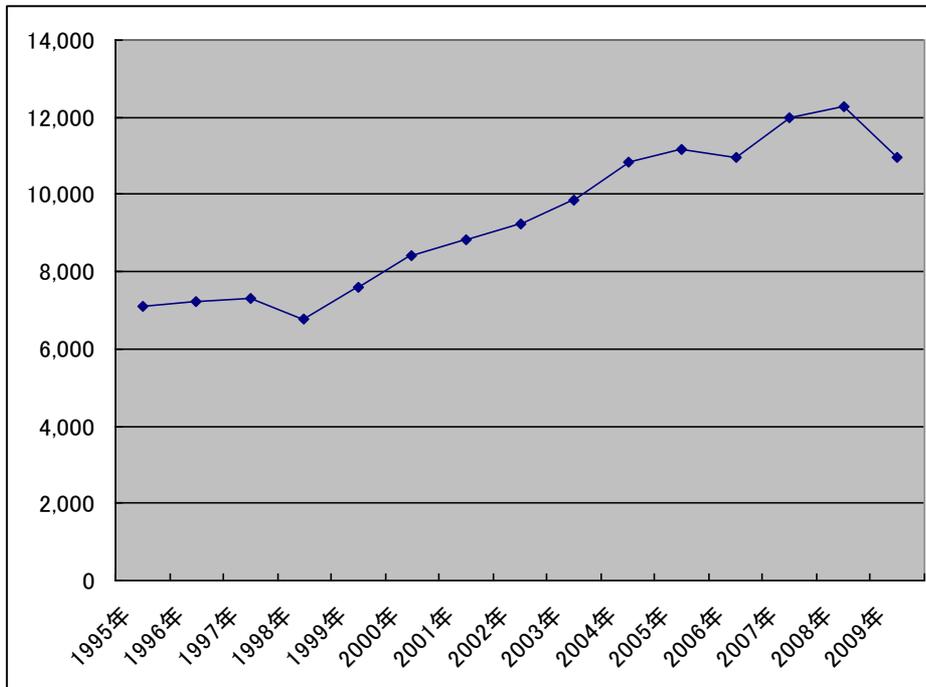
# 高濃度スラリーシステム

---



# 石炭灰の発生量

排出量 千t/y

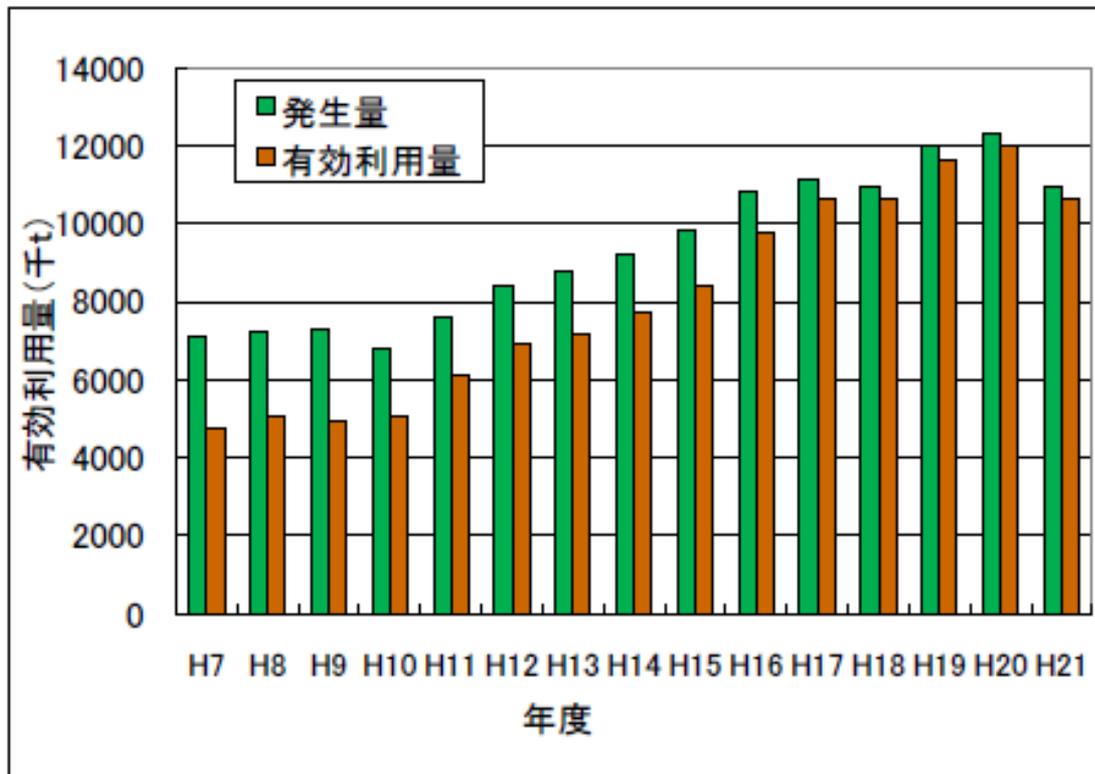


石炭中には約10%WTの灰が含まれ、石炭燃焼時に灰が排出されます

年間に約1100-1200万t発生

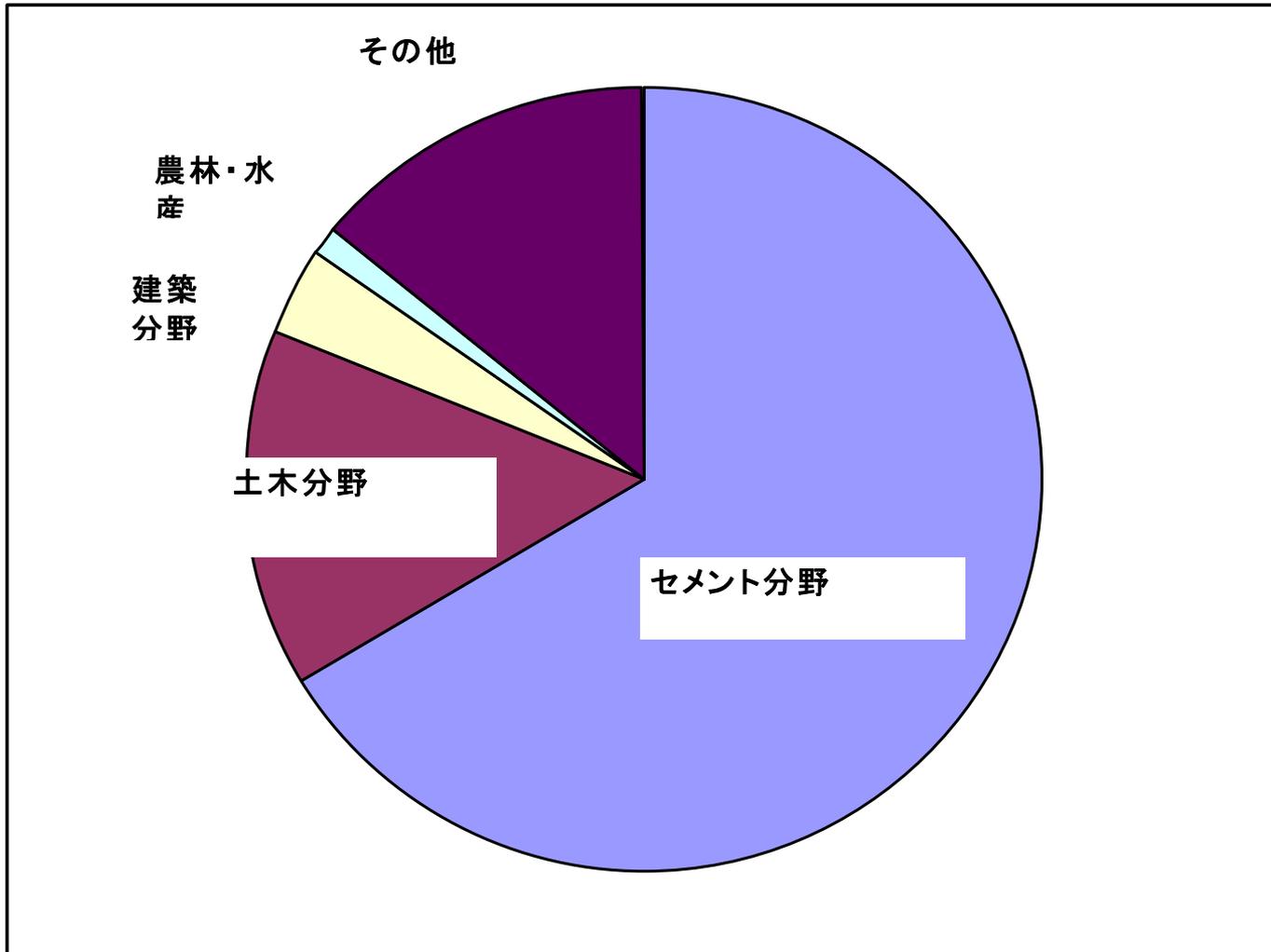
# 石炭灰の処分(有効利用)

## 1. 有効利用



石炭灰の発生量・有効利用量

# 石炭灰の処分(有効利用)



# 石炭灰の処分(埋立処分)

---

## 2. 埋立処分

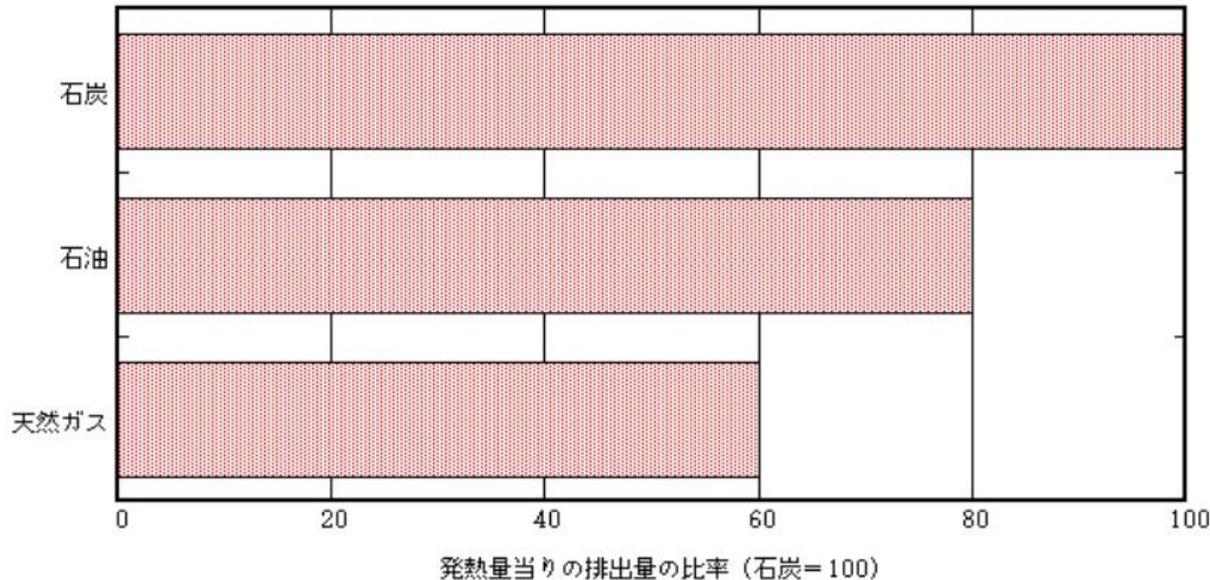
「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に準拠します  
管理型産業廃棄物処分場と規定されます。

処分場には保有水・雨水の浸出を防止する遮水工を設置。  
集水設備を設け、放流水は  
排水基準に合致する事。

発電所は原則10年間分の  
発生灰量を埋立てられる灰処  
分地を有しています。  
主として海面埋立場で、陸上  
埋立場も少数あります。



# 炭酸ガス発生対策



## 炭酸ガス排出の低減対策

微粉炭火力の高効率化: USC(Ultra Super Critical Boiler)

IGCC: 勿来のクリーンパワー250MW実証設備で2007年より試験中、  
諸外国では連続運転に苦勞

CO2分離回収: 世界各地で実証試験が始まる予定

# 出典

---

1. エネルギー白書2011
2. (財)石炭エネルギーセンター、「石炭の開発と利用のしおり」
3. 神鋼神戸発電所、パンフレット
4. 日本フライアッシュ協会、「石炭灰ハンドブック」
5. マガルディ・パワー社、パンフレット
6. 川崎重工、ホームページ
7. 東大エネルギー・環境シンポジウム第4回
8. 東大技術フォーラム第7回
9. 日経ビジネスオンライン 2012年5月28日
10. Macawer Engineering ホームページ
11. Steam, B&W社発行

# 石炭火力発電所と石炭灰処理設備

---

ご清聴有難うございました

