



バルメットの  
気候変動プログラム

# ライムキルンバーナLNG燃料転換, BFBへの改造

2024年 4月 16日

バルメット株式会社

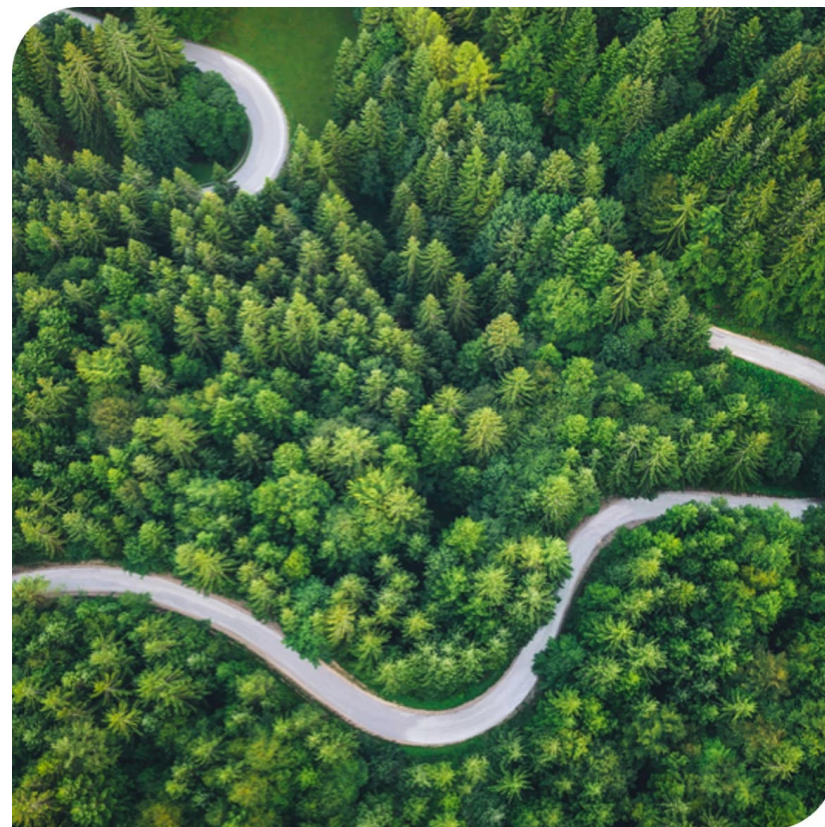
サービス事業部

パルプ&エネルギー技術部 エネルギーグループ

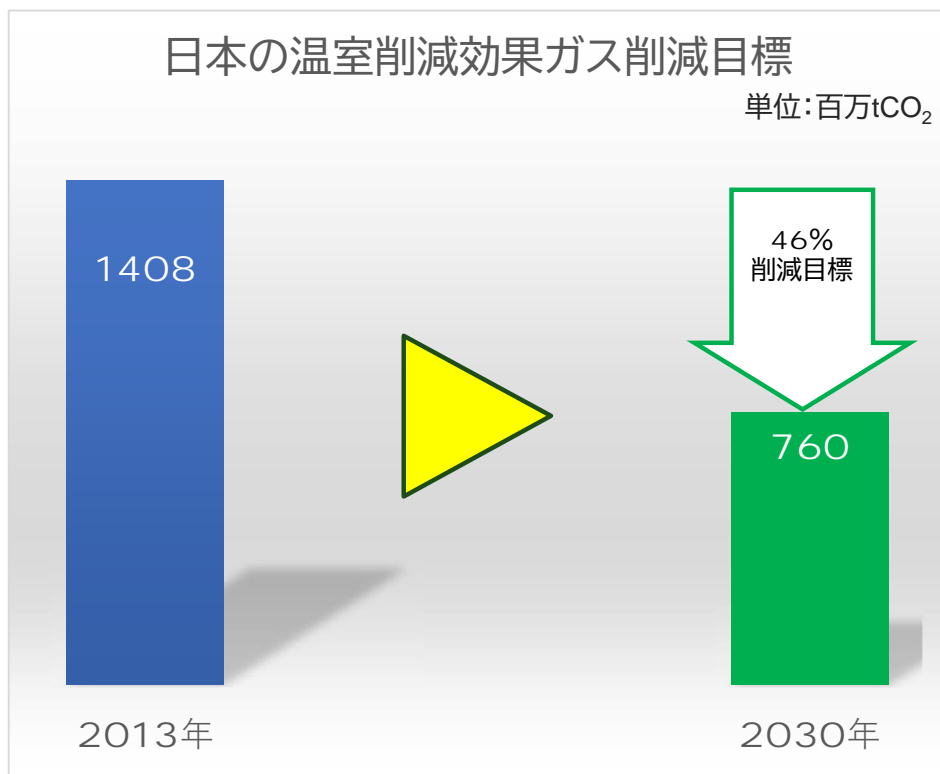
平川 和也

# 目次

- 1 はじめに
- 2 キルンバーナの燃料転換
- 3 既設ボイラの有効利用について



# 1. はじめに



国際公約として

2030年度温室効果ガス2013年度比46%削減

2050年にはカーボンニュートラルの実現

温室効果ガス削減方策について2策紹介

The background image shows a complex industrial facility with multiple levels of metal walkways, railings, and structural beams. A worker in a blue hard hat and high-visibility vest is visible on the left side, standing on a platform. The lighting is bright and even, highlighting the metallic surfaces and the intricate piping system.

## ライムキルンバーナLNG燃料転換

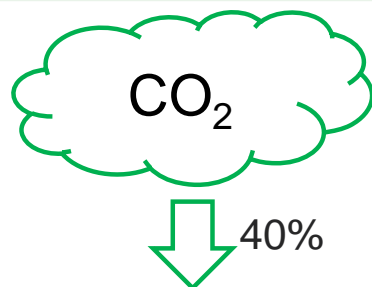
# コンテンツ

- 1 LNGへの燃料転換（燃転）の影響
- 2 環境への影響
- 3 燃転のコンセプト



# 1. LNGへの燃料転換（燃転）の影響

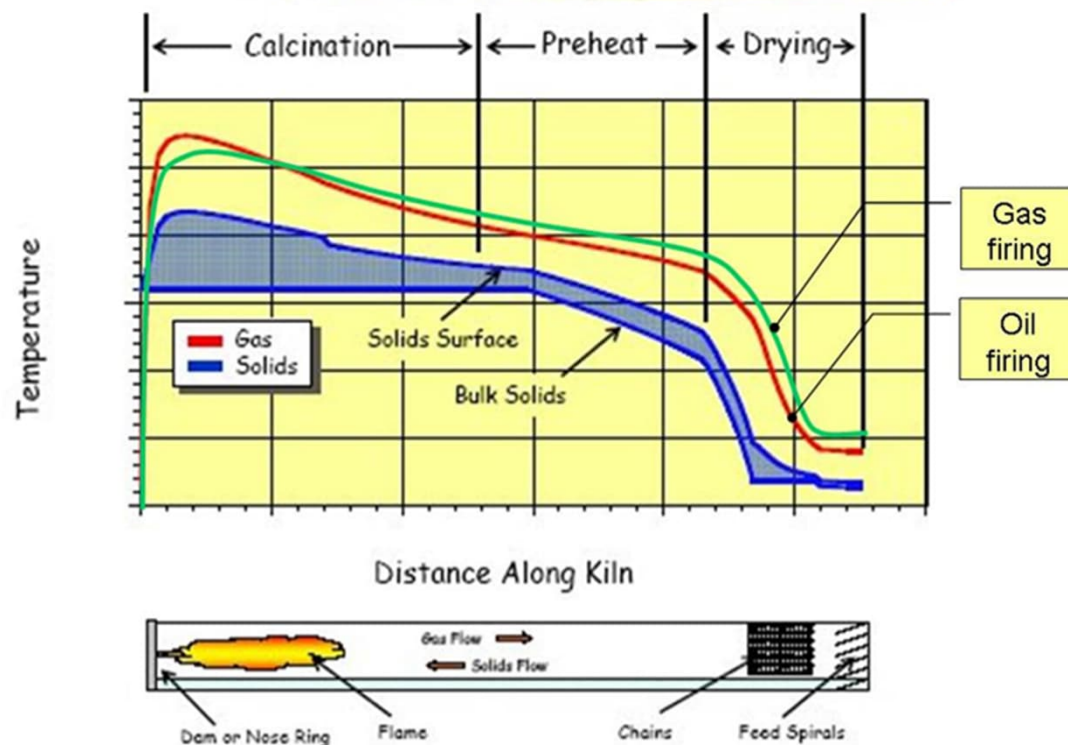
	LNG（液化天然ガス）	重油
火炎形状	ガス炎が長くなり、出口ガス温度が高くなる	炎は非常に集中的であり、燃焼ゾーンは短く熱い
火炎温度	重油に比べ低い	高い
放射熱	重油に比べ放射熱が低い	放射熱は高い
耐火材への影響	耐火材を傷めにくい	ダムリングを形成しやすい
燃料コスト	重油に比べて高い	安価
CO <sub>2</sub> 排出量	重油に比べて少ない（40%減）	C重油の排出量は 3.00tCO <sub>2</sub> /kl



# 1. LNGへの燃料転換（燃転）の影響

キルンの温度プロファイル（ガス対石油焼成 (P. Gorog)）

## Lime Kiln Zones



LNGへ燃料転換しても  
焼石灰品質に影響はない

## 2. 環境への影響

### 重油からLNGの燃転の影響

SOx  
(硫黄酸化物)

SOxの排出は、燃料中に硫黄がないため、燃転によって減少傾向

Dust  
(煤じん)

理論上、ESPを通るガス流量とガス速度が高いため、煤じんの排出はわずかに増加。実際には、煤じんの増加はわずかのため、ESPの能力範囲内に収まると推定される。

NOx  
(窒素酸化物)

NOx排出量は増加傾向

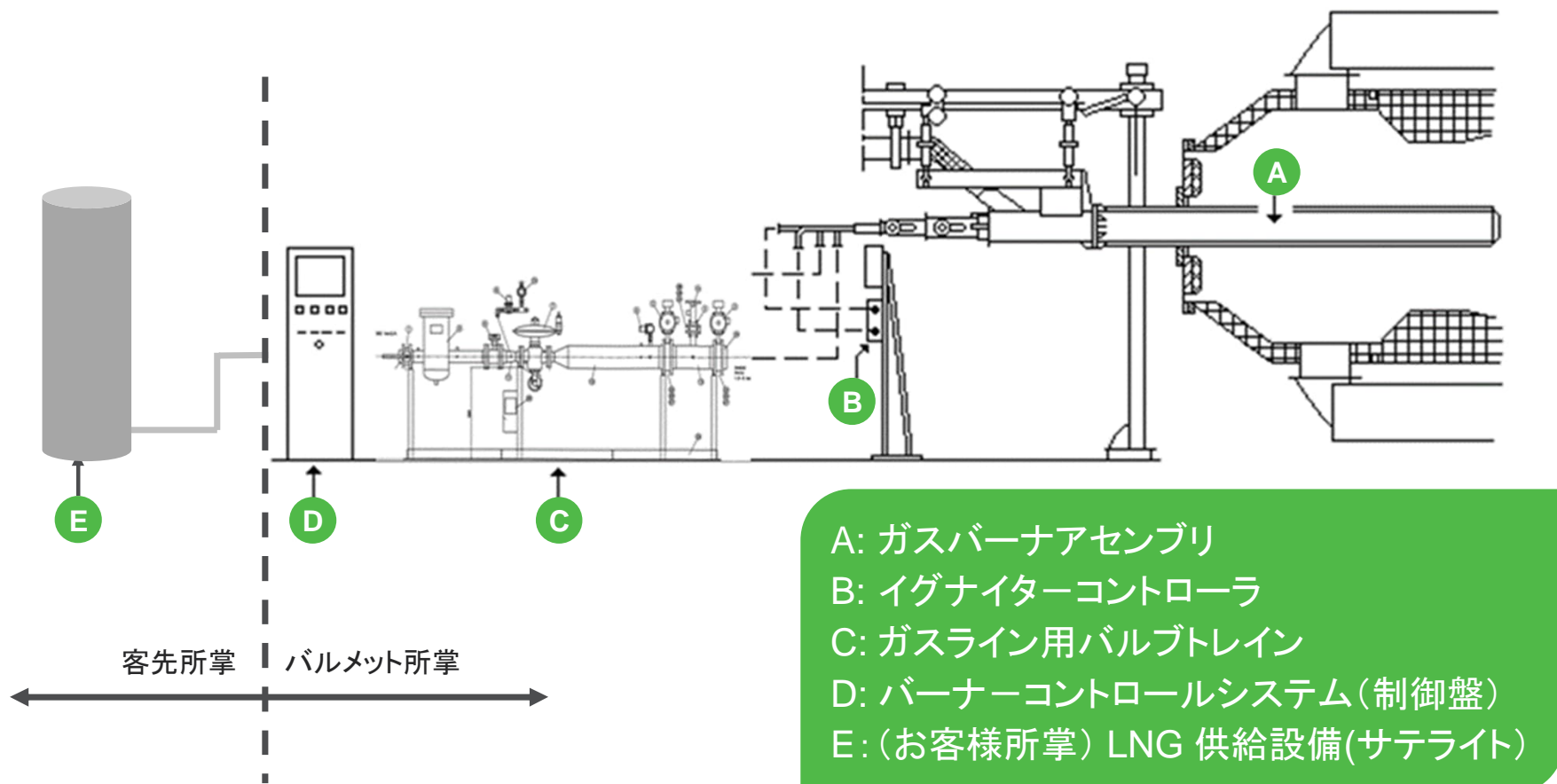
TRS  
(Total Reduced Sulfur)

特に変化なし  
(キルン出口のガス温度が高いため、おそらくわずかな改善する可能性有)



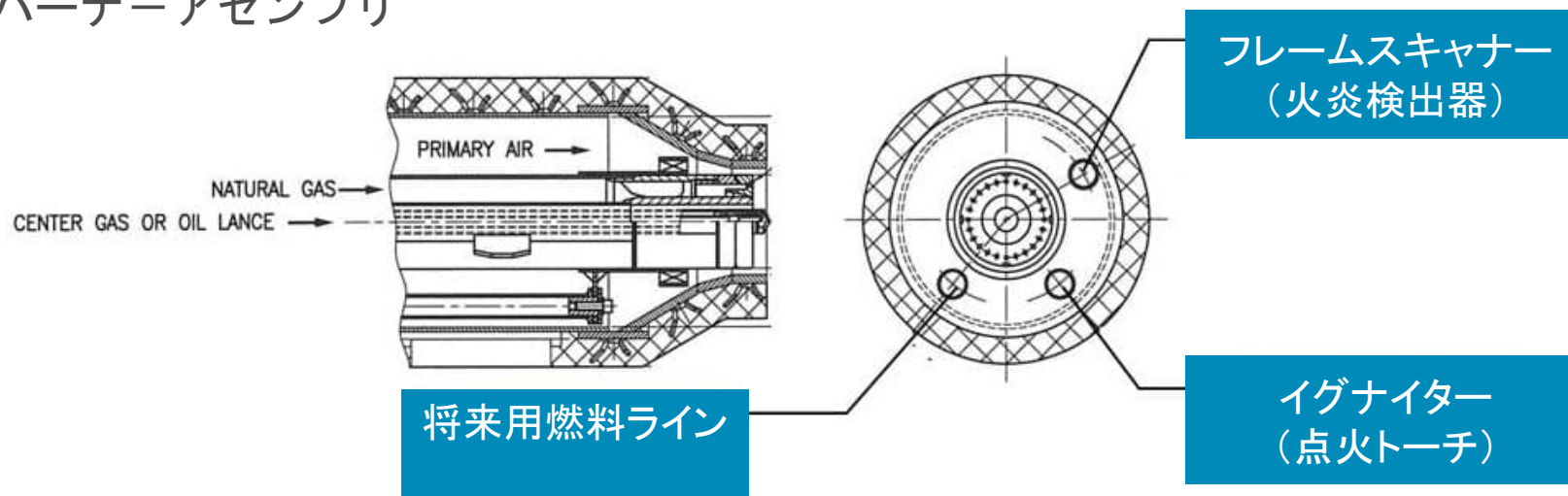
### 3. 燃転のコンセプト

燃転に必要な設備： システム構成



### 3. 燃転のコンセプト

#### A : ガスバーナーアセンブリ



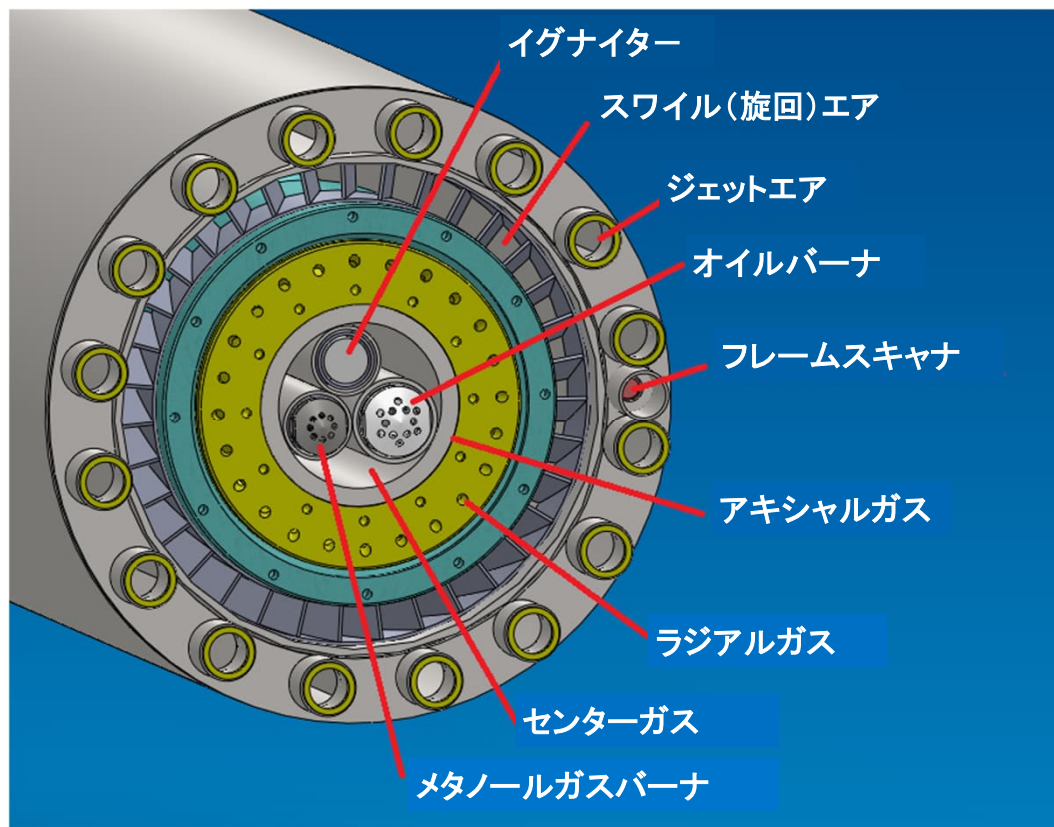
ガスバーナーは、複数のラインの組合せで構成される。

主な構成は以下の通り：

- センターパイプ（ガスガン）
- メインガスライン
- 1次エアライン
- サテライトライン（火炎検知器、点火トーチ、補助燃料ライン（メタノール + テルペンチン等））

### 3. 燃転のコンセプト

Valmet Multifuel Jet Burner (構成例)



## 3. 燃転のコンセプト

### A：ガスバーナーアセンブリ

#### ガスバーナーアセンブリの主な特徴

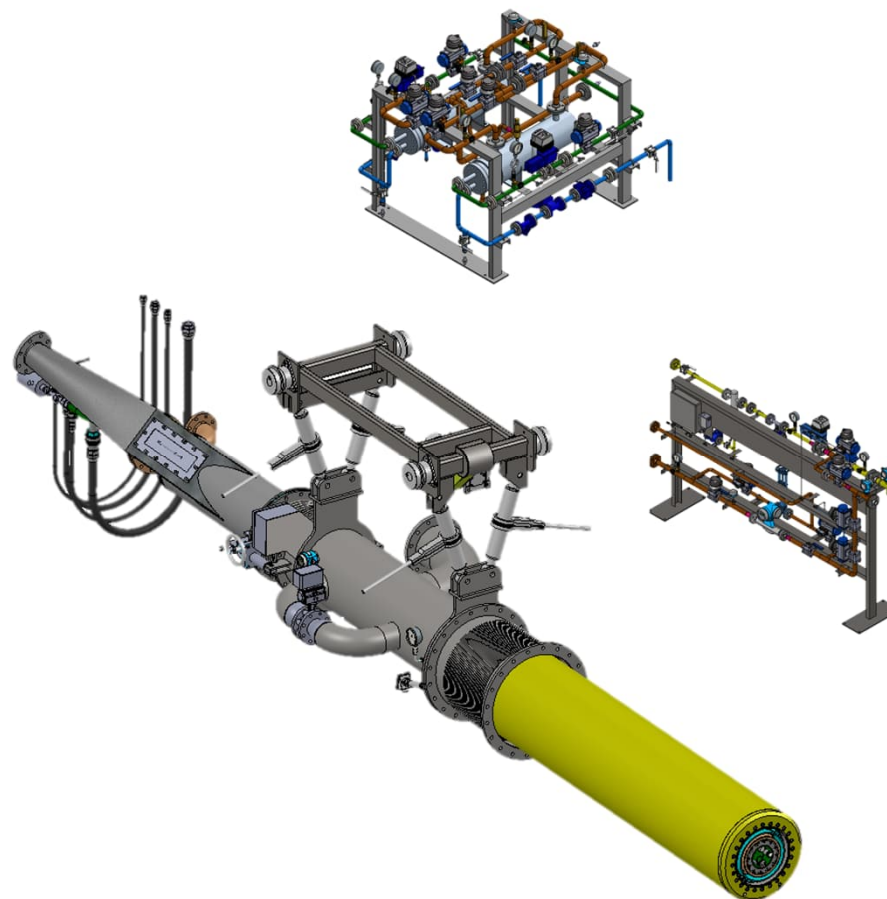
- NOx発生を最小限
  - ガス流を2つの流れに分割することによって、炎中のNOx発生を最小限に抑えられる。  
中央ノズルにガスを供給することより均一な炎が形成され、その結果、NOxの排出を抑えられる。
- ワイドレンジに調整可能な火炎形状
  - バーナーの調整はアクチュエータ（空圧）により、広い範囲で火炎の形状を調整することが可能
- 他の燃料も使用可能（混焼可能）
  - 但し事前に使用する燃料を選定必要有
- バーナー取付方法
  - 既存の燃焼室に新しいバーナーを取り付ける方法は吊り下方式、床にレールと脚を備えた方式が選択可能（既設の再利用については現場確認が必要）
- 既設設備の再利用可能
  - ガスが供給されない場合は、既設のオイルガンを接続することも可能

### 3. 燃転のコンセプト

#### B: イグナイターコントローラ

##### イグナイターコントローラの主な特徴

- 安全でシンプルな構造
  - コンプリートパッケージは、燃料混合ユニット、セーフティインターロック付きコントロールボックス、パイロットトーチで構成される非常にシンプルな構造



### 3. 燃転のコンセプト

#### C: ガスライン用バルブトレイン

##### ガスライン用バルブトレインの主な特徴

- 製作工場に組立し搬入
  - 工場にて組立、テスト実施した状態で納入するため  
施工期間の短縮化
- 燃料圧力を調整しバーナーへ供給
  - 調整した燃料を供給することで安全で安定した  
バーナー運転を可能にする



## 3.燃転のコンセプト

D : バーナーコントロールシステム (制御盤)

### バーナーコントロールシステムの主な特徴

- 国際安全規格であるIEC 61508 SIL 2に対応
  - ローカル制御を備え、ガス燃焼システムを安全に動作させるために必要なすべてのロジックを含む。  
ローカルバーナーマネジメントシステム (BMS) にはセーフティPLC (SIL 2) が含まれており、工場のDCSと通信するように設計されている。
- BMSの目的
  - ✓ バーナーの動作を制御
  - ✓ 測定結果を処理して表示
  - ✓ 運転/停止シーケンスを実行
  - ✓ オイルと流量の調整
  - ✓ アラーム異常状態
  - ✓ DCSとの通信

# ライムキルン燃料転換 リファレンス

## JK Paper Ltd., JK Paper (インド)

- 受注：2019年
- 使用燃料：重油、生成ガス、石油コークス
- 焼成量：220 MPTD

## International Pepar, Luis Antonio mill (ブラジル)

- 受注：2012年
- 使用燃料：重油、LNG、NCG、メタノール
- 焼成量：265 MPTD

## Portual, Cacia mill (ポルトガル)

- 受注：2008年
- 使用燃料：重油、LNG、NCG
- 焼成量：250 MPTD

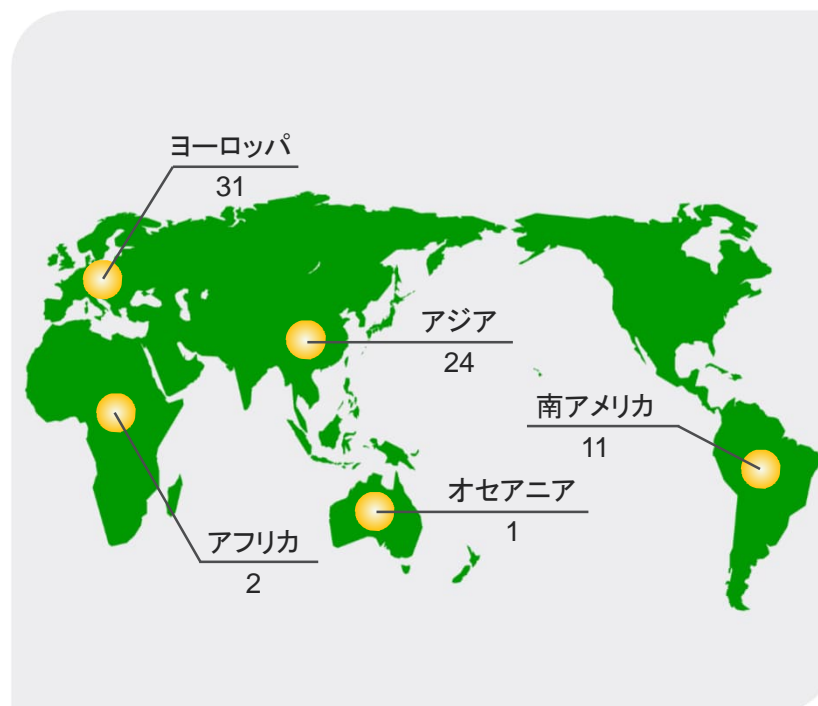
## Sociedade Portuguesa, Soporcel (ポルトガル)

- 受注：2002年
- 使用燃料：重油、LNG、NCG、メタノール
- 焼成量：400 MPTD

## CMPC Celulosa S.A., Pacific pulp mill, Mininco (チリ)

- 受注：2001年
- 使用燃料：重油、LNG、NCG、メタノール
- 焼成量：430 MPTD

1990年より69台のキルンバーナーを販売  
1904年より世界に400台以上のライムキルンを販売







バルメットの  
バブリング流動床 (BFB) テクノロジー  
および BFB への転換

# 目次

- 1 バルメットのバブリング流動床(BFB)ボイラ
- 2 BFBへの改造
- 3 リファレンス





バルメットのBFBボイラ  
ーバブリング流動床（BFB）ボイラ

# バルメットの BFBボイラ

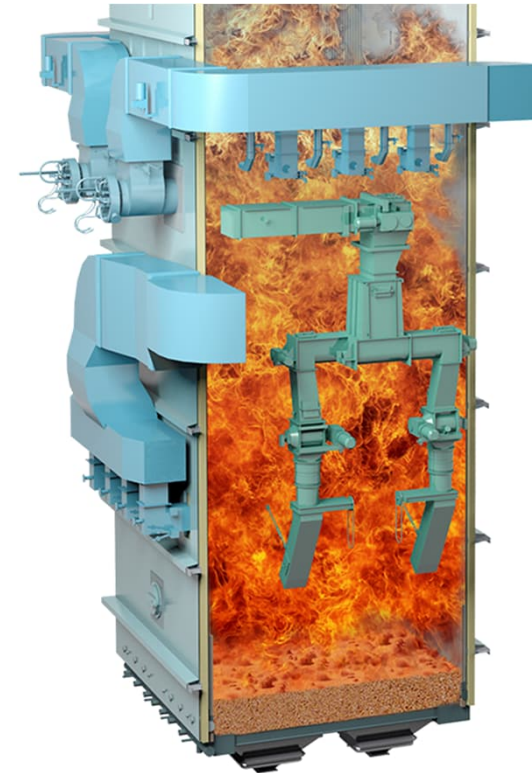
## バブリング流動床（BFB）ボイラ

### バルメットのBFBボイラ

- 1979年から BFBを納入
- 1995年にハイドロビームフロアを備えた最初のBFBを納入

### バブリング流動床プロセス

- サンドベッドは空気で流動
- 固体燃料をホッドベッドへ供給
- 排出ガスの再循環はベッド温度制御に使用
- 炉内より高い位置に 2次および 3次空気口を配置し最適化された燃焼空気段階的に供給

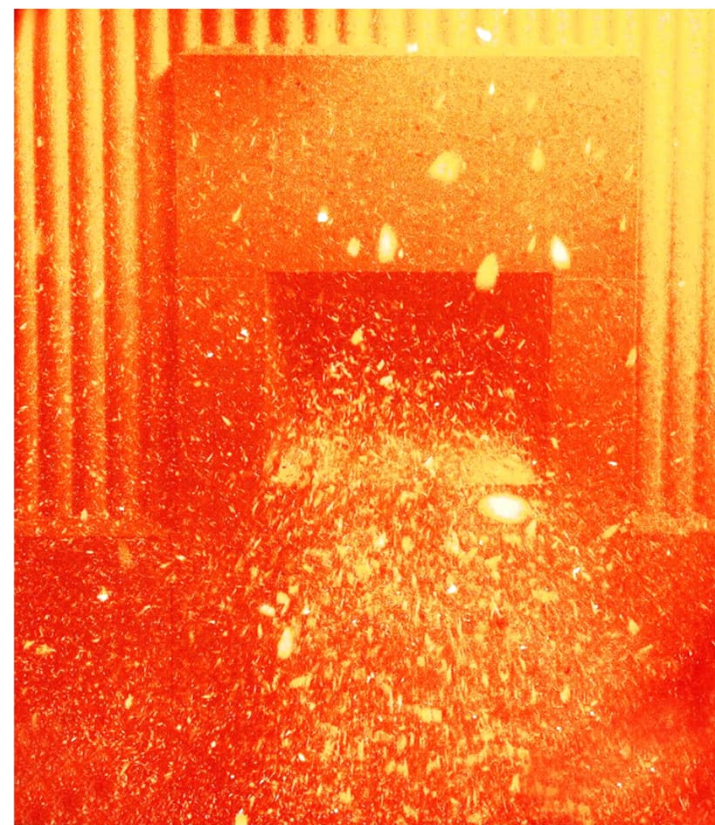


# バルメットの BFBボイラ

## 燃料の使用実績

### BFBボイラで燃焼可能なもの：

- 木質系バイオマス：
  - － 木材チップ、樹皮、おがくず、森林残渣など
- スラッジ：
  - － 一次汚泥、生物汚泥、脱墨スラッジ
- 樹皮
- 使用制限がある材料：
  - － 再生木材、合板残渣、SRF（廃棄物固形燃料）
  - － 農業用燃料
- 補助燃料：
  - － 天然ガス、石油



# バルメットの BFBボイラ

## 燃料の柔軟性 – 基準燃料



- 粉碎泥炭
- 松
- スプルス（トウヒ）
- バーチ（白樺）
- ユーカリ
- 杉
- ポプラ
- 柳
- 森林残渣
- 切り株
- おがくず
- オリーブのバガス
- クサヨシ
- 堆肥廃棄物
- 藁のペレット
- ヒマワリの種皮
- もみ殻
- サトウキビのバガス
- 合板残渣
- リサイクル木材
- 廃棄物固形燃料
- 鉄道の枕木
- パルプ・製紙工場のスラッジ
- 脱墨スラッジおよび不合格品
- 排水処理スラッジ
- 肉骨粉飼料
- タイヤ由来燃料

# バルメットの BFBボイラ

## 燃料の柔軟性

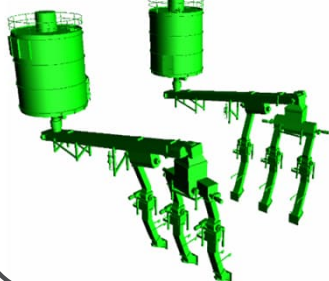
- 燃料水分の範囲：乾量基準で20 - 65 %
- 受入時の発熱量：4 - 14 MJ/kg
- バイオ燃料の灰分：乾燥固形分で10%未満
- 脱墨プラントスラッジ灰：乾燥固形分 40%まで
- 投入熱量の最大 30%を微粉末（オガクズなど）にすることが可能
- 燃料粒子径 P65 - P100（EN 14961-1に準拠）



# バルメットの BFBボイラー – バイオマス燃焼の特徴

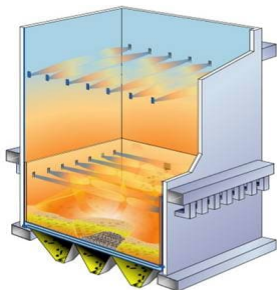
## 燃料供給システム

- タフな構造
- 実績あり



## 炉の設計

- 排出ガス規制
- 性能
- 堆積物の残留
- ベッドの管理



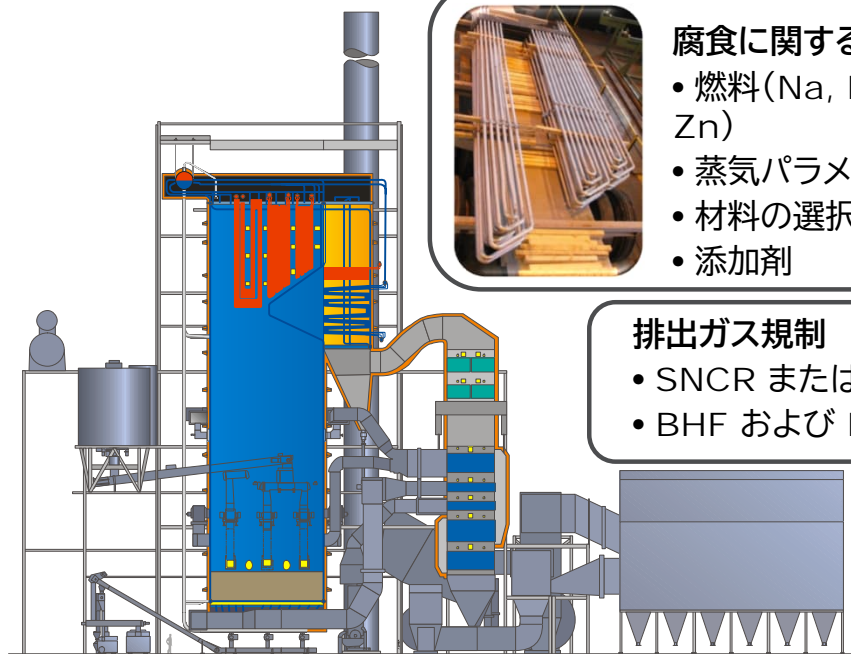
## 腐食に関するノウハウ

- 燃料 (Na, K, Cl, Pb, Zn)
- 蒸気パラメータ
- 材料の選択
- 添加剤



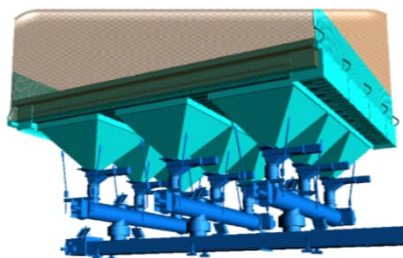
## 排出ガス規制

- SNCR または SCR
- BHF および ESP




## 粗除去システム

- 除去領域の拡大(開口部30%以上)







# バルメットのBFBボイラ ー BFBへの改造

# 背景

BFBへの改造とは：

“他（回収ボイラ等）のタイプのボイラをバブリング流動床燃焼に改造する”

改造ボイラの適合性：

- 炉のサイズ、形状、拡張スペース
- チューブの設計、チューブ間隔
- サポート方法： トップサポート → 可、ボトムサポート → 検討の必要あり
- ボイラの構造： 水冷式 → 可、耐火構造 → 不可
- 予想される容量 → 変更が必要とされる
- 機械的コンディション
- ほとんどのボイラタイプがBFBへの改造に適している

## なぜ BFBなのか、なぜ改造なのか？

- BFBボイラに改造する主な目的：
  - 燃料の柔軟性
  - バイオマス燃焼への切り替えの可能性
  - より厳しい排出規制をクリアできる可能性
- プラントを新設する代わりに古いボイラを BFBに改造する主な理由：
  - 投資コストの低減（新設プラントの30～50%が一般的）
  - 納期の短縮（新品ボイラの納期の約半分）
  - 建設許可の取得が容易（海外実績）
  - オペレーターはボイラに精通している



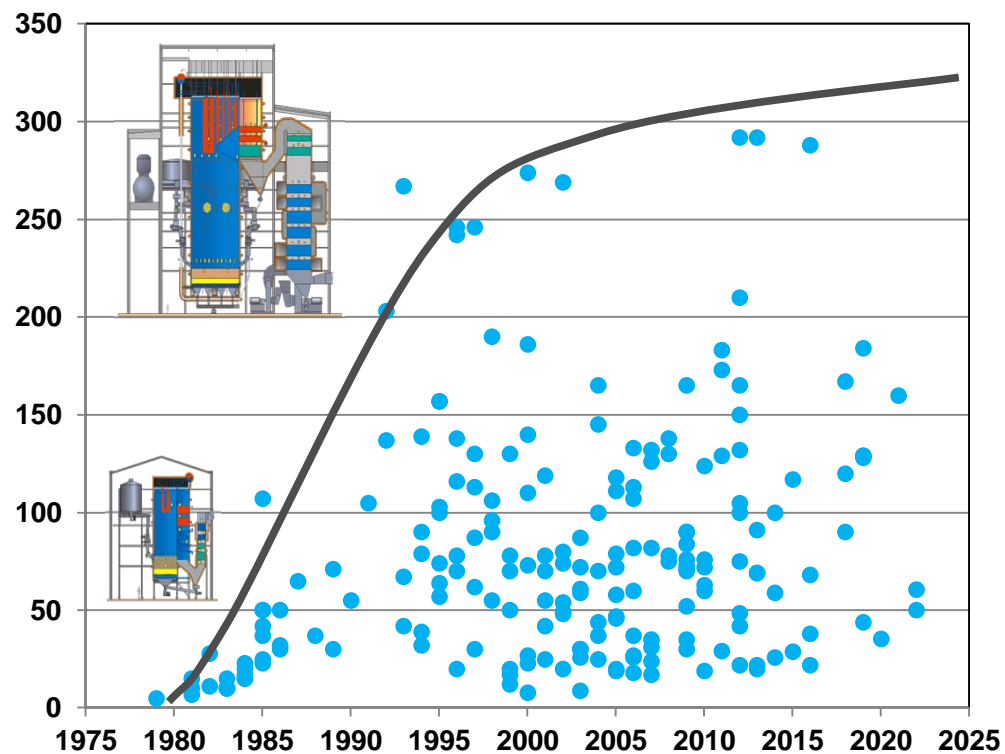
# BFBボイラへの改造

220以上の BFBボイラ納入実績

## BFB への改造 :

- BFBへの改造 : 60以上
- 様々な種類のボイラを BFBに改造
  - 火格子燃焼ボイラ 28
  - 微粉燃焼ボイラ 14
  - 回収ボイラ 8
  - その他のタイプのボイラ
- 自社製は10基未満、ほとんどが他のボイラメーカー製ボイラ
- ヨーロッパ、北米、南米で事例あり

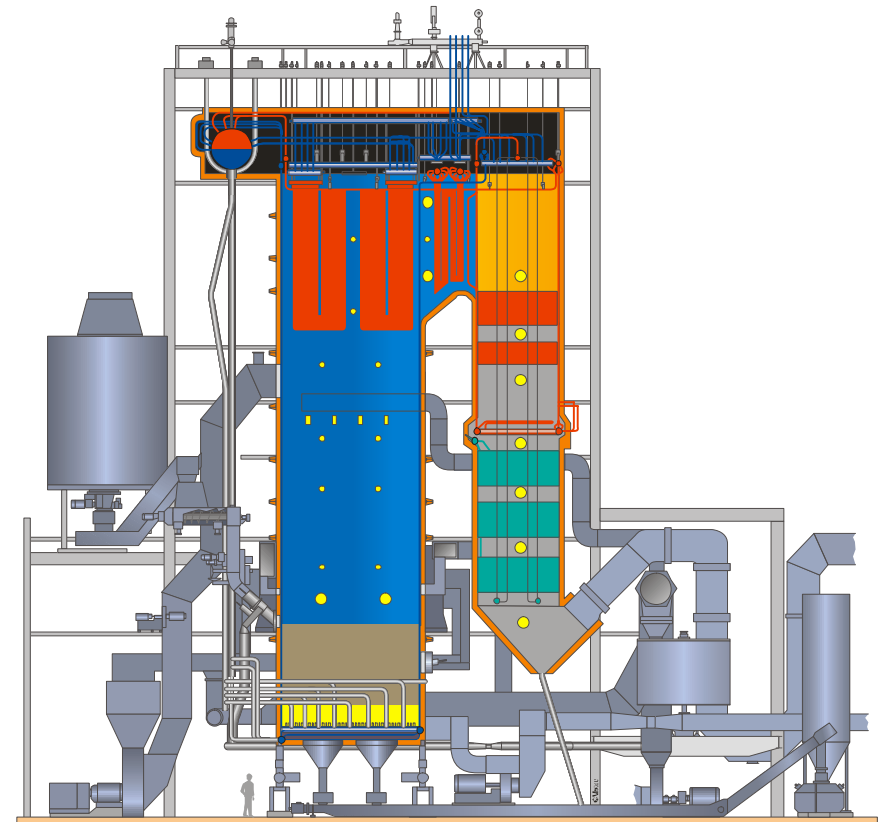
Net steam output MWth



# BFBへの改造 — 技術的なメリット

## 新しい BFBボイラとほぼ同じメリットと性能

- 効率的な燃焼
- 過剰なエア需要が少ない
- 燃料の柔軟性に優れている
- 負荷制御が早く制御範囲が広い
- 補助燃焼（オイル／ガス）が不要
- CO<sub>2</sub>を排出しない完全なグリーンエネルギー
- 低排出ガス：SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO
- 稼働率が高い
- メンテナンスコストが低い（火格子に可動部品がなく、炉内の耐火物の量が少ない）



Elektrociepłownia Białystok S.A, Poland



# バルメットのBFBボイラへの改造実績

# バブリング流動床（BFB）テクノロジー BFBボイラへの改造

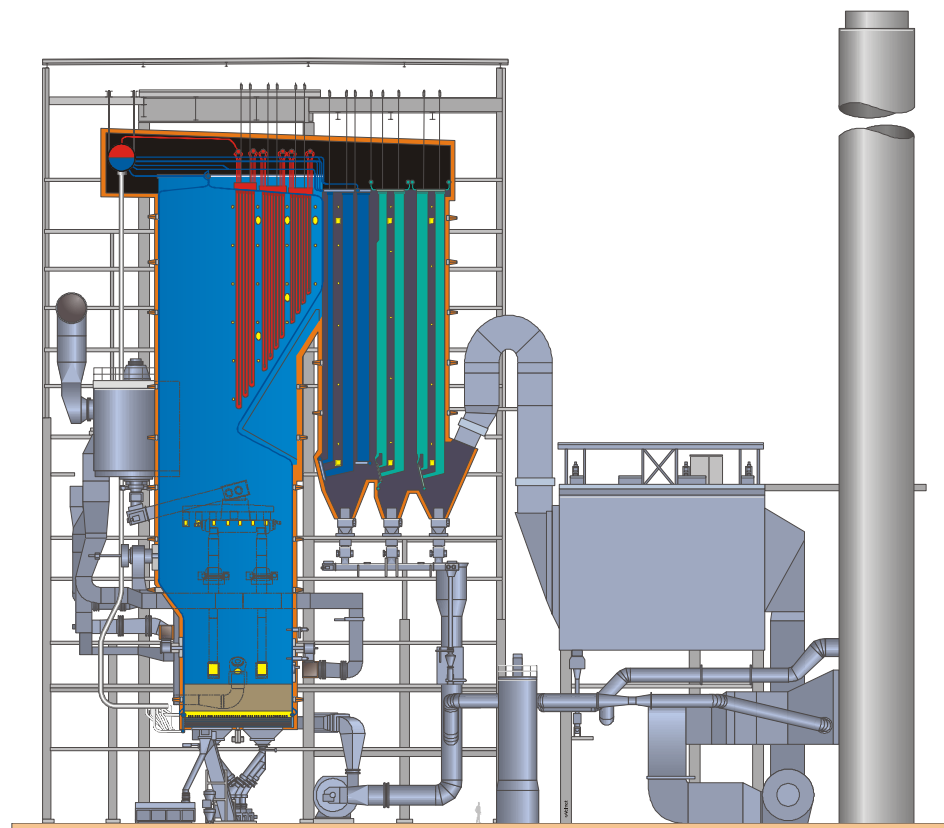
## Biomasse Energie Alizay SAS, Alizay Mill（フランス）

### オリジナル（回収ボイラ）

- 処理量 1450 tds/d
- 蒸気 209 t/h  
60 bar (g), 450°C
- 燃料 黒液、天然ガス
- スタートアップ 1991年

### 改造後（BFBボイラ）

- 蒸気 209 t/h  
62 bar (g), 460°C
- 給水 120°C
- 燃料 木材チップ、バーク、  
きれいな再生木材、天然ガス
- スタートアップ 2020年



# バブリング流動床 (BFB) テクノロジー BFBボイラへの改造

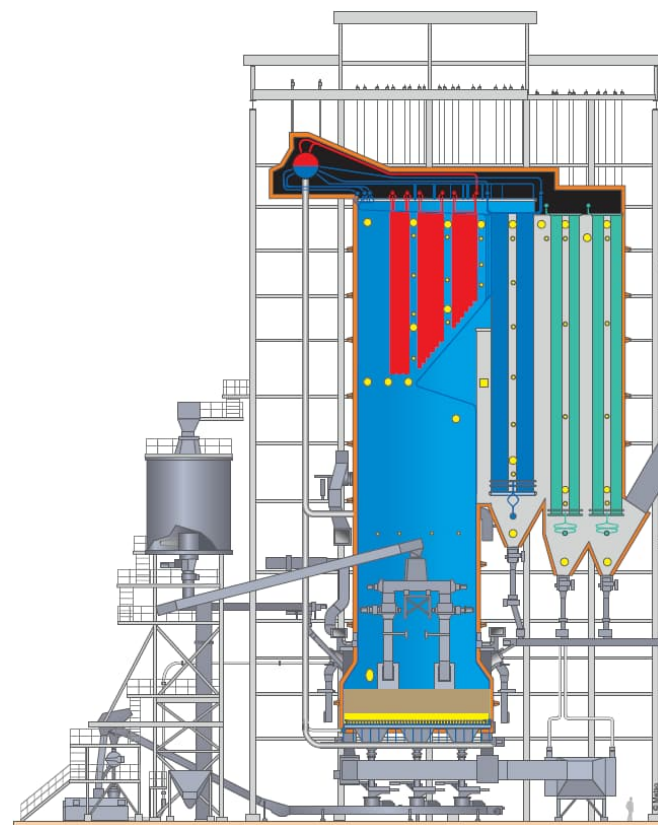
## CMPC Celulosa S.A., Laja Mill (チリ)

### オリジナル (回収ボイラ)

- 蒸気 175 t/h  
43 bar  
440°C
- 燃料 黒液、重油
- スタートアップ 1997年

### 改造後 (BFBボイラ)

- 給水 136°C
- 蒸気 150 t/h with biomass (w=56%)  
175 t/h with biomass (w=40%)  
90 t/h with fuel oil  
45.5 bar  
440°C
- 燃料 飼料、重油
- スタートアップ 2012年





# バブリング流動床 (BFB) テクノロジー BFBボイラへの改造

## Södra Cell AB, Mörrum (スウェーデン)

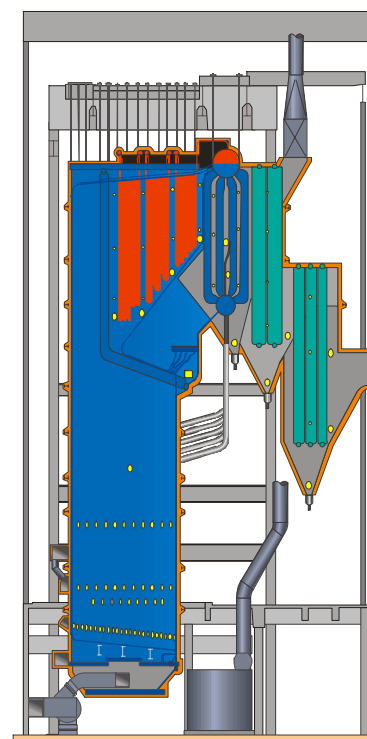
### オリジナル (回収ボイラ)

- 処理量 550 tds/d
- 蒸気 35.7 kg/s  
58 bar (a)  
450°C
- 燃料 黒液
- スタートアップ 1970年 (13年間操業停止)

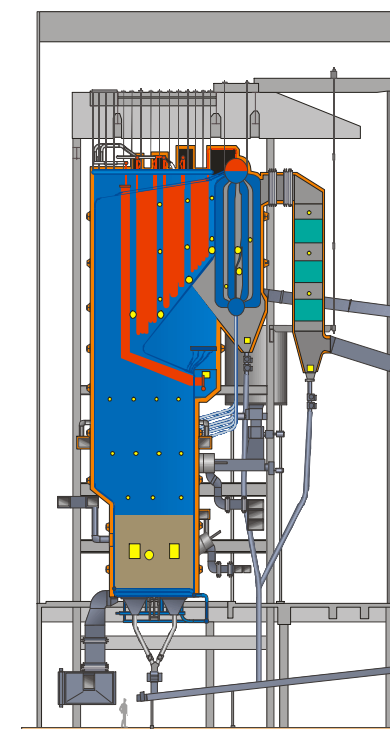
### 改造後 (BFBボイラ)

- 蒸気 28.6 kg/s with BFB  
35.7 kg/s with oil  
58 bar (a)  
450°C
- 燃料 バーク、木材残渣、スラッジ、重油
- スタートアップ 2002年

オリジナル



改造後



# バブリング流動床 (BFB) テクノロジー BFBボイラへの改造

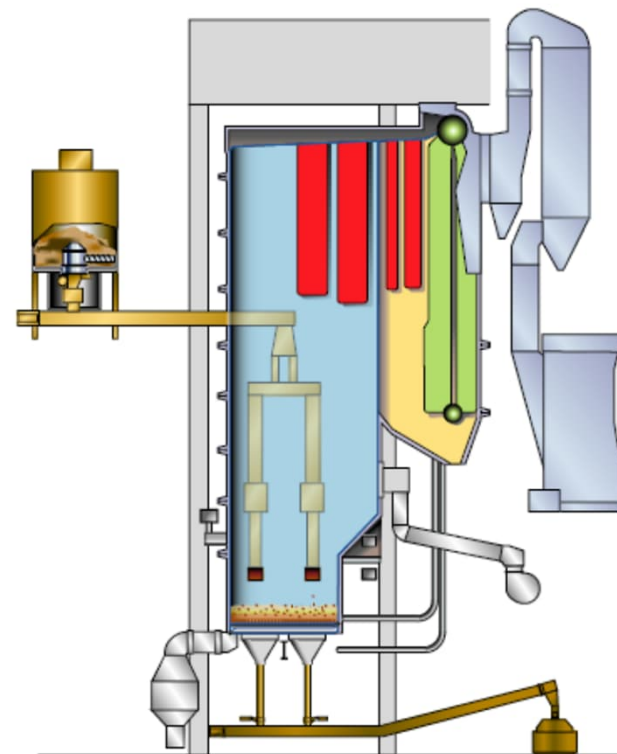
## Billerud, Skärblacka (スウェーデン)

オリジナル (回収ボイラ、  
1978年に火格子燃焼バークボイラに改造)

- 処理量 450 tds/d
- 蒸気 13,9 kg/s (50 t/h) with bark  
25,0 kg/s (90 t/h) with oil  
55 bar  
450°C
- 燃料 バーク、重油

改造後 (BFBボイラ)

- 蒸気 27,8 kg/s (100 t/h) with bark  
27,8 kg/s (100 t/h) with oil  
60 bar  
470°C
- 燃料 バーク、スラッジ、重油
- スタートアップ 2005年



# バブリング流動床 (BFB) テクノロジー BFBボイラへの改造

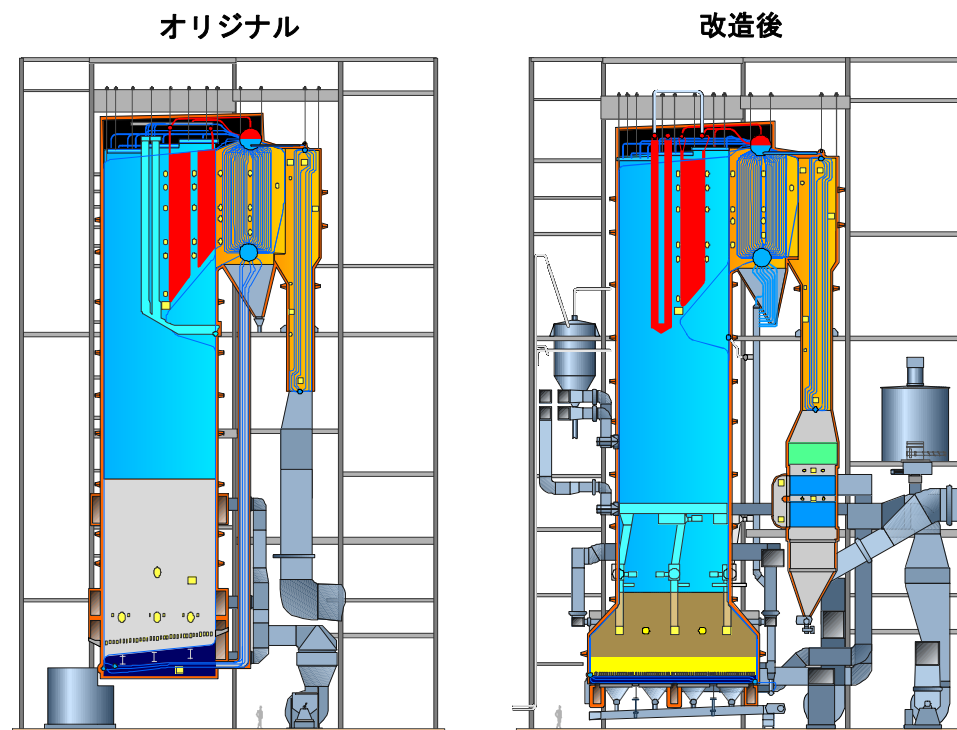
## Weyerhaeuser Canada, Prince Albert Mill, Saskatchewan (カナダ)

### オリジナル (回収ボイラ)

- 蒸気 45 kg/s  
41 bar  
400°C
- 燃料 黒液

### 改造後 (BFBボイラ)

- 蒸気 140 MWth  
53 kg/s  
42 bar  
400°C
- 燃料 バーク、森林残渣、ガス
- スタートアップ 2000年



# バブリング流動床 (BFB) テクノロジー BFBボイラへの改造

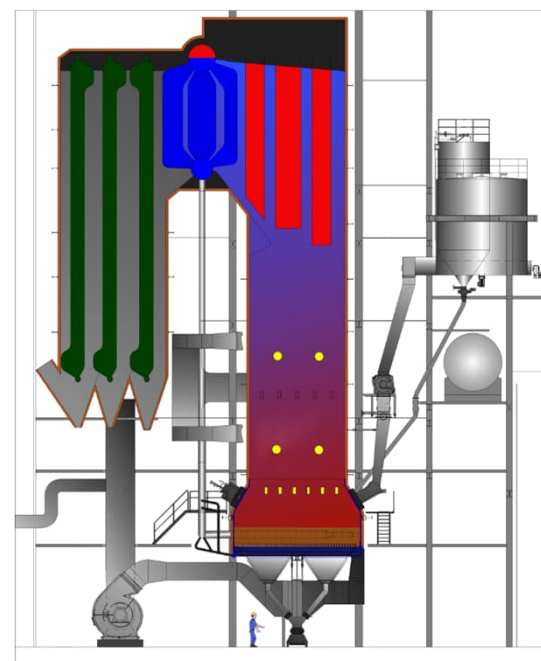
## Portucel, Setúbal Mill (ポルトガル)

オリジナル (回収ボイラのオリジナルと  
最初の改造後の可動格子)

- 蒸気 30,6 kg/s  
65 bar  
470°C
- 燃料 黒液、重油 (1977-1989) 、  
ユーカリのバーク、重油 (1989-2002)
- スタートアップ 1977年

改造後 (BFBボイラ)

- 蒸気 87 MWth  
30,6 kg/s  
65 bar  
470°C
- 燃料 ユーカリのバーク、スラッジ、  
木材残渣、重油
- スタートアップ 2002年



# バブリング流動床 (BFB) テクノロジー BFBボイラへの改造

## ENCE, Pontevedra (スペイン)

### オリジナル (回収ボイラ)

- 乾燥固体処理量 470 t ds/24 h
- 乾燥固形分 65 %
- 蒸気 17.4 kg/s  
64 bar  
450°C

### 改造後 (BFBボイラ)

- 蒸気 57 MWth  
20.8 kg/s  
64 bar  
450°C
- 燃料 ユーカリのバーク、重油
- スタートアップ 1995年

