

中国四国産業保安監督部殿 令和5年度 ボイラー・タービン主任技術者会議

バイオマス混焼・専焼に関する技術について

2024.3.1
三菱重工業株式会社
エナジードメイン SPMI事業部 計画部
プラント計画グループ グループ長
竹ノ内 哲也

目次

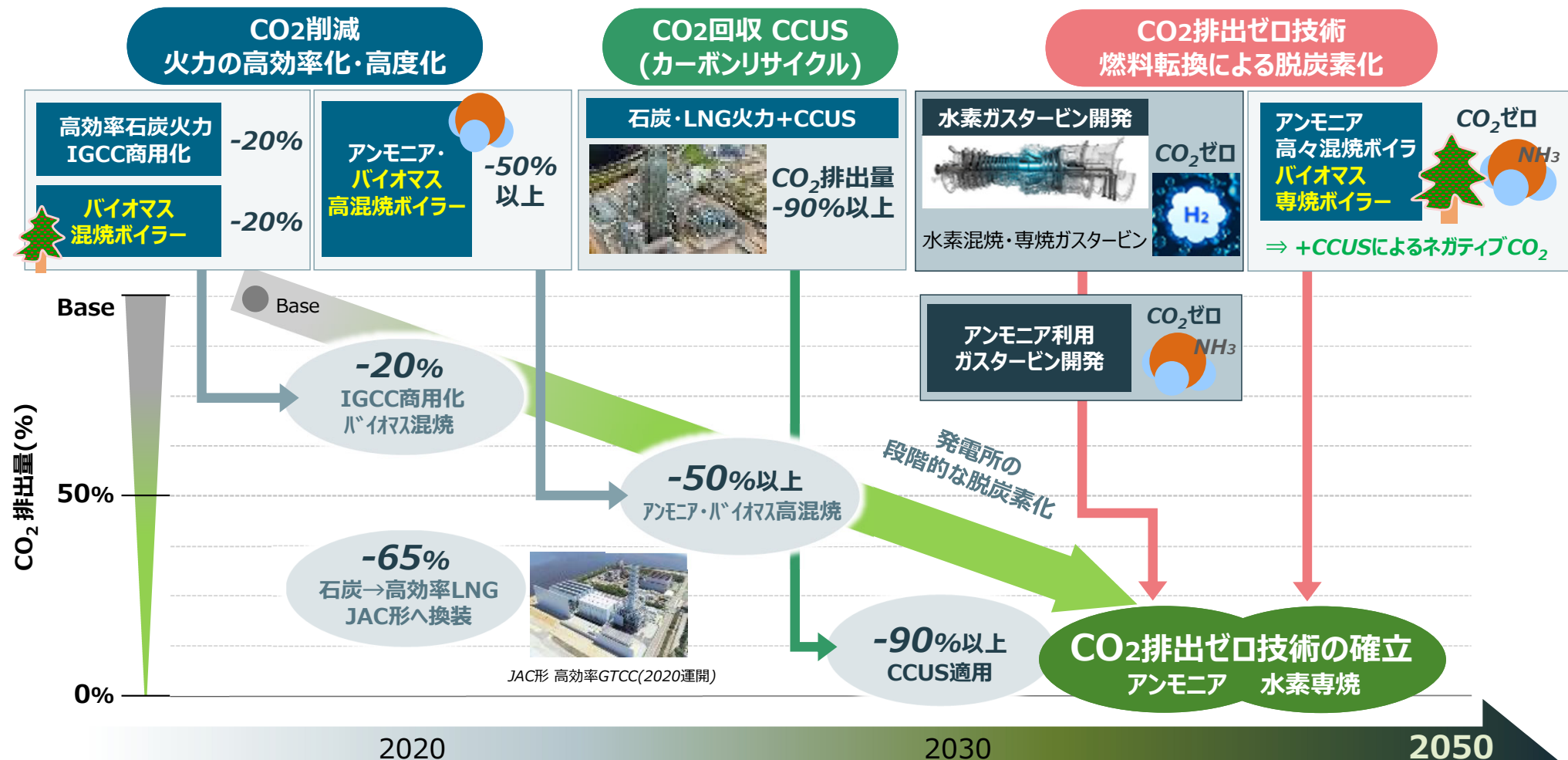
0. カーボンニュートラル実現のための技術

- 1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ
- 2. 微粉炭焚ボイラのバイオマス混焼・専焼化技術
- 3. 炉底に溜まった異物への対応（流動床ボイラ）
- 4. まとめ

0. カーボンニュートラル実現のための技術

当社エネルギー トランジション ロードマップ

- 火力発電の高効率化・高度化
- 高効率化と水素/アンモニア導入でCO₂を大幅削減
 - ・既設石炭火力へのアンモニア混焼、既設GTCCへの水素混焼/専焼技術適用によりイニシャルコストを最小化



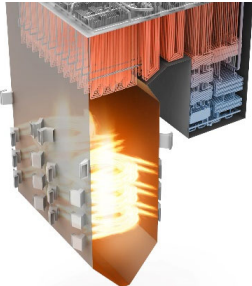
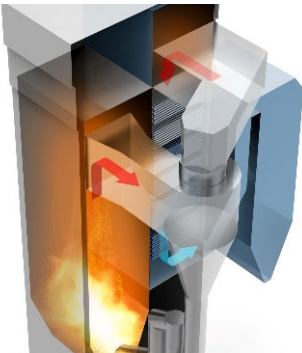
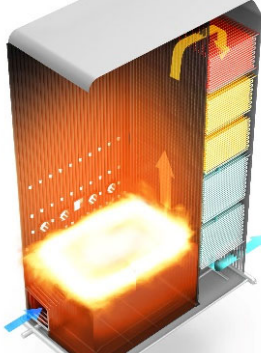
IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle
Base: 亜臨界圧石炭燃焼ボイラーCO₂排出量を基準

JAC形: J Series Air Cooled Gas Turbine
GTCC: Gas Turbine Combined Cycle

CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage

0. カーボンニュートラル実現のための技術

- バイオマスはカーボンニュートラル燃料であり、石炭火力発電所での活用技術は既に確立済み。来るべき水素・アンモニア社会への移行期間における、即効性ある手段として期待。
- 当社はバイオマス燃焼のリーディングカンパニーとして、欧州・日本を中心に新設納入だけでなく、既設ボイラーの改造実績を保有。

ボイラタイプ	微粉炭焚きボイラ	流動層ボイラ
出力レンジ	25MW～1,000MW	～75MW
主なバイオマス燃料	木質ペレット 	木質ペレット 木質チップ PKS 間伐材 建築廃材など  
特徴	・ 高効率、大容量 ・ 高い運用性 ・ 微粉化した燃料を適用	・ 様々な種類のバイオマスに対応可能 ・ 十分な滞留時間による効率的な燃焼 ・ 高温流動材と混合による燃焼促進
混焼率	0%～100%専焼	100%専焼
構造及び納入実績	 【納入実績】 国内4案件 -出力112MW -混焼率30% -運開2018年 海外4案件(改造) -出力200～660MW -バイオマス専焼 -運開2016,17年	循環流動層ボイラ(CFB)  【納入実績】 国内6案件 -蒸発量140～250t/h -運開 1990～2022年 気泡型流動床ボイラ(BFB)  【納入実績】 国内20案件 -出力2～20MW -運開 1985～2023年

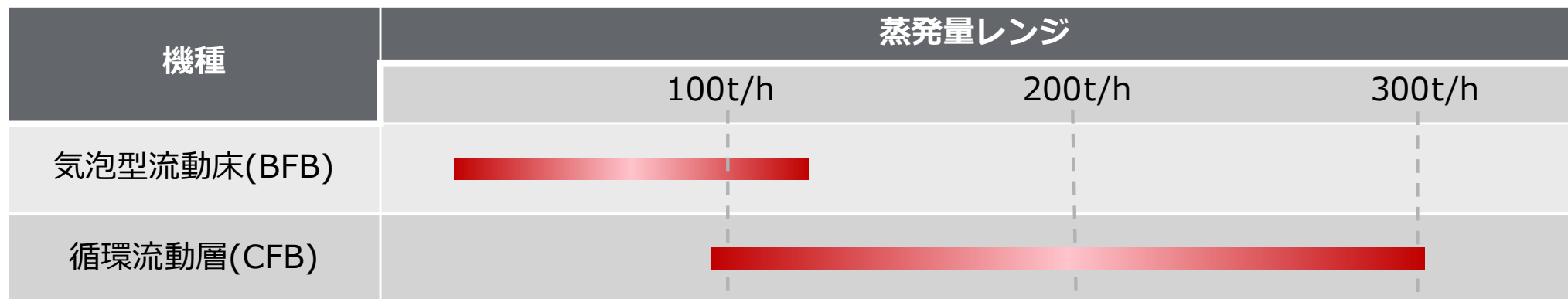
目次

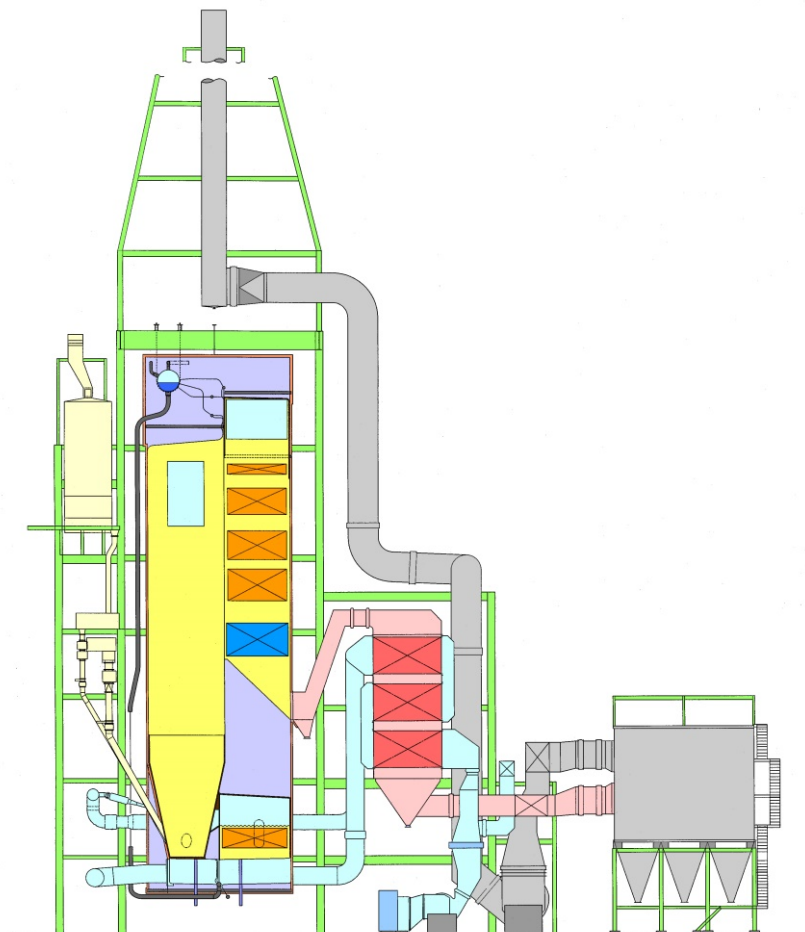
- 0. カーボンニュートラル実現のための技術
- 1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ**
- 2. 微粉炭焚ボイラのバイオマス混焼・専焼化技術
 - (1) 高混焼、専焼時の設計留意点
 - (2) バイオマスの安全対策（ミル廻り）
 - (3) バイオマス灰の付着防止対策
- 3. 炉底に溜まった異物への対応（流動床ボイラ）
- 4. まとめ

1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ

■ 三菱重工グループの流動層ボイラ適用実績（出力別）及び 対応蒸発量レンジ

発電クラス(発電端)		2MW	7MW	10MW	20MW	50MW	75MW
ボイラ型式		気泡型流動床(BFB)				循環流動層(CFB)	
ボイラ 主要目	蒸発量(t/h)	10～11	28～30	38～42	75～100	170	245
	蒸気圧力 (MPag)	4～6	6	6～11	10～12	13	14
	蒸気温度(℃)	400～478	478	478～540	500～540	540	540
ボイラー炉底方式		散気管方式 空気ノズル方式		散気管方式	空気ノズル方式		





三菱重工循環流動層ボイラ

- 三菱重工循環流動層ボイラは、ボイラの設計・製作・建設・運転・アフターサービスに豊富な経験と実績を有する三菱重工により完成された高性能ボイラです。
- これまでに、1989年に商用第一号機を納入以降、13缶の納入実績があります。
- 木屑、建築廃材や廃タイヤなどの産業廃棄物系まで幅広く多種多様な燃料が利用できます。また、従来燃料の石炭との混焼も可能なボイラです。
- 発電出力や使用燃料に応じて最適なボイラ設計を実施し、あらゆるニーズに対応することが可能です。

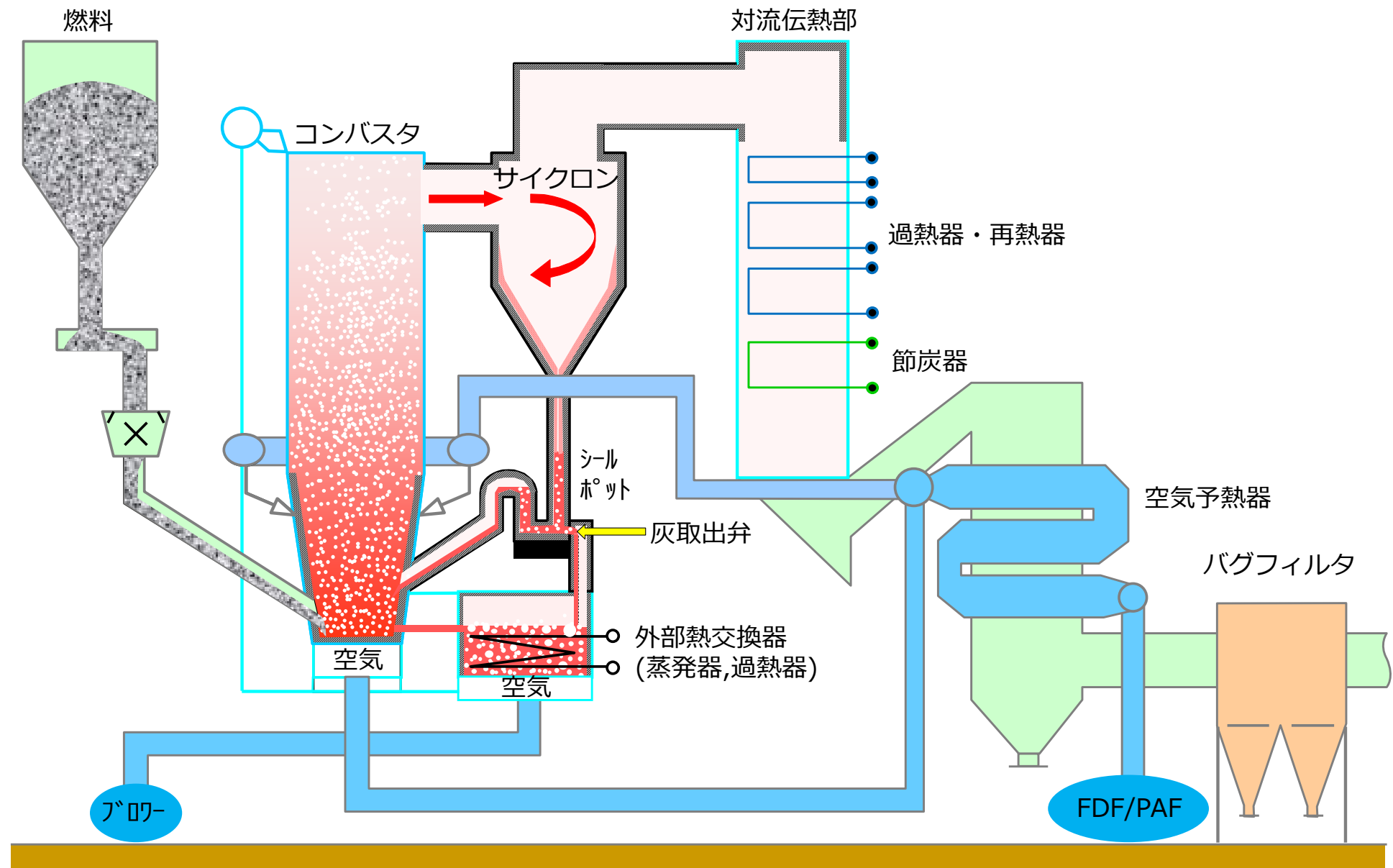
循環流動層ボイラの特長

循環流動層（CFB : Circulating Fluidized Bed）ボイラは、次の優れた特徴があります。

- | | |
|----------------------|---------------|
| ● 幅広い燃料適応性 | ● 広範囲な部分負荷特性 |
| ● 高燃焼効率 | ● 良好な負荷追従性 |
| ● 高脱硫効率 | ● コンパクトな機器配置 |
| ● 低NO _x 性 | ● シンプルな燃料供給設備 |

1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ

■ 従来型三菱重工循環流動層ボイラの主要機器構成



1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ

- 比較的良質な木質ペレットやPKSに適したボイラ仕様とすることで、発電性能向上と設備構成の簡素化を実現

項 目		課 題	バイオマス・廃棄物発電			高効率バイオマス 発電		従来型 発電	必要な技術	設計配慮事項
			RPF	タイヤ	木屑 (建廃)	木質 ペレット	PKS	石炭		
燃 料 特 性	異物	排出	—	○	○	—	—	—	・ 活発な炉内流動	・ 流動層濃度の選定
	水分	変動	—	—	○	—	—	—	・ 伝熱特性の変化	・ コンバスタ温度制御
	硫黄(S)	SOx排出規制	○	○	—	—	—	○	・ 炉内石灰石脱硫 (最適な反応温度) (活発な炉内流動)	・ コンバスタ温度制御 ・ 流動層濃度の選定
	窒素(N)	NOx排出規制	—	—	—	—	—	○	・ 低温燃焼 (最適な反応温度)	・ コンバスタ温度制御
	塩素(Cl)	ダイオキシン抑制	○	—	—	—	—	—	・ 高温燃焼の維持 (適切な反応温度)	・ コンバスタ温度制御
		塩素腐食	○	—	—	—	—	—	・ 伝熱管減肉対策	・ 耐食材料選定 ・ 腐食環境低減
	金属Al	溶融付着	○	—	—	—	—	—	・ 炉内での微細化 (活発な炉内流動)	・ 流動層濃度の選定
高効率化		低排ガス温度化	—	—	—	○	○	—	・ 排ガスクーラー	・ 排ガス温度の選定
		動力低減	—	—	—	○	○	—	・ 低差圧運転	・ 流動層濃度の選定
安定運転		炉底堆積物排出	○	○	○	○	○	○	・ 炉底形状	・ 最適な炉底形状

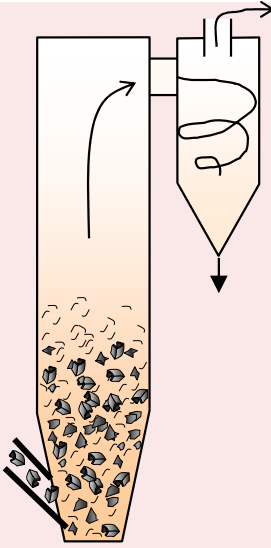
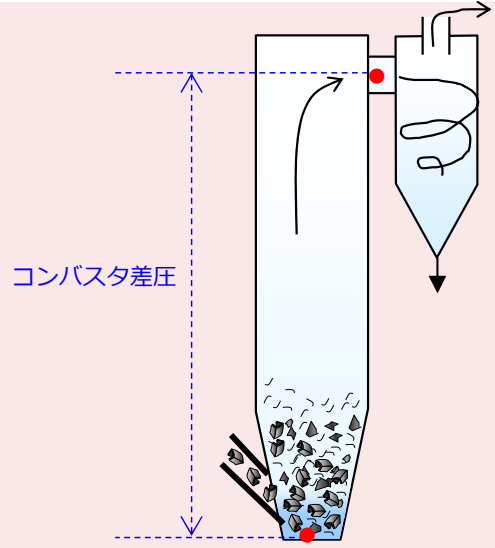
1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ

- 使用燃料の性状に応じて、適切な排ガス温度と排ガスクーラ方式を選定（硫黄・塩素含有、高水分燃料は硫酸露点、塩酸露点、水露点を考慮した排ガス温度を選定し、伝熱面の閉塞を防止）

選定排ガス温度	ボイラ出口：～150℃		ボイラ出口：150～130℃	
排ガスクーラ方式	直接熱交換式		高圧水循環熱交換式	
概念図				
特長	・ 鋼管型の排ガスクーラ/空気予熱器を煙道に設置(管内空気/管外排ガス) ・ ガス・空気熱交換のため熱貫流率が低く大型化するが、一体形で低コスト ・ 実績多数		・ パネル型排ガスクーラ(管内ボイラ水)を煙道に、パネル型空気予熱器を風道に設置し、ボイラ水を循環させて排ガスから熱回収を行う ・ 熱媒体にボイラ水を使用するため給水装置が不要 ・ 燃料ガスの予熱設備として実績多数	

1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ

- 発電用途や燃料特性に応じて、コンバスタ下部の最適な炉内流動と粒子拡散を考慮して流動層濃度を選定

	高濃度流動層	低濃度流動層
適用燃料	RPF、タイヤ、木屑(建廃)、石炭	木質ペレット、PKSなど
概念図		
コンバスタ差圧/FAN動力	15kPa / 大	8kPa / 小
特長	(メリット) ・流動が活発な範囲が広く、カットタイヤ等の大型燃料の良好な燃焼とワイヤ等の異物排出に対応 ・炉内石灰石脱硫に適した良好な流動と粒子拡散を実現 ・RPFに含まれる金属アルミを炉内で微細化し溶融付着の軽減効果あり (デメリット) ・コンバスタ差圧が大きくFAN動力が高い	(メリット) ・コンバスタ差圧が低くFAN動力が低い運転が可能 (デメリット) ・高効率バイオマス焚発電に適した燃料(木質ペレット、PKS等)を使用

1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ

■ 発電性能を重視したコンパクトで高性能なバイオマス焚循環流動層ボイラ

① 燃料は高効率発電に適した木質ペレット、PKSを使用

② 排ガス熱回収装置設置による効率向上

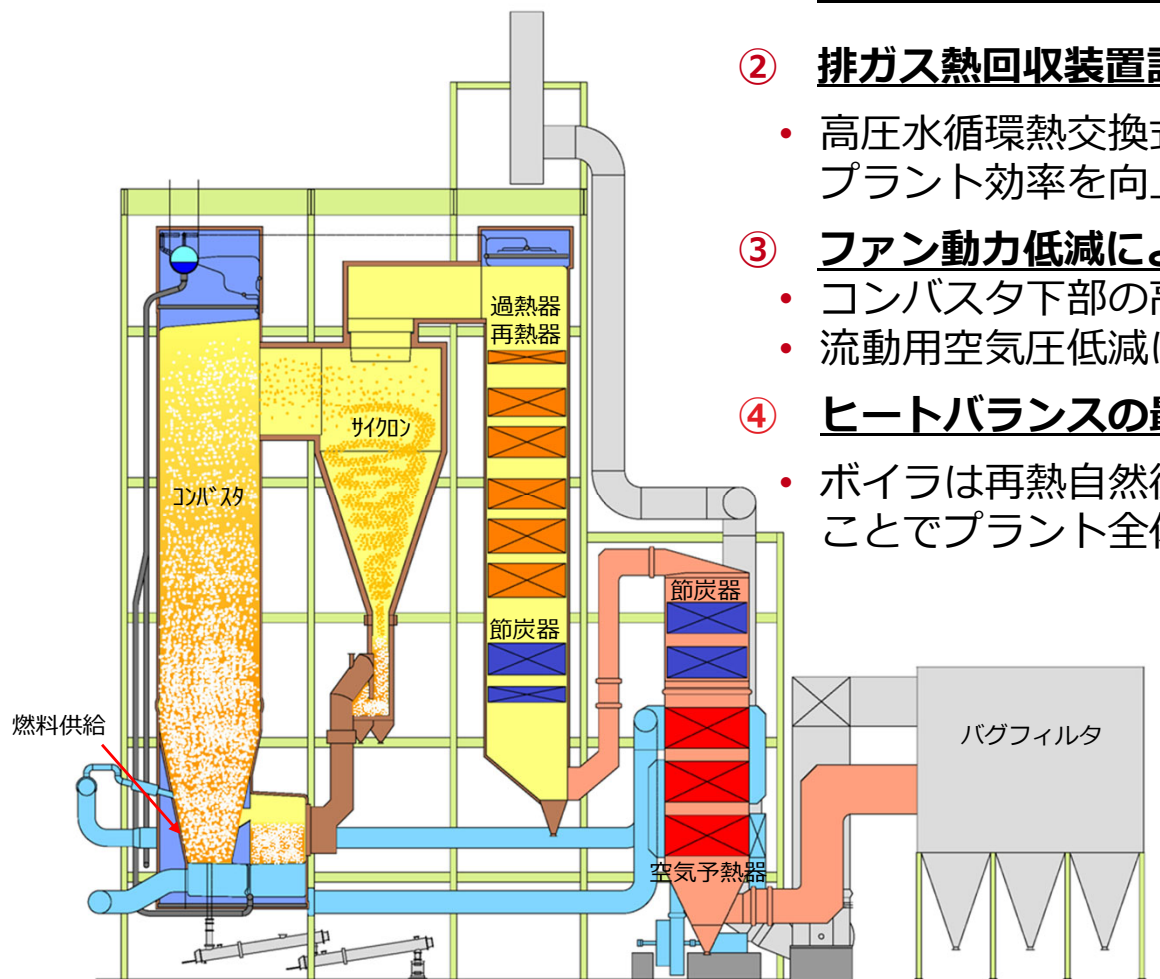
- ・ 高圧水循環熱交換式の排ガスクーラー・空気予熱器を設置し、プラント効率を向上

③ ファン動力低減による発電性能向上

- ・ コンバスタ下部の高濃度流動層範囲を適正化
- ・ 流動用空気圧低減により通風系統のファン動力低減

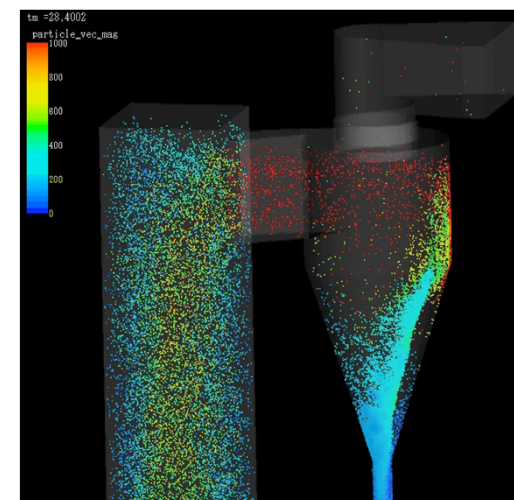
④ ヒートバランスの最適化による効率改善

- ・ ボイラは再熱自然循環型とし、ヒートバランスを最適化することでプラント全体の効率を改善



バイオマス焚循環流動層ボイラの計画例

- ・ 形式：再熱自然循環単胴形
- ・ 出力：50MW

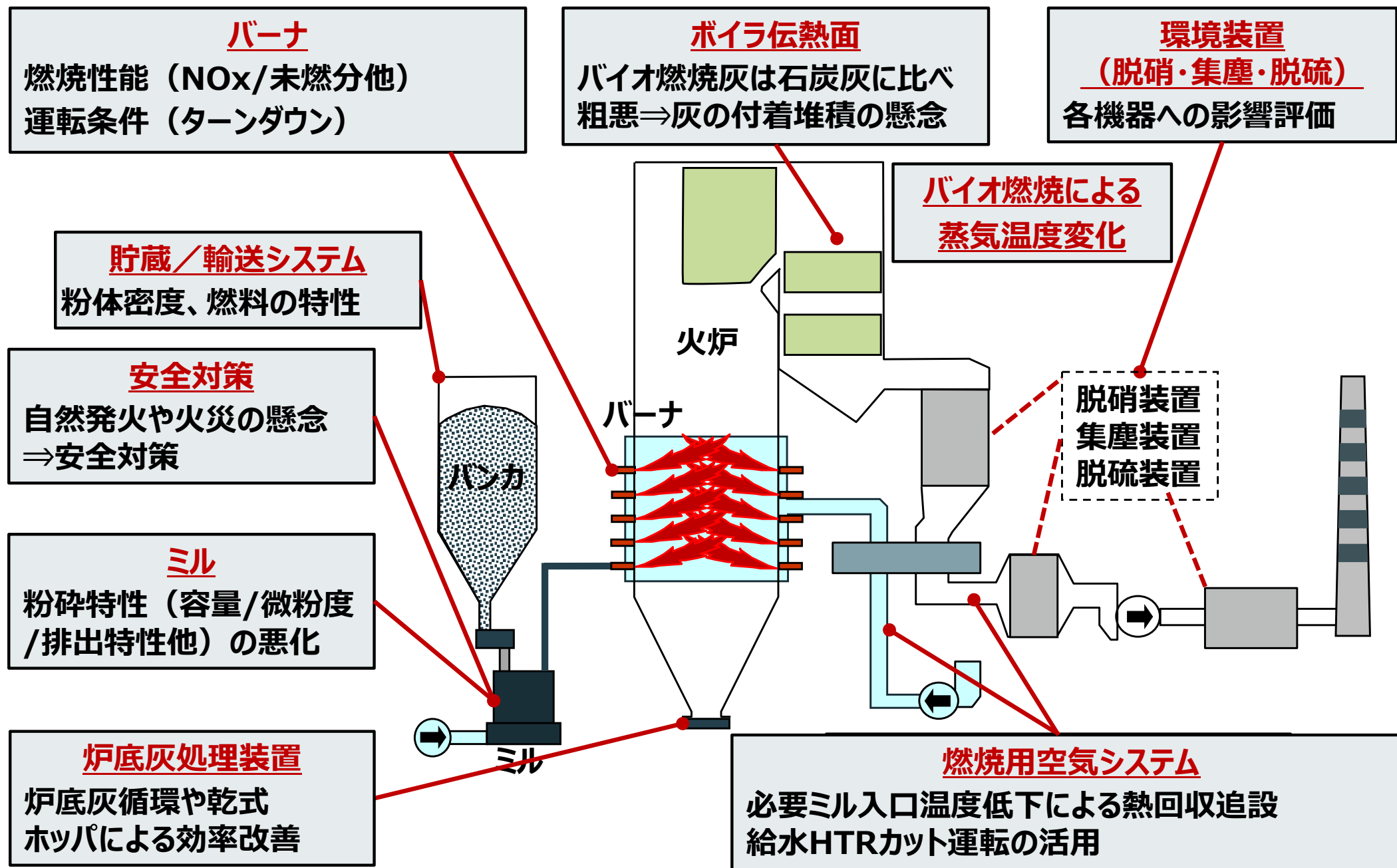


[サイクロンシミュレーション例]

目次

- 0. カーボンニュートラル実現のための技術
- 1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ
- 2. 微粉炭焚ボイラのバイオマス混焼・専焼化技術**
- 3. 炉底に溜まった異物への対応（流動床ボイラ）
- 4. まとめ

2. バイオマス混焼・専焼化技術（設計留意点）

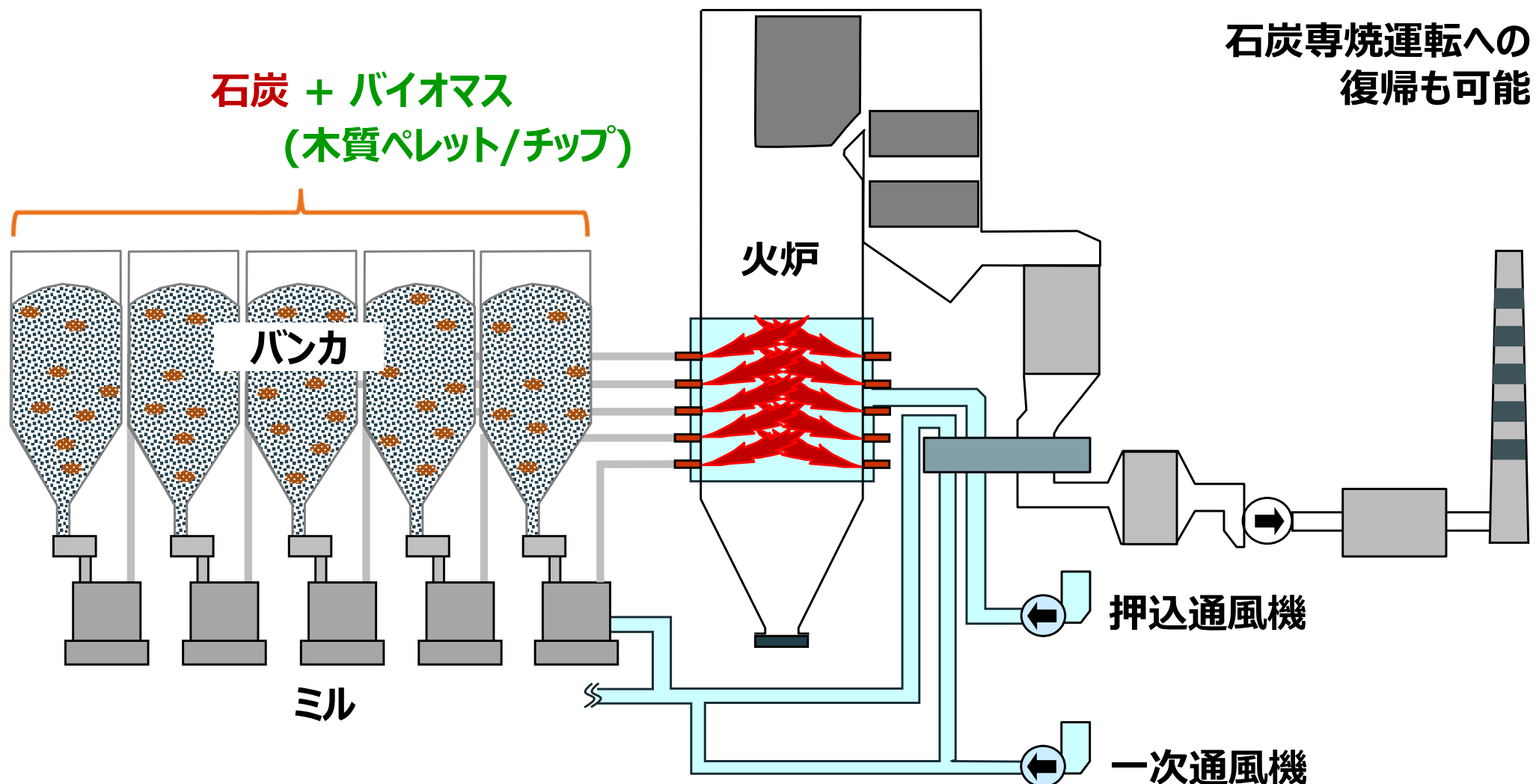


2. バイオマス混焼・専焼化技術（混焼率 ～5cal%）

■ 既設ボイラを活用

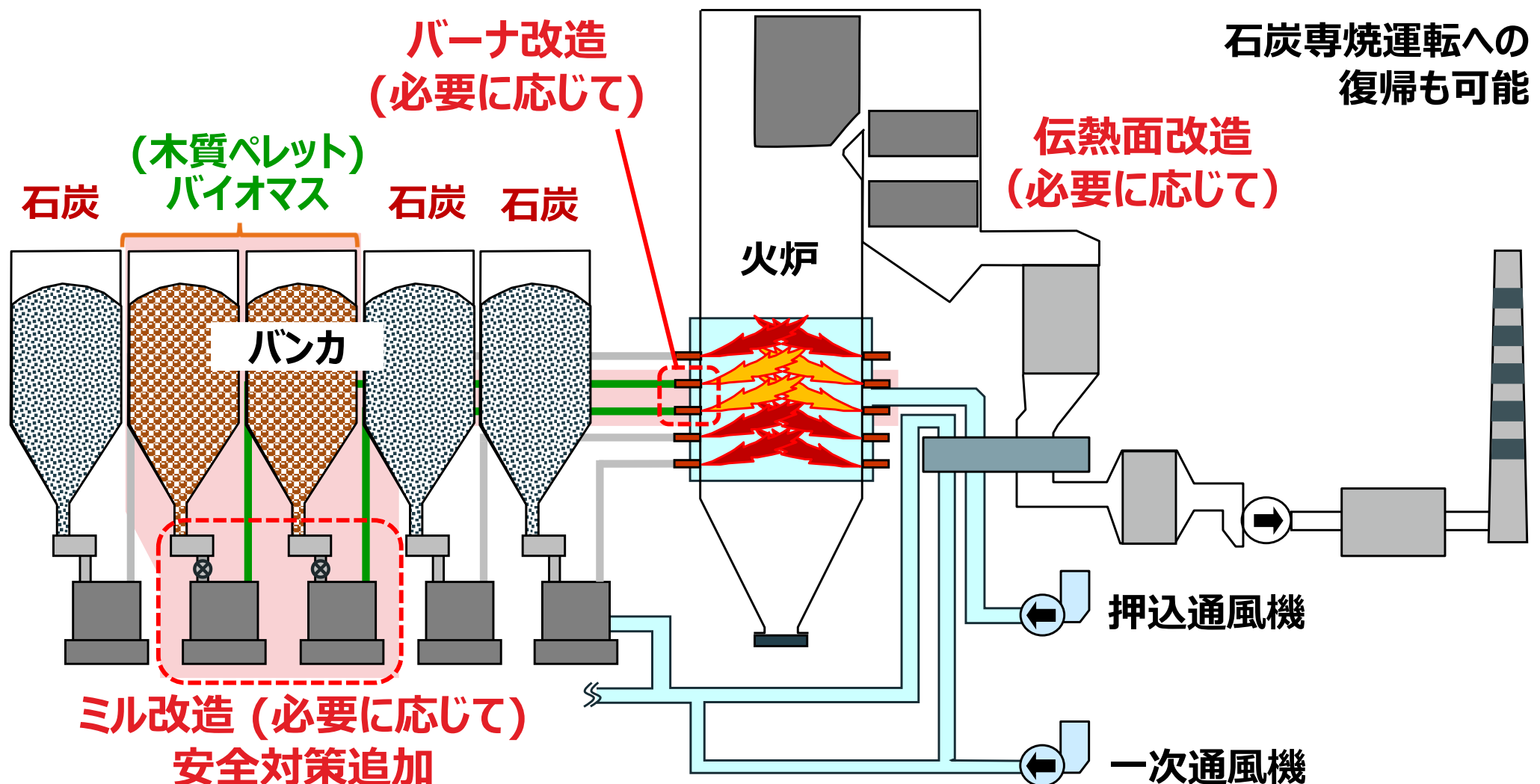
■ バイオマス燃料は石炭と共に粉砕

→ 最大混焼率は、既設粉砕機的能力によって決まります。5cal%以上の混焼でミルの粉砕性能が極端に落ちるため、5cal%程度が上限となります。



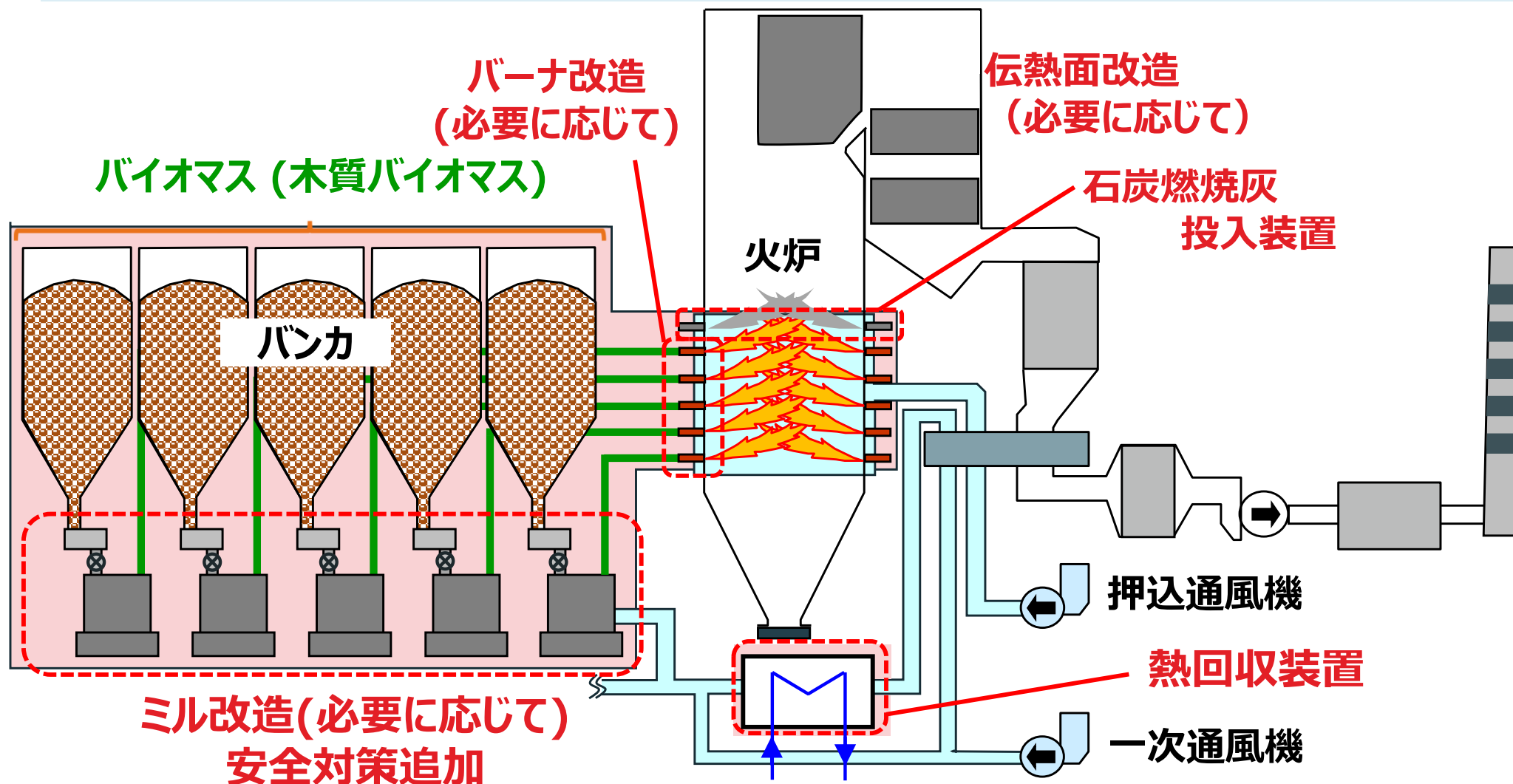
2. バイオマス混焼・専焼化技術（混焼率 ～70cal%）

- バイオマス専用粉砕システム設置／既設ミル・バーナ性能の確認
→ 要すれば改造
- バイオマス専用設備は安全対策が必要



2. バイオマス混焼・専焼化技術 (100cal% 専焼)

- バイオマスに含まれるアルカリ金属成分による灰付着・減肉・脱硝触媒劣化への対策
- 蒸気温度特性の確認
- 空気・ガス温度バランス変化による給水温度低減、熱回収装置設置等の改造



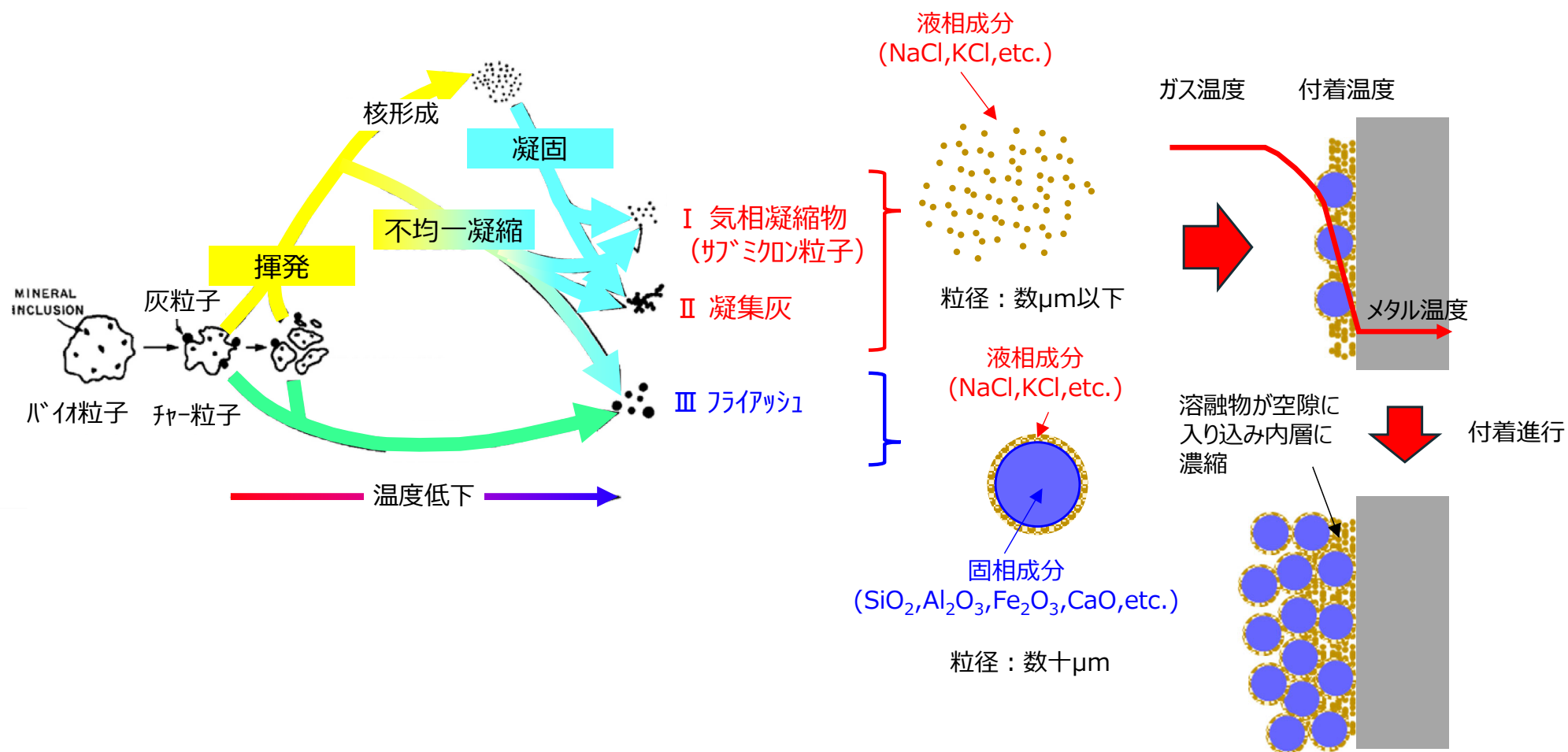
2. バイオマス混焼・専焼化技術 (100cal% 専焼)

バイオマス専焼化の主な改造・検討内容 (高混焼率の場合にも場合によっては必要)

項目	検討・改造内容
ボイラ伝熱面への灰付着対策	バイオマス燃料は石炭に比べて灰分が少ない一方でアルカリ金属成分 (Na、K 等) が多いため、炉内で揮発したこれらの成分がバインダとなって伝熱管への灰付着を誘発する。また脱硝触媒性能低下にもつながる。炉内へ石炭由来のフライアッシュを投入し、揮発したアルカリ分と反応させることで、伝熱管への灰付着や脱硝触媒性能劣化を抑制する。
蒸気温度低下対策	バイオマスは石炭に比べて燃焼温度が低くなるため、ボイラ出口蒸気温度が低下する傾向となる。必要に応じてボイラ伝熱面の改造、ガス再循環系統の追設、GRFの容量アップ等を行う。
ファン容量	石炭ミルと比較してバイオマス専砕ミルは必要一次空気風量が増えるため、PAF、FDF容量の確認が必要。(高混焼率の場合も同様。) 必要に応じてファン容量アップのための改造・更新を行う。
熱回収装置の追設	バイオマスは石炭に比べて水分が少なく、乾燥に必要な熱量が少なくなるため、AH出口ガス温度が上昇する。一次空気系統に熱回収装置を設置し、AHガス温度の上昇によるボイラ効率低下を防止することが可能。

2. バイオマス混焼・専焼化技術 (灰付着対策)

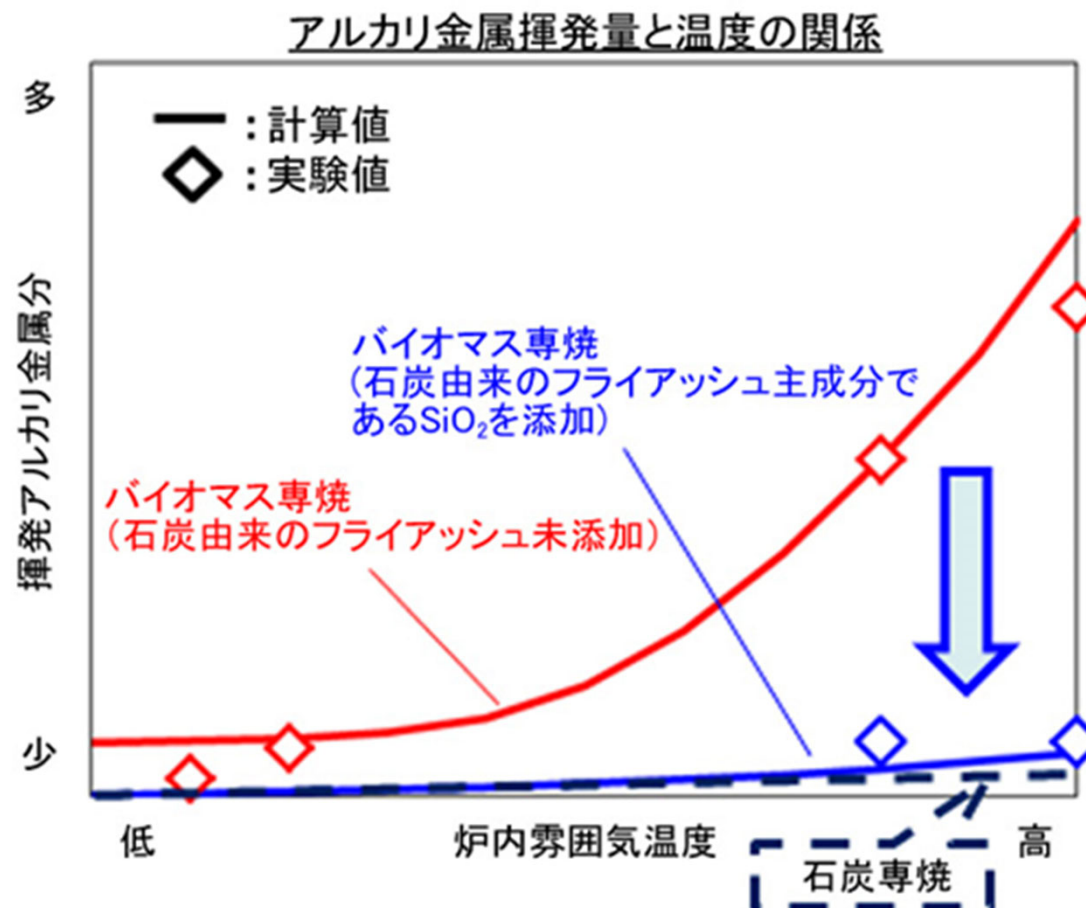
- バイオマス燃料中のアルカリ金属は炉内にて揮発してNaCl やKClガスとなる
- 揮発したアルカリ金属成分が管表面にて冷却・凝縮し、バインダとなって灰付着を誘発する



燃料の燃焼挙動と灰付着メカニズム

2. バイオマス混焼・専焼化技術 (灰付着対策)

- 炉内にフライアッシュ(石炭灰)を投入し、NaClやKClガスと反応させることでアルカリ金属の揮発量を低下させ、伝熱管部での灰付着を抑制

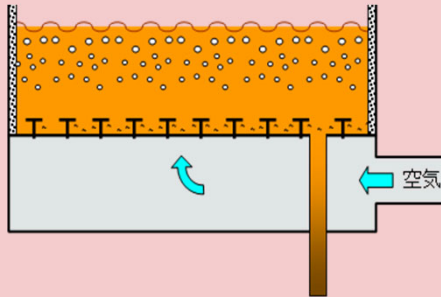
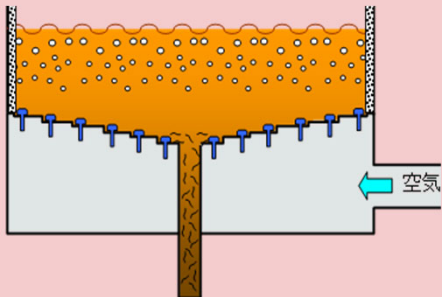
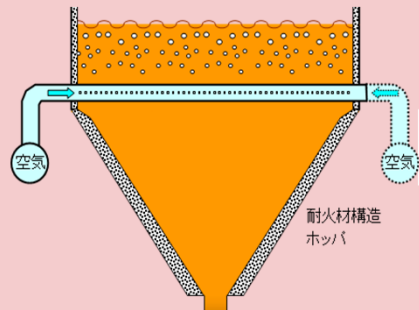
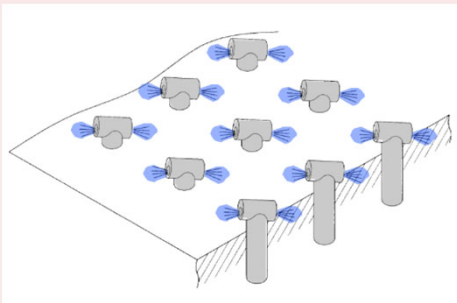
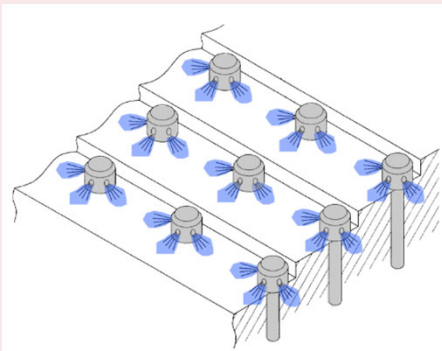
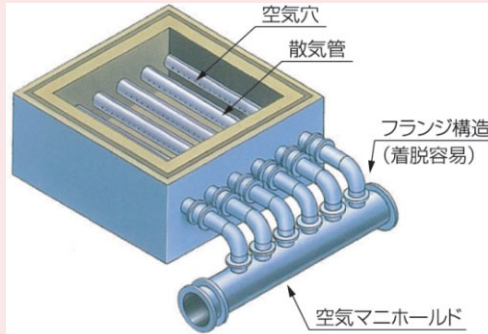


目次

- 0. カーボンニュートラル実現のための技術
- 1. 高効率バイオマス焚循環流動層ボイラ
- 2. 微粉炭焚ボイラのバイオマス混焼・専焼化技術
- 3. 炉底に溜まった異物への対応（流動床ボイラ）**
- 4. まとめ

3.炉底に溜まった異物への対応（流動床ボイラ）

■ 燃料性状と異物量、不燃物量の程度に応じた適切な炉底構造を採用

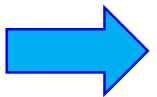
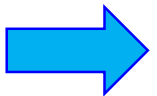
	空気ノズル方式 フラット水冷構造	空気ノズル方式 傾斜水冷構造	散気管方式 耐火材ホッパ構造
容量	2～20MW	20MWクラス	2～10MWクラス
異物・不燃物量	少ない	多い	多い
炉底構造			
空気ノズル 散気管構造			

※ 散気管支持構造の成立性から容量が大きい20MWクラスでは空気ノズル方式を採用します

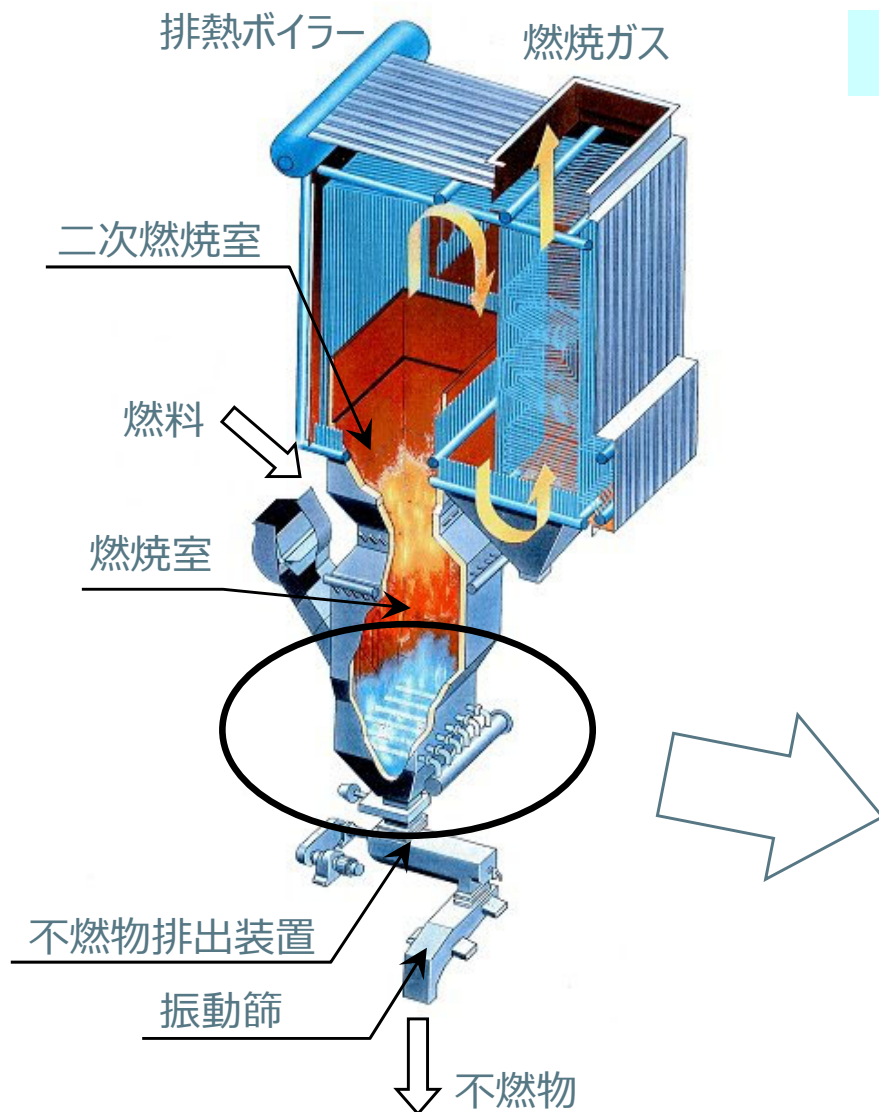
3.炉底に溜まった異物への対応（流動床ボイラ）

■ 建築廃材の特長

石ころや金属片等の不燃物を多量に含み、ボイラーの安定運転に悪影響を与える。

一般木質チップ	  炉底から排出されるのは 付着していた砂や小石 程度 
建築廃材	  炉底からは、石ころや 金属片(建具、針金等) が大量に排出される。     

■ 散気管式気泡流動床ボイラーの特長

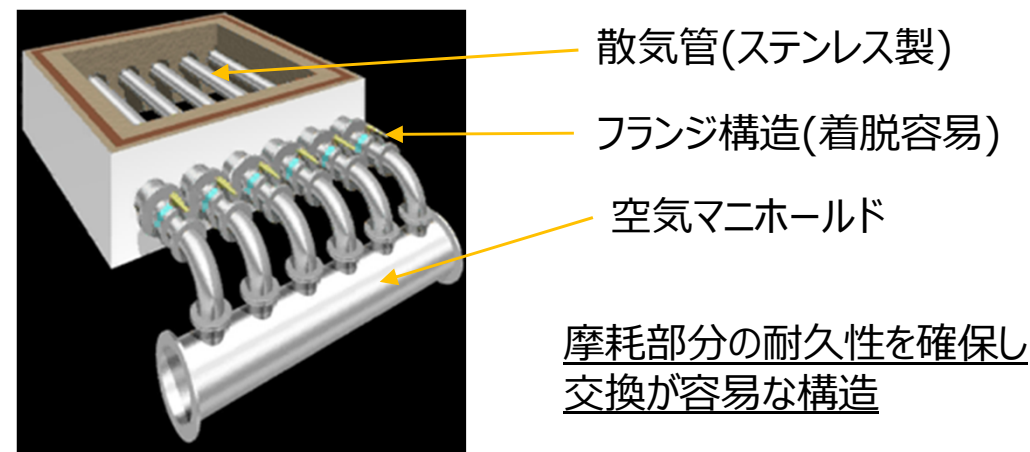


製紙工場、産業廃棄物焼却プラント等で使用

燃料：産業廃棄物系燃料

- 不燃物が多い
- 燃烧物の熱量が不定

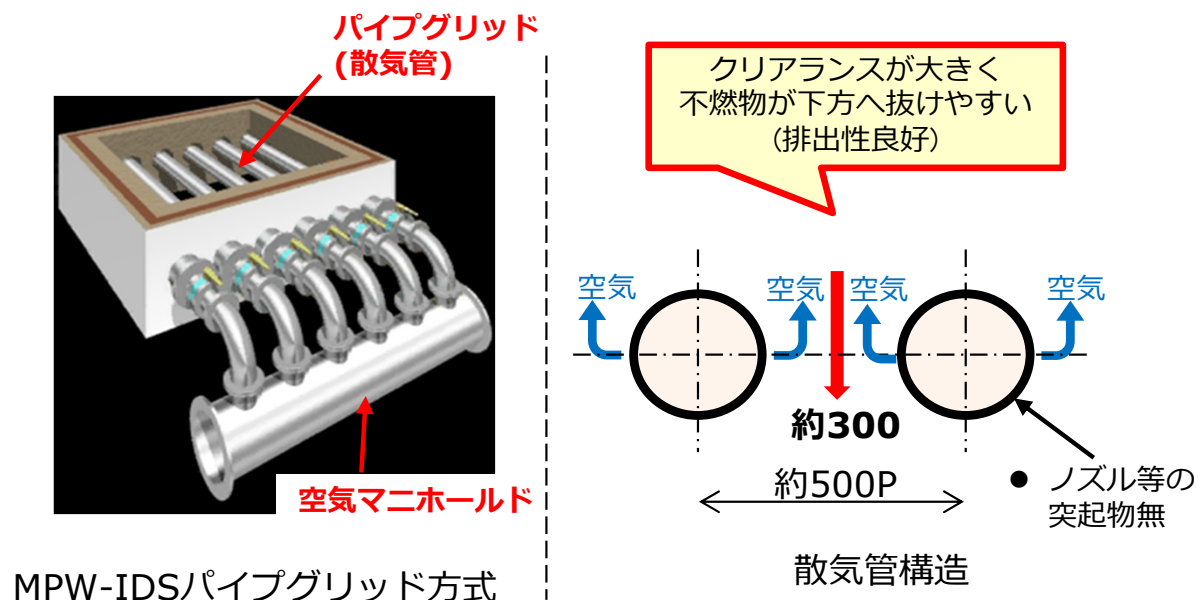
- 流動層燃烧により熱量の変動を吸収
- 不燃物の連続拔出可能
- 熱効率：中
(ホッパー部 耐火材構造)
- メンテナンス性：良好



■ 散気管方式の特長(1/2)

建築廃材中に含まれる不燃物を系外へ容易に排出可能な構造

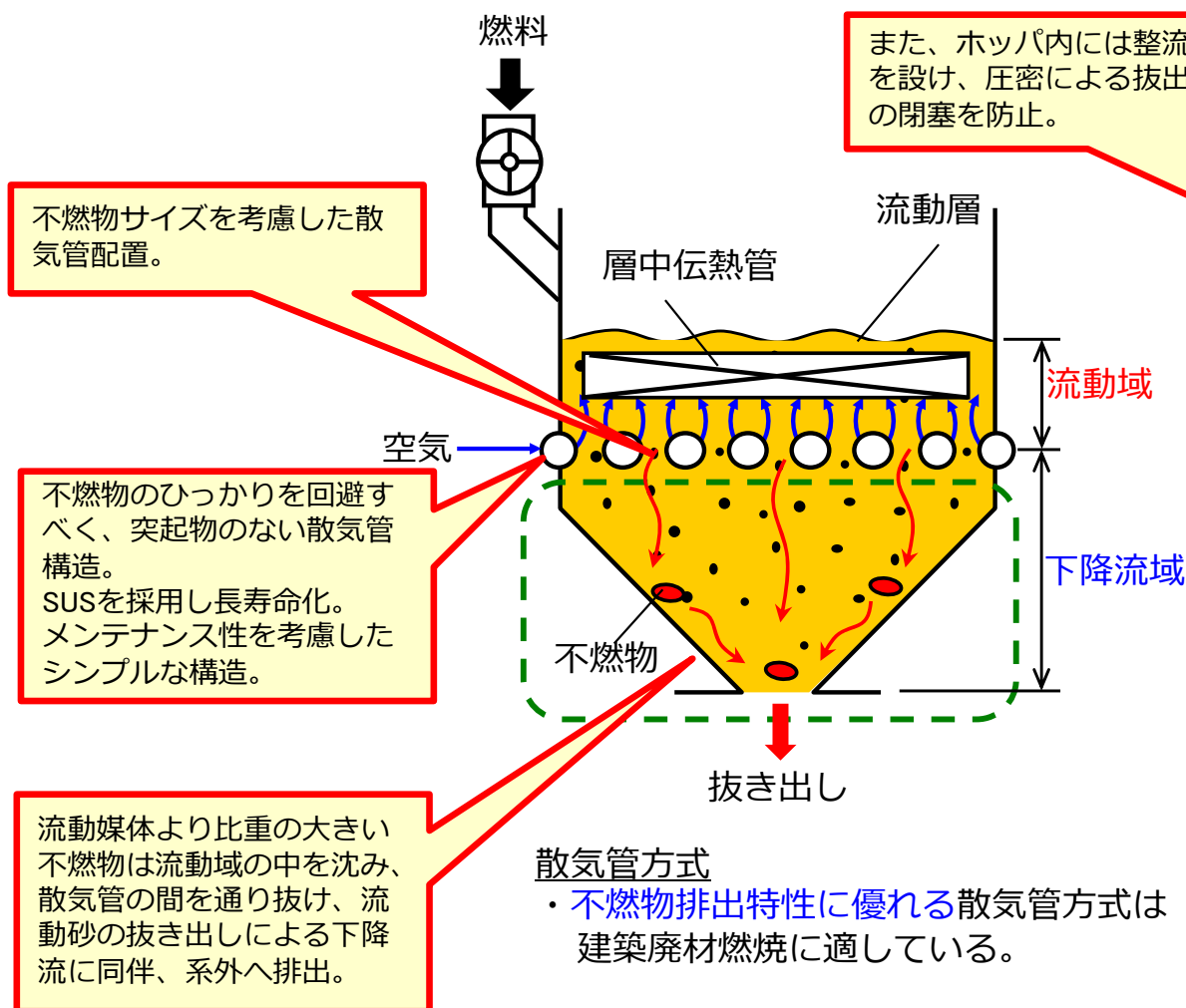
- 炉底にホッパー方式を採用できる：流動媒体より比重の大きい不燃物を層中管配置レベルより容易に分離可能
- 散気管の隙間を不燃物サイズを考慮したピッチで設計、系外への排出が容易
- 散気管には突起物がなく、不燃物が引っ掛かること無く排出可能
- ステンレス管採用による長寿命化。都市ごみ等不燃物を多く含む焼却炉で長期間未交換の実績有
- シンプルな構造の採用でメンテナンス性良好



実機(建築廃材焚)における排出不燃物例

■ 散気管方式の特長(2/2) ～焼却炉で実績のある方式をバイオマスに適用～

- ・ 建築廃材中に含まれる不燃物（石ころ、金属片等）を系外へ容易に排出
- ・ 不燃物が速やかに炉外へ排出されるため、層中伝熱管への摩耗リスクを軽減



実機(建築廃材焚)における排出不燃物例

3.炉底に溜まった異物への対応（流動床ボイラ）

■ 流動砂循環系統

- 燃料中異物状況に応じて、最適な流動砂の拔出量とインターバルを設定。
定期的な不燃物の拔出を実施。



- 流動不良や層中管摩耗の原因となる不燃物を容易かつ速やかに炉外へ排出可能
- 流動層温度を比較的低温に維持することが可能
- 低融点不燃物（アルミ、亜鉛等）を起点とする不燃物塊も大きく成長する前に系外へ排出することが可能



(a) 回収不燃物全景



(b) 低融点不燃物



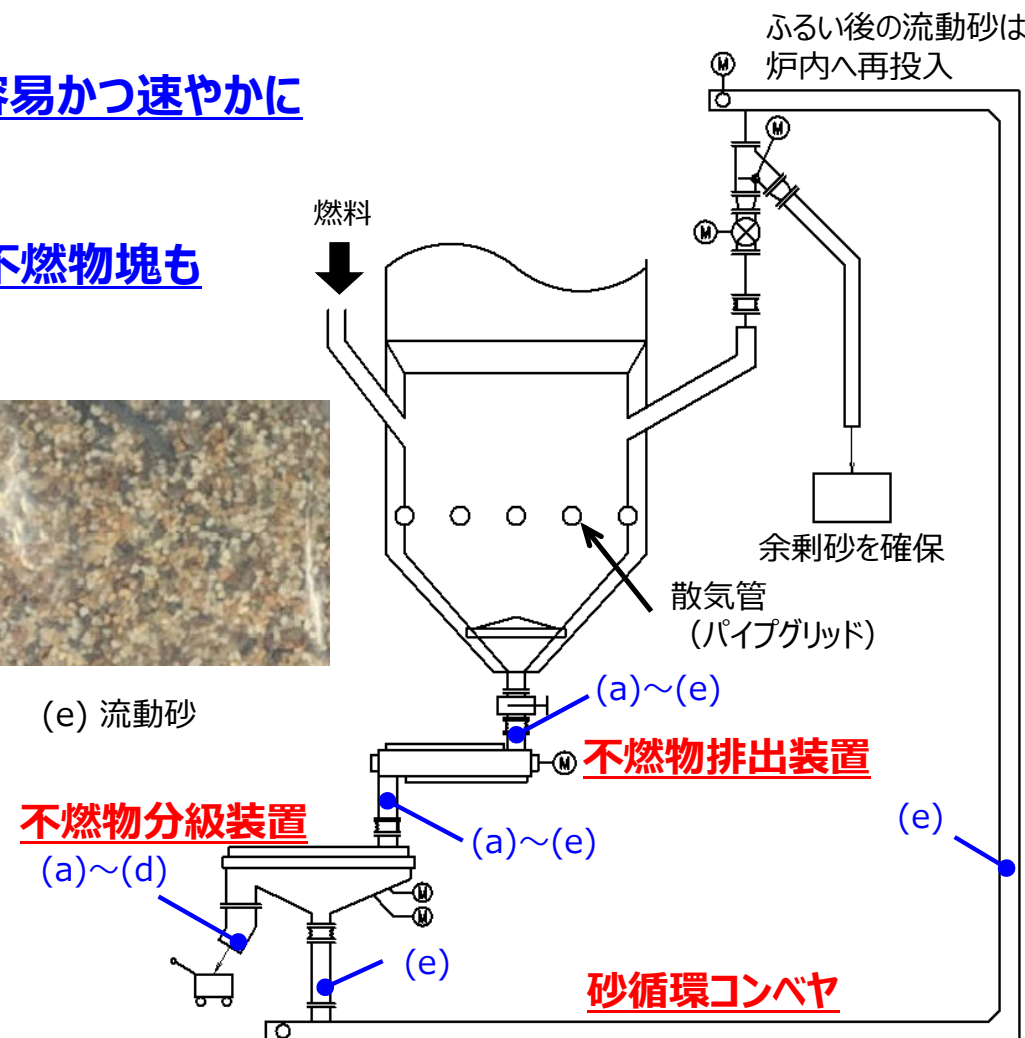
(e) 流動砂



(c) クリンカ



(d) 長尺金属片



媒体循環系統概略図

- 三菱重工は、革新的な発電技術とソリューションの開発により、エネルギーの脱炭素化を実現し、信頼性の高い電力をあらゆる場所に供給することで、人と地球に役立つ未来を創造しています。
- 当社は、多様なバイオマスに関する豊富な経験を有しており、お客さまのニーズに最適なソリューションを提供します。
- 当社は、バイオマス発電技術の開発・高度化を進めています。
- また、エネルギーの脱炭素化に向け、アンモニア混焼、水素ガスタービン、燃料電池など、脱炭素化のための最新技術を保有しております。



三菱重工

MOVE THE WORLD FORWARD

mitsubishi
heavy
industries
group