

第 3 章 供給機および搬送、バーナの構成

第 3 章では、本事業の目的であるバーナ開発における機器構成について述べる。

1. 供給機の基本構成

本事業の利用先で取り扱う炭化燃料は、含水率が 30%前後の高含水率であり、一般家庭ごみ由来であることから形状が不規則であり、材料同士が粒子間結合している。これらの原因で、一般的に使用するホッパやスクリュでは容易にアーチングし、さらにはスクリュの軸や羽根に付着すると予想される。そのため、従来の供給機的设计基準では、この高含水率炭化燃料を扱う装置的设计は、非常に困難であると考えた。そこで本事業では、これまで取り扱ったことのあるパーク炭燃料（粒径 100 μ m、乾燥後の自由含水率 9%）および木質バイオマスのおが屑燃料（粒径 1 mm、水便 30%）利用実績、炭化燃料化施設的设计手順をもとに、装置の基本構成を検討した。それら知見を踏まえ、炭化燃料供給機に必要な性能を以下に列挙する。

〈必要性能〉

- ・供給形式パターン（スクリュ、コンベヤ、プッシャ）
- ・炭化燃料のバーナへの安定供給系（変動を与えない程度の脈動）
- ・投入ホッパに貯留されている炭化燃料のアーチングを防止する。
- ・空気の逆流防止。
- ・必要に応じて供給量を変化できる。
- ・スクリュ、供給機からバーナまでのロータリバルブや乗継部シュート、配管内での付着を防止する。

まず、供給形式について、メリットとデメリットについて比較した。本事業では変動が少なく、定量供給をする必要があるという観点から、スクリュコンベヤを採用することとした。

表 1-1 供給型形式比較表

形式	メリット	デメリット	採用
スクリュコンベヤ	定量供給可能(実績)	小容量の供給	○
チェーンコンベヤ	大容量の供給が可能	羽根毎の供給が変動	
ベルトコンベヤ	定量供給可能(実績) 大容量の供給が可能	異物によりやぶれる懸念	
プッシャ	大容量の供給が可能	間欠的な供給	

続いて、各性能について比較した。比較表を表 3.1-2～表 3.1-5 に示す。

表 1-2 安定供給系（変動を与えない程度の脈動）について

性能	形式	メリット	デメリット	採用
安定供給 脈動なし	ノーマル スクリュ	ケースとの隙間が少ない ため空気の逆流が少ない	ボウズになりやすい	○
	リボン スクリュ	安定供給可能 ボウズになりにくい	空気の逆流がある 搬送面積が小さい	
逆流防止	ロータリ バルブ			

表 1-3 アーチング防止について

性能	形式	メリット	デメリット	採用
アーチング 防止	二軸 スクリュ	アーチングしづらい	構造が1軸に比べ複雑になる	○
	一軸 スクリュ	シンプル	アーチングしやすい	
	攪拌機	アーチングを直接崩 せる	コスト高	○
	振動機	安価 実績多	振動対策、疲労設計が必要 ケーシング外面からの対応と なり、内部のアーチまで届か ない 含水率が低い粉体などに適 応するが多い	
	エアノッカー	安価 実績多	圧縮空気ライン、制御系の 設計が複雑でコスト高 ケーシング外面からの対応と なり、内部のアーチまで届か ない 含水率が低い粉体などに適 応するが多い	

表 1-4 供給量変化について

性能	形式	メリット	デメリット	採用
供給量 変更	インバータ 制御あり	供給量の制御性が上がる	コスト高	○
	インバータ 制御なし	シンプル	供給量の制御性が下 がる	

表 1-5 付着防止について

性能	形式	メリット	デメリット	採用
付着防止	潤滑塗装	安価 工場での施工性が良い	耐久性 (粉体による損耗)	○
	潤滑シート	安価 工場での施工性が良い	耐久性 (はがれやすい)	○
	SUS 材	耐久性	コスト高	

バーク炭での試験結果と、木質バイオマスのおが屑燃料利用の開発実績、炭化燃料化施設の設計実績より、本事業にて採用する機器構成は以下の通りとした。

- 安定供給・・・ノーマルスクリュ採用
- アーチング防止・・・二軸スクリュ、攪拌機採用
- 供給量変更・・・インバータ制御採用
- 固着防止・・・潤滑塗装採用

また、攪拌機は上下二段に二軸で設置し、このアームは回転方向のホップ側面まで届くように設計した。アームの設置位置は長軸方向にスライドし自由に可変することができ、決まった位置でアーチングが起きる場合には自在に位置を調整できるようにした。ホップケーシングは安息角が 90° を超えていることを考慮して、可能な限り垂直構造とした。供給機の二軸スクリュは各々のモータで駆動するため、二軸それぞれの軸回転速度を可変とし、供給不良に対応できる構造とした。

上記の構造とした供給機の計画図を図 1-1 に示す。

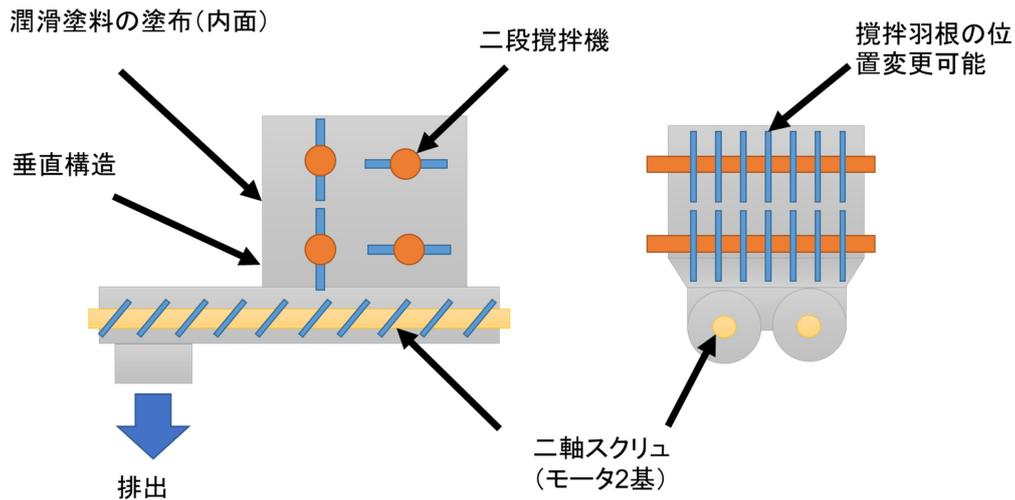


図 1-1 供給機計画図

2 バーナの基本構成

2.1 施設内利用による高性能化

2.1.1 直投ノズル

炭化燃料化施設では、運転時にごみが低質へ変動した際に燃焼炉の温度を 850℃に維持するために油バーナを使用する場合があります。そこで、そのバーナ使用燃料の灯油を炭化燃料によって代替することで、施設の燃料コスト、CO₂ 排出量を削減することができる。本事業では、その方法の一つとして、燃焼炉へ直投ノズルでの燃料投入を行う。炭化燃料は燃焼室上部から自然落下で投入し、炉内で燃焼する構造を検討した。模式図を図 2.1.1-1 に示す。

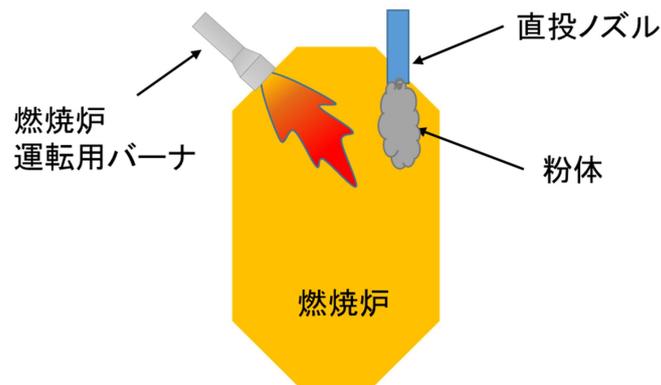


図 2.1.1-1 炭化燃料直投ノズル模式図

2.2 炭化燃料利用先の拡大

本事業では、炭化燃料の利用先拡大の方法として、使用される化石燃料（灯油・石炭等）を炭化燃料によって代替できるバーナの開発を行う。本章では、開発中の3種類のバーナについて、各設計思想、機器構成を示す。まず、各バーナの実績、本事業への展開をまとめ、表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 開発バーナ

名称	実績	主な課題	実機への展開
a) 炭化燃料混焼バーナ	アスファルトプラントで利用される油バーナの構造を採用している。	1.供給機からの乗り継ぎ 2.水分の付着・搬送への影響 3.ファイアボールへの燃料取込可否	新設バーナとして設置
b) 炭化燃料吹込バーナ	木質用おが屑の専焼バーナとして、製材所等にて利用実績多数あり。	1.供給機からの乗り継ぎ 2.高水分の炭化燃料の付着・搬送への影響 3.既設の油バーナフレームへの合流可否	既設バーナと併用
c) 直投ノズル	無し	1.高水分の炭化燃料の付着・搬送への影響 2.流速の影響 3.バーナ火炎への合流可否	既設バーナと併用

2.2.1 炭化燃料混焼バーナ

炭化燃料混焼バーナは、アスファルトプラント（以下、AP）用の油燃焼バーナ構造をベースにしている。油燃焼バーナで使用する油噴霧ノズルは戻り流量調整方式のリターンノズルを採用する。ノズルの先端噴霧孔は流量によって異なるが、通常は2mm～3mmで、この先端の圧力が3.0MPaになり油が微粒化（平均粒径100～120μm）する。そして、火炎からの輻射熱を受けて気化することで拡散燃焼する。このバーナ内部には保炎器（ディフューザ）設置され、燃焼量が多くなると燃焼空気も多くなるように比例制御される。そして、保炎器からの燃焼空気の流速が上がる。保炎器近傍には細かい乱流が発生し、油と燃焼空気の接触が良くなりファイアボールが発生する。模式図を図 2.2.1-1 に示す。混焼時のポイントとして、このファイアボールの内部に炭化燃料を巻き込み、乾燥、引火、固体

燃焼に移行させることである。今回、混焼バーナを設計する上で、スロート、保炎器、油流量、燃焼空気量、炭化燃料の噴射角度、噴射速度がパラメータとなるため、燃焼シミュレーション結果をもとにパラメータの最適化を行った。

また、炭化燃料の噴射は、予備試験結果をもとに検討を行い、噴射ノズルの最終形状を決定している。このバーナは新設プラントでの設置を前提に開発を行う。

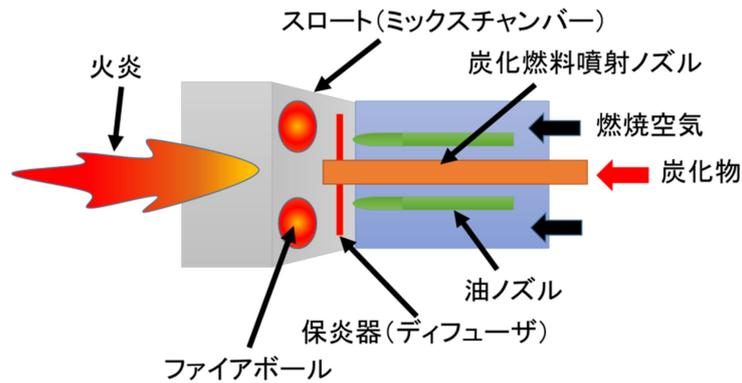


図 2.2.1-1 炭化燃料混焼バーナ模式図

2.2.2 炭化燃料吹込バーナ

吹込バーナは木質バイオマスチップおが屑燃料利用で実績のあるバイオマスバーナの構造をベースにしている。特徴としては、ブローからの空気で炭化燃料を搬送する。そして、スロート（ミックスチャンバー）内部に取付けた中子で円錐状に分散し、設置した羽根で旋回することにより放射状に分散する。これらの模式図を図 2.2.2-1 に示す。吹込バーナのポイントは炭化燃料を均一に分散し、既設のバーナ火炎中に吹込むことである。図 2.2.2-2 に示す通り、吹込バーナは既存の油燃焼バーナと別設置にする。

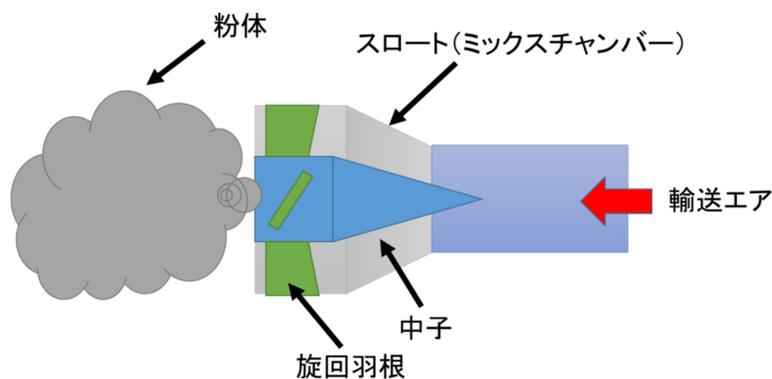


図 2.2.2-1 吹込みバーナ模式図

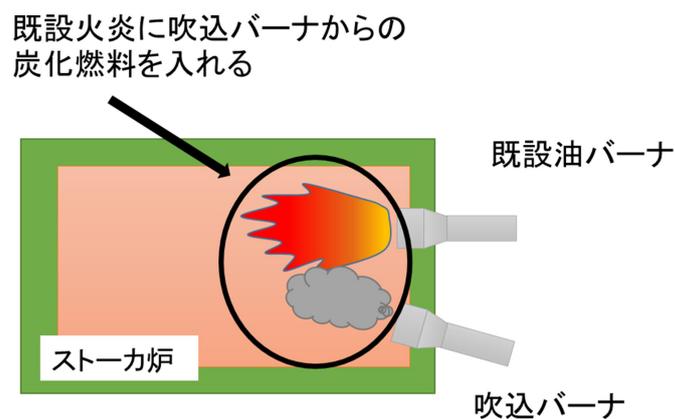


図 2.2.2-2 ストーカ炉での設置位置（上から見た図）

2.2.3 直投ノズル

直投ノズルは、既設バーナの火炎周辺に、炭化燃料を自然落下で投入することにより、乾燥・混焼燃焼を行う。思想は、炭化燃料吹込バーナと類似しているが、ノズル設置のみのため、設置コストが安い。模式図を図 2.2.3-1 に示す。

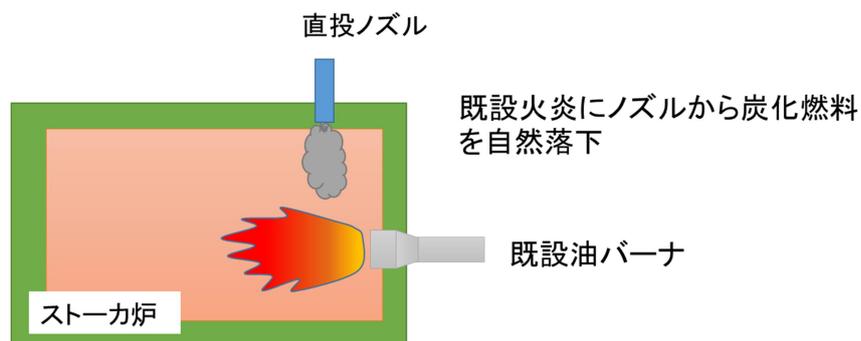


図 2.2.3-1 直投ノズル模式図（横から見た図）

第4章 燃焼シミュレーションによる各利用方法の有効性評価

1. 評価手法

1.1 目的と解析方法

1.1.1 目的

本事業では、炭化燃料の利用拡大を目的として使用方法を検討している。ここでは、炭化燃料の使用方法として想定しているケースに対して、実証試験に先立ち燃焼シミュレーションを実施し、各ケースにおける炭化燃料の燃焼可否判断、構成機器の妥当性の比較検討等を行う。実施した対象ケースを以下に示す。

(1)炭化炉施設内利用による高性能化：西海市炭化センター燃焼炉

既設の燃焼炉を対象に、助燃燃料の一部を炭化燃料に変更した際の燃焼状況を検討する。

本解析では、炭化燃料をバーナは使用せずに燃焼炉塔上部より投下する。ここでは、燃料種（炭化物の取出箇所を変更）3種類に関して検討を実施する。

(2)利用先の拡大：ごみ処理施設での利用；播磨町塵芥処理センターストーカ炉

本事業の最終年度に予定されている当該既設炉における炭化燃料利用実証試験に先立ち、ここでは起動時のバーナ燃料の一部を炭化燃料に変更した際の燃焼状況を検討する。

本解析では、ストーカ炉起動時に使用するオイルバーナに炭化燃料を吹込む場合と直投する場合の2ケースに関して検討を実施する。

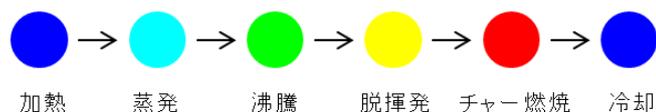
(3) 利用先の拡大：炭化燃料バーナ

既設炉や新設燃焼炉および、炭化燃料利用先の更なる拡大のために、炭化燃料をさらに効率的に利用可能なバーナの開発を実施している。ここでは、重油バーナ等が設置されている既設炉に追加設置できる炭化燃料吹込バーナ、および、新設炉等に対応した炭化燃料混焼バーナについて検討する。

1.1.2 解析方法

解析体系内部のガス流体や液滴粒子、固体粒子については CFD(Computational Fluid Dynamics)手法を適用した「汎用熱流動解析ソフトウェア ANSYS FLUENT ver. 18.2」を用いてモデル化し計算した。

FLUENTにおける固体燃焼モデル（炭化燃料）の概要を以下に示す。



固体燃焼粒子は初期状態から周りの輻射熱等の影響により加熱される。粒子に水分が含まれている場合は、まず水分の蒸発が始まり、粒子温度が沸点に達すると沸騰状態となる。その後揮発開始温度に達すると脱揮発が始まる。揮発したガスは酸素と混合することで燃焼する。揮発が終了すると粒子に残った固定炭素の表面燃焼（チャー燃焼）が開始される。チャー燃焼が終了すると灰分が残り燃焼は終了し粒子は冷却される。

重油燃料は、微粒化された重油液滴粒子を重油バーナ出口から解析体系に投入している。炉内からの熱輻射等を受けて液滴粒子は昇温・蒸発してガス化したのち、酸化剤（空気中の酸素）と反応して燃焼するモデルとなっている。

これらの液滴粒子、固体粒子は、周りのガス流体や重力等の力学的バランスによりガス流体側と連成されて軌跡が計算される。

1.2 解析手順

解析手順を以下に示す。

1.2.1 基礎燃焼試験

前述のように、チャー燃焼における燃焼速度を決定する、活性化エネルギーと頻度因子に関しては、燃料毎に異なる値をとる。そこで、今回使用する炭化燃料に関しても DTF 試験により計測を実施した（第 2 章参照）。ここで得られた結果を、燃焼モデルに反映する。

1.2.2 既設炉解析（西海市炭化センター燃焼炉、播磨町塵芥センターストーカ炉）

既設炉を対象に、1.2.1 で設定した燃焼モデルを使用して解析を実施し、実機における炭化燃料の燃焼特性を評価する。

1.2.3 炭化燃料バーナ解析

試験体系にて炭化燃料バーナの解析を実施し、バーナの特性を評価する。

- (1) コールド解析：炭化燃料、燃焼用空気の流動状況評価
- (2) 燃焼解析：炉内における温度分布や燃焼特性（炭化燃料の着火・保炎性、燃焼率等）の把握

2. 解析結果

2.1 施設内利用による高性能化

2.1.1 西海市炭化センター燃焼炉解析

(1) 目的

来年度には燃焼炉を模擬した試験を計画しており、事前に燃焼シミュレーションにより炉内における燃焼特性を把握する。

(2) 解析モデル

解析対象の西海市炭化センター燃焼炉の解析モデルを図 2.1.1-1 に示す。燃焼炉は、入口から熱分解ガスが流入し空気ノズルからの燃焼用空気にて燃焼する。また、起動用と助燃用のバーナを有しており、今回の解析では助燃バーナにて灯油を燃焼させている。また、余剰循環ガスとして排ガスを炉内に戻している。炭化燃料の投入位置は図 2.1.1-1 の中に赤丸で示した。

本解析で使用した主な物理モデルを以下に示す。

- ・乱流モデル： $k-\epsilon$
- ・燃焼モデル：Eddy-Dissipation
- ・輻射モデル：Discrete Ordinates

(3) 解析ケース

解析は、炭化燃料の種類をパラメータに 3 ケースと、比較のために炭化燃料を使用せず灯油のみで助燃したケース（オリジナルケース）を実施した。ケース名を表 2.1.1-1 に示す。各燃料の特徴および粒径分布に関しては、第 2 章で示したものを使用した。造粒前に関しては、水分による凝集の影響があることから、粒子画像分析による結果を使用した。それぞれの粒径分布を図 2.1.1-2 に示す。

表 2.1.1-1 ケース名

ケース名	炭化燃料種
CASE1	なし
CASE2	造粒前
CASE3	粉碎後
CASE4	選別後

(4) 解析条件

a. 炭化燃料

炭化燃料の条件に関しては、工業分析および元素分析の結果に基づいて燃焼パラメータ

を設定した。なお、造粒前は水分が 30%なので、発熱量を 12,740J/g とした。また、炭化燃料の密度は 700kg/m³ とした。炭化燃料の投入量は各ケース共通で以下としている。

炭化燃料投入量 = 15kg/h

b. ガスおよび空気条件

熱分解ガスおよび余剰循環ガスの流量および組成を表 2.1.1-2 に示す。また、各ノズル等から流入する空気の条件を表 2.1.1-3 に示す。

表 2.1.1-2 ガス条件

		単位	熱分解ガス	余剰循環ガス
流量		Nm ³ /h		2601
		kg/h	931	
		kg/s	0.25861	0.84720
ノズル数		個	1	9
流量/ノズル		kg/s	0.25861	0.09413
温度		°C	450	350
組成	CO	wt%	3.27	
	H ₂	wt%	0.02	
	CH ₄	wt%	0.35	
	C ₂ H ₆	wt%	0.32	
	C ₂ H ₄	wt%	0.21	
	C ₃ H ₈	wt%	4.09	
	H ₂ O	wt%	74.79	21.9
	O ₂	wt%	0.24	6.1
	CO ₂	wt%	14.75	13.4
	N ₂	wt%	1.96	58.6

表 2.1.1-3 空気条件

	単位	助燃バーナ			起動バーナ	
		噴霧ライン	スワラー部	付属機器シール	噴霧ライン	スワラー部
流量	Nm ³ /h	12	455	20	18	250
	kg/s	0.00425	0.16120	0.00709	0.00638	0.08857
ノズル数	個	1	1	2	1	1
流量/ノズル	kg/s	0.00425	0.16120	0.00354	0.00638	0.08857
温度	°C	20	20	20	20	20

噴霧水ノズル ページ部	空気ノズル	尿素水ノズル	ITVノズル
30	460	30	12
0.01063	0.16297	0.01063	0.00425
2	6	2	1
0.00531	0.02716	0.00531	0.00425
20	20	20	20

c. 助燃灯油条件

炭化燃料を使うことで灯油量を削減している。炭化燃料を使用しないCASE1の灯油量は11L/hである。炭化燃料を使用した場合の灯油量は6L/hである。

d. 壁面条件

燃焼炉の壁面条件を表 2.1.1-4 に示す。壁面は第1層：耐火キャストブル、第2層：断熱キャストブル、第3層：鋼材（炭素鋼）の三層構造となっており、最外層の鋼材から外部への放熱を考慮した（各構造材の設置状況は図 2.1.1-1 参照）。なお、耐火キャストブルの内面放射率は0.8、鋼材外表面の熱伝達率は $8.6\text{w/m}^2\text{K}$ 、外気温は 20°C とした。

表 2.1.1-4 壁面条件

材料名	厚さ [mm]	熱伝導率 [W/mK]
耐火キャストブル	420	1.35
断熱キャストブル	190	0.21
鋼材(炭素鋼)	9	43

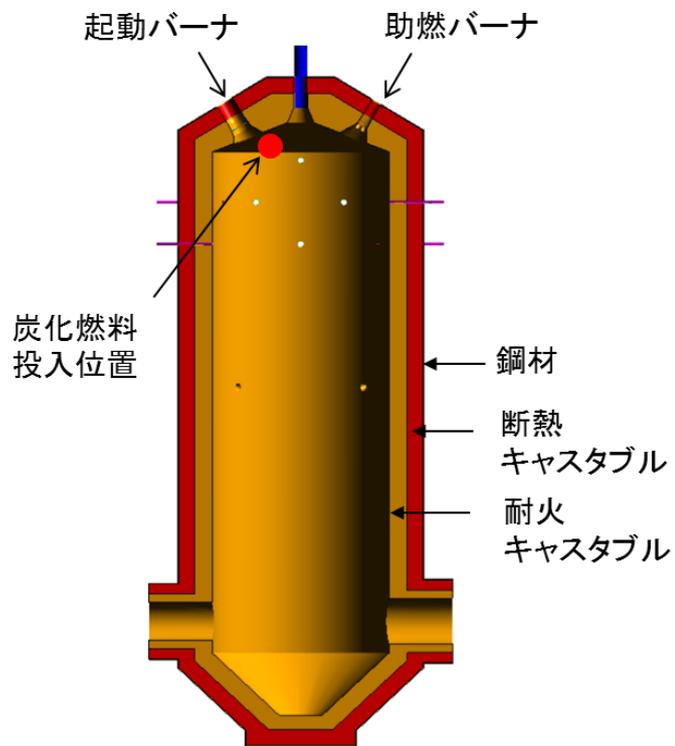
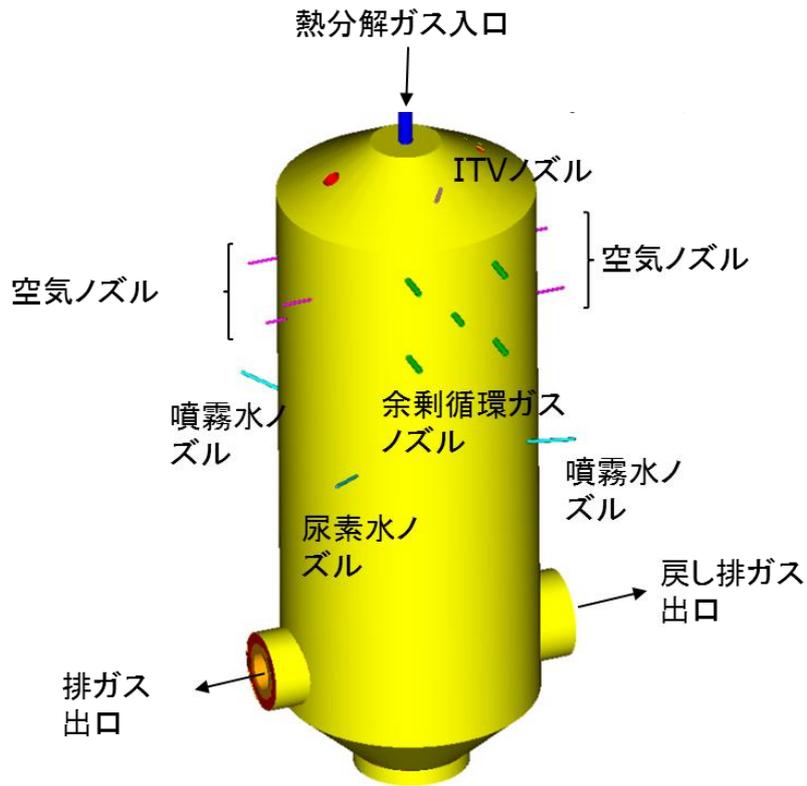
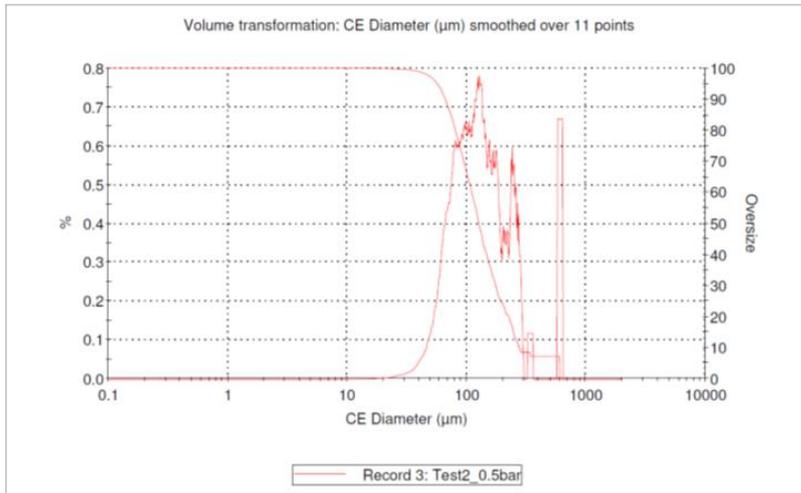


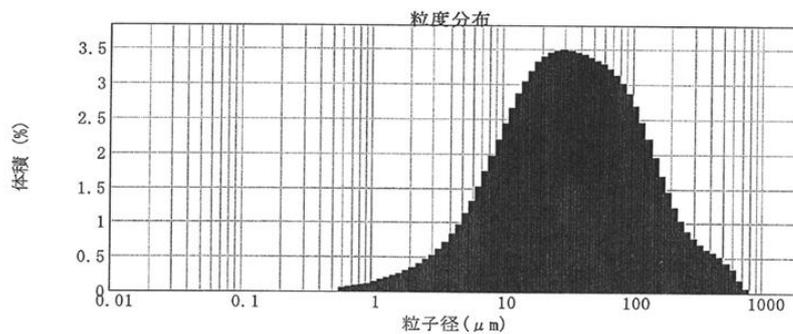
図 2.1.1-1 西海市炭化センター燃焼炉 解析モデル

・造粒前



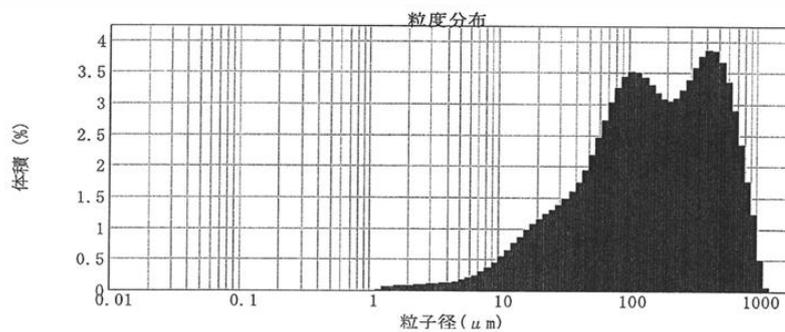
D50=126.7 μm
 平均径=171.6 μm
 最小径=0.54 μm
 最大径=606.4 μm

・粉碎後



D50=34.1 μm
 平均径=68.1 μm
 最小径=0.6 μm
 最大径=893 μm

・選別後



D50=157.6 μm
 平均径=248.1 μm
 最小径=1.1 μm
 最大径=1262 μm

図 2. 1. 1-2 各燃料粒径分布

(5) 解析結果

a. CASE1(炭化燃料なし)

炭化燃料を使用せず、灯油のみで助燃した場合の、温度分布および CO の濃度分布を図 2. 1. 1-3 に示す。

炉内のガス温度分布を見ると、熱分解ガスおよび助燃の灯油の燃焼で炉内ガス温度が上昇し、出口で 850°C となっている。CO 濃度は、炉上部で 100ppm を越えている部分もあるが、出口では殆ど無くなっている。

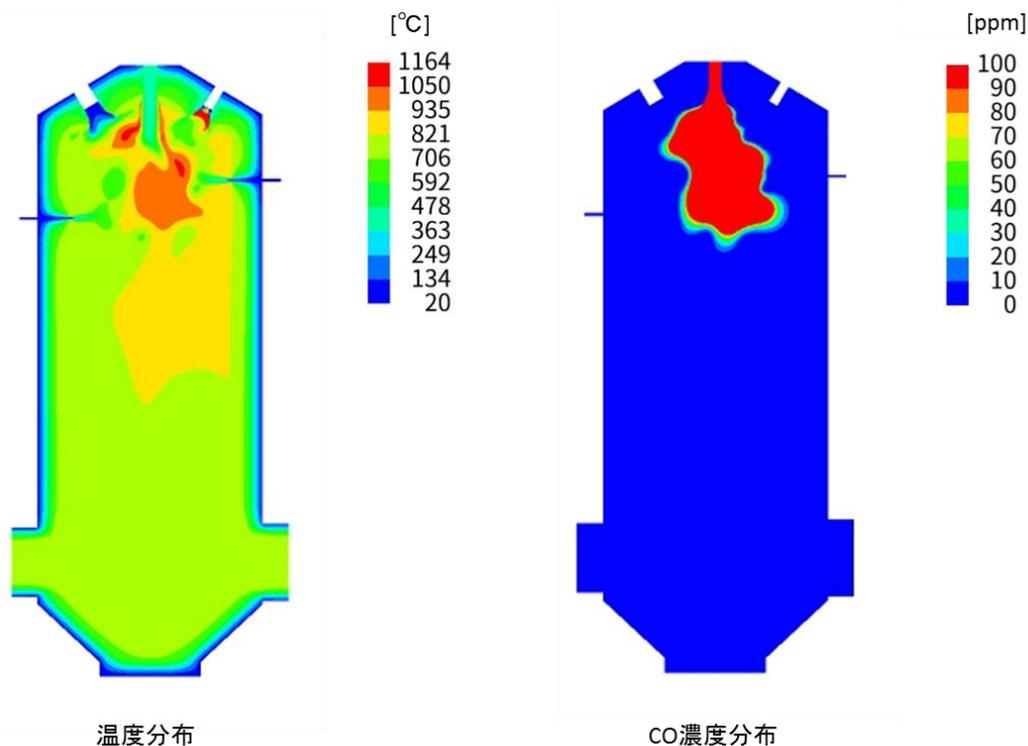


図 2. 1. 1-3 温度分布・CO 濃度分布 (CASE1 : 炭化燃料なし)

b. CASE2(造粒前)

炭化燃料として造粒前を使用した場合の、温度分布および CO の濃度分布を図 2. 1. 1-4 に示す。また、炭化燃料の挙動を図 2. 1. 1-5 に示す。図の色は、炭化燃料の燃焼過程を示している。

造粒前炭化燃料を使用した場合でも、炉内に局所的に高温部が発生することはなかった。CO 濃度分布も CASE1 と比べ大きく変わりはない。炭化燃料の燃焼過程を見ると、蒸発、沸騰、脱揮発までが炉の上部で終了していることがわかる。その後、チャー燃焼に移行しており、その一部は炉出口まで到達している。CASE2 の燃焼率は 99.5% となった。

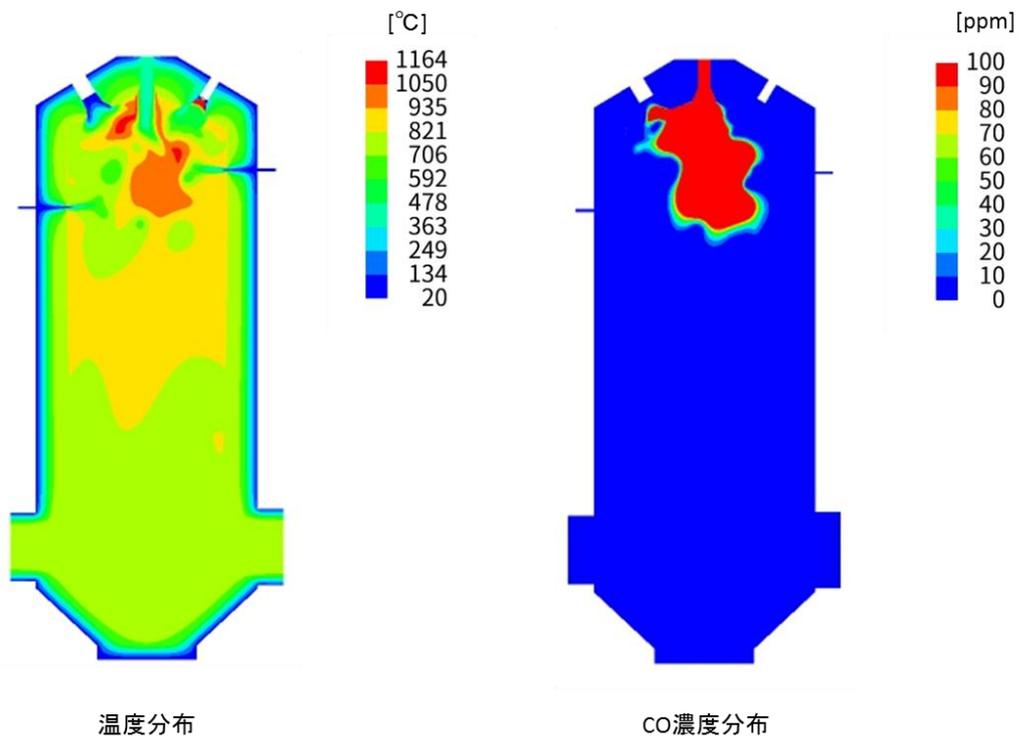


図 2. 1. 1-4 温度分布・CO 濃度分布 (CASE2 : 造粒前)

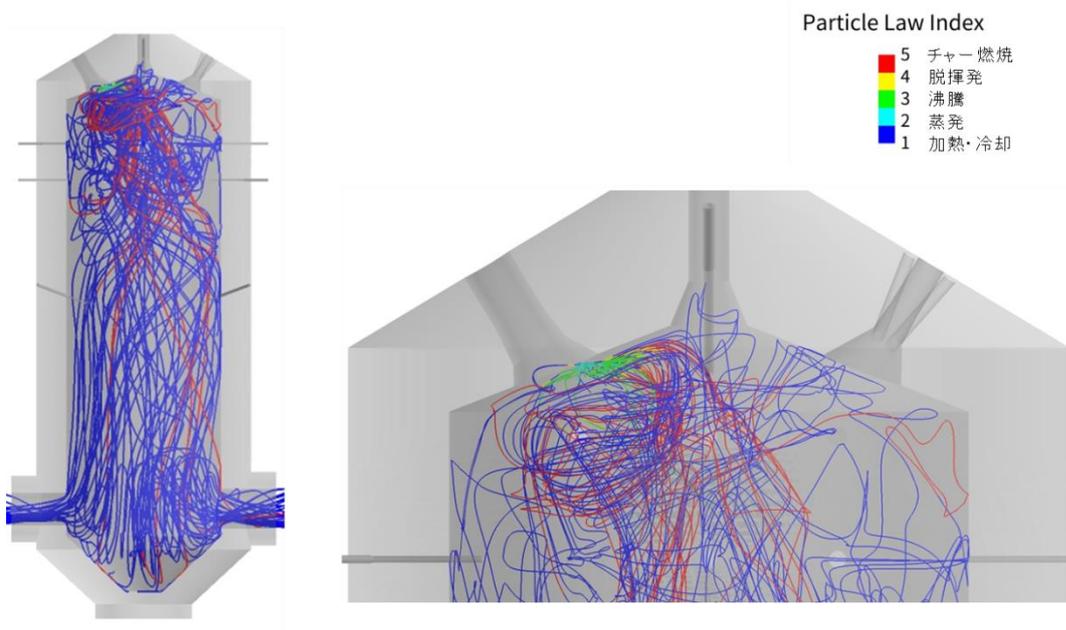


図 2. 1. 1-5 粒子挙動 (CASE2 : 造粒前)

c. CASE3(粉碎後)

炭化燃料として粉碎後を使用した場合の、温度分布および CO の濃度分布を図 2.1.1-6 に示す。また、炭化燃料の挙動を図 2.1.1-7 に示す。

粉碎後の温度分布、CO 濃度分布に CASE2 との大差はない。炭化燃料の燃焼過程を見ると、炭化燃料の粒径が CASE2 と比べ大きくなっていることから、チャー燃焼が炉下部まで達しているものが増えている。CASE3 の燃焼率は 99% となった。

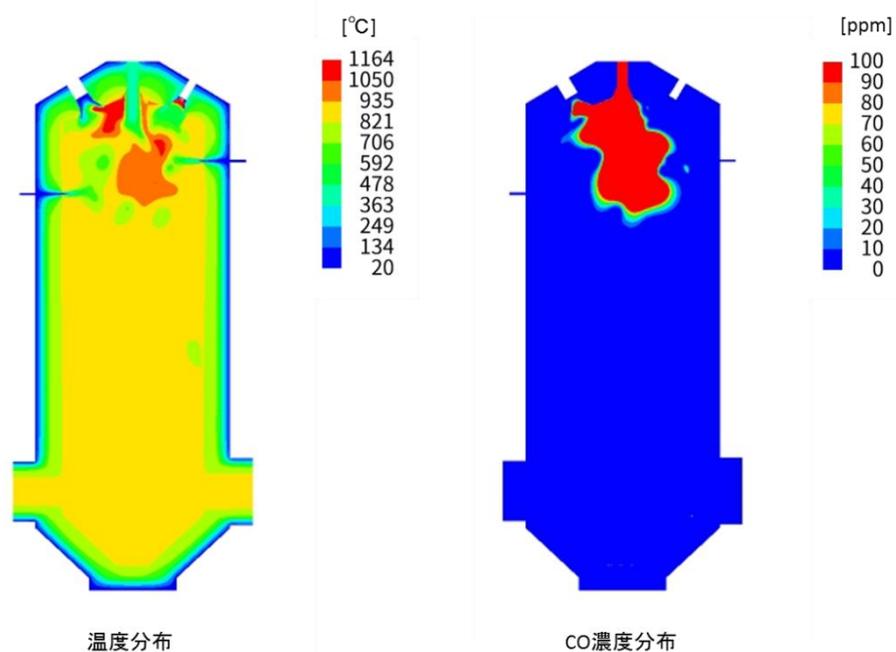


図 2.1.1-6 温度分布・CO 濃度分布 (CASE3: 粉碎後)

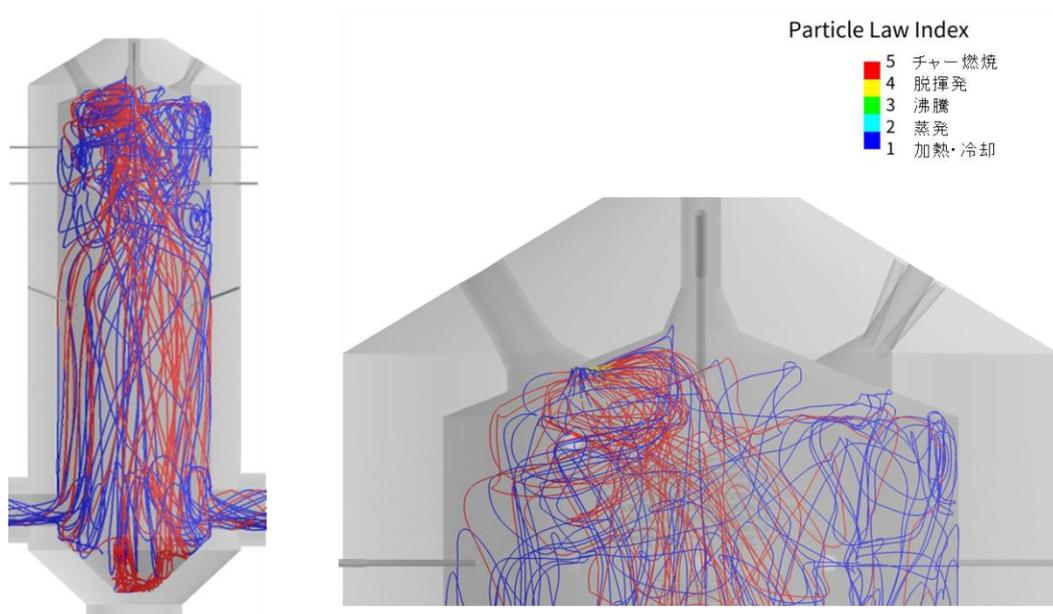


図 2.1.1-7 粒子挙動 (CASE3: 粉碎後)

d. CASE4(選別後)

炭化燃料として選別後を使用した場合の、温度分布および CO の濃度分布を図 2.1.1-8 に示す。また、炭化燃料の挙動を図 2.1.1-9 に示す。

粉碎後の温度分布に CASE2 との大差はないが、CO 濃度分布は大きな粒子の影響で、炉下部にも高濃度の所が見られる。しかし、炉出口では他のケースと同様に CO 濃度は殆ど無くなっている。炭化燃料の燃焼過程を見ると、CASE3 と同様に、チャー燃焼が炉下部まで達しているものが多くなっている。CASE4 の燃焼率は 97% となった。

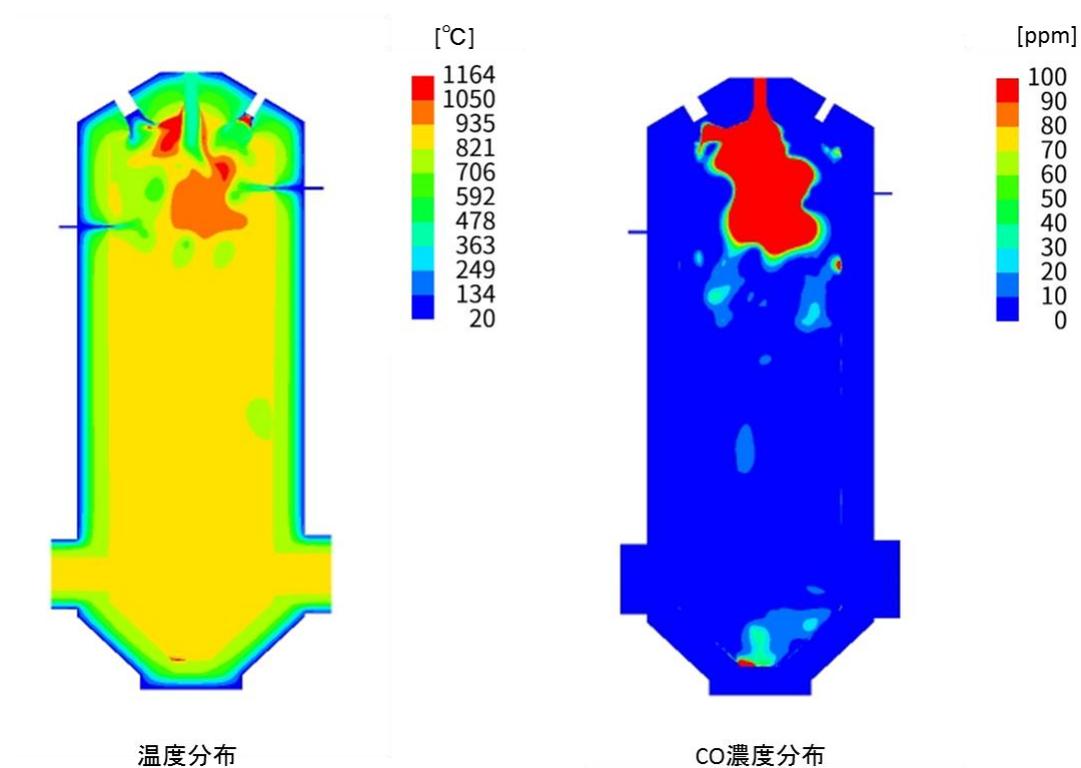


図 2.1.1-8 温度分布・CO 濃度分布 (CASE4: 選別後)

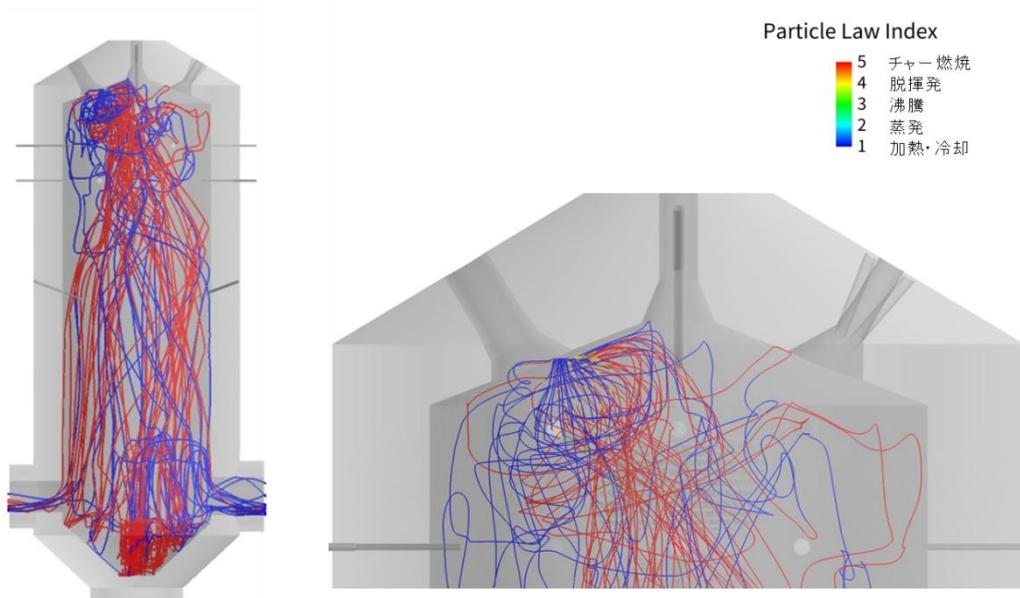


図 2.1.1-9 粒子挙動 (CASE4 : 選別後)

(6) まとめ

既設の燃焼炉として西海市炭化センター燃焼炉を対象に、助燃燃料の一部を炭化燃料にした際の燃焼状況を検討した。炭化物の取出箇所を変更した 3 種類の燃料に対して、燃焼炉内での燃焼状況を確認したところ以下の結果が得られた。

各燃料種における燃焼炉出口での燃焼効率を表 2.1.1-4 となった。

表 2.1.1-5 各燃料種における燃焼効率

燃料種	燃焼率
造粒前	99.5%
粉碎後	99.0%
選別後	97%

CO 濃度分布からも、燃焼炉出口で CO は殆ど無くなっていることがわかった。この結果から、既設の燃焼炉に炭化燃料を投入するケースでは、問題なく燃焼することが確認できた。

2.2 炭化燃料利用先の拡大

2.2.1 炭化燃料バーナ解析

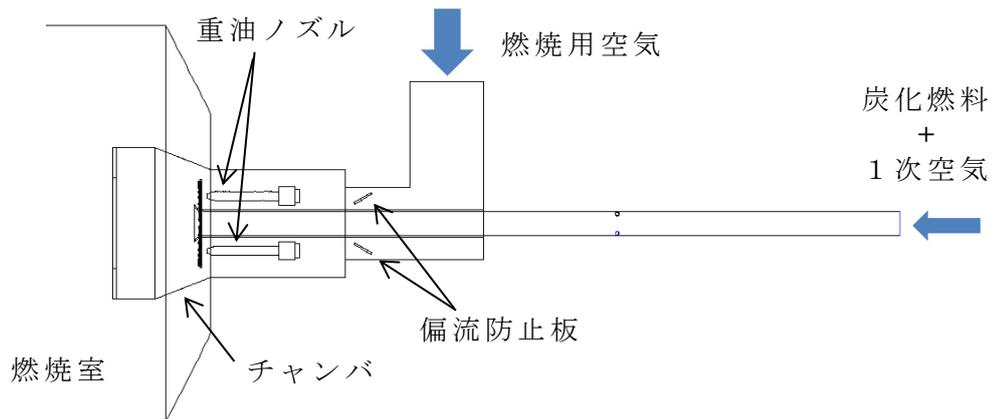
(1) 炭化燃料混焼バーナ解析

a. 目的

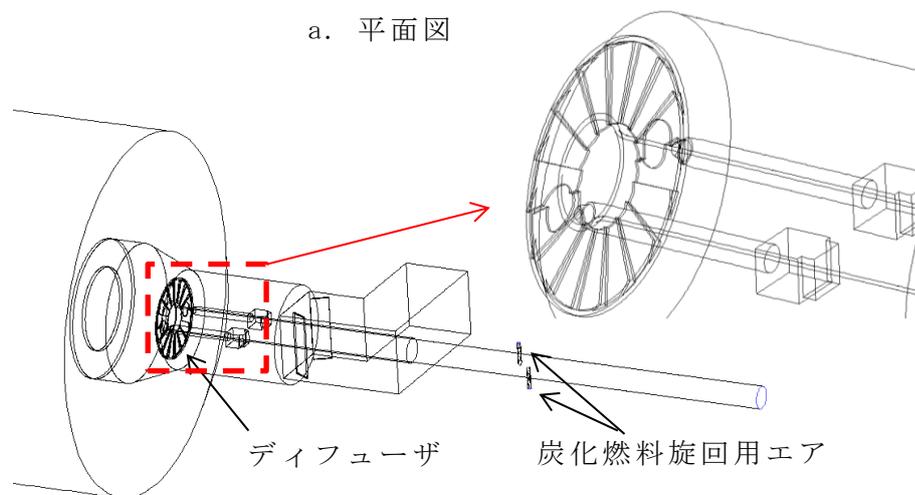
炭化燃料混焼バーナの新規開発にあたり、来年度には、利用状況を模擬した試験を計画している。そのため事前シミュレーションにより炉内における燃焼特性を把握する。

b. 形状モデル

解析対象とした炭化燃料混焼バーナの3次元モデルを図2.2.1-1に示す。炭化燃料はバーナ中央の配管内を流れ、途中、旋回用エアにより強い旋回が与えられることで配管の外周壁に寄せられながら移動し、ベルマウス構造の配管出口から噴出する。噴出された炭化燃料は、形成された重油火炎を通過することで水分蒸発、脱揮発を経て混焼火炎を形成する。



a. 平面図



b. 鳥瞰図

図 2.2.2(1)-1 解析形状モデル

c. 解析条件

イ. 壁面条件

表 2.2.1-1 に燃焼室の壁面条件を示す。壁面は第 1 層：キャスト、第 2 層：ss400 の二層構造とし、燃焼室外部への放熱を考慮した。

表 2.2.1-1 壁面条件

材料名	厚さ[mm]	熱伝導率[W/mK]	内面放射率[-]	外部熱伝達率[W/m ² K]	外部温度[°C]
キャスト	150	1.0	0.7	10	20
SS400	9	51.6			

ロ. 炭化燃料混焼条件 境界条件

重油発熱量の 20% に相当する炭化燃料を投入した混焼条件でのバーナ保炎性、炭化燃料の燃焼率を検証した。表 2.2.1-2 に燃料の発熱量、理論空気量を示す。重油の組成は C₁₀H₂₂ として扱い、1.5mm の穴径から表 2.2.1-3 の条件で噴出させた。炭化燃料粒子は配管入口から均一に流入するモデルとした。ディフューザ径は φ 290、φ 340 の 2 ケースとした。

表 2.2.1-2 発熱量・理論空気量

重油発熱量	8772 kcal/L
炭化燃料発熱量	2850 kcal/kg
重油理論空気量	9.7 Nm ³ /L
炭化燃料理論空気量	4.6 Nm ³ /kg
空気比	1.2

表 2.2.1-3 境界条件

空気	
圧送配管内流速	20 m/s (旋回ノズル75m/s)
2次空気量	27.96 m ³ /min
空気温度	20 °C

重油	
噴出量	60 L/h × 2
噴出角度	60 °
噴出流速	9.43 m/s
最小粒子径	75 μ m
最大粒子径	120 μ m
平均粒子径	97.5 μ m
密度	800 kg/m ³

炭化燃料	
燃料投入量	92.3 kg/h
最小粒子径	2.63 μ m
最大粒子径	603.7 μ m
平均粒子径	140.3 μ m
水分含有率	30 wt%
見かけ密度	300 kg/m ³

d. 解析結果および考察

イ. 偏流防止板設置効果

角ダクトによる燃焼用空気の偏流確認と防止策を検討した。図 2.2.1-2 にバーナ中心断面の速度ベクトルを示す。偏流防止板なしのケースは、上流側の角ダクトの影響によりチャンバ内で偏流していることが分かる。角ダクトの出口近傍に偏流防止板を設置したケースで偏流は抑制された。このことから、偏流防止板設置によりガスの偏流を抑制可能であることがわかった。

ロ. 炭化燃料混焼条件 燃焼解析

図 2.2.2(1)-3 にバーナ中心断面の速度ベクトルを示す。(b) X-Y 断面ではチャンバ内によどみ領域が形成されるが、(a) X-Z 断面では形成されていないことが分かる。またディフューザ径の大きさによる流動状況の差はあまりないように見える。図 2.2.2(1)-4 にバーナ中心断面の温度分布を示す。また図 2.2.2(1)-5、2.2.2(1)-6 に酸素濃度分布、CO 濃度分布を示す。どちらもチャンバ内で燃焼が開始し、チャンバ出口付近から活発に燃焼している。特に、ディフューザ径 $\phi 340$ のケースでの発熱および酸素消費が激しいことが分かる。燃焼室出口部の酸素濃度は $\phi 290$ で 6.1%、 $\phi 340$ で 5.7% となった。図 2.2.2(1)-7 に断面平均ガス温度の X 方向分布を示す。 $\phi 340$ のほうが、 $\phi 290$ と比べ 70K 程度平均温度が高いことが分かる。

表 2.2.2(1)-4 に燃焼室出口までにおける炭化燃料燃焼率を示す。ディフューザ径 $\phi 340$ の燃焼率が上回ることが分かった。粒径別に見ると $603.7 \mu\text{m}$ の大粒子はあまり燃焼していないものの、 $100 \mu\text{m}$ 以下の小粒子はほぼ完全燃焼する。

表 2.2.2(1)-4 炭化燃料燃焼率

ディフューザ	2.63~357 μm	603.7 μm	合計
$\phi 290$	86.09%	18.93%	84.02%
$\phi 340$	96.04%	24.16%	93.41%

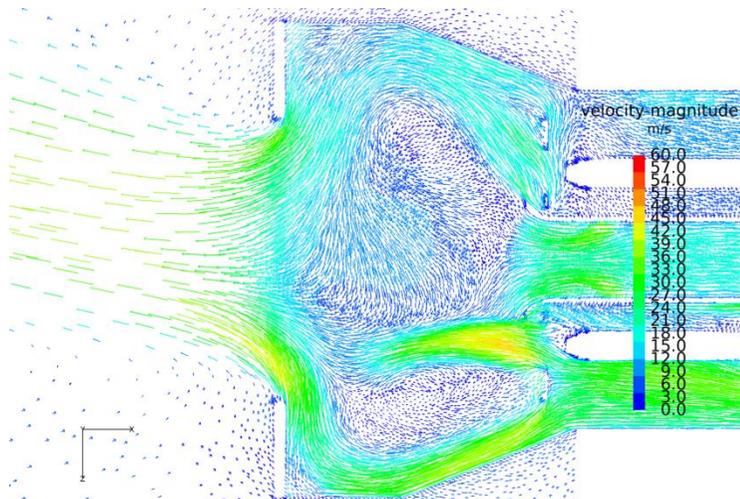
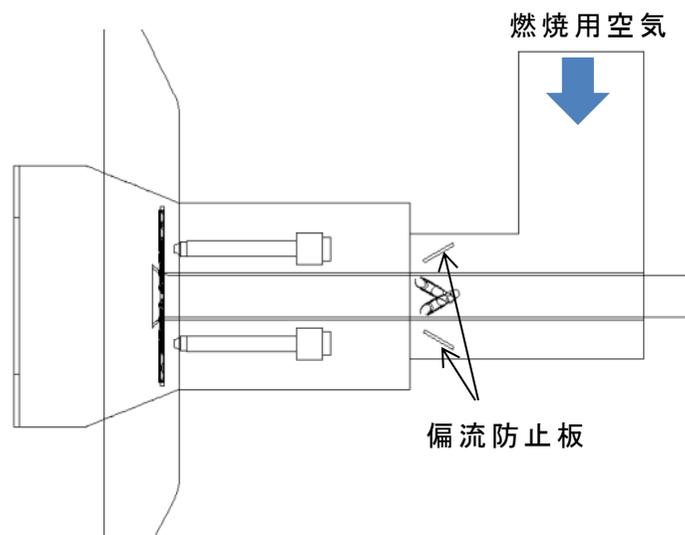
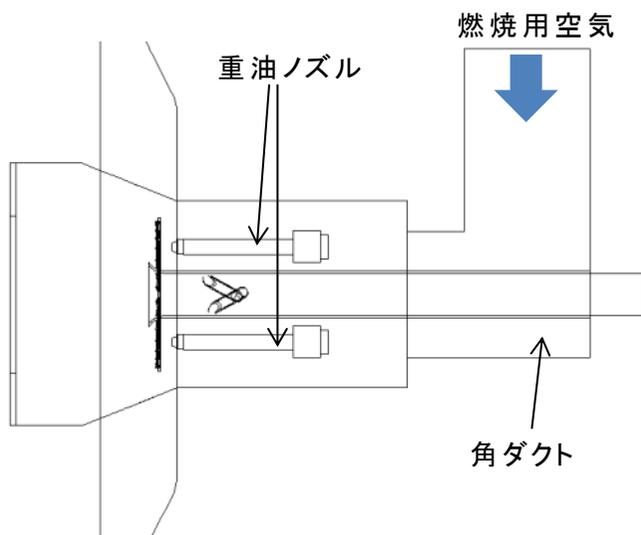
図 2.2.2(1)-8 に炭化燃料粒子の軌跡を示す。色は粒子の状態を表す。粒子径や粒子の通過経路にもよるが、チャンバ内で水分蒸発が概ね完了し、その後、脱揮発過程を経てチャー燃焼している。軌跡を見ると、ディフューザ径 $\phi 340$ のほうがチャンバ出口からの粒子の噴出角度が大きく、これが燃焼率の増加の要因と考えられる。図 2.2.2(1)-9、2.2.2(1)-10 に粒子の飛散分布、粒子の滞留時間を示す。図 2.2.2(1)-9 を見ると、どの断面においても $\phi 340$ のほうが、 $\phi 290$ と比べ

粒子がより分散している。また図 2.2.2(1)-10 から、 $\phi 340$ のほうが粒子の滞留時間が長いことが分かる。以上まとめると、 $\phi 340$ のほうがチャンバ出口からの粒子の噴出角度が大きいため粒子の滞留時間が長くなり、燃焼率の増加に繋がったと考えられる。

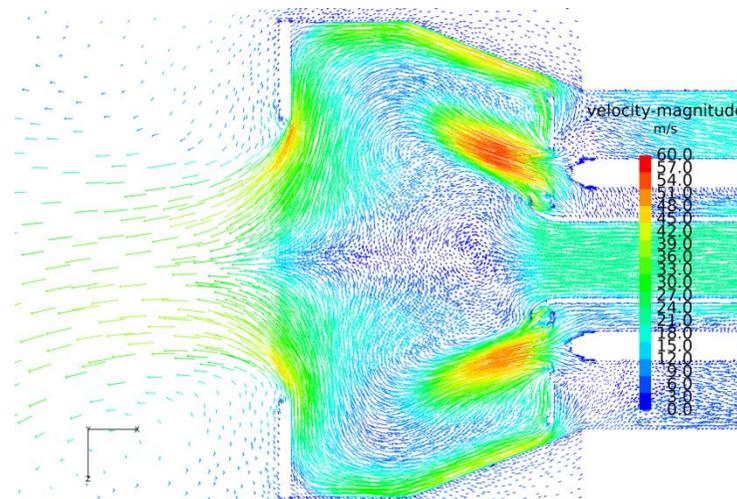
ディフューザ径 $\phi 340$ については、燃焼率は 93.41% となり、ごみ処理施設等で利用できる可能性が高い。

e. まとめ

- ・ 偏流防止板の設置により、ガスの偏流を抑制可能であることがわかった。
- ・ 炭化燃料混焼条件において、ディフューザ径 $\phi 290$ 、 $\phi 340$ の 2 ケースでの燃焼率を検証し、 $\phi 340$ の燃焼率が上回ることが分かった。 $\phi 340$ のほうがチャンバ出口からの粒子の噴出角度が大きいため粒子の滞留時間が長くなったためと考えられる。
- ・ 粒径別に見ると $603.7 \mu\text{m}$ の大粒子はあまり燃焼していないものの、 $100 \mu\text{m}$ 以下の小粒子はほぼ完全燃焼する。

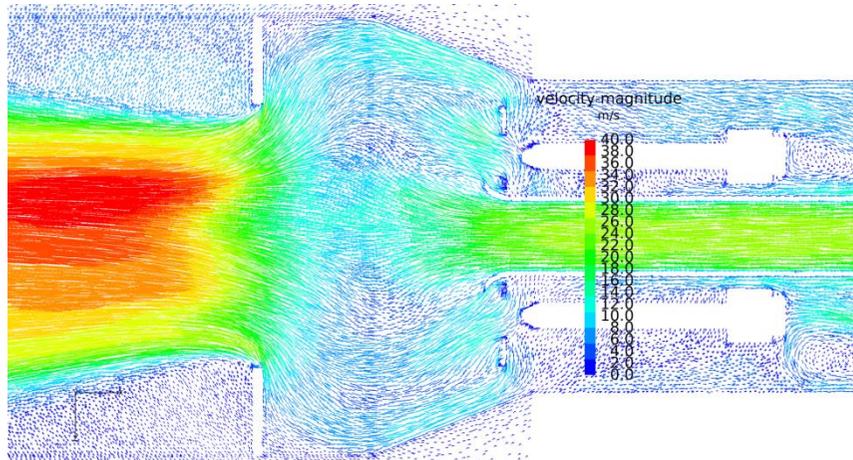


a. 偏流防止板なし

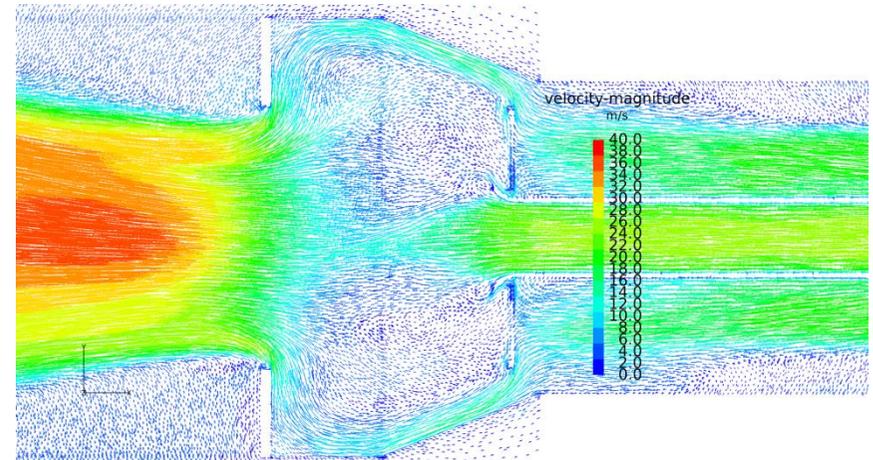


b. 偏流防止板あり(板角度 30°)

図 2.2.1-2 バーナ中心断面の速度ベクトル

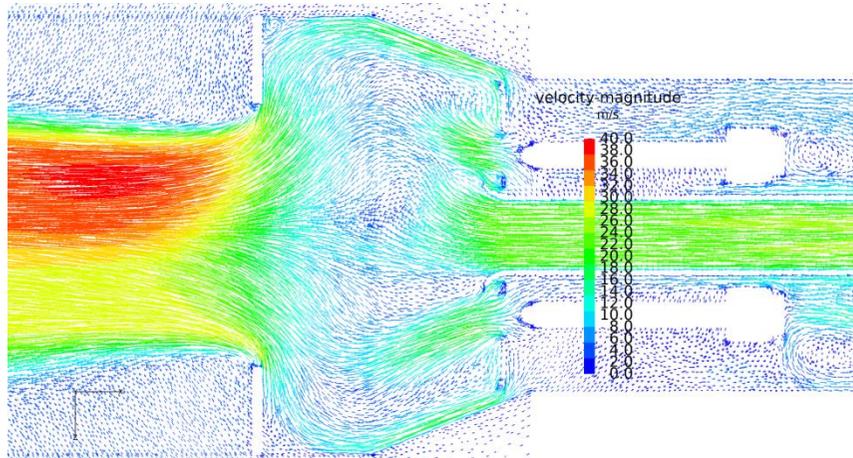


a. X-Z 断面

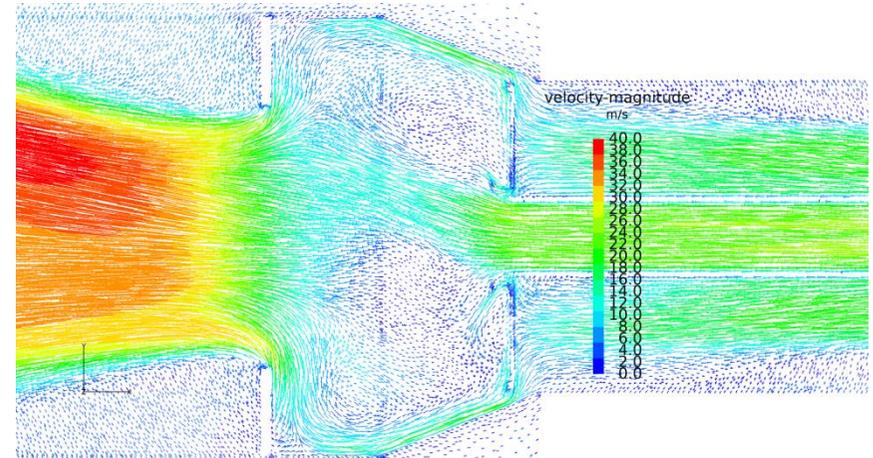


b. X-Y 断面

(1) ディフューザ径 $\phi 290$



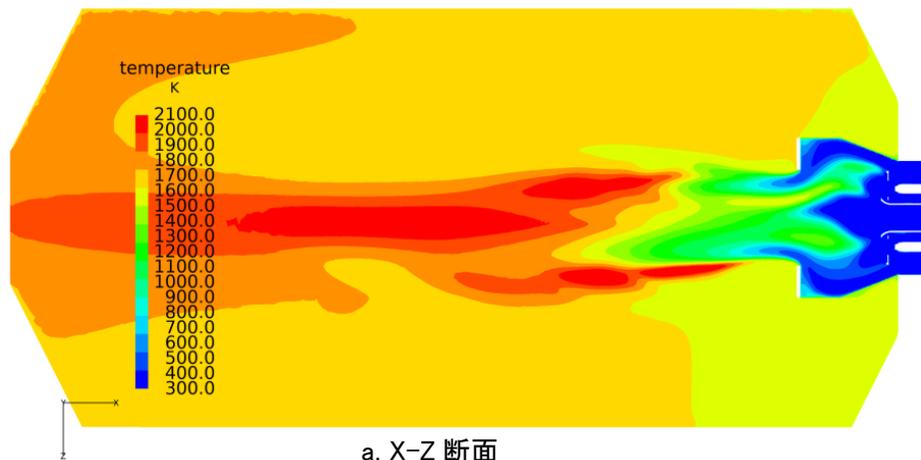
a. X-Z 断面



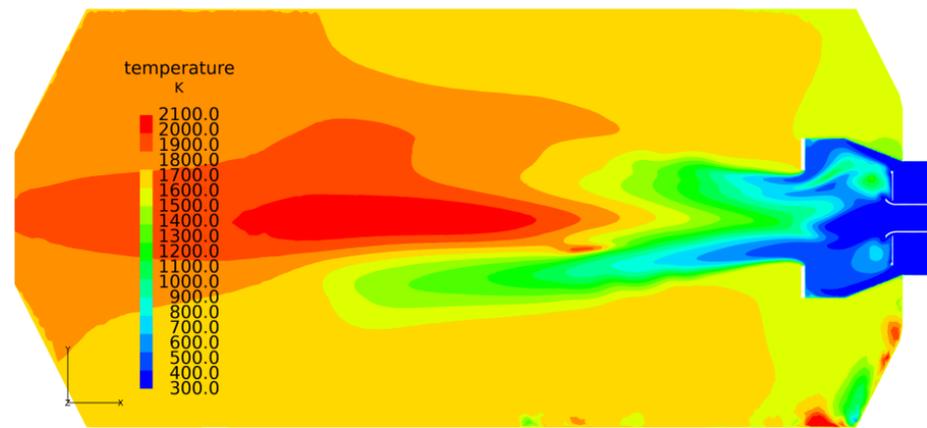
b. X-Y 断面

(2) ディフューザ径 $\phi 340$

図 2.2.1-3 バーナ中心断面の速度ベクトル

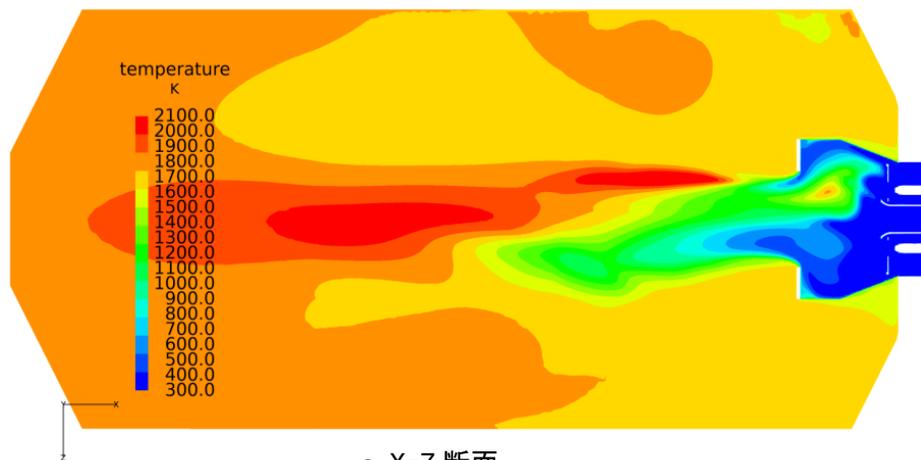


a. X-Z 断面

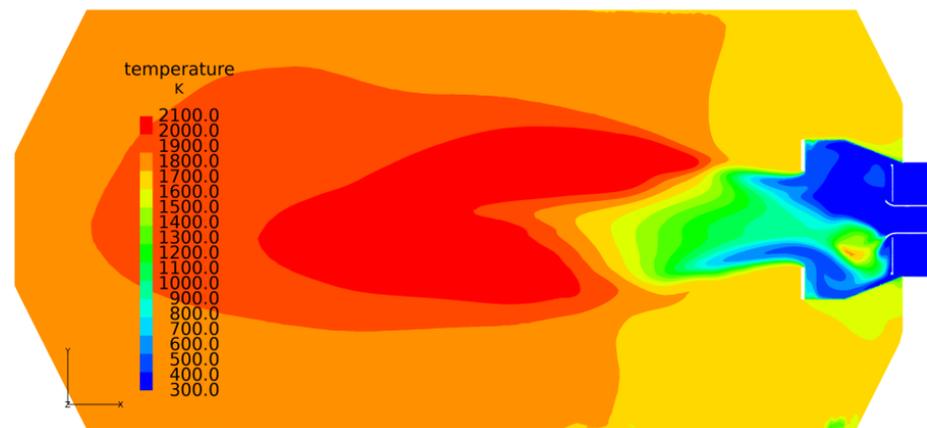


b. X-Y 断面

(1) ディフューザ径 $\phi 290$



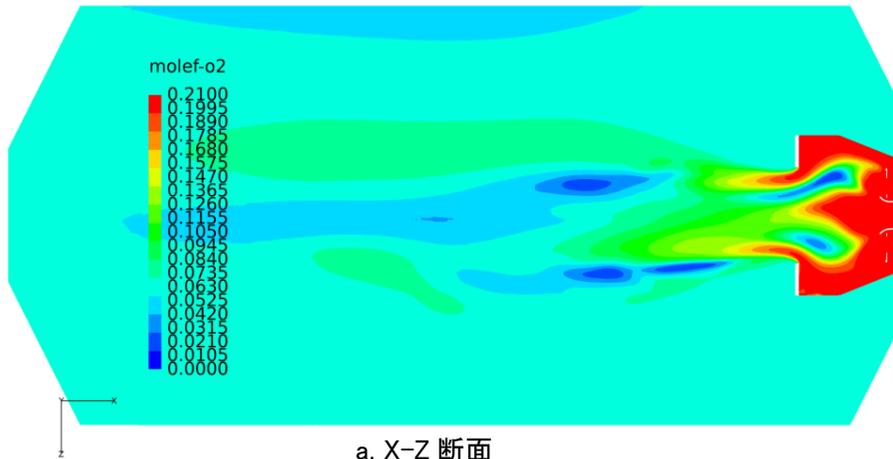
a. X-Z 断面



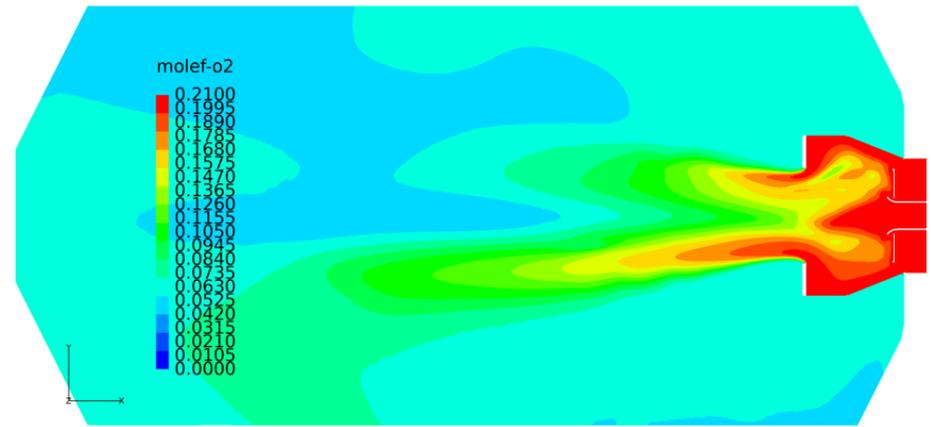
b. X-Y 断面

(2) ディフューザ径 $\phi 340$

図 2.2.1-4 バーナ中心断面の温度分布

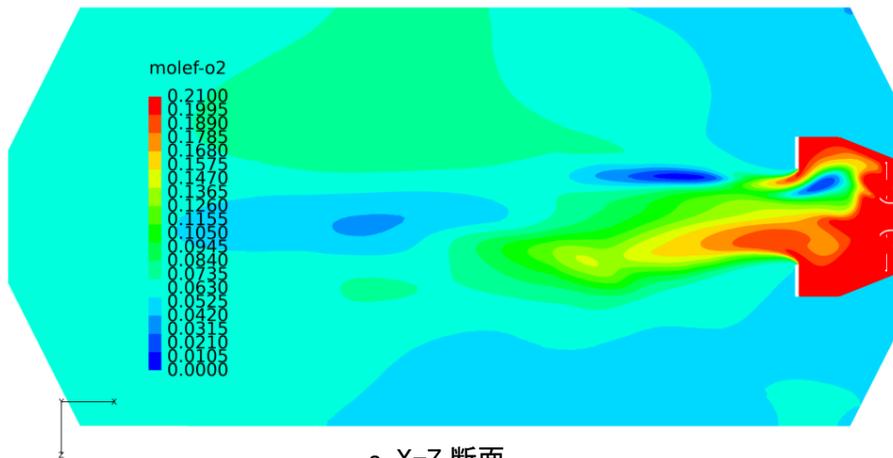


a. X-Z 断面

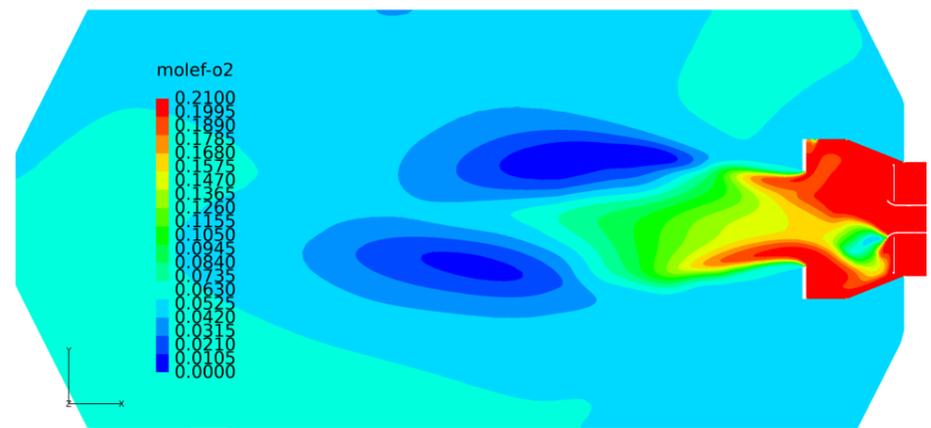


b. X-Y 断面

(1) ディフューザ径 $\phi 290$



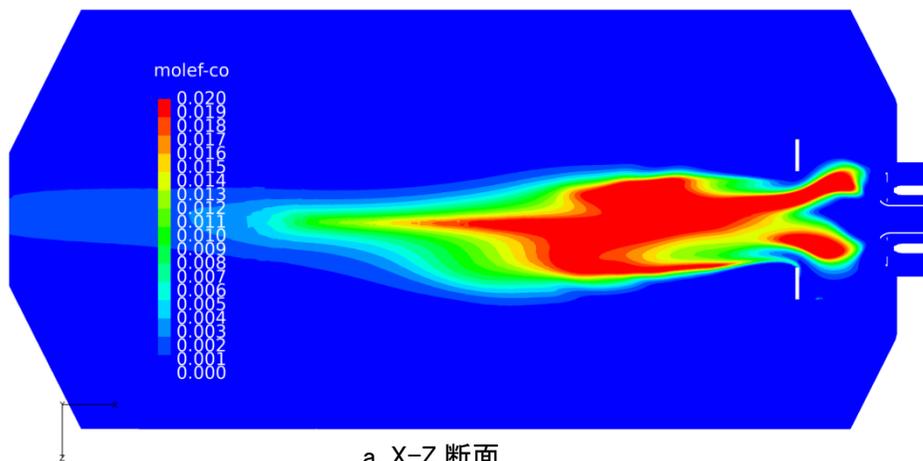
a. X-Z 断面



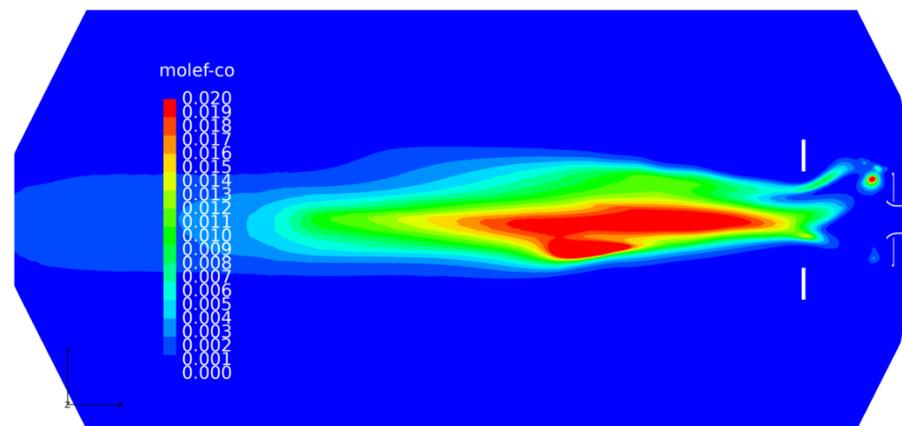
b. X-Y 断面

(2) ディフューザ径 $\phi 340$

図 2. 2. 1-5 バーナ中心断面の酸素濃度分布

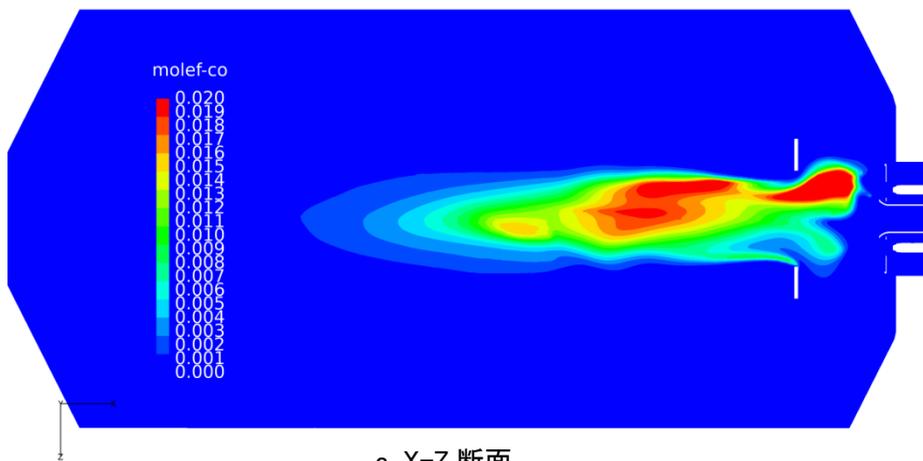


a. X-Z 断面

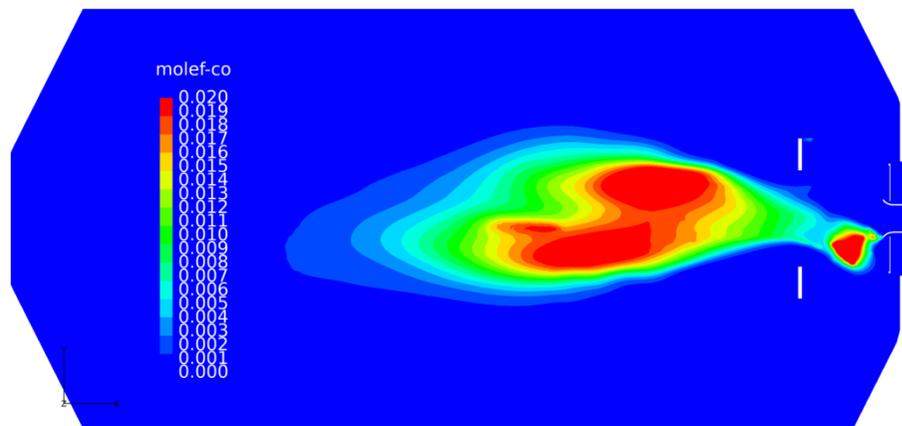


b. X-Y 断面

(1) ディフューザ径 $\phi 290$



a. X-Z 断面



b. X-Y 断面

(2) ディフューザ径 $\phi 340$

図 2. 2. 1-6 バーナ中心断面の CO 濃度分布

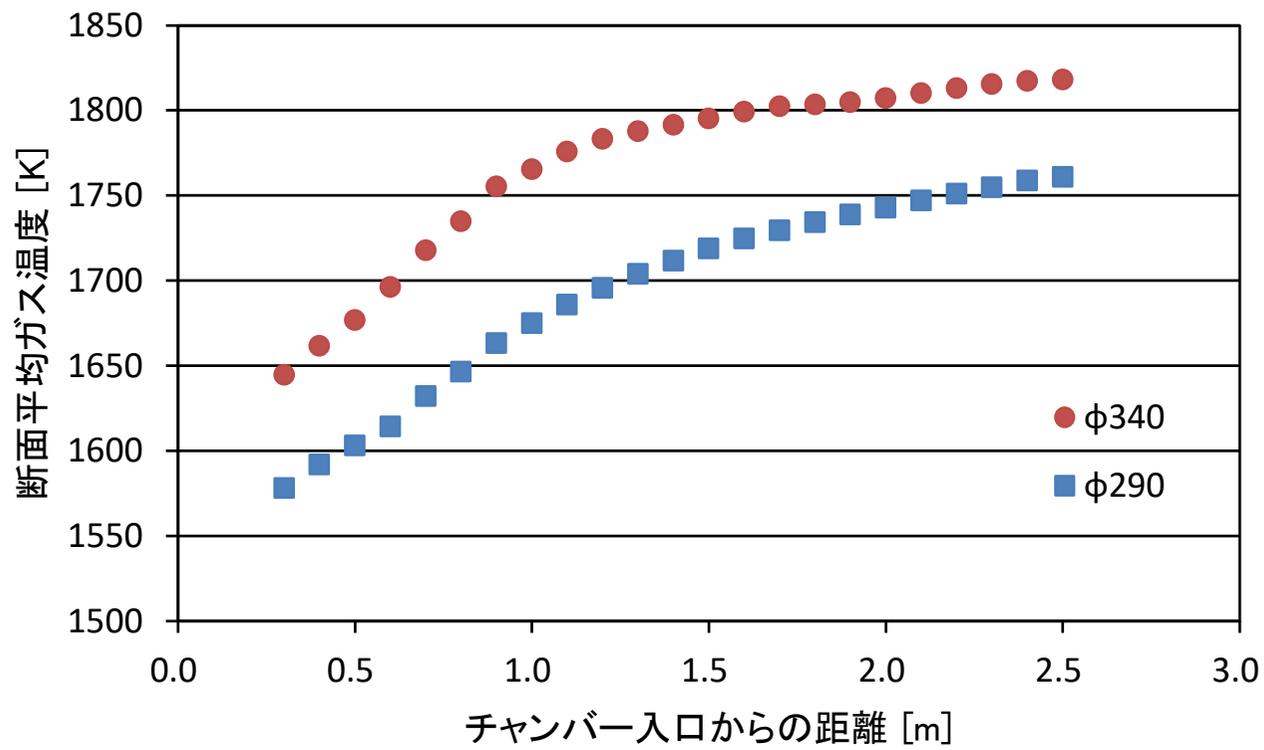
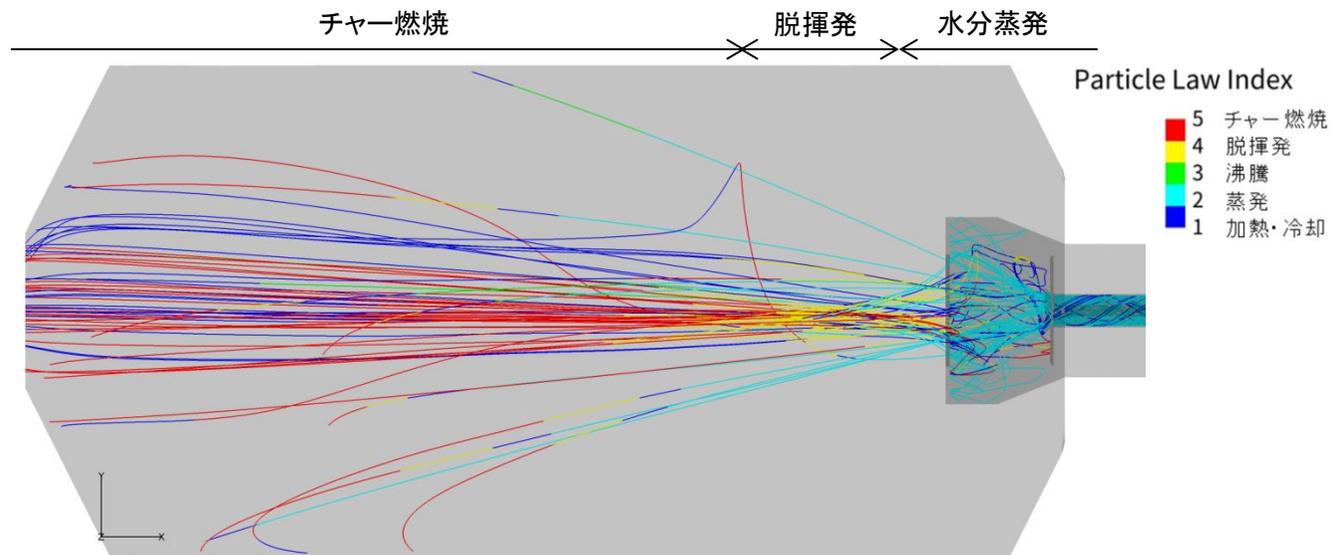
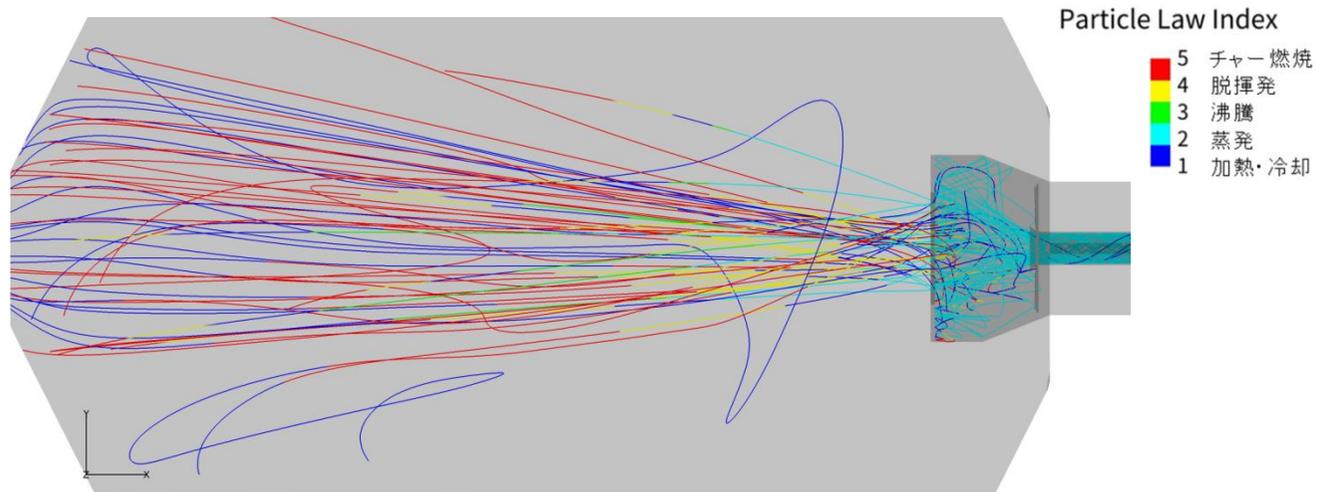


図 2. 2. 1-7 断面平均温度

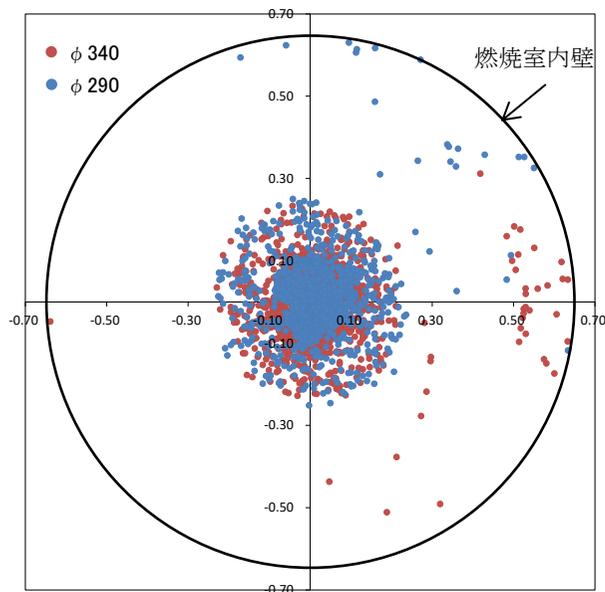


a. ディフューザ径 $\phi 290$

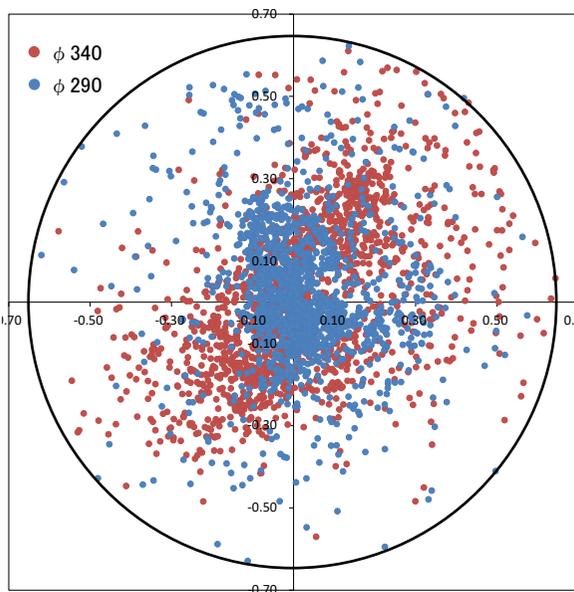


b. ディフューザ径 $\phi 340$

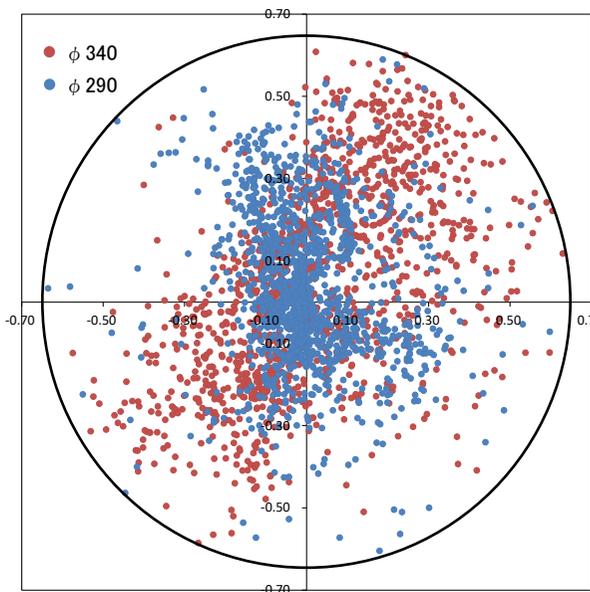
図 2.2.1-8 炭化燃料粒子の軌跡



a. 断面 $x = 0.5\text{m}$



b. 断面 $x = 1.5\text{m}$



c. 断面 $x = 2.5\text{m}$

図 2. 2. 1-9 燃料粒子の飛散分布 (横軸 : Z、縦軸 : Y)

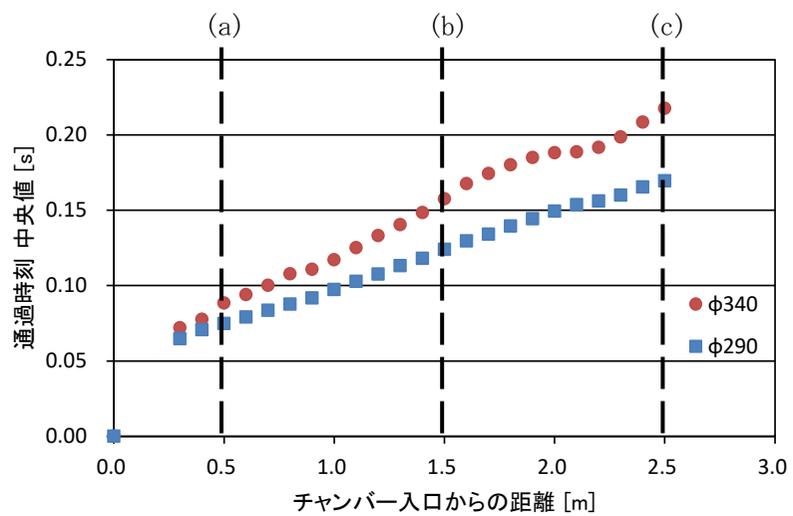


図 2. 2. 1-10 粒子の滞留時間

(2) 炭化燃料吹込バーナ解析

a. 目的

重油等バーナを備えた既設炉に対しては、バーナ全てを交換するよりも炭化燃料のみを投入できるバーナを追加設置する方が、運用面やコスト面から有利な場合の多いことが想定される。このため、追設に適した炭化燃料吹込バーナを開発している。炭化燃料に着火させ、燃焼室内に適切に燃焼エネルギーを配分させるには、既設炉に設置されている重油等バーナの火炎に向かって適切に投入できることが必要となる。ここでは、後述の搬送系を模擬した吹込バーナ試験の実施に際し、試験条件の選定に資するため、流動解析により炭化燃料挙動について解析する。

b. 形状モデル

解析対象とした炭化燃料吹込バーナの形状モデルを図 2.2.2(2)-1 に示す。

搬送系ロータリーバルブから落下投入された後、空気搬送されバーナから燃焼室内に噴霧される体系をモデル化した。

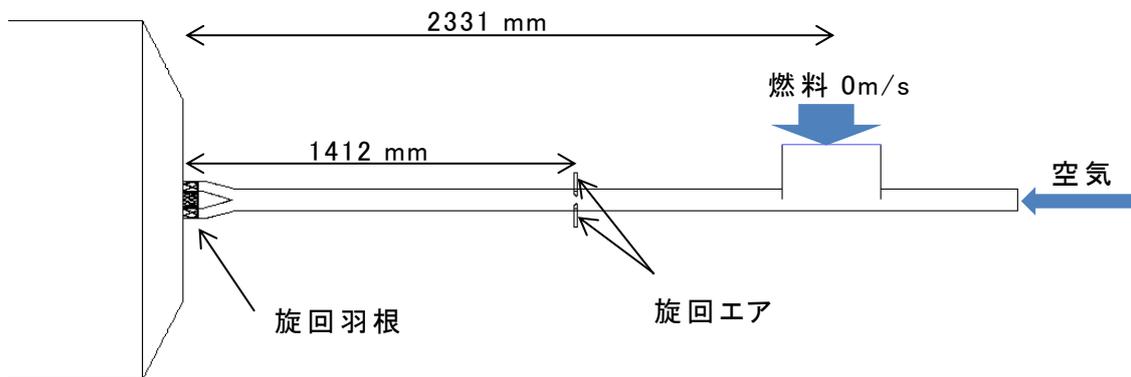


図 2.2.2(2)-1 炭化燃料吹込バーナ試験体系モデル

c. 解析条件

炭化燃料供給量 90(kg/h)、圧送流速 15(m/s)として固定し、旋回羽根の有無、旋回エアの有無をパラメータとしている。旋回流速はノズル流速 100(m/s)として入力した。検討した解析ケースを表 2.2.2(2)-1 に示す。

表 2.2.2(2)-1 炭化燃料吹込バーナ試験体系解析条件

解析 No.	旋回羽根	旋回エア
①	有	無
②	有	有
③	無	無
④	無	有

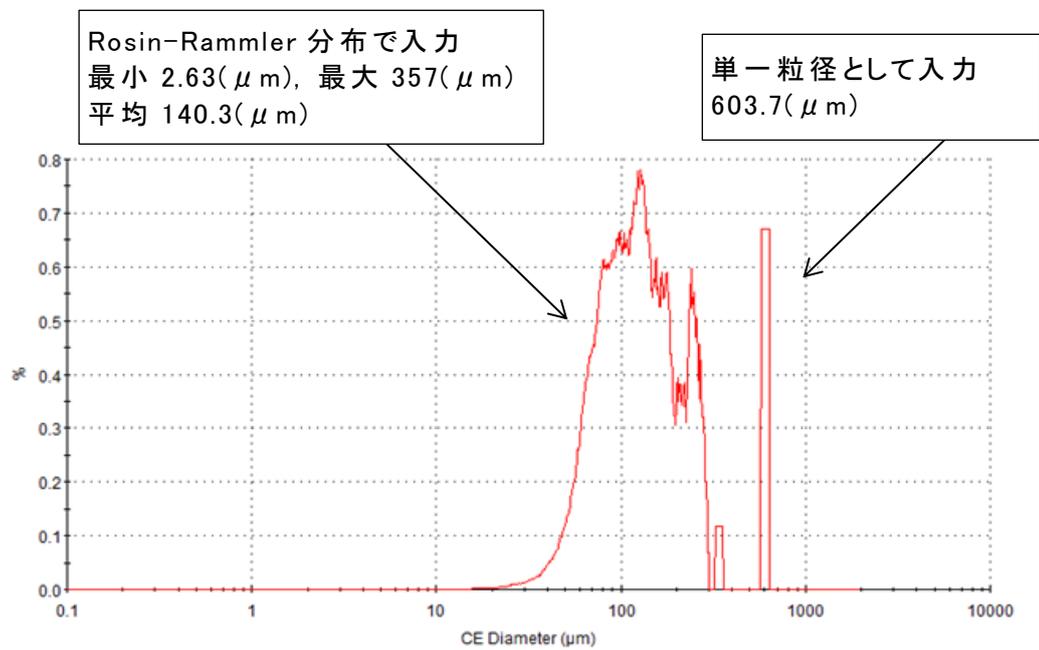


図 2.2.2(2)-2 炭化燃料吹込バーナ解析における粒径分布

d. 解析結果および考察

図 2.2.2(2)-3 から図 2.2.2(2)-6 に解析 a~d における粒子の軌跡をそれぞれ示す。

図 2.2.2(2)-3 をみると、バーナ出口近傍にて粒子が下側に偏流している様子が解る。一方、図 2.2.2(2)-4 では、旋回エアの効果によりバーナ出口近傍にて粒子の分散が図られていることが解る。

次に、旋回羽根の旋回エアも無い解析 c のケースでは図 2.2.2(2)-5 をみると、バーナ出口近傍では図 2.2.2(2)-3 と同様に粒子が下側に偏流している。また、バーナから出た後の燃焼室内では直進性が強く粒子の分散性が悪いことが解る。

図 2.2.2(2)-6 では、旋回エアの効果によりバーナ出口では粒子が均一になっているものの燃焼室内では粒径により挙動が異なっていることが解る。これは、旋回羽根による整流効果が働かないため、流径による慣性力の違いが堅調に出たものと考えられる。

e. まとめ

炭化燃料吹込バーナの試験体系にて旋回羽根の有無、旋回エアの有無をパラメータとして解析的に粒子の挙動を検討した結果、以下のことが解った。

- 安定燃焼に関わる粒子流れの均一性の観点からは、旋回羽根の影響に比べて旋回エアの影響が顕著である
- 旋回羽根を付けた方がバーナから出た後の燃焼室内における粒子の挙動が安定している

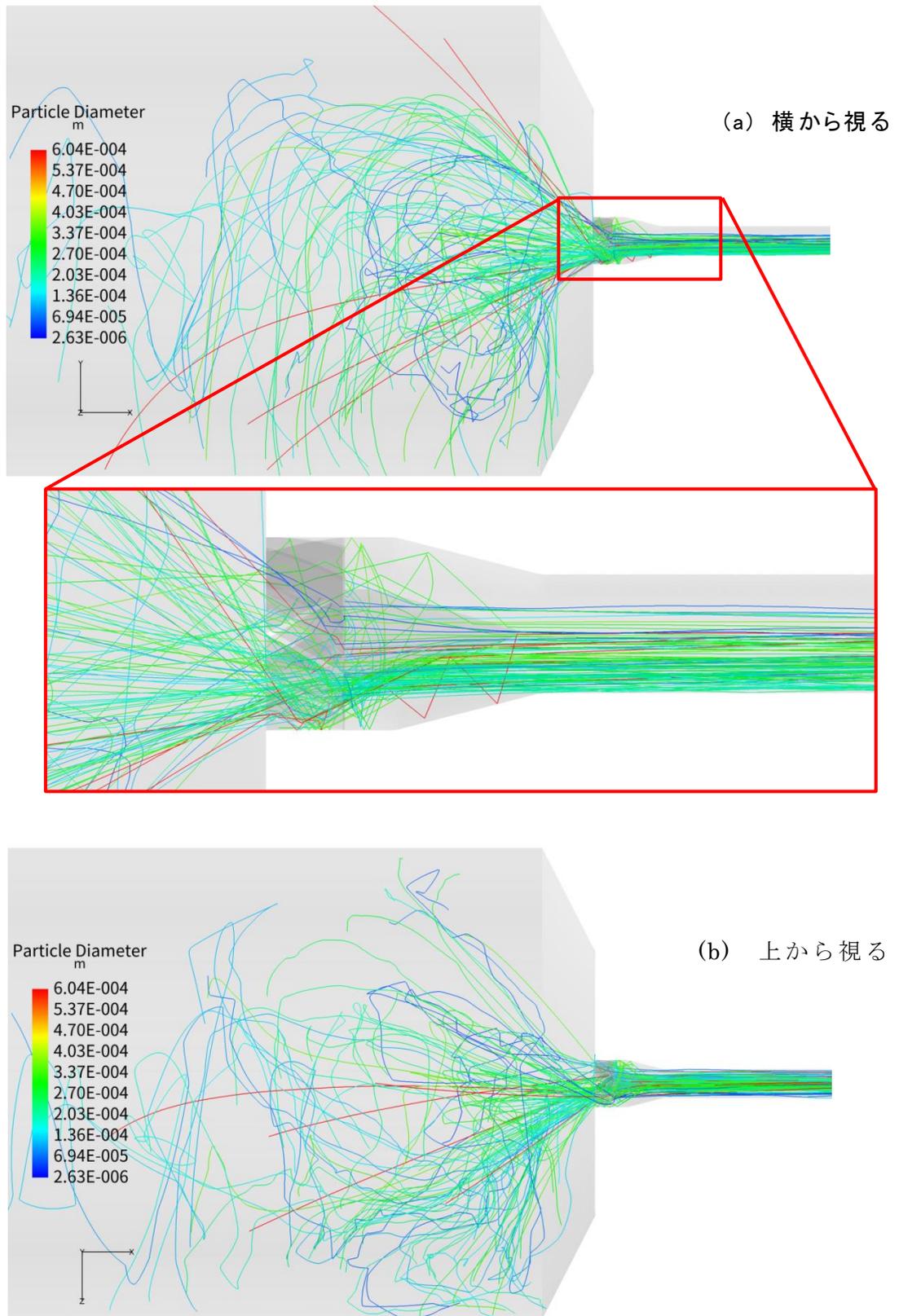


図 2.2.2(2)-3 炭化燃料吹込バーナ：解析 a 炭化燃料粒子の軌跡

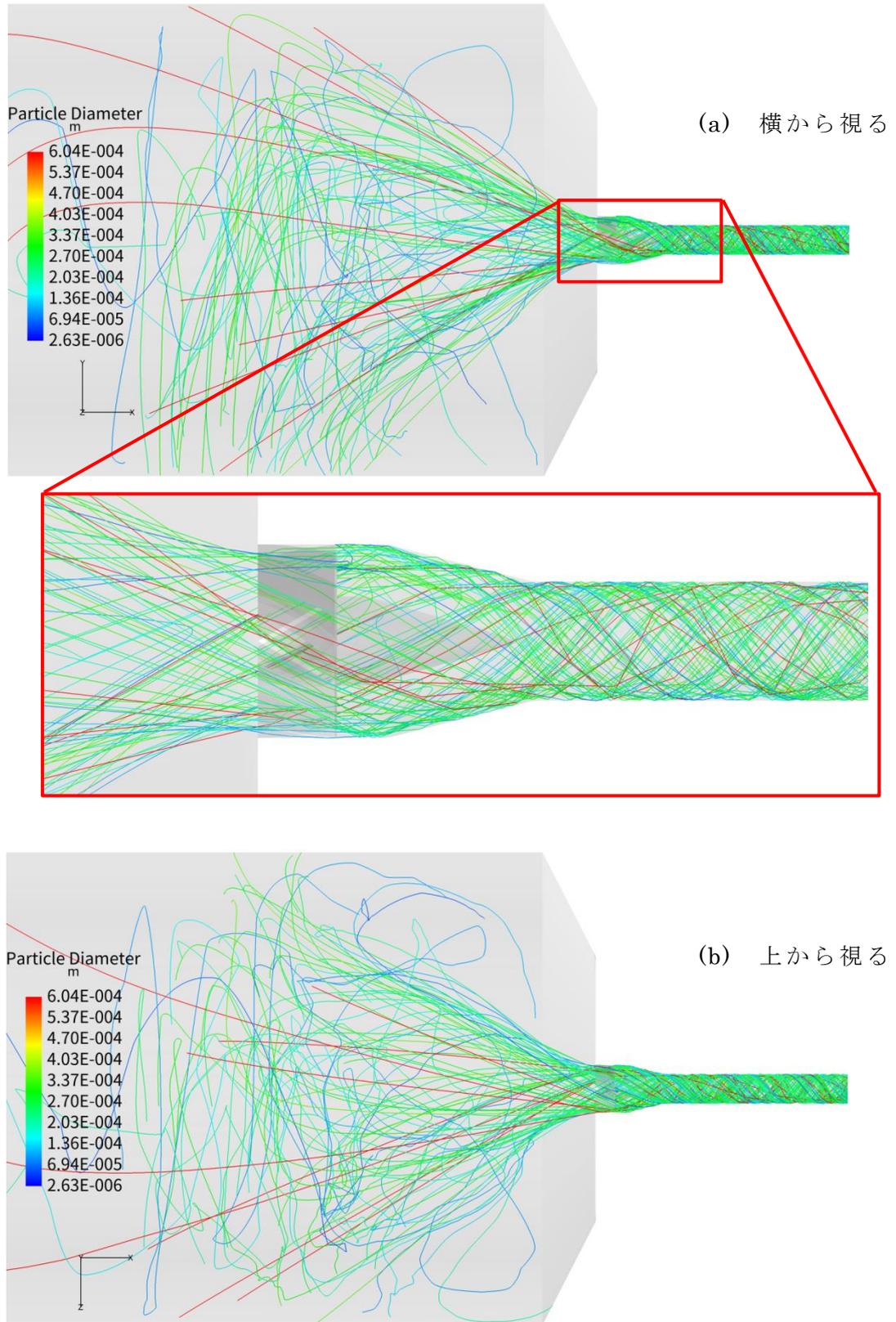


図 2.2.2(2)-4 炭化燃料吹込バーナ：解析 b 炭化燃料粒子の軌跡

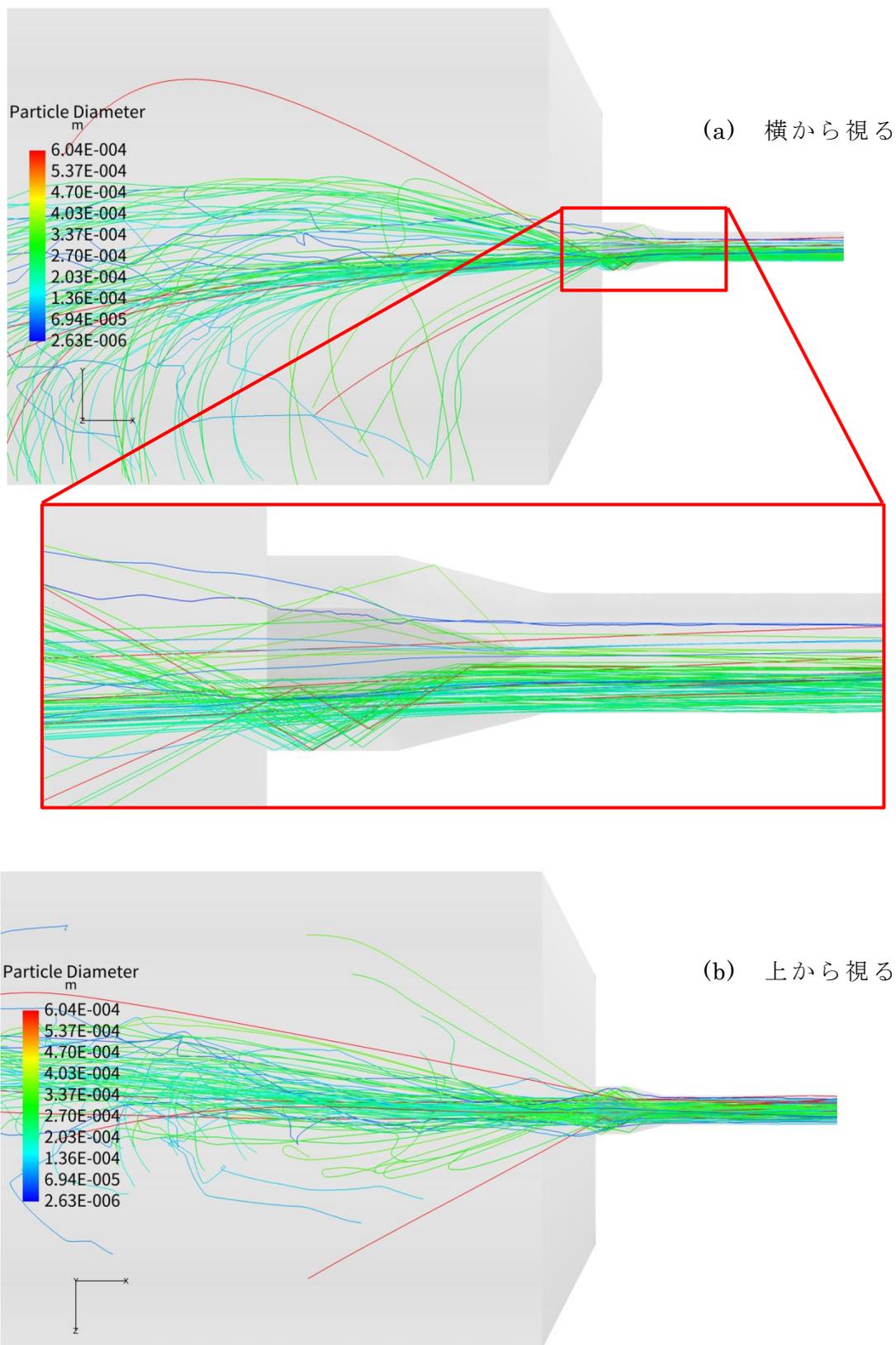


図 2.2.2(2)-5 炭化燃料吹込バーナ：解析 c 炭化燃料粒子の軌跡

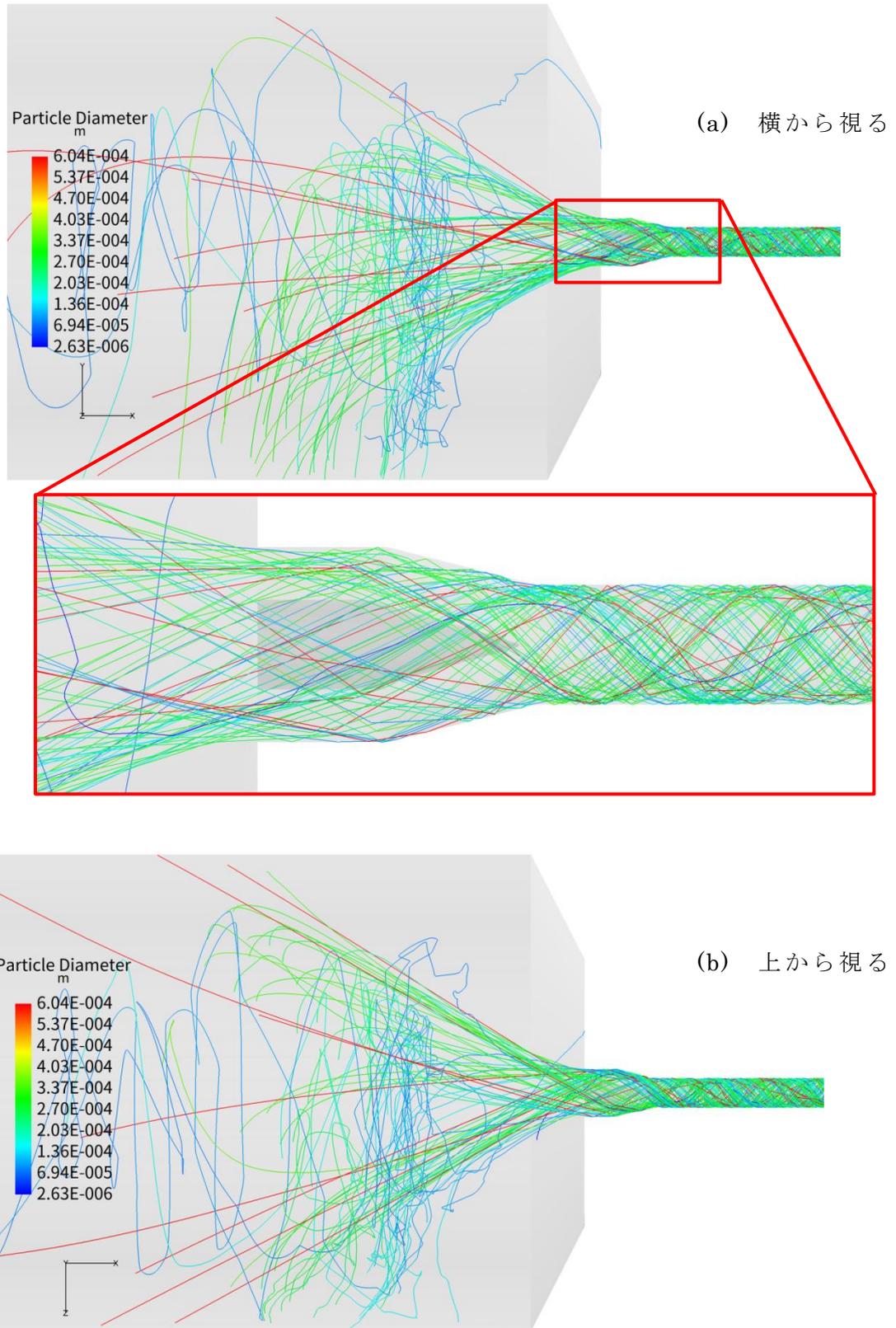


図 2.2.2(2)-6 炭化燃料吹込バーナ：解析 d 炭化燃料粒子の軌跡

2.2.2 播磨塵芥処理センターストーカ炉解析

(1) 目的

本委託事業の次年度には、試験場における試験、最終年度には播磨塵芥処理センターストーカ炉において、炭化燃料を用いた実証試験を計画しており、事前に燃焼 CFD (Computational Fluid Dynamics) 解析により炉内における燃焼特性を把握する。

(2) 解析モデルの構築

対象となる播磨塵芥処理センターストーカ炉の解析モデル形状を図 2.2.2-1 に示す。

解析体系内部のガス流体や液滴粒子、固体粒子については CFD (Computational Fluid Dynamics) 手法を適用した下記の解析コードを用いてモデル化した。

重油燃料は、微粒化された重油液滴を重油バーナ出口から解析体系に投入している。炉内からの熱輻射等を受けて液滴粒子は昇温・蒸発してガス化したのち、酸化剤（空気中の酸素）と反応して燃焼するモデルとなっている。

炭化燃料は、搬送空気とともに固体粒子として解析モデル体系内に流入させ、炉内からの熱輻射等を受けて昇温・揮発したガスが酸化剤と反応して燃焼する。残ったチャー（固定炭素）粒子は表面燃焼して最後には灰分が固体粒子として残るモデルとなっている。

これらの液滴粒子、固体粒子は、周りのガス流体や重力等の力学的バランスによりガス流体側と連成されて軌跡が計算される。

解析コード

汎用熱流体解析コード ANSYS Fluent Ver.18.2

物理モデル

- ・乱流モデル：Realizable $k-\varepsilon$ ⁽¹⁾（工業的によく用いられる $k-\varepsilon$ 2 方程式モデル）
- ・壁面モデル：壁の境界は滑りなし条件、境界層は標準壁関数モデル、耐火構造物等は伝熱モデルとして模擬
- ・輻射モデル：重油専焼時は比較的光学厚さが大きいので P1 モデル^[2]を用い、炭化粒子投入時は DO モデル^[3]を用いた。CO₂、H₂O のガス輻射吸収係数の周波数依存性には、WSGG (Weighted Sum of Gray Gas) モデル^[4]を適用した。
- ・燃焼モデル：高乱流強制対流条件なので乱流による燃料ガスと酸化剤の混合律

速である ED (Eddy Dissipation) モデルを適用し、反応式は各燃料ガスと酸化剤による酸化燃焼反応 (CO を考慮した 2 段総括反応) とした。また、炭化燃料のチャー燃焼速度は、別途、DTF 試験により求めた値を入力している。

- 燃料モデル: 重油成分は発熱量がほぼ同等となる Fluent に設定されている $C_{10}H_{22}$ を用いた。粒径分布はメーカー設計値としている。炭化燃料成分は、工業分析により求めた炭化水素等の割合から発熱量が等しくなる成分として設定した。

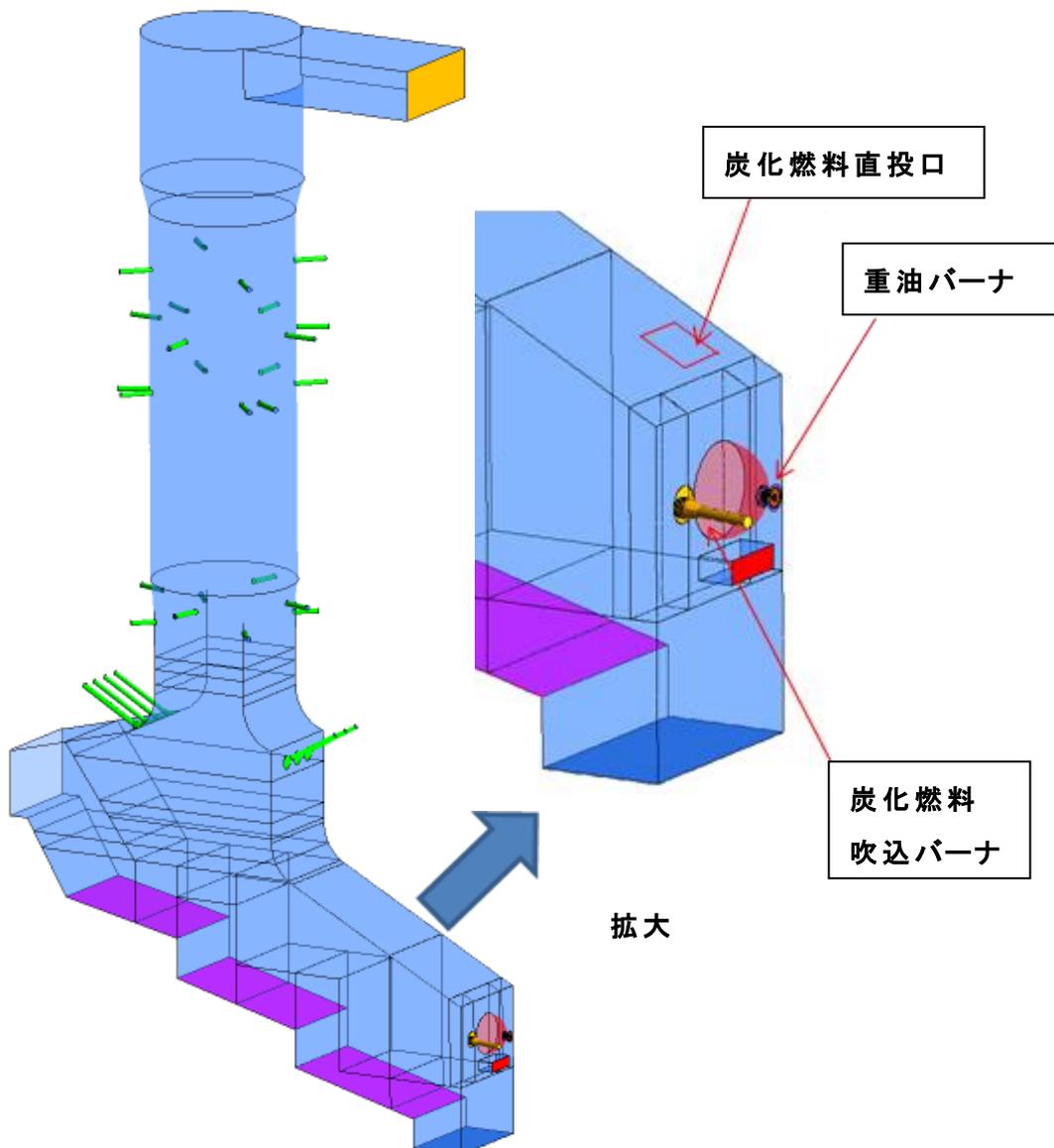


図 2.2.2-1 解析モデル形状

(3) 解析条件

解析ケースは、重油専焼ケース、炭化燃料吹込バーナ混焼ケース、炭化燃料直投ノズル混焼ケースの計3ケースである。炭化燃料の混焼量は重油量に対して発熱量の20%相当とした。

- ・ 入口条件：表 2.2.2-1 に各入口の境界条件を示す。ストーカ炉の1次および2次空気の流量については、ダクトダンパーは締め切り状態であるがファンは稼働しており、起動試験の結果から相応量を設定している。また図 2.2.2-2 に炭化燃料の粒径分布を示す。
- ・ 出口条件：圧力一定条件を設定。
- ・ 壁面条件：壁面の輻射率は0.9、壁外は温度20℃、熱伝達率10W/m²Kとし、伝熱モデルに反映。

表 2.2.2-1 解析入口境界条件

			重油専焼ケース	炭化燃料バーナ混焼ケース	炭化燃料直投混焼ケース	
重油バーナ	重油量	L/h	150	120	←	
	比重	kg/L	0.8	←	←	
	バーナ空気量	Nm ³ /h	1924	1863	←	
	1次		302	242	←	
	2次	Nm ³ /h	56	←	←	
	3次	Nm ³ /h	1565	←	←	
	バーナ空気温度	℃	25	←	←	
炭化燃料(バーナまたは直投)	炭化燃料量	kg/h		92.3	←	
	空気量	Nm ³ /h		252	0	
	空気温度	℃		25	←	
	搬送流速	m/s		15	0	
ストーカ空気	1次空気	1次+2次空気	m ³ /h	14000	←	←
		乾燥段	m ³ /h	1680	←	←
		燃焼段	m ³ /h	1680	←	←
		後燃段	m ³ /h	840	←	←
	2次空気	燃焼炉出口(ホッパ側)	m ³ /h	1960	←	←
		燃焼炉出口(炉前側)	m ³ /h	1960	←	←
		ガス冷却室下	m ³ /h	5880	←	←

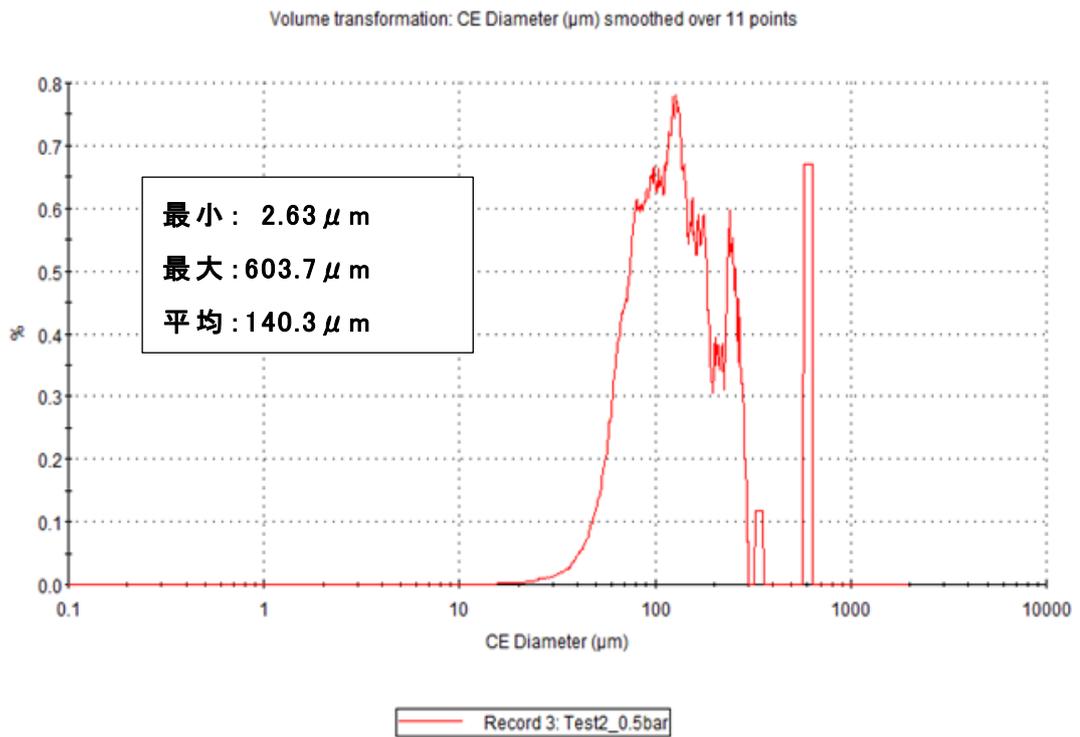


図 2. 2. 2-2 炭化燃料の粒径分布

(4) 解析結果および考察

a. 重油専焼ケース

図 2.2.2-3 に重油液滴の軌跡を示す。着色は液滴径を示しており、噴霧後に、徐々に気化・減径していき、炉内に入ったところでほぼ蒸発消滅することが解る。

バーナ中心を通る炉内の鉛直断面内におけるガス温度分布を図 2.2.2-4 に、酸素濃度分布を図 2.2.2-5 に、CO 濃度分布を図 2.2.2-6 にそれぞれ示す。重油は炉内に入ったところで急激に蒸発・気化しており、図 2.2.2-5 に示すように酸素と混合して燃焼してメインの火炎を形成している。図 2.2.2-6 の CO 濃度分布から CO 濃度 1000ppm の境界を火炎と考えると、長さ約 2m×幅 1.2m 程度であり、ほぼバーナメーカー設計値通りとなっている。

炉内温度計測点に相当する炉上部壁面近傍のガス温度は図 2.2.2-4 より約 500～600℃であることが解るが、実際の計測温度は約 500℃であった。これは、壁面表面温度が 450℃前後となっており、熱電対ウエル(保護管)が壁面からの熱伝導や冷輻射の影響を受けて実際のガス温度より若干低めとなったものと考えられる。また、炉出口の計測温度位置は上段 2 次空気投入断面の後流側断面内であるが、この箇所の温度は図 2.2.2-7 に示すように約 200～300℃であり、計測結果と一致した。

以上より、播磨塵芥処理センターストーカ炉の燃焼 CFD シミュレーションモデルが構築できたことを確認した。

液滴粒子径

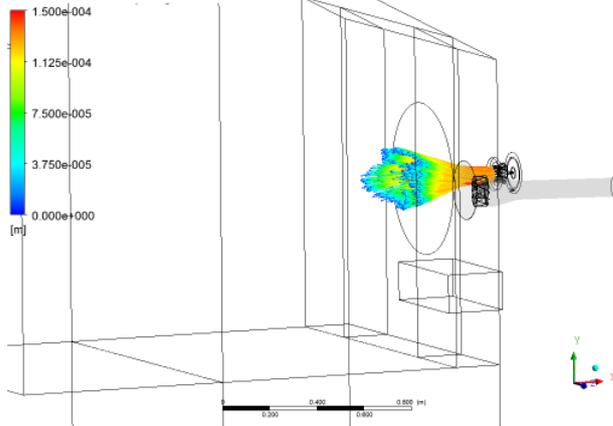


図 2.2.2-3 重油液滴軌跡
(着色は粒径を示す)

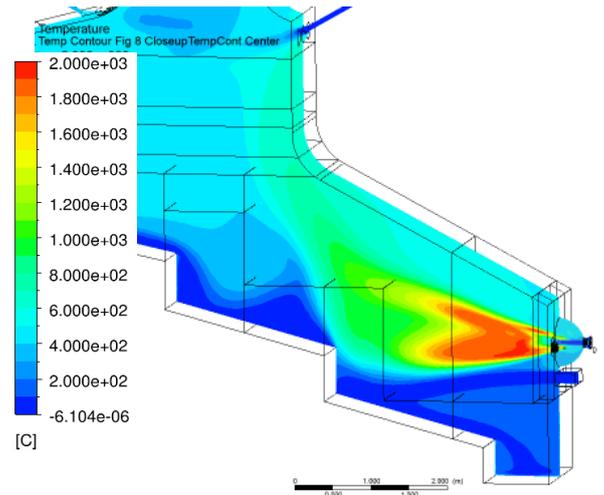


図 2.2.2-4 鉛直断面内温度分布
(重油バーナ中心断面)

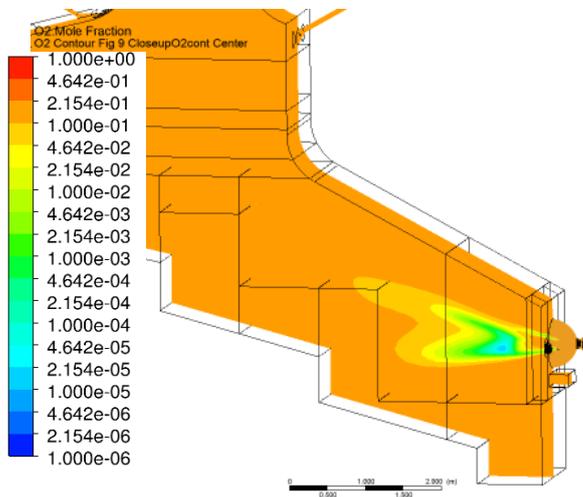


図 2.2.2-5 鉛直断面内酸素濃度分布
(重油バーナ中心断面)

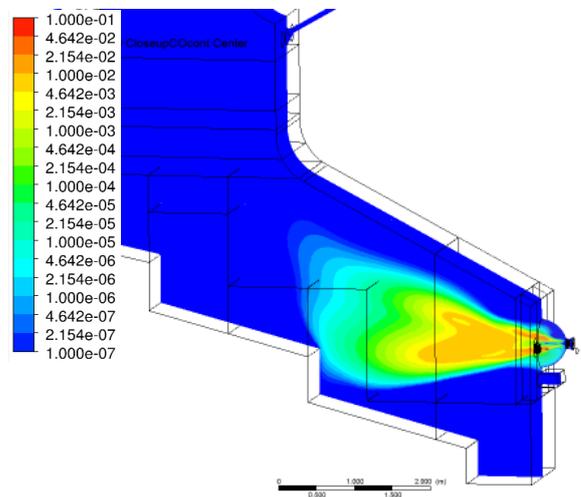


図 2.2.2-6 鉛直断面内 CO 濃度分布
(重油バーナ中心断面)

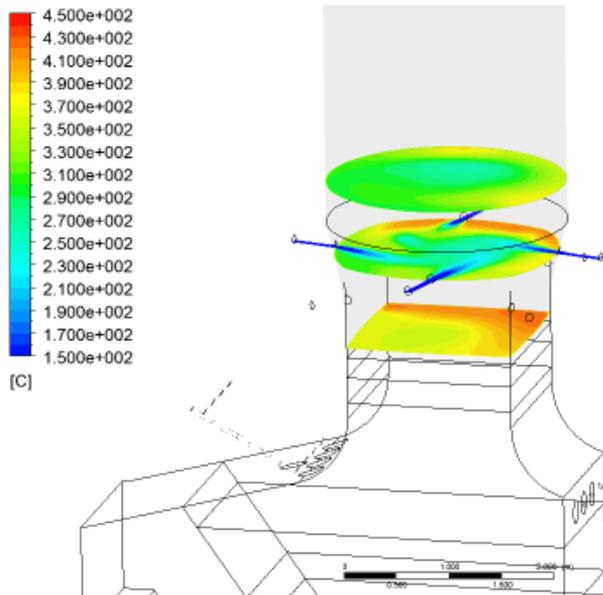


図 2.2.2-7 上段 2 次空気前後断面
における温度分布

b. 炭化燃料吹込バーナ混焼ケース

図 2.2.2-8 に炭化燃料吹込バーナからの空気の流線を示す。バーナから出た直後は比較的まとまっているが重油バーナ火炎(ガス)と衝突し急激に拡散している。

図 2.2.2-9 に重油バーナ中心を通る炉内の鉛直断面内におけるガス温度分布を示す。図 2.2.2-4 に示した重油専焼時と大きくは変化していないが、火炎の下側半分程が炭化燃料粒子と干渉して変形している様子が解る。図 2.2.2-10 に CO 濃度分布を示す。重油専焼時と大きくは変化していないが、火炎部が炭化燃料粒子と干渉して変形している様子が解る。

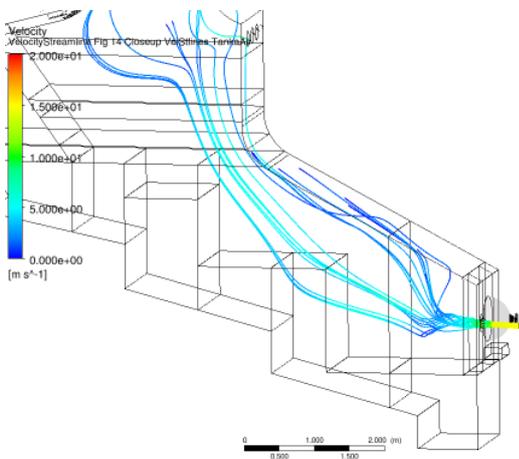


図 2.2.2-8 炭化燃料吹込バーナからの
空気流線 (着色は流速を示す)

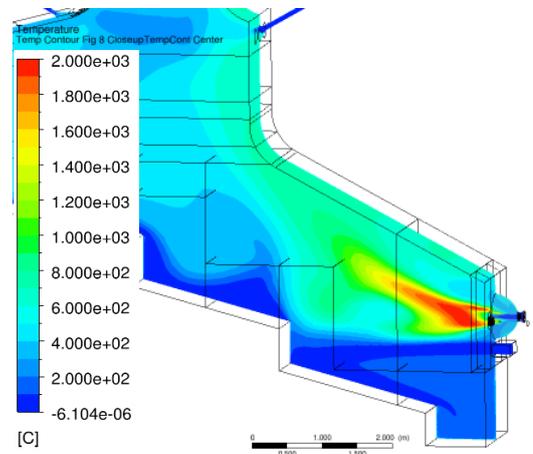


図 2.2.2-9 鉛直断面内温度分布
(重油バーナ中心断面)

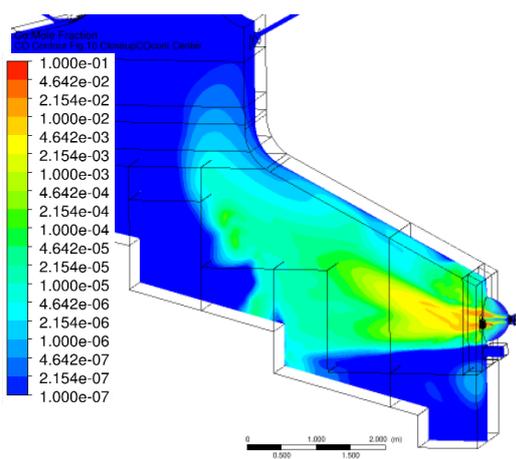


図 2.2.2-10 鉛直断面内 CO 濃度分布
(重油バーナ中心断面)

500 μm 以上の大粒径粒子のみの軌跡を図 2.2.2-11、図 2.2.2-12 および、図 2.2.2-13 に示す。図 2.2.2-11 は粒子の状態を着色して示している。バーナから出て水分蒸発（水色）した後、温度上昇（青色）して揮発分を放出（黄色）しチャー燃烧（赤色）する。チャー燃烧が終了すると灰分が残り冷却（青色）される。本モデルではストーカ上に落ちた粒子はそこで消滅するが、500 μm 以上の大粒径はほとんど全て炉内に落下していることが解る（一部は水分蒸発過程で落下）。図 2.2.2-12 はバーナ出口近傍における粒子の状態を着色した軌跡を重油バーナからの空気の流線（灰色線）と併に示しているが、粒子の慣性力が大きくバーナ出口に設置されたスワラにより遠心力も働くため、バーナを出た直後から空気流れには載らずに大部分が未燃のまま放射状に飛散している。図 2.2.2-13 は炉前側から見た炭化燃料粒子軌跡と重油バーナ空気（燃烧ガス）流線を示しており、大粒径粒子は、バーナ空気の流れには載らずに壁面や炉底（ストーカ上）に直撃していることが解る。

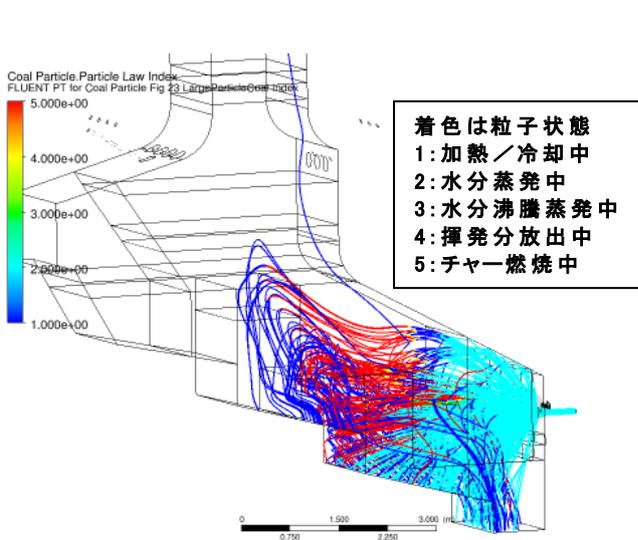


図 2.2.2-11 炭化燃料粒子軌跡
(大粒径 500 μm 以上表示)

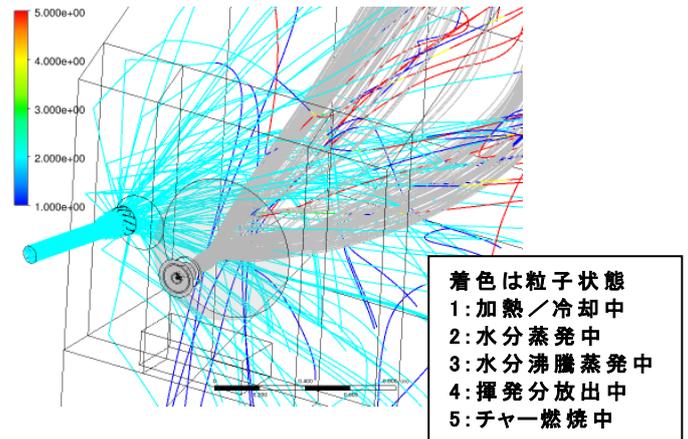


図 2.2.2-12 炭化燃料粒子軌跡と重油
バーナ空気流線（灰色線）
(大粒径 500 μm 以上表示)

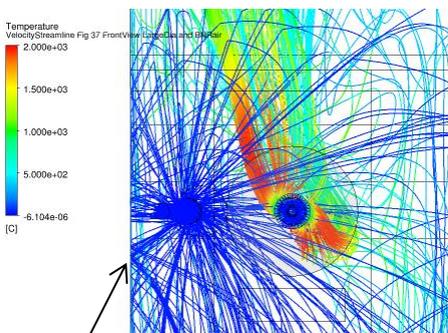


図 2.2.2-13 炉前側より見た炭化燃料粒子
軌跡と重油バーナ空気流線
(大粒径 500 μm 以上表示)

壁面や炉底面に粒子が衝突

100 μ m 未満の小粒径粒子の軌跡を図 2.2.2-14、図 2.2.2-15、および、図 2.2.2-16 に示す。粒子が重油バーナ空気流れと混合して炉上部を流れていく様子が解る。図 2.2.2-14 からバーナから出た小径粒子は、水分蒸発（水色）・揮発分放出（黄色）・チャー燃烧（赤色）まで完了し、炉内でほとんど灰冷却状態（青色）になっていることが解る。図 2.2.2-15 は、バーナ出口近傍における粒子の状態を着色した軌跡を重油バーナからの空気の流線（灰色線）と併に示しているが、粒子は出口近傍で燃烧状態になっていることが解る。炭化燃料粒子と重油バーナ空気（燃烧ガス）との干渉状況を示す図 2.2.2-16 をみると、100 μ m 未満の小粒径粒子は、炭化燃料バーナ空気の流れに載るとともに重油バーナ空気（燃烧ガス）と混合し燃烧している様子が解る。

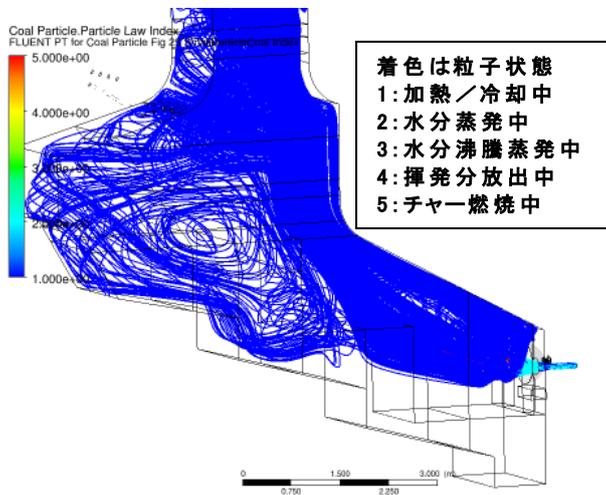


図 2.2.2-14 炭化燃料粒子軌跡
(小粒径 100 μ m 未満表示)

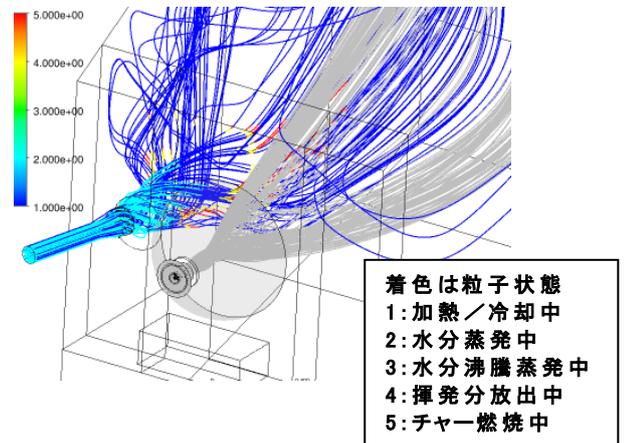


図 2.2.2-15 炭化燃料粒子軌跡と
重油バーナ空気流線(灰色線)
(小粒径 100 μ m 未満表示)

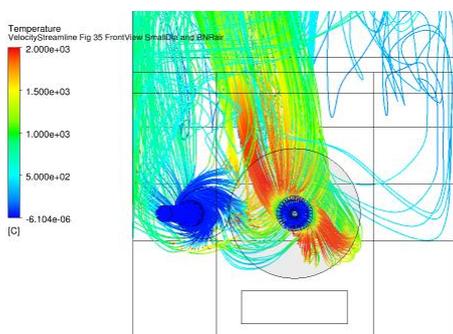


図 2.2.2-16 炉前側より見た炭化燃料
粒子軌跡と重油バーナ
空気流線 (灰色線)
(小粒径 100 μ m 未満表示)

以上から、炭化燃料バーナを用いた 20%炭化燃料混焼ケースでは、重油バーナ火炎が干渉により大きく影響を受けることはないものの、500 μm 以上の大粒径炭化燃料は重油バーナ空気に載らないため十分に燃焼しないものと考えられる。

今回の炭化燃料吹込バーナを用いた 20%混焼時における炭化燃料の燃焼率を表 2.2.2-2 に示す。先に示したように、500 μm 以上の大粒径はほとんどがストーカ上に落下する。一部はバーナから出て水分蒸発の途中で落下し燃焼しないため燃焼率は低い。中粒径以下の粒子はほとんどがチャー燃焼完結するため燃焼率が約 98%と高く、全体的には 93%以上の良好な燃焼率となった。特に、100 μm 未満の小粒径粒子は、重油バーナ空気に載り重油火炎と混合し炉内で燃焼完結するため、ストーカ炉の初期予熱時の使用にも適しているものと考えられる。

表 2.2.2-2 20%混焼時における炭化燃料の燃焼率(吹込バーナ混焼ケース)

粒径	2.63~357 μm	500 μm 以上	全粒径
燃焼率	97.92%	33.34%	93.16%

c.炭化燃料直投ノズル混焼ケース

図 2.2.2-17 に重油バーナ中心を通る炉内の鉛直断面内におけるガス温度分布を、図 2.2.2-18 に CO 濃度分布を、図 2.2.2-19 に炭化燃料粒子の軌跡（着色は粒径）をそれぞれ示す。ガス温度分布は重油専焼時と大きく変化はしていないものの、CO 濃度分布の炉上部で、炭化燃料が上部の投入口から直投されることから CO 濃度の高い領域があることが解る。また、図 2.2.2-19 をみると炭化燃料粒子の一部（ $300\ \mu\text{m}$ 径前後）が重油バーナ出口近傍に巻き込まれていることが解る。このため、長期間の使用に際しては重油バーナ出口部にクリンカ障害の発生する可能性が懸念される。

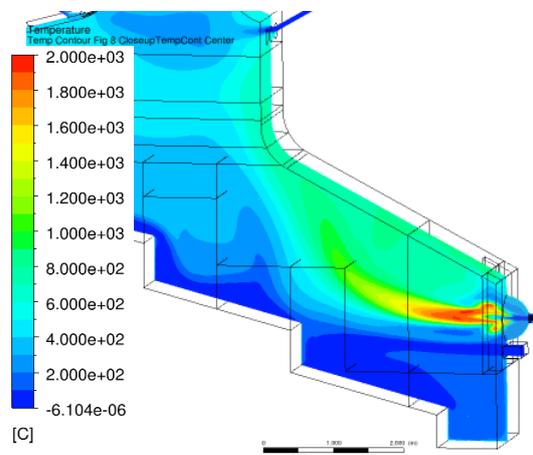


図 2.2.2-17 鉛直断面内温度分布
(重油バーナ中心断面)

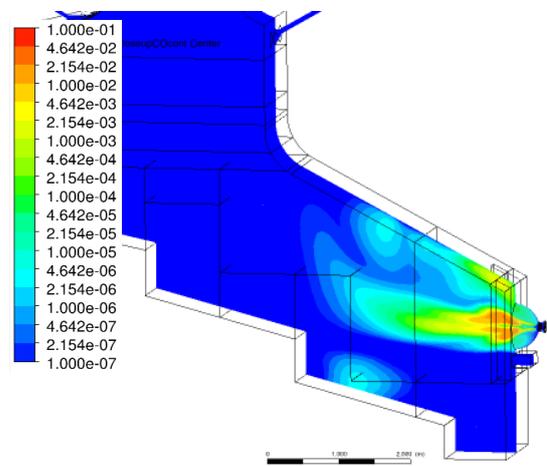


図 2.2.2-18 鉛直断面内CO濃度分布
(重油バーナ中心断面)

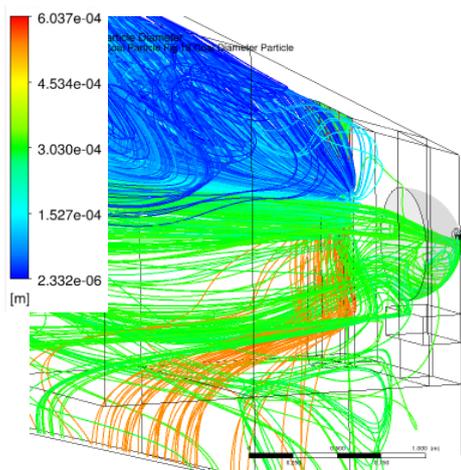


図 2.2.2-19 炭化燃料粒子軌跡 (重油バーナ中心断面)
(着色は粒径：全粒径を表示)

500 μm 以上の大粒径粒子のみの軌跡を図 2.2.2-20、図 2.2.2-21、および、図 2.2.2-22 に示す。図 2.2.2-20 は粒子の状態を着色して示している。大部分の粒子が投入口から落下しながら水分蒸発（水色）した後、温度上昇（青色）している途中でストーカ上に到達している。一部の粒子は重油バーナ燃焼ガスにより急激に加熱されて揮発分を放出（黄色）しチャー燃焼（赤色）しながらストーカ上に落下していることが解る。重油バーナからの空気（燃焼ガス）の流線（灰色線）と粒子の状態を着色した粒子の軌跡を示した図 2.2.2-21 と、温度で着色した重油バーナからの空気（燃焼ガス）の流線と粒子の軌跡を示した図 2.2.2-22 から、粒子が重油バーナ燃焼ガス流れに載らずにストーカ上に落下している状況が解る。

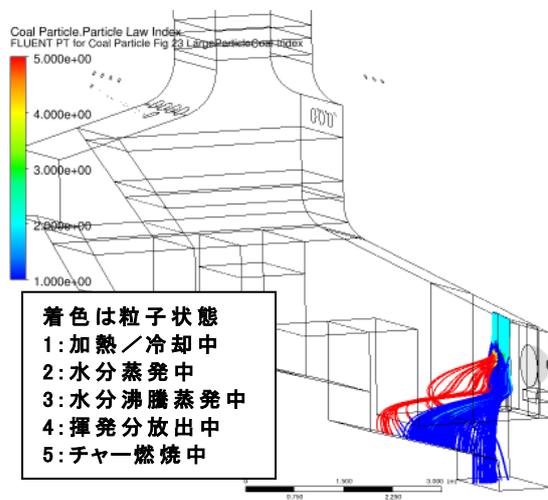


図 2.2.2-20 炭化燃料粒子軌跡
(大粒径 500 μm 以上表示)

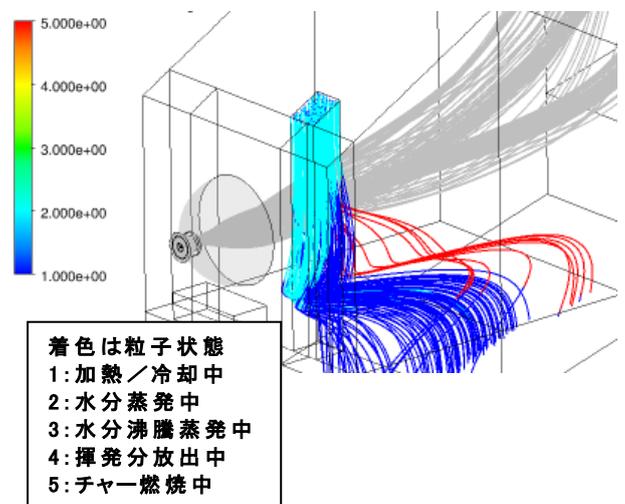


図 2.2.2-21 炭化燃料粒子軌跡と
重油バーナ空気流線(灰色線)
(大粒径 500 μm 以上表示)

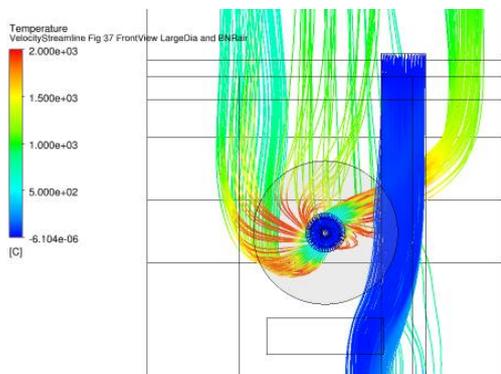


図 2.2.2-22 炉前側より見た炭化燃料
粒子軌跡と重油バーナ空気流線(灰色線)
(大粒径 500 μm 以上表示)

100 μ m 未満の小粒径粒子の軌跡を図 2. 2. 2-23、図 2. 2. 2-24、および、図 2. 2. 2-25 に示す。炉内のガス流れに載り炉上部を流れていく様子が解る。図 2. 2. 2-23 から投入口から落下した小径粒子は、水分蒸発（水色）→加熱（青色）→揮発分放出（黄色）→チャー燃焼（赤色）まで完了し、炉内でほとんど灰冷却状態（青色）になっていることが解る。炭化燃料粒子と重油バーナ空気（燃焼ガス）との干渉状況を示す図 2. 2. 2-24 と図 2. 2. 2-25 をみると、100 μ m 未満の小粒径粒子は、炉内のガス流れに載り流されながら重油バーナ燃焼ガスから加熱されて燃焼している様子が解る。

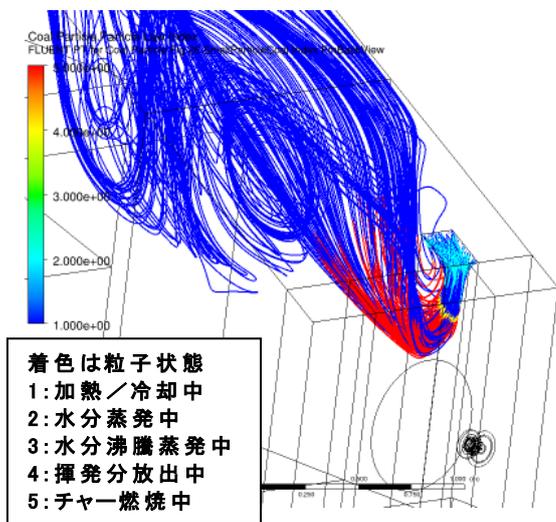


図 2. 2. 2-23 炭化燃料粒子軌跡
(小粒径 100 μ m 未満表示)

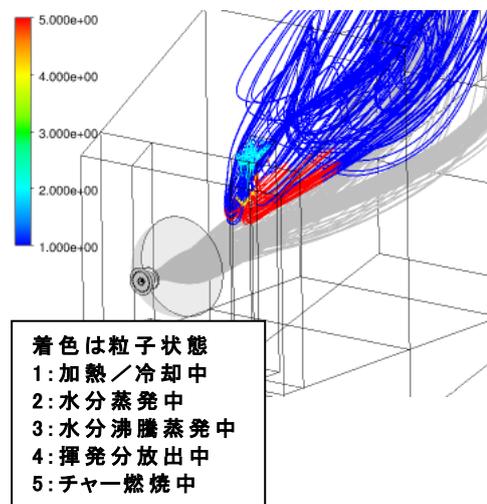


図 2. 2. 2-24 炭化燃料粒子軌跡と
重油バーナ空気流線（灰色線）
(小粒径 100 μ m 未満表示)

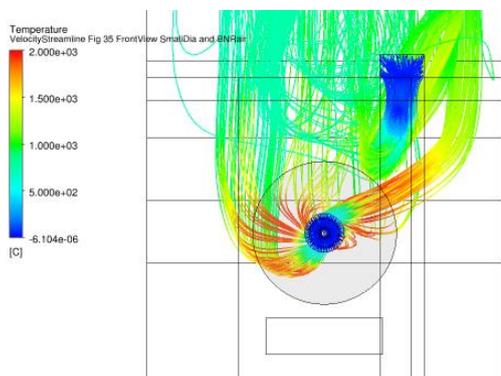


図 2. 2. 2-25 炉前側より見た炭化
燃料粒子軌跡と重油バーナ
空気流線（灰色線）
(小粒径 100 μ m 未満表示)

炭化燃料の燃焼率を表 2.2.2-3 に示す。先に示したように、炭化燃料吹込バーナ混焼ケースと同様に 500 μm 以上の大粒径はほとんどが未燃のままストーカ上に落下するため、燃焼率は低いが、中粒径以下の粒子の大部分はチャー燃焼が完結するため燃焼率は約 99% と高く、全体的には 92% 以上の良好な燃焼率となった。

表 2.2.2-3 20% 混焼時における炭化燃料の燃焼率(直投ノズル混焼ケース)

粒径	2.63~357 μm	500 μm 以上	全粒径
燃焼率	98.77%	9.48%	92.19%

(5) まとめ

播磨塵芥処理センターストーカ炉の起動時に炉体の予熱に使用する重油燃料を削減するため炭化燃料の混焼実証試験を計画しており、事前に妥当性を評価するため解析的な検討を実施した。

まず、燃焼 CFD 解析モデルを構築し、起動試験データによりモデルの妥当性を確認した(重油専焼ケース)。

次に、炭化燃料投入方式として検討している炭化燃料吹込バーナを追設して混焼したケースと炉上部から炭化燃料を直投して混焼したケースについて解析を実施した。

解析結果から、これら炭化燃料混焼の 2 ケースに共通して以下のことを確認した。

- ・重油発熱量 20%相当の炭化燃料を投入しても、重油火炎との干渉は一部に留まり、炉内の燃焼流動パターンに顕著な変化は生じていない。
- ・500 μm 以上の大粒径炭化燃料は、バーナ空気の流れに沿わずにストーカ上に落下し、一部はチャー燃焼後の灰となるが、大部分は水分蒸発前に壁面またはストーカ上に到達する。
- ・100 μm 未満の小粒径については、ほぼバーナ空気の流れに沿うとともにストーカ上に落下することなく出口まで滞留するとともにチャー燃焼もほぼ完結する。

また、各ケースそれぞれの結果から、以下のことを確認した。

- ・炭化燃料の燃焼率は吹込バーナ混焼ケースでは約 93%、直投ノズル混焼ケースでは約 92%で、出口飛灰の未燃率と出口排ガス性状における CO 濃度は、両ケースとも 0%、1ppm 未満となった。
- ・炭化燃料直投ノズル混焼ケースでは、約 300 μm 前後の粒子が重油バーナ出口近傍に巻き込まれる現象が見られるため、長期間の使用ではクリンカ障害等の発生に留意する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] T.-H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, and J. Zhu.
A New $k-\epsilon$ Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows
- Model Development and Validation.
Computers Fluids, 24(3):227-238, 1995.
- [2] R. Siegel and J. R. Howell.
Thermal Radiation Heat Transfer.
Hemisphere Publishing Corporation, Washington DC, 1992.
- [3] G. D. Raithby and E. H. Chui.
A Finite-Volume Method for Predicting a Radiant Heat Transfer in
Enclosures with Participating Media.
J. Heat Transfer, 112:415-423, 1990.
- [4] T. F. Smith, Z. F. Shen, and J. N. Friedman.
Evaluation of Coefficients for the Weighted Sum of Gray Gases Model.
J. Heat Transfer, 104:602-608, 1982.