

第5章 炭化燃料の供給および搬送特性試験

本章では、来年度からの燃焼試験に向けた、供給および空気搬送支援について述べる。

1 炭化燃料の利用先拡大

1.1 供給機及びバーナの試験パラメータについて

これまで、3章で供給機・バーナの基本構成について述べ、4章ではそれをもとに事前に燃焼解析を行い炭化燃料の燃焼特性を把握した。結果を踏まえ、設計した各バーナにおいて、空気搬送試験及び燃焼試験のパラメータとすべき項目についてまとめる。

○炭化燃料混焼バーナ

燃焼解析結果より、本バーナにおいてはディフューザ径、炭化燃料の噴射角度が燃焼に影響することがわかった。炭化燃料の噴射角度は、境界条件でもある圧送空気量、旋回空気量に依存する。そのため、以下パラメータについて着目することとした。

空気搬送条件：圧送空気量、旋回空気量

旋回羽根の形状：羽根の有無、羽根の取付角度

○炭化燃料吹込バーナについて

燃焼解析結果より、本バーナにおいては既設油バーナの火炎と炭化燃料の干渉が燃焼に影響することが分かった。これには、吹込バーナから噴射される炭化燃料の分散具合に依存すると考えられる。そのため、空気搬送試験では以下の項目について着目した。

空気搬送条件：圧送空気量、旋回空気量

旋回羽根の形状：羽根の有無、羽根の取付角度

また、粒子の噴射角度や分散具合は炭化燃料の粒径や含水率も影響を与えるため、粉砕機の導入等により、これらパラメータについても検証していくこととする。

2.1 予備試験結果

前節で示した懸念事項、対策において、試作機を製作してからの確認では、改良に時間とコストがかかるため、特に懸念される事項について予備試験を行い、対策の効果を確認した。

2.1.1 スクリュコンベヤ予備試験

(1) 試験目的

炭化燃料を用いて、空気輸送予備試験に使用する社内テストスクリュのキャリブレーションを行い、本スクリュコンベヤの供給能力を確認した。炭化燃料の空気搬送試験では、A 重油燃焼量 150 L / h の時の混焼率 20% (熱量ベース) である炭化燃料 92 k g / h を供給することを目標としている。予備試験で使用するスクリュコンベヤのキャリブレーションを行う。また付着の低減のための潤滑塗料の効果も確認する。

(2) 試験内容・結果

試験装置 (図 2.1.1-1) はホップ、スクリュ軸、ロータリバルブで構成される。炭化燃料はロータリバルブ下で、タライなどにより受け取る。本試験装置は社内テストで使用していた試験装置である。経年劣化によりサビが目立つ状態であったため、試験を行う前にホップ内を清掃した (図 2.1.1-2)。



図 2.1.1-1 スクリュコンベヤ外観写真 図 2.1.1-2 掃除後スクリュコンベヤ写真

炭化燃料の含水率を簡易含水計 (MB23, オーハウス) で測定すると 31% だった。炭化燃料をスクリュコンベヤインバータ周波数 60 H z (スクリュコンベヤ回転数 29 r p m) で流し始めると少量の炭化燃料が排出された後 (図 2.1.1-4)、ホップ内に炭化燃料がアーチングしたため供給ができなくなった (図 2.1.1-5)。スクリュ軸への付着も確認された (図 2.1.1-6)。安定したデータを取得するために、スクリュ軸への付着が平衡になったのを確認してからキャリブレーションをおこなっ

た。(図 2.1.1-7)。試験内容と結果を表 2.1.1-1、図 2.1.1-8 に示す。



図 2.1.1-3 炭化燃料写真



図 2.1.1-4 排出された炭化燃料写真



図 2.1.1-5 アーチングの様子写真



図 2.1.1-6 付着した炭化燃料写真



図 2.1.1-7 キャリブレーション開始前のスクリュコンベヤ写真

表 2.1.1-1 スクリュコンベヤ(処理前)のキャリブレーション結果

周波数	平均供給量	スクリュ 回転数	搬送効率
Hz	kg/h-w.b.	rpm	%
40	1.1	19.4	1.2
60	15.1	29.1	11.4
80	18.9	38.8	10.8
90	22.2	43.7	11.2

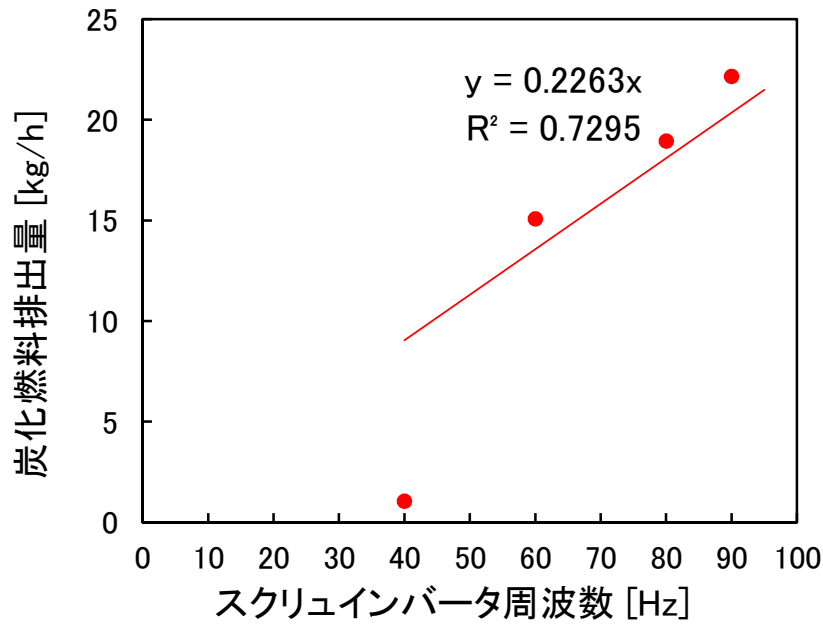


図 2.1.1-8 スクリュコンベヤ周波数に対する炭化燃料供給量

表 2.1.1-1 に示すスクリュコンベヤの搬送効率はスクリュの羽根間に材料が最大まで充填され、それがスクリュの回転により単位時間あたりに全て送り出される量を 100%としている。下記式に搬送効率の算出式を示す。

$$\eta = \frac{m \div \rho}{V \times N \times 60}$$

$$V = (D^2 - d^2) \times \pi \div 4 \times P$$

$$N = \frac{120n}{p} \div r \times s$$

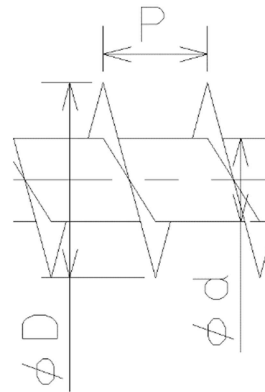


図 2.1.1-9 スクリュコンベヤ計算用模式図

- | | |
|---|--------------------------------|
| η : 搬送効率[%] | P: スクリュピッチ(70)[mm] |
| m: 炭化燃料排出量[kg/h] | N: スクリュ回転数[mim ⁻¹] |
| ρ : 炭化燃料密度(3.0 × 10 ⁻⁷)[kg/mm ³] | n: 電源周波数[Hz] |
| V: スクリュ 1 ピッチ内の体積(2.5 × 10 ⁵) [mm ³] | p: モーター極数(4)[-] |
| D: スクリュ羽根直径(80)[mm] | r: モーター減速比(60)[-] |
| d: スクリュ軸外径(42.7)[mm] | s: モーターすべりを考慮した係数(97)[%] |

炭化燃料はすぐさまホッパ内でアーチングし供給できなくなるため、スクリュに触れない程度にホッパ内の炭化燃料を攪拌しながらキャリブレーションを行った。

スクリュコンベヤインバータ周波数 40Hz (スクリュコンベヤ回転数 19rpm) では、スクリュへ炭化燃料が多量に付着し、供給できなくなった。一方、スクリュコンベヤインバータ周波数 60Hz (スクリュコンベヤ回転数 29rpm) 以上では、スクリュへの付着は確認されたが、供給能力は維持できた。このときのスクリュコンベヤの搬送効率は約 11%であった。スクリュへの付着物により、スクリュコンベヤ搬送効率が著しく低下し、スクリュコンベヤ周波数を 90Hz に上げてても供給量は 20kg/h 程度が最大であった。

(3) 付着対策後、試験内容、結果

スクリュコンベヤのサビなどが原因による炭化燃料の付着により搬送効率が 10% と低かったため、スクリュ、トラフに一種ケレンをした後に潤滑塗料を塗布し、同様の試験を行い、付着量の低減を確認した。

付着対策処理前後のスクリュコンベヤの外観写真を示す(図 2.1.1.3-1, 2)。全体的にサビが進行していたため、塗装後であっても表面に凹凸が見られる。潤滑塗料を塗布後であってもホッパ内に多少のアーチングができたため、スクリュに触れない程度にホッパ内の炭化燃料を手動で攪拌しながらキャリブレーションを行った。



図 2.1.1-10 処理前写真



図 2.1.1-11 処理後写真

この装置のキャリブレーションを行った結果を表 2.1.1.3-1、図 2.1.1.3-3 に示す。

表 2.1.1-2 スクリュコンベヤ(処理後)のキャリブレーション結果

周波数	平均供給量	スクリュ 回転数	搬送効率
Hz	kg/h	rpm	%
20	24	10	54
60	63	29	48
80	87	39	49
90	107	44	54

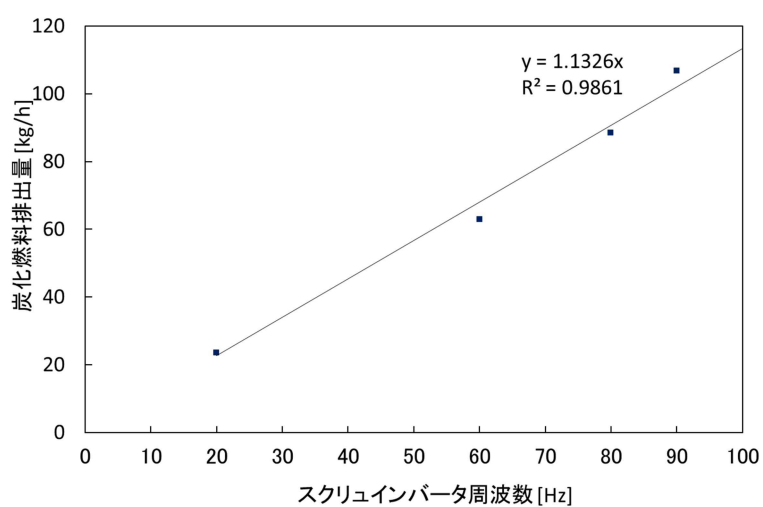


図 2.1.1-12 スクリュコンベヤ周波数に対する炭化燃料供給量

一種ケレン処理と潤滑塗料の塗布により、付着量が低減し（図 2.1.1.3-4）、搬送効率が大幅に向上した。スクリュコンベヤ搬送効率はおよそ 50% 付近であった。図 2.1.1.3-3 より、試験目的である 92 kg/h は供給可能である。



図 2.1.1-13 処理前後の付着量比較（左：処理前、右：処理後）

予備試験の結果より、スクリュコンベヤでは付着の低減が重要であることが確認された。予備試験と比較して、実機試験で搬送効率が改善する要因として以下の内容が考えられる。

- ・サビによるスクリュ表面の凹凸がなくなる
- ・長時間運転による付着の成長
- ・二軸スクリュコンベヤになることにより、スクリュコンベヤ同士の隙間の形状が変化する
- ・ホッパ内のアーチングの解砕を攪拌機で行うこと

これらは、実機試験で確認する。

2.1.2 空気搬送試験

(1) 試験目的

炭化燃料の燃焼において、噴射された炭化燃料の含水率、二次粒子径、分散具合が燃焼効率に影響することが考えられる。そこで、燃料に着火せずに炭化燃料を各種条件下で空気搬送し、炭化燃料を空気搬送できる条件と噴射前後の炭化燃料の含水率を測定し比較、評価した。

(2) 試験方法

a. 試験装置

(図 2.1.2-1) に装置概略図、(図 2.1.2-2) に装置外観写真を示す。炭化燃料は投入ホップ、スクリーコンベヤ、ロータリーバルブを経て搬送ダクトに導入される。搬送ダクトに導入された炭化燃料は圧送エアにより空気搬送される。搬送ダクトは以下の種類に分けられる。

- 投入配管
ロータリーバルブから落下してきた炭化燃料と圧送エアが合流する配管。圧送エアが通過する部分は SGP80A を使用する。
- 直管配管
SGP80A を使用している。風量測定用の穴が開いており、普段はプラグ止めする。
- 旋回配管
コンプレッサエアを配管接線方向、同一断面上の二ヶ所から導入し炭化燃料を旋回させる。旋回エアの風速の変化により炭化燃料の噴射角度が変化する。圧送エアが通過する部分は SGP80A を、旋回エアが通過する部分は SGP10A を使用する。
- 逆テーパ配管
搬送ダクトの先端の形状を逆テーパにすることで、炭化燃料の噴射角度が変化する。直管部は SGP80A を使用する。

圧送エアは風量計 1 (図 2.1.2-3) (岡野製作所製ウェスタン型ピトー管) で、旋回エアは風量計 2 (図 2.1.2-4) (testo 製 testo6441) で風量測定する。前回の予備試験で、スクリーコンベヤ電源周波数 x と炭化燃料供給量 Y に $Y=ax$ 、 $1.13 \leq a \leq 1.28$ の関係があることを確認している(図 2.1.1-3)。今回の試験では $a=1.13$ とする。炭化燃料は三辺と天井を閉じたテントに吹き込まれダストは局所集塵機

で集塵する。炭化燃料が噴射される様子は搬送ダクト先端横からカメラで撮影する。圧送エア温度はダクト出口で測定する。

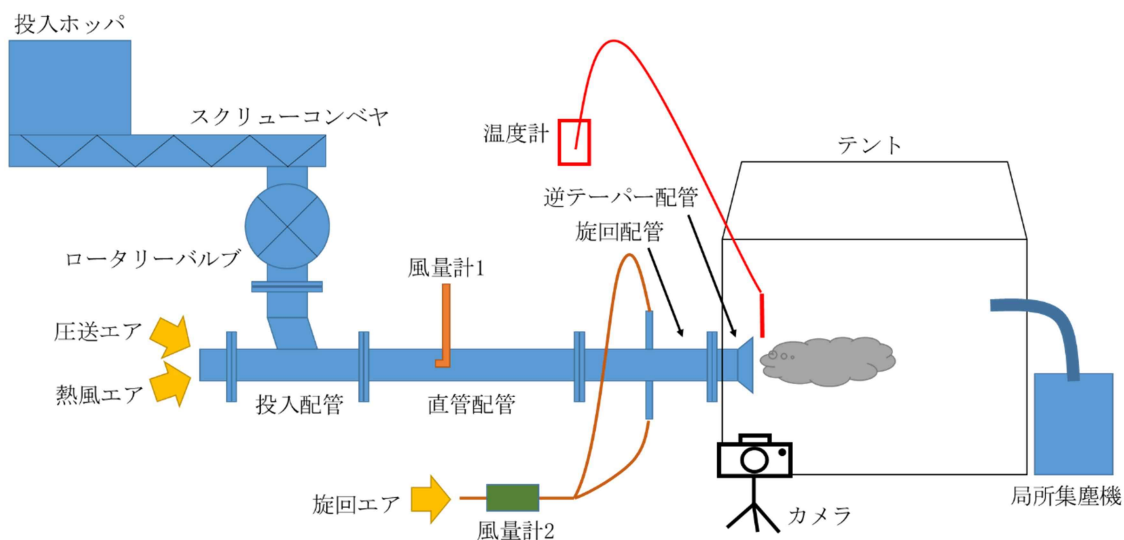


図 2.1.2-1 試験装置概略図

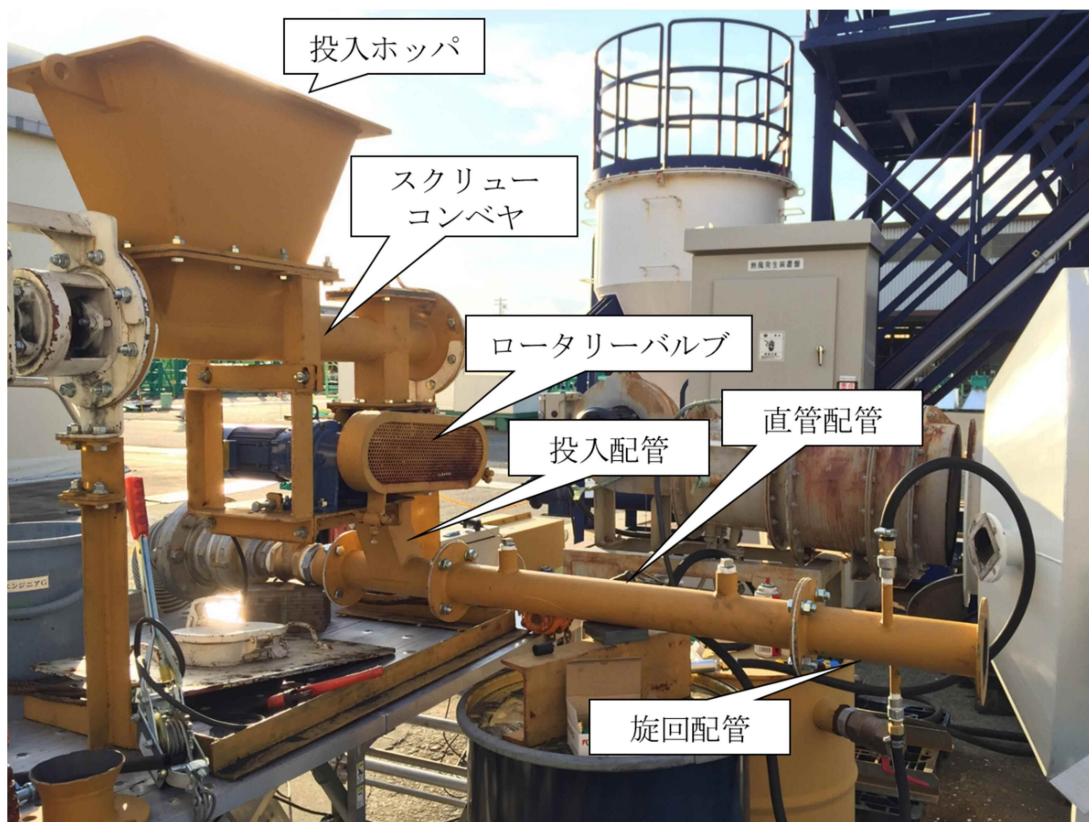


図 2.1.2-2 試験装置外観写真

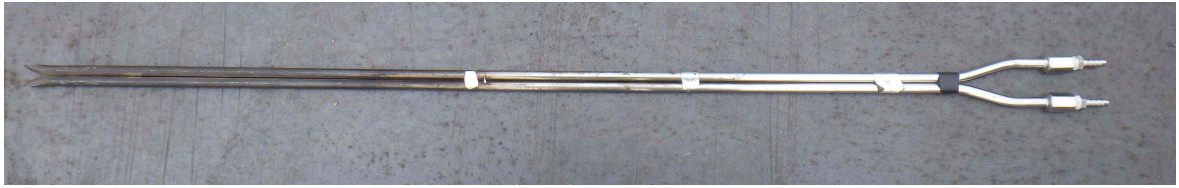


図 2.1.2-3 風量計 1 岡野製作所製ウェスタン型ピトー管式流速計



図 2.1.2-4 風量計 2 testo 製 testo6441

b. 試験条件

試験条件を（表 2.1.2-1）に示す。

表 2.1.2-1 試験条件

試験No.	炭化燃料供給量	搬送ダクト水平部長さ	圧送エア風速	旋回配管種類	先端からの旋回配管位置	旋回エア風速	ダクト出口エア温度	搬送ダクト立ち上げ角度	搬送ダクト立ち上げパターン	搬送ダクト立ち上げ部長さ	ノズル先端広がり角度
	[kg/h]	[mm]	[m/s]	[-]	[mm]	[m/s]	[°C]	[°]	[-]	[mm]	[°]
No. 1	70	800	20	なし	-	0	常温	0	-	-	0
No. 2	70	800	7	なし	-	0	常温	0	-	-	0
No. 3	70	800	20	B	0	30	常温	0	-	-	0
No. 4	70	800	20	B	0	0~39以上	常温	0	-	-	0
No. 5	90	800	20	B	0	0~39	常温	0	-	-	0
No. 6	90	800	15	B	0	0~39	常温	0	-	-	0
No. 7	90	2400	20	B	1600	39	常温	0	-	-	0
No. 8	90	2400	10	B	1600	39	常温	0	-	-	0
No. 9	90	2400	10	B	0	39	常温	0	-	-	0
No. 10	90	2400	15	B	-	0	常温	0	-	-	0
No. 11	90	2400	12	B	-	0	常温	0	-	-	0
No. 12	0	2400	20~30	B	-	0	常温	0	-	-	0
No. 13	90	2400	15	B	1600	39	常温	0	-	-	0
No. 14	90	2400	15	B	1600	30	常温	0	-	-	0
No. 15	90	2400	15	B	1600	20	常温	0	-	-	0
No. 16	90	2400	15	B	1600	78	常温	0	-	-	0
No. 17	90	2400	15	A	1600	39	常温	0	-	-	0
No. 18	90	2400	15	A	1600	20	常温	0	-	-	0
No. 19	90	2400	15	B	2400	75	11.3	0	-	-	0
No. 20	90	2400	15	B	2400	75	10.5	0	-	-	0
No. 21	90	2400	15	B	2400	75	11.1	0	-	-	53
No. 22	90	2400	15	B	2400	50	11.7	0	-	-	0
No. 23	90	2400	15	B	2400	100	11.5	0	-	-	0
No. 24	90	2400	18	B	2400	75	11.3	0	-	-	0
No. 25	90	2400	20	B	2400	75	10.7	0	-	-	0
No. 26	90	2400	15	B	0	75	10.6	0	-	-	0
No. 27	90	2400	15	B	0	50	10.6	0	-	-	0
No. 28	90	2400	15	B	0	100	10.1	0	-	-	0
No. 29	90	2400	15	B	2400	75	63.6	0	-	-	0
No. 30	90	2400	15	B	2400	75	82	0	-	-	0
No. 31	90	2400	15	B	2400	75	66.2	0	-	-	0
No. 32	90	2400	15	B	2400	75	81.7	0	-	-	0
No. 33	90	2400	15	B	2400	75	11.7	0	-	-	0
No. 34	90	2400	15	B	2400	75	11.2	0	-	-	0
No. 35	90	2000	15	B	1600	75	11.8	30	B	400	0
No. 36	90	2000	15	B	1600	50	12	30	B	400	0
No. 37	90	2000	15	B	1600	100	11.7	30	B	400	0
No. 38	90	2000	18	B	1600	75	12	30	B	400	0
No. 39	90	2000	18	B	1600	50	13.4	30	B	400	0
No. 40	90	2000	18	B	1600	50	9.6	30	B	400	0
No. 41	90	2000	18	B	1600	50	10.8	30	B	400	0
No. 42	90	2000	18	B	1600	100	10.7	30	B	400	0
No. 43	90	2000	20	B	1600	75	10.5	30	B	400	0
No. 44	90	2000	20	B	1600	50	10.4	30	B	400	0
No. 45	90	2000	20	B	1600	100	10.9	30	B	400	0
No. 46	90	2000	15	B	0	75	10.4	30	B	400	0
No. 47	90	2000	15	B	0	100	10.4	30	B	400	0
No. 48	90	2000	15	B	0	50	10.4	30	B	400	0
No. 49	90	2000	18	B	0	75	10.2	30	B	400	0
No. 50	90	2000	18	B	0	50	10.6	30	B	400	0
No. 51	90	2000	18	B	0	100	10.5	30	B	400	0
No. 52	90	2000	20	B	0	75	10.6	30	B	400	0
No. 53	90	2000	20	B	0	100	10.7	30	B	400	0
No. 54	90	1200	15	B	800	75	7.1	30	B	1200	0
No. 55	90	1200	20	B	800	75	7.1	30	B	1200	0
No. 56	90	2000	15	B	1600	75	8.6	45	B	400	0
No. 57	90	2000	18	B	1600	75	9.2	45	B	400	0
No. 58	90	2000	20	B	1600	75	常温	45	B	400	0
No. 59	90	400	20	B	0	0	常温	45	B	400	0
No. 60	90	2400	15	B	2400	75	77.7	0	-	-	0
No. 61	90	2000	15	B	1600	75	常温	45	A	550	0

※搬送ダクト水平部長さは（図 2.1.2-5、図 2.1.2-6）中における α の合計長さである。

※搬送ダクト立ち上げ部長さは（図 2.1.2-5、図 2.1.2-6）中における β の合計長さである。

※旋回配管種類は（図 2.1.2-7）の通りである。

※搬送ダクト立ち上げ角度は（図 2.1.2-5、図 2.1.2-6）中における θ とする。

※ダクト出口温度は搬送ダクトの出口で測定している。

※試験 No. 16 は二ヶ所から導入していた旋回エアを一ヶ所にまとめて導入した。

※試験 No. 19, 20, 33, 34 は同条件で試験を行った。

※試験 No. 29, 31, 60 は同条件で試験を行った。

※試験 No. 30, 32 は同条件で試験を行った。

※試験 No. 39, 40, 41 は同条件で試験を行った。

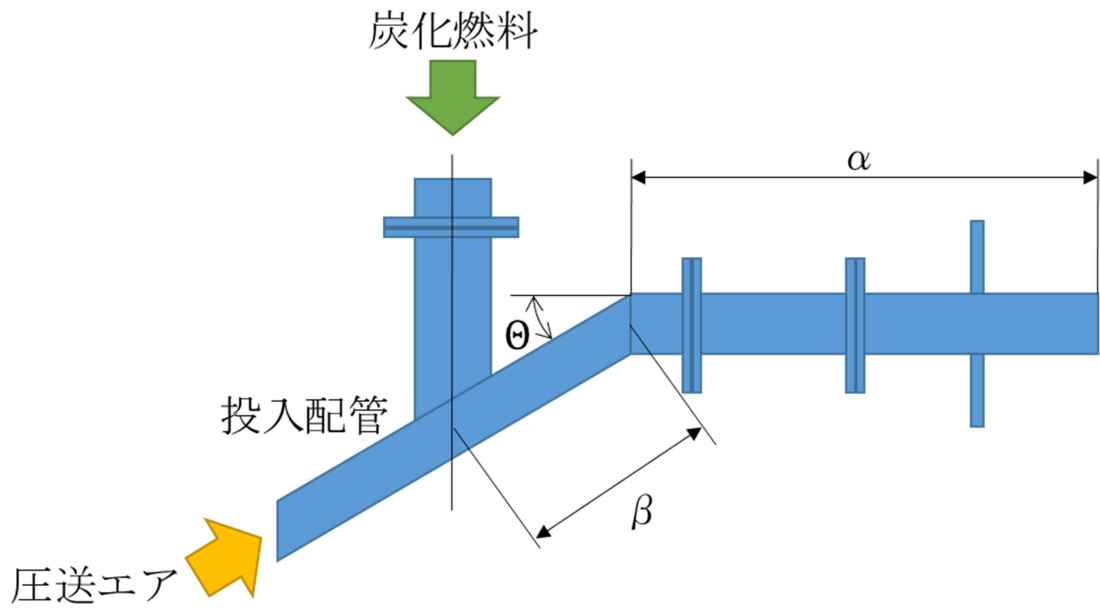


図 2.1.2-5 搬送ダクト立ち上げパターン A 模式図

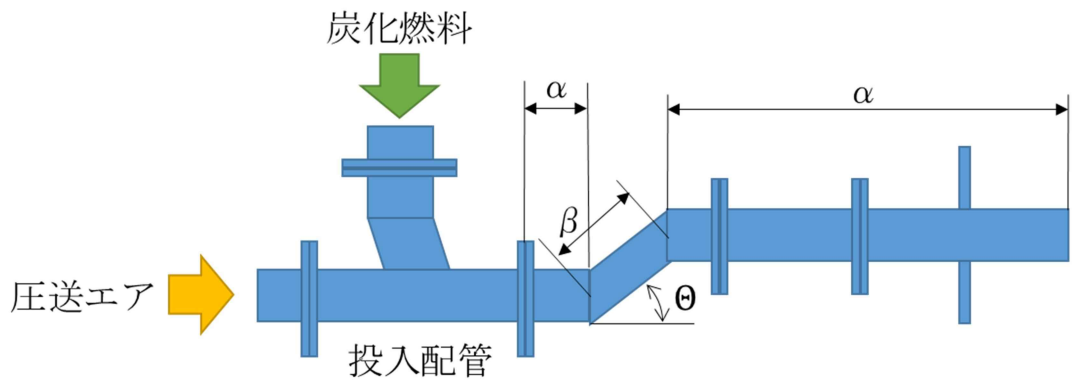


図 2.1.2-6 搬送ダクト立ち上げパターン B 模式図

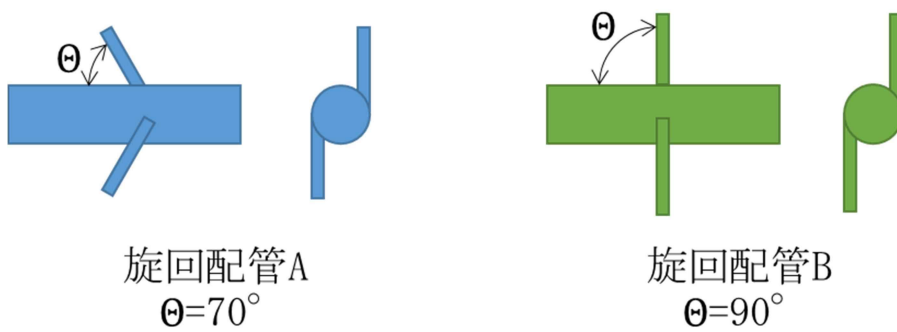


図 2.1.2-7 旋回配管模式図

c. 評価項目と評価方法

以下に評価項目とその方法について記載する。

イ) 空気搬送の可否、および管内への付着物、滞留物の有無

圧送エアを流したときにはほぼ全ての炭化燃料が噴射された場合、空気搬送は可能と判断する。また、その逆の場合を空気搬送は不可能と判断する。空気搬送が可能な場合で、炭化燃料の一部が管内に付着、滞留していた場合、管内への付着物、滞留物ありと判断する。

ロ) 炭化燃料含水率の測定

噴射した炭化燃料を、搬送ダクトの先端より1、2、3 m地点でサンプリングする。サンプリングした炭化燃料と噴射前の炭化燃料について、含水率計（図 2.1.2-8）（オーハウス製 MB45）により、110℃で重量変化がなくなるまで（10 分間）加熱して含水率測定を行う。



図 2.1.2-8 含水率計（オーハウス製 MB45）

ハ) 炭化燃料噴射角度

ノズル先端から噴射された炭化燃料をカメラで撮影し噴射角度を調べる。炭化燃料混焼バーナの搬送ダクト先端からスロートの先端までの距離が 250mm であるため、噴射角度は搬送ダクトの先端から 250mm 地点における炭化燃料の広がりを見て評価する。（図 2.1.2-9）に示している通り、噴射角度 = 2α とする。

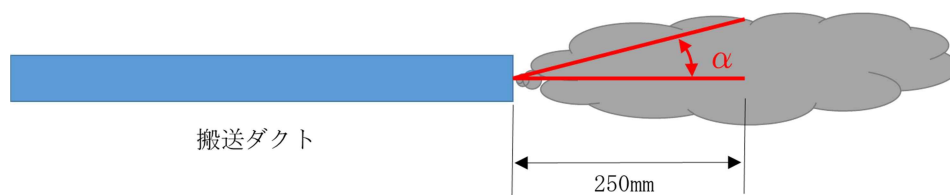


図 2.1.2-9 噴射角度概念図

(3) 試験結果

試験結果を以下の（表 2.1.2-2）に示す。

表 2.1.2-2 試験結果

試験No.	空気搬送の可否	付着、滞留物の有無	噴射角度	含水率 (3 m地点)	含水率 (2 m地点)	含水率 (3 m地点)
	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]
No. 1	可	無	-	-		
No. 2	可	無	-	-		
No. 3	可	無	-	-		
No. 4	可	無	-	-		
No. 5	可	無	-	-		
No. 6	可	無	-	-		
No. 7	可	無	20	-		
No. 8	不可	あり	31	-		
No. 9	可	あり	34	-		
No. 10	可	無	9	-		
No. 11	不可	あり	14	-		
No. 12			-	-		
No. 13	可	無	27	-		
No. 14	可	無	23	-		
No. 15	可	無	16	-		
No. 16	可	無	24	-		
No. 17	可	無	23	-		
No. 18	可	無	18	-		
No. 19	可	無	31	19.88		
No. 20	可	無	26	28.91		
No. 21	可	無	37	-		
No. 22	可	無	20	29.60		
No. 23	可	無	25	29.92		
No. 24	可	無	24	30.27		
No. 25	可	無	29	28.94		
No. 26	可	無	55	28.85		
No. 27	可	無	44	28.41		
No. 28	可	無	70	27.30		
No. 29	可	無	23	26.74		
No. 30	可	無	32	27.12		
No. 31	可	無	26	26.97	26.21	25.83
No. 32	可	無	29	22.90	23.67	13.69
No. 33	可	無	23	29.12	28.75	29.92
No. 34	可	無	28	28.87		
No. 35	可	あり	19	27.53		
No. 36	可	無	24	28.74		
No. 37	可	無	30	28.72		
No. 38	可	無	31	28.90		
No. 39	可	無	24	-		
No. 40	可	無	18	-		
No. 41	可	無	18	27.52		
No. 42	可	無	27	27.01		
No. 43	可	無	26	28.60		
No. 44	可	無	18	24.20		
No. 45	可	無	38	28.42		
No. 46	可	無	34	29.02		
No. 47	可	無	46	28.14		
No. 48	可	無	38	29.03		
No. 49	可	無	44	30.10		
No. 50	可	無	39	26.47		
No. 51	可	無	42	27.76		
No. 52	可	無	37	28.94		
No. 53	可	無	41	27.31		
No. 54	可	無	34	29.70		
No. 55	可	あり	33	29.02		
No. 56	可	あり	26	28.54		
No. 57	可	あり	36	29.41		
No. 58	可	あり	38	29.67		
No. 59	可	あり	24	-		
No. 60	可	無	32	26.02	27.12	21.7
No. 61	可	あり	28	29.44		

※試験 No. 19 は前回試験時からスクリーコンベヤに残っていた炭化燃料が噴射されたため、試験結果を無効とする。

a. 噴射前炭化燃料の含水率

試験期間中、定期的に試験前の炭化燃料について含水率測定を行い、含水率 31～33%であることを確認した。その結果を以下の(表 2.1.2-3)に示す。噴射前炭化燃料の含水率(中央値)は 31.69%だった。

表 2.1.2-3 噴射前炭化燃料の含水率

測定日	炭化燃料噴射前含水率
	[%]
2018/12/11	31.88
	31.69
	32.00
2018/12/12	31.06
	31.52
2018/12/13	31.22
2018/12/14	32.34

b. 空気搬送の可否と付着、滞留物

標題に関して、以下のことが分かった。

イ) 空気搬送の評価と輸送形態

供給量 $90 \text{ k g} / \text{ h}$ 、圧送エア風速 $15 \text{ m} / \text{ s}$ 、旋回エアなしの条件で空気搬送できることを確認した（試験 No. 10）。この時、管内の粒子濃度が管底に向かって高くなり、輸送形態は管底流^[1]であると思われる（図 2.1.2-10）。試験後の管内には付着や滞留物が無かったことから、管底流の中でも成層流^[2]に近い輸送形態であると考えられる。

また、供給量 $90 \text{ k g} / \text{ h}$ 、圧送エア風速 $12 \text{ m} / \text{ s}$ 、旋回エアなしの条件においては試験後の管内が閉塞しており、連続的な空気搬送ができないことを確認した（試験 No. 11）。この滞留物は、供給量 $90 \text{ k g} / \text{ h}$ 、圧送エア風速を $22 \text{ m} / \text{ s}$ 、旋回エアなしの条件でダクト外へ噴射された。

ロ) 付着物、滞留物について

・搬送ダクトが水平である場合

圧送エア風速 $15 \text{ m} / \text{ s}$ 以上の条件下では特定の箇所に付着物は見られなかった。

・搬送ダクトに立ち上げ角度をつけた場合

搬送ダクト立ち上げ角度が 30° のとき（試験 No. 35, 55）、立ち上がり部分の下面に滞留物が見られた（図 2.1.2-11）。また、立ち上げ部長さが 1200 mm までは、圧送エア風速 $15 \text{ m} / \text{ s}$ で空気搬送できることを確認した（試験 No. 54）。

搬送ダクト立ち上げ角度が 45° のとき（試験 No. 61）、傾斜部に炭化燃料が堆積しており（図 2.1.2-12）、長時間噴射したときには閉塞することが懸念される。



図 2.1.2-10 試験 No. 10



図 2.1.2-11 立ち上げ角度 30° の条件における立ち上げ部の滞留物



図 2.1.2-12 立ち上げ角度 45° の条件における傾斜部の滞留物

ｃ．噴射後炭化燃料の含水率

以下の（図 2.1.2-13～図 2.1.2-15）は各パラメータと噴射後炭化燃料の含水率の相関性を評価するものである。横軸が各パラメータ、縦軸が含水率としてプロットしており、各パラメータによる含水率への影響が評価できる。各図より、以下のことが分かった。

イ）ダクト出口エア温度

ダクト出口エア温度が約 10℃の時、噴射後炭化燃料の含水率は 24～30%、中央値は 28.9%だった。噴射前炭化燃料の含水率が 31～33%、中央値は 31.69%であったことから、ダクト出口エア温度が約 10℃の条件で空気搬送すると、炭化燃料の含水率は約 3%低下する。

ダクト出口エア温度を高くするほど、炭化燃料の含水率は低くなる（図 2.1.2-13）。特に約 80℃の場合、サンプリング地点が遠くなるほど含水率の低下が顕著に見られる。これは、炭化燃料が空気搬送中に乾燥されて二次粒子径が小さく、軽くなった炭化燃料が遠くまで噴射されたためであると思われる。

ロ）圧送エア風速

圧送エア風速を 15～20m/s で変化させた（試験 No. 20, 24, 25）が含水率は 28.91～30.27%の範囲に収まっており、圧送エア風速が含水率に与える影響は小さい（図 2.1.2-14）。

ハ）旋回エア風速、旋回配管位置

旋回エア風速を 50～100m/s で変化させ、さらに旋回配管位置を先端と先端から 2400mmに取り付けた場合を比較すると（試験 No. 20, 22, 23, 26～28）、含水率は 27.30～29.92%の範囲に収まっており、旋回エア風速、および旋回配管位置が含水率に与える影響は小さい（図 2.1.2-15）。

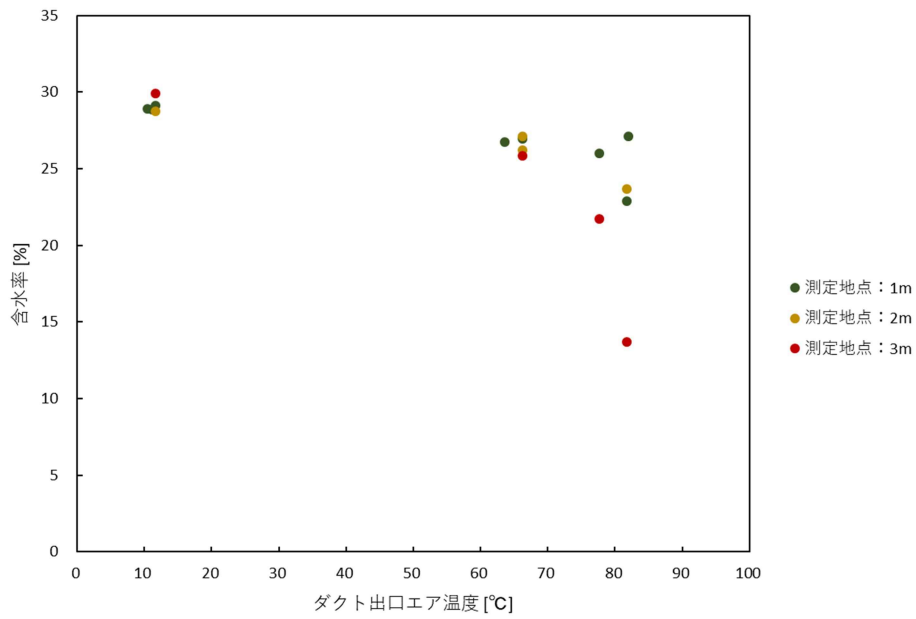


図 2.1.2-13 ダクト出口エア温度と含水率の相関
 ダクト出口エア温度以外のパラメータが同じである
 試験 No. 20, 29~34, 60 の含水率をプロットした。

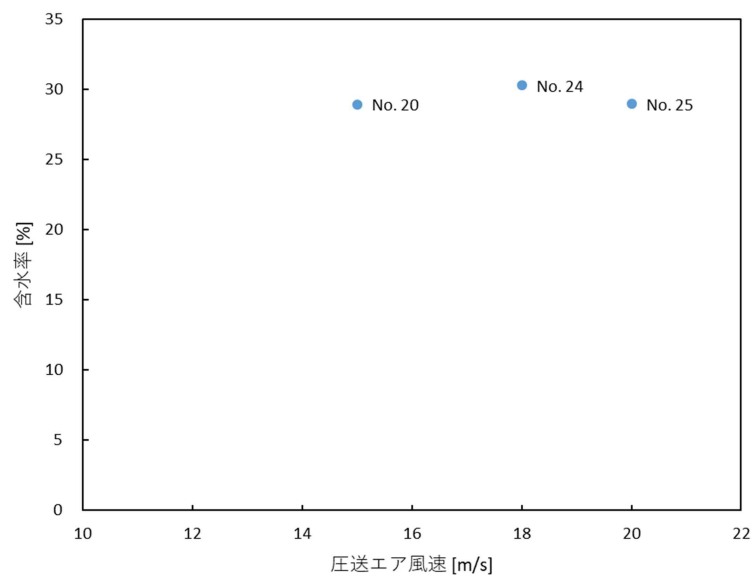


図 2.1.2-14 圧送エア風速と含水率の相関
 圧送エア風速以外のパラメータが同じである
 試験 No. 20, 24, 25 の含水率をプロットした。

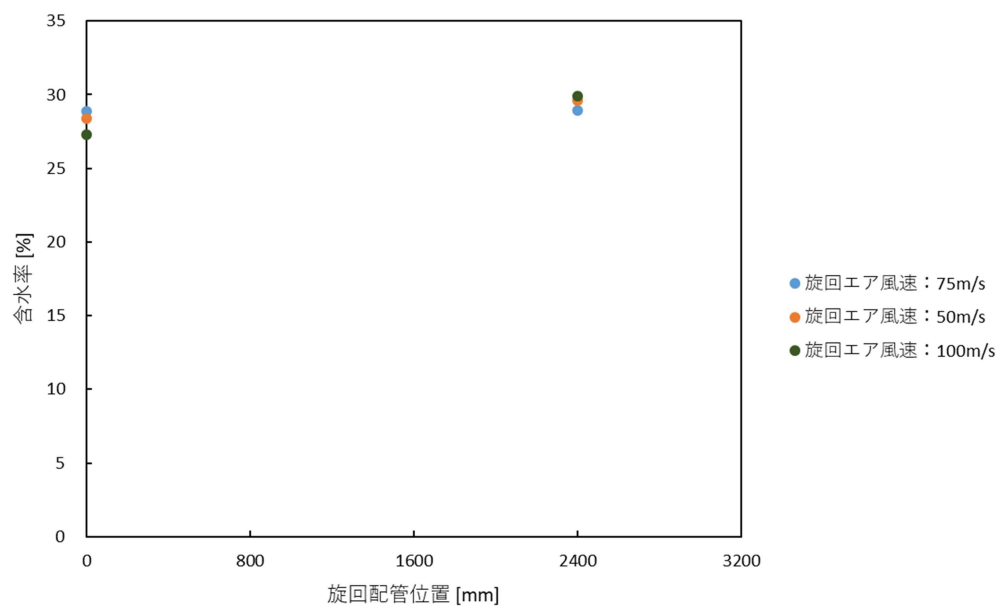


図 2.1.2-15 旋回エア風速、旋回配管位置と含水率の相関
 旋回エア風速、旋回配管位置以外のパラメータが同じである
 試験 No. 20, 22, 23, 26~28 の含水率をプロットした。

d. 噴射角度

以下の(図 2.1.2-16~図 2.1.2-31)に各試験条件の噴射角度を示した画像を示す。



図 2.1.2-16 試験 No. 20 噴射角度

図 2.1.2-17 試験 No. 21 噴射角度

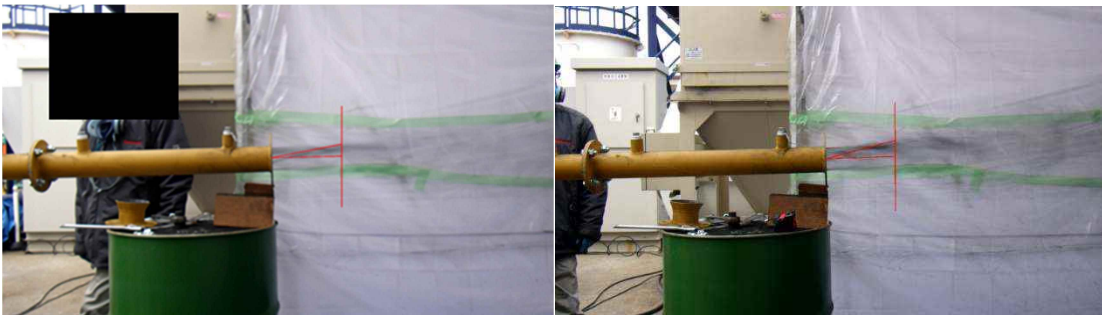


図 2.1.2-18 試験 No. 22 噴射角度

図 2.1.2-19 試験 No. 23 噴射角度

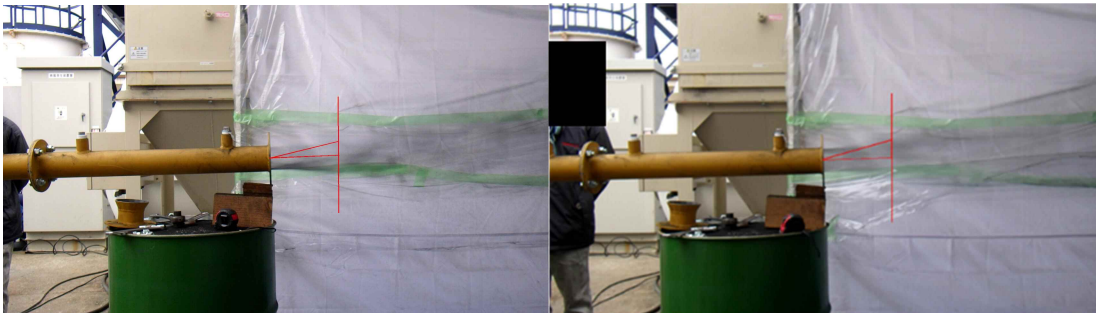


図 2.1.2-20 試験 No. 24 噴射角度

図 2.1.2-21 試験 No. 25 噴射角度



図 2.1.2-22 試験 No. 26 噴射角度

図 2.1.2-23 試験 No. 27 噴射角度

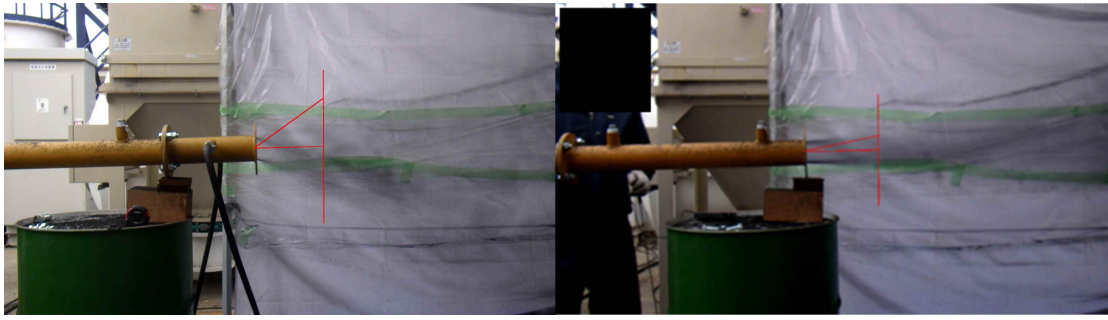


图 2.1.2-24 试验 No. 28 喷射角度

图 2.1.2-25 试验 No. 29 喷射角度

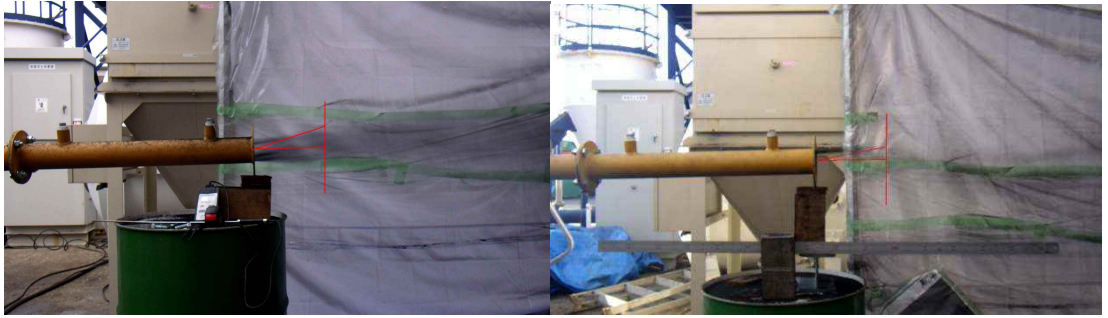


图 2.1.2-26 试验 No. 30 喷射角度

图 2.1.2-27 试验 No. 35 喷射角度

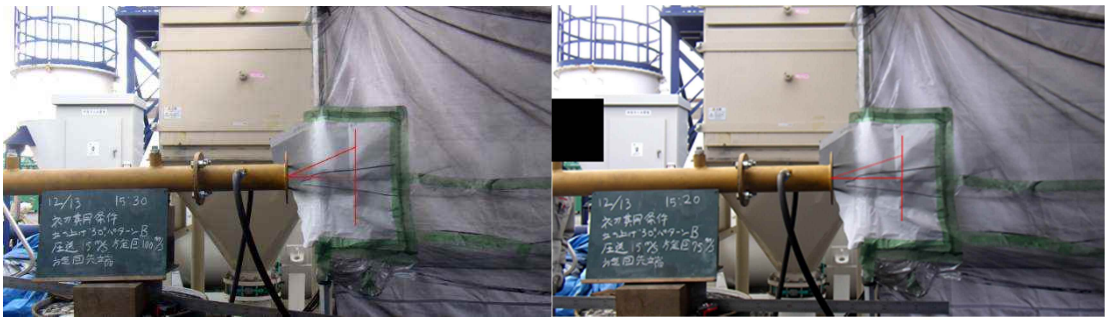


图 2.1.2-28 试验 No. 46 喷射角度

图 2.1.2-29 试验 No. 47 喷射角度



图 2.1.2-30 试验 No. 48 喷射角度

图 2.1.2-31 试验 No. 49 喷射角度

以下の(図 2.1.2-32～図 2.1.2-36)は各パラメータと噴射角度の相関性を評価するものである。横軸が各パラメータ、縦軸が噴射角度としてプロットしており、各パラメータによる噴射角度への影響が分かる。炭化燃料の噴射角度について分かったことを以下に示す。

イ) 旋回エア風速、旋回配管位置

旋回配管位置が搬送ダクトの先端に近いほど、旋回エア風速が大きいほど噴射角度は大きくなる(図 2.1.2-32)。旋回配管が先端にある場合、旋回エア風速 100 m/s において(試験 No. 28)噴射角度は 70° だったが、旋回エア風速 50 m/s において(試験 No. 27)噴射角度は 44° だった。旋回エアを搬送ダクトの上流から導入する場合、搬送される過程で旋回成分が減衰し、旋回エアを下流から導入する場合と比較して噴射角度が小さくなっている。

ロ) ダクト出口温度

ダクト出口温度が約 80°C である場合(試験 No. 30, 32, 60)、噴射角度は 29～32° であったのに対して、約 60°C の場合(試験 No. 29, 31)や約 10°C の場合(試験 No. 20, 33, 34)の噴射角度は 23～28° であり、噴射角度が小さくなっていた(図 2.1.2-33)。これは、二次粒子径の小さい炭化燃料が 80°C 近くで乾燥され(図 2.1.2-13)、二次粒子径がより小さく、軽くなり旋回エアの影響をより強く受けて噴射角度が大きくなったと思われる。

ハ) 圧送エア風速

圧送エア風速を 15～20 m/s で変化させたが噴射角度は 24～29° で収まっており、圧送エア風速が噴射角度に与える影響は小さい(図 2.1.2-34)。ただし、搬送ダクトの先端から離れると圧送エア風速が速いほど、噴射角度は小さくなる傾向が見られた。

ニ) 搬送ダクト先端形状

搬送ダクト先端を逆テーパ形状にすると噴射角度は大きくなった(図 2.1.2-35)。

ホ) 搬送ダクト立ち上げ角度

旋回配管位置が搬送ダクトの先端に設置したとき、搬送ダクト立ち上げ角度が 0°、旋回エア風速 100 m/s の場合、噴射角度は 70° であったのに対して、搬

送ダクト立ち上げ角度が 30° 、巡回エア風速 100m/s の場合、噴射角度は 46° であり、立ち上げ角度をつけることで噴射角度が小さくなった (図 2.1.2-36)。また、試験 No. 59 において、搬送ダクト立ち上げ直後の部分では炭化燃料は管内の上面に沿って流れていることを確認した (図 2.1.2-37)。

搬送ダクトが水平である場合 (図 2.1.2-38-A)、炭化燃料の輸送形態は管底流になるため、巡回エアが炭化燃料に当たりやすく、噴射角度が大きくなりやすいと考えられる。搬送ダクトが立ち上がっている場合、炭化燃料が管中に浮遊しやすく (図 2.1.2-38-B)、巡回エアが炭化燃料に当たりにくくなることで噴射角度が大きくなりにくいと考えられる。

へ) 巡回配管の種類

巡回配管 B を用いた場合 (試験 No. 13)、巡回配管 A を用いた場合 (試験 No. 17) よりも噴射角度が 4° 大きくなる。

ト) 巡回エア導入箇所

巡回エアを一ヶ所から導入すると (試験 No. 16)、二ヶ所から導入した場合 (試験 No. 13) と比較して噴射角度が 4° 小さくなった。

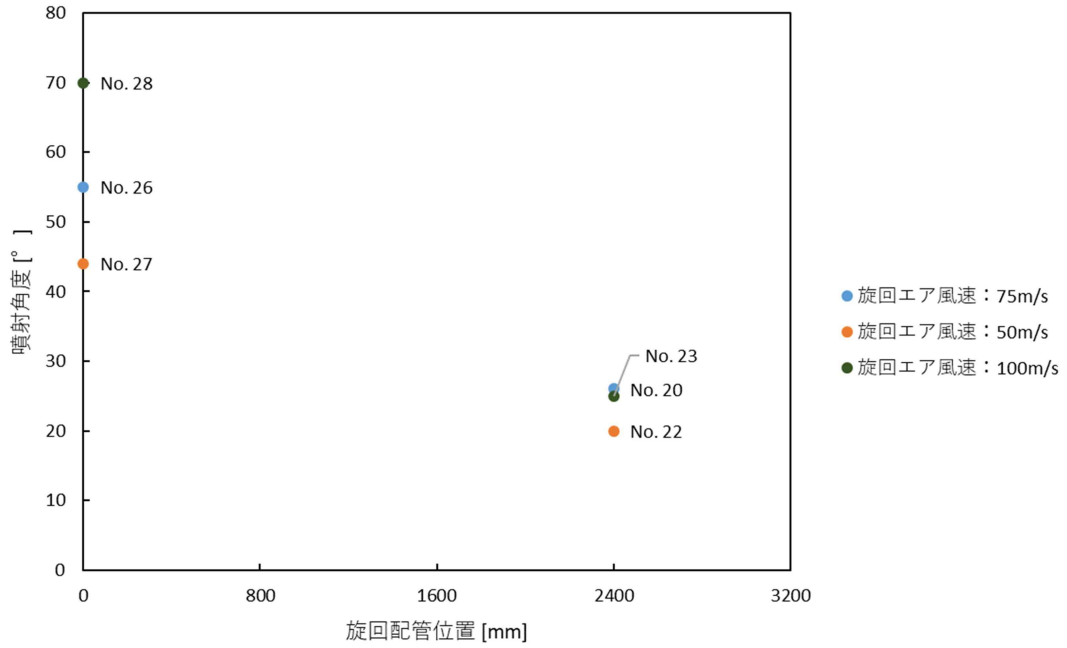


図 2.1.2-32 旋回エア風速、旋回配管位置と噴射角度の相関
 旋回エア風速、旋回配管位置以外のパラメータが同じである
 試験 No. 20, 22, 23, 26~28 の噴射角度をプロットした。

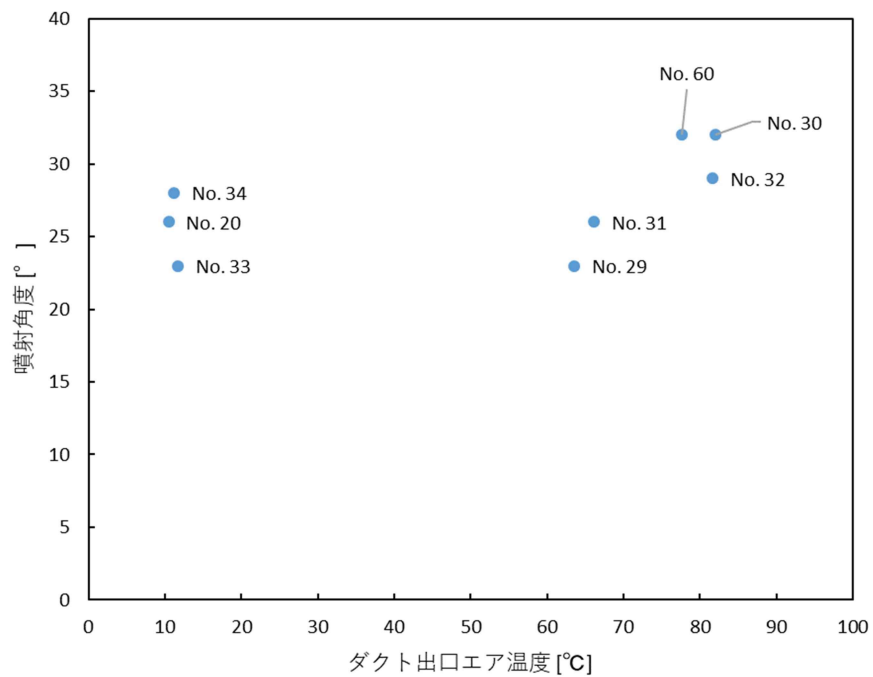


図 2.1.2-33 搬送ダクト出口温度と噴射角度の相関
 ダクト出口エア温度以外のパラメータが同じである
 試験 No. 20, 29~34, 60 の噴射角度をプロットした。

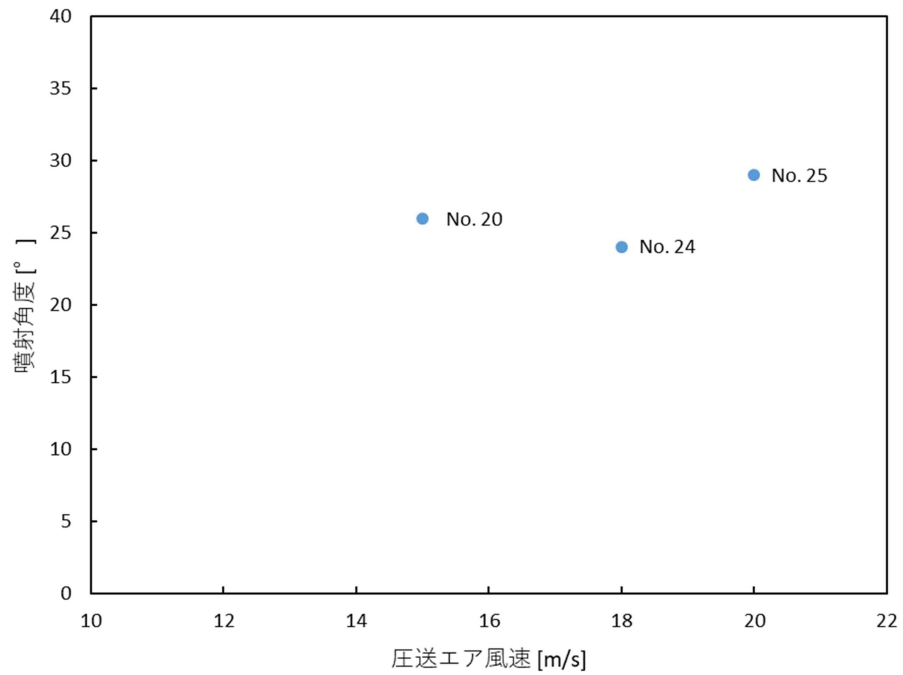


図 2.1.2-34 圧送エア風速と噴射角度の相関
 圧送エア風速以外のパラメータが同じである
 試験 No. 20, 24, 25 の噴射角度をプロットした。

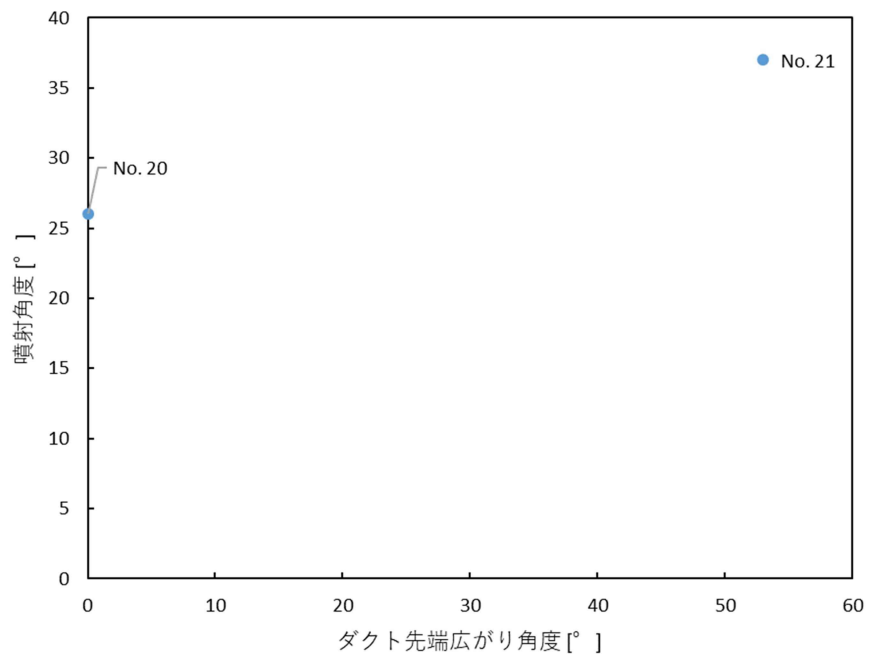


図 2.1.2-35 ダクト先端広がり角度と噴射角度の相関
 ダクト先端広がり角度以外のパラメータが同じである
 試験 No. 20, 21 の噴射角度をプロットした。

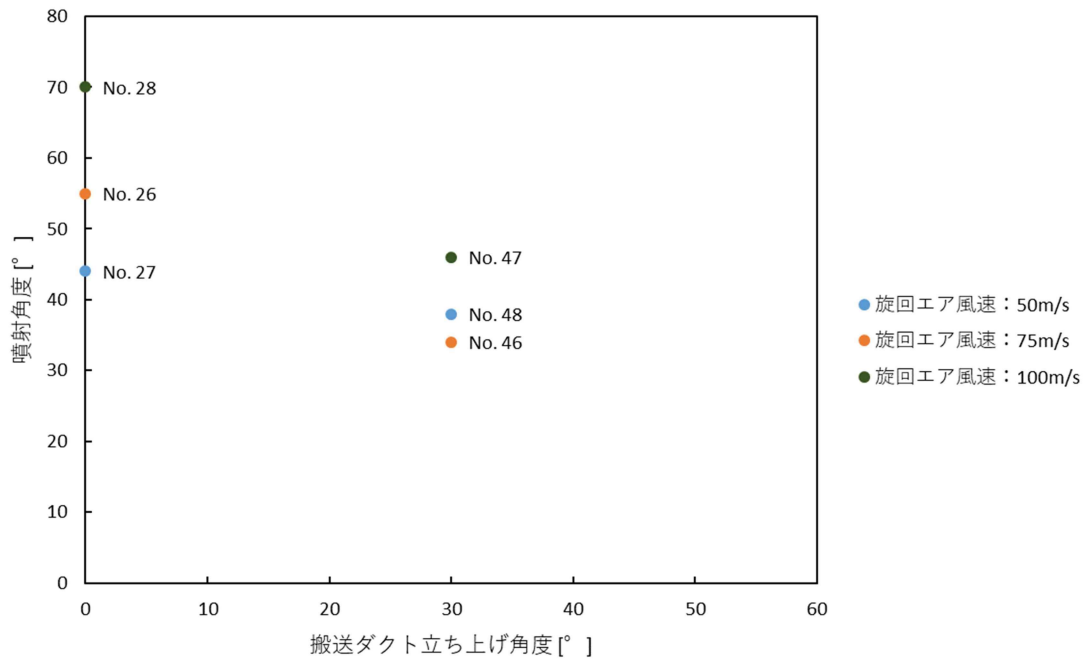


図 2.1.2-36 搬送ダクト立ち上げ角度と噴射角度の相関
搬送ダクト立ち上げ角度、それに付随する水平部および立ち上げ部長さ、旋回エア風速以外のパラメータが同じである試験 No. 26～28, 46～48 の噴射角度をプロットした。

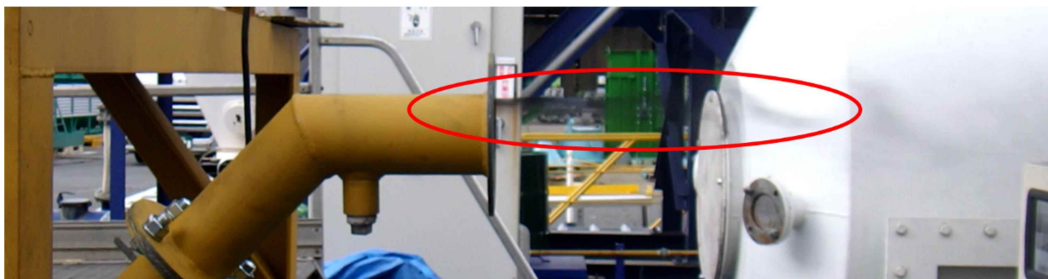


図 2.1.2-37 試験 No. 59 における炭化燃料噴射の様子

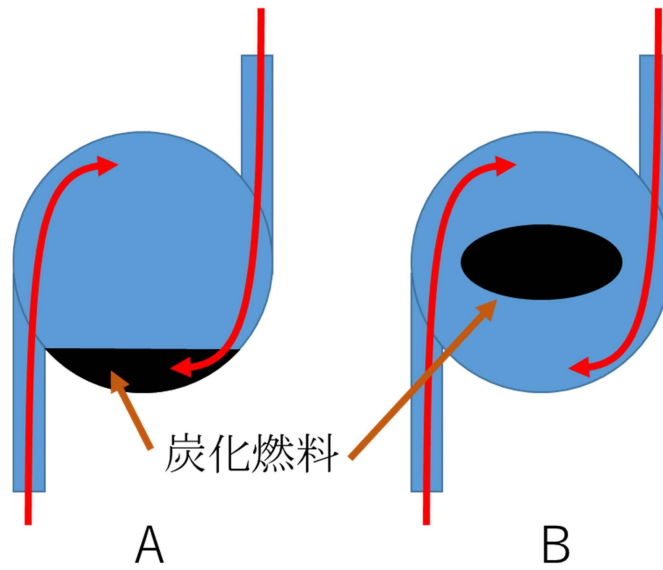


図 2.1.2-38 旋回エア導入位置での炭化燃料の輸送状態の違いが噴射角度に与える影響

A: 炭化燃料の輸送形態が管底流である場合、旋回エアが炭化燃料に当たりやすく、噴射角度が大きくなりやすい。

B: 炭化燃料が管中に浮遊している場合、旋回エアが炭化燃料に当たりにくく、噴射角度が大きくなりにくい。

(4) まとめ

炭化燃料の空気搬送試験を行い、炭化燃料を空気輸送できることを確認した。各種条件下で、炭化燃料の噴射角度と噴射後の含水率を測定し、バーナに供給される炭化燃料の状態を予測できるようになった。今回得られた知見は試作機での空気搬送試験で再現性を確認する。

以下に各パラメータの噴射角度、含水率に対する相関や付着物などについてまとめて示す。

a. 圧送エア風速

供給量 90 kg / h 時には圧送エア風速 15m / s 以上で空気搬送できることを確認した。また、圧送エア風速と噴射角度、含水率には大きな相関性はない。ただし噴射角度の測定距離 (250mm) を無視した場合、圧送エア風速が速いほど、噴射角度が広がり始めるダクト先端からの距離が長くなる傾向が見られた。

b. 旋回エア風速

噴射角度には大きな影響を与えるが、含水率については特に相関はない。旋回エア風速が高いと噴射角度は大きくなる。

c. 旋回配管位置

噴射角度には大きな影響を与えるが、含水率については特に相関はない。旋回配管を搬送ダクト上流に設置するほうが噴射角度は大きくなる。

d. 旋回配管種類

旋回エア導入角度が 70° である旋回配管 A を用いるよりも、旋回エア導入角度が 90° である旋回配管 B を用いたほうが噴射角度は大きくなる。

e. 旋回エア導入箇所

旋回エア風量が同一の場合、旋回エアを二ヶ所から導入するほうが、一ヶ所から導入するよりも噴射角度は大きくなった。

f. ダクト出口エア温度

噴射角度、含水率ともに大きな影響を与え、高温になるほど噴射角度は大きく、含水率は低くなる。特に約 80℃ においては、それらに対する相関性は強くなる。

g. 搬送ダクト立ち上げ角度

噴射角度には影響を与えるが、含水率については特に相関はない。角度 30° では、立ち上げ部に少量の付着物が見られる程度であるが、45° になると付着量が増え、圧送エア風速を高くしない限り連続的な供給は難しいと思われる。

h. 搬送ダクト立ち上げ長さ

供給量 90 k g / h、圧送エア風速 15 m / s、搬送ダクト立ち上げ角度 30° において、立ち上げ長さ 1200 m mでの空気搬送が可能であることを確認した。

i. ノズル先端形状

先端形状を逆テーパにするほうが、噴射角度は大きくなる。

3.1 試作機による供給および搬送試験

3.1.1 投入ホッパ供給機

(1) 試験目的

実績や予備試験の結果を反映した投入ホッパ供給機の試作機を製作後、供給試験を行い、来年度実施予定の燃焼試験の実施可否判断をする。

(2) 試験内容・結果

試験装置（図 3.1.1-1）はホッパ、攪拌機、二軸スクリュ、ロータリバルブで構成される。二軸スクリュの供給能力の確認をロータリバルブ有無の2ケースでキャリブレーション試験を行った。



図 3.1.1-1 供給機外観写真



図 3.1.1-2 投入ホッパ内の写真



図 3.1.1-3 試験用バット



図 3.1.1-4 ロータリバルブ外観写真

a. ロータリバルブなしでの試験

ホッパ内とトラフ内に炭化燃料を充満させた状態にしてからスクリュを動かし、キャリブレーションを行った。排出口にバット（図 3.1.1-3）を設置し炭化燃料を受け取り、60秒間の供給量を測定した。試験結果を表 3.1.1-1、図 3-1-1-5 に示す。

表 3.1.1-1 ロータリバルブなしの二軸スクリュキャリブレーション結果

周波数	平均供給量	回転数	搬送効率
Hz	kg/h-w.b.	rpm	%
5	74	2.9	76
10	202	5.7	104
15	296	8.6	102
20	370	11.4	96
25	454	14.3	94
30	518	17.1	89

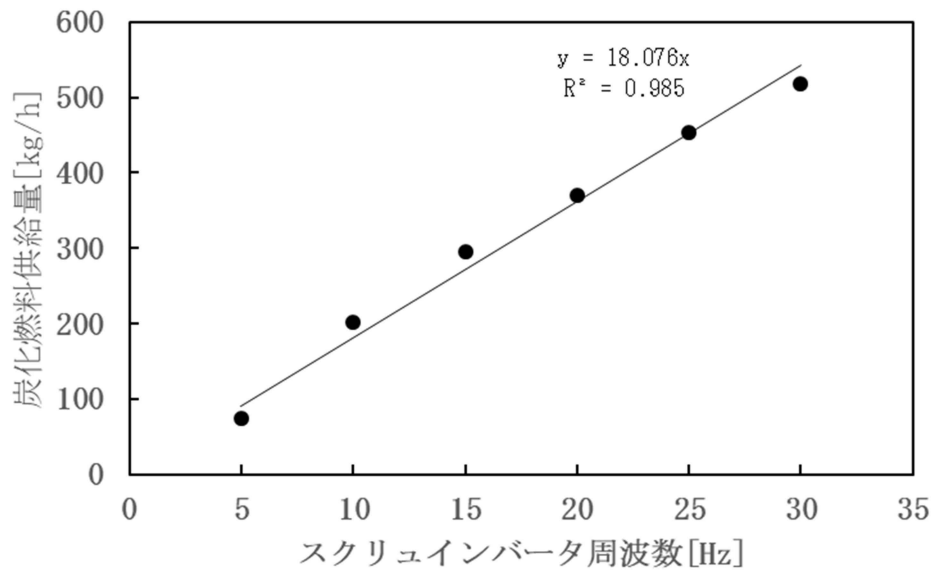


図 3.1.1-5 ロータリバルブなしのスクリュ周波数に対する炭化燃料供給量

表 3.1.1-1 に示すスクリュの搬送効率はスクリュの羽根間に材料が最大まで充填され、それがスクリュの回転により単位時間あたりに全て送り出される量を 100%としている。下記式に搬送効率の算出式を示す。(2.1 予備試験 2.1.1 スクリューコンベヤと同じ)

$$\eta = \frac{m \div \rho}{2 \times V \times N \times 60} \text{--- (イ)}$$

$$V = (D^2 - d^2) \times \pi \div 4 \times P \text{--- (ロ)}$$

$$N = \frac{120n}{p} \div r \times s \text{--- (ハ)}$$

η : 搬送効率[%]

N: スクリュー回転数[rpm]

m: 炭化燃料供給量[kg/h]

n: 電源周波数[Hz]

D: スクリュー羽根直径(140)[mm]

p: モーター極数(4)[-]

d: スクリュー軸外径(60)[mm]

r: モーター減速比(51)[-]

P: スクリューピッチ(75)[mm]

ρ : 炭化燃料密度(3.0×10^{-7})[kg/mm³]

V: スクリュー 1 ピッチ内の体積(2.5×10^5)[mm³]

s: モーターすべりを考慮した係数(97)[%]

b. ロータリバルブありでの試験

試験方法は二軸スクリュ試験と同様に出口にバットを設置し、搬送能力を測定した。

(ロータリバルブ周波数が 15Hz 以上であれば設計搬送能力は二軸スクリュ<ロータリバルブとなる。)

また、ロータリバルブによる脈動も同時に確認する。試験結果を表 3.1.1-2、図 3.1.1-6 に示す。

表 3.1.1-2 ロータリバルブありの二軸スクリュキャリブレーション結果

周波数	平均供給量	スクリュ 回転数	搬送効率
Hz	kg/h-w. b.	rpm	%
5	85	2.9	88
10	168	5.7	86
15	304	8.6	105
20	376	11.4	97
25	458	14.3	94
30	550	17.2	94

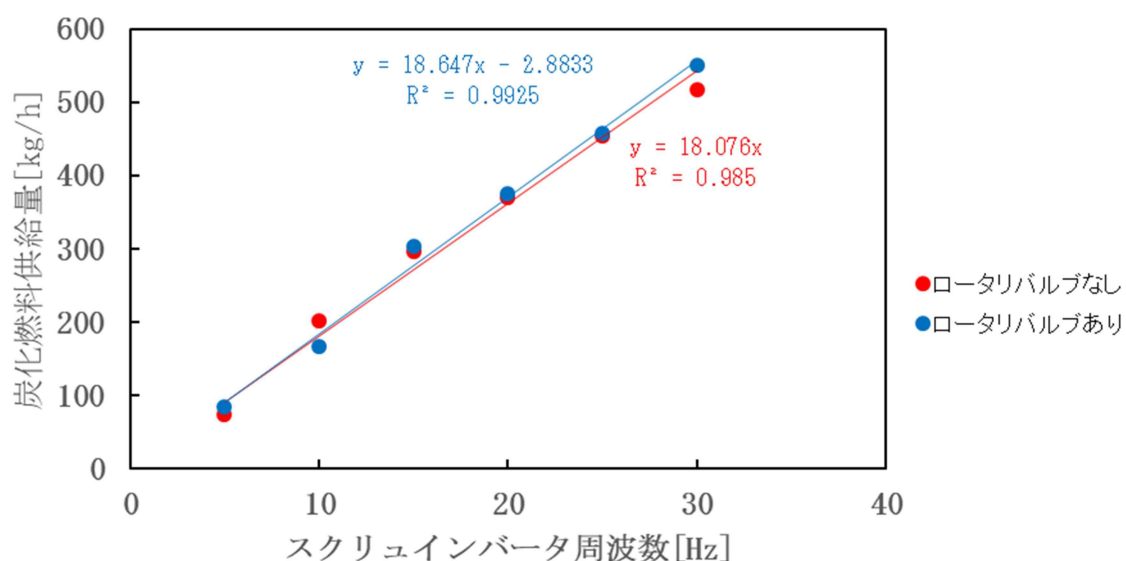


図 3.1.1-6 ロータリバルブありのスクリュ周波数に対する炭化燃料供給量

(3) まとめ

ロータリバルブを取り付けた場合でも炭化燃料の供給量が大きく変わることはなかった。目視と撮影した動画で炭化燃料の排出口での供給具合を確認したがロータリバルブ有無で顕著に差はなく、脈動も確認できなかった。試作機試験でロータリバルブが炭化燃料の搬送に影響を及ぼすことはなかった。

今後長期的に炭化燃料の搬送をした場合にスクリュやロータリバルブへの付着の成長は確認が必要である。

3.1.2 混焼バーナ

(1) 試験目的

空気搬送予備試験を行い、炭化燃料の空気搬送や旋回エアを用いて配管出口から炭化燃料が空気搬送可能で噴射角度を操作できることが分かった。しかし、今回の予備試験は既存品の装置のみで行った為、予備試験時の搬送能力は今回の事業で使用する最大能力よりも低い。(予備試験時最大能力：90 kg/h、本事業最大能力：460 kg/h)

試作機での空気搬送試験では搬送能力を上げた場合に予備試験時と同様、炭化燃料の噴霧が可能か、また、その時の噴射角度を調査する。

混焼バーナ試験ではバーナスロットを取り付け、バーナファンの圧送風量によりノズルから噴射された炭化燃料の分散状態がどのように影響するかの試験を行う。

(2) 試験方法

a. 試験装置

図 3.1.2-1 に搬送ダクト試験の装置概略図、図 3.1.2-2 に搬送ダクト試験の外観写真、図 3.1.2-3 に混焼バーナ試験の装置概略図、図 3.1.2-4 に混焼バーナ試験の外観写真を示す。

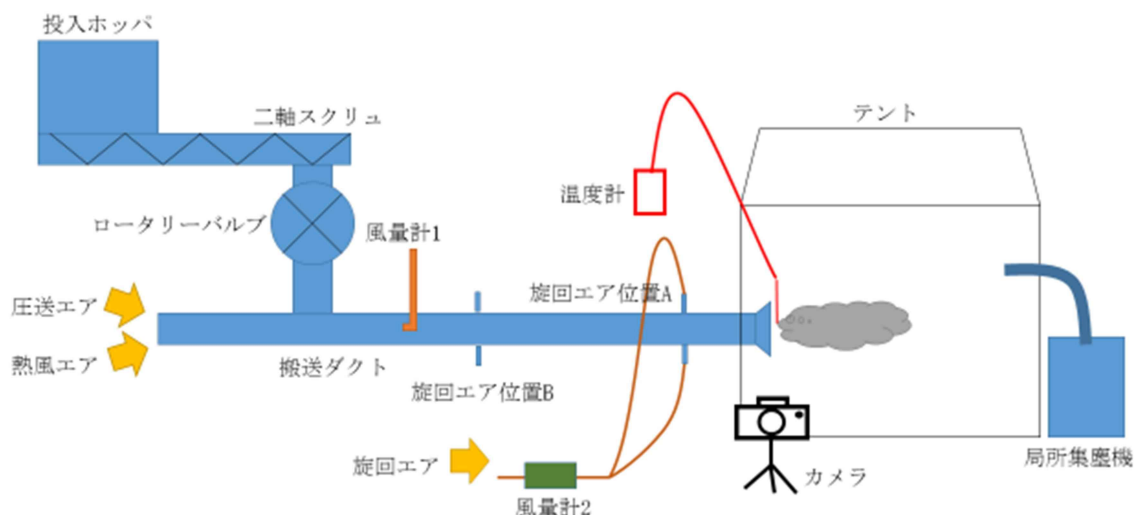


図 3.1.2-1 搬送ダクト試験装置概略図

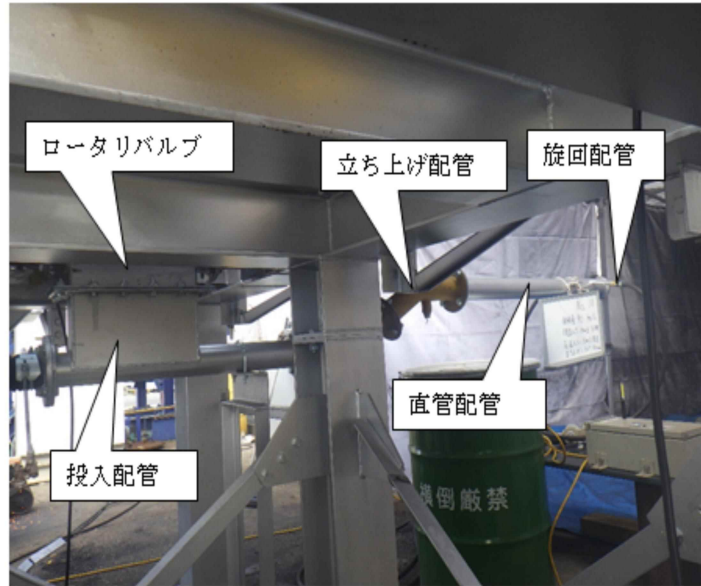


図 3.1.2-2 搬送ダクト試験装置外観写真

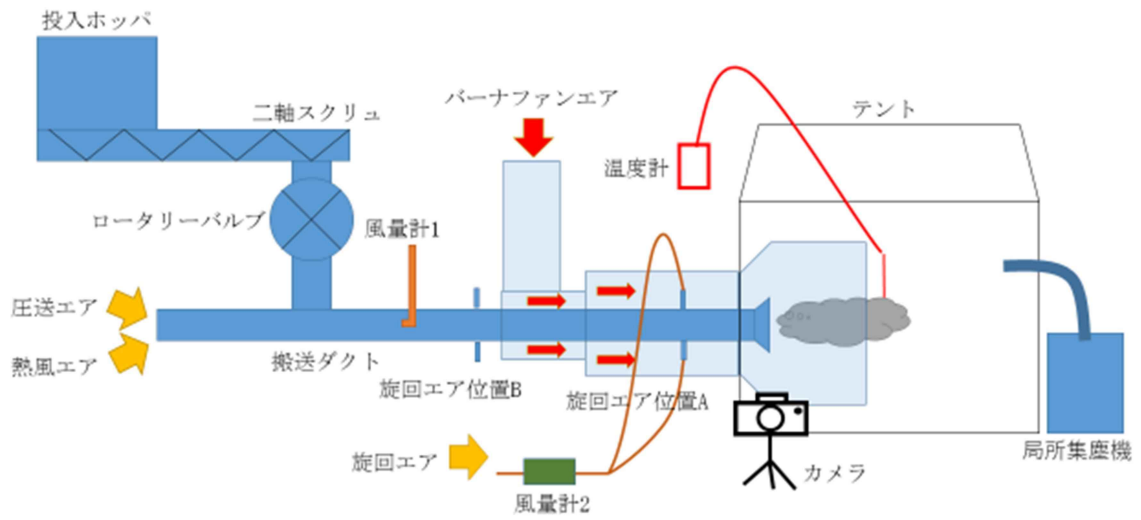


図 3.1.2-3 混焼バーナ試験装置概略図

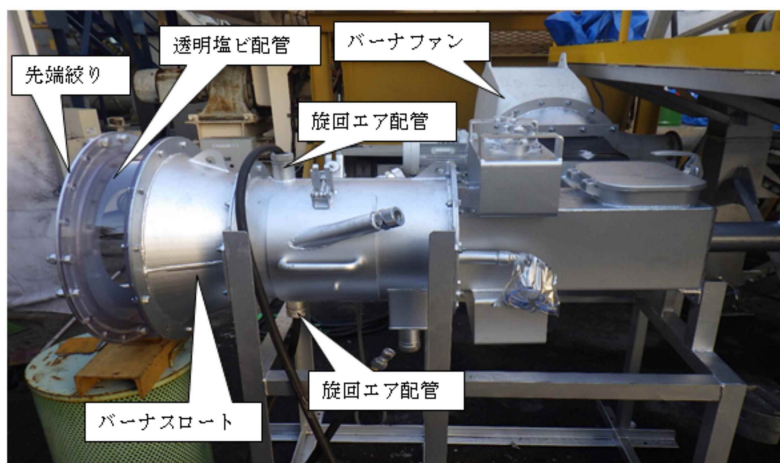


図 3.1.2-4 混焼バーナ試験装置外観写真

b. 試験条件

イ. 搬送ダクト試験

搬送ダクト試験条件を表 3.1.2-1 に示す。

表 3.1.2-1 搬送ダクト試験条件

試験No.	炭化燃料供給量	搬送ダクト水平部長さ	圧送エア風速	圧送風量	固気比	回転エア導入角度	回転導入位置	回転エア風速	ダクト出口エア温度	ダクト出口エア温度(試験中)	搬送ダクト立ち上げ角度	搬送ダクト立ち上げパターン	搬送ダクト立ち上げ部長さ	ノズル先端がり角度	予備試験No.	Spraytec 粒度分布測定
	[kg/h]	[mm]	[m/s]	[Nm ³ /min]	[-]	[°]	[mm]	[m/s]	[°C]	[°C]	[°]	[-]	[mm]	[°]	[-]	[-]
No. 1	90	1856	15	4.6	0.24	90	230	50	8	-	0	-	0	70	No. 27	-
No. 2	90	1856	15	4.6	0.24	90	230	100	8.2	-	0	-	0	70	No. 28	-
No. 3	230	1856	15	4.6	0.62	90	230	50	9.6	-	0	-	0	70	-	-
No. 4	230	1856	15	4.6	0.62	90	230	100	8.5	-	0	-	0	70	-	-
No. 5	460	1856	15	4.6	1.25	90	230	50	8.3	-	0	-	0	70	-	-
No. 6	460	1856	20	6.1	0.93	90	230	50	11.5	-	0	-	0	70	-	-
No. 7	460	1856	20	6.1	0.93	90	230	100	11.4	-	0	-	0	70	-	-
No. 8	460	1856	18	5.5	1.05	90	230	100	7.2	-	0	-	0	70	-	-
No. 9	460	1856	18	5.5	1.05	90	1600	100	7.3	-	0	-	0	70	-	-
No. 10	90	1856	15	4.6	0.19	90	230	50	90	38.5	0	-	0	70	-	-
No. 11	90	1856	15	4.6	0.19	90	230	100	90	30.3	0	-	0	70	-	-
No. 12	90	1462	15	4.6	0.19	90	230	50	90	30.5	30	B	400	70	-	-
No. 13	90	1462	15	4.6	0.19	90	230	100	90	28.3	30	B	400	70	-	-
No. 14	90	1462	15	4.6	0.24	90	230	50	10	-	30	B	400	70	No. 48	-
No. 15	460	1462	20	6.1	0.93	90	230	50	10	-	30	B	400	70	-	-
No. 16	460	1462	20	6.1	0.93	90	230	100	10	-	30	B	400	70	-	-
No. 17	90	1462	15	4.6	0.24	90	230	100	10	-	30	B	400	70	No. 47	-
No. 18	230	1462	15	4.6	0.62	90	230	50	10	-	30	B	400	70	-	-
No. 19	230	1462	15	4.6	0.62	90	230	100	10	-	30	B	400	70	-	-
No. 20	90	1856	15	4.6	0.24	90	230	50	10	-	0	-	0	70	-	○
No. 21	90	1856	15	4.6	0.24	90	230	100	10	-	0	-	0	70	-	○
No. 22	300	1856	20	6.1	0.61	90	230	50	10	-	0	-	0	70	-	○
No. 23	300	1856	20	6.1	0.61	90	230	100	10	-	0	-	0	70	-	○
No. 24	90	1856	15	4.6	0.19	90	230	100	90	-	0	-	0	70	-	○
No. 25	90	1856	15	4.6	0.24	90	230	100	10	-	0	-	0	70	-	○

※ダクト出口温度は搬送ダクトの出口で測定している。

※搬送ダクト試験 No. 1 は予備試験 No. 27 と同条件で試験を行った。

※搬送ダクト試験 No. 2 は予備試験 No. 28 と同条件で試験を行った。

※搬送ダクト試験 No. 14 は予備試験 No. 48 と同条件で試験を行った。

※搬送ダクト試験 No. 17 は予備試験 No. 47 と同条件で試験を行った。

ロ. 混焼バーナ試験

混焼バーナ試験条件を表 3.1.2-2 に示す。

表 3.1.2-2 混焼バーナ試験条件

試験No.	炭化燃料 供給量	圧送エア 風速	圧送風量	固気比	バーナ ファン風 量	先端絞 りの有無	旋回エア 風速	ダクト出 口 エア温度	粉砕品	搬送ダク ト試験 対応No.	予備試験 噴射角度
	[kg/h]	[m/s]	[Nm ³ /min]	[-]	[Nm ³ /min]	[-]	[m/s]	[°C]	[-]	[-]	[°]
No. 1	90	15	4.6	0.24	27.1	あり	50	10	-	No. 1	38
No. 2	90	15	4.6	0.24	27.1	あり	100	10	-	No. 2	61
No. 3	460	18	5.5	1.04	66.0	あり	50	10	-	-	-
No. 4	460	18	5.5	1.04	66.0	あり	100	10	-	No. 8	64
No. 5	90	15	4.6	0.24	27.1	無	50	10	-	No. 1	38
No. 6	90	15	4.6	0.24	27.1	無	100	10	-	No. 2	61
No. 7	460	20	6.1	0.93	65.4	無	50	10	-	No. 6	41
No. 8	460	20	6.1	0.93	65.4	無	100	10	-	No. 7	58
No. 9	230	15	4.6	0.62	31.2	あり	50	10	-	No. 3	40
No. 10	230	15	4.6	0.62	31.2	あり	100	10	-	No. 4	66
No. 11	90	15	4.6	0.19	27.1	あり	100	80	-	No. 13	72
No. 12	90	15	4.6	0.24	27.1	あり	100	10	○	-	-

ハ. 評価項目と評価方法

● 空気搬送の可否、および管内への付着物、滞留物の有無の確認

圧送エアを流したときにほぼ全ての炭化燃料が噴射された場合、空気搬送は可能と判断する。また、その逆の場合を空気搬送は不可能と判断する。空気搬送が可能な場合で、炭化燃料の一部が管内に付着、滞留していた場合、管内への付着物、滞留物ありと判断する。

● 炭化燃料噴射角度

ノズル先端から噴射された炭化燃料をカメラで撮影し噴射角度を調べる。噴射角度は空気搬送ダクトの先端から 250mm 地点における炭化燃料の広がりを見て評価する。図に示している通り、噴射角度 = 2α とする。

● 炭化燃料含水率、ふるい分けによる粒度分布の測定

噴射した炭化燃料を、搬送ダクトの先端より 1, 2, 3m 地点でサンプリングする。加えて、炭化燃料を噴射中にダクト先端に袋を被せてサンプリングする。サンプリングした炭化燃料と噴射前の炭化燃料について、含水率測定とふるい分けによる粒度分布測定を行う。

● Spraytec デモ機を用いて粒度分布の測定

噴射した炭化燃料を、Spratec デモ機のレーザー回析により粒度分布測定を行う。測定地点を図 3.1.2-5 に示す。

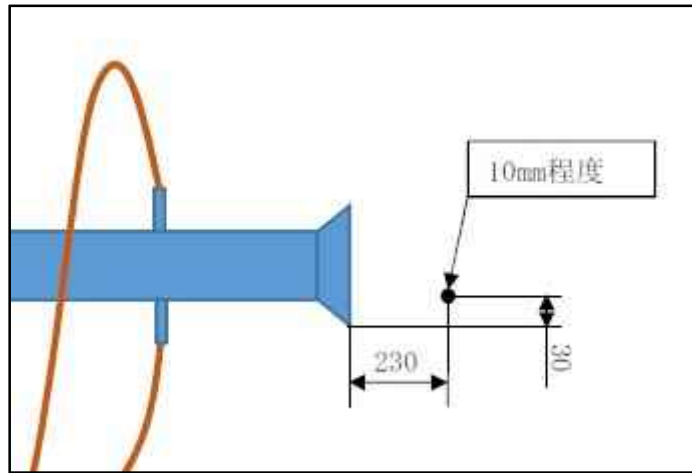


図 3.1.2-5 粒度分布測定位置



図 3.1.2-6 Spraytec デモ機外観写真

(3) 試験結果

搬送ダクト試験結果

搬送ダクト試験結果を以下の表 3.1.2-3 に示す。

表 3.1.2-3 試験結果

試験No.	空気搬送の可否	付着、滞留物の有無	噴射角度	含水率 (1m地点)	含水率 (2m地点)	含水率 (3m地点)	粒度分布 2.36mm<	粒度分布 1.18mm-2.36mm	粒度分布 600 μ m-1.18mm	粒度分布 150 μ m-600 μ m	粒度分布 <150 μ m	予備試験 対応No.	予備試験 噴射角度
	[-]	[-]	[°]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	[°]
No. 1	可	無	38	29.79	-	-	0.0	4.5	0.0	27.3	68.2	No. 27	44
No. 2	可	無	61	29.87	-	-	1.0	0.0	1.0	54.4	43.7	No. 28	70
No. 3	可	あり	40	30.25	-	-	3.9	3.9	3.9	52.9	35.3	-	-
No. 4	可	あり	66	29.78	-	-	2.9	1.9	1.9	54.8	38.5	-	-
No. 5	不可	あり	65	29.72	-	-	8.0	4.0	5.0	36.0	47.0	-	-
No. 6	可	あり	41	25.13	-	-	1.0	1.0	1.0	40.4	56.6	-	-
No. 7	可	あり	58	29.28	-	-	0.9	2.8	2.8	42.6	50.9	-	-
No. 8	可	あり	64	28.46	-	-	2.0	1.0	1.0	39.2	56.9	-	-
No. 9	可	あり	38	28.94	-	-	0.0	1.0	2.0	40.6	56.4	-	-
No. 10	可	無	49	22.46	23.82	14.69	1.0	1.0	2.0	51.0	45.0	-	-
No. 11	可	無	71	21.48	17.72	13.84	1.0	1.0	1.0	42.6	54.5	-	-
No. 12	可	無	58	17.93	-	-	2.0	0.0	2.0	45.1	51.0	-	-
No. 13	可	無	72	17.89	10.44	6.84	0.0	2.0	0.0	40.6	57.4	-	-
No. 14	可	あり	41	27.48	-	-	2.0	0.0	0.0	53.5	44.6	No. 48	38
No. 15	可	あり	39	28.50	-	-	1.0	0.0	0.0	43.6	55.4	-	-
No. 16	可	あり	63	28.48	-	-	1.0	0.0	1.0	45.6	52.4	-	-
No. 17	可	あり	43	26.20	-	-	1.0	0.0	1.0	52.9	45.2	No. 47	46
No. 18	不可	あり	39	29.70	-	-	0.0	1.9	0.9	44.3	52.8	-	-
No. 19	不可	あり	78	31.30	-	-	0.0	2.0	4.0	42.6	51.5	-	-
No. 20	可	無	-	-	-	-	0.0	0.0	7.4	39.7	52.9	-	-
No. 21	可	無	-	-	-	-	0.0	0.0	6.0	38.5	55.5	-	-
No. 22	可	あり	-	-	-	-	0.0	0.0	13.9	58.5	27.6	-	-
No. 23	可	あり	-	-	-	-	0.0	0.0	9.4	44.4	46.2	-	-
No. 24	可	無	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	23.8	76.2	-	-
No. 25	可	無	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	21.4	78.6	-	-

a. 噴射前炭化燃料の含水率

試験期間中、定期的に試験前の炭化燃料について含水測定を行った。その結果を以下に示す。表 3.1.2-4 から噴射前の炭化燃料の含水変化はほとんどないと考えられる。

表 3.1.2-4 噴射前炭化燃料の含水率

測定日	炭化燃料噴射前含水率
	[%]
2019/1/23	30.50
2019/1/24	30.50
2019/1/25	31.71

b. 空気搬送の可否と付着、滞留物

標題に関して、以下のことが分かった。

イ. 炭化燃料供給量が 230 k g / h 以上、旋回エアが 50m / s 以上の場合、旋回エア導入口に付着が見られた。

(試験 No. 3 ~ 9, 15, 16, 18, 19, 22, 23)

ロ. 炭化燃料供給量が 460 k g / h 以上、搬送ダクト立ち上げ角度が 0°

(水平)、搬送ダクト長さが 2400mm の場合、圧送エア風速が 18m / s で空気搬送可能、15m / s で空気搬送不可能であった。(試験 No. 5)

ハ. 炭化燃料供給量が 230 k g / h 以上、搬送ダクト立ち上げ角度が 30°

の場合、圧送エア風速が 20m / s で空気搬送可能、15m / s で空気搬送不可能であった。(試験 No. 18, 19)

c. 噴射後炭化燃料の含水率

以下の図 3.1.2-7 は各パラメータでのサンプリング位置と含水率の相関性を評価するものである。横軸がサンプリング位置、縦軸が含水率としてプロットしており、各パラメータによる含水率への影響が評価できる。図 3.1.2-7 より、以下のことが分かった。

ニ. サンプリング位置が遠いほど含水率が低い。

ホ. 旋回エア速度は含水率に影響を与えない。

ヘ. 圧送エアに熱風を用いることは含水率の低下に有効である。

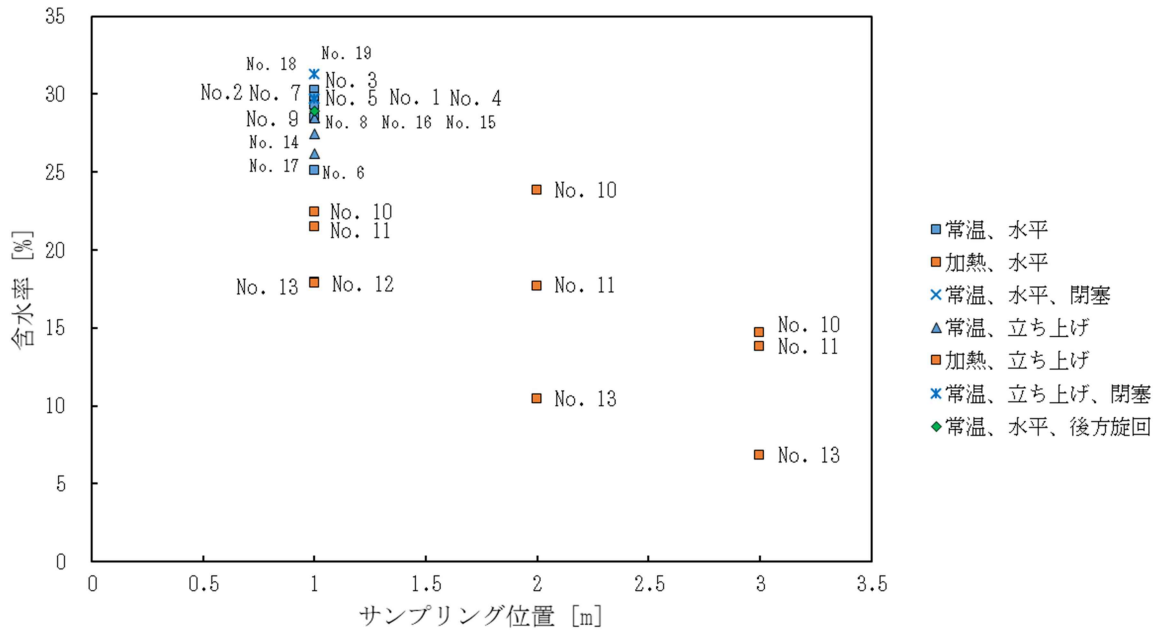


図 3.1.2-7 サンプル位置と含水率の関係

d. 噴射角度

以下の（図 3.1.2-8～図 3.1.2-26）に各試験条件の噴射角度を示した画像を示す。



図 3.1.2-8 試験 No.1 噴射角度

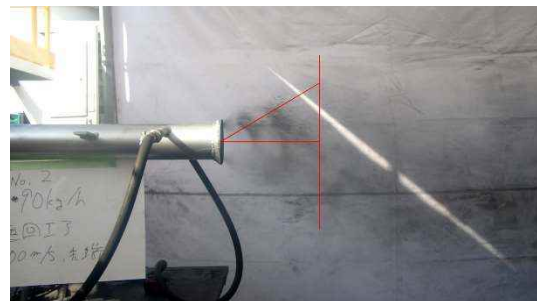


図 3.1.2-9 試験 No.2 噴射角度



図 3.1.2-10 試験 No.3 噴射角度



図 3.1.2-11 試験 No.4 噴射角度

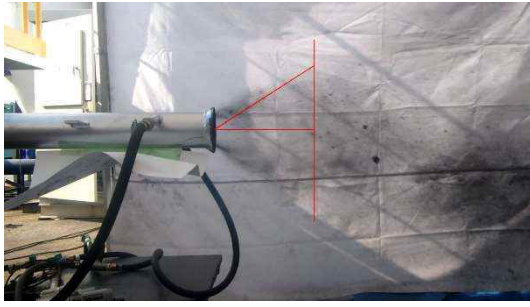


图 3.1.2-12 試驗 No.5 噴射角度

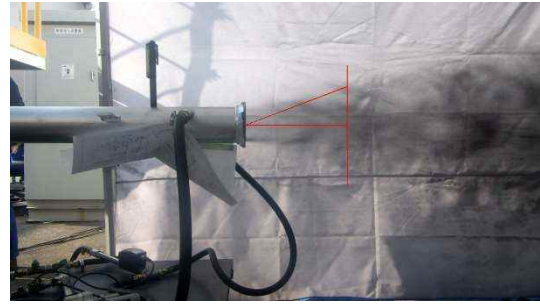


图 3.1.2-13 試驗 No.6 噴射角度

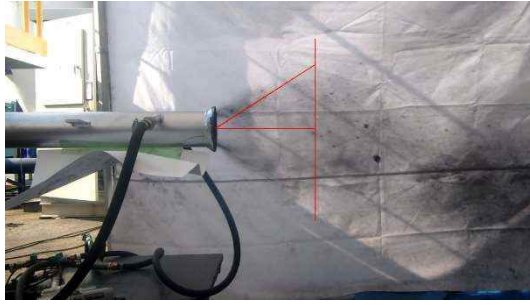


图 3.1.2-14 試驗 No.7 噴射角度

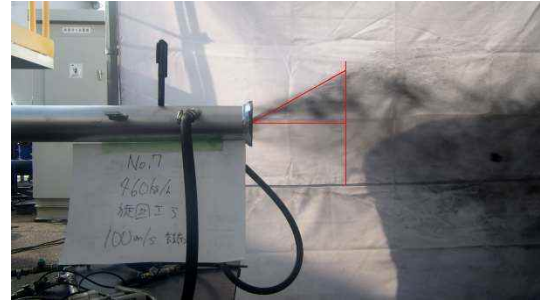


图 3.1.2-15 試驗 No.8 噴射角度

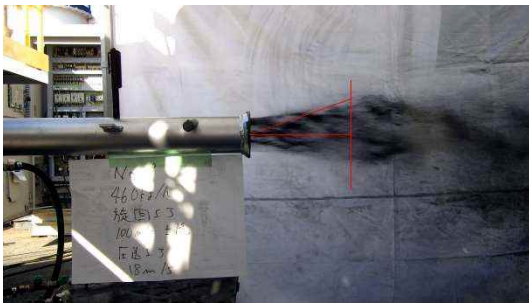


图 3.1.2-16 試驗 No.9 噴射角度

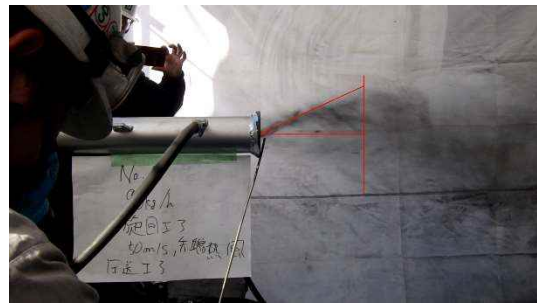


图 3.1.2-17 試驗 No.10 噴射角度

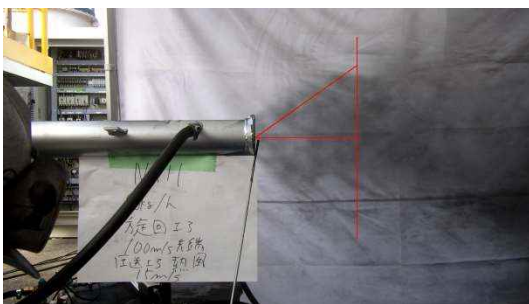


图 3.1.2-18 試驗 No.11 噴射角度



图 3.1.2-19 試驗 No.12 噴射角度

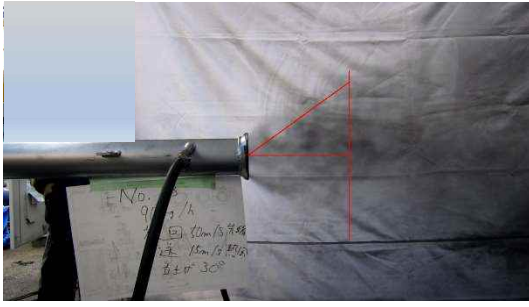


図 3.1.2-20 試験 No. 13 噴射角度

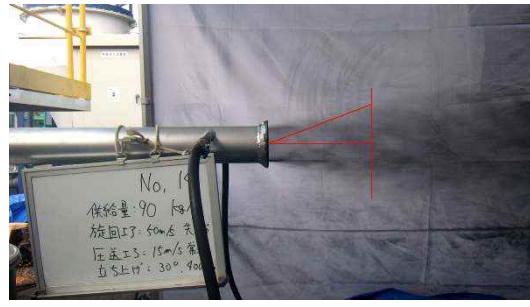


図 3.1.2-21 試験 No. 14 噴射角度

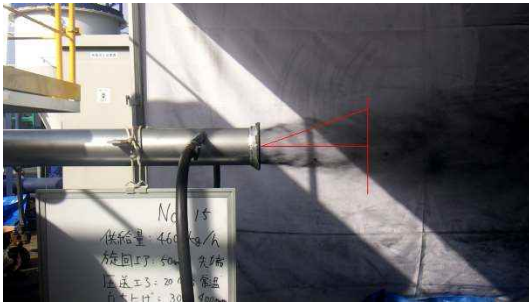


図 3.1.2-22 試験 No. 15 噴射角度

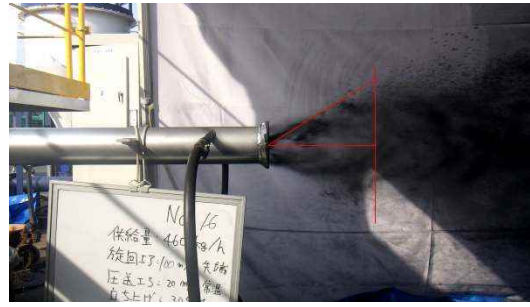


図 3.1.2-23 試験 No. 16 噴射角度

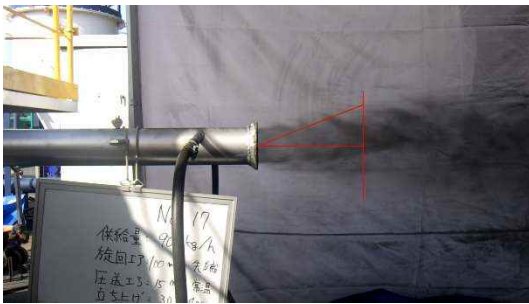


図 3.1.2-24 試験 No. 17 噴射角度

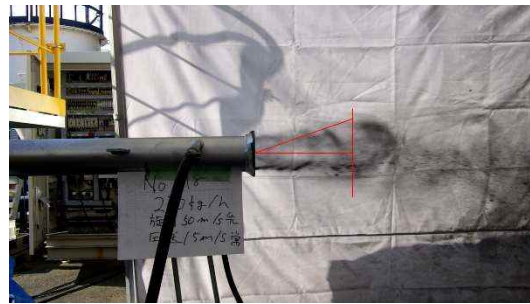


図 3.1.2-25 試験 No. 18 噴射角度

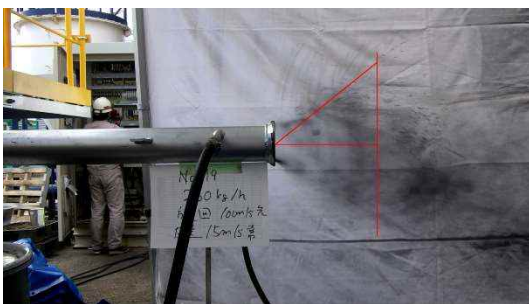


図 3.1.2-26 試験 No. 19 噴射角度

以下の図 3.1.2-27, 28 は各パラメータと噴射角度の相関性を評価するものである。横軸が各パラメータ、縦軸が噴射角度としてプロットしており、各パラメータによる噴射角度への影響が分かる。炭化燃料の噴射角度について分かったことを以下に示す。

- イ. 旋回エアは炭化燃料を強制的に吹き飛ばし、気層に分散させる。
- ロ. 圧送エアが常温で旋回エア速度が 100m/s の時、噴射角度はおよそ 60° であり、旋回エア速度が 50m/s の時、噴射角度はおよそ 40° である。(旋回エア速度 100m/s : 試験 No. 2, 4, 7, 8, 16、旋回エア速度 50m/s : 試験 No. 1, 3, 6, 14, 15, 16)
- ハ. 旋回エアを搬送ダクト上流から導入すると旋回エア速度が 100m/s であっても噴射角度は小さくなる。(試験 No. 9)
- ニ. 水平ダクトで圧送エアを熱風に変えると噴射角度は 10° 程度大きくなる。(試験 No. 1 と 10、2 と 11)

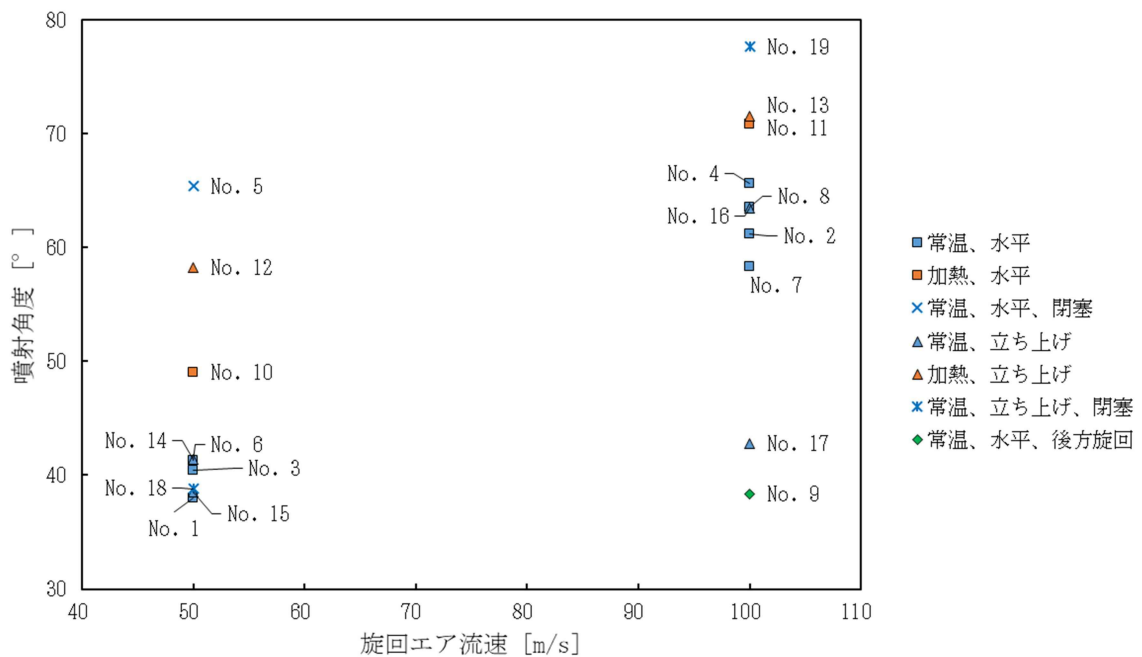


図 3.1.2-27 旋回エア流速と噴射角度の関係

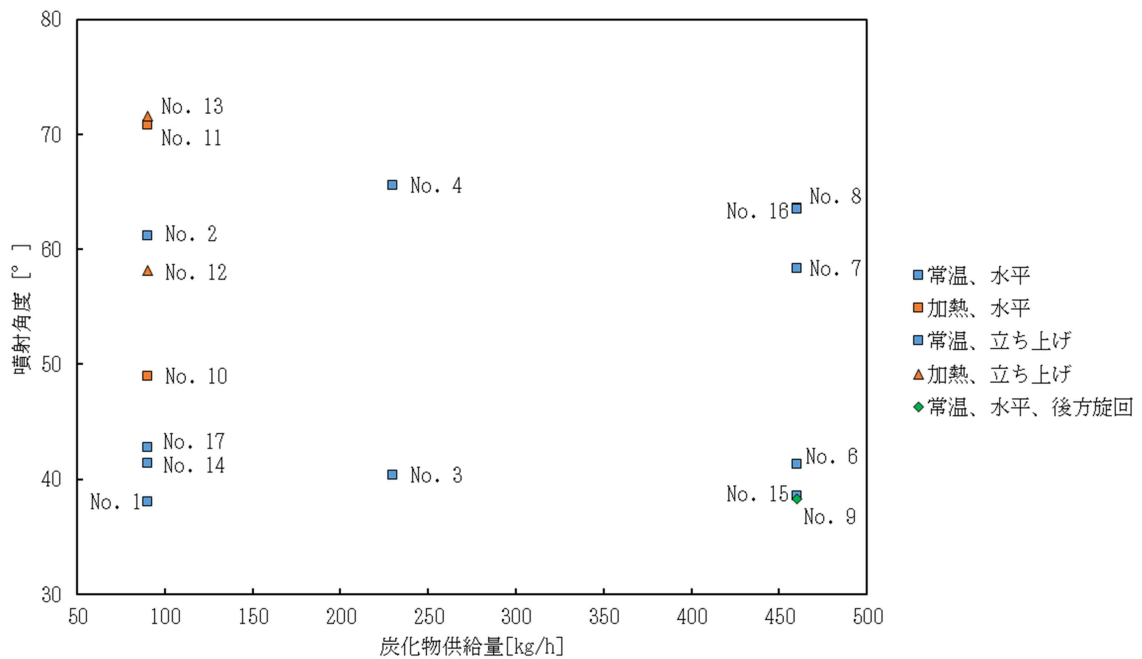


図 3.1.2-28 炭化物供給量と噴射角度の関係

e. Spraytec デモ機を用いて粒度分布の測定

以下の図 3.1.2-29 は各パラメータでの粒径と粒度分布の相関性を評価するものである。横軸が粒径、縦軸が頻度としてプロットしており、各パラメータによる頻度への影響が評価できる。図 3.1.2-29, 30 より、以下のことが分かった。

- イ. 熱風エア（試験 No. 24）を導入することにより粉碎した炭化燃料（試験 No. 25）と同様の粒度分布となる。粒径（ $600 \mu\text{m} \leq$ ）の炭化燃料はなくなり、粒径（ $150 \mu\text{m} \sim 600 \mu\text{m}$ ）の炭化燃料の割合が大きく減少する。

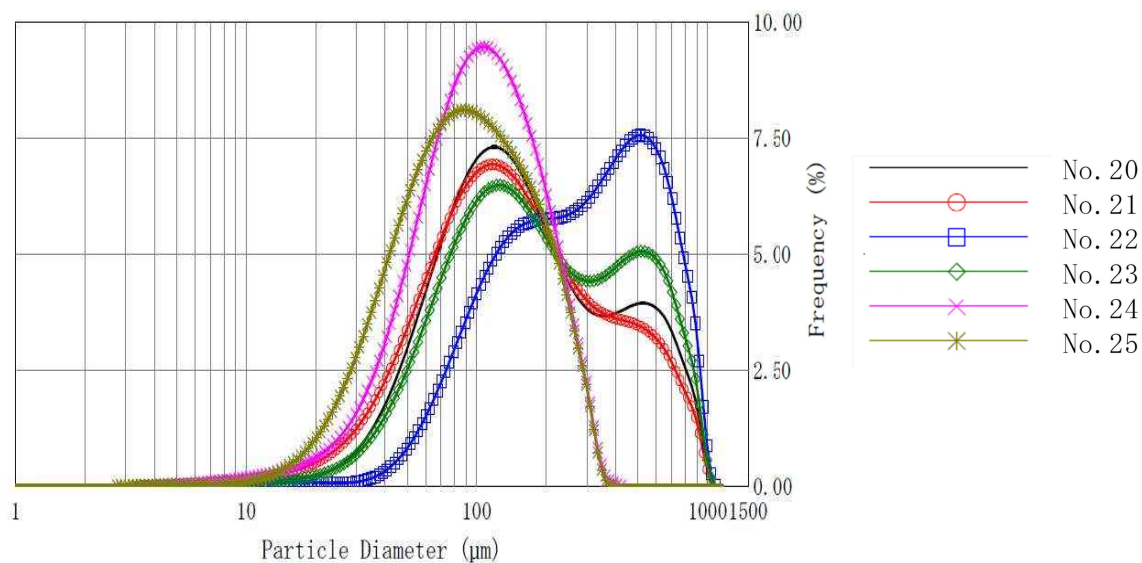


図 3.1.2-29 粒度分布測定結果（3分間平均）

試験No.	粒度分布 2.36mm<	粒度分布 1.18mm- 2.36mm	粒度分布 600 μ m- 1.18mm	粒度分布 150 μ m- 600 μ m	粒度分布 <150 μ m
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
No. 20	0.0	0.0	7.4	39.7	52.9
No. 21	0.0	0.0	6.0	38.5	55.5
No. 22	0.0	0.0	13.9	58.5	27.6
No. 23	0.0	0.0	9.4	44.4	46.2
No. 24	0.0	0.0	0.0	23.8	76.2
No. 25	0.0	0.0	0.0	21.4	78.6

図 3.1.2-30 粒度分布抜粋

混焼バーナ試験結果

以下の（図 3.1.2-31～図 3.1.2-41）に各試験条件のスロート内に残っている炭化燃料を示した画像を示す。



図 3.1.2-31 試験 No.1 残留物



図 3.1.2-32 試験 No.2 残留物



図 3.1.2-33 試験 No.3 残留物



図 3.1.2-34 試験 No.4 残留物



図 3.1.2-35 試験 No.5 残留物



図 3.1.2-36 試験 No.6 残留物



図 3.1.2-37 試験 No.7 残留物



図 3.1.2-38 試験 No.9 残留物



図 3.1.2-39 試験 No.10 残留物

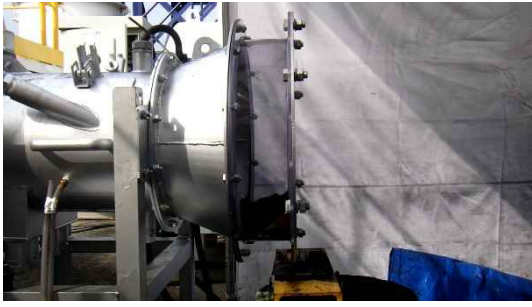


図 3.1.2-40 試験 No.11 残留物



図 3.1.2-41 試験 No.12 残留物

混焼バーナ試験で分かったことを以下に示す。

- イ. 旋回エアが 50m/s の場合、炭化燃料の噴射角度は 41° 以上広がらずに先端絞りの内径を直進し排出され、透明塩ビ配管内の残留物は少ない。
- ロ. バーナファン風量が $66.0\text{Nm}^3/\text{min}$ 以上の場合、透明塩ビ配管内の上流部の炭化燃料はバーナファンの風によって飛ばされて外に排出されていた。
- ハ. 旋回エアが 100m/s の場合、炭化燃料の噴射角度は 61° 以上広がり、先端絞りに当たって下に落ち、透明塩ビ配管内の残留物となっていた。先端絞り上部に当たった炭化燃料は先端絞りに付着して、ある程度成長してから落下していた。

(4) まとめ

試作機での搬送試験では新たに炭化燃料の粒度分布を小さくする為に、粉砕機で炭化燃料を粉砕することや圧送エアを熱風にすることで炭化燃料の搬送時に付着水分を減らすことが有効だと分かった。

混焼バーナ試験では旋回エアが 100m/s の場合に炭化燃料が先端絞りに当たり透明塩ビ配管内に溜まってしまっていた。混焼バーナの設計思想としてスロート内に発生したファイヤボールに炭化燃料を巻き込ませることを考えれば、先端絞りに当たる角度まで噴射角度を広げることが出来た。最終的には燃焼試験で判断する。

3.1.3 吹込バーナ

(1)試験目的

炭化燃料吹込バーナ(以下吹込バーナ)は既存の油バーナ火炎中に炭化燃料を吹き込むバーナである。本試験では、炭化燃料を噴射し各種パラメータを変化させて、配管内の閉塞や炭化燃料の噴射状態を評価する。本バーナ試験では、炭化燃料の広い噴射角度の実現や管内の閉塞に寄与するパラメータのデータ取得を目的とする。

また、吹込バーナの流動解析において、旋回エアを導入することで炭化燃料が比較的広角に偏流無く噴射することを確認している。この結果の整合性を本試験で確認する。

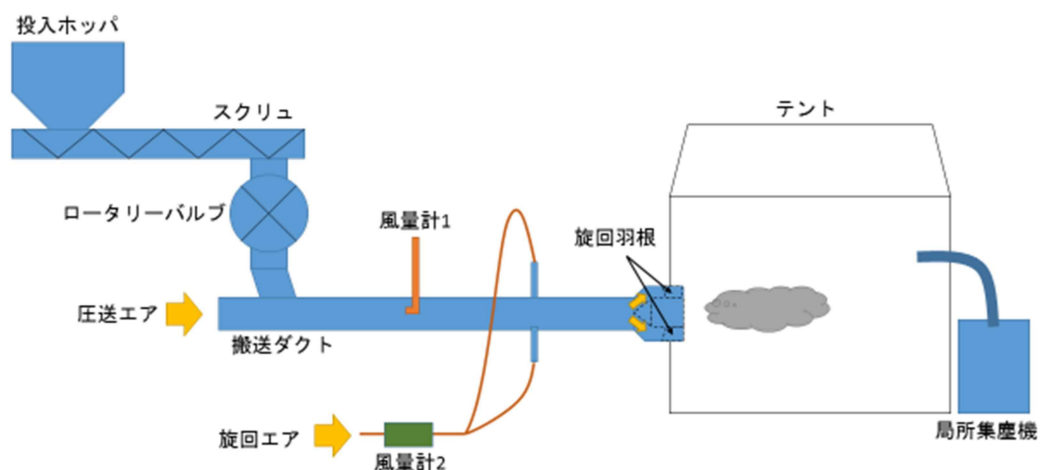


図 3.1.3-1 吹込バーナ試験模式図

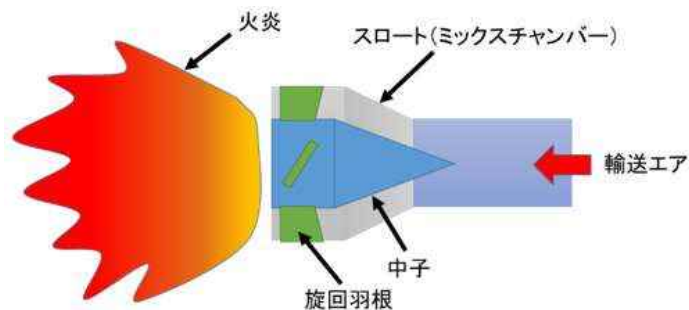


図 3.1.3-2 吹込バーナ模式図

(2) 試験内容、結果

吹込バーナ（図 3.3.1-1, 2, 3）は前記の混焼バーナの部品の一部（搬送ダクト）を用いて、先端の旋回羽根ダクトとテーパダクトで構成している。旋回羽根ダクトは内部に角度をつけた羽根が複数枚設置されており、搬送ダクトから流れてきた風や炭化燃料の流れ方向を変えて、吹込バーナ出口にて旋回させる。テーパダクト内部には炭化燃料の付着を防ぎ、分散させるために円錐形の中子が設置されている。



図 3.1.3-3 吹込バーナ外観写真



図 3.1.3-4 旋回羽根写真



図 3.1.3-5 旋回羽根無し写真

試験パラメータは炭化燃料供給量[kg/h]、圧送エア風速[m/s]、旋回エア風速[m/s]、旋回羽根の有無、出口エア温度[°C]である。表 3.1.3-1 に試験条件を示す。

表 3.1.3-1 吹込バーナ試験条件

試験No.	炭化燃料供給量	炭化燃料粉砕の有無	搬送ダクト水平部長さ	圧送エア風速	圧送風量	固気比	旋回羽根の有無	旋回エア風速	出口エア温度	搬送ダクト立ち上げ角度	搬送ダクト立ち上げ部長さ
	[kg/h]	[-]	[mm]	[m/s]	[Nm ³ /min]	[-]	[-]	[m/s]	[°C]	[°]	[mm]
No. 1	90	なし	1856	14	4.3	0.26	有	0	10	0	0
No. 2	90	なし	1856	14	4.3	0.26	有	100	10	0	0
No. 3	90	なし	1856	15	4.6	0.24	有	100	10	0	0
No. 4	90	なし	1856	18	5.5	0.20	有	0	10	0	0
No. 5	90	なし	1856	15	4.6	0.24	なし	0	10	0	0
No. 6	90	なし	1856	15	4.6	0.24	なし	100	10	0	0
No. 7	90	なし	1856	20	6.1	0.18	なし	0	10	0	0
No. 8	90	なし	1856	15	4.6	0.19	有	0	80	0	0
No. 9	90	なし	1856	15	4.6	0.19	有	100	80	0	0
No. 10	90	なし	1856	15	4.6	0.19	なし	0	80	0	0
No. 11	90	なし	1856	15	4.6	0.19	なし	100	80	0	0
No. 12	230	なし	1856	15	4.6	0.62	有	0	10	0	0
No. 13	230	なし	1856	15	4.6	0.62	有	100	10	0	0
No. 14	90	なし	1462	15	4.6	0.24	有	0	10	30	400
No. 15	90	なし	1462	15	4.6	0.24	有	100	10	30	400
No. 16	90	有	1856	15	4.6	0.24	有	0	10	0	0
No. 17	90	有	1856	15	4.6	0.24	有	100	10	0	0
No. 18	90	なし	1856	20	6.1	0.18	有	0	10	0	0
No. 19	90	なし	1856	25	7.7	0.15	有	0	10	0	0

それぞれの試験パラメータによる効果を以下に示す。

a. 旋回エア

搬送ダクトが水平の場合、旋回エアを導入することにより、管底流が無くなり、炭化燃料は広角に偏流が小さく噴射された（図 3.1.3-6）。一方で、旋回エアを導入していない条件（図 3.1.3-7，図 3.1.3-8）では噴出する炭化燃料の偏りが見られた。試験 No. 4（図 3.1.3-8）は分散されているように見られるが、管底流が旋回羽根により奥側に向けられているため、炭化燃料の偏流がある。これは燃焼解析の結果と一致する。

以上より、搬送ダクトが水平である場合、吹込バーナにおいて炭化燃料を広角に偏流無く噴射するためには旋回エアが必要である。



図 3.1.3-6 試験 No. 3（旋回エア有）



図 3.1.3-7 試験 No. 1（旋回エア無） 図 3.1.3-8 試験 No. 4（旋回エア無）

b. 搬送ダクト立ち上げの有無

搬送ダクトを立ち上げた場合、旋回エアを導入しない条件（試験 No. 14）においても拡散した状態で噴射された（図 3.1.3-15）。これは、搬送ダクトを立ち上げたことにより、炭化燃料が浮遊した状態で中子、旋回羽根まで搬送されたため

であると考えられる。これは空気搬送予備試験で、搬送ダクトを立ち上げた場合に、搬送ダクトが水平である場合よりも噴射角度が小さくなった結果と合致する。

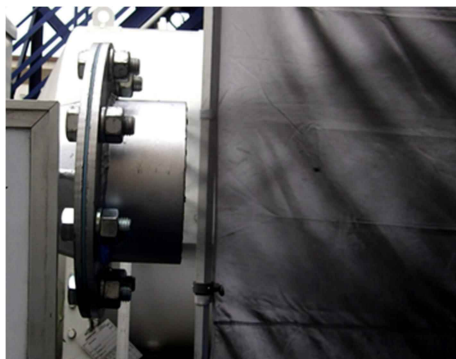


図 3.1.3-15 試験 No. 14 (旋回エア無)

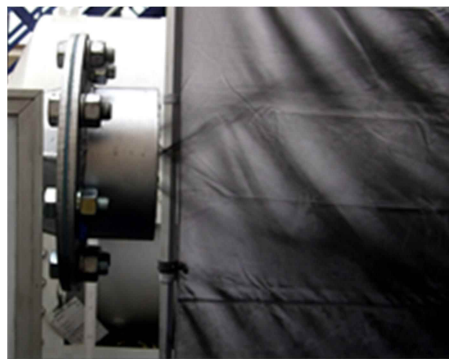


図 3.1.3-16 試験 No. 15 (旋回エア有)

c. 旋回羽根の有無

No. 3 (旋回羽根有り) と No. 6 (旋回羽根無し) を比較すると、No. 3 の方が炭化燃料は放射状に広がっており、旋回羽根の効果で分散された状態で炭化燃料は噴射されている。旋回羽根は炭化燃料の拡散に寄与している。

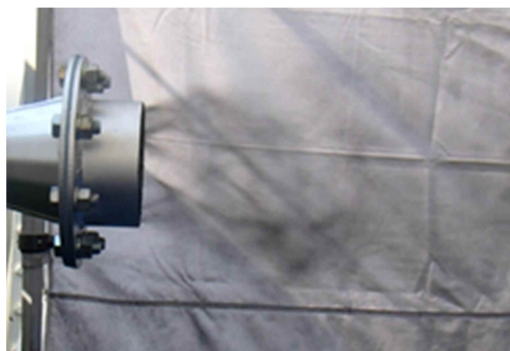


図 3.1.3-6 試験 No. 3 (旋回羽根有)

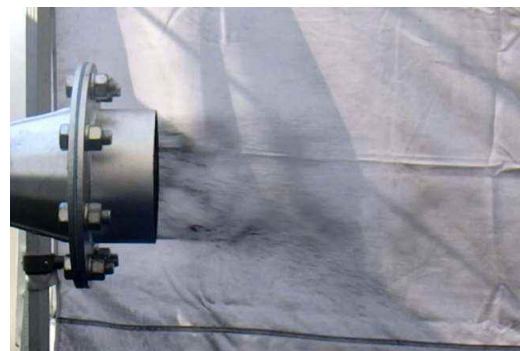


図 3.1.3-9 試験 No. 6 (旋回羽根無)

d. 出口エア温度

圧送エア温度を高くし、旋回エアを導入しない条件 (No. 8) において、炭化燃料の輸送状態は管底流のままで偏流した状態で噴射されていたが、圧送エア温度が常温である場合 (No. 1) と比較して分散されていることが確認された。

圧送エア温度を高くし、旋回エアを導入する条件 (No. 9) では、圧送エアが常温である場合 (No. 3) と比較して、拡散状態がさらに良好になった。



図 3.1.3-11 試験 No. 8



図 3.1.3-12 試験 No. 9

e. 圧送エア風速

炭化燃料供給量 90 kg/g において圧送エア風速を 25 m/s まで増大させた条件 (No. 19) において、炭化燃料の輸送状態は管底流となり偏流した状態で噴射された。

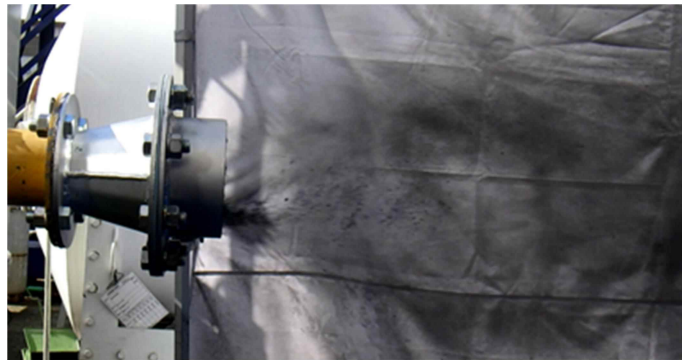


図 3.1.3-19 試験 No. 19

f. 炭化燃料粉碎加工の有無

(No. 16, No. 17) において、粉碎加工した炭化燃料を噴射した。炭化燃料の粒径が小さいため、巡回エアを導入せずに輸送状態が管底流ではなく均一流になることが期待された。しかしながら、巡回エアを導入しない条件 (No. 16) では管底流が形成され偏流して噴射された (図 3.1.3-17)。

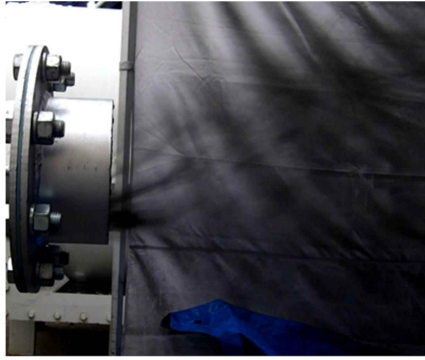


図 3.1.3-17 試験 No. 16

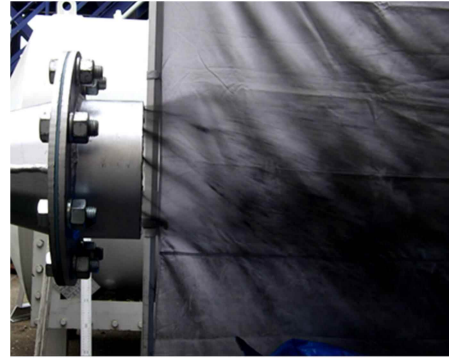


図 3.1.3-18 試験 No. 17

吹込バーナで炭化燃料の燃料率を向上させるためには、高温領域での炭化燃料の滞留時間を長くすることと、炭化燃料の分散状態が重要であると推測される。

搬送ダクトが水平である場合、旋回風量導入することにより、炭化燃料の拡散状態は良好になる。一方で、搬送ダクトを立ち上げた場合、旋回エアを導入しない場合にも炭化燃料が拡散して噴射した。

来年度の燃焼試験において、分散状態の違いによる燃焼率の変化を確認する。

5 章参考文献

[1] 広田 健：粉粒体の空気輸送：56：1984

[2] 富田侑嗣、原田周作：固気二相流の流動様式と流れの可視化：158：2000