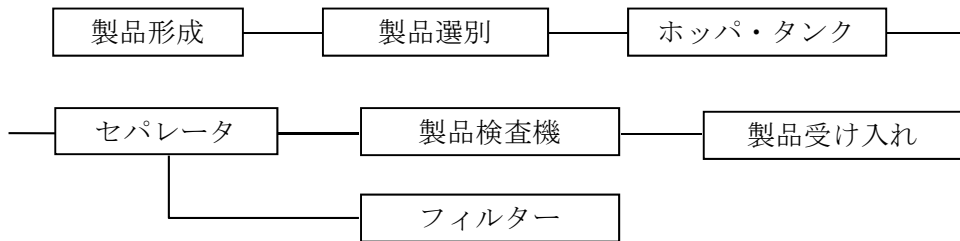


微粉分離用セパレータの除去率向上

会社名：日本ゼオン株式会社
所属：生産革新センター ZΣ 推進部
氏名：森下 敏

1. 工程の概要

本工程は或る製品形成後から製品受け入れまでの過程を示している。製品形成以降、基本的な製品形状、製品特性は変わらない。化学プラントであることから、工程間の途中経路は配管等で繋がれ次工程へと製品を輸送している。



2. テーマの背景

製品特性 Ap 異常を工程の中で未然に検知・排除するため、インラインの“製品検査機”を導入したさなか、各工程間で副次的に発生する微粉によって、製品検査機が粉まみれとなり動作不能に陥った。応急処置として“ホッパ・タンク”から“製品受け入れ”へとバイパスさせ生産しているが、製品特性 Ap 異常は一度起きると被害額が大きい工程異常であるため、早期解決が望まれる重点課題と位置付けられている。

3. テーマの解析方法

3-1. 現状把握

製品検査機が動作不能となったプラントは PL1 である。一方で、問題となっていない類似プラント PL2 が存在する。両者のプラントの違いを把握するために、プラント別・工程間での微粉の発生状況を調べた (図 1)。

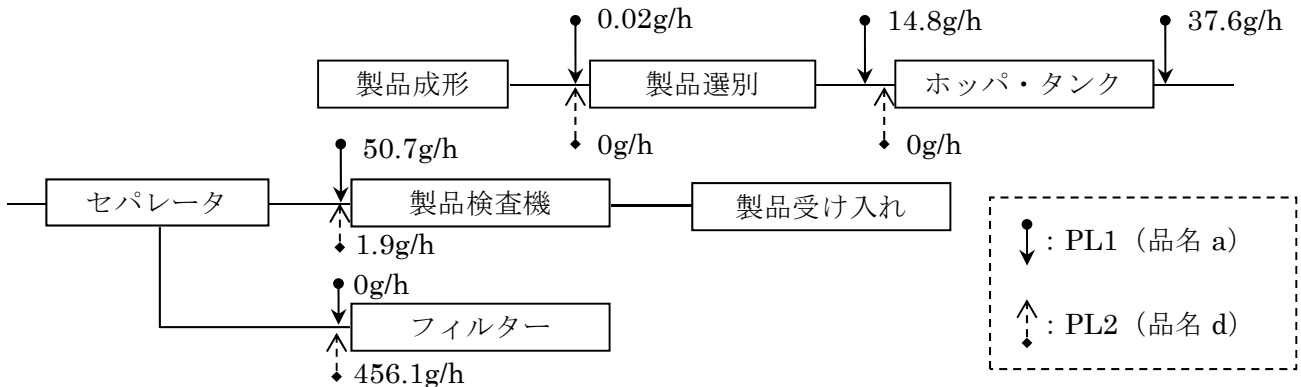


図 1 プラント別・工程間での微粉発生量の比較

微粉の発生状況より PL1 における“フィルター”での微粉捕捉量が 0g/h であることが分かり、微粉を除去する目的で設置していたセパレータがまったく機能していないことが分かった。PL1 では製品検査機へ 50.7g/h (工程ごとの累計) の微粉が混入しているのに対し、問題となっていない PL2 では製品検査機への微粉混入量は 1.9g/h であることが確認された。

品名別での影響を把握するために、主要品名 a~d における微粉の粒径分布を比較したものが図 2 である。縦軸は個数頻度である。粉の分布の傾向として、最大・最小の粒径サイズはどの品名・工程においてもおおよそ一致している。また、個数頻度の高い粒径サイズも一致していることから、粉自体のプラント間、工程間、品名間の影響は小さく、PL1 では PL2 相当の除去率を目指せばよいことがわかる。

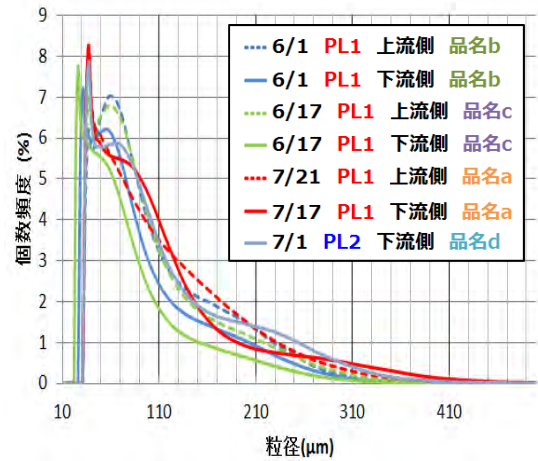


図 2 各条件下での微粉の粒径分布

図 2 各条件下での微粉の粒径分布。縦軸は個数頻度である。粉の分布の傾向として、最大・最小の粒径サイズはどの品名・工程においてもおおよそ一致している。また、個数頻度の高い粒径サイズも一致していることから、粉自体のプラント間、工程間、品名間の影響は小さく、PL1 では PL2 相当の除去率を目指せばよいことがわかる。

3-2. 目標設定

PL1 における製品検査機に入る微粉の量を PL2 相当まで減らすことを目標値とする。製品検査機に入る微粉の量を 50.7g/h ⇒ 1.9g/h まで減らす。除去率に換算すると、97%が目標値となる。

$$\text{除去率} = \frac{\text{フィルター側での回収粉量}}{\text{フィルター側での回収粉} + \text{検査機側の粉量}} \times 100[\%]$$

3-3. 要因解析

PL1 セパレータが機能していないことを受けて、セパレータ内の流体现象を CAE にて解析した結果、明らかに粉が内部で滞留しやすい構造的欠陥があることが判明した。そこで、問題のない PL2 セパレータのスケールアップを想定した上で、「PL2 では高い除去率を達成しているのに PL1 では除去率が低いのは何故か」を問題事象とする連関図を展開した。図中にバツと示されている部分は、CAE や現場観察から明らかとなった事項である。他の要因の事前検証として、太枠で囲んでいる要因について試作実験を想定した CAE での L32 直交配列実験を追加実施した。特に、“気流の向き”に影響する流入配管取付け位置に関しては実機で水準変更は困難であるため、4 水準を設定し、最適水準の選定を図った。

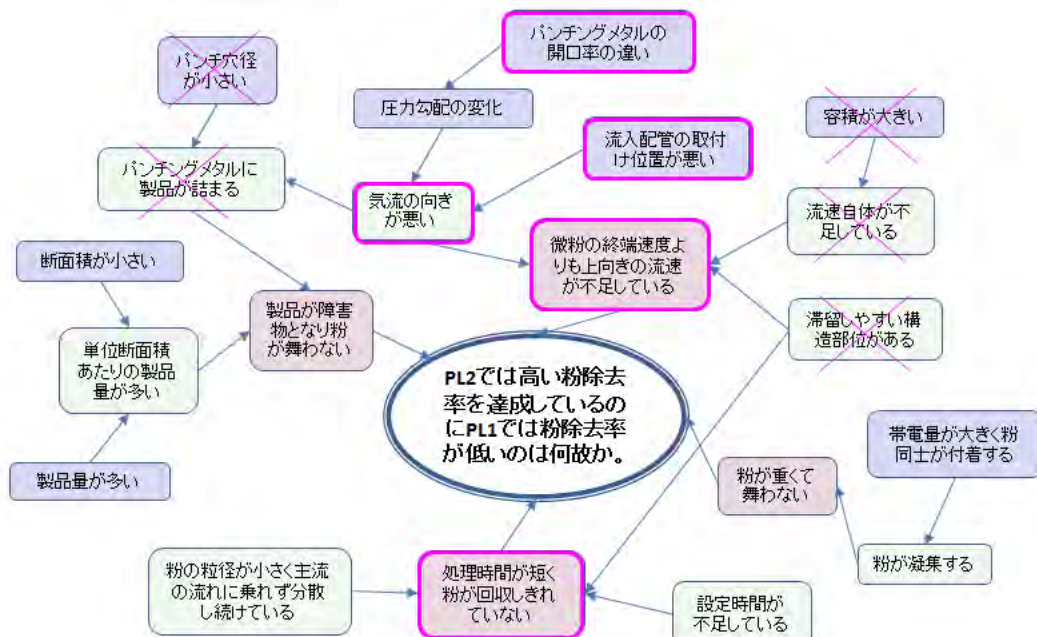


図 3 微粉除去率が低いのは何故かという事象で展開した連関図

4. CAE を活用した要因の検証

直交実験に利用した因子とその水準設定および利用した線点図を表 1、図 4 に示す。特性値は除去率であるため、ロジット変換を実施した上で分散分析を行った。得られた結果を表 2 に示す。除去率に影響のある主効果は A：風速、C：処理時間、D：粒径の 3 因子となったが、単独因子で影響がなくても交互作用で有意となり、残りの 2 因子も除去率に影響していることを確認した。続いて、図 5 に示す推定値プロットより最適水準を求めていく。DF において D1, D2 は共に微粉を取れるようにしたいため、F4 が最適水準となる。AF においては F4 が良い条件となるのは A2 となる。AB においては A2 が良い条件となるのは B1 である。最後に BC において B1 が良い条件となるのは C2 であり、これより最適条件は A2B1C2F4 であると求められた。

表 1 因子と水準設定

因子	水準			
	1	2	3	4
A: 風速	25	40	—	—
B: パンチング	タイプ 1	タイプ 2	—	—
C: 処理時間	20 秒	60 秒	—	—
D: 微粉粒径	20 μ m	200 μ m	—	—
F: 投入口位置	100 上	Nomal	100 下	200 下

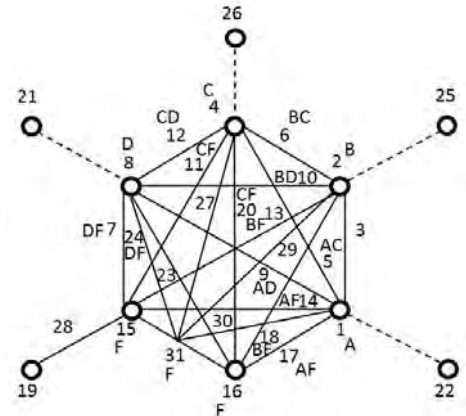
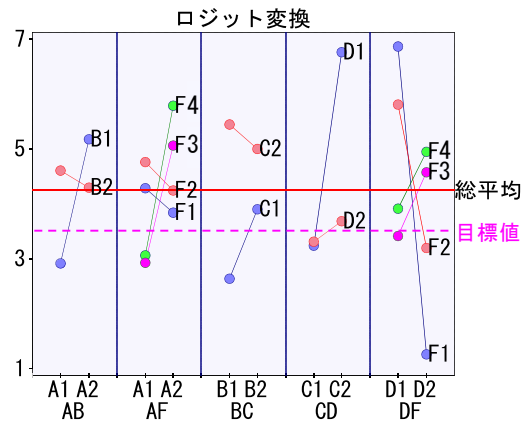


図 4 利用した線点図

表 2 分散分析結果 (プーリング済)

[検定結果] **:1%有意 *:5%有意 空白:有意差なし

No	要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P値(上側)
1	A:風速	7.5724	1	7.5724	6.564	*	0.023
2	B:パンチ	1.3181	1	1.3181	1.143		0.303
3	C:処理時間	30.417	1	30.417	26.367	**	0
4	D:粒径	18.081	1	18.081	15.674	**	0.001
5	F:投入口位置	1.5782	3	0.5261	0.456		0.717
6	AB	13.235	1	13.235	11.473	**	0.004
7	BC	5.8394	1	5.8394	5.062	*	0.041
8	DF	62.884	3	20.961	18.171	**	0
9	BD	3.2199	1	3.2199	2.791		0.117
10	CD	19.851	1	19.851	17.208	**	0.001
11	AF	17.232	3	5.744	4.979	*	0.015
12	誤差	16.15	14	1.1536			
13	計	197.38	31				



⇒求められた最適条件 A2B1C2F4

図 5 推定値プロット

5. テスト設備での要因検証

5-1. 乱塊法による 3 因子実験

図 3 の要因解析において CAE では検証のできなかったその他の要因も含め、テスト設備にて試作実験を実施した。実験では日間をブロック因子とした乱塊法の 3 因子実験とした。設定した因子と水準については表 3 に示すとおりである。風速とパンチングメタルの関係は図 5 の AB の結果に示されるように、組み合わせによっては除去率が逆転しているため、再度因子に取り上げた。また CAE では検討できていない粉と製品を同伴させた際の影響を見るため、3 つ目の因子 C: 製品量 (同伴させる量) を取り入れた。

実験の結果を図 6 に示す。ここで、図にあるように追加の実験として、現状把握での品名差の影響は小さいと判断したことを確認するために、品名 B を 1 日目と 2 日目の最後に追加したこと、また全水準では水準設定が困難であるが実操業に近い条件である C：製品量を 40 とした場合の追加実験をおこなっている。しかしながら、追加で実施した実験からは品名を変えても、また同伴する製品量を増大させても除去率に大きな影響として見られなかった。グラフの結果からは最適条件の候補は A2B1C2 か A2B2C2 であることが分かる。以降、分散分析をおこない各因子・因子同士の影響について解析していく。

表 3 因子と水準設定

因子		水準	
		1	2
R:	反復	1 日目, 2 日目	
A:	風速	25	40
B:	パンチング	タイプ 1	タイプ 2
C:	製品量	0	10

粉投入量：10g

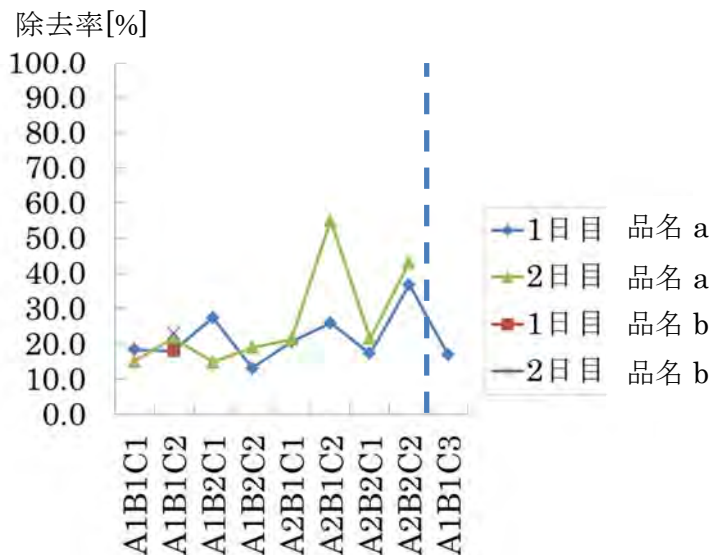


図 6 結果のグラフ化

分散分析表（表 4）の結果をみると、影響があると予測していた B：パンチングメタルはプーリングされ、除去率に影響のある主効果は A：風速と C：製品量であり、交互作用 AC も確認された。主効果 B がプーリングされたことについて、A2B1C2 の 2 日目の結果は 1 日目やその他の水準と比べてかい離が大きく、その影響で誤差分散を大きくしたことが原因かをチェックするため、該当値を総平均値に置き換え確認したが結果は変わらなかった。そのため、主効果 B のプーリングは適当であると判断した。

表 4 試作実験での分散分析表（プーリング済）

No	要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P 値 (上側)
1	A:A	552.3675	1	552.3675	11.108	**	0.006
2	C:C	360.5252	1	360.5252	7.250	*	0.020
3	AC	437.5418	1	437.5418	8.799	*	0.012
4	誤差	RABC	596.7149	12	49.7262		
5	計	1947.1494	15				

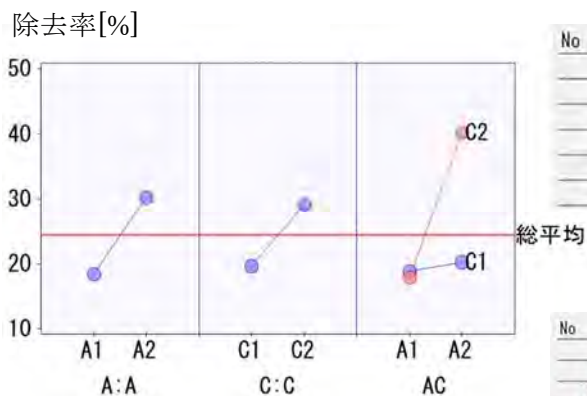


図 7 3 因子実験での推定値プロット

表 5 各水準組み合わせの推定値

No	A	C	母平均	信頼区間		幅	予測区間	
				下限(95%)	上限(95%)		下限(95%)	上限(95%)
1	A1	C1	18.963	11.2804	26.6446	7.6821	1.7847	36.1403
2	A1	C2	win 17.997	10.3154	25.6796	7.6821	0.8197	35.1753
3	A2	C1	20.255	12.5729	27.9371	7.6821	3.0772	37.4328
4	A2	C2	max 40.207	32.5254	47.8896	7.6821	23.0297	57.3853

図7の推定値プロットから分かるように、A：風速は大きい方が除去率は高く、またCの結果より製品と一緒に同伴させた方が除去率が高くなる結果となった。最適水準はA2C2と求められる中、表5の推定値を確認すると推定平均除去率は40%程度と目標値の97%に遠く及ばない結果となった。

5-2. 試作実験結果を受けた除去率が低いことの要因解析

試作実験で除去率が引くなった要因解析を図8に示す特性要因図を使って4Mで洗い出した。その結果、丸印をつけている「セパレータ内の付着」はPL2実機と比べて明らかに多いことが確認された。図9は試作実験における粉の所在について、各水準データの平均を取り割合で示したものである。粉の除去率は回収粉と未回収粉との割合から求められるものであったが、セパレータ内の付着や不明粉量が多いとそれらがそのまま回収不能となるのか回収可能となるのか分からない。不明粉については対策を打つことは難しいが、セパレータ内の付着が多いことに関しては手を打つことが可能である。セパレータ内の付着が多くなったのにはいくつかの理由が挙げられるが、特性要因図に挙げている粉/製品の比率が実機に比べて高く製品での自浄が十分ではない点や除電対策が不十分な点などが挙げられる。前者はセパレータ壁面に粉が付着しても一緒に同伴される製品によって自浄されることを踏まえた考えである。除電対策を含めて、三角印が付いている部分に関しては個々の影響を確認することが難しいため、再試験ではそれら全ての対策を施した実験をおこなう。

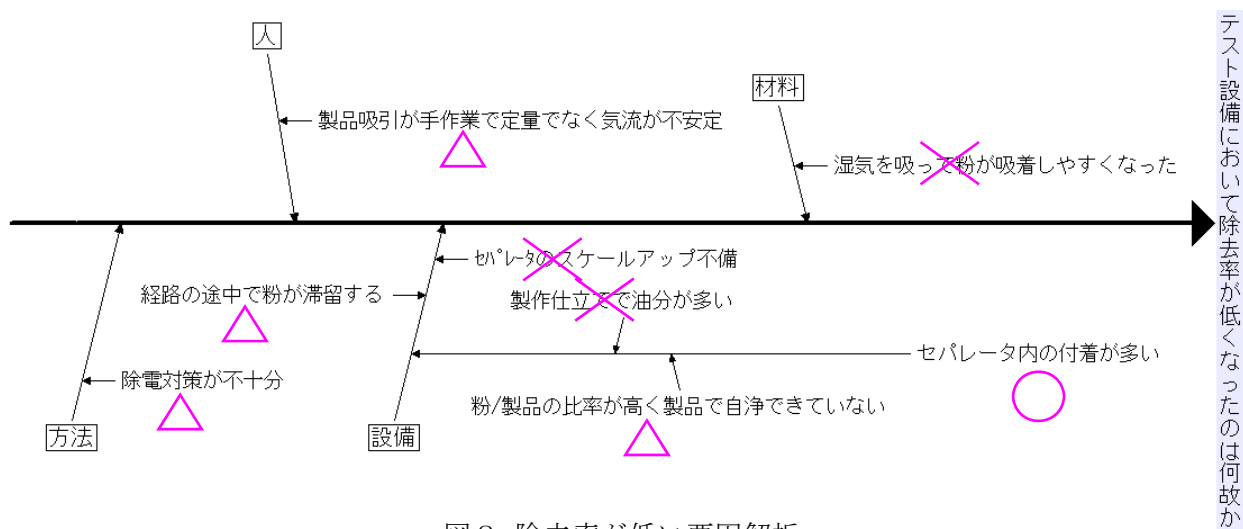


図8 除去率が低い要因解析

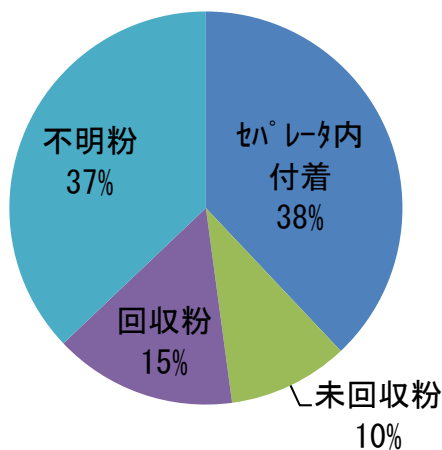


図9 試作実験における粉の所在を分析

5-3. 除去率を低下させない対策を取り入れた再試験

5-1 で得られた最適水準 A2C2 をベースにテスト設備で除去率が低くなった要因を全て設備に反映させた追加試験を実施した。粉/製品の比率については粉の量を大きく減らし、より実機に近い 1/10 の量まで減らした。これにより、1 回の試験においてこれまで投入していた粉の量は 10g から 1g となった。しかし、1 回の試験において 1g の粉から各箇所を粉を回収するのは計測上困難であることから、連続的に 10 回実施した後に（粉の投入総計は 10g となる）開放して除去率を求めた。これに加えてこれまでと同じやり方となる粉 10g の実験も 2 回実施した。

再試験における結果を表 7 および図 10 に示す。粉 10g と粉 1g とで除去率に明確な差は見られなかったが、考えられる要因を設備に反映したことで除去率の総平均値は 81.9% と大きく改善が見られた。粉の所在について分析した図 11 の結果を見るとセパレータ内の付着は減り、回収粉の割合が増えていることが確認できる。一方で、目標とする除去率には今一步届いてなく、不明粉とセパレータ内付着と合わせると投入した全粉の 4 割を占めているのが現状となる。しかしながらテスト設備での改良にはこれ以上は限界があることから今後は本セパレータを実機に取り付けることを検討していく。

表 6 再試験における条件

粉量	条件
10g	実験回数 2 回
1g	連続 10 回実施してから開放して除去率を測定

表 7 再試験結果表

	除去率	
	粉 10g	粉 1g
1 回目	86.0%	81.7%
2 回目	77.9%	—
平均値	81.95%	—

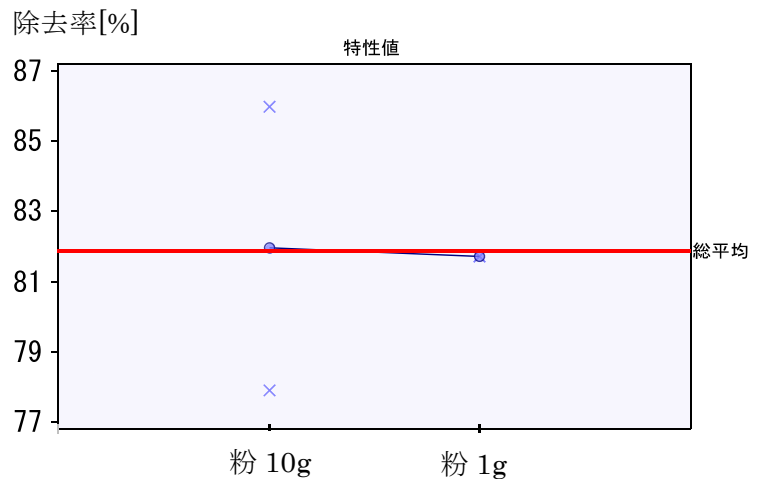


図 10 再試験結果のプロット図

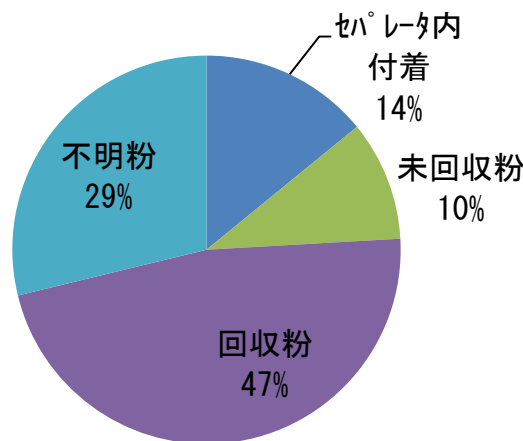


図 11 再試験における粉の所在を分析

6. 今後の取り組み

除去率は設定した目標値に届いていないが、粉自体は後工程で回収されるようになっていることから品質管理上の問題はなく、実際問題としては品名を切り替えるまでの間、つまり生産の途中で製品検査機が止まらなければよい。今回の取り組みによって、PL2セパレータのスケールアップだけで多額の高性能設備を新たに導入する必要なく粉の除去に効果がありそうであることが分かった事が収穫となった。化学プラントは上流から下流まで配管で繋がっていることから、生産が計画されている間は配管や設備の改造をおこなうことはできず、今後はプラントが計画停止するスケジュールに合わせて改良セパレータを設置する工事をおこない、効果の確認をおこなっていく。

参考文献

永田靖 (2016) 『品質管理セミナー・ベーシックコース・テキスト 実験計画法』 日本科学技術連盟

永田靖 (2016) 『品質管理セミナー・ベーシックコース・テキスト 分散分析』 日本科学技術連盟

解析ソフト

JUSE-StatWorks/V5

株式会社 日本科学技術研修所

本著作物は原著作者の許可を得て、株式会社日本科学技術研修所（以下弊社）が掲載しています。本著作物の著作権については、制作した原著作者に帰属します。

原著作者および弊社の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>