

技 術 論 文

ゴム再生工場における オイルミスト除去装置用インパクトの評価

Evaluation of Impactor for Oil Mist Removal Device in Rubber Recycling Factory



技術開発センター
第四開発室 技師
水上 義之
Yoshiyuki Mizukami

技術開発センター
第四開発室 技師
牧野 尚
Takashi Makino

技術開発センター
第四開発室 リーダー
博士(工学) 山本 清司
Kiyoshi Yamamoto

要 旨

ゴム再生工場は臭気問題を始めとする幾つかの問題を抱えながら稼働している。これら課題に関して、弊社は臭気の原因となっているオイルミスト対策の依頼を受け、オイルミスト除去装置の開発を進めている状況である。オイルミストを除去する手法として新たな機構を検討する中で、今回、我々はインパクト機構に着目した。インパクト機構は駆動部や消耗品が少なく、メンテナンス性に優れていることから、安定したオイルミスト除去性能を長期間に亘り維持できることが期待されている。そこで、現地工場内でインパクト機構を採用した様々な実証試験を実施した。試験結果から、インパクト機構にはオイルミスト除去効果があることが示された。特に通過風速が 15.0～20.0m/s の領域で、圧力損失が約 500Pa においてオイルミスト除去率が 80%前後となった。本稿ではインパクト機構の成果と今後の展望を報告すると共に、その他の検証結果についても提示する。

Abstract:

Rubber recycling factories are operating with several problems, including odor troubles. With regard to these issues, FUJICO has received a request to take measures against oil mist with odors and is currently developing an oil mist removal device. While considering a new mechanism for removing oil mist, we focused on the impactor mechanism. The impactor method has few driving parts and consumables, and is easy to maintain, so it is expected to have stable oil mist removal performance over a long period of time. Therefore, we conducted various demonstration tests using the impactor device at the customer's rubber factory. Field test results showed that the impactor mechanism is effective in removing oil mist. In particular, when the passing wind speed range was between 15.0 to 20.0 m/s, the oil mist removal rate was around 80% at a pressure loss of approximately 500 Pa. This paper reports on the results and future prospects of the impactor mechanism, and also presents other experimental results regarding this technology.

1. 緒言

本報におけるゴム再生工場はその名の通り、古くなり廃棄されたゴムを再生し再利用することを目的とした工場である。ゴムの再生工場自体は多くないものの、昨今のサステナブル社会においては重要な産業分野である。¹⁾ しかしながら、ゴム再生工場では、ゴム

を再生する工程で主に以下の3つの課題が絶えず発生している。第1の課題は臭気であり、あらゆる工場に当てはまるが工場内から外部に臭気が漏れ出ることによって近隣住民からのクレームに繋がっている。^{2,3)} 第2は環境問題であり、ゴム再生過程で排出される排水やオイル、廃棄物が環境へ悪影響を及ぼすことが懸念され

ている。第3の課題は健康問題であるが、工場内で作業する従業員への影響である。粉塵による塵肺被害や溶剤等の化学物質が人体に悪影響を与えるため、当然ながら企業及び工場としてはそれぞれの対応が必須課題となる。

これらの課題対応のため、このゴム再生工場では過去にフィルター方式やスクラバー方式を弊社品である脱臭装置(Fig.1)を含めて採用して来ている。しかし、オイルミスト以外に粉塵も多く含まれていたため、短時間でフィルターが目詰まりを起し、高頻度でのフィルター交換が必要とされていた。そこで、今回は脱油装置の性能向上を弊社に依頼された。



Fig.1 Deodorization and degreasing system.

一般的なオイルカットの手法として、フィルター式、静電式、スクラバー式、慣性衝突式、遠心分離式が挙げられる。⁴⁾ フィルター式は最も簡易な方式であり、オイルミストの条件に合わせてフィルターの仕様を変更することで除去性能を向上させることが可能である。例として、疎水性の不織布フィルターを採用したり、HEPA 相当の目の細かいフィルターを選定したりすることでオイルカット性能を向上させることができると考えられる。しかしながら、フィルター方式の問題として、使用していくにつれてフィルターが詰まり、圧力損失が増加する点や表面に油分が付着することで除去性能が低下する点が懸念される。

静電式は、高電圧を使用してオイルミスト粒子を帯電させ、帯電した粒子を収集板に引き寄せさせる方法である。メリットは、高効率な除去性能を示すことである。一方、デメリットとして、高額な初期コストや、電極等の汚れや劣化の恐れにより、高頻度でのメンテナンスが必要となる点が挙げられる。また高電圧のリスクがあるため、使用環境に制限を設けられることも多い。

スクラバー式は、液体を使用してオイルミスト粒子を捕集する装置であり、オイルミストがガスまたはエアフローと接触すると、スクラバー内の液体に吸収され粒子が取り除かれる技術である。この装置は化学薬品を使用しないため、環境負荷が少ない点及び一般的に大きな粒子に適していることが特徴である。一方、微細粒子には効果が制限されることや、装置が大型になるため設置場所に制約を受ける点が課題である。

遠心分離式は、高速回転を利用してオイルミストを物理的に分離するため、高い分離効率を提供し、微細

なオイルミスト粒子も効果的に捕集できる。デメリットとしては、初期コストが高額になる点や回転部品の交換や清掃の定期メンテナンスが必要な点、騒音、振動を発生する恐れがある点が挙げられる。

このような技術的背景がある中で、新規オイルカット技術の開発過程において、我々はインパクト機構というものに着目した。インパクト機構は慣性衝突式に分類される手法である。具体的にいえば、排気口付近でガス流路を急速に絞り、通過風速を大幅に上げて壁面に衝突・付着させて空気中のオイルを除去する、という方式である。^{5,6)} この機構の大きな特長はメンテナンス性に非常に優れている点である。これは、駆動部が少ないこと、時間経過とともに目詰まり等で性能低下を引き起こすフィルターを使用しないことによる。

本報ではこの機構を採用して、ゴム再生工場内で実施している実証試験から有意な成果が得られたため、試験結果と今後の展望について報告する。

2. 実験方法

2.1 インパクト試験 (Impactor A)

本報における標準条件を Table 1 にまとめて示す。

Table 1 Standard conditions

	Inlet	Impactor		
		A	B	C
Velocity [m/s]	1.0	14.8	14.8	6.6
Duct diameter [m]	0.077	0.020	0.020	0.030
Air volume [m ³ /min]		0.28		
Nonwoven fabric filter	-	×	○	○

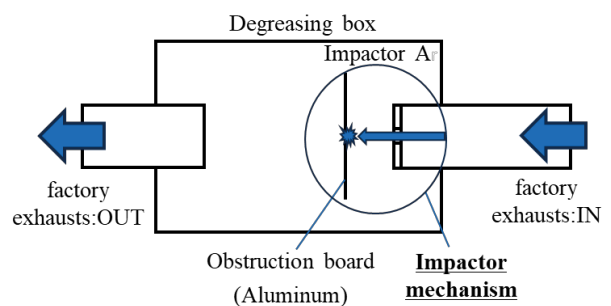


Fig.2 Diagram of impactor A without nonwoven fabric filter.

ゴム再生工場外壁に隣接する形で試験装置を設置し、工場内のオイルミストを発生する装置専用の排気ダクトより塩ビダクト(内径 0.077m)を用いて排ガスを試験装置(Fig. 2)に風速 1.0m/s で供給する。塩ビダクトの内径は、試験装置入口部(インパクト部)で 0.020m に絞られる。インパクト部で加速されたミストガスをアルミ製の邪魔板に衝突させて、ガス中からオイルミ

トと粉塵の除去を試みる。入口部のオイルミスト量とインパクト後方のオイルミスト量の測定値からインパクトにおける除去率を算出する。

インパクトAは本報における標準条件であり、邪魔板表面には不織布を取り付けておらず、ミストが衝突する面はアルミ面となる。この条件により、アルミ面への衝突のみによるミスト除去性能を測定し、検証した。

2.2 不織布付きインパクト試験 (Impactor B)

2.1 と構造的条件を変えたインパクト試験を実施する。本条件では、インパクト部分のミストを衝突させる邪魔板表面に不織布フィルターを取り付けている(Fig.3)。使用した不織布フィルターは、NH1610(新北九州工業製、厚さ10mm)であり、撥水撥油機能がない標準的なものである。

本条件における風速等の試験条件、測定項目は2.1と同条件とし、不織布の有無によるオイルミストの除去効果を検証した。

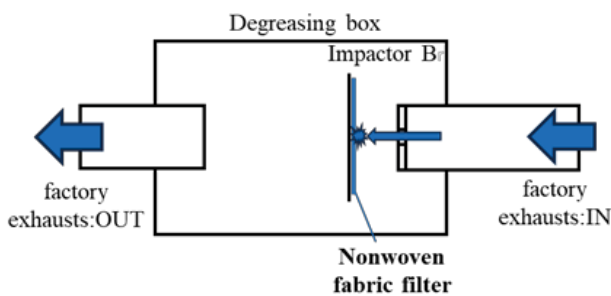


Fig.3 Diagram of impactor B with nonwoven fabric filter.

2.3 プレインパクト接続試験 (Impactor B+C)

メインのインパクトBの前段にインパクトのダクト径を0.030mに拡張し、通過風速を低くした条件のインパクトCをプレインパクトとして接続する。連結した2つのインパクトの略図をFig.4に示す。プレインパクトC及びメイン(インパクトB)のオイルミスト除去率と総除去率を算出し、多段式における除去効果を確認した。本条件における2つのインパクト部分の邪魔板の表面には同じ仕様の不織布を取り付けてある。

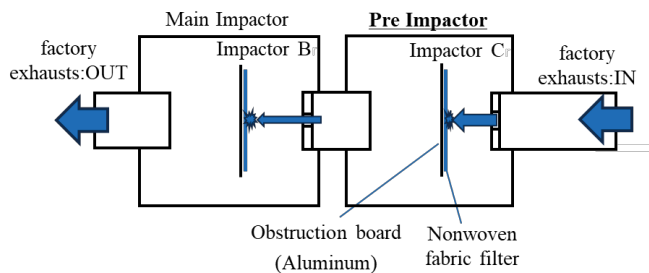


Fig.4 Diagram of multistage impactor B and C.

2.4 測定方法

工場が稼働している期間中は、常時試験機内に標準条件でオイルガスが通気されており、現地での試験機の性能測定は週1回の間隔で実施した。

オイルミストに関しては、オプティカルパーティクルサイザー(以下OPS) Model 3330(TSI製)で測定した。

インパクト部の風速については、熱線式風速計 testo425(テスト製)を使用して測定した。

圧力損失については、差圧計 DM-280 (アズワン製)を使用してインパクト部の前後の圧力を測定し、圧力差から圧力損失を算出した。

3. 試験結果及び考察

3.1 試験結果

各インパクトでの試験結果を以下に示す。インパクトAの結果はTable 2に全5回の結果を合わせて示す。インパクトBとCの結果については、全3回の結果をまとめてTable 3に示す。

Table 2 Measurement data of impactor A

	1	2	3	4	5	Ave.
Air volume [m ³ /min]	0.443	0.315	0.332	0.352	0.339	0.356
Velocity [m/s]	23.53	16.73	17.6	18.67	18.01	18.91
Pressure loss [Pa]	500	320	350	370	420	392
OPS inlet [μg/m ³]	6452.8	61.1	957.1	155.6	253.9	1576.1
OPS outlet [μg/m ³]	633.7	16.3	237.4	51.4	24.5	192.7
Removal rate [%]	90.2	73.3	75.2	67.0	90.4	79.2

Table 3 Measurement data of impactor B and C

	Impactor	1	2	3	Ave.
Air volume [m ³ /min]		0.278	0.292	0.319	0.296
Velocity [m/s]	C	6.56	6.88	7.52	6.99
	B	14.77	15.48	16.93	15.73
Pressure loss [Pa]	C	60	20	20	33
	B	460	400	545	468
OPS [μg/m ³]	Inlet	7642.3	19.0	447.1	2702.8
	C	1445.4	5.9	420.5	624.0
	B	566.6	3.7	106.9	225.7
Removal rate [%]	C	81.1	68.9	5.9	52.0
	B	60.8	37.3	74.6	57.3
	Total	92.6	80.5	76.1	83.1

3.2 流速、処理流量

インパクトA及びBの吹き出し部の風速を測定し、その測定データから処理流量及びインパクトC部の流速を算出した。Table1に示した標準条件として、入口ダクト部の流入速度を1.0m/s、処理流量を0.28m³/minと設定しているが、測定日によって数値にばらつきが生じる結果となった。流量がばらついた要因としては、工場内部から排気ガスを取り入れている送風機や配管等の試験系全体の静圧系の圧力変動が考えられる。次節以降では流量がばらついたことを基に風速が変化した場合の性能依存性について考察した。

3.3 圧力損失

各インパクトの圧力損失はインパクトA及びBで300~550Pa、インパクトCで20~60Paとなった。インパクト部の通過風速と圧力損失の相関をFig.5に示す。不織布無のインパクトAにおいては、風速が増加するにつれて、圧力損失が単調増加する傾向が示された。不織布有のインパクトBについては、不織布無に比べて圧力損失が高くなる傾向が示された。通過風速を半分以下に下げたインパクトCについては、圧力損失は1/10程度まで低下する結果が得られた。

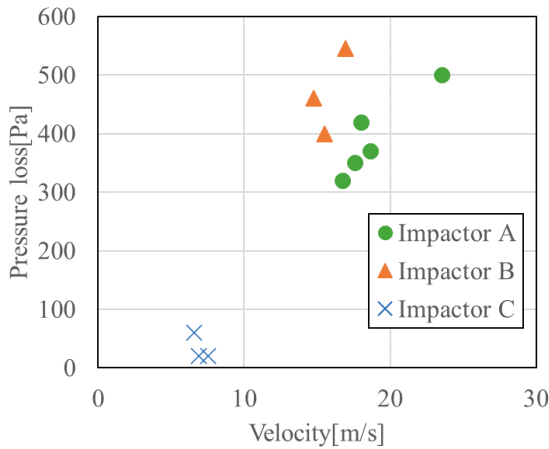


Fig.5 Dependence of velocity and pressure loss in each impactor.

3.4 風速とオイルミスト除去率の関係

各インパクトの通過風速とオイルミスト除去率の相関をFig.6に示す。インパクトAとBにおいて、風速を上昇させることでオイルミスト除去率の向上が見込まれるが、20m/s以上ではそれ以上の向上は望めないことが示唆された。風速5m/s前後の低速域では、除去率の変動が大きく、性能が不安定である。風速15.0m/s~20.0m/sの領域ではオイルミスト除去率が60%~90%に分布している。

オイルミスト除去率はインパクトAで平均79.2%、インパクトBで平均57.3%という結果が得られた。慣性衝突式の除去率としては理論値では80%程度で

あるため、A、B共に安定した性能を示していると考えられる。⁵⁾ この結果から設計時には15~20m/sの範囲内の風速になるよう設計をすることが望ましいと考えられる。

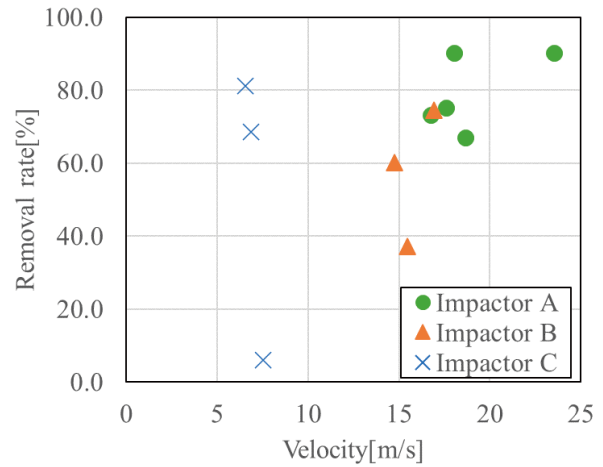


Fig.6 Dependence of velocity and Oil mist removal rate in each impactor.

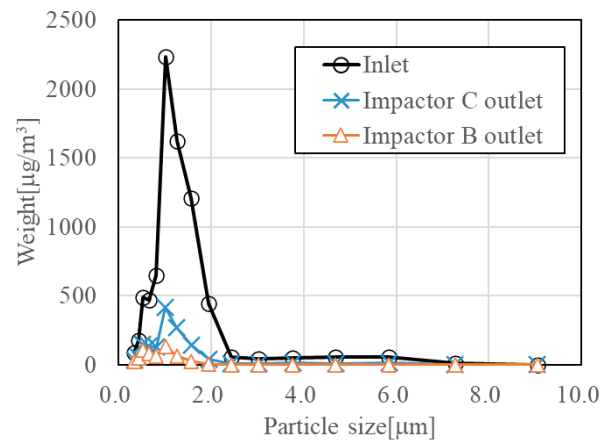


Fig.7 Comparison of particle size distribution measurement results of Impactor B + C.

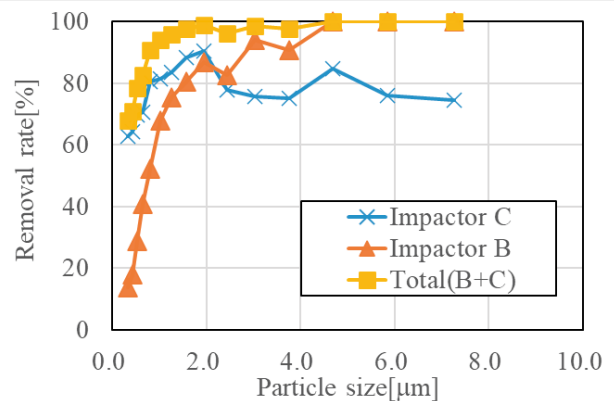


Fig.8 The relationship between particle size and Oil mist removal rate of Impactor B + C.

また、邪魔板の不織布の有無(A と B)の比較については、不織布無の A 条件の方がオイルミスト除去率は高い結果となった。本来であれば、不織布有の条件で性能が高くなることが期待されたが、今回は逆の傾向を示す結果となった。

その理由として、インパクトBについては、多段式インパクトの後段で試験を実施した影響があったと考えられる。Fig.7 に多段式試験系の OPS 測定の粒度分布結果を示す。まず試験を実施している環境内のオイルミストは、 $1\mu\text{m}$ にピークを示し、ほとんどの粒子が $2\mu\text{m}$ 以下に存在することが分かる。慣性衝突式では $1\mu\text{m}$ 以下では著しく除去性能が低下することが知られているが、今回の環境では $1\sim 2\mu\text{m}$ の領域に粒子が多く存在していることから、十分な除去性能が示されたと考えられる。

次に各インパクトでの除去性能の粒径依存性の結果を Fig.8 に示す。プレ部の C においても広範囲で 80% 近い除去性能を示す結果が得られている。これに対して、メインの B では、 $2\mu\text{m}$ 以上の領域では 90% 近い除去率を示しているが、 $2\mu\text{m}$ 以下では、著しく除去性能が低下する傾向が示された。この傾向自体は慣性衝突式の性質と一致しているが、通過風速の低い C 条件に比べて、B 条件で除去率が低下する点は合致しない。

B 条件で除去率が低下した理由として、多段式の試験系の構成が原因と考えられる。多段式では、まずプレ部の C でオイルミストが大幅に除去され、その後絶対数を大幅に減らしたオイルミストがメインの B に流入し、その除去率から B の性能が算出されることが影響している。このため、B の性能は実際の性能に比べて、低く見積もられている可能性が示唆される。

そのため、不織布有無の正しい評価も含めて、プレ部を除いた状態で条件 B の再評価の必要がある。

また、これらのデータからインパクト部で $1\mu\text{m}$ 以上のオイルミストや粉塵は 90% 以上が除去されることが示され、 $1\mu\text{m}$ 以下については多段式であっても 60% しか除去できていないことが示された。 $1\mu\text{m}$ 以下の除去については、インパクト機構では限界があることが示された。今回の現場であれば、脱油性能は総重量で評価しているため、インパクトのみでも十分な性能を示すことが出来ているが、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子が多い現場や高い清浄度が求められる現場においては、後段に HEPA フィルター等の高性能フィルターを設置する必要がある。

前段のインパクトで $1\mu\text{m}$ 以上の粉塵を大幅に除去し、後段の高性能フィルターで $1\mu\text{m}$ 以下の粒子を取り除くという構成は、後段フィルターの寿命を延ばす観点からも有用な運用方法と考えられる。

3.5 オイルミスト除去率の経時変化

各インパクトのオイルミスト除去性能の経時変化を Fig.9 に示す。それぞれのインパクトによるオイルミストの除去率を比較した場合、測定値に多少のバラツキがあるものの、安定した除去性能を示した。この要因として、インパクト機構には駆動部が無いことと経時劣化するフィルター部が少ないことが挙げられる。またインパクト(B+C)の除去性能比較では、インパクトAと同程度の性能を示した。ただ、インパクトを2機設置した場合でも、オイルミスト除去率としての限界も見られた。特にプレ部のインパクトCの除去性能は安定しない結果が示されており、3週目ではほぼ除去できず、後段のインパクトBでの除去性能がそのまま反映される形となり、見た目上ではBの性能が向上している結果となった。

この点から、インパクト機構を2機直列の多段式で設置することには、試験機の除去性能を高性能で維持する相互補助という点では一定の効果があることが分かる。また、インパクトを追加するにつれ圧力損失も増加するため、プレ部等は低圧損条件で設計する必要があると考えられる。

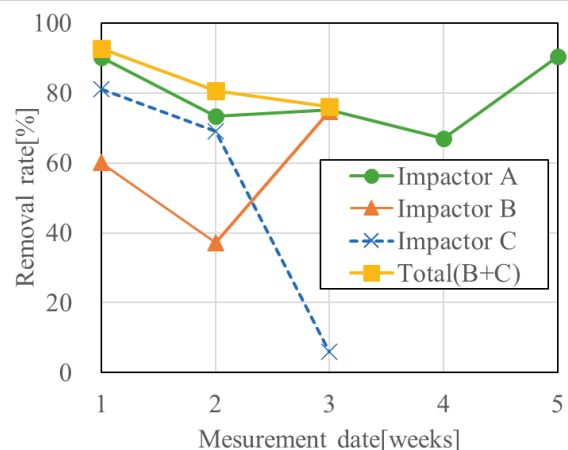


Fig.9 Comparison of oil mist removal rate in each impactor.

4. 結論

本研究で得られた結果を以下に要約する。

- 1) オイルミスト除去において、インパクト機構は一定の効果があることが分かった。通過風速が $15.0\sim 20.0\text{m/s}$ の領域で、圧力損失は約 500Pa でオイルミスト除去率が 80%前後となる。この数値はインパクト機構の設計時の基本仕様となる。
- 2) 不織布フィルターや中性能フィルターを使用しない条件でもオイルミストを除去することができることが示された。不織布有の条件で性能が向上するかについては、再検証が必要である。

- 3) 多段式のインパクトについては性能向上という点よりも、安定性の観点から採用することが望ましい。
- 4) インパクト機構のみでは、オイルミストを完全に除去できている訳では無いので、インパクト機構で除去できていないと思われるオイルミスト(特に 1 μ m 以下)に関しては、後段に HEPA フィルター等を使用することで、除去性能の向上が期待できる。

今後装置を設計する上で、以下の点を追加で検討予定である。

- ① インパクト機構と各種フィルターの併用による脱油性能の向上
- ② 不織布有無によるインパクト機構の再検証
- ③ 既存脱油装置へのインパクト機構の転用
- ④ 脱臭に対してのインパクトの有効性の確認
- ⑤ インパクト内の邪魔板までの距離の最適化

今後の予定として、ゴム再生工場内にインパクト機構を搭載したオイルミスト除去装置を年度内に納めることを計画している。

参考文献

- 1) 加茂徹：日本ゴム協会誌 93.4 (2020) 129-135
- 2) 大西真人, 森本信一：日本ゴム協会誌 51.2 (1978) 82-87
- 3) 能塚博資, et al.：日本ゴム協会誌 51.2 (1978) 114-120
- 4) 福森幹太, et al.：空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, 第 7 巻 空気質編 (2020) 61-64
- 5) 呉馳飛, et al.：エアロゾル研究 15.2 (2000) 143-149
- 6) トヨタ紡織. 堀内洋志ら. オイルセパレータ. 特開2011-256761. 2011-12-22