

粘着テープ製造工程での クローズド VOC 回収システムの実証

河岡将行・高橋秀人・伊藤衛

Demonstration Test of Closed-loop VOC Recovery System

Masayuki Kawaoka・Hideto Takahashi・Mamoru Ito

VOC 排ガスを処理したのちに製造装置側へ空気を循環再利用することで VOC の大気放出をゼロにする、『クローズド VOC 回収システム』を開発した。粘着テープメーカーである寺岡製作所の量産製造工程に設置したクローズドシステム実機にて、装置性能および顧客製品品質に対する影響を検証した。その結果、装置性能の目標を達成し、かつ本システムが顧客製品品質に対して影響がないことを世界で初めて実証した。本実証において、VOC 回収性能、省エネ性能の確認に加えて、回収溶剤はほぼ新規品と同等の品質を有すること、クローズド化により顧客製造環境が安定化することを確認した。

1. はじめに

トルエン、キシレン、酢酸エチルなどを代表とする揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds : VOC）は、塗料、インキ、接着剤、粘着剤などに含まれ、多くの産業で使用されている。VOC は大気中に放出されると浮遊性粒子状物質（Suspended Particulate Matter : SPM）や光化学オキシダントの原因物質となり、光化学スモッグの発生など呼吸器系や粘膜に健康被害を与えることが知られている¹⁾。2006 年の大気汚染防止法の改正以来、印刷会社や粘着テープメーカーなどの VOC を大量に取り扱う企業が積極的に排ガス処理装置を導入したことで、大幅に VOC の排出量は削減されたものの近年は下げ幅が鈍化しており、2018 年度の日本国内における総排出量は 64 万トン以上にのぼる²⁾。

近年では、ESG 投資（環境・社会・ガバナンスを考慮した投資）のように、投資家からの見方も変わりつつあり、企業の持続的な成長のためには VOC 排出と CO₂ 排出の削減は優先的に解決すべき課題となっている。多くの企業では、すでに VOC 処理装置を導入しており、処理装置単体の性能向上だけでは VOC 排出量を削減することは難しい。そこで当社では、排ガスを処理した空気を循環再利用させるクローズドシステムを開発した³⁻⁵⁾。本システムは、VOC の大気放出量を大幅に削減するうえに、VOC を非燃焼で回収処理をするため CO₂ の排出量も大幅に削減できる、これまでにない画期的なシステムである。本報では、開発した VOC 処理システムを粘着テープの実製造工程に適用した実証システムの運転結果について報告する。

2. 従来システムとの比較

図 1 に粘着テープ製造工程における従来の排ガス処理システムと開発したクローズドシステムを示す。

排ガス中の VOC の処理方法としては、燃焼法と吸着回収法が一般的に使用されている。燃焼法は、VOC を燃焼して酸化分解させる方法であり、吸着回収法は、活性炭などの吸着剤に VOC を吸着させて排ガスを処理する方法である。いずれの場合も VOC が完全に分解または吸着除去されるわけではなく、数十から数百 ppm といった VOC 濃度で常に大気放出されている。VOC 濃度としては十分低濃度になっているが、排気風量が多い工場では VOC の大気放出量が年間数百トンになるケースもあり、CSR（Corporate Social Responsibility）や環境経営の観点から VOC の大気放出

量を削減したいという企業のニーズが高まっている。

一方で、開発したクローズド VOC 回収システムは、製造工程（ドライヤ）から発生した VOC を吸着ロータで吸着処理し、浄化した空気をドライヤの給気へ循環再利用する。ドライヤの給排気の系統をクローズド化することにより、排出口がなく VOC の大気放出量を原理上ゼロにすることができる。

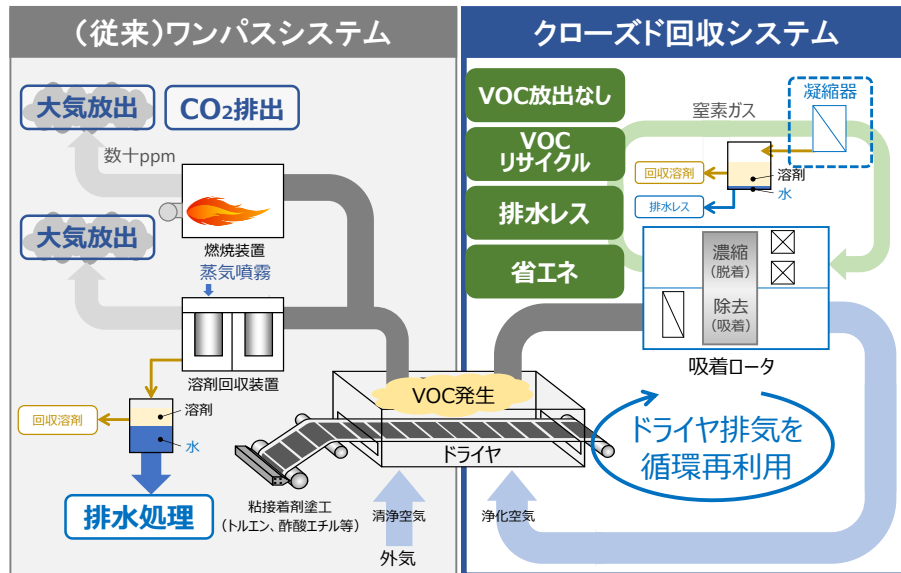


図 1 VOC 処理システムの比較

3. クローズドシステムの概要

当社が開発した新しい VOC 回収システムを図 2 に示す。塗工機やドライラミネータのドライヤ（乾燥設備）（図中①）から出た VOC を含む排ガスを吸着ロータ（図中②）にて吸着処理し、浄化した空気をドライヤの給気へ循環利用する（図中③）クローズドシステムである。ドライヤの給排気の系統をクローズド化することにより、排出口がなく VOC の大気放出量を原理上ゼロにすることができる。吸着ロータ（図中②）は疎水性のゼオライトロータを使用しており、水分より VOC を選択的に吸着する。吸着ロータに吸着した VOC は、加熱した窒素ガス（図中④）で脱着され、高濃度の VOC を含んだ窒素ガスは凝縮器で液化回収（図中⑤）する。液化回収後の窒素ガスは、再度吸着ロータの加熱に利用されるため、再生系統もクローズド化されており VOC が大気中に放出されることはない。

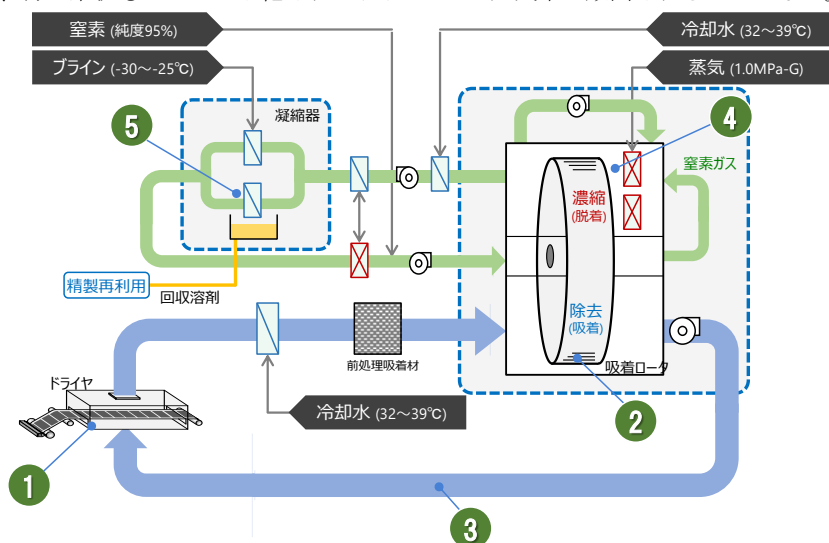


図 2 クローズド VOC 処理システム

4. 粘着テープ製造工程での実証試験

クローズド VOC 回収システムの有効性を検証するために、粘着テープメーカーである株式会社寺岡製作所（茨城工場）において、排気風量 5,000m³/h のドライヤ（使用溶剤：主にトルエン）に本システムを導入し（写真 1）、VOC 排出量の削減効果、CO₂ の排出量削減効果、製造環境の安定性、回収溶剤の性状、製品（粘着テープ）品質などを評価した。

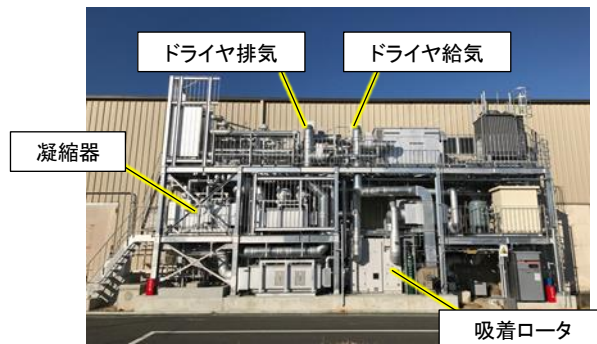


写真 1 実証システム

4.1 実証設備概要

図 3 に、実証システムのフローを示す。建屋内に設置されたドライヤから排出された VOC を含む排ガスは、屋外に設置された VOC 回収装置にて処理される。従来システム（以降、ワンパス）とクローズドシステムでの比較が出来るように、給排気ダンパの切替が可能である。ワンパス時には、建屋内空気を吸引し給気加熱コイルで加熱したのちにドライヤへ給気しており、ドライヤからの排気は回収装置で処理したのちに屋外へ排気した。クローズド時には、建屋内空気の取入ダンパおよび屋外排気ダンパを閉めることにより、給排気が循環するように調整した。給排気風量を調整する際には、VOC を含んだドライヤ内の空気が室内に漏洩しないように、ドライヤ内を微負圧にした。

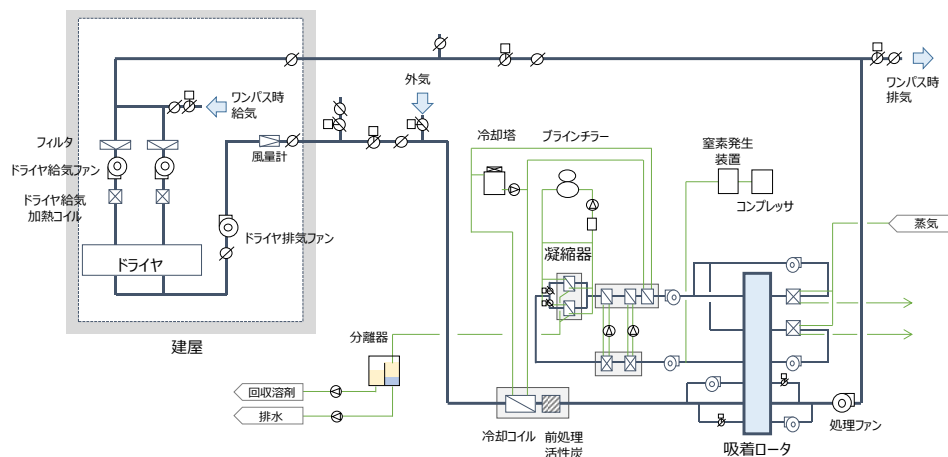


図 3 実証システムフロー

4.2 実証試験結果

ここでは、クローズド運転時の実証試験結果を示し、ワンパス運転とクローズド運転の比較、および季節間の影響について考察を行った。

4.2.1 VOC 排出量結果

図 4 に、ドライヤ排気の VOC 濃度と溶剤回収装置で処理したあとの空気の VOC 濃度を示す。排気濃度 1,000 から 1,200ppm において処理後の VOC 濃度は 20ppm 以下であり、除去率 98%以上と高い除去性能であることを確認した。クローズドシステムでは、理想的には大気放出量はゼロとなるが、ドライヤ内の空気が室内に漏洩しないように微

負圧にして室内空気を取り込むため、取り込んだ空気量を外部に放出する必要がある。本実証システムにおいては、約 250m³/h 程度の空気を屋外に放出していることを確認した。これは、排気風量 5,000m³/h の 5%にあたる。従来の処理済み空気を大気に放出するワンパスシステムと年間の VOC 大気放出量を比較すると、図 5 に示すように 95%の削減効果があることが分かった。

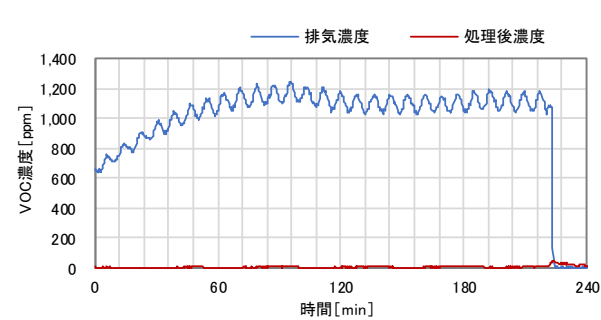


図 4 VOC 濃度の経時変化

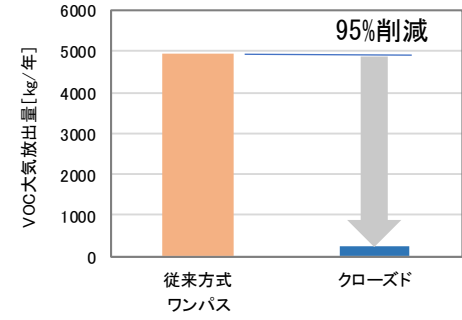


図 5 年間 VOC 大気放出量比較(試算)

4.2.2 CO₂ 排出量結果

従来の処理方法とクローズドシステムにおける CO₂ 排出量の比較を図 6 に、試算に用いた係数を表 1 に示す。クローズドシステムを導入する前は溶剤を燃焼処理していたので、従来処理方法では VOC の燃焼にともなう CO₂ 排出量を試算した。また、溶剤の新規購入に必要な CO₂ 排出量についても試算項目に入れた。クローズドシステムでは、回収した溶剤の 90%を再利用でき、残り 10%を新規購入すると仮定した。装置運転に関わる CO₂ 排出量は、蒸気使用量と電気使用量の実績値から算出した。

図 6 より、従来の処理方法よりもクローズドシステムの方が 78%の CO₂ 排出削減効果があることを確認した。VOC の燃焼および溶剤購入にともなう CO₂ 排出量が多く、非燃焼で溶剤の再利用率が高いほど、排出削減効果が高いことが示された。

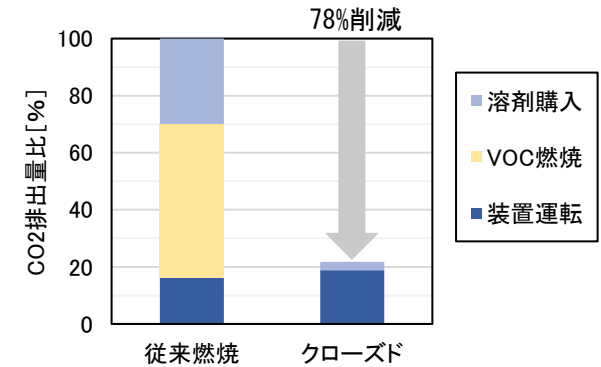


図 6 CO₂ 排出量比較(試算)

表 1 CO₂ 排出量試算時の排出係数

トルエン燃焼	kg-CO ₂ /kg	3.343
トルエン生産	kg-CO ₂ /kg	1.86
蒸気※1	kg-CO ₂ /kg	0.126
電力※2	kg-CO ₂ /kWh	0.468

※1 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧（環境省）

※2 電気事業者別排出係数、東京電力、R2 環境省・経済産業省公表値

4.2.3 製造環境の安定化と省エネルギー化

従来ワンパスシステムでは、ドライヤの給気に建屋内空気を使用しているため、天候や季節変化によってドライヤ内の湿度が変化していた。実証試験期間中においても、夏期と冬期で外気の絶対湿度が 20g/kg(DA)から 2g/kg(DA)と、大きく変化していた。本システムを導入した工程で製造された製品は、湿度変化の影響が少ない製品であったが、製品や使用溶剤によってはとくに高湿度の場合に製品品質が低下することが知られている。また、溶剤の乾燥効率の観点からも低湿度の方が望ましいと考えられる。クローズド化すると外気の流入がほとんどなくなり、ドライヤ内は低湿度になることが期待されるため、ワンパスとクローズドでの給気湿度を比較した。結果を図 7 に示す。ワンパス運転時は外気と同じ絶対湿度 8g/kg(DA)であったが、クローズドにすると絶対湿度 1g/kg(DA)以下の低湿度になることを確認した。また、長時間連続で運転しても湿度変化することなく、低湿度を維持できることを確認した。

ドライヤの給気に外気を使用した場合のもう一つの問題点として、冬期の加熱エネルギーの増大が挙げられる。ドライヤは100℃程度に加熱されるが、冬期の低温外気を100℃まで加熱するには多大なエネルギーを要する。一方クローズドシステムでは、吸着ロータで処理したあとの空気は外気より温度が高いため、ドライヤの給気に必要な加熱エネルギーの削減が期待できる。図8にワンパスのときとクローズドのときのドライヤ給気加熱コイルの入口温度の変化を示す。クローズドのときは約45℃であり、ワンパスのときよりも高温の空気を供給できることが確認できた。本実験結果をもとに年間の加熱量を試算した結果を図9に示す。従来ワンパスと比べて、ドライヤ給気加熱量を年間で42%削減できる試算結果となった。また、従来ワンパスでは、外気の季節変動により加熱量が変化する一方で、クローズドのときは年間を通じて加熱量が安定しており、加熱負荷の平準化が図れることも分かった。

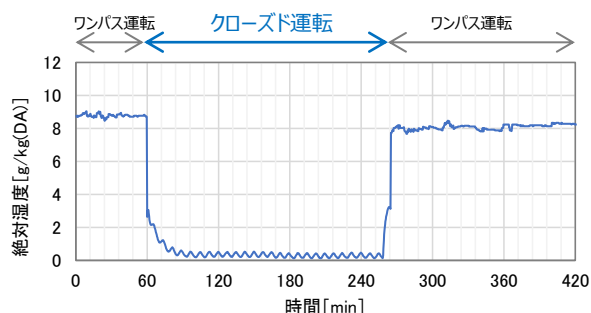


図7 ドライヤ給気絶対湿度

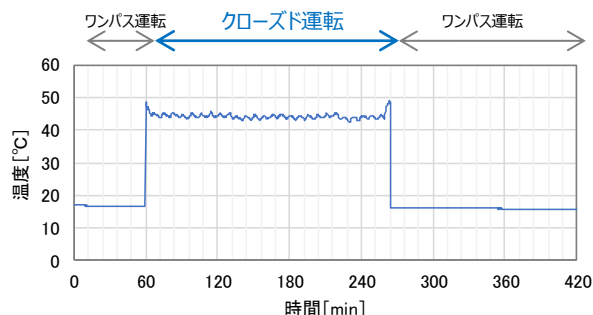


図8 ドライヤ給気加熱コイル入口温度

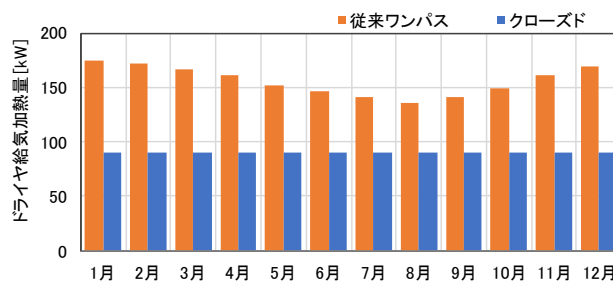


図9 ドライヤ給気コイルの年間加熱量(試算)

4.2.4 回収溶剤品質の検証

回収溶剤（写真2）の品質分析結果を表2に示す。参考として試薬としてのトルエンのJIS規格⁹⁾を併せて記す。写真2でも確認できるように、非常に透明度が高く、純度も99.9%以上であり新規品と同程度の品質であることを確認した。回収溶剤の再利用方法については、今後検討していく予定である。



写真2 回収溶剤

表2 回収溶剤の成分結果

	回収溶剤	JIS K8680:2006
トルエン	99.92%	99.5%以上
低沸点成分類	0.01%	—
高沸点成分類	0.04%	—
水分	0.03%	0.03%以下
不揮発分	0.001%以下	0.001%以下
外観	無色透明液体	無色透明液体
APHA	5以下	—
密度(20℃)	—	0.864~0.868
比重(15℃/4℃)	0.868	—
pH	7.1	—
臭気	異臭無し	—
ハロゲン	無し	—
不揮発分性状	目視不可	—
発泡性	無し	—
浮遊物	無し	—

4.2.5 顧客製品品質の検証

同一製品の製造中にワンパス運転とクローズド運転を切替え、製品品質に影響がないかを確認した。顧客が管理する検査項目において、ワンパスとクローズドで差が無いことが確認できた。

5. おわりに

粘着テープメーカーである寺岡製作所の量産製造工程に設置したクローズドシステム実機にて、装置性能および顧客製品品質に対する影響を検証し、システムの有効性を確認した。

現在日本国内で排出されている VOC は年間で 64 万トン以上あり、近年では、前年からの VOC 排出削減量が 1 万トン程度である。本クローズドシステムの展開先である印刷インキや粘着剤などの製造工程では、年間で約 5 万トン排出しており、本クローズドシステムによる VOC 大気放出量の削減効果は大きい。また、VOC の非燃焼処理により CO₂ の発生量を大幅に削減でき、本クローズドシステムが国内の粘着テープ・包装材料用乾燥施設とグラビア印刷用乾燥施設の全施設に設置された場合を試算すると、年間約 300 万トンの CO₂ 排出量を削減できる可能性があり、地球温暖化防止に大きく貢献できる。

今後は、ドライヤ（溶剤乾燥炉）の立上げ、立下げなどの運転状態の変更や排気風量、VOC 濃度の変動に応じた省エネルギー運転について検討していき、さらなる地球温暖化防止、地球環境保全に貢献できるよう努力する所存である。

謝 辞

クローズドシステムの実証にあたり、多大なご協力をいただいた株式会社寺岡製作所の関係者のみなさまに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 環境省ホームページ、揮発性有機化合物について 光化学スモッグのないくらし、
<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/pamph2/index.html>
- 2) 環境省ホームページ、揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ報告書 (令和 2 年 3 月)、
<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/inventory.html>
- 3) 河岡将行、布川雄大 (2019)、「VOC の大気放出をゼロにするクローズド VOC 回収システム」、コンバーテック 2019 年 10 月号、Vol.55、No.47、pp72-76
- 4) 高橋秀人、伊藤衛 (2019)、「VOC 排出抑制の将来像 (総論)」、空気清浄、57 巻 2 号、pp4-8
- 5) 河岡将行、伊藤衛 (2020)、「VOC 排出規制の現状と展望」クリーンテクノロジー、2020 年 1 月号、Vol.30 No.1、pp39-42
- 6) 日本産業規格、JIS K8680:2020、トルエン (試薬)

ABSTRACT

We have developed a "closed VOC recovery system" that reduces VOC emissions to the atmosphere by treating VOC exhaust gas, circulating, and reusing in the manufacturing process. We verified impacts on the equipment performance and the customer product quality with closed system equipment installed in the actual adhesive tape manufacturing process. As a result, it was demonstrated that the target equipment performance was achieved and that this system did not affect the quality of customer products. In this demonstration, in addition to confirming VOC recovery performance and energy-saving performance, it was confirmed that the recovery solvent had almost the same properties as unused products and that the customer manufacturing environment was stabilized by the closed system.
