



*n*からはじまる未来創造



ISSN 2436-0856



NIKKO TECHNICAL REPORT

Vol.7 No.1 2026.04

NIKKO TECHNICAL REPORT Vol.7 No.1



本 社

〒674-8585 兵庫県明石市大久保町
江井島1013番地の1
TEL.078-947-3131(代)

事業本部

〒101-0062 東京都千代田区
神田駿河台3丁目4番地の2(日専連朝日生命ビル5F)
TEL.03-5298-6701(代)

<https://www.nikko-net.co.jp/>



沿革

- 1919- 1919 兵庫県神戸市に出資金50万円を以て「日本工具製作株式会社」設立
1920 兵庫県明石市に工場を新設
初商品となるショベルを発売
1921 本社を明石市に移転
- 1940- 1949 大阪証券取引所に上場
1951 コンクリートミキサ・ウインチなどの建設機械の製造を開始
1956 生コンクリートプラントの製造を開始
1958 アスファルトプラントの製造を開始
- 1960- 1962 江井島工場(敷地約10万m²)を新設し、製造を開始
東京証券取引所第一部に上場
パイプサポートの製造を開始
1963 パイプ足場の製造を開始
1966 各種コンベヤの製造を開始
1968 日本工具製作株式会社を日工株式会社に社名変更
合材サイロの製造を開始
1969 アスファルトプラントのオペレーター研修センターを開設
1971 日工電子工業(株)設立
1974 西独ベニングホーヘン社と技術提携
1977 代理店組織“トンボ会”を結成
1979 米国ボーイング社との技術提携
- 1980- 1981 生コンクリートプラントオペレーター研修始まる
1986 東京技術サービスセンターを開設
1988 台湾連絡事務所開設(現:台北支店)
1989 日工取引先持株会発足
協力工事店組織“アキツ会”を結成
財団法人日工記念事業団設立
1991 ベニングホーヘン社(ドイツ)と資本提携
決算期を11月30日から3月31日に変更
1994 ニッコーバウマシーネン(有)設立
資本金91億9,760万円に増資
トンボ工業(株)設立
1995 日工セック(株)設立
1999 北京駐在員事務所開設(現:日工上海北京事務所)
(社)日本建設機械化協会奨励賞受賞
- 2000- 2000 海外事業部開設
油汚染土壌浄化システムの製造・販売を開始
2001 プラスチック再商品化プラントの製造・販売を開始
中国現地法人日工(上海)工程機械有限公司設立
環境計量事業所を開設
2002 Bilfinger Berger Umwelt社(ドイツ)と汚染土壌浄化事業で業務提携
(株)新潟鐵工所とアスファルトプラント部門スポンサー引き受けについて基本合意
(株)新潟鐵工所との財産等譲渡契約書の正式締結
2004 日工(上海)工程機械有限公司、嘉定工業区への工場新設及び移転
2008 株式会社前川工業所の全株式の取得により子会社化
2018 自走式破碎機等を取り扱うモバイルプラント事業部を発足
2019 創立100周年を迎える
2020 NIKKO ASIA (THAILAND) CO., LTD. 設立
NIKKO NILKHOSOL CO., LTD. 設立
2022 宇部興機株式会社の全株式の取得により子会社化
2023 株式会社松田機工の全株式の取得により子会社化
2024 日工興産株式会社が株式会社西日本不動産を子会社化
2025 日工電子工業株式会社が株式会社藤原電機製作所(現:日工藤原電機株式会社)を子会社化

NIKKO TECHNICAL REPORT 2026.04

Vol.7 No.1



巻頭言

- 5 …… アスファルトプラントの潜在価値開発
北海道科学大学 工学部 都市環境学科 教授 博士(工学)
亀山 修一

論文

- 9 …… 高強度コンクリート配合の空練りによる流動性向上に関するモルタルのレオロジー的考察
[出典]コンクリート工学年次論文集, Vol.47, No.1, pp.1110-1115, 2025
坂本 恭裕 他
- 17 …… 物体検出アルゴリズムを用いた異物除去装置の開発
[出典]オリジナル
安田 真也
- 29 …… アスファルトプラントにおけるブルースモークおよび悪臭の対策技術とその変遷
[出典]オリジナル
蓬萊 秀人
- 45 …… AP用水素バーナによるアンモニア熱分解ガスを燃料とした骨材乾燥試験
[出典]オリジナル
宗像 元 他

製品紹介

- 53 …… remoop ～来場車管理システム～
- 55 …… 前川工業所製 ダブルロール解砕機
- 59 …… アスファルトプラント向け操作盤 AUTOPYRO
- 63 …… 生コンプラント向け操作盤 Cyber AdvanceII
- 65 …… アルミ製仮設通路 ライトブリッジ
- 69 …… KLEEMANN製自走式大塊選別スクリーン「MSS802i EVO」

製造設備紹介

- 75 …… ファイバー溶接機設備紹介
- 79 …… ワイヤ放電加工機の導入

編集後記

- 84 …… 企業理念
- 85 …… 編集後記

巻頭言

INTRODUCTION



**NIKKO
TECHNICAL REPORT
Vol.7 No.1**

アスファルトプラントの潜在価値開発

AUTHOR

北海道科学大学 工学部都市環境学科
教授 博士(工学)
亀山 修一



アスファルト合材協会の資料によると、令和2年度におけるアスファルトプラント数は全国で1051箇所であったものが令和7年度は1004箇所となり、5年間で47箇所もアスファルトプラントが減少した。国土技術研究センターの推計によると、アスファルト合材の品質が適切に保たれる運搬時間を1時間とした場合の合材供給範囲(20km圏域)はわが国の道路延長222.028kmの約90%であり、残りの10%が合材供給困難エリア(プラント空白地域)となる。さらに、将来的に合材が供給できなくなる可能性が高いと考えられる、1つのプラントのみからしか供給できないエリアは約13%であり、特に、北海道、岩手、岐阜、福井、京都、奈良、山口、高知では20%を超える。アスファルトプラントの減少に歯止めがかからず、アスファルト合材が手に入らない地域が拡大するという事は、有事(大規模自然災害、戦争、テロ)が発生した場合に対してリダンダンシーが確保されていないということでもある。

このような状況に対応するために、国土交通省の道路技術懇談会は令和2年度の新技術導入促進計画のテーマの一つとして「広域において安定供給可能なアスファルト舗装技術」を設定して新技術を公募し、技術検討委員会で選定された技術の現場実証(現場施工・追跡調査)を行っている。選定された技術は20技術であり、その内、18技術が中温化アスファルト混合物である。中温化アスファルト混合物は、アスファルトプラントでの製造時にアスファルトの粘度を一時的に低下させる特殊添加剤(発泡剤、発泡強化剤)を添加することでアスファルト混合物の製造温度を最大で30℃程度低減させるものである。中温化アスファルト混合物は、加熱アスファルト混合物よりも低い温度での施工が可能であることから、アスファルトプラントでの製造温度を加熱アスファルト混合物と同程度とすると、従来よりも広域への運搬・施工が可能となる。上述した国土技術研究センターの推計では、中温化アスファルト混合物を用いることで供給圏域は40kmに拡大し、わが国のほぼ全域に渡って複数プラントからのアスファルト合材の供給が可能となる。

わが国の温室効果ガス排出量は、2023年度に約10億1,700万t-CO₂/年となり、2013年度比で27.1%(約3億7,810万t-CO₂)減少しており、2050年のカーボンニュートラル達成に向けて順調に減少している。この内、道路分野については、道路整備、道路利用、道路管理を合わせて2023年度は約1.7億t-CO₂を排出し、CO₂総排出量の約18%を占めている。政府は、「道路の脱炭素化の推進」を目的として2025年4月に道路法を改正、加えて、同年10月に道路の脱炭素化の推進に関する基本方針(道路脱炭素化基本方針)を策定し、国や地方自治体、民間企業等が連携して低炭素で持続可能な社会の創出を目指していく方針を示した。国土交通省道路局が取りまとめた「道路分野の脱炭素政策集Ver.1」では、2030年度に道路工事における低炭素アスファルト合材の出荷量が全体の6%を目指す旨と明記されている。

このような脱炭素政策を背景に、道路技術懇談会は令和7年度の新技術導入促進計画のテーマとして「低炭素アスファルト技術の導入促進」を設定した。舗装分野におけるカーボンニュートラル技術は「素材」「製造」「運搬」「施工」「その他・工事全般」に分類されるが、当該計画では主に「素材」と「製造」を対象としている。「素材」としてはアスファルトを天然・植物由来の素材で置き換えたもの、「製造」としては中温化アスファルト混合物が代表的である。特に迅速な社会実装が期待される技術は中温化であり、脱炭素政策集では7~18%の削減が可能と記されている。

上述したように、有事の際のインフラ復旧や低炭素社会の実現にとってアスファルト舗装の中温化技術は極めて有用であり、実現性が高い技術である。低炭素社会への意識が高いドイツでは、加熱アスファルト混合物から中温化アスファルト混合物への全面的な切り替えを今年中に実行する予定と聞く。「加熱→中温」へのムーブメントはわが国においてもこれから大きくなると思われるが、最大の障壁となるのはアスファルトプラントにおける中温化技術導入のコストである。特に、地方のプラントでは合材出荷量が減少傾向で設備投資の余裕がないことから、中温化装置の低コスト化は必要不可欠である。中温化アスファルト混合物が全国津々浦々で供給可能になることは社会の安定と環境に多大に貢献する。これによってアスファルトプラントは単に舗装材料(便利)を生産する工場から、「安定」と「環境」を生産する工場へと変わり、新たな価値が付加される。

人々の生活を支える重要な技術だが、普段の生活では私たちがその技術を素通りしてしまうことを、都市研究では「技術的無意識」と呼称する。舗装はインフラの中のインフラであるために、普段の暮らしの中で「舗装のお陰」を意識することはなくなる。まさに、舗装は「技術的無意識」の典型である。今、道路建設業界は若手人材の獲得に四苦八苦している。各社はCM、ホームページ、インターンシップなどを通じて情報発信しているが、それは自社の技術・品質・工事など道路建設業を志望している人々に向けた情報である。道路建設の魅力を広く一般の方に分かってもらうためには、「技術的無意識」と言う壁を乗り越えなければならない。福島高専の増戸洋幸准教授は、舗装が有する多面的な機能を「アフォーダンス」の視点から理論的に整理している¹⁾。アフォーダンスとは、環境が人間に対して「何をさせうるか」という行動可能性を意味する。その結果、舗装は単に「道を提供する」だけでなく、移動のしやすさや安全性を伝え、熱・水・音などの環境快適性を調整し、地域文化や交流を支える基盤であることを示した。このように舗装の多面的な潜在価値を発見し発信することで、人々は技術的無意識から目覚め、舗装が有する新たな可能性や魅力を感じるようになる。

一般の人にとって舗装が「技術的無意識」であるのと同様、舗装技術者にとってアスファルトプラントは「技術的無意識」になっている。現場の施工担当者は注文した合材が直ぐに届くため、合材の材料、製造方法、特徴などを素通りし、アスファルトプラントの「お陰」を意識しない。しかしながら、中温化技術の普及によって「安定と環境の生産」と言うアスファルトプラントの潜在価値が発見され、それがアスファルトプラント、さらには舗装に対する「技術的無意識からの覚醒」に繋がるのではないだろうか。

最近、米国では、AIによってホワイトカラーの需要は減りつつあり、AIに仕事を奪われない現場職で富を築く「ブルーカラービリオネア」が注目されているらしい。日本ではビリオネアまでとはいかないが、「ホワイトtoブルー」の流れが今後加速すると言う予想もある。これを好機と捉え、現場で汗水流して働く技術者や技能者は、AIには奪うことができない、満足度と収入が高い専門職であることを効果的にアピールし、彼らの地位向上を図ることも重要である。

参考文献 REFERENCES

- 1) 増戸洋幸、中村博康、亀山修一：アフォーダンス理論による「舗装」の潜在的価値の再定義、土木学会論文集、Vol.81、No.21、2025。



論文
PAPER



NIKKO
TECHNICAL REPORT
Vol.7 No.1

高強度コンクリート配合の空練りによる流動性向上に関するモルタルのレオロジー的考察

AUTHORS

坂本 恭裕*1 SAKAMOTO Yasuhiro 川崎 佑磨*2 KAWASAKI Yuma
 平野 修也*3 HIRANO Syuya 三島 剛*4 MISHIMA Tsuyoshi

要旨

ABSTRACT

高強度コンクリートの製造技術として、空練り(練混ぜ初期における細骨材とセメントの練混ぜ)による流動性向上について考察してきた。本報では、実務への適応を想定した施工性確認のため、空練りによる流動性向上効果をモルタルのレオロジーに基づき検証した。その結果、一定の空練り時間を確保することで、目標スランブフローを得るための混和剤添加量が低減可能であり、回転粘度計を用いたレオロジー試験によりモルタルの粘性が低下することを確認した。一方で、コンクリート中のモルタルは、同一スランブフローにも関わらず、空練り時間によって粘性が変化することを確認した。

キーワード: 高強度コンクリート, 2軸強制練りミキサ, 空練り, レオロジー, 回転粘度計, 混和剤

1. はじめに

我が国では、自然災害の激甚化、頻発化から、防災・減災やインフラ老朽化対策が進められている。また、人口減少などの社会問題からも、建設業界における労働力確保や生産性向上などの対応が急務となっている¹⁾。

そのような背景から、国土強靱化や品質向上、工期削減などに伴い、高強度コンクリートでの施工や、高強度コンクリートを使用したプレキャストコンクリート製品の利用がますます促進されると予測される。2019年のJIS A 5308改正における趣旨にも、高強度コンクリートの利用を推進するためと明記されている。高強度コンクリートの利用が増加することからも、施工技術だけでなく、パッチャープラントでの製造においても、最適な製造技術が求められる。

その製造技術において、練混ぜ条件がコンクリートの流動性に影響を与えることが確認されているが、高強度コンクリートの配合において、影響の程度やメカニズムの解明を試みた事例は少ない。製造時の品質確保の観点から、練混ぜ条件に伴う流動性の相違の解明は急務であり、メカニズムの解明が今後の高強度コンクリートの安定的な供給に寄与できると考えらる。

そこで既報²⁾として、練混ぜ初期における細骨材とセメントの練混ぜ(以下、空練り)の有無や練混ぜ時間に着目して、空練りが高強度コンクリートの流動性に与える影響を考察した。2軸強制練りテストミキサを用いた実務に近い形での実験を

実施することで、空練りの影響およびメカニズムについて報告した。

本報では、2軸強制練りテストミキサにて、空練りによる流動性向上を確認するとともに、実務への適応を想定して混和剤添加量により流動性を制御した場合への影響を確認した。さらに施工性の判断材料を得るため、レオロジーによる考察を試みた。空練り条件や混和剤添加量をパラメータに、モルタル、コンクリートおよびコンクリートからウェットスクリーニングにより採取したモルタルのコンシステンシーを測定するとともに、モルタルを対象に回転粘度計による測定を実施することで、空練りによる流動性向上をレオロジー的に考察した。

また、先行研究でも必要不可欠であった混和剤に着目し、超高強度コンクリート用高性能減水剤だけでなく、高強度コンクリート用高性能AE減水剤についても試験を行い、混和剤種類が空練りによる高強度コンクリートの流動性向上に与える影響についても検証した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

先行研究同様に、実験対象とした設計基準強度80N/mm²の高強度コンクリートの配合を表-1に示す。本研究では、2軸強制練りテストミキサ(公称容量60L)での練混ぜ可能量である36Lを基準とし、モルタル試験のための採取分も考慮した必要材料値を計算して、後述する各試験を行った。

表-1 高強度コンクリートの配合(呼び方:80-60-20L)

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)				
			水 (W)	セメント(C)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)	混和剤 (SP)
21.4	44.3	0.521	175	818	620	817	変動値

試験環境は温度20±2℃、相対湿度60%RH以上の室内とした。表-2に使用材料を示す。混和剤は、セメント分散性能を高めた高性能減水剤SPUと、保持性能を有する高性能AE減水剤SPHを用いた。なお、細骨材の表面水率は2.39%に調整した。先行研究での最適表面水率が2~3%の範囲であったことによる。

2.2 練混ぜ方法

図-1に練混ぜ方法を示す。本研究ではミキサの動力負荷の観点から、粗骨材投入までのモルタル練混ぜ段階で十分に動力の低減が確認できた時間を最適練混ぜ時間と考え、その予備実験結果から、空練り時間を含むモルタル練混ぜを7分、粗骨材を投入してからのコンクリート練混ぜを3分として、合計10分の練混ぜを行った。

また、空練り時間による影響を確認するため、モルタル練混ぜ時間を7分に固定したまま、空練り時間を10, 30, 90秒の3パターンで設定した。これに対応するように注水後のモルタル練混ぜ時間を変更した。練上り直後のモルタルから試料を3L採取し、速やかに粗骨材を投入してフレッシュコンクリートを製造した。

2.3 試験項目

本研究では、空練り時間10秒で目標スランブフロー650mmとなる混和剤添加率を基準に空練り時間のみを変化させた場合と、空練り時間ごとに目標スランブフロー650mmとなるように混和剤添加率を調整した場合について検討した。練上り直後のモルタル、コンクリートおよびコンクリートからウェットスクリーニングにより採取したモルタル(以下、WSモルタル)を対象に、コンシステンシー試験およびレオロジー試験を実施した。

コンシステンシー試験はモルタルおよびWSモルタルではフロー試験(JIS R 5201)、コンクリートではスランブフロー試験(JIS A 1150)を行った。フロー試験を動画撮影し、フロー150mm到達時間を求めた。レオロジー試験はモルタルおよびWSモルタルを対象に回転粘度計による測定を実施した。その詳細は3.で後述する。

回転粘度計は十字羽根(板厚1mm、高さ30mm×幅15mm)を装着した。φ15×10cmの容器に試料を約1L充填後、速やかに測定に供した。

3. レオロジー特性の評価方法

回転粘度計による測定では、50rpmに到達するまで十字羽根の回転速度を徐々に増加させる履歴(上昇曲線)と、その後0rpmに到達するまで回転速度を徐々に低下させる履歴(下

降曲線)で構成されるせん断速度とせん断応力の関係曲線(ヒステリシスループ)を測定した。ヒステリシスループで囲まれた面積 s_{tx} によって、凝集構造の破壊と回復の時間的なズレの度合い、すなわちチクソトロピー性を簡易評価できると報告されている³⁾。

また、フロー試験からモルタルのレオロジー定数を推定するため、東舟道⁴⁾が提案した式(1)および式(2)の推定式を用いて、降伏値 τ_y および塑性粘度 η を求めた。

$$\tau_y = 2292e^{-0.01833MF} \quad (1)$$

$$\eta = 15.53T_{150} + 155.5\rho - 342.7 \quad (2)$$

ここで、MFはフロー値(mm)、 T_{150} はフロー150mm到達時間(s)、 ρ はモルタル密度(g/cm³)を表す。

4. 実験結果および考察

各試験項目における結果を、表-3にまとめて示す。表中の試料名は「混和剤種類-空練り時間(s)-目標スランブフロー(mm)」の違いを示す。なお、「over」は空練り時間のみを増加することでスランブフロー値が650mmを超えることを表す。

4.1 練上り直後のモルタルの性状

(1) 同一混和剤添加量時の空練り効果

図-2に混和剤種類ごとの空練り時間とモルタルフローおよびスランブフローの関係を示す。SPUおよびSPHともに、空練り時間が長くなるほどモルタルフローおよびスランブフローは大きくなる傾向を示した。特に90秒では空練りの影響が顕著となり、30秒と比べSPHでは47mm、SPUでは89.5mmものスランブフロー差となる。

一方で、フローの増加度合いはSPUに比べてSPHが低いことから、空練り時間増加によるフローの増加は、混和剤種類の違いによって変化することが示唆された。

表-2 使用材料

材料	種類および品質
セメント C	低熱ポルトランドセメント、密度: 3.23g/cm ³
細骨材 S	砕砂(岩種: 安山岩)、表乾密度: 2.54g/cm ³ , 吸水率: 1.65
粗骨材 G	砕石(岩種: 安山岩)、表乾密度: 2.67g/cm ³ , 吸水率: 0.96
混和剤 SP	高性能減水剤 SPU, 高性能 AE 減水剤 SPH 主成分: ポリカルボン酸系化合物

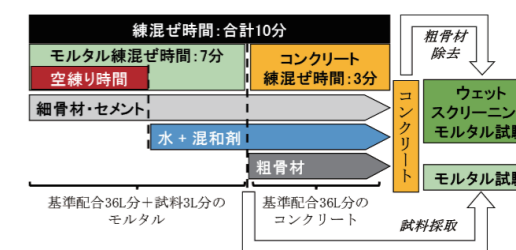


図-1 練混ぜ方法

*1 日工株式会社 技術本部 開発部 博士(工学) (正会員)

*2 立命館大学 理工学部 環境都市工学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*3 株式会社フローリック 技術本部 コンクリート研究所 主席研究員 博士(工学) (正会員)

*4 株式会社フローリック 関西支店 技術課長 博士(工学) (正会員)

表-3 各試験項目における結果

Sample Name	Admixture Type	Dry Mixing Time [s]	Admixture Addition Rate [C×%]	Concrete SF [mm]	Mortar Sample Name	Mortar					
						MF [mm]	[s]	[g/cm ³]	[Pa]	[Pa·s]	[Pa/s]
U-10-650	SPU	10	0.800	664.5	Mortar	344.5	1.14	2.42	4.15	51.42	179.6
					WSMortar	257.0	1.67	2.41	20.62	57.62	850.1
		30	0.800	677.0	Mortar	354.5	1.10	2.42	3.45	50.75	139.6
					WSMortar	254.5	1.61	2.42	21.59	58.64	838.6
		90	0.800	766.5	Mortar	367.5	1.01	2.42	2.72	49.13	73.9
					WSMortar	293.5	1.60	2.41	10.56	57.19	639.0
U-30-650	SPU	30	0.780	634.5	Mortar	336.0	1.46	2.41	4.85	55.24	162.7
					WSMortar	237.0	2.31	2.40	29.75	66.30	1192.1
U-90-650	SPU	90	0.770	640.5	Mortar	353.0	1.17	2.42	3.55	51.12	131.9
					WSMortar	212.0	2.86	2.41	47.05	76.23	1411.8
H-10-650	SPH	10	0.870	674.5	Mortar	342.5	1.37	2.42	4.30	54.35	231.1
					WSMortar	256.5	2.19	2.41	20.81	65.83	986.7
		30	0.870	676.5	Mortar	349.5	1.27	2.42	3.78	52.86	207.0
					WSMortar	245.5	2.56	2.41	25.46	71.85	1198.4
		90	0.870	723.5	Mortar	359.0	1.22	2.42	3.18	52.57	176.6
					WSMortar	261.0	2.04	2.42	19.16	65.19	896.0
H-30-650	SPH	30	0.865	653.5	Mortar	343.5	1.50	2.41	4.22	55.43	266.4
					WSMortar	239.5	2.63	2.42	28.42	74.71	1348.1
H-90-650	SPH	90	0.855	680.5	Mortar	346.5	1.25	2.42	4.00	52.41	209.9
					WSMortar	245.5	2.14	2.43	25.46	68.07	901.8

また、モルタルフローに比べてスランブフローの方が空練り時間増加による増加傾向は大きいことが確認された。この要因の一つとして、モルタルフロー試験は高さ60mmのフローコーンを用いるのに対してスランブフロー試験では高さ300mmのスランブコーンを用いること、前者の試料は約344mlであるのに対して後者では約549.5mlであるため、スランブフロー試験の方が試料の位置エネルギーが大きいことも影響したと推察される。

(2) 同一目標スランブフロー時の空練り効果

前項にて既報同様に空練りによる流動性向上が確認できたことから、次に、同一目標スランブフロー(650mm)とした際の混和剤添加量差を確認した。その結果について、図-3にて示す。データラベルはコンクリートのスランブフロー(mm)を表す。図-2の傾向からも推察されるように、空練り時間が長くなるほど必要混和剤添加量は減少可能であることが確認された。

また、SPHに比べてSPUの混和剤低減率が大きいことから、空練り時間増加による流動性向上はSPUにおいてより効果的に作用することが示唆された。

(3) 空練りによるチクソトロピーへの影響

回転粘度計で測定したヒステリシスループについて、図-4に同一混和剤添加量、図-5に同一目標スランブフローの結果をそれぞれ示す。

図-4では、空練り時間が長くなるにつれて所定のせん断速度 $\dot{\gamma}$ におけるせん断応力 τ は低下する傾向を示した。この傾向はSPHに比べてSPUの方が顕著であり、空練りによる分散性向上効果はSPUの方が高いことが示された。一方、SPHはSPUに比べてセメント分散性を低く設計しており、これが影響したものと考えられる。

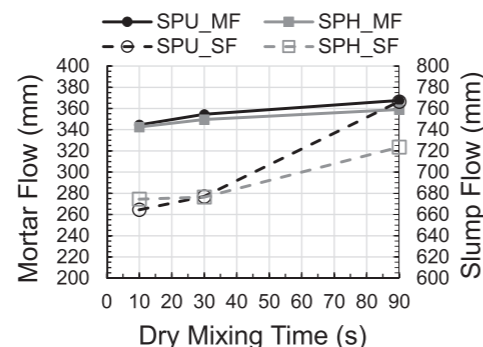


図-2 空練り時間とモルタルフローおよびスランブフローの関係(同一混和剤添加量)

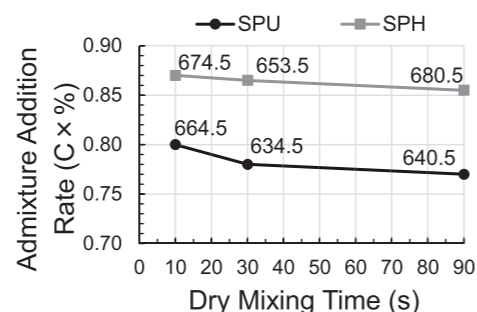


図-3 空練り時間と混和剤添加率の関係(同一目標スランブフロー)

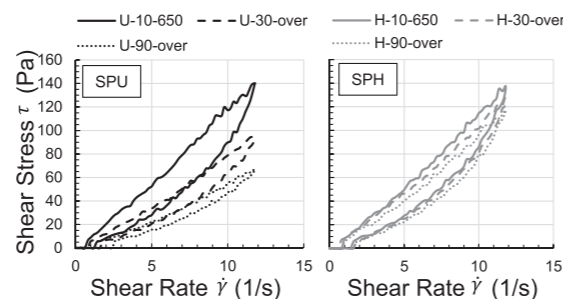


図-4 ヒステリシスループ(同一混和剤添加量)

図-5においても図-4と同様に、SPUにおける空練り時間増加に伴う分散性向上が確認されるが、その傾向は図-4に比べて低いことが空練り時間90秒の点線の履歴から分かる。SPHにおいても同様の傾向が確認された。

上記の結果から、SPUおよびSPHにおける空練り時間とチクソトロピー指数 s_{tx} の関係を図-6に示す。データラベルは混和剤添加率(C×%)を表す。どの水準においても空練り時間増加に伴う s_{tx} 低減効果が確認された。破線のTSF650は同一目標スランブフローのデータを表すが、実線に比べて混和剤使用量が減少したことでセメント分散性が低下し、凝集性を表す s_{tx} は高くなったと推察される。実務ではコンクリートの流動性を混和剤使用量で最終調整することが多く、空練り時間増加によるモルタルのチクソトロピー低減効果は、混和剤種類、混和剤添加率にも左右されることが示唆された。

(4) 空練りによるレオロジー定数への影響

モルタルのフロー試験から求めた降伏値 τ_y および塑性粘度 η を図-7および図-8に示す。

図-7では、実線で示したSPUおよびSPHに関しては空練り時間の増加による τ_y の減少傾向が確認され、SPUの τ_y はより低い値を示した。一方、破線の同一目標スランブフローのデータにおいて、SPHでは空練り時間の増加に伴う τ_y の減少傾向は認められなかった。

図-8では、実線のSPUおよびSPHともに空練り時間の増加による η の減少傾向を示し、SPUが η はより低い値を示した。一方、破線の同一目標スランブフローのデータにおいて、 η は空練り時間10秒に対して30秒で増加し、90秒で減少した。表-3によるとU-30-650およびH-30-650のスランブフローは634.5mmおよび653.5mmであり、他の同一目標スランブフローのデータに比べて流動性が低いことが影響していると推察される。但し、SPHに比べてSPUの方が空練りの効果は大きくなった。

練り直後のモルタルのレオロジー評価として、総じて空練りによる流動性向上の有効性が確認された。加えて、セメント分散性の高いSPUが、SPHに比べて空練りによる粘性低減効果は高いことが示された。

4.2 ウェットスクリーニングモルタルの性状

本節では、コンクリートから採取したWSモルタルを対象に空練りによる流動性向上について検証した。

(1) 同一混和剤添加量時の空練り効果

図-9に混和剤種類ごとの空練り時間とWSモルタルフローおよびモルタルフローの関係を示す。SPUのWSモルタルフローは空練り時間90秒で大幅に増加する傾向を示し、SPHに比べて空練り時間増加による流動性向上は顕著であった。一方で、SPHにおいては空練りによるWSモルタルフローへの影響は少なく、明確な傾向は認められなかった。

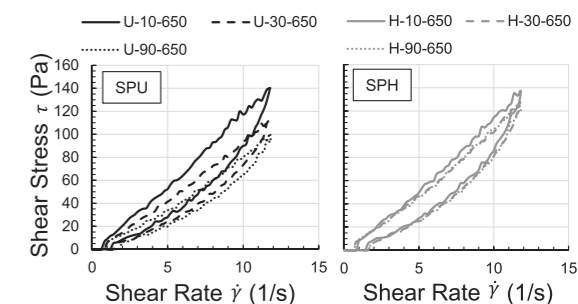


図-5 ヒステリシスループ(同一目標スランブフロー)

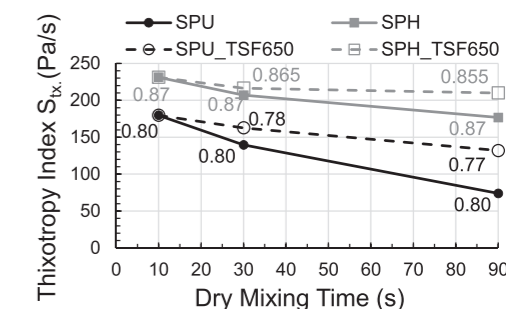


図-6 空練り時間とチクソトロピー指数 s_{tx} の関係

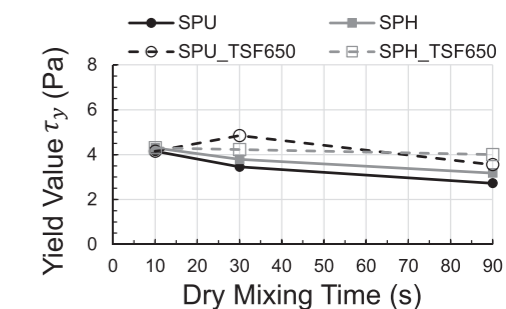


図-7 空練り時間と降伏値の関係

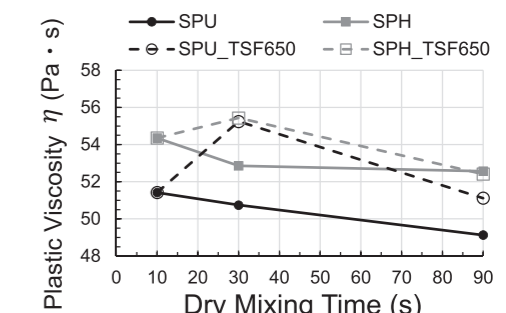


図-8 空練り時間と塑性粘度の関係

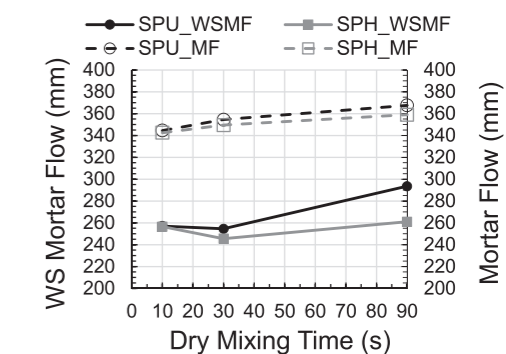


図-9 空練り時間とWSモルタルフローおよびモルタルフローの関係(同一混和剤添加量)

WSモルタルフローがモルタルフローに比べて低い値を示した理由は、WSモルタルはコンクリートから粗骨材を除去したものであるが、粗骨材表面でモルタルの固着化が経時的に促進され、流動性が低下するためである。

(2) 同一目標スランブフロー時の空練り効果

次に、同一目標スランブフローとした際の空練り時間とWSモルタルフローおよびモルタルフローの関係を図-10に示す。データレベルは混和剤添加率(C%)を表す。なお、スランブフローは634.5mmから680.5mmの範囲となり、目標値に到達したものと判断した。

SPUのWSモルタルフローは空練り時間増加に伴って減少する傾向を示し、空練り時間10秒に対して90秒で約17.3%減少した。これは空練り時間が長いものほど混和剤添加率が低減したため、WSモルタルの採取時間も影響してセメント分散効果が経時的に減少した可能性が考えられる。なお、WSモルタルフローは練り直後のモルタルフロー試験から約7分後に測定した。

一方で、SPHのWSモルタルフローは空練り時間10秒に対して90秒で約4.3%の減少に留まった。SPHはSPUに比べて混和剤添加量が多くなったため、流動性の経時変化が小さくなったと考察できる。

(3) 空練りによるチクソトロピーへの影響

回転粘度計で測定したヒステリシスループについて図-11に同一混和剤添加量、図-12に同一目標スランブフローの結果をそれぞれ示す。両図ともに上昇曲線の τ は低 $\dot{\gamma}$ 域で大きく増加した後、緩やかに増加する傾向を示した。WSモルタルを容器に充填後、凝集性が増加したことに起因すると考えられ、この傾向は図-4および図-5の練り直後のモルタルでは認められなかった。

図-11において、SPUでは空練り時間10秒に対して、90秒の所定の $\dot{\gamma}$ における τ は減少する傾向を示した。一方、SPHでは空練り時間10秒に対する90秒における τ の減少傾向は僅かであり、30秒においては τ が増加する傾向を示した。SPUに対してSPHはセメント分散性能を低く設計していることが影響したものと考える。

図-12において、SPUでは空練り時間増加に伴って所定の $\dot{\gamma}$ における τ は増加する傾向を示した。また、空練り時間90秒では上昇曲線の低 $\dot{\gamma}$ 域において τ が極大値を示すようになり、30秒の履歴においても同様の兆候が認められた。同図ではスランブフローが650mmになるように空練り時間の増加に併せて混和剤添加率を減少させたため、WSモルタル採取時にはセメント分散効果が経時的に減少し、凝集性が向上して低 $\dot{\gamma}$ 域において粒子の噛み合いが生じたものと推察される。すなわち、スランブフローは同等であっても、コンクリートを構成するモルタルの流動特性に差異が生じていたことが確認された。

一方でSPHの履歴では、低 $\dot{\gamma}$ 域における凝集性はSPUに

比べて緩和する傾向を示し、SPHがSPUに比べて分散保持性を高く設計されていることによるものと考えられる。

上記の結果から、図-13にSPUおよびSPHにおける空練り時間とチクソトロピー指数 s_{tx} の関係を示す。データレベルは混和剤使用率(C%)を表す。実線のSPUにおいて空練り時間増加に伴う s_{tx} の減少傾向が確認されたものの、SPHでは空練り時間30秒で s_{tx} は一旦増加し、90秒で減少した。一方、破線の同一目標スランブフローのデータでは、SPUにおける空

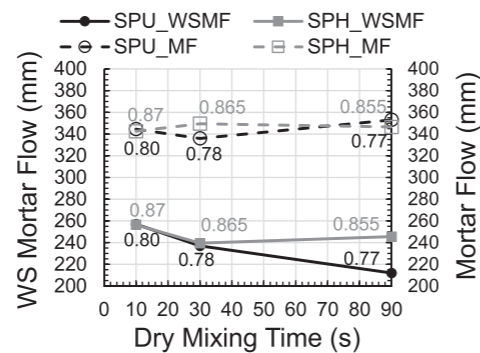


図-10 空練り時間とWSモルタルフローおよびモルタルフローの関係(同一目標スランブフロー)

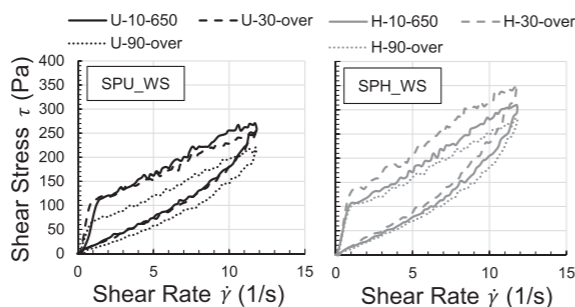


図-11 ヒステリシスループ(同一混和剤添加量)

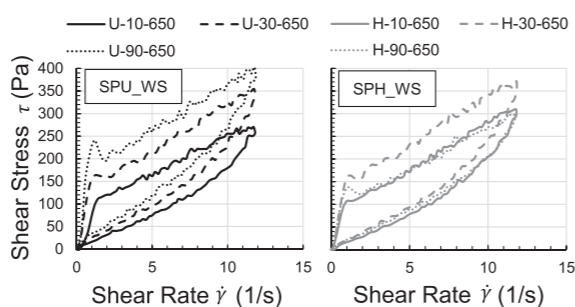


図-12 ヒステリシスループ(同一目標スランブフロー)

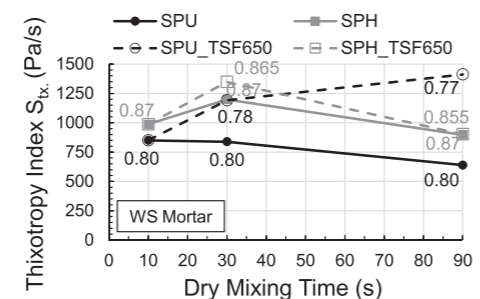


図-13 空練り時間とチクソトロピー指数 s_{tx} の関係

練り時間増加に伴う s_{tx} の増加傾向が顕著となった。

図-13の傾向は図-6の練り直後のモルタルにおける傾向とは異なり、両図のSPU_TSF650の空練り時間90秒の結果を比較すると、WSモルタルの s_{tx} は練り直後のモルタルに対して約10.7倍増加した。SPUは超高強度コンクリート用高性能減水剤として高いセメント分散性能を有するため、練り直後のモルタルの s_{tx} は低くなったが、WSモルタルを採取するまでの時間経過により、粗骨材表面におけるモルタル固着化が促進されるとともに、セメント分散性が低減した可能性が示唆された。

(4) 空練りによるレオロジー定数への影響

WSモルタルのフロー試験から求めた降伏値 τ_y および塑性粘度 η を図-14および図-15に示す。練り直後を対象とした図-7および図-8に比べて、WSモルタルの τ_y および η の値が大きくなった理由は、表-3に示す通りモルタルフローが低く、 T_{150} が長いことに起因する。

図-14のSPUに関して、実線の同一混和剤添加量においては、空練り時間の増加により τ_y は減少する傾向を示した。一方、破線の同一目標スランブフローにおいては、空練り時間の増加とともに混和剤添加量を低減させたため τ_y は増加する傾向を示した。特に、空練り時間90秒における τ_y の増加が顕著であった。

図-15の η においても同様の傾向が認められた。

本実験では、SPUを用いて空練り時間90秒で製造した目標スランブフロー650mmのコンクリートにおけるこぼり性状が確認され、上述のようにWSモルタルの s_{tx} 、 τ_y および η は著しく増加した。よって、空練りによる流動性向上技術を実務展開する上で、セメントの分散性能に限らず、分散保持性やレオロジー制御の観点から混和剤を最適化する必要があると言える。

4.3 空練りによる流動性向上に関して

空練り時間を長くすることで高強度コンクリートの流動性が向上することは既報²⁾の通りであり、モルタルの性状として、チクソトロピー、降伏値および塑性粘度が低減する結果を示した。さらに、同一目標スランブフローを得るための混和剤添加量を低減することができた。

一方で混和剤添加量を低減した場合、流動性の保持時間が短くなり、コンクリートに若干のこぼりが生じた。

すなわち、空練りを利用して高強度コンクリートの流動性を高める場合、コンクリートの使用時間で所要の流動性が得られるように混和剤の添加量および成分構成を調整することが重要である。

5. まとめ

本研究で得られた知見について、以下にまとめる。

(1) 低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリート配合では、適正な空練り時間を設けることで流動性が向上し、そ

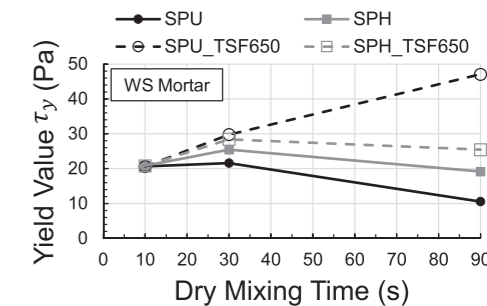


図-14 空練り時間と降伏値の関係

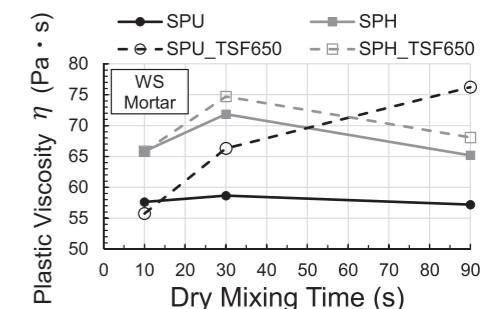


図-15 空練り時間と塑性粘度の関係

の効果は超高強度コンクリート用高性能減水剤の方が、高強度コンクリート用高性能AE減水剤に比べて高いことが明らかとなった。

- (2) 空練りによる高強度コンクリートの流動性向上技術を利用することで、目標スランブフローを得るために必要な混和剤添加量が低減可能となった。
- (3) 空練りによる高強度コンクリートの流動性向上において、コンクリートのスランブフロー試験では表現できない性状の差が生じ、ウェットスクリーニングモルタルのレオロジー試験により数値化できる可能性が示された。

謝辞

本研究に当たり、立命館大学の小林様よりご協力を頂いたことを深謝致します。また、株式会社フローリックの秋山様、清水様並びにコンクリート研究所の皆様にもご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。ここに感謝の意を表します。



物体検出アルゴリズムを用いた 異物除去装置の開発

AUTHOR

安田 真也 YASUDA Shinya

要旨

ABSTRACT

近年、リサイクル原料や樹脂ペレット、農産物など各種粒状材料において、異物の混入が品質・安全性・設備トラブルの観点から問題となっている。これらの現場では、ベルトコンベヤ上を流動する粒状材料(以下、「バラ物」と称する)から人手により異物を選別・除去する作業が広く行われているが、作業負荷が高く、選別精度は作業者の熟練度に依存しやすいことから、自動化・省人化のニーズが高まっている。

本報告では、ベルトコンベヤ上を搬送される粒状材料をカメラで撮像し、取得画像を入力として物体検出アルゴリズムを適用することで、材料中に混入した異物の位置を検出する。その検出座標に基づいて吸引ノズルを制御する異物除去装置の開発について述べる。特に、カメラ画像上で得られた検出座標をコンベヤ座標系およびエンコーダパルスへ変換し、画像処理時間や通信時間を考慮しつつ、適切なタイミングでノズルを駆動するために、座標変換とタイミング補正を含む一連の設計手順(設計フロー)を明らかにした。

開発した装置を用いて社内模擬生産ラインにて評価を行った結果、1~10 mm 程度の異物を対象とした条件において、検出率および除去率の両面で高い性能が得られることを確認した。また、ベルトコンベヤ速度や吸引ノズル配置を変更した場合における制御パラメータの設計指針についても検討した。本技術は、リサイクル原料に限らず、樹脂ペレット、穀粒・豆類などの農産物、飼料などのバラ物を搬送するラインに適用できる。具体的には、搬送中の異物除去、選別工程の前処理、包装・充填前の異物除去など、ベルトコンベヤ上の流動するバラ物から異物を除去する工程への展開が期待できる。

1. はじめに

1.1 背景

リサイクル原料、樹脂ペレット、農産物・飼料などのバラ物を取り扱う搬送・選別・加工工程において、微小異物の混入は製品品質の低下や後工程でのトラブルを招く要因となる。例えば、微小な金属片や石・ガラス片などが混入した場合、後段の成形、粉碎、加熱処理(乾燥・焼成)などの工程において装置損傷や外観不良を引き起こす可能性がある。このため、ライン途中で異物を検出し除去する工程が設けられることが多い¹⁾。

従来、ベルトコンベヤ上を流動するバラ物から異物を選別する手段としては、作業者による目視検査・手拾い、自動色彩選別機や金属検出機などが挙げられる。しかし、目視検査・手拾いは作業者の熟練度や集中力に左右されやすく、長時間の作業による疲労や見落としのリスクが避けられない。また、簡易なセンサ(光電センサ、近接センサ等)を用いた選別機では、対象とする異物の種類・形状・大きさによっては検出が困難な場合がある。さらに、生産量の増加やライン高速化によるスループット(単位時間当たりの材料投入量)の増加や人手不足を背景として、これらの手法のみで安定した品質を維持することが難しくつつある。

このような状況を踏まえ、近年、カメラ画像認識に機械学習を用いた物体検出技術を導入し、対象物や検査条件の変更

への対応力と、高い識別性能を両立した異物検査・選別装置の構築が進められている²⁾。本開発では、これらのバラ物中に混入する異物のうち、1~10 mm 程度の微小異物を対象としている。

1.2 課題と除去方法の検討

ベルトコンベヤ上を流動するバラ物から1~10 mm 程度の微小異物を自動的に除去するシステムを構成する場合、まずどのような異物の除去方式を採用するかが重要な設計要素となる。代表的な方式としては、以下が挙げられる。

1. エアノズルによる吹き飛ばし方式

光学式選別機などで広く採用されている方式であり、カメラやセンサで検出した異物に対し、下流側で圧縮空気を瞬間的に吹き付けて、ベルトコンベヤ上の流れから外側へはじき出して排出する。粒径が数 mm 以上で、比重や形状の差がある場合には、高速に処理することが可能であり、選別対象の変更にも設定調整で対応しやすい。

2. 機械式フラップ・シュータ方式

コンベヤのベルト末端やシュータ部にゲートやフラップを設置し、その開閉によって落下軌道を切り替える方式である。構造が比較的単純で、大きな塊状物や包装品の選別に適している一方、微小異物を選択的に分離することは難しい。

3. ロボットアーム・ピッキング方式

カメラで検出した異物をロボットアームで把持・除去する方式であり、高い自由度と汎用性を有する。しかし、現状の産業用ロボットのサイクルタイムを考慮すると、ベルトコンベヤ上を高速に流れるバラ物から1~10 mm 程度の微小異物を多数ピックアップする用途には適用が難しい。

本開発で対象とする異物は1~10 mm 程度の小さな粒状物であり、良品と混在した状態でコンベヤ上を流動する。このような条件においては、従来広く用いられてきたエアノズルによる吹き飛ばし方式にも、以下のような課題がある。

- ・ 噴射エアの広がりにより、周辺の良品まで一緒に吹き飛ばしてしまうリスクが高い
 - ・ 小さく比重の大きい異物(例:微小金属片)や、バラ物に埋もれてベルト面近くにある異物は、エアが効きにくく、異物だけをうまく除去できない場合がある
 - ・ 高スループット条件では、連続的なエア噴射により周辺の粒子分布が乱れ、後続の除去にも影響を与え得る
- 一方、吸引ノズル方式は、圧縮空気や真空源を用いて局所的に負圧を発生させ、対象物をノズル内へ取り込む方式である。ベルト面に近接してノズルを配置することで、
- ・ 吸引領域をノズル開口近傍に局所化でき、良品への影響を最小限に抑制することが可能となる
 - ・ 吸い込み方向がベルト面に対してほぼ垂直であるため、微小かつ重い異物に対しても安定した除去が期待できる
 - ・ 配管、バルブ、除去アクチュエータ(吸引ノズル)などの構成が、エアノズル方式と近く、既存のエア供給インフラを容易に流用可能である

といった利点がある。特に、本装置が対象とするような1~10 mm の微小異物を高スループットで処理する場合は、「吹き飛ばし方式」と比較して、条件によっては良品巻き込みを抑えつつ除去率を確保できる方式として、吸引方式が有力な候補となる。加えて、本装置では吸引ノズルを制御するため、異物の座標を出力できる検出方式が必要となる。そこで、複数異物の位置を直接出力でき、対象追加にも追加学習により容易に対応可能な物体検出を採用した。

しかし、今回採用した物体検出・吸引方式を採用した場合でも、システム全体としては以下の技術課題が残る。

・ 微小異物の検出

対象となる異物は1~10 mm 程度の小さなものが多く、背景となるバラ物と外観が類似している場合もある。このような条件下で、カメラ画像から安定に異物を検出するためには、撮像条件(解像度、視野、照明、背景色等)の設計と、物体検出アルゴリズムの適切な選定・学習が必要となる。

・ 異物検出結果に基づく吸引タイミング制御

異物はコンベヤ上を流れており、カメラで撮像した時刻から、実際に吸引ノズルが配置された位置を通過するまでには時間

差が生じる。異物の検出時間、PCとPLC間通信の時間、PLCスキャンタイムなどを考慮し、検出された異物がノズル位置を通過する時刻を高精度に予測する必要がある。

・ 複数異物検出時におけるノズルの制御
高スループットな生産ラインでは、コンベヤ上に複数の異物が同時に存在する状況が想定される。また、除去性能を高めるために複数のノズルを配置する構成も必要である。このとき、「どのタイミングで、どのノズルを、どの異物に対して動作させるか」を決定する制御ロジックが必要となる。

・ 良品巻き込みと除去率のトレードオフ
ノズル径や吸引条件を大きくすると異物の除去率は向上するが、同時に良品の巻き込み量も増加する。生産性を損なうことなく異物除去性能を向上させるには、ノズル(径・高さ・配列)と制御(吸引時間・駆動タイミング・吸引圧)の条件を両立させる設計が重要となる。

これらの課題は、異物の種類や業界によらず、「ベルトコンベヤ上を流動するバラ物から微小異物を検出・除去するシステム」全般に共通して存在するものであり、本報告では、吸引ノズル方式を採用した場合の設計手法として整理する。

1.3 本開発の目的

本開発の目的は、ベルトコンベヤ上を流動するバラ物を対象として、物体検出アルゴリズムにより得られた異物の検出座標情報を用い、吸引ノズルによる異物除去を実現する装置を試作し、その設計手法および基礎性能を明らかにすることである。

特に、本報告では以下の点に焦点を当てる。

- ・ カメラ画像上の異物の検出座標をコンベヤ座標系およびエンコーダパルスに変換する方法
- ・ 異物の検出時間や通信時間を考慮したノズル駆動タイミングの算出方法
- ・ 複数異物・複数ノズルを対象とした制御ロジックの構成
- ・ 上記を踏まえた社内に構築した模擬生産ラインにおける検出性能・除去性能の評価

これにより、業種に依存しない標準的な「検出座標からノズル制御までの一貫した設計手順」として設計プロセスを確立することを目的とする。

2. 異物検出部の検討

2.1 要求仕様

本装置における異物検出部は、ベルトコンベヤ上を流動するバラ物中から、1~10 mm 程度の微小異物をリアルタイムに検出する役割を担う。

異物検出部に対する主な要求仕様を以下に示す。

- ・ 対象異物サイズ:おおよそ1~10 mm
- ・ 対象:バラ物中に混入した金属片、樹脂片、異種材料片

など

- ・ 目標検出率:対象異物に対して90%以上
- ・ 処理条件:
 - a. ベルトコンベヤ上のバラ物を流動状態で連続処理
 - b. スループットは生産ラインに応じて変動するが,所定のベルト速度においてリアルタイム処理が可能であること
- ・ 出力仕様:検出した異物について,位置(座標)および種類(クラス)を,後段のノズル制御部で利用可能な情報として出力すること。具体的には,画像上の検出位置に加えて,ノズル制御に用いるコンベヤ座標系およびエンコーダパルス数に換算可能な形で提供できること。

これらの仕様を満たすため,異物検出部は,(1)カメラと照明で画像を取得する撮像部と,(2)取得画像から異物の位置と種類(クラス)を推定する画像処理部(物体検出)で構成した。異物検出部の開発にあたって,物体検出アルゴリズムが異物の検出に適用可能であるか,以下の項目で確認する。

- ① 1~10mmの異物が検出可能
- ② 異物数全体に対する異物の検出率が90%以上

2.2 構成

図2-1に異物検出部の構成概略を示す。

- ・ ベルトコンベヤ上方にエリアカメラを設置し,コンベヤ進行方向に対して鉛直下向きに撮像するトップビュー構成とした。
- ・ 均一な照明環境を構築するため,カメラの周囲にリング照明またはパー照明を配置し,ベルト面およびバラ物表面を等方的に照射する構成とした。
- ・ バラ物がカメラの視野内を通過するタイミングで,トリガ信号に従い一定ピッチで静止画を取得する。

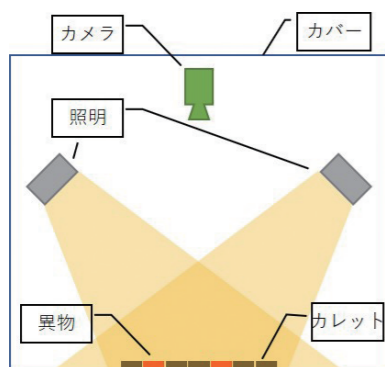


図2-1 検出部概要

本検討では,バラ物の流れがほぼ連続であること,および異物サイズが1~10mm程度と小さいことから,

- ・ 視野全体を一度に撮像できるエリアカメラ方式
- ・ 高画素数センサと単焦点レンズの組み合わせ

を採用した。ラインスキャンカメラ方式に比べて光学設計が簡

易であり,試作段階での視野・解像度の変更が行えるという利点がある。

2.3 撮像条件の設計

(1) 空間分解能と視野

異物を安定して検出するには,最小異物サイズに対して十分な画素数を確保する必要がある。本検討では,対象とする最小異物サイズを1mmとし,これが画像上で少なくとも10画素以上の領域として表現されるように,カメラの視野角と解像度を選定した。

- ・ ベルト幅方向:単一のカメラで処理対象の全有効幅を網羅できるよう,カメラの設置高さを決定した。
- ・ 進行方向:後述するノズル制御の要件に基づき,1フレームあたりの撮像長が過大とならない範囲で視野を決定した。
- ・ 画素当たりの実長:1画素当たりの実長(mm/pixel)は,最小異物サイズ1mmに対して10画素程度の解像度を確保することを指標とし,カメラの画素数と視野に基づき選定した。

これにより,異物と良品との境界が十分に表現され,後段の物体検出アルゴリズムにおいて安定した検出を行える条件とした。

(2) モーションブラーとシャッタ速度

コンベヤ上のバラ物は一定速度で移動しているため,露光時間が長い場合にはモーションブラーが生じ²⁾,異物の輪郭が不明瞭になる。そこで,本検討では「露光中の搬送により画像が流れて写る動体ブレ(以下,「ブレ」と称する)を画像上で1ピクセル以内に抑える」ことを目標として露光時間を設定した。

ベルト速度を v [mm/s],露光時間を T [s],カメラのベルト進行方向の画素数を N [pixel],対応する実視野長を L [mm]とすると,

- ・ 1ピクセルあたりの実長は

$$\Delta x = \frac{L}{N} \text{ [mm/pixel]}$$

- ・ 露光中の像の移動量は

$$\Delta L = vT \text{ [mm]}$$

で表される。

本検討では,

$$\Delta L = \Delta x$$

すなわち

$$vT = \frac{L}{N}$$

となるように,想定する最大ベルト速度に対して許容露光時間 T の上限を算出し,その範囲内で露光時間を設定した。これにより,モーションブラーが画像上で1ピクセル以内に収まり,実質

的に輪郭の劣化を無視できる条件とした。

露光時間短縮に伴う画像の明るさの低下については,照明光量の増加やカメラゲインの調整により補償(以下,「ゲイン補償」と称する)することで,異物と背景間の十分なコントラストを確保した。

(3) 照明条件

異物の種類や材質により,表面反射や色味が大きく異なるため,照明条件および背景色は検出性能に大きく影響する。

- ・ 照明方式:均一な照度分布が得られるよう拡散照明を基本とし,必要に応じて斜光照明や偏光フィルタを組み合わせることで,金属片などのハイライトや鏡面反射を抑制する³⁾⁴⁾。
- ・ 背景色:バラ物および代表的な異物の色調を事前に確認し,双方と十分なコントラストが得られるベルト色(例:黒,青,白など)を選定する。
- ・ 画像コントラストの調整:異物と背景との輝度差・色味が確保されるように,カメラの露光量,ゲイン,ホワイトバランスを調整する。

これらの条件については,社内模擬生産ラインにおいて複数パターンの比較検討を実施した。評価指標として異物検出率および誤検出率を用い,双方の観点から最適な組み合わせを選定した。

2.4 物体検出アルゴリズム

本装置では,撮像した画像から異物の位置とクラス(異物の種類)を自動的に推定するために,深層学習に基づく物体検出アルゴリズムを用いた。物体検出アルゴリズムは,入力画像に対して複数の候補領域を生成し,各領域について「異物であるか否か」および「異物のクラス」を同時に推定するものである。

本検討で採用したアルゴリズムは,畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network; CNN)をバックボーンとし,複数の解像度の特徴マップを統合した上で,画素ブロックごとに境界ボックスとクラス確率を出力するワンステージ型の構成とした。これにより,高い検出精度を維持しつつ,ベルトコンベヤ上の連続画像に対してリアルタイム処理が可能な推論速度を確保した。

図2-2に物体検出アルゴリズムの処理概要の概略を示す⁵⁾。

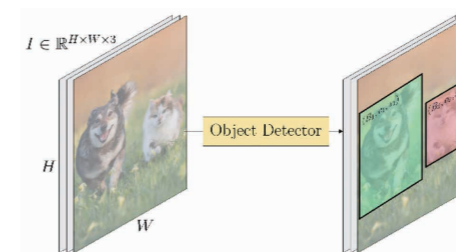


図2-2 物体検出アルゴリズムの処理概要²⁾

1. 前処理
撮像画像を所定の入力サイズにリサイズし,画素値の正規化を行う。必要に応じて,明るさ・コントラストの補正やノイズ低減フィルタを適用する。
 2. 特徴抽出
CNN バックボーンにより,入力画像からエッジやテクスチャ,形状などの特徴量を多段に抽出する。
 3. 検出ヘッドによる候補生成
複数解像度の特徴マップ上で,位置ごとに境界ボックス候補と,それが異物である確率およびクラスごとの確信度を推定する。
 4. 後処理(しきい値処理および Non-Maximum Suppression)
確信度が所定のしきい値以上の候補のみを残し,重なりが大きい候補は Non-Maximum Suppression により統合することで,最終的な検出結果を得る。
- 最終的な出力は,画像座標系における異物の境界ボックス $(x_{min}, y_{min}, x_{max}, y_{max})$ とクラスラベルおよび確信度である。本報告では,これらの境界ボックス中心座標を「検出座標」とし,後段でコンベヤ座標系およびエンコーダパルスへ変換することで,吸引ノズル制御に利用している。

2.5 検出性能評価

本節では,構築した異物検出部の性能評価について述べる。評価は,静止画像を用いたオフライン評価と,ベルトコンベヤを実際に稼働させた状態で取得した画像を用いたオンライン評価の2段階で実施した。

(1) 評価指標

異物検出性能の定量評価には,主に以下の指標を用いた。

・検出率(Detection Rate)

評価対象とした異物のうち,検出アルゴリズムにより正しく検出されたものの割合と定義する。

$$\text{検出率} [\%] = \frac{\text{正しく検出された異物数}}{\text{評価対象となる異物数}} \times 100$$

・誤検出率(False Detection Rate)

アルゴリズムが出力した検出結果のうち,実際には異物が存在しないもの(誤検出)の割合と定義する。

$$\text{誤検出率} [\%] = \frac{\text{誤って検出された異物数}}{\text{検出総数}} \times 100$$

必要に応じて,適合率・再現率や平均適合率(Average Precision)といった指標も参考値として算出し,しきい値変更時の挙動確認に利用した⁶⁾。



(2) オフライン評価

まず、社内模擬生産ラインで撮像した静止画像に対して、アノテーション作業で正解データを作成し、オフライン評価を行った。評価画像は、異物サイズや配置条件が異なる複数パターンから構成し、各パターンで検出率および誤検出率を算出した。

その結果、実運転を想定した標準条件において、対象とする1~10 mm程度の異物に対し、目標としていた検出率90%以上を達成できることを確認した。また、誤検出率についても、後段の吸引除去処理に支障をきたさない水準に抑制されていることを確認した(第5章)。

(3) オンライン評価

次に、ベルトコンベヤを実際に稼働させ、バラ物を連続的に供給した状態でオンライン評価を行った。所定のベルト速度で一定時間運転し、その間に投入した異物数と検出された異物数から検出率を算出した。

オンライン評価では、照明条件のわずかな変動や、バラ物の重なり・堆積状態の変化など、オフライン評価には含まれない要因が加わるが、実運転を想定した標準条件においてはオフライン評価と同等水準の検出率が得られた。これにより、本検討で設計した撮像条件および物体検出アルゴリズムが、実運転環境においても有効に機能することを確認した(第5章)。

3. 検出座標からノズル制御までの設計

本章では、第2章で詳述した異物検出部より出力される検出座標に基づき、吸引ノズルの駆動タイミングを決定するまでの一連の設計手法について述べる。具体的には、画像座標系からコンベヤ座標系・エンコーダパルスへの変換、システム遅延を考慮したタイミング算出、および複数異物・複数ノズルを対象とした制御ロジックについて整理する。

3.1 座標系の定義

本装置では、異物の位置を扱う座標系として、以下の3種類を定義する。

- ・ 画像座標系 (u, v)
エリアカメラの画素配列に対応する座標系であり、画素インデックスを用いて表現する。水平方向の画素位置を u [pixel]、垂直方向の画素位置を v [pixel] とする。
 - ・ コンベヤ座標系 (X, Y)
ベルトコンベヤ上の実空間における位置を表す座標系である。ベルト進行方向を X [mm]、ベルト幅方向を Y [mm] とし、カメラ視野内の基準位置を原点とする。
 - ・ エンコーダ座標 (E)
ベルト進行方向に取り付けたエンコーダから取得されるパルス数に対応する1次元の座標系である。エンコーダのパルス数を E [pulse] とし、ある基準位置を通過した時点を $E = 0$ と定義する。
- 物体検出アルゴリズムの出力である境界ボックス中心座標

は画像座標系 (u, v) で与えられる。本章では、これをコンベヤ座標系 (X, Y) に変換し、さらにエンコーダ座標 E と組み合わせ、吸引ノズルの駆動タイミングを算出する手順を示す。

3.2 画像座標からコンベヤ座標への変換

カメラがベルトコンベヤ上方に固定されていることから、カメラ視野内の平面は、コンベヤ面とはほぼ平行であるとみなせる。このため、画像座標系 (u, v) とコンベヤ座標系 (X, Y) の間には、射影変換(ホモグラフィ)またはアフィン変換による対応関係を定義できる。

本検討では、カメラ視野内に既知寸法のキャリブレーションパターンを配置し、パターン上の複数点について (u, v) と (X, Y) の対応を取得した上で、以下のような線形モデルにより座標変換式を求めた。

・ コンベヤ座標系

$$X = a_{11}u + a_{12}v + a_{13}$$

$$Y = a_{21}u + a_{22}v + a_{23}$$

ここで、 a_{ij} はキャリブレーションにより求めた係数である。キャリブレーション時には、ベルト幅方向の両端および進行方向の複数位置にマーカを配置し、画像上での画素位置との対応づけを行うことで、視野内全域にわたって誤差が許容範囲内に収まるようパラメータを決定した。

物体検出アルゴリズムから得られた境界ボックス中心座標 (u_c, v_c) について、上式を適用することで、コンベヤ座標系における異物位置 (X_c, Y_c) を求める。

3.3 コンベヤ移動とエンコーダパルスへの変換

吸引ノズル制御においては、異物が「ノズル直下を通過する時刻」を高精度に予測する必要がある。本装置では、コンベヤ進行方向に取り付けたエンコーダからパルス信号を監視し、その総パルス数をベルトの移動距離として変換・管理する構成とした。

エンコーダの仕様を以下のように定義する。

1回転当たりのパルス数: P_{rev} [pulse/rev]
 駆動ローラの外周長: C [mm]

このとき1パルス当たりのベルト移動 ΔX_{enc} [mm/pulse] は、

$$\Delta X_{enc} = \frac{C}{P_{rev}}$$

となる。

カメラの撮像ライン(検出ライン)と吸引ノズル位置との間の距離を、コンベヤ座標系において D [mm] とする。ある時刻に検出された異物が、検出時点でコンベヤ座標 $X = X_c$ を有するとき、ノズル直下を通過する時点のコンベヤ座標は $X = X_c + D$ となる。

ここで、検出時点のエンコーダ値を E_{det} [pulse] とすると、ノズ

ル位置を通過する時点のエンコーダ目標値 E_{noz} は、以下のよう

$$E_{noz} = E_{det} + \frac{D}{\Delta X_{enc}}$$

実装上は、 $\frac{D}{\Delta X_{enc}}$ を四捨五入した整数パルス数として扱うことで、PLC上での比較処理を簡略化している。

3.4 システム遅延を考慮したノズル駆動のタイミングの算出

実際のシステムでは、カメラ撮像からノズル駆動信号出力までの間に、以下のような遅延要素が存在する。

- ・カメラの読み出し時間および画像転送時間: T_{cam}
- ・物体検出アルゴリズムの処理時間: T_{det}
- ・PCとPLC間の通信遅延: T_{com}
- ・PLC内のスキャンタイムおよび出力反映時間: T_{plc}

これらを合算した値をシステム総遅延時間として、

$$T_{sys} = T_{cam} + T_{det} + T_{com} + T_{plc}$$

となる。

実際には、システム総遅延 T_{sys} を事前に測定し、ベルト速度ごとに ΔX_{sys} を算出しておき、PLC側のパラメータとして設定することで、さまざまな運転条件下でノズル駆動タイミングが一致するように調整した。

3.5 複数異物・複数ノズルに対する制御ロジック

本装置では、高スループットな処理を実現するため、ベルト幅方向に複数の吸引ノズルを配列し、同時に複数の異物が存在する場合にも対応できる構成とする。

(1) ノズル担当範囲の定義

ベルト幅方向のコンベヤ座標 Y を、ノズル本数に応じて複数の担当領域に分割し、各異物の Y 座標に応じて担当ノズルを割り当てる

(2) キュー管理による時系列制御

各ノズルにおいて、今後通過予定の異物に対応するエンコーダ目標値 E_{trg} を時系列に並べたキューとして管理する。PLC側では、エンコーダ現在値が各キューの先頭に格納された値に到達した時点で、対応するノズルを一定時間ONする。

(3) 重なり・競合の処理

同一ノズルに対して短時間に複数の吸引要求が発生した場合、電磁弁を高速にON/OFFさせることは、応答時間や機械的寿命の観点から望ましくない。本装置では、1回の吸引要求に対する電磁弁の駆動時間を T_{on} [ms] と定め、時刻差が T_{on} 未満である複数の要求は1つの連続パルス(連続ON信号)に統合する方式とした。

3.6 ノズル駆動信号生成

ノズル駆動信号は、エンコーダ現在値 E_{now} と、キューに格納された目標値 E_{trg} との比較に基づいて生成する。

・ノズル j に対するON条件の一例:

$$E_{trgj} - \Delta E_{pre} \leq E_{now} \leq E_{trgj} + \Delta E_{post}$$

ここで ΔE_{pre} 、 ΔE_{post} は、ノズルの応答時間や吸引有効範囲を考慮した許容誤差パルスである。この範囲内に入った時点でノズルをONし、所定のON時間経過後にOFFする。ON時間は、ノズル開口径や吸引流量、ベルト速度との関係から決定し、異物がノズル開口部に入っている間に十分な吸引時間を確保できるよう設定した。これらのパラメータについては、第4章以降に述べる評価結果を鑑み、検出感度の向上と良品巻き込み率の抑制というトレードオフの関係を評価し、最適な値を設定した。

4. 異物除去部の検討

4.1 要求仕様

本装置における異物除去部は、第2章および第3章で述べた異物検出結果とノズル制御ロジックに基づき、ベルトコンベヤ上を流動するバラ物中から1~10 mm程度の微小異物を吸引除去することを目的とする。主な要求仕様を以下に整理する。

- ・ 対象異物:
バラ物中に混入した金属片、樹脂片、ガラス片などの1~10 mm程度の微小異物
 - ・ 目標除去率:
検出された異物に対して90%以上
 - ・ 歩留まり(良品残存割合):
除去対象外のバラ物(良品)が吸引される量を、ライン全体の処理量に対して許容範囲内に抑えること
 - ・ 処理条件:
所定のベルト速度・スループットにおいて連続運転が可能であること
 - ・ 入出力仕様:
第3章で算出されたノズル駆動タイミング(エンコーダパルス情報)を入力とし、各ノズルのON/OFF信号を指定のタイミングで出力できること。
- これらの要求を満たすため、本装置の異物除去部は、複数の吸引ノズル、電磁弁、負圧発生装置(エジェクタまたは真空ポンプ)、およびダスト回収部から構成される。

4.2 構成

図4-1に異物除去部の構成概略を示す。

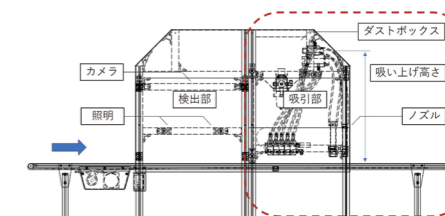


図4-1 異物除去部概要

- ・ ベルトコンベヤ幅方向に複数の吸引ノズルを等ピッチで配置し、各ノズルが担当する幅方向領域に割り当てた。
 - ・ 各ノズルは短い配管を介して電磁弁に接続し、電磁弁の上流側には共通の負圧マニホールドを設けた。
 - ・ 負圧マニホールドは、エジェクタまたは真空ポンプに接続されており、ノズル開口部近傍で十分な流量と負圧を確保するため、配管径および配管長を決定した。
 - ・ 吸引された異物および一部のバラ物は、ダストボックスまたはサイクロン式集塵機に回収される構成とした。
- ノズル先端はベルト面に対してほぼ垂直となるように固定し、ノズル開口とベルト面との距離(スタンドオフ)は数 mm 程度に設定する。これにより、吸引領域をノズル開口近傍に局所化し、良品への影響を抑えつつ異物の確実な捕捉を実現する。

4.3 吸引ノズルの仕様と吸引条件の検討

吸引方式による異物除去性能は、ノズル径、スタンドオフ、負圧レベル、吸引時間 T_{on} 、ベルト速度など、複数のパラメータに依存する⁷⁾。本開発装置では、以下の手順で仕様検討を行った。

(1) ノズル径とスタンドオフ

対象とする異物サイズ 1~10 mm を想定し、ノズル径が小さすぎる場合には異物が開口部に噛み込みやすく、大きすぎる場合には良品巻き込み量が増加することが懸念された。このため、複数候補のノズル径について、以下の条件で比較試験を行った。

- ・ ベルトを停止させた状態で、ノズル直下近傍に異物を配置
- ・ 所定の負圧および吸引時間 T_{on} でノズルを駆動し、異物の吸引可否を確認
- ・ 良品に相当するバラ物を増減させた複数条件で、巻き込み量を観察

(2) 負圧レベルと吸引時間

本装置では電磁弁 ON 時の負圧レベルと ON 時間 T_{on} を組み合わせて異物除去性能を調整している。負圧レベルを高く、 T_{on} を長く設定すれば、除去率は向上する傾向にあるが、同時に良品の巻き込み量が増加し、歩留まりが低下する。

(3) ベルト速度との関係

ベルト速度が増加すると、ノズル直下を異物が通過している時間が短くなるため、必要な T_{on} はベルト速度に依存する。本開発では、第3章で示したタイミング設計に基づき、ベルト速度ごとにノズル有効幅と通過時間を算出し、異物がノズル開口部に入っている期間全体をカバーできるように T_{on} を設定した。

実装上では、 T_{on} を固定値としつつ、エンコーダ許容範囲 ΔE_{pre} 、 ΔE_{post} を調整することで、ベルト速度の変動に対しても適切な吸引タイミングが確保できるようにしている。

4.4 除去性能評価

本節では、異物除去部単体での評価結果の概要を述べる。詳細な数値や条件ごとの比較は、第5章でのシステム評価と合わせて整理する。

(1) ノズル単体評価

まず、ベルトを停止または低速で運転させた状態で、ノズル直下近傍に異物を配置し、ノズル単体での吸引性能を評価した。

- ・ 条件A:ノズル直下(中心付近)に異物を配置
- ・ 条件B:ノズル開口端から数 mm 離れた位置に異物を配置
- ・ 条件C:良品に相当するバラ物の厚みを増加させ、異物が部分的に埋没した状態

各条件に対して、負圧レベルと T_{on} を変化させ、異物が吸引される割合および良品巻き込み量を記録した。その結果、試作したノズル仕様において、条件AおよびBでは目標とする除去率を達成できる設定範囲が存在すること、条件Cのように異物がバラ物中に埋没した場合でも、 T_{on} を適切に設定することで一定の除去性能が得られることを確認した(第5章)。

(2) オンライン時の除去性能

次に、ベルトコンベヤを実運転に近い条件で連続稼働させ、バラ物を供給した状態で除去性能を評価した。この試験では、第3章までで設計した検出・ノズル制御ロジックと、第4章で決定したノズル仕様・吸引条件を組み合わせ、検出された異物が実際に除去される割合を測定した。

実運転を想定した標準条件においては、検出部の検出率が 90 % 以上であることを前提として、除去率についても目標値を満たすことを確認した。また、良品巻き込み量についても、定量的な計測結果から、ライン全体の処理量に対して許容範囲内に抑えられていることを確認した(第5章)。

これらの結果から、本開発で検討した吸引方式およびノズル仕様は、1~10 mm 程度の微小異物を対象としたベルトコンベヤ上の異物除去に対して有効であり、第3章における検出・制御アルゴリズムとの連携により、検出率、除去率、および良品巻き込みのトレードオフを最適化したシステム構成が実現可能であることを明らかにした。

5. 評価試験

本章では、これまで述べた異物検出部および吸引除去部について、社内模擬生産ラインを用いて実施した評価試験の内容と結果を示す。

5.1 評価対象ワークおよび試験環境

本検討では、ベルトコンベヤ上を流動するバラ物中に混入した 1~10 mm 程度の微小異物を対象とした。評価に用いた代表的なワークを図5-1、図5-2に示す。

- ・ バラ物:リサイクル原料を模擬したビニル片
- ・ 異物:金属片,アルミ片,粒状土



図5-1 バラ物(ビニル片)



図5-2 異物(左から金属片,粒状土,アルミ片)

表5-1 試験結果(オフライン評価)

対象	偏光フィルタ無		偏光フィルタ有			
	白色ベルコン		白色ベルコン		青色ベルコン	
	検出率(%)	誤検出率(%)	検出率(%)	誤検出率(%)	検出率(%)	誤検出率(%)
金属片	93.3	13.3	100.0	0.0	93.3	0.0
アルミ片	100.0	16.7	100.0	6.3	80.0	36.8
粒状土	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0

5.2.2 ハレーション・グレアと偏光板の効果

金属片およびアルミ片を含む条件では、偏光フィルタを用いない場合は、ベルト面および異物表面でハレーション・グレアが発生し、一部の異物が背景と同等以上の輝度となることで、検出漏れや誤検出が増加する傾向が確認された。特に、光源とカメラの入射角の関係によっては、異物の輪郭が飽和し、境界ボックスの位置が不安定になるケースが見られた。

これに対し、照明側とカメラ側に偏光フィルタを配置することで、ハレーション成分が抑制され、異物と背景との輝度差・色差が向上した。その結果、金属片条件では検出率が向上し、誤検出率が低減することを確認した(表5-1)。アルミ片についても誤検出率の低減が見られた一方で、背景色による影響が相対的に大きく、青色ベルト条件では検出率低下および誤検出率増加が確認された。これは、異物の代表的な色調・反

5.2 異物検出部のオフライン評価

5.2.1 試験内容

まず、ベルトを停止させた状態で撮像した静止画像を用いて、異物検出部のオフライン評価を行った。評価では、主に以下の要因が検出性能に与える影響を確認した。

- ・ 背景(白色ベルト/青色ベルト)
- ・ 偏光板の有無

各条件について、異物を所定数ランダム配置した画像を撮像し、アノテーション作業で正解データを作成することで、検出率および誤検出率を算出した。背景色および偏光条件ごとの結果を表5-1に示す。

射特性と背景色の組み合わせにより、コントラストが十分に確保できない条件が生じるためと考えられる。

以上の結果から、オフライン評価においては、偏光フィルタの適用により反射に起因する誤検出を抑制可能であることが示された。また、背景色については、対象異物とのコントラストを十分に確保できる組み合わせを選定する必要があることが明らかとなった。

表5-2 試験結果(オンライン評価)

露光時間 ベルコン速度	500(μs)		1000(μs)		2500(μs)	
	検出率(%)	誤検出率(%)	検出率(%)	誤検出率(%)	検出率(%)	誤検出率(%)
9(m/min)	83.3	0.0	98.3	1.6	95.0	6.6
14(m/min)	83.3	2.0	93.3	1.8	93.3	6.7
20(m/min)	81.7	3.9	93.3	1.8	95.0	8.1

5.3 異物検出部のオンライン評価

5.3.1 試験内容

つぎに、ベルトコンベヤを実際に稼働させ、バラ物を連続供給した状態でオンライン評価を行った。なお、オンライン評価は、前節(5.2)のオフライン評価において総合的に検出性能が良好であった「白色ベルト+偏光フィルタ有」の条件を採用して実施した。評価パラメータとして、以下を変更した。

- ・ベルト速度:9~20 m/min の複数条件
- ・露光時間:2.3節で述べた「ブレ量 1ピクセル以内」の条件を満たす前後の値

各条件について、一定時間運転中に投入したバラ物内の異物数と、検出アルゴリズムが出力した検出結果から検出率を算出した。結果を表5-2に示す。

5.3.2 ベルト速度・露光時間と検出率

オンライン評価では、露光時間の設定により検出率が変動することを確認した。露光時間を長く設定した場合、高速側のベルト速度条件において、異物輪郭が進行方向に伸びるモーションブラーが確認された。このとき、一部の異物では境界ボックスが実際よりも大きく推定される、あるいは異物が背景と一体化して検出漏れとなるケースが見られ、検出率が低下した。また、ブレにより異物の形状が崩れることで、誤検出率が増加する傾向も確認された。

一方で、露光時間を短くすぎた場合には、画像が暗くなり、異物と背景の輝度差が低下することで検出率が低下した。具体的には、露光時間を短縮した条件において、照明光量やゲイン補償が十分でない場合、異物の輪郭やテキスト情報が弱まり、検出漏れが増加する傾向が見られた。したがって、オン

ライン運転条件における露光時間は、「モーションブラー抑制」と「画像の明るさ(S/N)の確保」の両立が必要である⁸⁾。

モーションブラーの許容条件は、2.3節で示した関係式に基づき、「進行方向の像の移動量が 1 ピクセル以内」として設定した。

本評価では、上式で算出される許容露光時間を基準としつつ、露光時間短縮による暗画像化を考慮し、照明光量およびゲイン補償により画像の明るさを確保した。その結果、露光時間を「ブレ量 1 ピクセル以内」に収める範囲で適切に設定することで、ブレ起因の検出率低下を抑制できる一方、過度な露光時間短縮は暗画像化により検出率低下を招くことが分かった。以上の結果から、オンライン評価においては、想定される速度域に対してモーションブラーの許容条件を満たす最長の露光時間を基本設定とし、光量不足が生じる場合には照明の強化やゲイン補正によって輝度を確保する手法が有効である。

5.4 吸引除去部の評価

本節では、吸引ノズルを用いた除去部について、吸引時間およびノズル径を変更した場合の「除去率」と「歩留まり」への影響を評価した結果を示す。

5.4.1 試験内容

吸引除去部の基本性能を把握するため、吸引圧を一定(0.4 MPa)に固定し、ノズル径および吸引時間を変更して除去率と歩留まりを計測した。なお、本試験は、前節のオンライン評価において検出性能が良好であった条件を基準とし、ベルト速度 9 m/min、露光時間 1000 μs を固定して実施した。ノズル径は φ10 mm および φ20 mm の 2 条件とし、吸引時間は 50 ms、100 ms、200 ms の 3 条件で比較した。

本評価では、異物を吸引除去できた割合を除去率、異物除去後に良品として残存した割合を歩留まりとして整理した。

5.4.2 試験結果

表5-3 に吸引時間・ノズル径ごとの除去率および歩留まりを示す。

5.4.3 吸引時間・ノズル径と除去率/歩留まりの関係

吸引時間を長くすると除去率は向上する一方で、歩留まりは低下する傾向が確認された。これは吸引時間の増加により異物の捕捉性が高まる反面、周辺の良品も吸引されやすくなるためである。

また、ノズル径を φ20 mm に拡大した場合、吸引範囲が広がることで歩留まりが大きく低下し、特に 200 ms 条件では歩留まりが 50 % 程度まで低下した。一方で除去率は吸引時間の増加に伴い向上するものの、φ10 mm 条件と比較して歩留まり低下の影響が大きい。

以上より、本試験範囲では、除去率と歩留まりのバランスの観点からは φ10 mm 条件が有利であり、特に 100 ms 条件は除去率 100 % を達成しつつ歩留まりも一定水準で維持可能な最適条件として位置付けられる。

6. 考察およびまとめ

本章では、第5章の評価結果を踏まえ、本装置における異物検出~吸引除去までの成立条件と設計上の要点を整理し、今後の課題を述べる。

6.1 異物検出部に関する考察

(1) ハレーション・グレアに対する対策指針

オフライン評価の結果より、金属片やアルミ片のように鏡面反射成分を持つ異物では、照明条件によってはハレーション・グレアが支配的となり、検出漏れおよび誤検出が増加する傾向が確認された。これに対し、偏光フィルタを用いることで反射成分が抑制され、異物と背景のコントラストが改善し、検出率向上および誤検出率低減に有効であることが実証された。

一方で、背景条件は異物の反射特性や色調との組み合わせにより、その検出能力が著しく変動する。実用段階においては、対象異物との高コントラスト化と、鏡面反射等による輝度飽

和の抑制を両立する背景色の選定が必要である。

(2) モーションブラーと暗画像化のトレードオフ

オンライン評価の結果より、露光時間が長い条件では高速側でモーションブラーが発生し、検出率低下および誤検出率増加につながることを確認された。これに対し、露光時間を短縮することでブレ起因の性能低下は抑制できるが、短縮しすぎると画像が暗くなり、S/N低下により検出率が低下することが確認された。

したがってオンライン運転時の露光時間は、「ブレ量 1 ピクセル以内」を満たす範囲で可能な限り長い値を基本とし、明るさは照明光量やゲイン補償で確保することが有効である。加えて、コンベヤの運転速度範囲が広い場合は、速度に応じた露光・照明条件の段切替え(レシピ化)も有効な手段となる。

6.2 吸引除去部に関する考察

(1) 吸引時間の影響

吸引時間の増加により除去率は向上する一方で、歩留まりは低下する傾向が確認された。これは吸引時間を長くするほど、異物に加えて周辺の良品も吸引されるためである。従って、除去率のみを追うのではなく、歩留まりを含めた総合指標で吸引時間を決定する必要がある。

(2) ノズル径の影響

ノズル径を大きくすると吸引範囲が広がり除去率は向上しやす一方で、歩留まり低下が顕著となる傾向が確認された。本試験範囲では、φ10 mm 条件が φ20 mm 条件と比較して歩留まり面で有利であり、除去率と歩留まりのバランスの観点から有効な選定肢となることが示唆された。

実用化においては、対象物の粒径分布・堆積状態・ノズル本数(担当幅)を含めて最適化する必要があり、ノズル径単体ではなく「ノズル径×担当幅×吸引時間×負圧」の組み合わせとして整理することが重要である。

6.3 検出装置と除去装置を統合したシステムとしての設計指針

本開発で得られた知見を、統合システムとしての設計指針として以下に整理する。

- (1) 反射対策: 偏光フィルタと背景色選定により、鏡面反射由来の検出漏れ・誤検出を抑制する。
- (2) ブレ対策: 運転速度に対しブレ量 1 ピクセル以内となる露光時間を基本とし、暗画像化は照明やゲイン補償で対応する。
- (3) 吸引条件: 除去率と歩留まりのトレードオフを前提に、ノズル径と吸引時間を組合せて最適化する。
- (4) 制御成立性: 複数異物・複数ノズル制御では、吸引要求の重なり処理(統合ルール)を設け、電磁弁の応答限界・寿命を考慮した運用条件を決定する。

表5-3 吸引時間・ノズル径による除去率および歩留まり

吸引時間 ノズル径	50(ms)		100(ms)		200(ms)	
	除去率(%)	歩留まり(%)	除去率(%)	歩留まり(%)	除去率(%)	歩留まり(%)
φ 10 (mm)	75.0	89.7	100.0	87.4	100.0	84.7
φ 20 (mm)	60.0	69.3	100.0	60.8	95.0	49.3

MEMO

6.4 今後の課題

(1) 対象異物・バラ物条件の拡張

本評価は代表的な異物・バラ物条件で実施したが、材質・色・形状が異なる異物や、粒径分布・堆積厚みが増える条件に対する再現性確認が必要である。特に、異物が埋没する条件や背景テクスチャが複雑な条件では、検出・除去双方で性能低下が生じ得るため、追加評価を行う。

(2) 長時間連続運転での信頼性評価

システムの長期安定稼働を実現するうえで、電磁弁の連続駆動、配管内の粉塵堆積、ノズル詰まり、負圧源の安定性など、長時間運用における信頼性課題を整理し、保守点検周期・清掃性・フィルタ構成を含めた設計検討が必要である。

(3) 評価指標の拡充

従来の検出率・誤検出率・除去率・歩留まりに加えて、「異物混入割合に対する良品損失量(質量)」「処理量あたりのエ

ア消費」「誤吸引の回収率」「運転速度変動時の追従性」などを含めた総合評価体系を整備し、導入効果を定量的に示す必要がある。

6.5 まとめ

本報告では、物体検出アルゴリズムにより得られた検出座標をコンベヤ座標系およびエンコーダパルスへ変換し、遅延要素を考慮して吸引ノズルを駆動する一貫設計手法を明らかにした。評価の結果、反射対策(偏光フィルタ・背景色)およびプレ対策(露光時間の最適化)が検出性能に大きく寄与すること、また吸引除去においてはノズル径・吸引時間の組合せにより除去率と歩留まりの最適点が存在することを確認した。以上より、本手法はベルトコンベヤ上のバラ物から微小異物を検出・除去する用途に対して有効であり、撮像条件および吸引条件の最適化により各種プロセスへの展開が期待できる。

参考文献 REFERENCES

- 1) 笠原亮介. 特集 PART1 画像識別技術の基礎と機械学習による外観検査技術. 機械設計. 2020. vol.64. no.10. p.6-24
- 2) キーエンス. 基礎から学ぶ画像処理の教科書
- 3) 増村茂樹. マシンビジョン画像処理システムにおける新しい照明技術 -画像処理システムにおける照明の役割と設計基礎, およびその規格化-. 精密工学会誌. 2013. vol.79. no.11. p.1003-1008
- 4) 東芝テリー. "マシンビジョンにおける光と偏光について".
<https://www.toshiba-teli.co.jp/technology/technical/t0011-Reflection-Polarization.htm>
(参照 2025-11-16)
- 5) Malagoli, E., & Di Persio, L.: "2D Object Detection: A Survey", Mathematics, 13(6), 893, 2025.
<https://www.mdpi.com/2227-7390/13/6/893>
(参照 2025-11-16)
- 6) COCO Dataset. Object Detection Evaluation Metrics (mAP, AP, IoU).
<https://cocodataset.org/#detection-eval>
- 7) EuroTech. "真空発生器の種類について"
<https://eurotech-vacuum-technologies.com/ja/types-of-vacuum-generators-explained/>
- 8) PyImageSearch. Mean Average Precision (mAP) Using the COCO Evaluator.
<https://pyimagesearch.com/2022/05/02/mean-average-precision-map-using-the-coco-evaluator/> (参照 2025-12-11)

筆者紹介



安田 真也

YASUDA SHINYA

2023年入社

R&Dセンター技術開発部
開発3課 DX技術ユニット

アスファルトプラントにおけるブルースモークおよび悪臭の対策技術とその変遷

AUTHOR

蓬菜 秀人 HORAI Hideto

概要

ABSTRACT

悪臭は、有害な大気汚染物質などとは異なり直接的に人体に健康被害を及ぼすものではないが、不快感や倦怠感を引き起こすことにより、場合によっては食欲不振など、間接的に人の健康や情緒へも影響を及ぼす可能性がある。1971年に施行された悪臭防止法に基づき各産業分野において対策が講じられてきたが、施行から既に半世紀以上の年月が経過している。とりわけ、アスファルトプラント(以下、APと記述)においてもブルースモークをはじめとする臭気に対し、近隣住民から悪臭に関する苦情が寄せられる場合がある。加えて、循環型社会形成推進基本法の下で2002年に建設リサイクル法が施行され、道路舗装の打ち換え時に発生するアスファルト・コンクリート塊を有効資源として再利用することが義務付けられている。現在では、そのリサイクル率が99%に達し、リサイクル合材の出荷比率が合材全体の70%を超えている。このことは、同法による一定の目的を達成したと評価されるものの、大多数のAPで臭気の根源となるリサイクル合材の製造が常態化していることを意味する。しかしながら、これらの臭気対策については、経済的および技術的な課題が依然として山積しており、すべてのAPにおいて十分な対策が講じられるまでには至っていない。本稿では、「におい」の本質に着目するとともに、臭気に関する法規制の背景を俯瞰し、アスファルト・コンクリート塊が道路舗装資材としてリサイクル化された黎明期から課題となっている、AP発生のブルースモークをはじめとする臭気に対する対策技術の変遷を概観し、将来の展望について論じる。

キーワード:アスファルトプラント, リサイクル, ブルースモーク, 悪臭, 脱臭

1. はじめに

APにおける臭気対策および脱臭技術の変遷については、既刊のNIKKO TECHNICAL REPORT Vol. 3, No. 1, 2022「アスファルトプラントにおける二酸化炭素排出削減技術の変遷と展望」¹⁾並びにNIKKO TECHNICAL REPORT Vol.6, No.2, 2025「直接燃焼および触媒燃焼におけるアスファルト臭気成分の分解性能評価」²⁾で触れているので、そちらも参照されたい。

本稿では、最初に「におい」の本質に迫り、感覚量である「臭い」を客観的に評価する手法の開発において先達による評価手法確立の経緯を概観し、臭気に関する法規制の背景および経緯を俯瞰する。また、道路舗装を打ち換える際に発生するアスファルト・コンクリート塊(以下、「アスコンガラ」と記述)が、有効資源である道路舗装資材としてリサイクル化が始まった黎明期以降、課題となっているブルースモークをはじめとする悪臭に関する対策技術の変遷についても概観する。とりわけ、アスコンガラを破碎し粒度調整したリサイクル材(以下、「R材」と記述)を、リサイクルドライヤ(以下、「Rドライヤ」と記述)で乾燥加熱するプロセスにおいて生成されるブルースモークおよび悪臭について、これらの発生メカニズム、成分、防止法、さらには具体的な対策技術を、当社で得られた知見を中心に考察し、将来のAP

像を展望する。各章の構成は以下の通りである。

第2章「背景」では、臭い成分および人の嗅覚に関してその本質に迫るとともに、生物学的観点や社会的情勢を踏まえ、悪臭公害が問題化し法規制に至る背景について述べる。

第3章「悪臭防止法と臭気測定」では、悪臭防止法の歴史的経緯および概要と、機器分析から人間の嗅覚を用いた「臭気指数規制(三点比較式臭袋法)」への変遷、およびその測定技術の確立について解説する。

第4章「アスファルト由来のVOC(臭気成分)生成メカニズム」では、アスファルトの歴史的背景と構成成分の特徴に触れたうえで、予備実験の結果や既往の研究に基づき、特にRドライヤにおける加熱プロセスでブルースモークおよび臭気が発生・揮発し、凝縮に至るメカニズムについて考察する。

第5章「アスファルトプラントの悪臭対策技術」では、第4章で考察した発生メカニズムを踏まえ、黎明期の対策から現在の本格的な脱臭技術への変遷について述べる。そして、APに適用可能な技術として、燃焼法(直接燃焼・触媒燃焼・蓄熱燃焼)、洗浄法、吸着法、生物脱臭法、および消臭・脱臭剤の各方式について、その原理とAPへの適応性を論じる。

第6章「将来展望」では、これまでの考察に基づき、APにおいて有効な脱臭技術のあり方と、環境負荷低減に向けた今後の展望について示す。

2. 背景

「におい」は、人にとって有益で好ましいものを「匂い」と表記し、そうでないものを「臭い」と記述するという慣習に基づき、その本質が区別されることが多い。とりわけ、「におい」は、光や音と同様に人の感覚量であることから、その刺激の強度は、におい成分の濃度に対して線形的な比例関係にあるわけではなく、むしろ、図-1のウェーバーフェヒナー(Weber-Fechner Law)の法則³⁾が示すとおり、非線形な対数的な特性を有する。このことは、ヒトの嗅覚が強い臭いには鈍感であるが、弱い臭いほど敏感になることを意味している。さらに、複数のにおい成分が複合的に相互作用することにより、感覚的な強度のみならず、「におい」そのものの質にまで変化が生じる。この特性を応用して、特にヨーロッパ、すなわちフランスにおいて発展してきたのが香水の調香技術である。

また、個人の嗜好やその時の感情状態により「におい」を感じる強度には大きな個人差が認められる。これらの理由から、においの種類、濃度、温度、湿度、時間、周囲の環境および感情の状態によっては、快い「匂い」が次第に「臭い」と認識され、果てには不快感を感じる「悪臭」となって「悪臭公害」を引き起こす場合がある。たとえば、通りすがりに漂う焼肉のにおいが食欲をそそる快い匂いとして捉えられる一方で、常時そのにおいに晒される隣人にとっては、まさに悪臭に他ならない⁴⁾。

「悪臭」は、有害な大気汚染物質などとは異なり直接的に人体に健康被害や自然環境の悪化をもたらすわけではないが、不快感や倦怠感を引き起こし、ひいては食欲不振などを通じて間接的に人の健康や情緒に影響を及ぼす可能性がある⁵⁾。このため、悪臭防止法に基づき、各自治体において必要なエリアで悪臭規制が実施されている(なお、悪臭防止法については第3章で詳細に触れている)。

大気中に漂う「におい」物質は40万種類⁶⁾を超えると云われ、図-2のように無機質系と有機質系に大別される。無機質系の臭い成分としては、石炭や石油などの化石燃料の燃焼過程により生成される窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)、その他アンモニア(NH₃)、硫化水素(H₂S)などが挙げられる。一方、有機質系の臭い成分は無機質系に比べ圧倒的に多く存在し、脂肪族類や芳香族類などの炭化水素を基本構造とし、水酸基(-OH)やカルボキシル基(-COOH)などの官能基が結合した揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compound)が大多数を占めている。このことは、地球上に生息する多様な生物種の数とも深い因果関係があると考えられる。ただし、すべての生物は有機化合物そのものであるため、単純な有機・無機の二分法では捉えきれない複雑さが存在している。

陸上生物にとって嗅覚は、捕食、天敵からの逃避、防衛、さらには子孫繁栄のための求愛活動など、遺伝的に備わった能

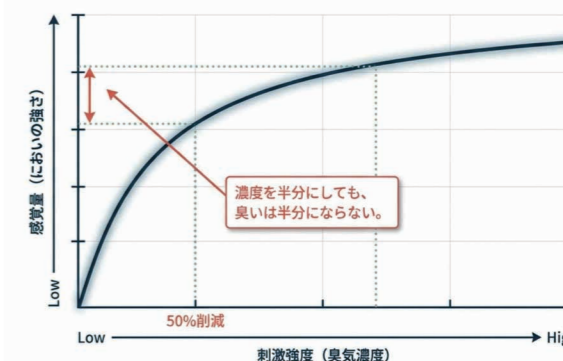


図-1 ウェーバーフェヒナーの法則の概念



図-2 無機質系と有機質系臭気成分

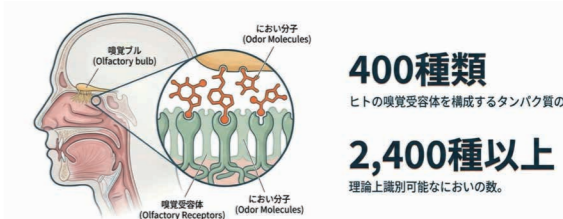


図-3 ヒトの鼻腔内にある嗅覚受容体

力として極めて重要な役割を担っている⁸⁾⁹⁾。生物が陸上で生息を始めた約5億年前から、嗅覚は多様な進化と退化を繰り返しながら現代に至っている。特に、陸上生物の中では、哺乳類が嗅覚を最も発達させ、その嗅覚受容体はVOCに非常に敏感である。同じ哺乳類であっても、アフリカゾウは最も多くの嗅覚受容体を有する一方で、進化の過程で陸上から海へ進出したイルカは嗅覚が退化している¹⁰⁾¹¹⁾。

図-3に示すようにヒトの鼻腔には約400種類の異なるタンパク質で構成された嗅覚受容体が存在し、これらの組み合わせにより理論上は2,400種以上のにおいを識別することが可能とされる。また、においは大気中における伝播機構上、その影響範囲が限定的である。なお、鼻腔の嗅覚受容体の構成は遺伝子により個体差が生じることが知られている¹²⁾¹³⁾。

陸上の大気を媒体とする嗅覚に対して、水中生物である魚類は水溶性物質に反応する嗅覚を有する。嗅覚に関するゲノム解析により、進化の過程や嗅覚の変遷が明らかになりつつあり、さらに近年の研究では、植物が被食時に特定の臭い成分を発散して捕食者である昆虫を追い払う事例も報告されている¹⁴⁾。

一方、近年、経済的豊かさを慢性的に享受している日本国民

においては、生活環境の質的意識の向上、地球規模の環境問題への関心、変化する食文化、多様化するにの嗜好、嗅覚への意識の向上、そしてアメニティの追求が顕著に表れている。このような背景から悪臭に対する規制が強化され、図-4のように近年では悪臭苦情の件数が漸近的に減少している。悪臭苦情は、図-5に示すように典型的な7公害(大気、水質、粉塵、騒音・振動、悪臭、土壌汚染、地盤沈下)の中でも騒音公害に次ぐ水準を維持しており、悪臭は感覚公害であるため、法規制をいかに強化しても完全に苦情をゼロにすることは不可能であるといわれている。

このような社会情勢を背景として、地方行政機関の指導の下、悪臭濃度規制が施行され、AP、特にR材を加熱再生するリサイクルプラント(以下、RPと記述)においても、排ガスの臭気濃度に関する規制が求められる地域が今後増加するものと予測される。

とりわけ、写真-1に示すAPから発生するブルースモークをはじめとする臭気が近隣住民から悪臭苦情として挙げられており、悪臭防止法に基づく対策が求められてから相当の年月が経過している。また、石油の蒸留精製の残渣であるアスファルト由来のこれらの悪臭は、有機質系の多様な臭気成分によって構成されていると考えられる。

2000年施行の循環型社会形成推進基本法の下で建設リサイクル法が2002年に施行され、道路舗装の打ち換え時に発生するアスコンガラのリサイクル率が99%を超えたことから、一定の成果が認められるものの、リサイクル化の加熱プロセスで発生するブルースモークおよび臭気対策については、経済的・技術的課題により、全てのAPに脱臭装置が普及するには至っていない。一方、悪臭防止法に基づく臭気規制は、地方自治体ごとに規制値が定められている。

3. 悪臭防止法と臭気測定

本章では、我が国における悪臭対策の歴史、法制度、測定技術、データ蓄積、専門人材育成の進展などについて、既往の主要論文から包括的な分析を行っている。1971年の悪臭防止法の制定から始まり、1995年の「臭気指数規制」導入、2000年の「臭気判定士制度」創設、そして「三点比較式臭袋法の開発」と「嗅覚閾値データの蓄積」に至るまで、日本独自の悪臭管理の基盤形成とその社会的意義を明らかにしている。これらの成果は、住民の感覚に即した実効性の高い政策を実現し、国際的にも高い評価を受けている。今後は、測定技術の高度化、データの精度管理、専門人材の育成強化を通じて、より効果的な悪臭管理が期待されることである。

以下では、「悪臭防止法の歴史的背景」、「三点比較式臭袋法の開発」、「嗅覚閾値データの蓄積」といった側面から、現代の臭気管理の基盤を形成する要素を体系的に整理し、今

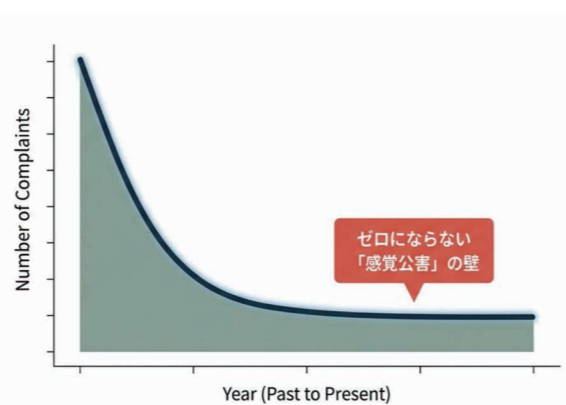


図-4 悪臭苦情の件数が漸近の傾向



図-5 悪臭苦情は騒音に次ぐ水準



写真-1 APの煙突から排出されるブルースモーク

後の課題と展望を明らかにしている。

3.1 悪臭防止法の歴史的背景

高度経済成長期に深刻化した公害問題に対して、国が対策を講じるための総合的な枠組として公害対策基本法(1993年に環境基本法へ移行)が1967年に制定される。欧米に追い付け追い越せの経済政策の下、急速に工業化が進み、国民が利便性や豊かさを享受し、社会に浸透していく。反面、その代償として典型7公害として知られる大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下、悪臭が社会問題となり、直接的に国民の生活環境を悪化させるとともに健康被害を拡大させていく。とりわけ、大気汚染と水質汚濁に関しては、四日市ぜんそくやイタイイタイ病などの公害病として歴史に深く刻まれ

ることになる。

悪臭は、直接的な健康被害をもたらさないが、嫌悪感や食欲不振など間接的な健康被害を招き、悪臭公害として社会問題にまで発展し、その対策法案の国会審議へと繋がっていくのである。

1971年(昭和46年)に制定された悪臭防止法は、規制地域内の工場や事業所から発生する悪臭に関する必要な規制を行うことにより、生活環境を保全し、国民の健康の保護を図ることを目的としている。そして同法は、我が国における悪臭対策の出発点と位置づけられる。制定当初は、特定悪臭物質の濃度を機器分析法で測定・規制するものであったが、複合臭や日常生活由来の臭気苦情が増加する中、従来の方法では十分な対応が困難であった¹⁵⁾。

このような悪臭防止法は、社会的要請や技術的進展に応じて改正が順次重ねられていく。とりわけ、1995年の「臭気指数規制」導入は、従来の機器分析法では対応困難だった複合臭や主観的苦情への対応を可能にし、全国の自治体での採用が進んでいく。臭気指数規制は、人の嗅覚を用いた官能試験法(三点比較式臭袋法)が公式測定法として採用されている¹⁶⁾。そして、全国の自治体で臭気指数規制の基盤となっていく。これにより、住民の感覚に即した実態把握が可能となり、複合臭や個人差への対応力が大幅に向上している¹⁷⁾。

さらに、2000年には「臭気判定士制度」が法的に位置づけられ、専門人材の育成と測定の信頼性向上が一層強化されている。臭気判定士制度は、官能試験法の実施における専門性を担保し、測定結果の一貫性と精度を確保するための資格制度である。厳格な試験と教育プログラムを通じて専門人材が育成され、住民の生活環境改善や事業者の臭気対策推進に大きく貢献している。この制度に基づく臭気判定士は、官能試験法と機器分析法を補完的に活用し、地域住民の生活環境改善に寄与することが求められる。

今後の課題としては、測定方法やパネル属性によるばらつき、試薬の純度や調製方法の違いなどが課題として指摘されており、複数機関によるデータの精度管理や官能試験法と機器分析法の補完的活用が求められている。

このように我が国における悪臭対策は、感覚公害としての悪臭問題が社会的課題となる中、法制度・技術開発・データ蓄積・専門人材育成の各側面で大きな進展を遂げていくのである¹⁸⁾。

一方、同悪臭防止法では、悪臭による被害の特性に鑑み指定地域制度が取られている。これは、悪臭による被害は、本質的には人に不快感や嫌悪感を与えるということにとどまるものであり、人に悪臭を感じさせることがない地域においては、悪臭の排出を規制する必要がないと考えられること、また、悪臭被害は一時的なものであり、食品等に蓄積され摂取した人体に影響を及ぼすといったことはないこと、現に悪臭規制が必

要な地域に限り規制すればよいと考えられるからである。

加えて、都道府県知事又は市長が規制地域を定め、その地域に対して、その自然的・社会的条件を考慮して、環境省令で定められた範囲で規制基準を定めることとされている。そして、規制対象は、規制地域内に設置されている工場その他の事業場とされており、業種や規模、経営主体の如何を問わず、工場その他の事業場における事業活動に伴って発生する悪臭全てが規制の対象とされる¹⁹⁾。

なお、同法では工場や事業場から発生する悪臭を固定発生源として規制の対象としており、自動車・船舶・航空機などの移動発生源や、建設現場・個人住宅・野外焼却といった一時的・個人発生源は規制対象とはならない。近年は、これら規制対象外の発生源に関する苦情が全体の約半数を占め、特に野外焼却や個人住宅に関する苦情が増加傾向にある²⁰⁾。

3.2 臭気指数規制と三点比較式臭袋法の導入

現行の悪臭防止法では、22種類の特定悪臭物質が指定されており、その排出濃度を対象として規制が行われる。機器分析により臭い成分を特定し濃度を定量することは、最近の分析技術をもってして十分な精度で定量可能である。しかしながら、悪臭対策としては、特定悪臭物質の濃度規制を行うだけでは不十分で、臭いの本質にまで迫る必要がある²¹⁾。

臭い物質の濃度と感覚量である臭いの強さとの間には線形関係がなく、ウェーバーフェヒナーの法則が示すとおり、非線形な指数関数的関係にある。具体的には、人の嗅覚で感じる臭いの強さを半減させるためには、臭気成分の濃度をおよそ90%以上削減する必要があることを意味している。さらに、臭いの質や組み合わせの違いで臭いの感じ取り方が異なってくることを加味すると、人間の感覚量である臭いの強さを機器分析による臭気成分濃度と関連付けるのは極めて困難である²²⁾。

このような課題を克服するために、前節でも触れた「臭気指数規制」の導入へと至るのである。とりわけ、最初に東京都条例で施行された「三点比較式臭袋法」という人の嗅覚を用いた官能試験法が機器分析法を補完する公式測定法として採用する自治体が増加していく。

このことにより、従来の機器分析法では対応困難だった住民の感覚に即した実態把握を可能とするのみならず、複合臭や個人差のある主観的苦情への対応力が大幅に向上し、臭気指数規制の基盤を築いていくのである²³⁾。

3.3 嗅覚閾値データの蓄積と測定方法の概要

三点比較式臭袋法を用いた223物質にわたる嗅覚閾値がデータベースとして蓄積されている。嗅覚閾値は、機器分析法と官能試験法とを関連付ける基礎となるデータで、人の嗅覚で感受するか否かの境界濃度を示している。今では、このデータ

ベースが悪臭対策や労働衛生、健康影響評価など幅広い分野で活用されている。そして、これらのデータベースは、臭気指数規制の科学的根拠を支えるとともに、国際的にも高い評価を受けるようになってきている²⁴⁾。

臭気の官能試験において従来から用いられてきた注射器法は、容量不足や臭気の吸着ロス、測定客観性の欠如などの課題があった。これらの課題を克服するために、科学的かつ実用的な測定法として三点比較式臭袋法が開発されるに至っている²⁵⁾²⁶⁾。

図-6に示す三点比較臭袋法の分析手順は、まず臭気の発生源から空気を吸引し臭気サンプリングバッグに採取する。臭気サンプリングバッグは、付臭(物理的な吸着)が少ないPET(Poly Ethylene Terephthalate)製の袋などを用いる必要がある。そして、パネルと呼ばれる、嗅覚検査に合格した6名以上の被験者を選任する。嗅覚検査は、人口の5%存在するといわれる嗅覚異常者をパネルから除外するために実施する。パネルは特別な嗅覚を有している必要はなく、人として一般的な嗅覚であれば問題はない。

つぎに、採取した臭気を、臭いが感じられなくなるまで無臭の空気で段階的に薄めていく。三点比較式臭袋法に基づき、臭いの付いた袋1つと、無臭の袋2つを用意してパネルに提示し、3つの袋の中から臭気を含む袋をパネルが選択する。そして、パネル全員が臭いを感じなくなるまでこの希釈操作を繰り返し、その希釈倍率から「臭気濃度」を求める。最終的に臭気濃度を対数変換して「臭気指数」を算出する。このように、三点比較式臭袋法は、袋の材質選定やパネル人数の検討、閾値の確率的定義など、科学的根拠に基づいた基本設計が行われている。

以上のような一連の臭気分析業務を国家資格である臭気判定士が担っている。

4. アスファルト由来のVOC(臭気成分)

4.1 アスファルト

4.1.1 歴史

図-7に示すとおり、アスファルトの利用は古く、古代エジプト文明にまで遡ることができる。紀元前1000年頃、ツタンカーメン王などのミイラの防腐剤として天然アスファルトが使用された痕跡が確認されている。さらに、紀元前600年頃のメソポタミア文明期、古代都市バビロンにおいて王の行列道路に初めてアスファルト舗装が施されたとの記録も残っている。これらの天然アスファルトは、地表に露出した原油が火山活動による熱履歴を受けた後、大気中の酸素および太陽光(紫外線)の影響下で低分子成分が揮発し、重質分が重合や縮合反応を経て高分子化して蓄積したものと考えられている。

時代を下り1859年、アメリカのエドウィン・ドレークがペンシル

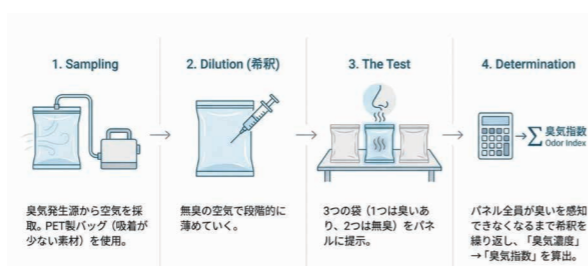


図-6 三点比較式臭袋法による分析手順

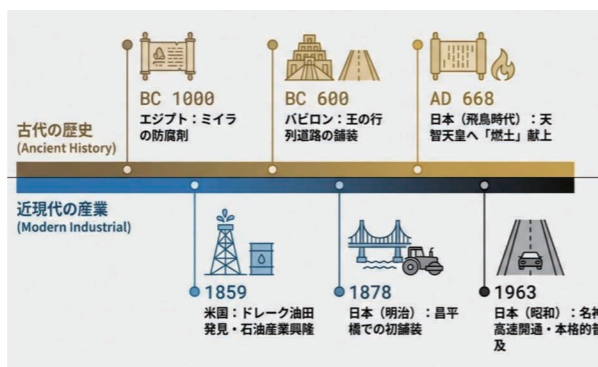


図-7 アスファルトの歴史

ベニア州で油田を発見し、機械化による石油産業を興した。続いてジョン・ロックフェラーがスタンダード・オイルを設立し、アメリカ全土の石油流通を支配したことは歴史的に有名である。その後、1877年にドイツのオットーがガソリンエンジンを、1893年にディーゼルがディーゼルエンジンを発明したことにより、自動車の普及に拍車がかかった。

燃料需要の増大に伴い産油量が増加し、副次的に生成されるアスファルトが安価な道路舗装バインダーとして定着した。経済成長と共にいわゆるモータリゼーションが進展し、アスファルト舗装道路の建設が加速したのである。

一方、日本においては、『日本書紀』に飛鳥時代の668年、天智天皇即位式に際して「燃土」と称される越の国(現在の新潟県)産のアスファルトが献上された記述がある。江戸時代には秋田県産の天然アスファルトを用いた油煙(墨の原料)製造が始まり、1878年(明治11年)には同県産のアスファルトを用いて東京の昌平橋で国内初のアスファルト舗装が施工された。昭和初期以降は原油の輸入・精製による石油アスファルトの生産が始まり、戦後の高度経済成長と1963年の名神高速道路開通を契機に、本格的な普及期を迎えた。

4.1.2 概要

アスファルト舗装のバインダーとしてのアスファルトは、適度な流動性・粘着性を有し、温度変化により流動性を調整可能であり、防水性が高く水よりも重いという特徴を持つ。常温では固形で、物理的・化学的に安定しており人畜無害である。

アスファルトは、天然アスファルト、石油アスファルト、改質アス

ファルトに大別される。天然アスファルトは自然界で産出されるものであり、石油アスファルトは原油精製過程の残渣油として生産される。改質アスファルトは、石油アスファルトにゴムや樹脂等を添加し性能を向上させたものである。

近年、エネルギー供給構造高度化法などの政策により、原油精製プロセスにおいて付加価値の高い軽質油の収率向上が図られている。その結果、残渣油であるアスファルトに対しても減圧下での分解処理(クラッキング)等が施される傾向にあり、生産量の減少や価格上昇、さらにはアスファルト性状の変化が指摘されている。

4.1.3 構成成分

石油アスファルトは、原油の蒸留精製残渣である。原油は沸点の違いによりナフサ、ガソリン、灯油、軽油、重油などに分留され、最後に残るのがアスファルトである。原油の主成分は炭化水素であり、パラフィン系、ナフテン系、芳香族系に分類される²⁷⁾。一般的に沸点は、パラフィン系 < ナフテン系 < 芳香族系の順で高くなる傾向がある。

アスファルトは高分子で多様な炭化水素の混合物であり、熱的に不安定な成分も多く含むため、組成は常に変動し得る。便宜上、図-8に示すように溶剤のノルマルペンタンに不溶な「アスファルテン」と、可溶な「マルテン」に大別される。

アスファルテンは分子量500~5,000の範囲に及び、バナジウムやニッケルなどを含むポルフィリン化合物を有し、ねじれた二次元構造を呈する。アスファルトの黒色は、この高分子多環芳香族が可視光を吸収することによる。

一方、マルテンは分子量200~1,500と比較的小さく、さらにプロパンに可溶な「油分」と不溶な「レジン」に分類される。これらは炭素数C5~C20程度の炭化水素が主成分で、アスファルトの流動性を司る。図-9のようにアスファルトは、アスファルテンがミセルとしてマルテン中に分散したコロイド構造を形成していると考えられている。

4.2 VOC(臭気成分)生成メカニズムの検討

4.2.1 アスファルトの蒸気圧(VOC発生量)

アスファルト由来のVOC(揮発性有機化合物)発生量は、その蒸気圧に大きく依存する。常温では固形であるが、加熱により流動点(65~70℃)を超えると、低沸点のパラフィン系、ナフテン系、芳香族系炭化水素などの蒸気圧が増大し、順次揮発していく。特にパラフィン系は温度上昇に伴う粘度低下により対流が活発化し、蒸発が促進される。

また、JIS規格では163℃で5時間加熱した際の薄膜加熱質量変化率が0.6%以下と定められているが、これは微量ながら揮発成分が存在することを示している。さらに、空気中の酸素による酸化作用が加わると、高分子成分が分解し、揮発性の高い(低分子の)VOCが生成される。

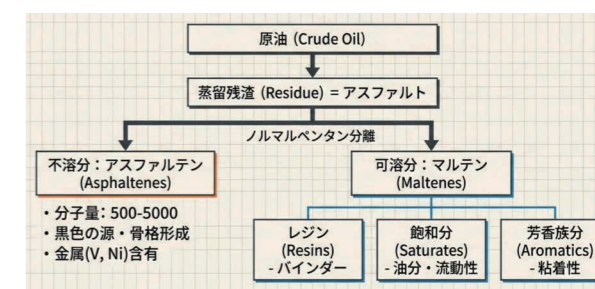


図-8 アスファルトの構成成分

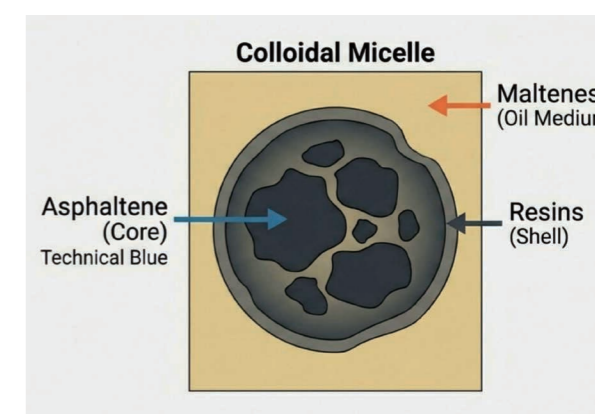


図-9 アスファルトのコロイド構造

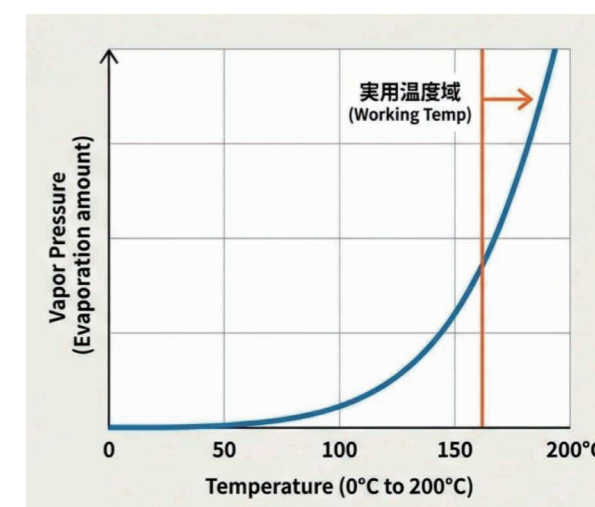


図-10 アスファルトの蒸気圧

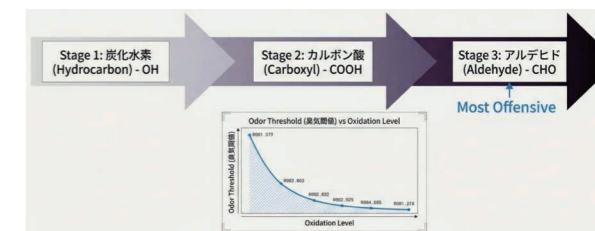
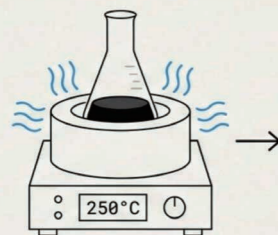


図-11 VOCの酸化による臭気成分の変化

通常出荷温度である160℃前後での揮発成分量を把握するため、ストレートアスファルト(80-100)の蒸気圧を無酸素(還元雰囲気)下で測定した結果を図-10に示す。この結果は、原油精製の残渣油であるアスファルトにも多くの低沸点成分が

実験A：緩慢加熱 (Indirect Heat)



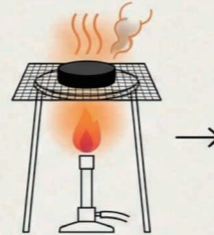
主な生成物：アルデヒド類 (Aldehydes)

酸化臭 (Oxidized Oil Smell)

硫黄化合物は不検出

図-12 実験A

実験B：直火加熱 (Direct Flame)



主な生成物：硫黄化合物 (Sulfur Compounds)

腐卵臭・刺激臭 (H₂S, Mercaptans)

高熱による分子破壊

図-13 実験B

残留していることを裏付けている。実際のプラントでは酸素が介在するため、酸化分解によりさらに蒸気圧が高まることが推察される。そして、図-11に示すように酸化が進むことにより生成するVOCの多くは、芳香族系化合物や、カルボニル基 (-CHO)、カルボキシル基 (-COOH)、ケトン基 (-C=O) などの官能基を有する物質であり、これらがアスファルト特有の悪臭原因物質として作用していると考えられる。

4.2.2 予備実験

加熱プロセスの違いによる臭気成分の変化を確認するため、以下の実験を行った。

4.2.2.1 実験A

図-12に示すように密閉容器内でアスファルトを250℃前後に加熱し、空気を吹き込んで発生させた臭気成分をガスクロマトグラフィ (GC) で分析した。これは、Rドライヤ後半部 (160℃前後) やミキサ、サイロでの貯蔵中に相当する条件である。

4.2.2.2 実験B

図-13に示すようにR材を直火で加熱し、発生した臭気成分をGC分析した。これは、Rドライヤ前半部で高温熱風の輻射熱を受け、R材微粒分やドライヤ付着物が過熱された状態に相当する。

4.2.2.3 考察

実験Aでは硫黄化合物が検出されず、酸化反応によるアルデヒド類の増加が著しかった。一方、実験Bではアルデヒド類に加え、硫化水素、二酸化硫黄、メルカプタン類などの硫黄化合物が多く検出された。

この結果から、加熱条件により悪臭成分の構成は大きく異なり、特に高温部では硫黄系成分に起因する強い悪臭が発

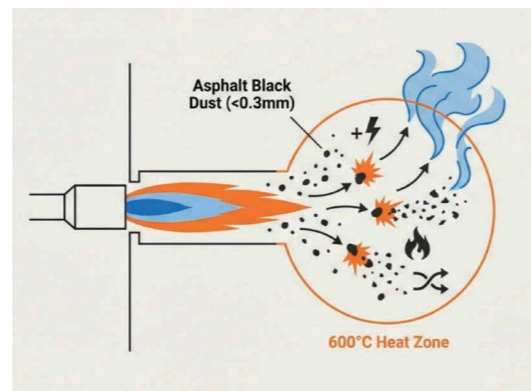


図-14 R材微粒子の飛散と不完全燃焼 (ドライヤ入口部)

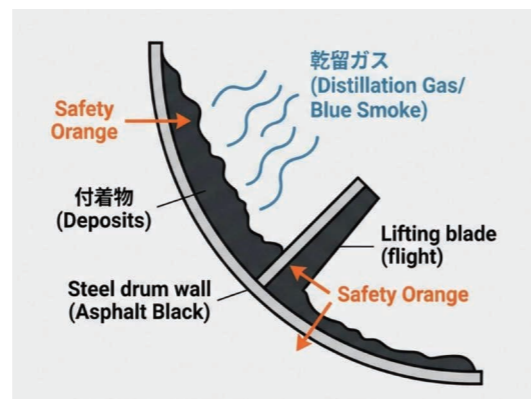


図-15 ドライヤ内部付着物の乾留

生することが確認された。また、揮発したVOCが外気により急冷されることで過飽和状態となり、凝縮してブルースモーク化することが示唆された。

4.2.3 RドライヤにおけるVOC (臭気成分) 生成メカニズムの推察

以上の知見を基に、Rドライヤ内部でのVOC生成メカニズムを以下の3つのプロセスに分類して考察する。

4.2.3.1 R材微粒子の飛散と不完全燃焼 (ドライヤ入口部)

R材に含まれる0.3mm以下の微粒子は比表面積が大きく、アスファルト分を多く含んでいる。図-14に示すようにこれらがドライヤ投入時に飛散し、600℃以上の高温熱風と直接接触することで瞬間的に加熱 (燃焼) される。この際、熱分解や酸化分解が急激に進行し、メチルメルカプタンなどの硫黄化合物を含む強い臭気成分が発生する。

4.2.3.2 内部付着物の乾留 (ドライヤ内部)

図-15に示すドライヤ内部、特にバーナ近傍の壁面やリフター (羽根) には、0.6mm以下の細粒分が付着しやすい。初期段階では水分を媒体として付着するが、温度上昇に伴い水分が蒸発すると、熔融したアスファルトがバインダーとなり強固に固着する。この付着物が熱風の輻射や伝熱を受けて加熱 (乾留) されることで、高濃度のブルースモークと悪臭成分 (硫黄化合物を含む) が揮発生成される。

4.2.3.3 加熱R材からの揮発 (ドライヤ排出部)

図-16のようにドライヤ内をR材が移動し、所定の160℃付近まで昇温されたR材本体から発生する揮発成分である。ここでは温度が比較的低いため、発生するVOCは主に160℃以下の低沸点物や、酸化により生成したアルデヒド類などの炭化水素が主体となる。硫黄化合物の割合は少ないが、排ガス中の酸素により酸化が進行している。

4.2.3.4 凝縮および成長過程

Rドライヤから排出されるガス、ミスト、ダストが混在した排ガスは、ドライヤ出口付近で約200℃の温度を持つ。この段階でVOCの多くは気体として存在するが、16%前後の酸素濃度下で酸化分解が進み、図-17のように低分子のアルデヒドやケトン等へ変化していく。

その後、集塵機や煙突を経て大気へ放出される過程で温度が低下すると、飽和蒸気圧の低下に伴い、ダストやミストを核としてVOCの凝縮 (液化) が進行する。煙突から排出され外気でさらに冷却されると凝縮が加速し、微細な粒子となって太陽光を散乱させ、視覚的に青く見える「ブルースモーク」となる。これは、図-18に示す粒子径が光の波長より小さい場合に生じるレイリー散乱 (チンダルブルー現象) によるものである。なお、粒子径が大きくなるとミー散乱により白煙として視認されるようになる。

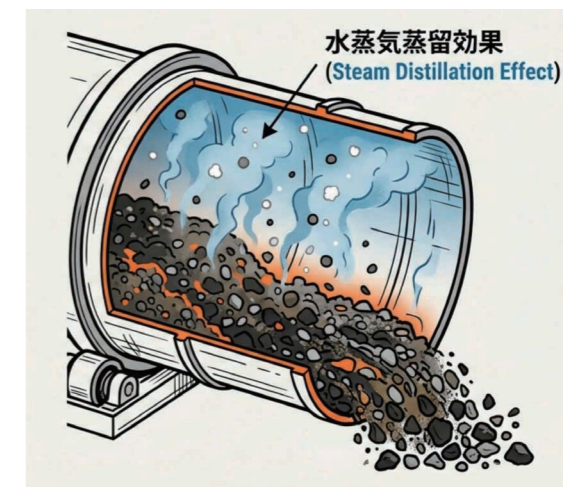


図-16 Rドライヤ排出部の加熱R材からの揮発

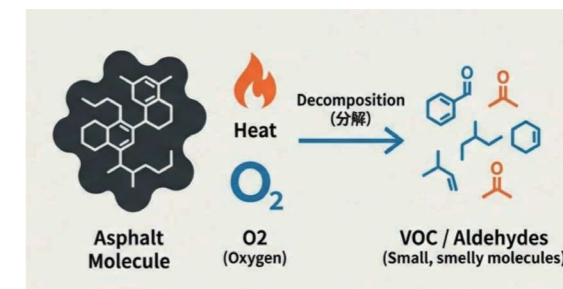


図-17 VOC (臭気成分) の酸化分解

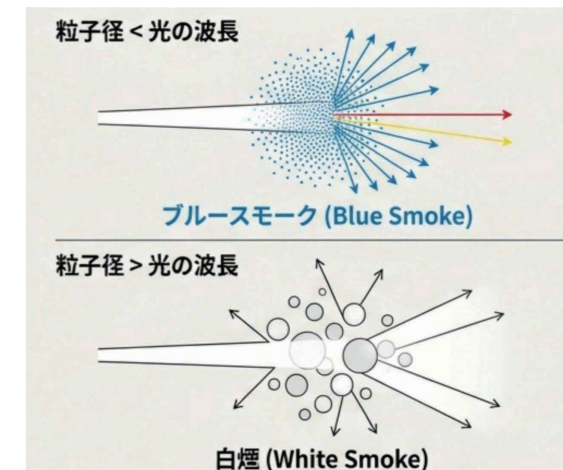
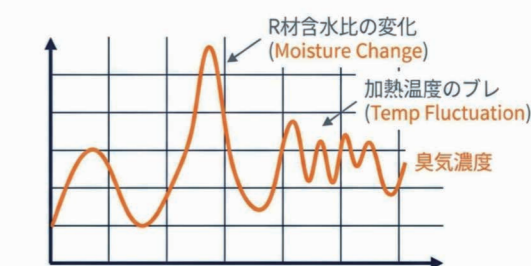


図-18 チンダルブルー現象

臭気の変動性 (Variability)



測定とサンプリングは、プラントが「定常状態」にある時のみ有効。

図-19 多様な要因による臭気の変動

5. アスファルトプラントの悪臭対策技術

5.1 概要

AP,とりわけR材を再利用するRDライヤから発生する揮発性有機化合物(VOC)に起因する臭気は、リサイクル合材の製造黎明期より継続的な課題となっている。本章では、筆者らがこれまで実施してきた悪臭対策の技術的変遷を整理し、各脱臭方式の原理とAPへの適応性について概観する²⁸⁾。

5.2 臭気の発生源

RPの運用において、悪臭対策を講じる上で留意すべき発生源は多岐にわたり、**図-19**のように臭気が常に変動している。基本的には発生源を断つことが理想であるが、R材の乾燥加熱というプロセスを経済合理的に行う以上、臭気の発生を完全に回避することは困難である。なお、マイクロ波加熱や誘導加熱などの電磁氣的加熱法を用いれば、原理的に燃焼排ガスが発生せず二次処理設備の縮小が可能となるが、設備コストやエネルギー効率の観点から現状では普及には至っていない。したがって、既存の燃焼加熱プロセスにおける発生源対策が主となる。

5.2.1 燃料と燃焼管理

使用燃料に含まれる硫黄分は、燃焼により硫酸化物(SOx)となり刺激臭の原因となる。そのため、A重油から低硫黄の灯油、あるいはガス(LNG等)への燃料転換が有効な対策となる。また、バーナのメンテナンス不足による不完全燃焼は、排ガス中の未燃炭化水素を増加させ、その後の酸化反応を経てアルデヒド類やケトン類といった強い臭気物質を生成させる要因となる。

5.2.2 骨材の性状

バージン骨材に関しては、骨材自体に硫黄分や有機質が含まれる場合、加熱工程で硫酸化物やタンパク質由来の焦げ臭が発生することがある。

R材に関しては、含有するアスファルト分が直接的な悪臭発生源となる。R材の含水比が低いとドライヤ前半部での微粒分飛散により急激な加熱(乾留)が起こり臭気の増加に繋がる。逆に含水比が高いとRDライヤ内部への付着を引き起こし、熱効率を低下させる要因となる。また、粒度が細かい場合も、飛散ダストの増加に伴い臭気問題が顕在化しやすい。

5.2.3 運転条件の影響

バーナ燃焼により生成する熱風の温度が高いほど、ドライヤの熱効率は向上する。しかしながら、高温熱風はR材に含まれるアスファルトの熱分解や酸化分解を促進させ、VOC(臭気成分)の発生量を増加させる。当社のRPでは、この臭気抑制

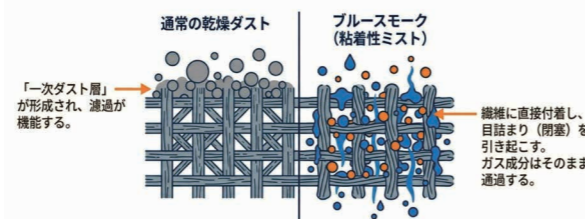


図-20 粘着性ミストによるバグフィルタの目詰まり

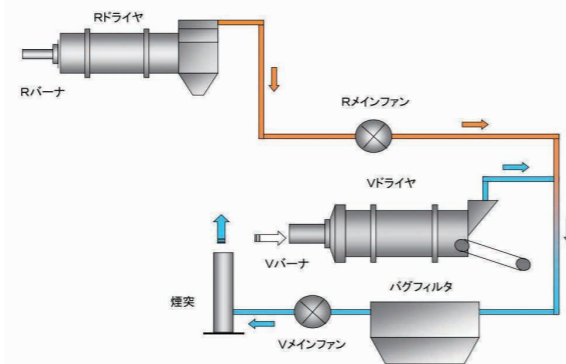


図-21 VDライヤのダストを濾過助剤として利用するV+R併用バグフィルタ集塵システム



写真-2 リサイクルドライヤ専用のミストフィルタ(集塵機)

に対応するため、熱風温度を従来の1000℃から800℃、さらには600℃へと順次低温化させてきた。この際、熱風温度の低下に伴う熱効率(燃費)の悪化を防ぐため、EGR(Exhaust Gas Recirculation:排ガス再循環)技術の導入やRDライヤの容量最適化を図ることで、省エネルギー性能を維持している。

5.3 黎明期アスファルトプラントにおける臭気対策

初期のAPにおける臭気対策は、煙突の高層化による拡散効果の利用や、集塵機(バグフィルター)による粒子状物質の除去が主であった。

5.3.1 バグフィルタによる濾過メカニズム

バグフィルタによる処理では、濾過助剤の活用が不可欠である。フェルト濾布を用いた三次元的な濾過において、濾布表面に形成される「一次ダスト層」が実際の濾過機能を担う。し

かし、RDライヤから発生するブルースモークのような粘着性ミストが直接濾布に付着すると、**図-20**のように目詰まりを誘発し圧損が上昇する。そのため、**図-21**のシステムが示すとおり、粘着性のないVDライヤからのバージンダストを濾過助剤として「一次ダスト層」を形成させ、さらにその上に粘着性ミストとバージンダストを混合させた「二次ダスト層」を形成させることで、バルスエアによる脱塵・更新を可能にしている。

また、**写真-2**に示すようなRDライヤからのブルースモークや粘着性ミストを補足するミストフィルタも社会実装された。ただし、使い捨て方式の濾材を採用していたことから、ミスト成分が濾材に蓄積され臭気対策としては限定的であった。

5.3.2 規制の強化と本格的脱臭の必要性

上記の手法は着地濃度の低減には一定の効果を示したが、悪臭防止法の施行および規制地域の拡大に伴い、人間の嗅覚に基づく「臭気指数規制(二号規制)」が導入された。これにより、単なる拡散や物理的濾過だけでは対応が困難となり、物理化学的・生物化学的な手法を用いた本格的な脱臭システムの導入が必要となったのである。

5.4 各種脱臭方式とアスファルトプラントへの適応性

産業分野で採用されている脱臭法には、燃焼法、薬液洗浄法、活性炭吸着法などがあり、多くの実績を有している。これらの方式をAPに適用する場合、脱臭効率はもとより、経済性、安全性、維持管理の容易さを総合的に評価し、かつ生産性に悪影響を与えないシステムを選定する必要がある。以下に、APの排ガス(特にRDライヤ排ガス)を処理する場合の各方式の特徴と適応性を論じる。

5.4.1 燃焼法

APから発生する悪臭(可燃性有機化合物)の対策として、燃焼法は極めて有効な手法である。本手法は、悪臭物質を高温状態で酸化分解し、無臭の二酸化炭素(CO₂)と水(H₂O)に変換する方式である。

5.4.1.1 直接燃焼法

悪臭成分を600~800℃(実用的には750~800℃)の高温酸素雰囲気下で一定時間滞留させ、完全燃焼させる方式である。**写真-3**に直接燃焼式脱臭装置の全景を、**図-22**にその内部構造を、**図-23**にそのシステムフローを示す。

特徴: 構造が単純であり、ブルースモークを含む高濃度の複合臭気処理に適している。脱臭効率は95%以上と非常に高い。

APへの適応性: 燃焼温度が高いため燃料消費量が多くなるが、**図**のように廃熱を熱交換器で回収することでランニングコストを低減できるため、APには最も適した方式である。



写真-3 直接燃焼式脱臭装置の燃焼室

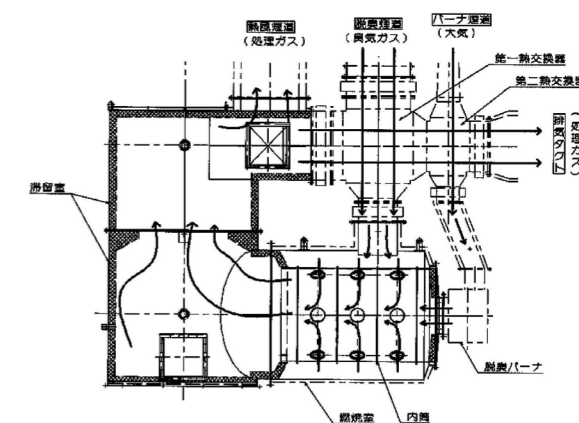


図-22 直接燃焼式脱臭装置の内部構造

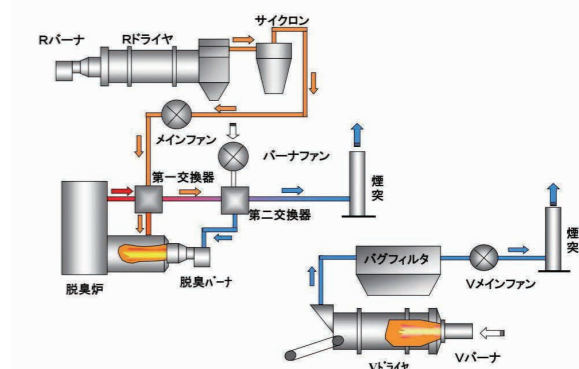


図-23 APに搭載した脱臭システムのフロー図

注意: 触媒毒と劣化要因 (Catalyst Poisons & Risks)

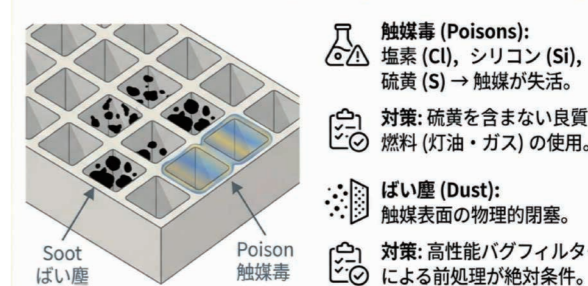


図-24 触媒燃焼脱臭法の短所

5.4.1.2 触媒燃焼法

白金などの触媒作用を活用し、直接燃焼法よりも低い温度(200~400℃、実用上は300~350℃程度)での酸化分解を可能にした方式である。

特徴: 低温反応が可能であるため、省エネルギー性に優れる。

APへの適応性: 図-24に示すようにAP排ガスには触媒毒となる硫黄分や、触媒表面を閉塞させる微細なダスト・ミストが含まれるため、触媒の劣化・失活リスクが高い。したがって、バグフィルタ等の厳格な前処理と、硫黄分を含まない良質な燃料の使用が必須条件となり、維持管理の難易度が高い。



写真-4 蓄熱燃焼(RTO)式脱臭装置の全景

5.4.1.3 蓄熱燃焼法(RTO)

セラミックス製蓄熱体を用い、排ガスの流れを周期的に反転させることで熱回収を行う方式である。

特徴: 90%以上の極めて高い熱交換効率を有し、ランニングコストが低い。

APへの適応性: 省エネ効果は高いが、蓄熱体へのダスト付着や閉塞を防ぐため、触媒燃焼法と同様に確実な前処理装置が必要となる²⁹⁾。写真-4に蓄熱燃焼(RTO)式脱臭装置の全景を、図-25に全体図を示す。

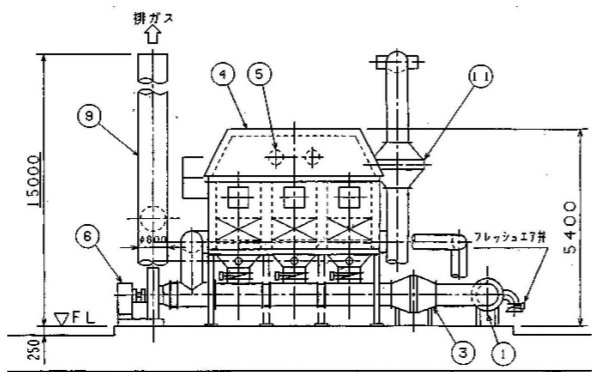


図-25 蓄熱燃焼(RTO)式脱臭装置の全体図

5.4.2 洗浄法(薬液洗浄)

臭気成分を水や薬液(酸、アルカリ、酸化剤)と気液接触させ、吸収・分解除去する方式である。図-26に洗浄法概念図を、写真-5に実際のAPで実施した薬液洗浄法によるフィールドテストの風景を示す。

特徴: 対象となる臭気成分(酸性・塩基性等)に応じて薬液を選定する。

APへの適応性: 効率的な吸収のためには排ガス温度を70℃以下に冷却する必要がある、大型の冷却設備(クーリングタワー等)が必要となる。また、APの臭気成分は多岐にわたるため単一の薬液では処理しきれず、脱臭効率は概ね70%程度に留まることが多い。このため、活性炭吸着等の二次処理との併用が必要となる場合が多い³⁰⁾。

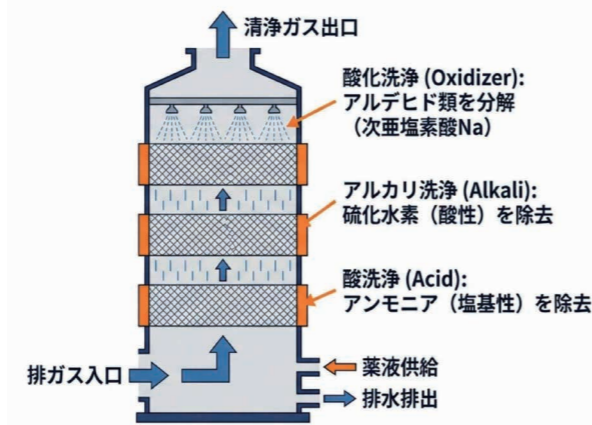


図-26 洗浄法(薬液洗浄)の概念図

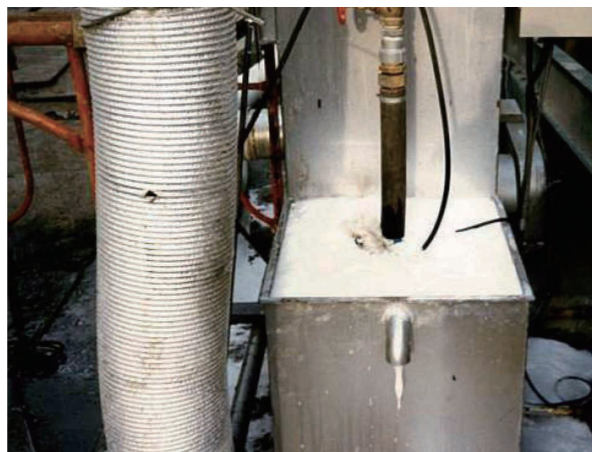


写真-5 薬液洗浄法によるフィールドテストの風景

5.4.3 吸着法

活性炭などの多孔質材を用い、臭気成分を物理的に吸着除去する方式である。

特徴: 低濃度の臭気に対する仕上げ脱臭として有効である。

APへの適応性: 吸着性能は温度依存性が高く、効率を維持するには排ガスを40℃以下まで冷却する必要がある。また、AP特有のブルースモーク(粘着性ミスト)やダストが活性炭表面に付着すると吸着能力が著しく低下するため、高性能な前処理が不可欠である。さらに、飽和した活性炭の交換や再生処理に伴うコストや手間も課題となる³¹⁾。

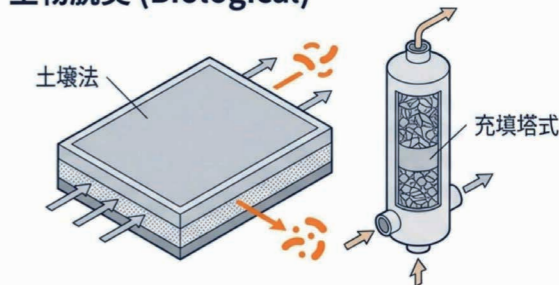
5.4.4 生物脱臭法

微生物の代謝能力を利用して臭気成分を分解する方式である。土壌脱臭法や充填塔式生物脱臭法がある。図-27に生物脱臭法の概念図を示す。

特徴: ランニングコストが低く、低濃度臭気の処理に適している。

APへの適応性: 処理速度が比較的遅いため、APのような大風量の排ガスを処理するには広大な設置面積(土壌脱臭の場合)や巨大な設備が必要となる。また、微生物の生育環境(水分・温度)の維持管理が必要であり、間欠運転が多いAPへの適用は限定的である³²⁾。

生物脱臭(Biological)



微生物が臭気を栄養源として分解。低濃度臭気に有効。

Pros/Cons (利点・欠点)

- 土壌法は広大な敷地が必要。
- 充填塔式はコンパクトだが担体管理が必要。

図-27 生物脱臭法の概念図

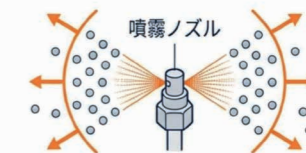
5.4.5 消臭・脱臭剤

植物精油や化学反応剤を排ガスに噴霧または混合し、マスキング、中和、化学反応により臭気を低減させる方式である。

特徴: 設備が比較的簡易であり、導入コストが安い。

APへの適応性: 根本的な脱臭(成分の分解除去)ではなく、臭いの質を変える、あるいは薄める効果が主となる。排気ダクト内への噴霧や、敷地境界での空間噴霧など、補助的な対策として用いられることが多い。薬剤の種類(植物精油系、化学反応系など)により効果が異なるため、現場の臭気質に合わせた選定が必要である³³⁾³⁴⁾。図-28に消臭・脱臭剤の概念図を、表-1に主な種類と特徴を示す。

消臭・脱臭剤(Cheical Agents)



- 化学反応 中和・分解
- 相殺 感覚的な打ち消し
- マスキング 香りによる被覆

Use Case (適用例)

敷地境界での噴霧(植物精油系)やスクラバーへの添加。

図-28 消臭・脱臭剤の概念図

表-1 消臭・脱臭剤の主な種類と特徴

薬剤の種類	主な特徴と用途
植物精油系	フィトンチッドなどの多種多様な成分を含有し、マスキング・化学反応・相殺作用を併せ持つのが特徴である。安全性が高く、大気中や室内への噴霧に適している。
化学反応系	中和、酸化還元、縮合反応等により、臭気成分そのものを化学的に変換する。主にスクラバー装置の循環液等に添加して使用される。
微生物・その他	微生物や酵素の作用を利用するタイプや、芳香によるマスキングを主体としたものなどがある。

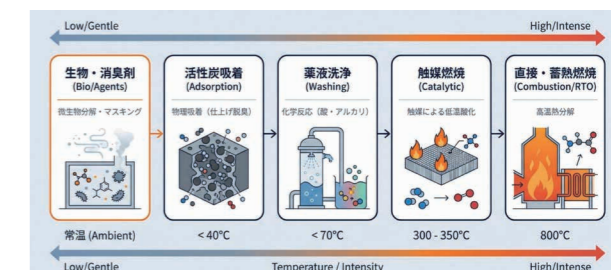


図-29 各種脱臭法の概要比較

方式(Method)	脱臭効率(Efficiency)	導入コスト(Initial Cost)	運転コスト(Running Cost)	維持管理(Maintenance)	設置スペース(Space)
直接燃焼法(Direct Combustion)	High (◎)	Low (○)	High (×)	Easy (◎)	Med (△)
蓄熱燃焼法(RTO)	High (◎)	High (×)	Low (◎)	Med (○)	Large (×)
触媒燃焼法(Catalytic)	Med/High (○)	High (×)	Med (○)	Hard (×) (×-Poison Risk)	Compact (◎)
薬液洗浄法(Washing)	Low (△-70%)	Med (△)	High (×) (×-Wastewater)	Hard (×)	Large (×)
活性炭吸着法(Adsorption)	High (◎-Finish)	Med (△)	High (×) (×-Replacement)	Med (△)	Large (×) (×-Cooling)

◎ Excellent, ○ Good, △ Average, × Poor/High Cost

図-30 各種脱臭法の機能比較

6. 将来展望

本稿では、APにおける悪臭・ブルースモークの発生メカニズムとその対策技術の変遷について論じてきた。循環型社会の形成においてR材の活用は不可欠であるが、それに伴う臭気問題は避けて通れない課題である。これまでの考察に加え、近年の「脱炭素社会」への要請を踏まえ、今後のAPにおける脱臭技術のあり方と展望について、以下の3つの観点から論じる。

6.1 APの特性に適した脱臭方式の確立

第5章および別途実施した分解性能評価実験で明らかになった通り、AP、特にRDライヤから排出されるガスは、水分、微細なダスト、粘着性のあるミスト(ブルースモーク)、および触媒毒となる硫黄分を含んでいる点が特徴である。省エネルギー性の観点からは触媒燃焼方式が有利であるが、AP特有のダストや被毒物質による性能低下のリスクを回避するためには、厳格な前処理と維持管理が不可欠となる。対して、直接燃焼法は、800℃以上の高温と滞留時間を確保することで、ブルースモークを含む高濃度の複合臭気を確実に酸化分解でき、ダストによる閉塞トラブルにも強い。現段階ではAPの運用に最も適したロバスト(堅牢)な方式であると結論付けられる。今後は、この直接燃焼法を主軸としつつ、次節で述べるエネルギー効率の改善策と組み合わせることが標準的な解となるであろう。

6.2 高度脱臭と脱炭素(省エネ)の両立

直接燃焼法は高い脱臭効果を持つ反面、化石燃料を消費して高温状態を維持するため、CO₂排出量が増加するという環境面でのジレンマ(トレードオフ)が存在する。カーボンニュートラルが叫ばれる昨今、単に臭いを燃やせばよいという時代ではなくなりつつある。したがって、将来のAPには、脱臭熱源をプロセス全体で有効活用する以下の技術的アプローチが不可欠となる。

6.2.1 熱のカスケード利用(RAVシステム等)

写真-6と図-31に示すように脱臭炉で発生した800℃～1200℃の高温熱風を、単に排熱回収するだけでなく、新材ドライヤ(VDライヤ)やRDライヤの熱源として再利用(カスケード利用)するシステムの導入である。これにより、システム全体の熱効率を向上させ、脱臭に伴う燃料消費の増加分を相殺、あるいはそれ以上の省エネ効果を得ることが可能となる。図-32は、熱交換器を増設することにより、熱分配比率を最適化したRAVシステムの進化型である。このことにより、R材の混入比率を70%まで高めた運用を可能にしている。



写真-6 RAVシステムの社内仮組風景

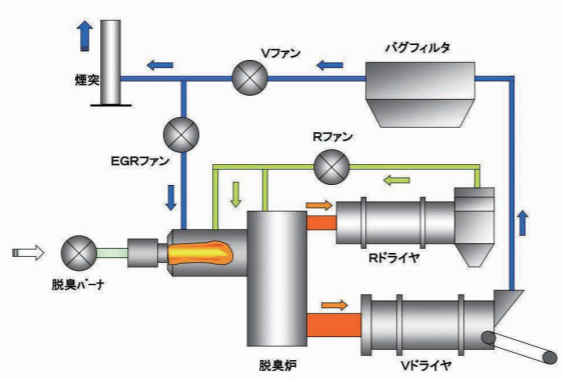


図-31 RAVシステムのフロー図

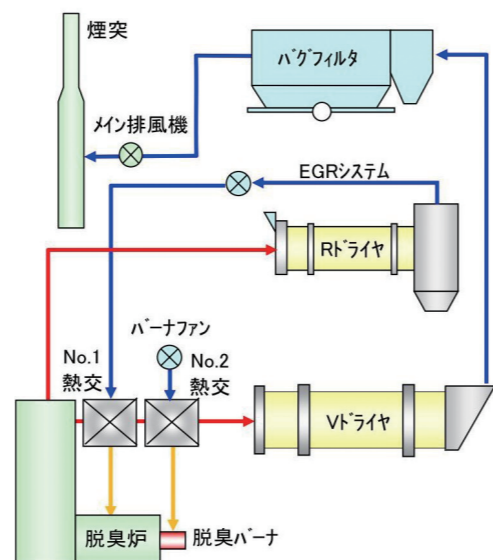


図-32 RAVシステムの進化型

6.2.2 潜熱回収技術とプロセスの分業化

APの省エネルギー化は「限界」に近づいていると言われるが、排ガスに含まれる水蒸気の凝縮潜熱の回収には未だ大きな余地が残されている。例えば、図-33に示すような骨材水分の大部分を占める「砂」の乾燥プロセスをAP本体から切り離し、排ガスの潜熱回収によって生成した温風を用いて事前に乾燥させる「砂乾燥システム」の導入が有効である。これにより、AP本体の熱負荷を劇的に低減させ、そこで浮いたエネルギー余力を高度な脱臭処理(直接燃焼)へ振り向けることで、トータルでの「脱臭と脱炭素の両立」が実現可能となる³⁵⁾。

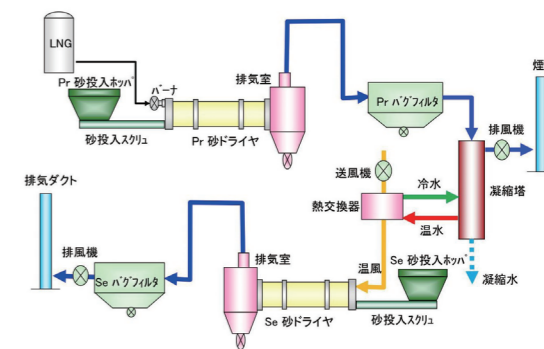


図-33 水蒸気潜熱回収技術の概念図

6.3 感覚公害への対応と地域共生

悪臭防止法の規制基準は、機器分析による物質濃度規制から、人間の嗅覚に基づく「臭気指数規制(三点比較式臭袋法)」へと移行しつつある。これは、「有害物質が含まれていなければよい」という基準から、「住民が不快に感じなければよい(住民の生活環境を守る)」という基準へのパラダイムシフトを意味する。たとえ排出濃度が規制値を下回っていても、臭いの「質」によって苦情が発生し得るのが感覚公害の難しさである。将来のAPは、単にハードウェアとしての脱臭装置を設置するだけでなく、気象条件や生産品目に応じた柔軟な運転管理を行い、地域住民の感覚に寄り添った「臭気マネジメント」を確立することが求められる。最終的には、高度な燃焼処理技術と、潜熱回収等の徹底した熱有効利用技術を融合させ、地域社会と共生可能な「無臭化・ゼロエミッションプラント」を目指すべきである。

な脱臭を約束する一方で、化石燃料の消費を伴い、CO₂排出量を増加させるというトレードオフの関係にある。しかし、第6章で展望したように、脱臭炉からの廃熱をドライヤの熱源として再利用する「熱のカスケード利用(RAVシステム等)」や、排ガスの潜熱を回収して骨材乾燥に充てる「潜熱回収技術」との融合により、このジレンマは解消可能である。すなわち、「高度な脱臭」と「脱炭素」は、プロセス全体の最適化によって両立し得るのである。

第三に、規制の尺度が「物質濃度」から「人間の感覚(臭気指数)」へと移行したことの重みである。いくら機器分析の数値が基準値を下回っていても、地域住民が「不快」と感じればそれは公害となる。これからのAPには、単に装置を導入して終わりではなく、気象条件や稼働状況に応じた細やかな運転管理を行い、住民の感覚に寄り添った「臭気マネジメント」を実践することが求められる。

かつて、黒煙や白煙を上げることが生産活動の証とされた時代は遠い過去となった。今後は、高度な燃焼技術と徹底した熱エネルギーの有効利用技術を駆使し、地域社会と調和し、環境負荷を極限まで低減させた「無臭化・ゼロエミッションプラント」の実現に向け、技術開発とその普及に邁進していかねばならない。

本稿が、その一助となれば幸いである。

7. おわりに

本稿では、アスファルトプラント(AP)における「におい」の問題を、人間の嗅覚という感覚的な側面、法規制の変遷、そして技術的な対策手法という多角的な視点から論じてきた。

循環型社会の構築において、アスファルト・コンクリート塊の再資源化は不可欠な営みである。しかし、リサイクル材を加熱するプロセスで発生するブルースモークや悪臭は、近隣住民の生活環境に直接的な影響を及ぼす「感覚公害」であり、その解決なくして事業の継続性は担保されない。

本稿の考察を通じて明らかになった点は以下の通りである。

第一に、AP、特にリサイクルドライヤから発生する臭気成分(VOC)は、多種多様な炭化水素の混合物であり、さらに微細なダストや粘着性ミストを伴う複合臭である。このため、単一の成分除去を目的とした手法ではなく、これらを包括的に酸化分解できる燃焼法、とりわけ「直接燃焼法」が、現時点において最も確実かつ堅牢(ロバスト)な解決策である。

第二に、脱臭技術の進化は、必然的にエネルギー問題と向き合わねばならないという点である。高温での酸化分解は確実

AP用水素バーナによるアンモニア熱分解ガスを燃料とした骨材乾燥試験

AUTHORS

宗像 元 MUNAKATA Hajime
田中 翔太 TANAKA Shota

概要

ABSTRACT

日工株式会社では、アスファルトプラント(以下、APと略記する。)からの2030年の温室効果ガス50%削減(2013年度比)、2050年の実質ゼロを目指し、様々なバーナを開発している。中でも、AP用水素バーナは、小型試験用プラントにおけるアスファルト混合物の製造試験を実施しており、良好な結果を示している²⁾。一方で、水素を燃料として利用する場合、ガス配管により供給が困難な立地にあるプラントでは、水素の貯蔵と供給に課題が残る。これまで、当社では、プラントへの水素供給方法として、水素キャリアの一種であるアンモニアをオンサイトで分解し、水素バーナにて燃焼をする試験を行い、アンモニア燃料の利用可能性を探ってきた⁸⁾。本稿では、前田道路株式会社と共同で実施した、小型試験用APにて水素バーナに、アンモニアを熱分解したガスを供給し、骨材乾燥加熱とアスファルト混合物製造の試験について紹介する。

1. 緒言

わが国では、2030年の温室効果ガス46%削減、2050年の実質ゼロを目標に掲げている。APからのCO₂排出量のうち、約70%を骨材の乾燥加熱工程が占めるため、2030年以降の厳しいCO₂排出目標をクリアするためには、省エネ技術による燃料消費量の削減だけでは難しく、燃料転換を含む抜本的な対応が必要になることが予測される。日工株式会社では、このような社会課題に対応するために²⁾⁶⁾、様々な燃料に対応したバーナを開発してきた。中でも水素バーナは、小型の試験用APにて、骨材乾燥・アスファルト混合物製造試験を行い、良好な結果を得ている²⁾。

燃料として水素を利用する場合、パイプラインからの供給が可能な地域では、水素バーナをプラントで利用することが可能である。一方で、それ以外の地域では、水素を高いエネルギー密度で輸送と貯蔵をするためには、高価な設備が必要となる³⁾⁴⁾。そこで、当社では、水素キャリアの一種であるアンモニアを、オンサイトで分解し、水素に変換することで燃料利用するアプローチの検討を行った⁷⁾⁸⁾。アンモニアは、常温で圧力をかけることで液化することができ、温和な条件で加熱することができることから、LPGと近い運用が可能であり、輸送と貯蔵の面で、水素より有利と考えられる⁴⁾⁵⁾。このため、オンサイトで分解し水素を取り出すことが出来れば、水素の燃焼性のメリットとアンモニアの輸送と貯蔵のメリットの両方を享受できる可能性がある。また、アンモニアを熱分解して得られるガスは水素と窒素の混合ガスであり、少量の未分解のアンモニアが含まれる。エネルギー利用の観点からは、純粋な水素をアンモニアの分解ガスから生成するよりも、混合ガスの状態で燃焼できる方が、設備構成が簡素になるため、望ましいと考えられる。

これまでの試験から、AP用の小型水素バーナは、アンモニアを熱分解したガスを燃焼させると、保炎が可能であり、出口

排ガス中のNO_x濃度はプロパンを燃焼させたものと同程度であり、大気汚染防止法の乾燥炉の基準値を満たしていた。また、未燃のアンモニアやN₂Oは検出されなかった⁸⁾。ただし、試験は社内の燃焼炉で実施されたものであり、APでは、バーナはロータリードライヤに直結しており、直接加熱方式で利用される。そのため、実際のAPで利用するためには、ドライヤ内における骨材の加熱乾燥環境下において、保炎が可能であり、かつ、排ガス中のNO_xが基準値を満たし、未燃のアンモニアが存在しないことを確認する必要がある。同様に、製造されたアスファルト混合物の性状等に問題が起きないかの確認も必要である。

本稿では、社内でのバーナ燃焼試験の結果が良好であったことから、前田道路株式会社の協力を得て実施された、水素バーナにアンモニアの熱分解ガスを供給し、小型試験用APにて骨材の乾燥加熱・アスファルト混合物の製造試験を行った結果について紹介する。

2. 骨材加熱乾燥試験

アンモニア熱分解ガスのAPにおける適合性を評価するために、試験用の小型APにて骨材の加熱乾燥およびアスファルト混合物の製造試験を行った。

2.1 試験方法

2.1.1 燃料と使用したバーナ

バーナの燃料には、APで使用される標準的な燃料であるA重油、CNG(13A)、および、アンモニア熱分解ガスの比較のために、水素、水素窒素混合ガス(ライン混合、体積比3:1)、アンモニア熱分解ガスを燃料として試験を行った。CNG、水素、水素窒素混合ガス、アンモニア熱分解ガスは、500kW級水素バーナ(写真1)にて燃焼を行った。また、A重油は500kW級の小型重油バーナにて燃焼を行った。

2.1.2 試験プラントと装置フロー

試験は、前田道路株式会社技術研究所試験場内にある試験用小型AP(写真2)にて行った。プラントの詳細は、既報を参照のこと。アンモニアの熱分解は、市販の電気炉型熱分解装置を用いた。

図1に燃料ガスの供給ラインのフロー図を示す。アンモニアはポンプより供給され、熱分解装置にてアンモニア分解ガス(少量の未反応アンモニアが含まれる窒素水素混合ガス)へと変換され、バーナへと供給される。CNG、水素は、カードルにより供給され、それぞれ独立した供給配管を通り、それぞれの配管は、バーナの直前で合流する。アンモニアの流量は超音波流量計、水素はマスフロー、CNGは質量流量計で流量を測定し、規定の流量に調整した。また、アンモニアと水素の配管は、配管のバージ用に窒素の供給ラインを設けており、バージ時は、除害炉へと供給ラインを変更し配管中の残留ガスを燃焼させ系外へと排気した。

2.1.2 試験測定項目

試験にて測定した項目は、次の通りである。骨材温度(投入骨材、排出骨材)、骨材含水比(試験前後の骨材含水比)、熱分解ガス(NH₃)、排ガス成分(NO_x、O₂、CO、CO₂、SO_x、H₂O、煤塵、水分量、アンモニア、NO、N₂O、NO₂)

それぞれの測定個所と、測定方法の詳細は表1の通りである。

表1 排ガス測定方法

測定項目	測定法
水分量	吸湿管法
ガス組成分析	オルザット法
煤塵測定	円形ろ紙法
硫黄酸化物	イオンクロマトグラフ法
窒素酸化物	イオンクロマトグラフ法
CO	FT-IR法
NO、N ₂ O、NO ₂ 、NH ₃	FT-IR法

2.1.3 アスファルト混合物評価項目

アスファルト混合物の製造と施工および評価は前田道路株式会社によって実施された。主要な評価項目は、混合物の性状(混合状態、マーシャル試験)および施工性(作業性と仕上がりに)である⁹⁾。

2.1.4 試験条件

骨材の設定供給量は5t/hである。使用した骨材と組成は、密粒度アスファルト混合物(13)用のものである。バーナの出力は、骨材の加熱温度が約200℃になるように調整をした。また、バーナの設定空気は1.2である。重油およびCNGは、ドライヤの昇温時からこれらの燃料を使用し、骨材の加熱乾燥を行った。一方で、水素、水素窒素混合ガス、アンモニア熱分解ガスは、昇温はCNGを用い、ドライヤの温度安定後に燃料ガスを切り替え、温度安定後にガス測定等を実施した。



写真1 500kW級水素バーナ



写真2 試験プラント

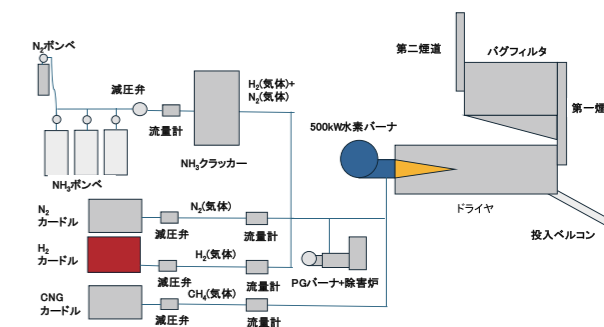
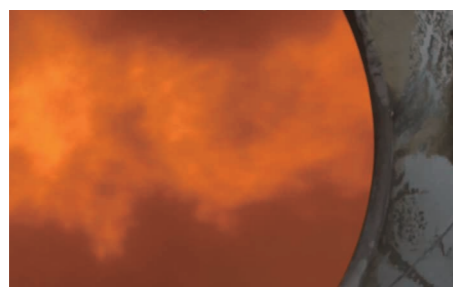


図1 フロー図

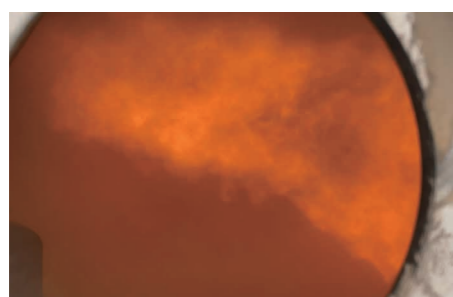
2.2 試験結果

2.2.1 火炎の出力応答と保炎性

写真3a-dに各燃料でのドライヤ内での燃焼火炎を示す。アンモニアの熱分解ガスを燃料とした場合も、重油や水素と同様に、ドライヤ内の骨材乾燥加熱下での燃焼と保炎、および出力応答が可能であることが確認された。



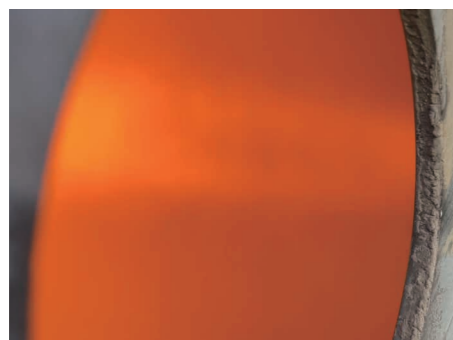
a.CNG専焼420kW 空気比1.2



b.水素専焼 400kW 空気比1.2



c.水素+窒素 400kW 空気比1.2



d.熱分解ガス専焼450kW 空気比1.2

写真3 各種燃料によるドライヤ内火炎

2.2.2 骨材の乾燥加熱

アンモニア熱分解ガスは、骨材205~210℃まで加熱することが可能であり、骨材の含水比も加熱前5.4%が加熱後0.06%となり、重油や水素の加熱前4.5%、5.1%が加熱後0.08%、0.05%とほぼ同等の加熱性能を示した。

2.2.3 排ガスの組成

表2に各燃料による排ガス組成を示す。

NO_xは、重油とCNGが16%O₂換算値で、16.7ppm、7.1ppmであるのに対し、水素、水素窒素混合ガス、アンモニア熱分解ガスでは、22.9ppm、11.3ppm、20.9ppmであった。アンモニアの熱分解ガスは、水素専焼とほぼ同等のNO_x値であり、水素と窒素の混合ガスは、それよりもさらに低いNO_x濃度であった。これは、水素が窒素によって希釈されたためにサーマルNO_xの生成が抑制されたためと考えられ、アンモニア熱分解ガスでは、微量の未反応NH₃が含まれていることから、これがNO_x源となり、結果的に水素と同等の水準となっていると考えられる。

重油やCNGのNO_x濃度が低いのは、燃焼時に1000ppm前後のCOが生成しており、これがNO_xの生成を抑制していると考えられる。

燃焼前のアンモニアの熱分解ガス中の未反応アンモニアは数100ppm程度存在したが、排気ダクトでサンプリングしたガス中からは検出されなかった。また乾燥骨材や、試験後に確認したドライヤ内および排気ダクトからは、アンモニア臭は確認されなかったことから、熱分解ガス中に含まれていた微量の未反応アンモニアは、バーナ火炎により燃焼したと考えられる。

CO₂濃度は、重油とCNGが約3%検出されているのに対し、水素、窒素水素混合ガス、アンモニア熱分解ガスでは、0.6-0.2%のCO₂が検出された。後者の燃料のCO₂は、水素及びアンモニア由来ではなく、配管中に残留している昇温時のCNGに由来していると考えられる。

排気ダクト中の水分量は、重油とCNGは、12.2%と13.7%であるのに対し、水素、水素窒素混合ガス、アンモニア分解ガスは、17.4%、19.7%、19.3%であった。これは、炭化水素系の燃料と比べて、水素はカロリー当たりの水分生成量が多いためと考えられる。今回、試験後に確認した排気ダクト内で、水の凝縮やダストの顕著な付着は確認されなかったが、長期的な影響に関しては、将来的に確認が必要と考えられる。

2.2.4 アスファルト混合物製造・舗装試験

アスファルト混合物の製造および舗装試験は、前田道路株式会社にて実施された。アンモニアの熱分解ガス燃焼により製造された、アスファルト混合物は、重油と同等であり、基準値を満たした。また、舗装試験の結果、アスファルト混合物の施工性はA重油と変わらず、正常に施工できることが確認された。⁹⁾

表2 排ガス測定の結果

骨材送り量(目標)	5t/h	5t/h	5t/h	5t/h	5t/h
燃料	A重油	CNG	H ₂	N ₂ +H ₂ (N ₂ :H ₂ =1:3)	NH ₃ 分解ガス
骨材温度安定時における燃料出力	400kW	約430kW	410kW	約400kW	約450kW
バーナエア空気比	2.5	約1.25	約1.2	約1.2	約1.2
O ₂ (%)	17.7	16.8	17.5	17	16.7
CO ₂ (%)	3.2	3	0.6	0.2	0.4
CO(ppm)	805	1216	5	4	6
NO _x (ppm)	11	6	16	9	18
NO _x (ppm_16%O ₂)	16.7	7.1	22.9	11.3	20.9
ダスト濃度(g/m ³)	0.006	0.006	-	0.002	0.004
臭気指数(-)	27	17	16	26	26
湿りガス量(m ³ /h)	3000	2710	2320	2230	2020
乾きガス量(m ³ /h)	2600	2340	1820	1790	1630
排ガス温度(℃)	53	59	65	73	66
水分量(%)	12.2	13.7	17.4	19.7	19.3

3.AP導入に向けた今後の課題と将来展望

小型試験用APにおける骨材の乾燥加熱・アスファルト混合物の製造試験の結果から、アンモニアをオンサイトで分解し、未精製の熱分解ガスを燃料として利用した際も、排ガスはNO_x基準値を満足し、未燃のアンモニアは検出されなかった。また、アスファルト混合物の性状についても、重油や天然ガス等の従来の燃料を利用して製造されたものと、同等であり、施工時のハンドリング性にも問題ないことが確認された。今後の課題としては、実機で使用される5MW-12MWクラスのバーナでも、今回試験で使用された500kWクラスの水素バーナと同様に、低NO_xで未燃のアンモニアが存在しないこと、出力応答特性等に問題がないかを確認すること、より大型でAPでのエネルギー利用に適したアンモニア熱分解装置を開発することである。

4.総括

AP向け水素バーナにアンモニア熱分解ガスを燃料として、小型試験用APにて骨材乾燥・アスファルト混合物の製造試験を行い、重油、天然ガス、水素、水素・窒素混合ガスを燃料とした場合と比較を行った。

アンモニア熱分解ガスを燃料とした場合も、ドライヤ内で保炎が可能であり、排ガス中のNO_xの濃度は水素専焼の場合とほぼ同等であることが確認できた。また、未燃のアンモニアは検出されなかった。アスファルト混合物の性状も、規格値を満たし、施工性もA重油によるものと違いはないことが確認された。水素・窒素混合ガスを燃料とした場合、NO_x値が水素専焼および熱分解ガスよりも低かったことから、熱分解後の工程でアンモニアを除去することで、燃料に純粋な水素を用いるよりもNO_x濃度が下げられることが示唆された。

今後は、国内のカーボンフリーアンモニアの普及に歩調を合わせて、より大きなスケールのバーナへのアンモニア熱分解ガ

スの適合確認、および、APに適した熱分解装置の開発を進める予定である。

謝辞

試験で使用された500kW水素バーナは、日工株式会社と東京ガス株式会社の共同研究で作成されたものである。骨材加熱乾燥試験の排ガスと熱分解ガスの分析には、大阪大学赤松研究室の協力を得て実施された。ここに厚くお礼を申し上げます。



製品紹介

PRODUCT
INTRODUCTION



NIKKO
TECHNICAL REPORT
Vol.7 No.1

— 製品紹介 —

remoop ～来場車管理システム～

1. はじめに

本稿では、IoTプラットフォーム「remoop」の紹介と、remoopの導入事例として、弊社工場内の場内環境の可視化と業務効率の改善例を紹介します。加えて新しく開発しました「来場車管理システム」について解説します。

2. 製品概要

remoopは「Remote monitoring operation」の略称で、遠隔監視・遠隔操作・データ収集が可能なWebアプリケーション型のIoTプラットフォームです。

3. 基本構成

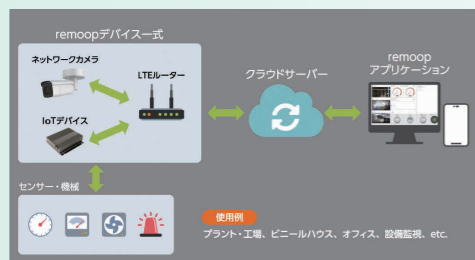


図1 remoop 構成図

図1に示す通り、センサーやネットワークカメラの情報を、クラウドで処理することで、Webブラウザ上での表示を実現しており、スマートフォン、PC、タブレットなどから利用可能です。図内のIoTデバイスは、弊社が開発した有線入出力のデータ収集・遠隔操作デバイスで、デジタル/アナログ入出力に対応します。また、オプションとしてPLC連携や無線センサーにも対応しており、プラントやオフィス、工事現場など、様々なシーンへ応用可能です。



図2ダッシュボード画面

図2のダッシュボードはWebブラウザを使用して、センサー情報やネットワークカメラの映像表示に加え、遠隔操作が可能です。

4. 導入事例 工場内環境監視

4-1.システム構成

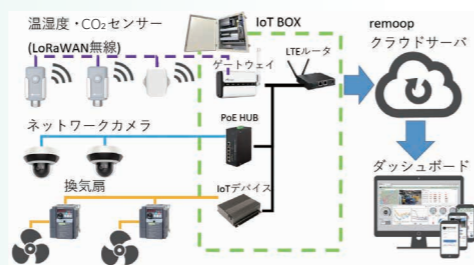


図3 工場内環境監視 構成図

図3の通り、ネットワークカメラと温湿度・CO₂センサーを各所に設置し、場内状況と空気環境の監視を実現しました。また、IoTデバイスを介した有線接続による換気扇インバータの遠隔操作で空気循環の遠隔化を実現。センサーは最大5kmをカバーするLoRaWAN無線の物を採用し、設置費用を削減しています。

4-2.機能



図4 工場内環境監視 ダッシュボード画面

図4は本システムのダッシュボードを示しており、温湿度・CO₂測定値を数値とグラフで表示し、環境変化を直感的に可視化します。また、各所の気温差を演算し、設定された閾値との比較結果を基に換気扇の自動制御を行うことで、空気の循環を促します。

4-3.効果

カメラ映像による状況監視と、場内各所の温湿度・CO₂濃度の測定による環境の可視化は環境改善の判断材料となります。また、換気の遠隔化・自動化によって、現場の省力化と業務効率の改善に貢献しています。

5. 来場車管理システム

5-1.背景・目的

少人化・省力化のニーズにより、カメラのAI機能が注目されています。そこで弊社では来場車管理の効率化と省力化を目的に、車番認証カメラを用いた来場車管理システムを開発しました。

5-2.システム構成

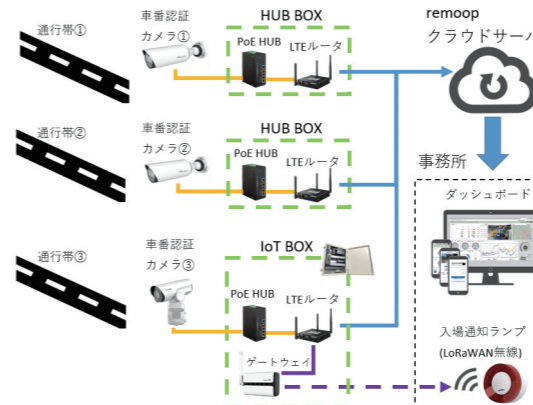


図5 来場車管理システム 構成図

図5の構成は、車番認証カメラを3台用いた場合のシステム構成です。カメラは1台から最大4台まで接続可能で、検知したナンバープレートや入退場判定などのデータはLTE回線を介してremoopのクラウドサーバーに送信されます。クラウドサーバーでは、受信データと事前に登録したナンバープレートを照合し、一致した場合は担当者へのメール通知に加えて、LoRaWAN無線のランプを点灯し、入場を報知します。

5-3.機能



図6 来場車管理システム ダッシュボード画面

図6のダッシュボードでは、検知した車両の情報とカメラ映像をリアルタイムで表示します。加えて、カメラがナンバープレートを検知した時の写真と、検知結果を同時に表示することで、車両の見た目と検知データを一目で把握できるようにしています。

5-4.特徴

本システムはカメラ1台から運用できますが、2台以上の場合はデータ統合処理を適用できます。

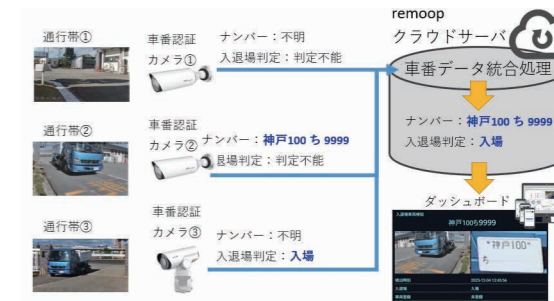


図7 来場車管理システム 車番データ統合処理

図7は、カメラを複数台設置した際に検知精度を向上させる、車番データ統合処理の概要です。図に示した通り、カメラ①が検出に失敗、または障害物等で検知できなかった場合においても、他のカメラが検知・補完することで、システム全体で車両を検知します。この処理によって、検知精度の向上と死角のカバーを可能にしており、95%以上の検知精度を実現しました。

6. まとめ

本稿のIoTプラットフォーム「remoop」は遠隔監視・操作・データ収集が可能なWebアプリケーションで、スマートフォン、PC等のブラウザから利用可能です。今回ご紹介した来場車管理システムは、車番認証カメラを1台から最大4台まで用いることが可能で、カメラ間の検知データ統合処理によって95%以上の検知精度を発揮します。加えて、登録車両の入場時のメール通知、LoRaWAN無線ランプでの報知を行うことで、来場車管理の効率化と省力化を実現します。

7. 終わりに

日工電子工業では、お客様のニーズにより応えられるよう、新技術の開発や機能改善を進め、新製品やサービスの創出に取り組んでいます。弊社独自のソリューションでお客様の課題を解決し、全国のお客様に信頼あるサービスを提供できるよう努めてまいります。

筆者紹介



モレ シュロク
SHLOK MORE

2024年入社

日工電子工業株式会社
企画部 開発企画課

— 製品紹介 —

前川工業所製 ダブルロール解砕機

1. はじめに

破砕機は破砕対象物の性状(硬さ、大きさ、形状、比重、水分等)や破砕後サイズ、処理能力、稼働条件などにより適した機種を選定します。その種類は、ジョークラッシャー、ダブルロールクラッシャー、ハンマークラッシャー、シュレッダーなど破砕原理により各種あります。

その中で、ダブルロール破砕機はダブルロールクラッシャーに分類される破砕機で、歯の付いた2つのロール間に原料を通して圧縮および、せん断力で破砕します。

投入口幅が1000mmあり、解砕歯により引っ掛けて噛み込んでいくので、最大で幅900mm、厚さ200~400mm程度の大塊の解砕、破砕が可能です。

更に、ロール歯の高さ、およびロール間隙を変更することで破砕後サイズを80~150mm程度で調整可能です。

今回は、日工メッセ2025でも展示しました「ダブルロール破砕機」についてご紹介いたします。



図1 ダブルロール破砕機 MR-1000 外観

2. ダブルロール破砕機の特徴

2-1 確実に大塊の解砕が可能

圧倒的な歯数のダブルロールにより、トップサイズを確実に規制し、大塊を強力に解砕します。

2-2 粗割り、細割りの変更が可能

大きくて噛み込みにくい原料は歯の高い粗歯で噛み込み効率をアップ、小さく破砕したい場合は歯の低い細歯で間隙を狭

くして細かく破砕する等、目的に合わせた仕様を選択できます。

2-3 ボルト固定方式により歯の交換が容易

解砕歯はボルトで固定していますので歯の交換が容易に行えます。

2-4 解砕歯先端は耐摩耗処理を実施

解砕歯先端は全て耐摩耗の肉盛溶接を実施し高寿命です。

2-5 低騒音、低振動

解砕歯の回転数は3回転/分と低速の為、騒音・振動が非常に小さく抑えられます。

2-6 省メンテナンスなシンプル構造

普段のメンテナンスは給油、給脂および解砕歯の摩耗点検で省メンテナンスです。

3. 構造

3-1 全体構造

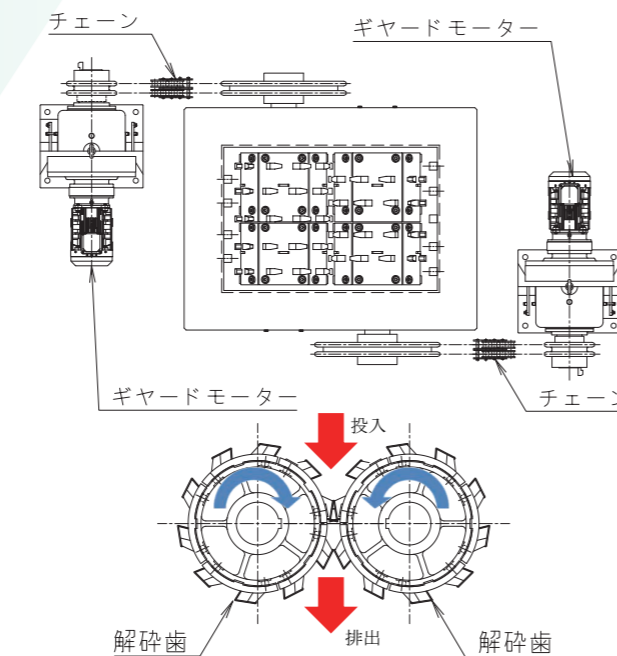


図2 ダブルロール破砕機 構造

- ・2つの解砕歯が内向きに回転し、上部から投入された原料は、2つの解砕歯間を通過する際に圧縮、せん断破砕されます。
- ・ギヤードモータからチェーンを介して解砕歯を駆動します。
- ・2つの解砕歯は別々のギヤードモータで駆動していますので、回転数に差を付ける、片側のみ逆回転させることも可能です。
- ・解砕歯の種類、隙間により破砕後サイズを調整します。
- ・間隙は軸受ケースの取付け向きで設定します。

3-2 粗歯、細歯

粗歯は歯高さ100mmで大きい原料の噛み込み効率が上がります。

細歯は歯高さ50mmでロール間隙を60mmまで狭められますので小さく破砕できます。

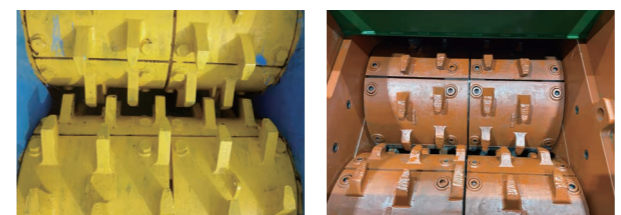
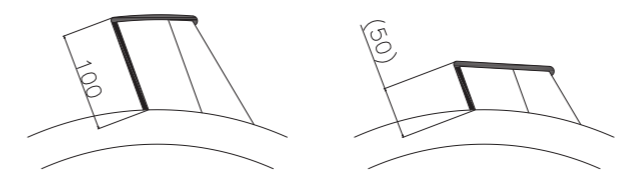


図3 粗歯

図4 細歯

3-3 解砕歯のボルト固定

解砕歯は軸にボルト固定しており、容易に交換が可能です。また、一軸に10分割での取付けですので、必要な箇所のみ交換も可能です。



図5 解砕歯のボルト固定



図6 解砕歯の分割取付

3-3 解砕歯先端

解砕歯先端は全て耐摩耗の肉盛溶接を実施しており、摩耗が進行した場合は再度、肉盛溶接を行うことで補修可能です。



図7 解砕歯先端

4. 破砕機仕様

型式	ロータ (mm)	モータ (kW)	処理能力 (t/h)
MR-1000	φ 650*1000	15*2	(細)20~40 (粗)50~120

※処理能力は見掛比重1.6程度の原料を破砕した場合の参考値

5. 破砕対象物

幅900mm、厚200~400mm程度の大塊。尚、力を加えて曲がる、凹むもの(鉄、銅、軟質プラ、木材、ゴム等)は破砕できません。

また、水分や付着性のある物は付着閉塞する為、投入できません。

ダブルロール解砕機で実績のある処理物の例を以下に示します。

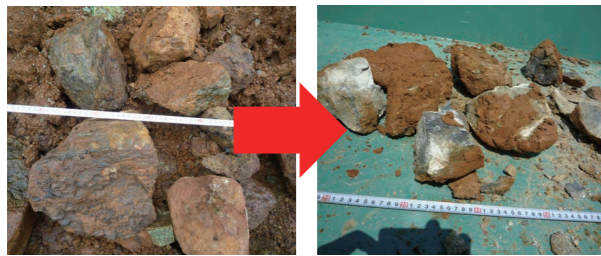


図8 ニッケル鉱石



図9 コンクリートブロック

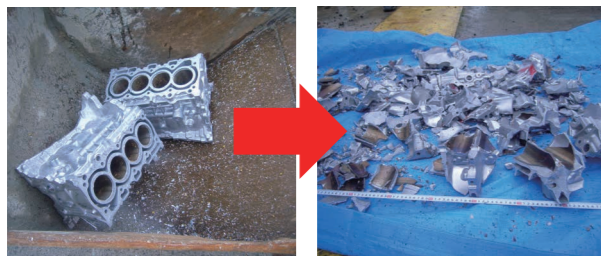


図10 アルミダイカスト(シリンダーブロック)

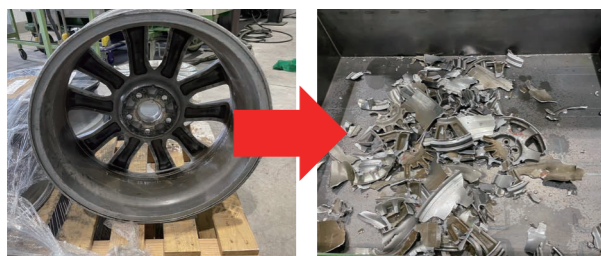


図11 アルミホイール



図12 小型家電

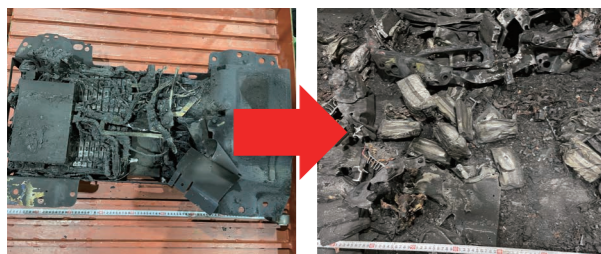


図13 自動車用バッテリーパック(焼却品)

6. 納入先

納入先事例を以下に示します。



図14 コンガラ、アスガラ



図15 コンガラ



図16 鉄筋コンクリート

7. おわりに

破砕機選定にあたり、実際の原料を使用しての破砕テストが必要です。テストせずに仕様決定するとトラブルの原因となります。

前川工業所ではテスト機20台以上(ダブルロール解砕機は粗歯、細歯)を常設し、テストにて破砕後粒度、処理能力等の確認を行って破砕機の最終仕様を決定しています。



図17 常設テスト機



図18 ダブルロール解砕機 テスト機



図19 破砕テスト風景

破砕機のお問合せの際には、下記についてご連絡ください。破砕可否ふくめて検討させていただきます。

- 処理物(名称、水分、付着性など)
- 破砕前サイズ(最大何mm、平均何mmなど)
- 破砕後希望サイズ(何mmアンダー何%など)
- 希望処理能力(何t/h、何kg/h)

お気軽にご相談ください。

筆者紹介



小財 昌浩
KOZAI MASAHIRO

1996年入社

(株)前川工業所
代表取締役社長

— 製品紹介 —

アスファルトプラント向け操作盤 AUTOPYRO

1. はじめに

アスファルト舗装業界では、人材不足の深刻化や省エネルギー化への対応、さらには高度な品質管理の要求など、さまざまな課題が顕在化している。日工ではこれらの課題に応えるべく、約10年ぶりとなるアスファルトプラント向け新型操作盤を開発した。

ユーザーインターフェースを全面的に刷新し、直感的で分かりやすい操作性を実現するとともに、今後ますます重要となる大量のデータを効率的に扱える仕組みを採用している。さらに、各制御プログラムを一から見直すことで、従来は熟練オペレーターでなければ運転が難しいとされてきたプラント制御の常識を覆し、よりシンプルかつ高精度な制御を可能とした。

本稿では、最新モデル「AUTOPYRO」の特長と、その実力について紹介する。

2. ユーザーインターフェース

画面デザインには、装置やプラントの状態をできる限りシンプルかつ必要最小限で把握できるよう、フラットデザインを採用した。必要な情報のみが直感的に視認できる構成とし、表示項目のグルーピングや適切なスペーシング、使用する色数を抑える工夫により、情報の探しやすさを高めている。

更にアカウント機能を備え、オペレーターごとに画面レイアウトやスイッチ配置、配色を柔軟に変更可能とした。個々の操作習熟度や好みに応じた最適な操作環境を提供することで、「見やすさ」と「扱いやすさ」を高次元で両立している。

また、音声ガイダンス機能を実装し、エラーの見落としを防止するとともに、音声認識機能により設定や操作画面を声による呼びかけで表示可能とした。これにより、初心者でも直感的に扱えるよう工夫している。

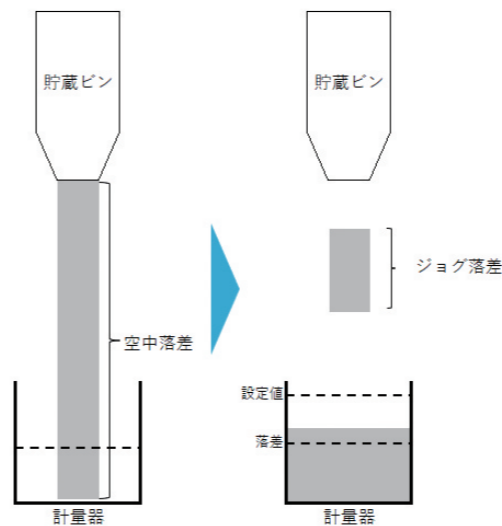


3. 最適制御

AUTOPYROは、過度に複雑化したプラント仕様を抜本的に見直し、再構成することを目的として、PLCプログラムを全面刷新した。その再設計プロセスにおいて、生コンプラント向け操作盤で実績のあるジョギング制御をはじめとする制御技術を組み込み、従来以上に高精度な最適制御を実現している。各

材料の計量精度向上は、合材の品質を左右する重要な要素の一つである。そのため、誤差の発生を抑えるべく、落差をいかに小さくできるかという点を検討する中で、生コンプラントとは異なり、アスファルトプラントは燃焼後で水分を含まない骨材を計量することから、計量ゲートからの材料の落下挙動が生コンプラントとは異なる点に着目した。さらに、設定値が大きくなるほど落差が小さくなる傾向を踏まえ、通常計量後に不足量に応じてジョグ大・小を選択する方式を採用した。

加えて、閉時間を長めに設定して落差をジョグ1回分に固定し、その落差分が確実に計量値へ反映されたことを確認してから次のジョグへ移行する制御とした。その結果、実証試験において計量誤差が大幅に低減されることを確認した。



秤が反応するまでの空中落差を小さくしないと精度は良くならない
計量ゲートを開閉することで落差を小さくする

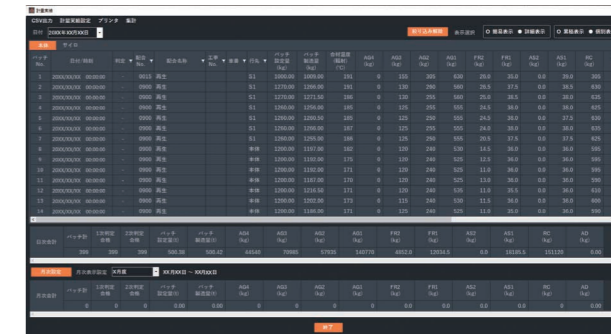
2つ目の合材品質に大きく影響する要素として温度制御が挙げられる。バーナー制御については、従来からの知見を踏まえつつ、外乱に対する感度が高いアスファルトプラントの特性を考慮し、フィードフォワード制御中心の構成から、フィードバック制御を重視した制御方式へと見直しを行った。これにより、外乱の影響を最小限に抑えるとともに、調整項目をよりシンプル化することができ、熟練度に依存せず、誰でも容易に高精度なバーナー調整が行えるようになった。

実証試験において、既設操作盤からAUTOPYROへ切り替えた結果、立ち上がり時間は14分から8分へと短縮された。また、供給量の変化に対する追従性についても、非常に安定した結果が得られた。



4. 品質管理

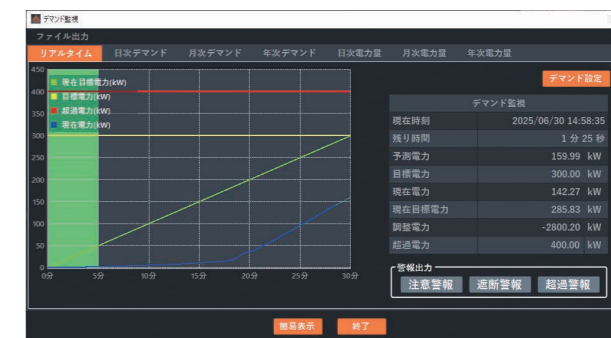
合材品質を管理する印字記録計を操作盤へ組み込み、不合格品の出荷防止を可能とした。各材料の計量誤差の判定結果がNGとなった場合には、次工程であるミキサ混練へ遷移する前に、操作盤が音声ガイダンスにより通知する。これは、他社メーカーの印字記録システムでは実現できない、プラントメーカーが開発した操作盤だからこそ可能な機能である。



5. エネルギーの見える化

デマンド監視機能を操作盤に搭載した。運転・待機・停止時それぞれの電力使用量を一目で把握でき、デマンドを予測して契約電力を超過する前に音声ガイダンスで通知するとともに、設定された各ヒータをOFFとするデマンドコントロールを可能とした。

また、電力量当たりの生産量および燃費からエコスコアを算出し、当日の運転状況を定量的に評価することが可能となった。



6. クラウドサーバーとの連携

パソコン故障やデータ損失からの復帰が出来る「データお預かりクラウドサービス」が利用可能となった。今後もクラウドコンピューティングを利用して、ユーザーへ価値あるサービスを提供していく予定である。



<計量主画面>

<供給主画面>



— 製品紹介 —

生コンプラント向け操作盤 CyberAdvanceII

1. はじめに

生コンプラント向け操作盤「CyberAdvance」は、プラントメーカーである日工が開発した最新鋭の操作盤である。開発から6年が経過し、数多くのユーザーにご利用いただく中で得られた現場の声や新たな課題をもとに、さらなる高付加価値化を目指して「CyberAdvanceII」をリリースした。

一般的に操作盤のモデルサイクルにおいて、小規模な変更を伴う改良は「マイナーチェンジ」と呼ばれ、操作盤が「古くなった」と感じられるタイミングで、販売促進を目的として行われることが多い。しかし日工では、常に操作盤のあるべき理想像を思い描き、その実現に向けて段階的に進化させていくという考え方を採っている。新しい技術やアイデアが形になったとき、「これを操作盤に取り入れれば、もっと良くなる」という改良を積み重ね、継続的にアップデートしていく。「CyberAdvanceII」は、その思想のもとに生まれた次なる進化形である。本稿ではそのアップデートされた機能について紹介したい。

Cyber Advance II



2. 計量アドバイス機能

生コンプラントにおいては、高精度な計量を実現するため、材料を微量ずつ計量するジョギング制御が一般的に用いられている。計量完了までのスピードと計量精度を両立させるため、オペレーターは計量ゲートからの材料の落下挙動を確認しながら、最適な「落差」や「ジョグタイマ」を設定する必要がある。しかしこれらの調整は、実際に生コンを製造しながら行う必要があるため、経験や勘に依存する部分が大きく、初心者には

としてはハードルの高い作業となっていた。

そこで本操作盤では、計量値および計量誤差を常時監視し、その結果に基づいて最適な調整値をオペレーターに提示する「計量アドバイス機能」を実装した。

例えば、ジョギングを行わずに計量誤差が大きい場合や、ジョギング回数が多く計量時間が長くなっている場合には、改善すべき設定項目と推奨値を具体的に示す。これにより、熟練者のノウハウに依存することなく、安定した高精度計量の実現と調整時間の短縮を可能にした。



3. 温度監視機能

生コンクリートは材料温度および外気温の影響を強く受ける材料であり、特に練り上がり温度が35℃を超過する場合には、暑中コンクリートとしての対策が必要となる。従来の生コンクリート製造設備においては、操作盤上で各材料の温度や練り上がり温度を直接把握する手段がなく、製造時の温度管理はオペレーターの経験や感覚に依存していた。そのため、温度管理が属人的となりやすく、製品品質のばらつきを招く要因の一つとなっていた。今回導入した温度監視機能では、砂利、砂、セメントおよび水といった各材料の温度を個別に監視・設定することが可能である。これにより、計量前の段階で練り上がり温度を予測することができる。さらに、予測された練り上がり温度と実測値を操作盤上に表示することで、生コンクリート温度の可視化を実現した。本機能の導入により、製造時における温度を定量的に把握することが可能となり、事前に適切な暑中対策の判断を行うことができる。その結果、オペレーターの経験への依存を低減し、温度管理の標準化ならびに製品品質の安定化に寄与することが期待される。



4. 材料管理機能

本機能は、材料の在庫管理を自動化することを目的として開発されたものである。従来、骨材やセメントの在庫は目視確認や経験に基づく管理が中心であり、在庫量の把握精度や確認作業の負担が課題となっていた。本機能では、計量後のデータを基にリアルタイムで残量演算を行い、操作盤上に在庫量を表示することで、材料在庫の「見える化」を実現した。これにより、在庫状況を常時定量的に把握することが可能となり、在庫確認作業の省力化と管理精度の向上に寄与する。また、本機能で蓄積される在庫データは、将来的に自動材料発注システムへ展開することを視野に入れており、原材料調達効率化や欠品リスクの低減など、さらなる業務改善効果が期待される。



5. おわりに

今回の「CyberAdvanceII」では、機能面の拡充に加え、操作性および視認性の向上を重視して開発を行った。画面表示には従来よりも見やすいフォントを採用し、材料の投入状況を直感的に把握できるよう、ミキサアニメーションの表現を刷新している。これにより、オペレーターは製造状況を視覚的に把握しやすくなり、操作時の負担軽減に寄与している。

また、音声による状況アシスト機能を搭載するとともに、運転ガイダンスや注意喚起情報をLINEなどの外部アプリケーションへ通知する機能を追加した。従来に比べてより製造状況を把握し易く、柔軟な現場運用を実現している。

今後は、お客様の多様化するニーズに応えるべく、次世代型プラント「REXA」への対応をはじめ、クラウドを活用した材料残量管理、スランプ判別、遠隔運転、データセンター化といった機能拡張を視野に入れ、日工グループは今後も業界をリードする製品開発に継続して取り組んでいく。

筆者紹介



神山 雄輔
KAMIYAMA YUSUKE
2010年入社
制御設計部
制御設計2課



森下 和真
MORISHITA KAZUMA
2000年入社
制御設計部
制御システム課

— 製品紹介 —

アルミ製仮設通路 ライトブリッジ

1. はじめに

建設現場において、現場での準備や、いかなる工程でも常に安全を意識しなければなりません。私たち日工セックは最優先とされるべき安全への配慮を怠らず、現場での効率的な業務遂行に寄与すべく「迅速・簡単・安全」に設置・使用可能な製品を現場へ提供するために日々営業活動に取り組み、研鑽を積んでおります。

今回のテクニカルレポートでは、そのような「迅速・簡単・安全」に設置、使用できる弊社製品代表格のひとつ、ライトブリッジについてご紹介します。

2. 背景と製品概要

基礎工事の地足場における従来の仮設通路は主に、枠組み足場と呼ばれる在来材や、単管パイプを一本ずつクランプで固定し、布わくや足場板で組み立てる必要がありました。また、通路となる布わく/足場板についても安全基準で最大寸法が定められており、長いスパンで掛けることができないため、工数や人工(にんく)の多さが懸念となります。

一つ一つの部材がバラバラだった従来の物と異なりライトブリッジはアルミ製のユニット化された構造であり、寸法の伸縮調整ができる機能が備わっているため、より長いスパンで掛けることができます。

以上のことからライトブリッジを採用することで、工数/人工の大幅な削減が可能になり、仮設の足場設置に掛かる施工時間と人件費、両方の側面からコストを抑えることに貢献できます。

○製品名: ライトブリッジ

●型式/仕様など

型式	伸縮寸法	本体重量	手摺重量(片側)	合計
LT-2439	2400mm ~ 3900mm	61kg	22kg	105kg
LT-3849	3800mm ~ 4900mm	80kg	30kg	140kg
LT-4556	4500mm ~ 5600mm	84kg	30kg	144kg
LT-4572	4500mm ~ 7200mm	108kg	40kg	188kg

※いずれの機種も耐荷重250kg

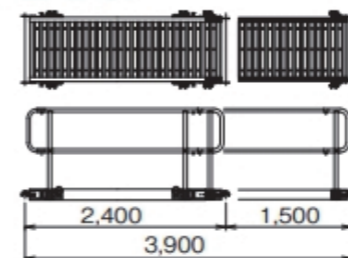


▲設置イメージ①

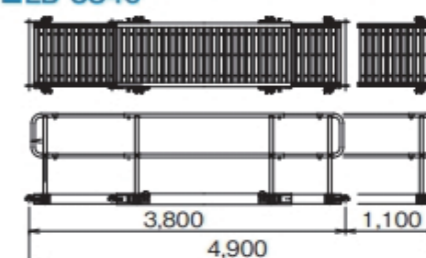


▲設置イメージ②

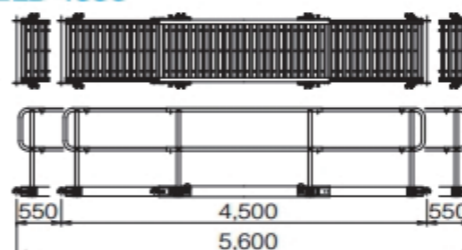
■LB-2439



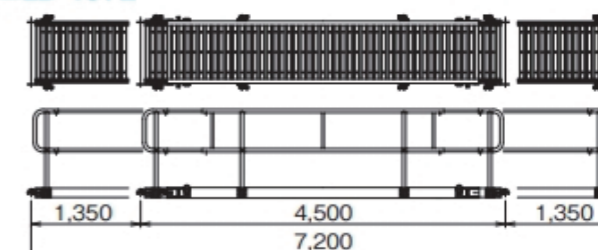
■LB-3849



■LB-4556



■LB-4572



○特徴

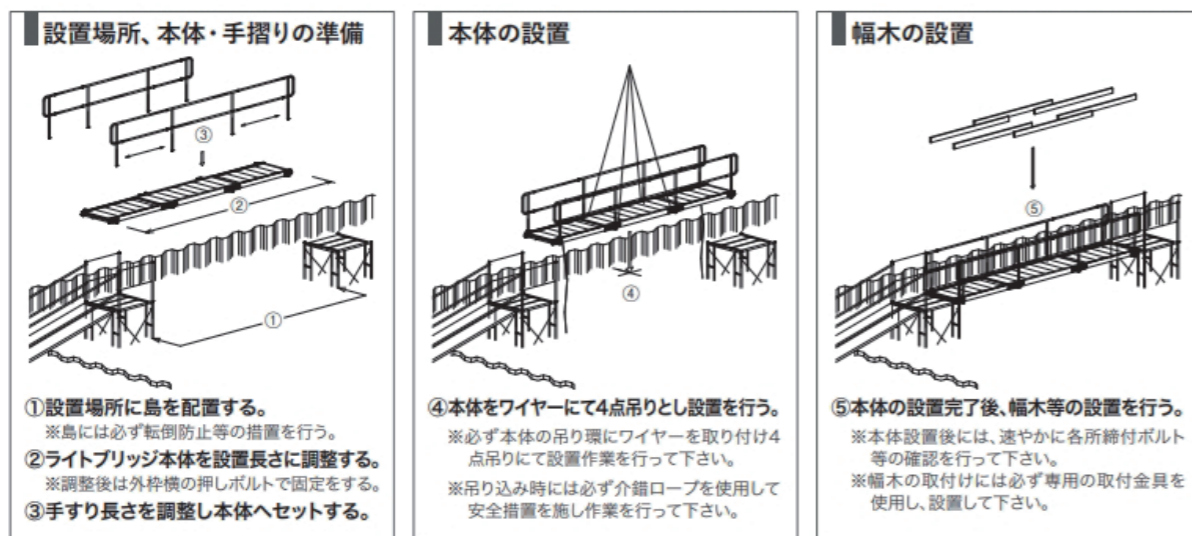
- ①最小2400mmから最長7200mmのスパンを4機種で対応可能。
- ②床幅660mmの広い通路設計のため、すれ違いの移動にも余裕がある。
- ③締め付け用蝶ボルトで寸法は簡単固定。固定ピッチも設けていないためミリ単位で寸法調整可能。



▲寸法固定用の蝶ボルト。外床側から締め、内床を押さえつけることで固定。

- ④型式別で重ねて保管できるため、設置前の現場内保管時/解体後の引き上げ前において省スペース化が見込める。本体・手摺・幅木の3部材構成により部材管理もラク。

●設置手順



○従来工法との比較

項目	ライトブリッジ工法(4.5m~7.2m迄 両側手摺巾木付) 1台分	旧工法単管足場板式(単管パイプ+アルミ足場板 両側手摺巾木付)	ライトブリッジ工法/旧工法
部材	<ul style="list-style-type: none"> ・部材点数 ① ライトブリッジ本体 (4.5m~7.2m) 1台 ② 手摺 (片側分) ×2 (両側) ③ 巾木 (片側分) ×2 (両側) ④ 巾木止め金具 ×8 	<ul style="list-style-type: none"> ・部材点数 ①単管パイプ6m 8本 ②単管パイプ3m 4本 ③単管パイプ1.5m 4本 ④アルミ足場板3m 12枚 ⑤クランプ直交 40本 ⑥クランプ自在 10ヶ ⑦断線30本⑧クランプカバー40ヶ⑨キャップ20ヶ 	<p>13/176</p> <p>94%軽減</p>
設置作業工数	<ul style="list-style-type: none"> ・組立…平地組立後ラフタークレーン吊り設置 ①本体セット (両側手摺巾木付) 13工数 ②ラフタークレーン吊り設置 片側づつ 2工数 	<ul style="list-style-type: none"> ・組立…平地組立後ラフタークレーン吊り設置 ①本体セット (両側手摺巾木付) 120工数 ②ラフタークレーン吊り設置 片側づつ 2工数 	<p>15/122</p> <p>87.5%軽減</p>
解体作業工数	<ul style="list-style-type: none"> ・解体…設置箇所外ラフタークレーン吊り平場置き解体 ①設置外し後ラフタークレーン吊り 片側づつ 2工数 ②本体セット解体 13工数 	<ul style="list-style-type: none"> ・解体…設置箇所外ラフタークレーン吊り平場置き解体 ①設置外し後ラフタークレーン吊り 片側づつ 2工数 ②本体セット解体 120工数 	<p>15/122</p> <p>87.5%軽減</p>

▲幅約1m*全長6m程度の寸法で設置した場合の比較例

比較例の通り、ライトブリッジを導入し使用部材・設置工数を大幅に削減することで、足場設置にかかる人工を抑え工期を短縮できます。通路を一か所設置すれば済むという現場は殆どなく、建築面積が広がるほど設置する通路も増えます。そのことから工数・人工の削減だけでなく、材料管理の面でもライトブリッジの特徴を大きく活かせるため、現場での採用が好ましくなります。

筆者紹介



石井 崇嗣
ISHII TAKASHI

2025年入社

日工セック(株)
東部営業所

3. 終わりに

昨今、物価高の影響により、建設現場においても材料費や人件費の高騰など例外なく大きな影響を受けております。それにより本来の着工日から工事を始められず、著しく工期が遅れることも珍しくありません。弊社の製品を導入し工期・人件費の側面からコストカットを行うことで、全体的な費用の削減に貢献できます。これからもゼネコンなど、現場で働く皆様にお役立ちできるよう、我々日工セックは現場のニーズを拾い形にしていけるよう精進してまいります。

MEMO



— 製品紹介 —

KLEEMANN製 自走式大塊選別スクリーン「MSS802i EVO」

1. はじめに

1.1 モバイルプラント事業部の概要

モバイルプラント事業部は、生コンクリートおよびアスファルト舗装材の主原料となる骨材の生産、並びに路盤材の製造に用いられる破碎機、スクリーン、高積み用コンベヤに関し、販売・保守サービスを行う事業部門である。取り扱う製品は全て履帯走行装置を備えており、現場内を自走しながら運用可能である点を特長とする。この機動性を前提としたプラント構成が、本事業部名称の由来である。

1.2 モバイルプラント市場の動向と当社の取り組み

近年、次世代型モバイルプラントの導入は世界的に進展しており、特に欧州においてその傾向が顕著である。このような市場動向を背景として、当社は2015年にドイツの破碎機メーカーであるKLEEMANN社と総代理店契約を締結し、日本国内における同社製モバイルプラントの販売を開始した。2019年には、当社創業100年の節目に併せてモバイルプラント事業部を発足させ、以降、事業としての展開を継続している。

1.3 モバイルプラント導入の背景

この間、従来の定置式プラントからモバイルプラントへの生産方式の移行は、その生産効率および運用上の柔軟性を背景として、着実に進行している。従来方式では、岩盤から起砕された原石を油圧ショベル、ホイールローダー、ダンプトラック等により積み込み、定置式プラントまで運搬する工程を要していた。一方、モバイルプラントを導入した場合、原石採取地点での破碎や選別を行う事が可能となり、輸送工程の削減並びに作業効率の向上を図る事ができる。

1.4 運用分野の拡大と導入事例

また、モバイルプラントは採石場に限らず、中間処理施設や建設現場においても有効に運用されている。電源設備や基礎工事を必要とせず、搬入後直ちに稼働可能であることから、災害発生時での瓦礫処理およびインフラ復旧を目的とした現場への導入事例も存在する。近年では、石川県能登半島でも当社製モバイルプラントが採用されている。

1.5 これまでの製品紹介と本稿の位置付け

既刊の「TECHNICAL REPORT」では、KLEEMANN製品について主力機種であるジョークラッシャーMC100i EVO、および最新モデルであるインパクトクラッシャーMR100i NEO(e)を中心に、その構造および特長について取り上げてきた。

本稿では、破碎機と組み合わせて使用する事により生産効率の向上が期待される大塊選別スクリーン MSS802i EVOを取り上げ、その構造的長や適用効果について紹介する。



図1 MSS802i EVO外観

2. MSS802i EVO適用現場

MSS802i EVOは、図2、3に示すように破碎機の前段あるいは後段に連結して使用する事が可能である。破碎前段に配置した場合、原石を事前に分級する事ができると共に、微細分を除去する事により、後続する破碎機内部における摩耗の低減に有効である。

一方、破碎後段に配置した場合には、大面積のスクリーンによって効率的に製品サイズへのふるい分けが可能となり、最大三分級の選別を行う事ができる。ふるい面の仕様は多様な選択肢が用意されており(次項に詳述)、割栗石や蛇籠石をはじめ、単粒度碎石、鉄道道床用碎石、並びに路盤材等、幅広い用途に対応する。

なお、単粒度碎石の内、6号碎石、7号碎石、砕砂等の更に細粒な材料を対象とした選別用途においては、本機とは別に「粒度選別スクリーン」の適用を推奨する。



図2 破碎前に連結
(MSS802iEVO+MR130iEVO2)



図3 破碎後に連結
(MR130iEVO2+ MSS802iEVO)

勾配設定によりスクリーンデッキでの材料滞留時間および処理能力を調整する事が可能であり、使用条件に応じた運用に対応している。



図4 角度調整

3. MSS802iEVO主機能

前項までに述べた内容は、大塊選別スクリーンに共通する一般的な機能および用途に関する説明である。本項では、MSS802iEVOに特有の構造と技術的特性について述べる。

3.1 スクリーンユニット

本製品に装備された二床構成のスクリーンデッキは、上段が有効ふるい面積約7.5m²の篩網を四分分割配置した構造、下段が有効ふるい面積約7.0m²の篩網を三分割配置した構造で構成されている。適用可能なふるい仕様としては、グリズリバー、パンチングプレート、フィンガースクリーン、網が用意されている。分割配置された篩網構造を活用する事により、上段篩網の第一区画のみに耐衝撃性に優れたグリズリバーもしくはパンチングプレートを配置し、残りの区画にフィンガースクリーンまたは網を組み合わせる混合仕様の構成も可能である。なお、当該混合仕様は上段デッキにのみ対応している。

ふるい方式には、油圧モーター駆動による単軸式不釣合い回転励振機構を採用している。本機構は、一本の振動軸の左右に配置された不釣合い質量(アンバランスウェイト)の回転により、スクリーンボックスに円振動を付与する構成である。その為、ふるいの構成や用途に応じてアンバランスウェイトの構成を変更する事により、振幅の調整が可能となっている。これにより、投入原料の粒度分布や性状に応じた最適な振動条件を設定する事ができ、選別効率および処理安定性の向上に寄与する。

さらに、スクリーンユニットは図4に示す様に、位置決め機構により段階的に勾配を設定する角度調整構造を採用している。運転時に設定可能なスクリーン勾配は五段階(15.4°、16.6°、17.7°、18.9°、20.0°)であり、12.5°は輸送位置として用いられる。

3.2 フィードホッパー

約9.1m³の大容量ホッパーには、耐摩耗性に優れたKRS(KLEEMANN Resistance Steel)製の耐摩耗ライナー(オプション)を装着する事が可能であり、摩耗部位の保護並びに保守性を向上する。

材料投入方式としては、モバイルプラントのベルトコンベヤからの供給を想定しており、ホッパー後壁には三段階の高さ調整が可能な折り畳み構造を採用している。

加えて、ホイールローダーによる投入作業の場合は、補助装置(オプション)を適用する事により、オペレーターの視認性向上を図ると共に、材料の飛散抑制に寄与する。当該補助装置の展開および折り畳み操作は有線リモコンによって行われ、安全性を確保した運用が可能である。後方からの材料投入時には左右両側の補助装置を立ち上げる事ができ、側方からの投入時には片側のみを立ち上げる構成とする事で、投入条件に応じた柔軟な運用に対応している。

この様に、様々な投入条件や作業環境を想定した構造設計には、KLEEMANN社における運用現場を重視した設計思想が反映されている。

3.3 排出ベルトコンベヤ

スクリーンにより分級された製品は、上段篩上物が主排出コンベヤから排出され、下段篩上物は排出方向に向かって左側に配置された中間分級物排出用コンベヤから排出される。下段篩下物は排出方向に向かって右側のコンベヤから排出される構成となっている。各ベルトコンベヤは、運用条件に応じて任意の搬送速度に設定する事が可能である。

上記は、標準仕様である三分級時の製品フローを示したものであるが、本製品は二分級仕様への変更にも対応している。二分級仕様への変更時には、中間分級物排出用コンベヤを取り外し、主排出コンベヤを下降させる事で、上段および下



製造設備紹介

MANUFACTURING EQUIPMENT INTRODUCTION



NIKKO
TECHNICAL REPORT
Vol.7 No.1

— 製造設備紹介 —

ファイバー溶接機設備紹介

1. 概要

2026年1月、当社建機製造部の製缶工程において、初めてファイバー溶接機を導入いたしました。建機製造における基盤となる重要な工程であり、製品の強度や耐久性に直結する極めて高い品質が求められます。

従来より、半自動溶接、アーク溶接、TIG溶接など、用途や材質に応じて複数の溶接方法を使い分ける必要があり、これらの作業は熟練作業者の高度な技能に支えられてきました。

特に、溶接条件の微妙な調整や部材の歪みを抑えながら均一な仕上がりを実現するためには長年の経験に裏打ちされた技術が不可欠であり、技能継承や作業者の負担軽減は長らく部門の課題となっていました。

こうした状況の中で、昨年より当部門では、溶接技術の進化により注目を集めているファイバー溶接機に着目し、その導入可能性について検討を進めてまいりました。ファイバー溶接機は、レーザー光をファイバーで伝送することで高いエネルギー密度を実現し、従来の溶接方法と比較して溶接速度の向上、熱影響の低減、溶け込みの安定化など、多くの利点を持つ設備です。特に、熱による歪みが少ないことから、後工程での修正作業が減少し、品質の均一化にも寄与することが期待されています。また、作業者の技能差による品質ばらつきを抑制し、標準化された溶接品質を確保できる点も大きな魅力であり、当部門が抱えていた課題解決に直結する技術として注目していました。

検討段階では、実際の製缶部材を用いた試験溶接や、他社での導入事例の調査、設備メーカーとの技術検討会などを重ね、当社の製品仕様や生産体制に適合するかどうかを慎重に確認してまいりました。その結果、ファイバー溶接機の導入は、品質向上、生産性向上、作業負荷軽減技能継承の効率化といった複数の観点から大きな効果が見込めると判断し、このたび正式に導入する運びとなりました。

今回の導入は、単なる設備更新にとどまらず、製缶工程全体の生産技術を次のステージへ引き上げる重要な一歩であると考えます。今後は、ファイバー溶接機の特性を最大限に活か

すための溶接条件の最適化や、作業員への教育、訓練、既存工程との連携強化など、運用体制の整備を進めてまいります。また、設備導入によって得られたデータや知見を蓄積し、さらなる品質改善や工程革新につなげていくことも視野に入れてまいります。

当部門としては、今回の設備導入を契機に、より高品質で安定した製品づくりを実現し、お客様からの信頼に応え続ける体制を強化していく所存です。引き続き、技術革新と現場力の向上を両論として、建機製造部全体の競争力向上に貢献してまいります。

2.日酸TANAKAによるデモ機



写真1 日酸タナカの指導によるファイバー溶接デモ機にてお試し中



写真2 日酸タナカの指導によるファイバー溶接デモ機にてお試し中

導入背景:生産性向上・品質改善のための導入

設置場所:日工マシナリー野田本社工場

設置時期:2026年1月中旬

適用材質:ステンレス、軟鋼、アルミ

実演・体験の様子

- ・デモ機による社内体験(総務課・工務課も参考の為参加)
- ・溶接未経験者でも薄物溶接が可能になったという具体的な成果があった。

3.仕様と特徴

仕様

日酸TANAKA

溶接装置 型式	FLM-2000W
レーザ定格出力	2000W
動作モード	連続/パルス
レーザ波長	1080nm
レーザ出力調整範囲	10~100%
最大周波数	20000Hz
入力電源電圧	単相 A C 190V~220V 50Hz/60Hz
入力電源ケーブル長さ	5m
シールドガスホース長さ	5m (外径φ6 樹脂チューブ)
冷却方式	水冷 (チラー装置内蔵)
本体サイズ	D880mm×W600mm×H980mm
本体重量	160kg
3in1溶接 トーチ型式	FLM-WCCT
機能	溶接・切断・クリーニング (3in1タイプ)
トーチ重量	750g (ケーブル含まず)
ファイバーケーブル長さ	10m (制御・水・シールドガスを含む)
ワイヤ送給装置 型式	FLM-WFS
溶接ワイヤー径	0.8、0.9、1.0、1.2、1.6mm
制御ケーブル、ライナー長さ	制御:5m、ライナー3m

溶接モード	切断モード	クリーニングモード
ステンレス 6.0mm	ステンレス 3.0mm	クリーニング幅選択
軟鋼 6.0mm	軟鋼 3.0mm	30, 60, 120mm
アルミ 3.0mm	アルミ 1.0mm	

特徴項目	内容
高効率・高精度	作業時間の短縮と高品質な仕上がりを両立
難加工材対応	薄板やアルミなどの溶接が可能
スパッタが少ない	仕上がりが美しく、後処理の手間を軽減
操作性の高さ	初心者でも扱いやすく、精密部品にも対応
熱影響が少ない	歪が小さく、精密部品にも対応
メンテナンス性	構造がシンプルで保守が容易

4.設置



写真3 工場内設置外観
2026年1月9日納入
アルミ製パーティションも新たに設置



写真4 設置状況
本体
左側:ワイヤ送給 右側:ファイバー溶接機本体



写真5 設置状況
定盤の上へ溶接トーチ

5.仕上がり



写真6 設置後ステンレス材による
テスト溶接 板厚2ミリ

6.おわりに

本レポートではファイバー溶接機の特徴と設置状況についての報告となる。この技術は高精度な接合を可能にし、製缶分野において大きな可能性を秘めている。半自動溶接機とTIG溶接機の熟練が必要とされる中、新たな溶接作業として次世代感を感じた。一方で、操作技術の習得や安全面の配慮など、今後取り組むべき課題も存在する。このレポートを通じて、溶接技術の重要性を改めて認識することができた。今後はさらに理解を深め、実践に活かしていきたい。

筆者紹介



高橋 義仁
TAKAHASHI YOSHIHITO
2010年12月入社
日工マシナリー(株)
製造部長兼工場長

MEMO



— 製造設備紹介 —

ワイヤ放電加工機の導入

1. はじめに

ワイヤ放電加工機(以下ワイヤカット)は、±数μmの高精度で複雑形状を切断加工することができ、工具摩耗の影響もないため、非常に高い再現性を有する機械です。日工の製品においても、ワイヤカットで加工した品物が使われており、安定した加工品の供給が不可欠です。今回、このワイヤカットを新たに導入したため紹介する。

2. ワイヤカット導入における費用対効果について

前期、前々期の外注費を表1に示す。

表1 外注費

年度	数量	外注費
162期	626個	約650万円
161期	584個	約560万円

表1より、年間約600万円の放電加工を外部に委託していたことがわかる。今回の機械導入により、外部に委託していたほとんどの放電加工を自社でできる。

次に、ワイヤカット稼働にかかる費用を表2に示す。

表2 ワイヤカット運用時の概算費用

費用項目	年間概算費用
ワイヤ費	35万円
消耗品費	15万円
メンテナンス費	20万円
人件費	100万円
その他費用	30万円
合計	200万円

表2より、ワイヤカットにかかる費用は年間約200万円になる。これまで委託していた放電加工をすべて自社で加工した場合、年間約400万円のコスト削減効果が見込まれ、ワイヤカット導入は大きな費用対効果が得られる事がわかる。

3. ワイヤカット

3.1 ワイヤカットの原理

ワイヤカットは、ワイヤとワークの間に電気的な放電を発生さ

せ、その熱エネルギーで材料を溶融・蒸発させて加工する非接触加工技術です。

3.2 加工の流れ

- ①加工槽の中に加工物をセットし加工液で満たす。
加工液はイオン交換樹脂を通し絶縁性を持たせた水なので、放電加工で発生した加工くずを素早く冷却、排出することができ、絶縁状態を素早く回復させながら安定した加工を行うことができる。
- ②ワイヤに電圧を印加する。
- ③ワイヤとワークの間の加工液中で微小な放電が多数発生する。
- ④放電点の局所が瞬間的に約8,000℃の高温となり、材料が溶けたり飛散したりする。放電痕が連続することで、輪郭形状が切り出される。

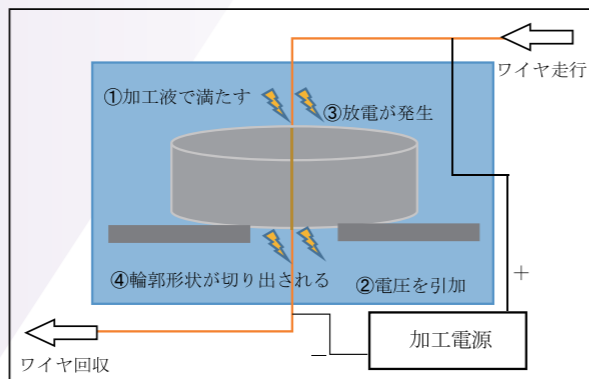


図1 ワイヤカット加工の流れ

3.3 ワイヤカットの特徴

主な特徴として以下の7つが挙げられる。

- 1) 高精度な加工が可能
±数μmの精度が出せる。

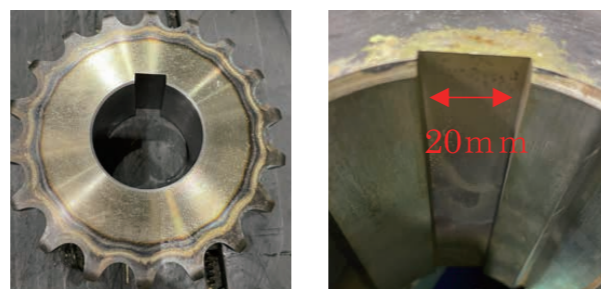


写真1 キー溝加工

- 写真1はワイヤカットで幅20mmのキー溝を加工した際の写真です。±数μmの加工精度が得られた。
- 2) 非接触加工のため、加工応力がゼロに近い
ワークへの応力が小さく、曲げやひずみが出にくい。
- 3) 難削材も加工できる
導電性の材料であれば加工できる。
- 4) 幅広い形状の加工ができる

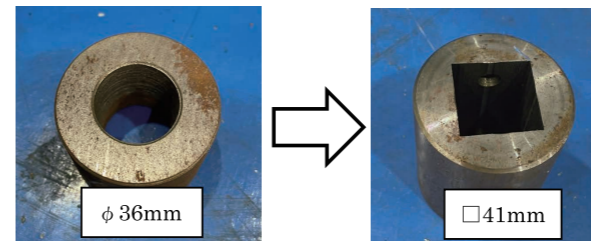


写真2 四角加工

写真2は下穴直径φ36mmを1辺41mmの正方形に加工したものです。ワイヤは直径0.25mmと非常に細くなっているためテーパ加工も可能で、角の精度は工具に比べて特に高い。

- 5) 工具の摩耗による品質低下が少ない

ワイヤは加工中常に走行しているため、摩耗する箇所がなく長時間稼働による品質低下が起こらない。

- 6) 面粗さが良好で、仕上げ加工も安定

ワークの材質、厚みを入力すると、自動で表面粗さ、公差、加工速度が表示されるため、加工精度を選択できる。また、荒加工・仕上げ加工を繰り返す事で、表面粗さを低減できる。

- 7) 自動化・無人化可能

ワイヤカットは入力したプログラムに沿って自動で加工を行うため、作業者はワークの着脱とプログラムの起動のみとなり、人件費は少なくなる。また、無人で夜間の加工が可能のため、加工時間が長いという課題点を補うことができる。

3.4 ワイヤカットの課題点

- 1) 加工速度が遅い

切削加工に比べて加工時間が長く、量産や短納期には向いていない。

- 2) ワイヤの断線

溶接痕等でワイヤが断線してしまうことがある。断線した場合、切断位置もしくは結線可能位置まで退避し、自動で再度結線する。結線に失敗したり、同じ位置で複数回断線すると、プログラムが停止してしまう。

- 3) ワークの置き方、固定方法に工夫が必要

自由度が高い反面、治具の使用方法に工夫がいる。特に、小さいものや薄い材料の固定が難しく、ワークに合わせた治具の製作が必要となる。

4. 導入したワイヤカットについて

4.1 FANUC製ROBOCUT α-C600iC

主な仕様を表3に示す。

表3 仕様

型式	α-C600iC
最大工作物寸法	1050×820×300mm
最大工作物質量	1000kg
XY軸テーブルストローク	600mm×400mm
Z軸ストローク	310mm
UV軸ストローク	±100mm×±100mm
最大テーパ角度	±30° /150mm
使用ワイヤ径	φ0.10～φ0.30mm
最大ワイヤ質量	16kg
本体重量	約3250kg
制御装置	FANUC Series 31i-WB

最大工作物寸法・質量に収まり、固定できるワークであれば、ワークの固定、加工方法の工夫次第でどんな形状のワークでも加工可能です。



写真3 α-C600iC

今回、ワイヤカットを初導入するにあたり、4つの大手メーカーを検討した。加工テストを実施していく中で、すべてのメーカーにおいて日工が求める加工が可能であることが確認できた。その中でも、価格・メンテナンス性・操作性・サイズ感の面において最もバランスが取れていると判断し、FANUC製を選定した。

4.2 ワイヤ

近年の金属の価格の高騰により、ワイヤの材料である真鍮の価格も上がっている。多数の種類があるワイヤの中から日工の品物に合ったものを厳選し、実際に加工しながらそれぞれのワイヤを比較した。メーカーにより材質の硬さ、価格、切れやすさ等に違いがあり、その中でも断線しにくく安価であったPROTERIAL製のワイヤを選んだ。PROTERIAL製のワイ

やは、ファナックのメーカー推奨でもあり、溶接部分等のワイヤが切れやすい環境でも断線しにくく、安定した加工ができた。また、使用したワイヤはスクラップとして回収でき、ワイヤの購入金額の約40%を還元できる。

4.3 機能紹介

4.3.1 位置出し機能

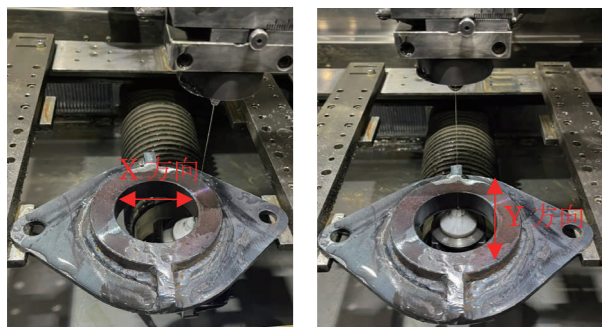


写真4 穴中心出し

写真4は穴中心を出している様子を示す。X方向、Y方向それぞれにワイヤをワークと接触させることで、穴の中心を計算し、位置出した座標を登録し、その位置を基準に加工することができる。プログラムの途中にも組み込むことができるため、形状の異なるワークを一度に加工することが可能です。円中心出しのほか、端面出しや平行出し等もできる。

4.3.2 自動結線機能

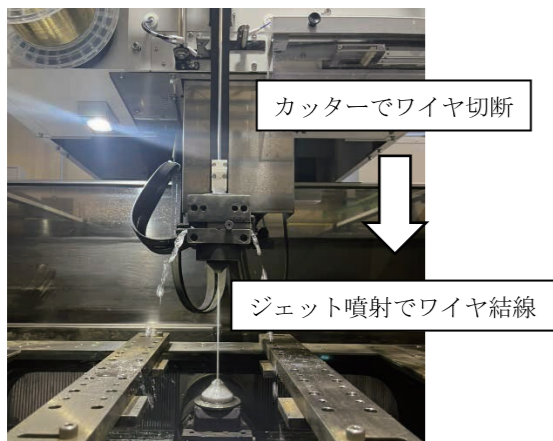


写真5 ワイヤ結線

下方向に水圧ジェットを噴射し、そのジェットをガイドにしながらワイヤを送り出すことで、ワイヤの結線ができる。水中での結線も可能で、プログラムの途中でワイヤが切れてしまった場合でも、ワイヤ切断、結線の順で加工を自動で再開するため、安定した加工が可能となる。

5. 治具

5.1 汎用治具

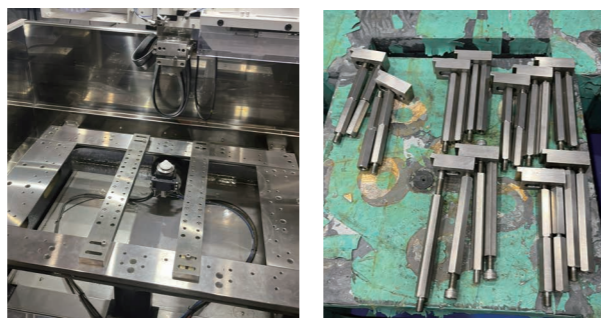


写真6 汎用治具

写真6左にスライドテーブルを示す。このスライドテーブルに六角ボルトで鉄板を固定し、その鉄板の上にワークを乗せて加工を行う。右の写真は押さえ用のボルトで、ボルトは複数の長さを用意しており、ワークに適したものを組み合わせて使用する。

5.2 シールカラー治具



写真7 シールカラー固定治具

加工頻度の最も高いシールカラーの位置決め治具を製作した。写真7左のように、スライドテーブルとワークのタップ穴にピンを入れることで、ワークの固定方向を決め、その後写真右のように5.1の押さえ用ボルトで固定している。シールカラーを中心に半分に分断する加工であり、一度の自動加工で4つのシールカラーが切断できる。加工時間はおよそ4時間かかっている。ワーク切り離し時に押さえ用ボルトの力でワークがワイヤを挟んでしまい、加工が中断してしまうことの改善が今後の課題です。

6. 終わりに

今回のワイヤカット導入により、これまで外部に依頼していた品物を自社加工でき、外注費を抑えることができます。さらに、社内で加工可能な材料の幅が広がりました。他職場からの複雑な形状や高い精度が必要な品物の加工依頼にも使用でき、加工の選択肢を増やすことができました。

自由度が高い反面、加工準備には工夫が必要な機械で

すので、引き続きワークに合わせた治具やプログラムを更新し、改善を重ね、製造設備の面で品質・効率を追求し、より良い製品を納期通りにお客様へ提供できるよう尽力していきます。

今回設備入替にご協力くださった製造本部の皆様、ご対応頂いた業者の皆様へ感謝申し上げます。今後も随時設備更新を行っていきますので、引き続きのご協力をお願い致します。

筆者紹介



牧 貴紀

MAKI TAKANORI

2023年入社

製造本部 本社工場
生産技術室



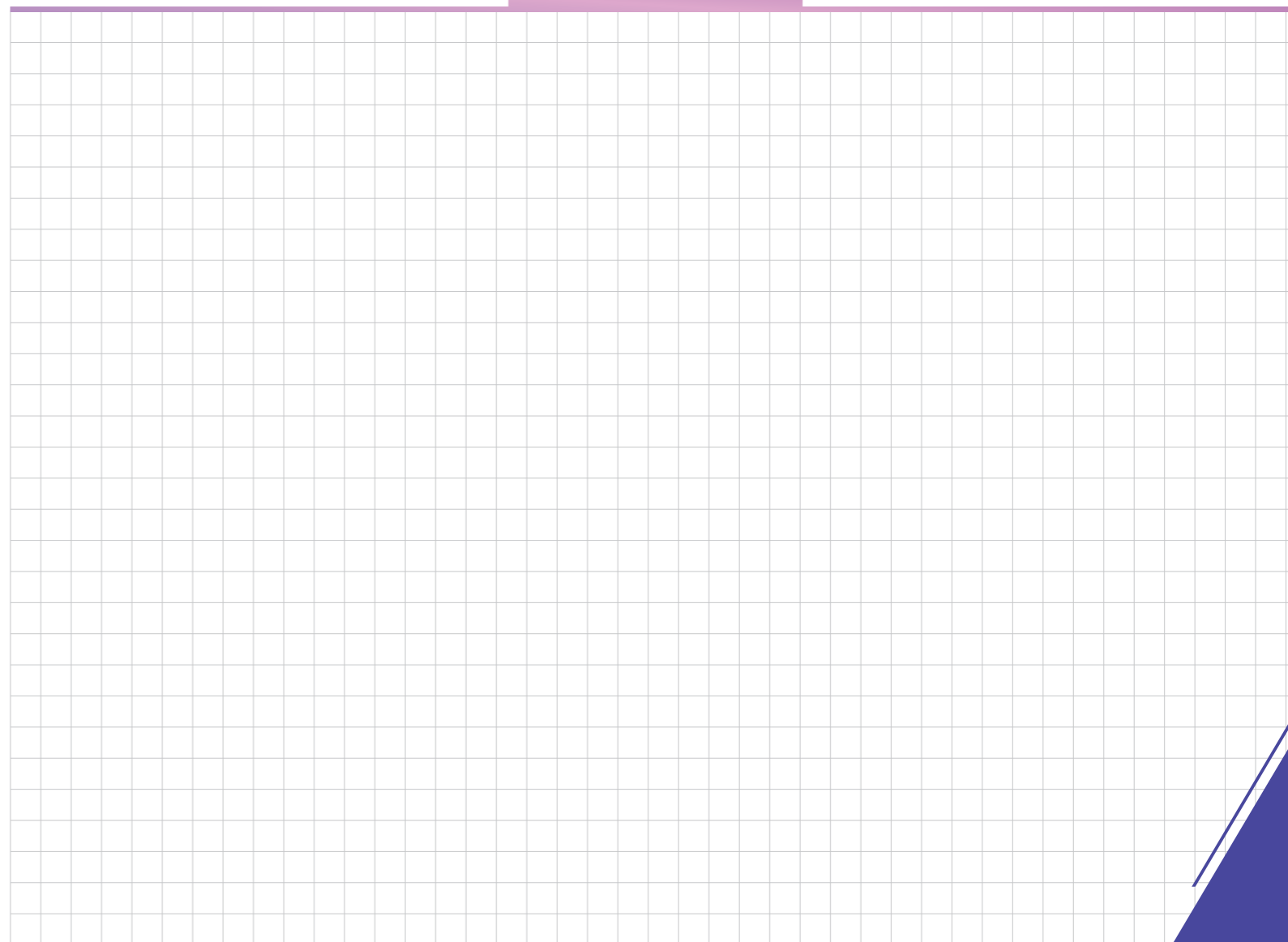
山下 貴浩

YAMASHITA TAKAHIRO

2007年入社

製造本部 建機製造部
機工課

MEMO



NIKKO 企業理念

VISION

実現したい未来

世界を、
強くやさしい街に。

SLOGAN

合い言葉

*N*からはじまる
未来創造

MISSION

日々果たすべき使命

一歩先ゆくエンジニアリングから、
社会基盤をアップデートする。

VALUE

提供価値

1. 全ての製品サービスで、安全安心を追求します。
2. お客様視点で、真の課題を捉え提案します。
3. 社会や時代の先を見すえ、技術を磨き続けます。
4. お客様に寄り添い、未来までサポートします。
5. エンジニアリング力を結集、期待を超えます。

社是

創業時から変わらぬ価値観

- ・企業を通じて社会に奉仕する。
- ・誠実と責任感を持って繁栄に邁進する。
- ・創意工夫改善に努め適正利潤をあげる。

SPIRIT

大切にすべき精神

1. 仕事をおもしろくする。
2. 目的を意識する。
3. アイデアを出す。
4. 恐れず挑戦する。
5. 最後までやりとげる。
6. 時間を大切にする。
7. 相手を想い対話する。
8. 仲間を助け高め合う。
9. 内外から幅広く学ぶ。
10. 嘘なく真摯に取り組む。
11. 心身のゆとりを持つ。
12. 安全を最優先させる。

編集後記

まずは、「NIKKO TECHNICAL REPORT Vol.7 No.1」を発刊するにあたりまして、ご多忙中にもかかわらず巻頭言をご執筆いただきました北海道科学大学教授の亀山様、並びにご協力いただきました関係者の皆様方には、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

日工グループにおきましては、昨年の2025年10月20日から31日にかけて自社展示会『NIKKO MESSE 2025』を開催し、非常に多くのお客様にご来場いただきました。本展示会では、「一歩先行く未来社会のデザイン」をテーマに、持続可能な未来を見据えた多数のコンセプトモデル、新製品・サービスを展示・ご紹介し、ご来場いただきましたお客様に実際に体感していただくことができました。これらの新製品・サービスが、お客様が抱える様々な課題（例えば、働き方改革、DX、カーボンニュートラル等）を解決する一助となれば幸いです。なお、上記新製品・サービスの一部に加え、開発中の新規技術につきましても、本「NIKKO TECHNICAL REPORT Vol.7 No.1」にてご紹介しておりますので、併せてご覧いただければと存じます。

また、昨年度より、「NIKKO TECHNICAL REPORT」が従来の年1回（春）の発行から年2回（春・秋）の発行となりましたのでお知らせいたします。なお、秋号につきましては当面弊社ウェブサイトへの掲載のみを予定しておりますので、お手数ですが弊社ウェブサイト（下記URL、QRコード参照）よりご覧くださいますようお願い申し上げます。

<https://www.nikko-net.co.jp/pickup/technical-report2025.html> →



NIKKO TECHNICAL REPORT

Vol.7 No.1

令和8年4月発行
〈非売品〉

編集兼発行

日工株式会社 日工テクニカルレポート編集委員会
〒674-8585 兵庫県明石市大久保町江井島1013番地の1
TEL.078-947-3131(代)

印刷所

株式会社マテックス
〒651-0071 兵庫県神戸市中央区筒井町2丁目1-38
TEL.078-261-8484



営業品目

- ▶▶ アスファルトプラント
- ▶▶ コンクリートプラント
- ▶▶ 各種電子制御機器
- ▶▶ 容器包装リサイクルシステム
- ▶▶ 汚染土壌改良プラント
- ▶▶ パイプ枠組足場
- ▶▶ 各種仮設機材
- ▶▶ 破碎機
- ▶▶ スコップ
- ▶▶ リサイクルプラント
- ▶▶ ベルトコンベヤ
- ▶▶ 排水処理装置
- ▶▶ 建設副産物リサイクルシステム
- ▶▶ 設備用コンベヤシステム
- ▶▶ パイプサポート
- ▶▶ モバイルプラント
- ▶▶ ミキサショベル
- ▶▶ 防水板