

*n*

NIKKO  
TECHNICAL REPORT

2022

04

NO.003

NIKKO TECHNICAL REPORT NO.003



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/>



*n*からはじまる未来創造

## 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m<sup>2</sup>)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

# NIKKO TECHNICAL REPORT

2022.04

NO.003

NIKKO  
TECHNICAL REPORT

巻頭言

- 05 …… 化石燃料の大量消費と環境問題を解決するためのエネルギーキャリア戦略  
—水素社会の実現を目指して!—  
大阪大学大学院工学研究科 機械工学専攻  
燃焼工学研究室 教授 赤松 史光

論文

- 07 …… 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  
[出典]オリジナル  
蓬萊 秀人
- 33 …… 運搬中のアスファルト混合物の温度特性の考察  
[出典]オリジナル  
田村 彰啓
- 43 …… もみ殻混焼バーナの開発  
[出典]オリジナル  
北野 裕樹 他
- 51 …… アスファルトプラントにおける二酸化炭素削減と日工におけるアンモニアバーナ開発  
[出典]オリジナル  
宗像 元 他
- 55 …… 木質バイオマス発電設備におけるタール燃焼装置の開発  
[出典]オリジナル  
今田 雄司 他

製品紹介

- 63 …… アスファルト合材製造に関わる、省エネ・燃費削減技術について
- 71 …… KLEEMANN社製自走式コーンクラッシャー「MCO9Si」
- 73 …… 前川工業所製 ロールブレーカー
- 77 …… 小物検収システム
- 79 …… 防水板(タウンガード)
- 83 …… 固化材設備

製造設備紹介

- 87 …… (アウトドアブランド)日本鉄具製作の紹介
- 91 …… NCフランジ穴用ドリルマシンの開発

編集後記

- 95 …… 編集後記

# 化石燃料の大量消費と環境問題を解決するための エネルギーキャリア戦略 —水素社会の実現を目指して!—

大阪大学大学院工学研究科 機械工学専攻  
燃焼工学研究室 教授  
赤松 史光



私たちが利用しているエネルギーの約8割以上は、化石燃料を燃焼させることによって生み出されています<sup>(1)</sup>。しかし近年、化石燃料の大量消費により、地球温暖化などの地球規模の環境問題が起こっています。この問題を解決するために、太陽光、風力等の再生可能な自然エネルギーを用いて、化石燃料を代替する新しい燃料を生み出してエネルギーキャリアを構築するための研究開発が、大型国家プロジェクトとして推進されています<sup>(2)</sup>。

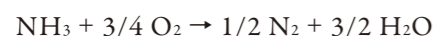
パリ協定の批准により、2030年度までに2013年度比で-26%の水準、2050年度までに-80%の水準を達成することが掲げられました。その後、2020年10月26日に、菅首相の所信表明演説にて、温室効果ガスの排出量を2050年までに実質ゼロにする目標が掲げられ、また、2021年4月22日に、菅首相が気候変動サミットにて、2030年度までの二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の削減目標を、2013年度比で-46.0%に大きく割り増しすることが表明されました。

そのような中、化石燃料の代替燃料としてのエネルギーキャリアとして水素が注目を集めています。将来的には、地球上に大量に賦存する再生可能エネルギーである太陽光発電や風力発電によって安価に生み出された電気を用いて水を電気分解することにより、低コストで水素を大量生産することが可能であると考えられています。例えば、太陽光発電であれば、全世界のエネルギー需要は、アフリカのサハラ砂漠の1/3の面積に太陽光発電パネルを敷き詰めることで満たすことができます。また、風力発電の場合、全世界の潜在的風力量は電力量にして年間9兆6700億kWh(日本の年間使用電力量の8倍)のポテンシャルを持っています。もし世界中の風力を有効利用する技術を我が国が保有すれば、日本が世界屈指のエネルギー輸出国となることも夢ではありません。しかし、高圧送電線を用いた電気の輸送距離は数百km程度が限度であり、再生可能エネルギー起源の電気を全世界へ供給するためには、水素燃料をはじめとするエネルギーキャリアに関する技術とインフラを社会に実装する必要があります。

水素は燃焼しても二酸化炭素を排出しないために、化石燃料に混合して燃焼させれば、その分だけ二酸化炭素の排出量を削減することができ、地球温暖化防止に対して即効性があります。しかし、水素を大量に輸送・貯蔵するためには、-253℃の極低温にして液化するか、もしくは常温であれば700気圧の超高压ポンペに充填する必要があります。

水素のキャリア(分子内に多くの水素を含む物質)として、アンモニアが注目されています。アンモニアは約百年前に、空気中から分離された窒素と、炭化水素などから得られる水素によるアンモニア合成法(ハーバー・ボッシュ法)が開発されたことで大量工業生産が可能となり、全世界で1年間に約1億9千万トンが生産されており、その1割程度は既に海上輸送がされています。また、アンモニアは重量割合で17.8%の水素を含有しており、-33.4℃で液化し、常温でも8気圧程度の圧力で容易に液化することが可能であり、輸送・貯蔵に関する技術と社会インフラが既に確立されています。また、液体アンモニアの水素密度は121 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>であり、液体水素の水素密度70.8 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>よりも大きく、体積が重要となる輸送や貯蔵の際に利点があります。

アンモニアは、燃焼過程において二酸化炭素の排出を伴わないCO<sub>2</sub>フリーな燃料です。このことは、アンモニアの燃焼の際の化学反応式が、次式で表されることから理解できます。



しかし、アンモニアを燃料として使用する際には、燃焼性が低いこと他、燃料中の窒素由来の窒素酸化物であるFuel-NO<sub>x</sub>が多量に生成されることが懸念されていました。

大阪大学 燃焼工学研究室では、酸化剤として利用される空気中の酸素濃度を高める“酸素富化燃焼”によりアンモニアの低燃焼性を克服し、また、二段燃焼技術や燃焼装置内の排気ガスの再循環技術等によって、NO<sub>x</sub>排出濃度を環境基準以下とする燃焼を実現することに成功しています<sup>(3-8)</sup>。

シェールガスやシェールオイルをはじめとする非在来型の化石燃料の生産技術が確立され、数十年のオーダーでは、現在のように化石燃料が安価で安定的に供給されることが予測されています。しかし、我々人類がこの先数十億年の長きにわたって繁栄していくことを考えると、現時点での目先の利便性や利益を求めるだけではなく、エネルギーキャリア戦略に関連する技術開発への先行投資が求められています。

日本経済新聞のインタビュー記事で、サウジアラビア元石油相アハメド・ザキ・ヤマニ氏は、石油に代わって主役になるのは何ですか、という問いに対して、最も影響のあるのは水素エネルギーだと答えました。また、水素エネルギーへの転換はいつになりますか、という問いには、それは分からない。だが近い将来、転換は必ず来る。(中略)原油はまだまだ地下に眠っているし、コストをかけて新技術を使えば採掘できる。だが、時代は技術で変わる。石器時代は石がなくなったから終わったのではない。石器に代わる新しい技術が生まれたから終わった。石油も同じだ、と語りました。自国に化石資源がほとんどない日本が、水素社会が到来した後も工業国として生き残っているためには、水素やアンモニアといったエネルギーキャリアのバリューチェーンの構築を世界に先んじて成し遂げ、これらの非化石燃料の燃焼技術でも世界をリードすることが求められます。

2025年には大阪で関西万博が開催されます。1970年の大阪万博では“原子力の灯”が脚光を集めました。今回の関西万博では、世界に水素エネルギーの重要性をアピールして、カーボンフリーの水素・アンモニアの炎で輝く第2の“太陽の塔”が創造されることを期待しています。

現在、日工(株)様とは、アンモニアの直接燃焼利用に関する共同研究を実施させていただいております。今後の研究開発がますます進展され、カーボンフリーの燃焼技術が社会実装されますことを祈念して巻頭言とさせていただきます。

- 1) 令和2年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2021)、資源エネルギー庁、<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>
- 2) 村木 茂, 水素社会に向けた取り組み, 科学技術振興機構, [https://scienceportal.jst.go.jp/columns/opinion/20150522\\_02.html](https://scienceportal.jst.go.jp/columns/opinion/20150522_02.html)
- 3) 大阪大学, 科学技術振興機構; “世界初!アンモニアと混焼する微粉炭の詳細燃焼挙動を明らかに～再生可能エネルギーの利用拡大につながる新たな知見～”, 科学技術振興機構, <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20161031/index.html>
- 4) 大陽日酸(株), 大阪大学, 科学技術振興機構; “工業炉分野で化石燃料の代替燃料, アンモニアの社会実装に一步近づく—NO<sub>x</sub>の発生量を抑制する「アンモニア燃焼技術」を開発”, 科学技術振興機構, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20161031-2/index.html>
- 5) 大陽日酸(株), 日新製鋼(株), 大阪大学, 科学技術振興機構; “工業炉におけるCO<sub>2</sub>排出量削減に向けた, アンモニア燃焼利用技術を開発～連続亜鉛めっき鋼板製造工程における実証評価に目途～”, <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170626/index.html>
- 6) Hiroyuki Takeishi, Jun Hayashi, Masashi Suzuki, Kimio Iino, Fumiteru Akamatsu, Measurement of Ammonia/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Laminar Burning Velocity Under Oxygen-enriched Air Condition, Proc. Grand Renewable Energy 2014, (2014.7.27).
- 7) Hiroyuki Takeishi, Jun Hayashi, Kimio Iino and Fumiteru Akamatsu, Combustion Characteristics of Ammonia/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Mixture in Oxygen-enriched Air Condition, INFUB2015, (2015.04.08).
- 8) Ryuichi Murai, Ryohei Omori, Ryuki Kano, Yuji Tada, Hidetaka Higashino, Noriaki Nakatsuka, Jun Hayashi, Fumiteru Akamatsu, Kimio Iino, Yasuyuki Yamamoto, The radiative characteristics of NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> non-premixed flame on a 10kW test furnace, Energy Procedia, Vol. 120, pp. 325-332 (2017).





写真-1 1933年(昭和8年)製造の高野式APの3号機

エネルギー化をはかり生産性を向上させることができる合材サイロなども普及している。

いずれにしても、合材を製造する本質的なプロセスは、昔も今も大きくは変わっていない。

## 2.2 過去のAP

まず、国内におけるAPの歴史を紐解く上で、高井らの報告<sup>2)</sup>が参考となる。この報告によると、最も原始的な合材の製造方法として、薪や炭を燃やして鉄板を加熱し、その上に骨材を載せて乾燥加熱を行い、アスファルトはドラム缶ごと加熱溶解を行い、これらを人力で攪拌混合して合材として舗装に供していたと述べている。これは、国産APが普及し始める戦前までの話である。また、このような最も原始的な当時の合材製造プロセスの熱効率率は、10～20%であったものと推測される。ただし、たとえ熱効率が悪くとも、バイオマス由来の薪や炭を燃料として燃やしている限り、現在のルールに則れば発生するCO<sub>2</sub>はカーボンニュートラルの扱いとなる。したがって、大気中のCO<sub>2</sub>は相殺されて増加することはない。

時代が下り、国内に初めてAPが輸入されたのが、1921年(大正10年)に東京市の明治神宮外苑道路工事のときである。そして、国産AP第1号機(高野式)が浦和市で試運転されたのが関東大震災後の1928年(昭和3年)の復興事業においてである。写真-1は、1933年(昭和8年)製造の高野式APの3号機である。その後、昭和10年代の大不況や第二次世界大戦へと移行したこともあり、APに特段の進化は見られない。

戦後、第一次道路整備5ヶ年計画が作成され、それに基づく道路建設の増大に伴い全自動型のAPが求められるようになる。それまでのAPは、骨材やアスファルトの計量操作を手動で行っていたために安定した合材を製造するためには高度な運用ノウハウと経験とが求められ、これがオペレーターへの負担となっていた。そして、1956年(昭和31年)に米国パーバーク



写真-2 1964年(昭和39年)製造の日工(株)製AP

リン製の連続式APが、1957年(昭和32年)に西独のウイバウ製のバッチ式APが輸入されている。このウイバウ社製のバッチ式APが国産APの原型となっている。

連続式APは、ドラムミキシング方式とも呼ばれ、骨材の粒度配合を各切り出しフィーダの供給量で決定し、ドライヤ内部でアスファルトを添加する合材製造プロセスである。このため骨材の計量やミキシングを行うバッチタワーが不要となる。単品種の合材を大量に製造する場合に有効であるが、その品質安定度はバッチ式APに劣る。

バッチ式APは、前述の図-1に示す合材製造プロセスで、バッチ毎に骨材やアスファルトの計量を行うために多品種の合材製造にも適応でき品質の安定性に優れている。今や国内のほとんどのAPがバッチ式となっている。

また、昭和30年代後半の名神高速道の舗装工事に伴い、米国パーバークグリーン製のバッチ式APが輸入され、これに刺激を受けて、国産メーカーが相次いでAPの製造を始めている。写真-2は、1964年(昭和39年)製造の日工(株)製APである。生産能力は合材を毎時80トン出荷することが可能で、そのときとしては国産で最も大型のプラントであった。当時は高度経済成長期の真っただ中で、安価な燃料(A重油、B重油、C重油など)を湯水の如く使用して、合材の生産能力を最大限に引き上げる運用がもてはやされた。公称能力以上に合材を生産できることがAPの評価に繋がっていた時代である。

このことに反して、燃費、ばい煙、粉塵、騒音、振動などの直接生産性に依存しない作業環境や自然環境への弊害は、それほど重要視されていなかったようである。むしろ、ある程度の環境を犠牲にしても経済成長を優先にすべきであるとのことが大勢を占める時代でもあった。

さらに時代が下り、高度経済成長期の終焉を迎えつつあった日本経済であるが、この頃から、経済優先政策の綻びが公害問題として浮き彫りになってくる。人の健康を蝕む水



写真-3 最近のAPの事例



写真-5 旧型APの骨材乾燥システム



写真-4 最新APの事例

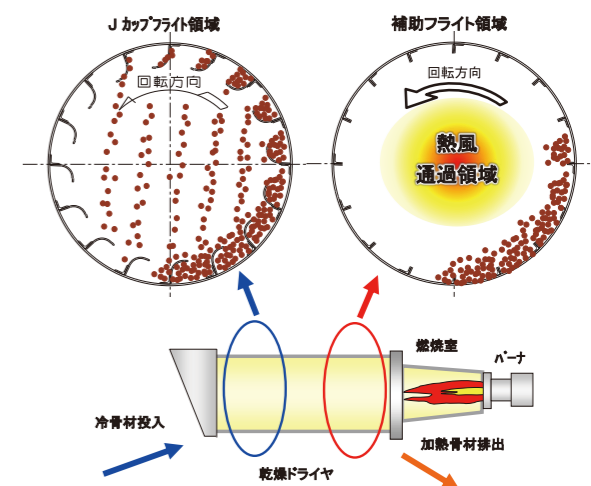


図-2 旧型APのドライヤ内部の骨材分散形態と装置構成のイメージ

俣病や四日市ぜんそくを始めとする公害病が社会問題として顕在化してきたのである。これらのことを受けて、1970年(昭和45年)11月に開催された第64回国会、通称公害国会で知られる臨時国会では、これまでの経済活動を優先にした法律体系とするのではなく、公害による健康被害者の救済と公害の防止を最優先に進める国の基本的な姿勢を明確にしている。そして、1973年(昭和48年)6月6日第4次中東戦争が勃発。これを機に原油価格が高騰し、第一次オイルショックが訪れる。追い打ちを掛けるように、1979年(昭和54年)のイラン革命によりイランでの石油生産が中断。これを発端として再び原油価格が高騰し、第二次オイルショックが到来する。1バレル3ドル台を推移していた原油価格が一気に10倍の30ドルにまで跳ね上がる。このように公害対策の法規制強化と2回に渡るオイルショックの洗礼を受けて、APは大きな変革を遂げることになる<sup>3~12)</sup>。

1つ目は、大気汚染防止法によるばい煙規制が強化されたことにより、バグフィルタの設置が事実上義務化したことや、同時に硫黄酸化物や窒素酸化物の排出規制も強化されることになり、灯油やガスなどの良質な燃料への転化が余儀なくされたこと。2つ目は、燃料の高騰を受けて省エネルギー化が積極的に推進されたこと。3つ目は、後段でもその詳細に触れるが、建設廃棄物である舗装発生材(アスファルト・コンクリート塊)を資源として有効利用するための一連のリサイクル設備と、APの連続稼働を可能とする合材サイロの普及である。4つ目は、1986年からのバブル景気の影響を受け、環境保全に対する社会意識の向上や、安全性は元より操作性や居住性の向上などがAPに求められるようになったこと。5つ目は、かつてのAPであった仮設プラントのイメージから脱却し、地域社会に根付き調和して、都市空間に適合した都市型AP<sup>13~14)</sup>が強く求められるようになったことなどを挙げることができる。

## 2.3 現在のAP

写真-3は、最近のAPの事例を示している。V骨材の乾燥加熱を毎時60トン、R材の乾燥加熱を毎時30トン同時に処理することが可能で、このことにより合計毎時90トンの合材を生産する能力を備えている。また、写真のように合材サイロを2基併設していることから、合材ダンプへの積み込みが途切れてもAPの連続稼働を可能にして省エネルギー化をはかっていることや、瞬発力として2基の合材サイロを併せて毎時



写真-6 現在型APの骨材乾燥システム

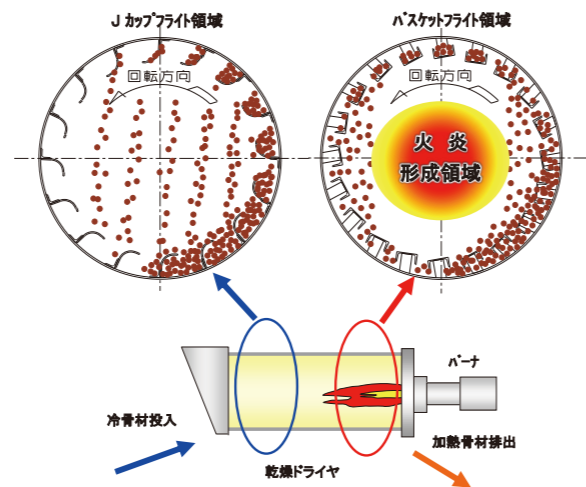


図-3 現在型APのドライヤ内部の骨材分散形態と装置構成のイメージ

200トン近い合材の出荷に対応することも可能である。そして燃料には、硫黄酸化物の生成がなく、CO<sub>2</sub>の排出量がA重油に比べて25%少ないLNG(Liquefied Natural Gas: 液化天然ガス)を使用していることなどが特徴として挙げられる。

写真-4は、最新APの事例で、生産量の過半数以上を占めるR合材を製造するための最適解を求めたシステムである。従来APのV骨材の流れを中心に位置づけたシステム構成から、R材の流れを主体としたシステム構成としているのが特徴である。具体的には、上部からRドライヤ、サージピン、R材計量器、ミキサを積層配置し、プロセスの主体となる加熱R材が構成システムの中心部を鉛直方向に流れ落ちるようにすると共に、粒調材としてのV骨材は側面方向からミキサに投入するように配置構成を大きく見直している。このことにより、R材計量器やミキサ投入装置への付着やこぼれの軽減により、メンテナンス性を大きく向上させている。

### 3.アスファルトプラントの省エネルギー化技術

#### 3.1 骨材乾燥システムの変遷

写真-5は、1964年(昭和39年)当時のAPの骨材乾燥システムである。装置構成は、バーナ、燃焼室、Vドライヤ、乾式サイクロン、排風機、湿式集塵機一体型の煙突などからなっている。また、当時のAPのドライヤ内部の骨材分散形態と装置構成のイメージを図-2に示す。写真と図より、当時のAPは、バーナ火炎を燃焼室内部に形成し、燃焼で生成する熱風を直接Vドライヤに導入している。

即ち、熱媒体である熱風と骨材とを直接接触させて熱交換を行う直接加熱方式を採用している。Vドライヤには、骨材を内部で均一に分散させて効率良く熱風と接触させるためのリフタが取り付けられている。このリフタは、J型断面を有し

ていることからJカップフライトと称し、Vドライヤの回転に伴って、骨材をすくい上げて図のようにドライヤ上部より分散させている。また、リフタで持ち上げられた骨材は鉛直落下するが、ドライヤが骨材の流れ方向に3~4°傾斜しているため、骨材は落下を繰り返すごとに $L=D \cdot \tan\theta$ 前進することになる。ここで、Lは骨材の落下による前進距離、Dはドライヤの内径を示す。そして、Vドライヤの排出口付近には、骨材の均熱化をはかるための補助フライトを設けている。これは、骨材粒径の差異により加熱温度に偏りがあることから、Vドライヤ底部に骨材を滞留させて相互の接触伝熱により骨材温度の均熱化をはかることが狙いである。

当時のAPは、前にも触れた通り、省エネルギー化や環境負荷の低減をはかることよりも、多少の燃費を犠牲にしてまでもVドライヤの排ガス温度を200℃近くまで高めて生産能力を優先したシステムであった。このことから、Vドライヤの熱効率は65~75%であったものと推定される。さらに、当時のAP用集塵機は、乾式サイクロンと湿式集塵機との組み合わせが主流で、その役割はドライヤから飛散した微細骨材を捕捉回収し、骨材としての有効利用をはかることが主目的であった。このことは、この写真当時の社会情勢から類推してみても、これらの集塵機が燃焼排ガスの浄化を目的にしたものではないことは容易に伺い知ることができる。

写真-6は、現在型APの骨材乾燥システムである。装置構成は、バーナ、Vドライヤ、バグフィルタ、排風機、煙突などからなっている。また、Vドライヤ内部骨材の分散形態と装置構成のイメージを図-3に示す。写真と図より、旧型のAPと比較して燃焼室が存在しないことに気付く。

これは、バーナ火炎を直接ドライヤに導入する燃焼技術を新たに開発し、日常的に保守メンテナンスを余儀なくされていた燃焼室を不要としたことに起因している。具体的には、次章で詳細に触れるが、水平方向にシャープでコンパクトな



写真-7 NBバーナ



写真-8 WELLバーナ

火炎を形成する新たなバーナを開発すると共に、図に示すように骨材とバーナ火炎とが接触しないように、骨材がトンネル状に分散落下するバスケットフライトを新たに考案している。

そして、このトンネルの中心部でバーナ火炎が水平方向に保持され燃焼することにより、骨材がバーナ火炎の輻射熱を効率よく吸収するようにしている。さらに、このことと合わせて、Vドライヤ壁面への遮蔽断熱効果が増大することにより、ドライヤ表面温度が低下して外気への放散熱が著しく減少している。加えて、ドライヤ全域に渡り、リフタ(Jカップフライト)の形状と枚数の最適化をはかることにより、Vドライヤの排ガス温度を100~120℃にまで低減している。

このような省エネルギー化技術により、最新APの熱効率は80~85%に達している。

### 3.2 燃焼システム

#### 3.2.1 燃焼システムの変遷

1964年(昭和39年)当時のAPは、写真-5に示す高圧気流噴霧式の油焚きバーナを搭載している。このバーナは、高静圧のプロワーにより燃焼空気の一部をノズル内部に高速で吹き込み、ベンチュリー効果を利用して燃料と混合して霧化を促進させる構造となっている。部品点数が少なく構造が簡単であることから安価でメンテナンス性に優れるが、燃焼量を大きく変化させることができない。燃焼範囲はTDR=1:2(最低燃焼量:最大燃焼量)程度であった。(TDR: Turndown Ratio)

また、燃焼の安定化をはかるために、バーナ火口周辺にバーナタイルを設けている。バーナタイルは、耐火レンガなどで構成され、燃焼中はこれが高温に蓄熱して赤熱し、この輻射熱により保炎効果を高める働きを担っている。さらに、燃焼性を高めるために、二次燃焼空気として大量の外気をバーナ火口の周辺から燃焼室に導入していることなどが、本気流噴霧式バーナの特徴である。

そして、本燃焼システムの燃焼室には、内面に耐火材が施工されており、これが蓄熱して高温となり、バーナタイルと



写真-9 NTBバーナ

同様に輻射熱による燃焼の安定化をはかっている。また、この燃焼室は、バーナの燃焼や消火による急激なヒートショックを受けて耐火材が脱落することなどから、定期的な補修を必要としていた。

当時のAP用燃料としては、安価なC重油、B重油が主流であり、前述したように合材の生産能力のみを追い求めて熱効率や排出ガスの浄化に関しては優先度が低い時代でもあった。繰り返しになるが、この時代のAPの省エネルギー性能は、排ガス温度が180~200℃、侵入空気が多いために排ガス中の酸素濃度が17~18%であったことから、65~75%のドライヤ熱効率であったものと推定される。

つぎに、写真-7に示すNBバーナは、1976年(昭和51年)当時、西ドイツのバーナメーカーであったベニングホーベン(Benninghoven)社との技術提携により、新たに開発した比例制御バーナである。送風機に軸流ファンを採用してスタイリッシュな円筒形状とし、油圧戻り油式ノズルを採用したことから、燃焼範囲をTDR=1:3まで拡大している。

この燃焼システムは、定期的な補修が必要となる燃焼室とバーナタイルとを廃し、Vドライヤに直接バーナ火炎を導入している。このため、安定した保炎機能とシャープでコンパクトな火炎形状が求められる。そこで、バーナ先端部にメタリック製のミックスチャンバーを取り付けて、安定した大きな火種であるファイアボールを形成するようにしている。このようにし

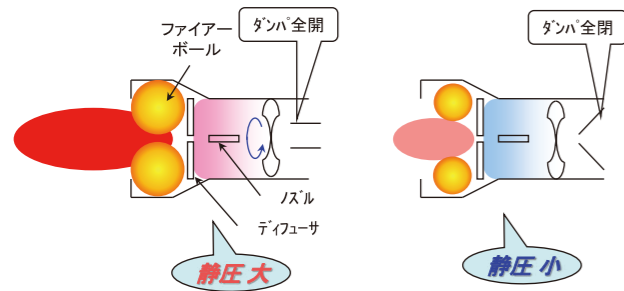


図-4 従来型バーナにおける風量コントロールと燃焼状態のイメージ

て、NBバーナでは、バーナタイルに替わってファイアボールからの輻射熱を受けることにより、安定した燃焼を持続させることができるようになった。

写真-8に示すWELLバーナは、さらなる低燃焼領域の拡大と低空気比化、低騒音化を推し進めるために1995年(平成7年)に、当社が独自に開発したバーナである。フロントマルチベーンダンパを搭載することにより、燃焼範囲をTDR=1:7まで拡大している。送風機を軸流タイプから斜流タイプに変更して静圧を高めることにより、空気比を最大燃焼時で1.1、実用燃焼範囲の全域に渡り1.3以下を達成しているのが特徴である。

写真-9に示すNTBバーナは、今現在APに搭載している最新型のバーナで、2004年(平成16年)に開発している。バーナファンを斜流ファンからターボファンに変更して機械効率をさらに高めている。

次項以降では、AP用バーナの課題である燃焼範囲の拡大、低空気比化、一定空気比制御に関するメカニズムの詳細について触れる。

### 3.2.2 低燃焼領域の拡大技術

Vドライヤ用バーナの低燃焼領域を拡大することは、R材の混入率が高いR合材を製造する場合に求められる。すなわち、合材混合用ミキサの容量が不変であるため、V骨材の供給量をR材混入率の割合に応じて減少させる必要がある。このとき、バーナの燃焼量を絞ることができない場合、過剰に骨材温度が上昇して燃費の悪化を招いてしまう。建設リサイクル法の推進理念から、R材混入率を高くする配合の合材が増大し、このことによりVドライヤの定格能力に対して半分以下にV骨材供給量を減じる必要がある場合もある。しかも、含水比が低い乾いた骨材も想定すると、必然的に広い燃焼範囲、すなわち、低燃焼領域の拡大がVドライヤ用バーナの機能として求められる。

#### (1)従来型バーナで燃焼範囲を拡大できない理由

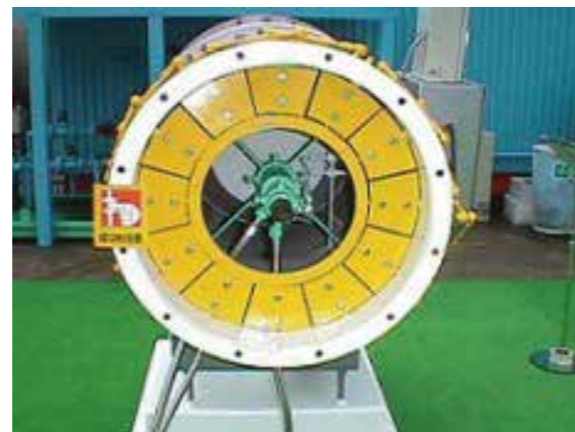


写真-10 WELLバーナに搭載したフロントマルチベーンダンパ

APで骨材の乾燥加熱の熱源として使用されている燃料は、一部の都市ガスを除くと、そのほとんどがA重油または灯油などの液体燃料である。そして、これらの液体燃料用のバーナには、一般的に油圧戻り油式ノズルが用いられる。このノズルは、供給した燃油の一部を燃油タンク側に戻すことにより、燃焼量が少ない領域においても、ノズル先端部の渦巻き室に流れ込む燃油量を増大させることができる。渦巻き室では、燃油による高速な旋回流が形成されており、この旋回流の運動エネルギーを利用することにより、燃油の吐出速度を失速させることなく噴霧することを可能としている。このような理由から、油圧戻り油式ノズルは、圧力噴霧式ノズルに比べてTDRを大きく採ることができる。ただ、TDRが大きい油圧戻り油式ノズルにおいても、その原理上の制約から、実用範囲を超えて燃焼量を減じて行くと、油の噴霧粒子が大きくなるのと同時に、旋回流の影響を強く受けて噴霧角が円錐状に広がる特性を有している。

一方、油の燃焼に必要な燃焼空気量の調節は、バーナ送風機の吸い込み側にダンパを設け、燃焼量の変化に連動させてダンパを開閉させるか、もしくは、インバータを採用してバーナ送風機の回転数を連続的に変化させて行っている。しかしながら、燃焼室を不要とするAP用のバーナは、裸火(燃焼室なし)で、シャープでコンパクトな火炎を形成させる必要があることから、従来方式の油圧戻り油式バーナでは、TDR=1:3が燃焼範囲の限界となる。このことは、同バーナにおいて、燃焼量に比例して燃焼空気量を削減して行くと、ある燃焼領域以下で白煙や燃料微粒子が多量に発生し、燃焼状態が悪化することに起因している。

図-4は、従来型バーナにおける風量コントロールと燃焼状態のイメージを示している。まず、燃焼量が大きい場合、図の左に示すように空気調整用ダンパが開いて燃焼空気の静圧が高まることにより、バーナ先端部のミックスチャンバー内の保炎器であるデフィューサ周辺部から燃焼空気が高速に流れている。この高速気流により、デフィューサ前面部に大きな負圧領域が形成され、霧化した油滴の一部を巻き込んでファイ

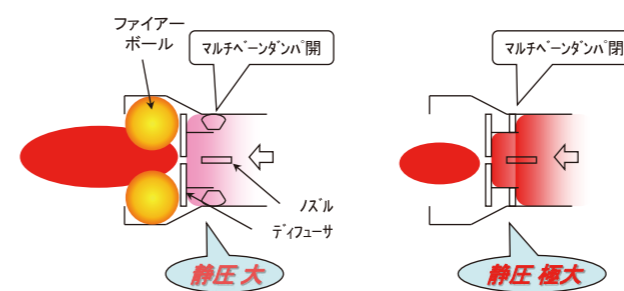


図-5 WELLバーナの各燃焼状態におけるノズルケーシング内部の静圧のイメージ

アボールを形成する。そして、ノズルから噴霧した油滴がこのファイアボールを通過するときに輻射熱を受けて気化蒸発し、燃焼空気と混合拡散しながら安定な燃焼を維持している。いわば、このファイアボールがバーナタイルの役割を担い、油燃焼を安定化させている。

つぎに、燃焼量が小さい場合、図の右に示すように空気調整用ダンパが閉じて燃焼空気の静圧が低下することにより、デフィューサ周辺部から流れる燃焼空気が失速する。この燃焼空気の失速により、デフィューサ全面の負圧領域が縮小し、ファイアボールの形成が不安定に至る。さらに、前項の(1)でも触れたが、油圧戻り油式ノズルの特徴である燃焼量を減じるにより油滴が大きくなることと、遠心力の影響を受けて噴霧角度が円錐状に広がることにより、油滴が十分に気化せずにファイアボールを突き抜けてしまうことなどが、燃焼範囲を拡大できない大きな要因となっていた。

#### (2)燃焼範囲拡大の手段

Vドライヤにおいて、V骨材の少量送りに対応する手段としては、小型のバーナを複数台設置する方法や、燃焼範囲(TDR)の大きい二流体ノズルなどを採用すれば、燃焼状態を悪化させることなく低燃焼領域の拡大をはかることができる。しかしながら、複数台のバーナをVドライヤに搭載するには設置スペースに課題があり、二流体ノズルの採用には、噴霧媒体を供給するための空気コンプレッサーや水蒸気ボイラーなどが必要となりコスト面での課題が残る。

また、既設APにおけるバーナの入替需要を考慮した場合、従来型バーナの燃焼装置である燃料噴霧用高圧ポンプの互換性を担保する必要があるなどの制約もある。これらの理由から、新たなバーナは、従来方式の油圧戻り油式ノズルを基本ベースとし、高静圧な斜流ファンとフロントマルチベーンダンパとの組み合わせにより、低燃焼領域の燃焼状態を改善して燃焼範囲の拡大をはかっている。

斜流ファンは、軸方向に空気が流れる軸流ファンと高静圧を得ることができるターボファンの両特性を兼ね備えている。

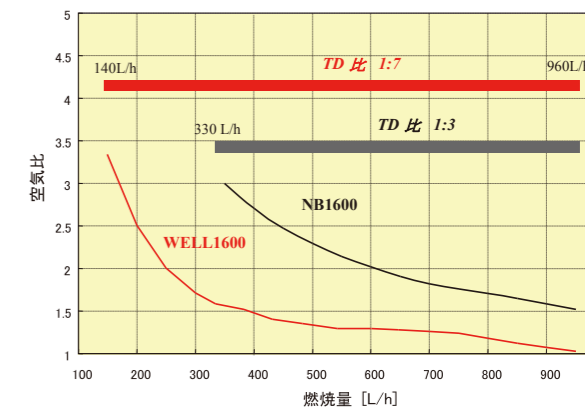


図-6 WELLバーナと従来のバーナ(NBバーナ)との燃焼範囲とその空気比との関係

この高静圧な特性を利用して、燃焼空気比を低減させながらも、燃焼空気の失速をなくし強力なタンブル(縦渦)を発生させて燃料と空気とのミキシングの改善をはかっている。なお、低空気比化については次項の3.2.3で詳細に触れる。

一方、フロントマルチベーンダンパは、低燃焼領域で同ダンパを閉じてノズル近傍の静圧を高めることにより、油圧戻り油式バーナノズルの欠点である、燃焼量を絞ったときの油粒子の大型化と噴霧角度の広がりを抑制している。

写真-10は、WELLバーナに採用したフロントマルチベーンダンパの全閉状態を示している。また、図-5は、各燃焼状態におけるノズルケーシング内部の静圧のイメージを示している。写真と図より、バーナノズルケーシング内部に円筒型の内筒を設けて二重構造とし、その外周に12枚のマルチベーンダンパを設置している。このダンパは、斜流ファンの吐出側に位置することになり、図の右側のようにダンパを閉めることによって風量を減じながらもノズルケーシング内部の静圧を高めることを可能としている。

この機構により、低燃焼領域において円錐状に広がっていた燃油の噴霧角度が、ノズル先端部近傍からデフィューサ中心部に向かって吐出する高速気流により狭められる。さらに、この高速気流により大きな粒径となっていた噴霧粒子の霧化が促進されるために、デフィューサ前面に形成されるファイアボールでの燃油のガス化を向上させている。

以上のことから、低燃焼領域の燃焼状態の改善をはかり、燃焼範囲(TDR)1:7を達成している。

### 3.2.3 低空気比化技術

#### (1)従来型バーナにおける低空気比化の課題

Vドライヤの燃焼排ガスとして大気に排出される無効エネルギーは、全体の20%近くを占めている。このことから、バーナの空気比(過剰空気係数)を低減することにより、燃焼排ガスを削減し、排ガスで持ち去られる無効エネルギーを減じることが可能となる。

しかしながら、AP用バーナの場合、燃焼室を設けずに



バーナ火炎を直接Vドライヤに導入していることから、バーナ火炎の長さに制約が生じる。このことは、単純にバーナの空気調整ダンパを絞って燃焼空気量を減じてもミックスチャンバー内部の気流が失速することにより、燃油と空気とのミキシングが緩慢となり、火炎の全長が伸びる傾向を示す。Vドライヤ内部でバーナ火炎が伸びると、3.1項でも触れた通り、内部で分散している骨材に直接火炎が接触して不完全燃焼に至り、燃焼効率の低下を招いてしまう。

**(2) 低空気比化の手段**

空気比を低減させながらバーナの火炎長さを従来バーナと同等に保持するためには、ミックスチャンバーでの気流速度を高めて燃料とのミキシングを促進させる必要がある。このため、前述の通りバーナ送風機を従来の軸流タイプから、斜流タイプに変更し、静圧を約50%高くしてミキシング速度(燃焼静圧)を改善している。

また、デフィサ外径とミックスチャンバー先端絞り径とが、火炎の長さや太さに大きく影響を及ぼすが、それらの最適解を燃焼実験により決定している。具体的には、デフィサ径を大型化し、ミックスチャンバー先端絞り径を小さくするほど、気流速度が高まりミキシングが促進されて火炎長さが短くなる。ただし、ミキシング速度(燃焼静圧)が高くなり過ぎるとデトネーション(異常燃焼)が発生し、燃焼音の増大やこれに伴う燃焼振動が生じる恐れがあるので注意が必要である。

そして、フロントマルチベーンダンパを採用することにより、中間燃焼領域から低燃焼領域におけるノズル先端部近傍を流れる燃焼空気のみキシング速度を高めていることは前節でも触れているが、これらの燃焼技術を組み合わせることにより、相反する要因である燃焼空気比を下げながらも火炎長さを短くすることを燃焼範囲全域に渡り可能にしている。

**3.2.4 一定空気比制御(燃料マップ)技術**

図-6は、WELLバーナと従来のバーナ(NBバーナ)との燃焼範囲とその空気比との関係を示したものである。図より、従来のバーナでは、燃焼量調節用オイルバルブとリンク機構を介して送風機の吸い込み側に設けたエアードンパを駆動させているため、燃焼範囲全域に渡って一定の空気比で燃焼させることが難しい。

さらに、軸流ファンから、ダンパで空気量を絞ると一定の範囲以下でサージング領域に突入し、たちまち運用できなくなってしまう。加えて、低燃焼域では、ミックスチャンバー内部で燃焼空気が失速して、燃焼状態が悪化する傾向にあることなどから、軸流ファンがサージングを起こさない範囲で燃焼空気量を多くして(空気比を上げて)ミキシングを促進させるようにしている。これらのことから低燃焼領域の排ガス量が增大することになり、燃費の悪化に繋がっていた。

一方、WELLバーナでは、フロントマルチベーンダンパにより燃焼空気量をコントロールしている。このことにより、低燃焼領域で燃焼空気量を減じても、デフィサ中心部から高速の空気が吐出して燃料とのミキシングを促進するので、良好な燃焼状態を維持することができる。そして、このフロントマルチベーンダンパの流量特性に基づき、広い燃焼範囲で一定の空気比を得るために燃料マップを作成し、オイルバルブ開度(燃焼量)とフロントマルチベーンダンパ開度(燃焼空気量)とを独立したアクチュエータにより制御している。

以上のことにより、低燃焼領域から一定の低い燃焼空気比で燃焼することが可能となり、従来バーナで課題となっていた中間燃焼領域から低燃焼領域に渡り空気比が上昇することによる燃費の悪化を改善している。

**3.3 排ガス温度の低減と排ガス量の削減技術**

APにおいて、骨材の乾燥加熱に利用する熱エネルギーを有効エネルギーと定義すると、無効エネルギーは、ドライヤからの放散熱と大気に放出する燃焼排ガスが持ち去る熱エネルギーである。中でも、燃焼排ガスが持ち去る熱エネルギーの割合が最も大きく、全体エネルギーの15~20%を占めている。この排ガスが持ち去る無効エネルギーを減らす有効な手段としては、排ガス温度の低減と排ガス量の削減に特定される。

以下では、排ガス温度の低減と排ガス量の削減に関する技術について記述する。

**3.3.1 排ガス温度の低減技術**

Vドライヤの熱効率(有効エネルギーの割合)は、ドライヤの容積、傾斜角度、回転数、リフト枚数、骨材の掻き揚げ容量、骨材粒度、侵入空気量などの要因で決定される。そして、無効エネルギーの要因の1つであるVドライヤ出口の排ガス温度が必然的に定まる。ドライヤの熱効率を追求し過ぎると排ガス温度が極端に低下して包含する水蒸気が凝縮し、煙道やバグフィルタなどに低温腐食や濾布の目詰まり、回収ダストの詰まりなどの弊害を招く恐れがある。このため一般的なAPの排ガス温度は、酸露点温度よりも高い100~120℃で運用されている。

また、都市近郊部では、大気汚染防止法のK値規制(硫酸化物の排出量規制)が厳しいことから、燃料を硫黄含有量が少ない白灯油や都市ガスに転化して行く傾向にある。この場合、低温腐食の弊害が軽減されるため、濾布の目詰まりや回収ダストの詰まりが生じない80~100℃の範囲で排ガス温度を下げることは、省エネルギー化にとって極めて有効な手段となる。

一方、最近のリサイクル率の高いR材の製造にAPを適用する場合、VドライヤでのV骨材供給量を定格の1/3以下に減

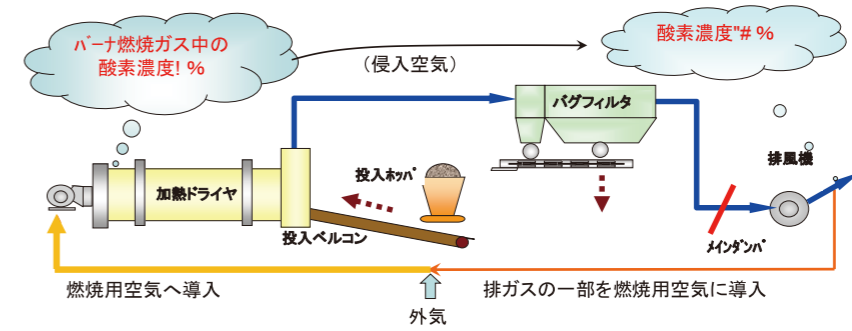


図-7 EGR(排ガスの再循環)システム

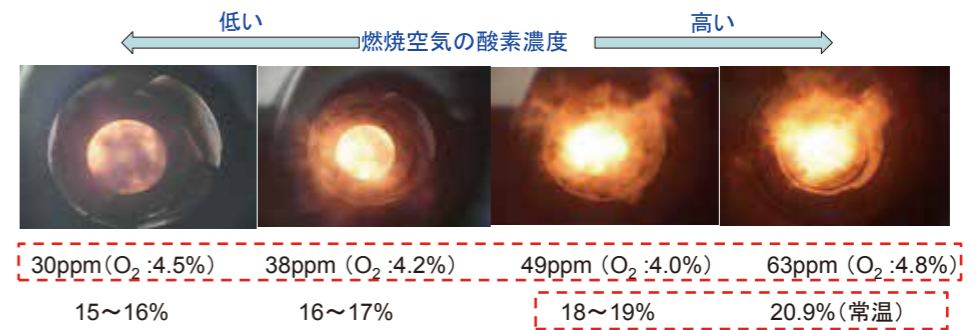


写真-11 EGRシステムの酸素濃度と燃焼状態

じような運用が求められる。この場合、燃焼範囲(TDR)の大きいバーナを適用することにより定格の1/3負荷まで燃焼量を減じることが可能である。しかしながら、ドライヤの熱交換に影響を及ぼす重要な要素であるドライヤ容積、傾斜角度、回転数、リフト枚数などが不変であるため、排ガス温度が極度に低下し、水蒸気の凝縮によりバグフィルタの目詰まりや回収ダストの詰まりなどの弊害を招いている。この対策として、ドライヤ内部のリフトを取り外して最適な排ガス温度に調整しているが、V骨材を定格で供給した場合、逆に排ガス温度が上昇して熱効率の悪化を引き起こしている。

以上のことから、Vドライヤの回転数を排ガス温度の変化に応じて増減するドライヤ回転数制御技術<sup>15~18)</sup>を確立している。この技術により、V骨材供給量の大きな変動に対して最適な排ガス温度に管理することが可能となる。

具体的には、排ガス温度が目標値よりも高い場合、ドライヤ回転数を上げて骨材の分散量を増大させて熱風との熱交換を促進させている。逆に、排ガス温度が低い場合、ドライヤ回転数を下げて骨材の分散量を減少させ、熱風との熱交換を抑制させている。このことにより、低温腐食や濾布の目詰まりが起こらない限界の温度まで排ガス温度を制御することが可能となり、省エネルギー化に極めて有効な手段となる。

さらに、最近ではRドライヤからの排ガスや、脱臭装置からの排ガスをVドライヤに導入して廃熱回収を行う省エネルギー技術も市場に投入している。この場合、Vドライヤの対数平均温度差が低下するために、排ガス温度が上昇する傾向を示す。このような場合においても、ドライヤ回転数制御を適用することにより最適な排ガス温度に管理することが可能

となる。

**3.3.2 排ガス量の削減技術**

Vドライヤからの排ガス量は、バーナの燃焼ガス量、侵入空気量、骨材から発生する水蒸気量の総和で決定される。

バーナの燃焼ガス量を減じるためには、燃料を低空気比で燃焼させる必要がある。そのためには、前項の3.2.3でも触れたがバーナ送風機の静圧を高めると共に、油と燃焼空気とのミキシングを促進させてバーナ火炎が伸びないように燃焼改善をはかる技術が必要となる。

侵入空気量の削減は、余分な外気がドライヤに吸い込まれないようにすることが重要である。このことは、侵入空気が、外気温度から排ガス温度にまで昇温するのに必要な熱エネルギーを奪い無効エネルギーとして大気に放出されてしまうからである。したがって、侵入空気量を低減させるために、ドライヤのシール部構造の工夫と内部静圧の最適コントロールが極めて重要な要素となる。また、次項の3.3.3で詳細を述べるが、EGR(Exhaust Gas Recirculation:排ガスの再循環)の技術<sup>15~18)</sup>を用いることで、侵入空気の一部をバーナ燃焼空気として利用し、その利用分に相当する排ガス量を減少させることも可能である。

骨材から発生する水蒸気量に関しては、骨材の含水比にのみ依存するので、特に比表面積の大きな砂の含水比管理が重要となる。骨材の含水比は、排ガス量を増大させるだけでなく、水の蒸発のために大量の潜熱(気化熱)が奪われる。APの場合、この潜熱を有効エネルギーとして扱っているが、無効エネルギーとして考えた場合、熱効率は実に40~50%



写真-12 リサイクルドライヤ全景

にまで大きく低下してしまう。

このことから、排ガスに含まれる水蒸気の潜熱を回収して有効利用することができれば、大きな省エネ効果を得ることができる。後でも触れるが、水蒸気の凝縮潜熱を回収してヒートポンプを用いて水蒸気を生成し、これを熱媒体としてAP各部の加熱や保温に利用することや、熱交換器を介して水蒸気潜熱を回収し、新たな熱媒体として外気に伝熱して温風を生成し、これを砂の乾燥に利用することなどが考えられる。

### 3.3.3 EGR(Exhaust Gas Recirculation)システム

APの煙突から大気へ放出される排ガスは、温度が100℃前後で酸素濃度が10～15%である。この排ガスをバーナ燃焼空気の一部としてEGR(排ガスの再循環)させ、残存する酸素を燃焼に使用することにより、最終的な排ガス量を低減させることができる<sup>15-18)</sup>。即ち、排ガス中の酸素は、ドライヤシール部から侵入した外気に由来することから、排ガスを再循環させることにより、侵入空気中でバーナ燃焼空気の一部を補うことになる。

図-7にEGRシステムの概念図を示す。図より、EGRによる排ガス温度の低下が無視できる程度であれば、EGRを多くするほど排ガス量の低減と省エネルギー化に寄与することができる。しかしながら、バーナ燃焼用の空気中の酸素濃度は21%であるが、拡散燃焼を基本原理とする本バーナの燃焼において、EGR量を増大して酸素濃度を下げて行くと燃焼が緩慢となり、最終的には失火に至る。

写真-11は、EGRシステムの酸素濃度とバーナ燃焼状態の関係を示している。EGR本来の目的は、バーナ燃焼により生成するサーマルNO<sub>x</sub>の低減にある。写真の右から、酸素濃度が21%、18～19%、16～17%、15～16%での燃焼状態を示す。また、NO<sub>x</sub>の値は順番に、63ppm、49ppm、38ppm、30ppm、燃焼ガス中の残存酸素濃度は、4.0～4.8%である。これは、空気比1.2を基準として、排ガス中の酸素濃度が4.0%になるように調整している。このEGR燃焼テ

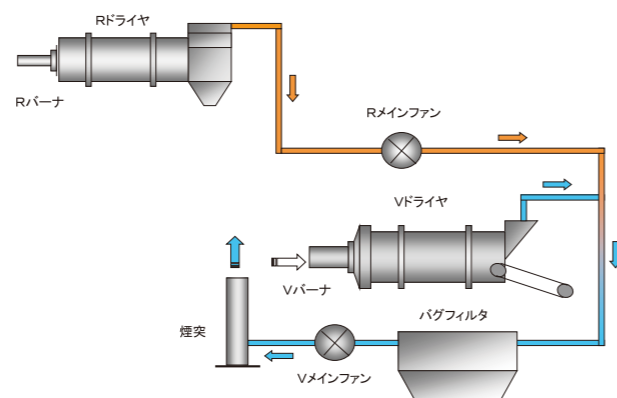


図-8 R排ガスとV排ガスのバグフィルタ併用処理システム

ストから、実用的なEGRの酸素濃度は16～17%であると考えられる。

このようにして、APにEGR技術を導入して排ガス量低減による省エネルギー化とサーマルNO<sub>x</sub>の低減をはかるためには、バーナのミックスチャンバー内部で形成されるファイアボールの安定化と酸素濃度の制御技術が重要となる。

## 3.4 リサイクルドライヤと脱臭装置

### 3.4.1 リサイクルドライヤ

廃棄物の発生量を抑制し、繰り返し製品を利用し、素材をリサイクルする、いわゆる3R(Reduce, Reuse, Recycle)の基本理念の基、資源の有効利用を推進し循環型社会の構築を目指す循環型社会推進基本法が2001年に施行された。

そして、この基本法に基づきその翌年の2002年に個別リサイクル法として建設リサイクル法が施行され、一定要件を満たす建設廃棄物を資源として循環利用することが法的に義務化されている。この法律で、特定建設資材として指定を受けているアスファルト・コンクリート塊の発生量は、年間約2,500万トンに達している。その内の98%以上が路盤材やR合材として有効に活用されている。そして、今やR合材は、合材全体の70%以上を占め、その製造の主体がバージン合材(以下、V合材と記載)に取って替わっている。とりわけ、法律の施行に先立ちR材をV骨材に混合して製造するR合材は、1980年代より民間駐車場の舗装用などとして普及し始めている。

R合材の黎明期には、V骨材をスーパーヒートし、ミキサにR材を常温で10～20%投入するキット方式で製造されている。V骨材の顕熱を伝熱することによりR材がミキサ内部で乾燥加熱される原理である。このことから、V骨材の加熱温度の限界から、R材の最大混入率の制約を受ける。このような経緯を経て、R合材の需要増加とR材混入率の増大に応えるべく、R材の乾燥加熱に特化した写真-12に示すようなRDライヤが開発され市場に投入されている<sup>19-22)</sup>。そして、RDライヤで加熱したR材をミキサで一定割合V骨材と混合して

R合材を製造するユニット方式が普及して行く。

### 3.4.2 アスファルトの劣化とブルースモーク

R材は、バインダーであるアスファルトを約5%含有している。このことから、R材の乾燥加熱プロセスにおいてアスファルトの劣化が進行することやブルースモークや悪臭の発生が増大することなどから、Vドライヤと同様の加熱プロセスである熱風とR材の流れ方向とが対向するカウンターフロー方式を適用することが難しいとされてきた。

以下では、アスファルトの劣化及びブルースモークと悪臭の生成メカニズムと悪臭防止法についての概要に触れる。

#### (1)アスファルトの劣化

バインダーとしてのアスファルトの劣化が進行すると、道路舗装の施工性(ワーカビリティ)が悪化するだけでなく、舗装面における早期のひび割れや骨材の剥がれなどの問題を引き起こす。このアスファルトの劣化に関しては酸化劣化が主因で、その酸化反応速度は温度に対して指数関数的に増大することが知られている。したがって、RDライヤでは、この酸化劣化を抑制するために、V骨材に比べて緩慢に乾燥加熱を行う必要がある。このことから、熱風とR材とが同一方向に流れるパラレルフロー方式のドライヤを適用している。

なお、アスファルトの劣化度合いを評価する指標として針入度が挙げられる。針入度の値が小さくなるほど硬いアスファルトであり劣化が進行していることを意味する。最近では、アスファルトの原材料としての品質評価よりも、アスファルト混合物としての評価が合理的であるとの考えから、圧裂係数での評価が用いられるようになっていく。

#### (2)ブルースモークと悪臭

ブルースモークや悪臭が発生する要因に関しては、RDライヤでの加熱プロセスに依存するところが大きい。即ち、RDライヤでは、バーナ燃焼による高温の熱風とR材とを直接接触させて乾燥加熱を行っている。そして、R材の温度上昇に伴いアスファルト皮膚の蒸気圧が高まると共に、熱風の残存酸素により酸化分解を受けて低沸点の揮発成分が生成してくるものと考えられている。

ここで、原油の残渣油であるアスファルトは、アスファルテン、油分、レジンなどに分類される炭化水素で構成されている。アスファルテンは、縮合多環芳香族の炭化水素で層状構造を成しており、分子量は1,000～10万の範囲である。これらアスファルテンが、油分やレジンの中にコロイド状に分散してアスファルトを構成している。油分は、パラフィン系やナフテン系の脂肪族炭化水素や芳香族炭化水素を含んでおり、その分子量は300～2,000の範囲である。レジンも、縮合多環芳香族が主成分で分子量は500～5万の範囲である。

これらのアスファルト構成成分の内、分子量が小さい油分やレジン分から先行して酸化分解を受けて酸化蒸発して行くものと考えられる。そして、揮発成分の酸化が進行し、臭いの官能基となるアルデヒド基(-CHO)やケトン基(-CO-)を生成して行く。このようにして生成した臭気成分は、RDライヤの排ガスに随伴して集塵機を経て、煙突から大気へ排出される。そして、排ガスが大気へ拡散することに伴い温度が低下し、過飽和に達したこれらの臭気成分が凝縮してミスト状のブルースモークと化して地上に降下してくる。このことが、近隣住民からの悪臭苦情としての問題を顕在化している。

これらの悪臭対策として、図-8に示すようにRDライヤの排ガスをVドライヤの排ガスに混合してバグフィルタで濾過集塵する技術を実用化し、APではこのシステムが主流を占めるようになっていく。特に、RDライヤから発生する粘着性のミストやダストをバグフィルタで捕捉するために、濾布への目詰まりや脱塵機能の弊害を招かないように、濾過助剤としてバージンダストを濾布表面にプレコーティングするようにしている。これは、Vドライヤの排ガスに随伴してくる多量のバージンダストにより、粘着性のミストやダストをコーティングし、その粘着性から濾布を保護することが狙いである。さらに、この技術は、R排ガスをV排ガスで希釈混合することにより、揮発成分の蒸気圧が下がり、その凝縮温度を低下させることができ、ブルースモーク生成の抑制に一定の効果がある。

以上のことから、バグフィルタを経て煙突から放出される排ガスは、ブルースモークが消失した無色透明となる。そして、R排ガスは、多量のV排ガスにより希釈され、大気へ拡散して行くことから、再びこの排ガスが地上に降下して悪臭苦情となる件数が減少している。

#### (3)悪臭防止法

臭気規制に関して、悪臭防止法の2号規制(排出口規制)が適用される地域では、臭気濃度や臭気強度で規制する自治体が増加している。

臭気濃度は、特定の臭気成分の濃度で規制するのではなく、悪臭公害の当事者となる人間の嗅覚により評価する三点比較式臭袋法が用いられる。これは、臭気成分を順次無臭の空気中で希釈して行き、人の嗅覚で臭わなくなる希釈倍数を指標としている。このように臭気濃度規制は、臭いの質に関係なく、臭いの強さのみを評価する規制でもある。

臭気強度は、排出口における臭気濃度と排ガス量との積で評価される。これは、煙突高さに応じて許容される臭気強度を計算で求める方法で、煙突が高いほど大気への拡散効果が作用して地上に降下する臭気濃度が弱まることに基づいている。即ち、煙突を高くすることによって、その規制値をクリアすることができる仕組みであるが、その適用範囲は



写真-13 直接燃焼方式の脱臭装置

実用的な煙突高さを考慮すると限定的となる。

したがって、APでこの煙突出口(2号規制)の臭気濃度や臭気強度をクリアできない場合には、本格的な脱臭装置を検討する必要がある。

以下では、本格的な直接燃焼式脱臭装置について、その詳細に触れる。

### 3.4.3 脱臭装置

#### (1)無機質系と有機質系の臭気成分

臭い物質は、100万種類以上の存在が確認されており、大きくは無機質系と有機質系に分類することができる。

無機質系臭気物質は、炭素を含まない化合物で硫酸化合物や窒素酸化物が代表的である。その他、硫化水素のように微量でも有害な物質も多く存在する。

有機質系臭気物質は、炭化水素を主とする化合物で、脂肪族炭化水素や芳香族炭化水素が代表的である。これらの臭気成分は、炭素と水素の化合物であることから、無臭の水とCO<sub>2</sub>に酸化分解することが可能である。一部の有機化合物で硫黄や窒素もしくは、フッ素や塩素などのハロゲン族を含むものがある。これらは、酸化分解により無臭のCO<sub>2</sub>と水に加え、臭い物質である硫酸化合物や窒素酸化物、フッ化水素や塩化水素などの酸性ガスを生成する。生成したこれらの臭い物質は、その特性に応じて別途臭気対策が必要となる。

#### (2)脱臭装置の種類とその概要

実用化されている脱臭方式には、活性炭や薬液による吸着や吸収法、化学薬品による化学分解法、加熱による酸化分解を基本原理とする直接燃焼法や触媒燃焼法などがある。

吸着法は、臭い物質を分解することなく物理的、化学的に吸収除去することが特徴である。ヘンリーの法則でも知られる通り、臭い物質の温度が低いほど吸着性能が優れる。このことは、冷蔵庫内の臭い吸収剤として活性炭などが用いられていることから明白である。いずれにしても、これらの吸着剤は、臭

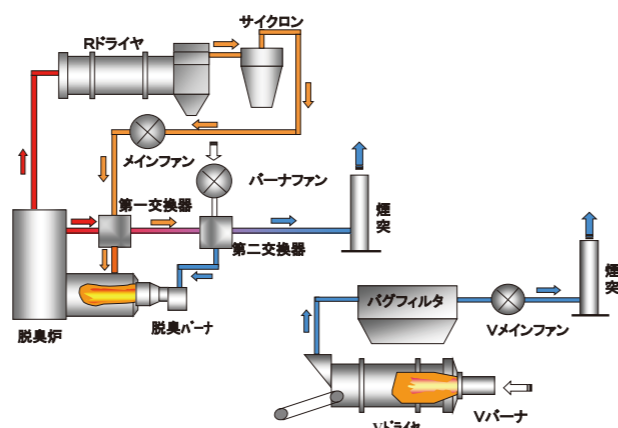


図-9 1バーナ脱臭システムのフロー

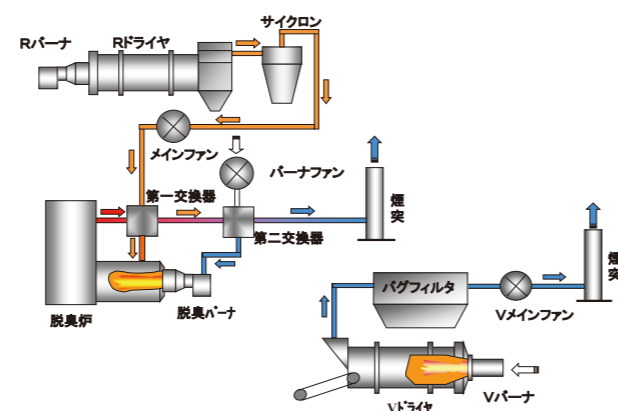


図-10 2バーナ脱臭システムのフロー

い物質で飽和状態に達した段階でその効果が薄れるので、吸着材の入替が必要となる。そして、飽和状態の吸着材から臭気成分を取り出し二次処理を行う必要がある。

以上のことから、この吸着法をAPの脱臭手段として適用する場合、吸着効率を向上させるために排ガス温度を常温近くまで冷却する必要があり、排ガス冷却装置の設備費用や吸着材のランニングコストが高くなることから実用的ではないと考えられる。

化学分解法は、主に酸化剤であるオゾンや塩素を発生する薬剤が用いられる。水溶液に臭い成分を吸収溶解させて酸化分解する方式や、臭気ガスに直接噴霧して酸化分解する方式などがある。前述のようにRドライヤーから発生するアスファルト由来の臭気成分は、何万種類もの炭化水素を含んでおり、これら全てに有効な薬剤は確認されていない。また、これら薬剤が排ガスと共に大気へ拡散したときの安全性などに関しても十分に検討を加える必要があることなどから、APに採用するには現実的ではない。

直接燃焼法は、有機質系臭い物質に有効で化石燃料を熱源として臭気成分を加熱昇温し、酸化分解を促進させている。酸化分解反応は温度に対して指数関数的にその分解速度が高まることから、高温雰囲気を一定時間保持する機能を有する脱臭装置が用いられる。APには、この直接燃

焼式脱臭装置が適しており、次項の(3)で詳細を記述する。

触媒脱臭法は、貴金属である白金やパラジウムなどが触媒として用いられる。臭い物質の酸化分解温度を下げる事が可能であることから、直接燃焼法よりも低い温度での運用が可能となり、燃料費などのランニングコストを低減することができる。因みに、食品を加熱する電子レンジの内壁には白金触媒が塗布されており、食品からの臭い成分を含む有機物を低い温度で酸化分解し無害化している。

筆者らは、白金触媒を実際のRドライヤーの排ガスの処理に適用し、その脱臭性能と耐久性に関する検討を行っている。その報告<sup>23)</sup>によると、R排ガスを300~350℃に昇温することにより、一定の脱臭性能が認められ、直接燃焼式脱臭装置に比較して省エネルギー化に極めて優れている。

しかしながら、触媒として貴金属で高価な白金を使用していることから、APの排ガスを処理する場合を想定すると、大型で極めて高額なシステムとなる。さらに、APの排ガスには、触媒毒となる硫黄やハロゲンなども含まれていることから、触媒活性が低下した段階で交換する必要がある。

以上のことから、稼働率の低いAPへの適用は経済的に難しいと結論づけている。

#### (3)直接燃焼方式のAP用脱臭装置

APに適用する脱臭システムを検討する上で、安全性、経済性、ハンドリング性、耐久性などを総合して評価する必要がある。

Rドライヤーは、バーナの着火と消火を頻繁に繰り返す間欠運用が多い。しかも、バーナ着火から5分足らずで予熱を完了してR材の供給を開始するような急激に熱負荷が変動する運用が一般的に行われている。また、集塵装置として乾式サイクロンを備えているが、これで捕捉できない粘着性のミストやダストが排ガスに随伴してくる。さらに、R排ガスは、アスファルト由来の多種多様な臭気成分を含むことから、個々の臭気成分を特定してその分解性能を評価することは極めて合理的でない。

このような諸条件の下、APに適用可能な脱臭装置として写真-13に示す直接燃焼方式を挙げることができる。

熱負荷の急激な変動に関しては、脱臭装置の耐火材として熱容量の小さいセラミックファイバーを採用することにより、急激な加熱や冷却に耐えうるだけでなく、炉体の膨張と伸縮に柔軟に追従することが可能である。

排ガスに随伴する粘着性のミストやダストに関しては、熱交換器としてプレートフィン方式の要素を採用し、メタリック構造の燃焼室とすることで粘着性のミストやダストの付着に対する剥離性を高めるとともに、そのメンテナンス性を向上させている。

アスファルト由来の多様な臭気成分を含む排ガスに対して

は、ほとんどの炭化水素を酸化分解することが可能な温度である750℃と、その酸化分解が完結するのに必要な時間である0.6秒の滞留時間を実験により導き出している。また、この脱臭装置は、酸化分解で最も重要な要因である3T (Time:滞留時間, Temperature:脱臭温度, Turbulence:攪拌)に関して、AP専用に最適化をはかっている。

#### (4)直接燃焼式脱臭装置の構造

AP用の直接燃焼式脱臭装置は、燃焼室と滞留室とから構成されている。

燃焼室は、円筒形の外筒と内筒からなる二重構造で横方向に配置している。燃焼室端部の脱臭バーナから水平に形成されるバーナ火炎に向かって、内筒に放射状に設けた噴出口から被処理ガスを高速で衝突させている。このことにより、バーナ火炎と被処理ガスとを均一に混合し、臭気物質の酸化分解を促進させている。また、内筒は高温のバーナ火炎から輻射熱を受けるため、オーステナイト系の耐熱鋼材を使用し、内筒内部へ高速に吐出する被処理ガスにより冷却している。

滞留室は、堅型の一重構造で内面には耐火材であるセラミックファイバーを施工している。セラミックファイバーは、熱容量が小さく伸縮性と吸音性に富むことから、急加熱、急冷の使用に耐え、バーナ燃焼音を吸収する働きがある。そして、燃焼室で高速に混合昇温された臭気成分の酸化分解が完結するのに必要な時間を滞留させている。

つぎに、同脱臭システムには、Rドライヤーと脱臭装置の組み合わせにより、1バーナ脱臭システムと2バーナ脱臭システムとが存在する。図-9に、1バーナ脱臭システムのフローを示す。図より、同脱臭装置には、脱臭処理した排ガスの熱エネルギーを有効に回収するために、2系統の熱交換器を備えている。第1熱交換器は、脱臭炉から排出される排ガスの熱エネルギーを回収し、被処理ガスを予熱している。第2熱交換器は、第1熱交換器を通過した排ガスの熱エネルギーをさらに回収し、バーナ燃焼用空気を予熱している。また、この1バーナ脱臭システムは、Rドライヤーから発生する排ガスの全量を脱臭炉で処理した後、リサイクル材を乾燥加熱するのに必要な熱風をRドライヤーの一部供給し、残りの熱風を排ガスとして大気へ排出している。このようにして、1バーナ脱臭システムは、Rドライヤーと脱臭装置の加熱を1台のバーナで賄うシステムである。

図-10に示す2バーナシステムは、Rドライヤー用バーナと脱臭装置用バーナの2台のバーナを備えている。Rドライヤーから発生した排ガスを、熱交換器で予熱して脱臭炉へ導き脱臭処理を行う。脱臭処理後の排ガスは、第1熱交換器ならびに第2熱交換器で廃熱を回収し煙突から大気へ排出している。Rドライヤー用バーナに予熱空気を利用していないことから、1バーナ脱臭システムより燃費が少し劣ることは否めない。



写真-14 RAVコンビネーションシステム1号機の全景

### (5) 直燃燃焼式脱臭装置の燃料消費量

直接燃焼式脱臭炉をR排ガスの脱臭処理装置として適用した場合、R排ガスの温度よりも高温の処理ガスを排気することになる。省エネルギー化の観点より、熱交換器を大型化して廃熱回収量を増大することにより、この処理ガスをR排ガス温度に近づけることは技術的に可能であるが、経済合理性の観点から最適な熱交換器の大きさが決定される。即ち、熱交換器のコスト、耐久性、入替コストと燃料単価、稼働率などの要因により、最適な熱交換器の面積を求めることができる。

現実の熱交換器は、APの年間稼働時間が1,000～1,500時間の範囲で極めて稼働率が低いことから、小型の熱交換器を採用して燃料消費量を増大して経済性のバランスをはかっている。したがって、排ガス温度が350～450℃と高い状態で運用されているのが実状である。

以上のことから、脱臭装置を増設した場合、R材のトン当たりの燃料消費量がA重油換算で2～3リットル増大することは否めない。このことに鑑み、省エネルギー型の脱臭装置を備え熱風のカスケード利用を行うことにより、V骨材とR材とを経済的に乾燥加熱することができるRAVコンビネーションシステムを開発するに至る。

次項の3.4.4では、このRAVコンビネーションシステムの特徴について触れる。

### 3.4.4 RAVコンビネーションシステム

#### (1) 概要

前述のように、Rドライヤから発生するブルースモークや臭気成分を脱臭処理すべく、直接燃焼方式の脱臭装置を1995年に自社開発し、R排ガスに特化した脱臭処理システムとして市場に投入している。このシステムは、熱源となる化石燃料を燃焼することによって臭気成分を所定の温度まで加熱し、無臭のCO<sub>2</sub>と水とに酸化分解することを基本原理としている。このことから、脱臭を行わない従来のRドライヤに比べ燃料消費量が増大することは否めない。したがって、温

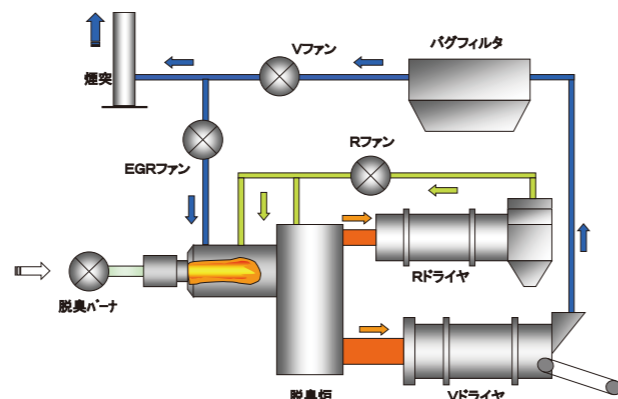


図-11 RAVコンビネーションシステムの全体フロー

室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の削減という国際社会の趨勢から、脱臭装置の省エネルギー化ならびにCO<sub>2</sub>の削減が、最も強く求められている課題でもある。

このような社会要請から、R排ガスの脱臭処理と同時に、R材とV骨材とを極めて効率良く乾燥加熱することができるRAVコンビネーションシステム(Recycle And Virgin Combination System: 以下、RAVシステムと記載)を1998年に自社開発するに至る。このRAVシステムは、バーナ1基と脱臭炉、Rドライヤ、Vドライヤ、バグフィルタなどをコンパクトな3層構造として省スペース化をはかると共に、脱臭処理した高温の熱風を、R材とV骨材の乾燥加熱にカスケード利用を行うことで、省エネルギー化とCO<sub>2</sub>排出量の削減をはかっている。

なお、筆者らは、本RAVシステムの省エネルギー効果とその特性に関する報告<sup>24)～26)</sup>を既に行っている。

#### (2) 熱風のカスケード利用による省エネルギー化技術

写真-14にRAVシステム1号機の全景を、図-11に本RAVシステムのフローを示す。

図より、Rドライヤの排ガスを、直接燃焼式の脱臭炉に導入して700～1200℃に加熱し、無臭のCO<sub>2</sub>と水とに酸化分解している。そして、この脱臭処理した熱風を再びRドライヤに熱源として供給している。この循環サイクルにおいて、R材から発生する水蒸気、侵入空気、バーナ燃焼空気に相当する熱風が余剰となり増大してくるが、この熱風を脱臭炉からVドライヤに導入して、V骨材を乾燥加熱するのに利用している。最終的に、Vドライヤからの排ガスは、後述するドライヤ回転数制御により、最適な温度にコントロールし、バグフィルタを経て大気に排出している。

このようにして、本RAVシステムは、熱風のカスケード利用を行うことにより、従来、大気に直接排出していたRドライヤの排ガスに相当する排ガスを削減し、システム全体の熱効率を20%以上向上させている。

#### (3) EGRと二段燃焼による省エネルギー化とサーマルNO<sub>x</sub>の削減技術

本RAVシステムでは、無効エネルギーとして排ガスで持ち去られる熱エネルギーを削減すること、サーマルNO<sub>x</sub>の析出を抑制することを目的に、二段燃焼技術を導入している。

この二段燃焼技術は、バーナの一次燃焼空気比が0.8前後になるよう、脱臭炉内の酸素濃度によりフィードバック制御を行うと共に、R排ガスの全量とV排ガスの一部を脱臭炉内の二次燃焼空気としてEGRを行い、それら排ガスの残存酸素により、燃焼に不足する酸素を補っている。R排ガスとV排ガスの酸素濃度は、各ドライヤへの侵入空気量で決定され、EGRによりこの侵入空気を二次燃焼空気として利用することで、それに相当する排ガスを削減することを可能としている。

さらに、この二段燃焼技術により、火炎の局所的な高温部分が減少して、サーマルNO<sub>x</sub>の析出が抑制されると同時に、一次燃焼空気が不足することにより生成するCOがサーマルNO<sub>x</sub>を式(1)に示すように還元している。



これらのことにより、排ガスに含まれる窒素酸化物の濃度を20ppm以下に低減することを可能としている。

なお、本RAVシステムのバーナは、3.2.2項で述べた燃焼範囲拡大技術を用いて、TDR(燃焼範囲比)1:7以上を確保し、幅広い熱負荷の変動にも精度良く追従できるようにしている。

#### (4) Vドライヤ回転数制御による省エネルギー化技術

3.3.1項でも触れているが、本RAVシステムのVドライヤは、V骨材の供給量や含水比などの変動に対し、幅広い範囲で最適な熱効率が維持できるように、ドライヤ回転数制御技術<sup>15)～18)</sup>を取り入れている。この技術を採用することにより、Vドライヤの排ガス温度を熱負荷の変動にかかわらず常に露点温度近傍で制御し、煙道やバグフィルタの低温腐食の影響を回避しながら高い熱効率を維持することを可能としている。

#### (5) RAVコンビネーションシステムの制御技術

本RAVシステムにおけるV骨材とR材の加熱温度制御は、バーナ1基でそれぞれ独立に温度コントロールができる制御方式を確立している。V骨材温度は、脱臭炉の圧力を増減させることによりVドライヤに流れ込む熱風量を制御し、加熱R材温度は、脱臭炉の圧力変動に影響を受けることなくRドライヤに流れ込む熱風量をコントロールする制御方式を新たに開発している。

具体的には、V骨材温度が目標値を下回った場合、その偏差に応じて脱臭炉の圧力を高めてVドライヤに流れ込む

熱風量を増大させる。脱臭炉の圧力を高めるには、バーナ燃焼量を増大させて目的の炉圧まで上昇させる。このとき炉の温度も上昇するが、EGRファンによるEGR量を増大させて炉の温度が上昇するのを抑制している。逆に、V骨材温度が目標値を上回った場合、逆動作で偏差に応じて脱臭炉の圧力を低下させてVドライヤに流れ込む熱風量を減少させている。なお、Vドライヤに流れ込む熱風量は脱臭炉とVドライヤとの差圧の平方根に比例することから、この差圧と炉温度からVドライヤに流入する熱量を求めてV骨材温度制御に利用している。

一方、加熱R材温度が目標値を下回った場合、その偏差に応じてRファンの回転数を増大させRドライヤに流れ込む熱風量を増大させている。逆に、加熱R材温度が設定値を上回った場合、逆動作で偏差に応じてRファンの回転数を減じてRドライヤに流れ込む熱風量を減少させている。このように、脱臭炉を熱源としてVドライヤとRドライヤへの熱風の供給量を独自に制御し、これら熱風量の変化が相互に干渉しない制御方式を確立させている。

### 4. アスファルトプラントにおけるCO<sub>2</sub>排出量削減技術の展望

#### 4.1 燃料転化によるCO<sub>2</sub>排出量の削減技術

##### 4.1.1 概要

APは、合材が熱く軟らかい内に道路舗装現場で打設転圧を行う必要性から、ダンプでの輸送時間に制限を受け、そのことを補うようにして全国に分散して立地している。したがって、APは生産性や経済性を追い求めて大型集約化をはかることができない製造設備である。また、大気汚染防止法に基づく硫黄酸化物や窒素酸化物の排出規制に対して、APはC重油などの安価な燃料を使用せず、硫黄や窒素の含有量が少ない良質な燃料を使用することにより、排ガスの浄化設備である脱硫装置や脱硝装置の設置を回避している。このことは、APが前述の理由で全国に分散立地していることなどから他業種の製造設備に比べて稼働率が極めて低く、これらの浄化設備の減価償却費と燃料費との関係によるところが大きい。

以下では、地球規模で温室効果ガスの削減への取り組みが必要とされるCO<sub>2</sub>の排出量削減に関して、CO<sub>2</sub>の排出量が少なくなる燃料のAPへの適応性について検討する。

##### 4.1.2 LNGサテライトシステム

LNG(Liquefied Natural Gas: 液化天然ガス)は、アメリカを始めとするシェールガスの日本への輸入増大や日本海に多くの埋蔵量が確認されているメタンハイドレートなどから将来の燃料として極めて有望である。また、LNGは、燃焼することによりCO<sub>2</sub>を排出するが、A重油と比較して、炭素の構



写真-15 LNGサテライトシステムの全景

成割合が少ないために、単位熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出量を約25%削減することができる。とりわけ、化石燃料の中では最もCO<sub>2</sub>の排出量が少なくなる。

メタンを主成分とする天然ガスは、ガス田と需要地とが陸続きであれば、その輸送にパイプラインが用いられている。我が国のように、周囲が海でガス田がない場合、輸送効率を高めるために天然ガスを-162℃まで冷却することにより、その体積を1/600の液体としてLNGタンカーで輸送している。陸揚げされたLNGは、海水の熱を利用してガス化し、パイプラインを通じて各需要家に供給されている。

我が国は、中東アジアやインドネシアから多くのLNGを輸入しているが、2017年初頭からアメリカからのシェールガスの輸入が本格的に始まっており、今後輸入量が增大することにより国内のLNG流通価格に大きく影響を及ぼすものと考えられる。

一方、大手ガス会社は、国内の都市部からガス供給パイプラインの敷設エリアを順次拡大し、都市ガスの普及に努めている。AP用燃料として都市ガス13Aの使用事例も増加しているが、APの立地場所とガス供給エリアとが合致しない場合も多い。この場合には、AP専用のLNGサテライトシステムを適用することによって、CO<sub>2</sub>排出量の削減が可能となる。写真-15にLNGサテライトシステムの全景を、図-12にAP専用LNGサテライトシステムの全体フローを示す。写真と図より、AP専用LNGサテライトシステム(特許登録済)は、LNGの貯蔵タンクと気化器やその他安全保安設備を加味したもので、都市ガス用のAP用バーナをそのまま適用させることが可能である。さらに、省エネルギーの観点より、APの排ガスに含まれる水蒸気の凝縮潜熱を回収してLNGのガス化に利用している。このことにより、一般的なLNGサテライトシステムが備えているガス温水ボイラーとその使用燃料を不要としている。

近い将来シェールガスの輸入が増大し、メタンハイドレートなどの開発が本格的に始まりLNG価格が安定すれば、AP

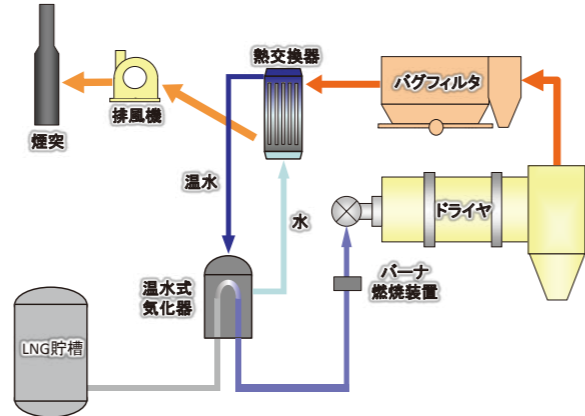


図-12 AP専用LNGサテライトシステムの全体フロー

にとって極めて有望な燃料となり得るものと考えられる。しかしながら、化石燃料を使用している限り、CO<sub>2</sub>の排出量削減(省エネルギー化)技術は限界に近づいている。今後は、カーボンニュートラルなバイオマス燃料への転化などの推進を積極的にはかって行く必要がある。

#### 4.1.3 バイオマス由来燃料

バイオマス燃料: Biomass Fuelは、動植物由来の燃料で燃焼することによりCO<sub>2</sub>を大気へ放出するが、概ね100年以内の周期で光合成などにより再び大気中のCO<sub>2</sub>を取り込んで固定するメカニズムが働く。このことから、燃焼しても大気中のCO<sub>2</sub>を増加させないカーボンニュートラルであると定義される。石炭や石油などは、同じ動植物由来の燃料ではあるが、その炭素の循環周期が実に数億年を要することから正に化石燃料となる。このことから、CO<sub>2</sub>の排出量を削減させるべく、重油や灯油などの化石燃料に替わってバイオマス燃料をAPで適用する動きが一部で始まっている。バイオマス燃料は、その状態から気体燃料、液体燃料、固形(固体)燃料に分類することができる。

気体のバイオマス燃料には、メタン発酵で生成するメタンガスなどがあるが、そのハンドリング性や経済性からAPへの適用事例は今のところ見当たらない。メタンは、都市ガスの主成分であることから、バーナなどの燃焼機器類には特別な対応は不要である。また、都市ガスの供給インフラを利用してバイオマス由来のメタンガスを都市ガスに混入する実証実験などが始まっている。このことから、バイオマス由来のメタンガスを液化してLBG: Liquefied Biomass Gas(液化バイオマスガス)として、AP専用のLNGサテライトシステムでの運用も技術的には可能であると考えられる。

液体のバイオマス燃料は、貯蔵や運搬などの安全性やハンドリング性に優れていることから、一部のAPで運用が始まっている<sup>27-28)</sup>。この事例として、木材チップのガス化発電設備で副産する木質タールや、廃食油からBDF(Bio



写真-16 バイオマス燃料バーナ(液体)



写真-17 木質タールの燃焼実験

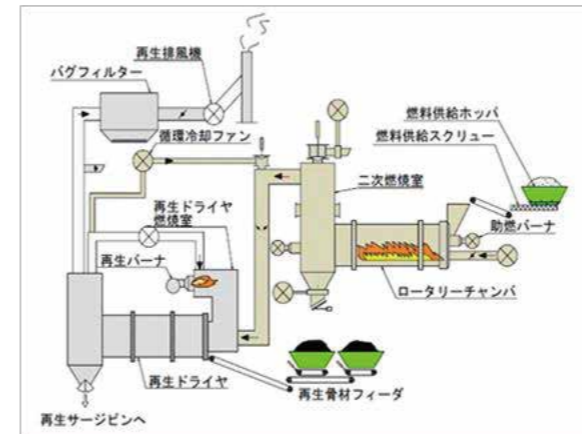


図-13 固形バイオマス燃焼システムの全体フロー

Diesel Fuel)を製造するときの副産物である廃グリセリンなどを燃料とするAP専用のバイオマス燃料バーナを2009年に自社開発(特許登録済)し、既に市場に投入している。写真-16にバイオマス燃料バーナの全景を、写真-17に木質タール燃料の燃焼実験の様子を示す。このバイオマス燃料バーナは、木質タールや廃グリセリンの粘性が高いために加温して粘度を下げ、霧化状態を改善するために圧縮空気を媒体とする二流体ノズルを採用している。さらに、木質タールは、その生成プロセスから木酢液を多く含んでおり、pHは強酸性を示すことから、バイオマス燃料と接するところは全て耐酸部材を用いている。

固形バイオマス燃料には、古くから木材チップなどが燃料として活用されているが、単位質量および単位容積当たりの発熱量が化石燃料よりも低く、ハンドリング性、貯蔵性、輸送性に劣ることからAPへの適応事例は少ない。また、RPF: Reuse Paper and Plastic Fuelは、産業系廃棄物の古紙や廃プラスチックを主原料とした固形燃料である。このRPFは、産業廃棄物が主原料となっていることから、カーボンニュートラルではないが、A重油と比較して熱量当たり20%のCO<sub>2</sub>排出量の抑制効果がある。さらに、APの立地条件やRPFの流通形態にもよるが、燃料単価が発熱量ベースでA重油の1/10程度であることが魅力的である。ただし、RPFをAPに適用させる場合、大型の燃焼装置が必要となることが今後



写真-18 固形バイオマス燃焼システムの全景

の課題となる。2011年に市場投入した固形バイオマス燃焼システム(特許登録済)のフローを図-13に、その燃焼システムの全景を写真-18に示す<sup>29-31)</sup>。

#### 4.1.4 微粉炭燃料

バイオマスや廃棄物由来の固形燃料をAPに適用するためには、写真-18に示したような大型の燃焼装置とその設置スペースが必要となる。このことが足枷となり、固形バイオマス燃料のAPへの普及が進んでいない。

固形燃料が大型の燃焼装置を必要とするのは、ガスや液体燃料のような拡散燃焼を基本とする燃焼メカニズムと大きく異なるところにある。固形であるがために酸素との接触反応が、固形燃料の表面積に支配されて燃焼速度が極めて遅いことに起因している。このことから、固形燃料を細かく粉碎して比表面積を増大させることが、燃焼速度を速める上で重要な要素となる。したがって、固形燃料を細かく粉碎してバーナ単独で燃焼させることができれば、大型の燃焼装置やそれらの設置スペースが不要となり、固形バイオマス燃料のAPへの普及が促進されるものと思われる。その手段の一つとして、バイオマスや廃棄物を炭化して微粉炭燃料とすることにより、微粉炭バーナで燃焼させることが可能となる<sup>32)</sup>。

また、微粉炭燃料の燃焼特性は、粉体粒子径とVOC: Volatile Organic Compound(揮発性有機物)の含有量

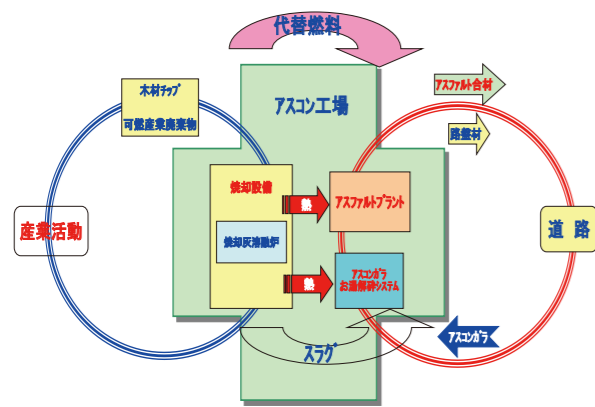


図-14 焼却廃熱を利用した合材工場のイメージ

が燃焼性に大きな影響を及ぼす。即ち、VOC含有量が多く粒子径が小さいほど、着火性と燃焼速度が改善されることになる。

以上のことから、バイオマスや廃棄物由来の固形燃料を炭化粉碎して微粉炭燃料を製造するシステムと、この微粉炭燃料を効率よく燃焼させることができる微粉炭バーナの開発(特許出願中)が待ち望まれるところである。

4.1.5 焼却廃熱のAPへの有効利用

前項までは、CO<sub>2</sub>の排出量を抑制する代替燃料などを検討したが、ここでは、将来のAP像として焼却設備からの廃熱の直接利用を考える。

焼却設備には、市町村などの地方自治体が運営管理する一般廃棄物処理施設と、民間の産廃処理業者が運営管理する産業廃棄物処理施設とに大別される。前者の処理施設は、一般家庭から発生するごみを主に焼却処理する施設で市町村がその処理義務を負う。後者の処理施設は、民間での産業活動により発生した産業廃棄物を焼却処理する施設で、その処理義務は廃棄物の発生元が負う。いずれにしても、廃棄物の減容化を主目的に焼却処理が行われている。最近では、これらの焼却施設から廃熱を回収して発電を行う廃棄物発電施設が増加しつつある。

しかしながら、これらの廃熱から電気への変換効率は、20%未満で極めて低い。このことは、廃棄物の多様性により、発熱量の変動や酸性ガスやクリンカーの発生によりボイラーなどの設備への悪影響が顕在化するためである。

一方、APでは、化石燃料の燃焼による熱風をV骨材の乾燥加熱に直接利用しているため、その熱交換効率は80%以上に達している。このことから、焼却施設の廃熱から電気エネルギーを得るよりも、骨材の乾燥加熱に直接この熱を利用した方が合理的にCO<sub>2</sub>の排出量を削減することができる。しかし、焼却施設の廃熱から回収した熱エネルギーを離れた需要家であるAPに供給するのは極めて困難である。熱エネルギー

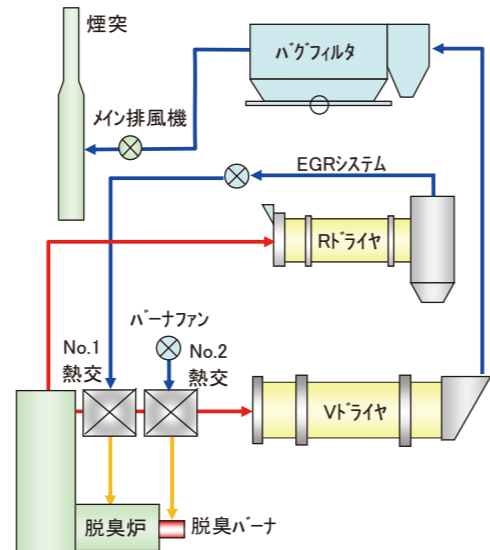


図-15 改良型のRAVコンビネーションシステムの全体フロー

は、電気エネルギーに比較して、その有効な熱媒体(ヒートキャリア)が存在しないことから、輸送性が極めて劣ることは否めない。したがって、図-14に示すように、焼却施設とAPとを隣接させることにより、輸送性の短所を補うことができる。このためには、地方自治体での焼却施設の建て替えや増設のタイミングとAP建設とのタイミングを合致させる必要があり、官民通じての綿密な検討と調整が必要である。さらに、APに必要な熱エネルギーを運ぶ熱媒体が廃棄物の燃焼ガスであるため、その貯蔵性が極めて悪いことから、回収する廃熱量に応じたAPの運用が求められることも課題となる。

新たなビジネスモデルとして、骨材の製造や流通を営む企業と自治体の焼却施設とがタイアップし、焼却施設に骨材乾燥システムを併設する。特に、比表面積の大きい砂の含水比が高いので、この乾燥システムに焼却設備からの廃熱を導入して砂を乾燥し、それを乾燥砂と言う付加価値を付けて合材工場に販売する。通常、合材に使用される砂は、水分を12~15%含んでいることから、乾燥砂にすることでAPでの燃料消費量を大きく減らすことができ、これに伴いCO<sub>2</sub>の排出量が減少する。さらに、この乾燥砂を用いることにより、ダンプによる輸送効率が10%以上向上し、CO<sub>2</sub>の削減に相乗的な効果が期待される。

4.2 省エネルギー化によるCO<sub>2</sub>排出量の削減技術

4.2.1 概要

炭素の含有割合が少ない燃料やカーボンニュートラルなバイオマス由来の燃料に代替することにより、CO<sub>2</sub>の排出量を削減するだけでなく、このことと併せてAPの本質的な省エネルギー化にも取り組んで行く必要がある。しかしながら、合材の製造プロセスが現状と大きく変わらない限り、APに求められる省エネルギー化技術に限界が近づいている。このこと

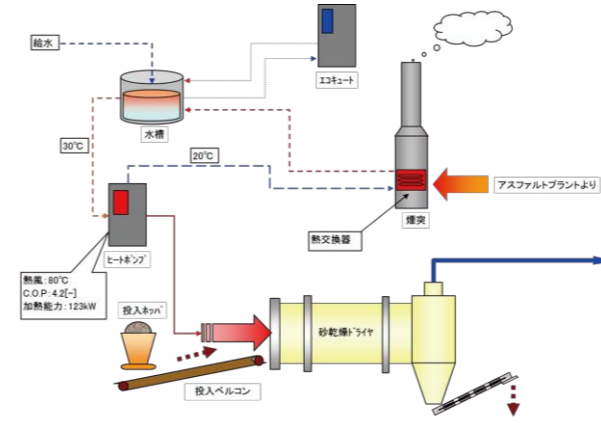


図-16 水蒸気の凝縮潜熱を熱源とするヒートポンプによる砂乾燥システム全体フロー

は、最新型APの熱効率が80~85%に達していることから改善の余地が残されていないことが明らかである。

特に、排ガスが持ち去る20~15%の無効エネルギーを回収して有効利用するためには新たな省エネルギー技術のブレークスルーが必要となる。

以下では、筆者らがAPへの適用の検討を進めている新たな省エネルギー技術として、RAVコンビネーションシステムの改良、凝縮潜熱回収技術、酸素富化燃焼技術、蓄熱技術、炭素固定技術などの概要を紹介する。

4.2.2 RAVコンビネーションシステムの改良

アスファルト舗装における、R合材のR材混入率が増大している。このことは、循環型社会形成推進基本法に基づく建設リサイクル法施行の成果であるとともに、リサイクル技術や品質管理技術の向上によりR合材が経済的に優位であることなどを裏付けている。このように、R合材のR材混入率が高くなることにより、3.4.4項で述べたRAVシステムの運用が難しくなり、本システムの普及には至らなかった。

RAVシステムのR材混入率は、50%が限界であり、V骨材の含水比が低下すると混入率がさらに低下する傾向にある。このことは、省エネルギー化を担保しながらRドライヤからの排ガス全量を800~1200℃で脱臭処理し、その廃熱の全量をVドライヤで回収する熱のカスケード利用を基本原理とする省エネ技術の課題でもある。即ち、R材とV骨材とが必要とする熱量のバランスにより、その混入率の限界値が決定されてしまうのである。

したがって、R材の混入率を増大するために図-15に示すように、Vドライヤの熱風導入側に2基の熱交換器を増設し廃熱を回収している。No.1の熱交換器は、R排ガスを、No.2の熱交換器は、バーナ燃焼空気をそれぞれ予熱している。このことにより、Vドライヤに流れ込む熱風から熱エネルギーを回収してR排ガスとバーナ燃焼空気に分配することで、Vドラ

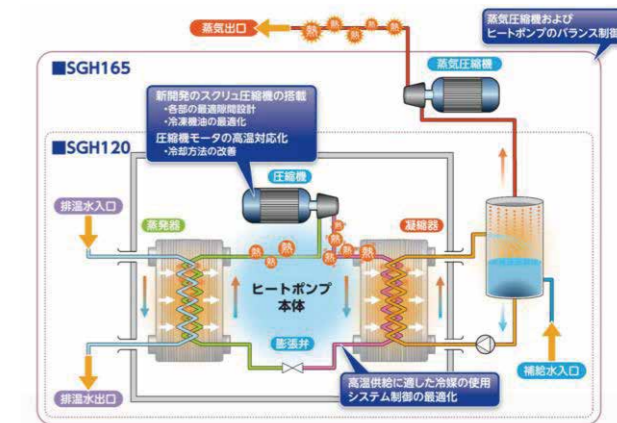


図-17 ヒートポンプによる水蒸気発生システム<sup>33)</sup>

イヤに流れ込む熱エネルギーを減じることができ、このことによりR材の混入率を増大することが可能となる。

4.2.3 凝縮潜熱回収とヒートポンプ技術

APで有効エネルギーと定義しているのは、骨材を乾燥加熱するための水の蒸発潜熱と骨材の昇温顕熱である。ただし、蒸発潜熱を奪った水蒸気は排ガスと一緒に外気に放出されてしまう。骨材に残った顕熱を有効エネルギーと再定義すると、熱効率は35%未満となり、排ガスで持ち去られる無効エネルギーは、60%以上に達する。エネルギー保存則(熱力学の第一法則)を適用すれば、化学反応や状態変化の前後でエネルギーの総和は不変であることから、排ガスは、水蒸気の潜熱を含む多くの熱エネルギー(エンタルピー)を保有していることになる。

このことから、排ガスに含まれる水蒸気を凝縮させて、その凝縮潜熱を回収して有効利用することができれば、大きな省エネルギー効果を得ることができる。水の凝縮潜熱は、2.63MJ/kg(628Kcal/kg)とエネルギー密度が極めて大きいことから、効率的に熱エネルギーを回収することができる。しかしながら、熱エネルギーの第0法則が示す通り、熱エネルギーは、温度差に比例して移動するため、温度差を設けなければ有効な熱エネルギーを取り出すことができない。したがって、回収した熱エネルギーの質(温度)が低いと利用する用途が限定的となってしまふ。

ヒートポンプ技術を応用することにより、利用価値のある温度にまで被加熱物を昇温することが可能である。例えば、図-16に示すように、AP排ガスの凝縮潜熱を回収して50~60℃の温水を生成し、これを熱源としてヒートポンプにより120℃の温風を発生させる。この温風により高含水比の砂を乾燥させて省エネルギー化をはかる一連のシステム(特許出願中)を考えることができる。ヒートポンプの性能は、成績係数(COP:Coefficient Of Performance)を指標として評

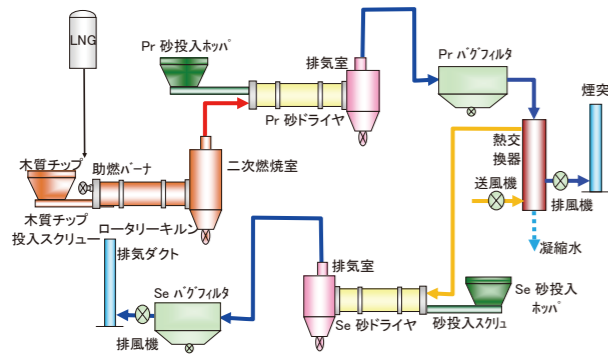


図-18 排ガス中の水蒸気潜熱を回収利用する砂乾燥システム

備えられる。例えば、COP=3.0は、1kWhの電力を投入して3kWhの出力(熱風)を得ることを示している。

また、図-17は、ヒートポンプによる水蒸気発生システムで、160~170℃の水蒸気を得ることができる<sup>33)</sup>。まず、ヒートポンプにより120℃の水蒸気を発生させ、これを水蒸気圧縮機で圧縮することにより160~170℃に昇温が可能である。この水蒸気を用いて、アスファルトタンク、ホットビン、合材サイロなどの加温に利用することが可能となる。

#### 4.2.4 排ガス中水蒸気の凝縮潜熱を回収利用する砂乾燥システム

APでは、合材の製造で使用される燃料の大半を、骨材の水分を除去する乾燥プロセスで消費している。中でも、砂は、比表面積が大きく不純物であるシルトや粘土を除去するために水洗していることから10~15%の高含水比となっている。また、このことは、APで乾燥する骨材全体の70%以上の水分を砂が持ち込んでいることになる。したがって、砂の水分を事前に削減することは、APにおける省エネルギー化とCO<sub>2</sub>削減に大きく寄与することに繋がる。

APは、他産業と同様に二度に渡るオイルショックの影響を強く受けたことにより、徹底した省エネルギー化技術を導入してきたことは前章で詳細に触れている。その結果、APドライヤの排ガス温度が100℃を下回り、包含する水蒸気が凝縮する温度域にまで熱エネルギーを有効に回収し骨材の乾燥加熱に有効利用している。このことにより、ドライヤの熱効率は実に85%を超える域に達しており、これ以上の省エネルギー化ならびにCO<sub>2</sub>の削減をはかる余地は殆ど残されていない。いわゆるAPの「省エネルギー化の限界」を迎えようとしている。

一方、合材の舗装施工時に要求されるワーカビリティなどの品質が温度に大きく依存することが知られており、合材の温度低下を招かない熱い状態でダンプ輸送が可能な時間は、概ね1.5時間程度であると言われている。そして、全国津々浦々の道路へ熱い状態の合材を供給するため

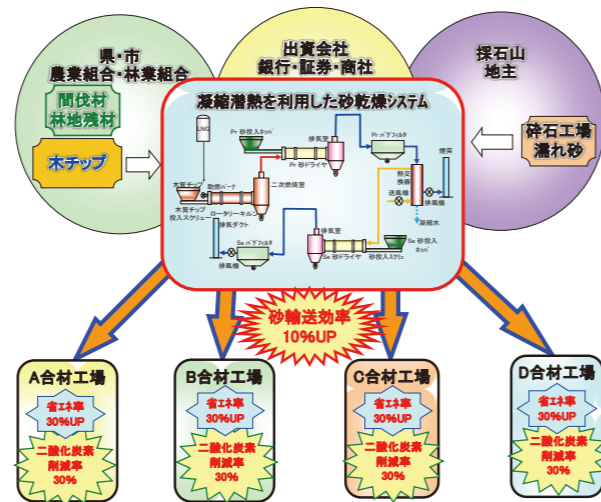


図-19 砂乾燥システムのビジネスモデル

には、ダンプの輸送時間を補完することができる場所にAPを分散立地させる必要があった。このことから、APはダンプでの輸送時間を短縮できるような進化の過程を辿ってきたとも言える。

さらに、R合材用生産設備の増設やダンプ積載時間の短縮などの要請に答える形でAPの大型化(ミキサの大型化)が進んできている。そして、このことは裏腹に、公共投資削減の煽りを受けて合材生産量が半減したことにより、APの稼働率が大きく低下し、合材の生産性や省エネルギー化の足枷となっている。具体的には、APの稼働率が低下することにより、間欠運用の頻度が増大すると共に停止インターバルが長くなり、合材生産には寄与しない設備の予熱のために多くの燃料が消費され、多くのCO<sub>2</sub>を排出するに至っている。このことから、APの集約化による稼働率の向上をはかることは、もはや限界に近づいていると言える。いわゆるAPの「稼働率向上の限界」を迎えようとしている。

以上の理由により、従来技術に立脚したAPの省エネルギー化並びにCO<sub>2</sub>削減の行き詰まり感から脱却するために、筆者らは図-18に示す「排ガス中の水蒸気潜熱を回収利用する砂乾燥システム」を考案(特許出願中)している。

図より、砂乾燥に特化したパラレルフロー方式の第一のドライヤで砂を乾燥すると共に、そこから排出する水蒸気を包含した排ガスから熱交換器を介して水蒸気の凝縮潜熱を回収し、新たな熱媒体として取り入れた外気に伝熱し温風を生成する。そして、この温風を第二のドライヤに導入して新たな砂の乾燥に有効利用している。この新たに考案した砂乾燥システムにより、熱効率は従来比で70ポイント以上増大して実に150%を超えている。

一方、当該システムの燃料として、4.1.3項で述べた固形燃料用ロータリーキルンを用いて、カーボンニュートラルである木質チップを燃焼している。さらに、助燃バーナ用の燃料としては、化石燃料の中でCO<sub>2</sub>の排出量が最も少ないLNG

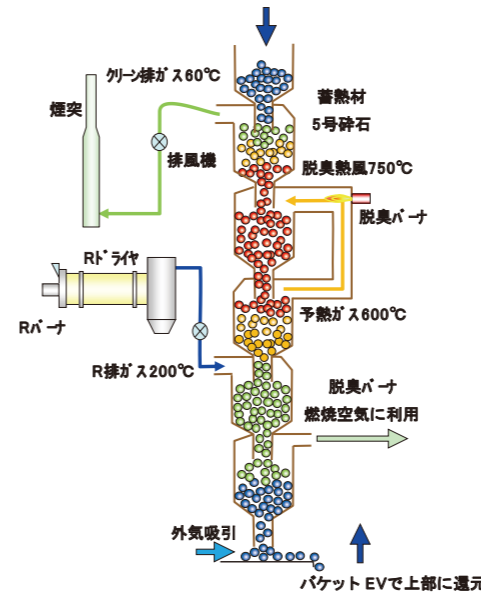


図-20 骨材を蓄熱材として利用するAP用蓄熱脱臭装置

を用いている。このことにより、従来比で80%以上のCO<sub>2</sub>削減を達成している。

図-19は、砂のサプライチェーン途上に当該砂乾燥システムを組み入れ、製造した乾燥砂を各APに供給する場合のビジネスモデルを示している。これによると、既存APの大型集約化や省エネルギー機器の導入を行うことなく、省エネルギー化とCO<sub>2</sub>の削減とを極めて合理的に推進することが可能となる。

さらに、当該砂乾燥システムでは意図して常温の乾燥砂を製造していることから、砂の放散熱によるエネルギーロスが生じなくなり、乾燥砂の長期貯蔵や長距離輸送にも適応することが可能となる。このことにより、当該砂乾燥システムの稼働率を高めるとことにより、省エネルギー化による経済合理性とCO<sub>2</sub>削減による環境適合性とを高次元でバランスさせている。

#### 4.2.5 骨材を蓄熱材として利用するアスファルトプラント用脱臭装置

APでは、臭気(悪臭)を含む排ガスの特殊性から直接燃焼式脱臭装置を採用している。そして、省エネルギー化の観点から、この脱臭炉に熱交換器を搭載して高温の脱臭処理ガスから熱エネルギーを回収し、被処理ガス及びバーナ燃焼空気の予熱に有効利用している。ただし、稼働率が低く間欠運用が多用されるAPの脱臭装置では、加熱と冷却の繰り返しによる金属疲労の影響を強く受けることから、熱交換器の定期的な入れ替えを余儀なくされている。このことから、その時の燃料価格に影響を受けるものの、その熱交換面積を小さく設定して減価償却費を下げ、その分をランニングコストである燃費に振り向けた方が合理的である。このような理

由から、AP用脱臭装置の排ガス温度が300~400℃の比較的高温の設定とならざるを得なくなり、経済合理性と環境適合性とが乖離する矛盾が生じている。

一方で、前述の通り温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の排出量を削減することが社会的使命となる今現在において、合理的に廃熱を回収してCO<sub>2</sub>の削減をはかることができる脱臭装置及び、それを構成するAP全体の最適システムの技術開発を惜しみなく進めて行くことが、AP製造メーカーに求められる所である。

蓄熱式脱臭装置(以下、RTOと記載、RTO:Regenerative Thermal Oxidizer)は、直接燃焼式脱臭装置の中でも廃熱回収能力に優れ、APへの採用事案がここ近年の内に数例報告されている。このRTOは、ハニカム構造のセラミックス製蓄熱材を熱交換器として装備しており、そのメカニズムの違いから熱交換面積を大きく採ることが可能で、従来の金属製エレメントを備える熱交換器に比べて省エネルギー化に優れることが特徴である。ただし、前述のように稼働率が極めて低く間欠運用が多用されるAPにおいては、ヒートショックによる蓄熱材の損傷を防ぐために、昇温速度に制限を設けて緩慢に予熱することが要求される。このため、予熱に時間を要し余分な燃料を消費することとなりRTO本来の高い熱交換効率の恩恵は限定的であるのが実態である。さらに、RTOは、その基本原理より、蓄熱材への蓄熱と放熱とを交互に繰り返す必要があることから、放熱ガスと受熱ガスとの入れ替え操作を行うための複雑な切換え機構を備えていることなどが課題となる。

筆者らは、AP用脱臭装置のこれらの課題に鑑み、合材の原材料となる骨材を蓄熱材として利用するAPに特化した図-20に示す蓄熱式脱臭装置を考案(特許出願中)している。

当該脱臭装置は、骨材を合材の原材料として使用する前に、脱臭装置の蓄熱材として先行利用し、一定の熟履歴を経た蓄熱材を順次入れ替えて、合材用の骨材として再利用している。このことにより、ヒートショックによる蓄熱材の劣化を回避できるだけでなく、蓄熱材の調達費用や処分費用を不要としている。

そして、骨材である蓄熱材を連続的に循環移動させることにより、放熱ガスと受熱ガスとを交互に入れ替える操作を不要とし、従来のRTOに必要であったガスを交互に入れ替えるための複雑な機構を無くしている。

さらに、蓄熱材の粒度を5~7号砕石及び砂に至る範囲で連続的に変更することにより、熱交換面積を自在に増減させると共に、蓄熱材の間隙を流れるガスの通気抵抗との最適化をはかれるようにしている。

加えて、蓄熱材の循環移動速度を自在に変更することにより、蓄熱部の熱容量(水当量)を増減することができるようにしている。このことにより、被処理ガス量の変化に応じて、

熱交換効率が最大となる被処理ガスと蓄熱材との熱容量比（水当量比）を理想の1:1で運用することを可能としている。

以上の結果、従来のAP用脱臭装置の課題であった定期的な熱交換器の入れ替えを不要とすると共に、構造が複雑なガスの切り替え機構や、高額なハニカム構造のセラミックス製蓄熱材を用いないことから、初期設備費と保守メンテ費とを低減させている。さらに、RTOの課題でもあった緩慢な予熱による余分な燃料の消費を削減すると共に、予熱時間を短縮して操作性を向上させている。加えて、被処理ガスを予熱した後の蓄熱エネルギーをバーナ燃焼空気の予熱にカスケード利用することで、最終的に大気へ放出する脱臭処理後の排ガス温度をAPの排ガス温度よりも低い80℃以下に下げることができ、このことにより熱効率が向上して、燃料消費量とCO<sub>2</sub>排出量とを大きく削減している。

このように、当該脱臭装置は、経済性と環境性とのバランスが取れた極めて合理的な脱臭システムをAPに提供することが可能となる。

#### 4.2.6 酸素富化燃焼技術

酸素富化燃焼は、燃焼空気の酸素濃度を高めて燃料を燃焼させる技術である。空気中には燃焼に必要な酸素が約21%、燃焼には寄与しない窒素が約78%含まれているが、通常の燃焼では燃焼に関与しない78%の窒素を排ガス温度まで加熱して排気しているに過ぎない。燃焼空気の酸素濃度を高めることにより、余分に加熱する窒素の割合が減少し、無駄に排気する排ガス量を低減させることができる。

さらに、加熱する窒素の割合が減少することで燃焼温度が上昇するが、この温度上昇で増加した熱エネルギーに相当する熱風量を減じることが可能となり、相乗的に排ガス量を削減することが可能となる。鉄鋼業の高炉などに既に導入されている技術である。

酸素濃度を高める手段として、PSA法（Pressure Swing Adsorption）、VSA法（Vacuum Swing Adsorption）、PVSA法（Pressure Vacuum Swing Adsorption）の3つに大別することができる。PSA法は、吸着材にゼオライトなどを用いて圧縮空気を供給して酸素と窒素の吸着圧の差を利用して酸素を分離する原理である。VSA法は、PSA法に改良を加えて脱着再生の時に真空ポンプを用いて吸引し、その分離効率を高めている。PVSA法は、両者の中間的な位置づけの装置である。この酸素富化燃焼技術をAPに適用した場合、その稼働率にもよるが燃焼空気中の酸素濃度が30%前後で経済合理性が最も高くなる

#### 4.2.7 アスファルト合材への炭素固定システム

概ね、100年程度の周期で炭素の吸収と放出とが繰り返されるバイオマス燃料は、カーボンニュートラルであると定義

される。同じ動植物由来の石炭や石油などの化石燃料は、数億年以上のカーボンサイクルとなることから、正に化石であり、カーボンニュートラルとはならない。例えば、木材を伐採して燃焼させた場合、それ相応のCO<sub>2</sub>が生成するが、木材伐採後に植樹を行いその成長過程においてCO<sub>2</sub>を吸収し固定すると見なされるのでカーボンニュートラルである。また、燃焼させなくとも木材を地中に埋めると、微生物の分解作用を受けて（腐敗して）CO<sub>2</sub>を発生することになるが、このCO<sub>2</sub>もカーボンニュートラルである。

日本最古の木造建築である法隆寺は、建立が7世紀の奈良時代であることから実に1,400年が経過している。この法隆寺に使用されている木材はCO<sub>2</sub>を放出することなく（燃焼も腐敗もすることなく）炭素をセルロースやリグニンの形で固定している。このまま、化石燃料と同等に半永久に存続することができるのであれば、大気中のCO<sub>2</sub>を減少させるカーボンネガティブ（ネガティブエミッション）であると考えられる。

木材の腐敗を防ぐ方法として炭化が古くから知られている。炭は、大気中で燃焼はするものの、微生物による分解は皆無である。したがって、炭を土中に埋設しても分解されことなく（腐敗することなく）半永久に土中に留まる。したがって、動植物由来の有機物を炭化し、土中に埋設することで半永久的に安定して土中に固定することが可能となる。石炭などの化石燃料もその生成プロセスは異なるもの数億年以上地中に眠っている。

また、化石燃料の排ガスからCO<sub>2</sub>を分離回収して地中に貯留するCCS（Carbon Dioxide Capture and Storage）、大気中のCO<sub>2</sub>を直接分離回収して地中に貯留するDAC（Direct Air Capture）、バイオマス燃料の排ガスからCO<sub>2</sub>を分離回収して地中に貯留するBECCS（Bio-energy Carbon Dioxide Capture and Storage）などの研究開発が先進諸国において積極的に進められている。特に、DACとBECCSは、使用すればするほど大気中のCO<sub>2</sub>が減少して行く理屈となる。ただし、BECCSは、濃度が8～12%と比較的高い燃焼排ガス中のCO<sub>2</sub>を回収の対象としているのに対し、DACは、濃度が420ppm（0.042%）と極めて低い大気中のCO<sub>2</sub>を回収の対象としている。このことから、現在の技術においては、エネルギー消費とそのコストが安価となるBECCSの方が優位である。

さらに、CCSやBECCSのように燃焼排ガスからCO<sub>2</sub>を分離回収し、地中深く安定した地盤に気体のCO<sub>2</sub>を高圧に圧縮して注入して貯留する手段に対して、木質バイオマスを乾溜して木ガスを取り出し、これを燃料として有効利用する傍ら、残留する常温常圧で個体のチャー（炭）を土中に埋設する方が、技術的課題やエネルギーコストの観点から、より合理的であると言える。

例えば、アスファルト合材に1%程度のチャー粉末をフィ

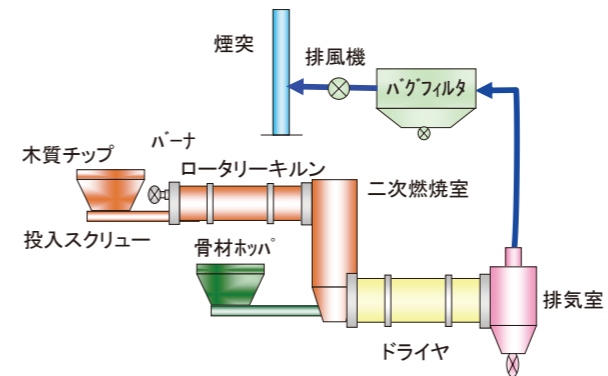


図-21 アスファルト合材への炭素固定システム概要

ラーとして配合することにより、炭素を道路に直接固定することが可能となる。因みに、1kgのチャー（炭）は、3.7kgのCO<sub>2</sub>に相当する。年間の合材生産量が4,100万トンであることから、1%のチャー粉末を添加した場合、41万トンの炭素を固定し、CO<sub>2</sub>換算で151万トンを道路に固定することが可能となる。

具体的には、図-21に示すロータリーキルン方式の木質バイオマス燃焼装置（特許出願中）を用い、ガス化した木質ガスは二次燃焼炉で完全燃焼させて骨材乾燥ドライヤーの熱源として利用する。片や、ロータリーキルンで滞留しているチャーを乾燥ドライヤーに直接投入して、それが持つ顕熱を骨材の乾燥加熱に有効に利用する。ロータリードライヤーでは、チャーは、骨材により粉砕されると共に温度低下と窒息消火により消火し、その顕熱を骨材に伝熱することが可能となる。

#### 5.おわりに

18世紀の中期にあたる1750年ごろからイギリスで始まった産業革命までは、人類はバイオマス燃料である薪などを燃料として利用していた。現在と比べれば決して生産性は高くないが、自然との調和が保たれ、必要なものを必要な時に必要な量だけ使用する生産活動を行っていた。このことにより、大気中のCO<sub>2</sub>濃度は280ppm前後でバランスしていたことが知られている。

やがて、産業革命を経て蒸気機関などが普及することにより、国内の森林資源を燃料として使い果たしてしまった人類は、これまでは採掘や燃焼が困難であった化石燃料の石炭を新たな燃料として合理的に利用する技術を開発するに至る。薪に比べてエネルギー密度が格段に高い石炭を燃料として使用することにより、産業活動が加速度的に向上して行くと共に、CO<sub>2</sub>の排出量も急激に増大して行った。また、1906年のハーバーボッシュ法によるアンモニアの工業生産の開始により、これを原料とする化学肥料の生産量が増大し食料事情が大きく改善して行く。1800年に10億人足らずであった世界人口が2000年までの200年間で8倍の80億人へと人口爆発をもたらしたことも大気中CO<sub>2</sub>濃度の増大要

因として挙げることができる。

さらに、追い打ちを掛けるようにして、1914～1918年と1939～1945年の二度に渡る世界大戦を経ることにより、より便利でエネルギー密度の高い安価な液体燃料である石油を求めて油田探索と油井開発が大手石油メジャーの手により精力的に進められた。そして、石油を原料とする石油製品や石油化学製品の開発が進み、これを湯水の如く使用して、一握りの先進国の人々が豊かな生活を求めて、大量生産、大量消費、大量廃棄の時代を容認し続けたあげくの果てに、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を420ppmまで高めてしまった。このことにより、地球温暖化に伴う異常気象、生態系への影響による種の絶滅などの弊害が起こりつつある。我々人類が、このままのペースで化石燃料の使用を続けて経済発展を続けると、今世紀末には大気中のCO<sub>2</sub>濃度が800ppmを超え、地球の平均気温が4.8℃上昇するとIPCCが警鐘を鳴らしている。さらに、石油製品であるプラスチックごみが海洋に流れ出し、マイクロプラスチックとして生態系に影響を与え国際問題にまで発展してきている。

一方、エネルギー資源を持たない我が国は、高度経済成長を経て1973年と1979年の二度に渡るオイル危機を経験している。このオイル危機が発端になり、10倍以上に跳ね上がった原油価格の影響を緩和させるべく省エネルギー化の波が一気に押し寄せてきた。特に、産業部門における省エネルギー化の躍進には目を見張るものがあり鉄鋼やガラス産業においては、エネルギー消費量を増大させることなくその生産性の拡大を達成している。国を上げてこれらの省エネルギー化に取り組んできたことにより、先進国の中で我が国はGDPに占めるエネルギー消費量が世界最小を達成している。

同様にしてAPにおいても、新たな省エネルギー技術を積極的に取り入れて経済合理性の追求とCO<sub>2</sub>排出量削減との両立に取り組んでいる。そして当社は、AP製造メーカーとして、地球環境の変化、社会の趨勢、経済動向などに敏感に反応し、タイムリーに新技術の開発を行うと共に、お客様にご提案を行える風土と文化を育てていきたいと考えている。



## 参 考 文 献

- 1) アスファルト合材協会:アスファルト合材製造数量推移(全国), [http://www.jam-a.or.jp/images/activity/act02/act02\\_suii\\_202108.pdf](http://www.jam-a.or.jp/images/activity/act02/act02_suii_202108.pdf)
- 2) 高井照治, 井手上宏:アスファルト舗装用機械の変遷・現況・課題Ⅳ アスファルトプラント, アスファルト, Vol.25, No.133, pp.18-24, 1982.
- 3) 西川辰男:アスファルトプラントにおける新しい計量システムと低公害システム, 産業機械, No.304, pp.39-41, 1976.
- 4) 西川辰男:これからの合材販売用アスファルトプラント, 産業機械, No.333, pp.29-32, 1998.
- 5) 岸田正男:ヨーロッパ輸出アスファルトプラント, 産業機械, No.385, pp.11-13, 1982.
- 6) 田島 修:最新のバッチ式アスファルトプラント, 建設機械, Vol.20, No.5, pp.24-30, 1984.
- 7) 西尾勝彦:小型アスファルトプラント ATOMシリーズ, 産業機械, No.429, pp.30-32, 1986.
- 8) 高井照治:アスファルトプラント, 産業機械, No.467, pp.49-51, 1989.
- 9) 高山 清:アスファルトプラントからの舗装の品質管理への取り組み, 舗装, Vol.28, No.7, pp.33-36, 1993.
- 10) 西川辰男, 井手上宏:アスファルトプラント専用合材サイロ, 産業機械, No.335, pp.54-56, 1978.
- 11) 井手上宏:アスファルト貯蔵供給システム, 産業機械, No.359, pp.8-10, 1980.
- 12) 井手上宏:アスファルト貯蔵供給システム, 建設機械, Vol.17, No.9, pp.47-49, 1981.
- 13) 高山 清:都市型アスファルトプラント(MEGA TOP, SUPER BOND シリーズ), 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp.226-229, 1991.
- 14) 西尾勝彦:アスファルトプラントのファクトリー化, 建設機械, Vol.29, No.10, pp.36-39, 1993.
- 15) 蓬萊秀人:アスファルトプラントの省エネルギー化, アスファルト合材, No.82, pp.6-13, 2007.
- 16) 蓬萊秀人:アスファルトプラントのCO<sub>2</sub>削減技術, 建設の施工企画, No.738, pp.18-23, 2011.
- 17) 蓬萊秀人:アスファルト混合物製造におけるCO<sub>2</sub>削減技術=ドライヤ回転数制御とEGR燃焼システムによるAPの省エネ技術の開発=, 建設機械, Vol.48, No.9, pp.54-61, 2012.
- 18) 蓬萊秀人:アスファルトプラントにおける二酸化炭素排出量削減技術, 日本アスファルト合材協会設立30周年記念応募論文集, pp.188-193, 2015.5.
- 19) 井手上宏:ドラムミキシングプラント リサイクル兼用型 DM-100, 産業機械, No.347, pp.48-50, 1979.
- 20) 井手上宏:ドラムミキシングプラントの概要, 建設機械, Vol.17, No.4, pp.83-87, 1981.
- 21) 井手上宏:建設機械の多用途化と専用化リサイクルユニット, 建設機械, Vol.18, No.8, pp.140-144, 1982.
- 22) 井手上宏:建設機械の技術動向Ⅱ アスファルトプラント, 建設機械, Vol.25, No.9, pp.100-103, 1989.
- 23) 蓬萊秀人:再生アスファルトプラントにおける触媒を用いた排ガス脱臭の基礎研究, 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp.74-79, 1993.
- 24) 蓬萊秀人:舗装廃材リサイクルプラントの計画と設計, 建設機械, Vol.34, No.7, pp.6-9, 1998.
- 25) 蓬萊秀人, 藤原和也, 川村克裕:アスファルトプラント“RAVコンビネーションシステム”の開発, 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp.192-197, 1998.
- 26) 岡本紀海夫, 吉野健治, 西尾勝彦:アスファルトプラント, 建設の機械化, No.595, pp.16-22, 1999.
- 27) 守安弘周, 傳田喜八郎, 蓬萊秀人:バイオマス燃料による低炭素アスファルト混合物の製造, 建設の施工企画, No.732, pp.24-28, 2011.
- 28) 傳田喜八郎, 今田雄司:アスファルトプラント用ガス・バイオマス燃料混焼バーナの開発, 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp.195-196, 2015.
- 29) 蓬萊秀人, 相田 尚:アスファルトプラントに適応させた固形燃料燃焼システムと将来展望, 日本アスファルト合材協会設立30周年記念応募論文集, pp.159-164, 2015.5.
- 30) 榊 真司, 相田 尚:固形燃料併用形アスファルトプラント合材製造技術の開発 アスファルト合材工場とSFCシステムの併用化, 日本建設機械施工協会誌, Vol.66, No.2, pp.50-55, 2014.
- 31) 榊 真司, 吉野健治, 相田 尚:アスファルトプラントにおける固形燃料燃焼システムの開発, 日本建設機械施工協会誌, Vol.66, No.3, pp.84-89, 2014.
- 32) 蓬萊秀人, 大隈 修, 林 順一:自立燃焼型炭化炉とアスファルトプラント用微粉炭バーナによる難利用バイオマスの有効利用, 第26回日本エネルギー学会大会講演要旨集, pp.84-85, 2017.
- 33) 和田大祐, 飯塚晃一郎, 前田倫子, 吉本友憲:高効率蒸気供給システム「スチームグロウヒートポンプ(SGH)」, 神戸製鋼技報, Vol.63, No.2, pp.51-55, 2013.

## Transition and Prospects of Carbon Dioxide Emission Reduction Technology in Asphalt Plant

Hideto HORAI<sup>1</sup><sup>1</sup> Nikko Co. Ltd. Engineering Division

## Abstract

The increase in carbon dioxide concentration in the atmosphere causes global warming, and natural disasters such as large-scale droughts, forest fires, heavy rains, heavy snowfalls, and large typhoons that have never been experienced occur frequently, etc. Furthermore, the extinction of various organisms that cannot adapt to the rapid changes in the global environment is accelerating. And these global harmful effects are urgent and important issues that should be solved by the generations living in the present rather than carrying them over to the next generation. On the other hand, asphalt plants that produce asphalt mixtures, which are road pavement materials, consume a large amount of fossil fuels and emit a large amount of carbon dioxide among civil engineering and construction machinery. In order to reduce the carbon dioxide emitted by asphalt plants, technological developments related to energy saving and carbon-neutral alternative fuels have been vigorously carried out. This paper gives a bird's-eye view of the past and present and looks into the future of our asphalt plant's carbon dioxide emission reduction technology and energy-saving technology.

Key words: Asphalt plant, Carbon dioxide, Energy saving, Carbon neutral, Combustion technology

## 筆者紹介



HORAI Hideto

蓬萊 秀人  
博士(工学)1986年入社  
技術本部

# 運搬中のアスファルト混合物の温度特性の考察

田村 彰啓

日工株式会社 開発部3課

**要旨:**アスファルト混合物(以下、合材)の生産量の減少に伴い、生産性を改善するために全国に点在しているアスファルトプラント(以下、AP)の統廃合が進むことが予想される。そのため、一定品質の合材を所定時間内に輸送することが困難となるエリアが拡大して行くおそれがある。合材の品質は温度に大きく依存することから、温度管理技術が配送圏拡大に向けての重要な要素技術となり得る。そこで、合材を保温することができるコンテナで輸送や貯蔵ができるシステムを開発することで、出荷量の平準化、輸送手段の多様化の実現につながるものと考えられる。

本報告では、同システムを検討するための基礎データを得るために、ダンプトラック(以下、ダンプ)で輸送した場合の合材の温度特性を評価している。

## 1. はじめに

国際社会は、2050年の温室効果ガス排出量実質ゼロに向けて走り出した。同様にして、道路業界においても温室効果ガス排出量実質ゼロに向けた取り組みに注力しており、APの運営方法の見直しや合材生産性の改善なども求められる。とりわけ、合材工場を起点として、施工性を低下させない品質の合材をダンプ輸送するには時間的な制限があるため、APはこのことを補う形で全国に分散するようにして建設されてきた。ところが、**図-1**に示す2000年から2020年までのアスファルト合材統計年報によると、公共投資の抑制の影響を受けて合材製造数量が年々減少しているのが分かる。2000年から7,000万tあった合材製造数量が、2020年には4,100万tへと4割以上減少しており、その製造数量に比例するようにしてAPの数も1,500基から1,100基へと減少を辿っている。さらに、道路業界では、工場の働き手の高齢化と若年層の減少やドライバー不足などにより合材工場の運営に問題を来し、取り巻く環境は日々厳しくなっている。今後、こういった問題に直面することで、経営の合理化のためAPの統廃合が進んでいくものと予測される。このことにより、合材を供給できない遠隔エリアが拡大して行くことが懸念され、合材の輸送距離を延ばすための技術開発が鋭意進められている<sup>(1)</sup>。

一般的に合材を長時間輸送するための技術として、合材温度が低下しても一定の品質を担保する技術と、合材温度を下がり難くする技術とに大別することができる。前者は、合材の流動性を司るバインダーであるアスファルトの温度特性を改善して中温化合材とする技術であり、アスファルトに少量

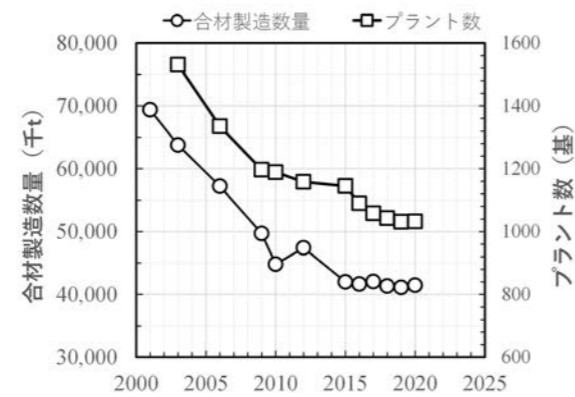


図-1 合材製造数量とプラント数の推移  
(出典:アスファルト合材統計年報より編集)

の水を添加して発泡させ流動性を増大させるフォームドアスファルトや特殊薬剤をアスファルトに添加して流動性を改善させる技術などが実用化されつつある。後者は、ダンプで用いられる保温シートなどが代表的であるが、さらに、ダンプに加熱ヒーターを組み込む技術や、別仕立ての加熱保温容器などを用いて輸送中の合材温度の低下を防ぐ技術などが考えられる。我々APメーカーは、合材の品質が温度に大きく依存することに着目し、合材の温度管理技術が配送圏拡大に向けての重要な要素技術となり得ると位置づけ、合材を保温・貯蔵できるコンテナを開発することが解決の手段の一つであると考えている。

上記のように、合材の長時間輸送に向けた取り組みを検討するうえで、合材輸送に係る既往の文献を調査したところ、1980年台から現在に至るまでに多くの研究報告が挙げられている<sup>(2-10)</sup>。そのなかでも、輸送中の合材温度低下に係

る報告は、合材表面の温度低下に着眼点において温度計測が行われ、舗装現場での締固め温度と締固め度との関係から、合材温度の低下による締固め不足を指摘している<sup>(11)</sup>。将来、舗装現場へ長距離輸送により合材が供給される場合には、合材温度の管理技術がますます重要になってくることが予想される。そこで、輸送時間が長くなることで、合材の表面温度の低下は避けられないが、実際の施工現場においては、アスファルトフィニッシャーのスクリュードにより合材が攪拌され均熱化がはかられている。このことに着目し、合材の表面温度ではなく、より実際の合材の平均温度を指標とする輸送中の合材温度の管理手法を確立させることを目論んでいる。

本稿では、実際に均熱化された合材温度を推定する手法を確立させるために、ダンプ輸送中の合材にフォーカスし、積載した合材の各断面における温度分布とその挙動を明らかにして、合材を保温・貯蔵することが可能なコンテナを開発する上で必要となる基礎データを得たので報告する。

## 2. テスト概要

テストは、合材の温度低下が著しい冬期に、ダンプに8トンの合材を積載して走行する場合(以下、「走行」)と交通環境やフィニッシャーへの積み替え時の待機などを想定した走行しない場合(以下、「未走行」)の2通りで実施した。**表-1**にテスト条件を示す。前者の「走行」では、温度低下の挙動変化を大きく捉えるために、最も厳しい条件であると考えられる**図-2**に示す自動車専用道を含む直線距離で20 kmの一般国道を2周する走行ルートを設定すると共に、合材に保温シートを掛けず走行した。その際に走行速度、距離と時間を記録した。温度測定は、シース熱電対(K型)を用いて、合材(再生密粒13)内部、荷台の鋼板表面の温度と外気温をリアルタイムに測定しデータロガーで記録した。**写真-1**にテスト風景を示す。

表-1 テスト条件

|              | 「未走行」             | 「走行」        |
|--------------|-------------------|-------------|
| 実施日          | 21/1/20           | 21/1/22     |
| 天候           | 晴                 | 曇・時々雨       |
| 場所           | 兵庫県内              |             |
| 合材           | 再生密粒アスファルト混合物(13) |             |
| 合材量          | 8 t               |             |
| 出荷時間         | 10:40             | 10:15       |
| 測定時間         | 11:20~15:48       | 11:05~15:20 |
| 平均気温(°C)     | 6.9               | 10.3        |
| 出荷温度(°C)     | 175               | 177         |
| 走行平均速度(km/h) | 0                 | 45.6        |
| ダンプトラック      | 10t(保温シート無)       |             |



図-2 走行ルート



写真-1 テスト風景

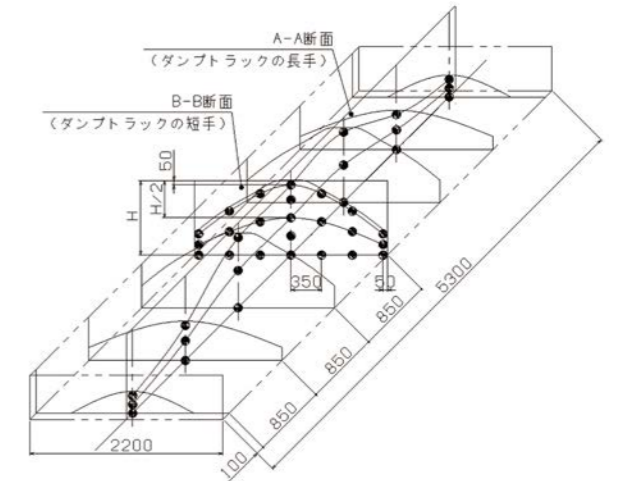


図-3 代表的な合材温度測定点

ダンプ荷台底の鋼板表面の温度測定は、ダンプアップによる合材排出時の熱電対の破損を考慮して、**写真-2**のように熱伝導が良い鋼板製カバーを取り付けた。ダンプに積載した合材の内部温度の測定は、**図-3**で示すように同ダンプ荷台上の合材を長手方向のA-A断面1ヶ所と、短手方向のB-B断面を850mmピッチで7ヶ所に分けて、各断面形状を記録し、**図**の黒丸が示す所定の位置に**写真-3**に示す熱電対を挿入した。具体的には、合材と外気空気層の境界から合材内部へ50mmの位置、ダンプ荷台側面アオリとの境界から同じく合材内部へ50mmの位置、ダンプ荷台前後のアオリ境界からは100mmの位置に各々の熱電対をセットし測定を行った。加えて、車体へ伝わる振動や走行風の影響により熱電対がズレないように治具を取り付けて固定した。また、温度測定準備に1 h程度を要するため、「走行」と「未走行」の温度測定を開始するまでの外乱要因を排除するために、合材の積載が完了してから1 h後に測定を開始(積載時間の起点(0 min)と)した。



写真-2 荷台底のカバー



写真-3 熱電対

3. 温度特性評価

ワーカビリティやコンシステンシーなどの舗装施工時に要求される合材の品質が温度に大きく依存することはすでに述べているが、その合材の温度特性に関しては、**図-3**に示すA-A断面およびB-B断面の温度分布を測定し、それから導かれる合材の平均温度により評価している。

3.1 温度分布の評価方法

ダンプに積載した合材内部の温度分布に関する具体的な評価手順を、「走行」の実施例を用いて説明する。まず、任意の時間での**図-4**に示す合材のA-A断面と**図-5**に示す合材のB-B断面における各測定点の「温度」と基準となる境界層からの「距離」との関係を表す近似曲線(関数)を導き出している。そして、この近似曲線は、**図-4**と**図-5**示す通り、合材の各断面において、「①表層部の近似曲線」、「②内部の近似曲線」、「③荷台底の近似曲線」、「④中央部の深さ方向の近似曲線」の4種類を各々求めている。さらに、これら4種類の近似曲線をベースにして、**図-6**に示す算出フ

ローに基づいて、不足する温度の測定データを補間して合材の平均温度を求めている。なお、**図-4**、**図-5**に示す外気と合材との境界層となる黒色に着色されている部分は、今回の温度評価から除外している。この理由として、「走行」と「未走行」の両者ともに、ダンプに積載した合材表面には空気による境膜が形成され、これが一種の断熱材として合材表面温度に影響を及ぼすので、合材の表面温度を外気温度とみなすことが極めて難しく、**図**に示す黒色に着色されている部分を除外する以外、適当な評価方法を見出すことができなかったためである。つぎに、合材とダンプ荷台のアオリとの接触部は、合材のダンプへの積載状況(荷姿)により、温度が大きく変化することが予想された。このことから、アオリとの接触による温度変化の影響が少ないと考えられる境界部から50mmより内側の合材内部を測定している。以上のことより、温度分布を求めたあとに算出する合材平均温度は、温度低下が顕著となる黒色の部分が含まれないため、実際の平均温度は更にさがることが予想される。

3.2 シミュレーションの基本式

ダンプに積載した合材内部の温度分布をシミュレーションするにあたり、実際に計測した温度データが少ないほど、さらには、シミュレーションのアルゴリズム(基本式)が不適切な場合には温度分布の精度が低下してくる。そのため、シミュレーションに適用させる基本式について検討した。その結果、合材の温度低下は高温側の合材の熱量が低温側へ熱伝導することによって進行し、その速度は温度差に比例すると言う摂理から、フーリエの法則に基づく熱伝導方程式を(式-1)を導入し、合材内部の温度挙動をシミュレーションすることとした。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \times \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \dots (1) \quad (\alpha = \frac{\lambda}{C \cdot \rho})$$

T:温度(℃)、Z:合材表面からの深さ(m)、α:温度拡散率(m<sup>2</sup>/s)、λ:熱伝導率(W/(m・K))、C:比熱(J/(kg・K))、ρ:密度(kg/m<sup>3</sup>)

ここで、式-1は2階の偏微分方程式で表されており、この式を任意で与えたΔZだけ離れた点において格子点をおき、離散化させ、有限差分法の陰解法を用いた差分方程式を解くと式-2に示す1次元非定常熱伝導方程式が導出される。

$$T_i^{k+1} = 1 / (1 + 2C_z) \times \{ C_z \times (T_{i+1}^k + T_{i-1}^k) \} + T_i^k \dots (2)$$

$$(C_z = \alpha \times \Delta t / \Delta Z^2)$$

Δt:時間ステップ(s)、ΔZ:空間ステップ(m)  
i:合材表面からの深さの点、k:時間

これを用いて、合材内部の温度シミュレーションを実施するが、実際の合材は、立体的なものであり、3次元で評価することが望まれるが、今回は考え方を簡素化するため1次元非定常熱伝導方程式により考える。

表-2 仮定した合材のパラメータ

|        |                |                   |                         |
|--------|----------------|-------------------|-------------------------|
| 初期合材温度 | T <sub>0</sub> | ℃                 | 173                     |
| 時間ステップ | Δt             | s                 | 0.5                     |
| 空間ステップ | ΔZ             | m                 | 0.025                   |
| 熱伝導率   | λ              | W/(m・K)           | 2.34                    |
| 密度     | ρ              | kg/m <sup>3</sup> | 1800                    |
| 比熱     | C              | J/(kg・K)          | 1280                    |
| 温度拡散率  | α              | m <sup>2</sup> /s | 1.02 × 10 <sup>-6</sup> |

本シミュレーションで使用したパラメータを表-2に示す<sup>(12)</sup>。シミュレーションで検証した区間は、**図-7**で示すA-A断面とB-B断面の中央となる部分を取り上げ、図のように赤枠で

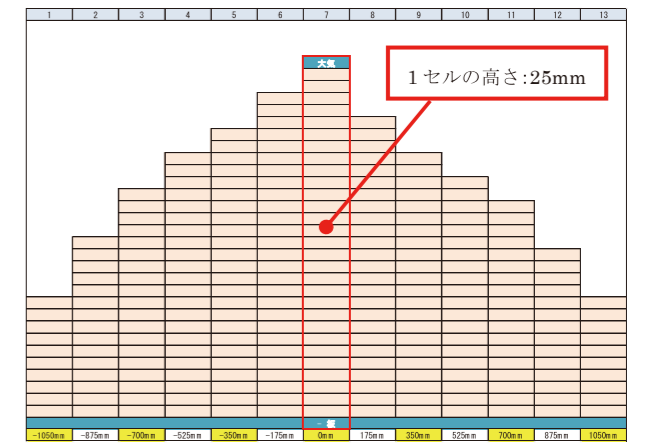


図-7 シミュレーションに用いた区間

囲う合材表面からの深さ方向の区間とした。本シミュレーションの境界における温度条件を、表層側は外気温度とし、荷台底側は鋼板の温度とした。この境界条件として使用した温度は、合材の積載開始直後から計測終了までの実測値とした。実測値と式(2)によるシミュレーションの結果を**図-8**に示す。図より、実線は実測値、破線はシミュレーション結果を表しており、凡例の数値は表面からの深さを示している。グラフを見て取ると、実測値とシミュレーションは大きく異なる温度挙動になることがわかり、温度挙動はシミュレーションの方が速く温度低下する傾向にあった。この原因としては、シミュレーションで仮定した合材パラメータがテストで用いた合材と異なること、シミュレーションを1次元モデルで実施していることや境界部の厳密な条件設定ができなかったことなどが考えられる。実際に、熱の伝わりやすさを表す熱伝導率の値をλ:2.34 W/(m・K)からλ:0.9 W/(m・K)に再定義させることで、温度の伝わりやすさを表す温度拡散率αが小さくなり、**図-9**のように実測値とシミュレーションの温度差は縮まり、各点概ね近い温度挙動となることがわかった。しかしながら、表面から550mmの点の温度挙動に着目するとシミュレーションの結果と10℃程度の差異が見られた。この原因としては、今回、荷台底の温度測定は鋼板製カバーで熱電対を保護しているため、カバーへ熱伝導した熱により温められた空気層の温度が外乱要因として働き、計測した温度は実際よりも高い値を示していたものと考えられる。よって、合材内部の温度低下は温度差に大きく依存するところから、今回のような10℃程度の差異になったものと考えられた。このように、合材の物性値は違うものの、合材内部の熱移動は概ねフーリエの法則で表されることがわかった。

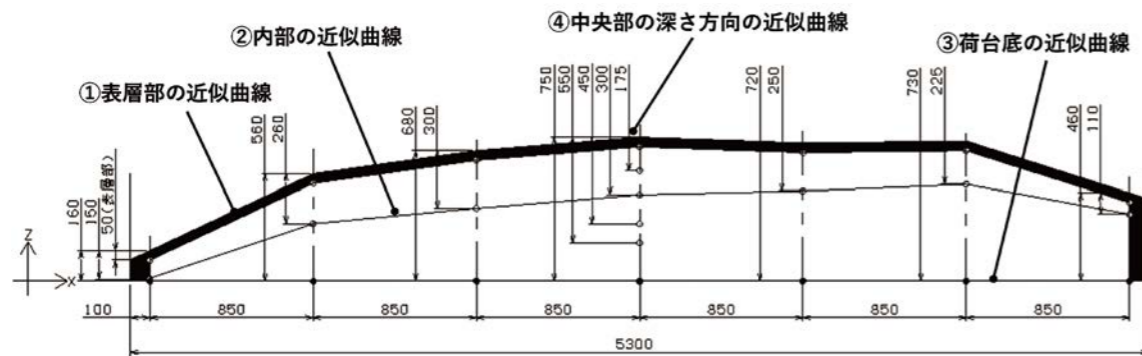


図-4 「走行」A-A断面

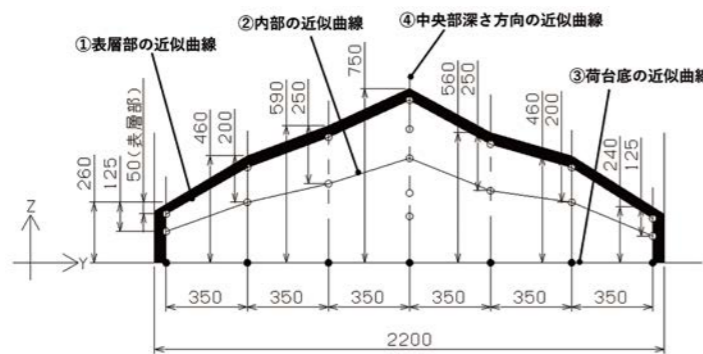


図-5 「走行」B-B断面



|       |        |        |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A-A断面 | T=F(X) | T=F(X) | T=F(X) | T=F(Z) | T=F(Z) |
| B-B断面 | T=F(Y) | T=F(Y) | T=F(Y) | T=F(Z) | T=F(Z) |

図-6 算出フロー

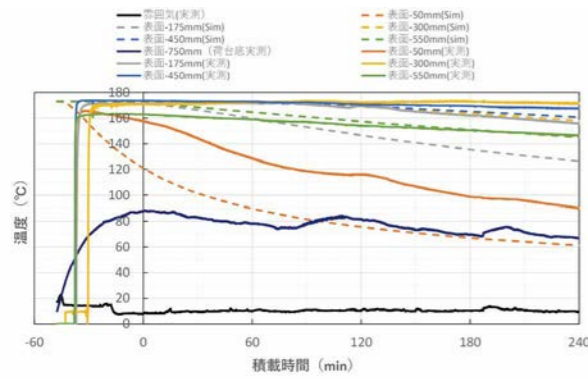


図-8 実測値とシミュレーションの温度挙動

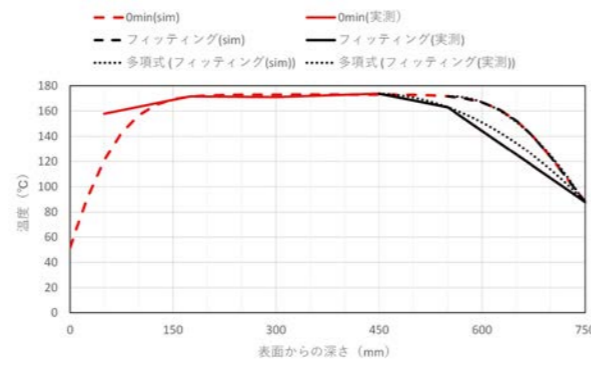


図-10 温度と深さの関係(0 min)

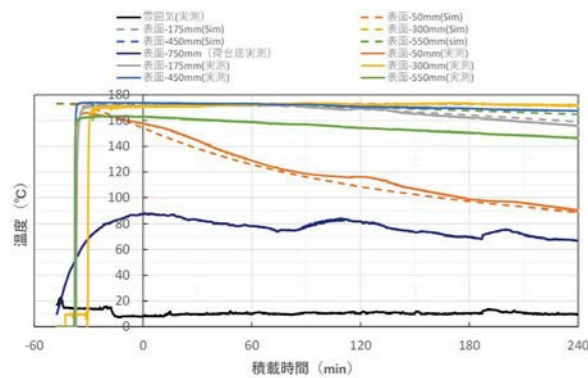


図-9 実測値とシミュレーション (λ=0.9)の温度挙動

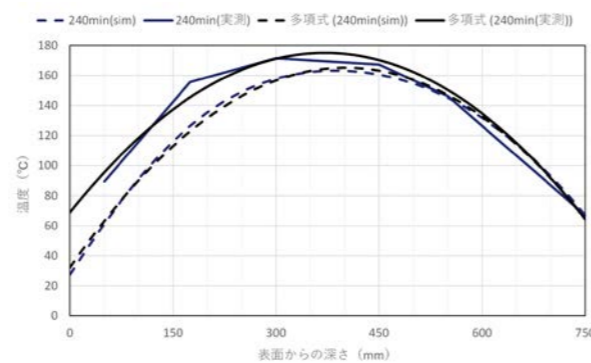


図-11 温度と深さの関係(240 min)

3.3 シミュレーションへの適用式

ここまでで、合材内部の温度挙動を把握するために、1次元非定常方程式を用いて熱の伝わり方をシミュレーションしてきた。その結果、外乱の要因などがあるものの、概ね各点においてシミュレーション結果が成り立つことがわかった。つづけて、温度分布の作成に必要な、不足する点の補間方法について思案した。はじめに、図-8のデータを抜粋し、図-10、図-11に任意の時間の温度と深さ方向の関係を表すグラフを作成した。図の実線は実測値を表しており、破線は式-2により求めたシミュレーションの値を示している。両者の図が示すように、温度低下は低温側と高温側の温度差が大きいほど顕著に進行し、温度勾配は急激になる。一方で、温度差が小さければ温度勾配は緩慢となる。とりわけ、シミュレーションの1次元熱伝導方程式は、温度が格子点の間隔の2乗に比例することと、温度の伝わりやすさを表す温度拡散率 $a(m^2/s)$ が長さの次元の2乗に比例することから、図-10と図-11のシミュレーションの曲線部に関しては2次関数でフィッティングできるかを確認した。その結果、温度低下が始まる曲線部からフィッティングさせると、概ね2次関数で表現できることがわかった。このことから、実測値の点においても、今回は2次関数を用いて表すこととした。

3.4 温度分布の作成

温度分布は、「3.1温度分布の評価方法」と「3.3シミュレーションへの適用式」で上述した方法により、実測していない不足の点において補間した温度を用いながら作成した。具体的には、図-12を用いて説明すると、①②③において実測した温度データを距離Yの関数で表し、不足する点の温度を補間した。②の合材内部の温度点は、合材表面と荷台底の中心になるように熱電対を挿入しているため、この点が深さ方向の温度分布作成において、もっとも保温される点と予測される。そのため、この点を極大値にとり2次関数として深さ方向の温度分布を推測した。そして、温度分布は、積載した合材の断面を25×175mmでメッシュ切りし、そのセルを点として扱い、断面全体を推測した。以上の流れにより、断面の温度分布のシミュレーションを行い、「走行」と「未走行」の合材温度特性の相対比較を行った。ただし、本手法は、各位置において深さ方向の中心となるように熱電対を挿入し、この点がかもとも保温されている温度と定義しているため、挿入した位置がズレた場合などに推測する温度の信頼性が劣るのが課題となる。

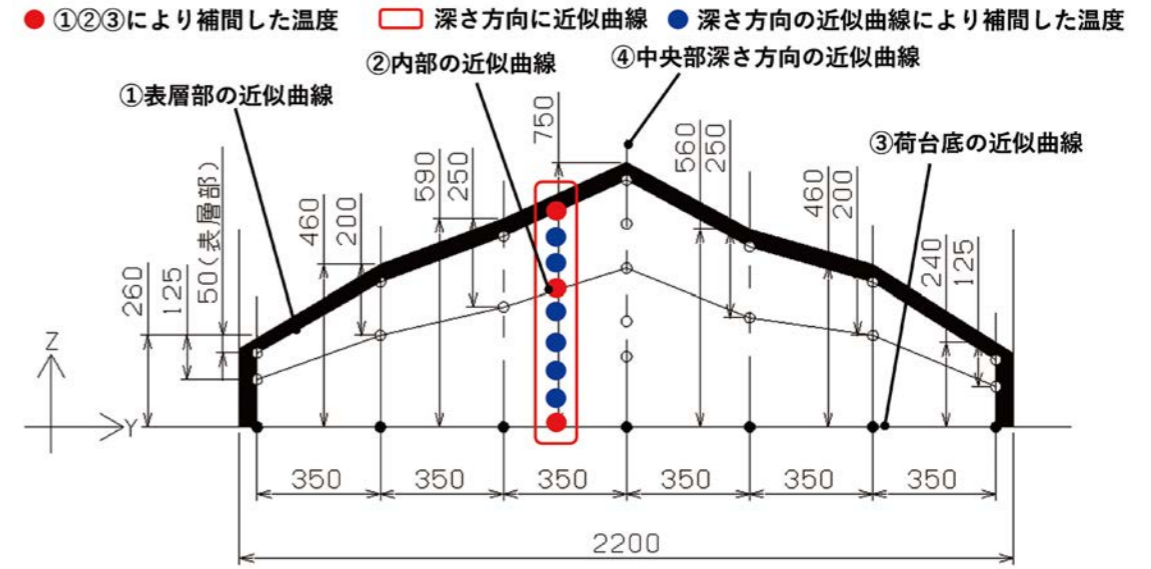


図-12 温度分布作成イメージ

3.5 平均温度の評価手法

合材平均温度は、式(3)により求めた。具体的には、前項で上述したメッシュに温度を当てはめて各断面における平均温度を算出した。さらに、2断面の平均温度の算術平均を求めて合材平均温度とした。なお、合材平均温度は断面内にある温度分布のプロットが多いほど、細かな特性を評価できるが、今回は算出時間の兼ね合いのため、できる限りの細かなメッシュ切りを施した。

$$T_{ave} = \frac{(\sum_{i=1}^N T_i + \sum_{j=1}^P T_j)}{2} \dots (3)$$

$T_{ave}$  : 合材平均温度 (°C)

$T_i$  : A-A断面の*i*番目のメッシュ温度、  
 $N$  : A-A断面のメッシュ数、

$T_j$  : B-B断面の*j*番目のメッシュ温度、  
 $P$  : B-B断面のメッシュ数

4. 試験結果と考察

図-13は、ダンプに合材を積載してからの経過時間と上述の手順で求めた合材平均温度との関係を示している。また、走行は、積載時間0 minより移動を始め、「未走行」は退避所での待機を継続した。図より、積載時間0 minの合材平均温度に着目すると、「走行」、「未走行」ともにダンプに積載してからの合材平均温度が約180°Cから155°Cに急激に低下していることがわかる。これは、10°Cの外気温度と等しい鋼板製のダンプ荷台に合材から熱が移動したことによる温度低下であると考えられる。さらに、本テストでは、合材積載完了から出発(0 min)までの測定準備に1 h程度を用しており、このことも合材平均温度低下の要因の一つであると考えられる。

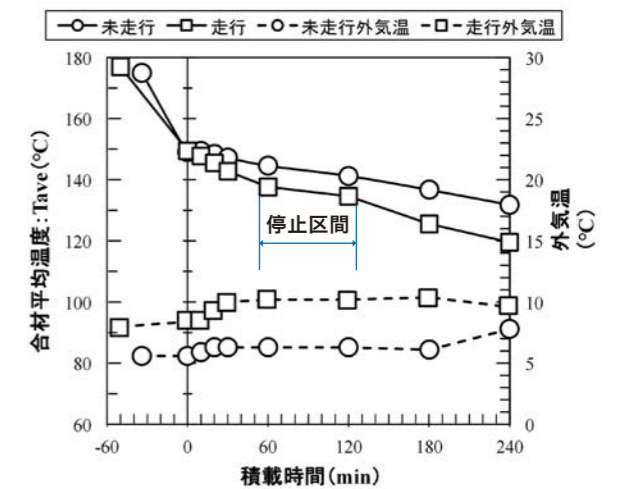


図-13 合材平均温度と積載時間の関係

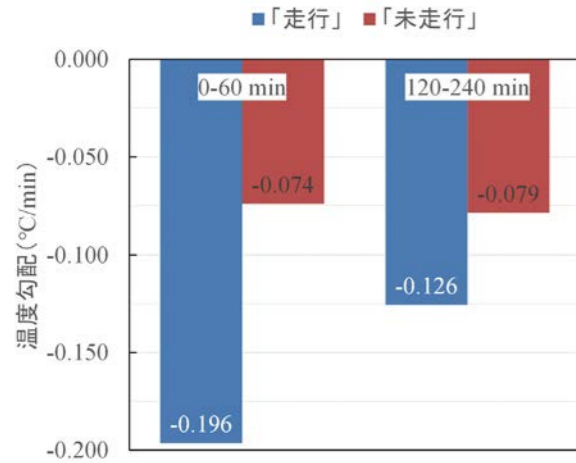


図-14 「走行」「未走行」の温度勾配

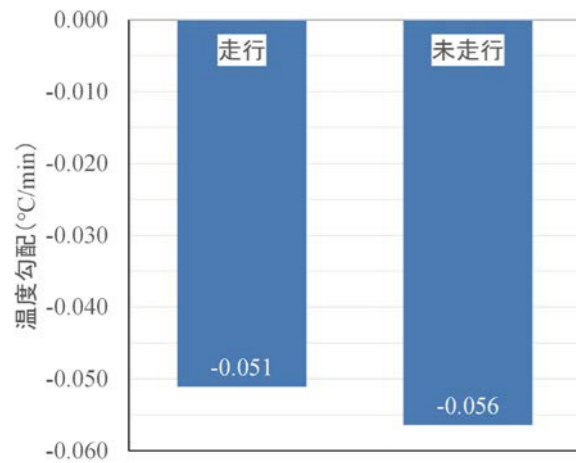


図-15 停止区間の温度勾配

図-14は、積載時間0-60 minと120-240 minにおける「走行」と「未走行」の温度勾配(温度の時間に対する変化率)を示している。図より、走行風の影響により、積載時間0-60 minの区間で「走行」の温度低下が「未走行」の約2.6倍速く進むことがわかる。同様にして、積載時間120-240 minの区間では約1.6倍速くなっている。このことは、合材の積載時間が経過することで、合材温度が低下して外気との温度差が小さくなったことにより、フーリエの法則が示す通り温度勾配が緩慢になっているものと考えられる。図-15は、図-13に示す停止区間(積載時間60-120 minの区間)の温度勾配を「走行」と「未走行」とで比較している。テスト当日の外気温は、図-13から明らかな通り「走行」の方が高く、しかも、積載時間0-60 minの区間で「走行」の合材温度が「未走行」よりも早く低下していることにより、停止区間における外気との温度差が「未走行」よりも小さくなっている。このことから、図-15に示す「走行」の温度勾配の値が「未走行」よりも小さくなったものと考えられる。また、「走行」テストにおいて、停止区間の温度勾配を走行時の温度勾配に補

正し、かつ、合材積載完了時から出発した場合の温度挙動の予測を図-16の緑色の曲線で示している。走行時間と合材平均温度との関数を作成し、切片を類推すると、積載完了時の温度は162℃となった。このことから、出発までの合材温度の急激な低下は、ダンプ荷台に合材から熱移動した要因が大半を占めているものと考えられる。

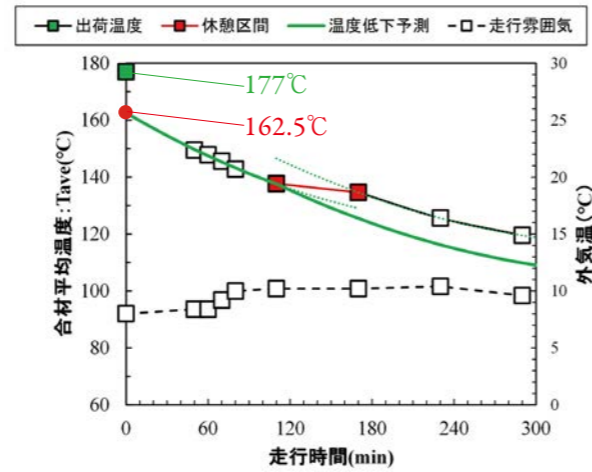


図-16 補正した「走行」の温度低下予測

つぎに、表-3は「3. 温度特性評価」で定義した手法を用いて算出した合材平均温度を示している。表中のTaとTbは図-4で記述したA-A断面の平均温度とB-B断面の平均温度とした。図-17、図-18、図-19、図-20は、合材A-A断面とB-B断面における温度分布を3色のカラースケールで示している。具体的には、図-17の右図の右肩に示す温度インデックスの通り、赤色の180℃から白色の150℃までの温度帯を現場の受け入れ目安の合材温度として表している。これらの図により、合材表面からの放散熱よりも、荷台部からの放散熱の影響が大きいことがわかる。

つづいて、表-3の0 minにおいて「走行」と「未走行」の合材平均温度に着目すると、算出した両者の温度は同等度であるが、図-17と図-18で温度分布に違いが見られた。図-18のA-A断面の走行前方側とB-B断面の両端は、どちらも荷台の鋼板と合材が接触するため、冷え方の違いが見取れる。この要因としては、「走行」テスト当日の朝の天候が雨天になったため、屋根のある退避所で、配車したダンプの荷台をヘアードライヤーで乾燥させた。合材積載を除く出発までの所定の作業はすべて屋根のある退避所で行っている。時間の都合上、写真-4に示すような状況で荷台が濡れていたが、止むを得ず水分が残存していた状態で合材を積載している。ただ、合材の出荷温度と当日の外気温との差は「未走行」の条件より温度低下に対しては緩慢とな

表-3 算出した合材平均温度 (°C)

|         | 「走行」  |       |       | 「未走行」 |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | Tave  | Ta    | Tb    | Tave  | Ta    | Tb    |
| 0 min   | 149.5 | 151.3 | 147.6 | 149.0 | 150.7 | 147.5 |
| 240 min | 119.5 | 117.7 | 121.3 | 131.8 | 131.6 | 132.0 |

る要因である。しかしながら、走行の有無に影響が無い積載時間0 minにおいて図-17と図-18の温度分布の違いが生じているのは、「走行」の荷台が濡れていたことが最大の要因であり、水の気化潜熱により合材から熱が奪われたものと考えられる。さらに、写真-4と図-17の荷台底部に着目すると、荷台前半部の濡れ方が著しいことと温度分布が低くなっていることの裏付けとなっている。このことから、表-3に示す「走行」と「未走行」の0 minにおける合材の平均温度の値に大きな差が生じなかったことが、「3. 温度特性評価」で定義した手法の今後の課題として残る結果となっている。



写真-4 「走行」合材積載前

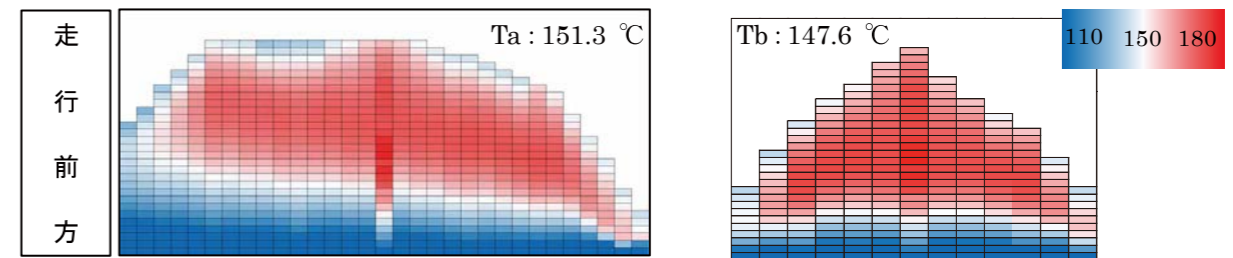


図-17 「走行」(0 min)の合材温度分布イメージ(左:A-A断面、右:B-B断面)

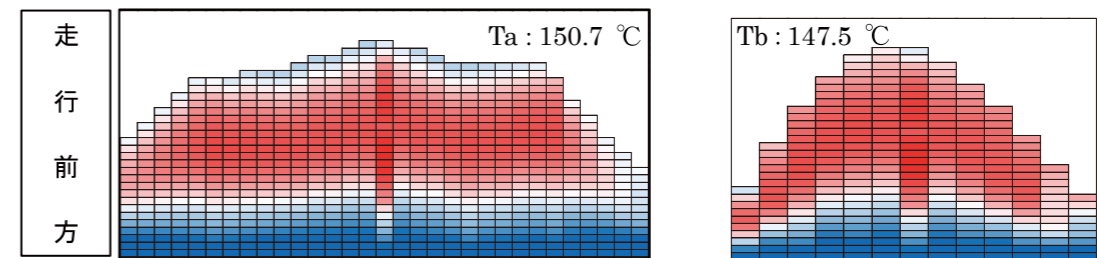


図-18 「未走行」(0 min)の合材温度分布イメージ(左:A-A断面、右:B-B断面)

一方、表-3より、積載時間0 minから240 minまでの合材平均温度の低下は、「未走行」の場合は約20℃、「走行」の場合は、「未走行」よりも外気温が高く合材との温度差が小さくなるにも拘わらず約30℃の温度低下となっている。このことは、前節で考察しているように、合材平均温度推定手法に課題が残るものの、荷台が雨水で濡れていたことが合材温度の低下に影響が及ばない積載合材頂上部と空気層との境界において、積載時間240 minの図-19と図-20を比較する限り「走行」が「未走行」より合材の温度低下が著しいことが明らかである。

また、「走行」と「未走行」の0 minと240 minの各断面を比較すると、特に荷台底の白色の温度帯の変化が緩慢になっていることがわかる。これは、表-2で示した合材の温度拡散率aの値に大きく依存しており、この値が小さいほど熱を伝えがたいことを意味する。例えば、合材の温度拡散率aは、 $1.02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ であるのに対して、一般的に断熱材として使用されるロックウール(80 kg/m<sup>3</sup>)の温度拡散率aは、 $7.26 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ である。この値から明らかなように、合材の温度拡散率aは、ロックウールの1.4倍程度と断熱材を変わらない値を示している。ちなみに、ダンプの荷台の素材である

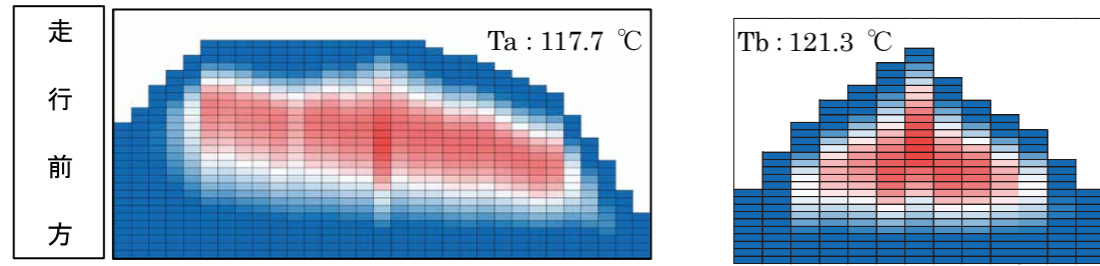


図-19 「走行」(240 min)の合材温度分布イメージ(左:A-A断面、右:B-B断面)

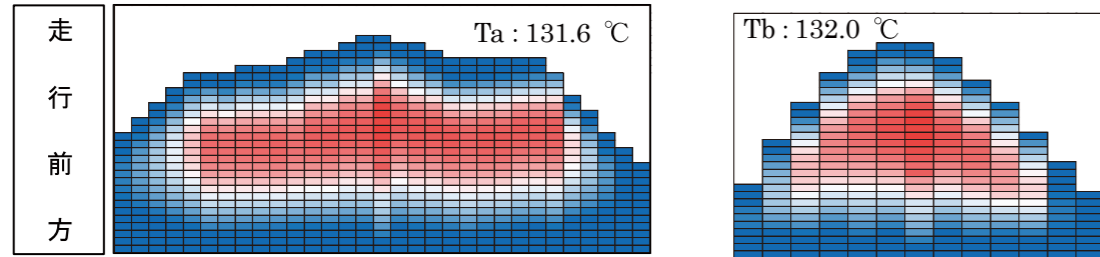


図-20 「未走行」(240 min)の合材温度分布イメージ(左:A-A断面、右:B-B断面)

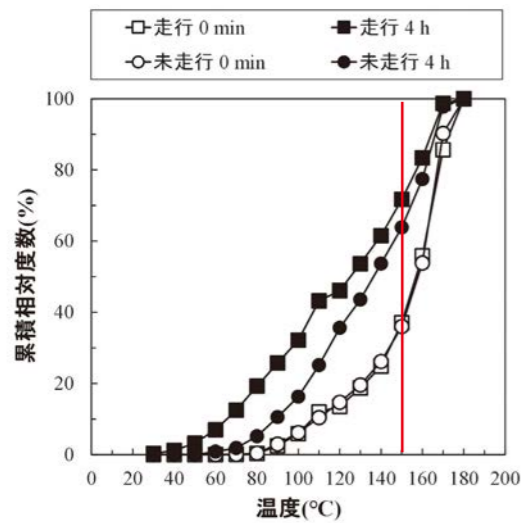


図-21 「走行」と「未走行」の断面に分布している温度の累積相対度数

鉄の温度拡散率 $\alpha$ は $1.46 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ であり、ロックウールの20倍、合材の14倍となる。このことから、温度低下した周囲の合材が断熱材としての役割を果たすことにより、中心部の合材の温度低下が抑制されているものと考えられる。

つぎに、図-21は、合材A-A断面とB-B断面から抽出した合材温度の累積相対度数を示している。図より、一般的な舗装現場で合材の受け入れの目安温度とされている150℃を下回る合材は、合材出荷時の温度180℃を100%とした累積相対度数(%)を用いて表すと、積載時間0 minで「走行」と「未走行」の両者とも約35%、積載時間240 minでは「走行」が約70%、「未走行」が約65%分布することが予測できる。現実的には、ダンプ直載合材の部位によって図-

21に示すような合材温度の偏りがあったとしても、フィニッシャーのスクレードにより攪拌混合作用を受けて均熱化し、表-3に示す平均合材温度に近づくと考えられる。ただし、平均合材温度の推定手法に関しては再考の必要がある。

以上のことから、合材の長距離輸送を検討する上で、ダンプ荷台底部の保温対策を行うことと、合材そのものが断熱材としての役割を担う特性を利用して比表面積が最も小さくなる荷姿で積載することが重要であると考えられる。

5. まとめ

合材をダンプに積載して「走行」と「未走行」の場合において合材の温度特性を評価した。その結果、合材をダンプに積載した段階で荷台底部鋼板への熱移動が顕著に進行しており、このことが合材の温度低下に大きく影響していることがわかった。さらに、「走行」は、走行風の影響を受けて合材の温度低下が促されるものの、温度低下した周囲の合材が断熱効果を示すために、中心部の合材温度の低下が抑制される傾向にあることも推定できた。以上のことから、合材の長時間輸送を実現するためには、荷台底部鋼板への熱移動と外気への放散熱の抑制が課題となる。そして、今回の知見から、合材を保温できるコンテナの検討を進めるうえで、荷台への熱移動と外気への放散熱を抑制することができる最適な保温方法の導入が求められることが示唆された。最後に、本テストでは合材断面の温度特性を評価するに止まったが、実際の合材を立体的に捉えた場合には、今回算出した

合材温度よりも、さらに温度低下が進行しているものと考えられる。また、近似曲線で補間できなかった温度による合材平均温度の信頼性の低下が課題となった。今後は立体的な合材の温度がシミュレーションできるよう、サンプリングしたデータを活かし、熱流体解析への応用と輸送中の合材温度が推定できる温度管理技術の検討を進めて行く予定である。

6. 今後の展開

将来のAPは、温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の削減を根幹とする生産性の向上や経済合理性の追求に伴う経営の合理化により合材工場の統廃合がさらに推し進められて行くものと予測される。このため、品質を低下させることなく熱い合材を供給することができない遠隔地が拡大して行くと同時に、このエリアへの合材輸送を可能とするための、合材温度低下抑制や温度管理手法の技術開発が急がれる所である。特に、現状のAPの瞬発力を落とさずに、連続的に生産された合材の貯蔵や輸送システムが今後重要になってくると考えられる。それらのシステムを構築して行く上で合材を長時間保温、輸送可能とするコンテナを検討し、従来の輸送方式との比較評価を実施していく所存である。

【参考文献】

- 1) 越健太郎ほか アスファルト合材の供給圏域の基礎分析、土木学会論文集 E1(舗装工学)、Vol.74、No.3、pp.63-70、2018。
- 2) 村田信之ほか アスファルト混合物運搬時の保温対策、舗装、Vol.33-10、pp.19-24、1988。
- 3) 村井宏美ほか 再生混合物の長時間運搬における作業性確保の対策、日本道路会議論文集、Vol.33、2019。
- 4) 森修二ほか 寒冷地における中温化舗装技術の検討、北海道開発土木研究所月報、No.582、2001。
- 5) 安部隆二ほか 積雪寒冷地における中温化舗装技術の適用方法に関する研究、土木学会論文集 E1(舗装工学)、Vol.71、No.3(舗装工学論文集第20巻)、pp.55-63、2015。
- 6) 吉沢茂則ほか 加熱アスファルト混合物運搬に使用する特殊保温シート、舗装、Vol.45-10、pp.27-30、2010。
- 7) 山下将弘ほか アスファルト混合物運搬における安全革命-革新的な保温シート巻き上げ装置、道路建設、Vol.783、pp.50-53、2020。

- 8) Muhammad Muhammad et al., Study on Heat Loss through Dump Truck Wall Insulation by Sengon Wood, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Science, Vol.58, No.1, pp.126-134, 2019.
- 9) Isaac L. Howard, Measurement of Asphalt Concrete Temperature During Transport with the Use of an Instrument Probe System, Journal of the Transportation Research Board, No.2408, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, pp.78-85, 2014.
- 10) V A Zorin et al., Analysis of thermophysical properties of asphalt mixtures, IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering 832, 2020
- 11) 谷口博ほか フォームド技術を用いた再生アスファルト混合物の品質向上と運搬時間の延長による安定供給圏域の広域化、道路建設、Vol.783、pp.42-45、2020。
- 12) 青木大介ほか 舗装の熱パラメータ推定に関する考察 土木学会舗装工学論文集、第10巻、pp.225-231、2005。

筆者紹介



TAMURA Akihiro  
田村 彰啓  
2014年入社  
日工(株)  
開発部 開発3課

# もみ殻混焼バーナの開発

北野 裕樹・今田 雄司

Kitano Yuuki, Konta Yuji

## 概要

温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の削減は、国際社会に課せられた喫緊の課題である。昨年10月に閣議決定された第6次エネルギー基本計画によれば2030年に向けて化石燃料の消費を削減し、カーボンニュートラルである再生可能エネルギーに代替して行くことが、温室効果ガスを2013年比で46%削減する有効な手段であるとしている。アスファルトプラントにおいても国の政策に歩調を合わせる形で温室効果ガス排出量の削減に精力的に取り組んで行く必要がある。そこで、日本国内全土において広範囲に行われている稲作で副産物として生成する「もみ殻」に着目し、これをアスファルトプラントの代替燃料として有効利用することを検討した。もみ殻は、バイオマス由来であることから燃焼してもカーボンニュートラルとなる。課題として、もみ殻を高温で燃焼すると人体に有害な結晶性シリカが析出することが知られている。このことから、材料試験において結晶性シリカが析出しない諸条件を特定し、実際のバーナ燃焼試験においてアスファルトプラント用燃料として適用が可能であることを検証している。本稿では、アスファルトプラントに適用可能なもみ殻混焼バーナの開発状況を報告する。

## 1. 緒言

2015年にCOP21 (Conference of Panel: 国連気候変動枠組条約第21回締約国会議) いわゆるパリ協定が成立し、2020年以降の地球温暖化対策の国際枠組みとして、温室効果ガス排出量の削減目標を定めることが義務付けられた。これを受けて、昨年(2021年)11月に英国のグラスゴーで開催されたCOP26において、我が国は、2030年までに温室効果ガスの排出量を2013年比で46%削減すること、そして、2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにすることを目標として宣言している<sup>1)</sup>。これらの目標を達成するため、温室効果ガスの排出量を削減する優先すべき有力な技術として、太陽光・風力・地熱・水力・バイオマスといった再生可能エネルギーを利用する技術の普及を急いでいる。中でも、バイオマスは、エネルギー資源の観点では動植物資源とこれを起源とする廃棄物の総称であり、気象の変化や昼夜を問わず利用することが可能である。その中でも米どころで大量に発生し、有効利用が充分されていないもみ殻を化石燃料の代替燃料としてバーナで燃焼することに取り組んでいる<sup>2)</sup>。

日本の米の生産量は、減反政策と法改正の効果もあり1,052.7万t(2019年FAOSTAT<sup>3)</sup>より)と減産が続き米余り現象の解消に転じている。

一方で、収穫したもみは、乾燥・貯蔵・もみ殻除去・精米などの一連の操作を行う大型の農業施設であるカントリーエレベータに集積される。ここでは、もみの状態で乾燥を行い一旦貯蔵して、必要に応じてもみ殻を取り除いて玄米とし、これを精米して出荷している。この時に大量のもみ殻が生成している<sup>4)</sup>。米の収穫量に対する残さ発生率は湿重量で140%であり、残さに対する稲わらともみ殻の発生比率はそれぞれ湿重量で82.5%、17.5%という報告がある<sup>2)</sup>。上記の残さ発生率から2019年のもみ殻の発生量を算出すると、約258万tとなる。また、平成30年度のもみ殻の発生量は173.6万tという報告もある<sup>5)</sup>。米どころでは、田んぼを掘削してもみ殻を充填する排水用の暗渠としての利用に留まり、燃料としての熱利用はまだ限定的である。

もみ殻の発熱量は、およそ3,000kcal/kgである。重油の発熱量が8,800kcal/Lとすると、年間173.6万tのもみ殻をすべて重油の代替燃料として利用すると59,000万Lの重油と159.3万tのCO<sub>2</sub>を削減することができる。

アスファルトプラント(以下、APと記述)では骨材の乾燥に主に重油を使用している。年間合材出荷量10万tのAPが消費する重油の量は約90万Lに上り、2,430tのCO<sub>2</sub>を排出していることになる。APのバーナ燃料をもみ殻に代替したエネルギー代替率(以下、混焼率)を30%にした場合、年間約

27万Lの重油と729tのCO<sub>2</sub>を削減することが可能である。混焼率が低ければ、日本国内のAPでは、もみ殻を使い切れない可能性があるため、他の燃焼機器でも使用することを検討する必要がある。

一方で、もみ殻をAP用燃料として有効利用することの課題として、もみ殻を高温で燃焼すると人体に有害な結晶性シリカが析出することが知られている。したがって、この結晶性シリカの析出を抑制することにより、もみ殻の燃焼灰をアスファルト合材に原材料の一部として混合して有効利用することが可能となる。このことより、材料試験において結晶性シリカが析出しない諸条件を特定し、実際のバーナ燃焼試験においてAP用燃料として適用が可能であることを検証している。本稿では、APに適用可能なもみ殻混焼バーナの開発状況を報告する。

## 2. もみ殻燃料

もみ殻は、70~75%がセルロースやヘミセルロースなどを含む有機成分、約15~20%がシリカ(SiO<sub>2</sub>)、残りは水分と金属である。もみ殻に僅かに含まれたアルカリ金属により、シリカが複合酸化物(NaSiO<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)を生成し、融点が1,986K(SiO<sub>2</sub>)<sup>6)</sup>から1,110K<sup>7)</sup>、1,249K<sup>7)</sup>などに低下(共晶反応)し、局所的に熔融する。熔融したシリカに有機成分からの炭素が取り込まれることにより、シリカの純度低下、黒色化が発生する。また、熔融シリカが凝固する過程において結晶性シリカが生成する<sup>7,8,9)</sup>。結晶性シリカはアスベストと同様に人体への発癌性の恐れ有り(グループI)に区分されている。そのため混焼バーナの燃料としてもみ殻を使用するためには、結晶性シリカを析出させずに熱量を取り出すことが重要となる。

もみ殻を燃料として使用するために分析を行った。もみ殻をバーナで燃焼させる際に貯蔵、圧送、燃焼というプロセスがあるため、貯蔵時のアーチングや粉塵爆発の危険がないか予め分析する<sup>10)</sup>。図2-1にもみ殻粉砕燃料を示す。バーナ試験で用いたもみ殻燃料は、秋田県で発生したもみ殻を700~900μmに粉砕したものである。粉砕したもみ殻燃料の粒径分布を表2-1に示す。表2-2に工業分析結果を示す。炭素分が約4割含まれており、微量の硫黄、塩素も含まれる。表2-3にJIS Z8817の粉塵爆発測定の結果を示す。測定の結果、「爆発の激しさが弱い」という分類になったので、貯蔵時には着火源が発生しないように注意が必要である。



図2-1. もみ殻燃料

表2-1. もみ殻燃料粒径分布

| 含水率         | 9.96 %  |         |         |
|-------------|---------|---------|---------|
| 粒子径(D80)    | 764 μm  |         |         |
| フルイ目の寸法(mm) | 篩分率 (%) | 網上率 (%) | 網下率 (%) |
| 2           | 0.00    | 0.00    | 100.00  |
| 1           | 0.98    | 0.98    | 99.02   |
| 0.5         | 40.20   | 41.18   | 58.82   |
| 0.25        | 32.35   | 73.53   | 26.47   |
| 0.15        | 11.76   | 85.29   | 14.71   |
| 0.106       | 3.92    | 89.22   | 10.78   |
| 0.075       | 2.94    | 92.16   | 7.84    |
| 0.053       | 1.96    | 94.12   | 5.88    |
| 0.053以下     | 5.88    | 100.00  | 0.00    |
| 合計          | 100.0   |         |         |

表2-2. もみ殻燃料成分分析結果

| 分析対象 | 単位 | 分析結果  | 定量下限 | 分析方法              |
|------|----|-------|------|-------------------|
| 炭素   | w% | 39.4  | 0.1  | JIS M 8819 (1997) |
| 水素   | w% | 5.1   | 0.1  | JIS M 8819 (1997) |
| 窒素   | w% | 0.56  | 0.01 | JIS M 8819 (1997) |
| 酸素   | w% | 34.64 | -    | 計算                |
| 全硫黄  | w% | 0.04  | 0.01 | 燃焼-イオンクロマトグラフ法    |
| 全塩素  | w% | 0.05  | 0.01 | 燃焼-イオンクロマトグラフ法    |

表2-3. もみ殻燃料粉塵爆発測定結果

| 項目         | 結果  |                           |
|------------|-----|---------------------------|
| 最大爆発圧力     | 6.3 | × 10 <sup>2</sup> kPa     |
| 最大爆発圧力上昇速度 | 172 | × 10 <sup>2</sup> kPa/s   |
| 爆発指数       | 53  | × 10 <sup>2</sup> kPa m/s |
| 爆破クラス      | 1   | -                         |

### 3.材料試験

#### 3.1 材料試験の目的

材料試験の目的は人体に有害な結晶性シリカの発生を抑制できる加熱条件を確認することである。材料試験では管状炉を用いて、温度、加熱時間の条件を変更して行った。

#### 3.2 管状炉

試験で使用した管状炉を写真3-1に示す。管状炉はAS ONE製のTMF-700Nを使用した。管状炉は電気ヒータによって、セラミック製の管を加熱する。管の内部に被加熱物を設置して、温度制御を行いながら加熱を行う。管には任意の気体を流すことが可能である。

管状炉試験では目標温度(800℃,900℃,1,000℃)に管を加熱した後、セラミック製の皿に乗せた材料を管に入れて、目標時間(30分,60分,120分,180分,240分)経過後取り出した。管内部は大気雰囲気で行った。



写真3-1. 管状炉

#### 3.3 材料試験結果

##### 3.3.1 温度、加熱時間の効果

図3-1に800℃で加熱時間を変えた灰を示す。加熱時間が長いほど灰が白くなることが確認された。これはもみ殻に含まれる炭素分が加熱により徐々に取り除かれていったためと考えられる。

また、図3-2に加熱時間30分で温度を変えた灰を示す。温度が高くなるにつれて黒くなる傾向が見られた。温度が高いほど、シリカが熔融し、熔融したシリカに炭素分が取り込まれて黒くなることが推測される。



図3-1. もみ殻加熱試験結果(800℃)

##### 3.3.2 二段燃焼の効果

もみ殻を一度加熱後、再度加熱した二段燃焼試験を実施した。温度と加熱時間を変えて二段燃焼することにより、色の変化と結晶性シリカ析出の有無を確認した。800℃→1,000℃の二段燃焼の結果を図3-3に示す。図より、1,000℃の加熱時間が長いほど白くなる傾向が得られた。その中で、800℃5分、1,000℃30分の条件が最も白くなった。

800℃→1,000℃の灰のX線分析結果を図3-4に示す。図より、X線分析では結晶性シリカが存在すると約22degの位置に鋭いピークが検出される。二段目の1,000℃5分では結晶性シリカは検出されず、1,000℃10分以上では結晶性シリカのピークが検出された。このことから、800℃では30分加熱しても結晶性シリカが発生しないことが推測される。井上らの報告によると、500℃で2時間加熱後、800℃で6時間加熱するとクリストバライトが発生すると述べている<sup>1)</sup>。

#### 3.4 材料試験結果まとめ

- ・各種設備に適用するために、燃焼による結晶性シリカの抑制と灰の色の確認を行った。
- ・1000℃10分以上加熱すると結晶性シリカが発生する。
- ・800℃30分加熱しても結晶性シリカは発生しない。
- ・二段燃焼を行うと灰が白くなる。

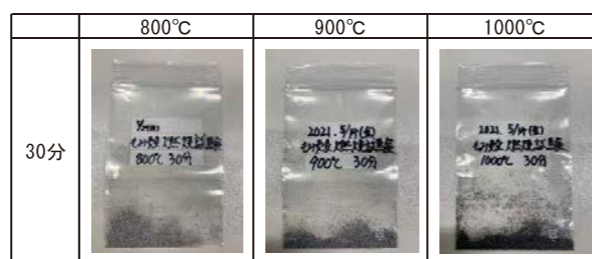


図3-2. もみ殻加熱試験結果(30分)

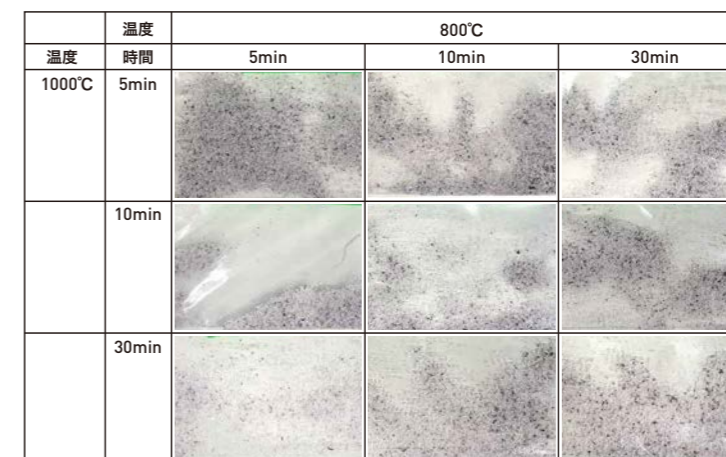


図3-3. 粉碎もみ殻二段燃焼 800℃→1000℃ 写真まとめ

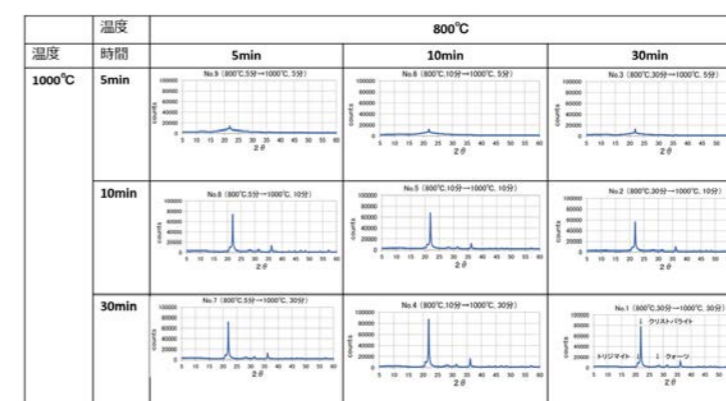


図3-4. 粉碎もみ殻二段燃焼 800℃→1000℃ X線分析結果

#### 4.バーナ試験

##### 4.1 バーナ試験の目的

もみ殻燃料を重油と混焼することにより、化石燃料の消費量を削減することを目的とする。そして、実際のバーナでもみ殻燃料を燃焼させることにより、材料試験結果との比較を行う。具体的には、粉体から熱量が得られるか、排ガスに有害物質が含まれないか、粉塵に結晶性シリカが含まれないかを確認する。

##### 4.1 試験設備

図4-1は、社内に設置している粉体バーナの試験設備のフローである。図より、Aはもみ殻混焼バーナ、Bは燃焼炉、Cは第一煙道、Dはサイクロン、Eは第二煙道、Fは排ガス冷却塔、Gはバグフィルタ、Hは排風機である。Cに設置しているT6は、炉出口温度であり、主な評価をこの温度を用いて行う。同様の位置にて燃焼炉から飛んできたダストをサンプリングする。APにこのバーナを設置する場合、燃焼室出口が骨

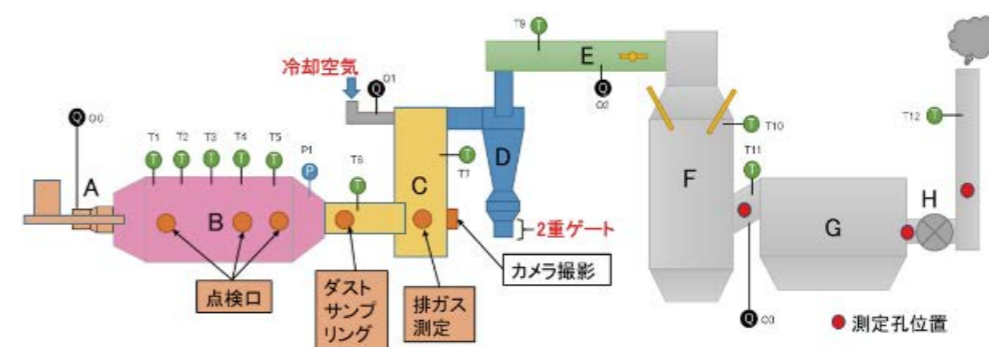


図4-1. 社内試験設備フロー図



材ドライヤのバーナ接続口となるため、ここでサンプリングされたダストが骨材に混入することを想定している。

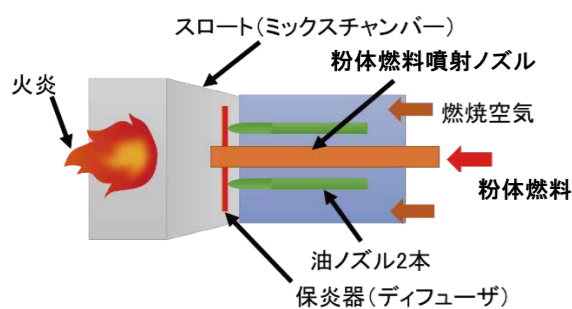


図4-2. 粉体バーナ模式図



写真4-1. 粉体バーナ試験機

#### 4.2 粉体バーナ

粉体バーナの模式図を図4-2に、同バーナの全景を写真4-1に示す。

図より、粉体バーナは、2本の重油噴霧ノズルと中心部に位置する1本の粉体噴射ノズルから構成されている。そして、重油噴霧ノズルにより形成される火炎に粉体噴射ノズルからの粉体燃料を空気圧送し混焼させている。また、粉体燃料は、粉体圧送配管の途中で圧縮空気を円筒断面の接続方向から吹き込むことによって強力な旋回流を発生させ、これにより粉体燃料を分散噴射させて燃焼しやすくしている。また、同粉体バーナの全長を短くするために、燃焼用空気をバーナ横側より90°曲げて導入している。このため、偏流が生じないように燃焼用空気のダクト内部には整流板を設置している。社内試験設備での重油の最大燃焼量は200L/hであるが、ノズルを変えることにより最大燃焼量を変更することが可能である。

一方、当該粉体バーナ試験機は、粉体燃料を定量供給するための粉体燃料供給装置を併設しており、粉体ホッパ、切り出し用スクリュ、ロータリーバルブ、圧送装置などから構成されている。粉体ホッパは、燃料の性状に応じて、アーチングを防止するための攪拌機を備えている。この攪拌機によ

り、アーチングしやすい高含水の粉体でも供給可能である。粉体ホッパ下部には、粉体の切り出し流量調整のためにスクリュが組み込まれており、インバータにより回転数制御されている。さらに、スクリュの下流には圧送空気の逆流を防止するためにロータリーバルブが設置されている。そして、ロータリーバルブの下流には粉体圧送配管が接続されており、粉体圧送用ブロワからの送風により粉体噴射ノズルに粉体燃料を送り込んでいる。粉体圧送用のブロワは配管内の風速が適切になるようにインバータで回転数制御を行っている。配管内の風速は常にピトー管で監視しており、風速が急激に減少すると閉塞が発生したと判断できる。



写真4-2. 燃焼炉

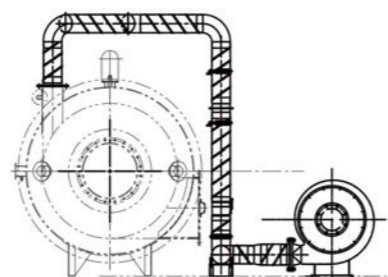


図4-3. ブローアップ装置

#### 4.3 燃焼炉

試験で使用した燃焼炉を写真4-2に示す。同燃焼炉は、粉体燃料を完全燃焼させるのに必要な温度と滞留時間とを確保するために設置している。そして、燃焼炉の寸法は、φ1,600×L3,100の円筒構造とし、内面には耐火キャストブルを150mm厚さで施工している。炉内には、燃焼ガスの温度分布を確認するために熱電対を5本設置している。また、炉内に滞留した灰から結晶性シリカが析出するのを防止するためにブローアップ設備を設置して灰を吹き飛ばしている。図4-3にブローアップ設備を示す。ブローアップは炉の前方、中央、後方の3ヶ所に設置しており、ブローアップ風が燃焼炉の円周方向から入るようにしている。また、必要に応じて炉内にカメラを挿入して動画を撮影できるようにしている。

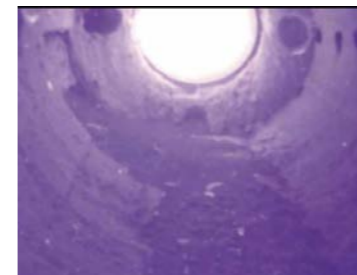


写真4-3. 運転中燃焼炉内



写真4-4. 運転後燃焼炉内

#### 4.4 バーナ試験結果

##### 4.4.1 燃焼炉ブローアップ試験

写真4-3に混焼率30%(重油105L/h、もみ殻燃料132kg/h)で試験した際の炉内を示す。写真4-4に試験終了後の炉内を示す。

写真4-3の中央上部がバーナであり、運転中にバーナ左下に灰が堆積していることが確認される。写真4-4より、試験終了後に炉内に灰が堆積していることが確認できた。

図4-4に粉体バーナにおいて混焼率30%で試験した際のダストのX線分析結果を示す。炉内滞留物は燃焼試験終了後に採取し、灰サンプルは燃焼炉出口にて試験中にサンプリングした。炉内滞留物で結晶性シリカが検出され、燃焼炉出口で試験中にサンプリングしたダストには検出されなかった。この結果より、高温領域に短時間滞留した場合は結晶性シリカが発生せず、炉内に長時間滞留すると結晶性シリカが発生することが確認できた。

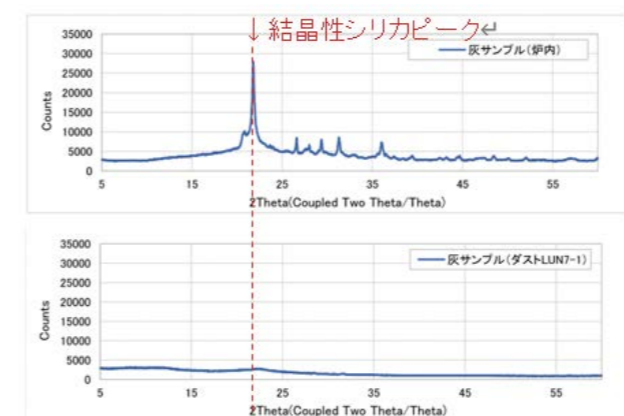


図4-4. バーナ燃焼灰X線分析結果 (上: 炉内滞留物, 下: 炉出口サンプリングダスト)

材料試験より、1000℃10分以上の雰囲気中で結晶性シリカが発生しており、また文献より800℃6時間以上で結晶性シリカが発生していることから、炉内の灰は上記のように結晶性シリカが発生する雰囲気であったことが推測される。

高温、長時間滞留により結晶性シリカが発生するので、炉内の滞留をなくすために写真4-2のようにブローアップ設備を設置し、試験を行った。

写真4-5にバーナ試験中に燃焼炉の3ヶ所でブローアップをした炉内を示す。ブローアップの位置を1ヶ所にした場合、ブローアップをしていない位置に灰が堆積することが確認された。3ヶ所ブローアップすることにより、炉内の堆積をなくすことができた。

図4-5にブローアップ設置後の燃焼炉出口のダストのX線分析結果を示す。ブローアップ設置後のダストに結晶性シリカが含まれていないことが確認できた。ブローアップ設備の設置により、結晶性シリカを発生させずに燃焼することが可能となった。



写真4-5. ブローアップ運転中燃焼炉内

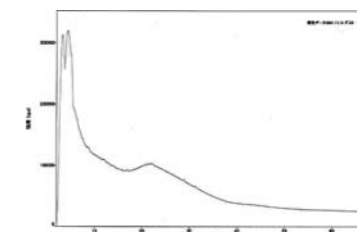


図4-5. ブローアップダストX線分析結果

##### 4.4.2 炉出口温度によるダスト性状

前述の燃焼炉のブローアップを過剰に行う場合や、バーナ空気比が高い場合、また予熱が足りない場合は炉出口温度が低くなる。炉出口温度が低いときに混焼試験を開始すると、もみ殻の熱分解が充分でないダストが発生する。

写真4-6に炉出口温度が異なる条件でサンプリングしたダストを示す。写真の左は混焼率50%であり、炉出口温度が930℃程度でサンプリングしたものであるが、写真の右は混焼率70%で炉出口温度が870℃程度でサンプリングしたも

のである。炉出口温度が低い場合、燃焼前のもみ殻に近い色になっており、温度が高くなるにつれて黒くなる。炉出口温度が低い場合、ダストに有機分が残っているため、もみ殻から熱量が得られていないことが推測される。

炉内温度を上げるためにバーナの熱量を増加した試験を行った。図4-6に混焼率を変えずにバーナ出力を1500kWから1670kWに増加した試験のトレンドグラフを示す。バーナの熱量を上げると問題なく炉出口温度が上がる事が確認された。



写真4-6. サンプル温度の違い (左930°C,右870°C)

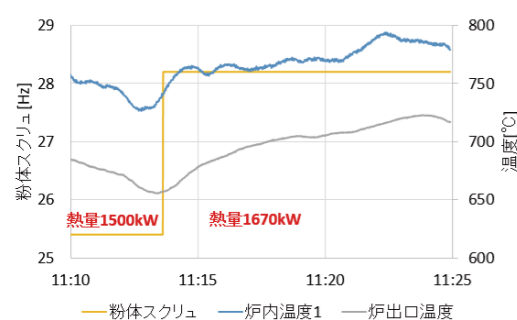


図4-6. 温度トレンドグラフ (混焼率70% 熱量1500kW→1670kW)

#### 4.4.3 混焼率を変えた試験

混焼率50,70%にて試験を行った。各条件のトレンドグラフを図4-7に示す。

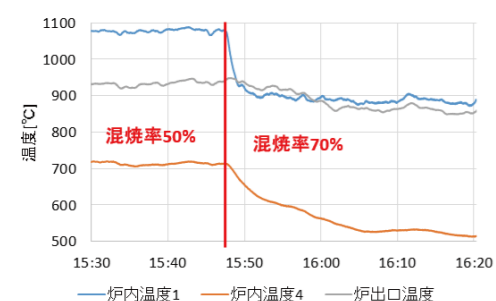


図4-7. 温度トレンドグラフ (混焼率50%→70%)

総熱量を変えずに混焼率を50%から70%に増加させると炉内温度が約200°C低下し、炉出口温度は約50°C低下した。総熱量は変わっていないので、混焼率を70%にすることで燃焼効率が低下している。この場合、前述のように混焼率一定のまま熱量を増加(重油ともみ殻燃料を増加)させると混焼率50%と同様の温度になるため、運用上問題ないと判断する。

混焼率50%,70%で試験を行った際の炉出口でサンプリングしたダストのX線分析結果を図4-8に示す。各条件とも結晶性シリカは検出されなかった。これらの結果より、混焼率70%までは結晶性シリカを発生させずに運用可能であると考えられる。

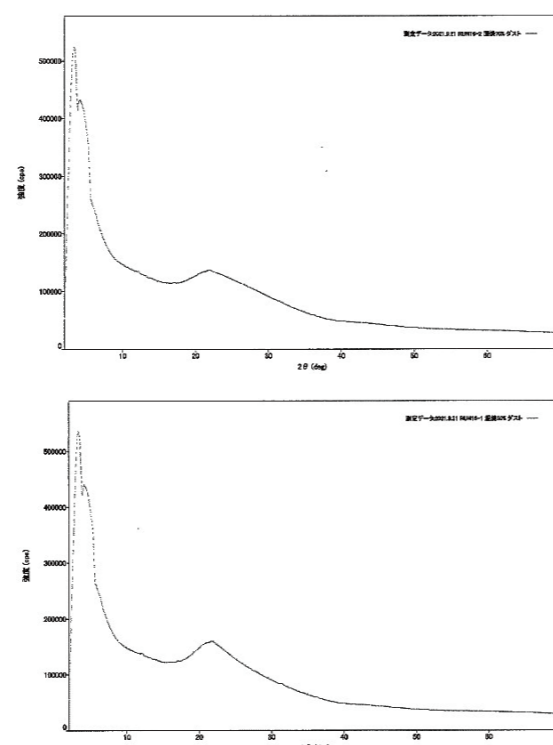


図4-8. X線分析結果 (上 混焼率50%, 下 混焼率70%)

#### 4.4.4 バーナ試験結果まとめ

- ・重油200L/hクラスの混焼バーナでA重油ともみ殻燃料の混焼試験を行った。
- ・燃焼炉に堆積したダストからは結晶性シリカが検出されたため、ブローアップ設備を設置して、燃焼炉内にダストが堆積しないようにし、結晶性シリカの発生を抑制した。
- ・混焼率30%,50%,70%のそれぞれで結晶性シリカが発生しないことを確認した。
- ・混焼率を70%まで上げると炉内温度が低下するが、熱量を増やすことにより温度維持が可能であることを確認した。

#### 5.総括

- ・日本で多く発生し、未利用のもみ殻を熱源としたバーナを開発した。
- ・材料試験にて温度、時間を変更して加熱し、結晶性シリカが発生する条件(1,000°C10分以上加熱)を推定した。
- ・バーナ試験にて燃焼炉にブローアップ設備を設置することにより、高温長時間滞留にて発生する結晶性シリカを抑制した。
- ・混焼率30%, 50%, 70%での燃焼炉出口ダストをサンプリングし、結晶性シリカが発生していないことを確認した。

#### References

1. 外務省 [https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w\\_000121.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html).
2. 社団法人 日本エネルギー学会:バイオマスハンドブック 第2版, オーム社, (2009).
3. FAO STAT 2019, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
4. 社団法人 化学工学会, 日本エネルギー学会:バイオマスプロセスハンドブック, オーム社, (2012).
5. 環境省環境再生・資源循環局 令和2年度 廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書 (廃棄物等循環利用量実態調査編) ([http://www.env.go.jp/recycle/report/R02%E5%BE%AA%E7%92%B0%E5%88%A9%E7%94%A8%E9%87%8F%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8\\_%E6%9C%AC%E7%B7%A8.pdf](http://www.env.go.jp/recycle/report/R02%E5%BE%AA%E7%92%B0%E5%88%A9%E7%94%A8%E9%87%8F%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8_%E6%9C%AC%E7%B7%A8.pdf)) (2021).
6. 化学大辞典編集委員会, 化学大辞典6縮刷版, (1972)
7. 梅田 純子ら, 農作物非食部バイオマスから高純度非晶質シリカの抽出プロセスとコンクリート用混和剤としての利活用, (2014)
8. 関藤 良子ら, Solubility and physical composition of rice husk ash silica as a function of calcination temperature and duration, International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture (2021)10:19-27
9. 梅田 純子ら, High-purity amorphous silica originated in rice husks via carboxylic acid leaching process, J Mater Sci (2008) 43 : 7084-7090

10. (社)日本粉体工業技術協会粉塵爆発委員会編, 粉じん爆発火災対策, オーム社 (2006)
11. 井上耕三ら, もみがら灰の加熱条件とその性状, 無機マテリアル, Vol.3, Jul.312-318 (1996)

#### 筆者紹介



KITANO Yuuki  
北野 裕樹  
2015年入社  
開発部 開発1課



KONTA Yuji  
今田 雄司  
2002年入社  
開発部 開発1課

# アスファルトプラントにおける二酸化炭素削減と 日工におけるアンモニアバーナ開発

宗像 元・田中 翔太・今田 雄司

MUNAKATA Hajime, TANAKA Shota, KONTA Yuji,

日工株式会社

## 概要

日本は2020年10月の地球温暖化対策計画の閣議決定により、温室効果ガスの排出を2030年までに46%(2013年比)削減することを目標とし、2050年には実質ゼロを目指すこととなった。アスファルト合材工場においては、骨材の加熱乾燥工程における燃料利用が二酸化炭素排出量の75%を占め、エネルギー消費の内訳を見ると、水の蒸発に必要なエネルギーが30-40%程度であり、骨材の加熱に必要なエネルギーが40-50%程度である。このため、水分管理やプレ乾燥等による省エネルギーのみでは、二酸化炭素削減目標をクリアすることは難しく、CO<sub>2</sub>フリーの燃料への転換が重要になる。アンモニアは、貯蔵や運搬が容易で、工業地帯や都市部から離れた位置にあるアスファルトプラントにも供給が可能であり、また生産技術が確立されており今後は火力発電所等で燃料として大量に利用される計画がある。従って、将来的に入手が容易なCO<sub>2</sub>フリー燃料として期待ができる。日工株式会社は、現在大阪大学赤松研究室との共同研究を行い、100kWクラスまでのバーナ試験を実施している。今後は500kWクラスのバーナ試験を実施し、国内のアンモニア供給体制の整備と歩調を合わせて実機スケールである5MWクラス以上のバーナ開発とプラント開発を進めていく計画である。

## 1. 緒言

IPCCの特別報告書によると、世界全体の平均気温を工業化以前より+1.5℃の上昇に抑えることで気候変動のリスクと影響を著しく減少させるとしている。<sup>1)</sup>日本はパリ協定に批准し、2050年の温室効果ガスの実質ゼロと2030年に2013年比で46%の削減を目指すことが、2020年10月に地球温暖化対策計画として閣議決定された。<sup>2)</sup>このような中で日工株式会社では、社会要請に応えるために、アスファルトプラント(以下APと表記する。)における2030年の二酸化炭素50%削減、2050年の実質ゼロ排出を実現することを目標として掲げている。<sup>3)</sup>

本稿では、APにおけるエネルギー消費の内訳から燃料転換の必要性、代替燃料の中でのアンモニア燃料の特徴とAPにおける優位性、および日工におけるアンモニアバーナ開発の取り組みについて紹介したい。

## 2. APにおけるCO<sub>2</sub>排出構成と燃料転換の必要性

アスファルト合材工場全体のCO<sub>2</sub>排出量は、年間約150万t-CO<sub>2</sub>であり、合材1tあたりの排出量は37.2kg-CO<sub>2</sub>/t(17年-19年の平均値)である<sup>4)</sup>。このうち、プラントにおける加熱乾燥工程の燃料消費が75%、保温や機械駆動、事務所等での電力消費が17%、重機燃料その他が8%となっている。<sup>5)6)</sup>

合材製造のCO<sub>2</sub>排出の規模は、土木資材の中では、セメント、鉄鋼に次ぐ3番目に位置し、<sup>7)</sup>国内の年間CO<sub>2</sub>排出量が約12億t-CO<sub>2</sub>のため、アスファルト合材工場におけるCO<sub>2</sub>排出量は、国内の排出量の0.12%程度を占めている。<sup>4)8)</sup>

APにおけるCO<sub>2</sub>排出の主因は上に述べた通り、骨材の加熱乾燥工程における化石燃料の燃焼である。この工程が必要になるのは、アスファルトが流動性を持つ160℃付近で骨材の混合を行う必要があり、また、アスファルトは原油由来の疎水性材料であるため、骨材表面に水分があると、アスファルトのコーティング不良による合材の強度低下を引き起こすため、水分の除去が必要となるためである。<sup>9)10)</sup>

図1にAPにおけるVドライヤとRドライヤのエネルギー消費内訳の推算を示す。ここでVは新規骨材を、Rはリサイクル材を表す。推算条件は、Vでは骨材含水比6%、骨材加熱温度180℃であり、Rではリサイクル材含水比3%、リサイクル材加熱温度160℃である。いずれの場合も水の蒸発に使われるエネルギーが30-40%を占め、常温からアスファルトを混合させる温度までの加熱に40-50%のエネルギーが使われている。また、乾き排ガスの加熱が10-15%であり、水蒸気の加熱が1-2%であることが分かる。

日工のAPにおけるVドライヤの設計基準となる含水比は

6%であり、実際には天候や管理状況にもよるが3-6%程度とみられている。骨材表面に付着した水分は、砕砂製造時の水洗と、ヤード保管時における雨水との接触に由来する。省エネルギーによる燃料消費量の削減という観点からは、このような骨材含水比の削減は重要であり、例えば、水分管理を行い、太陽光や排熱等を利用して骨材保存時のプレ乾燥をすることで、含水比を1%以下まで減少させることが考えられる。一方で、APの乾燥加熱工程のエネルギー消費内訳は、上で述べた通り40-50%が骨材の加熱工程であり、合材の混合温度の制限から、この部分の寄与を減少させることは難しく、中温化合材により骨材の加熱温度を180℃から160℃に減少させた場合でも、乾燥加熱工程における燃料の削減率は13%程度である。従って、2030年の50%や2050年の実質ゼロという二酸化炭素削減目標達成には、省エネに加えて、燃料の転換が必要となる。

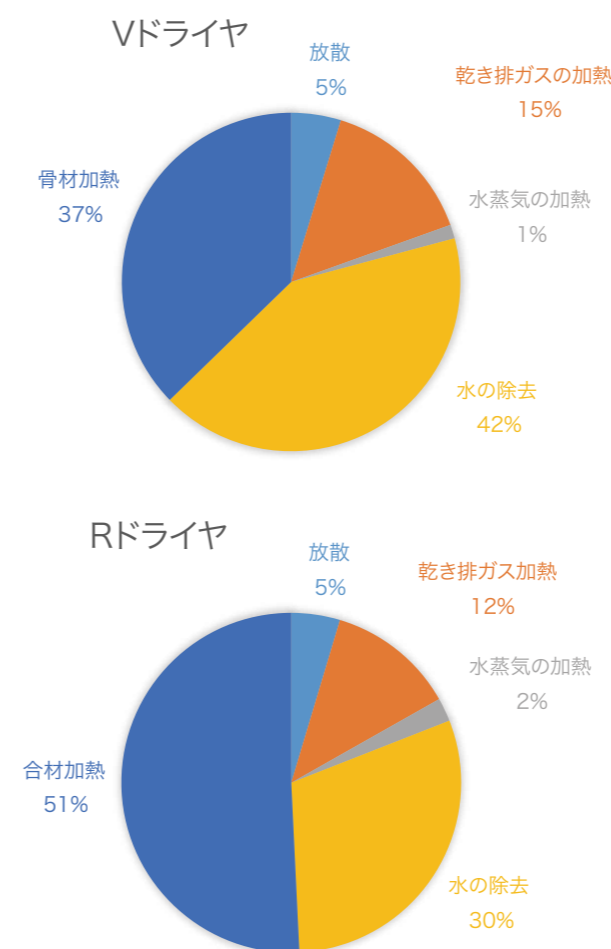


図1 VドライヤとRドライヤのエネルギー消費の内訳

## 3. 1日工のバーナラインナップと代替燃料

現在、APの乾燥加熱工程では、主にA重油や灯油を燃料とするバーナが利用されている。日工のバーナラインナップには、これらに加えて、天然ガスやプロパンを燃料としたガスバーナ、廃油や廃グリセリンといった高粘度の液体バイオマス燃料を利用できるバーナがあり、実際のAPにて合材の製造に使用されている。また、固体燃料を利用するためのバーナとして粉体燃料バーナが開発中であり、廃棄物由来の炭化燃料<sup>11)</sup>や、もみ殻<sup>12)</sup>等を粉碎したバイオマス燃料を燃焼させることができる。

二酸化炭素の削減という点からみると、天然ガスやプロパンは、A重油と比較して熱量当たり、前者は約29%、後者は18%の削減が可能<sup>13)</sup>、2030年に向けた現実的な二酸化炭素の削減手段として重要である。一方で、50%削減や実質0%といった目標には、より高い削減が可能<sup>14)</sup>な燃料が必要となる。このような中でバイオマス燃料は、植物が空気中の二酸化炭素から生成する燃料のため、燃やしても二酸化炭素を事実上排出しない燃料として重要である。ただし、バイオマス燃料は、工業燃料として消費するには量が限られており<sup>14)</sup>、燃料を大量に消費する火力発電所等におけるバイオマス利用と競合するため、APの燃料を全て代替することは現実的に難しく、地域特性に応じて利用可能な範囲での限定的な使用にとどまると考えられる。

## 3. 2アンモニア燃料の特徴とAPにおける優位性

以上から、より大規模に利用可能で、安定的に供給されるCO<sub>2</sub>フリーの燃料が求められるが、将来的に工業利用が可能<sup>15)</sup>な燃料として大量に生産される可能性のあるものとして、再生可能エネルギー由来の水素や製造工程でCO<sub>2</sub>を分離固定化した水素(グリーン水素、ブルー水素)、このような水素を用いて二酸化炭素から合成されるメタン(メタネーション)やアンモニアといった燃料がある。<sup>15) 16) 17)</sup>

この中で、メタネーションによって作られたメタンが利用可能であれば、従来のガスバーナを用いて二酸化炭素の排出を事実上ゼロにすることが可能になる。ただしメタネーションの技術は、実証段階であり、2030年の目標は1%のカーボンニュートラルのメタンを導入と試験的な利用にとどまり、2050年の時点での普及が実際に起きるかどうかは現時点では不確実性が高い。<sup>17)</sup>

そのため、現時点での現実的な燃料の候補は、大量生産が技術的に可能であり、燃焼によって二酸化炭素を排出しない水素及びアンモニアということになる。ここで水素と比較して、アンモニアには工業用の燃料として有用な特徴があ

る。それは、アンモニアは加圧により容易に液化をするため、エネルギー密度が高く、貯蔵と供給が容易なことである。<sup>18)19)</sup>また、アンモニアの供給貯蔵設備は、水素と比較して安価である。APはプラントの立地が工業地域や市街地から遠い町はずれの山沿いに存在するものも多く、ガス配管が届かないプラントも多い。このため、重油や灯油、LPGのような液体の状態でのローリー輸送が可能な燃料が利用されており、アンモニアはこの点でAPでの利用に適していると考えられる。また、アンモニアの合成は100年以上の歴史があり、主に窒素肥料の原料として、全世界で年間約2億tのアンモニアが生産され、タンカーによる海上輸送も行われている。<sup>16)</sup>以上から、CO<sub>2</sub>フリーのアンモニア製造という課題はあるが、アンモニアの燃焼技術が確立すれば、社会実装は現実的に可能であるとみられている。また、現在、アンモニア燃料を火力発電所での石炭代替等に利用し、2050年には年間3000万tの利用が計画されている。<sup>16)</sup>APにおける天然ガスやプロパンの利用は、先行して火力発電所での燃料利用が進み、流通が整備されることで利用可能になったという経緯があり、アンモニアも、火力発電所での大量利用が計画されていることから、将来的な利用可能性は高いと考えらえる。

#### 4.日工のアンモニアバーナ開発と今後の展開

日工では大阪大学赤松研究室との共同研究で、現在アンモニアバーナの研究開発に取り組んでおり、10kW、100kWクラスのバーナでアンモニアの燃焼試験を行っている。図2は試験に用いた10kWクラスバーナと試験炉である。試験で

は、ガス組成分析の他に、ガラス越しの火炎観察を行っており、図3のように高速カメラによる撮影も可能である。現時点で、日工の実機バーナをベースとした小型バーナにより、アンモニアの80%までの混焼が可能なこと、NO<sub>x</sub>の排出量をAPにおける一般的な大防法の規制値である16%O<sub>2</sub>換算230ppm以下(乾燥炉)に抑えることが可能なこと等を確認している。



図2 試験用10kWクラスアンモニアバーナ



図3 高速カメラによる火炎写真 (15kWアンモニア混焼率30%空気比1.2)

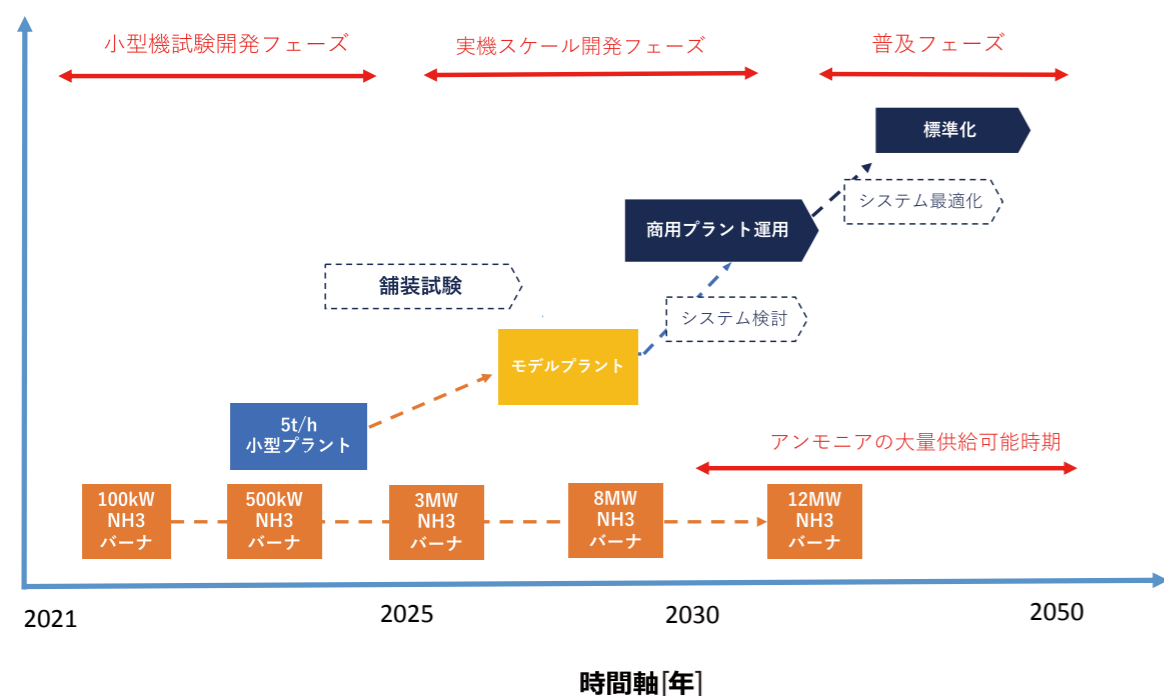


図4 日工アンモニアバーナ開発ロードマップ

#### 5.今後の予定

図4に日工のアンモニアバーナ開発のロードマップを示す。2022年度以降は、日工社内に500kWクラスのアンモニア供給設備を導入し、より大きな出力のバーナを実施する計画である。このクラスのバーナは開発における一つのマイルストーンであり、ドライヤを用いた骨材の乾燥試験が可能になるため、ドライヤの最適化や燃焼に及ぼす外乱の影響調査、製造した合材の性状調査や舗装試験が可能になる。実際のAPで利用されているバーナは、5MW-12MWクラスが主流となるため、500kWの後も、国内のアンモニアの供給体制の進展に歩調を合わせる形で、3MW、8MWといった順でバーナのスケールアップを進め、同時にアンモニアバーナに適したプラントの開発を進めていく予定である。

#### References

1. 公益財団法人地球環境戦略研究機関、“「IPCC1.5℃特別報告書」ハンドブック：背景と今後の展開[改訂版]”、(2019.2)
2. 環境省、“地球温暖化対策計画”、(令和3年10月22日閣議決定)  
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html>
3. 日工株式会社、“統合レポート2021：カーボンニュートラルへの対応”、p51-55(2021)
4. 一般社団法人日本アスファルト合材協会、“合材製造業におけるBaU二酸化炭素排出量推計調査概要”、(2021.8)
5. アスファルト合材協会、“2019年度アスファルト合材の現況”、アスファルト合材、No136、p10-11 (2020)及び、アスファルト合材協会、“アスファルト合材工場CO<sub>2</sub>排出量調査 2019年の結果について”、アスファルト合材、No136、p12-27 (2020)より内訳を推算
6. 川村 克裕、“アスファルトプラントにおける低炭素化への取り組み”、道路建設、p50-54(2021.9)
7. 寺田 剛ら、“舗装工事におけるCO<sub>2</sub>排出量削減技術の取り組み”、土木技術資、50-8、p22-27 (2008)
8. 環境省、“2019年度(令和2年度)温室効果ガス排出量”
9. T.F.Fwa, et al.、“Effect of Moisture in Aggregates on Performance of Asphalt Mixtures”、Transportation Reserch Record、1454、p28-35 (1994)
10. Hend Ali Omar, “Effects of moisture damage on asphalt mixtures”、Journal of traffic and transportation engineering(English edition)、7 (5)、p600-628(2020)
11. 川崎重工業ら、“令和2年度環境省委託事業 令和2年

- 度中小廃棄物処理施設における先導的廃棄物処理システム化等評価・検証事業報告書(炭化燃料化技術を活用した中小廃棄物処理におけるエネルギー回収評価事業)成果報告書”、(2020.3)
12. 北野裕樹ら、“もみ殻混焼バーナの開発”、日工技報、No.3、p43-50(2022)
13. 環境省、“温室効果ガス排出係数(デフォルト値)”
14. 農林水産省、“バイオマスをめぐる現状と課題”、(2012.2)
15. IRENA、“再生可能エネルギーの視点から見た水素(日本語版)”、(2019.12)
16. 資源エネルギー庁、“「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性”、(2021.6)
17. 一般社団法人 日本ガス協会、“カーボンニュートラルチャレンジ2050アクションプラン”、(2021.6.10)
18. Valera-Medina, et. al.、“Review on Ammonia as a Potential Fuel: From Synthesis to Economics”、Energy Fuels、35、p 6964-7029(2021)
19. Nadia Mohd Adli, et.al.、“Review—Ammonia Oxidation Electrocatalysis for Hydrogen Generation and Fuel Cells”、Journal of The Electrochemical Society、165 (15)、J3130-J3147 (2018)

#### 筆者紹介

- 

MUNAKATA Hajime  
宗像 元  
2019年入社  
開発部 開発1課
- 

TANAKA Shota  
田中翔太  
2015年入社  
開発部 開発1課
- 

KONTA Yuji  
今田 雄司  
2002年入社  
開発部 開発1課

# 木質バイオマス発電設備におけるタール燃焼装置の開発

今田 雄司・北野 裕樹

YUJI konta, YUUKI kitano

日工株式会社

## 概要

昨年(2021年)11月に開催されたCOP26では、世界197カ国に及ぶ締約国より温室効果ガス排出量の削減に関する野心的な目標が報告されている。先進国の一員である我が国は、英国や米国などと競うようにして2050年の温室効果ガス排出量実質ゼロを目指すことを目標に掲げており、これを達成するためにもカーボンニュートラルに向けた新しい技術の開発が急務とされる。中でも、バイオマス発電は、2011年のFIT制度施行にともない拡大推移して来ているものの、燃料となる木質バイオマス燃料の調達などの制約により、その設置場所が限定的となり普及の足枷となっている。そこで、国は、同燃料の調達の制約が少ない2,000kW未満の小型バイオマス発電の電力買取価格を割増にして普及に拍車を掛けている。ただし、小型バイオマス発電所で副産物として大量に生成する木質タール、木酢液、洗浄水などを処分することが同発電事業の生産性を低下させCO<sub>2</sub>削減に逆行する新たな課題を残している。

本稿では、木質タールの自立燃焼をはかることにより外部から電力や化石燃料などのエネルギーを供給すること無く、しかも、カーボンニュートラルでこれらの副産物を無害化処理することを目的に開発を進めたタール燃焼装置についてその詳細を報告する。

## 1. 緒言

2021年の11月にCOP26 (Conference of the Party: 国連気候変動枠組条約第26回締約国会議) が英国のグラスゴーで開催され、世界197カ国に及ぶ締約国の取組が発表されている。我が国では、岸田総理が2030年までを「勝負の10年」と位置づけ温室効果ガスの削減目標や今後の支援など、脱炭素社会へ向けた取り組みを表明している。そして、COP26としては、パリ協定で示された世界全体の平均気温上昇を今世紀末までに2.0℃未満に抑えることを目標とし、可能な限り1.5℃未満に抑えるように努力していくことが再確認された。このことから、これらを実現するための脱炭素へ向けた新しい技術開発のスピードは、今後加速していくものと考えられる。

このような国際情勢の中、我が国では、2021年10月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定し、その中で脱炭素社会の実現を目指すことの宣言と、2030年までのCO<sub>2</sub>の削減量を46%と提示し、2050年にはカーボンニュートラルの実現を掲げている。

これらを実現する新しいエネルギー利用技術として、風力、地熱、水力、太陽、バイオマス発電がある。特に、バイオマス発電は季節変動や昼夜問わずして安定操業が可能な

発電技術である。

そして、この発電設備は、カーボンニュートラルの燃料としてバイオマス(木材チップ等)を用いて、電力を生産している。これにより生産された電力は、再生可能エネルギーの固定買取制度(以下、FIT制度)として取り扱われ、FIT制度の下、プレミアム価格で売電することにより、本事業の収益性を改善するとともに、山林の未利用材を使用することで森林の再生とカーボンニュートラルを実現できるバイオマス発電の普及に拍車を掛けようとするものである。

これらのバイオマス発電設備には、一般的に採用されるガス化方式として、アップドラフト方式とダウンドラフト方式が多く採用されている。アップドラフト方式は、ガス化剤の流れが材料投入と向流で流れる方式である。この方式は酸素濃度制御、乾留温度制御、生成ガス量の制御に優れているが、木質タールの生成量が多くなるため、そのままの状態ではガスエンジンへ木質ガスを導入すると内燃機関内部で故障が発生する。

そのため、湿式スクラバーにより木質ガスを洗浄し、そのまま洗浄液はタール分離層で分離され、上水は加熱軽質タール、沈殿したものは重質タールの燃料に分離される。

これらの木質ガス以外の副産物は直接発電に利用する

ことができないため産業廃棄物として取り扱う必要がある。従来は、産業廃棄物の減容化を図って処分費用を削減するために化石燃料を燃やして水分を蒸発させている。これらのことはバイオマス発電所の生産性を低下させることだけでなく、CO<sub>2</sub>削減という大義に沿わない側面も含んでいる。これらのことを鑑みて、可燃性の木質タールと水を主成分とする木酢液や洗浄液を同電設備内で無害化するためのタール燃焼装置を新たに開発するに至った。

本稿では、弊社バイオマスバーナリの技術を基盤とし、タールの自立燃焼により外部から電力や化石燃料の新たなエネルギーを供給することなく、しかも、副産物である木酢液や洗浄液を無害化処理することを目的として開発したタール燃焼装置についてその詳細を報告する。

## 2. タール燃焼装置

バイオマス発電設備フローを図2-1に示す。図よりガス化炉で木質チップを熱分解すると、可燃性ガス(以下、生成ガス)が発生する。この生成ガスはタール成分や木粉などの不純物を含むことから、これらを除去するために湿式スクラバーで洗浄してガスエンジンへ燃料として供給される。一方の洗浄水は、前述のタール成分をはじめとする副産物を多く含んでいることから、タール分離槽で静置され、比重差により酢酸を含有した上水液<sup>2-3)</sup>の軽質タールと沈殿した重質タールとに分離される。

従来のガス化発電システムでは、ガスエンジンで燃料として利用することができないこれらの副産物を産業廃棄物として処分する必要があった。これらのことを鑑みて、今回新たに開発したタール燃焼装置は、余剰となる木質ガス、副産物

である木質タール、木酢液、洗浄水を化石燃料による助燃を行わずして、自立燃焼による無害化処理を可能としている。そして、同タール燃焼装置は、木質タール燃焼用の予熱空気バーナ2基と、余剰ガス及び副産物の無害化処理の反応器となるタール燃焼炉で構成している。

2基の予熱空気バーナは、重質タールの燃焼を専用とする重質タールバーナと軽質タールの燃焼を専用とする加熱軽質タールバーナに区別される。まず、タール分離槽で比重分離し沈殿した重質タールは、タール燃焼装置の主燃料として重質タールバーナへ供給される。一方の上澄み液は、タール燃焼装置で発生する燃焼廃熱を利用して加熱器で蒸発減容化され、濃縮された残留液を加熱軽質タールと称して加熱軽質タールバーナへ燃料として供給している。この加熱軽質タールは、燃料としての燃焼性を向上させるために低位発熱量で21,100kJ/kg以上になるまで加熱濃縮している。他方の蒸発したタール成分を含む水蒸気(以下、フラッシュ蒸気と記述)は、タール燃焼炉に還元して余剰となった木質ガスと共に850℃で酸化分解し無害化される。さらに、熱バランスの変動により炉内温度が850℃を超えないように、清水を炉内に噴霧して熱バランスを保っている。加えて、エネルギーの有効利用の観点より、タール燃焼装置から排出される850℃の排ガスから熱交換器を介してフラッシュ蒸気の加熱と燃焼空気の予熱を行っている。

なお、年に1度程度の極めて稀な頻度ではあるが、発電設備の運用開始や停止時において、ガスエンジンで燃料として使用することができない低質な木質ガスが生成されるため、洗浄を行わず直接燃焼炉へ導入して無害化処理を行っている。

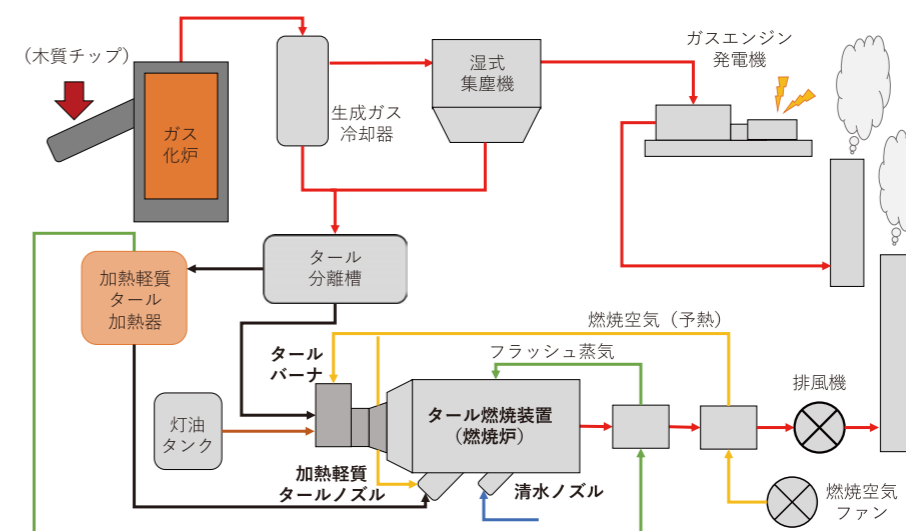


図2-1. 木質バイオマス発電設備フロー

## 2.1 タール燃烧炉

写真2-1に示すタール燃烧炉は、発電設備から発生する臭気を含むフラッシュ蒸気や余剰となる木質ガスなどの可燃性ガスを安全に酸化分解して無害化することができる装置である。

同タール燃烧炉は、実際のバイオマス発電設備から発生する重質タール、加熱軽質タルのサンプルより元素分析と発熱量を測定し、フラッシュ蒸気はメーカーからの分析データを使用して設計を行った。同タール燃烧炉の大きさは、炉内における熱負荷を $12.6 \times 10^5 \text{kJ/m}^3\text{h}$  ( $350 \text{kW/m}^3$ ) 以下に抑えるように設計している。燃烧室の基本構造は次項で触れるシミュレーションを用いて熱風とフラッシュ蒸気の混合状態を各種評価し、燃烧炉の形状と詳細な大きさや重質タールノズル、加熱軽質タールノズル、清水ノズルの位置を決定している。

そして、同燃烧炉は、導入したフラッシュ蒸気や余剰となる木質ガスを無害化するのに必要となる2秒以上の滞留時間を確保できる内部容積に設計している。さらに、安全と省エネルギーの観点から、同燃烧炉の鉄皮温度が $100^\circ\text{C}$ 以下になるように、耐火材の全層厚を $300\text{mm}$ とし、断熱性に優れた耐火材を外側に耐火性に優れたものを内側に施工する2層施工としている。次に図2-2にタール燃烧炉の全体図を示す。図より、加熱軽質タールノズルと清水ノズルは、処理ガスの流れに沿うように炉体に斜め後方から炉の中心部に向けて挿入している。なお、タール燃烧装置の検討に用いた各種条件設定値とタルの物性値を表2-1と表2-2に、設計した燃烧炉の仕様を表2-3に示す。

また、同発電所より発生する常温の重質タールは動粘度が高く、バーナノズルでの霧化が難しい燃料であるため、動粘度を下げて霧化を改善するために加温が必要となる。このことから、重質タールと加熱軽質タール共にタンクでの貯蔵温度を $80^\circ\text{C}$ としている。一方、重質タルの加熱温度が $50^\circ\text{C}$ を下回ると動粘度が $50\text{cSt}$ よりも高く流動性が悪くなり、配管内で閉塞することを確認している。そして、配管内の残留圧力にもよるが、重質タールが水溶性を示すことから加熱温度を高めすぎると水分が無くなり、タールが配管内で固着してメンテナンスが極めて困難になる。したがって、タール燃烧炉を運用する上で、重質タールや加熱軽質タルの燃料温度を $50^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ の範囲で管理することが最も重要である。



写真2-1. タール燃烧炉

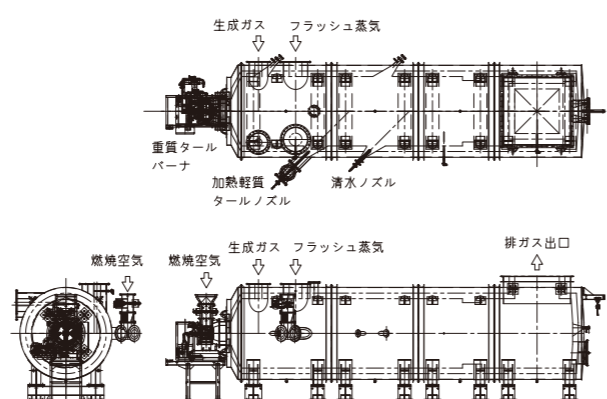


図2-2. タール燃烧炉全体図

表2-1. 熱収支の入力条件

| 項目            | 条件値                    |
|---------------|------------------------|
| フラッシュ蒸気導入量    | 2,337kg/h              |
| フラッシュ蒸気温度     | $480^\circ\text{C}$    |
| 重質、加熱軽質タール燃焼量 | $250\text{kg/h}$ (MAX) |
| 出口排ガス温度       | $850^\circ\text{C}$    |
| 燃烧空気予熱温度      | $300^\circ\text{C}$    |
| 燃烧空気比         | 1.20                   |
| 排ガス酸素濃度       | 4.0%(w.b.)             |

表2-2. タール物性値

| 種類    | 重質タール        | 加熱軽質タール      |
|-------|--------------|--------------|
| 高位発熱量 | 35,301 kJ/kg | 29,459 kJ/kg |
| 低位発熱量 | 25,819 kJ/kg | 21,100 kJ/kg |
| 密度    | 1.10 kg/L    | 1.08 kg/L    |
| 水分    | 8.8 wt%      | 18.9 wt%     |

表2-3. 熱収支より設計した燃烧炉寸法

| 項目      | 寸法[mm] |
|---------|--------|
| 燃烧炉外径φ  | 2,480  |
| 燃烧炉全長L  | 9,620  |
| 炉内有効長L' | 6,500  |
| 鋼材板厚t   | 6      |
| 耐火材施工厚t | 150    |
| 断熱材施工厚t | 150    |

## 2.2 流体シミュレーション

同燃烧炉は臭気成分を含んだフラッシュ蒸気や生成ガスを炉内円筒断面の接線方向から導入することにより回転させ、炉の中心部分で水平に高速燃焼するバーナ火炎が、周囲で回転しているこれらの可燃性ガスをエジェクション効果により巻き込んで混合燃焼することを基本コンセプトとしている。そして、この効果を確認するために、流体シミュレーションソフト「STAR-CCM」(シーメンス社製)を使用して燃焼ガスの流れ方向と温度分布のシミュレーション解析を行っている。

さらに、詳細な炉内構造の検討を行うために、図2-3に示すタール燃烧炉の3Dモデルを用いてシミュレーション解析を行った。図より、炉内部の流れや温度分布に局所的な偏りが生じないように、炉内に図2-4に示す絞り部を設けることにより、ガスの流速を高めて攪拌を促進させている。同タール燃烧炉においては、この絞り部の位置とその内径との関係が燃烧炉の性能を大きく左右するために、同シミュレーションを駆使して、これらの関係性の最適化をはかっている。なお、シミュレーションに使用した計算条件を表2-4に示す。

つぎに図2-5に本シミュレーションの結果を示す。図より、断面Aは、重質タルの燃焼ガスに加熱軽質タールノズル(バーナ)から噴霧した加熱軽質タルの燃焼状況を表している。断面Bは、炉内温度の上昇を抑制する清水の噴霧状況を表している。断面Cは、タール燃烧炉出口における混合ガスの状態を表している。

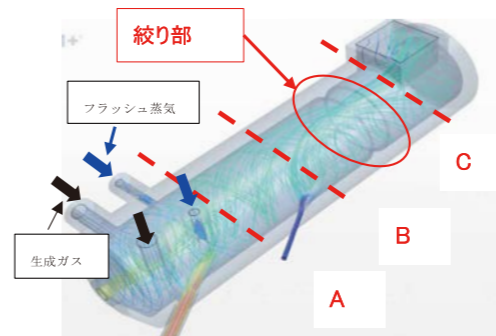


図2-3. 燃烧炉3Dモデル

まず、断面Aに着目すると、タール燃烧炉の右側から炉の中心部分に向かって加熱軽質タールが噴霧されている。そして、生成ガスとフラッシュ蒸気とが接線方向から導入されることにより、炉内に旋回流が発生し加熱軽質タルの燃焼火炎が旋回方向に流されている様子が確認できる。そして、この燃焼火炎が旋回流と混合しながら炉の中心部に向かって均熱化がはかられつつあることがわかる。そして、ガス体は、温度が低いほど密度が高く、遠心力により炉内外周部を中心に流れ、炉内壁面の温度が低下する傾向になっている。つぎに、断面Bに着目すると、清水を噴霧しているノズルの先端近傍で炉内温度が急激に低下するも、加熱軽質タルの燃焼火炎と同様に旋回流よりも中心部に向かって均熱化がはかられていく様子かわかる。最後に断面Cに着目すると、断面Aと断面Bでは旋回流を主体とする混合機構が働いていたことに対して、断面Cでは、絞り効果による縦渦を主体とする混合機構が働いている。このことによりタール燃烧炉出口においては炉の中心部から外周に至って均熱化が進み均等な温度分布になっていることが確認できる。

なお、燃烧炉内の絞りは圧力損失が増大し、設備全体の風量バランスに影響を与えることが想定されるため、絞り部の有効断面積が78%になるように設計している。以上のことから、本シミュレーション結果を用いて、加熱軽質タールノズルの設置位置及び炉内の絞り断面積の最適化をはかることが可能となった。

表2-4. 流体シミュレーション計算条件

| 項目         | 条件値        |
|------------|------------|
| 重質タール燃焼量   | 112.5 kg/h |
| 加熱軽質タール燃焼量 | 137.5 kg/h |
| フラッシュ蒸気導入量 | 1,600 kg/h |
| 冷却水噴霧量     | 420 L/h    |

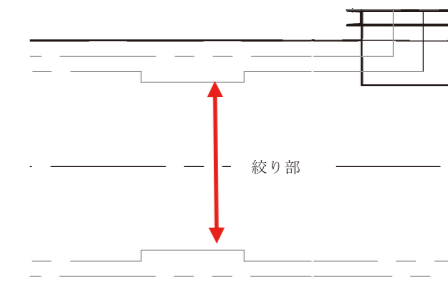
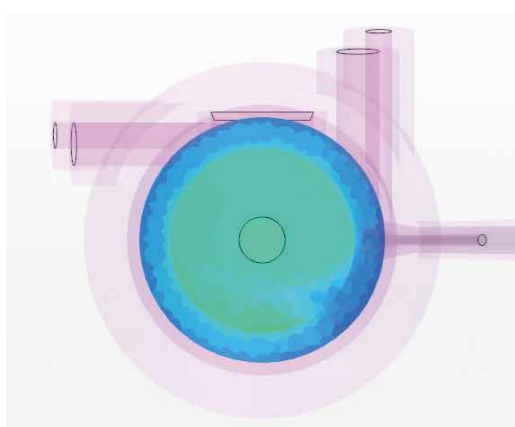
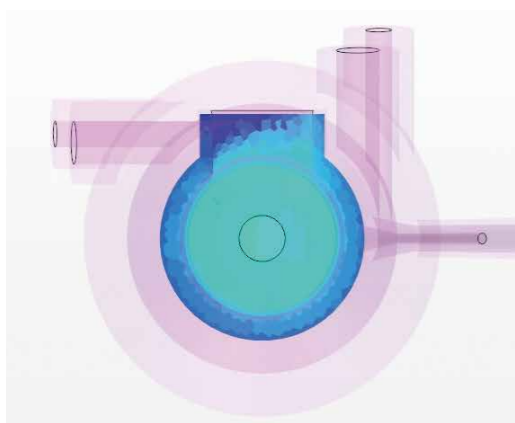


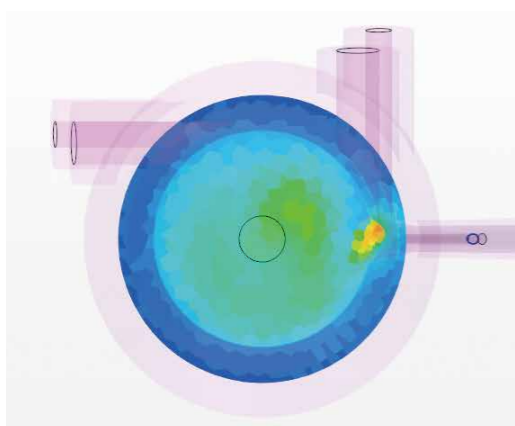
図2-4. 燃烧炉絞り部



B断面:水ノズル噴霧



C断面:燃焼炉出口



A断面:加熱軽質タールノズル燃焼

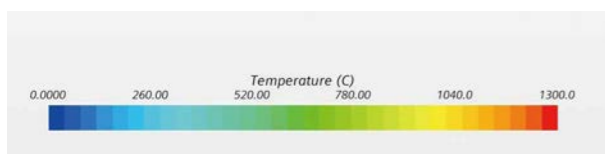


図2-5. シミュレーションの断面温度分布

### 2.3 重質タールバーナ

写真2-2に示す重質タールバーナは、図2-6の重質タールバーナ構造図に示すように、バーナ本体の内部に灯油噴霧用ノズルと重質タール噴霧用ノズルを並列に搭載しており、両者共に圧縮空気を噴霧媒体とする2流体ノズルを採用している。さらに、同タール燃焼炉の廃熱を燃焼空気の予熱に有効利用すると共に、従来のメタリック製のミックスチャンバーに代えて蓄熱容量が大きい耐火キヤスタブル製とすることにより保炎効果を高めている。

同発電設備は、年1回の定期点検時に完全停止状態から起動するが、その時のみ最初の4時間は灯油を使用する。そして、炉内が規定の温度に上昇すると重質タールの噴霧を開始し、灯油と重質タールとの混焼燃焼での運用となる。この時は、灯油の燃焼量のみで炉内の温度制御を行っている。そして、燃焼炉出口が設定温度800℃~850℃まで昇温し、灯油の燃焼量調量弁開度が一定時間低開度で維持されると灯油の噴霧を停止して重質タールのみの専焼に切り替わる。さらに、燃焼炉が昇温してから一定時間経過後に、加熱軽質タールバーナの運転が開始され、燃焼炉内部の重質タールバーナの火炎に向けて加熱軽質タールが噴射され、重質タールと加熱軽質タールの混焼が開始される。

本バーナにおける燃焼量制御は、設備内で発生する重質タールと加熱軽質タールとを燃料としてタール燃焼炉で全量消費する必要があるため、これらのタール発生量とのバランスを勘案して任意に設定できるようにしている。灯油使用時には排ガス温度制御、重質タール専焼の場合にはタール燃焼量を任意で設定する流量制御を行い、重質タール専焼のみで炉内温度が850℃以上の温度になるように流量を設定している。そして、炉内温度が850℃を超える場合には、清水を噴霧して炉内温度が850℃になるように温度制御を行っている。なお、運用中にタール燃焼炉出口の温度が低下したときには、灯油による補助燃焼で再度昇温を行っている。

これらのタール燃料は、前述したように水溶性で不安定な性状を示すため、温度が一定であっても動粘度が常に変動しており、調量弁が同じ開度であっても流量が変化することになる。このことから、燃焼空気量の調整は実際の燃料の流量値より計算して燃焼に必要な空気量を調整している。さらに、燃焼空気ダクトには風量計を設置し、タッチパネル上で空気比を入力することで、燃料の実流量に対しての空気比制御を可能にしている。図2-7に燃焼量が一定のまま空気比の設定値を変更した時の運転中の各トレンドを示す。

図2-8に、加熱軽質タールの燃焼量を変更したときの空気比制御の各トレンドを示す。図より青線で示す燃焼量が設定値となる様に流量制御していることと、緑線でしめす風量も

同時に空気比制御している。これより、不安定な性状の燃料であっても流量に対して燃焼空気量を自動調整し、空気不足にならないように運用できるシステムを構築している。

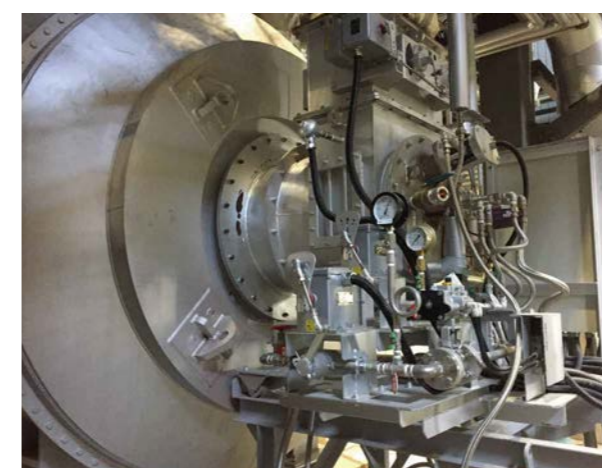


写真2-2. 重質タールバーナ

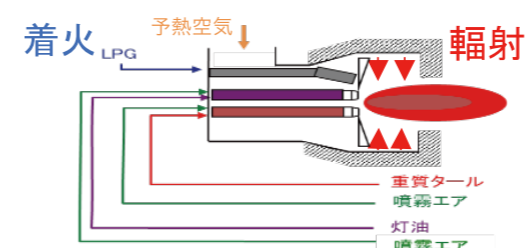


図2-6. 重質タールバーナ構造図

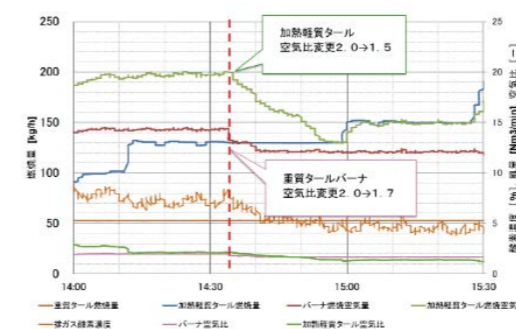


図2-7. 燃焼量が一定の空気比制御

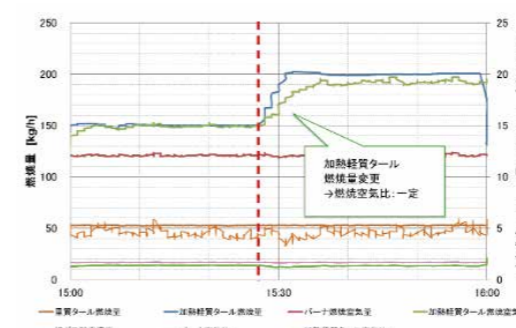


図2-8. 燃焼量, 空気比の同時制御

### 2.4 加熱軽質タールバーナ

写真2-3に示す加熱軽質タールバーナは、重質タールバーナと同様に圧縮空気を噴霧媒体とする2流体ノズルを使用し、炉内で燃焼している重質タールの火炎に加熱軽質タールを噴霧して燃焼させるバーナである。そして、本バーナは、図2-9に示す構造をしており、噴霧した加熱軽質タールは燃焼炉内で燃焼している重質タールの火炎とキヤスタブルからの輻射熱をうけることにより燃焼を安定させている。ところで、加熱軽質タールの噴霧ノズルは、写真2-4に示すような二重構造とし、内側を加熱した80℃の加熱軽質タールが、外側を常温の噴霧用圧縮空気が流れる構造としている。従来のタール燃焼ノズルを使用すると、噴霧用圧縮空気により加熱軽質タールが冷やされてすぐに固着してしまう現象が起きている。



写真2-3. 加熱軽質タールノズル



写真2-4. 加熱軽質タールノズル(従来品)

そこで、加熱軽質タールノズルの改善案として、写真2-5に示すように液体燃料が流れる経路と噴霧エアが流れる経路とを分離して、加熱軽質タールが冷却されない特殊ノズルに変更している。また、加熱軽質タールを使用していないときにノズル先端のタール残渣が高温な炉内の輻射熱を受けて固着し詰まりが発生した経緯があるため、ノズル全長を短くし、図2-9に示すように予熱空気でノズル先端部を冷却できる構造に変更している。そして、このノズルは、動粘度が高い液体や、異物が混入している液体、液体温度が低下すると固着するような今回の加熱軽質タールなどの燃料を噴霧するときには極めて詰まり難い構造になっている。なお、本加熱軽質タールバーナは、季節変化による木質燃料の含水量が増減し、加熱軽質タールの生成量が大きく変動しても、連続で安定して燃焼することができるバーナが求められる。

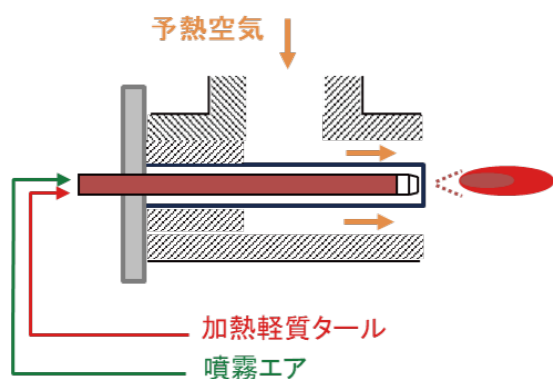


図2-9. 加熱軽質タールノズル構造図

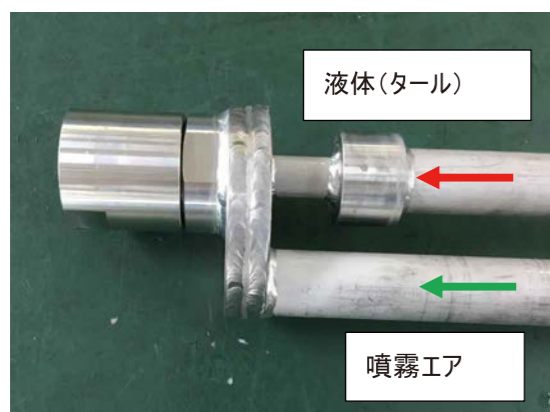


写真2-5. 加熱軽質タールノズル(特殊品)

### 3. タール燃焼装置の運転

ここでは、発電設備の定格出力運転中におけるタール燃焼装置の2つの事例であるRUN1、RUN2とを比較する。その時の比較運転データとしてRUN1を図3-1に、RUN2を図3-2に示す。タール燃焼装置の運用は、年間を通じての加熱軽質タールと重質タールの発生量を日々管理し、それぞれのバーナの出力バランスを任意に変更して管理している。しかしながら、季節変動や運転状況により加熱軽質タールは大量に発生する場合があります、表3-1に示すように低位発熱量が基準値(低位発熱量21,100kJ/kg)に到達しない状況で噴霧する運転の頻度が高くなることは否めない。

図3-1より、RUN1の運転では、重質タール燃焼量が85kg/h、加熱軽質タール燃焼量が200kg/hで運用している。この時、炉内温度を制御する清水噴霧量は0L/hで燃焼炉内温度を800℃以上で運用している。この運用に対して、図3-2に示すRUN2の運転では、重質タール燃焼量が50kg/h、加熱軽質タール燃焼量が300kg/hで、炉内温度が850℃となる様に清水噴霧量を200~300L/hの範囲で噴霧し制御しているのがわかる。RUN1よりもRUN2の方が加熱軽質タール中の水分量が少ないことから、このときの加熱軽質タールの濃縮度合いに差があり、低位発熱量も大きく異なっている状況での運用である。

以上のように、本タール燃焼装置は、重質タールや加熱軽質タールの物性値が大きく変動しても臨機応変に対処可能な機器や制御方式で構成している。そして、加熱軽質タールを安定して炉内で噴霧させることで、無害化に必要となる炉内温度を継続的に維持することが可能である。さらに、本タール燃焼装置に搭載しているバーナには、燃料の燃焼量からフィードバックを行い必要となる燃焼空気量を自動調整する制御システムを導入している。このことから、空気比を任意に設定するのみで燃焼空気量を精度良く調整でき、しかも、燃料の物性値が変化することによって燃焼量が大きく変動しても燃焼空気量の調整を自動で行うことができる。

加えて、これらの自動制御システムは、排気煙道の酸素濃度が基準値の4%前後に収まるように中央操作室で監視しながら燃焼空気比の設定を変更することが随時できることから、急激にマテリアルバランスが変化して酸素不足に至った時でも瞬時に対応することが可能である。

表3-1. 加熱軽質タール物性値

| 運転データ | 日時               | 燃焼量      | 水分率      | 低位発熱量        |
|-------|------------------|----------|----------|--------------|
| RUN 1 | 2018/04/12 21:50 | 200 kg/h | 74.0 wt% | 8,371 kJ/kg  |
| RUN 2 | 2018/12/12 16:00 | 300 kg/h | 54.4 wt% | 12,138 kJ/kg |

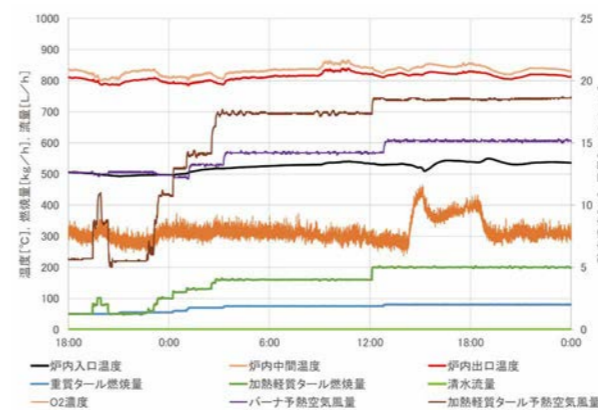


図3-1. 運転データRUN1

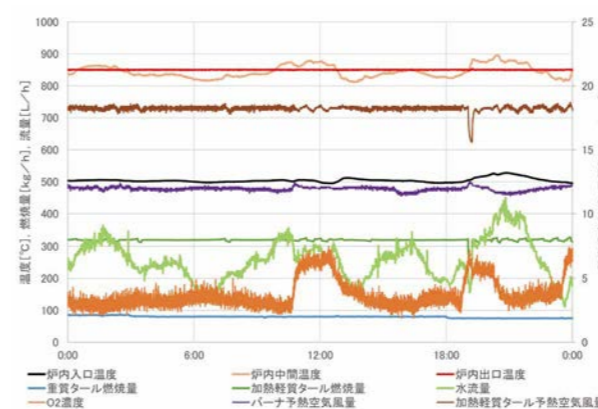


図3-2. 運転データRUN2

### 4 まとめ

日工で開発した本タール燃焼装置により、木質バイオマス発電設備内で発生する重質タールと加熱軽質タールを化石燃料の代替燃料として有効利用することを可能にした。これまで、バイオマス発電ではタールを成分とする副産物が多く発生することで、これらの廃棄処理費用の問題やタールを含む蒸気からの臭気問題などが運用上の問題となり、従来の最大出力能力を下げた運用することもあったが、本開発したタール燃焼装置を用いることで、これらの問題が解決し、定格出力を維持しつつ年間を通しての安定した運用が可能になった。

そして、本装置を設計する上でキーポイントとなるのは、

- ・フラッシュ蒸気の導入位置
- ・加熱軽質タール特殊ノズル
- ・加熱軽質タールの燃焼する基準熱量
- ・生成ガスの自立燃焼する条件

以上の4点である。本開発においてシミュレーションソフトで

燃焼炉内のノズル導入位置と形状を最適化することができたため、タール燃焼装置の排ガス無害化処理性能を発揮し、現在も問題なく稼働している。

本装置で開発したバーナは、弊社のバイオマスバーナの技術を基盤に予熱空気使用、燃焼空気量の自動制御を導入したバーナである。これらの技術は、今後もバイオマス発電設備内のバーナやアスファルトプラント用のバーナとしても幅広く製品展開できると考えている。

### References

1. 前田道路(株) 傳田喜八郎/日工(株)今田雄司:アスファルトプラント用ガス・バイオマス燃料混焼バーナの開発, 日本工業出版, 建設機械2017年1月号, 技術資料, p.10 (2017).
2. 社団法人 日本エネルギー学会:バイオマスハンドブック 第2版, オーム社, (2009).
3. 社団法人 化学工学会, 日本エネルギー学会:バイオマスプロセスハンドブック, オーム社, (2012).
4. 化学工学会編:化学工学便覧 第7版, 丸善出版, (2012).

### 筆者紹介



KONTA Yuji  
今田 雄司  
2002年入社  
開発部 開発1課



KITANO Yuuki  
北野 裕樹  
2015年入社  
開発部 開発1課



— 製品紹介 —

# アスファルト合材製造に関わる、 省エネ・燃費削減技術について

日工株式会社  
エンジニアリング部 東京技術室 中浦 孝明

## 1. はじめに

道路資材であるアスファルト合材を製造する設備であるアスファルト合材プラントは、時代と共に変革が求められている。

まずアスファルト合材プラントとは、骨材(碎石、砂等)を乾燥加熱し、粒度毎に篩い分け、配合通りに計量を行い、石粉、アスファルトと共に混練し、アスファルト合材を製造する設備である。これは国産アスファルト合材プラントができた昭和の時代から大きく変化していない。

しかしながら、アスファルト合材プラントを取り巻く環境の変化に伴い、アスファルト合材プラントも合材サイロやリサイクルユ

ニット等の付帯設備、脱臭装置等の環境設備が増設され、図1に示すようなアスファルト合材プラントのシステムフローとなった。

今回は、近年もっとも需要が高まってきている、省エネ・燃費削減技術について、説明をする。

まずは、設備更新をせずに、普段の運転で気を付けて頂きたい点を紹介したい。

その後、新しい技術を使った、設備更新を伴う省エネ・燃費削減について紹介する。

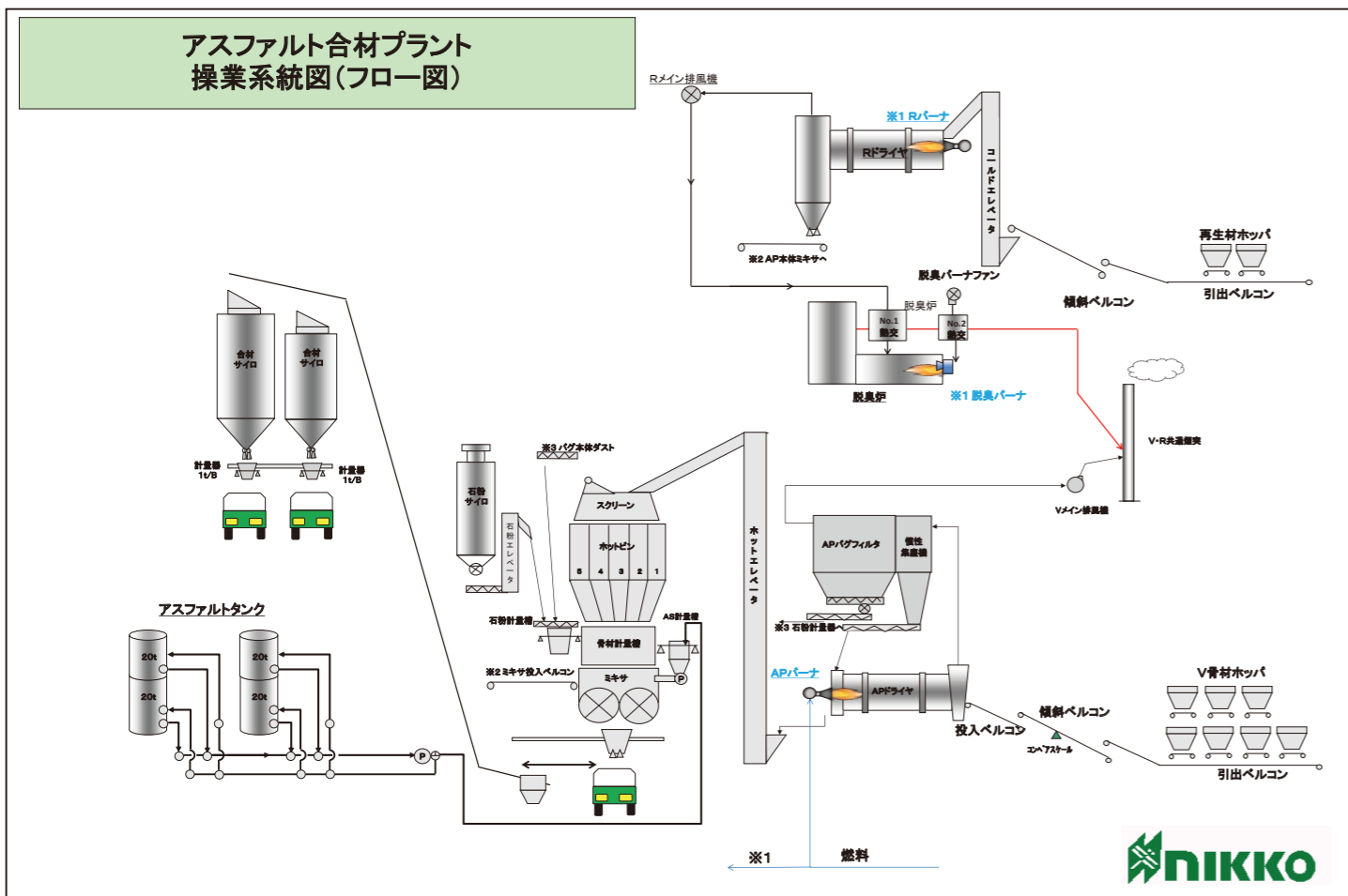


図1 アスファルト合材プラント フローシート

## 2. アスファルト合材プラントの熱使用について

全国のアスファルト合材プラントの90%以上が、化石燃料であるA重油もしくは灯油を用いて、骨材を乾燥させている。この燃料の使用量の内訳とその低減方法を下記に記す。

### 2.1. 燃料使用の内訳

1tあたりの合材製造には、約8.5LのA重油を使用している。(含水比6%、160℃昇温の場合)

その合材製造における熱量割合は、表2-1の通り、ドライヤ効率はI・IIを合わせた85%と、高効率なドライヤとなっている。

表2-1 燃料の熱量使用内訳

| No. | 項目             | 割合(%) |
|-----|----------------|-------|
| I   | 骨材の昇温に要する熱量    | 39%   |
| II  | 水分の昇温、蒸発に必要な熱量 | 46%   |
| III | 排ガス損失熱量        | 12%   |
| IV  | 放散熱            | 3%    |

表2-1を見ると、熱量割合で水分の割合が一番多いことが分かる。含水比が高くなると、燃費も比例して増加するため、使用する骨材の含水比については、しっかり管理することが重要となる。(図2-2参照)

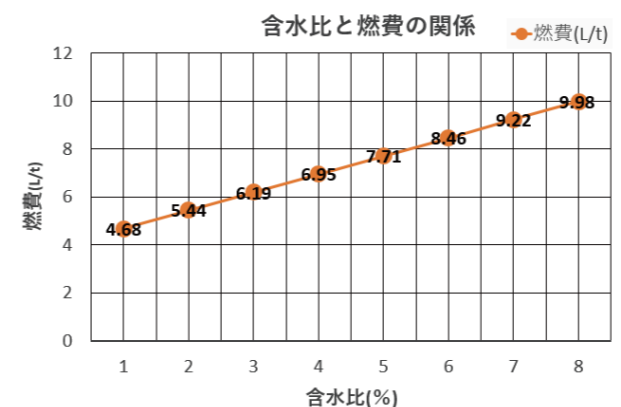


図2-2 含水比と燃費の関係

### 3. 燃費の低減方法

燃料の内訳として、表2-1内のI~IVがあり、以下3.1~3.3にて、燃費の低減方法の一例を記載する。

#### 3.1. 水分の除去

水分は機械的に抜くことが難しく、保管の管理で対応頂きたい。

##### 3.1.1. スtockヤードでの管理

Stockヤードに屋根を設け雨水を防ぐ事は一般的である。さらに受入時が含水比の高い状態なので、受入場所と使用場

所を分ける事で、含水比が比較的低い状態での使用が出来る。

##### 3.1.2. ヤードでの骨材のすくい方

ヤードに置いてある骨材は、底付近にあるものは、含水比が非常に高くなっている。

そのため、ショベルですくう場合、底から20~30cmぐらいくすくうようにし、底付近の含水比の高い骨材は、なるべくすくわないようにすることにより、使用する骨材の含水比を下げることが出来る。

##### 3.1.3. 骨材発注タイミング

骨材の受け入れ前日や当日が雨であれば、持ち込まれる骨材が雨に濡れ、含水比が高くなっているものと思われる。

そのため、なるべく晴れが続いた日に骨材を受け入れるようにすれば、持ち込まれた骨材の含水比を、低い状態にすることが出来る。

### 3.2 排ガス損失の低減

排ガスは水分が入っており、結露防止で100℃以上の温度が必要である為、排ガスを低減することが必要である。

その排ガス量の発生割合として、表3-1の通りとしている。

表3-1 排ガス量の発生割合

| No. | 項目                | 割合(%) |
|-----|-------------------|-------|
| 1   | 燃料燃焼に伴い発生する排ガス    | 40%   |
| 2   | 骨材の水分が蒸発した水蒸気     | 26%   |
| 3   | 各機器の隙間から吸われるリークエア | 34%   |

1に関しては、低空気比バーナ採用等で低減が可能である。  
2に関しては、前述の水分除去を行うことで低減を行って頂きたい。

3に関して、常に最適なプラントの運転を行うために、設備の保全・維持が非常に重要となるので、一例を下記に記載する。

##### 3.2.1. ドライヤの気密・シール、煙道の状態確認

ドライヤの気密が悪くなると、外気を吸い込み、骨材加熱やドライヤ静圧に悪影響を及ぼすため、定期的の確認が必要がある。特にドライヤ回転部のシールの摩耗が挙げられる。

同様に、煙道に穴が空いている場合も、骨材加熱やドライヤ静圧に悪影響を及ぼすため、煙道に穴が空いている箇所はないか、点検口のパッキンの破れがないか等、日々確認することが大切である。

### 3.3.放散熱について

放散熱を削減する一例を紹介する。

#### 3.3.1.ドライヤ・煙道保温(写真3-2、写真3-3)

ドライヤ・煙道を保温することにより、放散熱を低減することが出来る。



写真3-2 ドライヤ保温



写真3-3 煙道保温

#### 3.3.2.ホットピンの保温(写真3-4)

ホットピンを保温することにより、材料の抜取回数を減らし、無駄な断続運転を減らすことが出来る。



写真3-4 ホットピン保温

## 4.新技術を利用した省エネ・燃費削減技術

以降については、新しい技術を使用した、設備更新を伴う省エネ・燃費削減技術について、説明する。

### 4.1.バイオマス燃料の利用

重油や天然ガスなどの化石燃料ではなく、再生可能な有機性資源で化石燃料を除いた燃料、「バイオマス燃料」を使用し、バーナにて燃焼させる取り組みを行っている。

バイオマス燃料は、カーボンニュートラルと位置づけされている。カーボンニュートラルとは、植物由来燃料・原料の燃焼・分解に伴って排出される二酸化炭素の量を基準(排出量)にし、元となる植物が成長過程で吸収した二酸化炭素の量(吸収量)がそれと同じ量となることを指す。

バイオマス燃料の今までのアスファルト合材プラント利用として、液体燃料としては木質タール、廃グリセリン、パーム油、ココナッツ油、廃食油を燃焼することができるバーナ(写真4-1)をラインナップしている。

固体燃料としても、RPF、木材チップ、生活ごみ炭化燃料等を燃焼することができるシステムも構築している。



写真4-1 バイオマスバーナ

### 4.2.脱臭排熱回収システム

脱臭炉の排熱を再利用することで省エネにつながる。

現状でも第一熱交換器で脱臭炉に入ってくる排ガスと脱臭炉から出ていく排ガスで熱交換しており、第二熱交換器で脱臭炉バーナの燃焼に使用する空気と脱臭炉から出ていく排ガスで熱交換を行い、燃費低減を図っている。

この現状の装置から更に脱臭炉から排出される排ガスとRバーナの燃焼に使用する空気も熱交換を行い、Rバーナ側の燃費削減を行う。(Rバーナで予熱空気として利用した場合、計算上総合燃費を0.8t/h削減可能)

#### 4.2.1.機械装置フロー(図4-2参照)

従来の脱臭装置は、前述の図1に示される通りだが、図4-2に赤線で着色した部分を追加する。これにより、Rバーナ側の燃費を低減することが出来る。

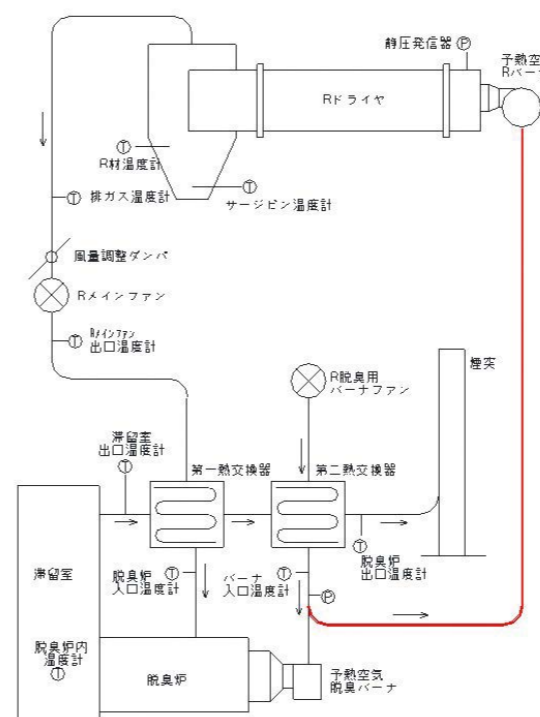


図4-2 排熱回収フロー

### 4.3.アクティブドライヤ

ドライヤをインバータ化し、ドライヤ回転数を制御する。

機械的な改造として、適正な材料の滞留を促すオプティマムリング(図4-3)を追加したドライヤに入れ替え、アクティブドライヤ制御用に、第一煙道に温度計を追加する。



図4-3 オプティマムリング付ドライヤ

#### 4.3.1.よくある問題点と、アクティブドライヤ制御によるメリット

よくある問題点と、アクティブドライヤ導入によって発生するメリットを、以下にて説明する。

##### ・問題点1: 排ガス温度が高い

熱風と材料の熱交換が十分に行われていないため、排ガス温度が高温となってしまっている。排ガス損失が大きい、ムダの多い運転となっている。

(アクティブドライヤ制御)

ドライヤ回転数を上げ、熱風と材料の熱交換回数を増加させて排ガス温度を下げ、排ガス損失を低減する。

##### ・問題点2: 排ガス温度が低い

凝縮が発生し、煙道・バグ内で水分が発生し、煙道の腐食や、バグ内のダストが詰まる可能性が高い。

(アクティブドライヤ制御)

ドライヤ回転数を下げ、熱風と材料の熱交換回数を減少させて排ガス温度を上げ、バグ内での凝縮を発生しにくくする。

##### ・問題点3: バーナ消火後のクーリング

熱の偏りによるドライヤの変形を防ぐため、ドライヤが冷めるまで空運転する必要がある。

(アクティブドライヤ制御)

クーリング時はアイドリング周波数の15Hzで起動するため、電力削減が期待できる。

#### 4.3.2.動作

動作については、タイムチャート(図4-4)を参照頂きたい。

また、アイドリング周波数以外の項目については、操作盤の設定にて、変更可能としている。

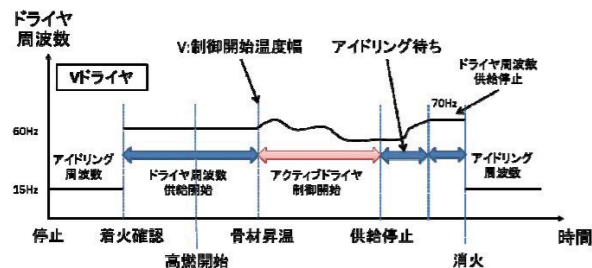


図4-4 タイムチャート

5. 操作盤による新技術

従来のPC操作盤から、IoTの発達により、多様な制御方法が操作盤で可能となっている。

- ・5-1. 新バーナツイン制御
- ・5-2. AS配管ヒータ温度調節制御

については、「Command-ARVO(コマンド-アルボ)」操作盤(図5-1)にて実装可能な技術としている。

各紹介資料の中には、開発当時のものも含まれており、一部現在の仕様とは必ずしも合致しない点があるため、了承頂きたい。



写真5-1 Command-ARVO操作盤



写真5-2 Command-ARVO付属のタブレット端末

5.1. 新バーナツイン制御

Command-ARVO操作盤で標準搭載している、新バーナツイン制御は、学習型燃焼理論制御(以下、燃焼理論制御)と、PID制御を混合したバーナの制御方法となる。

新バーナツイン制御をうまく調整することにより、ムダな燃料の使用を抑え、省エネ化を実現する。

5.1.1. 燃焼理論制御

燃焼理論制御は、各フィーダの送り量から燃焼量を計算し、バーナを制御する方法となる。

詳しく述べると、各フィーダの送り量(測定値)・ホッパ内材料含水比(あらかじめ設定)を元に、ドライヤ効率を加味して設定温度にするための燃焼量を理論値で求める。その燃焼量と骨材温度誤差(骨材予測温度-骨材設定温度)から目標燃焼量を演算し、バーナを制御する。

これによって、送り量を変えた時点で適切なバーナ開度に調整する先読みの制御が可能になり、骨材温度の安定化が図れる。

なお、演算結果が実際の状況(ドライヤ効率・含水比の変化など)と異なる場合は、学習補正して適切な燃焼量に変更する。操作盤納入時の最初の運転時にはまだ学習補正が完了していないため、

- ・設定温度を変更(高め/低めに設定)する
- ・手動で一定の開度で運転する

を行い、学習させることが必要となる。その際にはなるべく供給量を変化させないようにすることが重要である。(PLCに「この送り量の場合はこの燃焼量が必要」と覚えさせる。)

5.1.2. PID制御

PID制御は、設定温度と骨材温度の上がり具合から燃焼量を計算し、バーナ開度を決定する制御方法となる。

PID制御を行うために、操作盤には「P(%)」、「I(s)」、「D(s)」を設定する箇所がある。それぞれの項目は数値を変化させると以下のような働きをする。

・P(%)

大きくすると立ち上がり時間が長くなるが、オーバーシュートしにくくなる。

小さくするとオーバーシュートもハンチングもするが、設定値に早く到達する。

・I(s)

大きくすると設定値になるまでの時間が長くなるが、ハンチングやオーバーシュートが小さくなる。

小さくすると、オーバーシュートやハンチングが起こるが早く立ち上がる。

・D(s)

大きくするとオーバー・アンダー安定時期ともに小さくなるが、細かいハンチングを生じる。小さくすると、オーバー、アンダーが大きくなり、設定値に戻るまで時間がかかる。

5.1.3. 新バーナツイン制御

Command-ARVO操作盤では、燃焼理論制御とPID制御を混合したバーナ制御を行う。

バーナ制御の混合割合は、「制御定数」を変更することで変化し、0~19の20段階で設定が可能。「制御定数」は、数字が小さいほど燃焼理論制御を重視し、大きいほどPID制御を重視する。

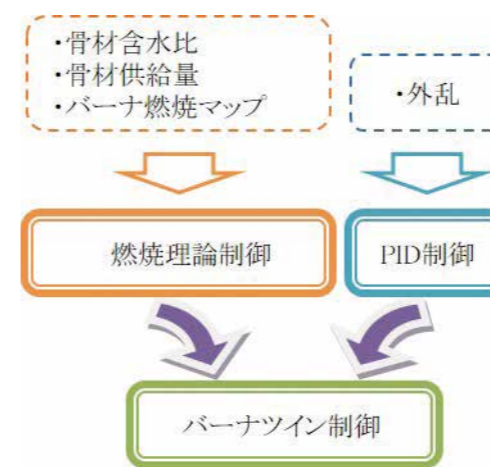


図5-3 新バーナツイン制御のイメージ図

5.1.4. 立上パターン制御

Command-ARVO操作盤では、初期燃焼を「立上パターン制御」により制御することも可能。4段階の開度と時間を設定することでバーナの立ち上げ制御を行い、「立上パス」SWを押すか、設定温度に到達すると、新バーナツイン制御に移行する。

5.2. AS配管ヒータ温度調節制御

今まで動力盤で行っていた、AS配管ヒータ(ASタンク周り~AS計量器まで)の温度調節を、操作盤にて設定する。

操作盤でAS配管ヒータの温度を設定するだけでなく、多様な機能を追加している。

以下の各項目にて、操作盤の画面を交えながら、説明する。

5.2.1. AS配管ヒータ設定画面(図5-4)

AS配管のヒータ制御で使用する、「待機温度」「予熱温度」「運転温度」の温度設定を行う。

また、AS配管ヒータをウィークリタイマで制御する「ウィークリ」、運転温度のみで制御する「通常」の選択が可能。

| AS配管ヒータ番号       | モード | ウィークリタイマ | 現在温度(℃) | 設定温度(℃) | 待機温度(℃) | 予熱温度(℃) | 運転温度(℃) |
|-----------------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 AS配管ヒータ(1)    | 通常  | ウィークリ    | 33      | 155     | 120     | 140     | 155     |
| 2 AS配管ヒータ(2)    | 通常  | ウィークリ    | 33      | 155     | 120     | 140     | 155     |
| 3 AS配管ヒータ(3-1)  | 通常  | ウィークリ    | 33      | 155     | 120     | 140     | 155     |
| 4 AS配管ヒータ(3-2)  | 通常  | ウィークリ    | 33      | 155     | 120     | 140     | 155     |
| 5 AS配管ヒータ(4)    | 通常  | ウィークリ    | 33      | 145     | 100     | 120     | 145     |
| 6 AS配管ヒータ(5)    | 通常  | ウィークリ    | 33      | 156     | 120     | 140     | 156     |
| 7 AS配管ヒータ(6)    | 通常  | ウィークリ    | 33      | 155     | 120     | 140     | 155     |
| 8 AS配管ヒータ(7)    | 通常  | ウィークリ    | 33      | 155     | 120     | 140     | 155     |
| 9 AS配管ヒータ(8-1)  | 通常  | ウィークリ    | 33      | 155     | 120     | 140     | 155     |
| 10 AS配管ヒータ(8-2) | 通常  | ウィークリ    | 33      | 155     | 120     | 140     | 155     |

図5-4 AS配管ヒータ設定画面

5.2.2. ウィークリタイマ画面(図5-5)

日曜日~土曜日までの一週間のAS配管温度の設定温度を、24時間30分単位で管理・設定することが出来る。

- ・青:ヒータ切
- ・緑:待機温度で制御
- ・黄:予熱温度で制御
- ・ピンク:運転温度で制御

例えば、プラントの運転が無い日曜日は、全て「待機温度」に設定、月曜日の朝出荷4時間前には「予熱温度」、出荷2時間前には「運転温度」等、出荷の予定に合わせたAS配管ヒータの温度設定が可能。

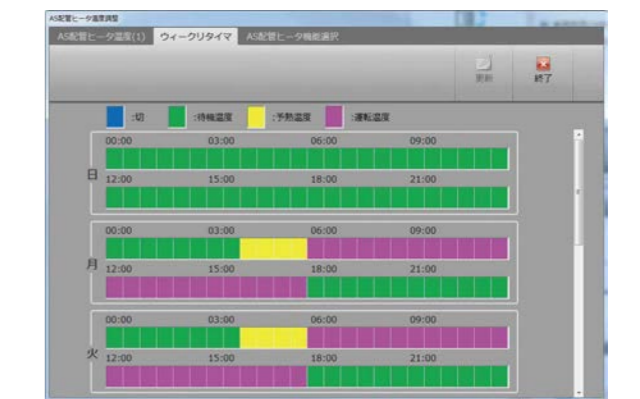


図5-5 ウィークリタイマ画面

### 5.2.3.AS配管ヒータ機能選択画面(図5-6)

AS供給ポンプのメカニカルシール設定温度や、インターロックの切入などが設定を行う。

また、1つのAS配管ヒータに2つ以上の温度設定がある場合、この画面にて設定変更などを行う。



図5-6 AS配管ヒータ機能選択画面

### 5.2.4.本機能を実装するにあたって

本機能を実装するにあたり、操作盤改造以外に、以下の改造が必要となる。

- ・AS配管ヒータ温調をk熱電対方式に変更
- ・AS配管ヒータを制御している動力盤に、k熱電対からの信号を操作盤に取り込むための、温度入力ユニット追加

## 6.今後の展望

現在、アスファルト合材製造をとりまく状況ひいては我が国を取り巻く状況が大きな変動期を迎えている。

この中で、キーワードとなるのは、

- ・安心、安全
- ・地球温暖化ガスの低減

であるとする。

本稿では多くの内容を割けなかったが、アスファルト合材プラントを利用される方々の安心、安全は最優先事項であり、これらの方々が健康で安心して働ける環境をつくることは、我々アスファルト合材プラントメーカーの使命でもあると考えているので、合材工場での事故ゼロに向け、引き続き取り組みを進める。

本稿の主題と関連が深い、温暖化ガスの低減については、昨年末にわが国政府にて掲げられた“2050年カーボンニュートラル”宣言に基づいて、経済産業省を中心に“2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略”が策定された。これは、

カーボンニュートラルへの挑戦を経済の好循環に繋げる政府の政策である。

現状、我々の試算では、アスファルト合材の製造に関わるCO<sub>2</sub>排出量は、我が国の総CO<sub>2</sub>排出量の0.1%を占めている。この“0.1%”を多いと見るか、少ないとみるかは意見の分かれるところであるが、上記政府の方針に基づき、我々アスファルト合材プラントメーカーとしてこの“0.1%”をいかに“0%”に近づけるかの技術開発、製品開発を進めていく。

2050年にCO<sub>2</sub>排出実質ゼロを達成するためには、少なくとも2030年の段階でCO<sub>2</sub>排出量を半減することが当面の目標であると考えている。この目標を達成するためには従来の発想の延長線上では困難であり、

#### 1) 熱源の見直し

バイオマス利用促進、水素・アンモニア混焼、エレクトロヒート利用、再生エネルギー利用等をミックスして効率的かつ経済的な熱源の再構成を行う。

#### 2) 合材製造工程の見直し

プラント前後の工程(材料の製造、保管～プラントでの合材製造～舗設現場への搬送)を含めたCO<sub>2</sub>低減策を提案する。

#### 3) 中温化技術等の利用

合材搬送距離の拡大によりもたらされるプラントの役割を見直し、より効率的な合材製造ができるシステムを構築する。などの施策が必要である。

ただし注意が必要なのは、必ずしも CO<sub>2</sub>削減=省エネルギーではなく、またCO<sub>2</sub>削減を求めることにより、合材の製造コストが増大するケースもあるので、“CO<sub>2</sub>削減”、“省エネルギー”、“経済合理性”の3つバランスがとれた製品、システム、サービスの開発、提供が必要であるとする。

最後に、これらのアスファルト合材プラント全般における課題を解決していくためには、プラントメーカー単独では困難であり、同じ志をもつ、合材工場を運営されている皆様、道路舗装材料を製造されている皆様、道路舗装に関わる皆様、ステークホルダーの皆様と一体となってこの業界および社会全体の課題解決に貢献していきたい。

出典

「アスファルト合材製造に関わる、省エネ・燃費削減技術について」

アスファルト合材、No.138、P12-20、2021/04

(一社)日本アスファルト合材協会より許諾を得て掲載。

### 筆者紹介



NAKAURA Takaaki

中浦 孝明

2010年入社

技術統括部・東京技術室

— 製品紹介 —

# KLEEMANN社製自走式コーンクラッシャー「MCO9Si」

KLEEMANN社(ドイツ)製自走式破碎機の国内販売代理店として活動を始めてから7年目となる。日本では最後発の自走式製品。KLEEMANN社はドイツを拠点に160年の歴史を誇る破碎機メーカーであるとともに、世界で年間約1,000台を販売するトップメーカー。破碎機最大の特徴は、ヨーロッパの圧縮強度の高い岩石を破碎するために設計された「強力な破碎力」。そしてディーゼルエンジンによるダイレクト駆動と電気モーターを併用したハイブリッド駆動で「世界屈指の低燃費」を誇る。今回は自走式コーンクラッシャー「MCO9Si」を紹介する。

## 最大処理能力245<sup>トン</sup>/時

機械寸法は長さ20.2<sup>メートル</sup>、幅3.2<sup>メートル</sup>、高さ3.4<sup>メートル</sup>、重量44<sup>トン</sup>。原料ホッパー、フィーダ、コーンクラッシャー、排出コンベヤ、スクリーン、リターンコンベヤ、駆動装置(エンジン出力289<sup>キロワット</sup>)、走行用クローラで構成され、最大処理能力は処理後粒度80<sup>ミリメートル</sup>で245<sup>トン</sup>/時(40<sup>ミリメートル</sup>:約180<sup>トン</sup>/時、20<sup>ミリメートル</sup>:約100<sup>トン</sup>/時、5<sup>ミリメートル</sup>で約50<sup>トン</sup>/時)。

原材料の種類やサイズ、破碎後粒度などの条件に合わせて、6種類のマントルライナとボウルライナを用意。最適な組合せを選択する事で砕砂から80mmまでの幅広い生産ニーズに対応する。

原材料をホッパーに投入し、磁選機・金属検出器を有するフィーダでコーンクラッシャーに供給し破碎。投入量は超音波センサーとカメラで監視する。破碎後、排出コンベヤでスクリーンに投入され選別。オーバー品はリターンコンベヤを介して再びホッパーに投入。アンダー品は製品として排出される(図1参照)。

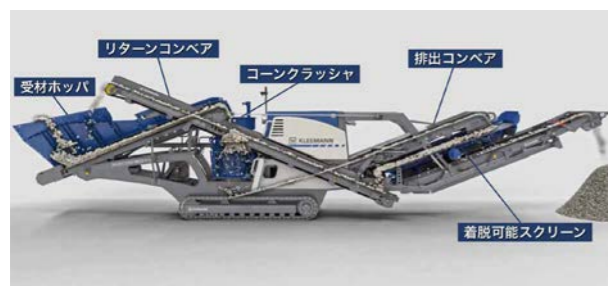


図1 機器構成

## JIS粒形判定実積率57%

主な特徴として、1つ目は強力な破碎力と共に、最適な機械チューニング(CFS、供給速度、CSS、回転数など)により、フルチョーク運転する事で、良質な粒形に破碎が可能。硬質砂岩の1号砕石及び100-0<sup>ミリメートル</sup>を20-05<sup>ミリメートル</sup>骨材に破碎した事例では、生コンクリート用骨材JIS規格にある粒形判定実積率で57%以上の試験結果を得ている(図2参照)。



図2 コーンクラッシャー内部

この1年、再生骨材から硬質砂岩まで数多くのデモンストレーションを行ったが、ユーザーの満足度は非常に高く、受注に結び付いている(写真1、2参照)。



写真1 岐阜県現場 材料:硬質砂岩 100-0→20-0



写真2 茨城県現場 材料:硬質砂岩 80-40→20-0

## 世界NO.1の燃費

2つ目は世界屈指の低燃費。時間当たりの燃料消費量は、20%前後。生産トン数は世界最高レベルの低燃費となる。破碎時、油圧を使用せず、流体クラッチでディーゼルエンジンと破碎機を直接つなぎ駆動させる。フィーダ、ベルトコンベヤはエンジンから発電された電気を使用。本ハイブリッド方式で低燃費を実現、CO<sub>2</sub>排出量低減や燃料コスト低減に取り組む需要家にとっては、非常に有意義な製品となる。

## 設置が容易。最短1日で稼働可能

3つ目の特徴は設置が短時間で済むこと。50<sup>トン</sup>トレーラーで搬入できる事が条件となるが、本体とスクリーンユニットの連結を含む設置に要する時間は30分程度。また、スクリーンの網交換などのメンテナンス作業も容易な構造となっている。

## メンテナンスサービス充実

そのほか製品ラインナップは、大塊選別用スクリーン、ジョークラッシャー、インパクトクラッシャー、粒度選別用スクリーンなどがある。

また、メンテナンスパーツ、バックアップ機を東京モバイルセンター(埼玉県吉川市)と東京サービスセンター(千葉県野田市)に在庫しており、定期メンテナンスや万が一の故障トラブル対応への備えも充実している。

メンテナンスサービス体制をさらに充実させるとともに、良い製品とサービスを提供し、需要家のさらなる発展に貢献していく方針である。



製品紹介動画

## 筆者紹介



KOJIMA Yousuke  
小島 陽介  
1993年入社  
モバイルプラント事業部

— 製品紹介 —

# 前川工業所製 ロールブレーカー

## 1. はじめに

破碎機は破碎対象物の性状(硬さ、大きさ、形状、比重、水分等)や破碎後サイズ、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碎原理により各種あります。

その中でダブルロールクラッシャーは2つのロール間に原料を通し圧縮力で破碎します。

ロール間隙を調整することで狙った粒度を歩留まりよく破碎可能で、主に二次～三次破碎に広く使用されています。

今回は圧倒的な実績と性能によりダブルロールクラッシャーの代名詞となった「ロールブレーカー」についてご紹介致します。

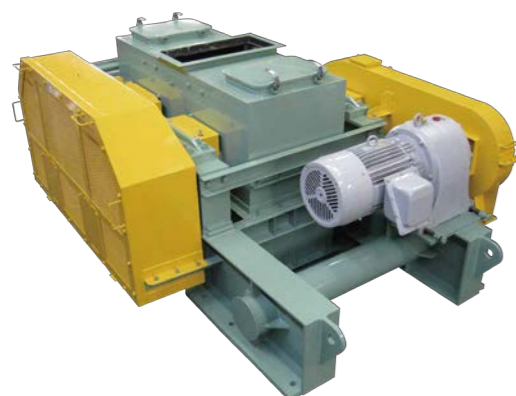


図1 ロールブレーカー RBT-3024GCS型 外観

## 2. ロールブレーカーの特徴

### 2-1 目的の粒度範囲に破碎可能

ジョークラッシャー、ハンマークラッシャー等に比べ製品粒度中のアンダー(粉)が圧倒的に少なく、狙ったサイズの歩留まりが多くとれます。

### 2-2 破碎粒度の精密調整が可能

前川工業所独自の間隙調整機構により、ロール間隙が0.1mm単位で簡単に調整できますので、ロール摩耗や破碎物の性状変化に合わせて随時調整できます。

### 2-3 低騒音

前川工業所独自のゴムタイヤ駆動により、低騒音化を実現しています。

### 2-4 含水原料への対応

ジョークラッシャー、ハンマークラッシャー等は含水原料を破碎すると付着により所定の性能を発揮できません。ロールブレーカーはスクレーパーを取付けることで含水原料の破碎も可能です。

## 3. 構造

### 3-1 全体構造

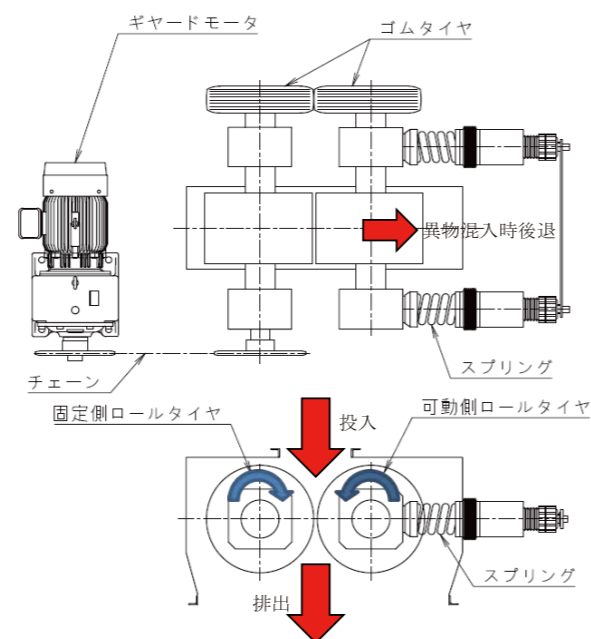


図2 ロールブレーカー構造

- ・2つのロールタイヤが内向きに回転し、上部から投入された原料は、2つのロール間を通過する際に圧縮破碎されます。
- ・ギヤードモータからチェーンを介して固定側ロールタイヤを駆動し、ゴムタイヤにより可動側ロールタイヤに回転が伝達されます。
- ・可動側ロールタイヤはスプリングで支持されており、金属異物や大塊等が投入された際にスプリングが圧縮しロールタイヤが後退することでロール間隙がひろがり異物を通過させます。
- ・ロール間隙の大きさにより破碎後サイズが決まります。
- ・ロール間隙は前川独自の間隙調整機構により任意に調整が可能です。

### 3-2 間隙調整機構

間隙調整ねじ1目盛で1mmの間隙調整が可能です。また、微調整板目盛りを使用することで0.1mm単位での調整も出来ます。

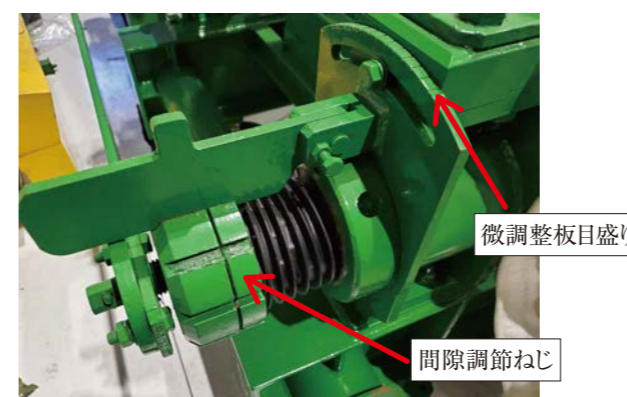


図3 間隙調整機構

### 3-3 ゴムタイヤ駆動

固定側ロールタイヤの駆動力をゴムタイヤにて伝達し可動側ロールタイヤが回転します。

この前川工業所独自のゴムタイヤ駆動により、一般的なギヤ駆動と比較し低騒音です。また、間隙に合わせてゴムタイヤの空気を増減することで幅広い間隙調整に対応可能です。



図4 ゴムタイヤ駆動

| 型式        | ロール (mm)  | モータ (kW) | 処理能力 (t/h) |
|-----------|-----------|----------|------------|
| RBT-1610G | φ 400*250 | 11       | 5.5        |
| RBT-1716G | φ 430*410 | 11       | 9          |
| RBT-2410G | φ 610*250 | 11~15    | 11~21      |
| RBT-2416G | φ 610*410 | 22~30    | 17~34      |
| RBT-2424G | φ 610*610 | 22~30    | 24~47      |
| RBT-3024G | φ 760*610 | 30~55    | 30~50      |
| RBT-3030G | φ 760*760 | 30~55    | 37~62      |
| RBT-3036G | φ 760*900 | 45~75    | 38~71      |

※処理能力は見掛け比重1.6、最大径20mm程度の石灰岩をロール間隙5mmで破碎した場合の参考値

## 5. 破碎対象物

基本的に硬い物で、力を加えて曲がる、凹むもの(鉄、銅、軟質プラ、木材、ゴム等)は破碎できません。

また、ロール間隙に対して投入原料サイズが大きいとロール上で滑って転がり破碎できません。

投入原料サイズは間隙に対して約2~4倍までに抑えるか原料サイズに合わせて間隙を調整する必要があります。

当社ロールブレーカーで実績のある処理物の例を以下に示します。



図5 砂利

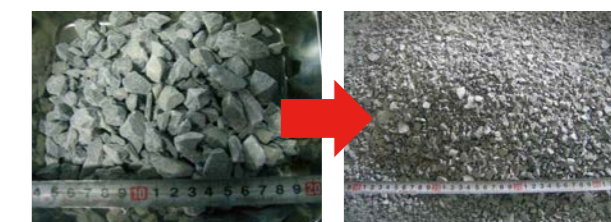


図6 石灰石

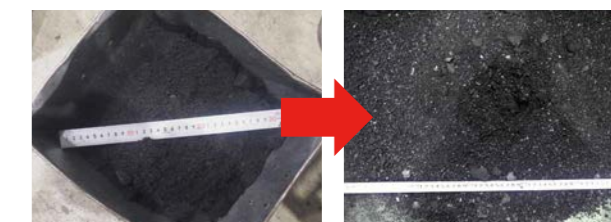


図7 石炭

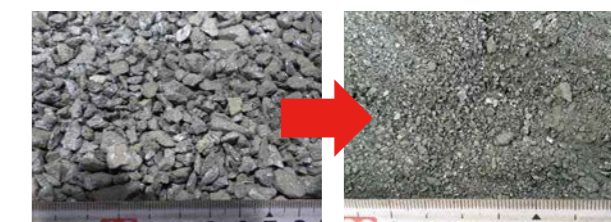


図8 フェロシリコン



図9 ガラス小瓶

## 6. 納入先

納入先事例を以下に示します



図10 スラグ破碎 RBT-2416G型



図14 ビリ破碎 RBT-2416G型



図17 常設テスト機



図11 アスガラ破碎 RBT-2416G型



図15 葉莖圧縮 RBT-1610G



図18 破碎テスト風景



図12 石炭破碎 RBT-3036G型



図16 コークス破碎 RBT-2416G型



図13 ガラス小瓶破碎 RBT-1610G型

## 7. おわりに

破碎機選定にあたり、実際の原料を使用しての破碎テストが必要です。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(ロールブレイカーは4機種)を常設し、テストにて破碎後粒度、処理能力等の確認を行って破碎機の最終仕様を決定しています。

破碎機のお問合せの際には、下記についてご連絡ください。破碎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)
- 破碎前サイズ(最大何mm、平均何mmなど)
- 破碎後希望サイズ(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



KOZAI Masahiro

小財 昌浩

1996年入社

(株)前川工業所 代表取締役社長

# — 製品紹介 —

## 小物検収システム

### 1. はじめに

近年、仮設足場材は施工業者が保有するのではなくレンタル専門業者が保有して現場へレンタルすることが主流となってきております。その理由といたしましては、整備の行き届いた製品を滞りなく供給できることにあると思われま。レンタル専門業者では製品知識とノウハウを駆使し部材を整備して出荷することで安心安全な製品を提供するとともに豊富な製品在庫を抱え安定供給を実現しています。

そのレンタル専門業者にも雇用面でかなり悩まされることが多いとお聞きしました。屋外に保管されている業者が殆どで、過酷な天候状態に晒され軽作業を行うことが要因だと思われま。現況では、シルバー人材や海外からの技能実習生で補っているようです。

弊社ではそうした社会変化に順応すべく、省人力化をテーマに開発に取り組み、仮設足場材における建わく・足場板・次世代足場などのケレン研掃・超高压洗浄のほか、製品の選別・積み上げ等の各種システムをご提案しております。本稿では弊社が取り扱っております「小物検収システム」についてご紹介いたします。

### 2. 製品概要

当該製品は、現場へレンタルしていたクランプ等の小物製品がボックスパレットに混在して入っているものを仕分け選別するためのシステムです。雑多による計数漏れ・記載や転記ミス防止のほか、省人力・省スペースを図ることができます。



小物検収システム



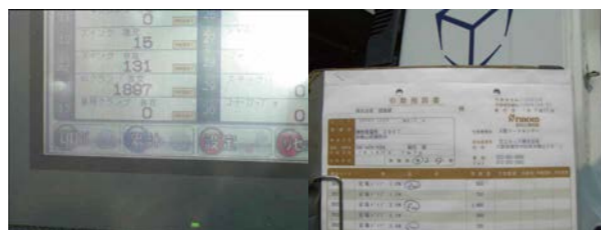
返却されたボックスパレット

### 3. マルチカウンター搭載

タッチパネル式制御盤「マルチカウンター」を採用しており、最大40種類までの任意製品を選別投函することで自動計数のうえ伝票作成することができます。小計のほか累計も計数できるので返却便毎や作業日毎など多様に対応が可能です。投函シュートやボックスパレットを自由に合算することもできます。



プリンター／マルチカウンター



マルチカウンター画面／検収伝票

### 4. オーダーメイド対応

ユーザーニーズに合わせ、各種オーダーメイドに対応しております。お気軽にお問い合わせください。

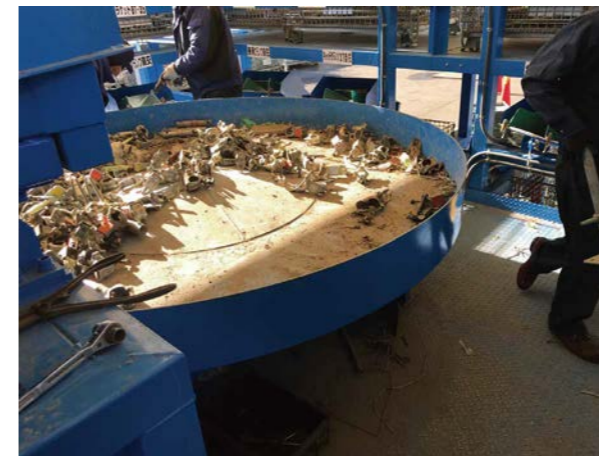
・投入バケット対応例

取り外し式受け皿・油圧シリンダ式投入など



・選別テーブル対応例

回転テーブル・上昇リフト・計量秤など



・その他対応例

選別数増加による2段式ラック・検収外シュート  
ボックスパレット開放システムなど



### 5. 関連製品



足場板ケレン研掃システム



足場板洗浄システム



次世代足場洗浄システム



単管ケレン選別システム

### 筆者紹介



UCHIYAMA Daisaku  
内山 大作  
2006年入社  
日工セック株式会社  
東部営業所



— 製品紹介 —

# 防水板(タウンガード)

## 1. 防水板 人と街を守る

日工マシナリー株式会社 防水板事業部では『人と街を守る』をスローガンに地球温暖化の進行に伴って、大雨や短時間に降る強い雨より建物等の浸水から人を守ります。

近年、日本の平均気温は、100年当り約1.2℃の割合で上昇しています。また、猛烈な雨(1時間降水量80mm以上の雨)の年間発生回数も増加しており、大雨や短時間に降る強い雨の頻度はさらに増加すると予想されており、台風や豪雨による風水害・土石災害発生リスクが高まっています。

(内閣府資料より)

### <最近の主な水害・土砂災害>

・平成26年 8月豪雨

8月19日～20日にかけて、広島市で1時間降水量101mmという猛烈な雨。安佐南区などでは土砂災害が発生し、死者77人、住宅全壊179棟をだす災害。

・平成27年 関東・東北豪雨

台風前線の影響で、西日本～北日本の広い範囲で大雨となり、茨城県常総市では、鬼怒川の堤防が決壊。常総市の面積の約1/3に当たる40km<sup>2</sup>が浸水、2万棟近くの住家が被害。

・平成28年 台風7号、11号、第9号及び10号

8月30日、台風10号が岩手県に上陸。グループホームに水が流れ込むなど、東北・北海道の各地で死者・行方不明者27人、500棟を超える住宅全壊を出す被害。

・平成29年7月 九州北部豪雨

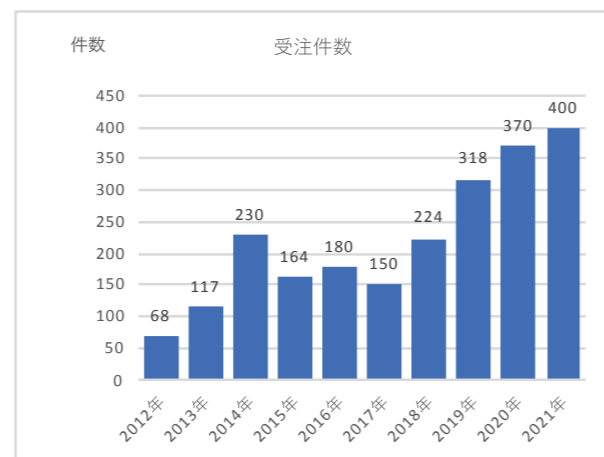
梅雨前線や台風の影響で西日本から東日本を中心に局地的に猛烈な雨が降り、福岡県、大分県を中心に大規模な土石災害が発生。死者40人、行方不明2人、1600棟を超える家屋の全半壊や床上浸水。

・平成30年7月 西日本豪雨

梅雨前線に向かって南から暖かく湿った空気が大量に流れ込んだのが主因で、台風7号も影響。6月28日から7月8日までの総雨量が四国で1800mm、東海地方1200mmを超えるなど、7月の降水量平均値2～4倍となり多くの観測地点で降水量が観測史上第1位となり広い範囲で長時間の記録的な大雨となり、広島県、岡山県、愛媛県を中心に甚大な災害となった。死者224人、行方不明8人、住宅全壊6758棟、半壊1万878棟、1部破損3917棟、床上浸水8567棟、床下浸水21913棟(被害は消防白書より)

## 2. 防水板の歩み

日工グループの一員として水門事業部の技術力を生かして、都市型浸水対策の防水板『タウンガードシリーズ』を2003年2月より設計・製造・販売をさせて頂き、実績を積み重ねてまいりました。下記は過去10年の受注件数を表しています。



## 3. 製品紹介

今回は、アルミパネルを用いたスライド・スイング防水板について紹介します。

### <製品の特長>

この製品は従来のアルミ押し成形パネルを用い、脱着式パネルでは別に収納場所を必要とし、かつ運搬・設置に手間がかかっていました。現場に常設されているのでスムーズな浸水対策が行えます。

### <パネルの仕様>

#### ■アルミ押し出し成形で軽量化

- ・最小板厚 1.4mm
- ・単位重量 20kg/m<sup>2</sup>
- ・厚み 50mm

#### ■耐食材料で長期使用可能

- ・パネル(アルミ押し出し型材)
- ・戸先レール(ステンレス)
- ・中間支柱(ステンレス)
- ・戸尻レール(ステンレス)
- ・下部レール(ステンレス)

#### ■止水高さ(寸法) 200mm～1000mm(50mm毎)

#### ■止水間口(寸法) 4000mm以下

## ■強度試験

・テスト機(2.0W×1.0H)で水深1.0m迄のたわみ量を計算値と実測値で検証します。

### <強度試験結果>

| 水深 (m)    | 0.25    | 0.5    | 0.75  | 1     |
|-----------|---------|--------|-------|-------|
| たわみ量 (mm) | 0.1     | 0.5    | 0.7   | 1.4   |
| たわみ率      | 1/16050 | 1/3210 | 1/944 | 1/472 |

・たわみ率も旧電電公社基準の2.0m以下、2.0m超 1/300以下の目安をクリアしています。

・実測値では計算値以内の結果となり、より安全な強度判定となっています。

### <新シール方式>

(1)止水パネルはアルミ押し出し型材を使用し、より簡単に組立が出来る構造としています。またパネル噛み合わせ部に丸紐状の合成ゴムを埋め込み、噛み合わせで圧着することで高い止水性能を確保することが出来ます。



(2)パネルとレールの水密を保つには、発泡合成ゴム(側部)・EDDM(下部)を使用し、漏水を防ぐ構造となっています。



### <技術評価>

(3)品質管理体制において、平成29年に(一財)建設試験センター中央試験所の浸水防止性能のテストを受け、下記の認証を受けています。

- ・床じか置き型で2等級 (単位浸水量0.01を超えて0.02m<sup>3</sup>/h・m<sup>2</sup>以下)
- ・床溝掘込み式で5等級 (単位浸水量0.01m<sup>3</sup>/h・m<sup>2</sup>以下)

パネルの仕様・シール方式・技術評価等は脱着式止水板の値で、同じアルミ押し出し成形パネル・止水ゴムを用いていますので品質的にも同様の性能を発揮します。

## 4. 補助制度

国土強靱化に資する民間の取組促進として、水害時に発生する避難者のための一時避難場所の整備、地下駅等の浸水対策、医療施設推進対策事業について国、地方公共団体がその経費を補助しているものもあります。

## 5. 施工実績

本工事場所は、従来型の脱着式防水板(差込み式)を設置しています。しかし、設置枚数も多く又、設営距離は延べ約1km強に渡りますので、手間と時間との戦いに苦慮していました。

スライド式は、開口部・潜戸部を1つに集約、スイング式は、単体の潜戸に各々設置を進めています。

工事期間は、昨年、試験設置後、施主様の評価を頂き今年度より3年計画で改修しています。(年10か所程度)

### <スライド式 設置例>



着手前



完了(全開)

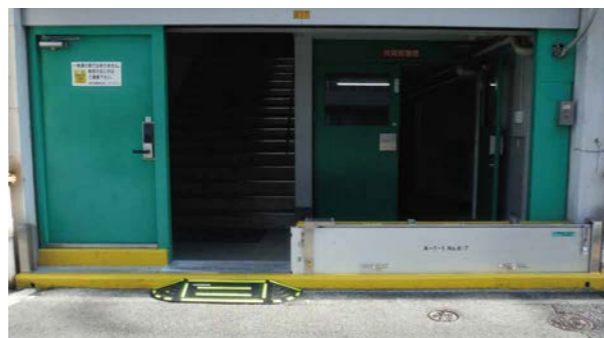


完了(全開)

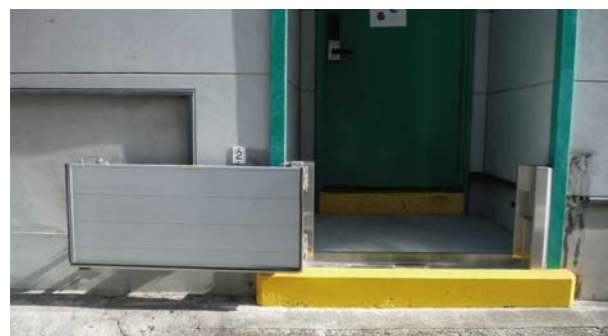
<スイング式 潜戸へ設置例>



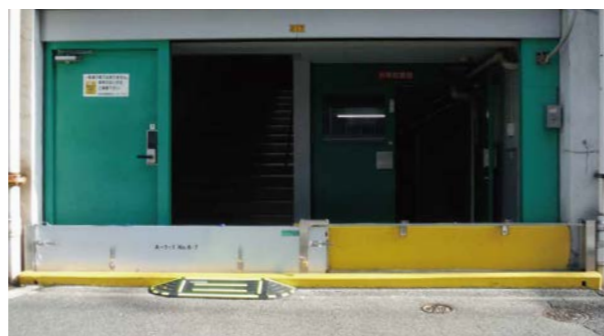
着手前



完了(全開)



完了(全閉)



完了(全閉)



完了(全閉)



スライド部詳細

<スライド式 開口・潜戸一体部の設置例>



着手前



以上、アルミ押し出し成形パネルを応用した(スライド式・スイング式)設置写真です。

日工マシナリー株式会社は、治水・利水事業を通じて『人と街を守る』を実現します。

筆者紹介



YOSHINOBU Tomoaki  
吉信 智明  
2012年入社  
日工マシナリー(株)  
関西支店 技術開発工務課

# 製品紹介

## 固化材設備

### 1. 固化材設備への取組の背景

近年頻発する自然災害への対応の為強靱なインフラ施設の整備、また災害後の復旧工事に固化材が多く使用されるようになってきております。特に、2013年東日本大震災においてのセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査結果から

- 一定の震災・減災効果がある。
- 地震時の液化化の発生を抑制することができる。
- 復旧復興工事の様々な場面において、活用できる事が判明し2018年には過去最高の845万tの販売量を記録し2022年も780万tと安定した販売量を保っております。

固化材の需要が高まると共にセメントメーカーが販売戦略的に固化材設備を各拠点に新設する需要が高まり、その需要を背景に固化材設備プラントを納入する事が出来ました。

日工は生コンプラントでセメントメーカーへの販売実績があり、その関係で固化材設備に対してアプローチを行ってまいりましたが、近年、成果が見られ販売実績が付いて参りました。

今回は固化材設備プラントのフローの説明、搭載されているフリーモードミキサのご紹介、日工製固化材プラント特徴のご紹介を致します。

### 全国各地で実施される地盤改良工事



| セメント系固化材販売実績 (単位:t) | 2009年度    | 2010年度    | 2011年度    | 2012年度    | 2013年度    | 2014年度    | 2015年度    | 2016年度    | 2017年度    | 2018年度    | 2019年度    | 2020年度    |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 北海道                 | 157,450   | 192,241   | 130,584   | 143,795   | 158,400   | 114,545   | 119,000   | 128,637   | 185,194   | 167,436   | 149,014   | 203,959   |
| 東北                  | 440,863   | 480,147   | 650,158   | 907,895   | 961,800   | 1,031,278 | 922,858   | 1,054,413 | 1,123,880 | 1,254,437 | 1,263,769 | 1,134,897 |
| 関東                  | 1,177,346 | 2,062,820 | 2,271,346 | 2,262,236 | 2,881,006 | 2,522,209 | 2,260,811 | 2,504,508 | 2,623,748 | 2,479,248 | 2,400,271 | 2,189,360 |
| 中部                  | 853,037   | 621,720   | 671,257   | 672,102   | 751,236   | 720,278   | 647,038   | 605,540   | 677,388   | 797,264   | 743,888   | 671,269   |
| 関西                  | 972,718   | 976,254   | 888,178   | 995,432   | 1,110,215 | 1,074,114 | 1,108,000 | 1,144,888 | 1,217,876 | 1,186,111 | 1,090,851 | 1,076,332 |
| 近畿                  | 945,689   | 869,263   | 983,652   | 970,700   | 1,127,553 | 1,100,870 | 1,116,711 | 1,096,326 | 1,074,900 | 1,122,623 | 1,072,746 | 1,087,413 |
| 四国                  | 88,727    | 85,970    | 105,789   | 110,122   | 99,789    | 99,912    | 121,801   | 124,687   | 153,571   | 122,155   | 127,079   | 119,427   |
| 中国                  | 274,413   | 268,332   | 318,588   | 317,884   | 349,432   | 360,780   | 281,147   | 418,077   | 399,297   | 402,917   | 385,223   | 405,208   |
| 九州・沖縄               | 478,727   | 508,116   | 504,665   | 543,732   | 663,587   | 675,911   | 698,216   | 750,207   | 824,544   | 920,125   | 847,454   | 760,118   |
| 計                   | 6,899,362 | 6,188,730 | 6,571,173 | 7,022,915 | 7,933,301 | 7,709,992 | 7,237,643 | 7,829,270 | 8,294,160 | 8,454,415 | 7,919,026 | 7,488,447 |
| 特殊土用                | 2,805,592 | 3,248,131 | 3,880,028 | 4,187,803 | 4,895,205 | 4,953,111 | 4,808,643 | 5,281,132 | 5,476,705 | 5,568,748 | 5,258,874 | 5,177,070 |

図1 全国各地で実施される地盤改良工事



図2 固化材全体におけるセメント系固化材の割合

### 2. 固化材プラントのフロー(図3)

近年需要が高まりつつある固化材は、その成分の配合においても様々な原材料や配合が存在しています。従来の固化材設備はスタビライザやスクリー等による混合で、配合や計量装置もあいまいであったが全ての材料に計量器を設け、全ての配合において正確な貯蔵・計量・攪拌・排出を実現しました。

まず、各原材料を貯蔵タンクからエアブロー式にて固化材プラントの上部にある貯蔵ユニットへ移送します。貯蔵ユニットには各原材料の性状に合わせて摩耗対策や、詰まり防止装置としてアーチプレーカーなどを搭載しています。

貯蔵槽ユニットに一時貯蔵した原材料は、各計量装置で正確に計量します。この時、1バッチごとの配合に応じて各原材料を計量します。生コンプラントの設計製造で培ったノウハウを生かし正確に計量しています。2段計量バタフライバルブで粗計量/微計量を切り替えて計量したり、スクリーフィーダーを用いて切り出し計量をするなど、様々な原材料の特性に合わせた対応をしています。

計量した原材料を粉体の攪拌に特化したフリーモードミキサへ投入し攪拌します。水分を入れずに粉体のみ攪拌するため粉塵が多く発生しますが、集塵装置を用いて発生する粉塵を集めるため、プラント内外に粉塵が漏れだす事はありません。

攪拌して製品となった固化材をフリーモードミキサから排出し、ホップスクリーコンベヤやバケットエレベーターを用いて移送し、製品貯蔵ビンに貯蔵します。前工程で集塵した粉塵は、この時製品へ還元されるため製品の仕上がりが量は変動しません。

製品貯蔵ビンは、製品の種類に合わせて増設が可能で、代替ダンパと輸送スクリーを用いて振り分けます。

貯蔵した製品は、出荷方法に応じてパラセメント車などの粉体輸送車へ積み込み、又は計量してフレコンバックへ詰め込

みを行い出荷されます。ここでも正確な量を計量、積み込みするために定量ロータリーフィーダーを用いて積み込みを行います。積み込み時に発生する粉塵は、専用の集塵装置を用いて集塵を行っており、環境に配慮した設計となっています。

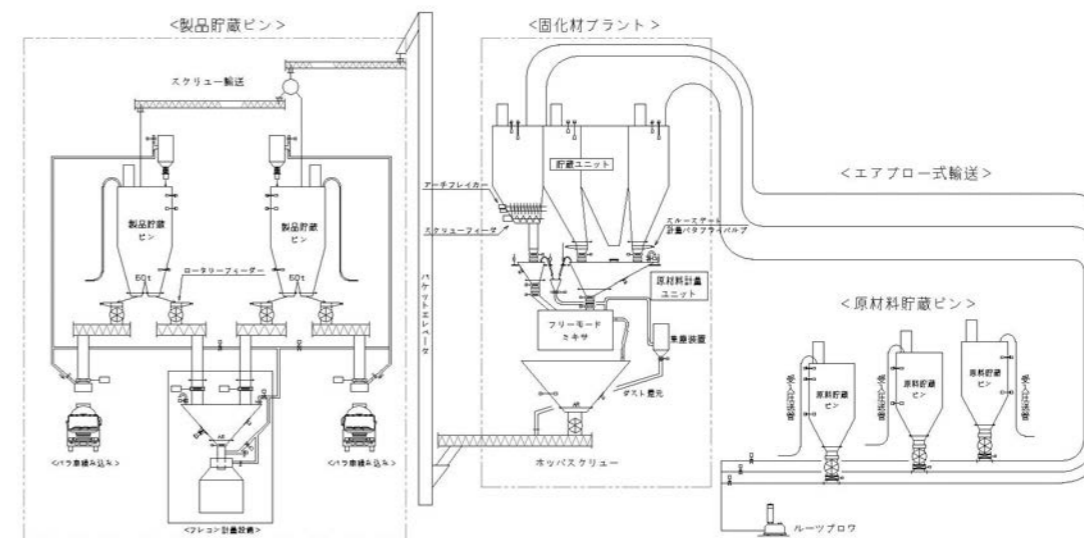


図3 固化材プラントのフロー図

### 3. フリーモードミキサの特徴

#### 【基本構造】

フリーモードミキサは2枚1組の独立した2組のミキサ軸(ミキサA軸/ミキサB軸)が各々逆方向に回転して攪拌するシンプルな構造のミキサです。(図4)

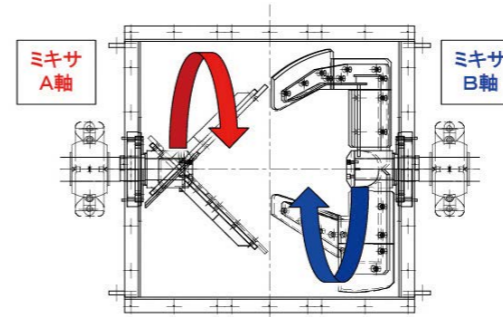


図4 基本構造

#### 【基本混合原理】

##### 1) 面間せん断流動

・ミキサA軸とB軸が逆回転する事により、図5①②の方向に材料全体を逆方向に回転させ、それにより、図5X-X断面で材料同士のせん断が形成されます。

・上記せん断面で、羽根による図3a方向、b方向の押し込みが発生し、反対の領域へ材料を押し込みながら混合します。

・各々の軸1回転で、せん断面では相対的に2回転分の押し込みせん断流動が発生します。

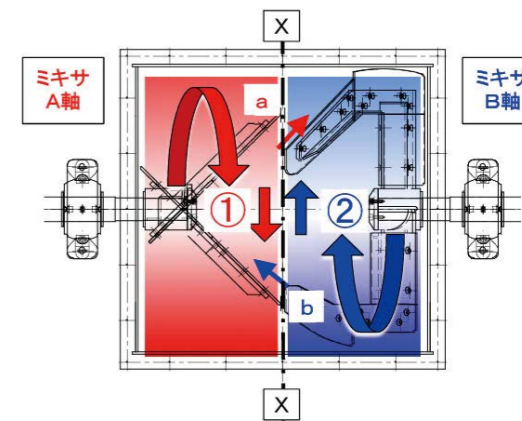


図5 両面せん断流動

##### 2) ダブル切り返し流動

・図6①はA軸の羽根が上部でB軸側へ投げ込むパターン(A軸投げ込み流動) 図6②はB軸の羽根が上部でA軸側へ投げ込むパターン(B軸投げ込み流動)

- ・両方共、図6の星着色部で反対側の羽根により流れが逆方向に切り返され、この切り返し部で混合拡散が促進されます。
- ・片側に羽根が2枚なので、1回転でダブルの投げ込み流動が形成され、1回転で8回の切り返しが発生し、これにより高い混合効率が得られます。

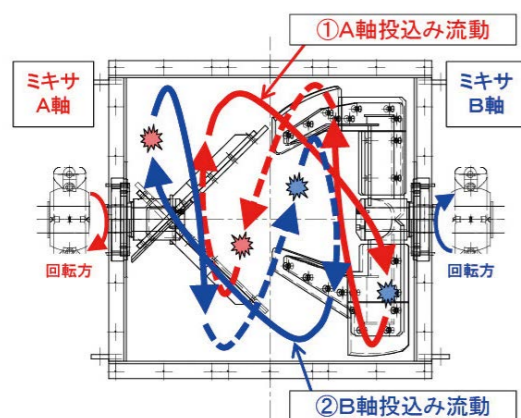


図6 ダブル切り返し流動

3) 高循環

- ・図7①は水平方向の代表的な材料循環パターン。
  - ・図7②は垂直方向の代表的な材料循環パターン。
  - ・水平方向、垂直方向、原理的に羽根1回転でどちらの方向にも材料が1周動く。これにより材料全体が水平垂直に動きます。
- 軸1回転で縦/横両方が1周循環するため、高い混合効率を得られます。構造はシンプルだが、縦横無尽の混合攪拌能力があり、比重さのある粉体も分離し難くムラなく攪拌できます。

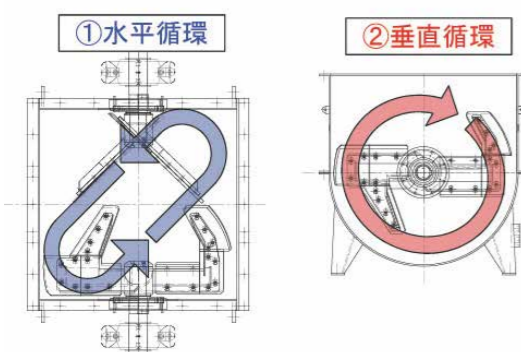


図7 高循環構造

【特殊オプション】

- 1) 独立回転制御
  - ・インバーター回転制御により、A軸B軸交互にタイミングをずらした運転等が簡単にできます。これにより正規流動だけでなく、複雑な流動を自由に作る事ができ、流動を操作できます。
- 2) 専門羽根の組み込み
  - ・原材料や製品の性状に合わせてブレードの形状を変えることができ、様々な材料に応じた最適な羽根のカスタマイズが可能となります。

4. 日工製固化材プラントの特徴

【ユニット化】

プラントに必要な各装置を自社工場にて輸送可能なサイズまでユニット化(貯蔵ユニット/計量ユニット/ミキサユニットなど)する事により、組立工期を大幅に短縮することが可能です。また、自社工場内でユニットごとに仕上げをする為、製品完成度を高める事に繋がっています。



(フリーモードミキサが搭載されたミキサユニット)

【制御関係】

生コンプラントで培った制御技術を基に1.0キロ単位での正確な計量が可能となり、自社で制御設計を行い原材料の受け入れ～製品出荷まで一貫して制御管理をおこなえます。操作盤はCommandTouch-BとCommandT-fが対応しておりシンプルな操作性があります。



筆者紹介



YANAGIBASHI Daisuke  
柳橋 大介  
1994年入社  
産業機械営業部 第一販売課



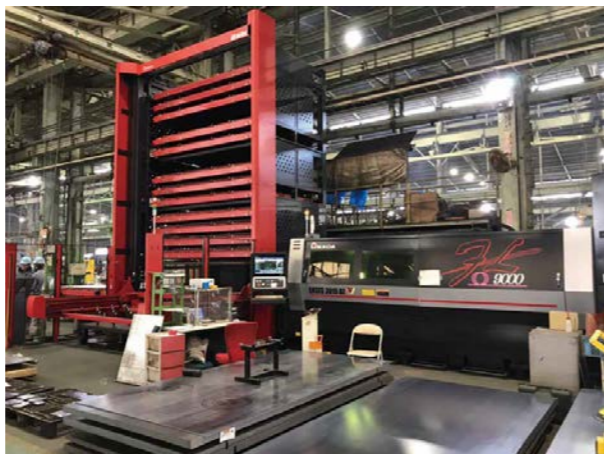
SATO Yutaro  
佐藤 祐太郎  
2013年入社  
設計部 設計2課

— 製造設備紹介 —

(アウトドアブランド)日本鉄具製作の紹介

1. はじめに

昨今、アウトドア分野は非常に盛り上がりを見せており、多数の愛好家を擁する一大市場となっている。弊社の製造設備と技術・技能を活用し、新たな業種への参画を目指して、アウトドアブランド日本鉄具製作を立ち上げて事業推進している。これを紹介する。なお、ご存知の方も多と思うが、本事業で標榜している日本鉄具製作の名については、日工の創業社名である、日本工具製作をもじって付けさせていただいた。



資料1 アマダ製9kWファイバーレーザー

2. 製造設備紹介

日本鉄具製作の商品製作に用いる各種装置を以下にて紹介する。

2-1 アマダ製9kWファイバーレーザー

各種製品の切断を行う本機(資料1)、最新鋭の省エネ高速切断が可能で、14段ストックにより夜間無人運転も可能である。取手付き鉄板の最も小さいサイズであれば5'10定尺の一枚の鋼板から約40枚程度切断が可能である。日本鉄具製作の商品を切断する場合は、標準設定ではなく、溶け込みを良くしてバリを低減する目的で酸素を補助用ガスとして切断している(標準の場合は、窒素富化エアの設定で切断)。また、切断だけでなく、刻印や加工用目印のためのレーザーマーキングも行っている。

資料2に示すような詳細なパターンも切断可能だが、加工時間の長時間化、ドロス増加、加工機のエラー多発、等の問題点が散見されたため、ほぼ全ての角はRを取る、板厚より細かい線は使用しない等、加工用図にも工夫を加えている。



資料2 切断品表裏比較

資料2の切断品にもあるように、多少なりともバリは生じるため、後述するバリ取り機にて両面研磨後、防錆フィルムに包んで商品を保管している。

2-2 アマダ製80tプレスブレーキ

取手付き鉄板や焚き火台の曲げ加工に用いる(資料3)角度曲げを主体としたプレスブレーキである。板厚2.0mm(SUS)から9.0mm(SS)までこの装置にて曲げ加工を行っている。取手付き鉄板を製作するにあたり、既存の金型(幅835mm)ではサイズが大きすぎたため、幅15~200mmまでの金型(パンチ・ダイ)を用意し、幅広いサイズの商品に対応できるようにした。



資料3 アマダ製80tプレスブレーキ



資料6 三光産業製バリ取り装置

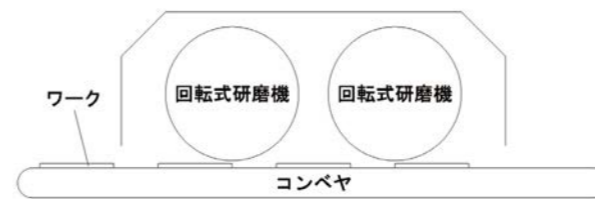


資料4 加工時の金型配置

パンチ・ダイ(金型)のサイズが丁度のものであれば、1セットを用いて加工するが、長さが不足する場合は資料4のように金型を継ぎ足して鉄板の加工を行う。

2-3 三光産業製バリ取り装置

日本鉄具製作の商品は基本的に一般消費者に渡る製品のため、より念入りにドロスやバリを取り除く必要がある。本装置(資料5,6)導入前は手作業にて行っていた表面処理工程が大幅に短縮され、生産性が向上した。また、品質が均一化され、安定して商品を供給することができるようになった。



資料5 バリ取り装置概要図

3. 製品紹介

日本鉄具製作の代表的な商品を以下にて紹介する。

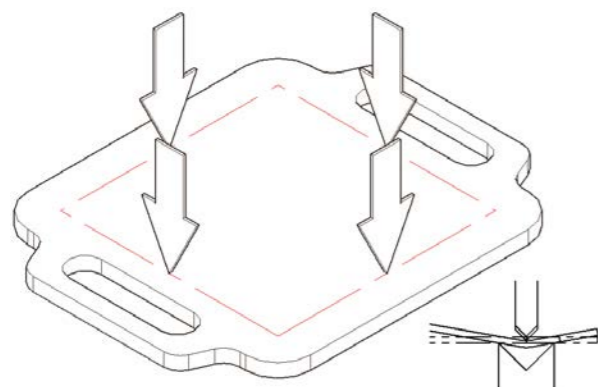
3-1 取手付き鉄板(BBQ鉄板)

レーザー加工機にて切り出した鉄板を、プレスブレーキを用いて曲げることで製作している(資料7,8)。本商品を開発するにあたり、大きな課題となったのは取手部分の構造である。使い勝手を考慮した最適な曲げ角度、及び穴形状・サイズ、加工時の他部位の変形抑制等を踏まえて設計する必要がある。商品誕生には多くの試作を繰り返し、使用感を幾度も確認して商品化した。

現時点では、3.2mm及び6mmの板厚でそれぞれ6サイズ(S,SW,M,L,LW,LL)ラインナップしている。人気のサイズはSサイズであり、アウトドアや、ご家庭でも使用できる取り回しの良いサイズとなっている。3.2mmの鉄板は使い勝手の良さに優れ、6mmの鉄板は極厚鉄板の魅力が存分に味わえるとして評判を博し、現時点での主力商品である。



資料7 Sサイズ取手付鉄板



資料8 加工イメージ

3-2 組み立て式焚き火台

工具不要で組み立てられ、容易に持ち運べる焚き火台(資料9~11)である。市販品の焚き火台に比べ、材料が分厚い(2mm/2.3mm)ため、重量はあるが、その分加熱による変形が少なく、長くご使用いただける。模様兼空気孔として、日工を象徴するトンボをデザインしている。できる限り曲げ加工などを省いた設計となっているため、折りたたむと非常に薄くまとめられる。各パーツの組み合わせを検討する際は3DCADでモデル確認して試作し、燃焼性能を確認して商品化している。

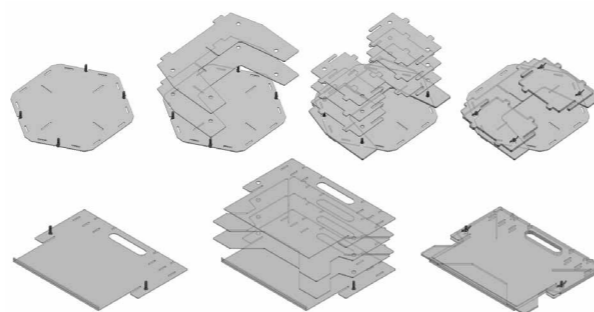
現在、焚き火台については大型モデルや、高付加価値商品の開発(資料12)を進めており、完成し次第、リリースする。



資料9 六角組み立て式焚き火台



資料10 三角組み立て式焚き火台



資料11 焚き火台の折り畳み



資料12 新製品設計時の3Dモデル例

3-3 ミニ鉄板

市場では小さいサイズの鉄板も数多く販売されており、2021年12月より新商品としてミニ鉄板を投入した。専用のポーチとリフター(持ち上げ用の取手)が付属している。サイズが小さい分、大人数での使用には向かないものの、ソロキャンプなどでの使い勝手は良好である。曲げ無しのフラット鉄板、曲げ有り長方形鉄板、曲げ有り正方形鉄板の3種類をラインナップ(資料13、14)している。



資料13 ミニ鉄板シリーズ



資料14 専用付属品

4. おわりに

2020年6月に製造本部が発信するネット販売の構想に着手して以来、1年半が経過した。2021年4月より本格的にBBQ鉄板を販売開始し、9か月間で700枚以上を販売、鋼材重量は3tを超えた。下記のような認定や販路も広がっている。

- ・『明石市ふるさと納税』採用
- ・『五つ星ひょうご』認定
- ・当社日工の株主優待に採用

この活動は、主体事業に迷惑をかけない、外にお金を出さない(内作)、大きな経費を使わない、をモットーに、営業広報、開発設計、折曲げ加工、バリ取り仕上げ、梱包、発送などすべて日本鉄具のメンバー自身が行っている。メンバーは全員兼任業務で合間や残業で取り組んでいる。メイン事業には程遠い活動だが、日工のイメージアップやMADE IN AKASHI発信など、すこしでもお役に立てればと思っている。

筆者紹介



OKOCHI Takafumi  
大河内 隆史  
2012年入社  
製造本部本社工場CPサポートセンター

— 製造設備紹介 —

# NCフランジ穴用ドリルマシンの開発

## 1. はじめに

元々、自社製のフランジ穴用ドリルマシンは30年前から使用していた。構成部品の調達が難しくなり、10数年前に一度ドリル周辺の入替と制御装置の一新を行っている。しかし、その他の部品の老朽化も進行しており、不具合のたびに修理し、何とか稼働させてきたが、一部の部品が入手困難になり、モータと回転テーブルをつなぐ軸のキー溝損耗もあり、今回、各部を徹底的に見直しフルモデルチェンジを行った。

また、本装置は現場ではとても好評で、簡単に使いやすく、特殊技能も不要なため、一旦セットしてスタートすると、無人で終了まで稼働するので、生産性の向上に貢献している。

## 2. 設備概要

装置本体を図1に、基本仕様を表1に示す。



図1 装置本体

表1 基本仕様

|           |                    |
|-----------|--------------------|
| 加工可能フランジ径 | ～φ1300             |
| 加工可能穴数    | 1～99(間違い防止の為、制限付き) |
| 加工可能穴径    | 12～22 キリ           |
| 加工可能鋼材種   | 材質 SS アンクル材、FB材    |

テーブルサイズをφ1300として、これ以下の外径の円形フランジが対象となる。それ以上は大型のNC門型ボール盤(社内設備)にて加工を行っている。加工穴数は、日工で使用

する穴数しか受け付けられないようにPLCで制限をかけており、任意の数を増やす事も可能。ドリル回転速度は低速・高速の2パターンを用意しており、径に応じて変更可能。また、下降速度も変更できる為、社内のフランジ製作に必要な穴径はほぼすべて対応可能である。

鋼材種は、アンクルとFBが可能であるが、FBは嵩を上げてワークを取りつける必要がある。現在、日工ではFBのフランジは鋼板を使用して、レーザで外形と穴あけ加工しているので、基本的にはアンクルにて使用する。アンクルを円形にロールしたフランジは、煙道やダクト類のルーズフランジとして多用されている。

## 3. 使用方法

### 3.1 ワークセット



図2 フランジワーク設置 図3 フランジ設置治具

図2がフランジワーク設置時の状態である。テーブルに対してセンターに置く必要があるため、各フランジ径ごとに用意している図3の治具を用いてセンター出しを行う。センター出し後、ナット締付を行い、セット完了となる。

### 3.2 ドリル位置調整

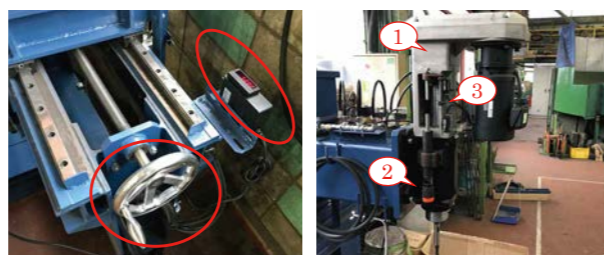


図4 ドリル位置調整機構 図5 ドリルユニット

ワークセットが完了したら、フランジ径に応じてドリル位置調整を行う。まず、使用するドリルを装着し、図4のデジタル表示機器を見ながらハンドルを動かす。センターからの距離を表示しているため、φ1000のフランジであればデジタル表示が500mm(半径)になるように位置調整する。

次にドリルの下降調整を行う。

- ①ドリル低速下降開始位置
- ②ドリル低速下降速度
- ③ドリル下限LS位置

上記3点を調整する為、図5のドリルユニットに記載している各番号の部品を調節する。①はボルト位置、②はレギュレータ、③はLSドグを操作する。操作盤を手動切替する事で、ドリル回転、テーブル回転、手元でのドリル上昇下降操作が可能なので、それらを駆使して各部を調節する。

### 3.3 制御盤操作方法



図6 制御盤全体 図7 制御盤操作部

図6が制御盤全体であり、内部にはブレーカー、PLC、インバータ等が入っている。この制御盤の基本設計も生産技術で行っている。図7が操作部であるが、基本的な操作は、下記の6ステップの操作で完了できるように簡略化している。

(6ステップ)自動切替→ドリル速度切替→リセット→穴数指定→穴数リード→自動スタート(完了)

自動運転を開始すると、穴明けとテーブル回転の全てが自動で行われるので、無人運転が可能である。

手動操作については、手動切替を行い、各ボタンを押すと、盤に赤字で記載の動作を行うようになっている。(黒字は自動)ドリル位置調整と切削水の変更の際に使用する。

## 4. 製作について

既設機械の入替ではあったが、30年前の図面があまり残っておらず、予想以上に図面作成が大変であった。また、使用していた購入品も現在では販売しておらず、代替品のメーカー調査・選定にも時間を要した。特に困難であった点をい

くつか紹介する。

- ①30年前は、モータ内エンコーダをPLCの高速カウンタで演算し、角度割り出しをしていたので誤差があった。10数年前の制御装置一新の際に、ポジショニングカウンタを採用しており常に同一方向からの位置決めが可能となり、バックラッシュの影響を排除して精度を高めた。そして今回、別置きエンコーダ方式に変更し、汎用モータを使用することでメンテナンス性の向上とコスト削減を行った。
- ②10数年前の一新にてポジショニングカウンタを採用していたが、当時の物は内部に簡易PLC機能が含まれていた為、本体のPLC自体はシンプルなプログラムとなっていた。しかし、現在では廃盤となっており、本体のPLCにて制御する機種しか選定の余地がなかった。その為、不慣れたBCD入出力(2進化10進数)を駆使し、一からプログラムを作り上げた。部署柄、社内製設備のPLCプログラムをモニターしながらのメンテ、軽微な変更等は行ってきたが、普段使用しない制御方法のため、とても良い経験となった。
- ③各種廃盤機器の代替品選定に伴う設計変更も多々あり、その変更で使い勝手は悪くならないか等の検討も必要であった。また、テーブル回転に使用している旋回ベアリングは社内在庫として余っていた物を使用したため、既設品が参考にならず、新たな検討が必要であった。

## 5. 製品化に向けて

当初は社外に販売する製品化の話はなかったのだが、本体が完成し、最終仕上げをしている時に製品化の話が挙がった。確かにアンクルフランジの穴明けを自動で行える様な簡易な自動加工機を市販品で見たことがない。通常は、テーブルサイズが奥行方向で1m以上ある大型で高価な立型マシニングセンタか門型加工機で加工する、もしくは、人手でセンタ穴をけがいてラジアルボール盤で手動で穴あけする。需要があるかどうかの問題はあるが、やってみる価値はあると感じた。もちろん今のままでは日工仕様で売れるような状態ではないので、売り物になるように下記の項目をクリアし、完成度を上げていく必要がある。

### ①ワークセットをより簡単に行えるような治具を検討

先述した通り、現在では図3の治具を使用することで芯出しを行っている。これは日工のフランジ径がある程度決まっているからこそ成り立っている。また、治具を置く場所も必要になるので、出来れば無くしていきたいと考えている。





## 編集後記

まずは、「日工テクニカルレポート」の第三号を発刊するにあたり、ご協力頂きました関係者の皆様方、並びにご多忙中にもかかわらず巻頭言をご執筆頂きました大阪大学教授の赤松様には、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

皆様もご存じの通り、昨年も新型コロナウイルスの感染拡大が収まることはなく、特にオミクロン株等の新たな変異株の猛威により、一時は多少ながらも落ち着きを取り戻しつつあった社会も再び厳しい状況下にございます。新規感染者の急増に伴い、各地で“まん延防止等重点措置”が発出され(2022年2月執筆時点)、不要不急の外出が制限される中、日常生活への影響だけに留まらず経済活動への影響も非常に深刻なものとなっております。その様な大変厳しい状況ではございますが、ワクチンのブースター接種や、経口抗ウイルス薬の承認等、終息に向けての希望も僅かながら見えてきております。決して楽観視はできませんが、新型コロナウイルス感染症が一日も早く終息することを切に願っております。

一方、弊社におきましては、本年度(秋頃を予定)、社内展示会を予定しており、今号の「日工テクニカルレポート」にも一部掲載しておりますような多数の新規製品・新規技術の展示・ご紹介を計画しております。本展示会にてご紹介する新規製品・新規技術は、必ずや皆様の抱える課題解決の一助になるものと確信しております。おそらく新型コロナウイルス感染症の影響は少なからずあるものと予想されますが、十分な感染対策を行った上で開催したいと考えておりますので、皆様のお越しを心よりお待ちしております。

日工株式会社  
会社情報



### 日工テクニカルレポート 第三号

令和4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