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/

ミックス
紙 | 責任ある森林管理を支えています
FSC® C157741

NIKKO TECHNICAL REPORT NO.004

NIKKO TECHNICAL REPORT

2023
04
NO.004

*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^2)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　自走式破砕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

2023.04

NO.004

NIKKO

CONTENTS

巻頭言

05 …… 未来創造～次世代コンクリートと次世代プラントの融合～
立命館大学理工学部環境都市工学科
准教授　川崎　佑磨

論文

09 …… 省エネルギー型油汚染土壌浄化プラントの開発とその変遷および将来展望
[出典]オリジナル
蓬莱　秀人

33 …… 高強度コンクリートを対象とした空練りがモルタルフローに与える影響
[出典]コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.850-855, 2022
坂本　恭裕　他

39 …… 水素バーナの開発　～Phase 1～
[出典]オリジナル
北野　裕樹　他

45 …… 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(2)
[出典]オリジナル
田中　翔太　他

製品紹介

53 …… VPⅣ-Clover

61 …… ONZEMIX

65 …… 自走式スクリーン「KLEEMANN社製MS702及びMS703」について

69 …… メルトニーダ車(電気式塗料溶解装置)

73 …… 室内足場作業台　ラクラク台

77 …… 前川工業所製　ハンマークラッシャー

81 …… 新型　自走式土質改良機　Mobix　Eco

製造設備紹介

87 …… タイ工場建設 (NIKKO NILKHOSOL)

編集後記

94 …… 企業理念

95 …… 編集後記

巻頭言

INTRODUCTION

未来創造
～次世代コンクリートと次世代プラントの融合～

立命館大学理工学部環境都市工学科
准教授
川崎　佑磨

2021年4月から日工（株）と共同研究を開始して2年，2021年9月から技術本部の坂本恭裕氏を社会人博士後期課程学生として迎え入れて1年半が早くも過ぎようとしている。共同研究と坂本氏の博士学位取得に向けて，「光陰矢の如し」と考えこんでいる中で，本原稿の依頼を受けた。私のような若手が日本を支える巨大プラントメーカーの技報巻頭を依頼されるなど夢にも思っていなかったが，これも共同研究の縁，人の縁（坂本氏は立命館大学のコンクリート研究室卒業）で大変有難くお引き受けすることにした。

私はコンクリート工学，非破壊検査工学を専門として研究しているが，コンクリートミキサに関係する研究は坂本氏としか実施していない。その研究は本技報にて坂本氏が努力して書き上げたJCI年次大会の査読付き論文を中心に掲載されると聞いた。プラントメーカーの巻頭のため，少しはコンクリートミキサに関連することを書きたいと思っていたが，早速暗礁に乗り上げてしまった。そこで，今まさにトライアル試験をして2023年4月から本格的に始動することになっている研究について「未来創造」をテーマに記載することとした。

さて，これから質問をさせて頂くため，お読み頂いている皆様には，どうか先読みせず1行ずつじっくり読み進めて頂きたい（と言いつつ，期待に応えられる内容かは不明）。

【質問】　右の写真にある硬化体は何で構成されているでしょうか？

私はコンクリート系の教員のため，セメントが関わっていることはヒントである。生コンプラント製造に関わる方は，硬化体表面に記載されている「W」と「C」を見ると，水，セメントと予測されるかと思う。そうすると，「この硬化体はセメントペーストか?」，「水とセメントの比率が1：2，でもそれならば50%なのに40%と記載してある・・・」，「セメントペーストにしてはちょっと色がおかしい・・・」などいろいろと疑問に思われるかもしれない。

さて，セメント産業では国内で4147万トンものCO_2を排出している。世界規模で考えると，セメントは年間40億トン以上生産されており，世界のCO_2排出量の約8%を占めている。これは航空機や船舶の大気汚染よりも多い量である。昨今では，低炭素，カーボンニュートラルなど，二酸化炭素削減が産業としても研究テーマとしても大きく取り上げられている。取り組みの一つとして，セメント製造工程で発生するCO_2を削減・回収する技術，そのような回収したCO_2を活用して産業廃棄物をリサイクルしたセメント製造に関する技術，CO_2を吸収するコンクリートの開発などである。私もここで挙げた内容に近い研究をいくつか実施している。プラントメーカーとして，この問題はどのように感じられるだろうか。誤解を恐れず記載すると，セメント製造，コンクリートが変われど，プラントが変わる大きな未来，というのが，私にはあまり思い浮かばなかった。プラントメーカーの技報巻頭でこんなことを言うと，「我々にはしっかりとビジョン・技術開発がある!」と大変な叱責を受けそうである。単なる私の勉強不足なのだが，世界的にみても生コンプラントの歴史が大きく動いたのはいつのことなのだろうか，とふと感じた。コンクリート業界だと，直近では「高流動コンクリートの開発」というのを良く聞く（個人的意見であることにご注意頂きたい）。次に時代を変革するコンクリートの開発はいつだろうか。個人的な意見ばかり述べて大変恐縮であるが，次に登場する新しい「次世代コンクリート」が出てきた時は，それを実現するための「次世代プラント」というのが同時に必要となるのではないかと感じている。すなわち，化学混和剤による助けではなく全く新しいコンクリートで，そのための設備がなければ実現が不可能なのではないか。

前置きが長くなったが，先ほどの質問の解答をお示ししよう。写真で示した硬化体は，「木の粉とコンクリートの粉」で構成されている。正確には，両者とも廃材となったものを粉末にして使用している。硬化体表面に記載しているWは木（Wood），Cはコンクリート（Concrete）の意味で，それぞれ1：2の質量比で，木の粉の含水率は40%に調整して混ぜた。混ぜた粉体を190℃の高温化で50MPaの圧力をかけると，硬化体に変身するのである。この研究は，東京大学生産技術研究所の酒井雄也先生が進めており論文も発表されている[例えば1), 2)]。木材中に含まれる成分の1つである「リグニン」が水とともに流動して間隙を埋めて接着剤の役割をすることで硬化している。酒井先生の研究によると，使用する材料の条件によって，曲げ強度が40MPaに達するものもあるという（一般的なコンクリートの曲げ強度は5MPaのため，非常に強いことがわかる）。もちろん多くの課題がある。使用する材料によって様々な特性が変わってくる。木材の種類や材齢によって，リグニンの含有量は異なるし，廃コンクリートの配合によっても異なるだろう。しかし，この研究は非常に大きな期待があると思っている。セメントの原料となる石灰石は，日本の埋蔵量から考えるとあと30年ほどで枯渇して輸入に頼らざるを得ないと言われている。また，コンクリートの原料となる砂（細骨材）は，このままのペースでいくと約180年後には日本の砂浜が全て失われる可能性があることが示唆されている。実際にはそこまで使用しないはずで，そうすると約100年後には砂も自由に採取できない未来も想像される。これは国内だけではなく世界的にも同様の問題を抱えており，「サンドウォーズ」と呼ばれている。嘘と思われるかもしれないが，世界には「砂マフィア」なる団体まで存在する始末である。

さて，100年後など私も生きている確率は0%に等しいが，コンクリートの未来を考えたらどのような情景が思い浮かぶだろうか?現代のように，当たり前に骨材・セメントが手に入り，プラントで大量にコンクリートを製造する未来はあるのだろうか。廃木材，廃コンクリート，通常使用しない砂漠の砂・・・それらで「次世代コンクリート」が出来れば，そのような中でも良い土木・建築資材が提供できるかもしれない。そのような「次世代コンクリート」を目指して研究を進めている。

しかし，いくら素晴らしい材料ができても，それを効率よく生産する施設がなければ広まらない。もし「次世代コンクリート」の研究が進めば，プラントメーカーが実現化の大きな役目を担うのかもしれない。もしその未来が現実味を帯びた時，その一翼を日工（株）が先導していると嬉しい限りである。

参考文献：

1）Ren Wei , Yuya Sakai, Naoki Ogiwara, Sayaka Uchida：Bonding mechanism of botanical concrete: Microstructural changes between waste concrete powder and wood, Journal of Cleaner Production, 378, 134505, 2022.
2）Ren Wei , Yuya Sakai：Improving the properties of botanical concrete based on waste concrete, wood, and kraft lignin powder, Powder Technology, 397, 117024, 2022.

MEMO

論文

PAPER

省エネルギー型油汚染土壌浄化プラントの開発とその変遷および将来展望

Development of Energy-Saving Oil Contaminated Soil Remediation Plant, Its Transition and Future Prospects

蓬莱　秀人
日工株式会社　技術本部

概　要

環境基本法で定める大気汚染，水質汚濁，土壌汚染，騒音，振動，地盤沈下，悪臭の典型7公害の中で法整備が最も遅れていた土壌汚染対策法が2003年に施行されている。そして，この法律に基づき順次土壌の汚染対策が進められてはいるが，その特殊性や多様性から潜在的な公害としての特徴を有している。中でも，油による土壌汚染が少なくないことから，その経済的な浄化技術の開発が待ち望まれている。筆者らは，油汚染土壌に加熱技術を適用することにより，油の蒸気圧を高めて土壌から脱離を行うのと同時に，脱離した油を二酸化炭素と水とに酸化分解して排出ガスの無害化をはかる油汚染土壌浄化システムを開発し市場に投入している。本稿では，当社における油汚染土壌浄化システムの進化の足跡を辿ると共に，新たに開発した省エネルギー型油汚染土壌浄化システムを概観し，その省エネルギー化と浄化性能についての特徴ならびに将来技術への展望を紹介する。

キーワード：土壌汚染対策法，油汚染土壌，脱離，乾燥，省エネルギー化

1.はじめに

我が国は，戦後の高度経済成長期を経てバブル経済期においては，GDPが米国をも凌駕する経済大国にまで成長してきた。そして，この経済成長により豊かさや利便性を我々国民が享受している。このことは，工業製品の大量生産，大量消費，大量廃棄によってもたらされた物質的な豊かさや利便性であって，これらの代償として公害や環境破壊，さらには地球温暖化などの課題を将来世代に担わせることになっている。

公害問題では，欧米に遅れること10年余り，典型7公害の中で最も対策が遅れていた土壌汚染に対して，2003年（平成15年）2月15日付けで「土壌汚染対策法」が施行されている。すでに施行済である他の6公害（大気汚染，水質汚濁，騒音，振動，臭気，地盤沈下）に関する法律は，経済活動に伴う副産物や廃棄物の排出濃度や排出量を規制することにより，公害の発生や被害の拡大を未然に防止することを目的としている。これらの法律に対して土壌汚染対策法は，第一に土壌汚染の状況を把握し，地下水の飲用や汚染土壌の直接摂取などによる人への健康被害の防止措置をはかることを最大の目的としている。この法律が「土壌汚染防止法」ではなく「土壌汚染対策法」となったことは，このことに起因している。

土壌汚染対策法では，国が定める土壌の環境基準として27種類の特定有害物質を指定している。これらには，第一特定有害物質としてVOC（Volatile Organic Compound：揮発性有機化合物）類12種，第二種特定有害物質として重金属類10種，第三種特定有害物質として農薬類5種の合計27種類が指定されている。

第一種特定有害物質には，トリクロロエチレン（$CHCl=CCl_2$，溶出量基準：0.03mg/L），テトラクロロエチレン（$CCl_2=CCl_2$，溶出量基準：0.01mg/L），ジクロロメタン（CH_2Cl_2，溶出量基準：0.02mg/L）などの有機塩素化合物が含まれている。これらの有機塩素化合物は，分子内に塩素原子を含む有機化合物であって化学的に安定しており，非極性分子であることなどから，電子部品などの脱脂洗浄やドライクリーニングなどの溶剤として使用されている。身体への影響は，中枢神経を麻痺させ，蒸気を吸い込むと，めまい，頭痛，眠気，吐き気，言語障害，歩行困難，意識不明などの症状に陥ることがある。また，その物理特性は，水への溶解性はほとんどなく，密度は水よりも大きい。そして，常圧下での沸点は100℃以下である。したがって，加熱して蒸気圧を高めることにより，土壌から容易に脱離することができる。浄化方法としては，汚染土壌に生石灰を添加してその水和熱により，土壌を加熱するホットソイル工法などが知られている。これは，VOCの温度変化による物理的変化（液体→気体）を利用した土壌からの脱離方法である。その他，化学的分解法や微生物的分解法などが実用化されている。

第二種特定有害物質には，水銀（Hg，含有量基準：15mg/kg，溶出量基準：0.005mg/L），カドミウム（Cd，含有量基準：150mg/kg，溶出量基準：0.01mg/L），鉛（Pb，含有量基準：150mg/kg，溶出量基準：0.01mg/L），六価クロム（Cr^{+6}，含有量基準：250mg/kg，溶出量基準：0.05mg/L）などの重金属類が含まれる。身体への影響は，水銀による水俣病や，カドミウムによるイタイイタイ病などが公害病として国に認定されている。水俣病は，メチル水銀による中毒性中枢神経疾患であり，運動失調，感覚障害，聴力障害などの症状が現れる。イタイイタイ病は，多発性近位尿細管機能異常や骨軟化症が主な症状である。

また，これらの重金属類は，酸化物，水酸化物，硫化物などの化合物の形態で土壌中に存在しているものと考えられる。さらに，重金属類は，地下水の存在下でその水素イオン濃度の影響を受けて溶出し，原子単体のイオン状態でも存在していることが知られている。このように重金属類は，原子やイオン単独の状態でも有害であることから，第一種特定有害物質のように分解して無害化することはできない。

したがって，土壌から重金属類を除去する方法として物理的特性（物質の三態変化など）を利用する場合は，比較的その融点や沸点が高温のものが多いことから，大量のエネルギーを消費し浄化コストが嵩むことになる。このことから，重金属類の化合物の多くは土粒子の表面に付着していることに着眼し，比表面積が大きいシルト質，粘土質を土壌から分級する洗浄工法などを適用して土壌中の重金属類を減じる方法が有効である。

第三種特定有害物質には，PCB（ポリ塩化ビフェニル，溶出基準：不検出）やチウラム（テトラメチルチウラムジスルフィド，溶出量基準：0.006mg/L），シマジン（6-クロロ-N,N-ジエチル-1,3,5-トリアジン-2,4-ジアミン，溶出量基準：0.003mg/L）などの殺虫剤や除草剤が含まれている。PCBは，毒性が強く発がん性物質として指定されており，難分解性であることからその取り扱いに関しては，国がPCB処理特別措置法を制定して令和5年（2023年）3月31日までに無害化処理を完了させる計画となっている。また，これらの第三種特定有害物質は，有機化合物であることから一定の温度条件下で，熱分解により無害化することが可能である。

一方，戦後の我が国における高度経済成長の推進力となったのは石油であるといっても過言ではない。石油は，一次エネルギーとしてのみならず化学製品の原料として，また，それの経済性，安全性，ハンドリング性などに優れていることから，工業製品の製造プロセスにおける洗浄液や溶媒として大量に使用され大量に廃棄されてきた。その代償として**写真-1**に示すような油汚染土壌という負の遺産を，将来の世代に担わせる最終局面に至りつつある。

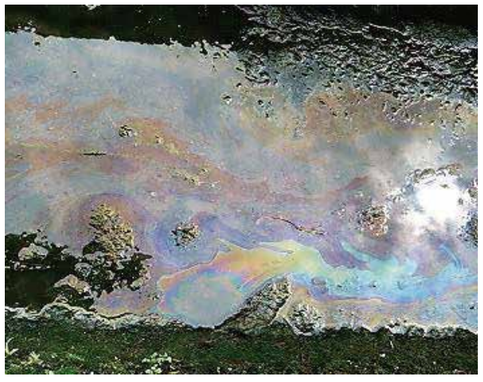


写真-1　油汚染土壌[1)]

油汚染土壌は，生産活動を行っていた工場跡地などからその多くが発覚しており，土壌汚染全体の半数以上が，石油が介在する汚染であるといわれている。さらに，この油による土壌汚染は，**写真-1**のような油膜や油臭といった生活環境面における深刻な問題をも引き起こしている。しかしながら，本報告の浄化対象である油汚染土壌は，土壌汚染対策法で定める特定有害物質の指定を受けていない。国が定める土壌の環境基準によると，土壌の油汚染に関しては，油の構成成分であるベンゼン（C_6H_6：溶出量基準：0.01mg/L）が第一種特定有害物質として規制の対象となっているのみである。また，ベンゼンは発がん性を示すことから，今現在は有機溶剤として使用されなくなってきている。

これらのことに関して，平成18年（2006年）3月付けで中央環境審議会土壌農薬部会・土壌汚染技術基準等専門委員会が，油汚染対策ガイドライン－鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方－[1)]（以下，ガイドラインと記載）を作成している。このガイドラインは，油汚染問題に対応する際の考え方や，油汚染問題が生じている現場で，調査や対策を行う際に参考となる事項を取りまとめたものである。土壌汚染対策法は，人の健康被害の防止を最大の目的にしているが，本ガイドラインでは，生活環境保全の支障を取り除くことを目的としているところが大きく異なる。

また，油汚染土壌の浄化対策は，土地売買に伴う汚染による土地評価額の減損を抑えるためのリスク回避措置として，「土壌汚染対策法」施行以前より民間ベースで自主的に実施

されてきた経緯がある。油汚染土壌の浄化技術としては，自然治癒力を利用したバイオレメディエーション（Bioremediation），高温焼却技術を応用したセメントキルンでの浄化などが知られているが，確実性並びに経済性などから日本では普及に至っていない。このような時代の要請のもと，経済的で確実，スピーディに油汚染土壌の浄化と油の熱分解による無害化が可能で，浄化後の土壌は本来の機能を損なうことなく土としての本質を保持しながら，微生物や植物が早い段階で生息可能となる土壌浄化技術の確立が待ち望まれている。

本報告では，筆者らが開発した油汚染土壌浄化システムの進化の足跡を辿り，新たに開発した省エネルギー型油汚染土壌浄化システムを概観し，その省エネルギー化と浄化性能などの特徴ならびに将来技術への展望を紹介する。

写真-2　アスファルト舗装による遮蔽[12)]

写真-3　遮水壁[1)]

2.既往の油汚染土壌の浄化技術

既往の油汚染土壌の対策技術には，油の拡散を防ぎ人畜に被害が及ばないようにする拡散防止対策と，油を土壌から積極的に取り除きそれを回収，または，分解して無害化をはかる浄化対策とに大きく分類することができる。

油の拡散防止対策には，油の地下水への浸透拡散がない場合，地表面での油膜遮断・油臭遮蔽対策を行う必要がある。この場合，最も安価な対策として，盛り土や舗装を挙げることができる。盛り土は，油含有土壌を上部より覆い油臭や油膜を遮蔽することができる。舗装は，**写真-2**に示すアスファルト舗装やコンクリート舗装などを挙げることができ，盛り土に比べ遮蔽効果に優れている。

油の地下水への浸透拡散がある場合，地下水への油分拡散防止対策を講じる必要がある。この場合，**写真-3**に示す遮水壁や，バリア井戸などの対策が有効である。遮水壁は，油が漏れ出たエリアを囲むように，矢板を不透水層まで打ち込み油の拡散を防止する対策法である。バリア井戸は，油が漏れ出たエリアを囲むように揚水井戸を掘り，油の拡散を防止する対策法である。揚水した油を含む地下水は，油を除去して自然放流される。また，油の地下水への浸透拡散のリスク評価システムとして，坂本らは，地下水における油の移動現象の解析を行うとともに，人への健康リスクを定量的に評価している[2~5)]。

一方，油汚染土壌の浄化技術には，土壌を掘削除去する工法と原位置で浄化する工法とに大きく分類することができる。掘削除去した油汚染土壌の浄化方法には，熱処理，土壌洗浄，バイオレメディエーション，セメント原料などを挙げることができる。また，橋本らは，市街地のガソリンスタンドの跡地などで最も多いガソリン，軽油，灯油などで汚染された土壌のオンサイト修復技術の実施例について詳細を報告している[6)]。これは，汚染土を掘削して取り出し，汚染サイト内で浄化処理を行った後，土壌を元の位置に埋め戻す浄化工法である。

熱処理は，土壌を加熱することにより油の蒸気圧を高め，土壌から油を脱離させる方法である。ほとんどの土壌は，水分を含んでおり，加熱プロセスにおいて，この水分が熱エネルギーを奪い加熱の妨げとなっている。土壌の加熱温度によって，200～400℃で油を土壌から揮発分離する乾燥加熱処理法，400～600℃で油を土壌から脱着する熱脱着処理法，600～1,000℃で油成分を分解する熱分解処理法に分類することができる。また，汚染土壌の加熱処理方式として連続加熱処理方式とバッチ加熱処理方式とに分類される。さらに，連続加熱処理方式には，処理土壌と熱媒体である熱風との流れの方向からカウンターフローとパラレルフローとに分かれる。前者は，汚染土壌と熱風とが対向して流れる方式で，後者は並行して流れる方式である。本稿で述べる一連の油汚染土壌の浄化システムは，その土壌の加熱温度が200～400℃の範囲である加熱乾燥処理と，400～600℃の熱脱着処理の両処理法に該当し，そして，両処理法とも連続加熱処理方式に属する。

土壌洗浄は，溶剤や界面活性剤などを用いて土壌を分級することにより，土壌に含まれる油濃度を低減させる方法である。バイオレメディエーションなどの工法との組み合わせが有効である。また，分級による油濃度の低減を基本原理としていることから，シルト質や粘土質の多い土壌への適応は難しい。

掘削除去後のバイオレメディエーションは，バクテリアなどの微生物が持つ油分解能力を利用する浄化方法である。油汚染土壌中に生息する油を好む微生物に栄養塩などを与えて油の分解促進をはかるバイオスティミュレーション（Bio stimulation）と，油の分解性能の高い微生物を製剤として油汚染土壌に注入するバイオオーグメンテーション（Bio augmentation）などが実用化されている。

バイオレメディエーションは，浄化費用が他の浄化工法に比べて安価で，土壌の自然治癒力を利活用した自然環境に最も優しい浄化工法であるが，微生物の活性が低下する冬季への適応が難しいなどの制約がある。森也らは，バイオスティミュレーションにおいて栄養塩の注入量や注入速度に関する研究を行っており，土壌を栄養塩が不飽和の状態に保つことが有効であると報告している[7)]。さらに，須藤らは，油汚染土壌に生石灰処理を適用した場合，土壌に生息する油分分解バクテリアに及ぼす影響を検討している[8)]。これによると，生石灰処理により土壌のpHが12以上にシフトしたにも拘わらず土中微生物は減少するものの残存し，生石灰処理後に残留する油の分解に寄与していることを確認している。なお，バイオオーグメンテーションを適用する場合には，微生物によるバイオレメディエーション利用指針（平成17年3月30日，経済産業省及び環境省告示）に沿って，事前に安全性を検討する必要がある。安全性の検討に関しては，北山らが灯油の分解に有効なバクテリアに関して，マウスを用いる慢性毒性ならびに急性毒性試験を実施し，その結果から，これらのバクテリアを屋外で用いることの安全性を確認した事例がある[9)]。

セメント原料は，掘削除去した油汚染土壌をセメント製造施設に搬入し，セメント原料として有効利用する方法である。セメントの化学成分であるカルシウム（Ca），シリカ（SiO_2），アルミナ（Al_2O_3），鉄（Fe）などを含んでいるものはすべてセメント原料として有効利用することが可能で，土壌もこれら成分を多く含んでいる。ただし，セメントの品質を保つためには，これら化学成分の配合割合が重要な要素となることから，油汚染土壌の受け入れ量に制約がある。

つぎに，原位置浄化には，土壌ガス吸引，原位置バイオレメディエーション，化学的酸化分解等の浄化工法を挙げることができる。

土壌ガス吸引は，地下に存在する油を減圧することにより，揮発させ抽出除去する方法である。地下水の揚水やエアースパージング（地中曝気）などと併用させることで，その適用範囲を広げることができる。

原位置バイオレメディエーションは，建物があるために掘削できない場合や，大深度で掘削費用が莫大となる場合などに適応される。栄養塩（バイオスティミュレーション）や微生物製剤（バイオオーグメンテーション）を直接地中に注入し，油分の分解を促進させる浄化工法である。

化学的酸化分解は，過酸化水素などの酸化剤を，鉄を触媒として反応させることにより大量の酸素を発生させ，油を含む有機化合物を酸化分解する浄化工法である。酸化分解した油は，無害の二酸化炭素と水になる。

いずれの浄化工法に関しても，適用する前に実汚染土によるトリータビリティーテストを実施し，その有効性と副次的に生成される成分の環境への影響評価を十分に検討しておく必要がある。

3.　当社の油汚染土壌浄化システムの変遷

3.1　概　要

当社は，1999年に油汚染土壌浄化装置（NTR：Nikko Thermal Remediation system，以下，NTRシステムと記載）を開発し市場に投入している。このNTRシステムは，アスファルトプラントの骨材乾燥システムならびに直接燃焼式脱臭装置等で培ってきた技術を基盤としている。そして，社会の要請に応え多様化する汚染物質に適応する浄化性能を順次高めて行き，現在では浄化対象となる汚染物質の種類や処理能力ならびに廃熱回収の有無などの違いからNTR-StageⅠからNTR-StageⅥまでの6機種をNTRシリーズとしてラインナップに揃えている[10~15)]。**表-1**にNTRシリーズのラインナップとその特徴および加熱処理温度と適応する浄化対象物質を示す。

これらのNTRシリーズは，油汚染土壌を150～600℃の温度範囲で加熱処理し，大量の同汚染土壌を低コストで確実に浄化することが可能である。さらに，土壌の融点温度以下で加熱処理を行うことから，土壌本来の性状が不変であることや，システム内で有害物質を分解し無害化するため，二次公害の恐れがないことなどが大きな特徴である。

一次処理装置である内熱式のロータリーキルンに関して，

表-1　土壌浄化設備（NTRシステム）のラインナップと浄化対象物質

機　種		Stage Ⅰ	Stage Ⅱ	Stage Ⅲ	Stage Ⅳ	Stage Ⅴ	Stage Ⅵ
土壌加熱処理温度（℃）		150～250	150～300	150～400	150～600	150～1,000	150～1,000
一次処理装置排ガス温度（℃）		120～180	120～180	200～500	200～800	200～1,200	200～1,200
二次処理温度（℃）		～800	～800	～800	～1,200	～1,200	～1,200
三次処理温度（℃）		―	200～350	―	―	―	―
三次処理排ガス温度（℃）		―	250～400	―	―	―	―
冷却塔		―	―	○	○	○	○
熱交換器		○	○	―	―	○	○
プレヒートキルン		―	―	―	―	―	○
油　類	ガソリン相当	○	○	○	○	○	○
	灯油相当油類	○	○	○	○	○	○
	軽油相当	△	○	○	○	○	○
	A 重油相当	―	○	○	○	○	○
	マシン油	―	○	○	○	○	○
	C 重油相当	―	△	○	○	○	○
	タール・ピッチ	―	―	○	○	○	○
第一種特定有害物質・VOC		―	―	○	○	○	○
水銀・シアン化合物・農薬類		―	―	―	○	○	○

※!　○：適応　△：条件付きで適応　―：未適応

StageⅠとStageⅡではカウンターフロー方式を，StageⅢからStageⅥに至るNTRシリーズにはパラレルフロー方式を採用している。

前者のカウンターフロー方式は，熱媒体である熱風と被加熱物である土壌とがロータリーキルン内部で対向して流れる方式である。浄化対象物の沸点が比較的低い軽質油で，しかも，大量に土壌の処理を行う場合に有効な手段となる。

後者のパラレルフロー方式は，熱風と土壌とが同一方向へ流れる方式である。沸点が高い難分解性の浄化対象物を処理する場合に有効となる手段である。

さらに，土壌の加熱処理温度に応じてStageⅠからStageⅢに至るNTRシステムには，耐火材を施工しないメタリック構造のロータリーキルンを，StageⅣからStageⅥに至る同システムには，耐熱性と蓄熱性に優れる耐火キャスタブルを内面に施工した構造のロータリーキルンを搭載している。加えて，同システムのStageⅥは，徹底した省エネルギー化をはかるために，廃熱を利用して一次処理装置の前工程で土壌の予備乾燥を行うための外熱式のプレヒートキルンを備えている。

そして，全てのNTRシステムには，土壌から脱離した油成分を酸化分解して無害化するための二次処理装置と，加熱処理した土壌の冷却と防塵対策を兼ねて湿潤状態に戻すための調湿ドラムとを備えている。

前者の二次処理装置は，汚染物質によっても異なるが，有機化合物の酸化分解に必要な750～1,200℃の温度範囲で，同分解反応が完結するのに必要な滞留時間を確保している。さらに，同システムのStageⅢを除く全ての二次処理装置には，廃熱を回収して省エネルギー化をはかるための熱交換器を備えている。

後者の調湿ドラムでは，加熱処理を施した土壌に直接散水を行い湿潤状態とするが，このとき，多量の水蒸気とこれに随伴する粉塵とが生成する。このことから，調湿ドラムは，これら粉塵を捕捉するための集塵装置を備えている。

さらに付け加えると，高温の処理温度を必要とする難分解性汚染物質に適応するStageⅢ以上のシステムには，土壌の加熱温度を均熱化して土粒子内部に残留する油分を酸化し曝気することにより，浄化を促進させるためのストックビンを備えている。

以下，NTR-StageⅠからNTR-StageⅥに至る6機種について，その概要と特徴に触れる。

3.2　NTR-Stage Ⅰ

当社において油汚染土壌浄化装置の初号機となるNTR-StageⅠは，**表-1**に示すようにガソリンや灯油などの軽質油で汚染された土壌を浄化対象としている。これらの軽質油は，炭素数がC_5～C_{18}の脂肪族炭化水素や芳香族炭化水素を主成分とする油に相当し，その沸点が常温から250℃の範

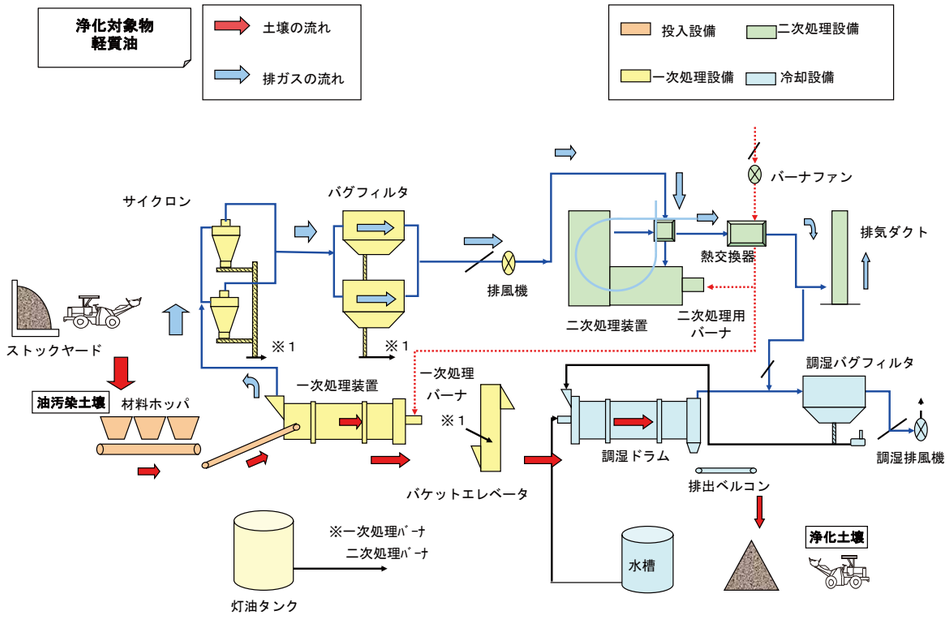


図-1　NTR-Stage Ⅰの全体プレセスフロー（処理能力：毎時70トン）

囲の油を対象としている。**図-1**にNTR-StageⅠのプロセスフローを，**写真-4**にそれの全景を示す。以下では本図に基づき，土壌浄化のプロセスの概要を述べる。

まず，材料ホッパから油汚染土壌を連続的に切り出し一次処理装置であるカウンターフロー方式のロータリーキルンへ供給する。そして，ここで油汚染土壌を150～250℃に加熱して含有油の蒸気圧を高め，気化蒸発を促進させることにより土壌から油を脱離している。

具体的には，大気圧下において水の沸点は100℃であるが，水の沸点まで昇温しなくても洗濯物が乾くのと同様に，ガソリンや灯油などの軽質油に関しても，その構成成分の沸点にまで加熱する必要はなく，キルン内部における油成分の蒸気圧（分圧）によって，その蒸発の速度が支配される。このことから，ロータリーキルン内部での滞留時間が5～10分と比較的短時間で，なおかつ，土壌加熱温度が150～250℃と油成分の沸点より低い温度であっても，土壌から軽質油を脱離することが可能となる。

ロータリーキルンの熱源としては，都市ガス，灯油，A重油などの化石燃料が一般的に使用され，これらの燃料をバーナで最適に燃焼することにより，熱媒体となる高温の熱風を生成している。また，メタリック構造のロータリーキルンは，その内部に土壌を効率よく掻き上げて分散落下させるためのリフターを備えている。このリフターにより，熱風との接触面積を増大させて

写真-4　NTR-Stage Ⅰ（処理能力：毎時70トン）の全景

熱交換を向上させている。

ただし，土壌が含有する水分量が，その燃料消費量に大きく影響を及ぼすことに注意が必要である。すなわち，大気圧下で土壌中に水分が残留している限り，100℃以上に昇温することができないだけでなく，熱エネルギーが水の蒸発に率先して消費されるからである。

つぎに，土壌から気体として脱離した油成分は，排ガスと一緒に後段の集塵装置に導入される。この排ガスには，バーナの燃焼排ガスと侵入空気ならび土壌から蒸発した水蒸気が含まれる。加えて，乾燥加熱により水分を失った土壌からは微細土粒子が飛散し，排ガスに随伴してロータリーキルンから排出される。このとき，微細土粒子は比表面積が極めて大きいことか

ら，排ガス温度が低下することに伴い，一旦気化していた油成分が再び土粒子を核として凝縮してくることに留意する必要がある。

したがって，本システムでは，集塵機として乾式サイクロンとバグフィルタを備えているが，排ガス温度を集塵機の耐熱温度近くにまで高めて，油の蒸気圧が下がらない温度域で運用するようにしている。具体的には，バグフィルタの濾布に，テフロン系の耐熱濾布（商標：PTFE）を採用しており，排ガス温度を200℃で管理することができる。

なお，ロータリーキルンの排ガス温度のコントロール手法としては，リフターの脱着やキルンの回転数を変更して行うことが可能である。

最終的に，ロータリーキルンで加熱浄化した土壌と，乾式サイクロンならびにバグフィルタで捕捉した微細土粒子とをまとめて調湿ドラムに導入し，ここで冷却と防塵対策のため散水を施して湿潤状態とし外部へ排出している。

一方，バグフィルタで濾過した油成分を含む排ガスを二次処理装置に導入し，800℃前後の温度で無害の二酸化炭素と水とに酸化分解している。そして，エネルギーの有効利用の観点から2器の熱交換器を備え，廃熱を回収している。1段目の熱交換器で被処理ガスを予熱し，2段目で一次処理装置と二次処理装置のバーナ燃焼空気を予熱している。これらの廃熱回収により，30%以上の省エネルギー化を達成している。最後に，熱交換器で廃熱を回収された浄化ガスは，排気ダクトを通じて大気へ放出される。

3.3　NTR-Stage Ⅱ

NTR-StageⅡは，**表-1**に示すようにStageⅠの浄化対象である軽質油を始めとし，重油，マシン油などの重質油を浄化の対象に含めている。これらの重質油は，炭素数がC_{10}～C_{28}の脂肪族炭化水素や芳香族炭化水素を主成分とし，その沸点が150～350℃の範囲にある油に相当する。**写真-5**にNTR-StageⅡの全景を，**図-2**にそれの全体プロセスフローを示す。

図より，NTR-StageⅡシステムでは，一次処理装置から排ガスに随伴してくる重質油を多く含んだ微細土粒子を集塵機で捕捉し，これを三次処理装置である小型のパラレルフロー方式のキルンで200～350℃に加熱処理を行っているのが特徴である。全体システムとしては，NTR-StageⅠに三次処理装置を増設した構成となっている。以下では，本図に基づき土壌浄化のプロセスの概要に触れる。

まず，NTR-StageⅠにおいては，軽油やA重油相当の油で汚染された土壌を加熱処理した場合，集塵機であるサイクロンやバグフィルタで捕捉した微細土粒子に，高濃度の油が残留しており，浄化レベルを満足しないことが課題であった。このことは，微細土粒子の比表面積は粒子が小さいほど大きくなり，汚染油が土粒子表面に付着して一定の被膜を形成しているものと考えると，小さな土粒子ほど油の含有割合が増大することに起因している。

写真-5　NTR-Stage Ⅱの全景

視座を変えると，ロータリーキルンは燃焼ガスを媒体とした分級機としての特性を有しているものと理解することができる。ロータリーキルン内部には，熱風との熱交換を促進するためのリフターが取り付けられており，これにより土壌を掻き揚げて分散落下させている。そして，一定の速度でロータリーキルン内部を通過してくる熱風と接触することにより熱の移動が起こっている。これと並行して，粒径が小さく軽い微細土粒子が熱風に随伴して飛散して行くものと考えられる。

このようにして，分級作用を受けた微細土粒子は，比表面積が大きいことにより，濃縮されて高濃度の油で汚染された土粒子と化している。さらに，キルン出口の排ガス温度は，バグフィルタ濾布の耐熱温度である200℃で制約を受けるため，この温度で気化蒸発しない油成分が微細土粒子に残留することになる。

なお，土壌の種類にもよるが，ロータリーキルンから飛散して排ガスに随伴する微細土粒子の量は土壌全体の10～30%を占める。特に，シルト質や粘土質が多く含まれる関東ローム層などの場合では60～70%に及ぶこともある。

以上のことより，NTR-StageⅡでは，集塵機で捕捉した高濃度の油で汚染された微細土粒子を，三次処理装置である小型のパラレルフロー方式のロータリーキルンに投入し，200～350℃で再加熱して浄化を促進させているのが特徴である。そして、このときの排ガス温度は，250～400℃の範囲でコントロールが可能である。このようにして，三次処理装置を設けることにより，微細土粒子に残留する油の高沸点成分を気化蒸発させて浄化を行うことを可能としている。

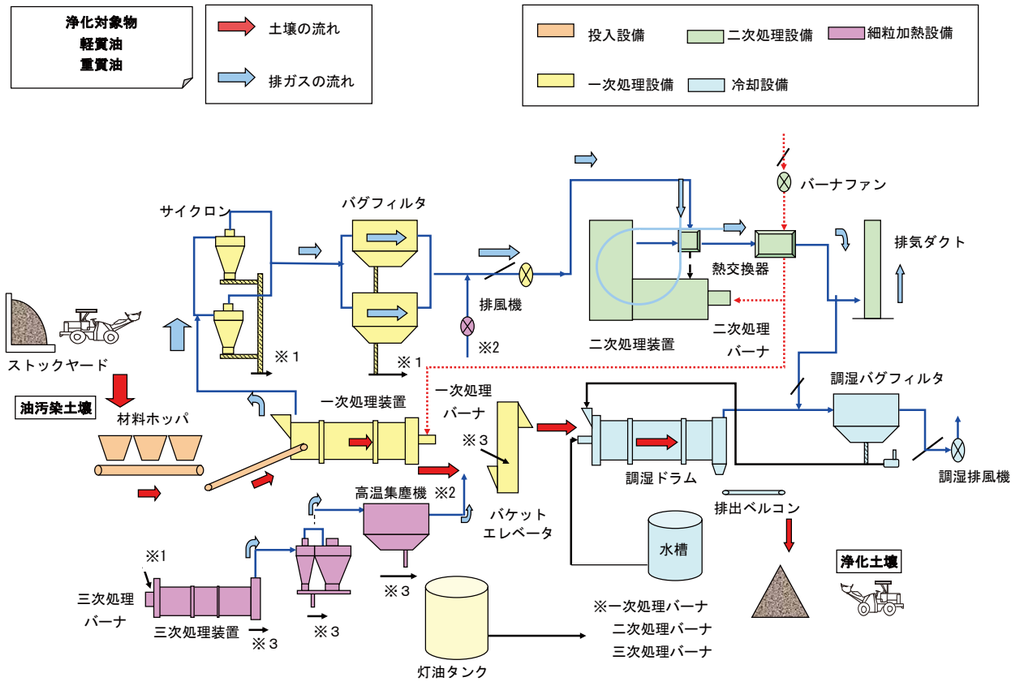


図-2　NTR-Stage Ⅱの全体プロセスフロー

一方，この第三次処理装置から飛散する微細土粒子の捕捉には，耐熱温度400℃のセラミックスを濾材とする高温集塵機を採用している。高温集塵機で濾過処理後の油揮発成分を含んだ排ガスは，二次処理装置に導入して一次処理装置からの排ガスと共に熱分解により無害化している。

3.4　NTR-Stage Ⅲ

NTR-StageⅢは，表-1に示すようにStageⅡの浄化対象物に加えマシン油，タール・ピッチ，アスファルトなどの重質油や土壌汚染対策法の第一種特定有害物質であるVOC：Volatile Organic Compound（揮発性有機化合物）で汚染された土壌の浄化に対応している。**図-3**にNTR-StageⅢの全体プロセスフローを，**写真-6**にその全景を示す。以下では，本図に基づき土壌浄化プロセスの概要に触れる。

まず，一次処理装置としてパラレルフロー方式のロータリーキルンを採用し，汚染土壌を150～400℃の範囲で加熱処理することを可能としている。このとき，重質油が付着した微細土粒子がロータリーキルンから飛散して排ガスに随伴するが，排ガス温度を250℃～500℃の範囲でコントロールすることにより，その浄化性能を高めている。

特に，パラレルフロー方式のロータリーキルンを適用していることから，バーナの燃焼量をコントロールすることにより排ガス温度のフィードバック制御が有効となる。排ガス温度をバーナの燃焼量でコントロールすることができないカウンターフロー方式のロータリーキルンのように，リフターの脱着や回転数変更による排ガス温度の管理が不要となる。

また，NTRシリーズのStageⅠからStageⅢに至る一次処理装置は，メタリック構造のロータリーキルンで，土壌を分散させるためのリフターを内部に備えていることは既に触れている。さらに，

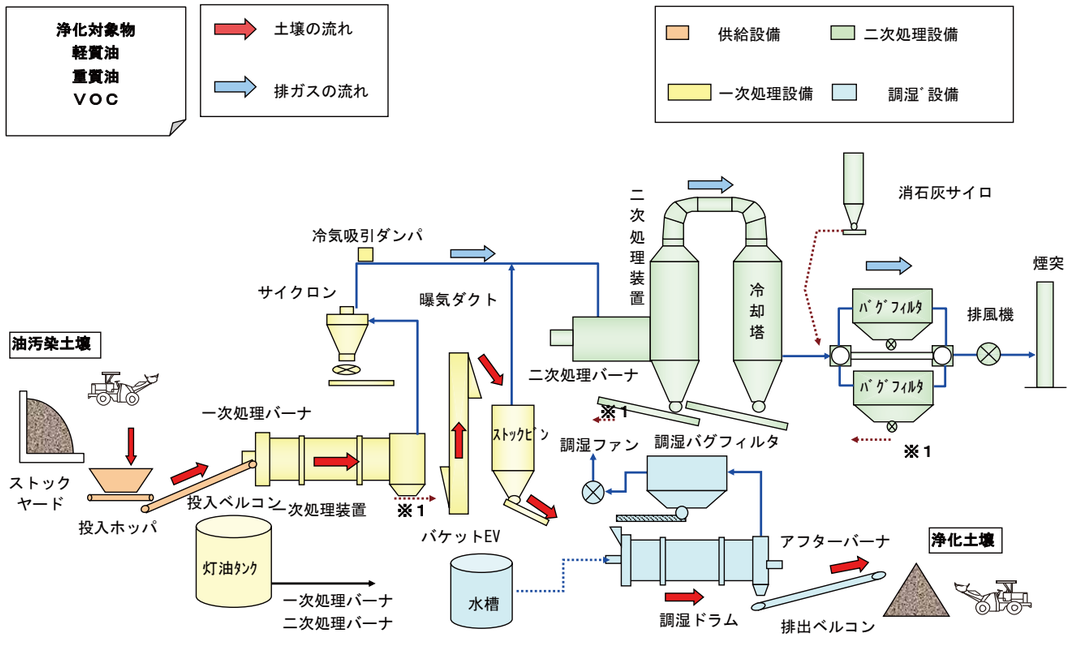


図-3　NTR-Stage Ⅲの全体プロセスフロー[12)]

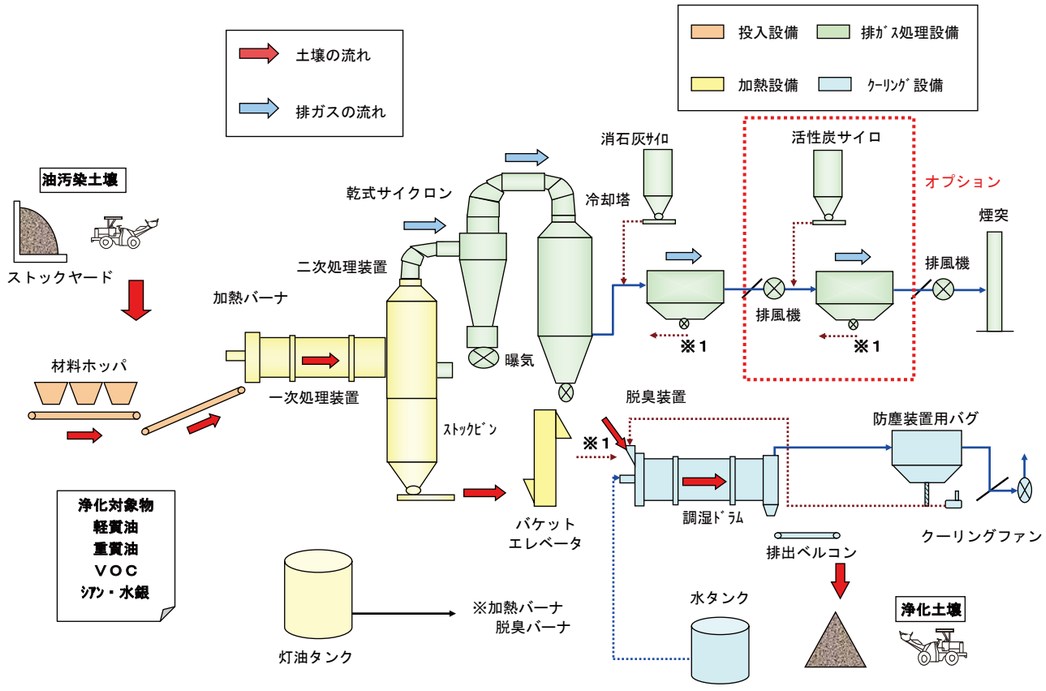


図-4　NTR-Stage Ⅳの全体プロセスフロー

熱風との熱交換を促進するためにロータリーキルンの回転速度を高めている。このため，一次処理装置での土壌の滞留時間が5分足らずと短くなることから，NTR-Stage Ⅲでは，加熱処理した土壌を30～60分間貯蔵し，均熱化をはかって残留油分の脱離と曝気を促進させることができるストックビンを備えている。

つぎに，土壌から脱離した油成分やVOCは，二次処理装置で酸化分解を受けて無害化される。このとき，重質油で汚染された土壌の場合には，主成分である炭化水素以外に硫黄分を含んでいるため，無害である二酸化炭素と水に加えて，大気汚染防止法の排出規制を受ける硫黄酸化物（SO_x）が析出してくる。

他方のVOCで汚染された土壌の場合には，塩素成分を含んでいることから無害な二酸化炭素と水に加えて，排出規制の対象となる塩化水素（HCl）が生成してくる。さらに，これらの塩化物がダイオキシン類の合成因子となり得ることから，Stage Ⅲはダイオキシン類の再合成を抑制するための冷却塔を備えている。冷却塔では，二次処理装置から導入された800℃の分解浄化ガスを180℃にまで急冷することにより，デノボ合成反応によるダイオキシンの再合成を抑制している。

そして，この冷却塔で180℃にまで急冷した排ガスを，バグフィルタに導入して微細土粒子の捕捉ならびに硫黄酸化物や塩化水素などの酸性ガスを中和除去している。バグフィルタの濾布表面に消石灰をプレコーティングし，微細土粒子を捕捉し排ガスが濾布を通過する過程で，これら酸性ガスが消石灰と反応する。硫黄酸化物は硫化カルシウム（石膏：$CaSO_4$），塩化水素は塩化カルシウム（$CaCl_2$）として微細土粒子と共に回収し，土壌に還元している。なお，硫酸カルシウムならびに塩化カルシウムは，中性無害であることから，土壌に還元しても安全である。

3.5　NTR-Stage Ⅳ

NTR-Stage Ⅳは，**表-1**に示すように土壌の加熱温度を600℃にまで高めることにより，NTR-Stage Ⅲの浄化対象物に加え，水銀やシアン化合物などの第二種特定有害物質および，農薬類である第三種特定有害物質を浄化の対象としている。**図-4**にその全体プロセスフローを，**写真-7**にNTR-Stage Ⅳの全景を示す。以下では，本図に基づき土壌浄化プロセスの概要を述べる。

図より，一次処理装置としてパラレルフロー方式のロータリーキルンを備えている。そして，材料投入部からキルン中央部に至っては耐火キャスタブルを施工しないメタリック構造とし，土壌を掻き揚げて分散落下させるためのリフターを取りつけている。ここでは，積極的に土壌の分散を行い熱風との接触面積を稼ぐことにより熱交換効率を高めている。そして，キルン中央部から排出部に至っては，蓄熱性に優れる耐火キャスタブルを施工して土壌の加熱温度の高温化に対応している。

写真-7　NTR-Stage Ⅳの全景

また，図に示すように一次処理装置と二次処理装置およびストックビンとを一体構造とし，内部には耐火キャスタブルを施工してシステムの合理化と省エネルギー化をはかっている。このことにより，二次処理装置に至る高温ダクトやストックビンに至る土壌搬送装置を不要としている。さらに，一次処理装置の排気室と二次処理装置とを兼ねることにより，微細土粒子の重力沈降の促進と排ガスの滞留時間の増大をはかることを可能としている。

加えて，本システムは難分解性の農薬類を浄化の対象としていることから，二次処理装置には，二次燃焼用バーナを設けて，1,200℃までの加熱分解温度にまで対応している。農薬類は，フッ素（F），塩素（Cl），臭素（Br），ヨウ素（I）などのハロゲン化合物を含むことから，酸化分解を受けてフッ化水素（HF），塩化水素（HCl），臭化水素（HBr）などの酸性ガスを生成する。

これらの高温分解ガスは，ダイオキシン類が再合成するデノボ合成反応を抑制するためにNTR-Stage Ⅲ同様，冷却塔で180℃まで急冷し，バグフィルタで微細土粒子の捕捉ならびに消石灰による酸性ガスの中和処理を施してから排気ダクトを通じて大気に放出している。バグフィルタで捕捉した微細土粒子ならびに酸性ガスを中和することにより生成するフッ化カルシウム，塩化カルシウム，臭化カルシウムなどは土壌に還元される。なお，これらの酸性ガスの中和物は全て中性で無害である。

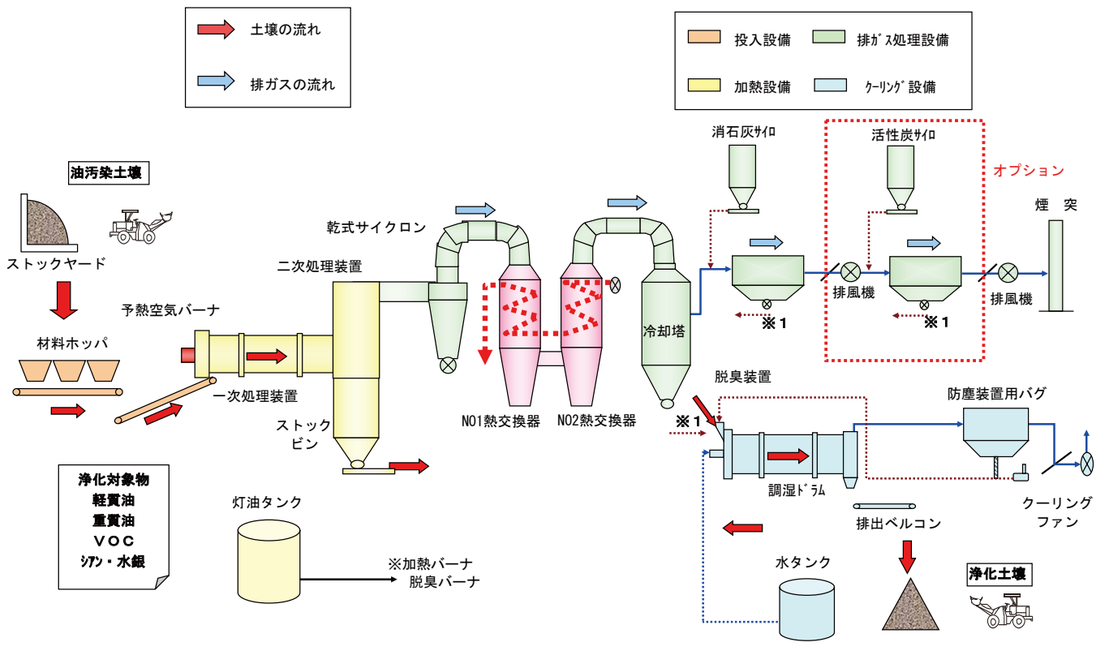


図-5　NTR-Stage Ⅴの全体プロセスフロー

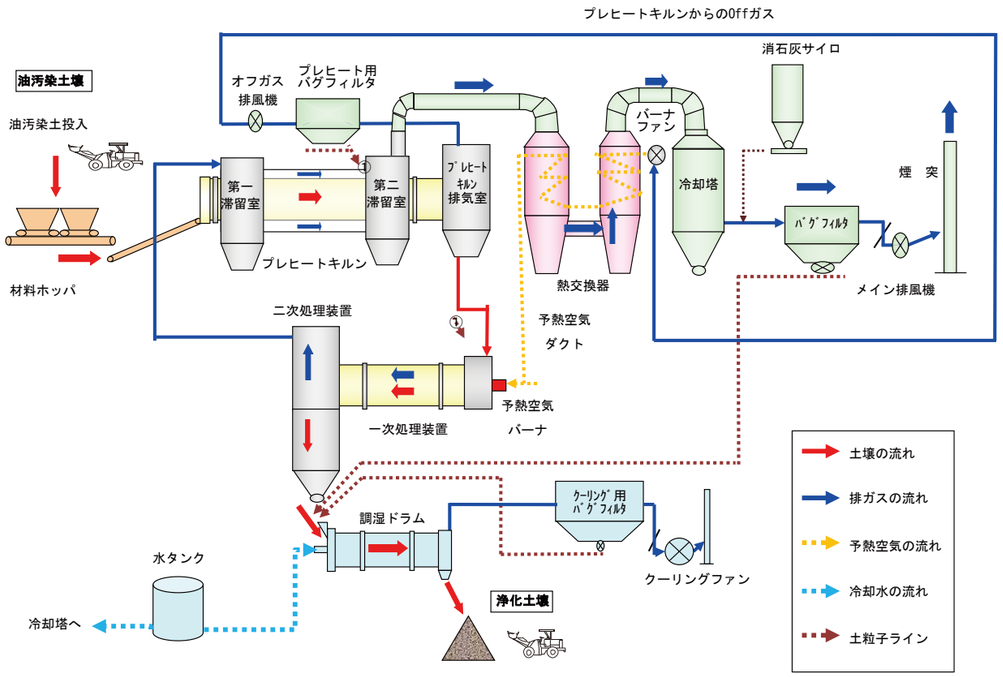


図-6　NTR-Stage Ⅵの全体プロセスフロー

写真-8　NTR-Stage Ⅴの社内実証機全景

3.6　NTR-Stage Ⅴ

NTR-StageⅤは，**表-1**に示すように浄化対象物をNTR-StageⅣと同等とし，汚染物質を酸化分解する二次処理装置の下段に熱交換器を搭載して廃熱を回収し，一次処理装置用バーナの燃焼空気を予熱して省エネルギー化をはかっている。**図-5**にNTR-StageⅤの全体プロセスフローを，**写真-8**に社内実証機の全景を示す。以下では，本図に基づき土壌浄化プロセスの概要を述べる。

図より，一次処理装置であるロータリーキルン内部の全面に蓄熱性に優れる耐火キャスタブルを施工し，土壌の高温加熱処理に対応している。そして，土壌の加熱温度と滞留時間は，ロータリーキルンの回転数制御によりコントロールしている。土壌の加熱温度は，熱風との直接接触よりも蓄熱した耐火キャスタブルからの接触伝熱および耐火キャスタブルからの輻射伝熱に依存するところが大きい。

具体的には，ロータリーキルンの回転数を上げることにより，土壌の滞留時間は短くなるが，耐火キャスタブルとの接触伝熱が増大して土壌の温度が上昇する。このことから，滞留時間の不足を補うために，ロータリーキルンで加熱した土壌を一旦ストックビンで貯留し，土壌の均熱化と曝気ならびに酸化分解の促進をはかっている。

また，ロータリーキルンから飛散した微細土粒子は，二次処理装置内部で重力沈降してストックビンに落下し，土壌と一緒に所定時間貯蔵される。そして，二次処理装置で，終端速度に満たない極微細土粒子は排ガスに随伴して下段の熱交換器に導入される。

熱交換器は，二次処理装置から随伴する極微微土粒子によるクリンカーの付着成長や摩擦による摩耗を抑制するために円筒チューブ式のエレメントとしている。特に，極微細土粒子を随伴した排ガスは，熱交換器の上部から鉛直下方向に，しかも，チューブ式エレメントの内側に導入している。このことにより，エレメント内部の流れを円滑にして，付着や摩耗の抑制をはかっている。方や，熱交換器の受熱側（エレメントチューブの外側）には，クリーンなバーナ用燃焼空気を導入して予熱し，燃費の削減をはかっている。

以降の排ガスの流れは，NTR-StageⅣと同様に冷却塔で180℃まで冷却し，バグフィルタで微細土粒子の捕捉と酸性ガスを中和し，排ガスは大気に放出される。捕捉した微細土粒子と酸性ガスの中和物であるカルシウム化合物は土壌に還元して調湿ドラムで加湿される。

3.7　NTR-Stage Ⅵ

NTR-StageⅥは，**表-1**に示すように省エネルギー化をさらに推し進めるために，NTR-StageⅤに土壌の予備乾燥装置であるプレヒートキルンを追加したシステムである。二次処理装置の廃熱を外熱方式のプレヒートキルンに導入して，汚染土壌の含水を予め削減することにより，極めて大きな省エネルギー効果を実現している。

NTR-StageⅥの特徴に関しては，その浄化性能と省エネルギー性能を次章で詳しく触れる。

4.　新たに開発した省エネルギー型の油汚染土壌浄化システム（NTR-Stage Ⅵ）

4.1　概　要

繰り返しになるが，加熱による油汚染土壌浄化システムは，土壌を加熱昇温することにより，対象とする汚染物質の蒸気圧を高めて土壌から脱離することを基本原理としている。このため，土壌を100℃以上に加熱するプロセスにおいては，土壌が水を含んでいる限り，水の蒸発でエネルギーが消費されるため，土壌が乾燥状態にならないと昇温することができない。したがって，土壌の水分を予め削減することができれば，本浄化システムのエネルギー消費量を大きく低減することが可能となる。

NTR-Stage Ⅵでは，**図-6**の全体プロセスフローに示す通りNTR-Stage Ⅴを基本ベースに，土壌の予備乾燥装置であるプレヒートキルンを追加したシステムであることは前章でも触れている。土壌から脱離した汚染物質を二次処理装置で無害化し，高温となった処理ガスをプレヒートキルンに導入して土壌の予備乾燥に有効利用していることが大きな特徴である。

さらに，同プレヒートキルンで回収し切れなかった余剰熱を熱交換器で回収し，バーナ燃焼空気の予熱に有効利用している。このようにして，廃熱をカスケード利用することにより，燃料消費量が半減する大幅な省エネルギー効果とCO_2の削減を実現している。また，**写真-9**にNTR-Stage Ⅵの全景を示す。

次項以下では，**図-6**に基づき土壌の流れとガスの流れとの二つの視点から，その浄化プロセスと廃熱回収メカニズムの

写真-9　NTR-Stage Ⅵの全景

詳細について述べる。

4.2　土壌の流れからの視点

4.2.1　予備乾燥装置（土壌の乾燥・塊の除去）

前節の概要でも触れた通り，油汚染土壌浄化システムは土壌を加熱することにより，汚染物質である油の蒸気圧を高めて脱離することを基本原理としている。このため，土壌中の水分がエネルギー消費に大きな影響を及ぼしている。一例を挙げると，土壌中の水分1%を蒸発させるのに必要な熱エネルギー（潜熱）は，土壌を30℃上昇させる熱エネルギー（顕熱）に相当し，大気圧下で水が存在する限り土壌の温度は100℃以上には上昇しない。このように，加熱による油汚染土壌浄化システムでは，土壌中の水分がエネルギー消費量を増大させる大きな要因となっている。

さらに，土壌は極めて多様で細粒分であるシルト質や粘土質の割合が多い土壌の場合には30～50%の水分を含む。この場合，水の気化潜熱だけでもA重油換算で50リットル／トンを超える膨大なエネルギーを消費することになる。したがって，土壌の前処理工程で如何にして水分を減らすことができるかがエネルギー消費の観点から極めて重要となる。

たとえば，二次処理装置の850℃を超える排ガスが保有する廃熱を回収して，土壌の水分削減に利用することができれば省エネルギー化に極めて有効である。この廃熱を土壌の予備乾燥に利用する手段としては，直接加熱（内熱式）方式と間接加熱（外熱式）方式のキルンなどを挙げることができる。

前者の内熱式キルンは，熱風と土壌とを直接接触させて熱交換を行うことを基本原理としている。キルン内部に備わるリフターにより，土壌を掻き揚げて均一に分散落下させることにより，熱風との接触面積を増大させて熱交換効率を高めているのが特徴である。しかしながら，土壌に含有する油成分が水分と一緒に気化蒸発し，せっかく二次処理装置で無害化した熱風（排ガス）を汚染させてしまうことになる。

後者の外熱式キルンは，無害化した高温の排ガスを熱風としてキルン外面に接触させてキルンの温度を上昇させ，内部の土壌を間接的に加熱することを基本原理としている。このため，揮発した油成分が熱風に混入しない構造となる。ただ，熱交換能力はキルンと土壌との接触面積に依存することから，内熱式キルンに比べ装置が大型化することは否めない。

以上の理由から，本システムの予備乾燥装置であるプレヒートキルンは，メタリック構造の外熱方式を採用している。

具体的には，プレヒートキルンの外部にはヒートキャリアー（熱媒体）である無害化した高温の排ガスが流入し，プレヒートキルンそのものを加熱する。一方，内部には土壌を投入して，プレヒートキルンの壁面を通じて熱エネルギーのみを伝熱する。このことにより，無害化した排ガスを汚染させることなく熱エネルギーのみを土壌に伝熱することが可能となる。以下では，**図-6**に基づき土壌の流れに沿って詳細を述べる。また，**写真-10**にプレヒートキルンの全景を示す。

まず，浄化対象とする油汚染土壌は，連続式のベルトフィーダで安定供給が可能な状態にまで前処理が施されていることを前提とする。具体的には，重機を用いて大きな異物の除去や，生石灰処理などを施して土壌の性状を改善する。そして，材料ホッパを経由してプレヒートキルンの内部に連続的に投入された土壌は，キルン壁面より接触伝熱を受けて加熱される。さらに，プレヒートキルンは，高温の排ガスにより400～600℃に加熱されていることから，内部の土壌に向かって遠赤外線や赤外線を放射している。特に，遠赤外線は被加熱物の内部にまで到達し，その伝達熱量は温度差の4乗に比例することから，キルンが高温の温度領域では放射伝熱が支配的となる。

前者のプレヒートキルン壁面から土壌への接触伝熱は，土壌とキルンとの接触面積と熱伝達係数に依存することから，土壌の滞留量を増大させて伝熱面積を拡大することが重要である。後者の放射伝熱に関しても，滞留土壌表面の見掛け面積と輻射率に依存することから，土壌の滞留量を増大させることは有効であり，その伝熱量は接触伝熱よりも大きい。

また，**写真-11**に示すように，プレヒートキルン内部には，土壌を反転させて均熱化と水分の脱気を促すためのリフターが備わっている。

なお，約1時間の滞留時間を経て乾燥工程が終了した土壌は，**写真-12**に示すようなプレヒートキルン出口に設けたトロンメルにより大きな異物を除去し，次の加熱工程である一次処理装置に搬送される。

写真-10　NTR-Stage Ⅵのプレヒートキルンの全景

写真-11　NTR-Stage Ⅵのプレヒートキルン内部

写真-12　NTR-Stage Ⅵのプレヒートキルントロンメル部

写真-13　NTR-Stage Ⅵの一次処理装置とストックビン全景

写真-14　NTR-Stage Ⅵの二次処理装置とストックビン全景

写真-15　NTR-Stage Ⅵの一次処理装置内部

4.2.2　一次処理装置（土壌の加熱）

一次処理装置であるロータリーキルンは，その内面に耐火キャスタブルを施工した蓄熱構造としている。蓄熱した耐火キャスタブルにより，汚染土壌を400～600℃に加熱することが可能である。**写真-13**と**写真-14**に一次処理装置とストックビンの全景を，**写真-15**にロータリーキルン内部の耐火キャスタブル施工状況を示す。

まず，バーナ燃焼で生成した高温の熱風により，ロータリーキルン内面の耐火キャスタブルが加熱されて蓄熱する。このときのキャスタブルへの蓄熱は，熱風との直接接触による伝熱と，熱風からの輻射による伝熱とが関与している。バーナの燃焼は，赤火炎となる拡散燃焼を基本としていることから，この火炎から赤外線および遠赤外線が放射され耐火キャスタブルを蓄熱させている。特に，接触伝熱は温度差に比例するのに対し

て，輻射伝熱は温度差の4乗に比例することから，温度差が大きくなるほど放射伝熱が支配的となる。

同様にして，高温に蓄熱した耐火キャスタブルから温度の低い土壌へ接触伝熱と輻射伝熱とにより熱が移動する。耐火キャスタブルは，キルン底部に滞留している土壌と直接接触して伝熱することによりその分温度が低下するが，ロータリーキルンが回転していることにより，土壌と接触していない領域で再び熱風から受熱して高温に戻る。そして，耐火キャスタブルからも土壌に向けて輻射伝熱により熱が移動する。このようにして，耐火キャスタブルは，高温の熱風から受熱して低温の土壌へ伝熱するヒートキャリアとしての役割を担っている。なお，割合は大きくはないものの熱風から直接土壌へ伝熱していることも考慮に入れておく必要がある。

つぎに，二次処理装置における排ガス温度は，バーナ燃焼量のフィードバック制御により設定温度の850℃になるようにコントロールしている。たとえば，耐火キャスタブルを通じて土壌への伝熱量が多くなった場合，キャスタブル温度が低下すると共に，二次処理装置の温度も低下してくるので，バーナ燃焼量をその偏差に応じて増大させている。

土壌の加熱温度の制御は，ロータリーキルンの回転数を可変することにより行っている。たとえば，土壌供給量が一定の条件下において，ロータリーキルンの回転数を増大することにより，土壌の滞留量（質量）が減少に転じる。これと同時に，土壌と耐火キャスタブルとの接触面積も減少に転じるのであるが，その減少の割合が滞留量（質量）の方が大きいことに起因している。すなわち，ロータリーキルンの回転数を変化させることにより，土壌の単位接触面積当たりの滞留量（質量）が変化し，しかも，ロータリーキルンの回転数と負の相関関係となっている。

このことから，ロータリーキルンの回転数を増大すると単位接触面積当たりの滞留量（質量）が減少して土壌の温度が上昇し，逆に回転数を減じると滞留量（質量）が増大して土壌の温度が低下するのである。

ところで，キルンの回転数と滞留時間との関係については，一般的にキルンの回転数を増大すると滞留時間が短くなり，逆にキルンの回転数を減少すると滞留時間が長くなる関係にある。そして，土壌の加熱温度と滞留時間との間にはトレードオフの関係にあり，土壌の温度を上げるためにロータリーキルンの回転数を増大すると滞留時間が減少し，逆に土壌の温度を下げるためにロータリーキルンの回転数を減じると滞留時間が増大することになる。その影響度合い（感度）は滞留時間よりも回転数の方が大きい。

以上のことから，土壌浄化性能の主要な要因となる加熱温度と滞留時間に関して，ロータリーキルンでは，土壌の加熱温度の管理を主目的とし，滞留時間に関しては後段のストックビンにその役割を譲っている。

4.2.3　ストックビン（土壌の均熱・曝気）

ストックビンでは，土壌の均熱化をはかることにより残留油分の曝気と酸化分解とを促進している。**図-7**にストックビン内部のイメージを示す。前節でも触れているが，ロータリーキルンでの土壌の加熱温度と滞留時間との間にはトレードオフの関係があり，高温に加熱された土壌ほどロータリーキルン内部での滞留時間が短くなっている。また，加熱の基本原理から，土粒子の外面から中心部に向かって伝熱が進むため，土粒子表面に付着した油やVOCは温度が高く気化蒸発し易いが，粒径が大きい土粒子ほど中心部分の温度が低くなっており，内部に含浸している残留油分は抜け難い。さらに，土粒子径の偏在や供給量の増減などにより，土壌の加熱温度が変動することも考えられる。

以上のことから，図に示すようにして一次処理装置で加熱した土壌をストックビンで所定の時間貯蔵することにより，温度の低い大きな土粒子が，温度の高い小さな土粒子から伝熱を受けて均熱化をはかることができる。そして，このことにより土粒子内部に含浸している温度が低い残留油分の気化蒸発を促進させている。さらに，高温に加熱した土壌を貯蔵することで，外気との温度差により煙突効果が生じ，ストックビン下部の排出ゲート間隙から侵入する空気により，土壌の残留油分が酸化分解を受けて浄化の進行を加速している。

図-7　ストックビン内部のイメージ [12)]

図-8は，NTR-Stage Ⅲにおける土壌の加熱時間（ロータリーキルン滞留時間+ストックビン貯蔵時間）と土壌の油含有濃度との関係を示したものである。このときの土壌加熱温度は200℃，排ガス温度は300℃，浄化基準は1,000ppmである。また，**図-9**は，土壌の加熱時間と油含有濃度を無次元化した油残留率との関係を示したものである。さらに，**図-10**は，浄化前の油含有濃度を基準とした土壌の加熱時間と浄化効率との関係を示している。

これらの図より，ロータリーキルンでの加熱時間に相当する5minに着目すると，軽質油である灯油相当の油含有濃度は，浄化基準である1,000ppmをクリアしないまでも1,440ppmまで減少しており，これに基づく油残留率は15.7%にまで低下し，浄化効率は84.3%を示している。方や，重質油であるマシン油相当の油含有濃度は，4,840ppmまで減少し，これに基づく油残留率は32.0%に，浄化効率は68.0%に留まっていることがわかる。

つぎに，ロータリーキルンの加熱時間にストックビンの貯蔵時間を加えた30minに着目すると，灯油相当の油含有濃度は，浄化基準である1,000ppmを大きく下回って92ppmまで減少しており，これに基づく油残留率は1.0%に，浄化効率は99.0%に達している。他方のマシン油相当の油含有濃度は，浄化基準を下回る670ppmまで低下しており，これに基づく油残留率は4.5%に，浄化効率は95.5%に達している。これらの結果から，土壌の加熱温度が200℃と低いにも拘わらず，酸化分解反応や曝気作用を受けて残留油分が減少しているものと推察される。

以上のことから，ストックビンで加熱土壌を所定の時間貯蔵することは，土壌の均熱化をはかって残留油分の曝気や酸化分解を促進するために，極めて有効な手段であると考えられる。また，無闇に土壌の加熱温度を高めて浄化レベルを高めるのではなく，ストックビンでの貯蔵時間を稼ぐことにより浄化レベルが高まるので，省エネルギー化とCO_2排出量削減に極めて有効であると考えられる。

4.2.4　調湿ドラム（土壌の調湿）

図-6に示す調湿ドラムでは，冷却と防塵のために散水を施して土壌を湿潤状態に戻している。このとき，調湿ドラム内部に取り付けたリフターにより，土壌を掻き揚げて分散落下することでその冷却効果を高めている。

また，散水により発生する水蒸気を除去するために，大量の外気を調湿ドラムに導入し，それをバグフィルタへ吸引している。そして，調湿ドラムは，この外気と土壌との流れが対向する

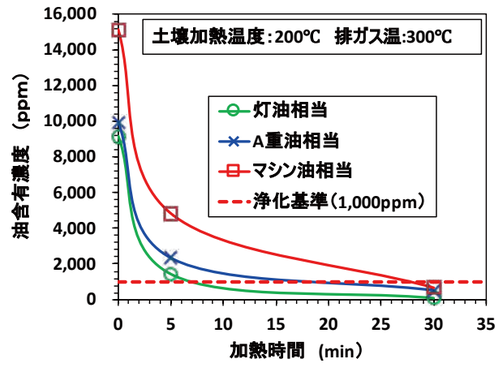


図-8　土壌の加熱時間と油含有濃度との関係 [12)]

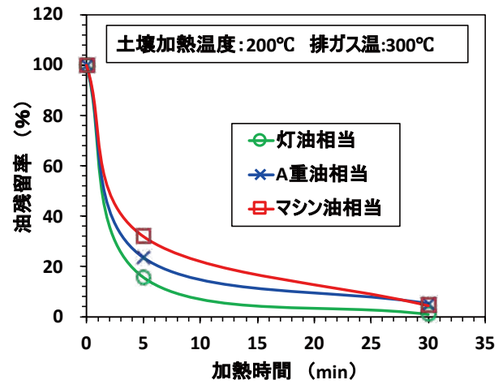


図-9　土壌の加熱時間と油残留率との関係 [12)]

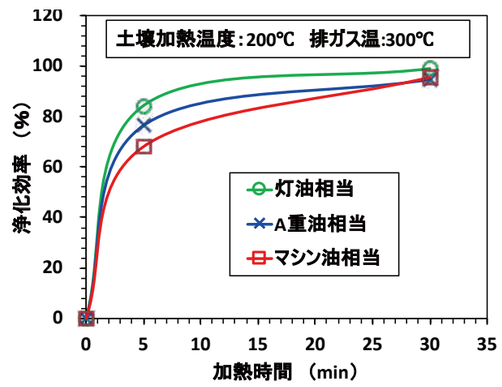


図-10　土壌の加熱時間と油浄化効率との関係 [12)]

カウンターフロー方式としている。このことにより，調湿ドラムでの散水量と外気導入量とを制御することにより，バグフィルタ入口の処理ガス温度の制御を可能としている。この処理ガス温度は，バグフィルタでの低温腐食や結露を避けるために120℃以上から濾布の耐熱温度である200℃以下の範囲で制御している。

なお，このとき水蒸気と外気に随伴してくる微細土粒子をバグフィルタで捕捉回収し，これを再度調湿ドラムに還元して土壌と一緒に浄化土壌として排出している。さらに，調湿ドラムの排出口には，排出ゲートを備えた溜めホッパを設置し，土壌を搬送する重機との受け渡しのタイミングを調整できるようにしている。

4.3　ガスの流れからの視点

以下では，**図-6**に示すNTR-StageⅥのプロセスフローに基づき，上流側からガスの流れを辿る。

4.3.1　予備乾燥装置の受熱側（プレヒートキルン内部）

4.2.1項で土壌の流れを視点としてプレヒートキルンの説明を加えているが，本項では，ガスの流れを視点にその特徴に触れる。

図-6に示すようにガスの流れの起点となるのが，プレヒートキルンの土壌投入部である。ここから一次処理装置用バーナの燃焼に必要な空気を吸引している。そして，プレヒートキルン内部には，油汚染土壌が滞留し加熱されていることから，土壌に含有している水分と油の揮発成分とが気化蒸発し，この燃焼空気に混入してくる。加えて，プレヒートキルン内部には**写真-11**に示すリフターを取り付けて土壌を撹拌しているため，乾燥した微細土粒子が飛散し，この燃焼空気に随伴してくる。また，このときの燃焼空気の温度は，プレヒートキルン排出側の乾燥土壌の温度である100～200℃の範囲にまで上昇している。

つぎに，このプレヒートキルン内部を通過した燃焼空気は，プレヒート用バグフィルタで微細土粒子を集塵濾過し，熱交換器の受熱側へと吸引される。プレヒート用バグフィルタで捕捉回収した微細土粒子は，土壌と一緒に一次処理装置に送られ加熱処理を受けて浄化される。

熱交換器の詳細に関しては，4.3.6項で記述しているので，ここでは概要のみを述べる。本熱交換器は，低温側と高温側に分かれる2パス方式とし，**写真-16**に示すような円筒チューブ式のエレメントを採用している。微細土粒子を随伴する放熱側の排ガス（二次処理装置からプレヒートキルン放熱側を経てきた排ガス）は，チューブ式エレメントの内部側に導入し，受熱側の燃焼空気（プレヒートキルン用バグフィルタで濾過された燃焼空気）は構造が複雑に入り組んでいるエレメントの外部側に導入している。そして，この燃焼空気は，廃熱を吸収して300～500℃に昇温され，次項で説明する一次処理装置用の予熱空気バーナへと供給される。

写真-16　NTR-StageⅥの熱交換器側面の受熱ガス導入口

写真-17　NTR-StageⅥの一次処理装置用の予熱空気バーナ

4.3.2　一次処理装置用の予熱空気バーナ

水蒸気と油の揮発成分を含んだ燃焼空気は，熱交換器で300～500℃に予熱され**写真-17**に示す一次処理装置用の予熱空気バーナに供給される。本バーナでは，省エネルギー化をはかるために予熱空気温度を500℃まで高めていることから，サーマルNOxの対策が必要となる。

そのため，NTR-StageⅥでは，燃焼排ガス再循環（EGR：Exhaust Gas Recirculation，以下，EGRと記載）システムを導入している。このEGRシステムは，燃焼排ガスの一部を燃焼空気として再循環させることで，燃焼空気中の酸素濃度を低減している。このことにより，急速燃焼を抑制して局部的に出現する高温領域を抑え込みサーマルNOxの析出を減じている。

具体的には，燃焼排ガスの一部を煙突から抜き出し，プレヒートキルン用バグフィルタを通過してきた燃焼空気に導入し混合している。そして，EGRの混合割合は，本バーナに至る燃焼空気ダクトに設けた酸素濃度計を介して燃焼空気中の酸素濃度を21～17%の範囲で任意に制御している。この酸素濃度の設定値は，煙突に設けた連続式のNOx濃度計により排ガス中のNOx濃度を常時監視し，NOxの排出規制値に応じて変更している。酸素濃度を下げるとNOxの値は低下するが，一酸化炭素（CO）濃度が上昇してくる。とくに，CO濃度が上昇し過ぎると不完全燃焼に至り省エネルギー化には逆効果となる。

すなわち，NOx濃度とCO濃度との間には，トレードオフの関係にあることから，両者の値を勘案しながら最適な酸素濃度を設定するようにしている。

また，**写真-18**は，本予熱空気バーナのミックスチャンバー内部を示している。写真のように，燃料ガス噴射ノズルを放射状に6ヶ所取り付けて分割火炎とし，火炎の局部的な高温部分の生成を防ぎ，サーマルNOxの析出を抑制している。

このようにして，本NTR-StageⅥではEGRシステムと分割火炎の効果により窒素酸化物の排出量規制に対応している。なお，本バーナで使用する燃料は，化石燃料で最もCO_2の排出量が少ないメタンガスを主成分とする都市ガス13Aを推奨している。

一方，予熱空気バーナは，常温から500℃までの燃焼空気に対応していることから，その空気容積は2.7倍まで変化する。また，燃焼範囲がTDR=1:5であることや，空気比を1から2まで可変としていることから，バーナを通過する風量（風速）は，1～27倍まで変化することになる。さらに，風量（風速）は，圧力の二乗に比例することから，このときの燃焼静圧は，1～729倍まで変化することになる。

写真-18　NTR-StageⅥの一次処理装置用バーナの内部

とりわけ，燃焼静圧は，都市ガス13Aの燃焼に最適な値が存在し，これが低いと燃焼空気が失速し燃料ガスとのミキシングが悪化して緩慢な火炎形状となる。逆に燃焼静圧を高めると，燃料ガスとのミキシングが促進されてシャープな火炎形状となる。さらに，燃焼静圧が一定の値をこえると，異常燃焼（デトネーション）による燃焼振動が発生する。これが発生すると，バーナ本体の振動やロータリーキルンとの共振による機中振動などの現象が生じ，機器へのダメージが及ぶことになる。

バーナにおける燃焼空気のミキシング速度と燃焼静圧の要因は，ディフューザ（保炎器）の大きさで支配される。通常のバーナでは，燃焼空気温度が最高のときに最大燃焼量に必要な空気量が供給できるように，ディフューザの大きさを調整する。このことから，常温空気で燃焼量が少ない状態では，燃焼空気が失速して燃焼状態が悪化してしまう。

この課題を解決するために，**図-11**に示すディフューザスライド機構を搭載している。この機構は，ディフューザが連続的に前後にスライドすることにより，ミックスチャンバーとディフューザ外周との間で形成される間隙（断面積）を連続的に変化させることができる。

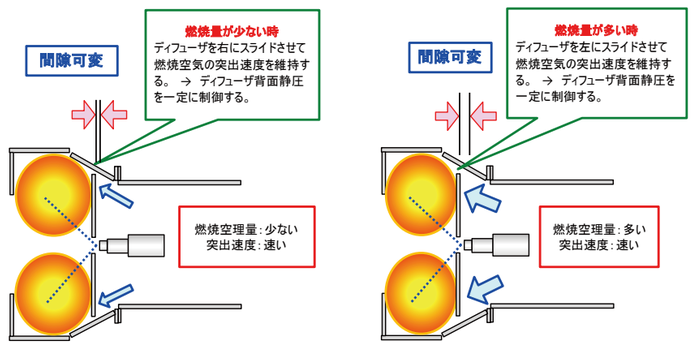


図-11　NTR-StageⅥの一次処理装置用バーナのディフューザスライド機構

燃焼空気温度が高温で，かつ，燃焼量が多い場合には，ディフューザを前方にスライドさせて，間隙（断面積）を大きくし，燃焼静圧（ミキシング速度）が一定以上に上昇しないようにして異常燃焼を防いでいる。逆に，燃焼空気温度が低く，かつ，燃焼量が少ない場合には，ディフューザを後方にスライドさせて，間隙（断面積）を小さくし，燃焼静圧（ミキシング速度）が一定以下に低下しないようにして燃焼空気の失速（緩慢燃焼）を防いでいる。

4.3.3　一次処理装置（ロータリーキルン）

土壌の流れに視点をおいた4.2.2項で一次処理装置（ロータリーキルン）の詳細に触れた通り，予熱空気バーナの燃焼により発生した熱風が，ロータリーキルン内面の耐火キャスタブルを加熱する。そして，高温に蓄熱した耐火キャスタブルから，接触や輻射による伝熱メカニズムを通じて土壌は加熱されている。

また，バーナ燃焼ガスは，プレヒートキルンで発生した水蒸気と油の揮発成分ならびにEGRガスを含んでいる。このことから，バーナの燃焼により多くの熱風が生成し，これがロータリーキルン内部を通過することにより，土壌の微細土粒子を巻き揚げ，これらを随伴して二次処理装置に導入される。

なお，ロータリーキルンは，回転シール部からの侵入空気量を低減するために、内部圧力を外部より少しだけ下げることができる静圧コントロールを導入している。このことにより，バーナ燃焼量や土壌の供給量が変化しても，常にロータリーキルン内部の静圧を一定に制御し，バーナ燃焼の安定化に寄与している。

4.3.4　二次処理装置（二次燃焼装置）

二次処理装置での熱分解処理温度は，フィードバック制御によりバーナ燃焼量でコントロールしている。そして，ダイオキシン類を含む可能性のある排ガスを無害化するために，同二次処理装置は，850℃以上の温度で2秒の滞留時間を保持する焼却炉の設備基準に準拠している。なお，一次処理装置であるロータリーキルンでの土壌加熱温度は，ロータリーキルンの回転数により制御していることは，4.2.2項で触れた通りである。

図-12は，左軸に油の揮発成分である全炭化水素（THC：Total Hydro Carbons 以下，THCと記載）の濃度と二次処理装置の分解温度との関係を示し，右軸にTHCの分解効率と二次処理装置の分解温度との関係を示している。何れも滞留時間は2秒である。

この図より，二次処理温度が550℃を超えて650℃に至るまでは急激にTHC濃度が低下し，右軸の分解効率は急激に増大している。そして，650℃を超えて800℃に至るまでは漸近

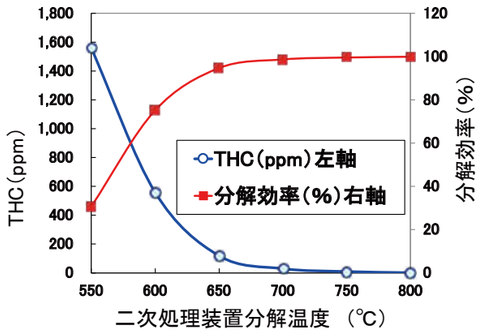


図-12 THCおよび分解効率に及ぼす二次処理装置分解温度

的にTHC濃度が0ppmに近づき，方や，分解効率は漸近的に100%に近づいていることがわかる。これらのことから，油の揮発成分を二酸化炭素と水とに酸化分解する要因として，その分解温度が極めて重要であることが裏付けられる。なお，THCの分解効率に関しては，温度以外にも，滞留時間，酸素濃度，攪拌速度などの要因が考えられる。

そして，ロータリーキルンから飛散した微細土粒子には，難分解性の有機化合物などが付着し，内部にまで含浸しているものもある。この内，比較的大きな微細土粒子は，重力沈降により600℃に加熱された土壌と一緒にストックビンに落下し，均熱化を受けて酸化分解と曝気作用により浄化される。他方，比較的小さく排ガスに随伴する微細土粒子は，二次処理装置で2秒間850℃以上の温度で晒されることにより浄化される。いずれにしても，ストックビンの土壌や飛散する微細土粒子から脱離した有機化合物は，最終的に二酸化炭素と水とに酸化分解を受けて無害化される。

また，ハロゲン元素を含むVOCなどは，酸化分解の過程で水蒸気と反応し，フッ化水素（HF），塩化水素（HCl），臭化水素（HBr）などの酸性ガスを生成する。これらの酸性ガスは，後段のバグフィルタで濾布にプレコートしている消石灰（$Ca(OH)_2$）により中和され，中性で無害のフッ化カルシウム（CaF_2），塩化カルシウム（$CaCl_2$），臭化カルシウム（$CaBr_2$）として回収し土壌に還元している。

一方，油汚染土壌は，鉱物油を含め動植物由来の有機物などを含んでいる。これらには，硫黄化合物や窒素化合物が含まれ，二次処理装置で酸化分解を受けて硫黄酸化物と窒素酸化物が析出する。

前者の硫黄酸化物は，汚染土壌の前処理段階で添加している生石灰（CaO）やプレヒートキルンの投入側で土壌に添加している消石灰（$Ca(OH)_2$）により，高温の二次処理装置内で中和（石灰-石膏法）され，無害の石膏（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）として最終工程のバグフィルタで捕捉回収し土壌に還元している。さらに，前述のバグフィルタの濾布にプレコートしている消石灰によっても中和され石膏を得る。バグフィルタおよび土壌への消石灰の添加量は，煙突に取り付けたSOx濃度計により排ガス中のSOx濃度を連続で測定し，その値に応じて添加量を決定している。

後者の窒素酸化物は，その発生源が土壌由来であることから，バーナの分割火炎やEGRによるNOx低減効果は期待できない。このことから，二次処理装置で尿素水（$CO(NH_2)_2+H_2O$）を燃焼ガスに添加してNOxを低減している。具体的には，尿素の加水分解によりアンモニア（NH_3）を合成し，NOxと反応させてN_2とH_2Oに還元している。このときの反応を式（1）～（2）に示す。

$$CH_4N_2O+H_2O \rightarrow NH_3+CO_2 \quad (1)$$

$$2NH_3+2NO+1/2O_2 \rightarrow 2N_2+3H_2O \quad (2)$$

また，4.3.2項で詳細に触れたが，煙突に取り付けたNOx濃度計により排ガス中のNOx濃度を連続で測定し，一次処理装置のサーマルNOxの析出量と総合的に評価して，尿素水の添加量を決定している。

4.3.5　予備乾燥装置放熱側（プレヒートキルン外側）

4.2.1項で詳細に触れているが，二次処理装置で無害化された850℃以上の高温処理ガスは，予備乾燥装置であるプレヒートキルンの放熱側（外部）に導入される。本キルンでは，キルン外部の熱風が流れる方向と，内部の汚染土壌が流れる方向とが同一方向であるパラレルフロー方式としている。このことにより，プレヒートキルンの鉄皮温度の上昇を抑制している。

また，プレヒートキルンは，オーステナイト系の耐熱鋼で構成しており，鉄皮温度を600℃以下で管理している。具体的には，プレヒートキルンの表面温度を放射温度計で常時監視し，設定温度以上となった場合は，高温処理ガスをバイパスして鉄皮温度の上昇を防ぐようにしている。

なお，熱風ガスに随伴している微細土粒子がプレヒートキルンの各部に沈降してくる。これらの微細土粒子をスクリューコンベアで回収して，調湿ドラムへ浄化土壌として還元している。

4.3.6　熱交換器

本熱交換器は，**図-6**に示すように低温側と高温側に分かれる2パス方式とし，両者ともガスの流れが鉛直方向となるように設置している。授熱側のバーナ燃焼空気は，低温側から導入して高温側に至り，一方の放熱側の排ガスは，高温側から

写真-19 熱交換器上部（チューブ内部に放熱側ガスが流入）

写真-20 左より，プレヒートキルン，熱交換器，冷却塔

導入して低温側に至る。このように，全域にわたって温度効率を高く採ることができるカウンターフロー方式としている。

そして，排ガスに随伴する微細土粒子によりクリンカーが付着成長してくることや，それによる摩耗の影響を軽減するために**写真-19**に示す円筒チューブ式のエレメントを採用している。当然のことながら，流れの障壁が少ないエレメントの内側に微細土粒子を随伴した放熱側ガスを通すようにしている。最終的に，随伴する微細土粒子は，熱交換器下部に設けたホッパに沈降堆積し，それをスクリューコンベアで回収して調湿ドラムに搬送し，土壌へ還元している。

他方の，受熱側となるバーナ燃焼空気は，**写真-16**に示すようにエレメントの外側から導入している。そして，受熱側のエレメントには，バッフルプレートを数カ所に設けて乱流を発生させ，ガス温度の均熱化と熱交換効率を向上させている。また，円筒チューブの下部には，エキスパンションを設け，エレメントの熱による伸縮を吸収するように工夫している。

加えて，エレメント鉄皮の過度な温度上昇や，受熱側である

予熱空気温度の上昇を抑制することと，放熱側の排ガス温度が400℃を下回らないようにコントロールするために，排ガスをバイパスさせる回路を設けている。このことは，ダイオキシンの再合成反応であるデノボ合成反応が，350～300℃の温度範囲で進行することに起因している。

4.3.7　冷却塔（排ガスの冷却）

写真-20は，左より、プレヒートキルンの排気ダクトが熱交換器の上部に連結し，写真中央に見える二本の鉛直方向のダクトを水平方向に連結しているのが熱交換器のバイパスダクト，そして，写真右側が冷却塔を示している。

冷却塔は，前項で述べたダイオキシン類の再合成を回避するために排ガスの急冷を担っている。排ガスの冷却原理は，水を直接高温ガスに噴霧して水の気化潜熱により冷却している。冷却塔内部の排ガスの滞留時間を4秒以上とし，500℃前後から一気に180℃にまで急冷している。このため，噴霧する水の平均粒子径を50ミクロン以下にする必要があることから，二流体噴霧ノズルを採用している。

また，本冷却塔は，排ガスが上部から下部の鉛直方向に流れるダウンドラフト方式とし，水噴霧を上部から行い冷却塔底部に到達するまでに水の蒸発が完了する完全蒸発型としている。このことにより，冷却塔下部にはドレンが発生しない。さらに，冷却塔下部のテーパー部には，加熱ヒータを施工し運転初期段階のドレン発生に対応している。

加えて，ダウンドラフト方式により，冷却塔底部に微細土粒子が沈降してくるが，冷却塔下部から外気を吸引して微細土粒子をブローアップし，バグフィルタへ飛ばしている。なお，これらの冷却塔に関する基本的な考え方は，NTR-StageⅢからStageⅥに至るまで共通している。

4.3.8　バグフィルタ（酸性ガスの中和・捕捉）

バグフィルタは，冷却塔で180℃まで温度低下した排ガスから微細土粒子を捕捉回収してばい塵濃度を規制値に適合させている。それと共に，回収した微細土粒子は，調湿ドラムに搬送し土壌として還元している。

前項でも触れているが，油成分を二次処理装置で酸化分解することにより，生成する硫黄酸化物やその他の酸性ガスを中和するために，消石灰を濾布表面にプレコートしている。排ガスが濾布を通過するときに，この消石灰と中和反応している。酸性ガスは，汚染物質にもよるが，硫黄酸化物，フッ化水素，塩化水素，臭化水素などが想定される。これらの酸性ガスが消石灰と反応して，硫酸カルシウム（$CaSO_4$），フッ化カルシウム（CaF_2），塩化カルシウム（$CaCl_2$），臭化カルシウム（$CaBr_2$）などとして回収する。これらの中和物は無害であるため，微細土粒子と一緒に回収され土壌として調湿ドラムへ還元している。

なお，バグフィルタでは，消石灰と中和反応した時に塩化カルシウム（$CaCl_2$）のように潮解性を示すものも生成することから，本浄化プラントが一時停止する場合においても濾布の目詰まりを防止するために，バグ集塵ホッパの電熱ヒータに通電して温度を調節している。運用中は，処理ガス温度が180℃であることから，これら電熱ヒータには通電されることはない。

4.4　省エネルギー性能

表-2に，NTR-StageⅣ，NTR-StageⅤ，NTR-StageⅥの主要な仕様と省エネルギー性能に関する比較を示す。表より，汚染土壌の処理能力を25t/h，含水比を30%，加熱温度を600℃，排ガスの浄化温度を850℃，年間の稼働時間を7,200時間，燃料である都市ガス13Aの単価を100円/Nm^3として年間の燃料費用の差額を試算すると，StageⅥはStageⅣに比較して5億1,984万円，StageⅤに比較して3億2,688万円の省エネルギー効果による燃料差額が生じる。

さらに，都市ガス13AのCO_2排出原単位を2.36kg-CO_2/Nm^2とすると，StageⅥはStageⅣに比較して12,268t/年，StageⅤに比較して7,714t/年のCO_2排出量の削減効果がある。

また，表の排ガス量相対比較より，StageⅥはStageⅣに比較して53%の排ガス量に留まっている。このことは，加熱による土壌浄化装置は，二次処理装置，冷却塔，集塵装置，煙突にいたる排ガス処理設備の設備費が全体の7割を占めることから，排ガス量を減じることによるコストダウン効果の影響が大きくなる。さらに，このことにより，電力消費量も相対的に削減することができる。

以上のことから，加熱による土壌浄化装置において，土壌の含水比がその処理能力，燃料消費量，設備費，ランニングコスト，CO_2排出量に大きな影響を及ぼすことが裏付けられる。土壌の含水比を処理ガスの廃熱を利用して事前に削減することは，設備費や運用費を含めて経済合理性に優れる極めて有効な手段であると考えられる。

5.　油汚染土壌浄化システムの将来技術への展望

以下では，第二種特定有害物質である重金属類で汚染された土壌の加熱技術による浄化の可能性と，省エネルギー化ならびにCO_2排出量削減技術について展望する。

表-2　土壌浄化システムの性能比較

比較項目	Stage Ⅳ	Stage Ⅴ	Stage Ⅵ
処理能力（t/h）	25	←	←
含水比（%）	30	←	←
土壌加熱温度（℃）	600	←	←
排ガスの浄化温度（℃）	850	←	←
燃料種類（-）	13A	←	←
低位発熱量（Kcal/Nm^3）	9,970	←	←
年間稼働時間（時間）	7,200	←	←
燃料単価（Nm^3/円）	100	←	←
プレヒート伝熱面積（m^2）	0	←	80
土壌予熱温度（℃）	10	10	75
土壌残留水分（%）	30	←	20
熱交換器伝熱面積（m^2）	0	250	200
予熱空気温度（℃）	15	480	341
予熱空気量（Nm^3/min）	440	335	273
燃料消費量（Nm^3/h）	1,898	1,444	1,176
トン当たり燃費（Nm^3/t）	75.9	57.8	47.0
排ガス温度（℃）	180	←	←
排ガス量（Nm^3/min）	917	673	488
排ガス量 ac（Nm^3/min）	1,521	1,117	811
冷却塔散水量（L/h）	13.076	6,400	2,947
燃料消費量相対比較（%）	100.0	76.1	62.0
排ガス量相対比較（%）	100.0	73.4	53.3
散水量相対比較（%）	100.0	48.9	22.5
年間燃料費差額（万円）	0	-32,688	-51,984
年間 CO_2 削減量（t/年）	0	-7,714	-12,268

5.1　加熱による重金属類汚染土壌の浄化技術

土壌汚染対策法に基づく第一種（VOC類）および第三種（農薬類）特定有害物質に関しては，熱分解による無害化が可能で，その有効性が明らかになっている。しかし，第二種特定有害物質のほとんどは重金属類であり，その元素そのものが有害物質の対象であることから，これを熱分解して無害化することは不可能である。核分裂や核融合などにより，無害な元素に変換する技術が将来実用化されるであろうが，ここでは時間軸が大きく隔たるのでその議論は割愛する。

したがって，重金属類で汚染された土壌の実用的な浄化方法としては，洗浄方式が主流を占めている。これは，分級作用により，土壌から比表面積の大きいシルト質や粘土質などの微細土粒子を抜き取ることにより，土壌の浄化をはかるものである。重金属類は，土粒子表面に付着しているために，土壌から抜き取ったこれらの微細土粒子は重金属で濃縮されることになる。そして，これらの微細土粒子は別途，特別な処理を施して有効利用もしくは最終処分する必要がある。具体的には，セメントキルンに一定量混入して焼成し，セメント原料として有効利用する方法や，不溶化処理を行い管理型の最終処分場へ処分しているのが実情である。

一方，加熱技術により，土壌から重金属類を除去する実用的な手段として，アルカリ金属や塩化物を汚染土壌に添加して，その融点や沸点を低下させて揮発除去する方法がある。とりわけ，この技術を応用した塩化揮発法には，銅，鉛，亜鉛などの非鉄金属類の製錬や，焼却灰などの廃棄物から重金属類を除去し，焼却灰を溶融スラグ化して土木資材として有効利用するなどの技術として用いられている。

したがって，前述の洗浄法により分級した微細土粒子に，この技術を適用して重金属類を除去することにより，これら微細土粒子を土木資材として有効利用することなどが期待される。

さらに，2011年に発生した東日本大震災により福島第一原発がメルトダウンし，放射性物質であるセシウム137を周辺にまき散らし放射能汚染という人災をもたらした。これらの放射能で汚染された震災ガレキなどを減容化するために焼却処分し，放射能レベルが高い焼却灰を仮置場に一時保管している。同様にして，宅地や農地などの放射能汚染レベルが高い表層土を除去し，仮置場に一時保管している。その仮置場所数は1,118箇所に及び，その総量は1,650万m^3に上っている。

これらの焼却灰や汚染土壌からセシウム137を分離濃縮して減容化する方法の一つとして，上記で述べた塩化揮発法が有効である。汚染土壌や焼却灰に塩化カルシウムを添加して塩化セシウム137を生成させる。つぎに，これを加熱することにより揮散してくる塩化セシウム137を冷却凝縮させて，バグフィルタで捕捉回収する方法である。

このように，加熱による重金属類で汚染された土壌の浄化は，1,000℃を超える温度レンジでの浄化プロセスとなり，クリンカーや溶融スラグが生成し，これらの土木資材としての用途開発も同時に進めて行く必要がある。

5.2　省エネルギー技術の深耕によるCO_2の削減

加熱を基本原理とする油汚染土壌浄化装置は，その熱源として化石燃料を多用していることから，二酸化炭素や燃料コスト削減の観点から省エネルギー化技術を深耕して行くことは

極めて重要である。なかでも，土壌の水分がエネルギー消費に極めて大きく影響を及ぼすことから，高温排ガスの廃熱などを回収して土壌の予備乾燥に利用することは，省エネルギー化技術として極めて有効である。NTR-StageⅥでは，排ガスの廃熱を回収して間接加熱方式のプレヒートキルンで土壌の予備乾燥を行うことにより，一定の省エネルギー化を達成することができた。

さらに，省エネルギー化を推し進めるためには，現在のシステムでは加熱浄化後の高温の土壌に散水を施して，防塵対策と土壌本来の姿である湿潤状態にして埋め戻している。この加熱土壌が保有している顕熱を回収して有効利用することなどが考えられる。例えば，600℃の加熱土壌が保有する顕熱は，含水比を約10%低減させることができる熱エネルギーに匹敵する。このことから，高含水比な汚染土壌のさらなる予備乾燥に有効利用できることが期待される。

6. おわりに

2003年に施行された土壌汚染対策法により，潜在的な土壌汚染の対策が講じられ，国内の土壌汚染が徐々にではあるが減少している。また，2018年（平成30年）4月1日改正の土壌汚染対策法においては，900m²を超える面積の土地を改変する場合に，地歴を調査しその経歴から土壌汚染の可能性が疑われる場合，実際にボーリング調査を実施してその有無を確認する必要がある。

土壌環境基準を超える汚染が発覚した場合は，行政にその旨を報告すると共に汚染の拡散の恐れがある場合はその防止策を講じる義務が土地の所有者に生じる。さらに，その汚染区域は指定区域に指定されて改変が難しくなり，土地の評価額も低下する。

このようなことから，土壌汚染が発覚した場合には，掘削除去か原位置浄化をおこなうのが通常の対策となっている。そして，掘削除去する場合は，法律で定められた指定工場に搬出する必要がある。

一方，海外へ目を転じれば，急速に経済成長を続けている新興国などに，我が国と同様の土壌汚染が潜在しているものと考えられる。特に，急激な経済成長の背後で，過去の日本同様，環境を犠牲にして経済成長を優先する政策の下，大気や水質，騒音，震動などは法律により規制されてはいるものの，対策が手薄になるのが土壌汚染である。

当社は，1999年からAPの乾燥加熱技術と脱臭技術を基本ベースにして，より難易度の高い油汚染土壌の浄化システムを順次開発してきた。そして，その分解が極めて困難であるPCBやダイオキシン類の土壌浄化の実績までには至らないものの，着実にそれらを処理するための技術力を高めてきている。今後も，当社は，絶え間なく浄化技術の研鑽を推進し，企業活動を通じて，土壌汚染の修復と環境負荷を低減する新たなシステムの構築に惜しみなく経営資源を投入して行く所存である。

参 考 文 献

1） 油汚染対策ガイドライン-鉱油を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対策の考え方-，中央環境審議会土壌農薬部会，土壌汚染技術基準等専門委員会，pp.1～21. 2006.

2） 坂本靖英，西脇淳子，原淳子，川辺能成，菅井裕一，駒井武：鉱物油に起因した土壌・地下水汚染を対象としたリスク評価システムの開発-土壌・地下水環境における油の移動現象の解析と複合成分に起因したリスクの定量的評価-，土木学会論文集G，Vol.66, No.3, pp.159-178, 2010.

3） 川辺能成，原淳子，坂本靖英，駒井武：地圏環境リスク評価システムによる油汚染土壌の暴露・リスク評価－BTEXおよび脂肪族TPHの懸念レベルの推定-，土木学会論文集G，Vol.63，No.2，pp.87-92，2007.

4） 川辺能成，西脇淳子，坂本靖英，原淳子，竹内美緒，駒井武：地圏環境リスク評価システムによる油汚染土壌の暴露・リスク評価-芳香族TPHの懸念レベルの推定-，土木学会論文集G，Vol.64，No.2，pp.144-150，2008.

5） 川辺能成，西脇淳子，坂本靖英，原淳子，駒井武：地圏環境における鉱物油のヒトへのリスク評価に関する研究，石油技術協会誌，Vol.73，No.3，pp.225-231，2008.

6） 橋本久義，須藤孝一，井上千弘，千田佶：油汚染土壌のオンサイト修復技術，石油技術協会誌，Vol.71，No.1，pp.131-138，2006.

7） 森也寸志，松田真伊：油汚染土壌の浄化における栄養塩注入速度の効率化，環境技術，Vol.38，No.8，pp.566-572，2009.

8） 須藤孝一，平川貴也，中川勇樹，関野聡，橋本久義，井上千弘，千田佶：生石灰混合処理による油汚染土壌浄化と浄化処理の汚染サイトに棲息する油分解微生物に及ぼす影響，石油技術協会誌，Vol.71，No.5，pp.513-521，2006.

9） 北山茂一，原宏哉，岩城美朝，長里千香子，本村泰三，遠山忠，張容器，菊池新太郎：石油系燃料油汚染土壌のバイオレメディエーション-特に環境微生物学的なアプローチ-，環境技術，Vol.38，No.4，pp.275-282，2009.

10） 蓬莱秀人：油汚染土壌浄化プラント，環境浄化技術，Vol.3，No.10，pp.59-64，2004.

11） 蓬莱秀人：注目される油汚染土壌汚染対策関連技術 加熱工法による油汚染土壌浄化プラント，月刊資源環境対策，Vol.41，No.4，pp.80-81，2005.

12） 蓬莱秀人，神尾昌宏，亀井健史：加熱による油汚染土壌の修復技術，地盤工学ジャーナル，Vol.8，No.2，pp.297-310，2013.

13） 神尾昌宏，蓬莱秀人，亀井健史：熱処理による油汚染地盤の修復，地盤と建設，Vol.31，No.1，pp.29-36，2013.

14） 神尾昌宏，蓬莱秀人，亀井健史：油汚染土壌に対する熱処理修復技術の応用，地盤と建設，Vol.32，No.1，pp.87-95，2014.

15） 神尾昌宏，蓬莱秀人，亀井健史：熱脱着処理による実汚染地盤の修復，vol.11，No.3，pp.247-258，2016.

Development of Energy-Saving Oil Contaminated Soil Remediation Plant, Its Transition and Future Prospects

Hideto HORAI

Nikko Co. Ltd. Engineering Division

Abstract

In 2003, the Soil Contamination Countermeasures Law was enacted, which had been the slowest in developing a law among the seven typical types of pollution specified in the Basic Environment Law: air pollution, water pollution, soil pollution, noise, vibration, ground subsidence, and offensive odor. Although soil pollution countermeasures have been implemented based on this law, soil pollution is characterized as a potential pollution due to its uniqueness and diversity. Among them, the development of an economical remediation technology for oil-contaminated soil is long awaited, since oil contamination is not uncommon. We have developed and introduced to the market a remediation system for oil-contaminated soil, in which heating technology is applied to oil-contaminated soil to increase the vapor pressure of oil for thermal desorption from the soil, and at the same time, the oil is oxidized and decomposed into carbon dioxide and water to detoxify the exhaust gas. This paper traces the evolution of our company's oil-contaminated soil purification system, reviews our newly developed energy-saving oil-contaminated soil remediation system, and introduces its energy-saving features, purification performance, and future technological prospects.

Key words: Oil contaminated Soil, Oxidative decomposition, Drying, Heat treatment, Remediation

筆者紹介

HORAI Hideto
蓬莱　秀人
博士（工学）
1986年入社
技術本部

高強度コンクリートを対象とした空練りがモルタルフローに与える影響

坂本　恭裕[*1]・川崎　佑磨[*2]・福山　智子[*3]・金　侖美[*4]

要旨：高強度コンクリートの施工事例の増加が見込まれており，製造技術も対応していく必要がある。高強度コンクリートの流動性は，同配合・同環境でも，練混ぜ条件によって大きく異なる場合がある。本研究では，高強度コンクリートへの展開を念頭においたモルタルの練混ぜに，空練り有無，空練り時間を変化させた場合の流動性変化に着目した。その結果，空練り有無では約8cm，空練り時間では最大約10cmのフロー差が確認できた。混和剤吸着量，エトリンガイト生成量の分析結果から，空練りを行うことでフロックが形成され，その後に吸着する混和剤の量やタイミングに変化を生じさせ，流動性に差異が生じると推察した。

キーワード：高強度モルタル，空練り，フロック形成，混和剤吸着，エトリンガイト生成量

1．はじめに

現在，我が国における社会問題の一部に，「地球温暖化対策としていかに低炭素社会を実現するか」，「人口減少に伴う作業などの効率化をどのように促進するか」，「高齢化社会における技術継承をどのように効率よく行うか」など，様々な課題が挙げられている。

その中で，近年の自然災害の激甚化，頻発化等を踏まえ，防災・減災やインフラ老朽化対策等の国土強靭化といった政策から，今後，高強度コンクリートの施工は増加すると考えられる。また，日本全体の人口減少や建設業界における担い手不足といった問題から，工期削減などに伴い，プレキャストコンクリート製品の利用が促進されると予想する。さらに，JIS A 5308の改正（2019）における趣旨にも，高強度コンクリートの利用を推進するためと明記されている。

このような背景から，高強度コンクリートの施工事例はさらに増加し，施工技術だけではなく，バッチャープラントでの製造においても，その対応が求められる。一方で，練混ぜ条件がコンクリートの流動性に影響を与えることも知られており，その原因の一つとしてセメントに対する混和剤の吸着が挙げられている[1),2),3)]。セメント量が多くなる高強度コンクリートでは，通常のコンクリートよりもその影響が大きくなる。しかし，高強度コンクリートを対象とした配合において，上記影響の解明を試みた事例は少なく，練混ぜ条件に伴う流動性の相違の解明は急務であり，今後の高強度コンクリートの安定的な供給に寄与できると考える。

そこで本研究では，練混ぜ初期における細骨材とセメントの空練り有無と空練り時間に着目して，高強度モルタルの流動性に空練りが与える影響を考察した。スランプフロー値は，最終投入する粗骨材の影響も考えられるが，本研究では，空練りの影響をより明確に確認することを目的として，モルタルを検討対象とした。空練り条件におけるモルタルフロー（以下，フロー）値や混和剤吸着，エトリンガイト生成量の化学的考察も加えて，流動性の差異が生じる理由について推察した。

2. 空練り有無と空練り時間がフロー値に与える影響

2.1 実験概要

本研究では，複数の実験を行っており，それぞれで実験に必要な設定条件が異なる場合があるため，実験毎に概要と結果を記述する。ここでは，全ての実験において共通の概要を示す。実験対象とした設計基準強度80N/mm²の高強度コンクリートの配合を**表－1**に示す。本研究では，モルタルを対象としており，この配合から，1L当たりの必要材料値を計算して後述する各試験を行った。使用材料を**表－2**に示す。

混和剤は単位セメント量に対して添加した。添加量は，モルタル配合で行った予備試験の結果から，フロー値の伸び率が収束した0.6%に設定した。使用ミキサは，ホバートミキサ（5L）を使用し，試験環境は温度20±2℃，湿度50%以上の一定環境下の室内で試験を行った。

表－1　高強度コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプフロー (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)				
					水 *W*	セメント *C*	細骨材 *S*	粗骨材 *G*	混和剤 *Pc*
20	60	21.4	2.0	44.4	175	818	650	815	8.18

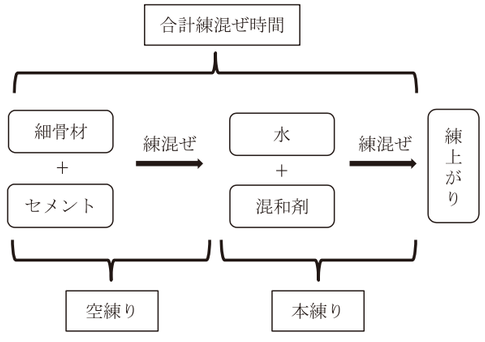
表－2　使用材料

材料	種類および品質
セメント *C*	低熱ポルトランドセメント 密度：3.23g/cm³
細骨材 *S*	砕砂 岩種：安山岩　表乾密度：2.54g/cm³
混和剤 *Pc*	高性能減水剤 主成分：ポリカルボン酸系化合物

2.2 空練り有無による影響

（1）概要

細骨材の表面水とセメントによる初期水和の影響を確認するため，細骨材とセメントの練混ぜ（以下，空練り）を行い，その後に細骨材の表面水分を差し引いた練混ぜ水と混和剤を投入して練混ぜる（以下，本練り）方法でモルタルを製作し，フロー値の比較を行った。上記のモルタルの練混ぜ方法について図化したものを**図－1**に示す。



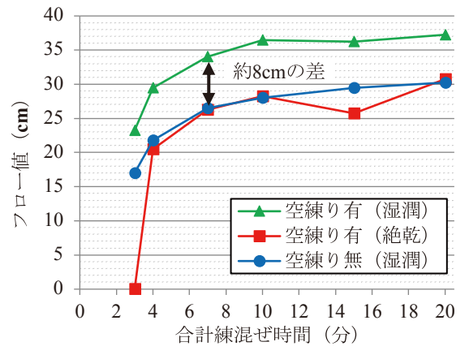
図－1　モルタル練混ぜ方法

試験パターンとしては，空練りの有無，また絶乾状態の細骨材を用いて空練りを行った場合の3パターンを基本条件とした。空練り有の場合の空練り時間は30秒とし，合計練混ぜ時間3，4，7，10，15，20分それぞれにおけるフロー測定をバッチごとに行った。湿潤状態の細骨材における表面水率は3%に統一して実験を行った。

また，混和剤の有無も空練りにおけるフロー差に寄与するのかを確認するため，混和剤無の配合についても空練り有無の2パターンでフロー値の測定を行った。なお，混和剤無の配合については，混和剤有の配合で計算した1L当たりの必要材料値では練混ぜができないため，フロー測定の比較ができるように，単位水量を2倍にして水セメント比42.8%の条件で試験を行った。

（2）実験結果および考察

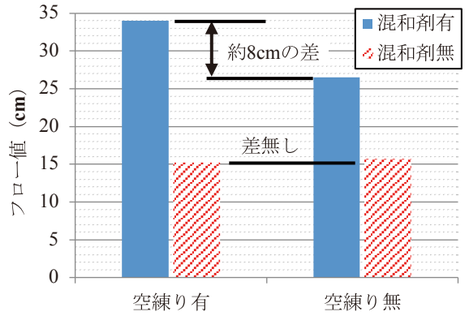
各練混ぜ時間のフロー値を**図－2**に示す。予備実験によるミキサの動力データからも練混ぜ完了には7分間の練混ぜが必要であった。練混ぜ完了である7分以降において，空練り無および細骨材が絶乾状態である場合には，練混ぜ時間を増加させても空練り有のフロー値に達することはなく，一定の差（約8cm）を保っていることがわかる。



図－2　空練り有無によるフロー

また，細骨材が絶乾状態であれば，空練りを行っても空練り無のフロー値とほぼ同程度という結果から，空練りによるフロー値への影響は，練混ぜ初期における細骨材の表面水がセメント粒子と事前に接することにより，フロー値の増加に寄与すると考えられる。

さらに，混和剤無の配合について，空練り有無で比較した結果を**図－3**に示す。混和剤有の配合では空練りを行うことで，空練りを行わなかった場合よりフロー値が約8cm増加することが上記の試験からわかるが，混和剤無の場合は空練りによるフロー値への影響はみられなかった。



図－3　混和剤有無での空練りによるフロー

*1 日工株式会社　技術本部　開発部　（正会員）
*2 立命館大学　理工学部　環境都市工学科　准教授　博士（工学）（正会員）
*3 立命館大学　理工学部　建築都市デザイン学科　准教授　博士（工学）（正会員）
*4 立命館大学　総合科学技術研究機構　助教　博士（工学）（正会員）

以上の**図－2**, **図－3**による結果から，細骨材の表面水とセメントが初期水和を起こし，その後の本練り時に投入される混和剤がフロー値に寄与すると考えられる。

空練り有無については，同じ配合・環境においてもモルタルの流動性に影響を与えていることが確認できた。細骨材表面のわずかな水分とセメントの初期水和に対する混和剤の影響が大きく寄与することが理由として推察される。

2.3 空練り時間による影響

（1）概要

前項の検討により，空練り有無が流動性に与える影響として，セメントの初期水和および混和剤の関係が推察できた。本項では，空練り時間がモルタルの流動性に与える影響を確認した。

空練り時間は0, 30, 60, 90秒の4パターンとした。合計練混ぜ時間は7分に固定して，空練り時間に応じて本練り時間を変更した。その他の条件は，前項の試験概要と同様に，ホバートミキサ（5L）を使用し，試験環境は，温度20±2℃，湿度50%以上の一定環境下の室内で試験を行った。細骨材は，表面水率が3%のものを使用した。

（2）実験結果および考察

各空練り時間に対するフロー値の結果を**図－4**に示す。空練り時間の増加に伴いフロー値が大きくなる結果を得た。この結果から，混和剤が投入される前に，細骨材の表面水とセメントの接触時間が増加することで，フロー値の増加に寄与している可能性が考えられる。ここで，空練りによって細骨材の表面水がどの程度セメントに対して移動しているのか不明であるため，次章で検討した。

3. 空練りが流動性に与えるメカニズム

2章における結果から，細骨材の表面水とセメントの接触有無（空練り有無）とその時間（空練り時間）がフロー値に影響していることがわかった。そこで本章では，物理的試験として，細骨材の表面水がセメントにどの程度移動しているのか，そしてその表面水で生じるフロックの形成量について簡易的な確認実験を行った。さらに，化学的試験として，混和剤吸着量の測定およびエトリンガイト生成量の測定を行った。

3.1 細骨材の表面水移動に関する実験

（1）概要

空練り時間に応じて，細骨材の表面水がどのようにセメント粒子に吸着および移動しているかを定量化するために，赤外線多成分計を用いて試験を行った。実験に用いる材料は，セメントの代用として白色の粉体である炭酸カルシウム（密度：2.71g/cm^3）と細骨材を用いた。炭酸カルシウムを用いることにより，水との反応もなく，粉体と細骨材の純粋な分散の評価につなげることが可能と考えたためである。砂の粒子径に比べ十分小さい粉体であるため，セメントとの物性値差については，分散を評価するにあたっては影響ないと判断した。

赤外線多成分計による測定対象は色の波長と水の波長とし，空練り後の材料表面における波長から吸光度を測定した。なお，細骨材の表面水と炭酸カルシウムの本来の色では波長差が生じにくい。そこで，炭酸カルシウムとの色波長差をより明確にするために，絶乾状態の細骨材に表面水3%となるように食紅で着色させた水を吸収させた。

各材料の計量値は，**表－1**に示した基準配合から1L当たりの必要材料値を計算した。測定条件は，空練り時間を30, 60, 90秒の3パターンとして，本練りを行う前の空練りのみを測定対象とした。空練り直後の材料をステンレス製のバットに移し，表面を平滑に調整した後，その容器内を**図－5**に示すように6区分に分割した。各区分中央の表面色波長および水波長の測定を3回ずつ行い，1試料当たり計18回の測定を行った。

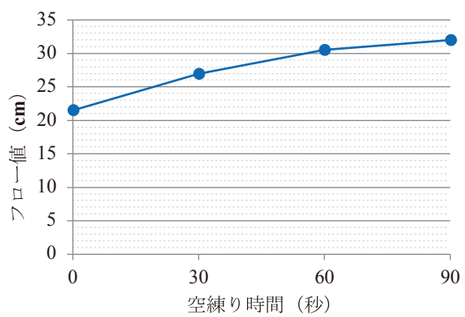
（2）実験結果および考察

各空練り時間に対して測定した色吸光度および水吸光度の結果をそれぞれ**図－6**, **図－7**に示す。

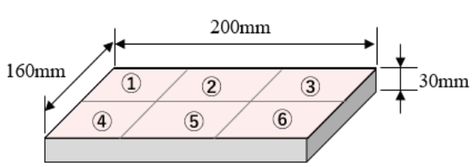
各吸光度は，数値が大きくなるにつれて，着色箇所が多く，また，水が表面に存在していることを示す。**図－6**から，色吸光度では，空練り時間の増加に伴って吸光度が高くなり，炭酸カルシウムの着色箇所が多くなっている。**図－7**から，水吸光度でも，空練り時間の増加に伴って，吸光度が増加しており，色吸光度と同様の結果を得た。

両吸光度の結果から，細骨材と炭酸カルシウムが接触する時間が長いほど，細骨材の表面水が炭酸カルシウムに移動していることがわかった。

また，各測定箇所のバラつきは，空練り時間の増加に伴って小さくなっており，表面水が均一に分散していることが読み取れる。



図－4　空練り時間におけるフロー



図－5　吸光度測定箇所

3.2 セメントフロックの形成に関する実験

（1）概要

セメントは加水されると水和反応によってセメント粒子の表面に正の電荷が発生して不安定となり粒子同士がくっついてフロックを形成する。そこで本報では，空練り時間に応じて，細骨材の表面水がセメント粒子に移動している影響を確認するため，ふるいを用いて，フロック形成量を測定した。

測定方法は，空練りのみを行った試料全量を，ふるいにかけて，通過量およびふるいに留まった量を測定した。空練り無については，攪拌自体していないため，評価には加えないこととする。

水との接触がないセメント粒子をふるい分けるため，ふるいの網目は0.15mmを用いて測定を行った。

（2）実験結果および考察

各空練り時間に対するふるい試験の結果を**表－3**に示す。前項の表面水移動の実験結果からも想定できる通り，空練り時間が長くなれば表面水の移動量も多くなるため，フロック形成量が多くなる結果を得た。目視確認でも，空練りを長く行うことで，ダマが多くでき，ふるいを通過する量に差があることが確認できた。

3.3 混和剤吸着量に関する実験

（1）概要

3.1および3.2から，細骨材の表面水がセメント粒子に与える影響がわかった。そこで，本項では，空練り段階による細骨材の表面水が本練りで投入される混和剤の吸着にどの程度影響を及ぼすのか確認するため，空練り時間に応じた混和剤吸着量の測定を行った。

各材料の計量値は，**表－1**に示した基準配合から1L当たりの必要材料値を計算して作製したモルタルを用いた。**図－8**に示すように，遠心分離機で液相と固相に分離し，抽出した液相を熱分析することで，液相中の混和剤の残存量を測定した。

測定条件は，空練り時間を0, 30, 90秒の3パターンとした。合計練混ぜ時間は7分で固定とし，空練り時間に応じて本練り時間を変更した。作製したモルタルから分離した液相を採取して，5回ずつ測定を行った。

（2）実験結果および考察

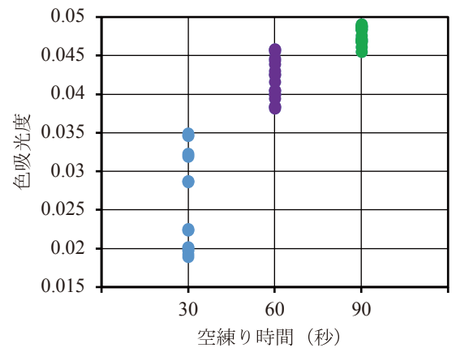
各空練り時間に対して作製したモルタルからの混和剤残存量の結果を**図－9**に示す。各残存量の結果から，空練り時間0秒では液相に残る混和剤量が少なく，空練り時間が増加するに伴って，液相に残る混和剤量が多くなることがわかった。そのことから，空練り時間が短い場合は，固相への混和剤吸着量が大きく，空練り時間が長い場合は吸着量が小さくなる結果を得た。

3.4 エトリンガイト生成量に関する実験

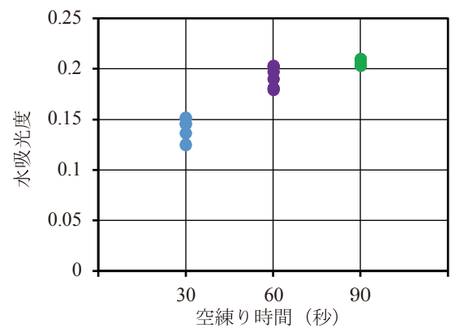
（1）概要

エトリンガイトは水和反応によって生成されるため，3.2で実施したフロックの存在確認に関する指標となると考えた。測定方法は，**図－8**で示すように，混和剤吸着量測定の際に遠心分離機で固相に分けた試料を用いて，X線回折を行った。練混ぜ直後の比較を行うため，アセトンで水和反応を停止させた。

混和剤吸着量の測定に使用したモルタルを用いているため，測定条件は，空練り時間を0, 30, 90秒の3パターンとした。予備試験でエトリンガイト生成量のピーク値が8.7～9.4°であることを確認しているため，その回折角度範囲の積分強度として比較を行った。



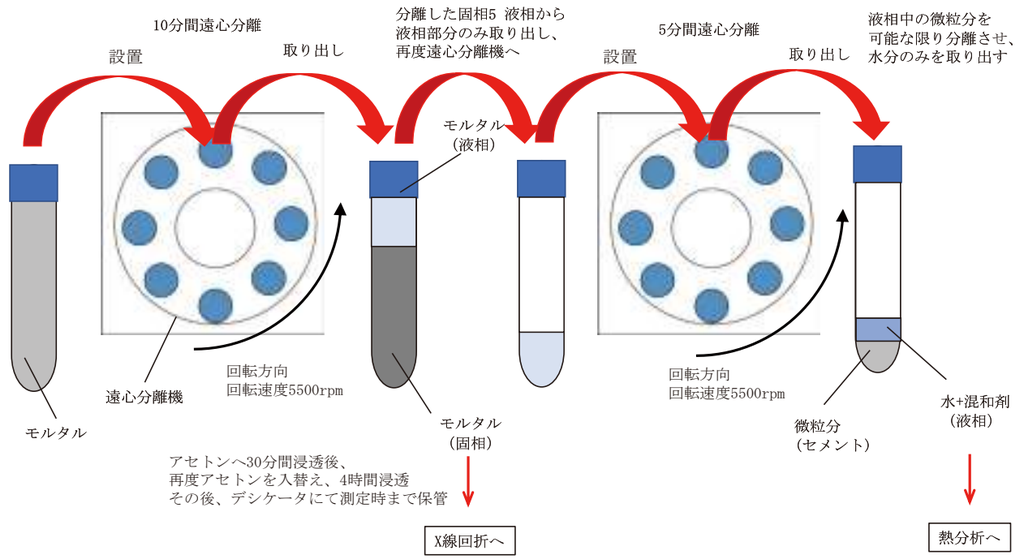
図－6　空練り時間における色吸光度



図－7　空練り時間における水吸光度

	空練り時間	
	30 秒	90 秒
ふるい通過重量（g）	204.0	175.3
留まった重量（g）	1275.2	1301.0

表－3　ふるい試験結果



図－8　化学的試験における試料作成手順

(2) 実験結果および考察

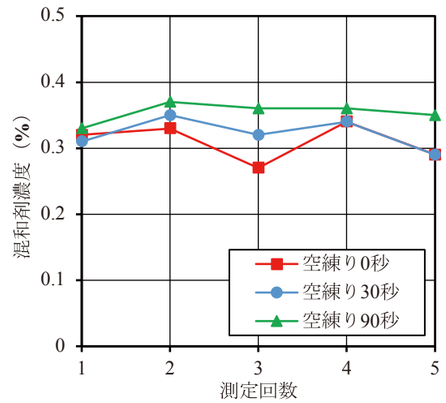
各空練り時間に対するエトリンガイト生成量の結果を**図－10**に示す。この結果から，空練り時間0秒では，エトリンガイト生成量が多く，空練り時間の増加に伴って，エトリンガイト生成量が少なくなることがわかった。そのことから，空練り時間が短い場合は，フロック形成量が少ないため，練混ぜ水と接するセメント粒子の比表面積が大きく，練混ぜ完了時の混和剤による影響が小さくなることで，フロー値が小さいと推測できる。逆に，空練り時間が長い場合は，フロック形成量が多いため，練混ぜ水と接するセメント粒子の比表面積が小さく，練混ぜ完了時の混和剤による影響が大きくなることで，フロー値が大きいと推測できる。

3.5 空練りがモルタルフロー値に与えるメカニズム

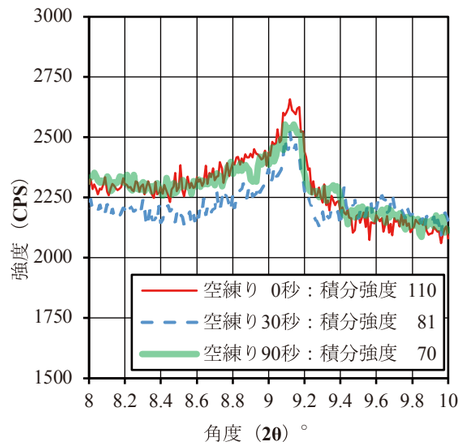
3.1および3.2で行った細骨材の表面水移動，フロック形成量，3.3および3.4で行った混和剤吸着量，エトリンガイト生成量の各結果をまとめて**表－4**に示す。

各試験結果から，空練りを行うことにより，細骨材の表面水がセメント粒子と接触することでフロック形成され，比表面積が小さくなることで，混和剤吸着量が減少すると考えられる。練混ぜ初期にフロックとなる量が多いと，本練りにおいて投入される水とセメント粒子が接する量が少なくなり，エトリンガイトの生成量に差が生じると考えられる。そのメカニズムを段階的に表したものを**図－11**に示す。

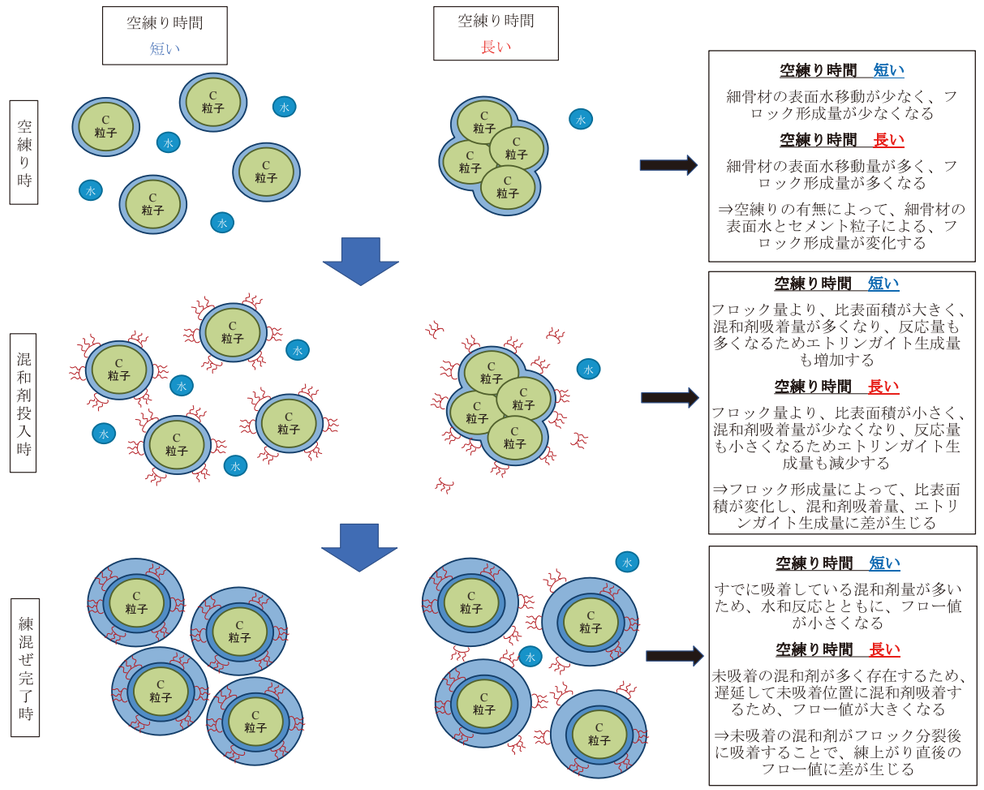
以上の結果から，空練り有無，空練り時間がモルタルフロー値に影響を与えることが明らかとなった。特に，細骨材の表面水とセメント粒子によってフロック形成することで，混和剤の吸着量が変化し，練混ぜ直後のフロー値が異なることから，フロック形成量をコントロールすることで，練混ぜ直後のフロー値を制御できると推測する。ただし，空練り時間を長くすることが重要ではなく，本練り時に投入される混和剤の吸着を受け入れる状態が空練りで整えられているか，が重要であると考える。すなわち，この状態を造るためには，例えばミキサの性能などが影響すると考えている。



図－9　空練り時間における混和剤残存量



図－10　空練り時間におけるエトリンガイト生成量



図－11　空練りで混和剤吸着量差異が生じるメカニズム

4. まとめ

本研究で得られた知見について，以下にまとめる。

(1) 空練り有無については，同じ配合・環境においてもモルタルの流動性に影響を与えていることが確認でき，細骨材表面のわずかな水分とセメントの初期水和に対する混和剤の影響が大きく寄与する。

(2) 空練り時間の増加に伴いフロー値が大きくなることが確認でき，混和剤が投入される前に，細骨材の表面水とセメントの接触時間が増加することで，フロー値の増加に寄与する。

(3) 空練りを行うことにより，細骨材の表面水がセメント粒子と接触することでフロック形成され，比表面積が小さくなることで，混和剤吸着量が減少すると考えられる。

表－4　空練り時間による影響の比較

	空練り時間	
	短い	長い
細骨材の表面水移動	小	大
セメント粒子フロック形成	小	大
混和剤吸着量	大	小
エトリンガイト生成量	大	小

参考文献

1) 森田和宏，日比野誠，丸山久一：モルタルの流動特性におよぼす細骨材表面水の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.937-942，2001
2) 中村秀三，小川彰一：砂の状態が流動性に与える影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.181-186，1999
3) 岡田茂，朝比奈俊和，西崎丈能，近松竜一：高流動コンクリートの品質に及ぼす練混ぜ方法の影響について，土木学会第51回年次学術講演会，1996年9月

筆者紹介

SAKAMOTO Yasuhiro
坂本　恭裕
2012年入社
開発部　開発2課

水素バーナの開発　～Phase 1～

北野　裕樹・今田　雄司
Kitano Yuuki, Konta Yuji

概要

温室効果ガスである二酸化炭素（CO_2）の削減は，国際社会に課せられた喫緊の課題である．2021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．このような社会情勢のなかで，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．そのなかで，燃焼しても二酸化炭素が発生しない水素などの燃料に切り替えることが最も有効な手段であると考えられる.本稿では，アスファルトプラントに適用が可能な水素バーナの開発状況について報告する．

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，2021年11月にイギリス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[1]．さらに2022年11月にエジプトのシャルム・エル・シェイクで開催されたＣＯＰ27ではCOP26での決議内容に対し，国際社会全体で温暖化対策の意識を強めていくことを再確認している．

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注目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がある.国際社会全体でこれらの再生エネルギーを活用する技術の普及を急いでいる．このような動向を鑑みて，当社は化石燃料の代替燃料として注目されている水素やアンモニアなどをバーナで燃焼することに取り組んでいる．本開発は，化石燃料の使用量を削減するために，水素燃焼が可能なバーナを開発することを目的としている．

水素は，燃焼しても二酸化炭素を発生しないカーボンニュートラルな燃料である.しかし，一般的に流通している水素のほとんどは，その製造過程で二酸化炭素を排出しているので，二酸化炭素を排出しない太陽光や風力などの再生可能エネルギーを用いて製造した水素を燃料として使用しない限り，カーボンニュートラルを達成することはできない．

アスファルトプラント（以下，APと記述）では，骨材の乾燥加熱に重油や都市ガスを主に使用している．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，2,440tの二酸化炭素（CO_2）を排出していることになる[2]．たとえば，APのバーナ燃料を水素に代替した場合，エネルギー代替率（以下，混焼率）を30%とすると，年間約27万Lの重油と729tのCO_2を削減することが可能である．

その一方で水素をバーナ燃料として利用した場合，次のような懸念事項が考えられる.①：水素は重油や都市ガスなどに比べて燃焼速度が数倍速いので，バックファイアや異常燃焼を起こす可能性がある.②：水素は，燃焼温度が高いので，サーマルNOx（窒素酸化物）の生成量が多くなる.③：水素の火炎は，極めて高温になるので，バーナや燃焼室などの燃焼機器に熱的損傷を与えるおそれがある．

そして，本水素燃焼試験では，実際のバーナで水素を燃焼させることにより，想定される熱出力が得られることを確認し，前述の懸念事項の検証を行うとともに，生成するNOx濃度と各種パラメータとの相関関係を明らかにしている．本稿では，APに適用が可能な水素バーナの開発状況を報告する．なお，水素バーナの開発は東京ガス株式会社の試験設備を用いて共同で実施した．

2．燃料としての水素

2.1 水素の性質

水素は常温常圧では無色無臭の気体であり，分子量2.01588，沸点-252.9℃（常圧），密度0.0899g/L，比重0.0695である[3]．また，発熱量は10.8MJ/Nm^{3}である.表2-1に主な燃料との比較表を示す[4]．

表2-1 主要燃料比較表[4]

燃料	アンモニア NH_3	プロパン C_3H_8	メタン CH_4	水素 H_2
大気圧における沸点(℃)	-33.3	-42.1	-161.6	-252.9
20℃における液化圧力(atm)	8.5	8.5	常に気体	常に気体
低発熱量(MJ/kg)	18.6	46.6	50.2	120.4
可燃当量比範囲(-)	0.63~1.40	0.51~2.51	0.50~1.69	0.10~7.17
最大燃焼速度(m/s)	0.07	0.43	0.37	2.91
発火点(℃)	651	432	537	500
最高断熱火炎温度(℃)	1750	2020	1970	2120

水素は常温では安定であり，フッ素以外とは化学反応を起こさない[5]．水素は燃焼して酸素と結合し水が発生する.空気中の水素の爆発濃度は4.1～74.2%と広い[3]という特性を持っている.また，水素は，製造方法の違いにより色で分類された便宜上の呼称を有している．

2.2 製造方法の違いによる水素の分類

グレー水素は化石燃料を水蒸気改質反応させて生産する．副産物として大量の二酸化炭素が排出される[6]．ブラウン水素は石炭から生産される.二酸化炭素が多く排出される.ホワイト水素は他の製品生産時に副産物として生産される.そのため，水素生産量は主生成物の生産量に左右される．

グリーン水素は，二酸化炭素の排出がない再生可能エネルギーから得られる電力を使用して，水の電気分解により生産する.ブルー水素は，グレー水素と同様に化石燃料を水蒸気改質して生産されるが，このときに発生する二酸化炭素を回収処理し，大気中に排出する二酸化炭素を実質ゼロにする[6]．ターコイズ水素は再生可能エネルギーを使用し，メタンの熱分解によって生成する.メタン由来の炭素は固体として生産されるため，二酸化炭素は排出されない.生産された炭素は永久に封じ込める必要がある.イエロー水素は原子力発電の電力を用いて，水を電気分解して生産される.このようにして，水素をカーボンニュートラル燃料として使用する場合は，二酸化炭素を排出しない方法で生産された水素を使用する必要がある．

図2-1に日本の水素生産拠点を示す[7]．図より，重化学工業地帯に集中している.そこからローリー車等で通行可能な地域であれば水素の供給は比較的容易であると推測される．

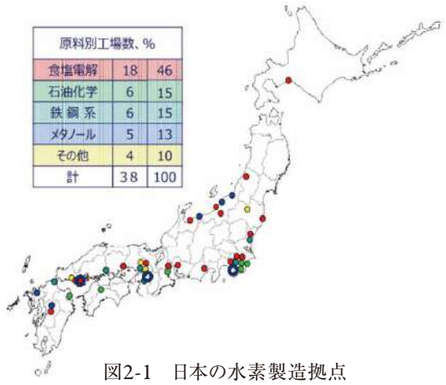


図2-1　日本の水素製造拠点

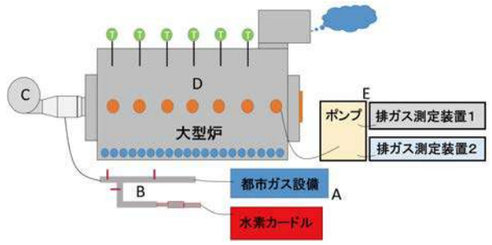


図3-1　試験設備フロー図

3．水素燃焼試験

3.1 試験設備

図3-1は，水素バーナの試験設備のフローである．図より，Aは水素カードルと都市ガス供給設備，Bは電磁弁ユニット，Cは水素バーナ，Dは燃焼炉，Eは排ガス測定装置である．燃焼炉には温度計を設置し，炉内の温度分布がわかるようにしている.排ガス測定装置は，酸素（O_2），一酸化炭素（CO），二酸化炭素（CO_2），一酸化窒素（NO），亜酸化窒素（N_2O），窒素酸化物（NOx）等の濃度を測定する．

実験機では燃焼機器の安全を確保するために配管の火炎の逆流を防止する装置をつけている．

3.1.1 水素バーナ

水素バーナの外形を写真3-1に示す．写真より，本水素バーナのガス流路は，着火を安全で確実に行うため，着火時に使用するパイロットガスラインと安定燃焼を維持するメインガスラインに分かれている．着火に使用するパイロットガスラインでは安全のため都市ガスを使用している.都市ガスと水素はバーナのメインガスラインに入る前に混合される元混合方式を採用する．将来的には水素専焼バーナを想定しているが，現時点では水素と都市ガスの混焼での運用が主要になると考え，バーナ自体は一つのメインガスラインにてどちらの燃料も燃焼可能とする．燃焼用空気はバーナの後方から供給される.燃料の理論空気量に対する実際の燃焼空気との比率（以下，空気比）を任意に変更できるようにしている.また，バーナには火炎を検知するためのセンサもついている.特殊ノズルにより噴射された燃料ガスはスロート部分にて空気と混合しながら燃焼する．

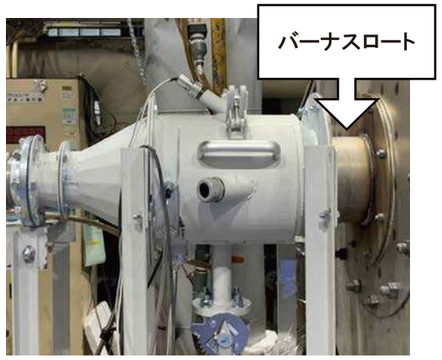


写真3-1 水素バーナ

3.1.2 電磁弁ユニット

試験で使用した電磁弁ユニットを写真3-2に示す．写真より，都市ガスのラインでは流量計，電磁弁，ボールバルブがあり，流量調整を手動で行う．水素のラインでは，カードルから減圧された水素が供給され，あらかじめ入力設定した流量値に調節することができる流量調節装置が設置されている．都市ガスラインと水素ラインは下流側で合流し，都市ガスと水素を混合してから水素バーナのメインラインに供給している．さらに都市ガスラインはパイロットラインに供給できるように分岐している．

写真3-2 電磁弁ユニット

3.1.3 水素カードル

試験で使用した水素カードルを写真3-3に示す．

写真3-3 水素カードル

表3-1 水素カードル仕様

水素カードル仕様	
内容	圧縮水素
充填圧力	19.6 MPa
容量	300 Sm3
ボンベ本数	30 本

表3-1に今回使用した水素カードルの仕様を示す．写真より，水素カードルは水素ボンベ複数本を1つにまとめたものである．運搬効率を高めるために高圧で水素が充填されている．今回，水素カードルを減圧弁に接続し，水素を減圧してから電磁弁ユニットに供給している．

3.1.4 試験炉

試験で使用した燃焼炉を写真3-4,写真3-5に示す．燃焼炉は比較のため，中型と大型の2種類を使用した．中型燃焼炉は約500kWのバーナ試験に適した容量であり，断熱，保温のために内面キャスタブル施工をしている．中型燃焼炉内部には排ガス温度を下げるために空冷管が設置されている．炉の内部の温度分布を測定するために熱電対が15本（幅方向3列×全長方向5列）設置されている．大型燃焼炉は約800kWのバーナ試験に適した容量であり，断熱，保温のために内部にキャスタブル施工をしている．また，排ガス温度を下げるために水冷管が炉内に設置されている．大型燃焼炉には熱電対が30本（幅方向5列×全長方向6列）設置されている．中型炉に対する大型炉の容量比はおよそ2.3倍である．

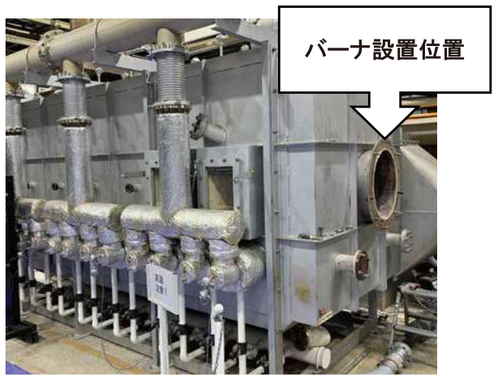


写真3-4 中型炉

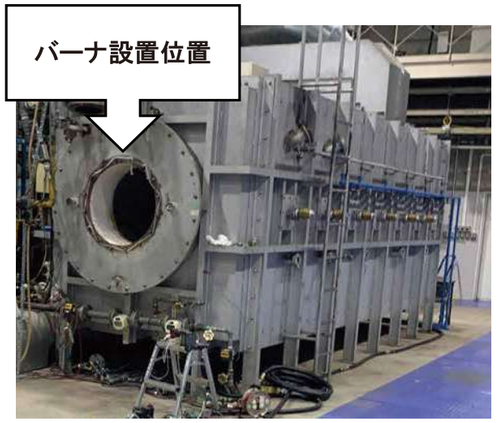


写真3-5　大型炉

3.1.5 排ガス測定装置

使用した排ガス測定装置の型式を表3-2と表3-3に示す．表に示すようにN_2O以外の測定はホダカ製の排ガス測定装置を使用し，表3-3に示すようにN_2Oの測定には富士電機製の排ガス測定装置を使用した．

表3-2 ホダカ排ガス計仕様

排ガス測定装置1	
メーカー	ホダカ
型式	HT-3500
測定方式①	ガルバニ電池式
測定ガス①	O_2
測定方式②	非分散型赤外線方式
測定ガス②	CO, CO_2, CH_4
測定方式③	低電位電解式
測定ガス③	CO, NO, NO_2

表3-3 富士電機排ガス計仕様

排ガス測定装置2	
メーカー	富士電機
型式	ZKJFSC16
測定方式①	非分散型赤外線吸収法
測定ガス①	NO, N_2O
測定方式②	磁気式
測定ガス②	O_2

3.2試験方法

下記のパラメータにて試験条件を設定した．

・炉の大きさ

・燃料種類（都市ガス，水素）

熱出力を合わせるため，都市ガス専焼では都市ガス44.4Nm³/h，水素専焼では水素167.0Nm³/hにて試験を行った．

・AP想定の空気比

・バーナパーツ組み合わせ

3.3 試験結果と考察

3.3.1 パーツ比較試験

この項目ではこれまで試したパーツの組み合わせパターンの中から，現時点で最適な条件（パターン30）と当社標準品に近いもの（パターン19）を比較する．パターン30では，水素燃焼時のNOxを低下させるために，局所的高温部分が減少するように設計されている．

図3-2，図3-3はそれぞれパターン19とパターン30の混焼率に対するNOx値のグラフである．排ガス測定器の誤差などの影響を考慮するためにNOx値は酸素濃度16%換算している．それぞれのパーツの都市ガス専焼と水素専焼を比較する．図3-2の方が図3-3よりも空気比が低い条件である．

どちらのパーツにおいても都市ガスよりも水素の方がNOxが高くなることが確認された．これは，都市ガスよりも水素の方が燃焼速度が速く，局所的な高温部分ができることにより，サーマルNOxが増加することによる影響と推測される．また，当社標準品に近いパターン19よりも水素用パーツ構成のパターン30の方が，燃料種類と空気比が異なる条件下においてもNOxを低下させることができた．パターン19よりもパターン30の方が，局所的な高温部分を減らすように設計しているので，その影響によりサーマルNOxが減少したものと推測される．

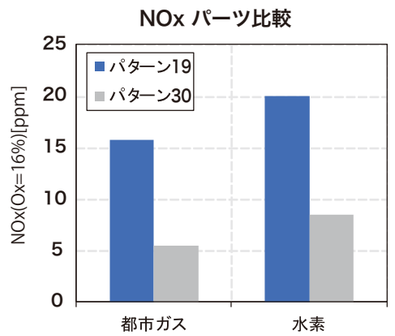


図3-2　パーツ比較 空気比A NOx

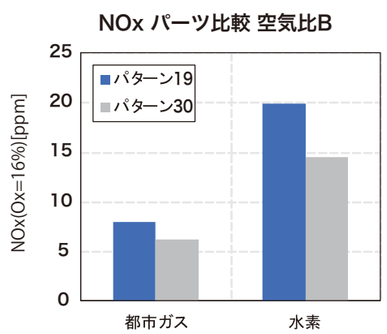


図3-3　パーツ比較 空気比B NOx

3.3.2 燃焼炉比較試験

熱出力，空気比，構成パーツなどの燃焼条件を固定して，サイズが異なる炉の比較試験を行っている．この試験により，炉の熱容量が異なることが各種測定データに及ぼす影響度合いを確認している．

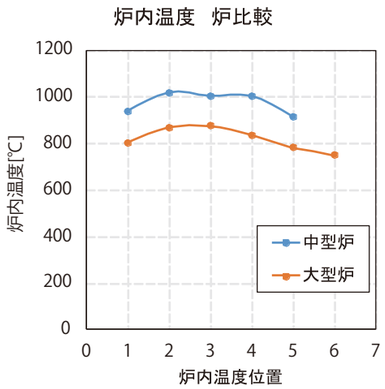


図3-4　炉比較炉内温度

図3-4は，大と中の炉で都市ガスを44.4Nm³/h燃焼させたときの炉内温度の分布を示している.なお，横軸の炉内温度位置は，バーナからおおよその距離（m）を示している．

図より，中型炉よりも大型炉の温度が全体を通じて低くなっている.これは，炉の容積が約2.3倍大きいことで熱容量に差が生じたことに起因しているものと考えられる.APの骨材乾燥ドライヤの場合，ドライヤ本体は保温されておらず，また常に骨材と熱交換されるので，炉内温度は更に低くなると思われる．

図3-5は写真3-1に示すバーナスロート部の温度分布を示している.なお，横軸のスロート位置は，上面部から下面部に至る温度測定位置を示している.とくに，バーナのスロート内部は，燃料の一部が燃焼しファイアーボールを形成する箇所であり，燃焼状態が悪化すると，スロートに熱損傷が起こる可能性がある.図より，スロート部の温度は，炉内温度の場合と同様に中型炉よりも大型炉の温度が低い結果となっている.このことから，バーナスロート部が炉内からの輻射の影響を強く受けていることが推察される.ただし，輻射伝熱は，温度差の4乗に比例することが知られていることから，現実のAPのドライヤにおいては，温度レンジが更に低下するので輻射の影響は極めて弱くなるものと考えられる.したがってAPで使用する場合は大型炉よりもさらに熱損傷の可能性が低くなると思われる．

図3-6にはそれぞれの炉で都市ガス44.4Nm³/hを燃焼させたときのNOx値を示している.AもBも空気比は1以上である.AはBよりも空気比が低い．

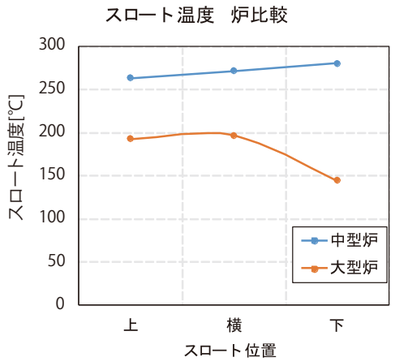


図3-5　炉比較スロート温度

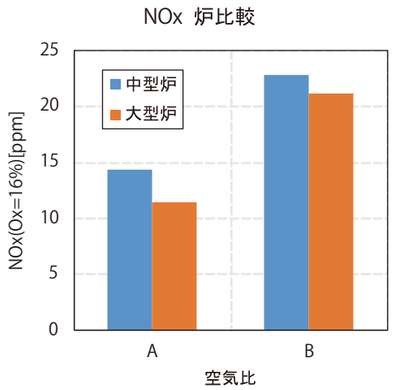


図3-6　炉比較NOx

図に示すように，どちらの空気比においても大型炉よりも中型炉のNOxが高くなった.炉内温度は大型炉よりも中型炉の方が高いため，サーマルNOxの影響によると考えられる.また，空気比が高いBの方が，空気比が低いAよりもNOxが多量に発生している.これは空気比の増加により，炉に侵入する窒素が増加した影響と推測される.また，空気比が高いBの方が酸素量が多いので高速燃焼となり，局所的な高温部分が増大したと考えられる.大気汚染防止法では，NOxの排出基準値は230ppmであるが[8]，都市部ではさらに厳しい基準（25ppm：東京都23区）が設けられている[9].今回の結果ではどちらの条件であってもNOx値は25ppm以下となり，良好な結果といえる．

これらの結果より，本バーナを都市ガス燃料においてAPのドライヤで使用する場合は，本試験での炉内温度よりも低い雰囲気温度で運用するため，さらにNOxが低下すると推測される.前項により，都市ガス燃焼よりも水素燃焼の方がNOx発生量が多くなることが確認されたが，大型炉における水素燃焼によるNOx値が約20ppmであり，APではさらにNOxが減少すると思われるため，NOx規制値の厳しい地域でも使用できる可能性が高いと推測される．

4. 今後の予定

- 水素バーナにてアスファルト合材製造試験を行い，バーナと合材の評価を行う．
- 一般的なAPに用いられる5MW～10MW以上の出力に対応する水素バーナを開発する．

5. 結言

- 二酸化炭素削減を目的として，都市ガス，水素両方を熱源としたバーナを開発した．
- 熱量500kWクラスのバーナで都市ガスと水素の燃焼試験を行った．
- 都市ガス，水素どちらの燃焼においても，バーナ本体に熱損傷がないことを確認し，両方の燃料を燃焼可能であることを確認した．
- 水素のみならず都市ガス燃焼においてもNOx排出が少ないパーツの組み合わせを発見した．
- 炉の比較により，さらに熱容量の大きなAPのドライヤでもNOxが問題無い可能性があることを確認した．

References

1） 環境省
https://www.env.go.jp/earth/26cop2616cmp16cma10311112.html

2） 経済産業省・環境省
https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04/mat04.pdf

3） 化学工業日報 1996, pp. 233–234, 水素.

4） 日本燃焼学会
Journal of the Combustion Society of Japan.Vol.58 No.183（2016）41-48

5） Lee, J. D. 著，浜口博，菅野等 訳「3. 元素の一般的性質 水素」『無機化学』東京化学同人，1982年4月，119-123頁.ISBN 4-8079-0185-0.

6） ドイツ連邦経済エネルギー省
FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND CLIMATE ACTION（2020-06）. The National Hydrogen Strategy（Report）. pp. 28.

7） 株式会社 谷グリーンエネルギー研究所
https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ki/renkei/ud49g7000000keer-att/H27_2_09.pdf

8） 環境省
https://www.env.go.jp/air/osen/law/t-kise-6.html

9） 東京都環境局
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/emission_control/emission_control/Soot_Smoke_NOx.html

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(2)

田中　翔太・宗像　元・今田　雄司
Tanaka Shota, Munakata Hajime, Konta Yuji,
日工株式会社

概　要

日本は，2020年10月に閣議決定した地球温暖化対策計画に基づき，温室効果ガスの排出量を2030年までに2013年比で46%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。このような社会情勢のなか，アスファルトプラントに目を転じると，合材を製造するときに排出する二酸化炭素のうち，骨材の乾燥加熱で消費する化石燃料からの排出量が実に75%を占めている。そのなかでも，水の蒸発で消費されるエネルギーが50%以上を占める。このことから，骨材の含水比管理やプレ乾燥が排出量削減に有効な省エネルギー技術となる。さらに，これらの省エネ技術とCO_2フリー燃料へ転換することを組み合わせれば，大幅なCO_2削減を実現することが可能になる。日工では，このCO_2フリーの各種燃料を使用できるバーナの開発に取り組んでいる。その中でもアンモニアは，水素に比べて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る。加えて，アンモニアは，その工業的製法であるハーバーボッシュ法がすでに確立されており，火力発電所でのCO_2フリー燃料としての需要が今後見込まれていることから，国内における流通量が増大して入手が容易になって行くことが期待できる。日工は，アスファルトプラントのカーボンニュートラルをはかるため，大阪大学赤松研究室とアンモニアの燃焼に関する共同研究を行い，出力100kWまでのバーナ燃焼試験を実施しその成果を得ている。そして，来年度は，出力500kWのバーナ燃焼試験を行い，国内のアンモニア供給体制と順次歩調を合わせる形で実機スケールの出力5MW以上のバーナ開発と，それに適合するアスファルトプラントの開発を進めて行く計画である。本稿では，2021年4月~2022年12月に行った燃焼試験について報告する。

1．はじめに

2018年10月の気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change:以下，IPCC)の1.5℃特別報告書によると，世界全体の平均気温を産業革命以前より+1.5℃の上昇に抑えることで，気候変動への影響のリスクを著しく減少させることができるとしている[1]。日本は2016年にパリ協定に批准し，2020年10月には地球温暖化対策計画として，温室効果ガスの排出量を2030年までに2013年比で46%削減，2050年には実質ゼロを目指すことを閣議決定した[2]。このような環境への取り組みを世界規模で推進している中，日工でもCO_2削減の取り組みを開始した。2021年にはサプライチェーン排出量算定におけるScope1，2，3を調査し，CO_2排出量を2030年に50%削減，2050年には実質ゼロを実現することを目標として掲げている[3]。

日本国内の2020年のCO_2排出量は，10億4,400万t-CO_2/yで，産業部門の排出量は3億5,300万t-CO_2/yであり，国内総排出量の30%以上を占める[4]。これに対して，2021年度の国内のアスファルトプラント(以下AP)からのCO_2排出量は，約130万t-CO_2/yであり[5]，日工製APによるCO_2排出量を試算すると約90万t-CO_2/yであると推定される。2021年に実施した調査結果より，日工におけるScope1，2のCO_2排出量は5,056 t-CO_2/yであり，日工製APによるCO_2排出量は，Scope1~3での大きな割合を占めている。

APで使用されるエネルギーの内訳は，骨材の乾燥加熱による燃料消費が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[6]。そして，骨材の乾燥加熱の熱源に，液体燃料であるA重油や灯油，気体燃料である都市ガス13A(メタンを主成分とする天然ガス)やLPG(液化石油ガス：liquefied Petroleum Gas)などの化石燃料が用いられている。これらの化石燃料を，全てカーボンニュートラル燃料に代替することで，APから排出されるCO_2の75%を削減することができる。

このような背景の下，これまでに日工は，木質タールや廃グリセリンのような高粘度の液体バイオマス燃料を燃焼させることができるバーナや，一般廃棄物由来の炭化燃料[7]や粉砕したもみ殻[8]などの固体バイオマス燃料を燃焼させることができるバーナを開発してきた。

さらにイノベーションを起こすべく政府が主導する「グリーン成長戦略」において，燃焼時にCO_2を排出しない水素やアンモニアを燃料として利用することに注目が集まっている。日工では，これらの燃料に対応した水素バーナとアンモニアバーナの開発に着手している。

加えて，日工では，APで利用可能なアンモニアバーナを一早く社会実装するために，アンモニア燃焼技術の研究で最も進んでいると言われている大阪大学の赤松研究室と共同で開発を進めている。本稿では，2021年4月～2022年12月に実施したアンモニアバーナの燃焼試験で得られた成果について報告する。

2．アンモニア燃焼試験

2．1 アンモニアの特性

アンモニアは，水素に比べて輸送や貯蔵が容易であり，将来的に工業分野で大量利用が可能な燃料として注目されている。また，海外からの輸入も液体アンモニアの形態で運搬するため，そのまま燃料へ利用できれば経済合理性に優れている。

各燃料の熱的性質と燃焼特性を表1に示す。表より，アンモニアは燃焼速度がメタンに比べると1/5程度と遅く，火炎温度もメタンの火炎に比べて低いことから，燃料としては火炎を維持し難い特性がある。

また，アンモニアは窒素を含んでいるため，燃焼するとフューエルNOxが生成し易い。APは大気汚染防止法の中で乾燥炉に分類され，NOxは，首都圏以外などでは酸素濃度16%換算値で230ppmを規制値として設けられている。しかしながら，APにアンモニアバーナを導入する場合には，慣例上，既存バーナのNOx値を上回ることは受け入れ難くなると考えられる。

さらに，アンモニアには毒性があるため，燃焼排ガスに残存する未燃アンモニアの無害化や供給系統からの漏れ検知などの安全対策が求められる。以上のことから，アンモニアバーナの開発には，「保炎の安定化」，「低NOx化」，「未燃アンモニアの無害化」などに関する新たな技術が必要となる。

表1 各燃料の熱的性質と燃焼特性[9]

燃料	アンモニア NH_3	プロパン C_3H_8	メタン CH_4	水素 H_2
大気圧における沸点(℃)	-33.3	-42.1	-161.6	-252.9
20℃における液化圧力(atm)	8.5	8.5	常に気体	常に気体
低発熱量(MJ/kg)	18.6	46.6	50.2	120.4
可燃当量比範囲(-)	0.63~1.40	0.51~2.51	0.50~1.69	0.10~7.17
最大燃焼速度(m/s)	0.07	0.43	0.37	2.91
発火点(℃)	651	432	537	500
最高断熱火炎温度(℃)	1750	2020	1970	2120

2．2 アンモニアバーナの概要

都市近郊部で運用されているAPは，小型の30t/hから大型の120t/hまでの骨材乾燥能力を有する機種が主流を占めている。そして，これらのAPに適合するバーナの出力は，実に3～12MWの範囲に及び，APの機種ごとに出力が異なるバーナが必要となる。

これらのバーナで使用する燃料は，都市ガスが供給されている都市部を除いて，その大多数がA重油での運用となっている。図1は，日工製オイルバーナの構造を示したものである。図より，燃油は，昇圧ポンプで加圧して高圧噴霧方式のノズルを介して噴霧される。霧化した燃油は，燃焼空気の流れにより保炎器の前面に生じる負圧領域に巻き込まれファイアボールを形成する。このファイアボールが熱源となり，ノズルから噴霧した燃油が次々とガス化して燃焼に至る。同時に，送風機で供給する燃焼空気の静圧を高めることにより，保炎器外周部から吐出する燃焼空気の流速を高めて乱流とし，ミックスチャンバー内でガス化した燃油と燃焼空気との混合攪拌を促進させている。このことより，燃焼効率の向上をはかるとともに，燃焼速度を上昇させることにより火炎長さを短くしている。それゆえに，APでは，図2に示すように乾燥キルンの端部に直接バーナを取り付けて燃焼室を不要とし，キルン内部に形成される火炎からの輻射伝熱と熱風からの接触伝熱により骨材の乾燥加熱を行っている。

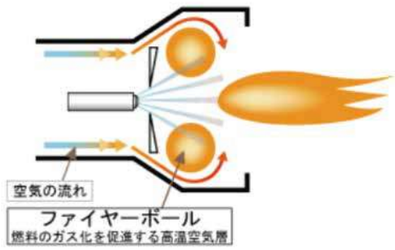


図1 日工製オイルバーナの構造[10]

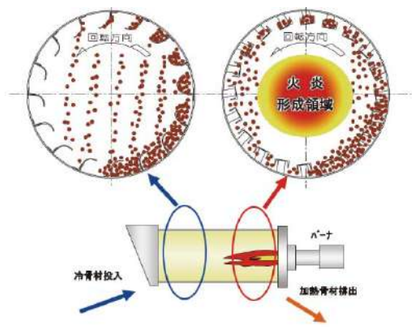


図2 APのバーナ及び乾燥キルン[11]

本開発で対象とするAP用アンモニアバーナは，上記で述べた従来バーナの特性を継承させる必要がある。ただし，開発の初期段階における不確定要素を抽出し，各種データを収集するために，あえて図3に示すようにオイルバーナの先端に燃焼室を設け，そこにアンモニアを供給して，A重油と混焼させる方式を採用している。そして，前項でも触れたように，アンモニアバーナをAPに適応させるためには，APに未燃アンモニアの除害設備や脱硝装置を増設せずに規制値をクリアすることができるアンモニアの燃焼技術が必要となる。

未燃アンモニアの対策については，アンモニアより燃焼速度が速く，安定した火炎を形成することができる燃料との混焼により，燃焼速度の遅いアンモニアの燃焼効率を高めることを検討した。現在，APで使用されている燃料は，一部の都市ガスを除くと，大部分がA重油等の液体燃料である。そのため，燃料代替への導入のし易さを考慮し，A重油との混焼試験を優先した。

なお，APではリサイクル材から発生する臭気成分を分解する直燃式脱臭装置が設置されることはあるが，燃焼速度が遅いアンモニアを処理するには滞留時間が不足する。そのため，これを除害装置として利用するのは難しいと考えられる。

NOxの低減については，一般的にNOx対策技術として確立している二段燃焼方式を採用している。この二段燃焼方式は，一段目燃焼で空気比を1以下に下げてCOを発生させ，これによりNOxを還元してN_2に戻した上で，二段目の燃焼で不足する空気を供給して未燃分を燃焼させる方式である。空気不足の緩慢燃焼が支配的となることから，局部的に出現する高温部が減少しサーマルNOxの生成を抑制する効果も合わせて期待できる。二段目の燃焼で空気を供給する位置は図3に示すとおりである。

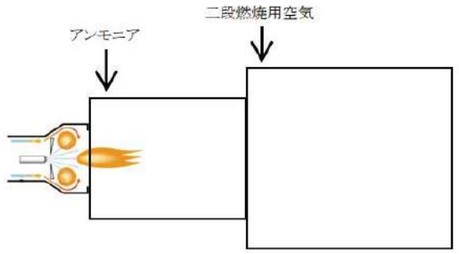


図3 テストバーナの構造

2.3 10kW,100kW燃焼試験設備

大阪大学赤松研究室のアンモニア燃焼試験設備で試験が可能な出力レンジは，10kWと100kWである。何分にも，有害なアンモニアの取り扱いに不慣れであること，未燃アンモニアの処理，フューエルNOx析出量の抑制，燃焼速度が遅いことによる保炎不足の改善など，その他の不確定要素を抽出するために，敢えて小型の10kW規模の試験から実施している。そして，この小規模試験の結果に基づき，10倍にスケールアップした100kW規模の試験を行っている。本開発で用いた燃焼試験設備のフローを図4に示す。10kW，100kWそれぞれの燃焼試験設備には，内面セラミック施工された炉が設置されており，内部の温度分布や排ガス分析が可能である。そして，炉を出た排ガスは，未燃アンモニアが発生した場合に除去する除害炉，排ガスを冷却する冷却塔を経て大気へ放出される。燃焼試験設備の各所には，火炎を確認できるように耐熱ガラス仕様のサイトホールを設置している。図5に出力100kWの燃焼試験の様子を示す。

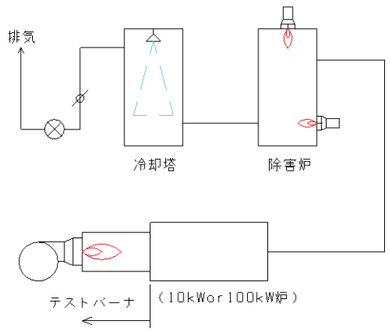


図4 10kW，100kW燃焼設備フロー

図5 100kW燃焼試験の様子

2.4 燃焼排ガス測定器

本燃焼試験では，アンモニア燃焼排ガスの測定を行った。測定項目及び測定方式は表2に示す。測定はテストバーナ出口及び炉の各所で連続的に行った。アンモニアはNOxを還元する作用を持つ為，NOxとアンモニアの相互影響を確認できるように，量子カスケードレーザーを用いたNOxとアンモニアを同時測定が可能な測定器（堀場製作所製，MEXA1400QL-NX）を使用した[12]。また，NOxの中でもCO_2の約300倍の温室効果があるといわれているN_2O（亜酸化窒素）にも着目して試験を行った。なお，以降全てのNOxの値は酸素濃度で16%の換算値である。

表2 測定項目及び測定方式一覧

測定項目	測定方式
O_2	ジルコニア酸素濃淡電池式
	ダンベル磁気力式
CO, CO_2	非分散形赤外線吸収法
NO_x	減圧形化学発光法
NO, NO_2, N_2O, NH_3	量子カスケードレーザ赤外分光法

2.5 燃焼試験パラメータ

本燃焼試験で実施するパラメータ（要因と水準）を表3に示す。表より，バーナ出力（kW）は，10kW，75kW，100kW，125kWの4つの水準を選定している。出力が10kWと100kWの2種類のバーナを用い，75kW，100kW，125kWの3つの水準に関しては，出力が100kWのバーナで燃焼試験を実施している。混焼率（%）は，A重油とアンモニアを含めた総発熱量に対するアンモニアの発熱量と定義し，10～70%の水準の範囲で燃焼試験を実施している。空気比（-）は，炉出口を基準とする空気比Aと空気比Bの2つの水準を選定している。そして，これらの空気比は，1.0<空気比A<空気比Bの関係が成り立つ。二次空気比（-）は，二段燃焼の二段目で供給する空気比を示し，空気比0，空気比a，空気比bの3つの水準を選定している。そして，これらの二次空気比は，0<空気比a<空気比bの関係が成り立つ。当然のことながら，二次空気比0のときは，一段燃焼であることを意味する。また，表への記述はないが，二段燃焼の一段目に相当する一次空気比が存在し，これらの間には，空気比=一次空気比+二次空気比の関係が成り立つ。

表3 燃焼試験パラメータ一覧

バーナ出力（kW）	混焼率（%）	空気比（-）	二次空気比（-）
10, 75, 100, 125	10～70	A～B	0, a, b

3. 燃焼試験結果と考察

3.1 10kW燃焼試験結果と考察

出力が10kWのバーナにおいて，出力と空気比とを固定した条件の下，アンモニア混焼率10%と30%の火炎の状態を図6及び図7に示す。図より，アンモニア混焼率30%の火炎は，10%の火炎と比較して燃え難いアンモニアが増加したことによって，色の薄い火炎が燃焼室全体に広がり，火炎長も伸びることが確認できる。ここで，図の右端に輝度が高く白っぽく見える領域がA重油の火炎であると思われる。これらのことから，液体燃料であるA重油が先行して燃焼し，それに追随して気体であるアンモニアが燃焼しているものと考えられ，いかにアンモニアの燃焼速度が遅いかが伺い知れる。一般的に，気体燃料の燃焼速度は，液体燃料よりも速いことが知られている。

図6 アンモニア10%混焼火炎

図7 アンモニア30%混焼火炎

つぎに，アンモニア混焼率が30%と50%における一段燃焼と二段燃焼の違いによる排ガス中のNOxの値を図8に示す。図より，一段燃焼では，NOxが300ppm以上を示しているが，二段燃焼では200ppm以下に減少している。さらに，両者ともアンモニア混焼率が高い方が低いNOx値を示す傾向が伺われる。さらに，アンモニアの混焼率が70%に達しても，安定した保炎効果が得られ，未燃アンモニアを検出できなかった。以上のことから，出力10kWの燃焼試験において，空気比，混焼率，二段燃焼などをパラメータとするNOx濃度の傾向と基礎的データを取得することができた。

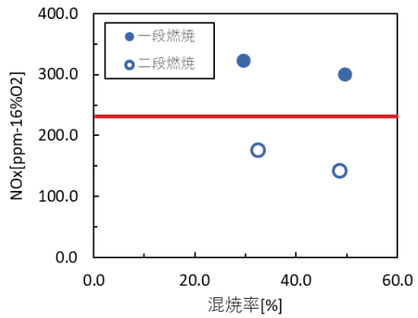


図8 各混焼率での一段燃焼と二段燃焼による排ガス中のNOx（10kW）

3.2 100kW燃焼試験結果と考察

一段燃焼と二段燃焼の違いにおいて，出力水準である75kW，100kW，125kWの各燃焼試験を実施し，そのときの空気比をAからBに変化させた場合のNOxの値を図9に

示す。ただし，混焼率は70%であり，二段燃焼の二次空気比は固定とする。図より，出力が10kWの燃焼試験と同様に，二段燃焼を行うことによってNOxが減少する傾向が確認できる。そして，限定的ではあるが，都市ガス燃焼と同等にまでNOxを下げることができる条件を見出している。また，一般的に知られているように，一段燃焼と二段燃焼の両者において，空気比と出力が増大することにより，NOx濃度が上昇する傾向も確認している。

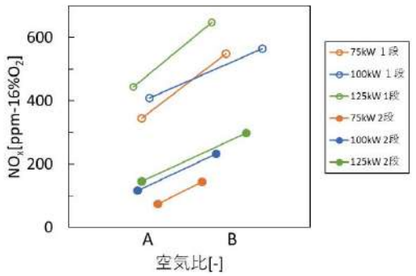


図9 各出力での空気比とNOxの傾向

一方，アンモニア燃焼で生成することが懸念されるN_2O（亜酸化窒素）は，75kWでは10~15ppm程度確認できたが，100，125kWでは1ppm以下の数値であった。化石燃料の燃焼におけるN_2Oの生成は，燃焼温度に強く依存し，高温燃焼ではN_2Oの値が低くなることが知られている[13]。本燃焼試験においても，温度が低い低出力時にN_2Oの生成量が増加する傾向を確認しているので，今後の燃焼試験においてN_2Oの生成量の増減に注意を要する。

つぎに，二段燃焼において二次空気比を変化させた場合のNOxの値を図10に示す。二次空気比（二次空気比a<二次空気比b）が大きくなるにつれて，二段燃焼によるNOxの還元作用が向上し，NOxが減少することが確認できた。

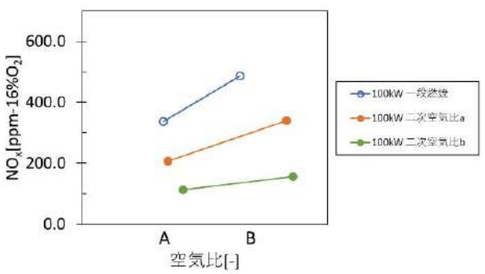


図10 二次空気比とNOxの関係

3. 3 シミュレーションソフトによる検証

シミュレーションソフトのSTAR-CCM+（SIEMENS製）を用いて，100kWテストバーナの簡易モデルでアンモニアの燃焼をシミュレーションした。ある2つの条件でシミュレーションしたときの未燃アンモニアの分布を図11に示す。実際の燃焼と比較する為，このシミュレーションに近い条件で燃焼させ，各図の点①～④でアンモニアを実測したところ，点③でのみ，アンモニアが500ppm程度検知され，実測との整合性が確認できた。このSTAR-CCM+でのシミュレーションの精度をより高めることで，燃焼室の設計の最適化などに寄与できると考えている。

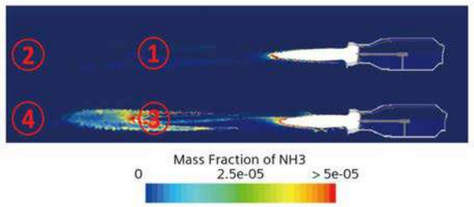


図11 未燃アンモニアシミュレーション

4. AP導入に向けた課題と将来展望

AP実機へ設置するには様々な課題が残っている。本燃焼試験で使用したテストバーナから実機サイズへ大型化した時の再現性の確認や，より低NOx燃焼技術の開発はもちろん必要である。それに加えて，APのバーナは連続で3～4時間の稼働を間欠で行うことが多く，急加熱と急冷などの動きが多いところや，被乾燥物の供給量や状態の変化に対応した，ターンダウン比1:5程度の出力レンジが求められるところがある。本燃焼試験の100kWテストバーナでは，出力を75kWから125kWまで変化をさせており，ターンダウン1：1.6までは確認できていると言える。なお，バーナのターンダウン比とは，バーナ出力の可変範囲を示すもので，最小と最大の出力の比で表す。

来期は，より実機に近い500kW出力のバーナで，燃焼試験を行う予定であり，前述した課題はこの燃焼試験の中で解決したいと考えている。500kW出力のバーナは，AP以外の用途で日工製品のNMD-100[14]の乾燥キルン用のバーナとして使用することができるため，AP以外へのアンモニアバーナの展開も進めていく。必要に応じて，脱硝設備や除害炉の開発も検討する。

また，これからのカーボンニュートラル燃料の動向次第では，A重油を使用中のAPでは，対A重油で，CO_2を25%削減できる都市ガスや，15%削減できるプロパンへの燃料転換へ進む可能性も考えられる。そのため，液体燃料との混焼試験と並行して気体燃料との混焼試験も進行中である。

5. おわりに

大阪大学赤松研究室のアンモニア燃焼試験設備において，出力100kWまでの燃焼試験を実施した。本燃焼試験によって，アンモニアバーナ開発に求められる「保炎の安定化」，「低NOx化」，「未燃アンモニアの無害化」などに関する新たな技術に対して，アンモニアより燃焼速度が速く，安定した火炎を形成することができる燃料との混焼や二段燃焼が有効である傾向が確認できた。限定的ではあるが，都市ガス燃焼と同等にまでNOxを下げることができる条件も見出している。また，STAR-CCM+を用いたシミュレーションを実測と比較し，定性的には整合性が取れている為，今後の設計最適化に寄与できると期待している。

現在は液体燃料との混焼試験と並行して気体燃料との混焼試験も進行中であり，来期は，より実機に近い500kW出力のバーナを用いてAPへ導入可能なバーナの開発を目指す。

References

1. 公益財団法人地球環境戦略研究機関 2019 「IPCC1.5℃特別報告書」ハンドブック 背景と今後の展開[改訂版]
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 2021統合レポート2021 51-55
4. 環境省 2020年度（令和2年度）の温室効果ガス排出量（速報値）について https://www.env.go.jp/press/110272.html
5. 一般社団法人日本アスファルト合材協会 2022アスファルト合材 NO144 30-31
6. 川村　克裕 2021 アスファルトプラントにおける低炭素化への取組み 道路建設 50-54
7. 川崎重工業ら 2020 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
8. 北野祐樹ら 2022 もみ殻混焼バーナの開発 NIKKO TECHNICAL REPORT NO.003, 43-50
9. 小林　秀昭ら 2016 カーボンフリーアンモニア燃焼 日本燃焼学会誌第58巻183号 41-48
10. 日工 製品紹介　WELLバーナ https://www.nikko-net.co.jp/product/heat-dry/ntb.html
11. 蓬莱　秀人 2022 アスファルトプラントにおける二酸化炭素排出削減技術の変遷と展望NIKKO TECHNICAL REPORT NO.003, 7-32
12. 赤松　史光 アンモニア燃焼の基礎特性解明と基盤技術開発 SIP エネルギーキャリア アンモニア直接燃焼 終了報告書
13. 守富　寛ら 1994 化石燃料燃焼における亜酸化窒素の生成機構 化学工学論文集 20巻6号 849-856
14. 日工 製品紹介　マルチドライヤ https://www.nikko-net.co.jp/product/heat-dry/multidriyer.html

筆者紹介

TANAKA　Shota
田中　翔太
2015年入社
開発部　開発1課

MUNAKATA　Hajime
宗像　元
2019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

MEMO

製品紹介

PRODUCT
INTRODUCTION

— 製品紹介 —

VPⅣ-Clover

1. 製品開発の背景

現在世界の各企業においてカーボンニュートラルの取り組みが色々な手法でされています。

日工においてもCO_2の排出が少ないバーナーの開発を筆頭に各分野での取り組みを行っております。

プラントとしても無駄が少なくより効率のよいものを開発することが必要となってきていました。

また各道路会社もフォームド装置等の中温化アスファルト製造設備の採用が増えてきましたので、そのような装置をレイアウトしやすいアスファルトプラントが求められるようになってきました。

安全面でも各装置においてリスクアセスメントを行い社内基準を見直して、その基準に基づいたプラントの設計が必要となっていました。

日工のミドルクラスアスファルトプラントであるVPⅡを現在のニーズに更にマッチするようにブラッシュアップが必要という意見が色々なところから挙がってきておりました。

2. 現行型プラントの実情調査（開発ストーリー①）

2020年6月に私が今の部署に移籍して初めに命じられたのがVPⅡ（写真1、図1参照）をユニット化できるか考えよ、というものでした。

図面及び実物を見ながらまずは単純にVPⅡをユニット化するように分割することができないかをみてみました。色々と考えてみましたが簡単には分割することはできませんでした。

写真1　調査したVPⅡ

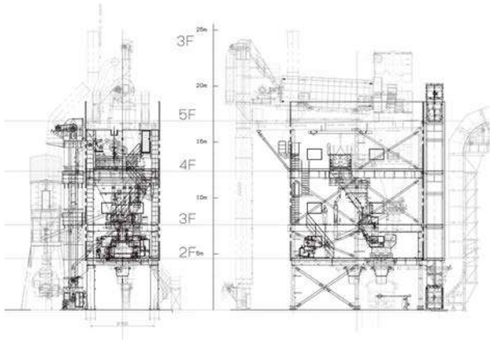


図1　VPⅡ全体図

また仕様調査、現地調査を行いどのような仕様が現在求められているのかをまとめました。

VPⅡを基準として改善したほうが良い項目としては、下記4点でした。

① ホットビン容量の増加
② 再生材サージビン上下密封構造
③ 再生材抜取装置付き
④ レイアウトの柔軟対応

3. 新型ＡＰ初案の作成（開発ストーリー②）

まとめたAPの変更仕様を踏まえ初案を作成しました。

絶対条件として日工のVPシリーズの特徴である再生材を主体とし、ミキサを中心にした機器構成はそのまま踏襲してユニット化することにしました。

またできるだけ省スペースにして工場レイアウトの自由性をもたせるようにもしました。

ユニットタイプのプラントでは部品点数を多くするとコスト面において影響が大きいのでAP本体の隣に配置されているバグフィルタを本体と一体化した案を作成しました。（図2参照）

仕様面でも御客様が満足するように検討を重ねました。

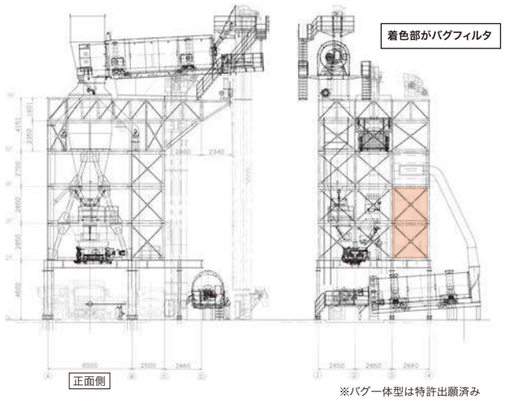


図2　新型AP初案全体図

この案でメリットがあるのかを確認する為、

① 暫定部材による重量算出
② 一級建築士への構造計算依頼
③ 運搬荷姿を作成し輸送費の算出
④ 構造計算後の重量算出
⑤ 製造部への製作見積依頼、確認
⑥ 工事部への組立見積依頼、確認

をして概算コストを出し、2021年4月末に営業への説明を行いました。

この時の評価は良くありませんでした。

✓ バグフィルタを本体と一体化することによりプラント内のダスト処理が懸念される
✓ バグ入替が困難
✓ プラント内メンテスペースが狭い
✓ プラント内袋物置き場が欲しい。
✓ ホイストと袋物投入口の関係が悪い
✓ 内部スペースを確保するために昇降タラップを屋外タラップユニットにして欲しい

…等多くの要望があり、大幅な見直しが必要ということになりました。

これら意見を聞き再度現地調査も実施した上で要望の多かったスペースの確保も含め、今までとは大きく違う特色を出した日工流のプラントを作ろうと再認識するようになりました。

なおこの段階では展示会を2021年12月末頃に行うという情報があり、それまではそこに向けて新機種が展示できるように調整していましたが難しくなってしまいました。

コロナの影響もあり2022年10月末に展示会を延期するという情報をほどなくして耳にしてホッとしたと同時に、必ず間に合わせなければならないという責任を感じました。

4. 新案の作成（開発ストーリー③）

バグを含めた各部のユニット割から見直すことになりプラント塔角、内部機器配置、ホイストスペース、張出スペース、タラップユニット配置等再検討を行いました。

塔角、張出スペースも変更した方が良いと判断したのでビン関係の配置やプラント構造も見直しとなりほぼゼロからのリスタートとなりました（図3参照）。10月末の展示会での発表を基準とするとAP本体の製作図面を6月頭には出図を終えている必要があり、新案を早急にまとめ掛かれるところから図面に掛かっていく必要がありました。

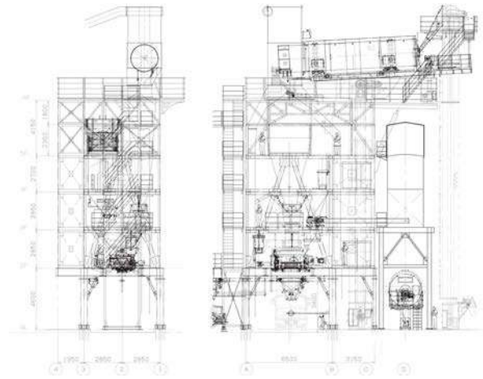


図3　新型AP新案初期全体図

初案と同様に各検討作業をひたすら行いましたが、初案と比べるとバグフィルタは従来通り脚が必要となり、バグが収まっていた位置には張出建屋が追加され、タラップユニットも追加となったのでユニット点数は増えましたが輸送効率が悪くならないように検討を行いました。（図4参照）

また構造面でも過剰設計とならないように一級建築士と相談しながら適正部材を選定するように検討していきました。（図5参照）

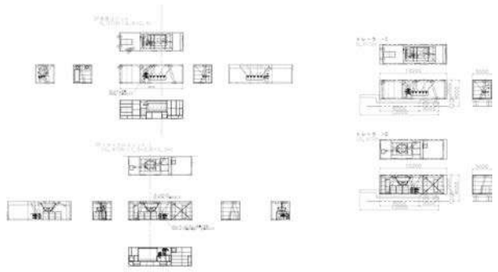


図4　ユニット割、運搬荷姿の検討

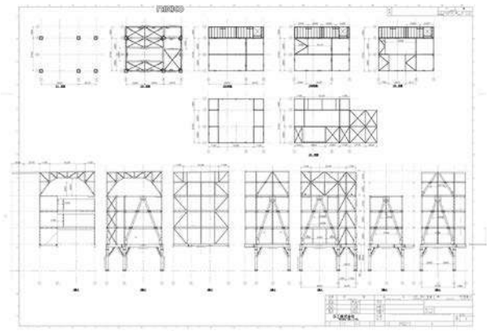


図5　適正部材の検討（軸組図）

2022年に入り今まで他の標準化作業に取り組んでいた他のメンバーも専念できるようになりました。

Vドライヤ、バグ関係、リサイクル関係、本体関係を分担して進めました。

この案での営業への説明会も行い、幾つかの見直し事項が出てきましたが修正しながら製作図へ掛かっていくことになりました。

5.製作、組立、展示会（開発ストーリー④）

本体関係約750枚、Vドライヤ、バグ関係約180枚、リサイクル関係約200枚の標準新規図面を作成し落ち着く間も無しに製作に入りました。（2022年6月中～7月末出図、6月末～製造開始）

製造中は製造部の方々に協力していただきながら徐々に各ユニットが完成していきました。（写真2、写真3参照）

9月からはプラントの仮組も開始しました。（写真4参照）

組立時には工事部、製造部の方々には暑い中協力していただき何とか展示会に間に合う目途が立ちました。

10月末からの展示会ではたくさんの御客様に初号機を見ていただくことができ、概ね高評価をいただくことが出来ました。

尚この新機種のネーミングですが営業サイドのVP（Value Pack）という呼び名は残して欲しいという要望と、新たな名称を付けたいという技術サイドの思いから「VPⅣ-Clover」という名称としました。ⅣはVPシリーズの4機種目、CloverはこのⅣという数字から四つ葉のクローバーをイメージしてお客様に幸運をもたらすようなプラントになるよう期待を込めています。

写真2　製造中の初号機ユニットの一部

写真3　仮組前の初号機ユニットの一部

写真4　仮組状況

6.VPⅣ-Cloverの特色

◎本体タワー関係における特色

・ホイストスペース（張出スペース）

各フロアに張出スペースを設けメンテナンススペースを確保すると共にベンガラ、スクリーン網の置き場所や近年増えてきている付属装置の設置場所としても使えるようにしました。

3F,5Fにはモートルブロックを標準装備して荷物の昇降のみでなく引き込みも考慮しています。

特に3Fのモートルブロック用のレールは伸縮するようにしており、ホイストスペース1カ所でも5F吊り上げ時に邪魔にならないようにしています。（図6参照）

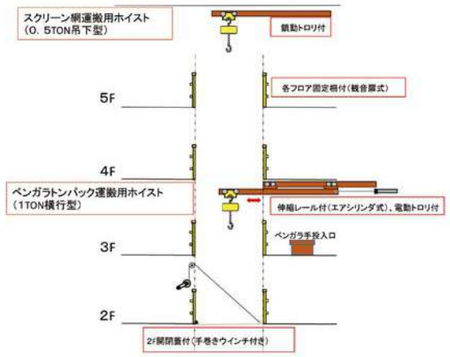


図6　ホイストスペース説明図

・外装材

従来APの外装材は不燃材である角波サイディングを使用することが一般的でした。

角波サイディングは加工品が多く意外とコストが高くつくのと、見栄えももう少し良ければというところで何か良い外装材がないか探していた時、従来から生コン製造プラント（以下BP）で採用していた金属サイディングが不燃物認定をとるとの情報が入り、採用することにしました。（写真5参照）外装材は金属の間にポリイソシアヌレートという材質のものが入っており、吸音性、保温性にも優れています。段差が少ないので文字や絵も直に描くことができます。

左：角波サイディング施工　右：VPⅣ採用の金属サイディング施工

写真5　外装材の違い（参考）

・簡易静荷重

BPでは当たり前となっている簡易静荷重検査ですがAP関係者に聞くと知られていないことが多かったので採用しました。

対応できるよう計量器及びフロアを標準設計しています。（図7参照）

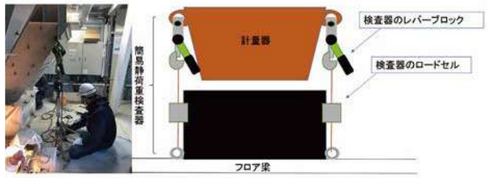


図7　簡易静荷重検査説明図

・ユニット工法

BPやコンパクトクラスのVPⅢで採用されているユニット工法を採用しています。

現地工事の工期短縮を図るだけでなく、社内完成度を上げることにより現地での改修項目の削減、欠品の防止、現地配線作業の標準化を考えています。

◎ドライヤ、バグ関係における特色

・Vドライヤ周りの有効スペースの確保

バグ脚を従来のハの字から真っ直ぐなものに変更しVドライヤ周りの有効動線スペースを大きくとるようにしました。（写真6参照）

左：ハの字脚（既存機種）　右：鉛直脚（VPⅣ）

写真6　ハの字脚と鉛直脚

・バグ２Ｆスペースの有効利用

バグ2F部分も架台の一部となっており内部には大きなスペースが出来ました。V用排風機、R用排風機をこの中に納めています。（写真7参照）

写真7　バグ架台（２Ｆ部分）内の排風機

・ダストフィーダ

バグから排出されるダストを石粉計量器まで輸送するスクリューフィーダーを水平且つ直線的にすることによりメンテしやすくしました。（写真8参照）

写真8バグから石粉計量器へ向かうダストフィーダ

・外装

バグの外装も本体に使用する外装材に合わせて見栄えの向上、保温性の向上も図られています。

◎リサイクル関係における特色

・再生合材主体の市場に合わせたレイアウト

現在の市場は再生材の利用が主体となっておりプラントのレイアウトにおいてもそれを考慮した配置が必要と考えます。VPシリーズでは従来よりこの考えで設計をしており、VPⅣにおいても踏襲しております。

Rドライヤを上階に配置してその下にサージビン、計量器、ミキサの順に重力落下を利用する形で配置しています。

各装置間には動力を使用した移動装置がなくシュート等で囲われた形となっており、安全且つエコで放熱部も少なくなっています。また材料のこぼれや粉塵、油煙の飛散も防止できるメリットが多い構造です。
（図8参照）

・ミスバッチシュート（再生材抜取シュート）

再生材をRドライヤ内で加熱してサージビン内に貯める際、ミスバッチ判定となる材料が混じると製品に悪影響を与えます。この材料が発生しやすいRドライヤ投入し始めの材料及びRドライヤから排出終了間際の材料を抜き取りしたいとの要望があります。

VPⅣでは通常付いているオーバーサイズの再生材を抜き取る為のシュートとミスバッチ判定の材料を抜き取るシュートを兼用できるようにしました（オプション設定）。またシュートのメンテ足場を局部的に付けるのでは無く、タラップユニット内にシュートを取り付けすることによりメンテナンスしやすくしました。（写真9参照）

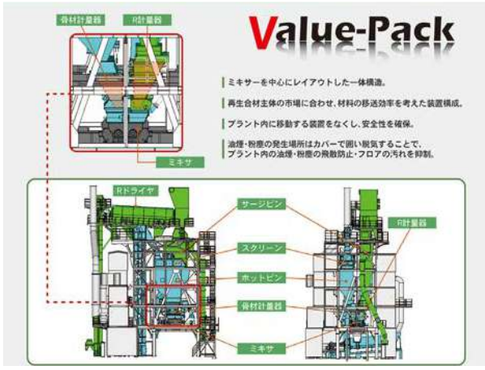


図8　Rドライヤ～ミキサ間重力落下を利用した配置

写真9　オーバーサイズシュート兼ミスバッチシュート

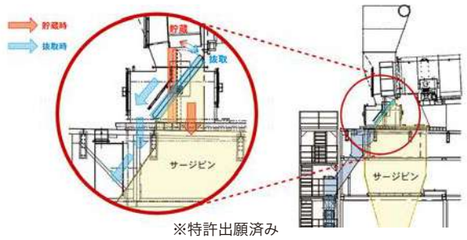
・サージビン上部ダンパ

再生材を貯めておくサージビンは温度が下がらないようにすることにより経済的且つ長時間の貯蔵が可能となります。

サージビン上部の排気室から外気が入らないように、排気室に熱気が逃げないようにダンパを設けRドライヤから材料が入ってくる時以外は蓋をするようにしました。

このダンパは前述のミスバッチシュートへの経路切替ダンパも兼用する形となっています。
（図9参照）

※貯蔵時以外はダンパは抜取側になっており、サージビンの上蓋を兼ねる



※特許出願済み

図9　サージビン上部ダンパ説明図

・サージビン排出口二重ダンパ

再上部ダンパと同様に再生材を長時間貯蔵する場合排出口部分のシールが重要となります。

より気密性を向上した排出口2重ダンパ仕様をオプションとして設けています。（写真10参照）

通常の扇型ゲートの下にスライドゲートを設けています

写真10　サージビン排出口二重ダンパ

◎プラント全体

・省スペース

従来機種よりさらにプラント占有面積の省スペース化に成功しています。（図10参照）

図10の一番左は下置き再生材ドライヤタイプですがそれと比較するとかなり省スペース化されたプラントとなっています。

図10　敷地占有面積比較

・広いメンテスペース

AP本体内部のメンテスペースは大幅に拡張されています。展示会でも多くの御客様から広いと感想をいただきました。（図11参照）

		ABD	VPⅡ	VPⅣ	VPⅣ/ABD	VPⅣ/VPⅡ
2FL	（ミキサFL）	31㎡	39㎡	52㎡	169.2%	133.7%
3FL	（計量FL）	28㎡	42㎡	51㎡	182.9%	123.1%
4FL	（貯蔵FL）	21㎡	無し	51㎡	239.6%	増床
5FL	（スクリーンFL）	29㎡	41㎡	50㎡	171.9%	121.3%
TOTAL		109㎡	122㎡	204㎡	187%	168%

図11　ＡＰ本体有効床面積比較

7. 今後について

この原稿を書いている1月末現在、仮組されたプラントの解体が始まりました。

これから各部の改造を行い3月には出荷～現地工事が始まります。

皆様には今後もご協力をお願いすることもあると思いますが何卒よろしくお願いいたします。

最後に本プラントの開発、製造、組立等にご尽力していただいた皆様に感謝を申し上げます

写真11　展示会期間中のVPⅣ-Clover

筆者紹介

KAKIUCHI Masashi
垣内　誠士
1992年入社
エンジニアリング部
標準プロモーション課

MEMO

— 製品紹介 —

ONZEMIX

1. ONZEMIX開発の背景

近年頻発する自然災害からの復興に貢献するため、容易に輸送可能なモバイルプラントの需要の高まりを考え開発致しました。(写真1)

またトラックでの輸送を可能としたユニットとしているため、短期的な生コンクリート製造や特殊コンクリート専用設備としての引合も頂いており、現場用プラントとしての運用も想定しております。

最近では高速道路の床盤取替に伴う補修工事で、速硬性の高い超高強度繊維補強コンクリートの現場打設に採用されています。

写真1:大型トラックへの積載状態

2. 製造能力

製造能力は1時間辺り21～24バッチの能力となります。この能力は排出した生コンクリートの処理・混練材料の供給方法によって変動します。バッチ式のため混練中に次バッチの計量が可能となっており、製造タイムサイクルについては以下の通りになります。(図1参照)

このサイクルについては骨材・セメントの計量は自動計量可能な設備があるケースを想定しております。

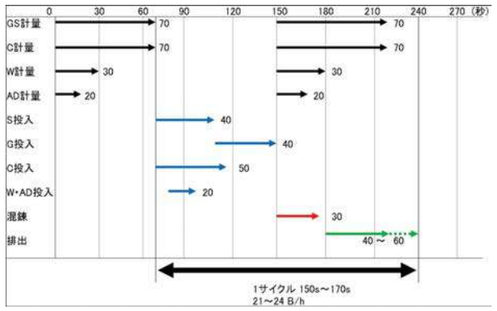


図1:タイムサイクル

3. 設備仕様について

搬送車両は一般的な大型トラックとし、車両手配のし易い外形寸法に設定しています。

本設備のフロー図を添付致します。(図2参照)

搭載可能なミキサはタービンミキサ、容量ラインナップはNTM-500(0.5m^3)、NTM-750(0.75m^3)となります。(写真2参照)

ワンユニット内にバッチ式ミキサ・投入装置・計量装置・動力操作盤を内蔵し、骨材の計量についてはトンパック等での直接投入、またはコンベヤからの計量に対応しています。

セメントの計量についてもトンパック等での投入、またはスクリューコンベヤからの計量を想定しています。セメント計量槽は排出スクリューと一体型になっており、特殊配合にも対応可能な形状になっています。(写真3参照)

水についてはユニット内に500Lの水槽を配置しており、ボールタップ付のため圧力水を接続することで供給可能となります。水槽下に計量ポンプ・ミキサ洗浄ポンプを配置しておりますので、上記水槽への給水のみで計量・洗浄に必要な水の使用が可能になります。

混和剤の計量については水計量槽上部に計量器を配置する重量計量、もしくは流量センサを用いた流量計量の方式があります。(流量計量の場合は使用材料の調整が必要)

ミキサはユニット積載を考慮しタービンミキサを採用、特殊モルタルの製造にも対応可能です。

バッチ式を採用しておりますので製造したいコンクリートに合わせた投入タイミングに設定でき、高品質なコンクリートの製造に適した設備を短期間で設置させることが可能となっております。

また車載可能なサイズとなっていますので既存の工場内の据付も可能となっております。(写真4参照)

更に本設備にオプションとして骨材投入ベルトコンベヤ+骨材受入ホッパ(写真5参照)や縦型セメントサイロ(写真6参照)を追加することにより自動運転可能な設備となります。付帯設備にもよりますが、約1週間で営業運転可能な状態に組立可能となっております。

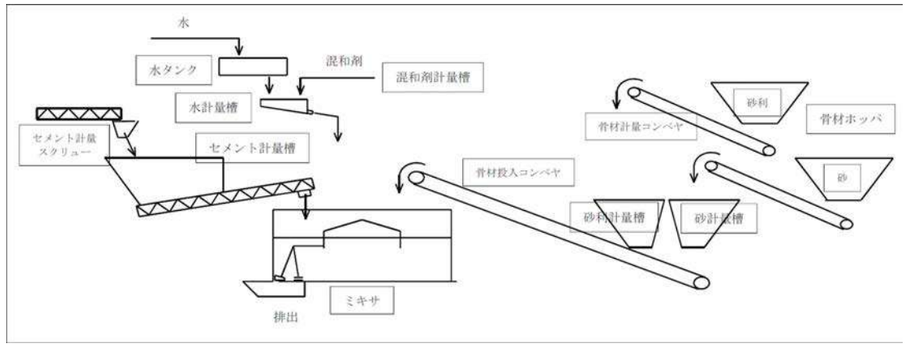


図2:設備フロー図

写真2:タービンミキサ

写真3:セメント計量装置:排出スクリュー一体型

写真4:実機施工例

写真5:骨材ホッパ、骨材計量ベルトコンベヤ

写真6:縦型サイロ+セメント計量スクリュー

4. レイアウトについて

付帯設備を含めたレイアウトは以下の通りになります。(図3参照)　本図はモバイルプラントに対し骨材計量ベルトコンベヤを90°方向に取付しておりますが、モバイルプラントに平行に近い向きでのレイアウトの実績もあります。(図4参照)空いたスペースを有効活用させるためのレイアウト提案も可能です。

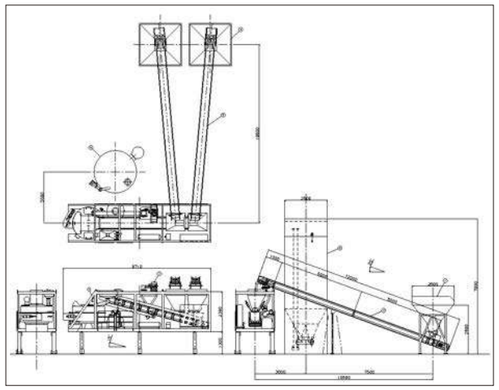


図3：レイアウト例1

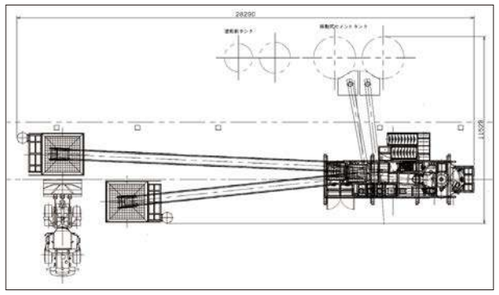


図4：レイアウト例2

5. 制御機器について

ユニット内の動力操作盤はタッチパネルの操作となっており、計量・投入・混錬・排出までの自動運転に対応しています。(写真7参照)

写真7：動力操作盤面の表示

またタブレットを使用して遠隔操作が可能となっており、盤面から離れた場所からの計量・混錬の制御が可能となっております。排出状況を確認しながら次バッチの混錬指示が可能となり、少人数でのオペレーションにも対応しております。(写真8参照)

写真8：タブレットでの表示

6. 終わりに

本モバイルプラントを開発したことにより、新たな引合を頂く機会が増えております、この機種を開発したことを皮切りに新たなニーズを取り込めるよう今後も取り組んでいく所存です。

最後になりますが、この機種の設計・製造・組立・調整・不具合対応に協力して頂いた皆様に御礼申し上げます。

筆者紹介

YOSHIKAWA Satoshi
吉川　聡
2011年入社
設計部　設計2課

MEMO

— 製品紹介 —

自走式スクリーン「KLEEMANN社製MS702及びMS703」について

はじめに

本文では、砕石業において重要な役割を持つ、自走式スクリーン「KLEEMANN社製MS702(及びMS703)」について紹介する。

図1：KLEEMANN 自走式スクリーン

国内における自走式破砕機の需要

近年、自走式の破砕機、ふるい機、土質改良機は大きな役割を果たしている。需要が顕著に上がる理由は主に2つ。災害復興において活躍する事例と業界の中で自走式を導入する需要が上昇傾向にあるからだ。

KLEEMANN製品について

ドイツ製のKLEEMANN社は自走式破砕機、ふるい機をはじめとする製品の世界トップクラスのシェアを誇るメーカーである。特に北欧では砕石業が盛んであり、その中でも製品のパフォーマンスの高さと世界一の低燃費を実現する技術を有している。今回は主力製品の1つである自走式スクリーン「MS702及びMS703」を紹介する。

自走式スクリーン MS702及びMS703の特長

対応材料

主に砕石業に携わるお客様からごひいきにいただき、単独で使用することや、クラッシャーの後に連結させて材料から製品にする。投入塊(約□100mm前後)から細かく粒度を選別することが可能である。

一例

機種：MS703　(三床式スクリーン)

5号(20-13mm)

6号(13-5mm)

7号(5-2.5mm)

砂　(2.5-0mm)

上記4選別。

駆動方式は、全て油圧。ディーゼルエンジンで軽油を使用。

機械構造及び寸法

スクリーン部分のデッキ全体が展開、収納が可能であり、金網の交換の際にも作業スペースも確保が可能である。金網の構造としては横方向に複数枚張っているため、例えば取り換え時には摩耗の多い金網のみを交換が可能である。

図2：MS703上段金網部

輸送および稼働する際にはリモコン操作でサイドベルトコンベアの展開と収納が可能である。トレーラー1台での搬送が可能であり、下記表のような寸法になる。

	MS702	MS703
排出高さ(mm)	3,400	3,400
ホッパー高さ(mm)	3,650	3,650
機長(mm)	16,750	16,750
幅(mm)	3,000	3,200

表1　輸送時　機械寸法

	MS702	MS703
排出高さ(mm)	4,500	4,500
ホッパー高さ(mm)	3,650	3,650
機長(mm)	18,400	18,400
幅(mm)	18,090	18,090

表2　稼働時　機械寸法

図3　トレーラーにて輸送時　似姿

機械諸元

MS702、MS703

エンジン	ディーゼルエンジン
エンジンメーカー	DEUTZ 製 TCD3.6 L4
燃料	軽油
燃料容量(約 L)	330
供給量 (約 ton/hour)	350

表3　エンジン諸元

	MS702 二床式スクリーンユニット	MS703 三床式スクリーンユニット
スクリーンサイズ(mm)	1550×4500	1550×4500
投入サイズ(約□ mm)	100	100
フィーダー高さ(mm)	3650	3650
ホッパー容量 (m³)	8	8

表4　スクリーン諸元

操作性

タッチパネル・リモコン

稼働する際、左からエラーチェック、エンジン(ON/OFF)、油圧、ふるいの稼働(ON/OFF)と直感的に分かりやすいボタン配置となっている。また海外製であるが、言語は日本語に対応している。

エンジンの稼働や自走する際に使用。大きい利点として、機械本体に近寄らないで作業できるため、安全に使用できる。また、投入後は自動でふるいの作業を行うため、機械に上って様子を見る必要がなく人員コストの削減を可能にし、効率よい作業が行うことができる。

図4－2　操作タッチパネル

投入方法

ユンボでの投入はもちろんのこと、ホイールローダーでの投入が可能である。ホッパー下部の支柱はリモコン操作で出し入れが可能。

図5　投入方法(一例)

散水機能

排出口に水を散布する機能が標準搭載しており、粉塵対策が施されている。

弊社における取り組み

この章では自走式製品の取り扱いにおいて抱える問題を解消するために、弊社が整えている体制について言及する。本来海外から輸入する場合、発注をかけてから半年近く時間がかかる。ドイツ製KLEEMANNも例外に漏れず、国内で稼働している自走式製品は海外製のものが主流のため、例えば部品を発注してから到着まで半年待たせてしまったためにお客様の業務が中断してしまうケースもある。そのような状況を解消するため、弊社ではお客様により快適にご利用いただくよう下記のような体制を整えている。

図6　現場使用例

部品・在庫

弊社事業部では主力製品の需要を鑑み、先行で在庫機を保有している。そのため、製品の発注から納入まで海外の輸入を待つ必要はない。(※別途、特車申請は1か月半から2か月間要する。)

トラブル対応

弊社では全国主要都市に支店を構え、メンテナンスや機械のトラブルに対応可能である。機械本体同様、消耗部品の在庫を国内に輸入しているため、迅速に対応できる体制を設けている。

営業活動

弊社では各事業部で環境展を始めとする展示会に積極的に参加している。「持続可能な循環型社会」、「SDGs」など企業が負うべき社会的責任は重要な課題である。弊社取扱製品はより効率のよい作業や低燃費での稼働が可能である。KLEEMANN全機種が排出ガス規制の4次規制をクリアしている。

よりお客様のニーズにお応えするために、定期的に事業部をあげて実機展示会を開催している。1次破砕機、2次破砕機、スクリーン、高積み用の自走式をかまえてご見学いただける取り組みを行っている。

最後に

前述の通り、自走式製品はその利便性と効率の良いパフォーマンスを実現し、大きな役割を担うことで、近年少しずつ需要は高まってきている。しかし、昨今の世界情勢の影響で、より燃料や鋼材のコストが高騰し、設備投資の消極化や資材の利益が低下する厳しい現状は無視できない。その中でも業界のお客様のニーズにこたえるべく弊社事業部ではよりいっそう自走式破砕機及びスクリーンの販売及びサービスに努めていく所存である。

筆者紹介

KURAGAKI Keisuke
倉垣　圭佑
2021年入社
日工(株)
モバイルプラント事業部

MEMO

— 製品紹介 —

メルトニーダ車（電気式塗料溶解装置）

1.はじめに

メルトニーダ車（電気式塗料溶解装置）は皆さまが普段利用している道路、駐車場などの白線に使用される路面標示用塗料を電気で溶解する装置です。

弊社電気式メルトニーダMSN-300-Iは、お客様のニーズに合わせて開発されました。

そして今回、お客様から「こうして欲しい」「こうだったら使いやすい」との具体的な声をいただき、改良を重ね作業性向上を実現。発電システムにも改良を加え、より一層の省エネ化にも成功しました。

2.特徴

従来LPガスを使用して溶解していましたが発電機を使用し電気で溶解することにより火災の心配もなく、走行中にも溶解できることにより現場に着いて作業がすぐ行えます。（気温によるが約30～40分）作業者の安全第一で安心して使用していただけます。

3.環境対策

ガスではなく発電機を使用しているためCO_2削減でCO_2排出量がガスに比べ約81%削減と環境にもやさしく、電気を使用していることでコストダウンにも繋がります。

4. 高い品質

従来のLPガスによる底面のみの直接直火方式と違い、温度上昇を釜の全体（底面および側面）で、電気特性による定率直線的に行いますので、むらのない高品質な状態に仕上がります。また、従来型と比べその保温性は、数段向上していますので追い炊きはよりスピーディーに溶解できます。

写真１　メルトニーダ車

写真３　発電機

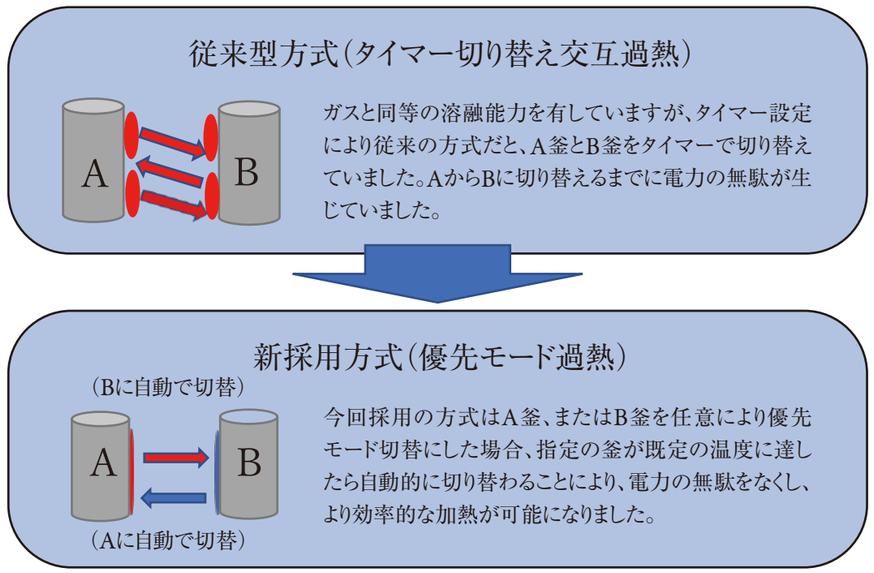
写真２　操作盤

コントロールパネルを背後に設置し、
広い荷台スペースを確保。

写真４　材料投入口

従来後ろ向きとしていた材料投入口を、
作業のしやすさを考え前向きとし、投光機を設置しました。

余った電力新システムを無駄にしない採用



5. ランニングコストとCO_2量

※比較条件：価格は建設物価2022. 05
軽油:1L当たり140円　LPG:1kg当たり235円
発電機　DCA−45LSK　車両　ディーゼルエンジン
（従来型ニーダでは撹拌時にアイドリングが必要です）

5－1.ランニングコスト比較

（道路標示ライン材460kgを3時間で溶解した場合の比較）

	電気式メルトニーダ	ＬＰガスニーダ車
軽油	4.0l/h×3h×140 円＝1,680 円	1.0l/h×3h×140 円＝420 円
ＬＰガス	0	3.3kg/h×235 円＝2,325 円
計		2,745 円
※１ｔあたり換算	1,680 円÷0.46=3,652 円	2,745÷0.46=5,967 円

※ランニングコストは従来型比較で約61%

5－2.CO_2排出量比較

（環境省ガイドライン　燃料使用CO_2排出係数に準拠）

	電気式メルトニーダ	ＬＰガスニーダ車
軽油	4.0l/h×3h×2.58kg-CO_2/L=30.96kg-CO_2	1.0l/h×3h×2.58kg-CO_2/L=7.74kg-CO_2
LP ガス	0	3.3kg/h×3h×3.00kg-CO_2/kg-29.7kg-CO_2
計	30.96kg-CO_2	37.44kg-CO_2
※1L あたり換算	30.96kg-CO_2÷0.46=67.30kg-CO_2	37.44kg-CO_2÷0.46=81.39kg-CO_2

※CO_2排出量は従来比較で約83%

参考：燃料を使用した場合に排出されるCO_2

燃　　料	使用料の単位	単位発熱量 MJ/単位	炭素排出係数 kg-C/MJ	1.0kg あたりCO_2 排出係数 kg-CO_2/1.0kg
ガソリン	L	３４．６	０．０１８３	２．３２
軽　　油	L	３７．７	０．０１８７	２．５８
ＬＰＧ	Kg	５０．８	０．０１６１	３．００

5. 経済性

最大の特徴は熱源が前途の発電機であるため、一切LPガスを使用せず、その燃料費、手配手間がなくなることです。また、新方式では撹拌の為の駆動、回転灯に至るまですべての電力が発電機から供給されるので、車両のエンジンは停止可能となります。したがって従来の車両のエンジンとのコスト差になります。

6. 安全面

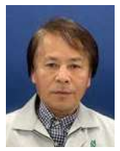
従来のニーダ車全てがLPガスを熱源とした直接直火方式のものです。したがって、ガスボンベや引火性可燃物（プライマー等）への引火等、火災事故の危険性を抱えていました。当製品は発電機を全ての熱源・動力源とし、一切火を使用しない仕様が最大の特徴です。

この方式は溶解槽の底面と側面に電気ヒーターを設置し、発電機からの電気で加熱する方式であり、溶解槽内に温度センサーを設け、加熱温度と塗料温度を自動調整しますので過加熱が防げます。したがって走行中の溶解が安心して行えます。

7. おわりに

環境問題が深刻になり規制が厳しくなる中、時代が燃料ガスから電気、自然エネルギーに代わりつつありお客様の声を汲み取り時代に合った物づくりを行ってまいります。

筆者紹介



MOTOYAMA Sinya
本山　晋哉
2005年入社
日工マシナリー（株）
テクニカル・プランニング・パートナー事業部
部長

SAKAMOTO Tomokazu
坂本　友和
2022年入社
日工マシナリー（株）
テクニカル・プランニング・パートナー事業部

MEMO

— 製品紹介 —

室内足場作業台　ラクラク台

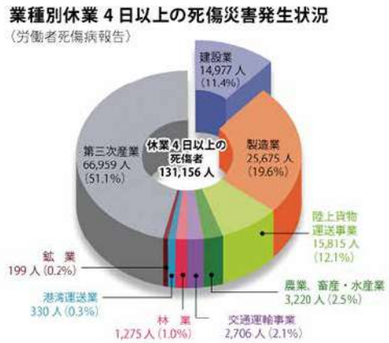
1. はじめに

近年、職場環境や働き方が変化するとともに、職場の安全に対するニーズが高まってきている。建設業界では墜落、転落による労働災害が多く発生し現場ではより安全な資材の使用が求められている。

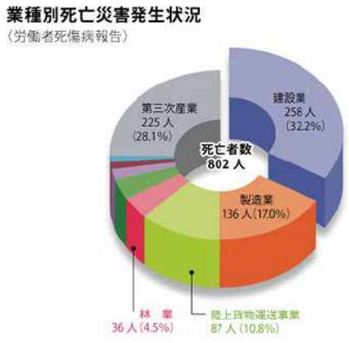
又、作業従事者は海外からの技能実習生や女性化へ傾倒してきている。

室内高所作業においては従来、梯子や脚立が多く使用されてきたが、昨今では相対的に危険性の低い可搬式作業台の使用が推奨されている。

弊社では社会変化に伴う現場のニーズに合わせた商品開発により安全で軽量な仮設資材の提案に取り組んでいます。本稿では弊社が取り扱っている『室内足場作業台／ラクラク台』についてご紹介いたします。



●建設業の死傷災害は、14,977人、前年より206人減少し、全産業に占める割合は11.4%（前年12.1%）となった。



●建設業の死亡災害は、258人、前年より11人減少し、全産業に占める割合は32.2%（前年31.8%）となった。

「一般社団法人　全国建設業労災互助会」ホームページ
（https://rousaigojyokai.or.jp/?page_id=165）より引用

2. 製品概要

ラクラク台はシンプルな蛇腹構造により安全でスピーディーな組み立てを実現、コンパクトな収納幅で高い機動性により様々な場所での活用を実現致します。

（仮設工業会認定品）

【簡単で安全な組み立て】

本体部は横方向へ展開する蛇腹構造によりシンプルで安全且つ素早い組み立てが可能です。

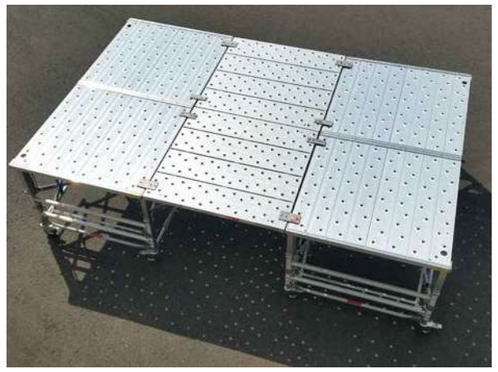
【広い作業床と豊富なラインナップ】

作業床は全機種1000mm×2000mmと広く高さはS／M／Hの3種類、600mm～1950mmまで対応可能です。

（より高さのあるLLタイプ1750mm～2550mmも御座います。）

【連結板の使用により経済性向上】

本体の間に連結板を組み合わせる事により単位面積の単価をおさえる事ができます。



【コンパクト収納による高い機動性】

収納幅420mmとコンパクトな設定により既存のEV活用や輸送時のスペースも確保でき様々な場所での展開を可能としています。

【豊富なオプション】

専用手摺・アルミ連結板・専用梯子・専用幅木の設定により、作業の安全性を高めます。

筆者紹介

KOMORI Masahiro
小森　政宏
2007年入社
日工セック(株)
東部営業部

MEMO

— 製品紹介 —

前川工業所製　ハンマークラッシャー

1. はじめに

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

その中でハンマークラッシャーは高速で回転するハンマーで原料を叩き衝撃力で破砕します。

排出口にはロストルと呼ばれるスクリーンバーを設け、スクリーンバーの隙間により破砕後サイズを調整します。

今回は、大きな原料を1台で細かく破砕することができる「ハンマークラッシャー」についてご紹介致します。

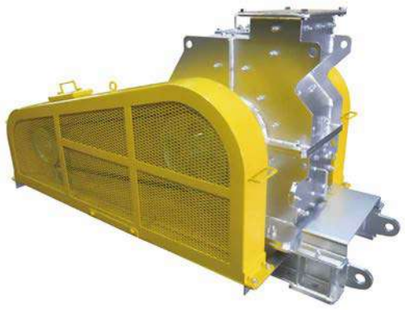


図1　ハンマークラッシャー
HCB-1810T型　外観

2. ハンマークラッシャーの特徴

2－1　細かく破砕できる

高速回転(700～1200min-1)で破砕する為、基本的に細かく破砕する用途に使用します。弊社ラインナップでは最も細かく破砕できる機種です。

2－2　破砕比が大きい

破砕できる原料で投入口に入るサイズであれば、これ1台で3mmアンダー程度まで破砕することが可能です。

2－3　ロストルにより粒度調整が可能

ロストルは各種隙間サイズを用意していますので、希望サイズにあったロストルを使用することで粒度調整が可能です。

2－4　ロストル交換が簡単

前川工業所独自の引出しテーブル方式により、簡単にロストル交換ができます。

2－5　故障が少ない

モータでシャフト（ハンマー）を回転させるシンプルな機構ですので故障が少ないです。

3. 構造

3－1　全体構造

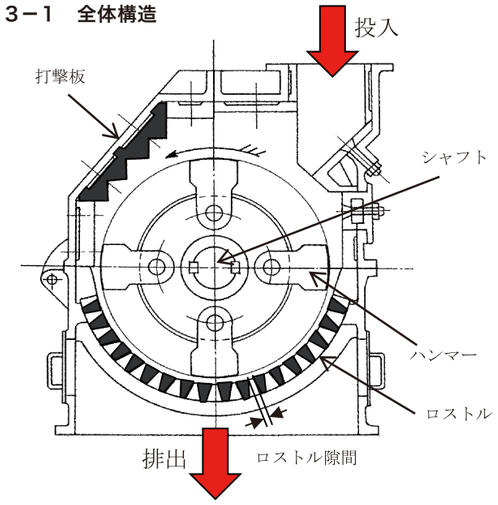


図2　ハンマークラッシャー構造

図3　ハンマー

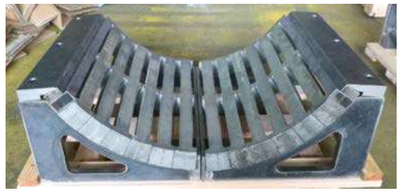


図4　ロストル

・上部投入口より投入された原料は、高速回転しているハンマーにより連続的に強打され、またハンマーと対向位置にある打撃板に衝突、跳ね返ったものは再びハンマーで強打することを繰り返して破砕されます。
・ロストルの隙間より細かくなったものが破砕機下部より排出され、大きなものは小さくなるまで破砕を繰り返します。
・ロストルを交換することで破砕後サイズを調整します。

3－2　ロストル構造

ロストル受台に組込まれたロストルを引き出すことで、本体を分解せずにロストル交換が可能です。

図5　ロストル引出し構造

4. シリーズ

型式	ロータ (mm)	モータ (kW)	ロストルと処理能力 (t/h)
HCB-1810T	φ460*250	7.5	(3mm)0.3 (25mm)4.2
HCB-2418T	φ610*460	22	(3mm)1.5 (18mm)11
HCB-3624T	φ915*610	55	(18mm)21 (30mm)35

※処理能力は見掛け比重1.6の石灰石を破砕した場合の参考値

5. 破砕対象物

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）は破砕できません。

尚、水分や付着性のある物は付着閉塞する為、投入できません。

また、ロストル隙間より大きな金属物も排出できない為、投入不可です。

当社ハンマークラッシャーで実績のある処理物の例を以下に示します。

図6　がれき類（ロストル3mm）

図7　石灰石（ロストル3mm）

図8　ALC（ロストル3mm）

図9　牡蠣殻（ロストル10mm）

図10　珪藻土（ロストルなし）

6. 納入先

納入先事例を以下に示します。

図11　電気部品破砕　HCB-1810TR型

図15　がれき類破砕　HCB-2418T型

図12　セラミック品破砕　HCB-2418T型(左)

図16　バッテリー破砕　HCB-3624型

図13　ALC破砕　HCB-2418T型

図17　ガラス、陶器類破砕　HCB-2418T型

図14　焼却灰破砕　HCB-2418T(水冷)型

図18　貝殻破砕　HCB-2418T型

7. おわりに

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

前川工業所ではテスト機20台以上(ハンマークラッシャーは2機種)を常設し、テストにて破砕後粒度、処理能力等の確認を行って破砕機の最終仕様を決定しています。

図19　常設テスト機

図20　破砕テスト風景

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

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

お気軽にご相談ください。

筆者紹介

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 —

新型　自走式土質改良機　Mobix Eco

1．はじめに

弊社は、2015年にドイツ・Kleemann（クリーマン）社と自走式破砕機・選別機の総代理店契約を締結し、自走式製品の取扱業務を開始いたしました。

その中で自走式製品の優位性を認識するようになりました。

まず第1に、工事期間の短さにあります。

通常、定置式プラント新設工事では長いものでは数か月に及んでいた稼働までの工事期間が自走式製品では数日で済むため、お客様の設備投資へのハードルを下げるメリットがあります。

次に、注目すべき点として転売のしやすさにあります。

自動車のように中古市場でも一定のニーズがあるため、資産の一つとして所有するという選択肢もあります。

このような背景のもと、新たな顧客開拓を目指し、新型の自走式土質改良機 Mobix Ecoの開発がスタートすることになりました。

2. 建設発生土を取り巻く規制

1970年に廃棄物全般に関する法律が公布されて以降、建設工事に係る資材においても法規制の整備が進んでいます。（建設リサイクル法）

天然資源が極めて少ない我が国において、持続可能な発展を続けていくため、3R（発生抑制（Reduce）,再利用（Reuse）,再生利用（Recycle）の取り組みを充実させ、廃棄物などの循環資源が有効に利用・適正処分される「循環型社会」の構築を目指す必要があります。

このように、本製品が対象としている建設発生土（下図緑部）においては、関係業界が一丸となってリサイクルに取り組んできた結果、そのリサイクル率は、2000年度61%だったものが、2002年度に83%、2018年度には89%と右肩上がりに上昇しており、現場における建設発生土の利用が浸透し、日常的にリサイクルが行われるレベルにまで来たと考えられています。

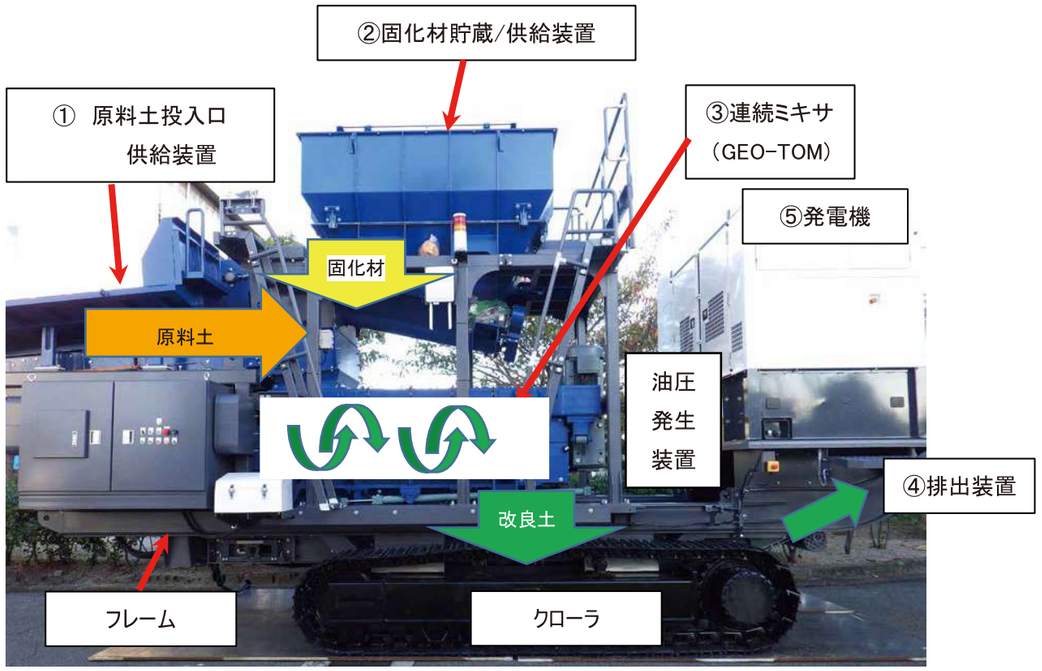
建設副産物　構成図

その一方で、世界的な取り組みである「持続可能な開発目標（SDGs）」においては、2030年までに廃棄物の発生防止、削減、再生利用、再利用により、廃棄物発生量の大幅削減が目標となり、今まで以上に更なる建設リサイクル推進が求められています。

3. 車両概要

本自走式土質改良機は、履帯（クローラ）が取り付くフレームが骨格となり、車両中央に連続式ミキサGEO-TOM（ジオトム）、油圧発生装置、発電機をバランスよく搭載しています。

3-1各装置配置（太矢印は、土の流れ）



①原料土投入口/供給装置：本製品　後方（上記写真左側）からバックホウにて供給された原料土をベルトフィーダにて切り出します。ベルトフィーダには、原料土検出装置が設置されており、原料土の供給がストップした場合、感知して固化材の供給をストップし、無駄を排除する仕組みになっています。

②固化材貯蔵/供給装置：事前にトンパックにて貯蔵装置内に充填された固化材をスクリュフィーダにて定量供給します。事前のキャリブレーション値と配合割合から供給装置用モータ回転数を決定します。

本製品の運搬は、道路交通法の高さ制限をクリアするために、固化材貯蔵装置の上半分を原料土投入口内に移動させて収納します。（右記写真参照）」

固化材貯蔵装置の上半分を原料土投入口内に収納

③連続ミキサ

定置式プラントにて実績のあるGEO-TOMミキサをベースに、原料土に混入するレキ対応および、メンテナンス性の向上を目標として新設計いたしました。

・構造部材形状の最適化：

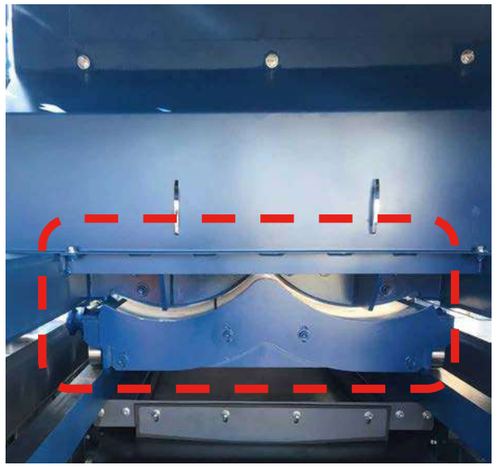
強度計算解析により、原料土に混入する礫（レキ）に対して補強が必要な部位を特定しました。

仮に混入しても、ミキサへのダメージが最小になるように軸形状を見直しました。

ミキサ内部（羽根（オレンジ）取付軸の補強）

・下部スライド構造（下写真　赤枠内；車両後方から）

混練作業終了時の清掃用、ミキサ閉塞時の改良土排出用として採用しました。



・ミキサ製造メーカならではの事前スモールテスト（お客様保有の原料土を使った混練テスト）を行い最適なミキサ羽根形状をご提案いたします。

（例：フィルタープレス後の脱水ケーキに添加材を配合して混練した改良土になります。）

④排出装置：ミキサから排出される改良土をミキサ下部から車両前側に排出します。

排出口高さ（ローラ上面）を2800mm確保しており、より多くの改良土をコンベヤ下に貯蔵することが可能です。

（業界最大級）

⑤発電機

オフロード法（排ガス4次規制）に対応したエンジンを採用しております。

3-2 動力駆動源

建機業界の多くの車両では、エンジン駆動の油圧源により各部を駆動しています。

一方、本製品は、車載の発電機からの電源と、その電源から油圧ポンプを駆動して油圧源とする2系統のパワーソース（駆動源）を有しています。そして、この2系統のパワーソースを最適に使い分けることにより、全ての装置を油圧駆動する場合に比べてランニングコストの低減が期待されます。

（※：外部からの商用電源での運転も可能です）

油圧：履帯（クローラ）による走行用油圧モータ

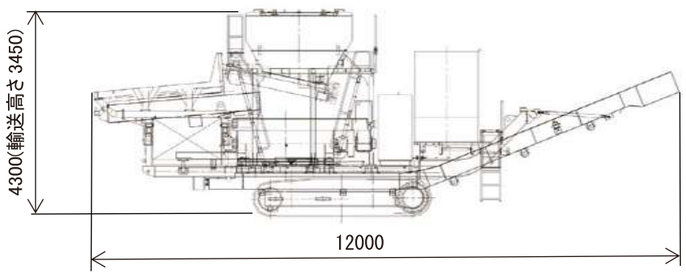
ミキサ底部分のスライド機構用油圧シリンダー

固化材供給用クレーン（オプション）

電気：ミキサ混練用モータ、原料土・固化材の供給用モータ、改良土の排出用モータ

4.車両寸法

機械質量		ton	22（標準仕様）
寸法	全長	mm	12000
	全幅	mm	3000
	全高	mm	4300
	輸送時全高	mm	3450
発電機エンジン	型式		ISUZU BR-4HK1X（排ガス4次規制対応）
	定格出力	kVA/rpm	125/1800
連続式 ミキサ	処理量	m^3/h	50~100 原料土により変動）
	混練様式		2軸式 強制練り
	動力	kW	18.5×2台
	傾斜可能角度	度	～10
固化材ホッパ		m^3	3
切出 排出BC		mm	900巾 平ベルト



5.DX化：

本製品においては、操作性をより簡単にするためタッチパネルを採用しています。

視覚的に分かりやすく操作できます。

また、日毎の処理量のデータは、SDカードでの持ち出しの他印字プリンター（オプション）での対応も可能になります。

動力操作盤　盤面

操作画面

また、タブレット（オプション）においては、タッチパネルと同期した画面が表示され、遠隔からリアルタイムで各装置の情報（回転数等）閲覧、操作、エラー発生時における状況把握が可能になります。

参考文献　　国土交通省　建設リサイクル推進計画2020

筆者紹介

CHATANI Kouzou
茶谷　晃三
2015年入社
開発部　開発2課所属

MEMO

製造設備紹介

MANUFACTURING EQUIPMENT INTRODUCTION

— 製造設備紹介 —

タイ工場建設（NIKKO NILKHOSOL）

1. はじめに

2020年6月25日、タイにASEAN地域の生産拠点の現地法人として日工株式会社（以下、日工）とタイ現地企業であるNILKHOSOL CO., LTD.（以下、NKS）の合資会社NIKKO NILKHOSOL CO., LTD.（以下NIC）が設立された。

NIC設立は、当社中長期経営計画におけるASEAN戦略の一環として、現地製造によるコスト削減、及びリードタイムの短縮を実現し、中国上海工場とあわせたアジア全体において競争優位性を高めることを目的としており、お客様への安定的かつ密なコミュニケーションと、スピーディなメンテナンス及び部品供給をはかるために、2020年2月に設立したNAT（Nikko Asia（Thailand）Co., Ltd.）に続くものである。

合弁の目的は、現地企業の持っている製造スタッフをそのまま雇用することで、基礎の製造技能を引き継ぎ、製造の立ち上げスピードを短縮することであった。

ここでは、2019年12月新型コロナウイルス（COVID-19）の影響により海外渡航できない状況の中、2020年3月より生産技術室にてタイ工場建設を計画実行し、無事に工場を稼働させるに至った経緯を紹介する。

2. タイ工場経歴

タイ工場の詳細説明の前に、まずNIC設立からタイ工場完成、そして生産設備を導入し稼働に至るまでの経歴を表1の通り示す。コロナ禍での計画、実行にも拘わらずNIC設立から稼働開始するまで、およそ1年半という短期間でタイ工場を早期に立ち上げた事が分かる。

3. 工場建設の計画、検討

当初、建設場所の第一候補としてアジア工業団地というバンコクから東に40km程の場所を検討していたが、標高が低く、近くに川があるため水害を考慮し断念した。次に候補に挙がったのが、PINTHON 4工業団地というバンコクからは少し遠いが、タイ最大の貿易港であるレムチャバン港から東に20km程の場所にある工業団地であった。

この工業団地は当時造成中であり、早くに声を掛けたので第一希望の土地を確保する事ができた。後で判明したが、当工業団地の入口で目立ち、トラックの出入りも容易であるが、工業団地内では低い位置となり、豪雨時には短時間ではあるが前面道路が水没することがわかった。

次に工場建設会社の選定であるが、タイでの建設実績がある日系企業3社（日系のローカル現地企業2社、日系大手ゼネコン1社）で相見積を行った。3社とも金額は大きな差はないが、最も我々の要望に親身になって応え、レスポンスもよく、金額も予算に収まったTCC TECNICA CO.,LTD.様（以下、TCC）を選定させていただいた。また、4章にて後述するG02の製品置場の整地についてはKRO Co., Ltd.様（鹿島道路様タイ現地法人）（以下、KRO）にお願いした。

コロナ禍の為、これらの見積依頼の打ち合わせをZOOMにて全て行わなくてはならなかった事は非常に大変であった。

上記の計画を経てタイ工場建設を実行したが、土地購入から工場建設、生産設備などに掛かった費用を表2にまとめる。タイ工場を立ち上げる為に掛かった費用は1,121.1百万円である。

2020年3月10日	タイ工場建設構想開始
2020年6月25日	NIC設立
2020年7月	PINTHON4工業団地G01,G02土地購入
2020年11月12日	地鎮祭
2020年12月	タイ工場 建設工事開始
2021年12月	タイ工場 完成
2021年12月	設備移設開始
2021年12月17日	入魂式
2021年1月	タイ工場 稼働開始
2022年2月	塗装ブース納入
2022年3月	エアブラストブース納入

（表1）経歴

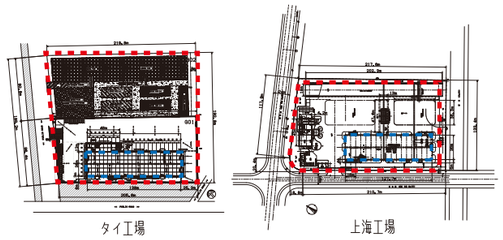
※レートは3.5JPY/THB

項目（支払先）	MTHB	百万円（JPY）
土地（PINTHONG4）	114	399
G01+建物（TCC）	135.4	473.9
G02（KRO）	17	59.5
インフラ工事（KDDI）	3	10.5
什器（OKAMURA）	1.9	6.7
のれん（NKS）	49	171.5
生産設備（NKS）		
生産設備（JMTA）		
合計	320.3	1,121.1

（表2）工場建設、生産設備その他　費用一覧
※JMTAの詳細については5章にて後述

4. 工場建設

2020年7月にPINTHON4工業団地に購入した土地の広さはG01=20496.8㎡（12.8rai）、G02=20045.6㎡（12.5rai）、合わせて40542.4㎡（25.3rai）であり、主にG01は工場と事務所棟、G02はプラント展示やプラント在庫機保管の用途がある。上海工場と比較（資料1）すると、敷地面積は1.36倍（資料1の赤点線）、工場面積（資料1の青点線）は1.08倍である。タイ国内でのアスファルトプラント標準機種CBD120の在庫機を保管するうえでも、敷地面積が上海工場より広くなっている。



（資料1）上海工場敷地面積比較

工場建設工事は2020年11月12日に地鎮祭を実施し、2020年12月からの杭工事を皮切りに開始した。当初予定では工事期間10.5ヶ月、2021年10月中旬にタイ工場が完成する計画であったが、COVID-19集団感染（クラスター）によりTCC様の工事人員が確保出来なかった事や、雨季（4月～10月）による大雨が影響し、最終的にはおよそ1.5ヶ月遅れの2021年12月に完成した。タイ工場建設着工前から完成後の様子を写真1～4の通り示す。

（写真1）着工前航空写真

（写真2）完成後航空写真

（写真3）タイ工場外観
（工場正門から）

（写真4）タイ工場外観
（メイン道路から）

5. 生産設備

タイ工場を稼働する為の生産設備や人材、ノウハウの多くは、NKSから譲渡されている。NKSはNIC設立前からアスファルトプラントの現地製作協力会社として日工と取引があった。ホットビン、本体脚、タラップ、ベランダ、中部ホットエレベーター、ドライヤドラム、ドライヤホッパ、バグ中本体、バグ下本体、煙道、排気ダクト、骨材ホッパー、コンベヤフレーム、MDCタンク、重油タンクなど主に駆動装置以外の実績が多くあり、これら装置を製作する為の生産設備も充実していた。生産設備自体の老朽化はあるもののそのまま使用できるものが多かった為、生産設備の大部分をNKSからNICへ移設する事でタイ工場の早期立ち上げに寄与した。

NKSからNICへ移設した主要設備を一部紹介する。CNCプラズマ/ガス切断機、バンドソー、シャーリング、油圧（製缶）プレス（1000ton、250ton）、プレスブレーキ250ton、ベンディングロール、パイプベンダー、ラジアルボール盤、卓上/直立ボール盤、ミーリングマシン、普通旋盤などがあり日工本社工場でも馴染みのある設備が多い。設備を移設するうえで最も苦労したのが油圧プレス1000tonである。上部の油圧ポンプを外した状態でもフレームは横幅5,100mm、奥行1,500mm、高さ6,300mm、重量48tonあるので、公道の輸送を担当する業者や、工場内でのレッカー/据付作業を担当する業者は慎重に選定する必要があり、元NKSの技術者も含め通訳を介しながら打合せし大きなトラブルもなく移設を完了させた。使用したレッカーは220tonと60tonであり、プレスを起こす作業は写真5のように2基のクレーンで行い、その後の据付は写真6のように220tonのみで行った。

（写真5）1000tonプレス納入

（写真6）1000tonプレス納入

工場稼働に伴い新規導入した設備として、塗装ブース、エアブラストブースがある。どちらも5社で相見積を取ったが、タイで実績を多く積んでいる日系機械商社であるJapan Machine Tools Asia Co., Ltd.様（以下、JMTA）を通じて購入した。塗装ブース（写真7）は蛇腹テント式を採用し、タンクなど大型製品の搬入出作業を行いやすいように配慮し選定した。メーカーはPOWDERTECH ENGINEERING CO., LTD.様というタイメーカーである。エアブラストブース（写真8）はワークサイズや形状が様々であることから、人がブースの中に入り直接ブラストする仕様とした。一度使用した研削材を回収する機構も有しており、作業環境や効率に

も配慮している。メーカーはTOCHU THAILAND CO., LTD.様というタイメーカーである。タイメーカーのメリットとしては、価格面のほかメンテナンスサービスも安心である事が挙げられる。導入検討時は右も左も分からない状態だったので、JMTA様の協力があり仕様決めや交渉をスムーズに行えた。

（写真7）塗装ブース

（写真8）エアブラストブース

その他の納入設備として、プレスブレーキ400ton（写真9）がある。これもJMTA様から購入した中古機械であるが、ほぼ未使用であり状態は良かった。メーカーはTTL Engineering Systems Co., Ltd.様というタイメーカーである。本体脚やエレベータケーシングの曲げなどを実施している。

（写真9）プレスブレーキ400ton

6. 終わりに

タイ工場が稼働開始してから約1年が経過する。コロナ禍での計画、実行（写真10-73）であるにも拘わらず、30回以上のweb会議に出席いただいた製造本部長、工場長、的確な報告や解決策をご提案頂いたTCC様など多くの方々にサポートいただき、関係者には感謝の意を表したい。

現在はアスファルトプラントの生産も軌道に乗り、製作区分を増やし現地の生産比率をアップさせるよう取り組んでいる。また、治具製作により生産性向上も計っているところである。今後は、現地製造スタッフの教育や老朽化設備の更新を検討し、さらなる生産性向上とコストダウンに取り組んでいきたい。

（写真10）工場建設風景1

（写真11）工場建設風景2

（写真12）工場建設風景3

（写真13）工場建設風景4

（写真14）工場建設風景5

（写真15）工場建設風景6

（写真16）工場建設風景7

（写真17）工場建設風景8

（写真18）工場建設風景9

（写真19）工場建設風景10

（写真20）工場建設風景11

（写真21）工場建設風景12

（写真22）工場建設風景13

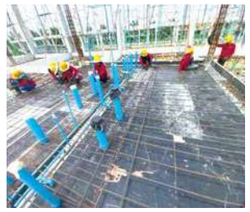
（写真23）工場建設風景14

（写真24）工場建設風景15

（写真25）工場建設風景16

（写真26）工場建設風景17

（写真27）工場建設風景18



（写真28）工場建設風景19

（写真29）工場建設風景20

（写真30）工場建設風景21

（写真31）工場建設風景22

（写真32）工場建設風景23

（写真33）工場建設風景24

（写真34）工場建設風景25

（写真35）工場建設風景26

（写真36）工場建設風景27

（写真37）工場建設風景28

（写真38）工場建設風景29

（写真39）工場建設風景30

（写真40）工場建設風景31

（写真41）工場建設風景32

（写真42）工場建設風景33

（写真43）工場建設風景34

（写真44）工場建設風景35

（写真45）工場建設風景36

（写真46）工場建設風景37

（写真47）工場建設風景38

（写真58）工場建設風景49

（写真59）工場建設風景50

（写真48）工場建設風景39

（写真49）工場建設風景40

（写真60）工場建設風景51

（写真61）工場建設風景52

（写真50）工場建設風景41

（写真51）工場建設風景42

（写真62）工場建設風景53

（写真63）工場建設風景54

（写真52）工場建設風景43

（写真53）工場建設風景44

（写真64）工場建設風景55

（写真65）工場建設風景56

（写真54）工場建設風景45

（写真55）工場建設風景46

（写真66）工場建設風景57

（写真67）工場建設風景58

（写真56）工場建設風景47

（写真57）工場建設風景48

（写真68）工場建設風景59

（写真69）工場建設風景60

（写真70）工場建設風景61

（写真71）工場建設風景62

（写真72）工場建設風景63

（写真73）工場建設風景64

2021年12月入魂式

タイ工場立地図

タイ工場外観写真

筆者紹介

NISHISAKA Kenta
西坂　健太
2010年入社
NIKKO NILKHOSOL CO., LTD.

TANAKA Takahiro
田中　隆浩
2015年入社
製造本部　本社工場　生産技術室

IWASAKI Yuta
岩崎　雄太
2019年入社
製造本部　本社工場　生産技術室

MEMO

NIKKO 企業理念

VISION
実現したい未来

世界を、
強くやさしい街に。

SLOGAN
合い言葉

n からはじまる
未来創造

未来軸

ビジョン

MISSION
日々果たすべき使命

一歩先ゆくエンジニアリングから、
社会基盤をアップデートする。

基盤

社是

VALUE
提供価値

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

社是
創業時から変わらぬ価値観

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

SPIRIT
大切にすべき精神

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

編集後記

先ずは、弊社技報「日工テクニカルレポート」の第四号を発刊するにあたりまして、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立命館大学准教授の川崎様には、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

昨年も新型コロナウイルスの影響に翻弄され、依然として予断を許さない状況ではあるものの、最近では感染症上の類型を2類相当から5類に見直すような検討も始まっているとの報道もあり（2023年2月執筆時点）、徐々にではありますが以前のような生活に戻れる兆しも見えつつあります。楽観視はできませんが、新型コロナウイルス感染症の終息が一日も早く訪れることを切に願っております。

その様な中ではございますが、弊社におきましては、昨年の10/31～11/11にかけまして、十分な感染症対策を行った上で、社内展示会（NIKKOメッセ2022）を開催し、非常に多くのお客様にご来場頂きました。本展示会では、“脱炭素”を主テーマに、新型のアスファルトプラントやバッチャープラント、水素バーナやアンモニアバーナ、自走式土質改良機、またAI技術を用いた骨材判別装置や異物選別装置等、様々な弊社最新の装置・技術を展示し、ご来場頂きましたお客様に実際に触れて感じ取って頂く機会をご用意することができました。これらの弊社最新装置・技術がお客様の様々な課題・問題を解決する一助となれば幸甚でございます。なお、上記各装置・技術の一部につきましては、本技報におきましてもご紹介させて頂いておりますので、ご覧頂ければと存じます。

今後も、「日工テクニカルレポート」をどうぞよろしくお願い致します。

日工株式会社
会社情報

日工テクニカルレポート
第四号
令和5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

NIKKO

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
- 破砕機
- 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