

# 熱処理による油汚染土壌浄化システムの省エネルギー化 (予備乾燥装置と熱交換器による熱回収)

## AUTHORS

神尾 昌宏<sup>\*1</sup> KAMIO Masahiro  
蓬萊 秀人<sup>\*2</sup> HORAI Hideto

## 概要

## ABSTRACT

Thermal remediation systems for treating oil-contaminated soil offer more reliable remediation capabilities than do washing and bioremediation techniques, but have the drawback of large unit energy consumption, which places a large load on the environment. A generic incinerator that produces high-temperature combustion gases as in thermal soil remediation methods is fitted with a boiler, and electric power is generated by using a steam turbine for heat recovery. In terms of scale and the characteristics of the processed materials, pre-drying of the soil was found to be appropriate for reducing the energy consumption of the soil remediation plant. In this research, we developed a system for reducing energy consumption by two methods that reduce the load of remediation on the environment. These methods are recovering heat from the 800℃ exhaust gas produced in the secondary incinerator in order to perform pre-drying using indirect heating drier units before heating the soil in the kiln, and installing heat exchangers to pre-heat the air for incineration. A bypass duct is installed in the soil pre-drying unit for controlling the heat exchange capacity. Furthermore, to increase efficiency, an exhaust mechanism for soil microparticles is installed and intake using air suction is implemented. Theoretically, this device can produce energy savings of 35% compared with conventional devices and increase the processing capacity to 110% that of devices of the same size that are not fitted with the energy-saving devices. In this study, the effectiveness of this system is verified at an actual soil remediation plant.

Key Words : Oil contaminated soil, Rotary kiln, Soil remediation

## 1. 緒言

我が国では、戦後の環境への配慮が乏しい生産性重視の活発な経済活動によって、都心部において土壌汚染が広がっている。汚染物質としては、重金属・揮発性有機化合物・VOCや油汚染等が挙げられる。土壌汚染の修復技術としては、微生物の油分解能力で土壌を浄化するバイオレメディエーション法や、油汚染土壌を洗浄し分級することにより浄化する洗浄法や、土壌を加熱することにより土壌から汚染物質を分離して熱分解で処理する加熱法等がある。各々の工法には特徴があり、バイオレメディエーション法は、他の工法に比較して浄化コストを低く抑えることが出来るが、浄化性能が微生物の油分解能力に依存するため、浄化が気温等の環境に依存し、工期も不明確であるという特徴がある。また、洗浄法においては、土壌を洗浄分級処理した後に残渣が残り、それを廃棄物処分場等で処理する必要がある。一方、熱処理法においては、土壌を加熱し強制的に汚染油を熱脱離するために浄化が確実にできるが、加熱のためのエネルギーを消費し環境負荷が高いという特徴がある(Hashimoto, et al., 2006)。我々が開発した従来の加熱装置のシステムにおいても、燃料消費量が大きな課題の一つになっている(Horai, et al., 2013)。熱処理法では、土壌から熱脱離した汚染油が気化蒸発したガスが排気ガスに含まれる。これを熱分解するために800℃まで加熱するが、この加熱処理においてエネルギーを多く消費する。省エネルギー化のためには、多量の排気ガスからのエネルギーを回収することが必要である。一般的には、排熱ボイラーを設けて蒸気タービンで発電を行なう方法や、熱交換器を設

けて燃焼用空気を予熱し熱回収する方法がある。しかし、比較的小型の発電装置については、導入コストに比較して発電効率が低く採算性が悪い。また、排気ガスに含まれる熱量をバーナー燃焼用空気の予熱のみで回収すると、予熱空気温度が非常に高くなり、且つ排気ガスと予熱空気の温度差が取れないため、熱交換面積が非常に大きくなり導入コストが高くなるという課題がある。

本研究では、熱処理による油汚染土壌浄化システムの課題である多量のエネルギー消費を効果的に改善するために、土壌の予備乾燥を間接加熱キルンで行う予備乾燥装置を実機において開発し、土壌浄化システムの省エネルギー効果について検証・評価を行なった。

## 2. 既往の土壌浄化技術

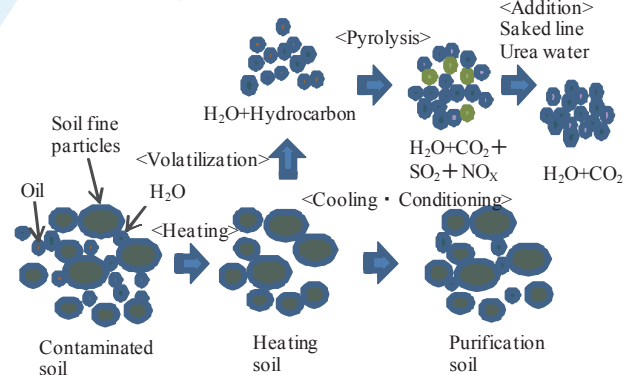


Fig1 Conception diagram of the purification by the heating

熱処理による油汚染土壌の浄化は、土壌を加熱することによって汚染油の蒸気圧を高めて土壌から熱脱離浄化を行う。

また加熱することによって気化したガスを2次燃焼室で750～800℃に上昇させて油分ガスを水と二酸化炭素に分解し無害化する。図1に土壌浄化の概念図を示す。土壌の加熱温度によって処理方法が分類されており、800～1000℃に加熱して油成分を分解する熱分解、400～600℃まで加熱して油分を脱着する熱脱着、200～300℃に加熱して油分を揮発分離する乾燥加熱処理に分類している(Central environmental council soil pesticide sectional meeting, 2006)。土壌の加熱温度によって浄化可能な油種が決まり、加熱温度が高くなるほど、分解が難しい重質油の汚染油まで浄化可能である。また2次処理装置によって熱分解することで、ダイオキシンが発生する可能性のある物質を処理する場合は、2次燃焼室で処理ガスを800℃以上の温度で2秒以上滞留させ、ダイオキシンが再合成するデノボ合成の温度域を急冷するために、冷却塔を設けている。

熱処理法における土壌処理の流れとしては、材料ホッパから供給された土壌は、加熱キルンによってバーナーで発生した高温の排気ガスと熱交換を行い、処理温度まで加熱し処理される。その後、冷却と土壌の粉塵対策を目的としてクーリング装置において調湿される。一方、加熱キルンで発生した汚染油を含む排気ガスは、2次燃焼室で800℃以上の温度で2秒以上滞留させて炭化水素やダイオキシンを分解する。その後、ダイオキシンが再合成するデノボ合成の温度域を急冷するために、冷却塔で冷却し、バグフィルタで集塵処理した後に、煙突から排出する。

本研究のシステムでは、タール・ピッチ等の重質油までの浄化を想定しており土壌を400～600℃まで加熱する熱脱着に分類される。

浄化工程における熱収支を図2に示す。この試算条件は、土壌の処理量：25t/h、含水比：30%、土壌加熱処理温度：600℃、排気ガスの処理温度：800℃としている。また装置の効率条件として侵入空気量：120Nm<sup>3</sup>/min、装置放散損失：5%として計算を行なった。ここでの土壌の加熱熱量は、水分を含まない状態の土壌を常温から600℃にまで昇温するまでの顕熱であるが、全体の約17%を占める。また、図中に示す水分蒸発熱量は、土壌を100℃以上に加熱する場合、まず土壌の水分を蒸発させる必要があり、水分の蒸発潜熱に利用されるエネルギーであり、このエネルギーが34%の割合を占めていることがわかる。加熱処理の対象は、土壌に含まれる汚染油であるが、その処理を行うには、土壌に含まれる水分を蒸発させる必要がある。土壌に含まれる水分量を如何に少なく抑えることが、エネルギー消費量に大きく影響することがわかる。また排気ガス加熱熱量は、常温の侵入空気と燃焼排気ガス処理温度の800℃まで加熱するのに必要な熱量である。また水蒸気加熱熱量は、土壌から気化した水分が同じく排気ガス処理温度まで上昇するのに必要な熱量である。この2種類の合計

がガスを800℃まで昇温し油分ガスを水と二酸化炭素に熱分解するのに必要な熱量である。放散損失も加えると、全体の約50%の熱量を占める。この排気ガス処理においても水蒸気の割合が12%程度入っており、土壌の含水が排気ガス処理においても影響していることがわかる。

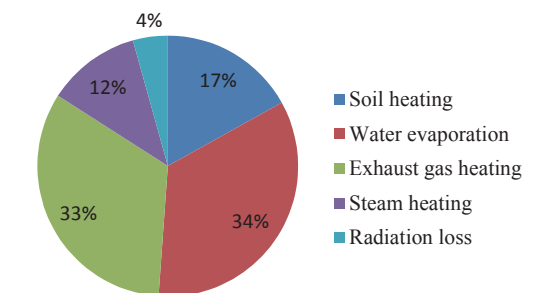


Fig2 Heat balance in the soil purification processing

従来の土壌浄化プラントでは800℃まで昇温した排気ガスをバグフィルタで処理可能な温度まで冷却筒で急冷していた。ダイオキシンが再合成する温度域は、250～400℃でありこの領域では急冷する必要があるが800℃～400℃までの温度域では排熱を回収することが可能である。ガスに含まれるエネルギーの割合は約50%程度あり、このエネルギーの一部を回収することで、省エネルギー化を図ることが出来る。

熱処理による土壌浄化システムの省エネルギー化を図る上で有効な方法は、土壌の含水比を下げることで高温排気ガスからの熱回収である。

## 3. 新たに開発した省エネルギー型土壌浄化システム

浄化工法の選定においては、汚染油の種類、範囲、浄化期間、周囲の環境等を総合的に勘案して判断する必要がある。例えば、都心部の地価が高い地域においては、処理費用が高くなっても短時間で浄化処理を終えて、土地を有効活用することが重要であり、熱処理による浄化が優位となる。オンサイト処理においては、浄化工事期間の設置される仮設のプラントになるが、一般的には、一つの現場で装置を償却する計画を立てる。そのため一つの工事における省エネルギー機器の費用対効果が省エネルギー機器導入への重要なポイントとなる。導入の際の検討には、土壌処理量・浄化期間・省エネルギー機器の効果・燃料費等が重要になる。

上記したように熱処理による土壌浄化プラントは、土壌を加熱して汚染油を熱脱離することから他の工法に比較して確実に浄化することが出来るという特長があるが、多くのエネルギーを消費するという反面がある。そのため今回の研究ではこの課題を改善する目的で、800℃まで上昇させた排気ガスから排熱を回収する方法を検討し、新たな省エネルギー型土壌浄化システムを開発した。

排熱回収の方法としては、上記したように一般的に加熱炉や焼却炉等では、ボイラーの熱源として蒸気を発生させて

\*1 日工株式会社 事業本部 エンジニアリング営業 EG課 博士(工学)

\*2 日工株式会社 技術本部 理事 博士(工学)



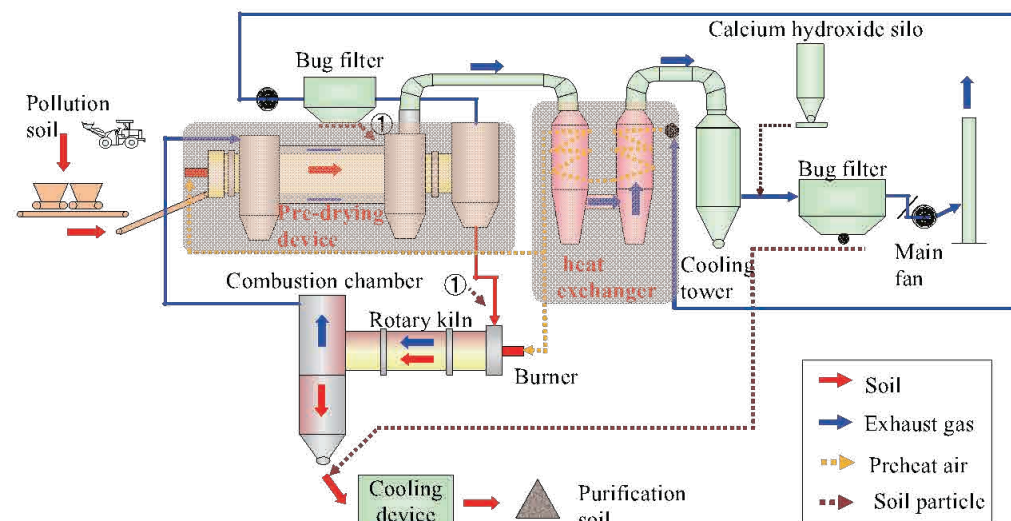


Fig3 Flow of Saving energy model remediation system for oil-contaminated soil

その蒸気でタービンを駆動し発電する方法、温水ボイラーで温水として回収し利用する方法、燃焼用空気として回収する方法等がある。しかし、蒸気ボイラーで発電する方法は、採算性を考慮すると一定以上の規模が必要である。土壤浄化プラントの処理能力は高いもので25t/h程度であり、バーナーの供給熱量が15MW程度になる。この排熱を発電利用すると、損失も考慮すると発電能力は1MW以下になり、短期間で装置の費用を回収することは難しい。さらに、オンサイトプラントで導入するには工事期間・設置スペース等の問題もあり現実的ではない。また、排熱を温水として回収する方法においても、その利用において制約条件があり難しい。

今回の土壤浄化プラントと焼却炉との大きな違いは、処理対象が発熱量を持った可燃物であるか否かという点になる。土壤浄化プラントにおいては処理対象が油分・水分を含んだ土壤であり、基本的には発熱量を持っていない。含まれる油分には発熱量があるが、一般的な汚染土壤に含まれる油分は、殆どが10,000ppm以下であり、熱収支全体からすると発熱量としては僅かである。一方、焼却炉で処理する廃棄物の発熱量は、4,000～10,000kJ/kg程度あるため、処理に外部からのエネルギーを必要としない。また殆ど場合は助燃を行えば、廃棄物の熱量だけで排気ガス温度を800℃に維持することが可能であるため、燃焼用空気として回収熱を利用することが出来る。一方、土壤浄化プラントでは多量の燃料を燃焼させて土壤・排気ガスを加熱するので、排熱をシステム内で利用することが可能である。しかし、燃焼用空気のみで熱を回収しようとすると、燃焼用予熱空気の温度が500℃以上になる。また放熱側と受熱側の温度差が大きく取れないために、熱交換器の交換面積が大きく必要になり、装置のコストが高くなる。本研究では、土壤加熱処理用のキルンの前段階で土壤の含水を低下させる予備乾燥装置として、間接加熱キルンを用いて排熱の回収する方法の検討を行なった。

今回新たに開発した土壤浄化装置のシステムフロー図を

図3に示す。800℃まで加熱した処理ガスをまず予備乾燥装置で土壤の予備乾燥に利用した後に熱交換器を用いて、バーナー燃焼用空気の予熱としての熱回収を行うシステムとなっている。また予備乾燥装置で発生する水蒸気と油分ガスを含むオフガスを燃焼用空気として利用している。

### 3.1 予備乾燥装置

予備乾燥装置は、2次燃焼炉からの800℃の排熱を利用して処理土壤の水分を蒸発させる。予備乾燥装置の側面図を図4に示す。構造としては外筒と内筒の2重構造となっており、800℃の高温の排気ガスを外筒と内筒の間に通し、その内部に投入された土壤をSUSの鉄板を介し間接的に加熱し乾燥を行う。内筒のサイズは、φ2.5m×27mであり、SUS304のt25mmを使用している。また、傾斜を付けて設置しており、回転することによって傾斜下方へと材料を移動させる。図5に予備乾燥装置の内部写真を示すが、内筒の内部にはリフターを取付けており、回転動作によって土壤を持ち上げ、内筒上部から土壤を落下させて土壤を解し、内筒伝熱面との接触伝熱を良好にするような構造となっている。この挙動によって、材料の分散を行い内筒内部の間接加熱で熱せられたガスと対流熱交換も行う。また内筒は外部の排気ガスとの熱交換により高温になるため、輻射による伝熱も期待出来る。

この装置における機械的に難しい点は、800℃の排気ガスで内筒を加熱するため、内筒シェルの上昇温度によっては、強度が大きく低下することで内筒にたわみが発生し、回転による繰り返し応力による疲労で装置寿命が大きく低下する可能性がある。そのため内筒シェル温度が過熱しないように、内筒には常に土壤を滞留させて運転する必要がある。本装置の上部には、内筒を加熱するための高温の排気ガスをコントロールを行う、ダンパの付いたバイパスダクトを設けており、内筒内部の放射計温度で測定した表面が高温になった場合は、バイパスダクトに高温の排気ガスを通過させて、乾燥装置シェルの温度

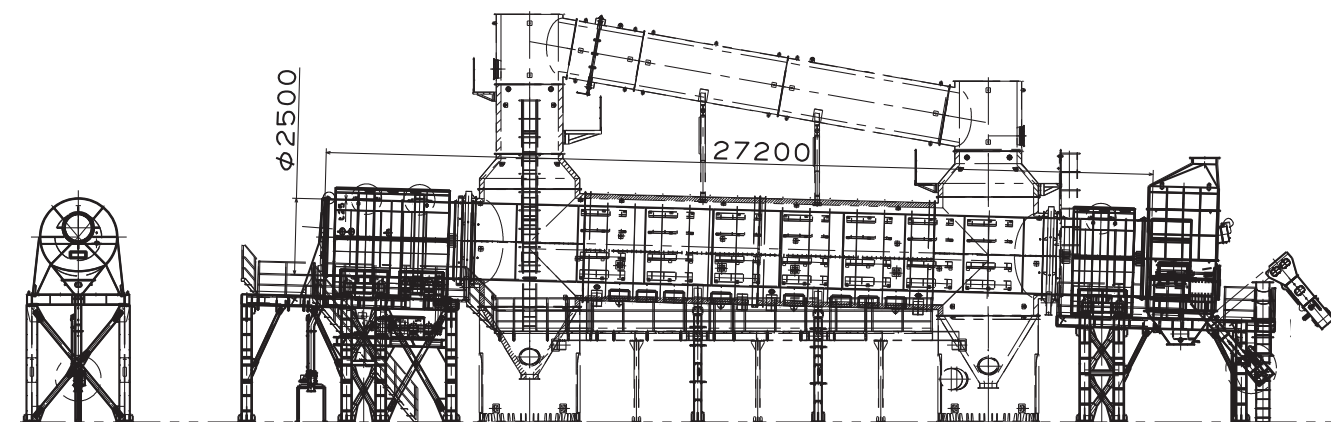


Fig4 Side view of the pre-drying device

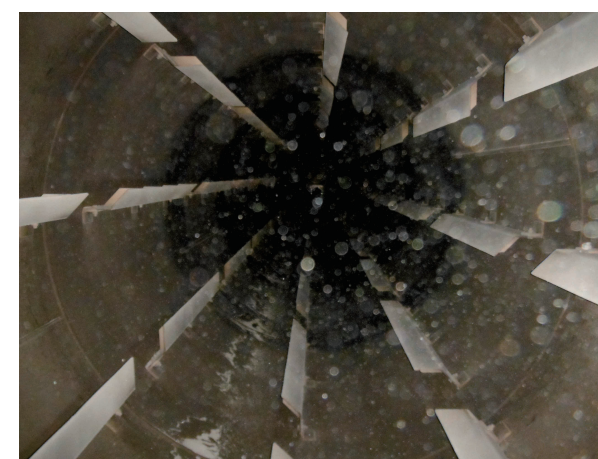


Fig5 inside of the pre-drying device

上昇を抑える。また、内筒内部に土壤の付着物が形成されると、接触伝熱における熱伝達率が大きく低下する。この状況においては土壤に付着物が断熱材料となり、内筒シェルが高温になり、上記のような問題が発生する可能性がある。付着物が形成されると、予備乾燥装置の乾燥能力や土壤搬送能力に影響を及ぼし、内筒ドラム支持部分にも設計値以上の荷重掛かる可能性があるため、内部に付着物が形成されない必要がある。また、排気ガスには、100μm程度の土壤微粒子を多く

含んでいるので、乾燥装置の外筒と内筒の間に高温の排気ガスが流れる時に土壤微粒子が外筒の内部に堆積する。この堆積した微粒子を排出するために、内筒の外側に螺旋状にフライトが取り付けられており、内筒の回転動作によって土壤微粒子が装置の両側に設けられたホップへ排出される構造となっている。

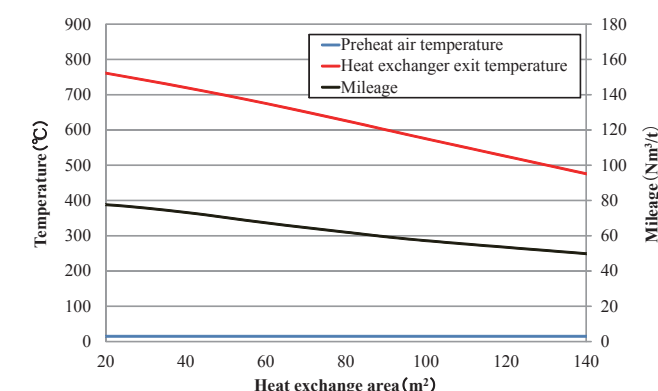


Fig6 Effect of the heat exchange area to give to exhaust gas temperature and the mileage

図6は予備乾燥装置の熱交換面積と燃費の改善効果を試算した結果である。本試算では、上記熱収支を試算した条件を利用し、総括換達率の目標値を46W/m²・Kとして仮定した結果である。熱交換面積が大きくなるにつれて燃料消費原単位が低下し、80m²の熱交換面積では、79.1から62.0Nm³/tに改善されているのが分かる。予備乾燥装置からの高温の排気ガス出口温度は、燃料原単位の改善効果と比例関係があり、同じく80m²においては800℃から625℃に低下している。熱交換面積が大きくなると高温の排気ガスから多くのエネルギーを回収するため高温の排気ガスの温度が低下し、高温の排気ガスと材料温度の差が小さくなり、必要熱交換面積が大きくなる。このため、熱交換量を高める程、単位面積当たりの熱交換能力が低下する。また熱交換面積を大きく取ろう



とすると、予備乾燥装置のサイズが大きくなり、一定以上の大きさになると、装置の輸送面、組立工事面で飛躍的にコストが高くなる。これらの諸条件があるため最もコストメリットが適当なサイズが存在する。加えて、本土壌浄化システムにおいては予備乾燥装置の後流側に熱交換器を設けているため、両装置の熱回収量と装置コストのバランスを検討して各々の熱交換面積を選定する必要がある。

### 3.2 熱交換器

熱交換器においては、予備乾燥装置によって一部エネルギーを回収した高温の排気ガスとそこから発生するオフガスを熱交換し、予熱空気用の燃焼空気としてエネルギーの再利用を行う。排気ガスに関しては、2次燃焼炉で800℃まで上昇した後に、予備乾燥装置で600℃程度まで熱回収し、熱交換器に導入される。予備乾燥装置で発生する水蒸気を含むオフガスは、土壌汚染の油の種類によっては有機性揮発物質(VOC)を含有するために、その成分を熱分解処理する必要がある。そのためこのオフガスを熱交換することによって昇温し、燃焼用空気として利用し、土壌を加熱するロータリキルン内で燃焼させる。オフガスのみをバーナーの燃焼用空気として燃焼させるには、酸素濃度が不足するため、予備乾燥装置の投入側の材料投入口から大気を吸気し、燃焼用空気の酸素濃度が15%以上になるように調整しながら運転を行う。また予備乾燥装置と同様に熱交換器の上部には、バイパスダクトを設けており熱交換出口の温度がダイオキシン再合成温度以下にならないようにコントロールする。具体的には、予備乾燥装置や熱交換器のエネルギー回収率が高すぎるために、再合成温度以

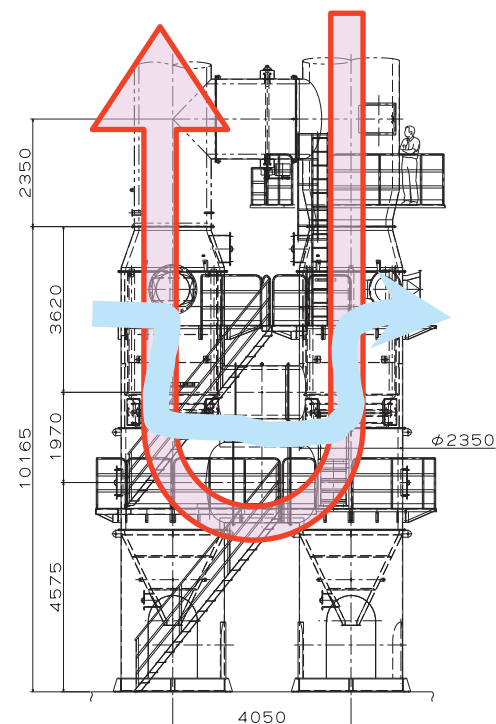


Fig7 Side view of the heat exchanger

下なる場合には、排気ガスをバイパスすることによって、熱の回収率を低下させる。

予備乾燥装置の側面図を図7に示す。放熱側の排気ガスと受熱側の排気ガスが向かい合って熱交換する向流方式である。2基を直列に接続することによって高さを抑え、排気ガスの経路を考慮した形状となっている。多管式の熱交換器であり、そのチューブの中に放熱側の排気ガスを流し、その外側に受熱側のオフガス燃焼用空気を流す構造となっている。図8に熱交換器内部の多管の写真を示す。排気ガス中には土壌微粒子を多く含んでいるため、土壌微粒子が堆積しないように多管式の内部に排気ガスを通す構造としている。また放熱側に比較して受熱側の風量は少ないが、風速を上げて熱伝達率を高めるために、内部に邪魔板を設けて受熱側のガスがチューブの外側に高い風速で接触するような構造としている。

図9は、熱交換器の面積と燃費の改善効果を試算した結果である。熱交換面積が大きくなるにつれて、予熱空気温度が高くなり、燃費が改善する傾向が図から読み取れる。また放熱側の排気ガス温度は、熱交換面積が大きくなるほど熱回収が増加するために低下していることが分かる。

燃焼用空気の予熱温度は高めれば高いほど省エネルギー効果は得られるが、熱交換面積が大きくなるにつれて放熱側と受熱側ガス温度差が無くなり、単位面積当たりの熱交換能力が低下するためにその効果が低下していることが分かる。また排気ガスの熱交換出口温度については、ダイオキシンの再合成を防ぐために400℃以上を維持する必要がある。



Fig8 inside of the heat exchanger

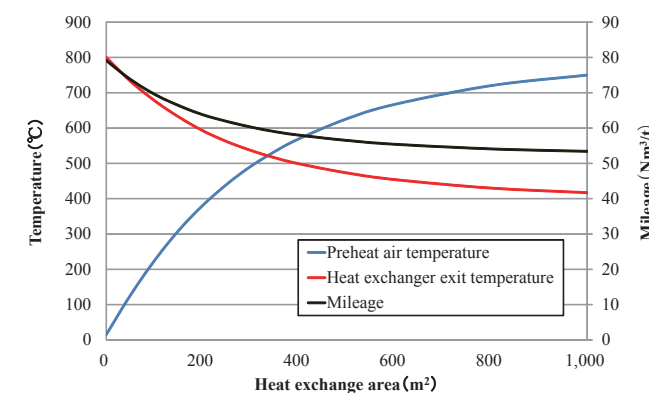


Fig9 Effect of the heat exchange area to give on gas temperature and mileage

### 4. 実運用上での効果検証

本システムを実際の土壌浄化処理に導入し、省エネルギー性能の評価を行なった。土壌の処理量能力約20t/h、土壌の含水比約20%の条件における運用での評価である。以下に予備乾燥装置と熱交換器の省エネルギー効果についてまとめる。

#### 4.1 予備乾燥装置の省エネルギー効果

予備乾燥装置の運転データを図10に示す。2次燃焼室での排気ガス処理温度は820℃であり、土壌予備乾燥装置の排熱回収後には600℃になっている。この排気ガスの温度変化が本装置で熱回収されたことになる。また、図には、処理量と省エネルギー効果を示しており、定格能力の25t/hに対して若干少ない運転であるが、目標値の19%に近い省エネルギー効果を達成出来ていることが確認出来る。総括熱伝達係数は、 $46\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ を設計の基準目標値としていたが、ほぼ想定していた結果が得られていることが分かる。ここでの総括熱伝達係数は、キルン内部の土壌と伝熱面が接している部分における熱交換面積ではなく、キルン内筒全体の面積で評価を行っている。土壌の加熱には、キルン内筒から土壌へ伝わる熱伝導以外に、高温になった土壌と接触していないキルン内筒からの熱輻射や、内筒内部を通過する蒸発ガスによる対流によっても熱交換が行われるためである。この総括熱伝達係数は、キルンを設計する上で熱交換面積を決定する重要な値であり、土壌の状態やキルン内部の材料の滞留状態に大きく影響を受ける。

図11にキルン内部の土壌の投入側からの熱画像を示す。材料の滞留割合は約20%程度であり、炉壁の温度は、高い部分で300℃程度であることが分かる。キルンの回転数は $2.2\text{min}^{-1}$ であるが、長手方向については炉壁の温度分布の変化が確認できるが、円周方向に大きな変化がないことが読み取れる。設計時点において円周方向に大きな温度差があると、内筒が熱膨張の差によって湾曲し構造に対して悪影響を及ぼすことを懸念し大きな変化が出ないことを試算して確認し

ていたが、予想通りの結果となった。内筒のSUS板の厚みが25mmあるため、熱容量が充分に大きいことが要因である。また、内部に滞留している土壌は、リフターによって材料が掻き上げられており、土壌を攪拌することにより熱伝導を高めていることが予想出来る。さらに、蒸発ガスとの対流熱伝達を促進していることも考えられる。

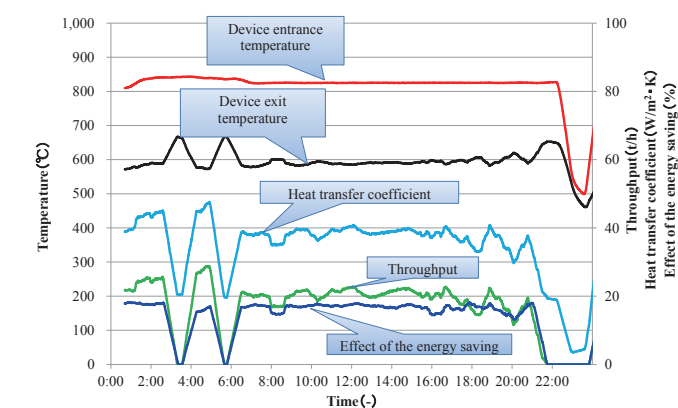


Fig10 Operative data of the pre-drying device

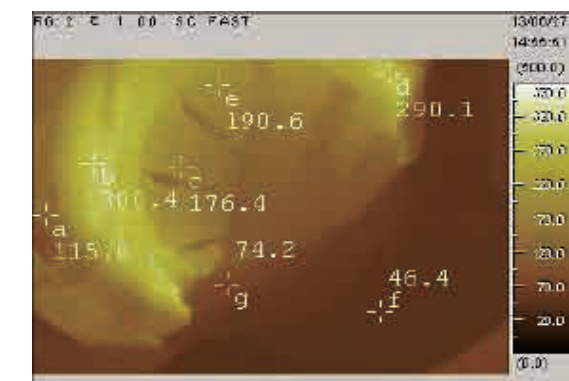


Fig11 Thermography of the pre-drying device

#### 4.2 熱交換器の省エネルギー効果

熱交換器の運転データを図12に示す。熱交換器の入口温度は590℃であり、熱交換器の出口で約460℃になっている。この排気ガスの温度変化が本装置で熱回収されたことになる。熱交換器での回収した後に400℃以上に維持しており、ダイオキシンのデノ再合成温度以上に維持出来ていることが読み取れる。

また図には、処理量と省エネルギー効果を示しており、定格能力に対して少ない運転であるが、目標値の21%の省エネルギー効果に比較して14%程度の結果に留まっていることが確認出来る。また総括熱伝達係数は、 $33\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ を基準目標値としていたが、平均でみると $29\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 程度であることが読み取れる。これは受熱側の予熱空気の風量が少なく、その対策として熱交換器の内部にバッフルプレートを設けて、風速を高めて境界層が薄くなるような構造としていたが、その効果が不十分であったことが要因として考えられる。



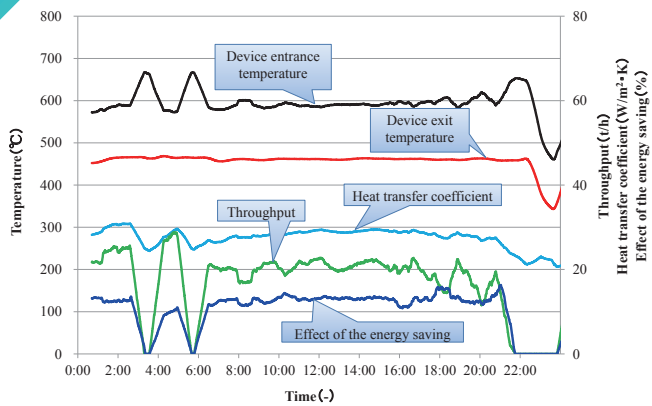


Fig12 Operative data of the heat exchanger

5. 省エネルギーと処理能力の関係

土壌浄化処理プラントにおいては、処理能力を制限する要素として排気ガスの処理量が第一に挙げられる。2次燃焼炉においては、800℃で2秒以上の滞留時間が必要になり、冷却塔においては排気ガスの冷却時間として4秒間必要になる。処理土壌の含水比が上昇すれば、土壌を加熱するためのバーナー燃焼量が増加し排気ガス量が増加し、また土壌から蒸発する水蒸気も多くなる。このような影響で土壌の含水比が増加すれば、土壌浄化処理プラントの処理能力は制限を受ける。図13に土壌含水比が及ぼす処理能力と燃料原単位への影響を示す。図から土壌の含水比が上昇すると、処理能力が低下することが読み取れる。また燃料原単位も処理能力に大きく影響を受けて変化し、上記したように含水比が低下すれば燃料原単位が低下する。

省エネルギーシステムとして予備乾燥装置や熱交換器を設けると、土壌を加熱するバーナーの燃焼量が低下するため排気ガス量が減少し、同じサイズのシステムで省エネルギー機器の有無の比較と行くと、機器を設けた方が処理能力を高めることが出来る。省エネルギーシステムを導入することで、環境負荷を低減するだけでなく装置全体を小型化することができ、装置のコストを低下することが可能となる。

6. 結言

熱処理による土壌浄化システムは、浄化能力に確実性がある反面、エネルギーの消費原単位が大きく、環境への負荷が大きいという短所がある。その特徴を改善する方法として800℃の排気ガスから熱回収を行い土壌を加熱する前に間接加熱乾燥装置で予備乾燥を行う方法と、熱交換器を設けて燃焼用空気の前熱を行う方法によって省エネルギー化を図ったシステムの開発を行なった。その結果、今回のシステムで明らかになったことを以下に列挙する。

- 1) 熱処理による油汚染土壌浄化装置のエネルギー収支を試算し、各プロセスのエネルギー消費率を整理し、燃費改善に必要な部分を明確にした。
- 2) 省エネルギー化を図る方法を検討し、予備乾燥装置によって土壌の前熱と熱交換器によってバーナーに予熱空気で熱回収する方法を実機ベースで開発した。
- 3) 省エネルギー型土壌浄化装置を実機として開発し、その省エネルギー効果の検証を行った。
- 4) 実汚染土壌の浄化において土壌予備乾燥装置と熱交換器の総括熱伝達係数を確認した。

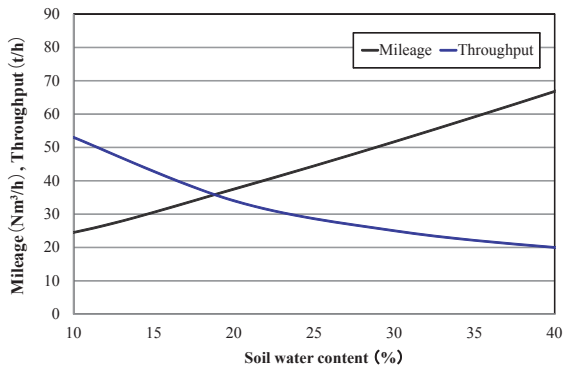


Fig13 Effect of soil water content to give on mileage and throughput

筆者紹介



神尾 昌宏  
KAMIO MASAHIRO  
1998年入社  
博士(工学)  
事業本部  
エンジニアリング営業 EG課



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

MEMO

Grid area for notes.

参考文献 REFERENCES

- 1) 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、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、(2006)、pp.1~21.
- 2) 広末英晴、篠原久、“回転乾燥機(冷却機)内の伝熱容量係数”, 化学工学論文集, Vol. 1, No. 5(1975), pp. 445-449.
- 3) 広末英晴、篠原久, “回転乾燥機横断面内における粉体の挙動”, 化学工学, Vol. 37, No. 1(1973), pp. 57-63.  
広末英晴, 秋丸博敏, 篠原久, “回転乾燥機(冷却機)内の圧力損失”, 化学工学論文集, Vol. 1, No. 4(1975), pp. 375-380.
- 4) 倉前正志, 田中達夫, “回転乾燥装置における熱容量係数の解析”, 化学工学論文集, Vol. 1, No. 6(1975), pp. 583-588.
- 5) 篠原久, 広末英晴, 嵩鎮雄, 明木精治, 長田島一, “回転乾燥機内の保有率”, 化学工学, Vol. 31, No. 5(1967), pp. 476-484.
- 6) 橋本久義, 須藤孝一, 井上千弘, 千田信, “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(2006), pp. 131-138.
- 7) 蓬萊秀人, 神尾昌宏, 亀井健史, “加熱による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