

低温加熱による油含有土壌の 浄化技術開発と事業化計画

鈴木茂¹・林寛²・福川光男³・岩下幸生⁴・木下洋一⁵・佐伯勇⁶・和氣敏夫⁷

¹ 鹿島建設(株) 環境本部 土壌・生産環境グループ(〒163-1029 東京都新宿区西新宿 3-7-1)

² 工博 鹿島建設(株) 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

³ 鹿島道路(株) 生産事業本部 (〒112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27)

⁴ 正会員 鹿島道路(株) 生産事業本部 (〒112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27)

⁵ 鹿島道路(株) 生産事業本部 (〒112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27)

⁶(株)エムコ (〒107-0051 東京都港区赤坂 1-7-10)

⁷(株)エムコ (〒107-0051 東京都港区赤坂 1-7-10)

油含有土壌の低温加熱浄化技術は、基礎技術の検証から始まりシステム設計の改善を経て、定置式浄化事業の実用的な事業化計画から、操業運転に至るまでの経過を経て確立された。アスファルト合材プラントを原型として、浄化技術開発に着手し、油含有土壌の浄化専用技術の開発から事業化に至るテクノロジーイノベーションの経緯について報告する。

キーワード：低温加熱，油含有土壌，定置式浄化事業所，浄化専用システム，乾燥ドラム，改善，パラレルフロー方式，全石油系炭化水素，赤外分光法，油膜，油臭

1. はじめに

本書は、油含有土壌の低温加熱浄化処理の技術開発から、定置式浄化事業所の創業・事業展開に至るまでの事業化計画について述べるものである。

試作装置を用いての浄化性状の把握・浄化特性の検証・浄化システムの改善・事業化様式の選定・事業計画の立案・事業所建設・操業運転に至るまでの7つのステップから成る「低温加熱技術開発・事業化プログラム」への取り組みについて報告する。



写真-1 定置式浄化施設全景

2. 低温加熱浄化の基本技術

油含有土壌の低温加熱浄化技術は、アスファルト合材製造プロセスの低温加熱技術を基本として、

試作装置による浄化性状とシステムの検証を行い、得られた知見に基づいて、油含有土壌浄化専用システムとして処理技術を確立した。

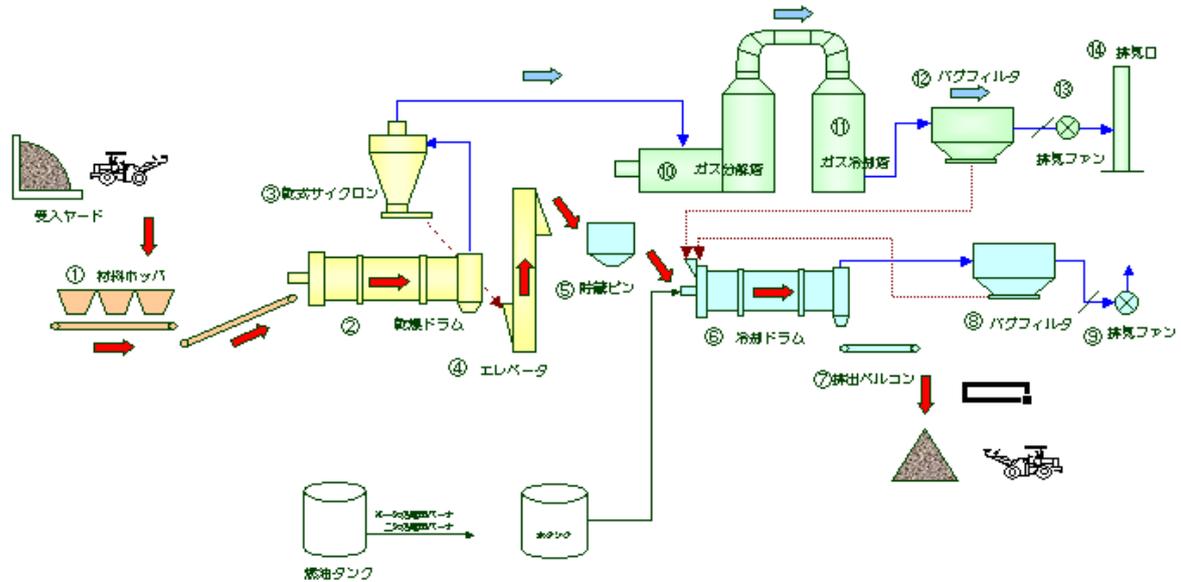


図-1 低温加熱浄化システムの基本システムフロー図

技術開発によって確立された低温加熱処理技術は、図-1の基本システムフローに示すように、油含有土壌を乾燥ドラム（ロータリーキルン）に投入して200 から300 に加熱することにより、揮発性の油成分を土粒子から分離するもので、浄化土壌は埋め戻し用土壌等として再利用が可能である。土粒子から分離された排ガス中の油分は、ガス分解塔にて熱分解されて除塵後大気放散される。

油含有土壌から油分を揮発・分離させる乾燥ドラム内部の最適な土壌温度の設定に当たっては、試作装置を用いて土壌温度を150 から350 まで50 づつ温度を変えて浄化実験を行った。200～250 前後では灯油・軽油等の軽質油が揮発・分離し、250～300 前後では、機械油や重油類の揮発・分離に最適な温度帯であることが検証できた。

土壌温度が200 以下であれば、油分の分離効率が悪く、また300 以上の温度に加熱すれば、土粒子の性状が、本来の土の性状から変質して焼成材料のような性状を呈してくることが分かった。このような検証結果から、土壌の加熱温度を設定して、土壌としての基本性状を変えることなく、油分を分離・分解することによって、土壌を浄化してリサイクル利用が可能な技術として確立した。

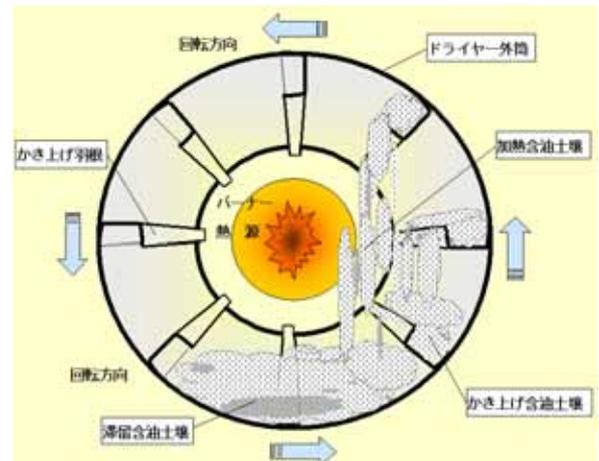


図-2 乾燥ドラム内部回転状況図

乾燥ドラムの構造は、単一ドラム内で直接的に熱交換が可能ないように、「直接加熱方式」を採用した。土壌と火炎が直接接触することを避けるためには、二重ドラム式の「間接加熱方式」があるが、経済性の観点から、「直接加熱方式」を採用し、ドラム内では、放射する火炎の位置に、土壌が直接接触しないように配慮が成されている。

乾燥ドラム内の、油含有土壌の投入方向と加熱用火炎放射の方向については、乾燥ドラムの両端部から各々向かい合って交差するように投入・放射

する「カウンターフロー方式」と、両者が同一方向からとした「パラレルフロー方式」の二つの方式があるが、より長く土壌と火炎が熱交換できるように、火炎と土壌の移動方向が同じ方向である「パラレルフロー方式」を採用した。

セメント製造用のロータリーキリンの回転数は、概ね 3 回 / 分であるのに対して、当該乾燥ドラムの回転数は、10 回 / 分の回転数を設定した。

これは、浄化土壌をリサイクル利用するにあたり、ドラム回転数が小さいと局部的に火炎によって高温焼成されて、土粒子性状が変質する可能性が高くなることが懸念されたため、均等に熱交換されるように回転数を大きく設定している。

このような知見から、直接加熱方式の乾燥ドラムで、パラレルフロー方式の加熱様式を採用し、土壌温度 200 ~ 300 の低温加熱浄化技術が確立された。

乾燥ドラムによる低温加熱処理技術の浄化特性は、含有物質である油類の種類と土質性状と含水量等のパラメーターの組み合わせに応じて著しく異なることから、実際の油含有土壌の性状に応じた浄化処理条件の設定手法が事業技術上のノウハウになる。

3. 技術開発と事業化プログラム

低温加熱浄化技術の開発から事業化までは、図-3の「低温加熱技術開発・事業化プログラムフロー」に示す 7 つのステップから構成される事業プログラムによって計画・遂行された。

当該プログラムは、ステップ 1~3 までの浄化性状等の基本技術特性の検証、プロセス設計計画等の「浄化技術開発段階」と、ステップ 4~5 の事業形式の検討、事業場所の選定等の「浄化事業計画段階」と、ステップ 6~7 の「浄化事業実施段階」の 3 段階のサブプログラムから成り、技術開発から事業化までの全体プログラムとして編成された。

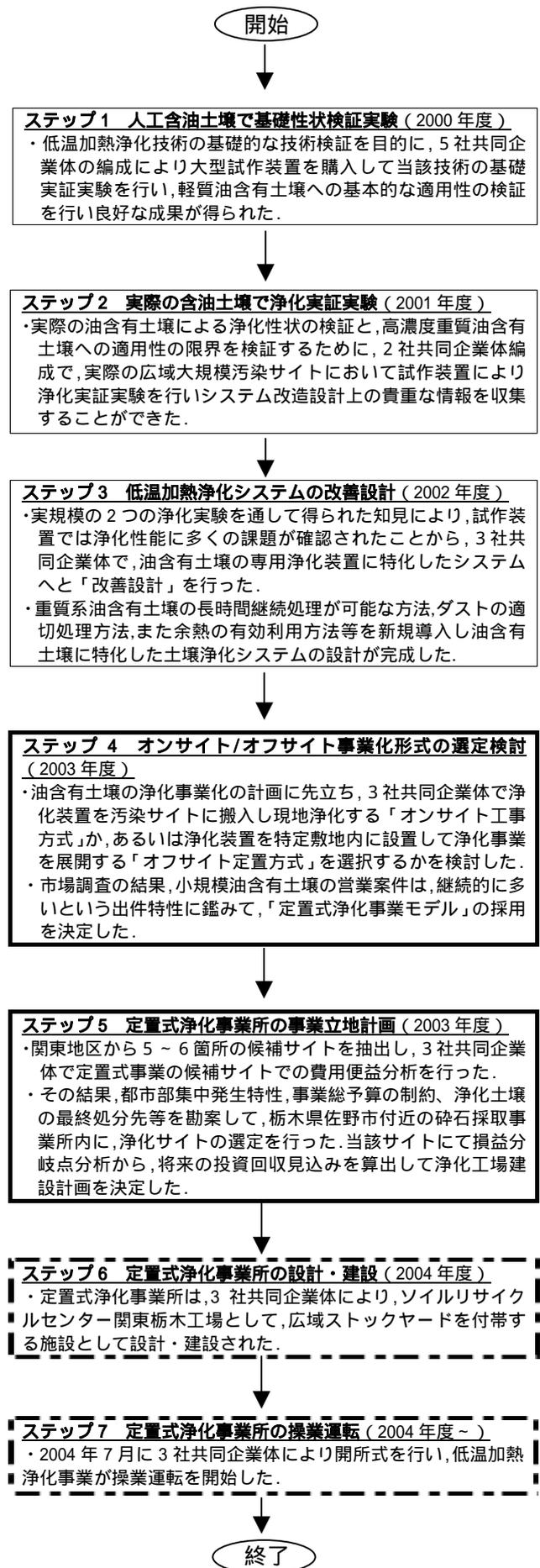


図-3 低温加熱技術開発・事業化プログラムフロー図

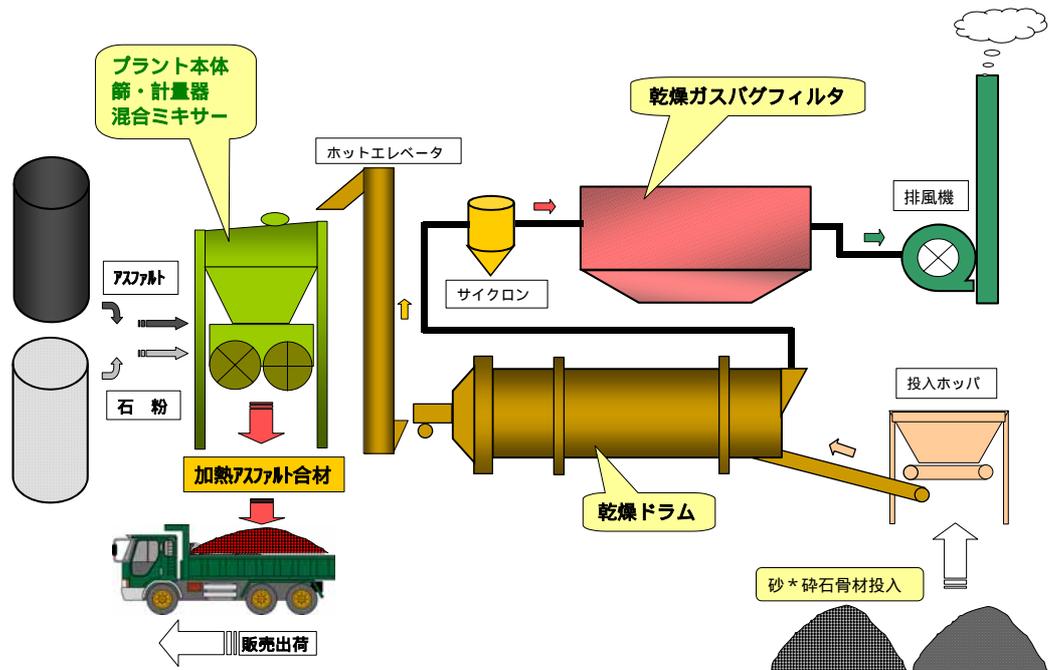


図-5 合材プラントシステムフロー図 (浄化技術モデル1)

4. 浄化技術開発

油含有土壌の低温加熱浄化技術は，図-4 に示すように，アスファルト合材の低温加熱処理プラントの浄化技術モデル1のプロセスフローを基本として，浄化技術モデル2の試作装置によって実証検証された知見を得て，システム改善を通して，浄化技術モデル3の浄化装置の開発に至った。

(1) 浄化技術モデル1 (合材装置)

アスファルト舗装に用いる合材プラントのシステムフローを図-5 に示す。アスファルト合材プラントのシステムフローの特徴は，次のような点である。

- 骨材(碎石・砂)の定量切り出し，乾燥ドラムによる加熱乾燥
- 加熱骨材(碎石・砂)，加熱アスファルトのストック・計量・供給
- 混合装置(ミキサー)及びアスファルト合材の製品貯蔵・積込み
- 排気ガスダスト集塵・ダスト還元再利用

(2) 浄化技術モデル2 (試作装置)

合材プラントに脱臭炉(ガス分解塔)を搭載して乾

浄化技術モデル1

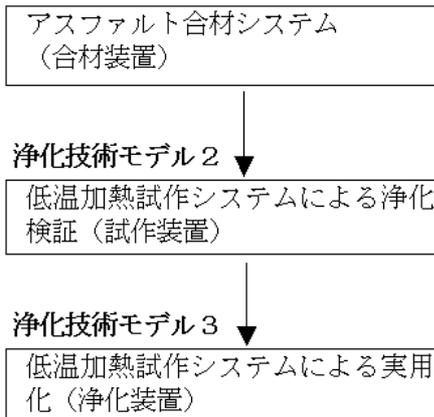


図-4 浄化技術改善モデルフロー図

燥ガス中の炭化水素を酸化分解するプロセスを付加することによって，低温加熱浄化試作プロセスとした。図-6 に，試作装置のシステムフローを示す。浄化技術モデル1からモデル2への改造点は次のような点である。

- 骨材ストック・混合装置・アスファルト供給装置を省く
- ガス分解塔を搭載し，揮散油分ガスを熱分解する加水装置を搭載し，絶乾状態の浄化土に加水し含水比調整する

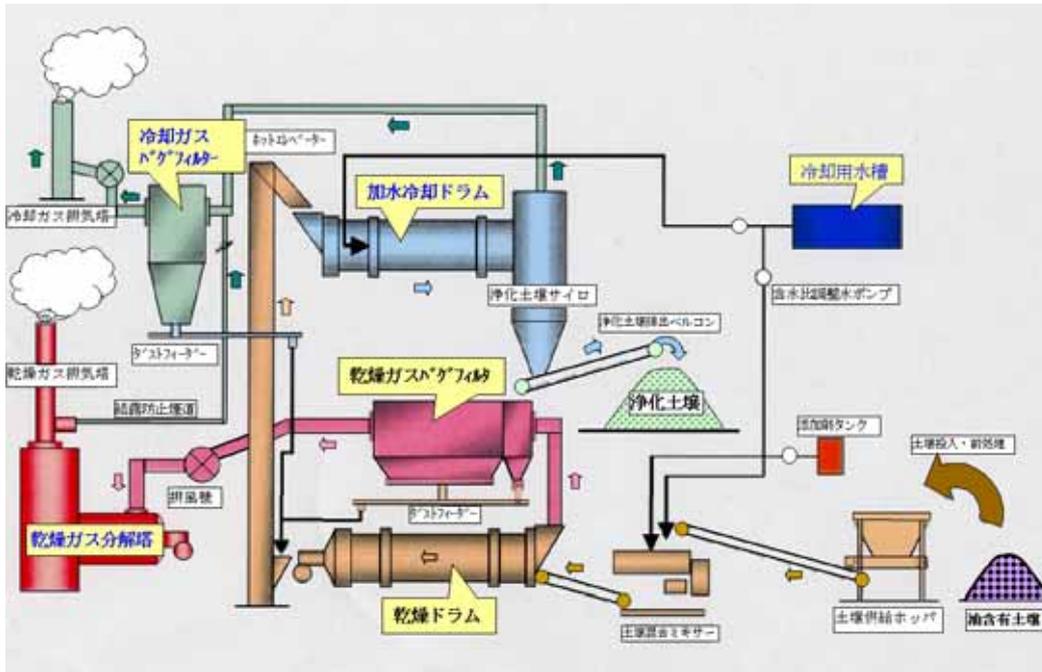


図-6 試作装置システムフロー図 (浄化技術モデル2)

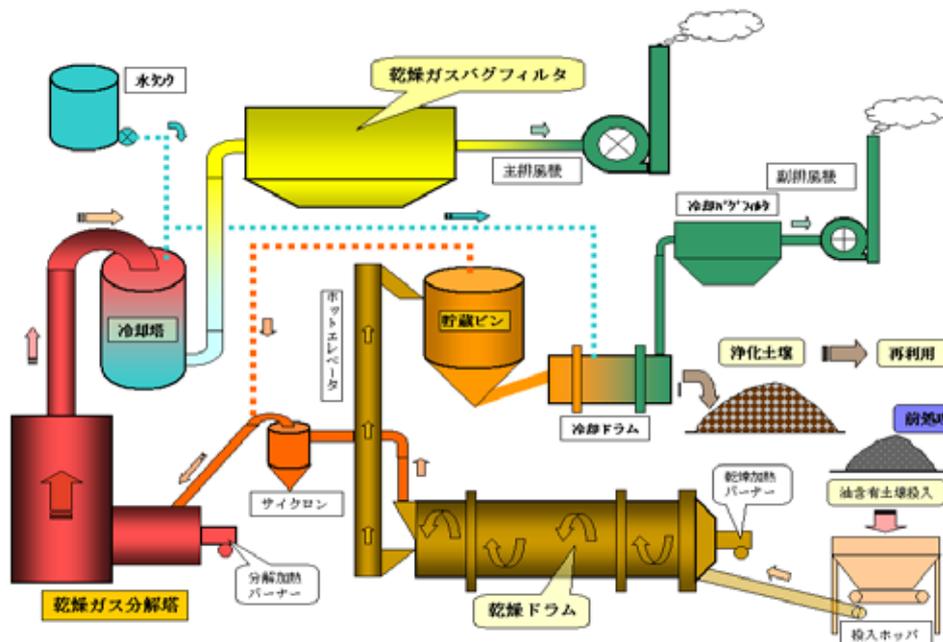


図-7 浄化プラントシステムフロー図 (浄化技術モデル3)

(3) 浄化技術モデル3 (浄化装置)

試作装置を用いて実際の油含有土壌の浄化実験を行った結果、油含有土壌の専用浄化システムとしての欠点が多く実証検証された。これらの知見を元に、継続的に浄化が可能なシステムを設計した。図-7に改善モデルのシステムフローを示す。浄化技術モデル2からモデル3への改造点は次のような点である。

乾燥ドラムの土壌投入と火炎放射の方向を、カウンターフロー方式からパラレルフロー方式に変更した。

乾燥ガス処理のプロセス設計を変更し、ガス分解塔の後ろにガス冷却塔を設けて、その後ろに集塵バグフィルターを配置した。

浄化土壌貯蔵ビンを設け、余熱の有効利用を図った。

(4) 浄化モデルの改善プロセス

実証実験の結果に基づき、3段階のプロセスフローの改善を通して、油含有土壌の浄化技術は、専用技術へと特化して確立した。

システムフローの変遷で、当初の合材装置から最終の浄化装置まで適用された装置は、材料投入ホッパ、乾燥ドラムの火炎バーナー、集塵装置だけであり、他の装置は全て新規装置の投入となった。

土壌処理装置としては、冷却ドラムの搭載と、乾燥ドラムのパラレル方式への変更が挙げられる。乾燥ガスの処理装置としては、乾式サイクロン、ガス分解塔、ガス冷却塔、バグフィルターの設置等のプロセスが改善された。

このように、合材装置から試作装置を経て浄化装置は、油含有土壌の浄化専用装置として浄化システムが確立した。

5. 浄化事業計画

(1) 定置式浄化事業所の事業化計画

栃木県内の採石場の敷地内に定置式浄化事業所を設置する計画とし、次のような条件設定によって事業化計画の検討を行った。

需要動向を把握するための市場調査を行い、想定需要量を20,000 t /年と設定した。

浄化装置の設計処理能力の設定は、想定需要量の2倍を見込んで、20 t / hの設計浄化能力を持つ装置として設計した。

事業予算は、建設総予算と単年度毎の操業予算（固定費と変動費）を積算した。

浄化施設の減価償却年数の妥当性は、広義な損益分岐点分析を行い、2006年3月からの減損会計施行に伴い、財務上の健全性を確保できるように配慮して、設計需要量をもって達成可能なことを検証した。

2010年までの6年間の単年度毎の収益性（受注見込み額、必要費用、予想利益額等）を事業化計画で策定した。

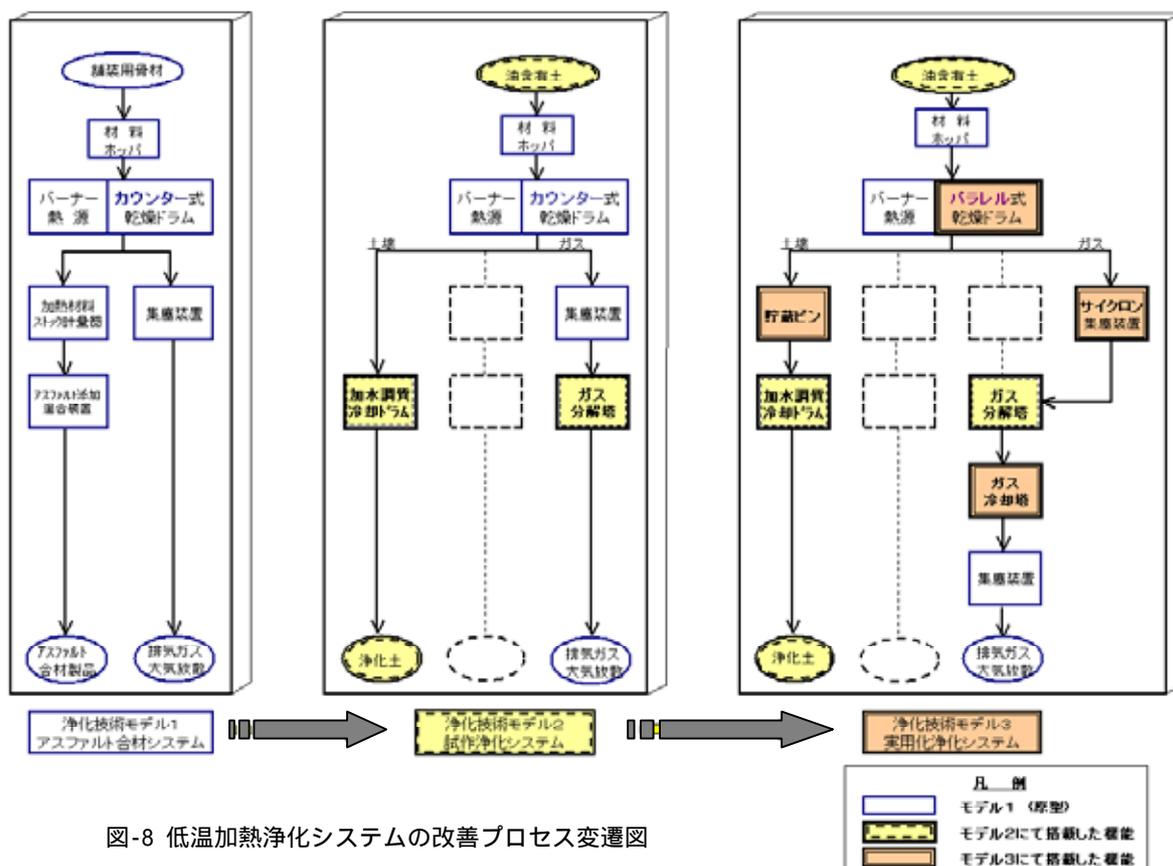


図-8 低温加熱浄化システムの改善プロセス変遷図



写真-2 主要装置全景



写真-3 浄化土壌の埋め立て用採石場全景

(2) 浄化事業所の諸元設定

これらの事業化計画の枠組みに基づき、定置式浄化事業所を次のように設定した。

- 名称：ソイルリサイクルセンター
 関東栃木工場
- 場所：栃木県佐野市菰川町 603-1
- 内容：定置式の低温加熱処理専用施設による油含有土壌の浄化処理事業
- 対象物質：燃料油等（ガソリン，灯油，軽油，重油）を含む土壌，ベンゼン，切削油など低温加熱で分離できる油分を含む土壌
- 仮置能力：2000～3000 m³
- 浄化能力：10～30 t_油/h
- 浄化土壌埋立容量：100 万 m³以上

6. 浄化事業実施

低温加熱浄化技術を利用した定置式浄化事業所の建設竣工時のプラント全景を写真-2 に示す。操業運転を開始してから、約3年の時間が経過して浄化事業は、順調に進捗している。浄化土壌は写真-3 に示す採石場の跡地に良質土として埋め立てられている。

当該事業所における浄化事業の品質管理、浄化実績等について以下に示す。

(1) 浄化土壌の品質管理手法

定置式浄化事業所の油含有土壌は、次の様な受け入れ条件で、浄化品質の保証体制を設けている。

a) 油含有土壌受け入れ基準

- 油分・ベンゼン以外の特定有害物質を含まない
- 廃棄物処理法に基づく産業廃棄物でないこと
- 油分の含有量が5%未満であること
- 土壤汚染対策法における「指定区域」以外の土壌であること
- 県条例に基づく土砂搬入規制と手続を行う

b) 処理基準・処理要領

- 前処理として異物の篩い分け、含水比の高い土壌は水分調整を行う
- 土質・油種・油量により土壌の加熱温度を200～300の間で調整する
- 処理後100 m³毎に浄化の確認を行う（油臭・油膜の無いこと）
- 油臭：官能検査 油膜：水浸、目視
- 浄化基準：1000ppm 以下
- 油分量を自社計測するが、必要に応じ、第三者試験証明を発行する

c) 油分分析方法

- 抽出方法 振とう攪拌抽出法
- 溶媒 H997フロン系
- 分析方法 赤外分光（IR）法

(2) 浄化性状実績

油含有土壌と浄化後の土壌の油分含有量の分析結果を図-9 に示す。一般的な浄化傾向としては乾燥し

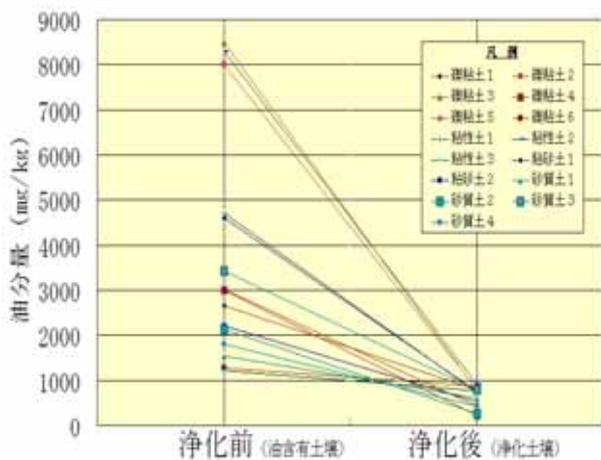


図-9 浄化効果実験結果（濃度 土質）

た砂質土では最もエネルギー効率がが高く、含水量が高い粘性土の場合には、最もエネルギー効率が低い。また、重質系の油分があれば、浄化効率は低く、軽質系の油分に対しては、浄化効果は高い傾向にある。当該定置式事業所の浄化実績では、全石油系炭化水素 TPH の分析結果で、1000 mg / kg を下回る浄化結果が得られている。

（3）浄化処理数量実績

a) 定置式事業所での浄化実績

平成 16 年 7 月の操業開始以来、図-10 に示すように、平成 19 年 3 月までの 2 年半に、受注件数 34 件、約 6 万 7 千トンの浄化処理を行った。

7. 技術開発の将来展望

当該低温加熱システムは、油含有土壌を油（重油）を燃料として土壌浄化するシステムであり、環境配慮上改良すべき課題がここにある。すなわち現状の浄化装置は、燃料を燃やすことによってCO₂を発生させ、土壌から分離させた乾燥ガス中の油分を加熱して酸化分解することによって、更にCO₂を発生させることになり、二重に地球温暖化ガスを発生させるシステムであるということが言える。

このように、大量のCO₂を発生させる低温加熱システムの現状を踏まえて、循環型社会を目指

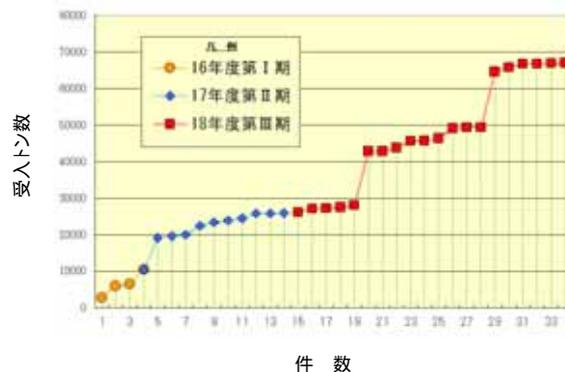


図-10 定置式浄化事業所の浄化実績(累計)

した環境配慮モデルのシステム設計が望まれる。

乾燥ドラムに送られる火炎の熱源として、現在用いられている重油燃料による火炎に加えて、廃タイヤチップや廃木材チップ等の循環資源を燃料とした熱供給源を搭載して、燃焼システムに循環型資源を加えることによって、浄化土壌の再利用が可能な環境配慮システムの設計手法を確立すべく、今後の研究開発が期待される。

環境配慮型低温加熱浄化システムフローの設計に当たっては、循環資源の燃焼効率が不安定で、火炎のエネルギー量にバラツキが生じることが予見されるので、均一な熱エネルギー供給のコントロールシステムの考案が必須要件である。

8. おわりに

油含有土壌の低温加熱浄化技術の技術開発から事業化に至るまでの経緯と今後の展望について述べた。我が国では前例の無い油含有土壌の低温加熱浄化技術の開発と事業化への取り組みであったために、基礎研究に着手してから通算7年間に渡り、その間に大きな社会経済市場動向の変遷を受けながらも、技術の改善を積み重ねて、着実な知識の集積を通して当該技術の実用化に至った。

これまでにご支援を頂いた多くの企業と関係者各位には、今後も共に研鑽を積む良きパートナーとしてご指導を頂くことを祈念し、この場をお借りして厚く感謝を申し上げます。