

RF燃料 (Reclaiming Fuel) 技術について



リマテックR&D株式会社
事業開発部部长 河本 一誠

RF燃料は、液状廃棄物と固形状廃棄物を配合・混練することで均一なスラリー状としたセメント焼成用補助燃料である。これらのお互いに馴染みにくい成分を均一化し、安定なスラリー燃料とするため、弊社は独自の混練技術を有している。本稿では混練技術の具体的な内容として、“乳化”と“チキソトロピー性付与”について詳細を紹介するほか、化学プラントの一種であるRF燃料製造設備の安全対策の基本思想や技術内容についても記述する。

1. RF燃料とは

1960年代以降、高度経済成長期にあった我が国は大きな発展を遂げた一方、公害等による環境汚染が社会問題となってきました。1970年代には廃油や廃液による海洋汚染が特に深刻な問題となっており、これらの海洋汚染源を処理することを目的として近畿環境興産株式会社（現在のリマテック株式会社の前身）が1974年に設立され、収集運搬を中心に事業を開始しました。

その後、当社は一般的には焼却処理されてきた多くの産業廃棄物を有効利用できる処理法の確立を目指して日々研究を重ねてまいりました。その結果、「可逆的チキソトロピー性を有するセメント焼成用補助燃料組成物（特許第3039644号）」として特許を取得するに至りました。

さらに1983年には大阪府内に日本で初めての廃油・油泥のリサイクル工場を完成させ、セメント会社向けのスラリー燃料（RF燃料：Reclaiming Fuel）の製造及び



RF燃料の様子

供給を開始致しました。

RF燃料は、液状産業廃棄物（廃油、廃酸、廃アルカリ、動植物性残渣等）と、固形状産業廃棄物（廃白土、EP灰、無機汚泥等）を配合・混練することで均一なスラリー状としたセメント焼成用補助燃料です。

原料は廃棄物であるものの、RF燃料自身は品質調整によってセメント会社の要求品質を満たした製品（燃料・原料）であり、

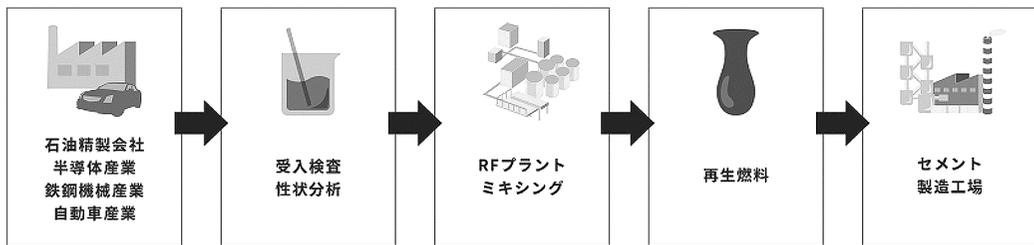


図1 RF燃料の製造フロー

焼却処理等と較べて以下のような特長を有しています。

- 1) 二次公害（大気汚染・水質汚染）のおそれがありません。
- 2) 埋立による最終処分が必要ありません。
- 3) 産業廃棄物の再生利用のため、省資源・省エネルギーを可能とします。
- 4) セメント会社のセメント製造における原価低減が計られます。
- 5) 数多くの種類の廃棄物が利用できます。
- 6) イニシャルコスト、ランニングコストが焼却処理に比べ安価です。

2. RF燃料の製法

RF燃料の製造フローを図1に示します。RF燃料の原料となる産業廃棄物は多様多様です。そのため、全ての受入廃棄物について受入検査と性状分析を行い、性状に問題ないことを確認した上で所定の受入設備に保管します。主な検査項目は次のようなものです。

- 1) マニフェスト照合：マニフェスト記載事項について、契約内容や計量結果と相違ないか確認します。
- 2) 発熱量測定：熱量計にて廃棄物の高位発熱量を測定します。
- 3) 塩素含有量：塩素計にて廃棄物の塩素含有量を測定します。
- 4) 引火点：引火点測定機にて廃棄物の

引火点を測定します。

- 5) pH：pH計にて廃棄物のpHを測定します。
- 6) 火災リスク：WDSやSDSにより、火災のリスクを著しく高める成分が含まれないことを確認します。
- 7) 毒性リスク：WDSやSDSにより、吸引等による毒性が著しく高い成分が含まれないことを確認します。

所定の受入設備に保管された廃棄物原料はその物性に依じて配合量を決定し、1次ミキサ、及び2次ミキサにて混練されます。このようにして製造されたRF燃料をセメント製造工場へ供給しています。

3. 技術的特徴

RF燃料の平均組成は、およそ油分50%、水分40%、固形分10%となっています。これらのお互いに馴染みにくい成分を均一化し、安定なスラリー燃料とするため、独自の混練技術により“乳化”と“チキソトロピー性付与”をしています。

(1) RF燃料における乳化

水と油のようにお互いに溶解しない2種の液体を混合して、分散化したものをエマルジョン（乳濁液）と呼び、エマルジョンを作ることを乳化といいます。エマルジョンは連続相液体中に分散相が微細液滴として分散した海-島構造となっています。エマルジョンを安定化するためには、分散す

る液滴をできるだけ小さくする必要があります。

下の写真に乳化したRF燃料の顕微鏡写真を示しました。黒い油相中に数十 μm 程度の白い微細水滴が分散した油中水滴(W/O)型のエマルションを形成している様子がわかります。

このような微細な液滴をつくるために、RF燃料製造プラントでは2段階にわたる混練工程を設けています。

また、エマルションを安定化させる別の方法として、界面活性剤(乳化剤)を混合する方法があります。水と油のように互いに溶解しない物質どうしの界面には界面自由エネルギーが存在しますが、エマルションのような微細液滴が分散した場合には界面面積が著しく大きくなるために熱力学的に不安定となり、再び分離しやすい状態となることがあります。この界面エネルギーを低下させる機能を持つ物質を界面活性剤と呼んでいます。洗剤などが代表的な界面活性剤ですが、廃棄物の中にも界面活性剤となり得るものがあり、これらをさらに配合することにより、安定で分離しにくいRF燃料を製造することができます。界面活性剤として使用可能な代表的な廃棄物と、界面活性機能に寄与すると考えられる成分は以下のようなものです。

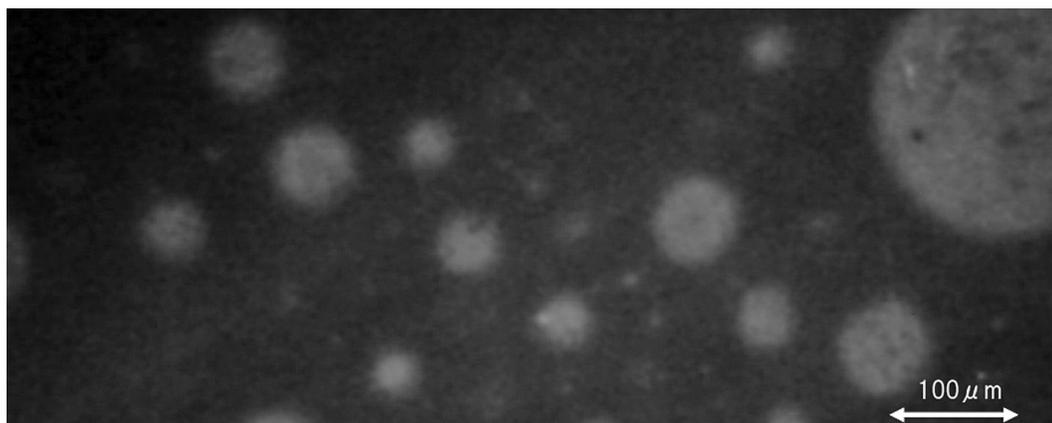
- 1) 油滓：脂肪酸、レシチン
- 2) 廃白土：脂肪酸
- 3) ダーク油：脂肪酸

(2) RF燃料におけるチキソトロピー性の付与

非常に細かい(およそ $1\mu\text{m}$ 以下の)微粉粒子が液体などに浮遊・懸濁した系を分散系と呼びます。このとき分散している粒子を分散質、粒子が分散している媒質を分散媒と言いますが、微細な分散質は重力による影響よりも粒子どうしの相互作用による影響の方が支配的となり、粘度など流体としての挙動が独特となります。こうした独特の挙動を示す流体を非ニュートン流体と呼び、非ニュートン流体には幾つかの種類があります。

RF燃料中にも非常に微細な固形粒子が懸濁しているために、適切な廃棄物を配合することによって非ニュートン流体の一種である“チキソトロピー性”を付与することができます。チキソトロピー性とは、分散系溶液に対して加えられる力の有無によってゾル(液状)とゲル(固形状)を入れ替えられる現象の事で、力が加わらない状態ではゲル状態となるために粘度が上昇して流動性を示しません。しかし、力が加わるとゾル状態となって粘度が低下して流動性を示すようになります。この性質のためにRF燃料を貯蔵タンクなどに静置保管した場合には粘度が上昇して成分分離しにくくなります。しかしこれをポンプなどによって力が加わると、粘度が低下して容易に送液できるようになります。

RF燃料におけるゲル状態は容易にゾル



RF燃料の顕微鏡写真

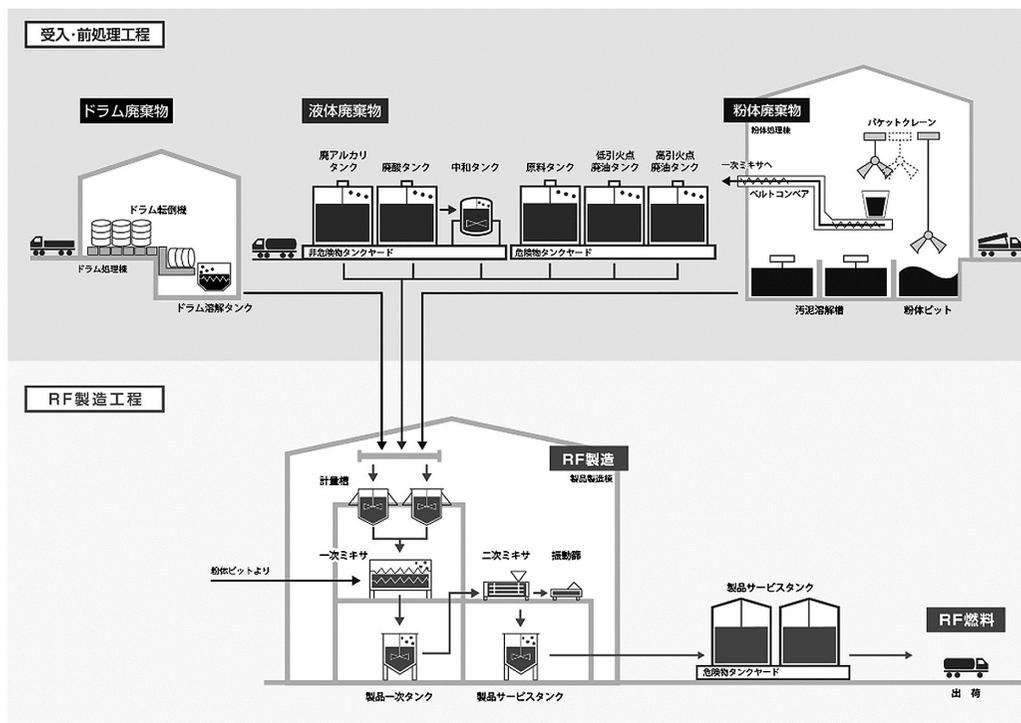


図2 リマテック九州のRF燃料製造プラント

と転移できることから、非常に強固な化学結合（共有結合）による生じる化学ゲルではなく、比較的弱い相互作用による物理ゲルであると考えられています。物理ゲルに寄与する主な相互作用としては、水素結合やイオン結合、配位結合などがあり、身近なチキソトロピー性を活用した事例としては、以下のようなものが挙げられます。

- ・トマトケチャップ：容器を逆さまにしても流動しにくいですが、容器を押さえて力を加えると流動する。
- ・ボールペン（インク）：先のボールが動くとき流動化してインクが出てくるが、ボールが動かないときは漏れてこない。

RF燃料にチキソトロピー性を付与するのに効果があると考えられている主な廃棄物は以下のようなものです。

- 1) 動植物性残渣
- 2) カーボンブラック
- 3) 粉末活性炭

4. RF燃料製造設備における安全管理

(1) 燃料製造設備における安全管理の考え方

1983年の大阪府でのRF製造設備初号機をはじめ、全てのRF製造設備は自社設計・製造してまいりました。そのため、プラントを改設する毎にそれまでの経験を踏まえた設備改善がなされてきました。

現在、最新のRF製造プラントはリマテック九州社のプラント（2014年建設）ですが、安全管理技術についてもこれまでのプラントの中で最高度となっています。

同プラントを建設するにあたっては、原料となる産業廃棄物は極めて多種多様な化学物質であり、これらを混合する設備は一種の化学プラントとして考えることとなりました。そのため、労働省労働基準局安全衛生部がまとめられた「化学プラントにかかるセーフティアセスメントに関する指針」（平成12年3月21日基発第149号）に準じてセーフティアセスメントを実施し

ました。

安全管理の主な観点として、特に以下の2点を考慮しました

- 1) 廃棄物は種々の物質が混在しているため、リスクが複合すること。
- 2) 廃棄物どうしを混合する事で化学反応し、新たなリスクを生じる恐れがあること。

(2) 廃棄物は種々の物質が混在することへの安全対策

廃棄物中には極めて多様な物質が混合されています。同一の排出事業者からの廃棄物であってもその成分や組成が大きく異なることは珍しくありません。そのため受入廃棄物のリスクを把握するため、上述(2. RF燃料の製法)したように受入時に種々の分析を行っています。また、最近では法的要求事項へ対応するために品質管理をさらに強化しています。たとえば、水俣条約による水銀の適正管理と、排出量削減を目指す社会動向を踏まえ、2018年4月に大気汚染防止法の一部が改正されました。リマテック九州社ではこれに対応すべく水銀測定装置を導入し、原料となる廃棄物中の水銀含有量を把握し、製品等の水銀濃度の管理体制を構築しています。

受け入れた廃棄物はその性状に応じて分別して貯蔵しています。特に火災の原因となり得る廃油類は危険物タンクヤードと呼ばれる専用の場所に設置したタンクに貯蔵されます。これらのタンク中の気相部分は窒素置換しており、万一静電気等による着火源が生じたとしても火災を予防する措置を講じています。

(3) 廃棄物どうしの化学反応が起こり得ることへの安全対策

廃棄物どうしの化学反応が生じた場合、主として以下の3つのリスクが問題となります。

- 1) 火災・爆発のリスク
- 2) 毒性物質のリスク
- 3) 設備不具合のリスク

たとえば酸性を示す物質が混合された場合、その物質自体の危険性が低くとも、化学反応によって設備素材である金属を腐食するとともに水素ガス等が発生し、火災・爆発などの恐れがあります。

これらのリスクに対応するため、以下のような指標について管理しています。

- a) pH：強酸性、もしくは強アルカリ性では多くの化学反応が進行します。そのためタンク内容液等のpHを監視しています。
- b) 反応熱：多くの化学反応では反応熱が生じ、液温が上昇します。そのためタンク液温を監視しています。また、万一の化学反応等が生じた場合にも、タンクの周りから冷却水を噴霧し、反応熱を除去して反応を停止する装置も備えています。
- c) 反応物質：化学反応等により有害なガス等が発生することがあり、建屋上部に水素検知器を備えるなど、ガス検知器装置を備えています。

このようにハードウェアや管理システムを改善した設備ではありますが、運用する社員の意識や習熟が重要であることも認識し、継続的に社員教育や防災訓練を実施しています。

5. おわりに

RF燃料は公害防止や省エネルギーに対応した製品として30年以上製造を続けてまいりました。

2016年にはパリ協定が発効し、温室効果ガス削減などの地球環境保全に向けた世界的な動きが加速しようとしています。RF燃料は産業廃棄物を石炭代替燃料として再資源化することから、CO₂削減など環境負荷低減にも貢献できます。

我々は今後もRF燃料製造技術を改善し、高度化する社会的要請に応え続けられるような技術・製品をご提供していきたいと考えています。