

# 鉄系スラッジの圧縮固形化技術\*

Optimum Compaction Technology of the Grinding Steel Sludge for Environment

上野 弘\*\* 瀬堂雅文\*\*\* 松田光馬†

Hiroshi UENO, Masafumi SEDO and Mitsuma MATSUDA

**Key words**

grinding steel, sludge, recycle, compaction, zero emission, resource creating system, global environmental protection, compression

## 1. はじめに

OECD 諸国に加え、猛烈な勢いで経済発展政策を推し進める中国、それに続くインド、ロシアによる生産活動がこのまま続けば、地球資源の限界、我々人類の生存できる環境限界がすぐそこまで来ていることは周知の事実と言える。

限りある資源の大量消費、原油の高騰、地球環境汚染に起因すると思われる異常気象、それによる自然災害は国家の枠組みを超えた議論を活性化させている。企業においても、多くの企業に環境部が設置され、ゼロエミッションおよびリサイクルへの取組みが加速し始めた。経済効果追求以上に次代を担う子どもたちのために、安全に暮らせる地球環境を残すことが真の目標となってきたと理解したい。

本解説では、今までリサイクルができず、埋立による環境汚染源のひとつであった金属研磨スラッジのリサイクル技術について、前光洋精工(株)の事例をもとに述べたい。

前光洋精工(株)では、製品の開発・製造・物流・販売の企業活動で発生する環境負荷を低減し循環型社会に貢献するため、環境管理責任者のもと環境専門部会を設置して、毎年、全社で投入した電力、ガス、燃料油などのエネルギー、水、鋼材などの原材料や化学物質など、また、排出側として廃棄物、排水、排気量などの環境負荷となる要因を把握し、改善活動に取り組んでいる。図1に2004年度の

使用量や排出量実績を示す。使用鋼材に対し、年間 10 000 t 近くの研磨スラッジを過去は埋立処分していたが、現在はマテリアルリサイクル化して有価物化を実現している。

## 2. 金属研磨スラッジリサイクル技術

近年、市中スクラップと呼ばれる各種製造工場から排出される鉄スクラップは、年間 3 000 万 t 以上が回収されリサイクルされており、その市場規模は、1 兆円を超える。いわゆるくず鉄と呼ばれた鉄スクラップで、重要な資源として製鋼メーカーに還流されている。

この鉄スクラップの中には、切粉あるいはドライ粉と呼ばれる旋削くずは含まれるが、金属研磨スラッジは含まれていない。その理由は、金属研磨スラッジは鉄の純度は高いが、水分、油分を多く含むことや、微細なため、酸化しやすく、その扱いにくさから難処理物とされ、産業廃棄物として埋立処分されることが多いからである。

最近では一部、圧縮成形後、製鋼メーカーで鉄源や緩衝材として炉に投入して利用される場合もあるが、その強度不足のため、粉塵として排出され、鉄としての歩留まりはほとんど確認されず、リサイクルされているとは言い難い。



\*原稿受付 平成 18 年 1 月 23 日  
 \*\* (株)ジェイテクト 研究開発センター 材料技術研究部 材料応用技術研究室 (大阪府柏原市国東条町 24-1)  
 \*\*\* (株)ジェイテクト 人事部 人材開発室 (大阪府中央区南船場 3-5-8)  
 † (株)ジェイテクト 安全衛生環境管理部 (愛知県刈谷市朝日町 1-1)

**上野弘**

1980 年大阪府立大学工学部応用科学科卒業。光洋精工(株)入社。軸受、ステアリング部品の開発に従事。2006 年 1 月 1 日より豊田工機(株)と合併発足した(株)ジェイテクト研究開発センターに勤務。

**瀬堂雅文**

1972 年防衛大学校機械工学科卒業。光洋精工(株)入社。工場工務部、安全衛生環境管理部に従事し、現在(株)ジェイテクト人事部に勤務。

**松田光馬**

1975 年入社。安全衛生環境管理部に勤務。

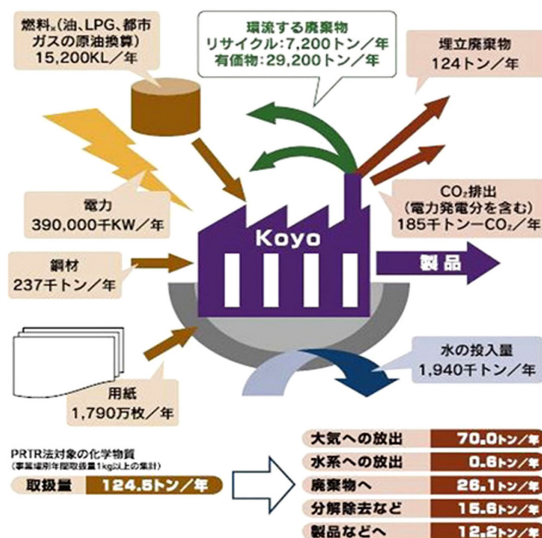


図1 物質フロー図 (2004 年度の実績)

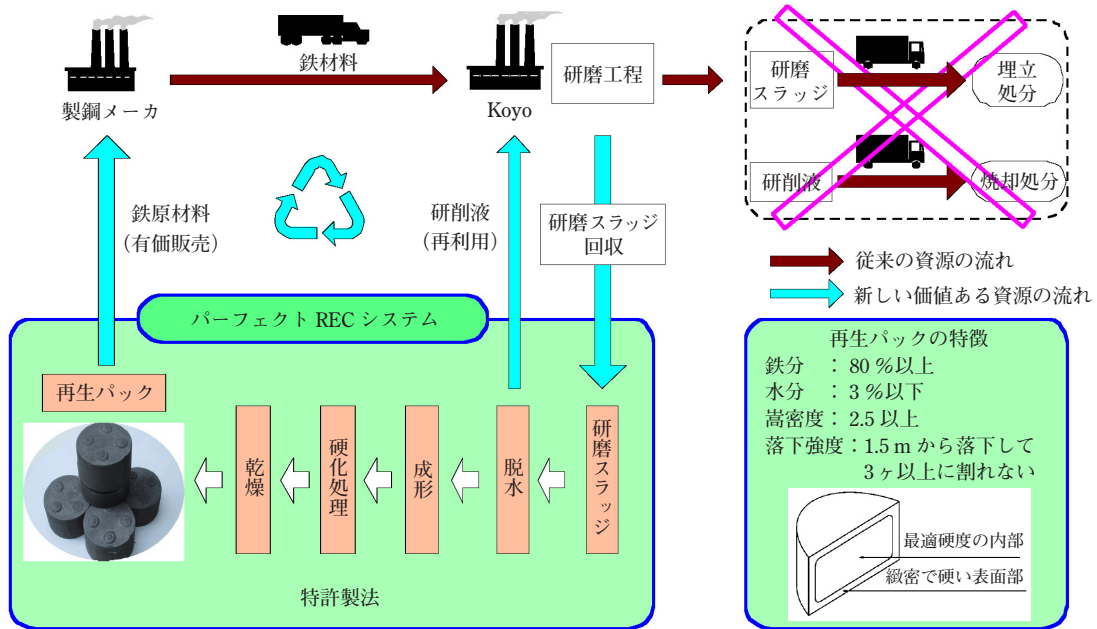


図2 パーフェクト REC システム

- ①地球環境保全 金属研磨スラッジの埋立処分のゼロ化でかけがえのない地球を綺麗に守る。
- ②省資源 金属研磨スラッジを金属の純度を下げることなくパーズン金属の製造工程に鉄源材料として直接再投入可能。
- ③取扱いの容易化 固形化された再生パックは、十分な輸送および電炉への投入強度を確保。
- ④新たな価値の創造 パーフェクト REC の応用による稀少金属スラッジなどの固形リサイクル化。
- ⑤コスト削減 産廃処理費のゼロ化と産廃物の有価商品化。



図4 自動一体型再生パック製造装置 USS-015

図3 パーフェクト REC システムの特徴

図2に「パーフェクト REC システム」と呼ぶ弊社の金属研磨スラッジリサイクルシステムの概要を示す。

弊社のパーフェクト REC システムは、この金属研磨スラッジを金属の純度を下げることなく圧縮成形し、さらに画期的硬化技術により、金属研磨スラッジの固形化に成功している。その再生パックと呼ぶ固形化物はトラック輸送および鉄鋼メーカーでの電炉への投入に耐える強度を確保しただけでなく、スクラップ並の歩留まりが確保できるため、有価物として鉄鋼メーカーに還流され、鉄鋼メーカーの鉄源材料としてそのまま製造工程に投入され、従来は廃棄されていた金属材料がもとの品質で蘇る完全リサイクルシステムを完成させた。

本システムは、土壌汚染原因となる金属研磨スラッジの埋立処分ゼロ化を実現し、かつ、それにかかる産業廃棄物

処理費用のゼロ化、そして、逆に産業廃棄物を有価商品化し、鉄源材料として販売できるシステムを構築。地球環境保全に大いに貢献すると共に、商品としての経済価値も生み出した。再生パックは、2002年1月より鉄鋼メーカーへの販売を開始し、現在このシステムは、国内軸受生産5工場とステアリング生産2工場の全工場稼働している。

また同時に、今までは金属研磨スラッジとの分離が難しく焼却処分されていた研削油も捨てることなく再利用できるようになった。

図3にパーフェクト REC システムの特徴をまとめて示す。内容物は高品質な鋼粉、砥粒と研削液であるが、その泥のような形態ゆえ再利用不可能との固定概念が支配していた研磨スラッジが手軽に取扱える固形物（再生パック）となったため、鉄鋼メーカーへの物流が容易となり、産廃としての廃棄が全廃されたことが最大の貢献である。

経済面では、再生パックが有価物としての販売益を生んだこともメリットであるが、これまでの産業廃棄物としての処理費用を全廃できたことが、工場には大きな経済効果をもたらした。



図5 工場稼働中の装置  
(写真上：装置全景，下：装置から排出された再生バック)

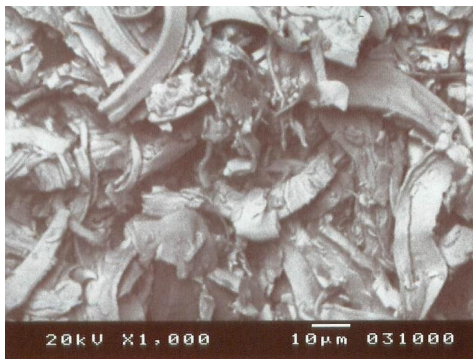


図6 一般の研磨スラッジの形

### 3. 固形化技術の紹介

研磨スラッジの一連の固形化工程：脱水・成形・硬化処理・乾燥を1台の機械にまとめ、スラッジ投入から再生バック完成まで、人が介在しない装置を開発した。図4に自動一体型再生バック製造装置 USS-015 を、図5に工場稼働中の装置を示す。脱水工程と成形工程は同じ金型内で圧縮により行われるが、研磨スラッジと研削液の組合せでその脱水特性は大きく異なり、圧縮速度と圧縮力を研磨スラッジの特性に応じて最適値に調整している。また圧縮力の調整範囲は広く、 $1\text{ cm}^2$  当たり  $1\sim 2.5\text{ t}$  の幅がある。それはスラッジの焼入れの有無や、粒子の形状・サイズにより固形化に必要な圧縮力が大きく異なるためである。

#### 3.1 研磨スラッジの成形

図6に自動車用ステアリングのギヤやラックバー（焼入れ鋼）を研磨した時に発生する一般的な研磨スラッジの拡大写真を示した。肉眼では、ふわふわした粉が綿のように見えるが、実際はカールしたひげのような形態をしている。

ひげのような形態であるため圧縮すると相互に絡み合い

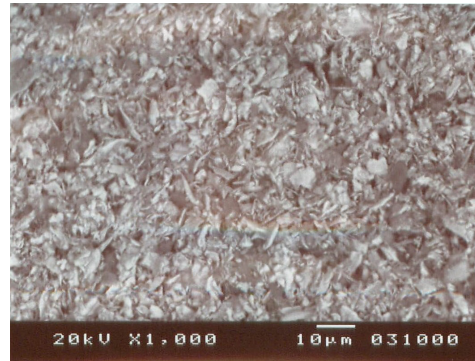
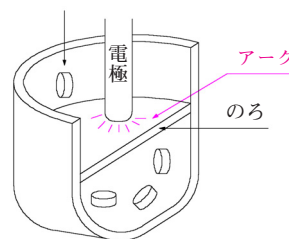


図7 精密研磨スラッジの形

電気炉への投入には、

1. 高温の炉で粉塵にならない強度が必要。
2. のろを突き抜け鉄湯の中に入る嵩密度が必要。
3. 水蒸気爆発を起こさない低い水分量が必要。



リフティングマグネットで搬送される再生バック

図8 再生バックに強度が求められる理由

うまく固形化できるように思われるが、実際はこの形状がばね性を発現し、圧縮後、形が崩れ始める。焼入れ鋼では特に顕著であるが、生研磨スラッジでも同様の問題が発生し、鉄鋼メーカーへの輸送および炉への投入に耐えない。そのため、前述したような  $1\text{ cm}^2$  当たり  $1\sim 2.5\text{ t}$  の大きな圧縮力を加え、スプリングバックが発生しない範囲まで研磨スラッジを圧縮変形させて固形化を行う。

図7に鏡面仕上げなどの精密研磨スラッジの拡大写真を示す。この場合は、一般の研磨スラッジとは異なり、その粒径は  $1\text{ }\mu\text{m}$  以下の細かさである。そのため、圧縮金型のクリアランスは精密金型並みの精度に仕上げる必要がある。また、精密研磨には依然油性研削液が使用されており、そのこともスラッジと油分の分離を難しくし、非常にゆっくりとした圧縮速度が要求される。従って、精密研磨スラッジのみでの固形化は経済的ではなく、一般の研磨スラッジと適当な比率で混合して固形化を実施している。

#### 3.2 研磨スラッジの硬化処理

研削されたばかりの鉄系研磨スラッジは、非常に表面が活性な鉄である。圧縮脱水により研削液と分離され、適度な水分と空気に触れ、それに温度が加わると、その比表面積の大きな鉄粉は、急速に酸化が始まり酸化鉄へと変わっていく。その様子は、町工場の外に積まれた旋削くずから夕立後に陽炎が上るそれと同等以上の活性度である。

この酸化反応を防止する化学的対策と、図8に示したような取扱いに必要な物理的強度を確保する対策として、再生バックの表面から深さ数 mm までの層を硬化液によりコーティングし、酸化反応の防止と取扱い強度を確保し

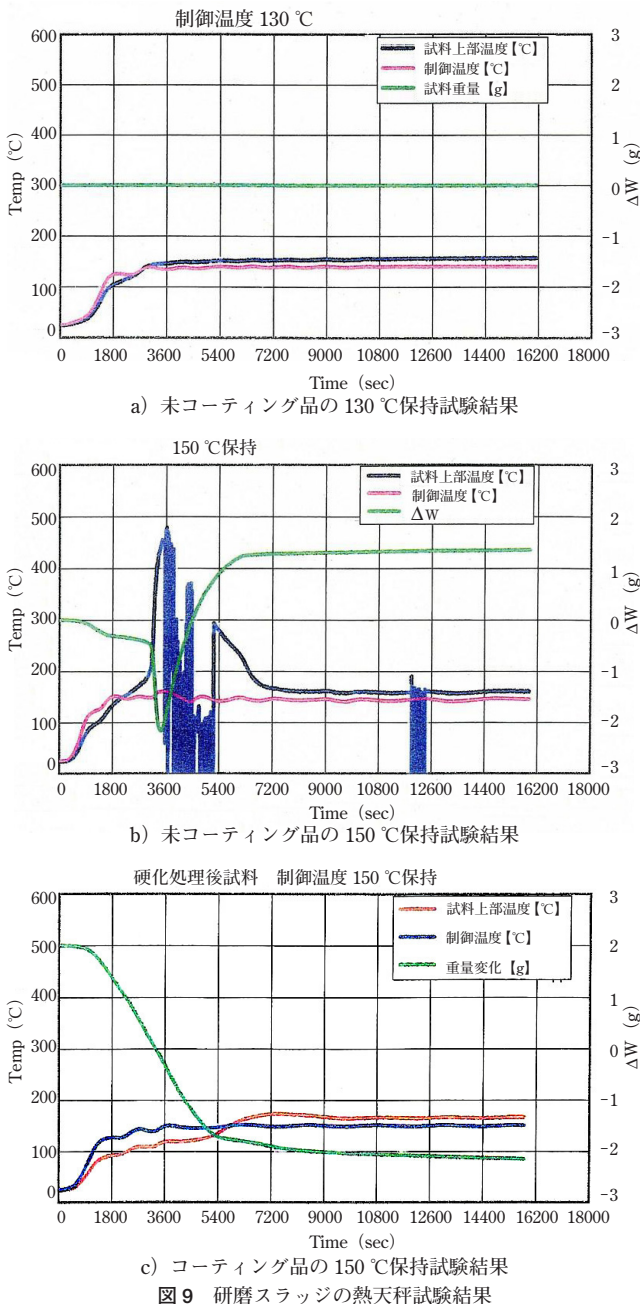


図9 研磨スラッジの熱天秤試験結果

ている。

硬化液として利用できるものは、電炉に投入された時に製鋼プロセスの障害成分とならず、費用面からも安価なもの、コロイダルシリカ、磷酸アルミニウム、珪酸ソーダなどを利用する。主に水ガラスと呼ばれる土壌硬化剤などの多くの用途に利用されている珪酸ソーダの水溶液を用いる。珪酸ソーダについては JIS K1408 規格に譲る。

水ガラスをコーティングされ最適に乾燥された再生パックは、トラックで回収され鉄鋼メーカーで電炉に投入されるまでの期間中に酸化されることはなく、図2の再生パックの特徴に述べた鉄源材料としての品質（鉄鋼メーカーの受け入れ基準でもある）を満足する。

### 3.3 研磨スラッジの乾燥

研磨スラッジは、活性な鉄であるため、そのままの状態

で工場の廃棄物ヤードなどに放置されていると自然乾燥が進み、それに適度の水分と温度が加わると自然発火するケースもある。それゆえ、高压で圧縮脱水・成形した研磨スラッジに硬化液をコーティングし乾燥させる工程での温度管理は非常に重要な要素となる。乾燥温度の設定は、発火温度の確実な把握のもとに決められている。

図9に研磨スラッジの熱天秤試験結果を示す。

a) と b) に未コーティング品を 130 °C と 150 °C の温度で保持し続けた場合の制御温度と試料温度と重量変化を示している。a) の 130 °C では、16 200 秒 (4.5 時間) 経過まで何も起こらず乾燥が進む。それに対し、b) の 150 °C の条件では、4 500 秒 (1.25 時間) 経過後、試料温度が急激に 300 °C 以上に上昇する発熱現象が観察された。一方、硬化液をコーティングした c) の場合は、150 °C で 4 時間以上経過しても発熱現象は観察されなかった。

熱天秤試験による乾燥条件の確認試験では、空気の交換による乾燥の促進効果は分析器の能力的な制限から完全に確認できないため、実際の処理装置で確認され決定されている。実際の処理装置では、送風による蒸気の追い出しで乾燥効率を上げているため、乾燥温度も 110 °C 以下に抑え、一時間で商品となる再生パックを完成させている。

## 4. 金属研磨スラッジリサイクル技術の導入

本システムを導入して成果をあげるためには、加工ラインの製品の流れだけでなく、廃棄物とされ注目されていない研磨スラッジの流れを確実に把握することが前提条件となる。これにより、図3の5つの効果以外に①加工ラインの効率改善、②研削液の統合・削減、③研削液の再利用といった、もの作りの現場を大きく改善する別の貢献も期待できる。

研削液は特に硬化性を大きく左右する要素である。水溶性はほとんど容易に固まる。エマルジョンタイプはメーカー等により性格が全く異なるので硬化試験が必要である。

油性は経済的な圧縮速度の適用は難しい。従って、水溶性への研削液の統合・削減努力が成果を拡大する。

また、本システムを導入後、工場で新たに発見された予想外の効果は、製造ラインで機械油の漏れ混入が発生した場合、研磨スラッジの固まり具合を悪くし、ラインのヘルスマニターの役目も果たすことであった。

## 5. おわりに

鉄鉄 1t を生産するには、鉄鉱石 1.5 ~ 1.7t、石炭 0.8 ~ 1.0t、石灰石 0.2 ~ 0.3t、電力 10 ~ 80 kWh、水 30 ~ 60t (大和久重著「鋼のおはなし」) が必要とされている。これにエコロジック環境負荷を考えると鉄鉱石採掘時の環境汚染や二酸化炭素の放出量も加えねばならない。私たちが快適な生活を維持するために費やしている資源がいかに膨大であるかを再認識せざるを得ない。

金属研磨スラッジが廃棄されずに、電炉に再投入され、繰り返し利用できる仕組みが定着されるよう本技術の普及に努めていきたい。