

製鉄所における廃油再利用の可能性

The Potential for Reusing Waste Oil in Steel Mills

JFE スチール株式会社（正）*鈴木 崇仁

Takahito Suzuki *

JFE Steel Corporation

1. はじめに

近年、カーボンニュートラルなど環境問題への注目がより高まっている。その中に、資源を有効活用していく循環経済（サーキュラーエコノミー）という考え方がある。従来の線形経済では、廃棄物が発生することを前提としていた。それに比べ循環経済では廃棄物を発生させず、すべての資源を循環させるため、環境負荷の軽減が期待されている。本報告では、JFE スチール西日本製鉄所福山地区（以下、福山地区）をモデルに、潤滑油・作動油のライフサイクルについて整理した。また、廃棄物を減らすために実施している廃油の再生活動について紹介する。

2. 潤滑油・作動油のライフサイクル

油脂メーカーから潤滑油・作動油を購入後、油タンクに補給し、設備で油を使用する。油が劣化してきたタイミングで、タンク内の油を抜き取り、新油を補給する。抜き取られた油（廃油）は、廃棄物として処理される。上記の工程が一般的な潤滑油・作動油のライフサイクルである。福山地区では、廃油の一部を再生処理し、再利用している。

3. 製鉄所内の廃油の状態について

製鉄所では、鉄鉱石などの原料から、鋼板などの鉄鋼製品を製造している。鉄鉱石などの原料を溶解させる高炉工場や、溶解した鉄の成分調整を行う製鋼工場がある。これらの工場では、原料を溶解するため、多くの熱を取り扱う。また、製造工程で原料から粉塵が発生する。そのため、潤滑油・作動油を管理する上では、熱劣化や異物の混入が問題となる。

他にも加熱した鋼材を圧延機で板材に加工する熱延工場や、薄板に加工し熱処理を行う冷延工場がある。これらの工場でも、鋼材の加熱や薄板の熱処理などで多くの熱が使用される。また、圧延機やその他設備の冷却に大量の冷却水が使用される。そのため、潤滑油・作動油を管理する上では、熱劣化と水の混入が問題となる。

各工場で使用された潤滑油・作動油は、廃油となり回収される。回収された廃油は、異物や水分が混入しているだけでなく、熱劣化により油の粘度が変化している場合もある。この廃油を再利用できないか検討を行った。

4. 廃油の再利用先

廃油を潤滑油や作動油として再利用するには、汚染度、水分、粘度、全酸価など基本的な油性状が正常である必要がある。汚染度と水分に関しては、浄油機で主に異物を除去し、遠心分離機で主に水分を除去することで改善できる。しかし、粘度や添加剤については、ユーザーで調整を行うことが極めて難しい。そこで、粘度や全酸価が異常な廃油については、潤滑油・作動油としてではなく、燃料として再利用している。燃料として使用する際は、燃焼ノズルの詰まりや燃焼時の煤発生を抑止するため、油中の異物を除去する必要がある。また、燃料に水分が含まれていると、加熱効率が落ちるため、廃油中の水分を除去する必要がある。

5. 廃油再生業者による廃油再生方法について

回収した廃油の一部は、廃油再生業者（以下、再生業者）に依頼し再生を行う。油中の水分や異物を除去する方法は複数存在している。そのため、依頼する再生業者により、廃油の再生方法は異なる。福山地区で廃油を再生する際の、油量に応じた使い分けについて紹介する。

まず、大量の廃油を再生する場合を紹介する。タンクローリーを使用しタンク内の全油量を再生業者に渡す。再生業者は、廃油を加熱し油中の水分を気化させ、油中の水分を除去する。その後、フィルターでろ過し、廃油中の異物を除去する。

次に少量の廃油を再生する場合を紹介する。少量の廃油をドラム缶で回収し、再生業者に送付する。その後、再生業者で遠心分離機、浄油機を用いて廃油中の水分と異物を除去する。

油を加熱し脱水する方法は、脂肪酸エステルやリン酸エステルなど、加水分解する油種は適応できない。このように、再生業者により廃油に対して行う再生処理が異なるため、依頼前に再生方法を確認することが重要である。

再生業者に依頼することで、水分や異物を除去できるが、課題も存在する。

1つ目の課題は、納期である。工場が廃油を予定している油を再生する際は、工場の稼働停止後に油を回収し、工場の稼働前に再生後の油を補給する必要がある。再生業者に依頼する際は、油の運送をするため、1週間以上納期が必要となる。

2つ目の課題は、コストである。再生業者に依頼する際は、運送コストや再生コストが発生する。そのため、少量の廃油に対する再生コストは非常に高くなる。

上記の課題解決が難しい工場では、再生業者に依頼して廃油を再利用することが出来ず、廃油としている。

6. 予備タンクの活用による廃油再生

工場内で上記課題を解決し、再生を行うことができないか検討した。今回検討では、冷却水が混入しやすい循環給油系統の油タンクを対象とした。ロールのチョック部から油中に水分が混入しやすく、油性状が悪化する傾向にある。対象としている循環給油系統は、稼働タンクと予備タンクを所有しており、稼働タンクの油性状が悪化した際は、予備タンクと切り替えて操業している。切り替え直後の予備タンク内には、水の混入した廃油が残る。

そこで、循環給油系統内の予備タンクを加熱、または静置することで水分除去ができないか検討した。

加熱により水分を気化させる方法では、水分の除去性能は優れているが、水蒸気が発生するため油タンク周囲の環境に悪影響が生じる。また、油を熱劣化させる問題がある。

静置により水分を分離する方法では、タンク周囲の環境を悪化させず、熱劣化も生じにくい。しかし、水分の除去性能が悪く、油水分離に時間がかかる。そこで、水分の除去性能や除去時間を改善するために検討を行った。

まずは、静置時にタンク内で起きている現象について考察した。切り替え直後、予備タンク内の油中には大量の水滴が存在している。水滴は周囲の油に比べ密度が大きいので、時間経過に伴い、油中を水滴が落下していく。その結果、タンク底部まで水滴が落下することで、タンク下部に水滴が集まり水の層が生成されると考えた。水滴落下速度 V_s はストークスの式（式（1））を用いて算出できる。

$$v_s = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho_f) g}{18\eta} \quad (1)$$

この数式内には、水滴の粒子径 D_p 、水滴の密度 ρ_p 、油の密度 ρ_f 、油の粘度 η が含まれており、温度と相関の大きい粘度が含まれている。油は高温状態になると、粘度が低下する。そのため、油を加熱することで、油中の水滴落下速度を大きくできる。すべての水滴がタンク底面に落下するのに必要な時間は、タンク上面に存在している水滴がタンク底面まで落下する時間と等しい。この時間が油水分離に必要な時間となる。

Figure1 より、油を高温にすると、短時間でタンク内を油水分離できるが、油の熱劣化や油タンク周囲の環境へ悪影響を与えるリスクが存在している。今回は油タンク周囲の環境へ影響を発生させず、短時間で油水分離することを目標とし、油温を 80℃ まで昇温させる条件で実機運用した。

Figure2 に実機で用いた油の昇温曲線を示す。実機では 12 時間かけて常温から 80℃ まで昇温し、48 時間維持した。その後、タンク下部に溜まった水を排水した。上記の工程を実施することで、油中の水分量を 3.0% から 0.03% まで除去できた。

上記方法により、納期が原因で再生業者に依頼できず廃油としていた油を社内対応で再生可能にした。この方法を活用し、26kL/年以上の油購入量を削減できた。

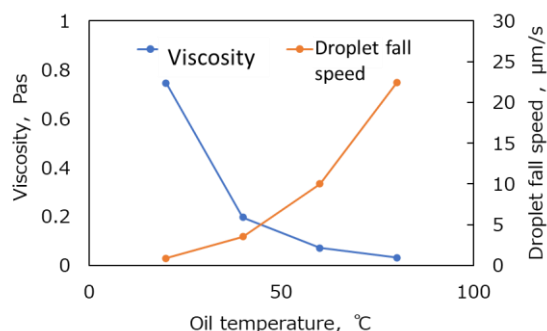


Fig.1 The relationship between the viscosity of oil, the drop velocity of water droplets, and the temperature of the oil

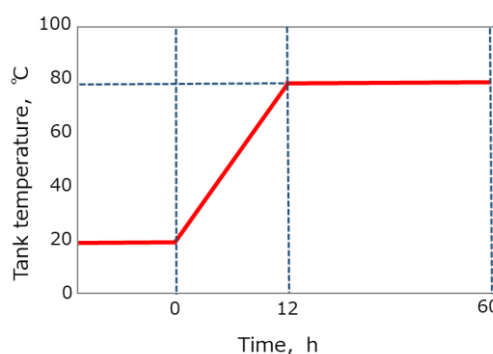


Fig.2 Heating rate of oil

7. 経済的効果と今後の課題

福山地区では、約 7 億円/年の潤滑油・作動油を購入している。そのため、廃油の 10% を再利用することができれば、約 7000 万円/年の油購入費を削減できる。

しかし、より多くの油を再利用するためには下記課題が残る。

①劣化した基油を調整する技術の構築。②劣化した添加剤を調整する技術の構築。③様々な油種が混合している廃油を油種ごとに分離する技術の構築。

上記課題はユーザーのみでは対応を行うことが難しい。そのため、再利用量を増やすためには油脂メーカーと協力していく必要がある。

参考文献

- 1) 環境省 令和 3 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書 pp.45