

溶接管理技術者の体験紹介**使用済み蛍光管処理設備工場における
機器・配管の損傷挙動について**西日本プラント工業株式会社
毛利智宏**1. 背景****(1) はじめに**

当社は、火力・原子力及び再生可能エネルギー発電所(地熱・風力・太陽光・バイオマス)の建設と保守を一括で担う会社である。20年前に新規事業として環境分野を有望視し、表記使用済み蛍光管処理事業を立ち上げた。

筆者は当該事業を担う蛍光管処理工場の運転、設備の管理責任者として約4年間従事した。これらの業務を通じて溶接技術者の観点から、工場機器・配管の接液部及び溶接部の損傷挙動を中心に論じる。

(2) 新規事業への取り組み

1970年頃から、従来の白熱球に代わり発熱が少なく効率の良い蛍光灯が普及し始めた。その後、1990年頃からより効率の良いLED照明器具が製造され、徐々に入れ替わりが始まった。使用済み蛍光管は、水銀微量使用されているにもかかわらず破砕後「ガラス割れ物」として埋め立て処分により廃棄されるのが一般的であった。一方、EUでは2000年初頭には水銀の使用制限及び廃棄についても規制が掛かっており、既にリサイクルの取り組みが始まっていたが、日本では、蛍光灯、電池などの水銀使用製品は製造時も廃棄時も規制はなく、回収システムも浸透していなかった。なお、現在では日本においても、2015年に施行された「水銀による環境の汚染の防止に関する法律」に基づき、特定水銀使用製品に関する規制が行われている。

図1で示すように、蛍光灯には有害な水銀や貴重なレアアースが含まれることから、当社は回収リサイクルに環境保全や社会貢献などの意義を見出し、国内の関連法規はまだ未整備であったが、新規事業として取り組み始めた。リサイクルの技術的なポイントは、蛍光管本体のガラスや両端の口金に含まれるアルミ及び鉄などの効率的な回収および蛍光管内部の発光金属である水銀と蛍光体及び蛍光体に微量含まれるレアアースの回収である。また、回収したものが再生原材料として販売できれば事業性があるものと見込んだ。蛍光灯が発光する仕組みと使用されている原材料は、図1に示す通りである。

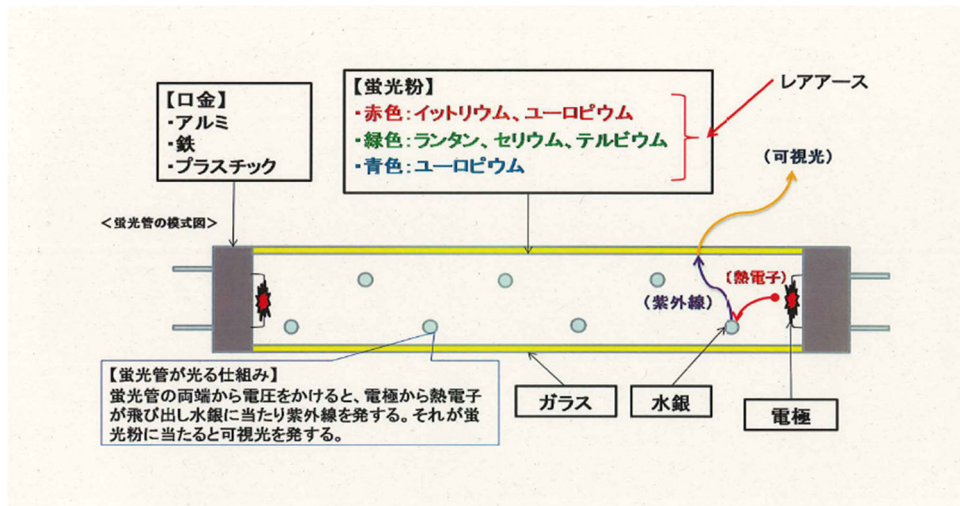


図1 蛍光灯の原理

上記背景より使用済み蛍光管を適正に処理するため、2000年から北九州市エコタウン地区に年間4,000トン能力の処理工場を稼働させた。

当時国内でリサイクルされていた使用済み蛍光管の2割強の処理能力であった。

(3) リサイクルフローの概要

設立当時の使用済み蛍光管リサイクルフローを図2に示す。また、その概要は以下の通りである。

- ① 使用済み蛍光管は、内封されている微量水銀を大気中に発散させないように破碎せずに 原形管のまま回収。
- ② 回収した蛍光管は、回収時と同様、微量水銀を発散させないように当工場の負圧機器の雰囲気の中で口金部分を切断。蛍光体を吸引後、ガラスを破碎。
- ③ 分離された蛍光体、ガラスカレット、口金はそれぞれ別ラインで処理、回収し売却
 - ・ レアアースを含む蛍光体は、高温焙焼し水銀を蒸発分離することで蛍光体と粗水銀を回収して売却。
 - ・ ガラスカレットは、化学洗浄後に回収して、蛍光管のガラスチューブ原材料として売却。
 - ・ 口金等の金属は、化学洗浄後に磁選機で鉄・アルミほかに自動選別して売却。

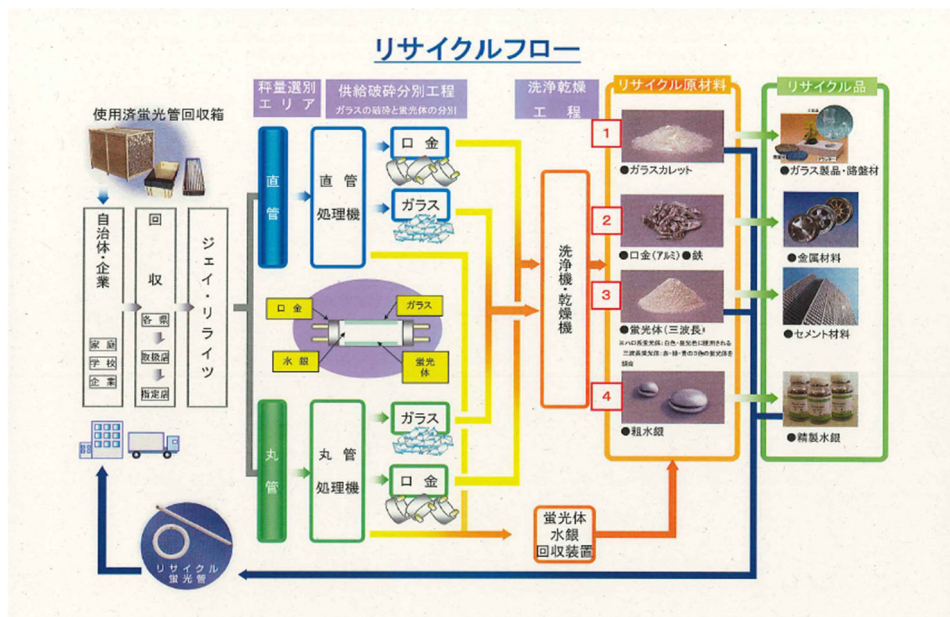


図2 リサイクルフロー

2. 問題提起

使用済み蛍光管は、微量とはいえ水銀が使用されており、その取り扱いおよび再生品の有価物回収などのプロセスは通常の廃棄物処理と比べると複雑である。加えて化学洗浄処理、高硬度のガラス製品の処理などの設備は稼働後 20 年程度経過しているため、安定操業する上で以下の課題があった。当該設備の操業における各機器の仕様と役割及び課題は次の通りである。

(1) 仕様と役割

- ① 当プロセスの主機は破砕機、洗浄機および乾燥機である。特に破砕後の洗浄工程では曲率のついたガラス内表面に付着した水銀を洗浄するため pH1.5 の硝酸を使用。洗浄後苛性ソーダーで中和し、出荷用にロータリーキルンで乾燥。
- ② 強酸性流体を移送するため、ポンプは完全密閉方式のキャンドタイプを採用し、インペラ、ケーシングにはオーステナイト系ステンレス鋼 SCS13 を使用。
- ③ 配管は、主に通常のオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 を使用。
(50A 以下はソケット溶接を適用)
- ④ 工場内で使用しているポンプ冷却水および洗浄水は、工業用水供給エリア外であったことから、水道水を使用。また、工場内より廃液を出さないクロズドフローを採用した。ただし、洗浄後の乾燥や循環冷却戻り水の温度を下げるための開放型クーリングタワーにおける蒸発分は水道水で補給。


(2) 課題

- ① 通常年 1 回のオーバーホールで洗浄ライン、配管・ポンプ類を点検し、損傷が激しい部品は交換していたが、機器によっては数か月で破損。
- ② ポンプは、通常運転中に、ポンプの吐出能力が低下するケース、ケーシング表面温度が冷却水の沸点を超える温度まで上昇するケースがあり、解放点検するとインペラ、接液部ケーシング、仕切り板が大きく損傷。
- ③ 配管は、曲がり部(エルボ)など破孔が多発。全停止補修することが常態化し、稼働率が低下。
- ④ 当初は、高経年化に起因して発生する故障の補修はやむを得ないと考えていたが、配管破孔および機器損傷などの間隔が短くなり、操業に支障。

3. 原因究明

破孔箇所及び破断面を観察し、次の通り原因を推定した。

(1) 破孔箇所

- ① 配管は、曲がり部下流側の溶接熱影響部周辺において、粒界腐食のような破孔が認められた。一般的な発錆は認められず、文字通り金属組織の一部が結晶粒界部より抜け落ちている状況であった。なお、ソケット溶接部の差し込みギャップの隙間が適正に確保されていたかどうかは、断面観察を行っていないため不明である。
また、同様な事例は、日本溶接協会の資料にも多数掲載されており、参考にされたい。
- ② ポンプは、に示す通り、エロージョン、キャビテーション等によるものと思われる損傷が認められた。

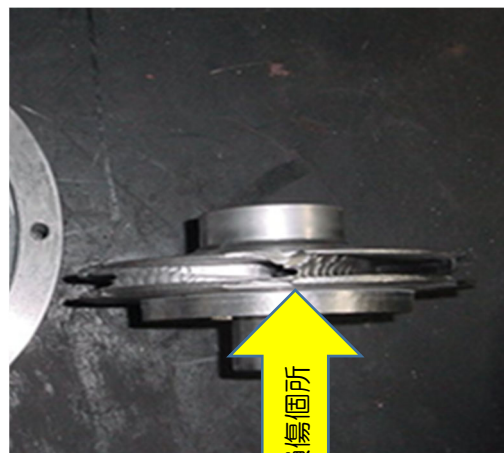
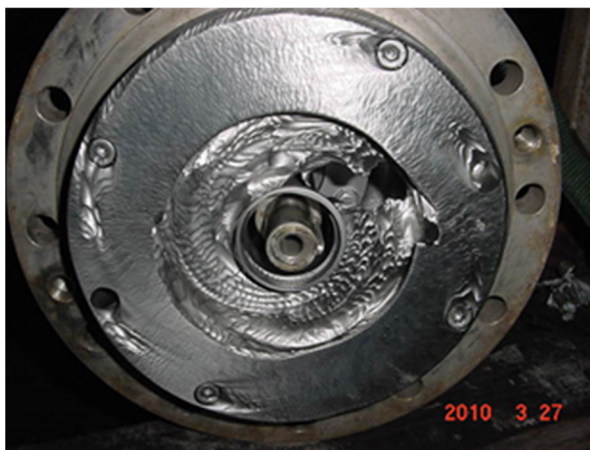


図3 ポンプインペラ損傷部

- ③ 洗浄機は、図4の矢印で示す内容物を送る案内羽近傍の通路が狭くなっている箇所破孔が認められた。



図4 洗浄機外観と内部

(2) 推定原因

- ① 主機及び配管材料としては、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 等を選定しており、比較的、硝酸に対する耐食性は高い材料であるが、蛍光管破碎時のガラス及び粉が接液部表面の不動態被膜を常時そぎ落としたため耐食性が著しく低下した。
- ② 洗浄水や冷却水は循環再使用により、次第に濃縮が進んでいたと考えられ、特に滞留しやすい狭隘部などでは通常の水道水より残留塩素イオン濃度が高くなり、孔食や隙間腐食が促進した。
- ③ 開放型クーリングタワーでは、図5に示す通り周囲の煤塵が吸着され冷却ラインに混入、冷却及び供給水ラインにスケーリングし、特に狭隘部などで冷却水滞留を助長した。なお、冷却水貯槽内壁には、コケなどの発生は無く、富栄養化は進んでいないと想定しバクテリア等の繁殖による腐食については可能性が低いと考えた。

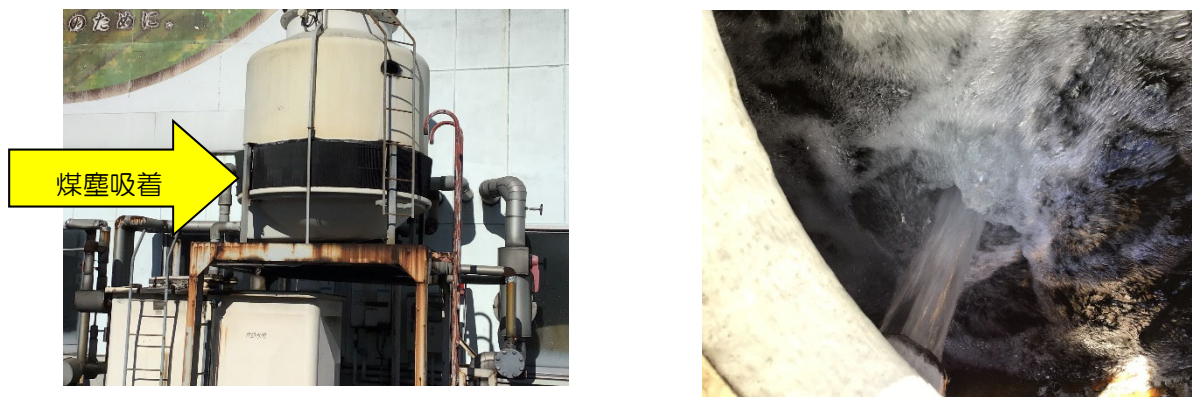


図5 開放型クーリングタワー(周囲の煤塵が混入)

- ④ キャンドポンプモーターの発熱を冷却する冷却水配管内面に煤塵等のスケーリングが顕著。その結果、有効断面が減少し流量不足からポンプ本体の温度も流体の沸点以上になることもあり、同温度域でのポンプ・配管の硝酸に対する耐食性が下がった。
- ⑤ ポンプインペラ・ケーシングについても、配管と同様にスラリー状のガラス粉によるエロージョンや配管破孔によるエア吸い込みもあり、キャビテーションが起りやすい状態であった。

4. 対策

上述のように推定した原因に対して、以下の対策を実施した。

- ① 破碎後のガラスカレットは、付着水銀を洗い流すため pH1.5 の硝酸水で洗浄していたが、強酸性溶液による作業員の葉傷防止及び接液金属の腐食影響を軽減するため、弱酸性洗浄水での洗浄効果試験を実施し、残留水銀がリサイクル可能な数値まで下がる洗浄液の濃度、水量、洗浄要領などを突き止めた。そのデータを基に、実機での洗浄効果を確認しながら段階的に洗浄水を弱酸性に変更し、対策後には pH5～6 を通常運転の濃度とした。
- ② ステンレス鋼の不動態形成保持を妨げるスラリーを少なくした。固形物の分離、混入量を大幅に削減するため、ポンプ循環ラインにマイクロフィルターを追加し定期的なブローを実施した。
- ③ 冷却水戻り貯槽に堆積していたスラッジを定期的に取り除いた。
- ④ ポンプ本体を適切な温度に冷却した。
ポンプ・配管溶接部の耐食性を低下させる温度域に近づかないようにするため、一部配管をサイズアップすることでポンプ冷却水循環量を確保し、ポンプ本体温度を 60℃前後に保った。
- ⑤ 配管継手を突合せ溶接へ変更し溶接後は溶体化処理を施した。
破孔した配管の切り替え時は、狭隘部を少なくするため、できる限り突合せ溶接とした。溶接後は溶体化処理を施し、溶接熱影響部の鋭敏化を抑えた。
- ⑥ 洗浄機本体の減肉破孔個所の計測と破孔予測を実施した。
エロージョン等で減肉している洗浄機本体について、超音波厚み測定器で厚さを測定することで減肉の進行状態を予測し、補修タイミングを計画した。その結果、計画外の設備停止を最小化し補修作業を迅速に行えるようにした。

5. 効果

前述の通り、機器・配管の損傷は、複合的な条件によるものと考えられる。推定される原因に対して、現実的に対策が取りやすく効果的と思われるものから取り組んだ。

本対策の実施後は、頻発していた破孔および損傷はほとんどなくなり、安定操業ができています。

なお、本事業は、一昨年末当該処理に豊富な経験と高度なノウハウのある野村興産(株)に事業譲渡した。

6. 結びに

工場規模の大小に拘わらず設備の安定運転には、操業中の点検による異常の早期発見と原因究明および迅速な対応が不可欠であることは言うまでもない。特に溶接部は、設備運転開始後も様々なストレスが掛かり、外的要因(想定を超える温度上昇や不純物混入による腐食環境の変化等)や内部要因(溶接計画施工不良等)により、短期間で破壊に至る場合もある。

我々溶接技術者は、溶接計画施工時には密接に関わるが、改修工事などを除き竣工後の操業中設備の維持管理に携わる機会は少ない。計画施工した設備が、所定の期間健全に機能を発揮してこそ、その責務を果たしたことになるものと筆者は考えている。

◆ あとがき

本レポートを読んでいただいた溶接技術者の方々へ。

溶接技術の知見はこのような日ごろ目に触れない廃棄物処理設備の維持管理にも十分役に立つ可能性があることをお伝えしたいと考え、寄稿した次第です。今後も溶接技術者として様々なフィールドでのご活躍を祈念します。

参考文献

- 1) 「初歩と実用のステンレス講座」平 浩著 日本工業出版

毛利智宏 (もうり ともひろ) 溶接管理技術者特別級

<略歴>

1979年 福岡大学 工学部 機械工学科 卒業

1979年 西日本プラント工業(株) 入社 苅田事業所 配属

2004年 技術企画部 グループ長

2009年 技術部長

2011年 松浦事業所長

2013年 技術部長

2018年 株式会社ジェイ・リライツ社長 (使用済み蛍光管処理事業会社へ出向)

2021年 技術部 技術開発グループ 配属

現在に至る