

●特集／ものづくりにおけるサーキュラーエコノミーの動向

サーキュラー・エコノミーに向けたものづくり変革／リマニュファクチャリングを見据えたレーザー DED による補修と特性評価の基礎的検討／サーキュラーエコノミー循環型社会形成に向けた取組み ～リマン事業の展開～／転がり軸受の再利用を実現する余寿命診断技術と損傷修復技術の開発／サーキュラーエコノミーとしての再生基油製造～ LCA の視点も踏まえて～／リペア・リマニュファクチャリングとサーキュラーエコノミー―光栄テクノシステムにおける循環型ものづくりの紹介―

●TOP INTERVIEW【JUST 70周年記念事業 連動企画】

「The Heart of Technology」 ―出光潤滑油が描く次世代トライボロジー戦略― 出光興産

摩擦摩耗試験は HEIDON

摩擦摩耗試験機の専門メーカーとして摩擦摩耗に特化した
様々なノウハウと豊富な経験による信頼性の高いデータを提供します

摩擦摩耗試験で明らかにできること



摩擦強度の測定



物体表面の摩耗量の測定



物体同士の密着力の測定



手で触ったときの触感の数値化

摩擦摩耗試験が行われる分野と代表的な実施例



自動車関連部品



フロントパネルの耐傷つき性



塗装の引っ掻き強度



タイヤの摩擦摩耗強度



エンジンオイルの性能測定



電機・半導体関連部品

- ・反射防止膜の表面強度試験
- ・携帯の防汚フィルムの触感試験
- ・樹脂外表部の傷つき易さ、触感の評価試験
- ・半導体膜の密着性試験



OA 機器関連部品

- ・給紙ローラーとコピー紙間の摩擦測定
- ・トナー掃き取り用ブレードの性能評価
- ・コピー用紙のカセット内での紙同士の摩擦測定
- ・紙上のインクの密着力測定

HEIDON

新東科学株式会社
<https://www.heidon.co.jp>



リペア・リマニュファクチャリングと サーキュラーエコノミー

—光栄テクノシステムにおける循環型ものづくりの紹介—

光栄テクノシステム株式会社
取締役社長 博士（学術）

徳本 啓

■著者連絡先

〒813-0062 福岡市東区松島6-15-30
TEL 092-611-6825 FAX 092-621-1183
E-mail tokumoto@koei-ts.co.jp

はじめに

気候変動、資源枯渇、廃棄物問題といった地球規模の課題に対して、従来のリニア型経済（生産→消費→廃棄）から、資源の循環を基調とするサーキュラーエコノミー（循環経済）への転換が求められている。図1は主にB to B市場でのサーキュラーエコノミーの基本的なモデル図¹⁻³⁾に、3種類のサイクルを示している。第1サイクル（図中1C）は原材料から機械装置などの製品を製造し、それをユーザーが利用した後に、リサイクルされて原料に戻る一般的なサーキュラーエコノミーを指している。このサイクルの製造工程では製品を高性能化、長寿命化することが重要になる。

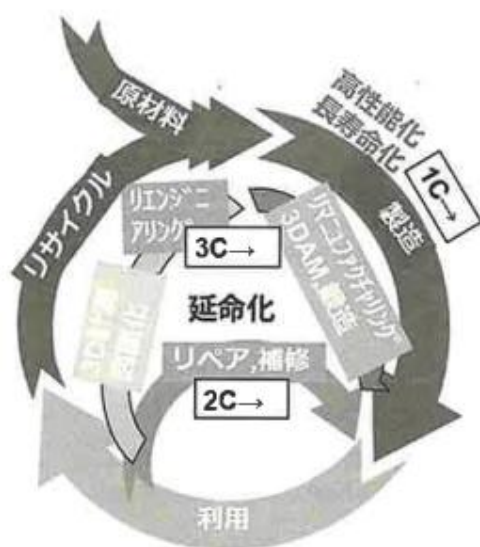


図1 サークュラーエコノミーのモデル図

それに対して内側の二つのサイクルは、リサイクルに至る前に、製品寿命を延ばす手段である。第2サイクル（2C）は利用中の製品が故障した場合等に「リペア（修理）」して製品全体を延命化することを意味している。第3サイクル（3C）は修理不能な部品等を「リエンジニアリング（再設計）」により「リマニュファクチャリング（再製造）」して製品全体を延命化するサイクルを示している。2C、3Cを支えるリペア、リエンジニアリング、リマニュファクチャリング技術は、単なる補修手段を超えて、社会的・産業的インフラとしての重要性を増している。

光栄テクノシステム株式会社（以下、当社）は1946年の創業以来、「機械の病院」として、溶射・溶接・機械加工・三次元形状測定などを駆使して、動力機械・装置の長寿命化（1C）と延命化（2C、3C）などを長年実施してきた。また、会社の基盤を強化するために2021年にISO9001を取得するとともに、5S活動・安全衛生活動の結果、2025年に福岡県労働基準協会連合会から倉田賞を授与された。サーキュラーエコノミーにさらに貢献するために2024年にリマニュファクチャリング推進コンソーシアムに加入し、2025年にはサーキュラーパートナーズにも加入している。当社は、大型建機市場等とは異なる中小規模市場を主な対象にしており、その事例を紹介する。多くの事業者がこの分野に興味を

持ち、相互の技術を持ち寄ってサーキュラーエコノミーが発展することを願っている。

1. リペア (2C)・リマニュファクチャリング (3C) の基本工程

図2には、リペア、リマニュファクチャリングの基本工程を示す。工程順に機械装置の分解、洗浄、検査の後、2Cではリペア・補修、加工、再組立て、最終検査の工程でリペアすることを示している。当社は検査の一部から再組立ての一部までを実施し、それ以外は客先が実施しているケースが多い。なお、3Cでは、リペア・補修部分がリエンジニアリングとリマニュファクチャリングに置き換えられる。分担範囲、修理仕様について客先と綿密な打合せが必要である。

図2の当社カバー範囲の2C：補修、3C：リエンジニアリング→リマニュファクチャリング、2C、3C共通：加工について概略を図3に示した。2C：補修は溶射、溶接による金属等の堆積、亀裂の溶接補修などであり、3C：リエンジニアリング→リマニュファクチャリングは（3D計測→再設計）と（3D積層造形または鍛造、鋳造）を示す。2C、3C共通：加工は機械加工（切削、研削）、研磨、摺合せなどを示す。

2. 溶射技術による特性向上、表面再生

溶射（Thermal Spray）は、粉末またはワイヤ状の材料を燃焼ガスまたは電気エネルギーにより加熱溶融・加速し、粒子として高速で基材に吹き付け、皮膜を形成する技術である。やや特殊な技術なので、図4にその模式図⁴⁾を示した。

溶射方法には、表1に示すように、フレイム溶射、HVOF（高速フレイム）、プラズマ溶射などがある⁴⁾。この順番に金属、超硬合金、セラミックなどの溶射に用いられる。

表2⁴⁾に、溶射でできることを特性（付加できる性質）、その溶射材料、主な用途に分類して示した。図1の1Cで高性能化、長寿命化は、このような用途に対して実施されている。図5は微粉末衝撃用にWC-CoをHVOF（高速フレイム）溶射している事例である。図6はオイルシールにCr₂O₃をプラズマ溶射した事例である。いずれも溶射すると数倍の寿命になると言われている。

C2のリペア・補修では、図7のようにモーターローター軸の摩耗部分に金属溶射し、加工仕上げした事例がある。補修前に近い寿命になると言われている。

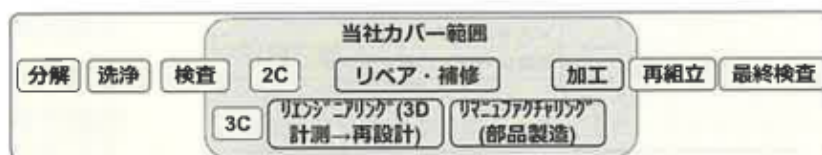


図2 リペア、リマニュファクチャリングの基本工程

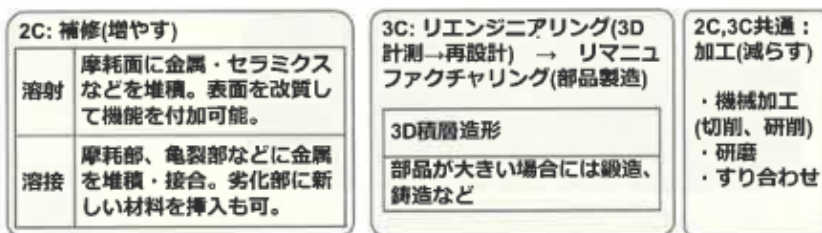


図3 2C：補修、3C：リエンジニアリング→リマニュファクチャリング、2C、3C共通：加工の説明。これらの技術は1C：高性能化、長寿命化にも使われる。図1参照

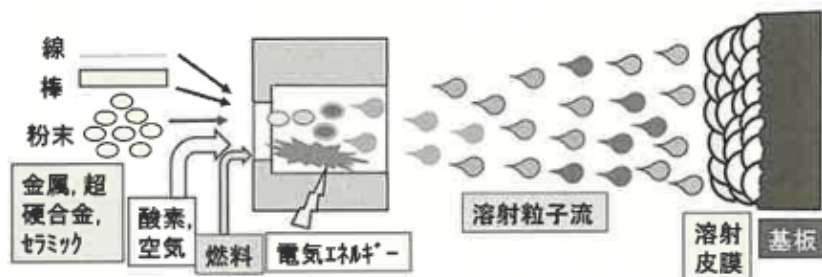


図4 溶射の工程⁴⁾

表1 溶射方法と条件, 加熱温度, 粒子速度など⁴⁾

種類	原料	酸素, 空気	燃料, ガス	電気	ガス温度, K	粒子速度, m/s
フレイム	線棒, 粉末	○	プロパン等	×	2500-3300	100-200
HVOF	粉末	○	ケロシン	×	2500-3300	400-900
プラズマ	粉末	○	×	○	10000-15000	300-550

表2 溶射でできること (付加できる性質=高性能化, 長寿命化)⁴⁾

特性	溶射材料	主な用途
耐食性	ステンレス鋼	軸受, オイルシール, ピストンロッド他
	Ni(Co)系自溶合金	ベアリング, クランクシャフト, プランジャー他
	WC-NiCr	メカニカルシール, ポンプ部品
耐摩耗性	WC系自溶合金	ベアリング, クランクシャフト, プランジャー他
	Al ブロンズ	ポンプインペラー, プランジャー, プロペラシャフト, メタルブッシング, ブロンズ鑄物
	Al ₂ O ₃ -TiO ₂	ポンプ部品各種, フライアッシュ弁, 分級機他
	WC-Co	微粉末衝撃用, 粉砕用プレート
絶縁性	Al ₂ O ₃	電機部品, IC用電気絶縁
耐熱性	Ni-Cr	チューブサポート, ダンパー, 焼却炉ノズル他
	Cr ₂ O ₃	ポンプ部品, オイルシール, 伸線用キャプスタン, ガイド他
	ZrO ₂ -Y ₂ O ₃	熱間ロール, バーナーノズル

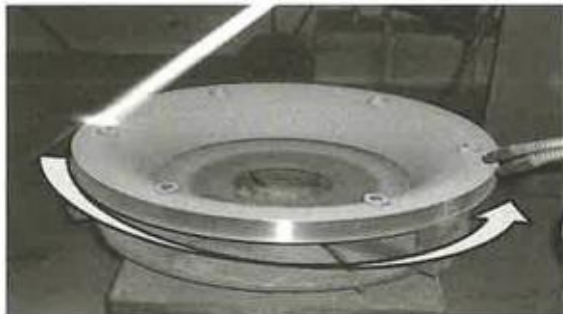


図5 WC-CoをHVOF溶射



図6 オイルシール部にCr₂O₃溶射皮膜



図7 モーターローター軸の摩耗部分を金属溶射し, 加工仕上げした事例

3. 溶接による特性向上, 表面再生

ワーク表面に硬質金属を溶接して耐衝撃性と耐摩耗性を向上させることができる。その事例を図8に示す(1C)。溶接部が摩耗したら補修も可能である(2C)。

溶接によって、亀裂や欠損を持つ金属部品に新たな金属を溶着して修復できる。その工程を模式的に図9に示した。左から順に、亀裂の断面図、亀裂部分を除去する開先加工、そこに肉盛り溶接後、図には示していないが冷却速度を制御するなどで応力緩和、溶接の余肉を研削除去して完成となる。溶接部分は冷却過程で収縮し引っ張り応力が発生するが、熱処理条件などを工夫してその応力を小さくすることが肝要である。特に、金属部品が鋳鉄であ



図8 粉砕機刃先への硬質材料肉盛り事例(1C, 2C)



図9 亀裂の溶接補修の工程図(2C)

る場合には補修した部分のすぐ近くに新たな亀裂が発生する場合があります。注意を要する。

自動車用ディーゼルエンジンおよび鉄道用ディーゼルエンジンのシリンダーヘッドに発生した亀裂を開先加工後、肉盛り溶接し、研削加工で合わせ面を仕上げた事例を図10に示す。再稼働後も耐圧性・耐熱性が維持され、問題なく稼働している。

4. リエンジニアリング(再設計)によるリマニュファクチャリング(再製造)

既存部品が補修も入手もできない場合、「再設計・再造形」によって新たな部品を創出することもできる(図1, 2の3C)。ディーゼルエンジンの鋳物製ロッカーアームが破損したものに適用した事例を図11に示す。このように、非接触測定とデジタルデータ活用により、設計図の

ない古い部品でも再現可能となる。なお、大型部品の場合には鍛造や鋳物も適用可能である。

5. まとめ

EUでは「修理する権利(Right to Repair)」指令が2023年に制定され、製品設計段階から修理性を確保する義務が企業に課せられている。日本でもリペア、リエンジニアリング、リマニュファクチャリングの標準化が急務である。そのためには、補修・再生技術の標準化、リマニュファクチャリング品の品質保証方法の確立、リスク分担方法(製造者・補修者・ユーザー間の明確化)、ネットワーク型協業による分業体制の確立などが必要と思われる。課題はたくさんあるが、多くの事業者がこの分野に興味を持ち、それぞれの経験・技術・知恵を持ち寄って協力し、サーキュラーエコノミーが発展することを願っている。



図10 自動車用ディーゼルエンジン(直列6気筒3300cc)のシリンダーヘッドに生じた亀裂補修事例(2C)

<引用文献>

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁:「エネこれ」内、成長志向の資源循環経済システム「サーキュラーエコノミー」(後編)動きだす産官学パートナーシップ
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/circular_economy_02.html
- 2) 愛知県:HPあいちサーキュラーエコノミー推進プラン
https://aichi-shigen-junkan.jp/circular_economy/plan
- 3) 三菱総合研究所:テクノロジーと協調で拓くわが国の循環経済(プラスチックと蓄電池の資源循環未来像)
<https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/policy/20230705.html>
- 4) 例えば、沖幸男、上野和夫監修:溶射工学便覧,日本溶射協会,(2010)のデータから編集あるいは図示した。



図11 鋳物製ロッカーアームの形状測定,データ取得,再設計,3次元モデル作成,金属積層造形によって部品製造した事例(3C)。この後に機械加工している