

# サーキュラーエコノミー変革における 静脈産業の展望



樹 世中



蔵永圭則



瀧山拓哉



嶋村寧人

## CONTENTS

- I はじめに
- II 静脈産業の動向
- III 静脈産業の課題と対策
- IV サークュラーエコノミー拡大を担う静脈の展望

## 要約

- 1 サークュラーエコノミー（CE）構築に向けた動脈産業の動きが生まれている中で、再生素材の利活用拡大や「静脈サービス」の形成・拡大に向け、静脈産業側の対応が求められている。しかし、国内静脈産業にはその産業構造に起因した課題が散見され、CEへの対応には従来のプロセス・技術からの変革や企業間の連携強化が求められている。
- 2 国内静脈産業を俯瞰すると、動脈の他産業と比較して代表的な事業者の規模が小さく、各社の立地も全国各地に分散しているため、地域や個社によって取り組みのバラツキがあり、技術・プロセスの体系化が進んでいない。一方で、「メジャー」と呼ばれる静脈産業を垂直統合し、静脈全体の最適化を図っている巨大かつ経営効率化が進んでいる海外大手の国内参入や、一部の国内静脈企業が主導する動静脈連携の動きも見られるなど、直近の構造変化として静脈産業におけるCE構築に向けた動きが生まれつつある。
- 3 国内静脈産業におけるCE構築に向けて、「体系化されておらず非効率な技術・プロセス」「デジタル化の遅れによる情報連携、利活用の不足」の2点が課題として挙げられる。課題の解決にあたり、技術・プロセスの変化・構築による個社の企業力強化と、静脈企業間の情報連携による産業力の強化、およびそれらに共通するデジタルトランスフォーメーション（DX）推進、という3つの方向性および取り組みイメージを示す。
- 4 静脈産業のデジタル化および、動脈を含めたデータ連携により、トレーサビリティの確保が実現することで、都市鉱山の適切な管理による「人工鉱床」や、製品や事業者に対する資源循環の取り組みや環境負荷の定量評価が可能になる。これらはCEの拡大に向け、静脈産業を起点とした動脈産業との連携の広がりにつながるものである。

# I はじめに

本特集の第一論考「サーキュラーエコノミー変革のための社会基盤DX」でも言及したように、サーキュラーエコノミー（CE）の構築において、動脈産業では製品の環境性能に対する関心が高まっている。また、これまでの製品売り切り型からサービス型へビジネスモデルが転換しつつあることに伴い、静脈産業との連携強化の重要性が認識され始めている。

環境性能への関心として、再生素材の利活用拡大（特にプラスチックは動きが活発化している）が求められている。さらに、サブスクリプションやシェアリングといったサービス型ビジネスへの転換においては、メーカーあるいはその関連企業が製品の製造から使用にわたって関与するようになり、製品ライフサイクル全体の維持管理が進むものと見られる。製品ライフサイクル全体にわたっての維持管理の実現においては、静脈産業との連携強化によるリユース・リマニュファクチャリング（リマン）<sup>注1</sup>・リファービッシュ（リファー）<sup>注2</sup>といった静脈サービスの形成・拡大

が進むものと考えられる。

本論考では、動脈産業におけるビジネス環境の変化に伴う静脈産業との連携強化のニーズに対し、図1で示したように静脈産業のうち、再生素材の利活用拡大や静脈サービスの形成・拡大に向け、使用済み製品から素材や部品を回収するため、解体および破碎・選別の各工程を担っているリサイクル事業者により構成される「中間処理」を取り巻く環境を中心に課題を明確にしていく。

また、静脈産業における企業力強化と、それに伴う業界全体の産業力強化という流れに沿って、動脈産業のビジネスモデル転換に対応した静脈産業のプロセス効率化に向けた変化・構築、リサイクル事業者と「収集運搬」や「再資源化」などの静脈企業間での連携強化、さらにそれらを支えるデジタルトランスフォーメーション（DX）の実現など、取り組むべき方向性を整理していく。

## II 静脈産業の動向

### 1 国内静脈産業の現状

本章においては、中間処理事業者を中心と

図1 静脈産業の構造とCE形成における「中間処理（リサイクル事業者）」の役割

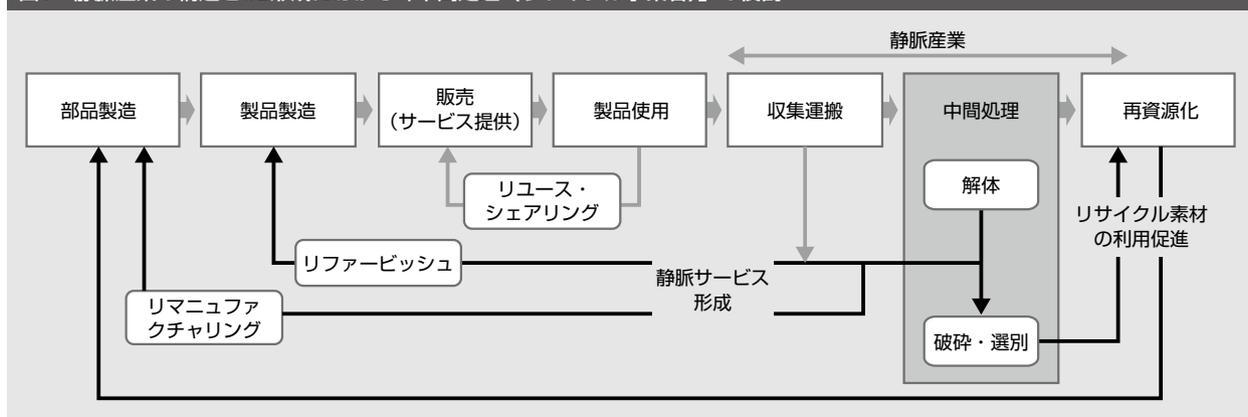
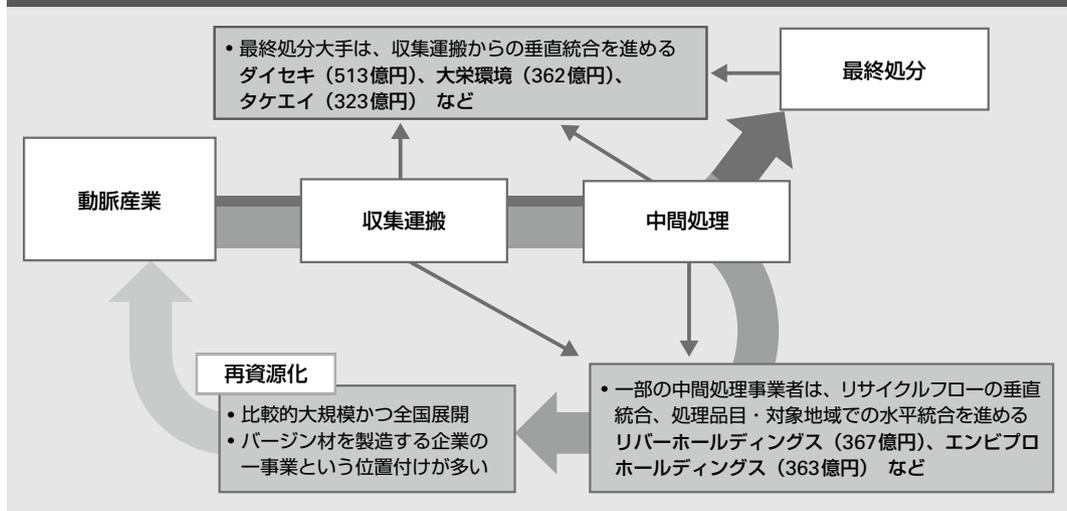


図2 静脈産業の構造と主要プレーヤー



した国内静脈産業の現状について説明する。

静脈産業における事業者間のつながりと特徴を示したのが図2である。廃棄物などの最終処分事業を中心に収集運搬から一貫通貫で取り組む事業者と、使用済み製品を対象に収集運搬および中間処理を行い、再資源化につなげる事業者が存在する。総じて売上規模が小さい事業者が大半を占め、売上高の大きい主要プレーヤーも数社ずつ見られるが、その規模は500億円程度であり、他産業と比較すると相対的に小さいことが特徴である。なお、再資源化事業者はリサイクルのみではなく、天然資源の精製や素材製造に関する事業も併せ持っており、動脈産業としての側面が強い。収集運搬や中間処理を専業とする事業者で見ると、全体的に地場の中小事業者が中心となっている。

使用済み製品を対象とする中間処理事業者においては、自動車、家電などの解体、破碎・選別を実施しているリサイクル事業者の数は2000社に上る。これらの事業者は、許認可制度、廃棄物などの輸送コストといった要

因から、地域ごとに独自のつながりを構成しながら全国各地に分散して広がっている。

その中でも法規制によりリサイクルが比較的進んでいる、①家電4品目（エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機）、②自動車、③小型家電について、処理フローおよび技術・プロセスの動向を説明する。

### (1) 家電4品目

家電リサイクル法によって、メーカー（および輸入販売社）に引き取りおよびリサイクルの義務が課せられており、各メーカーは2つのグループに分かれて各社製品群のリサイクルに関する提携を行っている。

解体・破碎などを行うリサイクルプラントは、それぞれのグループと提携する形で全国に35社44カ所存在している。

各メーカーは、リサイクル率向上を目的として解体に関する技術情報を提供するなど、技術的な提携、標準化の動きが進んでいる。近年では解体の自動化など、プロセスの効率化を志向する取り組みが見られるほか、使用

済み家電から得られたリサイクル素材を再び自社製品の材料として循環させる取り組みも存在し、CEの萌芽事例が見られる。

## (2) 自動車

自動車リサイクル法においては、指定3品目（フロン・エアバッグ・ASR）について引き取り業者、フロン類回収業者、解体業者、破砕業者など、それぞれの役割が明確に定められており、処理フローやそのプロセスについてはトレーサビリティ確保を中心とした標準化がなされている。

一方で、解体における部品回収や破砕・選別における素材回収は、各リサイクル事業者が独自に効率性を追求しており、体系化が進んでいない。

## (3) 小型家電

小型家電リサイクル法は、家電や自動車と異なり、参加の有無や回収対象となる製品を自治体ごとに設定することが可能となる。ま

た、メーカーに対する回収や処理に関連する義務はない。

各自治体で収集される使用済み製品は多品種かつ少量ずつであり、基本的には解体プロセスを経ずに破砕される。

また、収集・中間処理を実施するのは地域の中小規模の事業者が中心であり、プロセス改善も個社の取り組みが中心となっている。

## 2 海外の静脈産業

一方で海外に目を向けると、欧米の産業構造は日本とやや異なっている。企業数で見れば、地域に紐づいた中小企業が多数を占めているものの、「メジャー」と呼ばれる大手企業が存在し、静脈産業内において大きな影響力を持っていることが特徴である。

メジャー各社は、廃棄物あるいは使用済み製品の処理・処分において、収集運搬から中間処理、再資源化、最終処分というプロセス全体を事業として保有し、静脈産業内の垂直統合を志向している。これにより、プロセス

表1 海外「メジャー」の代表例

企業名	売上高（2019年）	主な事業領域	主な展開地域
ヴェオリア （フランス）	3兆3,178億円	収集運搬～再資源化・ 最終処分・上下水道	欧州・東アジア
suez社 （フランス）	2兆1,984億円	収集運搬～再資源化・ 最終処分・上下水道	欧州・東アジア
ユミコア （ベルギー）	2兆1,337億円	収集運搬～再資源化・ 貴金属製錬・加工	欧州・東アジア
WASTE MANAGEMENT社 （米国）	1兆6,851億円	収集運搬～再資源化・ 最終処分	北米
Sims社 （オーストラリア）	5,283億円	収集運搬～再資源化 （金属リサイクル）	北米・欧州・オセアニア
Schnitzer Steel Industries社 （米国）	2,356億円	収集運搬～再資源化 （鉄・自動車）	米国

全体の情報連携も企業内で完結するため、情報活用が進むなど、事業効率の向上に向けた取り組みが実施しやすい環境にある。

また、事業の展開地域についても表1で代表例として挙げたメジャー各社は、自国を中心に北米全域またはEU地域でビジネスを行いながらも、近年ではアジア地域に進出するなどグローバルな広がりを見せている。具体的には、大規模事業者としての技術力、ノウハウ、経営体力を生かし、廃棄物処理などのインフラレベルが高くない地域に対しても、必要とされるレベルに合わせた事業を展開しながら先行的に投資を実施し、長い目線で地域への浸透、投資回収を行っている。

各地域でのノウハウ蓄積は、動脈企業に対してワンストップでの廃棄物あるいは使用済み製品の処理・処分に関する機能の提供を可能にしており、動脈産業とのグローバルでの関係構築につながっている。

リサイクルに関する取り組みについては、最大規模のヴェオリアを中心に、動脈への素材提供事業者であることを目標にしており、展開している地域のレベルに合わせたビジネスを行いながらも、将来的には動脈産業との関係を活用しながら、世界的なバリューチェーンの垂直統合によるリサイクル素材の供給拡大を進めていくと考えられる。

### 3 直近の構造変化

国内静脈産業における直近の動向として、①海外メジャーの参入、②静脈企業を中心とした連携加速、の2点がある。

#### (1) 海外メジャーの参入

前述した海外メジャーのグローバル展開の

一例としてヴェオリアは一般廃棄物、産業廃棄物双方のプラスチックリサイクル関連事業で日本市場に参入している。また、ユミコアではバッテリーや貴金属類のリサイクル事業を日本法人の主要な事業の一つと位置付けている。

今後、国内におけるCEへの注目を背景に、海外メジャー各社による国内での事業領域の拡大や、他社による新規参入も想定され、海外企業との競争・協業の両面が国内事業者に求められるようになる。

#### (2) 静脈企業を中心とした連携加速

国内動向としては、静脈企業が中心となり、動脈企業との情報連携による資源循環を促進する新たな取り組みが見られる。

具体的には、アルミスクラップなどのリサイクル時に合金成分に基づく規格別に選別・回収することで、高付加価値な元の素材にリサイクルする取り組み例として、ハリタ金属による「新幹線車両部材への原料を供給する水平リサイクルシステム」が挙げられる。

使用済み新幹線車両を回収し、リサイクル事業者であるハリタ金属の選別技術によりアルミスクラップを成分規格ごとに回収し、再資源化事業者と連携して新幹線車両の新規製造に利用できる素材として再生し、クローズドループを実現させている。

こうした取り組みにあたっては、回収素材に関して情報を取得・共有し、トレーサビリティの仕組みをベースとした企業間の信頼関係構築の必要性が高まるものと考えられる。

## III 静脈産業の課題と対策

第II章で示したように、海外メジャー参入

はビジネス面と技術面で新しい取り組みを生み出し、静脈産業全体の構造変化を促す一方、国内静脈産業における競争激化につながる可能性もあると考えられる。また、国内静脈企業と動脈産業が製品ライフサイクルを通じて連携するビジネスモデルが産業全体に広がっていくことも期待される。

ここでは、CE形成にあたり、静脈産業における個社の競争力向上から産業全体の競争力向上につなげていくため、静脈産業の課題と今後のあり方に関して述べる。

## 1 動脈の変化に伴い 静脈で対応すべき課題

欧州委員会が2020年3月に発表した「新サーキュラーエコノミー行動計画（A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe）」では、持続可能な製品政策の枠組みとして持続可能な製品の設計を求めており、「製品における再生素材の利活用拡大」と「メーカーによるライフサイクルにわたる管理・資源効率向上」を中心とした取り組みを挙げている。前者は環境性能向上、後者はビジネスモデル転換を促すものとなっている。

「製品における再生素材の利活用拡大」については、当面は静脈産業の技術力や経済性に依存することになるが、CEが形成されるに従い、メーカーがリサイクルを前提とした製品設計として「エコデザイン」を進めるのに併せて、静脈産業においてもリサイクルプロセスの変化・構築などが求められ、メーカーとの連携強化が重要になるものと考えられる。これにより、再生素材の品質向上や規格化が進み、リサイクル量の増加につながると

見られる。

また、「メーカーによるライフサイクルにわたる管理・資源効率向上」については、メーカーまたは製品を使ったサービス提供企業が主体となり、シェアリングやサブスクリプションといったサービス型ビジネスへ転換する動きと相関が強いものである。

サービス型ビジネスの代表的な動きとして、トヨタ自動車の「KINTO（18年11月）」やホンダ技研工業の「Honda Monthly Owner（20年1月）」、日産自動車の「ClickMobi（20年3月）」など、国内自動車各社が相次いで新たなサービス展開を進めており、新車のみならず中古車も含めたサブスクリプションサービスを拡大している。

自動車のサブスクリプションサービスでは自動車の価値は機能提供によって決まるため、いかに長期間にわたって同一製品で機能を提供できるか、あるいは修理・部品交換によって機能の維持、更新が可能となるかが今後の課題になると考えられる。自動車各社にとっては、製品・部品のライフサイクルにわたるトータルコストの管理・抑制が収益につながるため、動脈企業が製品のライフサイクル全般にわたって関与し、修理・廃棄も含めた全体最適なビジネスモデルを構築する必要性が高まっていると考えられる。こうした動きに合わせて、動脈産業を中心にサーキュラーエコノミー形成に向け、静脈産業との連携によるリユース・リマン・リファーマーといった静脈サービスの構築を模索する動きが始まっている。

動脈産業における静脈産業との連携ニーズが高まる中、動脈企業では製造に関する技術や、製造・サービス提供における各種情報が

蓄積されているのに対し、静脈企業では、第2章でも言及した「体系化されていない技術・プロセス」と「情報連携・有効活用に向けたデジタル化の遅れ」といった課題により、動脈企業との連携ニーズに対応できるだけの土壌が形成されていないのが現状である。

### (1) 体系化されていない技術・プロセス

再生素材の利活用拡大に見られるように、動脈企業がサービス型ビジネスを展開するにあたり、静脈企業に対して一定レベル以上の素材品質やサービスを求めるようになると考えられる。一方で、技術・プロセスの体系化が進んでいない静脈産業では、素材品質・サービスのレベルを一定に保つのが難しく、動脈企業がビジネスを横展開するにあたっての阻害要因となっている。

たとえば、マテリアルリサイクルを進めるにあたり、リサイクル事業者から再資源化事業者に供給されるリサイクル原料は、主に破碎・選別工程で回収されたものであり、各リサイクル事業者に収集された使用済み製品のバラツキや、各社のプロセスの影響を受けている。また、リサイクル原料を供給するリサイクル事業者自身が成分や不純物の状況を正確に把握していないことが多いという状況もあり、再資源化事業者が検収（検品・成分分析など）に労力やコストをかけざるを得ない状況となっている。こうした問題は、リサイクル原料供給側の品質情報と再資源化事業者の要求品質に関する情報の共有や連携不足に起因して発生している。

また、静脈サービスを形成するにあたり、現状の解体、破碎・選別を中心としたリサイ

クル事業者では、精緻な解体による部品などの再利用よりも、破碎・選別を重視したプロセスに力を入れていることが多い。そのため、自動車の中古パーツ利用以外では解体時に回収対象となる部品は個社によってバラツキが発生している。背景として、現状の解体における部品回収が人手によるものであり、コストがかかることが挙げられる。経済性を確保できなければ部品回収の取り組みが進まない一方、低コストの解体技術が実用化できないと経済性を確保できない関係になっている。

上記のように個社によるバラツキが大きく体系化されていないリサイクル技術、あるいは破碎・選別を中心としたプロセスや静脈産業間の連携不足が、CE形成に向けた課題となっている。

### (2) 情報連携・有効活用に向けたデジタル化の遅れ

動脈企業では設計情報（素材・部品の構成・構造）から、製造情報（組立や自動化に関するもの）、製品に関する多くの情報を保有し、さらに製品のサービス型ビジネス化に伴い、使用情報（使用履歴・故障履歴）も獲得できる。これらの情報は再生素材の利活用拡大あるいは静脈サービス形成において、有効活用できるものが多く含まれている。

一方、静脈企業では再生素材の利活用に必要な自社の管理、あるいはプロセスにおけるデジタル技術の導入・基盤構築が遅れているのが実態である。ただ近年では、静脈企業においても情報利活用の可能性に気付きつつある。

具体的には、リサイクル原料の利活用拡大

においては、リサイクル事業者が素材形状・量だけでなく、表面処理や含有元素などの成分に着目したりサイクル技術・プロセスの高度化による単体分離を進めることが一つの要素になるが、リサイクル技術・プロセスの高度化において設計情報を活用する余地が生まれると考えられている。さらにいうと、リサイクル事業者が設計情報を基に製品の部位・部品ごとの含有元素や成分を把握し、精緻な解体あるいは破碎・選別を最適に組み合わせることで、リサイクル原料の含有元素や成分を把握・コントロールできる可能性があると考えられる。

また、リサイクル原料の品質を再資源化事業者のニーズとマッチングしていくことで、再生素材の含有元素や成分を考慮した水平リサイクル（あるいはアップリサイクル）や再生素材の規格化が進むことにつながる可能性がある。

静脈サービスを形成するにあたり、再利用する部品などを回収するための精緻な解体を行う際にも、回収された部品が再利用できるか検査し、残存性能を把握するため、製品使用情報（設計情報、製造情報を含む）を組み合わせることが効率的であると考えられている。

CEで示されている循環型サプライチェーン構築に向けては、これまで紹介してきた次のような機能を実装するための情報基盤整備が必要不可欠であり、その実現のためにも、静脈産業のデジタル化は喫緊の課題といえる。

- 動脈産業からの情報連携
- 静脈産業内における情報連携・活用
- 静脈産業で再利用目的に回収された部品

などの解体・検査などに関する履歴・数量・品質管理などのプロセス情報を静脈サービス提供企業へフィードバックする仕組み構築 など

## 2 静脈での技術・プロセスの変化・構築に向けた取り組みの方向性

個社のバラツキが大きく体系化されていない技術・プロセスと、デジタル化の遅れという課題に対し、「①リサイクル事業者における技術・プロセスの変化」と「②静脈産業内の情報連携を促進するプロセス構築」、および「③静脈産業の産業力強化に向けた情報基盤構築・DX推進」の3つの取り組みが挙げられる。

「①リサイクル事業者における技術・プロセスの変化」は、「再生素材の利活用あるいは静脈サービスのニーズに合わせたプロセスへの変化」と、それを実現するための経済性確保につながる「プロセスの自動化」に取り組むことで、再生素材の利活用拡大・静脈サービス形成に向けた物理的な対応を目指すものである。

「②静脈産業内の情報連携を促進するプロセス構築」は、「トレーサビリティ」「マッチング」「プロセス認証」の機能を組み合わせることにより、データ利活用の促進と効率化を目指すものである。

これらの取り組みを通じて、静脈産業における個社の企業力を強化し、それに伴う産業力強化を進めていく必要がある。

また、「③静脈産業の産業力強化に向けた情報基盤構築・DX推進」は、先述①②のいずれの取り組みにおいてもデジタル化と情報利活用が想定されていることを受けたもので

ある。静脈企業の競争力強化に関するこれらの取り組みが進むことで、情報基盤構築やDXの推進がしやすくなると考えられる。さらには、動脈産業との連携による動静脈をつなぐプラットフォームやCE型サプライチェーンの構築が期待される。

## (1) リサイクル事業者における

### 技術・プロセスの変化

リサイクル事業者においては、リユース用途の中古部品回収以外では、破碎に不向きなもの、あるいは破碎後に選別しにくいものなど、解体工程では最小限の部品取り外しとなることが一般的なプロセスとなっている。

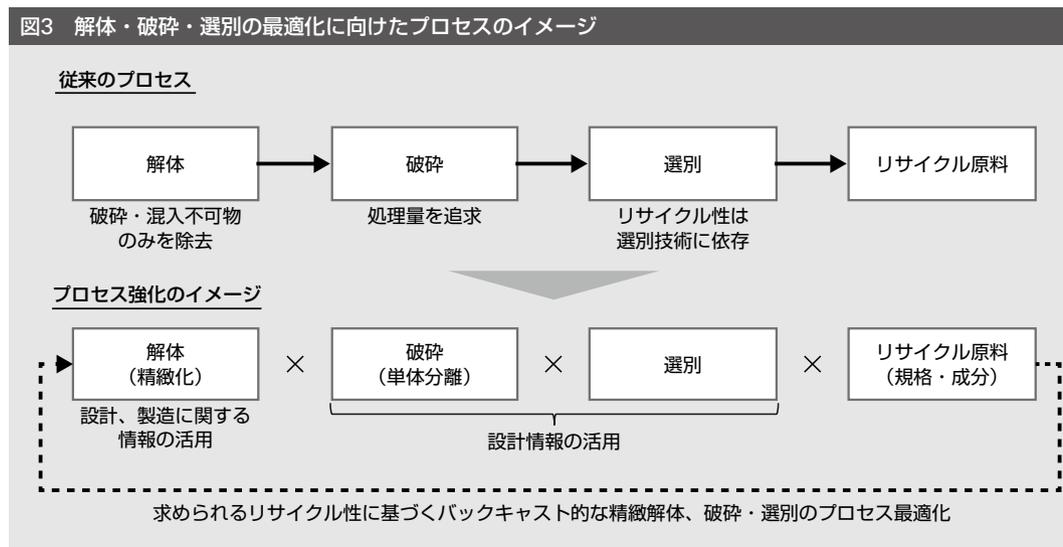
一方で、既に挙げた通り、リサイクル原料の成分に着目した素材リサイクルや部品再利用を拡大するには、解体工程の精緻化を効率よく低コストで実現できるプロセスの構築が重要になる。

これについては、メーカーなどで導入が進むロボットなどによる自動解体技術の確立や、VR（仮想現実）、MR（複合現実）とい

った技術・デバイスを活用し、人手による精緻な解体をサポート・効率化させる取り組みが検討されている。

さらに、素材リサイクルにおいては、鉄・アルミといったベースメタル、あるいはプラスチックなどの規格・成分（添加物・メッキなど）に着目し、破碎後の素材を規格や含有成分に応じて単体分離しやすいよう、受入側事業者のニーズに沿ったプロセスが求められる。具体的には、図3のように破碎技術に合わせた精緻な解体、選別対象となる素材や選別性を踏まえた破碎（単体分離）などを組み合わせたものが必要となると考えられる。この最適化されたプロセスにより、貴金属・希少元素を含有する部品・素材についても製錬しやすい状態で回収することが可能となり、再生素材の付加価値向上が期待できる。

また、こうした情報連携がしやすいプロセスの構築を実現するには、動脈産業が有する設計、製造に関する情報を共有し、それらを利用できる仕組み・システムが必要不可欠である。その際には、自動車や家電などメー



カー側で導入が進むIoT、AIといった技術を応用する（場合によってはメーカーの協力を得る）ことが一助になると考えられる。

## (2) 静脈産業内の情報連携を促進する プロセス構築

再生素材の利活用拡大や静脈サービスの展開にあたり、動脈企業では一般的となっている需給計画（PSI）と同様に、静脈産業における素材・部品などの供給ポテンシャルを把握し、再資源化事業者へ情報連携することが重要であると考えられる。

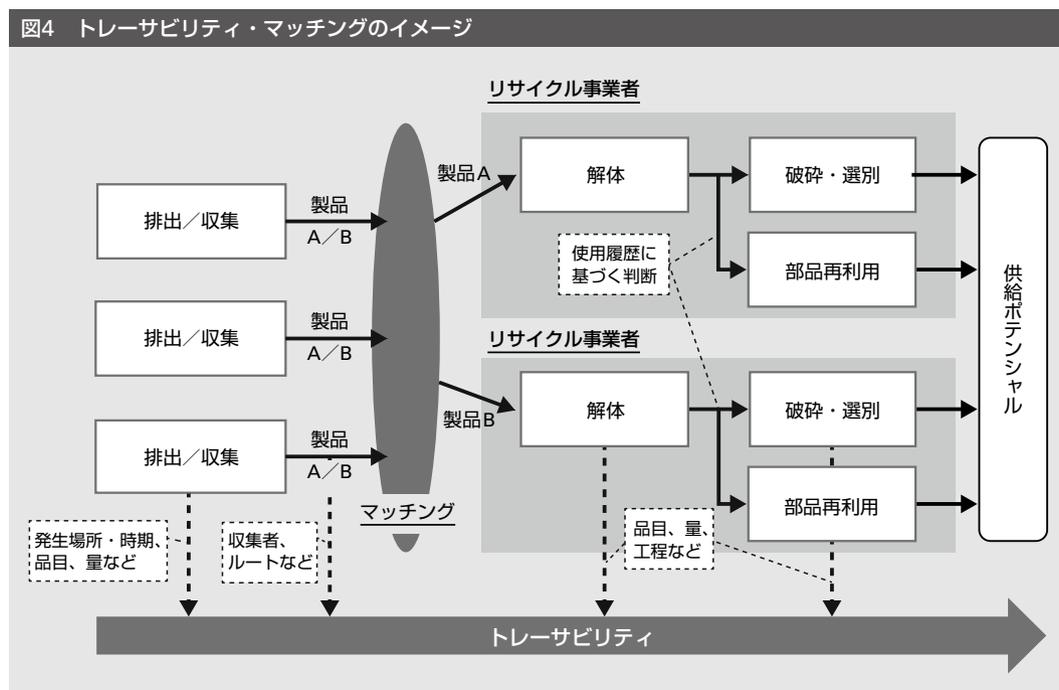
供給ポテンシャルを把握するには、排出された使用済み製品の収集段階、収集した製品からの部品回収（解体）・再利用（検査・加工など）をする段階、部品回収または再利用せずにリサイクル（破碎・選別）する段階など、各段階における発生量・処理量を把握・管理することが求められるが、その際、

RFIDや各種センサーといったIoTデバイスを用いたトレーサビリティシステム構築が重要な取り組みとなる。

トレーサビリティ確保に合わせ、最適な処理を行うリサイクル事業者に対して使用済み製品をマッチング（最適な処理が経済性に比例するという前提で）できる仕組みが考えられる（図4）。このような仕組みの構築可能性について、リサイクル事業者や排出者が中心となり、一部の製品あるいは素材<sup>注3</sup>について部分的な実証実験が検討されている。この仕組みが実現することで、各リサイクル事業者が、自身の得意とする製品などを効率よく収集し、経営効率を向上させることが期待される。

前述したように、現状ではリサイクル事業者における処理プロセス・処理結果がブラックボックスとなっているため、リサイクル原料を受け入れる再資源化事業者は、目視ある

図4 トレーサビリティ・マッチングのイメージ



いはサンプリング分析による手間・コストがかかる検収を前提とした取引を余儀なくされている。そこにこのような情報連携の仕組みが構築されることで、供給ポテンシャルに加え、処理結果（部品の損耗状況、素材成分など）を再資源化事業者へ提供することが可能となる。

その際、処理結果の信頼性を担保するため、リサイクル事業者のプロセスを第三者が認証する仕組みも有効であると考えられる。

このようにリサイクル事業者と再資源化事業者間で情報共有・連携の仕組みが構築されると、再資源化事業者がリサイクル原料に対する要求品質や検収基準をリサイクル事業者に開示することにもつながり、資源循環サイクルのさらなる効率化・高度化が期待される。

### **(3) 静脈産業の産業力強化に向けた 情報基盤構築・DX推進**

既に挙げた通り、企業力強化に向けた取り組みにおいて、プロセス変化・構築のそれぞれにデジタル化の要素が含まれている。

特に、トレーサビリティ・マッチング・プロセス認証の仕組みは、各リサイクル事業者の得意領域での棲み分けや、静脈企業間の技術・プロセスおよび情報の連携による素材リサイクル・静脈サービスの付加価値向上を促すものであり、静脈産業全体の産業力を強化するDXの要素である。

静脈産業においてDXが進むことで、動脈企業との連携がしやすくなり、動脈企業から提供されたデータを静脈企業が利活用するための、動静脈をつなぐデジタルプラットフォ

ーム構築や、静脈企業のプロセスから得られた素材・部品・データをすべて動脈企業へ循環させるCE型サプライチェーン構築につながることを期待される。

## **IV サークュラーエコノミー拡大 を担う静脈の展望**

前章で述べたデジタル化に関する各取り組みの実現により、静脈産業においてトレーサビリティの仕組みが構築されると、将来的にCEの一部としてさまざまな機能が現実社会に実装されていくことが考えられる。ここではその具体例として、「人工鋳床」「資源フットプリント」「資源循環インデックス」について、その可能性を紹介する。

使用済み製品などを回収段階から捉え、トレーサビリティを確保することで、デジタルによる都市鉱山の可視化が進み、「Reserve to Stock」<sup>※4</sup>の実現性が高まる。これまで、都市鉱山の中でも有用金属の含有率（品位）が低いスクラップなどからの有用金属濃縮・リサイクルは経済性の観点から進んでいなかったが、Reserve to Stockにより「人工鋳床」構築の検討が可能になる。この人工鋳床の構築は、静脈産業にとってリサイクル対象を拡大し、将来の市場を生み出すチャンスとなる。

また、動静脈を通じたデータ連携の進展により、製品ライフサイクルを通じたCO<sub>2</sub>排出量を表すカーボンフットプリントのような概念として、製造工程、静脈における取り扱いも含めた製品ライフサイクル全体にわたる製品の資源性や環境負荷の定量的な把握につながる「資源フットプリント」の構築が可能と

なると考えられる。

さらに、「資源フットプリント」による資源性・環境負荷の定量化と開示により、企業のESG・SDGsに関する評価との組み合わせによる「資源循環インデックス」の構成が考えられる。このように、金融分野によるCE型ビジネスへの関与がより活発化することも予想される。

このような資源フットプリント、資源循環インデックスによる取り組みの定量化・指標化は、動脈企業に静脈産業との連携を進めるインセンティブを与え、静脈産業におけるビジネスチャンスを生み出すと考えられる。

ここで述べたような将来的な機能の実装は、静脈産業における技術・プロセスの変化やDXに関する取り組みが十分に広がって初めて実現するものであり、企業横断、事業横断でのデジタル化、情報連携のあり方が問われている。

#### 注

- 1 製品や部品を回収・分解・洗浄・再組立・検査して商品化すること
- 2 中古機器などを整備し、新品に準じる状態に仕上げること
- 3 製品に限らず素材として排出される場合にも適

用可能な仕組みである

- 4 回収した資源の付加価値を高めるため、回収量や市況などに応じて一時的にスクラップなどを品位に応じて管理し、ストックする仕組み

#### 著者

樹 世中（いつきせいちゅう）

野村総合研究所（NRI）社会システムコンサルティング部主任コンサルタント

専門はサーキュラーエコノミー、資源・廃棄物政策、省エネルギー政策など

蔵永圭則（くらながよし）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部副主任コンサルタント

専門はサーキュラーエコノミー、製造業周りの新規事業立案など

瀧山拓哉（たきやまひろや）

野村総合研究所（NRI）社会システムコンサルティング部コンサルタント

専門はサーキュラーエコノミー、省エネルギー政策など

嶋村寧人（しまむらやすと）

野村総合研究所（NRI）マーケティングサイエンスコンサルティング部コンサルタント

専門はサーキュラーエコノミー、官民連携に関する調査設計など