



サーキュラーエコノミーが製造業にもたらす 新たなエコシステム ーその形成の鍵となるLCAー

2021/9

三井物産戦略研究所
技術・イノベーション情報部インダストリーイノベーション室
小川 玲奈

Summary

- サーキュラーエコノミーへの転換のために、製造業では業界の枠を超えて、循環する物の流れや情報を共有し、全体で環境負荷軽減と経済性とのバランスを取りながら新たな事業を創り上げる“共生型エコシステム”化が求められる。
- 共生型エコシステムでは、環境負荷軽減の目標を共通の尺度で共有するためのライフサイクルアセスメント（LCA）と、それを解釈するキープレイヤーが重要な役割を果たす。
- キープレイヤーには、多数のステークホルダーの可能性を引き出し、共創を指揮する機能と、LCAを深く理解し、そこから新たな事業を生み出す、あるいは既存事業を拡大・推進する能力が必要とされる。

1. サーキュラーエコノミーへの転換から始まる製造業の“共生型エコシステム”化

昨今、海洋プラスチック問題をはじめとして、製品の廃棄による環境汚染や健康への悪影響への懸念が高まっている。その解決のために、従来の、製品が使用後に廃棄される形のサプライチェーンから、廃棄しない形への転換、つまり、モノの流れをサプライチェーンの各段階に還流させるサーキュラーエコノミー（CE）¹（図表1）への転換が求められている。そして、この転換のためには、物流、情報、エネルギー等を介して各プレイヤーが1対多の相互関係を形成する新しいエコシステムを形成することが必要との認識が広まりつつある。直近では2021年5月に花王、ユニリーバ・ジャパン、東京都東大和市が日用品を回収、リサイクルするプロジェクトを立ち上げた²例がある。このプロジェクトでは、競合企業が共同でリサイクルを行うために、製品に使用している原料の情報を共有し、ごみ収集を担う行政と協力して新たな回収ルートを構築するなど、これまでにはない顔ぶれでエコシステムを形成している。

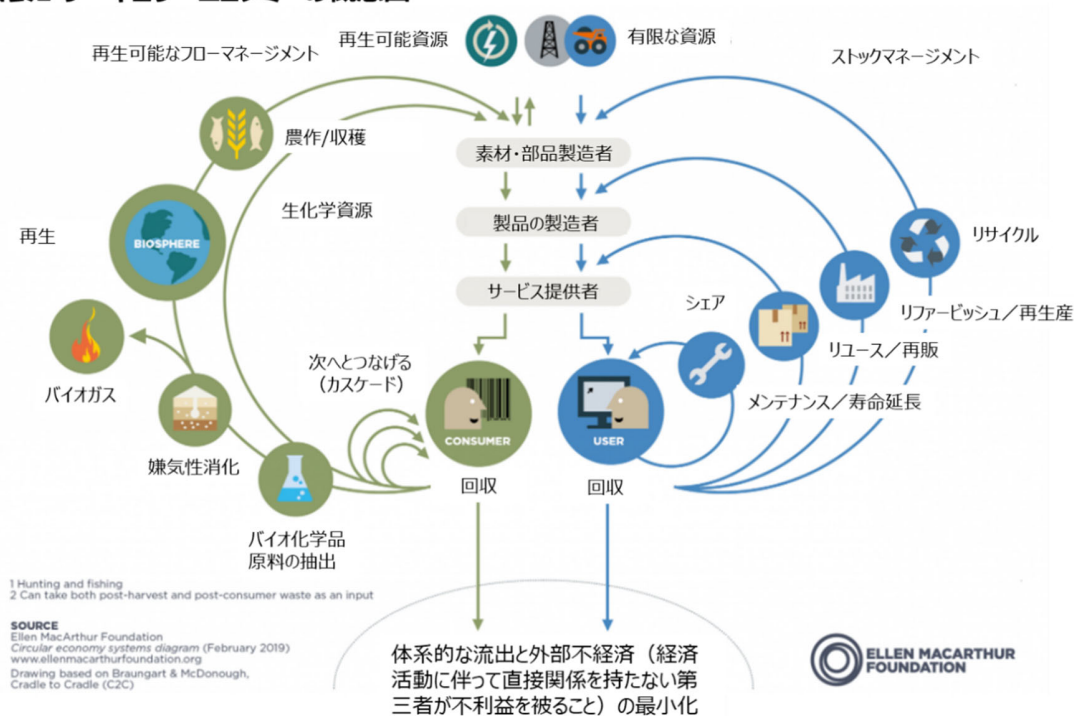
今後は、現在行われている試みの進化形として、CEに関わるプレイヤーを誰一人取り残さずに巻き込んで形成され、プレイヤー同士が、循環する物の流れやそれにまつわる情報を参加者全員で共有し、全体で環境負荷軽減と経済性とのバランスを取りながら新たな事業を創り上げていくシステムが求められよう。

¹ サーキュラーエコノミーとは、シェア、リユース、リファーマービッシュ、再生可能資源の利用までを包含した持続可能な循環経済のこと。廃棄物の環境流出を止める環境保全の側面と、持続可能な新たなビジネスモデル創出の側面を持つ。

² ニュースリリース「ユニリーバ・ジャパン、花王が協働回収プログラム「みんなでボトルリサイクルプロジェクト」を開始」

本稿では、これを「共生型エコシステム」と呼ぶこととし、その在り姿や、形成の鍵となるライフサイクルアセスメント（LCA: Life Cycle Assessment）について述べる。

図表1 サーキュラーエコノミーの概念図



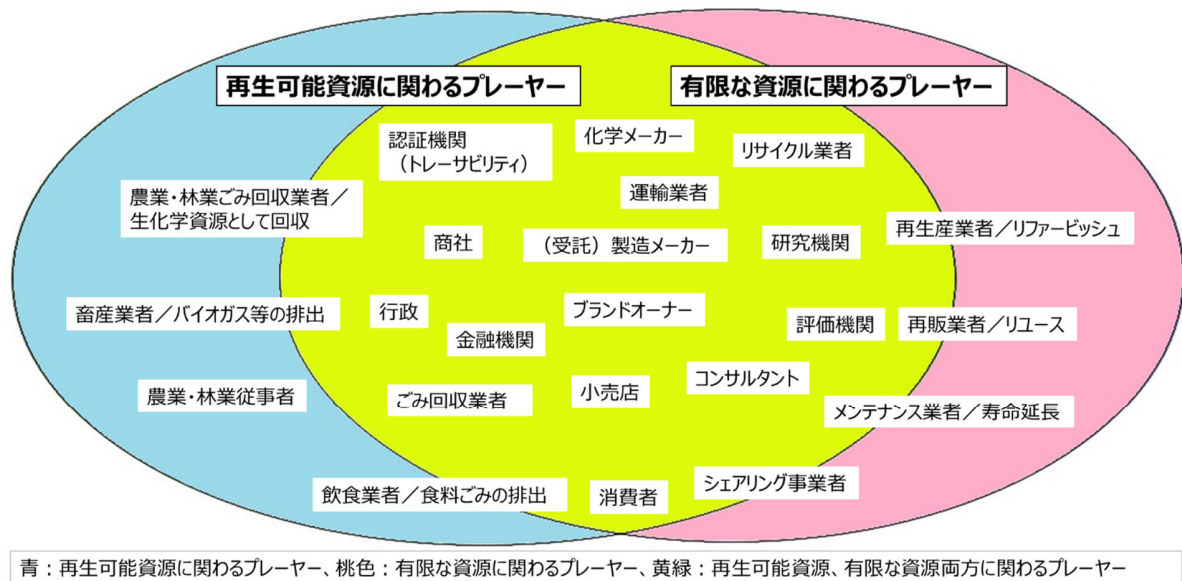
出所：Ellen Mac Arthur Foundationウェブサイト（最終閲覧日：2021年8月19日）
<https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>

2. 共生型エコシステムとLCA

2.1. 新たなプレーヤーの参画

共生型エコシステムには、従来の製造サプライチェーンでは名前の挙がることのなかったプレーヤーが数多く参加することになる（図表2）。CEの概念が、図表1で示したとおり再生可能な資源のフローと有限な資源のストックマネジメントの両輪からなることから、従来の製造サプライチェーンのプレーヤーに加えて、再生可能資源の供給者である農業、林業、畜産、飲食業者と、その回収や再生に関わる業者、有限な資源を再利用できるよう回収・加工する業者などが加わる。それは、小室内楽団に新たなメンバーを加えて生まれたオーケストラに例えられよう。ステークホルダーが増えることによる調整の煩雑化も予想される一方で、より多くのプレーヤーを巻き込むことでオーケストラのレパートリーの幅が広がるように、新たなビジネスが生まれる可能性が広がる、とみることもできる。

図表2 共生型エコシステムに必要なプレーヤー



出所：三井物産戦略研究所作成

2.2. 共生型エコシステムのあり姿を決めるライフサイクルアセスメント（LCA）

LCAは、製品の原料採取から製造、使用、廃棄に至るまでの環境負荷を定量的に評価する方法であり、共生型エコシステムの形成に際して、エコシステム全体で目指す環境目標を共通の尺度で共有するためのツールとなる。オーケストラではプレーヤーごとに譜面が用意される。譜面における音符が、共生型エコシステムで扱われる製品の仕様だとすると、LCAはその周囲に付加され、音楽の表情や雰囲気の規定するための記号である。

LCAは近年国際標準化³が進み、CE推進のための技術的な改善指標として有用であるとの理解が広がっている。国連環境計画（UNEP）⁴や欧州委員会環境総局⁵では、リサイクルプラスチックや再生可能（バイオ）プラスチックの環境負荷を化石燃料由来のプラスチックのそれと比較するためのLCAを実施している。ここではUNEPによるテイクアウト食品パッケージのLCAの結果を一例として示す（図表3）。LCAを行うことで、化石燃料由来のプラスチックを、単純に全てバイオプラスチックに変えるだけでは、むしろ地球全体としての環境負荷が高まるリスクがあることが分かる。原料に使用する植物やその栽培方法によっては、生態系への影響だけでなく、気候変動への影響評価でも化石燃料由来のプラスチックよりも環境負荷が高い事例も報告されている。

³ ISO国際規格に加え、対応する日本国内規格（JIS）も存在する。

ISO14040（JIS Q14040）：原則および枠組み

ISO14041（JIS Q14041）：目的および調査範囲の設定ならびにインベントリ分析

ISO14042（JIS Q14042）：ライフサイクル影響評価

ISO14043（JIS Q14043）：ライフサイクル解釈

⁴ UNED Life Cycle Initiativeウェブサイト

<https://www.lifecycleinitiative.org/about/our-mission-vision-and-impact/>

⁵ ECウェブサイト“Life Cycle Assessment (LCA) of alternative feedstocks for plastics production”

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125046>

図表3 テイクアウト用食品パッケージのLCA結果（インパクト指標）の比較

		インパクト指標					
		気候変動		(海洋) 酸性化		(海、川、湖などの) 富栄養化	
国連環境計画が再検証を行った事例：[] 内は出典		最良	最悪	最良	最悪	最良	最悪
使い捨てプラスチック製テイクアウト食品パッケージの比較	PS、PLA（トウモロコシ）、PLA（キャッサバデンプン）製の熱成形ボックス [Suwanmanee et al, 2013]	PS	PLA（キャッサバデンプン）	PS	PLA（トウモロコシ）	記載なし	記載なし
	イチゴ包装用 PLA、PET、PS 製 熱成形クラムシェルコンテナ [Madival et al, 2009]	PLA（トウモロコシ）、PS	PET	PET、PS	PLA（トウモロコシ）	PLA（トウモロコシ）、PS	PET
使い捨てプラスチック製テイクアウト食品パッケージとプラスチック以外の使い捨てテイクアウト食品パッケージの比較	バイオベース熱成形紙製食品トレイと既存プラスチックパッケージ：APET/PE、EPS の比較 [Johansson et al, 2020]	バイオベース熱成形紙と多層フィルム製のフタ	APET/PE と多層フィルム製のフタ	バイオベース熱成形紙と多層フィルム製のフタ	APET/PE と多層フィルム製のフタ	バイオベース熱成形紙と多層フィルム製のフタ	APET/PE と多層フィルム製のフタ
	果物・野菜用パッケージについて6種の異なるプラスチックとリサイクルパルプモールドでの比較 [Belley, 2011]	XPS、リサイクルモールドパルプ	OPS、PET、PLA、PP	XPS、リサイクルモールドパルプ	PLA、PP	XPS、リサイクルモールドパルプ、OPS、PET	PLA
使い捨てプラスチック製テイクアウト食品パッケージと再利用可能なパッケージの比較	使い捨てと再利用可能なプラスチックパッケージと使い捨てアルミの比較 [Gallego-Schmid et al, 2019]	XPS、再利用PP（18回以上使用）	使い捨てPP	XPS、再利用PP（29回以上使用）	使い捨てPP	XPS、再利用PP（18回以上使用）	使い捨てPP
	再利用可能なプラスチック製パッケージとガラス製パッケージの比較 [Gallego-Schmid et al, 2018]	再利用PP	再利用ガラス	再利用PP	再利用ガラス	再利用PP	再利用ガラス

注：3つのインパクト指標（「気候変動」「（海洋）酸性化」「（海、川、湖などの）富栄養化」）の視点から「最良」「最悪」の素材を選定（PS:ポリスチレン、PLA:ポリ乳酸、PET:ポリエチレンテレフタレート、APET:非晶質ポリエチレン、PE:ポリエチレン、EPS:発泡ポリスチレン、XPS:押出ポリスチレン、OPS:配向ポリスチレン、PP:ポリプロピレン）

出所 国連環境計画“Single-use plastic take-away food packaging and its alternatives”から三井物産戦略研究所作成

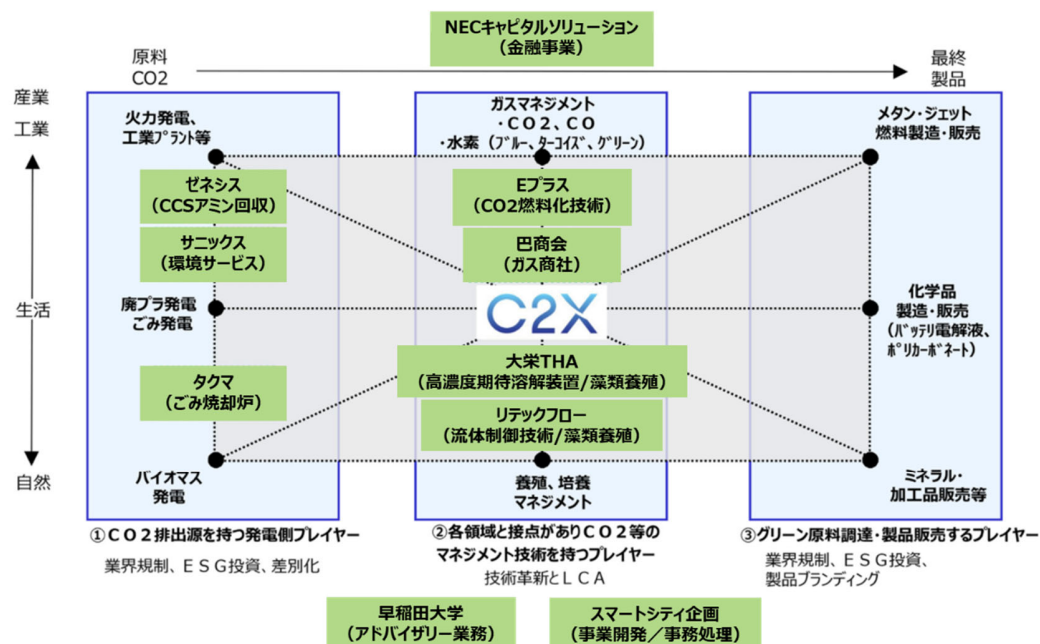
ここで必要となるのが、オーケストラでいうところの指揮者の存在である。指揮者が全プレイヤーの譜面を聴衆に応じて適切に解釈し、価値ある音楽を創り出す役割を担うように、共生型エコシステムでも指揮者に相当する役割が必要で、ここではそれを担うプレイヤーを「キープレーヤー」と呼ぶことにする。キープレーヤーは、先ほど例に挙げたLCAの結果とLCAのルールから、例えば農業等から出る植物由来の廃棄物であればバイオプラスチック原料としての環境負荷が少ないことに着目し、バイオプラスチック普及においても廃棄物の活用が重要になる、といった仮説を立てる。そしてその実証のためにモノの流れを整え、関連するプレイヤーを同定・支援することなどで新たな市場を生み出していくことが役割となる。有限な資源のストックマネジメントにおいても、使用済み製品の行き先の選択肢がリファービッシュ、シェアなど多様化されるなかで、環境負荷軽減と経済的効率性の両立が可能なビジネスのあり方を見いだすための、そして、透明性をもって、明瞭な形でステークホルダーとビジネスのあり姿を共有するための基礎データとして、LCAは不可欠であり、また、それを解釈するキープレーヤーが必要となる。

2.3. 共生型エコシステムを志向した事例：C2X

ここでは、異業種が連携して共生型エコシステムの形成を目指す事例として、Carbon to Xプロジェクト（C2X）を紹介する（図表4）。脱炭素社会の実現を目的とし、また、日本国内で高い技術力を持つ中小企業の共創促進に重点を置き、2021年6月10日に始動した。C2Xでは、環境都市実現のための新規事業を対象としたインキュベータである「スマートシティ企画」が、その形成と発展を司るキープレーヤーに当たる役割を担っている。スマートシティ企画の関係者によると、C2X検討のきっかけは、同社と従来から協力関

係にあった、焼却炉メーカーのタクマやCO₂回収技術を保有するゼネシスとの清掃工場の次世代化に関する対話だったという。具体的には、近年の脱炭素の潮流を捉えた清掃工場のあり姿として、CO₂回収、貯留、利用がテーマアップされたことによる。これを深掘りするに当たってスマートシティ企画は、同分野において研究から事業化、行政へのアドバイスといった幅広い経験を有する早稲田大学の小野田弘士教授と共同研究契約を締結した。そして、共同研究契約の下でアドバイスを受けながら事業化検討のための確からしい方向性と技術の精査を行い、個別プロジェクトの提案を行ってきた。その後、CO₂燃料化技術を持つEプラスやガスの流通に関する知見を有する巴商会、藻類養殖関連技術を保有する大栄THAやリテックフローの加入などを経て現在もプレイヤーの数は増加し続けており、将来的には燃料の需要者や化学品メーカーの加入も見込んでいる。

図表4 C2X（CO₂を新たな価値に）に必要な要素とプレイヤー（2021年8月時点）



出所：一般社団法人C2Xウェブサイト（<https://c2x.jp/index.html#a01>）。緑枠部分（プレイヤー名と事業／業務概要）は同社へのヒアリングに基づき三井物産産戦略研究所が追記

また、スマートシティ企画は、CO₂を排出する企業と、回収・運搬する企業、回収されたCO₂を利用して製品を作る企業とを適切に結びつける役割に加えて、事業化に注力するための環境作りに工夫を施している。具体的にはまず、中立性担保のためにC2Xを社団法人とした。そして、社団法人としての活動よりも事業化のための活動に重点を置ける法人とするために、年会費は徴収せず、事業として成功した際に法人が成功報酬を得る形となっている。また、事業化推進の上で政策提言や国の予算獲得が必要な時には、それらを得意とする別の社団法人との連携を柔軟に行うことを想定している。共創促進のために、C2Xへの競合の参入は妨げない、というルールも定めている。C2Xの開始当初はほぼ全ての新規個別プロジェクトの提案をスマートシティ企画が行っていたが、具体的な個別プロジェクトの提示と適切な追加情報の提供によって、

徐々に会員企業からの提案も増えてきているという。

なお、C2XにおけるLCAによるCO₂削減効果の数値化は今後の課題として認識している段階、とのことである。LCAそのものは小野田教授に依頼する形を想定しているが、スマートシティ企画としては、LCAを軸としたビジネスについていくつかの構想を持っている。具体的には、C2Xの新規個別プロジェクトとして、ベンチャー育成を絡めてLCAトラッキング技術の開発を行うことや、LCAの追跡を社会制度として、他の社団法人と協力して行政へ提案を行う、といった構想である。今後、国内外でカーボンプライシングなどの検討と歩調を合わせる形でCO₂排出量定量化のためのLCAに関する技術開発やルール形成が進むことになるが、それらの技術やルールはC2Xにおける事業化の成否に大きな影響を与えると予想される。

C2Xは成長の途上であり、仮説の検証が待たれる部分も多いが、既存事業におけるネットワークを基に、徐々に新たなプレーヤーを巻き込む形で成長しているエコシステムとして、また、LCAを軸としたビジネス構想の参考として、学ぶべき点は多いだろう。

3. 共生型エコシステム形成と成長のために

共生型エコシステムが製造業の発展モデルとして普及するためには、キープレーヤーが重要な役割を果たす。キープレーヤーには①多数のステークホルダーを巻き込み、その可能性を引き出し、共創を指揮する機能と、②LCAを使いこなす機能が求められる。

①では、新たな資源としての再生可能資源の生産者や、各種廃棄物を回収、加工、供給するプレーヤーのポテンシャルと、新たな資源の製品原料としての制約を理解した上で、品質と経済性を両立させるための最適な道筋を導き出し、実現に向けて指揮する能力が求められる。

②では、LCAへの深い理解をベースに、その結果と経済的な持続可能性とを照らし合わせて意思決定した上で、透明性をもって、分かりやすい形で、ステークホルダーと共有しながら、新たな事業を立ち上げる、あるいは既存の事業を拡大・推進する能力が求められる。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できるとされる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。