

エレクトロニクス業界の  
未来を見据えて  
循環型ビジネスモデルのメリット



# 謝辞

## プロジェクトリード

Natalia Lopezは、PwCスウェーデンの社会的・持続可能なサプライチェーンチームのシニアマネージャーである。彼女はこの10年間、欧州と東南アジアでサステナビリティ（持続可能性）に積極的に関わってきた。専門分野は、持続可能なサプライチェーン管理、循環型経済（サーキュラーエコノミー）、そしてエレクトロニクスや食品、ファッション、廃棄物発電などの事業戦略である。

そうした役割の一環として、NataliaはPwCスウェーデンで循環型経済や持続可能なサプライチェーンの戦略策定を主導している。企業のビジネスモデルを評価し、循環型経済への移行をサポートするほか、エレン・マッカーサー財団と協力して企業のスキルアップを促し、閉ループシステムなど、循環型経済の取り組みに関する意識向上を図ってきた。彼女は本レポート全体のプロジェクトオーナーであり、また本テーマに詳しい重要な専門家でもある。

Aria Soltaniは、PwCスウェーデンの気候・社会的持続可能性・ESGデータチームのマネージャーである。経験がある主な分野は、製品ライフサイクルアセスメント、環境・社会的影響の定量モデリング、ESG報告、ESGデューデリジェンスなど。分析・報告内容に責任を負うプロジェクトマネージャーおよびテクニカルリードを務めた。

David Ringmarは、PwCスウェーデンのESG責任者で、エネルギーおよびディールプロジェクトに特に重点を置いている。エネルギー・ユーティリティ分野の戦略や取引に関して20年以上の経験があり、バッテンフォール社で大型の買収・売却案件に責任を負う戦略担当幹部を務めたこともある。



Natalia Lopez



Aria Soltani



David Ringmar

## 主な協力者

貴重なデータ、知見、議論の機会などを提供してくれた、全世界のPwCネットワークの持続可能性、市場および業界の専門家の方々に心から感謝したい。また、本レポートの執筆や基本モデルの構築を助けてくれた、PwCスウェーデンのコアプロジェクト・グループのメンバー、Cynthia Coulombe、Pinar Dagistan、Kathy Fang、Marko Gajic、Johannes Schönにも感謝する。

最後に、本レポートを作成する上での重要なパートナー、TCOデベロップメント社に感謝したい。彼らは専門家としての貴重な知見、そしてモデリング作業のための重要なデータを提供してくれた。TCOデベロップメントに関する詳細はウェブサイトをご覧ください。<https://tcocertified.com/about-tco-development/>

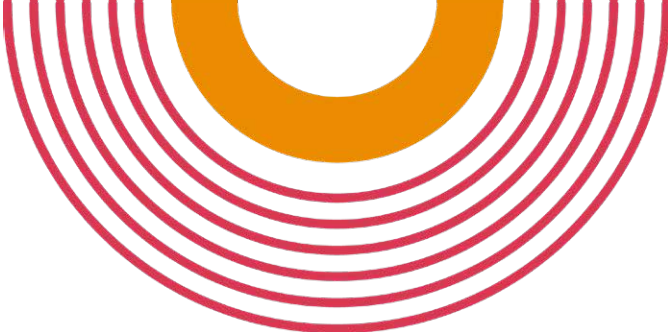
## 本レポートの支援者

情報や意見を提供してくれた専門家

Sangeetha Raghuram(PwCインド)、Joost de Kluijver(クロージング・ザ・ループ)、Andreas Nobel(TCOデベロップメント)、Tom Moran(産業コンサルタント&アドバイザー)、Ferdinand Revellio(PwCドイツ)、Alwine de Vos van Steenwijk(PwCオランダ)、Stijn van Doorn(PwCオランダ)、Olof Hällerman(PwCスウェーデン)、Anton Andersson(PwCスウェーデン)、Majken Tottenhammar(PwCスウェーデン)、Thea Brorson(PwCスウェーデン)

## 略語一覧

B2B	企業間の～
B2C	企業・消費者間の～
BAU	現状のまま、従来どおり
CAGR	年平均成長率
CDP	カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト
CO <sub>2</sub> e	二酸化炭素換算
EEE	電子・電気機器
EPR	拡大生産者責任
EU	欧州連合
E-waste	電子機器廃棄物
GHG	温室効果ガス
ICT	情報・通信技術
LCA	ライフサイクルアセスメント
PaaS	サービスとしての製品



# 目次

<b>エグゼクティブサマリー</b> .....	<b>4</b>
見直しが必要 .....	4
循環型経済 .....	5
<b>イントロダクションと背景</b> .....	<b>7</b>
循環型ビジネスモデルの定義 .....	9
エレクトロニクス業界における循環型モデルの可能性 .....	13
<b>方法と範囲</b> .....	<b>14</b>
<b>エレクトロニクス業界をめぐる調査結果</b> .....	<b>15</b>
自動車エレクトロニクス .....	18
家電機器 .....	19
産業エレクトロニクス .....	22
情報・通信技術(ICT) .....	24
<b>限界と検討</b> .....	<b>26</b>
私たちの予測モデルの限界 .....	26
実行の障壁 .....	27
企業が循環型経済を目指すための初期投資コスト .....	27
<b>循環型ビジネスモデルによる機会拡大</b> .....	<b>30</b>
法規制 .....	30
税と補助金 .....	33
デジタル化 .....	33
協業 .....	34
資源不足とサプライチェーンの混乱 .....	35
<b>循環経済への移行におけるPwCの役割</b> .....	<b>38</b>
PwCの循環型イノベーションフレームワーク .....	39
<b>まとめ</b> .....	<b>40</b>
<b>後注</b> .....	<b>41</b>



## エグゼクティブサマリー

### 見直しが必要

エレクトロニクスは私たちの毎日の生活に欠かせないものとなった。デジタル化、世界的な中間層の増大、急激に進むイノベーションなど、数多くの要因に後押しされて、家電機器、ICT、産業・医療エレクトロニクス、自動車エレクトロニクスなど、各種セグメントの需要がかつてないほど高まっている。こうした需要増と、エレクトロニクス業界で現在主流となっている直線型ビジネスモデルが相まって、環境へのマイナスの影響が大幅に増加しかねない勢いである。

エレクトロニクス製品の需要拡大に伴って原材料の需要も高まる上、同製品は製造過程で大量のエネルギーを使用する。その消費パターンは、使用期間が短く、早くに製品寿命が終わる。さらに、マテリアルフローの管理が不適切なため、電子機器廃棄物という環境問題も拡大している。エレクトロニクス業界における循環型モデルにはビジネス上のメリットが明らかにある、と私たちは考える。循環型エレクトロニクスはこうした問題の改善に役立つとともに、気候の観点からも費用対効果の観点からも価値を生むのは間違いない。

これを踏まえて私たちはこの価値を定量化し、エレクトロニクスに循環型モデルを導入する利点について、さらなるエビデンスを提供しようとした。

現在のエレクトロニクス業界の主流は循環型ではなく直線型のモデルであり、そこにはバリューチェーンに沿って幅広い環境・社会・経済上の問題が伴う。循環型経済へ移行することで、エレクトロニクスがビジネスや消費者にもたらすプラスの効果を損なうことなく、業界が直面する課題の多くを解決できる。その点で、エレクトロニクス部門はライフサイクルの全ステージで排出される温室効果ガスに大きな責任を負うことを指摘しておかなければならない。現在、エレクトロニクス業界の温室効果ガス排出量は全世界のかなりの部分を占めており、ファッション業界の排出量にほぼ相当するレベルである。

## 循環型経済

現在の直線型経済(リニアエコノミー)は「採取・製造・廃棄」の原則に従っている。資源の採取、生産、消費、処分という段階を順に踏むのが特徴である。原材料と製品がこれらの段階を直線的に経ていき、最終的に廃棄されるという考え方だ。この原則は、システムとしての直線型経済の欠陥を示している。つまり無駄が多く、有害で、高くつく。比較的短い時間しか使われない最終財をつくるために、エネルギーや労働力、体化炭素排出などの資源を必要とする。

直線型モデルは多くの場合、環境に悪影響を与える非効率な処理方法につながり、それが汚染や資源の枯渇をもたらし、生態系や人間の健康に悪影響を及ぼす。

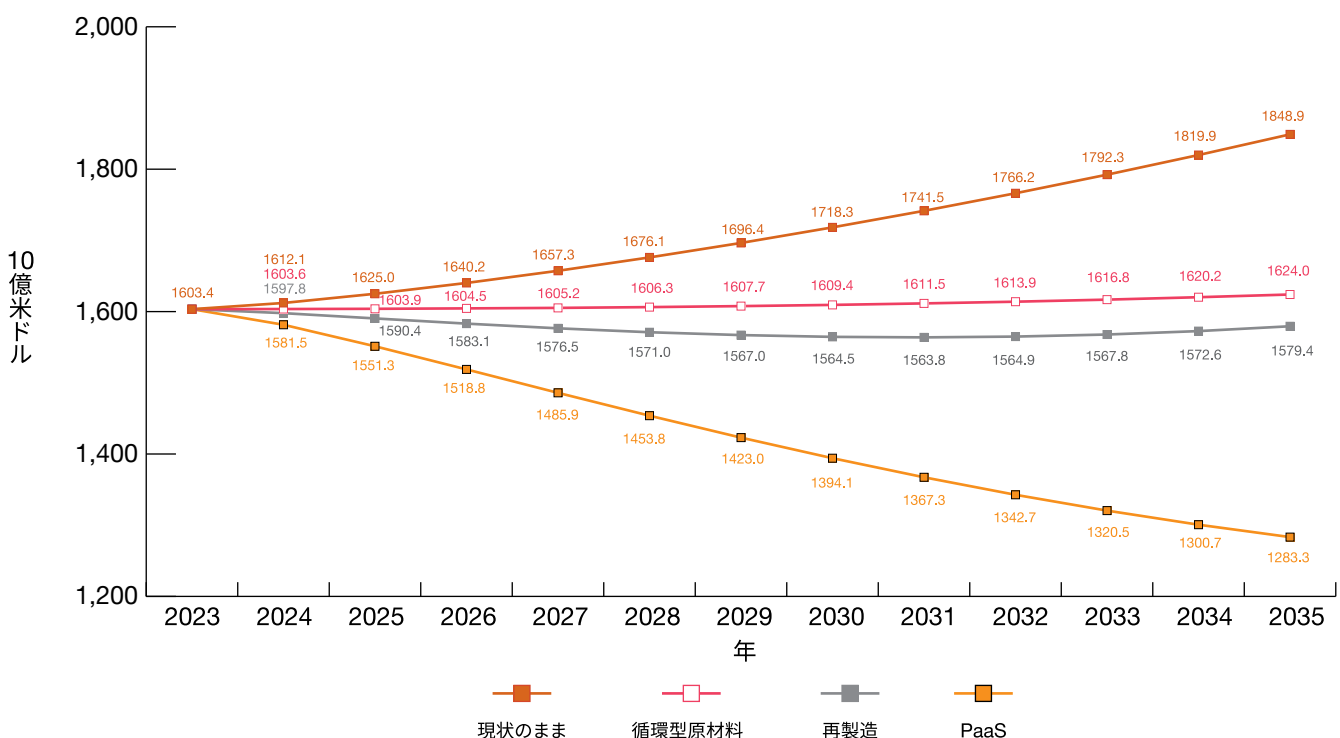
直線型経済の課題に対応するためには、循環型経済への移行が必須である。循環型経済は資源効率を最大化し、廃棄物をあらかじめなくすよう製品を設計し、製品の再利用、リサイクル、改修を促そうとする。自然資本の復元を目指すのが原則的な考え方であり、限りある資源や自然の消費・破壊から経済活動を切り離す(デカップリング)ような方法で製品やビジネスモデル、システムを設計する、そんなシステム思考に触発されている。

循環型経済は資源効率やデカップリングだけにとどまらず、大気中の二酸化炭素の絶対量を減らして気候変動を緩和することもできる。気候変動、自然資本、生物多様性の分野で持続可能な開発を可能にする、多くのコベネフィットをもたらすことが期待される。

## ベネフィットの実現には一連の変革が必要

私たちは外部関係者とも協力しながら、ほぼ1年かけて、循環型ビジネスモデルへ移行することの気候および財務上のベネフィットを定量化しようと、全社的に調査・研究を続けてきた。本レポートではその分析結果をお届けする。今回はエレクトロニクス業界を事例に取り上げたが、循環型ビジネスモデルへの移行によって価値を生み出す可能性は、ほぼ全ての産業にあると考える。本調査ではエレクトロニクス業界の4つのセグメントで3つの循環型ビジネスモデルを評価し、セグメントが違えば効果的な戦略も違うことが判明した。その企業が主にコスト削減を目指しているのか、環境負荷の低減を目指しているのかにそれは左右されるのだが、それでも本レポートで分析した全ての循環型ビジネスモデル(循環型原材料、再製造、PaaS)は今後12年間、直線型モデル(現状のまま)に比べて費用対効果が高く、二酸化炭素換算(CO<sub>2</sub>e)排出量を大きく削減することが明らかになった。

図表1：エレクトロニクス部門のコスト推移



全体として、循環型戦略は平均で12%のコスト削減、10%のCO<sub>2</sub>e排出量削減につながることがわかった。セグメントごとに見ると、家電、産業エレクトロニクス、ICTでは、その企業がコスト削減を目指すのかCO<sub>2</sub>e排出量の低減を目指すのかによって、PaaSまたは再製造が最善の戦略となった。自動車エレクトロニクスでは、再製造が最善の戦略であることがわかった。調査の時点では、同セグメントのほとんどの企業にとって、電子部品レベルでPaaSを利用するのは不可能と思われたからだ。

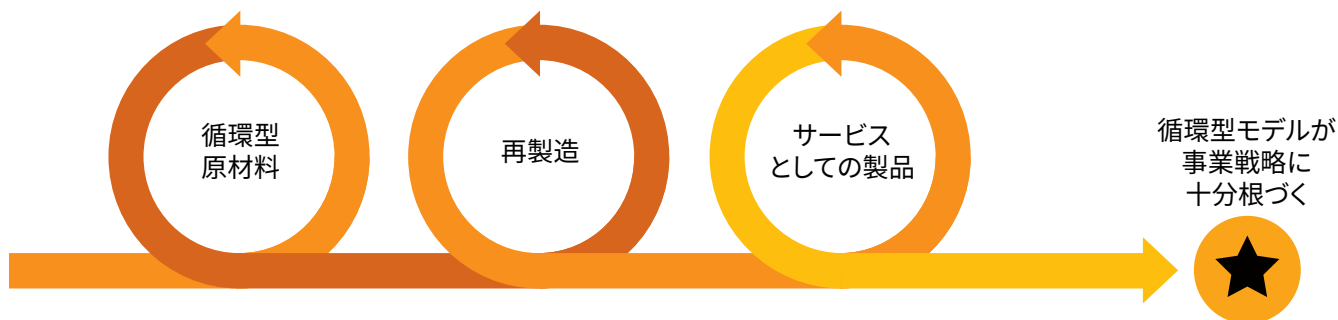
とはいえ、これら3つの循環型ビジネスモデルはそれぞれ、初期投資と事業変革を必要とすることを認識しておかなければならない。循環型原材料戦略を強化して少しずつ実行に移すといった一見単純に見える対策でも、有益な成果を生むことができ、オペレーションや戦略の大規模な変更は必要としない。そして企業は循環型モデルへの取り組みになじんでくると、本レポートで触れていないものも含め、より高度なビジネスモデルへ徐々に移行することができ、最終的に循環型モデルが事業戦略に十分根づくようになる。

また、循環型戦略は単独で実行されないことが多く、互いを組み合わせての実行が可能である。例えば、製造段階で製品の循環型原材料を使い、使用段階でPaaSモデルを利用すれば、コストやCO<sub>2</sub>e排出量をもっと削減できる。

今回検討したもの以外にも、エレクトロニクス業界の企業に循環性の追求を促す要因はいくつかある。例えば、ビジネスモデルの実行や資源効率向上の原動力となるデジタル化、効果的なシナジーを提供する可能性があるパートナーシップ、循環型経済へ向けて高まる規制当局からの要求などだ。しかし、先に述べた初期投資や必要な事業変革など、課題もある。ただ、循環型ビジネスモデルへの移行に伴う課題は確かにあるものの、思い切って取り組んでみるメリットも明らかにあり、多くの価値が得られるはずだと私たちは考える。

取り組みの中でアドバイスが必要なときは、PwCネットワーク内の循環型モデルやサステナビリティの専門家に遠慮なくご連絡いただきたい。御社が循環型経済のもたらすチャンスをもにし、長期的で持続可能な価値創造を実現できるよう、いつでもお手伝いする。

図表2：循環型モデル実現へのプロセス



# イントロダクションと背景

デジタル化、世界的な中間層の増大、急激に進むイノベーションなどに後押しされて、エレクトロニクスの各セグメントの需要がかつてないほど高まっている。21世紀に入り、テクノロジーとイノベーションは、通信手段の改善、自動化(オートメーション)による効率化、資源配分の最適化などを通じて、経済発展に欠かせない役割を果たしている。

グローバルな接続性が拡大し、さまざまな国で経済が急成長を遂げた結果、電子・電気機器(EEE)の需要は拡大を続けている。スマートフォンやタブレット、ラップトップの普及により、インターネットにアクセスできる人が増える一方、中間層の増大に伴って、冷蔵庫や洗濯機、暖房機器、薄型テレビといった家電製品の生産・購入も増えている。今後も予想される接続性の向上は、分散化されたクラウドデータセンターへの移行が進み、地域のデータセンターや企業のIT機器への依存が減ることを暗示している。同時に、相互接続デバイスの消費者向け市場は活況を呈する見込みで、2023年には接続デバイスの数が世界人口の3倍を上回ると予測される。

全世界のエレクトロニクス市場の規模(2023年)は1兆2,750億米ドル、年平均成長率(CAGR)は7.5%で、アジア太平洋地域と北米地域が需要を牽引している<sup>1</sup>。しかし、こうした成長の結果、推計7,700万トンのエレクトロニクス製品がグローバル市場に導入された。アジアがそのうち半分以上を消費しており、南北アメリカ(20%超)と欧州(18%弱)がそれに次ぐ<sup>2</sup>。

EEEの直線型消費の増加によって、「採取・製造・廃棄」の現状がもたらす、環境・社会面の負の外部性に焦点が当たっている。規制当局や消費者が特に懸念する負の外部性は、例えば、人為的気候変動の原因となるCO<sub>2</sub>e排出量、職場事故による短期・長期的な健康への影響、採取・生産施設の近隣地域での環境汚染や騒音公害などである<sup>3</sup>。2019年には、全世界の電子機器廃棄物

のうち、回収され適切にリサイクルされたのは17%にすぎなかった。つまり、4,430万トン(控えめに見積もっても570億米ドル相当)の原材料が1年間に廃棄処分されたことになる<sup>4</sup>。直線型のシナリオでは、金、銀、銅、プラチナなど、回収可能な高価な素材が、しかるべく処理されて市場に再導入されることなく廃棄または焼却されている。原材料の無駄に加えて、電子機器廃棄物の不適切な管理により、インフォーマルなリサイクルが産業として拡大することにもなった。適切な安全策を講じずに電子機器を焼却・廃棄するなどの危険な行為が横行し、

その結果、世界の廃棄物を引き受ける途上国の人々や環境にあまりにも大きな影響が及んでいる<sup>5</sup>。

循環型経済へ移行すると、エレクトロニクス業界が直面する課題の多くを、ビジネスや消費者へのプラス効果を損なうことなく解決できる。循環型ビジネスモデルが目指すのは、資源をできるだけ長い間最大限に利用し、以降の使用サイクルでも価値が

保たれるようにマテリアルループを閉じる製品システムである。ループを閉じておくことで、資源の採取と製品寿命終了時の処分——環境・社会面のインパクトが最も大きいとされる段階——に伴う負の外部性が最小化される<sup>6</sup>。循環型モデルはまた、エレクトロニクス業界が顧客ロイヤルティやネット・プロモーター・スコアを高め、競争優位性を築く機会にもなる。循環型ビジネス戦略にはいろいろあるが、本レポートでは、業界内でCO<sub>2</sub>eとコスト削減の可能性が最も大きいと想定される3つの戦略、すなわち循環型原材料、再製造、サービスとしての製品(PaaS)に焦点を当てる。

**循環型経済へ移行すると、エレクトロニクス業界が直面する課題の多くを、ビジネスや消費者へのプラス効果を損なうことなく解決できる。**



## 循環型戦略の優先順位

循環型戦略の優先順位を決める方法として、9つの循環型戦略ランキングという考え方がよく用いられる。企業はリスト最上位の戦略をまず利用し、その後、順に下位の戦略を利用するよう努めなければならない。

- **拒否(Refuse)** :顧客が違う製品を購入しなくてもよいように、その製品は多数の機能を満たすよう設計されているか。
- **再考(Rethink)** : (共有などを通じて) 最大限に利用できるように製品を見直すことができるか。
- **削減(Reduce)** :製品をもっと効率的につくれるか。または、原材料を減らせるか。
- **再利用(Reuse)** :製品と材料は社内外で、または他のユーザーによって再利用可能か。自社製品の価値をどの程度簡単に回復させることができるか。
- **修理(Repair)** :機能寿命を延ばすために製品を簡単に修理できるか。
- **改修(Refurbish)** :製品を復元し、古い部品を更新することができるか。
- **再製造(Remufacture)** :古い製品の部品を、同じ機能の新しい製品に再利用できるか。自社製品をどの程度簡単に回収できるか。
- **転用(Repurpose)** :製品寿命の終わりに、古い製品の部品を、新しい機能の新しい製品に利用できるか。
- **リサイクル(Recycling)** :製品の材料をリサイクルして、新しい製品をつくれるか。





## 循環型ビジネスモデルの定義

### 循環型原材料

循環型原材料代替とは、リサイクル原材料または再生原材料を製品に用いることを言い、有毒物質や危険物質を徐々になくすことも含まれる。循環型原材料の範囲は、リサイクルプラスチック、リサイクル金属、リサイクルガラス、あるいはバイオ素材や農業廃棄物のような再生可能資源など、幅広い。リサイクル素材は、廃棄物や使用済み製品を加工または転換した素材で、そこから性質の似た、またはまったく異なる新製品が生み出される。循環型原材料に関するこうした見方は、ループの再生をめぐるエレン・マッカーサー財団の考え方にも符合する。そこには、有毒物質の使用をなくす、再生可能素材・エネルギーの利用を増やす、環境改善に資するネットポジティブ戦略を実行する、などが含まれる。

循環型原材料の使用を増やすのは、製品の排出量削減に欠かせないステップである。製品の設計段階そのものは大抵の場合、炭素集約度が最も高いわけではないが、構成部品や、製品の使用・製造法に関する意思決定は、ライフサイクルの他のステージに大きな影響を及ぼす可能性がある。設計は循環型経済の中心を成すと言われる。設計段階で下される決定は、製品の寿命や原材料、修理可能性、寿命終了時の対応に影響するからだ。製品の環境負荷のおよそ8割は、設計段階の決定に左右されるという<sup>8</sup>。さらに、企業の排出量に目を向けると、世界の温室効果ガス排出量の4割が、企業の購入品や販売する製品が原因で、あるいはその影響で発生している<sup>9</sup>。排出集約度が低い素材へ切り替えれば、「購入した財・サービス」「資本財」などのスコープ3カテゴリーで排出量を減らすことができる。

### 再製造

再製造は、使用済みの製品や部品を分解、洗浄、修理、再組立てすることで新品同様に復元する産業プロセスである。再製造の対象製品は、元のメーカーによる元の仕様に戻し、摩耗部品や欠陥部品を取り換える。再製造は廃棄物の発生を防ぎ、原材料の採取を減らす方法として、循環型経済になくはならない存在になりつつある。それによって、寿命を迎えた製品を再び販売・使用することができ、廃棄物の削減、製品寿命の延伸が実現する。

製品の再製造には多くのメリットがある。特定の製品を再製造する場合、新しい製品の製造に比べて使用するエネルギーが少ないため、経済・環境面のコストも少なく済み、その結果、CO<sub>2</sub>e排出量が削減され、埋め立てられる廃棄物の量が限定される。製品がすでに製造され、再利用可能であるため、バージン原材料の調達・加工コストを回避できる。また、スコープ3カテゴリーのうち、企業の「購入した財・サービス」「販売した製品の加工」に関わる排出量を、回収計画を通じた顧客の廃棄物削減によって削減し、「販売した製品の寿命終端処理」に関わる排出量を、顧客の廃棄物削減や製品寿命の延伸によって削減する(需要を満たすのに必要な製品のインスタンスが少ないため)可能性がある。

さらに、再製造された製品は新製品に比べてコストが大抵3〜4割低いので、価格に敏感なより多くの消費者をターゲットにすることができる<sup>10</sup>。またサステナビリティに対するコミットメントを強調することで、ライバル企業との差別化ができる(Alatefi et al. 2023)<sup>11</sup>。エレクトロニクス製品には重要原材料が数多く使われているため、再製造は部材不足に対する企業のレジリエンスを高め、リスク軽減策となる。再製造に影響を与える重要な要因としては、自然災害や地政学的対立の増加による原材料の不安定な供給、それに伴うコスト変動が挙げられる。


再製造戦略を効果的なものにするためには、あたかも製品の設計時には再製造プロセスが考慮されていないかのように、設計の段階からモジュール設計を実行しなければならない。製品寿命の終わりに再製造するのは難しい<sup>12</sup>。設計段階で製品の再製造特性を考慮しておけば、製品の再利用やアップグレード、メンテナンスが容易になり、分解や回収も楽である。モジュール設計の明確なメリットとしては、設計効率の向上、サプライチェーンの短縮、製品の品質・信頼性の向上、優れた保全性などがある<sup>13</sup>。これらはさまざまな産業に大きなベネフィットを提供する。モジュール設計・製造は主要部品のアップグレードに役立ち、製品の重要性を維持するとともに、性能の陳腐化に対する建設的な解決策にもなる。私たちのモデルでは設計段階が最もCO<sub>2</sub>e集約的というわけではないが、研究によると、製品のサステナビリティ性能の約8割は設計・開発段階で決まるという<sup>14</sup>。モジュール手法は資本支出の削減にはつながらないものの、データセンターのライフサイクル(約10年)全体に及ぶようそれを拡張できる<sup>15</sup>。事業経費は抑えられ、回収期間もさらに短くなる。モジュール設計は柔軟性が高いので、需要の拡大に応じてキャパシティを増やすことができる<sup>16</sup>。

## サービスとしての製品(PaaS)

PaaSは、企業が製品そのものを販売するのではなく、サービスの形で顧客に提供するビジネスモデルである。顧客は製品自体を購入する代わりに、通常はサブスクリプションモデルを通じて、製品の使用に対してお金を支払う。所有権の移転はない。B2B取引の場合、PaaSによって資産の獲得コストは多額の資本支出から、もっと柔軟な事業支出に置き換わる。こうしたモデルを採用すると、製品の利用を増やし、定期保守による予期せぬダウンタイムの減少を通じて、有効寿命を延ばすことができる。サービス提供者は製品の使用段階に対するコントロールを維持し、必要な修理に責任を負う。したがって、ライフサイクル排出量が製品の使用段階で最大であるときは、これは有効な戦略となる。

PaaSは革新的に見えるかもしれないが、製品の使用料を払うという方式は、ホテル、タクシー、鉄道、航空、図書館の本など、多くの業界ですでに一般的である。購入を基本とする経済では、通常、買い手と提供者は販売時点で一度だけやりとりする。サブスクリプションを基本とするシステムでは、買い手と提供者は使用サイクル全体を通じて接触を続けるので、信頼とロイヤルティが築かれる。例えば、提供者はサブスクリプション期間中にメンテナンスサービスを提供し、サブスクリプション終了時に洗浄や転用、リサイクルのために製品を回収することができる。PaaSで重要なのは、それが環境・財務面で十分有用であるためには、回収した製品が必要に応じて修理を受けられなければならないということだ。修理サービスを推進するためには、製品を容易に分解し、その後組み立て直すことができるよう、製品の設計時にこうした点を考慮する必要がある。

PaaSモデルを実行すると、スコープ3カテゴリーの排出量を削減できる。中でも「販売した製品・サービスの使用」に関わる排出量を、多数の利用者が製品を共有できるようにし、サービスとして製品を販売し、再販売や再利用を通じて製品の寿命を延ばすことで削減可能である。ただし温室効果ガス(GHG) 会計の観点からは、製品の使用段階が延伸されると、その製品の排出量は増加する可能性がある。



“  
企業は使用済み製品を回収して改修または再製造し、再度販売するプログラムをつくることができる。それによって廃棄物を削減できるだけでなく、手頃な価格の中古デバイス向けの市場を新たに開拓できる

Andreas Nobell(TCOデベロップメント)

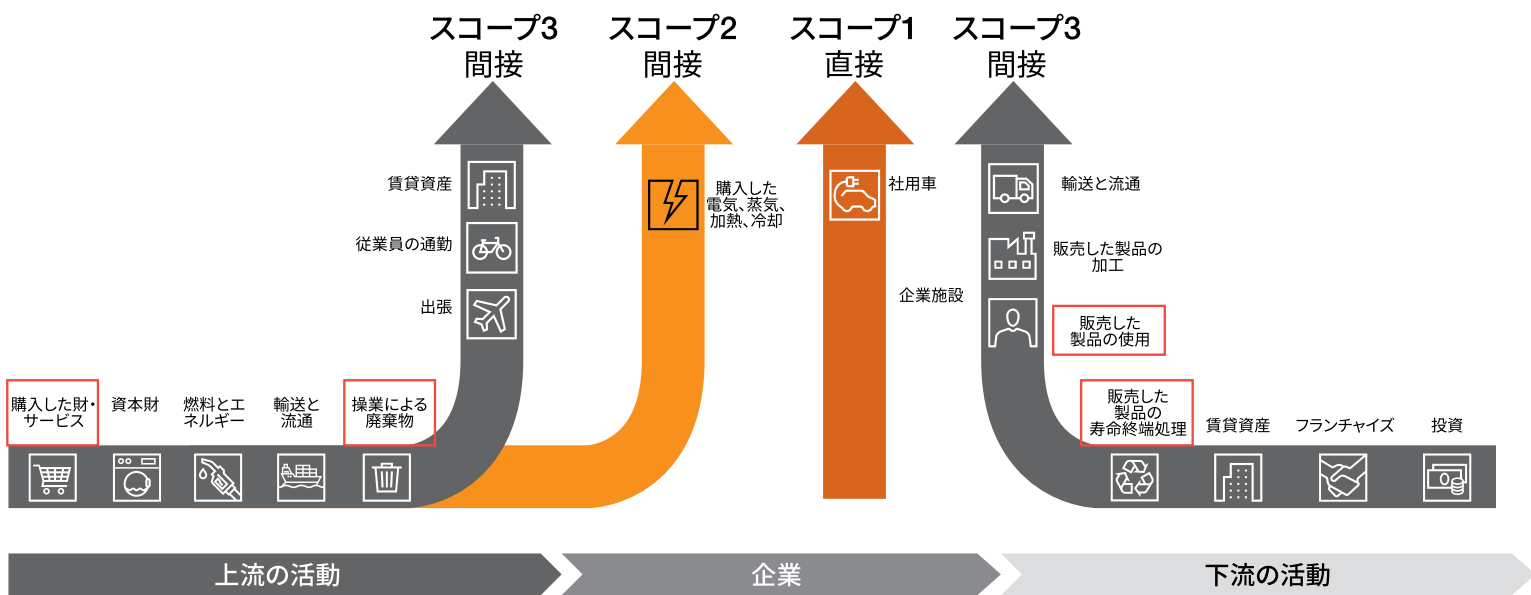
”



## 温室効果ガスプロトコルに沿った排出量報告

炭素会計は、組織が排出している温室効果ガスの量を測定する1つの方法である。GHGプロトコルは、世界で最も広く採用されているGHG排出量測定の会計基準だ。官民セクターのオペレーション、バリューチェーン、緩和アクションによって、温室効果ガス排出量を測定・管理する際に基準となる包括的な国際的枠組みである。

排出量は3種類に分けられる。スコープ1と2は、社用車、発電機、消費電力など、企業のコントロール下にあるオペレーションによる直接・間接の排出量。スコープ3は、企業からのその他全ての上流・下流の間接排出量で、15の категорияに分類される。スコープ1と2の排出量はスコープ3に比べて算出しやすいことが多いが、排出量の大部分はしばしばスコープ3に起因する。実際、カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト(CDP)の推計では、スコープ3排出量は企業の全排出量の75%を占める<sup>17</sup>。以下の図では、排出量削減を促す上で循環型経済が重要な役割を果たすスコープ3カテゴリーを赤枠で強調している。





PaaSには3つのタイプがある

- **サブスクリプションベースのサービス:**顧客は月間または年間使用料を払って製品・サービスを利用する。いつでもキャンセルまたはアップグレードできるオプション付き。
- **ペイ・パー・ユース:**顧客は製品・サービスの実際の利用、またはそこから得られる具体的成果に対して料金を支払う。この方式は運輸、エネルギー、医療などの業界でよく用いられる。
- **リース(賃貸):**顧客は製品を一定期間利用するための料金を支払う。期間終了時に契約を終了または更新できるオプション付き。

PaaSモデルはサービス提供者と顧客の双方に対して価値を創造する。前者にとっては、顧客との関係を強化し、新たな収益をもたらす、競争力を高める効果があり、後者にとっては、総所有コストを最小限に抑え、必要な時だけ製品を使えるというメリットがある。PaaSモデルは企業が新たな収益源を生み出す動機づけとなるため、エレクトロニクス業界にとって大きなチャンスとなる。

PaaSは戦略的な製品差別化を可能にするほか、顧客ともっと統合的・長期的な関係を築き、原材料の利用を最適化する効果もある。また長期的な契約は将来の収益源を確保することにもつながる。このようにPaaSは優れたビジネスチャンスとなっている<sup>18</sup>。

“

PaaSモデルは丈夫で修理しやすい製品の創造を促す。なぜなら企業は製品を引き続き所有し、その維持に責任を負うからだ。この手法は着実な収入を生むだけでなく、顧客との関係強化にも役立つ

Andreas Nobell(TCOデベロップメント)

”



## エレクトロニクス業界における循環型モデルの可能性

エレクトロニクス業界では循環型ビジネスへの変革に投資するのをためらう傾向がある。B2Bセグメントの顧客からの具体的な需要が限られていること、気候対策と財務業績は両立しないという誤った思い込みが原因である。しかし循環型ビジネスモデルへの移行は、事業コストの削減につながる可能性がある。サプライチェーンのレジリエンスを高め、原材料の採取や製品寿命終了時の処分の必要性を減らす効果があるからだ。

エレクトロニクス業界が循環型ビジネスモデルの実行に適しているのは、以下のような要因による。

- **グローバルサプライチェーン:**エレクトロニクス業界のサプライチェーンはグローバル化が進んでおり、人件費、原材料の入手しやすさ、スキルセット、市場への近さなどの地域差を利用して効率化を図ることができる。しかし、最近の世界的なチップ不足などに見られるように、このグローバルサプライチェーンの混乱により、業界のあらゆるセグメントで大きな損失が生じている<sup>19</sup>。
- **製品の高い価値と耐久性:**エレクトロニクス業界の多くのセグメントの製品は、高価値の機能を提供し、高い耐久性を備えることができる。したがって、PaaSや再製造など、変革的な循環型ビジネスモデルの実行を成功させるための条件を満たしている。
- **再生不能な希少素材への依存:**エレクトロニクス製品の生産には、レアアース元素、コバルト、リチウム、インジウムなど、大量の希少原材料が必要である。また、スズ、タンタル、

タングステン、金(3TG)などの採掘は、グローバルサウスにおける人権侵害や武力紛争につながっているため、厳しい輸入規制を受ける<sup>20</sup>。有効寿命を終えた製品からこれらの鉱物を責任をもって回収すれば、紛争を起こさずに重要な原材料を調達できることがほぼ確実であり、サプライチェーンデューデリジェンスの必要性も低減する。

- **価格弾力性と市場セグメンテーション:**途上国の工業化やインダストリー4.0の台頭の後押しされて、エレクトロニクス業界はさまざまな市場、B2CおよびB2B顧客セグメントで成長を遂げている。つまり、性能要件も価格感応性も異なる幅広いタイプの顧客が登場することになる。循環型ビジネスモデルを導入した生産者は、直線型シナリオでは商業的に成り立たないとされる市場や業界で、もっと幅広い顧客層をターゲットにすることができる。
- **環境・社会面の責任:**エレクトロニクス製造業は環境持続可能性や社会的責任に関して、厳しい目を向けられるようになってきている。エレクトロニクス業界の企業は厳格な規制を守り、サプライチェーンの透明性を示して、消費者や規制当局の期待に応える必要がある。

循環型モデルを実行に移すには、経済成長と際限ない資源採取を切り離すビジネス戦略への抜本的パラダイムシフトが必要である。本レポートは、エレクトロニクス業界が将来的に強靱なビジネスモデルのポテンシャルをフルに発揮できるよう、循環型原則の適用を提言しようとするものである。

# 方法と範囲

循環型モデルが推進役となり得る持続可能な開発は、将来世代のニーズ対応能力を損なわずに現在のニーズを満たす開発、と一般的に定義される。これまで、サステナビリティの取り組みはコストと見なされてきた。マーケティング上のメリットがある、または法規制上必要であるといった明確な理由がない限り、誰も喜んで負担しないコストである。しかし今日のエレクトロニクス業界は、業界全体にとって持続可能な方法で事業運営する必要がある。また全世界の全ての業界が、この地球のために気候へのマイナスの影響を最小限に抑える必要がある。

エレクトロニクス業界における循環型ビジネスモデルは、現状のまま(BAU)の直線型ビジネスに比べて、(1)気候にやさしく(CO<sub>2</sub>eの観点から)、(2)事業コストの削減幅が大きい、という2つの仮説を私たちは証明しようとした。そのために、BAUシナリオの経時変化を、3つの循環型ビジネスモデル・シナリオと比較してモデル化し、それが平均的企業のコストとCO<sub>2</sub>e排出量に2035年までにどう影響するかを調べた。2035年というのは、その平均的企業が新しい循環型ビジネスモデルの中でビジネスモデルを成熟させると仮定した時期がその頃であろう、と考えてのことだ。モデルでは、初期投資段階の後に企業のオペレーションが徐々に変化し、やがて十分な成熟を迎えると想定した上で、2023年以降のCO<sub>2</sub>eとコストの動向を追跡している。主に重視したのは、CO<sub>2</sub>eデータ、上下流を含めたスコープ1~3排出量の把握、製品の視点から見た事業コストである。

直線型のビジネスモデルでは、使用段階を経るうちに素材の価値は低減し、寿命が終わる頃にはマイナスになるが、循環型ビジネスモデルはそうした素材の価値を寿命終了時にも維持しようとする。私たちはマテリアルフローの視点を重視することにした。それならば、グローバルなエレクトロニクス業界の製品が多様で、地理的な違いがあっても比較しやすいと考えたからだ。

私たちのモデルと調査結果としてここに示す将来シナリオの基になった入力データは、ライフサイクル分析(LCA)とライフサイクルコスト分析(LCC)のほか、官民のデータベースや研究論文、

外部パートナー、内部の企業ベンチマーキングデータに基づく市場・セグメント規模の推計・予測によって主に構成された。さらに、業界専門家からも重要な知見の提供を受けた。こうした方法を選んだのは、大規模なケーススタディの不足、そしてLCA本来の比較可能性、数量および詳細度が理由である。

私たちのモデルは特定のパラメーターの範囲内で機能するように設計されており、直線型と循環型のビジネスモデルを主に比較する。対象セグメントは、家電機器、自動車エレクトロニクス、産業エレクトロニクス、ICTの4つ。家電の場合、モデルにはPC、スマートフォン、テレビなどの製品が含まれるが、いわゆる「白物家電」は含まれない。ICTセグメントでモデルがカバーするのは、太陽光パネル、アンテナ、サーバーなど。産業エレクトロニクスでは、CTスキャナー、ペースメーカー、組み立てラインロボットなど。自動車エレクトロニクスでは、主に内燃機関自動車、電気自動車、空調設備向けの部品など。私たちが結果に関してエレクトロニクス業界全体というとき、それはこれら4つのセグメントの合計を意味する。モデル構築に際しては80/20法則を基本指針とし、市場規模のおよそ8割を占める2割の製品・部品を重視した。データの収集・合成を終わりのない作業にすることなく、市場セグメントの実態を公正に把握するため、この指針に従うこととした。

**直線型のビジネスモデルでは、使用段階を経るうちに素材の価値は低減し、寿命が終わる頃にはマイナスになるが、循環型ビジネスモデルはそうした素材の価値を寿命終了時にも維持しようとする。**

さらに、私たちのモデルは、現状のまま(BAU)、循環型原材料、再製造、サービスとしての製品(PaaS)という4つの異なるシナリオを包含している。今回のモデルでは可変的な財務係数およびCO<sub>2</sub>e係数を用いて、製品のライフサイクルを通じた経時変化を把握しようとした。財務的な観点からは、これらの係数はマイケル・ポーターのバリューチェーンにいう主活動と支援活動に伴うコストを映し出す。これらのコストをメーカーの視点から見たとき、将来的なカーボンプライシングが持続可能な行動の促進剤になることが予測される。モデルの前提は、上記4セグメントに関わる業界平均的なグローバル企業に最もよくあてはまる。ただし、地政学的な大事件、大きな災害など、グローバル経済やエレクトロニクスのバリューチェーンに大きく影響しかねない不測の事態は、モデルでは考慮していないことには留意が必要だ。さらなる限界については、この後の箇所で検討する。

# エレクトロニクス業界をめぐる調査結果

ビジネス環境は絶えず変化しており、今は現状のまま(BAU)と思われても、規制の厳格化や市場の期待の高まりによって、2035年には見え方が変わってくる。製品の寿命終了時に必要なコストも、原材料採取、物流、CO<sub>2</sub>eプライシングのコストも高騰するだろう。

私たちのモデルの予測によれば、エレクトロニクス業界全体で、**2035年には2023年に比べて事業コストが最大15%増加する**。その主な要因は、スペース不足により処理費が上がり、埋め立てコストが高騰すること、埋め立て地までの距離が延び、ガソリン価格も高くなること、原材料採取のコストが不安定で、銅、コバルト、リチウム、金など、エレクトロニクス製品に使われる重要原材料の貯蔵量が枯渇すること、炭素集約産業のCO<sub>2</sub>eプライシングが高くなることなどだ。企業がこうしたコスト上昇に備え、その影響を和らげるためには、循環型ビジネスモデルの導入を積極的に検討するとよい。CO<sub>2</sub>e排出量削減や事業シナジー、効率アップによるコスト削減につながるからだ。これは直線型ビジネスモデルにこだわり、最低限の法規制順守だけを消極的に目指した場合と比較しての話である。

図表3のように、**2035年には、3つの循環型ビジネスモデル・シナリオの全てで、BAUモデルに比べて最大で12%のコスト削減、10%のCO<sub>2</sub>e削減が可能になる**。したがって、どの戦略を用いるかにかかわらず、循環型戦略を採用したほうが明らかによいことがわかる。しかし、直線型モデルとの比較で最も優れた循環型ビジネスモデルは、全セグメントにおいて、サービスとしての製品(PaaS)と比べて差支えない。PaaSを導入すると、事業コストが最大で31%削減される可能性がある。これは全世界のエレクトロニクス業界で5,660億米ドルに相当する。またCO<sub>2</sub>eは最大で15%削減されるが、これは現在の炭素価格に基づく220億米ドル以上に相当する<sup>21</sup>。

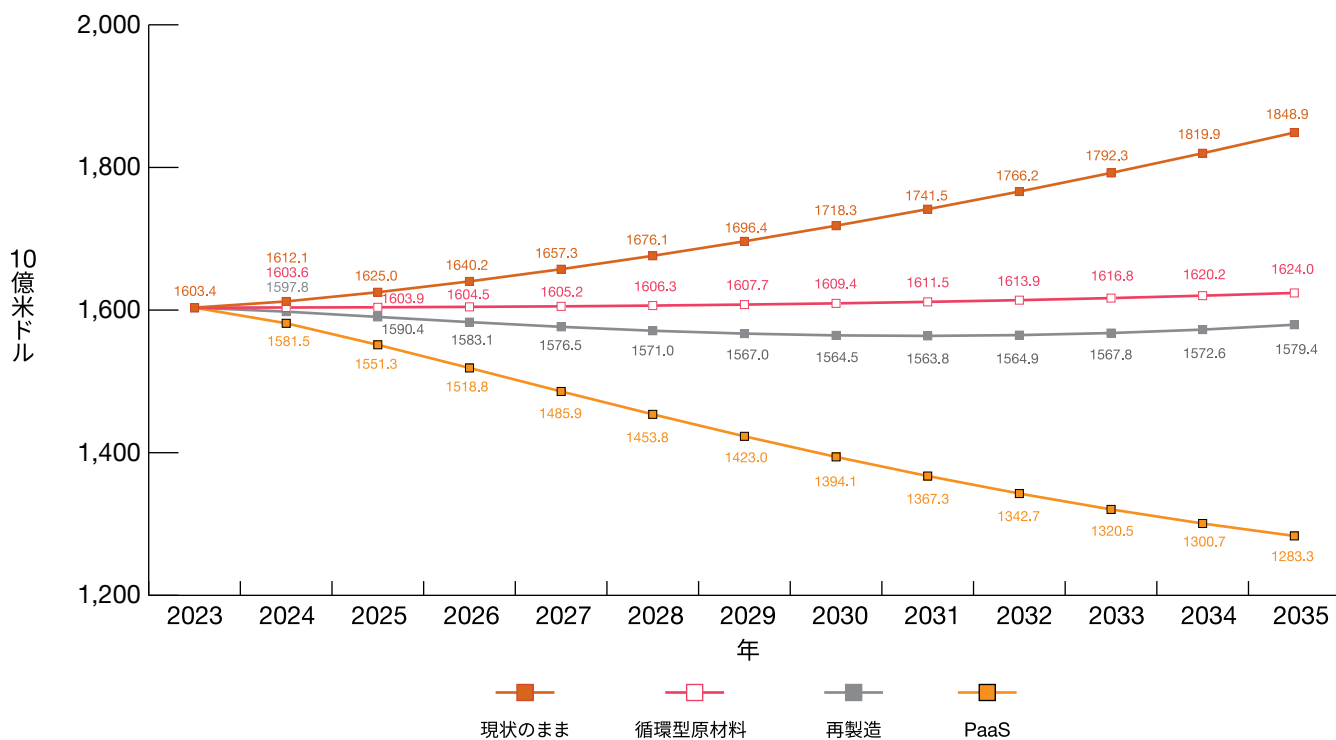
図表3:  
BAUと比較したコストとCO<sub>2</sub>e (2035年)

2035年の削減率 (直線型モデルとの比較)			
コスト削減	循環型原材料	再製造	PaaS
自動車	10%	12%	N/A
家電	12%	13%	27%
産業	12%	16%	36%
ICT	13%	17%	34%
全セグメント	12%	15%	31%

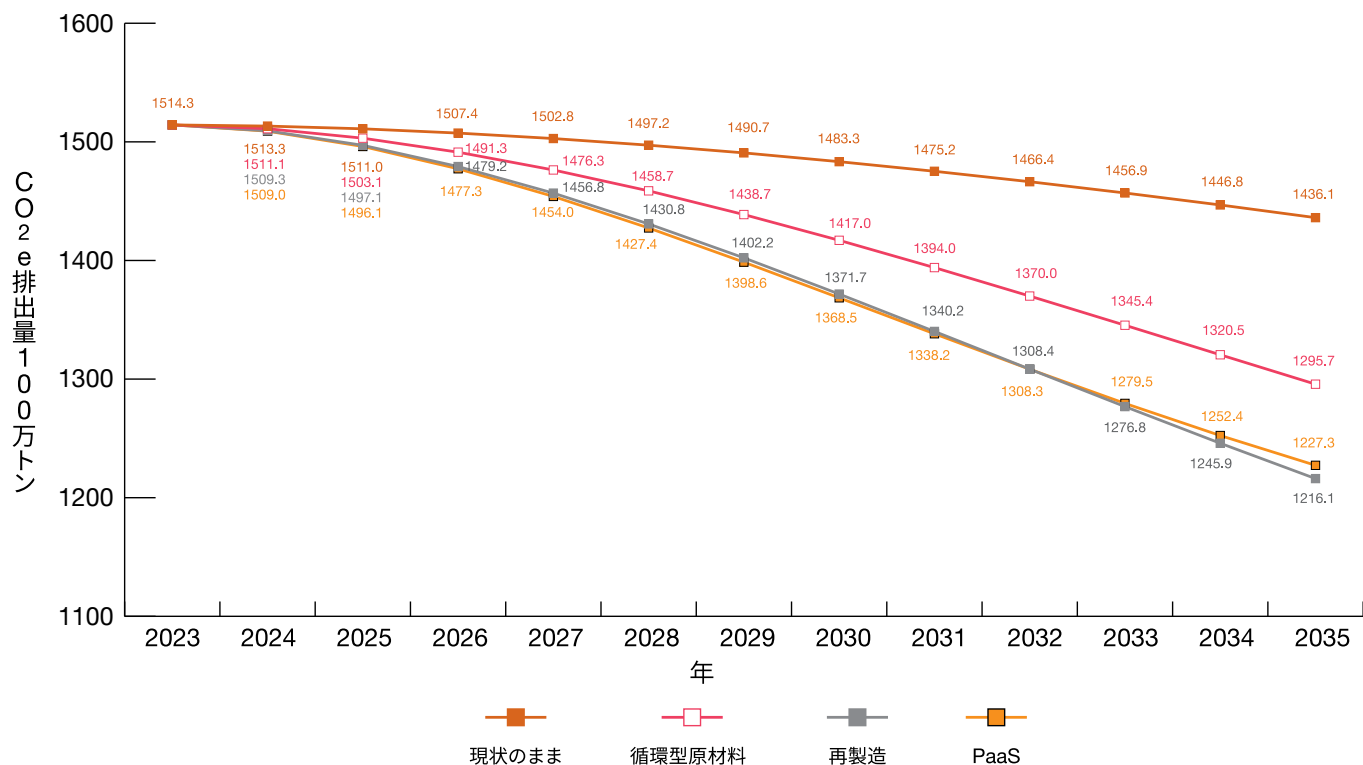
CO <sub>2</sub> e削減	循環型原材料	再製造	PaaS
自動車	3%	5%	N/A
家電	2%	31%	36%
産業	6%	9%	8%
ICT	22%	32%	33%
全セグメント	10%	15%	15%



図表1 (再掲) :  
エレクトロニクス部門のコスト推移



図表4 :  
エレクトロニクス部門のCO<sub>2</sub>e推移





## PaaS

顧客は流動的なニーズに応じて製品を利用できるため、PaaSの人気の高まっている。収益源の不確実性の増大、低コスト国との競争、価格の変動を背景に、企業は費用対効果の高い方法で事業運営し、同時に製品・サービスを差別化し、競争力を高めようとしている。パフォーマンスベースのサービス契約を利用するメーカーの割合が2015年に全世界で65%に達し、メーカーの70%以上が製品の主たる差別化要因としてサービスを用いようとするなど、PaaSモデルのメリットは以前からすでに大きくなっていった<sup>22</sup>。

サービス化モデルを早いうちに導入することで、企業は売上高の年5~10%の成長を見込める<sup>23</sup>。PaaSモデルは適用範囲が広い人気上昇している。また、消費者が利用者になることで、企業は製品の所有権を保持したまま、修理や再利用、再製造を簡単に行える。循環型経済の観点からのPaaSの主な利点は、生産者が耐久性や修理可能性を視野に入れて設計する動機づけになる点である。というのも、支払いを受けられるのは製品が使用されているときだけで、故障していると料金を受け取れないからだ。

PaaSシナリオを採用すると、原材料の採取、生産、寿命終了に伴う費用などの事業コストが大幅に減少する。まず、1つの製品の生産によってもたらされる使用サイクルが直線型ビジネスモデルに比べて多いため、原材料の採取コストは製品の有効寿命の間に大きく削減される。寿命終了に伴うコストも、直線型ビジネスモデルの下で拡大生産者責任(EPR)の義務を最低限守る場合に比べて、製品処分サービスの利用必要性が低いので減少する。他方、PaaS戦略の導入によってCO<sub>2</sub>e排出量も削減される。製品の有効寿命が延び、使用サイクル当たりの原材料採取および生産による平均排出量が減るからだ。

## 再製造

再製造は、材料の有効寿命の延伸など、PaaSと多くのメリットが共通しており、同じ製品の製造に要する原材料の削減、寿命終了時の廃棄処分コストの大幅削減などが可能になる。しかし再製造とPaaSの最大の違いは、PaaSの場合、製品がメーカーに返却され、1つの生産工程からいくつもの使用サイクルが提供される点にある。再製造では製品を新品同様に提供しなければならないため、使用サイクルごとに再度の生産を経る必要がある(よって「再製造」という)、PaaSよりもコスト高で炭素集約度も高くなる。また、再利用や改修など他の循環型ビジネスモデルの場合、生産の必要性が少ないため、メーカーは再製造よりも高い価値を維持できる。自社に最もふさわしい循環型ビジネスモデルを決める際、このことを念頭に置く必要がある。

再製造戦略を採用すると、原材料の採取や寿命終了に伴う事業コストが大きく減る一方、設計、生産および物流コストは増加する。原材料採取、寿命終了に関わるコストが減少するのは、材料が新たなライフサイクルへ向けて再利用されるため、必要な材料や寿命終了時の廃棄物が少なくて済むからだ。しかし設計、生産および物流コストは増加する。なぜなら、企業はビジネスモデルを適応させ、後日の再製造を容易にするために製品設計を見直し、再製造に備えて製品を顧客から回収しなければならない(これは産業エレクトロニクスやICTなどの大きな製品では非常に高くつく)からだ。原材料採取、生産、寿命終了の段階でのCO<sub>2</sub>e排出量は、コストの場合と同じ理由に基づき発生する。

## 循環型原材料

私たちのモデルによると、循環型原材料ビジネスモデルは、評価対象となったどの業界セグメントにおいても、単独で最もインパクトがあるビジネスモデルではない。再製造とPaaSによるコストおよびCO<sub>2</sub>e削減効果のほうがかなり高い。エレクトロニクス製品に循環型原材料を取り入れるのは、ビジネスモデルの変更を必要とせず、違う材料を使うだけなので参入障壁も低い、製品の使用、物流、寿命の終了には影響を与えない。製品の原材料にリサイクル素材を使うと、原材料採取による排出量は減少するが、残るライフサイクルに関しては直線型ビジネスモデルとさほど変わらない。とはいえ循環型原材料の使用は、生産工程の有害・危険物質を再生可能原材料やリサイクル原材料、バイオ原材料で置き換えることも意味する。これは循環型原材料戦略の重要な側面である。エレクトロニクス製品には、鉛、カドミウム、水銀など、環境や人間の健康に害を及ぼす多くの有害化学物質が含まれているからだ。電子機器廃棄物の適切なリサイクルが、こうした害を発生させないために重要である。

以下のセクションでは、2035年の各エレクトロニクスセグメントの予測について詳しく検討し、コストおよびCO<sub>2</sub>eの観点からどのビジネスモデルが最適かを見ていく。

## 自動車エレクトロニクス

グローバルな自動車エレクトロニクス業界は、自動車部門に欠かせない重要な存在である。モーター駆動車の商業化以来、自動車の機能を制御し、安全性や性能を強化している。自動化の拡大、デジタル主導の設計技術などの後押しで、自動車エレクトロニクス業界は今後も拡大を続け、運転支援の強化、自動車の安全性強化、車内ユーザー体験の向上をもたらすと予想される。また、電気自動車や自動運転車の人気の高まりと、政府によるゼロ排出車の利用促進策も相まって、市場の発展を後押しし、それが自動車エレクトロニクスの需要拡大につながっている。本レポートでいう自動車エレクトロニクスとは、自動車の性能、機能、安全性、快適さを高めるために使用される電子部品・システムを意味する。これにはエンジン管理システム、インフォテインメントシステム、ナビゲーションシステム、ドライバー支援システム、センサー、コントロールモジュール、通信システムなど、さまざまなものが含まれる。現代の自動車では重要な役割を担い、エンジン制御、エンターテインメント、接続性、高度ドライバー支援、自動車の総合管理などの機能を可能にする。

モデルによるとPaaSは大幅な削減可能性を持っているが、本レポート執筆時には自動車エレクトロニクスセグメントでこれを実行するのがかなり難しかったため、分析から除外することにした。PaaSは自動車エレクトロニクスでは実現が困難だが、自動車業界全体では共有型経済(シェアリングエコノミー)への移行が大きく進み、モビリティ業界で共有ベースのソリューションやアクセス主導型のソリューションが大きな成長を見せている。モビリティをめぐる若い世代の考え方の変化もあって、カーシェアリングのZipcar、DriveNow(BMW)、Car2Go、GoMore、Volvo On Demand、ライドシェアリングのBlaBlaCarなど、新しいサービスが各都市で登場しつつある<sup>24</sup>。しかし、このカーシェアリングサービスの成長はあくまでOEMレベルであり、PaaSがティア1、2、3サプライヤーに当てはまるとは必ずしも言えない。

### 再製造

PaaSを除いた分析によると、再製造が最も良い循環型ビジネスモデルである。自動車エレクトロニクスセグメントの企業にとって実行しやすいことに加え、コストとCO<sub>2</sub>eの削減可能性も優れている。主な分析結果によれば、再製造シナリオはコストの最大

12%の削減を可能にし(メーカーにとっての財務的的魅力が確認された)、CO<sub>2</sub>eも5%削減する。コストとCO<sub>2</sub>eの削減幅が最大なのは原材料の採取で、コストは最大61%、CO<sub>2</sub>eは最大59%の削減が予測される。製品で再製造される部分は最も高価な「コア」であることが多いからだ。また当然、物流コストは増加し(約23%)、CO<sub>2</sub>e排出量も増加する(約9%)。寿命終了時にもコスト(最大30%)とCO<sub>2</sub>e(最大83%)が大幅に削減される。数字はいずれも2035年直線型シナリオとの比較である。

再製造が最善の戦略である理由は、それが使用済み電子部品の改修・復元を伴い、フルスケールの生産の代わりに洗浄、テスト、軽微な修理で事足りるという事実による。現在の電子部品は特定のモデルに合わせて複雑な設計になっていることが多く、互換性の問題や資源消費の多さからハードウェアのアップグレードは難しい。しかし、循環型設計とモジュール設計の原則を統合することにより、交換やアップグレードが容易な標準化部品をつくれるようになる。その結果、モデルごとに新しい部品を製造することによる環境負荷を削減できる。こうした互換性の高いモジュール設計への移行は、再製造にとって大きなチャンスとなる。アップグレードした部品を改修・再統合することが可能となり、サステナビリティと費用対効果の両方に寄与するからだ。実際、再製造は既存の部品を修理・再利用することで、新たな原材料の需要やエネルギー集約的な製造工程を減らし、貴重な資源を保護できる。現在、再製造サービスの最大の利用者は、GM、クライスラー、トヨタ、ホンダなどのOEMメーカーである。彼らは再製造サービスを使って、部品交換を要するリコールに対処している。また、ボーズ、クラリオン、アプティブなど、OEMへのティア1サプライヤーは、エンターテインメントサービスやラジオに問題がある場合、再製造サービスを利用している<sup>25</sup>。

自動車業界が急速な変化を遂げるなか、伝統的に盛んだった機械部品の再製造が拡大しつつある。再製造が深く根づいた自動車業界は、この分野のリーダー的存在となっている(エレクトロニクスよりも機械部品のほうがメインではあるが)。しかし、エレクトロニクスの再製造も徐々にポテンシャルが高まってきた。自動車業界を席卷する変革のダイナミクスは、消費者の嗜好や規制の変更によって急速に勢いを増している。需要に支えられたこの変化に押される形で、自動車業界は特にエレクトロニクスの分野で再製造をはじめとする循環型戦略を採用し、環境意識の高い消費者や新しい規制枠組みからの期待の高まりに応えようとしている。その結果、少なからぬ競合企業が電気自動車分野に新たに参入してきた。それに先立ち、自動車企業とその協業

パートナーは、ソフトウェアイノベーションや電化の推進に多大な資源を投入した。自動車エレクトロニクスの再製造は比較的複雑なせいであまり普及していないものの、自動車がEVバッテリーや安全システムなどの重要機能をサポートするために電子部品を組み込むようになってきているため、状況は変わることが予想される。さらに、既存の二次市場や解体サービスを利用して、自動車エレクトロニクスまで再製造の範囲を広げ、循環型プラクティスに対する業界のコミットメントを強化することができる。

要するに、自動車業界にとっては、循環型ビジネスモデルの中でも再製造を優先するのが最も確な解決策である。ただ、実際のビジネスにおいては、複数の循環型プラクティスを取り入れるのが最もインパクトの強い戦略になる。歴史的に成功し、業界の専門知識にも裏打ちされたこの選択は、実用性があり、持続可能性にもかなっている。再製造でリードする業界の現状を活かし、移行を促すには、協業やパートナーシップが極めて重要だ。エレクトロニクス統合の先行きが有望であることから、自動車エレクトロニクスの再製造へ向けた進展が予想される。自動車業界でサステナビリティ重視が高まっていることもプラス材料になる。こうしたステップを通じて、自動車業界は気候への影響を減らし、財務的実行可能性を強化する方向へ進むことができる。

## 家電機器

家電機器はコミュニケーションやエンターテインメント、生産性、日々の暮らしに影響を与える、現代生活に欠かせないものとなった。市場への適合性が高く、何十億というデバイスが全世界で販売・使用されている。技術の急速な進歩、接続性への需要の高まり、デジタル化、消費者の嗜好の変化などが、家電業界を後押ししている。消費者が求めるのは、利便性や機能性、接続性を提供し、ユーザー体験を高めるデバイスである。家電製品の幅は広く、用途や排出量もさまざまなので、本レポートではいわゆる「黒物家電」だけに焦点を当てる。具体的には、スマートフォン、テレビ、コンピュータ、オーディオシステム、ゲーム機、カメラなど、個人・家庭用のデバイスや機器が含まれる。また、個人および専門家のエンドユーザーに向けたパーソナルIT機器(例:コンピュータ、ラップトップ、あるいはキーボードやマウス、プリンターなどの周辺機器)も含まれる。冷蔵庫、洗濯機、冷凍庫などの「白物家電」は、排出量のホットスポットのばらつき、製品寿命の違い、製品本来の目的などを考え、調査からは除外した。

## PaaS

私たちのモデルによると(図表3を参照)、PaaSは家電業界にとってコストの面からも排出量の面からも最善の戦略に思われる。2035年の直線型シナリオと比べて、コスト削減率は最大27%、CO<sub>2</sub>e削減率は最大36%に達する(CO<sub>2</sub>e削減率は全ての業界・セグメントの中で最大)。スマートフォンやラップトップなどのデバイスは使用中のエネルギー消費は少なく、最大の排出源は原材料採取と生産(76%)であるから、これも合点が行く<sup>26</sup>。したがって、製品の寿命を延ばすPaaSなどの方法や、原材料の採取を減らし、スマートフォンなどの家電機器の大量生産の必要性をなくす再製造モデルが、製品当たりのコストと排出量を削減する有効な手段となる。これは私たちのモデルにも反映されており、2035年直線型シナリオと比べて、原材料採取の削減率はコスト面で最大67%、CO<sub>2</sub>eで最大70%となった。スマートフォンやテレビなどのデバイスは現状、設計寿命および希望寿命より短い期間しか使われていないため、これは特に重要である<sup>27</sup>。スマートフォンは売上高と販売台数の面で主要な位置を占める家電製品であり、通信市場全般への貢献度も高いため<sup>28</sup>、本レポートではそれを代表事例に用いる。

地球温暖化係数(GWP)の観点から言うと、スマートフォンは現在より少なくとも20年は長く使わなければならない。よってその設計・販売方法を大きく変える必要がある<sup>29</sup>。新しいスマートフォンをつくる際の排出量の大半は、原材料の採取、加工、生産の段階で生じる。実際、希少・重要原材料を含むスマートフォン部品の生産工程は原材料およびエネルギー集約度が高い。ちなみに100万台のスマートフォンには15kgのパラジウム、34kgの金、350kgの銀、1万6,000kgの銅が含まれているとされる<sup>30</sup>。2.7年しか使われないスマートフォンを1台つくるのに75kgの資源が使われ、それが毎年12億台も販売されている(2022年)<sup>31</sup>。とはいえ、製品寿命を延ばすだけでは十分ではないかもしれない。なぜなら、人々が新しいスマートフォンを買うのは故障したからではなく、最新テクノロジーに後れをとりたくない、契約でアップグレードを提供される、ハードウェアを頻繁にアップグレードせずにいられないなど、他の理由によるからだ<sup>32</sup>。したがってメーカーはもっと長い使用を促すため、設計段階での改善オプションを重視しなければならない。例えば、互換性のあるケースや充電器、ソフトウェアとハードウェア両方のアップグレード可能オプション、交換可能なバッテリーやスクリーンなどが考えられる<sup>33</sup>。この分野で先頭に立つのは、2023年で10年目を迎えるフェアフォンで、世界で最も倫理的なスマートフォンをつくることを目標にしている。もっと長く電話を使ってもらおう動機づけとして、同社は「フェアフォン・イージー」というPaaSサービスを提供している。これはスマートフォンのサブスクリプションサービスとしてオランダで試験的に始まったものだ。スマートフォンには利用者のたくさんのプライベート情報や思い出が保存され

ているため、PaaSモデルへ移行する企業は厳格で透明性の高い消費者データ保護方針を用意しなければならない。さもないと消費者はデータ漏洩を恐れて、スマートフォンの返還をためらう可能性がある。消費者はまたスマートフォンを保有したがる傾向があり、所有コストより使用コストのほうが高いと思いがちである。したがって所有ベースではなく使用ベースに切り替えたほうがよい根拠を明確にしなければならない。

B2B家電におけるPaaS戦略は「サービスとしてのデバイス」の利用を通じて現れてきた。これは顧客がコンピュータやスマートフォンなどのデバイスを有料サービスとして手にすることができるモデルである。メリットとしては、デバイスのバックアップ、アセットトラッキング、寿命終了時の処分など、デバイス管理面の心配をする必要がないため、顧客ニーズが単純化されることが挙げられる<sup>34</sup>。レノボ、HP、Foxwayなど多くの企業は、企業のIT機器向けにこうしたサービスを提供している。この種のサービスは企業規模において非常に有効であるため、主にB2Bで実行されてきた。このモデルはいくつものライフサイクルでデバイスが使われるようにして、デバイスの寿命を延ばすことができる。Foxwayのように、新たなライフサイクルでまた使えるよう、返還されたデバイスの大半を改修・修理する企業もある。「サービスとしてのデバイス」モデルを選ぶ企業は、ビジネスニーズや一時的なプロジェクトニーズに応じて規模を拡大または縮小でき、デバイスを新たな従業員に再循環させることもできるため、高い柔軟性を得られる。PaaSモデルの他のタイプと同様、月次のサブスクリプション料金やオフバランスのソリューションにより、コスト構造を予測しやすい。

家電業界のイノベーションのスピードは速く、メーカーは絶えず新しい機能やしゃれたデザインを導入し、性能を高めようとする。企業は競争力を維持し、消費者のニーズの進化に対応するため、研究開発に多額の投資をする。製品イノベーションで重視されるのは、ディスプレイ技術、バッテリー寿命、処理能力、カメラ性能、ソフトウェア特性、ユーザーインターフェースなど。家電が進化を続けるのに伴い、サステナビリティや環境への配慮が注目されるようになっている。メーカーはエネルギー効率、リサイクル可能性、責任ある材料調達を徐々に重視しつつある。また電子機器廃棄物削減の取り組みの一環として、デバイスの改修や製品ライフサイクルの延伸といったトレンドの拡大も見られる。

さらに、消費者の可処分所得の増加、市場におけるテクノロジーの急速な変化、IoTやAI、クラウドコンピューティングなど家電市場に大きく影響する最新テクノロジーの導入によって、家電業界は今のペースで成長し続けることが予想される。新しいスマートフォンの市場が成長すると同時に、中古スマートフォンの市場も成長している。控えめに見積もっても1億~1億4,000万台の中古スマートフォンが消費者によって売買されており、市場規模は180億米ドルに上る。中古スマートフォン市場は拡大スピードが速く、スマートフォン市場全体の4~5倍の速さで伸びている<sup>35</sup>。

“

データセキュリティ上の懸念：コンピュータやスマートフォンなど、データが保存されたデバイスの場合、データセキュリティが大きな懸案事項になる。消費者や企業はデータが不正にアクセスされるのを恐れて、再利用やリサイクルのためにデバイスを返還するのをためらう可能性がある

Andreas Nobell(TCO開発)

”



環境保護庁によると、米国では毎日41万6,000台以上(年間1億5,100万台)の携帯電話が処分されており、平均的なアメリカ人は24カ月ごとに新しい携帯電話を買う<sup>36</sup>。加えて、アメリカ人は2017年にスマートフォンの画面修理に30億米ドル以上を費やしたという<sup>37</sup>。

このようにPaaSなどの循環型ビジネスモデルは、企業が手頃な価格のリースやPaaSなどのビジネスモデルによってこれら既存の市場を活用し、利用率の増加を通じて製品の数を減らし、環境負荷を減らすのに適している。欧州環境事務局の2019年の調査によると、EUの全てのスマートフォン、ラップトップ、洗濯機、掃除機の寿命を1年延ばせば、2030年には二酸化炭素排出量を年間約400万トン削減できる。これは200万台以上の車を1年間、道路からなくすのと同じ効果がある<sup>38</sup>。

PaaS戦略は、もはや機能しなくなった製品が返品されたときに再製造部品を組み込むという方法にまで拡大できる。実際、半導体や集積回路などの貴重な電子部品は、エレクトロニクス製品の中で最も高価な部品であることが多く、その再製造はビジネス

上意味がある<sup>39</sup>。しかし、それは環境面でもコスト面でも意味があるのに、現在ではめったに適用されていない。というのも、半導体技術はイノベーションサイクルが速いため、市場で入手できる半導体の違いやばらつきが大きくなるからだ。つまり再製造に適したスマートフォンを見つけるのが難しいのである<sup>40</sup>。

修理サービスを提供するのもビジネス上、大きな意味がある。企業にとっては新製品を一からつくるより、故障した部分を直すほうが安く済むからだ。さらに、EUの「修理する権利」指令やエコデザイン指令、フランスで最近施行された循環経済法に見られる自己申告の修理可能性指数などの規制のほか、スウェーデンやオーストリアでも金銭的なインセンティブが導入された。これらは全て家電の修理サービスをもっと簡単に利用できるよう促す取り組みだ。

## 産業エレクトロニクス

産業エレクトロニクスは、産業目的の電子機器を製造する幅広い分野である。産業プロセス、製造、オートメーション、医療機器、科学機器、制御システム、その他専門的な用途で使われる電子機器が対象となる。本レポートでは、産業ロボット、温度センサー、ペースメーカー、超音波機器、CTスキャナー、MRIスキャナー、ヒューマン・マシン・インターフェース(HMI)などのB2B機器類のほか、誘導電動機、同期リラクタンスマーター、感情指数メーターなどの産業機器が含まれる。

私たちのモデルの産業エレクトロニクスに関する結果は、CO<sub>2</sub>eとコストのデータが2つの異なる循環型ビジネスモデルを指しており、自動車エレクトロニクスや家電ほど明確ではない。コスト削減の面では、PaaSが産業エレクトロニクスにとって最善のモデルであり、それはまた直線型モデルと比較したコスト削減率が4つのセグメントの中で最大(36%)である。しかしCO<sub>2</sub>e削減率は最大8%にすぎず、再製造のほうが9%弱とわずかに高い。したがって以降では、2つの循環型ビジネスモデルの両方について、企業がそのビジネスを変革させるべき方向として説明していく。

### PaaS

産業エレクトロニクス製品は耐久財として設計され、高額な資本投資と考えられるため、PaaSモデルが理想的である。PaaSビジネスモデルは提供企業と顧客双方の利益にかなっている。顧客は機器の所有権ではなくパフォーマンスに対して料金を支払うので、自らの中核的なオペレーションに専念できる。機器の位置づけはバランスシート上で資本支出から事業費用に変わる。これは十分な資本にアクセスできないスタートアップ企業や、新しい市場で事前調査をしたい企業には魅力的な選択肢である。またPaaSビジネスモデルによって、産業エレクトロニクス製品の生産者ももっと柔軟な条件を提示し、着実な売り上げがあるものの大型資産投資をするだけの資本を持たない顧客も新たに受け入れることができる。例えば顧客は、長い投資回収期間を設定せずとも、海外への事業拡大や新しい業種への進出を実験しやすくなる。

生産者にとってもメリットがある。つまり製品の有効寿命を延ばそうとする動機が働き、予期せぬダウンタイムを減らすための予防保守を行うようになる。例えばロールス・ロイスは廃棄物を減らし、資源効率を最適化するために「Power by the Hour」というパ

フォーマンスベースの循環型ビジネスモデルサービスを提供している<sup>41</sup>。これは顧客にもプラスである。航空機のエンジンは研究開発で多額の先行投資を必要とする高価な資産であるが、これによって保守点検の間隔を長くできる。このサービス化モデルは廃棄物削減や資源効率最適化の助けになる。同じエンジンで長く飛ぶことができれば、新しい製品をつくる必要性が減るからだ。

具体的に医療機器分野では、医療機器のリースにも大きなポテンシャルがある。多くの組織にとって医療機器の購入は非常に高くつくため、リースには多くのメリットがある。主なメリットとして、初期費用の低さ、アップグレードの可能性、質が高く手頃な価格の顧客サービス(国によっては、医療機器リースは税控除可能な費用と見なされる)、保全・修理コストの削減などが挙げられる<sup>42</sup>。例えばフィリップスは医療顧客に「サービスとしての医療機器」というPaaSモデルを提供しており、医療関連組織は機器を買わずに最新の医療技術を利用できる。

### 再製造

再製造はCO<sub>2</sub>eの観点から最善の循環型ビジネス戦略で、削減率は最大9%。コスト削減率も最大16%となっている。このセグメントでは決して目新しいものではなく、製品の価値を維持するために1970年代から行われている主要な循環型ビジネス戦略である。例えば、建設・採鉱機器メーカーのキャタピラーなどの企業は、再製造のビジネス上の重要性を認識し、1973年から主要産業機器を再製造している。再製造品は新製品に比べて価格が45~85%低いので、顧客には手頃な選択肢となる。原材料の使用も80~90%少なくて済む<sup>43</sup>。

このサービスにより、多大な資本投資を要する新製品の購入資金を持たない顧客層も新たに取り込むことができる。例えば、カイロの首都機能をシンガポールに匹敵する広さのエリアに移して住宅ニーズを満たそうとするエジプトで、急拡大する需要に応えることができる<sup>44</sup>。こうした都市を建設するには、多くの産業用製造機器が必要となるため、再製造ビジネスモデルは拡大するニーズを満たすことができる。

産業エレクトロニクス機器の再製造は医療機器分野で高いポテンシャルを持つ。MRIスキャナーやCTスキャナーなどの医療機器は、まだ何年も使えるのに数年間使っただけで処分され、代わりに新モデルが導入されることが多い。一部の家電機器と同じように、故障以外の理由で交換されているのだ。このように製品がたびたびアップグレードされるのは、病院が最新テクノロジーを掌握しておきたいと考えるからで、多くの高価な医療機器が頻繁に買い換えられるのは技術イノベーションのスピードが主な理由である。機器が良くなれば診断や治療も良くなるとの考え方である<sup>45</sup>。

しかし、国によって医療水準には大きな差がある上、開発スピードや資本へのアクセスの度合いが異なるため、この差は開き続けている。その結果、まだ使える製品が、多くの国がそうした機器を利用できない状況の中で処分されている。グローバルノース諸国で古くなった機器が技術力のない途上国・地域で「第2の人生」を送れるようにすれば、その地域の医療水準の向上につながる可能性がある。一般に医療業界は規制が厳しく、医療機器の再加工・再製造の基準も厳格である。医療エレクトロニクス機器の再製造は、規制上の障壁を克服できる企業や組織にとって大きなチャンスとなる。

例えばフィリップスは、モバイルCアームシステム、超音波、磁気共鳴、コンピュータ断層撮影(CT)などの製品で循環型システムのサービスを提供しており、同じフィリップスの新しいシステムと比べて価格が平均25%低くなる。中古システムの平均重量の8割が再利用できる<sup>46</sup>。OEMによるコスト削減が大きいのは、主に原材料の削減によるものだ(原材料採取段階でコストを最大で59%、CO<sub>2</sub>eを最大で61%削減)。製品の回収システムを持ち、その後再製造して新しい顧客に販売するメーカーは、「購入した

財・サービス」カテゴリのスコープ3排出量を削減できる場合がある。なぜなら、回収システムの物流管理と修理・再製造プロセスの排出量が新製品の排出量を下回る限りは、新しい原材料が以前より少なくて済むからだ。

産業エレクトロニクスは、エネルギー、運輸、半導体、農業など、他のさまざまな業界の効率や生産性を高める上で重要な役割を担う。カギとなる分野の1つは、工程の自動化である。すなわちオートメーションを用いて産業プロセスを制御・監視し、人的介入の必要性を低減する。近年の技術進歩により産業エレクトロニクスは高度化し、費用対効果も高まった。つまり、原材料の取り扱いから飲食品の加工、産業ロボットまで、いわば本流的な用途での使用が増えている。使用範囲が拡大しているため、産業エレクトロニクスの需要は今後も高まることが予想される。したがって、より持続可能な方法で成長させる必要がある。産業エレクトロニクスは用途が多様で、非常に幅広い分野であるが、私たちのモデルでは先述のように、このセグメントの成長を炭素集約度の低いものにするためには、PaaSと再製造の2つが検討すべき優れた選択肢である。

**産業エレクトロニクスは、エネルギー、運輸、半導体、農業など、他のさまざまな業界の効率や生産性を高める上で重要な役割を担う。**

## 情報・通信技術(ICT)

IoT、オートメーション、AIなどの新しいテクノロジーに適応したインフラの必要性が高まるなか、通信事業者はデジタル化の動きの中心にいる。ICTには、通信ならびに情報の創造、保存および伝達で使われるデバイスやシステムが含まれる。本レポートでは、サーバー、ネットワーク機器、通信デバイス、電気通信ネットワーク、人工衛星システム、ルーター、モデム、その他のネットワーク機器など、情報システムインフラの生産・設置に重点を置く。家電は含まれない。よって、本レポートでは、主にB2B取引に焦点を当てる。

私たちのモデルの予測では、ICTセグメントにおいてはコスト面でもCO<sub>2</sub>e面でもPaaSが最善の循環型ビジネスモデルであり、2035年の直線型モデルに比べて最大でコストは34%、CO<sub>2</sub>eは33%削減できる。コストとCO<sub>2</sub>eの観点から、直線モデルと比べて、このビジネスモデルの実行による恩恵を最も受けるのは、原材料採取と製品寿命終了の段階である。

ICTエレクトロニクスセグメントにおけるPaaSシナリオには合理性があり、すでに主流となっている。ICT顧客は伝統的なITハードウェアを所有するのではなく、クラウドベースのPaaSサービスへ移行しつつある。オンデマンド・セルフサービス、広範なネットワークアクセス、リソースプーリング、迅速な拡張性、低コストなど、クラウドコンピューティングのほうが、メリットが多いからだ<sup>47</sup>。PaaSモデルを採用するとインフラコストがバランスシート上で資本支出から事業費用になる。データセンターのような大型インフラの初期費用が高いため、これはICTセグメントにおいて注目すべき選択肢である。力強い市場成長、データやICTサービスの世界的な利用拡大と並行して、この市場の成長スピードには伸びも見られる。エリクソンによると、ネットワーク利用者数は直線的な増加が見込まれる一方、IoTは指数関数的に拡大するという<sup>48</sup>。ICT機器が世界的に売り上げを伸ばすなかで、グローバルサウス諸国のICT売上高はグローバルノース諸国を上回る伸びを示している。これはインターネットやブロードバンドにアクセスできるようになっている人が多いため<sup>49</sup>。

ICTセグメントでは一般に3種類のPaaSモデルが利用されている。クラウドプロバイダーがインターネットを通じて自身のデータセンター・リソースを顧客に提供する、そんなクラウドサービス・モデルである。その3つとは、サービスとしてのソフトウェア、サービスとしてのプラットフォーム、サービスとしてのインフラだ(定義は図表5を参照)。

現在のICT市場は、クラウドコンピューティング、ビッグデータ分析、AIの利用増のせいで成長している。最も成長が速いアプリケーションセグメントであるクラウドサービス市場は、PaaS戦略を適用し始めている。アマゾン ウェブ サービス、グーグル、マイクロソフトなどの事業者はすでにそうしたサービスオプションを使って、特定の市場や地域でニッチなビジネスチャンス特定しようとしている。

このようにICTプロバイダーは互いに競い合っているが、それだけでなく、この成長に乗じようとするオーバー・ザ・トップ(OTT)サービスと呼ばれる事業者とも競争している。OTTはインターネット経由で提供されるサービスだが、インフラを必要とせず、また通信事業者の規制枠組みに従う必要もない。スカイプ、ワッツアップ、フェイスブックなどのプレーヤーは無料のアプリケーションで人々の間の通信スタンダードを再定義し、この分野の主な収入源を侵食する形となった。また、ユーチューブ、ネットフリックス、スポティファイなどの企業はオーディオやビデオの消費をデジタル化し、ビジネスレベルではアマゾン、マイクロソフト、グーグル、IBMといったプロバイダーが世界的に広がったクラウドインフラを活用している。こうした新規参入者は事業者のビジネスモデルに大きな影響を与えており、企業は主な収益源の変化に伴ってビジネスモデルを変える必要に迫られている。

全体としてICTセグメントの変化は、限りある資源の需要の高まりが大きな要因であり、その結果、アーバンマイニングやリサイクルが盛んになっている。デジタル化や接続性の拡大により、PaaSや再製造などの新しいビジネスモデルが登場している。



図表5：  
ICTセグメントで利用される3つの主なPaaSモデルの比較

	サービスとしてのソフトウェア <sup>50</sup>	サービスとしてのプラットフォーム <sup>51</sup>	サービスとしてのインフラ <sup>52</sup>
定義	ソフトウェアやデータが処理されてICT企業のサーバーに保存され、利用者がインターネットでそれにアクセスするソフトウェア配信モデル。サービスとしてのプラットフォームと違って、完成したワークロードを提供する。サービスとしてのソフトウェアの市場は現在3兆米ドル。市場予測では2030年には10兆米ドルに達する見込み <sup>53</sup> 。	インフラを構築しなくともアプリケーションを開発、実行、管理できるプラットフォームを顧客に提供するクラウドコンピューティング・サービス。  企業がワークロードを創造・管理するためのツールを提供する。サービスとしてのプラットフォームの市場規模は2020年に440億米ドルで、2030年には3,190億米ドルに達すると予想される <sup>54</sup> 。	ストレージ、ハードウェア、サーバー、ネットワークコンポーネントなどのオペレーションを支援するためのコンピュータのアウトソーシング <sup>55</sup> 。  サービスとしてのインフラ(IaaS)の市場規模は2021年に537億米ドルで、2030年には4,851億米ドルに達する見込み <sup>56</sup> 。
このPaaSサービスを提供している企業の例	Salesforce、Google Apps、Trello、Netflix、Zoom、Spotify、Slackなど	Google Cloud、Microsoft Azure、Oracle Cloud Platformなど	Amazon Simple Storage Service、Google Cloud Platform、Microsoft Azure Virtual Machines、Rackspace Managed Cloud
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>柔軟な支払い方式</li> <li>オンデマンドで利用できるサービスの拡張・縮小が可能</li> <li>自動アップデート</li> <li>他のビジネスアプリケーションとの統合が容易でカスタマイズ可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>簡潔性と利便性</li> <li>資本支出が不要</li> <li>コンピュート/ストレージインフラ</li> <li>チームがリモートでも協業可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの場合、購入しなくてもワークロードのオペレーションが迅速・容易で、コスト効率も高い</li> <li>一時的・実験的なワークロードに有効</li> </ul>
課題、リスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>顧客が問題をコントロールできない</li> <li>アプリケーションの新バージョンを顧客が制御できない</li> <li>ベンダーの切り替えが困難</li> <li>クラウドセキュリティ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サービスの利用可能性やレジリエンスに関する懸念</li> <li>ベンダーロックイン</li> <li>内部変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>要件が極めて細かい</li> <li>インフラ構成が不透明</li> <li>プロバイダー依存で、サービスレジリエンスが不安</li> </ul>

# 限界と検討

このセクションでは、私たちのモデルの限界と、循環型ビジネスモデルの導入時に企業が直面する当面の課題について触れる。

## 私たちの予測モデルの限界

本レポートは歴史的にほとんど先例のない、循環型ビジネスへの移行を予測しようとするものであるため、探索的な性格を持つ。調査結果の一般化可能性について読者にお伝えするため、私たちは今回のモデルの限界についても率直にお話することとした。循環型経済は複雑なテーマであり、どんなモデリングもそうだが、検討すべきでありながら分析の対象から外れた側面が少なからずある。かといって、この分析結果がいい加減というわけではなく、私たちはただ、どんな欠点や不足点も包み隠さずお話ししたいと考える次第である(仮説に基づいて未来を予測しようとするモデリングは全て、多かれ少なかれ不完全だということも認めざるを得ない)。

モデルから得られる知見はコンテキスト固有のものである。つまり、その一般化可能性はある程度限定される。因果関係と相関関係の関係は複雑であり、考えられるリバウンド効果や外的混乱の包括的な評価をモデルで提供するものではない。透明性やバランスのとれた見解を維持するため、調査チームはこうした限界を率直に認めている。また、モデルの時間軸は2023~35年とし、この12年間の影響を探ろうとした。循環型モデルへの移行を重視する初期投資段階の後、時間とともに徐々に変化が見られると想定している。

データの質と入手可能性に関しては、先述のように、本レポートのデータはさまざまな方法で収集した。環境関連のデータは主に、幅広い製品を含むライフサイクルアセスメント(LCA) データに由来する。財務関連のデータは、市場調査や市場規模予測、企業のアニュアルレポートなどの情報を統合した。ちなみに家電セグメントは情報公開が進んでいるため、データを比較的入手しやすかった。データ分析の主な重点は、二酸化炭素換算(CO<sub>2</sub>e) データで、これは上下流のスコープ1、2、3の排出量を示す。LCAは、メーカー自身または学術機関が惜しむことなく提供してくれた。データの精度や妥当性を確保するため、

**本レポートは歴史的にほとんど先例のない、循環型ビジネスへの移行を予測しようとするものであるため、探索的な性格を持つ。**

業界専門家からも重要な知見を提供してもらった。ただし、一定のバイアスが結果に影響を与える可能性があることは留意しておく必要がある。バランスのとれた視点を提供できるよう努めているが、データ入手のレベルはセグメントによって違いがある。特に、家電は官民の多くのデータを利用することができたが、自動車エレクトロニクスは基になるデータが全体として少なく、分析結果も十分とは言えない。

私たちのモデルは入力データとしてLCAに依存しており、そのマイナス面の1つは標準化が図られないことだ。データソースが違えば、LCAの各ステップの範囲・限界も違ふし、それらの境界や「含む/含まない」の基準も違う。入力データ量が膨大であるため、全てのデータソースで境界を標準化することはできず、入力データの質は結果の誤差に影響を与える可能性がある。この点を考慮されたい。

また、モデルがすでに複雑な性格を帯びているため、いくつかの要因を除外せざるを得なかった。例えば、評判(先行者の利益か、それとも衛生要因として最低限を満たすだけか)、各国の人件費などがそれに当たる。こうした要因を念頭に置いた上で、私たちの調査結果は絶対的な真実というよりも簡易推定であり、地球的な視点と財務的な視点から捉えた潜在的価値を示すものである。

循環型経済を表現する際、循環型ビジネス活動は直線型経済よりも強いエコシステムの中で相互作用するとよく言われる。廃棄物ヒエラルキーにおいて排出される二酸化炭素を抑えるため、企業は協業を強化し、エコシステムのシナジーを基盤としなければならない。私たちはこの産業共生の論理を支持はするが、モデルのシナリオでその複雑さを反映することはできない。仮説の設定はそれぞれ別の環境で行われると考えられるため、各種循環型ビジネスモデルおよびシナリオの相互作用はモデリングには含まれない。同様にモデル環境では、地政学的な事象、リバウンド効果、特殊な事象などの混乱を引き起こす要素は、予測が難しいため除外している。

人間の行動は複雑で、未来予測はさらに不確実なため、分析では消費者行動の複雑な要素は除外し、新しい循環型ビジネスモデルが一般にどれだけ受け入れられるか、そしてその後の消費行動がどうなるかを推測している。

## 実行の障壁

### 循環型ビジネスモデルのベネフィットは現在のGHG会計手法に反映されるとは限らない

循環型ビジネスモデルへの移行の障害として、温室効果ガス排出量会計がよく取り沙汰される。企業の排出量報告の透明性強化を求めるEU企業サステナビリティ報告指令(CSRD)など、現在の法規制では、透明性の高い方法で排出量を適切に報告する重要性が高まっている。GHG会計基準はどちらかといえば直線型経済に適応しているため、一定の排出量削減や排出量回避について説明するのが難しい。例えば、修理サービスによって製品の寿命が延びている、または耐久性が増して多数のサイクルで使用できるようになっている(PaaSなど)場合、消費による排出量をグローバルレベルで減らすには製品寿命を延ばすことが重要だとわかっていても、個々の製品レベルでは排出量が増加する。

したがって、最も広く使われているGHG報告基準である温室効果ガスプロトコルなどの会計基準では、循環型ビジネスモデルによる排出量削減というベネフィットは必ずしも反映されない。同プロトコルの限界に対応するため、持続可能な開発のための世界経済人会議(WBCSD)などの組織は「回避された排出量」を定量化するための指針文書を作成している。ネットゼロ・イニシアチブは回避された排出量を、企業が製品・サービスを通じて提供するベネフィットを参照シナリオとの比較で定量化する方法と定義している<sup>57</sup>。本レポートでは、循環型原材料、PaaS、再製造などの循環型ビジネスモデルを採用する企業は、新製品を製造する場合と比較したCO<sub>2</sub>e削減量を伝えるために、回避された排出量を用いることができる。

### 企業が循環型経済を目指すための初期投資コスト

循環型ビジネスモデル戦略の実行は、時として初期費用を増加させることがあり、それを理由に企業は二の足を踏む可能性がある。私たちのモデルでも実証されたように、循環型ビジネスモデルを目指そうとすると、従来の事業コストに加えて、設計、生産および物流の段階でコストが増加する場合がある。それでも、循環型経済が長期的で持続可能な財務リターンをもたらす可能性は、アーリーステージ投資、ベンチャーキャピタル、プライベートエクイティのほか、銀行融資、プロジェクトファイナンス、循環型保険など、資本投資の多くの形態においてすでに認識され

ている<sup>58</sup>。エレン・マッカーサー財団の推計によると、循環型経済を重視するプライベート・マーケット・ファンドの数は2016年から2020年の間に10倍に増えている。循環型経済を部分的であれ全面的であれ、重視するパブリック・エクイティ・ファンドは、2017年以前には存在しなかったが、2020年にはすでに10のそうしたファンドが、ブラックロック、クレディ・スイス、ゴールドマン・サックスなどの代表的企業によって立ち上げられていた<sup>59</sup>。こうした投資・配分額の増加は、ビジネスモデルの移行に極めて重要である。なぜなら、循環型ビジネスモデルを推進しようとするとき、初期投資コストと資源の入手可能性がネックになりやすいからだ。

このように、循環型モデルは企業にとって有望で、金融サービスの対象にもなる。しかし、企業の置かれた戦略的状況が限界要因になることも認識しておかなければならない。この分野に早い時期に進出する企業は、移行のために全力を尽くし、学習と実行の高いコストを負担することが多い。一方、遅れて参入するライバルはコスト面で優位になる可能性がある。PaaS:Platform as a Serviceのシナリオでは排出量およびコスト削減の点で大きな可能性があるのは確かだが、長期間にわたる取り組みであり、少なからぬリソースと時間を必要とすることを認識することが重要である。PaaS的な戦略は企業の「稼ぎ方」を変え、市場参入戦略の見直しを余儀なくさせるので、実行は一筋縄ではいかない。循環型モデルの恩恵にあずかるようとする経営者は、自社の状況や能力、リソースをよく検討し、独自の循環型経済行動計画を策定しなければならない。たとえ意欲的なビジョンを持っていても、少しずつ着実に策を講じることが、最終的に循環型モデルへの確かな移行をもたらすことになる<sup>60</sup>。

したがって、まずは循環型原材料シナリオの可能性を検討することから始めるのが現実的だろう。それが以降の変革プロセスの基盤となる。原材料の変更であれば、企業はビジネスモデルを変える必要はないので、比較的簡単に実行できる。新たな調達機会を評価し、循環型原則を取り入れるのは、多くの企業にとって競争優位性を失うことなく取り組める手法と考えられる。完全なる循環型ビジョンへ向けたさらなる施策に備えるための学習プロセスには大きな可能性がある。そのプロセスを通じてすでに御社は、業務プロセスの最適化の可能性、循環型の製品設計変更、報告を成功させるための循環型指標に関する知見を手に入れている。

循環型原材料戦略をどうにかうまく実行できたら、次の段階へ進み、再製造が実現可能かどうかを検討できる。循環型原材料に比べると、再製造は次のような点でさらなる取り組みが必要になる。例えば、リバースロジスティクスを確保しなければならない。また、新しい製品・素材を扱う通常の生産ラインとの統合は難しいので、場合によっては「使用済み」の製品・素材を扱うための生産ラインを追加しなければならない。ITシステムの変更も生じるかもしれない。例えば、使用済み製品・素材の回収、価格設定および生産を扱うためのERPシステムのアップグレードなどが考えられる。

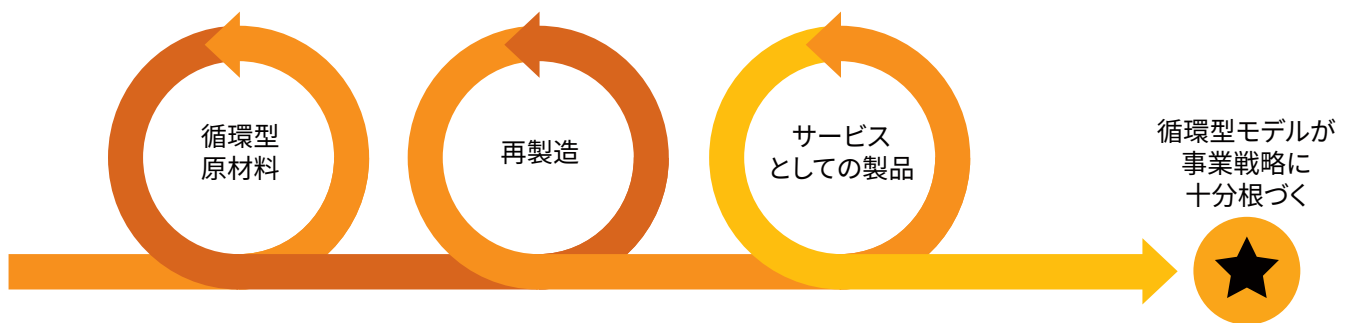
最後に、再製造は、製品の新たな購入方法を顧客に提供する新しい市場参入モデルを必要とする。しかしモデルの中で見たように、再製造戦略は必ずと言ってよいほど、循環型原材料に比べて高コスト、高排出量につながる。この時点で企業は、PaaSモデルのほうが理にかなっていないかを評価し直すことができる。PaaSは確かに実行が困難でリスクも伴うが、排出量とコスト削減に関してはもっと効果が大きい。そんなディスラプティブなモデルを追求したほうが企業の成功につながるかもしれないのだ。

## 循環型モデルへの道筋

調査結果からは、時間とともに収益性が低下しかねない直線型ビジネスモデルから循環型ビジネスモデルへ移行する必要性が明らかになる。循環型モデルを採用するとCO<sub>2</sub>e排出量の削減につながるだけでなく、コストも大幅に削減できる。自社の戦略ビジョンに符合した循環型ビジネスモデルの検討をすぐに始めることをお勧めする。本レポートで示す結果は、エレクトロニクス部門の企業が循環型モデルに挑戦するための基本指針となる。

循環型ビジネスモデルへの移行は、サステナビリティの面で効果をもたらすだけでなく、今後の大きな成長にもつながる。あらゆる業界の企業が循環型原則を採用しているのは、それがビジネス上、理にかなっているからだ。循環型原則はコスト削減、売り上げ増、そしてリスク管理の助けになる。

図表2 (再掲) :  
循環型モデル実現へのプロセス



図表6：エレクトロニクス業界各セグメントの循環型経済ドライバーを表すヒートマップ<sup>61</sup>

エレクトロニクス業界における循環型経済成長ポテンシャルのドライバー			
	イノベーションと企業行動	法規制	消費者の嗜好 (B2C、B2B)
家電機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>エレクトロニクス業界でレアアースの需要が高まり、その限られた資源に対する需要拡大がアーバンマイニングやリサイクルの増加につながる（現在リサイクルされているのはレアアース元素のわずか1%）<sup>62</sup></li> <li>テクノロジーとデジタル化が新しいビジネスモデルを可能にし、リバースロジスティクスの選択肢も増えている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エレクトロニクスに関する法規制の数が全世界で増えている</li> <li>EU：EU修理する権利、フランス - 循環経済法、EU循環型経済行動計画</li> <li>アフリカ：ナイジェリア - エレクトロニクス製品に関するEPR法、南アフリカ - 廃棄物法、ガーナ - 有害電子廃棄物管理法と諸規制</li> <li>南北アメリカ：チリ - 循環型経済のロードマップ、米国25州 - 電子機器廃棄物リサイクル法</li> <li>アジア：中国 - エレクトロニクス製品の循環型経済に関する高い目標、韓国 - 電子機器廃棄物のEPRが全国で27以上の製品をカバー</li> <li>レアアース材料の利用に対する政治的関心の高まり（例：EU重要原材料法）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フェアフォン、サムスンなどの企業を通じて、発展スピードの速いエレクトロニクス業界についていくため、改修製品やサービスとしての製品モデルを選ぶ顧客が増えている<sup>63</sup></li> <li>IT製品向けにリースサービスを利用する企業が増えている</li> </ul>
産業エレクトロニクス	<ul style="list-style-type: none"> <li>EUのメーカーは平均40%を材料に費やしており、限りある資源の需要が高い</li> <li>高度な製造業では、デジタル技術を使って生産時の廃棄物を減らすというイノベーションが起きている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU循環型経済行動計画、EU産業戦略、EPR政策、埋め立て税など規制強化</li> <li>有害物質に対するREACH規制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄物や汚染の悪影響に関する顧客の認識が高まっている</li> <li>コロナ禍をきっかけに、世界的ショックへのレジリエンスを高めるため、修理や再製造の事例が増えた（換気装置など）</li> </ul>
ICT	<ul style="list-style-type: none"> <li>エレクトロニクス業界でレアアースの需要が高まり、その限られた資源に対する需要拡大がアーバンマイニングやリサイクルの増加につながる（現在リサイクルされているのはレアアース元素のわずか1%）<sup>64</sup></li> <li>「サービスとしてのインフラ」モデルにより、共通のデータセンターやネットワークインフラを運用</li> <li>グーグルなどの企業は再製造サービスを購入し、既存機器を改修することで、循環型経済原則をデータセンターに適用している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データセンターはエネルギー集約度が非常に高く、使用中に多くの熱を生む。よって冷却用にさらにエネルギーを使う必要がある。その熱を回収して地域暖房や食品生産など他の用途に使うために、多くの国がその変革を推し進めようとしている。例えばEUでは、エネルギー効率指令や再生可能エネルギー指令によってデータセンターのエネルギー回収を促している。オランダの一部の自治体は、管理の厳格化のためにデータセンター新設の禁止を発表している<sup>65</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>世界的なデジタル化の進展や接続性の向上により、市民がデジタルプラットフォームやデジタル市場にアクセスできる<sup>66</sup></li> <li>5Gの導入が進めば、IoT技術が循環型経済をもっとサポートできるようになる<sup>67</sup></li> <li>多くのICTプロバイダーは自社のクラウドコンピューティング・サービスについて、PaaSなどのサブスクリプションモデルへの切り替えを進めている</li> </ul>
自動車エレクトロニクス	<ul style="list-style-type: none"> <li>イノベーションの高まりを反映してモビリティの電化へのシフトが続いており、それが自動車エレクトロニクスにも及ぶ可能性がある</li> <li>すでに中古市場があり、業界は再製造に寛容<sup>68</sup></li> <li>例えばトヨタは自動車の水平リサイクルのために自動車解体施設を認定している<sup>69</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再使用、再利用、再生される自動車部品の最低基準を定めた「自動車型式認証における再使用、再利用、再生の可能性に関する指令」（2005/64/EC）など、自動車一般に関する法規制の数が増えている。ただし、電子制御ユニットやセンサーなどの電子部品は再使用不能と見なされ、対象外</li> <li>よって規制当局は、循環型戦略をもっと取り入れるよう少しずつ企業に求めているが、まだ電子部品は対象になっていない。しかし、循環型経済行動計画では、それらの規制を修正することが含まれている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの市場では、消費者のモビリティに対する認識や自動車の所有に関する考え方が明らかに変わりつつあり、それと合わせるように「サービスとしてのモビリティ」サービスも増えている。この分野でPaaSなどの循環型ビジネスモデルが消費者に受け入れられていることが背景にある</li> </ul>

- 短中期の成長ポテンシャルが高い
- 短中期の成長ポテンシャルが上昇中
- 短中期の成長ポテンシャルが限定的またはまだ不十分

# 循環型ビジネスモデルによる機会拡大

私たちのモデルでは、コスト削減の視点とCO<sub>2</sub>排出量の視点に絞って、循環型経済への移行のインセンティブを見てきたが、その移行を下支えする重要な要素は他にもある。そこで、エレクトロニクス業界の循環型経済への移行にとって必要な以下の5つについても説明を加える。

1. **法規制の要求:**世界中の政府が循環型経済目標の達成を押し進めようとしている。欧州グリーンディールならびにオーストラリア、中国、チリなどの国で進む循環型経済ロードマップでは、循環型の取り組みの重要性が強調されている。
2. **税と補助金:**企業が循環型経済の取り組みをもっと採用するよう促す上で、税と補助金も政府にとって有効な手段であり、移行を実現する重要な方策である。
3. **デジタル化:**デジタル化の時代となり、エレクトロニクス業界の4つのセグメント全てが大きな成長を遂げている。他方、デジタル化はループを閉じ、マテリアルループを減速させ、高い資源効率によってループを狭めることで、循環型ビジネスモデルの実行を促進する効果があるため、循環型経済にとって重要な要素である。
4. **協業の必要性:**コンプライアンスと透明性が当たり前のものになるに従って、企業は効果的なデータ収集やシステムサポートのためにもっと協業する必要が出てくる。
5. **資源不足とサプライチェーンの混乱:**資源の不足、とりわけ重要原材料の不足によって、エレクトロニクス業界は循環型経済原則を採用せざるを得なくなっている。というのも、これらの原材料はエレクトロニクス機器の製造に不可欠なのに入手が容易ではないからだ。循環型プラクティスを業界で採用すれば、バージン資源への依存を減らし、リサイクルを促進し、エレクトロニクス・サプライチェーン全体のレジリエンスとサステナビリティを強化することができる。

私たちのモデルには含まれなかった、エレクトロニクス業界の循環型経済への移行を支援する他の要因を示すため、以下では上記の5つについて詳しく解説する。

## 法規制

循環型プラクティスの採用を促し、「採取・製造・廃棄」の行動パターンを正す上で、法規制は極めて重要である。それは企業と個人を持続可能なプラクティスへと導く枠組みやインセンティブ、義務を構築する。電子機器廃棄物は世界で最も増加スピードが速い廃棄物なので、さまざまな国の多くの規制当局が電子機器廃棄物の発生を抑制・防止しようとしている。こうした規制圧力の良い例として、EUはスマートフォンのライフサイクルの全ステージでその環境負荷を抑えようとしている(図表7を参照)。先にも触れたが、規制は循環型ビジネスモデルの実行を促すこともあるが、直線型経済に適応するきらいがあるため、その実行を妨げることもある。

以前は法規制が循環型経済への移行の妨げになることが多かったが、近年は循環型経済原則を強化するような世界的規制が増えている。その狙いは資源効率を高め、廃棄物を削減し、環境への影響に歯止めをかけることだ。こうした規制は、伝統的な直線型生産モデルとの決別を望む共通の方向性を反映するように、幅広い業界や地域をカバーしている。例えば日本をはじめとする国々は、賢明な資源利用や廃棄物削減を促すための法律を施行している。

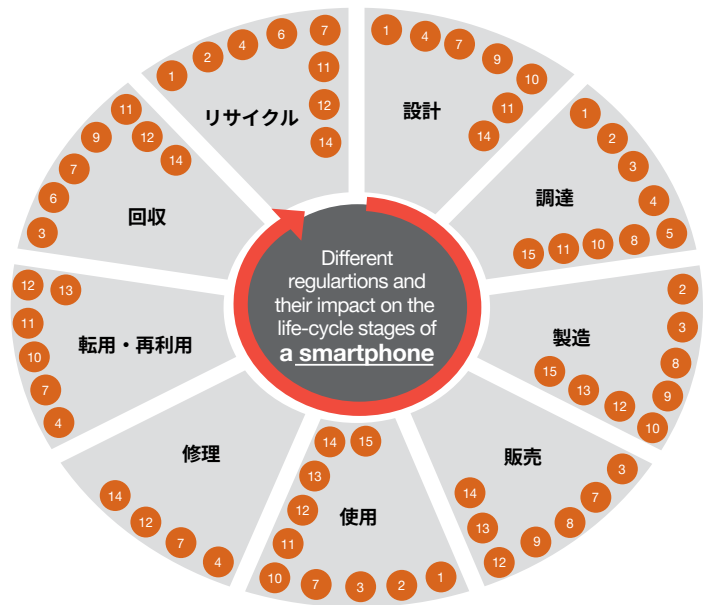
また、中国政府の循環型経済発展戦略は持続可能な生産と消費を重視している。資源不足や環境上の懸念に対応する必要性が差し迫るなか、これらの国際的規制はいずれも、持続可能な未来を確保するためには循環型経済フレームワークへの移行が必須であることを強調している。

図表7：  
家電機器の変革を推進するEUの事例

概要：適用法規制

1	REACH 規制 (1907/2006/EU)
2	特定有害物質使用制限 (RoHS) 指令 (2011/65/EU)
3	バッテリー指令 (2006/66/EC) (2023年に改正予定)
4	廃棄物枠組み指令 (2008/98/EC // 改正：2018/852/EC)
5	鉱業廃棄物指令 (2006/21/EC)
6	埋め立て指令 (1999/31/EC)
7	電気電子機器廃棄物 (WEEE) 指令 (2012/19/EU)
8	紛争鉱物規制 (EU) No. 2017/821
9	エコラベル規制 (EC) No. 66/2010
10	使い捨てプラスチック指令 (2019/904)
11	包装および包装廃棄物指令 (94/62/EC)
12	拡大生産者責任 (EPR) 規制
13	エネルギー効率指令 (2012/27/EU)
14	エネルギー消費表示およびエネルギー関連製品のラベリング指令 (2010/30/EU)
15	エコデザイン指令 (2009/125/EC)

スマートフォンのライフサイクルの各ステージに法規制が及ぼす影響



欧州およびEUは循環型経済関連の進歩的な法規制を数多く導入しており、循環型経済のリーダーを自任している。そこで、今後の循環型経済への移行にグローバルな好影響を及ぼすと考えられる先駆的な法規制に焦点を当てる。以下では、フランス循環経済法、EU循環型経済行動計画、企業サステナビリティ報告指令(CSRD)という3つの主な法規制を詳しく見ていく。

フランス循環経済法

2020年、フランスは包括的な循環経済法(資源の循環と廃棄物の削減を目指した循環経済に関する法律)を導入した。その目標は、計画的陳腐化の問題に取り組み、資源管理のあり方を改善し、より透明性の高い情報を消費者に伝えることで、設計段階から廃棄物や汚染をなくし、サプライチェーン全体を直線型から循環型モデルへ変えることだ。これは世界初の政策措置という点で特筆に値する。食品以外の売れ残った製品の廃棄を禁止したのはフランスが初めてである。企業は売れ残った製品を埋め立てたり、焼却したりするのではなく、再利用、寄贈またはリサイクルしなければならない。また、スマートフォンやラップトップ、洗濯機、テレビなどの電子・電気製品に修理可能性指数を義務づけたの

もフランスが初めてである。メーカーに設計段階で修理可能性について考慮させ、消費者にも製品購入時に修理の選択肢を意識させることで、実際に修理される製品の割合を増やそうとする狙いがある。目標は修理される電子・電気製品の割合を2026年までに40%から60%に増やすことだ。この法律により、修理、再利用、再製造など、家電機器の循環型ビジネスモデルの実行が可能になる。

EU循環型経済行動計画

欧州レベルでは、2020年に循環型経済行動計画が採択された。今後5年以内に実行すべき施策が詳しく記述されている。欧州委員会はこの行動計画の中で、循環型製品の市場を拡大するために7つの主要製品サプライチェーンを対象にしており、その1つがエレクトロニクスおよびICTだ。電子機器廃棄物はEUで最も増加スピードが速く、リサイクル率が低い。この分野での目標は、エコデザイン指令(2009/125/EC)に基づいて携帯電話やタブレット、ラップトップなどの家電機器を包含することである。そうすればエネルギー効率や耐久性、修理可能性、アップグレード可能性、保守管理、再利用を意識した設計がなされ、製品の使用期

間が延びるからだ<sup>70</sup>(スマートフォンのエネルギーラベリング：C(2023) 1672、スマートフォンのエコデザイン要件：C(2023) 3538)。企業は製品のエネルギー効率に関する情報だけでなく、バッテリーの1サイクル当たりの耐久時間、自由落下信頼性、バッテリーの耐久サイクル数、EU修理可能性クラス、侵入保護等級などの情報も提供しなければならなくなる。これらの法規制は欧州議会で承認されれば、2025年半ばに発効する。いずれも循環型経済行動計画から派生したEU循環型電子機器イニシアチブの一環である。同イニシアチブは、エレクトロニクスおよびICT向けの規制措置を実施し、エネルギー効率や耐久性、修理可能性、アップグレード可能性、保守管理、再利用、リサイクルを意識した設計がなされるようにすることを目指している<sup>71</sup>。

## CSRD

欧州での報告のあり方を方向づけるもう1つの指令は、EU企業サステナビリティ報告指令(CSRD)である。これはサステナビリティパフォーマンスや関連の戦略的含意に関する詳細で広範な開示を企業に義務づける、新たな規制と言える。開示について規定するのは欧州サステナビリティ報告基準(ESRS)だ。CSRDに起因する最大の変化は、企業幹部が事業戦略とサステナビリティ課題を強く関連づけるようになることだろう。この規制では有害物質や放射性廃棄物の量、非リサイクル廃棄物の量の報告が義務づけられており、データの透明性が高まることが期待される。企業に対しては、行動を起こし、もっと循環型の事業を目指せという間接的な圧力が高まることが予想される。これはそのまま、循環型原材料戦略の導入強化を求める声につながる可能性もある。

さらに、CSRDは経営者に対して、会社が(マテリアリティの拡大定義に従って—この点は下記に説明する)重要と考えるサステナビリティ課題のそれぞれに、戦略や計画の面でどう対処しているかを報告するよう義務づけている。例えばエレクトロニクス企業の幹部は、資源不足が重要(マテリアル)だと特定したら、関連する影響や機会、リスクと戦略・目標を結びつけなければならない。欧州を拠点とするエレクトロニクス企業はそうすることで、循環型経済を、コア事業に組み込む新しいチャンスとして利用することができる。

サステナビリティのテーマを中核戦略に取り込む幹部も中にはいるが、それはまだ主流にはなっていない。経営者は今なお、顧客ニーズ、競争力学、経済トレンド、技術進歩などの伝統的な関心事を基に戦略を立てることができるが、その一方、気候変動や人権などのサステナビリティ課題は、法的コンプライアンス上の問題としてしか扱っていない。その結果、サステナビリティと価値創造をリンクさせようとする取り組みは企業によって大きく異なってしまう。

“

生産者、メーカー、リサイクル業者、消費者などのステークホルダーの間で透明性やアカウンタビリティを高める上では、政策や法規制が促進剤の役割を果たす。業界を循環型モデルに導くためのベンチマークや目標、基準の策定において、それらは重要な役割を担っている。

重要な一例は、電子機器廃棄物に関する拡大生産者責任(EPR)規則で、これはエレクトロニクス部門における循環型モデルを後押ししてきた。インドのように電子機器廃棄物管理のエコシステム内でインフォーマルセクターが大規模な国では、エコシステムをフォーマルなものとして近代化するには、政策による効果的なサポートが必要だ

Sangeetha Raghuram(PwCインド)

”



## 税と補助金

法規制に関する議論とも密接に関係するが、税と補助金は企業を循環型経済へ向かわせる良いインセンティブとなるため、2つ目の効果的な要素としてフォーカスする。本レポートですでに述べたように、私たちは循環型ビジネスモデルへ移行する企業の価値を、コストとCO<sub>2</sub>eに絞った観点で評価してきた。つまり、税などの課徴金や、提供可能なインセンティブや補助金については十分に考慮していない。税やインセンティブを考慮に入れたら、循環型ビジネスモデルへ向けてもっと良い結果が出ると考えられる。

税金やインセンティブは一般に、行動を促したり、行動に影響を与えたりするように設計されている(「飴と鞭」)。多くの環境税や環境課徴金は「汚染者負担」の原則に基づいている。つまり汚染企業が高い税金を負担する。税額控除などのインセンティブはその反対方向に機能する。欧州グリーンディールを通じて、欧州は初の気候中立大陸になることを目指している。したがって企業と市場に環境負荷を低減させるため、さまざまな税や法規制をハイペースで導入し続けている。その結果、現状のままのモデルにこだわる企業は新たな税を課され、それが原価の上昇、ひいては利益の減少につながる。こうしたビジネスリスクそのものが、企業を現行の戦略やバリューチェーンの見直し、そして循環型ビジネスモデルへの移行に向かわせる。今すぐ行動を起こせば、実行コストを削減し、もっと持続可能で収益性の高いビジネスにつながっていくインセンティブが得られるだろう。各国政府は企業の移行を促すために多額の財政支援を提供している。EUの産業計画、米国のインフレ削減法などがその例だ。

こうした側面をよく検討する重要性を強調し、循環型ビジネスモデルへの移行の最初から法務・税務部門を関与させるのが極めて重要である。これは考えられるあらゆる結果を理解するために必要不可欠だ。場合によっては費用が発生して営業利益に影響することもあるし、ビジネスの継続性に直接影響を与える義務が生じる可能性もあるからだ。Ex' taxプロジェクトはケンブリッジ・エコノメトリクスとともに、PwCの支援も受けて、「包摂的循環型経済を支援するためのEU財政戦略」案を公表した<sup>72</sup>。これは、循環型経済の税務面から見た影響や財政的意味について説明している。

## デジタル化

エレクトロニクス業界の成長の多くを牽引しているのは、さまざまな部門で増えているデジタル化の活用だ。デジタル化はまた、循環型経済への移行を可能にする重要な要因でもある。製品の入手可能性、場所、状態に関する正確な情報を提供することで、マテリアルループを閉じる助けになるからだ。実際、デジタル化は循環型経済にとって大きな意味を持ち、ループを閉じ、マテリアルループを減速させ、高い資源効率によってループを狭めることで、循環型ビジネスモデルを促進する効果がある。研究によると、IoT、ビッグデータ、アナリティクスなどのデジタルソリューションは、製品設計の改善、ターゲット顧客へのアピール、製品の監視・追跡、技術サポートの改善、保管理の提供、製品使用の最適化、改修や製品寿命終了時の活動の強化などを通じて、循環型経済への移行を可能にすることがわかっている(Bressanelli et al.)<sup>73</sup>。このようにデジタル化は製品ライフサイクルのあらゆるステージで効果を発揮する。例えば、製品の予知保全にデータを使い、製品寿命を延ばすなど、デジタルソリューションを再製造戦略で利用することができる。

材料や部品を循環的な方法で管理するには大量のデータが必要であり、それが循環型戦略実行の障害とされることがよくある<sup>74</sup>。すぐに入手できる情報が不足しているという現状に対応するため、EUは「持続可能な製品のためのエコデザイン規則」の一環として「デジタル製品パスポート」という考え方を新しく導入している。このパスポートは原材料に関するあらゆる情報を提供し、再利用戦略や循環型経済への移行を可能にする。それぞれの製品には独自性があるが、その独自性は特定の製品に関する情報を持つデータソースと関係づけることができる。もっと具体的には、製品パスポートは以下のことを通じて、より持続可能な循環型経済に貢献する。(1) 製品の持続可能性と循環性に関する情報を消費者に提供する、(2) 製品・部品の持続可能性に関する標準化された技術情報を事業者を提供する、(3) 各業界が独自のデータエコシステムを開発し、「修理する権利」の確立に貢献し、製品のアップグレード、追跡可能性や透明性の向上を促進することができるようにする<sup>75 76</sup>。

## 協業

循環型経済にとって重要な4つ目の要素はパートナーシップやコラボレーションである。こうした協業は循環型社会への移行に欠かせない。なぜならビジネスモデルの考え方は、1つの企業がループを閉じて終わりというものではなく、エコシステム全体がそれをしなければならないからだ。PaaSなど何らかのビジネスモデルを適切に実行するにはバリューチェーン内のパートナーシップが必要になるが、しかし、正しいパートナーを見つけるのはなかなか難しい。

循環型モデルを支えるパートナーシップは、全てのステークホルダーのために価値を創出できる。パートナーシップのメリットには、新しい材料や安価な材料へのアクセス、輸送コストやエネルギーコストの削減、知識の共有、新しい製品・サービスの創造、リスクとリワードの共有などがある<sup>77</sup>。さらに、ステークホルダーとのパートナーシップにより、責任や義務を共有し、個々の企業の財務・業務面の負担を軽減することもできる。この種の協業は、バリューチェーン全体を通じた垂直協業の形をとることもあれば、業界内または他の業界との水平協業の形をとることもある。

循環型ビジネスモデルを実行してバリューチェーンの一部の排出量を削減しても、他の部分の排出量が増えるケースがよく見られる。実際、ほとんどのセグメントのモデルで、廃棄物回収プログラムが整備されると物流段階の排出量が増加する。排出量が別の段階へ移転するのを防ぐには、上流のサプライヤーおよび下流の小売業者との協業により、正味排出量が削減され、体系的な見方がとられるようにするのがよい。これを分析するため、企業はGHGプロトコルのスコープ3排出量に注目することができる。例えば自社製品を設計している企業なら、リサイクル企業と協力して、材料の再利用を促し、リサイクル率を高めるために製品をどう設計すればよいかを検討できる。

エレクトロニクス業界におけるその具体例として、フィリップスモニターやサムスンなどの企業間の協業が挙げられる。両社は「クローズドループ」サービスを提供するクローズング・ザ・ループと協力して、市場に出したデバイスと同数の故障デバイスを回収、リサイクルしている。これは「ワン・フォー・ワン」として知られるグローバルなEPRコンセプトである。

業界内の水平協業は業界全体に影響を及ぼすことができるので、パートナーシップの中でも非常に強力である。新しいビジネスモデルの実験方法として、比較的大きな企業は新たな事業活動の助けになるスタートアップと協業することもできる。例えば、PaaSや再製造のモデルの多くの予測では、リバースロジスティクスなどを通じて製品を会社に戻したとき、物流段階のコストとCO<sub>2</sub>eが増加する。多くのスタートアップがこの分野で登場し、これらのビジネスモデルを試す絶好の機会を提供している。歴史ある企業にとってこれは初期コストの低減につながる。また、循環型ビジネスモデルの実行を妨げる法規制がある場合は、業界レベルで一致協力して規制の変更を求めることもできる。

“

循環性の基準とベストプラクティスを確立するための業界全体の協業には、大きな価値がある。企業は力を合わせることでシステムを変革し、コストを分かち合い、循環型モデルへ向けて共に進歩を遂げることができる

Andreas Nobell(TCOデベロップメント)

”



## 資源不足とサプライチェーンの混乱

最後に、エレクトロニクス業界が循環型経済の実行を始める上でもう1つ重要なのは、原材料がますます不足しているという事実とサプライチェーンの混乱である。先述のように、エレクトロニクス業界はレアアース金属、貴金属などの限りある原材料資源に大きく依存している。複雑な電子・電気機器は最大60の元素を含むと言われている<sup>78</sup>。こうした資源の採取や加工は、生息域の破壊、水質汚染、GHGの排出など、環境にしばしば大きな影響を及ぼす。エレクトロニクス製品の需要が拡大し続けると、資源が枯渇し、環境劣化が進む恐れがある。図表8のように、現状のままを続ければ資源枯渇へとまっしぐらに突き進みかねない原材料が、エレクトロニクス業界では数多く使われている。

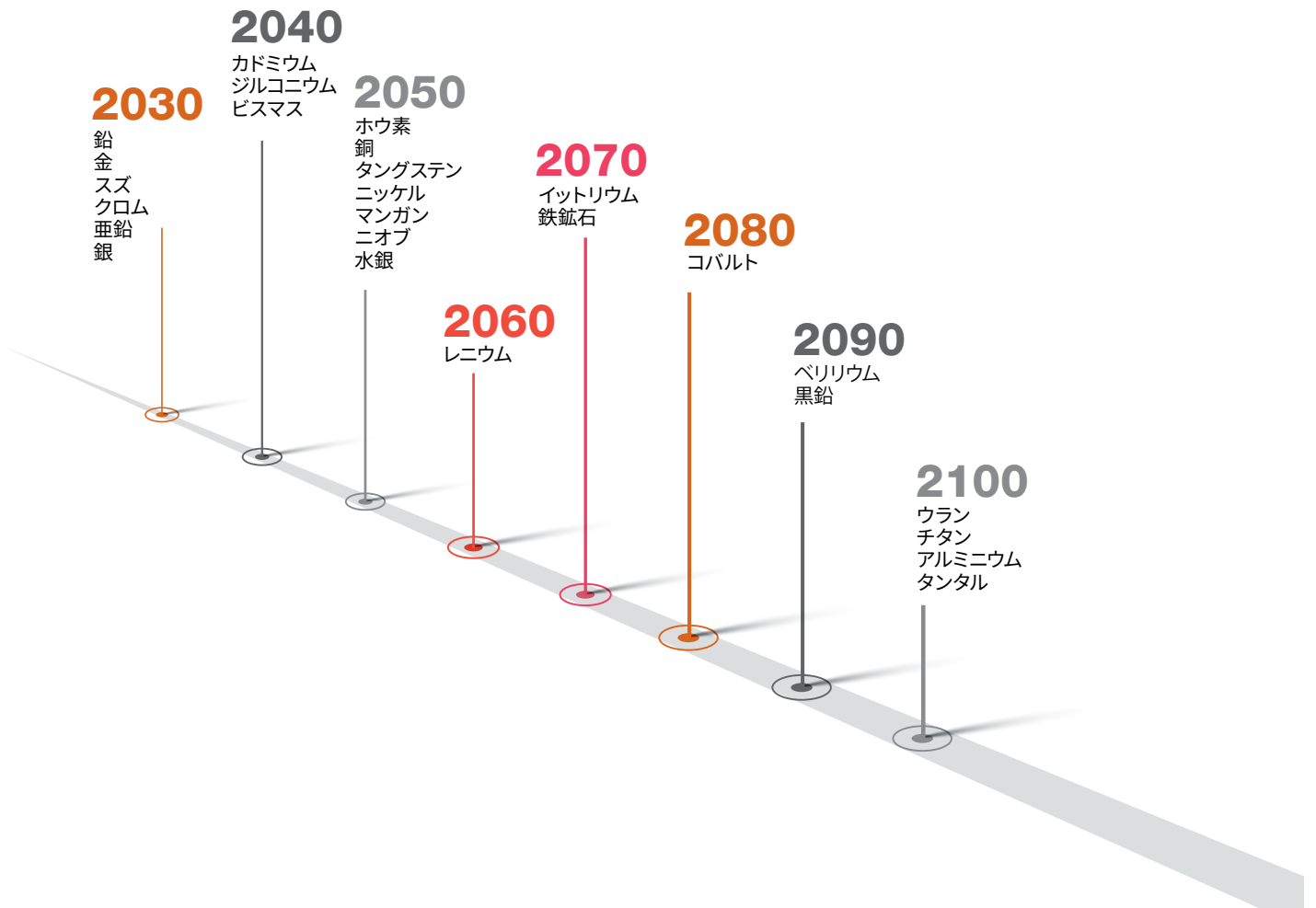
“

エレクトロニクス製品はリチウム、コバルト、ニッケル、マンガンなどのレアアース金属や重要金属を含んでいるので、こうした金属の再利用やリサイクルのための循環型モデルが必要だ。そうすれば原材料の採掘や加工への依存が減るため、汚染やGHG排出といった環境への悪影響も少なくなる

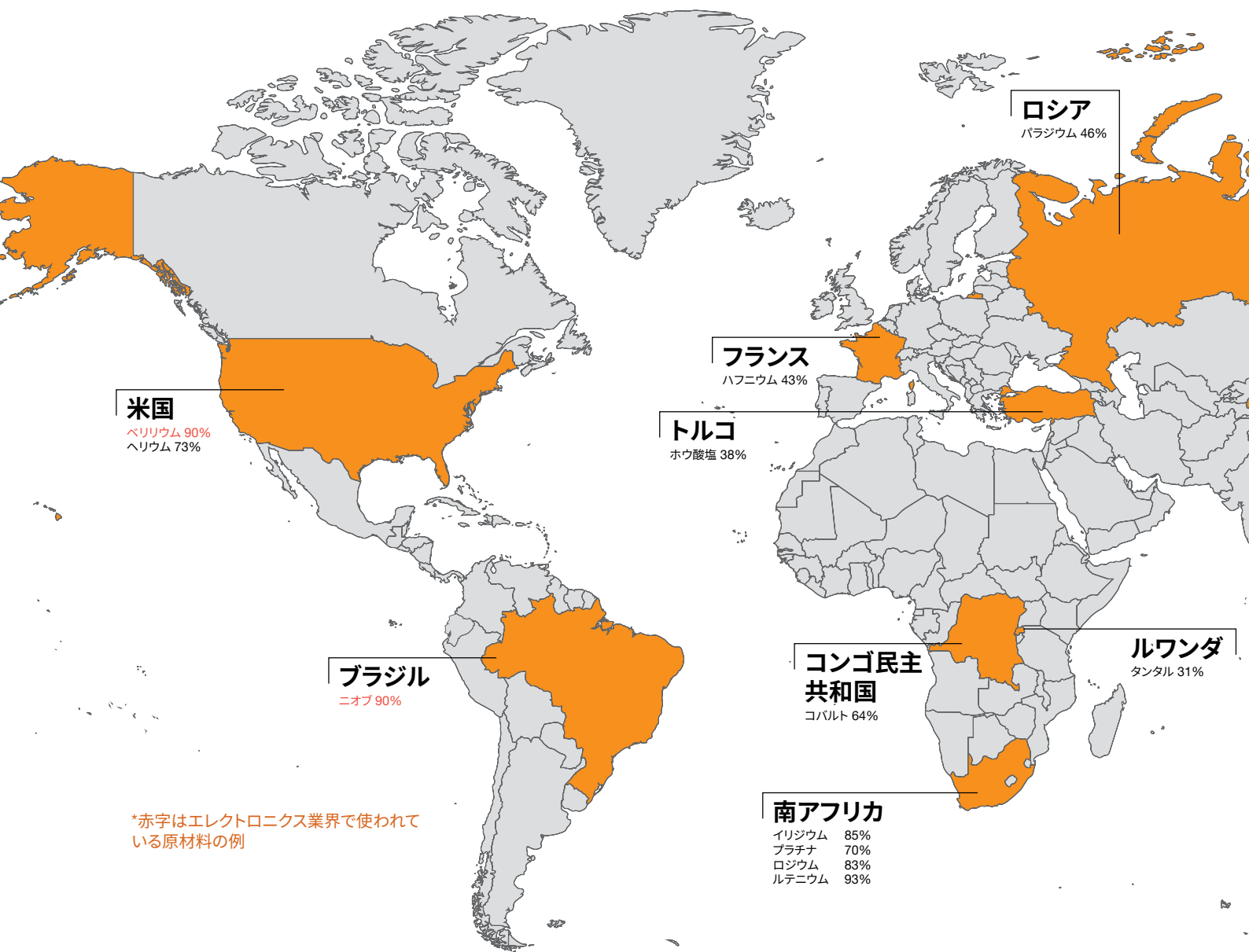
Sangeetha Raghuram(PwCインド)

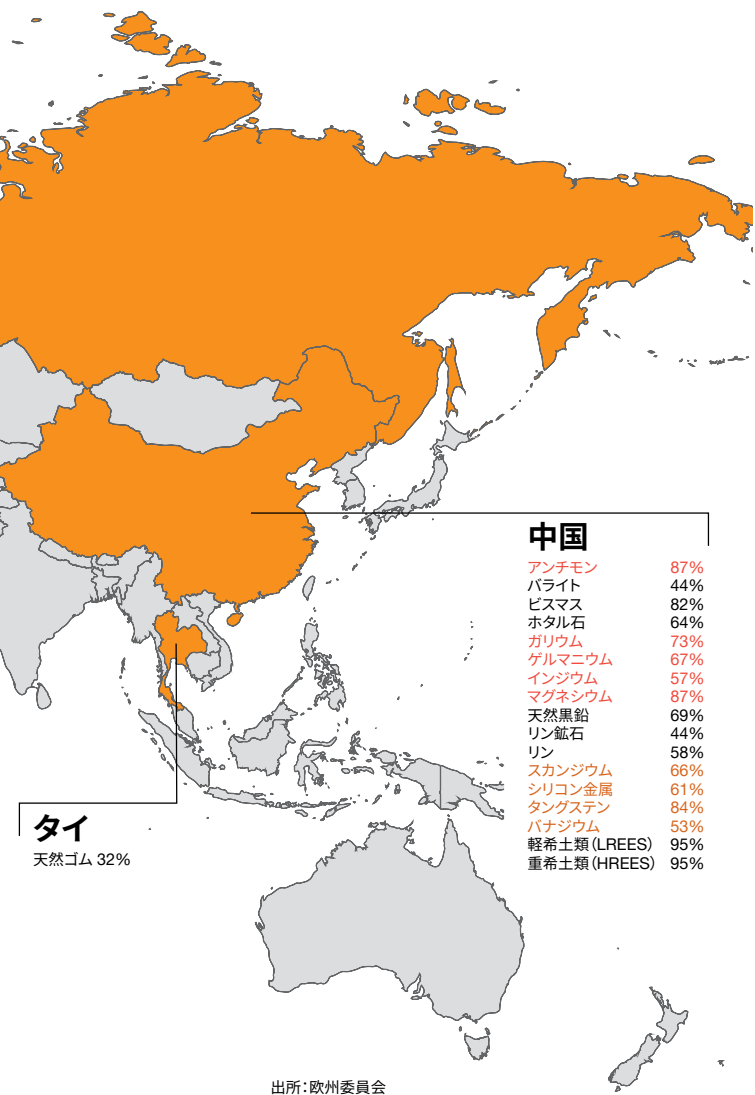
”

図表8：  
主な非再生可能資源が枯渇すると予測される時期



図表9：  
重要原材料のEUへの供給シェアが大きい国 (2010～14年の平均)<sup>79</sup>





エレクトロニクス業界で使われる素材の多くはいわゆる重要原材料である。EUによると、重要原材料は、EUにとっての経済的重要性と供給リスクの両面で閾値に達する、または閾値を超える原材料と定義される。例えばスマートフォンには最大50種類の原材料が含まれる可能性がある<sup>80</sup>。重要原材料はハイテク製品や新しいイノベーションにとって特に重要である。電子・電気機器業界は、アンチモン、ベリリウム、コバルト、ゲルマニウム、インジウム、白金族金属、天然黒鉛、レアアース元素、シリコン金属、タングステンなど、さまざまな重要原材料に依存しているとされる<sup>81</sup>。

デジタル化の主な影響の1つは、大量のデータを生成し、データセンターや企業インフラ、スマートフォンなどの端末に保存しなければならないことだ。図表10にあるように、IoTなどの新しい技術を活用して、コネクテッドロボット、自動運転車、センサーなどが、バリューチェーン全体の産業プロセスでますます多く使われるようになる。デジタルネットワークやデジタルサービスが世界的に拡大すると、人々のインターネットへのアクセスが増え、接続機器や光ファイバーの必要性も高まる。デジタル化に伴ってスマートフォンなどの家電機器の販売も増加する。スマートフォンの販売台数は2018年の1億3,000万台から着実に増え、2035年には1億8,000万台に達する見込みである<sup>82</sup>。

# 循環型経済への移行におけるPwCの役割

PwCスウェーデンは、サステナビリティを目指すクライアントの取り組みをサポートし、変革を促進することに力を注いでいる。私たちが一連のサービスは、それぞれのクライアントのニーズやスタート地点に合わせて提供されるが、それを支えるのは、サステナビリティをビジネスモデルやベストプラクティスに組み込んで実行することに精通した深い専門性である。私たちは「持続可能なイノベーション」プロセスを専門としており、革新的で環境にやさしいソリューションを導くと同時に、「循環型ビジネスモデリング」サービスを提供して資源効率を最適化し、廃棄物を最小限に抑える。総合的なアプローチの一環として「サーキュラリティ成熟度評価」を行い、クライアントのオペレーションの循環性を測定するとともに、改善すべき分野を特定する。包括的なサービスを通じて、特に循環型エレクトロニクス産業において、クライアントがサステナビリティを受け入れ、プラスの変化を推進できるよう支援する。

私たちのサステナビリティアドバイザーのチームは能力が高く、クライアントがあらゆる調達活動で循環型原則を実行できるよう、個々のニーズに応じたサービスを提供できる。「循環型調達戦略」の策定、持続可能な調達オプションの特定、循環性基準の優先順位づけ、循環型原則の調達プロセスへのシームレスな統合をサポートする。

私たちの専門領域は「循環型製品設計」にも及ぶ。クライアントと密接に協力しながら、製品の寿命を延ばし、修理可能性とリサイクル可能性を実現するための最適設計を見だし、循環型経済原則を常に順守する。また、「循環型サプライヤー選定」の指針を提供し、サステナビリティやサーキュラリティ、倫理的プラクティスを優先するサプライヤーの特定、そうしたサプライヤーとの協業をサポートする。

さらに、私たちは「循環型調達」のためのサプライヤーガバナンスと管理のノウハウを提供する。循環型基準の順守を確保し、サプライヤーのパフォーマンスを監視し、サプライチェーンにおける継続的改善を促すための強固な枠組みやプロセスの構築を支援する。私たちの総合的なサービスにより、クライアントは調達活動全般で循環型モデルを取り入れ、エレクトロニクス業界に環境・社会面のプラスの影響をもたらすことができる。

あわせてPwCは社内の幅広い専門性を活かして、最近承認されたEU企業サステナビリティ報告指令(CSRD)をはじめ、進化を続けるサステナビリティコンプライアンスの重要な側面にクライアントが対応するのをサポートする。詳細なESG指標報告を含むCSR要件の影響を受ける大企業は、欧州サステナビリティ報告基準(ESRS)の順守、この情報をめぐる限定的保証の達成に関する私たちの助言を役立てることができる。サポート内容としては、マテリアリティ評価の実施、CSR保証要件への対応、環境・GHGのベースラインパフォーマンスの測定、社会的考慮事項の評価、削減目標の設定、企業レベルとバリューチェーンレベルでのKPIのモニタリングなどがある。法規制におけるESG重視が高まるなか、PwCは、クライアントがそうした義務を果たす準備を整え、私たちの幅広いデータや知識を活用して今後のサステナビリティ報告にもしっかり対処できるようにする。

上述のように、循環型ビジネスモデルを効果的に設計・実行しようとするとき、協業は必要不可欠だ。自社のエコシステム内の全ての関係者を考慮しないと、循環型ビジネスモデルの効果的な計画・実行は難しい。そこでPwCは、企業がエコシステムでの自身の役割や、他のステークホルダーへの依存度を理解するためのツールを開発した。

“

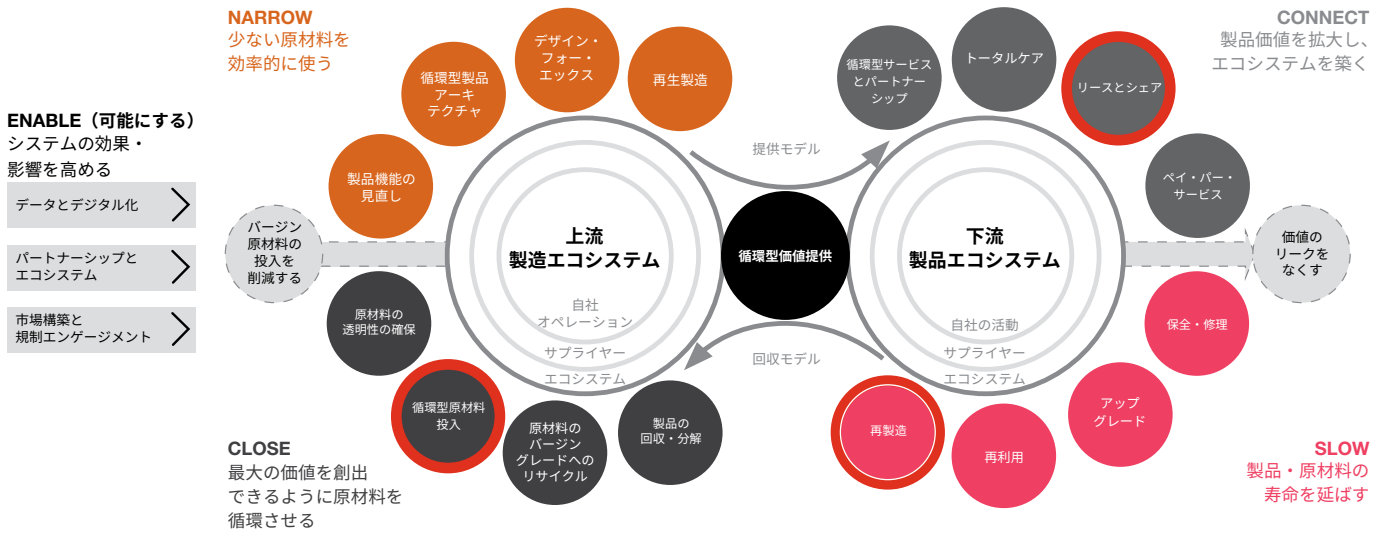
主な意思決定者にデータ主導の知見を提供することは、循環型経済への移行を成功させる基盤となる。循環型モデルへの初期投資が、長期的な費用対効果や収益性の下地をつくる

David Ringmar(PwCスウェーデン)

”

# PwCの循環型イノベーションフレームワーク

図表10：  
循環型イノベーションフレームワーク



PwCの「循環型イノベーションフレームワーク」はPwCドイツによって開発された。その狙いは、生物学的・技術的サイクルを通じた素材の循環に関する最新の科学的知識を、循環型製品・サービスの設計用のアクション志向のツールへと転換することである。このフレームワークは、マテリアルフローを調整して循環型ビジネスコンセプトを支援するための戦略を提供する。製品の生産システムの調整と、製品の使用システムの革新的調整を組み合わせた循環型ビジネスコンセプトを開発するために用いられる。循環型ビジネスモデルは、マテリアルフローのタイプとしてnarrow(投入資源の削減)、connect(製品価値の拡大とエコシステムの構築)、slow(製品・部品寿命の延伸)、close(閉ループ化)という4つの包括的戦略に分類される。そしてその中に、本レポートでフォーカスした3つの主要戦略が認められる(赤枠で強調した)。

# まとめ

私たちの調査から、どの循環型ビジネスモデルの潜在的価値が最も高いかがわかる。御社がエレクトロニクス部門のどのセグメントに属しているか、またCO<sub>2</sub>e排出量削減とコスト削減のどちらを目指しているかという両方の観点から潜在的価値を確認できる。全体として、循環型戦略を実行すると、コストを業界平均で12%、CO<sub>2</sub>e排出量を10%削減できると予想される。ただし今回の結果はあくまでセグメント内の平均的企業を想定したものであり、読者は自社独自の背景や能力、目標の高さなどを考慮に入れなければならない。

調査では、PaaS、循環型原材料、再製造という3つの循環型戦略だけにスポットを当てた。図表10にあるように、エレクトロニクス業界での移行を進めるには、他にも多くの戦略が利用可能である。また、それらの戦略は単独で実行されることは少なく、相互に組み合わせて実行されることが可能である。例えば、製造段階で循環型原材料を使い、使用段階でPaaSモデルを利用することで、コストとCO<sub>2</sub>eの削減幅を大きくできる。製品が故障したら、再製造して再び販売することができる。自社のサステナビリティ戦略や目標のレベルに合わせて循環型ビジネスモデルを探求するのが重要だ。私たちのモデルが説明するように、PaaS(サービスとしての製品)はさまざまなセグメントにとって優れた選択肢となる。しかし実行当初は課題が出てくる可能性もある。多くの企業は、循環型ビジネスモデル内での一連の移行に備えることで恩恵を手にし、最終的に循環性を組織に取り込むことができる。

**多くの企業は、循環型ビジネスモデル内での一連の移行に備えることで恩恵を手にし、最終的に循環性を組織に取り込むことができる。**

最後に、今回評価したCO<sub>2</sub>eとコスト削減の可能性以外にも考慮すべき点があることは、頭に置いておかなければならない。環境面では、資源不足、水や土地の利用、生物多様性などの問題がある。環境面以外では、エンドユーザーの期待や要求、サプライチェーンにおける人権、企業のサプライチェーン戦略、市場参入戦略、法規制上の要求事項、さらには循環型ビジネスモデルへの戦略的移行のために投じる資金といった要因が挙げられる。

これらはビジネスモデル実行の障壁になることもあれば、障壁を制限することもあるが、いずれにしても戦略の修正に際して考慮に入れなければならない。実際、ビジネス変革の推進は複雑であり、循環型ビジネスモデルへの移行は、ESGの視点を取り入れ、サステナビリティをビジネス上の強みとして利用するという幾分新しい考え方や、法規制の複雑さ、そして顧客の意識や期待の高まりなどのせいで、さらに困難なものになる。このようなビジネス変革の実行促進を目的として、PwCの循環型イノベーションフレームワーク、サーキュラリティ成熟度評価などの外部ツールを利用できるいくつかのフレームワークがある。また、TCOデベロップメントなどの組織や、このテーマについて幅広い専門知識を持つPwCなどのパートナーは、全般的なアドバイスを提供することができ、そうした組織とのコラボレーションによって御社は確実に変革を実施することができる。





# 後注

1. <https://www.researchandmarkets.com/report/consumer-electronics>
2. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40108/circu-lar\\_economy\\_africa.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40108/circu-lar_economy_africa.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
3. “Global Electronic Industry Standards on Sustainability and Workers’ Rights” by the International Labour Organization (ILO)  
“Electronics and Health: A World Health Organization Perspective” by the World Health Organization (WHO)
4. <https://api.globalewaste.org/publications/file/286/Global-Transbound-ary-E-waste-Flows-Monitor-2022.pdf>
5. “The Global Impact of E-Waste: Addressing the Challenge” by the United Nations University (UNU)
6. <https://ellenmacarthurfoundation.org/financing-the-circular-econo-my-capturing-the-opportunity>
7. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-econ-omy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>
8. <https://ellenmacarthurfoundation.org/news/an-introduction-to-circu-lar-design#:~:text=Decisions%20made%20at%20the%20design,-made%20at%20the%20design%20stage>
9. [https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBT\\_Value\\_Chain\\_Report-1.pdf](https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBT_Value_Chain_Report-1.pdf)
10. <https://www.lightguidesys.com/resource-center/blog/electronics-reman-ufacturing-explained/>
11. <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/9/1960>
12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114005083>
13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114005083>
14. Nasr, N.; Russell, J. UNEP International Resource Panel, Re-Defining Value: The Manufacturing Revolution-Remanufacturing, Refurbishment, Repair and Direct Reuse in the Circular Economy. IRP Reports.
15. <https://www.deltapowersolutions.com/en/mcis/technical-article-modular-ity-as-a-requirement-for-ict-infrastructure-engineering-systems.php>
16. <https://www.deltapowersolutions.com/en/mcis/technical-article-modular-ity-as-a-requirement-for-ict-infrastructure-engineering-systems.php>
17. [https://cdn.cdp.net/cdp-production/cms/guidance\\_docs/pdfs/000/003/504/original/CDP-technical-note-scope-3-relevance-by-sector.pdf?1649687608](https://cdn.cdp.net/cdp-production/cms/guidance_docs/pdfs/000/003/504/original/CDP-technical-note-scope-3-relevance-by-sector.pdf?1649687608)
18. [https://www.berenschot.nl/media/1moh11fq/rapport\\_servitization\\_in\\_the\\_healthcare\\_sector\\_berenschot\\_dll.pdf](https://www.berenschot.nl/media/1moh11fq/rapport_servitization_in_the_healthcare_sector_berenschot_dll.pdf)
19. <https://www.cnbc.com/2023/01/17/worst-is-over-for-global-chip-short-age-abb-chairman-says.html>
20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223616300037>
21. 本稿執筆時点で単一のグローバル炭素市場はなく、カーボンプライシングは規制動向に大きく左右されるため、ここで示す炭素価格は執筆時（2023年7月23日）のEU域内排出量取引制度（ETS）の価格に基づき控えめに見積もっている。炭素排出量の価格は、各組織の事業運営に適用される多国籍、国内および地域の価格設定スキームによって大きく異なる。EU-ETSの価格は2013年から2023年にかけて年平均約30.74%上昇した。
22. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/16595/attachments/1/trans-lations/en/renditions/pdf>
23. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/16595/attachments/1/trans-lations/en/renditions/pdf>
24. <https://www.pwc.com/hu/en/kiadvanyok/assets/pdf/sharing-economy-en.pdf>
25. <https://aertech.com/automotive-electronics-remanufacturing/>
26. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-021-01869-2#Fig9>
27. <https://www.eea.europa.eu/publications/europe2019s-consump-tion-in-a-circular/benefits-of-longer-lasting-electronics>
28. <https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2023/05/Fairphone-lm-pact-Report-2022.pdf>
29. <https://eeb.org/wp-content/uploads/2019/09/Coolproducts-report.pdf>
30. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=20788>
31. <https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2023/05/Fairphone-lm-pact-Report-2022.pdf>
32. <https://eeb.org/wp-content/uploads/2019/09/Coolproducts-report.pdf>
33. <https://eeb.org/wp-content/uploads/2019/09/Coolproducts-report.pdf>
34. <https://www.techtarget.com/searchvirtualdesktop/definition/device-as-a-service>
35. [https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/the\\_contri-bution\\_of\\_the\\_digital\\_industry\\_in\\_a\\_circular\\_economy\\_20170412.pdf](https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/the_contri-bution_of_the_digital_industry_in_a_circular_economy_20170412.pdf)
36. <https://eu.usatoday.com/story/news/nation/2014/11/10/smart-phone-se-curity-risks/18798709/>
37. <https://www.marketwatch.com/story/americans-spent-over-3-billion-last-year-fixing-their-smartphone-screens-2018-11-20>
38. <https://eeb.org/wp-content/uploads/2019/09/Coolproducts-report.pdf>
39. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-021-01869-2>
40. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-021-01869-2>
41. <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2017/totalcare.aspx>
42. <https://www.rightpatient.com/guest-blog-posts/7-benefits-of-leasing-medical-equipment/>
43. [https://www.cat.com/en\\_US/products/new/parts/reman/the-cat-re-man-difference.html](https://www.cat.com/en_US/products/new/parts/reman/the-cat-re-man-difference.html)
44. <https://www.theguardian.com/cities/2018/may/08/cairo-why-egypt-build-new-capital-city-desert>
45. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13243-021-00102-5#Tab2>
46. <https://www.philips.se/healthcare/solutions/philips-circular-systems>
47. [https://www.youtube.com/watch?v=g-OhuvsV\\_xU](https://www.youtube.com/watch?v=g-OhuvsV_xU)
48. <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/research-papers/the-future-carbon-footprint-of-the-ict-and-em-sectors>
49. [https://ecopartner.ch/wp-content/uploads/2019/02/Boeni\\_Recycling\\_ICT\\_Equipment\\_2014.pdf](https://ecopartner.ch/wp-content/uploads/2019/02/Boeni_Recycling_ICT_Equipment_2014.pdf)
50. <https://www.techtarget.com/searchcloudcomputing/definition/Software-as-a-Service>
51. <https://www.techtarget.com/searchcloudcomputing/definition/Plat-form-as-a-Service-PaaS#:~:text=Platform%20as%20a%20service%20>
52. <https://www.techtarget.com/searchcloudcomputing/definition/Infrastruc-ture-as-a-Service-iaaS>
53. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-saas-factor-six-ways-to-drive-growth-by-building-new-saas-businesses>
54. <https://www.alliedmarketresearch.com/platform-as-a-service-mar-ket-A06955>
55. <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/eng/telecommunications-digital-era.pdf>
56. <https://www.precedenceresearch.com/infrastructure-as-a-service-mar-ket#:~:text=The%20global%20infrastructure%20as%20a,27.7%25%20from%202022%20to%202030>

57. <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/15909/229494/1>
58. Ellen MacArthur Foundation (2020), Financing the circular economy: Capturing the opportunity
59. Ellen MacArthur Foundation (2020), Financing the circular economy: Capturing the opportunity
60. Kirchherr et al. (2021) , Breaking the Barriers to the Circular Economy
61. Financing the circular economy, Ellen McArthur Foundation
62. <https://ellenmacarthurfoundation.org/financing-the-circular-economy-capturing-the-opportunity>
63. <https://ellenmacarthurfoundation.org/financing-the-circular-economy-capturing-the-opportunity>
64. <https://ellenmacarthurfoundation.org/financing-the-circular-economy-capturing-the-opportunity>
65. <https://www.ramboll.com/extract-heat-from-data-centres/will-data-centers-be-required>
66. <https://ellenmacarthurfoundation.org/financing-the-circular-economy-capturing-the-opportunity>
67. <https://ellenmacarthurfoundation.org/financing-the-circular-economy-capturing-the-opportunity>
68. <https://ellenmacarthurfoundation.org/financing-the-circular-economy-capturing-the-opportunity>
69. <https://ellenmacarthurfoundation.org/financing-the-circular-economy-capturing-the-opportunity>
70. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cel-lar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC\\_1&for-mat=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cel-lar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&for-mat=PDF)
71. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098>
72. The Ex' tax Project (et al.) (2022), The Tax shift. An EU Fiscal Strategy to Support the Inclusive Circular Economy.
73. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/639>
74. [https://erhvervsstyrelsen.dk/sites/default/files/2023-05/Reducing-scope-3-emissions-through-circular-economy-initiatives\\_WA.pdf](https://erhvervsstyrelsen.dk/sites/default/files/2023-05/Reducing-scope-3-emissions-through-circular-economy-initiatives_WA.pdf)
75. <https://standict.eu/sites/default/files/2022-02/ICT%2BStandardisation%2Bsupporting%2BCircular%2BEconomy%20%282%29.pdf>
76. <https://gs1.se/en/digital-product-passports/>
77. <https://stacey-stormo.medium.com/creating-value-through-strategic-partnerships-in-a-circular-economy-79b2df1782cf>
78. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/electronics-and-obsolescence-in-a-circular-economy#:~:text=economy%20%E2%80%94%20Eionet%20Portal-,ETC%2FWMGE%20Report%203%2F2020%3A%20Electronics%20and,obsolescence%20in%20a%20circular%20economy&text=This%20ETC%2FWMGE%20report%20provides,Europe%20and%20its%20environmental%20impacts.>
79. 重要原材料と循環型経済に関するレポート
80. 重要原材料と循環型経済に関するレポート
81. [https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs\\_for\\_Strategic\\_Technologies\\_and\\_Sectors\\_in\\_the\\_EU\\_2020.pdf](https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf)
82. (Monnet & Ait Abderrahim, 2018)

## 日本のお問い合わせ先

PwC Japanグループ

[www.pwc.com/jp/ja/contact.html](http://www.pwc.com/jp/ja/contact.html)



PwC Japanグループは、日本におけるPwCグローバルネットワークのメンバーファームおよびそれらの関連会社(PwC Japan有限責任監査法人、PwCコンサルティング合同会社、PwCアドバイザリー合同会社、PwC税理士法人、PwC弁護士法人を含む)の総称です。各法人は独立した別法人として事業を行っています。

複雑化・多様化する企業の経営課題に対し、PwC Japanグループでは、監査およびフローダーアシュアランスサービス、コンサルティング、ディールアドバイザリー、税務、そして法務における卓越した専門性を結集し、それらを有機的に協働させる体制を整えています。また、公認会計士、税理士、弁護士、その他専門スタッフ約12,700人を擁するプロフェッショナル・サービス・ネットワークとして、クライアントニーズにより的確に対応したサービスの提供に努めています。

PwCは、社会における信頼を構築し、重要な課題を解決することをPurpose(存在意義)としています。私たちは、世界151カ国に及ぶグローバルネットワークに約364,000人のスタッフを擁し、高品質な監査、税務、アドバイザリーサービスを提供しています。詳細は [www.pwc.com](http://www.pwc.com) をご覧ください。

本報告書は、PwCメンバーファームが2024年4月に発行した『Future Proofing the Electronics Industry: The case for circular business models』を翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合は、英語版に依拠してください。

オリジナル(英語版)はこちらからダウンロードできます。

<https://www.pwc.com/gx/en/issues/c-suite-insights/the-leadership-agenda/circular-business-models-in-electronics-sector.html>

日本語版発刊年月: 2024年10月 管理番号: I202401-19

[www.pwc.com/jp](http://www.pwc.com/jp)



©2024 PwC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see [www.pwc.com/structure](http://www.pwc.com/structure) for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.