

サーキュラー・エコノミーで 一歩先ゆくデンマーク



デンマーク王国大使館
投資部 マネージャー
佐藤 勇一

線形経済から循環経済へ —社会をより持続可能な方向に変換

循環経済への移行とは、原材料の採取、生産、廃棄の線形経済モデルから資源の経済的価値が十分に活用され、地球規模の天然資源への負担が軽減される経済的なモデルへの移行です。循環経済の中ですべての廃棄物が抑制またはリサイクルされることが理想です。製品は、生産や消費から再利用、修理、再生、改修、リサイクルに至るまで、原材料や部品を修復して経済に再導入（ループ）できるように設計されます。

2015年12月、欧州委員会は、経済成長と雇用を促す循環経済のためのEU行動計画を発表しました。循環経済は国連の持続可能な開発目標SDGsの目標9（産業と技術革新の基盤をつくろう）、目標11（住み続けられるまちづくりを）、目標12（つくる責任つかう責任）、目標13（気候変動に具体的な対策を）などの多数のSDGの達成に積極的に貢献します。また、欧州委

員会は2020年3月、新たな循環経済行動計画（CEAP）を採択しました。これは、持続可能な成長のための欧州の新たなアジェンダである「欧州グリーン・ディール」の主要な構成要素のひとつです。EUの循環型経済への移行は、天然資源への圧力を軽減し、持続可能な成長と雇用を創出します。また、EUの2050年気候変動中立目標を達成し、生物多様性の損失を食い止めるための必須条件でもあります。

デンマークには、環境保護ならびに、化石燃料依存から脱却した環境に優しく資源効率のよい経済への移行の長期にわたる実績があります。1971年、世界で初めて環境に特化した行政機関である公害管理省が設立されました。1978年にも世界初となるリサイクルに関する法律が導入されました。これにより、すべての紙および飲料容器は少なくとも50%をリサイクルしなければならなくなりました。1987年には埋め立て税と焼却税が導入され、1997年にはリサイクルまたは焼却できる廃棄物の埋め立て禁止が追加されました。

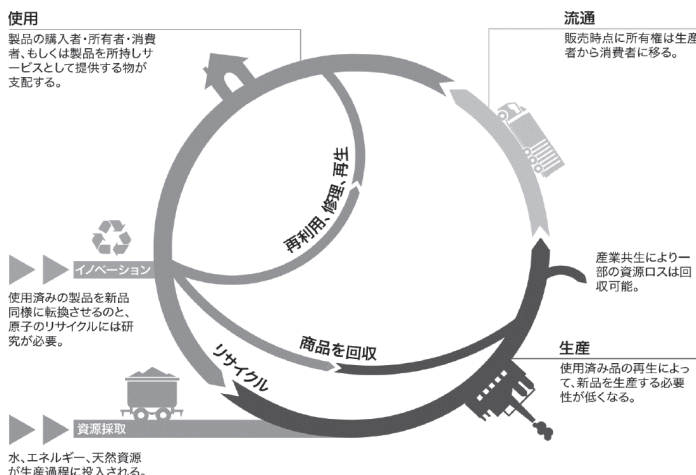
2014年にはデンマークの総廃棄物量の28%が焼却、わずか5%が埋め立て、67%がリサイクルされました。

デンマークの飲料容器デポジット制度はゴミ収集率とリサイクル率に大きく貢献しています。飲料容器の回収率は約89%で安定し、世界で最も効率的な回収システムのひとつとなりました。デンマークは、循環経済の可能性の有効利用における世界的な先駆者であることを受け、世界経済フォーラムのヤング・グローバルリーダーズ・アワード「The Circulars」を受賞しています。

デンマークの企業は、実績、信頼できるソリューションと革新的なビジネスモデルによって持続可能な生産、消費、リサイクルを促進する先駆的な循環経済ソリューションを開発して

循環ループを閉じる

資源をなるべく長く使うことによって、国によっては排出量を70%削減し、雇用を4%増加させ、廃棄物を飛躍的に削減することが可能です。



イラスト：Nature Publishing Group

います。また、デンマーク政府は、2020年から2032年までの廃棄物の抑制と管理のための国家計画である「循環型経済行動計画」を実施しています。

デンマーク企業の取り組み

世界初の生分解性ビール瓶開発：Carlsberg
<https://www.carlsberggroup.com/>

ビール醸造会社 Carlsbergでは、同グループのCO₂排出量の約45%がビール瓶やアルミ缶、段ボールなどのパッケージに由来していたことから、デンマークの企業、大学と提携して、世界で初めて木材繊維で作られた、完全に生物分解が可能で、ペットボトルと同じくらい軽いビール瓶、グリーンファイバーボトルを開発しました。



服のサブスク：VIGGA
<https://continued.fashion/>

製品の販売からサービスの販売にビジネスモデルを変えている企業もあります。服のサブスクVIGGAでは、オーガニックのベビー服をレンタルできます。

- ・ユーザーは月額料金を支払うことで、自分の子どものサイズに合った服を20枚レンタルできます。
- ・子どもの成長に応じて、サイズアップしたセットに新しく交換されます。
- ・返却されたベビー服は品質検査の後、プロの手で洗濯されます。
- ・その後、ベビー服は別の子どもに届けられ、循環プロセスに入ります。
- ・繊維廃棄物は70～85%削減されます。

高品質でも手頃な価格設定を実現できるのは、同じ服を複数の子どもで共有するからです。繊維会社にも高品質な製品を生産しようという意欲が生まれます。

カーシェアリングプラットフォーム：GoMore
<https://gomore.dk/>

循環経済は、デジタル化とプラットフォームモデルにより強く後押しされています。

デンマークでは、平均で車1台に1.4人が乗り、1日あたり約23時間駐車スペースを占有しています。この非効率さは環境に悪影響を及ぼし、車の所有者にとっ

ても経済的ではありません。

カーシェアリングのプラットフォームGoMoreは、ユーザーが車で移動する途中で同乗者を募集できるサービスを提供しています。これにより、車1台あたりの乗員数は増加し、走行車数は減り、環境にも優しい、経済的な移動のソリューションを実現しています。2005年にGoMoreが設立されてから、100万人以上のユーザーがこのサービスを利用しています。その結果、デンマークだけで30万席以上が販売されました。

フードロスの削減：Too Good To Go
<https://www.toogoodtogo.com/>

世界の若者たちの間で流行しているアプリToo Good To Goを利用すれば、レストランやホテルなどで売れ残った食品が販売価格の半額以下で手に入れます。食品ロス解消を目指して2016年にデンマークで誕生した同サービスは、現在、欧州17カ国で展開、ユーザー数は9000万人を超え、15万5千軒以上のレストラン、ホテル、果物屋、パン屋、お菓子屋、スーパーが登録しています。食品は主に通常販売価格の66%オフで購入できます。アプリに登録した住所から徒歩圏内のお店が表示され、その中から食べたいものを提供している店舗を選び、ネット上で決済し、指定された時間帯にその店舗へ行けば、テイクアウトできます。ユーザー登録や利用料金は無料で、食品を提供するお店側から支払われる手数料がToo Good To Goの収益源となっています。

ポンプで省エネに貢献：Grundfos
<https://www.grundfos.com/>

デンマークの企業は、生産プロセスにおける資源効率を向上させることや、重要な材料を副資材、副産物、再生可能エネルギーに置き換えることだけでなく、新しく革新的なビジネスモデルや協働の新しい形態の開発にも大きなチャンスを見出してきました。

多くの産業で使用される機器の一例であるポンプは、酪農場、醸造所、食肉処理場、織物および化学製品の製造、発電所などで重要な役割を担っています。今日設置されているすべてのポンプの2/3以上は非効率的で、最大60%のエネルギーを無駄に使っています。さらに、現在設置されているほとんどのポンプは必要以上に大きく、最大スピードで連続運転していることが多いのです。

効率の悪いポンプを交換することで大幅にコストとエネルギー使用量を削減し、環境負荷を最小限に抑えられ循環経済に寄与できます。

日本の横浜ゴムの工場で、Grundfosは生産ラインの冷却水を供給するメインポンプの変更を行いました。これにより、同社はエネルギーコストを50%以上も大幅に削減すると同時に、CO₂排出量削減への取り組みにも貢献できました。

生物由来の副産物を価値に変える

—豚肉生産業者：Danish Crown

<https://www.danishcrown.com/global/>

デンマークの食品業界は、副産物をうまく利用し、成果をあげています。養豚業では化学肥料を家畜ふん尿由来の肥料に置き換えています。また、家畜ふん尿由来のバイオガスをエネルギー源として、さらに食肉処理場の廃棄物をバイオガスやバイオディーゼルに変えて利用しています。このように、カスケード利用、バイオリファイナリーが実践されているのです。

世界最大の豚肉生産業者のひとつである Danish Crown は、動物の飼育、新しく効果的な家畜小屋、飼料の最適化、栄養物のリサイクル、エネルギーと水効率の向上、物流と副産物の利用などのバリューチェーンに積極的に投資しています。

3D 建設プリンター：COBOD International

<https://cobod.com/>

東欧 8 カ国 (EU8) で発生する廃棄物の約30%が建築と解体によるものであり、解体後はほとんどの建材の価値が失われます。デンマークの建築部門および不動産部門の循環経済の可能性は、「建築モジュールの工業化生産と3D印刷」、「部品と材料の再利用と高価値のリサイクル」、「建築物の共有と多目的化」という3つの循環経済のポテンシャルに基づき2035年に8.5～12億ユーロ規模の市場に達すると推定されています。2013年と2015年に、政府は廃棄物管理と廃棄物抑制戦略をそれぞれ開始し、建築部門と解体部門を重要分野とし、ゴミの堆積や焼却を減らすことを目指して、再利用とリサイクルを増やすために規制を再構築しました。

COBOD Internationalは、3D建設プリンター技術の世界的なリーディングサプライヤーです。COBODは世界ですでに75台以上の3D建設プリンターを販売しており、日揮などの日本企業にも採用されています。COBODプリンターは、1～3階建ての住宅やアパート、オフィス、倉庫、液体タンク、ケーソン（防波堤や岸壁に使われるコンクリート製の箱）、風力発電用の風車タワーまで、あらゆるものの建設に応用されています。2018年、型枠設備の大手サプライヤーPERI

がCOBODに投資しました。2022年には3Dプリンターでのコンクリート製風車タワー建設を目指すGEが、大手セメント・コンクリート企業のHolcimおよびCemexとともにCOBODに投資しました。3Dプリンターでの建設の利点は色々ありますが、**建設期間の短縮や、低コストかつCO₂削減にもつながる材料利用効率の高い設計を可能にするだけでなく、省人化と建設コスト削減から美しく心地よい建築を可能にするデザインの自由度に至るまで、さまざまな利点があります。**このように、循環経済にも大きく貢献することが可能です。



3D建設プリンターによる住宅建設

デジタルツインによる水処理プラント運転： Aarhus Vand

<https://www.aarhusvand.com/>

水事業会社Aarhus Vandは、**水処理プラントの効率的な運転をサポート**するため、水・環境コンサルタントのDHIと協力してEgå下水処理プラントにTwinPlantを導入しました。TwinPlantは、リアルタイムのセンサーデータとシミュレーションモデルを組み合わせて、プラントの実環境をデジタル空間に再現し、3日先までプラント状態の予測を提供するデジタルツインソリューションです。これにより、エネルギー消費、運転コスト、化学薬品投与、排水品質、温室効果ガス排出量などのKPIに基づき、コントローラー設定、メンテナンス手順、流入プロファイルを含むさまざまなシナリオのテストが可能です。さらに、オンラインデータの品質が継続的に検証され、潜在的な異常を検知できます。その結果、TwinPlantは意思決定支援ツールとして機能し、KPIの全体的なレビューに基づいてプラントをバーチャルに評価、最適化できるようになりました。

電子機器の再生ビジネス：Refurb

<https://www.refurb.eu/en/>

コンピューター、タブレット、スマートフォンの部品の90%は再利用が可能です。パナソニックが2023年末から、家電、TV、カメラなどの再生品販売事業を行っています。デンマークのRefurbは2008年より中古IT機器の再生事業を事業戦略の中核に据え、再生可能な部品を利用し、電子機器廃棄物とそれらが環境に及ぼす影響を削減、価値を高め、競争力のある価格で顧客に製品を提供してきました。ビジネスモデル拡大と中古電子機器供給のため、大企業や公共機関と協力し、独自の引き取りシステムを構築しています。同社は独立系で、Dell、Apple、HPなどの電子機器

を再生しています。製品の状態の透明性を確保するため、外観、性能、バッテリー容量など多くの基準に基づきA+からCまでの等級を付け、消費者からの信頼と購入意欲を高めています。さらに再生可能エネルギーの使用や包装の削減といった戦略も採っています。

海運業界におけるマテリアル・パスポート：Maersk Line

<https://www.maersk.com/>

デンマークの海運会社Maersk Lineは、マテリアル・パスポートを通じて、船舶のライフサイクルにおける資材を追跡しています。この革新的かつ体系的なデータ収集は、Maersk Lineが船舶建造に使用する

デンマークに暮らす人の環境意識

長年デンマークに在住していた日本人女性に、環境配慮について話を伺いました。

商品の購入時、捨てるときに環境配慮をどのように意識していましたか？

高くても長く使えるものを買う、ですかね。どうしても捨てる必要があるものは、仕分け、つまり生ごみや、瓶、缶、段ボール、バッテリーなどそれぞれ分別されたコンテナに捨てていました。庭のある方は、コンポストとしてたい肥を作っています。また大型のごみやまだ使用できるもの（本やタンス）は、市のリサイクルセンター（写真右上）に捨てに行きました（もらいに来る人がいます）。リサイクルセンターはぜひ行ってみることをお勧めします。コペン市内にもこれだけあります（地図）。

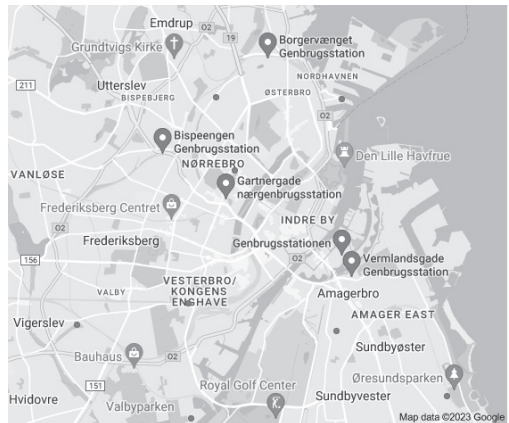
（現在もデンマークに暮らす）娘は、古着屋でよく服を購入しています。古着屋は町中にたくさんあります。教会や福祉活動のRED BARNET（子どもの救済活動）、いじめ被害者や太りすぎの子どもを救う会なども、リサイクル品を売って資金にしています。

普段の生活から環境に配慮していたことは？

小さなことでは、ペットボトルやワインの瓶は、再利用を心がけていました。これらの容器は、通常スーパーマーケットの回収マシン（写真右下）で換金できます（1本につき20円くらいの金券が出てレジで現金化）。また、それを寄付することもできます。大きなことでは、EVの普及に貢献することや、自転車通勤を心がけることなどです。デンマークではタクシーもEVが多くなってきていました。また、ソーラーパネルを設置した家も増えてきていました。

環境配慮を意識して子どもへの教育をしていましたか？

娘はもう28歳なので記憶がはっきりしませんが、地球のためになること、エコは大事でいいことだと教えてきたと思います。今から30年以上前にデンマークではすでにレジ袋が有料だったので、エコバッグを持たずに買い物には行かないという感じでした。加えて買い物は有機の野菜や肉、卵や牛乳を主にスーパーで購入していました。そのため娘も今では同じように有機食品を環境意識の高い店で購入しています（エンゲル係数が上がりますが）。環境配慮を意識した教育は、幼稚園や学校でもかなり行われていました。子どもたちは、環境に対する危機感が高いと思います。メタン削減のために牛肉を食べないでベジタリアンになる若い人も多いです。



資材のリサイクル率向上に貢献できるでしょう。このパスポートには、追跡リストとしての機能だけでなく、本来の目的どおりに使用できなくなった資材の解体・リサイクル方法のガイドラインも含まれます。このような資材の識別方法は、希少なバージン資源への依存削減にも役立ちます。このプロジェクトには75社以上のサプライヤーが継続して積極的に参加する必要があり、これらの取り組みを通じた経験は、海運業界における資材管理の適用範囲拡大を目的として、持続可能な海運イニシアティブと共有される予定です。

循環経済に寄与する産業共生

ある企業の産業プロセスにおいて残ったあるいは排出された資源を別の企業が有効活用できるように連携する「産業共生 (Industrial Symbiosis)」においても、デンマークは先進的です。

GreenLab 工業団地

<https://www.greenlab.dk/>

デンマーク北西部SkiveにあるGreenLabは、再生可能エネルギーと持続可能な生産を組み合わせた世界初の工業団地です。入居企業はエネルギーとデータのインテリジェントネットワークSymbiosisNet™を通じて、余剰エネルギーとリソースを相互に共有できます。

2021年に英国企業のUnwastedは、アップサイクル廃棄物のみから作られた世界初の高性能パネルボードNeverwaste™の最初の本格的生産拠点として、GreenLabを選びました。パネルボードの製造に必要な蒸気は、通常、天然ガスボイラーから供給しますが、GreenLabでは風力タービンで発電されたエネルギーで生産が可能です。また、電気分解プラントから直接温水を得ることもでき、同時に、彼らの余剰エネルギーはSymbiosisNet™を通じて他の入居企業が利用できます。このようにエネルギーの最適利用が実現されています。

Kalundborg Symbiosis

<https://www.symbiosis.dk/en/>

首都コペンハーゲンから西に100km離れた工業都市Kalundborgは産業共生発祥の地として知られ、大手の電力会社や加工業、製薬、医療、クリーンテック企業が拠点をしています。Kalundborgは、「Green Manufacturing Municipality」となることを目標に地域開発戦略を立て、産業クラスターにおける官民の循環型生産パートナーシップを実践しています。産業共生により年間635000トンのCO₂削減、2400万ユー

ロのコスト削減を実現し、環境にも経済にも利益をもたらしています。

atNorth

<https://www.atnorth.com/>

atNorthは2024年、コペンハーゲン首都圏のBallerupにデータセンターを開設し、デンマークでの事業を拡大する予定です。この高性能データセンターは最大30MWの容量で運用されワークロードに効率的に対応することを目標としています。エネルギー・廃棄物企業Vestforbrændingenの近くに開設することで廃熱回収技術の統合が可能となり、地域熱供給ネットワークに統合されたBallerupの数千世帯にデータセンターからの余剰熱を供給することができます。

循環経済の可能性の種をまく

循環経済は経済成長、雇用創出、地球環境の保護につながります。循環経済の原則のポテンシャルを最大限に引き出すには、市場の主導に加え、総合的なソリューションの創造と立法上の障壁打開のために、官民が緊密に連携する必要があります。

循環経済への移行は、パラダイムシフトであり、金融部門、政策立案者、および企業の間で考え方の変化が要求されます。異なる利害関係者間の協力は、変革を成功させる鍵となります。イノベーション、デジタル技術の利用、リバースロジスティクス of 新しいモデル、シェアリング・エコノミーに向けた新しい機会が生まれています。

デンマークでの循環経済に関する取り組み、本稿でご紹介したデンマーク企業との協業に関心がありましたら、ぜひお問い合わせください。

(参考文献)

State of Green編「サーキュラー・エコノミー／循環経済」

(筆者略歴)

中央大学理工学部電気工学科卒業。同大学院博士前期課程修了。修士(工学)。(株)東芝入社。IPCCを経て現職。再生可能エネルギー分野およびIT分野における日本からデンマークへの投資促進に従事。

お問い合わせ

JOI 事業企画部

E-mail: bd@joi.or.jp

デンマーク王国大使館
投資部 マネージャー 佐藤 勇一

E-mail: yuisat@um.dk
<https://japan.um.dk/ja>