

21世紀は“環境の世紀”と言われている。“環境”は、すべての経済活動に関連し、多種のステークホルダー(利害関係者)が積極的に関与することで、環境に関する法令整備、技術開発、新規ビジネスなどがこれまでにない速度で進んでいる。ここでは、循環型社会を実現する環境技術を四つの領域、“サステナブル”、“ファクタ”、“グリーン”、“クリーンアップ”に分類して、それぞれの領域における技術開発と、また、企業経営の観点から、製品ライフサイクルにわたる環境情報が共有できる環境情報システムの構築について概観する。

The 21st century is referred to as the "century of the environment." Environmental issues have become related to all economic activities with many stakeholders involved, so that environmental legislation, environmental technologies, new environmental businesses, and so on are being developed at an unprecedented pace.

In this paper, environmental technologies are classified into four areas - "sustainable," "factor," "green," and "clean-up" - and the necessity of technology development in each of these areas is clarified. The importance of sharing environmental information through the product life cycle by the various divisions of an enterprise is also discussed.

環境問題の変遷

公害

“環境”の重要性が一般社会で認識され始めたのは、1960年代後半から顕在化した“公害”問題からである。工場などからの排出物で大気汚染や水質汚染が引き起こされ、環境問題は、地域住民の安全で健康な生活を脅かす公害問題そのものであった。

深刻化する公害問題を解決するために公害対策基本法(67年)、環境庁発足(71年)などの法律や行政機関の整備が行われ、公害防止技術の開発と普及によって大気、水質などの地域的な環境汚染の回復が進んだ。

地球規模

80年代後半からは、オゾン層破壊や地球温暖化など国家を超えた地球規模での環境問題の時代に入り、リオデジャネイロでの地球サミット(92年)において“持続的発展”の重要性が認識された。

わが国においても、持続的発展を織り込んだ“環境基本法”(93年)が

制定された。また、97年には京都で気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)が開催され、2008～12年の温暖化ガスの排出を、90年比で、先進国全体では少なくとも5%、日本は6%の削減とされた。

循環型社会

二酸化炭素(CO₂)などの温暖化ガスの排出は、地球の持つ自然循環の能力を超えている。また、産業活動や日常生活に起因する廃棄物は増加の一途にあり、最終処分地の逼迫(ひっばく)が現実化し、また、資源枯渇も避けられない問題となってきた。2000年には、“循環型社会形成推進基本法”が成立し、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、食品廃棄物リサイクル法、建設資材リサイクル法、自動車リサイクル法などの法整備が行われた。

現在の環境問題の特徴は、すべての組織や個人が原因者であり被害者でありうること、問題の進行及び回復に世代を超える時間を要すること、通常の企業活動や日常生活の中で環

境負荷が発生していることである。したがって、社会を構成するすべての組織、個人が次の世代に健全な地球を引き継ぐ責務を負っている。

循環型社会における環境技術

人類は、石油や鉱物などの枯渇性資源と、木材、植物、太陽光などの再生可能資源を用いて企業活動や日常生活を営んでいる(図1)。枯渇性資源の多くは地下資源であり、これらを採掘してエネルギーや原料として使用すれば、地球の大気中あるいは地表にCO₂などの温暖化ガスや、鉄、銅などの金属、プラスチックなどの有機物が蓄積していく。

すなわち、このまま枯渇性資源を使い続けるかぎり、地球環境中にそれらがいろいろな形態で蓄積され、環境に影響を及ぼしていく。したがって、持続可能な社会を構築するためには、図2に示した四つのキーワードの領域で、この物質・エネルギー循環を効率化する技術革新が必要である。

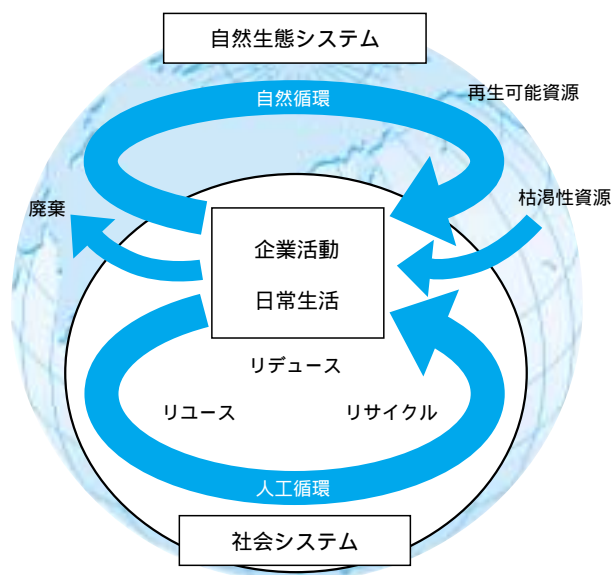


図1. 地球環境における物質循環フロー 自然循環の活用と人工循環の効率向上によって、枯渇性資源の採取量と自然生態システムへの廃棄量は、究極のゼロへ漸近する。
Global material flows

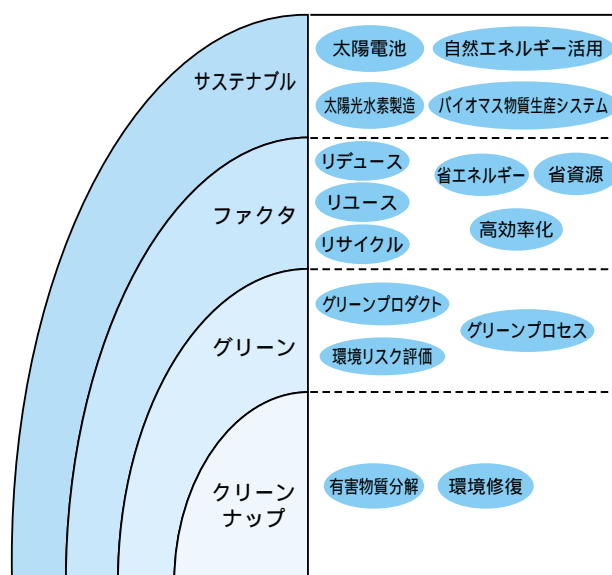


図2. 循環型社会を構築する環境技術 循環型社会を構築する環境技術は、四つのキーワードで整理できる。
Environmental technologies for sustainability

■ サステナブル

まず1番目に、枯渇性資源を使用しないで自然循環を利用する、すなわち“サステナブル(持続可能)”な技術の開発が必要である。代表例は、太陽光発電、水力・風力発電、などの自然エネルギー活用である。これらのエネルギーはエネルギー密度が低い、発電単価が割高など、課題も多いが、CO₂を排出しない点が大きな魅力である。

わが国は、太陽光発電技術では世界のトップレベルであり、コスト低減や変換効率向上、ビル外壁などをシーラーの太陽電池化する技術など、先行的な研究が行われている。

木材、植物などのバイオマスは自然界由来の炭素源であり、これらを用いたエネルギー変換もサステナブルな技術と言える。バイオマスの使用によって排出されるCO₂は、森林や海洋に吸収され再度バイオマスとして循環・再生されるため、大気中に蓄積しない。バイオマス利用については、この自然循環系を円滑に進めるための森林保護などの施策や、バイオマ

ス生産技術の開発も不可欠である。

バイオマス利用では、木材を燃やして熱エネルギーを取り出すという形態から、ガソリン、アルコール、水素などの燃料に転換して利用する形態にすることが、社会インフラストラクチャ的に望まれる。既に、ブラジルではサトウキビからエタノールを発酵によって生産し、30%程度の自動車のエタノール燃料で走っている。現状は地域的に限定されているが、今後のバイオテクノロジーの進展に伴ってバイオマス自体の生産や変換プロセスも変革されていくものと思われる。また、食品、畜産などの産業から排出される有機性廃棄物からメタンやアルコール類などの燃料を回収する技術は、廃棄物対策にもなり今後の発展が期待される。

エネルギー以外の分野でも、自然循環を活用する技術が望まれている。石油から生産されるプラスチックなどの有機物は、最終的に地中に廃棄あるいは大気中にCO₂の形で蓄積されていく。一方、バイオマスを用いれば、従来の石油化学の物質生産に代わって、CO₂の自然循環による物質

生産が可能となる。この分野では生分解性プラスチックが代表例であり、既にトウモロコシから生産したポリ乳酸を原料にした食品トレイが使用され、米国では大手化学会社と穀物会社が大規模工場の建設を進めている。今後、現在の石油化学産業のように、種々の化学物質の生産が可能になるプロセスやシステムの開発が望まれる。

IPCC(Inter-governmental Panel on Climate Change: 気象変動に関する政府間パネル)によれば、年間79億トン(炭素換算で化石燃料使用63億トン、伐採など16億トン: 89~98年のデータから算出)のCO₂が排出され、森林と海洋とで各々23億トンを吸収しているが、差引き33億トンが大気中で毎年増加しているとのことである。この数字から明らかにように、バイオマス系資源を用いた生産システムで、この33億トンのCO₂の増加量を吸収するには、現在の森林規模の1.5倍に相当するものが更に必要となり、現実的には他の種々の方法・方策とのベストミックスが必要である。

■ ファクタ

そこで、2番目のキーワードは“ファクタ”である。上記のサステナブル領域において、太陽光やバイオマスは地表に二次元的にしか存在しない。そのため、地球誕生からばく大な時間を要して、地下に三次元的に蓄積した枯渇性資源に比較して、密度が低いのが欠点である。したがって、図1の人工循環において資源の有効利用を行い、物質・エネルギーフローのネット量を削減しないかぎりサステナブルが成立しない。

環境的視点から、ヨーロッパでは“ファクタ4(ワイツェッカー)”、“ファクタ10(シュミット ブレーク)”という概念が提唱されている。この概念では性能や豊かさを犠牲にするのではなく、“ファクタ=性能/消費資源”を4倍あるいは10倍にすることによって持続可能な社会を形成しようとするものである。

社会システムは、図1に示すように枯渇性資源を採取し、廃棄物を自然生態システムへ排出しているが、ファクタの向上により、その採取量と廃棄量を究極的にはゼロに漸近させることができる。例えば、現在のCO₂の年増加量は化石燃料から排出される量のおよそ1/2である。したがって、世界平均ではファクタ2を達成すれば良いことになるが、今後の発展途上国における消費増加の余地を考慮すると、先進国ではファクタ4、あるいはファクタ10が必要な状況である。

従来から、わが国では製造段階や製品レベルでの省エネルギー、小型化、省資源化が推進されてきており、ファクタ領域の効率化という点では世界のトップクラスである。しかし、ファクタ4、ファクタ10の領域に到達するためには、新たなビジネスモデルの構築やブレークスルー技術によって、物質・エネルギーフローを変革していくことが不可欠である。

例えば、図3に示した製品リサイク

ルに関するトレンドにおいても、埋め立てしていた廃棄物を燃料などの資源にリサイクルする大きなループから、より製品に近いところにリサイクルする小さなループへ、更に小さなループであるリユースへと進展するものと思われる。

これに伴って材料のリサイクル容易性、部品のモジュール化、製品のメンテナンス性、長寿命化などに関する設計・生産技術の開発が重要となる。また、製品自体においても、資源集約的な製品から知識集約的な製品への移行、すなわち物の所有からサービスの享受への移行が進み、ビジネスモデル自体が大きく変わっていくと思われる。

■ グリーン

3番目のキーワードは“グリーン”である。図1において自然循環は言うに及ばず、人工循環においても循環が円滑に進むためには、環境負荷が高い物質の存在は望ましくない。これは、製品だけではなく製造プロセスなどすべての製品ライフサイクル(囲み記事参照)において求められている。環境負担が削減された環境調和型の製品や製造プロセスが“グリーンプロダクト”、“グリーンプロセス”

である。電子・電気機器メーカーとして鉛フリー化やハロゲンフリー化などが当面の課題であり、各社とも採用製品の拡大に向けて開発を推進している。また、新たに開発された化学物質や製品の環境負荷や環境リスクを的確、迅速に把握する手法も最新のIT(情報技術)を取り込むことによって発展していくものと思われる。

グリーンプロダクト、グリーンプロセスは、企業にとっては環境リスクの削減や環境負荷物質の後処理コスト削減など経営面からもメリットが大きく、今後の企業や製品の価値を左右するものとなっていく。

■ クリーンナップ

4番目のキーワードは“クリーンナップ”である。PCB(ポリ塩化ビフェニル)などのように、当初は有用で無害な物質であるとされていても、後になって有害性が明らかになった物質や、代替物質がなく、よく管理された状態で使用が許される有害性物質もある。また、その物質自体には有害性がなくても、他の物質と反応してダイオキシンなどの有害物質を発生することもある。このような有害物質は今後の技術革新の中でも生まれてくる可能性は高く、適正処理によって無

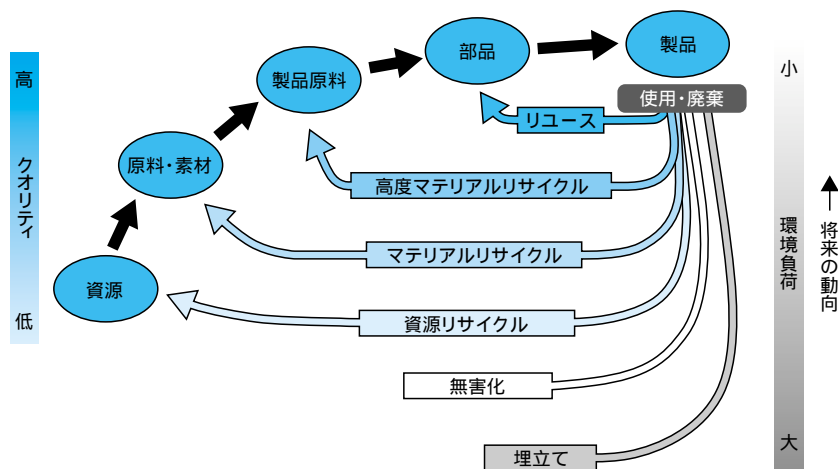


図3. 製品リサイクルのトレンド 大きな循環ループから小さな循環ループに移行するための技術革新が重要となる。

Trend of end-of-life-cycle solutions

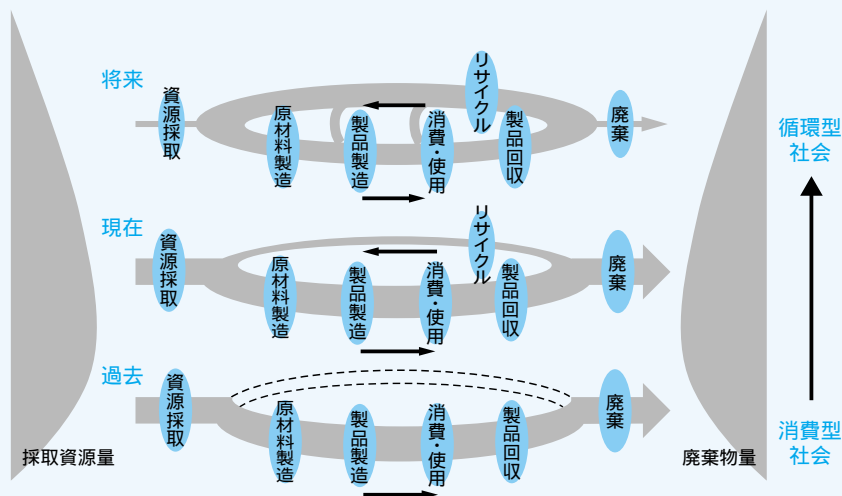
製品ライフサイクル

製品が作られ、消費者が使用し、最後に廃棄されるまでを、製品ライフサイクルと呼んでいる。製品ライフサイクルをもう少し詳細に示すと、図のように、資源採取、原材料製造、製品製造・加工、流通・販売、消費・使用、回収・リサイクル、廃棄の各段階から成る。

過去(図の下部にある矢印)、工業製品は多量の資源を利用して製造され、多量に消費され、多量に廃棄(焼却、埋立)される一方通行の製品ライフサイクルであった。

現在(図の中央にあるループ)、廃棄された製品は解体されて、取り出した金属などが再び材料として利用されるなど、製品ライフサイクルは回収・リサイクルの段階が加わって閉ループとなり始めている。

将来(図の上部にあるループ)、廃棄物を減少させて閉ループを構成するだけでなく、製品ライフサイクルを通し



製品ライフサイクル 将来、製品ライフサイクルは循環型になる。
Product life cycles

て環境影響(資源・エネルギーの消費量と環境負荷物質の排出量)を減少させることが大事である。

製品ライフサイクルを通した環境影響を評価する手法としては、LCA(ライフサイクルアセスメント)がある。

害化することが引き続き必要である。

クリーンアップ技術の基本は、有機物の場合はCO₂や塩化水素など無害なあるいは捕集が容易な物質へ分解することである。分解技術としては、有機物であるダイオキシンなどの化学結合をバラバラに切断する高温処理が有効である。この高温での処理技術を用いたガス化炉は、従来のごみ焼却炉が抱えるダイオキシン問題を解決できるものとして実用化段階となっている。

また、有害物質を比較的低温で分解する技術も開発が進み、触媒や光を用いてPCBなどを無害化する技術が実用化されている。更に、常温で生態系が持つ浄化作用を活用した微生物分解についても開発が進んでいる。このように高温から常温まで種々の方式があるが、一般的に高温処理は、ゴミ処理のように比較的大規模で迅速に処理する用途に向いてお

り、常温での微生物分解は、時間を多少要しても低コストで処理したい用途に向いている。それぞれの特長を生かした開発が進められている。

また、自然生態システムを用いて有害性を評価する手法として、バイオアッセイ(生物学的定量)技術が目目されており、従来の機器分析だけでは把握できない複合的な有害性の把握、新規化学物質の有害性評価などへの活用が期待されている。

環境経営を支えるIT

■ 様々な環境情報

環境はすべての経済活動に関連し、多くのステークホルダーが関与している。ゼロエミッション、グリーン調達、グリーン購入、環境調和型製品、環境配慮設計、PRTR(Pollutant Release and Transfer Register: 環境汚染物質排出・移動登録)、マニフェ

スト(産業廃棄物管理票)、LCA、環境報告書、環境ラベル、環境監査、環境パフォーマンス、環境会計、環境格付け、などのキーワードが日常的な会話でも使用され始めている。

これらのキーワードに共通する基盤技術は、ITである。環境に関するデータは多種多様で、多くの組織に分散し、それらを最適化・統合化するには、ITは不可欠である。

ハードウェア技術からソフトウェア技術へ、処理技術から予防技術へ、地域限定から地球規模へ、廃棄処理技術から環境調和型設計技術へ、情報管理技術から情報開示技術へなど、環境分野でも最新のITを積極的に利用することが進められている。

■ 環境情報システム技術

企業の環境経営への取組みとして、次のことが重要となっている。

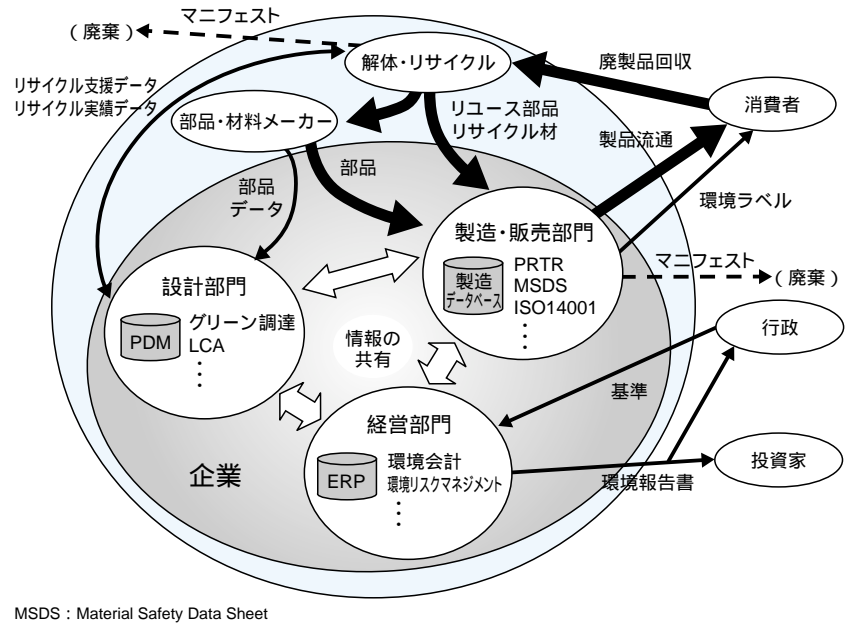
- (1) 環境保全管理の実施

(2) 環境調和型製品の開発

環境に配慮した製品作りをエコデザイン、その製品を環境調和型製品と呼ぶ。ISO 14000シリーズでは、企業が取り組むべき環境に関する標準化が検討されている。環境マネジメントシステム ISO 14001は、多くの企業、団体がその認証を取得し、継続するために厳しい目標を掲げて努力していることで、よく知られている。企業は、製造段階の環境負荷を削減することはもちろん、製品ライフサイクルにわたる環境負荷を低減する環境調和型製品を提供することが責務と考えられる。各企業はISOの標準に沿って、どのようなITを利用するのか、また、実現するのかを決めなくてはならない。

環境負荷を低減するには、リデュース、リユース、リサイクル(まとめて3Rと呼ぶ)に適合した製品の開発と、3Rを実施できる社会システムを構築することが必要である。3Rの優先順序は、環境負荷の低減効果が大きい順に、リデュース、リユース、リサイクルとなる。循環型社会を実現するには、3Rを社会全体として効率よく実施しなくてはならない。製品ライフサイクルの各段階で軽薄短小、長寿命、省エネルギーなどのリデュースを優先して、資源・エネルギーの消費量を少なくする。また、製品・部品リユースなどの内側の短いループを構築するとともに、マテリアルリサイクルのループを太くして廃棄を減少させる。このように製品ライフサイクルを考えて、3Rに適合した仕様を決定し製品を開発するには、多様なデータを用いて環境・性能・経済性を最適化できる環境情報システムが必要となってくる。

環境技術のハードウェア側面は、新たなライフサイクルの展開を生み出すブレークスルー技術の開発が重要であるが、ソフトウェア側面は、それぞれの情報システムが相互につながる統合的な枠組みを構成することがキーとなる。図4に示すように従来の既



MSDS : Material Safety Data Sheet
 図4. 環境情報システムの構築 環境情報を共有するために、既存の情報システムを統合した環境情報システムを構築する。

Integrated environmental information systems

存システムとの統合化は、例えば、一企業内では設計部門、製造部門、経営部門の各部門独自の情報システムで環境情報を扱えること、また、それらの情報システム間で環境情報を共有できることである。既存システムは、設計系のPDM(Product Data Management)システム、経営系のERP(Enterprise Resource Planning)システムなどがある。それらの連携には、エージェント技術などを利用する方法があり、製品に関連する取組みの詳細を、この特集の論文“環境調和型製品の開発を支援する環境情報システム技術”で述べている。

循環型社会の実現に向けて

ここでは、環境技術の中でも循環型社会構築に向けて必要となる技術を中心に、ハードウェア、ソフトウェアの両面から述べた。当社では、ハードウェア技術としては、サステナブル、ファクタ、グリーン、クリーンナップの四つのキーワードで表される各領域で技術開発を行っている。また、ソフ

トウェア技術では複雑・多様化する環境情報を統合・最適化して、ハードウェア技術の効果的な実現を支援する開発を進めている。

この特集では、以上を踏まえて当社が取り組んでいる技術を環境側面から、温暖化防止、環境調和、資源の有効活用・適正処理の三つにくくって事例を紹介する。



古屋 富明
 FURUYA tomiaki

研究開発センター 環境技術・分析センター 環境技術担当グループ長。
 環境技術の研究・開発業務に従事。触媒学会会員。

Environmental Engineering & Analysis Center



春木 和仁
 HARUKI kazuhito, Ph.D.

研究開発センター 環境技術・分析センター 環境技術担当研究主幹、工博。
 環境情報システムの研究・開発業務に従事。電気学会、日本経済学会会員。

Environmental Engineering & Analysis Center