

# 持続可能な社会を実現する 環境・デバイス・材料技術

*Device and Material Technologies that Contribute to Circular Economy and Carbon Neutrality*



佐竹徹也\*  
Tetsuya Satake

\*先端技術総合研究所 主管技師長

## 要 旨

サステナビリティ、特に環境に関わるサーキュラーエコノミー(CE)、カーボンニュートラル(CN)を実現するための取組みが世界的に加速している。

三菱電機でもこれらの社会課題の解決に貢献するため、近年、CE/CNに関わる研究開発に注力している。CE/CNの実現にはそれらマネジメントのためのデータ基盤構築が重要である一方、資源循環・炭素循環を実現するための革新的な要素技術も重要である。

## 1. ま え が き

持続可能(サステナブル)な社会の実現のため、2015年の国連サミットで持続可能な開発目標(SDGs: Sustainable Development Goals)として17の目標を定めて、世界的に取り組んでいる。環境に関わる開発目標を実現する取組みのうち、当社では、環境汚染の防止やプラスチックなどのリサイクルから更に進んで循環型社会の経済的な成立を目指すCEと、二酸化炭素など温室効果ガス(GHG: GreenHouse Gas)による地球温暖化を防止し、化石資源・エネルギーからの脱却を目指すCNの実現に貢献する技術の研究開発に注力している。

当社は、エアコン、冷蔵庫など家電リサイクル法で定められた家電製品に加えて、産業機器、自動車機器など様々な製品にプラスチック材料、金属材料などを多く使用している。また、発電設備・変電設備から、家電・自動車などに用いられるパワー半導体まで様々な電力関連製品を生産している。当社では、これら自社製品に関わるCE、社内活動に関わるCNを目指すだけでなく、社会への貢献のために研究開発を行っている。

本稿では、主としてCE実現のために当社が取り組むべき技術開発方針と、CNも含めてその実現に貢献する研究開発の事例を示す。各事例は、環境システム、デバイス、材料といった要素技術に関するものを挙げる。CE/CNの実現には、現状・効果の見える化、効率的な運用、全体最適のためのデータ基盤やその活用、AI適用なども重要であるが、これらについては本稿では触れない。三菱電機技報の既刊“持続可能な社会を実現する情報技術”特集号<sup>(1)</sup>等を参照されたい。

## 2. CE実現のための取組み

当社では、2001年に本格施行された家電リサイクル法に従って、家電製品のリサイクルを行っている。具体的には、当社グループの(株)ハイパーサイクルシステムズで、家電製品、OA製品の解体・破碎、金属(鉄・非鉄)選別、フロン回収などを行っている。(株)ハイパーサイクルシステムズ等で回収した破碎混合プラスチックは同じく当社グループの(株)グリーンサイクルシステムズでポリプロピレン、ポリスチレン、ABS(アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン)樹脂など材料ごとに分別し、高純度の樹脂材料(フレーク・ペレット)として再利用されている。両社は当社製品に限らず、他のリサイクル企業とともに地域のリサイクルネットワークを形成している。

近年、従来のリサイクル、又は3R(リデュース、リユース、リサイクル)を超えた取組みとして、EU(European Union)から2015年12月にCircular Economy Package、2020年3月にCircular Economy Action Plan<sup>②</sup>が提示された。CEの実現では、資源の有効利用、環境汚染の防止といった社会貢献だけでなく、経済的に成立していることが重要である。それと同時に、特定の国・地域でしか産出しない希土類元素など希少資源に対して持続性を確保することも重要である。

## 2.1 取組み方針

これまでは、主に製品のリサイクル率を向上するリサイクル技術の開発や、製品の小型・軽量・長寿命化、再生材料・自然由来材料の適用などの取組みに注力してきた。今後、さらに、製品を通じて提供するサービスに視点を置いて、製品ごとに循環性と経済性の両立の実現を検討することが重要である。当社には使用期間が長く、サイズが大きい個別受注生産製品(個産品：例えば電力設備)から、大量生産製品(量産品：例えば家電製品)まで様々な製品を対象とした事業を持っている。製品の使用期間、使用材料の特性・耐久性・使用量などに応じて、図1に示すように製品ごとに最適な循環を検討する必要がある。

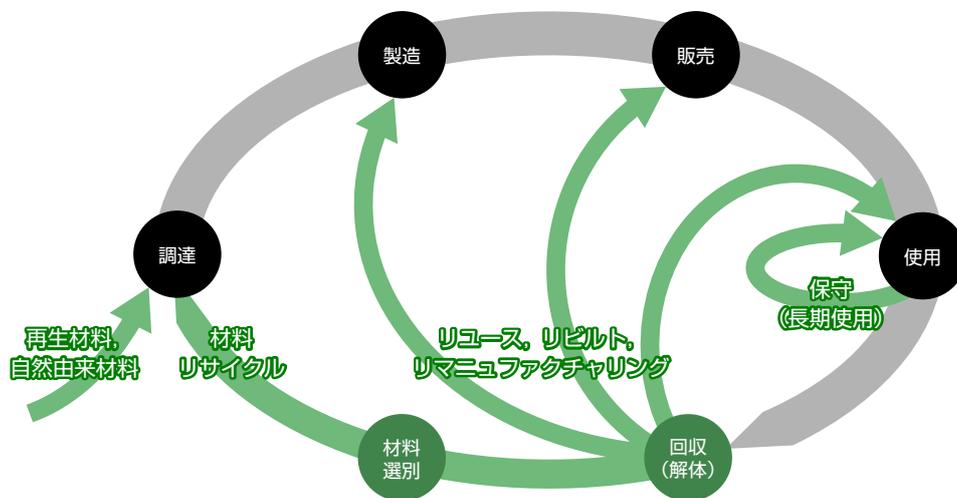


図1. 製品の特徴に依存した様々な循環

個産品に対しては、長期使用のための保守サービスで設備全体又は設備を構成する部品の診断技術や余寿命予測技術が重要と考えている。そのためにはセンシング・モニタリング技術や、運転状況を示す時系列データの解析技術などが必要である。またもちろん小型・軽量・長寿命化や、保守のしやすい設計も重要である。一方、量産品に対しては、従来の小型・軽量・長寿命化とともに、製品丸ごと、又は部品のリユース、リファービッシュ、リビルト、リマニュファクチャリングなどを考慮した製品設計(易分解性、共通化、モジュラー設計など)や、使用した製品/部品を再利用するための性能評価技術、余寿命予測技術が重要である。また両者に共通して、これまで以上に再生材料・自然由来材料の適用を前提にした設計技術も重要である。当社では、個産品、量産品の特徴に合わせて最適な循環を実現するため、劣化診断技術や高度プラスチック選別技術など重要技術(この特集号の特集論文を参照)の研究開発に注力している。

先に述べたようなそれぞれの製品のライフサイクルでのエコデザインに加えて、さらに製品が提供するサービスそのものを事業にするPaaS(Product as a Service)を含めて、事業そのものを設計することが重要である。またリユース、リビルト等を支えるためには使用材料や使用環境・条件などのデータを共有・トラッキングする仕組みも必要で、これは場合によっては同じ事業を営む企業との連携も必要である。一方で、CEの実現が、普段の生活で我々に我慢を強いたり、不便をもたらしたりするものであってはならないと考える。

## 2.2 CNとの関係

CEを実現するに当たって、材料まで戻して循環するのは(マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル)、製品製造の視点では現行の製造工程と整合しやすく、親和性があるが、リサイクルの過程でエネルギーや他の化学薬品を必要とし、化石資源の消費や二酸化炭素の排出につながる。国内では再生可能エネルギーが不足する状況が続くと予想され、再生可

能エネルギーやそれに基づく有機化合物の適用を前提にした循環では経済性を確保することは困難である。循環の輪は可能な限り小さく閉じる、すなわち製品や部品として長く使う、繰り返し使うことを意識する必要がある。材料としてのリサイクルが難しい樹脂材料についてもエネルギーとして使うサーマルリサイクルは資源活用の視点では有効だが、CNの視点では二酸化炭素の排出増加に当たる。現在、CE/CNの両視点でライフサイクルでのエコデザインを行うことは容易ではなく、まずはそれらを統合して見える化する事が重要と考えている。

### 3. 開発技術

当社では、保有するコア技術・基盤技術を展開し、CEとCNの実現に貢献する研究開発を進めている。ここでは研究開発事例として、環境システム、デバイス、材料といった要素技術に分けて述べる。

#### 3.1 環境システム技術

経済発展や人口増加に伴う水需要量の増大や水質の悪化、気候変動による水資源の枯渇などの拡大に起因する水リスクに対して、水処理技術の重要拠点である下水処理場で、水質向上や再生水需要拡大に資する浸漬(しんせき)型膜分離バイオリアクター“EcoMBR”を起点とした水循環系の構築を推進している。また、下水汚泥からバイオマスエネルギー増産に貢献する下水汚泥可溶化反応装置によって下水処理場を起点としたエネルギー循環系の構築を進めて、さらには、静電選別技術によるプラスチックリサイクル技術がもたらす資源循環系を組み込んだ水・エネルギー・資源の高度循環社会の実現を推進している。

図2に示す浸漬型膜分離バイオリアクター(EcoMBR)は、微生物を用いた生物化学的な浄化作用とろ過膜による物理的な浄化作用を併用した下水処理技術であり、流入水中の有機物を微生物(活性汚泥)で除去し、活性汚泥中に浸漬されたろ過膜によって処理水と活性汚泥に分離する水再利用システムである。膜の利用によって、処理水中に浮遊物が含まれず、再利用に適した処理水が得られることに加えて、従来の活性汚泥法で必要とされていた最終沈殿池が不要になり、コンパクトな再利用設備が提供できる。一方、活性汚泥によるろ過膜表面及び膜内の目詰まりが懸念されるが、送風機を用いた曝気(ばっき)による膜表面の洗浄と、オゾン水と次亜塩素酸ナトリウム水を併用した洗浄水をろ過時と逆方向に通水する独自の洗浄方法によって、従来の膜分離バイオリアクターよりも2倍以上の膜ろ過速度が維持できる。これによって、ろ過膜数の大幅な低減が可能になり、それに伴う膜表面の洗浄に要する曝気エネルギーが削減される。さらに、目詰まりに伴う膜交換頻度が大幅に低減されるため、新規交換膜の投入量減少や膜の再利用促進に伴う膜材料の調達量や膜製造エネルギーの削減も期待できる。すなわち、水再生の観点からの水循環系の構築だけでなく、膜材料の投入量削減や資源循環によって、高い持続性と循環性を持つ。また、曝気エネルギーや膜製造エネルギーの低減など膜分離バイオリアクターシステムのサプライチェーン全体での省エネルギー化によるCNへの貢献も期待できる。なお、プラスチックリサイクルに関わる高度プラスチック選別技術や、下水汚泥可溶化反応装置を用いたバイオマスエネルギー増産技術についてはこの特集号の特集論文を参照されたい。

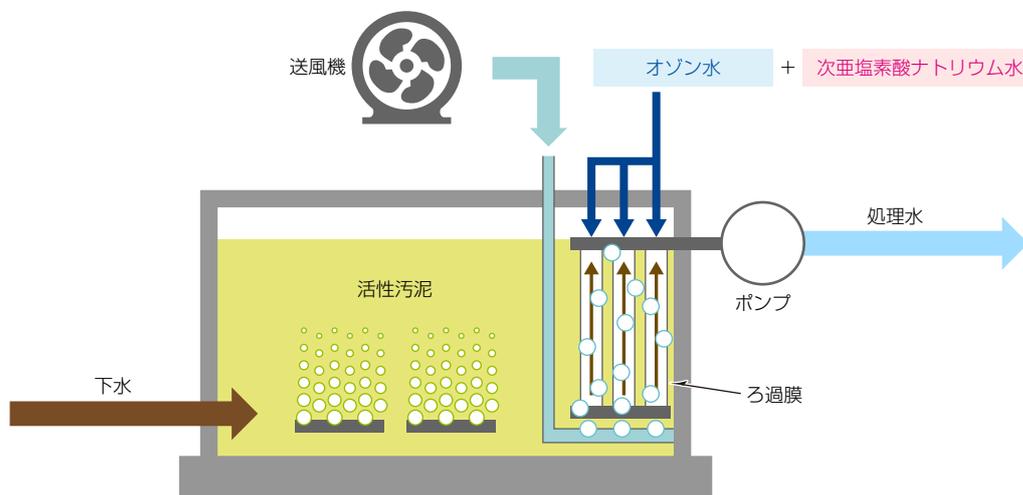


図2. 浸漬型膜分離バイオリアクター(EcoMBR)<sup>(3)</sup>

### 3.2 デバイス技術

CEの実現に向けたデバイスによる貢献の一例としては、半導体増幅器を用いたマイクロ波加熱によるプラスチックのリサイクルが挙げられる。マイクロ波を用いた加熱は、対象物を直接加熱することで従来の外部加熱方式よりも高効率化が可能である。さらに半導体であるGaN(窒化ガリウム)増幅器を用いたマイクロ波加熱では、周波数や位相が安定していることから位相制御が容易であり、マグネトロンに代表される電子管によるマイクロ波加熱よりも更に高効率な加熱を実現できる。高効率で低コスト化な加熱によって、経済合理性に優れた廃プラスチックのリサイクルを可能にする。

CNに資するデバイスの筆頭としては、パワーエレクトロニクス(パワエレ)技術のキーデバイスである、パワーデバイスが挙げられる。パワエレ技術は電力を効率良く変換する技術であり、エアコン、電気自動車、電車等の私たちの身近な製品に使われている。これらパワエレ機器の高性能化、小型・軽量化の要求に対応するため、パワーデバイスには高速かつ低損失でスイッチングすることが求められている。当社は現世代のSi(シリコン)デバイスに加えて、次世代のSiC(シリコンカーバイド)デバイスの開発・製品化を進めて、市場へ展開することで低炭素社会の実現に貢献している。

機器の効率運転に対しては、センサーも重要な役割を果たす。当社が提供するサーマルダイオード赤外線センサー“MeIDIR(メルダー)”を図3に示す。被写体の赤外線放射による熱画像を取得することで、室内の温度分布や機器の発熱等についての情報を得ることが可能である。この特長を活用することで、プライバシーを考慮しつつ人やその他の熱源の状態を高精度に検知することが可能である。例えば、空調や照明機器等での人の数や状態を考慮した運転制御など、センサーデータによって各種機器の効率的運転を支えていく。

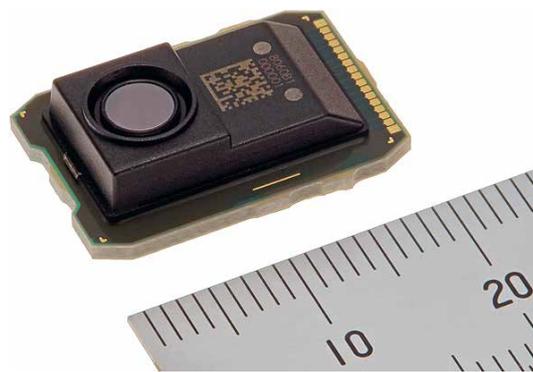


図3. 80×60画素サーマルダイオード赤外線センサーMeIDIR

情報通信インフラやデータセンターでのCNへのデバイスによる貢献として、半導体増幅器やレーザー等の通信用デバイスによる低消費電力化がある。Beyond 5Gでは更なる通信速度と低消費電力化の両立が求められるが、当社はGaN増幅器で情報通信インフラでの省エネルギー化に貢献する。データセンターでの省エネルギー化に対しては、高密度実装と低消費電力動作が可能な高速EML(Electro-absorption Modulated Laser)等の光通信デバイスで大きく貢献している。

### 3.3 材料技術

CEの実現には、資源の有効活用、廃棄物の最小化、及び製品使用の最大化が課題になり、材料技術が重要な鍵を握る。再生プラスチック、バイオプラスチック、耐久性・信頼性の高い素材、循環型資源利用のための技術、省エネルギー・省資源技術など、多岐にわたる材料技術の革新が求められる。当社では、1999年から家電リサイクル事業を開始し、現在はルームエアコンや冷蔵庫などの家電製品への再生プラスチックの適用を実現している。プラスチックを更に高度に選別して再利用を可能にする技術の開発を進めている。また、石油化学由来プラスチックの使用量削減に向けて、植物由来原料から作られるバイオマスプラスチックの適用も重要な開発アイテムである。

一方、製品寿命を延ばす観点、また製品を繰り返し循環する観点から耐久性・信頼性の高い素材の開発が求められる。絶縁寿命を圧倒的に向上させるナノコンポジット絶縁材料の開発や金属、セラミック、機能性材料など各種材料のコーティングによる製品の耐久性向上がその例である。当社独自のハイブリッドナノコーティング技術(図4)は、物品表面に防汚性を付与することで、ルームエアコンや冷蔵庫、照明器具の信頼性向上、省メンテナンスを実現している。また、MSCoating技術は、放電エネルギーで金属などの被膜を形成する技術で、タービンブレードを始めとした高温摺動(しゅう

どう)部材への活用が広がる。今後、材料の高耐久・高信頼化技術は、リマニュファクチャリングやリファービッシュによる製品再利用に不可欠な技術としてますます必要になる。

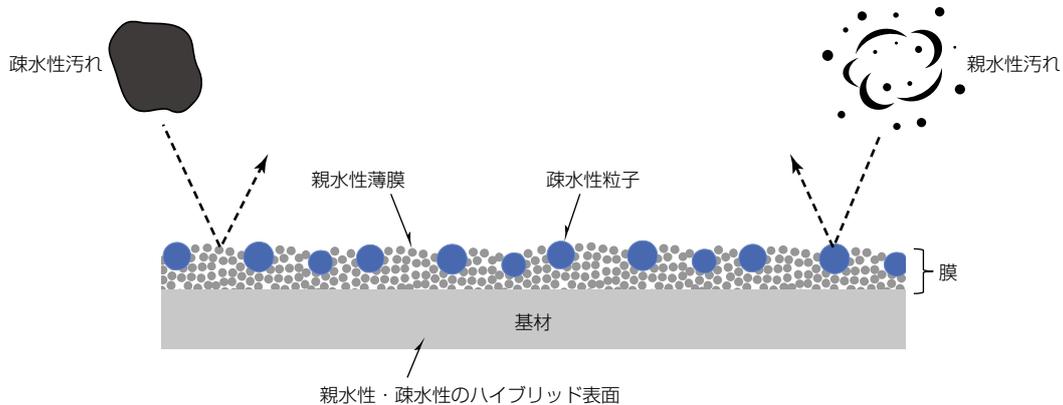


図4. ハイブリッドナノコーティング技術

廃棄物を無くす観点では、これまで焼却せざるを得なかった材料を再生する技術に着目し、廃棄物の全廃を目指している。例として、回収の難しい種類の樹脂材料を容易に分解する技術や電磁銅板・磁石・接着剤などが一体となったモーター廃部材から樹脂や有価物を回収するプロセス技術の開発が挙げられる。最近の地政学リスクや電動化進展などの社会情勢と相まって、入手困難になるレアメタル資源の回収や省資源化技術にも取り組まなくてはならない。今後も、循環型社会で経済的付加価値を生み出す革新材料の開発を続けていく。

## 4. む す び

CE実現のための当社の技術開発方針と、CE及びCNの実現に貢献する、環境システム、デバイス、材料の各要素技術の研究開発事例をまとめて示した。CE/CNとも実現の難易度は高いが、有効技術の早期の確立と適用が望まれている。今後、有効性、実現時期などを明らかにしながら、関連技術の研究開発に注力していく。

## 参 考 文 献

- (1) 特集“持続可能な社会を実現する情報技術(前編)／(後編)”, 三菱電機技報, 96, No.8/No.9 (2022)
- (2) European Commission : Circular economy action plan  
[https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en)
- (3) 三菱電機：オゾン水を利用した膜分離バイオリアクターによる水処理技術  
[https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/randd/list/heavy\\_electric/b206/index.html](https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/randd/list/heavy_electric/b206/index.html)