

# 電機・電子製品のための脱炭素化設計の提案

## Proposal of Carbon-free Design for Electrical and Electronic Products

○戸水晴夫（正，SDI Japan）

### 1. はじめに

2021年10月、日本政府は温室効果ガス排出量を実質ゼロにするというカーボンニュートラル構想を2050年に実現すると宣言した。これは、2030年迄に2013年の温室効果ガスの排出量を基準として、ほぼ半減させるというチャレンジブルなものだった。<sup>1)</sup> そのためのグリーン成長戦略がいくつも策定されてきたが、その後の世界的なコロナ禍や世界各地で起きた戦乱によって、温暖化が逆に進んでしまっているのが現状である。このままでは、国際的なグリーン経済の道筋がなかなか見えてこない。また、日本が得意とするグリーン・イノベーションによって、世界の温室効果ガスを13億ton以上削減するというグリーン成長のシナリオの達成も難しくなってきた。<sup>2)</sup>

そもそも、日本におけるカーボンニュートラルの実現には、エネルギーや電力分野だけの改革では達成が難しく、非電力分野におけるグリーン化が必須といわれてきた。<sup>3)</sup> それにもかかわらず、家庭で使用される膨大な民生品に対する脱炭素化の対策をすることが遅れがちになっている現状である。理由としては、製品を製造する企業側のコスト負担が増える懸念や当事者意識の欠落が大きいことなどが挙げられる。

本報では、カーボンニュートラル化を達成するために設計品質手法を活用した製品設計法を提案している。特に、民生用の電機・電子製品の脱炭素化設計に着目してどのような設計品質手法を使えばよいかを示した。今後、自社製品のカーボンニュートラル化を目指す設計者の参考となれば幸いである。

### 2. 家庭用電気製品の脱炭素化の現状

脱炭素社会といっても、エネルギー産業だけが石炭や石油を使わなければよいという問題ではない。すでに世の中では、製造業のエネルギー使用量の削減が注目を集めている。特に製造業の約4割を占める主要5業種の鉄鋼、化学、セメント、製紙、自動車の各業界のカーボンニュートラル化が重点的に進められている現状である。<sup>4)</sup> 一方で、私たちに身近な個人消費においても各家庭でのエネルギー消費量の抑制が世界共通の課題になっていることを知らなければならぬ。家庭で消費するエネルギーそのものが削減されなければ、カーボンニュートラルの目標達成

が難しいところまで来ているからである。図1は、各家庭から排出される二酸化炭素量に関して、電気由来が最も多いことを示している。図2は、使用された電気製品の種類を示している。特に、電気冷蔵庫などは購入してから廃棄するまでの期間、電気を入れ続けるという家庭が多い。このことから生活に必需となっている家電製品の省エネ化を進めることが、家庭での電気消費量のベースロードを下げることに通じると考えることができる。一方で、電機・電子製品における二酸化炭素排出量抑制の主たる手段は、製品の新製品への買い替え、機材の改良、設備の更新、技術変更が挙げられる。結局のところ、家電の新製品の構想設計からの脱炭素化を進めることが最も効果的な施策と考えられ、そのための新たな設計手法と手順が必要になると考えた。

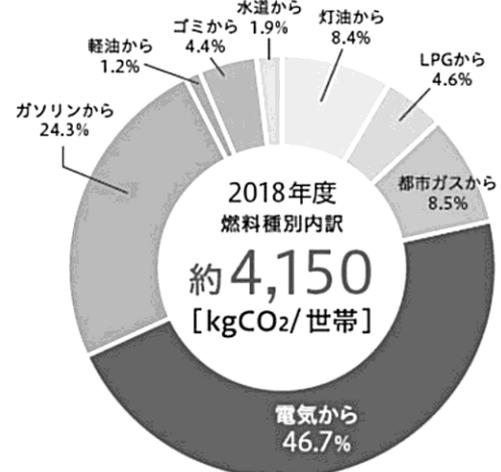


図1 世帯の燃料種別二酸化炭素排出量の内訳 [文献5]より転載]

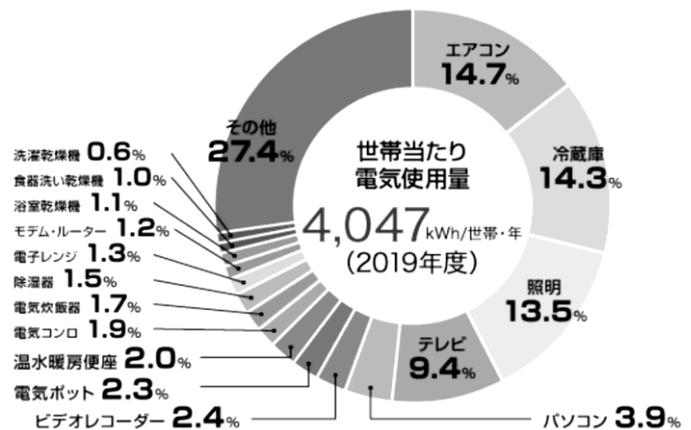


図2 世帯の電気使用目的 [文献6]より転載]

### 3. 脱炭素化設計の手順

#### 3.1 リバースエンジニアリングの利用

製品の脱炭素化を進めるには、どの部品をどのように改良すれば良いかをリバースエンジニアリングを用いて見つけ出すことから始めるとよい。対象としては、競合他社製品だけでなく、すでに市場投入された自社の既存製品をも含める。その場合の標準的な手順を以下に示す。

- (1) 競合他社製品と自社製品の分解と組立  
部品の働きを知り、他社の製造プロセスを想定するために、技術や部品の比較を行う。
- (2) 分析と改良箇所の抽出  
分解と組立の結果をもとに、改良すべき部品や工程を分析し、自社製品のアップデートのための改良箇所の抽出を行う。
- (3) 仕様の文書化  
自社生産またはアウトソーシング生産を問わずに永続的な製品製造を実現するため、脱炭素化が実現できる設計書を作成する。
- (4) 先進的な部品の採用検討  
他社に先駆けたカーボンニュートラル化を実現し、製品の競争力を失わずに、新技術を導入した製品を市場投入することが重要となる。そのためにパワー半導体、インバーター、高効率モーター、電流センサー、AI モニターなどの新技術を採用することを検討する。

#### 3.2 設計品質を分析するツールの利用

次に行うべきことは、リバースエンジニアリングで得た知識をもとに実際に脱炭素化となる設計アイデアを考え出すことである。アイデア創出法としては、ブレインストーミング、ブレインライティング、マンダラート法などが一般的であるが、より創造的なアイデアを抽出するために形態素解析や創造的イノベーション手法 TRIZ などを利用するとよい。

アイデアを集めた後は、それらのアイデアから最終的な脱炭素化設計の実現に結び付ける作業となる。その具体的方法として、本報では設計品質を分析する手法を活用することを提案している。次に挙げた順に各手法を使い、脱炭素化するための設計要件を考え出すとよい。

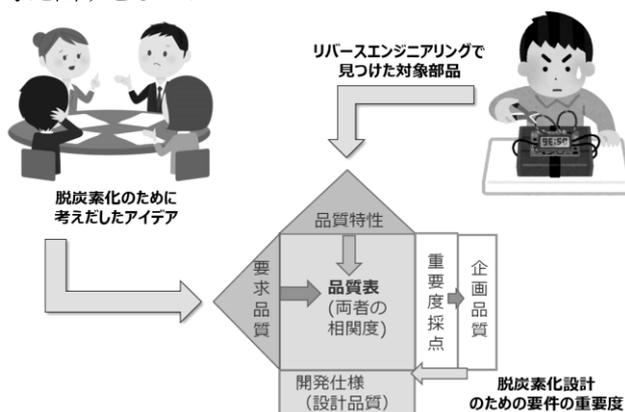


図3 脱炭素化設計のための品質表の作成

- (a) アイデアを分類・整理する親和図法
  - (b) 要件の構造化をおこなうフィッシュボーン法
  - (c) 要件に重要度付けする階層分析法
  - (d) 設計候補を目標値から決定する優劣順位法
  - (e) 要件をブラッシュアップするチェックリスト法
  - (f) 部品要件に展開する品質機能展開
- (a)から(e)で抽出したアイデアを(f)の品質表の What となる要求品質の欄に置き、リバースエンジニアリングで見つけた部品名を品質表の How となる品質特性の欄に置く。品質表マトリックスを完成させ、要求品質と部品の相関度を求める。企画品質については、すでに(c)の階層分析法で重要度を算定して優先度を付けてあるので、品質機能展開では脱炭素化のために必要となる開発仕様の重要度を求めるのみでよい。以上の設計品質手法を活用し、脱炭素化設計のための品質表を作成する姿を図3に示した。

### 4. 二酸化炭素排出量の計算

二酸化炭素排出量の算定方式の重要な単位として、CO<sub>2</sub> 排出原単位がある。CO<sub>2</sub> 排出原単位は、CO<sub>2</sub> 排出係数とも呼ばれ、経済活動量1単位あたりの二酸化炭素排出量のことを表している。経済活動量1単位とは、一つの製品を生産するために必要な燃料や労力、それにかかる時間の量のことを指す。つまり、二酸化炭素排出量は、経済活動量1単位にCO<sub>2</sub> 排出原単位を乗じて得ることができる。このCO<sub>2</sub> 排出原単位については、環境省が公表しているデータベースがあり、それが算定の基準となっている。

#### 4.1 製品単体での計算方法

家電製品の二酸化炭素排出量を計算するには、環境省が定めた計算式を使用する。<sup>7)</sup> 環境省は、毎年、国内電気事業者別にCO<sub>2</sub> 排出係数を定めていて、ひとつの製品に関する年間の二酸化炭素排出量は、式(1)で求めることができる。

$$\text{排出量(kg-CO}_2\text{/年)} = \text{消費電力量(kWh)/日} \times 365.25 \text{日} \times \text{CO}_2\text{排出係数} \quad (1)$$

ここで、消費電力量は式(2)で計算できる。

$$\text{消費電力量(kWh)/日} = \text{電気器具消費電力(W)/1000} \times \text{使用時間/日} \quad (2)$$

例えば、定格600Wの電子レンジを1日に平均30分使用したとすると、年間の二酸化炭素排出量は、次のように求められる。年間消費電力量は、 $0.6\text{kW} \times 0.5\text{h} \times 365.25 \text{日} = 109\text{kWh/年}$ と計算できるので、二酸化炭素排出量は、 $109 \times 0.457 = 50\text{kg-CO}_2\text{/年}$ となる。ここで、CO<sub>2</sub> 排出係数は、東京電力エナジーパートナー(株)に割り当てられた0.457を採用した。しかし、この数字にあまり意味がないことは容易に想像がつく。使用環境によって使用される時間に大きな差があるからである。消費者の製品利用状況で大きく変化する。そのため、多くの家電製品にはトップランナー基準が採用されている。トップランナー基準とは、機器等のエネルギー消費効率の決め方の一つであり、日本独自の方式である。基準値を策定した時点において、当該種別の中で最も効率のよい機

器の値を目標とした最高基準値方式のことを指す。1998年に改正された「エネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）」の中で、民生・運輸部門の省エネ施策として採用されたもので、実際の省エネは、消費者が機器を買い替えた時に達成されるという考え方に基づく<sup>9)</sup>。

## 4.2 サプライチェーン全体での計算方法

企業活動全体に対する二酸化炭素排出量を把握する手段として、具体的な金銭のやり取りを金額で追うことができるサプライチェーンを通しての評価が最も把握しやすいとされている。製品だけではなく組織のサプライチェーン上の活動に伴う二酸化炭素排出量を算定の対象とすることで、企業活動全体を管理することにも繋がるからである。そして、その場合に指標となるサプライチェーン排出量とは、原料調達・製造・物流・販売・廃棄等、企業活動全体で発生する排出量のことをいう。すなわち、サプライチェーン排出量とは、事業者自らの排出だけでなく、事業活動に関係するあらゆる排出を合計した排出量を意味する。サプライチェーン排出量の全体像を図4に示す。燃料や電力などの使用に関して直接排出とみなされる自社の温室効果ガス排出量を Scope1 排出量という。また、他社から供給された電気を使うなど間接排出とみなされるものは、Scope2 排出量という。Scope1,2 排出量を対象とした地球温暖化対策の推進に関する法律、いわゆる温対法に基づく報告制度などによって、Scope1,2 排出量の削減は進展してきている。一方、近年では自社が関係する排出量の更なる削減を目指して Scope1,2 の排出量の約4倍に相当すると推定される Scope3 排出量が注目されるようになってきた。Scope1,2 排出量に加えて Scope3 排出量を算定することで、初めて特定の企業の特定の製品に関わるサプライチェーン全体の排出量の全体が把握できるようになる。特に、Scope3 排出量に関しては、カテゴリー別に15種類に分類されていて、環境省による定義は、図4の番号順に次のとおりである。

- ① 原材料：原材料・部品、容器・包装などが製造されるまでの活動に伴う排出

- ② 資本財：自社の建設や製造に伴う排出  
 ③ Scope1,2 に含まれない燃料及びエネルギー関連活動：調達している燃料の上流工程（採掘、精製など）に伴う排出および調達している電力の上流工程（発電に使用する燃料の採掘、精製など）に伴う排出  
 ④ 輸送・配送（上流側）：購入した製品・サービスのサプライヤーから自社への物流（輸送、荷役、保管）に伴う排出  
 ⑤ 廃棄物：自社発生の廃棄物処理に伴う排出  
 ⑥ 出張：従業員の出張に伴う排出  
 ⑦ 通勤：従業員が通勤する際の移動に伴う排出  
 ⑧ リース資産：賃借しているリース資産の操業に伴う排出  
 ⑨ 輸送・配送（下流側）：販売した製品の最終消費者までの物流（輸送、荷役、保管、販売）に伴う排出  
 ⑩ 製品の加工：事業者による中間製品の加工に伴う排出  
 ⑪ 製品の使用：使用者（消費者・事業者）による製品の使用に伴う排出  
 ⑫ 製品の廃棄：使用者（消費者・事業者）による製品の廃棄時の処理に伴う排出  
 ⑬ リース資産：自社が賃貸事業者として所有し、他者に賃貸しているリース資産の運用に伴う排出  
 ⑭ フランチャイズ：フランチャイズ加盟者における排出  
 ⑮ 投資：投資の運用に伴う排出

設計者が自ら設計する機器が年間でどれほどの二酸化炭素を排出するのかを算定することは、脱炭素化設計を進めるうえで重要な設計要件となる。脱炭素化設計となっているかどうかの判断基準となるからである。また、会社として製品毎にサプライチェーン排出量を把握しておくこともカーボンニュートラルを進めるうえで重要な要件となる。なぜならば、近い将来に二酸化炭素排出量で企業活動が規制されたり、企業価値が決められたりする時代が来ると予想されているからである。



Scope1: 事業者自らによる温室効果ガスの直接排出(燃料の燃焼, 工業プロセス)

Scope2: 他社から供給された電気, 熱・蒸気の使用に伴う間接排出

Scope3: Scope1, Scope2 以外の間接排出(事業者の活動に関連する事業者以外の排出)

図4 サプライチェーン排出量  
 [文献9)より転載]

## 5. 電機・電子製品の脱炭素化設計

一般的な電機・電子産業に属する製造業では、企業全体の温室ガス排出量の25%がScope3 カテゴリー1の購入品であることが分かっている<sup>10)</sup>。自社の活動に関わる排出量であるScope1と2は10%もない。最も大きいものは、Scope3 カテゴリー11の製品使用時に排出される65%である。これを削減するために新製品の脱炭素化設計が必須となるのである。

### 5.1 設計者が行うべきこと

脱炭素化設計導入の最初の目的は、既存品を改修して現時点における市場での環境規制値をクリアさせることにある。そうすることによって、自社製品がエコデザイン指令などに抵触せずに世界中に輸出可能となり、経営に貢献する利点が見込めるからである。さらに、新製品を開発するためにパワー半導体、インバーター、高効率モーター、電流センサー、AIモニターなどの新技術を導入して設計を行えば、持続可能な市場競争力を獲得できると考えられる。

サプライチェーン排出量の削減に関して、設計部門が担当すべきカテゴリーがある。カテゴリー10の販売製品の加工、カテゴリー11の販売製品の使用、カテゴリー12の販売製品の廃棄などが該当する。これらについては、自ら設計した製品が世の中に及ぼす影響度を知るために、できるだけ設計部門でデータを収集し、管理することが求められる。

### 5.2 会社として行うべきこと

現時点において、自社のカーボンニュートラル化に関して会社として取り組まなければならない最大の理由は、日本政府が2030年以降に二酸化炭素排出量1トンあたり6,000円程度の炭素税を全ての事業者に課税することを計画しているからである。すでに炭素税が導入されている欧米では50～100米ドルが標準とされている。2028年に導入が決まった炭素に対する賦課金制度は、炭素税の本格導入の前段とみなされている。現在の地球温暖化対策の推進に関する法律、いわゆる温対法では二酸化炭素排出量1トンあたりに289円の課税がされている。これは、燃料エネルギー会社や電力会社を通して徴収されているために、負担額が見えていないのが現実である。これに加えて炭素に対する賦課金制度では、当面、化石燃料事業者に対して、輸入する化石燃料に由来する二酸化炭素の量に応じて賦課金を徴収するものになる計画である。その結果、エネルギー価格の上昇は避けられない。そして、サプライチェーン排出量のScope3についても、しっかりと課税するという方針が公表されている。<sup>11)</sup> その場合、カーボンプライシングの仕組みを導入して、規制の上限値をクリアできる会社には余剰な排出削減量を販売させ、できない会社には不足する排出量を購入させるという図式を描いている。以上のことから、会社としてはまずデータの収集と管理にあたる担当部門を明確に決めて、企業活動の脱炭素化の準備を進めていく必要がある。

## 6. おわりに

自社のカーボンニュートラル化を推進するにあたって最も重要視すべきことは何であろうか。それは自社製品に合った脱炭素化設計法の標準的メソドロジーをいち早く確立することにあるといえる。自社製品の脱炭素化設計なくしてサプライチェーン排出量の削減などあり得ない。そうしなければ、将来的に他社から二酸化炭素削減量を購入するのみとなってしまうだろう。そのために、本報で提案したような設計品質手法を活用した脱炭素化のための設計法を活用することが有効と考える。

一方で、企業には数多くの製品が存在し、すべての製品ライフサイクルを見渡した時に自社だけでは把握しきれないタスクが多数存在する。最終的に不明なタスクを残せば、サプライチェーン排出量は不完全なものとならざるを得ない。また、排出原単位に関するデータベースの一般値を用いて算出するのみであれば、結果的に排出量を削減するためには、企業の活動量を減らすしかなくなる。そのため、一般社団法人電子情報技術産業協会 JEITA において Green x Digital コンソーシアムが、2021年に設立され、実行可能な方策が検討されてきた。<sup>12)</sup> 特に、サプライチェーン排出量のScope3 カテゴリー1の購入品に着目し、サプライヤー企業が自ら作成した購入品に関わる二酸化炭素排出量データを共有しようという取り組みとなっている。そのような場に参加することも二酸化炭素排出量削減の良案になると考える。

### 参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁：第6次エネルギー基本計画、(2021), 4.
- 2) 内閣官房 GX 実行推進担当：我が国のグリーン・トランスフォーメーション実現に向けて、(2023), 12.
- 3) 電気事業者連合会：2050年カーボンニュートラルに向けた電気事業者の取り組みについて、(2022), 6.
- 4) 経済産業省：GX 実現に向けた基本方針参考資料、(2022).
- 5) 経済産業省 資源エネルギー庁：民生部門エネルギー消費実態調査および機器の使用に関する補足調査から日本エネルギー経済研究所が試算、(2018).
- 6) 一般財団法人 家電製品協会：家庭部門のCO2 排出実態統計調査事業報告書、(2019).
- 7) 環境省：電気事業者別排出係数一覧、(2023).  
<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>
- 8) 経済産業省 資源エネルギー庁：省エネ法に基づくラベリング制度の理解と活用、(2021), 10.
- 9) 環境省：サプライチェーン排出量算定の考え方、(2017), 3.
- 10) 環境省・みずほリサーチ&テクノロジーズ：サプライチェーン排出量の算定と削減に向けて、(2023), 18.
- 11) 経済産業省：成長に資するカーボンプライシングについて～炭素税、排出量取引、クレジット取引等～、(2021).
- 12) 一般社団法人 電子情報技術産業協会 電機・電子温暖化対策連絡会：電機・電子業界 カーボンニュートラルに向けての取り組み、(2021).