

コンシューマー製品を設計する人のための脱炭素化設計手法

Decarbonization Design Methodology for Consumer Product Designers

○戸水 晴夫（正，SDI Japan）

1 はじめに

2050 年までに日本のカーボンニュートラル化を実現するという目標に向けて「カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が経済産業省及び関係省庁によって 2021 年に策定された.¹⁾ しかし、このところの世界的な不確実性の高まりによって、カーボンニュートラル化の実現が見えてこない現状である.²⁾ また、エネルギーや電力分野の改革だけでは達成が難しく、非電力分野の脱炭素化が必須とされている。図 1 に部門別のエネルギー消費量から算出した CO₂ 排出量を示す。これを見ると産業部門の CO₂ 排出量が最大であるが、一般の家庭部門の排出量も 16%と無視できない。それにも関わらず、家庭用の製品に対しては、脱炭素化対策することによって製造企業側のコスト負担が増えるという理由から、GX（グリーン・トランスフォーメーション）の取り組みが遅れがちとなっている現状である。

一方、カーボンニュートラル化を加速するため、国は 2030 年以降に炭素税の導入を検討している。⁴⁾ 国際的な炭素税の価格動向を図 2 に示す。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が、日本の現状は地球温暖化対策の推進に関する法律、いわゆる温対法で CO₂ 排出量 1 トンあたり 289 円に設定されているのみである。そのため、欧米並みの炭素税が必要と考えられている。

2 製品設計者とサプライチェーン排出量

企業が製造する製品に関わる CO₂ 排出量を削減するためには、サプライチェーン全体を調査し、個々の活動内容に沿って削減することが必要になってくる。そのような製品のライフサイクルに基づく CO₂ 排出量をサプライチェーン排出量という。そして、サプライチェーン排出量全体のうち自社の活動に関わる排出量をスコープ 1 として分類し、自社で購入した電気などに関わる排出量をスコープ 2 に分類する。スコープ 1、スコープ 2 以外の他社によるビジネス活動に関連する間接的な排出量をスコープ 3 に分類する。さらに、スコープ 3 は 15 のカテゴリーに分かれて、それぞれの CO₂ 排出量は活動量と排出原単位の積で定義される。ここで排出原単位とは、CO₂ 排出量を算出するために環境省が提供している係数である。⁶⁾

一般的なコンシューマー製品製造業や関連の部品製造業では、自社の活動に関わるスコープ 1 と 2 の CO₂ 排出量は 10%もないことが知られている。⁷⁾ 最大となるものは、スコープ 3 カテゴリー 11 の製品使用時に排出される 65%である。これは消費者の活動であるので、製造者がコントロールすることができない。そのため、脱炭素化設計をした新製品を市場に次々とリリースする以外の対策はないのである。また、CO₂ 排出量の 25%はスコープ 3 カテゴリー 1 の購入品であることも分かっている。設計者が購入品を選択する場合、購入対象の部品サプライヤーが脱炭素化設計を行っているかどうかを採用基準になる。

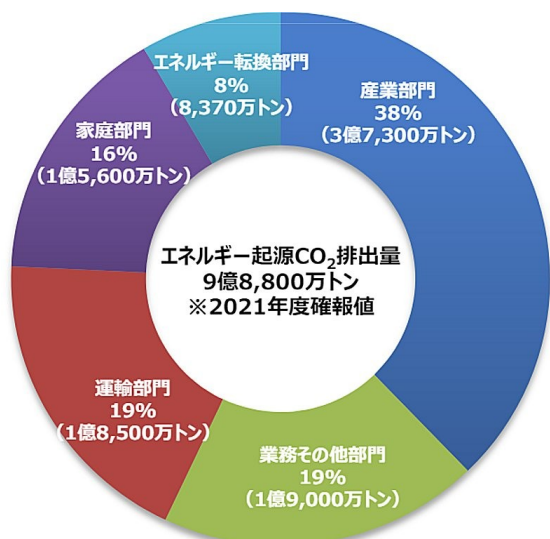


図 1 日本の部門別 CO₂ 排出量
[文献 3)より転載]

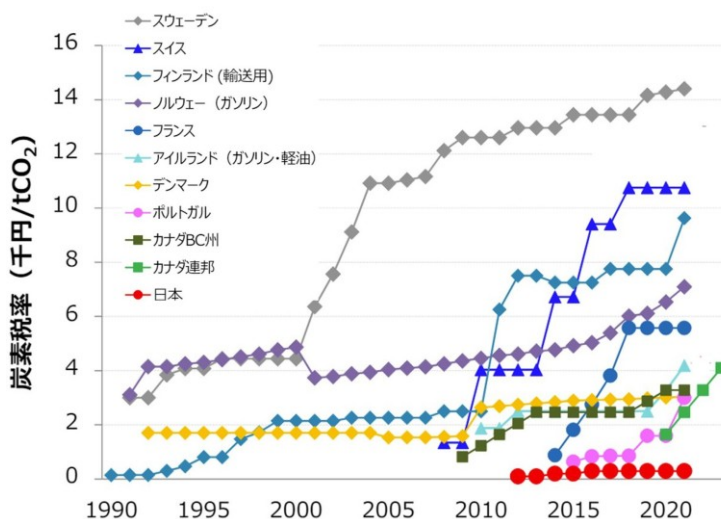


図 2 国際的な炭素税の価格動向
[文献 5)より転載]

3 脱炭素化設計手法の教育事例

SDI Japan 社は、独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構が運営する高度ポリテクセンターにおいて「カーボンニュートラルに向けた機械設計の進め方」と称する在職者向けの能力開発セミナー（以後、本セミナーという）を開催している。本セミナーの目的は、既存製品の脱炭素化設計の進め方を学ぶことにある。既存製品を対象にする理由は、現在販売されている製品をどのように改良すれば脱炭素化ができるのかを検討して、具体的な対策を明確にすることができるからである。また、既存製品の脱炭素化を進める手順や検証方法を学ぶことで、将来的に自社製品の脱炭素化を進めることができるようになると期待している。

図3に本セミナーで実施している脱炭素化設計のキーとなる部品を抽出するプロセスを示す。最初は、リバーシエンジニアリングによって、製品を構成する部品の働きを知ることから始まる。その後、絞り込んだ部品に対してブレイン・ライティング⁸⁾などのアイデア創出法を利用して、どのような機能を持つ部品に置き換えればよいかを考え出す流れになっている。ポイントは、品質機能展開を使用して、どの部品がカーボンニュートラル化に最も重要であるかを数値化して洗い出すことにある。最終的に、既存部品の置換によって最適な脱炭素化ソリューションを見つけ出すトレーニングとなっている。

3.1 リバーシエンジニアリングで部品を理解

最初に行うリバーシエンジニアリングでは、対象製品の分解を行い、部品の機能を理解した後に組立を実施する。図4は、本セミナーの実習の様子を示している。この年のセミナーではヘアードライヤーの脱炭素化をテーマとしたので、実際に市販品のヘアードライヤーの分解と組立を行い、部品機能と仕様を想定して模造紙に書き出して整理した。

このようなリバーシエンジニアリングの課題は、設計仕様が初めに存在せず、分解時に考察しなければならないことである。将来的に脱炭素化のための設計仕様書がなければ、正しい製造はできない。そのため、既存部品の機能を理解することから始める。

3.2 脱炭素化のアイデアを創出

次に行うべきことは、リバーシ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、マンド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 などとも利用するとよい。

図5は本セミナーで採用しているブレイン・ライティングの実行手順を示している。この手法の特徴は、グループ内で短時間に強制的に多くのアイデアを出させることであり、6人で行えば30分間に108個のアイデアを創出できる。また、場所の制限を受けにくいオンライン化が可能な手法である。

目的: 既存製品の脱炭素化

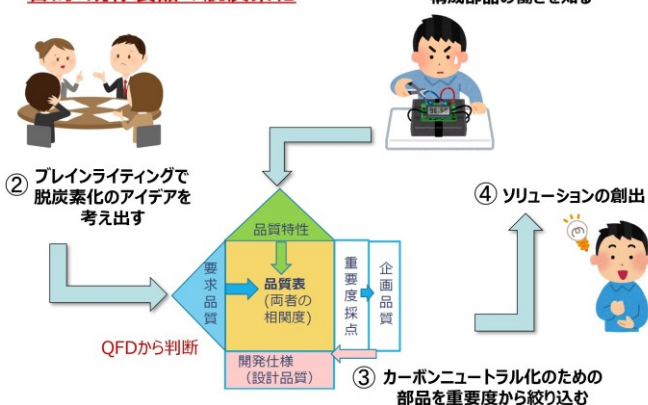


図3 キーとなる部品の抽出プロセス

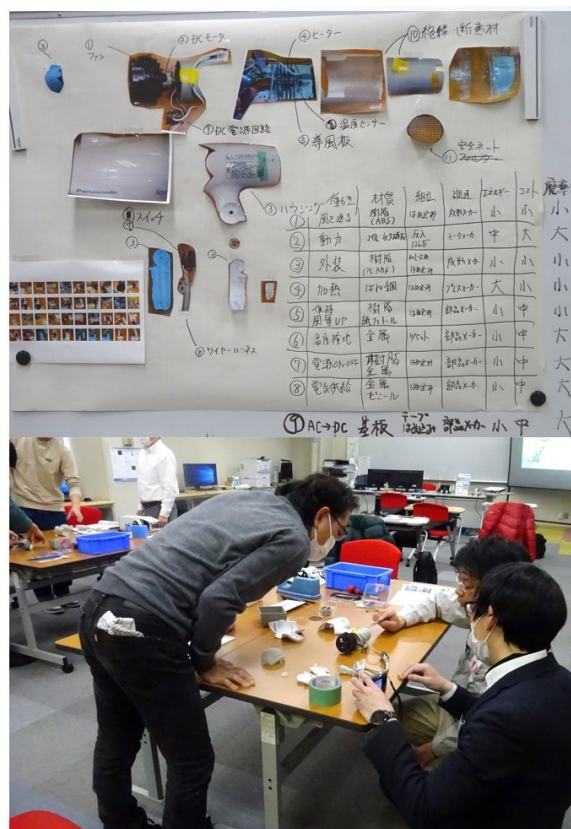


図4 リバーシエンジニアリング実習の様子

- 1) メンバー全員にシートを配る。
- 2) テーマを書き込む。
- 3) 5分間で3つのアイデアを一番上の行に書き込む。
- 4) 5分経ったら、時計周りに次の人にこのシートを渡す。
- 5) 受け取った人は、2行目に前の人が書いたものを発展させたアイデアや逆のアイデアを書き出す。
- 6) あるいは関連性のないアイデアを書き出す。
- 7) これを繰り返す。
- 8) シートが全部埋まったら、全体の中から良いと思うものを各自が選び出す。



図5 ブレイン・ライティングの実行手順

3.3 脱炭素化設計要件の抽出

脱炭素化のためのアイデアを集めた後は、それらのアイデアから最終的な設計の改修に結び付く要件を抽出する作業となる。その具体的方法は、品質機能展開を活用することであり、Whats 行の欄にアイデア、Hows 列の欄に部品名がくる品質表を作成することになる。本報ではリバースエンジニアリングで改修が必要と判断した部品に対して、設計品質を分析する品質管理手法を活用することを提案している。以下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品質表から考え出す手順になる。

- ① 部品機能を構造化するフィッシュボーン
- ② 親部品と子部品に分類・整理する親和図法
- ③ アイデアを重要度付けする階層分析
- ④ 脱炭素化設計要件を抽出する品質機能展開
- ⑤ ソリューションを洗練するチェックリスト法

図6に示した手順を簡単に説明すると、はじめにリバースエンジニアリングで検討した部品の機能をフィッシュボーンで構造化する。そして、親和図法で物理的な部品の構造に従って分類する。その場合、脱炭素化設計に関係ありそうな部品を品質表のHow's列に配置する。一方で、ブレイン・ライティングで得た脱炭素化のアイデアを要件に言い換えて、階層

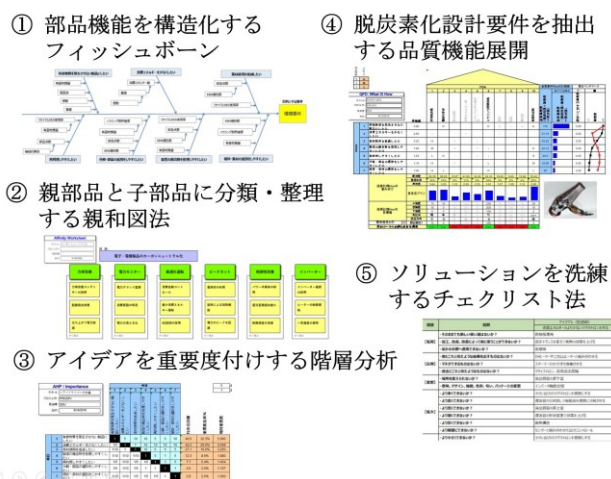


図6 設計要件を抽出するツール群

分析で重要度付けする。これら要件と得られた重要度を品質表のWhats行に配置する。

以上の手順に従い設計品質の分析手法を活用し、脱炭素化設計のための要件を抽出する品質表を作成した例を図7に示す。結果は対象製品の脱炭素化のためのソリューションであり、さらにその内容をチェックリスト法によって洗練する手順となっている。

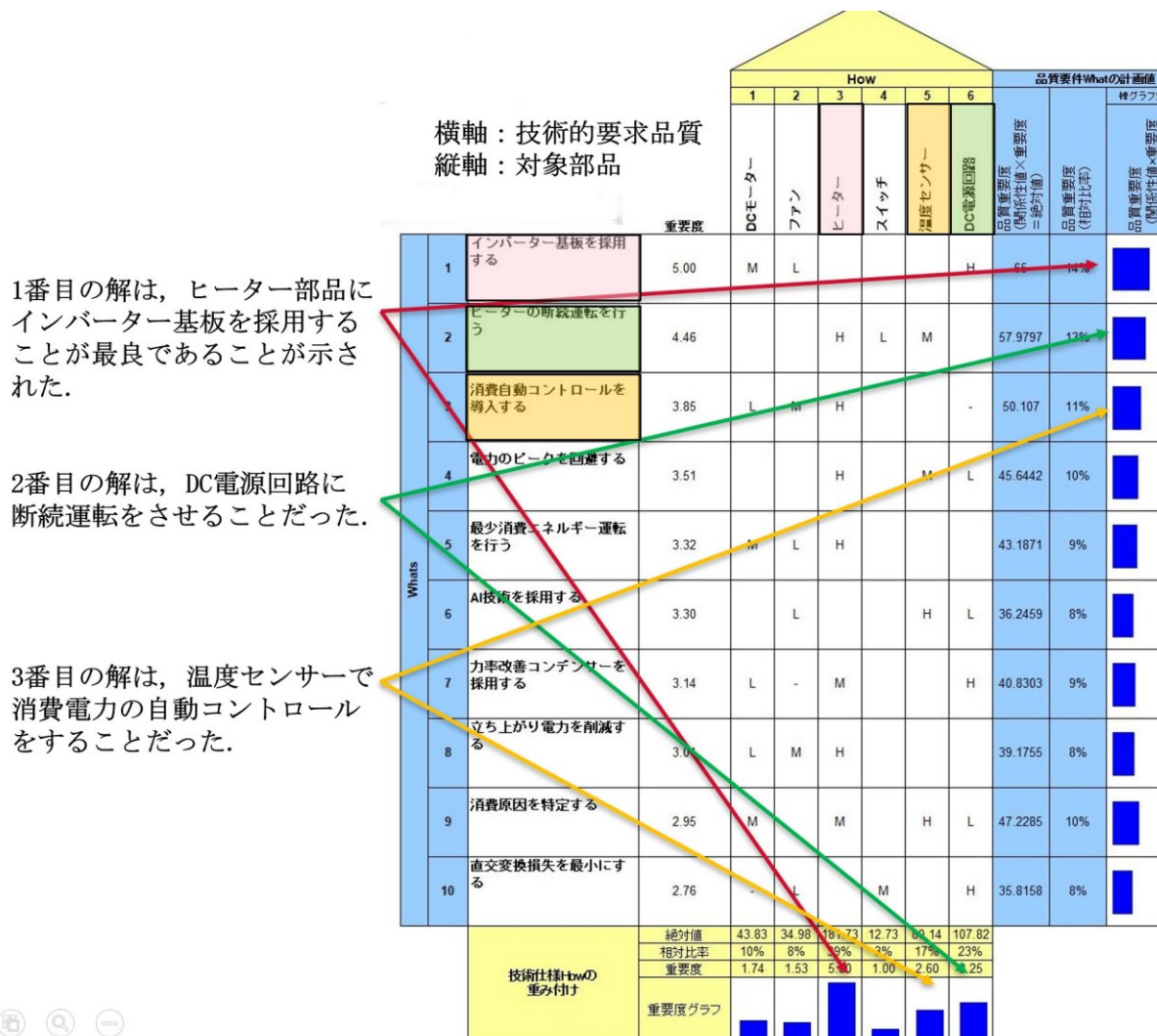


図7 脱炭素化のソリューションを示す品質表

4 設計者と会社が行うべきこと

カーボンニュートラル化に対して、最初に設計者が行うべきことは、既存品の改修を行い、消費者による製品使用時の CO₂ 排出量を低減することである。また、現時点での欧米のエコデザイン指令⁹⁾などの規制値に抵触しないようにすることである。その後、製品の競争力を強化するために新技術を導入した製品を開発し、市場投入することが必要となる。特に、サプライチェーン全体の CO₂ 排出量の削減に関して、スコップ 3 の分類に設計部門が主担当となるカテゴリーがあることに注意が必要である。それは、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 の販売製品の廃棄が該当する。これらについては、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。

会社としてカーボンニュートラル化に取り組まなければならない最大の理由は、2030 年以降に課せられる可能性がある炭素税への対応である。炭素税導入の前段階として、2028 年度から炭素に対する賦課金制度が仮導入されることがすでに決まっている。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 CO₂ の量に応じて賦課金を徴収するものになる計画である。その後、準備ができ次第、サプライチェーン排出量のスコップ 3 に基づいて、しっかりと一般の事業者にも課税するという方針が公表されている。その場合、排出量取引制度を利用して、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。また、2023 年に東京証券取引所に開設されたカーボン・クレジット市場では、取引相手を特定しないクレジット取引が 2026 年から可能になる。¹⁰⁾ これは、省エネ機器の導入などによる CO₂ の削減量や吸収量を国が認証する制度であり、削減量や吸収量をクレジットとして発行できる。そういったクレジットは他社や地方自治体などに販売することができ、企業が自社の排出量の削減が難しい場合にクレジットを購入や利用す

ることで、排出量を相殺することができるというものである。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とカーボン・プライシング制度への対応準備を進めていく必要がある。¹¹⁾

5 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であるといえる。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 CO₂ 削減量を購入するのみに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プロセスを活用することをお勧めする。

また、家庭向けの製品や産業機械に組み込まれる様々な部品の脱炭素化が 2050 年のカーボンニュートラル実現に重要と考え、そのような製品や部品を設計している多くの設計者のために、本報では既存製品の脱炭素化から始める新たな設計手法を提案している。結果的に自社製品を脱炭素化しなければ将来的にどのようなデメリットを被るのかを想定し、設計者と会社が今後とるべき方向性を提案したものである。

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) 経済産業省 GX 実行推進担当：GX2040 ビジョン 脱炭素成長型経済構造移行推進戦略 改訂, (2025), 47.
- 3) 環境省：2022 年度温室効果ガス排出・吸収量について, (2022), 5.
- 4) 環境省：炭素税について 資料 2, (2022), 9.
- 5) 環境省：諸外国における炭素税等の導入状況, (2017), 16.
- 6) 環境省：サプライチェーン排出量算定の考え方, (2017), 5.
- 7) 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), 14.
- 8) 川路 崇博：初期のブレインライティングの研究, 日本創造学会論文誌, 27, (2024), 53-64.
- 9) 齋藤 潔：電機業界における環境配慮設計（エコデザイン）の取り組み, 一般社団法人日本電機工業会 環境ビジネス部, (2023), 8.
- 10) 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, (2022), 23.
- 11) 戸水晴夫：電機・電子製品のための脱炭素化設計の提案, 日本設計工学会九州支部 2024 年度研究発表講演会, (2024), 11-14.

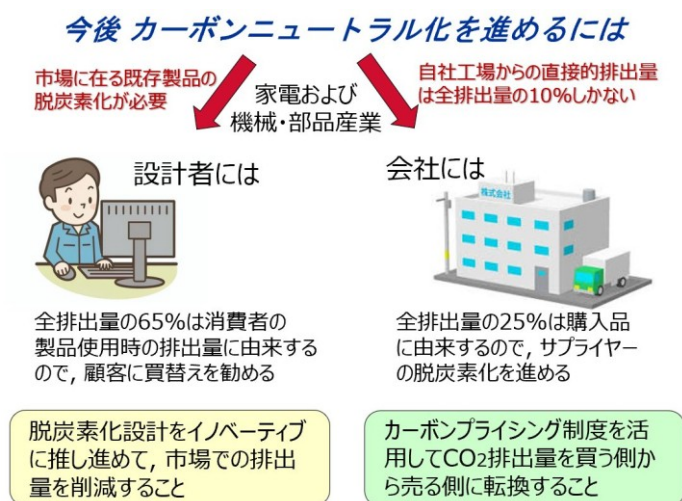


図 8 カーボンニュートラル化の施策