

目次

平成20年度 LCA日本フォーラム表彰 受賞記念特集

【経済産業省産業技術環境局長賞】
家まるごとCO₂ 約60%削減 …………… 1
パナソニック株式会社
環境本部 青江 多恵子

【会長賞】
味の素グループ版食品関連材料CO₂排出係数 ……… 4
データベースの公開
味の素株式会社 コーポレート生産技術開発センター
環境技術グループ 専任課長 高橋 英二

【奨励賞】
ユニフォームのLCA調査の実践 …………… 9
株式会社チクマ
環境推進室 主任研究員 宮之原 一樹

【奨励賞】
竹村製作所におけるLCA …………… 16
株式会社竹村製作所
技術部 設計課 坂田 和弥

【奨励賞】
設計プロセスへのLCA導入：住宅用換気システムの事例 … 21
Application of LCA for design process: Case study of ventilation system
東プレ岐阜株式会社
品質管理課 濱田 忠美

【奨励賞】
炭素繊維活用による環境改善効果の定量化 …………… 24
東レ株式会社
ACM技術部 主幹 松久 要治

行事日程 …………… 31

【経済産業省産業技術環境局長賞】

家まるごとCO₂ 約60%削減

パナソニック株式会社
環境本部 青江 多恵子

1. はじめに

本活動は、家庭における温室効果ガス排出量削減の技術的可能性の検証を目的に開始しました。ここでの技術とは、生産者が市場に投入し消費者が選択可能な製品に織り込まれている技術を意味しています。具体的には、1990年を基準として、家庭用電気製品、住宅設備製品、住宅の家まるごと約100製品を対象に、家まるごとの温室効果ガス排出量を評価し、その進捗を測定しています。

2005年には「1990年比2010年 家まるごとのライフサイクルの温室効果ガス排出量60%削減」をコーポレート目標に位置づけ、2007年に3年前倒しで目標を達成、2008年10月時点で62%削減です。

これらの成果を「家まるごとCO₂ 約60%削減」として、テレビCM、広告、ショールーム、展示会などで訴求しています。2004年からは学校でライフサイクル思考に基づく環境授業を実施するなど、ライフサイクル思考の普及

にも努めています。

ここでは、これらの取り組みの概要をご紹介します。

2. 評価方法の概要

家庭のモデルを想定し、それに基づいて1家庭で使用される製品を設定しています。

家庭のモデルは、評価対象とする製品に多世代のニーズを組み込むため、2階建ての一戸建住宅に住む、祖母、父、母、子供の3世代同居の4人家族としました。住宅床面積は、新設持ち家住宅の平均総床面積の136.9㎡とし、間取りは、「リビング+ダイニング+キッチン+3寝室+1和室+1浴室+2トイレ(1階、2階)」です。想定住宅の見取り図は下記をご覧ください。地域は日本の本州中央とします。

URL:http://panasonic.jp/eco/product/co2_discharge/plan.html

製品は、普及率を考慮して選定しています。ホームエネルギーマネージメントシステム（HEMS）と太陽光発電は、環境への影響を削減できる製品として加えました。

テレビ（33型CRTテレビ→50V型プラズマテレビ）、冷蔵庫（425リットル→550リットル）、洗濯乾燥機（洗濯6kg 乾燥4.5kg→洗濯9kg 乾燥6kg）など多くの製品は大型化しています。

家事製品として食器洗い乾燥機、生ごみ処理機、情報通信製品としてファクス、パーソナルコンピューター、デジタルカメラ、携帯電話、健康製品として整水器、電動歯ブラシ、マッサージチェアなどが新しく追加されました。

製品一覧表は、下記をご覧ください。

URL:http://panasonic.jp/eco/product/co2_discharge/index.html

製品（住宅をのぞく）のライフサイクルの温室効果ガス排出量は、生産、製品の輸送、使用、使用済み製品の輸送、リサイクル・廃棄のライフサイクルの各段階を対象にして、基本的にはJEMAI-LCAのインベントリデータを用いて評価しています。製品の使用時の条件は、使用方法や自然条件などの違いを踏まえて標準的な使用状態として設定されていると考えられる、規格や業界で定められた標準値を用いています。規格や業界で定められた標準値がない製品は文献値や自主基準値を用いています。

住宅は、軽量鉄骨の大型パネル構造の工業化住宅（プレハブ住宅）の基礎・躯体・外部仕上げ・内部仕上げを評価

の範囲としています。住宅のライフサイクルの温室効果ガス排出量は、生産、部材の輸送、建設（施工）、運用（使用）、改修（メンテナンス）、リサイクル・廃棄のライフサイクルの各段階を対象にして、基本的には「建物のLCA計算ソフト」（日本建築学会）を用いて評価しています。

各製品で寿命が異なるため、各製品のライフサイクルの温室効果ガス排出量を各製品の寿命（年数）で除して各製品の1年あたりの温室効果ガス排出量を算出し、それらの総和により家庭における1年あたりの温室効果ガス排出量を算出します。

3. 評価結果の概要

1年あたりの温室効果ガス排出量は、食器洗い乾燥機、生ごみ処理機、マッサージチェアの追加やテレビや除湿機の大規模化にともない増加しましたが、1990年に全体の温室効果ガス排出量の約75%を占めていた、冷暖房機器、給湯機、照明器具、冷蔵庫、洗濯乾燥機、温水洗浄便座つきトイレの上位6製品の使用時の消費電力の削減などで全体として42%削減、さらに、ホームエネルギーマネージメントシステム（HEMS）の導入、建物の断熱性の向上、太陽光発電などの家まるごとの効果で20%削減、これら総合的な取り組みにより、1990年比62%削減されました。

本評価結果は、ある限定された家庭のモデルではありますが、最新の省エネルギー技術の導入により、温室効果ガス排出量は削減可能であることを定量的に示しています。

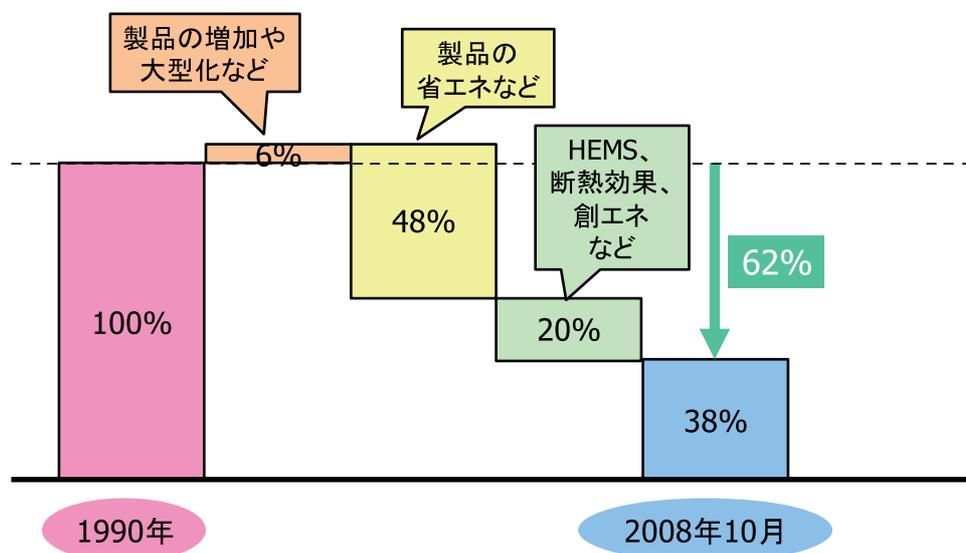


図1：温室効果ガス排出量の増減の内訳

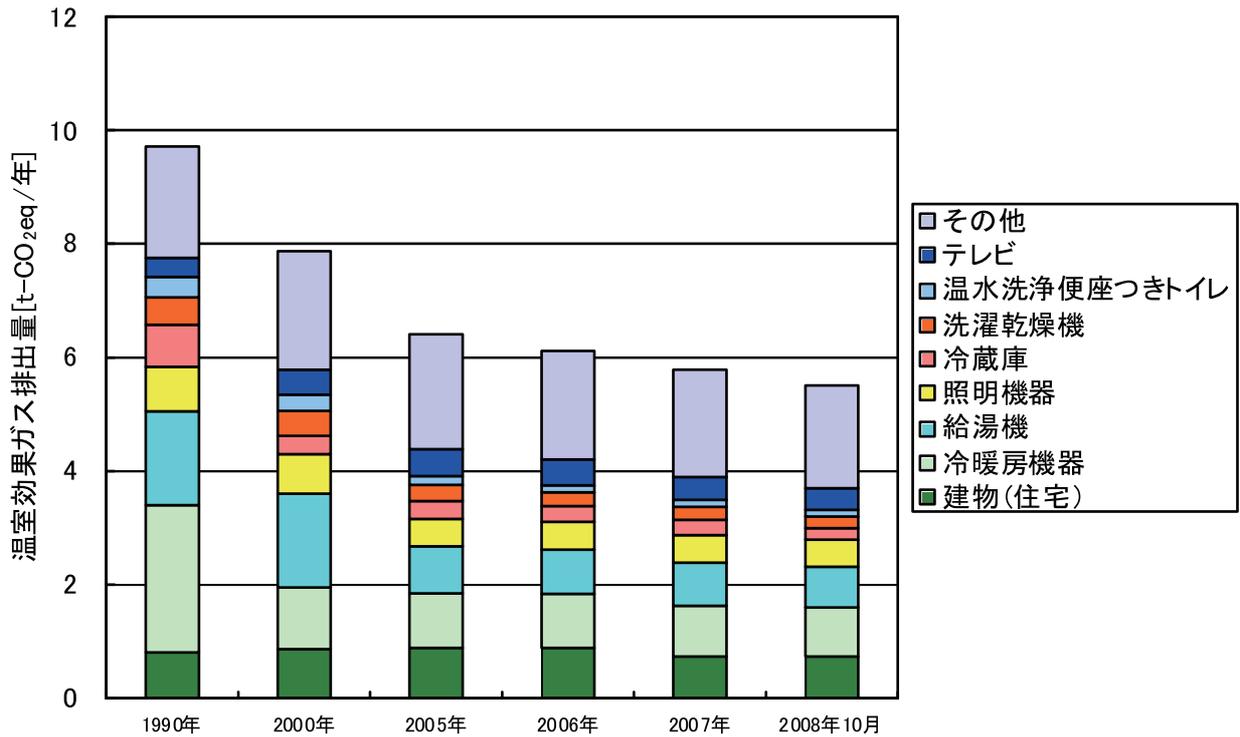


図2：製品の省エネなどの取り組みによる温室効果ガス排出量の推移と各製品の内訳

4. おわりに

2004年からはライフサイクル思考の普及を目的に、ライフサイクル思考に基づく環境授業を実施しています。この授業では、家まるごとCO₂削減の研究成果を活用しています。

地球環境問題では、局地的もしくは地域的な環境問題に比べて環境に配慮した行動を促すことの難しさが指摘されています。地球環境問題は、局地的もしくは地域的な環境問題と異なり、見えない所で膨大な資源が投入され、廃棄され、環境に影響を与えているため、環境問題とひとり一人の日常生活との関わりがわかりにくいのがその難しさの理由ではないかと考えられます。つまり、ライフサイクル思考の習得が、地球環境に配慮した行動を促進する可能性があるということです。実際、授業前後に行う質問紙調査の結果から、ライフサイクル思考の習得が環境に配慮した行動の意図を促進する可能性が示されています。

今後も引き続き、家まるごとで環境への影響を少なくする活動とともに、これらの研究成果を活かした教育・啓発活動にも努めたいと考えています。

【会長賞】

味の素グループ版食品関連材料CO₂排出係数データベースの公開

味の素株式会社
コーポレート生産技術開発センター 環境技術グループ
専任課長 高橋 英二

1. はじめに

味の素グループでは、2003年に「味の素グループ・ゼロエミッション」05/10計画を発表し、様々な領域から発生する環境負荷の極小化を目指して取り組みを進めています。環境負荷の極小化のためには、製造工程から発生する環境負荷だけでなく、製品の原材料が廃棄に到るライフサイクル環境影響を評価することが重要と考え、LCAの取り組みを積極的に展開してきました。特に2003年の包装容器へのLC-CO₂の社内導入の本格的展開を皮切りに、2004年には日本LCA学会「食品研究会」を東京大学稲葉敦教授、日本製粉(株)様と共に立ち上げ、それ以降関連企業や大学関連の研究者の皆様と共に食品LCA分野での産学連携を主体的に展開して参りました。

ここでは食のLC-CO₂算出に不可欠なCO₂排出係数に関し、味の素グループがHP上で公開している「味の素グループ版食品関連材料CO₂排出係数データベース」（以降、味の素データベース）の概要を紹介いたします。

味の素データベースは食品素材のようにしっかりしたデータベースが他にない場合や季節、場所等で変動しないCO₂排出係数の概略値が必要な場合に有効であると考えて居ります。特に、本論では研究者のみならず一般の方々にも今まで以上に味の素データベースを御利用戴けるように、少々技術的な内容を踏まえて御説明したいと思えます。

* 本データベースが掲載されている弊社HPとWEB上アドレスは以下になります。

味の素>企業情報>CSRへのとりくみ>環境への取り組み>
<http://www.ajinomoto.co.jp/company/kanky/pdf/2007/lcCO2.pdf>

2. 味の素データベースの概要と特徴

昨今、フードマイレージなど、食品に関する環境への関心が高まる一方、経済産業省の「カーボンフットプリント（Carbon footprint）制度実用化普及研究会」（以降CF研究会）の試行事業を初め、実際に食品のLC-CO₂の計算

を必要とする場面が増えてまいりました。カーボンフットプリントは直訳すると「炭素の足跡」となりますが、基本的にはLC-CO₂と同じ概念です。実際に食品のカーボンフットプリントを算出しようとする時に、食材毎に如何に妥当なCO₂排出係数を用いるのかという大きな課題がありますが、食品産業に関してはこの種のデータベースの公開事例はほとんどありませんでした。こうした状況の下、LC-CO₂を実際に計算する上で必須となる食品関連材料に関するCO₂排出係数を2006年9月に第一版、2007年4月に改訂版として公開したのが味の素データベースであります。味の素データベースは90年度、95年度、2000年度の国立環境研究所発行の産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）環境負荷原単位に基づき、取引計量単位（重量、m³等の単位）の排出係数に換算し、124産業1254項目についての客観性と透明性の極めて高いデータとして纏め上げたものであります。味の素データベースの特徴を3つにまとめます。

- ①国立環境研3EIDデータ及び総務省産業連関表という客観性の高いデータから構成されている
- ②kg当たりのCO₂のように、取引計量単位当たりのCO₂排出量として表記している
- ③WEB上で一般に公開している

【補足説明】産業連関表は、国の経済を幾つかの部門（わが国では約400部門）に分割し、1年間の部門間の財やサービスの流れを金額単位で示したもので、生産活動に伴う間接的な環境負荷の把握に利用出来ます。LC-CO₂分析手法の内、プロセス分析法（いわゆる積み上げ法）によるものと産業連関法によるものの大きく2つに大別されますが、味の素データベースは産業連関法に基づいた排出係数の決定方法になります。国立環境研究所発行の産業連関表による3EID（Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables）の環境負荷原単位は、各部門の単位生産活動（百万円相当の生産）に伴い直接・間接的に発生する環境負荷量（ここで使

用するのはCO₂排出量)を表しています。直接・間接排出とは、例えば農産品であれば、農業機械に使用する燃料と言った直接的な排出のみならず、農業機械の生産に伴うCO₂排出量といった産業連関分析から誘発できる間接的CO₂排出量を含んだ数値となっています。

3. 味の素データベースの利用法

例えば、ある方が「玄米の1kg作るのに排出されるCO₂はどの程度なのだろうか」という疑問を持ったとしましょう。その答えとして、味の素データベースは「(1990年、1995年、2000年の平均として)0.403kg、つまり403g」という数値を提供するものです。

以下、少し詳しくtechnicalなお話をします。というのも、味の素データベースを御利用戴くお客様からは「なぜこのような数字が決定出来るのでしょうか」という御質問を多く頂戴するからです。

カーボンフットプリント(LC-CO₂)を計算する上でCO₂排出係数はその構成単位として[kg-CO₂/kg-食材]のように取引計量単位(例えば重量)単位でのCO₂排出量が表現されている形態を取るのが一般に最も利用しやすいと考えられます。しかしながら、国全体としての財としての貨幣の流れを物量の流れとしてみなした産業連関表から算出された3EIDのCO₂排出係数は[t-CO₂/百万円-食材]で表現されているので、これを重量単位に換算する必要があります。上記の玄米1kg当たり0.403kgが算出される一連の手順を1995年度の米(Rice)を例にして示します。

1) 国環研3EIDの環境負荷原単位(1995年度生産者価格ベース)に2つの数字が掲載)

①type I 0.3944t-C/百万円 (=A)

②type II 0.3497t-C/百万円

2) 二つの数字の違いを簡単に述べると、産業連関表の最終誘発環境負荷を計算する上で、輸入財を国内産と同等に見

て、輸入品による環境負荷を含めて計上する(すなわち、輸入品の直接・間接のCO₂排出負荷が国内産と同等と仮定)か、輸入品と国産品を別に扱い、輸入による環境負荷をゼロとして扱うかの想定モデルの違いによるものでありますが、食品産業の場合、輸入品の比率が高いことから味の素データベースでは①のモデルでの計算結果(ここではA)を用いて計算します。

3) CO₂排出量換算する為に、以下の計算を行います。

$$A * CO_2\text{式量} / C\text{式量} = 0.3994 * 44 / 12 = 1.446\text{t-CO}_2 / \text{百万円} (=B)$$

4) Bを目的とする重量物換算の単位[t-CO₂/百万円-食材]にする為には、Bに[百万円-食材/t-食材]を単位に持つものの、即ち食材の価格を乗すれば良いこととなります。ここで、総務省発行の1995年度版産業連関表の記載のある「部門別品目別国内生産額表」に記載のある内生部門生産単価を乗ずる。例えば米という財の基本分類の項目として挙げられている「玄米」の場合、1995年の生産者価格は280,198円/t-玄米(=C)でした。

$$B * C = 1.446 * 0.280198 = 0.405\text{t-CO}_2 / \text{t-玄米} (=D)$$

この結果を下の表1にまとめました。Dの値は、下表の95年度の↑の位置に表記されます。

4. 味の素データベースの構成

上表を用いて、味の素データベースの構成を説明します。というのもこの二行が御理解戴ければ、30ページに及ぶ味の素データベースの数値の構成が概ね御理解戴けるものと考えました。また、ここであえて強調させて戴きたいのは、味の素データベースは3EIDと産業連関表の部門別品目別生産額表の生産者価格のみから構成されているということであり、それにより味の素データベースは高い透明

基本分類	品目数番号	項目名称	1990年度 3EID		1995年度 3EID		2000年度 3EID		備考	3ヶ年度平均				
			単位	産連表部門別品目別国内生産額表 CO ₂ 排出係数	単位	産連表部門別品目別国内生産額表 CO ₂ 排出係数	単位	産連表部門別品目別国内生産額表 CO ₂ 排出係数		単位	平均CO ₂ 排出係数 f	標準偏差 σ	標準偏差の比率 (σ/f)	
			生産者価格(円/単位)	t-CO ₂ /単位	生産者価格(円/単位)	t-CO ₂ /単位	生産者価格(円/単位)	t-CO ₂ /単位		t-CO ₂ /単位	t-CO ₂ /単位	%		
1	米	百万円	1.328	百万円	1.446	百万円	1.694	百万円	1.490	0.187	13%			
1	玄米	t	292,307	0.388	t	280,198	0.405	t	244,442	0.414	t	0.403	0.013	3%



表1：味の素DBのCO₂排出係数の構成

性と客観性を持つこととなります。

先ず、基本分類として上表は「米」が選択されていますが、この基本分類は3EIDでは399部門に区分けされています。（例えば、部門番号順に挙げると、「米」、「麦類」、「いも類」、「豆類」、「野菜」、「果実」、「砂糖原料作物」、・・・、「その他の他個人サービス」、「事務用品」、「分別不明」という具合です。）この基本分類に対して、品目数番号として枝分けして細目が挙げられている。上記Bの1.446t-CO₂/百万円は1995年度の基本分類「米部門」の生産者価格当たりのCO₂排出量として固定されています。味の素データベースでは表1のように青帯に白抜きの表記になっています。これは基本分類の「米部門」に分類される全ての品目に共通するkeyとなる数値になります。また枝分けした品目の1995年の生産者価格Cが1995年度版産業連関表「部門別品目別国内生産額表」から引用され280,198円として記載、それらから上記のように計算された取引計量単位（この場合はt）当たりのCO₂排出係数が0.405t/tとして記述されている構成となっています。これと同様に他の1990年度、2000年度も当該年度の産業連関表と3EIDから引用し、纏め上げたシートが味の素データベースを構成しています。

また、上表の右側の列には本DBは1990年度、1995年度、2000年度の3年の計算値の平均値と、これらのデータが正規分布を形勢していることを前提とした標準偏差、及び標準偏差を平均値で除したいわゆる変動係数（%）を掲載している。また、備考欄を設け、1990年から2000年度における産業連関表上での産業分類の統廃合・新設・消滅を記録しました。

なお、基本分類以下の品目で「部門別品目別国内生産額表」から生産者価格を引用し、CO₂排出原単位を構成した項目は124産業、製品1254、生産者価格が引用出来ない品目については、取引計量単位換算が出来ないので、CO₂排出原単位が「/百万円」となっている。そうした項目が約750項目残る結果となっています。

5. 味の素データベースの長所と課題

味の素データベースは産業連関表に基づき算出されています。産業連関法のインベントリ算出上の利点としては、以下の5点があります。

- 1) 間接的な環境負荷をもれなく把握できる点
- 2) 統一的なシステム境界の下で環境負荷を算定出来る点
（味の素データベースの場合は、日本国経済境界全体を見掛けのバウンダリに出来る）
- 3) 環境負荷データを適切に設定すれば、同一のデータセットを用いて環境負荷を算定出来る点
- 4) 産業連関表という既存のデータベースを用いて、プロセス分析法（積み上げ法）に比べ相対的に労力をかける事無く間接的な環境負荷を推計することが可能である点
- 5) 産業連関表という客観性、透明性の高いデータを用いる点

こう書きますと、味の素データベースのCO₂排出係数は一見すると、大変使い勝手はいい面だけがクローズアップされますが、産業連関法によるインベントリ算定上の課題もあり、以下の点に留意しながら味の素データベースを利用いただくことが大変重要であると考えます。

(1) 産業部門別の粗い区分

味の素データベースは国の財・サービスを約400部門に粗く分けた産業連関表に基づき構成されているので、上記の玄米も「ある年度の国の平均的な玄米」として排出係数を決定しているため、例えば、関東で作られた玄米と、関西で作られた玄米のLC-CO₂の差異を比較出来ない欠点があります。これらを比較しようとする場合は、プロセス解析法（積み上げ法）によってインベントリを算定する必要があります。

(2) 内外価格差の影響の評価、輸入品の輸送に伴う環境負荷

日本は、米以外の穀物・油糧種子などの輸入依存度が大きく、輸入食料と国内産との価格差は数倍になるケースもあります。輸入穀物等が次の加工工程に投入される場合、3EIDにおいては、投入のCO₂排出負荷価格比に応じて低く算定されることになり、結果として、製粉・搾油・飼料製造のような輸入食糧等の1次加工品のCO₂排出係数は、実態より低く算定されることとなります。

項目	2000年 3EID掲載 生産額 基準CO2 排出係数	2000年 産連表 生産者 価格	2000年 3EID対応 重量基準 CO2 排出係数	2000年 輸入 価格	3EID対応 輸入品 重量基準 CO2 排出係数	内外 価格差 (B/D) = (C/E)	積上げ法 重量基準 CO2 排出係数	積上げ法 と 3EID法 との 比率 I	積上げ法 と 3EID法 との 比率 II	積 上 げ 法 引 用 文 献
	A	B	C=A×B	D	E=A×D	F	G	H=G/C	I=G/E	
	kg-CO2 /千円	千円 /ton	kg-CO2 /ton	千円 /ton	kg-CO2 /ton	—	kg-CO2 /ton	—	—	
小麦	2.17	164	357	19.1	41.5	8.6	383	1.07	9.22	* 1
小麦粉	2.49	122	304	—	—	—	520	1.71	—	* 1
大豆	1.13	235	266	27.5	31.1	8.5	412	1.55	13.26	* 2
食用大豆油	3.27	110	360	—	—	—	1190	3.30	—	* 2
大豆かす	3.27	34.7	114	24.0	78.4	1.4	357	3.14	4.55	* 2
去勢和牛肉	2.03	1,655	3,357	508	1,031	3.3	10,600	3.16	10.28	* 3
* 1: 小澤寿輔など、「小麦、小麦粉、食パンのLC-CO2試算」第2回日本LCA学会研究発表会要旨集(2007)										
* 2: 佐藤邦光など、「食用大豆油と大豆ミールのLC-CO2」第2回日本LCA学会研究発表会要旨集(2007)										
* 3: Akifumi OGINO, et al. "Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow-calf system by the life cycle assessment method" Animal Science Journal (2007) 78, 424-432										
注: 輸入価格は、アグロトレードハンドブック 2004 JETRO 記載の2000年度データより引用										

表2：内外価格差の影響検討例

この比較はシステム境界に差があるので、厳密性に欠ける点もありますが、表のように3EID法は、輸入依存度が高い食糧の一次加工品においては、実態と乖離が起こる可能性が高いことを意味します。

加えて、産業連関表が対象としている経済の外における財、サービスの流れについては適切に反映されない側面があり、輸入品の輸送に伴う環境負荷は考慮外となります。

(3) 生産者価格による排出係数と購買者価格による排出係数との乖離

上と関連しますが、味の素データベースの基礎となるのが、3EIDの生産者価格当たりのCO₂発生量です。従って、消費、もしくは原料として使用する場合は輸送・販売のCO₂負荷を加味して考える必要があります。

(4) 使用、廃棄により発生するCO₂負荷の取り扱い

3EIDを基にした味の素DBは、その産業部門に投入される品目やエネルギーの持ち込むCO₂負荷などの生産波及に伴う累積CO₂をデータベース化したもので、その品目を使用することにより発生するCO₂負荷は含まれていません。その代表例が化石燃料です。化石燃料使用で誘発される

CO₂はCO₂排出係数には含まれるものの、化石燃料を燃焼させたその「瞬間」のCO₂排出量は含まれて居ません。

(3EIDや味の素データベースのCO₂排出係数の分類は「製品」という側面と「業界」という側面があり、業界としての捉え方をすると幾分かはこの誘発CO₂の概念が理解しやすいと考える) それぞれの利用用途に従って、同時に発生するCO₂が見込まれる場合は、3EIDデータへのCO₂加算がポイントとなります。加えて、金銭的な取引が生じる生産活動以外の、例えば廃棄に関する環境負荷の推計も考慮外となります。

(5) 5年毎の産業連関データ集計と最新環境負荷データとの乖離

日本では産業連関表は5年おきに集計され、そのデータの公表までに3、4年を要する為、技術革新のスピードが速い部門の環境負荷の推計には、実態との乖離が生じる可能性が高い。味の素データベースではこうした年度間の変動も考慮し、1990年度と1995年度、2000年度の平均値を合わせて記載しています。

6. 最後に

当味の素DBは味の素(株)WEBサイトで自由に閲覧可能です。なお、利用の際には、本データベースの出典表示をお願い致します。本データベース公開後は研究者のみならず一般消費者からも多数引用御利用戴き、「この表の見方は」「実際の利用に関しては」等々、本データベース利用に関する御問合せ等も数多く戴いています。

私たち味の素グループは、上述しましたような味の素データベースの長所と課題やデメリットも十分踏まえながら、皆様に御利用戴くことを切に願うものであります。またこのような食材を広く網羅したデータベースを公開することで、社会全体で環境負荷がより少なく、同時に価値の高い商品開発の推進に繋がればと考えます。

また、末筆になりましたが、本データベース公開後も、国内外の研究者、食品他企業従事者及び一般の方々から様々な御質問、御指摘を戴きました。この場を借りて篤く御礼申し上げます。また、本味の素データベースについては日本LCA学会食品研究会での発表を実施し、論議の上問題無いことを確認後、WEB公開に至った経緯があります。この場を借りて、食品研究会各位に深く謝意を示す次第です。

御問合せ先 味の素(株) 生産技術開発センター 高橋 英二
eiji_takahashi@ajinomoto.com

【奨励賞】

ユニフォームのLCA調査の実践

株式会社チクマ
環境推進室

主任研究員 宮之原 一樹

1. はじめに

ユニフォーム(UNI-FORM)とは名前の示すとおり、単一の形の衣類を団体で着用するものと定義付けられます。個人の嗜好で選定される一般衣類とは違い、同一組成、同一色、同一拠点での着用といったユニフォームの特性により、一般衣類に比べ回収が容易、且つリサイクルし易いという特徴があります。

近年のユニフォーム分野に於ける環境配慮活動の変遷を辿ると、平成13年のグリーン購入法の施行を前後する頃より、環境配慮型ユニフォームの購入ニーズが高まり、使用済みPETボトルに代表される再生PET由来のユニフォームが幅広く普及しました。また、時同じくして循環型社会形成に向けた3R概念も浸透し始め、産業界においては直接資材のみならず間接資材も含めたゼロエミッション活動が強化され、使用済みユニフォームの再資源化ニーズが顕著となって参りました。これに伴い、従来は使用済みユニフォーム類を単純焼却、若しくは熱回収している事例が多々見受けられましたが、再資源化の受け皿開発も進み、ユニフォームをゴミにしない活動が本格化してきました。

こうした取り組みが進む中、温室効果ガスの排出による地球温暖化への影響が顕在化したことにより、低炭素社会に向けた温室効果ガスの削減対策が本格化して参りました。従来は廃棄物の減量を主たる目的と据えてユニフォームリサイクルに取り組む事例が多かったのですが、リサイクルを実施することによる温室効果ガスの削減量を定量的に把握したいという「CO₂の可視化」要望が環境先進企業等から聞かれるようになってきました。当社としてもユニフォームリサイクルを実施する上で、廃棄物の削減効果のみならず地球温暖化への環境影響の定量把握が必要であると判断し、平成19年度経済産業省のグリーンパフォーマン高度化推進事業に応募し採択され、ユニフォームのLCA調査を実施することになりました。

2. ユニフォームのLCA調査

代表性の高い当社製品を対象に、ライフサイクル全体で

環境を配慮した場合と、特段環境配慮をしない場合の2種類のシナリオを想定し、地球温暖化への影響を比較しました。

2-2 調査の目的

本調査は、各種ユニフォームの製造及び素材販売を業としている当社が、拡大生産者責任の概念に則り実施しているユニフォームのリサイクルに係わる地球温暖化への影響を定量把握することにより、更なる環境負荷低減製品及びシステムの開発に役立てることを主たる目的としています。

2-3 調査対象品

調査対象品は男子作業用ユニフォーム(ブルゾン・ズボン)の上下1セットで1着とし、製品機能は夏季を除く3シーズン(8ヶ月)、1日8時間、週5日間着用し、一人当たり3着貸与され、耐用年数は3年間と設定しました。機能単位は、中心となるLサイズを1トン単位で評価しています。

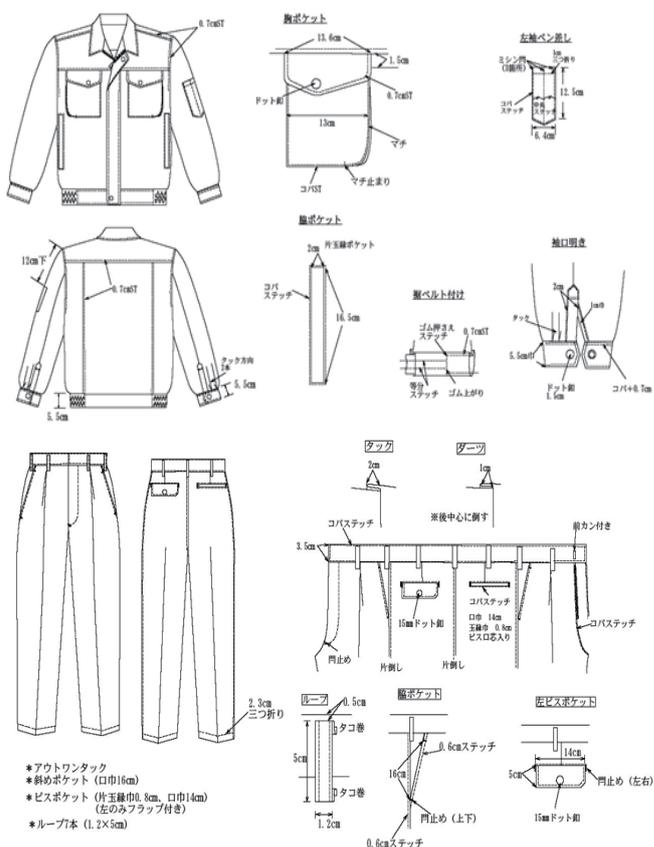


図1：調査対象品

図1に示した調査対象品の重量及び材質は表1の通りです。

パーツ名	仕上がり重量 (単位g)			組成	総 構成比	裁断ロス(単位g)			総 重量
	上	下	計			上	下	計	
表地	450.3	353.7	804.0	P 綿	79.0%	68.0	64.6	132.6	936.6
芯地	18.9	4.3	23.2	P	2.3%	2.7	1.1	3.8	27.0
スレーキー	9.5	27.0	36.5	P	3.6%	2.4	4.8	7.1	43.6
糸/地縫い	7.4	5.8	13.2	P	1.3%				13.2
糸/ロック	3.8	6.2	10.0	P	1.0%				10.0
インベル		9.0	9.0	P	0.9%				9.0
平ゴム	13.0		13.0	EPDM	1.3%				13.0
ファスナー	17.5	5.8	23.3	◎	2.3%				23.3
フット紐	12.0	2.0	14.0	POM	1.4%				14.0
エコネーム	0.5	0.4	0.9	P	0.1%				0.9
ネーム	0.2	0.1	0.3	P	0.0%				0.3
袋	18.8	14.2	33.0	LPDE	3.2%				33.0
品質表示	0.1	0.1	0.2	N100%	0.0%				0.2
下げ札	1.3	1.3	2.6	紙	0.3%				2.6
ロックスピ	0.1	0.1	0.2	N	0.0%				0.2
合計	553.4	430.0	980.4			73.1	70.4	143.5	1,123.9

品番	T1695
品名	帯電防止ツイル
全体混率	ポリエステル80% 綿20%
密度(縦×横)	125本×62本(インチ間)
織組織	交織ツイル
糸使い	T65%/綿35% 22番手/単糸×T150de双糸
重量	245g/m ²
幅×長さ	150cm×50m
染色加工	後染め

原材料組成	従来品
ポリエステル	703.1
綿	201.0
LDPE(低密度ポリエチレン)	33.0
ポリアセタール	21.8
EPDM	13.0
亜鉛ダイキャスト	7.0
ナイロン	1.5
合計重量	980.4

◎ ファスナー使用原材料⇒テーフ=P エlement=POM N スライダー=亜鉛ダイキャスト
P=バージンポリエステル POM=ポリアセタール N=ナイロン
EPDM= LPDE=低密度ポリエチレン
=カットオフ

表1：調査対象品の材質、重量 (単位：g)

表地はポリエステル80%・綿20%の交織ツイルで、本体重量は980.4g/着(袋含む)です。この内表地は804g(重量比約82%)、また1着の縫製段階で排出される裁断屑は143.5g(歩留約87%)とし、品質表示・下げ札・ロックスピは微量の為カットオフすることにしました。

2-4 ライフサイクルシナリオ(調査範囲)

本調査で想定した2種類のライフサイクルシナリオは、下記(A)(B)となります。ここでは、(A)の特段環境配慮をしていないライフサイクルを「従来品」、(B)の環境配慮型ライフサイクルを「改善品」と称しております。

(A) 従来品

表地のポリエステルはバージン原料(石油由来)を使用し、裁断屑(縫製段階でのロス)は焼却処分し、使用済みユニフォームも焼却処分した場合。

(B) 改善品

表地のポリエステルはリサイクル原料(廃PET由来)を使用し、裁断屑(縫製段階でのロス)はマテリアルリサイクルし、使用済みユニフォームはケミカルリサイクルした場合。

※下線部：(A)、(B)の相違点

2-5 システム境界

本調査のLCA調査範囲は図2に示す通りです。

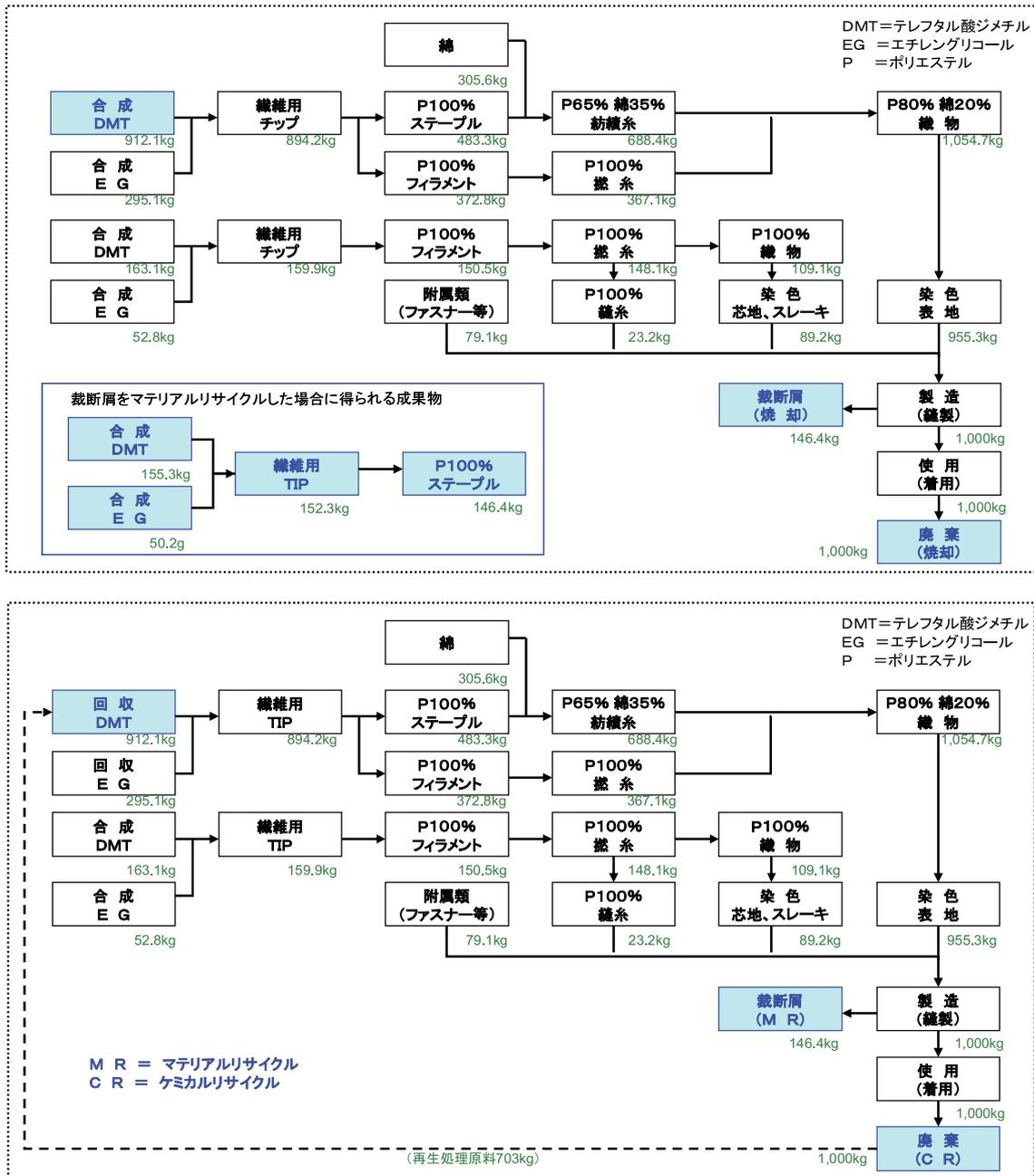


図2：調査範囲：上段＝「従来品」 下段＝「改善品」
※青色＝「従来品」「改善品」の相違点

図2に示す2つのライフサイクル相違点は、①ポリエステル原料 ②裁断屑の処理方法 ③廃棄段階の処理方法の3点となります。①は、ポリエステル原料となるジメチルテレフタル酸(DMT)をバージン原料から製造した場合(合成DMT)と、ポリエステルが80%以上含まれた使用済みユニフォーム等を原料とした場合(回収DMT)の比較です。②は、縫製工場から排出される裁断屑を近隣地域で焼却した場合と、後で述べるマテリアルリサイクル(以下：MR)を行い再資源

化した場合の比較です。ここで注意すべき点として、再資源化を実施した場合に得られる成果物と同量のものをバージン原料から製造した場合の環境負荷を、従来品に加算しないと条件の揃った定量比較とはならない為、従来品のシステム境界内に同負荷を加算しました。③は、使用済みユニフォームを焼却する場合とMR同様に後述するケミカルリサイクル(以下：CR)を実施する場合との相違となります。

2-6 輸送シナリオ

従来品、及び改善品の輸送シナリオを図3に示します。

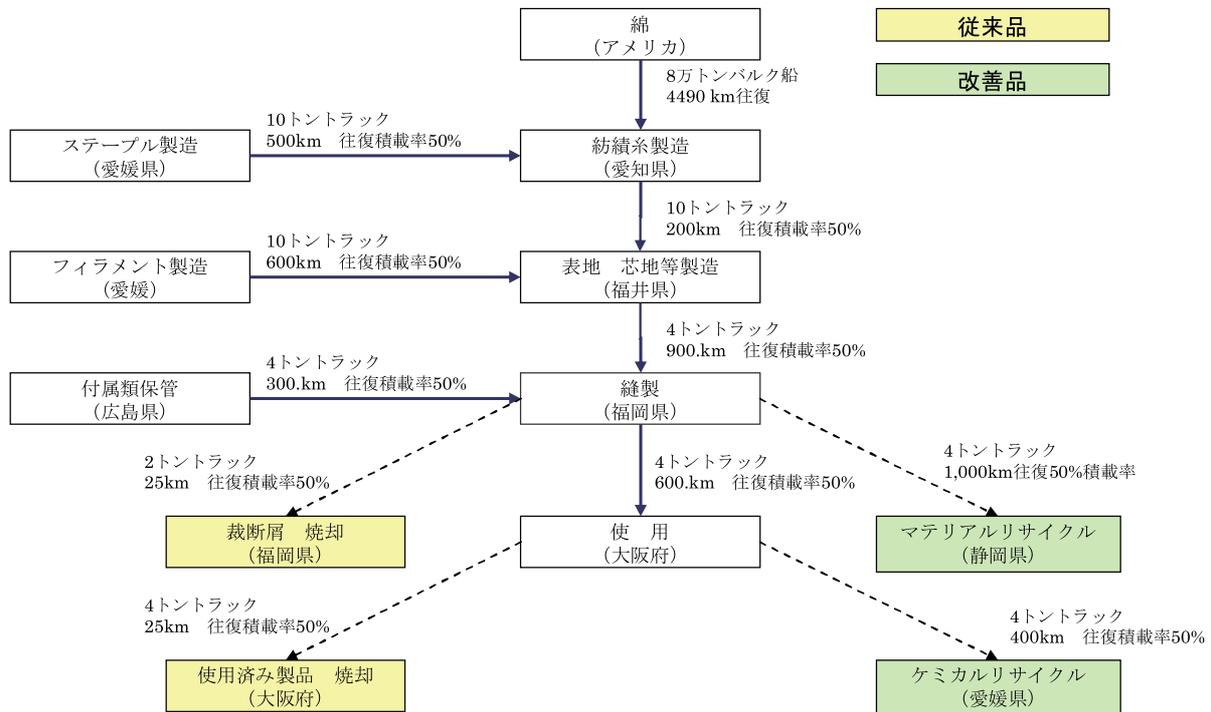


図3：輸送シナリオ

図3において、従来品・改善品に共通する輸送シナリオは統一表記していますが、製造及び処分段階では輸送シナリオに相違が生じる為、相違点は色分けして別個に記載しております。焼却処分をする場合は、廃棄物の発生地点の近隣(輸送距離25kmにて設定)で処分されることとし、再資源化を行う場合はリサイクル施設の立地場所までの輸送を計算しました。尚、CRに関しては、リサイクルの実施場所と再生ポリエステル原料の製造拠点は同一地(愛媛県内)となる為、掛かる輸送負荷は加算していません。

2-7 2つのリサイクル手法

ケミカルリサイクル(CR)、マテリアルリサイクル(MR)の

フローは図4の通りとなります。左図のCRは帝人ファイバー(株)により開発された新原料リサイクルと呼ばれる技術で、ポリエステル製品から染料や添加剤を分離除去し精製することにより、石油から製造するものと同等以上のDMTを回収し再び繊維にリサイクルする水平循環型リサイクルです。これに対し右図のMRは、ポリエステル主体製品のみならず綿やウール等の混紡素材を対象に、反毛と呼ばれる解織工程を経てフェルト化し、自動車用防音材・吸音材等の原料としてカスケード利用するための再資源化技術です。今回の調査における改善品のライフサイクルシナリオでは、使用済みユニフォームの処理をCRとし、製造工程で排出される裁断屑の処理はMRを実施することとしました。



図4：ケミカルリサイクル(左図)・マテリアルリサイクル(右図) フロー図

2-8 インベントリ分析結果

本LCA調査では地球温暖化への影響に特化することとし、着目物質はCO₂・N₂O・CH₄の3物質としました。先に

述べた従来品、及び改善品のインベントリ分析結果に基づき、ライフサイクル全体のインプットとアウトプットを集計した結果が表2となります。

従来品と改善品の比較(1トンあたり)

	項目	単位	従来品	改善品	改善効果	
					改善-従来	改善/従来
イン	エネルギー(特定せず)	MJ	4.60E+03	4.57E+03	-2.23E+01	99.5%
	原料炭	kg	5.19E+02	5.16E+02	-2.97E+00	99.4%
	一般炭	kg	1.68E+03	1.65E+03	-2.59E+01	98.5%
	天然ガス	kg	1.09E+03	1.07E+03	-1.62E+01	98.5%
	天然ガス液	kg	1.16E+00	1.16E+00		100.0%
	原油	kg	3.80E+03	3.55E+03	-2.47E+02	93.5%
	ウラン(資源)	kg	1.58E-01	1.58E-01	-4.16E-04	99.7%
	水	kg	1.87E-01	1.76E-01	-1.03E-02	94.5%
	アルミニウム(資源)	kg	9.18E-02	8.67E-02	-5.05E-03	94.5%
	銅(資源)	kg	1.99E-02	1.88E-02	-1.10E-03	94.5%
	鉛(資源)	kg	7.20E-04	6.80E-04	-3.97E-05	94.5%
亜鉛(資源)	kg	4.82E+00	4.82E+00	-2.22E-04	100.0%	
アウト	CO ₂	kg	2.06E+04	1.77E+04	-2.89E+03	86.0%
	CH ₄	kg	8.01E-01	7.62E-01	-3.94E-02	95.1%
	N ₂ O	kg	8.35E-01	8.04E-01	-3.03E-02	96.4%

表2：インベントリ分析結果

2-9 インパクト評価

表2における着目3物質のアウトプット量を、地球温暖化係数としてGWP100(IPCC100年指数：2007年版)を用

い特性化(CO₂換算値として指標化)し棒グラフで示したものが図5となります。

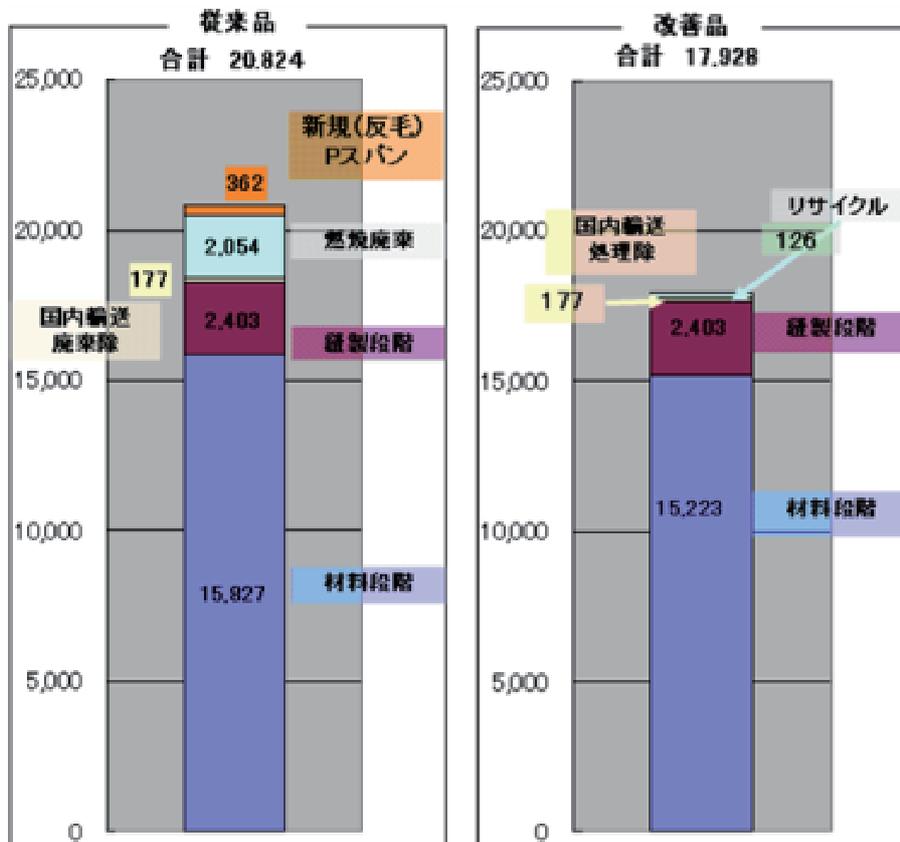


図5：特性化後の温暖化影響比較(全体) 単位：kg-CO₂eq

従来品と改善品の各々のライフサイクルにおいて、全体の温暖化への影響指数を積算し比較した場合、従来品の20,824に対し改善品は17,928となり差し引き2,896の温暖化影響が削減でき、全体として約13%の改善効果が得られる結果となっています。また、従来品・改善品のいずれの場合でも材料段階の環境負荷がライフサイクル全体の3/4以上となるため、今回のような国内縫製で製造されるユニフォームの場合は、材料(生地等)製造段階の環境負荷が相対的に高いことが読み取れる結果となりました。

次に、ライフサイクル全体ではなく、改善品・従来品の相違点のみを抽出し比較した結果を図6、図7に示します。

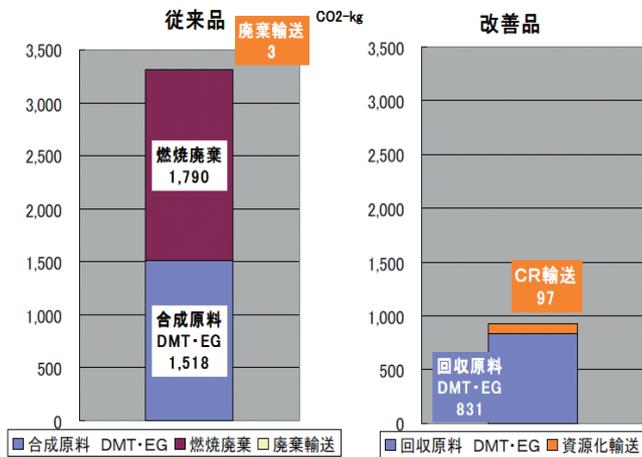


図6：表地製造と使用済みユニフォームの処理

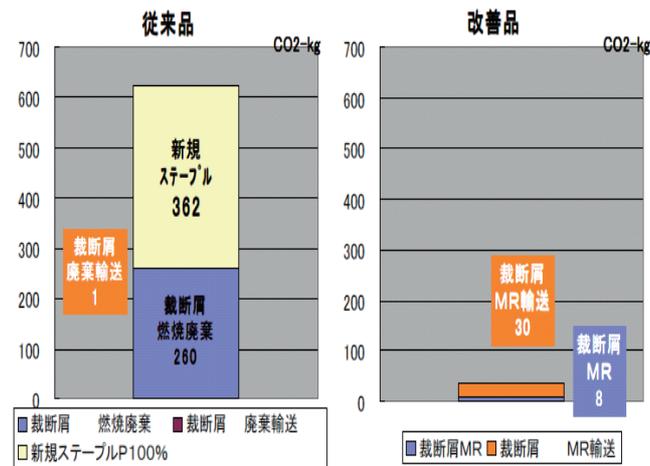


図7：裁断屑の処理

図6には、表地の原料製造(バージンorリサイクル)に掛かる負荷及び使用済みユニフォームの処分方法(焼却orリサイクル)を積算し表記しました。原料段階で比較した場合、従来品1,518に対し改善品831となり約4割強の削減効果が

ありますが、ここで最も着目すべき点は、使用済みユニフォームを焼却廃棄した場合の負荷が1,790となっており、バージン原料の製造とほぼ同等、リサイクル原料の製造との比較では約2倍の負荷が掛かるという点です。

図7は、裁断屑の処理方法を比較した棒グラフです。従来品には、裁断屑を焼却し且つ改善品と同等のものをバージン原料から製造する場合の負荷を加算しました。これに対し改善品は裁断屑をMRした場合の負荷となりますが、両社を比較した場合は9割以上の削減率となりますが、図6の縦軸最大値との比較で分かる通り、量的効果はさほど高くない結果となります。

2-10 感度分析

本調査では、従来品の処分は全て焼却処分されることとしましたが、ユニフォーム着用企業等の処分方法を鑑みた場合、単純焼却処理をされている事例はむしろ少なく、再資源化に至らないまでも熱回収されている場合も多いようです。ここでは従来品の処分方法を熱回収とし、改善品の処分方法(再資源化)と比較した場合の結果変動を調査しました。

	製品1トン製造のためのPと綿の重量			燃焼による発熱量	
	廃棄屑	使用済製品	計		
単位	kcal/kg	kg	kg	kg	
綿の発熱量	4.90E+03	3.38E+01	2.05E+02	2.39E+02	1.17E+06
ポリエステル発熱量	5.70E+03	1.13E+02	7.10E+02	8.23E+02	4.69E+06
計					5.86E+06

ファスナー、ドット鈕、袋、平ゴムは評価せず) (1kcal 1.16E-03 kwh)

表3：綿、ポリエステルの燃焼による発熱量

発電効率	単位kwh	環境影響
10%の場合	6.81E+02	2.88E+02
20%の場合	1.36E+03	5.75E+02
30%の場合	2.04E+03	8.63E+02
50%の場合	3.41E+03	1.44E+03

表4：燃焼発熱量の電力換算表

調査対象品本体、及び製造工程で排出される裁断屑の綿とポリエステルを焼却した場合に得られる発熱量は表3の通りです。燃焼した場合の発熱量を10%、20%、30%、並びに50%の発電効率で回収した場合のCO₂排出量を03年度の排出係数全国平均値から算出し表4に示し、改善品との

差、及び削減率を表5に示しました。発電効率がいずれの場合であっても、熱回収より再資源化を行う方が地球温暖化への影響は低くなることが判りました。以上を踏まえ、図8では従来品(単純焼却)、電力回収(熱回収品)、改善品(再資源化)のCO₂排出量を色分けし、棒グラフで示しております。

	従来品	発電率	低減	回収後	改善品	改善-回収後	改善/回収後
地球温暖化	2.09E+04	0%	0.00E+00	2.09E+04	1.79E+04	-2.97E+03	85.8%
	2.09E+04	10%	-2.88E+02	2.06E+04	1.79E+04	-2.68E+03	87.0%
	2.09E+04	20%	-5.75E+02	2.03E+04	1.79E+04	-2.39E+03	88.2%
	2.09E+04	30%	-8.63E+02	2.00E+04	1.79E+04	-2.11E+03	89.5%
	2.09E+04	50%	-1.44E+03	1.95E+04	1.79E+04	-1.53E+03	92.1%

表5：熱回収した場合と改善品の比較

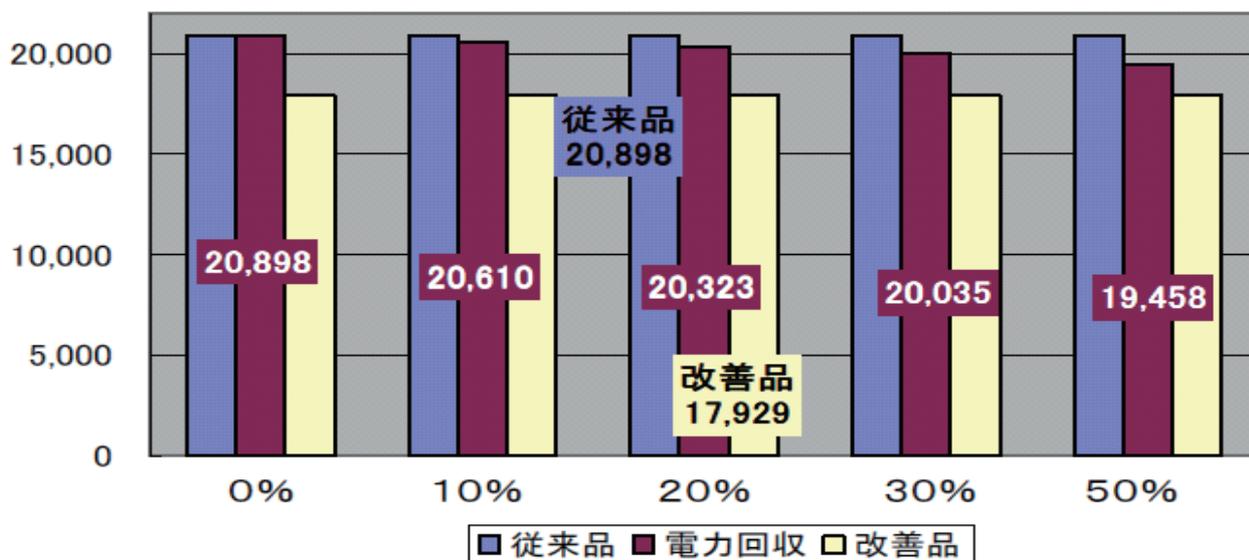


図8：従来品（焼却処分）、熱回収した場合、改善品（再資源化）のCO₂排出量比較
単位：kg-CO₂

3. まとめ

完成度を高める必要はありますが、従来品と改善品の地球温暖化への影響を定量比較した場合、改善品の環境負荷低減効果を立証する結果となりました。特に、ユニフォームの処分の仕方（焼却か再資源化か）が環境負荷に大きく影響することが判明しました。

今後は、他製品（ウール混紡品等）へ調査対象を拡充し、またアイロン使用や補修対応した場合等、ユニフォームの使用段階に係わる環境負荷の定量化にも努めて参りたいと思っております。

【奨励賞】

竹村製作所におけるLCA

株式会社竹村製作所
技術部 設計課 坂田 和弥

1. はじめに

弊社は長野市に本社を有し、冬期間に水道の凍結を防止することが可能な給水器具「不凍水抜き栓」「不凍給水栓」を製造販売しています（図1）。一般的には聞き慣れない名称ですが、これら不凍栓以降の配管内の水を排出することで凍結を防ぐといった機能を有しており、主に水道凍結の恐れがある寒冷地においてご利用いただいております。水道の凍結防止方法としては他に電熱ヒーター等による保温方式、常時流水させる流動方式などがあげられます。



図1：各種不凍栓

弊社では、環境適合設計の必要性に着目し、長野工業試験場（現在名：長野工業技術総合センター）の御指導のもと、平成15年度より4年間にわたってLCA、LCC、FCAの手法を学んでまいりました。またその実践として、平成18年に一部製品についてエコリーフラベル公開、19年度の製品GP事業におけるレビュー受審等の活動を行ってまいりました。また一方、水環境事業部においては主にろ過装置の製造販売を行っておりますが、環境配慮製品として、エコマーク認定を受けた雨水貯留タンクを製造販売しております（図2）。



図2：雨水貯留タンク

2. 背景

平成15年度より、鉛に対する水道水質基準が0.05mg/lから0.01mg/lと変更になり、弊社においても主要材質に青銅铸件（Cu85：Zn5：Sn5：Pb5）を使用していることより、基準を満たすために何らかの対策を取らなければならなくなりました。対策としては、鉛の代替物質としてビスマス、セレンを含んだ鉛レス材へのシフト、あるいは部品表面の鉛をアルカリエッチングにより除去処理して鉛溶出量を低減させるNPb処理といった方法があり、弊社ではNPb処理で対策することが決定していました。当時LCAを学び始めたばかりで、出てくる言葉の意味さえもわからない状態でしたが、いったい環境影響が小さいのはどちらだろう？LCAを使えばはっきりするかも、といった素朴なきっかけで、環境適合設計への取り組みを支援していた長野工業試験場の研究会に属し、LCAへの取り組みが始まりました。

3. LCAへの取り組み

とはいえ、研究会ですでにLCAを学んできた方達が、LCCについて検討していきましょうといった段階

でした。その年はLCCについて学んだ1年でしたが、使用・廃棄段階でのコストがほとんどないといった弊社製品にとってのLCCは製品原価計算をしたに過ぎませんでした。これでは日常の原価算出と同じだなといった印象を受けていました。ただ、LCCを実施する上で製品のライフサイクルを細分化して明確化していました。そのことが後に役立つことに気付いてはいませんでした。

次年度の研究会ではFCAについての検討となりました。当然ですがFCAを行うにはLCAの結果が必須となります。LCCしか行っておらず、『LCAって具体的にどうやるの?』状態の私どもにはこの年非常に負荷が大きかったことを記憶しています。昨年のLCCでライフサイクルフローを細分化できていた分、またISO14000の活動によりデータが蓄積されていたことで社内データの拾い出しは比較的スムーズにできました。LCAソフトの使い方も研究会の助けを幾度となく受けつつ、何とか結果を出すことはできましたが、まだ理解しているといった状況ではありませんでした。

研究会に属して3年目、参加者のスキルに合わせてのLCA・FCAの検討となりました。私どもは再度FCAに取り組むこととし、3年目のこの年でLCAの概要を理解するに至りました。

4. LCAを用いた比較検討

以降では研究会に属していた際に行った、冒頭で述べた鉛溶出対策におけるFCA手法を用いたフルコスト比較検討の結果を示します。FCAの実施手順は図3の通りです。

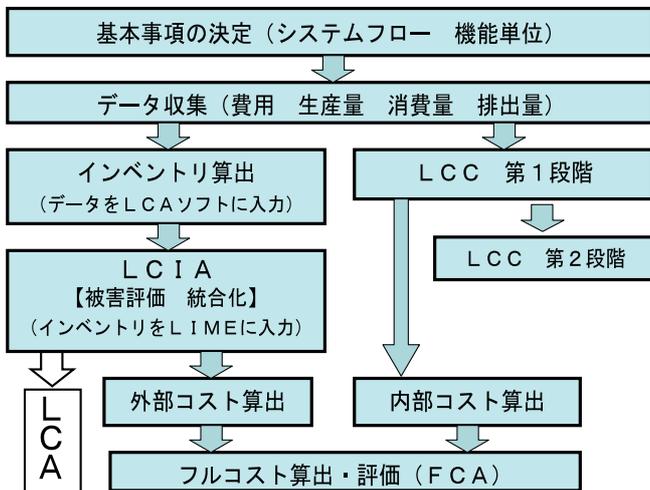


図3：FCA実施の手順

4-1 LCA実施の目的

不凍水栓柱をモデルとして、未対策である旧来の製品、NPb処理をした現行製品、今後普及するであろう鉛レス材を使用した想定製品の3者について、製品のライフサイクルにおける環境側面と経済的側面を融合した評価手法であるフルコストアセスメントを用いて、各モデルのフルコストの比較を行います。

4-2 対象製品の概要

製品名：不凍水栓柱 D-X型 20mm×13mm×1.0m (図4)

未処理品 (旧来製品) ……鉛の含有率が2～6%程度ある銅合金部品を未処理で使用

NPb処理品 (現行製品) …表面に介在している鉛をアルカリで除去し、鉛の浸出を低減させた銅合金部品を使用

鉛レス材品 (想定製品) …鉛の含有率が0.25%以下の銅合金部品を使用

製品の機能：一般住宅用屋外水栓柱において冬期凍結の恐れがあるとき、手動操作により内部の水を排出し凍結防止を行う機能。

耐用年数10年、年間操作回数120回

(排水量300ml/回、冬期間1日1回の操作)



外觀

使用状態

図4：評価対象製品

4-3 システム境界

システム境界は、不凍水栓柱の素材製造から部品製造、組立、輸送、使用、廃棄（埋立）段階としました。なお、使用時における施工に関しては状況により異なるため対象外とし、同様に使用時において蛇口から実際に使用される水道水も対象外としました。また、組立段階は個数配分を行っています（図5）。

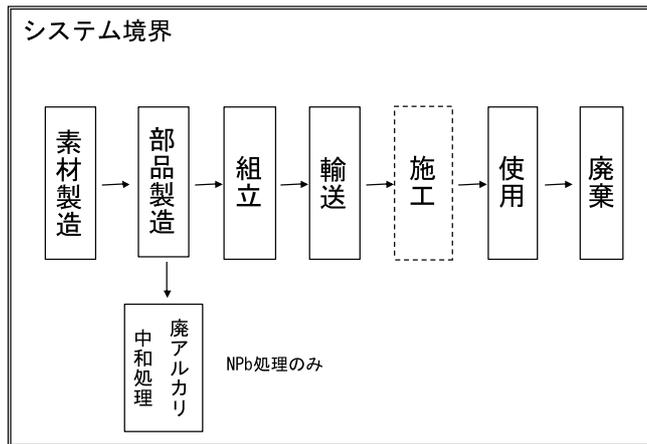


図5：システム境界

4-4 インベントリ分析

CO₂とPbについての結果を示します（図6）（図7）。CO₂排出量を比較すると、大きな差は見られませんが、NPb処理品においてその処理における排出量が加工・組立プロセスの増分として表れています。一方Pbについては、鑄造時における大気圏排出、使用時におけるPb溶出水の土壌圏排出といった排出圏ごとに比較を行いました。その結果、3者間に明らかな差違があることが明らかとなりました。

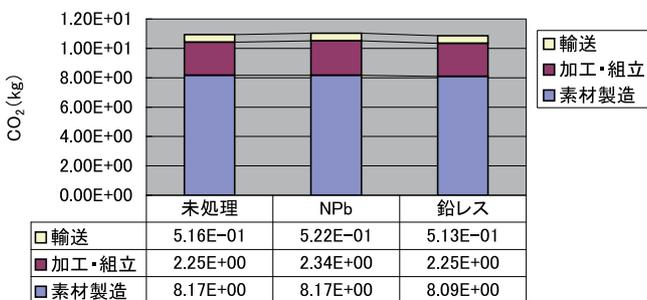


図6：CO₂排出量の比較

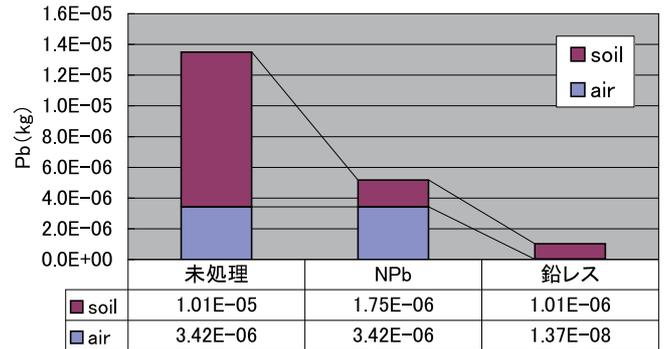


図7：Pb排出量の比較

4-5 LCIAの実施

LIME（被害算定型環境影響評価手法）にて特性化・被害評価および統合化を行ないました。特性化では資源消費、地球温暖化、生態毒性といった影響領域11項目において比較をおこなったところ、人間毒性をはじめとした毒性に関する項目で各モデルにおける差が顕著に表れました。

次いで社会資産・人間健康といった4項目に対する被害評価比較を行なったところ、社会資産・一次生産といった項目においては各モデルにおける差はほとんど無いものの、人間健康・生物多様性といった項目でははっきりとした差が現れました（図8）。この結果を物質毎で表したところ、鉛による影響が有意差として現れていることが明らかとなりました。

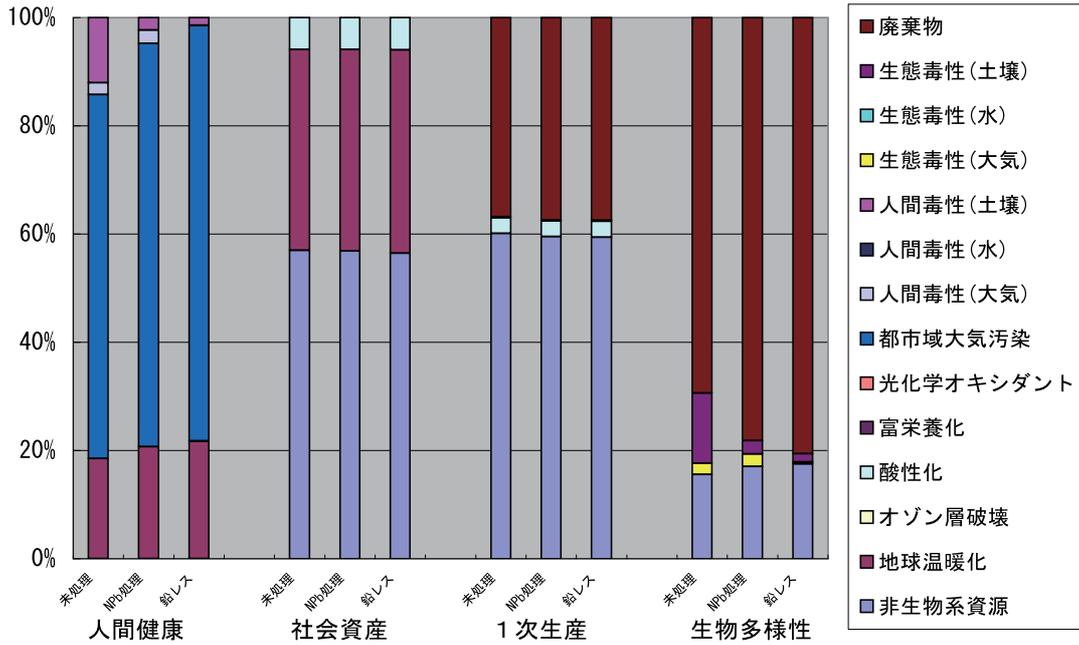


図8：各カテゴリにおける比較

4-6 外部コストの算出

最後にこれら結果に対して統合化を行ない、単一指標である金額ベースとなる円で表現される、F C Aにおける外部コストを比較したところ、未処理品>NPb処理品>鉛レス材品となりました(表1)。この差の要因は、人間毒性の差や鉛が土壌に与える環境影響によるものであることが、プロセスごと(図9)ならびにカテゴリごと(図10)の内訳から分かりました。

	未処理	NPb処理	鉛レス
外部コスト	¥85.1	¥80.5	¥76.3
NPbとの差	△¥4.6	—	▼¥4.2

表1：外部コスト

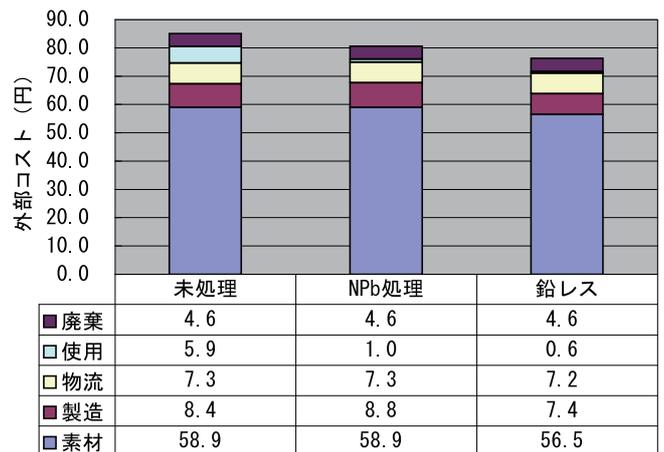


図9：プロセスにおける外部コストの内訳

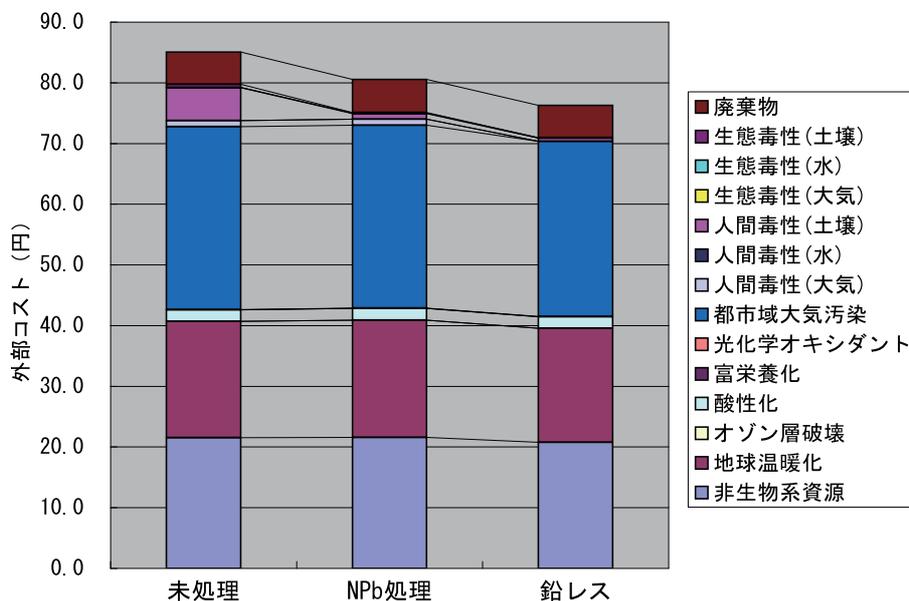


図10：カテゴリにおける外部コストの内訳

4-7 LCCの実施

LCCの実施は、第1段階として製品組立までのプロセスの積算値として製品定価を適用し、分析を行ないました。

その結果、製品製造までが最も高く、ライフサイクルコストのほとんどを占めているといった結果が得られました。次の第2段階では最もコストの高かった製品製造までのプロセスについて分析を行ないました。それぞれの部品についてまでの調査を行なっておりますが、結果についてはここでは割愛させていただきます。

4-8 フルコストの比較

比較結果は、未処理品<NPb処理品<鉛レス材品となりました(表2)。

	内部コスト	外部コスト	フルコスト	NPb処理との差	外部コストが占める割合
未処理	¥24,336	¥85.1	¥24,421.1	¥-225.4	0.35%
NPb処理	¥24,566	¥80.5	¥24,646.5	¥0.0	0.33%
鉛レス	¥25,346	¥76.3	¥25,422.3	¥775.8	0.30%

表2：フルコスト

今回のケースでは、鉛溶出に対する対応方法の違いにより外部コストが変動し、その変動の要因は鉛の環境影響が主であり、特に生態系に対する鉛の影響であることが明確となりました。

外部コストとプロセスの関係に注目すると、その大部分は素材製造プロセスが占めていることも明らかとなりました。これは製品の特徴でもある、使用に際しエネルギーを全く使用しないことによることが要因と考えられます。

なお、フルコストに占める外部コストの割合は約0.3%とわずかであり、当初予想していた鉛レス化によるフルコストの逆転までには至りませんでした。

5. まとめ

LCAを行うことにより、環境負荷低減にあたってどのプロセスあるいはどの素材に注力すべきかが明確となり、環境適合設計を効果的に実施する際の重要なポイントとして得ることが可能となりました。また一方、フルコストを算出することにより、各モデルにおける経済的視点・環境的視点それぞれからの同時比較が可能となりました。特に統合化によって表現される外部コストについては、環境調和型製品として設計・製造・販売する際の客観的なデータとなり、意思決定の判断材料や顧客へのアピールなどその

活用方法は多岐にわたるものと考えられます。

弊社においては、今後これらLCAあるいはFCA手法を社内に浸透させて製品設計に適用し、得られたデータを有効利用していくとともにまた、社内EMSとリンクした継続的環境活動となるようなシステム作りを目指します。

【奨励賞】

設計プロセスへのLCA導入：住宅用換気システムの事例

Application of LCA for design process: Case study of ventilation system

東プレ岐阜株式会社

品質管理課 濱田 忠美

1. 背景

近年の住宅は、高気密・高断熱が大きな特徴となっており、冷暖房効率や静粛性は従来に比較し、大きく改善されています。一方で、高気密であるがために、建材・家具・生活用品などから発生する揮発性有機化合物の滞留等が問題となっています。

上記の両立を図るために、平成15年7月に改正された建築基準法において、原則すべての建築物に24時間稼働の機械式換気システムの設置（一般住宅の場合、換気回数0.5回/h以上）が義務づけられました。これにより住環境は改善されましたが、本システム導入による環境負荷増加も考えられます。そこで、本事例では、その環境影響低減のための設計改善プロセスを検討しました。

2. 環境配慮設計への取り組みに関する現状

多くの企業が、自主的な環境保全への取り組みの軸として活用する環境マネジメントシステムでは、間接側面（直接管理できなくとも影響を及ぼすことができる環境側面）の検討が要求事項になっています。

一方で、中小規模の川中企業では、環境管理の専門部署を設ける企業は少なく、もしくは設けていても事務局業務に追われ、間接側面への配慮を効果的にできていないように思われます。

また、製品設計プロセスにおいては時間的、人的制約から品質VOC (Voice Of Customer) 優先で進みがちで、環境配慮は、簡易的なアセスメント方式が取られることが多いと思われれます。例えば、東プレ岐阜(株)では、「省エネ設計」「リサイクル設計」「環境保全」をライフサイクルの段階を特定せず、配慮項目を現モデルとの比較で評価し、重要度（影響の大きさ、頻度）まで含まず、すべての項目で同等以上の評価が得られた段階で完了となっています。

そこで、東プレ岐阜(株)における、より効率的な品質VOCへの環境配慮の折り込み、およびライフサイクルを通じた注力（改善）ポイントの明確化を目的に、経済産業省委託事業「製品グリーンパフォーマンス高度化推進事業」¹⁾へ

参画し、LCAおよびQFDE（環境調和型品質機能展開）の手法導入を試みました。

3. 方法

3-1 評価対象と機能単位

評価対象の製品システムは、大手ハウスメーカーへ出荷する24時間換気システムとし、送風効率を改善した新モデルとの比較を検討しました。機能単位は、品質保証スペック「88m³/h×24時間の換気×5年間」としました。これは、平均的な平屋建て住宅に設置されるタイプです。ただし、対象製品システムは、換気システム本体の素材・部品製造、加工、使用、廃棄までとし、リターングリル、ダクト等の附属品、及び梱包材は除外しました。

評価した環境影響領域は、地球温暖化、資源消費、固形廃棄物物理立量とし、また、日本版被害算定型環境影響評価手法(LIME)を用いて統合化を実施しました。

	重量	給/排気システム風量	消費電力
旧モデル	13.5kg	88/88 m ³ /h	—
現モデル	11.5kg	88/88 m ³ /h	▲15.6%

スペックは、50Hz強タップ時
旧モデル/現モデルは、現時点

表1：対象製品システム

3-2 評価手順

フォアグラウンドデータを下記手順で収集しました。

素材・部品製造段階：2006年の調達先の地域に応じて、調達先よりデータを入手しました。

加工段階：設備の電力定格等から消費電力を設定しました。ただし、工場における空調等 付属機器の電力消費量は除外しました。

使用段階：種々の使用条件が想定されますが、標準的な機器の定格運転（24時間×機器保証5年）としました。

廃棄段階：家と共に解体され、埋め立てられるとしました。実際は回収され、リサイクルに回される場合がほとんどと思われれますが、最悪のケースを想定しました。

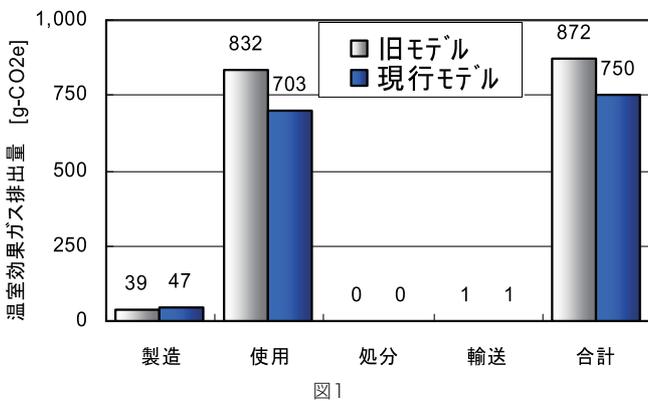
LCA計算ソフトおよびバックグラウンドデータは

JEMAI-LCA Pro ver.2.1.1を用いました。

4. 結果

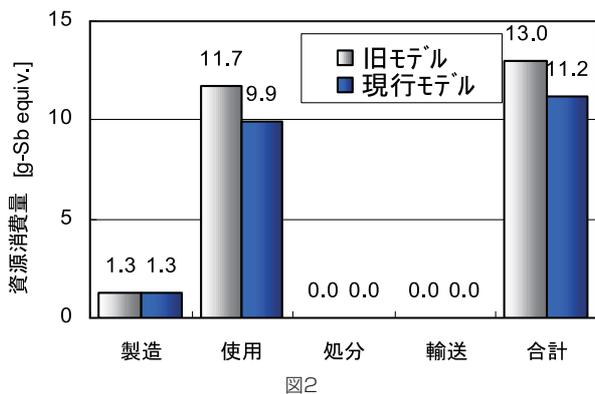
4-1 地球温暖化

現／新モデルにおいて、使用段階における電力消費による影響が最も大きいことが分かります（図1）。また、ファン形状の改善による送風効率向上により、使用時の温室効果ガス発生量を15%改善できました。使用材料の変更により製造時の影響は増加したものの、使用段階による影響が圧倒的に大きいため、ライフサイクル全体では14%の改善が実現しました。



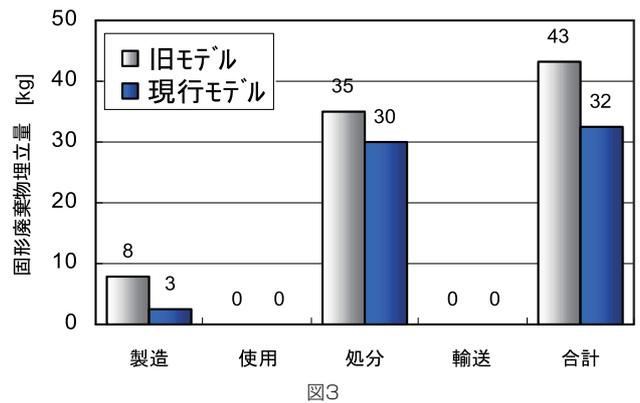
4-2 資源消費

地球温暖化への影響と同様に、使用段階の影響が大部分を占めていることが分かりました（図2）。使用段階の効率が向上しつつも製造段階の影響はほぼ変化がなかったため、ライフサイクル全体では14%の改善が実現しました。



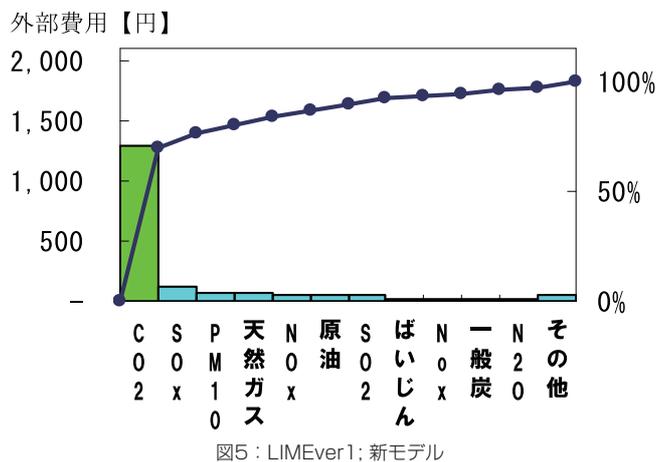
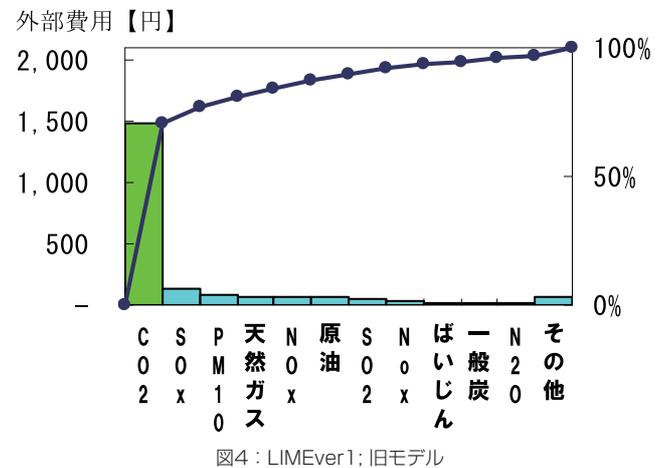
4-3 固形廃棄物埋立量

使用済製品を埋立処理するとして評価したため、廃棄段階における影響が最も大きくなりました（図3）。ただし、現／新モデルで比較すると、軽量化の効果により、ライフサイクル全体では25%の改善が実現しました。



4-4 統合化

地球温暖化と資源消費は、使用段階が圧倒的な影響を占めましたが、固形廃棄物埋立量では、廃棄段階の影響が大きくなりました。そこで、より簡易に優先順位を決め、設計者へ迅速に情報をフィードバックするために統合化を実施しました（図4、図5）。その結果、両モデルにおいてCO₂、SO_x等の電力消費に由来する影響が大部分を占めることがわかりました。本結果を、設計初期段階での仕様（改善ポイント）検討において効率的なツールであるQFDE適用時に活用することとしました。



5. 結論

統合化まで実施したことにより、ライフサイクルを通じた、効率的な改善実現を思考できました。

統合化の結果は、QFDEでの仕様検討における重み付けの根拠として活用することにより、多くの（仕様／人／時間等）制約のある、中小規模の川中企業の設計プロセスでは、非常に有益なツールであると判断できました。

【引用文献】

産業環境管理協会：平成18年度製品グリーンパフォーマンス高度化推進事業報告書<<http://www.gp.jemai.jp/>>
(2007)

【奨励賞】

炭素繊維活用による環境改善効果の定量化 —LCA（ライフサイクルアセスメント）の重要性—

東レ株式会社
ACM技術部

主幹 松久 要治

1. はじめに

私ども素材産業は、素材製造時に排出される温室効果ガスの削減、省エネルギー・リサイクル技術などの開発を進めると同時に、素材セクターのみでなく全セクタートータルに環境負荷を軽減する、新素材の開発を進めています。

図1に温室効果ガスなど環境負荷について、主要セクター毎に位置づけを整理します。素材セクター、製品を作る加工組立セクター、製品を使用する民生セクター、およびそれらのセクターにエネルギーを供給する電力セクターがあります。たとえば軽量化素材としては、特殊鋼・炭素繊維などが自動車・航空機の環境負荷低減に役立っていますし、また太陽電池用のシリコン素材は、クリーンエネルギー創出の代表的な例です。このように新素材による環境改善効果は、その使用時に素材セクター以外のセクターで発現されます。

したがって、素材の環境に対する影響を評価するためには、組立、使用なども含めた環境に対する影響を定量的に評価することが、重要となります。



図1：素材産業による環境負荷低減への貢献

このような素材の組立、使用など他のセクターでの環境改善効果も含めた環境への影響を評価する手法としてLCAがあり、図2に示すように、原料から、素材・組立・使用・廃棄までのライフサイクルを通した環境負荷低減効果を総合的に評価することができます。

環境改善のための新素材は、従来素材に比べて素材製造

時の環境負荷が増大する場合がありますが、組立・使用・廃棄といったライフサイクルでの環境負荷を大幅に低減することにより、環境改善を果たしています。

図2下の概念図のように、たとえば新高張力鋼は、自動車に適用される際に従来材に比べて素材製造時の二酸化炭素排出量は増大しますが、軽量化による燃費向上で使用時の二酸化炭素排出量を削減することができます。また新断熱ガラスを住宅に適用することにより、従来材に比べて素材製造時の二酸化炭素排出量は増大しますが、使用時の放熱を防ぐことにより、住宅からの二酸化炭素排出量を削減することができます。

このように素材の環境負荷を評価するためには、素材が使用される製品のライフサイクル全体の環境負荷を、定量的に評価することが重要です。

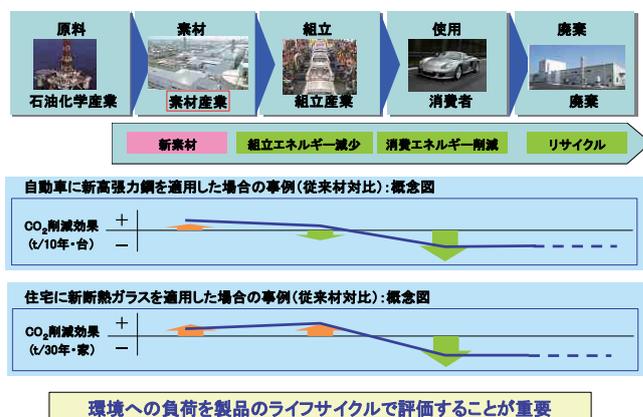


図2：新素材を使用した製品のLCA

素材産業からの低環境負荷社会への提言を、図3に示します。1点目は、製品のライフサイクルを通した環境負荷定量化の推進です。素材の環境改善効果は、その製品の使用時に発揮されますから、素材の環境改善効果を定量的に判断する製品のライフサイクルの評価LCAが重要と考えます。

2点目は、環境改善のための新素材の創出・拡大です。低環境負荷社会を実現するためには、環境改善のための新素材の創出・拡大が必要であり、この新素材の創出・拡大は、科学技術創造立国・環境立国日本の技術を支えます。

3点目は、廃棄物のリサイクルと収集・物流を含む社会インフラ整備です。これにより新素材の環境改善効果がさらに向上します。

4点目は、素材製造において革新的なプロセス開発により、エネルギー使用量を削減し、低環境負荷素材を提供していくことです。

1. 製品のライフサイクルを通じた環境負荷定量化(LCA)
2. 環境改善新素材の創出・拡大
3. 廃棄物リサイクルを含む低エネルギー社会インフラの整備
4. 革新プロセス開発による素材製造時のエネルギー使用量削減

図3：低環境負荷社会への提言

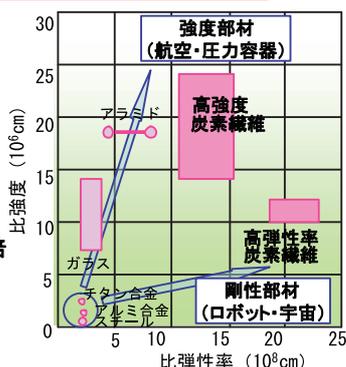
2. 炭素繊維について

炭素繊維は、図4左上に示すように、鉄に比べて比重が1/4と軽く、引張強度を比重で割った比強度が鉄の10倍と非常に強い材料であり、製品の軽量化に貢献しています。

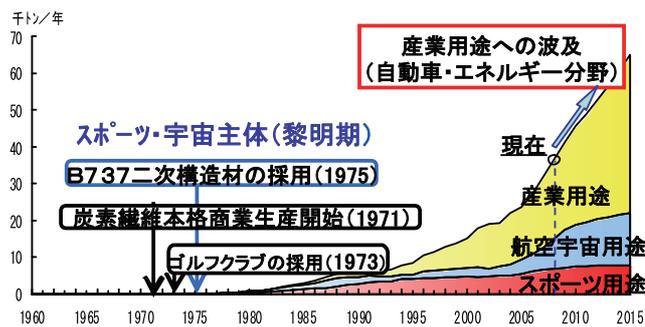
右上の図は、炭素繊維の世界の用途別需要量の推移を示します。生産が開始された1970年代の黎明期にはゴルフクラブや人工衛星など限定的に使われていましたが、その後航空宇宙用途、産業用途で急激に広がり始めました。炭素繊維の製造は、下の図に示すように、原油からアクリロニトリル、アクリル繊維を作り、それを1000℃から3000℃といった高温で焼成・炭化し、炭素繊維とするため、製造時には多大なエネルギーが必要となります。

炭素繊維の軽量化ポテンシャル

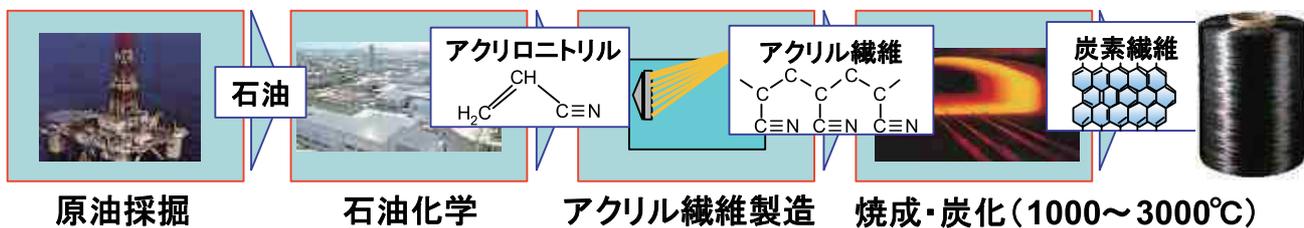
1. 軽い
…比重は鉄の1/4
2. 強い
…比強度は鉄の10倍
3. 剛い
…比弾性率は鉄の7倍
4. 錆びない



急成長する炭素繊維産業



炭素繊維は比強度・比弾性率に優れ、今後大きな成長を期待



炭素繊維製造には、アクリル繊維の焼成・炭化に多大のエネルギーが必要

図4：日本がリードする炭素繊維産業とその将来性

炭素繊維がどのような用途に使われ、地球温暖化対策に貢献しているかを示します。図5に示すように、航空機や自動車の軽量化、バス・トラックの圧縮天然ガス(CNG)用軽量タンクなどにより、CO₂排出削減に貢献してい

ます。また、風車や原子力発電用ウラン濃縮の効率化、さらに燃料電池自動車に必要な高圧水素タンクおよび電極材として、クリーンエネルギー製造に貢献しています。

環境負荷低減

軽量化

航空機

B787

MRJ

■ がCFRP(構造重量の50%)

日の丸ジェットもCFRP

自動車

欧州軽量車はCFRP

1/XはCFRP

クリーンエネルギー製造

効率化

羽根断面

CFRP

回転胴

軽量高剛性により直径100mを実現

風車の大型化

軽量高剛性により高速回転を実現

ウラン濃縮回転胴の高速化

CFRP(緑部)

代替燃料システム

バス・トラック

CFRP製CNGタンク

軽量高強度により軽量タンクを実現

CNGで低CO₂排出量を実現

特殊機能

CFRPで内圧700気圧を実現

高圧水素タンク

CFRP

軽量電極材として利用

燃料電池

CFRP

(CNG: Compressed Natural Gas、圧縮天然ガス)

(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics、炭素繊維強化プラスチック)

炭素繊維は使用時の環境負荷低減およびクリーンエネルギー製造に貢献

図5：地球温暖化対策に貢献する炭素繊維（1）

フェリー船体

CFRP

航空機エンジンケース

CFRP

トラック架台ウイング

CFRP

自動車エンジンフード

CFRP

軽量高剛性タイヤ

CFRP Rubber (ゴム補強)

自動車プロペラシャフト

CFRP

鉄道橋脚補強

CFRP

道路橋デッキ補強

CFRP

図6：地球温暖化対策に貢献する炭素繊維（2）

さらに図6に示すように、フェリーの船体、航空機エンジン部材、トラックの架台、自動車のフード、タイヤ、プロペラシャフトなどに使われるとともに、鉄道橋脚・道路

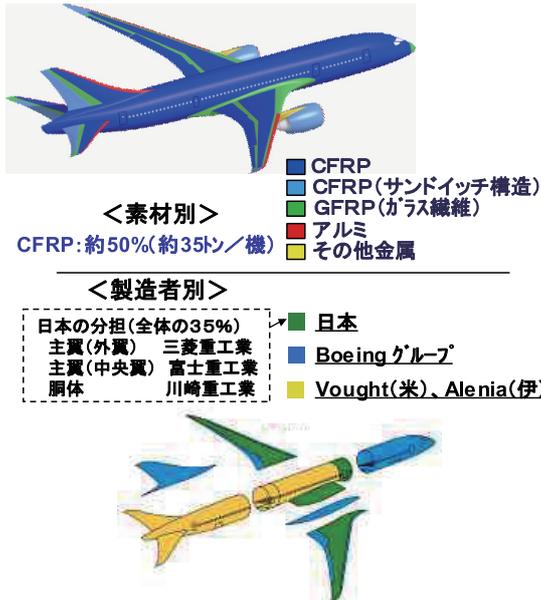
橋デッキなどの補強材としても使われ、重機のいらない環境負荷の小さい施工を可能としています。

航空機用途については、図7に示すように、次世代環境対応旅客機であるボーイング787はオールコンポジットの飛行機とも言われており、胴体・主翼等を含みます全機体重量の約50%が炭素繊維強化複合材料でできており、1機当たり約35トンの炭素繊維強化複合材料を使います。このような炭素繊維複合材料からなる機体の35%

は、日本の重工メーカー3社で製造されます。

また、環境適応型高性能小型旅客機MRJも、三菱重工(株)を中心に開発が進んでおり、日本の先端素材・炭素繊維と高度ものづくり技術を融合させ、環境改善としてCO₂削減に貢献します。

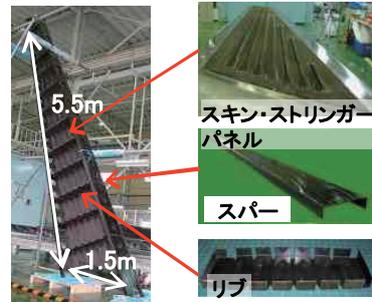
次世代環境対応旅客機 ボーイング787



MRJ(環境適応型高性能小型航空機)



CFRP使いの軽量化により環境適応



日本の先端素材炭素繊維と高度ものづくり技術を融合させ、環境改善を実現

図7：地球温暖化対策に貢献する炭素繊維（3）

炭素繊維メーカーの推移

参入企業	1970年	1975	1980	1985	1990	1995	2000	現社名
東レ	[Active]							東レ
東邦レーヨン	[Active]							東邦テナックス
三菱レイヨン	[Active]							三菱レイヨン
日本カーボン/旭化成	[Active]							X
Hercules	[Active]							Hexcel
Great Lakes / Akzo	[Active]							X
Celanese / BASF	[Active]							X
UCC / BP Amoco	[Active]							Cytec
Grafil	[Active]							X
Courtaulds	[Active]							X
Sigri / Hoechst	[Active]							SGL Carbon
Enka / Akzo	[Active]							X
台湾プラスチック	[Active]							台湾プラスチック
韓国製鉄化学	[Active]							X
泰光(韓国)	[Active]							X

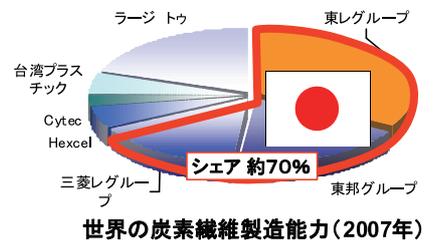
▼：買収による規模縮小 X：撤退または売却

日本が世界をリードする環境改善産業

図8：日本が世界をリードする炭素繊維産業

炭素繊維メーカーの推移を、図8に示します。過去40年に及ぶ炭素繊維の歴史の中で、欧米の大手化学企業も炭素繊維市場に参入してきましたが、研究開発の重みに耐えかねて全て撤退していきました。結局生き残ったのは、日

本の3社であり、現在では世界の炭素繊維の約70%を日本の3社が生産しています。このように炭素繊維産業は、日本が世界をリードする環境改善産業と言えます。



3. 炭素繊維活用による環境負荷低減効果の定量化

航空機に炭素繊維を活用した場合の、ライフサイクルを通じた二酸化炭素削減効果を定量化しました。本検討は、東京大学、神戸山手大学、全日空、ボーイング社様のご協力を得て検討し、炭素繊維協会としてPRしているものです。

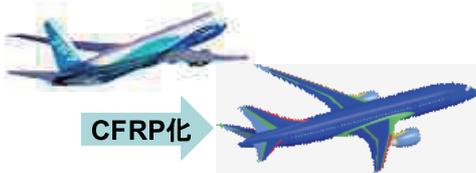
図9に示すように、平均的なジェット旅客機としてボーイング767において、オールコンポジットとして開発が進んでいるボーイング787と同様な構成で炭素繊維を活

用すると約20%の機体構造の軽量化が可能となります。

棒グラフで示すように、航空機ではライフサイクルで排出される二酸化炭素の99%が運航時に排出されますから、軽量化による燃費向上により、10年のライフサイクルで航空機1機当たり2万7千トン（7%）の二酸化炭素を削減できます。1年間に直すと2,700トンの二酸化炭素を削減効果となりますから、日本に保有されるジェット旅客機430機に普及した場合には、年間約120万トンの二酸化炭素を削減できることとなります。

“炭素繊維協会モデル”

航空機



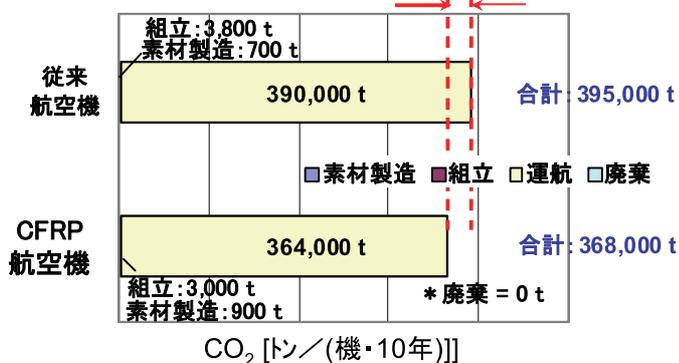
<協力> 東京大学 高橋教授・李家教授、
神戸山手大学 Feuerherd教授
全日空、ボーイング

<前提>

機体：中型旅客機（ボーイング767）国内線仕様
運航：国内線（羽田⇔千歳；500マイル）
生涯運航距離：年間2,000便、10年
（出典：全日空）

**CFRP利用機：CFRP50%適用（ボーイング787の構成）
20%軽量化（従来機対比）**

<ライフサイクルCO₂排出量> 削減効果：27,000トン（7%）



▲2,700トン CO₂削減/(機・年)

日本のジェット旅客機保有数：430(100席以上)

普及時

▲120万トン CO₂削減/年

図9：炭素繊維利用によるCO₂削減効果の定量化

炭素繊維を自動車に活用した場合の効果も、図10に示します。日本の平均的なサイズの乗用車において、炭素繊維を利用すると、約30%の軽量化が可能となります。

棒グラフに示すように、素材製造時の二酸化炭素排出量は増加しますが、軽量化により燃費が向上しますから走行時の二酸化炭素排出量が削減され、10年のライフサイクルで自動車1台当たり5トン（16%）の二酸化炭素を削減できます。1年間に0.5トンの二酸化炭素を削減することとなりますから、日本に保有される乗用車4200万台に将来普及した場合には、年間2100万トンの二酸化

炭素を削減できることとなります。

したがって、日本に保有する航空機と自動車に炭素繊維が普及した際には、航空機120万トンと自動車2100万トンから合計2220万トンとなるので、2006年の日本国内二酸化炭素総排出量（13億トン）の約1.5%に相当する二酸化炭素が削減できることとなります。

“炭素繊維協会モデル”

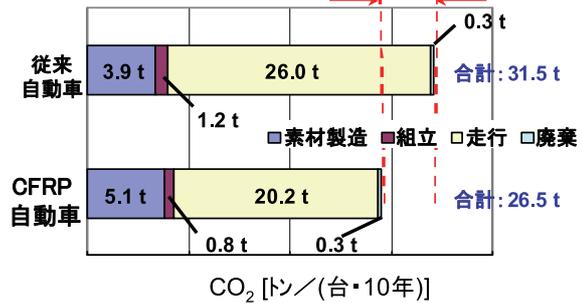
自動車  **CFRP化** 

<協力> 東京大学 高橋教授
神戸山手大学 Feuerherd教授
トヨタ自動車

<前提>
車両重量: 1,380kg*¹ (ガソリン車、4ドア、FF)
実走行燃費: 9.8km/l*¹
生涯走行距離: 9.4万km*² (平均使用年数10年)
(出典: *¹自工会、*²国土交通省)

CFRP利用車: CFRP17%適用、30%軽量化(従来車対比)

<ライフサイクルCO₂排出量> **削減効果: 5トン(16%)**



▲0.5トン CO₂削減/(台・年)

日本乗用車保有台数: 4,200万台(軽除く)

普及時

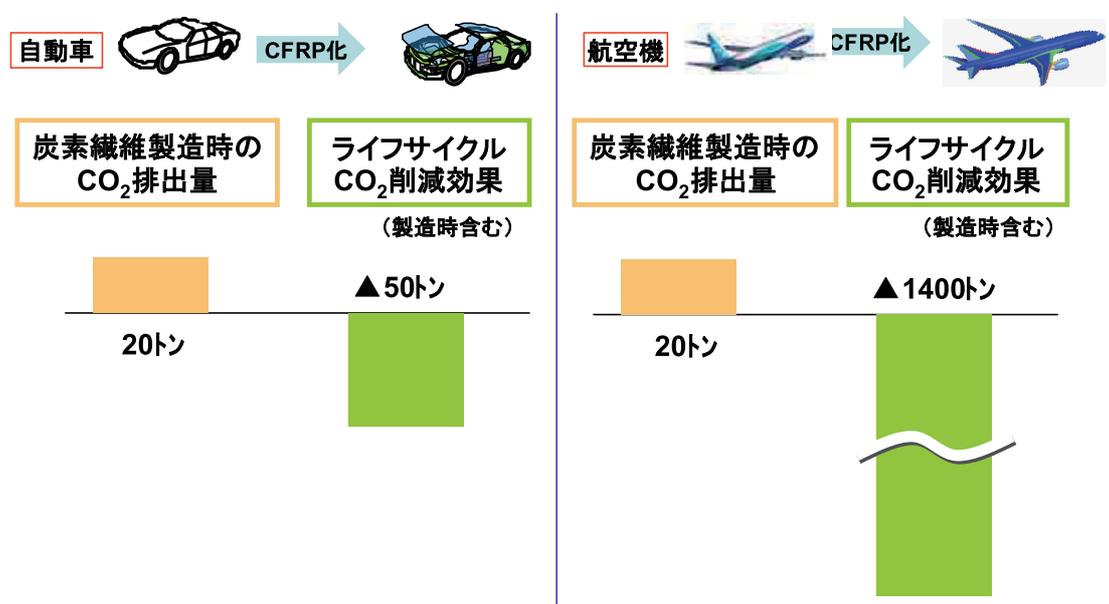
▲2,100万トン CO₂削減/年

(国内  ▲120万トン + 国内  ▲2,100万トン) ÷ 国内CO₂総排出量: 13億トン(2006年) = **▲約1.5%**

CFRP普及時のCO₂削減効果は、日本国内CO₂総排出量(13億t; 2006年)の1.5%に相当

図10: 炭素繊維利用によるCO₂削減効果の定量化

“炭素繊維協会モデル”



炭素繊維利用は地球温暖化対策に大きく寄与

図11: 炭素繊維1トンあたりのCO₂削減効果

このような炭素繊維を自動車および航空機に活用した際の二酸化炭素削減効果を、炭素繊維1トン当たりで整理した結果を、図11に示します。

すなわち、炭素繊維を1トン製造すると約20トンの二酸化炭素を排出しますが、10年のライフサイクルで考えると、自動車の場合には50トン、航空機の場合には1,400

トンの二酸化炭素を削減する効果があることとなります。

このように、炭素繊維は自動車および航空機に利用された場合、製造時に排出する二酸化炭素を大きく上回る削減効果を有しています。すなわち、炭素繊維の利用は、地球環境の改善に大きく貢献すると言えます。

以上のように、素材の環境への負荷を正確に議論するためには、素材製造時の環境負荷だけでなく、ライフサイクルを通じたトータルの環境負荷定量化が重要です。今後の新素材による環境への影響に関する議論においても、LCA的な考え方を十分考慮し、環境に貢献する新素材の創出・拡大にご理解戴ければ幸いです。

最後になりましたが、本検討に対しご指導・ご協力頂きましたトヨタ自動車（株）様、全日本空輸（株）様、ボーイング社様、東京大学高橋教授、神戸山手大学フォイヤヘアト教授、炭素繊維協会様に改めて御礼申し上げます。

LCAインフォメーション

行 事 名 称	開催日 (発表申込期間)	開 催 場 所	主催者/ホームページ
第4回日本LCA学会研究発表会	2009年3月5日~7日 (2008年12月18日~ 2009年1月15日締切)	北九州国際会議場	日本LCA学会 http://ilcaj.snitt.or.jp/
Eco-products International Fair 2009	2009年3月19日~22日	Manila, PHILIPPINES	APO http://www.apo-tokyo.org/index.htm
第23回環境工学連合講演会	2009年4月16日~17日	日本学術会議講堂	日本機械学会 http://www.env-jsme.com/
Third International Conference on Life Cycle Assessment in Latin America, CILCA 2009	2009年4月27日~29日	Santiago, Chile	Chilean Research Center for Mining and Metallurgy http://www.cilca2009.cl/web/index.php
16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (LCE 2009)	2009年5月4日~6日	Cairo, Egypt	The Intelligent Manufacturing Systems (IMS) http://www.uwindsor.ca/lce2009
Green Product Forum - from life cycle perspective	2009年5月7日~9日	上海、中国	Ecovane http://www.ecovane.cn/index.asp
SETAC Europe 19th Annual Meeting World under stress: scientific and applied issues.	2009年5月31日~6月4日	Göteborg, Sweden	SETAC http://goteborg.setac.eu/?contentid=45
第27回エネルギー・資源学会研究発表会	2009年6月5日~6日	大阪国際交流センター	エネルギー・資源学会 http://www.jser.gr.jp/
2009 ISIE Conference	2009年6月21日~24日 (~2008年12月26日)	Lisbon, Portugal	ISIE http://www.isie2009.com/index.php
第19回環境工学総合シンポジウム2009	2009年7月9日~11日 (2009年2月20日)	財団法人おきなわ女性財団・沖縄県 男女共同参画センター「ていりる」	日本機械学会 http://www.env-jsme.com/
LCM 2009	2009年9月6日~9日 (~2009年3月15日)	Cape Town, South Africa	Univ. of Cape Town / Pre Consultants http://www.lcm2009.org/
Life Cycle Assessment IX	2009年9月29日~10月2日	Boston, USA	American Center for Life Cycle Assessment http://www.lcacenter.org/
Sustainable Innovation 09	2009年10月26~27日	Farnham, UK	The Centre for Sustainable Design http://www.cfsd.org.uk/events/tspd14/index.html
3rd International Conference on Eco-Efficiency Modelling and Evaluation for Sustainability: Guiding Eco-Innovation	2009年11月18~20日	Egmond aan Zee, the Netherlands	CML, Leiden University http://www.eco-efficiency-conf.org/
SETAC North America 30th Annual Meeting	2009年11月19日~23日	New Orleans, USA	SETAC http://neworleans.setac.org/
エコデザイン2009	2009年12月7日~9日 (~2009年9月24日)	ロイトン札幌	エコデザイン学会連合・産業技術総合研究所 http://www.mstc.or.jp/imf/ed/

今後の発行予定

- 第49号：カーボンフットプリント特集（3月発行予定）

投稿募集のご案内

LCA日本フォーラムニュースレターでは、会員の方々のLCAに関連する活動報告を募集しています。活動のアピール、学会・国際会議等の参加報告、日頃LCAに思うことなどを事務局（lca-project@jemai.or.jp）までご投稿ください。

<発行 LCA日本フォーラム>
〒101-0044
東京都千代田区鍛冶町2-2-1
三井住友銀行神田駅前ビル
社団法人 産業環境管理協会内
Tel : 03-5209-7708 Fax : 03-5209-7716
URL <http://www.jemai.or.jp/lcaforum>
(バックナンバーが上記URLからダウンロードできます)