

環境ラベル「エコリーフ」を活用した PBL 形式の LCA 演習授業

LCA Exercise Class of PBL Style by Using Environmental Label “EcoLeaf”

添田 晴生*
Haruo SOEDA

はじめに

近年、持続可能社会を実現するために、環境負荷の低い製品設計が必要不可欠となっており、LCA(Life Cycle Assessment)が注目されている。LCA は製品の素材調達、製造、使用、輸送、廃棄までの製品のライフサイクルにおける環境負荷を定量的に算出し、各環境問題への影響度を定量的に示す手法である。最近、企業において環境配慮設計手法の一つとして、LCA の導入が進んでおり、LCA 結果の表示を必要とする環境ラベル「エコリーフ」^[1]や LCA 結果の一部である CO₂排出量の表示を必要とする環境ラベル「カーボンフットプリント」^[2]に製品を登録する企業も増えてきている。今後、LCA をさらに普及させ、環境配慮設計を推し進めていくためには、大学において、LCA を習得した人材を育て、輩出していく必要がある。しかしながら、LCA は学生にとって難易度が高いと感ずるため、学生が理解できるように分かりやすく教えて、LCA を習得させることができるかが課題であると考えている。

LCA 教育の教育実践報告例を調べてみると、初等・中等学校での報告例は多いが、大学での報告例は意外に少ない。その中で、小林^[3]は大学一年次生の教養科目に LCA の授業を導入し、全 15 週の中で 11 週は講義を行い、残りの 3 週について、身近な家電製品やノートパソコンを具体例として、電卓やパソコンを用いて LCA 演習を行っている。学生のアンケート結果としては、「大いに身についた」が 21%、「ある程度身についた」が 79%となり、授業目標が達成されたことを報告している。一方、筆者は大学 3 年次生の専門科目に、PBL 形式の LCA 演習授業を導入し、「エコリーフ」に登録されている製品を対象として、LCA ソフト「Milca」^[4]を用いた実践的な演習の取り組みを支援した内容について報告する。

本学工学部環境科学科 3 年次後期「エネルギー機械演習」において、LCA の演習をテーマの一つとして、Milca を用いて、3 人～4 人のグループに分かれて、PBL 形式の演習課題を設定している。Milca を使用する際には、製品に使用されている材料の質量やエネルギーの種別と量などが入力データとして必要になる。企業の場合、自社の製造時の各種データを使用することができるが、大学の場合、製造時のデータを取得することが困難となる。そこで、本授業では、「エコリーフ」に登録されている製品の中で、LCA 入力用製品データシート、ならびに LCA の結果が web 上で公開されているものを活用することとした。これにより、様々な製品を対象に LCA の演習を行うことが可能となる。しかしながら、製品データシートは学生が理解するには困難な部分が多く、また、Milca のデータベースに存在しない材料もあるため、過去の学生の授業アンケート結果から「演習内容が難しい」という意見が多数見られた。そこで、2016 年度は、公開されている製品データシートを基にして、入力しやすいように 5 つの製品に対して、簡略化した

* 大阪電気通信大学 工学部 機械工学科

製品データシートを作成することで、学生の LCA 演習の取り組みを支援した。

1. 本授業の概要

環境科学科のエネルギー機械演習は 3 年生後期に配当され、エネルギー機械コースの必修科目になっている。2016 年度の履修者は 45 名であった。また、TA は毎年 1 名の体制で行っている。本授業では、環境技術に必要なソフトウェアの使用手法や解析方法を習得することを目的の一つとしているが、PBL 形式の本授業では、グループの中で学生自身が考え、学生同士で意見を交えながらアイデアを出して課題に取り組むことを通して、問題解決能力やチームワーク力、プレゼンテーション能力を身につけることも目的としている。

また本授業では、2 つのテーマを取り上げ、前半の 8 週のテーマは、太陽光発電と風力発電を用いた「再生可能エネルギーの発電量予測の演習」であり、後半の 7 週のテーマは「LCA の演習」である。ここでは、「LCA の演習」に焦点を当て、その演習内容について説明を行う。

表 1 LCA の演習の日程と内容

	演習内容
第 1 回目	エコデザイン, LCA の説明, 班分け LCA の例題演習①「アイロンの評価」
第 2 回目	LCA の例題演習①「アイロンの評価」続き 結果の提出① LCA の例題演習②「リサイクル評価」結果の提出②
第 3 回目	エコリーフ製品から対象製品を一つ選ぶ, LCA の自由課題
第 4 回目	LCA の自由課題
第 5 回目	LCA の自由課題
第 6 回目	プレゼンテーション資料の作成
第 7 回目	プレゼンテーション

2. 各回の授業内容

まず、第 1 回目において、環境配慮設計や LCA の概要について講義を行い、続いて Milca を用いて、「アイロンの評価」の例題演習を行い、基本的な操作手法を教える。図 1 は、例題演習であるアイロンの製造から廃棄までのフロー図であり、樹脂部品成型工程、アルミダイカスト工程、アイロン組立工程、使用工程、廃棄工程の 5 つの工程で構成されており、各工程での投入資源とその量を入力していく。

入力を終わると、インベントリ分析計算を行い、各工程における環境負荷物質が算出される。図 2 は、インベントリ分析結果である各工程における CO₂ 排出量の計算結果であり、ソフト上に出力される数値をコピーして、Excel に数値を貼りつけて、グラフ化を行う。続いて、インベントリ分析結果を基にして、影響評価の計算を行い、各環境問題への影響値を算出する。図 3 は、各工程における地球温暖化の影響値の結果、図 4 は、資源消費の影響値の結果である。学生に対して、結果の見方や考察のポイントを教え、学生は小レポートの作成を行う。2 回目の授業

では、1回目の例題演習の応用例として、電源ケーブルをリサイクルした場合の効果について調べる例題演習を行い、1回目と同様に、学生は小レポートの作成を行う。以上で、一通りのMilcaの操作方法を学生に教え、また、算出された結果をグラフ化し、考察を行うところまで指導を行う。

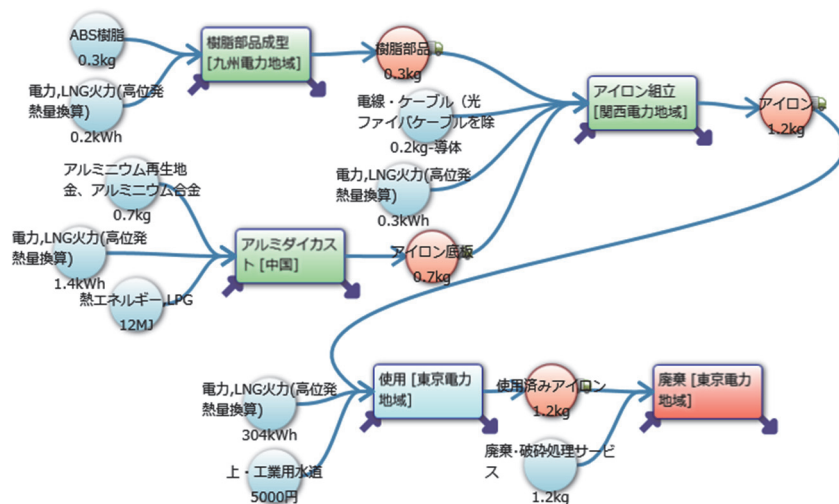


図1 Milcaにおける例題演習、アイロンの製造から廃棄までのフロー図

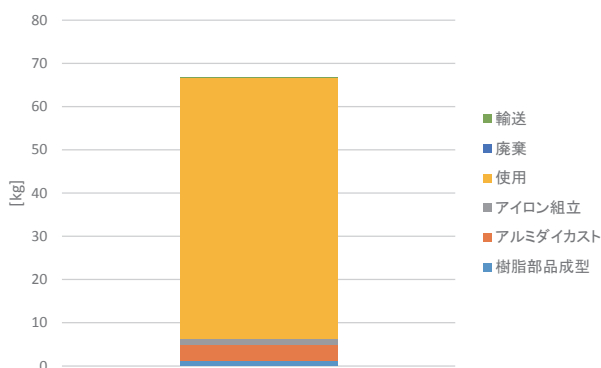


図2 CO₂のインベントリ分析結果

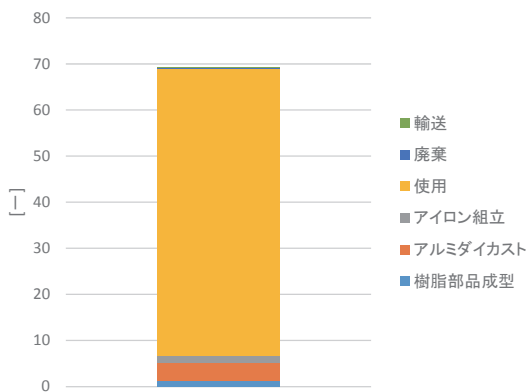


図3 地球温暖化の影響評価結果

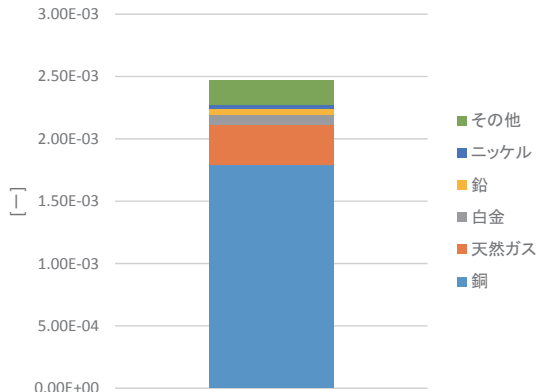


図4 資源消費の影響評価結果

3回目の授業から各グループに分かれて、LCAの自由課題に入る。自由課題としては、図5に示す環境ラベル「エコリーフ」に登録、公開されている製品を調べ、どの製品を対象としてLCA評価を行うか、グループで話し合う。製品が決まれば、その製品に対して、どのような環境配慮要素を検討できるか、また、どの地域で製造し、どの地域で使用して廃棄するかなどのシナリオを学生たちが話し合いながら、製品データシートを基にして、Milcaにデータを入力していく。ケーススタディとして、3ケース以上検討することとし、最終的には、パワーポイントを作成して、発表会でプレゼンテーションを行い、学生と教員、TAで評価を行い、最優秀班と優秀班を決め、表彰状を渡すという流れにしている。図6に演習の授業風景と図7に発表風景を示す。



図5 エコリーフのホームページ[1]



図6 演習の授業風景



図7 発表風景

3. 本授業で過去に取り扱った製品例とその困難性

また、過去に学生が取り上げた製品例を表2に示し、2015年度の最優秀班の牛肉のLCA演習の内容について少し紹介する。図8、図9にパワーポイントスライドの一部を示す。ケーススタディとして、図8に示すcase1の基本ケースは、オーストラリアで牛を繁殖・育成、肥育（太らせる）、と蓄（屠殺）・加工をして、大阪まで輸送する。case2は、日本の岩手の農場で、牛の繁殖・育成、肥育、と蓄・加工をして、大阪まで輸送する。case3は、case1に対して、糞尿から

のメタンガスを 100%回収し、ゲップ、おならからのメタンガスを 30%回収するというシナリオを想定している。CO₂に換算した温室効果ガスの排出量結果として、牛の繁殖・育成の工程が全体の 88%を占めていることや、図 9 に示す地球温暖化の影響としては、メタンガスが全体の 90%の要因を占めていること、また、繁殖・育成地を変更しても、地球温暖化への影響にそれほど差はなかったこと、さらには、メタンガス回収をした case3 は、回収をしない case1 に比べて、地球温暖化への影響を 28%削減できたことなどがわかった。

表 2 過去に学生が取り上げた製品

デジタルカメラ	ユニフォーム
紙製飲料容器	電力用/通信用電線ケーブル
バス用表示装置	プロジェクター
ノートパソコン	面ファスナー
インクジェットプリンター	マネキン人形
ネットワークカメラ	電気チェーンブロック
カップ式自動販売機	トラック用荷室灯
牛肉	飲料およびたばこ自動販売機
ファーストフード店の食材配送システム	インターホン
カラープリンター	水洗金具
水道用メーター	アルミ缶
アモルファス太陽電池	バス用運賃箱

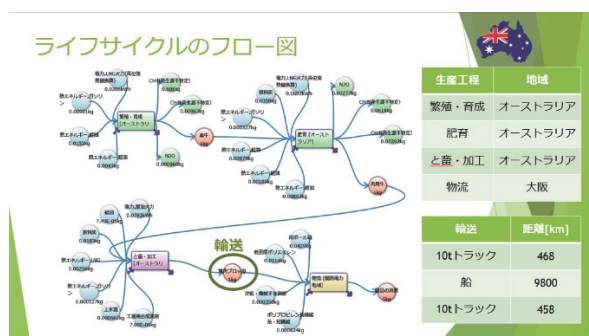


図 8 牛肉のケーススタディ (case1)

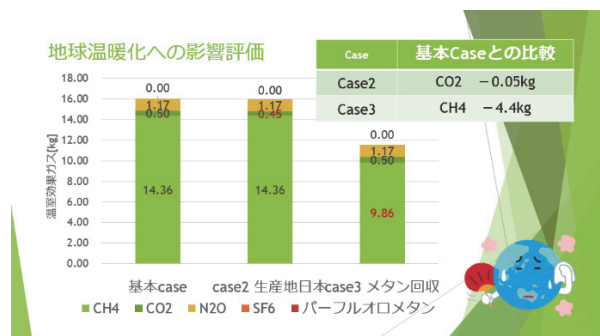


図 9 牛肉の地球温暖化影響値の結果

続いて、製品データシートについて説明する。ここでは、表 3～表 5 にエコリーフに登録、公開されているノートパソコンの製品データシートの一部抜粋を示す。このデータシートには LCA の入力条件や入力データが示されているが、例えば、表 3 の「その他の金属」に対して、どの金属を Milca のデータベースから選択すべきか、あるいは、「実装回路基板(マザーボード)」は、データベースのどの材料や、製品を選択すべきか、難しい。これまで、学生に配布している指導書に、例えば、「熱可塑性樹脂」の場合は、データベースの「ポリプロピレン」を用いること、また、「電磁鋼板」には、「電気鋼板」を用いることなどの注意書きを書いてきたが、それでも、公開されている全ての製品に対応させることは困難である。また、表 5 の廃棄・リサイクル工程を見ると、これがどのように廃棄され、リサイクルされているのか複雑であり、読み取るのは非常に困難である。

表3 エコリーフに公開されているノートパソコンの製品データシートの製品情報

様式3



製品データシート

(LCA計算のための入力データ、設定数値)

文書管理番号	F-03-01
エコリーフ作成事業者名	富士通株式会社 モバイルPC事業部
エコリーフ登録番号	AS-03-001

製品分類名	ノート型パーソナルコンピュータ	製品形式	FMV-718NU4/B				
製品単位	1	製品[kg]	3.4	包装他[kg]	1.34	全体[kg]	4.74

1 製品情報(製品1台当たり):構成される部品等を、材料別と加工・組立別の質量で記載する。

製品	製品構成材料の内訳				別途、加工・組立・組立計算に必要な部品の内訳			
	材料名	質量[kg]	材料名	質量[kg]	加工名	質量[kg]	組立名	質量[kg]
	普通鋼	9.46E-01	実装回路基板(マザーボード)	2.45E-01	インジェクション成形加工	1.27E+00	部品組立	2.92E+00
	紙	9.67E-01	実装回路基板(マザーボード以外)	7.96E-02	鉄プレス	2.10E+00		
	SUS	3.72E-01	電池	2.41E-01	非鉄プレス	7.87E-03		
	その他金属	9.70E-02	熱硬化性プラスチック	0.00E+00				
	アルミ	2.39E-01						
	ガラス	2.20E-01						
	熱可塑性プラスチック	1.31E+00						
	ゴム	2.80E-02						
	小計	4.18E+00	小計	5.66E-01				
	合計	4.74E+00	小計	3.38E+00	小計	2.92E+00		

【解説】・製品本体の素材質量は、弊社のVPS(Virtual Product Simulator)を使用して、3次元CADデータより算出致しました。ただし、マザーボード、ユニット部品、梱包箱等は実測しております。
・PSCで規定されているように、本製品で使用しているリチウムイオン電池(公称電圧V:10.8V、公称放電容量A:3000mAh)の製造負荷はアルカリマンガン乾電池の製造原単位をUとすると対象電池1本の製造負荷=U×V×A×47/3,900,000=U×0.390462として算出致しました。

表4 エコリーフに公開されているノートパソコンの製品データシートの製造、物流ステージ情報

2 製造サイト情報(製品1台当たり):部品の製造およびサイト内での加工・組立に消費・排出した量を記載する。

・SOx、NOx量は、それぞれSO₂、NO₂換算値。

消費	区分	エネルギー	エネルギー	物質				
	内訳項目	電力(kWh)	燃料用重油(kg)	工業用水(kg)				
	量	1.03E+02	3.38E+00	1.62E+03				
	説明							
排出	区分							
	内訳項目							
	量							
	説明							

【解説】(1)PT板実装工程、パソコン製造工程については、(株)高根富士通の実測データを基に算出致しました。

(2)LCDパネル製造工程については、富士通ディスプレイテクノロジー(株)米子テクノロジーセンターの実測データを基に算出致しました。

3 物流ステージ情報(製品1台当たりが原則):製品輸送の基準条件(手段、距離、積載率)や消費・排出量等の詳細を記載する。

物流	手段	4tトラック	4tトラック	4tトラック	4tトラック	10tトラック	10tトラック	10tトラック	10tトラック
	設定項目	距離(km)	質量(kg)	積載率(%)	負荷(kg・km)	距離(km)	質量(kg)	積載率(%)	負荷(kg・km)
	量	5.00E+02	4.74E+00	7.59E+01	3.12E+03	6.25E+02	6.74E+00	—	2.85E+03
	説明							解説(2)参照	

表5 エコリーフに公開されているノートパソコンの製品データシートの廃棄・リサイクルステージ情報

5. 廃棄・リサイクルステージ情報(製品1台当たり):設定した処理方法や条件(シナリオ)の詳細を記載する。

無記入単位は、kgとする。

シナリオ	区分	処理	処理	処理	処理	処理	処理	処理	処理
	内訳項目	冷延鋼板	ステンレス鋼板	Cu板	Al板	ガラス	PE(低密度)	PC(ポリカーボネート)	PC-ABS樹脂(70/30)
	量	9.19E-02	3.72E-02	9.70E-02	2.39E-02	1.39E-02	1.49E-02	1.15E-02	1.12E-02
	説明								
シナリオ	区分	処理	処理	処理	処理	処理	処理	処理	処理
	内訳項目	ABS	PA66(ホリゾント®)	スチレン/アクリル/ブタジエン(SBR)	タンポール	板紙	洋紙	半導体パッケージ	積層基板
	量	4.22E-04	1.28E-04	3.66E-05	1.33E-01	7.29E-03	3.40E-02	1.09E-03	1.14E-02
	説明								
シナリオ	区分	処理	処理	処理	消費	消費	消費	消費	処理
	内訳項目	実装回路基板	マンガン乾電池	電力(kWh)	電力(kWh)	燃料用重油	燃料用軽油	工業用水	破砕
	量	3.14E-03	1.47E-02	5.92E+00	2.58E-01	2.20E-01	1.20E-03	9.76E-02	4.33E+00
	説明								
シナリオ	区分	処理	処理	処理	処理	処理	処理	処理	処理
	内訳項目	鉄選別	非鉄選別	フラスコ選別	一廃埋立	産業埋立	冷延鋼板へ再生	Cu板へ再生	Al板へ再生
	量	1.41E-01	1.08E-01	2.10E-01	3.80E+00	2.55E-01	2.00E-01	8.44E-03	3.47E-02
	説明								
シナリオ	区分	処理	処理	処理	処理	処理	処理	処理	処理
	内訳項目	熱可塑性樹脂	タンポールへ再生	板紙へ再生	洋紙へ再生	ガラス再生			
	量	3.60E-02	1.47E-01	8.10E-03	3.78E-02	7.40E-04			
	説明								

【解説】・廃棄・リサイクルについては、富士通化成(株)相模原事業所 首都圏リサイクルセンターの実測データを基に算出致しました。
・製品の回収率 71は20%と致しました。

4. 本授業で今年度に用いた製品データシート

(1) 作成方法

2016年度は、学生が製品データシートからデータを読み取り、入力しやすいように、ノートパソコン、デジタルカメラ、固定電話機、紙製飲料容器、アルミ缶の5つの製品を取り上げて、公開されている製品データシートを基に簡略化した製品データシートを作成した。そのシートを表6に示す。なお、データシートを作成する際に、公開されているデータシートのインベントリ分析結果を基にして、おおよそ妥当な結果になるように確認しながら、データシートを作成した。こちらの簡略化した製品データシートに記載されている材料名は、Milcaのデータベースに登録されている材料名である。

表6 簡略化したノートパソコンの製品データシート

ノートPC		4.74kg					
製造(関西電力地域)		トラック輸送	使用(関西電力地域)	トラック輸送	廃棄(関西電力地域)		
普通鋼(最終鋼材)	0.946kg	15トン、62%、250km	電力、LNG火力(高位発熱量換算)	107kWh	10トン、62%、100km	廃棄・破碎処理サービス	4.74kg
洋紙・機械すき和紙	0.967kg					埋立処分(一廃)サービス	4.74kg
ステンレス鋼板	0.372kg						
アルミニウム板材、汎用	0.239kg						
強化ガラス	0.0025m ²						
ポリプロピレン	1.31kg						
スチレンブタジエンゴム	0.028kg						
半導体素子	20個						
一次電池(乾電池、湿電池)	1個						
プレス加工	2.1kg						
ブラ成形(インフレーションフィルム-規格袋)	1.27kg						
電力、LNG火力(高位発熱量換算)	103kWh						
熱エネルギー、B重油	3.38kg						
工業用水道	1620kg						

(2) 授業における取り扱い方法

学生たちは、簡略化したデータシートを用いるか、あるいは、公開されているデータシートを用いるか、各グループで決め、実際に入力作業を行い、基準ケースにおけるインベントリ分析計算を行い、計算結果が妥当であるか、公開されているインベントリ分析結果などを参考にして、検証を行い、ケーススタディを行っていく。

5. 学生の授業アンケート結果

大学が一斉に学生に対して行う授業アンケートとは別に、本授業については、個別に作成した授業アンケートを行ってきた。ただし、前半の「再生可能エネルギーの発電量予測の演習」と後半の「LCAの演習」と二つのテーマについて、テーマごとに分けて授業全体のアンケートを行ってきたため、LCAの演習のみのアンケート結果にはなっていないが、参考として結果を示し、考察を行う。図10、図11は、2015年度、2016年度の授業内容の興味に対するアンケート結果、図12、図13は、2015年度、2016年度の授業の難易度に対するアンケート結果である。授業内容の興味に対しては、「大変興味を持てた」と回答した学生の割合は、2015年度に比べて、2016年度の方が増えており、16%から27%になっている。「多少興味を持てた」と回答した

学生の割合も、51%から68%になり、「大変興味を持てた」と「多少興味を持てた」の項目を合わせると、2015年度は67%、2016年度は95%となり、大きく向上していることがわかる。これは、おそらく、2つのテーマともに共通することは、演習全体を通して、やるべき内容を減らして、自由課題になるべく時間を費やせるように工夫をしたことによるものであると考えている。

続いて、難易度であるが、「難しい」と回答した学生の割合について、2015年度は18%、2016年度は5%になり、減少する結果となった。次に、「やや難しい」と回答した学生の割合について、2015年度は49%、2016年度は54%と、こちらは逆に増加する結果となったが、「難しい」と「やや難しい」の項目を合わせると、2015年度は67%、2016年度は59%と、やや減少していることがわかる。次に自由記述の学生の意見を紹介するが、「難しい」、「やや難しい」と回答した学生で、自由記述に記述した学生の多くは、LCAの難しさについて触れていた。よって、今回、「難しい」、「やや難しい」と回答した学生の多くは、LCAについて難しいと感じていると考えられる。

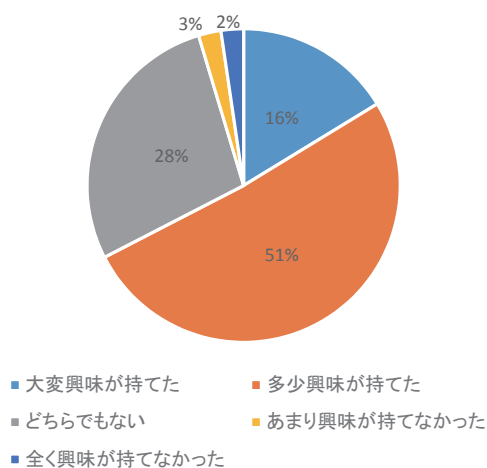


図 10 2015 年度授業アンケート結果（興味）

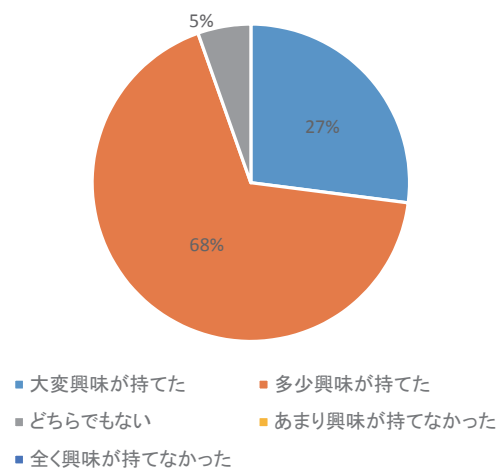


図 11 2016 年度授業アンケート結果（興味）

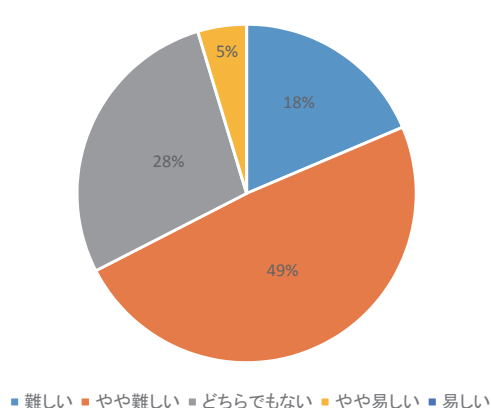


図 12 2015 年度授業アンケート結果（難易度）

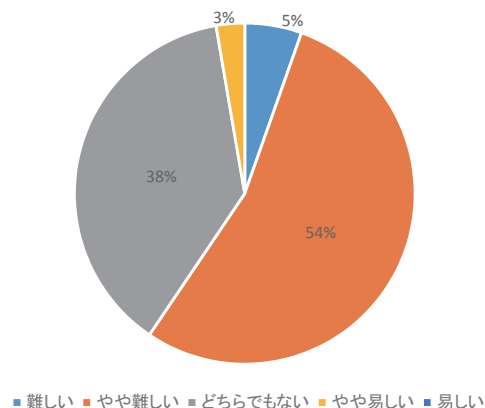


図 13 2016 年度授業アンケート結果（難易度）

2015 年度の LCA の演習に関連するアンケート結果の中で、「難しい」、「やや難しい」と回答

した学生の中で記述があったものを以下に示す。

- 「フロー図を作るときにとっても手間がかかる。」
- 「Milca のソフトがよくわからなかった。」
- 「LCA ソフトの原料選択など複雑な部分もある。」
- 「調べても出てこないと困った。」
- 「Milca の説明をもう少し詳しくしてくれないと理解するのに時間がかかってしまった。」
- 「前半のテーマはともかく、後半のテーマは自由度が高く難しかった。」
- 「LCA については最初何をしているか分からなく大変だった。」
- 「LCA の使い方が分かりづらい」
- 「前半のテーマはわかりやすいが、後半（LCA の演習）のテーマは難しい」
- 「使ったことのないソフトなどを使用したため」
- 「やりごたえがあつてよかった」

また、2016 年度の LCA の演習に関連するアンケート結果の中で、「難しい」、「やや難しい」と回答した学生の中で記述があったものを以下に示す。

- 「LCA 分析があまり理解できなかった。」
- 「Milca の使い方がいまいち理解できなかった。」
- 「LCA の理解が少し難しい。」
- 「Milca を使いこなすのが難しかったから。」
- 「後半のテーマは自由度が高かった分、少し難しかった。」
- 「Milca の扱い方も、分析も、なぜそうなるのかなど理解しづらかった。」
- 「使うソフトが初めてだったので、少し難しかった。」
- 「使ったことのないソフトを使用したりするので、少し難しかった。」

2016 年度は、5 つの製品に対して、データシートを簡略化し、13 班中、10 班が簡略化したデータシートを用いて演習を行ったが、LCA は、やや難しいという意見が変わらずにあり、自由度が高く、難しいという意見もあった。以上から、依然として、学生たちの多くは LCA の難易度が高いと感じていることがわかる。また、簡略化した製品データシートを用いても、ケーススタディを行う際に、製品に対して、どのような環境配慮要素を考慮するのかなどについて、自分たちで考える必要があるため、自由度は決して低くはないと言える。

しかしながら、2016 年度の最優秀班、優秀班に選ばれた班は、いずれも簡略化したデータシートを用いず、公開されている製品から製品を探し、演習を行った。このように主体性が強いグループには、難易度は高いが、簡略化したデータシートを与えるよりも、自由に製品を探させ、自分たちで考えながら、データを入力させるようにした方がよいことがわかる。

おわりに

環境科学科 3 年生後期「エネルギー機械演習」の後半のテーマである LCA の演習授業において、「エコリーフ」に登録、公開されている製品のデータシートを用いることにより、様々な製品を取り上げて、LCA の演習を行うことを可能とした。しかしながら、公開されている製品のデータシートは学生が理解するには困難な部分が多く、また、Milca のデータベースに存在しない材料もあるため、難易度が高くなる。よって、2016 年度は、公開されているデータシートを基にして、入力しやすいように 5 つの製品を取り上げて、簡略化した製品のデータシートを作成することで、学生の LCA 演習の取り組みを支援した。

学生の授業アンケートから、難易度については、「難しい」と回答した学生の割合について、2015 年度は 18%、2016 年度は 5%と減少する結果となり、「難しい」と「やや難しい」の項目を合わせると、2015 年度は 67%、2016 年度は 59%とやや減少する結果となった。「難しい」、「やや難しい」と回答した学生で、自由記述に記述した学生の多くは、LCA の難しさについて触れていた。よって、今回の「難しい」、「やや難しい」と回答した学生の多くは、LCA について難しいと感じていると考えられる。「難しい」、「やや難しい」と感じている学生の割合が減少した要因として、製品のデータシートを簡略化したことが考えられるが、依然として、「使うソフトが初めてだったので、少し難しかった。」、「自由度が高かった分、少し難しかった。」という意見が見られ、学生たちの多くは LCA を難しいと感じていることがわかる。

今後、指導書の Milca の解説をもう少し充実させ、初めて学ぶ学生に対して、分かりやすくする必要があると感じている。さらには、簡略化した製品のデータシートの種類を増やしつつ、より主体的な学生には、各自でエコリーフに登録された製品から探させ、データ入力ができるように配慮をして、学生がなるべく主体的に自由課題に取り組みながら、LCA を習得できるように支援していきたい。

謝辞

スチューデントアシスタントとして、授業の支援、ならびに、製品データシートの作成に協力頂いた奥田尚史君に心から謝意を表します。

参考文献

- [1] エコリーフのホームページ, <http://www.ecoleaf-jemai.jp/>
- [2] カーボンフットプリントのホームページ, <https://www.cfp-japan.jp/>
- [3] 小林 充, 教養科目としての LCA 授業の導入とその教育効果, 日本工学教育学会
平成 23 年度 工学教育研究講演会講演論文集, p. 310-311, 2011
- [4] Milca のホームページ, <http://www.milca-milca.net/>