

# LCAに基づく HDD のライフサイクルシミュレーション

中央大学 ○谷川連陸, ◎平岡弘之

## 要旨

現在の消費型社会から循環型社会へ移行するために、リユースに着目したライフサイクルシミュレーションの開発を行っている。本研究では、製品のライフサイクルで発生する環境負荷を評価する手法であるライフサイクルアセスメント (LCA) を使用し、ライフサイクル全体の CO<sub>2</sub> 排出量を導出するシミュレーションを開発した。本報告では、HDD を例に、LCA を用いたライフサイクルシミュレーションを行い、CO<sub>2</sub> 排出量を評価した結果を報告する。

## 1. 序論

現代社会は、大量生産・大量消費・大量廃棄型社会が形成されており<sup>[1]</sup>、環境に多大な負荷をかけているため、「循環型社会」の構築・移行により環境への負荷を低減することが急務となっている。循環型社会には、「リユース (再使用)、リデュース (発生抑制)、リサイクル (再利用)」の 3R が不可欠であり、特にリユースは一度使用した製品、部品を再利用するため、エネルギー消費や資源の損失、廃棄物の量が少なく、ほかの 2 つよりも推進されている。

また、地球温暖化が問題となる中で、世界で環境に対する取り組みが行われており、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) をはじめとする温室効果ガスの削減が行われている。地球に最も影響を与えている温室効果ガスは CO<sub>2</sub> だが、CO<sub>2</sub> による被害を感じることは難しい。そこで、製品のライフサイクルを通して発生する環境負荷を定量的に評価する手法であるライフサイクルアセスメント (LCA) <sup>[2]</sup> が注目されている。

私たちは部品エージェントシステムの開発を行っている。部品エージェントとは、ネットワークエージェントにより実世界での製品を構成する部品を 1 個単位で、その製造から廃棄に至る部品情報を管理し、適切なタイミングでユーザに提示するといった方法で、ユーザを支援し、3R を推進させるものである。部品エージェントによって製品 1 つに対し LCA を用いたライフサイクルシミュレーションを行うことで、ユーザに対し、現在使用している製品のこれまでの環境負荷だけでなく、使用時間や距離といったユーザの情報に基づいた今後の製品の流れや環境負荷を提示し、環境影響の少ないライフサイクルを促進することができる。

そこで本研究では、部品エージェントシステムに組み込むことを念頭に、リユースに着目し、HDD (Hard Disk Drive) の製造・使用・廃棄・輸送にいたるまでのライフサイクルの各プロセスでの CO<sub>2</sub> 排出量を、ライフサイクルアセスメント (LCA) を用いて求め、ライフサイクルに関わる全ての HDD に対して、ライフサイクル全体の CO<sub>2</sub> 排出量から環境影響の評価を行うシミュレーションシステムを開発し、シミュレーションを行う。

## 2. HDD のライフサイクルシミュレーションの概要

ライフサイクルシミュレーションにより、製造、輸送、使用、廃棄といった、生産システムを構成する各プロセスを通過する製品の流れを把握することができる。これらの各プロセスに LCA のデータを与えることで、循環の総合的效果を環境面から評価することができる。

本研究のシミュレーションシステムでは、HDD の製造から廃棄に至るまでのライフサイクルにおいて、製造、使用、輸送、廃棄の各プロセスに LCA により得られた CO<sub>2</sub> 排出量を与え、ヘビーユーザとライトユーザの間で複数の方法でリユースを行い、ライフサイクル全体の CO<sub>2</sub> 排出量から環境影響を評価する

## 3. ライフサイクルアセスメント (LCA)

LCA とは、製品に関わる資源の採取から製造、使用、廃棄、輸送などすべての段階を通して、投入資源あるいは排出環境負荷および、それらによる地球や生態系への環境影響を定量的、客観的に評価する手法である。LCA を用いることにより、製造から廃棄に至るまでのどの段階で環境負荷が発生しているのかを客観的に認識できるようになり、効率的な環境負荷の削減が可能となる。

ISO 14040 において LCA は、ライフサイクルを通しての環境側面と潜在的環境影響を以下の①～④に従って、分析・評価するように規定されている。

- ① LCA 調査の目的と調査範囲を設定する。
- ② 製品システムに関連する入力と出力のインベントリをまとめる。
- ③ それらの入力と出力に付随する潜在的環境影響を評価する。
- ④ インベントリ分析段階及び影響評価段階の結果を調査の目的に応じて解釈する。

インベントリとは、一つの製品のすべての投入資源を入力、環境に影響を及ぼすすべての排出物、ならびに副産物を含むすべての生産物えをまとめて出力とし、その全体の入出力を収支表として整理することをさす<sup>[3]</sup>。この収支表からインベントリを分析していく。

本研究では CO<sub>2</sub> 排出量を、LCA 算定ソフトウェア MiLCA<sup>[4]</sup> を用いて算出する。

MiLCA とは、LCA を実施するための支援システムである。製品の製造から廃棄までのライフサイクルにおいて LCA を行う際に、多くのデータを手する必要があるが、その多くは一般に公開されていない。そのため、本研究ではインベントリ分析、影響評価、統合化など基本的な LCA に必要な計算機能を備え、豊富なデータベースを搭載している MiLCA を用いてライフサイクルの各プロセスでの CO<sub>2</sub> 排出量を算出する。MiLCA により算出された、製造、使用、輸送、廃棄の各プロセスでの CO<sub>2</sub> 排出量を、シミュレーションの各プロセスに該当する箇所に与え、ライフサイクル全体での CO<sub>2</sub> 排出量から環境影響の評価を行う。

## 4. 輸送の環境負荷

本研究では Western Digital 社の HDD を例にシミュレーションを行う。しかし、Western Digital 社の HDD の輸送方法について明言されていないため、Fig.1 に示すように輸送方法を設定した。すなわち、製造場所から、新品の HDD とリユースする HDD を保管する HDD 保管場所をコンテナ船で輸送し、HDD 保管場所から各ユーザ、各ユーザから HDD の廃棄場所までは 2 トントラックで輸送することとする。また、トラックでの輸送に関わる距離は全て 10km とする。輸送時の CO<sub>2</sub> 排出量は MiLCA により算出する。

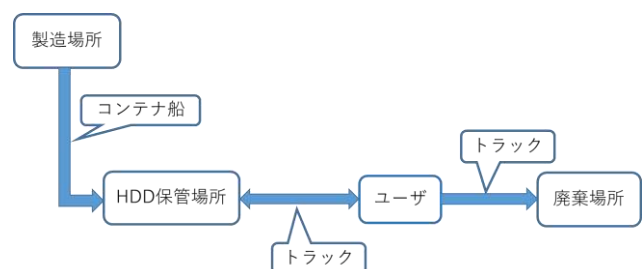


Fig. 1 シミュレーションの輸送方法の概要図

MiLCA では、トラックでの輸送の際に排出される CO<sub>2</sub> を、改良トンキロ法<sup>[5]</sup>を用いて算出している。改良トンキロ法とは、トラックの最大積載量別積載率別に細分化した CO<sub>2</sub> 排出量原単位に輸送量を乗

じて CO<sub>2</sub> 排出量を算出する方法である。改良トンキロ法の算定式は次の式で表される。

$$C = t \times y \times \frac{1}{1000} \times G \times h \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

$C$ :CO<sub>2</sub>排出量[t],  $t$ :輸送トンキロ[tkm],  
 $y$ :改良トンキロ法燃料使用原単位[l/tkm],  
 $G$ :単位発熱量[GJ/kl],  $h$ :排出係数[t/GJ]

また、式(1)の改良トンキロ法燃料使用原単位  $y$  は、次の式で表される。

$$y = e^{(2.71 - 0.812 \ln \frac{x}{100} - 0.654 \ln z)} \quad (2)$$

$x$ :積載率[%],  $z$ :最大積載量[kg]

MiLCA では、式(1)の  $G \times h \times 44/12$  を 2.619 として CO<sub>2</sub> 排出量を算出している。

## 5. HDD のライフサイクルシミュレーションの構成

Fig.2 は HDD をリユースさせるシミュレーションのフロー図である。初期条件を、ヘビーユーザ 50 人とライトユーザ 50 人に新品の HDD を与え、HDD 保管場所にヘビーユーザとライトユーザが 2 年使用し故障しなかったリユース品の HDD を合計 100 台用意した。

シミュレーションを行う期間は 8 年とし、使用時間は、ヘビーユーザは 24 時間/日、ライトユーザは 8 時間/日とする。HDD の故障判定は一日ごとに行う。2 年間連続で HDD を使用した場合、その HDD をリユースに出し、HDD 保管場所にリユース品がある場合は、HDD 保管場所にある HDD の中で最も使用時間の短い HDD をリユースする HDD として与え、ない場合は新品の HDD を与える。

各プロセスでの HDD1 台あたりの CO<sub>2</sub> 排出量は事前に MiLCA を用いて算出した。得られた CO<sub>2</sub> 排出量を以下に示す。

- ・製造 10.9kg
- ・使用
  - ヘビーユーザ (24 時間/日) : 0.082kg
  - ライトユーザ (8 時間/日) : 0.025kg
- ・輸送
  - コンテナ船 : 0.0575kg
  - トラック : 0.000187kg/km
- ・廃棄 0.028kg

トラックでの輸送の CO<sub>2</sub> 排出量は、積載率 58%、最大積載量 2000kg のトラックで輸送を行うこととして算出した。なお、本シミュレーションでは、これらのデータを、製造・コンテナ船輸送はユーザに新品を与えるとき、使用はユーザが HDD を使用するとき、廃棄は故障し HDD を廃棄するとき、トラック輸送はユーザに新品またはリユース品を与えるときと故障した HDD を廃棄場に運ぶときに与える。

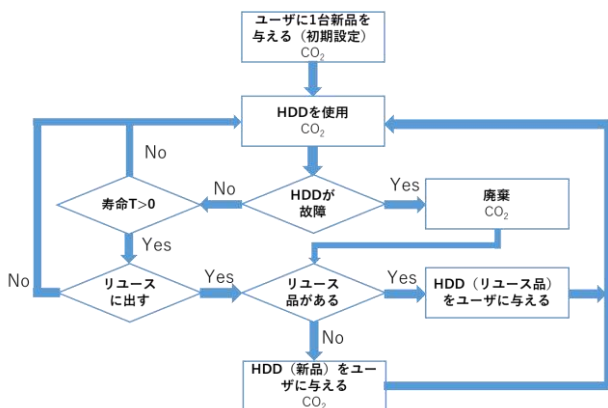


Fig.2 シミュレーションのフロー図

## 6. シミュレーションの実行結果と考察

最初に HDD 保管場所にある HDD の数ごとにそれぞれシミュレーションを 20 回行い、CO<sub>2</sub> 平均合計量を比較する。Table 1 と Fig.3 にシミュレーションの実行結果を示す。

リユース方法は、1 はヘビーユーザのリユース品の HDD をヘビーユーザ、ライトユーザのリユース品の HDD をライトユーザに与える方法、2 はヘビーユーザのリユース品の HDD をライトユーザ、ライトユーザのリユース品の HDD をヘビーユーザに与える方法、3 はランダムに与える方法である。

Table 1 リユース方法と HDD の数ごとの CO<sub>2</sub> の平均の合計量(kg)

リユース方法	HDDの数(台)					リユースなし
	H:50,L:50	H:60,L:40	H:70,L:30	H:80,L:20	H:90,L:10	
ヘビーユーザ→ヘビーユーザ	17673.29	17585.78	17526.94	17427.38	17476.93	18312.68
ヘビーユーザ→ライトユーザ	17606.27	17639.30	17568.42	17702.84	17777.08	
ランダム	17478.44	17532.41	17509.54	17525.85	17623.84	

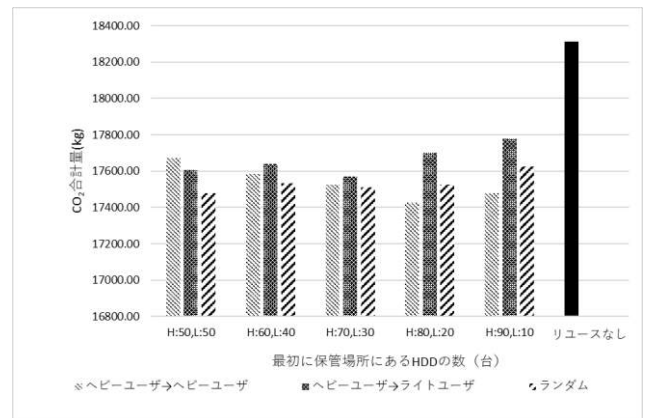


Fig.3 ライフサイクルにおける CO<sub>2</sub> の平均の合計量

リユースした場合とリユースしない場合で比較すると、全てのリユース方法、全ての HDD の数において、リユースしない場合よりも CO<sub>2</sub> 排出量が大きく減少した。このことから、リユースを行うことで環境負荷を大幅に低減できることが確認できた。

また、1 のリユース方法では、最初に保管場所にあるヘビーユーザのリユース品の HDD が 80 台の場合までは、ヘビーユーザのリユース品の HDD が増えるにつれて CO<sub>2</sub> 排出量が減少した。最初に保管場所にヘビーユーザの HDD を 90 台用意した場合に CO<sub>2</sub> 排出量が最小にならなかったのは、HDD の保管場所にライトユーザの使用した HDD が少なく、ライトユーザの HDD の生産数が上がったためと考えられる。最初に保管場所にあるヘビーユーザのリユース品の HDD が 70 台の場合、2 のリユース方法では CO<sub>2</sub> 排出量が最も少なくなった。これは、最初に 2 年使用した際に行われるリユースでは、ヘビーユーザに対して多くの新品の HDD を生産するが、残りの期間では新品の HDD の生産数が少なくなり、CO<sub>2</sub> 排出量を抑えられたと考えられる。また、全てのリユース方法で CO<sub>2</sub> 排出量が近い値となった。このことから、開発したシミュレーションシステムでは、最初に HDD 保管場所にヘビーユーザのリユース品の HDD を 70 台用意した場合、全てのリユース方法で CO<sub>2</sub> 排出量が少なく、CO<sub>2</sub> 排出量を削減できることが確認できた。

## 7. 結論

LCA に基づいた HDD のライフサイクルシミュレーションシステムを開発し、シミュレーションを行った。開発したシミュレーションシステムでは、リユースを行った場合、リユースを行わなかった場合よりも CO<sub>2</sub> 排出量が少なく、環境負荷を低減したことが確認できた。また、最初に HDD 保管場所にヘビーユーザのリユース品の HDD を 70 台、全てのリユース方法で CO<sub>2</sub> 排出量が少なくなった。

今後の展望として、HDD1 台を追いかけるシミュレーションシステムを開発することや、HDD1 台の流れやリユース方法などの違いによる環境負荷を複数提示し、環境負荷の少ないライフサイクルを選択させること、ユーザの情報や HDD の情報を、部品エージェントシステムから直接取得しシミュレーションを実行できるようにすることが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 環境省ホームページ, <http://www.env.go.jp/> (2018.2.2 閲覧)
- [2] ライフサイクルアセスメント (LCA), 一般社団法人日本化学工業協会
- [3] 木村文彦他編, インバース・マニュファクチャリング ハンドブッカー・ポストリサイクルの循環型ものづくり, インバース・マニュファクチャリング フォーラム監修, 丸善出版, 2004
- [4] MiLCA ガイドブック, 一般社団法人産業環境管理協会
- [5] ロジスティクス分野における CO<sub>2</sub> 排出量算定方法共同ガイドライン Ver.3.0, 経済産業省, 国土交通省