

商品輸送車の走行速度を考慮した CO₂ 排出量算出システムの提案

戸田 暁博^{†1} 江原 正規^{†2} 井上 亮文^{†2}
井垣 宏^{†2} 星 徹^{†2}

商品に CO₂ 排出量を表示するカーボンフットプリント制度の導入が検討されている。しかし、一般に行われる LCA ベースの算出方法では、輸送経路等による CO₂ 排出量の変動に対応することは困難であり、表示される数値は正確性にかけてのものになってしまっている。そこで本研究では、商品輸送時における輸送経路や所要時間等、動的な変動を考慮した CO₂ 排出量算出システムを提案する。提案システムでは、商品がロット単位で管理されるものとした上で、Android 等の携帯情報端末を用いて算出を行う。これにより、同じ商品でも輸送経路や所要時間によって変動する CO₂ 排出量を算出することが可能となる。提案システムの実装と評価実験を行った結果、従来手法より精度が高く、低コストで導入できることからシステムの有用性を確認した。

CO₂ calculation system of average speed of automobiles

AKIHIRO TODA,^{†1} MASAKI EHARA,^{†2} AKIFUMI INOUE,^{†2}
HIROSHI IGAKI^{†2} and TOHRU HOSHI^{†2}

Carbon Foot Print (CFP) system has been introduced for visualizing CO₂ consumption in various products. The CO₂ consumption calculations of CFP is based on The life cycle assessment (LCA) method. However, it is difficult to show accurate CFP value of each product because this system does not consider the variation of CO₂ consumption such as their different transport routes and traveling time. However, it is difficult to show accurate CFP value of each product because this system does not consider the variation of CO₂ consumption such as their different transport routes and traveling time. In our prototype, We use Android terminal. The experimental results with a prototype revealed that the system could calculate more accurate than the technique so far. Then this system can be easily used more than Fuel method. The result shows the usefulness of the system.

1. はじめに

人間が排出している CO₂ は年間 72 億トンとも言われる。これは地球が年間に吸収可能と推定される 31 億トンを遥かに上回っている。この残りの 41 億トンの CO₂ が地球温暖化の原因とされており、早急な CO₂ 排出量の削減が叫ばれている¹⁾²⁾。このような背景から、身の回りのものにまつわる CO₂ 排出量の「見える化」を推進するカーボンフットプリント (CFP) が注目を集めている。CFP は、商品の生産から流通、販売や廃棄等、商品のライフサイクルの中で排出された CO₂ 排出量を商品に表示する制度である。

現在、CFP はライフサイクルアセスメント (LCA) 手法をベースとして算出されている。LCA では、製造・流通といった各段階での CO₂ 排出量を商品ごとに一律に決定し、その合算値を求める。例えば、ポテトチップスであれば製造で 23 グラム、流通に 7 グラム等の合計 30 グラムとなる。しかし、輸送に関して言えば、道路の渋滞や輸送経路の変更による輸送距離・所要時間の変動が頻繁に発生する。結果として、同じ商品でも出荷単位・出荷先ごとに CO₂ 排出量が異なる。LCA 手法は輸送に関する排出量の概算値を一律に適用するため、このような動的な変動に対応して個別の値を算出することは難しい³⁾⁴⁾。

本研究では、輸送時における距離・時間の動的な変動に対応することを目的として、商品輸送車の走行速度を考慮した CO₂ 排出量算出システムを提案する。提案システムでは、携帯情報端末を用いて商品輸送車の位置を定期的に計測し、単位時間あたりの CO₂ 排出量を算出する。この排出量を、出荷から店頭までの間で合計することで、商品輸送にかかった排出量をより厳密に求めることができる。別の商品輸送車への商品積み替えが発生する場合は、それぞれの商品輸送車の携帯端末が通信することにより、過去の排出量を次の輸送車へ引き継ぐことができる。

本論文の構成について述べる。第 1 章では背景と課題、および本研究の目的について述べた。第 2 章では本研究に関連する研究や技術・CO₂ 排出量の算出方法について述べる。第 3 章では提案システムについて述べ、第 4 章では提案システムの実装環境について述べる。第 5 章では、提案システムを実際に運用実験した結果とその評価について述べる。最後に、

^{†1} 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科

Graduate School of Bionics, Computer and Media Sciences, Tokyo University of Technology

^{†2} 東京工科大学コンピュータサイエンス学部

School of Computer Science, Tokyo University of Technology

第6章で本研究により実現したことや問題点、今後の展望について述べる。

2. 関連研究

2.1 LCA手法

LCAでは産業連関法と積み上げ法の2種類の手法を用いてCO₂排出量の算出を行っている³⁾⁴⁾⁵⁾。

産業連関法は、産業間における取引金額をベースにCO₂排出量を算出する方法である。具体的には、製品に使用した素材を購入した金額からCO₂排出量の算出を行う手法である。一方で積み上げ法は、製品に使用した素材の重量をベースにCO₂排出量を算出する方法である。具体的には、対象とする製品に使用した原料の重量と環境への影響量を掛け合わせた値を用いて算出を行う手法である。

産業連関法・積み上げ法では、その資源・エネルギーが与える環境負荷について、あらかじめ決められた値を基にCO₂排出量の算出を行っている。

2.2 輸送におけるCO₂排出量算出方法

輸送におけるCO₂排出量の算定方法として経済産業省と国土交通省が共同で作成したガイドラインが存在する⁶⁾⁷⁾⁸⁾。このガイドラインは、燃料法、燃費法、改良トンキロ法、地域間マトリックス法、従来トンキロ法、料金法の計6つの算定方法を紹介している。各算定方法は燃料法、燃費法、改良トンキロ法、地域間マトリックス法、従来トンキロ法、料金法の順で制度が高い。

2.3 輸送経路変動を考慮した消費者向けカーボンフットプリント表示システム

我々は先行研究として、RFタグのユーザメモリを用いた輸送経路記録手法を利用し、輸送経路変動を考慮した消費者向けカーボンフットプリント表示システムの提案を行った⁹⁾¹⁰⁾。このシステムでは、ロット*1単位で管理される商品を、RFIDトレーサビリティシステムによって履歴管理をすることでCO₂排出量の算出を行う。このシステムでは図1に示すように、レジで発行されるレシートを介して、商品ごとのCO₂排出量を買い物後に消費者に表示している。

2.4 課題

本研究では出荷単位でCO₂排出量を算出することを考える。こうすることで、同じ商品でもよりCO₂排出量が少ない商品を選ぶことができるなど、消費者の環境意識への対応や、

くまスーパー工科大店	
TEL 0120117117	レジ #2
2008年5月11日(火) 18:24	
商品A1点	ロット番号:0000028883 CO2量:128グラム 価格157円
商品A1点	ロット番号:0000028883 CO2量:128グラム 価格157円
商品B1点	ロット番号:0000023845 CO2量:142グラム 価格157円
商品B1点	ロット番号:0000023845 CO2量:142グラム 価格157円
*同じ商品でも流通経路でCO2が変わります。	
合計金額	628 円
合計CO2量	540 グラム
クマス陽株式会社	
担当	くま店長

図1 レシートによるCO₂排出量表示

地産地消の促進が期待できる。

LCA手法は商品全体で一律の値を用いるため、個別のCO₂排出量を算出することはできない。燃料法は燃料の使用量にもとづいた最も精度の高い算出方法であるが、専用の燃料計測設備をすべての業者・輸送車に設置する必要があるなど、導入するには大きな負担がかかる。それ以外の算出方法は、いずれも商品輸送車の種類や速度変化を考慮していない。実際の輸送車は大型・小型、ガソリン車・ディーゼル車などのいくつかの種類が存在する。また、10 km/hでの走行区間もあれば、70 km/hでの走行区間も存在する。CO₂の排出量は車種や走行速度によって大きく異なることが知られている¹¹⁾。

国土交通省が公開している車種別CO₂排出係数原単位を表1に示す。表1では、ガソリン車とディーゼル車において、平均速度別にCO₂排出係数原単位を公開している。ガソリン車、ディーゼル車はそれぞれ乗用車、貨物・軽量車、貨物・中量車、貨物・重量車に分類されており、計8種類となる。また、平均速度は10 km/hから120 km/hまで10 km/hごとにCO₂排出係数原単位が公開されている。この表より、平均速度10 km/hと平均速度60 km/hではCO₂排出係数原単位に2倍以上の差が出ていることがわかる。本研究では、輸送経路だけでなく、事故や渋滞等によって生じる速度の変動にも対応したCO₂排出量算出システムの提案を行う。

*1 生産者が独自管理している個品の管理コード

表 1 車種別 CO₂ 排出係数原単位 (乗用車: $g - CO_2/km$, 貨物車: $g - CO_2/km \cdot t$)

平均速度 km/h	ガソリン車				ディーゼル車			
	乗用車	貨物車			乗用車	貨物車		
		軽量車	中量車	重量車		軽量車	中量車	重量車
10	339.0	225.5	228.1	435.9	216.1	217.5	117.4	
20	222.7	176.3	192.1	307.5	161.4	155.4	98.9	
30	177.5	149.0	163.5	249.7	135.1	128.7	84.0	
40	152.9	130.7	142.5	214.7	118.2	113.5	72.9	
50	138.7	118.7	129.2	193.1	106.8	105.3	65.4	
60	131.6	112.1	123.6	181.6	99.7	102.3	61.6	
70	130.2	110.6	125.7	178.9	96.3	103.9	61.4	
80	133.7	114.0	135.5	184.3	96.5	109.8	64.9	
90	141.7	122.2	153.0	197.4	100.0	119.7	72.0	
100	154.0	135.0	178.2	218.1	106.7	133.6	82.8	
110	170.5	152.6	211.2	246.1	116.6	151.4	97.2	
120	190.9	174.8	251.8	281.4	129.7	173.0	115.3	

3. 商品輸送車の走行速度を考慮した CO₂ 排出量算出システムの提案

本研究では Android 端末を利用し、商品輸送車の走行速度を考慮した CO₂ 排出量算出システムの提案を行う。本提案で使用する Android 端末は大きく分けて輸送用 Android と拠点用 Android の二種類に分別される。輸送用 Android では、商品輸送車が輸送する積荷の商品情報の設定や、輸送中の CO₂ 排出量の算出を行う。加えて、目的地到着後に拠点用 Android へ Bluetooth を用いて CO₂ 排出量の送信を行う。拠点用 Android では、輸送用 Android が商品輸送中に算出した CO₂ 排出量の受信を行う。本提案では、汎用の Android 端末にアプリケーションをインストールするだけで使用ができるため、導入コストが低いという利点がある。

提案システムの概要を図 2 に示す。本研究では、商品がロット単位で管理され、輸送中に商品の輸送単位が変動しないことを前提として行う。(1) 生産地では、商品をロット単位にダンボールに梱包し、RF タグを添付する。(2) 輸送用 Android に商品の重量・出発地・目的地等を登録し、出荷する。(3) 商品輸送中では、一定時間ごとに CO₂ 排出量の算出を行う。(4) 経由地到着後、拠点用 Android に輸送用 Android から拠点用 Android に対して算出した CO₂ 排出量を送信する。RF タグのユーザメモリに取得した CO₂ 排出量の格納を行う。(5)(6) では、(2) と同様の情報を登録し、販売店へ向けて出荷し、CO₂ 排出量の算

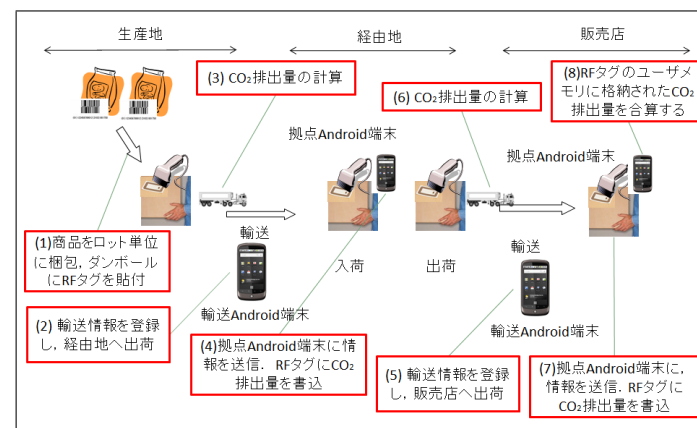


図 2 システム概要

出を行う。(7) 販売店到着後、(4) と同様に拠点用 Android へ情報を送信し、RF タグに受信した情報を格納する。(8) 最後に RF タグのユーザメモリに書き込まれている CO₂ 排出量の合算を行う。

3.1 CO₂ 排出量算出方法

本研究では、JR 貨物グループフレートライナーのエネルギー消費量・CO₂ 排出量試算で使われている計算式を用いる¹²⁾。CO₂ 排出量計算式を式 (1) に示す。

$$CO_2 \text{ 排出量} = \text{輸送トン数} \times \text{輸送キロ} \times CO_2 \text{ 排出係数} \quad (1)$$

式 (1) では、積載量である輸送トン数 (t) に輸送距離 (km) と二酸化炭素排出原単位 (kg-CO₂/トンキロ) をかけたもので CO₂ 排出量を算出している。二酸化炭素排出係数原単位は表 1 の車種別 CO₂ 排出係数原単位を用いる。しかし、表 1 の CO₂ 排出係数は平均速度 10 km/h ごとにしか表示されておらず、粒度が粗い。そこで、車種別の値を 4 次多項式近似で補完をした値を CO₂ 排出係数として用いる。

3.2 輸送用 Android

輸送用 Android は輸送設定機能、CO₂ 排出量算出機能、輸送情報送信機能の 3 つを持つ。

3.2.1 輸送設定機能

輸送設定機能では、個々の積荷排出量を算出するために積荷 ID、車種設定、商品リストの設定・登録を行う。動作画面を図 3 に示す。

積荷 ID ボタンは商品輸送車ごとの CO₂ 排出量を管理するための ID を設定する。車種

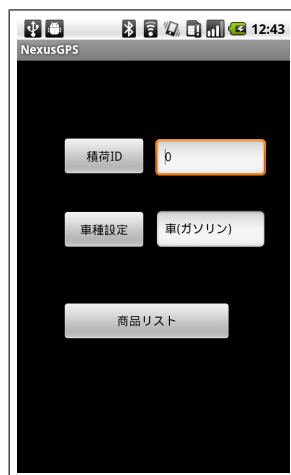


図 3 輸送設定画面



図 4 商品リスト登録完了画面



図 5 CO2 排出量算出機能

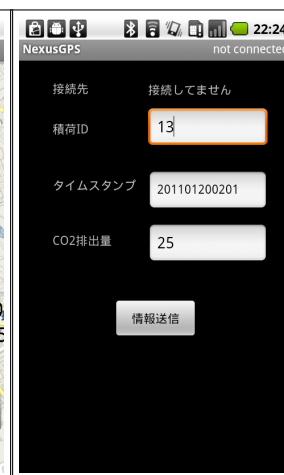


図 6 輸送情報送信画面

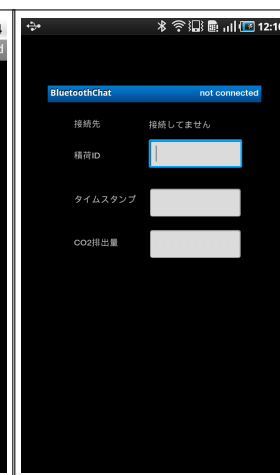


図 7 輸送情報受信画面

設定ボタンでは、商品輸送車がガソリン車とディーゼル車のどちらであるかを設定する。この2つは表1からもわかるように排出係数が異なるため、別個に扱う必要がある。商品リストボタンでは、積荷に関する重量・出発地・目的地・出発日時・積荷IDをロット単位で登録する。これらの登録が終わると、図4の登録完了画面が表示される。

3.2.2 CO2 排出量算出機能

CO2 排出量算出機能では、単位時間ごとに商品輸送中に商品輸送車が排出する CO2 排出量の算出を行う。動作画面を図5に示す。

画面の表示項目は、x, y, 時間, 距離差, 時間差, 平均速度, CO2 排出係数, CO2 排出量の8種類とした。x,yにはGPSで15秒おきに取得した緯度・経度, 時間には現在時刻, 距離差には前回計測した位置から進んだ距離, 時間差には2回分の位置計測に費やした時間を分単位で表示する。

平均速度には、距離差 / 時間差で算出した値。CO2 排出係数には、排出係数の近似曲線から平均速度に対応する値, CO2 排出量は、式(1)で算出した値を表示する。

計測開始ボタンはGPSを起動し、経路情報の計測を開始する。計測停止ボタンはGPSを停止し、経路情報の計測を停止する。計測終了ボタンは目的地到着時に、輸送中に排出したCO2排出量の合算を行う。

3.2.3 輸送情報送信機能

輸送情報送信機能では、CO2 排出量算出機能で算出した CO2 排出量を拠点用 Android に Bluetooth を用いて通信を行う。動作画面を図6に示す。

輸送情報送信機能では、拠点 Android の検索と輸送情報送信を行う。拠点 Android 検索では、他の Android 端末から検索できるように Bluetooth の許可の設定を行う。また、通信先の Android の検索を行い、接続を行う。接続に成功した場合は、接続先の Android 端末の名前が画面右上に表示される。輸送情報送信では、接続した拠点 Android 端末に輸送情報の送信を行う。送信する情報としては、ロット番号, 積荷 ID, タイムスタンプ, 商品輸送時に算出した CO2 排出量の合計値を送信する。

3.3 拠点用 Android

拠点用 Android では、輸送用 Android が算出した情報の受け取りを行うため、輸送情報受信機能を持つ。

3.3.1 輸送情報受信機能

輸送情報受信機能では、輸送用 Android 端末と Bluetooth 通信を行い、輸送用 Android 端末が算出した CO2 排出量の情報を受信する。輸送情報受信機能の動作画面を図7に示す。まず、他の Android 端末から検索できるように Bluetooth の許可の設定を行う。そして、

輸送 Android 端末から輸送情報を受信した場合、その輸送情報をデータベースに登録を行う。

4. 実装環境

輸送用・拠点用 Android のアプリケーションは Windows Vista が動作する PC 上で JAVA で行った。データベースは SQLite を用いた。輸送用 Android の端末は、Nexus One を用いた。拠点用 Android の端末は、GALAXY Tab を用いた。各端末のインターネット接続は Pocket wifi を用いた。各端末の Android のバージョンは 2.2.2 を用いた。

5. 評価実験

5.1 実験方法

提案システムで算出した CO₂ 排出量を、従来手法で算出した排出量と比較する実験を行った。用意したルート 2 種類を乗用車で複数回走行してもらい、各回での CO₂ 排出量を調べた。各ルートを走る時間帯は、渋滞が発生して混雑する朝方、自動車が少ない夜間、の 2 つとした。

各ルートの詳細を表 2(ルート A) および表 3(ルート B) に示す。ルート A, B ともに出発地・目的地をガソリンスタンドとし、それぞれで満タンに給油を行った。これは目的地到着後の給油量から燃料の使用量を求め、燃料法に近い方法(以降、満タン法)で CO₂ 排出量を算出するためである。推定移動距離、推定所要時間は Google Map のルート算出機能で求めた。燃費基準値および 1km 走行における CO₂ 排出量は、国土交通省が公開しているガソリン乗用車燃費の値を用いた。

表 2 実験環境 (ルート A)

出発地	ENEOS フロンティア東京第 2Dr.Drive セルフ三鷹店
目的地	関東礦油株式会社八王子みなみ野 東京都八王子市みなみ野 2-2
推定移動距離	28.6km
推定所要時間	66 分
走行車	三菱 ギャラン (ガソリン車)
燃費基準値	13.0(km/l)
1km 走行における CO ₂ 排出量	173(g-CO ₂ /km)
使用 Android 端末	Nexus One

表 3 実験環境 (ルート B)

出発地	ENEOS フロンティア東京第 2Dr.Drive セルフ国立店
目的地	関東礦油株式会社八王子みなみ野 東京都八王子市みなみ野 2-2
推定移動距離	28.5km
推定所要時間	73 分
走行車	マツダ アクセラ (ガソリン車)
燃費基準値	13.0(km/l)
1km 走行における CO ₂ 排出量	200(g-CO ₂ /km)
使用 Android 端末	Nexus One

5.2 実験結果

表 4 に、実験ルート A についての結果を示す。実験ルート A では、朝 2 回、夜 1 回の合計 3 回の実験を行った。算出された CO₂ 排出量を見ると、朝方よりも夜間の方が排出量が少なくなっていることがわかる。輸送距離については、1 km 程の差はあるものの、ほとんど同じ距離を走っている。ルート A では、1 回目の実験の際に走行ルートに誤りがあったため、実験データに差が生じた。所要時間については、最大で 20 分程差が出ている。

表 5 に、実験ルート B についての結果を示す。実験ルート B では、朝 2 回、夜 2 回の合計 4 回の実験を行った。算出された CO₂ 排出量を見ると、朝方よりも夜間の方が排出量が少ないことが多いという結果が出た。輸送距離については、全体で 1km 程の差はあるものの、ほとんど同じ距離を走っている。こちらも所要時間については、最大で 20 分程の差が出ている。

次に、各種法による排出量が、最も正確と思われる満タン法と比較してどの程度の差があるかを比較した。

表 6 に、ルート A の満タン法と各手法の差分結果を示す。各手法での差分の平均を計算すると、提案システムによる算出結果が満タン法に最も近い値となった。個別に見ても、提案手法は渋滞の有無に関わらず最も差が小さいことがわかる。1 回目および 3 回目に関しては、いずれの手法も満タン法と大きな差が生じている。これらはいずれも早朝の実験のため、エンジン冷却によるミッション効率の悪さが一因と考えられる。

表 7 に、ルート B の満タン法と各手法の差分結果を示す。各手法での差分の平均を計算すると、ルート A と同じく提案手法による算出結果が満タン法に最も近い値となった。

実験結果から、提案システムは従来手法に比べて平均値として輸送の実態を反映していると考えられる。また、提案システムは満タン法より精度が低い、満タン法よりも低コストで導入できることから、提案システムの有用性を確認した。

表 4 実験ルート A 結果

実験回数	1 回目(朝)	2 回目(夜)	3 回目(朝)
輸送距離 (km)	27.0	28.5	28.4
所要時間 (分)	75	51	74
給油量 (L)	4.00	1.85	3.39
提案システム (g)	5080.0	4643.24	5467.22
満タン法 (g)	9280.0	4295.07	7864.8
燃費法 (g)	4818.0	5086.16	5068.3
ガソリン乗用車別算出手法 (g)	4671.0	4930.5	4913.2

表 5 実験ルート B 結果

実験回数	1 回目 (夜)	2 回目 (朝)	3 回目 (夜)	4 回目 (朝)
輸送距離 (km)	29.4	28.6	28.7	28.5
所要時間 (分)	69	73	54	72
給油量 (L)	2.52	2.67	1.90	2.86
提案システム (g)	5253.0	5344.0	4599.0	5396.0
満タン法 (g)	5846.4	6194.4	4408.0	6635.2
燃費法 (g)	5246.8	5104.0	5121.8	5086.15
ガソリン乗用車別算出手法 (g)	5880.0	5720.0	5740.0	5700.0

表 6 満タン法との差分結果 (ルート A)

実験回数	1 回目 (朝)	2 回目 (夜)	3 回目 (朝)	平均
満タン法 (g) - 提案システム (g)	4059.0	348.17	2334.58	2247.25
満タン法 (g) - 燃費法 (g)	4462.0	791.09	2796.5	2683.20
満タン法 (g) - ガソリン乗用車別算出手法 (g)	4609.0	635.43	2951.6	2731.01

表 7 満タン法との差分結果 (ルート B)

実験回数	1 回目 (夜)	2 回目 (朝)	3 回目 (夜)	4 回目 (朝)	平均
満タン法 (g) - 提案システム (g)	515.4	690.4	251	1164.2	655.25
満タン法 (g) - 燃費法 (g)	599.6	1090.4	713.8	1549.05	988.21
満タン法 (g) - ガソリン乗用車別算出手法 (g)	33.6	474.4	1332.0	935.2	693.8

6. ま と め

本研究では Android 端末を利用し、商品輸送車の走行速度を考慮した CO2 排出量算出システムの提案を行った。評価により、提案システムが従来手法より精度が高く、かつ低コストで導入可能なため、システムの有用性を確認した。今後の予定として、提案システムが算出する CO2 排出量の精度向上を行う。提案システムでは、貨物車を軽量・中量・重量の 3 種類で積載量を分類したが、今後は最大積載量別に細かく分類し、CO2 排出係数にどのような影響が出るか等、精度の向上を行っていきたい。

参 考 文 献

- 1) 稲葉敦. カーボンフットプリント. 工業調査会, 2009.
- 2) 農林水産省農業環境技術研究所. カーボンフットプリント制度の実用化・普及推進研究会. 養賢堂, 2000.
- 3) 宮本重幸. 積み上げ法と産業連関法. <http://www.ecology.or.jp/member/lca/0009.html>, 2009.
- 4) 経済産業省. 農業におけるライフサイクルアセスメント. <http://www.meti.go.jp/press/20080617007/20080617007.html>, 2009.
- 5) BSI. Pas 2050. <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050/>, 2009.
- 6) 経済産業省・国土交通省. 物流分野の co2 排出量に関する算定方法ガイドライン. <http://www.enecho.meti.go.jp/policy/images/060518pamph.pdf>, 2010.
- 7) ロジスティクス分野における CO2 排出量算定方法. 経済産業省・国土交通省. <http://www.butsuryu.or.jp/co2/pdf/CO2guideline.pdf>, 2009.
- 8) 経済産業省. 共同ガイドラインについて. <http://www.enecho.meti.go.jp/policy/kyodo.htm>, 2009.
- 9) 吉田真樹, 戸田暁博, 江原正規, 井上亮文, 星徹. RF タグのユーザメモリを用いた流通経路記録手法の提案. 情報処理学会第 71 回全国大会, 2009.
- 10) 戸田暁博, 吉田真樹, 江原正規, 井上亮文, 星徹. 輸送経路変動を考慮した消費者向けカーボンフットプリント表示システム. マルチメディア, 分散, 強調とモバイル (DI-COMO2009) シンポジウム, 2009.
- 11) 国土技術政策総合研究所. 中間年次の排出係数の算定. <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryu/tnn/tnn0141pdf/ks014107.pdf>, 2009.
- 12) JR 貨物グループ日本フレートライナー株式会社. エネルギー消費量・co2 排出量試算. <http://www.f-l.co.jp/eco/calculate.html>, 2010.