

## 日本LCA学会第1回講演会報告「運輸部門関連のマクロ分析とLCA」

河西 純一・高橋 淳・宮本 重幸

### Report on the first Workshop of ILCAJ

Junichi KASAI, Jun TAKAHASHI and Shigeyuki MIYAMOTO

#### 1. はじめに

2005年5月12日に、東京大学本郷キャンパス 山上会館 2階 大会議室にて第1回目の講演会が開催された。テーマは、「運輸部門関連のマクロ分析とLCA」とした。

日本LCA学会理事、独立行政法人産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター長の稲葉敦氏より開会挨拶をいただいた。稲葉氏のご挨拶に続き、4氏からご講演をいただいた。講演会に参加できなかった会員諸氏に概要だけでもお伝えしたいと思い、企画委員メンバーで記録したことを簡単にまとめてみた。

#### 2. ご講演内容

##### 2.1 LCA的観点での運輸部門の分析と提言

日本LCA学会顧問、慶應義塾大学教授 石谷久氏



##### ① 燃料電池車 (Fuel Cell Vehicle, FCV) と WtW (Well to Wheel: 井戸もとから車軸まで) 分析の概要について

FCV、燃料電池 (FC) 開発・推進の背景と動機には、まず走行時排出物が $H_2O$ のみである利点を生かした地域環境問題(排ガス)への対応を挙げることができる。更に高効率化とエネルギー源多様化による $CO_2$ 削減、並びにエネ

ギー保全・安全保障にも直結し、実現できた場合の社会的なメリットが非常に大きい。先進国での技術開発競争が繰り広げられている。FCV・水素経済の実現への期待と課題を以下にまとめる：

- ・目的：大気環境、高効率化、エネルギー安全保障、産業政策・技術開発競争
- ・課題：

▶FCVのコスト、耐久性の向上、

▶水素製造一次エネルギー源、水素の貯蔵、輸送などの取り扱いの困難さ、安全性と社会的認知

多大なメリットが期待できる反面、FCV、FC開発・推進には課題・障害も多く、上述のような根源的な課題以外にも、その基本性能の向上、経済性向上、燃料とインフラ、資源制約への対応・廃棄問題など多岐にわたる。

FCV・水素経済の実現には、ドラスティックな社会構造の変革が必要であり、またその立ち上げには強力な支援政策を必要とする。そこで実現の妥当性をLCA的に分析し、社会的合意を形成する必要がある。ここに、WtW分析の必要性がある。なお、社会構造の変革を実現するためには、インフラ整備として膨大な初期投資が必要となる。

WtW分析とは、LCAの一部であり、その調査範囲は自動車にとって重要な環境側面で、データ収集がやりやすい部分に集中している。すなわち、エネルギー採取・輸送・生成(WtT=Well to Tank)と走行(TtW=Tank to Wheel)に限定し、個々のプロセスの効率を一次エネルギーにまで遡って積算するのが基本的な概念である。

WtT + TtW = WtW分析にも課題はあり、再生可能資源がゼロカウントである点、発電所建設などの資本形成はノーカウントである点、など注意を要することが例示できる。TtW分析を単独で扱う場合も、その結果が燃費で決まることから、次のような燃費性能に関わる課題がある：

- ・各国で燃費・排ガスを計測する基準走行モードが異なる

河西 純一 / (独)物質・材料研究機構 / 〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1

高橋 淳 / 東京大学 / 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

宮本 重幸 / 日本電気(株) / 〒305-8501 茨城県つくば市御幸が丘34

Junichi KASAI / National Institute for Materials Science / 1-2-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-0047

Jun TAKAHASHI / University of Tokyo / 7-3-1 Hongou, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656

Shigeyuki MIYAMOTO / NEC Corporation / 34 Miyukigaoka, Tsukuba, Ibaraki 305-8501

(日本：10-15モード→JE05トランジェントモードと欧州、米国、試験開始がコールドスタートか暖機後スタートかを含め)

・自動車の製造エネルギー (LCA的には全生涯の15%程度を占める) はノーカウントだが、TtWが高効率になるほど重要になり、無視できなくなる。

WtW分析の結果概要と課題・論点をまとめると、次のとおりである(詳細は②で記述する)：

- ・ハイブリッド車は従来車(ガソリン内燃機関)より1.5～2倍良い(前提条件などによる変動はあるが)
- ・前提条件の差、電力ミックス、副製品の考え方(コークス炉からの副生水素)、LCIとの兼ね合い(特に再生可能資源、自動車製造、再生可能エネルギーなど)、コスト推定
- ・将来技術を予測するため不確実性が大きく、実証が必要(将来技術を感度分析で扱い評価することも)

## ② JHFC(Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project) プロジェクトの概要

JHFCプロジェクトには、経済産業省、日本自動車研究所、エンジニアリング振興協会、新エネルギー財団などが参加している。プロジェクトは現在4年目にあり、1年延長され、今年が最終年度である。20～30億円/年の予算で、インフラ整備を含めた資本投資の一環であり、自動車と水素供給設備を対象に省エネ効果・環境負荷低減効果の実証と啓蒙・広報活動も行っている。主な活動内容には以下のものが含まれている：

- ・大規模なFCV実証走行実験(約40台)
- ・水素ステーションの開設、首都圏に10ヶ所
- ・実証実験による燃費(TtW)測定、結果の公表(現在は中間報告段階であるが、この規模で実証データを開示したのは世界初である)

・最終報告書は今年度末に公開予定

実証実験の結果概要：

- ・平均値：ICV 10.2、HEV 20.7、FCV 23.8(km/ℓ)
- ・トップランナー：ICV 11.1、HEV 25.0、FCV 31.0

ICV (Internal Combustion Vehicle, ガソリン内燃機関) は成熟した技術であるため、車種間の差は小さい。一方、HEV (Hybrid Electric Vehicle, ハイブリッド車)、FCVは平均値とトップランナーとの差が大きく、技術的には成長段階にある。

将来技術の予測に関しては、FCVのFCスタック効率は現状トップランナーでも50%程度と推測されるため、燃費も31.0km/ℓにとどまっている。しかし、理論的可能性をモデル計算するとFCスタック率55%で34.5km/ℓ、60%で38.0km/ℓ、65%で41.4km/ℓ、と予測でき、FCスタ

ック効率の向上が燃費向上に向けた大きな技術開発課題といえる。

なお、公表する結果について社会全体の納得を得る必要がある、引用した文献データやエネルギー換算係数などはすべてWebで公開し、透明性を確保する。

WtW効率分析結果は、明快な数字で示されるため理解しやすい反面、課題で示した項目に起因する変動要因が含まれており、次のような注意が必要である：

- ・政策決定の一つの要素に過ぎない
- ・不確実性が大きい、フォローアップ・実証が必要

## 2.2 自動車の環境技術と今後の課題

(財) 日本自動車研究所理事 林直義氏



林氏は、3年前まで本田技研で四輪車開発を担当していた。LCAの専門家ではないが、車両開発の立場でLCAについての意見を述べる。LCAは実施するのが非常に大変であり、できたものの評価ではなく、開発・設計に生かすことで、費やした労力に見合う有効な活用を目指すことが重要である。

### ①自動車と環境負荷についての概要

現在、世界の自動車保有台数は8億台、2030年には現在の1.5倍になる見込みであり、自動車に関連する環境問題への重要性はさらに高まっていく。

まず、これまでの自動車に関連する環境問題の推移を整理してみる：

- ・1960年代：大気汚染対策が中心
- ・1990年代から：資源枯渇、気候変動、土壌汚染・埋立地逼迫などへ多様化

単一の課題だけでなく、現在では全体をみて事業活動を舵取りしていくことが必要であり、LCAの視点での総合的な評価・判断が必要となってきている。

自動車の仕様と性能・環境負荷指標の推移を具体的に振り返ってみる。安全性向上装備追加、顧客嗜好による大型化が理由で、車両重量は年々増加し、1980年には0.9ton

未満であったが、2000年には約1.1 tonに達している。一方、燃費は年々向上しており、1980年には12～13km/ℓであったが、2000年には16～17km/ℓにまで向上している。つまり、1台当たりの性能は大幅に改善されているが、台数増加がより急なためCO<sub>2</sub>総量は増加しており社会問題化している。これに対応するため、さらなる自動車単体の改良を継続して進めてきているという構図になる。個別の環境問題について、推移と現状をまとめると：

- ・地球温暖化指標：エアコンの冷媒をノンフロン化し廃棄時負荷を削減、燃費向上も貢献している
- ・オゾン層破壊指標：1992年にフロン12を使用・廃棄時全廃、1997年には製造段階でも全廃
- ・光化学スモッグ指標：1978年規制からの強化により、使用段階は削減、2000年の新短期(☆)で1/3、2010年の新短期(☆☆☆)で1/6に削減、給油時と製造段階の炭化水素発生防止が残された課題
- ・自動車シュレッダーダスト埋め立て重量と使用済み自動車リサイクル率の推移：合成樹脂の使用拡大でシュレッダーダスト増加、リサイクル促進で若干減少。今年からリサイクル法施行され、2015年目標値に向けさらに減少見込み。

以上の現状に立脚し、自動車の環境問題を展望する。オゾン層破壊、大気汚染、廃棄物については、すでに大幅な改善により環境負荷は低減されつつある。地球温暖化、資源枯渇(化石燃料、金属鉱物)、途上国の環境悪化については、改善余地が大きく残されており、今後の重要課題である。HEV、FCVの進歩・普及は、これらの将来課題に有効と考えられており、技術開発が必要である。

### ②自動車の環境負荷低減のための軽量化について

今後の重要課題の中でも、燃費向上が最優先課題といえる。各燃費向上技術のCO<sub>2</sub>エミッション削減効果が、CARB Report(米国、公聴会開催で公開)に示されている。対策技術反映により、2010～2015年は20～30%の削減が見込まれるという試算がされている。ただし、日本車では、ここに掲げられた対策技術の一部は既に反映されており、削減可能な見込み幅は20～30%よりは小さくなってしまふ。これらに上乘せした燃費向上技術の開発・反映が必要となっている。

燃費向上技術には、経済的な観点での考察が不可欠である。燃費向上技術と価格の関係を概観すると、たとえば高性能HEVは非常に高価だが燃費向上に大幅に有効(2500\$で53%燃費向上)といった具合に、費用を掛ければそれなりの効果が期待できる技術もある。同様に、軽量化は燃費改善に今後必須な技術であるが、100kg軽量化するのに200\$が必要となる。現実的には、軽量化するためのkg単価を下げていく努力をしないと、実用化には結びつかない。

燃費向上技術の中でも、技術的な課題が山積している自動車の軽量化に焦点を当てる。どこの部位を軽量化するべきかを検討するのに、台当たり重量の重い部品に特化しようとする、圧倒的にボディが重い部材である。軽量化した事例に、ホンダ・インサイトのアルミハイブリッドボディを挙げることができる。ホンダ・NSXも同じくボディにアルミを適用した車であるが、高価なアルミ板材を多用していた。板材を減らし押出材とのハイブリッド化で、インサイトのボディでは経済性を改善した。(実用化に不可欠)

インサイトのボディ軽量化事例をLCI分析した結果を紹介する。実際の量産車は、アルミ製ボディで車両重量は772kg、エンジン排気量1.0ℓである。これと対比するため、ボディをスチール製とした場合、車両重量は965kgになり、同等の走行性能を確保するためにはエンジン排気量1.3ℓが必要となる。アルミ製インサイトの燃費は良くなるが、素材・製造エネルギーは増加し、ライフサイクルでCO<sub>2</sub>削減効果は目減りしてしまう。目減り幅を小さくするためには、アルミをリサイクルすれば、素材・車両製造の負荷を大幅に減らすことができる。アルミ材のアップグレードリサイクル技術を開発・適用したことで、現実的にアルミ化に伴う環境負荷増加分を抑えることができた。

ホンダ・レジェンドでもボディのアルミ化を含めた大幅な車体重量の削減を実現した。アルミ適用による軽量化効果は102kg、その他の軽量化対策技術(マグネシウム・炭素繊維強化プラスチック適用、など)を含めて合計で150kg程度の軽量化を達成した。自動車の軽量化は、今後期待される技術であるが、これらの技術は地道な継続的研究開発が必要である。

### ③LCAについて感じたこと

将来の自動車をどうするべきかの判断材料を得ることができ、LCAにより環境側面をビジネス軸に加えることができ、環境対策コストが理解されるようになってきた。ただし、LCAは煩雑であり、データ不足や精度レベル差があるため、使い方の工夫が必要である。公表事例にあるような、実用化した結果のLCAではなく、製品開発の早い段階(設計段階)にいかにかLCAを反映できるのかが重要である。

エネルギー、CO<sub>2</sub>のLCAはコスト評価に類似しており、協力企業の協力が得られないことがある。LCAで定量的環境情報を提供することは上述のとおり非常に意義があるため、LCAの実施を支援する手法、データベースの効率化・共有化、社会要請を知るための総合環境影響評価、などLCA学会に期待する部分である。

## 2.3 運輸における ICT (Information and Communications Technology) の活用事例と環境影響評価

日本電信電話(株)プロジェクトマネージャー 西史郎氏



### ① ICTの現状について

通信ネットワークは、電報→電話→携帯電話、ファックス→インターネット(高速化)という変遷をたどってきている。電話は、距離の克服とリアルタイム性に特徴がある。また、インターネットの普及で人-人から人-機械へ、1対1から1対不特定多数へと移行し、リアルタイムから時間の克服(都合の良いときにアクセス)へ進化している。

ブロードバンド化は、各種の社会的課題解決に活用できる可能性を持っており、そのひとつが環境・エネルギー問題の解決への活用である。

### ②運輸における ICTの活用事例

ユビキタスネット社会のイメージ(いつでも、どこでも、誰とでも)を実際に適用した事例とその効果をいくつか紹介する。

生産・流通分野(イオン)では、配送手配に伝票処理を使っていたが、かなりの物品が間違ったところに送られていた。伝票/配送処理を電子化(バーコード処理)することにより、誤配送が削減でき、配送における無駄を排除できた。

輸送分野(日通)では、車載されているデジタルタコグラフとGPS(Global Positioning System)で走行方法などをモニタし、改善指導することにより、燃費を10%改善できた。外の情報を車へ、車の情報を外へ、双方向の情報交換を利用したITS(Intelligent Transport Systems)適用事例である。機密文書廃棄物物流において、通常は決まった日(2,3ヶ月に1回)にトラックで全事業所を回送し機密文書廃棄物を改修していた。これを、廃棄文書がある程度たまったら自動的に情報を送り、運ぶように改善した。積荷が少ない事業所は飛ばせるようになり、積荷情報の取得による効率化ができ、43%の走行距離と燃料を削減した。

八王子市在住者の買い物の仕方をモデル化し、自動車で購入物をしに行く場合と、宅配利用で購入する物品を各自

宅へ配送する場合とを比較し、エネルギー消費量を試算した。宅配利用の方が効率的であり、宅配システムを日本全国に展開し利用することで、5.5 PJの効果が期待できる。この効果は比較的大きく、日本の総エネルギー使用量の0.03%削減に相当する。

埼玉新都心における配送では、それまで各ビルの個別事業者ごとに配送していたものを、ビルごとにまとめて共同配送するようにして、配送便数を削減し輸送による環境負荷を削減した。

異業種との共同配送(サントリー)をICTで利用可能とし、一部を鉄道輸送へシフトするなど、トラック輸送の削減と効率向上を実現させた。

自社の配送便(イオン)だけであっても、共同配送的な発想での改善事例もある。各小売り店舗への商品輸送を店舗単位で往復便を利用していたが、複数の店舗をルート便で配送する用にしたら結果、空車率を減らすことができ、輸送効率を向上させることができた。

車両運行情報提供サービスでは、GPSで車両位置を把握し、効率的な配送ルート指示し実車率を向上した。ネットワーク使用に起因する環境負荷(マイナス分)を差し引いても、環境負荷低減の効果大である。

出張会議とテレビ会議の比較をLCAで評価した事例では、出張・移動に伴う環境負荷と、テレビ会議運営による環境負荷とを比較し、テレビ会議での環境負荷削減効果を算出した。

ITSを利用した自動車のナビゲーションシステムの評価事例では、ビーコン消費電力、車載機消費電力、渋滞解消効果を総合的に評価し、ナビゲーションシステム利用によるエネルギー消費量削減効果を算出した。

NTTドコモと飲料メーカーの自販機遠隔管理への取り組み事例も紹介された。散在する飲料自販機内部の在庫状況を本部へ通知し、必要な場所に必要な飲料だけを配送することで輸送効率を向上させることができた。

オンラインショッピングでは、中間の流通が削減でき、消費者の移動削減などの効果もあり、オンライン稼働に伴うマイナス分を差し引いてもエネルギー消費量の大幅な削減効果を見込むことができる。

ICTの活用によるエネルギー消費削減効果を予測(2010年)した資料によれば、ICT活用により日本全体のエネルギー消費量の3.9%が削減できる見通しである。

ICTはエネルギー消費削減のポテンシャルが大きい。削減予測の約1/4が運輸であり、ICTは運輸部門の効率化に寄与できるとまとめることができる。

## 2.4 海上コンテナ貨物輸送の現状と未来

(株) MTI プロジェクトマネージャー 田村健次氏



MTIは日本郵船の100%子会社で、技術開発と人材開発を担当(2004年～)している。

コンテナ輸送とは、工場・農場(出荷元)～陸上輸送～港～海上輸送(船)～陸上輸送～顧客(納品先)を接続する輸送ルートを提供する。日本では1968年に日本～サンフランシスコ間で操業を開始した。コンテナ輸送では、機械化・標準化がメリットを生み出し、ドアツードアも利点となりうる。

現在のコンテナ輸送は、さらに機械化・標準化による効率化を実現できる仕組みになっており、陸上輸送でもコンテナをそのままダブルスタックトレインに乗せて輸送できる。

コンテナ輸送の課題を整理すると次のようにまとめることができる：

- ・空荷はそのままロスとなってしまう
- ・リースコンテナ利用など、経済性を向上するためには戦略が必要になる
- ・航空・鉄道輸送用コンテナと非共用
- ・貨物がさらされる各種環境因子対策：振動、衝撃、温度、湿度、結露、錆などへの配慮・対策が必要となる

コンテナの構造、材質を紹介する。コンテナには、一般的なドライコンテナと、冷凍装置付きの冷凍コンテナ(食品などを搬送)の2種類がある。ドライコンテナでは、軽量化でアルミコンテナが使われていたこともあるが、耐久性が悪く、現在はスチール製が100%。床を除く5面と床の梁がスチール製で、床板は木製である。冷凍コンテナは、輸入野菜の搬送などに使用されており、壁材にはポリウレタン断熱材をアルミ製内壁とステンレス製外壁でサンドイッチした構造ものが使用されている。これに冷凍ユニット(コンプレッサ、コンデンサ、コンデンサファン、コントロールボックス、エバポレータ、ベンチレータ、など)が追加・設置されている。最近では積荷が体積で規定されるも

のが増えており、容積増の要求が高まっており、断熱材の体積減少などで対応している。

コンテナ本体やコンテナ輸送についてのLCAは実施したことがないが、LCA的な考え方でコンテナ輸送に要求される改善課題をまとめると、次の2点が重要な課題であるといえる：

- ・軽量化と長寿命化(輸送効率)
- ・冷凍機の小型化・軽量化、断熱材の高性能化など容積の確保

### 3. まとめ

今回の講演者の先生方は、LCAをバリバリに使っている研究者ではなく、LCA的な発想で社会と技術を考え環境問題にも対応した技術開発の道筋を探求する企画者兼技術者の立場にいらっしゃる方々であるといえます。LCAは「実施してみるもの」から、「用途とその波及効果を考え活用するもの」へなりつつあり、運輸に関連する技術や製品システムについてのお話は、LCAを活用することを考えなければいけない我々LCA学会の会員にとって刺激あるものでした。言い換えれば、LCAの手法やデータを豊富に保有している本会会員が、LCAの用途と出会う場であったものと感じています。一方通行の講演会ではなく、講演者と参加者との意志疎通の機会として興味深い講演会でした。