

燃料電池車における LCA(エネルギー消費量と CO₂ 排出量)—ガソリン車と天然ガス車との比較—

山田 裕也^{1,*} 有山 裕介^{1,*} 井野 博満¹ 原田 幸明²

¹法政大学工学部

²物質材料研究機構

J. Japan Inst. Metals, Vol. 69, No. 2 (2005), pp. 237-240

© 2005 The Japan Institute of Metals

Life Cycle Assessment (Energy Consumption and CO₂ Emission) of Fuel Cell Vehicle in Comparison with Gasoline and Natural Gas Vehicles

Yuya Yamada^{1,*}, Yusuke Ariyama^{1,*}, Hiromitsu Ino¹ and Kohmei Halada²

¹College of Engineering, Hosei University, Koganei 184-8584

²National Institute for Materials Science, Tsukuba 305-0047

Automobile industry aims breakaway from oil system fuel vehicle, and develops hybrid, electric, and fuel cell vehicles for reduction of green house gas emissions. This report assessed the energy consumption and CO₂ emission for a fuel cell vehicle (FCV) in comparison with compressed natural gas vehicle (CNGV) and gasoline vehicle (GV) by LCA. In FCV, the stage of fuel manufacture accounts for a large part of life cycle, together with that of membrane production. In GV and CNGV, the stage of running accounts for a large part of life cycle. The total CO₂ emission of life cycle for FCV is 36 percent smaller than those of GV and CNGV, whereas the total energy consumption of FCV is 35 percent larger than those of the others.

(Received October 26, 2004; Accepted January 18, 2005)

Keywords: life cycle assessment (LCA), environment load, fuel cell vehicle

1. 緒 論

近年、自動車産業では温室効果ガス削減の観点から石油系燃料自動車からの脱却を目指して、ハイブリット車や電気自動車、天然ガス(CNG)車、燃料電池自動車の開発が進められている。

それぞれの自動車の特性を見てみると、ハイブリット車においては、モーターとエンジンの切り替え運転で燃費が向上する結果、使用段階の CO₂ 排出量は低減するが燃料にガソリンを使用する限り化石燃料からの脱却とはいかない。また、CNG 車はメタンを主成分とする天然ガスを燃料として使用するため、ガソリンに比べ CO₂ 排出は若干少ないものの、天然ガスという有限な化石燃料に頼ってしまっている事に変わりない。電気自動車は使用段階において電気を使用するため CO₂ 排出がないように思えるが、電気を何処から得るかに問題がある。現在火力発電が大きな割合を占めている日本においては電力を得るとき CO₂ が排出されているのに加え、化石燃料に依存している。原子力発電も、放射性廃棄物と安全性という困難な問題を抱えている。

燃料電池車においては燃料の水素を何から造るかという事が重要である。効率などの面から天然ガスの改質などが注目

されている。これだけでもガソリン車に比べれば大きな CO₂ 排出低減を見込めるが、その効果を定量的に把握する事が必要とされている。このような事から、将来 CO₂ 排出量の削減、化石燃料からの脱却という点で大きな期待を持つことのできる燃料電池車に注目し、本研究を行った。燃料電池車などの CO₂ 排出量削減効果の判断をするためには、プロセス(製造・走行・廃棄)ごとの詳細な環境負荷を定量的に評価する必要がある。

本研究¹⁾では、定量的に環境負荷を評価する手法として LCI(ライフサイクルインベントリ)を用いて、以下の2つに着目し燃料電池車およびガソリン自動車の環境負荷の定量評価を行った。(1)ガソリン自動車(GV)、天然ガス車(CNGV)、燃料電池自動車(FCV)の環境負荷をプロセスごとに比較し、ライフサイクル全体から見た比較を行った。(2)燃料電池自動車に用いる水素燃料について製造法別に環境負荷評価および比較を行った。

さらに、技術革新が著しく定量的な LCI データが得られにくい FCV の陽子交換膜(PEM 膜)については、産業連関表を用いた解析を行った。

2. 設定条件および各プロセスの環境負荷算出の方法

2.1 システム境界の設定および走行距離

LCI の対象として設定したシステム境界を Fig. 1 に示

* 法政大学大学院学生(Graduate Student, Hosei University)

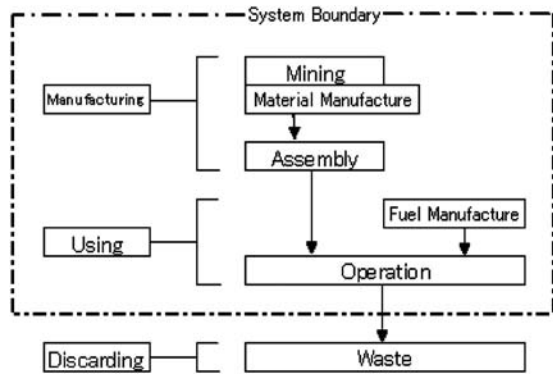


Fig. 1 System boundary of the present LCI for a vehicle.

す。ここで、燃料製造プロセスは使用段階に含めて考える。本研究では、走行段階において自動車の平均的生涯走行距離 10 万 km を想定した。

廃棄段階に関しては、燃料電池スタックや高圧水素タンク等は現在廃棄されておらず環境負荷を見積もることが困難である。そこで本研究では、各自動車とも廃棄プロセスの環境負荷は大きな差がないと仮定して、製造プロセス、燃料製造プロセス、走行プロセスをシステム境界内にとって比較する事とした。よって今回システム境界に取り入れたプロセスは製造、燃料製造、走行である。但し、実際には各自動車の廃棄の環境負荷は同一ではなく、さらに燃料電池やバッテリーのリサイクル・リユース技術が実用化されれば、燃料電池・バッテリーの製造工程の環境負荷分が削減されるためその有無は環境負荷に大きな差を与えるという事には注意が必要である。

2.2 製造段階

製造段階とは車の素材(原料)となる資源の採掘、素材製造であり、その時の環境負荷を算出する。乗用車は 1992 年製造車を対象とし、燃料電池車は開発段階の技術という事を考慮し、2001 年の原材料構成比を用いて算出した。乗用車の主な素材については、文献 2) を用いて算出した。燃料電池車に特有な部品(燃料電池スタック、高圧水素タンク、二次電池<リチウムイオン電池>)については、各々で環境負荷を見積もった。水素タンクに関しては文献 3) から推算し、二次電池に関しては文献 4) を用いて算出した。

燃料電池スタックの一部の材料^{5,6)}は、詳細な材料データを取得するのが困難であったため、各素材が産業連関表⁷⁾の分類表の中で何処に分類されているか調べてその分類から文献 8) の原単位を用いて環境負荷を概算した。

2.3 使用段階

本研究の使用段階のインベントリは、Fig. 1 に示すように走行時の環境負荷+燃料製造時の環境負荷を合わせたものである。メンテナンス(保守)に関しては、燃料電池車は技術開発の途上なので評価対象外とした。

2.3.1 燃料製造段階

燃料電池車の燃料は水素を基本とするが、現在、メタノール改質やガソリン改質などの様々な手法が検討されている。

本研究では水素の製造において、次の 5 つの異なる燃料製造プロセスでの環境負荷を求め燃料電池車の走行段階での環境負荷を比較検討した^{9,10)}。

- ① NG⇒メタノール⇒H₂
- ② LNG⇒H₂<サービスステーションでの H₂ 製造>
- ③ LNG⇒H₂<セントラルプラント>
- ④ ナフサ⇒H₂<サービスステーションでの H₂ 製造>
- ⑤ ナフサ⇒H₂<セントラルプラント>

なお、②および③の LNG⇒H₂ 製造のフローは、地下天然ガス採取⇒天然ガス精製・液化⇒LNG 輸送⇒LNG 受け入れ・ガス化⇒ガス輸送⇒水素製造⇒自動車へ充填となっている。

2.3.2 走行段階

ガソリン車の走行インベントリは文献 11) を用いて算出した。ガソリン車の走行モードについては、エンジンが暖まっていない冷機状態も無視できないため、10・15 モードと 11 モードに分けて算出した。燃料電池車では、水素のもつ自由エネルギーから走行におけるエネルギー消費を算出した。

3. 研究結果

3.1 ガソリン車、天然ガス車、燃料電池車の比較

ガソリン車(GV)、天然ガス車(CNGV)、燃料電池車(FCV)の製造および使用段階におけるエネルギー消費量(単位: GJ)および CO₂ 排出量(単位: kg)のインベントリ算出結果を Table 1 および Fig. 2 に示した。ここでは 5 つの水素製造方法のうち②を用いた結果を示す。

3.2 異なる水素製造プロセスの比較

ライフサイクルの中でも大きな割合を占めている燃料製造は、先に述べた 5 つの水素製造プロセスのうち、総合効率が最も良いとされる② LNG⇒H₂(サービスステーションでの H₂ 製造)を使用して上記の結果を算出している。燃料電池自動車ライフサイクルの中でも 30% 程度の大きな割合を占めている水素製造プロセスにおける環境負荷低減は重要である。そこで燃料(水素)の製造プロセスの違いによっての環境負荷低減効果を求めた。まず、前述の 5 つの水素製造プロセスのインベントリデータの比較を Fig. 3 に示した。

Fig. 3 から分かるようにプロセスの違いによって一台の車につきエネルギー消費量で 30 GJ 程度、CO₂ 排出量で 2000

Table 1 Inventories of manufacture, fuel manufacture and using for a gasoline vehicle (GV), compressed natural gas vehicle (CNGV) and fuel cell vehicle (FCV).

	GV		CNGV		FCV	
	Energy E/GJ	CO ₂ M/kg	Energy E/GJ	CO ₂ M/kg	Energy E/GJ	CO ₂ M/kg
Manufacture	47.9	3170	58.5	3820	344.8	11230
Fuel manufacture	47.4	2730	58.0	2300	100.3	4900
Using (100000 km)	319.7	21500	310.5	17100	120.0	0
Total	415.0	27400	427.0	23220	565.1	16130

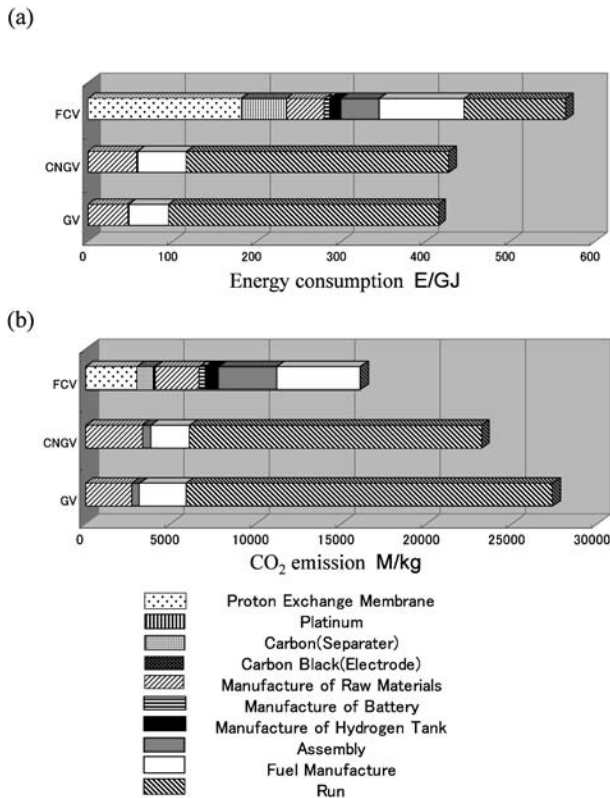


Fig. 2 Comparison of total energy consumption (a) and CO₂ emission (b) for GV, CNGV and FCV.

kg 程度の環境負荷低減効果が見込める。これは、ライフサイクル全体から見て約 10%の低減効果となる。

3.3 PEM 膜の検討

Fig. 2 から分かる 2 つ目の事として、陽子交換膜 (PEM 膜) の製造が、ライフサイクル全体から見て 20~30% の割合を占めている。PEM 膜については精度のあまり良くない産業連関表を用いて算出したが、全体のデータに対して大きな割合を占めている為、結果の信頼性の点からさらに詳しく検討を行った。

産業連関表に分類されているそれぞれ樹脂を使用した場合の結果を Fig. 4 に示す。燃料電池車のライフサイクル全体に占める割合はエネルギー消費量で 21~32%、CO₂ 排出量で 13~19% 程度になった。Fig. 4 を見て分かるように、本研究で PEM 膜のインベントリーデータとして「その他の合成樹脂」の項目を用いた事はエネルギー消費量、CO₂ 排出量の値共、様々な樹脂での値の中で大き目のものを採用した事になっている。

4. 考 察

(1) 燃料電池車のエネルギー消費量の算出結果がガソリン車や天然ガス車よりも大きくなった原因として燃料電池車は量産体制が確立されていないため、プロセスに係るエネルギー量が多い為ではないかと考えられる。この事に関しては PEM 膜製造が 32.0% と最も大きな割合を占めている事に顕著に表れている。

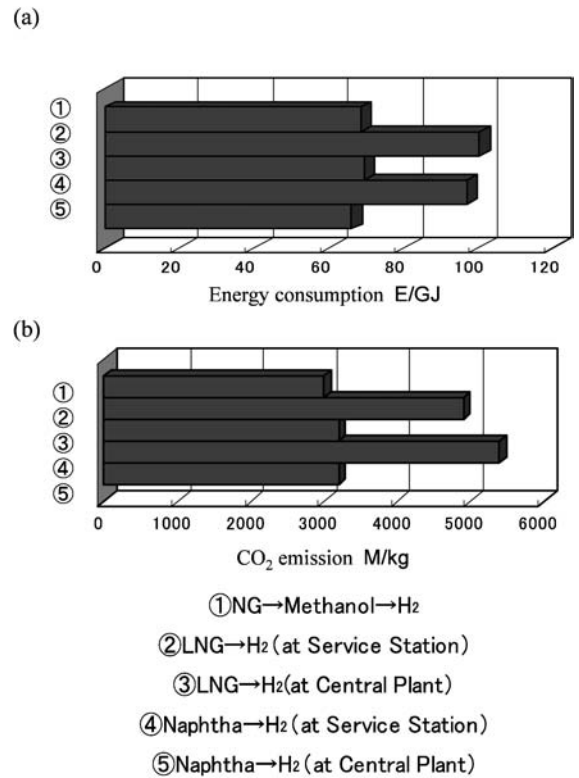


Fig. 3 Comparison of energy consumption (a) and CO₂ emission (b) for various kinds of hydrogen manufacturing for FCV.

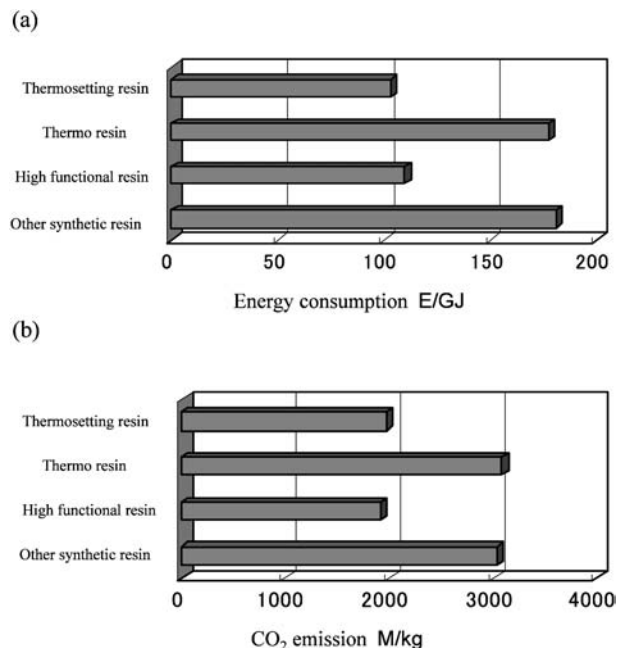


Fig. 4 Inventory of energy consumption (a) and CO₂ emission (b) for various kinds of polymer membranes by using I-O Table.

(2) 燃料電池車の PEM 膜製造、燃料製造 (使用段階) の CO₂ 排出量がそれぞれ全体の、18.7%、30.3% に達している。燃料製造 (水素製造) の CO₂ 排出量が大きな値になった原因として、天然ガスの改質段階での CO₂ 排出量が大きく関係している。これは、原料炭化水素 (CH₄) 中の炭素が製造工程中に CO₂ となって放出される為であり、水素製造の原

料として炭化水素が用いられる限り避けられないものである。ガソリン車では走行での CO₂ 排出量が課題であるが、燃料電池車では燃料製造および膜の製造が課題である。

天然ガスを燃料の原材料として用いている CNG 車と燃料電池車について天然ガスの有効利用という観点から見ると、10 万 km 走行に必要な天然ガスの量は CNG 車が 6150 kg、燃料電池車が 3000 kg となっており、燃料電池車は CNG 車の半分程度の使用量となっている事が分かった。

(3) 燃料電池自動車において PEM 膜製造や燃料製造、組み立ての環境負荷が大きな割合を占めている。それ故、今回行った方法 (FC スタックに関して部分的に行った産業連関法を用いた方法) では適正な評価を行う事が難しく、燃料製造プロセスや材料選択で環境負荷が左右されてしまうという事が分かった。今後、燃料電池車の LCI を行う上で PEM 膜製造や組み立て、燃料製造などについてより詳細なデータが必要である。

磯崎と飯田は、次世代自動車の燃料製造プロセスに注目した LCA を行っている¹²⁾。今回私達が行った燃料電池車の LCI 算出結果と比較すると、今回の結果のほうが二倍程度大きな値となった。これは、燃料電池車の製造段階に関し、両氏はガソリン車のインベントリーデータをもとに、燃料電池車の環境負荷は車両重量に比例するものとして算出しているのに対し、われわれは構成素材別にインベントリーデータを算出した為違いが生じたと考えられる。

5. ま と め

ライフサイクル全体を見た結果、エネルギー消費量についてはガソリン車に対して CNG 車は 1.03 倍、燃料電池車は 1.4 倍となった。一方、CO₂ 排出量についてはガソリン車に対して CNG 車は 0.8 倍、燃料電池車は 0.59 倍となった。

水素製造方法の違いによっては、ライフサイクル全体から

見て 10% 程度の環境負荷低減効果がある事が分かった。

燃料電池車において PEM 膜の製造、組み立て、燃料製造などが大きな割合を占めている事から、今後燃料電池車のより詳細な LCA を行う場合はこれらのプロセスに着目すべきであるという指針になったのではないかと思う。

本研究を行うにあたり多大なご協力をいただいた筑波大学院生 中島謙一氏 (現在: 東北大学大学院環境科学研究科, 科学技術振興機構研究員), データ収集についてご協力をいただいた日本自動車研究所 船崎 敦, 赤井泉明, 矢野 久の各氏に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Y. Yamada: Collected Abstracts of the 2004 Autumn of the Japan Inst. Metals (2004) pp. 471.
- 2) Japan Automobile Manufacturers Association, Inc: The Motor Industry of Japan (2001) pp. 51.
- 3) Society of Japanese Aerospace Companies: Research Report on Construction Inventory Data of Compound Materials (1999) pp. 27-70.
- 4) Industrial Technology Council: Life Cycle Assessment of Lithium Cell (1997) pp. 2-12.
- 5) CMC Publishing CO., LTD: Development of Fuel Cell & Their Materials (2002) pp. 43-102.
- 6) H. Tsuchiya: Journal of The Hydrogen Energy Systems Society of Japan **27** (2002) pp. 40-45.
- 7) Center for Global Environmental Research: Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output tables (2002) pp. 8-13.
- 8) Ministry of Internal Affairs and Communications: Input-Output Tables in (1996).
- 9) Petroleum Energy Center: Research Report on Life Cycle Assessment of Fuel for Transportation (2002) pp. 51-82.
- 10) Massachusetts Institute of Technology: Comparative Assessment of Fuel Cell Cars (2003) pp. 1-26.
- 11) A. Funazaki and K. Taneda: Journal of Society of Automotive Engineers of Japan **56** (2002) pp. 57-63.
- 12) A. Isozaki and N. Iida: Collected Abstracts of Scientific Discourse Meeting of The Society of Automotive Engineers of Japan **83-00** (2000) pp. 1-6.