サステナビリティを考慮した 水素エネルギーシステムのライフサイクル評価* (自動車燃料としての導入可能性について)

大 竹 毅^{*1}, 長 島 昭^{*2}

Life-Cycle Assessment of Hydrogen Energy System in Sustainability Perspective (Adaptability to the Vehicle Fuel)

Tsuyoshi OTAKE and Akira NAGASHIMA^{*3}^{*3} Faculty of Science and Technology, Keio University,
3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522 Japan

Hydrogen Energy is expected to be one of the keys to sustainable development. But this expectation comes from the idea focusing only on the particular phase of interest, such as production or use phase of hydrogen energy. The sustainability of the hydrogen energy will be clear by considering the Life-Cycle of the hydrogen energy system. In the present study, using the method of the Life-Cycle Assessment, the hydrogen energy system was analyzed considering the construction of infrastructures. The assessment aspects are Energy, CO₂, Cost and Land-Use. The hydrogen energy was also examined the adaptability to the vehicle fuel. The hydrogen energy which improves environmental impacts and costs in the acceptable range was selected. As a result, hydrogen energy for the vehicle fuel has to be produced by natural-gas reforming. And if the carbon tax is introduced, water electrolysis using the nuclear power is also possible.

Key Words: Alternative Energy, Automobile, Fuel Cell, Hydrogen Energy, Sustainability, LCA, Energy, CO₂

1. 緒 言

石油をはじめとしたエネルギー資源の枯渇問題や、地球温暖化問題から、水素エネルギーが注目されている。この水素エネルギーは、自然エネルギーをはじめ様々な一次エネルギー源からの生産が可能であると同時に、CO₂の排出を伴うことなく高効率な利用が可能であることから、サステナビリティを有する究極のクリーンエネルギーとして期待されている。そして、このような背景のもとに、水素エネルギーを利用するための機器開発が各方面で進められている。

水素エネルギーの生産や利用といった特定の段階だけに着目すれば、水素エネルギーの価値は容易に示すことが出来る。しかし、水素エネルギーは二次エネルギーであり、化石燃料を用いた現状のエネルギーシステムとは環境負荷構造が異なる。それゆえ限定され

た段階にのみ着目した議論では、水素エネルギー特有の潜在的な環境負荷を見出すことが出来ない。そこで、水素エネルギーの生産、貯蔵、輸送、供給を含むエネルギーシステム全体に着目する必要がある。さらには、水素エネルギーシステムは現在ない新たなエネルギーシステムであることから、それを支えるインフラストラクチャーの構築がもたらす影響をも考慮する必要がある。そして、このような視点から、水素エネルギーを導入する価値を検討しなくてはならない。

そこで本研究では、水素エネルギーシステムのインフラを構成する各機器の建設、運用、保守を含めたLife-Cycle Assessment (LCA)を実施した。この時、水素エネルギーの利用先としては、現実のものとなりつつある燃料電池自動車を対象とした。一方、現状のガソリン自動車用の燃料が持つエネルギーシステム、すなわち、ガソリン(石油)システムを対象としたLCAも併せて行った。そして、両者の結果を比較することで、水素エネルギーが持つ自動車用燃料としての導入可能性を検討した。この時、水素エネルギーは経済性に問題があることから、ガソリンとのコスト格

* 原稿受付 2003年4月1日。

^{*1} 慶應義塾大学大学院理工学研究科(〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1)。^{*2} 正員、慶應義塾大学理工学部。

E-mail: nagasima@sd.keio.ac.jp

差是正を目的とした何らかの課税が必要であると指摘し、炭素税導入の効果も検討した。

2. 対象とした水素エネルギーシステム

本研究で対象とした水素エネルギーシステムのライフサイクル概念図を図1に示す。ただし、生産にあたって用いる一次エネルギー源は、自然エネルギー（水力、風力、太陽光）と原子力、さらには天然ガス、石炭とした。そして、これらを用いて発電した電力によって、水を電気分解することで水素エネルギーを生産するケースと、天然ガス、石炭については、改質およびガス化によって生産するケースも考えた。また、海外における生産ケースと、国内における生産ケースについて考えた。

3. 対象とした評価項目と算出概念

「エネルギー面」の評価指標として、Life-Cycle ENERGY (LCE) を、「環境面」の評価指標として、Life-Cycle CO₂ (LCCO₂) および Land-Use (LandUse) を、「経済面」の評価指標として、Life-Cycle COST (LCCOST) を対象とした。

そこで以下において、これらの評価指標に関する原単位データの算出方法を示す。

3・1 Life-Cycle ENERGY (LCE)

式(1)のように、水素エネルギーシステムを構成する各インフラ設備の建設、運用、保守段階におけるエネルギー消費量（本稿では、化石燃料消費量を意味する）を求め、これを当該設備におけるライフタイム（一律25年とした）での水素エネルギー取扱量で除す。そして、各インフラ設備に関する原単位データを、全インフラ設備にわたって足し上げることで、水素エネルギーシステムを対象としたLCEを算出した。

$$E_{LC} = \sum_i E_{LC}(i) = E_C(i) + E_U(i) + E_M(i) \quad \dots (1)$$

E_{LC} : 水素エネルギーシステム全体でのライフサイクルエネルギー原単位 (kJ/kJ-H₂)

$E_{LC}(i)$: インフラ設備*i*のライフサイクルエネルギー原単位 (kJ/kJ-H₂)

$E_C(i)$: インフラ設備*i*の建設段階におけるエネルギー消費原単位 (kJ/kJ-H₂)

$E_U(i)$: インフラ設備*i*の運用段階におけるエネルギー消費原単位 (kJ/kJ-H₂)

$E_M(i)$: インフラ設備*i*で保守段階におけるエネルギー消費原単位 (kJ/kJ-H₂)

Fig.1 Life-Cycle Image of the Hydrogen Energy System

続いて、各インフラ設備の建設、運用、保守段階におけるエネルギー消費量の算出方法について示す。

(1) 建設段階について

建設段階は「素材製造工程」と「プラント製造工程」から成り立つものとし、「素材製造工程」でのエネルギー消費量は、各素材の重量にその素材のエネルギー消費原単位を乗じたものを、各インフラ設備を構成する全ての素材について足しあわせることで算出した。また「『プラント製造工程』でのエネルギー消費量は『素材製造工程』でのエネルギー消費量の 20% である」とした。そして、両者の和を当該設備のライフタイムにおける水素エネルギー取扱量で除すことにより、式 (2) のように算出した。ただし、各設備の構成素材等に関するデータは文献¹⁴⁾から引用した。

$$E_C(i) = \frac{E_{M.P}(i) + E_{P.P}(i)}{H_{LT}(i)} = \frac{\sum_j E_j(i) \times W_j(i) \times 1.2}{H_{LT}(i)} \quad \dots (2)$$

$E_{M.P}(i)$: インフラ設備 i の素材製造工程でのエネルギー消費量 (kJ)

$E_{P.P}(i)$: インフラ設備 i のプラント製造工程でのエネルギー消費量 (kJ)

$H_{LT}(i)$: インフラ設備 i のライフタイムにおける水素エネルギー取扱量 (kJ/H₂/LT)

$E_j(i)$: インフラ設備 i を構成する素材 j のエネルギー消費原単位 (kJ/kg)

$W_j(i)$: インフラ設備 i を構成する素材 j の重量 (kg)

(2) 運用段階について

運用段階でのエネルギー消費量は各設備のエネルギー効率から算出し、投入するエネルギーは水素エネルギーの形で供給することとした。この時、水素エネルギーシステムを構成するインフラ設備群の内、上流から k 番目に設備 i があるとするれば「設備 i では、上流から $(k-1)$ 番目の設備まで経由した水素エネルギーを使用する」と考え、各設備に投入する水素エネルギーのライフサイクルをも考慮した。

$$E_U(i) = \left(\frac{1}{\eta_i} - 1 \right) \times E_{LC}(k-1) \quad \dots (3)$$

η_i : インフラ設備 i の運用時におけるエネルギー効率

$E_{LC}(k-1)$: 上流から $(k-1)$ 番目の設備までを対象とした時のライフサイクルエネルギー原単位 (kJ/kJ-H₂)

(3) 保守段階について

保守段階で消費するエネルギーは、「建設段階で消費するエネルギーの 5% が、毎年、消費される」と仮定して算出した。

$$E_M(i) = E_C(i) \times 0.05 \times LT(i) \quad \dots (4)$$

$LT(i)$: インフラ設備 i の耐用年数 (年)

以上のような仮定とは別に、各インフラ設備の内、水素エネルギーシステムの起点にあたる発電設備や天然ガス改質設備、石炭ガス化設備に関しては、LCE 解析が既に実施されているため、その結果¹⁴⁾を用いた。また、パイプライン、水素スタンドに関しては、現行の都市ガスパイプライン、ガソリンスタンドと全く同様であると考え、既に実施されている LCE 解析の結果¹⁴⁾を引用した。

インベントリデータを算出する上での計算は、マトリクス上の表を作成して行なった。そこで、日本国内で太陽光発電 (Sol. P. Generation) を用いて水素エネルギーを生産し、タンクローリーによって輸送する場合について例示する。ただし、運用段階が 3 つに分かれているのは、各設備の運用に際し投入する水素エネルギーのライフサイクルも考慮していることから、投入する水素エネルギーのライフサイクルの内、どの段階に起因するものであるかを明らかにするためである。また、太陽光発電の運用段階でのエネルギー消費が 0 となっているのは、前述したように、LCE の対象を化石燃料消費量としているためである。

Table1 Example of calculation form of Inventory data

Stage Facility	Construction	Utilization originated in ...			Maintenance	Total	Efficiency
		Construction	Utilization	Maintenance			
Sol. P. Generation	1.11E+00	0	0	0	2.76E+01	1.38E+00	—
Water Electrolysis	2.77E+07	included in generation			3.46E+07	6.24E+07	—
Liquefaction	2.31E+03	2.76E+01	0	6.90E+02	2.89E+03	3.51E+01	0.8
Storage	1.59E+03	2.83E+02	0	7.10E+03	1.99E+03	3.89E+02	0.98
Lorry (Transport)	9.59E+04	7.44E+02	0	1.88E+02	3.36E+04	9.45E+02	0.95
H ₂ Station (Supply)	1.52E+03	0	0	0	1.07E+04	1.63E+03	—
Total	1.11E+00	3.79E+01	0	8.40E+02	2.81E+01	1.87E+00	

(Unit: kJ/kJ-H₂)

次に、表1に示す薄灰色の部分積み上げることで、ライフサイクルステージ別の LCE 分析を実施した。日本国内で水素エネルギーを生産する場合について、その結果を図2に示す。なお、天然ガス改質設備の総合効率は、文献⁴⁾を用いて53%と計算した。

Fig.2 Life-Cycle Energy of the Hydrogen Energy produced in Japan

ガソリンの場合については、既に実施されている LCE 解析の結果⁴⁾を引用することで、水素エネルギーの場合と同様に「石油（ガソリン）システム全体でのライフサイクルエネルギー原単位」を算出した。

3・2 Life-Cycle CO₂ (LCCO₂)

LCE の場合と全く同様の仮定、流れで算出を行なった。すなわち、エネルギー消費に関する原単位ではなく、CO₂ 排出原単位を用いて算出した。そこで、国内で水素エネルギーを生産する場合のライフサイクルステージ別 LCCO₂ 分析について、結果のみを図3に示す。

Fig.3 Life-Cycle CO₂ of the Hydrogen Energy produced in Japan

ガソリンの場合については、石油（ガソリン）システムを構成する各インフラ設備の素材構成データ⁴⁾をもとに、水素エネルギーの場合と同様に「石油（ガソリン）システム全体でのライフサイクル CO₂ 排出原単位」を算出した。

3・3 Life-Cycle COST (LCCOST)

式(5)のように、水素エネルギーの生産コスト、液化貯蔵コスト、輸送コストを足し合わせることで、LCCOSTを算出した。

$$P_{LC} = P_P + P_{L\&S} + P_T \quad \dots (5)$$

P_{LC} : ライフサイクルコスト (円/kJ-H₂)

P_P : 生産コスト (円/kJ-H₂)

$P_{L\&S}$: 液化貯蔵コスト (円/kJ-H₂)

P_T : 輸送コスト (円/kJ-H₂)

式(5)中の液化貯蔵コストおよび輸送コストに関しては、どのような一次エネルギーから水素エネルギーを生産した場合でも一定となる。そこでこれらのコストに関しては、文献⁴⁾で既に算出されている値を引用した。

一方、生産コストに関しては、生産方法および生産に用いる一次エネルギーによって異なる。そこで、生産コストを固定費と変動費に分け、変動費部分は一次エネルギーコストに応じた感度分析が実行できるような形にした。この時、生産設備の運転条件や必要経費等は文献⁴⁾に従った。また、定常項である固定費についても文献⁴⁾で既に算出されている値を引用した。式(6)に、水電解によって水素エネルギーを生産する場合を例とした生産コストの算出方法を示す。そして、図4に電力コストと生産コストの関係を示す。

$$P_P = P_{P_fix} + P_{E,P} \times E_{W,E} \quad \dots (6)$$

P_{P_fix} : 生産コストの固定費 (円/kJ-H₂)

$P_{E,P}$: 電力コスト (円/kWh)

$E_{W,E}$: 水電解に必要なエネルギー量 (kJ/kJ-H₂)

Fig.4 Relation between electric power cost and production cost of Hydrogen Energy

次に、日本国内で水素エネルギーを生産する場合の LCCOST 分析の結果を図5に示す。ただし、国内において水素エネルギーを生産する際の電力コストは文献⁷⁾から、天然ガスおよび石炭のコスト (CIF コスト) は日本エネルギー経済研究所の統計情報 (2002 年 6 月期) ⁸⁾から引用した。

Fig.5 Life-Cycle Cost of the Hydrogen Energy produced in Japan

一方、ガソリンの販売価格の内訳¹⁰⁾は、表2のようになっており、約6割が政策的に操作可能な税金にあたる。そこで、原価である43.4円/Lをガソリンの LCCOST として考えることとした。

Table2 Details of the Gasoline sales price

(Unit : yen/L)	
Cost	Crude CIF price
	Purification
	Management
	Distribution
Gasoline cost :	
Tax	Import tariff
	Oil tax
	Gasoline tax
	Sales price :

3・4 Land-Use (LandUse)

我が国のような国土面積の狭い国では、水素エネルギーの生産にあたって「いかに国土面積を有効利用できるか?」といった指標もサステナビリティの観点から重要である。なぜなら、水素エネルギーの生産に自然エネルギーを利用すれば、非常にクリーンではあるが、一方で、広大な国土が必要となるからである。そこで、式(7)のように「単位量の水素エネルギーを生産する際に、そのインフラ設備が占有する土地面積 (LandUse)」を算出し、比較した。ただし、発電設備に関する土地面積データは文献^{11)~13)}、その他の設備に関する土地面積データは文献¹⁴⁾から引用した。

$$S_{P,P} = \frac{S(P)}{H_Y(P)} \quad \dots (7)$$

$S_{P,P}$: 単位量の水素エネルギー生産にあたって占有する土地面積 ($\text{m}^2/\text{kJ-H}_2$)

$S(P)$: 水素生産設備が占有する土地面積 (m^2)

$H_Y(P)$: 生産設備の年間水素取扱量 ($\text{kJ-H}_2/\text{year}$)

水素エネルギー生産に関わる LandUse 分析の結果を表3に示す。

Table3 Land-Use in Hydrogen Energy production

	LandUse ($\text{m}^2/\text{TJ-H}_2$)		
	Power plant	E or R or G plant	Total
E-Hydro H_2	4.2E+06	1.9E+01	4.2E+06
E-Wind H_2	3.8E+05	1.9E+01	3.8E+05
E-Solar H_2	3.4E+05	1.9E+01	3.4E+05
E-Nuclear H_2	6.5E+02	1.9E+01	6.7E+02
E-LNG fired H_2	9.4E+02	1.9E+01	9.6E+02
E-Coal fired H_2	8.4E+02	1.9E+01	8.6E+02
R-NG H_2	—	3.0E+01	3.0E+01
G-Coal H_2	—	1.0E+02	1.0E+02

ガソリンの場合は、トーラス製油所¹⁵⁾の土地面積データから、水素エネルギーの場合と同様に「単位量の水素を生産する際に、そのインフラ設備が占有する土地面積 (LandUse)」を算出した。

4. 機能単位の設定

水素エネルギーを用いた燃料電池自動車と、ガソリン自動車を比較する際の機能単位を「自動車 1 km

走行あたり」に設定した。そして、第3章で算出した各原単位データに単位距離走行でのエネルギー消費量に乗じることによって、「自動車 1 km 走行あたり」の LCE, LCCO₂, LCCOST, LandUse を算出した。この時、ガソリン自動車の燃料消費率を 0.1 L/km (10 km/L に対応) とした。また、燃料電池自動車の燃料消費率は、ガソリン自動車と動力システムのみが異なり、車両重量や走行抵抗などは全て同じであると仮定して、式 (8) のように算出した。ただし、式中の η_{FCEV} は 0.5, η_{GV} は 0.18 と設定した。

$$FE_{FCEV} = FE_{GV} \times \frac{\eta_{GV}}{\eta_{FCEV}} \quad \dots (8)$$

FE_{FCEV} : 燃料電池自動車の燃料消費率 (kJ-H₂/km)

FE_{GV} : ガソリン自動車の燃料消費率 (kJ-G/km)

η_{FCEV} : 燃料電池自動車のエネルギー効率

η_{GV} : ガソリン自動車のエネルギー効率

5. 水素エネルギーシステムの環境負荷構造

LCCO₂ を例に、水素エネルギーシステムの持つ環境負荷構造とガソリン (石油) システムとを比較する。ただし、水素エネルギーは日本国内で生産し、タンクローリーによって輸送することとし、石炭ガス化による水素エネルギー (G-Coal H₂)、太陽光発電を用いた水電解による水素エネルギー (E-Solar H₂)、風力発電を用いた水電解による水素エネルギー (E-Wind H₂)、原子力発電を用いた水電解による水素エネルギー (E-Nuclear H₂)、を例として図に示した。

Fig.6 CO₂ emission structure of the Hydrogen Energy System

図 6 は以下のように解釈できる。つまり、水素エネルギーを用いることによって、自動車走行時の CO₂ 排出を 0 にすることが出来る。しかし、インフラの運用段階、すなわち、自動車走行に必要なエネルギーを生産し、輸送して、我々に供給されるまでの段階に着目すると、石炭ガス化によって生産される水素エネルギーからの CO₂ 排出が非常に大きくなる。さらに、インフラの建設/保守段階に着目すると、太陽光や風力と言った自然エネルギーを用いた水素エネルギーからの CO₂ 排出が大きくなる。そして最後に、各段階の和である LCCO₂ に着目すると、石炭ガス化によって生産される水素エネルギーは、ガソリンよりも CO₂ 排出量が多くなってしまっていることがわかる。

以上から、「水素エネルギーであっても、そのライフサイクルを考えると、現状よりも環境を悪化させることがあり得る」と指摘できる。また、「太陽光を用いた場合にも、CO₂ 排出が 0 になることはなく、ガソリンのたかだか半分にしかならない」と指摘できる。このことは、水素エネルギーはクリーンであることを前提とした議論や機器開発の現場において、見落としがちになる視点である、と考える。

6. 自動車用燃料としての導入可能性

第3章で算出した各項目に対する全ての評価結果を、表 4 にまとめた。ただし「自動車 1 km 走行あたり」を機能単位とし、日本国内で水素エネルギーを生産した場合について、石油 (ガソリン) システムの評価結果を “1” とした場合の相対値として提示している。

Table4 Results of each assessment

			LCCO ₂	LCE	LandUse	LCCOST
Gasoline (oil) System			1	1	1	1
H ₂ Production						
Area	Process	Transport way in Japan				
Japan	E-Hydro	Lorry	0.1	0.04	4900	2.0
		Pipeline	0.1	0.1		1.7
	E-Solar	Lorry	0.5	0.6	580	7.9
		Pipeline	0.5	0.6		7.0
	E-Wind	Lorry	0.2	0.2	440	2.4
		Pipeline	0.2	0.2		2.1
	E-Nuclear	Lorry	0.1	0.1	0.8	1.2
		Pipeline	0.1	0.1		1.0
	E-LNG fired	Lorry	1.3	1.6	1.1	1.8
		Pipeline	1.2	1.6		1.1
	E-Coal fired	Lorry	2.0	1.5	1.0	1.3
		Pipeline	2.0	1.5		1.1
	R-NG	Lorry	0.6	0.8	0.02	0.9
		Pipeline	0.6	0.8		0.7
	G-Coal	Lorry	1.0	0.8	0.1	1.0
		Pipeline	1.0	0.8		0.8

(E: Electrolysis, R: Reforming, G: Gasification)

サステナビリティを考える際には、上表の各数値が示すバランスに着目することが重要である。特定の項目だけがガソリンに比べて突出して優れていても、他の項目が劣っている場合は、それはサステナビリティの観点から歓迎されることではない。たとえ環境性が優れていても、経済性が伴わないものは、サステナビリティの観点からは価値を持たない、と言える。

そこでまず、各水素エネルギーの評価項目に対し、ガソリンよりも改善される項目を白色で、悪化する項目を薄灰色で示す。次に、水素エネルギーがサステナビリティを持った自動車用燃料として導入されるための絶対条件を「ガソリンよりも温暖化への影響を小さくでき、また同時に、資源枯渇への影響も低減できること」と設定する。そして、導入にあたっての十分条件を「経済性つまりコストが妥当な値であること」と設定する。すると、本研究で想定した水素エネルギーの中では、天然ガス改質による水素エネルギーと、原子力電解による水素エネルギーが導入の候補として挙がる。一方、自然エネルギーを用いた水素エネルギーが脚光を浴びているが、これらは温暖化や資源枯渇に対する影響は低減できるものの、土地利用や経済性の観点から導入が難しいと判断される。また、自然エネルギーには資源枯渇はなくとも、量的（密度的）限界が存在する。それゆえ、自然エネルギーを用いた水素エネルギーは脇役として有望であるが、主役にはふさわしくない。そして、広大な国土を持つ海外で、自然エネルギーを安価に得ることによって経済性を向上できた場合のみ、補完的な役割での導入が可能になると考えられる。

7. 炭素税導入の効果

現段階において原子力電解による水素エネルギーには経済性がないことから、これが導入の障壁となってくる。そこで、原子力電解による水素エネルギーのコストをガソリンと競合可能なものとするために、一例として、炭素税を導入する効果を見積もった。

炭素税は一次エネルギーの炭素含有量に応じて課税されるものであるから、水素エネルギーシステムや石油（ガソリン）システムの建設、運用、保守段階で消費する全ての化石燃料に対してなされる課税は、全て消費者コストに転嫁される。したがって、LCCO₂解析の結果をもとに、水素エネルギーおよびガソリンに対する炭素税導入の効果を見積もることが出来る。

算出にあたっては、税収の還流等は考えず、また、単純化のため、水素エネルギーシステムおよび石油

（ガソリン）システムに投入される化石燃料は、全て日本国内から供給されると仮定した。つまり、原料採掘のための海外プラントの建設と運用、日本国内への燃料輸送など、国外で想定される活動の化石燃料も日本国内から供給されることとした。

すると、式（9）のように炭素税額が決定され、消費者が負担すべきコストが算出できる。ただし、式中の $12/44$ は CO₂ 重量を炭素重量に変換するための係数である。

$$P_{Sales} = P_{L.C} + C_{L.C} \times \frac{12}{44} \times T_{Carbon} \quad \dots (9)$$

P_{Sales} : 消費者が負担すべきコスト原単位 (円/kJ-H₂)

$P_{L.C}$: 水素エネルギーシステム全体でのライフサイクルコスト原単位 (円/kJ-H₂)

$C_{L.C}$: 水素エネルギーシステム全体でのライフサイクル CO₂ 原単位 (kg-CO₂/kJ-H₂)

T_{Carbon} : 炭素税額 (円/t-C)

なお、ガソリンの場合についても、水素エネルギーの場合と同様にして算出することが出来る。ただしガソリンのコスト原単位には、前述したように、現在かけられているような税金は含まない。そして、この原単位に単位距離走行でのエネルギー消費量（第4章参照）を乗じることによって、「自動車 1 km 走行あたり」に消費者が負担すべきコストが算出され、図7のように表せる。

Fig.7 Relation between Carbon tax and Consumer cost

図7から、およそ 15000 円/t-C の炭素税によって、原子力電解による水素エネルギーのコストはガソリンと拮抗するようになることがわかる。また、この課税によって、ガソリンの価格は 11 円/L 上昇することになる。しかし、表2で示したような現在の

ガソリンに対して掛けられている税の枠組みを、環境性を軸として見直すことによって、この炭素税額は受容性のある課税額になる、と考えられる。

以上から、炭素税を導入することによって原子力電解による水素エネルギーにも経済性を持たせることが出来、自動車用燃料としての導入が可能になる、と判断できる。

8. 結 言

本稿では、水素エネルギーの生産や利用といった特定の段階に着目することで生じる期待感に対し、限定された段階に着目した議論では、水素エネルギー特有の潜在的な環境負荷を見出すことが出来ないと指摘して、水素エネルギーシステム全体を対象としたLCAを実施した。そして、LCE, LCCO₂, LCCOST, LandUseの側面から水素エネルギーの自動車用燃料としての導入可能性について検討した結果、以下の知見を得た。

(1) 自動車用燃料として水素エネルギーを用いる場合には、自動車走行時のCO₂排出は0となる。しかし、走行に必要なエネルギーを生産し、輸送し、供給するといったエネルギーシステムの建設、運用、保守も勘案すると、トータルでのCO₂排出量が、ガソリンを用いた場合よりも大きくなることもある。

すなわち、水素エネルギーならばクリーンである、といった考え方は、水素エネルギーの利用段階だけに着目した認識で、水素エネルギーが潜在的に有する環境負荷は、そのライフサイクル全体に着目することで明らかになる。

(2) サステナビリティの観点から、天然ガス改質による水素エネルギーと原子力電解による水素エネルギーは、自動車用燃料としての導入が期待できる。ただし、原子力電解による水素エネルギーに経済性を持たせるためには15000円/t-C以上の炭素課税が必要である。一方、自然エネルギーを用いた水素エネルギーは、広大な国土を持つ海外で、自然エネルギーを安価に得ることによって経済性を向上できた場合のみ、補完的な役割での導入が可能になる。

文 献

[1] 内山洋司ら、電力中央研究所報告－発電プラントのエネルギー収支分析、(1991)。

[2] NEDO, 平成10年度成果報告書－水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク3 全体システム概念設計, (1999)。

[3] (社)資源協会, 大都市生活のライフサイクルエネルギー, (1999)。

[4] NEDO, 平成6年度成果報告書－水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク3 全体システム概念設計, (1995)。

[5] NEDO, 平成9年度成果報告書－水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク3 全体システム概念設計, (1998)。

[6] 平岡克英ら, 運輸交通機関の水素エネルギーシステム化による省石油とCO₂低減, 船舶技術研究所報告, 27-3 (1990), 301-329。

[7] 資源エネルギー庁, 総合エネルギー調査会第70回原子力部会資料, (2000)。

[8] 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会報告書－今後の新エネルギー対策のあり方について, (2001)。

[9] (財)日本エネルギー経済研究所 H.P, <http://eneken.ieej.or.jp/>

[10] 第一商品株式会社 H.P, <http://www.dai-ichi.co.jp/>

[11] 関西電力, プレスリリース－新鳩谷水力発電所の建設申し入れ及び新鳩谷水力発電所に関する環境影響調査書ならびに環境影響評価準備書の提出について, (1998)。

[12] 内山洋司, 発電技術のエネルギー密度と供給信頼性, エネルギー・資源, 18-2 (1997), 88-90。

[13] 東京電力, プレスリリース－富津火力発電所3号系列の営業開始について, (2001)。

[14] NEDO, 平成9年度成果報告書－水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク4 水素製造技術の開発, (1999)。

[15] エクソンモービル社 H.P, <http://www.prod.exxonmobil.com/>

[16] 小林紀, エネルギー資源とライフサイクルアセスメント, 自動車技術, 56-7 (2002), 27-31。

[17] 小林紀ら, 各種自動車の効率およびCO₂排出の検討, 自動車技術会学術講演会前刷集 996, (1996), 237-240。