

水素エネルギーシステムの地球温暖化抑制効果判定への一試案

山田 勝行

日本大学大学院総合社会情報研究科

Tentative plan to global warming controlling effect judgment of hydrogen energy system

YAMADA Katsuyuki

Nihon University, Graduate School of Social and Cultural studies

This is a proposal to construct a new model of the hydrogen energy system, and to present a method to evaluate its environmental effects introducing a case in the Tokyo Metropolis.

Recently, environmental problems due to energy use have been paid much attention. Especially, because of the danger of global warming, the control of energy consumption has been an international concern. Carbon dioxide, as an energy origin, has the majority of the heat-trapping gas assumed to be a cause of global warming, and this is an urgent problem.

Japan participates in the Kyoto protocol, and actively works domestically on the control of heat trapping gas. The fuel cell and hydrogen energy is regarded as the final resort in solving the environmental problems. This is the energy consumption system producing electricity and heat by using hydrogen as energy of the fuel cell.

Both analysis and evaluation, however, have not been hitherto conducted in terms of the quantitative effects of the above process on the mitigation of global warming. This is partly because the method has not been established yet to make models of hydrogen energy system and to evaluate and analyze the emission of carbon-dioxide.

In my research I adopted an ecological system which is thought to be the ultimate method using natural energy such as hydropower, solar power and wind power to convert hydrogen into power for fuel cells. The use of this system does not create carbon-dioxide as a byproduct. The introduction of this evaluation system in the Tokyo metropolis can reduce the amount of carbon-dioxide by 12,950,000 tons annually.

はじめに

近年、エネルギー利用に伴う環境への問題が一層顕在化してきている。とりわけ、地球温暖化は世界的に取り組むべき問題であり、温暖化の原因とされる温室効果ガスの大部分を「エネルギー起源の二酸化炭素(CO₂)⁽¹⁾」が占めていることから、それをどう抑制していくかが緊急の課題となっている。我が国も京都議定書⁽²⁾に調印し、温室効果ガスの抑制へ積極的に取り組んでいる。そのなかでも、エネル

ギー利用に伴う地球温暖化の問題を解決する切り札として、燃料電池(Fuel Cell: FC)⁽³⁾/水素エネルギーが注目されている。燃料電池の利用形態としては、自動車の動力源に燃料電池を利用する燃料電池自動車、燃料電池を自家発電などに利用する定置用燃料電池があり、経済産業省は2010年度の導入目標を燃料電池自動車約5万台(2020年度、約5百万台)、定置用燃料電池約2.1百万kW(2020年度、約10百万kW)に設定している⁽⁴⁾。

しかしながら、石油などの化石燃料から水素へエ

エネルギー転換を行った場合、水素の製造から燃料電池を経て電気、熱などとして消費するまでの総合的なシステム⁽⁵⁾として地球温暖化抑制効果(CO₂排出量の低減効果)に関する定量的な分析・評価はほとんど行われていない。その理由としては、“燃料電池の技術が未だ確立していないため、技術自体が日進月歩であること”、“燃料電池に用いる燃料が不確定であること”などを挙げることができる。しかしながら、水素エネルギーシステムのモデル⁽⁶⁾作成の手法およびエネルギー消費量、CO₂排出量などを分析・評価するための手法が確立されていないことが大きな要因である。

このような状況の中で、我が国としては経済産業省の外郭団体である新エネルギー・産業技術総合開発機構が、水素エネルギーシステムの分析・評価を実施し『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(World Energy Network: WE-NET)第 1 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』を公開している。

WE-NET は、水素エネルギーシステムを含めたいくつかのエネルギーシステムの中から、ライフサイクル評価(Life Cycle Assessment: LCA)⁽⁷⁾によって有望な水素エネルギーシステムの候補を選定することを目的としている。エネルギーシステムの分析に際しては、システム利用段階の燃料に着目した燃料サイクルを用いて、各システムのエネルギー効率(燃料消費量)、CO₂排出量を相対的に比較評価している。

しかしながら、WE-NET は水素エネルギーシステムと現行のエネルギーシステムを比較するに留めており、水素エネルギーシステムの具体的な導入効果に関してはその評価がなされていない。

そのため、本研究では評価システムとして水素エネルギーシステムのモデルを作成し、東京都のエネルギー消費に適用することで水素エネルギーの環境効果の評価するための一手法を提示したい。

第 1 章 評価システムの提示

1 評価システムの作成

評価システムのエネルギー源としては、WE-NET

で用いられている再生可能エネルギーの中から、CO₂を発生しないゼロエミッションシステム⁽⁸⁾として注目されている「水力」、「太陽光」、「風力」の三つの自然エネルギーを設定する。自然エネルギーは、全て電力に変換されるものとし、水力発電、太陽光発電、風力発電を燃料サイクル開始時点でのエネルギー源とする。水素の利用形態としては、燃料電池自動車と燃料電池コジェネ⁽⁹⁾を設定する。水素の燃料となる自然エネルギーの製造から利用までの基本経路としては、エネルギー安定供給の確保と国内における地産地消⁽¹⁰⁾を目指し、“水の電気分解による水素の製造 水素を圧縮して輸送 国内で利用”を設定した。水素の輸送・貯蔵には、圧縮水素容器を始めとする水素圧縮技術が飛躍的に進歩していることから圧縮水素方式を採用し、水素を気体の状態でボンベなどへ充填し流通させる。圧縮水素方式では、水素への圧力の大きさと圧力を加えるタイミングが重要となる。そのため、評価システムでは、燃料となる水素を自然エネルギーで得た電力の電気分解で製造し、低圧(20MPa)レベルまで圧縮した後、貯蔵・流通を行う。

本研究では地産地消の考えから、製造した水素を水素スタンドもしくは定置用燃料電池へ輸送する手段として、トラックによるボンベでの近距離輸送を選択する。燃料電池自動車の場合、水素スタンドでは水素を高圧(40MPa)で蓄圧し、充填圧力(35MPa)へ調圧後、補給する。

輸送用ボンベおよび燃料電池自動車への水素の充填圧力はボンベなどの圧縮水素容器の高圧技術の進展などにより一層の高圧化が予想される。しかしながら、本研究では分析結果を地球温暖化抑制に対する現実的な解決手段に近づけるため、現在利用されている水素の圧力値を設定する。

燃料電池コジェネへの水素の充填圧力は燃料電池コジェネ側で調圧する。燃料電池コジェネは、発電の際に発生する廃熱も有効に活用することで、エネルギー総合効率の向上を図る。

評価システム(燃料電池自動車、燃料電池コジェネ)における燃料サイクルの流れを、図 1、図 2 に示す。

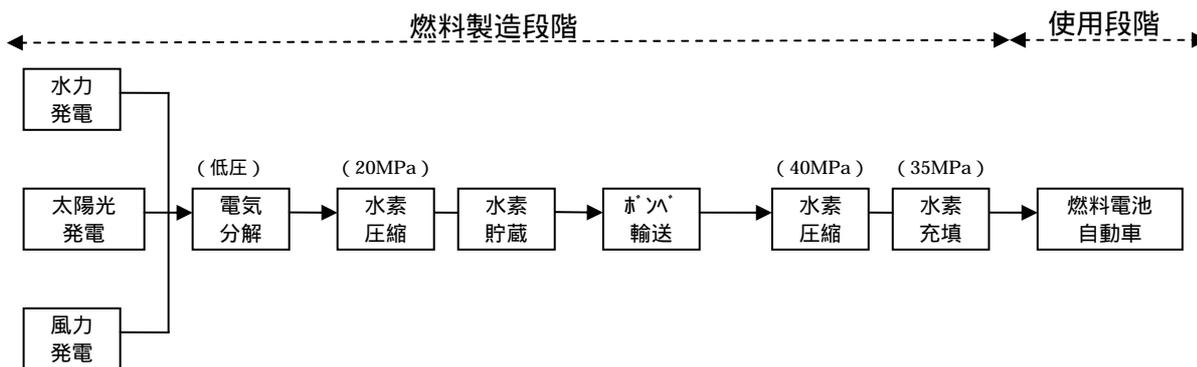


図 1 評価システム（燃料電池自動車）の燃料サイクルの流れ

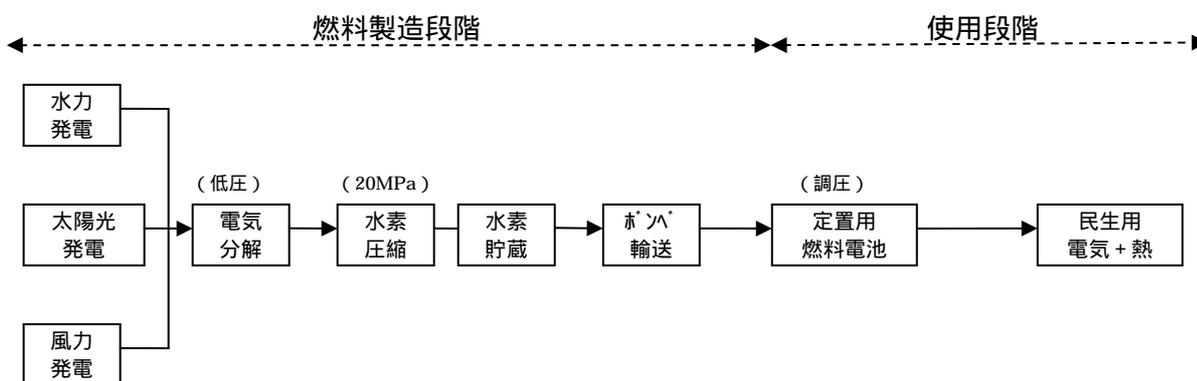


図 2 評価システム（燃料電池コジェネ）の燃料サイクルの流れ

2 データの収集と整理

評価システムの分析に必要なデータは、WE-NET の『第 期研究開発 タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』を利用する。

WE-NET では、エネルギーシステムの燃料サイクルの各工程における効率を算出している。ここでの効率は、“投入されたエネルギーのうちどれだけの量を有効に利用したか” という数値となっており、工程で生じる損失分を 1 から差し引いた値としている。そのため、水素の貯蔵運搬などを行う中間工程における効率は、投入されたエネルギーのうち、どれだけの量を次の段階（工程）に持ち越すことができるかを意味している。

表 1 使用データ

工程（段階）	処理物質	値（効率）	備考
水力発電		1.000	自然エネルギー 効率 100%
太陽光発電		1.000	自然エネルギー 効率 100%
風力発電		1.000	自然エネルギー 効率 100%
電気分解		0.900	現地製造
水素圧縮（製造）	水素	0.983	低圧 20MPa
水素圧縮（使用）	水素	0.890	20MPa 40MPa
圧縮水素貯蔵		1.000	
ポンペ輸送	圧縮水素	0.995	20MPa
発電・燃料電池（サイト）	水素	0.450	
圧縮水素充填		0.950	35MPa 充填
燃料電池自動車	水素	0.500	

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）第 期研究開発 タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』（2001 年 3 月）100-104 頁を基に作成。

表 2 CO₂ 排出係数

エネルギー源	排出係数 (g-C/kcal)	備考
原油	0.07811	
石炭 (平均)	0.10062	
天然ガス	0.05639	
国内電力 (1991 年)	0.12374	
国内電力 (2010 年予測)	0.10114	
その他	0	
軽油 (トラック用)	0.07839	
C 重油 (タンカー用)	0.08180	
評価システム (燃料電池自動車)	0.02591	燃料製造段階
評価システム (燃料電池コジェネ)	0.07878	燃料製造段階

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) 第 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』(2001 年 3 月)32 頁。なお、評価システム(燃料電池自動車、燃料電池コジェネ)の排出係数は WE-NET のデータを基に算出。

3 総合効率、CO₂ 排出量などの計算

(1) WE-NET の計算方法

評価システムの総合効率、CO₂ 排出量などに関する各種計算は、WE-NET の『第 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』の計算式を利用する。

WE-NET では、評価システムの燃料サイクルにおいて、「総合効率」、「エネルギー消費量(燃料消費量)」、「CO₂ 排出量」の三つの指標を算出している。

総合効率は、エネルギー源からの水素の製造から燃料電池を経て電気、熱などの最終利用に至るまでの各工程における効率を掛け合わせることで算定している。そのため、総合効率は“投入したエネルギーの何%が、最終的にエネルギーとして利用されたか”という意味を持つ。よって、同じ量の「仕事」をする場合、効率が高いほど水素の製造に要するエネルギー源のエネルギー量が少なくて済むことになる。燃料消費量、CO₂ 排出量は「単位作業量当たりの値」としている。そのため、自動車の燃料消費量は、単位距離の走行に要するエネルギーの消費量、CO₂ 排出量となる。燃料消費量は、総合効率の逆数

を取っているため無次元となるが、「単位作業量当たりの熱量」として捉えることができる。なお、WE-NET では燃料電池の使用に伴う CO₂ 排出量をゼロに設定しているため、燃料電池の燃料使用段階における CO₂ 排出量はゼロとなる。

総合効率

工程 i の効率：E_i

燃料使用段階の直前の効率：E_u

燃料製造段階効率：E₁

$$= E_i \times E_{(i+1)} \times E_{(i+2)} \times \dots \times E_{(u-1)} \times E_u \quad (1)$$

燃料使用段階効率：E₂

$$\text{総合効率：} E = E_1 \times E_2 \quad (2)$$

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) 第 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』(2001 年 3 月)29 頁。

エネルギー消費量 (燃料消費量)

$$\text{全燃料消費量：} F = 1 / E \quad (3)$$

燃料製造段階燃料消費量：F₁

$$= F \times (1 - E_1) \quad (4)$$

$$\text{燃料使用段階燃料消費量：} F_2 = F - F_1 \quad (5)$$

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) 第 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』(2001 年 3 月)30 頁。

CO₂ 排出量

排出係数：EF

$$\text{燃料製造段階 CO}_2 \text{ 排出量：} C_1 = F_1 \times EF \quad (6)$$

$$\text{燃料使用段階 CO}_2 \text{ 排出量：} C_2 = F_2 \times EF \quad (7)$$

$$\text{全 CO}_2 \text{ 排出量：} C = C_1 + C_2 \quad (8)$$

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) 第 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』(2001 年 3 月)30 頁。

(2) 評価システムの計算

図 1、図 2 の燃料サイクルの流れを燃料の製造と使用の段階を分け、表 1、表 2 のデータを数式 1 から数式 8 に適用し、総合効率、エネルギー消費量(燃料消費量)、CO₂ 排出量を算出する。

a 燃料電池自動車

$$\begin{aligned} \text{総合効率} &= \text{燃料製造段階効率} \times \text{燃料使用段階効率} \\ &= \{1.000 \times 0.900 \times 0.983 \times 1.000 \times 0.995 \\ &\quad \times 0.890 \times 0.950\} \times \{0.500\} \\ &= 0.744 \times 0.500 = 0.372 \end{aligned}$$

エネルギー消費量(燃料消費量)

$$\begin{aligned} &= \text{全燃料消費量} \\ &= 1 \div \text{総合効率} = 1 \div 0.372 = 2.687 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{燃料製造段階 CO}_2 \text{ 排出量} + \text{燃料使用} \\ &\quad \text{段階 CO}_2 \text{ 排出量} \\ &= 0.02591 \times \{2.687 \times (1 - 0.744)\} + \\ &\quad 0.000 \\ &= \{0.02591 \times 0.687\} + \{0.000\} \\ &= 0.018 + 0.000 = 0.018 \end{aligned}$$

b 燃料電池コジェネ

$$\begin{aligned} \text{総合効率} &= \text{燃料製造段階効率} \times \text{燃料使用段階効率} \\ &= \{1.000 \times 0.900 \times 0.983 \times 1.000 \times 0.995\} \\ &\quad \times \{0.450\} \\ &= 0.880 \times 0.450 = 0.396 \end{aligned}$$

エネルギー消費量(燃料消費量)

$$\begin{aligned} &= \text{全燃料消費量} \\ &= 1 \div \text{総合効率} = 1 \div 0.396 = 2.524 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{燃料製造段階 CO}_2 \text{ 排出量} + \text{燃料使用} \\ &\quad \text{段階 CO}_2 \text{ 排出量} \\ &= 0.07878 \times \{2.524 \times (1 - 0.880)\} + \\ &\quad 0.000 \\ &= \{0.07878 \times 0.303\} + \{0.000\} \\ &= 0.024 + 0.000 = 0.024 \end{aligned}$$

(3) 計算結果

表 3 に評価システム(燃料電池自動車、燃料電池コジェネ)の計算結果を示す。

表 3 評価システムの計算結果

評価システム	用途	総合効率	燃料消費量	CO ₂ 排出量
燃料電池車	自動車	0.372	2.687	0.018
燃料電池コジェネ	発電	0.396	2.524	0.024

4 現行エネルギーシステムとの比較分析

評価システムの比較対象のエネルギーシステムに関するデータは、WE-NET の『第 1 期研究開発 タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』を利用する。エネルギーシステムの比較分析に際しては、WE-NET に準じて現行ガソリン車と重油火力発電を比較基準とし、それぞれの燃料消費量と CO₂ 排出量を 1 に正規化する。

表 4 現行のエネルギーシステムとの比較(自動車)

エネルギーシステム	総合効率	燃料消費量	燃費性能比	CO ₂ 排出量	CO ₂ 排出量比
現行ガソリン車	0.140	7.143	1.000	0.632	1.000
現行ディーゼル車	0.184	5.435	0.761	0.493	0.779
FC 車(石油 - ナフサ - 車上改質)	0.395	2.532	0.370	0.232	0.368
評価システム: 燃料電池自動車	0.372	2.687	0.376	0.018	0.028

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)第 1 期研究開発 タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』(2001 年 3 月) 122 頁。ただし、燃費性能比と CO₂ 排出量比は WE-NET の計算方法、データを基に算出。

表 5 現行のエネルギーシステムとの比較（発電）

エネルギーシステム	総合効率	燃料消費量	燃費性能比	CO ₂ 排出量	CO ₂ 排出量比
重油火力発電	0.313	3.195	1.000	0.250	1.000
石炭火力発電	0.321	3.115	0.975	0.313	1.256
LNG 火力発電	0.304	3.289	1.030	0.185	0.743
国内水力発電	0.945	1.058	0.331	0.000	0.000
原子力発電	0.291	3.436	1.076	0.000	0.000
都市ガス燃料電池発電	0.272	3.676	1.151	0.207	0.831
評価システム：燃料電池コジェネ	0.396	2.524	0.790	0.024	0.095

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）第 1 期研究開発 タスク 1 システム評価に関する調査・研究 平成 12 年度成果報告書』（2001 年 3 月）122 頁。ただし、燃費性能比と CO₂ 排出量比は WE-NET の計算方法、データを基に算出。

表 4 から評価システム（燃料電池自動車）と現行ガソリン車を比較すると、総合効率は 2.6 倍（ $=0.372 \div 0.140$ ）となり、非常に高い値となった。そのため、評価システム（燃料電池自動車）では燃料消費量も少なくなり、CO₂ 排出量に関しては 97.2%（ $=1 - 0.028 \div 1.000$ ）の削減が可能となった。

同様に、表 5 から評価システム（燃料電池コジェネ）と重油火力発電を比較すると、総合効率は 1.2 倍（ $=0.396 \div 0.313$ ）となり、CO₂ 排出量に関しては 90.5%（ $=1 - 0.095 \div 1.000$ ）の削減が可能となった。

第 2 章 環境影響評価

1 評価方法

水素エネルギーシステムの環境への影響を確認するため、『都における温室効果ガス排出量総合調査（2001 年度実績、2003 年度調査）』の結果を利用し、評価システム（燃料電池自動車、燃料電池コジェネ）の東京都への導入効果を評価する。

東京都の二酸化炭素（CO₂）排出構造は、全国平

均と比較すると家庭部門は 23%（全国 13%）、業務部門は 30%（全国 16%）、運輸部門は 35%（全国 22%）と何れも大きく、産業部門のみ 10%（全国 37%）と極端に少ない構造となっている⁽¹¹⁾。

本研究で作成した評価システムは、燃料電池自動車が運輸部門、燃料電池コジェネが家庭および業務部門に適用できるため、東京都への導入は効果的であると考えられる。

東京都の電力自給率は 2001 年度実績で 7%⁽¹²⁾となっており、都市ガスを含めて都域外からのエネルギー供給が大部分を占めている。しかしながら、東京都内で使用した電力は、2001 年度実績で年間 79,481 百万 kWh⁽¹³⁾（全国使用電力量の約 10%）であり、全国都道府県において一番多く消費している。そのため、エネルギー利用時に発生する CO₂ 排出量など、ライフサイクルの「使用段階」に絞った燃料サイクルの分析対象としては、エネルギー自給率の低い東京都が最も適していると考えられる。

自動車の評価は、東京都内で保有および走行する現行ガソリン自動車が評価システム（燃料電池自動車）へ全面的に移行したと仮定し、CO₂ 排出量の抑制効果を分析する。東京都の現行ガソリン車に対する CO₂ 排出量を、表 4 の評価システム（燃料電池自動車）の CO₂ 排出量比（0.028）に適用することで削減効果を数値化する。

発電に関しては、東京都内で消費される電力のうち、重油火力発電が評価システム（燃料電池コジェネ）へ全面的に移行したと仮定し、CO₂ 排出量の削減効果を分析する。東京電力が東京都へ供給する電力のうち、石油を燃料種とした重油火力発電の CO₂ 排出量を算出し、表 5 の評価システム（燃料電池コジェネ）の CO₂ 排出量比（0.095）に適用することで削減効果を数値化する。

環境への影響評価にあたっては、水力・太陽光・風力発電と燃料電池自動車・燃料電池コジェネの運転時間、設置場所などの地域依存性は考慮せず、

WE-NET のデータ収集時の前提条件に準ずる。CO₂ 排出量は、2001 年度の東京都における CO₂ 排出量 (60.9 百万トン-CO₂)⁽¹⁴⁾を評価基準とする。

2 評価結果

(1) 自動車

東京都の 2001 年度の運輸部門における CO₂ 排出量は、表 6 にあるように 21.3 百万トン-CO₂ である。京都議定書の基準年(1990 年度)の CO₂ 排出量(17.9 百万トン-CO₂)と比較すると、約 19%の増加となっている。評価対象となる 2001 年度のガソリンによる CO₂ 排出量は、9.7 百万トン-CO₂ である。

表 6 東京都の運輸部門における燃料種別の二酸化炭素排出量

	1990 年度(百万トン-CO ₂)	2001 年度(百万トン-CO ₂)	増減比(%)
ガソリン	7.9	9.7	+23
軽油	4.2	4.8	+15
ジェット燃料	2.9	3.9	+36
その他	1.4	1.6	+9
電力	1.6	1.4	-12
合計	17.9	21.3	+19

出典：東京都環境局『都における温室効果ガス排出量総合調査(2001 年度実績、2003 年度調査)』(2004 年 3 月) 18 頁。

運輸部門は自動車、鉄道、船舶、航空が対象となっている。ガソリンに関しては、自動車による消費が大部分を占めることから、東京都の運輸部門で消費するガソリンは、全て現行ガソリン車に利用すると設定し、評価システム(燃料電池自動車)の CO₂ 排出量比へ適用すると、表 7 にあるように 2001 年度の年間 9.7 百万トン-CO₂ の CO₂ 排出量が 0.28 百万トン-CO₂ (=9.7×0.028÷1) となる。

表 7 評価結果(自動車)

	CO ₂ 排出量比	CO ₂ 排出量(百万トン-CO ₂)
現行ガソリン車	1.000	9.70
評価システム(燃料電池自動車)	0.028	0.28
効果		9.42

以上により、東京都においては現行ガソリン車を評価システム(燃料電池自動車)へ全面的に移行することで、年間 9.42 百万トン-CO₂ (=9.7 - 0.28) の CO₂ 排出量の削減が可能となった。

(2) 発電

東京都の 2001 年度のエネルギー消費に関する CO₂ 排出量は、表 8 にあるように 60.9 百万トン-CO₂ である。2001 年度における CO₂ 排出量と京都議定書の基準年(1990 年度)の CO₂ 排出量(57.7 百万トン-CO₂)を比較すると、2001 年度の CO₂ 排出量は、約 5.6%の増加となっている。なかでも 2001 年度の電力に関する CO₂ 排出量は、表 8 にあるように 25.7 百万トン-CO₂ であり、エネルギー消費に伴う CO₂ 排出量のうち 42.2% (=25.7÷60.9×100) を占めている。

発電の際に CO₂ を排出する燃料としては、石油、ガス(LNG:天然ガス、LPG:液化天然ガス)、石炭を設定している。表 8 の 2001 年度の電力に関する CO₂ 排出量(25.7 百万トン-CO₂)を、表 9 の発電構成比に基づいて案分すると、石油を燃料種とする電力の CO₂ 排出量は 3.9 百万トン-CO₂ (=25.7×0.15) になる。

表 8 東京都のエネルギー消費燃料種別 CO₂ 排出量

	1990年度(百万トン-CO ₂)	2001年度(百万トン-CO ₂)	増減比(%)
電力	24.7	25.7	+4
都市ガス	7.0	9.5	+35
LPG	2.0	1.9	-5
燃料油	22.8	22.7	-0.03
その他燃料	1.2	1.1	-8
合計	57.7	60.9	+5.6

出典：東京都環境局「東京都における燃料種別二酸化炭素排出量の伸びと構成比」『都における温室効果ガス排出量総合調査（2001年度実績、2003年度調査）』（2004年3月）8頁。

表 9 2001年度の東京都における電力の燃料種別 CO₂ 排出量

	発電構成比(%)	CO ₂ 排出量比(%)	CO ₂ 排出量(百万トン-CO ₂)
石油	7	15	3.9
ガス(LNG、LPG)	37	77	19.8
石炭	4	8	2.0
原子力	44		
新エネルギー(風力、太陽光)	1		
水力発電	7		
合計	100	100	25.7

出典：東京電力編『数表でみる東京電力』平成16年度版（2004年）42頁。電力の燃料種別のCO₂排出量は、東京都環境局編『都における温室効果ガス排出量総合調査（2001年度実績、2003年度調査）』（2004年3月）8頁のCO₂排出量を基に算出。

石油を燃料種とする重油火力発電のCO₂排出量を、評価システム（燃料電池コジェネ）のCO₂排出量比に適用すると、表10にあるように東京都における2001年度の年間3.9百万トン-CO₂のCO₂排出量は、0.37百万トン-CO₂（ $=3.90 \times 0.095 \div 1$ ）となる。

表 10 評価結果（発電）

	CO ₂ 排出量比	CO ₂ 排出量(百万トン-CO ₂)
重油火力発電	1.000	3.90
評価システム（燃料電池コジェネ）	0.095	0.37
効果		3.53

以上により、東京都においては現行の重油火力発電による電力を評価システム（燃料電池コジェネ）へ全面的に移行することで、年間3.53百万トン-CO₂（ $=3.90 - 0.37$ ）のCO₂排出量の削減が可能となった。

（3）評価結果

評価システムにおける水素の製造段階でCO₂排出係数は、一次エネルギーとして自然エネルギー（水力発電、太陽光発電、風力発電）を利用したことにより、WE-NETに準じてゼロと設定した。また、燃料電池の使用段階におけるCO₂排出量もWE-NETに準じてゼロと設定したため、評価システムのCO₂排出量は水素の圧縮・輸送時にしか発生しない。そのため、評価システムのCO₂排出量は、ガソリン自動車比で97.2%、重油火力発電比では90.5%の削減が可能となった。

東京都に評価システムを適用すると、現行のガソリン自動車から評価システム（燃料電池自動車）の移行により、年間9.42百万トン-CO₂のCO₂排出量が削減可能となった。同様に、現行の重油火力発電の電力から評価システム（燃料電池コジェネ）の電力の移行により、年間3.53百万トン-CO₂のCO₂排出量が削減可能となった。

以上により、東京都へこれら二つの評価システム（燃料電池自動車、燃料電池コジェネ）を全面的に導入すると、東京都では年間12.95百万トン-CO₂（ $=9.42 + 3.53$ ）のCO₂排出量の削減が見込まれる結果となった。また、東京都の2001年度のCO₂排出量は、表8にあるように60.9百万トン-CO₂である。そのため、東京都では評価システムの全面的な導入により、年間約21%（12.95百万トン-CO₂）のCO₂排出量の削減が見込まれる結果となった。

2001年度の日本全国のCO₂排出量は年間1,136百万トン-CO₂⁽¹⁵⁾である。そのため、評価システムの導入による東京都のCO₂排出量の削減量（12.95

百万トン- CO₂) を、日本全国の CO₂ 排出量 (1,136 百万トン- CO₂) に適用すると、日本では年間約 1.1% (=12.95 ÷ 1,136 × 100) の削減が見込まれる結果となった。

おわりに

近年、東京都などの自治体では、エネルギー供給の安定・効率化、地球温暖化・地域環境問題の解決、新規産業・雇用の創出など、地域の自然資源の活用と地域経済の活性化を目的として、燃料電池をはじめとする新エネルギーの導入を推進しており、独自の新エネルギー導入目標値を設定している。しかしながら、自治体などが設定する新エネルギーの導入目標値は、経済産業省総合資源エネルギー調査部会の政府目標値、導入実績値・導入可能量などを目安に置いているため、エネルギーシステムのライフサイクル的な環境への影響などはほとんど考慮されていない。

従って、本研究で提示した評価手法は、自治体などが新エネルギーを導入する際に設定する目標値の算定に資するものであると考える。

なお、今後の課題としては次のことがある。本研究では LCA の局地的な条件 (走行、時間、場所) に再生可能資源 (水力、太陽光、風力) の地域的な条件を加味していないため、分析の精度を高めるには再生可能資源に対する地域条件の依存性を考慮する必要がある。また、本研究は水素エネルギーシステムの環境効果に関する評価を目的としたため、評価基準としては「総合効率」₁、「燃料消費量」₁、「CO₂ 排出量」を設定している。そのため、水素エネルギーシステムの実現可能性を検証するためには「コスト」₁、「技術」₁、「社会の受け入れ度」などに関する評価基準を加えた、新たな評価手法が必要である。

- (1) 石炭や石油などの化石燃料を燃焼してつくられたエネルギーを、産業や家庭が利用・消費することによって生じる二酸化炭素
- (2) 1997 年 (平成 9) の気候変動枠組み条約第 3 回締約国会議で採択された、二酸化炭素などの温暖化ガス排出量の削減計画。2008 年から 2012 年の 5 年間で、先進国の温暖化ガス平均排出量を 1990 年比で 5.2% 削減することを取り決め、柔軟性メカニズムが採用された。
- (3) 燃料の酸化還元反応によって生じる化学エネルギーを、直接電気エネルギーに変える電池 (発電機)。
- (4) 経済産業省総合資源エネルギー調査会第 1 回新エネルギー部会配布資料「燃料電池自動車及び定置用燃料電池の導入目標に関する試算」(燃料電池実用化戦略研究会事務局、2001 年)。
- (5) 個々の要素が有機的に組み合わせられた纏まりを持つ全体的なもの、またはその体系
- (6) 問題とする事象、対象などを模倣し、類比・単純化したもの。または、事象の構造を抽象化し、論理的に形式化したもの
- (7) 製品や構造物の評価を原料の調達から部品・部材の加工、製品・構造物の製造・建設、運用、解体・廃棄に至る全ての過程で生じる環境負荷の分析
- (8) 国連大学が提唱した「異なった業種間協同で地球の限られた資源の使用効率を高め、廃棄物 (エミッション: emission) がゼロになることを目指す」という考え方
- (9) 燃料電池の発電の際に生じる熱エネルギーを再度発電などに利用すること。廃熱発電、熱電併給、熱併給発電とも言われる。
- (10) 地元の生産物を地元で消費すること
- (11) 東京都環境局『都における温室効果ガス排出量総合調査 (2001 年度実績、2003 年度調査)』(2004 年 3 月) 9 頁。
- (12) 東京都環境局『都における温室効果ガス排出量総合調査 (2001 年度実績、2003 年度調査)』(2004 年 3 月) 29 頁。
- (13) 環境省のホームページ「都道府県別人口・面積・GDP・使用電力量」『平成 16 年度版 環境統計集』
<<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/data/es160010.xls>>2004 年 12 月 24 日アクセス。
- (14) 東京都環境局『都における温室効果ガス排出量総合調査 (2001 年度実績、2003 年度調査)』(2004 年 3 月) 11 頁。
- (15) 東京都環境局編「東京都と全国の二酸化炭素排出量の比較」『都における温室効果ガス排出量総合調査 (2001 年度実績、2003 年度調査)』(2004 年 3 月) 11 頁。

(Received: May 31, 2005)

(Issued in internet Edition: July 1, 2005)