

ライフサイクルアセスメント手法による水素社会の実現可能性*

Feasibility study on the hydrogen society by the lifecycle assessment method*

小柳英輝**・長谷川裕修***・田村亨****

By Hideki KOYANAGI**・Hironobu HASEGAWA*** Tohru TAMURA****

1. はじめに

近年、地球環境の保全、資源枯渇の回避は人類にとって解決しなければならない極めて重要な課題となっている。持続的経済発展を進める上には、環境への負荷を把握することが不可欠である。持続可能な発展の実現に向け環境への負荷を評価する手法として、ライフサイクルアセスメント(以下LCA)が注目を集めてきた。

本研究の目的は、わが国への水素社会導入のロードマップを作成すると共に、「家庭用燃料電池」・「燃料電池自動車」を対象としてLCA手法による水素社会の効率性評価を行なうことである。

2. ロードマップ作成

(1) ロードマップ作成意義

水素社会のロードマップは水素自動車や、インフラ等個別には議論されているが各要素を踏まえた議論はなされていない。実際に水素社会を形成するにあたり、相互関係を捉えたロードマップを作成する必要がある。

(2) ロードマップ作成方法

海外の先行事例と日本製鋼所、新日鉄、日本石油などの室蘭市にある水素関連産業へのヒアリングを行い、ロードマップ項目を決定した。

図-1は、本研究で提案する水素社会へのロードマップを示したものである。対象は交通部門と家庭部門であり、産業部門などは扱っていない。図の最左側の大項目(5つ)に沿って説明する。

*キーワード：環境計画、地球環境問題、水素社会

**学生員、室蘭工業大学大学院 工学研究科 博士前期課程 建設システム工学専攻 (北海道室蘭市水元町2番1号、TEL&FAX0143-46-5289)

***学生員、工修、室蘭工業大学大学院 工学研究科 博士後期課程 建設工学専攻

****フェロー、工博、室蘭工業大学工学部 建設システム工学科

a) 交通

わが国の特徴は、欧米のような「水素直噴車」ではなく「燃料電池車」を重点にして開発が進んでいることであり、2030年を目標に実用化が始まっている。勿論、水素社会の実現には、エネルギー効率の面から燃料電池車が優れていることは言うまでもない。なお、水素自動車の普及可能性については今後以下の検討が必要である。

- 1) 燃料電池のコスト削減
- 2) 燃料タンクの耐久性向上
- 3) 燃料電池自動車の大量生産化
- 4) インフラ整備の強化
- 5) 法規制の緩和
- 6) 政府からの助成金枠の増大

b) インフラ

水素インフラとは、水素の「輸送施設」と「供給施設」のことである。これらは、使用する水素機具の規模や性能により形態が異なる。自動車への利用ならば、ガソリンスタンドに併設される定置式水素ステーションとすべきであるが、水素自動車の普及が進んでいない現状では移動式水素ステーションが望ましい。家庭用燃料電池ならば小型定置式燃料電池が既に市販されているが、今後、水素社会が成熟すると定置式水素ステーションやパイプラインが敷設されると予測される。

c) 住まい方

ここでは、家屋だけでなく街の公共施設も含めたマクロな視点での住まい方として記述した。現在は、家庭用燃料電池としての利用に留まっているが、今後は病院や学校等の非常電源や防災拠点の電源として期待される。また、街頭や電光掲示板等の街のコミュニティ地区単位でのエネルギー・ネットワーク普及の可能性もある。

d) ビジネス

水素社会の新ビジネスとして、ICタグに燃料電池を用いることが実用段階にあり、このような新しい分野でのビジネス展開が期待されている。

e) 啓発(エンライトメント)

水素社会を形成するにあたり、市民の同意と連携を得る必要がある。その為に、市民会議、フォーラム、サミット等の企画運営をする他、市民が体験学習できるような水素科学館の建設なども考えられよう。

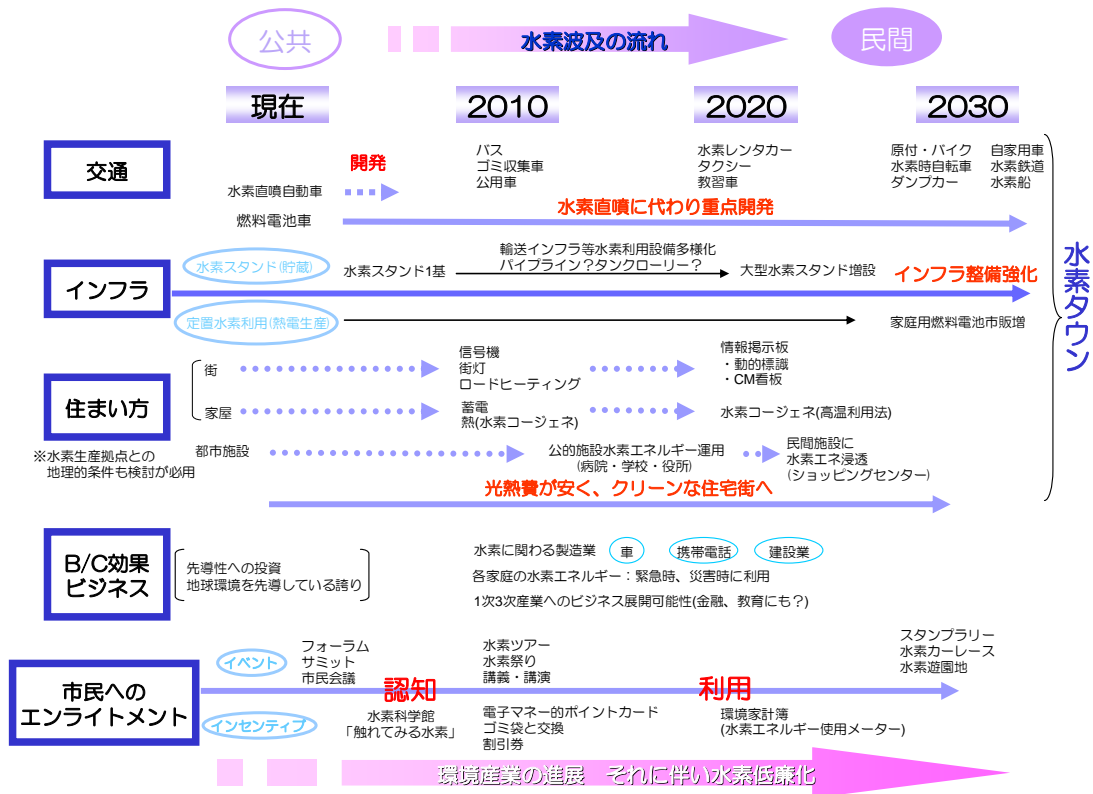


図-1 水素社会へのロードマップ

3. 家庭用燃料電池の導入効果

(1) 算出範囲の設定

運用時のCO₂排出量とランニングコストの算出を試みた。保守、廃棄に関しては、データの入手が困難であったことから今回は考慮しない(図-2参照)。

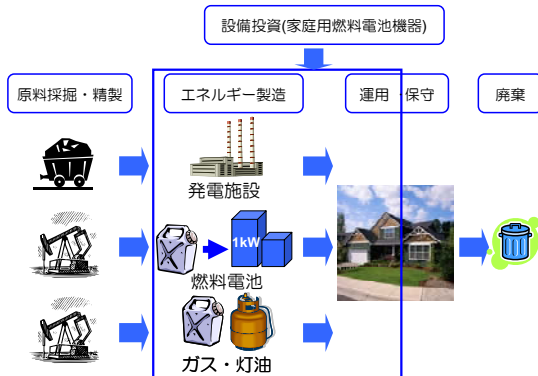


図-2 家庭用燃料電池の範囲設定

(2) 算出モデルの設定

住宅モデルは、宇田川が提案した住宅の標準モデル¹⁾を用いる。

各住宅におけるエネルギー消費量は一定とし、2003年度の北海道の戸建住宅9戸で測定されたデータ²⁾の平均値をとって用いた(図-3)。

算出過程においては、ジュール[J]単位の数値とそれを1kWh=3.6MJの換算式でkWh換算したものの両方を用いた。機器効率についてはガス機器のみ影響が大きく、無

視できないため考慮した。

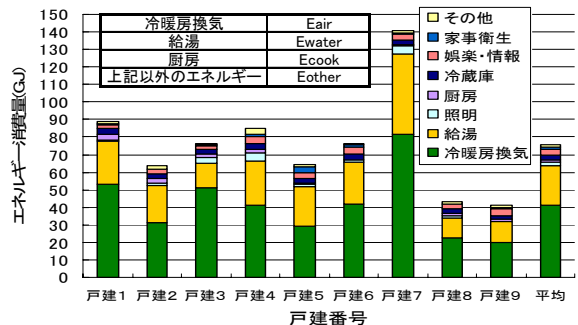


図-3 2003年度北海道戸建住宅のエネルギー消費量

a) 家庭用燃料電池住宅

家庭用燃料電池(以下、燃料電池とする)は灯油改質型の燃料電池を用いることとした。この燃料電池は発電と同時にコージェネレーションシステムで加温された水を給湯分として使用する。燃料電池が冷暖房換気、厨房分以外の電力使用量の最大で約6割を賄うことができる。しかし電力使用量の何割を賄えるかは、何時にどの程度の電力を使用するかという電力使用パターンによって異なるため、60%から10%刻みでCO₂排出量を算出した。冷暖房換気分のエネルギー消費量は灯油、厨房分はガス、燃料電池で賄いきれないエネルギー消費量は、商用電力で賄うものとした。なお、灯油改質時のCO₂排出量は考慮しない。

b) 一般住宅

冷暖房換気、給湯のエネルギー消費量に関しては灯油を、厨房分はガスを燃料として消費する機器を用いると

し、その他の用途分は電気によって賄われるとした。

c) オール電化住宅

住宅内での消費エネルギー量のすべてを電気で賄うものとした。暖房機器と給湯器については、それぞれマイコン搭載の蓄熱式電気暖房器と電気温水器を用いることとする。

(3) CO₂排出量の算出

a) 燃料電池使用住宅

燃料電池使用住宅のCO₂排出量は式(1)により算出した。

$$CO2_{fc} = e_{co2}(1-f)E_{other} + 3.6o_{co2}\{(E_{air} + E_{water} - E_{other})\} + g_{co2}E_{cook}/(m_g g_{cal}) \quad (1)$$

CO_{2fc}: 家庭用燃料電池使用住宅の総CO₂排出量[kg-CO₂]

E_{other}: 冷暖房換気、給湯、厨房分を除いたエネルギー消費量

[kWh] E_{water}: 給湯分のエネルギー消費量[kWh] E_{air}: 冷暖房換気分のエネルギー消費量[kWh] E_{cook}: 厨房分のエネルギー消費量[MJ]

x: 燃料電池で賄う電力消費量の割合 mg: ガス機器の効率(0.57) g_{cal}: 都市ガスの単位発熱[MJ/L] e_{co2}: 北海道電力株式会社2003年度CO₂排出原単位実績値[kg-CO₂/kWh]

o_{co2}: 灯油燃焼時のCO₂排出原単位(平成15年)[kg-CO₂/MJ]

g_{co2}: 都市ガスのCO₂排出原単位(平成15年)[kg-CO₂/Nm³]

b) 一般住宅

一般住宅のCO₂排出量は、式(2)により算出した。

$$CO2_{normal} = e_{co2}E_{other} + o_{co2}(E_{air} + E_{water}) + g_{co2}E_{cook}/(m_g g_{cal}) \quad (2)$$

CO_{2normal}: 一般住宅の総CO₂排出量[kg-CO₂]

c) オール電化住宅

オール電化住宅のCO₂排出量は、式(3)により算出した。以下オール電化に関わるデータについては、北海道電力株式会社室蘭支店より提供を受けた。

$$CO2_{ae} = e_{co2}(E_{air} + E_{water} + E_{cook} + E_{other}) \quad (3)$$

CO_{2ae}: オール電化住宅の総CO₂排出量[kg-CO₂]

(4) ランニングコストの算出

紙幅の都合により、計算結果のみを記載する。詳細は発表時に述べる。

(5) 計算結果

図-4、図-5に計算結果を示す。両図とも横軸は総エネルギー消費量に対する燃料電池の電力供給割合を表している。図-4の縦軸は1戸当たりの年間CO₂排出量を、図-5の縦軸はランニングコストを示す。

図-4より、CO₂排出量はオール電化住宅が一番多く約11トン、次に一般住宅の6トン、燃料電池使用住宅は電力使用量に対する燃料電池電力供給

割合によって変化するが、最小で4.7トンとなった。一般住宅と燃料電池使用住宅を比較すると、1家庭当たり最大で年間1.3トンのCO₂が削減可能となる。

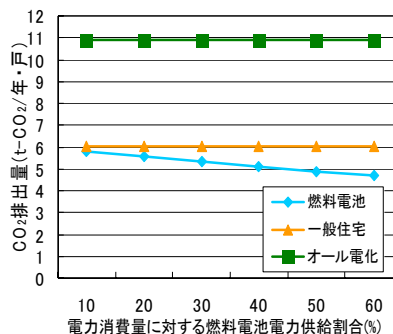


図-4 CO₂排出量算出結果図

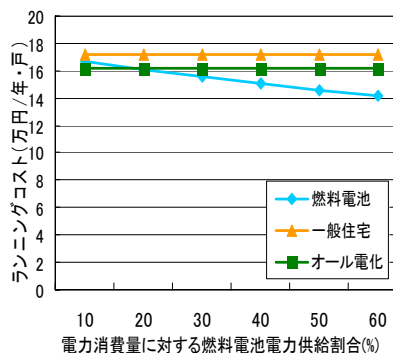


図-5 ランニングコスト算出結果図

また、図-5よりランニングコストは燃料電池使用住宅、一般住宅、オール電化住宅のいずれも14～18万円の間で分布し、大きな差はないということが明らかとなった。しかし設備費用を考えると、燃料電池は2010年までに100万円前後をめざしているが、オール電化15万円と比べると負担が大きい。

4. 燃料電池自動車の導入効果

(1) 算出範囲の設定

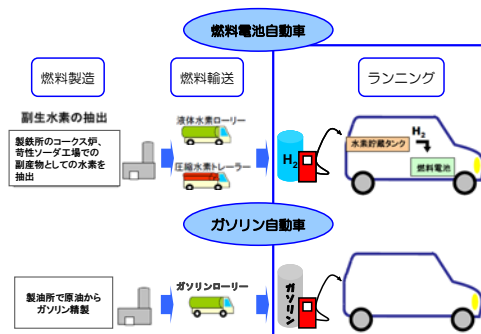


図-6 各自動車の算出範囲

家庭用燃料電池と同様に運用時のCO₂排出量とランニングコストの算出を試みた。保守、廃棄に関しては、データの入手が困難であったため、今回は考慮しない。

(2) 算出モデルの設定

既存車をモデルとするのではなく、実走行燃費平均値や燃料使用時の排出物原単位を基に計算を行うこととした。両者ともに年間走行距離は1万キロとした、燃料使用時のCO₂排出原単位は、表-1より算出した。

a) 燃料電池自動車

水素単価(円/Nm³)は、2010年度政府目標価格値を用いた。走行燃費はガソリン1ℓ=水素1Nm³のエネルギー量との専門家の意見より、ガソリン自動車の実走行燃費(2005年度ガソリン自動車実走行燃費)と同値とした。

b) ガソリン自動車

ガソリン単価(円/ℓ)は、2007年12月現在のものを用いた。

表-1 燃料使用時のCO₂排出量

燃料	密度 (kg/L)	発熱量(MJ/kg)	CO ₂ (kg/MJ)
ガソリン	0.75	44.4	0.070
水素	—	120	0

(3) CO₂排出量の算出

a) 燃料電池自動車

燃料電池自動車のCO₂排出量は式(4)により算出した。

$$CO2_{fchv} = h_{co2} R_{fchv} / M_{fchv} \quad (4)$$

CO₂fchv: 燃料電池自動車1日当たりのCO₂排出量(kg-CO₂/日)

R_{fchv}: 燃料電池自動車1日の走行距離(km/日) M_{fchv}: 燃料電池自動車の走行燃費(km/Nm³) h_{co2}: 水素使用時のCO₂排出原単位(kg-CO₂/Nm³)

b) ガソリン自動車

ガソリン自動車のCO₂排出量は式(5)により算出した。

$$CO2_{gas} = g_{co2} R_{gas} / M_{gas} \quad (5)$$

CO₂gas: ガソリン自動車1日当たりのCO₂排出量(kg-CO₂/日)

R_{gas}: ガソリン自動車1日の走行距離(km/日) M_{gas}: ガソリン自動車の2005年実走行燃費平均値(km/ℓ) g_{co2}: ガソリン燃焼時のCO₂排出原単位(kg-CO₂/ℓ)

(4) ランニングコストの算出

紙幅の都合により、計算結果のみを記載する。詳細は発表時に述べる。

(5) 計算結果

図-7、図-8に計算結果を示す。両図とも横軸は車種を表している。図-7の縦軸は1台当たりの年間CO₂排出量を、図-8の縦軸は、ランニングコストを示す。

図-7より燃料電池自動車はCO₂が排出されない

ため、ガソリン車と比較すると1台当たり年間で2.4トンのCO₂が削減可能である。

また、図-8よりランニングコストはそれほどの差異は見られなかった。

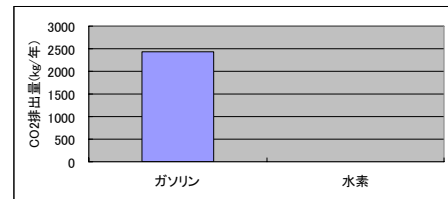


図-7 CO₂排出量算出結果図

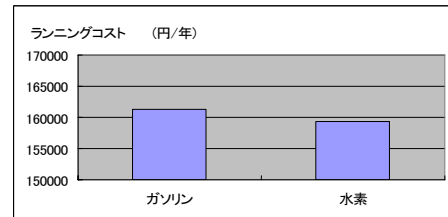


図-8 ランニングコスト算出結果図

5. 室蘭市におけるCO₂削減効果

副産物として生成される水素を「副生水素」という。室蘭市周辺には副生水素を生成する施設が多く立地し、室蘭市周辺でおよそ3000万Nm³の副生水素が使用可能だと見込まれる。これらを燃料電池自動車の燃料として取り扱えば最大2万8800台の燃料電池自動車を賄うことが出来、その際のCO₂削減量は7万トンにも上る。これは、現在の室蘭市のCO₂排出量を20%以上削減することに繋がる。

6. おわりに

本研究ではロードマップを作成し、家庭用燃料電池、燃料電池自動車導入によるCO₂削減量を算出した。本研究では、以下の点を明らかにした。

- 1) 水素社会の課題を整理し、プロセスを最適化するロードマップを作成した。
- 2) 家庭用燃料電池の導入により1家庭当たり最大1.3トンのCO₂が削減できることが明らかとなった。
- 3) 燃料電池自動車の導入により1台当たり2.4トン/年のCO₂が削減できることが明らかとなった。

今後の課題は、LCAをインシヤルコスト、保守・廃棄にまで拡大して分析することである。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、研究室卒業生の稲辺寛勝氏と本堂明恵氏にご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 宇田川光弘: 標準問題の提案(住宅用標準問題)、日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回熱シンポジウム、1985
- 2) 社団法人北海道消費者協会: 平成17年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査報告書、2006