

# 室蘭市におけるエネルギー循環型コミュニティ構築の可能性

Possibility of construction of the energy circulation community in Muroran

室蘭工業大学建設システム工学科 ○学生員 杉本 誠 (Makoto Sugimoto)  
 室蘭工業大学建築社会基盤系専攻 学生員 鈴木裕二 (Yuji Suzuki)  
 室蘭工業大学くらし環境系領域 正会員 有村幹治 (Mikiharu Arimura)  
 室蘭工業大学くらし環境系領域 フェロー 田村 亨 (Tohru Tamura)

## 1. はじめに

東日本大震災以降、電力供給問題が盛んに議論される中で、今後の電力供給にはCO<sub>2</sub>を排出しないだけでなく、次世代に渡って安心・安全に利用できる再生可能エネルギーの利用が重要な課題として位置づけられた。

研究対象地域である室蘭市は、溶鉱炉から生成される副生水素の有効利用、風力発電、マイクロ水車発電、製鉄所の廃熱利用（トランスヒートコンテナを用いた社会実験；2009、2010年）などのエネルギー先進地域である。そして地形上、母恋（日本製鋼所）、輪西（新日鉄）、本輪西（JX日鉱日石）など、沢ごとのエネルギー循環型コミュニティが構想されている。

本研究は、1) 家庭用燃料電池と水素燃料電池自動車の導入による自立型コミュニティの成立可能性をシミュレーションするとともに、2) 沢ごとに形成されるエネルギー循環型コミュニティが織り成す、「クリーンネックレス（各コミュニティを玉として、これが連なって構成される市全域のネックレス）」の効果と課題を考察することが目的である。

## 2. 家庭用燃料電池の導入効果

### 2.1 算出モデルの構築

今回の分析では、2003年度に実施された全国の住宅におけるエネルギー消費量測定調査結果<sup>1)</sup>の中から、北海道の戸建住宅9戸で測定されたデータを使用する（図-1）。オール電化住宅はこの中の戸建1、2だったことからその平均値を用い、一般住宅・家庭用燃料電池住宅（以下、燃料電池住宅とする）は戸建3~9の平均値を用いることとした。

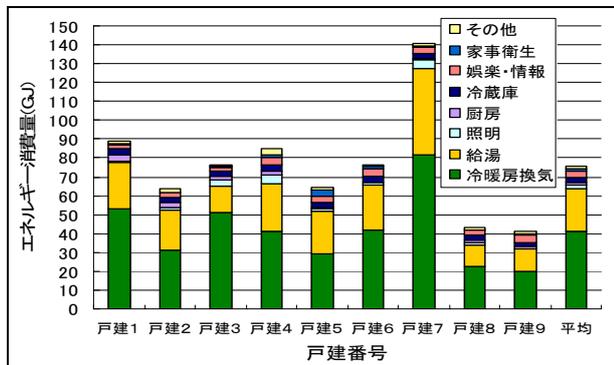


図-1 戸建住宅のエネルギー消費量（2003年、北海道）

なお、住宅モデルは、宇田川（1985年、建築学会）が提案した住宅の標準モデル<sup>2)</sup>を用いた。

#### (1) 燃料電池住宅

家庭用燃料電池（以下、燃料電池とする）は2003年度に導入された灯油改質型で、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利用するタイプのものを使用する。この時、燃料電池が冷暖房換気、厨房分以外の電力使用量を最大で60%を賄えるとして設定したが、実際に電力使用量の何割を賄えるかについては各家庭の時間毎の電力使用量が異なるため、10~60%までを10%刻みでそれぞれ算出することとした。

#### (2) 一般住宅

冷暖房換気、給湯にかかるエネルギー消費は灯油を燃料とする機器、厨房にかかるエネルギー消費は都市ガスを燃料とする機器を使用することとし、その他の用途分は電気によって賄われることとした。

#### (3) オール電化住宅

オール電化住宅は、エネルギー消費にかかるすべてを電気ですべて賄うものとした。

以下、表-1に使用燃料の詳細設定をまとめる。

表-1 用途ごと使用燃料の設定

	燃料電池住宅	一般住宅	オール電化住宅
冷暖房換気	灯油	灯油	電気
給湯	燃料電池 ただし、不足時は灯油		
照明	燃料電池※1	電気	
厨房	ガス	ガス	
冷蔵庫	燃料電池※1	電気	
娯楽・情報			
家事衛生			
その他			

### 2.2 分析方法

ランニング時と電力・使用燃料のライフサイクル<sup>3)</sup>におけるCO<sub>2</sub>排出量とエネルギー消費量の算出を行う。ただし使用する機械の製造、運用時の保守・点検、廃棄時の値についてはデータ入手が困難であったことから今回は考慮しない。また今回の分析では使用機器によってどの程度の差異があるのかを明らかにするため、エネルギー消費量は一定とする。機器の効率については考慮しないが、ガス機器に関しては影響が大きく無視できないため考慮する。なお、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る。

以下にCO<sub>2</sub>排出量及びエネルギー消費量の算出式を示す。

#### (1) 年間CO<sub>2</sub>排出量

$$CO_{2fc} = e_{co2} \times P_{fc} + O_{co2} \times P_1 + g_{co2} \times P_2 + C_o \times P_3 + C_T \times P_4 \quad (1)$$

$$CO_{2no} = e_{co2} \times P_{no} + O_{co2} \times P_5 + g_{co2} \times P_2 + C_o \times P_6 + C_T \times P_4 \quad (2)$$

$$CO_{2ae} = e_{co2} \times P_{ae} \quad (3)$$

CO<sub>2fc</sub> : 燃料電池住宅の総CO<sub>2</sub>排出量

- CO<sub>2no</sub>: 一般住宅の総 CO<sub>2</sub> 排出量
- CO<sub>2ae</sub>: オール電化住宅の総 CO<sub>2</sub> 排出量
- P<sub>fc</sub>: 燃料電池住宅の電力消費量
- P<sub>no</sub>: 一般住宅の電力消費量
- P<sub>ae</sub>: オール電化住宅の電力消費量
- P<sub>1</sub>: 燃料電池住宅の灯油燃焼量
- P<sub>2</sub>: 燃料電池住宅及び一般住宅の都市ガス燃焼量
- P<sub>3</sub>: 燃料電池住宅の灯油使用量
- P<sub>4</sub>: 燃料電池住宅及び一般住宅の都市ガス使用量
- P<sub>5</sub>: 一般住宅の灯油燃焼量
- P<sub>6</sub>: 一般住宅の灯油使用量
- e<sub>co2</sub>: 北海道電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位
- O<sub>co2</sub>: 灯油燃焼時の CO<sub>2</sub> 排出原単位
- g<sub>co2</sub>: 都市ガス燃焼時の CO<sub>2</sub> 排出原単位
- C<sub>o</sub>: 灯油精製段階での CO<sub>2</sub> 排出原単位
- C<sub>T</sub>: 都市ガス精製段階での CO<sub>2</sub> 排出原単位

(2) 年間エネルギー消費量

$$E_{fc} = P_{fc} + E_o \times P_3 + E_T \times P_4 \quad (4)$$

$$E_{no} = P_{no} + E_o \times P_6 + E_T \times P_4 \quad (5)$$

$$E_{ae} = P_{ae} \quad (6)$$

- E<sub>fc</sub>: 燃料電池住宅の総エネルギー消費量
- E<sub>no</sub>: 一般住宅の総エネルギー消費量
- E<sub>ae</sub>: オール電化住宅の総エネルギー消費量
- E<sub>o</sub>: 灯油精製段階での単位エネルギー消費量
- E<sub>T</sub>: 都市ガス精製段階での単位エネルギー消費量

2.3 分析結果及び考察

図-2、図-3 に計算結果を示す。両図とも横軸は電力消費量に対する燃料電池からの電力供給割合を表している。

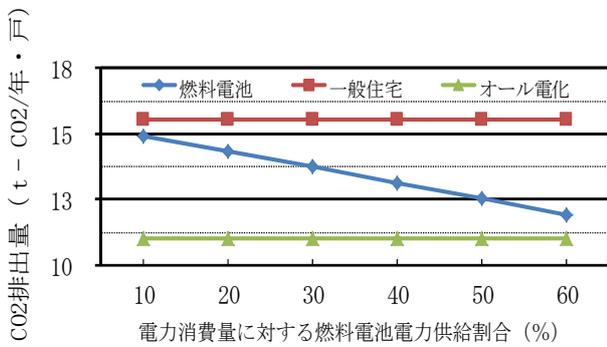


図-2 各住宅における年間 CO<sub>2</sub> 排出量

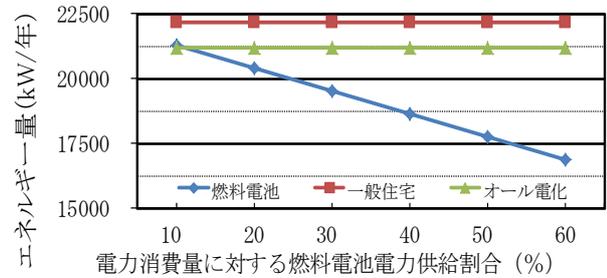


図-3 各住宅における年間エネルギー消費量

まず図-2 を見ると、一般住宅、燃料電池住宅、オール電化住宅の順に CO<sub>2</sub> 排出量が少なくなっており、燃料電池の導入割合が 60% になると、オール電化住宅に匹敵するほ

どの CO<sub>2</sub> 削減効果を得ることがわかる。

次に図-3 を見ると、燃料電池からの電力供給割合が 10% の段階で既にオール電化住宅とほぼ同等、そこから供給割合が増えるごとに年間エネルギー消費量がさらに少なくなることがわかる。このことから、電力にかかる CO<sub>2</sub> 排出量より燃料にかかる CO<sub>2</sub> 排出量の方が大きいこと、そして燃料電池を使用することによって CO<sub>2</sub> 排出量とともにエネルギー消費量が減少することが明らかとなった。

3. 水素燃料電池自動車の導入効果

3.1 算出モデルの構築

モデル構築にあたり、ガソリン自動車は国土交通省のデータベースを参考にし、水素燃料電池自動車(以下、燃料電池自動車とする) は水素の取得方法が違う場合を考えて導入効果を比較する。ただし自動車の性能自体は同等<sup>4)</sup>と考えると表-2 のように設定した。

表-2 算出モデルの設定

ガソリン自動車		燃料電池自動車	
年間走行距離(km)	実走行燃費(km/L)	年間走行距離(km)	燃費(km/Nm <sup>3</sup> )
10000	9.6	10000	9.6

3.2 分析方法

本研究では走行時における CO<sub>2</sub> 排出量 (Tank-to-Wheel) だけでなく、一次エネルギーの採掘から精製、輸送、製造、そして燃料タンクに充填されるまで (Well-to-Tank) を含んだ Well-to-Wheel の CO<sub>2</sub> 排出量、エネルギー消費量を比較しながら考察する (図-4)。

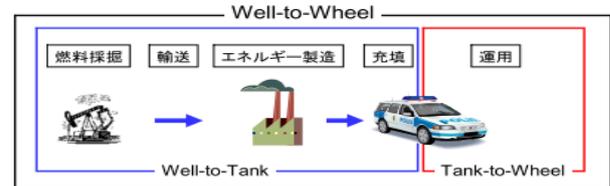


図-4 CO<sub>2</sub> 排出量の算出プロセス

自動車に関しても製造、運用時の保守・点検、廃棄に関してのデータ入手が困難だったため考慮していない。算出に必要な各燃料における CO<sub>2</sub> 排出原単位<sup>3)</sup>は表-3 に示す。

表-3 燃料精製段階での CO<sub>2</sub> 排出原単位

燃料精製方法	CO <sub>2</sub> 排出原単位	
ガソリン精製	0.368 [kg/L]	0.0114 [kg/MJ]
COG (コークスガス)	0.62 [kg/Nm <sup>3</sup> ]	0.0574 [kg/MJ]
天然ガス (オフサイト)	1.43 [kg/Nm <sup>3</sup> ]	0.133 [kg/MJ]
天然ガス (オンサイト)	1.43 [kg/Nm <sup>3</sup> ]	0.133 [kg/MJ]
LPG	1.45 [kg/Nm <sup>3</sup> ]	0.134 [kg/MJ]
メタノール	1.57 [kg/Nm <sup>3</sup> ]	0.146 [kg/MJ]
灯油	1.72 [kg/Nm <sup>3</sup> ]	0.160 [kg/MJ]
ガソリンからの水素取得	1.91 [kg/Nm <sup>3</sup> ]	0.177 [kg/MJ]
アルカリ水電解	2.36 [kg/Nm <sup>3</sup> ]	0.219 [kg/MJ]

※オンサイト…水素ステーションで水素を製造する。

オフサイト…大型プラントで水素を製造し、水素ステーションに輸送する

なお、燃料電池自動車の Tank-to-Wheel 時には CO<sub>2</sub> が発生しないとして年間の CO<sub>2</sub> 排出量、エネルギー消費量を算出している。算出式は以下に示す。

$$CO_{2ww} = CO_{2tw} + CO_{2wt} \quad (7)$$

$$ENE = E \times R/M \quad (8)$$

- CO<sub>2ww</sub> : 各自動車の年間 CO<sub>2</sub> 排出量
- CO<sub>2tw</sub> : 各自動車走行時の年間 CO<sub>2</sub> 排出量
- CO<sub>2wt</sub> : 各燃料精製時の年間 CO<sub>2</sub> 排出量
- ENE : 各自動車の年間エネルギー消費量
- E : 各燃料 1 MJ 精製時におけるエネルギー消費量
- R : 各自動車の年間走行距離
- M : 各自動車の走行燃費

### 3.3 分析結果及び考察

図-5、図-6 に算出結果を示す。年間の CO<sub>2</sub> 排出量を見ると、燃料電池はどの燃料から水素を取得してもガソリン自動車より CO<sub>2</sub> 排出量が削減されると判明した。ただし、燃料の取得方法によってその減少量が 0.4~2.2 トンと大きく異なるため、水素の取得方法は考慮する必要がある。

一方、図-6 よりエネルギー消費量はガソリン自動車最も少ない結果となった。この要因としては、水素製造時にかかる電力消費量が大いため、トータルでのエネルギー消費量が上がることが挙げられる。従って、新たに水素エネルギーを生成し燃料電池自動車に用いる場合には、燃料製造時にかかるエネルギー消費量を減らす必要がある。

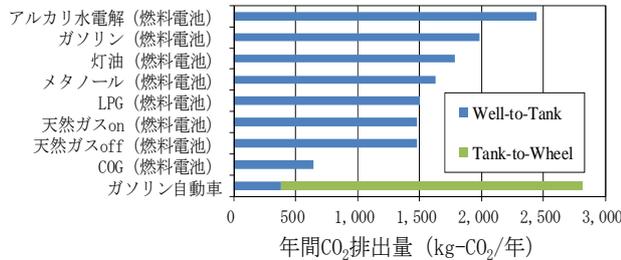


図-5 自動車一台あたりの CO<sub>2</sub> 排出量

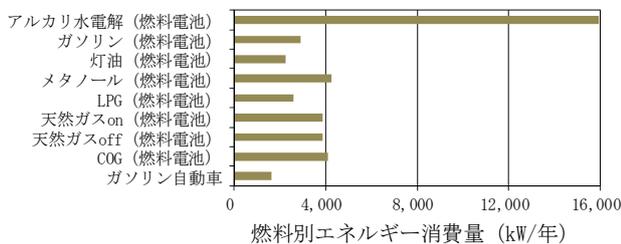


図-6 自動車一台あたりのエネルギー消費量

### 3.4 室蘭市における水素エネルギーの循環利用

#### (1) 副生水素利用時の自動車比較

室蘭市の新日本製鐵の кокс 炉からは、 кокс ガス由来の副生水素が得られる。このガスを気体のまま室蘭市内で燃料電池自動車に活用した場合、気体としての利用や輸送にかかるコストのロスがなくなり、より高い効果を持つことができる。図-7、図-8 にその算出結果を示す。

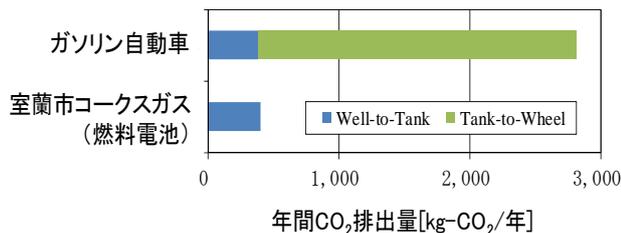


図-7 室蘭市における自動車の CO<sub>2</sub> 排出量

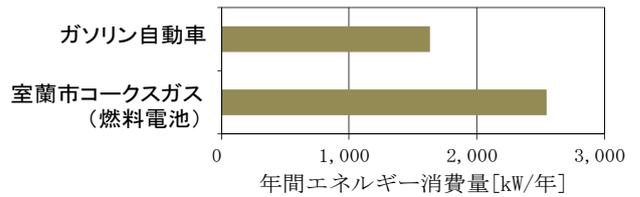


図-8 室蘭市における自動車のエネルギー消費量

室蘭市においてコークスガス由来の副生水素を利用した場合の CO<sub>2</sub> 排出量は、ガソリン精製時にかかる CO<sub>2</sub> 排出量とほぼ同じくらいになり、全体としてはガソリン自動車の 1/6 以下になった。エネルギー消費量に関しても、ガソリンにかかるエネルギー量により近い値となり、実用化するには適した環境であるといえる。

#### (2) 室蘭市における導入効果

室蘭市新日本製鐵の年間副生水素量はおよそ 1356 万 Nm<sup>3</sup> である。これを燃料電池自動車 1 年あたりの平均消費エネルギーで換算すると、約 13000 台分のエネルギーに相当する。

この副生水素を使用し、燃料電池自動車を走行させるとともに、燃料電池で 60% の電力を賄っている住宅と併用した場合の効果を求める。それぞれガソリン自動車、一般住宅との差を使用し、燃料電池自動車及び燃料電池利用住宅を増加させる場合の分析を行う。以下に CO<sub>2</sub> 削減量、エネルギー消費量の算出式を示す。

$$CO_{2to} = CO_{2gf} \times c + CO_{2nf} \times h \quad (9)$$

$$ENE_{to} = E_{fg} \times c + E_{fn} \times h \quad (10)$$

- CO<sub>2to</sub> : 燃料電池、燃料電池自動車を導入した場合の CO<sub>2</sub> 削減量
- CO<sub>2gf</sub> : ガソリン自動車と燃料電池自動車の CO<sub>2</sub> 排出量差
- CO<sub>2nf</sub> : 一般住宅と燃料電池住宅の CO<sub>2</sub> 排出量差
- ENE<sub>to</sub> : 燃料電池、燃料電池自動車を導入した場合のエネルギー消費量
- E<sub>fg</sub> : 燃料電池自動車とガソリン自動車のエネルギー消費量差
- E<sub>fn</sub> : 燃料電池住宅と一般住宅のエネルギー消費量差
- c : 燃料電池自動車導入台数
- h : 燃料電池利用世帯数

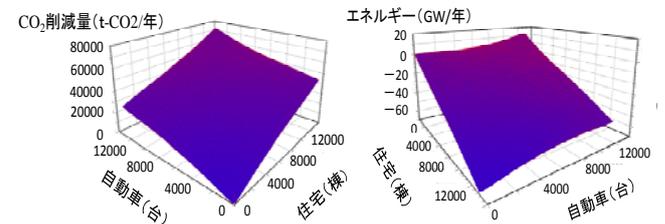


図-9 総 CO<sub>2</sub> 削減量及び総エネルギー消費量

図-9 より、燃料電池自動車 1 台普及するごとにエネルギー量は増加するものの、燃料電池住宅 1 世帯当たりのエネルギー減少の方が大きいため、年間エネルギー量はほぼ相殺されることがわかる。また、13000 台の燃料電池自動車を走らせることでかかるエネルギー増加量を補うためには、およそ 2000 世帯の燃料電池住宅が必要であり、この時の CO<sub>2</sub> 削減効果はおよそ 4 万 t に及ぶ。これは室蘭市の年間 CO<sub>2</sub> 排出量 34 万 t に対しておよそ 12% に匹敵する。

4. エネルギー循環型コミュニティが織り成す

「クリーンネックレス」の構築可能性

4.1 地域の実情に合った再生可能エネルギー

東日本大震災を機にエネルギーの地産地消、自立分散化の流れが加速している。太陽光や風力、バイオマス、地熱、水力など、地域の実情に合った再生可能エネルギーの活用を進め、情報技術で地域全体のエネルギー消費を最適化し、コンパクトで自立的なエネルギー需給網を構築する試みである。スマートグリッドをはじめとする新たな電力需給網の構築や、地域コジェネレーション（熱電併給）など、要素技術を統合して都市全体を快適に省エネするスマートシティも、横浜市や北九州市などで始まっている。ここで重要な点は、各レベルで最適なエネルギー制御をするだけでなく、マイクロ水車や風力発電、太陽光パネルなど、創エネシステムと系統電力を組み合わせることで、電力や熱を地域内で融通しあうことが可能になることである。

今後、不安定な自然エネルギーを大規模集中型の電源と調和させるためには、地域や家庭、仕事場における蓄電池の普及が必須である。また、水素自動車や電気自動車のバッテリーを活用してデマンドレスポンス（需要応答）に対応する「ビークル・トゥ・ホーム」や「ビークル・トゥ・ファクトリー」といった新たなビジネスモデルの構築も重要になるだろう。これらの新しい流れの実現には、多くの需要家が積極的にエネルギー需給網に参加することが必要であり、多様なエネルギーを作って融通し合うネットワークが重要である。

問題は、こうした仕組みづくりと投資資金の調達である。それぞれの分野において個別の産業特性に由来する問題があるため単純比較は難しいが、規制改革によって事業者は参入、撤退や料金設定、経営多角化などの面で自由裁量権を獲得しているが、依然として社会的な生活維持の性格が強く残っているために、公共性を重視しなければならないケースが多いのも現実である。その一方で、将来の投資資金確保に工夫を加えた新しいビジネスモデルも模索されている。ここでは、外国企業やエクイティ・ファンドによる買収、それに対する防衛措置の検討、環境問題への取り組みなど、新たな課題も指摘されている。

エネルギーの地産地消、自立分散化の流れは、今後さらに多様なビジネスモデルとして市場に参入してくるだろう。これを迎える地方自治体においては、インフラ保有主体に対するリスク負担の考え方の転換が必要である。従来はほぼ全面的に公益事業（公的部門）が需要リスク・経営リスク・管理リスクなどを負担していたが、この場合固定的・画一的になりやすい。地域の実情に合った再生可能エネルギーの活用を進めてゆくには、多様な主体がリスクを少しずつ負担することが重要である。公的部門のリスクを民間部門へ転移するという発想は、経営権の移転でもあることを公共部門が認識し、収支均衡の経営政策や収益の留保などの点で、インフラを保有する自治体やコミュニティなどに一定の考え方の転換が要請されることだろう。

4.2 室蘭市の「クリーンネックレス」の構築可能性

図-10は、室蘭市の沢ごとに形成されるエネルギー循環型コミュニティが織り成す、「クリーンネックレス」のイメージを示したものである。

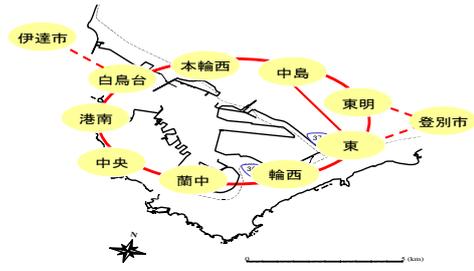


図-10 室蘭市クリーンネックレス

本研究の3章で示したとおり、クリーンネックレスを構成する室蘭市において、コミュニティレベルの実情に合った再生可能エネルギーの有効性は明らかである。

今後問題となるのは、地域や家庭、仕事場で作ったエネルギーを地域で融通し合うネットワークづくりである。したがって、室蘭市の工場群にある副生水素や廃熱も含め、使われていない地域エネルギーを発見・共有化・活用する仕掛けとしての「クリーンネックレス」構想の意義は大きいといえるだろう（図-11）。

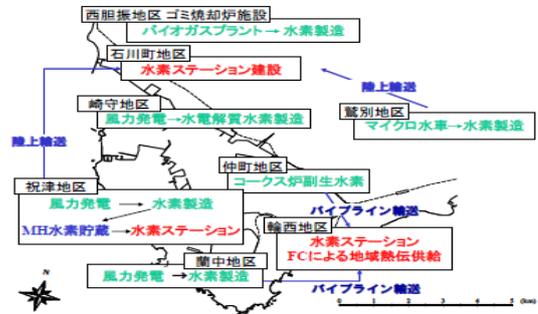


図-11 室蘭市における水素エネルギーモデル構想

5. おわりに

本研究は、室蘭市を対象にして、家庭用燃料電池と水素燃料電池自動車の導入による自立型コミュニティの成立可能性をシミュレーションするとともに、沢ごとに形成されるエネルギー循環型コミュニティが織り成す、「クリーンネックレス」の効果と課題を考察したものである。本研究から明らかになった点は以下のとおりである。

- 1) 燃料電池の導入により、1家庭において最大3.6トン/年のCO<sub>2</sub>が削減できる。
- 2) 室蘭市において、燃料電池自動車の導入により1台当たり2.4トン/年のCO<sub>2</sub>が削減できる。
- 3) 東日本大震災を機にエネルギーの地産地消、自立分散化の流れが高まっており、室蘭市の「クリーンネックレス」構想は北海道における先進事例になる可能性がある。

今後の課題は、さらに地区ごとにあったエネルギー施策、コミュニティにあったデザインを検討することである。

参考文献

- 1) 赤林 伸一：住宅用エネルギー消費と温暖化対策検討委員会、住宅におけるエネルギー消費量データベース。
- 2) 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。
- 3) トヨタ自動車：輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価 日本における輸送用燃料製造(Well-to-tank)を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告書。
- 4) 燃料電池システム等実証研究第2期 JHFC プロジェクト報告書。