

日本におけるバイオマスを用いた 水素ステーション構築の潜在的実現性検討

Potential Study for Creation of Hydrogen Stations with Various Biomass Resources in Japan

田島正喜*¹
Masaki TAJIMA

横山伸也*²
Shinya YOKOYAMA

芋生憲司*³
Kenji IMOU

Abstract

We have previously reported that an approach to utilization of biomass by means of producing hydrogen from biomass and filling fuel cell vehicle at hydrogen stations in the Tokyo Metropolitan Area. According to the report, it was shown that there are municipalities capable of producing more than 200m³/h of hydrogen, which scale is required for a hydrogen station to be operationally practical with biomass. In this paper, we discussed that the method expanded to include that in Japan. It was shown that around 26% of municipalities can create hydrogen stations using three types of biomass, woody biomass, livestock excreta and agriculture residues. Besides, in the hydrogen station's maximum study, only about 2.5% of petrol stations can be changed to hydrogen station. The amount of biomass changed to hydrogen, however, was estimated around 56% of total biomass existing in Japan. Therefore, it was shown that this can be one of most likely biomass utilization methods in the future. Furthermore, the average biomass transport distance in this case was estimated only within 10km which shows the method was available in terms of biomass's local production for local consumption.

キーワード：バイオマス、水素ステーション、水素製造、燃料電池自動車
Key Words : Biomass Resources, Hydrogen Station, Hydrogen Production, Fuel Cell Vehicle

1. 緒言

近年、地球温暖化対策のひとつとしてカーボンニュートラルとみなされているバイオマスの利活用推進が図られているが、その利活用を妨げる要因のひとつとして、収集・運搬に対する経済的課題がある。¹⁾一方、化石燃料の枯渇化および地球温暖化にみられるエネルギーの環境影響への社会的意識の高まりによって、将来有効な二次エネルギー形態として、水素エネルギーが注目されている。^{2),3),4)}水素は自然界での賦存量はほとんどないが、様々な一次エネルギーから製造しうる。また、電力と相互変換可能な唯一のエネルギーであり、燃焼しても水のみしか生成しない点、非常にクリーンなエネルギーであると言える。水素社会を構築するアプリケーションとして、燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle : 以下 FCV) の開発が進められており、FCV 用

の燃料としての水素供給体制の構築検討が、国内外にて開始されている。^{5),6)}FCV への水素供給を考察するに、現在のガソリンスタンドが将来水素ステーションへ転換していくと想定されるが、ガソリンスタンド同様に全国に広く賦存するバイオマスをその原料にできれば、バイオマスの収集・運搬の課題は軽減されることが予想され、再生可能エネルギーの地産地消の観点でも非常に有効な活用方法と言える。加えて、バイオマスからの水素製造は、再生可能エネルギーであるバイオマスを用いることで様々な水素製造方法に比較して LCA (Life Cycle Assessment) でみて極めて有利な手法であり、多大な CO₂ 削減効果が期待できる。⁷⁾

そこで筆者らは、既報においてバイオマスから水素を製造し水素ステーションにて FCV に充填するバイオマス利活用手法を提案し、その実現可能性について首都圏を例にとり考察を行った。その結果、量的にも経済的にも利活用の可能性があり、輸送部門における CO₂ 削減の将来有望な手段であることが判明した。⁸⁾

本報では、このモデルを首都圏から更に拡大させ、日本全国に展開した場合の有効性に関して検討、論じる。地方ごと、バイオマス種別 (木質、畜産廃棄物、農業残渣) にデータを整理し、水素ステーション構築の可能性を考察する。更に加えて、モデルを拡張し、バイオマスの収集エリアを拡大した検討により、水素ステーションの構築を最大

*¹ 東京ガス株式会社 技術開発本部 技術戦略部
水素ビジネスプロジェクトグループマネージャー
(〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20)
e-mail:tajima@tokyo-gas.co.jp

*² 東京大学大学院農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻
生物機械工学研究室 教授

*³ 同 准教授
(原稿受付：2009年6月17日)

にする試みを行う。最後に、本手法のバイオマス利活用に対する有効性を日本全国ベースで評価した。

2. 水素ステーション構築モデル

水素ステーションに適応するためのバイオマス収集の評価を行う。

ここに、 Q ：バイオマス利用可能量 (t/y) は、

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (1)$$

で与えられる。但し、 i はバイオマス種別を表わす。木質バイオマスの利用可能量を Q_w とすれば(1)式は、

$$Q_w = \sum_{i=1}^4 Q_i \quad (2)$$

となる。ここに、 i ：木質バイオマス種別として、林地残材、製材廃材、果樹剪定、公園剪定の4種を算入する。また、畜産廃棄物の利用可能量 (Q_e) では同様に、畜産廃棄物種別として、乳牛排泄物、食肉排泄物、豚排泄物、鶏糞の4種を算入し、農業残渣の利用可能量 (Q_a) では、農業残渣種別として、稲わら、籾殻、麦わらの3種を算入する。

以上のごとく、バイオマス種ごとの利用可能量 Q は定義される。

S ：市町村面積 (km^2)

N ：現存ガソリンスタンド数 (箇所)

ρ ：水素ステーション転換割合 (-) とすると、水素スタンド1箇所あたりのバイオマス利用可能量 q (t/d) は、

$$q = \frac{Q}{360 \times N \times \rho} \quad (3)$$

で与えられる。但し、360日：水素製造プラントの年間稼働日数 (365日-定期修理1日-年間休業4日) とした。

また、水素スタンド1箇所あたりのバイオマス収集面積 s (km^2) は、

$$s = \frac{S}{N \times \rho} \quad (4)$$

となり、バイオマスの収集半径 L (km) は、

$$L = \sqrt{\frac{S}{N \times \rho \times \pi}} \quad (5)$$

で与えられる。ここでの L とは Fig. 1 のごとく、ある市町村に水素ステーションを建設する場合、バイオマス供給エ

リアを市町村の面積より平均分割しその半径として算出するもので、市町村内のバイオマス密度は均一と仮定している。また Fig. 1 は、ある自治体に20ヶ所の既設ガソリンスタンドがあり、このうち10% ($\rho=0.1$) にあたる2ヶ所が水素ステーションに転換された場合の L を示している。

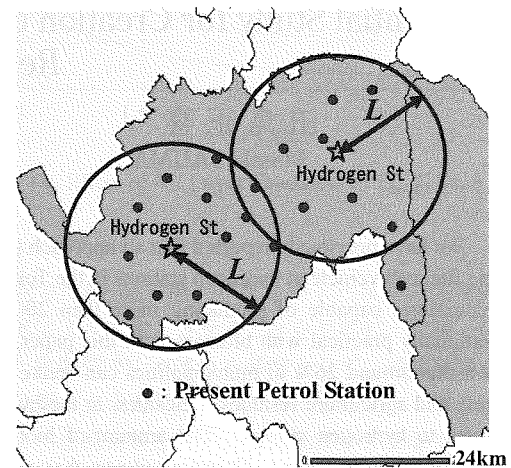


Fig. 1 Biomass Transport Distance L

3. バイオマスからの水素製造

木質バイオマス、畜産廃棄物、農業残渣からの水素製造量を以下の式によって算出する。これらバイオマスに対して採用した水素製造方法は、現在実用化に近い技術より選定した。

3.1 木質バイオマスからの水素製造

ドイツにて開発されたバイオマスの水蒸気改質手法である、ブルータワーシステムの実証データをもとに計算する。^{9),10)}

水素製造量を H_w (Nm^3/h)、木質バイオマス利用量を q_w ($wet-t/d$) とすると、

$$H_w = \frac{1}{1.4(wet-t/d)} \times \frac{24h}{10h(運転時間)} \times 17Nm^3/t \times q_w \quad (6)$$

となる。

3.2 畜産廃棄物からの水素製造

含水率の高い畜産廃棄物から水素を製造する手法としては、湿式メタン発酵により生成するメタンを水蒸気改質し PSA (Pressure Swing Adsorption) 等にて精製し製品水素を得る方法が実用的である。¹¹⁾

水素製造量を H_l (Nm^3/h)、畜産廃棄物利用可能量を q_l ($dry-t/d$) とすると、

$$Hl = \frac{154MJ/dry-kg(糞尿発熱量)}{12.8MJ/Nm^3(水素発熱量)} \times 0.4 \text{ (メタン発酵効率)}$$

$$\times 0.67 \text{ (水蒸気改質効率)} \times 0.8 \text{ (PSA 水素回収率)} \times$$

$$\frac{1,000kg \text{ (単位換算)}}{10h \text{ (運転時間)}} \times ql \quad (7)$$

で与えられる。

3.3 農業残渣からの水素製造

農業残渣からの水素製造手法として、近年実績がある乾式メタン発酵¹²⁾で生成したメタンを水蒸気改質し、PSAにて精製する前提で計算する。

水素製造量を Ha (Nm^3/h)、農業残渣利用可能量を qa ($wet-t/d$) とすると、

$$Ha = 150Nm^3/t \text{ (ガス発生量)} \times \frac{21.5MJ/Nm^3(発生ガス熱量)}{12.8MJ/Nm^3(水素発熱量)}$$

$\times 0.67$ (水蒸気改質効率) $\times 0.8$ (PSA 水素回収率) \times

$$\frac{1}{10h(運転時間)} \times qa \quad (8)$$

で与えられる。

3.4 ステーションにおける必要水素製造能力

商用化水素ステーションの必要水素製造量は、既存ガソリンスタンドにて充填するガソリン車と同量の水素充填の必要量として定義され、通常ガソリンスタンド規模を想定すると、200~300 Nm^3/h 規模で採算性が取れるレベルにあるとの試算がなされている。¹³⁾そこで平均的なガソリンスタンド規模(1ステーションあたり約1,000台の車に対する営業規模)に相対する水素ステーション能力 200 Nm^3/h を、以降、水素ステーション構築の基準となる必要水素製造能力として議論を進めることとする。

4. 日本全国での水素ステーション構築実現性検討

4.1 検討の前提

水素ステーションの転換割合 ρ は、 $\rho=0.1$ とした。経済産業省の普及計画では2020年頃の既存車の10%がFCVに転換される前提である。⁵⁾

地方区分として、北海道、東北、関東、中部、北陸、近

畿、中国、四国、九州、沖縄の10地方域に分けて評価した。

平成に入り、地方自治体間で市町村合併が推進された。(平成の大合併)1999年では全国に3,232あった市町村は、2009年3月には1,779と約半減される計画となっていた。新エネルギー・産業技術総合開発機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization: 以下NEDO)、電力中央研究所が提供する全国バイオマスデータ、「バイオマスの賦存量・利用可能量推計データ」^{14),15)}は、原則、旧市町村でのデータ(自治体数:2,218)である。一方、全国ガソリンスタンド数のデータは東京ガス、価値総合研究所の調査¹⁶⁾によったが、このデータは合併途上時期での調査のため、一部合併後のデータが含まれる。本検討ではデータメッシュを細分化する観点で、NEDO、電中研のバイオマスデータを基準として評価を行うこととし、合併後のガソリンスタンドデータは、旧市町村の人口比率でスタンド数を割り振って合併前のデータとして評価した。

4.2 結果および考察

本結果の水素製造量と輸送距離の関係を、北海道を代表例として、Fig.2~Fig.4に記す。

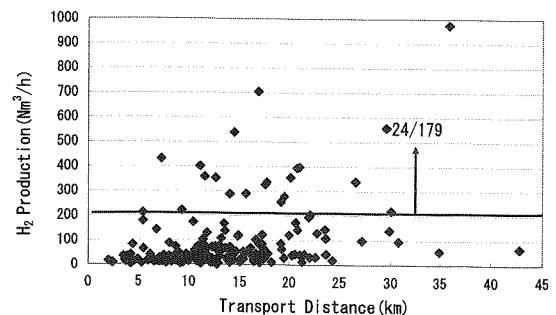


Fig.2 H₂ Production and Transport Distance (Woody Biomass in Hokkaidoh District)

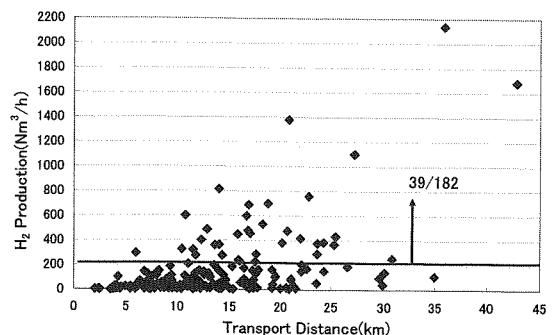


Fig.3 H₂ Production and Transport Distance (Livestock Excreta in Hokkaidoh District)

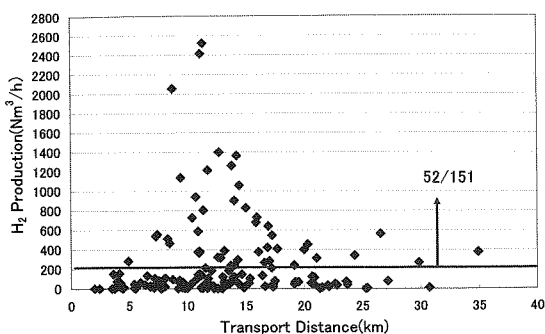


Fig. 4 H₂ Production and Transport Distance (Agricultural Waste in Hokkaidoh District)

木質バイオマス、畜産廃棄物、農業残渣ごとに表示した。図中の分数表示は、水素製造量 200Nm³/h 以上を基準として、(水素ステーション構築可能自治体数) / (対象自治体数) を示している。バイオマス種ごとに対象自治体数が異なるのは、バイオマス種によっては賦存しない自治体があることによる。

地方ごとバイオマス種別ごとに纏めた全国集計を Table 1 および Fig. 5 に示す。

全国で水素製造量 200Nm³/h 以上を基準とし、バイオマス種によって異なる水素ステーションが同時構築可能とした場合の構築可能自治体数は、529 ケ所にのぼり、評価対象自治体を 2,042 ケ所(のべ自治体数 6,127 ケ所/バイオマス 3 種×2,042) と見積もれば、全国の約 26%の自治体が、本手法によって水素ステーションを構築できることが判明した。

地方によっては構築可能な自治体数に偏りが見られる。

バイオマスの賦存に応じて、東北地方で最も構築可能な自治体が多い(128 ケ所)。次に、北海道(115 ケ所)、九州(114 ケ所)が同程度であり、関東では北海道、九州の約半数(67 ケ所)程度の自治体で水素ステーションが構築できる。他の地方(中部、北陸、近畿、中国、四国、沖縄地方)は、これら 4 地方に比べると著しく構築可能自治体数は少なくなる。構築可能自治体比率でもほぼ同じ傾向がみられるが、比率で比較すると 3 種のバイオマスとも東北地方より北海道の方が高くなる。首都圏では木質バイオマスでの実現可能性が低かったが、北海道、九州地方では 10%程度の自治体で木質バイオマスから水素ステーションを構築できる。

畜産廃棄物では、北海道、東北、関東、九州地方での構築可能性が高いと言える。全国集計でも、木質バイオマスに比べて利活用の可能性は高い。

農業残渣は、首都圏での構築可能性は畜産廃棄物と同程度であったが、全国では畜産廃棄物より利活用の可能性は高い。特異的なのは北陸地方であり、同地方では木質バイオマスおよび畜産廃棄物を活用しての水素ステーションは構築し難いが、農業残渣から水素製造しステーションを運営できる可能性が高い。

沖縄地方はいずれのバイオマス種からの水素ステーションも構築し難い結果となった。農業残渣に計上したバイオマス種別が、稲わら、籾殻、麦わらの 3 種であったため、沖縄地方特有に賦存するバガスのデータが算入されていない。沖縄地方ではバガスからの水素ステーション構築の可能性を、個別に検討する必要があると思われる。

Table 1 Possibility for Formation of H₂ Stations with Various Biomass in Japan

Biomass District	Woody Biomass			Livestock Excreta			Agricultural Waste			Biomass Total		
	Num. of municipalities H2 stations can be constructed	Total num. of municipalities	ratio (%)	Num. of municipalities H2 stations can be constructed	Total num. of municipalities	ratio (%)	Num. of municipalities H2 stations can be constructed	Total num. of municipalities	ratio (%)	Num. of municipalities H2 stations can be constructed	Total num. of municipalities	ratio (%)
Hokkaidoh	24	179	13	39	182	21	52	151	34	115	512	22
Tohoku	11	281	4	28	269	10	89	281	32	128	831	15
Kantoh	4	364	1	29	331	9	34	330	10	67	1,025	7
Chubu	5	330	2	8	292	3	10	323	3	23	945	2
Hokuriku	0	110	0	1	98	1	23	109	21	24	317	8
Kinki	12	242	5	2	191	1	15	240	6	29	673	4
Chugoku	5	121	4	4	114	4	2	116	2	11	351	3
Shikoku	9	122	7	6	114	5	2	121	2	17	357	5
Kyushu	29	352	8	49	337	15	36	340	11	114	1,029	11
Okinawa	0	39	0	1	38	3	0	10	0	1	87	1
Total	99	2,140	5	167	1,966	8	263	2,021	13	529	6,127	9

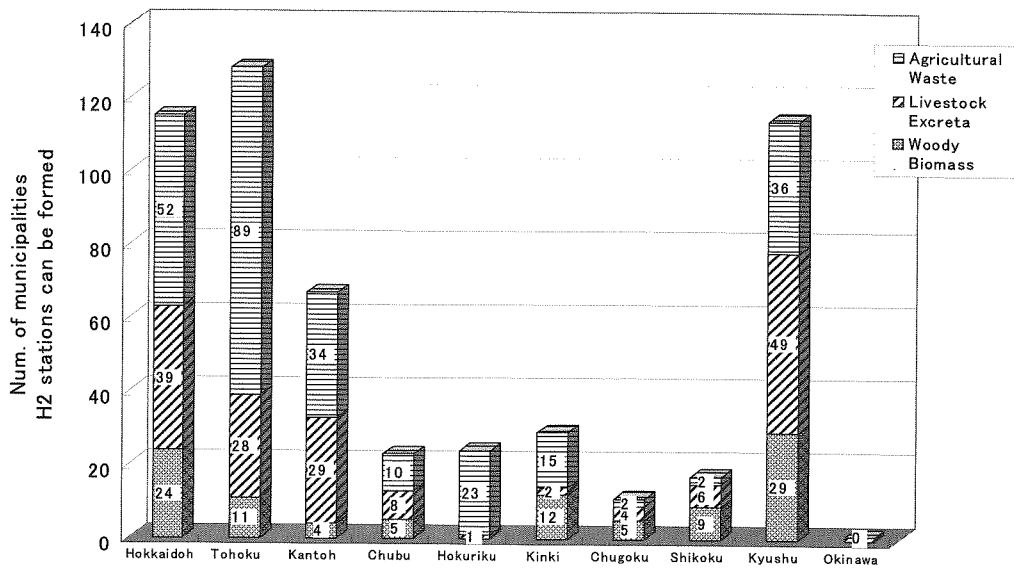


Fig.5 Number of Municipalities in which H₂ Stations can be Formed with Various Biomass in Japan

5. 日本全国における水素ステーション構築のポテンシャル

5.1 検討の前提

これまでの検討では、FCVの普及率 ρ を設定して評価を行ってきた。これは言わば、ガソリンスタンドの水素ステーションへの転換率を決定することによって、各自治体における将来のある時期での水素ステーション数を決定して議論を進めてきたものである。

そこで次に、各自治体の水素ステーション構築への最大の可能性を評価する。具体的には、輸送距離を伸ばすことでステーション構築の可能性拡大を図る。以下にその考え方を記す。

当該自治体において、水素製造量を H (Nm^3/h)、バイオマスの利用可能量を $Q(t/h)$ 、現存ガソリンスタンド数を N (ヶ所)、水素ステーション転換割合を ρ (-)とすると、(3)式および(6)~(8)式より、

$$H \propto q = \frac{Q}{360N\rho} \quad (9)$$

となり、この(9)式を変換して、

$$Q = aN\rho H \quad (a: \text{定数}) \quad (10)$$

市町村面積を S (km^2)、バイオマスの収集半径を L (km)

とした関係式(5)式 $L = \sqrt{\frac{S}{N \times \rho \times \pi}}$ を変換して、

$$S = N\rho\pi L^2 \quad (11)$$

となることから、

$$\frac{Q}{S} L^2 = \frac{aN\rho H}{N\rho\pi} \quad (12)$$

より、

$$\therefore H \propto \frac{Q}{S} L^2 \quad \text{となる。} \quad (13)$$

Q/S は自治体ごとの単位面積あたりのバイオマス利用可能量(バイオマス密度)を表している。

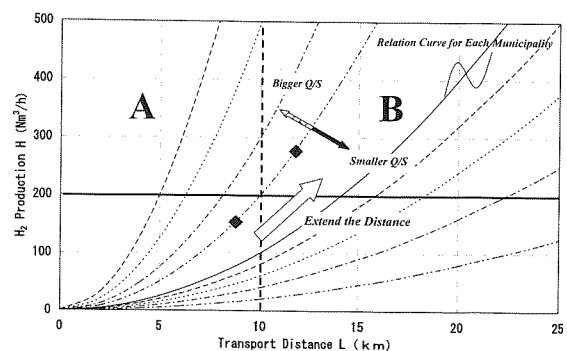


Fig.6 Relation Between H₂ Production H and Transport Distance L

(13) 式をもとに、輸送距離 L と水素製造量 H の関係を Fig. 6 に示す。

輸送距離が短く（例えば 10km 以内）水素製造量が多い（必要製造能力 $200Nm^3/h$ を超える）エリア A に入る自治体を算入することはもとより、 Q/S が小さい自治体では、輸送距離を伸ばすことで水素製造量を確保し、エリア B に入るところまで収集範囲を広げる。但し、その自治体の外（隣接の自治体）までには輸送距離を伸ばさない前提とした。

$$\text{すなわち、} \quad l = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \geq L \quad (14)$$

を条件とする。但しここにおける l は、自治体形状を円形と仮定した場合の半径を表す。

上記条件に加えて、水素ステーション数を評価する際には、一種のバイオマス量が多く、多量な水素を製造しうる

自治体、もしくはバイオマス種同士の重複によっても水素を多く製造しうる自治体では、自治体内の既存ガソリンスタンド数以上に水素ステーションを形成できる可能性もあるが、水素ステーションへの転換率は 100% を超えないものとして条件付けた。

5.2 結果および考察

検討した全国データの集計を Table 2 に示す。Table 1 と比較すると、水素ステーションを構築し得る自治体数は、述べ数で、529ヶ所から 792ヶ所（バイオマス重複で転換率 100% を超える自治体、北海道厚真町の 1ヶ所を除く延べ数）へと大幅に増加している。全国構築可能自治体割合では、26% から 35% (708:自治体の重複除く / 2,042 = 35%) へ 9% の増加となった。

Table 2 Possibility for Formation of H₂ Stations with Various Biomass in Japan (Maximum Case)

	Num. of Municipalities can be formed H ₂ St.	Num. of H ₂ Stations	Num. of Petrol St. for Each Municipality	Conversion Ratio to H ₂ Station	Quantity of Converted Biomass	Quantity of Existing Biomass in Japan	Conversion Ratio from Biomass to H ₂
	(-)	(-)	(-)	(%)	(10 ³ wet-t/y)	(10 ³ wet-t/y)	(%)
Woody Biomass	174	303	15,983	1.90	917	1,869	49.1
Livestock Excreta	169	266	6,673	4.00	4,643	9,675	48.0
Agri. Waste	450	772	23,977	3.22	5,106	7,633	66.9
Total in Japan	793	1,341	53,902	2.49	10,666	19,177	55.6

日本全国における構築可能なステーション数は 3 種のバイオマス合計で、1,341ヶ所である。これは本調査時 (2007.3 の集計) での全国ガソリンスタンド数 53,902ヶ所の 2.51% にあたる。バイオマスの、原料としての水素ステーション構築への寄与率を考えるに、その影響は少ないように見受けられる。しかし、バイオマスの利活用から見た水素ステーションへの適用は、全国のバイオマス利用可能量のうち水素ステーション構築に使用されたバイオマス量割合 (水素への転換割合) をみれば、木質バイオマス、畜産廃棄物、農業残渣でそれぞれ、49.1%、48.0%、66.9% と高い数字を示している。バイオマス 3 種の合計では全国バイオマス利用可能量のうち、約 56% が水素に転換され水素ステーション構築に寄与したことが分かる。したがって本手法は、バイオマスの将来有望な利活用方法であると判断できる。

Fig. 7 は Table 2 に対応した全国におけるバイオマス輸送距離に対する水素ステーション構築可能自治体数の分布

を、示したものである。

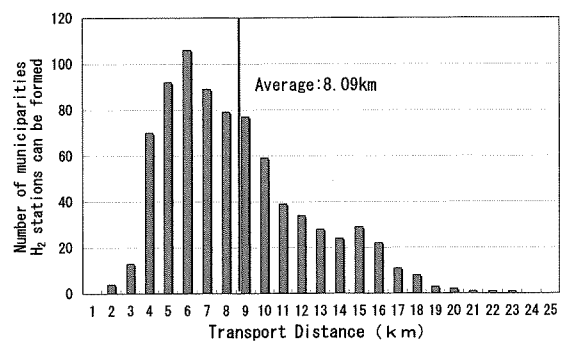


Fig. 7 Relation Between Num. of Municipalities H₂ Stations can be Formed and Transport Distance

水素ステーション構築を拡大するために、バイオマスをより遠方まで収集する試みを行ったわけだが、輸送距離 L は最長 23km となるものの、平均輸送距離は 8.09km と 10km 以内であり、本手法は地産地消の観点でバイオマス利活用を図る有効な手段であることが裏付けられたと言える。

6. 結言

バイオマスから水素を製造し水素ステーションにてFCVに充填するバイオマス利活用手法について考察を行った。

2020年頃のFCV普及割合を想定した場合で、各地方によって、またバイオマス種によって、その有効性は異なるが、全国の約26%の自治体が本手法によって水素ステーションを構築できることが判明した。日本全体では、北海道、東北、九州地方での構築可能性が高い。また、木質バイオマス、畜産廃棄物、農業残渣の3種のバイオマスのうち、農業残渣でのステーション構築可能性が尤も高いことが分かった。

更に、普及割合を限定せず自治体内のバイオマスから構築できる最大の水素ステーション数を推定した結果、全国のガソリンスタンドの約2.5%がバイオマスから製造する水素でステーションを構築できることが判明した。水素ステーション構築におけるバイオマスの役割は比較的小さいが、バイオマスの利活用の観点では、全国でのバイオマス3種の利用可能量のうち、約56%が水素ステーション構築に活用されたこととなり、バイオマスから水素を製造しステーションにてFCVに充填する本手法は、将来有望なバイオマス利活用手法であると言える。

加えて、本手法におけるバイオマス平均輸送距離は、10km以内であり、再生可能エネルギーの地産地消での利活用の観点からも、推奨できる手法であると判断された。

参考文献

- 1) 小宮山宏, バイオマス・ニッポン日本再生に向けて, 2003, 日刊工業新聞社, 156-168
- 2) 最首公司, 水素社会宣言, 2005, (株) エネルギーフォーラム, 14-24
- 3) Jeremy Rifkin, 水素エコノミー エネルギー・ウェブの時代, 2003, NHK 出版, 236-286
- 4) Joseph J. Romm, 水素は石油に代われるか, 2005, オーム社, 15-25
- 5) 経済産業省, 燃料電池実用化戦略委員会資料, 2004
- 6) JHFC セミナー資料, 平成 19 年度 水素・燃料電池実証プロジェクト, 2008, pp15
- 7) (財) 日本自動車研究所, JHFC 総合効率検討結果報告書, 2006, 33-37
- 8) 田島正喜, 横山伸也, 芋生憲司, 首都圏におけるバイオマス種に応じた水素ステーションの実現性検討, 太陽エネルギー, (2008), 87-94
- 9) (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構パンフレット, バイオマスエネルギー高効率転換技術開発, 2005, pp3
- 10) 山地憲治他, 水素エネルギー社会, 資源エネルギー学会, 2008, 63-65
- 11) (社) 日本エネルギー学会, 平成 13 年度新エネルギー等導入促進基礎調査(バイオマスエネルギー高効率転換技術に関する調査) 報告書, 2001, 132-173
- 12) (株) タクマホームページ, 高温乾式メタン発酵, (コンポシステム) の特徴, <http://www.takuma.co.jp/product/waste/general/08biogas01.html> (アクセス 2007.3)
- 13) (財) 日本自動車研究所・(財) エンジニアリング振興協会, 固体高分子形燃料電池システム実証等研究(第1期 JHFC プロジェクト) 報告書, 2006, 70-71
- 14) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページ, バイオマス賦存量・利用可能量の推計 GIS データベース, <http://www.nedo.go.jp/> (アクセス 2008.4)
- 15) 井内正直, (財)電力中央研究所, バイオマスエネルギー利用計画支援システムの開発 --賦存量データベース及び収集コスト評価モデル--, 2004, 1-7
- 16) (株) 価値総研・東京ガス(株), 関東圏における水素インフラ展開シナリオ検討基礎調査, 2007, 13-20