

# エネルギー地産地消と鉄道への応用

長谷川 均\*

## Local Energy Movement and Consumption of the Sustainable Energy by Railway

Hitoshi HASEGAWA

Recently, the local energy movement to cope with the environment preservation has prevailed, following the local food movement. Local energy movement achieves utilization of natural energy and the realization of the sustainable energy society. In this report, we explain how Yamanashi-ken tackles with challenging “Advanced environment area”, an example of local energy movement. Further we would like to explain the applicability of energy storage by the hydrogen to the railway.

キーワード：再生可能エネルギー，エネルギー持続社会，水素社会，地産地消，燃料電池

### 1. はじめに

近年，地球環境保全への対応として，食料の地産地消に倣って，エネルギーの地産地消という考え方が出てきた。

日本では，国土に石油や天然ガス，核燃料といった一次エネルギー資源がとぼしいため，ほぼその全量を輸入に頼ってきている。地域によるエネルギーの地産地消を実現するということは，生産面では自然エネルギーを使用することになり，消費面では省エネを推進することに他ならない。このことは地球環境保全，特に二酸化炭素排出抑制と同じ方向性を持つこととなる。

また，エネルギー消費の大きな部分を占める運輸部門での省エネ化は今後必須の事柄であり，鉄道へのモーダルシフトや駆動エネルギーの多様化を検討していかなければならない。

山梨県は，水力発電や太陽光発電などを中心としたエネルギー地産地消を目指しており，付随する蓄エネルギー装置の開発にも力を入れている。水素エネルギーによる蓄エネルギー，消費も一つの手段として考えられている。蓄積された水素エネルギーは燃料電池などの移動体動力源への供給が考えられるため，鉄道もその一つの対象となろう。

ここでは，エネルギーの地産地消への具体的な例として，「環境先進地域」に向けてチャレンジをしている山梨県の取り組み<sup>1)</sup>を簡単に説明し，さらに，水素エネルギーによる蓄エネルギーと鉄道への応用について解説したい。

### 2. 電力の蓄積と水素エネルギー

電気エネルギー（電力）は，消費に伴う排気ガス等廃棄物がない，伝送が容易，制御性が高いなどの特徴があり，現在の社会生活に欠かせないものとなっている。一方で，蓄積することが困難，伝送に伴う損失が発生するなどの欠点もある。特に，蓄積が困難という問題については，電気エネルギーの生産－消費に時間差を設けることができないため，電力システムの安定性確保や移動体へ適用する上で解決に高度な技術が必要となる。

すなわち，地上設備では，その都度，必要な分だけ発電し，配電し消費しなければならない。

このような課題を解決するため，電気エネルギーの蓄積装置，いわゆる蓄電装置が開発されてきた。中でも鉛蓄電池やニッケルカドミウム蓄電池は，電気化学反応による蓄電であり，他の方式に比較してエネルギー密度が高く小形軽量となりうることから古くから実用化されている。近年はさらに小形軽量なリチウムイオン電池が開発されモバイル電気製品の小型化に寄与している。

ただし，蓄電池にも，繰返し充放電による劣化，ライフサイクルを考えた場合の廃棄物の問題などが残されている。また，電気自動車や電車などの移動体の駆動用として使用する場合には，まだまだエネルギー容量が十分とはいえない。

図1に蓄電装置の種類とその適用規模について示す。図中のFWはフライホイール蓄電装置，SMESは超電導磁気蓄電装置を示している。エネルギー蓄積の原理による分類としては，Li-ion電池，NaS電池は電気化学エネルギー，フライホイール蓄電装置は回転運動エネルギー，超電導磁気蓄電装置は磁界エネルギー，揚水発電は力学的ポテンシャルエネルギーとなる。水素エネルギーは電

\* 車両制御技術研究部 水素・エネルギー研究室

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

池と同様に電気化学エネルギーにより蓄積されるが、反応物質の一方に空気中の酸素が使用されている。

いずれの方式も規模や蓄積時間に得失があり、全てを満足する装置はないと考えられる。図には示されていないが、エネルギー密度も方式により大きく違い、適用範囲が限られている。

水素エネルギーによる蓄積の特徴は、エネルギー変換装置の規模により入出力容量が決定されることにある。水素エネルギーから電力を取り出す装置としては、燃料電池や水素ガスタービン発電装置などがあるが、蓄電池に比べて大出力化が容易である。また蓄積エネルギー量は水素貯蔵容器により決まるためエネルギーの大容量化が容易である。また、水素そのものは劣化することはない。このように水素エネルギーは長期間、大規模な蓄エネルギーに向いていると考えられる。ただし、エネルギー効率の面からみると、電力→水素→電力と変換されるため、例えば水電解効率を80%、発電効率を60%とすると総合効率としては50%を下回ってしまうこととなる。これは揚水発電と比べると低い値である(図2)。

このような特徴を考えると、水素に変換したエネルギーは、移動体などで直接消費することが全体として効率がよく、水素電車や水素自動車への活用が望まれる。

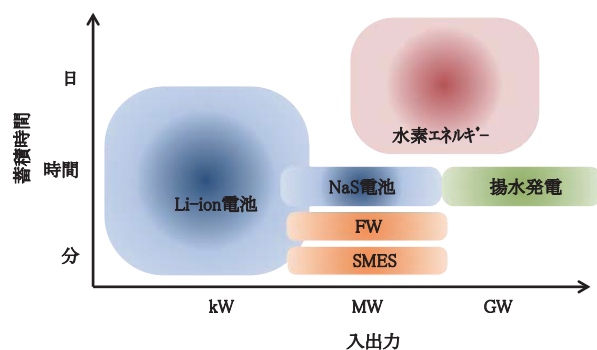


図1 蓄電装置の規模と蓄積時間<sup>2)</sup>

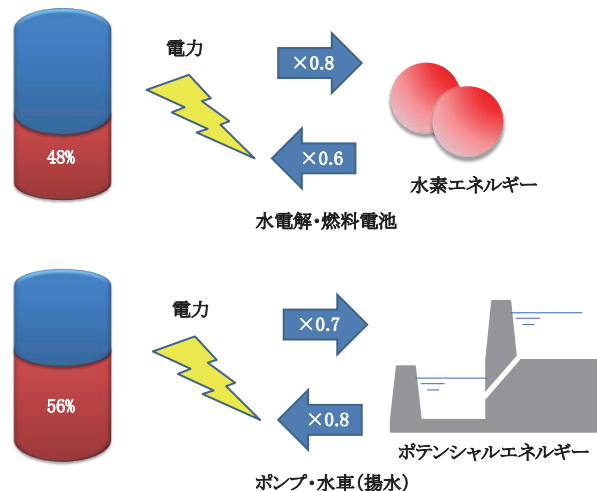


図2 総合効率の違い

### 3. エネルギー地産地消の具体的な施策

ここで、環境先進県と言われている山梨県の取り組みについて紹介する。山梨県は、国立公園、国定公園に囲まれ豊かな自然を有しているとともに、水資源に恵まれ、早くから水力発電所が建設されてきた。

2011年には第二期チャレンジ山梨行動計画が策定され、チャレンジの1つとして日本一環境にやさしい県やまなしを実現することとし、その具体的な施策として、2050年ころを目処にクリーンエネルギーの導入促進と省エネルギー対策により、消費電力全てをクリーンエネルギー発電により賄う「エネルギーの地産地消」を目指している<sup>1)</sup>。

再生可能エネルギー活用や省エネルギーを目標に掲げる地域はほかにもあるが、消費電力全てを賄うという画期的な施策を掲げているのは、評価に値すると考えられる。

さらに、山梨県では太陽光発電所の建設やフライホイール電力貯蔵技術の実用化の推進、水素技術を用いた電力貯蔵の研究開発を行っている。図3に山梨県で実施しているメガソーラー発電所とフライホイール蓄電装置の概要を示す。

前章で述べたとおり、電力は、再生可能エネルギーから得られたとしても、現状では大規模な貯蔵蓄積が困難であり、エネルギーの地産地消を実現するためには、蓄電技術の開発が必須となる。特に地産地消を実施するためには長周期の電力貯蔵技術が必要となる。大規模で効率的な蓄電装置として揚水発電所が筆頭に挙げられるが、用地や水系に新規に開発の余地は残されておらず、水素エネルギーの活用は避けて通れないと考えられる。

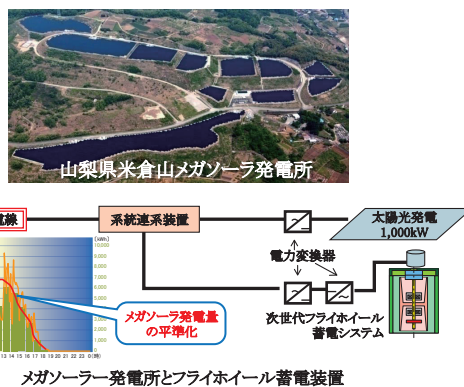


図3 山梨県の取り組み<sup>4)</sup>

### 4. 水素エネルギーの鉄道への応用

#### 4.1 鉄道の省エネと燃料電池電車

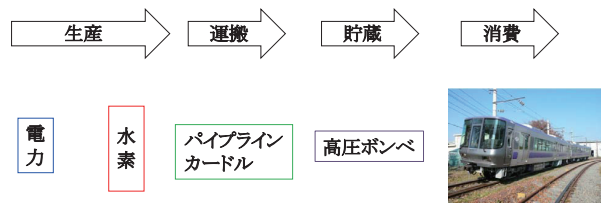
水素は最も軽く、宇宙で最も多く存在している元素である。常温常圧では2原子が結合して分子となり、気体

の状態となっている。酸素と反応すると水になり、この際にエネルギーを放出する。この化学反応は可逆的であり、エネルギーを加えることにより水が水素と酸素に分解される。水素エネルギー利用とはこの化学反応を利用したもので、地球上には水が無尽蔵にあるため物質的に閉じたサイクルを形成できる。また、変換サイクルの中に炭素が関わらないため、二酸化炭素の排出がない。もっとも、水素自体は一次エネルギーではないので、水素エネルギーサイクルを回すためには何らかのエネルギーを外部から投入する必要がある。最も安価な一次エネルギーは化石燃料と言われる石油や天然ガスとされているが、これらからエネルギーを取り出す時点で二酸化炭素の排出があり、地球温暖化に寄与してしまう。化石燃料を使用して水素エネルギーサイクルを形成しても、いわゆるカーボンフリーとはならないため、一次エネルギーに再生可能エネルギーを利用するなどの工夫が必要である。

規模や負荷の特性によるが、内燃機関やガスタービンにより発電する方法と直接電力を取り出す燃料電池では、後者の方が効率は一般に高い。このため、一次エネルギーを化石燃料と仮定した場合でも燃料電池電車は気動車に比べ低炭素排出となると考えられる<sup>5)</sup>。

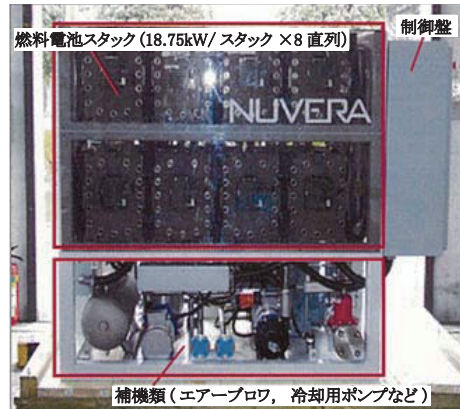
図4に鉄道車両に水素エネルギーを適用した場合の水素の流れを示す。再生可能エネルギーが電力として供給されるとすると、電力により水を電気分解し水素として運搬する。運搬はオンサイトで水素発生する場合を除き、パイプラインや集合体容器であるカードルで行う。使用する際には車載の高圧ボンベに充填し、燃料電池などで動力に変換し、電車を走らせることとなる。化石燃料に比べて、水素は気体であり、単位体積当たりのエネルギーが非常に小さい。このため、運搬や貯蔵がかさばり、運搬コストが増大する。これを回避するため、高圧で圧縮したりする工夫が必要となる。エネルギー貯蔵量という面で、かさばるとい問題は大きなハードルとなっており、移動体の場合、1回の充填で走行できる航続距離が短くなってしまふ。

水素エネルギーの電力への変換装置として、最も現実的なものとして、固体高分子膜型燃料電池 (PEM-FC) が挙げられる。PEM-FCは、電解質に高分子膜を使用し、水の沸点以下である80℃程度で水素と空気中の酸素から直接に電力を得ることができる。100℃以下で動作するため、熱隔離が不必要で、特殊な材料を使わず、発電までの立ち上がりも迅速である。このため移動体での水素発電装置として研究開発が進められてきており、自動車でも実用化されている。図5に鉄道総研で試験走行を行っている燃料電池電車の燃料電池本体と、高圧水素タンクを示す。燃料電池は100kW級(ネット値)で、高圧水素タンクは最高充填圧力35MPa、約210Nm<sup>3</sup>の水



鉄道車両への水素エネルギー利用の流れ(水電解の場合)

図4 水素エネルギーの鉄道への応用



a. 燃料電池本体



b. 高圧水素タンク

図5 燃料電池電車試験車両

素を貯蔵することができる。車両には他にLi-ion電池も搭載しハイブリッド化し、回生電力の吸収や加速時のアシストを行っている。電気機器は在来線電車のものを流用することができ、車両に燃料電池システムを搭載することで、地上設備を変更することなく非電化区間への気動車の代替として投入することができる<sup>5)</sup>。

#### 4.2 水素による蓄エネルギーと鉄道

前述のとおり、電力から水素、水素から電力へとエネルギー変換を行うと変換損失が2回となってしまう上に、送電損失があるため、総合効率としては他の蓄電装置よりも低くなってしまふ可能性がある。燃料電池電車の電源として使用する場合は、水素としてエネルギー貯蔵されていれば、これを車載タンクに充填することで、

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

送電損失がなくなる。例えば、余剰電力を水素供給基地で水素に変換しておくことで、蓄エネルギー装置としての役割を果たすこととなる。これは燃料電池自動車においても同様と考えられ、水素エネルギー貯蔵をした場合は電力に再変換するのではなく、移動体で消費することが効率向上に役立つ。図6にその概念を示す。aは蓄電装置がない場合、現況を示したもので、発電と消費の時間的なズレを許容できないため、余剰エネルギーは使えない。bは蓄電装置を導入した場合であるが、余剰エネルギーの使用が可能となるが、変換の損失が比較的大きい。cは蓄電装置に水素貯蔵を適用した場合で、さらにその水素エネルギーを移動体で消費する場合である。余剰エネルギーの利用とともに、損失をできるだけ減らしたシステムが実現できる。

全体のエネルギー収支についてよく検討しておく必要があるが、移動体での水素消費はエネルギーの地産地消を実現する一つの手法として有効な手段と考えられる。鉄道の場合はさらに、架線レスとなり、景観の向上や保守の省力化、異常時の冗長性など副次的な効果も期待され、水素蓄エネルギーと燃料電池電車の組み合わせは将来性があると考えられる。

5. おわりに

ここでは、環境先進地域として山梨県が取り組んでいるエネルギーの地産地消を簡単に紹介するとともに、鉄道への水素エネルギーの適用について解説した。東日本震災以来、省エネに対する取り組みは盛んにおこなわれるようになってきている。

電力の場合、発電の効率化や消費の削減だけでは、効率化が難しい面もあり蓄エネルギー技術の発達が望まれるところである。

蓄電装置としては様々なものが研究開発されているが、万能なもの残念ながら存在しない。また、個別の装置の高効率大容量化は進められているが、発生と消費まで含めた全体の効率向上という観点からの検討はあまりされていないのが現状である。今後、エネルギー消費装置としての鉄道と、エネルギー蓄積媒体としての水素の組み合わせについて検討を深度化する必要がある。

長距離送電損失の低減となるエネルギーの地産地消を実現するためには、電力発生、運搬輸送、蓄積、消費という全体の流れを把握することが必要となる。山梨県で見られるようなこれらの取り組みは、一部の限られた地域の取り組みのように見られがちだが、全国、地球規模での持続可能社会実現の先鞭をつける可能性を持っている。

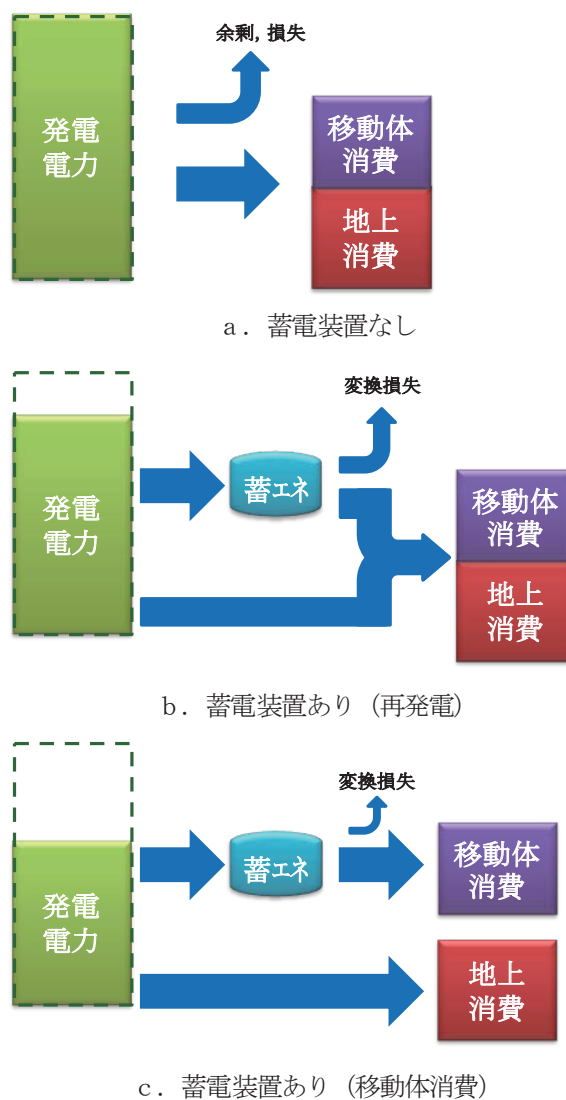


図6 蓄電装置とエネルギー消費

文献

- 1) 堀内伸一：フライホイール (FESS) 利用による電力平準化への取り組み, 電気設備学会誌, 2015年4月
- 2) NEDO: 再生可能エネルギーの水素電力貯蔵・充放電システムに関する検討, 2013年2月より, 筆者一部改変
- 3) 東京電力: 葛野川発電所パンフレット, 1999年
- 4) 長谷川他: 超電導フライホイール蓄電装置・実証機の開発, 2015年春季低温工学超電導学会予稿集, 2015年5月
- 5) 山本他: 燃料電池・バッテリーハイブリッド車両のエネルギー効率評価, 鉄道総研報告, Vol. 23, No. 11, 2009