

サステナブルモビリティ実現のための材料技術

射場英紀 トヨタ自動車株式会社 電池研究部
部長

射場 英紀

1. サステナブルモビリティ

持続可能な社会を実現するためには、化石燃料の消費が少なく、CO₂の排出の少ないモビリティが必要である。そのために、車両の小型・軽量化やエンジンの低燃費化など、多くの取り組みが行われてきた。図1a)は、いくつかの設計的な手法を用いて、軽自動車より短い全長に4人が乗車可能なパッケージを実現した最新の事例であるが、さらなる小型・軽量化のためには、高張力鋼や軽金属、さらには樹脂を使いこなした構造材料の革新が必要である。

ハイブリッド車(図1b)は、低燃費と走行性能の両立という観点から、1997年の初代プリウスの発売以降、車種と台数を増やしている。現在のハイブリッド車は、ガソリンを給油して、エンジンとモータ(発電機)そして蓄電池との間での効率的なエネルギーのやりとりすることにより低燃費を実現している。

プラグインハイブリッド車(図2)は、住宅などの電源から車両に搭載された蓄電池に充電することにより、従来のガソリンのみを給油するハイブリッド車に比べて、一次エネルギーの多様化に対応できるとともに、CO₂の排出(図3)やエネルギーコスト(図4)の低減も期待できる。プラグインハイブリッド車のCO₂の排出やエネルギーコストの低減効果は、電池に充電された電気のみで走行できる距離が、長ければ

長いほど大きくなるので、蓄電池のエネルギー容量拡大への期待が大きい。

電気自動車は、例えばゴルフカートやフォークリフトなど古くからさまざまな形で実用例があり、さらには新しい小型のモビリティ(図5)の試作車などでもその動力として適用されている。電気自動車が、走行時のCO₂排出がゼロで、エネルギーコストも小さいことは、上記のプラグインハイブリッド車の例をみるまでもなく明らかだが、大量普及のためには、やはり、蓄電池のエネルギー容量向上による航続距離の延長が最大の課題である。

以上のようなハイブリッド車や電気自動車、さらには究極のエコカーといわれる燃料電池車に共通する基幹部品として、電池、モータ、インバータがあげられる。電池のエネルギー容量拡大だけでなく、モータやインバータの効率向上や小型化は、そのまま車両のサステナビリティの向上につながる。さらに、これらの基幹部品の画期的な性能向上のためには、材料技術によるブレイクスルーが期待されており、そのためのコア技術は鉄鋼協会や金属学会で議論される基盤技術と共通するものがたいへん多い。以下にその事例を示す。

2. 電池

2.1 「佐吉の電池」

豊田佐吉翁は、トヨタ自動車(株)の母体となった豊田自動織機の創始者である。1925年、佐吉翁は、

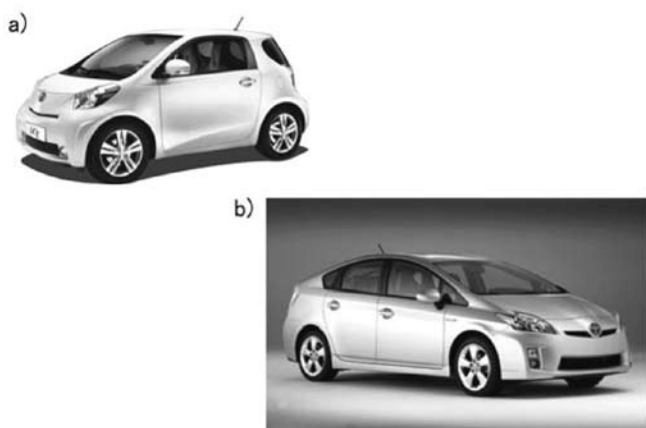


図1 小型化・軽量化とハイブリッド車



図2 プラグインハイブリッド車

当時 100 万円の賞金をかけ、ガソリン以上のエネルギー密度の蓄電池の公募を行っている。「佐吉の電池」は、80 年以上経過した現在でも実現していないが、そのビジョン（図 6）は、現在社会でもそのまま適用できるものである。

サステナブルモビリティは、「佐吉の電池」が求めるエネルギー密度の 1/5 程度で、きわめて実現性が高まると考えている（図 7）。しかしながら現状の Ni-MH 電池や、リチウムイオン電池では、その理論容量でも、1000～2000Wh/L のエネルギー密度には及ばない。

これまでの蓄電池は、Ni-MH 電池やリチウムイオン電池など新しい原理の発明とあわせて、水素吸蔵合金やリチウム酸化物あるいは種々のカーボン材料などの新材料の発見により、その性能を段階的に向上させてきている。

今後の革新型の電池の候補として、全固体電池や金属空気電池など（図 8）があげられるが、やはりその実現のためには、これまでの電池の開発経緯と同様に、電極や電解質などの構成材料のブレイクスルーが必要不可欠である。

2.2 全固体電池

従来のリチウムイオン電池に一般的に使われている電解液を、固体の電解質に置き換えることにより、コンパクト化、部品点数や工程の削減、充放電条件の拡大などの可能性があり、それらを総合して高容量化が期待される。電解質に固体を用いた場合、その出力性能が開発課題となるが、その解決策として、固体内のリチウム伝導能が高い種々の材料が固体電解質の候補材として提案されている（1-3）。ただし、電池の出力は、電解質のバルク内のリチウム伝導だけでなく、電解質の粒子間の伝導や電極活物質と電解質の界面、さらには、正負極の活物質内でのリチウム伝導と電子伝導が影響しており、それに関連して多くの研究課題がある。

金属材料の固体内の拡散は、古くから研究され、すでに確立した学問分野であるが、材料は異なっても、固体内の拡散の原理や解析手法などは共通する部分は多く、これらの知見が、電池の研究課題の解決に応用されることが期待される。

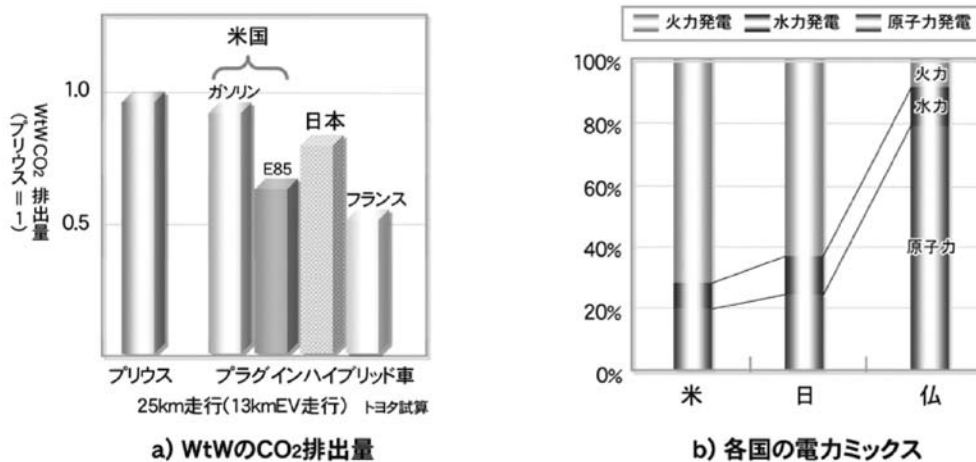


図 3 プラグインハイブリッド車による CO₂ の低減

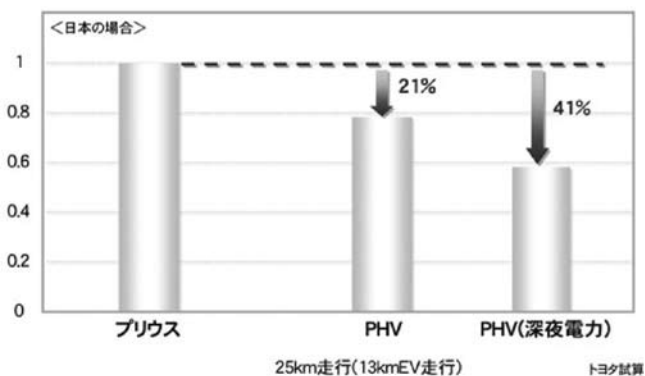


図 4 プラグインハイブリッド車によるエネルギーコストの低減



図 5 新しいモビリティ

2.3 金属空気電池

金属空気電池（図8）は、負極で金属の溶出、正極では溶出した金属が空気中の酸素と反応して放電析出物となることで放電することは古くから知られており、亜鉛空気電池などは一次電池としてすでに実用化されている。従来、その逆反応による充電は難しいとされてきたが、最近の研究事例で、充電が可能なものがいくつか報告されている（4-6）。充電反応は、負極での金属の析出と、正極での放電析出物の還元という反応が予想されるので、負極では、平坦に金属を析出させること、正極では低エネルギーで還元反応を起こすような触媒の探索が研究課題となる。

これらは、非常に困難な課題で、長期の研究期間が必要と考えるが、例えば、負極の課題は金属めっき技術と、正極の課題は湿式精錬の技術と共通基盤の分野であり、これらの分野の融合による新しい手がかりが生まれることが期待される。

3. モータ

ハイブリッド車の駆動用モータには、電磁鋼板、永

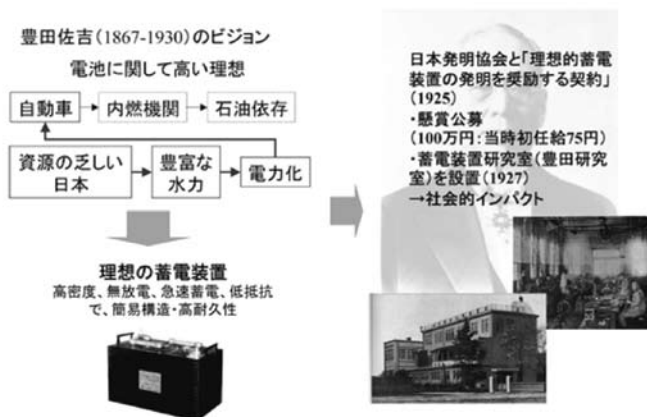


図6 豊田佐吉のビジョン

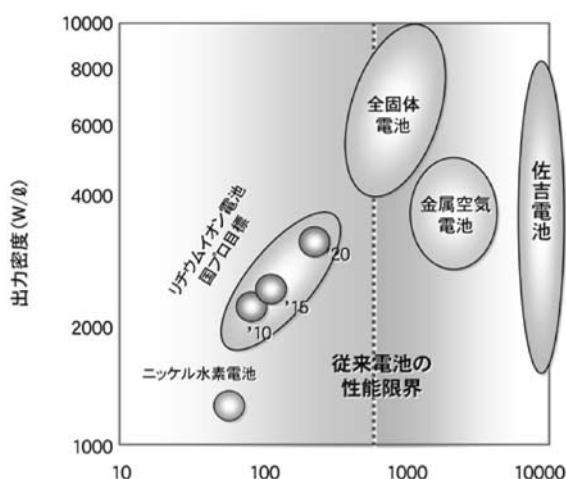


図7 次世代電池の開発目標

久磁石、巻線など、多くの金属材料が用いられている。特に、永久磁石は、日本の金属材料研究の歴史の中でも最大の成果ともいえるネオジム磁石を用いることにより、モータの小型・軽量化を実現している。現在は、耐熱性を確保するために添加されている希少元素のDyの低減が研究課題である。これに対して、文部科学省の元素戦略プロジェクトと経済産業省の希少資源プロジェクトとの府省連携で取り組みがなされており、その保持力発生機構の解明から、新組成材料や新プロセスにつながる成果が期待されている。

4. インバータ

電池の直流電流をモータ用の交流に変換するインバータも、ハイブリッド車や電気自動車では基幹部品である。インバータを構成する半導体は、現状はSiであるが、これにSiCのようなワイドバンドギャップの半導体を用いることで、画期的な効率向上や小型化などが期待できる。

SiCパワー半導体については、デバイス化を中心に多くの研究がなされているが、その一方で、その基板に用いる単結晶にSiのように大型で高品質のものが得られないことが、最大の課題となっている。

通常、SiCは、高温で昇華する材料系であるため、これまでは、原料粉末を昇華させ、種結晶上に再結晶させる手法が用いられてきた。画期的な反応速度向上、大径化、欠陥の低減のためには、やはりSiのチョクラルスキー法のような引き上げ法が期待される。この研究課題においても、SiCへの第3元素の添加や高温炉のマネジメントなど、製鉄の基盤技術の活用さらに

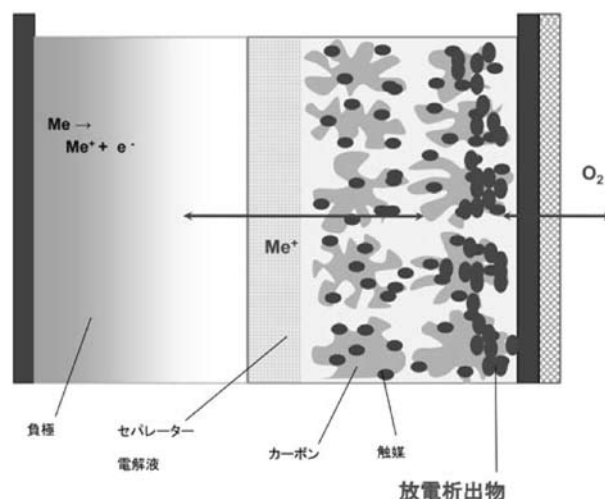


図8 金属空気電池

は転位論をベースとした欠陥制御技術など金属材料に関連する基盤技術が期待される研究分野である。

5. 共通基盤技術

ここまでは、電池、モータ、インバータの各々についての事例を述べたが、さらにそれらのいずれの研究にも共通する多くの基盤材料技術がある。例えば、SPring8 などの放射光を用いた分析技術は、すでに構造用金属材料や自動車用排ガス触媒の研究開発に活用されているが、電池や磁石の材料開発においてもその構成材料の構造解析や反応プロセスの *insitu* 解析などにおいてニーズは多い。また、J-PARC に代表される中性子を用いた水素やリチウムを含む材料の構造解析は、電池用の新材料探索のための有力なツールとなっている。

また、第一原理計算や分子軌道法による構造解析や、Phase-Field 法によるメソスケールの組織解析、コンビナトサステナブルモビリティ実現のための材料技術リアルケミストリーのような高速材料開発手法などもたいへん有力な金属材料研究ツールとして研究がすすんでいるが、さらに電池、モータ、インバータなどの構成材料開発への適用拡大に期待したい。

これらの基盤解析技術は、電池の研究においては、

本年度から京都大学に設立された NEDO の革新型蓄電池の基礎研究拠点において、さらにその高度化と革新型電池の研究開発への適用拡大が進められる予定である。

6. おわりに

いくつかの事例で、サステナブルモビリティを実現するためのコアとなる材料技術が、鉄鋼材料や金属材料の基盤技術と共通であることを説明した。このような共通基盤技術を橋渡しとして、学会間の技術の融合や人の交流が進み、いくつかのブレイクスルーが生まれることを期待したい。

<参考文献>

- [1] M.Itoh, Solid State Ionics, 70 (1994) , 203.
- [2] R.Kanno, J.Electrochem. Soc., 148 (2001) , A742.
- [3] F.Mizuno, Adv. Mater., 17 (2005) , 918.
- [4] K.M.Abraham et al., J.Electrochem. Soc., 143(1996), 1.
- [5] J.Read, J.Electrochem. Soc., 149 (2002) , A1190.
- [6] T.Ogasawara et al., J.Am.Chem. Soc., 128(2006), 1390.
(2009年9月3日受付)

(冶金 昭和 60 年卒 62 年修士)