

## 電気自動車

矢田恒二\*

電気自動車とガソリン車の石油依存性を原油の精製プロセス、及び電力の一次エネルギーを分析して検討した。その結果原油単位熱量当たりの走行距離は、電気自動車の場合、0.91m/kcalに対して、ガソリン車は0.17m/kcalで、電気自動車のほうがガソリン車よりエネルギー経済面では優れていることを指摘した。しかしその普及を妨げている要因の多くは電池のコストと性能にある。新種電池の性能とガソリン熱量との比較により、実用的な電気自動車に関しては、当面は鉛電池に頼らざるを得ないことを示した。

### Electric Vehicle

Tsuneji YADA\*

The dependency of electric vehicles and gasoline vehicles on oil was examined from the point of view of using oil as the primary energy sources, by analyzing the refinery process from crude oil and transforming it to electric power. The result was distance travelled per unit calorie of crude oil was 0.91m/kcal for the electric vehicle, and 0.17m/kcal for the gasoline vehicle, thus indicating that the electric vehicle is superior to the gasoline vehicle from the aspect of energy consumption. However, the main obstacle to widespread use of electric vehicles lies in the high cost and insufficient performance of current batteries. At present, it seems that there will be no significant improvement in battery power package technology and, practically saying, lead-acid type battery can be expected as the sole power source for future electric vehicles.

#### 1. はじめに

もうすでに二世帯も前の話となってしまったが、1970年に光化学スモッグが社会問題となり、それが契機となって通産省の電気自動車開発のプロジェクトが始まった。このプロジェクトは1977年に終了したが、この時点では公害問題よりも1973年の第1次石油ショックの後遺症から、エネルギー面からの電気自動車の有効性が議論されたのを記憶している。

その後、1980年代にはいると公害問題とエネルギー問題に関する深刻な問題意識は少しずつ薄れてきていたが、近年、フロンから始まった地球環境に対する問題認識は、形を変えた公害問題と同じような視点で、よりグローバルに捉えられるようになってきた。そして再び電気自動車の再検討の気運が出て

きている。ここで電気自動車を取り沙汰されるとき、電気自動車に対する期待は今もって1970年代に議論された問題と少しも変わっていない。一つは排気ガスの問題、他の一つは石油代替の問題である。そしてそこには最近の技術革新を取り込むことによって、より優れた電気自動車が出るのではないかと期待も含まれている。

#### 2. 自動車の石油依存性

第1次石油ショックが発生したとき、ガソリンエンジンに代わるエンジンとして様々なエンジンの開発が試みられた。結果的にはガソリンエンジンの改良したものの方が他を制圧し、現在のところその優位性は揺るがないものになっている。

この時期、自動車の石油依存性について多くの検討がされた<sup>1,2,3)</sup>。当然電気自動車とガソリン車の石油依存性の検討もされたが、その計算の方法のほとんどはFig. 1に示すようなものであった。そこでは原油がガソリンや電力に変換されて自動車に届くま

\* オムロン(株)技術本部副本部長  
Senior Manager, Corporate Research & Development  
H.Q. OMRON Corp.  
原稿受理 1990年6月14日

での各ステージの変換効率を想定し、これらの積として全体の変換効率を求めるという方法をとっている。

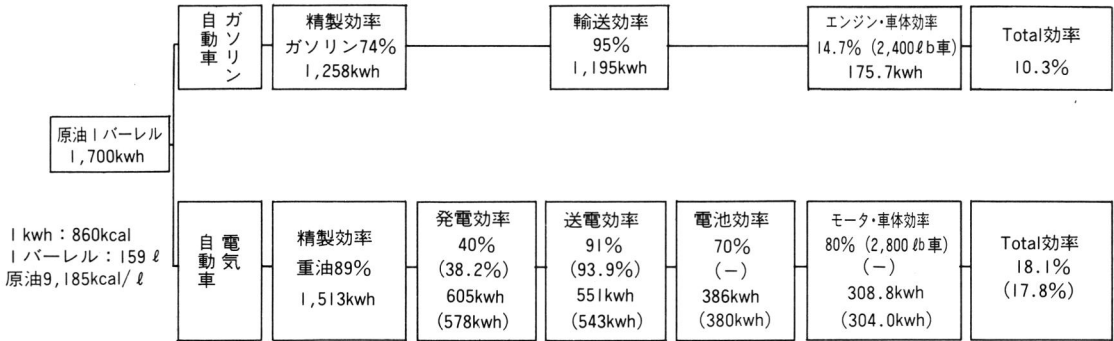
このような考え方は石油の全てがガソリンや電力になると考えるのと同じことである。またこの方法は一つ一つの変換効率の誤差が累積して、得られた結果に対する誤差はかなり大きなものになる。そのため、結論はどのようにでも都合のよいように誘導できる可能性を持ち、数字に対する信頼性は低いといわねばならない。その結果、ガソリン車と電気自動車のいずれが優れているかは、正確にはよくわからないというのが正直なところではなかったかと思われる。

ここでは少し視点を替え、考察の基準として原油をとることは従来と同様であるが、信頼のおける数字を基にしてこの両者の比較作業を試みる。

Fig. 2 はわが国の輸入原油がどのようにしてガソリンと電力に変換され、自動車に届くかを示すフローである。この図は資源エネルギー庁発行の総合エネルギー統計<sup>4)</sup>を基にして作成した。従って、データの根拠は信頼できるものと考えてよい。単位はすべて兆キロカロリーをベースとした。

2-1 ガソリンの流れ

ガソリンは言うまでもなく原油の精製物の一部であり、原油の全てがガソリンに変わるわけではない。わが国ではガソリンは他の精製物とともに製油所から供給されるものが大部分を占める。しかし、ごく一部は直接ガソリンの形で輸入されるものがある。このガソリンも原材料は原油であるので、国内の精製所のガソリン変換効率と同じ比率で変換されたものとして、この輸入ガソリンの原油熱量に換算した数字を( )内に示した。従ってガソリンの形で供給

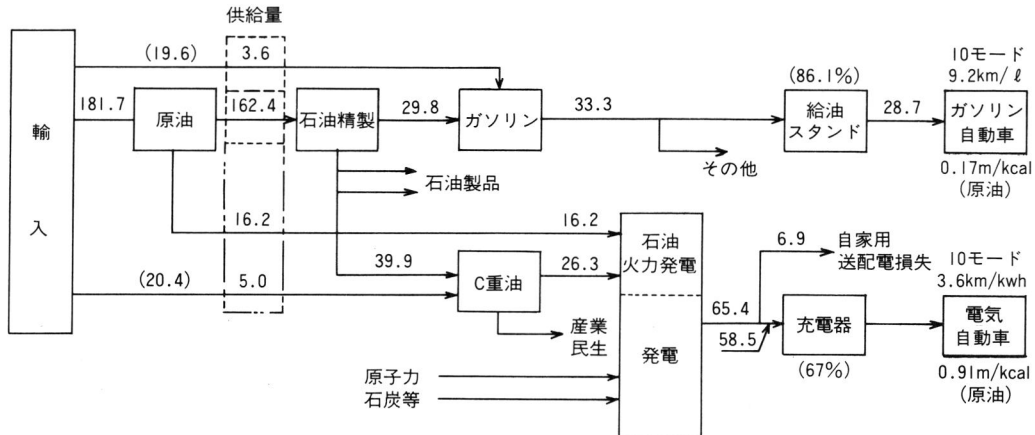


注1) SAE Paper 740171による。

2) ( ) 内は日本のデータ。

出所) 電気自動車協議会「電気自動車普及基本計画」。

Fig. 1 電気自動車とガソリン車のエネルギー効率



注) 単位: (×10<sup>12</sup>kcal)。

Fig. 2 原油から自動車までの熱量の流れ (1988年実績)

Table 1 原油ベースによる走行効率(1988年)

	原油の燃料への変換比率	自動車の効率10モード	原油単位熱量当たり走行距離	走行単価・円/km
ガソリン車	15.75%	9.2km/ℓ	0.17m/kcal	12.82
電気自動車	29.40%	3.6km/kwh	0.91m/kcal	4.89

される33.3兆kcalの原材料として、 $(162.4+19.6) = 182$ 兆kcalの原油が必要である。

供給されたガソリンの一部は自動車以外の用途に使われるが、ほとんど大部分の86.1%(28.7兆kcal)が自動車用燃料として使われ、スタンドに供給されると考えられる。従って原油182兆kcalに対する自動車用ガソリンの熱量の比率15.75%が原油の自動車用ガソリンへの変換比率である。

## 2-2 電力の流れ

電力の流れはガソリンほど単純ではない。従来この種の試算はこの部分で曖昧になっていた。つまり電力は石油でのみ生産されるわけではない。電力の1次エネルギーは原子力、石炭、水力等様々なものが使われている。しかし電力に変換される石油はC重油と原油が全てであるとしてもほとんど誤差はない。

ところでC重油もまた直接輸入されるものがある。これは国内の製油所を経由しないので、ガソリンの場合と同じように原油のC重油変換率を考慮して原油熱量に換算した値を( )で示した。従って、C重油を精製するために必要な原油と、直接発電所に供給される原油の総和( $20.4+16.2+162.4=$ )199兆kcalが原資としての熱量である。このうち発電所に供給される熱量は( $26.3+16.2=$ )42.5兆kcal、この熱量を発電ステージで原子力や石炭等のエネルギーとブレンドし、電力として出て来る熱量は65.4兆kcalとなる。そしてさらに自家用、送配電で損失として失われる分を差し引いた58.5兆kcalが一般需要家に供給される電力熱量である。つまり58.5と199の比29.40%が原油の電力への変換比率となる。

## 2-3 自動車部分

上述のように原油熱量の15.75%がガソリンに、また29.40%が電力に変換され、いずれも一般ユーザーの端末に供給されている。自動車はこれらのエネルギーを取り込んで走ることになる。ここで自動車側のエネルギー効率(ガソリン車ではいわゆる燃費と言われるものである。電気自動車では電力消費率と呼んでいる。

この両者のエネルギー効率を比較するためにはガ

ソリン車に関しては10モードの値を使うのが適切かと思われる。それは走行状態に近い条件で統一的に得られ、客観的な値と考えられるからである。しかしガソリン車に関してはカタログに記載されているのでその値を決定するのは比較的容易であるものの、電気自動車の場合はこれに該当するデータがない。また同じ車格で比較しないと妥当性を欠く。ここでは小型バンを対象として試算された例<sup>5)</sup>を用いることにした。

すなわちガソリン車9.2km/ℓ、電気自動車3.6km/kwhである。これを熱量当たりの走行距離に換算し、端末の原油変換比率を乗ずると、原油1単位熱量当たりの走行距離が求められる。ここでは充電器の効率は67%とした。Table 1にその結果を示す。これから電気自動車のほうがガソリン車よりも石油を消費しないことがわかる。ただここで用いた燃費は電気自動車に少々甘いようである。その理由はこの種のデータをとるときの電池の条件にある。すなわち、ここでの電池は新品で、完全充電状態にあることを基準にしている。しかし、電池は充電回数を重ねるに従ってその性能は劣化するし、実用段階では充電状態は常に望ましい状態にあるとはいえない。そのためここに示したような電気自動車の電力消費率は最高値と見るべきもので、現実的な値としては割引いて考えなければならない。ただその定量的な値は明確でない。感覚的な値であるが最大20%程度下まわるのではないと思われる。

ここでは用途が分離していく原油に遡って試算してみたが、ガソリンの精製比率、電力の構成比率はその時の情勢によって変化する。かつては電力はかなりの部分を石油に依存していた。従ってそのころの電気自動車の石油依存性はここでの試算値よりも大きく、原油熱量当たりの走行距離は少なかったはずである。今後、電力の石油依存性は少なくしようとするのが国の方針とされている。従って電気自動車の原油熱量当たりの走行距離は益々延びるであろう。一方、ガソリンに関しても景気の変動によってその精製比率は変化する。ここではガソリンの精製比率が上昇すると、原油熱量当たりの走行距離は延

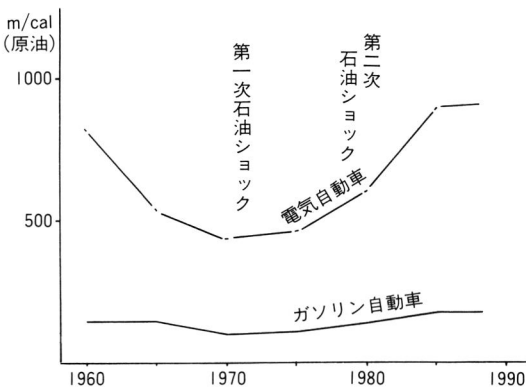


Fig. 3 原油単位熱量当たり走行距離の変化

びることになる。しかしガソリンの精製比率そのものの変動は比較的小さいために、電気自動車を追い越すほどのことにはならない。Fig. 3は上述と同じ自動車の仕様を用いて原油の単位熱量当たりの走行距離の時間的な経過を示す。

ここでエネルギーの末端価格での計算も可能である。すなわちスタンドでのガソリンの値段と、一般家庭での電力料金を使った計算をしてみる。ガソリン車に関しては著者が使っているスタンドでの価格118円/ℓ（1990年5月現在）を用いた。

一方電気自動車に関しては電気料金システムが契約方法によって変わってくる。ここでは3.6km/kwhで月間1,000km走るとし、5kwの深夜電力乙8時間契約で充電効率を67%で計算した。この場合の両者の走行単価をTable 1に示した。この場合も電気自動車の方がガソリン自動車よりも安いことがわかる。

### 3. 電気自動車の普及を阻害する要因

電気自動車のほうがガソリン車よりもエネルギー経済の観点からみて優位にあることは上述の通りである。それにも拘らず電気自動車の普及が遅々として進まないのはなぜであろうか。それにはいくつかの要因があるが、主なものとして次の項目をあげることが出来る。

- 1) 価格が高い
- 2) 一充電距離が短い
- 3) 保守が面倒である
- 4) 暖冷房が不備である

これらの欠点はすべて電池に起因している。その理由について次に述べる。

#### 3-1 価格の問題

ガソリン自動車と電気自動車ではエネルギーの入れ物の値段に差がある。つまりガソリン自動車のエ

ネルギー容器はそれぞれ器でよく、器の中には何も付加する必要がない。これに対して電気自動車ではエネルギー容器その物が装置になっている。つまり容器の中はぎっしりとエネルギーをため込むための付加物が詰まっている。そのためのコストが発生するのは当たり前の話である。

さらにそのエネルギー容器に寿命があり、それが車体の寿命より短い。そのために自動車の寿命がくるまえにエネルギー容器を交換する必要が生ずる。このことは初期投資以外に維持費も必要であることを意味する。

さらにその上に現状では充電器に対する費用が発生する。夜間に充電するとすれば自動車1台ごとに充電器が必要となる。車載形の充電器であるか、据置形であるかに拘らず、充電器は車の一部であり、ガソリンスタンドの給油機を各車両ごとに備えているようなものである。ただ1台の充電器を複数の電気自動車で共用できる場合はこの費用は相対的に軽減される。そのためこの部分は電気自動車の普及の度合いに応じて、系統的に解決できる道はあるが、現状では電気自動車の価格に上乘せされる費用である。軽バンを対象としたある試算によれば、電気自動車のライフサイクルコストはガソリン車の約2倍<sup>6)</sup>である。この場合ガソリン車の燃料代は電気自動車の電気代の約3倍で計算している。

#### 3-2 一充電距離の問題

電気自動車の石油依存性は少なく、走行単価も安いことは明らかとなった。しかし、電気自動車には走行距離が短いという欠点がある。現在、商品としての電気自動車が1回の充電で走行できる距離は、40km/h定速で100kmを少し上回る程度である。軽クラスだと電池を約400kg程度乗せることになる。しかしそのエネルギーはガソリン換算で約1.4ℓ分にすぎない。ところでガソリンの熱量は8,320kcal/ℓである。ガソリンの密度を0.7として、これを別の単位で表わすと13,800wh/kgとなる。現在の電気自動車用鉛電池のエネルギー密度は35wh/kgであることを考えれば、ガソリンの持つエネルギー密度が如何に莫大なものであるかがよく理解できる。むしろ、ガソリン車としてはこれだけのエネルギーを、エンジンの効率が良くないために、十分に使いきっていないところに問題がある。

#### 3-3 保守問題

ガソリン自動車でも車検があり、定期点検をすることが義務づけられている。それは車の走行に対し

Table 2 電池のエネルギー密度

電池の種類	作動温度	解放電圧 (V)	理論エネルギー密度 wh/kg	実用エネルギー密度 wh/kg
鉛電池	室温	2.10	175	○20-40
ニッケル-カドミウム	室温	1.29	209	○30-50
銀-亜鉛	室温	1.86	273	○100
亜鉛-臭素	室温	1.80	428	●
ナトリウム-硫黄	300/350	2.08	785	●100-150
リチウム-硫黄	420/460	2.25	2624	▼
リチウム-塩素	450	3.61	2200	▼
アルミニウム-空気	室温	1.85	1900	▼

注) ○：実用段階、●：開発段階、▼：研究段階。

での安全性に関する保険といえる。従って電気自動車が自動車である以上この部分の保守は変わらない。しかし電池に関しては特有の保守作業が必要となる。充電と補水である。

充電は走行後、充電器の操作と、スイッチの入動作が最低限必要である。ガソリン車ならば気がついたときにスタンドに飛び込めばエネルギー補給は出来るが、電気自動車ではエネルギー不足を走行中に気がついてはどうしようもない。絶えず充電状態をチェックしていなければならない煩わしさから逃れることはできない。そのための対策としては精度のよい電池残容量計が必要となる。しかし、ガソリン車の燃料計に匹敵するコストにするのは容易ではない。

補水は電池の液量がレベル以下になったとき補充する作業であるが、電池の数が多いだけに面倒な仕事になる。ガソリン車のエンジンオイル交換作業と同じだと考えれば、煩わしさは同じかもしれない。スタンドでオイル交換のサービスが受けられるように、電池の補水もスタンドで受けられる可能性は電気自動車の普及過程で有り得る話ではある。

### 3-4 暖冷房問題

最近のガソリン車ではエアコンのついていない方が少ないぐらいであり、暖冷房装置は自動車の必要装備となってきている。しかし電気自動車ではこの装備はかなり荷が重い。

まず暖房が最も大きい負担となる。即ちガソリン車ではエンジンの熱効率が良くないために、そこで発生する熱を暖房用として使うのはガソリンにとってはそれほど大きな負担にはならない。しかし電動機は格段に効率がよいために、暖房に使えるだけの熱の発生は期待できない。そのため、燃焼式のヒーターを持ち込む方法などが採用されるが、電気自動車の無公害性のイメージを壊しかねないのが良策と

言えない。

冷房に関しても冷房空間を大きくとれるだけの余裕が無い。これは電気自動車の使用場所にもよるが、夏の気温の高いところではかなりの負担になる。最近効率の良いヒートポンプが開発されたので、これを用いる方法が考えられているが、電池のエネルギーを使うことに関しては同じである。

つまり電気自動車の快適性は、その走行性能の犠牲の上に成立する構造となっている。これはガソリン車でも冷房を働かすと燃費が悪くなるように、快適性と走行性能は背反関係にある。しかしガソリン車の場合、走行性能に対しての負担は容認できるものでもなされている。

## 4. 電池

電気自動車が普及しにくい要因のほとんどを、電池の責任にすることは心苦しいことではある。しかし電気自動車に要求される電池の性能としては、誰もが想像できるように、大きいエネルギー密度と、大きいパワー密度を持つという特性は必要条件である。しかしそれ以外に、価格、取扱性、寿命等の条件が満足されないと使いものにはならない。

そこでエネルギー密度から未来の電池を考えてみると、電池は電極活物質の構成により、理論エネルギー密度が異なる。この値はその活物質の組合わせで実現できるエネルギー密度のいわば上限を示すものであり、その値以上の電池は実現できない。現実には理論エネルギー密度の30%程度のものが実用レベルと考えられる。

Table 2<sup>7)</sup>は電気自動車に適していると考えられる電池の種類と、その性能について示したものである。この表からもわかるように電池の中には理論エネルギー密度の大きいものもあるが、それでもガソリンのそれに比べれば格段に小さい。またこれらの

電極活物質の組合わせとその能力に対する検討はすでに幾世代か前に検討済みのものであり、新しいものではない。それにも拘らずこれらの電池の実用化がなかなか日の目を見ないのは、如何に電池の開発が難しいかを示しているものでもある。現在の開発状況を考へて、近い将来、鉛電池に代って電気自動車に搭載可能な電池を選択すること、ナトリウム-硫黄、亜鉛-臭素、ニッケル-鉄、ニッケル-カドミウム等が鉛電池に変わり得るものかと考えられる<sup>8)</sup>。

これらの中でも最もエネルギー密度の大きいのがナトリウム-硫黄電池で、その理論エネルギー密度は785wh/kgである。現状の製品レベルのものではブラウンボバリBBCが発表した120wh/kgがあり、実験室レベルでは200wh/kgのものもある。

この電池はナトリウム、硫黄を活物質とし、セラミックを電解質としている。これらはいずれも資源的に豊富な物質であるために、原料面での心配はいらないといえる。しかし300℃の高温で作動するために、温度制御が必要であり、電池の故障時対策に配慮が必要であるなどの問題点を持っている。そのため、これを電気自動車に使うためにはサイクル寿命の延長を含め、信頼性を上げることが重要な課題である。

このような新種の電池は実験室的には、自動車に搭載したデータが発表されるが、データその物に対する信頼度は高くはない。電気自動車のデータは往々にしてチャンピオンデータが発表されるので、それだけを見るとすばらしい電気自動車が開発されたように誤解することがよくある。そのためこの種の報道に関してはよほど注意してその内容を吟味しないと危険である。このような観点で見れば新種の電池に対してはまだコスト面、信頼性の面で鉛電池におよぶものはないといえる。

## 5. 鉛電池の再生処理

上述のように新種の電池は一つにとどまらずいくつかある。しかし実用レベルの電気自動車に乗せるには、エネルギー密度に不満はあるものの、コスト、信頼性からみて、当面は鉛電池以外の電池ではまだまだ時間が必要である。鉛電池がコスト面で有利な位置を占めているのは、そのリサイクルシステムが比較的良く整っていることも見逃せない。

現在のわが国の鉛地金の総需要は、年間27万トン(1986年実績)で、その内50~60%は蓄電池用として使われる。蓄電池に使われた鉛は再生されるが、

この再生鉛の総精鉛に対する比率は16%程度である。従って電池需要に対する再生鉛の比率から、電池の鉛の25%以上は回収されていると考えられる。そして再生された鉛のほとんど大部分(85~90%)は再び電池に再利用されている。

電池の回収システムは鉛の回収を大きな目的として成立しているが、鉛以外にもプラスチック、硫酸、なども回収している。ただ鉛を回収するまでには鉛および他の有用物質以外の夾雑物を排除する必要がある。しかし鉛や硫酸は、その処理過程に於て公害の発生する可能性があるため、公害防止対策が必要となる。

なかでも鉛は労災法で有害物質に指定されていることからわかるように、血液中の鉛濃度が上昇すると鉛中毒を発症し、貧血などの血液障害、消化器障害、神経あるいは腎臓等の障害を起こす。そのため鉛を扱う作業現場での環境の整備は厳重に管理されねばならない。また周辺環境への影響に対しても、鉛の溶練所からの排出基準が定められている。このことは鉛の再生処理のためには公害対策のための費用がかさむことになる。ある再生工場では公害対策のための運転動力費がその会社の電力費の過半数を越えている状況にある。

また最近の鉛電池には電池の性能向上、ユーザーニーズへの対応のため、極板の材質は単純ではなくなってきた。このことは電池から鉛を再生するための工程が増えることにもなり、再生された鉛の純度が落ちることにもなる。その一方で公害対策費の圧力をうけ、挟み打ち状態にあることから、鉛再生処理は厳しい状況にあるといえる<sup>9)</sup>。

## 6. まとめ

電気自動車は車のエネルギー-経済面からみると、ガソリン車より優れている。しかしこれは走行のために必要な燃料のみを視野に置いたときの話である。自動車を製造するための消費エネルギーまでを考えたとき、それでも電気自動車の方が少ないかどうかは疑問である。つまりガソリン車の原動機と燃料容器の中身の充実度を考えてみると、電動機は鉄と銅の塊で構成されているのに対して、ガソリンエンジンはシリンダーやカム類はあるとしても、空洞部分が大きい。電池とガソリンタンクは前述の通りである。従って中身の充実度は電気自動車の方が大きい。

このことはそれだけ付加価値があることにもつながり、さらに乱暴に言えばエネルギーをそれだけ費

やしたと言えるかも知れない。そしてそれは価格増に結びついて来る。一方で電気自動車はライフサイクルコストが高いという指摘がある。このことは、それだけ全体としてはエネルギーを使っていることの傍証でもある。

多分、電気自動車はガソリン車なみの多量生産をしたとしても、通常的手段では価格面で太刀うち出来ないと思われる。電動機および制御器の寿命はガソリン機関よりも長い。そこで電動機を再利用することによって、原動機コストは安くすることが出来る。しかし電池価格を下げることはかなり困難を伴うであろう。その目標値はガソリン車の燃料タンクとの対比で言えば0に近い値となるからである。その上、電池に寿命があることが更に不利な条件となる。ただし、電力の石油依存度が更に下がるならばこの辺の事情は改善される余地はある。

このような不利な状況でも電気自動車が使われるとすれば、電気自動車をイメージ商品とするか、電気自動車しか使えない環境条件の厳しい場所で使うか、あるいはガソリン車が排出する排気ガスの外部不経済が、社会的に重要な課題となるときであろう。その時はガソリン車の数は減っていなければならない。ガソリン車の数が増えるのを容認している状況下では無理であろう。

#### 参考文献

- 1) 栗山洋四「電気自動車の省資源・省エネルギー性」『自動車技術』32、5、pp.395-401、1978年
- 2) 林洋「各種自動車用原動機のエネルギー変換効率」『自動車技術』33、8、pp.335-339、1979年
- 3) 米光徹志「輸送手段のエネルギー効率指標に関する一考察」『自動車技術』33、5、pp.329-334、1979年
- 4) 資源エネルギー庁長官官房企画調整課「総合エネルギー統計平成元年版」通商産業研究社、1990年2月20日
- 5) 財エネルギー総合工学研究所『昭和63年度電気自動車用電池調査報告書』1989年5月
- 6) 財エネルギー総合工学研究所「2次電池の電気自動車への適合可能性調査」新エネルギー総合開発機構、昭和63年3月
- 7) 財電気化学協会、電池技術委員会30周年記念『電池技術』P.181、1981-10-21
- 8) 日本電動車両協会『電気自動車用電池の開発状況調査報告書』昭和61年3月
- 9) 広瀬恪二「鉛の再利用の現状と回収」『エネルギー・資源』7、3、pp.248-252、1986年