

新世代電気自動車「i-MieV」の開発と将来展望



特集 1

三菱自動車工業株式会社 開発本部 EV・パワートレインシステム技術部
吉田 裕明氏

はじめに

私は電気自動車の開発を1994年に先輩から引き継ぎ、2005年にアイ・ミーブ(i-MieV)の開発を取り組むことになりました。十数年研究開発をやってきて、2009年にやっと初めて電気自動車を市販という形で世に出すことができました。儲かってはいませんが、これから儲かるようなシェアにしたいと思っています。本日は午前中に塩路先生からエネルギーの話、千田先生からエコタウンの話をしていただきましたが、自動車がガソリン車から電気自動車の時代が変わりますと、エネルギー問題、スマートグリッドなどで電力系統とは切っても切れない関係になります。そのような話もしたいと思います。本日のコンテンツとして、「自動車と環境・エネルギー問題」は塩路先生に詳しく話していただいたので、細かい所には触れないことにします。次に「新世代電気自動車の誕生」、「電気自動車の技術的特長」、そして「スマートグリッド等の将来展望」という順に話します。

1. 自動車と環境・エネルギー問題

自動車を取り巻く情勢

自動車というのはいろんな問題と関係し、大きく4つの問題点があります。1つは使用材料。廃棄物総量の増加や廃棄後の材料毒性に対してリサイクルの推進、重金属材料の転換などをやっております。2つ目として騒音については、技術の進歩で許容可能レベルにしております。最近では、排出ガス問題と燃料の問題が、対策が急がれる2項目となっています。急がれる観点としては大気汚染、地球温暖化(環境問題)、脱石油(エネルギー問題)の3つがあります。大気汚染に対しては、窒素酸化物、一酸化炭素、未燃炭化水素、硫黄酸化物、粒子状物質。このようなものを抑え込んでいかないと、とくに都市の環境問題に影響することになります。これは1970年代からの課題であり、これまでずっと続いています。地球温暖化問題では、排出ガスに含まれ

るCO₂を抑えていかなければならない。CO₂を抑えるために、燃費を向上させることとなります。もう一つ、脱石油ということでは、燃料が枯渇するかどうかは分かりませんが、燃料の需要・供給のバランスのような課題があるということです。

地球温暖化の原因

地球温暖化の影響の1つですが、北極の氷が1979年から2005年の26年間に約20%が融解。これによって海底に眠る天然ガスが採りやすくなったという見方もありますが、一方で白くまの絶滅という問題も指摘されています。地球温暖化の原因として示したグラフですが、大気中のCO₂濃度と化石燃料からのCO₂排出量の推移が分かります。とくに1950年以降にCO₂の上昇傾向と気温の上昇が見られます。その中でCO₂排出量に占める運輸部門の状況ですが、全体では発電、産業、運輸の順になっていますが、運輸部門も大きな割合を占めています。ほとんどが乗用車とトラックで、この部分をいかに減らしていくかが大きな課題となっています。

脱石油の話ですが、石油は40年後に枯渇するといわれます。コストをかければもっととれるともいわれます。はっきり言えるのは安い石油がなくなり、



講師 吉田 裕明氏

コストがもったかかるといことです。

次世代の環境対応車の特長

次世代の環境対応車の特長としては、大気汚染への対応、CO₂排出量の低減、石油依存度の低減ということで、いろんなシステムがあります。EV（電気自動車）、PHEV（プラグインハイブリッド）、FCV（燃料電池）、FFV（バイオ燃料）の中で電気自動車は、いくつもの問題に対応できるトップランナーになっています。次はプラグインハイブリッドで、短距離はEVで走り、長距離はハイブリッドで走るということです。1日の航続距離ですが、80%くらいの人が1日に走る距離が40kmくらいですから、この部分の所をEV走行にすればほとんどがカバーできて、10%、20%の所を賄うためにプラグインハイブリッドで走っている状況だということです。燃料電池車は大気汚染対策、CO₂低減部分に二重丸がついていますが、石油依存度を低減する形での水素の作り方でまだプリミティブなところがあります。現実的な解としてFFVというのもあります。

この中で電気自動車がトップランナーだと言いましたが、難しいのは燃料の入手性、給油・充電時間、航続距離、車両価格などの課題があります。充電に非常に時間がかかります。なんとと言っても航続距離に限界があります。車両価格は、電池をたくさん積んでいることもあって、コストの半分くらいが電池だという感覚があります。電池価格がどんどん下がってきていますが、なかなかガソリン車のレベルには来ていません。大量生産に至っていないのも要因の1つといえます。

2. 新世代電気自動車の誕生

ガソリン車より長い歴史を持つ電気自動車

電気自動車はいきなり誕生したわけではなく、ガソリン車と同じような歴史を持っていて、むしろ古いといわれます。マップマンの電気自動車は1897年、アメリカではデトロイト号が1917年に誕生しています。これは5,000台程度の量産が行われました。1900年にアメリカ大陸で石油が発見され、産油国になりました。1907年にフォードがT型フォードということでガソリン車の大量生産を始め、低コストで供給するようになり、20世紀はガソリン車の時代になったわけです。日本では戦前、戦後において、ガソリン不足を背景にして電気自動車が開発さ



れましたが、普及はしませんでした。1970年代になって大気汚染への対応ということで通産省が試行しましたが、これも走らなかった。電池能力と航続距離が限られていたということです。

1990年代にカリフォルニア州でゼロエミッション車法案が成立。これは同州で年間3万5,000台以上を発売する自動車メーカーは大規模メーカーと認定し、大規模メーカーは販売台数の10%を電気自動車にしなければならないという法案です。アメリカのビッグ3と日本のトヨタなど4社の計7社がこれに該当、三菱自動車は2,000台程度足らなくて該当しませんでした。彼らはラッキー7と言っていますが、私は当社がラッキー1だと思っていました。この当時にどんな車を出したかということ、GMはEV1という鉛電池で弾丸のように走る車を出しました。当時の電気自動車の最高スピード記録を持っていたのはEV1で、時速300km以上だということですが、航続距離が70kmですから1時間も走れない。1時間走れないのだから時速と言えないのではないのでしょうか。その後にトヨタ、ホンダがニッケル電池で航続距離200kmの電気自動車を開発しました。

アメリカの環境の中ではやはり長い航続距離が要求され、普及に至らず、いったん電気自動車の灯は消えました。ただ国内では、通勤カーという形でツーシーターの電気自動車が発験的につくられました。この後に大型のリチウムイオン電池が電気自動車用に開発され、軽自動車クラスが電気自動車になるようになってきました。当社やスバルが軽自動車の電気自動車を発売するようになったということです。これが大まかな電気自動車の歴史です。



電気自動車用電池の進化

ここに示した図は、縦軸が電気重量を車両重量で割ったもので、どれくらいの電池を積んでいるかという割合値です。1充電で160 kmを走行することに換算すると、鉛電池の時代は車体の50%くらいの電池を使ったということです。私が電気自動車を引き受けた当時、ワゴン車に荷室がなく、そこに電池を積んでいました。値段は環境車ということで1,123万円。その当時にデボネアという高級車がありましたが、2台買ってもお釣りがくるくらいのものでした。37台が売れたのですが、私が引き受けてから、商売にならないとすぐにやめました。リチウムイオン電池の研究開発をスタートしたのが1995年あたりです。ニッケル水素電池からリチウムイオン電池を経て、車体重量の20%以下、電池重量が10%以下になるということで、パッケージもできるし、車になってきたというのはここです。

リチウムイオン電池

これがリチウムイオン電池なのですが、電池というのはEV用とハイブリッド用とがあります。この図は横軸が出力密度(W/kg)で、いかにパワーが出るかという指標で、縦軸がエネルギー密度(Wh/kg)で、大容量、航続距離がどれくらいになるかということ。EV用リチウムイオン電池はパワーがある程度出て、エネルギー密度が高いのが特長です。このライン上で作り分けることができます。これはハイブリット用リチウム電池ですが、かなりハイパワーのものができます。ハイブリット用リチウムイオン電池はハイブリット車の研究開発が盛んですから、割りと選択肢があるのですが、EV用リチウムイオン電池は選択肢がないので自分でつくる

しかないというところがありました。つくり始めたのは15年前です。2 - 3年やって痛い目にあいました。リチウムイオン電池は高エネルギー密度ではあるのですが、使い方を誤るとまずいわけです。ある意味で、リチウムイオン電池というのは、電圧バラツキそのものを自ら補正する能力がないものですから、かなり電圧のバランスという機能が重要であることと、各電池セルの電圧を常時モニターするように管理すれば、高エネルギー密度が取り出せるということです。

電池技術ロードマップ

これは電池技術のロードマップ(経産省)ということなのですが、バッテリーパフォーマンスを現状1とした場合に、2030年に7倍にするというものです。7倍にするのは何を意味しているかということ、例えば今航続距離180 km、190 kmといいますが、街の中を走ると100 kmと見たほうがよいわけです。これの7倍なら700 km走るということなのです。ガソリン車並みにしようと思うと7倍にしなければいけないという目標なのです。ところが、これはリチウム電池をもってしても7倍は高く、見えていない状況にあり、リチウムイオン電池と別系統の電池が必要になるわけです。いま見えているのは1.5倍、3倍くらいはいくかも知れませんが、目標は高い。航続距離200 kmというのは近々来るとしています。ガソリン車に置き換わって、全てのガソリン車がなくなるようなインパクトは持ち合わせていないと思っています。ある面、パーソナルユースのコミューターEVが市場に行き届き、フルスペックのEVが出てくるのは画期的な電池ができるかどうかにかかっています。ただ、別のアプローチの仕方も動いていて、これは後ほど触れたいと思います。

モーターの進化

次にモーターですが、この表は縦軸が車両重量をモーター出力で割った値で、パワーウェイトレシオ(PWR)といわれるものです。この値が小さければ小さいほどパワーが強いということで、加速性能がよい。鉛電池を使っていた時代は直流モーターだったのです。それが誘導モーターになって、永久磁石同期モーターになって、ネオジウム磁石の開発により小型で高トルクのものができるようになりました。これでやっとガソリン車がパワーウェイトレシオのゾーンに入ってきたといえます。この技術は

日本が先行したところもあって、1990年代のところで永久磁石同期モーターのネオジウム磁石化とインバータベクトル制御が出来上がってきて、これが可能になってきたと考えています。

CO₂ 総排出量

電気自動車のCO₂排出量はどれくらいあるのか。このグラフはモード走行時の1 kmあたりの排出量を示しています。ガソリン車に対して電気自動車は70%のCO₂を減らすことができます。その間に位置するのがディーゼル車、ハイブリッド車、燃料電池車になります。この資料はJHFCセミナーからのものですが、70%減って、残りの30%がどこから出ているかということ、車からではなく、発電所から出ているということです。

総合エネルギー効率

このグラフが総合エネルギー効率を示したものです。モード走行時の総合効率ですが、ガソリン車に対して、ディーゼル車、ハイブリッド車、電気自動車がこのようになっていきます。電気自動車も昔からこうだったわけではなく、電池とモーターの高効率化が図れるようになって、これが可能になってきたということです。その内訳は「Well to Wheel」を「Well to Tank」「Tank to Wheel」に分けて説明します。ガソリン車は「Well to Tank」が割りと高く82%（精製・輸送）、「Tank to Wheel」の走行効率のほうはピーク効率は高いのですが、モード走行では、低回転低負荷の燃費の悪い領域を使うために下がってしまいます。それをハイブリッド車ではできるだけ効率のよい所を使って低回転はモーター走行してやると30%くらいに上がってきます。電気自動車は「Well to Tank」は発電が入るといった観点から高くないのですが、「Tank to Wheel」は高くなってきました。充電器、電池、コントローラ、モーター、機械系が全て90%以上になっています。エネルギー問題以降にとくに上がってきたのが電池です。鉛電池ですと70%くらいですが、20ポイント以上違います。モーター/コントローラも直流直巻モーターですと60 - 70%でした。従って1970年代前半の鉛電池と直流直巻モーターを使っていた時代ですと、こんなに高くなかったわけで、半分程度しかなかった。それが技術の改良によってここまで来たのだと思います。

3. 電気自動車「i - MieV」の技術的特長

電気自動車の技術的な特長は大きく5つあります。1つが「パッケージング」です。そして「リチウムイオン電池」「モーター」「制御システム」「充電システム」です。

パッケージング

パッケージングの特長は、電池を床下に搭載できるようになったということです。当たり前のことですが、今までは何らかのかたちで床上に電池が来て、客室やトランクスペースを圧迫していました。それがガソリン車と同じ居住スペースをとることができるようになったわけです。

リチウムイオン電池

これは電気自動車用に開発しましたリチウムイオン電池です。1つはセルで、容量が50 Ah、電圧が3.7V。パソコンに使われている電池が1 Ahですから50個分くらいです。4つを1つのモジュール単位として結成しています。全体で88セルが1台の中に入っています。パソコンでいうと5,000個程度の容量が車に搭載されており、かなりのエネルギーを積み込んでいることになります。

②リチウムイオン電池

-搭載性を考慮した角型セル構造
-EV用途に設計された安全、高出力、高エネルギー電池

	セル	モジュール
寸法	115(W)×113(H)×42(D) mm	175(W)×113(H)×154(D) mm
質量	1.7 kg	7.9 kg
定格容量	50 Ah	50 Ah
公称電圧	3.7 V	14.8 V
質量エネルギー密度	130 Wh/kg	99 Wh/kg
体積エネルギー密度	219 Wh/L	108 Wh/L
最大電流	300 A (放電)	300 A (放電)



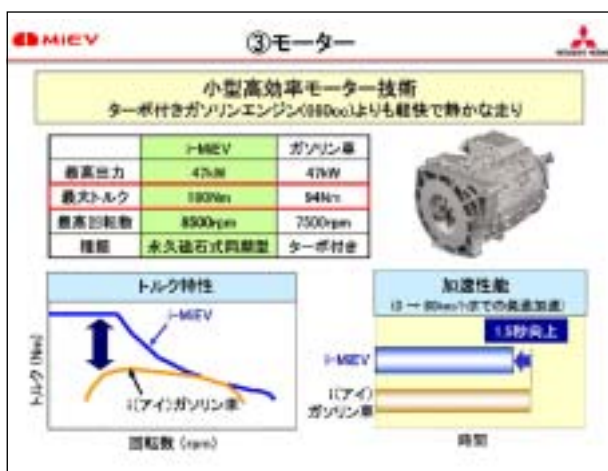
セル



モジュール

モーター

モーターですが、出力は47 kWで、ターボエンジンと同じですが、トルクは約2倍あります。これはモーターの特長で、低回転領域で、高トルクです。一般の軽自動車はアクセルを踏んでから、回転が上がってから走り出します。音はするけど加速は遅いという感じがあるのですが、電気自動車の場合は踏んだらすぐに加速します。出足が軽自動車とは違います。このグラフは0 - 80 km / hまでの発進加速で、i (アイ) のガソリンターボよりもアイ・ミー



ブのほうが1.5秒早く、ほとんど出足で決まります。

制御システム

制御システムは、インバーターベクトル制御を行っています。これが全体の制御システムですが、駆動電源はDC 220 - 400Vで電池の電圧範囲です。電池は当然のことながら充放電すると電圧値が変わってきますので、その電圧変化に対応しています。下の図では真ん中がインバーター、左側がリチウムイオン電池です。

充電システム

充電システムですが、普通充電は200Vが15A、100Vは10A。これは深夜電力を使えば非常に安いコストです。充電時間は200Vなら7時間、100Vなら21時間です。100Vは時間が掛かるのでほとんどエマージェンシー的になっています。200V電源は、家の外に出すと使えるようになります。費用ですが、通常なら3万円~5万円くらいということです。急速充電ですが、以前はできなかったもの今はできるようになりました。3相200V50kWというのは急速充電器入力側、車に入ってくるのは直流変換でバッテリー内に入っているようになっていて、これを使うと充電時間は30分ということです。

1990年代後半の時は充電スタンドをつくるのと電気自動車をつくるのとは、どちらがニワトリでどちらがタマゴかと言われました。自動車メーカーから言えば充電スタンドをつくらなければならないとかなかなかEVが普及しないと言う。充電スタンドをつくる側からすれば電気自動車がないのにどうして充電スタンドの商売が成り立つのかということで、ニワトリとタマゴだったのですが、その時に急速充電の発想がなかったという背景もあったからだと思います。

リチウムイオン電池も急速充電の能力があることが分かって、それを電力会社が目を付けていただき、急速充電器の開発とインフラ整備意を引き受けてくれたということです。2006年にアイ・ミーブを発表してから電力会社7社が先行試験をやっていたが、今では急速充電の協議会があります。これは電力会社が主体になり、自動車メーカー、充電器メーカーが入っています。世界のメーカーも入っていて、現在すでに国内で650ヵ所、海外で150ヵ所という急速充電のインフラができています。ある意味で、電気自動車はもう逃げられない所に来ていると言えます。

エネルギー経済性

次にエネルギー経済性ですが、昼間に電力を使うとガソリン車の3分の1です。そのときのガソリン価格、電力料金によって変わってきますが、ガソリン価格140円/L、電力価格22円/kWhを前提にすると、コストは3分の1ということになります。夜間電力を契約すると、7円/kWhになりますから、さらに3分の1になります。1/3 x 1/3 = 1/9ということで、1桁落ちることになります。私は通勤でアイ・ミーブに乗っています。以前はデリカでした。通勤だけで毎年1万km走るのですが、土日は趣味でジョギングをしていて最近はだんだん遠くなって富士の方にも行くようになって、距離が長くなっています。デリカの頃のガソリン代が年間25万円くらい。夜間電力を契約すると年間3万円程度で済むことになり、20万円以上得になります。お財布にもやさしいということになります。

日本市場での一日の走行距離

そのような電気自動車ですが、どういう時に使え

るかということです。このグラフは当社が調べた一日の走行距離です。横軸が走行距離、縦軸が割合ですが、ウィークデイは90%のユーザーの方が40km以下ということです。休日になると増えて、80%のユーザーが60km以下。このように電気自動車を使っています。私は今もデリカを持っています。なぜかという、東海道ジョギングの中で最近富士を越えて箱根まで行くのに電気自動車ではしんどいので、まだ2台を持っているということです。これはインフラ次第です。インフラがしっかり整ってくると、電気自動車である程度の距離は走れるようになります。ただし何回も充電することになると、その度ごとに20 - 30分ずつかかることを覚悟しなければなりません。

4. スマートグリッド等の将来展望

非常時における給電機能

最後に、スマートグリッド等と将来展望ということですが、3.11 東日本大震災の時に電力インフラが早く復旧しました。3日間で80% - 90%くらいが復旧したといわれています。一方でガソリンスタンドが全然復旧しない所があり、各自治体からEVを持ってきてほしいという要望がかなりありました。当社から数十台、関連の自治体からも同規模のアイ・ミーブが東北各県に行きました。ある面で新たなEVの有用性が確立されたということなのですが、一方で幹線の地域から離れて、電力復旧が進まない地域がありました。そのような所で、電気を持っているのだから電気を頂戴と言われたのですが、放電機能を持っていなかったのです。電気を持っているのだから電気を運んでいけばいいのだという認識に、今は変わっています。

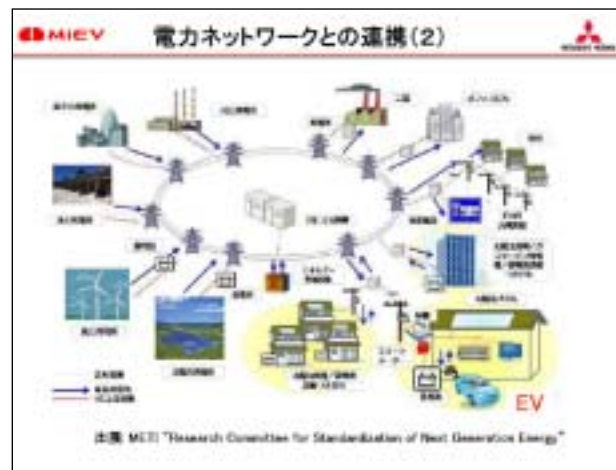
電源供給装置の開発

急速充電ポートは、急速充電器をつながなければ電池とつながらないと同時に、現状では充電はできるが放電はできない状況です。それを放電できるようにして、そこに設置する電源供給装置の開発を現在進めています。年度内には何とか完成させたいと思っています。早くそうした非常電源装置の供給をしていきたいと思っています。非常電源装置ではあるのですが、それをピークル・トゥ・ハウス (V2H) ということで、家に電源を供給することも考えています。非常電源装置はパワーコンディショナーに変

わるわけですが、車に家への放電機能を持たせるということです。アイ・ミーブは16kWhの電力を持っており、それは4人家族の1日の電力消費量に相当します。このようなものを常につけておいて、例えば太陽光発電で昼間に発電し、売電するのではなく、アイ・ミーブの中に貯め込んでおいて、夜帰宅した時にエアコンや電子レンジ、電子調理器など大電力のものをを使う際に取り出すという用途があると考えています。

電力ネットワークとの連携

さらに電力ネットワークの連携ということで、電気自動車を電力ネットワークに接続することで、発電の不安定な自然エネルギーを有効利用するためのグリッドの中のいわゆる一時的エネルギーバッファとして、電気自動車を使ってもらえないかと考えています。新たにこうした用途が広がってくると、電池のつくり方も変わってくると思います。ある程度の充放電サイクルを持つような電池を開発していかなければ関わっていけないので、電池の材料系統をどうセレクトするかにかかってくる。そのような進み方に向かうのではないかと考えています。



岡崎でのスマートグリッド実証事業

スマートグリッドの実証事業ということで、これはピークル・トゥ・ファクトリー (V2F) の取り組みです。三菱商事、三菱電機と共に太陽電池、EV、リユースの蓄電池を活用した工場エネルギーマネジメントシステム (FEMS) の実証実験で、これは今年度末までに作ります。これは当社の岡崎工場ですが、工場の駐車場の前に太陽電池を設置し、その間にパワーコンディショナーを置いて結びます。同時に駐車場に充放電のできる電気自動車と蓄電池を設

置します。エネルギーマネジメント的にどのくらいできるのか、その環境に対してどれくらい貢献できるのかを実証していこうとしています。ある意味で、こういうものでピークル・トゥ・ハウス、ピークル・トゥ・ファクトリーというものができるようになると、電力ネットワークの中に電気自動車も一部入っていて、何らかの貢献ができるのではないかと考えています。

非接触充電

ひょっとしたら電気自動車の世界を変えるかもしれない技術、それは非接触充電です。路面からワイヤレスで給電を受けることによって、航続距離を延長、もしくは電池搭載量を削減することができます。これはある意味で1次コイル、2次コイルの方式はあるのですが、2006年にMITの教授が1次コイルと2次コイルに共振点を設けて共鳴させる、ある意味で音叉と一緒になのですが、電力を飛ばしました。今現在、15 cmを離れて3 kW飛ばせるワイヤレス給電装置ができています。うまく開発・普及が進めば交差点や駐車場ごとに充電ができる。もしくは1次コイルが長いループになって、その上を走って給電できるというのがあります。例えばバスレーンをこのようなものにすれば、架線別の電気バスができることと、その部分にEVが走ることができる。ある意味で、こうした都市型の電氣的システムがあってもよいのではないかと、それがあれば世界も変わるのかなと思って、注目している技術です。

電気自動車もたらすもの

最後に、電気自動車もたらすものということです。ピークル・トゥ・ハウスのように家庭生活やカーライフが変わってくる、スマートグリッドの中に何らかの形で電気自動車貢献するのではないかと、ピークル・トゥ・ファクトリーという形で工場の中に入っていくと同時に、産業そのものが変わってくる可能性があると思います。いわゆる自動車メーカー、自動車部品メーカーには入っていなかったような部品が、車の中に入ってこようということがあります。電気自動車というのは、ガソリン自動車の延長線上からその姿を変えて誕生したわけですが、役割を果たすのは単なる移動体だけではないのかもしれない。いわゆる電力という何らかの形で貢献していくという、新しい商品かもしれないと考えております。



< 質疑応答 >

Q) : 最近燃料電池車の情報が少なくなったように思うが、その動向を知りたい。

A) : 当社も燃料電池車の開発研究をやっていた。プラグイン・ハイブリッドが長距離走行の車として存在する中で、例えば石油高騰に伴う異なるエネルギー的な存在となるのではないかと。ただ350気圧では足らなく、かなり高圧のものをつくらなければならない。水素ステーションは1基1億円といわれる。それをガソリンスタンド並みにできるのかという課題がある。また、1台、2台というレベルなら可能としても、大量生産には課題が大きいと思う。

Q) : 燃料電池車に比べてEVの航続距離は小さい。目標が今の7倍ということだが、それは可能か。電池が7倍には上がらないと思うが。

A) : 2倍程度になる可能性はあると思っているが、量産としてはその先が見えていない状況にある。

Q) : 自動車は耐久性を要求される。リチウムイオン電池は通常の自動車部品と同程度の耐久性があると理解してよいのか。入れ替える時、コストは高つくのか。

A) : コスト的に高いというのは事実だ。寿命は10年後の目安として7割前後の容量と説明している。従来の自動車部品の中で徐々に性能が下がるものはあまりない。電池はそういうものだと説明し、理解してもらうようにしている。エネルギー密度を上げつつ、長寿命型電池をつくるのが課題と思っている。

Q) : リチウムは中国にあるが、尖閣諸島問題を境に中国は輸出禁止にした。リチウムの代替品の目安はあるのか。

A) : 代替はマグネシウムともいわれているが、ものになるかどうかは分かっていない。量産化という面からリチウムに代わるものは見つかっていない。リチウムの原産国は、中国以外に、チリにもたくさんある。アメリカでもある。ただ、電気自動車が100万台に普及すると、リチウムイオン電池の世界中のプラントをもっと建てなければならない。1,000万台やそれ以上になっていくと、リチウムも足らなくなってくる。海水の中からリチウムを精製

することも考えなければならなくなるかもしれない。

Q) : 路面からワイヤレスで給電するというが、具体的にどんなふうになるのか。

A) : ある程度は電磁誘導と同じ原理だ。周波数にもよるが、高周波で電流を流す。なおかつ、そこにコンデンサ的要素を設けて共振線を設ける。2次コイルを車体側に付けておいて、同じ共振周波数になるようにコンデンサ機能を加減する。そこを通った時に音叉の原理と同じように共鳴するわけで、それで電力を吸い上げるという仕組みだ。

