

## セッション2

### 「環境低負荷な交通システム」

山口 栄一

同志社大学教授兼技術・企業・国際競争力研究センター  
( I T E C ) 副センター長

丹羽 邦彦 (オーガナイザー)

科学技術振興機構研究開発戦略センターシニアフェロー

林 光一

青山学院大学理工学部教授

塚本 寿

Quallion 社 C E O 兼 C T O

山本 巖

株式会社三菱化学科学技術研究センター代表取締役社長

森川 博之

東京大学先端科学技術研究センター教授

渡邊 浩之

トヨタ自動車株式会社技監

(チェア：山口) CO<sub>2</sub>を削減するという議論は「敵がいなし」議論なので、トリビアルな議論になりがちだ。そこでこの場は、あえて論争に持ち込むような Provocative な場にした。その意図に沿って、液体窒素エンジン、電気自動車、ITS 技術という三つのテーマを選んだ。

まず、蒸気機関の実用化に後れを取り水資源にも乏しかったドイツが内燃機関を苦し紛れに実用化したということはよく知られている。この19世紀中葉の技術が、150年たってもデファクトスタンダードだということは奇妙なことだ。そこで最初の Provocation として、我々は熱力学の本質にまで下りていって、このオットーサイクルを再考してみたい。熱力学に基づくと、熱エネルギーを力学的エネルギーに変換する理想的な熱機関はカルノーサイクルだということを皆さん方はご存じだと思う。もしそうなら、ガソリンの爆発を使ってCO<sub>2</sub>や公害ガスを出すオットーサイクルに代わって、物理的相転移を用いるこの方法を本気で考えてもいいのではないかと。どうして自動車会社はこれに取り組まないのかについて、まず青山学院大学の林さんにお答えいただきたい。

「Time for Liquid Nitrogen Car and Compressed Air Vehicle!」

林 光一

青山学院大学理工学部教授

エンジンからの排気ガスをいかにクリーンにするかというような短期的な問題に目が行きがちだが、山口さんが提案されたように、長期的にみて、もっとまったくちがうエンジンのあり方という観点から今日お話しするようなこともやっていてもいいのではないかと。それは、内燃機関をつかわない方法だ。

燃料電池についてはもう少し時間がかかることが分かっている。それに代わって、液体窒素自動車 (LNC :liquid nitrogen car) や圧縮空気自動車 (CAV : Compressed air vehicle) という新しいパラダイムが、劇的にやって来る可能性がある。

液体窒素自動車は、シアトルにあるワシントン大学のヘルツベルグ教授が最初に考えた。圧縮空気自動車は、ルクセンブルクにあるMDIという会社が何年前にもう売り出したが、日本では高压タンクがまだ規制緩和になっていないので、日本の中ではまだ走れない。実はマイナス196℃の液体窒素を大気に出すだけで体積は大体1000倍になる。私の研究室では1998年にこのような液体窒素自動車 (LNC) システムを作った。このLNCには液体窒素のタンクがあって、液体窒素がヒートエクスチェンジャーを通して暖められる。エア・コントロール・システムは、自動車と同じようにペダルを踏むことでバルブの調整などができるような形になっていて、それでスピードを上げたり下げたりすることができる。

液体窒素の場合には、いかにエネルギーロスを抑えるかがキー・テクノロジーになってくる。9年前の研究開始時には、うちの大学とワシントン大学並びに北テキサス大学で、リッター当たりの走行距離は、大体皆同じであった。また、窒素の圧力によるスピードの出方も当時は目標の1/100、1/200ぐらいだった。最高スピードはファーストドライブで大体時速25kmぐらいで、フルスロットルでは時速40kmぐらいは出ている。軽自動車との比較では、明らかにトルクは変わらないが、パワーは全然違うので、そのうち要求に見合う車が出てくるのではと考える。

実際に自動車会社に借りたコースで走らせてみたが、全部窓を開けて走行しているので、冬であることと、液体窒素の気化ガスとですごく寒かった。窓を開けなくてはいけないのは、一つには安全のためである。というのは、気化した窒素で窒息することもあるからで、更には外の暖かさを取り入れなくてはいけないからだ。

次に圧縮空気自動車だが、これは液体窒素自動車を作っているときから既に興味があった。空気自動車の排気ガスは、一番きれいな空気ということがいえる。その意味で究極的な車である。しかし液体窒素も圧縮空気も二次的なエネルギー貯蔵なので、やはり何かのエネルギーを使ってこれを作らなければならない。現時点で高压空気は300~700気圧というものだが、最近、700~800気圧もの高压水素をタンクで使う計画があるので、それが出来ると、このタンクに水素の代わりに高压空気を入れればよいと思っている。

CAVは、タービンシステムとピストンシステムの二つあるが、われわれは、取りあえずタービンシステムを使ってみた。CAVについては現在、ルクセンブルクのMDI社が小さな車を販売しているが、実は2~3週間ぐらい前に、タタというイ

ンドの会社が、多分 3000 ドルぐらいの C A V を売ると言っている。この自動車のポイントはガソリン自動車とのハイブリッドだということで、普通のピストン自動車のエンジンを使っている点だ。大体 600cc で 33 馬力なので、本当に軽自動車と同じぐらいのレベルである。実際に走らすためには、高压タンクの規制緩和とエアステーションなどのインフラがかなり必要となるが、うちの場合、エレクトロニクスステーションやオンボードのコンプレッサーを積むので、その辺は何とかなるのではないかと考える。ちなみに、私が考えているのは、ガソリンは全然使わず、圧縮空気自動車と電気自動車をハイブリッドにする形である。

我々の場合、液体窒素自動車のエネルギー効率率は 37 ぐらいである。M D I でも同じだが、彼らの全体のトータル効率は 70% ぐらいなので、どこまで効率を上げることができるかが一つのポイントとなる。つまり、液体窒素よりは圧縮空気の方がいい効率になっているということだ。

質問-----

(塚本) 圧縮空気のシステムは、リジェネレーションで、坂を下りたり減速したりした際のエネルギーを回収することもできるはずだ。

(青山学院大：林) そのとおりだ。だから、そういうものも我々は全部コンピューターでコントロールすることを考えている。そうなれば、リジェネレーション化するシステムがきちんとできると思う。

(Quallion：塚本) そういうパワーの変動に対しては非常にいいシステムだと思うが、エネルギー密度そのものは電池に比べればはるかに低いのではないか。

(林) もちろんだ。これからどのようにしてエネルギー密度を上げるかを考えなくては行けないが、それは不可能ではないと思う。

(山口) 次は電気自動車について、2 人の方に語っていただきたい。エンジンに取って代わるもう一つのパラダイムとして電気自動車がある。そのモーターにエネルギーを供給する装置としては二次電池ないし燃料電池があるという考え方をしよう。ただ、燃料電池についての私たちの見解は、これから少し時間がかかる。だから、10 年先を考えた場合、むしろリチウムイオンバッテリーの方を強力に一つのシステムの中に入れることが先だろうという議論になった。しかし、リチウムイオン電池は環境に良くても今のところ 400km ぐらいの連続走行しかできず、日常的に使うにはせいぜい 200km ぐらいだろうと言われている。また、燃料電池は高分子膜のナフィオンが病気持ちで、この病気を誰も治癒できていない。それで果たして、電気自動車というパラダイムは本当に可能なのだろうかというチャレンジに対して、塚本さんに話をしていただきたい。

「Energy, Environment and Battery」

塚本 寿

Quallion 社 C E O 兼 C T O

アメリカは今、トータルで 100Quads のエネルギーを毎年消費しているが、そのうち Petroleum が 40% ぐらいを占めており、その 60%、24Quads ぐらいは外国から輸入している。

また、消費としては、40Quads の Petroleum うち Light Duty Vehicles, Freight/Other と Aircraft で 28 Quads、すなわち Petroleum の 70% (全エネルギー消費の 28%) がトランスポートで消費されている。従って、できるだけこの辺のエネルギー効率を上げていくことがエネルギー問題にとって重要である。一方、55% のエネルギーがロスとなって、熱になって消えていっている。電気エネルギーへの変換過程でのロスや電気エネルギーの移動過程でのロスが非常に大きい。このロスを減らすためには各過程の効率を上げるだけでなく電気エネルギーの貯蔵技術が非常に重要になってくる。

電気エネルギーをストアしようと思うと電池しかないわけで、バッテリーテクノロジーが非常に重要になる。また、トランスポートテクノロジーをエフィシエントしていくにも、H E V (ハイブリッド車) や P H E V (プラグインハイブリッド) があるが、これを実現するためにもバッテリーテクノロジーが大事になってくる。とくにエネルギー密度を考えると Li-ion 電池のテクノロジーが非常に重要になってくる。

Li-ion 電池の課題は三つある。すなわち、①セーフティー、②パフォーマンス (特に寿命)、③コストである。安全性を保障するために、色々な化学的改良が提案されている。Quallion 社では、簡便・現実的な方法として H A M (heat absorption material) という材料を使っている。ラップトップコンピューターの電池が燃えるのは電池同士がくっ付いているのも原因である。当社では、電池間にわざと 1 mm ほど開けて、その間に熱をトランスファーする材料 (HAM) を入れている。この H A M を用いた高安全な 0.5Kwh, 48 V のモジュールを組み合わせて作る大型電池システムを提案している。モジュールを何個か並べていくと一つの大きなシステムになる。これに全体のモジュールをオーケストレートするセントラル・コントローラー・ユニットがあり、これは 500 V の耐圧設計となっている。この Li-ion モジュールシステムで安全性の解決は可能と思っている。

また、うちのメディカルやエアロスペースの Li-ion 電池は大体 6 万サイクルぐらいを目標にした設計になっている。現実のデータ的には 2-3 万サイクル前後で今走っているが、170mAh の非常に小さなメディカル用電池も 72Ah の大きなエアロスペース電池も同じ設計同じ材料で、全く同じサイクル性能を見せており、6 万サイクルぐらいで大体七十数% の残存エネルギーが期待されている。従って、ライフに関してもあまり問題だとは思っておらず、出力に関しても電池で十分やっていけると思う。パフォーマンスに関する技術課題は充電受入性だけではないだろうか。

問題はコストで、Li-ion が鉛電池にコストで勝つことは 1 億

年かかっても無理である。従って、コスト問題を解決するためには電池の技術ではなくて、新しいビジネスモデルを考えないと解決できないと思っている。

アメリカではここ 10 年近く、V2G (Vehicle to Grid) と言われているものがある。これは、分散型のエネルギー貯蔵デバイスとして車を使おうということで、プラグインハイブリッドなどで、夜間に余っている電力を充電する。昼間は会社に行き、会社に着いたらまた会社のソケットにつなぐ。カリフォルニアの場合は、夏の 2~3 時間だけ、昼間のピークパワーを供給するために毎日火力発電所を立ち上げているが、その代わりにたくさんつながっている自動車から夜ためた電気をもらおうというコンセプトである。また、ピーク時に電気の位相が少しずれると大きなエネルギーロスになる。電池が Grid に沢山ぶら下がっていると位相のずれが減り、エネルギー効率の向上になるとのことである。そういうことで、電力会社としては、もしこういうことを計画してくれるのなら、車一台あたり年間 3500 ドル払おうという話があるそうで、Google などが一生懸命ビジネスモデルを立てて、実際にやろうとしている。こういう形でしかコストの問題は解決できないと思う。

ところで、私が実は一番問題だと思っているのは特許とビジネスの問題である。アメリカ、ヨーロッパで出されている Li-ion 電池の特許は本当に少なく、そのノウハウや製造技術の差も考えると、日本は電池に関しては驚異的な先進国である。日本は、90 年代初頭から世界に先駆けて Li-ion 電池を開発、製造し 90 年代中期には圧倒的な独占体制を築いた。しかし、99 年ぐらいからサムソンが 2~3 年でリチウムイオンを立ち上げ、あっという間に世界 3 位の電池メーカーになってしまった。日本の特許はこれをまったく防げなかった。また、革新的な技術を開発しながら、先行期に十分な富を築けなかったことは、なによりも日本の経営者がビジネスマインドに欠けているからに他ならないと思う。

iPod の部品を見ても日本製の物が多い。日本人はデバイスを作ることは非常にうまいが、iTunes のようなシステムを生み出すことができなかった。今回、革新的な PHEV 電池やすぐれた電気自動車を作っても、本当にもうかるのは電気を供給するシステムを作ろうとしている Google かもしれない。戦術で勝利して戦略で負け続けているは、いつかは疲弊し働き損のくたびれ儲けという結果になってしまう。

技術の拡散を防ぐには、日本の特許は頼りにならない。従って、電池メーカーとしては、マテリアルをできるだけインハウスでプロダクションして、材料や技術は外に出さないという体制にしたらどうか。

新しいビジネスモデルとしては、Li-ion 電池は価格が高いため、場合によっては自分でリース事業をやった方がいいかもしれない。例えば最初の 4 年間だけは電池を月 2000 ドルくらいで自動車を買った人にリースする。4 年たったら返してもらって、今度はフォークリフトなどのパルスパワーの要らない用途、10~20 時間で放電する用途に同じセルを持って行って、またリースする。最後、さらに 8 年たって 10~12 年になると、今度は低率放電用途の家庭用や大規模なエネルギー貯蔵システムに使ってもらってそれもリースする。そういうや

り方で何とか新しいビジネスモデルを作れないかとも思っている。

質問-----

(JST/CRDS: 生駒) アメリカのバッテリー技術はやはり軍用が引っ張っているのか。

(塚本) バッテリービジネスの一番の顧客は軍ではない。バッテリーはボリュームビジネスなので、軍のように少ししか買わない人を相手にしても仕方ない。軍相手に技術を開発している企業が電池産業分野で技術リーダーになるとは思えない。

(三菱化学: 山本) 先ほどの Vertical というビジネスモデルで、リチウムイオンはなぜ Vertical ができていないのか。

(塚本) 鉛電池や Ni-Cd 電池は、活物質や電解液を社内で製造するのが基本である。Li-ion 電池に先立って、ニッケル水素が立ち上がったときに、活物質を外から買うという現象が起こった。活物質をよそから買うという流れがそこで出来たのかと思っている。また、Li-ion 開発では、短期間のうちに電解液もセパレーターも負極も正極もバインダーも作らなければいけなかったで、手に余ったのだと思う。しかし、そのおかげで、電池の特許を持っていたのに、要素技術が分散してしまって、あっという間に韓国、中国など、世界中に広がってしまった。

(山口) 今度は電気自動車でも材料の立場からお話をさせていただく。環境低負荷な交通システムの実現は、電池に加えて軽量化、センサー、インバーターなど幅広い分野の、いわゆる材料技術の抜本的革新が必要だと私は思っているが、その技術革新が市民にあまり見えない。例えばインバーターについて、我々はずっとシリコンパラダイムで生きているが、シリコンはむちゃくちゃ耐圧が低い。それに取って代わるものとして、シリコンカーバイド (SiC) やガリウムナイトライド (GaN) が 10 年前から日本発のイノベーションとしてやられているが、事業化したのは全部アメリカの会社だ。一体、日本はどうなっているのか。

また、通常の自動車は人間の体重の 15~20 倍の重量があるが、せいぜい 10 倍ぐらいにしてほしい。しかし、車体を軽くするブレークスルー技術が我々には見えない。多分こういう分野で一番包括的に研究をやれている三菱化学の山本社長にお話いただく。

「The Realization of an Environmentally Sustainable Transportation System」

山本 巖  
株式会社三菱化学科学技術研究センター代表取締役社長

現在のニッケル水素のバッテリーは、ハイブリッド用の Ni-H (ニッケルハイドライド) のポジションは 50Wh/kg だが、バッテリーがリチウムに変わったり、さらにそれがプラグ

インになったりすればもう少し上がるというターゲットが立てられている。しかし、馬力を中心に使うと、たくさんエネルギー密度全体を使えないので、距離は伸びない。電気自動車ではどちらかというと走行距離を中心にいきたいということで、リチウムイオンではこの辺の開発競争をやっている。しかし、本当の電気自動車になると、先ほど山口さんの方から出た400～500kmを1回の充電で走れるというあたりがターゲットになり、この辺の材料が要ることになる。また、そのときはコストも10分の1でなければいけないということが将来のイメージだ。

しかし、リチウムイオンバッテリーの限界線は250kmぐらいだとされており、400～500kmのバッテリーを設計するときに、材料として何を考えればいいのかを社内で議論してきた。それで、電気自動車1台に130kgのバッテリーを積み、1kWhで10kmぐらい走れる効率のバッテリーが仮にあったとして、何kmぐらい走るのだろうと考えてみたところ、ニッケルハイドライドのものは10kmちょっと程度しか走らないのに対し、100～150Wh/Kgぐらいの出力のものを持っていったときに、1回の充電で大体250kmぐらい走ることが分かった。これは車用のリチウムイオンバッテリーの想定だが、民生用のエネルギー密度を上げたものを車用のバッテリーにしたときに、私どもの試算では200Wh/Kgぐらいのエネルギー密度ができるだろうと思われる。しかし、それでも250km強、300km弱ぐらいの走行距離が今の技術の延長線だ。安全を担保していくと、せいぜい300kmぐらいではないか。従って、それをもう少し伸ばして500kmのラインまでいくイノベーションを何かやらなければいけないというのが一つの提言になるわけである。

リチウムイオンというのは簡単に言うと、1個のリチウムをグラファイトのカーボン6個が蓄えるという構造で、体積当たりで幾ら詰め込むかという競争に今なっている。従って、リチウムを囲んでいるカーボン6個に代わる、もっとコンパクトで軽い物を選んでいく。あるいはリチウムの代わりにもっとイオン密度の小さいハイドライドイオン、あるいは2個のイオンを運ぶような物を持ってくることを考えていけば、エネルギー密度を上げられるはずだということが、材料屋の立場では考えられる。今、幾つかの技術開発が行われている中で、シリコン系が出てきているが、シリコン系は、シリコン5でリチウムを22個蓄える構造になっている。従って、これはエネルギー密度を6倍に上げられる公算があるわけだ。

しかし、負極だけだとやはり限界があって、負極と正極とセットで変えていかなければいけない。今、代表的な正極材料は、マンガン、ニッケル、コバルトの酸化物系で、それがリチウム1個を蓄えるという構造である。ここをブレイクスルーしていく中でどのような材料があるかを見ると、例えばバナジウム2個でリチウムを3個蓄えることができる。こういう正極材を仮に相手方に持ってくれば、大体エネルギー密度が1.4倍ぐらいになる。この延長線上をずっといくと酸素になってガスが出てくるので、リチウムメタルと酸素で究極の二次電池が出来るはずで、今はこの辺のところの一つの電池を組んでみようという話になっている。

ちなみに、出力密度とは重さ当たりの出力なので、いかに軽くしていくかが一つのポイントになる。例えば、集電体や入れ物を変えていくことが一つの方向になる。例えばドームの集電体があるとしたときに、CFRP（Carbon fiber reinforced plastics）の薄い板に銅の表面をメークしていくような形で軽くしていく構造の集電体を使っていく。あるいは、入れ物をメタルから樹脂系のものにしていく。必要なところはコンポジットに変えていくことで電池を組み上げてみるのが考えられる。

それで、メタルからCFRPにすると大体4分の1ぐらいの重さになるので、そのときに何が起きるかを調べてみた。リチウムイオンの中の現在のエネルギー密度は150ぐらいまで想定できるので、それぞれについて、例えば正極をバナジウム2価体やシリコンに変えていくとすると、同じバッテリーを組み上げたときに、ある重さが想定されたバッテリーが出来る。しかもこれは非常にコンパクトになっているので、電解液やセパレーターが同時に減っていくことも試算できる。こういうことを織り込んでいくと、ざっと見て1.8倍の出力が期待できるので、こういうことに向かってブレイクスルーできたら、一つの大きな提言ができるかなと思っているところだ。

東京の田町にある三菱化学の本社2階のショールームに、できるだけ樹脂化した車が展示してある。長さ4.2m、幅1.8m、高さ1.5mの比較的標準的な車で、通常では1.2トンぐらいになるような車だが、フレームやシャーシをCFRPに変え、ボディをポリプロピレンベースの樹脂に変え、ガラスをポリカーボネート系のハードコート材でコートしたものに変わっていったところ、890kgになり、40%ぐらい軽くなった。その結果、効率が多分1.3～1.4倍上がってきて、500kmに届く格好になっている。だから、電池技術で270～280ぐらいのエネルギー密度で車の軽量化ができると、材料として500kmに届くだろうということは、そんなむちゃくちゃな話ではないと思われる。

最後に、ガリウムナイトライドの話をする。今、三菱化学では、無機材料の中でガリウムナイトライドという結晶材料のビジネスを展開しようとしている。つまり、白熱電球のエネルギーをもっと下げて、効率を半分ほど上げた電池用のLEDの開発をやっているのだ。今、ガリウムナイトライドの結晶の欠陥をいかに落として、きれいな結晶を作っていくかという競争になっているが、ほかにコストの競争もある。現在は、照明用、あるいはブルーレイのレーザー用、発信用などのところまで技術レベルでは来ているが、これがインバーター用に来るには、もう一けたか二けたぐらい結晶欠陥を減らさなければいけない。

これが車に使われると、インバーターの効率が3%上がり、フェルエフィシエンスが10%ぐらい上がると言われている。また、インバーターのボリュウムが8分の1ぐらいになっていって、いろいろなスペースが出てくる。また、耐熱性が非常に高いインバーターになっていくと、クーリングが要らないなどでエネルギーが収縮できる。従って、こういう周辺のいろいろな技術開発の中で、かなり電気自動車の可能性はあると思っている。

しかし、電気自動車で一生懸命やっけていても、その電気の充電のシステム、あるいは、500km 走ってもそれを充電する仕組み、社会のインフラ、あるいは充電する電気のエネルギー源をどこから持ってくるのかということまで考えないと、本来の炭酸ガスの削減にならない。従って、三菱化学では今、太陽電池の技術を始めたいと思っており、それと組み合わせて、いろいろな社会インフラなどができたら面白いなと思っているところだ。

#### 質問-----

(東工大：伊原) 我々は炭素循環エネルギー研究センターで、主に燃料電池の観点から電気自動車を見ており、太陽電池についても少し研究している。山本社長は、まだ高容量化やエネルギー密度化が必要だとおっしゃって、塚本さんは技術的なところは割とクリアしているというお話だった。CO2削減までの規模を持たせようとしたときに、一体今のテクノロジーで十分なのかについて、もしかしたらお二人が対立しているのか、それとも規模によって分けられているのか。

(山本) 要するに世の中のカルチャーを全部変えていくところまでやろうとする話だが、技術的には多分、1日に200km以上乗る人はそんなに数がないはずで、100kmでほとんどカバーしてしまうと思う。

(塚本) 私の会社で提案している電池システムは、理想的なトランスポーター用電池ではない。マーケットが無いので今は誰も投資しないが、まず、今あるものでマーケットが出来て、マーケットが伸びていくことが分かれば、みんな投資すると思う。そのためのアプローチである。全然対立した話ではない。

(産総研：辰巳) 電池の技術を応用した自動車には多分大きなハードルが二つか三つぐらいあるだろう。例えば、塚本さんはコストの観点に中心を置いてどう開発していくかというビジョンを示されたり、山本社長はどう踏み込むかという性能の話がされたと思っている。

(塚本) 実際に電池で車が走って、事故を起こしたり、燃えたり、高速道路の途中で止まったり、サービスの問題が出たり、シリアスな問題が出たり、色々な問題が出てこないと何が理想なのか分からない。だから、とにかく車を動かし始めるということが私は今一番大事だと思っている。

(山口) 話題を変えて、今度は通信インフラのことを論じたい。私見であるが、1989年にCERNのティム・バーナーズ・リーがHTMLを発明して、ウェブという新しいパラダイム破壊を起こして以来、情報通信は何も進歩していないと思う。この15年間、物性物理や量子エレクトロニクスの世界ではパラダイム破壊型のイノベーションが起きたが、日本の情報通信分野の人はそれを知ることもなく、トリビアルな研究をやっている新しい独創を生もうとしていないかのようだ。この

Provocation に対して森川さんに反論していただきたい。

『感じるクルマ』—ユビキタスの立場から—

森川 博之

東京大学先端科学技術研究センター教授

ユビキタスという言葉は、一般的には「いつでも、どこでも、誰とでも」という意味で使われているが、私たちは、物理環境や仮想環境やインタラクションする点が今のインターネットと大きく違うところだと認識している。すなわち、インターネットでは仮想空間の中ですべてのサービスがクラウドに提供されていたが、センサーやアクチュエータが実世界にばらまかれると、いろいろと新しい使い方が出てくるだろう。

それで、我々としては、モバイルからユビキタスへということで、四つのステップを考えている。携帯電話がすべてIP化されるのが第一ステップ。これはやればできるレベルに入ってきているので、恐らくどこかのタイミングで電話も定額制になるだろう。複数の無線アクセス(第二世代の携帯電話、第三世代の携帯電話、無線LAN、WiMAX、PHS、DSRC等)をシームレスに使い分けられるようになるのが第二ステップ。いろいろな端末が我々の周りに遍在し、デバイス間がお互いに通信し合うのが第三ステップ。様々な端末の周りに、さらにセンサーやアクチュエータなどが埋め込まれるのが最終ステップで、これが真のユビキタスとなる。

この最終ステップだが、実は現在でも多くの携帯にはセンサーが搭載されている。そこで、我々の研究室でも学生に24時間、携帯加速度センサーを持たせて、学生の行動情報を把握する実験を進めている。加速度センサーを用いるだけで、その人が立っているか、座っているか、歩いているか、うろうろしているかが大体分かる。これを研究室では「POP」、プライバシー・ゼロ・プロジェクトと言っている。

O'Reillyが今から数年前、Web2.0として、ユーザーによる情報の自由な整理(Flicker、はてな)、リッチなユーザー体験(Gmail、Google Maps)、ユーザーの貢献(Amazon)、ロングテール(Google、アドセンス)、ユーザーの参加(ブログ、SNS)、信頼されるコンテンツ、分散ネットワークなどを定義したが、私はWeb2.0には次の二つが重要であると考えている。一つはYouTubeのようにコンテンツを集める機構で、とにかくユーザーが作ったコンテンツを簡単に集められる機構を作った者勝ちということだ。もう一つは個人情報を集めて利用する機構で、この一環でPOPなどをやっている。例えばGooglezonというGoogleとAmazonが合併した仮想会社があるが、これがビッグブラザーになる可能性が十分ある。つまり、Googleは検索のキーワードでユーザーの好み(将来の志向)を、Amazonは購入履歴を集めることによって今までの過去の履歴がすべて取れる。それによってGooglezonは、個人情報の過去から未来のすべての情報が集められる会社になるということだ。研究室の学生もほとんどGmailを使っているが、GmailによりGoogleは個人個人のメールの内容を集めることができる。I agreeというボタンを押すことで、Googleが情報を集めることに同意している。また、IMMIというア

アメリカのスタートアップが携帯電話を使って視聴率調査をしようとしている。携帯電話を無料で配り、その代わり 30 秒のうち 5 秒間だけマイクをオンにして、携帯電話の周りの音をサーバーに集めるというモデルで、それによって視聴率調査をするというものだ。そういった観点を車に適用すると、私たちは、車を「感じる車」にしたいということになる。我々から見ると車とはすごく素晴らしいフィールドで、電源の制約もそれほどなく、新しい物を埋め込むスペースもたくさんありそうに思われるのだ。

このような観点から我々は、秋葉原にセンサーをばらまいて、プライバシーゼロ、あるいは地震の時のビルの揺れなどの情報を集めつつある。今のところは、情報を集めてその先で何ができるか分からないが、Google などとはとにかく集めているということで、集めることがまず重要なのではないか。例えば実空間情報のために世界にセンサーがばらまかれると、そのセンサー情報から何かしら意味のある情報がコンテキスト抽出プラットフォームで抽出されて、ネットワーク上を流通する。複数のいろいろなデータベースに集められたものをマッシュアップして、危険察知やコミュニティー支援やメタボリックなど、いろいろな形で使っていこうという一連の流れができるかもしれない。

また、安心・安全系のアプリケーションはこれからますます重要になっていくと思うので、ぜひ車を中心にこういうものが出来ないかと考えている。さらに、ICT と CO2 削減の関係も考えていかなければならない。1 つのアプローチは、ICT 機器の消費電力を下げることだ。家庭内のブロードバンドルーターが 24 時間オンというのはもったいない。このような観点からも新しいネットワークを考えていかなければならない。また、システム全体を考えた別のアプローチもある。例えば、CO2 排出量をビット単価でトレードオフできるグリーンコマースやデータセンターを自然エネルギーが豊富な場所に配置するグリーングリッドなどもあり得る。また、交通システム、eヘルス、eラーニングも考えられる。

1853 年に電信が発明された時の新聞記事では「電信というものは現代社会における完璧な発明である。これ以上素晴らしい物を考えることはできない。次世代に残されたものはほとんどない」と言い切っている。しかしながら実際には 20 年後には電話が発明され、50 年後には空も飛べるようになった。従って、これから、「取る、つなぐ、ためる、使う」の「使う」ところで、やはりぶっ飛んだことをうまく考えて、そこからそれぞれの技術に落とし込んでいくことをやっていきたい。

#### ランチオン・ディスカッション-----

(山口) 燃料電池の話をとくに話題にしなかったので、ランチオン・ディスカッションの最初にまず燃料電池について有識者からコメントをいただきたい。とくに高分子膜や触媒技術が遅れていて、けっきょくエタノールを改質して水素を発生させるというシナリオが困難になり高圧水素に回帰している現状は、技術として筋が悪い。ブレークスルーはありうるのか。専門家の意見を聞きたい。

(塚本) 高温型のセラミックスの燃料電池には興味があるが、使い方としてはオンボードチャージャーというイメージである。つまり、それが駆動するのではなくて、車を止めていようが、動かしていようが、小さな燃料電池がずっと電池を充電しているという形だ。

燃料電池のケミストリーとしては、20 年以上昔に自分がやった KOH 電解液が今でも使えるのではないかとずっと思っている。

(山本) 燃料電池に対する技術ブレークスルーと、社会インフラが整うまでの時間的な距離感と、電気自動車の材料やいろいろな役割に対しての現実感等、考えると実現までの距離に差があると感じている。燃料電池は相当いろいろな技術的なブレークスルーをしないといけないという感じだ。

(伊原) 私は実は固体高分子型の燃料電池ではなくて、固体酸化物型で非常に高分子型の燃料電池をずっとやっている。代表的なのはジルコニアの中に電気性質を作るものだが、これは CO の被毒がないというメリットを持っている。その点、固体高分子型というのは、CO の被毒と、もう一つは水素を燃料としなければいけないということで、水素の燃料効率の部分がどうしても逃げられないところがある。しかし、固体高分子型の高温型は高温でやるので CO の被毒がないということと、炭化水素をダイレクトに水蒸気改質を多少すればいいということで、ポテンシャルとしては、将来、固体高分子型よりも少し先、もしかしたら燃料電気自動車の最終形にあるような位置付けかなと思っている。

(日立ピークルエナジー：堀場) 現在はリチウムイオン電池を担当しているが、会社入って 30 年以上、ほとんどあらゆる種類の電池の研究開発に携わってきた。その中で比較してみると、やはり、燃料電池は従来はエネルギー密度というか、出力密度が低いと思っていたが、固体高分子型、いわゆる P E F C の出現によって出力密度を上げられるということが分かっている。

しかし、やはり白金を使うということが致命的な問題点で、大量普及すべき自動車にというのはやはり難しいかなというのが、現実的に直面しているエンジニアからの感想である。今日たまたま新聞を見ると、ダイハツがヒドラジン空気燃料電池の開発をまた一生懸命進められているという話が出ていた。それが出来ると、アルカリ型の燃料電池と一緒に、液体燃料なので、水素をボンベで高圧充てんするという問題からはフリーになるだろう。また、白金を使わなくてもよくなるが、問題は空気による\*混炭\*で、酸素ではなく CO2 を遮へいするような膜や技術が開発できれば使えるかもしれない。

ただし、ああいう液体と気体、液層と気層の微妙なバランスは寿命を持っているということを考えると、山本社長のプレゼンにあった究極の電池という形でのリチウムと酸素はどうかと。しかし、これもある意味では空気を使う燃料電池と同じような課題があるわけで、その辺に将来の材料のブレークスルーが期待できるのかなと。いわゆる空気電池、空気リチウムかも

しれないし、空気を使った燃料電池かもしれない。そういう物が出来れば、飛躍的に高性能、高燃費の電池が実現できるという期待はあると思う。

(京セラ：西口) 京セラでは固体酸化物型の燃料電池をやっている。もともとセラミックスというのはもう15～16年研究開発を続けていて、現在は家庭用の据え置き型を既に数十軒ぐらいのモニターの所に設置させてもらって、現在、モニタリングテストさせてもらっている。

固体酸化物型はある意味で非常にシンプルだと思う。燃焼度が現在720～730ぐらいのところをやっているが、これは600度台ぐらいまで下がることは間違いないと思う。それだと、プロパンも都市ガスも、重油もそれで使えるようになるだろう。また、水素を別に作っておく必要はないので、それだけインフラも楽になるだろうと思うし、車にも可能性があるなど思っている。やはり重量の関係で、もう少し効率が高くなければならないとは聞かすが、しかし可能性も十分持っていると思う。

(塚本) 燃料電池の問題点は、電極が高いということと、出力密度を上げられないということと、燃料である水素をどうやって持ち運ぶするのだということだ。しかし、オンボードチャージャーという考え方をすると、EHVではなくてEV用にコンセントにつないで車を充電するなどということはユーザーとしてやめたい。従って、燃料電池に入れると、いつでも勝手に充電しているということが目標となる。チャージャーにすると出力密度を上げる必要はなくなるのだ。

水素をどうやって持ってくるかは、アメリカの地図を見ると、オイルのパイプラインと同時にアンモニアのパイプラインもある。アンモニアはどこでもあるので、アンモニアをブラックして水素を作るという。これは小さな装置で簡単にできるので、アンモニアを充てんしてやったらどうかと思う。ちなみに、アンモニアは毒性も非常に低い。従って、アンモニアのアルカリ水溶液のオンボードチャージャーでできるのではないかと思ったりしている。

(産総研：長谷川) 我々は固体高分子型の燃料電池だけで研究をしている研究センターだが、病んでいるといった言葉はやめて、まだ育ってないと言ってほしい。燃料電池が自動車会社と組み合わせたというのが非常にラッキーだったし、アンラッキーでもあった。ラッキーだったという意味は、最近のシンポジウムの中で、システムに優しい材料を作ってくださいと自動車のシステム屋が言う。今はまだ材料が不足しているので、材料の欠点を補うためにシステムはいろいろな工夫をしている。特に今の自動車システムは電子デバイスとして非常にいい制御権を持っているので、一所懸命制御して使い切っているのだが、システム側がコストを下げていくためには、システムはもう少しシンプルにならなければいけない。そのためには材料が頑張らなければならない。その裏には、多分、自動車会社が、材料屋というのは多分、錬金術師で、いろいろ注文を言うていくと、ぱっと箱が開いて何か面白いものが出てくるだろう

という期待感の部分もあると思っている。

一方でアンハッピーだった部分は、自動車会社は燃料電池自動車を造るのがものすごく上手で、燃料電池の製造がまだ十分でもないにもかかわらず、自動車として完成度の高い物を造ってしまった。それが今の相場の中での距離感だと思っている。しかし、着実に現場では材料開発が進んでいる。ただ、材料開発は時間軸が自動車会社および社会が思っているより長いかもしれないが、病んでいるという言葉は適当ではない。

やはり一番の問題は、車を捨てることも含めて、水素をどうやってCO<sub>2</sub>を少なく取り出すかということと、車をいかにCO<sub>2</sub>を出さずにうまく捨てて、燃料電池自動車に換えるかだ。自動車会社でできないのはエネルギーを取り込んでくる部分だけなので、そのリンクが大切だと思っている。

(山口) ここで燃料電池の話から離れて、林さんの「液体窒素自動車」について、皆さんからご意見をいただきたい。

(トヨタ：大木島) 我々は、水素にしてもニッケルにしても二次エネルギーだという言い方をしている。結局、エネルギーを取り込んでから変換するのが自動車の部分だが、液体窒素をどうやって持ってくるのかということところが問題だ。どの程度のエネルギーをそこで使うか、そのエネルギーのほとんどは化石燃料か何かということまで考えないと、結局、脱石油、CO<sub>2</sub>の問題は解決しない。

リニューアブルエネルギーで電気、水素、アンモニアなどがあるのであれば、それを受け入れてエネルギーを変換するデバイスを我々は作ろうと思う。もし液体水素が非常に安価に、なおかつエネルギーが少なく出来るのであれば、当然、そういう取り組みもしなければいけないと思う。例えばEHVは普通のガソリン車と比べ、ハイブリッド車の方が絶対にエネルギー的にもCO<sub>2</sub>的にもいいと我々は言える。ただ、EHVになると、例えばフランスのように原子力発電がメインなところはいいが、今の中国は石炭発電が主なので、ガソリンハイブリッドよりもCO<sub>2</sub>を出すことになるという試算もある。従って、エネルギー源は何かやはり気になるところである。

(辰巳) 先ほどの林さんのお話だと、液体窒素の気化熱をためて利用するということになると思う。液体窒素の気化熱を計算すると、恐らくガソリンの持っている発熱の100分の1程度しかないので、ガソリンは一次エネルギーで、電気にしろ水素にしろ、液体窒素にしろ、それは二次エネルギーになってくると思う。また、ためやすさ、体積効率という意味で言うと、それは100倍ぐらいになってしまう。

もう一つ、先ほどのお話だと、Well-to-tankと言うか、液体窒素を車に持っていくところで効率が37%ということになってしまったということだった。今のガソリンの持っているWell-to-tankの効率は多分90を超えている。従って、どのエネルギーを使うかは二つ意味があると思う。一つはユーザーに対する利便性、もう一つは、それを使うことによってトータルのCO<sub>2</sub>が増えるのか減るのかということだ。

もう一つ、電気について見ると、一次ソースはポータル

オがかなりいろいろ選べるので、CO<sub>2</sub>を減らす可能性があるだろう。ただ、燃料電池の使い方は、電気エネルギーがトランスファーするときに、かなり薄いエネルギーだということがあると思う。例えば、ガソリンなどを熱量で計算すると、多分数千キロワットのエネルギーをチャージすることになるが、これは一般人がすぐ扱うようなものになるかどうかだ。

先ほどの林さんのお話で生熱を使うということと言うと、やはりエネルギー密度の問題、それから、一次エネルギーをどう持ってくるにしても、効率の問題。しかも定温で保持していくことの技術的な課題をいうことも加味する必要があると拝聴した。

(塚本) 液体窒素の方はよく分からないが、圧縮空気のものゝ車ゝ止まるときの運動エネルギーを機械的なエネルギーに変えるデバイスとしては非常にいいと思う。ただ、止まる時に出てくる電流を全部電池が受け入れられるかということ、それこそいろいろなイノベーションが必要となる。今すぐならハイドロリンクなポンプを積んで、止まる時に全部圧縮して、その後、発進する時にちょっとその圧力を使って、後はずっと電池を充電すると、全体のエネルギー密度は上がるのではないかという気がした。

あと、PHVは本当にCO<sub>2</sub>が減るのかという話は、夜間電力の平準化をするという趣旨から言うと、やはり減るのではないか。石炭なら夜は止めるのか。

(山口) 例えば液体窒素だと不活性ガスだからそういう話になったわけで、それをメタンに換えると、メタンは沸点が-169℃なので同じことができ、かつ燃料電池とのハイブリッドで高効率のエンジンができる。さまざまな分野の人間が、本質まで下りてブレンストーミングをする場を作って、もっと深く議論すべきだという気がした。

(伊原) 熱力学的にいうと、もともと窒素は化学的に安定なわけなので、仕事を加えて液体にすることになる。これは成立しないと思う。ただ、唯一成立しうるのは、その仕事を自然エネルギーや排熱など、別のところから持ってきた場合には、効率が低かったとしてもCO<sub>2</sub>の削減には貢献し得るところになると思うので、その辺を少し検討いただけると、もしかしたら一つ使える技術にもなっていくかもしれない。

(林) 現実的な話としては窒素の値段はアメリカではあってないぐらいで、大体20円とか30円ぐらいの感じだ。日本ならその3倍ぐらいするが、かなり捨てているのが現状だ。だから、需要が増えるともっと下がる。ただし、それは値段だけの話で、それまでに第一次エネルギーをどのぐらい使ったかを押さえないといけない。今の効率をもう少し上げていけば、結構、今のガソリン自動車とコンパネ以上なものになるという計算はある程度したが、第一エネルギーがどこまで窒素を作るために必要かという最終的なところは確認できていない。

私としては、液体窒素よりも圧縮空気自動車の方がより可能性があると思っている。ただ、大学でやる研究では、今までピ

ストンでやってなかったので、ピストンを使った液体窒素だと、かなり面白い結果になるかもしれない。というのは、ピストンで圧縮して温度が上がるので、そういうところに入れてやって膨張させると、タービンのな使い方より、もっといい効率で動力が得られるのではないかと思うからだ。

(伊原) それを作る際には必ず仕事を加えていて、その仕事分が燃料のエネルギーになっている。その上でエネルギー変化で100%というのはリアルにはあり得ないので、変換を幾つか繰り返せば繰り返すほど落ちてしまう。従って、そここのところに今まで使っていない自然エネルギーを入れることができれば、それはCO<sub>2</sub>対策として成立し得る。やはりそれがないと、今の状況ではいくら効率が上がっても駄目なのかなという感じだ。

(林) 私の最初の立場は、まず、その辺のところを無視した形で、実際、どの程度まで走るのかというスタートだ。ただ、多分これから効率上げて改良はできると思う。ただ、おっしゃるように、違う方法でのエネルギー摂取は必要だと思う。

(山口) それから、ここでは一次エネルギーにかかわる技術課題の議論を混在させるべきではない。以下、前提として、一次エネルギーとしては、ベストミックスが成立しているという境界条件で議論を進めたいと思う。

(トヨタ：石川) 電池でも燃料電池も効率でも何でも、結局、何のエネルギーを持ってくるのというところにリンクする話を持っていくのか。それとも、本当に我々が使うべきエネルギーはこれで、それを使うためにはどういうシステムでという一つのストーリーを描くことをここでやるのか。

(山口) 一次エネルギーにかかわる議論は、セッション1でやっている。ここでは自動車交通という観点において、どういうトランスポートシステムが一番望ましいのかを議論したい。私はやはり、最も究極的なエンジンはオットーサイクルではあり得ないと思うが、いかがだろうか。

(西口) オットーサイクルであり得ないという山口さんの考えに対して、実際に車をやっておられる方々のご意見を聞きたい。

(石川) ガソリンエンジン自身はエネルギー密度が非常に高いので、今はそういう形で商品化している。ただ、今後は脱石油を考えなければいけないとは思っている。ただ、車側から言うと、「どういふエネルギーデバイスが最適か」と言われても、車にも小さい車から大きい車、たくさんある。それらによって最適なエネルギーデバイスは変わってくるという気がしている。例えば電気で走るとか、先ほどの空気エンジンというのも、今の軽よりもっと小さいエリアを考えると、あり得るかもしれないとは思っている。



(山口) では、通信インフラの話題に移りたい。森川さんのお話についてコメントをいただきたい。

(長谷川) ここで議論するのは車ありきで、車以外のトランスポートーションは考えないでやっているということだ。実際にどういう車が必要なのか、最適なトランスポートーションはどうあるべきか。森川さんは「ユビキタス」とおっしゃったが、トランスポートーションのユビキタスというのは何なのか、全体を考えると非常に必要な議論だろう。そういう戦略の中でどういう交通インフラを作っていくのかがいいのかという議論がないと、自動車だけものすごく効率化して、例えば、一遍チャージしたら 1000km 走れる車がいいのかということ、そんな必要は全然ないと思う。

(文部科学省：岩瀬) さらに、その一步手前に、いろいろな産業や都市の再配置の問題もある。エネルギーだけではなく資源の循環という面から考えても、どんどん資源を一方方向に集めてくるという、そんな長距離で輸送し続けること自体が文明として成り立つのか。

(長谷川) 電池を平準化に使うというお考えは素晴らしいなどと思った。去年の秋にローマに行った時に、ローマ大学の連中が燃料電池自動車面白いことを考えていた。効率が良いのなら、とことん使い切ろうと。燃料電池自動車もEVもプラットフォームを作ってやれば、上が簡単に替えられる。ローマ大学のコンセプトは現実にはキャビンが替わるのだ。従って、通勤時は家族も乗せて走れる車になり、昼間、通勤が終わると、それが軽トラックになって物流に使われる。夕方になるとマイクロバスのような形になって、もう少し人数が乗せられる。最後はマイカーになって人が乗って帰るというコンセプトだ。

(伊原) 多分、交通システムとしていいのは、画面上に仮想空間のベクトルがあって、どういうふう全体として群として動かすのかが分かるものだ。ただ、その障害は、もしかしたら極めて人間的な、それを人が好むのか好まないのかという問題が最もシビアで、しかも本質的なところではないかと思う。

(東大：森川) それはおっしゃるとおりで、一般的に文系の方から技術屋は駄目だよねとよく言われてしまう。ただ、皆さんが「あまり必要ないかも」と当初思ったものの中に、結構使われているものも多い。携帯電話やビデオデッキレコーダーも最初は皆「あまり必要ない」と考える人がほとんどだった。そのため、何かを開発するのに必要なことは強い「想い」だと思っている。

(伊原) なぜ嫌だなど思ったかには、情報がそれだけに使われないのではないかというセキュリティの問題が一つある。恐らくこれが技術的な観点では鍵を握るのではないか。

(トヨタ：天野) 今の話題は、レクサス店で「お客さま、いらっしゃいませ」を入れたということだが、あれは私が入れ

せた。あれで目指したのは、車をご購入いただいたときに、ETCのID番号をお客さまのご了解をいただいて登録し、サービスレベルを上げて、高級ホテルで常連のお客さまに、「何とか様」というサービスを提供しようということだった。

ただ、ご指摘はごもっともだと思った。交通を考えたときに、物を運ぶのは起点から終点までいかに効率的に運ぶか、運び方も合理性で追究して決めていけばいいことだろうと思う。ただ、人となると、目的にもよるが、結局、車をやめて公共交通に乗るにしろ、こういう車にするにしろ、利便性や情緒的なことなどを含め、その方が欲するような仕組みを考えていけると、結局普及しないということではなかろうか。

(山口) では最後に、渡邊さんから Sustainable な社会の構築に向けて、自動車会社の取り組みについてお話を伺いたい。

「Toward the Realization of Sustainable Mobility」

渡邊 浩之

トヨタ自動車株式会社技監

米・鉱山局は、中央値で 2037 年、最悪の場合は 2026 年がオイルピークになると言っている。また、去年シェルのファンデルフェールと話した時に、彼は「25 年までに世界のエネルギー需要は倍増する、そのときにイージーオイルは枯渇して、ハードオイルになる」という言い方をしていた。要するに、炭素成分の多いものばかりになって、CO<sub>2</sub>の削減がままならぬだろうということだ。また、今年に入ってIAEは10X年にオイルピークが来ると言っている。1年ごとに10年ずつ早くなっていくという大変な状況だ。

バイオ燃料は我々がよく検討しなければならない技術だと思うが、農業やごみから出るバイオエタノールを全部足し合わせると19EJとなる。ほかに森の中の間伐などを含めて2%ぐらいなら使えるだろうというので計算すると、これも19EJで、合わせると38EJとなる。車が全部で使っているエネルギーは現状で65EJで、将来は150ぐらいまで上がると考えられているので、バイオでやろうと思うと限度があることになる。

一方、スマトラの自然林はプランテーションでどんどん消滅しており、2010年には全部消滅すると言われている。バイオをやるのなら、原生地をちゃんとトレースできるようにして、認証制度などをきっちり作らないと、スマトラのような状況が世界各地で起こってしまう。

我々がやることは案外単純で、車の燃料を電気でやることだが、問題はこの電気をどうやって作るかだ。一次エネルギーの話もすべきだと思うが、ほかの部屋で議論されているというので安心した。私の問題提起は、もし車を全部電気自動車にして発電所からの電気で動かしたとすると、原子力発電の設備が1万5000基から2万基ぐらい要するという事だ。そんなことはできないと私も思うが、それに代わる技術なり、サイエンス、シーズを人類は持っているのだろうか。

これからの車は電動、ハイブリッド化する。それはプラグインハイブリッドであり、フューエルセルハイブリッドであり、

電気自動車である。また、電気自動車もバッテリーとグリッドからエネルギーを取るというハイブリッドになる可能性もある。また、ユビキタス化するだろう。それから、電動化するということは、大変制御しやすいということなので、自動運転の方向に行く。要するにロボット化するということだ。

レクサスのハイブリッドは、6リッタークラスの車よりは早く走って燃費が3リッターぐらいであり、しかも電動なので、大変スムーズに走る。皆さんの議論の中で一つ抜けているのは、ダイナミックレンジ、要するに止まっているところから加速して、ものすごくパワーの要るところまでどのぐらい早く到達できるかだ。車にはエネルギー変換技術は使えないが、このハイブリッド化によって、その性能が相当高まったと言える。

プラグインハイブリッドがCO<sub>2</sub>のリダクションにどのぐらい使えるかという点、プリウスを1とすると、日本ではCO<sub>2</sub>は13～15%ぐらい下がるが、アメリカやイギリスでは下がらない。フランスでは50%ぐらい下がる。これは、電力ミックスがどういう構成になっているかで決まってくるのだ。

先ほどバッテリーか燃料電池かという話があったが、この結論は、石川さんが「車はいろいろある」と言われたように、車によって燃料電池の方がいい場合もあるし、EVの方がいい場合もあると思う。我々は馬車のエンジンを替えて車を作った。まだ馬車の文化なのだ。ドア・トゥ・ドアで一つの物で一人で移動するし、家族でも移動するし、TPOなんて全くない。従って、私は車をそもそも従来概念で考える必要はないと思う。一人で乗るときは小さな車でいいし、ファミリーで行く場合にはワンボックスみたいな車でいい。さらに言えば、四輪でなくともセグウェイのようなものでもいいし、最終的にはロボット化して、手に持って運べるような車だってあり得る。そのエンジンについてはいろいろ多様なチョイスが生まれてくるのではないだろうか。

また、燃料電池で低温始動が凍結して駄目だという話があったが、技術的には-37℃でうまく作動するところまでいっている。また、連続走行距離の問題では、780kmまで走れるような車がもう出来ている。従って、燃料電池に関する問題は、水素をどう作るかということと、もう一つは部品を作るときのCO<sub>2</sub>の排出量が多いことだ。なぜCO<sub>2</sub>がそんなに出るかというと、まずメタンガスから水素を作る過程でCO<sub>2</sub>がたくさん出ることと、カーボンファイバーやアルミ部品などの生産プロセスで電気を使うからだ。

従って、電力の一次エネルギーはどうするのかという問題を解決しないと、この問題はなかなか解決できない、それは最終的には燃料電池のコストにかかわってくる。しかし、1000万円するようなバスやトラックなど長距離輸送のものには、燃料電池が大変適しているのではないかと考えている。

車の効率とは、言うまでもなく駆動力を導入したエネルギーで、ターン・トゥ・ホイールなのだが、エンジン屋は走行抵抗がいくら多くても知らん顔をする。要するに熱力学という縦割りの学問形態の中でこういうシステムが出てきているからだ。そもそも燃料でwell-to-tankはどうなっているという議論はアルゴンヌ・ナショナル・ラボとGMが一緒になって作っている。私はさらにそれに、そもそも移動とはある重さの物をど

のぐらいの速さで動かすのか、それにどのぐらいのエネルギーが必要なのかと。要するに少ないエネルギーでたくさんの物を速く運ばないと考えた。

そうすると、20kmが東京の平均時速なのに対し、タンドラをロサンゼルスで動かすとエネルギーが倍近くなるが、ロサンゼルスの町は34kmぐらいで移動できるので、東京を1としたときにロサンゼルスのピックアップのタンブラーは0.86ぐらいになって、そう差がないことになる。要するに車単体は良くとも、移動の性能が東京はあまり良くないということだ。それを7倍の交通社会に変えてやろうと思うと、1200kgぐらいのカローラで家族で郊外走行する。町中に行くときには300kgぐらいのもっと手軽な車にする。あるいは30名ぐらい乗る大形バスかトラムにする。あるいは2km以内なら自転車か徒歩。こういういろいろな組み合わせの交通社会を作る必要があるということになってくる。

従って、我々がやるべきことは、エネルギー消費量の少ない色々な技術革新をすることで、軽量化、自動運転、プラトン運転、プラグインハイブリッド等々を目指すことである。また、町の形を変える、ITSを入れる、TDM、通勤をマイカーからバスや電車に替える。こういう運動をやるべきである。さらに、いろいろな移動手段を最適に組み合わせて移動する交通社会を作るべきだと思っている。

そこで、日本の22社の民間企業が集まって、政府にいろいろな提言をする組織として産業競争力懇談会を作り、CO<sub>2</sub>を半減し、増えた交通事故をゼロに持っていきにはどうしたらいいかというプロジェクトを開始した。この中身は、一つは都市交通をどうするか(CO<sub>2</sub>削減)、もう一つは物流の改革である。現在、日本の物流はトラック輸送でアメリカの大体2.5倍、鉄道では7倍のコストがかかっているのだ。

そのやり方は、今までの単品の技術革新では駄目なので、次の五つを同時進行させようということである。①インフラを変える、②ITSのような新しい技術を入れる、③車自身を変える、④市民および企業の自主活動をやる、それに⑤政策あるいは規制の変更を同時進行させるということである。これを2020年までにモデル都市で実証実験を3回、回してやってみる。モデル都市同士でこのコンペティションをやったらどうかと思っている。

例えば、Pre-crash Safety Systemでは、車がぶつかろうとするとスタンバイでシートベルトのたるみが取れ、乗員がブレーキに足を乗せると、油圧が通常よりも急激に上がるようになっている。また、Lane keeping Assistというのは白線から逸脱しようとする、軽くハンドルに手応えがあるというものだ。また、Rader cruise controlは、例えば高速道路を80kmで走っているときに、前に車がいると、前の車と一定の車間距離で走るといったものだ。従って、縦方向の車の隊列走行の技術はもうあるのである。それに横方向を入れ、森川さんが言われた車車間通信を入れ、前の車のブレーキングの情報を後ろの車に与えてやれば、路面の摩擦係数を後ろの車は事前に知ることができ、追突しない車ができる。また、こういうものの組み合わせによって、プラトン走行が可能になる可能性もある。

## 質問とディスカッション-----

(JST/CRDS：岡山) 先ほどのご講演の中で、車がかばんの中に入るぐらいのことをおっしゃっていたが、私も昨年インドに行って、道路というインフラの限界を非常に感じた。色々なモビリティミックスを考えていく上で、車が必ず道路の上を走らなければいけないということではないと考えたときに、考えられる仕組み上の障害には何があるのか。

(トヨタ：渡邊) 私は、トランスポーターの世界で、単一の技術だけでイノベーションが起こるのは、プリウスが最後ではないかと思っている。例えばこういうプラットフォーム走行や自動運転などをやろうと思うと、まず、市民の共感と理解を得なければいけない。また、法律なども変えなければいけないし、ある程度インフラを変えなければいけないだろう。そうすると一挙にできないので、実証実験をやって、その情報を公開して、技術を高度化させながら市民に参加してもらって、理解を醸成していくことが必要だ。そういうことをやらないとイノベーションは起こらないのではないかと。要するに我々が今直面しているCO<sub>2</sub>の問題、エネルギーの問題などを解決しようとすると、複合イノベーションが必要だということだ。

(山口) 最も理想的なトランスポート手段は、昔から、道なき道を歩けるムカデだとされている。そういうものはトヨタでやられていないのか。

(渡邊) 人間が行ける所はどこでも行けるとというのが、多分ロボットだと思う。ロボットが人間の形をしている必要はない。ただ、機能を高度化して、人間がやるよううっかりミスなどはしない。あるいは年寄りの人、体の不自由な人をきちんとサポートするというものでないといけない。

(西口) やはり車の使い方をCO<sub>2</sub>という観点から見たときに、正しい使い方をしているのだろうかとかだんだん気が付くようになるのではないかと。アメリカのハイウェイなどでは、2人以上乗っている場合には左車線ですムーズに走るとある意味のインセンティブを与えている。また、ガソリンがこれ以上上がっていったときには、やはり車の使い方という部分で、本当に必要なときにだけ使おうとなるかもしれない。

(渡邊) カリフォルニアのカープールレーンは州が会社に、あなたの従業員の何名はカープールレーンを使ってくださいということを義務付けている。しかも最近は3人乗らないと駄目だというレーンもあるそうだ。そうすると、何時にどこに帰る、誰かいないかとサイトで募集して、ドライバーの個人的な責任であと2人集めるのだそうだ。

(山本) 日本の国内で発生している炭酸ガスの量はむしろ減ってきている。むしろ中国やインドをどう変えていくかが圧倒的に効く。一方で車のビジネスマーケットとして中国・インドはものすごく大きい。社会インフラも含め、そこでどういう車を設計していくかは、ここ10～20年はやはりものすごく

大きいのではないかと。

そう考えていくと、技術的に一番早いのは、やはりハイブリッドの自動車を持ち込むことだし、できれば電気自動車に近い物を持っていくことが早いのではないかと。それをいかにコストを安く普及させていくかが現実的ではないかと思う。

(渡邊) 全く同感である。我々はインドのバンガロールに工場を持っているが、今、現地はものすごい渋滞である。我々が工場を造る時にはそれほどでもなかった。I P C Cの議長のバチャウリと「どうしたらいいんだ」という話をしたときに、全く同じことを言われた。一つは、やはり先進国が歩んできた愚かなやり方を通り越して、我々は今こうありたいと思っているシステムを入れる。それがナントのようなやり方だ。二つ目は、大きな車がいいという欧米型の価値観から、小さくてもいいという価値観へ変えたいということだ。インドにはオート力車という小さな車があるが、あれをもっと環境にいい車にして、安全も変えなければいけない。そのパラダイムを作るのは相当難しいだろうが、アメリカだってGMが昔「小さいことはいいことだ」ということで一時FFに変えて、車を小さくした。だから、できないことはないと思う。日本も少しそういう傾向にあるから、軽自動車売れているのだ。

(塚本) 私はロサンゼルスで毎日通勤に1時間は車の中に居るが、出張などでは2～3時間は車に乗ってサンディエゴなどへ行く。ガソリンスタンドでガソリンを入れる時間をゼロ、あるいは、3分の1とか4分の1にせよと非常にありがたい。外なんて見えなくていい。とにかく電話とインターネットがあればいい。

(辰巳) エネルギーのCO<sub>2</sub>の排出削減をしようと思うと、いろいろなルートがある。ただ、やはり電動化というのか、電気エネルギーをどう入れていこうかというのが一つの流れかなと私も思う。従って、燃料電池などへ行く前に、まず電池がその中に入って行って、プラグインのように電気エネルギーをまずハイブリッドで先行させて、さらにバイオフェューエルという形で電気エネルギーを取りあえず取り入れるようにしていき、コストを下げ普及させることを考えていくべきだ。

(渡邊) 環境性能だけではなく、加速が良く、静かで、乗り心地はいいので、一度、電動化した車に乗ると、なかなか元には戻れないだろう。電気自動車(バッテリーカー)を造るにも、今の車のコンセプトで造ったのでは駄目である。多分リチウム空気電池ぐらいが出来ないと、500kmほどは走れない。しかし、車が今のような格好をしていて、500km走れないと駄目なのかどうか。車なんていろいろあるなど考えて車の概念を変えていけば、色々なありようがあると思う。

(オーガナイザー：丹羽) このG I E Sの場でこういう議論をされたのは、大きな意義があると思う。それで、この後のセッションでどういうメッセージをG I E Sとして出していく

か。そのために、さっきから出ているパラダイムを変えていくという方向で、メーカー、研究者コミュニティ、国など、いろいろなところで、特にグローバルなコラボレーションとか、そういう場を作っていく必要があると思う。何か、こういうきっかけから始めたらいいのではないかとこのころが少しでも、具体的なものが出ると非常にいいのではないか。

そういう意味で、渡邊さんの昨日のお話にあった「モビリティ 2030」に、何かきっかけになりそうなものがあるか。

(渡邊) 「モビリティ 2030」は 2004 年に W B C S D の中で議論したものだが、あれはその時点で完結している。しかし、その先をやはりやるべきだと思う。そういう意味では内閣府が社会還元活動プロジェクトでこの交通問題を取り上げているので、そこで交流は得られると思うが、これは国際的にやった方がいいと思う。

(山口) 実は GIES 2007 を去年の 6 月にやった時に、この大気汚染の問題を取り上げて、東アジアのアライアンス構想というのを渡邊さん中心に作っていただいた。従って、今回の議論を含めて、CO2 も含めた何かある種のアライアンスとか、コンソーシアムが出来るといいなという気がする。

(渡邊) 日本が勉強しようと思えば、ヨーロッパのナントやフライブルグなど、ああいう進んだ所と日本のハイテクと一緒にするような仕組みをお互いに議論するといい。

(山口) 基本的に、求められる場合は、最終的なアイデアを出す段階のインプットと実践の間の、いわば全体を共有する場である。ここはやはりオープンでインテグレートされた場でなくてはいけない。だから、例えばトヨタ、日産、ホンダなどの大企業だけのクローズドなシステムではなくて、もっと開かれた、こういういろいろな方々が参加をできる場を作って、それでコンセプトを作り上げて、知識を共有して、何かあるデファクトスタンダードを作るような。それから、最終的に V 2 G のような非常にぶっつんだビジネスモデルを作るようなものを私たちは多分これから作っていかねばいけないのだろう。今日は非常にわくわくするような議論ができた。ぜひともこの興奮を次につないでいきたい。