

特別講演

自動車の明日を拓く環境技術

—電気駆動システムの開発—

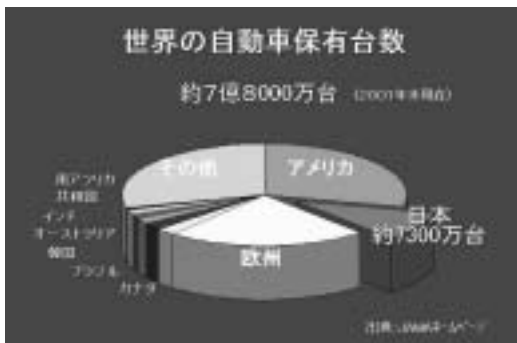
ポリテクセンター中部 所長 大川 正尋
(中部職業能力開発促進センター)

1. はじめに

本日は、「自動車の明日を拓く環境技術」というテーマをあげさせていただきましたが、私自身が関係してきた電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車などを中心にその原理、特徴、現在の開発状況についてお話しさせていただきます。

また、時間が許せば技術開発の中でいろいろ出てきている、最近の企業が抱えている課題と、それに対してどのようなことを対策として進めてきているかについても触れたいと思います。これから若い指導者を育てようとしてされている方、それから、私どものポリテクセンターでもそうですが、現実に企業人を相手にいろいろな教育をやられている現場の一線に立っておられる先生方に対しては、企業が抱える技術開発における課題の実態をお話しすることで何か参考になる部分があるのではないかと思います。

2. 自動車を取り巻く環境



これは自動車の保有台数です。ちょっと古いのですが、ここでは全世界で7億8,000万という数字が出

ていますがそろそろ8億に届くのではないかと思います。日本の保有台数は7,300万台となっていますが、最近の統計で見ますと7,700~7,800万台、もうしばらくすると8,000万台に届こうかというような数字になっています。このように普及が進むことにより、一方でさまざまな問題が出てきていまして、その代表的なものが排出ガス、地球温暖化、エネルギー需給、リサイクルなどの問題です。

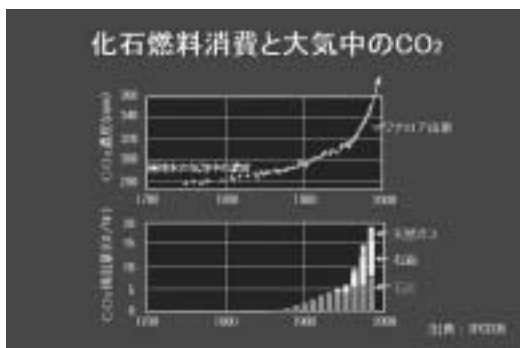


排出ガス問題は、車から排出する有害なNOx, HC, COの低減ですが、長期にわたる努力のなかで、相当クリーンな排気に改善ができてきていると思っています。一方、CO2については、長い間人体に無害な物質と考えられており、HCやCOの処理は無害なCO2に変えてクリーンにするというのが自動車メーカーだけでなく、広く大学や政府当局の考えであり、世界的にも共通の認識だったわけですが、しばらく前からこのCO2自身が実は地球温暖化の原因であり、悪玉であるということがわかり、正直なところ自動車メーカーは非常に大きなショックを受けたわけです。

このCO2は、エネルギーの消費量に比例して発生するためエネルギー問題ともリンクしているもので、

おそらくこれから当分の間、非常に大きな課題として残り続けるどころか、むしろ拡大するのではないかと考えています。皆さんはこれまでも、氷河が溶け始めたとかいろいろなことを聞かれていると思います。身近なところでは、日本の季候は10年前、20年前からみれば明らかに高温側にシフトしていますし、台風が多発というのは必ずしも今年に限った話ではなくて、よく天気予報を見ればおわかりのように、突然日本近海で台風が発生するというような状況も、顕著に地球温暖化の兆候を示しているように思われ、とても深刻な問題となっております。

3. CO₂削減に関する世界の動向



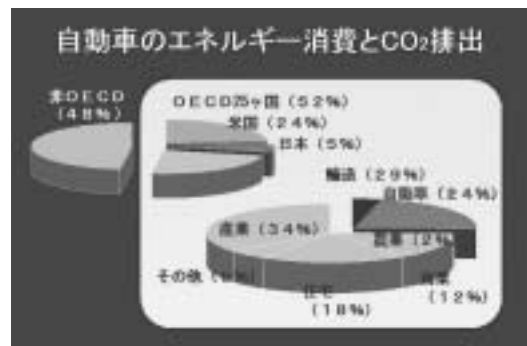
このようなデータは、皆さんもどこかで目にしたことがあると思いますがCO₂濃度を長期間にわたって観測した結果によると、19世紀までは緩やかな上昇であったCO₂濃度は、20世紀に入ると化石燃料の消費量の増加に伴って急激に増加をはじめ、21世紀になるとどこまで増え続けるのか想像もつかないという状況になってきています。

このCO₂をはじめとするいくつかの気体の増加が地球温暖化の原因となっていることが次第に解明され、1997年に京都で開かれた気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）において、日本が議長国とな

COP3の概要	
1. 会議の概要	
日程	1997年12月
場所	京都
2. 京都議定書の内容	
対象ガス	6種類 (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, 揮発性炭化水素、HFC, PFC, SF ₆)
削減率	①先進国全体で5.2% (日本 6%, 米国 7%, EU 8%) ②途上国は、途上国による削減義務はない
目標年	2008～2012年(平均)
基準年	CO ₂ , メタン、揮発性炭化水素: 1990年 HFC, PFC, SF ₆ : 1995年

り、温室効果ガス排出量削減の具体的な数値目標が、取り決められました。それによると、日本のCO₂排出量は、1990年の排出量を基準として、その6%の削減となっています。現在のCO₂排出量は、そのときに比べかなり増えていきますから、削減量は実際は6%ではなくて、かなり高い率の削減をしなければ目標達成はおぼつかなくなっています。達成目標時期は2008年から2012年と幅がありますが、これももう数年後に迫ってきています。最近新聞を見られた方の中には、ロシアが批准する、しないとか、日本が当面の達成をあきらめたとか、いろいろな議論がその時々で出ているのをお気づきの方もおられるかもしれませんが、その議定書の遵守ということをめぐる非常に大きな議論が出てきています。

4. 自動車におけるCO₂削減



この図はCO₂の総排出量に占める自動車からの排出量の割合を示したものです。それによると自動車からの排出量はCO₂総排出量のほぼ4分の1であることがわかります。この自動車が排出するCO₂の削減に対する世界の反応はさまざまです。



欧州はCO₂の削減に関して非常に敏感です。自動車における具体的なCO₂の削減策としては業界自主規制という形をとっていますが、実態は非常に厳し

いもので、欧州自動車工業会が強力に推進しており、各メーカーの車からの排出量の平均値を'09年に140g/km以下にすることが合意されています。相当の努力をしないと達成できない目標値ですが、こういうものをかなり早くから打ち出しています、日本の自動車工業会も欧州で販売する車に対し、この自主規制を守ることを約束しています。ただ、各社ごとに車種体系が異なりますので、大型車を中心に販売しているメーカーはなかなか達成が難しい、小型車主体のメーカーは頑張れば何とかできるという状況ですが、このことはヨーロッパメーカーでも事情は同じです。例えばこれまで大きな高級車を中心に作っていたドイツのB社は、最近日本にもぼつぼつ出てきていますが、小さな車を販売しはじめました。この動きもCO₂の自主規制への対応と無関係ではないと思われま

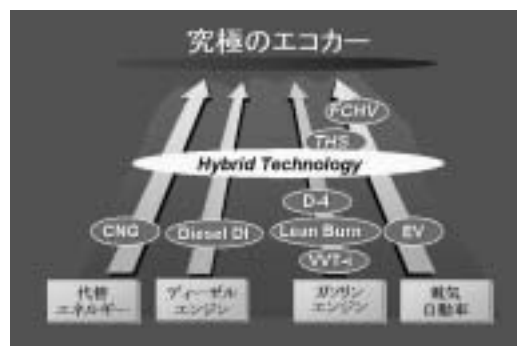
す。140g/kmはまだいいのですが、'12年にはこれが120g/kmに強化されることが決まっております、さらにこの先の値として80g/kmという数字も議論されはじめています。

それと対極的なのがアメリカです。ずっと経済性重視の立場をとっており、CO₂削減より経済性確保を優先させ、経済の見通しがつけば、CO₂削減を考えてもよいという立場です。ただ、カリフォルニア州は例外です。カリフォルニア州は昔から自動車の排出ガス規制等でいちばん先頭を切っていた州でして、この州議会がCO₂の削減法を可決したのです。CO₂というのはご承知のように、民生や産業活動からも大量に発生しており、空中に拡散されていきますから、1つの州で規制すればよいというものではなくて、国をあげて一斉に、しかもそれを世界中でやっていかなければ効果が得られないという性格のものでした。したがって1つの州がどうこうという話ではないのですが、カリフォルニア州だけはなぜか単独でCO₂削減をやろうとしているようです。あるいは環境に対するカリフォルニア州の姿勢を示したかったのかもしれませんが。

5. 究極のエコカーとは何か？

CO₂削減が緊急を要するものであることは、今で

は広く理解されてきていますが、それでは自動車分野では、CO₂削減のために、具体的にどのようなシステムが検討されているのかを説明いたします。



図に示しましたように、対策システムとしては、各種内燃機関の改良から全く新しいシステムまで、メーカーの検討対象はさまざまです。CO₂削減に対する各システムのもつポテンシャルはどうか？ 各国がこれらのシステムに対し、どのような見方をしているのか？ まず、その概略を見てみます。

5.1 内燃機関の改良

まずガソリン車の改良です。通常ガソリン車では、燃料と空気の混合比率を1対14ぐらいにしてエンジン内で燃焼させますが、例えばリンバーンと呼ばれるシステムでは空気量を倍ぐらいにして比率を1対25ぐらいにし、混合気を希薄にする。筒内に直接燃料を噴射するシステムではさらに空気量を増やし、1対50ぐらいにすることで高効率を実現しようとしています。このような希薄な雰囲気の中で燃焼を可能にして、それで同じだけのパワーを出して車を走らせることができれば、燃料消費量は格段に少なくなり、それはそのままCO₂の発生量を同じ割合で削減することになります。

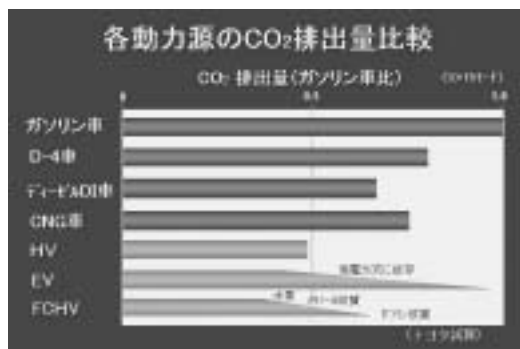
次にディーゼル車を見てみましょう。もともとディーゼルエンジンはガソリンエンジンに比べて燃焼効率がよく、点火装置も不要なためエンジン自体の耐久性も高いなど優れた性質があり、大型の商用車を中心に広く普及していますが、一方でNO_xや粒子状物質などの削減が難しいことから将来性を疑問視する声がありました。最近になってNO_xや粒子状物質の処理技術の進歩もあり、CO₂削減の有力システムの1つとして期待が高まっています。特に合理性

を重視する欧州でディーゼル車の期待が大きいのは、ハイブリッド自動車や燃料電池自動車に比べ、現状システムの改良ということで開発費も安くすみ、システムのコストアップも少なくすむのではないかと判断があるようです。

同じ内燃機関でも、燃料をかえることによって低公害システムを実現しようとする動きもあり、その代表例がCNG（Compressed Natural Gas）車です。CNG車ではガソリンエンジン技術がそのまま使えるという利点もあり、排出ガス処理の難しいディーゼル車に代わるシステムとして特に日本で注目されています。

これら内燃機関の改良システムに対し、モータ、インバータ、二次電池などからなる電気システムを新しい駆動システムとして用いることで、画期的な高効率を実現し、CO₂を削減しようとしているのが、これからお話しする電気自動車（EV：Electric Vehicle）、ハイブリッド自動車（HV：Hybrid Vehicle）および燃料電池自動車（FCV：Fuel Cell Vehicle）です。では、これらのシステムはどんな特長あるのでしょうか？

5.2 電気駆動システムのCO₂削減効果



この表はトヨタ自動車の試作によるもので、日本の自動車排出ガス試験で使用される10・15モード走行における、ガソリン車が排出するCO₂の量を1とした場合の、各動力源のCO₂排出量の比率を示したものです。これによるとCNG車、ディーゼル車を含めた内燃機関のCO₂削減量はガソリン車に比べて20～30%程度であるのに対し、電気駆動システムを用いた電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車では、燃料やシステム構成を上手に選ぶことに

より、CO₂の排出量を50%ないしはそれ以下に削減させる可能性があると考えられています。電気自動車、燃料電池自動車の排出量に幅が出ていますが、これはエネルギー源である電気の発電方式や燃料となる水素の生成方式の違いによるものです。例えば電気自動車であれば石炭火力を発電の中心に据えていればエミッションやCO₂の削減には不利になりますが、別の意味で議論の多い原子力発電も、CO₂の削減に関しては優れた発電方式となります。燃料電池についても太陽エネルギーを使って水を電気分解して水素を取り出せば、CO₂の発生なしに水素を手に入れられるということになりますので、非常に効率のいい数字が出てきます。ガソリンやメタノールを改質して水素を作り出すというシステムでは、改質のためにどうしてもエネルギーを使いますのでその分効率が落ちます。このように発電方式や水素の生成方式によって削減率に幅が出るものの、ガソリン車の排出量に比べて大体半分、あるいはそれ以下にCO₂を減らすことができるということで、各社かなりの力を入れてそれぞれ開発をしているということです。

5.3 電気駆動システムに対する各国の見方



このようにCO₂削減にいくつかの選択肢があるなかで各国はどのような考えをもって動いているのでしょうか？ その方向は当然ながら微妙に異なります。

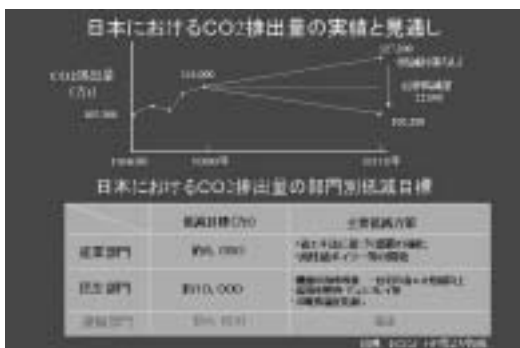
日本では、システムのコストや電池の寿命など当初は必ずしも十分とはいえなかった課題も解決されつつあり、ハイブリッド自動車も最近では実用車としてかなり認知されてきている一方で、すぐにも実用化するであろうと思われていた燃料電池技術が開発が進むにつれてそんなに簡単ではないということがわかってきて、一部で言われていたハイブリッド

自動車は燃料電池自動車実用化までのつなぎという考えは今では影をひそめ、ハイブリッド自動車は環境対応車の柱の1つとみなされつつあります。将来的には、燃料電池自動車が実用化されても、ハイブリッド自動車と燃料電池自動車は、当分の間共存する時期が続くのではないかと考えられます。

米国はどちらかというと、もう将来は燃料電池だといって燃料電池の開発に飛びつきました。これは、1つは燃料電池で有名なバラードという会社がカナダにありまして、アメリカとカナダは経済圏、物理的距離の両面からほとんど一体という事情もありますから、燃料電池ならバラードと組めばいいということも裏にはあったかと思われまます。しかし開発が進むにつれ、日本と同様一朝一夕ではいかぬことが次第に明らかになり、最近ではハイブリッド自動車も必要と言いだしています。

欧州は先ほど言いましたようにディーゼル一辺倒です。いけるところまでディーゼルでいこうと。しかし、ディーゼルで例えば、前述のCO₂排出自主規制値80g/kmになったとき、対応は大丈夫かという必ずしも自信がある訳ではなく、将来に対し燃料電池は必要と思っているようです。もう1つは、米国メーカーでも燃料電池の開発は、ヨーロッパでという例もあって、その影響もあり、将来的にはやはり燃料電池だとの考えは強いようです。ベンツが早々とバラードと共同の会社を立ち上げたりしているのもその証です。

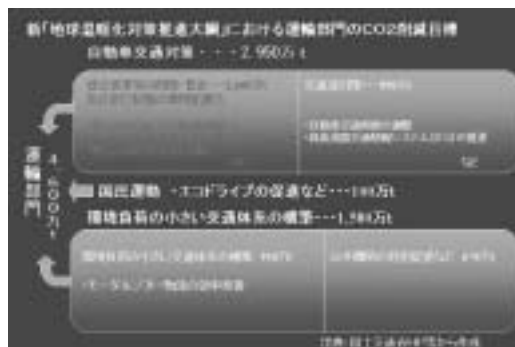
5.4 日本のCO₂削減計画



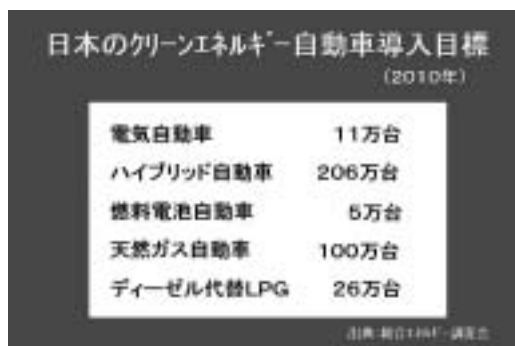
日本の自動車分野のCO₂削減計画

では、日本ではCO₂の計画はどうなっているのかということですが、1990年レベルにCO₂の発生を抑

えるためには、2010年には2億2,000万トンぐらいCO₂を減らしてやらなければいけない。これをどう分担していくのが議論の焦点となっていますが、現在は、産業部門、民生部門、運輸部門という3部門の中で分担し、運輸部門はそのうちの4,600万トン、全体の削減量に対してその約5分の1の削減を期待されているということです。



その内訳ですが、4,600万トンのうち3,000万トンぐらいが自動車交通対策、その3,000万トンのうち1,000万トンが、ITSの活用とか、交通流を改善するとか、実際に明確な効果が見積りにくいところに対してとりあえず割り付けてある。残りの2,000万トンぐらいが、クリーンエネルギー自動車とか低公害車とか呼ばれている新システムに期待をしまして、全体の半分ぐらいをこれで賄うという計算になっています。残りは、交通体系を変えていくとか、モデルシフトで例えば自動車輸送を鉄道などにシフトするとか、過去もいろいろ試みながらなかなかうまくいっていないところに期待せざるを得なくなっています。



日本における将来のエネルギー需給バランスの見通しについては総合エネルギー調査会が試算していますが、その算定のベースになっていると同時に普及の目標値にもなっているクリーンエネルギー自動

車、あるいは低公害車のなかで、大体2010年頃の目標時期に大規模な普及を期待されているのは、ハイブリッド自動車200万台、天然ガス（CNG）車100万台などです。注目されている燃料電池自動車は、結局2010年では5万台という小さな数字になっています。



ただ、資源エネルギー庁が出している燃料電池車の普及計画で見ますと、2010年の普及目標は確かに5万台なのですが、2020年には500万台という、たぶんに期待を含めた大きな数字が示されています。わずか十数年で500万台の保有にまで燃料電池自動車を普及させていくことは大変な努力が必要となります。しかし、こういうものに寄りかからないとエネルギーの需給バランスもおかしくなってしまう。実際はそんなことを言うまでもなく、今、原油価格はバレル当たりピークで大体50数ドルということで、安いときは20何ドルぐらいでしたから、約倍になったわけです。投機的な話があるというような話もありますし、いろいろなうわさが飛んでいます。現実には50数ドルになっているのは事実でして、エネルギーの需給バランスも大変な状況にきているということがいえると思います。

6. 電気駆動システムの現状と将来の普及見通し



いかに環境性能が優れていても、普及していかなければ環境改善にはつながりません。

新しいシステムの車が世の中に受け入れられる条件としては、まずだれにでも扱えるものであることが大前提となります。特別な技能が必要となると、ごく一部のしか扱えず、普及は限定的なものになります。

次に特別なインフラを必要としないことです。すでに現行の内燃機関の自動車が普及している社会では、燃料の供給や車両の整備などで特殊な条件が課せられるものの普及は望み薄です。また、大量普及を考えるほどリーズナブルなコスト（価格）が必須であることは論を待ちません。すなわち、だれでもが扱えること、特別なインフラを必要としない、そしてリーズナブルなコストの3項目が普及を考えるうえでの条件となります。

6.1 電気自動車

普及条件に対する電気自動車の現状
電気自動車の課題の大半は電池に起因

普及条件	現状評価	課題
払い戻し	△	<ul style="list-style-type: none"> 税制上の優遇 一次電池、二次電池の分別 性能上の優遇 （一次電池は自動車、二次電池は産業用）
インフラ	△	<ul style="list-style-type: none"> 新たな充電インフラの整備 （充電、出力）
コスト	×	<ul style="list-style-type: none"> 一次電池の製造コスト 二次電池の製造コスト 電動エアロダイナミクス

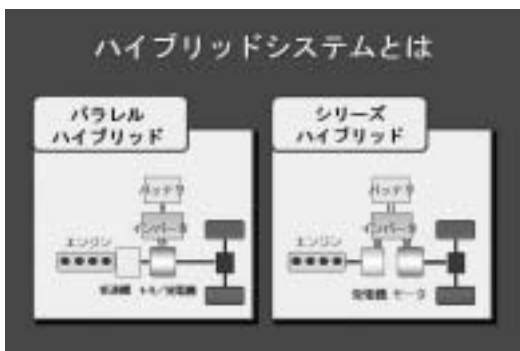
ではこの条件をもとに電気駆動を用いたクリーンエネルギー自動車の普及の将来性を見てみましょう。

まず、電気自動車ですが、開発の歴史は長いのですが電池性能やコストの課題が解決されず、いまだ普及には至っていません。したがって普及のキーとなるのは電池の開発につきるといえます。これまで普及の阻害要因といわれてきた電池のエネルギー密度が低いと一充電走行距離が短い、特別な充電インフラが必要、充電時間が長い、システムが高コストといった主要課題は、新型電池であるニッケル水素電池が実用化されても解決されたとはいえません。次世代電池といわれているリチウム電池の実用化にける期待は非常に大きいのですが、仮にリチウム電池が首尾よく実用化できたとしても、現状を

打破するには至らないというのが大方の予想です。思い切った低コスト超小型車にする、あるいは車を複数人で共同保有するカーシェアリングなどの仕組みの導入をはかるなどの提案はあるものの、大量普及にはまだ遠いと判断されます。

6.2 ハイブリッド自動車

ハイブリッドというのは複合というような意味で、一般に異なる2つの動力源、ここではエンジンシステムとモータシステムになりますが、この2つを組み合わせて、それぞれの特長を生かすことによりトータルシステムとして高効率を実現しようと考えられたものです。

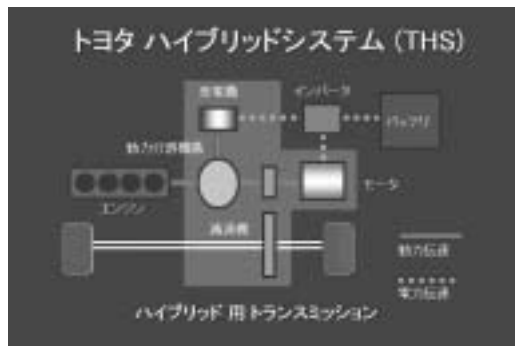


ハイブリッドシステムは、その基本構成の違いによって、パラレルシステムとシリーズシステムの2つに大別されます。シリーズシステムでは、エンジンはもっぱら発電機を駆動するために機能し、そこで発電された電力により駆動されるモータが車両を動かします。この場合、エンジン、発電機、モータ、タイヤといったドライブトレインが直列に構成されるため、シリーズ（すなわち直列）という言い方をしています。

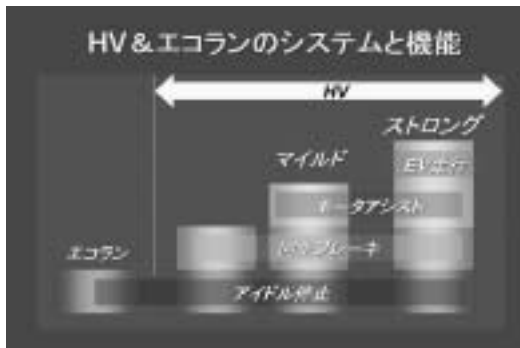
あまり詳しいことを言う時間ありませんが、米国のカリフォルニア州の大気資源局CARB (California Air Resources Board) が、電気自動車がなかなか普及しないことに対して、電気自動車の短い航続距離の補助手段として、エンジン発電機を車に積んでおいて、電池のエネルギーがなくなったらエンジン発電機で発電して走れば航続距離の伸延が図れると言ったのがスタートになっています。

もう1つはパラレルシステムです。2つの動力源すなわちエンジンとモータが並列に配置されていて、

それぞれが独立してタイヤを駆動することができます。ですから、あるときはモータで走り、あるときはエンジンで走るという走行モードの切り替えができるというもので、ヨーロッパで提唱されたものです。ヨーロッパというのは、もともと都市国家から出発していますから、都市内と郊外は割合とはっきり区別されていることが多い。そういう場所で使ううえで、人が集中する都市内はモータで走行し、エミッションが厳しくない郊外はエンジンで走行すればよいという発想です。また、従来システムでは、減速時にはブレーキの熱エネルギーとして捨てられていた車の慣性エネルギーを、回生ブレーキという装置を用いて電気エネルギーとして回収し、電池に蓄積します。加速時には大出力が要求されますので、電池から取り出した電気エネルギーによりモータを介して車を加速してやるというような使い方をすることで、非常に効率のいいシステムができるという考え方です



これはトヨタ自動車のハイブリッド自動車プリウスで採用されたシステムです。このシステムではエンジンからの動力はプラネタリーギヤを介して2つの動力パスに分割されます。そのうちの1つのパスでは機械動力のまま伝達され、直接タイヤを駆動します。もう1つのパスは発電機と結合されていて、電気エネルギーに変換され、その電気エネルギーはモータを介して再び機械動力に変換されてタイヤを駆動するというように構成されています。その時々々の走行状況に合わせて、100%エンジンの機械動力だけでタイヤを回したり、100%発電機を介してモータでタイヤを回したり、あるいは任意の割合で機械動力とモータによる駆動力に分割したりしながら、システム効率が最適になるように制御します。前述の

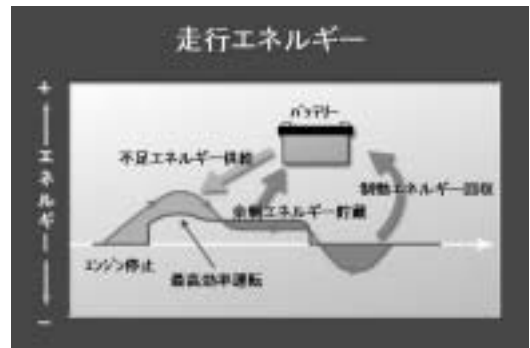


パラレルシステムとシリーズシステムを合わせてそれぞれの良いところをしたシステムといえます。

一口にハイブリッドシステムといいますが、実際にはいろいろなシステムがあります。最近エコランというシステムの名前を耳にされた方も多いと思います。交差点等で車両が停止したとき、省エネルギーあるいはCO₂低減のためエンジンを停止させるシステムです。アイドリング時でも通常エンジンは600～650回転ぐらいで回っており、燃料を当然そのときも消費するわけですから、車両の停止時にはエンジンを停止することで無駄な燃料消費を抑え、CO₂低減を図ろうというシステムで、ハイブリッドシステムとは区別して使われます。

さらに効率を上げるための手段に回生ブレーキがあります。ブレーキ時に、車が持っている慣性エネルギーを、回生ブレーキという発電機を用いたシステムにより、電気エネルギーとして回収し、一時的に電池に蓄えます。この電気エネルギーは車の加速時にモータの駆動力として使われ、加速力をアシストします。さらに効率を上げる手段として、走行中でも、エンジン効率のきわめて悪い領域では、完全にエンジンを止めてEVだけで走らせる。こういった機能を付加することによりシステムのエネルギー効率は大きく改善されます。この場合のエネルギーの動きを図に示します。

機能面でみるとハイブリッド自動車は実用上の課題はほとんどクリアされていて、残された課題はコストだけといえそうです。エンジンとモータという2つのパワーソースを持っていますから、必然的にコストは高くなってしまいますが、低コスト化の努力も進められており、燃費メリットと相殺する部分を考えればコスト問題の大きさはかなり小さくなっ



普及条件に対するハイブリッド車の現状

普及条件	現状評価	備考
使い易さ	○	乗車はガソリンディーゼル車と同様
インフラ	○	燃料がガソリン、補助動力はガソリン/電気/水素燃料電池
コスト	△	大量普及には燃料システムの2.1倍減が必要

プリウス

車両重量	1260kg
乗車定員	5
燃費	35.5km/L
エンジン	1.8L 直列4気筒 排気DOHC
モータ/ジェネレータ	交流同期型
電池	ニッケル水素電池

エスティマハイブリッド

車両重量	2245 kg(7), 2290kg(20)
乗車定員	7～11
燃費	18km/L
エンジン	2.4L 4気筒 DOHC 4inE-P VVT-i
モータ/ジェネレータ	交流同期型
電池	ニッケル水素電池

<主要装備>
E-Flex(電気式4WDシステム)
ECU電子制御ブレーキシステム
TBS-C
AG100V/MAX1500W/7.7kWh/100%

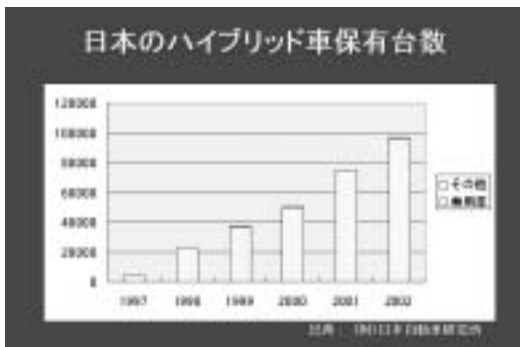
クラウンマイルドハイブリッド

車両重量	1660kg
乗車定員	5
燃費	13.9km/L
エンジン	3L 6気筒 D4
モータ/ジェネレータ	交流同期型
電池	液相型鉛蓄電池

<主要装備>
-アイドリングストップ- 回生ブレーキ

ているといえるでしょう。各社がハイブリッドを市場に投入し始めており、それが何よりの証と思われます。

トヨタ自動車は、1997年12月にハイブリッド自動車プリウスの販売を開始したのに続き、エスティマ、クラウンといった大型のハイブリッド自動車の販売をはじめました。他メーカーも日産ティノー、ホンダシビック、インサイト等、海外でもGM、フォードなど多くのメーカーが追随し、いろいろな車種のハイブリッド化を発表しています。



その結果、コスト的に必ずしもまだ十分安いというところまではいっていませんが、燃費の改善効果等が評価され、そして何よりも環境に貢献するというユーザの意識もあり、ハイブリッド自動車の保有台数は着実に増加しています。図に示したのは日本国内の例ですが、順調に増加し、2002年度はもう10万台に迫ろうかという勢いです。

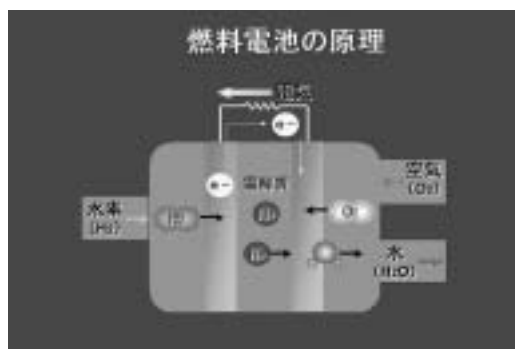
6.3 燃料電池自動車

種類	リン酸型 (PAFC)	高融点酸塩 (MCFC)	固体電解質型 (SOFC)	固体高分子型 (PEFC)
作動温度	約200°C	約650°C	約1000°C	約90°C
発電効率	40~45%	45~60%	50~65%	35~45%
出力密度	0.2~0.3 W/cm ²	0.5 W/cm ²	0.3~0.5 W/cm ²	0.5~1.0 W/cm ²
主な用途	工場、発電所	発電所、産業用	発電所、産業用	発電所、産業用、自動車

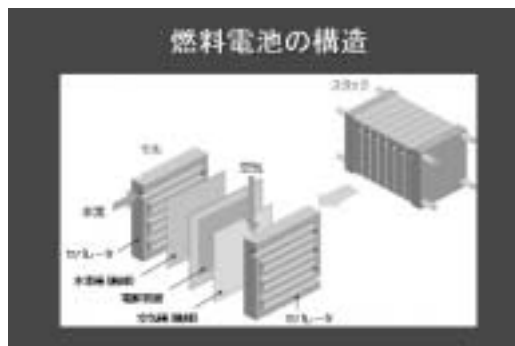
燃料電池は電池という名前がついているものの、電気を蓄える機能があるわけではなく、水素と酸素の化学反応を利用した発電システムです。

現在燃料電池としていろいろなシステムが開発されていますが、自動車に使うためには安全であるこ

とおよび軽量コンパクトであることが必須条件となります。リン酸型燃料電池はすでに実用化され、分散型電源などに多くの実績がありますが、作動温度は約200度となっています。それから、熔融炭酸塩になると650度になり、固体電解質のものは1,000度ぐらいでいずれも高温のため自動車用としては不適です。また、軽量コンパクトであるためには出力密度が大きいことが必須条件です。このような観点から現在自動車用燃料電池として開発されているのは出力密度が高く、作動温度が常温に近い固体高分子型燃料電池 (PE型) となっております。



原理は、水素と酸素を化学反応させて水が生成されますが、そのとき発生する電気を取り出して利用するという簡単なものです。当然反応させるためには触媒が必要で、通常白金が使われます。反応物資の1つである酸素は通常大気中の酸素が使われます。水素については車上で生成するか、あるいは水素そのものを車載のタンクなどに充填して利用するかのいずれかとなります。



燃料電池のスタックと呼ばれる電気を発生する装置の構造を図に示します。通例セルと呼ばれる反応装置の最小単位を必要に応じ数百セル積層してスタックを構成しますが、いかに薄くセルを構成するかがコンパクトなスタックをつくるポイントとなる。

セルは図のようにバイポーラーになっていて、片側が水素セル，片側が酸素セルとなります。水素セル，酸素セルともチャンネルが作られていて，その細かいチャンネル内を水素や酸素（実際は空気）が通るようになっていて，その間に白金を挟んで電解質膜があり，膜面に直角にイオンが通ることで電流が流れるという構造になっていますが，大体このセルの厚さは数ミリオーダーといわれています。

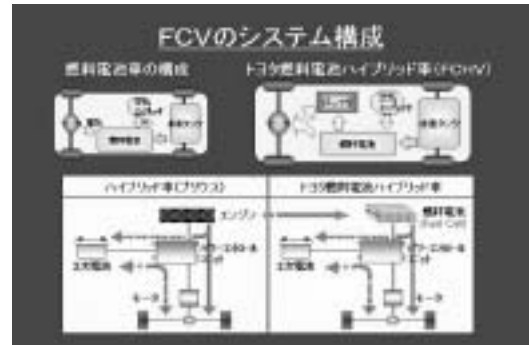
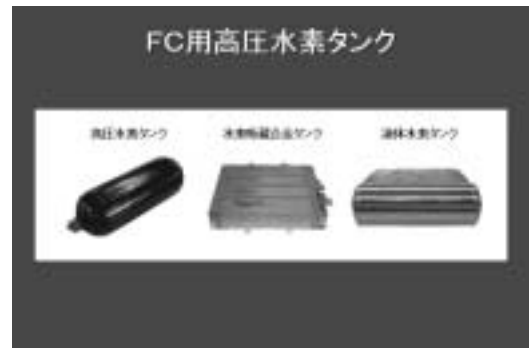
システム電圧としては，基本的には電気自動車と一緒にするので，300ボルトぐらい欲しいわけです。モータを効率よく動かそうとしますと，電圧は高いほうがいい。ところが，そのためには，今のPE型の燃料電池ですと数百セルぐらいセルを積層してやらなければいけないということで，信頼性のある，かつ耐久性のある積層技術が大きな開発課題の1つです。



これはトヨタ自動車が開発した90キロ出力スタックの外観図です。

水素はアルコールやガソリンを改質して車上で作り出す方法と，ピュア水素をタンクなどに充填して車載する方法がありますが，改質方式はまだ開発途上にあり，現在は水素の車載が一般的です。水素車載もいろいろな案が考えられていますが，結局はいちばん安易な高圧水素にとりあえず落ち着いています。高圧水素を蓄積するタンクはアルミ合金タンクにケブラ繊維などで補強したものが使われ，圧力は現在は350気圧ぐらい，将来に向けてさらに高圧が議論されています。図にいろいろな車載タンクの実例を示します。

水素吸蔵合金タンクは温度と圧力を調整することで水素を吸蔵する合金に水素を貯蔵しようというものです。液体水素にしてコンパクトにして貯蔵する試みも行われていますがいずれもまだ開発途上です。

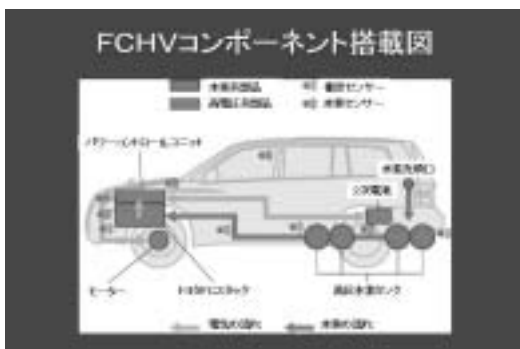


それでは燃料電池自動車のシステム構成について見てみましょう。この図はトヨタ自動車のハイブリッド自動車プリウスのシステムと，同じくトヨタ自動車の燃料電池自動車のシステムを比較したものです。エンジン+発電機を燃料電池と対比させると，2つの一見全く異なるシステムも基本構成はきわめて似ていることがわかります。

理由は，エンジンも燃料電池も最も効率の良い領域で作動させ，そのときの発電電力と車両の要求駆動力（要求電力）の間の差分の過不足電力を，バッファ機能を持つ二次電池に吸収させる，という考え方が共通であるからです。

このシステムでは二次電池を搭載している分だけコスト面で不利ですが，一方で最大車両要求駆動力を保証する発電能力を備える必要はなく，トータルコストでは十分メリットがあるとの判断と思われます。当初，ベンツ，GMは二次電池を搭載しない立場でしたが，最近の開発ではハイブリッドシステムの採用に傾きつつあるようです。

図はコンポーネントを実際に車に搭載した例です。基本的には主要コンポーネントとしてモータ，パワーコントロールユニット，電池等の高電圧系部品とFCスタック，高圧水素タンクなどの水素系部品から成り立っています。駆動用のモータや，そのコント

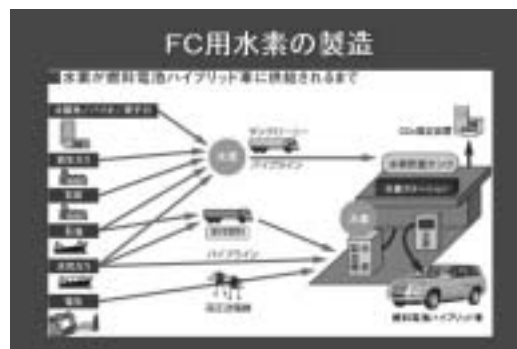


ロールユニットというのは、電気自動車やハイブリッド車と同じものですし、二次電池も基本的に同じと考えてよいでしょう。燃料電池固有の部品のうち高圧水素タンクを、乗用車の場合は床下に配置し、燃料電池の本体であるスタックはエンジンルームに配置するのが一般的です。この配置は高電圧、高圧水素といった危険な部分をユーザがあまり触ることがないところに封じ込めてしまおうという安全性確保の考えによるものです。



これはバスの搭載を示す透視図ですが、燃料電池の主要コンポーネントを全部車両後部へ配置しています。これは現実に東京都で実験車として走っているものですが、水素系を電気系統と離しておきたいこともあり、屋根に高圧の水素タンクを配置しています。

燃料電池自動車では、車両自体の課題のほかに、



水素をどうやって作るか、というもう1つの大きな課題があります。生成方法はいろいろあり、太陽のエネルギーを使って電気分解する、石炭、石油、天然ガスなどを改質して水素にするとか、高炉の副生成物として出てくる水素を利用するなど多岐にわたりますが、それぞれに必要なプラントは異なるため、その選択は容易ではありません。

また、燃料供給ステーションも、従来のガソリンスタンドと大きく変わります。ガソリンや軽油は液体燃料ですが、燃料電池では爆発性のある、しかも350気圧もの高圧気体の水素を充填するステーションとなるわけですから、インフラそのものも全く異なるものになります。



燃料の生成法については国も、燃料セキュリティ、エネルギーセキュリティという観点から大きな関心を寄せています。世界の石油系のメジャーも、自動車が将来燃料電池自動車になるのであれば当然黙っているわけではなく、すでに必要な水素を、いつでも供給できる体制の検討は終わっているという見方もなされています。国の政策や大企業の利権が絡み、水素燃料の将来は、今後大きなせめぎ合いになっていくと思われます。

日本はもとより欧米など世界中で燃料電池実験車が走り始めており、実用化は目前と思っている方も

少なくないと思われます。しかし、実は実験車と実用車の間には非常に大きなハードルがあります。実験車は、特定の管理された運転者や利用者に限定して使われるため、車や燃料ステーション等に少しでもおかしい兆候が見られればいつでも実験走行をストップして原因究明を行うことができますが、実用車は不特定のユーザが不特定の環境下で使用するため、使用をとめる判断はユーザ側にまかされており、状況は大きく異なります。

普及条件に対する燃料電池自動車の現状

普及条件	現状評価	備考
扱い易さ	△	燃料セルスタック内流路の凍結防止 触媒劣化
インフラ	△	水素の製造、輸送、貯蔵設備
コスト	X	スタック、水素貯蔵装置、エアポンプなどユニットの高コスト化

燃料電池の基本を成す水素と酸素の反応を例にとると、マイクロチャンネルの中を、水素と空気がそれぞれ流れ、電解質膜を通して2つの物質が反応し、水が生成されますが、冬季の寒冷地では車を停止して長時間放置すれば、やがてこれは凍結します。いったんマイクロチャンネルの中が凍結してしまうと、今度はどうやって解凍するのかという新たな問題が発生します。

車を停止するとき温風を吹き込んで、マイクロチャンネルを全部乾かしてしまえばいいのではないかと考えるかもしれませんが、水素と酸素を反応させるためには必ず膜内に水分が必要なため、再始動時に電解質膜内に水分を入れてやる必要があります。しかし、冷えたチャンネルにもし水分を含んだ水素や酸素を流すと、たちまち結露し、それがやがて凍結してしまう危険があります。

また、マイクロチャンネルの中に、例えば反応性の高い金属微粒子などを吸い込んだりしたときどうなるのか。当然反応がむらを起こしてしまいますので、これは車ですから、10年とか15年とかの間、安定した反応が必要ですが、それが保証されないということにもなりかねません。

次に、インフラの問題。先ほど言いましたように

いろいろな思惑が絡んでいて、どんなインフラになっていくのかというのがなかなか決めがたい。それから、コスト。こういった問題があって、燃料電池というのは当初はかなり早くに実用化するのではないと言われていたのですが、今はまだまだ研究開発に時間がかかると思われはじめています。

こう見てくると燃料電池の開発は単なる1駆動システムの開発にとどまらず、各国のエネルギーセキュリティが絡み、燃料面からは、石油メジャーの意向もはいった複雑な状況となっています。また、全く新しいシステムであるからこそ、新たな基準や規格の作成も同時並行的に進められていますが、検討範囲が多岐にわたり整備が完了するにはまだまだ時間が必要です。



経済産業省が中心となりJHFC (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project: 水素・燃料電池実証プロジェクト) がすすめられています。ここでは燃料電池自動車および水素供給設備に関する省エネルギー効果の明確化、安全にかかわる規格、法規、基準作成のためのデータ取得、普及促進のための課題の明確化等を目的として実証試験が進められています。また、国土交通省では保安基準の見直し、認証試験法の整備のための活動を進めています。

米国では、カリフォルニア大気資源局 (CARB)

世界の主な燃料電池自動車の実証プロジェクト

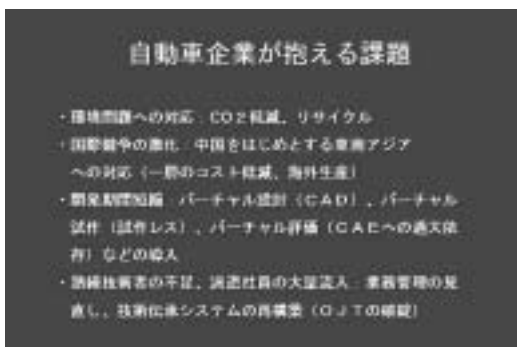
日本	水素・燃料電池実証プロジェクト (2002年開始) 中心にJapan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project トヨタ、日産、ホンダ、ダイムラー・クライスラー、GMが参加	
米国	GM/Ford/DaimlerChrysler (FCV Partnership)	2000年11月開始
	DOE Freedom Car プログラム	2002年11月開始
	DOE Hydrogen Fuel Initiative Program	2000年5月開始
欧州	FCUTE (Clean Urban Transport for Europe) 2001年1月10日開始 →ダイムラー・クライスラーが中心で実証実験	

により、実証試験としてCaFCP（カリフォルニア燃料電池パートナーシップ計画）が実施されています。また国としてもFreedom CARプログラムの中で、長期ビジョンのもとで2010年を目標に、燃料電池コンポーネント技術開発が進められています。

欧州ではCUTE（Clean Urban Transport for Europe）プログラムが計画され、6カ国が参加し、30台のバスを用いてアムステルダム、ストックホルム、シュツットガルト、マドリード、ロンドン等9都市で実証試験が進行中です。

7. 自動車企業が直面する開発現場の課題と対応状況

ここまで環境問題特にCO₂削減という大きな課題に対し、自動車企業がどのような対応をしてきているかについて述べてきました。確かに環境対応は大きな課題であり、従来技術の改良に加え電気システムを用いた新たな製品の導入により、自動車技術は大きく変わりつつあります。燃料電池が広く普及するようになれば、燃料供給のための社会的なインフラも変わってくるでしょう。



環境問題に对应していくためには、大規模な技術開発が必要です。この中で、内燃機関の改善については、いかに困難な技術開発が必要といえども、本来自動車メーカーが得意な技術分野であり、皆さんもこれは当然自動車メーカーの本来の仕事と考えられるでしょう。

しかし、電気駆動システムになると、モータ、インバータなどは電機メーカーが大先輩ですし、二次電池や燃料電池は電気化学の技術領域にあり、これも先輩企業がたくさんあり、自動車メーカーが必ずしも得意な分野とはいえません。

したがって、自動車メーカーにとって、必ずしも得意でない技術分野のなかで、自社製品の将来を賭けて技術開発競争を戦わざるを得ないということ自体が、企業の開発のあり方を問われる大きな課題といえましょう。

一方環境問題以外でも、企業の外部からはあまり見えませんが、課題が山積しています。その1つが新たな国際競争です。

これまで国際競争といえばもっぱら欧米の企業との競争で、日本車は幸いにも品質が高く評価され、世界の市場で少しずつシェアを拡大してきました。しかし最近ではアジア諸国、とりわけ中国との競争が問題視されています。低賃金でいろいろなものの生産を引き受け、今や中国は世界の工場といわれるまでになっています。一部の付加価値の高い、あるいは高い技術力を要する製品を除き、このままでは競争力の確保は困難になり、従来以上のコスト低減努力をしていかなければなりません。しかしそれにも限界があり、やむをえず中国での生産に転換する。いまやカーメーカーも部品メーカーも、中国への進出というのは、もう絶対条件のようにみえます。当然、中国進出には、人口12億とも13億ともいわれる巨大市場を見据えての判断もあるのでしょうか。

次にあげる課題は、開発期間の短縮です。国際競争の激化や環境問題などに対する新技術の開発スピードのアップ等から、従来は企画開始からラインオフまで36ヵ月といていた車両の開発期間が、今では多くのメーカーで、半分ほどに短縮されつつあるといわれています。そのために各社が進めているのはCAD、CAE、シミュレーションなどコンピュータを駆使したバーチャルな設計、試作、評価への移行です。さらにコンピュータ化により、開発段階で作られるデジタルデータを、開発の中間段階で生産準備部門がいち早く使って生産準備を並行的に進め、一気に開発期間を短縮しようというものです。

最後にあげる課題は、熟練技術者の不足です。長い不況の中でどのメーカーも非常にスリムな開発体制を作ってきていますので、結果として熟練の技術者・技能者が10年前に比べると激減しています。そのため最近では、定年になる熟練技術者、技能者を

再雇用して技術、技能の低下を防ぐ措置を講ずる企業も出てきていますが、それも限度があります。

一方企業は、不足した人手を埋め合わせるために、即戦力と称して派遣社員を導入しはじめましたが、熟練派遣社員はすぐ底をつき、熟練されてない、あるいは新人に近い派遣社員の大量流入を招くことになっています。その結果、プロパー社員と、わずかな熟練派遣社員と、多くの熟練されてない派遣社員の混成部隊が出現するということになります。

技術の伝承については、OJTが最も効果的な方法の1つと考えられますが、今ではこの制度が事実上破綻している企業も少なくありません。そうは言いつつも、技術、技能を伝承していかないと企業活動ができませんから、制度の抜本的な見直しが迫られている。これが現実の開発現場です。

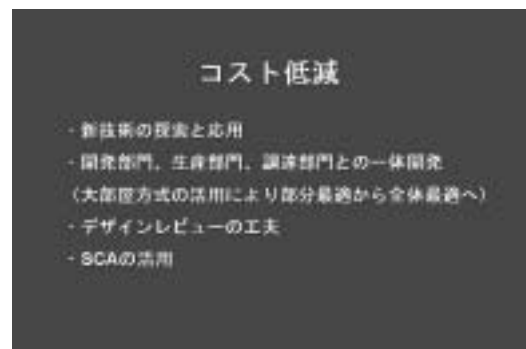
これらの課題は企業ごとに多少は異なる部分もあるでしょうが、大部分は共通する課題と考えてよいでしょう。ではこのような課題の克服に企業はどう取り組んでいるのでしょうか？

7.1 開発体制の整備

先に少し触れましたが、電機駆動システムの開発を可能にするため、多くのカーメーカは程度の差こそあれ、大規模な組織作りをしています。その結果、モータ、インバータなどの開発のみならず、パワートランジスタや二次電池に至るまで、電機メーカや化学メーカと競争しても遅れをとらない技術レベルで社内開発できるまでになっています。何故カーメーカが膨大な投資をしてこのような開発組織を作らざるを得なかったのか？ それは、これらの技術が自動車の主機であるからです。将来の主機の開発だからこそ、自動車の心臓部の開発だからこそ、専門家を社内で教育し、社外からも人材を集め、社内に開発体制を作ったのです。

7.2 コスト低減

コスト低減は、メーカにとっては日常活動のなかで中心に据えられる業務である、といっても過言ではないでしょう。ここでは特徴的なものを2、3紹介します。1つは、コスト低減につながる新技術の



開発です。コスト低減というと、重箱の隅をつつく活動と考える方も少なくないと思いますが、技術開発も盛んに行われます。いかにコスト低減につながる開発テーマを発掘するかが重要です。

もう1つは、開発部門単独での開発には限界があるため、生産部門、調達部門等と一緒に開発をやっていく。いわゆる大部屋活動です。開発部門の立場からみると、性能向上になると思うテーマも、工場部門からすればコストアップになる面倒なものといういわゆる背反事項は少なくありません。共同で開発することにより、企業としての最適化を図っていこうという考えです。

それから、サプライ・チェーン・アクティビティ(SCA)といって、例えば部品の開発をあるメーカに委託したとき、そのメーカが部品のすべてを作っているわけではなくて、部品メーカはまた孫メーカからある部品や材料を買いながら作っている。その孫メーカもひ孫メーカから部品や材料を仕入れている。こうして上流にさかのぼりながら、コスト低減の可能性を探る。いちばん大きな例では10ぐらいいさかのぼったという例を私は聞かされましたが、まさにチェーンというのはそういう意味なのです。

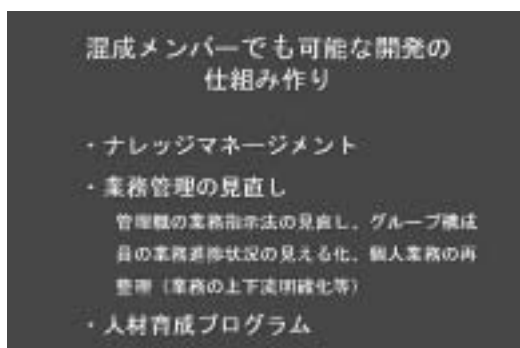
7.3 開発期間短縮

それから、開発期間の短縮。これは先ほど言ったように従来、設計、試作、評価という開発のステップをCAD、CAE、シミュレーションなどを駆使してコンピュータ化することで実現しようというものです。開発段階でのコンピュータへの依存度の増加により、開発段階で作られるデジタルデータを使って生産準備の早期着手が可能になります。開発と生産準備の並行進行です。しかしコンピュータ化には慎

重なる配慮が必要です。例えばシミュレーション。入力データを入れれば何かアウトプットは得られます。しかし、プログラムの中でやっている処理の中身や根拠となる理論を全然知らずにやると、アウトプットデータの見方を誤ってしまう危険があります。使っているケース、だめなケースをよく知って使うことが大切。しかし、そういうことがわからない技術者が増えています。生産準備の並行進行という考え方も、開発部門のデータは開発の進行にしたがって次々に修正されていくと、それをどうタイムリーに取り込んでいくか、という新たな課題に直面することになります。

こういったことをきちんと手当していないと大変なことになります。

7.4 仕事をスムーズに進めるための仕組みの見直し



いろいろな人たちが交じり合ったチームで仕事を円滑に進めるためには新たな仕組みが必要です。

業務管理の見直しも必要です。派遣社員、しかも複数の会社の派遣社員が混在すると、管理職が、プロパーに対するのと同じ方法で、仕事の指示をしていると、意志が通じなくなりトラブルを発生させる原因ともなります。

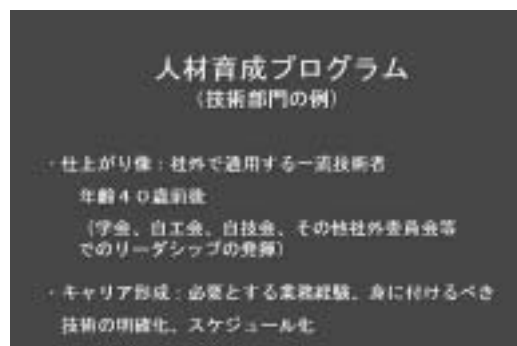
これを少しでも防ぐため、いろいろ工夫がされています。その1つは「見える化」といってこの何年かやってきた活動です、例えば、普通の標準的なチームですと、1人のマネージャーに10人とか15人ぐらいのスタッフがついてチームで開発をやるわけですが、マネージャーは、そのそれぞれのメンバーが今どういうことをやっていて、どういう問題を抱えていて、どういう外部メーカーと折衝しながら何をし

ようとしているか、今週中にどこまでをやることになっているか、といったことを全員分を把握しなければいけないわけで、それをいかにマネージャーが見えるようにするか？ その把握と指示のためにマネージャーは週の内半日を割いています。それから、こんなこともやっています。個人業務の再整理。個人個人の仕事があるかということも改めてきちんと整理させる。みんな自分の仕事がわかったように動いているのですが、改めて、では仕事面であなたの上流にあたるのはどこの部署か？ あなたは仕事を通じてどのような付加価値をつけてそれを下流のだけに渡していくのか？ といったことを整理していくと、実はいっぱい問題が出てきます。自分の周りに派遣の人や部外の人がいるわけですが、その人たちは前工程にも、後工程にもいるわけです。そこで仕事の流れが悪くなってきていると、一方で開発期間を短縮しようというときに、流れのほうが悪魔をしていて回らなくなる。そういった仕事の流れを個人の側から整理しようというものです。

7.5 人材育成

何を行うにしても人材育成は基本です。前述したようなコンピュータ上でしか仕事のできない人をきちんと育成して、一流の技術者、あるいは一流の技術者に仕上げていくことが企業体質を強化し、ひいては優れた業績をあげる源にもなるといえます。

私どもが試行してきた人材育成プログラムを次に紹介しましょう。



40歳ぐらいの年齢を想定して、これが大体マネージャーになってくる年齢ですが、そのマネージャーとなる年齢のときに、社外に通用する一流の技術者に育ててほしい。そのための教育プログラムは

どうあるべきか？ というように考えていきます。例えば一流というのはどんなことかというのが、例えば学会などの学術分野でリーダーシップを発揮してりっぱな発表ができる、自動車工業会などの業界団体のなかでメーカー間の利害を調整しながら業界としての方向付けをしていく。自動車技術会というのは規格をやるところですが、アメリカのSAE、ヨーロッパのISOなどの規格団体とも交渉しながら規格化をちゃんと進められるか。あるいは、国交省などと交渉しながら基準化に対し業界としての主張が述べられるか？ 等いろいろな尺度で考えて、社外で通用する人材をイメージし（機構で仕上がり像といっているもの）、その人材に育てましょうと。

具体的には、期待像に育つために必要と考えられる業務経験、それから、身に付けるべき技術知識。この両面をある程度スケジュール化していくというようなことです。それを技術分野ごとに独自で作るとというのが特長です。

実情からみれば、人手不足で即戦力がほしいといっているなかで、教育のためということで業務ラインから離れた仕事をさせることもあるわけで、必ずしも思ったとおりに実施されているとはいえませんが、企業が苦心している具体例です。

技術知識をつけるための教育カリキュラムとしては、初心者向け、中堅社員向け、必須科目、選択科目などに分けて用意します。特に必須プログラムは、どこでもそうでしょうが、理解度を試験で確認し、理解していない者は何度でも受けさせる。こういうことをルーチンを作ってやります。

こういった教育カリキュラムは、各技術分野ごとに独自のものを作りますが、分野外にオープンにしているものもあり、材料、品質、解析技術などは他分野のカリキュラムを受講していたようです。

8. 技術者に必要なものは？

最後に、私自身、自分がそうっていないから、ある意味ではそうなりたかったという願望も含めて、技術者という者に対してどういうことが要求されるか？ たくさんあると思いますが一言で言えばやはり深掘りされた専門性が必須だと思います。それは専門の知識だけではなくて、専門に関する深い知識を持つことから出てくるある種の見識というのでしょうか、そういうものを自分自身持っているし、人に対してもきちっと示せるようになってほしい。

それから、もう1つは大局観です。これはいたく感じるのですが、1つの技術をどんどんこどんどこやっていくと、どうしても視野が狭くなる。もちろんこれこそが大きな発明につながるのだ、という人もおられるでしょう。しかし、大きな仕事をした人ほど、実は周囲の動きにも目を向けている、ということが意外に多いものです。これはどなたでも経験があることだと思いますが、一生懸命開発をしていて、あとわずかというとき、全く違う技術がふっと出現して、自分が目指していた目的をさっとなえてしまう。すると、自分がやってきた何年間かは何だったのだろうかということが、これは別に企業に限らず、どういう仕事をやってもあると思います。

特に企業の場合は、世界中が競争相手となつてしのご合っているわけですし、特に環境技術は新しいものですから、日進月歩であり、自分たちが必ずしもトップレベルにいるとは言いがたいところがあります。したがって、大きな広い目で、常に大局観をもって世の中の動きを見ながら、そして、自分の専門性を深める。相矛盾するように思えるのですが、やはりこの2つが技術者には必要ではないかと思います。

どうもご清聴ありがとうございました。