

No.145

October 28, 2010



Information

講 演

2010年8月2日(月)・第163回談話サロン(東京・アルカディア市ヶ谷)

講師・演題

八重樫 武久：ハイブリッド自動車プリウスの開発と
サステナブル自動車のゆくえ

社団法人
日本工学アカデミー
THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

日本工学アカデミーの使命

社団法人日本工学アカデミーは、広く学界、産業界及び国の機関等において、工学及び科学技術並びにこれらと密接に関連する分野に関し、顕著な貢献をなし、広範な識見を有する指導的人材によって構成されており、工学及び科学技術全般の進歩及びこれらと社会との関係の維持向上を図るため、下記の諸活動を通じて、我が国ひいては世界の発展に資することを目的とする。

記

- 1) 国内外の工学・科学技術政策、教育等に関する調査研究、提言活動を積極的に行う。
- 2) 国内外における学際・業際的及び新技術領域の活動を推進することに資する調査研究等の諸活動を積極的に行う。
- 3) 国内外の工学、科学技術の健全な進歩発展に寄与するための教育活動、及び一般に対する普及、啓発活動を推進する。
- 4) 上記の諸活動を効果的に実施するため、国内外の諸団体、特に海外の工学アカデミーとの連携を強化し、共同事業等を推進する。
- 5) 上記の一環として国際工学アカデミー連合の主要メンバーの一員として、特に近隣諸国における工学アカデミーの設立に対して、良きアドバイザーとしての責務を果たす。

2000年7月19日理事会

第 163 回談話サロン（会員選考委員会企画 第 3 回）

ハイブリッド自動車プリウスの開発と サステナブル自動車のゆくえ



八重樫 武久 (やえがしたけひさ)

- 1967 年 北海道大学工学部機械工学科卒業
- 1969 年 北海道大学大学院工学系研究科修士課程修了
トヨタ自動車工業株式会社（現トヨタ自動車株式会社）
入社
71 年以降、クリーンガソリンエンジン、96 年以降
プリウス用ハイブリッドシステムの開発に従事
- 1994 年 同社部長職就任
- 1997 年 工学博士（北海道大学）
- 1999 年 同社理事職就任
- 2005 年 同社退職、株式会社トヨタテクノサービス技監就任
- 2008 年 株式会社コーディア設立、代表取締役就任
 - ・ 東京大学、東京工業大学他にて非常勤講師
 - ・ 世界各地において講演多数
 - ・ IEEE 2010 Daniel E. Noble Award はじめ受賞多数

2009 年 10 月に入会された八重樫武久会員を講師に招いて、世界で初めて市場に登場したハイブリッド車の開発経緯の講演を行った。司会は花岡正紀会員選考委員が務めた。

講演骨子

人工衛星からの夜の地球の写真を見ると、地球のキャパが有限であり、従来の延長線上ではたちゆかないことを痛切に感ずる。自動車もその普及を基盤とする社会も、地球のキャパの範囲で持続可能な方向に変わっていくことが待ったなしに求められている。トヨタはこの社会のチェンジを予見し、「このチェンジに遅れをとっては、自動車会社としての将来はない。このチェンジをリードすることにより発展が期待できる」として、ハイブリッド自動車プリウスの開発をスタートさせた。今回は、そのハイブリッド自動車プリウス開発の背景、エピソードを紹介し、またマスキークリーンエンジンの担当からハイブリッドまで 40 年にわたり自動車開発に携わった経験とその視点から、エネルギーと地球環境問題対応を軸とする、これからのサステナブル自動車のゆくえについて概説する。（八重樫武久）

講演要旨

持続可能な自動車を目指しトヨタが取り組んだ初代ハイブリッド自動車プリウスの開発の背景、ディシジョンメイキングと開発経緯について、当時のハイブリッド開発統括を行った講師の体験をもとに戦略的意味、開発マネージ、開発現場での取り組みを紹介。

1992 年 12 月、トヨタ社内で 21 世紀を目指す会社の長期ビジョンの議論が行われ、地球環境問題など将来自動車として環境問題に対応せずして自動車会社としての将来はないとして、通称トヨタ地球環境憲章を策定し、公表した。この具体的なアクションプランとしてトヨタの技術開発部門としてスタートさせたプロジェクトが、社内コード G21、後のプリウス開発プロジェクトである。その狙いは「21 世紀に向け、環境・排気・安全等についてトヨタの最新技術を結集し、技術レベルにおいて他社を明確にリードしていることを示すことのできる新商品の開発」であった。燃費 2 倍すなわち燃料消費半減、さらにリサーチがまだ終わらない 1995 年 12 月には、トップダウンとして、2 年後の 1997 年 12 月に生産開始、丁度京都で開催を予定していた地球温暖化緩和の具体的な国際取り組み目標を決める COP3 前を目標として販売をスタートさせることが決定、トヨタとしても過去に例のない異例中の異例、超々短期のプロジェクトであったが、このプロジェクトスタートの背景、ディシジョンプロセスについて紹介。

超短期、さらには全く新しい機構のクルマといえども、クルマの基本である、安心、安全性能、信頼性では、お客様の不安を払拭するためにも従来車以上のレベルを目標とし、その上で、燃費向上 100%実現を命題に選び出した THS と呼ぶ全く新しい機構のハイブリッドシステムが、のちにプリウスに搭載され、現在のレクサス LS600h まで発展してきたことを紹介。この THS システム選定の経緯、技術ポイント、作動状況を概説。さらに、開発過程のいくつかのトピックスを紹介し、開発を乗り切った要因として、トヨタ社内での開発体制と人材育成、G21 開発を支えたハイブリッドを構成するさまざまな部品開発での日本のものづくりパワーについて紹介。

さらに、昨年 5 月に発売を開始し、大好評をいただいている 3 代目プリウスに至るハイブリッド技術進化と品質向上、原価低減への取り組みについて説明。また、この開発および進化への取り組みと、約 13 年にわたる、マーケットでのお客様の反響などをまとめ、量産自動車としての発展の要因を分析、さらにトヨタでのハイブリッド開発リーダとしての重点指針とした、お客様目線、マーケット目線、安心、安全最優先、品質、信頼性第一の取り組みについて説明。

次に、初代プリウスの開発、その技術進化への取り組み、ハイブリッドマーケット構築を通じての経験を踏まえ、次世代自動車として目指すべき、サステナブル自動車の方向について解説。その候補と考えられている、電気自動車、燃料電池自動車、電池充電式プラグインハイブリッド車の現状と、技術課題を概説し、その中では、ハイブリッド技術の応用である電池充電式プラグインハイブリッドの特徴を解説し、実用性と将来性に言及。その上で、フランスで実施しているトヨタとフランス電力公社 (EDF) が取り組んでいる、プラグインプリウスの大規模実証試験を紹介。

最後に、21 世紀のサステナブル自動車社会の方向として、自動車単体でのポスト石油燃料へのアプローチに加え、輸送システム全体としての改革、さらには自動車社会全体の変革への方向

について講演者としての私信を述べ、この取り組みでの日本の環境自動車技術、ものづくり技術の進化により、地球温暖化問題、エネルギー問題解決への貢献への期待を表明し、談話サロンとしての話題提供のまとめとした。

(八重樫武久)

質疑応答

質問：ハイブリッド方式はまだ遷移過程にあるものという議論のある中で、開発から量産に進まれた確信のもとになったのは何だったのか？

回答：トップが設定した目標を達成するため全く余裕のない状態であった。市販されたものの他に全く違う形式 2 種類のハイブリッドも検討していたが、機構がシンプルで目標達成に必要な機能を持つ一つを選び、結果としてそれで量産化できた。

質問：一つの家庭でも目的に応じて異なる移動手段を持つようになると思うが、その時にハイブリッド車は生き残るものであるか？

回答：車は高額商品でもあり、一家に多数の異なる手段を持つことは考え難いのではないかと。いろいろな意味からハイブリッド車は一般家庭の移動手段として最適なものになると考えて開発してきた。

質問：一つの手段に頼るとすると、それがフレキシビリティを持ったものであることが必要と思われるが、電池自動車と比べてどうか？

回答：電池自動車の場合、実用的な電池サイズでは 1 回の充電での走行距離に制限があるので、やはりハイブリッド車が中心になると思う。ストラスブールでの実験でも、職場やショッピングセンターの駐車場に充電設備を備えて、プラグインハイブリッド車の使用利便性のテストを行っている。

質問：環境問題にそれほど力を入れているトヨタが、米国で大型車を売り出したのは方針が一貫していないように思うがどうか？ またアメリカの車社会とヨーロッパの車社会とはどのような違いがあるか？

回答：個人的にはおっしゃることは理解できる。しかし、アメリカで大型車が好まれることは事実で、それを低炭素化することには、大きな意味があるといえる。アメリカは高速道路を長距離運転することが多く、そのためには大型車が適している。アメリカ社会は車中心にでき上がっていて、いまさら変えることは難しい。ヨーロッパでは今でも石畳が残るような都市部の走行が大きなウェイトを占めており、トラムとの共存という視点もある。日本もそれに近い面がある。

質問：ものづくりに対するこだわり、顧客のクレームに対する適切なフォローなどは日本のメーカーに共通した強みといえる。プラグインハイブリッド車は、充電系は別として制御系は今のプリウスと同じとっていいか？

回答：制御系は市販のプリウスとほぼ同じである。充電系統は違い、電池もリチウムイオン方式に変えて体積・重量あたりのエネルギー容量を増している。

質問：プラグイン方式は充電のための社会インフラの整備と課金方法が課題ではないか？

回答：プラグイン方式では、それらは大きな問題ではない。安い夜間電力を使って家庭で充電するのが基本だからである。職場やショッピングセンターなどで容易に充電できるような社会システムは、それを補完する意味はあるが、公共充電設備は必要不可欠ではない。

質問：日本が先進的な技術開発をしても、標準化で海外に負けてしまうことが多いが、それに対してどう考えるか？

回答：たしかにそういう面があり、欧州や中国に標準化の主導権を奪われることがある。しかしハイブリッド車では多くの主要技術は日本がリードしている。要は最先端の技術開発をし続けて、それで世界をリードしていくことが重要と考えている。

質問：車は30年、40年にわたって使われることがある。そうした長期間の信頼性、メンテナンス性などについては、ハイブリッド車はレシプロ車に比べて遜色はないのか？

回答：電池には寿命があるが、その電池寿命を含めて一般の平均的な顧客が使う期間についてはレシプロ車のレベルと変わらないところまできている。そのような古い車では排ガスレベルが現在の車の1万倍以上にもなるケースがあるので、古い車を早く置き換えることが環境に貢献するというようにも考えられる。

質問：95年~97年というわずか2年間で商品化にまで漕ぎ着けたのは、それを成し遂げた人づくりができていたからであろう。2代目、3代目プリウスの開発期間はどうか？ またその間に技術者の入れ替えは多かったのか？ 最近企業における人づくりの姿勢が薄れてきていると感じるがどう思うか？

回答：2代目、3代目の方が開発期間は長くなっている。技術者はあまり変わっていないが、組織の拡大に伴い、コアとなる人材が育ちきっていないように思う。企業が機を見て敏に行動し過ぎるために、新技術へのチャレンジや失敗経験をさせられない等、長期的な人づくりを妨げているように思う。

以上

「ハイブリッド自動車プリウスの開発と サステナブル自動車のゆくえ」

2010年8月2日(月)
株式会社 コーディア 代表取締役社長
八重樫 武久
(元トヨタ自動車(株) 理事 ハイブリッド開発担当)



トヨタプリウス (1997年12月発売)



「このプリウスはトヨタの変革への挑戦から誕生した、
自動車の21世紀をめざした新しい価値の提案であります。
このプリウス以降もさらなる技術進化に挑戦し、社会の
ニーズに応え、自動車に課せられた夢と課題を現実のものとし
ることで21世紀をリードする企業でありたい。」
1997年10月 プリウス発表会 奥田社長挨拶

内容

「ハイブリッド自動車プリウスの開発 とサステナブル自動車のゆくえ」

- 1 エネルギー・地球温暖化問題と自動車
- 2 トヨタのものづくりの心とハイブリッド開発
- 3 ハイブリッド自動車プリウスの開発
- 4 ハイブリッド進化への取り組み
- 5 ハイブリッド技術とサステナブル自動車のゆくえ

1.1 エネルギー・地球温暖化問題と自動車



2.2 トヨタのものづくり -①



豐田佐吉翁

人づくり

「人間がものをつくるのだから、人をつくらねば仕事が始まらない」

5代目社長 豊田英二

豊田綱領と豊田佐吉翁の遺訓

「研究ト創造ニ心ヲ致シ、
常ニ時流ニ先ンズヘシ」

「その障子をあけてみよ、
外は広いぞ」

豐田綱領

[illegible]

2.2 トヨタのものづくり-②



トヨタAA型乗用車

実践、現地現物

「三年以上の実地の経験を経ずして設計するものではない」

「できないという前にまずやってみろ」 豊田佐吉

「手をよごさんで仕事ができるか」

初代社長 豊田喜一郎

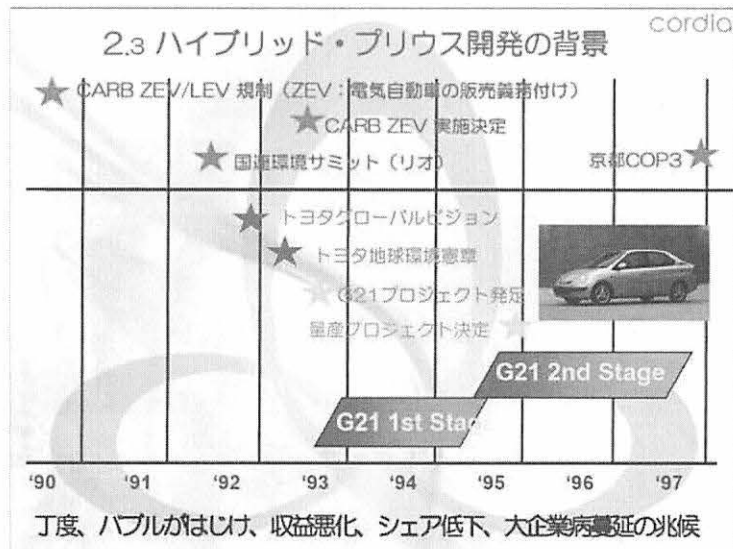
モノづくり

「製作ヲ完全ニシ、充分營業的試験ヲ
為シ其ノ成績充分ニ拵ゲザル間ハ、決
シテ販売スベキモノに非ズ」

豐田佐吉

「モノづくりは価値を創造し、文明を創造する原点です。技術の進歩はモノづくりがあってこそ初めてうまれてくるのです。モノづくりは常に、それにたずさわっている「人」と「ノウハウ」の蓄積によってなされるものです。」

5代目社長 豊田英二



cordia

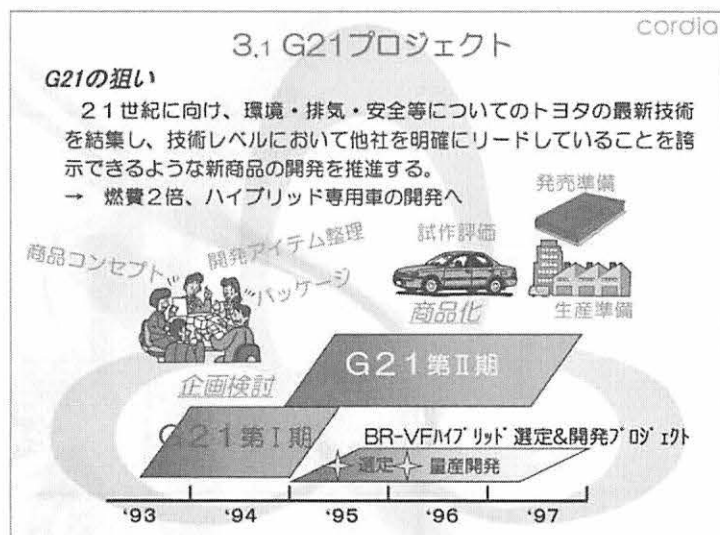
2.4 「トヨタ基本理念」と「トヨタ地球環境憲章」 (1992年制定)

基本理念「クリーンで安全な商品の提供を使命とし、
あらゆる企業活動を通じて
住みよい地球と豊かな社会づくりに取り組む」

基本方針

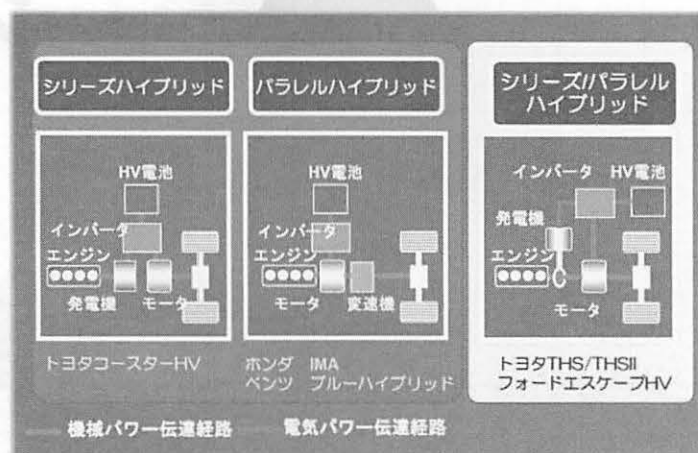
1. 豊かな21世紀社会への貢献
2. 環境技術の追求
3. 自主的な取り組み
4. 社会との連携・協力

トヨタ地球環境憲章
"Toyota Earth Charter"
1992年制定、1997年改定



3.3 ハイブリッドシステムの分類

cordia

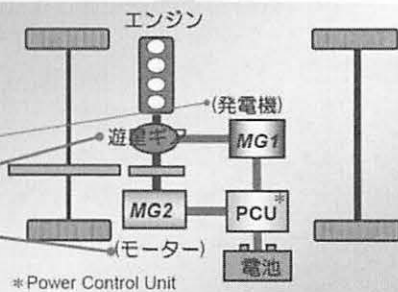
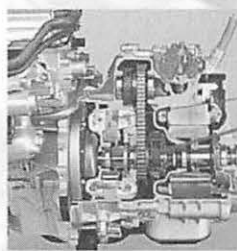


3.4 トヨタプリウス (1997年12月発売)

cordia



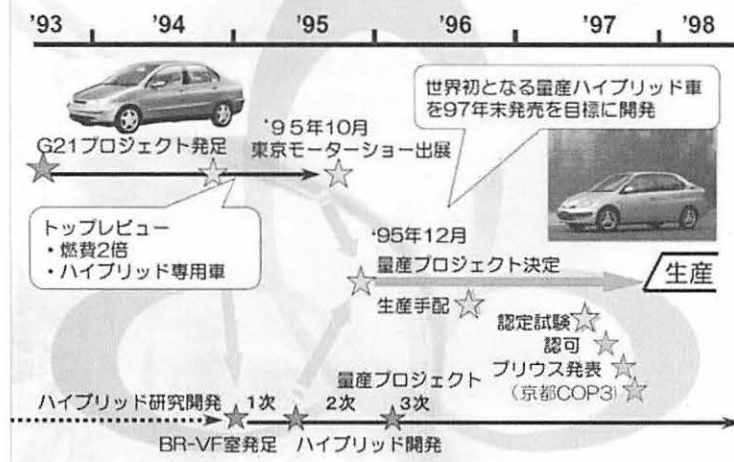
トヨタ・ハイブリッド・システム (THS)



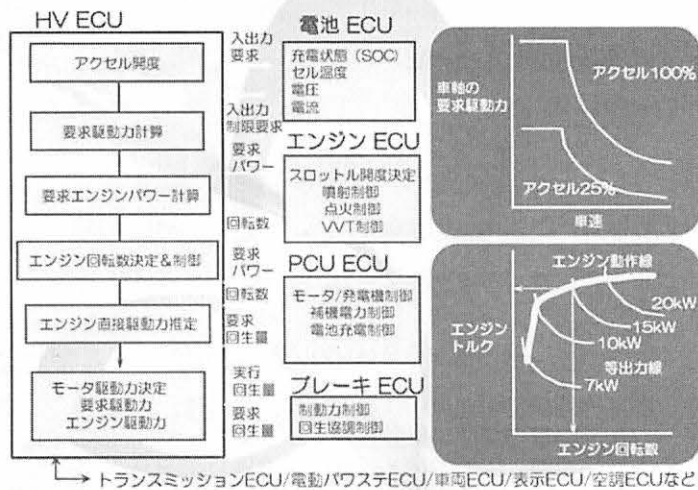
エンジン停止EV走行機能を持つストロング (フル) ハイブリッド

3.2 G21プロジェクト・第2ステージ

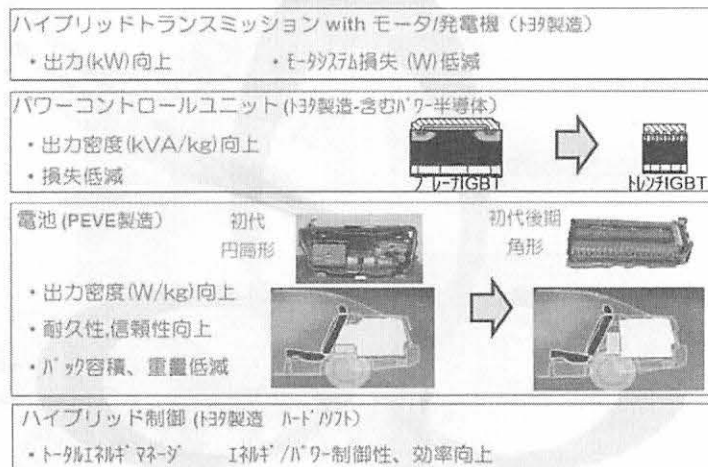
cordia



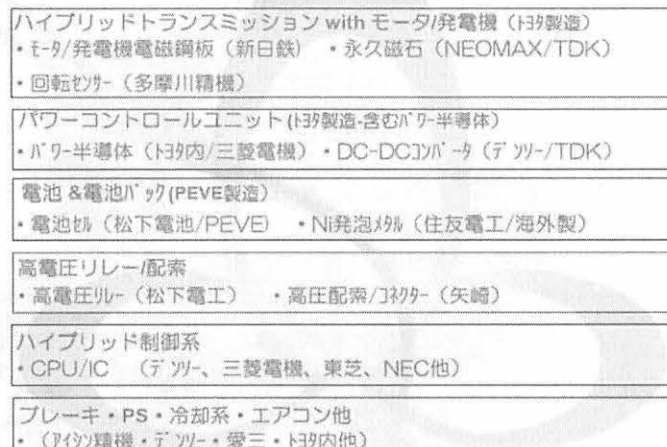
3.12 THS制御の基本



3.14 ハイブリッドのコア技術 ①



3.14 ハイブリッドのコア技術 ② (主要要素部品)



cordia

3.14 開発を乗り越らせたもの

- 1) 明確なコンセプト、高い目標
- 2) 全社的なベクトル合わせ
- 3) 開発陣の高いモラル
 - ・強い責任感
 - ・仕事のしやすい環境づくり
 - ・担当業務以外への関心
- 4) 自社開発による技術の蓄積 (EV・システム制御)
- 5) グループ会社、日本部品メーカの「ものづくりパワ

結局は人 (志高いプロ人材) とその努力
その上での幸運

最適化から全体(クルマ)最適化へ

- + お客様目線での開発 (基本性能、操作性、信頼性)
- + クルマのプロ集団の経験&スキル&マネージ (人)
- + プロの感性による現地・現物・現車確認 (人)

cordia

4.3 THS進化/改良への取り組み

初代プリウス 1997年12月

二代目プリウス 2003年9月

三代目プリウス 2009年5月

三代目プリウスのリダクション型優性ギア



4.6 市場/お客様から学んだこと

cordia

「マーケット=お客様は何をクルマに求めておられるのか？」

地球環境問題への関心の高まり、ハイブリッドの普及に伴い、環境にやさしいクルマ、その代表としてハイブリッド自動車を買いたいとお考えのお客様の割合は急激の増加してきている。

しかし・・・

大部分のお客様は、そのクルマの基本性能や経済性が、従来車と変わらないか、上回ることが選択条件

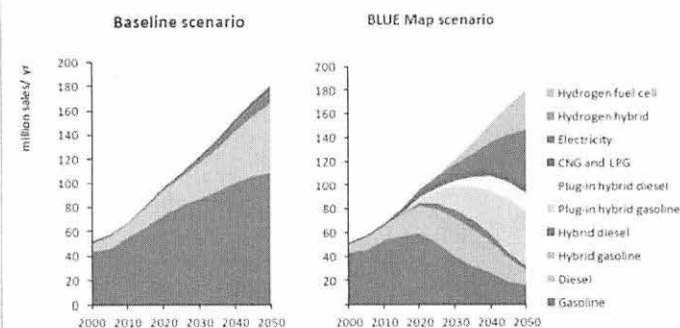
価格、経済メリット、信頼性、安全性、耐久性、走行性能、走行快適性、車室/荷室スペース、デザイン …

将来の環境自動車にもこのお客様目線での開発が最重要
政府政策、メーカーの勝手ではマーケットを動かすことは困難
そして、普及してこそ環境保全に貢献

5.1 ハイブリッドとサステナブル自動車のゆくえ

cordia

将来自動車エネルギーのRoadmap (IEA ETP2010)

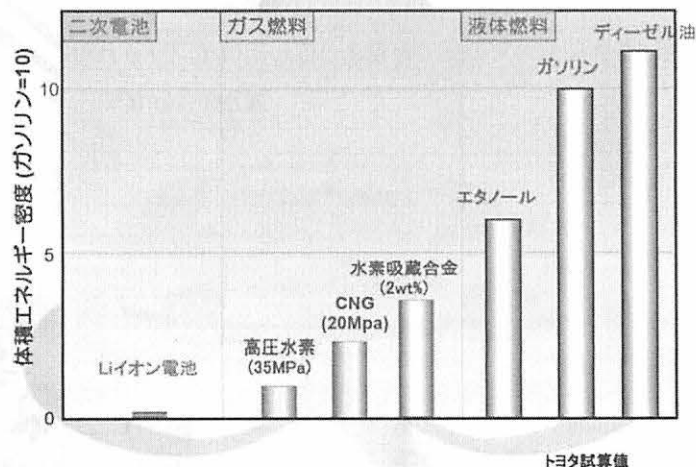


In the BLUE Map scenario advanced technologies, such as plug-in hybrid, all-electric and fuel-cell vehicles, dominate sales after 2030.

Source: 2010年7月 IEA Energy Technology Perspective 2010

5.2 自動車用エネルギー源のエネルギー密度

cordia



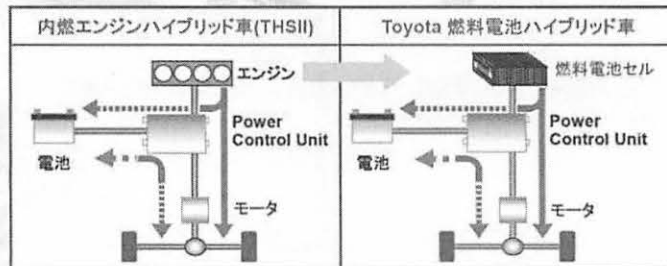
5.3 水素燃料電池ハイブリッド自動車

cordia

Lexus RX400h



TOYOTA 燃料電池ハイブリッド車



5.4 電気自動車の現状

cordia

RAV4EV
1994年/1997年



E-Com
1998年



FT-EV
2009年(東京MS)



電池タイプ: Ni-MH 角型	: Ni-MH 角型	リチウムイオン
搭載電池エネルギー量: 30kWh	: 18kWh	?
搭載電池重量: 450kg	: 146kg	?
一充電走行距離: 200km (都市走行)	: 100km (都市走行)	?

電気自動車の普及への課題

- 1) 短い一充電走行距離
 - 2) 走行性能
 - 3) 車両価格
 - 4) 充電ステーション整備, 電力供給能力 (大量普及時)
- 1990年代のこの状況から変化があったのか?

5.5 プラグインハイブリッド

cordia

プラグインハイブリッド車とは

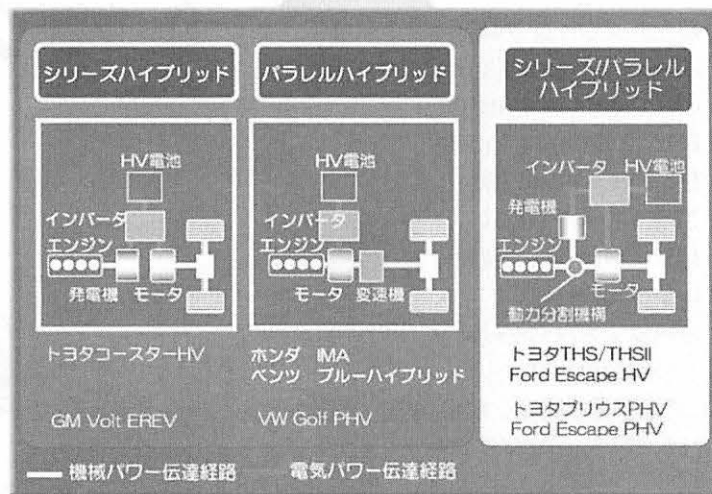
電池を外部電力で充電できるようにしたハイブリッド自動車



- 特徴: 電池がカラでも、ガソリンでハイブリッド走行が可能
外部充電の電気エネルギーを使った分、ガソリン消費を削減
- 課題: 電池の寿命、信頼性、安全性、コスト、重量、搭載スペース
電池技術のブレークスルーが必要

5.6 プラグインハイブリッドの種類

cordia



5.8 自動車の低カーボン化

cordia

Step 1 (～中期)

エンジン/HV駆動系の更なる効率向上・車両の軽量化・HVコスト低減
HV普及の加速 ガソリンHV・ディーゼルHV (乗用車/SUV/ミニバン)

Step 2 (中長期)

ICEエンジン・小容量電池THSタイプ・プラグインハイブリッド (PHV)
ICE エンジンPHV・第2世代バイオ/合成液体燃料、E85

Step X (超長期)

水素燃料電池車/BEV ?
- FCスタック/水素ストレージ/電池技術 現状技術の延長に解ナシ
- ブレークスルーへのチャレンジ必要だが、成立前提のシナリオは危険
Step 2+α のシナリオも要検討 第3世代バイオ/CCS/原子力/核融合

ハイブリッド技術 (電気駆動/エネルギー管理)
は将来のポスト石油、低CO₂自動車へのコア技術

5.9 サステナブルトランスポート

cordia

自動車 & 自動車社会のパラダイムチェンジが不可避

- ☆ 自動車技術のチェンジ ハイブリッドテクノロジー
ハイブリッド技術 (電気駆動/エネルギー管理)
は将来のポスト石油、低CO₂自動車へのコア技術
- ☆ 自動車ビジネスのチェンジ
ディーラー・サービス・燃料インフラ・保険
レンタ/リース・カーシェア
- ☆ 社会システムのチェンジ
コピキタス社会 (ITネットワーク)・Smart Grid
低カーボンコンパクトシティ・新交通ネットワーク社会
- ☆ 人間社会の意識変化
もったいない・エココンシャス・スマート&インテリジェント

そのうえで、自動車の原点 Freedom of travel/Fun to Driveな Personal Mobilityを大切にしていきたい！

5.10 交通システム再構築へのうごき

1. ロードプライシング

ロンドン・ストックホルム・シンガポール他

2. LRT (light rail transit)

3. BRT (Bus rapid transit)

4. P & R (Park and Ride)

5. コミュニティーバス

6. 自転車専用レーン整備

7. レンタル自転車

8. カーシェア/レンタルEV・PHV

9. トランジットモール

10. 高速鉄道網整備 欧州/米国/中国他

11. HV/PHV/EVタクシー



ストックホルム・プリウスタクシー



ロンドン・ロードプライシング
適用区画のプリウス



ストラスブール・P&R駐車場



ストラスブール・トランジットモール



パリ・レンタル自転車

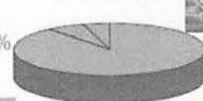
5.11 トヨタ*EDF PHV実証テスト(ストラスブール市)

EDFの発電Mix



Hydro 6,4 %

Thermal 4,4 %

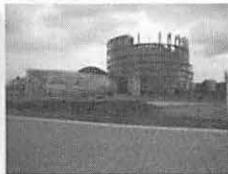


Nuclear 89,2 %



EDF 発電時のCO2排出量 40g/kWh

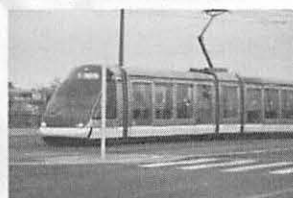
EU議会



ストラスブール市役所前広場とトラム



ストラスブール市のトラム



ハイブリッド自動車プリウスの開発は
日本発進の環境技術により自動車のチェンジへのチャレンジ!
その基本に立ち返り、魅力あふれ&持続可能な新しい
自動車社会を日本勢がリードし続けることを祈念。



ご静聴ありがとうございました。

2010年10月28日

編集発行
(社)日本工学アカデミー

〒108-0014 東京都港区芝 5-26-20
建築会館 4F
Tel : 03-5442-0481
Fax : 03-5442-0485
E-mail : academy@ej.or.jp
URL : <http://www.ej.or.jp/>