

B-55 低環境負荷型都市交通手段に関する研究

(1) 次世代型電気自動車の普及に当たっての問題の解明とその対応策に関する研究

研究代表者 国立環境研究所地域環境研究グループ 近藤美則

環境庁国立環境研究所
地域環境研究グループ 交通公害防止研究チーム 近藤美則
社会環境システム部 資源管理研究室 森口祐一
(委託先)
慶應義塾大学 環境情報学部 清水 浩

平成9-11年度合計予算額 87,921千円

(平成11年度予算額 21,993千円)

【要旨】

次世代型電気自動車の普及に当たって問題になることとして、新しく導入した要素技術が当初の目的通りに働いているか否か、実際の使用状況における動力性能は見込み通り得られているかが正しく求められる必要がある。さらに普及のためには、次世代型電気自動車の導入が可能な用途を明らかにする必要がある。そのため、国立環境研究所所有の電気自動車ルシオールを対象として走行試験を行い、基礎的なデータの取得および解析を行った結果、車輛要素技術の動作データを同時に多数取得できる計測器がほとんどないことが明らかとなった。そこで、それを可能とする計測器の開発を行った。つぎに、自然エネルギー利用を目的として車輛に設置されている太陽電池に対して、発電量および充電電力量の計測を行い、走行エネルギー供給への寄与度を評価した。さらに、電気自動車用駆動システムとその動力性能とを評価するためのシミュレーションプログラムを開発するとともに、対象試験車ルシオールのサスペンションを例として解析を行った。

また、ルシオールの走行性能や居住性、快適性等に対するアンケート調査を国内外で実施し、多くの回答者から好意的な回答を得たとともに、電気自動車の普及に当たって重要視される車輛購入価格と車輛サイズに関わるデータを収集した。さらに、アンケート結果等をもとに次世代型電気自動車の構成および駆動システム等について設計・検討を加えるとともに、ルシオールタイプの電気自動車の現実的な導入可能性に対して、自動車の利用実態についての関東近県の調査データをもとに検討を行い、乗用車および軽トラックであれば9割程度が代替可能であること、1台あたりの削減量が車種により数倍変動すること等を明らかにした。

【キーワード】 電気自動車、ルシオール、インホイールモータ、バッテリービルトインフレーム、電池管理システム、シミュレーションプログラム、太陽電池、走行実態

1. 序

1997年12月に京都で行われた気候変動防止枠組条約第3回締約国会議において、2008年から2012年までの平均の排出量として日本は、1990年比で温室効果ガスの6%削減が定められた。日本の1995年のエネルギー消費量を1990年比で見ると、産業部門がほぼ一定であるのに対して、民生、交通部門は全体（約8%）に対してほぼ倍増の状況にある。これは、全部門一律の二酸化炭素削減目標を立てて対策を行うことを想定したとき、運輸部門の二酸化炭素（CO₂）排出量は、実際には1990年の約3/4の排出量にまで削減しなければならないことを意味し、対策が非常に難しいことを示している。

一方、世界全体におけるCO₂排出量をみると約20%までが交通部門によるもので、かつ年率3%以上の割合で増加している。これらの排出の大半は都市内の自動車交通によりもたらされており、交通部門における温暖化対策においては、都市内の自動車に対する対応策が重要な位置を占めることになる。

これまでこの問題の抜本的な解決には、電気自動車（EV）の普及が有効であるとの観点から基礎研究を続けてきた。その結果、要素技術および車体構成技術のそれぞれで成果をみることができた。今後はこの成果を生かし、現実に社会に普及させかつ、温室効果ガスの排出削減を可能にすることが求められる。そのためにはEV単体そのものをより実用性のあるものに高めるとともに、EVが普及することを前提とした都市内での交通体系を創案し、更に導入のためのシナリオ策定やその導入効果の算定を行うことが必要である。

2. 研究目的

国立環境研究所が1996年度末に開発を一応完了していた小型高性能電気自動車ルシオールを対象試験車として、様々な状況下での走行試験等を実施することにより、電気駆動車に要求される個々の構成要素および車体トータルとしての性能の評価を行う。それらに基づき電気駆動自動車の普及に際して問題となる事項を明らかにするとともに、それへの対応策を見いだす。また、導入シナリオの作成のために自動車の利用実態について調査を行うとともに、実験により得られたEVの動力性能をもとに、小型EVが社会に受け入れられる目的と用途を推定する。そして、その用途への導入による二酸化炭素削減効果を評価する。

3. 研究方法と成果

(1) 対象試験車の概要

対象試験車ルシオールは、環境、エネルギー、事故、渋滞等の自動車の関わる問題を抜本的に解決することを目指して国立環境研究所が中心となり、民間13社との協力の下、1994年度からの3年間をかけてグラウンドアップデザインにより開発を行った小型高性能電気自動車である。その特長を下に示す。

- 【1】 軽自動車よりやや細身の車体に前後左右からの衝突にも配慮した前後2人乗り
- 【2】 空気抵抗を小さくするために決められた車体スタイル

- 【3】 車内空間を確保するために車室床下にアルミ押し出し成形技術を利用した電池収納空間とシャシー構造とを兼用したバッテリー・ビルトイン・フレーム
- 【4】 後輪左右のホイール内に各 1 個のモータを配置した軽量コンパクトな駆動系（インホイールモータドライブ）
- 【5】 天井とリアスポイラー部分に多結晶太陽電池を設置し走行用電力の一部をまかなう太陽エネルギー利用車輛

ルシオールの外観を図 1、主な諸元を表 1、エネルギー利用効率を図 2 に示す。電気自動車は、エンジン自動車に比べてエネルギーの利用段階に至るまでの経路が多い。そのため効率が悪いと考えられがちであるが、経路毎の効率が高いため意外に良い。対象試験車ルシオールの場合を求めてみると、ガソリン軽自動車に比べて約 3 倍の高い利用効率を示す（図 2）。



図 1 対象試験車の小型電気自動車ルシオール

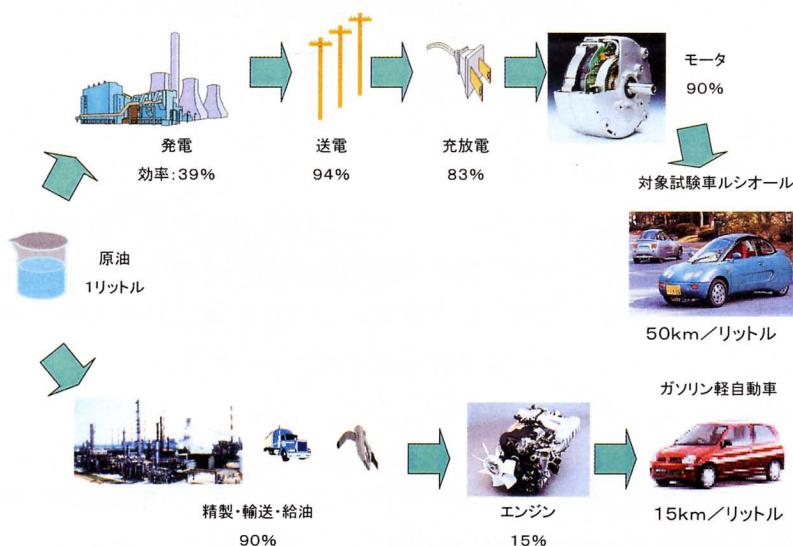


図 2 ガソリン軽自動車と電気自動車ルシオールの効率の比較

表1 ルシオールの主な仕様

車体	全長×全幅×全高	3.30m×1.20m×1.34m
	車輛重量	910kg
一充電走行距離	40km/h定速走行	290km
	80km/h定速走行	140km
	10・15モード走行	130km
	10・15モード走行での燃費(図2参照)	50km/L (68.5Wh/km)
加速性能	0→40km/h	4.3秒
	0→400m	17.9秒
	最高速度	150km/h
駆動装置	型式	インホイールモータドライブ
	モータ型式	DCブラシレスPM
	最大出力	36kW/4470rpm×2
	最大トルク	77N・m/0-4470rpm×2
	最高回転数	8700rpm
	駆動輪	後輪
サスペンション	型式	ダブルウィッシュボーン
電池	種類	密閉式鉛蓄電池
	容量、電圧	40Ah、4V
	総電力、総電圧	8.9kWh、224V
	重量	269kg
制動装置	(前)	アルミ製ディスクブレーキ
	(後)	回生付きアルミ製ドラムブレーキ

(2) 車輛の改修

1) 車間距離警報装置の開発と車輛への取り付け

1996年度に開発した対象試験車ルシオールの走行性能試験を一般公道上において行うにあたり、先導車の配置および車間距離警報装置の設置が必要条件となった。そこで、先導車との距離と相対速度とから近接状況を推定し、運転者に告知するセンサーの開発と車輛への取り付けを行った。センサーは車輛前面のナンバープレートの下部に、警報表示装置は運転席右前のダッシュボード内に設置した。

この車間距離警報装置は、自動運転や輸送密度向上のための隊列走行には必須の技術である。電気自動車の駆動を受け持つモータの制御はエンジンの複雑な制御よりも非常に単純であるため、自動運転の成立の高い可能性と容易性をもつ。今後は、この装置と組み合わせた車輛制御系の検討が必要である。

2) 車輛の操縦安定性向上のための車輛改修

対象試験車のような細身の電気自動車の普及を進めるためには、想定できる不安要因を限りなく減らすことが必要である。対象試験車はプロトタイプの車輛であるため、十分吟味された操縦性を持ち得ていない。したがって、対象試験車の操縦安定性向上のために車輛前後へのスタビライザーの設置を検討した。スタビライザーの仕様確定のための走行実験を行うとともに設計・製作並びに取り付けを行った。スタビライザーを取り付けたことによる操縦安定性の向上はめざましく、車幅の狭さから運転中に転倒するのではないかという不安感をかなり減じることができた。

さらにシャシーダイナモメータ上における各種の性能試験を行うために、リアトレッドの拡張、および非常時の車輛牽引用フックの取付等の加工を車体に施した。

3) 電池管理システムへの一括充電方式の追加

対象試験車ルシオールには、走行用電池を個別に管理する個別充電管理システムが装備されている。個別充電方式は利用時の効率向上と電池寿命の延伸とに大きく寄与する可能性を持つ方式であるが、次世代型車輛の充電方式として、一般的に採用されるかどうかは現時点では不明である。したがって、従来から行われている一括充電方式による車輛の運行・利用の評価をも可能なように充電方式の追加を行った。

(3) 車輛の評価

1) 太陽光発電システムの評価

自動車は走行している時間よりも駐車している時間の方が圧倒的に長い。その駐車時間を有効に利用することで、電気自動車の普及の足枷になっている充電にかかわる煩わしさを減じることができるのではないかということから、ルシオールには天井およびリアスポイラー上に太陽電池が張り付けられている。取り付けた太陽電池は最大出力 67W の多結晶型であり、この太陽電池による発電電力量および電池への充電電力量の測定を行い、充電補助としての太陽電池の有効性を検証した。図 3 に、ルシオールの充電管理システムの系統図を示す。

計測の結果、太陽電池自体の変換効率は 10.6% とカタログ値相当であったが、DC/DC コンバータを経た後の効率は全入力エネルギー量のうちの約 3.2% となり、発電された電力を有効に活用できていない状況であった。この原因は DC/DC コンバータの効率が計算上 92% に対して実際には約 35% しかないためであり、DC/DC コンバータの効率向上が必要なることが明らかになった。

DC/DC コンバータの効率が設計通りであれば、ルシオールに取り付けた太陽電池による発電量による年間走行可能距離は、10・15 モードで 780km、80km/h 定速走行で 840km となる。日本の軽自動車の年間走行距離を各種統計から算定すると、約 5500km であるのでその約 15% は太陽電池による発電でまかなうことができることになる。さらに太陽電池を広い面積に取り付ければ、太陽エネルギーのみで走行可能なソーラーカーにもなり得るが、車輛の軽量化や電池の高性能化、効率のさらなる向上等の技術開発が必要である。もっとも、移動媒体である自動車に太陽電池を設置し直接電力供給を行う場合と駐車場や自宅、

建築物等の上に太陽電池を設置し発電を行い駐車時に電力供給する場合等との間で、どちらがより低環境負荷になりうるかについてはライフサイクル的視点に立った検討が必要である。大雑把ではあるがルシオールの走行エネルギーを完全に太陽電池のみで行うことを想定し、それに必要な太陽電池の面積を求めると、次のようになる。

国立環境研究所内に設置された単結晶、多結晶、アモルファスの3種の太陽電池について時々刻々計測している発電量などから検討すると、ルシオールが軽自動車と同様に年間5500km走行すると仮定すれば、太陽電池の面積は単結晶、多結晶、アモルファスでそれぞれ、3.2 m²、3.7 m²、9.6 m²必要となる。ルシオールを駐車するに最低限必要な面積は4.6 m²である。このことから、単結晶、多結晶ともに最小の駐車場面積の屋根に太陽電池を設置すれば、計算上年間走行距離分に相当する電力を太陽電池で供給できる。

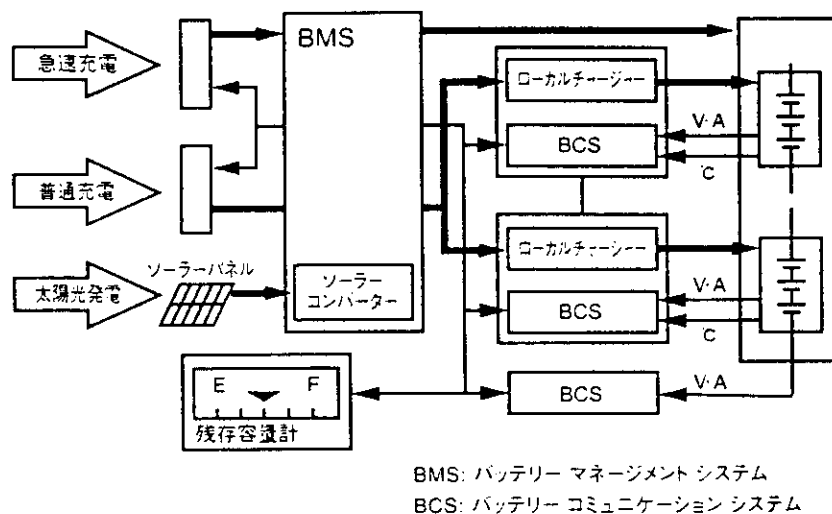


図3 ルシオールの充電管理システム

2) 車載型電気駆動車用計測器の開発

電気自動車やハイブリッド車等のモータを利用した自動車の実使用時の効率を明らかにするために、車輛構成機器の効率等を詳細に測定できる計測器の基本部分を研究初年度に開発した。2年目には、電池周りの電流、電圧や温度等のデータが取得できるような機能モジュールを開発し、その計測器に追加設置するとともに、計測表示プログラムの改修を行った。開発した計測器の概要を図4に示す。

なお、この2年間で開発した計測器は、0.01秒ごと的高速サンプリングと車輛への搭載ができる特徴を有し、車輛速度、モータへのトルク指令、モータに流れる電流・電圧等の計測項目を高精度に取得可能である。主な測定として、

- 【1】市街地走行、パターン走行、定常走行時における一充電走行距離と消費電力、
- 【2】加速時の電力と速度特性、
- 【3】インバータ、モータの過渡効率特性、
- 【4】電池系の充放電効率、

等が可能である。また、温度補正機能も備えており、様々な条件下での実験が可能である。この計測器により、電気駆動自動車の普及に向けて今後必要な要素技術を明らかにすることを目的としている。

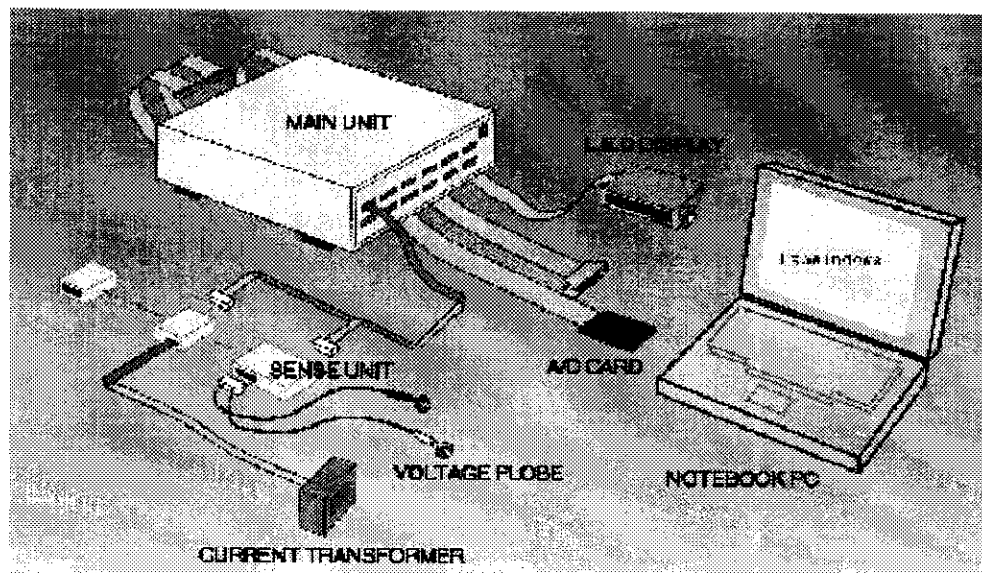


図4 開発した車載型電気駆動車用計測器の構成

測定の流れは、車輻に取り付けた最大16チャンネルの各種センサからの信号をメインユニットで演算し、A/D変換ボードを通してコンピュータ内に取り込む。コンピュータ内では、瞬時値の表示と波形を描画すると同時に、外部表示器に任意の瞬時値を表示する。この計測器を使って得られた実験結果を図5に示す。

図5には、15モード走行時のバッテリーとインバータの電圧と電流、左右のモータの回転数と温度等の情報が表示されている。この計測器により時々刻々変わる車輻への指令値と実車輻の状態や指令値の時間遅れ、瞬時消費電力等を知ることができる。そのため自動車の制御については、制御系の遅れの原因探求とともに車輻の応答性の向上対策をとるべき箇所を特定できる。また、これまであまり正確ではなかった電気自動車用電池の残存容量について、より正確な表示ができる可能性がある。

図6に、収集したデータを解析して駆動系の回転数とそのときの駆動/制動トルクの関係性を求めたものの一例を示す。これは加速度試験時のデータであり、駆動系の仕様通りの出力トルクが最大馬力（毎分約4500回転）付近まで出て、その後アクセルをやや戻したため急激に出力トルクが減少している状況が正に見て取れる。また、図中の点の色はその時点でのモータ等駆動系の効率を表示している。低回転（低速）時には50%弱の効率であるが、時速50km程度の走行時においては80%あたりの効率を示している。いくつかの計測データから、この対象試験車は中速域の効率を重視した設計となっていることが推測できる。

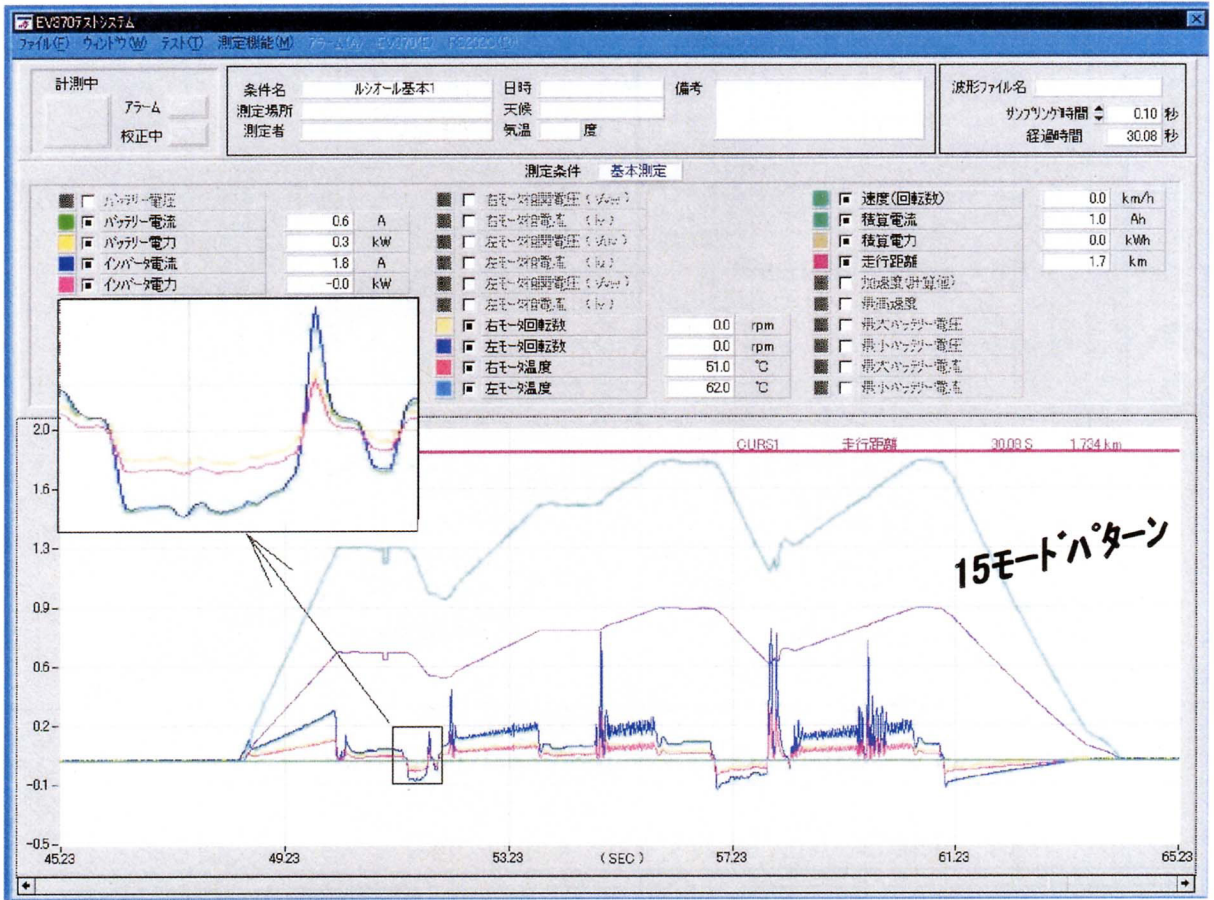


図5 開発した計測器による出力イメージ例

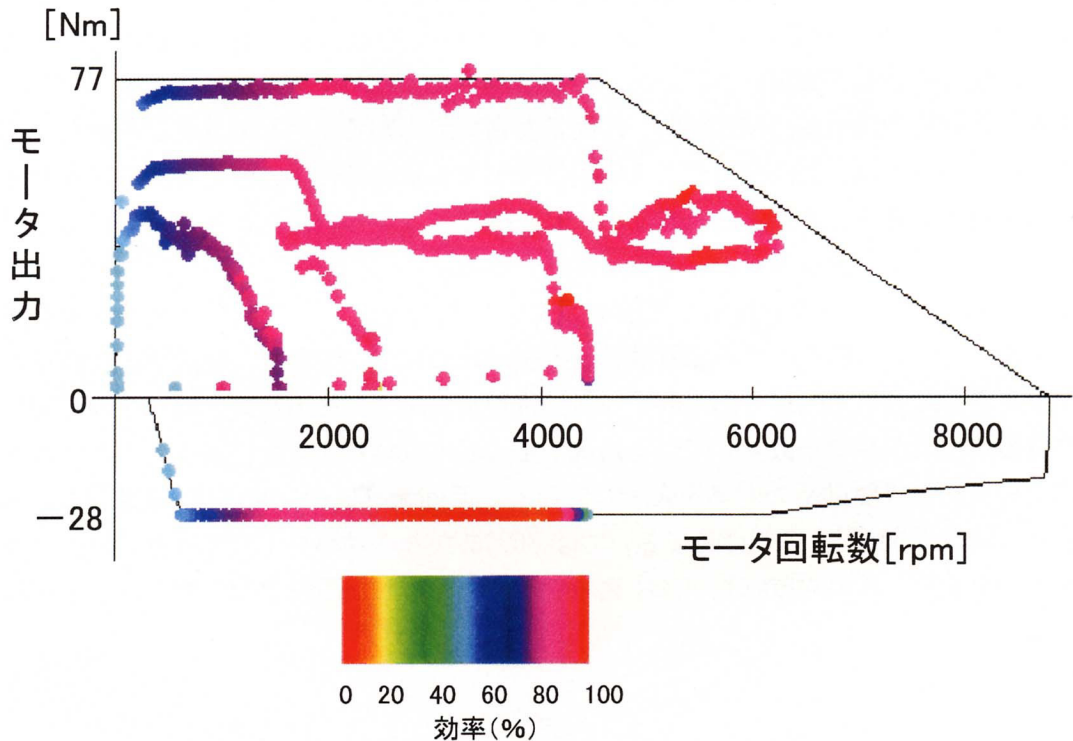


図6 加速度試験におけるルシオールの実際の駆動/制動トルクの一例

3) コンピュータによるモデル解析

a. 電気自動車の性能評価プログラムの開発

一般にプロトタイプ車両を製作するには、多額の費用と多くの時間を必要とするため、完成車両のある程度の走行性能があらかじめ設計段階で把握できていることが望ましい。モータを駆動系とする電気自動車の場合、コンピュータシミュレーションと実際の走行試験の結果とがよく一致する。したがって、製作される電気自動車について、駆動システムと制御系に要求される性能とを事前に検討するための性能評価プログラムをできるだけ正確に作成することにより、大幅な時間と開発コストが削減できる。

これまでこの種のプログラムは、インホイールモータタイプのものが以前国立環境研究所で作られ、そのオリジナルから派生したものがほんの少数存在したのみであった。研究2年めはそれを参照しつつ、ギア付きの改造型EV（コンバート車）の性能評価にも使えるように仕様を拡張するとともに、実際にコンバート車を例として取り上げ、そのプログラムのパラメータの調整を行った。実車による計測とシミュレーション結果は、非常によい一致を示していた。ここでコンバート車を取り上げた理由は、高性能電気自動車は高額なため、一般への早期の普及は非常に難しいと想定される。電気自動車の認知度の向上とその普及を目指すには、まず現在のエンジン車両を電気自動車に改造するコンバートも有効な対策の一つである。高性能電気自動車ほどの性能の達成は難しいが、コンバート車は改造、維持・管理の方法等を理解すれば、手軽に電気自動車のメリット・デメリットを体験することができる。局地的な大気環境の改善や地球温暖化対策として、現実的な対応策と考えたためである。

b. ルシオールのサスペンション性能評価

ルシオールはインホイールモータドライブシステム（IWDS）をその駆動系として採用している。IWDSは、モータを小型化し、ホイールの中に組み込んだ駆動系であり、エネルギー効率、車両空間の利用効率等の面から、非常に大きなメリットがある一方、重量物であるモータや一連の駆動系を納めるため、バネ下重量が重くなる傾向にある。IWDSに起因するバネ下重量とは、タイヤ、ホイール、サスペンション部品など、サスペンションのバネに取り付けられ、路面の凹凸などによって上下に振動する部分の重量のことである。一般的には、バネ下重量が増加すると、バネ下の路面追従性が低下し、バネ共振も大きくなり、乗り心地や接地性に多大な影響を及ぼすと言われている。そのため、いたずらにバネ下重量を増加させるようなIWDSの採用は、これまでの自動車開発の常識から言うと少しばかり異端な考え方と言える。

そこで、次世代型電気自動車の駆動系としてのIWDSの可能性について明らかにするために、IWDSのバネ下重量増が乗り心地に与える影響について定量的に評価することを試みた。

手法としては、駆動系のコンピュータシミュレーションを行うため、機械分野で使われる機構解析言語DADSを用い、ルシオールのモデル化とともにサスペンション等のパラメータを変えてシミュレーションを行い、バネ下重量の差による乗り心地への影響を解析した。なお、いくらシミュレーションモデルを構築し、その結果に解析を加えたとしても、

モデルそのものが十分な正確性、再現性を備えていなければ正しい結論を導き出すことはできない。そこで、定常円旋回、パルス応答試験などの運動性能実験、最小回転半径などの幾何学的測定および突起乗り越し試験等について現実の車両を使ったデータ収集を行い、その結果をモデルと比較した。

シミュレーションモデルは、車両をシャシーフレームとボディ、サスペンションアーム、ステア機構、ブレーキ、モータ、ホイール等の26の剛体とバネ、タイヤに分けて作製した。図7に作製したシミュレーション用車両モデルを示す。

このモデルを使い、突起乗り越し試験についてシミュレーションを行いその結果を現実のデータと比較してみると、良い一致を示しており、モデルは極めて高い再現性を備えていると判断できる。そして、このシミュレーション結果をベースケースとして、バネ下重量をほぼ半分の重量に軽量化した場合、および重いバネ下重量に合わせてサスペンションの特性を最適化した場合とについてシミュレーションを行った。その結果、乗り心地に大きな影響を与える要素は、バネ下重量ではなくむしろ、バネやダンパーの特性といった、サスペンションセッティングの方が支配的であることが明らかになった。

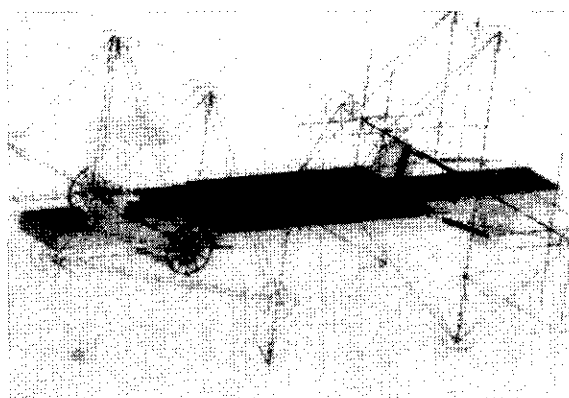


図7 機構解析言語DADSによるルシオールのモデル

4) 電気自動車についてのアンケート調査

a. 国内における調査

対象試験車ルシオールのスタイル、車輛コンセプト、動力性能に係る調査を実施した。実施方法としては、1997年度～1999年度中に各地で行われた低公害車フェアや環境フェアへの電気自動車の出展を通してフェア来場者に対してあるいは、国立環境研究所への来所者等に対して、この電気自動車を展示あるいは試乗に供し、そのときに感想を口頭あるいは質問紙により尋ねた。

ルシオールの提供は平均して研究1年目が月2回、2年目以降は月1回弱であり、約600名余りに対するアンケート調査の結果、ほとんどすべての回答者がこの電気自動車の動力性能に対しては満足、スタイルも良好であると回答した。車両の購入意志と価格については、数10万円～200万円までのばらつきがあり、もっとも多く回答されたのは100万円程度であった。

一方、ルシオールについて不満な点、受け入れられない点として、やはり一充電走行距離の短さが指摘された。これはルシオールが鉛蓄電池を採用したためであり、ニッケル水素電池、リチウム系電池へ置換することにより2倍から3倍以上に向上させることは可能である。ただ、現在のエンジン自動車は、年に1回あるいは2回の長距離走行の用途をも満たすように設計・生産されている。環境やエネルギーの問題を考慮すると、このような万能を目指す車両の開発が今後も継続されるとは考えにくい。適材適所の考えで、エンジン自動車、電気自動車等が用途別に活躍の場を棲み分けるのが近い将来の交通システムであると推定される。

さらに、天井が低いので乗降がしにくい、座席数が少ない、前後に2人乗りのため同乗者と話がしにくい等も指摘される。天井の高さについては改良できるが、前後2人乗りに起因する指摘については、この車の開発コンセプトが十分理解されていなかったものと思われる。

また、この小型高性能電気自動車に限らず、電気自動車に対して「車両価格が高い、車重が重く加速が悪い」との認識が、多くの人々の意識の中に刷り込まれていることを調査を通じて改めて感じた。しかし、多くの試乗者がルシオールの動力性能を体感したことにより、EVに対する認識を180度変化させていた。前出した価格範囲であれば、躊躇なくこのEVを購入するとの回答も多くから見られた。EVを普及させるためには多くの人々にルシオールを体験試乗してもらい、EVはエンジン自動車と同程度の必要十分な動力性能を有することを認識してもらうことが必要である。このルシオールのようにゼロからEVとして開発するグラウンドアップ型によれば、車輛への搭載エネルギーが少量であろうともEVの高性能化は達成でき、今後もこの手法によるEVの研究・開発が必要であることが確認できた。

b. 海外における調査

小型高性能電気自動車に対するアンケート調査は、1997年12月の米国フロリダ州オーランドで行われた第14回電気自動車国際シンポジウム(EVS-14)、1998年9月のベルギー国ブリュッセルで行われたEVS-15、1999年10月の中国北京で開催されたEVS-16の3つの国際シンポジウムにおいても実際に車両を展示するとともに試乗に供することで行った。回答者の性別と試乗会の概要について表2に示す。また、試乗会で用いた調査票の主な設問項目を表3に示す。設問項目に対して回答者は、「非常によい」から「悪い」までの5段階で評価を行い、最後にルシオールについて自由に回答をするようになっている。

表2 試乗会の概要と回答者の性別

	試乗会開催時期	試乗距離(km)	試乗コース	試乗者総数(名)	うち女性(名)
EVS-14	1997年12月	2.4	公道	147	14
EVS-15	1998年10月	2.2	公道	126	6
EVS-16	1999年10月	0.6	ホテル中庭	70	5

表3 アンケート調査の設問項目

小型電気自動車「ルシオール」の性能その他について	設問項目		選択肢
	走行性能	加速性能	
制動力			
操舵性			
安定性			
運転時の快適性	車内空間の広さ		< 2 > 良くない < 1 > 悪い
	シートの座り心地		
	視界の広さ・視点の高さ		
購入意欲と価格	購入意志の有無		ある 無い
	購入希望価格		記入式

5段階評価で求めた回答は、非常によいを5点、よいを4点、普通を3点、良くないを2点、悪いを1点として数量化し、平均値を求めた。それを棒グラフ化したものを図8に示す。加速性や制動力などの車両自体の動力性能については、4点以上のおおむね高い評価であった。車内空間の広さや視界の広さなどについてはやや低い評価となったが、プロトタイプの車両であること、低空気抵抗ボディやバッテリービルトインフレーム等の新しいアイデアや技術をはじめ採用した車両であること等を考慮すれば充分満足のいく評価といえよう。

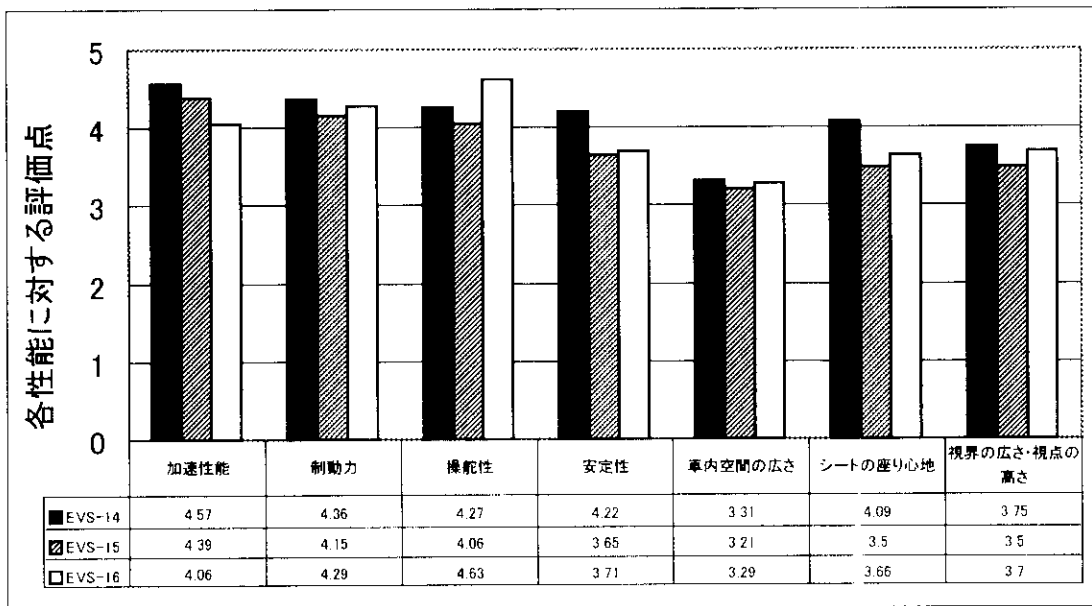


図8 ルシオールの走行性能、運転時の快適性等の各EVSにおける評価

また、ルシオールのようなコンセプトと性能を持つ電気自動車について、車両購入意志の有無、さらに購入意志有りの場合はその希望価格についてまとめたものをそれぞれ図9、図10に示す。

ルシオールの購入については、6割以上が意志有りと回答しており、希望価格が欧米では5千\$~1万\$、中国では5千\$未満が一番多く、1万5千\$未満であれば約9割の

中国で購入希望価格が低い理由については、中国人の平均月給は1元を約14円で換算すると日本円の約1万3千円であり、5千\$は日本円で50万円（1\$=100円で換算）に相当し、平均月給の約3.8倍に当たるためと考えられる。日本の大卒新入社員の平均月給を約18万円とすると、中国での5千\$は日本円で約70万円の価値に相当する。日本における軽自動車の平均的な価格は100万円程度と見越して選択肢を設定したが、購入価格を尋ねるのであれば、物価水準等を前もって調査し適切な価格を提示すべきであった。

なお、ルシオールに対する自由回答をまとめると、下記に要約できる。

- 【1】 走行性能が素晴らしい（特に加速性能が）。
- 【2】 運転が楽しい車である。
- 【3】 素晴らしい開発コンセプトである。
- 【4】 デザインが非常によい。
- 【5】 都市部の通勤カーに最適である。
- 【6】 セカンドカーとして最適である。
- 【7】 太陽電池を屋根にのせたのは素晴らしいアイデアである。
- 【8】 市場への導入が早く待たれる。
- 【9】 視野の改善と車内スペースの改善のために若干幅を広げて欲しい。
- 【10】 荷物を入れるスペースが必要。
- 【11】 ニッケル系のバッテリーを試して欲しい。
- 【12】 欧州や日本ででの利用が好ましい。

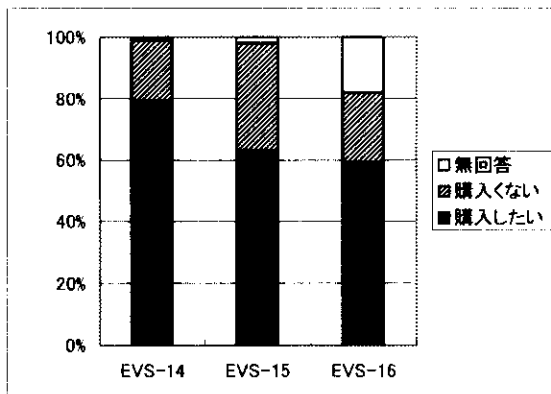


図9 車輛購入意志の有無

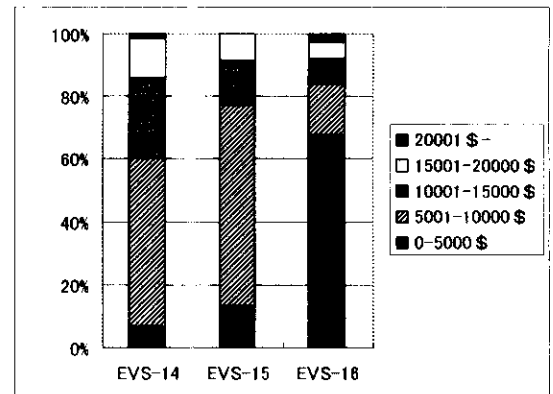


図10 希望購入価格帯

5) 次期車両設計

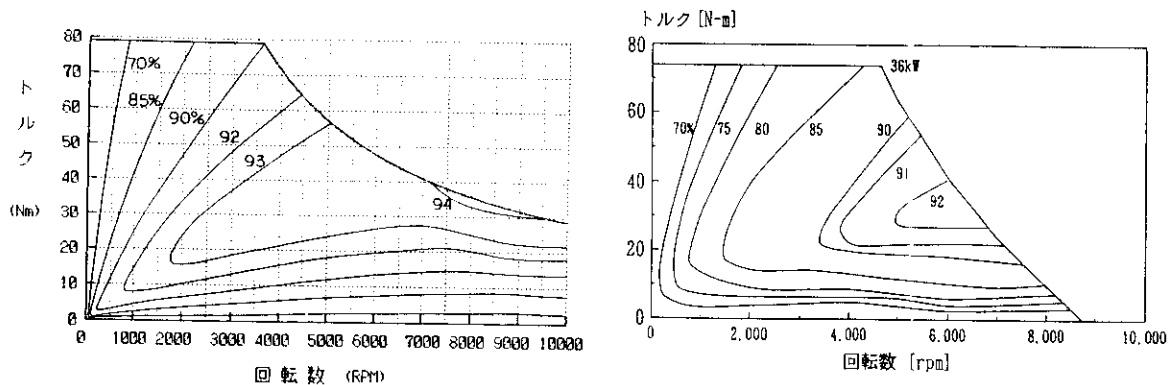
ルシオールは電気自動車ならではの長を生かした設計・要素技術の採用により、従来のエンジン車と比較しても同等以上の性能を実現した車両である。ただ、その車両の大きさが軽自動車サイズであるため、見学者や回答者に対して、「電気自動車は小さい車しかできない。」という認識を与えてしまっていた。逆に回答者からは、「大人4人乗車が可能な車は作れないのか？」という意見がしばしば発せられる。

能な車は作れないのか？」という意見がしばしば発せられる。

したがって、ルシオールコンセプトを生かした大人4人乗車が可能なセダントタイプの車両のニーズは非常に高いと思われる。これを実現するためには、車両の基本コンセプトの検討、車重増に対応した駆動系のさらなる改良、低転がり摩擦タイヤの開発等が必要であり、その検討を行った。

a. I W D S の設計

次世代型電気自動車に要求される機能および性能は、これまでの車と比べて動力性能に遜色がないこと、車体の全容積に占める有効利用空間が広いこと、荷役や乗降が容易なことである。このような要求に対して、これまで開発してきたハブリダクション方式の駆動装置やバッテリー・ビルトイン・フレームは有効に利用可能であるが、車輪の大きさが車両の機能性を大いに損なう問題がある。これに対して、車輪の小型化により対応をすることも想定される。そのため、I W D S の構成要素であるモータ関係、リダクションギア関係、ブレーキシステム関係、ベアリング関係等について再設計を行った。新設計モータの効率マップをルシオールのマップと並べて図1-1に示す。高速走行性能の向上とともに効率の向上を達成している。さらに、4輪インホイールモータドライブシステムの可能性についても検討するために、ステアリング機構付きI W D S の成立条件の検討と基本設計を行った。



(a) 新設計PMモータ

(b) ルシオールのモータ

図1-1 モータの効率マップ

また、タイヤについても4人乗りセダンとなると車重が増加する。それに耐え得る低転がり摩擦タイヤについても車両重量、タイヤサイズ、ホイールサイズなどの検討とともに荷重計算にもとづく解析を行った。

図1-2に、I W D S とバッテリービルトインフレーム (B B F) を用いたルシオールタイプの電気自動車 (以下、ルシオールタイプと呼ぶ。) の基本コンセプトについて示す。I W D S と B B F の組み合わせにより、車両の走行に必要な部分はほとんど完成する。したがって、B B F 上に搭載するパーツを用途に合わせて置換することで、セダントタイプ、1 B O X タイプ、商用バンタイプ、トラックタイプ等の車両が作り出し得る。非常に汎用性

の高い駆動システムといえよう。

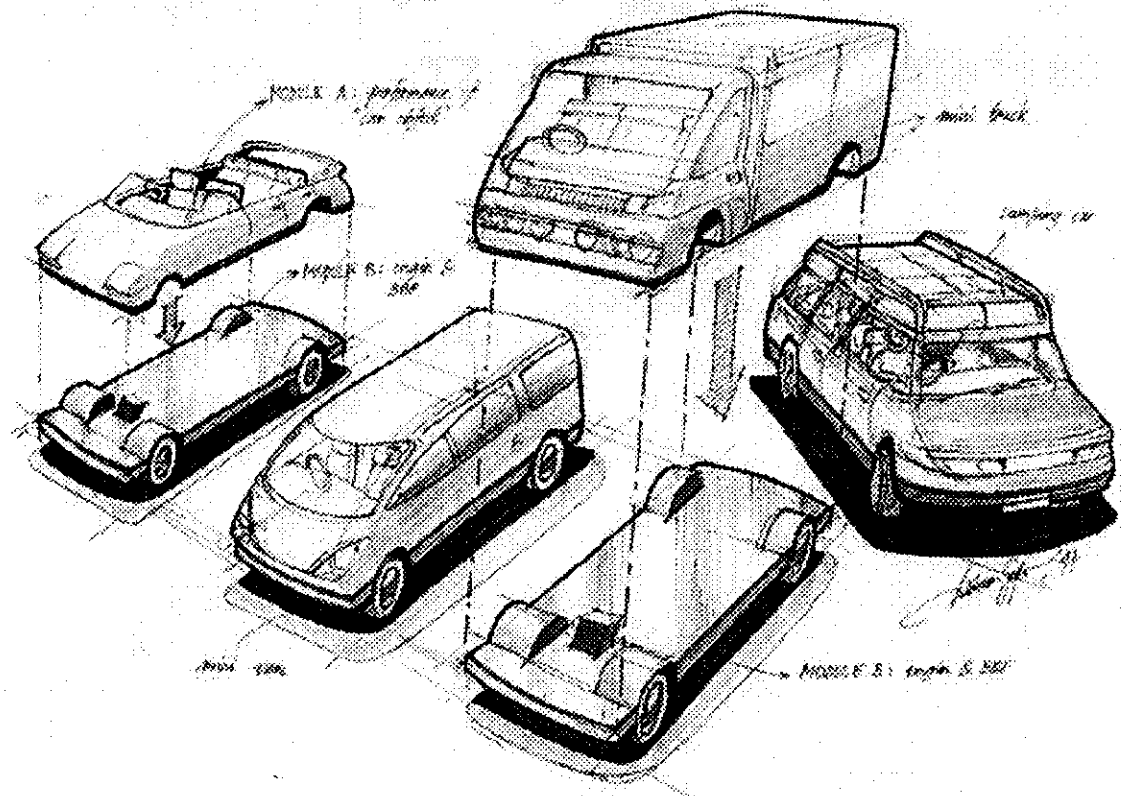


図12 インホイールモータドライブシステムとバッテリービルトインフレームを用いた電動車両の基本コンセプト

6) 電気自動車の導入可能性と削減効果の推定

一般のエンジン車に比べて高価格であること、利用が制限されることなどのデメリットを差し置いて、エネルギー効率がよく環境への負荷が小さい特徴を持つ電気自動車であるが、それだけでは一般にはなかなか受け入れてもらえないのが現状である。そこで、電気自動車の走行距離の短さを認識した上で、代替可能な用途がどの程度有るか、代替できたとしたらどれほどの二酸化炭素削減効果があるかを、ルシオールタイプについてライフサイクル的視点から評価を行った。車輛の製造段階は産業連関表を利用し、使用・利用段階は自動車の実際の使用・利用実態のデータをもとに代替可能性等をもとに実施した。自動車の利用実態については、(財)石油産業活性化センターの「大気改善のための自動車・燃料等の技術開発」プログラム(略称JCAP: Japan Clean Air Program)が1997年度に関東近県を対象として実施した例¹⁾があり、今回これをもとに推計を行った。JCAP調査の詳細は報告書¹⁾に譲るが、JCAP調査では車両を表4に示す17に分類、統計的手法によりサンプルを抽出、調査票を送付、2週間分の走行を記録、返送により、利用実態の把握を行っている。

車輛代替による二酸化炭素排出量削減等の推定は、表4に示す分類のうちハッチングをした普通・小型・軽の乗用車と軽トラックの自家用と営業用の7分類について行った。推

定フローを図13、結果を表5に示す。

また、表5を求めるにあたって利用した、JCAP調査における自動車の1トリップあたりの走行距離とそのトリップ距離内に収まる車輛の割合を、普通乗用車、小型乗用車、軽乗用車および軽トラックについて図14(1)～(3)に示す。

図14から、軽乗用車と軽トラック(自家用)は非常に似通った使用形態であること、トリップ長が30km未満かつ1日あたりのトリップ回数が3回以内であれば乗用車と軽トラック(自家用)のほとんど全ての車輛を、自家用に限れば9割以上の車輛を、ルシオールタイプに代替できる可能性が見いだされた。一方、営業用でみれば、軽トラックで4割程度であるが小型や普通乗用車では半数以上の車輛に代替の可能性がない。より長距離の走行を可能とする高性能電池の導入や駆動系の効率向上等の技術開発やハイブリッド車の導入が必要である。

なお、推定において電気自動車の1充電走行距離 T_{ev} は、対象試験車ルシオールの10・15モードのカタログデータ(130km)に係数0.8をかけたもの、燃費向上率は図2の効率の比較の数値に係数0.8をかけたもの、車両の寿命 L は10年とした。また、図13における自動車製造時の二酸化炭素排出量 P_{ve} は、1995年の産業連関表により導出した直接・間接的な排出を含めた結果²⁾を、電気自動車化による車輛製造時の二酸化炭素排出量の増加比率 r_{ev} については、文献³⁾による結果を用いた。

表5より、推定の対象とした乗用車等の関東近県の約1760万台の車輛登録台数のうち1522万台に代替可能性があること、炭素換算での自動車1台あたりの削減量では自家用では軽乗用の165kgから普通乗用の473kgまで、営業用では軽トラックの369kgから普通乗用の1236kgまで変動すること、仮に代替可能な全車輛がルシオールタイプに置換できたとすれば数Mtの削減量に相当する等が明らかとなった。

表4 JCAP調査対象地域における車種区分別車輛台数

区 分		車輛台数 (台)	区 分		車輛台数 (台)
普通乗用車	自家用	3,807,515	小型バス	自家用	30,837
	営業用	17,016		営業用	2,875
小型乗用車	自家用	9,624,861	普通トラック	自家用	522,052
	営業用	73,324		営業用	279,653
軽乗用車	自家用	1,488,633	小型トラック	自家用	1,806,007
特殊車	自家用	295,819		営業用	40,971
	営業用	68,009	軽トラック	自家用	2,538,305
大型バス	自家用	9,575		営業用	53,559
		営業用	24,076	合 計	

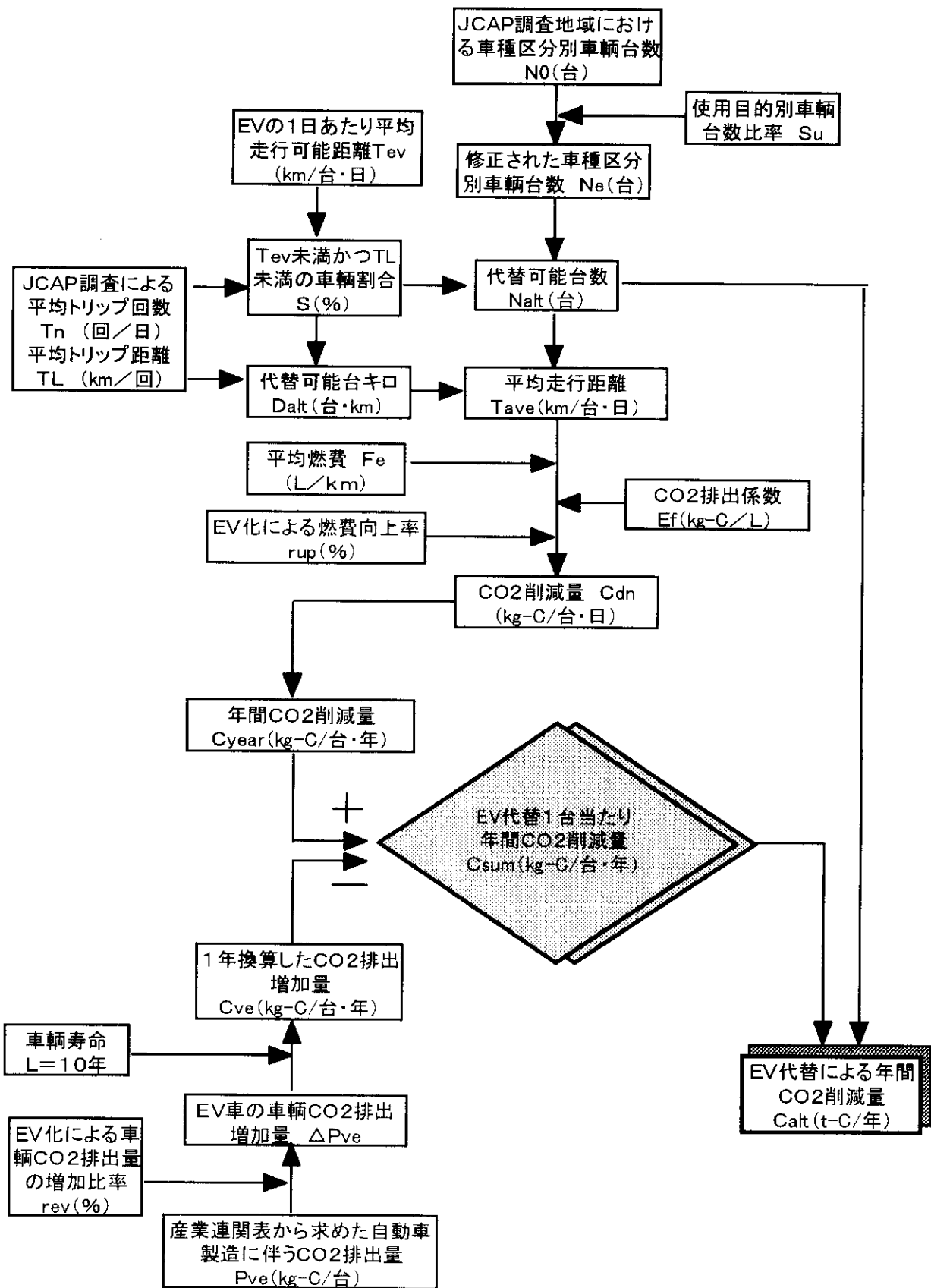
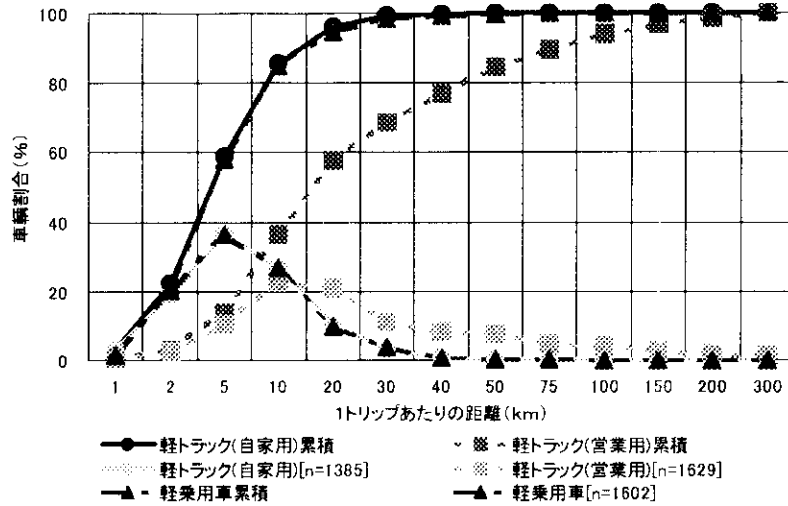


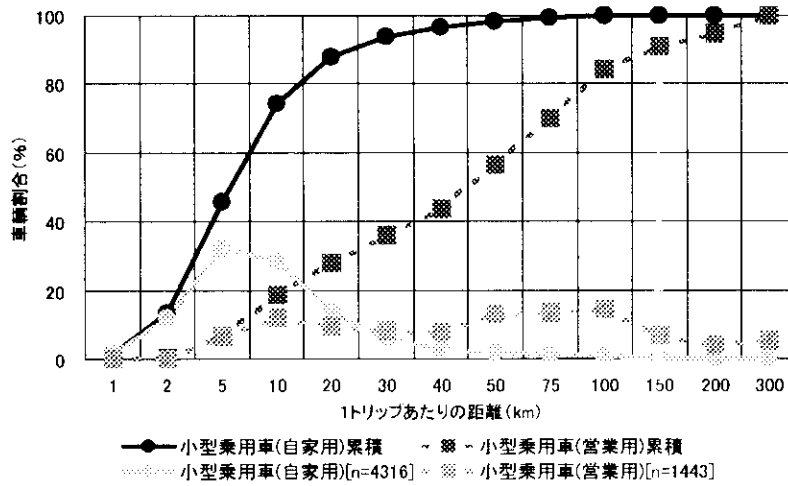
図1-3 電気自動車の導入可能量と二酸化炭素削減効果の推定フロー

表5 ルンシオールタイプの導入可能性と二酸化炭素排出削減可能性

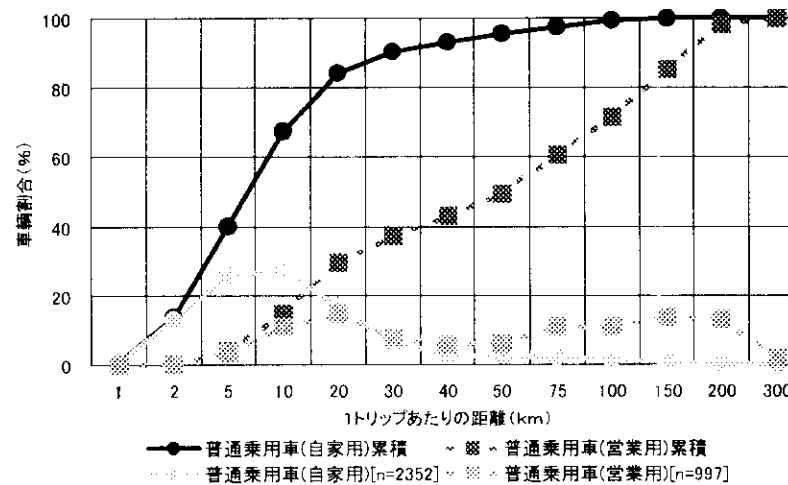
	普通乗用		小型乗用		軽乗用		軽トラック		合計	備考
	自家用	営業用	自家用	営業用	自家用	営業用	自家用	営業用		
JCAP対象地域における車種区別登録台数 N0 (千台)	3,808	17	9,625	73	1,489	2,538	54	17,603		
使用目的による営業用・他の比率 Su										
営業用	0.16		0.18		0.10	0.49	0.98			
その他	0.84		0.82		0.90	0.51	0.02			
修正した車輛台数 Ne (千台)	3,206	601	7,875	1,750	1,343	1,299	1,240			
ルンシオールの1充電あたりの平均走行距離 Tev (km/回)	104	← ルンシオールの1充電走行距離 (130 km) × 0.8とする								
平均トリップ回数 In (回/日)	1.49	1.58	1.79	2.79	2.25	2.31	2.84			← JCAPデータより
平均トリップ距離 TL (km/回)	69.80	65.82	58.10	37.28	46.22	45.02	36.62			← JCAPデータより
TL未満の車両割合 S	0.96	0.49	0.98	0.36	1.00	1.00	0.69			← 図16を参照
代替可能台数 Nalt (千台)	3,067	297	7,740	628	1,338	1,296	852	15,218		
代替可能キロ Dalt (千台・km/日)	29,958	5,964	69,305	7,946	8,393	7,993	9,983	139,541		
平均走行距離 Tave (km/台・日)	9.77	20.10	8.95	12.65	6.27	6.17	11.72	9.17		
燃費 (l/km) Fe	0.146	0.168	0.125	0.173	0.082	0.103	0.086			← JCAPデータより
ガソリンの炭素排出係数 Ef (kg-C/l)	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643			
E.V化による燃費向上率 r up (%)	267	267	267	267	267	267	267			← 図2を参照
二酸化炭素削減量 Cdn (kg-C/台・日)	1.53	3.62	1.20	2.34	0.55	0.68	1.08			
走行における年間二酸化炭素削減量 Cyear (kg-C/台・年)	557	1320	437	855	201	249	396			
1995年産業連関表による平均価格 (万円/台)	201.8		117.6		86.3	63.5				
二酸化炭素排出強度 (kg-C/万円)	6.54					6.69				
車輛製造時の二酸化炭素排出量 Pve (kg-C/台)	1319		769		564	425				
E.V化による車輛製造時の二酸化炭素排出量の 増加比率 rev (%)	64									
E.V化による車輛製造時の二酸化炭素排出量の 増加分 △Pve (kg-C/台)	843		491		360	272				
車輛の平均寿命 L (年)	10		10		10	10				
年換算した車輛製造に伴う二酸化炭素排出増分 Cve (kg-C/台・年)	84	84	49	49	36	27	27			
E.V代替1台あたりの年間CO2削減量 Csum (kg-C/台・年)	473	1236	388	806	165	221	369			
全車輛代替時の二酸化炭素削減量 Calt (kt-C/年)	1,450	367	3,006	506	221	287	314	6,150		



(3) 軽トラックと軽乗用車の場合



(2) 小型乗用車の場合



(1) 普通乗用車の場合

図14 JCAP調査によるトリップ長と車輛割合の分布

4. まとめ

1996年度に開発を一応完了した国立環境研究所所有の小型高性能電気自動車ルシオールを対象として電気自動車の導入・普及に当たっての問題の解明とその対応策について検討を行った。まず、将来の自動運転を見据えた車間距離警報装置の開発と取付および操縦安定性向上のための車両改修を行った。つぎに、電気自動車の性能評価を行うに相応しい計測器を設計・製作し、それによる性能評価試験を実施した。また、開発した計測器がモータを装備した純粋な電気自動車以外のハイブリッド車にも適用可能なように、仕様の変更及びプログラムの改修を行った。さらに、電気自動車の制御系の性能をコンピュータ上で評価可能とするシミュレーションプログラムを開発した。一方、太陽電池のみによる電気自動車の実現可能性の評価のために車輛天井等に取り付けた太陽電池に対して、実際の発電量および充電量に関するデータ測定を行うとともに、補助充電システムの一部に不具合が存在することを明らかにし、それへの対応策について検討した。また、ルシオールの走行性能や居住性、快適性等に対するアンケート調査を実施し、多くの回答者から好意的な回答が得られたとともに、電気自動車の普及に当たって重要視される車両購入価格と車輛サイズについての有益なデータを収集した。さらに、アンケート結果等をもとに次世代型電気自動車の構成および駆動システム等について検討を加えるとともに、ルシオールタイプの電気自動車の現実的な導入可能性に対して、自動車の利用実態についての関東近県の調査データをもとに検討を行い、乗用車および軽トラックであれば9割程度が代替可能であること、1台あたりの削減量が数倍変動すること等を明らかにした。

参考文献

- 1) (財)石油産業活性化センター、自動車の使用実態調査報告書(平成9年度環境負荷低減技術開発基盤等整備事業)、平成10年3月。
- 2) 南齋、森口、近藤ら、<http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/db/co2.html> あるいは、<http://aerosol.energy.kyoto-u.ac.jp/~lca/l-0table/public.html>、2000。
- 3) 近藤ら、電気自動車 I Z A とガソリン車とのライフサイクル CO₂ 量の比較、エネルギー・資源、第17巻、第5号、pp76-82、1996。

【研究成果の発表状況】

(1) 口頭発表

- ・ Y. Kondo et al, Evaluation and Future Development of the Small EV "Luciole", 14th International Electric Vehicle Symposium, Orlando, Florida USA, 1997.12.
- ・ 近藤美則、電気自動車ルシオールの研究状況について、電気自動車シンポジウム講演要旨集、pp3-4、1998.3、つくば。
- ・ Y. Kondo et al, In-Wheel Motor Drive System for Electric Vehicles, 1st International Conference on Power Conversion and Intelligent Motion, Tokyo, 1998.4.
- ・ 近藤美則、電気自動車ルシオールの開発と今後の課題、低公害車の開発と今後の動向

- セミナー資料、東京、1998.4.
- ・ 近藤美則、電気自動車の技術動向（電気自動車ルシオールを例として）、電気自動車の開発動向セミナー資料、東京、1998.6.
 - ・ Y. Kondo et al, A new concept electric vehicle "Luciole", 1998 FISITA World automotive Congress. F98P171, Paris, France, 1998.9.
 - ・ Y. Kondo et al, A small sized electric vehicle " Luciole ", International Symposium on New Battery Technology for EV Application, No3105, pp37-39, Sendai, 1998.11.
 - ・ 近藤美則、電気自動車ルシオールの開発と今後の展望、電気自動車／ハイブリッド自動車の開発と今後の動向セミナー資料、東京、1999.4.
 - ・ Y. Kondo et al, Test drive of "Luciole" at EVS-14, 15, and 16., 17th International Electric Vehicle Symposium ,Montreal, Canada, 2000.10. (will be presented)

(2) 論文発表

- ・ Y. Kondo et al, Design is essential to public acceptance of electric vehicles, 15th International Electric Vehicle Symposium, Brussels, Belgium, 1998.9.
- ・ Y. Kondo et al, Development of a new measurement procedure and test system for Electric Vehicles, 16th International Electric Vehicle Symposium、北京、中国、1999.10.