

B-14 地球温暖化防止対策技術の総合評価に関する研究
(3) 交通分野における重点対策の普及に当たっての技術的評価

① コミュータ交通分野の車輛の社会的受容性に関する研究

研究代表者	国立環境研究所	清水 浩
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 (委託先)	岩手大学 電気通信大学 日本大学 東京大学 同 同 東北工業大学 東京電機大学	清水 浩、近藤 美則 飯倉 善和 宮崎 武 氏家 康成 藤岡 健彦 河野 通方 堀 洋一 浅井 和弘 藤中 正治

平成6～8年度合計予算額 61,000千円(平成8年度 21,056千円)

[要旨]

交通に関連する温暖化対策の有力な手段として、コンピュータレベルの電気自動車が考えられる。本研究では、その電気自動車を対象として社会的受容性の検討を行っている。そこでまず、コンピュータレベルの電気自動車の概念構築を行い、2人の乗客が直列に座るタンデム2シーター方式の妥当性を明らかにした。また、これを実現するために必要な基礎技術として新しく考案したバッテリービルトイン式フレーム構造の検討を行った。同時に、この種の電気自動車の性能の実用性を検討する為、性能評価シミュレーションプログラムを開発した。シミュレーションの結果、通常のコミュータレベルの電気自動車の用途として十分受け入れられるレベルであることが明らかになった。次に、この性能を実車で実現するための外形デザインの検討を行い、精緻化した上で4種類の5分の1のクレイモデルを製作した。そのモデルを用い、空力特性の測定と改良を行った結果、モデルレベルでの空気抵抗係数として0.26が得られた。さらに、この概念に基づき、実車の基本設計、詳細設計を行い、実車を試作するための各コンポーネントの試作と実車への組み込みを行った。また、完成した試作車について、車体の性能評価と改良、さらには専門家による試乗評価と一般者へのアンケート調査を実施した。これによって、本コンピュータカーに対する社会的受容性が明確になった。

[キーワード] 電気自動車、コンピュータカー、社会的受容性、空力特性、タンデム2シーター、バッテリービルトインフレーム

1. 序

地球温暖化の主因とされる二酸化炭素の排出については、車からのものが全排出量の16%に及んでおり、その排出を抑えることは温暖化防止対策上重要な位置を占めている。

車からの排出を抑制する方法には、これまでの内燃機関自動車を使い続けるという前提での燃費の改善をはじめ、交通流の改善、モーダルシフト、代替燃料車への転換等が検討されている。わけても代替燃料車のうちの電気自動車はエネルギー効率がよく、設計の方法によっては極めて低燃費が実現できる。しかも、これを小型化することにより一層の向上が可能となる。従って、このような電気自動車を開発し社会に普及させることには大きな意義がある。

2. 研究目的

本研究では、交通分野で新しい対策をするための先導的分野としてコンピュータ交通分野をとりあげ、この分野での技術上の問題点の洗い出しを行い、また技術の改良についての指針を提示し、かつ、技術の有効性の評価を行うとともに普及を促進するための技術的支援手法を提示することを目的としている。とくに、その中で本サブテーマにおいてはコンピュータレベルの電気自動車が社会に受け入れられるための条件を探ることを目的としている。

3. 研究方法

本研究では、まず、コンピュータレベルの電気自動車（以下、エコビークルと呼ぶ）に要求される性能や機能を明らかにすることから始めた。そのために「エコビークル評価検討会」を組織し、約40名の専門家による概念構築を行い、外形形状及び内装についての多数の案を検討した。

次に、本電気自動車に利用可能な技術として、新しく考案したバッテリービルトイン式フレーム構造の検討を行った。

さらに、実走行に即した条件で電気自動車の性能評価を行うための性能評価シミュレーションプログラムの開発を行うとともに、このプログラムに基づいて車輛の形態別に性能評価計算を行った。

提案された車輛の形態から一車種を選び、車輛デザインを精緻に検討し、それに基づいて5分の1クレイモデルの作成と風洞実験を行った。

以上の一連の基礎的研究を行った上で、エコビークルの社会的受容性を判断する上で、実車の存在が欠かせないとの観点から、実車の試作に重点を置いた研究を行った。

この試作においては計12社からなる試作グループを結成した。このグループをコントラクターズミーティングと呼び、1ヶ月に1度の定例会議を開くほか、必要に応じて協議の場を設けた。特に、車体の試作を依頼した企業との間では最低1ヶ月に1度の個別協議の場を設けて細部の打ち合わせを行った。

完成した試作車を対象として、まず車体関係の評価を行った。次に、ユーザーの観点から評価するスクリーニング評価をはじめ、車として必要な動力性能、操縦安定性、安全性等の評価を行った。これらの評価結果に基づき車体及びコンポーネントの改良を行った。主な改良点は、操縦安定性と乗り心地の面からサスペンションの改良と最適なタイヤの選定、さらに回生ブレーキ量の決定、騒音対策等である。

また、自動車評論家を中心とした専門家による試乗評価を行った。さらに、この電気自動車に

関するアンケート調査を広く世間一般者を対象として行い、社会的受容性の検討を行った。

4. 研究結果

4. 1 エコビークルに要求される性能と機能の要件の検討結果

エコビークルは比較的短距離の走行が目的である。しかし、安全性、機能性、快適性については十分な配慮がなされるべきであるとの結論がエコビークル評価検討会において出された。すなわち、前方及び側方からの衝突に対する安全性が通常の車に劣ってはならず、また、旋回中の転倒等についても十分な安全性が要求される。

快適性については、振動と騒音は電気自動車は本質的に優れているので特に問題にはならないが、移住空間の広さ、保守の容易さ等も重要視される。

機能性については、既存の自動車に比べて特に遜色がないことが最低条件である。これまでの電気自動車は、加速性能、登坂力、最高速度等が低く、かつ一充電走行距離が短いことも欠点とされてきたが、これらが実用的なレベルまで向上することが求められる。

以上を実現するためには、電気自動車を従来のように改造車として作るのではなく、初めから電気自動車として設計するグランドアップの方式を選択すべきことは基本条件となる。

4. 2 エコビークルの基本構成

エコビークルでは3つの車体構造が考えられる。それらの平面図は図1に示す。同図で(a)は4人乗り、(b)は2人乗りでサイドバイサイド型、(c)は2人乗りタンデム型である。これらのうち(a)はこれまでの軽自動車と同一の形態であり、一般的な形態である。(b)は2人乗りとするときによく考えられる型である。(c)はこれまでアイデアとしては想定されてきたが、実用的な車として製造されたことは極めて希であった。しかも、この形はエンジン自動車として実現しようとする、エンジンと乗員が一列に並ぶため必要以上に長い車となることが避けられなかった。しかし電気自動車ではエンジンルームに相当するものは必ずしも必要でないため、この形状の採用は十分可能である。この形状の利点としては駐車空間が小さいこと、空気抵抗を小さくしやすいこと、乗員1人当たりの空間は十分に確保できることなどの利点がある。

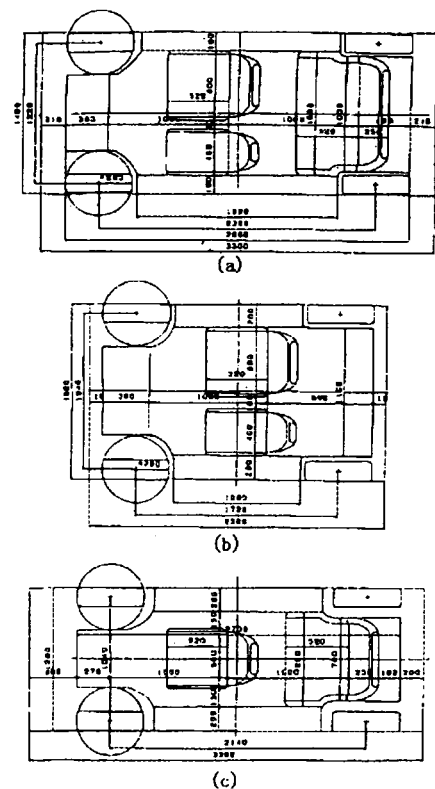


図1 エコビークルの構成例

4. 3 バッテリービルトイン式フレーム

バッテリービルトイン式フレーム (Battery Built-in Frame, 以下 B B F) は、電気自動車の新しいフレーム構造である。電気自動車では電池の重さもさることながら、それを収納する空間が大きな問題であった。本研究ではそのための空間として、これまでのエンジン自動車ではプロペラシャフトや排気管のためだけに使われていた床下を利用することを考えた。この空間を有効に利用しようとするのがこの方式の基本的な考え方である。それを実現するために、アルミニウムの大型押し出し機を用いて中空のフレーム構造を作り、その空いた空間に平型の電池を挿入する。図2 (a) にこれまでの車の床構造を、(b) にこの方式の概念図を示す。

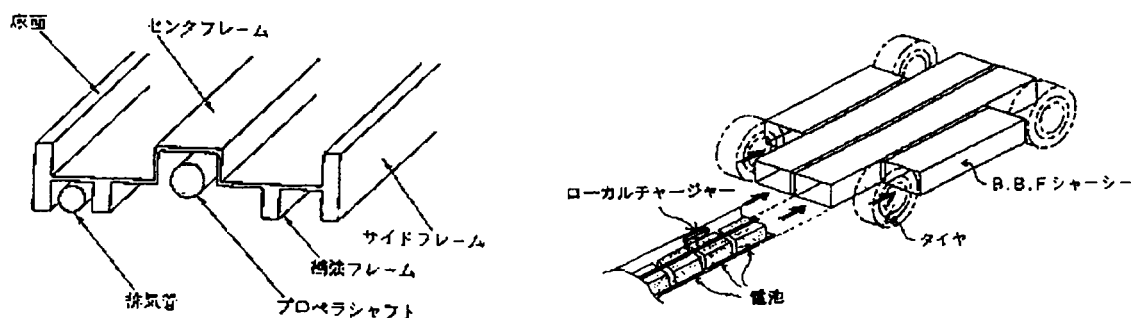


図2 (a) 現在の車の床下構造

(b) B B F の概念図

また、図3にこれを用いて構成した床構造とそれにサスペンションを形成した例の写真を示す。同図では車の前方あるいは後方から電池を挿入する形式となっている。

B B Fでは、電池収納空間をフレーム構造と一体にできるため容積が節約できること、フレーム構造を押し出し機で作るため構造が簡単になり工程が短縮できること、車の重心を著しく低くできること等の利点がある。

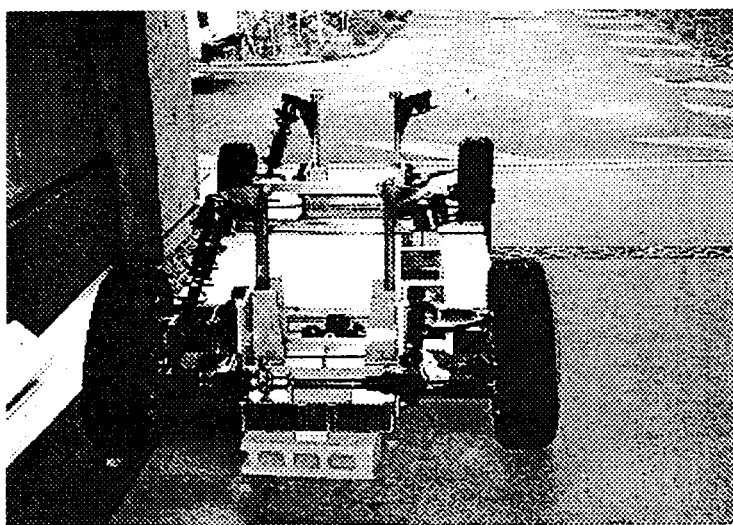


図3 B B F にサスペンションを構成した例

4. 4 性能評価プログラム

性能評価プログラムは電気自動車の基本設計にとって欠かせない手段であるため、継続的にその開発を行ってきた。このプログラムはエコビークルの性能評価を可能とすることを主目的としているが、同時に汎用性を考慮して米Apple社のHyperCardによるプログラムとした。このプログラムでは簡単な入力操作で一充電走行距離、最高速度、加速度等を計算することが可能である。

このプログラムを用いて2人乗りタンDEM、2人乗りサイドバイサイド、4人乗りの各タイプ

の電気自動車の性能を計算した結果を表1に示す。同表から、100km/h定速走行での一充電走行距離と最高速度はタンデムが最も性能が良い。その理由は空気抵抗が最も小さいためである。

表1 各車輛の性能の計算値

	2人乗りタンデム	サイドバイサイド	4人乗り
一充電走行距離 (km)			
40km/h 定速走行	308	261	243
100km/h 定速走行	133	90	96
4モード	198	180	151
10モード	177	167	135
加速性能 (秒)			
0-50km/h	4.85	4.90	6.15
0-400m	17.05	17.20	19.05
最高速度 (km/h)	149	149	149
燃費 (km/ℓ、10モード)	64	60	50
太陽電池による走行可能距離 (km、10モード)	5623	5311	4293

4.5 車体形状の絞り込みと空気抵抗の低減

前項までの検討からエコビークルの形態として、タンデム型が有力な候補となった。従って、この形式を検討の対象とする。

電気自動車が高性能化するためには、エネルギーを消費するあらゆるところで省エネルギー化を図る必要がある。形態が決まるとその空気抵抗の低減が1つの大きな目標となる。このために外形デザインの中から適当なものを選び、クレイモデルを作り、空力特性の測定とその低減化を図った。ここでは図1(c)を変形させて、図4に示す4つのモデルを作った。このモデルに対して空気抵抗係数を測定した結果、0.34から0.42の値となった。これに対して形状の変形、後輪を覆うスパッツやスポイラーの付加等の処理を施すことにより最良のモデルで0.25を達成した。

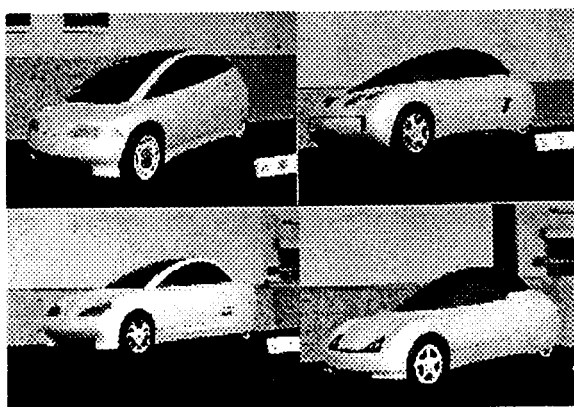


図4 4種類のコンセプトモデル案

4. 6 各コンポーネントの試作

ここで試作される電気自動車は2人乗りのタンデムシートで構成されている。この車の主な構成要素は、駆動システム、電池、充電システム、BBF、サスペンション、カウル、照明装置、タイヤ、エアコンディショナーである。以下、これらのコンポーネントの試作について概括する。

駆動システムはインホイール式でかつモーターと車輪の間に遊星歯車を1段挿入する方式を新たに試作した。なお、この試作についてはその費用が(特)公害健康被害補償予防協会の健康被害予防事業の中で行われる調査研究の一環としてまかなわれている。ここで完成した駆動装置は重量が1輪当たり25kgで、最大出力36kW、最大トルク74Nm、最高回転数8700rpmの出力を持つモーターと、ギア比5を持つ遊星歯車、ベアリングおよびドラムブレーキとから構成されている。完成したドライブシステムの外観写真を図5に示す。

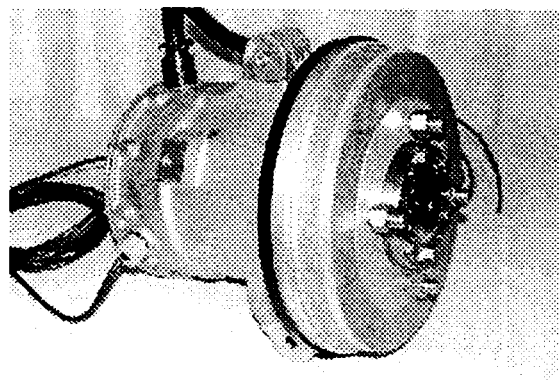


図5 ドライブシステムの外観写真

電池は密閉型鉛電池で、BBFに収納することを目的として、とくに高さを通常の電池に比べて薄くなるように構成した。そのサイズは縦135mm、横167mm、高さ81mmであり、1個当たりの重量は4.8kg、容量は40Ah、電圧は4Vである。

充電システムは電池の寿命向上を図るために電池3個に1個の割合でローカチャージャーを取り付け、電池管理を行っている。ローカチャージャーは1個当たりのサイズが5mm×127mm×14mmという極めて小型のものである。

BBFはアルミの押し出し成形材を用いて形成した。その実物の写真を図6に示す。BBFは下部が2mm厚、上部が2.5mm厚で形成され、その重量は4kgである。BBFの中心部の2列に各18個、側部の2列に各10個の計56個の電池が収納される。

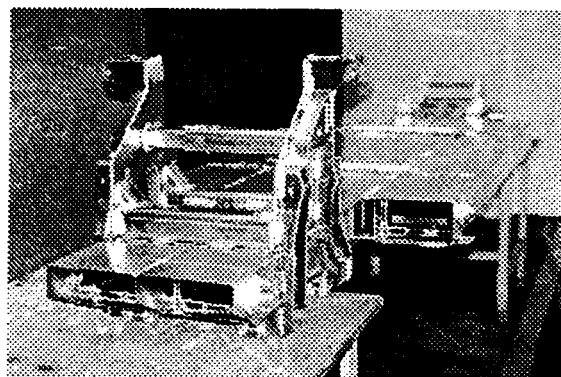


図6 BBFの外観写真

サスペンションは前後輪ともにダブルウィッシュボーン型とした。また、バネはコイル型を選択した。サスペンション全体はアルミニウムで構成し、軽量化を図った。

カウルはこれまでの材料に比べて著しく強度の高いカーボンコンポジットを使用している。

照明装置は省電力となることを念頭において、新しい技術を選択している。前照灯についてメタルハライド放電灯、テールランプは発光ダイオードを採用した。放電灯は通常のタングステンランプに比べてエネルギー効率が4倍程度向上する。

タイヤは低転がり摩擦抵抗を実現するとともに、直進安定性、旋回性をともに維持するための試作を行った。とくにここで試作されたタイヤでは強化材としてアラミド繊維を使い、トレッド

のコンパウンドにシリカを混合している。

エアコンディショナーは、冷房についてはヒートポンプ式エアコン、暖房についてはこれとシートに埋め込んだヒーターとを併用している。

4. 7 車体全体の構成

前項で述べた各コンポーネントを用いて実車を構成した。手順はB B Fにサスペンションメンバーとアッパーフレームを取り付けた基本車体をまず構成し、これにサスペンション、カウル、駆動装置等の各コンポーネントを組み付けるという方法で行った。図7～9はそれぞれ1分の1サイズの完成モデルである。この車の仕様を表2に示す。

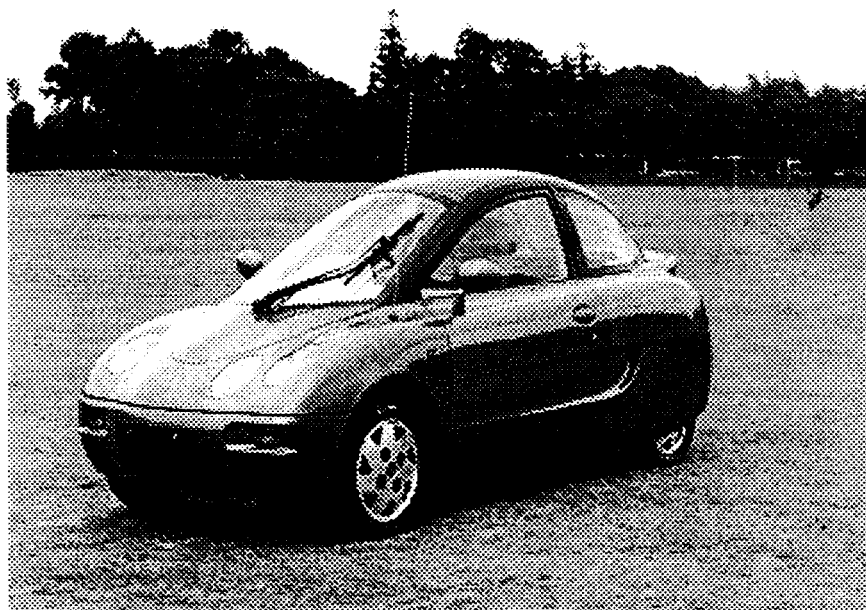


図7 試作車輛の外観（前面）



図8 試作車輛の外観（側面）

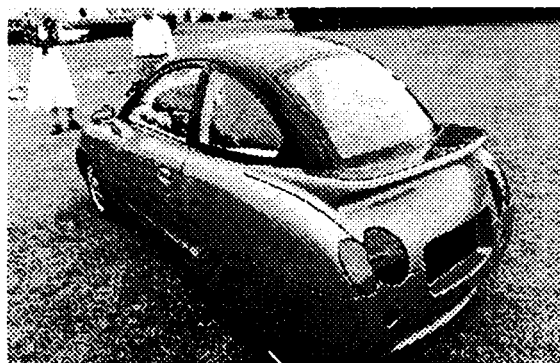


図9 試作車輛の外観（後面）

表2 試作車輛の基本仕様

主要寸法	
全長	3. 3 0 m
全幅	1. 2 0 m
全高	1. 3 4 m
重量	
乗車定員	2名、又は大人1名+子供2名
車輛重量	910kg
性能	
一充電走行距離	140km(80km/h定速走行) 130km(10.15モード)
燃費	50km/ℓ(10.15モード、原油換算)
最高速度	130km/h
加速性能	17.9秒(0-400m) 3.9秒(0-40km/h)
登坂性能	28%

4. 8 車体の評価と改良

車体の評価については、スクリーニング評価、動力性能評価、熱評価、制動評価、車体剛性評価、操縦安定性評価、ホーン・ワイパー評価、NVH評価及び安全性評価の各試験を行った。

スクリーニング評価では、ユーザーの観点からエコビークルの性能、乗り心地等について数人の専門ドライバーにより行われた(図10)。その結果、発進から高速までエンジン自動車にないスムーズな加速が可能で、エコビークルの特徴的な走行性能が確認された。乗り心地については、おおむね良好であるが、さらにより安定性を増すためにサスペンション、タイヤ等の足廻りの調整が必要である。

動力性能評価ではエコビークルの最高速度、加速性能が測定された。結果は、最高速度が134km/h以上、0-400m加速性能は20.1秒であった。

熱評価試験はデフロスターの性能試験であり、性能は基準を満足した。



図10 スクリーニングテスト風景

制動評価は本車輛の液圧ブレーキの制動性能と回生ブレーキ制御の最適設定のために行った。結果は、液圧ブレーキ性能の効きは問題のないレベルであった。回生ブレーキについては当初の設定値では大きすぎるため調整の必要がある。

車体剛性評価は、図11のBBFに基本のボディーフレームを施したもので行った。曲げ剛性、ねじり剛性とも軽自動車以上の値であった。

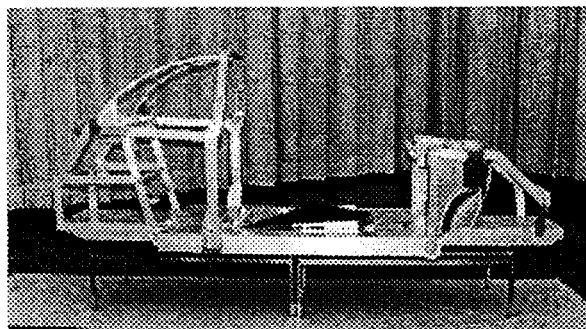


図11 基本ボディーフレーム外観写真

操縦安定性評価として旋回評価を行った。旋回横Gが5 m/sec²の時、ロール率は4.8度で、スタビリティファクターは0.0003で弱アンダーステア特性であった。図12、図13にそのグラフを示す。

ホーン・ワイパー評価においては、国内保安基準適合性を評価したが、いずれも問題なく保安基準を満足した。

NVH評価は、本車輛の騒音レベルを評価するために行った。そのレベルを同クラスの軽ガソリン車と比較すると発進時は非常に静粛であり、加速中(40 km/h~)はこもり感もなくリニアであり耳障りにはならない良いレベルである。ただし、インバーターファンによるノイズとインバーターコンローラーからと思われる高周波ノイズがあり遮音対策の必要がある。

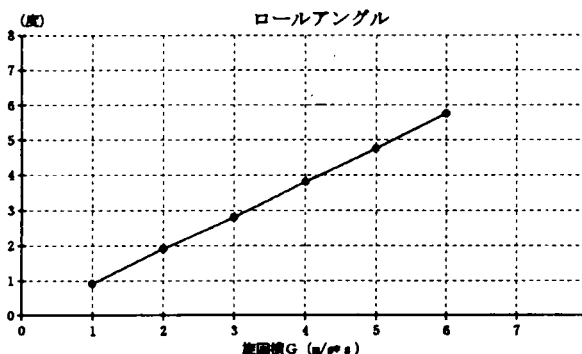


図12 ロール角度グラフ

車外騒音については、加速時騒音、定常騒音とも規制値よりはるかに小さく問題ないレベルである。

安全性評価については、ナンバー取得に必要な国内認証届出データ取りのための試験を行った。衝撃吸収式舵取り装置衝撃試験、座席及び座席取付装置試験、シートバック後面の衝撃吸収試験、座席ベルト試験、座席ベルト取付装置

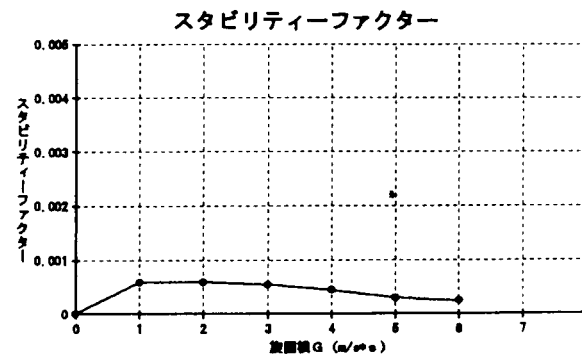


図13 スタビリティファクターグラフ

試験、頭部後傾抑止装置試験、扉の開放防止試験、車室内後写鏡の衝撃緩和試験及び灯火器の保安基準適合性試験について全項目保安基準に適合した。

上記の試験結果に基づきそれぞれの改良を行った。主な改良点は以下の通りである。

- ・サスペンションのバネ、ダンパーゴムを数種類用意し走行試験を行い最適なものを選定した。
- ・5種の一時的試作タイヤのうちの2種を選別し、評価を行う。スムーズでマイルドな特性と剛性感があり軽快な特性のタイプで、本車輛の求める方向性を考慮し前者のタイプで調整と改良を行

った。

- ・ブレーキモードは、表3の4種類のモードを選択可能にした。

表3 ブレーキモードの種類

モードNo.	モード名称	アクセル全閉時	ブレーキ操作時
0	システムコントローラモード	0.04 G	0.15 G
1	液圧コントローラモード	0 G	0 G
2	ブレーキコントローラモード1	0.04 G	0.04~0.15 G
3	ブレーキコントローラモード2	0 G	0.04~0.15 G

- ・車内騒音低減のために後席後面とフロア面に防音材を追加設置した。

4. 9 専門家による試乗評価

主に自動車評論家を中心とした評価を行った。その内容は操縦安定性能、ハンドリング性能、NVH性能そして総合性能の評価でそれぞれドライ、ウェットの路面での評価である。

評価結果としては、

- ・ハンドルを大きく切ったときの車輛の安定感が不足きみ、
- ・ハンドルのフィーリングの向上が必要、
- ・旋回路でリアが滑りやすい、
- ・不整路での突き上げ感、ピッチングがある、
- ・ブレーキフィーリングの向上が必要、

等の若干の改良点はあるものの、「加速感がすばらしく平坦路での走行は小さい車ながら高級感があり、総合的には満足のいくレベルである」との評価であった。

改良点については、車体評価での改良点と併せて、さらなる改良を行った。

4. 10 アンケート調査と結果

エコビークルの社会的受容性を評価する目的で、一般の80名を対象にアンケート調査を行った。調査方法は、エコビークルに試乗する前と後での印象について、文章で回答を依頼した。

回収結果をみると、試乗前には電気自動車は実用的ではないとの印象がほとんどであった。その理由として、航続距離、加速性能がエンジン自動車に比べ著しく低く、充電場所がないことが挙げられた。さらに、世間一般では、電気自動車は非常に効率の悪いものであると印象付けされていることも明らかになった。

しかし、試乗後には、大多数の方が試乗前の印象を否定し、特に加速の良さには、ほとんどの

試乗者が驚きを示した。効率面については、電気自動車は本来効率が良いということを十分説明し、試乗者の理解を助けた。

エコビークルの社会的受容性として、「コンパクトなサイズながら動力性能に優れ、コミュータレベルとしては十分な距離を走行することができている。手頃な価格になれば通勤やセカンドカーとして是非自分で購入したい」という人が全体の20%いた。これ以外にも、「電気自動車がこれほどまでに実用性があるとは思わなかった」との驚きの意見が多数あり、さらに「エコビークルを早く普及させてほしい」との希望が半数以上の回答者より得られた。

5. まとめ

本研究では、3年をかけて自動車が抱える諸問題「環境、エネルギー、事故、渋滞」の抜本的解決を目指してエコビークルを開発した。その結果、当初の目標通り、環境とエネルギーに優れた極めて低燃費なコミュータカーを完成することができた。また、事故については、リアクティブセンサーの基礎開発を行い、これは追突防止や自動運転への応用に期待が持てる。渋滞については、エコビークルの普及によって、これまでの車線に2倍の車が走行することが可能となり、飛躍的な解決が期待される。

また、性能についてはシュミレーション通りの実測値が得られ、上記アンケート調査においても、性能が不足しているという意見は全く得られず、運転が容易でコミュータカーとしては非常に実用的であるという意見が多数あった。

結論として、エコビークルは社会的受容性を有するコミュータカーとして評価でき、本研究目的を十分に達成できたと言える。

6. 本研究により得られた成果

- * エネルギー環境問題からの電気自動車への期待, 電気評論, 1994.
- * 環境配慮型自動車の近未来像を探る, 資源環境対策, 1994.
- * GLOBAL WARNING AND FEASIBILITY OF ELECTRIC CARS., Int'l. J. Solar Energy, Vol. 14, 169-179, 1994.
- * The Role of Optimized Vehicle Design and Power Semiconductor Devices to Improve the Performance of an Electric Vehicle., ISKPSD' 95, 1995 No. 7, 8-12, 1995.
- * 清水 浩, 電気自動車 I Z A の開発と未来に向かう電気自動車, 低公害車シンポジウム' 94, 1994. 11.
- * 清水 浩, 地球環境問題と電気自動車の実用化について, 農業機械学会関東支部平成6年度セミナー, 1994. 11.
- * 清水 浩・原田順二, エコビークル開発計画について, 電気自動車研究会第1回研究発表会, 1995. 4.
- * 清水 浩・杉山敬一・樋野治道・柘植光雄・佐々本 隆, 電気自動車用シャーシフレーム, 電気自動車研究会第1回研究発表会, 1995. 4.
- * 杉原一幸・飯倉善和・清水 浩, ハイパーカードを用いた電気自動車の性能評価プログラムの開発, 電気自動車研究会第1回研究発表会, 1995. 4.
- * 清水 浩・原田順二, 自動車用原動機の将来, 自動車技術会学術講演会, 1995. 5.

- * 清水 浩・原田順二, 自動車エンジンの将来－電気自動車との接点－, 内燃機関, 1995.
- * 環境にやさしい高性能電気自動車－アメリカにおける状況について－, メカライフ, 1995.
- * Eco-sound Technologies for Urban Planning and Management., Toward Global Planning of Sustainable Use of the Earth, 1995.
- * 清水 浩 他, 自動車用原動機の将来－電気自動車との接点－, 自動車技術会学術講演会, 1995. 5.
- * 清水 浩 他, 電気自動車IZAとガソリン車のライフサイクルCO₂量の分析, 第12回エネルギーシステム・経済コンファレンス 1996. 2.
- * 清水 浩 他, エコビークル基本設計の概要について, 電気自動車研究会第2回研究発表会, 1996. 4.