

交通弱者向け 1 人乗り電動車輛の概念と基本設計

— プラチナカーの提案 —

清水 修^{1*}、新井 英雄²、唐鎌 圭彦³、藤田 悦則⁴、奥 明栄⁵、清水浩²、狼 嘉彰⁶

急速に高齢化が進む現在、高齢者の空間移動の利便性を保証すると同時に、多発する交通事故を激減する安全性の高い移動手段が求められている。この論文では、これらの相反する要求を満たすことを目的とする。まず、交通事故の実態を分析し、高齢者のリスクが大きいことを示した。運転免許の不要な電動車イスの規制内で実現できる1人乗りで、より安全性の高い電動車輛（以下プラチナカーと呼ぶ）の概念を提起し、そのシステム設計を行い、性能の定量化を行った。そのうえで、実物大木型での検証とアンケート調査を行った。結果として、身長180 cm、体重95 kgの利用者でも利用可能であることを示した。また、アンケート調査では利用者の最も切実な要望は屋根が付くことであった。以上により、この提案の概念が交通弱者によって受け入れられることが有望であることが理解された。最後にその普及方策案について記述した。

キーワード: 交通弱者、交通事故、電動車イス、運転免許返納、安全・安心・快適

Concept and system design of one-seater car to give mobility freedom to persons with reduced mobility

—Proposal of “platinum car”—

SHIMIZU Osamu^{1*}, ARAI Hideo², KARAKAMA Yoshihiko³, FUJITA Etsunori⁴, OKU Akiyoshi⁵, SHIMIZU Hiroshi² and OHKAMI Yoshiaki⁶

In view of a rapidly aging society, vehicles for senior people are strongly hoped to fulfill competing requirements, i.e., to provide safe and comfortable mobility means and at the same time to minimize the risk of traffic accidents. To develop such a vehicle that meets these requirements, this paper starts with the analysis of traffic accidents and then proceeds to concept construction followed by a system design within the legal limit of an electric wheelchair. The proposed vehicle, hereinafter called “platinum car,” which has a higher safety structure for traffic accidents, can be realized within the regulations of an electric wheelchair that does not require a driver's license. We designed the system, and quantified the performance. We conducted mockup verification and a questionnaire survey. We proved that a person with 180 cm height and 95 kg weight could use the vehicle. In the questionnaire survey, the most urgent request of the users was a roof. The concept of this proposal has the possibility to be accepted by vulnerable people. The scenario to spread the platinum car is discussed also.

Keywords: Subsurface microorganism, methanogenic process, natural gas, innovative resource development, earth science, life science, interdisciplinary research

1 はじめに

クレイトン・クリステンセンの著書「イノベーションのジレンマ」^[1]では、電気自動車は低価格の車から普及させるべきと記述されている。これまで世界中のほとんどのベンチャー自動車会社はこの考えを踏襲しているが、これらの

企業として成功している例は見当たらない。その理由は性能対費用効果が現在の内燃機関自動車に対して極めて低かったためである。

一方で、急速に進む社会の高齢化に対する対策は運転免許の返納が推奨されているが、高齢者の自由な移動への

1 東京大学大学院新領域創生科学研究科先端エネルギー工学専攻 〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5、2 株式会社 e-Gle 〒212-0032 神奈川県川崎市幸区新川崎 7-7、3 一般社団法人電気自動車普及協会 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1、4 広島大学大学院医歯薬保健学研究科 〒734-8551 広島県広島市南区霞 1-2-3、5 東レ・カーボンマジック株式会社 〒521-0023 滋賀県米原市三吉 215-1、6 〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1

1. Department of Advanced Energy, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8561, Japan * E-mail: shimizu.osamu@edu.k.u-tokyo.ac.jp, 2. e-Gle Co.,Ltd. 7-7 Shinkawasaki, Saiwai-ku, Kawasaki-shi 212-0032, Japan, 3. Association for the Promotion of Electric Vehicles 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan, 4. Graduate School of Biomedical & Health Sciences 1-2-3 Kasumi, Minami-ku, Hiroshima City, Hiroshima, 734-8553, Japan, 5. Toray Carbon Magic 215-1 Miyoshi, Maibara-shi, Shiga, 521-0023, Japan, 6. Graduate School of System Design and Management, Keio University 4-1-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8526, Japan

Original manuscript received August 17, 2020, Revisions received January 18, 2021, Accepted March 24, 2021

要求に応える対策とは言えない。このような現実に対して我々は低価格の電気自動車でありながら十分に性能対費用効果が高く安全性の観点から市場性にも優れると予想される電気自動車（以下において、プラチナカーと呼ぶ）の概念を構築し、それに基づく車体設計を行って来た。この研究では、まず高齢者を含む交通弱者（Reduced Mobility Person）を対象としたが、将来はすべての利用者を対象とすることとし、この論文は、これまでに行って来た研究の成果について述べることを目的とする。

この論文を進めるに当たって、世界と日本の交通事故を取り上げ、プラチナカーの社会的価値を明確にした上で、具体的方策案としてプラチナカーの概念を述べ、主要な要素技術に触れた後にこれらを統合し、プラチナカーの設計について詳細を述べる。さらに、実物大木型による大きさの検証結果およびアンケート調査の結果を記述する。これに加えて、これを実現するための方策案を記述する。

2 世界と日本の交通事故

2016年に交通事故で死亡した人の数は135万人に達した^[2]。死者に占める65歳以上の高齢者の割合を表1に示す。同表によると日本が55%と飛び抜けて多く、次いで韓国、スウェーデンと続く。

日本では1970年に年間16,000人の交通事故死亡者数であった^[3]。政策、技術開発、安全教育の成果として、この数は年々減少し、2016年には年間3,904人にまで低下している^[3]。しかし、低下したとはいえ、無視できる数値ではない。その中で65歳以上の高齢者が占める割合は55%である。また事故原因別内訳では歩行者1,003名、自転車342名である。

このことから高齢者の事故を考えると、歩行者および自転車が死者全体の63%を占めている。これを表2に示す。

3 プラチナカーの基本概念

3.1 プラチナカーに求められる条件

交通弱者で移動の自由がより強く求められる人にとっての安心、安全、快適のための移動手段がプラチナカーの基本要件である^[4]。プラチナカーに求められる要求は以下の通りである。

- 1) 運転免許を持たなくても利用可能であること。
- 2) 相手に傷を付けることがなく、かつ自らも傷がつくことがなく、快適な移動が可能なこと。
- 3) 自らが行きたいところへは遠方であっても自由に行くことができること。
- 4) 車体は小型・軽量であること

上記の条件の中で、2)に関してはハンドル付車イスは

表1 各国の65歳以上高齢者の交通事故死者の構成率（2014）

国名	65歳以上の死者の割合
ドイツ	29%
フランス	23%
スウェーデン	34%
イギリス	26%
アメリカ	18%
韓国	36%
日本	55%

表2 日本の65歳以上高齢者の交通事故死者の構成率（2018）

交通手段	死亡者数	比率	
歩行者	1,003	47%	63%
自転車	342	16%	
自動車	643	3%	
二輪車	142	7%	
計	2,130	100%	

歩道のあるところでは歩道の上を走ることが決められているが、ないところでは一般歩行者と同様に車道を走らなくてはならない。ハンドル付車イスと車との間の事故はこのような走行時に発生している。本プラチナカーでは、このような事故からできるだけ利用者を守る構造とする。

上記の条件を満たすために、日本の道路交通法で認められているハンドル付車イスおよび電動車イスの基準に適合する車輛を前提とする。これに関して世界的にも同様の基準^[5]が存在する。その比較を表3に示す。同表より日本の基準に比べて特に異なるものはない。このため世界で販売する時にはその利用国毎に、仕様をわずかに変更することで対応が可能である。

表3に示すように日本の基準の概要は以下の通りである。

- 1) 車体の大きさが長さ1,200 mm、高さ1,200 mm、幅700 mm以下であること。
- 2) 最高時速が6 km以下であること。
- 3) 人が乗って運転をすること。

上記条件を満たすことにより、ハンドル付き車イスは、歩行者と同じ扱いになり、下記のことが実現可能となる。

- 1) 歩道を走ることができる。
- 2) 公共交通機関に乗ることができる。
- 3) 運転免許が不要となる。

これまでこの範疇に属する車輛は既存メーカーや小規模な会社からも多くの種類がすでに販売されているが、これらはイスにハンドルと動力が付いた形で、屋根や運転者を保護する機能は付けられていない。それは高さが1.2 mに制限されていることが大きな理由である。この範疇の車輛の販売台数はほぼ横ばいで、最大でも年間18,000台にと

表3 電動車イスの世界の基準

		全長 (mm)	全幅 (mm)	全高 (mm)	重量 (kg)	最高速度 (km/h)	鉄道乗車
アメリカ		1,219	762	-	272	-	可
イギリス	Class2	-	800	-	150	6	可
	Class3	-	800	-	150	12 (ライセンス要)	可
オーストラリア		1,300	750	1,500	-	10	可
スウェーデン		-	-	-	-	20	可
韓国		1,400	800	-	-	-	可
日本		1,200	700	1,200	-	6	可

どまっている。これはこれを利用する人々にとって重要な安全、安心、快適の条件が満たされていないことを意味する。

一方で日本の65歳以上の高齢者は総人口の28%の3,600万人、70歳以上は22%の2,700万人であり、このうち70歳以上の人々はハンドル付車イスや電動車イスの潜在的利用者と言える。この規格の車輛で安全、安心、快適を満たすためには次の機能を満足させることが求められる。

- 1) 車体全体が強固な材料で覆われていること。
- 2) 特に座席とその付帯部分が強固で外部からの自動車による衝突や路面からの転落等に対して利用者が守られること。
- 3) 十分な余裕を持って座ることができること。

これらの要求を満たすことができる車輛がプラチナカーの基本概念である。

3.2 プラチナカーの基本レイアウト

プラチナカーの構想図を図1に示す。同図では側面図(a)と平面図(b)を示してある。図(a)は最低地上高を80mm、床面の厚さを10mm、屋根の厚さを10mmに、ま

表4 地上からのヒップポイントの高さの比較

車種	ヒップポイント (mm)
プラチナカー	382
スポーツカー	400
セダン	530
SUV	780

た、前面と後面の厚さは25mmである。この時、室内空間の高さは1,100mm、長さは1,150mmとなる。図1(a)ではこの空間に身長1,800mmで体重80kgの利用者を模擬したマネキンが座ったときの形状も示してある。この時の地上からヒップポイントまでの高さは382mmとなる。

このヒップポイントを一般の乗用車と比較した結果を表4に示す。この表から、スポーツカーの地上からヒップポイントまでの高さと同様の座席の高さとすることができ。こうしてマネキンを使用して確認したことでプラチナカーはハンドル付車イスの高さと、長さの基準である1,200mmの範囲で日本人の平均からすると長身に属する人が座ることができることが明らかになった。

図1(b)は平面図である。全幅700mmで側面のドア

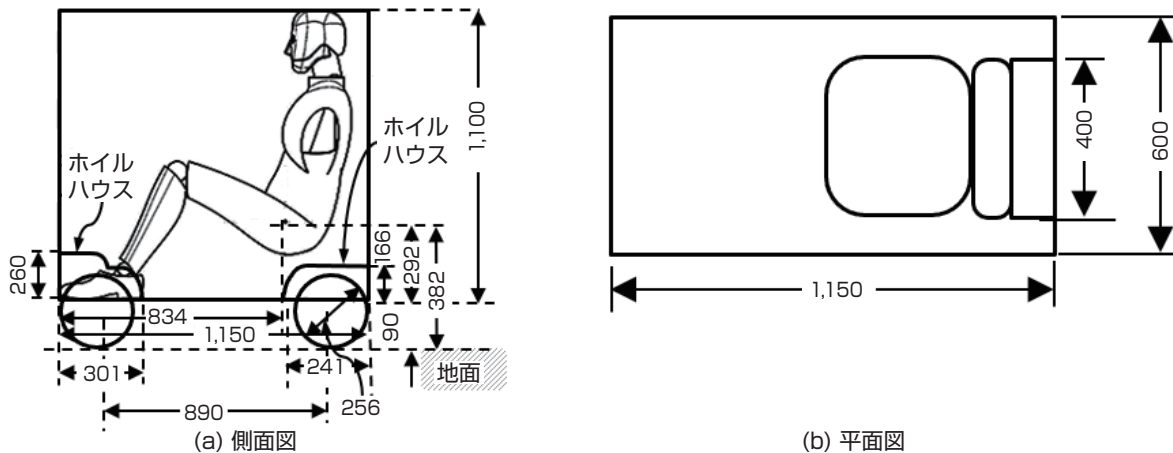


図1 プラチナカーの構想図 (単位はmm)

を含む壁の厚さを50 mmとする。すると室内の内のは600 mmとすることができる。日本の自動車に関する基準では幅400 mmが1人分の座席幅となっている。このためプラチナカーでは十分な余裕を持って座ることができる。

このようなレイアウトとした時にプラチナカーに必要な走行のための部品の室内空間への影響の考慮が必要である。

まずタイヤであるが、これまでのハンドル付車イスで最も多く使われているタイヤは3.00-4という基準で直径256 mm、幅79 mmの大きさである。タイヤを収納するためにホイールハウスが必要である。さらにこれまでのハンドル付車イスは段差乗り上げ性能は75 mmであったが、公共交通機関に介助なしで乗り込むにはこれを150 mm以上にする必要があるのである。そのために前輪のホイールハウスはこの段差を乗り上げて車輪が接触しない高さとしてある。図1では、フロント側とリア側のホイールハウスが描かれているが、タイヤの前後長では室内に301 mm、座席の下にタイヤの大きさとホイールハウスの大きさおよび車体材料の厚さを加えて241 mm、高さで車体前方では最大260 mmである。幅についてはフロントで最大119 mm、リアで50 mmの張り出しとしてある。高さは100 mmのバンプ・リバンプがあるという前提でこの高さとしてある。フロントの幅はハンドルを最大30°で切ることが可能な空間をとることによる。この張り出しは前部で足元を最大238 mm狭くすることになる。

後輪については座席の横の一部にはみ出しが出るが、座席の幅に大きな影響は無い。

タイヤの他の部品については電動で走行するための電池、インバーター、モーターが主要な要素である。このうち電池は座席を支える補強材の中に挿入するだけの空間を設けるものとする。モーターは車輪中に挿入するインホイール型とし、インバーターもモーター内蔵型とすることでホイール内の空間の有効活用が可能になる。

さらにステアリングはステアバイワイヤーとすることで、ステアリングホイールとステアリングコラムの室内の張り出しがあるのみとなる。

以上の検討から標準的な体格の人々が利用して大きな支障はないと判断される。

4 プラチナカーの安全、安心、快適のための基本設計

4.1 安全、安心、快適確保のための設計

プラチナカーの安全性の確保については自らが他者に危害を与えないことはもとより、道路交通の中で自動車による衝突による事故、自らが路肩から転落する事故、踏切での脱輪による事故への対応が求められる。

これらのうち他者に危害を与えないということに関しては

時速6 kmに制限がされていることにより、たとえ人に衝突した時でも大きな危害を与えないということを前提に法的にこの最高速度が決められている。

他の車からの衝突については、衝突は有りうるものとの前提で、被害を最小限とする車体の作り方とする。そのためにまず強固な炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を主材料とするシートとして外部からの衝突ないしは自らの道路外への転落に対して利用者の身を守る構造とする。これをカーボンシェルと呼ぶことにする。CFRPは強度に対する比重が金属と比較して小さいため、軽量化が可能になり自動車に適用する場合は安全だけでなく、環境負荷を小さくできることが知られている⁶⁾。その概念図を図2に示す。

カーボンシェルでは、後部および側突から利用者を守るためにシートバックとヘッドレストおよびシートサイドを強固なカーボン素材で包む構造とする。また、頭部も同一材料で一体として製造し、道路外への転落があったとしても室内にいる利用者の身が守られるようにする。また、利用者をシートベルトで固定することを前提とする。

前方からの衝突に対しては車体自体を強固なアルミ等の金属材料で骨格を作り、車体パネルはシート状のカーボンファイバー材料の間に発泡ウレタンを注入した材料で形成する。この材料でパネルの強度を高くし、断熱性を高める効果を持たせる。窓材は高強度プラスチックで車のフロントガラスにも自動車用に利用可能になったポリカーボネートを使う。この材料を使うことで、窓ガラスが割れて利用者が傷を負うことがなく、軽量化と断熱化を図ることができる。

以上のような車体と座席構造により、外部からの衝突や転落事故の様な場合に対して最大限に利用者を守ることを可能とする。

踏切等での脱輪に対しては、車輛を4輪駆動とし、たとえ1輪ないしは2輪の車輪が空転するような場合でも残りの車輪で危険を脱出できることとする。

さらなる安心としては利用者が道に迷う、あるいは目的地とは異なるところに行ってしまうような事態に対しては

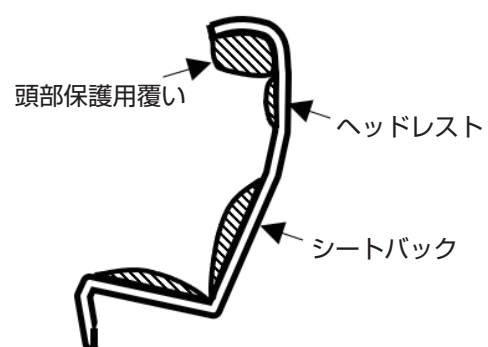


図2 シェル型シート(カーボンシェル)の側面図

GPSを取り付けて所在地を確認できるようにすること、また、座席には利用者の健康チェックを可能にする機能も設けることでさらなる安心を担保する。

快適性については車体が屋根と窓で覆われることで、従来のハンドル付車イスに比べて圧倒的に向上する。これに加えて冷房と暖房の機能は必須である。このために最も重要なことは断熱であり、窓と車体パネルではここを考慮している。

その上で暖房、冷房ともにペルチェ素子^[7]等を使った温度制御装置を使うことを想定する。ペルチェ素子は電流を流すと片面が冷却されもう片面がその分熱くなるという性質を持つ半導体である。これは冷蔵庫やエアコンに使われているヒートポンプに比べて消費電力に対する移動可能な熱量が小さいために、広く利用されることはない。しかし、装置が著しく単純であり、大きな熱量でなければ熱を移動させる機能は高いため、グローブ^[8]やシート^{[9][10]}等、人体への密着した部分への適用の検討が行われている。この性質を利用してシートの背面のみを暖めたり冷やしたりして利用者の体温を直接調節することを前提とすれば、利用者に十分に快適な暖かさや涼しさを提供することができる。

4.2 長距離移動のための機能

プラチナカーは居住地等の近くで半径数kmの範囲で自由に行動できるだけでなく、公共交通機関に直接乗り込み、全国あるいは世界中のどこへでも移動が可能である。これにより人間の移動への欲求を十分に満足させられる。

現在、車イスで鉄道車輛に乗りようとする時には階段部分はエレベーターの助けでホームまで行くことができる。そこから車輛に乗りするためには必ず駅員がドアとホームの間の段差と隙間に差し渡すスロープを置く必要がある。この動作が必要であることは今後プラチナカーが一般の乗り物として市民権を得て行くための障害になる。このためにホームと

表5 ベビーカーの大きさ

項目	値
幅 (mm)	440 ~ 685
長さ (mm)	730 ~ 1050
高さ (mm)	910 ~ 1,100

ドアの隙間を乗り越えることができる必要がある。

一つの例として図3に示す様に前後に連なる車輪とし、前輪は200mmの直径を選び、二つの車輪をコネクタと記した強固な材料で接続し、この1組の車輪を車体に取り付ける技術とすることができる。

プラチナカーの場合、タイヤの大きさも限られるので、同図に示すように二つの車輪は車輪間を置かず相前後する二つの車輪が前後方向に重なるように構成する。

プラチナカーが鉄道に自由に乗り、どこにでも移動が可能になると、心配されるのは混雑した時の他の乗客への影響である。これについてはベビーカーが鉄道車輛に乗ることについてすでに市民権を得ていることを参考にする。日本で市販されているベビーカーの大きさは表5に示す様に幅がある。

このうち幅の最大は685mmであり、プラチナカーの幅の基準値の700mmとはほぼ同様である。長さは最大1,100mmであるが、これはプラチナカーより100mm短い。ただしベビーカーを利用するには大人1人がその後ろにつき添う必要があるために最低600mmの長さは必要であり、全長が1,700mmあることと同様の空間を占有する。このことを考慮すると、鉄道車輛内におけるベビーカー1台の占有面積とプラチナカー1台の面積で特段の相違があると考える必要はない。

こうしてプラチナカーが鉄道でどこへでも移動が可能に

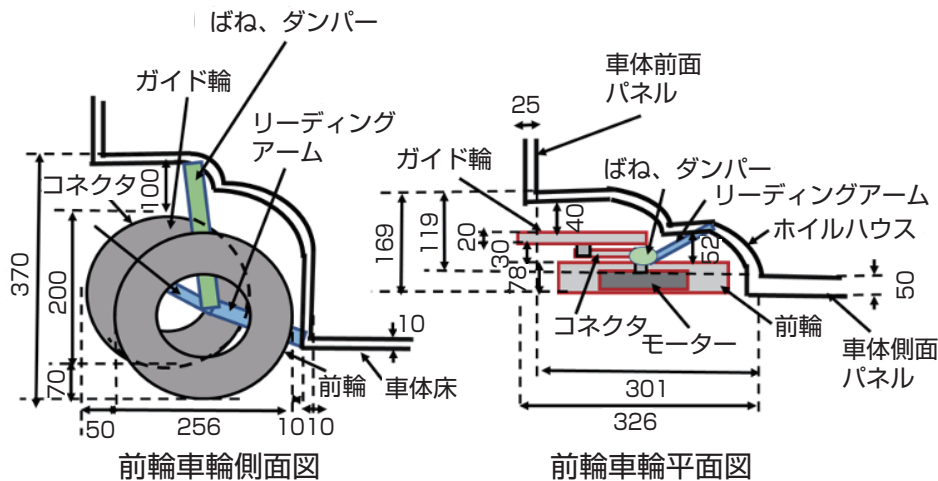


図3 段差を乗り越えることができる機構を備えた車輪配置（単位はmm）

なることで移動が不自由になった人々の行動範囲を飛躍的に大きくすることが可能である。

4.3 プラチナカーがより利便性を向上させるための機能設計

プラチナカーの地上からのヒップポイントの位置はスポーツカーの標準的な高さである400 mmよりは少し低いが、着座の状態での前方視界について、実用上問題はない。

しかし、プラチナカーの利用者にとってこの高さのイスに座り、かつ立ち上がることは必ずしも容易ではない^[11]。

このために図4に示すようなリフト付きイスの採用を想定する。これは自動車用途に使うことを意図して開発されたものである。

このイスを利用する場合、プラチナカーの天井に頭がかえてしまう。これを回避する手段として乗降の際にイスが左右に回転する機能を設けるが、図5(a)(b)にそれぞれ示す様に屋根が自由に開閉できる構造とすることないしはガルウイングとし、車体の上で立ち上がってから降車することを可能にする構造を取ることも可能である。

プラチナカーの利用者は健康に特に気をつけなくてはな



図4 リフト付きイス

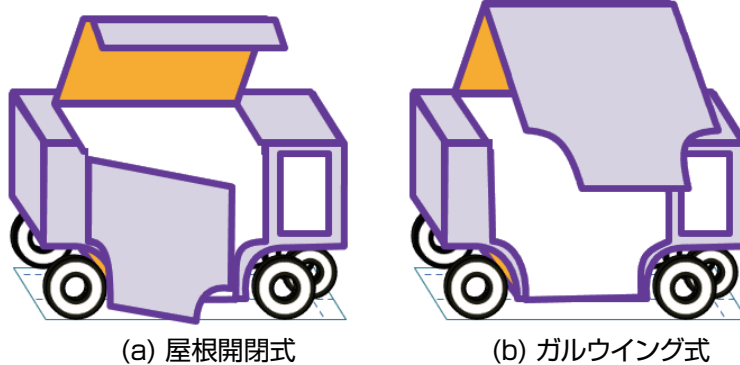


図5 プラチナカーの天井構造

らない。このためにプラチナカーに座ることで健康状態を計測する機能が取り付けられることでその利用価値がより向上する。この論文の著者の1人が所属するデルタツーリングではすでにこのことを考慮したイスの開発を行っている。現在すでに開発済みの項目としては

- ①心拍変動解析
 - ②健康状態のスクリーニング
 - ③入眠予兆現象の推定
- がある。

また、プラチナカーの速度や大きさはシニアカーに近いため、すでに検討されている自転車の接近検知手法^[12]や運転支援^[13]、ステレオカメラによる障害物検知^[14]等については転用が可能である。

さらに、病院に通うことを躊躇する理由の一つに待合室での新たな感染への危惧がある。これに関してはプラチナカーで待合室に入れることを前提に車室内に空気洗浄機を取り付けること、加えてプラチナカーで診察室や検査室に入れることで、診察を受ける利用者の負担を最小限にするような病院側の配慮に発展させることが可能である。このことは在宅医療を広げるという意味での社会的価値向上にも繋がる。

4.4 プラチナカーの駆動力と駆動装置の設計

プラチナカーで想定する仕様の概要を表6に示す。車輛重量は120 kg、総重量は1人の利用者ユーザーの最大重量を荷物込みで100 kgとして220 kgとした。

性能は最大時速6 km、登坂力は30 %、一充電当りの航続距離は50 kmとした。タイヤは、ハンドル型車イスに使われている一般的なサイズ大きさとして直径256 mm、幅78 mmとした。

この条件で必要なモーターのトルクを計算する。

まずはトルク T_r と駆動力 F の関係は

$$T_r = \frac{Fr}{4} \quad (1)$$

表6 プラチナカーの仕様

項目	仕様	
長さ (mm)	1,195	
幅 (mm)	695	
高さ (mm)	1,195	
ホイールベース (mm)	890	
定員 (名)	1	
総重量	220 kg	
最高速度	6 km/h (1.7 m/s)	
登坂力 (%)	30	
モーター	4 輪インホイール式	
モータートルク (Nm)	22	
タイヤ	仕様	3.00-4
	直径 (mm)	256
	幅 (mm)	78
ハンドル切れ角 (°)	30	
最小回転半径 (mm)	1,400	
航続距離 (km)	50	

で表される。ここで r はタイヤ半径、4 はモーターが 4 輪に付くことによる。

プラチナカーが 30 % の登坂力を持つための駆動力は、

$$F = m_t a \quad (2)$$

となる。ここで a は登坂力であり、 3 m/s^2 である。 m_t は総重量である。

(2) 式より、駆動力は 660 N となる。そしてこの値を (1) 式に代入すると、モータートルクは 22 Nm となる

平たん路で 6 km/h、即ち 1.7 m/sec までの加減速をする場合、加減速時間 t は

$$t = \frac{v}{a} \quad (3)$$

で表される。ここで v は 1.7 m/sec であるから、 t は 0.56 s 秒となる。

この時間で走行する距離 x は下式で表され、0.5 m となる。

$$x = \frac{1}{2} a t^2 \quad (4)$$

これは 6 km/h で走行していたプラチナカーがブレーキをかけたとすると、その減速力は回生ブレーキによって加速力即ち登坂力と同一の値となるが、0.5 m の走行距離で停車するというを意味する。したがって、突然障害物が現れたとしても 50 cm の停止距離で止まることができる。

次に航続距離の検討をする。

プラチナカーが走る標準的な地域として、区画が約 100 m 間隔でなされており区画ごとに道が交わる場所を想定する。この条件で 100 m に 1 度、6 km/h まで加速し、かつ、

表7 プラチナカーの性能を計算するパラメータとその値

総重量 : m_t (kg)	220
タイヤの転がり摩擦係数 : μ	0.012
空気抵抗係数 C_d	0.65
前面投影係数 K	0.95
全幅 (mm)	695
全高 (mm)	1,195

減速を行って停止し、その他の区間は時速 6 km の定速走行をするものとする。またモーターが加減速をする時の平均の効率インバーターの効率も含めて 70 % とする。さらに 6 km/h の定速走行の時の効率は 85 % とする。

これらの効率を含めてプラチナカーの性能を計算するパラメータとその値を表 7 に示す。

表 7 のパラメータの記号と値を使用すると、

タイヤの転がり摩擦 F_r は

$$F_r = \mu m_t g \quad (5)$$

空気抵抗 F_a は、

$$F_a = \frac{\rho C_d S_v^2}{2} \quad (6)$$

両者を合わせて全抵抗 F_R は

$$F_R = F_r + F_a \quad (7)$$

と表される。

下式より速度 v で走行する車輻に必要なパワー P は

$$P = F v \quad (8)$$

と表され、走行に必要なエネルギー量 E は下式で表される。

$$E = P t_L = F v t_L = F L_c \quad (9)$$

ここで E は L_c の距離を進んだ時にタイヤの転がり摩擦と空気抵抗で消費されるエネルギーである。

そして下式より駆動にかかるエネルギー E_m が求められる。

$$E_m = \frac{E}{\eta} \quad (10)$$

ここで η はモーターとインバーターの効率を総合した駆動効率である。

次に、1 回の加減速で消費されるエネルギーを求める。

加速に必要なエネルギー E_a は

$$E_a = \frac{m_t v^2}{2 \eta} \quad (11)$$

であり、減速時の回生エネルギー E_d は

$$E_d = \frac{m_t v^2 \eta}{2} \quad (12)$$

で表されるため、1 回の加減速で消費されるエネルギーは

表8 定速走行時と加減速時のエネルギー

	条件	消費エネルギー (J)
定速走行	時速 6 km 走行距離 100 m	3,152
加減速	最高速度 6 km/h	223
合計		3,375

$$E_d = \frac{m_t v^2}{2} \left(\frac{1}{\eta} - \eta \right) \quad (13)$$

となる。

(10) 式と (13) 式により得られる定速走行時と加減速時のエネルギーを表 8 に示す。

プラチナカーは 100 m 毎に 1 度停止しながら、定速走行時は時速 6 km で走行し、また、停止のたびに 10 s 秒の待時間があるとすると、平均時速は 5 km となる。すると、100 m 走行毎のエネルギー消費は 0.94 Wh となる。この時の平均出力は

$$P_a = \frac{V_a E_L}{L_p} \quad (14)$$

となる。

ここで P_a は平均出力、 V_a は平均速度、 E_L は距離 L_p を走行する時のエネルギーである。ここに表 7 の数値と平均速度の 5 km/h、即ち 1.4 m/s を代入すると、平均出力は 50 W となる。これに冷暖房のエネルギーとして 50 W を仮定し、照明やその他の機器に使うエネルギーを 20 W と仮定すると、走行以外の電力は 70 W である。すると走行に必要な総出力は 120 W である。プラチナカーの航続距離を 50 km と設計すると、10 時間の利用になるので、電池容量 1.1 kWh になる。

ここで、冷暖房エネルギーを 50 W とした理由は発熱と吸熱面が直接利用者の背中に接触することにより少量のエネルギーで効果を持たせることが可能なためである。人間は平均的に約 100 W のエネルギーを放出しているが、50 W のエネルギーが冷房ないし暖房で直接供給できるとすると、利用者にとっては暑さ寒さを防ぐために極めて有効に働くと想定できる。なおペルチェ素子のエネルギー消費効率 (COP) は製品レベルで 1.35 であり、50 W の熱を得るには 37 W となるが、この論文ではこれを少し多めにとって 50 W とした。

現在、このような目的に使用可能なリチウムイオン電池の性能はエネルギー密度 200 Wh/kg、パワー密度 400 Wh/L リットルと仮定できる。すると電池重量と容積はそれぞれ約 6 kg、約 3 L リットルになる。

この容積を車室内に確保するには、イスのアンカー部分

表9 被験者による評価の結果

男性 11 名、女性 14 名

	上限	下限	平均
年齢	81 歳	23 歳	54 歳
身長	180 cm	152 cm	163 cm
体重	95 kg	44 kg	61 kg
最適の座面の高さ	300 cm	200 cm	254 cm

に前後の 2 か所で左右に伸びる 2 本の中空の補強を設置し、そのそれぞれの補強のサイズ大きさを前後方向に 70 mm、高さ 40 mm、幅 600 mm とすることで収納可能となる。

プラチナカーのブレーキは基本的にモーターによる回生ブレーキで停止する。パーキングブレーキとして後輪に機械式ブレーキを使う。

5 実物大木型による大きさの検証

以上のマネキンを使った検討をさらに進めて、この大きさの規制に収まるプラチナカーの現実性の検証のために、実物大木型を作成し、被験者による検証を行った。

図 6 に作成した実物大木型の外形写真を示す。同図で示すように、背もたれの角度が 11° のシートを設置し、その底面の高さを被験者によって変えられるようにしてある。

同図で室内寸法は図 1 で示したものと同様としてある。

この実物大木型を対象に、24 人の被験者による評価を行った。その結果を表 9 に示す。年齢が 23 歳から 81 歳まで、体重は 44 kg から 95 kg まで、身長が 152 cm から 180 cm までの被験者からの評価をえた。被験者が最適であると評価した座面の高さは平均 254 mm で、最大、300 mm、最低 200 mm であった。このことは、座面の高さが 200 mm から 300 mm まで調節可能な座席とするか、座席の高さを利用者に合わせて複数個用意することで対応が可能である。



図 6 実物大木型外形写真

被験者の中で窮屈感があると答えたのは身長 180 cm で体重 95 kg の被験者であった。図 7 にこの被験者が実際の実物大木型に座った時の上から見た写真を示す。評価では、座面の高さは 200 mm として、座面の前方が後方に比べて 13° の角度になる時が最も快適に座れるとの回答者からの意見によって調整をしたものである。この時は足の先端は車体の先端まで来ている。このような調節をすることで、体格の大きな被験者でも快適に座れるとの評価を得ている。

また、図 8 に身長 166 cm の被験者が最適シート高さで座った時の、上から見た写真を示すが、足元に十分な余裕がある。

さらに、足が置かれる場所は床面と同じが良いか、車のように前方が上がるような角度が付いた方が良いかの質問に関しては、全員が同じが良いとの回答であった。このことから、図 1 に示した車室空間の大きさを身長 180 cm、体重 95 kg 以内の体形の利用者の範囲でプラチナカーは利用可能であると結論づけるが可能である。

6 アンケート調査による社会的受容性の調査

プラチナカーが社会に受け入れられるか否かについてのアンケート調査を行った。方法はウェブアンケートとして 2020 年 7 月 17 日に実施し、400 件の有効回答を得た。利用したウェブアンケートはアイブリッジ株式会社のセルフ型アンケートツールである Freeasy である。

年代別利用者の意向において平均 60 % 以上の利用の意向があるという結果を得ている。本来プラチナカーが想定していた高齢者中心の利用から全世代に亘ることが明らかになり、プラチナカーの利用範囲はかなり広くなると予想される。

さらに利用意向別の購入価格の調査では、是非利用したいという意向を持つ人で屋根が付いている機能のみでは 50 万円程度、これに自動運転機能が付くと 100 万円の価格でも購入しても良いという意見が大きかった。この傾向



図 7 長身の被験者が座った時の上部からの写真

表10 ハンドル型車いすの利用している回答者からの意向を示すアンケート結果

自動運転機能	67 %
現在より長く走行できる電池	67 %
人やものに接触するのを避ける安全装置	78 %
外部からの衝突に対する安全性	78 %
屋根やドアの取り付け	89 %

は利用意向の強い程高額な金額を支払っても良いという回答であり、購入意向の強い人々向けに商品性の高い車輛が望まれていることが明らかである。

表 10 に代表的なアンケート結果として、すでに、ハンドル型車いすを利用しているという回答者からの意向を示す。ここに回答があったのは 20 名であった。同表のように特に要望が強いのが屋根やドアの設置であり、その他、衝突安全、人やものに接触することを避けるための安全装置についての要望が特に強い。また、長距離走行可能な電池への要望も多かった。

プラチナカーの設計、開発においては、これらの要望に十分応えられるものとする。

7 実現のための方策案

この論文の主眼は交通弱者のための安心、安全、快適のためのプラチナカーの概念の提案と、これに基づく実物大木型を使った車両の検証、さらにはアンケート調査による利用者の意向の確認までを行った。

ここまでの成果を実用化して商品として広めるためには

- ①アンケート結果をもとにした価格と性能、仕様の変更の見直し
 - ②実用化に至るまでの開発方策案
- に関して検討を行い、それに沿った開発を行うことが求



図 8 身長 166cm の被験者が座った時の上部からの写真

められる。

この点で、まずアンケートの結果をもう1度精査すると、表10に示すように、実際にハンドル付き車イスを使用している人々からの希望として多い点については以下の3項目が特にニーズが多い。

- ①天候の悪い時でも利用可能な屋根やドア (89%)
- ②外部からの衝突時に利用者を守るイス等の安全装置 (78%)
- ③人や物に接触するのを防ぐための安全装置 (78%)

この結果から、安心、安全、快適の三つの要素に関する要求が強い。このために、基本設計的に盛り込まれていた、車体を屋根で包み、座席も強固なものにするという概念が重要であることが改めて明らかになった。また、人や物に接触しない安全装置に関しては本格的な自動運転をはじめから導入するよりも、超音波を使った近接センサーのように簡単な装置で目的を達成する選択肢を取ることが有効である。

一方で、現在より航続距離が長い電池や荷物空間の確保に関する要求は60%台であり、特に航続距離を高めるには電池の価格が販売価格に大きく影響するために、少々犠牲にする選択肢もある。

以下、アンケートを中心にした意見をもとに、これを商品化するためには三つの段階が求められる。

①ランニングプロトタイプ開発。

概念を見直したうえで実走行可能な車両を製作し、多くの被験者に依頼してその評価を得る。また、再度アンケート調査を行い、利用者の意向を明確に把握する。

②第二プロトタイプの開発。

ランニングプロトタイプを使った結果を反映させるとともに、細部の改良点を直し、走行可能な車両とする。この設計では乗員への衝撃を和らげるためのクラッシュゾーンをどうするか、エアバック等で高齢の乗員をどれだけしっかり拘束できるか等も設計の対象にする。

③プロダクションモデルの開発

第二次プロトタイプを用いて、走行テストに代表される車両としての信頼性、耐久性を評価し、目標価格に収まるように部品選択、組み立て方、メンテナンス法等の改良を行い、製造可能な開発品を完成させる。

8 まとめ

この論文では電気自動車の大量普及の糸口を作り、高齢化社会に対応する手段を実現するという目標設定を行った。そのために、交通弱者の安全、安心、快適な移動という社会的価値を持ちながら、現行の法制下において免許が不要であり、公共交通機関への持ち込みが許容される

と同時に、耐候性と衝突安全性を満たすプラチナカーの概念を明確にし、相反する諸要求の検討を行い、その上で要素技術を統合した実現可能な車体の基本設計を行った。また、実物大木型による概念の検証とアンケート調査の結果も述べた。本プラチナカーの実物大木型による検証では、身長180cm、体重95kgの体格の被験者でも利用が可能であることが明らかになった。

これにより、次の段階、すなわち、車両開発、生産、販売へと展開していく基盤を構築するという、所期の目的を達成したと確信する。

参考文献

- [1] C. M. Christensen: *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business Review Press, (2013).
- [2] World Health Organization: Global status report on road safety 2018, https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/, 閲覧日2020-10-30.
- [3] 内閣府:令和元年度交通安全白書, https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h29kou_haku/gaiyo/genkyo/h1b1s1.html, 閲覧日2020-10-30.
- [4] 電動車イスの交通事故 最近の交通事故の実態 警察庁, https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku12/shi_04jikojitai.pdf, 閲覧日2020-10-30.
- [5] Research Institute for Consumer Affairs (UK): Carriage of Mobility Scooters on Public Transport-Feasibility Study, (2013).
- [6] T. Suzuki and J. Takahashi: LCA of lightweight vehicles by using CFRP for mass-produced vehicles, *Proc. 15th Intl. Conf. Compos. Mater. (ICCM-15)*, 133-134 (2005).
- [7] アドウェクス株式会社製品情報紹介 ペルクル (電子クーラ) 小型高効率タイプ, https://adwecs.jp/w/item/itemPdf_94001_1.pdf, 閲覧日2020-10-30.
- [8] 織田浩平, 近本智行, 李明香, 福留二郎: トラクタの車室環境改善に向けた実大実験及び人体モデルによる検証 (その5) 車室環境における局部冷却が人体に及ぼす影響の検証実験, *空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集*, 3 (1), 109-112 (2017).
- [9] N. Wolfe, X. Mu, L. Huang and P. Kadle: Cooling with augmented heated and cooled seats, *SAE Technical Paper*, 2007-01-1193, (2007).
- [10] G. J. Marshall, C. P. Mahony, M. J. Rhodes, S. R. Daniewicz, N. Tsolas and S. M. Thompson: Thermal management of vehicle cabins, external surfaces, and onboard electronics: An overview, *Engineering*, 5 (5), 954-969 (2019).
- [11] 林孝一, 御園秀一, 渡邊誠: 日本のセダンの全高の変遷と影響因子の関係, *デザイン学研究*, 61 (2), 9-16 (2014).
- [12] 阿部太一, 平川豊: 音波を用いたシニアカーと自転車の接近検知手法, *情報処理学会第81回全国大会講演論文集*, 311-312 (2019).
- [13] 小竹元基, 太田翔悟, 石川貴久: 路面情報の特性を考慮した走行可能領域判定に基づくセニアカーの運転支援方策, *交通・物流部門大会講演論文集*, 26, (2017).
- [14] 佐藤雄隆, 坂上勝彦: 安心・安全な次世代モビリティを目指して, *Synthesiology*, 2 (2), 113-126 (2009).

執筆者略歴

清水 浩（しみず ひろし）

東京大学大学院 新領域創生科学研究科特任講師、学術博士。2015年慶應義塾大学 環境情報学博士課程終了。2009年トヨタ自動車株式会社、2010年株式会社 SIM-Drive、2013年本田技術研究所、2017年名古屋大学 未来社会創造機構 モビリティ領域 機械・情報分野 特任助教、2018年～東京大学大学院 新領域創成科学研究科特任助教、2021年～現職。この論文では、段差乗り越え機構の概念の設計を行った。



清水 浩（しみず ひろし）

株式会社 e-Gle 代表取締役、工学博士。東北大学大学院卒。1997年慶應義塾大学環境情報学部教授。2009年株式会社 SIM-Drive を設立し代表取締役社長、2013年株式会社 e-Gle を設立し、現職。2004年、最高速度370 km の「Eliica」を実現。環境問題の解析と対策技術の研究に従事。40年間で15台の電気自動車の試作車開発に携わる。2009年からは電気バスの開発も手掛ける。著書に「脱『ひとり勝ち』文明論」（ミシマ社）等。この論文では、車両の基本レイアウトの設計を行った。



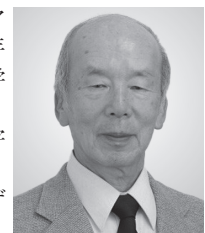
新井 英雄（あらい ひでお）

株式会社 e-Gle 駆動開発部。1987年東北大学大学院工学研究科修士課程終了、1987年株式会社日立製作所、2003年株式会社インターネット総合研究所、2010年株式会社 SIM-Drive、2014年から現職。この論文では、駆動装置の設計を行った。



狼 嘉彰（おおかみ よしあき）

慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究所 顧問、工学博士。1968年東京工業大学大学院理工学研究科 電気工学専攻修了。工学博士。NASA 国際フェロー、東京工業大学教授、慶 應義塾大学教授、宇宙開発事業団技術研究本部研究総監を経て、2008年より慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科委員長を務める。



唐鎌 圭彦（からかま よしひこ）

一般社団法人電気自動車普及協会主席研究員。1983年早稲田大学商学部卒業、1983年～2019年東京電力株式会社、1994年～財団法人中東協力センター、1998年埼玉大学大学院経済科学研究科修了、2003年財団法人政策科学研究科、2006年福井県立大学経済・経営学研究科経済研究専攻博士後期課程単位取得退学、2008年～財団法人日本自動車研究所、2014年～一般社団法人電気自動車普及協会、2019年～APEV PHILIPPINES 理事、2020年慶應義塾大学大学院後期博士課程 SDM 研究科入学。この論文では、車両の基本概念の設計を行った。



査読者との議論

議論1 全体について

コメント（赤松 幹之、小野 晃：産業技術総合研究所）

歩行機能が低下した交通弱者を対象として、1人乗りで歩道ないし室内、公共交通機関内を移動するシステムの新しい概念を提示している論文である。現在実用化されている電動車いすと比べて、安全性と快適性を向上させた設計方針を取っている。記述内容は概念設計と基本設計で、考慮すべき内容が列挙されており、寸法の提案とボディ材料としてCFRPを使うこと、段差を乗り越えるための前輪機構の提案、安全のためのシェル型のシートと乗降性向上のためのドアのアイデア、そして必要なバッテリー容量の提示と、多角的な視点からの提案になっています。その一部はモックアップで実証試験を行い、潜在的ユーザーへのアンケート調査で評価を行っている。製品化のための要素の統合とシステムの評価が行われており、構成学として有益な論文です。

藤田 悦則（ふじた えつりの）

広島大学大学院医歯薬保健学研究科 兼 株式会社デルタツーリング常務取締役。1976年プレス工業株式会社、1983年デルタ工業株式会社、1996年株式会社デルタツーリング、2000年広島大学大学院工学研究科博士課程後期修了、博士（工学）。2004年株式会社デルタツーリング常務取締役、2014年デルタ工業株式会社取締役兼任、2016年在職のまま広島大学大学院医歯薬保健学研究科に入学し、現在に至る。この論文では、カーボンシェルシート、利便性を向上させるための機能の設計を行った。



議論2 製品化に向けたシナリオについて

コメント（赤松 幹之）

提案の技術が全て実現した場合には、理想的な交通弱者向けの車輛となると想像することは可能ですが、高価なカーボンファイバーの導入や高機能を持たせることがそもそもの出発点であるコストパフォーマンスに優れて市場性のある車輛となるのが課題となるかと思えます。にわかには理解できませんでした。

一次査読において著者から「著者一同はまず、社会的必要性を訴え、それが理解された上で資金調達をし、開発に進むという手順を取ることを意図しております。」という回答をいただきました。これはあくまでも開発に着手するまでのシナリオの第一歩であり、資金調達が成功した暁には新しい技術が搭載された理想的な車輛がワンオフのプロトタイプ車として具体化されるものと思います。

しかし、シンセシオロジー誌としては、開発に着手するまでのシナリオだけでなく、プロトタイプを元にした開発のシナリオ、そして社会導入のための優先的に実現する性能のプライオリティ付、スペックダウン等のシナリオが書かれた論文になることを期待します。

回答（清水 浩）

全体シナリオとしては、以下のように考えています。

1. ランニングプロトタイプ開発：コンセプトを見直したうえで実走行可能な車両を製作し、多くの被験者に依頼してその評価を得る。

奥 明栄（おく あきよし）

株式会社 東レ・カーボンマジック代表取締役。1956年京都市生まれ。79年より（株）童夢にてレーシングカー、高性能スポーツカー等の構想・設計・開発を担当、また、開発に要する風洞等評価装置、カーボンコンポジット製法等周辺技術および設備機器を独自に開発。これらの経験を活かし、01年カーボンマジック社を設立。さまざまな分野の高性能コンポジット製品および革新的新機軸開発に取り組む。この論文では、車体の設計を行った。



また、利用者の意向を明確に把握する

2. 第二プロトタイプの開発：ランニングプロトタイプの改良点を直し、走行可能な車両とする。この設計では乗員への衝撃を和らげるためのクラッシュゾーンをどうするか、エアバックが等で高齢の乗員をどれだけしっかり拘束できるか、等も設計の対象にする。

3. プロダクションモデルの開発

これらは本文に記載しました。

議論3 社会受容性について

コメント（小野 晃）

現在やや大型の電動車ですが電車内に入ってくる場合があります。その時に大きな屋根と側板が付いていることを想像すると、周囲の人に対してかなりの威圧感を与えることになりはしないかと懸念します。周囲の人から運転者の顔が容易に見え、どのような人であるかが容易に認識できることは、車内での人と人との親和感維持に役立つのではないのでしょうか。

回答（清水 浩）

御意見の通りと思います。モックアップを作ってみましたところ、想像以上に大きかったです。今後実車を作ることを意図しております。この折りに御指摘の内容を盛り込む設計を行います。

議論4 使用性について

コメント（小野 晃）

歩行能力の低下が著しい高齢者を考えた場合、モビリティーカーへの乗り降りの容易さは重要と思います。イスの高さが低過ぎる印象があり、リフト機能が不要になるようにもっと高くすることではいかがでしょうか。

コメント（赤松 幹之）

現在のセニアカーの規定の元での車室内寸法が提案されていますが、マネキンが収まるからといって、その空間がユーザに受け入れられるか懸念します。

回答（清水 浩）

御意見の通りと思います。モックアップを作って25人に座って頂きましたところ、同様の意見がありました。これに対応するために新しい方法を考案中です。

車室内寸法に関しては、日本人男性の平均身長172cm以下の人々にとっては余裕を持って座れるはモックアップで確認しました。従ってプラチナカーは人口の4分の3までの人には利用して頂けるという結果になります。この結果をもって実車を商品化し、社会での認知が進んだ段階で高さや長さについての規制緩和を行政に勧めて行くことで広い普及を図るというストーリー展開を考えます。