

地域特性を考慮した電動アシスト四輪自転車の設計開発

稲毛 達朗*, 高野 修治**, 宮田 佳美**, 大見 敏仁*, 野中 誉子*

Development of Electric Power-assisted Quadricycle for Regional Characteristics

Tatsuro INAGE, Shuji TAKANO, Yoshimi MIYATA, Toshihito OHMI, Takako NONAKA

Abstract:

The purpose of this study is to develop an electric power-assisted quadricycle for tourism. In FY2021, the focus of the quadricycle was to anticipate use in tours around historical sites in Hokuto City, Yamanashi Prefecture. We developed the 2021 model of the electric power-assisted quadricycle that does not require a driver's license. The specifications of the quadricycle included the ability for an adult and a child to ride together. In addition, we designed the frame of the quadricycle and calculated the load-bearing strength based on 3D structural analysis. In FY2022, we developed the electric power-assisted quadricycle that is an enjoyable secondary means of transportation for females, guided by "Survey Report on tourist Consumption Trends in Kanagawa Prefecture". The electric power-assisted quadricycles developed in FY2021 and FY2022 have better stability in riding than two-wheeled bicycles and attracted attention as an innovative form of mobility. Future efforts will include conducting verification runs and user tests to uncover potential challenges associated with the developed vehicles and will contribute to the development of sustainable mobilities.

Keywords: Electric power-assist, Quadricycle, No Driver's License Required

要旨:

本研究では、観光用の電動アシスト四輪自転車の開発を目的としている。2年連続で電動アシスト四輪自転車を開発し、その2台の開発報告をおこなう。2021年度の開発では、山梨県北杜市の観光ツアーでの利用を想定している。欧米から山梨県北杜市へ来る訪日観光客を対象とした免許不要で家族が利用できる電動アシスト四輪自転車の開発を目的とし、成人1名と小児1名が乗車可能であるなどの仕様を定めている。そして車体フレーム設計においては、構造解析の計算結果から耐荷重強度を確保するとともに軽量化を図るためにアルミニウム合金を採用している。2022年度の開発では、神奈川県の見学消費動向等調査報告書を基に、特に20代後半から30代の女性をターゲットにした楽しい二次交通手段としての車体を開発している。2021年度および2022年度に開発された電動アシスト四輪自転車は、二輪の自転車よりも安定走行可能な新しいモビリティとして注目されている。今後は実証走行とユーザテストを通じて開発車体の課題を明らかにし、持続的なモビリティの発展に寄与したい。

キーワード: 電動アシスト, 四輪自転車

1. はじめに

近年、人を輸送するモビリティは用途に応じて様々な種類のモビリティが開発されている。さらに、環境負荷をはじめ持続可能な社会に配慮されたモビ

リティが注目をされ、開発されている。

そこで2021年度は、地方の観光客のための2次交通として利用できる電動アシスト四輪自転車を開発した。日本においては、2030年度のインバウンド消費で年間15兆円を目指す観光戦略が外務省によって示されている^①。外国人観光客は交通に便利な東京や大阪などの都市部に来訪する一方で、地方部においては訪日回数2回以上のリピーターが訪れる傾向がある^②。また、日本の歴史、伝統文化体験などの実施

*湘南工科大学 工学部 機械工学科

**湘南工科大学 工学部 総合デザイン学科

率は東アジア 4 か国からの訪日観光客より欧米の訪日観光客の方が高いことが観光庁より報告されている。しかしながら、日本の地方では 2 次交通の整備が十分ではなく、自動車の移動を前提とした観光が多くある。そこで八ヶ岳山麓の縄文文化資源を活用した体験プログラムについて、免許不要で家族が移動できる手段が必要とされている。そのため 2021 年度において、欧米の訪日観光客を乗車対象とした大人 1 人、子ども 1 人が乗車でき、転倒事故のリスクがない電動アシスト四輪自転車を開発することを目的としている。

2022 年度においては、本大学地域に関連するモビリティの開発が計画された。湘南エリアにおける観光の現状として、平成 22 年度版と令和 3 年度版の神奈川県観光客動向分析調査報告書⁽³⁾、⁽⁴⁾のデータによると、平成 22 年度の宿泊客は男性が 53.5%、女性が 32%であった。一方、日帰りの観光客では男性が 44.5%、女性が 49.7%で、わずかに女性客の方が多かった。しかし、令和 3 年度では、宿泊客は男性が 59%、女性が 40.9%、日帰り観光客でも男性が 54.1%、女性が 45.9%となり、宿泊客、日帰り観光客ともに男性の方が多くなっている。このことから、平成 22 年度から令和 3 年度にかけて男性の観光客の割合は増加傾向にあり、女性の観光客の割合は減少傾向にあることが分かる。したがって、湘南エリアに若い女性が訪れてもらうために、対象者が利用しやすい二次交通の発展が必要であると考えられる。そこで、2022 年度では湘南エリア、特に本学最寄りの辻堂駅を起点としたエリアの観光に適した電動アシスト四輪自転車の設計及び製作を目的とする。

2. 2021 年度車体の仕様および設計

2-1 車体の仕様

2021 年度車体として、訪日観光客が乗車することを想定した車体仕様について述べる。

乗車時のニーズとして、山並みなどの景色を見ながら運転できること、転倒の恐れがなく、ゆっくり走行できることが抽出された。また、親子連れが 1 台で利用できること、多少の風雨をしのげることも挙げられた。

そこで、基本構造は四輪のリカンベント型とした。リカンベント型とは、背もたれにもたれかかってシートに座り、足をシートより前方にあるペダルに置く姿勢で運転する自転車である。リカンベント型は身体とシートの接触面積が大きく体重が分散されるため、長距離移動でも疲れにくく、足で押す反力を背もたれにより支え腰や背中中で受け止めるため、脚

力の伝達に優れている。また、成人 1 名と小児 1 名 (12 歳以下) が乗車できる座席を備えることとした。さらに、最小限の風防装置を設置した上で、最大幅 1000mm、最大長 2500mm 以内に収めることとした。なお、本論文では、開発する電動アシスト四輪自転車における風防装置を「上屋」とし、自転車としての走行装置を「下屋」としている。上屋担当と下屋担当を分けて並列で開発を進めた。

2-2 下屋の構造

本車体における必要な耐荷重強度を確保しつつ、車体の軽量化を試みるため主なフレーム材としてアルミニウム合金 A6063 を採用した。図 1 に示すように前輪軸と後輪軸をアルミ角パイプ (50×50mm、肉厚 3mm) でつなぐラダーフレーム構造としている。2-1 で示した想定搭乗者から、必要な耐荷重強度として乗車時負荷を 980 N、車体自重による荷重を加え、構造解析をおこない、降伏強度を用いた安全率が 3.0 以上となるよう車体を設計した。設計及び構造解析には、Autodesk 社製の Fusion360 を用いた。図 2 に下屋の構造解析結果を示す。

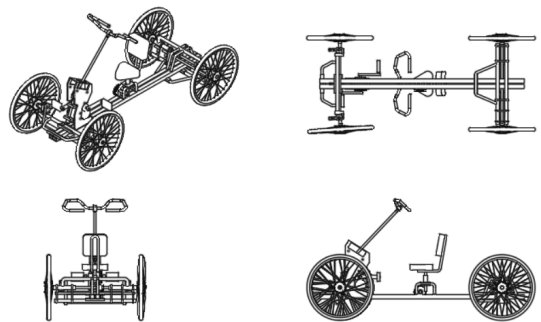


図 1 2021 年度車体下屋図面

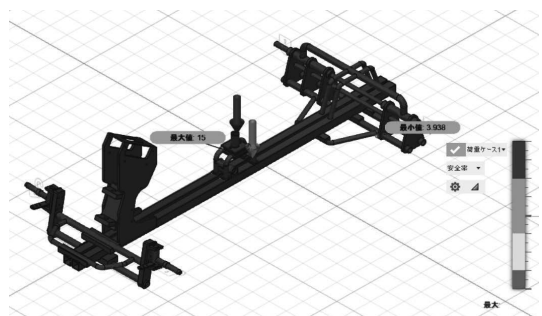


図 2 下屋の構造解析結果

電動アシスト装置には、パナソニックサイクルテック社製のマルチスピードドライブユニットを採用した。これはクランク軸に直接モーター動力を伝えるダイレクトドライブ機構であり、内装 2 段変速が搭載されている。坂道が多い山梨県北杜市を走る際には変速できることが望ましいため、開発する車体に適しているドライブユニットである。バッテリーに関しては 30km 以上の長距離移動が想定されているため、12Ah の大容量リチウムイオンバッテリーを採用した。

制動装置には、た。車体重量が通常の自転車と比べ重くなることが予測されるため、高い制動力で悪天候や泥にも強いとされるディスクブレーキ式を採用し、全 4 輪に搭載した。また、タイヤ幅が 54mm の 24 インチセミファットタイヤを採用し、衝撃吸収性と制動力の向上を図った。

2-3 上屋の構造

加工性、重量および強度の観点から A5052 アルミニウム合金を採用し、上屋フレームを制作した。重量の問題が大きく、板厚 2.0mm の板材から L 字材料に溶接加工を施したフレームを用いた。図 3 に上屋フレームの図面を示す。また、上屋フレームには、フォーレックス材によるサイドカウルを取り付けた。

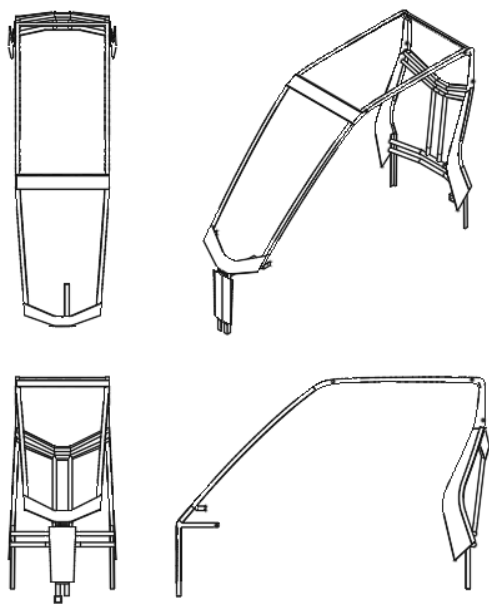


図 3 2021 年度車体上屋フレーム図面

サイドカウルの図面を図 4 に示す⁶⁾。ボルトで上屋フレームと固定できるように、超低頭ネジを 2 枚のフォーレックスで挟むように加工し、締結部が外から目立たないように処理した。

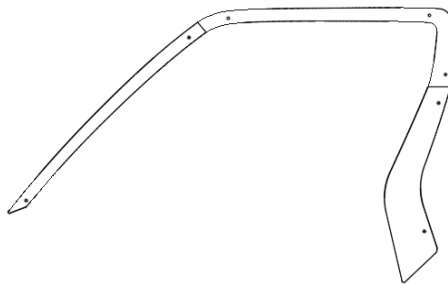


図 4 サイドカウル図面

3. 2021年度車体の完成について

自転車走行装置である下屋に、風防装置である上屋をボルトナットによって接合した後、車体のフロントとリアプロテクターを取付けた。図5に、完成車体の3次元モデルを示す。また、実際に組み立てられた完成車体の実機を図6に示す。現在のところ、山梨県北杜市にて完成車体の実証試験を行っている。



図5 2021年度車体の3次元モデル



図 6 2021 年度 完成車体

4. 2022年度車体の仕様および設計

4-1 車体の仕様

2022年度車体の開発において決定された車体仕様について述べる。湘南エリアでの「自然・風景」を楽しめるルートとして、江ノ島から茅ヶ崎を結ぶ「湘南海岸サイクリングロード」に注目した。湘南海岸サイクリングロードを走行するためには「普通自転車」の基準を満たしている必要がある。このことから、道路交通法に従い、最大幅 600mm、最大長 1900mm 以内という車体寸法の要件が決められた。また、砂山が多く足を取られやすいサイクリングロードでは、設置面積の大きい太めのタイヤが好ましい。そこで 2022 年度車体では、流通する種類が多く入手が容易な 20 インチで、タイヤ幅 54mm のセミファットタイヤを採用した。

普通自転車においては、乗車装置は 1 名分のみと定められているため、一人乗りとして設計した。観光客動向調査の結果を踏まえ、若い女性をターゲットとした。耐荷重は、ターゲットユーザの体重の 90 パーセント値である 68 kg に手荷物を考慮し、100 kgf として設計する。また、ターゲットユーザの 25%~95% がしっかりペダルを踏みこめるよう、各自の身長に合わせてシートポジションを変更できる機構を実現した⁶⁾。さらに、日差しを避けられるよう最小限の風防装置を設置することとした。2021 年度車体と同様、風防装置を上屋、自転車としての走行装置を下屋と称する。

4-2 下屋の構造

加工自由度の高さと後加工の容易さを優先し、締結部品を挿入できる溝を有したアルミフレームを主構造部材として採用し、下屋の構造体を設計・製作した。アルミフレームでは、ナットの位置を動かすことによる締結箇所の変更や、後入れナット使用による締結箇所の増設が容易である。これにより、走行に必要な主要部品とチェーンカバーなどの下屋カウルを別に設計・製作できるようになり、ターゲットユーザである女性観光客に適した乗降姿勢の検討や、必要な装備の検討に十分な時間を確保できるようにした。

設計および構造解析には Autodesk 社製 Inventor 2022 を使用し、想定最大荷重 980N に車体自重による荷重を加え、アルミフレームの降伏強度を基準とした安全率が 3.0 以上となるよう設計した。図 7 に、下屋の設計図を示す。2021 年度と同様に前輪軸と後輪軸をアルミフレームでつなぐラダーフレーム構造としている。また、制動装置には 2021 年度車体と同様にディスクブレーキを採用したが、車輪サイズがダウンしたことからディスクロータの径は $\phi 160$ mm とした。

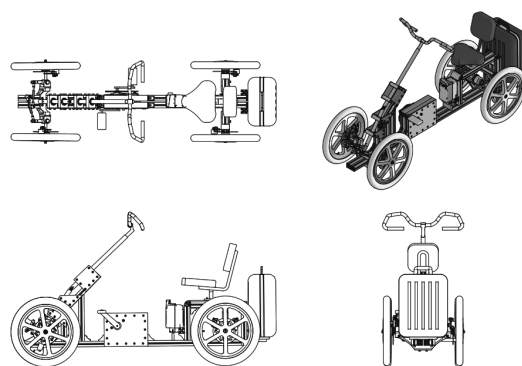


図 7 2022 年度車体下屋フレーム図面

4-3 上屋の構造

2021 年度に比べて全幅全長が小さくなったため、機体全体の重心を低く安定させるためには、上屋の軽量化が必要である。さらに、ターゲットユーザである女性受けを意識し、曲線を多用した可愛いらしいデザインを実現する必要も生じた。そこで、再度カウルパネルには、成形自由度が高く軽量高強度な FRP を採用した。図 8 に、サイドカウルパネルの 3 次元モデルを示す。コア材に硬質ウレタンフォームを

使用し、その外側をFRPで覆う構造とした。FRPの母材はポリエステル樹脂、強化繊維はガラスクロスとした。製作したカウルを下屋に取り付けるためのステー、泥除けの設置方法、ライトの配線等を検討し、サイドカウルパネル以外の小型部品は学内の3Dプリンタで製作・加工し、フレームカバーは硬質発泡塩ビ板を利用することとした。図9は完成した上屋を示す3次元モデルである。



図8 2022年度カウル製作のための3次元モデル



図9 2022年度車体の3次元モデル

5. 2022年度車体の完成について

組み立てた車体実機を図10に示す。全長1840mm、全幅は595mmと設計通り、道路交通法に定められた普通自転車サイズである最大幅600mm、最大長1900mm以内に収まっている。



図10 2022年度 完成車体

図11に本学周辺の歩道走行の様子を、図12に湘南海岸サイクリングロードの車止めの間を抜けて走行する様子を示す。いずれもガードレールや車止めに干渉することなく通過・走行できた。

想定するターゲットユーザに該当する被験者（身長156cmと166cm）による試乗テストでは、シート位置の調整に、いずれの被験者もしっかりペダルを漕ぐことができた。

ただし、軽量化を目指した上屋は20.2 kgで、車体総重量の25%となった（下屋58.4kg、総重量78.6 kg）。サイドカウルパネルだけでは約4 kgのため、上下を接続する締結部品やサポート部材、泥除けなど細かな外装品に15 kgほどかかったことになる。車体全体の重心位置を下げて安定性を向上させるためには、上屋自体のさらなる軽量化に加え、締結部品の削減、上屋と下屋の接合位置を下げることなどの対策が必要だと考えられる。

なお、全重量は一般的な普通自転車（二輪）に比べて重いですが、試走の結果、平地での漕ぎだしはスムーズで十分なアシストが得られており、女性が走行する場合も大きな負担はなかった。今後は、制動距

離、操舵性、走行時の振動、路面の凹凸や堆積した砂山でも走行できるか、実証走行を行う。



図11 歩道を走行する様子



図12 湘南海岸サイクリングロードの走行

6. まとめ

2021年度は、山梨県北杜市が計画している八ヶ岳山麓に点在する縄文遺跡群を巡る観光ツアーでの利用を想定した。親子連れ外国人観光客向けの電動アシスト四輪自転車を開発した。その知見を活かして、2022年度は湘南エリアを訪れる20代～30代の女性の日帰り観光客をターゲットとした普通自転車サイズの電動アシスト四輪自転車を開発した。風防・屋根を備えたりカバン型のこれら2台は、スタイリングの独創性が高い本学オリジナルなモビリティである。試乗テストでは、複数の通行人から声を掛けられた。また、国内では長距離移動を想定した電動

アシスト四輪自転車が市販されていないことから、展示会やイベントへの出展依頼を受け、参加した際には、多くの来場者から好意的な意見が寄せられた。このことは、開発した車体が「目をひく」「新しい」乗物として成立しており、見る人に「ワクワクする」印象を与えていることを示唆すると考えられる。

以上より、2021年度から2022年度にかけて、環境負荷および持続可能な社会に配慮したモビリティを開発できたと考えている。今後は、開発した車体を用いた長期運用テストによる課題抽出や、詳細なユーザーテストや主観評価によるコンセプトの実現達成度評価を行う必要がある。また、ターゲットや利用シーンの異なる事例も検討し、電動アシスト四輪自転車の応用可能性について継続的に議論する。

参考文献

- (1) “平成29年度インバウンド観光促進のための多様な魅力の対外発信強化”，外務省外交政策，海外広報，インバウンド観光促進資料。
- (2) “訪日外国人の消費動向，2022年年次報告書”，国土交通省観光庁統計情報白書。
- (3) “平成22年度版 神奈川県観光客消費動向分析調査報告書” 株式会社流通研究所 発行年：平成23年3月
- (4) “令和3年度版 神奈川県観光客動向分析調査報告書” 令和4年3月
- (5) 萩原大棋，氏原陸大，黒見駆，高野修治，禹在勇，“縄文史跡を周遊するための電動アシスト自転車”，デザイン学研究作品集28号，日本デザイン学会，pp. 154-159，2022年。
- (6) Nonaka, T., Inage, T., Takano, S., Miyata, Y. (2023). “Design and Development of an Electric Power-assisted Quadricycle for Female Day-trippers Visiting the Shonan Area”. In proc. Human Systems Engineering and Design (IHSED 2023): Future Trends and Applications. AHFE (2023) International Conference. AHFE Open Access, vol 112. AHFE International, USA.
<http://doi.org/10.54941/ahfe1004117>

謝辞

電動アシスト四輪自転車の開発の一部は、北杜市による受託研究費(2021年度)、トヨタコネクティッド株式会社による受託研究費(2022年度)、本学特別教育費(2022年度)の助成を受けたものである。