

利用者の状態と要望に応じた電動車いす用ヘッドレストの パーソナライズ設計とプロトタイピング開発

Prototyping a Personalized Headrest for Electric Wheelchairs Based on Users' Conditions and Requirements

星野 裕之 HOSHINO Hiroyuki

デジタルハリウッド大学 教授 / デジタルハリウッド大学大学院 特任教授
Digital Hollywood University, Professor / Digital Hollywood University, Graduate School, Project Professor

大溝 一生 OMIZO Kazuki

デジタルハリウッド大学 メディアサイエンス研究所 星野裕之研究室 研究員
Digital Hollywood University, Hoshino Laboratory, Institute of Media Science Researcher

杉山 知之 SUGIYAMA Tomoyuki

デジタルハリウッド大学 学長
Digital Hollywood University, President

ALS（筋萎縮性側索硬化症）をはじめとする重度障害者の利用を想定した電動車いす用ヘッドレストのプロトタイピングについて報告する。既存製品や職人によるカスタムは一定の対応力を有するものの、高コストや調整負担の大きさから普及的解決策とはなり得ていない。本プロジェクトでは、利用者の状態と要望に応じた設計方針のもと、臥位移動時に頭部が予期せず倒れる課題や快適性の確保に対応する形状を模索した。CADと3Dプリントを用いたデジタルファブリケーションによる反復的プロトタイピングを通じ、姿勢保持と快適性を両立する形状を導き出した。考察では、ユーザー起点設計の有効性を確認し、インクルーシブデザインおよび人間中心設計の観点からその意義を明示した。さらに展望として、可変構造、パラメトリックデザイン、オープンソース化、教育的応用といった方向性を通じて、産業界における実装事例との接続可能性を示した。

1. はじめに

電動車いすを利用する人々にとって、長時間の使用における姿勢保持と快適性は重要な課題である。特に頭部を支えるヘッドレストは、身体状態の変化に伴って適切な支持が求められる部位であり、個別のニーズに合致しない場合、疲労や痛みを引き起こす要因となる。さらに、電動車いすをヘルパーによって移動する際、頭部が思わず方向へ倒れてしまうことがあり、これは正も設計課題の一つであった。

本研究の主要な利用対象者は、ALSをはじめとする重度の身体機能障害を有する人々である。これらの利用者は、病状の進行に伴い変化する姿勢や支持のニーズを持つため、柔軟な設計対応が特に重要となる。本プロジェクトは、ALS患者であり重度障害者でもあるデジタルハリウッド大学学長の杉山知之を対象として進められた。本人の実際の利用状況と要望に基づいた調整と検討を通じ、電動車いす用ヘッドレストのプロトタイピングを行い、利用者起点の設計を実証的に追求した。

本稿の骨子は、デジタルファブリケーションを活用した製造手法、パーソナライズ設計の意義、今後の展望とともに、使用者の状態と要望に基づいて形状を模索し開発した経緯を示す点にある。

2. 調査の概要

電動車いす用ヘッドレストの開発にあたり、既存製品および関連領域の調査を行った。先行研究では、ヘッドサポートは単なる姿勢保持にとどまらず、呼吸・嚥下・発話などの生活機能に深く関わることが指摘されている^[1]。

Permobil社製電動車いすの標準ヘッドレストは、汎用的な設計によって最大公約数的な要望には応えているものの、個々の身体条件や生活環境に応じた最適化には限界がある。

また、サードパーティ製のBodiLinkシリーズに代表されるヘッドレスト群は高価であり、調整項目が多岐にわたるため、利用者や介助者が最適な設定を得るには大きな負担を伴う。

さらに、職人によるカスタムヘッドレストは手作業による精緻な対応が可能である一方、制作に時間とコストを要し、汎用的な解決策としての展開は困難である。

3. 設計方針

調査による課題を踏まえ、「利用者の状態と要望に基づく形状設計」を基本方針とした。

その核心は、ALSなど重度障害者に最適なヘッドレスト形状を導くために、プロトタイピングとフィードバックを重ねながら、姿勢保持と快適性を両立する形状を探索する点にある。従来のように調整機構を利用者や介助者に委ねるのではなく、開発側が繰り返しのプロトタイピングを行い使用者の状態に合わせ、また要望を反映させながら形状を進化させる点に特徴がある。



図1：Permobil社製電動車いすの使用場面（杉山知之学長）

4. デジタルファブリケーションによるヘッドレストプロトタイピング

本プロジェクトの開発は、デジタルファブリケーションを活用したCADと3Dプリントによるプロトタイピングを中心に進められた。先行研究でも、3Dプリントによるカスタムヘッドサポートは市販製品に匹敵する強度を持ち得ることが報告されている^[2]。プロトタイピングの各段階では、利用者からの具体的な要望や使用状況の観察をもとに、形状改善を積み重ねた。

4.1 初期検証段階

初期段階(Ver.1～3)では、頭部支持に必要な基本寸法の把握を行い、3Dプリントによる造形精度や強度が実用に耐え得るかを確認した。これにより、実際の使用者に適合するヘッドレストを設計するための基盤を整えた。

4.2 素材リサーチ

快適性と耐久性を両立させるため、表面素材と内部クッション素材について複数の選択肢を試した。表面素材では皮革、合成皮革、メッシュを比較し、内部素材ではスポンジやウレタンフォームを使用した。これらの検討を通じて、長時間使用において快適性と支持力のバランスを確保できる組み合わせを模索した。

4.3 改良プロトタイピング段階

利用者の要望を反映しながら形状を調整し、以下の改善を行った。

- ・ Ver.4：横方向の支持性を強化しながら、耳の開放性を保ち、音や声の聞き取りを妨げない基本形状の設計。
- ・ Ver.5：頸椎に沿うカップ形状を導入し、皮革素材を採用することで快適性とデザイン性を両立。
- ・ Ver.6：耳周囲への不要な接触を回避しつつ頸椎の保持力を強化し、左右幅を最適化。

これらの段階を経て、利用者が安心して使用できる形状へと最適化することができた。



図2_1：標準ヘッドレスト使用時



図2_2：Ver.4、聞き取りを妨げない形状のプロトタイプ（座位時）



図2_3：Ver.4、聞き取りを妨げない形状のプロトタイプ（臥位時）



図2_4：Ver.5、快適性とデザイン性を両立した頸椎保持形状のプロトタイプ



図2_5：Ver.5, Ver.4, 標準ヘッドレストの形状比較

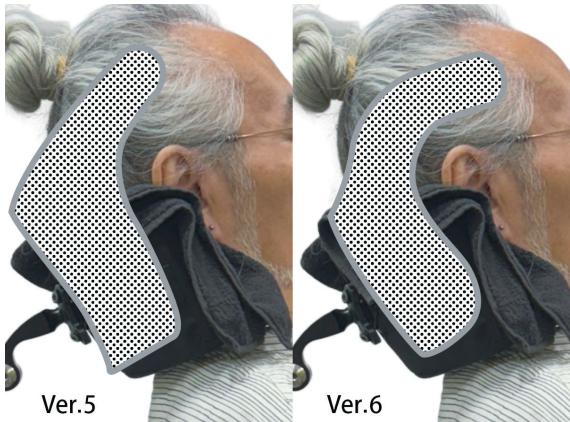


図2_6 : Ver.5とVer.6の頸椎保持の形状比較



図2_7 : Ver.6プロトタイプ使用時

5. 考察

本プロジェクトを通じて、既存製品や職人によるカスタムヘッドレストが抱えていた課題を克服するために、CADと3Dプリントを用いたデジタルファブリケーションによるプロトタイピングが有効であることが示された。利用者の具体的な要望を反映しながら複数回のプロトタイピングとフィードバックを重ねることで、最適化された形状を導き出すプロセスが成立した点は、本研究の大きな成果である。

6. 展望

本研究の成果を踏まえ、今後は以下の方向性が考えられる。

・可変構造の導入

利用者の姿勢や身体状態の変化に応じて、ヘッドレスト形状を動的に調整できる仕組みを実装することで、快適性と安全性の両立を目指す。

・デジタルファブリケーション技術の高度化

パラメトリックデザインやジェネラティブデザインなどの手法を統合し、設計から製造までの一連のプロセスを効率的に結びつける。これにより、多様な個別ニーズに柔軟に対応できる製造環境の実現が期待される。

・オープンソース化による社会的展開

設計データや製造ノウハウを広く共有することで、開発者・教育機関・医療現場が連携し、インクルーシブデザインの社会的普及を加速させることが可能となる。

・教育的応用の拡張

産業界で注目されるアディティブ・マニュファクチャリング(AM)

を教育に取り入れることで、学生が社会課題に即した設計・開発プロセスを体験できる。これは理論と実践を結ぶ教育モデルの形成にも寄与する。

・産業界への実装と連携

既にHP社やReplique社による電動車いす用パーツの3Dプリント事例が報告されており、コスト削減と短納期化を実現している^[3]。こうした動向は、本研究成果の社会実装に向けた実現可能性を裏付けるものである。

本プロジェクトは個別的な事例にとどまらず、社会実装と学術研究を架橋する実践的な枠組みとして位置づけられる。

利用者・医療従事者・教育現場・開発者が協働することで、インクルーシブデザインの体系化と社会的波及をさらに推進していくことが期待される。

7. まとめ

ALSをはじめとする重度障害者に必要とされる電動車いす用ヘッドレストの開発に取り組み、利用者の要望に基づいた形状設計をプロトタイピングを通じて検証した。従来製品や職人によるカスタムでは対応が難しかった課題に対し、デジタルファブリケーションによる反復的なプロトタイピングが有効であることを示すとともに、インクルーシブデザインおよび人間中心設計の観点から有用な知見を提供した。また、利用者の状態と要望に基づいた改良が現実的に可能であることを実証した点は、本研究の重要な成果である。

今後は、可変構造の導入、パラメトリックデザインの活用、オープンソース化、そして教育的応用といった方向性を通じて、さらなる発展が期待される。

参考文献

- [1] Geers, A. M., Prinsen, E. C., van der Pijl, D. J., Bergsma, A., Rietman, J. S., & Koopman, B. F. J. M. (2023). Head support in wheelchairs (scoping review): State-of-the-art and beyond. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 18(5), pp.564–587.
- [2] Howard, J. D., Eggbeer, D., Dorrington, P., Korkees, F., & Tasker, L. H. (2020). Evaluating additive manufacturing for the production of custom head supports: A comparison against a commercial head support under static loading conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 234(5), pp.458–467.
- [3] Peels, J. (2023). New Personalized Wheelchair Features Slew of 3Dprinting Parts from Replique and HP. *3D Print.com*.