

脊髄損傷者の自動車運転における安定した姿勢保持のための支援補助具の開発 —運転座席と手動運転装置のグリップのデザインについて—

池田 宏史 (大阪市立大学 複合先端研究機構, h-ikeda@osa.att.ne.jp)
 中迫 勝 (大阪産業保健総合支援センター, mn_nakaseko@yahoo.co.jp)
 南 繁行 (大阪市立大学 複合先端研究機構, minami@elec.eng.osaka-cu.ac.jp)
 廣瀬 浩昭 (大阪人間科学大学 保健医療学部, h-hirose@kun.ohs.ac.jp)
 リチャーズ 和子 (エルゴサイエンス研究所, ckcp512@sutv.zaq.ne.jp)

Development of assistive devices to support posture for spinal cord injury persons when driving a vehicle: Design of a driver's seat and a grip of manual driving device

Hiroshi Ikeda (Advanced Research Institute for Science and Technology, Osaka City University, Japan)
 Masaru Nakaseko (Osaka Occupational Health Support Center, Japan)
 Shigeyuki Minami (Advanced Research Institute for Science and Technology, Osaka City University, Japan)
 Hiroaki Hirose (Faculty of Health Science, Osaka University of Human Sciences, Japan)
 Kazuko Richards (Institute for ErgoSciences, Japan)

要約

自動車の運転に支障を及ぼす四肢または体幹に障害がある場合、日本の道路交通法は障害の程度に応じた補助装置の取付けを必要条件としている。しかし、健常者の運転を前提に設計された自動車に後付けするため、障害を完全に補完することはむづかしい。本研究では、脊髄損傷者の自動車運転における上体の姿勢安定保持を支援できる座席と手動運転装置のグリップのデザイン開発を行った。姿勢安定保持具の設計には2つの特徴がある。身体を支持する左右のプレート運転座席の胸部水準の高さに設け、カーブなどで姿勢のバランスが崩れた時でも上体の横揺れを支持できる。大腿部・腰部だけではなく上半身を安定させるために座面前縁の三角錘状の隆起形状を設け、大腿部の外側と内側の両側から姿勢を支える座席構造をもつ。また、手動運転装置を確実に握ることができない場合でも、残存する手掌握力で把持できるグリップ部分の開発を行った。

キーワード

脊髄損傷者, 自動車運転, 運転座席, 姿勢保持, 手動運転装置

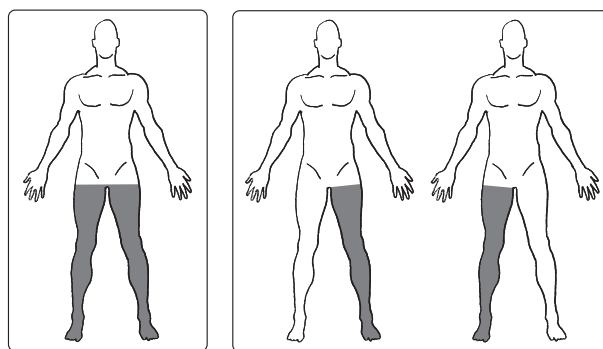
1. はじめに

日本では2000年に交通バリアフリー法として、高齢者や身体障害者などの公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律が施行された。それを契機に、障害者および高齢者が自立して生活できる施設や道路のバリアフリー化が大きな社会問題として注目され、障害者の自動車運転についても広く認知されるようになった。自動車の運転は自立した生活を実現できる可能性を上げることから、身体障害者にとって自動車の必要性は増している。

2018年における18歳以上の身体障害者数は総数4,194,000人であり(内閣府, 2019)、また身体障害者用の車両に限定された運転免許保有数は総数204,622人(警察庁, 2019)である。すなわち成人の身体障害者うち、身体障害者用車両の必要な自動車運転免許を取得している者は全体の4.9%と推定される。

行政による身体障害者の自動車運転環境に対するバリアフリー対策は、免許制度や教習場による運転指導などのソフト面のみの実施にとどまっている。しかし、運転を支援するための補助具を開発は、身体障害者からの要請から民間企業レベルで実施されている(遠藤, 1999; 日本財団, 1998)。本論の対象とした脊髄損傷者で両下肢に障害がある場合には、残存する上肢の身体能力を活かした補助具が必要となる。例え

ば図1に示すように両下肢に障害がある場合は、アクセル・ブレーキを操作するためのフットペダルを使うことができないため、代替えに操作を行う手動運転装置を後付けしなければならない。図2に示した手動運転装置はフロアタイプと呼ばれ、足元にある本来両下肢で操作する既存のアクセル・ブレーキペダルと機械的に連動した型であり、上肢のみで速度を調整できる。コラムタイプは自動二輪車のハンドル部分をステアリングポスト部分に取り付けた手動運転装置である



両下肢に障害がある場合は、上肢でブレーキ・アクセル操作を行う手動運転装置が必要となる。

既存のフットペダル(ブレーキ・アクセルペダル)を使用できる。但し、右足に障害が場合は左足でアクセルペダルを操作できるように改造する必要がある。

図1: 障害のある下肢と必要になる運転補助具
注: グレー色の部分は障害のある部位を示す。

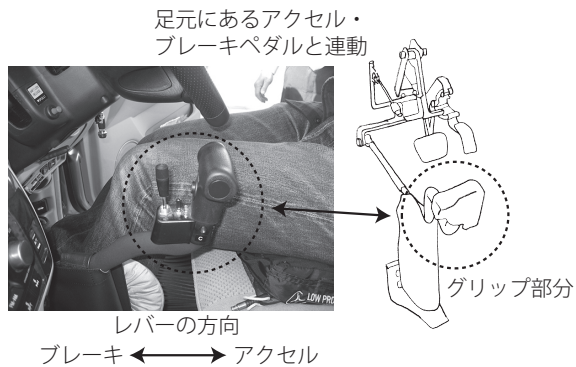


図2：加速・減速を操作できるフロア型の手動運転装置の例

が、本研究の対象としたフロアタイプは設置場所や取付け費用の負担が少なく、採用されることが多い。

手動運転装置を使用すれば脊髓損傷者は自動車を運転することが可能となるが、自動車は健常者の使用を前提に設計されているため、手動運転装置を後付けするような運転環境では操舵方法のみならず、運転姿勢を支持する上肢の可動範囲も適しておらず、障害の内容を十分に補えないことをDols et al. (1996)とKember (1992)は示した。また、高木ら(2004)は市販の手動運転装置では、手指や手関節屈曲に麻痺がある身体障害者にとってスムーズな操作は困難であるとし、遠藤(1993)も上下肢や体幹に障害があると、運転中の姿勢とステアリングの操作性が安定せず、その結果、カーブ走行時は速度の選択あるいは走行位置が不安定になることを指摘した。したがって、カーブ走行時では身体が運転座席の適切な位置で維持できず、安全な運転姿勢をとれない状況下の速度調整とステアリングの操舵では、手動運転装置と運転座席は安全な運転姿勢を支持できない基本的な問題点を含んでいる。その具体的な問題として、下記のようなことが挙げられる。

- 急なカーブやS字カーブのような左右方向に遠心力が大きくかかるような走行場面では上体が不安定になり、手動運転装置自体を身体の支えに使用してしまう。走行場面に適した手動運転装置の調節、特に急に速度を減速する操作が難しい。
- ステアリングの回転方向や手動運転装置の操作に伴う姿勢変化は健常者と比べ、上半身の移動幅が大きくなるため骨盤の位置が固定されず、運転座席の形状にあった姿勢をとることができない。

このようなことから、池田ら(2008)と廣瀬ら(2015)は身体障害者にとって運転の困難な走行状況の一つであるカーブ走行に関する運転操作の分析を行い、左右のカーブでは運転操作と上体の保持方法が異なり、それによって自動車の走行挙動も異なることを示した。さらにIkeda et al. (2007)は操舵方法と運転姿勢との関連を明らかにするために、カーブ走行に伴う①ステアリングと手動運転装置の操作、②カーブ走行の困難さ、③カーブの遠心力に拮抗する筋負荷を解析し、脊髓損傷者と健常者の運転状況の違いについて言及した。

本研究では、左右カーブでは操舵方法と運転姿勢の違いが

あることに焦点を当て、走行が困難とされる状況でも運転操作へのステアリングの影響をできるだけ防止し、安全な運転姿勢を支持する姿勢安定保持具と手動運転装置のグリップ部分の開発を行った。

2. カーブ走行時の操舵方法と運転姿勢の保持方法の違い

図3は脊髓損傷者の左右カーブの走行時における遠心力の影響と運転姿勢の関係を示す。カーブなどの遠心力を受ける状況下では、健常者のように下肢で身体を支えることができず、上半身が不安定になる。Ikeda et al. (2010)の脊髓損傷者を対象とした研究では、左カーブの走行時にステアリングを回すことによって操作する右手が伸び、右側の肩や背中が運転座席の背面部から離れることにより運転姿勢の固定が難しくなる。一方、右カーブでは上肢を伸展させてステアリングに押し付けるようにしながら上半身をしっかりと座席背もたれに密着させて保持するが、その反面、スムーズなステアリングの操舵ができないことを明らかにした。

また、下肢だけでなく上肢にも障害がある場合には、手掌握力の残存能力によって手動運転装置のグリップの握り方が異なる。操作はグリップ部分に手掌や手指を曲げて固定させるのが一般的である。カーブではある程度の握力があれば手指でグリップを握り操作を行うことができるが、意思通りに動かせない場合は、図3(a)のように手首などを使って把持しながらの操作になりやすい。カーブなどの遠心力の影響を受けやすい際には、速度調整というよりも運転姿勢の保持のために使われている。市販されている手動運転装置のグリップ部分の形状は図2で示した棒状のものが多く、あくまでも前後に動かすことだけを前提に設計されているため、走行中の

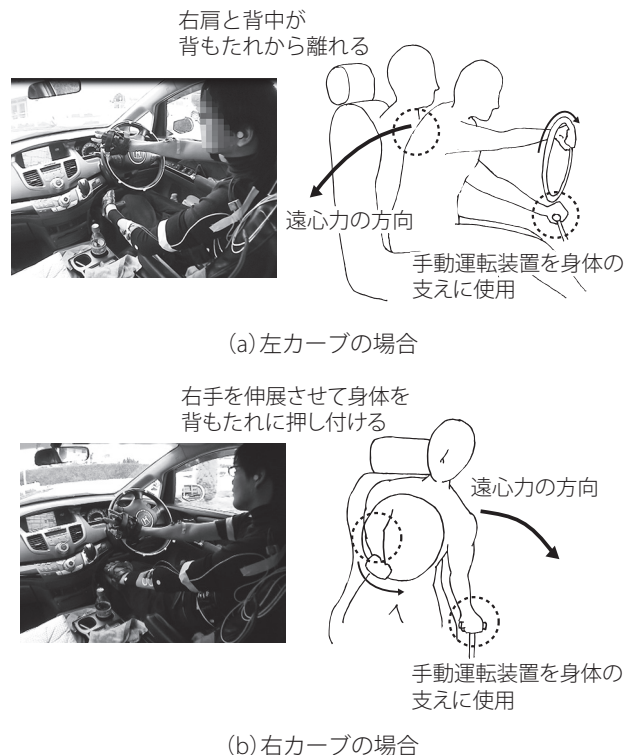


図3：カーブ走行時の運転姿勢

運転姿勢の保持に集中され、その握り方が変わることへの対応が十分に配慮されたデザインとはいえない。

104名の脊髄損傷者を対象としたカーブの走行のしやすさに関する質問紙調査(池田他, 2007)では、左カーブの方が困難に感じると55%の回答者があった(右カーブは11%)。また、実験的に想定された道路における走行(Ikeda et al., 2010)では、上体の動きが左右・前後方向共に右カーブよりも左カーブの方が大きく、特に左右方向よりも前後方向の方が大きく動いていることが明らかとなった。これらは運転操作の違いがあることと関係しており、左カーブでは座席の背面部による保持力が低下することによって上体が不安定になり、姿勢の変化に影響を与えていることを意味している。また、池田ら(2010)の筋電図を測定した研究や岩崎ら(1992)のビデオ観察による研究でも、左カーブでは遠心力に拮抗し、その運転姿勢を保持するための筋負荷が要求され、手動運転装置やステアリングを身体の支えるために使用されていた。

しかし、右カーブの方がドライバーにとって安全な運転ができていないというわけではない。右カーブの場合は左カーブと比較して、カーブの終わりから直線に復帰する際に車体が大きく振られる。一見、左カーブの方が運転姿勢は変化しやすいことから、走行は困難という見解がとられているが、自動車の走行挙動への影響は反対に右カーブの方が評価は低い。つまり、脊髄損傷者は片方の腕でステアリングを操舵しなければならないので、その回転方向によって受ける影響は異なるのである。

表1は日常生活で車椅子が必要な脊髄損傷者20名(身体障害等級:1級、脊髄損傷レベル:頸椎5番~胸椎12番)の左右カーブ別にみた運転操舵と運転姿勢をいくつかの評価手法を用いて総合的に比較したものである(Ikeda et al., 2011)。身体バランスが崩れるようなカーブ走行時における運転の状態は、左右のカーブで操舵手技と運転姿勢の保持方法が異なっている。左カーブの場合は右肩が座席から浮くので上体が安定しない。そのため、身体を支えるための筋緊張が高まり、走行車線の外側へふくらみやすい。一方、右カーブは右手を

伸展させて身体を座席に押しつけるため上体は安定するが、ステアリングの戻しが急になるので車体が振られやすい。特に問題となることとして、走行速度が上げればステアリングの操作は一定に保たれ、道路形状に沿った走行が困難になることと、一定以上のスピードでカーブを走行する際、運転姿勢の保持が操舵手技に大きな影響を与えていることが挙げられる。以上のことから、脊髄損傷者の運転操作の特性を知った上でなければ、安全な運転環境を提供できないと考える。

3. 姿勢安定保持具の設計コンセプト

カーブなどの上体が不安定になる走行場面における、脊髄損傷者の運転姿勢の保持を支援するための補助具を開発した。図4の開発された姿勢安定保持具(池田他, 2013; Ikeda et al., 2015)は、表1で示した左右カーブにおける操舵方法の違いや、遠心力の影響があっても安全な走行のための姿勢を保持するように設計された。その設計には2つの大きな特徴があり、図中の点線で囲っている部分である。

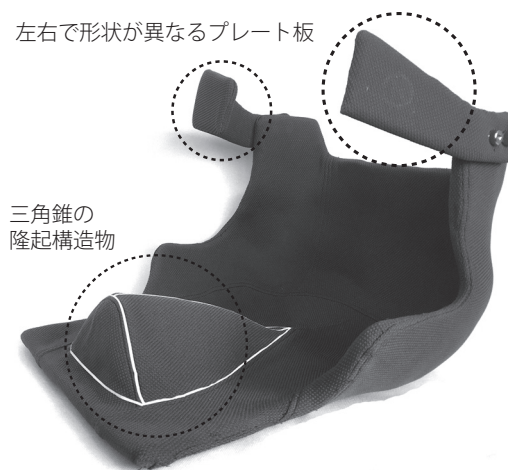


図4：開発された姿勢安定保持具

表1：左右カーブの比較評価一覧表

評価方法	左カーブ走行時	右カーブ走行時	関係性
アンケート (走行条件による運転操作などを主観的に評価する指標)	↓	↑	
筋電図 (運転操作と身体を支えるための筋緊張を知るための指標)	↓	↑	左カーブは運転操作の方法上、運転姿勢が変化しやすくなる。そのため、運転座席による上体の保持力が低下し、全体的な筋緊張が右カーブよりも大きくなる。主観的な意見も運転姿勢が保持しにくいなどの意見が多く、評価は右カーブよりも低い。
運転姿勢 (運転操作や遠心力による影響を知るための指標)	↓	↑	
ステアリング角度 (運転操作の情報を知るための指標)	↑	↓	右カーブは遠心力に対して、上体をしっかり支えることのできる運転操作方法になっているが、カーブ終了から直線復帰になるところでは、運転姿勢の固定と遠心力のバランスが崩れ、左カーブよりもステアリングの戻しが遅くなり、カーブ退出区間では車体が振られる度合いが大きい。この区間ではステアリングを操作する右肩の筋負荷が大きい。
加速度 (ステアリングや速度調整の情報を知るための指標)	↑	↓	

その特徴の一つは、運転座席の胸部左右にある上体を支えるためのプレート板である。右カーブでは身体の側面部だけを支持すればよいが、左カーブでは側面部と前面部も必要になることから、左右のプレート板の形状が異なっている。また、プレートの高さも重要であり、左カーブでは上体が第10～11胸椎部あたりから屈曲(前屈)するため、第1～2腰椎部の高さで支持できるように設計されている。そのため、必要な時に上体を前屈させても身体は安定した支持を得られることになる。

もう一つの特徴は、両大腿内側部に配置した三角錐の隆起構造物である。図5に示すように、大腿部をシートの外壁からと隆起構造物によって内外両側から支えるようになっている。図中の矢印の方向は大腿部へ支える力の方向を示している。この隆起構造は、大腿部・腰部を安定させるだけでなく、上体の安定性につながる役割も果たしている。骨盤が転がらずに正しく起きた状態で固定されるため、脊柱のラインがゆるいS字カーブに保たれ、常に正しい状態になる。隆起構造は座位の前すべりを防ぐ役割も果たしている。本保持具のように大腿部の付け根は外側と股間・膝上の内側が保持され、支えることによって臀部が浮き上がることなく腰部が安定する。それが上体の安定にも繋がっていると推察される。

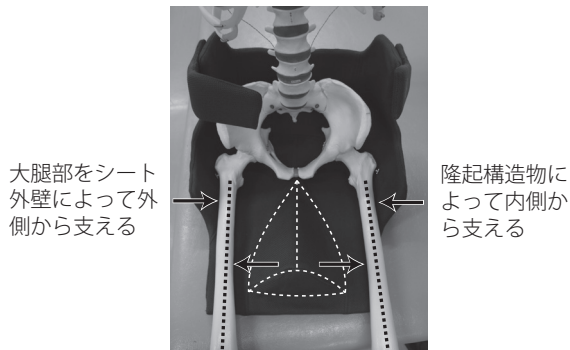


図5：大腿部と腰部の保持構造
注：矢印は支える力の方向を指す。

4. 手動運転装置のグリップ部分の設計コンセプト

手動運転装置の設置する場所は、運転座席の位置合わせ基準にも関係する。図6は脊髄損傷者と健常者に対し、運転座席の調節位置を「ステアリングかアクセル・ブレーキの操作のどちらの操作を重視して決めるのか」を示した結果である。脊髄損傷者群では「ステアリングの操作」が34.6%、「アクセル・ブレーキの操作」が23.1%であった。一方、健常者群では「アクセル・ブレーキの操作」が47.3%と最も多い結果を示した。脊髄損傷者は主にステアリングの操作、健常者はアクセル・ブレーキ操作を重視して運転座席の位置を決めていることが明らかにされた($\chi^2 = 19.06, p < 0.01$)。言い換えれば、脊髄損傷者は手動運転装置(アクセル・ブレーキ)の操作に適した運転座席の位置合わせになっておらず、手動運転装置のレバーを前傾させブレーキをかける際には上半身も前傾し、座席背もたれによる運転姿勢の保持ができないと言える。

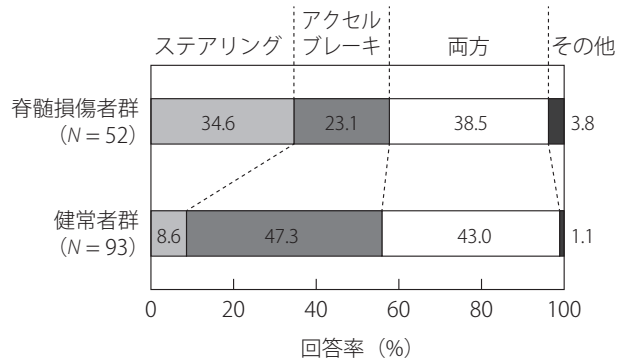


図6：シートの位置合わせ基準

実際にカーブなどの運転姿勢が不安定になる走行場面では、手動運転装置のグリップやレバー部分が身体を支えるために使用されることが図3の写真からも確認できる。しかし、図7に示したように、元々から身体の支えに使用するための形状ではないために不自然な握り方となってしまう、そのこ

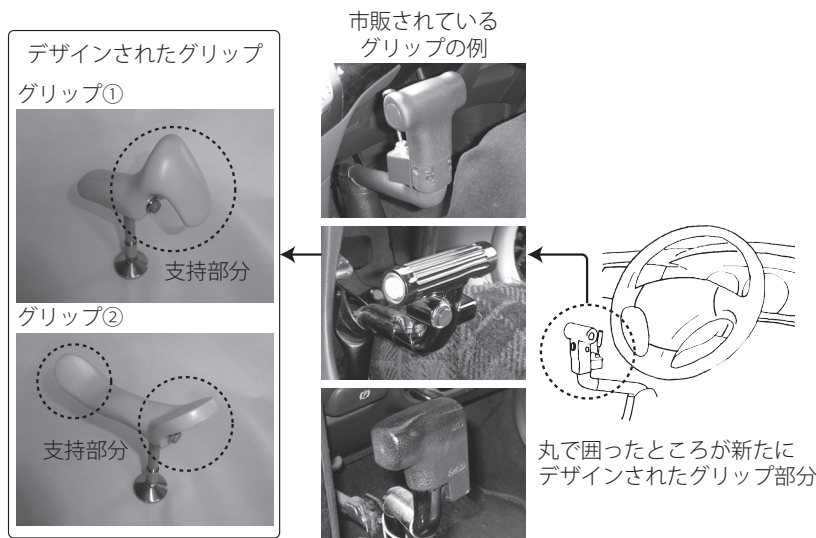


図7：デザインされた手動運転装置のグリップ部分

とにより運転姿勢にも影響を与える。Grandjean (1988) は早く正確な操作をするには腕ではなく、手掌や指を使うようなデザインにすることが重要だと指摘している。そのようなことから、十分にグリップ部分を把持することができない場合でも、残存している手掌の能力で対応できる手動運転装置のグリップ部分のデザインを行った。デザインされた手動運転装置のグリップ部分は図7で示す2種である。そのグリップ部分の形状は、脊髄損傷者にとって走行が困難とされる左右カーブ走行時における運転操舵と、障害がある場合の手掌の特徴を考慮に入れたデザインとなっている。

図8と図9はカーブ走行時における上部からみたグリップ部分の使用イメージを示す。図8のグリップ①では、手掌で握る支持部分が右側にあり、左右カーブでは写真のように親指を支持部の外に当て、他の4指で反対側の指示部分を握るように力を入れ、左上肢によって運転姿勢を保持することができる。通常の運転時では、くぼみ部分に親指を入れて使用する。支持部分が大きいため、グリップを握る力が弱くても

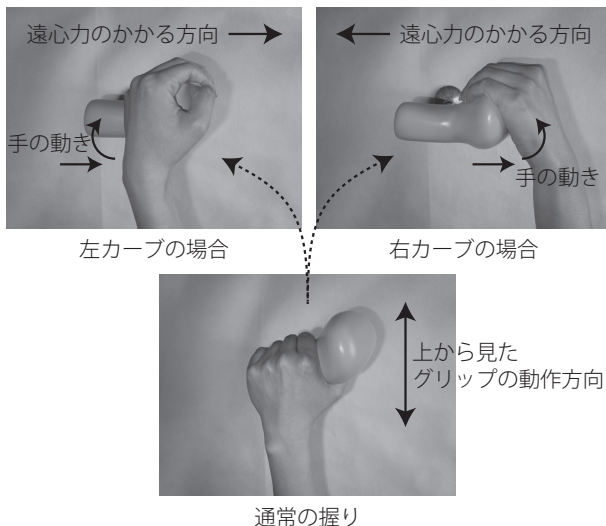


図8：グリップ①の使用している例

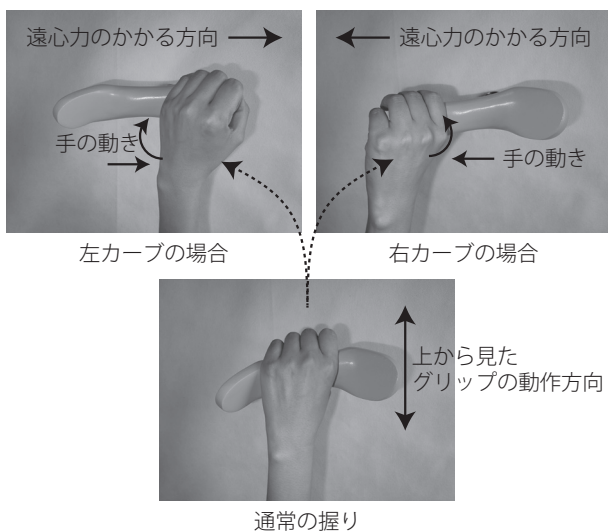


図9：グリップ②の使用している例

把持しやすい。

一方、図9のグリップ②では、支持部分が左右の端についている。把持する支持部分が図8のグリップ①と比べて小さい分、一定以上の握力が必要となるが、左右の支持部分への移行がしやすい特徴がある。カーブなどの遠心力の影響を受けて身体が不安定になる状況下でも、グリップ①と②ともに手掌だけではなく、手首を使って運転姿勢を保持することができる形状である。

5. まとめ

肢体不自由者の安全かつ快適な運転を支援するためには、上半身の運転姿勢が確保でき、無理なく運転操作を行える操舵環境の設計が重要である。本論で示した姿勢安定保持具の設計は、下肢及び臀部の姿勢安定のために座席前縁の中央部を隆起させ、走行中の姿勢変化を最小限にできること、さらに急カーブなどに発生しやすい上半身の不安定な姿勢においても上半身を両側から支える胸部のプレート板を設けた運転座席にある。

また、手動運転装置のグリップ部分の設計は、カーブなどで身体が不安定になった際に、姿勢の支えにレバー自体を使用する場合でも、安定した姿勢で把持することができる。手掌の機能の低下があっても安定した握り方ができる形状をもち、握る位置を変えてもスムーズに移動できるように設計された。

設計構造がシンプルであり、車を乗り換える際にも簡単な加工のみでそのまま使用できるという利点がある。姿勢安定保持具の設計の特徴である座席中央部の隆起した形状は、既存の運転座席にも応用でき、一般車両に取り入れれば脊髄損傷者だけではなく、下肢の機能が衰えてきた高齢者を含む歩行困難者にとっても役立つと考えられる。

引用文献

- Dols, J. F., Garcia, M., and Sotos, J. J. (1996). Procedure for improving the ergonomic design of driving positions adapted for handicapped people. *Boletín Factores Humanos*, No. 12-13, 7-17.
- 遠藤光二 (1993). 障害者用自動車運転補助装置. リハビリテーション研究, Vol. 77, 24-29.
- 遠藤光二 (1999). 障害者が自動車運転を行うための条件. 日本義肢装具学会誌, Vol. 15, No. 4, 298-303.
- Grandjean, E. (1988). *Fitting the task to the man: A textbook of occupational ergonomics*, 4th edition. Taylor & Francis.
- 廣瀬浩昭・池田宏史・武田功 (2015). 脊髄損傷者の自動車運転における走行時の頭部加速度解析に関する研究. 人間環境学研究, Vol. 13, No. 2, 163-168.
- 警察庁 (2019). 運転免許統計 平成30年版.
- Kember, P. (1992). Vehicle control tests for the disabled could influence ergonomic design. *Automotive Engineer*, Vol. 17, No. 5, 52-55.
- Ikeda, H., Hiroaki, H., and Mihoshi, A. (2010). Driving and load on curves of upper and lower body impaired people. *Proceedings of International Conference on Mobility and Trans-*

-
- port for Elderly and Disabled Persons, CD-Rom.
- Ikeda, H., Hirose, H., Nakaseko, M., Takeda, I., and Minami, S. (2015). Development of support equipment for driving posture of persons with lower-limb dysfunctions. *Proceedings of International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons*, C3-C6.
- Ikeda, H., Kitagawa, H., and Mihoshi, A. (2011). Summary of research on driving support system for upper and lower body impaired people. *Proceedings of 11th European AAATE Conference*, 834-839.
- Ikeda, H., Mihoshi, A., Ikeda, H., and Hisari, Y. (2007). Physical load related to highway-driving among disabled people. *IATSS Research*, Vol. 31, No. 1, 100-109.
- 池田宏史・廣瀬浩昭・三星昭宏 (2010). 車いすドライバーにおける自動車運転時の頭部位置変化と上肢筋負荷に関する研究. *人間環境学研究*, Vol. 8, No. 1, 75-79.
- 池田宏史・三星昭宏・木村直也 (2007). 肢体不自由者の自動車運転時における問題点. *人間環境学研究*, Vol. 5, No. 1, 27-33.
- 池田宏史・三星昭宏・木村直也・雨宮謙太郎 (2008). 屈折区間走行時における車椅子ドライバーの運転挙動. *交通科学*, Vol. 39, No. 1, 60-65.
- 池田宏史・中迫勝・廣瀬浩昭・三星昭宏・武田功・南繁行 (2013). 肢体不自由者の自動車運転操作を支持する体幹保持具の開発. *科学・技術研究*, Vol. 2, No. 2, 147-150.
- 岩崎洋・中嶋富美子・遠藤光二・熊倉良雄 (1992). 脊髓損傷者の自動車運転について一座席の違いによる運転操作の変化一. *理学療法学第27回日本理学療法士学会誌*, Vol. 19, 特別号, 69.
- 内閣府 (2019). 障害者白書 平成30年版.
- 日本財団 (1998). 移動手段確保の為に「10,000人アンケート」.
- 高木憲司・浅野圭司・時枝陽子・後藤貴江 (2004). 頸髄損傷者用自動車手動装置の開発. 第39回日本理学療法学会大会抄録集, Vol. 31, No. 2.

(受稿：2020年10月5日 受理：2020年12月24日)