

仮想人体モデルによる 車いす利用者から見た上肢操作の困難度評価

○ 水谷勝一¹, 福井 裕², 川野常夫², 杉村延広³

¹摂南大学大学院工学研究科, ²摂南大学理工学部,

³大阪府立大学大学院工学研究科

1. はじめに

人間の日常生活や労働の場において、ドアノブの回転やドライブによるネジ締めといったように上肢を用いて回転して操作する対象は多い。ドアノブの位置は一見固定のようであるが、大人の立位姿勢では、ほぼ腰の高さにあるのに対して、車いす利用者や子供にとっては、肩より上方にある。このような状況において、回転対象の回し易さや力の入り具合といった操作性は、回転対象の位置や上肢姿勢により異なると考えられる。

このような問題に対して、ドアノブを対象として複数位置における回転力を詳細に実測した研究^{1,2)}は報告されているが、実測したデータに基づき上肢姿勢から回転力を推定する手法を提案した研究は少ない。そのため、筆者らはこれまでに、実測データに基づいて回転角度や回転力の推定方法を確立し、仮想人体モデルを用いて各姿勢における回し易さや困難さを可視化する評価システムの開発を行ってきた³⁻⁵⁾。

車いす利用者の視点に立った上肢操作の困難度を評価することを目的に、本報では、ドアノブの回転操作を対象とし、開発した評価システムを用いて、ドアノブの位置による操作性の違いを検討した。

2. 仮想人体モデルを用いた回転困難度評価

これまでに開発した評価システムを健常者および車いす利用者のドアノブ操作性評価用に改良した結果を図1に示す。これは操作者の代理人である人体モデルおよび回転対象（本報ではドアノブ）から構成される。設計者が回転対象を配置し、それを操作するよう人体モデルの姿勢を決定すると、同図右上に示すような評価結果がリアルタイムに可視化される。

ここで評価結果は、実測データに基づいて、回転対象を操作する際の上肢姿勢から、以下の2種類の値を推定した結果を表示している。

(1) 回転可動域:1回の操作で回転することのでき

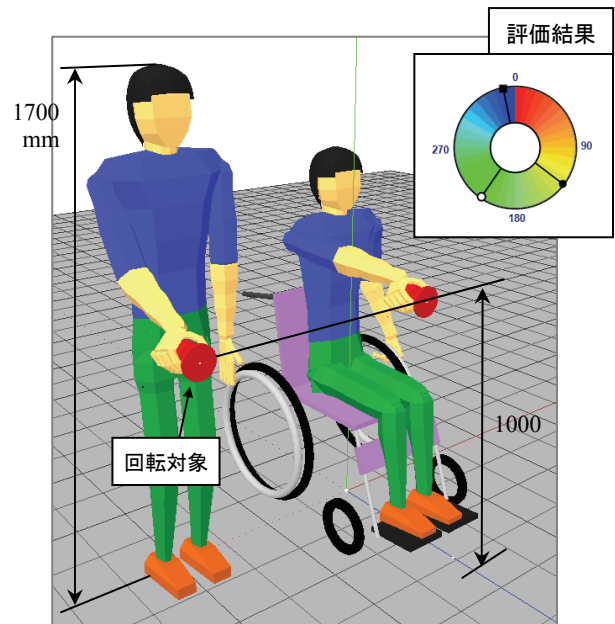


図1. 回転困難度の評価システム

る最大角度。これは、上肢各セグメントの方向と回転対象の方向が一致するほど大きくなるような規範に基づいて推定される。

(2) 最大発揮トルク：回転対象の軸周りに付加することのできる最大トルク。これは手首の屈伸と前腕のひねりの寄与率が高いほど、また手の高さが低いほど大きくなるような規範に基づいて推定される。

ここでは、推定された回転可動域が大きいほど、回転限界までの余裕が大きいことから、困難度は小さいと考える。最大発揮トルクにおいても同様に、推定されたトルクが大きいほど、発揮できるトルクの限界までの余裕が大きいことから、困難度は小さいと考える。

3. 立位時と車いす利用時との困難度の比較

立位時と車いす利用時においてドアノブの操作の困難度の違いを比較した。図1に示すように、本評価システムにおいて、立位時および車いす利用時の2種類の姿勢を人体モデルを用いて再現し

表 1. 立位時と車いす利用時の比較

	回転可動域 (°)	最大発揮 トルク(Nm)
立位時	176.6	3.36
車いす利用時	214.6	2.96

た. 人体モデルの身長は 1700mm とし, ドアノブは現状の一般的な高さ, すなわち床面から 1000mm に配置した.

立位時と車いす利用時それぞれにおいて, ドアノブを操作する際の回転可動域および最大発揮トルクを推定した結果を表 1 に示す. 同表より, 回転可動域は立位時では 176.6°, 車いす利用時では 214.6° となった. 車いす利用時の方が立位時に比べ回転可動域が 22% 増加した. しかし, 最大発揮トルクは立位時では 3.36Nm, 車いす利用時では 2.96Nm となり, 車いす利用時は立位時に比べ最大発揮トルクが 12% 減少した.

これらの結果から, 最大発揮トルクの観点から, 現状のドアノブ位置では, 立位時に比べ車いす利用時の方が困難度は増加することがわかる.

4. ドアノブ位置の違いによる困難度の評価

車いす利用時において, ドアノブの高さや水平方向の位置によって回転可動域と最大発揮トルクがどのように変化するかについて評価システムを用いて検討した. ドアノブは図 2 に示すように配置した. すなわち現状のドアノブ位置 (床面からの高さ 1000mm) を中心に, 格子状 (格子間隔は垂直, 水平ともに 200mm) の 9 カ所に配置した. 本報では, 車いす利用者の正面にドアがある場合を想定した. そのため車いすに着座した状態で手の届く範囲は, おおよそその 9 か所に限られる. ドアノブには同図中に示すように, 車いす利用者から見て左上から順に 1~9 までの番号を付加した.

車いすおよび人体モデルの体幹は固定したままで, 右上肢を用いて全ての位置のドアノブを操作させる.

まず, 各ドアノブの位置における回転可動域の推定結果を図 3 に示す. 同図中の円はドアノブ, 左上の数字はドアノブ位置の番号を示している. 円の下部の数字は, 回転可動域の絶対値を示している. また, 円内部の数字は, 9 箇所のドアノブ位置における回転可動域の最大値を基準とした減少率を示している. すなわち, この数値が大きい

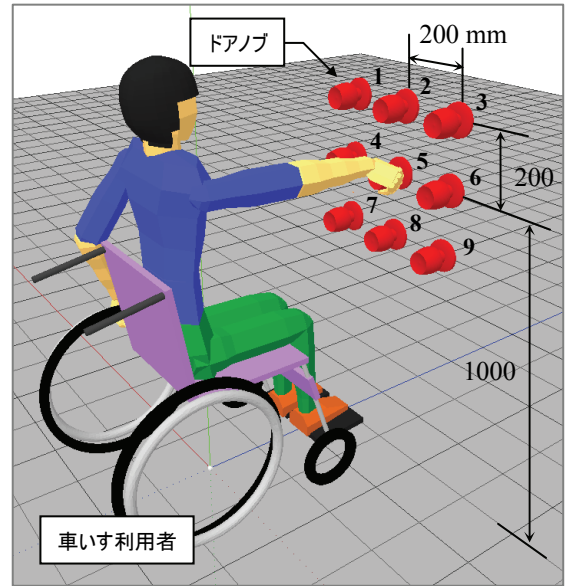


図 2. 位置の違いによる困難度の評価

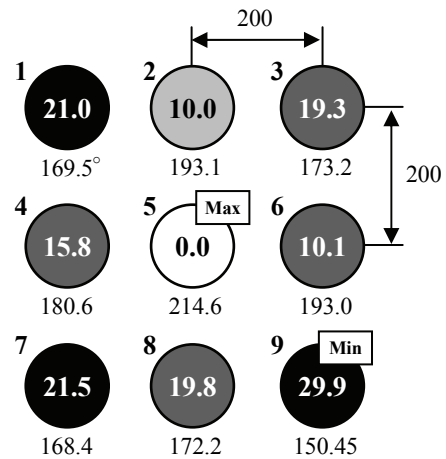


図 3. ドアノブの位置による回転可動域の減少率 (ドアノブ操作の困難さの程度)

ほど回転可動域が小さくなり, 操作が困難であることを示す. 円の背景色は, 減少率が大きくなるにつれて, 黒色に近づくよう 3 段階でグラデーションして表示している.

同図において, 現状の位置である 5 番のドアノブでは, 回転可動域が 214.6° となり, 9 箇所のドアノブにおいて最も大きくなった. それに対して, 9 番のドアノブでは回転可動域が 150.5° となり, 最も小さくなった.

これらの結果から, 回転可動域の大きさの観点からすると, 現状のドアノブと同じ 5 番の位置の回転可動域が大きい, すなわち困難度が低い, それに対して, 9 番の位置の回転可動域が小さい, すなわち困難度が高いことがわかった.

5 番の回転可動域が最大となったことから, 現

状のドアノブ位置であっても、回転可動域の大きさの観点からすると、車いす利用者にとっても困難が増えることはないと言える。むしろ、表 1 に示した立位姿勢との比較結果からわかるように、立位姿勢よりも大きく回転することができる。

次に、各ドアノブの位置における最大発揮トルクの推定結果を図 4 に示す。同図より、8 番のドアノブでは、最大発揮トルクが 3.32Nm となり、9 箇所のドアノブにおいて最も大きくなった。それに対して、1 番のドアノブにおいて、最大発揮トルクが 2.63Nm となり最も小さくなった。このとき、ドアノブは車いす利用者から見て頭部のほぼ正面に位置することから、力を入りにくい姿勢であることが推察される。

これらの結果から、最大発揮トルクの大きさの観点からすると、現状のドアノブより 200mm 下方の 8 番の位置の最大発揮トルクが大きい、すなわち困難度が低い、それに対して、5 番から見て左上の 1 番の位置の最大発揮トルクが小さい、すなわち困難度が高いことがわかった。

すなわち、車いす利用者にとっては、現状の位置よりも下方に配置した方が、よりトルクが発揮し易くなると考えられる。また、7,8,9 番のようにドアノブ高さが低い方が最大発揮トルクは大きくなっているが、これは関連研究^{1,2)}の結果とも一致する。

5. おわりに

車いす利用者の視点に立った上肢操作の困難度を評価することを目的に、ドアノブの回転操作を対象とし、評価システムを用いて、ドアノブの位置による操作性の違いを検討した。

本研究をまとめると以下ようになる。

(1) 立位時と車いす利用時におけるドアノブの操作性を比較した結果、立位時に比べ車いす利用時の方が、最大発揮トルクが 12%減少し、困難度が増加することがわかった。

(2) 車いす利用時において、現状の位置を中心に 9 箇所の位置におけるドアノブの操作性を比較した。その結果、回転可動域は現状のドアノブ位

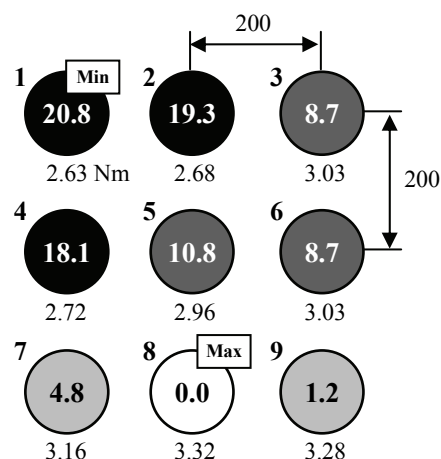


図 4. ドアノブの位置による最大発揮トルクの減少率 (ドアノブ操作の困難さの程度)

置が最大となり、車いす利用者にとっても操作し易い位置であることがわかった。しかし、最大発揮トルクは現状のドアノブ位置から下方に 200mm の位置が最も大きくなり、車いす利用者にとって、現状のドアノブ位置は力の入れにくい位置にあることがわかった。

参考文献

- 1) 友成安伸, 渡辺直人, 久本誠一, 三浦範大: 高齢者における前腕回内・回外トルク特性, 人間工学, 38 巻, 特別号, 356-357, 2002.
- 2) 梁瀬度子, 平手早苗: 高齢者の動作能からみた把持操作時の至適高について, 人間工学, 24 巻, 特別号, 222-223, 1988.
- 3) 福井 裕, 川野常夫, 杉村延広: デジタルヒューマンのための前腕ひねり作業のモデリング (第 1 報), 74 巻, 4 号, 395-399, 2008.
- 4) 福井 裕, 川野常夫, 杉村延広: デジタルヒューマンのための前腕ひねり作業のモデリング (第 2 報), 75 巻, 7 号, 871-875, 2009.
- 5) 福井 裕, 川野常夫, 水谷勝一, 杉村延広: 前腕ひねり作業のモデリングに関する研究 (第 7 報), 2010 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 605-606, 2010.