

平成 22 年 6 月 17 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19700475

研究課題名（和文） 環境と調和する歩行補助車の人間中心設計メソッドの確立

研究課題名（英文） Establishment of a Method for Human-centered Design of Four-wheeled Walker Adapted in Walking Environment

研究代表者

高野倉 雅人 (TAKANOKURA MASATO)

神奈川大学・工学部・助教

研究者番号：00333534

研究成果の概要（和文）：ハンドグリップ高などの工学要素とユーザの筋負担などの人間要素との相互作用を分析した。高齢ユーザは操作性に優れた小型の歩行補助車を求めている。筋負担最小とするハンドグリップ高を求めた結果、身長の 48% を境界に制御方法が変わった。摩擦の小さい下り坂での使用は、他の路面と異なる制御方法をユーザに要求した。安全性と操作性を両立させる最短ホイールベース長を求めた結果、10° 程度の急峻な上り坂であっても、ホイールベースを 0.36m よりも長くすれば安全に使用できた。

研究成果の概要（英文）：An interaction between design factors such as a handgrip height and human factors such as muscular load was analyzed. Elderly users required a miniaturized walker for high controllability and mobility. A critical handgrip height was obtained as 48% of the body height. A downhill with a low friction compelled distinct effort from users compared with the other roads. Minimal wheelbase length was obtained as 0.38m on the asphalt road even at a steep slope at around 10deg.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	600,000円	0円	600,000円
2008年度	1,200,000円	360,000円	1,560,000円
2009年度	1,000,000円	300,000円	1,300,000円
年度			
年度			
総計	2,800,000円	660,000円	3,460,000円

研究分野：総合療育

科研費の分科・細目：人間医工学・福祉工学

キーワード：医療・福祉、人間生活環境、生物・生体工学、生活支援技術

## 1. 研究開始当初の背景

歩行補助車は、主に高齢者の外出先での歩行動作を支援する器具である。品質や安全性に関する SG マーク認定基準を制定した製品安全協会によると、自立歩行の可能な高齢者

が、歩行の補助や荷物の運搬や休息に用いる車輪が 4 個以上ある車と定義されている。加齢による歩行機能の低下を補い、かつ荷物運搬など日常生活の不便さを解消する歩行補助車は、老年人口の増加により生じる諸問題

を克服する可能性を秘めた有用な福祉機器のひとつである。

歩行補助車のユーザビリティ・ユーティリティを向上させるためには、それを使う高齢ユーザの身体機能と歩行補助車の工学機能との調和を図る必要がある。しかし、歩行補助車のユーザビリティ・ユーティリティに関する研究は、国内でも国外でも非常に少なかった。研究開始当初では、歩行補助車を使用して歩いている際の重心位置や下肢関節モーメントなどの分析や、座面の配置とそこに座る動作の危険性とを分析した研究などがあつた。しかし、高齢ユーザの身体機能と歩行補助車の工学機能とのトレードオフについて検討した研究や、歩行補助車が使われる環境を考慮した研究は存在しなかった。

従来研究は、歩行補助車またはユーザを中心とした視点で、工学・身体機能についての要素技術を追求していた。しかし、ユーザのニーズ・体力も歩行補助車が使われる環境も多様であり、工学・身体機能のみを単独で議論してもユーザビリティ・ユーティリティに優れた歩行補助車を開発することはできない。この問題を解決するために、個々の機能を単独で考えるのではなく、それらの機能の相互作用について分析をし、機能間のトレードオフを図る必要があつた。

## 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、高齢ユーザのニーズ・体力と使用環境とに適応する歩行補助車の設計メソッドを開発し、その有用性を検証することが本研究の目的である。

本研究では、歩行補助車の主要な機能の中で、「歩行の補助」と「荷物の運搬」に着目した。また、自立歩行の可能な高齢ユーザが対象であるため、外部動力源をなるべく使わずに、ユーザ自身の力で無理なく快適に操作できるデザインを目指した。これを実現すれば、歩行補助車のユーザビリティ・ユーティリティの向上が可能になり、最終的には高齢ユーザの QOL の向上が期待できる。

## 3. 研究の方法

### (1) ニーズ調査

はじめに、現状の問題点を把握することを目的に、歩行補助車を使用している 80~92 歳の高齢者 6 名に対して、ヒアリング調査を行った。ヒアリングでは、普段使用して便利だと感じる機能や、各種機能の使用頻度、日常生活で不便さを感じる機能などを聞いた。

### (2) ユーザの筋負担を最小にするハンドグリップ高に関する理論的研究

定常歩行を対象に、ユーザ・歩行補助車・環境の要因を取り込んだ力学モデルを構築した。図 1 にモデルを示す。歩行補助車と前腕・上腕・体幹・下半身の 4 つの剛体リンクから成るユーザとから構成されており、上半身と下半身の筋力を最小とするような最適化を行うことで、筋負担を最小とする身体姿勢やハンドグリップ高を推定できる。最適化の目的関数  $I$  については

$$\min I = F_{mc}^2 + F_{ms}^2 + F_{me}^2 + F_{LB}^2$$

と設定した。 $F_{mc}$  は腰関節周りの筋力、 $F_{ms}$  は肩関節周りの筋力、 $F_{me}$  は肘関節周りの筋力、 $F_{LB}$  は下肢で生み出される平均筋力を示す。分析条件は、摩擦係数の低いアスファルト舗装路と高い砂利道、平坦路と上り坂 (0~10 [deg]) と下り坂 (-10~0 [deg]) とした。また、身長・体重を変えることで、男性と女性の違いについても検討した。

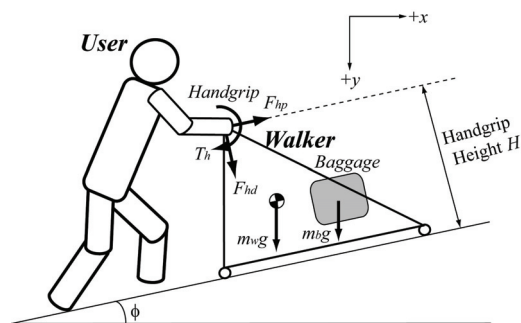


図 1 ユーザの筋負担を最小とするハンドグリップ高を導出するモデル

### (3) ハンドグリップ高と上肢・体幹・下肢の筋負担との関係

力学モデルによる理論的な分析結果の妥当性を検証するために、ハンドグリップ高とホイールベース長を変えたときのハンドグリップ操作力と上肢・体幹・下肢の筋電位を測定する実験を行った。

ハンドグリップ高とホイールベース長を変えられる実験機を製作した。ハンドグリップ高については 650mm, 750mm, 900mm の 3 段階に、ホイールベース長については 200mm, 300mm, 400mm の 3 段階に設定し、9 条件で実験を行った。被験者は 62-69 歳の男性 3 名・女性 3 名とし、屋内の平坦路を歩行してもらった。

歩行中に被験者がハンドグリップを押下げる力をひずみゲージで測定した。また、脊柱起立筋、大胸筋、上腕三頭筋、大腿四頭筋、ハムストリング、中殿筋から筋電位を測定して、その平均二乗平方根 (rms 値) を求め、歩行中の筋活動量を推定した。

(4) 安全性と操作性とを両立させる歩行補助車の最短ホイールベース長に関する研究

これまでの成果をもとに、人間中心設計メソッドの確立を目標として、理論および実験的な観点から、歩行補助車を利用した歩行動作を分析した。その結果から、小型化による操作性の向上と安定した歩行の可能な安全性の確保とを両立させる最短ホイールベース長を求めた。

はじめに、路面の傾斜角や歩行補助車に作用する加速度を含んだ統合的な力学モデルを構築した。図2に示すように、ユーザは歩行中にハンドグリップを前方・下方に押す。その結果、歩行補助車は動き出すが、そのときに重力と慣性力が重心に、路面からの反力が前輪・後輪に作用する。力・モーメントのつり合いから、安全に使用可能な最短ホイールベース長  $L_{min}$  は、

$$L_{min} = \frac{\mu H(F_{hm} + m_w g \cos \phi) + (1 - c_n)m_w H(g \sin \phi + a)}{F_{hm} + c_r m_w g \cos \phi}$$

と導出できる。ここで、 $\mu$ : 路面と車輪との間の摩擦係数、 $F_{hm}$ : ハンドグリップ押下力、 $H$ : ハンドグリップ高、 $m_w$ : 歩行補助車の質量、 $g$ : 重力加速度、 $a$ : 重心に作用する加速度、 $\phi$ : 路面の傾斜角、 $c_n$ ,  $c_r$ : 重心位置を示すスケールパラメータである。

しかし、最短ホイールベース長  $L_{min}$  には、ヒューマンファクタとして、ハンドグリップ押下力  $F_{hm}$  と歩行補助車に作用する加速度  $a$  を含んでいる。モデルの妥当性・有用性を向上させるために、ロードセルと加速度計を組み込めるように改良した市販の歩行補助車を用いて、それらを測定する実験を行った。被験者は60-74歳の男性10名・女性10名の計20名とし、対象の路面はアスファルト舗装の平坦路・5[deg]の緩傾斜路・10[deg]の急傾斜路とした。また、ハンドグリップ高も、0.82m, 0.92m, 1.02mの3段階に設定をした。

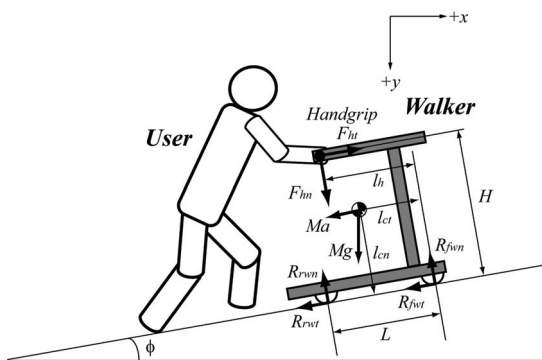


図2 最短ホイールベース長導出のためのモデル

4. 研究成果

(1) ニーズ調査

ヒアリングの結果、車体が重いと体力的に扱いが難しいため、高齢ユーザはなるべく小型で軽く扱いやすい歩行補助車を求めていることがわかった。軽ければ持ち運びも容易で、路面の段差も車輪を持ち上げて簡単に乗り越えられるとの意見が多かった。また屋内での保管スペースや車での移動の問題から、コンパクトに収納できる歩行補助車が求められていた。外出先での使用に関しては、下り坂などで歩行補助車を制御するために、ブレーキなどの制動装置が必須であった。しかし、外出先での使用目的も、散歩などの歩行補助の他にも、買い物などの荷物を運ぶなど複数あり、使用場所も屋外だけでなく、屋内での移動にも利用されていることがわかった。

(2) ユーザの筋負担を最小にするハンドグリップ高に関する理論的研究

70歳以上の女性および男性高齢者の平均身長・体重を持つモデルユーザを用いて、力学モデルを分析した。はじめに、女性モデルユーザ(身長1.472m)が乾燥したアスファルト舗装の平坦路を歩行する場合を想定し、最適化の目的関数  $I$  とハンドグリップ高  $H$ ・体幹の前傾角  $\theta_t$  との関係性を求めた結果を図3に示す。ハンドグリップ高  $H$  が一定であると、体幹が直立するに従い目的関数  $I$  が小さくなった。体幹の前傾角  $\theta_t$  が一定であると、ハンドグリップを低くするほど目的関数  $I$  が小さくなった。しかし、歩行補助車の制御方法は、身長の48%を境界に変化した。図4は、女性モデルユーザが図3と同様の路面を歩行したときのハンドグリップ押下力  $F_{hm}$  と  $H \cdot \theta_t$  との関係である。ハンドグリップが境界高(身長の48%; 0.71m)よりも低いと、体幹が直立するに従い、ハンドグリップを強く押下げた。しかし、境界高よりも高いと、体幹が直立するに従い、ユーザはハンドグリップを押下げる力を弱めた。身長や体重を変えて分析しても同様の結果が得られたことから、身長の48%が、歩行補助車の制御方法を変える重要なハンドグリップ高であることがわかった。

この結果から、ユーザの行動体力や身体特性により、歩行補助車の制御方法が変わることが示された。行動体力が低い前屈みの姿勢で歩くユーザは、低めのハンドグリップに上半身をもたれかける使い方をした方が、身体の負担が軽減される。一方、行動体力の高いユーザは、なるべく高いハンドグリップを使用して、直立姿勢を保つようにするのが望ましい。

路面条件については、平坦路と上り坂とは同一の使用手法となり、体幹を前傾してハンドグリップに上半身をもたれかけるような

姿勢が、最も筋負担が小さくなった。また、砂利道など摩擦係数の高い路面では、肩関節屈曲筋や肘関節伸展筋の負担が特に増加して、歩行補助車の操作が困難になった。下り坂の場合、摩擦係数が高いと平坦路や上り坂と同じ使用方法であったが、摩擦係数が低くなると、この使用方法では身体の筋負担が大きくなった。摩擦の小さな下り坂で筋負担を減少させるためには、ハンドグリップを高くし、体幹を直立させる姿勢が望ましいことがわかった。

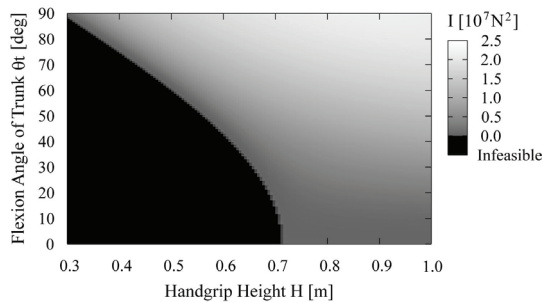


図 3 最適化の目的関数  $I$  とハンドグリップ高  $H$ ・体幹の前傾角  $\theta_t$  との関係

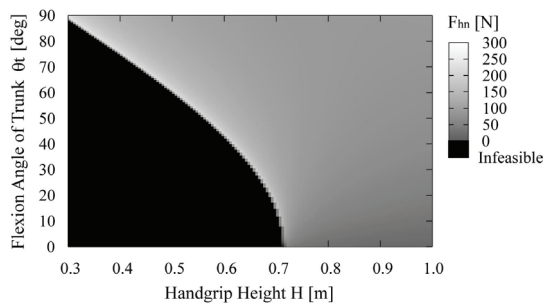


図 4 ハンドグリップ押下力  $F_{hn}$  とハンドグリップ高  $H$ ・体幹の前傾角  $\theta_t$  との関係

### (3) ハンドグリップ高と上肢・体幹・下肢の筋負担との関係

実験の結果、ハンドグリップが低くなるとハンドグリップ押下力が強くなったが、ホイールベース長による変化は明確には見られなかった。一方、筋活動量については、体幹の起立を担う脊柱起立筋は、歩行補助車を使っても、筋負担は変わらなかった。大腿の伸展を担う中殿筋と大腿の伸展・下腿の屈曲を担うハムストリングは、歩行補助車を使うと筋負担が減ったが、前腕の伸展を担う上腕三頭筋は筋負担が増えた。上腕の屈曲を担う大胸筋は、歩行補助車を使うと筋負担が増え、さらにハンドグリップが低くなるほど筋負担も増えた。

以上の結果から、ハンドグリップが低くなって体幹が前傾しても、ハンドグリップを強く押下げて、体幹の筋負担が増えないように

制御していることがわかった。また、歩行補助車を使うと、下肢の筋負担が減るが上肢の筋負担は増え、特にハンドグリップが低くなると肩関節周りの筋負担が増えることがわかった。

### (4) 安全性と操作性とを両立させる歩行補助車の最短ホイールベース長に関する研究

実験から得られたハンドグリップ押下力と性別・路面の傾斜角・ハンドグリップ高との関係を、図 5 に示す。性別に関しては、女性の方が男性よりも、ハンドグリップ押下力が弱くなることがわかった。一般に、女性の方が男性よりも身長が低く、体重も軽い。そのため、同じハンドグリップ高でも、女性の方が、体幹が直立する傾向がある。より軽い身体をより直立した姿勢で保持するため、女性の方が、ハンドグリップ押下力が弱くなったと考えられる。

ハンドグリップ高に関しては、ハンドグリップの低い方が、押下力が強くなった。今回の実験で最も低いハンドグリップ高は 0.82m であるが、これは(2)で明らかになった境界高(身長の 48%)とほぼ同じか高い設定である。ハンドグリップが境界高よりも高いと、体幹が前傾するに伴い、ユーザは体幹を保持するためにハンドグリップを強く押下げる。そのために、ハンドグリップ高が低くなると押下力が強くなる結果が得られたと考えられる。

路面の傾斜角については、上り坂よりも下り坂の方が、ハンドグリップ押下力が強くなった。この結果も、(2)で明らかになった傾斜角とユーザの姿勢・制御方法と一致する。下り坂での歩行は、歩行補助車に作用する重力の一部が進行方向に作用するため、上り坂や平坦路と全く異なる制御をユーザに要求するため、安全な使用を考える上で注意を要する条件であることがわかった。

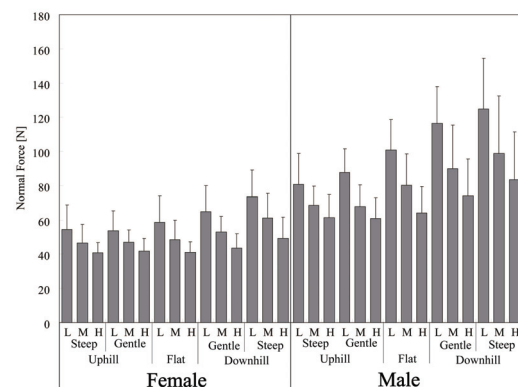


図 5 ハンドグリップ押下力と性別・路面の傾斜角・ハンドグリップ高 (Low, Middle, High) との関係



次に、加速度については、歩行周期に合わせた変動が見られたが、多くの被験者で、歩行開始時に最も加速し、終了時に最も減速することがわかった。また、上り坂に比べて下り坂の時に、加速・減速ともに大きくなる傾向があった。今回の実験で、最大の加速は $3.9\text{m/s}^2$ 、最大の減速は $-5.1\text{m/s}^2$ であった。

力学モデルを用いた理論的な分析からは、上り坂や加速期にハンドグリップ押下力を弱くすると、ホイールベースを長くしないと安全に歩行できないことがわかった。しかし、急峻な下り坂になると、逆にホイールベースを短くしても安全に歩行できることがわかった。また、路面の摩擦係数が大きくなると、ハンドグリップを操作する力も大きくなるため、安定した歩行のためには、ホイールベースを長くする必要のあることがわかった。

実験結果から、ヒューマンファクタとしてのハンドグリップ押下力の最小値と歩行補助車に作用する最大の加速度については、それぞれ $40\text{N}$ と $4.0\text{m/s}^2$ と得られた。それらを入力として力学モデルを再分析すると、アスファルト舗装路を対象とすると、ハンドグリップが最も高い $1.02\text{m}$ で、かつ急峻な $10^\circ$ の上り坂であっても、ホイールベース長を $0.36\text{m}$ とすれば、安定した歩行が可能になることがわかった。この結果から、アスファルト舗装路のみを対象とすれば、安全に使用可能な最短ホイールベース長は $0.36\text{m}$ であると言える。しかし、砂利道など摩擦の大きな路面では、ホイールベースをさらに長くしないと安全な歩行は不可能である。したがって、操作性の向上を目指して小型の歩行補助車を開発する際には、使用場所をアスファルト舗装路など摩擦の小さな路面に限定した上で、ホイールベースを $0.36\text{m}$ とすれば良いことがわかった。ただし、実際の路面はアスファルトだけでなく、マンホールの蓋や排水用のグレーチングなど、水に濡れると摩擦の小さくなる金属で覆われた箇所もある。それらの環境も含めて、安全に使用可能な最短ホイールベース長を考察することが、今後の課題である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Masato Takanokura, Optimal Handgrip Height of Four-wheeled Walker on Various Road Conditions to Reduce Muscular Load for Elderly Users with Steady Walking, Journal of Biomechanics, 査読有, Vol. 43, No. 5, 2010, pp. 843-848

- ② 高野倉雅人、金子賢一、水戸和幸、坂本和義、手押し型歩行車のハンドグリップ高と下肢筋負担との関係、日本福祉工学会誌、査読有、Vol. 11、No. 1、2009、pp. 49-54

- ③ 高野倉雅人、昇段・降段動作を考慮した歩行補助車の制動装置およびハンドグリップとカゴの配置に関する理論的研究、人間工学、査読有、Vol. 43、No. 3、2007、pp. 138-148

[学会発表] (計3件)

- ① Masato Takanokura, Kenichi Totsuka, Theoretical Analysis for Miniaturization of Four-wheeled Walker with Safe Use on Normal Walking, 6th World Congress of Biomechanics, 2010年8月3日, Singapore
- ② 高野倉雅人、戸塚健一、小型シルバーカー開発のための車輪とハンドグリップの適正配置に関する実験的研究、日本人間工学会第51回大会、2010年6月19日、北海道・札幌
- ③ Masato Takanokura, Theoretical Optimization of Usage of Four-wheeled Walker and Body Posture of Elderly Users for Comfortable Steady Walking, 30th Annual International IEEE EMBS Conference, 2008年8月23日, Vancouver, Canada

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高野倉 雅人 (TAKANOKURA MASATO)  
神奈川大学・工学部・助教  
研究者番号：00333534

### (2) 研究分担者

( )  
研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )  
研究者番号：