

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月14日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2012

課題番号：21500519

研究課題名（和文） 操作者の操作能力に自律的に適応する電動車椅子操作支援機能に関する研究

研究課題名（英文） Studies on the operation assist function of electric powered wheelchairs autonomously adjusting to the operation ability of users

研究代表者 安田寿彦 (YASUDA TOSHIHIKO)

滋賀県立大学・工学部・教授

研究者番号：60157998

研究成果の概要（和文）：

通常の電動車椅子が使用できない場合でも、適切な操作インタフェースと操作支援機能の組み合わせによって、車椅子の実用的な走行が実現できる。本研究では、車椅子利用者の操作能力の変化に対応して、知的電動車椅子自身が自らの操作支援能力を調整する仕組みについて検討した。車椅子利用者を増加させるために、全方向移動型、中輪駆動6輪型および前輪駆型の電動車椅子、さらに、ユーザーに適合した様々な操作インタフェースを試作した。これらの知的車椅子に搭載する、「ポテンシャル法を用いた衝突防止機能」および「走行環境評価機能を持つ操作能力評価方法」を提案した。

研究成果の概要（英文）：

The adequate operation interface and the operation assist function yield the practical running of wheelchair users with great handicap. In this study, we propose the omnidirectional mobile type wheelchair, the middle-wheel drive type one and the front-wheel drive type one with various operation interfaces, furthermore, we investigate the obstacle avoidance function using the potential method and the operation assist function of electric powered wheelchairs autonomously adjusting to the operation ability of users.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学 リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：生活支援技術，自立支援，発達支援，人間機械協調系，知的電動車椅子，操作装置（操作インタフェース），操作支援システム，自律移動

1. 研究開始当初の背景

自力歩行が困難であり、ハンドリムなどを用いた手動式車椅子を操作する腕力のない方の移動手段のひとつとして、電動車椅子は重要である。しかしながら、電動車椅子の操作には、ある程度の判断力と操作能力が必要

である。通常の電動車椅子が使用できない場合でも、適切な操作装置と操作支援機能を組み合わせることによって、操作者の残存能力を生かして、車椅子の安全かつ実用的な走行が実現できる。しかしながら、車椅子利用者の操作能力は車椅子を実際に操作している間

に変化する。たとえば、認知能力および運動機能が成長する幼少期においては、車椅子の使用時間の増加とともに車椅子操作能力が急速に向上する。一方、高齢になってから車椅子を利用される方は、時間の経過の中で、ゆっくりではあるが操作能力が低下する。病状が回復する場合は、時間経過とともに車椅子操作能力の向上が期待される。一方、筋ジストロフィ患者のように、時間経過とともに操作者の操作能力が低下する場合がある。

本研究は「誤りも含む人間の操作と機械（ロボット）自身による危険回避の融合」および「成長する人間の操作能力に適合する動的な操作支援機能の開発」が研究テーマである。すなわち、人間を支援するための機械の知能化の福祉ロボットへの応用分野における、人と知的車椅子の共進化という現象に係わる研究である。「操作インタフェースをも含んだ操作支援機能」を操作者の残存能力に適合させる視点に本研究の特色がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記に例示したような車椅子操作者の操作能力の変化に対応して、知的電動車椅子に装備されている操作支援能力を調整して、適切な車椅子の走行能力を生み出す機能を実現することである。この機能によって、車椅子利用者の範囲を拡大し、その生活を豊かにすることが最終目的である。

3. 研究の方法

これまでに実施してきた「操作者の残存能力に適合した操作支援機能」に関する研究の中で、試作機に試乗していただくユーザーを観察して、つぎのような点に気づいた：

- 最初に車椅子を運転するときは、不慣れのため慎重に運転する。このときは、走行速度が遅いほうが、操作者が安心して運転することができ、安全かつ容易に操作に慣れることができる。操作に慣れた後では、低速の移動では物足らず、走行速度を早くすることを希望する。
- 自分で移動できるようになると、たとえば、訓練のためのプレイルームから外へ出ることを希望する。さらに、屋内から屋外へ出ることを希望する。

以上のような知見から、以下のような着想に至った：

- 「走行速度の抑制」や「操作指令の制限」も操作支援機能の一部であり、操作支援機能は「操作者の操作能力の変化（向上・低下）」に追従して適切に調整されることが望ましい。このとき、留意することとして、操作支援には「走行速度の抑制」のように車椅子の走行能力を抑制する部分と「障害物との衝突防止機能」のように安全な車椅子走行能力を向上される部分がある。

○制御用コンピュータに組み込まれた操作支援機能は常に同じ支援を行う。たとえば人の「手助け」のような個人差による不確定要素がない。したがって、操作支援機能が、どの程度必要とされているかを評価できる。たとえば、「この走行速度であれば衝突防止機能を必要としていない」など、操作者の能力と操作支援機能の動作状態を確認するアルゴリズムを作成できる。

○操作支援機能の動作状態にしたがって、操作支援機能を自律的に変化させることが操作者の能力を向上させるために有効である。（リハビリテーション効果）たとえば、安全のために抑制されている走行速度を、操作能力の向上にともない少しずつ速くすることなどが有効である。

本研究では

- 各種の操作インタフェースから、操作者の「操作能力」および「操作能力の向上」に配慮したインタフェースの開発と適切なインタフェースを選定する手法の確立
- 「操作支援機能と操作者の適合性」および「操作者の操作支援機能への依存の度合い」を判定する手法の確立
- 操作者の操作能力の向上・低下に適合する操作支援システムの構築

本研究の目的を達成するためには、「操作者の操作能力の向上に対応可能な操作インタフェースの開発」、「優れた屋内走行能力を保持しつつ屋外走行も可能な走行能力を備えた電動車椅子の開発」、「操作者の走行能力の向上に適応する操作支援機能を実現する方策の研究・開発」が必要である。これら3つの柱に関する研究を進めるとともに、開発したシステムの有用性を示すために、「自力では移動が困難であるが従来の電動車椅子を使用できない方」に協力を依頼して実証実験を実施する。

4. 研究成果

(1) 電動車椅子および操作インタフェースの開発

① 全方向移動電動車椅子

試作した全方向移動電動車椅子の外観を図1に示す。4つの駆動輪全てに、メカナムホイールを装備し、図2に示すような全方向移動を可能としている。一車輪あたりの耐荷重が80kgであり、成人も搭乗可能である。



図1 全方向移動電動車椅子

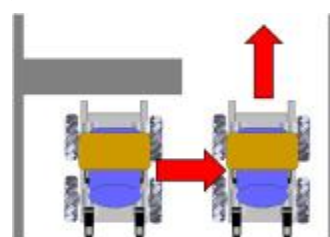


図2 全方向移動

図2に示すような障害物回避以外にも、前から人とのすれ違い動作時においても向きを変えずに衝突を避けることができる。このような全方向移動機器の回避動作は健常者が直観的に普段行っている回避動作である。このように、全方向移動機器では自由度の高い動きを簡単な操作で行うことができ、従来の電動車椅子より容易に使用することが可能であるため、障害を持つ子ども達にも容易に使用してもらうことができる。

② 中輪駆動6輪車椅子

本研究で研究した中輪駆動6輪電動車椅子の外観を図3に示す。全ての構成要素を直径700mmの仮想円内に収め、仮想円の中心線上に駆動輪を配置して、その場旋回時には障害物と衝突する危険がないことが、この車椅子の特徴である。したがって、図4のように狭い行き止まりの通路でも、前進とその場旋回のみで走行をできる。つまり、操作支援による衝突防止は前進時のみ考慮すれば良い。



図3 中輪駆動6輪車椅子

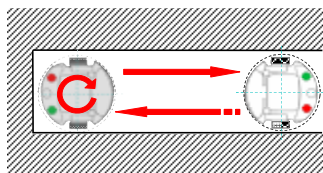


図4 狭い通路の走行

③ 前輪駆動車椅子

先天的または後天的障害を有し自立移動を困難とする幼児に移動体験を提供するために、前輪駆動電動車椅子を試作した。(図5参照)前輪駆動方式は、後輪駆動や中輪駆動方式に比べて悪路走破性や段差乗越え性能が高い。さらに、車体の形状を部品交換なしで変更できる機構を備えている。この形態可変機構によって、幼児の成長および走行状況に応じて車椅子の形状を変更することができる。(図6参照)屋内では、コンパクトな車体となり狭い空間での走行性を良くする。一方、屋外ではホイールベースを長くして、安定した走行を実現する。



図5 前輪駆動車椅子

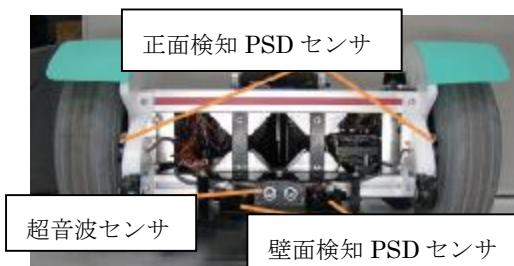


(a) 屋内走行時

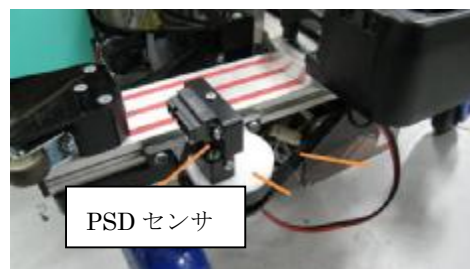


(b) 屋外走行時
図6 形態可変機能

操作に慣れていない幼児、身体的・知的な能力のために操作能力が限定される幼児でも、自力で移動体験が行えるように、壁面・障害物などの状況を車体前方に設置したPSDセンサおよび超音波センサによって検知し、自動的に回避・停止動作を行う。(図7参照)正面検知PSDセンサもしくは壁面検知PSDセンサの左右どちらか片方のみが障害物を検出すると、障害物を検知したPSDセンサと反対方向の車輪を減速して、回避動作が行われる。正面に柱などがあった場合には、障害物の手前で停止する。その場旋回を行った際に、車体後部の衝突は、後部に設置したPSDセンサによって防止している。



(a) 前部



(b) 後部

図7 障害物検知センサ

④ 操作インターフェース

図8に、全方向移動電動車椅子に搭載したる操作インターフェースを示す。ジョイスティックと押しボタンによって構成され、ジョイスティックによって全方向移動を、押しボタンによって左右その場旋回を指令する。全方向移動とその場旋回の指令が分離されたことにより、操作方法がわかりやすくなった。幼少の子ども達でも全方向移動機器の能力を生かした操作が可能であることが、重度障害児リハビリテーション施設における実証実験において確認できた。



図8 ジョイスティックと押しボタンを備えた操作インターフェース

また、「操作力がほとんどない子ども達のために、指を置くだけで力を加えなくても ON になるスイッチ」、「前進・後退・左その場旋回・右その場旋回の組み合わせをワンタッチで自由に設定可能な操作インタフェース」、「前進・後退・左その場旋回・右その場旋回の操作に応じて異なる音楽が鳴る操作インタフェース」を製作して、ハンディキャップのある子ども達の早期移動体験に使用した。

(2) 操作支援機能および操作者の走行能力への適応方策の試み

① 全方向移動機器の操作支援機能

全方向移動には移動機器の走行環境を観測するために Kinect センサを搭載した。Kinect センサはセンサから物体までの奥行き方向の距離、横方向の距離および物体の高さが観測可能である。また、ユーザーキャリブレーション機能を利用することにより、ユーザー認識用テンプレートデータに基づいた人検出が可能である。人検出機能によって、複数の人間を同時に検出し、追跡が可能となり、さらに、センサから人の重心までの距離が取得できる。図 9 にセンシング例を示す。

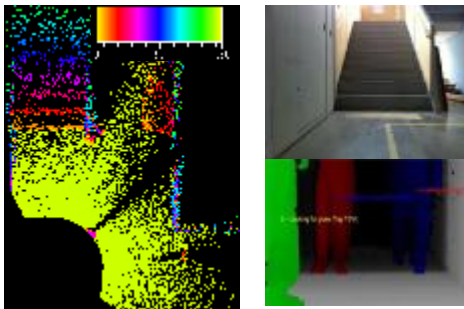


図 9 Kinect センサによる環境観測例

走行環境のセンシング情報にポテンシャル法を適用して、「環境条件に適合する操作支援指令を生成する手法」を提案した。この手法では、3種類のポテンシャル場
 障害物ポテンシャル場：障害物情報を表現
 人ポテンシャル場：人の情報を表現
 操作ポテンシャル場：操作者の意思を表現
 を融合して、人の意思を反映し走行環境に適合した操作支援指令生成が可能となった。通路幅が部分的に狭くなる廊下を想定し、人が通路奥から向かってくる場合の、移動支援機器の動きを確認した。シミュレーション結果を図 10 に示す。黒のマーカが人を示す。操作支援が働いていない場合は緑、操作支援を受けている場合は赤色で移動支援機器の動作が示される。操作者は通路を右奥へ進む入力を与え続けたが、人との衝突防止指令が働き人を一時的に回避した。回避先には障害物があったため一時的に停止し、人が通過した後通路の奥へ進むことができた。これは障害物と人のポテンシャル場によって自然に

「道の譲り合い」が発生したととらえることができる。この結果は本研究で提案する手法の有効性を示している。

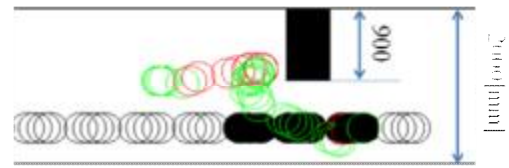


図 10 道の譲り合いの生成

② 操作能力評価機能

操作能力に応じて支援の度合い（以下、支援度）を自動的に調整するシステムにおいて、支援度を調整する指標とするために操作能力を評価する。決められたコースの走行によって操作能力を評価するのではなく、日常に車椅子を利用している間に評価する機能を目指す。

衝突防止指令値の大きさにより、その操作者の、操作支援への依存度、つまり、操作能力の低さを評価する指数を計る。操作を評価する場合には、速度指令 M が操作指令 I からどれだけずれているかが重要となるので、操作指令 I を補正して速度指令 M を算出する、下記の衝突防止指令 SB を用いて評価する：

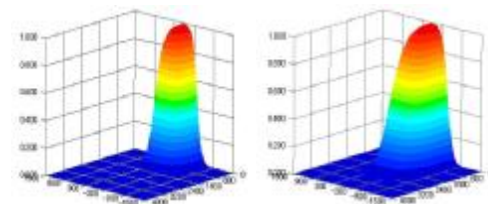
$$SB = 1 - \frac{M}{I} \quad (0 \leq SB \leq 1)$$

障害物の存在しない環境と存在する環境では操作能力を同等に評価できない。走行環境の難易度を算定し、操作能力の評価に重みを持たせる。走行環境の難易度 D_i は相対的位置情報 $URG_{x \cdot i}$ 、 $URG_{y \cdot i}$ と走行速度によって変化する係数 α_x 、 α_y 、 β_y を用いて次式で生成する。例として走行速度が 1[km/h] と 3[km/h] の場合の難易度の分布を図 11 に示す。

$$D_{x \cdot i}(URG_{x \cdot i}) = \frac{1}{1 + \exp\left(150 \left(\frac{URG_{x \cdot i}}{\alpha_x} - 0.04\right)\right)}$$

$$D_{y \cdot i}(URG_{y \cdot i}) = \frac{1}{1 + \exp\left(\beta_y \left(\frac{URG_{y \cdot i}}{\alpha_y} - 0.05\right)\right)}$$

$$D_i = D_{x \cdot i}(URG_{x \cdot i}) \cdot D_{y \cdot i}(URG_{y \cdot i})$$



(a) 1km/h (b) 3km/h

図 11 操作難易度の分布

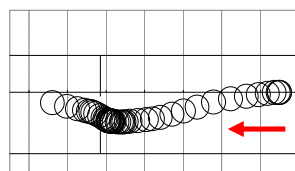
車椅子の周りを右側面 R_s 、右前方 R_c 、左前方 L_c 、左側面 L_s の 4 つの領域に分割する。各領域中の難易度の最大値をその領域の難易度とする。4 つの領域の難易度の平均値を走行環境の難易度 D と定義する。

走行環境の難易度を考慮して衝突防止指令値から操作者の操作能力を評価する場合、どれだけ支援されているかというマイナスの要素（下手さ）で評価する。たとえば、廊下の隅へ長時間直進操作を行うとする。この場合、壁に近い位置を走行すると走行の難易度は 0 ではない何らかの数值が示される。このため、徐々に操作能力は高く評価されると考えられる。しかしながら、この操作者は前進入力をし続けているだけなので操作能力は評価できないと考える。そこで、プラスの要素（上手さ）も評価の対象にしなければならない。そこで、操作能力の高い操作者と低い操作者を比較したとき、旋回動作の使い方に注目した。操作能力の高い操作者は障害物を上手く回避して走行を続ける。つまり、前方の難易度より低い難易度の方向に操作をする。この操作を適切な操作とみなし、操作能力の高さを評価する。操作能力の高さ P を、低さを N を、衝突防止指令 SB と走行環境の難易度 D を用いて次式で評価する：

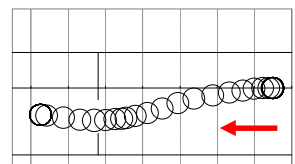
$$\begin{cases} P = (1 - SB) \times D \\ N = SB \times (1 - D) \end{cases}$$

時々刻々算出される評価指数 P 、 N の時間平均をとって操作能力の評価を行う。

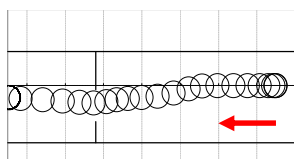
提案する操作能力評価機能の性能を走行実験によって評価する。電動車椅子の最高速度は 3.5[km/h]、操作支援は減速・停止とした。被験者 A~C の走行軌跡を図 12 に示す..



(a) 被験者 A



(b) 被験者 B



(c) 被験者 C

図 12 評価実験における走行軌跡

被験者 A は扉の通過にかなりの時間を要しており、接触する方向に操作をするなどして大きい操作支援を受けていた。被験者 B、C はどちらも停止させられる前に進行方向を変えて扉を通過している。被験者 B は扉の前で大きい操作支援を受けてかなり減速しているが、被験者 C は自分で走行速度を落として進行方向の調整を行っている。よって、操作能力の高さは $C > B > A$ であるといえる。表 1 に示した「評価機能による評価」でも操作能力の高さは $C > B > A$ と判定されており、提案手法の妥当性が示された。

表 1 走行能力の比較結果

	被験者 A	被験者 B	被験者 C
P うまさ	4.37×10^{-3}	5.47×10^{-3}	5.56×10^{-3}
N へたさ	19.2×10^{-3}	5.07×10^{-3}	3.19×10^{-3}

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Toshihiko Yasuda, Naoya Suehiro and Katsuyuki Tanaka: Strategies for collision prevention of a compact powered wheelchair using SOKUIKI sensor and applying fuzzy theory, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 202-208 (2009) 全文査読有

[学会発表] (計 25 件)

- ① 小島健太郎, 安田寿彦, 沼田晋: ハンディキャップを持つ子ども達のための座面昇降機能を備えた移動支援機器の試作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 講演論文集 (2013)
- ② 沼田晋, 安田寿彦, 高塩純一, 口分田政夫: 操作支援機能を備えた障害児のための前輪駆動型電動車いす, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集 (2012)
- ③ 沼田晋, 安田寿彦, 高塩純一, 口分田政夫: 特別なニーズを持つ子ども達のための前輪駆動型電動車いすの試作, 第 27 回リハ工学カンファレンス講演論文集 (2012)
- ④ 安田寿彦, 沼田晋, 高塩純一, 口分田政夫: 電動車いす操作に使用した操作力の不要なスイッチ, 第 27 回リハ工学カンファレンス講演論文集 (2012)
- ⑤ 山下元気, 安田寿彦, 塚本卓也, 奥屋憲利: 全方向移動機器の操作支援システムの開発 — 第 9 報: Kinect センサを用いた人工ポテンシャル場の生成と環境適応型操作支援指令の生成 —, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集 (2012)
- ⑥ 村上貴大, 安田寿彦: 操作者の操作能力に適応した電動車椅子に関する研究 —

- 第6報：操作能力評価の試み一，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012講演論文集(2012)
- ⑦ 塚本卓也，安田寿彦，奥屋憲利，高塩純一，口分田政夫：障害児のための全方向移動機器の開発一超音波センサを使用した障害物回避による操作支援システム一，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012講演論文集(2012)
- ⑧ 奥屋憲利，安田寿彦，高塩純一，口分田政夫：特別なニーズを持つ子どもたちの早期移動体験における全方向移動機能の有効性，第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(2011)
- ⑨ 安田寿彦，高塩純一：特別なニーズを持つ子どもたちの早期移動体験のための移動支援機器と操作支援，第54回自動制御連合講演会(2011)
- ⑩ 安田寿彦，高塩純一，奥屋憲利，口分田政夫：ボタン型操作インタフェースで操縦する障害児用全方向移動支援機器の操作支援について，第21回インテリジェント・システム・シンポジウム(2011)
- ⑪ 高塩純一，口分田政夫，安田寿彦：特別なニーズを持つ子どもの電動移動機器トレーニング，第26回リハ工学カンファレンス(2011)
- ⑫ 安田寿彦・小林晃・奥屋憲利，高塩純一・口分田政夫：障がいを持つ子ども達の操作能力に配慮した移動支援機器による移動体験について，第26回リハ工学カンファレンス(2011)
- ⑬ 安田寿彦，高塩純一，口分田政夫：特別なニーズを持つ子どもたちのための移動支援機器とその活用，生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会講演論文集(2011)
- ⑭ 安田寿彦，小林晃，奥屋憲利，高塩純一，口分田政夫：障害児のための移動支援機器の試作一第5報 障害物回避機能の検討一，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011講演論文集(2011)
- ⑮ 高塩純一，安田寿彦，小林晃：電動移動機器トレーニングが発達に及ぼす影響一特別なニーズを持つ子どもたち一，日本赤ちゃん学会 第11回学術集会(2011)
- ⑯ 安田寿彦，高塩純一，口分田政夫，小林晃，奥屋憲利：障害児の訓練のための移動機器の試作，第23回バイオエンジニアリング講演会講演論文集，pp.187-188(2011)
- ⑰ 小林晃，安田寿彦，高塩純一，口分田政夫，奥屋憲利：障害児のための移動支援機器の試作一第4報 全方向移動機能と障害児の残存能力を考慮した操作インタフェースを用いた移動経験一，第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2010)CD-ROM講演論文集(2010)
- ⑱ 安田寿彦，今津亮吾，村上貴大：操作者の操作能力に適応した電動車椅子に関する研究一第8報 仮想センサを用いた衝突防止機能の向上一，第53回自動制御連合講演会講演論文集，413~418頁(2010)
- ⑲ 安田寿彦，今津亮吾，村上貴大：操作者の操作能力に適応した電動車椅子に関する研究一第7報 移動物体の検知と衝突防止一，生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2010講演論文集，148~149頁(2010)
- ⑳ 村上貴大，安田寿彦，今津亮吾，田中勝之：操作者の操作能力に適応した電動車椅子に関する研究一第6報 超音波センサを用いた衝突防止機能一，日本機械学会2010年度年次大会講演資料(7)，377~378頁(2010)
- 21 安田寿彦，小林晃，高塩純一，口分田政夫，山本裕之，田中勝之：障害児のための移動支援機器の試作一第3報 スライド式インタフェースの試作一，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010講演論文集(2010)
- 22 奥屋憲利，安田寿彦，宮内繁之，小林晃，高塩純一，口分田政夫，田中勝之：障害児のための移動支援機器の試作一第2報 ライントレース機能の搭載一，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010講演論文集(2010)
- 23 宮内繁之・安田寿彦，高塩純一，小林晃，奥屋憲利，口分田政夫，田中勝之：障害児のための移動支援機器の試作，第15回ロボティクスシンポジウム講演論文集，pp.463-469(2010)
- 24 今津亮吾，安田寿彦，田中勝之：操作者の操作能力に適応した電動車椅子に関する研究一第5報 操作支援機能を搭載した試作機の改良一，第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2009)CD-ROM講演論文集(2009)
- 25 安田寿彦，末廣尚也，田中勝之：操作者の操作能力に適応した電動車椅子に関する研究一第5報 Fuzzy理論を用いた乗り心地の改善一，第19回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集，166~169頁(2009)

[その他]

ホームページ：

<http://www.mech.usp.ac.jp/~maw/studies/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安田 寿彦 (YASUDA TOSHIHIKO)

滋賀県立大学・工学部・教授

研究者番号：60157998