

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18500437
 研究課題名（和文） 操作者の残存能力に適合した操作装置と操作支援機能を有する知的電動車椅子の研究
 研究課題名（英文） Studies on intelligent wheelchairs with operation equipment and operation assist system adjusting to operation ability of users
 研究代表者
 安田 寿彦（YASUDA TOSHIHIKO）
 滋賀県立大学・工学部・准教授
 研究者番号：60157998

研究成果の概要：「操作装置は操作者の操作能力によって決まる」「走行能力は操作装置に依存する」「走行支援機能は操作能力と走行能力に依存する」という着眼が残存能力に適合した知的車椅子の開発に有用であることを示した。操作者の様々な操作能力に適合するレバー式操作装置の開発，操作装置が生成する走行能力に適合した車椅子の構造，走行能力に適合した操作支援システムの実装によって，少ない残存能力でも簡単な操作で安全に走行可能な知的電動車椅子を実現した。さらに，操作者の移動能力を向上させる全方向移動機器を試作した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
年度			
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	660,000	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

(1) 操作者の操作能力に応じて電動車椅子が処方されていた。したがって，身体的能力および判断力などが不足するために，自律移動の手段は電動車椅子しかないにもかかわらず，操作者の安全性に配慮して電動車椅子が処方されない場合があった。機械の知能化が進む中，これまで電動車椅子の処方が困難であった方の自律移動を実現するために，操作者の能力を補う操作支援機能を備えた知的電動車椅子の実用化が切望されていた。

(2) 障害児の発達支援に関する研究の中で，自力で移動する能力のない幼児が移動機器を利用して環境を探索することによって，認知能力をはじめとする様々な能力が発達するという知見が蓄積されてきた。このことにより，障害児の身体状態に配慮しつつ，自律移動を可能とする機器を使用した，障害児の発達支援が始まりつつあった。

上記のような状況のもと，移動弱者に対する工学的支援の一助となることが本研究の動機である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、人の操作を支援して電動車椅子に安全かつ快適な操作性を生み出す電動車椅子操作支援システムを構築することである。このシステムによって、これまで電動車椅子を利用することが困難であった人でも電動車椅子を操作可能とし、利用者の生活空間を広げ、その生活を豊かにすることを目指す。従来から電動車椅子の操作装置として用いられていたジョイスティックは、微妙な操作を必要とするため、すべての人が使用できる操作装置ではない。操作者にとって適切な車椅子操作装置は、操作者の残存能力に依存する。「残存能力に応じた電動車椅子操作装置の開発」、「操作装置に依存する走行能力を生かす電動車椅子の機構の設計・製作」および「電動車椅子の操作装置（走行能力）および操作者の残存能力に適合した操作支援機能の構築」という手順で、操作者の残存能力を活かすことができる知的電動車椅子を開発することが研究の最終目的である。電動車椅子操作装置も操作支援システムの構成要素と位置づけ、操作者の操作能力（身体的能力、知的能力（認知能力、判断力、意思決定能力））に適合した電動車椅子操作支援システムを構築し、その有効性を明らかにする。（図1参照）さらに、「障害児の発達支援」や「日本家屋のような移動空間の狭い屋内での利用」を目的として、人間の移動能力に近い、全方向移動機器を開発する。

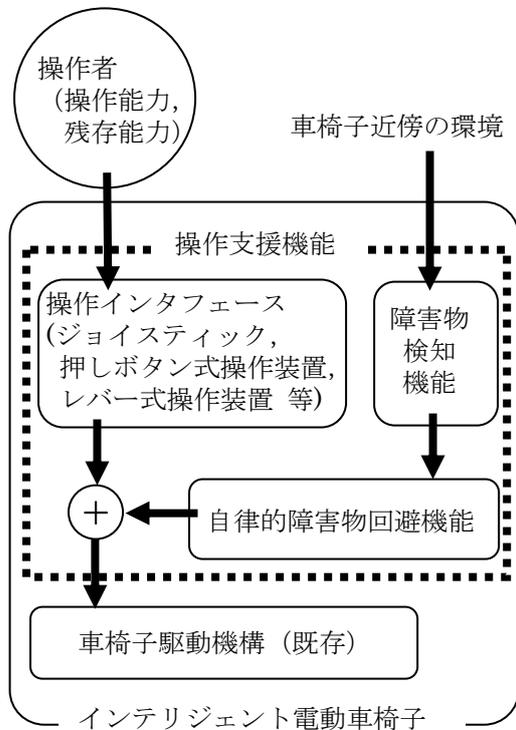


図1 残存能力に適合した知的電動車椅子の構成

3. 研究の方法

- ① 操作者の残存能力を活かす操作装置（残存能力に適合した操作インタフェース）を装備した電動車椅子の試作と走行実験によって、どのような操作装置が有効かを検証する。押しボタン式、レバー式など各種操作装置を用いてクランクコース、スラロームコースなどを走行し、操作装置を評価する。
- ② 障害を持っておられる方の操作能力および車椅子利用時の配慮事項に関する聞き取り調査を行う。「利用者（障害者・高齢者）」「介護者（福祉を専門とするもの）」「開発者（工学を専門とするもの）」の相互協力が必須である。身体的あるいは知的障害者が電動車椅子を利用される時の配慮事項、電動車椅子操作に使うことができる身体的能力（機能）・判断力などについて、福祉施設の理学療法士・看護師・カウンセラーの方々から聞き取り調査を実施する。
- ③ 「操作者の残存能力」と「操作装置」に適合した操作支援システムを構築し評価する。操作支援機能の適性は操作者および操作装置（走行能力）に依存する。操作支援機能を搭載した試作機のテスト走行を実施し、操作支援機能の有効性を評価する。

4. 研究成果

(1) 操作装置

電動車椅子を必要とする人の操作能力は様々で、操作者の残存能力に適合した操作装置を用いる必要がある。電動車椅子の操作指令を「その場旋回」と「直進」に限定した場合、操作指令の制限により、車椅子の走行能力に限界が生じる。しかし、操作指令の制限は負の作用ばかりではない。図2に示すように、車椅子の構成要素が平面図上の適切な仮想円内に含まれ、駆動輪の回転中心を結ぶ線分の中点を仮想円の中心に配置すると、その場旋回中は障害物に衝突することがない。したがって、直進走行中のみ車椅子と障害物の衝突を防止することによって、安全性を高めることができる。このような車椅子は、常にその場旋回可能であるので、「直進指令」と「その場旋回」のみで、任意の望む場所に到達することができる。

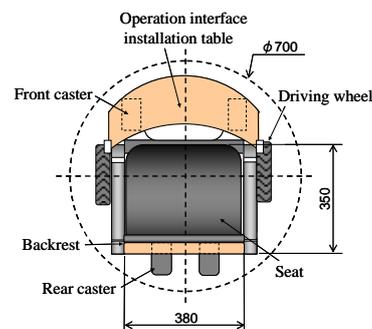


図2 円型車椅子の平面図

上記のような特徴を有する電動車椅子に「押しボタン式操作装置」、「レバー式操作装置」および「ジョイスティック」を搭載して研究を進めた。特に、下記の図3および4に示すレバー式操作装置は本研究の中で、新規に開発した操作装置である。



図3 レバー式操作装置

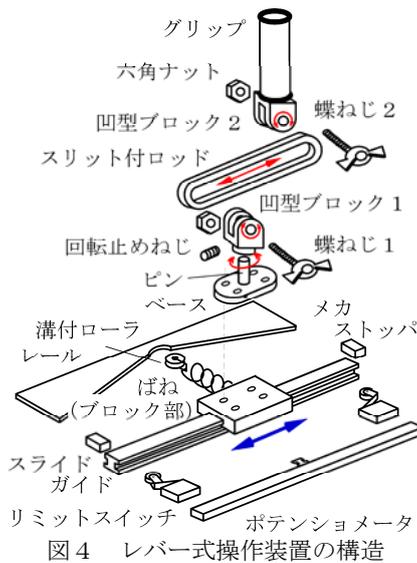


図4 レバー式操作装置の構造

上記レバー式操作装置は「ピン回り回転」、「蝶ねじ1回り回転」、「蝶ねじ2回り回転」、「ロッドのスリット内の平行移動」の4自由度によって、グリップの間隔、高さ、角度を調節できる。ベース部の変更で、操作のストロークを変更したり、中間位置から前あるいは後のみにしか操作できないようにできる。2つのリミットスイッチで2値的操作指令を、ポテンシオメータで速度指令などアナログ指令を読み取ることができる。また、様々な操作指令パターンを生成できる。すなわち、押しボタン式操作装置と同じような「直進とその場旋回のための操作指令」から「ジョイスティックと同等の操作指令」まで、入力指令のパターンを生成できる。また、両手を前後に動かして車椅子を操作することにより、楽しみながらリハビリテーション効果を得る可能性がある。使い慣れた操作装置の外形を変更することなく操作性を向上させることができ、たとえば、障害児の移動機器として、導入期から熟練期まで継続して使用できる操作装置としての利用方法が考えられる。本操作装置は、福祉施設からの助言を得て、設計・改良を行い、障害児の試乗に至った。

(2) 操作支援システム

本研究で開発した円型車椅子の外観を図5に示す。図5は3つのボタンで構成されたボタン式操作装置を搭載した場合である。



図5 円型車椅子外観 図6 障害物検知センサ

① 操作支援システム概要

電動車椅子には、測域センサと呼ばれる障害物検知センサが搭載されている。(図6参照) この障害物検知センサの情報を用いて、図7に示すような構成の操作支援システムを構築した。衝突防止機能が衝突防止指令 $B(t)$ を生成し、操作指令 $I(t)$ を補正して、適切な走行指令 $M(t)$ が生成される。

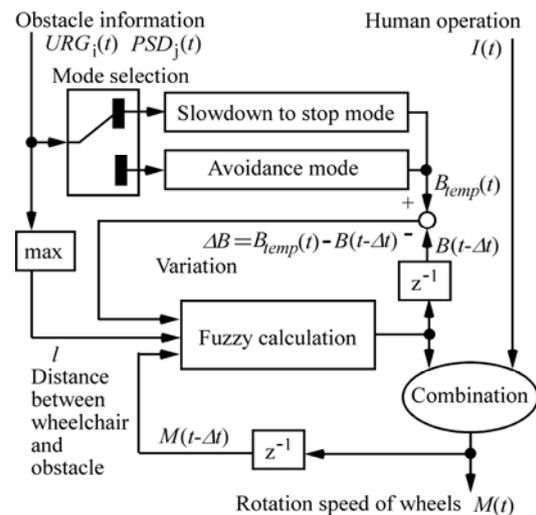


図7 操作支援システムの構造

障害物検知センサの観測領域を図8に示す。障害物検知センサの情報から、まず、衝突回避のための支援モードの選択が行われる。支援モードとしては、「減速・停止モード」と「回避モード」が存在する。モード選択の基本は、必要以上に操作者の意思を妨げないことである。操作支援機能によって生成された回避動作によって、違和感を与える大きな進路変更が行われることがないようにすることである。提案する操作支援は、壁面への安全な接近・車椅子正面の細いポールへの接近が可能となる。このことは、操作支援システムは操作者の意思を必要以上に妨げ

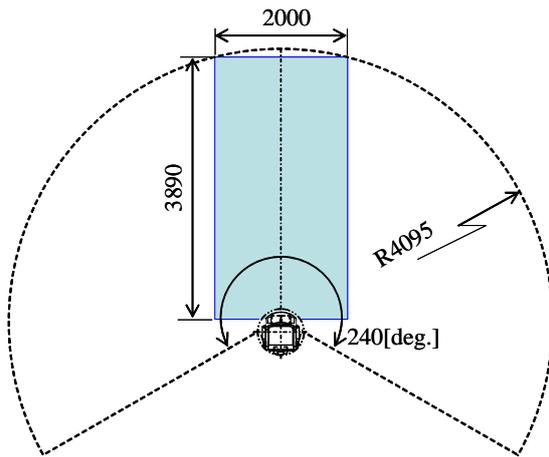


図8 障害物検知センサの観測領域

ることを行わないという基本構想に沿った支援動作である。

支援モード選択ののち、仮の減速・停止指令あるいは回避指令（仮の衝突防止指令）が生成される。生成した仮の衝突防止指令を「ファジィ理論を用いた平滑化」、「車椅子側面の死角を補助するセンサからの指令」によって、より適正化して最終的な衝突防止指令を生成する。

② 実機およびシミュレーション実験結果

実機およびシミュレータを用いた走行実験によって、操作支援機能の有効性を確認した。表1は壁に接近する角度を変えて、車椅子の挙動を実機走行実験した結果である。表1から、車椅子が安全に停止あるいは回避を行っていることがわかる。設計どおり接近角度45°で、減速・停止モードと回避モードの切り替わりが発生することも確認できた。

図9は開口幅80cmの出入り口を直進指令のみで通過する実験を行った結果である。各実験結果下に示した角度は接近角度を、Aは出入り口の左端を目標として進行したことを、Bは出入り口の真ん中を目標として進行したことを、Cは出入り口の右端を目標として進行したことを示している。図9より、接近角度が45°以下では、操作支援機能によ

表1 壁への接近走行実験

Angle	Trials				
	1	2	3	4	5
0°	105	90	100	95	100
30°	70	75	75	70	80
45°	20	△	15	△	△
60°	△	△	△	△	△

停止時の壁と車椅子の距離[mm] △ : Avoidance

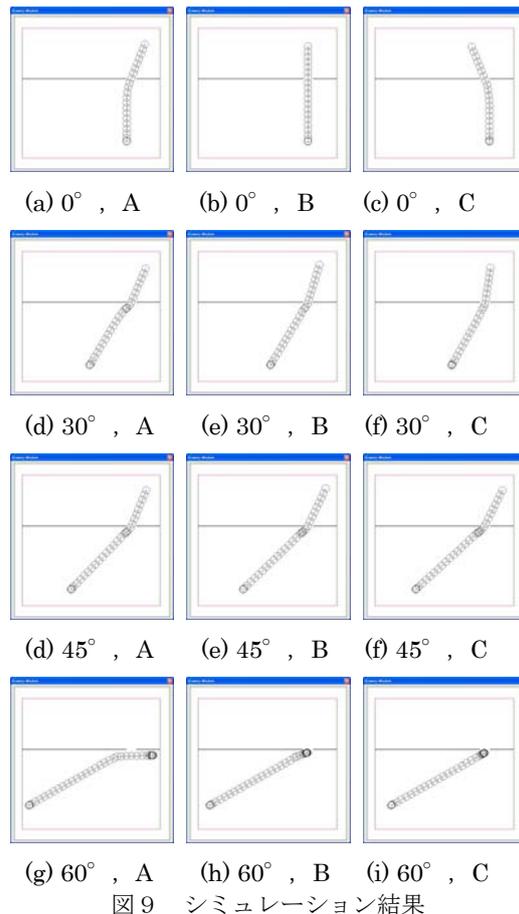


図9 シミュレーション結果

って適切な補正が行われ、直進指令のみで出入り口を通過できることがわかる。接近角度60°は出入り口へ進入するには、不適切な角度であり、この場合は回避あるいは出入り口の前での停止が選択されている。このような選択は操作の支援として適切である。本円型電動車椅子の日本家屋における有用性は、病院での聞き取り調査において示唆された。

(3) 全方向移動機器の試作

先天的または後天的に自立移動を困難とする幼児がおられる。幼児は移動手段を用いることによって自ら周りの環境に働きかけ、学習した「物事の原因」や「人との関わり」は認知や情緒などを発達させる。また、運動機能障害のために、努力しても思うように体が動かない場合、自らの行動で社会に働きかけることを失敗し続けた幼児は無気力になることがある。ハンデキャップをもつ子どもが単独、または介助者を伴って、楽しんで移動体験できる全方向移動機器を試作した。この移動機器は、移動空間の狭い日本家屋でも有効な移動手段となる。たとえば、台所などでも、正面を向いたまま左右に移動できる。

① 走行ユニット

試作した全方向移動機器の特徴は、直径700[mm]の円柱状空間の中にすべての構成要素



図10 全方向移動機器

が納まっている点である。この特徴によって、その場旋回動作時に障害物に接触する危険を排除でき、あらゆる状況下でその場旋回動作が可能である。また、狭い通路の走行に有利であり、行き止まりとなっている狭い通路でも、前進とその場旋回で走行可能である。

試作機のもうひとつの特徴は、床から走行ユニット上面までの高さが 95[mm] になっていることである。子どもが移動機器に乗りやすいようにという配慮である。さらに、走行ユニット上面に広いスペースを設け、介助者が子どもを抱いて乗ることが可能となっている。介助者が子供を膝に抱いたまま座面に座るなど操作者の好みの姿勢で利用できる。

試作機は4つの駆動輪を備え、すべての駆動輪にオムニホイールを採用している。段差や走行路面の凹凸に対応するために駆動部は回転機構とバネ機構から構成されており、駆動輪を保持するブラケットに自由度を持たせることによって、高さの変化のある路面に対応できる。(図11および12参照)

② 操作インタフェース

障害を持つ子どもたちが座位および立位で操作するための操作インタフェースを搭載した。この操作インタフェースによって、

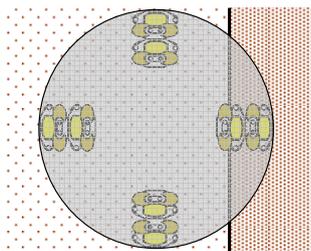


図11 オムニホイールの配置

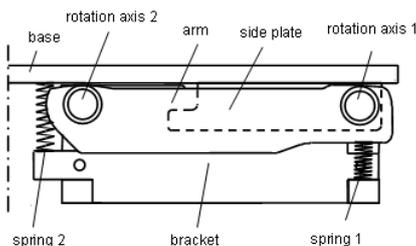


図12 駆動輪ブラケット

「その場旋回」、「全方向移動」および「任意の旋回半径をもつ旋回」が可能である。スイッチなどによる切替なしに、通常の子椅子走行と全方向移動の両モードが実現できる。

その場旋回は図13の青矢印のように操作インタフェース上部のテーブルを旋回したい向きへ回転させることで実現する。全方向移動は、立位操作インタフェース下部のボックスと上部のテーブルをつなぐ軸を移動したい方向に倒すことで指令する。その場旋回指令と全方向移動を同時に指令することによって、任意の旋回半径の旋回が実現する。

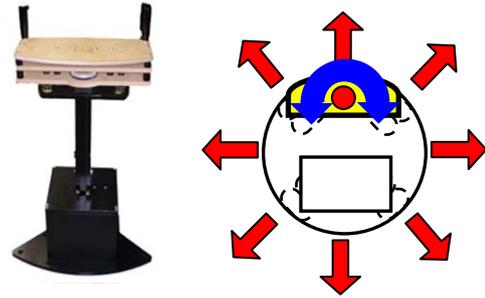


図13 操作インタフェース

③ 走行実験

「提案するインタフェース」および「従来走行と全方向走行を切替えるインタフェース」を用いて、全方向移動機器を操作しクランクコースとスラロームコースを走行して、完走時間を計測した。クランクコースでは常に進行方向を向いて走行してもらうために、各コーナーで旋回させた。スラロームコースでは、前半のS字も後半のS字も進行方向を向いて走行した。表2および3に示すようにクランクコース、スラロームコースともに、完走するために必要な時間が提案するインタフェースによって約10秒短縮した。

被験者の意見にも「提案するインタフェースのほうが操作しやすい」、「操作にスイッチの切替がないので操作が容易」といった良い評価があった。提案するインタフェースは、進行方向を向いた操作が容易であるので、走行コースを早期に認知することができ、障害物の回避も容易であるので、安全な走行を実現できることがわかった。

表2 クランクコース走行実験結果

被験者	提案する 操作機構 [s]	切替型 操作機構 [s]
A	23.00	32.50
B	20.41	31.63
C	23.54	35.09
D	22.62	33.03
平均時間	22.39	33.06

表3 スラロームコースの実験結果

被験者	提案する 操作機構 [s]	切り替え型 操作機構 [s]
A	28.56	32.10
B	28.66	40.53
C	28.66	39.56
D	29.41	40.19
平均時間	28.82	38.85

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2件)

- ① Toshihiko Yasuda, Hajime Tanaka, 他
2名 1番目: Adjustability of neural networks with variant connection weights for obstacle avoidance in an intelligent wheelchair, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.11 No.8, 2007, pp.922-930, 査読有
- ② Toshihiko Yasuda, Hajime Tanaka, 他
3名 1番目: A Strategy for preventing collisions of an electric wheelchair running only by Go Straight and Turn on the Spot, Proceedings of the 13th International Conference on Advanced Robotics, 2007, pp.689-694, 査読有

[学会発表] (計 11件)

- ① 安田寿彦, 田中創, 中村一志, 田中勝之:
移動ロボットの走行状態に依存して結合荷重が変化するニューラルネットワークによる障害物回避, 第49回自動制御連合講演会講演論文集, 2006年11月25日, 神戸大学工学部
- ② 巳波望, 安田寿彦, 田中創, 末廣尚也,
二石康譜, 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 - 第1
報 ボタン式およびレバー式操作インタ
ーフェイスに関する検討-, 日本機械学会
ロボティクス・メカトロニクス講演会'0
7, 2007年5月11日, 秋田拠点センター
ALVE
- ③ 田中創, 末廣尚也, 安田寿彦, 巳波望,
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 - 第2報 直進と
その場旋回のみで走行する場合の衝突防
止機能-, 日本機械学会ロボティクス・メ
カトロニクス講演会'07, 2007年5月
11日, 秋田拠点センターALVE
- ④ 巳波望, 安田寿彦, 末廣尚也, 田中創,
田中勝之: 操作者の操作能力と安全性を配
慮した電動車椅子の試作, 日本機械学会
2007年度年次大会, 2007年9月11

日, 関西大学千里山キャンパス

- ⑤ 安田寿彦, 末廣尚也, 田中創, 巳波望,
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 - 第3報 操作
指令の制限および対応した走行支援機能
-, 第8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, 2007年12
月21日, 広島国際大学 国際教育センター
- ⑥ 安田寿彦, 宮内繁之, 末廣尚也, 田中勝
之: リハビリテーション用全方向移動機器
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'08, 2008年6月7日,
長野ビッグハット
- ⑦ 安田寿彦, 巳波望, 田中勝之: 間隔・高
さ・角度・ストロークが調節可能なレバー
式操作装置, 第23回リハ工学カンファレ
ンス, 2008年8月27日, 新潟コンベンシ
ョンセンター
- ⑧ 安田寿彦, 末廣直也, 田中創, 巳波望,
田中勝之: コンパクトな電動車椅子の操作
支援について, 第51回自動制御連合講演
会, 2008年11月23日, 山形大学工学部
- ⑨ 末廣尚也, 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 - 第4報 操作指令が限定された
場合の測域センサを用いた操作支援機能
-, 第9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, 2008年12
月5日, 長良川国際会議場・未来会館
- ⑩ 安田寿彦, 宮内繁之, 小林晃, 末廣尚也,
田中勝之: リハビリテーション用全方向移
動機器の試作 - 第2報 駆動機構の改良
-, 日本機械学会ロボティクス・メカトロ
ニクス講演会'09, 2009年5月25日, 福
岡国際会議場
- ⑪ 安田寿彦, 小林晃, 宮内繁之, 末廣尚也,
田中勝之: リハビリテーション用全方向移
動機器の試作 - 第3報 立位操作インタ
フェースの試作, 日本機械学会ロボティク
ス・メカトロニクス講演会'09, 2009年
5月25日, 福岡国際会議場

[その他]

新聞記事:

障害物避ける電動車いす, 赤外線センサーで
監視, 日経産業新聞, 2007年9月25日

ホームページ:

[http://www.mech.usp.ac.jp/~maw/studies/
index.html](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・准教授
研究者番号: 60157998