

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 5 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22700575

研究課題名（和文）脳卒中上肢リハビリテーション支援のためのロボット装具の開発

研究課題名（英文）Development of robotic orthosis for upper limb rehabilitation in post stroke therapy

研究代表者

坂井 伸朗 (SAKAI NOBUO)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：60346814

研究成果の概要（和文）：

本研究では脳卒中上肢リハビリテーション支援のための肩甲骨一体幹系ロボット装具の開発を行った。股関節一体幹系は4自由度を有し、肩甲骨駆動軸は1自由度の軸へ帰着させた。また、療法士は腋下の広背筋遠位腱を親指で押えることで肩の安定性の確保と求心性の刺激を加える。よって、親指運動を行う2自由度の専用ロボットハンドを開発した。本システムを用いて上肢到達把持運動様式の解析を進めた。体幹運動は把持形式により異なり、特定の動作における主要軸を停止することで全運動が停止し、到達把持は全身協調運動であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to develop the robotic trunk-scapula orthosis for reach-to-grasp tasks in post stroke rehabilitation. The trunk orthosis has 4-degrees of freedom by one pelvis inclining axis and 3 thorax motion including flexion, lateral movement and rotation. Therapists utilizes underarm support to facilitate upper arm motion. To realize therapist's technique on supporting the tendon of latissimus dorsi, a robotic hand with thumb motion was developed for grasping scapula. Analyses of reach-to-grasp motion using the robotic orthosis indicated that the trunk motion was cooperated with upper arm motion including foot support to manage the center of balance of whole body.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

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：福祉・介護用ロボット，リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

ロボットは繰り返し動作のほか、センサを活用した感覚運動神経系の回復およびモニタリング手法と、自立支援とならび運動療法支

援技術としても期待されている。例として Fig.1 のような上肢運動療法用ロボットが提案され、臨床評価において療法士と同等以上の単位時間あたりの回復が感覚運動評価に

において確認された。

日常動作における上肢の役割の一つは、様々な上肢動作の基本となる到達把持である。到達把持運動は上肢の機能と捕らえがちであるが、骨盤の安定、体幹の制御、重心移動、肩甲骨の安定といった一連の動作[3]が必要である。さらに脳卒中リハビリにおいては、各関節運動の単独運動だけでなく協調運動が重要である。

脳卒中リハビリは脳の可塑性に基づいた神経生理学的機構が関与しており、麻痺で廃退した筋力のフィジカルな増強以上に、到達運動を司る神経系の回復が求められる。また、上肢リハビリでは肢部の根元である肩甲骨の安定が得られてこそ到達把持といった運動が可能となる。

脳卒中患者は腕部持ち上げ時に神経系に由来する肘屈曲を誘発し、到達運動を妨げる特徴的な動作を行うため、療法士は神経生理学的視点で多種の病的様態を緩和しながら、力の必要な体幹-肩甲骨系の安定と前腕部運動促進を含め多くの筋骨格運動の制御を同時に行う必要がある。

これまでに多くのリハビリロボットが提案されてきたが、EBM(Evidence-Based Medicine)に基づいた実際の治療効果が期待されなければならない。肩部位の適切な制動による到達把持訓練はEBMを基準としたレビューにおいて効果があるとされ、単に麻痺動作を補償する変則的な運動を抑制するだけでなく、健常時に持っていた神経回路の再強化が促進され、効果的なリハビリになりうることを示唆されている。

運動療法まで可能なロボットは、パワーアシストや自立支援用ロボットといった外部対象物の操作だけではなく身体運動への介入を目的とする。よって、バイオメカニズム的視点をより積極的に適用することが望まれる。肩運動に追従する機構として、理論的に多自由度なパラレルリンクを組合せた構成が提案されたが、臨床目的では体幹駆動や簡略化を含め構成をさらに発展させる必要があると申請者は考えている。

運動療法の現場で患者と向き合うのは療法士であり、リハビリロボットはまず療法士に受け入れられる必要がある。また、患者の必要な運動を一部でも妨げるものであってはならない。そこで、研究協力者である療法士と協議しながら、肩甲骨把持および駆動と体幹運動追従のためのロボット装具機構モデルを提案し、軌道解析により最適化された機構による、肩甲骨直接駆動の可能性を見出した。当該モデルは体幹部に前後屈曲、左右揺動、ひねりの各動作のための運動軸を有しながら肩甲骨運動を駆動可能であり、体幹の動きを含む日常生活での様々な方向への到達運動に対応しうる構成である。

2. 研究の目的

申請者はこれまでに、肩甲骨制御に関してモータ駆動ならびに6軸センサによる反力測定試験を行い可能性を検証した。しかし、体幹装具部は肩甲骨駆動反力を骨盤まで伝えるのみで、駆動源ならびにセンシング機能を持たない。また、到達把持訓練時の腕部運動との連携運動が必要であるが、上腕部の動作取得装置の組み込みやその連携動作は行っていない。本申請内において達成する事項は、①各関節にアクチュエータ及びセンサを装備し、療法士が行う患者腕部運動と連動した股関節-体幹-肩部ロボット装具を完成することである。また、②肩甲骨把持装具の腋下支持部の筋腱刺激といった感覚刺激機構を考案し、療法士が肩甲骨を把持する構成を開発する。さらに、③臨床現場において本システムを用いた到達把持を行い、各部位の運動の協調性といった臨床的指標を活用することで有用性を検証する。

3. 研究の方法

本研究での研究研究事項をまとめると、主にハードウェアの開発と、それを用いた治療法の研究の2つの大きなテーマとなる。(1)体幹保持装具部および股関節の能動化およびセンシング(2)肩甲骨把機構と能動筋刺激デバイスの開発(3)到達把持運動のロボットによるリハビリ実証の各要素が挙げられる。

(1)体幹保持装具部および股関節の能動化およびセンシング

到達把持運動は基本形は着座状態により行われる。現在、療法士の精密な運動制御を実現するために、剛性およびセンシング能をより向上させ得るリンク機構を用いたモデルを検討する。ロボット自重は座いす下等から駆動するモータによりキャンセルさせ、最終的に座いすで全反力を受けるため、装着者には重量は掛からない。

療法士は運動療法時に「キーポイント」と呼ばれる身体反応のセンシングと運動促進に効果的な位置で患者の運動を制御する。一例は胸骨位置である。ここでは効果的なキーポイントを用い、研究協力者である療法士らとロボットの装着について研究を進める。

本研究の装着ロボットは身体運動制御が目的であるため、ロボットはこれまで以上に自由に身体運動に追従しうる多くの運動軸を持つ。脳卒中リハビリでは特に多関節の協調運動の回復が重要である。よって股関節・体幹3軸の全駆動軸にモータおよびセンサを取付け、協調運動の誘発とモニタリングを行う。

(2)肩甲骨把機構と能動筋刺激デバイスの開発

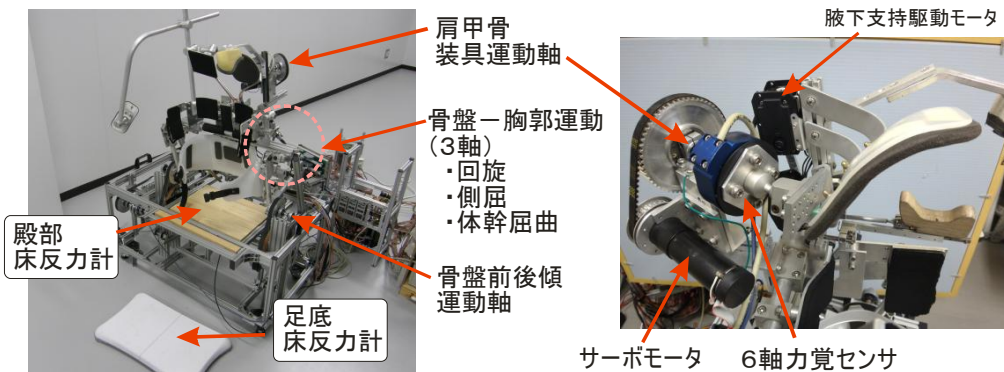


Fig.1 脳卒中上肢リハビリ支援のための肩甲骨-体幹ロボット装具

上肢運動は機械的な連動以上に肩甲骨運動と神経生理学的に連動しているため、肩甲骨運動は重要な役割を持つ。よって、療法士は肩甲骨把持時に腋下の筋腱を親指で圧迫刺激することで、痙性を除去するとともに神経生理学的に上肢の運動を促す（固有受容性神経筋促通法に近い）。ロボットにおいても同等の機能が療法士らに強く要請されており、現行の肩甲骨把持装具を肩甲骨把持ロボットハンドへ発展させる。

(3) 到達把持運動のロボットによるリハビリ実証

到達運動は上体の協調運動である。よって、この協調性を作業療学的に検証することを計画している。たとえば、視覚始動性の到達把持動作途中において、特定のロボット軸をサーボで停止させることで、全体の到達把持運動へ与える影響を捕らえる等の実験を考案している。このような能動的要素を加えた協調運動学習の検証はロボット装具において検討できる新たな試みであり、運動療学的にも新たな知見を与えるものとして興味深い。

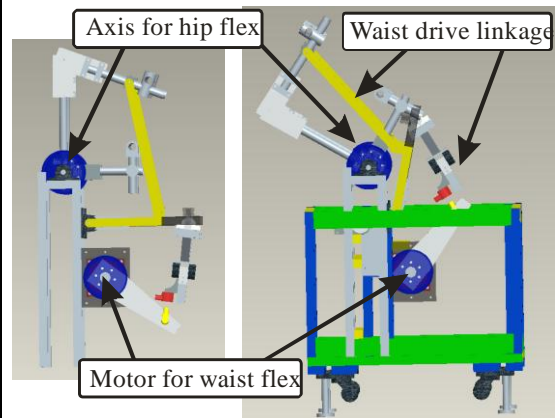
この研究項目は最も重要視される部分であり、経験的に行われる部分が少なくない運動療法をより定量的に検証し、さらに高い繰返し能力を持つロボットで実行できる新たな治療ツールとして療法士を越える効果を生むことが期待されている。

4. 研究成果

本研究における成果は、第3章で挙げたように(1)体幹保持装具部および股関節の能動化およびセンシング(2)肩甲骨把機構と能動筋刺激デバイスの開発(3)到達把持運動のロボットによるリハビリ実証、に大きく分けられる。それぞれの内容について概略を説明する。

(1) 体幹保持装具部および股関節の能動化およびセンシング

本申請において開発された、脳卒中上肢リハビリ支援のための肩甲骨-体幹ロボット装具の全体図を Fig. 1 に示す。本申請におい



(a) Right position (b) Forward flexion

Fig.2 股関節および体幹屈曲のためのリンク機構の概略図

て、骨盤前後傾斜軸（1軸）、体幹（腰部）回旋・側屈・屈曲（3軸）に駆動モータ及び力センサを装着し、各軸に対してアドミタンス型で力制御可能とした。また、ロボット重量は適切に配置されたばねにより、重量の大部分をキャンセルする構成とした。現在、ヒト装着型ロボットの安全性について議論が進められているが、重量を受動要素でキャンセルすることにより、モータ出力の大幅な縮小が可能となると考えられる。また、本研究で対象としている脳卒中運動療法は、筋トレーニング的な要素や強制的に身体を駆動するのではなく、適切なタイミングや協調運動を運動時に学習させるものである。よって、本来よりモータ出力は小さいものである。最も高トルクが必要な骨盤前後傾の作用部出力トルクは 40Nm 程度であり、これは身体の腹筋・背筋力（数百 Nm 以上）を大きく下回るものである。

本ロボット装具では、Fig. 2 に示すように可動部の重量を軽減させるために、体幹屈曲部のモータは座面下に配置されたモータによりリンク機構で駆動する構成とした。療法士らはロボット等を装着するにあたり、本研究が目的とする着座位置での到達把持動作

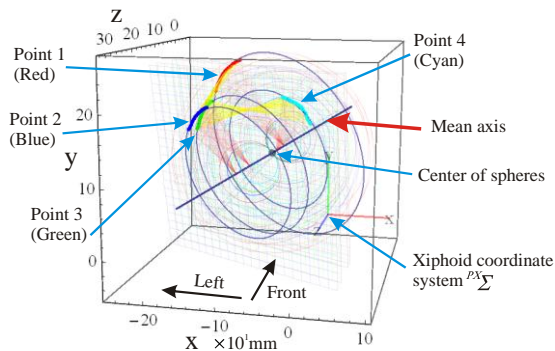


Fig. 3 肩甲骨運動の解析図

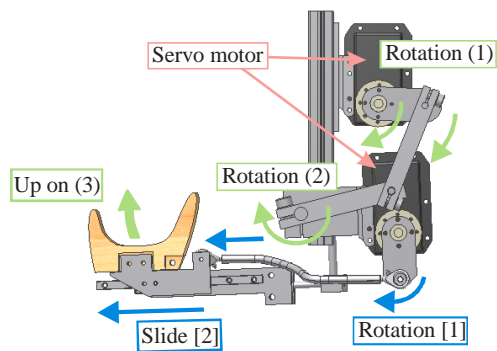


Fig. 4 股関節および体幹屈曲のためのリンク機構の概略図

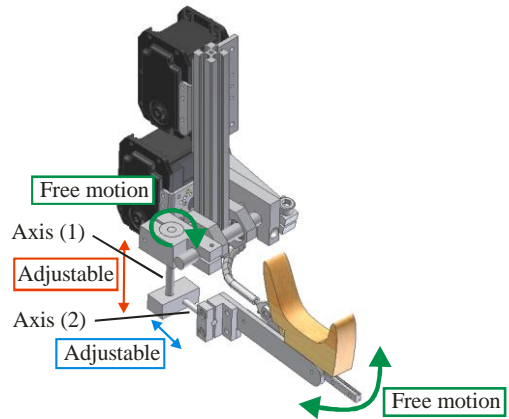
以外の動作においてであったとしても、通常の可動域が制限されることを非常に嫌う。可動域が制限される原因としては①装着ロボットの機構的に可動域が得られない、②運動軸が生体運動に対してずれている、といった原因が考えられる。本研究では特に肩甲骨駆動軸と骨盤前後傾軸に関してトライアンドエラーにおいても運動軸が十分に見いだせなかったため、単体の装具にモーションキャプチャを取付け運動を解析し、運動軸の最適化を行った。解析の結果、肩甲骨把持装具に取付けたれたモーションキャプチャ点の運動は球面上運動と平面内運動を同時に行っており、空間上の円運動を行っている事が分かった。よって駆動軸は1軸の運動に帰着可能であると考えられた。一方、数ミリメートル程度の残差が残るため、この影響について十分検討しなければならないが、義肢装具士および運動療法士らより、臨床的には問題のない範囲であることを確認した。Fig. 3 に装着時の左後方から撮影した写真を示す。

(2) 肩甲骨把機構と能動腱筋刺激デバイスの開発

療法士は到達把持運動時に一方の手で前腕部を掴みながら、もう一方で肩甲骨を掴みながら肩甲骨運動の制御と体幹運動の制御を同時に行う。その際、広背筋遠位腱を親指



(a) Left side view of hand for support armpit



(b) Upper right Side view of hand for support armpit



Fig. 5 肩甲骨把持機構の概略図

で押えることで、求心性の刺激を与え上肢運動を促通する特殊な手法を活用する。運動療法のためのロボットを開発することは、運動療法がどのような手法により行われているかを再確認するためのツールとなり得ると我々は考えている。本研究の第一の目的は、療法士らが臨床において行う運動療法をロボットにより再現することから始まる。よって、腋下支持による腱刺激を含む肩甲骨把持のための専用ハンド様装置の開発を行う必要がある。

療法士らは、親指を腋下に入れ広背筋遠位腱を刺激するが、その際、到達把持運動に合せ腱を前方および上方に押込むことで、肩甲骨上腕関節、肩甲骨を安定化させ、求心性の刺激を加える。本システムを臨床的に応用する場合、倫理委員会での認証が必要であるが、

その際にロボットにより行うことは事は臨床で行うことと同等であることが必要あり、治療に必要な要素がおおむね含まれる治療行為となり得ると考えられる。そうでなければ実験の領域を得ない審査であり、倫理的に問題を呈する。よって、本システムを患者等へ装着する場合は、腋下支持を含め臨床で行う要素がほぼ全て網羅されている必要があり、治療行為として患者に装着するためには、療法士が行う親指の運動を実現する必要があると我々は考えている。Fig. 5 に腋下支持のための親指運動を再現しうる、専用ハンド部の広背筋支持部の動作図および写真を示す。療法士らは、広背筋腱の刺激に関して、上方への押しと前方への押し出しを個別に行うため、本機構では2つのサーボモータを用いて親指運動を再現した。

(3)到達把持運動のロボットによるリハビリ実証

本研究では脳卒中上肢到達把持リハビリ支援のためのロボットをハードウェアとして開発するとともに、これを用いてリハビリを行うためのソフトウェアとしてのロボット運動を検討する必要がある。本研究では様々な到達把持設定に対してロボットを使用することでリハビリ様式そのものの解析を行い、理学療法学会および作業療法学会といった臨床者の報告する場面で討議を行っている。運動療法は脳卒中中等で運動様式が損失した患者に対し、協調運動様式を再学習させる過程とも言える。しかし、特に体幹の運動において、上肢との協調運動に関する知見はほとんどみられない。本研究では体幹ロボット装具という新たな取り組みを行っているが、そのロボットに対しどのような運動を行わせるかについても、自ら開発する必要がある。

体幹と上肢の協調運動の測定・解析結果の一例を Fig. 6 に示す。Fig. 6 は健常者での測定例である。到達把持運動においては上肢運動と体幹運動および足底支持は協調運動を行う。そうでなければ重心移動に対応出来ず、着座状態が維持できない。上肢の機能の基本は到達運動であり、こでが十分に行えてこそ日常生活においてリハビリ効果が十分に発揮できると我々は考えている。一つの見識として、目標物到達把持時において上方からの把持と側方からの把持により、体幹運動に差異が見られた (Fig. 6 左列での比較)。よって、到達把持においては単に物体を把持するような条件と比較し、カップを掴むような側方把持の場合は体幹の使用状態が異なることが示唆された。すなわち、運動療法の臨床においても把持の仕方により体幹の使い方が異なることを考慮する必要性が示唆された。

本実験ではロボットは力センサにより体幹の運動力をセンシングし、常にセンサ力が0となるように制御されている。よってロボットは被験者の上方把持では体幹前後屈、側方把持では体幹回旋を多く使用していた。そこで、本研究では到達把持運動の途中でロボットによりモータ運動をサーボにより停止させ、上肢到達把持運動へ与える影響を調査した。その結果、体幹運動の主要な1軸を停止させるだけで、到達把持が停止した。このことは、到達把持における上肢一体幹の協調運動がひとまとまりで学習されていることが示唆されるものであった。このように運動途中で外乱を与える実験は、ロボットを用いて初めて可能となる試みであり、運動様式ならびにリハビリ手法に関して新たな知見を与えるものと期待される。

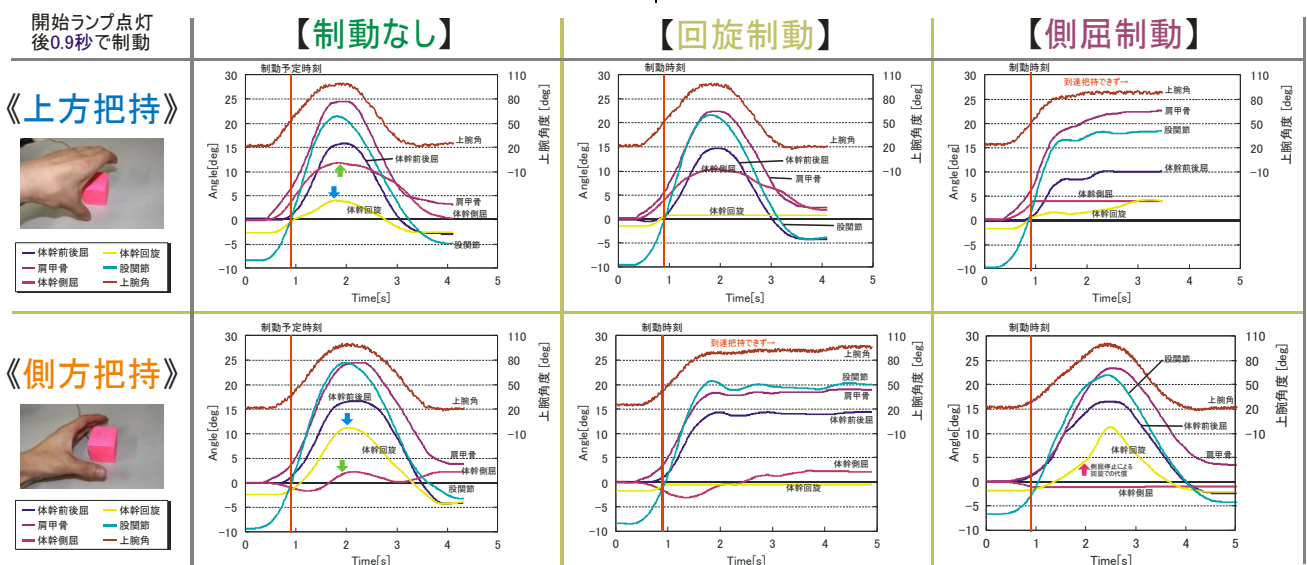


Fig.6 ロボットを用いた到達把持運動の解析

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 15 件)

- ①坂井伸朗ら，脳卒中上肢リハビリ用体幹-肩甲骨系ロボット装具の開発，第 23 回バイオメカニズムシンポジウム，2013 年 07 月 26 日～2013 年 07 月 28 日，京都市
- ②安谷屋晶子，坂井伸朗ら，脳卒中片麻痺患者の上肢治療用ロボット-到達把持動作における肩甲骨，肩関節の動きの変化について-，第 47 回日本作業療法学会，2013 年 06 月 28 日～2013 年 06 月 30 日，大阪市
- ③多田尚平，坂井伸朗ら，脳卒中リハビリ支援ロボット装具における腋下支持ハンドの開発，日本機械学会第 25 回バイオエンジニアリング講演会，2013 年 01 月 09 日～2013 年 01 月 11 日，つくば市
- ④安谷屋晶子，坂井伸朗ら，脳卒中片麻痺患者の上肢治療用ロボット-摂食・飲水動作における体幹制御について-，第 46 回日本作業療法学会，2012 年 06 月 15 日～2012 年 06 月 17 日，宮崎市
- ⑤涌野広行，坂井伸朗ら，脳卒中片麻痺患者の上肢治療用リハビリロボットの開発（第 4 報）-空間的到達把持動作が体幹制御に及ぼす影響-，第 47 回日本理学療法学会大会，2012 年 05 月 25 日～2012 年 05 月 27 日，神戸市
- ⑥【招待講演】坂井伸朗，医療福祉分野のロボット最新情報，第 33 回臨床歩行分析研究会定例会，2011 年 12 月 11 日，福岡県春日市
- ⑦涌野広行，坂井伸朗ら，脳卒中片麻痺患者の上肢治療用ロボット装具の提案～ロボットによる到達把持動作パターンと影響因子の解析～，第 33 回臨床歩行分析研究会定例会，2011 年 12 月 11 日，福岡県春日市
- ⑧安谷屋晶子，坂井伸朗ら，脳卒中片麻痺患者の上肢治療用ロボットの開発-力場運動が座位姿勢に及ぼす影響についての検討-，第 32 回バイオメカニズム学術講演会，2011 年 11 月 27 日，大阪市
- ⑨林克樹，坂井伸朗ら，脳卒中片麻痺患者の上肢治療用ロボット～肩・体幹制御機構が到達把持運動パターンと床反力・COP への影響～，第 45 回日本作業療法学会，2011 年 06 月 25 日，埼玉県大宮市
- ⑩坂井伸朗ら，脳卒中リハビリ支援ロボットによる到達把持運動の計測，日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2011，2011 年 05 月 28 日，岡山市
- ⑪涌野広行，坂井伸朗ら，脳卒中片麻痺患者の上肢治療用リハビリロボットの開発（第 3 報）-上肢の到達把持動作における体幹屈曲運動が臀部、足底部へ及ぼす影響について-，第 46 回日本理学療法学会大会，2011 年 05 月 27 日，宮崎市

⑫桃原翔太，坂井伸朗ら，脳卒中上肢リハビリ支援のためのロボット装具の股関節-腰系駆動の開発，日本機械学会第 23 回バイオエンジニアリング講演会，2011 年 01 月 08 日，熊本市

⑬坂井伸朗ら，Development of Robotic Trunk-Scapula Orthosis for Stroke Reach-to-Grasp Rehabilitation，第 6 回世界バイオメカニクス会議，2010 年 08 月 05 日，シンガポール

⑭坂井伸朗ら，脳卒中リハビリテーション支援のための股関節-体幹ロボット装具の開発，日本機械学ロボティクスメカトロニクス講演会 2010，2010 年 06 月 15 日，旭川市

⑮林 克樹，坂井伸朗ら，脳卒中片麻痺患者の上肢治療用ロボット～肩・体幹制御機構の到達把持動作への影響～，第 44 回日本作業療法学会，2010 年 06 月 11 日，仙台市

〔その他〕

ホームページ等

http://www.ise.kyutech.ac.jp/integrate/researcher/sakai_no.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂井 伸朗 (SAKAI NOBUO)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：60346814

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

村上 輝夫 (MURAKAMI TERUO)

九州大学・バイオメカニクス研究センター・特命教授

研究者番号：90091347

林 克樹 (HAYASHI KATSUKI)

誠愛リハビリテーション病院・リハビリテーション部・作業療法士