

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01403

研究課題名（和文）運動障害児に対する自立歩行獲得のための骨盤6自由度動作アシスト技術の開発

研究課題名（英文）Development of the pelvic 6-DOF motion support mechanism for motor-handicapped children to establish independent walking.

研究代表者

河本 浩明（Kawamoto, Hiroaki）

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：00400713

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：脳性麻痺や神経筋疾患など生まれながら疾患を有する小児に対して、自立歩行を獲得するため可能な限り早く開始させる歩行支援方法が求められている。本研究では、片脚に体重をのせ左右の脚交互に体重移動を繰り返して進む左右側方の身体揺動運動を実現するため、骨盤の空間的動作に着目した歩行支援装置として、操作者のステアリングにより、小児の骨盤を外転、回旋させる機構を開発した。歩行支援装置の性能評価のため、小児ダミー人形による実験を実施した。その結果、操作者のハンドル操作によって、歩行時に左右側方の体重移動、遊脚振り出しが十分に実施されていることを確認し、早期歩行支援装置としての実現可能性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動機能に障害を持つ小児1歳からを対象とした歩行支援機器はこれまでなく、本研究開発は早期介入とする歩行機能獲得を目指した大きな挑戦といえる。本研究結果により、臨床現場で取り入れることができなかった早期歩行支援を提供することができる可能性があり、脳性麻痺や神経筋難病の小児に対し、これまで疾患により運動機会を失ってきた時期に実施可能な運動獲得（ハビリテーション）支援分野の開拓が期待される。また、これまで下肢の動作支援を中心に行ってきた歩行支援ロボットに対して、歩行を体重移動に基づく全身運動として捉えた歩行支援は、成人運動障害者の歩行リハビリへの応用も期待される。

研究成果の概要（英文）：Range of the walking function impairments due to the cerebral palsy causes deep limitations for behavioral patterns of daily life as well as for participations in social activities. The purpose of this research is to develop a prototype of a walking assistive device to support toddler's walking for the CP patients. We focused on controlling the pelvic motion which is deeply involved in toddler walking, when body weight shift from one side of the one leading leg toward the other. The developed device has the mechanisms to control both of the pelvic tilt and its rotation by the steering. We conducted the experiments with the infant mannequin to evaluate the performance of the toddler walking support. Our results confirmed the motion support for the pelvis during body weight shift from one to the other leg and during forward motion of the leg at the swing phase. We concluded that the proposed device is a functional prototype of the assistive device to support the toddler walking.

研究分野：生体制御工学

キーワード：歩行アシスト 自立歩行獲得 ハビリテーション 医療・福祉

### 1. 研究開始当初の背景

脳性麻痺は、出生前の発育異常または周産期もしくは出生後の中枢神経系損傷に起因する、随意運動または姿勢制御の障害を特徴とする非進行性の症候群である。脳性麻痺により歩行機能に障害が生じた場合、生活空間や行動、社会活動に制限が生じ、ADL や QOL が低下する。また、介護による介護者の負担が大きくなる。そのため、リハビリテーション分野では、歩行機能や歩行能力の獲得や改善に向けた効果的な歩行訓練が重要となっている。運動機能に障害を有する小児に対して、効果的な歩行訓練を支援するアシスト機器の開発が推進されている。

歩行訓練におけるアシスト機器の役割は、現在では、運動学習に基づく運動療法を基礎においている。運動学習は、獲得したい運動を、繰り返し行い、試行錯誤を通じた過程を通して、習熟させていく行為である。歩行機能改善の場合、障害によって生じる異常な歩行動作を、本来の歩行動作になるように、繰り返し歩行動作を試みていく学習過程を通して、本来の歩行動作に戻していくことを行っていく。しかし、そこには、パラドックスが生じてしまう。歩行機能の障害が大きい場合、本来の歩行動作になるように、繰り返し歩行動作を試みていくことが困難となり、運動学習行為を実践することができない。そこで、アシスト機器によって、歩行機能の障害による歩行のしにくさを軽減することで、運動学習行為を実践しやすくすることが可能となる、歩行アシスト機器の主な目的は、この歩行に対する運動学習行為を支援することである。

これまで、使われてきている脳性麻痺患者の歩行機能改善に対して適用される歩行アシスト機器は、いくつかの種類がある。代表的な物として、装具、免荷装置、歩行器、ロボット技術がある。これらは、歩行障害を生成する運動機能の補助によって使い分けられる。装具は、足関節など望ましくない動きや形態(アライメント)の制限、歩行器は立位姿勢保持、ロボット技術は、脚を前方へ振り出す遊脚期動作の力補助である。歩行機能訓練では、単独、あるいはこれらの組み合わせで使用されている。

しかし、脳性麻痺を有する小児の歩行訓練の中で、運動発達時期に相応しい歩行の訓練を支援する装置は存在しない。通常、小児の運動発達時期(生後約12ヶ月前後)の歩行の特徴は、歩隔が広く、短いステップであり、いわゆるヨチヨチ歩きである。成熟した歩行を習得するため、片脚立位による姿勢制御性能、片脚立位からもう片側へ片脚立位のリズムカルな重心移動動作能力を向上させるための運動学習を行っている。実際の小児の歩行は、歩隔を広げていることから、左右へ重心移動を大きくしながら、前進している。従って、脳性麻痺を有する小児の歩行訓練には、片脚立位と左右への重心移動を伴いながら前進を支援する装置の利用が有用であると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、小児の運動発達時期の歩行支援を実現するため、小児の骨盤操作に着目した。具体的には、片脚立位からもう片方への片脚立位へ遷移する際の重心移動では、骨盤を外転方向へ操作すること、さらに、歩行時の遊脚の振り出しでは、骨盤を回旋操作することである(図1)。なぜなら、骨盤は下肢の起点であり、通常歩行時の肢の体重支持が一侧の下肢から次の反対側の下肢へ移る動作、遊脚期における脚の振り出し動作は、骨盤の外転動作、回旋動作と強い相関をもっているからである。

そこで、本研究の目的は、脳性麻痺を有する小児の歩行訓練に向けた骨盤の外転、及び回旋の操作を行う歩行支援機器を開発し、小児ダミー人形による実験により、小児歩行支援の実現可能性を明らかにすることである。

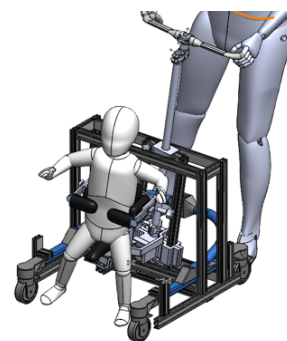


図1 開発歩行支援機器

### 3. 研究の方法

#### (1) 側方体重移動支援のコンセプト

骨盤の外転操作によって側方へ体重移動させるアイデアは、剛体と二股リンク構造特性を利用することから来ている。図2に示すように、立方体形状の剛体に固定された二股リンクがそれぞれ地面に接しているモデルを考える。このモデルの質量中心は剛体にあるとし、各リンクと地面との接地点  $g_1, g_2$  は滑らないとする。

ここで、剛体を半時計回りに回転させよう( $r_1$ )とすると、剛体は接地点  $g_1$  を中心に回転運動し、質量中心は左側へ移動する。同様に、剛体を時計回りに回転させると( $r_2$ )と、質量中心は右側へ移動する。このアイデアに基づく機構を用いて、小児の骨盤を内転せることで、小児の歩行時の片脚立位からもう方側への片脚立位への体重移動を支援する。

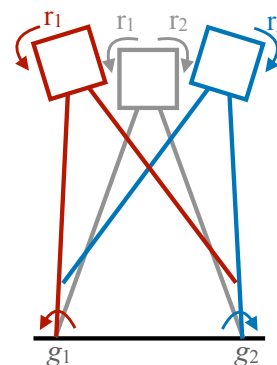


図2 体重移動コンセプト

## (2) 側方体重移動支援機構

上記で説明した体重移動に関するコンセプトに基づく体重移動支援装置を開発した。本開発装置は体重移動コンセプトに対応した3つ特徴を有している。まず、コンセプトで示した剛体部分の小児の骨盤部位に相当している。また、二股リンク及びそれぞれの接地点は新たな機構として設計されている。さらに、剛体の回転に対応する骨盤の外転動作はステアリングで操作する。

当該機構の外観図を図3に示す。当該機構は、小児の骨盤を乗せる座面パーツと、その座面パーツを支える体幹パーツを持つ。体幹パーツには、底面パーツを起点に2つの支柱が立てられており、この支柱に座面パーツが固定されている。座面パーツの固定位置は支柱に沿って変化させることができるので、立位時の小児の骨盤位置に合わせて、座面の高さを調整することができる。体幹パーツのベースの下方には、先端が丸い形状を持つクッションゴムが取り付けられ、地面から15mm浮いた仮想平面に接地している。前節で説明した二股リンクの端点に相当する役割を持つ。

また、座面パーツには、骨盤を両側からおさえるサイド固定パーツが接続されている。これらのサイド固定パーツと座面パーツは、小児の歩行時の骨盤姿勢を保持し、ステアリング操作を骨盤動作として伝達する機能を持つ。

さらに、骨盤内転動作を伝えるステアリングが、支柱上部を繋ぐフレーム、座面パーツの基部ブロックを貫き、ベースに接地されている。図4に示すように、ステアリングを外転させることで、体幹パーツを通して骨盤部が外転すると共に、クッションゴムを中心に回転が生じ、結果的に側方に体重移動が行われる。



図3 側方体重移動支援機構

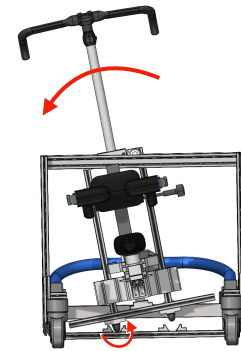


図4 外転動作の様子

## (3) 遊脚支援コンセプト

歩行時の脚の振り出しを支援するための骨盤回旋を補助するアイデアは、4節リンクを利用することから来ている。図5に示すように、4つの回転対偶を持つ4節リンク機構を考える。リンクa, cの中央に回転支持機構を取り付ける。リンクaを原動節として半時計回りに回転させると、リンクb1, b2を経由して、リンクcが従動節として回転する。ここで、リンクcの回転支点到座面パーツを固定し、リンクaがステアリングパーツであると想定すると、ステアリングの回転操作によって座面が回転することがわかる。このアイデアによって、座面パーツに乗せた骨盤を回旋させることで、遊脚動作である脚の振り出しを支援する。

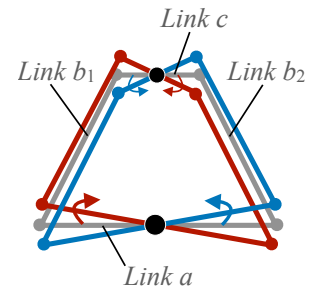


図5 遊脚支援コンセプト

## (4) 遊脚動支援機構

骨盤回旋を利用した遊脚時の脚の振り出すアイデアを歩行器で実現するための、骨盤回旋機構を開発した。前章でも述べたように骨盤回旋機構は、基本的に4節リンク機構で構成されている。当該機構の外観図を図6に示す。パーツA, B1, B2, Cが4節リンク機構を構成している。パーツAの回転中心はステアリングパーツに固定されており、ステアリングの回転運動は直接パーツAの回転運動に連動している。パーツB1, B2はパーツAの動作をパーツCに伝える中間節の役割を果たしている。パーツCの回転中心は座面パーツに固定されており、パーツCの回転運動に連動して、座面パーツが回旋することになる。以上のような、4節リンク機構に基づき、ステアリング操作に連動して、座面パーツが回旋することで、遊脚時の脚の振り出しに必要な骨盤内旋を実現させる機構となっている。

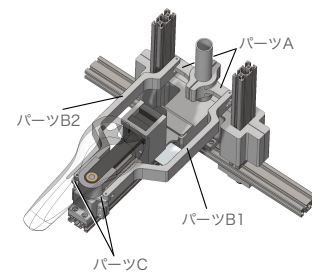


図6 4節リンク機構

## (5) 実験方法

本試験で使用した小児ダミー人形は、日本3歳児の50パーセントタイル値を再現した身体各部位の寸法、重量配分を有しており、身長921mm、体重13.6kg、股下高355mmとなっている。また、小児ダミー人形には、上肢、下肢の各部の関節に回転関節構造を有している。骨盤は外転-内転、及び外旋-内旋自由度を有しているが、本試験ではこれらの自由度を固定して使用した。歩行支援機器へのダミー人形の装着では、ダミー人形の骨盤を専用の座面パーツにのせると共に、体幹をサイド固定パーツで支えている。

本試験では、開発機器による歩行支援を10m区間で実施した。操作者はダミー人形が歩行前進していくようにステアリングを前方へ押すと共に、ダミー人形の片脚から片脚への体重移動、及び、遊脚振り出し動作が生成するようにステアリングの外転、回旋操作を実施した。

評価指標として、歩行支援中のサドルの回旋角度、及び、ダミー人形の回旋角度、両側の床反

力を計測した。ここで、各角度については、Iサドル、及びダミー人形の下腹部に取り付けた IMU センサから得られた角速度から算出した。また、床反力は小児用シューズ内のインソールに取り付けた圧力センサーが得られた値を基に算出した。

#### 4. 研究成果

図 7 に 10m 区間の 1 周期分の歩操作者のステアリング、及び小児ダミー人形の外転、回旋角度 (ダミー人形は骨盤部回旋角度)、左右床反力を示す。まず、ダミー人形の両足接地状態 (a) から、操作者はステアリングを左外転 (b) に続いて、左回旋動作 (c) を実施し、それに合わせて、ダミー人形の左足接地 (b)、骨盤左回旋 (c) し、左側での片脚立位、右足が前方への振り出しが実現している。次いで、操作者はステアリングをニュートラル位置に戻した後 (d)、両側足接地となる。さらに、操作者がステアリングを右外転 (e)、右回旋 (f) することにより、ダミー人形は、右足接地 (e)、右回旋 (f) が実現され、右側の片脚立位、右足の振り出しが行われている。最後は、両足接地 (g) に戻り、左側の片脚立位へと向かう。

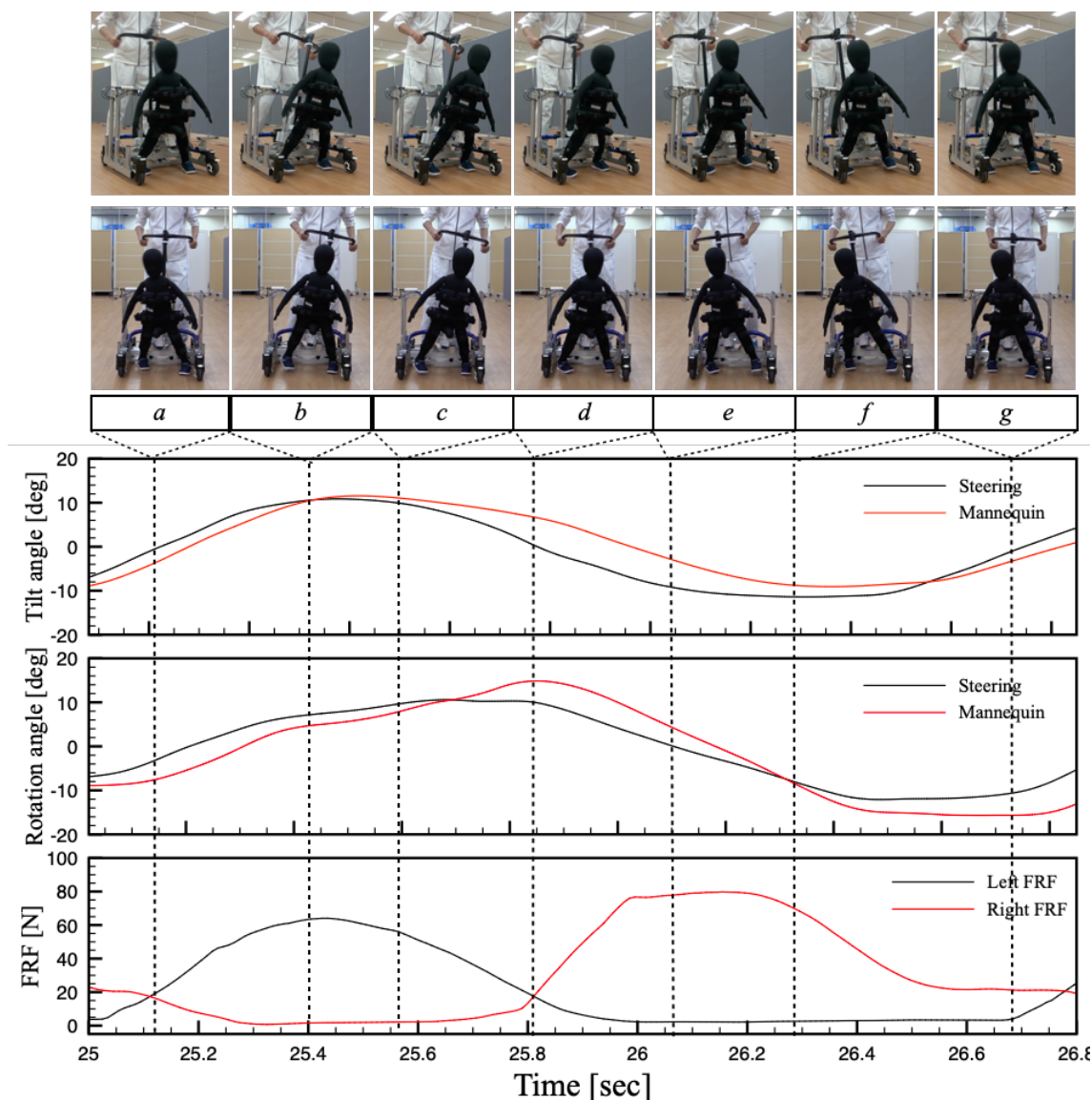


図 7 歩行支援時の外転角度、回旋角度、床反力

以上の結果より、本研究で開発した骨盤操作・固定に基づく小児の運動発達時期の歩行支援の実現可能性を明らかにすることができた。本研究成果は、独自の機構をデザインすることで、これまでの歩行器には取り入れられていなかった歩行時の片側の片脚立位からもう方側への片脚立位の側方への体重移動支援、及び遊脚振り出し支援ができる新規的な早期歩行支援機器が創出できたことである。今後は、操作者がより少ない力で操作するための機構要素を組み込んでいくと共に、体重移動支援により小児が随意的に片脚立位を試みる手法を開発や臨床研究を実施し、運動獲得を目的とした運動発達時期における早期からの介入が可能な歩行支援機器の社会実装を推進していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	渡邊 大貴  (Watanabe Hiroki)  (00779572)	筑波大学・医学医療系・助教    (12102)	
研究分担者	清水 如代  (Shimizu Yukiyo)  (40620993)	筑波大学・医学医療系・准教授    (12102)	
研究分担者	丸島 愛樹  (Marushima Aiki)  (40722525)	筑波大学・医学医療系・講師    (12102)	
研究分担者	羽田 康司  (Hada Ysuhisa)  (80317700)	筑波大学・医学医療系・教授    (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関