重度障害児用牽引型歩行器電動化装置「B-GO」の開発

相原 茂¹, 武智 あかね², 池内 秀隆^{3†}, 後藤 保広⁴,

松野 奈帆⁵, 池田 喜一⁶, 徳丸 聖久⁷, 酒井 良磨⁸

¹ (株) ブライテック, ² 別府発達医療センター, ³ 大分大学理工学部門, ⁴ (有) FACT,

⁵ NAHO DESIGN, ⁶ 大分県産業科学技術センター, ⁷ 大分県商工労働部, ⁸ 大分大学大学院工学研究科

要旨: 重い障害を持つ児童は、自ら動く・移動することが難しいため、その経験が乏しくなりやすい。自らの意思で動く経験は、周囲の環境への興味・意欲の向上に役立ち、社会性や関心が育っていく過程で重要である。歩行器電動化装置「B-GO」は、重度障害児が自発的に移動するために歩行器や車いすを牽引するために開発された。本稿では、装置の概要と開発組織、背景について説明し、装置の評価と今後の課題などについてまとめた。開発にあたっては、別府発達医療センターを中心に開発メーカーおよび産学官のプロジェクトチームからなるワーキンググループが組織された。臨床使用で試作機を複数の障害児に使用してもらい、外界への興味が高まったと考えられる結果を得た。最終的な製品は350 mm × 300 mmで、質量は約9 kgとなった。

キーワード: 重度障害児, 歩行器, 電動化, 牽引装置

1. はじめに

歩く、走るなど、全身を使った運動、いわゆる粗大運動の発達による能動的な移動手段の獲得は、自己と外界とを認知・学習していく重要な要素である¹⁾。しかし、運動障害をもつ子ども達は能動的な移動経験が乏しく、周囲環境への関わりが受動的になりやすい。そのため、人・物や空間との相互作用を経験・学習することが阻害されやすく、認知・コミュニケーションや社会性の発達においても困難が生じることが多い。

一方、運動障害を持つ子ども達に対して、早期から能動的な移動を練習することは、発達促進に有効であると報告されている²⁾。自らの意思で動く経験は、周囲の環境への興味・意欲の向上に役立ち、社会性や関心が育っていく過程で重要である。

重い障害を持つ子ども達に対して能動的な移動を行う練習では、個々の能力に対応し安全に使用できる電動車いすや電動歩行器が必要となる。しかしながら、認知・操作面の課題があることや特別な工夫や改良等を必要とするため、非常に高価なものとなる。厚生労働省通知の補装具支給要件によると年齢、認知・操作能力の面で重度障害児が電動車いすを申請することは、多くの場合困難であり、これらの装置の使用は現実的でない。

そこで、子ども達が普段使用している歩行器・車いす等

を牽引し電動化する、比較的安価かつ使い勝手のよい装置の提案を行い、開発した。本装置は、子ども達が自らの意思により自由に移動でき、自立度の向上、無力感の軽減、社会性や情緒、認知発達の機会促進を目指している。本報告では、産学官連携によるバイオメカニズム分野・リハビリテーション訓練装置開発の一例として、開発体制とその経緯、装置の概要について述べ、試作機の性能、今後の課題等について検討する。

産学官連携には、大学等の持つ学術成果を社会に広く還元するためのいわゆる技術移転という考え方がある。しかしながら、医療福祉機器分野においては、現場のニーズに基づいた研究開発を行うことが実用化の早道ではないかと考えられる。本論文の共著者の池内は吊り上げ式歩行訓練装置^{3,4)}や立ち上がり支援装置⁵⁾の研究開発にも携わっているが、これらは工学系の技術・発想を基にしたシステムであり、技術的学術的成果はあげているものの、実用化へは道半ばである。

大分県・宮崎県を中心とした東九州地域では、医療産業拠点作りを目指して東九州メディカルバレー構想を推進中である。構想に基づき設立された大分県医療ロボット・機器産業協議会では、定期的にニーズ探索交流会などのニーズマッチングの機会を設定し、現場のニーズを新たな機器開発に生かす特色ある活動を行っている。現場のニーズに基づく具体的な成果として、トクソー技研(株)「足踏式痰吸引器」、(株)デンケン「リハビリテーション用新型電気刺激装置」、AKシステム「車いす用足こぎユニット」などが製品化されている。本装置もリハビリテーション現場のニーズに基づき、これらの一環として開発が開始された。

2018年7月9日受付 2018年10月4日受理

†〒870-1192 大分県大分市旦野原 700

大分大学理工学部門

池内 秀隆

E-mail: hkeuchi@oita-u.ac.jp

2. 開発の経緯と経過

2013年11月に東九州メディカルバレー構想に基づき、医療機器・福祉機器アイデアの募集があり、別府発達医療センターより重度障害児を対象にした電動移動機器のニーズ提案があった。その後、関係団体に対して、趣旨や具体的内容についてプレゼンテーションを行い、2015年4月に協力企業として(株)ブライテックが決定し、機器開発が開始された。同年8月、本プロジェクトに対して大分県から補助金を取得し、(有)FACT、大分大学などの技術者・研究者により開発チームが組織された。図1に本開発における開発体制を示す。当初は、図1の「2015年度開発会議」の構成にて活動が開始されたが、実用化と販売体制の確立のため、2016年度は「2016年度開発WG」の体制に移行した。

2015年度は、(株)ブライテックと別府発達医療センターの綿密な情報・意見交換の前準備の後、ほぼ1ヶ月ごとに、開発会議を開催し、装置の設計・製作を開始した。開発会議では、別府発達医療センターに赴き、直接現場の要望や現状、装置の目的等の詳細について直接の意見交換・情報収集を行い、現場の要望に添った合理的な装置とすべく検討を重ねた。また、(株)ブライテックでは、開発会議以外でも、随時、別府発達医療センターとの意見交換の機会を設け、開発に反映させるとともに、共同で先進的な取り組みを行っている他施設(他県)への見学等も実施した。開発会議では、大分県産業科学技術センターの協力も仰ぎ、同年12月に一次試作0号機、2016年3月に一次試作1号機が完成し、別府発達医療センターにて動作試験の実施、安全面、操作性などの確認を行い、改良したうえで同センターにて臨床使用を実施した。

2016年度は、別府発達医療センターでの試作機の臨床使用を継続し、現場でのデータ収集を行い、実際の使用における問題点、要望等の意見を収集した。また、開発補助金のめどがつか次第、改めて開発WG(ワーキンググループ)を再組織し、臨床使用による意見を元に製品化を目指した開発体制に移行した。現場の要望をよりの確に吸い上げ、製品としても魅力的で機能的なものとして昇華させるため、開発WGミーティングを定期的に行うこととし、場所も別

府発達医療センターに移すとともに、製品化を意識した意匠設計、製品化への一般的アドバイスのため、デザイナーおよび県商工労働部がWGへの参加することとなった。

2.1 一次試作機

図2に、当初臨床使用された一次試作機を示す。持ち運び可能とするため、大きさは320 mm × 400 mmで、質量は約9 kgである。車輪は3輪で、うち、後部の2輪が駆動輪でそれぞれモータ(15 W)と接続されており、方向変換は左右の回転数を変えることで実現している。バッテリーは使い勝手の良さ・容量の大きさから電動アシスト自転車用のニッケル水素電池バッテリーを流用した。歩行器等との連結は、図に示すジョイント部を介して行われ、様々な歩行器等と連結するため、面ファスナー(マジックテープ)等で固定した木製の棒を挟み込む形で実現した。本体の電源を入れ、前進・後進・左右回転は、接続されているジョイスティックで行う。ジョイスティックの操作部は図に示すボール状とスティック状の2種類を準備した。

使用場所である別府発達医療センターでの試験走行を行ったところ、車輪と床面との摩擦力が十分でなく、車輪が空転する現象が見られた。そのため、車輪部上面に重りとなる鉄板を置くこととした。図3に実際の使用状況を示す。実際には、用意した重りだけでは、車輪の空転が移動に影響することがあるため、別途重りをさらに付加して使用している。

臨床使用では、別府発達医療センターの約10人の障害児に使ってもらい、理学療法士などの関係者が装置の反応を確認した。なお、本研究は、別府発達医療センター倫理委員会の承認を受け、臨床使用に際しては、保護者に目的等を説明し書面での同意を得ている。結果、当初の目的であった、歩行器と児童の重量に対するけん引能力や、ジョイスティックを使用した操作性などの基本機能の面では問題ないことを確認できた。また、改良点として、ジョイスティックの操作と実際に歩行器が旋回するまでの時間のずれや、

図1 開発体制

図2 一次試作機

ジョイント部を介して牽引する歩行器等と接続する。使用者は、ジョイスティックにより操作する。

図3 使用例

図2に示した一次試作機を歩行器に接続し、実際に使用している様子。

症状の軽い児童には、牽引型だと自分中心に動かないため違和感があること、走行時に壁などにぶつかるという感覚の大切さも視野に入れた安全面の配慮が必要であることが指摘された。さらに、実用化（製品化）に向け、デザインや機能面を中心とした発展的な課題として、使用する児童や保護者・療法士に親しみやすいデザインとすること、機器の配置による重量バランスを再構成すること、モータ出力等の再検討などが挙げられた。

2.2 二次試作機

一次試作機による検討を元に図4に示す二次試作機を製作した。二次試作機では、機器の配置を再構成し、親しみやすいデザインを意識して円形のベースとした。また、メロディ IC により動作中にメロディを流す機能、介助者用のスイッチ（追加コントローラ）を追加ができるようにしている。また、安全性を考慮し、モータの出力の上限を一次試作機より低めに設定した。

3. 試作機の特性

一次試作機および二次試作機の牽引力、速度特性について計測を行った。

3.1 牽引力の測定

各試作機の牽引力特性を把握するため、デジタルフォースゲージ（IMADA ZTA-200）を用い、センサ部を図5のように、牽引器の連結部に挿入し測定した。車いすには、質量30kgから、60kgまで、5kgごとに7種類の錘を載せることによって荷重を加え、各荷重値に対する測定牽引力を記録した。各測定では、ジョイスティックを前方に向け最大角度で倒して牽引機を起動し、約10秒後に停止するまでの

図4 二次試作機

ベースを円形とし動作中メロディや介助用コントローラの接続等が可能。

図5 牽引力の測定

表1 牽引力平均値

荷重質量	一次試作機	二次試作機
30 kg	16.93 N	16.33 N
35 kg	19.67 N	13.56 N
40 kg	23.11 N	15.66 N
45 kg	23.97 N	13.38 N
50 kg	23.85 N	14.24 N
55 kg	26.81 N	15.64 N
60 kg	25.88 N	N/A

荷重変化を計測した。表1に始動から速度が安定するまで（約3秒程度）の平均牽引力を一次試作機および二次試作機についてまとめたものを示す。ただし、二次試作機の60kgについては、牽引することができなかった。

表1より、一次試作機は60kg程度の人に乗っても、車輪が空転しない限り、牽引可能であることがわかる。一方二次試作機では、50kg程度の人までが限度であるといえる。子どもを対象としているので、二次試作機の出力でも、大

きな問題はないと考える。

3.2 走行速度の測定

走行速度を算出するため、車いすに質量 30 kg の錘を載せた状態で、車いすの大車輪の回転数を計測した。図 6 に走行速度の測定法を示す。タイヤに、ほぼ均等の間隔で 12 個の反射シールを貼り付け、回転計 (HIOKI タコハイテスタ TF6406) を用いて、一秒間あたりのパルス数を計測した。この値より牽引される車いすの速度を算出した。なお、牽引力の測定と同様に、ジョイスティックを前方に最大まで倒し、約 30 秒間走行させ、走行が安定してから平均パルスを測定値とした。

その結果、一次試作機は 1.62 km/h、二次試作機は 1.51 km/h となった。数値上は若干一次試作機の方が速いが、錘質量 30 kg 時にはほぼ同じ速度を出すことがわかる。

4. 臨床使用状況

臨床使用においては安全面を配慮し、理学療法士との使用を原則とした。機器を取り付ける補装具や操作部の設定、実施時間等は各々の状態を考慮し、選択・工夫して実施した。以下に個々の例を示す^{6,7)}。

- ① 視覚障害を有する脳性麻痺の 4 歳女児 (GMFCS Level V, 横地分類 A1) : 姿勢保持能力が低くバギー上座位が安定せず、不快反応として反り返りを示しやすかった。また、外界への注意が向きにくい。ため、上肢操作等の探索活動に結びつきにくい。補装具は本人用バギーを使用した。手指でのレバー操作と移動に気づくと、姿勢は安定し不快反応が減った。更に、手元や周囲環境に注意を向ける様子が増加した。また、女児が落ちついて操作する様子を見て、保護者は喜び共に楽しんでいた。
- ② 将来的に電動車いすを検討している脳性麻痺の 5 歳男児 (GMFCS Level IV, 横地分類 B2) : 外界に対する興味強い反面、姿勢保持・運動で過度な努力を要した。補装具は立位台を使用した。移動が始まると、頭部・体幹の姿勢コントロールが向上し、上肢のスムー

図 6 走行速度の測定

回転計を車いすのフレームに取り付け、車輪に貼り付けた反射シールからの反射光を計測する。

ズな操作が得られたことでレバー操作が容易に行えた。その結果、操作に必要な目と手の協応性は更に向上し、よりの確な移動が行えた。また、保護者や兄弟と一緒に立位で活動でき、追いかける等の遊びの中で課題設定が行え、より実践的な操作・練習が可能であった。

- ③ 自発運動の困難な福山型筋ジストロフィー症の 5 歳男児 (横地分類 A1) : 周囲環境へ興味を持ち、注意を向けることはできるが、目的動作や操作は乏しさがあった。補装具は本人用のバギーを使用した。レバー操作と移動の因果関係の理解は不明確だが、手指操作を繰り返し行い手元と周囲を何度も見て確認する様子がみられた。

5. 製品化への取り組み

一次試作機および二次試作機の結果を基に、開発 WG において、製品化へ向けた牽引機の改良および検討を行った。最終的な製品向けの先行機を図 7 に示す。

デザインに関しては、複数の案の中から、現場の療法士や保護者の意見を取り入れ、子供たちが自ら積極的に使いたくなるだけでなく、同年代の児童たちも強い興味を持ってもらえるようなポップな機関車をモチーフとした案を選定した。動作中は、メロディ IC により、メロディが流れ、煙突の部分には LED を配して、光るようにした。動作中のメロディは聴覚刺激からも自ら推進しているという気付きにつながることを期待される。また、利用児本人が使用するジョイスティックの他に、介助者が操作に介入できるスイッチ式のコントローラを付加し、緊急時の安全性などの向上を図った。障害の程度によりジョイスティックの操作が困難な利用児への対応のため、ON/OFF 信号により前後左右の移動が可能な端子を 4 つ取り付け、ビッグスイッチ等で操作可能とした。歩行器・補装具等との接続には、工具のいらない接続部に変更し、バッテリーは内蔵式として、充電時には AC アダプタを接続する方式とした。そのほか、ソフトウェアの改良により、走行性・操作性の向上等を行った。大きさは 350 mm × 300 mm で、質量は約 9 kg となり、3 つの車輪のうち、前方 2 輪が駆動輪となる。

製品化に際しては、生産体制と販売体制を確立するため

図 7 製品化先行機

の準備に取りかかるとともに、TOS テレビ大分の「ほっとハート大分」での紹介、国際福祉機器展での展示、関連学協会講演会での発表等、広報を実施している。要請があれば可能な限りデモや商品説明を行う予定である。なお、製品名は「B-GO」として商標登録申請中である。

6. おわりに

重度障害児用牽引型歩行器電動化装置の開発に関して、報告を行った。本装置は、現場の要求から発し、製造企業のみでなく、関連企業・個人、大学等研究機関および自治体まで、開発段階からさまざまな分野の専門家が参画し、製品化まで実現した。本開発はバイオメカニズム分野・リハビリテーション訓練装置の開発における一例として貴重なものであると自負している。

臨床使用における有用性として、電動移動機器を使用し能動的な移動を経験することで、外界への注意・興味が高まることが示された。移動というダイナミックな感覚を得られる体験が、各症例にとって魅力的な活動であったため、操作を成功させるために必要な姿勢・運動制御を促したと考えられる。更に、重症心身障害を持つ子ども達が自ら移動する姿は、周囲の者達へも児のイメージを変化させる要因になると思われる。このことは、結果的に相互的なコミュニケーションを増やし、認知機能や社会性向上の一助になると考える。

今後、製品の販売にあたり、対象施設や展示会での紹介・意見収集を行い、随時改良を続けていくとともに、別府発達医療センターでは、引き続き本装置による臨床使用を継続していく予定である。具体的には、使用者の心身への影響の客観的データ取得、例えば操作感の変化、視線等の変化などを記録し、装置使用のリハビリテーション訓練の効果を検証、操作性を向上するための工学的側面からの検討などを行う予定である。

謝 辞

本製品の開発にあたって、臨床使用に協力していただいた児童の皆様、保護者ならびに別府発達医療センターの関係者の皆様、また、製品の設計・製作・販売に協力いただいた企業・個人および自治体関係者様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 高塩純一, 口分田政夫, 内山伊知郎, Joseph J. Campos, David I. Anderson: 姿勢制御・粗大運動機能に障害をもつ

た子どものための機器開発, ベビーサイエンス 2006, 6, (2006).

- 2) Butler, C.: Effects of powered mobility on self-initiated behaviors of very young children with locomotor disability, *Developmental Medicine & Child Neurology*, 325-332, (1986).
- 3) 荒金智, 池内秀隆, 今戸啓二, 大西謙吾, 斉藤之男, 宮川浩臣: 吊り上げ式歩行訓練装置の開発と評価, *ライフサポート*, 18(9), 3-10, (2006).
- 4) Ikeuchi, H., Saito, Y. and Ohnishi, K.: Development of visual information function in reaction force feedback type gait training system, *The 9th France-Japan Congress & the 7th Europe-Asia Congress*, C2-22, (2012).
- 5) Ikeuchi, H., Nagatoshi, M. and Abe, I.: Development of sit-to-stand support system using ground reaction force, *Computers Helping People with Special Needs (14th International Conference, ICCHP 2014 Proceedings)*, 256-259, (2014).
- 6) 武智あかね, 永末和貴, 萩尾陽佑, 山崎夏美, 小森麻里, 草薙巳香, 武田真樹, 藤井満由美: 重症心身障害児に対する電動移動機器開発の取り組みと臨床使用, 第 61 回全国肢体不自由児療育研究大会, (2016).
- 7) 武智あかね, 永末和貴, 萩尾陽佑, 山崎夏美, 小森麻里, 草薙巳香, 武田真樹, 藤井満由美: 電動移動機器の開発と臨床使用の取り組み～重症心身障害児の移動を支援する～, *九州理学療法士・作業療法士合同学会 2016*, 02-B13, (2016).

相原 茂 (あいはら しげる)

2013 年大分大学大学院工学研究科博士後期課程物質生産工学専攻修了。2013 年博士(工学)。現在、株式会社ブライテック技術開発部部長。主として、福祉介護機器の開発、磁気センサの開発、磁性材料の磁気特性測定に関する研究に従事。電気学会の会員。

池内秀隆 (いけうち ひでたか)

1994 年 九州工業大学工学研究科博士後期課程退学。1996 年 博士(工学)。現在、大分大学理工学部創生工学科教授。ライフサポート学会などの会員。(バイオメカニズム学会正会員)

Development of the Walker Towing Electric Device “B-GO” for Severely Disabled Children

Shigeru AIHARA¹, Akane TAKECHI², Hidetaka IKEUCHI^{3†}, Yasuhiro GOTOH⁴,
Naho MATSUN⁵, Kiichi IKEDA⁶, Kiyohisa TOKUMARU⁷, Ryouma SAKAI⁸

¹BRIGHTEC Co., Ltd., ²Beppu Developmental Medicine and Habilitation Center, ³Oita University, ⁴FACT Inc.,

⁵NAHO DESIGN, ⁶Oita Industry Technology Center, ⁷Oita Prefectural Government, ⁸Graduate School of Engineering, Oita University

Abstract : Severely disabled children have little experience with self-movement because of their motor disability. Self-movement experience is very important for them in process of social development and is useful to increase of motivation and interest about around environment. Our developed device, named “B-GO”, tows walker or wheelchair for severely disabled children to move on a voluntary basis. This paper shows outline of this device and development organization and background, and discuss the performance of this device and future problem and so on. “B-GO” was developed by working group consisting of various specialist that is mechanical and electrical engineer, physical therapist, academic researcher, industrial designer and public official. In development, the suggestions from Beppu Developmental Medicine and Habilitation Center were most key point. First prototype was used by children in there and beneficial effect was confirmed. “B-GO” was a commercial reality through addition of the attractive shape and minor improvements. This device is coupled to a walker or a wheelchair, and operated using joystick. Device size is 350mm * 300mm, and its mass is about 9kg.

Key Words : Severely Disabled Children, Walker, Electrical Device, Traction Device

Received Jul. 9, 2018 Accepted Oct. 4, 2018

[†] Hidetaka IKEUCHI

Faculty of Science and Technology, Oita University,
700 Dannoharu, Oita City, Oita, 870-1192, JAPAN,
E-mail: hikeuchi@oita-u.ac.jp