

歩行補助ロボット curara による QoL 向上

AssistMotion 株式会社 橋本 稔

1. はじめに

超高齢化社会の進行の中で、社会保障費の増額が毎年のように繰り返され、我が国の大きな社会問題となっている。厚労省の国民生活基礎調査によると、介護が必要となる原因として、認知症が筆頭に挙げられ、続いて脳血管疾患、フレイル（高齢に伴う心身の衰弱）、骨折・転倒、関節疾患の順になっている。この中で身体運動にかかわる原因と考えられる脳血管疾患、フレイル、骨折・転倒、関節疾患の割合を合計すると要介護者の50%を超える。これらの要介護者を減少させることは、社会保障費を減少させ、高齢者のQOLを向上させるうえで極めて重要であると考えられる。また、身体運動に関する原因であるので、ロボットを用いて身体動作を補助し、要介護にならない状況を作り出すというアプローチが必要である。

弊社では、歩行を補助するロボット curara（クララ）を用いてこうした問題を解決する取り組みを進めており、本稿ではその概要をご紹介します。

2. curara 開発の経緯

歩行補助ロボット curara は、2008 年より信州大学繊維学部（上田市）において研究されてきたロボットである。JST、ASTEP シーズ育成タイプや、信州大学の文部科学省運営費交付金特別経費（機能強化プロジェクト）などの支援を受け開発が進められてきた。繊維学部からの発想として、「衣服感覚で着用できる“着る”歩行アシストロボット」を目指して開発してきたものである。その後、curara の実用化のために2017年に AssistMotion 社が設立され、現在に至っている。

基本技術の一つとして同調制御法¹⁾を開発し用いている。Fig.1 に同調制御法のブロック図を示した。ヒトの脊髄にある中枢パターン生成器の数学モデルである神経振動子（松岡モデル）を用いて制御することで、装着者のリズムに合わせたロ

ボットの制御を行うことができる。関節ごとに神経振動子を配置して、関節間で相互抑制結合を用いることで、左右の位相差を調整している。また、動きを合わせる強さを同調性と呼び、その同調性を調整することで、アシストの強さを変えられる。同調性の大きさは、神経振動子への入力信号にゲインを掛けることで調整する。装着者の動きは、ロボットの関節トルクから検出し、神経振動子への入力信号として用いる。神経振動子の出力信号に適当な変換を行って、各アクチュエータの目標角度として位置制御を行っている。そのため、関節軌道を制御して適切な歩容を装着者に提示することができる。

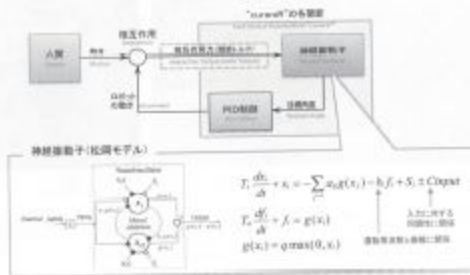


Fig.1 Synchronization control

もう一つの基本技術は、ロボットの構造設計技術である。非外骨格構造²⁾と呼んでいる。一般的な外骨格型を用いないためアクチュエータ間にはリンクは存在せず、各アクチュエータの動きを各関節にフレームを介して伝達する仕組みとなっている。リンク機構を用いないために、ロボットを軽量化にすることが可能で、装着時の拘束感も少なくなる。

3. curara を用いた歩行訓練

2021 年 12 月に Fig.2 に示した歩行訓練ロボッ

ト curara を製品化した。curara は、Fig.3 に示すように、フルセット（股関節、膝関節用）とハーフセット（股関節用）の2種類がある。それぞれの仕様を Table 1 に示した。フルセットとハーフセットはそれぞれ、4個と2個のモータを搭載しており、重さが2.7kg、1.7kgとなっている。また、リチウムイオンバッテリーを用いており、連続稼働時間はそれぞれ1時間と2時間である。腰部にコントローラ、バッテリーが納められるボックスがある。携帯端末により無線でロボットと通信ができ、モード選択、開始・停止操作、歩行計測などを切り替えられる。curara の特徴をご紹介します。

第1の特徴は、前述の神経振動子を用いた同調制御により、人とロボットがお互いにリズムを合わせて歩行することで、歩容を教示できるということである。ロボットが一定の歩き方を各関節軌道として記憶しており、その動きを装着者に提示することで、装着者は体感を通して歩き方を学ぶことができる。

第2の特徴は、構造の変更が容易にできることである。Fig.4 に示したように4関節用のフルセットは、ハーフセットにもなるし、片側2関節や片側1関節にも簡単に変更できる。例えば、片麻痺の患者の場合麻痺側だけを補助すればよい場合もあり、そのような場合簡単に構造を変更できる。

第3の特徴は軽量であるということである。2008年に我々がロボットの開発を始めて以来、最軽量のロボットとなっている。非外骨格構造に基づいて、コントローラやモータの軽量化によって初めて実現できた。

第4の特徴は、装着が容易という点である。電極などを身体に貼付する必要はない。ベルトを身体に巻くだけで装着ができる。また、腰部と大腿



Fig.2 Walking Rehabilitation Robot curara

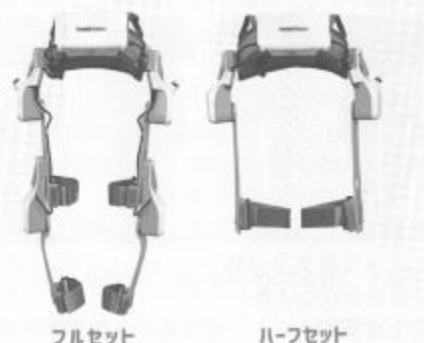


Fig.3 Full set and half set of curara

Table 1 Specifications of curara

	フルセット	ハーフセット
関節	股関節/膝関節	股関節
モータ個数	4個	2個
重さ	2.7kg	1.7kg
連続稼働時間	約1時間	約2時間
駆動トルク	6 Nm (最大)	
適応身長	145-175cm	
適応ウエスト	60-90cm	
使用環境	屋内	
構造	非外骨格構造	
制御方式	同調制御	
端末	専用スマホ	

部にスライド機構がついており、モータの位置を個々人の体験に容易に合わせることができる。

第5の特徴は、歩行計測機能が付与されていることである。curara を装着して歩行すると、その時の歩幅、歩行周期、歩行速度、各関節の最大屈曲角、最大伸展角などをロボットが計測して、端末にグラフで表示することができる。これにより、歩容の変化をグラフ化することができ、歩行状態を視覚的に把握することができる。この機能は、歩行訓練中もリアルタイムで表示することができる。セラピストが端末を通して、歩行状態をリアルタイムで把握することができる。また、その結果に基づいて直ちに制御方法を変更することができる。

第6の特徴は、3つの歩行訓練モードが用意されていることである。1つ目は、「歩行モード」と呼ばれ、歩行計測に基づいて制御パラメータを



Fig.4 Structure change function of curara

決定して訓練するモードである。装着者の歩幅や歩行周期を調整して、歩行速度を変更することができる。2つ目は、詳細設定モードである。各関節の最大屈曲角、最大伸展角を関節ごとに設定できる。また、関節ごとにアシストの強さを設定することができる。さらに、歩行周期を設定でき、これにより装着している人の適した制御方法を任意に設定できる。3つ目は、トレーニングモードである。こちらは目標の歩行速度を決めて、その速度に近づくように段階的に歩行速度を上げるモードである。こちらは、装着者一人で歩行トレーニングをするときに役立つモードとなっている。このように、詳細設定モードにより個々の装着者に対してセラピストの考えに基づいて訓練をすることもでき、トレーニングモードにより装着者が自分で訓練を行うことができるなど、様々な使い方が可能である。

第7の特徴が、携帯端末の利用である。curaraは携帯を端末としているため、ソフトウェアを容易にダウンロードができる。例えば、メーカー側でソフトウェアを更新した時に、ユーザがそれをダウンロードして更新することができる。これによりユーザは、絶えず最新のソフトウェアを利用することができる。

以上の特徴を有する歩行訓練ロボットは病院、介護施設等で使用されている。Fig.5にcuraraを使用している医療法人平成博愛会印西総合病院の例²⁾を示した。印西総合病院では、リハビリロボットは患者のリハビリにおいて非常に重要なツールと考えており、その中でcuraraは比較的簡便に装着が出来ること、多様性があり(片側や股関節だけ)患者の病態に合わせて対応が可能であることに魅力を感じている。また、今後の活用として入院患者だけでなくデイケアや訪問と幅広いフェーズでの利用を考えており、また脳血管疾患だけでなく運動器や廃用で歩行に問題がある方など幅広い利用を行なっていく予定である。



Fig.5 A example of curara user

4. curaraの歩行補助効果

curaraの歩行補助効果について、これまでに明らかにされているものをご紹介したい。脳卒中患者15名に対してcurara装着時の歩行改善効果を検証した³⁾。curaraで同調制御を行うことで、制御を行わない場合に比べて歩行速度、歩幅、ケイデンス(歩数/分)が20~30%程度改善した。また、片麻痺患者の左右の非対称性が改善する効果も確認された。もう一つの検証実験として、脊髄小脳変性症の患者12名を対象とした実験を行っている。歩行の安定性や滑らかさを示す指標であるHarmonic Ratioが、curaraで制御を行うことにより、有意に高い値を示した⁴⁾。このように、curaraの同調制御により歩行速度や安定性を改善させる効果があることが分かっている。一方、健常者による実験ではあるが、curaraを用いた歩行訓練を30分行った後で、curara無しの歩行速度が、訓練前より10~15%上昇したとの結果が得られている。

5. curaraを用いた健康寿命延伸

上記のようなcuraraの効果は、フレイルを予防するうえでも役立つのではないだろうか。高齢者は加齢に伴い歩行速度が減少することが知られている。ロボットを用いて筋力を維持し、歩行速度の減少を予防することができるものと思われる。歩行は全身の運動であることから、ロボットにより質の高い全身運動となり、筋力の維持強化が期待される。また、もっと元気で歩行能力の高い人には、ロボットにより各関節に少し負荷を加えて、大きな筋活動を発生させる方法も有効かもしれない。ロボットは制御の仕方、補助にもなるし、ストレッチや負荷を加えるトレーニングにもなり、さまざまな運動能力の人にフレイル予防として使用できると思われる。ロボットを用いたウォーキ

ングで健康寿命延伸を実現する取り組みを進めている。

6. curara を用いた歩行支援

curara の応用として、自立歩行を支援する次世代パーソナルモビリティとしての利用が考えられる。curara を用いて歩行支援をすることで、足の不自由な高齢者でも観光地などで足の丈夫な人と一緒に移動ができるようにする取り組みである。静岡県浜松市の援助をいただき「はままつフラワーパーク」で curara による歩行支援の実証実験 (Fig.6) を実施した。実験参加者は、47 人で、フラワーパークの広大な敷地の中には、階段、坂道が多く存在し、足の不自由な方には散策が難しいところが多く存在する。高齢者向けに、車椅子、シニアカーなどが貸出されている。しかし、車椅子などでは行ける場所が限定され、同行した人と一緒に歩くことが難しい。多くの参加者が階段や坂道でのアシスト感を実感したとの声をいただいた。



Fig.6 Experiment at Hamamatsu Flower Park

6. まとめ

歩行補助ロボット curara の概要を説明すると

ともに、製品化された歩行訓練用ロボットの特徴、使用状況などについて紹介した。また、歩行補助ロボットの今後の展開として、健康寿命延伸や歩行支援への応用展開についてもその取り組みを紹介した。現状では、歩行補助ロボットの応用分野は、病院、介護施設等でのリハビリ訓練用に限られているが、今後、車椅子代わりに用いる歩行自立支援としての利用を考えている。また、健康寿命延伸に向けた curara の利用も重要であると思われる。歩行補助ロボットは誰もが自分の足で歩くことのできる社会を目指す上で、重要なツールとなるものと期待される。歩行補助ロボットは様々な分野で高齢者の QOL 向上のために今後活用されるものと思われる。

引用文献

- 1) 水上, 橋本; 人と統合するロボット, 機械の研究, 69 (2): 93-101 (2017)
- 2) AssistMotion 株式会社ホームページ
<http://assistmotion.jp/>
- 3) Mizukami, N., Takeuchi, S., Tetsuya, M., Tsukahara, A., Hashimoto, M., Yoshida, K., Matsushima, A., Maruyama, Y., Tako, K.; Effect of the synchronization-based control of a wearable robot having a non-exoskeletal structure on the hemiplegic gait of stroke patients, IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 26 (5): 1011-1016 (2018)
- 4) Tsukahara, A., Yoshida, K., Matsushima, A., Ajima, K., Kuroda, C., Mizukami, N., Hashimoto, M.; Effects of gait support in patients with spinocerebellar degeneration by a wearable robot based on synchronization control, J. NeuroEng. Rehabil., 15: 84 (2018)



はしもと みのる
橋本 稔

1982年東京大学大学院工学系研究科博士課程退学。同年電気通信大学短期大学部助手。1987年電気通信大学電気通信学部助手。1988年度兄島大学工学部助教授。1999年信州大学繊維学部教授。2017年 AssistMotion 株式会社代表取締役。2018年信州大学繊維学部特任教授。工学博士。高分子アクチュエータ、モーションアシストなどの研究に従事。日本機械学会、計測自動制御学会、日本ロボット学会、日本感性工学会、IEEEなどの会員。