

## 特 集

## 呼吸療法領域における自動化と AI ～近未来へ向けて～

## 自立支援型ロボットは運動療法にいかせるか

山田和範

キーワード：自立支援，歩行，ロボット，トレーニング，機能訓練

## I. はじめに

超高齢化社会に突入した日本においては、健康寿命を延伸し、高齢者が自立した生活を維持できる社会システムの構築が求められている。これに伴い、介護保険制度の介護予防型システムへの転換や、地域全体で自立した生活を支援する地域包括ケアの推進など、介護予防・自立支援を重視した施策がなされている。

平成 30 年度介護報酬改定では、自立支援・重度化防止が重点テーマとして議論され、個別機能訓練加算や生活機能向上連携加算など、関連項目の強化がなされた。これを受けて、介護施設では、利用者の状況に合わせた個別の機能訓練を行うことで介護度を改善し、自立した生活への移行を支援する取り組みが広がりつつある。また、地域包括ケアにおいても、病院での回復期から生活期へのスムーズな移行や、福祉施設と連携した生活期におけるリハビリテーションの継続的な提供など自立支援のための取り組みが行われている。

一方で、高齢者が自立した生活を送るためには、日常生活動作 (activity of daily living : ADL) にかかる身体機能の維持向上が重要となる。なかでも歩行はその多くにかかわる基本動作である。公益社団法人日本理学療法士協会が平成 26 年に行った調査<sup>1)</sup>でも、日常生活行動を重視した個別機能訓練加算 (II) で行われている訓練内容のうち、最も多くで行われている訓練が歩行である。また、基本的な身体機能の維持向上を

重視した加算 (I) においても、歩行訓練が筋力増強訓練について 2 番目に多く行われており、歩行の重要性が認識されている。

そこで我々は、名古屋大学と連携<sup>2)</sup>し、このような ADL の基本となる歩行能力を、安全かつ効果的に鍛えられる施設向け歩行トレーニングロボット「Walk training robo」を開発した<sup>3~6)</sup>。本ロボットは、AI とロボティクスにより高齢者一人ひとりの歩行能力に最適な運動負荷を提供し、さらにトレーニング中の歩行能力を解析して日々の変化を可視化する。また、これらの機能により、福祉施設における個別機能訓練や病院での回復期後期のリハビリテーションを行う方の運動療法にいかすことを目指している。

本稿では「Walk training robo」の開発の背景および技術内容、ならびに豊田市の病院と福祉施設に支援をいただいた有用性評価の結果を紹介する。

II. 歩行トレーニングロボット  
「Walk training robo」

我々は、「Walk training robo」の開発にあたって、疾病や怪我により一時的に歩行能力が低下した方や、加齢による身体機能の衰えのため、転倒など歩行に不安が出てきた方の歩行能力を維持向上することを目指した。そのため、杖や歩行器などの歩行補助具を利用してある程度の歩行が可能な方に対して、安全かつ効果的なトレーニングを提供することを目的として開発を進めてきた。

図 1 に本ロボットの外観と利用シーンを示す。外観



図1 歩行トレーニングロボット「Walk training robo」

が現す通り本ロボットは歩行中の身体を支えるためのハンドルを備え、一般的な歩行器（歩行車）と同じようにハンドルを持って身体を支えながら押して歩くことを想定した形状をしている。ただし、歩行器と異なりトレーニング機能を提供するために次の2つの機能を有する。

#### 1. 利用者一人ひとりに合わせた最適な運動負荷の設定

後輪に搭載されたモータを利用者の進行方向に対して逆方向の力を加えるように制御することで、軽い傾斜を上るような運動負荷を提供する。この負荷量は後述するAIによる歩行能力分析の結果に基づいて、利用者一人ひとりの歩行能力に合わせて自動で最適化される。

#### 2. トレーニング中の歩行能力分析による可視化と記録

トレーニング中に利用者の歩行能力を分析し、歩行速度、ピッチ、身体の傾き、歩幅などの情報を可視化する。また、得られた情報を蓄積して時系列に評価することで、施設でのトレーニング記録やアセスメント、各種機能訓練加算の申請に利用できる付加価値の高い情報として記録する。

本ロボットは施設で複数の利用者が使うことを想定し、利用者IDによる認証機能を備えている。これにより、利用者のトレーニング記録や身体機能の情報を個別に管理し、一人ひとりに合わせた設定でのトレーニングが提供できる。

### Ⅲ. 開発で重視した現場の声

本ロボットの開発にあたって、通所介護（デイサービス）施設で、歩行などの個別機能訓練に取り組むうえでの課題をヒアリングした。現場スタッフからは、業務負担やリスクなどの運用上の課題に加えて、次のような声が聞かれた。

「取り組み開始前に訓練内容を決めてはいるが、利用者の体調や気力も日によって変わるので、同じように続けてよいか、どれだけやったらよいか迷うことがある」

「（訓練をしても）効果がなかなか見えてこないで、手ごたえがなく、利用者のやる気がいつまで続くか不安になる」

高齢者の身体機能は個人毎に大きく異なり、また怪我や病気による体調変化も多く発生する。そのため、理学療法士などの専門職が常駐していない施設では、日々の訓練が適切かどうかの判断や、トレーニング効果の把握が難しいことがこのような声に繋がっていると考ええる。

また、歩行器を使って歩行トレーニングを行っている現場では「楽しいからやってみようよ」「もっと元気になりたいよね」などの声かけをして、利用者のトレーニング意欲を促している姿が多く見られた。このような“やる気”をどのように引き出して維持していくかが、現場において重要であることが分かった。

#### IV. 計測の負担なく歩行能力の変化を可視化する歩行能力分析技術

このようなヒアリングの結果から、トレーニング効果の向上に加えて、高い頻度で利用者の身体機能の変化を捉えてトレーニングの効果を可視化することが重要であると考えた。身体機能の細やかな変化を分かりやすく見せることで、施設スタッフの不安感を解消するとともに、利用者やその家族のトレーニング継続の意欲向上にも貢献できる。

身体機能の細やかな変化を捉えるためには、週に1回以上といった高い頻度での計測が必要となるが、体力テストや、センサを身体に装着して計測し続けるような方法では、施設スタッフと利用者双方の負担が高く現実的ではない。理想的には計測そのものを利用者や施設スタッフが意識しない環境で身体機能がモニタリングされることが望ましい。

そこで我々は、身体にセンサを装着することなく、ただ押して歩くだけで歩行能力を分析する技術開発に取り組んだ。図2に本ロボットの歩行能力分析技術の概要を示した。図に示すとおり本ロボットは、ハンドル下部に搭載された荷重センサにより、ハンドルに加

わる力の変化を上下、左右、前後、回転といった6軸方向で取得する。さらにロボットの移動量を示す左右2つのモータの回転数の変化と合わせて解析することで歩行にかかる特徴量を抽出して歩行能力を分析する。

図3にハンドルに加わる荷重の変化を示す波形、および波形に現れる歩行にかかる特徴の例を示した。本波形はハンドルの上下方向に加わる力の時系列変化を6歩分切り出したものである。グラフに見えるように歩行の1歩ずつの周期に連動した変化が波形にも現れており、この情報とモータ回転数の情報とを用いた解析により、歩行の速度、ピッチ、歩幅といった情報が取得される。さらに、その一歩分の波形の中にも歩行にかかる特徴量が含まれており、より詳細な状態が捉えられる。例にある波形では、左右の足の遊脚期における力の量に偏りがあり、また一歩を踏み出す瞬間の波形が左右で異なることから、左右の脚力に片寄りがあることが読み取れる。

また、我々はこれら複数の軸の情報を使った信号処理により、利用者が曲がる、立ち止まるなどを含む自由なルートで歩いている状況でも歩行能力の解析が可能となる技術を確認した。これにより、計測のために歩行ルートを限定する必要がなくなる。

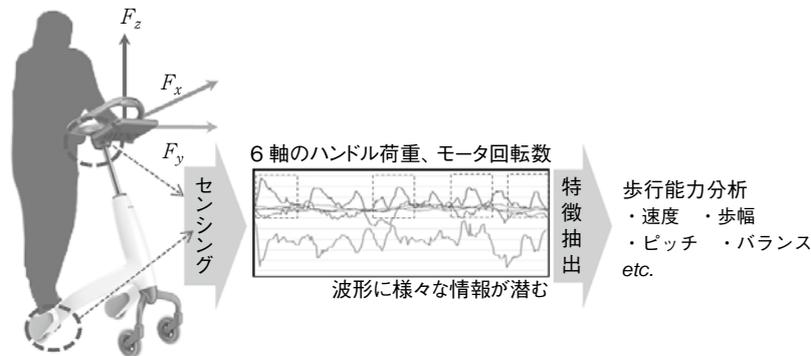


図2 歩行能力分析技術の概要

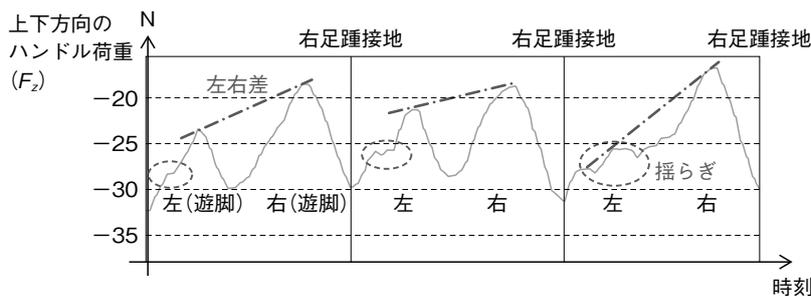


図3 ハンドルに加わる荷重の変化を示す波形の例

このようにして、我々は、利用者も施設スタッフも計測を意識する必要がなく、自由なルートをただ歩いて歩いてトレーニング中の歩行能力の変化を常にモニタリングできる歩行能力分析技術を開発した。これにより、トレーニング毎の高い頻度（通常、週1～2回以上）でその変化を捉えることが可能となり、体調不良などで変化が起こりやすい高齢者の身体機能の状態を正確に捉えられると考える。

加えて、本技術により分析されたデータはクラウド上のデータベースとして履歴とともに管理され、利用者のID情報を用いることで施設内のどの端末からでも確認できる。そのため、クラウド上でデータをマイニングすることで利用者全員の状態を俯瞰した訓練効果の可視化にも展開可能である。このような技術開発により、負荷を自由に設定可能な歩行トレーニング機能に加え、トレーニング中に歩行能力を分析する歩行分析機能を搭載した「Walk training robo」を構成した。

## V. 現場での課題抽出と有用性の評価

我々は開発の初期段階から豊田市のJA愛知厚生連足助病院（以後、足助病院）と、通所介護施設である老人福祉センターぬくもりの里（以後、ぬくもりの里）に支援をいただき、臨床現場での課題抽出と有用性の評価を進めてきた。足助病院では、生活期移行を控えた回復期リハビリテーション中の高齢者に、本ロボットを用いた歩行トレーニングと、歩行能力の可視化機能の有用性について、理学療法士の視点を交えた評価を行った。

またぬくもりの里では、生活期における長期運用の中で、とくに歩行能力の可視化機能について、利用者および施設スタッフの視点での有用性を確認した。ここでそれぞれの評価の結果について述べる。

### 1. 足助病院地域包括ケア病棟での評価

足助病院では、地域包括ケア病棟の回復期リハビリテーションを行っている高齢者8名（平均81.3歳）に実験に参加いただき、利用者と理学療法士の両方の視点から本ロボットの有用性を評価した。ここでは、「本ロボットの可視化機能が生活期移行に向けた歩行に対する自信の獲得に寄与するか」「本ロボットでのトレーニングが歩行器と比較して有用性があるか」について



図4 病院での評価の様子

アンケートを行った結果について述べる。

実験参加者は手すり、歩行器や杖を使って歩行トレーニングが可能で、かつBI（バーセルインデックス）指標の歩行の項目について10～15点に相当する方を対象とした。実験では、最初に歩行器による150mの歩行を行い、その後本ロボットを用いた300mの歩行を週2回×2週間連続で行う。歩行中は、理学療法士が普段の歩行トレーニングと同様に付き添い、歩行のルート指示や安全確保とともに歩行状態の観察を行った（図4）。評価では、歩行終了直後に歩行結果を可視化してフィードバックを行い、さらにアンケートによるヒアリングを行った。フィードバックでは、歩行距離、速度、左右バランスに加えて、安定した速度で歩き続けられた距離の最大値を提示した。これらは、たとえば信号や踏切を休まずに一定時間で渡れるかどうか、また、近くのコンビニエンスストアまで休まずに歩けるかどうかといった日常生活に紐づいた指標として提示することを意識したものである。なお、利用者へのヒアリング中は同時に、実験を担当した理学療法士にも同じ質問を筆記で答えてもらい、客観的に利用者の自信や達成感などを評価していただいた。

表1にヒアリングの結果を示す。評価ではそれぞれの質問項目に対して7段階で答えていただいた。表1にあるとおり、生活期移行に向けた歩行に対する自信の獲得ができたかどうかを問う質問に関しては、参加者8名のうち4名が「とてもあてはまる」、1名が「あてはまる」、1名が「少しあてはまる」と答えており、半数以上が効果を感じていた。同じ質問項目に対する理学療法士から見た利用者の自信獲得の様子についても、1名が「とてもあてはまる」、3名が「あてはまる」、3名が「少しあてはまる」と回答、7段階評価の平均値としても利用者5.88、理学療法士5.5であり、いずれも高い評価が得られた。また、関連する項目である達成

表1 利用者、理学療法士による評価結果

項目	評価者	人数 (人)					
		とてもあてはまらない	あてはまらない	少しあてはまらない	どちらでもない	少しあてはまる	とてもあてはまる
本ロボットでの歩行で自信がついた	利用者	0	0	0	2	1	4
	理学療法士	0	0	0	1	3	3
本ロボットでの歩行で達成感があった	利用者	0	1	0	0	2	3
	理学療法士	0	0	0	0	1	5
歩行器に比べ訓練効果があると感じた	利用者	0	1	0	0	1	4
	理学療法士	0	0	0	0	3	3
歩行器に比べ集中できた	利用者	0	0	0	0	1	4
	理学療法士	0	0	3	0	2	2

人数 (人)

感についても同様に高評価が得られた。また、本質問項目に関連して、利用者からは「自分で思っていたよりも多くの距離を歩けることが分かった」「(バランスが)安定して歩けていて安心した」などの声があった。また、理学療法士からは、「目標が明確になり歩行などへのモチベーション向上を感じた」「速度、距離などリハビリの介入の成果が数値で見せられる点が良い」といったコメントもあり、可視化によるフィードバックが利用者の自信の獲得に寄与していると考えられる。

また、歩行器と比較した場合の本ロボットのトレーニング効果を問う質問に関しては、参加者8名のうち2名が「とてもあてはまる」、4名が「あてはまる」と答えた。また、理学療法士の評価では、2名が「とてもあてはまる」、3名が「あてはまる」と答えた。平均値では、利用者5.75、理学療法士5.5となっており、類似する傾向が出ている。また、理学療法士からは「負荷が下肢筋力に対して効果がある」「体幹や下肢の筋をより使う印象」といった訓練効果への期待のコメントをいただいた。

一方で、歩くことに集中できたかどうかを問う質問については、利用者と理学療法士の評価が分かれた。利用者は3名が「とてもあてはまる」、4名が「あてはまる」と高評価であるのに対し、理学療法士の視点では1名が「とてもあてはまる」、2名が「あてはまる」で「少しあてはまらない」が3名となっている。これは、歩行中に画面を見ることが歩くことへの意識の集中を妨げる要因となった可能性がある。より安全で効



図5 施設での評価の様子

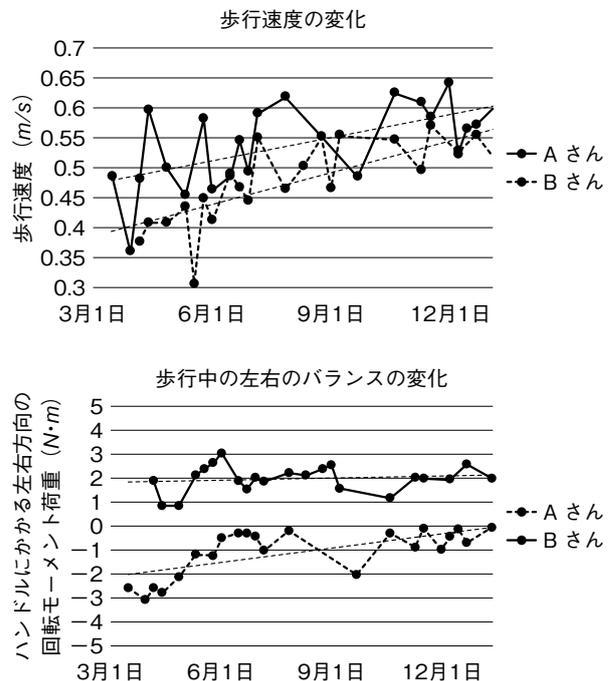


図6 利用者2名の9カ月間の歩行能力の変化を示すグラフ

果的なトレーニングを行うには画面上に表示する情報を最低限にするなどの対応が必要と判明した。

2. 通所介護施設「老人福祉センターぬくもりの里」での評価

ぬくもりの里では、施設の利用者に週1回を目標に本ロボットを用いた歩行トレーニングを行っていただいている(図5)。利用中は施設スタッフが寄り添い、歩行距離は利用者の体調に合わせて30~100mの間で判断する。本稿では9カ月間の継続評価により得られた結果について述べる。

図6に本ロボットが、要介護2認定の方2名(Aさん:88歳、女性、Bさん:93歳、男性)の歩行速度と、

ハンドルにかかる力の左右バランスの変化を可視化したグラフを示す。グラフが示すように、歩行速度、バランスともに、日によってその結果が大きく変動している。そのため、施設スタッフが目視で利用者の状態を確認しているだけでは、その日の体調や気力といった変動要素の影響が大きく、トレーニング効果を実感することが難しい。また、個別機能訓練で指定されている3カ月毎に評価を行った場合を想定しても計測日の組み合わせによっては値が悪化しているケースもあり正確な判断が難しいことがわかる。

その一方で、期間全体で見れば歩行速度が徐々に向上していることが確認でき、一見してそのトレーニング効果を感じ取ることができる。そのため、期間全体の変化を確認しつつトレーニング直後の結果を評価することで、その日の体調の影響などを考慮した正確な評価が可能となると考える。

また、本ロボットはトレーニング直後にこれらのデータを画面に表示する機能がある。トレーニングの現場では、施設スタッフが表示された情報を利用することで、利用者に対して「今日は歩くのが早かったね」といった声がけをし、やる気を促す場面も見られた。Aさんの例では、右大腿骨頸部骨折の治療後で、歩行についてご家族も心配されていたが、左右バランスの偏りが徐々に改善しているグラフを見て「真っ直ぐ歩けるようになってきてるよ」といった会話も出始め、利用者、ご家族ともに安心されていた。

### 3. まとめ

これらの病院と福祉施設での評価から、「Walk training robo」が、利用者のご家族、さらには施設スタッフがトレーニング効果を実感し、歩く自信の獲得と長期的な機能訓練の継続に貢献することが期待できる。

今後さらに評価を継続し、利用者のトレーニング継続の意欲をより向上させるための技術開発を進めていく。また、分析した歩行能力に基づいて、利用者毎にトレーニング負荷を高い精度で最適化することで、より安全で効果的なトレーニングを提供していく計画である。

## VI. おわりに

我々が開発した「Walk training robo」は、ADLの基本となる歩行能力を効果的に鍛え、計測の負担がな

い歩行能力分析技術により、高い頻度で身体機能を計測することができる。

昨今、介護の分野においては、政府の未来投資戦略2018<sup>7)</sup>で「自立支援・重度化防止に向けた科学的介護データベースの実装」が議論されるなど、データ蓄積の重要性が増している。「Walk training robo」が検出する細やかな身体機能のデータを蓄積していくことで、エビデンスベースの個別機能訓練の普及に寄与していきたい。また、運動療法の効果の可視化によって病院での回復期から生活期（慢性期）への移行をスムーズし、さらには生活期におけるリハビリテーションの継続意欲の維持にも貢献できると考える。

一方で、高齢者にとってのより良い地域包括ケアを考えると、家、施設、病院を含めて、地域全体が高齢者の自立した生活を支える体制が望ましい。「Walk training robo」が検出する細やかな身体機能のデータを、関連する施設や医療機関との間で共有できる仕組みを構築することで、地域全体で高齢者の身体機能と運動の状態を理解して、ケアしていくことができる。このような情報共有の基盤を構築していくことで、高齢者一人ひとりに深く寄り添った自立支援技術への展開を目指していきたい。

COIに関し、著者はパナソニック株式会社の社員である。また、名古屋大学におけるパナソニック株式会社との産学協同研究部門（講座）の教員である。

### 参考文献

- 1) 日本理学療法士協会：医療・介護のリハビリテーションサービスの利用履歴に応じた、自立支援に資するこれからの通所サービスの在り方に関する調査研究事業報告書。東京、日本理学療法士協会、2015、pp25.
- 2) 名古屋大学 COI (Center of Innovation)：高齢者が元気になるモビリティ社会。  
<http://www.coi.nagoya-u.ac.jp/> (2019年2月26日閲覧)
- 3) 山田和範, 横矢真悠, 邸需ほか：高齢者の日常生活に寄り添う屋内型歩行支援ロボットの提案。第34回ロボット学会学術講演会予稿集, 山形, 2016.
- 4) 横矢真悠, 山田和範, 山田陽滋：歩行支援ロボットを用いた歩行能力計測。第34回ロボット学会学術講演会予稿集, 山形, 2016.
- 5) 山田和範, 横矢真悠, 山田陽滋：住宅内を想定した高齢者向け歩行支援ロボットの提案。電子情報通信学会技術研究報告=IEICE technical report：信学技報。2016；306：25-30.
- 6) 山田和範：AI搭載歩行トレーニングロボットの概要と導入効果、そして将来展望。月刊新医療。2019；531：96-9.

- 7) 未来投資戦略2018—「Society 5.0」「データ駆動型社会」への変革—。2018。  
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/> (2019年2月26日閲覧)