

歩行介助ロボット Walk-Mate と共創

Walk-Mate プロジェクトの 12 年を振り返って

三宅美博

東京工業大学・総合理工学研究科

miyake@dis.titech.ac.jp

1. はじめに

あるお年寄りが「若い人と一緒に歩いたら楽に神社にお参りできた」と話すのを聞いたことがある。歩行という運動は個体レベルで研究されることが多いが、これは人と人のインタラクションの中で歩行を捉えることの重要性に気づかせてくれる出来事であった。人間の活動は人と人のつながりの中で支援されなければならない。物理的な移動手段としての歩行だけでなく、ともに歩く中で人と人の心がつながる共創コミュニケーションとしての歩行の重要性がここにはある。

人とつながることで得られる元気、それは高齢者の歩行に限られるものではない。人と社会の極めて基本的な関係である。だからこそ社会への参加を通して「場」から与えられる生きる力を支援しなければならないのだ。この確信こそが「共創システム」の提案とその応用としての歩行介助ロボット(Walk-Mate)の原点にある。十数年を遡ることになるが、人々の社会参加の支援を最終目標とした Walk-Mate プロジェクトはここからスタートした。

最初の問題は人と人のつながりの「場」をどのようにシステムとして表現するかということであった。誰にでもあると思うが、人と並んで歩いているときに自然と歩調が揃うことは身近な経験であろう。われわれは、このようなリズムの相互引き込みという現象[1]~[3]に注目した。その当時はコミュニケーションと引き込みの関係はあまり注目されていなかったが、Walk-Mate はこれを技術的基盤として研究を開始した。この方法は、その後注目され始めた身体性の技術[4][5]と深く関係しており、人間同士の一体感、安心感、共存在感などの実現に不可欠である。

具体的には、人間とヴァーチャルロボットの間での歩行リズムの相互引き込みを介して「場」を実現した。これはロボットとの一体感の共創に関係しているだけではなく、リハビリテーションにおける歩行機能の回復への有効性も示された。しかし最近では社会システムとの関係を見失っていき、例えば臨床現場と地域社会というコミュニティ間でのリハビリの「場づくり」に関わる問題にも直面しつつある。つまりコミュニティ・インタフェースとしての場づくりへの支援が、いま Walk-Mate に求められ始めている。

本稿では、このような Walk-Mate プロジェクトの辿ってきた道のりについて紹介する。これはロボットと人間の共存する「場」やその場づくりの問題とも捉えられ、本プロジェクトにおける著者の経験が、少しでもリハビリ関係の方々のお役に立てばと思ひ引き受けた次第である。最初に Walk-Mate とその基盤としての共創システムについて解説し、その上で Walk-Mate が置かれている社会的現状を説明する。最後に「場」の技術から場づくりの技術への展開の可能性について考察する。

2. Walk-Mate プロジェクトとは

2.1 Walk-Mate の原点

若者と一緒に歩くだけで、高齢者が楽に歩行できるとはどういうことであろうか。二人の体を棒などで固定していれば、そのようなこともあるかもしれないが、単に並んで歩くだけでは力学的なインタラクションは期待できない。むしろ、そこにあるのは感覚や認知を介する心理的なインタラクションであり、そうであるがゆえに一体感や安心感が得られるのであろう。しかも、そのような心理的なインタラクションを介して歩行機能の回復や発達も実現されるのである。

われわれは、このような人と人のインタラクションを人間とヴァーチャルロボットの間で再現してきた[7]。歩行リズムは生理学的には CPG という神経回路で生成されていることから、そのモデルとしての神経振動子や非線形振動子を用いた歩行リズムジェネレーター[6]からなる歩行ロボットを構成した。そして、人間側の歩行リズムとの間で踵接地のタイミングを相互に交換することで引き込みできるようにシステムを構築したのである。引き込みとは異なる振動数のリズムが自発的に同調する現象であり、非線形系には広範に観察されている。これは相互引き込みに基づく初めての協調歩行システムの提案であり 1993 年のことであった。

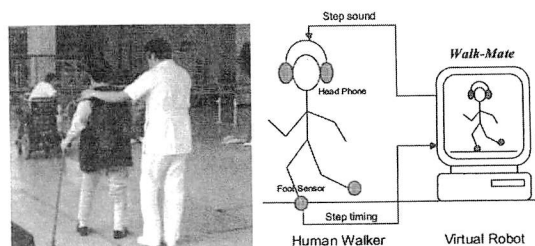


図 1 : 歩行介助システム Walk-Mate

具体的には図 1 のように高齢者と療法士が並んで歩く状況をイメージした。そして療法士側をヴァーチャルロボットとして構成するのである。このとき人間側(高齢者)の踵に装着した圧力センサーから踵接地タイミングを検出し、それを計算機中のヴァーチャルロボットに送り神経振動子に入力する。一方、神経振動子の特定の位相を踵接地と定義し、そのタイミングを人間側にヘッドフォンを介して音刺激としてフィードバックするのである[7]~[9]。当時はワークステーションを用いてロボットをシミュレーションしていたが、その後、図 2 のようなウェアラブルな Walk-Mate の形態に進化した[10]~[12]。この図では加速度センサーを用いて人間の歩行運動における踵接地のタイミングを検出しており、加速度センサーとポータブル PC の間はワイヤレス接続されている。また腰のバックの中に PC が格納されている。

2.2 共創システムと「場」

さらに、われわれは人間のコミュニケーションに関する考察から「共創」という新しいコンセプトを提案した[13]~[15]。これは本田技研の久米是志氏が製品開発プロセスにおけるコミュニケーションを参考にして提起した概念[16]であるが、それを清水博氏が「場」の思想との関係から深化[17]~[19]させたものである。その特徴は、自己意識として明在化される自己(自他分離)だけではなく、それを包摂する暗在的な身体化された自己(自他非分離)を同時に考慮する二重性にあり、その2つの自己の間での自己言及を介して自己が創出されるというダイナミクスにあった。

これは場所的自己言及とも呼ばれ、「場」を介する開かれた身体的インタラクションによって他者と「場」を共有し、その中で自己が時々刻々と創出されるとする捉え方である。つまり、図3のように、「場」の生成と自己の生成をコンカレントなプロセスと見なしており、コミュニケーションとは「場」における自己の共同生成として位置づけられる。これが共創コミュニケーションの基盤にある。

歩行を介する人と人のインタラクションに共創という概念を適用するために、われわれは図4のような二重性モデルを提案した[20]~[22]。これは自己の二重性に対応する身体モデルと内部モデルから構成されている。身体モデルは身体化された自己に対応し、前述のリズムの相互引き込みを介して他者の身体と同調一体化するダイナミクスを有する。これは「場」の共有過程に対応するモデルである。一方、内部モデルは明在化された自他分離的な自己に対応し、「場」に対する拘束条件を生成するモデルである。これら2つのモデルは相互拘束の関係にある。具体的に身体モデルは歩行リズムの周期同調を担っており、内部モデルはその同調状態における位相差制御(タイミングのズレの制御)に関わっている。

このモデルは共創コミュニケーションに関する仮説的モデルでしかないが、驚くべきことに、このようなインタラクションを介して実現された人間とロボットの歩行において、感覚的には一体感が得られたのである。相手がWalk-Mateというヴァーチャルロボットであることがわかっているにもかかわらず、リズムだけを聞いていると人間のように感じられた[13]。

さらに、身体運動においても興味深い応答が観察された[21]~[25]。歩行リズムの周期変化の一例を図5に示すが、インタラクションの開始直後には相互引き込みが観察され、それを介して人間とロボットの歩行周期が相互に接近した。そして結果的に歩行リズムの安定化が実現されたのである。インタラクション前に観察された人間側の歩行周期の揺らぎが引き込みによって顕著に減衰しているのがわかるだろうか。しかもインタラクションの終了後にも、その効果が双方において持続しており、このプロセスが相互適応であることも確認される。これらの結果は、歩行介助やリハビリテーションへのWalk-Mateの有効性を示唆するものであった。

2.3 心理学的な基盤

このような共創システムの心理学的な基盤の解明は現在進行中である。仮説的モデルを先行させ構成的アプローチを優先させたために、基礎的研究との順序が逆転してしまったのである。しかしWalk-Mateを介する心理的・身

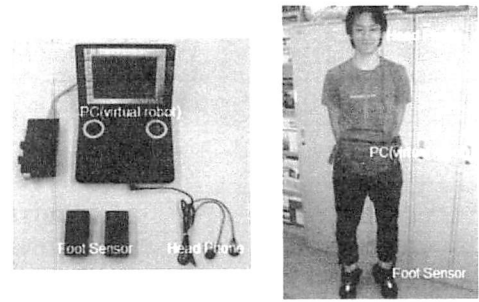


図2：ウェアラブル化したWalk-Mate

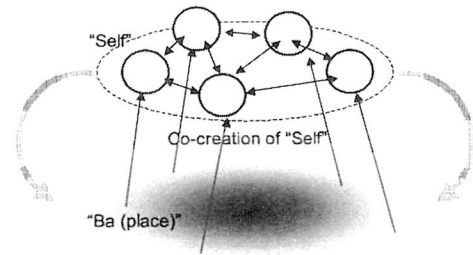
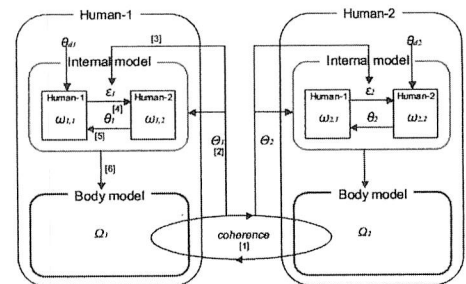


図3：自己の二重性と自己言及



1. Self-organize coherence between body models by mutual entrainment
2. Get the organized coherence as phase difference θ_i
3. Modify the internal model parameter ϵ_i such as $\min(\theta_i - \theta_{ii})$
4. Search $\omega_{i,2}$ such as $\min(\theta_i - \theta_j)$ under the fixed $\omega_{i,1}$ in internal model
5. Search $\omega_{i,1}$ such as $\min(\theta_{ii} - \theta_j)$ under the fixed $\omega_{i,2}$ in internal model
6. Change Ω_i in body model corresponding to searched $\omega_{i,1}$
7. Back to 1

図4：二重性モデル

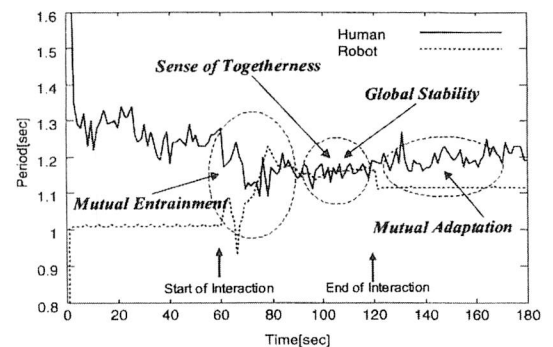


図5：人間とロボットの共創的歩行

体的コミュニケーション機構は、自己の二重性との関連において明らかにされなければならない。

具体的に注目している現象は、心理的時間としての「いま」という感覚である。これは時間感覚のインターパーソナルな共有としての「間(ま)」と関係が深く、並んで歩く状況では自然と「間」が合うことは身近な経験であろう。これが一体感や安心感の生成と深く関係していると考えている。そして、この「いま」という時間がどのように人と人の中で共有され人間同士の協調動作が可能になるのか、そのメカニズムを解析しているのである。これは共創コミュニケーションを時間の切り口から捉えることになっている。

実験としては、歩行よりも更にシンプルな指タッピングを用いており、それが2人でのタップタイミングの交換を介して、インターパーソナルに同調するプロセスの分析とモデル推定を進めている[26][27]。既に、時系列データ解析による数理的モデル推定から、先の二重性モデルと定性的に対応する階層化された制御構造が得られている[28]。ひとつは相互引き込みを介するタップ周期の同調機構であり身体モデルに対応する。もうひとつはその同調状態における位相差の制御機構であり内部モデルに対応する。さらに図6のようにf-MRIを用いた脳イメージング解析からそれぞれに対応する脳活動領域も特定されている。詳細はここでは割愛するが、共創システムとそのモデルの根拠は着実に証明されつつある。

2.4 高齢者の歩行介助への展開

Walk-Mate が高齢者の歩行介助やリハビリテーションに有効であることが示唆されたため、2001年頃からデイケア施設や医療機関において臨床評価を開始した[29]~[32]。有効性の尺度としては、歩行介助や転倒防止への視点から歩行リズムの安定性、リハビリの観点から歩行リズムの左右脚での非対称性に注目した。さらに主観的な側面として一体感や歩きやすさなどもアンケート評価した。疾患としては脳神経系の障害と筋骨格系の障害に分類し、前者では脳血管疾患、後者では整形外科疾患の患者に協力を依頼した。

一例として脳血管疾患に起因する片麻痺患者(86歳、女性)での事例を示す。片麻痺とは、脳卒中等により脳の一部に機能不全が生じ、それに対応する身体運動に障害が現れるものであり、通常は左右のいずれか半身に症状が現れるため片麻痺と呼ばれている。図7は歩行リズムの周期ゆらぎを示しているが、Walk-Mate との協調歩行によって揺らぎが有意に減衰している。このことはリズムの相互引き込みによる歩行安定化への効果を示唆する。また左右脚の非対称性についても図8のように緩和しておりリハビリへの有効性も示唆される。さらに主観的な側面からも同様に有効性を示唆するアンケート結果が得られている(図9)。片麻痺以外では、股関節疾患の術後リハビリテーションやパーキンソン病の加速歩行の安定化などにも取り組んでいる。

3. 共創の場づくりへの展開

3.1 「場」の技術から場づくりの技術へ

このように比較的順調に進んできた Walk-Mate プロジェクトではあるが、これだけでは高齢者や患者の社会参加を支援することはできない。リハビリテーションの現場と

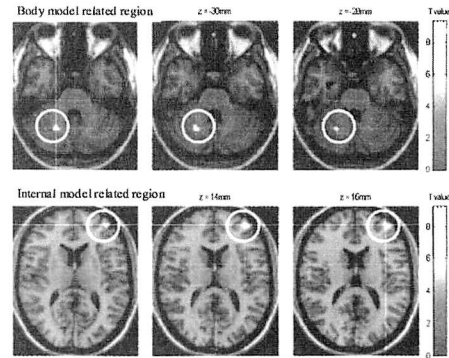


図6：f-MRIによる脳活動解析

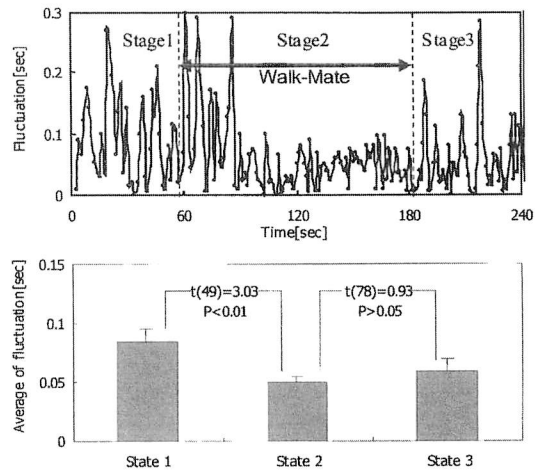


図7：片麻痺の歩行介助（歩行周期ゆらぎ）

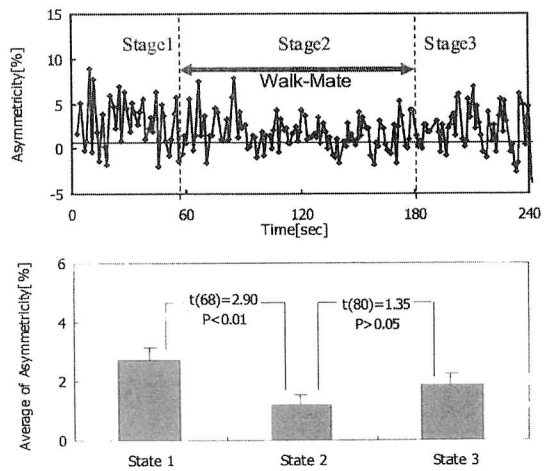


図8：片麻痺の歩行介助（左右脚非対称性）

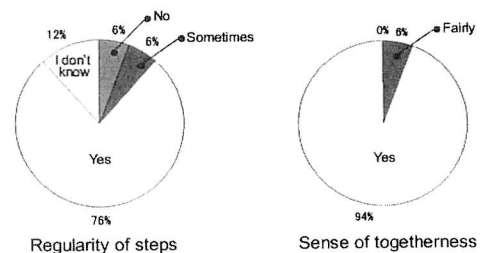


図9：Walk-Mateのアンケート結果

深く関わるにつれて、高齢者と介助ロボットの関係を超える社会的状況と直面することになった。

リハビリの現場とは、医師、療法士、患者(高齢者)、家族、地域など多様な人々が登場する一種の舞台になっている。この中で重要な関係は、医療関係者と患者・家族の間であり、もう一つは医療機関と地域社会の関係である。前者では、医療関係者と患者や家族の間での治療する側とされる側という方向性の関係が存在する。後者では、医療機関と地域社会の間での連携が弱体化しているという現実がある。そして、このような状況の中で多くの患者の機能回復や社会参加への機会が失われているように感じられた。最近では、このような現状を少しでも改善するために、医療コーディネーター[39]と呼ばれる人々がこの領域で活動し始めている。

このことは臨床現場と地域社会という異なるコミュニティをつなぐ場づくりの必要性を明確に示している。これまでのように治療の「場」の中で使用される介助ロボットとしての Walk-Mate を超えて、場づくりを担うコミュニティ・インタフェースとしての役割が Walk-Mate プロジェクトに求められているのである。

3.2 場づくりの契機としての「気づき」

人と人のつながりの生成に関わる共創システムは、人々の社会的関係の中に埋め込まなければならない。医療関係者と患者のシームレスなつながりがなければ Walk-Mate による共創的リハビリテーションを医療に活かすことはできない。さらに、そのような医療関係者と地域社会とのシームレスな関係がなければリハビリを持続し、患者や高齢者の社会参加を継続的に支援することもできないであろう。関係を志向する共創システムはどこまでも関係的でなければならないのである。

では、どうすれば相互の立場の違いを超えてシームレスな場づくりが可能になるであろうか。そのためには現状の分断された社会システムを超える新たな視点の提供が必要である。具体的には、医療関係者と患者(高齢者)が同じ目線で協力できること、医療機関が地域社会と同じ目線で活動できることである。これは、いいかえれば「気づき」の支援である。治療する側とされる側という自己分離な視点ではなく、シームレスさ(自己非分離)への気づきが必要となる。

たとえば、自分は健常者との思い込みから解放されることは有効であろう。自分は社会システムにおいて健常者側に属するという認識が、患者に対して潜在的に壁を作っているように思われるからである。むしろ人類はみな身障者なのだという視点こそが有効かもしれない。そこから、ともにリハビリするという姿勢が現れてくる。ここにこそシームレスな場づくりの契機となる「平等感」への気づきがある。このような気づきを支援できることが共創的リハビリテーションの場づくりには不可欠であろう。

3.3 歩容の計測システム

このような平等感への気づきはどのようにすれば得られるだろうか。ひとつの可能性は、患者側だけではなく医療関係者も様々な障害を持ち、それが患者とともに改善されるというシナリオであろう。このような仮説から 2004 年以降、われわれは Walk-Mate によるリハビリの現場で、誰もが手軽に自分の歩行パターンを計測できるシステムを開発してきた[33][34]。これまでは医療関係者の目視に

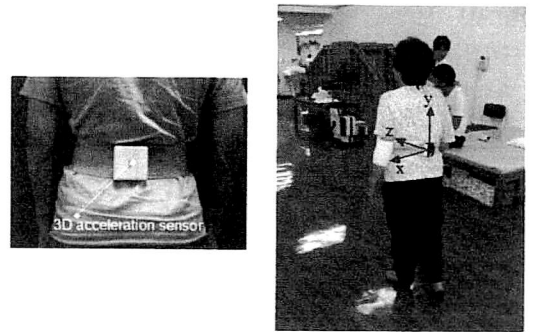


図 10：歩容計測システム

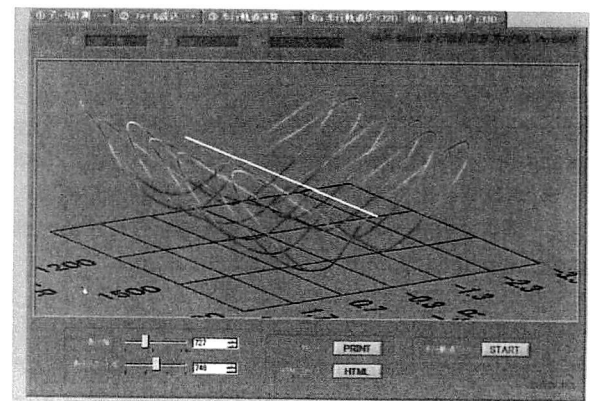
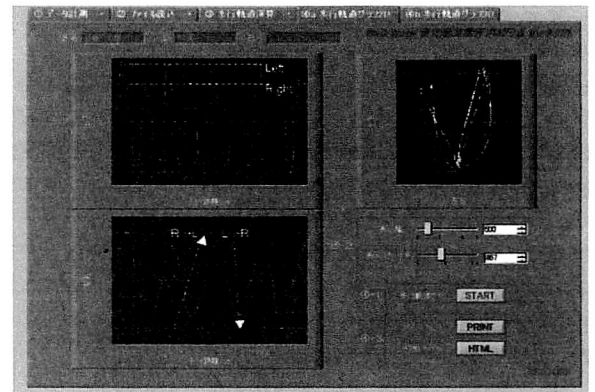


図 11：腰重心の軌跡

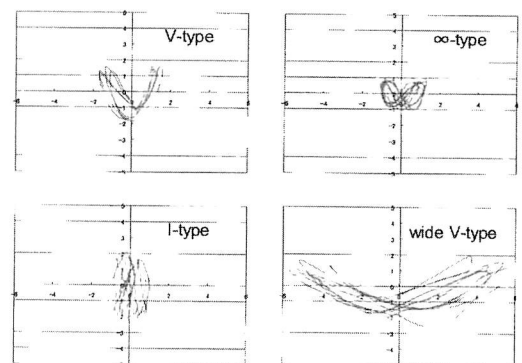


図 12：多様な腰重心の軌跡

よる運動評価が絶対的であり、その枠組みにとどまる限り、治療する側とされる側という一方性は克服できないように思われたからである。

これは Walk-Mate において踵接地を検出するために用いられている小型加速度センサーを利用した歩容計測システムである。現時点では Walk-Mate と独立したシステムとして構成されているが、両者が統合されることが最終的には必要と考えている。なお、この計測装置は図 10 のように、加速度センサーを腰部背面(腰重心)に固定し、その地点の 3 次元空間での軌跡を算出するシステムである。加速度から軌跡を算出するアルゴリズムに累積誤差を低減する工夫を加えることで、空間分解能が 1mm 程度の計測精度を実現できている。従来のオプトトラックのような大掛かりな装置ではないので、いつでもどこでも自分の歩行パターンを計測することができる。

図 11 に計測データの例を示すが、矢状面、水平面、前額面、3次元表示での腰重心の軌跡を示している。矢状面では、水平方向の軸が進行方向であり垂直方向の軸が上下方向である。例えば右脚接地時に最低点を取り、その後、右脚支持期の最高点を経て、左脚接地点で再び最低点を取る。以下同様であり、半歩ごとに最低点と最高点を繰り返している。水平面では、水平方向の軸が進行方向であり、垂直軸が左右方向を示している。つまり歩行者を上面から観察していることに対応する。例えば右脚接地時以降に腰重心は右側に揺れて右側最大値をとり、その後、左方向への揺り返しがあり左脚接地を経て左側の揺れ最大値をとり、その後、右方向への揺り返しははじまる。以下同様であり、一歩ごとに右側の最大揺れと左側の最大揺れを繰り返している。前額面は歩行者を正面から観察したときの腰重心の軌跡であり、V字型をしていることが多い。V字の谷の部分に左右脚の接地のタイミングであり、向かって左側の最大値が右脚支持期における最高点对応する。向かって右側の場合も同様であり、最大値が左脚支持期における最高点对応する。

3.4 共創の場づくりに向けて

このような歩容計測システムを開発して驚いたことは、健常者といえどもかなり多様な歩行パターンが観察されるという事実であった。図 12 にいくつかの例を示すが、これらはいずれも健常者と見なされている人々から得られた軌跡である。

著者自身にとっても重大な気づきになったのであるが、図 13 を見ていただきたい。これは著者の腰重心の軌跡である。前額面から見た軌跡は基本的にはV字型ではあるが左右の非対称性がやや強くなっている。さらに矢状面で見ると右脚の最高点と左脚の最高点到ズレがあるのがわかるであろう。これは左右で脚長差があることを意味しており、歩行上の軽微な障害である。これに伴って水平面でも右から左への重心移動と左から右への移動が非対称になっている。これまで自分では全く気づいていなかったのであるが、このような事実を知ることによって、これまで以上に患者とシームレスな関係になりやすいように思われる。そして、このような気づきが医療関係者にも広がれば平等感に根ざした場づくりへの契機となることが期待される。

実際に多くの医師や療法士の方々が自分の歩容に驚き、積極的に Walk-Mate による歩行リハビリを試みてくれたのである。また、このような気づきによって患者との平等

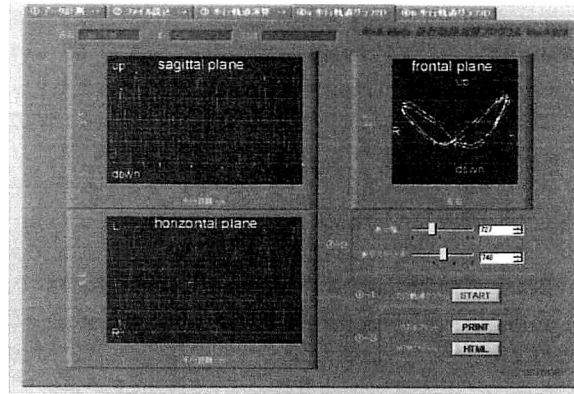


図 13 : 著者の腰重心の軌跡

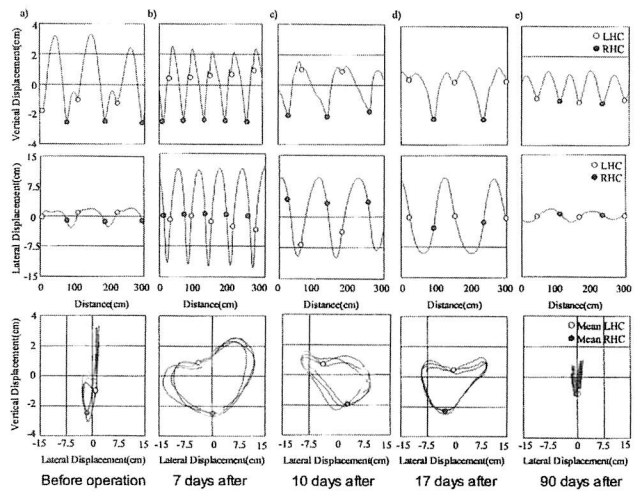


図 14 : 股関節疾患の術後回復過程

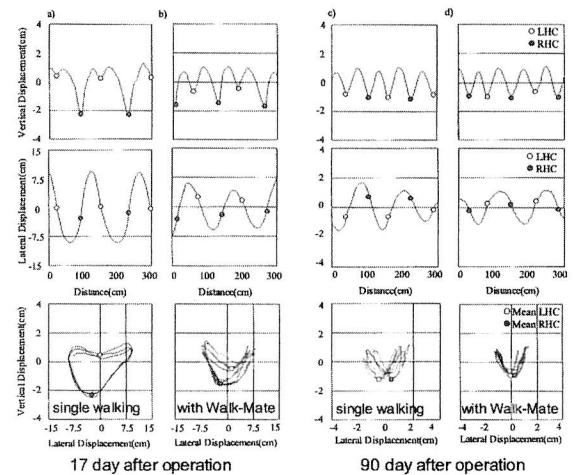


図 15 : Walk-Mate の効果

感が生まれ、リハビリテーションの現場が和むことも広く確認された。

これは患者自身の気づきとも関係している。日々のリハビリテーションの中でどのように機能回復しているかを自己評価できることは、リハビリ訓練への意欲につながるだけでなく、医療関係者への信頼感の醸成にも寄与するであろう。図 14 は一例であるが、股関節疾患の患者が手術後のリハビリテーションの中で経時的に回復している様

子を示している[34][35]。徐々にV字型の軌跡が回復しているのが確認できる。さらに図 15 はこのリハビリの過程で Walk-Mate を活用した場合の効果を示している。いずれのステージにおいても、Walk-Mate との協調歩行によって腰重心軌跡がよりV字型に変化していることがわかるであろう。

これらの気づきの支援によって徐々に平等感が醸成されることを期待している。リハビリとは共創コミュニケーションであり、「場」に参加し、ともに創造することである。治療するのも、治療されるのでもない関係の中で、ともに治るといふ関係の実現が求められているのではないだろうか。そして気づきは場づくりの最初の段階であり、これによって患者と医療関係者の平等感の醸成が進めば、医療機関と地域社会の間での関係も自ずと促進されるであろう。このような場づくりの中で共創のリハビリテーションへの関心が高まり、人々の視点の転換が促進されることを期待する。

もちろん、気づきは契機であり、それだけで場づくりが順調に進むとは考えられない。「気づきの場」そのものが明らかにされなければならないだろう。しかし、気づきを含む共創コミュニケーションとして分析することで、社会的リハビリテーションに適した場づくりモデルの抽出と、それを支援するコミュニティ・インタフェースの設計論や組織論に展開できるものと予想している。これは「場」の技術から場づくりの技術への展開である。

4. おわりに

本稿では、歩行介助ロボット Walk-Mate の研究開発プロジェクトについて紹介した。最初に Walk-Mate とその思想的基盤としての共創システムの考え方について解説し、その上で、本プロジェクトがいま直面している社会システムとの関係を取り上げた。そこでは歩行介助からコミュニティ支援へと拡張しつつあるプロジェクトの現状が明らかにされ、歩行介助システムを介する場づくりの重要性が指摘された。

しかし、ここには社会システムに展開する上での基本的問題が依然として残されている。医療と社会のシームレスな接続を可能にする場づくりが必要であるにも関わらず、現状ではその契機としての気づきの支援に留まっているからである。われわれは本プロジェクトの最終目標が、患者や高齢者の社会参加を支援するための、共創のリハビリテーションの実現であることを忘れてはならない。

最後になるが、このような研究の志向性は、市川惇信氏の提案する社会技術研究[40]という構想につながる可能性がある[36]。Walk-Mate プロジェクトは高齢者や患者の社会参加や社会復帰のための場づくりを推進しているからである。これは医療関係者と市民の相互リテラシーの実現そのものであり、この領域にこそ共創システムの社会技術上の重要性がある[37][38]。これは医療だけではなく社会システムそのもののリハビリテーションとしても貢献するものであろう。

参考文献

- 1) Kuramoto, Y.: "Chemical Oscillations, Waves and Turbulence," Springer-Verlag, 1984.
- 2) Strogatz, S.: "SYNC: The Emerging Science of

- Spontaneous Order," Hyperion Books, 2003.
- 3) 蔵本由紀: 新しい自然学－非線形科学の可能性－, 岩波書店, 2003.
- 4) 三輪, 石引, 荒井, 西嶋: "身体性に注目したエントレインメント創出過程の計測," ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.2, no.2, pp.185-191, 2000.
- 5) 渡辺, 大久保, 石井, 中林: "バーチャルアクターとバーチャルウェーブを用いた身体的バーチャルコミュニケーションシステム," ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.2, no.2, pp.1-10, 2000.
- 6) 多賀殿太郎: 脳と身体の動的デザイン: 運動と知覚の非線形力学と発達, 金子書房, 2002.
- 7) Miyake, Y. & Shimizu, H.: "Mutual entrainment based human-robot communication field," Proc. of 3rd. IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN'94), Nagoya, Japan, pp.118-123, 1994.
- 8) 三宅美博: "「場」的コミュニケーションシステム－人間－ロボット共存系におけるリズムの相互引き込みを用いた創発的システムの設計－," 電気学会産業システム情報化研究会資料, vol.IIS-95-7, pp.53-59, 1995.
- 9) Miyake, Y. & Tanaka, J.: "Mutual-entrainment-based internal control in adaptive process of human-robot cooperative walk," Proc. of 1997 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'97), Orlando, U.S.A., pp.293-298, 1997.
- 10) 田村, 三宅: "相互適応的な歩行介助システム," 第 10 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.247-250, 1998.
- 11) 三宅, 宮川, 田村: "2 中心性に基づく相互適応インターフェース: Complimentality between Adiabaticity and Coherency," 第 10 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.231-234, 1998.
- 12) Miyake, Y., Miyagawa, T. & Tamura, Y.: "Internal observation and mutual adaptation in human-robot cooperation," Proc. of 1998 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'98), San Diego, U.S.A., pp.3685-3690, 1998.
- 13) 三宅美博: "「生命」おける設計," 現代思想, vol.25, no.6, pp.301-317, 1997.
- 14) 三宅美博: "「2 中心モデル」とインターフェース表現," 日本ファジィ学会誌, vol.9, no.5, pp.637-647, 1997.
- 15) 三宅美博: 場と共創 (分担: "コミュニケーションと共生成" 第 4 章 pp.339-397), NTT 出版, 2000.
- 16) 久米是志: 場と共創 (分担: "共創と自他非分離心" 第 2 章 pp.179-272), NTT 出版, 2000.
- 17) 清水 博: 生命知としての場の論理, 中公新書, 1996.
- 18) 清水 博: 新版 生命と場所, NTT 出版, 1999.
- 19) 清水 博: 場と共創 (分担: "共創と場所" 第 1 章 pp.23-178), NTT 出版, 2000.
- 20) Miyake, Y. & Miyagawa, T.: "Internal observation and co-generative interface," Proc. of 1999 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'99), Tokyo, Japan, pp.I-229-237, 1999.
- 21) 三宅, 宮川, 田村: "共創出コミュニケーションとしての人間-機械系," 計測自動制御学会論文集, vol.37, no.11, pp.1087-1096, 2001.
- 22) Miyake, Y.: "Co-creation in human-computer interaction," in C Stephanidis & J Jacko (Eds.), Human-Computer Interaction (pp.513-517), Lawrence Erlbaum Associates Publishers, London, 2003.
- 23) 武藤, 三宅: "歩行介助を目的とする人間-ロボット協調系における共創出過程の解析," 計測自動制御学会論文集, vol.38, no.3, pp.316-323, 2002.
- 24) 武藤, 三宅: "人間-人間協調歩行系における共創出プロセスの解析," 計測自動制御学会論文集, vol.40, no.5, pp.554-562, 2004.
- 25) 武藤, 三宅: "歩行介助における共創出プロセスの解析," 計測自動制御学会論文集, vol.40, no.8, pp.873-875, 2004.

- 26) 三宅, 大西, ベッペル: "同期タッピングにおける2種類のタイミング予測機構" 計測自動制御学会論文集, vol.38, no.12, pp.1114-1122, 2002.
- 27) Miyake, Y., Onishi, Y. & Poeppel, E.: "Two types of anticipation in synchronous tapping," *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, vol.64, pp.415-426, 2004.
- 28) 今, 三宅: "協調タッピングにおける相互同調過程の解析とモデル化," ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.7, no.4, pp.61-70, 2005.
- 29) 高梨, 三宅: "歩行介助ロボット Walk-Mate を用いた共創出過程としての高齢者支援," ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 講演会予稿集, pp.489-492, 2001.
- 30) 高梨, 三宅: "共創型介助ロボット"Walk-Mate"の歩行障害への適用" 計測自動制御学会論文集, vol.39, no.1, pp.74-81, 2003.
- 31) 栗塚, 三宅, 小林: "音楽的コミュニケーションを用いた歩行介助システム," 計測自動制御学会論文集 vol.41, no.10, pp.866-875, 2005.
- 32) 和田, 小林, 渥美, 融, 三宅: "相互同調形歩行支援装置による脳卒中片麻痺患者での歩行変化に関する検討," リハビリテーション医学, vol.42, suppl, pp.S275, 2005.
- 33) 小林, 三宅: "運動学的解析による歩行介助ロボット Walk-Mate の有効性評価," ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 講演会予稿集, pp.1144-1150, 2004.
- 34) 小林, 三宅, 和田, 松原: "加速度センサを用いた運動学的歩行分析システム—股関節疾患の術後リハビリにおける Walk-Mate 有効性評価への適用—," 計測自動制御学会論文集, vol.42, no.5, pp.567-576, 2006.
- 35) 松原, 小林, 和田, 平澤, 融, 三宅: "三次元加速度センサー計測装置による片側変形性股関節症術前・術後の歩行の検討," リハビリテーション医学, vol.42, suppl, pp.S152, 2005.
- 36) 三宅, 菅原, 山本: "創発システムと社会技術," 計測と制御, vol.45, no.7, pp.650-657, 2006
- 37) 三宅美博: "安心の場の再生に向けて: ところを内包するシステムとしての場の技術," ヒューマンインタフェース学会論文誌 vol.7, no.4, pp.61-70, 2005.
- 38) 三宅美博: "共創システムと無限定性—安心な社会システムの回復をめざして—," 機械学会会誌 vol.109, no.1049, pp.39-42, 2006.
- 39) <http://www.jpma.net/coordinator.html>
- 40) <http://www.ristex.jp/>