

共創システムとしての歩行介助

東京工業大学 総合理工学研究科

○武藤 剛 三宅 美博

Walk-support Technology as Co-creation System

Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering

○ Takeshi MUTO and Yoshihiro MIYAKE

Abstract: This paper shows the two reports about the Walk-support technology as the “Co-creation system” based on the hypothesis “Duality”. One is about the walk-support robot “Walk-Mate” to which apply the walk training as the actual Co-creative situation. The other is the analysis of the process of the human's cooperative walk from the viewpoint of the Co-creation system.

1. はじめに

近年のIT技術の進歩によって、人のコミュニケーション形態は大きな変化を見せている。他者との実時間共有が必要なくなり、空間だけでなく、時間的にもその束縛から開放されることが現実となってきている。電子メールに代表されるインターネット技術がその良い例である。同時に、このような技術において、安心感や信頼感、一体感のような、人間の“こころの活動”に関わる主観的な時間や空間の共有も必要とされ始めている。我々は、このような人工物を介したコミュニケーションにおける認知世界の共有を支援するための新たなインタフェース技術として“共創システム(Co-creation system)”¹⁾を提案している。

本稿では、この共創システムの1例として実際に人工物として構成した歩行介助ロボットWalk-Mate²⁾と、実際の人間の協調歩行の共創プロセスを解析した例を紹介する。

2. 共創的歩行介助ロボットWalk-Mate

共創システムが必要とされる状況として高齢者の歩行介助の現場が挙げられる。なぜなら、歩行介助では、身体的な支援にとど

まらない、こころの支えが常に必要とされるためである。このような考えから、我々はその1例として足音を介したリアルタイムの協調歩行によって歩行介助を行なう歩行介助ロボット Walk-Mate²⁾を構築した。これは、携帯可能な小型のコンピュータ上に構築された仮想ロボットである。その概要を Fig.1 に示す。

また、Walk-Mateの歩行リズムは、共創のモデルとしての二重性モデル(Dual-Dynamics model)^{1),3)}によって制御されている。具体的には、協調歩行の同時的はたらきを歩行リズムの引き込み⁴⁾としてモデル化した身体モデル(Body model)と、因果的なはたらき

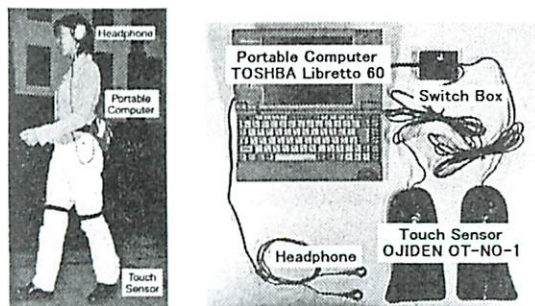
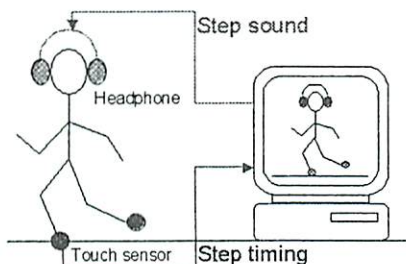
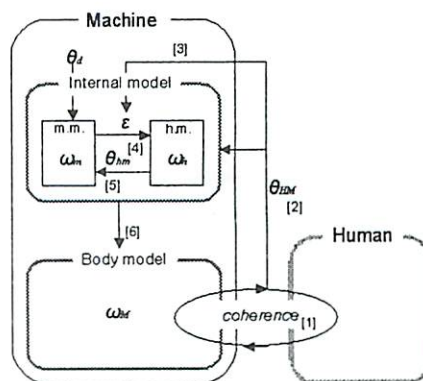


Fig.1 Walk-Mate²⁾.



1. Self-organize coherence between human motion and body model
2. Get the organized coherence as phase difference θ_{HM}
3. Modify the internal model parameter such as $\min(\theta_{HM} - \theta_d)$
4. Search ω_h such as $\min(\theta_{HM} - \theta_{hm})$ under the fixed ω_m in internal model
5. Search ω_m such as $\min(\theta_d - \theta_{hm})$ under the fixed ω_h in internal model
6. Change ω_M in body model corresponding to searched ω_m
7. Back to 1.

Fig.2 Dual-Dynamics model¹⁾.

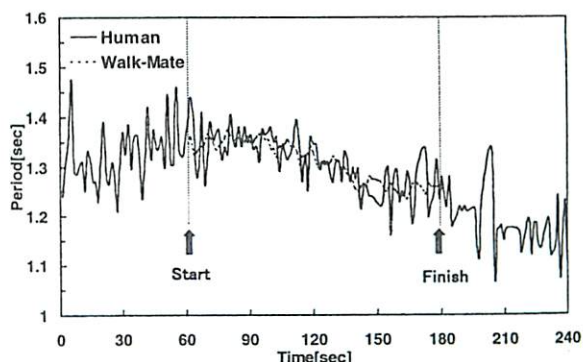


Fig.3 Temporal development of walking period⁶⁾.

を位相振動子⁵⁾の2つ組によってモデル化した内部モデル (Internal model) の相互拘束 (Mutual Constraint) 関係としてモデル化されている。その概要を Fig.2 に示す。

さらに、この Walk-Mate が歩行障害 (片側性膝関節障害) を有する高齢者と協調歩行を行なった例を Fig.3 に紹介する⁶⁾。これは協調歩行を 240sec (最初と最後の 60sec は単独歩行) 行なった際の高齢者と Walk-Mate の歩行周期の時間発展を示している。図中の矢印は協調歩行の開始と終了の時刻を示している。すると、協調歩行が行なっている領域では周期ゆらぎが減少しており、Walk-Mate による歩行介助が、高齢者の歩行運動を安定化させている様子を垣間見ることができる。

3. 共創システムとしての協調歩行の解析

ここでは、協調歩行において重要な役割を果たしていると考えられる脚のステップリズムと腕振り運動に着目し、人間と人間の協調歩行ダイナミクスの解析を行なった。Fig.4 と Fig.5 に4名の被験者による6組の協調歩行中の脚のステップ周期と腕振り運動の角度振幅の自己相関係数の平均値を示す。ここでは、対照実験として、注意課題という心理的負荷を2次課題として課した二重課題 (Dual-task method) 法⁷⁾を用いた協調歩行実験との比較を行なっている。すると、脚に関しては両条件間に顕著な違いが見られる箇所は存在しなかったが、腕に関しては、注意条件に比べ、ノーマル条件の相関係数が相対的に高い値を示し、腕のダイナミクスは心理的負荷の影響を顕著に受けるという傾向がみられた。このことは、脚に比べ、腕のダイナミクスが、注意に関連する高次の脳神経機構⁷⁾に関わっていることを意味している。

次に、この結果を踏まえ、人間と人間の協調歩行において腕と脚のダイナミクスの相互関係を解析した。Fig.5 に、その1例を示す。グラフの下部には、脚の運動が実現するコヒーレンス (脚のステップリズムの相手側との位相差ゆらぎの大きさ) が示されている。また、上部には、腕振り運動の特徴量である肘の角度振動の振幅ゆらぎの大きさが示されている。

すると、両被験者の腕の振りの振幅ゆらぎが、顕著に大きくな

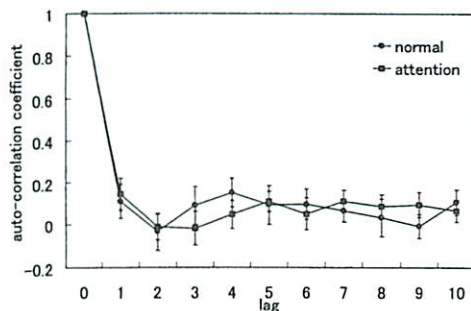


Fig.4 Auto-correlation of leg's footstep period.

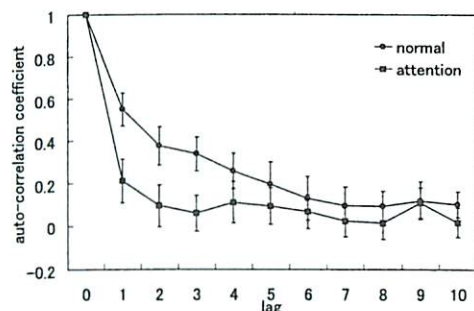


Fig.5 Auto-correlation of arm's amplitude.

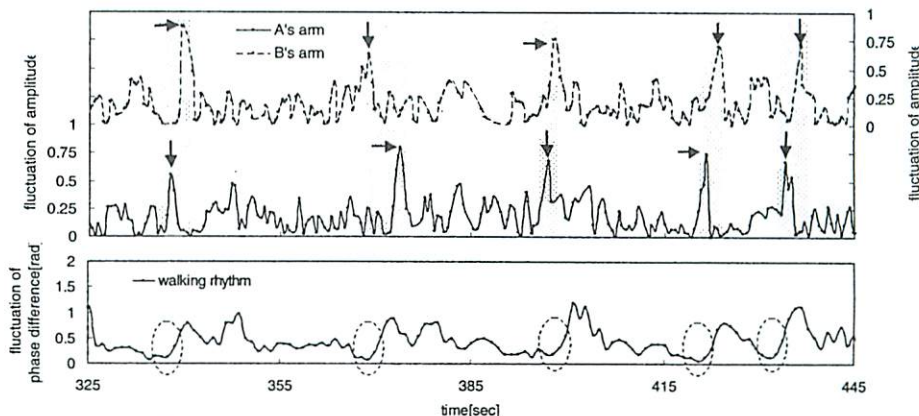


Fig.6 Temporal development of cooperative walk between humans.

る個所において、脚のステップリズムが、コヒーレントな状態から逸脱してゆく傾向が観察された。そのような個所を、腕の変化に関しては矢印、脚のコヒーレンスに関しては点線の丸印で示した。また、そのような個所が両被験者の間で対称に起こる傾向も見られた。このような傾向を明確化するため、関係があると考えられる個所を網掛けで示す。

この結果は、人間-人間系の協調歩行において腕と脚の運動の間に二重性モデルの相互拘束と類似した相互プロセスが存在し、それが両被験者の間で対称な時間発展を示していたことを示唆している。

5. まとめ

本稿では、一体感や安心感のようなコミュニケーションにおける人間の“こころの活動”に関わる認知空間の共有を支援する共創的インタフェース技術の1例として歩行介助ロボット Walk-Mate を紹介した。また、人間の協調歩行を実験的に解析し、腕と脚の間に二重性モデルの相互拘束と類似した相互プロセスが存在し、それによって実現されるダイナミクスが相手と対称な時間発展を実現させていたことを明らかにした。

これらの結果は、人間の協調歩行が一種の共創プロセスとして実現されていること、さらに、我々が提案する Walk-Mate がそのような過程を支援できていることを示唆している。

参考文献

- 1) 三宅美博, 宮川透, 田村寧健: 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)
- 2) 田村寧健, 三宅美博: 相互適応的な歩行介助システム, 第10回自律分散シンポジウム資料, 247/250 (1998)
- 3) 武藤剛, 三宅美博: 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)
- 4) Condon, W. S. & Sander, L. W.: Neonate Movement is Synchronized with Adult Speech, Science, Vol. 183, 99/101 (1974)
- 5) Kuramoto, Y.: Chemical oscillation, waves, and turbulence, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (1984)
- 6) 高梨豪也, 三宅美博: 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 (in press)
- 7) 荻阪直行編著: 脳とワーキングメモリ, 京都大学学術出版会 (2000)