

共創型インターフェースを活用するサイクリング支援

東京工業大学 総合理工学研究科 ○熊田 泰彦, 三宅 美博

Co-creative interface for the cycling support

○Yasuhiko KUMATA and Yoshihiro MIYAKE

Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

Abstract: In sports, performing together with other persons leads to better results than performing alone. This effect is called “social facilitation” and considered as an example of the Co-creative phenomenon which is created during the mutual adaptation between human and human while exercise. In this research, we built the “Bike-Mate” and evaluated its effectiveness. The “Bike-Mate” is a Co-creative interface for cycling, based on a former research project, the “Walk-Mate.” With this Bike-Mate, it is possible to control the human's pedaling period and stabilize the fluctuation of pedaling period by controlling the phase difference between man and robot.

1. はじめに

スポーツでは一人でを行うときよりは複数人と一緒に競技したほうが、よりよい成績を上げられることが知られている。これは、“共行為効果”¹⁾と呼ばれ、例えば短距離走やマラソンなどの陸上競技において走行時間の短縮などを経験できる。また、トレーニングにおいても複数人で行うことにより心理的に疲労を低減し、モチベーションも持続するということが経験できる。これらの現象はスポーツ等の身体運動において、共創的なインタラクションが実現されることを示唆している。しかし、トレッドミルやエルゴメーター等の現状のトレーニング装置では、機械から人間への一方向的な作用関係しかなく、共創的なインタラクションを実現できていない。これまで我々のグループでは、共創的なインタラクションを活用する歩行介助システム“Walk-Mate”²⁾を構築し、仮想ロボットWalk-Mateと人間の協調歩行によって安定な歩行運動を共創できるなど、その有用性が示されてきた^{3),4)}。よって、本研究では共創型インターフェースとして構築されたWalk-Mateをサイクリングに応用するために“Bike-Mate”を構築し、その有用性についても評価を行う。

2. Bike-Mate の構築

Walk-Mateとは、人間の二重性に着目した共創モデル⁵⁾を持ち、人間と相互作用し協調歩行する仮想ロボットである。詳しくは参考文献³⁾を参照して頂きたい。Bike-Mateは、Walk-Mateの共創モデルを持ち、サイクリングしている人間と脚運動のリズムを介して共創的なインタラクションを実現できる仮想ロボットである。Fig. 1に示すように脚運動のリズムを介して人間と相互作用し協調走行する。人間側はヘッドフォンを通してロボットの脚運動に相当するリズム音を聞く。同時に、ロボット側には人間の脚運動における足を踏み込むタイミングに関する信号が送られる。Fig. 2に実験装置、Fig. 3に特徴点の定義についての図を示す。

Fig. 3はペダルの回転運動を表し、時計回りに回転しているものとする。Bike-Mateにおいて脚運動の特徴点は膝上に装着された3軸加速度センサー（マイクロストーン、MA3-04Ac）によって計測される。脚運動の特徴点の検出は、Bike-

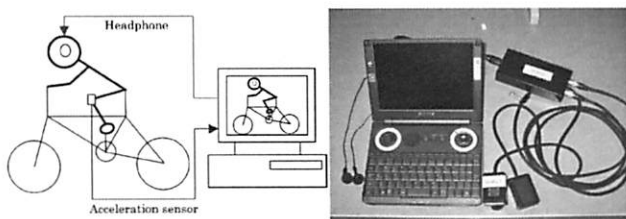


Fig.1 Bike-Mate system



Fig.2 Bike-Mate

Mateのメインプログラムとは別にマルチスレッドで行っている。特徴点の検出スレッドは、加速度センサーより2msでサンプリングされる加速度データを積分し、またさらに積分することで位置データに変換し、脚運動が上から下に変化する点を特徴点(Fig. 3の①)として検出する。位置データに変換する理由は加速度データのノイズ成分を除去し、特徴点の検出を正確に行うためである。Fig. 4に加速度データより変換された位置データと、それによって検出された特徴点をグラフに示す(Fig. 3の①がFig. 4の破線に相当する。また、連続する特徴点間の時間をペダリング周期とする)。検出された特徴点より、人間のペダルの基準踏み込み位置(Fig. 3の②)を決定する。基準踏み込み位置は、特徴点が発見された時間から、周期の移動平均×(315/360)秒後とする。基準踏み込み位置で人間とロボットの運動リズムの位相関係である位相差を0[rad]と定義する。

Bike-Mateにとつての協調運動とは、位相差を目標値に安定化させることとして定義されている。この目標値は目標位相差(Reference of Phase difference, 以後RP)と呼ばれ、人間とロボットの位相差を一定の値に設定することにより、人間側の運動を制御するものである。例えば、RPを負(Fig. 3の③)に設定すると、人間に基準位置より早く音を聞かせるため人間側の運動を促進させ、逆に正(Fig. 3の④)に設定すると、人間に遅れて音を聞かせるため人間側の運動が抑制される。

3. 評価実験

構築したBike-Mateの評価実験を行った。実験1では自由走行に続けて協調走行を行い、自由走行と協調走行での運動の

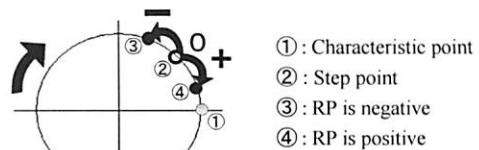


Fig.3 The definition of feature point

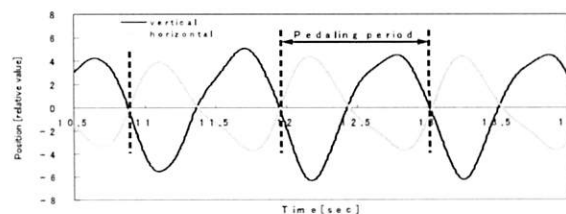


Fig.4 Position data and peculiarity point

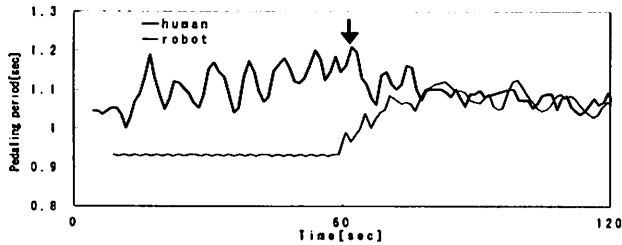


Fig.5 Temporal development of pedaling period (ergometer)

	Free running	Co-creative running
Subject A	0.000587	0.000126
		**
Subject B	0.000976	0.000338
		**
Subject C	0.000228	0.000197
		p>0.2
Subject D	0.00113	0.000517
		**
Subject E	0.000487	0.000222
		**

** : p<0.01 * : p<0.1

	Free running	Co-creative running
Subject A	0.00122	0.000885
		*
Subject B	0.000818	0.000619
		p>0.2
Subject C	0.00045	0.00015
		**
Subject D	0.002086	0.001523
		p>0.2
Subject E	0.000668	0.000502
		p>0.2

** : p<0.01 * : p<0.1

Table 1 The change of distribution (ergometer)

Table 2 The change of distribution (bicycle)

安定性を解析し、実験2では一定時間をRPを途中で変化させて、RPの変化による人間の運動速度の制御について解析する。被験者は健康な男子学生5名で、エルゴメーターの運動負荷は30Wで行った。いずれの実験も自転車とエルゴメーターの両方で行った。

実験1では、最初の60秒間は自由走行を行い、残りの60秒間はRPが0[rad]の協調走行を行った。実験1の結果として、Fig. 5に人間とロボットのペダリング周期の時間発展を示す。このグラフより、協調走行(図中矢印以降)が始まると人間とロボットのペダリング周期が相互に作用し合って同調し、人間とロボットのペダリング周期がほぼ同じになり、協調走行を行っていることが示された。また、このグラフより協調走行時には人間のペダリング周期の揺らぎが減少し、走行が安定したことがわかる。Table 1にエルゴメーター、Table 2に自転車における全被験者の分散の結果を示す。5名の被験者でエルゴメーターにおいては4名、自転車においては2名で有意差が見られた。

実験2は120秒間の協調走行を行い、最初の60秒間はRPを0[rad]の協調走行を行い、後の60秒間はRPを正側あるいは負側に变化させを行った。Fig. 6にエルゴメーターにおいての被験者Aの典型例を示す。Fig. 6aに人間とロボットの位相差の時間発展、Fig. 6bに人間のペダリング周期の時間発展を示す。Fig. 6aより、後半(図中矢印以降)のRPを-1.0[rad]に設定することで位相差が-1.0[rad]に近づき、Fig. 6bより後半(図中矢印以降)のペダリング周期が短くなっていることがわかる。また、後半のRPを+1.0[rad]に設定することで、位相差が+1.0[rad]に近づき、ペダリング周期が長くなっていることがわかる。被験者すべてのデータをTable 3, 4に示す。すべての被験者においてRPを変化させることで、変化前の周期の±10%近く変化させることができた。また、これらの結果において、RPの変化の前後のデータで検定を行ったところ、有意水準5%で有意差が確認された。また、自転車とエルゴメーターの両方で同じ傾向が見られた。

4. まとめと考察

本研究では、共創型インターフェースとして構築されたWalk-Mateをサイクリングに応用するために脚運動の特徴の検出プログラムを作成し、Bike-Mateを構築した。

実験1の結果より、人間とロボットの間で共創的なインタラクションが行われ、エルゴメーターと自転車の両方で、自

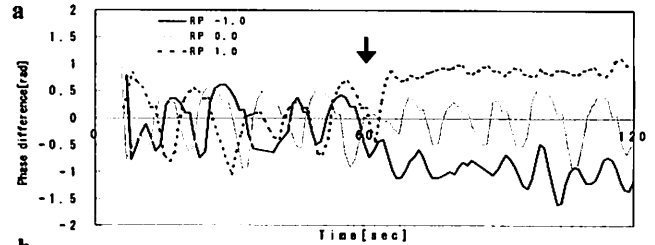


Fig.6 An example of subject A (ergometer)

Subject	RP	0	-1	0	0	0	1
A		1.07	0.95	1.11	1.10	1.04	1.19
			**		p>0.25		**
B		1.11	1.00	1.10	1.10	1.13	1.29
			**		p>0.9		**
C		1.15	0.97	1.13	1.13	1.03	1.18
			**		p>0.8		**
D		1.08	0.93	1.14	1.16	1.12	1.32
			**		p>0.04		**
E		1.09	0.88	1.07	1.07	0.93	1.16
			**		p>0.9		**

** : p<0.01

Table 3 T-test about the pedaling period (ergometer)

Subject	RP	0	-1	0	0	0	1
A		1.02	0.91	1.02	1.04	0.97	1.12
			**		p>0.07		**
B		1.22	1.01	1.22	1.22	1.11	1.29
			**		p>0.9		**
C		0.91	0.58	0.93	0.93	1.00	1.16
			**		p>0.8		**
D		0.96	0.85	1.02	1.03	0.98	1.22
			**		p>0.45		**
E		0.87	0.83	0.94	0.98	0.91	1.04
			**		p>0.1		**

** : p<0.01

Table 4 T-test about the pedaling period (bicycle)

由走行時よりも協調走行時の方がペダリング周期が安定化した。エルゴメーターでは4名の被験者で有意差が得られ、自転車においては2名の被験者で有意差が見られた。人間のペダリング周期が安定化することで、人間が踏み込む力も一定になり長時間の運動時において疲労が低減されるのではないかと考えられる。そのため、今後はBike-Mateを装着して協調運動することで、身体への負荷がどのように変化するかについて調べるために筋電位を測定し、筋疲労の変化についても考察を行う予定である。

実験2の結果より、RPを変化させることで、人間とロボットの間で共創的なインタラクションを行いながら人間の運動速度を制御できた。これにより、Bike-Mateと協調走行を行うことで、無理のない自然なペースコントロールが実現できると考えられる。今回は比較的遅い速度域で実験を行ったが、共創効果との関係性を調べるためにさらに高い速度域での実験を行う必要がある。

参考文献

- 1) Triplett, N.: The dynamogenic factors in pacing and competition, American Journal of Physiology, Vol. 9, 507/533 (1898)
- 2) 田村幸健, 三宅実博: 相互適応的な歩行介助システム, 第10回自立分散シンポジウム資料, 237/250 (1998)
- 3) 武藤剛, 三宅実博: 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) 高梨豪也, 三宅実博: 共創型介助ロボット"Walk-Mate"の歩行障害への適応, 計測自動制御学会論文集 (in press)
- 5) 三宅実博, 富川透, 田村幸健: 共創型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)