

# 受動歩行ベース乗用二足歩行機 BiTrekker

宮 腰 清 一†

本研究では、受動歩行の原理に基づいた、人間と協調して二足歩行する乗物を提案する。受動歩行の仕組みを利用し、自転車やバイクのように人間のバランス維持能力を積極的に利用する二足歩行型の乗物の基本構造について述べ、試作機の試乗結果を報告する。

## BiTrekker, a passive bipedal walking machine for the saddle

SEIICHI MIYAKOSHI†

In this paper, a human-machine cooperative bipedal vehicle is proposed. The basic structure of the bipedal walking vehicle is based on passive dynamic walking (PDW) principles and uses a rider's balance maintenance ability positively like the bicycle and the motorcycle. This paper describes the prototype of the vehicle, and reports the test ride result.

### 1. はじめに

近年、パーソナル・モビリティが注目を集めつつある。車輪型の「Segway」<sup>1)</sup>等に限らず、脚型（搭乗型二足歩行ロボット）として「WL-16」<sup>2)</sup>、「i-foot」<sup>3)</sup>等が試作されている。

車輪型の乗物では、自転車やバイクのように、搭乗者を積極的にバランス維持に介在させる事により、システム構成の簡素化とより直感的な操縦性を持たせた人間・機械・制御システムがある。脚型で同様の乗物を実現するには、二足歩行の原理の一つと考えられる受動歩行（passive dynamic walking）<sup>4)</sup>を機械・制御システムの基盤として利用する。搭乗者がその基盤システムの操縦法を学習し、制御する事を通して、人間と機械・制御システムが相互作用を行う形で全体のシステムを構成する事とした（図1）。この乗物（人間・機械・制御システム）を BiTrekker（bi + trekker）と名付け、研究を行っている。

人間を含むシステムであり、乗り心地・操作性が重要な要素であるため、試作機の製作と試乗のサイクルを繰り返して、研究・開発を進めている。試作機の製作と試乗を行ったので、これを報告する。

### 2. 基本構造

図2に試作機の写真を示す。2本の脚の上部に脚を

前後に振るための1軸の回転関節の股関節があり、その上部にサドルやハンドル等を取り付けた概形となる。搭乗者を含めた本体部（サドルやハンドル等を含む部分）の重心が股関節の軸よりも高いため、転倒の防止・上体部の立位保持のために股関節二分機構（Bisecting hip mechanism）<sup>6)7)</sup>を用いた。本体の後部に固定したデフ・ギア（差動歯車）と両脚をリンクで接続させる事により、本体部分は脚の二等分線上に保持される。

搭乗者は二足歩行機にまたがり、足部のペダルに踵を接して二足歩行機の脚を直接操作し、ペダルの無い土踏まずより前の部分は地面に接触させる。脚長・足首角度とも固定であるため、脚の前方への振り抜きに同期して、機体全体を左右に傾ける動作を行いながら歩行する。exoskeleton<sup>8)9)10)</sup>のように、人間と機械が同期する形で運動し、二足歩行機が一定程度の体重を支え、搭乗者の負担を軽減する。

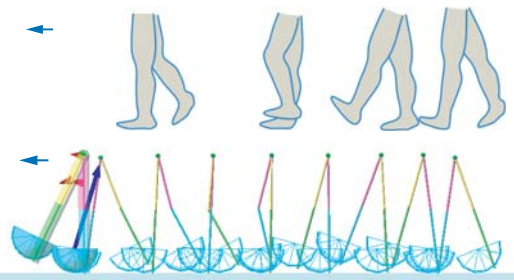


図1 同期し、相互引き込み<sup>5)</sup>をする人間の歩行と受動歩行の概念  
Fig.1 The schematic figure of the synchronized motion and mutual entrainment<sup>5)</sup> between the human walking and the passive dynamic walking

† 産業技術総合研究所  
Advanced Industrial Science and Technology



図 2 受動歩行ベースの人力乗用二足歩行機の試作機  
Fig. 2 The prototype of the human powered passive bipedal walker with the saddle

### 3. 実機の試作と試乗

実機の製作には、市販のキックボード等を構造材として流用した。デフ・ギアは、三輪自転車用のものを用いている。脚は固定長であり、脚長は 600[mm] (100[mm] 程度の調整が可能)、重量は 15[kg] である。試作機の試乗を行い、操作感を調べた。試乗により明らかになった課題とまとめて以下に記す。

- 固定脚長であるため、前方に傾き始めると、遊脚が余計に振り抜きづらくなる。現状の足首部分は固定だが、ガタ・弛みでも可動の方が歩きやすい。
- 側方への揺動動作のリズム維持を意識して歩行動作を行うと歩きやすい。逆に、無理に脚を振り出そうとしたり、搭乗者のみが前方に突っ込む形になると歩行が困難になる。
- (踵でペダルを踏みながら)歩行機の足部の脇に、搭乗者が直接地面に足を着いて歩行するのは、比較的容易である。歩行機の足部上面に搭乗者の足を全部載せる形での歩行は格段に困難である。搭乗者が足で地面を蹴れ (push-off) なくなる事と同時に、搭乗者が足裏から地面との接触状態を知覚できなくなる事も理由と考えられる。
- 受動歩行自体の安定性は非常に低く、搭乗者の両足を引き上げて運動する事はかなり困難であり、短時間出来た場合でも歩幅は極端に狭い。
- ハンドルは緩く持って、腰から下で操縦する方が、歩行が容易になる。
- 前進よりも後退の方が進みやすい。膝無し脚の場合、足部は、人間のような底屈方向より背屈方向の運動の方が推進力を得やすい可能性がある。

### 4. 終わりに

受動歩行をベースとした乗用二足歩行機の基本構造を示し、試乗の定性的結果を示した。

人間のバランス維持能力をシステムの中に積極的に組み込む事で、制御・駆動系の負担低減とより直感的な操縦性を目指す。将来的に、動力化・制御器によるバランス維持を行う場合も、自転車やバイク、あるいは、竹馬や義足と同様、人間のバランス維持能力と補い合う形で機能を実現し、人間と機械が渾然一体となって動作するシステムの構築を目指している。

謝辞 実機製作に関し、当センターテクニカルスタッフの有福崇明様、部品を融通して頂いた有限会社 KTV 様に、感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) Kamen,D.L., et al.: Personal mobility vehicles and methods, *US Patent*, 6367817 (2002).
- 2) 菅原雄介ほか: 搭乗者の受動的運動を考慮した人間搭乗型 2 足歩行ロボットの歩行パターン生成, *日本ロボット学会誌*, Vol.25, No.6, pp.842-850 (2007).
- 3) トヨタ自動車株式会社: 愛・地球博でのパフォーマンス・ショー開催内容を発表【添付資料 3】3. 搭乗歩行型ロボット i-foot (2004). (News Release).
- 4) McGeer, T.: Passive Dynamic Walking, *Int'l J. of Robotics Res.*, Vol. 9, Issue 2, pp. 62-82 (1990).
- 5) Taga, G., Yamaguchi, Y., and Shimizu H.: Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment, *Biol. Cybern.*, Vol.65, pp.147-159 (1991).
- 6) Wisse, M., Hobbelen, D. G. E., and Schwab, A. L.: Adding an upper body to passive dynamic walking robots by means of a bisecting hip mechanism, *Trans. on Robotics*, Vol.23, No.1, pp.112-123 (2007).
- 7) 浅野 文彦, 羅 志偉: 上体を有する劣駆動 2 脚ロボットの動歩行解析股関節二分機構を用いた高効率歩行の実現, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1G31 (2007).
- 8) Pratt, J. E., Krupp, B. T., Morse, C. J., and Collins, S. H.: The RoboKnee: An Exoskeleton for Enhancing Strength and Endurance During Walking, *Proc. of Int'l Conf. on Robotics and Automation*, pp.2430-2435 (2004).
- 9) Valiente, A.: Design of a Quasi-Passive Parallel Leg Exoskeleton to Augment Load Carrying for Walking, *Master's Thesis*, (2005).
- 10) 本田技研工業株式会社: 「体重支持型歩行アシスト」の試作機を公開 (2008). (News Release).