

# 受動歩行ベース乗用二足歩行機 BiTrekker の 基本構造と試作・試乗

宮腰清一 (産業技術総合研究所)

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

\*Seiichi MIYAKOSHI (Advanced Industrial Science and Technology)

**Abstract**— In this paper, a semi-autonomous bipedal vehicle based on passive dynamic walking (PDW) principles is proposed. To date, some bipedal walking robots have been developed to carry a person on uneven terrains. However, they don't utilize a PDW mechanism; nor they don't use the balancing ability of a human as like a bicycle or motorbike. This paper describes the basic structure of the PDW based human balancing bipedal vehicle and reports the test ride of the prototype machine.

**Key Words:** quasi-passive dynamic walking, human powered vehicle

### 1. 始めに

近年、「Segway」[1]等に代表されるパーソナル・モビリティが注目を集めつつある。車輪型ではなく、脚型のものとして、ヒトを乗せて動歩行が可能な二足歩行ロボット「WL-16」[2]、「i-foot」[3]、「HUBO FX-1」[4]が試作されている。

本研究では、古典的なパーソナル・モビリティとして、車輪型において自転車が占めていた位置を脚型において占めるものが受動歩行 (passive dynamic walking)[5]ではないか、と考え、脚型の乗物において自転車のような役割を果たす乗用二足歩行機の構築を目指す。これを BiTrekker (bi + trekker) と名付けて、研究を行っている。受動歩行と同様、機械系の構造自体を歩行に適するように設計し、また、自転車やバイク、あるいは、竹馬や義足と同様、ヒトが積極的にバランス維持に介入する事で、システムの簡素化とより直感的な操縦性を持たせる。将来的に、制御器によるバランス維持を行う場合も、人間のバランス維持能力と補い合う形で、機能を実現する。また、乗用二足歩行機に受動歩行を取り入れる事で、非常に少ないエネルギーで、歩行を継続できる可能性がある。

最終的には、ヒトと機械が渾然一体となって動作する機械システムの構築を目指している。

### 2. 基本構造

Fig. 1 に試作機の写真を示す。2本の脚の上部を1軸の回転関節でつないで股関節とし、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事からくる転倒の防止・上体部の立位保持機構としては、例えば、股関節二分機構 (Bisecting hip mechanism) がある [6][7]。このモデルにおいては、脚部の動きをリンクにより取り出し、後部に置いたデフ・ギア (差動歯車) と接続させる事で、この機能を持たせる構造としている。

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、exoskeleton の

ように、同期して歩行しながら、二足歩行機が一定程度の体重を支える [8][9][10]。



Fig.1 The prototype of the human powered passive bipedal walker with the saddle

一方、将来的に、受動歩行機に乗る形では、搭乗した人間が、前後左右の揺動運動 (8の字運動 [11]) を行う事で、遊脚振り出しの foot clearance を確保し、遊脚の接地タイミングを調節し、関節や接地面での摩擦や粘性により系から失われる力学的エネルギーを補給し、歩行を継続させる。

### 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。

Fig. 2 に試作機に取り付ける2種類の足部の写真を示す。一つ目は、Fig. 1 で取り付けられていたものであり、鉄板を曲げた物を用いている。二つ目は安定性を増すためのC型鋼から作製した円弧状の足裏である。



Fig.2 The prototype of the plate type foot and round shape foot

試作機の試乗を行い、乗車感を調べた。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悪循環の構造がある。
- 足首部分は、固定より、ガタでも可動の方が歩きやすい。遊脚の前方への振り抜き時に、引っ掛かりが減る事が原因と考えられる。
- 脚長が固定であり、全体を側方に傾けないと脚を前方に振り抜けない構造であるため、脚を振り出す動作よりも、側方への揺動動作を主として歩行動作を行う必要がある。
- (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を行わせるのは、比較的容易である。ただし、歩行機のリズムに合わせた8の字運動をせずに、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。
- 脇に足を着くのではなく歩行機の足部上面に搭乗者の足を全部載せる形で歩行を行おうとすると、とたんに歩行が難しくなる。脚長固定・足首固定である事と同時に、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。今後、可動部分を順々に増やしていく事や搭乗者の足裏と地面との間に物体を介在させる事等が歩行に及ぼす効果を検証する必要がある。
- 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。足裏の形状を変更する等して、安定性を増す必要がある。

- ハンドルを強く握って操作するのではなく、むしろ緩く持って、腰から下で操縦する方が、歩行がうまく行く事が多い。
- 前進よりも後退の方が進みやすい。人間や二足歩行機の足部の非対称性の何かが関係しているのか検討し、改良する。

### 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想を示した。ヒト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・駆動系の負担を減らし、より直感的な操縦性を得る事を目指す。

構成論的アプローチによるヒトの歩行メカニズムの解明、ヒトと強く結びついた機械システムの設計についても一助となる事を目指している。

最後に、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, et al., "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] TOYOTA GROUP, "トヨタグループ、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", News Release, [http://www.toyota.co.jp/jp/news/04/Dec/nt04\\_1201c.html](http://www.toyota.co.jp/jp/news/04/Dec/nt04_1201c.html), 2004.
- [4] Kim, J., Lee, J., and Oh, J., "Experimental Realization of Dynamic Walking for a Human-Riding Biped Robot, HUBO FX-1," Advanced Robotics, Vol. 21, No. 3-4, pp. 461-484, 2007.
- [5] McGeer, T., "Passive Dynamic Walking," Int'l J. of Robotic Research, IJRR, Vol. 9, Issue 2, pp. 62-82, 1990.
- [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, TRO, 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 R. A., ICRA, 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] "Honda, 「体重支持型歩行アシスト」の試作機を公開", News Release, <http://www.honda.co.jp/news/2008/c081107.html>, 2008.
- [11] 梶田 秀司, "ゼロモーメントポイント (ZMP) と歩行制御", 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 3, pp. 229-232, 2002.