

UNI-CUB の開発

Development of UNI-CUB

矢 田 渉*
Wataru YADA

達 富 由 樹*
Yoshiki TATSUTOMI

長 谷 川 誠*
Makoto HASEGAWA

要 旨

Honda は、人が行き交う屋内空間や施設などで人と調和して移動することができるパーソナルモビリティをめざして開発に取り組んできた。

2009 年に U3-X, 2012 年に UNI-CUB, そして 2013 年には UNI-CUB β を発表した。

いずれも全方向への移動が可能で、かつ搭乗者の両足の間に収まるコンパクトなサイズの着座式倒立振り型パーソナルモビリティである。

本稿では、U3-X から採用された前後左右全ての方向に移動することができる全方位駆動車輪機構 Honda Omni Traction Drive System を用いた UNI-CUB の技術進化について述べる。また 2012 年 6 月から開始した日本科学未来館との共同実証実験における UNI-CUB という新しいモビリティの社会実装に関する検討について紹介する。

ABSTRACT

Honda has been engaging in development efforts aimed at new personal mobility that allows people to move in harmony with others in indoor spaces, facilities, and other such places where there are people coming and going.

In 2009, Honda announced the U3-X, in 2012 the UNI-CUB, and then in 2013 the UNI-CUB β .

All these are personal mobility devices capable of movement in all directions, which are also sit-on style, inverted pendulum-type, compact devices that fit between the rider's legs.

This paper describes the technological evolution of the UNI-CUB, which uses the Honda Omni Traction Drive System adopted since the U3-X that enables movement in all directions. This paper will also introduce the implementation in society of this new form of mobility known as the UNI-CUB. The demonstration tests carried out with the National Museum of Emerging Science and Innovation starting in June 2012.

1. まえがき

倒立振子の制御モデルの研究は、バイオメカニズムという人体の工学的研究分野において、既に 1970 年代に一軸の倒立振子の理論解析と模型を使った実証のレベルでおこなわれている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

四半世紀前の 1989 年、弊社の社内イベントであるアイディアコンテストにおいて、世界に先駆けた倒立振り型の乗り物の二つのタイプ（一軸型：平行二輪駆動、二軸型：単球駆動）が展覧され、国内で多方面の方々の興味を引いた⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾ (Fig. 1)。一軸型の乗り物はその後 2001 年 12 月に、セグウェイ社 (Segway Inc.) が商品化して新しいモビリティとして認知されてきた^{(7),(8)}。

一方、二軸型の単球駆動方式は、近年においても実用化に向けた研究や開発がおこなわれてきている⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾。その中で、Honda は駆動機構にオムニホイール機構を応用した独自の駆動輪を考案して訴求力のあるモビリティ開

発を開始した。

Honda は人が行き交う屋内空間や施設などで、人と調和して移動できるパーソナルモビリティをめざし、U3-X を 2009 年に世の中に発表した。U3-X には、より多くの場所で男女問わず幅広い年齢層の人を搭乗可能にするため、



(a) Single-axis type



(b) Dual-axis type

Fig. 1 Original mobility devices with inverse pendulum

* スマートモビリティ開発室

Honda 独自の Honda Omni Traction Drive System (HOT ドライブ) とバランス制御技術に加え、後部に新たな車輪を配置することによって容易な旋回を可能にし、更なる技術開発を重ね UNI-CUB として進化させてきた⁽¹²⁾。今回、2012 年と 2013 年にそれぞれ世の中に発表してきた UNI-CUB, UNI-CUB β への技術進化および実証試験の例について紹介する。

2. UNI-CUB β への研究開発の変遷

二足歩行ロボット (ASIMO) の研究で培ったバランス制御技術と、前後と左右を自由に移動できる全方位駆動車輪機構の HOT ドライブにより、搭乗者自身が身体を傾けて体重を移動させることで、全方位への移動と速度を調整することを可能とする新たなパーソナルモビリティを研究開発し、価値検証のためのショーモデルとして U3-X を 2009 年に発表した (Fig. 2, Table 1)。

U3-X の開発時のねらいは、搭乗者と調和でき、また周囲の人々とも調和できるパーソナルモビリティとし、

- (1) ハンズフリーでの操作・移動が容易なこと
- (2) 搭乗者の足つき性の良さによる安心感
- (3) 人幅に納まるコンパクトなサイズ
- (4) 周囲の歩行者と同じ目線の高さ

を商品要件とした。

次モデルの UNI-CUB の開発は 2012 年からの実証実験への投入を目的としておこなわれた。そこでは、人が自由自在に歩くことと同様な移動を、搭乗者の直観的な操作で実現できることを目指し、両足の間に収まるコンパクトなサイズを保ちながら前後左右斜めへの移動だけでなく旋回できるパーソナルモビリティを開発した (Fig. 3, Table 2)。

UNI-CUB β は実用における使い勝手を更に向上させるため、UNI-CUB の実証実験の結果をフィードバックさせ、

- (1) 小型・軽量化
- (2) 人と機体の一体感を更に高めるためのデザイン
- (3) 搭乗者や周囲の人に対する親和性を高めるための柔軟な外装設計

を課題として開発し、ビジネス実証モデルとして 2013 年に発表した (Fig. 4, Table 3)。

Table 1 Specifications of U3-X

Size (L × W × H) (mm)	315 × 160 × 650
Seat height (mm)	650
Battery type	Lithium-Ion Battery
Maximum speed (km/h)	6
Duration time (hour)	1

Table 2 Specifications of UNI-CUB

Size (L × W × H) (mm)	520 × 345 × 745
Seat height adjustment range (mm)	745 - 825
Battery type	Lithium-Ion Battery
Maximum speed (km/h)	6
Range (km)	6
Application environment	Barrier-free indoor environments

Table 3 Specifications of UNI-CUB β

Size (L × W × H) (mm)	510 × 315 × 620
Seat height (mm)	620
Battery type	Lithium-Ion Battery
Weight (kg)	25
Maximum speed (km/h)	6
Range (km)	6 (approximately 1.5 hours at speed of 4 km/h)
Application environment	Barrier-free indoor environments



Fig. 3 UNI-CUB



Fig. 2 U3-X



Fig. 4 UNI-CUB β

3. UNI-CUB の独自技術

UNI-CUB の外観を Fig. 5 に示す。

本体のシートフレーム下部に回転軸で支持した HOT ドライブを前輪とし、回転軸から後方にスイングアームを介して配置したオムニホイールの旋回輪を後輪とする機体構造を持つ (Fig. 6)。前輪は前後左右に移動できる駆動力により機体の移動とバランスさせる機能とし、後輪は専ら車体を旋回させる機能を有する。

3.1. HOT ドライブの原理

HOT ドライブの動作原理は Fig. 7 に示す複数の小径フリーローラを円周上に配置した大径車輪を外見上の特徴を持つ。内部両側面にはドライブディスクが配置され、その円周上に角度をつけて並べて配置されたフリーローラ (以下、駆動ローラ) を有し、それらが大径車輪付属のフリーローラに押し当てられた状態で回転力を与える構造となっている。



Fig. 5 External view of UNI-CUB

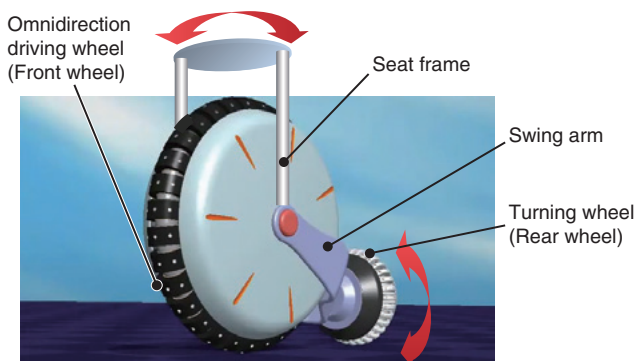


Fig. 6 Drive train with omnidirectional wheels

左右のドライブディスクを同じ角速度 (同一回転方向) で駆動させることにより小径フリーローラの軸回転を止め、大径車輪の軸回転のみを作動させることで機体が前後方向に移動する。逆に左右のドライブディスクを逆の角速度 (逆回転方向) で駆動させることにより大径車輪の軸回転を止め、小径フリーローラの軸回転のみ作動されることで、機体は左右方向に移動する。また左右のドライブディスクを異なる角速度 (大きさと方向) とすることにより、大径車輪と小径フリーローラの軸回転が複合して作動され、斜め方向の移動を可能としている。

この原理を応用した HOT ドライブを UNI-CUB に採用している。

3.2. バランス制御技術

機体と搭乗者を一体と見なした時の重心の挙動に応答する高度な制御系を構築した。その重心は搭乗者の重心移動によって変化するが、左右のドライブディスクは、それを搭乗者の移動意思に関わる指令値とみなして動作しながら搭乗者の姿勢安定も同時におこなう。前後左右に移動する速度と方向の指令値は、本体に対する搭乗者の相対的な重心の位置ずれ量から読み取っている。また、姿勢安定化のバランス制御は、機体の加速度センサと角速度センサの信号を入力し、HOT ドライブの車輪を前後左右に駆動させて傾きの復元力を適正に発生させるように機能する (Fig. 8)。

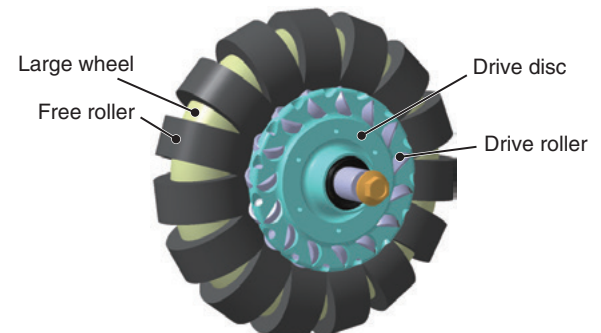


Fig. 7 Principle of HOT drive system

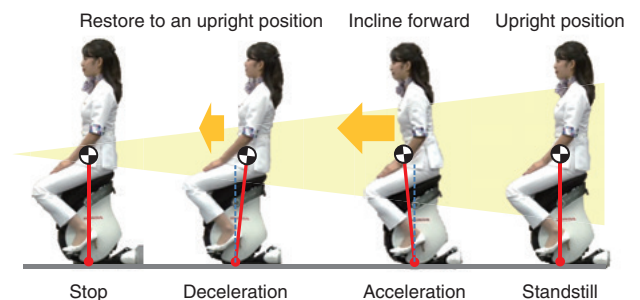


Fig. 8 Balance control

4. UNI-CUB としての進化

4.1. 旋回機能の必要性

駆動源として HOT ドライブのみを有する U3-X は一点で接地しており、構造上ヨーモーメント（接地点の鉛直軸周りのモーメント）を発生させられないため、それ自身で旋回の動作ができない。したがって、旋回させるためには、Fig. 9 に示すように、搭乗者がつま先を地面に軽く接触させ、その接触点をピボットとして旋回するといった操作テクニックを必要とし、一般の方が手軽に操作することが容易ではなかった。

この様な課題に対して、UNI-CUB には旋回輪を付加し旋回機能を持たせている。旋回輪は HOT ドライブの大径輪のように円周に複数のフリーローラを有する構造の駆動輪である。それは、Fig. 10 に示すように前輪と後輪の左右方向の移動速度差を検出して旋回角速度を発生させるように制御される。

旋回輪を付加しての移動制御では、前進から旋回および横移動から旋回への滑らかな遷移を実現するために、移動中に上体を傾けて体重移動をすることにより、旋回を可能とした。



Fig. 9 U3-X turning procedure using toe

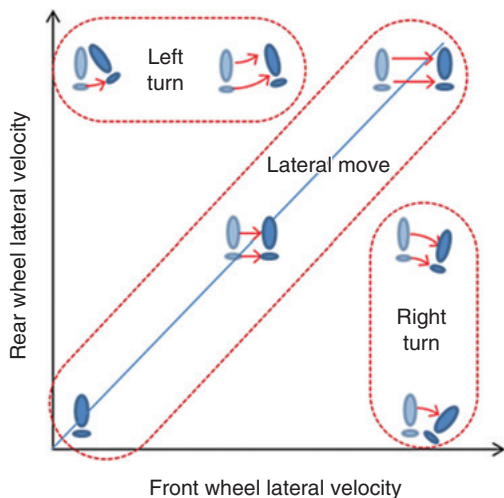


Fig. 10 Schematic diagram of lateral movement and turning

4.2. 前進と旋回の関係

前進から旋回への滑らかな遷移を実現するために、前進中に上体を横に傾けて体重移動することにより旋回するだけでなく横移動を発生させた。しかし初期の制御設定では、旋回中の機体の向きが旋回円の接線方向に対して外側を向くようになり、旋回の先が見えにくいといった違和感が発生した。そこで体重移動に対する機体の応答特性について官能評価テストを繰り返し、前進速度が高くなるにつれて横方向への体重移動に対する旋回の角速度の比が大きくなるような特性を導出した。前進速度と横方向への体重移動および旋回角速度の関係を模式的に表した図を Fig. 11 に示す。

これにより低速域から高速域までの全速度領域で、搭乗者意図に合った操作性を実現できている。

4.3. 横移動と旋回の関係

美術館などで壁に並んだ絵を見る際は、壁の絵を見ながらゆっくり横に移動することができ、さらに別の展示エリアに移動する場合には、より大きく横に体重移動することにより進行方向に車体向きを変えながら移動することが求められる。こうした動作を実現するためには、横移動ゲインと旋回ゲインをバランスさせた制御が必要であった。

Fig. 12 に、本機体に適用されている制御により実現される、左右への体重移動に対する旋回角速度と横移動速度の

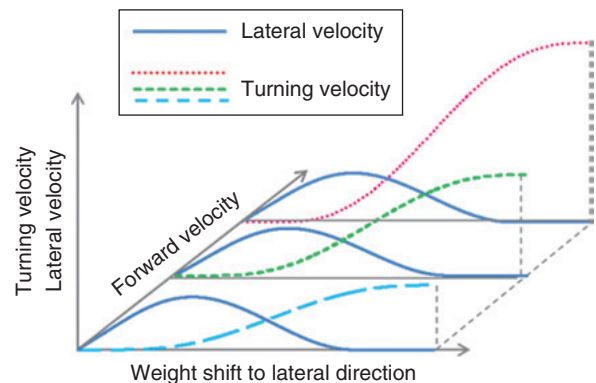


Fig. 11 Schematic diagram of turning motion generation (Velocity-dependent)

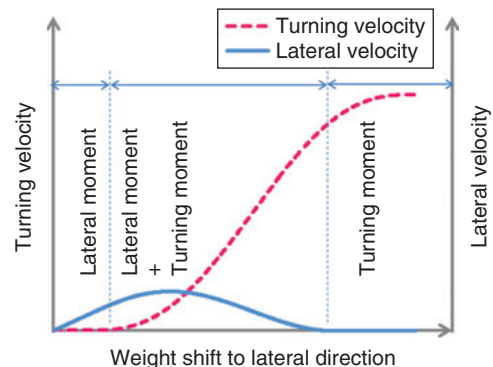


Fig. 12 Schematic diagram of turning motion generation

関係を模式的に示した。

横体重移動量が小さい時には、旋回をせずに横移動のみとし、横体重移動量が大きい時には、横移動と旋回が合わさった移動をするようにした。横体重移動量がさらに大きくなると、旋回のみさせるように機体応答特性を設定し美術館などで求められる動作感覚を実現した。

4.4. バリアフリー対応

U3-X (Fig. 2) の使用環境は屋内フラットフロアを想定し、点字ブロックや誘導ブロック等の段差のある屋内バリアフリー空間を想定していなかった。実証実験をするにあたり、それら 5 mm の段差を踏破できる性能を必要とした。HOT ドライブ (Fig. 7) を構成する大径車輪、小径車輪、ギヤの寸法を変更し段差踏破性能を向上させた。

5. 日本科学未来館との共同実証実験

UNI-CUB の発表後、2012 年 6 月より日本科学未来館との共同実証実験を開始した⁽¹³⁾。

Honda の目的は人と調和するパーソナルモビリティのコンセプトを検証することである。一方、日本科学未来館は、社会と研究者の間で新しい知を分かち合うことをミッションとしており、この共同実証実験は双方にとってメリットのある内容として合意された。例えば、長時間のガイドツアーは徒歩では疲れてしまい実現ができなかったが、UNI-CUB を用いることで可能なことが実証された。

実験は以下に述べるような順序で段階的に人との調和を検証できるように設計し、実行された。

5.1. ステージでのデモによる UNI-CUB 活用

まず、日本科学未来館のサイエンスコミュニケーター (SC) が来場者に UNI-CUB の特徴を伝える 15 分間のデモをおこなった (Fig. 13)。

ステージは来場者が間近に見ることができるレイアウトとし、UNI-CUB を使った SC が観覧者に近づいて意見を聞くなどの動作をして、お互いの親和性が確認された。



Fig. 13 Scene of UNI-CUB demonstration at an exhibition

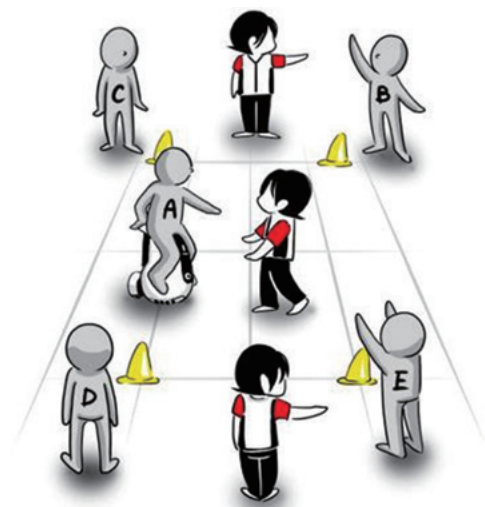
5.2. 館内巡回および案内業務での UNI-CUB 活用

SC が UNI-CUB を使用して館内の巡回および来場者への案内業務をおこなった。このとき初めて観覧者の中に UNI-CUB が入っておこなったが、すれ違う人の約半数がすぐには UNI-CUB に気がつかないほどの対人親和性を確認した。

この使い方では周囲から違和感なく受け入れられる親和性が確認されると共に、来館者たちとの自然な対話が生まれる様子が見られた。

5.3. 5 分間の体験会

来場者に対して短時間の体験会をおこなった。参加者は延べ 89 名、年齢は 11 歳から 81 歳と広い年齢層であった。体験会は参加者を 5 人 1 組とし、各組 1 台の UNI-CUB を割り当て、体験時間を 1 人あたり 5 分とした。搭乗者の視線の方向や指し動作等の自然な体重移動により UNI-CUB が動くことを感じてもらう様に配慮した。これによりほぼすべての人が時間内に操作を習熟していた。また、搭乗者以外の 4 人には搭乗者を程良い距離で広く囲んで立ってもらい、互いに人との調和を自然に感じられるように配慮した [Fig. 14(a), (b)]。



(a) Illustration of training method



(b) Photo of training scene

Fig. 14 Test area for 5-min. trial ride experience

体験会参加者に対しておこなったアンケート結果を Fig. 15 に示す。内容は、周囲との親和性、移動のしやすさ、安心感の3項目についてそれぞれ非常に良い、良い、ふつう、悪い、非常に悪い、の5段階評価をおこなった。5分間という短時間の体験であったにもかかわらず、周囲との親和性や移動のしやすさは高評価であり、UNI-CUB のコンセプトが受け入れられていることを確認した。

5.4. 来場者による館内ツアー体験会

来場者が UNI-CUB を使用し館内展示物を見学するツアーを実施した (Fig. 16)。ツアーの所要時間はアンケート等を含め約1時間、来場者数人を1組にし1名の SC がガイドする設定とした。体験者のコメントから、UNI-CUB を使用すると歩いて回るよりも展示物の見学に集中できる

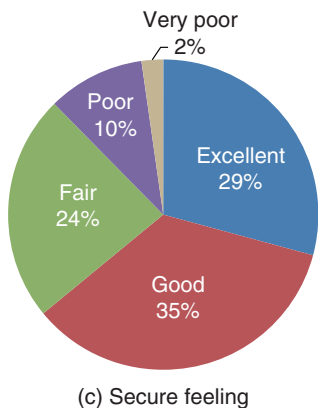
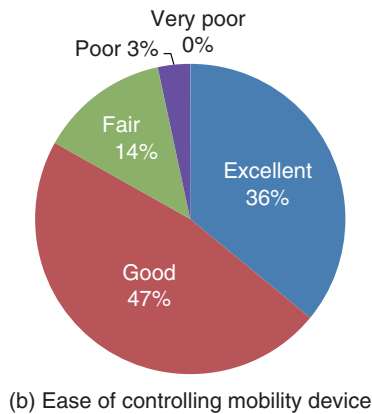
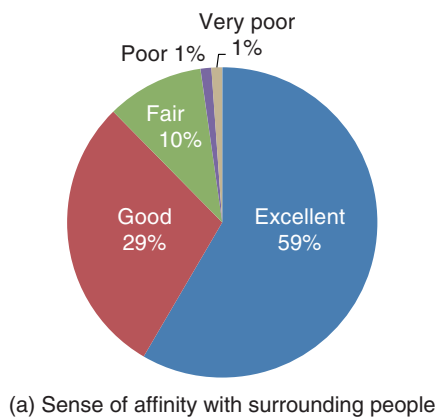


Fig. 15 Questionnaire results

ことが確認できた。また、実際のツアー時間よりも短く感じるというコメントも得られた。



(a) Scene of riders in motion



(b) Scene of visitors enjoying exhibits

Fig. 16 Guided tour

6. UNI-CUB β での活動

2013 年 11 月開催の第 43 回東京モーターショーでの発表後、全国各地のモーターショーに出展し、多くのお客様に体験頂いた。

その後、課金ビジネス実験として、日本科学未来館、株式会社ホンダカーズ大阪などにリースを開始し活用して頂いている。

このような経験をもとに、各地での展示会における会場内のガイドツアーに展開して実施している (Fig. 17)。

日本科学未来館では 2014 年 4 月より SC の巡回業務用に利用を開始し、10 月には同館内 UNI-CUB ステーション (Fig. 18) を開設して、有料乗車体験ツアーを開始した。同ツアーは日本科学未来館の所定ゾーンを乗車体験する未来館入門ツアーと、常設展示フロアを SC の解説付でまわる常設展ツアーの二つの料金設定で実施されている。

また、2014 年 10 月にはアメリカの人気ロックバンド (OK Go) のミュージックビデオに UNI-CUB β が登場し、世界中で視聴された (Fig. 19)。このような用途での利用は想定外であった。



Fig. 17 Scene of UNI-CUB units on standby at an exhibition



Fig. 18 UNI-CUB station

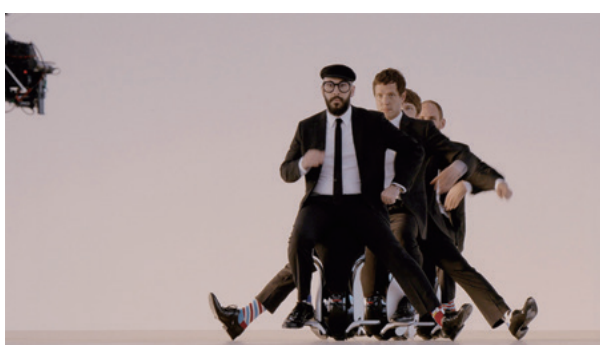


Fig. 19 Scene from "OK Go" music video

7. まとめ

Honda は従来より人と調和するモビリティの開発をおこなってきた。Honda 独自の HOT ドライブ機構を用いた 2009 年の U3-X であたかも歩行者のような移動を実現するコンセプトを発表した。その後、より操作性を高めた

UNI-CUB を用いて 2012 年に日本科学未来館において社会実装の実証実験をおこなった。2013 年には UNI-CUB β を発表、実証実験結果を反映し、使用できる人の対象を広げたコンパクトなパッケージとした。また 2014 年からはリースという形でビジネス実験を開始することができた。

今後広く認知されるにつれて、ミュージックビデオへの採用に見られるように、様々な形で普及が進むことが期待される。

参考文献

- (1) 江村超, 酒井高男: 反動力によって立位を維持する倒立振子の研究, バイオメカニズム, バイオメカニズム学会, No. 2, p. 321-328(1973)
- (2) 大西昇, 伊藤宏司, 土屋和夫, 伊藤正美: 身体運動時の逆応答の制御理論的考察, バイオメカニズム学会誌, Vol. 3, No. 4, p. 21-25(1979)
- (3) 江村超, 玄相昊: 倒立振子から始めた動的 2 脚ロボットの開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 4, p. 418-421(2005)
- (4) 手のひらでほうきを倒立させる原理, 日経メカニカル, 1989-12-25, p. 94-95(1989)
- (5) 鶴賀孝廣: 倒立振子型乗り物 (1) ファンタジー (不安立子) バイク, 日本ロボット学会誌, Vol. 8, No. 3, p. 364(1990)
- (6) 鶴賀孝廣: 倒立振子型乗り物 (2) 一球車, 日本ロボット学会誌, Vol. 8, No. 3, p. 365(1990)
- (7) Ha, Y. S., Yuta, S.: Trajectory tracking control for navigation of self-contained mobile inverse pendulum, Proc. IEEE/RSJ Int'l. Conf. on Intelligent Robots and Systems, p. 1875-1882 (1994)
- (8) Nguyen, H. G., Morrell, J., Mullens, K. Burmeister, A. B., Miles, S., Farrington, N., Thomas, K. M., Gage, D. W.: Segway Robotic Mobility Platform, Proc. of SPIE - The International Society of Optics Engineering, 5609, Mobile Robots XVII (2004)
- (9) Endo, T., Nakamura, Y.: An omnidirectional vehicle on a basketball, Proc. The 12th Int'l Conf. on Advanced Robotics (ICAR), p. 573-578 (2005)
- (10) Lauwers, T. B., Kantor, G. A., Hollis, R. L.: A Dynamically Stable Single-Wheeled Mobile Robot with Inverse Mouse-Ball Drive, Proc. IEEE Int'l. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2006), p. 2884-2889 (2006)
- (11) Kumagai, M., Ochiai, T.: Development of a Robot Balancing on a Ball, Proc. International Conference on Control, Automation and Systems 2008, p. 433-438 (2008)

- (12) 矢田渉, 小橋慎一郎, 長谷川誠, 城倉信也, 横井元治, 益田綾子: 着座式倒立振子型車両の実証実験報告 (第 1 報), 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 16-13, p. 11-14(2013)
- (13) 野副晋, 坂巻たみ, 小林直樹, 笹木一義, 小橋慎一郎, 長谷川誠, 末田健一: パーソナルモビリティ UNI-CUB の展示空間における実証実験, 日本科学未来館展示活動報告, Vol. 9(2014)

■ 著 者 ■



矢 田 渉



達 富 由 樹



長谷川 誠