

立ち乗り型パーソナルトランスポーターによる移動様式の変革

亀田 能成[†]

[†]筑波大学計算科学研究センター 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] kameda@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし セグウェイを始めとする小型パーソナルトランスポーターには、交通社会を変革する期待が寄せられているものの、現時点では技術的・社会的・法的問題から普及が進んでいない。本稿では、小型パーソナルトランスポーターの中でも立ち乗り型が社会的福音となりうることを明らかにする。その普及のために注意すべきことならについて議論する。その上で、取り組まれるべき研究の方向性を幾つか示す。

キーワード 搭乗型移動支援ロボット, モビリティロボット, パーソナルモビリティ, 平行二輪車, 歩行者+

1. はじめに

2001年のSegway社による電動平行二輪車の発売以降、個人の移動を支援する電動のパーソナルトランスポーター(Personal Transporter, 以下 PT)が利用できるようになりつつある。

視覚障がい者を含む歩行者のナビゲーション基盤を構築する研究を進めてきた関係で、PTに触れる機会を数多く得てきた。様々な形の移動支援やナビゲーション支援の研究を行うため、我々の研究室には現在、13機種 21台のPTが用意されている。その一部を図1に示す。また、我々の研究室のある筑波大学筑波キャンパスは一続きのキャンパスとして南北に直線距離でおおよそ3kmあり、キャンパス内の移動と数多くの建物への出入りについてPTでの経験を重ねてきた。

本稿では、そうしたPTでのエクスペリエンスをもとに、今後の交通社会を変革する能力を秘めた立ち乗り型PT(Hands free Personal Transporter, 以下 Haf-PT)が社会に普及すべきであると提案する。

以下、はじめに本稿で対象とするPTについて定義し、続いてHaf-PTが満たすべき要件と、その理由について述べる。次に、Haf-PTに社会適用性があることを示しつつ、解決すべき技術課題についても議論する。さらに、Haf-PTの搭乗者が歩行者+（ぷらす）と言わなければならない存在であるとした上で、取り組むべき研究の方向性と社会的波及効果を考察する。



図 1. 研究に供している PT 等

2. 従来型の移動様式と PT

本稿では、一人の個人が単独で自由な移動を実現するための移動様式を想定する。これにあてはまるものとして、歩行がまず挙げられる。歩行の中には、通常二足歩行の他、杖や手押しカートの利用、白杖や盲

導犬等を伴う歩行、などが含まれる。歩行に準じる移動様式として、車いすやシニアカー（ハンドル型電動車椅子）での移動がある。一般的ではないが、ローラースケートやスケートボードによる移動も挙げられる。より行動範囲を広げる従来型の移動様式として、自転車、自動二輪、自動車等がある。

これに対して、電気モーターとコンピュータによる制御を不可欠の要素として車輪形式の移動機械に組み込んだ新しい移動様式が近年現れつつある。代表例が2001年に発売されたSegway HTである。世界的に見ても、社会的に認知された明確なPTに対する定義はなく、交通社会への組み込み方法もまだ模索されている段階である。このことは、その呼び名すら定まっていないことから伺える。本稿ではPTとしたが、例えば国土交通省は搭乗型移動支援ロボットと呼称している一方で、つくば市での実証実験の報告[2]ではモビリティロボット(MR)となっている。

本稿で想定するPTは、以下の要件を満たすものとする。

【PTの要件】

- P1. 中速まででの路面や床面上の移動
- P2. 1人乗り
- P3. 車輪が1つないし2つ
- P4. 電動による移動
- P5. コンピュータによる制御がその運用に必須

P1,P2は目的要件であり、P3,P4,P5はそれを実現する上での機能要件である。

機能要件から導かれるPTの利点を以下に列挙する。まず実現に必要なとなる資材や大きさが従来型の移動様式に比べて小さい。これは[2]でも挙げられているように、資源・環境への負荷が小さいことに直結する。例えば重量でみれば、PTは概ね20kg程度までであり、電動アシスト自転車に比べても軽量である。このことは、コストにも貢献する。例外もあるが、多くのPTの価格は電動アシスト自転車と同程度かそれ以下である。

構成部品の少なさを考えれば、PT は今後さらに廉価になることが予想される。こうした観点から、PT を自転車や電動アシスト自転車等の進化版と見なすことは容易である。しかし、本稿では次節で PT の機能や要件を詳細に検討し直し、PT が単なる“また一つ別の新しい移動様式”に過ぎない存在ではないことを示す。

3. 立ち乗り型 PT の要件

PT のうち、特に立ち乗り型の移動様式が可能な PT を立ち乗り型 PT(Haf-PT)と呼ぶ。Haf-PT は、以下の要件を満たすものとする。

【Haf-PT の要件】

- T1. 搭乗中の制御は下半身で行えること
- T2. 搭乗したまま静止できること
- T3. 乗車降車が容易であること

上記に示すように、PT から Haf-PT への追加要件は大きなものではない。しかし、この 3 要件が、全く新しい交通社会を導くことになる。図 2 に、Haf-PT の一例である Ninebot Mini Pro に搭乗している様子を示す。



図 2. Haf-PT 搭乗例

上記の 8 要件を満たす Haf-PT では、搭乗中すなわち移動中に、手や頭などの上半身を全て自由に動かすことができる。

Haf-PT の本質は、歩行の代替であり、移動の自由と上半身の自由の両立である。これにより、P1 に示した路面や床面等の平面上での移動において、歩行を、Haf-PT での移動に置き換えることができる。歩行以外の従来型の移動様式は、歩行をする代わりに移動手段を提供してきた。それに対して、Haf-PT は、歩行そのものを代替する。すなわち、歩行が不要になる。

実際には、段差や階段などがあるために、完全に歩行が不要になるわけではないが、経験上、通常のオフィスワークに伴う移動等であれば Haf-PT を降りる必要はほぼない。

歩行の代替であるため、T3 は重要である。例えば、通常歩行から椅子に着座したりできるのと同様、Haf-PT からであればすぐに着座できる。

注意すべきは、ほぼ同じ平行二輪車でも、ハンドルレバー付きの形態は Haf-PT とは見なせないことである。例えば Ninebot elite という PT はハンドル付きの形で販売されているが、ハンドルなしの足で操作するレバーに交換することができる。交換は容易であるが、ハンドルレバー付きの PT の形態では両手が塞がるため、移動形態としては自転車に近く、歩行の代替とはならない。ハンドルなしの形態になって初めて Haf-PT と見なせることになる。

なお、歩行の代替としての Haf-PT は、移動速度をむやみに高めるべきではない。歩行者が出せる最大速度、すなわち駆け足程度の速さまでを上限とすることが必要である。

4. 立ち乗り型 PT の交通社会への適用性

歩行そのものを代替する Haf-PT であるので、その利用可能範囲は広い。本節では、実際の社会での Haf-PT の適用性と、その条件について議論する。

4.1. 到達可能性

Haf-PT は歩行の代替であるので、P1 で示した平面上の場所であれば、Haf-PT を利用することができる。本節では、特に、専有面積と走破能力の観点から考察する。

4.1.1. 専有面積

専有面積の大きさは、そのまま到達可能性に影響する。ヒトの標準の肩幅は経済産業省の“人体寸法・形状データ (size-JPN 2004-2006)”の平均値でみると 45cm 前後であり、腕を含めても 70cm 程度であると考えられる。参考までに、車椅子は JIS 規格(T9201/T9203)によると、最大で 70cm と規定されている。バリアフリー新法[3]によって、車椅子が通れるように配慮されている建物等では、車椅子用に経路が確保されている。

Haf-PT 搭乗時の占有面積は、図 2 でもわかるように、ヒトの立位とほぼ同じである。図 2 の Haf-PT の幅は 55cm であり、肘近辺の体の幅の方がむしろ広い。Haf-PT は超信地旋回が可能なこと、車輪径が車椅子より小さいことから、移動時に Haf-PT にかかる制約は車椅子より小さい。つまり、バリアフリー新法によって整備された経路があれば、それをすべて利用することができる。

4.1.2. 走破能力

Haf-PT の走破能力について、特に影響を受ける路面状況、段差、斜路の 3 項目について議論する。

路面状況については、端的に表現すれば、自転車が行ける種類の路面であれば問題ない。走行困難な

のは、砂地、葉や落ち葉が深い草地等、柔らかい路面である。砂利道や泥落としマット程度では問題ない。こうした柔らかい不整地面で不意に制御を失うと、落車だけでなく転倒の危険すらある。

段差については、Haf-PTは車輪が前後についていないため、車輪径がそのまま段差への耐性に影響する。端的に言えば、電動車椅子が通過できる場所であれば、車輪径10インチ以上あるPTなら走破できる。車輪径10インチ未満のPTでは、タイルの目地や床材が切り替わる境界に存在する僅かな段差でも落車する可能性がある。左右の足を別々に独立して稼働する部分に載せて制御する形式のPTになると、段差に対する走破性はより低くなる。これは、段差を迎える時の衝撃で、左右の足の角度がずれ、その結果直進性が失われるからである。

斜路について、多くのPTの登坂能力は公称15°程度であるとされる。日本の市街区の屋内であれば、バリアフリー新法[3]によって、車椅子用の経路は斜度が1/12までと定められている。これは約4.7°の斜度に相当するので、PTでの移動は問題ない。屋外では、様々な角度の斜路が存在するが、例えば立体駐車場内の斜路の設計上の限度は1/4であり、これが約14.0°に相当する。経験的に言えば、自転車漕いで自転車漕いで上がれる程度の坂であれば問題ない。一方で、PTでは車輪に対する直接的な制動機構がないため、下り坂での静止性は懸念事項であるが、実際には、登坂能力15°程度を称するPTであれば問題ない。

4.2. 社会的受容性

Haf-PTは新しい移動様式であることから、交通社会における他の交通者と共存を図ることは重要である。ここでも、Haf-PTが歩行の代替であることを考察の基盤とする。

本節では、見慣れないこと自体に対する違和感の解消、行動への理解、安全性の確保、の3点について議論する。はじめの2点は、安心性に対する議論とも言える。

4.2.1. 交通社会内での違和感の解消

Haf-PTに限らず、見慣れないものが交通状況内に存在すれば、警戒するのが当然である。そのため、直感的にHaf-PTが何らかの意味で歩行者とほぼ等価であることを認識できるようにすることが大切である。

搭乗時に歩行者と同様、上半身が直立して頭部や腕部が自由になっている姿勢であることは、このことに貢献する。

初期のSegwayの利点で挙げられていたような、搭乗位置によって背が歩行者より高くなることは、歩行者との差異を強調することになるのでHaf-PTでは避けるべきである。一方で、上半身の高さが極端に低い

ことも同じ理由により避けるべきである。

同じ理由で、Haf-PTの速度上限も歩行者の出せる速度の上限程度に抑えるべきである。もしこのことが守られないと、他の交通者が高速移動するPTを見て、それを歩行の代替と見なすことは難しくなる。

4.2.2. 行動への理解

Haf-PTは歩行の代替であるから、行動原理は歩行に準じることになる。このことは、自由に移動や方向転換、および停止などができることを意味する。搭乗者にとってこれは良いことであるが、他の交通者からすれば、従来の歩行者に対する警戒と同様の警戒が必要となる。これでは他の交通者には益がない。

Haf-PT内の情報システムは移動に関する制御を司っていることから、行動状況を搭乗者の手を煩わすことなく積極的に発信することがHaf-PTでは可能である。

つまり、Haf-PTによって、歩行者よりも行動状況を認識しやすい歩行者様式の交通単位を出現させることができる。

実際、現行のPTには、装飾のためにもあって多くのLEDが搭載されていることがあり、幾つかの機種では、加減速や左右旋回時に、自動車の発光パターンを真似ることで、この機能を実現している。しかし、自動車と違って発光器に対する基準等はまだ定まっていないため、これについては研究を進めることが必要である。そのときには、情報選択を行って、より重要な情報を提示できるようにすることが必要となる。また、周囲のHaf-PT搭乗者を含む歩行者、自動車運転者にその情報を伝えると共に、同じ内容を他のHaf-PTや自動運転車両の運転システムや交通管制システムに伝える枠組みが整備されるべきである。

4.2.3. 安全性の確保

安全性については、搭乗中の怪我の可能性、搭乗者が事故を起こす可能性、搭乗者が事故を受ける可能性の3つの観点が考えられる。

【搭乗中の怪我の可能性】

Haf-PTでは搭乗の容易さ(T3)が大事であるため、搭乗中に落車して怪我をする可能性は常にある。このことから、移動速度の上限を歩行と同程度とすることが望ましい。

研究としては、路面状況とHaf-PTの状況を認識し、落車しそうな状況を回避する事故予防技術の実現が望まれる。

【搭乗者が事故を起こす可能性】

歩行者同様、Haf-PT搭乗時に搭乗者が事故を起こす可能性がある。その原因としては、従来からの歩行者が事故を起こすのと同じものと、Haf-PT特有のものが考えられる。

歩行者ならでは原因に依る事故については、前項で挙げた怪我を避ける為の事故予防技術の向上の他、前節で述べた Haf-PT の情報発信によって周囲が緩和策を取るようにできる可能性がある。

Haf-PT 特有の原因への対策としては、まずは段差などを検知して回避する等の事故予防技術が考えられる。本項については今後実証に基づく調査と研究が必要である。

【搭乗者が事故を受ける可能性】

本項についても、歩行の代替としての Haf-PT であれば、そのリスクは歩行者と同程度である。Haf-PT の機械自体が事故の規模を悪化させる可能性はあるので、そうした装置上の安全技術の向上は必須である。

なお、歩行者より情報発信能力の高い Haf-PT が交通社会に歩行者の代替として参加することで、他の自動運転システムや交通管制システムと連携して事故を回避緩和する仕組みが用意できるはずである。

以上3つで挙げた技術的解決の方向性の他、Haf-PT に必ず保険を付けるような社会的枠組みにすること、事故の解析を円滑に行うためのドライブレコーダーを含むブラックボックスの Haf-PT への内蔵、および盗難を抑止するための安全機構等が、交通社会内での安全性の確保において重要である。

5. 歩行者+

歩行の代替となる移動様式としての Haf-PT が、交通社会にどのような影響を与えるかをこれまで考察してきた。

Haf-PT 搭乗者は、歩行者と同等の移動能力をもつが、ベースになるロボティクス技術(P5)によって、歩行者以上に交通社会を円滑に動かす交通単位となりうる。Haf-PT とその搭乗者は合わせて、歩行者+（ぷらす）と言える存在である。

5.1. 社会的課題

前節までに挙げた議論のほか、実際に歩行者+を社会中に出現させるためには、法制的整備が肝要である。現在は、多様な PT が存在するため、その位置づけも同一ということにはならない。このことは各国の法整備にもよく表れている。各国の法整備状況は、大別すると、歩行者と同一視する立場、自転車・バイク等の車両と同一視する立場、とにかく禁止の立場、になっている。日本は現在3番目に属する状況である。

これまでの議論で述べたように、PT を Haf-PT とし、歩行の代替である歩行者+と規定することで、1番目の立場での法制化を目指すのが、未来社会創造の第一歩として適切であろう。

それと別に、短距離の車両的移動の代替として、PT を別の形により進化させ、その社会的浸透を図ること

も必要と考える。

5.2. 想定するアプリケーション像

現在、我々は、PT ないし Haf-PT の利用による未来社会創造の研究を進めている。そのうち幾つかについて、狙いを簡単に述べる。

1つはパーソナルナビゲーション基盤の確立である。高齢者社会を見据え、物流の自動化のための研究が行われている。一方で、行動の機能が減退しても、人間は行動の自由を保持し続けるべきである。車両であれば運転の楽しさ、ということになるが、歩行においても、気ままに歩く楽しさが提供されるべきと考える。その気ままさを愉しむ際に必要となる、思う目的地に行きたいという意味を簡単に実行できるようにするため、PT、Haf-PT、およびその自動走行形態を組み合わせたパーソナルナビゲーションの実現に必要な研究を現在進めている。

別の取り組みとして、シェアードスペースを中心とする交通社会のデザインへの挑戦を行っている。街の中心部に広大な交通空間を設け、異種の交通単位が直接そこに参加するシェアードスペースは、街中心部の賑わいを取り戻す取り組みとして注目されている。ここで議論となるのが、安全性の担保である。歩行者+が参加するなら、輸送効率を向上させつつ、柔軟な交通を実現できると考えている。

5.3. 派生効果

歩行者+は、車輪をベースとする交通単位であり、途中の議論で述べたようにバリアフリー新法の恩恵を大きく受けることができる。もし、歩行者がほぼ歩行者+に置き換わることになれば、歩行に近い車輪移動のための社会インフラ整備が進むことになり、これはすなわち車椅子やカート、ベビーカーなどにとっても大きな福音になることが期待できる。

謝 辞

本研究の一部は、科研費基盤B「経路撮影に基づく歩行者・パーソナルモビリティナビゲーション基盤の構築」(17H01773)及び「日本版シェアードスペースのためのデザインシステム構築」(18H03480)の支援を受けて行われている。ここに謝意を示す。

文 献

- [1] “道路運送車両の保安基準、道路運送車両法施行規則等の一部改正等について”，国土交通省自動車局 2015年7月10日報道発表。
- [2] 鶴賀孝廣，“モビリティロボットの公道実証実験一特区制度の利用から全校展開へ”，日本ロボット学会誌，vol.33，no.8，pp.564-567，2015年2月。
- [3] “高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律(バリアフリー新法)”，国土交通省，2006年12月20日。