

歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルの提案

間邊 哲也^{†a)} 長谷川孝明[†]

Proposal of the Pedestrian Navigation Concept Reference Model

Tetsuya MANABE^{†a)} and Takaaki HASEGAWA[†]

あらまし 本論文では、歩行者ナビゲーションシステムの分類学に鑑みて、既存及び今後出現するあらゆる歩行者ナビゲーションシステムに適用可能で、歩行者ナビゲーションシステムの性格付けを目的とした解析や標準化のためのツールとして、歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを提案している。提案する歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルは、ユーザに提供するサービスについてまとめたサービスレイヤ、歩行者ナビゲーションシステムの基本構成についてまとめたシステムレイヤ、歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で必要な要素技術についてまとめた要素技術レイヤの3階層からなり、各レイヤは4~5種類のカテゴリーで細分化されている。また、提案する歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを用いて、既存の代表的な歩行者ナビゲーションシステムの性格付けとその性格を比較する具体例を示し、各システムの性格及び特徴の違いを明確にしている。

キーワード 歩行者ナビゲーション、コンセプトリファレンスモデル、標準化ツール

1. ま え が き

歩行者が快適に移動できる環境に対する需要の高まりから、歩行者ナビゲーションシステムに関する研究開発が活発に行われている[1]~[80]。しかし、歩行者ナビゲーションシステムに関する研究開発の現状は、各システムについて個別の評価方法を用いて行う評価が主であり、歩行者ナビゲーションシステムの標準化や評価方法の体系化を目指した研究・取り組みはほとんど行われていない。既存及び今後の歩行者ナビゲーションシステムに関する研究開発によって快適なモビリティ環境を社会に提供していくためには、歩行者ナビゲーションシステムの研究開発を効率良く行い、標準化をスムーズに進める必要がある。そこで、歩行者ナビゲーションシステムの分類整理や標準化を行うためのツールが必要となっている。

歩行者ナビゲーションシステムはITS (Intelligent Transport Systems) の研究開発分野の一つであるが、ITSにおける標準化ツールとしては、車車間通信コン

セプトリファレンスモデル [81]~[85]、ITS 通信コンセプトリファレンスモデル [86], [87] などが筆者らのグループによって既に提案されている。車車間通信コンセプトリファレンスモデル [81]~[85] の引用例として、車車間通信におけるデータ配布 [92] において車車間通信に関する研究分野のフレームワークとして利用されている。しかし、これらは車車間通信あるいはITS通信の標準化作業を効率的に行うことを目的としているため、歩行者ナビゲーションシステムの分類整理・標準化のツールとして利用することはできない。

本論文では、歩行者ナビゲーションシステムの性格付けを目的とした解析や標準化のためのツールとして歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを提案する。しかし、現在の歩行者ナビゲーションシステムの研究開発分野は混沌としているため、分類整理を行うためのインデックスが存在していない。そこで、本論文ではまず歩行者ナビゲーションシステムの分類学についてまとめることで、歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを作成するためのポイントを明確にする。そして、歩行者ナビゲーションシステムの分類学に鑑みて、既存及び今後出現するあらゆる歩行者ナビゲーションシステムに適用可能で、歩行者ナビゲーションシステムのスムーズな標準化及

[†] 埼玉大学大学院理工学研究科, さいたま市
Graduate School of Science and Eng., Saitama University,
255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, 338-8570 Japan
a) E-mail: manabe@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

び適切な比較を行うためのツールとして、歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを提案する。更に、提案する歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを用いて、既存の代表的な歩行者ナビゲーションシステムの解析及び比較を行う。

以下、2. で歩行者ナビゲーションシステムの分類学についてまとめた上で、3. で歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを提案する。4. では提案する歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを用いた解析・比較例を示す。

2. 歩行者ナビゲーションシステムの分類学 [88], [89]

2.1 歩行者ナビゲーションシステムの分類学 [88]

歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを作成する際のポイントを明確にするために、本節では歩行者ナビゲーションシステムの特徴を効果的に表現する本質的なパラメータとして、案内対象ユーザ、利用可能場所、ユーザの持ち物、案内の提供範囲の4項目によって、歩行者ナビゲーションシステムの分類整理を試みる。

- 案内対象ユーザ (Target user): ナビゲーションシステムが想定するユーザの属性で、健常者向け (Non-handicapped people) と身体障害者向け (Physically-handicapped people) を指標の軸の両端とする。高齢者 (Elderly people) については、身体障害者には属さないが、例えば、目が見えにくい、体が動かしにくいといった身体障害者に近い症状を示すことから、ここでは高齢者を障害の程度の軽い身体障害者とみなし、健常者と身体障害者の中間的な分類として位置づける。

- 利用可能場所 (Available area): ナビゲーションシステムが利用できる場所で、屋外向け (Outdoor) と屋内向け (Indoor) を指標の軸の両端とし、これらの中間的な分類として半屋外向け (Semi-outdoor) を用いる。

- ユーザの持ち物 (User's belongings): ナビゲーションシステムを利用する際にユーザが持たなくてはならない物の重さ・大きさで、重い・大きい (Heavy・Big) から軽い・小さい (Light・Small) で分類する。ここでは、重さ・大きさの基準として、ノートパソコン程度 (Laptop)、携帯電話機程度 (Mobile phone)、クレジットカード程度 (Credit card) を用いる。

- 案内の提供範囲 (Navigation area): ユーザの現在地に対して案内情報を提供する範囲で、現在地か

ら進む方向の案内を中心に行う現在地指向 (Present-location-oriented)、最終目的地周辺の案内を中心に行う最終目的地指向 (Final-destination-oriented)、現在地から目的地までの経路全体の案内を行う経路全体指向 (Whole-route-oriented) で分類する。

以上の4項目は相互に関係性があるため、これらを組み合わせることで歩行者ナビゲーションシステムの性質や特徴をより明確に表すことができる。その組み合わせを表現する方法として、三次元や四次元を用いることも可能だが、本論文では見やすさ・分かりやすさの観点から二次元で表現する。そこで、前述の4項目を2項目ずつ組み合わせ、 ${}_4C_2 = 6$ 種類のポジションマップを作成する。歩行者ナビゲーションシステムの分類整理のためのポジションマップを図1に示す。図1において、各システムがターゲットとする領域はアナログ的な広がりをもつが、ここではその目安を示すために基準点 (A1~A9, B1~B12 など) を図中に表示している。例えば、図1(a)において、健常者・屋外向けはA1付近、身体障害者・屋内向けはA9付近となり、図1(b)において、携帯電話機程度の重さ・大きさと現在地から進む方向の案内を中心に行うものはB4付近、クレジットカード程度の重さ・大きさと経路全体を案内するものはB8付近となる。図1を用いた既存の歩行者ナビゲーションシステムのマッピング例を以下に示す。

- 視覚障害者誘導用ブロック (点字ブロック) を用いた端末処理型 M-CubITS^(注1) 歩行者 WYSI-WYAS^(注2) ナビゲーションシステム [1]: カメラ付き携帯電話機を用いて屋内外・健常者向けに、ユーザの進む推奨方向を案内することから、A1-A2-A3・B4・C1・D4-D5-D6・E1-E2-E3・F4 付近にマッピングされる。

- NAVITIME® [43]: GPS (Global Positioning System) 内蔵携帯電話機を用いて屋外・健常者向けに、二次元地図で経路全体を、三次元地図で現在地から進む方向を案内することから、A1・B4-B5・C1-C2・D4・E1-E4・F4 付近にマッピングされる。

この図1のポジションマップに既存の歩行者ナビゲーションシステムの研究論文 [1]~[80] をマッピングした結果を表1~表3に示す。表1~表3において、健常者向け・屋外向け・携帯電話機程度 (A1・D4・F4)

(注1): エムキュービッツ; M-sequence Multimodal Markers for ITS; M-Cubed for ITS.

(注2): ウィジイウィアス; What You See Is What You Are Suggested.

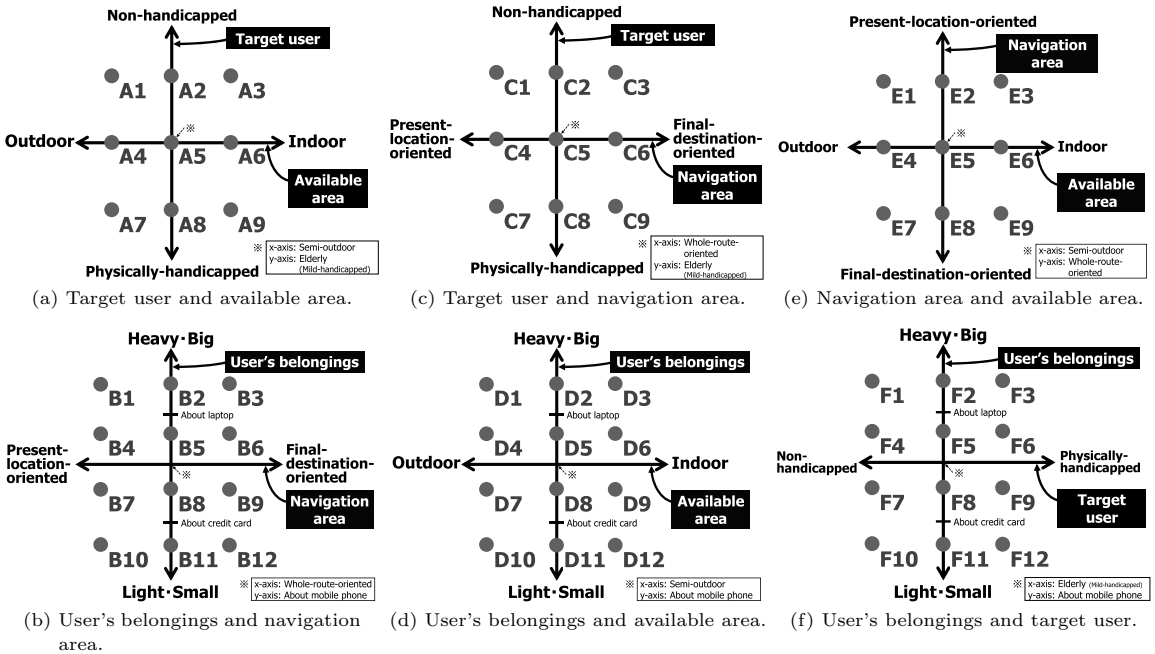


図 1 歩行者ナビゲーションシステムの分類整理のためのポジションマップ
Fig.1 Position-maps for classifying pedestrian navigation systems.

表 1 既存の歩行者ナビゲーションシステムの分類整理結果 (1/3)
Table 1 Classification results of existing pedestrian navigation systems (1/3).

Target	Total	References number
A1	55	[1] ~ [6], [9] ~ [12], [14], [16], [18], [19], [21] ~ [27], [31] ~ [48], [50], [52], [53], [64], [65], [67] ~ [69], [71] ~ [73], [75] ~ [79]
A2	23	[1] ~ [6], [10], [11], [14], [16], [19], [24], [31], [64], [65], [71], [73], [75] ~ [80]
A3	33	[1] ~ [5], [7], [8], [13], [15] ~ [17], [19], [24], [28] ~ [31], [41], [42], [45], [47], [48], [51], [64], [65], [70], [71], [74] ~ [76], [78] ~ [80]
A4	9	[4], [5], [16], [22], [23], [65], [67], [69], [76]
A5	5	[4], [5], [16], [65], [76]
A6	5	[4], [5], [16], [65], [76]
A7	20	[4], [5], [16], [22], [23], [49], [55] ~ [63], [65] ~ [67], [69], [76]
A8	14	[4], [5], [16], [49], [55], [57] ~ [63], [65], [76]
A9	15	[4], [5], [16], [49], [54], [55], [57] ~ [63], [65], [76]
B1	13	[5], [26], [31], [47], [49], [56], [57], [59] ~ [63], [69]
B2	6	[23], [25], [28], [58], [66], [69]
B3	0	N/A
B4	26	[1], [2], [6], [16], [17], [22], [29], [30], [33], [36], [37], [40], [43], [46], [52] ~ [55], [64], [65], [68], [74] ~ [77], [79]
B5	29	[8] ~ [10], [12], [13], [16], [17], [19], [21], [22], [24], [32], [34] ~ [37], [39], [41] ~ [45], [50], [64], [65], [67], [71] ~ [73]
B6	0	N/A
B7	5	[3], [4], [70], [79], [80]
B8	0	N/A
B9	0	N/A
B10	1	[78]
B11	1	[78]
B12	0	N/A

表 2 既存の歩行者ナビゲーションシステムの分類整理結果 (2/3)
 Table 2 Classification results of existing pedestrian navigation systems (2/3).

Target	Total	References number
C1	34	[1] ~ [6], [16], [17], [22], [26], [29] ~ [31], [33], [36], [37], [40], [43], [46], [47], [52], [53], [64], [65], [68] ~ [70], [74] ~ [80]
C2	34	[8] ~ [10], [12], [13], [16], [17], [19], [21] ~ [25], [28], [32], [34] ~ [37], [39], [41] ~ [45], [50], [64], [65], [67], [69], [71] ~ [73], [78]
C3	0	N/A
C4	7	[4], [5], [16], [22], [65], [69], [76]
C5	6	[16], [22], [23], [65], [67], [69]
C6	0	N/A
C7	17	[4], [5], [16], [22], [49], [54] ~ [57], [59] ~ [63], [65], [69], [76]
C8	8	[16], [22], [23], [58], [65] ~ [67], [69]
C9	0	N/A
D1	17	[5], [23], [25], [26], [31], [47], [49], [56] ~ [63], [66], [69]
D2	10	[5], [31], [49], [57] ~ [63]
D3	12	[5], [28], [31], [47], [49], [57] ~ [63]
D4	46	[1], [2], [6], [9] ~ [12], [14], [16], [18], [19], [21], [22], [24], [27], [32] ~ [46], [48], [50], [52], [53], [55], [64], [65], [67], [68], [71] ~ [73], [75] ~ [77], [79]
D5	18	[1], [2], [6], [10], [11], [14], [16], [19], [24], [55], [64], [65], [71], [73], [75] ~ [77], [79]
D6	26	[1], [2], [7], [8], [13], [15] ~ [17], [19], [24], [29], [30], [41], [42], [45], [48], [51], [54], [55], [64], [65], [71], [74] ~ [76], [79]
D7	3	[3], [4], [79]
D8	4	[3], [4], [79], [80]
D9	5	[3], [4], [70], [79], [80]
D10	1	[78]
D11	1	[78]
D12	1	[78]

表 3 既存の歩行者ナビゲーションシステムの分類整理結果 (3/3)
 Table 3 Classification results of existing pedestrian navigation systems (3/3).

Target	Total	References number
E1	37	[1] ~ [6], [16], [22], [26], [31], [33], [36], [37], [40], [43], [46], [47], [49], [52], [53], [55] ~ [57], [59] ~ [65], [68], [69], [75] ~ [79]
E2	24	[1] ~ [6], [16], [31], [49], [55], [57], [59] ~ [65], [75] ~ [80]
E3	29	[1] ~ [5], [16], [17], [29] ~ [31], [47], [49], [54], [55], [57], [59] ~ [65], [70], [74] ~ [76], [78] ~ [80]
E4	32	[9], [10], [12], [16], [19], [21] ~ [25], [32], [34] ~ [37], [39], [41] ~ [45], [50], [58], [64] ~ [67], [69], [71] ~ [73], [78]
E5	10	[10], [16], [19], [24], [58], [64], [65], [71], [73], [78]
E6	15	[8], [13], [16], [17], [19], [24], [28], [41], [42], [45], [58], [64], [65], [71], [78]
E7	0	N/A
E8	0	N/A
E9	0	N/A
F1	8	[5], [23], [25], [26], [28], [31], [47], [69]
F2	3	[5], [23], [69]
F3	13	[5], [23], [49], [56] ~ [63], [66], [69]
F4	55	[1], [2], [6] ~ [22], [24], [27], [29], [30], [32] ~ [46], [48], [50] ~ [53], [64], [65], [67], [68], [71] ~ [77], [79]
F5	5	[16], [22], [65], [67], [76]
F6	7	[16], [22], [54], [55], [65], [67], [76]
F7	5	[3], [4], [70], [79], [80]
F8	1	[4]
F9	1	[4]
F10	1	[78]
F11	0	N/A
F12	0	N/A

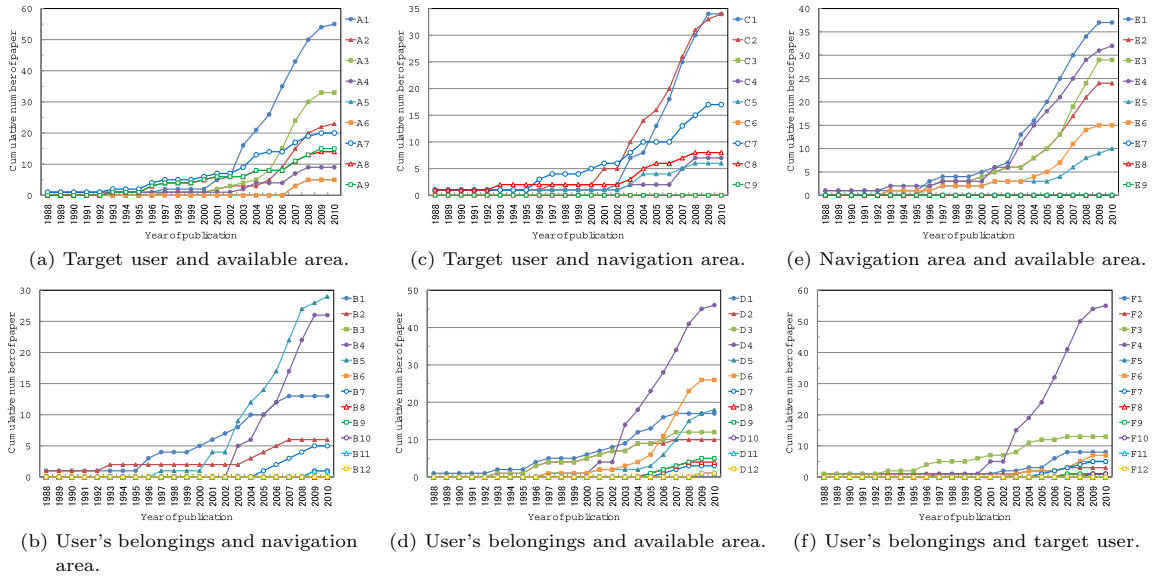


図 2 論文発表年に対する累積論文数の関係

Fig. 2 Relationship of the year of publication to the cumulative number of paper.

を主ターゲットとしている歩行者ナビゲーションシステムが数多く発表されていることが分かる。現在、多くのユーザ（健常者）がGPS内蔵携帯電話機を既に所有しており、それらを用いることで屋外向けの歩行者ナビゲーションシステムを比較的容易に実現できるため、これらの領域を主ターゲットとしているシステムも数多く発表されていると考えられる。一方、目的地指向の案内（B3-B6-B9-B12・C3-C6-C9・E7-E8-E9）の論文数は0だが、例えば、ぐるナビ[®](注3)では、ユーザが特定した店舗の周辺情報を地図などを用いて提供している。このようなシステムは、広い意味での歩行者ナビゲーションシステムと考えることができるが、従来から通常用いられてきた手法であるため、研究論文としては発表されておらず、表1～表3の論文数にも計上されていない。集計・分析の対象にウェブサイトなどを含めることで表1～表3に計上することも可能だが、ここでは信頼性・客観性の観点から研究論文のみを集計・分析の対象としている。

以上の結果から、歩行者ナビゲーションシステムの特徴を表現する本質的なパラメータ（案内対象ユーザ、利用可能場所、ユーザの持ち物、案内の提供範囲）と、これらを組み合わせて作成したポジションマップ（図1）を用いることで、既存の歩行者ナビゲーションシステムの分類整理を適切に行えることを確認した。また、研究論文の集計・分析によって、これまでに研

究開発が集中的に行われてきた領域、研究開発がほとんど行われてこなかった領域が明らかになった。

2.2 分類学の観点から見た歩行者ナビゲーションシステムの研究論文の統計 [89]

本節では、2.1で述べたポジションマップを用いて、既存の歩行者ナビゲーションシステムの詳細な分析を行う。ここでは、1988年から2010年までに国内外で発表された研究論文の論文発表年に対する累積論文数を集計・分析することで、分類学の観点からみた歩行者ナビゲーションシステムの研究論文の統計について整理を行う。

既存の歩行者ナビゲーションシステムの論文発表年に対する累積論文数の関係を図2に示す。図2において累積論文数が急激に増加している年は、その年に当該領域の論文が複数発表されたことを意味し、累積論文数に変化のない年は、論文が発表されてなかったことを意味している。つまり、研究論文の発表年に対する累積論文数を用いることで、どの年にどの領域の歩行者ナビゲーションシステムの研究開発が中心に行われてきたかを分析することができ、次の可能性の示唆にもつながる。図2から、1990年代は、身体障害者向け・屋外-屋内向け・ノートパソコン程度の持ち物・現在地指向の案内（A7-A8-A9・B1・C7・D1-

(注3)：ぐるナビ；<http://www.gnavi.co.jp/>

D2-D3・F3)を中心に論文が発表されていることが分かる。これは、身体障害者(特に視覚障害者)の他人の手を煩わせることなく移動したいという需要の高まりに対して、視覚障害者対象の歩行者ナビゲーションシステムの研究開発が活発に行われたことで、現在地から進む方向の案内(現在地指向の案内)が中心であったことに加え、当時の携帯電話機は今日ほど普及しておらず、性能も十分ではなかったために、ノートパソコン程度のものを利用していただけが挙げられる。2003年には、健常者向け・屋外向け・携帯電話機程度の持ち物(A1・D4・F4)が急激に増加している。この背景には、GPS内蔵携帯電話機が出現^(注4)したことで、歩行者の位置特定が屋外で容易に行えるようになったことが挙げられる。2005年以降は、健常者向け・屋内向け・携帯電話機程度の持ち物・現在地指向の案内(A3・B4・D6)が増加している。この理由としては、携帯電話機を利用した歩行者ナビゲーションシステムの普及、携帯電話機の高機能化(加速度センサや電子コンパス、カメラなどの搭載)による利用可能場所の拡大、直感性や理解のしやすさを考慮した現在地指向の案内(例えば地図を用いない案内など)の増加が挙げられる。特に最近では、携帯電話機の高機能化と身体障害者を含む歩行者全般の移動に対する需要の高まりから、案内対象ユーザも利用可能場所も限定しない歩行者ナビゲーションシステム(A1-A2-A3-A4-A5-A6-A7-A8-A9)の研究開発も進められている(例えば文献[4],[5],[16],[65],[76])。

以上の結果から、歩行者ナビゲーションシステムに関する研究論文の論文発表年に対する累積論文数を集計・分析することで、その研究開発の中心は、携帯電話機の高機能化と普及に伴って、案内対象ユーザ・利用可能場所が限定的な歩行者ナビゲーションシステム(障害者のみ、健常者のみ、屋外のみ、屋内のみ)から、ユーザも利用場所も限定しないシームレス性の高い歩行者ナビゲーションシステムに拡張され、ユーザの持ち物・案内の提供範囲がノートパソコン・経路全体指向から携帯電話機・現在地指向にシフトしていることが明らかになった。

以上、2.1及び2.2より、歩行者ナビゲーションシステムの特徴を表現する本質的なパラメータ(案内対象ユーザ、利用可能場所、ユーザの持ち物、案内の提供範囲)を用いることで、歩行者ナビゲーションシステムの分類整理を適切に行えることを確認した。また、これらのパラメータを組み合わせで作成したポジシ

ョンマップを用いて、分類学の観点から見た歩行者ナビゲーションシステムの研究論文の統計結果から、研究開発の中心の推移が明らかになった。

3. 歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルの提案

2.では、ポジションマップを用いた歩行者ナビゲーションシステムの分類学、及び、歩行者ナビゲーションシステムに関する研究論文の論文発表年に対する累積論文数を分析することで分類学の観点から見た歩行者ナビゲーションシステムの研究論文の統計について述べた。本章では、2.で述べた歩行者ナビゲーションシステムの分類学に鑑みて、既存及び今後出現するあらゆる歩行者ナビゲーションシステムに適用可能で、歩行者ナビゲーションシステムの性格付けを目的とした解析や標準化のためのツールとして、歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを提案する。

3.1 全体像

一般に、歩行者ナビゲーションは以下の本質的な基本3要素からなる。

- 歩行者ナビゲーションシステムがユーザに提供するサービス
- 歩行者ナビゲーションシステム全体の基本構造
- 歩行者ナビゲーションシステムの実現に必要な要素技術

すなわち、歩行者ナビゲーションは、個別要素技術を結集し、基本構造によって実現されるシステムがサービスを提供すると考えられることから、本論文では、これらの本質的な基本3要素に鑑みて、歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルの基本構造を3階層で構成する。提案する歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルの全体像を図3に示す。図3は、上位レイヤほど集合的でユーザに近く、下位レイヤほど要素的で技術に近いカテゴリで構成されている。また、上位レイヤはユーザに提供するサービスについてまとめたサービスレイヤ、中位レイヤは歩行者ナビゲーションシステムの基本構造についてまとめたシステムレイヤ、下位レイヤは歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で必要な要素技術についてまとめた要素技術レイヤがそれぞれ描かれている。本モデルに類似したコンセプトリファレンスモデルで

(注4)：2001年12月にKDDI株式会社がGPSケータイとしてC3001H(日立製)とC3002K(京セラ製)を発売。

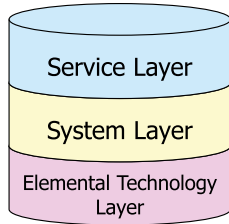


図3 歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルの全体像

Fig. 3 Overview of the pedestrian navigation concept reference model.

ある車車間通信コンセプトリファレンスモデル [81]～[85] では、その基本構造として「アプリケーション」「システム構築に関するリクワイアメント」「システムの提供すべき性能に関するリクワイアメント」の3階層が採用されている。

以下、本節では図3に示した歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルの全体像に基づいて、3.2でサービスレイヤ、3.3でシステムレイヤ、3.4で要素技術レイヤの構成について述べる。

3.2 サービスレイヤ

サービスレイヤでは、歩行者ナビゲーションシステムがユーザに提供するサービスについてまとめている。歩行者ナビゲーションシステムが提供するサービスに関する要素としては、対象（ユーザの身体的特性など）、機能（案内の種類など）、利用環境（屋外、屋内など）、性質（情報の鮮度など）が挙げられることから、歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルにおけるサービスレイヤは、サービスの対象となるユーザ、サービスの機能、サービスの利用環境、サービスされる情報の性質の4種類のカテゴリーで構成する。表4に歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルにおけるサービスレイヤの構成を示す。

3.2.1 サービスの対象となるユーザ

歩行者ナビゲーションシステムでは、サービスの対象となるユーザの属性や目的によって要求される機能や条件、情報などが大きく異なるため、ここでは、身体的特性、歩行の種類、移動目的によって分類を行う。

- 身体的特性：ユーザの身体的特性として、健常者、身体障害者で分類する。身体障害者を対象とした歩行者ナビゲーションシステムでは、目的地までの案内に加えて、ユーザの位置や方向、周辺環境の情報などが要求されるため、健常者を対象としたシステムとは明確に分離して議論しなくてはならない。この分類

表4 サービスレイヤの構成
Table 4 Constituent of service layer.

Item	Substance
【サービスの対象となるユーザ】	
身体的特性	健常者 ⇔ 身体障害者
歩行の種類	Pedestrian, Passenger
移動目的	Trip, Tour, Shopping
【サービスの機能】	
案内の種類	目的地の場所, 目的地の場所に 関連する情報
案内の提供範囲	現在地指向, 経路全体指向, 最終目的地指向
身体面の支援	あり, なし
【サービスの利用環境】	
利用可能場所	屋外 ⇔ 屋内
利用可能範囲	限定的・局所的 ⇔ 広域的・大域的
【サービスされる情報の性質】	
情報取得の方法	Pull型, Push型
情報取得に必要な操作回数	多い ⇔ 少ない
情報の信頼性	高い ⇔ 低い
情報の鮮度	高い ⇔ 低い
パーソナル化の程度	高い ⇔ 低い
対応言語数	単一言語, 複数言語

項目は、図1で示したポジションマップの“案内対象ユーザ (Target user)”と対応している。

- 歩行の種類：ユーザの歩行の種類による分類で、本論文では“Pedestrian”と“Passenger”を以下のように定義し、それぞれ分類を行う。Passengerは交通機関を利用（乗車や搭乗など）するために徒歩で移動する人、PedestrianはPassenger以外の一般歩行者で、交通機関を降りて徒歩で移動する人も含まれる。このような分類を行う理由として、Pedestrianの場合は目的地までの経路情報などを主に提供することになるが、Passengerの場合は交通機関を利用することが前提となるため、交通機関の乗り場までの経路情報や利用する交通機関の運行状況などを提供することになる。そのため、PedestrianとPassengerで明確に分離する必要がある。

- 移動目的：ユーザの移動目的による分類として本論文では、“Trip”, “Tour”, “Shopping”を用いる。Tripは、旅行を目的とした移動で、Business trip (出張旅行), Sightseeing trip (観光旅行), Shopping trip (買物旅行)などが含まれる。Tourは、Tripの中でも、ツアーガイドやツアーコンダクタのようにあらかじめ計画された観光ルートを案内する観光ツアーを目的とした移動で、Tripに完全に包含される。Shoppingは、購買を目的とした移動が該当する。Shoppingには、購買のみを目的とする場合、購買と旅行 (Trip)

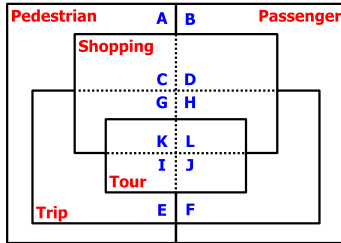


図4 歩行の種類及び移動目的による分類
Fig. 4 Classification of target users.

を目的とする場合、購買と観光ツアー（Tour）を目的とする場合の3種類が考えられる。このような分類を行う理由は、移動目的によってシステムが提供すべき情報（ユーザが要求する情報）が異なるため、例えば、Tripでは食事や宿泊などの情報、Tourでは観光ルートや観光スポットの情報、Shoppingでは売り場情報などを提供することになる。以上で述べた歩行の種類と移動目的による分類方法を図示すると、図4のようになる。

3.2.2 サービスの機能

歩行者ナビゲーションシステムがサービスとして提供する機能に関するカテゴリーで、案内の種類、案内の提供範囲、身体面の支援によって分類する。

- 案内の種類：案内として提供する情報の種類で、目的地の場所（例：住所など）と目的地の場所に関連する情報（例：営業時間など）で分類する。
- 案内の提供範囲：ユーザの現在地に対して案内を提供する範囲で、現在地から進む方向の案内を中心に行う“現在地指向（Present-location-oriented）”、現在地から目的地までの経路全体の案内を行う“経路全体指向（Whole-route-oriented）”、最終目的地周辺の案内を中心に行う“最終目的地指向（Final-destination-oriented）”で分類する。この分類項目は、図1で示したポジションマップの“案内の提供範囲（Navigation area）”と対応している。

- 身体面の支援：ユーザが歩行者ナビゲーションシステムを利用する際に、認知支援や注意喚起などの身体面の支援を行う機能の有無で分類する。

3.2.3 サービスの利用環境

歩行者ナビゲーションシステムの提供するサービスを利用できる環境に関するカテゴリーで、利用可能場所、利用可能範囲によって分類する。

- 利用可能場所：ユーザがサービスを利用できる場所として、屋外 ⇄ 屋内で分類する。この分類項目

は、図1で示したポジションマップの“利用可能場所（Available area）”と対応している。

- 利用可能範囲：ユーザがサービスを利用できる範囲として、日本全国や世界各国など広範囲で利用できる“広域的・大域的”と、施設（例：店舗など）や施設のグループ（例：商店街やモールなど）などで利用できる“限定的・局所的”で分類する。

3.2.4 サービスされる情報の性質

歩行者ナビゲーションシステムが提供するサービスにおける情報の性質に関するカテゴリーで、情報取得の方法、情報取得に必要な操作回数、信頼性、鮮度、パーソナル化の程度、対応言語数によって分類する。

- 情報取得の方法：サービスとして提供される情報をユーザが取得する方法として、ユーザが明示的に情報を引き出すPull型、システムが自動的に情報を配信するPush型で分類する。
- 情報取得に必要な操作回数：サービスとして提供される情報をユーザが取得するために必要な操作回数で、この分類の質的な方向性は、多い ⇄ 少ないである。
- 情報の信頼性：サービスとして提供される情報に含まれる曖昧さなど、情報の信頼性に関する項目で、高い ⇄ 低いによって分類する。
- 情報の鮮度：サービスとして提供される情報の更新間隔など、情報の鮮度に関する項目で、高い ⇄ 低いによって分類する。
- パーソナル化の程度：サービスとして提供される情報がユーザの属性（例：性別・年齢など）やコンテキストに応じて変更されているかなど、提供情報のパーソナル化の程度による分類で、高い ⇄ 低いを用いる。

- 対応言語数：サービスで対応する言語数で、一か国語のみに対応する場合は“単一言語”、二か国語以上に対応する場合は“複数言語”として分類する。ここで具体的な数値（二か国語、三か国語など）を用いないのは、歩行者ナビゲーションシステムの特徴を分類する上で、何か国語に対応しているかが重要ではなく、単一言語のみの対応か複数言語にも対応しているかが本質的な違いであるという考えに基づいている。

3.3 システムレイヤ

システムレイヤは、サービスレイヤと要素技術レイヤの中間に位置し、歩行者ナビゲーションシステム全体の基本構造についてまとめられている。歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で、その基本構造に

表 5 システムレイヤの構成
Table 5 Constituent of system layer.

Item	Substance
【ユーザに要求される持ち物】	
持ち物の有無	あり, なし
持ち物の種類	デバイス, e タグ・IC カード (アクティブ型), e タグ・IC カード (パッシブ型), カード
持ち物の大きさ	大きい ⇔ 小さい
持ち物の重さ	重い ⇔ 軽い
持ち物の用途	機械への入力, 機械からの出力表示, 機械との通信 (入出力)
記録・表示の方法	リードオンリー, リライタブル
【基本アーキテクチャ】	
利用形態	汎用品 ⇔ 専用品
ネットワーク化	非ネットワーク, アドホックネットワーク, 中央制御ネットワーク
インフラへの依存度	高い ⇔ 低い
【システムの動作】	
動作タイミング	イベントドリブン, タイムドリブン
応答のリアルタイム性	高い ⇔ 低い
【システムの発展性・拡張性】	
マイグレーションのしやすさ	高い ⇔ 低い
プラットフォーム化の程度	System-by-System ⇔ Platform-oriented

影響を与える要素として、ユーザの持ち物（種類や大きさ、重さなど）、アーキテクチャ（汎用品、専用品など）、動作方法（イベントドリブン、タイムドリブンなど）、発展性・拡張性（マイグレーションのしやすさなど）が挙げられることから、本モデルにおけるシステムレイヤは大きく分けて、システムを利用する上でユーザに要求される持ち物、基本アーキテクチャ、システムの動作、システムの発展性・拡張性の 4 種類のカテゴリーで構成する。表 5 に歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルにおけるシステムレイヤの構成を示す。

3.3.1 ユーザに要求される持ち物

歩行者ナビゲーションシステムでは、システムを利用する上でユーザに要求される持ち物によって、その基本構造や性質、条件などが大きく異なるため、まず、ユーザの要求される持ち物の有無によって分類を行い、持ち物が必要な場合、その持ち物の種類、大きさ、重さ、用途、記録・表示の方法によって更に分類する。

- 持ち物の有無：歩行者ナビゲーションシステムを利用する上でユーザに要求される持ち物の有無によって分類する。
- 持ち物の種類：歩行者ナビゲーションシステム

を利用する上でユーザに持ち物を要求する場合、その持ち物の種類として、デバイス（PDA（Personal Digital Assistant）や携帯電話機など）、e タグ・IC カード（RFID（Radio Frequency IDentification）など）、カード（磁気カードなど）によって分類する。特に e タグ・IC カードでは、その電源の種類として、アクティブ型とパッシブ型で分類する。

- 持ち物の大きさ：歩行者ナビゲーションシステムを利用する上でユーザに持ち物を要求する場合、その持ち物の大きさによる分類で、その質的な方向性は、大きい ⇔ 小さいである。この分類項目は、図 1 で示したポジションマップの“ユーザの持ち物（User’s belongings）”と対応している。

- 持ち物の重さ：歩行者ナビゲーションシステムを利用する上でユーザに持ち物を要求する場合、その持ち物の重さによる分類で、その質的な方向性は、重い ⇔ 軽いである。この分類項目は、図 1 で示したポジションマップの“ユーザの持ち物（User’s belongings）”と対応している。

- 持ち物の用途：歩行者ナビゲーションシステムを利用する上でユーザに持ち物を要求する場合、その持ち物の用途として、機械への入力、機械からの出力表示によって分類する。

- 記録・表示の方法：歩行者ナビゲーションシステムを利用する上でユーザに持ち物を要求する場合、その持ち物の記録・表示の方法として、記録されている情報の表示のみを行うリードオンリーと、情報・表示の書換えが可能なりライタブルで分類する。

3.3.2 基本アーキテクチャ

歩行者ナビゲーションシステムにおける基本アーキテクチャに関するカテゴリーで、利用形態、ネットワーク化、インフラへの依存度によって分類する。

- 利用形態：システムの利用形態として、汎用品を利用するもの、専用品を利用するもので分類する。
- ネットワーク化：システムのネットワーク化の方法として、ネットワークへの接続を必要としない非ネットワーク、ネットワークへの接続は必要だが基地局を設置しないアドホックネットワーク、基地局を設置する中央制御ネットワークで分類する。
- インフラへの依存度：システムのインフラへの依存度による分類で、その質的な方向性として高い ⇔ 低いを用いる。

3.3.3 システムの動作

歩行者ナビゲーションシステムの動作に関するカテ

ゴリーで、動作タイミング、応答のリアルタイム性によって分類する。

- 動作タイミング：システムが動作するタイミングとして、イベントの発生（例：ユーザが実行ボタンを押した、ユーザがある地点に到達したなど）によってシステムが動作するイベントドリブン、一定の時間間隔でシステムが動作するタイムドリブンで分類する。

- 応答のリアルタイム性：システムの動作に関して、ユーザの操作に対する応答のリアルタイム性による分類で、その質的な方向性として高い ⇔ 低いを用いる。

3.3.4 システムの発展性・拡張性

歩行者ナビゲーションシステムにおけるシステムの発展性・拡張性に関するカテゴリーで、マイグレーションのしやすさ、プラットフォーム化の程度によって分類する。

- マイグレーションのしやすさ：ナビゲーションシステムやそのサブシステム（ポジショニングサブシステムや情報通信サブシステムなど）のマイグレーションが容易に行えるか、高い ⇔ 低いで分類する。

- プラットホーム化の程度：ナビゲーションシステムの基本構造におけるプラットフォーム化の程度として、システム上でその専用システムが動作する“System-by-System”とプラットフォーム化によって共通化された基盤上で動作する“Platform-oriented”で分類される [91]。

3.4 要素技術レイヤ

要素技術レイヤでは、歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で必要となる要素技術分野についてまとめている。歩行者ナビゲーションシステムをはじめとする案内システムは、以下に示す五つの基本機能によって実現される。

- ポジショニング機能：ユーザの位置や方向を特定
- 情報通信機能：位置特定やナビゲーションを行う上で必要な情報を伝達

- HMI (Human-Machine Interface) 入出力機能：ユーザとシステム間のインタラクションを担当

- 空間情報データベース機能及び経路探索機能：位置特定やナビゲーションに必要な空間情報を管理と経路探索

- 各種センシング機能：ユーザの周辺環境など、各種センサを用いたセンシングを担当

これら五つの基本機能は、既存の歩行者ナビゲーションシステム [1]~[80] で例外はなく、全てに共通してお

り、かつ、普遍性が高いと考えられることから、歩行者ナビゲーションシステムの要素技術は、上記の基本機能に対応するものを考えればよいといえる。そこで、本モデルの要素技術レイヤは、ポジショニング技術、情報通信技術、HMI、空間情報データベース技術及び経路探索技術、各種センシング技術の5種類のカテゴリー（大項目）で構成する。既存の歩行者ナビゲーションシステム [1]~[80] が前述の五つの基本機能で実現されていることから、歩行者ナビゲーションシステムの要素技術は、これら5種類のカテゴリー（大項目）で網羅されていると考えられる。つまり、現時点で考え得るいかなる要素技術も、ここで挙げた5種類のカテゴリー（大項目）のいずれか一つまたは複数に属することになる。複数のカテゴリー（大項目）に属する要素技術の例として、「カメラ」はユーザの周辺環境のセンシングにしばしば用いられるが、QRコードの読取りでは「情報通信技術」、筆者らが研究開発を行っている M-CubITS (M-sequence Multimodal Markers for ITS; M-Cubed for ITS) では「ポジショニング技術」に属する。表6~表7に歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルにおける要素技術レイヤの構成を示す。

3.4.1 ポジショニング技術

歩行者ナビゲーションシステムにおいてユーザの位置や方向を特定するポジショニング技術に関する項目で、動作可能場所、位置特定の精度・種類・基準、位置情報の取得方法・取得者・表現方法、方向情報の取得方法で分類する。

- 動作可能場所：位置特定が行える場所による分類として、正確（精確）かつ安定的に動作する場所、不正確（不精確）または不安定な動作をする場所、動作しない場所を用いる。このような分類を行う理由として、GPSによる位置特定を前提とした歩行者ナビゲーションシステムでは、高層ビル街や地下・屋内などにおける電波の反射や遮へいによって位置特定結果が得られない、または、大きな誤差が生じて誤った案内をすることがしばしばあり、ユーザを混乱させている。そのため、位置特定が行える/行えないの2種類の分類ではなく、正確（精確）かつ安定的/不正確（不精確）または不安定/動作しないの3種類で分類する必要がある。

- 位置特定の精度：位置特定を行う際の精度による分類で、その質的な方向性は、高い ⇔ 低いである。ここで具体的な数値（精度 1 cm など）を用いない理由

表 6 要素技術レイヤの構成 (1/2)
Table 6 Constituent of elemental technology layer (1/2).

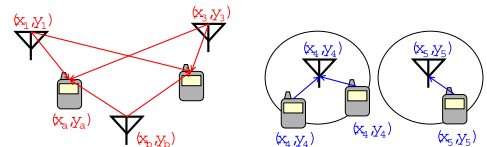
Item	Substance
【ポジショニング技術】	
動作可能場所	正確（精確）かつ安定的に動作する，不正確（不精確）/不安定な動作をする，動作しない
位置特定の精度	高い ⇔ 低い
位置特定の種類	アナログ的 ⇔ デジタル的
位置特定の基準	SBP, TBP, GBP
位置情報の取得方法	直接的，間接的（計算），間接的（累積）
位置情報の取得者	ユーザ側，システム側
位置情報の表現方法	緯度経度，緯度経度以外
方向情報の取得方法	あり（直接），あり（時間的差分），なし
【情報通信技術】	
動作可能場所	正確かつ安定的に動作する，不正確/不安定な動作をする，動作しない
通信速度	速い ⇔ 遅い
通信回数	多い ⇔ 少ない
通信時間	長い ⇔ 短い
通信量	多い ⇔ 少ない
リンク確立時間	長い ⇔ 短い
情報伝達の方向性	ユニキャスト，マルチキャスト，ブロードキャスト
通信の内容	ユーザの意思，位置情報，移動情報，目的地並びにその周辺情報，ソフトウェア
機械-機械間通信	あり（接触），あり（非接触），なし
〔非接触の場合〕機械-機械間通信の媒体	光，電波（電磁結合を含む）
〔光媒体の場合〕光媒体の波長帯	可視光，赤外光
〔電波媒体の場合〕電波媒体の周波数帯	VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF

表 7 要素技術レイヤの構成 (2/2)
Table 7 Constituent of elemental technology layer (2/2).

Item	Substance
【HMI】	
情報の入力先	(機械の) 触覚，聴覚，視覚
入力可能な情報量	多い ⇔ 少ない
入力方法の自由度	高い ⇔ 低い
入力内容の自由度	高い ⇔ 低い
情報の入力速度	速い ⇔ 遅い
情報の出力先	(人の) 触覚，聴覚，視覚
出力可能な情報量	多い ⇔ 少ない
出力可能な面積	広い ⇔ 狭い
出力情報の可搬性	高い ⇔ 低い
インタラクティブ性	高い ⇔ 低い
タッチパネル搭載の有無	あり，なし
タッチパネルの感知点数	1点，複数点
【空間情報データベース技術及び経路探索技術】	
道路地図データベースの大きさ	大きい ⇔ 小さい
歩行者用地図データベースの大きさ	大きい ⇔ 小さい
移動手段情報データベースの大きさ	大きい ⇔ 小さい
目的地並びにその周辺情報データベースの大きさ	大きい ⇔ 小さい
データベースの構造	階層型，ネットワーク型，リレーショナル型，オブジェクト型
データベースの管理方法	分散管理 ⇔ 集中管理
経路計算機能の有無	あり，なし
【各種センシング技術】	
ユーザの周辺環境のセンシング	あり，なし

として，本論文では，位置特定精度を分類する上での質的な方向性，すなわち，どのようなパラメータで分類するか，どのようなパラメータを比較すべきかを示すことを目的としているため，高い ⇔ 低いのような表現方法を積極的に採用している。また，位置特定精度のようなパラメータは，時代とともに変化していくため，現段階で具体的な数値を用いて分類を行ってしまうと，技術の進歩や発展，新たな技術の出現のたびにこの分類方法を見直さなくてはならず，標準化工具としての不変性の観点で適切ではない。

● 位置特定の種類:位置特定の種類として，図 5(a)のようにユーザの現在地を連続的に特定する“アナログ的な位置特定”，図 5(b)のようにユーザの現在地を 1 地点に代表して離散的に特定する“デジタル的な位置特定”で分類する。



(a) アナログ的な位置特定 (b) デジタル的な位置特定
図 5 アナログ的な位置特定とデジタル的な位置特定
Fig.5 Analog positioning and digital positioning.

● 位置特定の基準:位置特定を行う際の基準による分類として，衛星などを用いて天空をベースとした位置特定を行う“SBP (Space-Based Positioning)”，モバイル基地局や無線 LAN などの電波を用いて地上ベースの位置特定を行う“TBP (Terrestrial-Based Positioning)”，地面に敷設されたマーカなどを用いて地面をベースとした位置特定を行う“GBP (Ground-Based Positioning)”を用いる。

● 位置情報の取得方法:位置情報を取得する方法として，現在地の位置情報を直接取得するものと間接的に取得するもので分類する。また，間接的に取得す

る方法では、計算によって取得するものと累積情報から取得するもので分類する。

- 位置情報の取得者：位置情報の取得者として、ユーザ側（ユーザがユーザ自身の位置を知るもの）とシステム側（システムがユーザの位置を知るもの）で分類する。

- 位置情報の表現方法：位置情報を表現する方法として、緯度経度と緯度経度以外で分類する。

- 方向情報の取得方法：ユーザの向いている方向の情報取得の可否で分類した上で、その取得方法によって方向情報を直接取得するものと時間的な差分を利用して取得するもので分類する。

3.4.2 情報通信技術

歩行者ナビゲーションシステムにおいて位置特定やナビゲーションを行う上で必要な情報の伝達を行う情報通信に関する項目で、動作可能場所、通信速度、通信回数、通信時間、通信量、リンク確立時間、情報伝達の方向性、通信の内容、機械-機械間通信で分類する。

- 動作可能場所：情報通信が行える場所による分類として、正確かつ安定的に動作する場所、不正確または不安定な動作をする場所、動作しない場所を用いる。

- 通信速度：歩行者ナビゲーションシステムにおいて通信を行う速度による分類で、その質的な方向性として、速い ⇔ 遅いを用いる。

- 通信回数：歩行者ナビゲーションシステムにおいて通信を行う回数による分類で、その質的な方向性として、多い ⇔ 少ないを用いる。

- 通信時間：歩行者ナビゲーションシステムにおいて通信を行う際の1回当りの通信時間による分類で、その質的な方向性として、長い ⇔ 短いを用いる。

- 通信量：歩行者ナビゲーションシステムにおいて通信を行う際の1回当りの通信量による分類で、その質的な方向性として、多い ⇔ 少ないを用いる。

- リンク確立時間：歩行者ナビゲーションシステムにおいて通信を行うためのリンクを確立するのに要する時間による分類で、その質的な方向性として、長い ⇔ 短いを用いる。

- 情報伝達の方向性：情報を伝達する際の方向性として、一対一で通信を行うユニキャスト、一対多で通信を行うマルチキャスト、不特定多数に情報を伝送するブロードキャストで分類する。

- 通信の内容：情報として通信する内容（種類）として、目的地情報などのユーザの意思、ユーザの現

在地などの位置情報、目的地までの経路などの移動情報、目的地並びにその周辺情報、システムを使用するのに必要なソフトウェアで分類する。

- 機械-機械間通信：歩行者ナビゲーションシステムにおける機械-機械間通信の有無で分類した上で、機械-機械間通信を行う場合は更に、機械同士を物理的に接触させるものと、非接触で行うもので分類する。

- 機械-機械間通信の媒体：機械-機械間通信が非接触で行われる場合、その通信媒体として、画像などを含む光媒体と、電磁結合を含む電波媒体で分類する。

- 光媒体の波長帯：機械-機械間通信が非接触・光媒体で行われる場合、使用する波長帯として可視光と赤外光で分類する。

- 電波媒体の周波数：機械-機械間通信が非接触・電波媒体で行われる場合、使用する周波数帯として電波法で定められている呼称を用いて VLF (Very Low Frequency; 超長波) から EHF (Extremely High Frequency; ミリ波) までの 8 種類で分類する。

3.4.3 HMI (Human-Machine Interface)

歩行者ナビゲーションシステムにおいてユーザとシステムがインタラクションを行うための HMI に関する項目で、情報の入力先、入力可能な情報量、入力方法の自由度、入力内容の自由度、情報の入力速度、情報の出力先、出力可能な情報量、出力可能な面積、出力情報の可搬性、インタラクティブ性、タッチパネルの搭載/非搭載、タッチパネルの感知点数で分類する。

- 情報の入力先：ユーザからの情報の入力先として、文献 [90] で提案されている HMI 入力空間を用いて、機械の触覚（例：キーボード、マウスなど）、視覚（例：カメラ、OCR (Optical Character Recognition) など）、聴覚（例：マイクなど）で分類される。

- 入力可能な情報量：ユーザがシステムに対して入力できる情報量について、多い ⇔ 少ないで分類する。

- 入力方法の自由度：ユーザがシステムに対して情報を入力する方法の自由度について、高い ⇔ 低いで分類する。このとき、情報の入力方法が複数ある場合、自由度が高く、情報の入力方法が少ない場合、自由度は低くなる。また、前項目の入力可能な情報量が多くても、入力方法が1種類しかない場合と複数ある場合が考えられるため、この分類項目が必要である。

- 入力内容の自由度：ユーザがシステムに対して入力できる情報の種類（中身）の自由度について、高い ⇔ 低いで分類する。

- 情報の入力速度：ユーザがシステムに対して情報を入力する速度による分類で、速い ⇔ 遅いを用いる。例えば、パソコンで用いられているフルサイズのキーボードと、携帯電話機等で用いられるダイヤルキーでは、同じ情報量を入力するのに要する時間が明らかに異なるため、このような分類項目が必要である。

- 情報の出力先：システムからの情報の出力先として、文献[90]で提案されている HMI 出力空間を用いて、人の触覚（例：振動モータなど）、視覚（例：ディスプレイなど）、聴覚（例：スピーカなど）で分類される。

- 出力可能な情報量：システムがユーザに対して出力する情報量による分類で、多い ⇔ 少ないを用いる。

- 出力可能な面積：システムがユーザに対して情報を出力する面積による分類で、広い ⇔ 狭いを用いる。例えば、同じ情報をユーザに提示する場合、デスクトップパソコンのような大型ディスプレイに出力するのと、携帯電話機のような小型ディスプレイに出力するのでは、情報の受取り方が異なるため、このような分類が必要である。

- 出力情報の可搬性：システムがユーザに対して出力する情報を持ち運べるかを、可搬性が高い ⇔ 低いで分類する。例えば、文献[1]のように携帯機器の画面に案内情報を出力するものは可搬性が高く、文献[79]のようにインフラ設置機器の画面に案内情報を出力するものは可搬性が低い。

- インタラクティブ性：歩行者ナビゲーションシステムにおけるユーザインタフェースのインタラクティブ性（相互作用性）による分類で、その質的な方向性として、高い ⇔ 低いを用いる。この指標においては、対話型のように双方向性のあるインタフェースはインタラクティブ性が高く、単方向のものはインタラクティブ性が低くなる。

- タッチパネル搭載の有無：タッチパネルは、HMI 入出力空間[90]上で機械の触覚・人の視覚に位置付けられる。この位置付けは、例えば、パソコンに通常の液晶ディスプレイとキーボード・マウスを接続した場合と同じだが、これら二つの手法では操作性が大きく異なるため、タッチパネルの搭載/非搭載を明確に区別する必要がある。

- タッチパネルの感知点数：タッチパネルが搭載されている場合、iPhone®や iPad®などのように、タッチパネル上の2箇所以上の複数点を感知できるものと、

一点のみを感知するもので分類する。ここで具体的な数値（二点、三点など）を用いないのは、3.2.4の対応言語数と同様、一点か複数点かが本質的な違いであるという考えに基づいている。

3.4.4 空間情報データベース技術及び経路探索技術

GIS (Geographic Information System) で用いられる地理位置情報など、位置特定やナビゲーションに必要な空間情報を管理する空間情報データベース技術と経路探索技術に関する項目で、道路地図データベースの大きさ、歩行者用地図データベースの大きさ、移動手段情報データベースの大きさ、目的地並びにその周辺情報データベースの大きさ、データベースの構造・管理方法、経路計算機能の有無によって分類する。

- 道路情報データベースの大きさ：カーナビゲーションシステムなどでも用いられている道路地図データベースの大きさによる分類で、この分類における質的な方向性として、大きい ⇔ 小さいを用いる。

- 歩行者用地図データベースの大きさ：歩道や地下道など歩行者が利用するための地図に関する情報を格納する歩行者用地図データベースの大きさによる分類で、大きい ⇔ 小さいを用いる。

- 移動手段情報データベースの大きさ：鉄道や航路などの移動手段に関する情報を格納する移動手段情報データベースの大きさによる分類で、大きい ⇔ 小さいを用いる。

- 目的地並びにその周辺情報データベースの大きさ：目的地を中心とした周辺情報に関する情報を格納するデータベースの大きさによる分類で、大きい ⇔ 小さいを用いる。

- データベースの構造：歩行者ナビゲーションシステムで用いられているデータベースの構造によって、階層型、ネットワーク型、リレーショナル型、オブジェクト型で分類する。

- データベースの管理方法：歩行者ナビゲーションシステムで用いられているデータベースの管理方法として、エージェントを介して対して次々に問合せを行う分散管理、集中的に管理を行う集中管理で分類する。

- 経路計算機能の有無：現在地から目的地までの経路を算出する経路計算機能の有無で分類する。

3.4.5 各種センシング技術

ユーザの周辺環境のセンシング（例：障害物の検出）など、各種センサを用いたセンシング技術に関する項

目がこのカテゴリーに属する。

以上、本項では、**2.**の歩行者ナビゲーションシステムの分類学に鑑みて、歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルを提案した。ここで挙げた各項目は、筆者らが十分に注意・検討し、現時点で考え得る項目を全て挙げている。各レイヤを構成するカテゴリー（大項目）は、抽象化された普遍的なメタ要素として挙げており、現在及び今後出現するあらゆる歩行者ナビゲーションシステムに普遍的に適用可能であると考えられる。また、各カテゴリー内の小項目（細目）については、各レイヤを構成するカテゴリー（大項目）と同様に、現時点で考え得る項目を全て挙げているが、今後、新たな技術・センサ・サービスなどの出現によっては追加が必要になる可能性がある。例えば、スマートフォンやタブレットは近年急速に発展しており、新たな技術やセンサなどが短期間に次々と搭載され、それらを用いた新たなサービスも出現している（例：セカイカメラ[®](注5)）。今後も、現時点では予想し得ない技術・センサ・サービスなどが出現する可能性は十分考えられるが、本論文において将来まで含めた全ての技術・センサ・サービスなどを保証したモデル化を行うのではなく、新たな技術・センサ・サービスなどが出現した際に本論文で提案した歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルをベースにメタ要素を除いた細部の要素に関しては適宜追加していくのが合理的であると筆者らは考えている。

4. 歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルを用いた解析例

本章では、**3.**で提案した歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルを用いて、既存の歩行者ナビゲーションシステムの解析及び比較を試みる。ここでは、NAVITIME [43]とM-CubITS歩行者WYSIWYASナビゲーション(WyN)システムを解析・比較対象とする。M-CubITS歩行者WyNシステムは、処理型と被写体によって表8のように分類されるが、本論文では、点字ブロックの撮影画像を用いて案内に必要な処理を端末上で行う“TPB type T [1]”を解析対象とする。

解析対象の2種類の歩行者ナビゲーションシステム[1],[43]は、**2.1**で述べたように、屋外・健常者向けに、市販の携帯電話機を用いて現在地指向の案内を行っており、図1のポジションマップでは、両者ともほぼ同じ領域(A1・B4・C1・D4・E1・F4付近)を主ター

表8 M-CubITS歩行者WyNシステムの分類
Table 8 Taxonomy of M-CubITS pedestrian WyN systems.

被写体	処理型	端末 (Terminal)	メールサーバ (Mail server)
点字ブロック (Textured paving block; TPB)		TPB type T [1]	TPB type M [76]
縮小・集合型点字ブロック (Mini-TPB)		—	Mini-TPB type M [76]
タイルカーペット (Tile carpet; TC)		TC type T [74]	—
インターロッキングブロック (Interlocking block; ILB)		—	ILB type M [77]

ゲットとしている。また、NAVITIME [43]は、2000年に商用化され、現在では世間に広く知られた歩行者ナビゲーションシステムであるのに対し、M-CubITS歩行者WyNシステム(TPB type T) [1]は、筆者らの研究グループが2003年から長期間研究開発を続けている歩行者ナビゲーションシステムで、現在は埼玉大学構内に実験環境を構築し、実用化に向けた検討を行っている。本論文では、主ターゲットがほぼ同じ2種類の歩行者ナビゲーションシステムに対して**3.**で提案した歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルを適用し、これらの性格付けと性格比較の具体例を示す。

図1のポジションマップではほぼ同じ領域を主ターゲットとする2種類の歩行者ナビゲーションシステム[1],[43]に歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルを適用して解析を行った結果を表9～表12に示す。表中の“—”は参照した文献内に該当する記述がなく解析できない項目、または、議論する意味をもたないことを表している。例えば、視覚障害者向けの歩行者ナビゲーションシステムにタッチパネルが搭載されている場合、そのタッチパネルは明らかにユーザ(視覚障害者)が利用するためのものではない。仮に、介助者がユーザをサポートする際のインタフェースとして利用するのであれば議論の対象となり得るが、技術者がシステムのメンテナンスを行うために搭載されているのであれば議論の対象とはならないため“—”と表記することになる。また、**3.**で提案した歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルは、既存及び今後出現するあらゆる歩行者ナビゲーションシステムの性格付けを目的とした解析ツールであるため、その分類項目は和集合(OR)で用意してい

(注5)：セカイカメラ；<http://sekaicamera.com/>

表 9 解析結果の比較—サービスレイヤー—
Table 9 Comparison of analysis result
—service layer—.

	NAVITIME	M-CubITS 歩行者 WyN システム (TPB type T)
【サービスの対象となるユーザ】		
身体的特性	健常者	健常者
歩行の種類	Pedestrian, Passenger	Pedestrian
移動目的	Trip	—
【サービスの機能】		
案内の種類	目的地の場所	目的地の場所
案内の提供範囲	現在地指向～経路全体指向	現在地指向
身体面の支援	なし	なし
【サービスの利用環境】		
利用可能場所	屋外	屋外～屋内
利用可能範囲	広域的・大域的	限定的・局所的
【サービスされる情報の性質】		
情報取得の方法	Pull 型	Pull 型
情報取得に必要な操作回数	—	少ない
提供情報の信頼性	—	—
提供情報の鮮度	高い	低い
パーソナル化の程度	高い	低い
対応言語数	複数言語	単一言語

表 10 解析結果の比較—システムレイヤー—
Table 10 Comparison of analysis result
—system layer—.

	NAVITIME	M-CubITS 歩行者 WyN システム (TPB type T)
【ユーザに要求される持ち物】		
持ち物の有無	あり	あり
持ち物の種類	デバイス	デバイス
持ち物の大きさ	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
持ち物の重さ	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
持ち物の用途	機械との通信(入出力)	機械との通信(入出力)
記録・表示の方法	リライタブル	リライタブル
【基本アーキテクチャ】		
利用形態	汎用品	汎用品
ネットワーク化	中央制御ネットワーク	非ネットワーク
インフラへの依存度	GPS に依存	マーカに依存
【システムの動作】		
動作タイミング	イベントドリブン	イベントドリブン
応答のリアルタイム性	ユーザが所持するデバイスに依存	高い
【システムの発展性・拡張性】		
マイグレーションのしやすさ	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
プラットフォーム化の程度	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存

表 11 解析結果の比較—要素技術レイヤー (1/2)—
Table 11 Comparison of analysis result
—elemental technology layer (1/2)—.

	NAVITIME	M-CubITS 歩行者 WyN システム (TPB type T)
【ポジショニング技術】		
動作可能場所	GPS に依存	正確かつ安定的に動作
位置特定の精度	GPS に依存	高い
位置特定の種類	アナログ的	アナログ的
位置特定の基準	SBP	GBP
位置情報の取得方法	間接的(計算)	間接的(計算)
位置情報の取得者	ユーザ側	ユーザ側
位置情報の表現方法	緯度経度	緯度経度以外
方向情報の取得方法	あり(時間的差分)	あり
【情報通信技術】		
動作可能場所	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
通信速度	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
通信回数	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
通信時間	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
通信量	—	少ない
リンク確立時間	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
情報伝達の方向性	ユニキャスト	ユニキャスト
通信の内容	ユーザの意思, 位置情報, 移動のための情報, 目的地並びにその周辺情報, ソフトウェア	ソフトウェア
機械-機械間通信	なし	なし
[非接触の場合] 機械-機械間通信の媒体	—	—
[光媒体の場合] 光媒体の波長帯	—	—
[電波媒体の場合] 電波媒体の周波数帯	—	—

る。そのため、表 9～表 12 に示す解析結果には、今回解析対象としている 2 種類の歩行者ナビゲーションシステムのいずれも該当しない項目(例：表 11 中の機械-機械間通信など)、または、同一の結果になる項目(例：表 9 中の身体的特性など)も存在する。表 9～表 12 の解析結果において、特徴的な項目について以下にまとめる。

表 9 において、案内の提供範囲に関して、NAVITIME は二次元地図で経路全体を、三次元地図で現在地から進む方向を案内しているのに対して、M-CubITS 歩行者 WyN システムは現在地から進む推奨方向を矢符によって案内を行っている。利用可能場

表 12 解析結果の比較—要素技術レイヤ (2/2)—
Table 12 Comparison of analysis result
—elemental technology layer (2/2)—

	NAVITIME	M-CubITS 歩行者 WyN システム (TPB type T)
[HMI]		
情報の入力先	機械の触覚 (ダイヤルキー)	機械の触覚 (ダイヤルキー)
入力可能な情報量	—	少ない
入力方法の自由度	—	少ない
入力内容の自由度	—	少ない
情報の入力速度	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
情報の出力先	人の視覚 (ディスプレイ)	人の視覚 (ディスプレイ)
出力可能な情報量	—	ユーザが所持するデバイスに依存
出力可能な面積	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
出力情報の可搬性	高い	高い
インタラクティブ性	高い	中程度
タッチパネル搭載の有無	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
タッチパネルの感知点数	ユーザが所持するデバイスに依存	ユーザが所持するデバイスに依存
[空間情報データベース技術及び経路探索技術]		
道路地図データベースの大きさ	比較的大きい	比較的小さい
歩行者用地図データベースの大きさ	比較的大きい	比較的小さい
移動手段情報データベースの大きさ	比較的大きい	比較的小さい
目的地並びにその周辺情報データベースの大きさ	比較的大きい	比較的小さい
データベースの構造	—	リレーショナル型
データベースの管理方法	—	集中管理
経路計算機能の有無	あり	あり
[各種センシング技術]		
ユーザの周辺環境のセンシング	なし	なし

所に関して、NAVITIME は GPS によって位置特定を行うため、屋外での利用に限定されるのに対して、M-CubITS 歩行者 WyN システムはマークが敷設されている場所であれば、屋内・屋外問わず利用可能である。また、利用可能範囲に関しては、NAVITIME は日本全国のように広域的・大域的に利用可能なのに対して、M-CubITS 歩行者 WyN システムは施設及び施設のグループなどのように限定的・局所的な利用となる。

表 10 において、インフラへの依存度に関して、NAVITIME は GPS に依存するのに対して、M-CubITS 歩行者 WyN システムは位置特定に用いるマーク (バ

イント等) に依存する。なお、今回解析対象とした歩行者ナビゲーションシステム [1], [43] は、持ち物の有無と種類に関してはいずれも“あり (デバイス)”であるが、タッチパネルディスプレイを搭載したインフラ設置機器を用いた歩行者ナビゲーションシステム (例えば文献 [78]) は“なし”，パッシブ型の *e* タグを用いた歩行者ナビゲーションシステム (例えば文献 [3]) は“*e* タグ・IC タグ (パッシブ型)”となる。また、基本アーキテクチャにおける利用形態に関して、ユビキタスコミュニケーションと呼ばれる専用携帯情報端末を用いる歩行者ナビゲーションシステム (例えば文献 [64], [65]) は“専用品”となる。

表 11 のポジショニングにおいて、位置特定を行う基本手法の観点から、NAVITIME は GPS (衛星) を用いた SBP であるのに対して、M-CubITS 歩行者 WyN システムは地面上に敷設されたマークを基準とした GBP である。また、情報通信において、通信を行う情報の種類は、M-CubITS 歩行者 WyN システムでは端末にインストールするソフトウェアのみであるのに対して、NAVITIME ではソフトウェアのほか、ユーザの意思、位置情報、移動のための情報、目的地並びにその周辺情報である。なお、今回解析対象とした歩行者ナビゲーションシステム [1], [43] は、いずれも機械-機械間通信を利用していないため、表 11 には“—”と表記されているが、可視光通信を用いた歩行者ナビゲーションシステム (例えば文献 [75]) は、非接触・光媒体・可視光線 (380~750 nm), *e* タグを用いた歩行者ナビゲーションシステム (例えば文献 [3]) は、非接触・電波媒体・HF 帯 (13.56 MHz) で分類される。

表 12 において、空間情報データベース技術及び経路探索技術の 4 種類のデータベース (道路地図、歩行者用地図、移動手段情報、目的地並びにその周辺情報) に関して、NAVITIME は、広範なエリアの案内を行うため、種々のデータサプライヤからのデータを変換・蓄積した比較的大きなデータベースであるのに対して、M-CubITS 歩行者 WyN システムは、地下街やモールなどの限定的なエリアで案内を行うため、狭いエリア独特のきめ細かいデータを中心とした比較的小さなデータベースである。

以上、本章では、3. で提案した歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルを用いて、既存の代表的な歩行者ナビゲーションシステムの解析・比較例を示した。特徴的な項目として、天空から位置特定を

行う SBP と足元から位置特定を行う GBP, 広範なエリアでの案内に向けたサービスと地下街やモールなどの限定的なエリアでのきめの細かい独特の案内に向けたサービスなどについてまとめ, 解析・比較対象の歩行者ナビゲーションシステムの性格及び特徴を明らかにした。

5. む す び

本論文では, 歩行者ナビゲーションシステムの分類学に鑑みて, 歩行者ナビゲーションシステムの性格付けを目的とした解析や標準化のためのツールとして, 既存及び今後出現するあらゆる歩行者ナビゲーションシステムに適用可能な歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルを提案した。提案した歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルは, ユーザに提供するサービスについてまとめたサービスレイヤ, 歩行者ナビゲーションシステムの基本構成についてまとめたシステムレイヤ, 歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で必要な要素技術についてまとめた要素技術レイヤの3階層からなり, 各レイヤは4~5種類のカテゴリーで細分化されている。更に, 提案した歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルを用いて, 既存の代表的な歩行者ナビゲーションシステムの性格付けとその性格を比較する具体例を示し, 各システムの性格及び特徴の違いを明確にした。

今回提案した歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルの各レイヤを構成するカテゴリー(大項目)は, 抽象化された普遍的なメタ要素として挙げており, 現在及び今後出現するあらゆる歩行者ナビゲーションシステムに普遍的に適用可能であるが, 各カテゴリー内の小項目(細目)については, 今後, 新たな技術・センサ・サービスなどの出現によっては追加が必要になる可能性がある。また, 歩行者ナビゲーションシステムの評価を統一的に行うために, 歩行者ナビゲーションシステムの評価方法の充実と確立及び体系化が今後の課題として挙げられる。

謝辞 本研究の一部は, 科研費(20500085 及び 23500111)の助成を受けたものである。また, 貴重な意見を頂いた WYSIWYAS ナビゲーションコンソーシアム(WyNC)メンバー各位に深謝する。

文 献

- [1] 山下清司, 長谷川孝明, “視覚障害者誘導用ブロックを用いた M-CubITS 歩行者ナビゲーションシステムについて,” 信学論 (A), vol. J88-A, no. 2, pp. 269-276, Feb. 2005.
- [2] T. Manabe, S. Yamashita, and T. Hasegawa, “On the M-CubITS pedestrian navigation system,” Proc. 9th IEEE Int. Conf. ITS, Toronto, Canada, pp. 793-798, Sept. 2006.
- [3] T. Hasegawa, A. Fukuda, S. Shimoda, T. Inoue, H. Yanai, J. Moriya, S. Yamashita, K. Mizuno, H. Watanabe, K. Ogawa, K. Kodama, H. Ota, and K. Hatano, “Airport passenger intelligent transport systems (APITS)—Airport passenger navigation by using WYSIWYAS direction boards,” Proc. 13th ITS World Congress, London, UK, no. 2092, Oct. 2006.
- [4] 矢内裕之, 長谷川孝明, “WYSIWYAS 案内ボックスの提案—視覚障害の有無に関わらず利用可能な案内の実現に向けて,” 信学技報, ITS2006-95, March 2007.
- [5] 長岡哲郎, 矢内裕之, 長谷川孝明, “上腕部での振動により歩行者案内を行う WYSIWYAS 案内バンドについて,” 信学技報, ITS2006-96, March 2007.
- [6] 中口智史, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “歩行者ナビゲーションシステムにおける携帯電話カメラ機能を利用した位置補正手法,” 信学技報, ITS2005-114, March 2006.
- [7] 小林和馬, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “屋内向け歩行者ナビゲーションにおけるユーザの嗜好性と混雑状況を考慮した目的地決定手法,” 信学技報, ITS2006-32, Sept. 2006.
- [8] 荒井 亨, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “屋内用歩行者ナビゲーションにおける歩行者の嗜好を反映させる経路探索手法,” 信学技報, ITS2006-33, Sept. 2006.
- [9] 二宮直也, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “歩行者ナビゲーションにおける微小画面での視認性とユーザの迷いにくさを考慮した略地図生成手法,” 信学技報, ITS2006-34, Sept. 2006.
- [10] 大平英貴, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “歩行者ナビゲーションにおける GPS 誤差補正のための道路標識による現在位置測位手法,” 信学技報, ITS2007-28, Sept. 2007.
- [11] 本多聖人, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “歩行者ナビゲーションにおける携帯電話カメラ機能とランドマークを利用した位置補正手法,” 信学技報, ITS2007-29, Sept. 2007.
- [12] 松本和也, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “道路ネットワーク分割に基づく高速エリア略地図生成手法,” 信学技報, ITS2008-12, July 2008.
- [13] 山岸敬弘, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “屋内環境におけるユーザの経路嗜好調査とこれに基づく経路探索手法,” 信学技報, ITS2008-13, July 2008.
- [14] 児島伴幸, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “歩行者ナビゲーションにおける道路標識を用いた位置特定システムのための撮影状況に依存した認識度調査,” 信学技報, ITS2008-14, July 2008.
- [15] 高梨郁子, 石渡要介, 斎藤謙一, 久永 聡, 田中 聡, 山路 晃徳, 秋間文和, “屋内ナビゲーションシステムに関する一考察,” 情処学研報, 2006-ITS-24 (12), pp. 87-92, March 2006.
- [16] 高梨郁子, 菅沼優子, 久永 聡, 田中 敦, 田中 聡, “インタラクティブデジタルサイネージシステムと携帯電話

- 話による歩行者誘導,” 情処学研報, 2007-ITS-28 (10), pp.71-78, March 2007.
- [17] 高梨郁子, 斎藤謙一, 加瀬隆明, 田中 敦, “屋内空間における歩行者の案内方式に関する一考察,” 情処学研報, 2007-ITS-31 (3), pp.17-23, Nov. 2007.
- [18] 高梨郁子, 神田準史郎, 藤本仁志, 田中 敦, “交差点の複雑さを考慮した経路案内タイミングに関する研究,” 信学技報, ITS2008-90, March 2009.
- [19] 前田典彦, 菊池保文, 久保田浩司, “視き込み型ディスプレイを用いた歩行者ナビゲーション端末,” 情処学研報, 2000-ITS-004 (8), pp.43-48, March 2001.
- [20] 杉山 聡, 赤埴淳一, 小暮 潔, “歩行者ナビゲーションにおける情報伝達の利用者適応の分析,” 情処学研報, 2001-NL-143 (13), pp.89-94, June 2001.
- [21] 長谷川保, 松田三恵子, 久保田浩明, “歩行者向け対話型道案内サービスのための案内テキスト生成,” 信学技報, HIP2001-13, July 2001.
- [22] 山本篤史, 屋代智之, “振動を用いた歩行者ナビゲーションの提案,” 情処学研報, 2003-ITS-13 (8), pp.55-62, May 2003.
- [23] 宮前雅一, 岸野泰恵, 寺田 努, 塚本昌彦, 平岡圭介, 福田登仁, 西尾章治郎, “ウェアラブルコンピュータを用いた万博記念公園ナビゲーションシステムの設計と実装について,” 情処学研報, 2004-MBL-30 (1), pp.1-8, Sept. 2004.
- [24] 庄司拓也, 杉浦彰彦, “マーカー検出に基づくカメラの3次元位置推定を用いた歩行者ナビゲーションシステムの検討,” 信学技報, ITS2005-74, Feb. 2006.
- [25] 徳田英隼, 伊藤昌毅, 高汐一紀, 徳田英幸, “ぶらりナビ: 潜在的欲求を引き出す発見志向型ナビゲーションシステムの構築,” DICOMO2006 シンポジウム, July 2006.
- [26] 興梠正克, 酒田信親, 大隈隆史, 蔵田武志, “屋内外歩行者ナビのためのデッドレコニング/GPS/RFIDを統合した組み込み型パーソナルポジショニングシステム,” 信学技報, MVE2006-61, Sept. 2006.
- [27] 赤坂優太, 鬼沢武久, “経路選択に個人の好みを反映させた歩行者ナビゲーション—ファジィ測度・積分モデルの妥当性評価—,” 日本知能情報ファジィ学会誌, vol.18, no.6, pp.900-910, Dec. 2006.
- [28] 大隈隆史, 興梠正克, 酒田信親, 蔵田武志, “屋内展示ナビと現地や遠隔地での追体験のための三次元インタフェース,” 信学技報, MVE2007-44, Sept. 2007.
- [29] 和田崇雅, 高取祐介, 八嶋弘幸, “2次元コードと携帯端末を用いた屋内歩行者ナビゲーションシステムの提案,” 信学技報, ITS2008-6, May 2008.
- [30] 森下直樹, 長島弘法, 永長知孝, “無線アクセスポイントと分岐点画像を用いた歩行者ナビゲーションシステム,” 信学技報, ITS2008-92, March 2009.
- [31] 青海豪則, 田所嘉昭, “携帯型歩行者ナビゲーションシステムとその評価,” 電学論 (C), vol.122, no.12, pp.2083-2090, Dec. 2002.
- [32] 久保田浩司, 前田典彦, 菊池保文, “歩行者ナビゲーションシステムの提案と評価,” 情処学論, vol.42, no.7, pp.1858-1865, July 2001.
- [33] 福井良太郎, 白川 洋, 歌川由香, 重野 寛, 岡田謙一, 松下 温, “携帯電話における歩行者ナビゲーション情報の表示方法に関する提案と評価,” 情処学論, vol.44, no.12, pp.2968-2978, Dec. 2003.
- [34] 嶋田 茂, 谷崎正明, 丸山貴志子, “空間要約による携帯ナビゲーションシステムの構成方式と評価,” 情処学論, vol.44, no.12, pp.3002-3013, Dec. 2003.
- [35] 二宮直也, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “認知科学を応用した微小画面向け略地図生成手法とその統計的評価,” 信学論 (A), vol.J91-A, no.9, pp.869-882, Sept. 2008.
- [36] L. Chittaro and S. Burigat, “Augmenting audio messages with visual directions in mobile guides: An evaluation of three approaches,” Proc. 7th Int. Conf. on Human Comput. Interaction with Mobile Devices & Services, pp.107-114, Sept. 2005.
- [37] M. Nakano, C. Nakano, M. Yoshida, and T. Moriya, “The test operation of navigation system for pedestrian and cyclists for tourist spot,” Proc. 10th ITS World Congress, Madrid, Spain, Nov. 2003.
- [38] T. Hatase, K. Sato, Y. Wakamatsu, and H. Nishimura, “Development of a new location-based navigation/information service for pedestrians,” Proc. 10th ITS World Congress, Madrid, Spain, Nov. 2003.
- [39] M. Hoshino, H. Ueno, and K. Suzuki, “A study and development of pedestrian supporting information system,” Proc. 10th ITS World Congress, Madrid, Spain, Nov. 2003.
- [40] S. Usui, J. Tsuji, K. Wakimoto, S. Tanaka, J. Kanda, F. Sato, and T. Mizuno, “Evaluation of positioning accuracy for the pedestrian navigation system,” IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.7, pp.2848-2855, July 2005.
- [41] T. Ariizumi, A. Miyamoto, S. Nomura, K. Yoshinaka, H. Toda, H. Amemiya, M. Yoshimoto, and S. Itagaki, “3-dimensional pedestrian navigation system utilizing a Bluetooth-Enabled mobile phone and Bluetooth position markers,” Proc. 11th ITS World Congress, Nagoya, Japan, Oct. 2004.
- [42] K. Rehr, S. Brunsch, and H. Mentz, “Assisting multimodal travelers: Design and prototypical implementation of a personal travel companion,” IEEE Trans. Intell. Transportation Syst., pp.31-42, March 2007.
- [43] M. Arikawa, S. Konomi, and K. Ohnishi, “NAV-ITIME: Supporting pedestrian navigation in the real world,” IEEE Pervasive Comput., vol.6, no.3, pp.21-29, July-Sept. 2007.
- [44] M. Umlauf, G. Pospischil, G. Niklfeld, and E. Michlmayr, “LoL@, A mobile tourist guide for UMTS,” J. Inf. Technol. & Tourism, vol.5, no.3, pp.151-164, 2003.
- [45] K. Rehr, N. Goll, S. Leitinger, and S. Brunsch, “Combined indoor/outdoor Smartphone navigation for public transport travelers,” Proc. 3rd Symp. on LBS & TeleCartography, pp.235-239, Nov. 2005.

- [46] T.H. Kolbe, "Augmented videos and panoramas for pedestrian navigation," Proc. 2nd Symp. on LBS & TeleCartography, Jan. 2004.
- [47] S. Koide and M. Kato, "MOUDO-CANE"—3-D human navigation system with neighboring space information," Proc. 13th ITS World Congress, London, UK, Oct. 2006.
- [48] R. Wasinger, D. Oliver, D. Heckmann, B. Braun, B. Brandherm, and C. Stahl, "Adapting spoken and visual output for a pedestrian navigation system, based on given situational statements," Zeitplan ABIS-Workshop 2003, Oct. 2003.
- [49] L. Ran, S. Helal, and S. Moore, "Drishti: An integrated indoor/outdoor blind navigation system and service," Proc. 2nd IEEE Int. Conf. on Pervasive Comput. and Commun., Orlando, Florida, March 2004.
- [50] G. Retscher and M. Thienelt, "NAVIO—A navigation and guidance service for pedestrians," J. GPS, vol.3, no.1-2, pp.208–217, 2004.
- [51] A. Millonig and K. Schechtner, "Developing landmark-based pedestrian-navigation systems," IEEE Trans. Intell. Transportation Syst., vol.8, no.1, pp.43–49, March 2007.
- [52] W. Narzt, D. Kolb, R. Muller, and H. Hortner, "Pervasive information acquisition for mobile AR-navigation systems," Proc. 5th IEEE Workshop on Mobile Comput. Syst. & Appl., pp.13–20, Oct. 2003.
- [53] T. Furutani, "A study on tourist navigation with the use of application service provider of location positioning system—A case study in Kamakura," Proc. 6th Eastern Asia Society for Transportation Studies Conf., vol.5, no.102, pp.1233–1248, Sept. 2005.
- [54] 鈴木慶太, 中村有貴, 藤井雅弘, 渡辺 裕, 伊藤 篤, "携帯電話を用いた屋内環境向け視覚障害者歩行支援システムの開発," 信学技報, ITS2009-9, July 2009.
- [55] 田中奈々絵, 奥平雅士, "携帯カメラを用いた画像処理による視覚障害者行動支援に関する一検討," 信学技報, ITS2008-64, Feb. 2009.
- [56] 和賀宗仙, 村田 優, 田所嘉昭, "視覚障害者のための白線・横断報道検出と誘導法," 信学技報, WIT2002-73, March 2003.
- [57] 森 英雄, 安部圭祐, 竹谷哲也, 依田一朗, 小谷信司, "視覚障害者向け携帯型歩行支援装置による駅における誘導," 信学技報, WIT2003-37, Jan. 2004.
- [58] 阿部芳久, 田所嘉昭, "オンライン処理による人間用ナビゲーションシステム," 信学論 (A), vol.J76-A, no.5, pp.743–751, May 1993.
- [59] 中村和弘, 青野嘉幸, 田所嘉昭, "視覚障害者用誘導型歩行支援システム," 信学論 (D-II), vol.J79-D-II, no.9, pp.1610–1618, Sept. 1996.
- [60] 青野嘉幸, 太市明伸, 田所嘉昭, "案内杖による視覚障害者歩行支援システムの性能," 電学論 (C), vol.116, no.9, pp.1043–1050, Sept. 1996.
- [61] 坂本夏樹, 合志和洋, 田所嘉昭, "デジタルステルカメラと携帯電話を用いた視覚障害者支援システムの検討," 映情学誌, vol.51, no.11, pp.1906–1914, Nov. 1997.
- [62] 宅野慎二, 篠田 豊, 田所嘉昭, "視覚障害者歩行支援システムによる歩行訓練," 信学論 (D-I), vol.J83-D-I, no.2, pp.293–302, Feb. 2000.
- [63] S. Kaluwahandi, 田所嘉昭, "画像処理を用いた携帯型視覚障害者歩行支援システムの検討," 映情学誌, vol.55, no.11, pp.1499–1505, Nov. 2001.
- [64] M. Bessho, S. Kobayashi, N. Koshizuka, and K. Sakamura, "A space-identifying ubiquitous infrastructure and its application for tour-guiding service," Proc. 23rd ACM Symp. on Applied Comput., pp.1616–1621, March 2008.
- [65] M. Bessho, S. Kobayashi, N. Koshizuka, and K. Sakamura, "uNavi: Implementation and deployment of a place-based pedestrian navigation system," Proc. 1st IEEE Workshop on Softw. Eng. for Context Aware Syst. & Appl., pp.1254–1259, July 2008.
- [66] 石川 准, 兵藤安昭, "GPSによる視覚障害者歩行支援の可能性と解決すべき問題," 信学技報, WIT2004-65, Jan. 2005.
- [67] 神谷俊之, 原 雅樹, 矢入 (江口) 郁子, 猪木誠二, "歩行者支援 GIS における 3 次元景観映像を用いたナビゲーションの検討," 信学技報, WIT2003-40, Jan. 2004.
- [68] 塚田浩二, 安村通見, "Active Belt: 触角情報を用いたベルト型ナビゲーション機構," 情処学論, vol.44, no.11, pp.2649–2658, Nov. 2003.
- [69] 河合秀雄, 岩本陽巧, 鳥居宏次, "万歩計と方位磁石による人間用ナビゲーションシステム," 信学論 (A), vol.J71-A, no.11, pp.2054–2062, Nov. 1988.
- [70] P. Ruppel, F. Gschwandtner, C.K. Schindhelm, and C. Linnhoff-Popien, "Indoor navigation on distributed stationary display systems," Proc. 33rd Annual IEEE Int. Comput. Softw. & Applications Conf., June 2009.
- [71] G. Abowd, C.G. Atkeson, J. Hong, S. Long, R. Kooper, and M. Pinkerton, "Cyberguide: A mobile context-aware tour guide," Wirel. Netw., vol.3, no.5, pp.421–433, Oct. 1997.
- [72] J. Schoning, K. Cheverst, M. Lochtefeld, A. Kruger, M. Rohs, Michael, and F. Taher, "Photomap: Using spontaneously taken images of public maps for pedestrian navigation tasks on mobile devices," Proc. Int. Conf. Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services 2009, Bonn, Germany, Sept. 2009.
- [73] 児島伴幸, 山根和也, 柳澤政生, 大附辰夫, 戸川 望, "道路標識とランドマークを用いた歩行者位置特定システムと実地調査による評価," 情処学論, vol.51, no.3, pp.899–913, March 2010.
- [74] T. Manabe, T. Hasegawa, Y. Matsuoka, S. Furukawa, and A. Fukuda, "On the M-CubITS pedestrian WYSIWYAS navigation using tile carpets," Proc. 10th IEEE Int. Conf. ITS, pp.879–884, Seattle, USA, Oct. 2007.
- [75] 間邊哲也, 長谷川孝明, 松岡義大, 古川誠治, "M-CubITS-

- 可視光通信協調型歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムについて,” 信学技報, ITS2007-10, Sept. 2007.
- [76] 芹澤 崇, 間邊哲也, 長谷川孝明, 宮谷 隆, “音声案内・サーバ処理型 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案,” 信学技報, ITS2007-90, March 2008.
- [77] 町田修宏, 芹澤 崇, 間邊哲也, 長谷川孝明, 川俣孝治, “舗道における新しい M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムについて,” 信学技報, ITS2008-91, March 2009.
- [78] 芹澤 崇, 足洗祐太, 平田恭崇, 長谷川孝明, 駒崎裕之, “購買環境を高度化する WyNIST の提案,” 信学技報, ITS2009-30, Dec. 2009.
- [79] 間邊哲也, 長谷川孝明, “M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションにおける MI WyNE Box の提案,” 信学技報, ITS2007-89, March 2008.
- [80] T. Nakagawa, F. Tsunoda, K. Wakasugi, S. Isojima, and I. Saito, “Development of smart navigation system “Cochira” for customers in railway stations,” Proc. 7th Int. Conf. on Ubiquitous Comput., Tokyo, Japan, Sept. 2005.
- [81] T. Hasegawa, K. Mizui, H. Fujii, and K. Seki, “A concept reference model for inter-vehicle communications,” Proc. 10th ITS World Congress, Madrid, Spain, pp.342-346, Nov. 2003.
- [82] T. Hasegawa, K. Mizui, H. Fujii, and K. Seki, “A concept reference model for inter-vehicle communications (Report 2),” Proc. 7th IEEE Int. Conf. ITS, Washington D.C., USA, pp.810-815, Oct. 2004.
- [83] 水井 潔, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤 晋, 津川定之, 羽瀧裕真, 村田英一, 高橋常夫, 徳田清仁, 堀松哲夫, 関馨, 藤井治樹, 中川正雄, “車々間通信コンセプトモデルに関する一検討,” 信学技報, ITS2002-121, March 2003.
- [84] 水井 潔, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤 晋, 津川定之, 羽瀧裕真, 村田英一, 高橋常夫, 徳田清仁, 堀松哲夫, 関馨, 藤井治樹, “車車間通信コンセプト/リファレンスモデルに関する検討 (第 2 報),” 信学技報, ITS2003-27, Sept. 2003.
- [85] 水井 潔, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤 晋, 津川定之, 羽瀧裕真, 村田英一, 高橋常夫, 徳田清仁, 堀松哲夫, 関馨, 藤井治樹, “車車間通信コンセプト・リファレンスモデルに関する検討 (第 3 報),” 信学技報, ITS2004-5, May 2004.
- [86] T. Hasegawa, K. Mizui, and K. Seki, “A concept reference model for ITS communication systems—View from vehicle information sharing,” Proc. 13th ITS World Congress, London, UK, no.1199, Oct. 2006.
- [87] 水井 潔, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤 晋, 高橋常夫, 堀松哲夫, 関 馨, 藤井治樹, “ITS 通信コンセプトリファレンスモデルに関する検討—車両情報共有の観点から,” 信学技報, ITS2006-6, May 2006.
- [88] 間邊哲也, 長谷川孝明, “歩行者ナビゲーションシステムの分類学,” 信学技報, ITS2009-29, Dec. 2009.
- [89] 間邊哲也, 長谷川孝明, “分類学の観点からみた歩行者ナビゲーションシステムの研究トレンド,” 信学技報, ITS2009-

65, Feb. 2010.

- [90] 長谷川孝明, 都會健治, 分須昌樹, 三村裕一, 須貝和義, 新妻照夫, “HMI の方法論的一検討—人間機械間通信のアプローチ—,” 信学技報, ITS2000-21, July 2000.
- [91] 長谷川孝明, “ITS とシステム創成に関する一考察,” 信学技報, ITS2002-120, March 2003.
- [92] S.S. Chawathe, “Inter-vehicle data dissemination in sparse equipped traffic,” Proc. 9th IEEE Conf. on ITS, Toronto, Canada, pp.273-280, Sept. 2006.

(平成 23 年 4 月 21 日受付, 10 月 15 日再受付)



間邊 哲也 (学生会員)

平 18 埼玉大・工・電気電子システム卒。平 20 同大大学院博士前期課程了。現在、同大学院理工学研究科博士後期課程在学中。主として、ITS における歩行者ナビゲーションシステムに関する研究に従事。IEEE, 情報処理学会各学生会員。



長谷川孝明 (正員)

昭 56 慶大・工・電気卒。昭 61 同大大学院博士課程了。同年埼玉大・工・電気助手。同助教を経て、現在、同大学院理工学研究科教授。工博。平 7~8 カナダ・ビクトリア大客員研究員。現在の興味は、IT (Information Technology) による QoS (Quality of Spatial Comfort) の向上のシステム創成論的アプローチにある。スペクトル拡散通信システム、CDMA、ニューラルネットとその情報システムへの応用、画像入力マイクロホンなどの人間機械間通信を含む情報通信の方式・情報と信号の処理の研究を経て、システム創成論的アプローチにより、ITS プラットホーム、システムアーキテクチャ、下位レイヤでそれらを支える ITS 要素技術としての情報通信・ポジショニング・HMI, 上位レイヤで展開される ITS アプリケーションの研究を進めてきたが、特に近年はこれらをベースとした QoS の向上の研究を楽しんでいる。平 2 年度本会篠原記念学術奨励賞受賞、著書「スペクトル拡散技術の基礎と応用」(分担執筆)、「プライマリー C 言語ノート」, 「モバイル・コンピューティング教科書」(分担執筆) など。IEEE, 情報処理学会, 国際交通安全学会各会員。