

# 歩行者ナビゲーションにおけるシステムの創成に関する研究

Studies of Systems Innovation on Pedestrian Navigation

2012年3月

埼玉大学大学院理工学研究科(博士後期課程)

理工学専攻 (主指導教員 長谷川 孝明)

間 邊 哲 也

## 要旨

本論文では、歩行者の快適なモビリティ環境の実現を目指して、歩行者ナビゲーションシステムの創成に必要な知見の獲得を目的とした研究を行っている。

近年、歩行者の快適なモビリティ環境に対する需要の高まりから、歩行者ナビゲーションに関する研究開発が盛んに行われている。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、種々のシステムや実現方法が乱立し、整理・体系化がなされておらず、これらの標準化や新たな研究開発に寄与するツールが必要となっている。また、歩行者ナビゲーションシステムを実現する際は、マイグレーションを前提としたプラットフォーム指向でシステムを創成することが望ましいが、既存の歩行者ナビゲーションシステムでマイグレーションを明示的に考慮した歩行者ナビゲーションシステムの創成はほとんど行われていない。さらに、歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で、ユーザの位置と方向が正確に取得できることは極めて重要であるが、現在広く利用されている GPS(Global Positioning System) や WiFi(Wireless Fidelity) では正確さや精度に問題があり、特に屋内や建物付近の屋外で利用可能な位置特定手法の高度化が必須となっている。そこで、これらを解決して、歩行者ナビゲーションシステムの創成に必要な知見を得ることが歩行者の快適なモビリティ環境を実現する上で必要となっている。

第1章では、本研究の背景と本論文の目的および構成について述べている。第2章では、既存の歩行者ナビゲーションシステムで主に利用されている位置特定手法と位置特定基盤タクソノミーにもとづいて、屋内や建物付近の屋外で利用しやすいグラウンドベースの位置特定手法について整理を行っている。本論文では、歩行者ナビゲーションシステムを利用する際、現在屋外での位置特定に広く利用されている GPS によってユーザの位置が大まかに絞り込まれた状況を前提として、理解や解釈を必要としない直感的で分かりやすい案内を行う WYSIWYAS(What You See Is What You Are Suggested) ナビゲーションの実現に必要なユーザの位置と方向を正確に取得可能な主なグラウンドベースの位置特定手法について述べている。第3章では、歩行者ナビゲーションシステムの標準化や新たな研究開発に寄与するツールとして、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ている。ここでは、まず、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作成に際し、そのポイントを明確にするために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ている。次に、歩行者ナビゲーションシステムの分類学に鑑みて、既存およ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や新たな研究開発に寄与するツールとして、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作成している。さらに、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た解析例として、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、各システムの性格付けおよび特徴の違いを明確にしている。これらを通じて、歩行者ナビゲーションシステムの標準化や新たな研究開発に寄与するツールの実現例とその効果に関する知見を得ている。第4章では、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの構築例とその効果について示している。構築したシステムは、アプリケーションとサブシステムがプラットフォームによって上下に分離された構造をしており、ポジショニングサブシステムのマイグレーション

が考慮されている．ここでは，第 2 章での整理にもとづき，建物内や建物付近の屋外でシームレスに動作し，かつ，WYSIWYAS ナビゲーションの実現に必要な位置情報と方向情報を正確に取得可能なポジショニングサブシステムとして，タイルカーペットを用いた M-CubITS(M-sequence Multimodal Markers for ITS; M-Cubed for ITS) と可視光通信を採用している．また，モール程度の大型商業複合施設内での移動を想定した評価実験では，構築したシステムを用いることで確実に目的地に到達できることを確認している．第 5 章では，モバイル機器内に登録された目的地情報を利用することで，モバイル機器を補佐して案内環境を向上させるインフラ設置機器 (MI WyNE Box; M-CubITS Integrated WYSIWYAS Navigation Environment Box) の構築例を示し，中部国際空港構内での評価を行っている．評価の結果，目的地が決まってからその方向に歩き出すまでの時間が通常のフロアガイド (紙地図) を用いるよりも早くなることを確認し，モバイル機器とインフラ設置機器が対等な立場で協調動作 MICO(Mobile/Infrastructure Corroborative Operation) の可能性の示唆と理論およびアーキテクチャの知見の必要性を述べている．第 6 章では本論文を総括している．

以上より，本論文では，歩行者の快適なモビリティ環境の実現を目指して，歩行者ナビゲーションシステムの創成に必要な知見を得ている．

# 目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	1
1.3 本論文の構成	2
第2章 基礎理論	3
2.1 既存の歩行者ナビゲーションシステムと主に利用されている位置特定手法	3
2.2 位置特定基盤タクソノミー [85]	5
2.3 EUPITS	5
2.4 WYSIWYAS	6
2.5 M-CubITS	7
2.6 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム	7
第3章 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 [111]	9
3.1 本章のまえがき	9
3.2 歩行者ナビゲーションシステムの分類学	9
3.2.1 歩行者ナビゲーションシステムの分類学 [112]	9
3.2.2 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 [113]	14
3.3 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提案 [114]	17
3.3.1 全体像	17
3.3.2 サービスレイヤ	18
3.3.2.1 サービスの対象となるユーザ	19
3.3.2.2 サービスの機能	20
3.3.2.3 サービスの利用環境	20
3.3.2.4 サービスされる情報の性質	20
3.3.3 システムレイヤ	21
3.3.3.1 ユーザに要求される持ち物	21
3.3.3.2 基本アーキテクチャ	22
3.3.3.3 システムの動作	22
3.3.3.4 システムの発展性・拡張性	23
3.3.4 要素技術レイヤ	23
3.3.4.1 ポジショニング技術	26
3.3.4.2 情報通信技術	27
3.3.4.3 HMI(Human-Machine Interface)	28
3.3.4.4 空間情報データベース技術および経路探索技術	29
3.3.4.5 各種センシング技術	30
3.4 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	31

3.5	本章のまとめ	32
第 4 章	プラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム [126]	35
4.1	本章のまえがき	35
4.2	EUPITS にもとづいて構成した歩行者ナビゲーションシステムのアーキテクチャ	35
4.3	提案するプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム	37
4.3.1	提案システムの概要	37
4.3.2	タイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステム [4, 5, 133]	38
4.3.2.1	タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子	38
4.3.2.2	タイルカーペットを用いた M-CubITS による位置特定方法	39
4.3.2.3	タイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステムの構築	42
4.3.3	可視光通信によるポジショニングサブシステム [5, 125]	42
4.3.3.1	可視光通信による位置特定方法	42
4.3.3.2	可視光通信によるポジショニングサブシステムの構築	43
4.3.4	歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションのアプリケーション [5]	45
4.3.5	提案システムの特徴	46
4.3.6	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によるプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの解析	46
4.4	評価実験	49
4.4.1	実験概要	49
4.4.2	実験方法	51
4.4.3	実験結果および考察	51
4.4.3.1	位置特定成功率	51
4.4.3.2	処理時間	54
4.4.3.3	目的地到達率	56
4.4.3.4	移動所要時間	56
4.4.3.5	ユーザビリティ	56
4.5	本章のまとめ	57
第 5 章	モバイル機器を補佐して案内環境を向上させるインフラ設置機器 [2, 137]	58
5.1	本章のまえがき	58
5.2	MI WyNE Box の提案	58
5.2.1	概要	58
5.2.2	システム構築	59
5.2.3	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による MI WyNE Box の解析	60
5.3	中部国際空港における評価実験	63
5.3.1	実験環境	63
5.3.2	実験方法	63
5.3.3	実験結果	63
5.4	本章のまとめ	63



# 目 次

1.1	本論文の構成	2
2.1	GPS による位置特定のシチュエーション	3
2.2	ユビキタス ITS プラットフォーム EUPITS のアーキテクチャ	6
2.3	WYSIWYAS の概念と表示例	6
2.4	M-CubITS のイメージ	7
2.5	M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの利用イメージ	8
2.6	M-CubITS 素子の種類	8
3.1	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	11
3.2	論文発表年に対する累積論文数の関係	15
3.3	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全体像	18
3.4	歩行の種類および移動目的による分類	19
3.5	アナログ的な位置特定とデジタル的な位置特定	26
4.1	EUPITS にもとづいて構成した歩行者ナビゲーションシステムのシステムアーキテクチャ	36
4.2	プラットフォーム指向の歩行者 WyN システムのシステムアーキテクチャ	38
4.3	中部国際空港でのタイルカーペットの利用例	38
4.4	タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子の方向情報	39
4.5	タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子の配置例	40
4.6	タイルカーペット画像における画像処理過程	41
4.7	可視光通信における位置情報の取得例	43
4.8	可視光通信における方向情報の取得例と方向情報の割り当て	43
4.9	可視光送信機	44
4.10	可視光受信機と W-ZERO3[es]	44
4.11	アプリケーションにおける処理の流れ	45
4.12	ナビゲーションソフトウェアのユーザインターフェイス	45
4.13	アプリケーションにおける案内情報の提示例	46
4.14	タイルカーペットと可視光送信機の配置	50
4.15	タイルカーペットの色情報誤判定による位置特定失敗例	53
4.16	タイルカーペットの境界線未検出による位置特定失敗例	54
4.17	各スマートフォンにおける処理時間	55
4.18	ユーザビリティ評価の結果	57
5.1	MI WyNE Box における処理の流れ	59
5.2	モバイル/インフラ間のインターフェイス	59
5.3	MI WyNE Box の筐体外観	60

5.4 MI WyNE Box における案内表示例 . . . . .	60
-------------------------------------	----



# 表 目 次

2.1	位置特定基盤タクソノミー [85]	5
2.2	M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの分類	8
3.1	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)	12
3.2	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)	13
3.3	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)	13
3.4	サービスレイヤの構成	18
3.5	システムレイヤの構成	21
3.6	要素技術レイヤの構成	25
3.7	既存の歩行者ナビゲーションシステムの解析結果の比較—サービスレイヤ—	33
3.8	既存の歩行者ナビゲーションシステムの解析結果の比較—システムレイヤ—	33
3.9	既存の歩行者ナビゲーションシステムの解析結果の比較—要素技術レイヤ—	34
4.1	屋内や建物付近の屋外で利用可能で、かつ、GPS を補完する位置特定手法	36
4.2	本論文で用いたタイルカーペット	39
4.3	M 系列のピット情報を表現するためのタイルカーペットの色の組み合わせ	40
4.4	M 系列と撮影枚数、位置特定可能距離の関係	42
4.5	可視光 ID システムの規格概要	44
4.6	プラットフォーム指向の歩行者 WyN システムの解析結果—サービスレイヤ—	47
4.7	プラットフォーム指向の歩行者 WyN システムの解析結果—システムレイヤ—	47
4.8	プラットフォーム指向の歩行者 WyN システムの解析結果—要素技術レイヤ—	48
4.9	タイルカーペットと可視光送信機の数	49
4.10	被験者の属性	49
4.11	各ポジショニングサブシステムにおける位置特定成功率	52
4.12	各ポジショニングサブシステムにおける位置特定失敗の種類と発生回数	52
4.13	M-CubITS における誤位置特定の原因と発生回数	52
4.14	M-CubITS における位置特定不能の原因と発生回数	53
4.15	可視光通信による位置情報取得可能な最大距離	54
4.16	スマートフォンのスペック	55
5.1	MI WyNE Box の解析結果—サービスレイヤ—	61
5.2	MI WyNE Box の解析結果—システムレイヤ—	61
5.3	MI WyNE Box の解析結果—要素技術レイヤ—	62

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景

近年、歩行者の快適なモビリティ環境に対する需要が高まっている。歩行者のモビリティ環境の向上は、空間的心地よさの質 (QoSC; Quality of Spatial Comfort) [1] においても重要な要素となっている。このような歩行者に快適なモビリティ環境を提供する一手法として、歩行者ナビゲーションシステムが挙げられ、研究開発が盛んに行われている (例えば文献 [2-81])。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、種々の実現方法が乱立し、整理・体系化もなされていない。そこで、既存および今後出現する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歩行者の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標準化や新たな研究開発に寄与するツールが必要となっている。また、歩行者ナビゲーションシステムをはじめとする各種システムを創成する上で、設計するシステムアーキテクチャが重要である。システムアーキテクチャには大きく分けて、専用システム (System-by-System) とプラットフォーム指向 (Platform-oriented) の2種類があるが、歩行者ナビゲーションシステムを実現する際は、情報通信サブシステムや位置特定サブシステムの大幅変更や進化などのマイグレーションを前提したプラットフォーム指向でシステムを創成することが望ましい。しかし、既存の歩行者ナビゲーションシステムでマイグレーションを明示的に考慮した歩行者ナビゲーションシステムの創成はほとんど行われていない。さらに、歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で、ユーザの位置と方向が正確に取得できることは極めて重要であるが、現在広く利用されている GPS (Global Positioning System) や WiFi (Wireless Fidelity) では正確さや精度に問題があり、特に屋内や建物付近の屋外で利用可能な位置特定手法の高度化が必須となっている。

以上のことから、これらの問題を解決して、歩行者ナビゲーションシステムの創成に必要な知見を得ることが歩行者の快適なモビリティ環境を実現する上で必要となっている。

## 1.2 研究の目的

本論文では、歩行者ナビゲーションシステムの創成に必要な知見の獲得を目的として、以下に示す3点について論じる。

- 歩行者ナビゲーションシステムの標準化や新たな研究開発に寄与するツールの開発
- マイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者ナビゲーションシステムの実現
- 屋内や建物付近の屋内で位置と方向が正確に特定可能な位置特定手法の実現

## 1.3 本論文の構成

本論文の構成を図 1.1 に示す。本論文は6章構成である。第2章では、本論文を理解する上で必要なシステム創成と歩行者ナビゲーションに関する基礎理論について述べる。第3章では、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ついて述べる．第4章では，プラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムについて述べる．第5章では，歩行者ナビゲーションシステムにおいて，モバイル機器を補佐して案内環境を向上させるインフラ設置機器について述べる．第6章では，本論文を総括する．

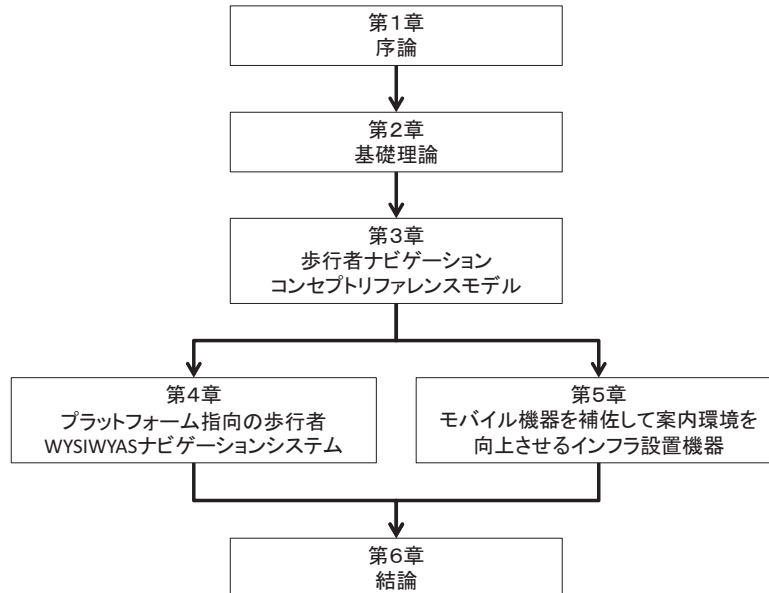


図 1.1: 本論文の構成

## 第2章 基礎理論

### 2.1 既存の歩行者ナビゲーションシステムと主に利用されている位置特定手法

現在一般的に利用されている歩行者ナビゲーションシステム (例えば文献 [50]) では, GPS による位置特定を前提としている場合が多いが, GPS による位置特定では, 高層ビル街や地下・屋内などにおける電波の反射や遮蔽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。

市販の GPS 内蔵携帯電話機を用いた位置特定精度調査の例として, 2006 年 5 月に新宿駅西口地域で実施された調査 [18] では, 平均誤差 115m, 最大誤差 200m, 2009 年 1 月に高田馬場駅周辺で実施された調査 [79] では, 平均誤差 29.96m, 最大誤差 76.14m, 2009 年 11 月に新宿西口地域で実施した実地調査 [82] は, 平均 79.95m, 最大 812.61m の測位誤差であったことが報告されている。

GPS による位置特定は, 位置が既知である複数の衛星から送信された擬似雑音信号を GPS 受信機が受信するまでの伝搬時間を用いて各衛星から GPS 受信機までの距離を計算し, それらの交点を GPS 受信機 (ユーザ) の位置として推定する。GPS における位置特定のシチュエーションを図 2.1 に示す。図 2.1 では簡単のために次元数を落として二つの衛星で表現しているが, 議論に本質的な影響は与えない。

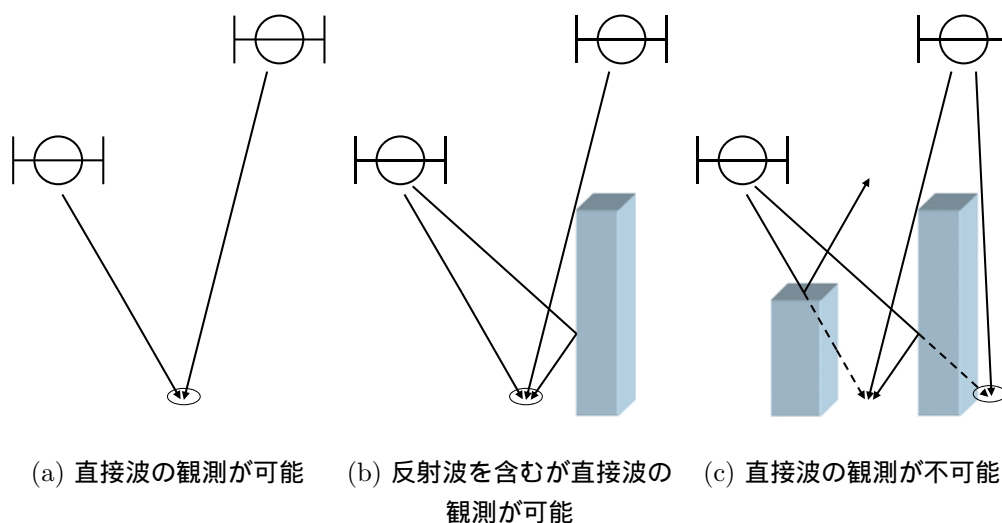


図 2.1: GPS による位置特定のシチュエーション

図 2.1(a) のように, 受信機が衛星からの直接波を観測できる状況であれば, 誤差数センチメートルの正確な位置特定も可能である。また, 図 2.1(b) のように衛星からの電波がビルなどで反射し, マルチパスが発生した場合でも, 反射波を取り除き, 直接波 (第一波) のみを距離計算に用いるこ

とで正確な位置特定が可能である。しかし、図 2.1(c) のように複数のビルが林立して直接波が観測できない場合、受信機では反射波を第一波として観測するため、その反射波の伝搬時間からユーザの位置を推定すると、ビルの反対側がユーザの現在地となる。つまり、都市部において GPS の位置特定性能を劣化させる主要因は、電波の反射と遮蔽である。GPS 衛星の代わりに準天頂衛星を用いた場合、条件の良い衛星が一つ増えて GDOP (Geometric Dilution of Precision) が良くなるため、位置特定精度は明らかに向上するが、都市部における位置特定性能劣化の主要因である電波の反射・遮蔽の影響は残る。また、ユーザの位置や経路の表示方法として地図が広く利用されているが、実際の地図は正確ではなく、地図の補正手法の検討も行われている (例えば文献 [83])。さらに、地震に伴う地殻変動などによって大地が数メートルずれることもしばしばあるため、それらがリアルタイムに反映された正確な地図を常時利用することは困難である。そのため、衛星を用いてスペースベースでユーザの位置の緯度経度を正確に特定したとしても地図に曖昧さが含まれているため、歩行者ナビゲーションシステムでの利用には不都合である。

前述のように、GPS などの衛星を用い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・屋内などでは正確な位置特定が行えず、歩行者ナビゲーションシステムとして正しく機能しないことがしばしばあるため、GPS を用いない歩行者ナビゲーションシステムとして、インフォサインを用いた歩行者ナビゲーションシステム [84]、ユビキタスツアーガイド [70, 71]、ランドマークを用いた歩行者ナビゲーションシステム [55] などが提案されている。インフォサインを用いた歩行者ナビゲーションシステム [84] は、Bluetooth ビーコンから発信される位置情報を Bluetooth 内蔵携帯電話機で受信することで位置特定を行うが、その位置特定精度は Bluetooth の通信範囲程度であり、ユーザの方向を特定するには他の手法との協調が必要である。ユビキタスツアーガイド [70, 71] は、赤外線ビーコンや RFID (Radio Frequency Identification) などから発信される位置情報を携帯端末で受信して位置特定を行うが、ユビキタスコミュニケーターと呼ばれる専用携帯情報端末が必要である。ランドマークを用いた歩行者ナビゲーションシステム [55] は、ユーザがサービス番号に電話を掛け、目印となるランドマーク情報を利用してユーザの位置と方向を特定して案内を行うが、システムの大規模化や自動化には適さない。

GPS による位置特定と他の位置特定手法を組み合わせた歩行者ナビゲーションシステムとして、LoL@ [51]、Drishti [56]、パーソナルトラベルコンパニオン [49] などが提案されている。LoL@ [51] は、GPS 内蔵スマートフォンを用いた Web ベースのウィーン市内観光案内システムである。このシステムでは、ビルの谷間 (street canyons) での位置特定の正確さを向上させるために、GPS による位置特定に加えて UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) や無線 LAN などの無線通信を利用して位置特定を行っているが、屋外での利用が主であり、屋内での利用は十分考慮されていない。また、観光案内を目的としたシステムであるため、搭載している機能や案内情報の提供方法が汎用の歩行者ナビゲーションシステムとは大きく異なる。Drishti [56] は、GPS (屋外用) と超音波センサ (屋内用) を位置特定に用いた視覚障害者向けの歩行者ナビゲーションシステムであるが、システムが極めて大掛かりである上、屋外と屋内の切り替えはユーザが手動で行わなくてはならない。また、ユーザの位置を 2 台のビーコンから算出しているため、ユーザの高さ情報を含む 3 次元での位置特定は困難である。パーソナルトラベルコンパニオン [49] は、屋外では GPS、屋内では Bluetooth を利用して位置特定を行っている。しかし、パイロットシステムを用いたフィールドテストでは GPS による位置特定結果が不正確であったために、屋内と屋外の自動切り替えが行われなかった。また、手動で屋内 (Bluetooth) から屋外 (GPS) に切り替えた場合も GPS での初期位置特定に時間がかかり (30 秒 ~ 数分)、歩行者がスムーズに移動できなかったと結論付けている。

## 2.2 位置特定基盤タクソノミー [85]

2.1 で述べたように、歩行者ナビゲーションシステムにおける位置特定空間は、GPS の電波が届く場所 (屋外) と GPS の電波が届かない場所 (屋内) のように 2 種類に区分するだけでは不十分なため、文献 [85] で述べられている位置特定基盤タクソノミーに基づいて 3 種類のシチュエーションで考えることが必要である。表 2.1 に位置特定基盤タクソノミーを示す。

表 2.1: 位置特定基盤タクソノミー [85]

位置特定を行う空間	シチュエーション	利用しやすい基盤技術
海・山・平原・空港・住宅地	衛星からの電波が届き、かつ、正確な位置特定が可能な場所	スペースベースの位置特定 (GPS 等)
高層ビル地域の屋外	衛星からの電波が届くが、反射波やマルチパスの影響により正確な位置特定が困難な場所	グラウンドベースの位置特定 (M-CubITS, 可視光通信等)
建物内・地下	衛星からの電波が届かない (届きにくい) 場所	グラウンドベースの位置特定 (M-CubITS, 可視光通信, IMES 等)

表 2.1 より、GPS などのスペースベースの位置特定は、海・山・平原・空港・住宅街など、GPS などの衛星からの電波が届き、かつ、正確な位置特定が可能な場所では利用しやすい位置特定基盤技術であるが、屋内や建物付近の屋外での位置特定は不得手であることから、GPS などのスペースベースやモバイル基地局・無線 LAN などのテレストリアルベースでユーザの位置を大まかに絞り込み、グラウンドベースで個々の場所を足元から特定して補完するというアプローチが歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で合理的であると筆者は考えている。しかし、屋内や建物付近の屋外で正確な位置特定を実現する決定的な手法は未だ確立されていないため、屋内や建物付近の屋外で利用可能な位置特定手法の整理を行う必要がある。

## 2.3 EUPITS

EUPITS(ユービッツ; Evolutional Ubiquitous Platform for ITS) は、進化し続け、殊更でない快適なユビキタス環境を提供する ITS プラットフォームとして、文献 [86] で提案されている。ユビキタス ITS プラットフォーム EUPITS のアーキテクチャを図 2.2 に示す。EUPITS では、アプリケーションとサブシステム (要素技術) を ITS プラットフォームによって上下に分離することで、プラットフォーム上のアプリケーションがサブシステムのマイグレーションや進化に影響されことなく稼動し、進化しづけることができる。また、EUPITS は、ヘテロジーニアスシステムが基本コンセプトであり、既に存在するサブシステムを有効的に使い、これらのサブシステムのマイグレーションや進化に影響されることが少なく、ITS プラットフォーム上の ITS アプリケーションが稼動し、進化し続けることができる。歩行者ナビゲーションシステムを実現する際は、EUPITS のようにマイグレーションを前提したプラットフォーム指向でシステムを創成することが望ましい。

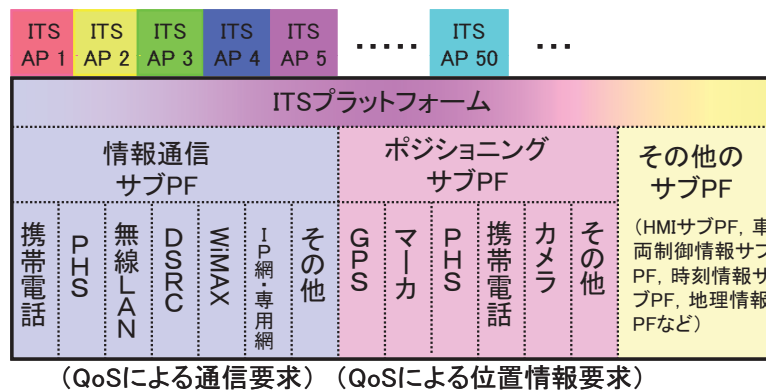


図 2.2: ユビキタス ITS プラットフォーム EUPITS のアーキテクチャ

## 2.4 WYSIWYAS

WYSIWYAS(ウィジウィアス; What You See Is What You Are Suggested) は, ワープロなどのエディタに用いられる WYSIWYG(ウィジウィグ; What You See Is What You Get) に対応するナビゲーションシステムにおける HMI(Human-Machine Interface) の基本設計概念である [86] . WYSIWYG は, 画面で見た文書がそのまま印刷されるのに対し, WYSIWYAS ナビゲーションでは, 例えば, 図 2.3 のように地図などを介することなくユーザの目の前の風景上に進む推奨方向を矢符で指し示すことで, 直感的で分かりやすい道案内を実現する .

WYSIWYAS ナビゲーションに関する従来研究として, カメラ付きのモバイル機器を用いた歩行者ナビゲーションシステム [3, 6, 7, 9, 87–92] , *e* タグを用いた歩行者ナビゲーションシステム [10–12, 93, 94] , 店舗設置端末を用いた WyNIST(WYSIWYAS Navigation Integrated Shop Terminal) [8, 95, 96] , 車載カメラを用いた車両用ナビゲーションシステム [97–100] などが挙げられる .

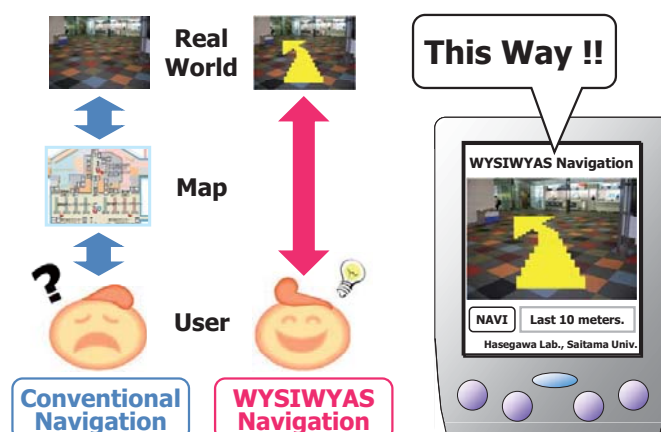


図 2.3: WYSIWYAS の概念と表示例

## 2.5 M-CubITS

GPS や準天頂衛星などの衛星を用いたポジショニングシステムは、天空をベースとしたスペースベースの位置特定を行っている。一方で、地面をベースとしたポジショニングシステム (Ground Based Positioning System; GBPS) として、M-CubITS(エムキュービッツ; M-sequence Multimodal Markers for ITS; M-Cubed for ITS) が提案されている [86]。この M-CubITS は、図 2.4 のように 0/1 の情報を持ったマルチモーダルなマーカ (以下 M-CubITS 素子) を M 系列状に歩道や通行区分線上などに配置し、それらを車載もしくはユーザが持つカメラで撮影することで M-CubITS 素子の並びを検出し、データベースとの比較からカメラの位置を逆算するポジショニングシステムである。M-CubITS 素子は、ペイントなどで簡単に作製が可能であり、ユーザ端末は、自動車用なら車載カメラ、歩行者用なら既に広く普及しているカメラ付きのモバイル機器 (携帯電話機やスマートフォン, PDA(Personal Digital Assistant) など) を用いるため、低コストでシステムを実現することが可能である。さらに、M-CubITS は、GPS のように一点を特定するシステムと異なり、ユーザの位置と方向を一意に特定することが可能で、これはナビゲーションシステムを実現する上で有利な点である。また、M-CubITS によるポジショニングの際に用いる撮影画像上にユーザが進む推奨方向を表示することで、2.4 で述べた WYSIWYAS なナビゲーションが実現できるため、M-CubITS と WYSIWYAS ナビゲーションシステムとの親和性は極めて高いと言える。

M-CubITS に関する従来研究として、歩行者用 M-CubITS を用いた歩行者ナビゲーションシステム [3, 6, 7, 9, 87–92]、自動車用 M-CubITS を用いたポジショニングシステム [101–108]、自動車用 M-CubITS を用いた車両用ナビゲーションシステム [97–100]、列車用 M-CubITS を用いたポジショニングシステム [109, 110] などが挙げられる。

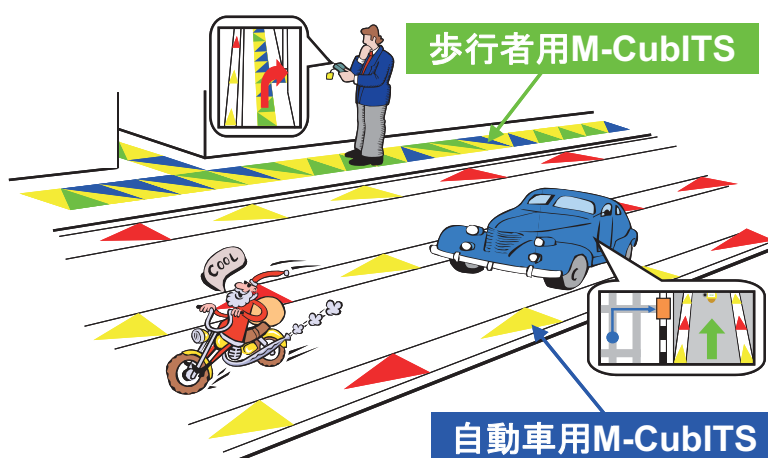


図 2.4: M-CubITS のイメージ

## 2.6 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム

M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムは、既に広く普及しているカメラ付きのモバイル機器を用いて、M-CubITS 素子の並びを撮影することで、ユーザの位置と方向を特定し、ユーザの進む推奨方向を撮影画像上に重畳することで直感的で分かりやすい案内を実現する。図 2.5 に M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの利用イメージを示す。M-CubITS



歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムに関する従来研究では，位置特定に利用するマーカ (M-CubITS 素子) として，歩道や公共施設などで利用されている視覚障害者誘導用ブロック (点字ブロック)(図 2.6(a)(b)) [3, 6, 9, 87–90, 92]，舗道などで利用されているインターロッキングブロック (図 2.6(c)) [7, 91] などが検討されている．また，点字ブロックについては，誘導ブロック 1 枚に対して 1 個のマーカを配置する誘導ブロック型 (図 2.6(a)) と警告ブロック 1 枚に対して 8 個のマーカを配置する縮小・集合型 (図 2.6(b)) に細分化されている．さらに，案内情報の生成に関する処理を行う場所として，端末 [3, 9, 87–90]，メールサーバ [6, 7, 91]，ウェブサーバ [92] がそれぞれ検討されている．既存の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの分類を表 2.2 に示す．

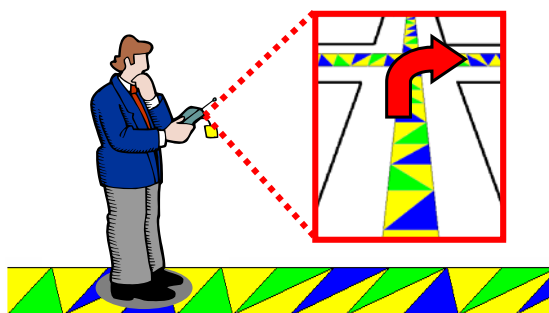


図 2.5: M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの利用イメージ



(a) 点字ブロック (誘導ブロック型) (b) 点字ブロック (縮小・集合型) (c) インターロッキングブロック

図 2.6: M-CubITS 素子の種類

表 2.2: M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの分類

M-CubITS 素子 \ 処理を行う場所	端末	メールサーバ	ウェブサーバ
点字ブロック (誘導ブロック型)(屋外)	[9, 87–89]	[6]	[92]
点字ブロック (誘導ブロック型)(屋内)	[3, 90]	—	—
点字ブロック (縮小・集合型)	—	[6]	—
インターロッキングブロック	—	[7, 91]	—

## 第3章 歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデル [111]

### 3.1 本章のまえがき

本章では、歩行者ナビゲーションシステムの標準化や新たな研究開発に寄与する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、1.1 で述べたように、現在、個々の歩行者ナビゲーションシステムが様々な方法で実現され、システムが乱立している。そのため、歩行者ナビゲーションシステムに関する研究開発分野そのものが混沌としており、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、本章では、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、既存およ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標準化や新たな研究開発に寄与する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。

### 3.2 歩行者ナビゲーションシステムの分類学

#### 3.2.1 歩行者ナビゲーションシステムの分類学 [112]

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。

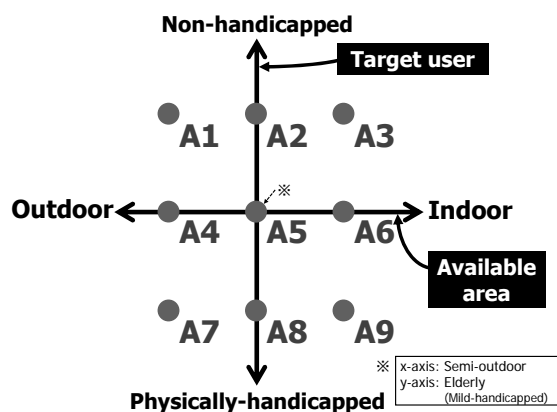
- 案内対象ユーザ (Target user) : ナビゲーションシステムが想定するユーザの属性で、健常者向け (Non-handicapped people) と身体障害者向け (Physically-handicapped people) を指標の軸の両端とする。高齢者 (Elderly people) については、身体障害者には属さないが、例えば、目が見えにくい、体が動かしにくいといった身体障害者に近い症状を示すことから、ここでは高齢者を障害の程度の軽い身体障害者とみなし、健常者と身体障害者の中間的な分類として位置付ける。
- 利用可能場所 (Available area) : ナビゲー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

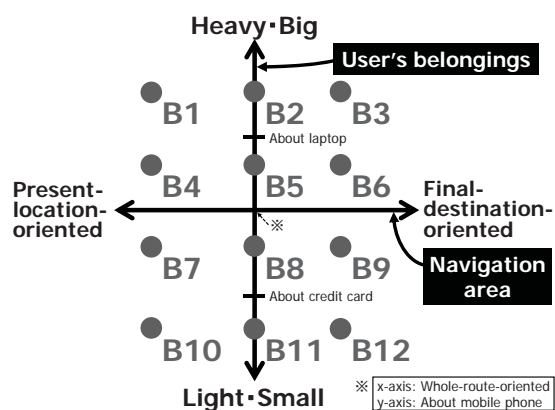
以上の4項目は相互に関係性があるため、これらを組み合わせることで歩行者ナビゲーションシステムの性質や特徴をより明確に表すことができる。その組み合わせを表現する方法として、3次元や4次元を用いることも可能だが、本論文では見やすさ・分かりやすさの観点から2次元で表現する。そこで、前述の4項目を2項目ずつ組み合わせ、 ${}_4C_2 = 6$ 種類のポジションマップを作成する。歩行者ナビゲーションシステムの分類整理のためのポジションマップを図3.1に示す。図3.1において、各システムがターゲットとする領域はアナログ的な広がりを持つが、ここではその目安を示すために基準点 (A1~A9, B1~B12 など) を図中に表示している。例えば、図3.1(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3.1(b)において、携帯電話機程度の重さ・大きさで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・大きさで経路全体を案内するものはB8付近となる。図3.1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。

- 点字ブロックを用いた端末処理型 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム [9, 87-89] : 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 [50] : GPS 内蔵携帯電話機を用いて屋外・健常者向けに、2次元地図で経路全体を、3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。
- LoL@ [51] : GPS と UMTS による位置特定と2次元地図を用いてウィーン市内の観光案内を行うことから、A1・B5・C2・D4・E4・F4 付近にマッピングされる。
- Drishti [56] : GPS と超音波センサによる位置特定と音声によって視覚障害者向けの案内を行うことから、A7-A8-A9・B1・C7・D1-D2-D3・E1-E2-E3・F3 付近にマッピングされる。
- ユビキタスツアーガイド [70, 71] : 赤外線ビーコンや RFID などを用いた位置特定と2次元地図や3次元地図による案内を行うことから、A1-A2-A3-A4-A5-A6-A7-A8-A9・B3-B4・C1-C2-C4-C5-C7-C8・D4-D5-D6・E1-E2-E3-E4-E5-E6・F4-F5-F6 付近にマッピングされる。
- WYSIWYAS 案内板 [12] : e タグと床面に設置された電子ペーパーを用いて案内を行うことから、A1-A2-A3・B5・C1・D7-D8-D9・E1-E2-E3・F7 付近にマッピングされる。

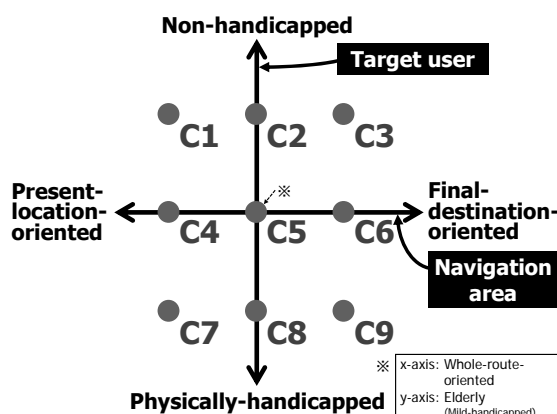
この図3.1のポジションマップに既存の歩行者ナビゲーションシステムの研究論文 [2-81] (計80通) をマッピングした結果を表3.1~3.3に示す。表3.1~3.3において、健常者向け・屋外向け・携帯電話機程度 (A1・D4・F4) を主ターゲットとしている歩行者ナビゲーションシステムが数多く発表されていることが分かる。現在、多くのユーザ (健常者) が GPS 内蔵携帯電話機を既に所有しており、それらを用いることで屋外向けの歩行者ナビゲーションシステムを比較的容易に実現できるため、これらの領域を主ターゲットとしているシステムも数多く発表されていると考えられる。一方、目的地指向の案内 (B3-B6-B9-B12・C3-C6-C9・E7-E8-E9) の論文数は0だが、例えば、ぐるナ



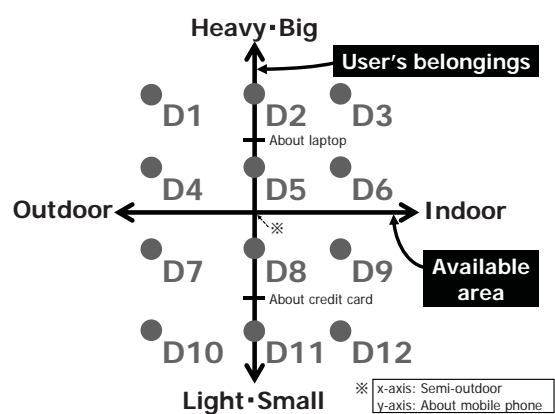
(a) Target user and available area.



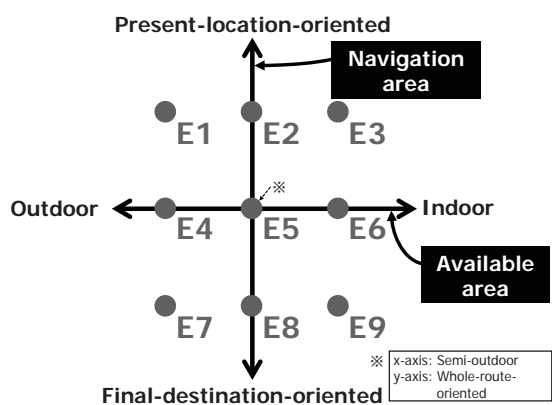
(b) User's belongings and navigation area.



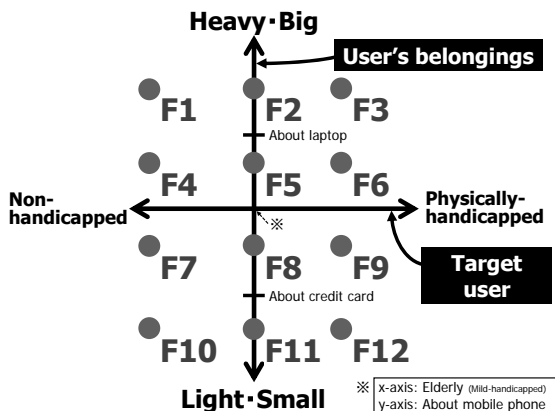
(c) Target user and navigation area.



(d) User's belongings and available area.



(e) Navigation area and available area.



(f) User's belongings and target user.

図 3.1: 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

ピ<sup>1</sup>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 3.1~3.3 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 3.1~3.3 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。

表 3.1: 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)

Target	Total	References number
A1	55	[2, 3, 5-13, 16-19, 21, 22, 24, 26, 27, 29-33, 35, 36, 39-54, 57-59, 70, 71, 73-75, 77-79, 81]
A2	23	[2, 3, 5-13, 17, 18, 21, 24, 27, 32, 39, 70, 71, 77, 79, 80]
A3	33	[2-6, 8-12, 14, 15, 20, 23-25, 27, 32, 34, 37-39, 48, 49, 52, 54, 55, 57, 70, 71, 76, 77, 80]
A4	9	[6, 10, 11, 24, 30, 31, 71, 73, 75]
A5	5	[6, 10, 11, 24, 71]
A6	5	[6, 10, 11, 24, 71]
A7	20	[6, 10, 11, 24, 30, 31, 56, 61-69, 71-73, 75]
A8	14	[6, 10, 11, 24, 56, 61, 63-69, 71]
A9	15	[6, 10, 11, 24, 56, 60, 61, 63-69, 71]
B1	13	[11, 33, 39, 54, 56, 62, 63, 65-69, 75]
B2	6	[31, 34, 35, 64, 72, 75]
B3	0	N/A
B4	26	[2-7, 9, 13, 24, 25, 30, 37, 38, 41, 43, 44, 47, 50, 53, 58-61, 70, 71, 74]
B5	29	[15-17, 19, 20, 22, 24, 25, 27, 29, 30, 32, 40, 42-44, 46, 48-52, 70, 71, 73, 77-79, 81]
B6	0	N/A
B7	5	[2, 10, 12, 76, 80]
B8	0	N/A
B9	0	N/A
B10	1	[8]
B11	1	[8]
B12	0	N/A

<sup>1</sup>ぐるナビ; <http://www.gnavi.co.jp/>

表 3.2: 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)

Target	Total	References number
C1	34	[2-13, 24, 25, 30, 33, 37-39, 41, 43, 44, 47, 50, 53, 54, 58, 59, 70, 71, 74-76, 80]
C2	34	[8, 15-17, 19, 20, 24, 25, 27, 29-32, 34, 35, 40, 42-44, 46, 48-52, 70, 71, 73, 75, 77-79, 81]
C3	0	N/A
C4	7	[6, 10, 11, 24, 30, 71, 75]
C5	6	[24, 30, 31, 71, 73, 75]
C6	0	N/A
C7	17	[6, 10, 11, 24, 30, 56, 60-63, 65-69, 71, 75]
C8	8	[24, 30, 31, 64, 71-73, 75]
C9	0	N/A
D1	17	[11, 31, 33, 35, 39, 54, 56, 62-69, 72, 75]
D2	10	[11, 39, 56, 63-69]
D3	12	[11, 34, 39, 54, 56, 63-69]
D4	46	[2, 3, 5-7, 9, 13, 16-19, 21, 22, 24, 26, 27, 29, 30, 32, 36, 40-53, 57-59, 61, 70, 71, 73, 74, 77-79, 81]
D5	18	[2, 3, 5-7, 9, 13, 17, 18, 21, 24, 27, 32, 61, 70, 71, 77, 79]
D6	26	[2-6, 9, 14, 15, 20, 23-25, 27, 32, 37, 38, 48, 49, 52, 55, 57, 60, 61, 70, 71, 77]
D7	3	[2, 10, 12]
D8	4	[2, 10, 12, 80]
D9	5	[2, 10, 12, 76, 80]
D10	1	[8]
D11	1	[8]
D12	1	[8]

表 3.3: 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)

Target	Total	References number
E1	37	[2, 3, 5-13, 24, 30, 33, 39, 41, 43, 44, 47, 50, 53, 54, 56, 58, 59, 61-63, 65-71, 74, 75]
E2	24	[2, 3, 5-13, 24, 39, 56, 61, 63, 65-71, 80]
E3	29	[2-6, 8-12, 24, 25, 37-39, 54, 56, 60, 61, 63, 65-71, 76, 80]
E4	32	[8, 16, 17, 19, 24, 27, 29-32, 35, 40, 42-44, 46, 48-52, 64, 70-73, 75, 77-79, 81]
E5	10	[8, 17, 24, 27, 32, 64, 70, 71, 77, 79]
E6	15	[8, 15, 20, 24, 25, 27, 32, 34, 48, 49, 52, 64, 70, 71, 77]
E7	0	N/A
E8	0	N/A
E9	0	N/A
F1	8	[11, 31, 33-35, 39, 54, 75]
F2	3	[11, 31, 75]
F3	13	[11, 31, 56, 62-69, 72, 75]
F4	55	[2-7, 9, 13-30, 32, 36-38, 40-53, 55, 57-59, 70, 71, 73, 74, 77-79, 81]
F5	5	[6, 24, 30, 71, 73]
F6	7	[6, 24, 30, 60, 61, 71, 73]
F7	5	[2, 10, 12, 76, 80]
F8	1	[10]
F9	1	[10]
F10	1	[8]
F11	0	N/A
F12	0	N/A

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 3.1) 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。

### 3.2.2 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 [113]

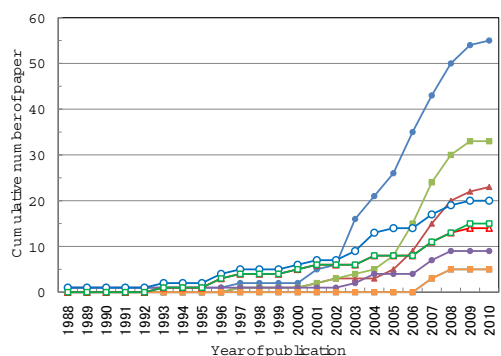
本節では、3.2.1 で述べたポジションマップを用いて、既存の歩行者ナビゲーションシステムの詳細な分析を行う。ここでは、1988年から2010年までに国内外で発表された研究論文の論文発表年に対する累積論文数を集計・分析することで、分類学の観点からみた歩行者ナビゲーションシステムの研究論文 [2-81](計80通)の統計について整理を行う。

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3.2に示す。図3.2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3.2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-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ことが挙げられる。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<sup>2</sup>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[6, 10, 11, 24, 71])。

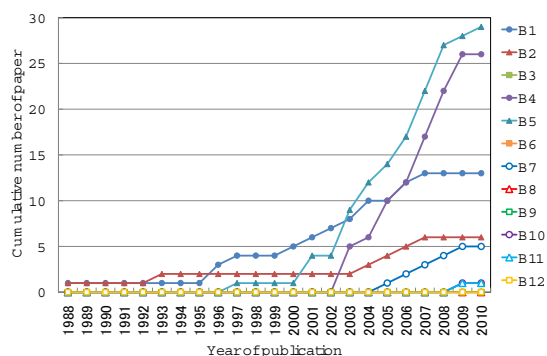
以上の結果から、歩行者ナビゲーションシステムに関する研究論文の論文発表年に対する累積論文数を集計・分析することで、その研究開発の中心は、携帯電話機の高機能化と普及に伴って、案内対象ユーザ・利用可能場所が限定的な歩行者ナビゲーションシステム(障害者のみ、健常者のみ、屋外のみ、屋内のみ)から、ユーザも利用場所も限定しないシームレス性の高い歩行者ナビゲーションシステムに拡張され、ユーザの持ち物・案内の提供範囲がノートパソコン・経路全体指向から携帯電話機・現在地指向にシフトしていることが明らかになった。

以上、3.2.1および3.2.2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て作成したポジションマップを用いて、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結果から、研究開発の中心の推移が明らかになった。

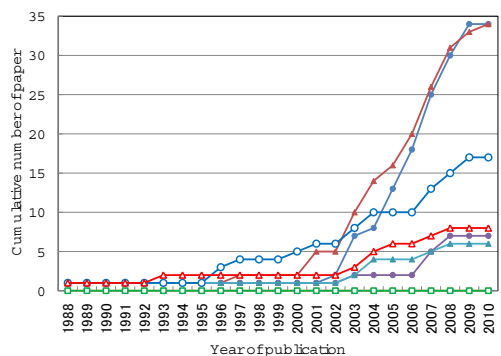
<sup>2</sup>2001年12月にKDDI株式会社がGPSケータイとしてC3001H(日立製)とC3002K(京セラ製)を発売。



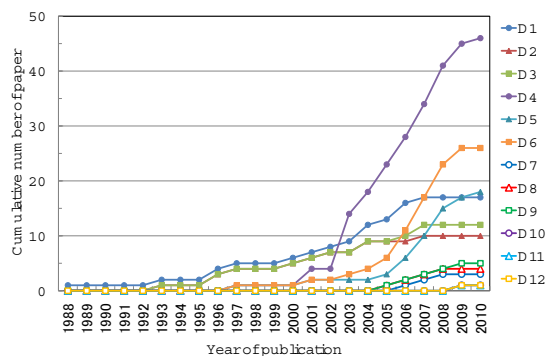
(a) Target user and available area.



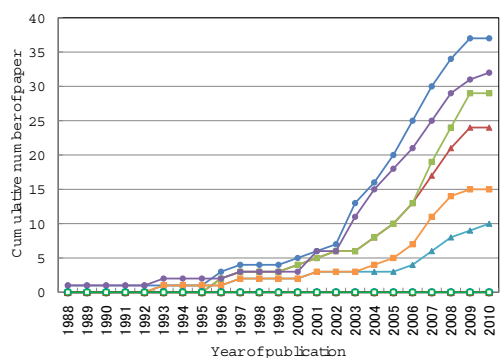
(b) User's belongings and navigation area.



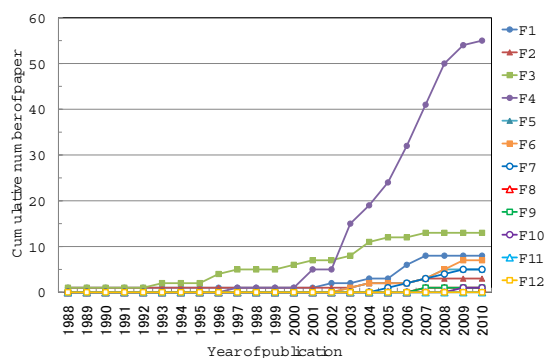
(c) Target user and navigation area.



(d) User's belongings and available area.



(e) Navigation area and available area.



(f) User's belongings and target user.

図 3.2: 論文発表年に対する累積論文数の関係



### 3.3 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 [114]

3.2 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、および、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述べた。本節では、3.2 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、歩行者ナビゲーションシステムの標準化や新たな研究開発に寄与するツールとして、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。

#### 3.3.1 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要素から成る。

- 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3.3に示す。図3.3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ある車車間通信コンセプトリファレンスモデル [115–119] や ITS 通信コンセプトリファレンスモデル [120, 121] 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3.3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もとづいて、3.3.2でサービスレイヤ、3.3.3でシステムレイヤ、3.3.4で要素技術レイヤの構成についてそれぞれ述べる。

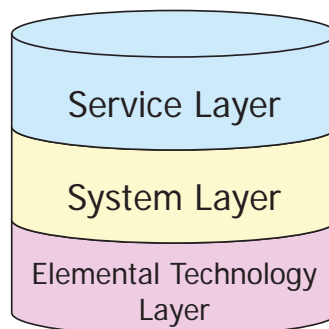


図 3.3: 歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルの全体像

### 3.3.2 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種類のカテゴリで構成する。表 3.4 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におけるサービスレイヤの構成を示す。

表 3.4: サービスレイヤの構成

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

#### 3.3.2.1 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。この分類項目は、図 3.1 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ーのように予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) 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 3.4 のようになる．

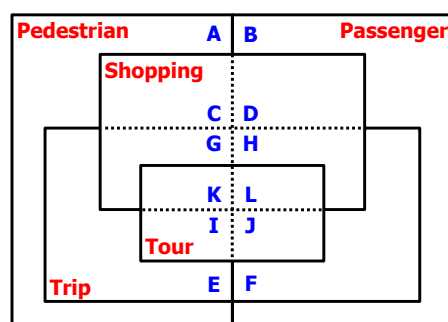


図 3.4: 歩行の種類および移動目的による分類

#### 3.3.2.2 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 3.1 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。

### 3.3.2.3 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 3.1 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。

### 3.3.2.4 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、一ヶ国語のみに対応する場合を“単一言語”、二ヶ国語以上に対応する場合を“複数言語”として分類する。ここで具体的な数値 (二ヶ国語、三ヶ国語など) 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、何ヶ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もとづいている。

### 3.3.3 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種類のカテゴリで構成する。表 3.5 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におけるシステムレイヤの構成を示す。

表 3.5: システムレイヤの構成

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, <i>e</i> タグ・IC カード (アクティブ型), <i>e</i> 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

### 3.3.3.1 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さらに分類する。

- 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 (磁気カード等) 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 3.1 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 3.1 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・表示の書き換えが可能なリライタブルで分類する。

### 3.3.3.2 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。

### 3.3.3.3 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。

### 3.3.3.4 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。
- プラットフォーム化の程度：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 [122]。

### 3.3.4 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および経路探索機能：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 [2-81] 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良いと言える。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および経路探索技術、各種センシング技術の5種類のカテゴリ(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 [2-81] 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(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(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(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コードの読み取りでは“情報通信技術”、筆者らの研究グループが研究開発を行っている M-CubITS では“ポジショニング技術”に属する。表 3.6 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。

表 3.6: 要素技術レイヤの構成

Item	Substance
<b>【ポジショニング技術】</b>	
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
<b>【情報通信技術】</b>	
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, 目的地ならびにその周辺情報, 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
<b>【HMI】</b>	
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
<b>【空間情報データベース技術および経路探索技術】</b>	
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
目的地ならびにその周辺情報 DB 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
<b>【各種センシング技術】</b>	
ユーザの周辺環境のセンシング	あり, なし



## 3.3.4.1 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蔽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  $\Leftrightarrow$  低いである。ここで具体的な数値（精度 1cm など）を用いない理由として、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  $\Leftrightarrow$  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、時代と共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、標準化ツール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 3.5(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 3.5(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。

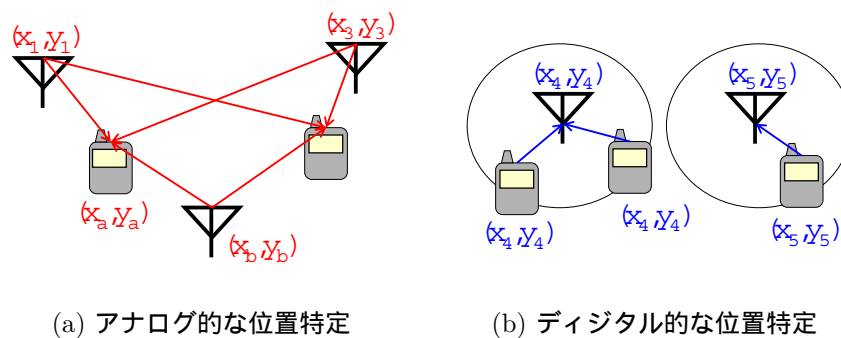


図 3.5: アナログ的な位置特定とデジタル的な位置特定

- 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。

#### 3.3.4.2 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回当た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回当た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、目的地ならびにその周辺情報、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さらに、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．

### 3.3.4.3 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 [123] 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 [123] 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，情報の受け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 [9] のようにモバイル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 [8] 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ー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ー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 [123] 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、タッチパネル上の二ヶ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、3.3.2.4 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もとづいている。

#### 3.3.4.4 空間情報データベース技術および経路探索技術

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、目的地なら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。
- 目的地なら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い合わせを行う分散管理、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。

#### 3.3.4.5 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に属する。

以上, 本節では, 3.2 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, 十分に注意・検討し, 現時点で考えうる項目を全て挙げている。各レイヤを構成するカテゴリ (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, 現在およ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 (大項目) と同様に, 現時点で考えう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<sup>3</sup>)。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考えられる。

また, 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ように, 歩行者ナビゲーションシステムの標準化や新たな研究開発に寄与するツールは本研究で初めてまとめ上げた。歩行者ナビゲーションシステムのような大規模システムでは, 要素技術とシステム技術の距離が遠いため, システム全体を把握するのが難しくなる。そのため, 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がない場合, このような大規模システムのどこに注意して標準化や新たな研究開発を進めなくてはならないか把握しにくくなる。さらに, 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と同様の位置付けで提案されている車車間通信コンセプトトリファレンスモデル [116] は, 文献 [124] で引用され, *Their taxonomy of IVC applications and services provides a useful framework for work in this area.* と述べられていることから, 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も同様な効果があると推測されるが, 明確な検証は今後の課題である。

---

<sup>3</sup>セカイカメラ; <http://sekaicamera.com/>

### 3.4 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

本節では、3.3 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および比較を試みる。ここでは、NAVITIME [50] と M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムを解析・比較対象とする。M-CubITS 歩行者 WyN システムは、処理型とマーカの種類によって表 2.2 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 [9]”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 [9, 50] は、3.2.1 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 3.1 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) を主ターゲットとしている。また、NAVITIME [50] 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) [9] 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3.3 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 3.1 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 [9, 50] 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 3.7~3.9 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、議論する意味を持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ーフェイスとして利用するのであれば議論の対象となりうるが、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、3.3 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、既存およ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) で用意している。そのため、表 3.7~3.9 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 3.9 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 3.7 中の身体的特性など) も存在する。表 3.7~3.9 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 3.7 において、案内の提供範囲に関して、NAVITIME は2次元地図で経路全体を、3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 システムはマーカ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 システムは施設およ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 3.8 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カ (ペイント等) 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 [9, 50] は、持ち物の有無と種類に関してはい

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[8, 95, 96])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[10–12, 94])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[70, 71])は“専用品”となる。

表 3.9 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カーを基準とした 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他、ユーザの意思、位置情報、移動のための情報、目的地なら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[9, 50]は、いずれも機械-機械間通信を利用していないため、表 3.9 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[125])は、非接触・光媒体・可視光線(380~750nm), *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[70, 71])は、非接触・電波媒体・HF 帯(13.56MHz)で分類される。

また、表 3.9 の空間情報データベース技術および経路探索技術の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、目的地ならびにその周辺情報)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、本節では、3.3 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および特徴を明らかにした。

### 3.5 本章のまとめ

本章では、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標準化や新たな研究開発に寄与するツールとし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。また、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た。今後の課題として、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検証と定量評価が挙げられる。

表 3.7: 既存の歩行者ナビゲーションシステムの解析結果の比較—サービスレイヤー—

	NAVITIME [50]	M-CubITS 歩行者 WyN システム [9]
【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 3.8: 既存の歩行者ナビゲーションシステムの解析結果の比較—システムレイヤー—

	NAVITIME [50]	M-CubITS 歩行者 WyN システム [9]
【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 3.9: 既存の歩行者ナビゲーションシステムの解析結果の比較—要素技術レイヤー—

	NAVITIME [50]	M-CubITS 歩行者 WyN システム [9]
【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, 目的地ならびにその周辺情報, 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	—	—
【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および経路探索技術】		
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
目的地ならびにその周辺情報 DB 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

## 第4章 プラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYASナビゲーションシステム [126]

### 4.1 本章のまえがき

本章では、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムを提案する。1.1 で述べたように、歩行者ナビゲーションシステムを実現する際は、情報通信サブシステムや位置特定サブシステムの大幅変更や進化などのマイグレーションを前提したプラットフォーム指向でシステムを創成することが望ましい。ここで、専用システムおよびプラットフォーム指向で創成した2種類の歩行者ナビゲーションシステムにマイグレーションが発生した場合（例えば、他の位置特定手法への変更）を考えると、専用システムではポジショニング部とナビゲーション部が一体化しているため、他の位置特定手法に変更するにはポジショニング部だけでなく、ナビゲーション部を含むシステム全体を変更しなくてはならないが、プラットフォーム指向ではナビゲーション部（アプリケーション）とポジショニング部（サブシステム）がプラットフォームによって上下に分離されているため、該当するサブシステムのみを変更すれば良く、プラットフォーム上のアプリケーションを変更する必要はない。しかし、既存の歩行者ナビゲーションシステムでマイグレーションを明示的に考慮した歩行者ナビゲーションシステムの創成はほとんど行われていない。また、歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で、ユーザの位置と方向が正確に取得できることは極めて重要であるが、現在広く利用されている GPS や WiFi では正確さや精度に問題があり、特に屋内や建物付近の屋外で利用可能な位置特定手法の高度化が必須となっている。そこで、本章では、屋内や建物付近の屋外で利用可能な位置特定手法を実現した上で、複数のポジショニングサブシステムを用い、それらのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案、構築、評価を行う。

### 4.2 EUPITS にもとづいて構成した歩行者ナビゲーションシステムのアーキテクチャ

2.3 で述べたように、EUPITS では、既存および今後出現する技術をシームレスかつ有効的に利用することで、マイグレーションを考慮したシステムを実現することが可能となる。EUPITS にもとづいて構成した歩行者ナビゲーションシステムのアーキテクチャを図 4.1 に示す。図 4.1 では、情報通信サブシステムとして、現在広く普及しているモバイル機器で利用可能なモバイル基地局、PHS(Personal Handy-phone System)、無線 LAN など、ポジショニングサブシステムとして、GPS、モバイル基地局、PHS、無線 LAN、カメラ、可視光通信などが挙げられる。

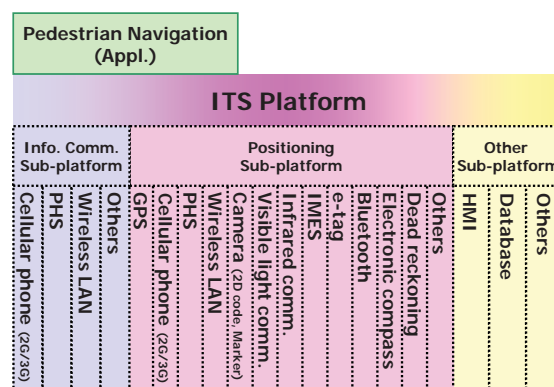


図 4.1: EUPITS に基づいて構成した歩行者ナビゲーションシステムのシステムアーキテクチャ

1.1 で述べたように、歩行者ナビゲーションシステムを実現する上で、ユーザの位置と方向が正確に取得できることが重要であるが、現在広く利用されている GPS や WiFi では正確さや精度に問題があり、特に屋内や建物付近の屋外で利用可能な位置特定手法の高度化が必須となっていることから、本論文ではポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者ナビゲーションシステムの創成を行う。また、2.2 で述べたように、現在屋内や建物付近の屋外で正確な位置特定を実現する決定的な手法は未だ確立されていないため、屋内や建物付近の屋外で利用可能な位置特定手法の整理を行う必要がある。そこで、現在屋外での位置特定に広く利用されている GPS によってユーザの位置を大まかに絞り込まれた状況を前提として、屋内や建物付近の屋外で利用可能で、かつ、GPS を補完する位置特定手法におけるユーザの位置・方向の特定の可否を表 4.1 に示す。

表 4.1: 屋内や建物付近の屋外で利用可能で、かつ、GPS を補完する位置特定手法

	ユーザの位置の特定	ユーザの向いている方向の特定
M-CubITS	可	可
可視光通信	可	可
IMES	可	不可
モバイル基地局	可	不可
無線 LAN	可	不可
超音波	可	不可
Bluetooth	可	不可
電子タグ	可	不可
電子コンパス	不可	可
推測航法	可 (相対位置)	可

M-CubITS は、2.5 で述べたように、M 系列状に配置されたマーカの並びをユーザの持つカメラで撮影することでユーザの位置と方向を一意に特定することが可能な地面ベースの位置特定手法である。可視光通信 (Visible Light Communication; VLC) [127–130] は、LED 照明や交通信号機などの光源を情報源に利用した通信手段として注目され、研究開発が進められている。可視光通信を位置特定に用いるには、通信する情報に位置情報を含めることで実現できる。また、光の指向性によって、ユーザの持つモバイル機器が光の到来方向からユーザの向いている方向 (モバイル機器の向いている方向) を特定することが可能である。IMES (Indoor Messaging System) [131, 132] は、

GPS や準天頂衛星と同じメッセージ構造を利用して、IMES 送信機の位置情報を送信し、IMES 受信機ではそのメッセージから位置情報を取り出して利用する。IMES では、既に普及した GPS 受信機を IMES 受信機として利用できるため、屋外 (GPS) と屋内 (IMES) で位置特定が可能となるが、屋外 (GPS) から屋内 (IMES)、または、屋内 (IMES) から屋外 (GPS) に切り替わるたびに同期を取らなくてはならず、シームレス性を達成しているとは言えない。また、IMES における位置特定精度は IMES 送信機の通信範囲程度であり、ユーザの向いている方向の特定には、特殊な装置が必要となる。その他、モバイル基地局、無線 LAN、超音波、Bluetooth、電子タグは、ユーザの位置を特定することは可能だが、ユーザの向いている方向を特定するには、他の手法との協調が必要である。電子コンパスは、ユーザの向いている方向 (方位) を特定することは可能だが、ユーザの位置の特定は困難である。推測航法は、基準位置からの移動方向を特定することから、基準位置からの相対的な位置および方向の特定は可能だが、基準位置を特定する手法との協調が必要である。

### 4.3 提案するプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム

#### 4.3.1 提案システムの概要

提案するプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムのシステムアーキテクチャを図 4.2 に示す。提案システムは、マイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの実現例として、複数のポジショニングサブシステムから共通フォーマットの位置情報と方向情報を ITS プラットフォーム上で稼動しているアプリケーション (歩行者 WYSIWYAS ナビゲーション) に渡すことで案内情報をユーザに提供する。提案システムで用いるポジショニングサブシステムは、4.2 で述べたように、屋内や建物付近の屋外で位置情報と方向情報を他の位置特定手法と協調することなく取得できる M-CubITS と可視光通信を用いる。

ここで、本論文で用いる M-CubITS に関して、2.6 で述べた点字ブロックを用いた M-CubITS [3, 6, 9, 90, 92] やインターロッキングブロックを用いた M-CubITS [7, 91] では、利用可能場所が限られるため、中部国際空港の出発ロビー内やイオンなどの大規模モール内などで利用可能なマーカを検討する必要がある。そこで、本論文では、マーカとして建物内に広く普及しているタイルカーペットを利用した M-CubITS を実現した上で、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案、構築、評価を行う。

以下、本節では図 4.2 に示す提案システムのシステムアーキテクチャにもとづいて、4.3.2 でタイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステム (図 4.2(a))、4.3.3 で可視光通信によるポジショニングサブシステム (図 4.2(b))、4.3.4 で歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションのアプリケーション (図 4.2(c)) についてそれぞれ述べる。

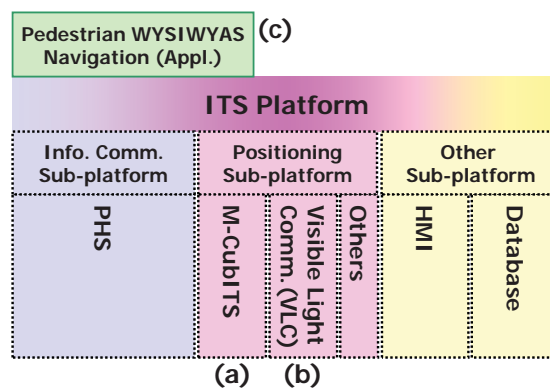


図 4.2: プラットフォーム指向の歩行者 WyN システムのシステムアーキテクチャ

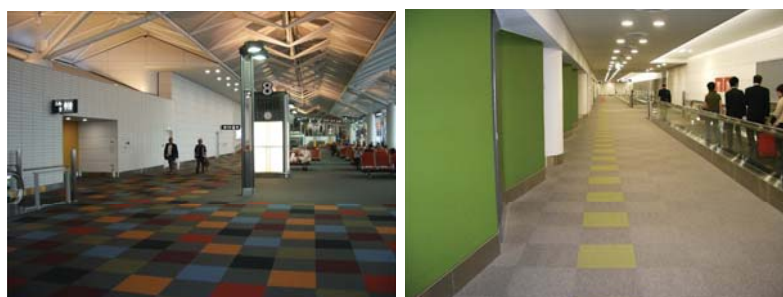
### 4.3.2 タイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステム [4, 5, 133]

#### 4.3.2.1 タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子

タイルカーペットは、正方形にカットされたタイル状のカーペットで、必要な箇所に敷き詰めて床材として使用する。このタイルカーペットは、従来のカーペットと異なり 1 枚ごとの取り替えが可能で、メンテナンス性に優れているため、オフィスや公共施設の多くで採用されている。

中部国際空港では、歩行感とメンテナンス性の観点からゲートラウンジや到着コンコースの床材としてタイルカーペットを採用している [134]。中部国際空港のゲートラウンジでは、歩行エリアを種々のカラーの市松模様、滞留エリアをグレー単色、到着コンコースでは、国内線エリアを暖色系のドット柄、国際線エリアを寒色系のドット柄とすることで、各エリアの機能の表現にも利用している。中部国際空港でのタイルカーペットの利用例を図 4.3 に示す。

以上のように、タイルカーペットが建物内で広く利用され、かつ、1 枚ごとの交換が可能であることから、中部国際空港のようにタイルカーペットが既に敷設されている場所では、それらを M 系列に従って並び替えるだけで M-CubITS 素子（マーカ）として利用できるため、建物内の環境に適したポジショニングサブシステムの構築が可能となる。



(a) ゲートラウンジ

(b) 到着コンコース

図 4.3: 中部国際空港でのタイルカーペットの利用例

## 4.3.2.2 タイルカーペットを用いた M-CubITS による位置特定方法

タイルカーペットを用いた M-CubITS による位置特定では、M 系列状に配置されたタイルカーペットの並びをユーザの持つカメラで撮影し、撮影画像に対する画像処理結果から M 系列の部分系列を取得する。その後、取得した M 系列の部分系列をデータベースと照合することでユーザの位置と方向を特定する。

本論文では、中部国際空港内に実際に敷設されているタイルカーペットのデザイン的なバランスを参考にした上で、ホームセンター等で一般に入手可能なタイルカーペットについてプレ実験を行い、概ね良好な結果が得られた色の組み合わせおよび配列を用いる。具体的には、表 4.2 に示す 5 色のタイルカーペットを 3 列に並べて使用する。方向情報には、タイルカーペットの撮影画像中の基準列を用いる。ここでは、基準列として赤・橙の 2 色のタイルカーペットを左側の列に交互に配置して表現する。タイルカーペットの撮影画像中の基準列の例を図 4.4 に示す。図 4.4 において、基準列が撮影画像の左側にあれば順方向、右側にあれば逆方向となる。位置情報には、M 系列のビット列を用いる。ここでは、赤・黄・緑・青の 4 色のタイルカーペットを表 4.3 に従って中央と右側の列に配置して表現する。タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子の配置例を図 4.5 に示す。

表 4.2: 本論文で用いたタイルカーペット

色	メーカー	型番
赤	ワタナベ工業株式会社	CR-711
橙	ワタナベ工業株式会社	CR-710
黄	株式会社サンゲツ	NT-365
緑	東リ株式会社	HC-14
青	東リ株式会社	HC-09

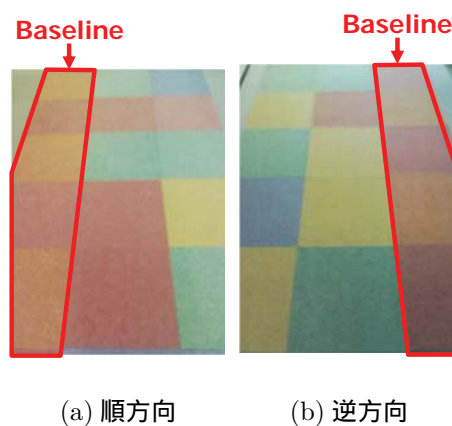


図 4.4: タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子の方向情報

表 4.3: M 系列のビット情報を表現するためのタイルカーペットの色の組み合わせ

中央 \ 右	赤	黄	緑	青
赤	0000	0001	0010	0011
黄	0100	0101	0110	0111
緑	1000	1001	1010	1011
青	1100	1101	1110	1111

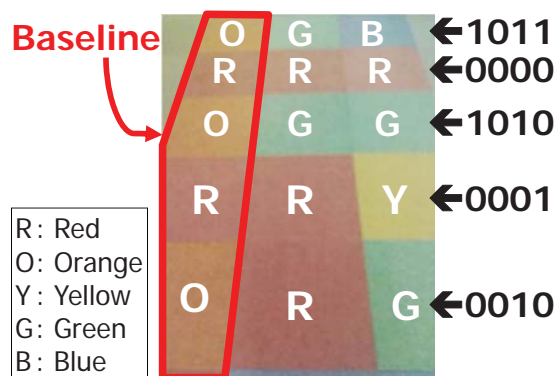


図 4.5: タイルカーペットを用いた M-CubITS 素子の配置例

なお、M-CubITS 素子として用いるタイルカーペットの色は、利用環境に応じて変更することが可能である。また、使用する色を増やすことで多値化ができるため、1 枚の撮影画像から得られる M 系列の部分系列のビット数も多くなるが、各色を識別するためのパラメータ (Hue, Saturation など) の閾値の設定が複雑になる。さらに、これらの最適化のためには、撮影に用いるモバイル機器の機種やホワイトバランスなども考慮しなくてはならないが、現時点では最適関数の導出および証明には至っていない。タイルカーペットの色の組み合わせと配置方法の最適化については今後の課題とする。

次に、ユーザが撮影したタイルカーペット画像から位置・方向情報の取得方法について述べる。位置・方向情報取得のための画像処理過程を図 4.6 に示す。

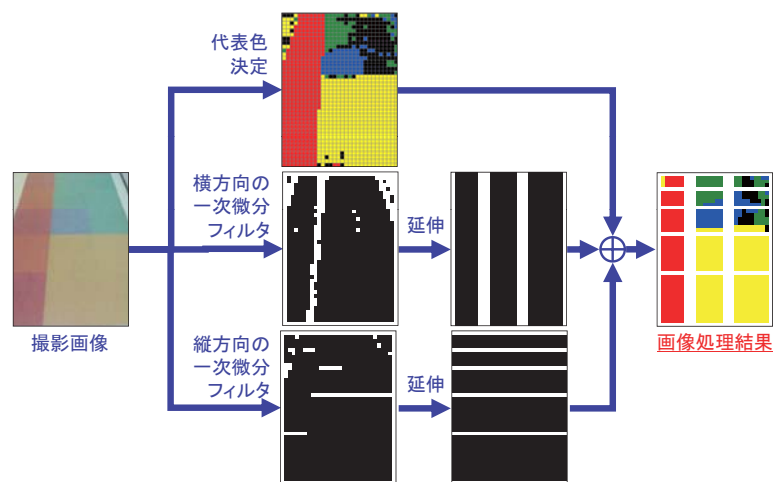


図 4.6: タイルカーペット画像における画像処理過程

1. 画素群で RGB の平均値を算出：撮影画像のサイズは、QVGA(320×240pixel) であるが、処理速度を向上する目的で、縮小画像を作製する。具体的には、8×8 画素を 1 画素群として、各画素群で RGB それぞれの輝度値 (0~255) の平均値を算出し、その値を画素群の輝度値とすることで撮影画像を 1/64 のサイズにした縮小画像 (40×30pixel) を作製する。以後の処理ではこの縮小画像を用いる。
2. 代表色決定：1. で得た縮小画像において、画素群ごとに色相値を算出し、その値に応じて赤・黄・緑・青・それ以外のいずれかで各画素群の代表色を決定する。
3. エッジ検出：1. で得た縮小画像において、一次微分フィルタを用いて、縦方向・横方向それぞれのエッジ検出を行う。
4. 境界線特定：3. で得たエッジの中で、各タイルカーペットの境界である可能性が高い部分を画像端まで延長し、それらを各タイルカーペットの境界線とする。
5. M 系列の部分系列取得：2. および 4. の結果を重畳することで、タイルカーペットを分離し、このタイルカーペットの並びと表 4.3 の比較からビット情報を取得し、現在地特定に必要な M 系列の部分系列を得る。
6. 位置・方向情報の取得：5. で得た M 系列の部分符号列とデータベースが保有している M 系列とを比較することで位置情報を、赤・橙系列の配置から方向情報をそれぞれ取得する。

ここでは、ユーザが利用するデバイスとして、市販のカメラ付きのモバイル機器（携帯電話機やスマートフォンなど）をハードウェア的に改造することなく、かつ、軽い計算量で利用できることを条件としている。



## 4.3.2.3 タイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステムの構築

タイルカーペットを用いた M-CubITS によるポジショニングサブシステムを構築するため、Microsoft Visual C# 2005 でソフトウェアを開発し、市販のカメラ付きのモバイル機器 (WILLCOM W-ZERO3<sup>[es]</sup>) に実装した。W-ZERO3<sup>[es]</sup> には、CMOS カメラ (有効画素数約 131 万画素) が内蔵されており、このカメラでタイルカーペットの並びを撮影することで位置特定を行う。タイルカーペットを敷設する際に用いる M 系列は、ここでは 11 段のシフトレジスタから生成される符号長 2047 のものを使用する。この系列を用いると、50cm 角のタイルカーペットの並びを横 3 枚 × 縦 3 枚以上撮影することで約 1km の中からユーザの位置と方向を一意に特定することが可能である。なお、M 系列の生成に用いるシフトレジスタの段数は、位置特定を行うエリアの広さに応じて適宜変更可能である [4, 5]。M 系列の生成に用いるシフトレジスタの段数と位置特定を行うエリアの広さの関係を表 4.4 に示す。

表 4.4: M 系列と撮影枚数、位置特定可能距離の関係

段数 $m$	系列長 $L$	撮影枚数 [枚]	位置特定可能距離 [km]
2	3	$3 \times 1$	0.00
3	7	$3 \times 1$	0.00
4	15	$3 \times 1$	0.01
5	31	$3 \times 2$	0.02
6	63	$3 \times 2$	0.03
7	127	$3 \times 2$	0.06
8	255	$3 \times 2$	0.13
9	511	$3 \times 3$	0.26
10	1023	$3 \times 3$	0.51
11	2047	$3 \times 3$	1.02
12	4095	$3 \times 3$	2.05
13	8191	$3 \times 4$	4.10
14	16383	$3 \times 4$	8.19
15	32767	$3 \times 4$	16.38
16	65535	$3 \times 4$	32.77
17	131071	$3 \times 5$	65.54
18	262143	$3 \times 5$	131.07
19	524287	$3 \times 5$	262.14
20	1048575	$3 \times 5$	524.29

## 4.3.3 可視光通信によるポジショニングサブシステム [5, 125]

## 4.3.3.1 可視光通信による位置特定方法

4.2 で述べたように可視光通信では、可視光送信機から送信される位置情報を可視光受信機で受信して位置特定を行う。本論文では、可視光通信を 4.3.2 で述べた M-CubITS に合わせ込むことでポジショニングサブシステムとして利用する。位置情報は、可視光送信機の設置場所に対応す

る M 系列のチップ番号を可視光送信機から送信する．可視光通信で送信する位置情報の例を図 4.7 に示す．方向情報は，可視光送信機を設置する場所に該当する M 系列の順方向を可視光送信機から送信する．このとき，光の指向性によって可視光受信機の向いている方向が一意に定まるため，ユーザの向いている方向として特定することが可能である．可視光通信で送信する方向情報の取得例と送信する方向情報の割り当てを図 4.8 に示す．

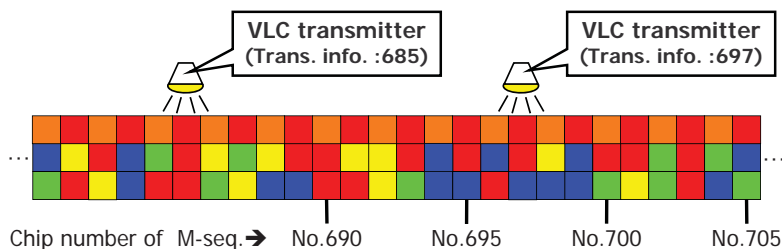


図 4.7: 可視光通信における位置情報の取得例

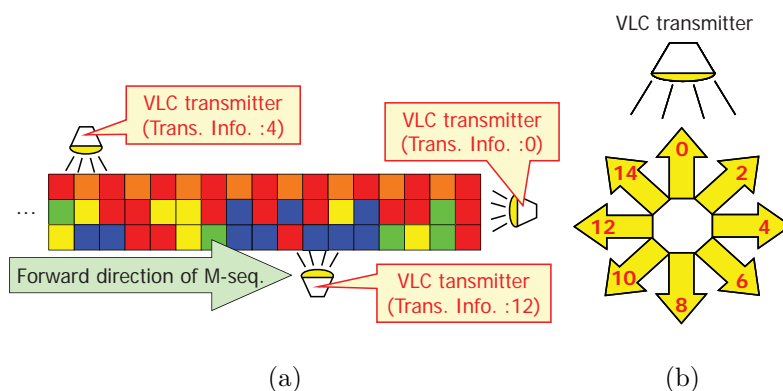


図 4.8: 可視光通信における方向情報の取得例と方向情報の割り当て

#### 4.3.3.2 可視光通信によるポジショニングサブシステムの構築

可視光通信によるポジショニングサブシステムを構築するため，可視光 ID システム (JEITA CP-1222) に準拠した可視光送信機および可視光受信機を作製した．可視光 ID システムの規格概要を表 4.5 に示す．可視光送信機は，LED 照明型 (図 4.9(a))，交通信号機型 (図 4.9(b)) を作製した．可視光受信機は，フォトダイオードで構成した受信モジュールを作製し，W-ZERO3[es] に USB ケーブルで接続して利用する (図 4.10)．

表 4.5: 可視光 ID システムの規格概要

Data rate	4.8kbps
Transmission scheme	SC-4PPM
Subcarrier frequency	28.8kHz
Frame length	512bit



(a) LED 照明型

(b) 交通信号機型

図 4.9: 可視光送信機



図 4.10: 可視光受信機と W-ZERO3[es]

## 4.3.4 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションのアプリケーション [5]

本アプリケーションにおける処理の流れを図 4.11 に示す。また、Microsoft Visual C# 2005 で開発したナビゲーションソフトウェアのユーザインターフェイスを図 4.12 に示す。

アプリケーションが起動すると、ユーザに目的地の選択を求める。ここでは、二つのリストボックスを利用して、一つ目のリストボックスで目的地のカテゴリを選択した後、二つ目のリストボックスで目的地の名称を選択する。次に、ポジショニングサブシステム（本論文では M-CubITS または可視光通信）からユーザの位置と方向の情報を取得する。その後、ユーザの現在地から目的地までの 2 点間で Dijkstra 法 [135] による最短経路探索を行い、探索結果にもとづいて図 4.13 のようにユーザの進む推奨方向を矢符としてユーザの撮影した風景画像上に重畳し、ユーザに提示する。さらに、補足情報として目的地までの距離などをテキスト文で表示する。

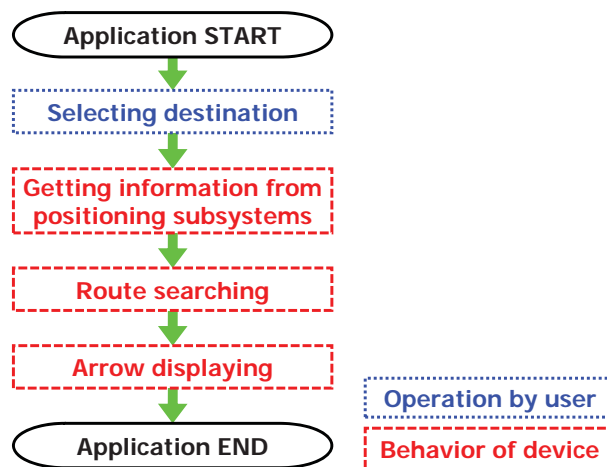


図 4.11: アプリケーションにおける処理の流れ

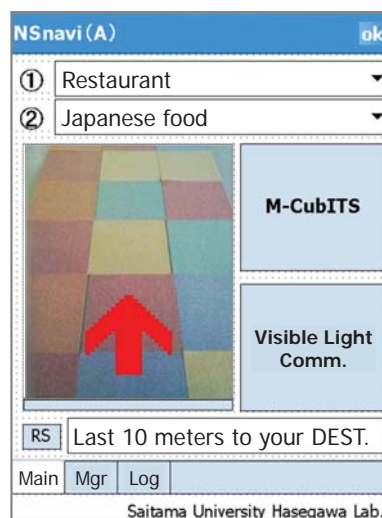


図 4.12: ナビゲーションソフトウェアのユーザインターフェイス

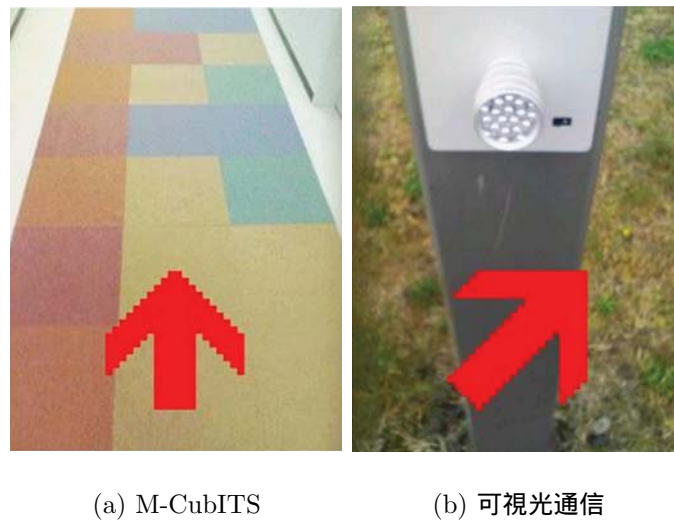


図 4.13: アプリケーションにおける案内情報の提示例

#### 4.3.5 提案システムの特徴

提案システムは、位置特定以外の処理、位置情報と方向情報のフォーマット、HMI(Human-Machine Interface)、データベースを共通化することで、いずれのポジショニングサブシステム(M-CubITS、可視光通信)を用いても同様のナビゲーション結果を得ることができる。また、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向のシステムアーキテクチャであるため、M-CubITS や可視光通信と同様に、ユーザの位置と方向の情報が正確に取得できる位置特定手法であれば、提案システムのポジショニングサブシステムとして容易に組み込むことが可能で、それに伴うアプリケーションの変更は基本的に必要ない。さらに、提案システムではグラウンドベースのポジショニングサブシステムを用いているため、GPS などの衛星が不得手とする屋内や建物付近の屋外でもシームレスに位置特定が行え、案内情報を提供することができる。なお、今回採用した2種類のポジショニングサブシステムに加えて、第3・第4のポジショニングサブシステムの追加の検討、および、これらのポジショニングサブシステムを用いることによる定量性・相補性の評価は今後の課題とする。

#### 4.3.6 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よるプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの解析

3.3 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、本節で提案したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの解析を試みる。解析結果を表 4.6~4.8 に示し、特徴的な項目について以下にまとめる。

表 4.6 については、3.4 で解析対象に取り上げた点字ブロックを用いた端末処理型 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム [9] のサービスレイヤ(表 3.7)と同様である。表 4.7 では、提案システムはマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向でシステムの創成を行っていることから、マイグレーションのしやすさが“高い”、プラットフォーム化の程度は“Platform-oriented”となっている。表 4.8 のポジショニング技術では、提案システムは2種類のポジショニングサブシ

システム (M-CubITS と可視光通信) を用いていることから、それぞれの性質を持っている。例えば、動作可能場所はマーカと可視光送信機の有無に依存し、位置特定の種類は M-CubITS を利用した場合が“アナログ的”，可視光通信を利用した場合が“デジタル的 (量子化的)”，位置情報の取得は M-CubITS を利用した場合が“間接的 (計算)”，可視光通信を利用した場合が“直接的”である。

表 4.6: プラットフォーム指向の歩行者 WyN システムの解析結果—サービスレイヤ—

Item	Substance
【サービスの対象となるユーザ】	
身体的特性	健常者
歩行の種類	Pedestrian
移動目的	—
【サービスの機能】	
案内の種類	目的地の場所
案内の提供範囲	現在地指向
身体面の支援	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
【サービスされる情報の性質】	
情報取得の方法	Pull 型
情報取得に必要な操作回数	少ない
情報の信頼性	—
情報の鮮度	低い
パーソナル化の程度	低い
対応言語数	単一言語

表 4.7: プラットフォーム指向の歩行者 WyN システムの解析結果—システムレイヤ—

Item	Substance
【ユーザに要求される持ち物】	
持ち物の有無	あり
持ち物の種類	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
持ち物の重さ	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)
記録・表示の方法	リライタブル
【基本アーキテクチャ】	
利用形態	汎用品
ネットワーク化	非ネットワーク
インフラへの依存度	マーカ/可視光送信機に依存
【システムの動作】	
動作タイミング	イベントドリブン
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
【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
プラットフォーム化の程度	Platform-oriented

表 4.8: プラットフォーム指向の歩行者 WyN システムの解析結果—要素技術レイヤー—

Item	Substance
<b>【ポジショニング技術】</b>	
動作可能場所	マーカと可視光送信機の有無・撮影環境に依存
位置特定の精度	高い
位置特定の種類	M-CubITS: アナログ的, 可視光通信: デジタル的
位置特定の基準	GBP-G
位置情報の取得方法	M-CubITS: 間接的 (計算), 可視光通信: 直接的
位置情報の取得者	ユーザ側
位置情報の表現方法	緯度経度以外
方向情報の取得方法	あり (直接)
<b>【情報通信技術】</b>	
動作可能場所	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
通信回数	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
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
情報伝達の方向性	ユニキャスト
通信の内容	ソフトウェア (移動のための情報, 目的地ならびにその周辺情報も含む)
機械-機械間通信	あり (非接触)
[ 非接触の場合 ] 機械-機械間通信の媒体	光
[ 光媒体の場合 ] 光媒体の波長帯	可視光
[ 電波媒体の場合 ] 電波媒体の周波数	—
<b>【HMI】</b>	
情報の入力先	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	低い
入力内容の自由度	低い
情報の入力速度	ユーザが所持するデバイスに依存
情報の出力先	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
出力情報の可搬性	高い
インタラクティブ性	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
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
<b>【空間情報データベース技術および経路探索技術】</b>	
道路地図データベースの大きさ	比較的小さい
歩行者用地図データベースの大きさ	比較的小さい
移動手段情報データベースの大きさ	比較的小さい
目的地ならびにその周辺情報 DB の大きさ	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
<b>【各種センシング技術】</b>	
ユーザの周辺環境のセンシング	なし

## 4.4 評価実験

### 4.4.1 実験概要

提案システムの歩行者ナビゲーションシステムとしての有効性を確認するため、初めて訪れた大型商業複合施設での移動を想定した評価実験を行う。ここでは、ユーザが大型商業複合施設の敷地内にいることを認識しており、ユーザの位置は GPS などのスペースベースやモバイル基地局・無線 LAN などのテレストリアルベースの位置特定手法によって大まかに絞り込まれた状況を前提とする。本評価実験では、日本信号株式会社久喜事業所を大型商業複合施設に見立て、事業所内の2棟の建物内に目的地の候補を25ヶ所設定した。実験エリアの全長は、約500mであったことから、11段のシフトレジスタから生成される符号長2047のM系列を用いた。実験で使用したタイルカーペットの枚数および可視光送信機の台数を表4.9に示す。また、タイルカーペットおよび可視光送信機の設置場所を図4.14に示す。可視光送信機は実験エリアの屋外および建物内の分岐点の柱や壁面に設置し、タイルカーペットは建物内の通路に沿って7~15mずつ連続して配置した。被験者は、1人1人の行動を十分に記録でき、かつ、数名を超える人数を確保するという観点から10名の被験者を対象に実験を行った。被験者の属性を表4.10に示す。

表 4.9: タイルカーペットと可視光送信機の数

	建物付近の	屋内		総数
	屋外	建物 1	建物 2	
タイルカーペット	0	210	450	660
可視光送信機 (LED 照明型)	5	2	4	11
可視光送信機 (交通信号機型)	0	1	0	1

表 4.10: 被験者の属性

質問	選択肢	回答数
性別	男	9
	女	1
年齢	20-29	5
	30-39	0
	40-49	4
	50-59	1
携帯電話またはPHSを使用していますか	使用している	9
	使用していない	1
主に利用するサービスは何ですか (複数回答可)	電話	7
	メール	8
	ウェブ	5
	カメラ	2
	ナビゲーション	0



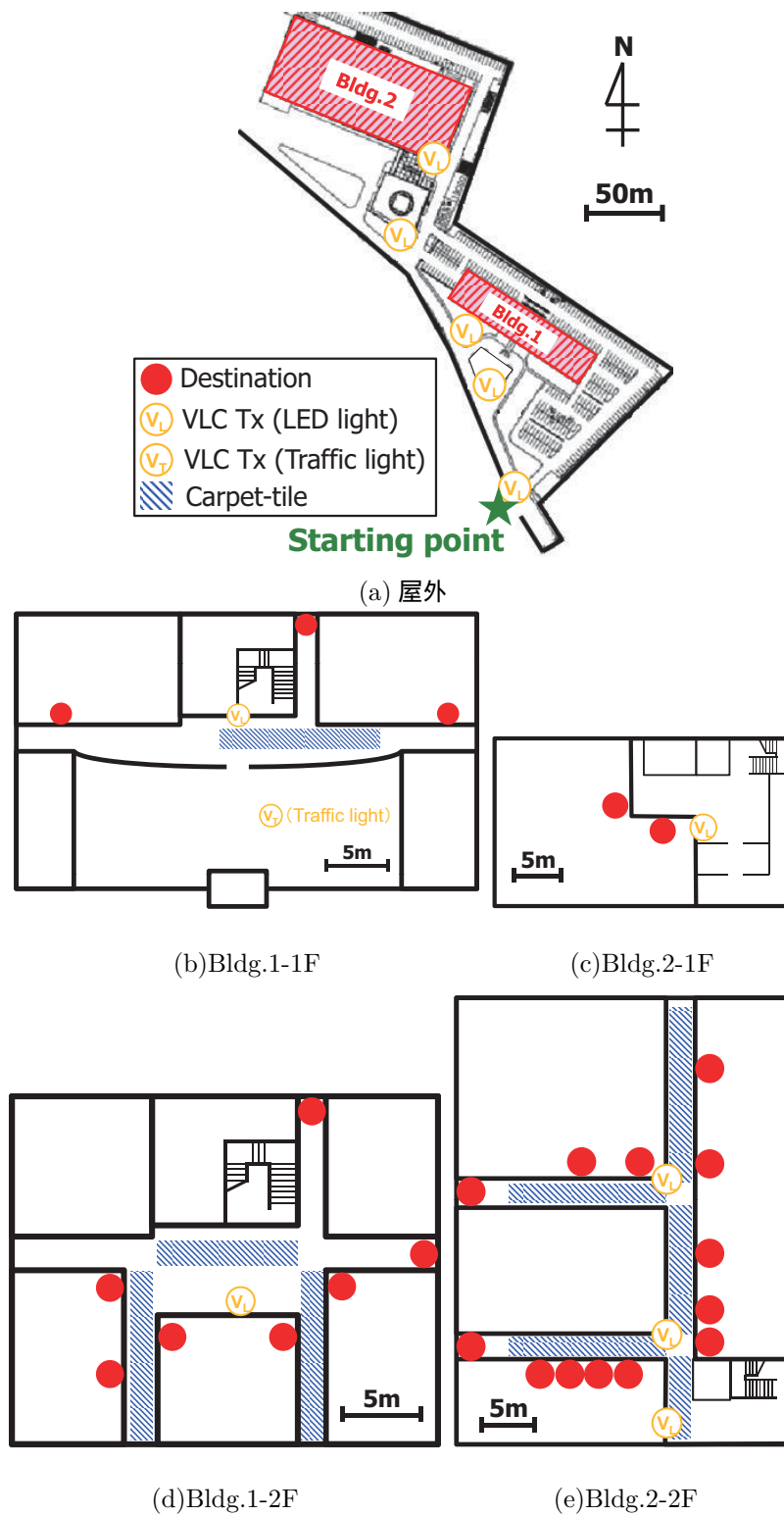


図 4.14: タイルカーペットと可視光送信機の配置

#### 4.4.2 実験方法

本実験の被験者の一部が事業所内の構造を既に把握していたため、紙地図を利用したり、通常の部屋名(会議室など)を目的地として提示すると、提案システムを利用しなくても目的地に到達できてしまう可能性が高いことから、地図などを利用せずに提案システムのみで目的地まで移動できるかを評価することで、提案システムの歩行者ナビゲーションシステムとしての有効性の確認を行う。具体的には、大型商業複合施設内で目的地の名称のみが分かっている状態で、固定の案内板や手持ちの地図などを用いずに、提案システムのみで目的地に到達できるかを評価するために、実験エリア内に設定した25ヶ所の目的地の候補から、実験主催者側で被験者ごとに3ヶ所の目的地を指定し、その名称を被験者に提示する。このとき、各被験者が実験中に移動するトータルの距離(スタート地点から最終目的地までの最短距離)はほぼ同じになるように選択する。被験者は、提案システムを用いて指定された3ヶ所の目的地を順番に巡り、各目的地への到達の可否を記録する。また、目的地に到達できた場合、目的地到達までに要した時間を記録する。実験後、アンケート形式によるユーザビリティ評価を行う。実験中、被験者がモバイル機器に対して行った操作、撮影画像および出力結果は、機器内にログとして全て保存している。

なお、本評価実験は、休日のオフィスで、被験者・実験主催者合わせて十数名以外の障害物が存在しない状況で実施した。一般に、電磁気などの不可視な媒体を用いたシステムでは、電波などが強い場所を探しながら利用することがしばしばあるが、提案システムは可視の媒体(タイルカーペット、可視光)を広範に配置して利用するため、多少混雑している状況でも、障害物の少ない場所(M-CubITSならユーザの前方1.5m四方の空いている場所、可視光通信なら光源の直近)を探して利用することが可能である。また、タイルカーペットが敷設してあるような歩行空間(例えば、空港、ショッピングモールのコリドーなど)で、足で完璧に埋め尽くされてしまうほど混雑したぎゅうぎゅう詰めという状況は考えにくいから、このような状況で提案システムを利用することは想定していない。仮に、やや混雑している場合でも、案内情報を得ようとしているユーザは、システムに協力的に利用すると考えられるため、人の足の写り込みの少ない場所を選んで利用することを想定している。

#### 4.4.3 実験結果および考察

##### 4.4.3.1 位置特定成功率

実験中、被験者が提案システムを利用した際に、各ポジショニングサブシステムで正しい位置特定結果が取得できた割合(位置特定成功率)について評価を行う。提案システムにおいて、各ポジショニングサブシステムが特定する位置は、緯度経度などで表されるような端末そのものの位置ではなく、端末のカメラで撮影された画像や可視光通信で取得したビット列がナビゲーションを行うエリア全体のどこに相当するかを特定しているため、ここでは、提案システムによって特定された位置が、ユーザが提案システムを利用した位置と一致しているか/一致していないかで位置特定性能の評価を行う。具体的には、ポジショニングサブシステムが出力したM系列のチップ番号(実験値)と、モバイル機器内にログとして保存されている撮影画像(M-CubITSでは位置特定と矢符重畳、可視光通信では矢符重畳にそれぞれ利用)から目視で特定したM系列のチップ番号(真値)を比較し、実験値と真値が完全に一致した場合を位置特定成功と定義し、各ポジショニングサブシステムの試行回数に対する位置特定成功回数から位置特定成功率を算出する。表4.11に各ポジショニングサブシステムにおける位置特定成功率を示す。

表 4.11: 各ポジショニングサブシステムにおける位置特定成功率

	試行回数	位置特定成功回数	位置特定成功率
M-CubITS	121	71	59%
可視光通信	132	107	81%

また、各ポジショニングサブシステムにおける位置特定失敗の種類を表 4.12 に示す。ここでの位置特定失敗は、位置特定結果が正しい位置と異なる位置に特定される誤位置特定と、位置特定結果が得られない位置特定不能に分けられる。可視光通信については、誤位置特定と位置特定不能に加えて、位置情報取得待機中に情報取得が行えないタイムアウトも位置特定失敗の原因の一つに挙げられる。表 4.12 から、M-CubITS、可視光通信ともに位置特定不能による失敗が最も多いことが分かる。

表 4.12: 各ポジショニングサブシステムにおける位置特定失敗の種類と発生回数

	誤位置特定	位置特定不能	タイムアウト	合計
M-CubITS	14	36	-	50
可視光通信	7	12	7	25

M-CubITS における位置特定失敗の原因は、タイルカーペットの色情報の誤判定、タイルカーペットの境界線の未検出、タイルカーペットの境界線の誤検出の 3 種類である。色情報の誤判定、または、タイルカーペットの境界線の未検出/誤検出によって、撮影画像から得られる M 系列の部分系列に誤りが生じ、位置情報 (M 系列のチップ番号) にも誤りが生じる。このとき取得した M 系列のチップ番号が実験エリア内に存在すれば誤位置特定、実験エリア内に存在しなければ位置特定不能となる。表 4.13 に誤位置特定の原因と発生回数の分析結果を、表 4.14 に位置特定不能の原因と発生回数の分析結果をそれぞれ示す。表 4.13 および表 4.14 から、誤位置特定、位置特定不能ともに、境界線が正しく検出されても色情報の誤判定を原因とした失敗が最も多いことが分かる。

表 4.13: M-CubITS における誤位置特定の原因と発生回数

		色情報		計
		判定成功	誤判定	
境界線検出	検出成功	-	9	9
	誤検出	1	3	4
	未検出	0	0	0
	誤検出と未検出が同時	1	0	1
計		2	12	14

表 4.14: M-CubITS における位置特定不能の原因と発生回数

		色情報		計
		判定成功	誤判定	
境界線検出	検出成功	-	20	20
	誤検出	3	4	7
	未検出	4	4	8
	誤検出と未検出が同時	1	0	1
計		8	28	36

タイルカーペットの色情報の誤判定による位置特定の失敗例を図 4.15 に示す．図 4.15 において，画像下端中央のタイルカーペットで緑色 (G) を赤色 (R) に，画像下端から 2 枚目と 3 枚目左側のタイルカーペットで緑色 (G) を黄色 (Y) に，画像下端から 4 枚目中央のタイルカーペットで青色 (B) を赤色 (R) にそれぞれ誤判定している．提案システムにおける色情報は，双六角錐モデルによる HSI 変換 (HSL 変換) を画素毎に適用した後，色相 (Hue)，彩度 (Saturation)，明度 (Lightness) に対する閾値処理で判定しているが，タイルカーペット撮影時の照明量の不足やカメラのホワイトバランスによって Hue が変化したことが誤判定の原因として挙げられる．HSL 変換以外の色変換手法の検討など，タイルカーペットの色情報判定精度の向上は今後の課題である．

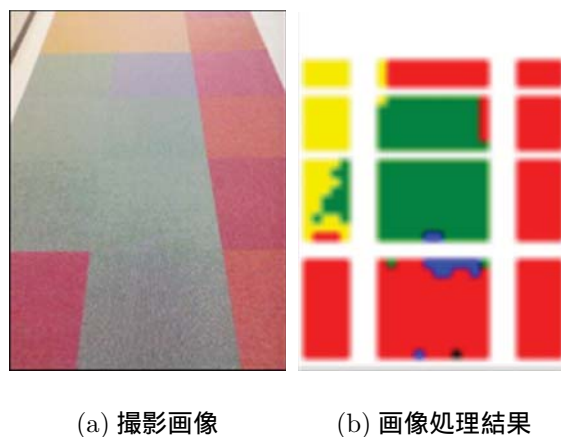


図 4.15: タイルカーペットの色情報誤判定による位置特定失敗例

タイルカーペットの境界線の未検出による位置特定の失敗例を図 4.16 に示す．図 4.16 において，画像下端から 2 枚目と 3 枚目のタイルカーペットの境界線が検出できず，1 枚のタイルカーペットとして処理されている．提案システムにおける境界線の検出では，一次微分フィルタによるエッジ抽出後にヒストグラムを用いて直線検出を行っているが，エッジ強度の不足によって直線が正しく検出できない，または，ノイズによって誤った直線を検出したことが原因である．最適なエッジ抽出フィルタの検討など，タイルカーペットの境界線検出精度の向上は今後の課題である．

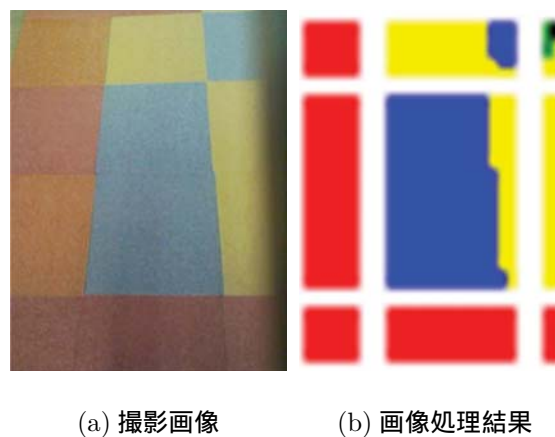


図 4.16: タイルカーペットの境界線未検出による位置特定失敗例

可視光通信における位置特定失敗の原因として、可視光送信機から位置情報 (M 系列のチップ番号) を取得する際に太陽光や一般の照明光などの外光の影響によって受信信号強度が劣化し、M 系列のチップ番号を表すビット列に誤りが生じたことが挙げられる。また、今回作製した可視光送受信機は指向角が狭く、可視光送信機の光源と可視光受信機の受光部をほぼ正対させることで位置情報が取得できる設計であったため、ユーザが可視光受信機の受光部の方向を調整しているうちにタイムアウトしたことが挙げられる。可視光送受信機の指向角を広く取ることで位置情報取得時のユーザの負担は軽減されるが、光の到来方向の自由度が上がるため、モバイル機器でユーザの向いている方向を一意に特定することが困難となる。可視光通信による位置特定結果をナビゲーションシステムで利用する際の適切な指向角の検討が必要である。ここで、可視光通信による位置特定に成功した可視光送受信機間の最大距離を表 4.15 に示す。表 4.15 より、交通信号機型の可視光送信機では、3m 離れた場所でも情報を正確に取得することができたが、実用化のためには、この位置特定可能な最大距離の向上が必要である。

表 4.15: 可視光通信による位置情報取得可能な最大距離

可視光送信機	最大通信可能距離
LED 照明型 (屋外)	1m
LED 照明型 (屋内)	2m
交通信号機型	3m

#### 4.4.3.2 処理時間

本実験で用いたモバイル機器において各ポジショニングサブシステムを利用した際に、位置・方向情報取得開始からナビゲーション情報表示までに要した時間 (処理時間) を時間分解能 1 秒で計測した結果、M-CubITS の場合が約 5 秒、可視光通信の場合が約 2 秒であった。

可視光通信は、位置情報 (M 系列のチップ番号) を通信によって直接取得できるのに対して、M-CubITS ではタイルカーペットの撮影画像から画像処理によって位置情報を取得するため、処理時間は可視光通信に比べると長くなる。そのため、本システムの実用化には M-CubITS における処

理の高速化が必要であるが、M-CubITS における処理時間は使用するモバイル機器 (本論文ではスマートフォン) の性能に依存することから、スマートフォンの性能差に対する処理時間の比較を試みる。

本比較評価は、評価実験で使用した WILLCOM W-ZERO3[es] (WS007SH) に加えて、WILLCOM Advanced/W-ZERO3[es] (WS011SH)、EMOBILE Pocket WiFi S (S31HW)、NTT ドコモ Xperia (SO-01B) のそれぞれに提案システムのプログラムを移植して行う。ただし、プログラム移植の際、処理アルゴリズムに変更は加えず、機種ごとの最適化も行わない。表 4.16 に各スマートフォンの主要スペックを示す。本比較評価では、端末内部で行われる 2 種類の処理 (位置特定部と経路探索部) のそれぞれの処理時間を時間分解能 1 ミリ秒で計測を行う。各スマートフォンで 100 回試行した際の処理時間の平均値と標準偏差を図 4.17 に示す。図 4.17 において、WS007SH と WS011SH はトータル (位置特定部と経路探索部の和) で 4 秒前後の処理時間であるのに対して、S31HW では約 85%、SO-01B では約 94% 処理時間が改善され、特に画像処理を伴う位置特定部で顕著である。これは、スマートフォンの発売時期の違いで、搭載される CPU の命令セットが変わり、処理速度が大幅に向上したと考えられる。また、標準偏差に関して、Windows Mobile 系では平均値の 1~2% であるのに対して、Android 系では平均値の 50% 以上のばらつきがある。Windows Mobile および Android は、いずれもマルチタスク OS だが、バックグラウンドで動作しているプロセス数と処理の振り分け方の違いによるものと考えられる。

表 4.16: スマートフォンのスペック

Model	WILLCOM WS007SH	WILLCOM WS011SH	EMOBILE S31HW	NTT ドコモ SO-01B
OS	Windows Mobile 5.0	Windows Mobile 6	Android 2.2	Android 2.1
CPU	Intel PXA270 416MHz	Marvell PXA270 520MHz	Qualcomm MSM7225 528MHz	Snapdragon QSD8250 1GHz
RAM	64MB	128MB	256MB	384MB
Release	2006.07	2007.07	2011.01	2010.04

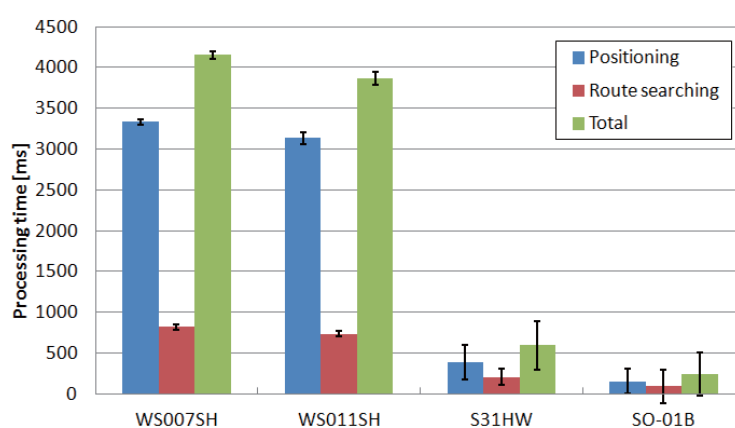


図 4.17: 各スマートフォンにおける処理時間

以上の結果から、使用するモバイル機器（スマートフォン）の性能は、年月の経過とともに向上しており、近年発売されたスマートフォンに提案システムを実装した場合、案内情報が1秒以内に取得できることを確認した。なお、提案システムにおける処理時間は、処理アルゴリズムによっても変化すると考えられるが、処理時間は位置特定成功率とのトレードオフの関係にあるため、これらの最適化のためには、タイルカーペットの色の組み合わせと配置方法の最適化を行った上で、位置特定成功率と処理時間のトレードオフを考慮して処理アルゴリズムについて検討を行う必要がある。

#### 4.4.3.3 目的地到達率

被験者が提案システムを利用して指定された目的地に到達できた割合（目的地到達率）は100%となった。提案システムは、利用するポジショニングサブシステムをユーザ自身が適材適所で選択できるシステム構造であったため、一方のポジショニングサブシステムを利用できない、または、明らかに誤った結果が表示された場合に、ユーザの現在地の近くにある他のポジショニングサブシステムに切り替えることで、正しいナビゲーション情報を取得し、目的地に到達できたと考えられる。

#### 4.4.3.4 移動所要時間

被験者が目的地に到達できた場合、その移動に要した時間（移動所要時間）を評価するため、スタート地点から最終目的地までの移動所要時間を算出した。その結果、被験者10名の移動所要時間の平均値と標準偏差は、 $25.6 \pm 7.5$  分（最短14分、最長35分）であった。

#### 4.4.3.5 ユーザビリティ

提案システムの使いやすさとして、ユーザビリティについて評価を行う。現在の歩行者ナビゲーションシステムの研究開発分野では、歩行者ナビゲーションシステムのユーザビリティの統一的な評価方法が確立されていないため、本論文では、ウェブサイトに関するユーザビリティ評価 [136] を参考に、提案システムのユーザビリティの評価項目として、操作性・応答性・見やすさ・信頼性・好感度・役立ち感の計6項目を設定した。ウェブサイトには表示方法や用途の異なるものが種々存在するが、文献 [136] では抽象化された指標を用いて上位概念で評価を行っているため、これらの評価指標を歩行者ナビゲーションシステムのユーザビリティ評価にも応用できると考えられる。

今回設定した評価項目のうち3項目（操作性・応答性・見やすさ）はシステムの使いやすさ、残り3項目（信頼性・好感度・役立ち感）はシステムに対する主観的な印象や満足度に関するものである。被験者は、この6項目について、それぞれ5段階（最低0点～最高4点）で評価する。評価項目ごとの被験者10名の平均値と標準偏差を図4.18に示す。

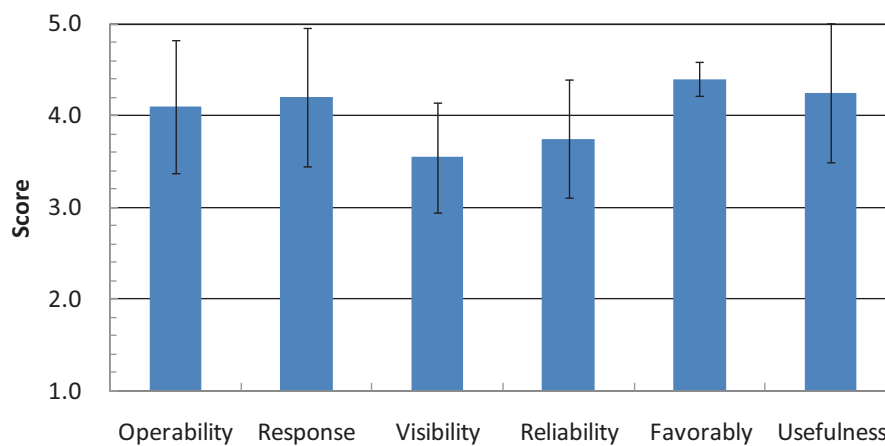


図 4.18: ユーザビリティ評価の結果

図 4.18 において応答性 (Response) が 6 項目の中で、平均値が最も低く、標準偏差が最も大きい結果となった。その理由として、4.4.3.2 で述べた M-CubITS における処理時間 (約 5 秒) が一部の被験者にとってストレスになっていたことがアンケートの自由記述欄から読み取れた。また、信頼性 (Reliability) の平均値が応答性の次に低い結果になった理由として、4.4.3.1 で述べた M-CubITS における位置特定に誤りが発生していたこと、可視光通信において提示された矢符の方向と実際の進行方向の対応付けが分かりにくい箇所が一部にあったことがアンケートの自由記述欄から確認できた。

以上、4.4.3.1~4.4.3.5 の実験結果から、提案システムは、ポジショニングサブシステムの性能 (特に位置特定成功率) およびユーザビリティについて改善の余地はあるが、初めて訪れた大型商業複合施設内で目的地の名称のみが分かっている状況で確実に目的地に到達できることを確認した。

## 4.5 本章のまとめ

本章では、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムを提案した。提案システムでは、ユーザの位置情報と方向情報を共通フォーマットで各ポジショニングサブシステムから ITS プラットフォーム上で稼働しているアプリケーションに渡すことで案内情報を提供する。また、本システムは、屋内や建物付近の屋外でシームレスに動作し、かつ、WYSIWYAS ナビゲーションの実現に必要な位置情報と方向情報を他の位置特定手法と協調することなく取得可能なポジショニングサブシステムとして、タイルカーペットを用いた M-CubITS と可視光通信を採用した。大型商業複合施設内で目的地の名称のみが分かっている状況での移動を想定した評価実験では、提案システムにおけるポジショニングサブシステムの位置特定成功率、処理時間、移動所要時間、ユーザビリティについて評価を行った。その結果、提案システムを用いることで確実に目的地に到達できたことから、提案システムの歩行者ナビゲーションシステムとしての有効性を確認した。



## 第5章 モバイル機器を補佐して案内環境を向上させるインフラ設置機器 [2, 137]

### 5.1 本章のまえがき

既存の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムでは、M 系列状に敷設されたマーカの並びをユーザの持つカメラ付きのモバイル機器で撮影することで、ユーザの現在位置と向いている方向を特定した上で案内を行うため、案内情報を取得可能な場所は、マーカが敷設されている場所に限定されていた。一方で、M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムでは、ユーザが利用するモバイル機器内に目的地情報が必ず記録されていることから、それらの情報を外部から読み取ることで案内情報を提供することが可能となり、案内環境が向上すると考えられる。そこで、本章では、モバイル機器内に記録された目的地情報を読み取ることで案内環境を向上させるインフラ設置機器として、MI WyNE Box(M-CubITS Integrated WYSIWYAS Navigation Environment Box) を提案する。

### 5.2 MI WyNE Box の提案

#### 5.2.1 概要

MI WyNE Box は、モバイル機器を用いた歩行者ナビゲーションシステムを利用する際にユーザがモバイル機器内に記録した目的地情報を外部から読み取ることで案内情報をユーザに提供する。図 5.1 に MI WyNE Box における処理の流れを示す。

1. 目的地情報が記録されたモバイル機器を MI WyNE Box への読み取り部で読み取る
2. 目的地情報をプロセッサに入力
3. 目的地情報を検索キーとしてデータベースに問い合わせ
4. データベースから案内情報を取得
5. 取得した案内情報によって、ユーザの進む推奨方向を表示デバイス上に提示

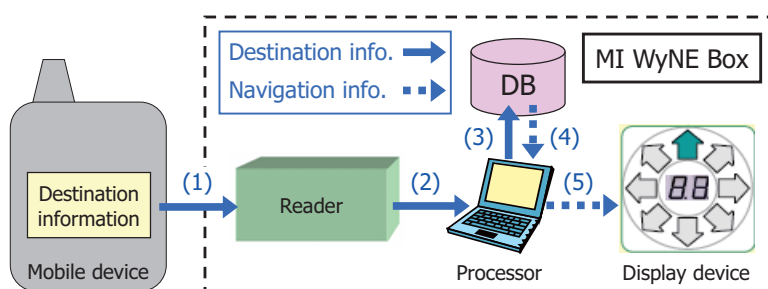


図 5.1: MI WyNE Box における処理の流れ

### 5.2.2 システム構築

モバイル機器内に記録された目的地情報を外部から読み取るためのインターフェイスとして、本論文では既存のモバイル機器を用いて実装可能な 2 種類の方法を採用する。

- NTT ドコモの i アプリプラットフォーム上で稼働するモバイル FeliCa チップ内の情報を FeliCa R/W で読み取る
- モバイル機器の画面に表示した QR コードを QR コードリーダーで読み取る

QR コードは、モバイル機器で作成したものを画面上に表示したもの他に、カード等に印刷したものも利用できる。また、モバイル FeliCa チップを利用する場合、従来システム (例えば文献 [12]) のような目的地情報とタグ ID の紐付けは行わず、FeliCa チップ内に用意されたフリー領域に目的地情報を書き込むことで利用する。

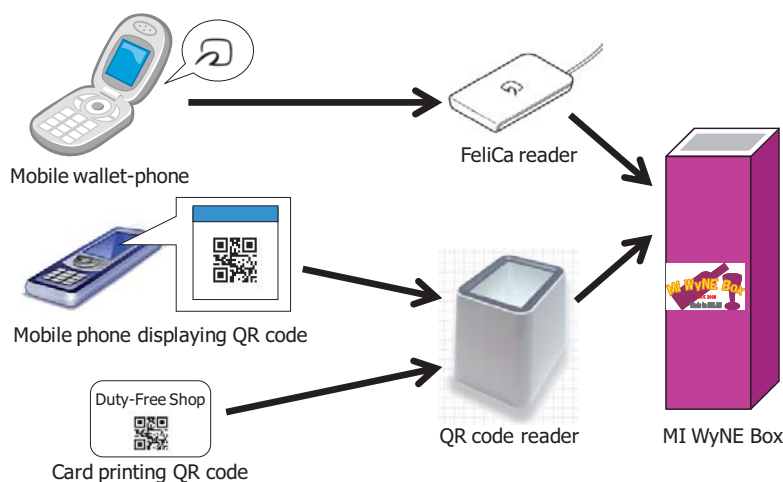


図 5.2: モバイル/インフラ間のインターフェイス

MI WyNE Box の筐体外観を図 5.3 に、MI WyNE Box における案内表示例を図 5.4 に示す。

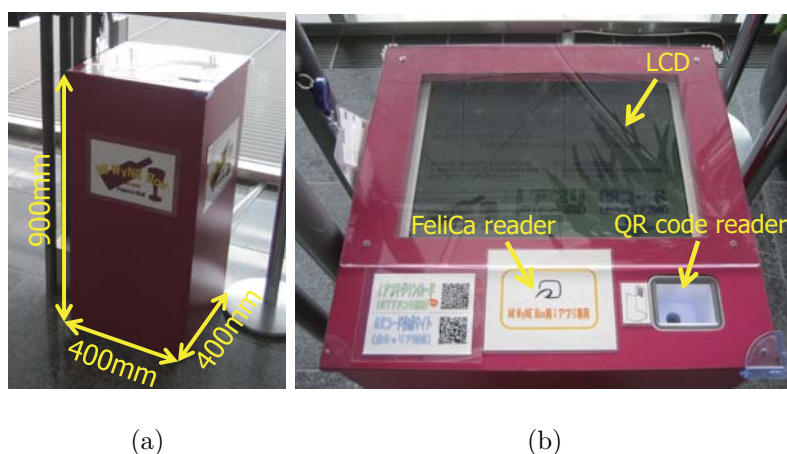


図 5.3: MI WyNE Box の筐体外観

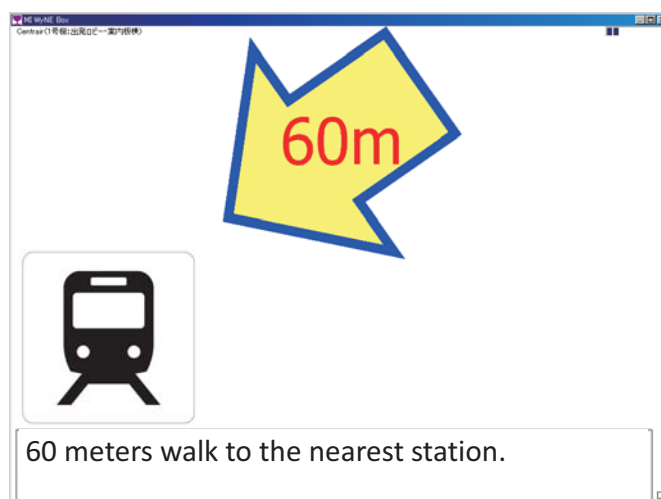


図 5.4: MI WyNE Box における案内表示例

### 5.2.3 歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルによる MI WyNE Box の解析

3.3 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、本節で提案したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの解析を試みる。解析結果を表 5.1~5.3 に示し、特徴的な項目について以下にまとめる。

表 5.1 の利用可能場所について、MI WyNE Box は屋内/屋外問わず利用可能であるが、屋外で利用する場合、筐体に防水防塵処理を施す必要がある。しかし、現状ではそのような処理が施されていないため“主に屋内”となっている。表 5.2 のユーザに要求される持ち物について、MI WyNE Box は基本的にはモバイル機器などのデバイスが必要であるが、カード等に印刷された QR コードを利用する場合の持ち物は“カード”，筐体に取り付けられた QR コードのリストを利用する場合

の持ち物は“なし”となる．また，持ち物の用途について，前述した3種類の歩行者ナビゲーションシステム [9, 50, 126] は“機械との通信(入出力)”であるのに対して，MI WyNE Box では“機械への入力”となっている．表 5.3 のポジショニング技術において，MI WyNE Box はインフラに設置されているため，それを利用するユーザの位置と方向は常に決まっている．そのため，MI WyNE Box での位置情報の取得は端末の設置場所に限られ，位置情報の取得はスポット的となるが，位置と方向は設置端末からのデータ供与によって特定されるため正確である．

表 5.1: MI WyNE Box の解析結果—サービスレイヤ—

Item	Substance
【サービスの対象となるユーザ】	
身体的特性	健常者
歩行の種類	Pedestrian, Passenger
移動目的	—
【サービスの機能】	
案内の種類	目的地の場所
案内の提供範囲	現在地指向
身体面の支援	なし
【サービスの利用環境】	
利用可能場所	主に屋内
利用可能範囲	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
情報取得に必要な操作回数	少ない
情報の信頼性	—
情報の鮮度	低い
パーソナル化の程度	低い
対応言語数	複数言語

表 5.2: MI WyNE Box の解析結果—システムレイヤ—

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/カード
持ち物の大きさ	ユーザが所持するデバイス/カードに依存
持ち物の重さ	ユーザが所持するデバイス/カードに依存
持ち物の用途	機械への入力
記録・表示の方法	リライタブル
【基本アーキテクチャ】	
利用形態	汎用品
ネットワーク化	非ネットワーク
インフラへの依存度	ユーザの所持するデバイスに依存
【システムの動作】	
動作タイミング	イベントドリブン
応答のリアルタイム性	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	高い
プラットフォーム化の程度	Platform-oriented

表 5.3: MI WyNE Box の解析結果—要素技術レイヤー

Item	Substance
【ポジショニング技術】	
動作可能場所	MI WyNE Box の設置場所に依存 (スポット的)
位置特定の精度	端末設置場所に限られるが高精度
位置特定の種類	アナログ的
位置特定の基準	設置型のデータ供与による
位置情報の取得方法	設置型のデータ供与による
位置情報の取得者	設置型のデータ供与による
位置情報の表現方法	設置型のデータ供与による
方向情報の取得方法	設置型のデータ供与による
【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
通信速度	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
通信時間	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
情報伝達の方向性	ユニキャスト
通信の内容	ユーザの意思, ソフトウェア
機械-機械間通信	あり (非接触)
[ 非接触の場合 ] 機械-機械間通信の媒体	電波/光
[ 光媒体の場合 ] 光媒体の波長帯	可視光
[ 電波媒体の場合 ] 電波媒体の周波数	HF 帯 (13.56MHz)
【HMI】	
情報の入力先	視覚
入力可能な情報量	少ない
入力方法の自由度	低い
入力内容の自由度	高い
情報の入力速度	ユーザが所持するデバイスに依存
情報の出力先	視覚 (ディスプレイ)
出力可能な情報量	多い
出力可能な面積	広い
出力情報の可搬性	低い
インタラクティブ性	ユーザの所持するデバイスに依存
タッチパネル搭載の有無	なし
タッチパネルの感知点数	—
【空間情報データベース技術および経路探索技術】	
道路地図データベースの大きさ	比較的大きい
歩行者用地図データベースの大きさ	比較的大きい
移動手段情報データベースの大きさ	比較的大きい
目的地ならびにその周辺情報 DB の大きさ	比較的大きい
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	分散管理
経路計算機能の有無	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	なし

## 5.3 中部国際空港における評価実験

### 5.3.1 実験環境

提案システムのナビゲーションシステムとしての性能を実環境で評価するために、従来から用いられているフロアガイド(紙地図)との比較実験を中部国際空港の旅客ターミナルビル内で行う。実験に参加した被験者は20~30代の男女8名である。

### 5.3.2 実験方法

中部国際空港の旅客ターミナルビル3Fの中央案内所を出発地、ターミナルビル内の店舗および施設を目的地として、被験者に目的地名を提示してから目的地に向かって歩き出すまでの時間、歩き出してから目的地に到達するまでの時間を計測することで比較評価を行う。

### 5.3.3 実験結果

評価実験の結果、被験者が歩き出してから目的地に到達するまでの時間に有意差は認められなかったが、被験者が目的地名を確認してから目的地に向かって歩き出すまでの時間が、紙地図は平均64秒であったのに対して、MI WyNE Boxでは平均42秒に減少した。歩き出すまでの時間が短くなった理由として、MI WyNE Boxでは、目的地の名称(例:保安検査場)や目的(例:食事がしたい)を入力することで、案内情報を受け取ることが可能だが、紙地図では、数多くある候補から該当する目的地を探し出すのに多くの時間を要したことが挙げられる。目的地に到達するまでの時間については、MI WyNE Boxは、端末が設置されている場所でしか案内情報が受け取れないため、端末から離れてしまうと、紙地図や固定の案内板等を頼りに移動することになるため、紙地図を利用した場合と移動時間に差が生じなかったと考えられる。

以上の結果から、インフラ設置端末で表示された案内情報をモバイル機器で持ち運ぶなど、モバイル機器とインフラ設置機器が協調動作(MICO; Mobile/Infrastructure Corroborative Operation)によって、より快適なモビリティ環境を提供することが可能になると考えられる。

## 5.4 本章のまとめ

本章では、モバイル機器を補佐して案内環境を向上させるインフラ設置機器として、MI WyNE Box(M-CubITS Integrated WYSIWYAS Navigation Environment Box)を提案した。提案システムは、モバイル機器内に記録されたユーザの目的地情報をモバイル FeliCa チップまたは QR コードをインターフェイスとして外部からよみよることで、ユーザを直観的な案内を提供することができる。

今後の課題として、モバイル機器とインフラ設置機器の協調動作(MICO)の理論とアーキテクチャに関する知見の獲得が挙げられる。

## 第6章 結論

本論文では、歩行者の快適なモビリティ環境の実現を目指して、歩行者ナビゲーションシステムの創成に必要な知見の獲得を目的とした研究を行った。まず、歩行者ナビゲーションシステムの標準化や新たな研究開発に寄与するツールとして、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た。ここでは、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作成に際し、そのポイントを明確にするために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。次に、歩行者ナビゲーションシステムの分類学に鑑みて、既存およ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や新たな研究開発に寄与するツールとして、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作成した。さらに、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た解析例として、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、各システムの性格付けおよび特徴の違いを明確にした。これらを通じて、歩行者ナビゲーションシステムの標準化や新たな研究開発に寄与するツールの実現例とその効果に関する知見を得た。次に、空港やモールなどの建物内で利用可能なグラウンドベースの位置特定手法としてタイルカーペットを用いた M-CubITS を実現した上で、ポジショニングサブシステムのマイグレーションを考慮したプラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの構築例とその効果について示した。構築したシステムは、アプリケーションとサブシステムがプラットフォームによって上下に分離された構造をしており、ポジショニングサブシステムのマイグレーションが考慮されている。ここでは、建物内や建物付近の屋外でシームレスに動作し、かつ、WYSIWYAS ナビゲーションの実現に必要な位置情報と方向情報を正確に取得可能なポジショニングサブシステムとして、タイルカーペットを用いた M-CubITS と可視光通信を採用した。また、モール程度的大型商業複合施設内での移動を想定した評価実験では、構築したシステムを用いることで確実に目的地に到達できることを確認した。さらに、モバイル機器内に登録された目的地情報を利用することで、モバイル機器を補佐して案内環境を向上させるインフラ設置機器 (MI WyNE Box; M-CubITS Integrated WYSIWYAS Navigation Environment Box) の構築例を示し、中部国際空港構内での評価を行った。評価の結果、目的地が決まってからその方向に歩き出すまでの時間が通常のフロアガイド (紙地図) を用いるよりも早くなることを確認し、モバイル機器とインフラ設置機器が対等な立場で協調動作 MICO (Mobile/Infrastructure Corroborative Operation) の可能性の示唆と理論およびアーキテクチャの知見の必要性を述べた。

今後の課題として、歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルでは、今回提案したモデルの各レイヤを構成するカテゴリ (大項目) は、抽象化された普遍的なメタ要素としてあげており、現在およ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なる可能性がある。プラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムでは、第3・第4のポジショニングサブシステムの追加の検討およびそれらの定量性・相補性の評価、既存の歩行者ナビゲーションシステムとの比較評価が挙げられる。タイルカーペットを用いた M-CubITS では、タイルカーペットの組み合わせと配置方法の最適化、位置特定

成功率の改善が挙げられる。MI WyNE Box では、モバイル機器とインフラ設置機器の協調動作 (Mobile/Infrastructure Collaborative Operation; MICO) の理論とアーキテクチャに関する知見の獲得が挙げられる。



## 謝辞

本論文は、筆者が埼玉大学大学院理工学研究科理工学専攻博士後期課程在籍中の研究成果をまとめたものです。研究の遂行にあたりご指導いただいた、同大学大学院の長谷川孝明教授、久野義徳教授、大澤裕教授、伊藤和人准教授、金帝演助教に深謝致します。プラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの研究では、日本信号株式会社の松岡義大氏、古川誠治氏、小川千隼氏に終始ご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。MI WyNE Box の研究では、中部国際空港株式会社の荒尾和史氏、安藤祐二氏、東田博士氏、奥野康生氏、伊藤宏紀氏、井上麻衣氏、株式会社エージーピーの福田朗氏、竹山哲也氏、井上英年氏、村尾学氏に終始ご協力いただきました。深謝致します。また、貴重なご意見をいただきました関東学院大学の永長知孝准教授、WYSIWYAS ナビゲーションコンソーシアム (WyNC) 会員各位、および、日頃より有益なご討論ご協力をいただきました長谷川・金研究室の皆様に感謝致します。なお、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 (課題番号:20500085 および 23500111)、埼玉大学総合研究機構プロジェクト研究費 (2007 年度および 2009 年度) によって行われました。深謝致します。最後に、筆者をあたたく応援してくれた家族・親戚、友人・知人をはじめ、これまでに会った全ての方々に感謝致します。

## 参考文献

- [1] 長谷川孝明. “システム創成と空間的心地よさの質について—IT による QoS の向上とモビリティ—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2010-67, pp. 287–292, Feb. 2011.
- [2] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-89, pp. 65–70, March 2008.
- [3] T. Manabe, S. Yamashita, and T. Hasegawa. “On the M-CubITS Pedestrian WYSIWYAS Navigation System”. In *Proceedings of the 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems 2006 (ITSC'06)*, pp. 793–798, Toronto, Canada, Sept. 2006.
- [4] T. Manabe, T. Hasegawa, Y. Matsuoka, S. Furukawa, and A. Fukuda. “On the M-CubITS Pedestrian WYSIWYAS Navigation Using Tile Carpets”. In *Proceedings of the 10th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems 2007 (ITSC'07)*, pp. 879–884, Seattle, USA, Oct. 2007.
- [5] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2007-10, pp. 5–10, July 2007.
- [6] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-90, pp. 71–76, March 2008.
- [7] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-91, pp. 47–52, March 2009.
- [8] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2009-30, pp. 73–78, Dec. 2009.
- [9] 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”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J88-A, No. 2, pp. 269–276, Feb. 2005.
- [10] 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道案内の実現に向けて—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-95, pp. 31–36, March 2007.
- [11] 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道案内を行う WYSIWYAS 案内バンドについて”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-96, pp. 37–42, March 2007.

- [12] T. Hasegawa, A. Fukuda, S. Shimoda, T. Inoue, H. Yanai, Jun ichiroMoriya, S. Yamashita, K. Mizuno, H. Watanabe, K. Ogawa, K. Kodama, H. Ota, K. Hatano. “Airport Passenger Intelligent Transport Systems (APITS) —Airport Passenger Navigation by Using WYSL-WYAS Direction Boards—”. In *Proceedings of the 13th World Congress on Intelligent Transport Systems 2006*, London, UK, Oct. 2006.
- [13] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2005-114, pp. 25–30, March 2006.
- [14] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-32, pp. 41–45, Sept. 2006.
- [15] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-33, pp. 47–52, Sept. 2006.
- [16] 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方法”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-34, pp. 53–58, Sept. 2006.
- [17] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2007-28, pp. 27–32, Sept. 2007.
- [18] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2007-29, pp. 33–38, Sept. 2007.
- [19] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 171, pp. 25–30, July 2008.
- [20] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 171, pp. 31–36, July 2008.
- [21] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-14, pp. 37–42, July 2008.
- [22] 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”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. 91, No. 9, pp. 869–882, Sept. 2008.
- [23] 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”. 情報処理学会研究報告 2006-ITS-24(12), pp. 87–92, March 2006.
- [24] 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による歩行者誘導”. 情報処理学会研究報告 2007-ITS-28(10), pp. 17–23, March 2007.

- [25] 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”. 情報処理学会研究報告 2007-ITS-31(3), pp. 17–23, Nov. 2007.
- [26] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-90, pp. 41–46, March 2009.
- [27] 前田典彦, 菊池保文, 久保田浩司. “覗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”. 情報処理学会研究報告, pp. 43–48, March 2001.
- [28] 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”. 情報処理学会研究報告 2001-NL-143(13), pp. 89–94, June 2001.
- [29] 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”. Technical Report 48, pp. 43–48, July 2001.
- [30] 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”. 情報処理学会研究報告 2003-ITS-13(8), pp. 55–62, May 2003.
- [31] 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”. 情報処理学会研究報告 2004-MBL-30(1), pp. 1–8, Sept. 2004.
- [32] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 608, pp. 157–162, Feb. 2006.
- [33] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 234, pp. 109–114, Sept. 2006.
- [34] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 MVE2007-44, pp. 43–48, Oct. 2007.
- [35] 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”. 情報処理学会 DICO2006 シンポジウム, July 2006.
- [36] 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-”. 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol. 18, No. 6, pp. 900–910, Dec. 2006.
- [37] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-6, pp. 33–37, May 2008.
- [38] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-92, pp. 53–58, March 2009.
- [39] 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”. 電気学会論文誌 (C), Vol. 122, No. 12, pp. 2083–2090, Dec. 2002.
- [40] 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”. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 7, pp. 1858–1865, July 2001.

- [41] 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”. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 12, pp. 2968–2978, Dec. 2003.
- [42] 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その評価”. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 12, pp. 3068–3078, Dec. 2003.
- [43] L. Chittaro and S. Burigat. “Augmenting Audio Messages with Visual Directions in Mobile Guides: an Evaluation of Three Approaches”. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI'05)*, pp. 107–114, Sept. 2005.
- [44] M. Nakano, C. Nakano, M. Yoshida, and T. Moriya. “THE TEST OPERATION OF NAVIGATION SYSTEM FOR PEDESTRIANS AND CYCLISTS FOR TOURIST SPOTS”. In *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Transport Systems 2003*, No. 3156, Madrid, Spain, Nov. 2003.
- [45] T. Hatase, K. Sato, Y. Wakamatsu, and H. Nishimura. “DEVELOPMENT OF A NEW LOCATION-BASED NAVIGATION/INFORMATION SERVICE FOR PEDESTRIANS”. In *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Transport Systems 2003*, No. 3058, Madrid, Spain, Nov. 2003.
- [46] M. Hoshino, H. Ueno, and K. Suzuki. “A study and development of pedestrian supporting information system”. In *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Transport Systems 2003*, No. 3201, Madrid, Spain, Nov. 2003.
- [47] 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 Transactions on Communications*, Vol. E88-B, No. 7, pp. 2848–2855, July 2005.
- [48] 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”. In *Proceedings of the 11th World Congress on Intelligent Transport Systems 2004*, No. 3399, Nagoya, Japan, Oct. 2004.
- [49] K. Rehrl, S. Bruntsch, and H. Mentz. “Assisting Multimodal Travelers: Design and Prototypical Implementation of a Personal Travel Companion”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 31–42, March 2007.
- [50] M. Arikawa, S. Konomi, and K. Ohnishi. “NAVITIME: Supporting Pedestrian Navigation in the Real World”. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 6, No. 3, pp. 21–29, July-Sept. 2007.
- [51] M. Umlauft, G. Pospischil, G. Niklfeld, and E. Michlmayr. “LoL@, A mobile tourist guide for UMTS”. *Journal of Information Technology & Tourism*, Vol. 5, pp. 151–164, June 2003.
- [52] K. Rehrl, N. Goll, S. Leitinger, and S. Bruntsch. “Combined indoor/outdoor Smartphone navigation for public transport travelers”. In *Proceedings of the Location Based Services & Telecartography 2005*, Nov. 2005.

- [53] T. H. Kolbe. “Augmented Videos and Panoramas for Pedestrian Navigation”. In *Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services & TeleCartography 2004*, Vienna, Austria, Jan. 2004.
- [54] S. Koide and M. Kato. ““MOUDO-CANE”—3-D HUMAN NAVIGATION SYSTEM WITH NEIGHBORING SPACE INFORMATION”. In *Proceedings of the 13th World Congress on Intelligent Transport Systems 2006*, London, UK, Oct. 2006.
- [55] A. Millonig and K. Schechtner. “Developing Landmark-Based Pedestrian-Navigation Systems”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 43–49, March 2007.
- [56] L. Ran, S. Helal, and S. Moore. “Drishti: An Integrated Indoor/Outdoor Blind Navigation System and Service”. In *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom’04)*, March 2004.
- [57] 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 (Sweden)*, Oct. 2003.
- [58] W. Narzt, D. Kolb, R. Muller, and H. Hortner. “Pervasive Information Acquisition for Mobile AR-Navigation Systems”. In *Proceedings of the 5th IEEE Workshop on Mobile Computing System & Applications (WMSCA 2003)*, Oct. 2003.
- [59] T. Furutani. “A Study on Tourist Navigation with the Use of Application Service Provider of Location Positioning System —A Case Study in Kamakura —”. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, pp. 1233–1248, Sept. 2005.
- [60] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2009-9, pp. 7–12, July 2009.
- [61] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-64, pp. 173–176, Feb. 2009.
- [62] 和賀宗仙, 村田優, 田所嘉昭. “視覚障害者のための白線・横断歩道検出と誘導法”. 電子情報通信学会技術研究報告 738, pp. 19–24, March 2003.
- [63] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 WIT2003-37, pp. 1–6, Jan. 2004.
- [64] 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”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. 76, No. 5, pp. 743–751, May 1993.
- [65] 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”. 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol. 79, No. 9, pp. 1610–1618, Sept. 1996.
- [66] 青野嘉幸, 大市明伸, 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”. 電気学会論文誌 (C), Vol. 116, No. 9, pp. 1043–1050, Aug. 1996.
- [67] 坂本夏樹, 合志和洋, 田所嘉昭. “携帯電話とデジタルカメラによる視覚障害者支援システムの検討”. 電子情報通信学会技術研究報告 243, pp. 73–78, Sept. 1996.

- [68] 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”. 電子情報通信学会論文誌 (D), Vol. J83-D, No. 2, pp. 293–302, Feb. 2000.
- [69] 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”. 映像情報メディア学会誌, Vol. 55, No. 11, pp. 1499–1505, Nov. 2001.
- [70] M. Bessho, S. Kobayashi, N. Koshizuka, and K. Sakamura. “A Space-Identifying Ubiquitous Infrastructure and its Application for Tour-Guiding Service”. In *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing 2008 (SAC'08)*, pp. 1616–1621, Ceara, Brazil, March 2008.
- [71] M. Bessho, S. Kobayashi, N. Koshizuka, and K. Sakamura. “uNavi: Implementation and Deployment of a Place-Based Pedestrian Navigation System”. In *Proceedings of the 32nd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference (COMP-SAC'08)*, pp. 1254–1259, Turku, Finland, July 2008.
- [72] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 WIT2004-65, pp. 31–36, Jan. 2005.
- [73] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 WIT2003-40, pp. 23–28, Jan. 2004.
- [74] 塚田浩二, 安村通晃. “Active Belt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構”. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 11, pp. 2649–2658, Nov. 2003.
- [75] 河合秀夫, 岩元陽巧, 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”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J71-A, No. 11, pp. 2054–2062, Nov. 1988.
- [76] P. Ruppel, F. Gschwandtner, C. K. Schindhelm, and C. Linnhoff-Popien. “Indoor Navigation on Distributed Stationary Display Systems”. In *Proceedings of the 33rd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference 2009 (COMP-SAC'09)*, Seattle, USA, July 2009.
- [77] G. Abowd, C. Atkeson, J. Hong, S. Long, R. Kooper, and M. Pinkerton. “Cyberguide: A mobile context-aware tour guide”. *Wireless Networks*, Vol. 3, No. 5, pp. 421–433, Oct. 1997.
- [78] J. Schoning, K. Cheverst, M. Lochtefeld, A. Kruger, M. Rohs, and F. Taher. “Photomap: Using Spontaneously taken Images of Public Maps for Pedestrian Navigation Tasks on Mobile Devices”. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services 2009 (MobileHCI'09)*, Bonn, Germany, Sept. 2009.
- [79] 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”. 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 3, pp. 899–913, March 2010.

- [80] T. Nakagawa, F. Tsunoda, K. Wakasugi, S. Isojima, and I. Saito. “Development of Smart Navigation System “Cochira” for Customers in Railway Stations”. In *Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous Computing 2005 (UbiComp’05), Tokyo, Japan*, Sept. 2005.
- [81] G. Retscher and M. Thienelt. “NAVIO—A Navigation and Guidance Service for Pedestrians”. *Journal of Global Positioning System*, Vol. 3, No. 1–2, pp. 208–217, June 2004.
- [82] 児島伴幸, 戸川望, 柳澤政生, 大附辰夫. “歩行者の現在地認識に基づく道路標識とランドマークを用いた位置特定システムの改良とシミュレーション評価”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2009-64, pp. 153–158, Feb. 2010.
- [83] 小島祥子, 目黒淳一, 鈴木徳祥, 寺本英二. “汎用 GPS と車載カメラ画像を用いた高精度地図生成手法の提案—基本概念と可能性検討—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2010-73, pp. 35–40, March 2011.
- [84] 櫻井光徳, 松橋正道. “インフォサインによる歩行者ナビゲーション”. NEC 技報, Vol. 61, No. 1, pp. 53–56, Jan. 2008.
- [85] 長谷川孝明. “WYSIWYAS ナビゲーション環境の実現—リアルワールドのIT の意味—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-30, pp. 19–24, Dec. 2008.
- [86] 長谷川孝明. “ITS プラットフォーム “EUPITS” —実現へのアプローチ—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2003-8, pp. 41–47, May 2003.
- [87] S. Yamashita and T. Hasegawa. “On the M-CubITS pedestrian navigation system by a camera-equipped mobile phone”. In *Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems 2004 (ITSC’04)*, pp. 714–717, Washington, D.C., USA, Oct. 2004.
- [88] S. Yamashita and T. Hasegawa. “On the M-CubITS pedestrian navigation system using textured paving blocks and its experiments”. In *Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems 2005 (ITSC’05)*, pp. 121–125, Vienna, Austria, Sept. 2005.
- [89] 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 WYSIWYAS 歩行者ナビゲーションシステムの構築と実験”. 第 4 回 ITS シンポジウムプロシーディングス 2005, pp. 429–434, Sept. 2005.
- [90] 間邊哲也, 長谷川孝明. “建物内における M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-9, pp. 47–51, May 2006.
- [91] 吉田祐一, 長谷川孝明, 川俣孝治, 北本康雄, 和田泰生. “インターロッキングブロックを用いた M-CubITS のための画像処理の改善について”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2010-74, pp. 41–46, March 2011.
- [92] 瀬戸口巧. “Web アプリケーションを用いた M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションに関する研究”. Graduation thesis, 埼玉大学, Feb. 2010.



- [93] 矢内裕之, 長谷川孝明, 福田朗, 下田學. Auto-ID Solution: WYSIWYAS 案内板による空港旅客ナビゲーションシステム, 第 19 巻, pp. 16–20. 日本工業出版, July 2006.
- [94] 長谷川孝明, 福田朗, 下田學, 井上貴之, 矢内裕之, 森谷潤一郎, 山下清司, 水野一男, 渡部晴夫, 小川喜一郎, 児玉一成, 太田裕史, 波多野啓介. “Airport Passenger ITS (APITS) — WYSIWYAS 案内板による空港旅客ナビゲーション—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2005-89, pp. 59–64, Feb. 2006.
- [95] 芹澤崇, 長谷川孝明, 駒崎裕之, 荒尾和史, 奥野康生, 伊藤宏紀, 安藤祐二. “購買環境を高度化する WyNIST の実験—空港におけるナビゲーション実験—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2009-63, pp. 147–152, Feb. 2010.
- [96] 芹澤崇, 長谷川孝明, 駒崎裕之, 関谷浩史. “購買環境を高度化する WyNIST の売り場案内機能に関する実験—実環境におけるナビゲーション実験—”. 第 8 回 ITS シンポジウムプロシーディングス 2009, pp. 195–200, Dec. 2009.
- [97] R. Masuda, J. Kim, and T. Hasegawa. “On the WYSIWYAS Car Park Navigation System”. In *Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007 (IV’07)*, pp. 576–581, Istanbul, Turkey, June 2007. IEEE.
- [98] R. Masuda, J. Kim, and T. Hasegawa. “On Direction Position Oriented M-CubITS VehicleWysiwyasNavigation”. In *Proceedings of the 10th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems 2007 (ITSC’07)*, pp. 891–897, Seattle, USA, Oct. 2007.
- [99] 増田亮, 金帝演, 長谷川孝明. “指示位置指向の M-CubITS 車両 WYSIWYAS ナビゲーションについて”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J91-A, No. 1, pp. 11–20, Jan. 2008.
- [100] 増田亮, 金帝演, 長谷川孝明. “M-CubITS 駐車場 WYSIWYAS ナビゲーションシステムについて”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-8, pp. 41–45, May 2006.
- [101] 西村明彦, 金帝演, 長谷川孝明. “複数車線道路における自動車用 M-CubITS での車両位置特定について”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-54, pp. 115–119, Feb. 2009.
- [102] 西村明彦, 長谷川孝明. “走行車線認識システムの一検討”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2007-34, pp. 19–22, Nov. 2007.
- [103] 金帝演, 西村明彦, 長谷川孝明. “複数車線における M-CubITS による 2 次元位置特定の性能評価”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2009-31, pp. 79–84, Dec. 2009.
- [104] 金帝演, 長谷川孝明. “M-CubITS を用いた車両測位実験”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J89-A, No. 11, pp. 993–1003, Nov. 2006.
- [105] J. Kim, A. Nishimura, and T. Hasegawa. “Performance Evaluation of the 2D Positioning by M-CubITS in Plural Traffic Lane Roads”. In *Proceedings of the 17th ITS World Congress Busan 2010*, Busan, Korea, Oct. 2010.
- [106] J. Kim and T. Hasagawa. “An experimental study on the positioning by M-CubITS”. In *Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems 2004 (ITSC’04)*, pp. 977–981, Washington, D.C., USA, Oct. 2004.

- [107] 金帝演, 長谷川孝明. “M-CubITS における車両走行測位実験”. 第 4 回 ITS シンポジウムプロシーディングス 2005, pp. 423–428, Sept. 2005.
- [108] 金帝演, 長谷川孝明. “M-CubITS によるポジショニングに関する一検討”. 第 3 回 ITS シンポジウムプロシーディングス 2004, pp. 283–288, Oct. 2004.
- [109] 松岡義大, 古川誠治, 氏家健, 長谷川孝明, 金帝演, 小林正典. “M-CubITS による列車位置検知”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2008-26, Sept. 2008.
- [110] 野口彰一, 堀口忠年, 小林正典, 長谷川孝明, 氏家健, 松岡義大. “M-CubITS による列車位置検知”. 第 45 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, No. 533, Nov. 2008.
- [111] 間邊哲也, 長谷川孝明. “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”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J95-A, No. 3, pp. 283–302, March 2012.
- [112] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2009-29, pp. 67–72, Dec. 2009.
- [113] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2009-65, pp. 159–164, Feb. 2010.
- [114] 間邊哲也, 長谷川孝明. “歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデル”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2009-96, pp. 65–70, March 2010.
- [115] T. Hasagawa, K. Mizui, H. Fujii, and K. Seki. “A concept reference model for inter-vehicle communications”. In *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Transport Systems 2003*, pp. 342–346, Madrid, Spain, Nov. 2003.
- [116] T. Hasegawa, K. Mizui, H. Fujii, and K. Seki. “A concept reference model for inter-vehicle communications (Report 2)”. In *Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems 2004 (ITSC'04)*, pp. 810–815, Washington, D.C., USA, Oct. 2004.
- [117] 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”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2002-121, pp. 19–24, March 2003.
- [118] 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)”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2003-27, pp. 35–40, Sept. 2003.
- [119] 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)”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2004-5, pp. 25–30, May 2004.
- [120] 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—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-6, pp. 29–34, May 2006.

- [121] T. Hasegawa, K. Mizui, and K. Seki. “A Concept Reference Model For ITS Communication Systems —View From Vehicle Information Sharing—”. In *Proceedings of the 13th World Congress on Intelligent Transport Systems 2006*, London, UK, Oct. 2006.
- [122] 長谷川孝明. “ITS とシステム創成に関する一考察”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2002-120, pp. 13–17, March 2003.
- [123] 長谷川孝明, 都倉健治, 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—”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2000-21, pp. 37–42, July 2000.
- [124] S. S. Chawathe. “Inter-Vehicle Data Dissemination in Sparse Equipped Traffic”. In *Proceedings of the 10th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems 2007 (ITSC’07)*, pp. 273–280, Seattle, USA, Sept. 2007.
- [125] 松岡義大, 間邊哲也, 長谷川孝明, 古川誠治. “歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムへの可視光通信の応用”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2007-2, pp. 7–11, May 2007.
- [126] 間邊哲也, 長谷川孝明, 松岡義大, 古川誠治, 福田朗. “プラットフォーム指向の歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J95-A, No. 3, pp. 268–282, March 2012.
- [127] M. Akanegawa, Y. Tanaka, and M. Nakagawa. “Basic study on traffic information system using LED traffic lights”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 2, No. 4, pp. 197–203, Dec. 2001.
- [128] 春山真一郎. “可視光通信”. 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J86-A, No. 12, pp. 1284–1291, Dec. 2003.
- [129] 中川正雄. “ユビキタス可視光通信”. 電子情報通信学会論文誌 (B), Vol. J88-B, No. 2, pp. 351–359, Feb. 2005.
- [130] 可視光通信コンソーシアム. 可視光通信の世界—LED で拓く「あかりコミュニケーション」. 工業調査会, 2006.
- [131] M. Ishii, D. Manandhar, K. Okano, H. Maeda, S. Kogure, and T. Miyano. “IMES (Indoor Messaging System) —新たな屋内測位技術”. *GPS/GNSS Symposium 2007*, pp. 79–83, Nov. 2007.
- [132] 小暮聡, 菅原敏, 下垣豊, 飯田勝義, 富田仁志. “シームレス位置情報の地域公共分野への適用”. 日立評論, Vol. 90, No. 03, pp. 290–291, March 2008.
- [133] 間邊哲也, 長谷川孝明, 福田朗. “タイルカーペットを用いた M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションについて”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2007-1, pp. 1–6, May 2007.
- [134] 中部国際空港株式会社. 中部国際空港ターミナル施設建設記録. 中部国際空港, March 2005.
- [135] E. W. Dijkstra. “A note on two problems in connection with graphs”. *Numerische Mathematics*, Vol. 1, pp. 269–271, Dec. 1959.

- [136] 仲川薫, 須田亨, 善方日出夫, 松本啓太. “ウェブサイトユーザビリティアンケート評価手法の開発”. 第 10 回ヒューマンインターフェース学会紀要, pp. 421–424, Oct. 2001.
- [137] T. Manabe, T. Hasegawa, K. Arao, K. Okuno, H. Ito, Y. Ando, H. Higashida, and T. Takeyama. “Proposal of MI WyNE Box for M-CubITS Pedestrian WYSIWYAS Navigation Environments”. In *Proceedings of the 17th ITS World Congress Busan 2010*, Busan, Korea, Oct. 2010.