

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基づく M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの三者比較

間邊 哲也^{†a)} 長谷川孝明[†]

Pedestrian Navigation Concept Reference Model Based Tripartite Comparison on
M-CubITS Pedestrian WYSIWYAS Navigation Systems

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

あらまし 本論文では、処理方式の異なる三種の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステム（端末処理型，メールサーバ処理型，ウェブサーバ処理型）の比較を，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基づいて行っている．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を解析ツールとした三者比較を行い，各処理方式の特徴を明らかにしている．次に，この三者比較結果に鑑みて，三種の実験システムが共通に動作するモバイル機器を用いた比較実験を行い，規格化旅行時間に対する累積目的地到達率とユーザビリティに関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の構成要素である応答のリアルタイム性（システムレイヤ），情報取得に必要な操作回数（サービスレイヤ），通信量（要素技術レイヤ）の三要素の影響が大きいことを示している．

キーワード 歩行者ナビゲーションシステム，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，三者比較

1. ま え が き

歩行者の快適なモビリティ環境に対する需要の高まり，スマートフォンの普及などにより，歩行者ナビゲーションシステムに関する研究開発が活発に行われている．しかし，歩行者ナビゲーションに関する研究開発分野の現状は，システムの実現方法が乱立し，それらの整理や体系化はほとんど行われていなかったことから，筆者ら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 [1]．本モデルは，歩行者ナビゲーションシステムを構成する要素を 3 階層・13 カテゴリーで細分化することで，標準化や新たな研究開発を進める際のポイント（注意すべき点など）を明示している．

また，歩行者ナビゲーションシステムの研究開発や標準化を進めていく上で各種システムの比較評価を

適切に行い，それらの特徴の差を明らかにすることが重要である．このような比較評価を適切に行うためには，比較するための指標を適切に選択する必要があるが，歩行者ナビゲーションに関する研究開発分野は混沌としており，また，そのような指標の作成を目指した研究や取組みもほとんど行われていない．そこで，前述の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，歩行者ナビゲーションシステムの構成要素によって細分化されていることから，比較評価のための指標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の各要素を利用することで比較評価の対象となるシステムの特徴の差とその原因の特定に寄与すると考えられる．

一方，筆者らはカメラ付きのモバイル機器を利用した歩行者ナビゲーションシステムとして，M-CubITS^(注1) 歩行者 WYSIWYAS^(注2) ナビゲーションシステムを提案している [2]．この M-CubITS 歩行者

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

(注1)：エムキュービッツ; M-sequence Multimodal Markers for ITS;
M-Cubed for ITS
(注2)：ウィジイウィアス; What You See Is What You Are Suggested

WYSIWYAS ナビゲーションシステムは、案内情報生成に係る処理を行う場所で三種の処理方式（端末処理型 [3]～[6]，メールサーバ処理型 [7]，ウェブサーバ処理型）に分けられるが、これらの比較検討はなされていない。しかし、これらの処理方式の違いによって生じる各システムの特徴の差を明らかにしておくことは、本システムを含み、今後、モバイル機器を用いた歩行者ナビゲーションシステムの研究開発を進めていく上で重要である。

そこで本論文では、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基づいて、処理方式の異なる三種の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの三者比較を行い、処理方式の違いによって生じるシステムの特徴の差を明らかにする。

以下、2. で歩行者ナビゲーションに関する従来研究について述べ、3. で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三者比較を行う。更に、4. で三者比較実験のためのシステム構築した上で、5. で三者比較実験を行い、6. では今回取り上げる三種の処理方式に関して各種考察を行う。

2. 従来研究

2.1 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 [1]

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、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提案されている。本モデルは、歩行者ナビゲーションの本質的な基本三要素に鑑みて三階層で構成されている。図 1 に本モデルの全体像を示す。

- サービスレイヤ：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
- システムレイヤ：歩行者ナビゲーションシステム全体の基本構造
- 要素技術レイヤ：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

本モデルの各レイヤは抽象化された普遍的なメタ要素（13 カテゴリー；表 1）で構成されていることから、本モデルの各要素を歩行者ナビゲーションシステムの比較評価の指標として利用することで各システムの特徴の差とその原因の特定に寄与すると考えられる。そこで本論文では、歩行者ナビゲーションシステムの比較評価のための指標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の構成要素を利用する。

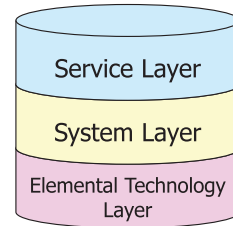


図 1 歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルの全体像 [1]

Fig. 1 Overview of the pedestrian navigation concept reference model [1].

表 1 歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルの各レイヤを構成するカテゴリー [1]

Table 1 Categories constituting each layer of the pedestrian navigation concept reference model [1].

レイヤ	カテゴリー
サービスレイヤ	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
システムレイヤ	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
要素技術レイヤ	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及び経路探索技術，各種センシング技術

2.2 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 M-CubITS

歩行者ナビゲーションシステムの実効性を高める上で正確な位置特定が重要である。本節では、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について整理を行う。まず、文献 [8] などのように現在一般に広く利用されている GPS による位置特定では、高層ビル地域の屋外や建物内・地下における電波の反射や遮へいによって位置特定結果が得られない、または、大きな誤差が生じることがしばしばある。文献 [9] では、新宿駅西口地域において市販の GPS 内蔵携帯電話機を用いた位置特定精度調査を行い、平均誤差 79.95 m，最大誤差 812.61 m であったことが報告されている。また、文献 [10] では、GPS による位置特定誤差とナビゲーション用画像の認識率に関する実験結果から、位置特定誤差 10 m におけるナビゲーション情報を用いた案内は実用には不十分であると結論づけられている。無線 LAN を用いた位置特定（例えば文献 [11]）は、アクセスポイントが設置されていれば位置特定が可能だが、確度・精度向上のためにはアクセスポイントを高密度に配置する必要がある。

ある [12]。また、無線 LAN は本来、情報通信を行うものであり、情報通信のために既に設置されているアクセスポイントを位置特定に利用するのは合理的であるが、情報通信の必要性を超えてアクセスポイントをわざわざ設置することは合理性に欠く。モバイル基地局を用いた位置特定（例えば文献 [13]）は、大まかな位置特定は可能だが、セル半径が大きく、マルチパスフェージングなどの影響により高精度な位置特定は期待できない。加速度センサを用いた推測航法（Dead Reckoning）による位置特定（例えば文献 [14]）は、他の位置特定手法（GPS など）で得られた絶対位置からの相対位置（移動距離と方向）を特定するため、絶対位置に誤りがあると相対位置にも影響が生じる。

一方、筆者らは、GPS などの位置特定に用いられる M 系列の 1/0 のビット列をマーカーとして地面上に空間的に配置し、それらのマーカーの並びをユーザのもつカメラ付きのモバイル機器で撮影することで位置と方向を特定するグラウンドベースの位置特定手法として M-CubITS（エムキュービット；M-sequence Multimodal Markers for ITS; M-Cubed for ITS）を提案している [2]。また文献 [15] で述べられているように、GPS などのスペースベースの位置特定手法は、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だが、建物内や建物付近の屋外での位置特定は不得手であるのに対して、M-CubITS などのグラウンドベースの位置特定手法は建物内や建物付近の屋外で利用しやすい位置特定基盤技術であることから、本論文では歩行者ナビゲーションシステムの実効性に鑑み、グラウンドベースの位置特定手法の一つである M-CubITS を利用した歩行者ナビゲーションシステムに焦点をおくこととする。

2.3 M-CubITS 歩行者 WYAS ナビゲーションシステム [2]

WYAS (What You See Is What You Are Suggested) は、直感的な案内を行うナビゲーションにおける HMI (Human-Machine Interface) の基本設計概念で、ワープロなどで用いられる WYWG (What You See Is What You Get) に対応している。WYAS ナビゲーションはコンシェルジュ性（電子コンシェルジュ）を実現するもので、その特徴の一つとして「直感的で理解や解釈の必要がない」が挙げられる。これは、コンシェルジュが道案内で「〇〇はあちらです」といった表現をするように、コンシェル

ジュが提供するサービスを機械（システム）によって提供することを目指している。この直感的なナビゲーションの実現例の一つが M-CubITS 歩行者 WYAS ナビゲーションシステムである。M-CubITS 歩行者 WYAS ナビゲーションシステムは、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で、M-CubITS による位置特定のためにユーザが撮影した風景画像上にユーザの進む推奨方向を矢符などで指し示すことで直感的で分かりやすい案内を行う（図 2）。風景画像上に矢符を重ねて案内を行う歩行者ナビゲーションシステムとして、AR (Augmented Reality) 技術を利用した駅構内情報提供システム [16]、モバイル機器を用いた AR ナビゲーションシステム [17]、JAL エアポートナビ [18] などが挙げられる。これらは、現実世界（風景）を拡張して情報を提示しているが、WYAS ナビゲーションシステムでは案内情報を直感的に提示することが本質にあるため、風景画像上に矢符を重ねることは必須ではなく、矢符のみの描画（風景画像を描画しない）、矢符を用いない、文章のみなどでも実現可能である。例えば、WYAS 案内板 [19], [20] では床面に設置された電子ペーパー上に矢符を表示し、WYAS 案内ボックス [21] では LED による矢符表示に加えて、振動モータによって案内を行う。また、WYAS 案内バンド [22] ではアームバンドに内蔵された振動モータ（前後左右の 4 方向）によってユーザの進む推奨方向を提示している。

M-CubITS 歩行者 WYAS ナビゲーションシステムの要件として以下の 3 点が挙げられる。

- カメラ機能を搭載したモバイル機器を利用：システム普及の観点から、市販のカメラ付きのモバイル機器を利用し、ハードウェア的な改造は施さない。
- 合理的なコストで敷設できるマーカーを利用：簡単なペイントや並べ換えのみで実現する。これまでに視覚障害者誘導用ブロック（点字ブロック）を用いたマーカー [3], [4], [7]、タイルカーペットを用いたマーカー [5], [6]、インターロッキングブロックを用いたマーカー [23] が提案されている。
- 画像処理機能・データベースを搭載：画像処理を行う場所やデータベースの保管場所はモバイル機器の内部/外部を問わないが、外部とする場合は通信機能が必要となる。

これらの三要件を満たす M-CubITS 歩行者 WYAS ナビゲーションシステムの実現方法として以

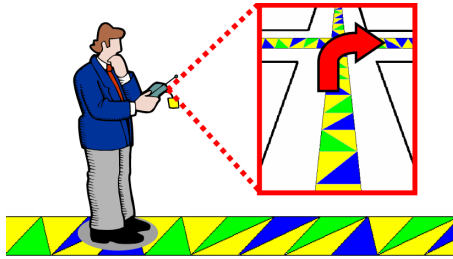


図2 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの利用イメージ

Fig. 2 An image of M-CubITS pedestrian WYSIWYAS navigation systems.

下の三種の処理方式が挙げられる。

- 端末処理型（以下，端末型）：モバイル機器に専用のアプリケーションをインストールし，案内情報生成に係る処理を全てモバイル機器（端末）内で行う。これまでに i アプリを用いたシステム [3], [4], Windows Mobile を用いたシステム [5], [6] が提案・構築されている。

- メールサーバ処理型（以下，メール型）：ユーザが撮影した写真をメールに添付し，メールサーバ内で案内情報を生成し，案内情報を写真付きメールでユーザに返信する。これまでに文献 [7] においてシステムの提案と構築が行われている。

- ウェブサーバ処理型（以下，ウェブ型）：ユーザが撮影した写真をウェブサーバ上にアップロードし，ウェブサーバ内で案内情報を生成し，案内情報をウェブページ上に表示する。本処理型は，概念のみの提案でシステムが未構築のため，本論文では三者比較実験の際に本処理型のシステム構築も行う。

これらの三種の処理方式の比較検討はこれまでに行われていないが，処理方式の違いによって生じる各システムの特徴の差を明らかにしておくことは，本システムを含み，今後，モバイル機器を用いた歩行者ナビゲーションシステムの研究開発を進めていく上で重要である。そこで本論文では，これらの処理方式の違いによって生じる各システムの特徴の差を明らかにするため，2.1 で述べ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に基づく三者比較を行う。

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を用いた三者比較

三種の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムについて，歩行者ナビゲーションコン

表 2 三者比較結果—サービスレイヤ—

Table 2 Tripartite comparison results (service layer).

Item	端末型	メール型	ウェブ型
【サービスの対象となるユーザ】			
身体的特性	健常者	健常者～視覚障害者※ 1	健常者
歩行の種類	Pedestrian, Passenger ※ 2	Pedestrian, Passenger ※ 2	Pedestrian, Passenger ※ 2
移動目的	Trip, Tour, Shopping ※ 2	Trip, Tour, Shopping ※ 2	Trip, Tour, Shopping ※ 2
【サービスの機能】			
案内の種類	目的地の場所	目的地の場所	目的地の場所
案内の提供範囲	現在地指向	現在地指向	現在地指向
身体面の支援	なし	なし	なし
【サービスの利用環境】			
利用可能場所	屋外～屋内	屋外～屋内	屋外～屋内
利用可能範囲	限定的・局所的	限定的・局所的	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	Pull 型
情報取得に必要な操作回数	少ない	比較的多い	比較的多い
情報の信頼性	中程度	中程度	中程度
情報の鮮度	比較的低い	比較的高い	比較的高い
パーソナル化の程度	比較的低い	比較的低い	比較的低い
対応言語数	単一言語	単一言語	単一言語

※ 1：ユーザが所持するデバイスに依存

※ 2：システムを利用する場所（大学，空港など）に依存

セプトリファレンスモデルの各要素を用いて解析し，その解析結果に基づき三者比較を行う。以下，サービスレイヤに関して 3.1 で，システムレイヤに関して 3.2 で，要素技術レイヤに関して 3.3 で述べる。

3.1 サービスレイヤにおける三者比較

サービスレイヤにおける三者比較結果を表 2 に示す。表 2 において，サービスの対象となるユーザの「身体的特性」は，処理方式の違いによって端末型・ウェブ型とメール型で解析結果に違いが現れているが，「歩行の種類」は，処理方式の違いに依存しないため三種の処理方式で同じ解析結果となっている。本論文では，三種の処理方式の違いによって生じる特徴の差を明らかにすることを目的としているため，ここでは三種の処理方式で解析結果が異なる項目についてまとめる。

サービスの対象となるユーザの「身体的特性」では，M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムは，視覚情報（撮影画像上に重畳した矢符と案内文）によって案内を行うため，端末型とウェブ型は特殊な機器を利用しない限り健常者が対象ユーザとなる

が、メール型は、カメラとメールの送受信機能を搭載していれば利用可能であることから、視覚障害者の多くが日常的に利用しているモバイル機器（NTT ドコモのらくらくホンシリーズ）の音声読み上げ機能を利用することで視覚障害者向けの案内も可能となる [7].

サービスされる情報の性質の「情報取得に必要な操作回数」では、端末型はユーザインタフェースを含めたアプリケーションを構築するため、ユーザインタフェースを本システムに特化させることで操作の合理化が図れる。一方、メール型とウェブ型は、汎用のアプリケーション（メール、ウェブブラウザ）のユーザインタフェースを利用するため、ナビゲーションに特化したユーザインタフェースを有する端末型と比較すると操作回数は多くなる。また「情報の鮮度」では、メール型とウェブ型は、案内情報生成に係る処理部がサーバ上に存在するため、サーバ内のデータベースを更新することでユーザに提供する情報は常に最新の状態（情報の鮮度が高い）となる。一方、端末型は、サーバ内のデータベース更新後に、デバイス内のデータベースを更新する必要があるため、メール型とウェブ型と比較すると情報の鮮度は低くなる。

3.2 システムレイヤにおける三者比較

システムレイヤにおける三者比較結果を表 3 に示す。3.1 同様、三種の処理方式で解析結果が異なる項目について以下にまとめる。

システムの動作の「応答のリアルタイム性」について、メール型・ウェブ型は、案内情報を取得する際に毎回通信を行う必要があるため、通信時間（通信を行っている時間）によって応答性が低下する。一方、端末型はモバイル機器内にインストールしたアプリケーション内で案内情報生成に係る処理を全て行うため、通信を毎回行う必要はないが、応答のリアルタイム性はユーザが所持するデバイスの性能に依存する。

システムの発展性・拡張性の「マイグレーションのしやすさ」では、メール型・ウェブ型では、サーバ内のソフトウェアのみを開発すればよく、マイグレーションが比較的しやすいのに対して、端末型ではデバイスの OS ごと^(注3)にアプリケーションを開発する必要がある、端末型のマイグレーションのしやすさはユーザが所持するデバイスに依存する。また「プラットフォーム化の程度」に関して、本モデルではプラットフォーム化によってハードウェア・要素技術とアプリケーションが上下分離されているかを指標としているが、端末型は OS やキャリアごとにプラットフォームが存在する

表 3 三者比較結果—システムレイヤ—
Table 3 Tripartite comparison results (system layer).

Item	端末型	メール型	ウェブ型
【ユーザに要求される持ち物】			
持ち物の有無	あり	あり	あり
持ち物の種類	デバイス	デバイス	デバイス
持ち物の大きさ	※ 1	※ 1	※ 1
持ち物の重さ	※ 1	※ 1	※ 1
持ち物の用途	機械との通信 (入出力)	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	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	汎用品
ネットワーク化	非ネットワーク	非ネットワーク	非ネットワーク
インフラへの依存度	マーカに依存	マーカに依存	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	イベントドリブン
応答のリアルタイム性	高い	比較的低い	比較的低い
【システムの発展性・拡張性】			
マイグレーションのしやすさ	※ 1	高い	比較的高い
プラットフォーム化の程度	※ 1	比較的高い	比較的高い

※ 1：ユーザが所持するデバイスに依存

のに対して、メール型・ウェブ型はデバイスの種類や OS に依存しないため、プラットフォーム化の程度は比較的高い。

3.3 要素技術レイヤにおける三者比較

要素技術レイヤにおける三者比較結果を表 4 及び表 5 に示す。3.1～3.2 同様、三種の処理方式で解析結果が異なる項目について以下にまとめる。

ポジショニング技術の「位置情報の取得者」では、端末型はユーザ側（モバイル機器内）で位置特定が行われるのに対して、メール型・ウェブ型はシステム側（サーバ内）で位置特定が行われる。位置情報の取得者は位置情報のプライバシー性にも関係があり、メール型・ウェブ型ではユーザが案内情報を取得するために行う通信で、マーカの撮影画像に加えて、ユーザを同定する情報（メールアドレスなど）を取得・利用することで、システム側でユーザの位置を追跡することが可能となるが、端末型ではモバイル機器内で位置特定が行われるため、メール型・ウェブ型と同じように

(注3)：スマートフォンなら iOS や Android、フィーチャーフォンなら i モードなど。

表 4 三者比較結果—要素技術レイヤ (1)—
Table 4 Tripartite comparison results (elemental technology layer 1).

Item	端末型	メール型	ウェブ型
【ポジショニング技術】			
動作可能場所	※ 1	※ 1	※ 1
位置特定の精度	高い	高い	高い
位置特定の種類	アナログ的	アナログ的	アナログ的
位置特定の基準	GBP-G	GBP-G	GBP-G
位置情報の取得方法	間接的 (計算)	間接的 (計算)	間接的 (計算)
位置情報の取得者	ユーザ側	システム側	システム側
位置情報の表現方法	緯度経度以外	緯度経度以外	緯度経度以外
方向情報の取得方法	あり (直接)	あり (直接)	あり (直接)
【情報通信技術】			
動作可能場所	※ 2	※ 2	※ 2
通信速度	※ 2	※ 2	※ 2
通信回数	少ない	※ 3	※ 3
通信時間	※ 2	※ 2	※ 2
通信量	比較的多い	比較的少ない	比較的少ない
リンク確立時間	※ 2	※ 2	※ 2
情報伝達の方向性	ユニキャスト	ユニキャスト	ユニキャスト
通信の内容	ソフトウェア ※ 4	※ 5	※ 5
機械-機械間通信	なし	なし	なし

※ 1: マーカの有無・撮影環境に依存
 ※ 2: ユーザが所持するデバイスに依存
 ※ 3: システムの利用回数に依存
 ※ 4: 移動のための情報, 目的地並びにその周辺情報も含む
 ※ 5: ユーザの意思, 位置情報, 移動のための情報, 目的地並びにその周辺情報

システム側でユーザを追跡するには, 別途通信によって端末側で取得した位置情報とユーザ情報をサーバにアップロードする必要がある. その点で, メール型・ウェブ型における位置情報のプライバシー性は端末型より低くなる.

情報通信技術の「通信回数」では, 端末型はアプリケーションの取得・更新時のみ通信が発生するのに対して, メール型・ウェブ型では案内情報を取得するたびに通信が発生する. 「通信量」は一度に通信するデータ量で, メール型・ウェブ型はテキスト (目的地情報) と画像 (位置特定用, 案内情報提示用) を通信するため通信量は比較的少ないのに対して, 端末型はデータベースを含むアプリケーションをダウンロードするため通信量は比較的多くなる. 「通信の内容」では, 端

表 5 三者比較結果—要素技術レイヤ (2)—
Table 5 Tripartite comparison results (elemental technology layer 2).

Item	端末型	メール型	ウェブ型
【HMI】			
情報の入力先	触覚 (ダイヤルキー, タッチパネル) ※ 1	触覚 (ダイヤルキー, タッチパネル) ※ 1	触覚 (ダイヤルキー, タッチパネル) ※ 1
入力可能な情報量	比較的少ない	比較的少ない	比較的少ない
入力方法の自由度	比較的高い	比較的低い	比較的高い
入力内容の自由度	比較的高い	比較的高い	比較的高い
情報の入力速度	※ 1	※ 1	※ 1
情報の出力先	視覚 (ディスプレイ), 聴覚 (音声), 触覚 (振動) ※ 1	視覚 (ディスプレイ), 聴覚 (音声) ※ 1	視覚 (ディスプレイ), 聴覚 (音声) ※ 1
出力可能な情報量	※ 1	※ 1	※ 1
出力可能な面積	※ 1	※ 1	※ 1
出力情報の可搬性	高い	高い	高い
インタラクティブ性	比較的高い	低い	比較的高い
タッチパネル搭載の有無	※ 1	※ 1	※ 1
タッチパネルの感知点数	※ 1	※ 1	※ 1
【空間情報データベース技術及び経路探索技術】			
道路地図データベースの大きさ	※ 1	比較的大きい	比較的大きい
歩行者用地図データベースの大きさ	※ 1	比較的大きい	比較的大きい
移動手段情報データベースの大きさ	※ 1	比較的大きい	比較的大きい
目的地並びにその周辺情報データベースの大きさ	※ 1	比較的大きい	比較的大きい
データベースの構造	リレーショナル型	リレーショナル型	リレーショナル型
データベースの管理方法	分散管理	集中管理	集中管理
経路計算機能の有無	あり	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	なし

※ 1: ユーザが所持するデバイスに依存

末型はソフトウェア (アプリケーション) のみ^(注4)で

(注4): データベースなどは全てソフトウェア内に含まれている.

あるのに対して、メール型・ウェブ型はユーザの意思（目的地情報など）をサーバに送信し、位置情報、移動のための情報、目的地並びにその周辺情報をサーバから受信する。

HMI の「入力方法の自由度」では、メール型はメール本文に入力する目的地情報のテキスト（フリーワード）のみであるのに対して、端末型・ウェブ型ではフリーワードに加えて、ドロップダウンリストなどを用いて選択肢を提供することも可能である。「情報の出力先」では、端末型はユーザインタフェースを含めたアプリケーションを構築するため、視覚情報（ディスプレイ）・聴覚情報（音声）・触覚情報（振動）での出力が可能であるが、ユーザが所持するデバイスに依存する。ウェブ型は視覚情報（ディスプレイ）、聴覚情報（音声）での出力が可能である。メール型は視覚情報（ディスプレイ）に加えて、NTT ドコモのらくらくホンシリーズなどでは音声読み上げ機能が利用できるため聴覚情報（音声）による出力も可能である。「インタラクティブ性」では、メール型はユーザがメールを送信するまでシステムからは何も提示されないためインタラクティブ性は低いが、端末型・ウェブ型は目的地情報入力やカメラ操作などをインタラクティブに行うことが可能である。

空間情報データベース技術及び経路探索技術の「(各種) データベースの大きさ」では、端末型はユーザが所持するデバイスやプラットフォームの制限（容量、通信の可否など）に依存するのに対して、メール型・ウェブ型ではデータベースの大きさに対する制約は生じない。また「データベースの管理方法」では、メール型・ウェブ型はサーバ内で全てのデータベースを管理する集中管理型であるのに対して、端末型はサーバ内のデータベースと各ユーザのモバイル機器内のデータベースで分散するため分散管理型となる。

以上、3.1～3.3 では、処理方式の異なる三種の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムについて、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に基づく解析によって三者比較を行い、各処理方式の特徴を明らかにした。次に、これらの解析結果に鑑みて、実システムを用いた実験による三者比較を行う。本システムのようにモバイル機器を用いたシステムでは、スマートフォンのみでなくフィーチャーフォンを含めたあらゆるモバイル機器で動作し、多くのユーザが利用できることがシステムの普及上重要である。一方、本論文で行う三者比較実験では、三

種の処理方式がモバイル機器上で共通に動作する必要があるが、そのようなシステムは未構築のため、次節ではそれらの実験システムの構築を行う。

4. 三者比較実験のためのシステム構築

三者比較実験を行うために三種の処理方式が共通のモバイル機器で動作するシステムを構築する。本論文で用いるモバイル機器は、以下の二点の理由から Android が動作するスマートフォンとした。

- アプリケーション構築上の制約の少ないこと
- アプリケーションが公開しやすいこと

以下、4.1 で端末型、4.2 でメール型、4.3 でウェブ型の実験システム構築を行う。

4.1 端末型

端末型のシステム図を図 3 に示す。端末型は、本システム用に開発したアプリケーション（Android アプリ）を Android が動作するスマートフォンにインストールして利用する。端末型における画面例を図 4 に示す。ユーザは、モバイル機器にインストールしたアプリケーションを起動した後、ドロップダウンリストを利用して目的地を選択する（図 4(a)）。目的地と

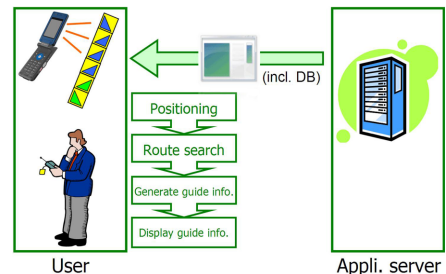


図 3 システム図（端末型）

Fig.3 System chart of terminal type.



(a) 操作画面 (b) フリーワード入力 (c) 案内情報表示

図 4 画面例（端末型）

Fig.4 Screenshot of terminal type.

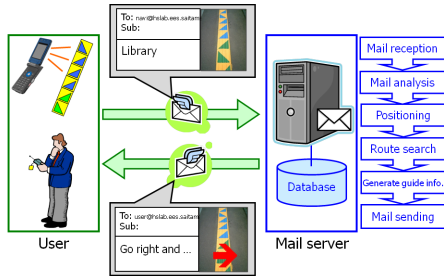


図 5 システム図 (メール型)
Fig. 5 System chart of mail type.

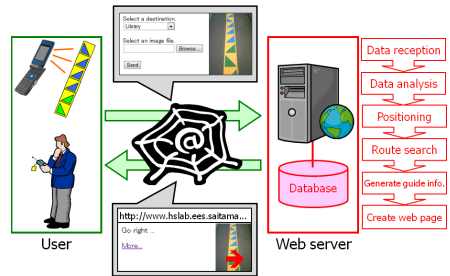


図 7 システム図 (ウェブ型)
Fig. 7 System chart of web type.



図 6 画面例 (メール型)
Fig. 6 Screenshot of mail type.



図 8 画面例 (ウェブ型)
Fig. 8 Screenshot of web type.

して「その他」を選択すると、テキストボックスが表示され、フリーワードによる目的地入力も可能である (図 4(b)). その後、撮影ボタンを押して起動したカメラでマーカを撮影すると、モバイル機器内で位置特定、経路探索、案内情報生成が行われ、画面上に案内情報 (ユーザの進む推奨方向を重畳した風景画像、案内文) が表示される (図 4(c)).

4.2 メール型

メール型のシステム図を図 5 に示す。メール型は、写真付きメールの送受信機能を利用して案内情報を取得する。画面例を図 6 に示す。ユーザは、メールアプリを起動した後、メールのあて先にナビゲーション用メールサーバのアドレス、メール本文に目的地を入力する (図 6(a)). 次に、添付ファイルの選択画面からカメラを起動してマーカを撮影し、メールを送信する。メールサーバでは、メール解析、位置特定、経路探索、案内情報生成が行われ、メール本文に案内文、添付ファイルにユーザの進む推奨方向を重畳した風景画像を添付して、ユーザに返信する (図 6(b) (c)).

4.3 ウェブ型

ウェブ型のシステム図を図 7 に示す。ウェブ型は、目的地情報と撮影画像をウェブ上にアップロードする

表 6 サーバの仕様
Table 6 Server specification.

CPU	Intel Core 2 Duo E8500
Clock	3.16 GHz
RAM	4.00 GB
OS	Windows 7 Professional 64 bit
Software (Mail)	Xmail 1.27 XMailCFG 2.38a ActivePerl 5.12.3 Ruby 1.9.2
Software (Web)	Apache 2.2.21 PHP 5.3.6

と、案内情報がウェブページとして表示される。画面例を図 8 に示す。ユーザは、ウェブブラウザを起動した後、ナビゲーション用ウェブサイトを開き、ドロップダウンリストから目的地を選択するか、テキストボックスに目的地を入力する。その後、マーカの撮影画像を選択し、案内情報取得に必要な情報をウェブ上にアップロードする (図 8(a)). ウェブサーバでは、データ解析、位置特定、経路探索、案内情報生成が行われ、案内情報がウェブページ上に表示される (図 8(b)).

4.4 動作実験

4.1~4.3 で構築した実験システムの動作実験を行う。動作実験に使用したサーバの仕様を表 6 に、モバ

表 7 モバイル機器の仕様
Table 7 Mobile device specification.

Model	Nexus S
CPU	Samsung Hummingbird S5PC110
Clock	1.0 GHz
RAM	512 MB
OS	Android 4.0.4
Appli (Mail)	メール (Pre-installed)
Appli (Web)	Chrome 18.0

イル機器の仕様を表 7 に示す。動作実験の結果、全ての処理方式で正常な動作を確認した。

5. 三者比較実験

4. で構築した実験システムを用いて、三種の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの三者比較実験を行う。本論文では、歩行者ナビゲーションシステムを利用する上で重要で、文献 [5], [24], [25] での評価にも用いられている目的地到達率、旅行時間（文献によっては移動時間としていることもある）ユーザビリティについて評価を行う。実験場所は埼玉大学構内で、被験者は埼玉大学の学生 14 名（19～30 歳の男女）である。本実験の出発地は全被験者・全タスクで共通の 1 箇所とし、目的地は埼玉大学構内の建物の中から出発地からの経路距離（95～230 m）、ノード数（2～9）、曲がる回数（1～4）が異なる 18 箇所を目的地候補として設定した。被験者は、実験エリア内に設定された 18 箇所の目的地候補の中から一つの処理方式につき 3 箇所（計 9 箇所）を探索する。システムが提示する案内情報は各目的地までの最短経路とした。図 9 に実験環境、図 10 に各処理方式の案内情報提示例を示す。ここで、本実験の被験者が埼玉大学の学生であることから、事前知識による影響を低減するために、目的地の名称には埼玉大学構内の実際の名称ではなく、都市を模擬した架空の名称（例えば警察署など）を設定した。なお、本実験は処理方式の違いに対する比較評価のため、M-CubITS による位置特定のアルゴリズム、ユーザに提示する案内情報の内容、データベースは三種の処理方式で共通とした。

5.1 目的地到達率と旅行時間

三種の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムを用いて、指定された目的地に到達するまでに要した時間について三者比較を行う。目的地到達までの時間の計測には、規格化旅行時間（式 (1)）[24], [25] を用いる。

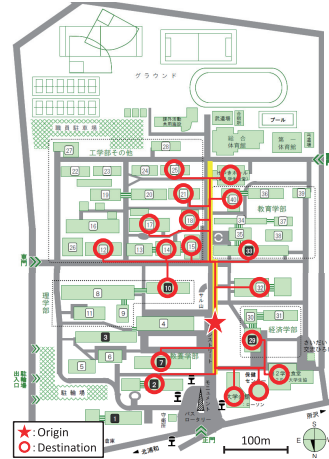


図 9 実験環境

Fig. 9 Experiment environment.



(a) 端末型 (b) メール型 (c) ウェブ型

図 10 案内情報提示例

Fig. 10 Examples of navigation information.

$$\text{規格化旅行時間} = \frac{\text{旅行時間}}{\text{基準旅行時間}} \quad (1)$$

ここで、基準旅行時間は被験者が目的地の場所や経路を熟知している状態で出発地から目的地に到達するまでに要した時間、旅行時間は被験者が目的地の場所や経路を知らない状態で出発地から目的地に到達するまでに実際に要した時間で、旅行時間にはシステムの操作時間や案内情報取得に要した時間も含まれる。つまり、規格化旅行時間は、ある被験者がある目的地まで移動する場合に要した時間が、その目的地まで迷わずに移動する場合に要した時間の何倍になるかを表している。例えば、被験者が移動中に迷った場合、旅行時間が基準旅行時間に比べて大きくなるため、規格化旅行時間は大きくなるが、被験者がほとんど迷わずに目的地まで到達した場合、旅行時間と基準旅行時間との差が小さくなるため、規格化旅行時間は 1 に近い値

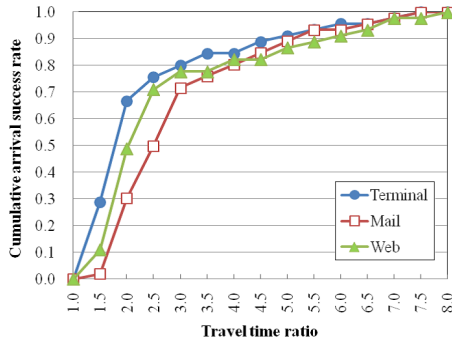


図 11 規格化旅行時間に対する累積目的地到達率

Fig. 11 Travel time ratio vs. cumulative arrival success rate.

となる．この規格化旅行時間を移動時間（旅行時間）の評価に用いることで，目的地ごとの経路距離の差や被験者ごとの歩行速度の差の影響を低減させることができる．

ここでは，処理方式の違いによる“移動の質”について評価を行うため，規格化旅行時間に対する累積目的地到達率（その規格化旅行時間以内に目的地に到達した人の割合）の関係に注目する．筆者らが行った調査[26]によると，歩行者ナビゲーションシステムの評価方法で一般的に用いられているのは「目的地到達率」と「旅行時間」であるが，目的地到達率の評価において目的地到達の合理的な基準を示している文献はほとんどないため，例えば，当該環境を熟知している人と同じ時間で到達しないといけなくのか，または，通常数分で到達する場所に何十時間かかった場合でも到達とみなして良いのか示す必要がある．そのため，目的地到達率の評価には時間のパラメータを入れる必要があることから，横軸に規格化旅行時間，縦軸に累積目的地到達率（その規格化旅行時間以内に目的地に到達した人の割合）をとることで，処理方式の違いによる“移動の質”について評価を行う．規格化旅行時間に対する累積目的地到達率の関係を図 11 に示す．図 11 において，規格化旅行時間が 4 以下では，端末型の累積目的地到達率が最も高く，メール型の累積目的地到達率が最も低くなった．今回構築した実験システムは，位置特定アルゴリズム，案内情報の内容，データベースを三種の処理方式で共通にしていることから，案内情報取得に要する時間の差であると考えられる．規格化旅行時間が 4 を超えると，累積目的地到達率が全ての処理方式で似た傾向になっているが，これはシステムから提供される案内情報の内容（コンテンツ）

表 8 ユーザビリティのアンケート項目

Table 8 Questionnaires of usability.

有効さ	1. 目的地へ到達するために便利だったのは，それぞれどちらですか？
	2. 目的地へ到達するための手段として友人や家族に紹介したいのは，それぞれどちらですか？
	3. 近い目的地へ到達したいときに使いたいのは，それぞれどちらですか？
	4. 遠い目的地へ到達したいときに使いたいのは，それぞれどちらですか？
	5. 目的地へ確実に到達したいときに使いたいのは，それぞれどちらですか？
効率	6. 目的地に到達するための手間が少なかったのは，それぞれどちらですか？
	7. 目的地に到達するために必要な操作が分かりやすかったのは，それぞれどちらですか？
	8. 目的地に到達するための案内情報が素早く取得できたのは，それぞれどちらですか？
	9. 目的地に到達するための案内情報が安定して取得できたのは，それぞれどちらですか？
	10. 目的地に到達するための時間の浪費が少なかったのは，それぞれどちらですか？
満足度	11. 目的地に到達するための案内情報が読みやすかったのは，それぞれどちらですか？
	12. 目的地に到達するための案内情報の画面構成が分かりやすかったのは，それぞれどちらですか？
	13. 目的地に到達するために必要な操作に対するストレスが少なかったのは，それぞれどちらですか？
	14. 目的地に到達するための案内情報を待つ間のストレスが少なかったのは，それぞれどちらですか？
	15. 目的地に到達するために使用してみて，親しみがわいたのはそれぞれどちらですか？

の質による影響であると考えられる．

5.2 ユーザビリティ

三種の処理方式のユーザビリティについて，アンケートによる主観評価を行う．ここでは，ISO9241-11に基づき，以下の三項目について評価を行う．

- 有効さ (effectiveness)：ユーザが指定された目標を達成する上での正確さと完全さ

- 効率 (efficiency)：ユーザが目標を達成する際に正確さと完全さに費やした資源

- 満足度 (satisfaction)：不快さのないこと，及び製品仕様に対しての肯定的な態度

以上の三項目について Scheffe の一対比較法（中屋変法）による三者比較を行う．アンケート項目は，文献[27]を参考に計 15 問を設定した．表 8 に本実験で使用したユーザビリティのアンケート項目を示す．文献[27]はウェブサイトのユーザビリティ評価を行っているが，ここで用いられているアンケート項目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．

表 9 アンケートの選択肢と配点
Table 9 Choices and allotment of enquete.

選択肢	配点
(1) A の方が良い	A に +2 点
(2) A の方がやや良い	A に +1 点
(3) A と B で同程度	A・B ともに 0 点
(4) B の方がやや良い	B に +1 点
(5) B の方が良い	B に +2 点

表 10 ユーザビリティの三者比較結果
Table 10 Tripartite comparison result of usability.

(a) 有効さ			
比較対象\基準	端末型	メール型	ウェブ型
端末型	—	-112	-83
メール型	112	—	58
ウェブ型	83	-58	—
総和	195	-170	-25
主効果 α	0.93	-0.81	-0.12

(b) 効率			
比較対象\基準	端末型	メール型	ウェブ型
端末型	—	-110	-74
メール型	110	—	76
ウェブ型	74	-76	—
総和	184	-186	2
主効果 α	0.88	-0.89	0.01

(c) 満足度			
比較対象\基準	端末型	メール型	ウェブ型
端末型	—	-95	-75
メール型	95	—	54
ウェブ型	75	-54	—
総和	170	-149	-21
主効果 α	0.81	-0.71	-0.10

Scheffe の一対比較法（中屋変法）では、比較対象となる各処理型の提示順序を無視し、各被験者が全ての組合せ（A：端末型と B：メール型、A：メール型と B：ウェブ型、A：ウェブ型と B：端末型）について回答する。被験者は提示された二つの処理型（A・B）について、表 9 に示す選択肢から一つ選び回答する。その後、被験者の回答に応じて各処理型に得点を与え、全被験者分の合計を求める。そして、基準となる各処理型の得点の総和に対して、210（＝被験者数 14 名 × 質問数 5 問 × 比較対象数 3）で除算することで主効果 α が求められる。表 10 にユーザビリティの三者比較結果を示す。主効果 α は、ユーザビリティ性能の高さを表し、数値が正の方向に大きいほどユーザビリティ性能が高く、また、各処理方式の数値の差がユーザビリティ性能の相対的な差を示している。表 10 より、三種の処理方式のユーザビリティに関する三者比較の結果、全ての項目で主効果 α が端末型 > ウェブ

表 11 応答時間の三者比較結果
Table 11 Tripartite comparison result of response time.

応答時間 [sec]	端末型	メール型	ウェブ型
端末処理時間	5.24 ± 0.21	-	-
サーバ処理時間	-	0.89 ± 0.02	0.73 ± 0.02
通信時間	-	12.50 ± 3.03	16.09 ± 2.53
合計	5.24 ± 0.21	13.39 ± 3.03	16.82 ± 2.54

型 > メール型となり、5.1 の規格化旅行時間 4 以下での順序と一致した。

5.3 実験結果に対する考察

以上の三者比較実験の結果について、3. の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三者比較結果に基づいて考察を行う。

5.3.1 応答時間と操作時間

案内情報取得に要する時間の構成要素である、システムの応答時間と操作時間について比較評価を行う。システムの応答時間は、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では「応答のリアルタイム性（表 3）」に相当する。ここで、システムの応答時間を「ユーザが案内情報取得に必要な操作を完了してから、案内情報がモバイル機器の画面に出力されるまでの時間」と定義すると、以下の三要素の合計が応答時間となる。

- 端末処理時間：端末内部での処理に要する時間
- サーバ処理時間：サーバでの処理に要する時間
- 通信時間：端末とサーバ間の通信に要する時間

4.4 の動作確認で使用したスマートフォン（Nexus S）を用いた応答時間の三者比較結果として、試行回数 100 回での各処理方式の応答時間の平均及び標準偏差を表 11 に示す。なお、メール型とウェブ型では通信速度が通信時間に影響を与え、この通信時間が応答時間に影響を与えるが、本比較評価では無線 LAN(802.11g)を用いて、上り平均 1 Mbit/s、下り平均 3 Mbit/s の環境下で実験を行った。また、メール型とウェブ型は、端末内部でも一部処理を行っていると考えられるが、サーバ処理時間や通信時間と比べて十分短いため、ここでは無視している。表 11 において、応答時間が最も短いのは端末型、最も長いのはウェブ型となった。端末型は、全ての処理を端末内部で行うことから、サーバ処理時間及び通信時間は含まれないため、端末処理時間 = 応答時間となる。メール型とウェブ型は、案内情報生成に係る処理を計算リソースが豊富なサーバで行うため、その処理時間は端末型の端末処理時間に比べて短くなっているが、端末型の端末処理時間以

表 12 操作時間の三者比較結果

Table 12 Tripartite comparison result of operation time.

	端末型	メール型	ウェブ型
操作時間 [sec]	14.25 ± 2.05	33.58 ± 7.72	25.26 ± 1.69

表 13 操作回数の三者比較結果

Table 13 Tripartite comparison result of the number of times of operation.

操作回数 [回]	端末型	メール型	ウェブ型
案内情報取得時	6 or 7	9	8
案内情報閲覧時	0	4	0
合計	6 or 7	13	8

上に通信に時間を要していることが分かる。

操作時間を「ユーザが各種アプリケーション（ナビゲーションアプリ、メールアプリ、ウェブブラウザアプリ）を起動してから案内情報取得に必要な操作を完了するまでの時間」と定義すると、4.4の動作確認で使用したスマートフォン（Nexus S）を用いた際の操作時間の三者比較結果として、表 12 に試行回数 10 回での各処理方式の操作時間の平均及び標準偏差を示す。表 12 において操作時間は端末型 < ウェブ型 < メール型になっている。更に、案内情報取得に要する時間（表 11 の応答時間と表 12 の操作時間の合計）も端末型 < ウェブ型 < メール型となり 5.1～5.2 の順序と一致することから、三種の処理方式の比較実験の結果は、案内情報取得に要する時間の影響を大きく受けているといえる。

5.3.2 操作回数

5.3.1 の操作時間は、案内情報の取得に必要な操作回数に依存することから、ここでは操作回数について比較評価を行う。操作回数は、歩行者ナビゲーションコンセプトリファレンスモデルでは「情報取得に必要な操作回数（表 2）」に相当し、案内情報取得時と案内情報閲覧時に分けて考えることができる。各処理方式における操作回数の三者比較結果を表 13 に示す。ここで、端末型の案内情報取得時の操作回数が 6 or 7 となっているが、ドロップダウンリストから目的地を選択した場合が 6 回、ドロップダウンリストでその他を選択した場合、更にテキストボックスへの入力が必要のため操作回数は 7 回となる。表 13 において、案内情報取得時は、端末型が最も操作回数が少なく、メール型が最も多い。また、案内情報閲覧時は、端末型とウェブ型は操作が必要ないのに対して、メール型では受信したメールを開くための操作が必要となる。以上の結果は 5.1～5.2 の順序と一致することから、案内

表 14 通信量の三者比較結果

Table 14 Tripartite comparison result of traffic.

通信量 [kByte]	端末型	メール型	ウェブ型
送信時	-	17.1	13.1
受信時	-	17.9	12.3
合計	-	35.0	25.4

情報取得に必要な操作時間は操作回数の影響を大きく受けているといえる。

5.3.3 通信量

5.3.1 の通信時間は、通信速度と通信量に依存する。通信速度と通信量は、いずれも表 4 に記載されているが、通信速度はユーザが所持するデバイスには依存するが処理方式には依存しないため、ここでは案内情報の取得に必要な通信量について比較評価を行う。本論文での通信量の定義は「1 回の案内情報取得時に通信によって発生するデータ量 (Byte)」で、送信時と受信時に分けられる。各処理方式における通信量の三者比較結果を表 14 に示す。表 14 において、端末型は案内情報を端末内部で生成するため、案内情報取得時に通信は発生しない。そのため、表 14 では送受信ともに“-”となっているが、端末型ではアプリケーションの取得・更新時に通信が発生する（本評価実験で使用したアプリケーションでは 172 kByte）。表 14 におけるメール型とウェブ型の差はエンコードによる影響で、メール型は BASE64 でエンコードが行われているため、ウェブ型と比較して通信量が多くなっている。

本項では、Android を搭載したスマートフォン上で共通に動作する三種の実験システムを用いた三者比較実験として、規格化旅行時間に対する累積目的地到達率とユーザビリティについて評価を行い、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構成要素である応答のリアルタイム性（システムレイヤ）、情報取得に必要な操作回数（サービスレイヤ）、通信量（要素技術レイヤ）の三要素の影響が大きいことを確認した。

6. 各種考察

5. の実験結果以外にも考察すべき項目があるため、本節では、視覚障害者の利用、データベースの更新、ソフトウェアの開発コストに関して考察を行う。

視覚障害者の利用を考える。現行のスマートフォンはタッチパネルによる操作が基本である。タッチパネルは、画面上に表示されたコントロール（ボタンなど）

を視覚で確認して操作するインタフェースであるため、視覚障害者が現行のスマートフォンをそのまま利用するのは困難である。また、一部のスマートフォンで採用されている音声入力、雑音が多い (SNR が悪い) 場所 (例えば、屋外、走行中の車内、人混みなど) での認識率が低く [28]、音声入力のみでのスマートフォンの操作は合理性が低い。一方、文献 [29] では、視覚障害者が多くが利用するモバイル機器は NTT ドコモのらくらくホンシリーズであり、らくらくホンシリーズがハードウェアキーと音声読み上げ機能を備えているため、視覚障害者もメールを日常的に利用していると述べられている。また、文献 [7] では、文献 [3], [4] で提案・構築されている端末処理型 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムに音声案内機能を付加した上で視覚障害者を対象とした評価実験を行い、M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムは視覚障害者も自ら携帯電話機を操作して案内情報を取得できることが示されている。以上のことから、視覚障害者が利用する M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの実現には、ハードウェアキーとメール読み上げ機能を備え、かつ、既に広く普及しているらくらくホンシリーズを利用するのが合理的であるといえる。

3.1 の情報の鮮度で述べたように、メール型とウェブ型では、サーバ内のデータベースを更新することでユーザは最新の情報を利用することができるが、端末型では、サーバ内のデータベース更新後にモバイル機器内のデータベースの更新若しくは同期を取る必要がある。つまり、端末型でデータベース内の情報を最新に保つためには、モバイル機器内のアプリケーションがサーバとの通信によってデータベースを最新の状態に保つための機能を搭載するか、ユーザがデータベース若しくはアプリケーションを更新しなくてはならない。そのため、空港やショッピングモールのようにデータベースを頻繁に更新しなくてはならない環境では、サーバを使った処理方式 (メール型やウェブ型) が有利となる。

ソフトウェアの開発コストについて考える。**3.2** のマイグレーションのしやすさで述べたように、端末型はモバイル機器の OS ごとにアプリケーションを開発する必要がある上、同一 OS を搭載したモバイル機器内でも機種依存性があるため [30]、動作確認に係るコストも大きい。一方、メール型・ウェブ型では、サーバ内のアプリケーションのみを開発すればよく、モバ

イル機器で利用するアプリケーション (メーラ、ウェブブラウザ) は、汎用のため動作確認が十分にとれており機種依存性が低い。

以上のことから、処理方式の異なる三種の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムでは、健常者の使い勝手やシステム受容性を重視すると、応答のリアルタイム性・情報取得に必要な操作回数・通信量の観点で端末型が有利だが、視覚障害者を考慮すると利用可能なモバイル機器の観点からメール型が合理的な実現方法となる。また、システム開発者の立場では、データベースの更新・ソフトウェアの開発コストの観点で、サーバを使った処理方式 (メール型・ウェブ型) が有利となる。つまり、歩行者ナビゲーションシステムの研究開発を進めていく上では、対象となるユーザ (健常者、視覚障害者)、利用可能なモバイル機器 (スマートフォン、フィーチャーフォン、らくらくホンなど)、利用環境 (空港などのようにデータベースの更新が頻繁に発生するか否か)、立場 (利用者、開発者) を考慮することが重要であるといえる。

7. む す び

本論文では、処理方式の異なる三種の M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの比較を、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基づいて行った。具体的には、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を解析ツールとした三者比較を行い、各処理方式の特徴を明らかにした。次に、この三者比較結果に鑑みて、三種の実験システムが共通に動作するモバイル機器を用いた三者比較を行い、規格化旅行時間に対する累積目的地到達率とユーザビリティに関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の構成要素である、応答のリアルタイム性 (システムレイヤ)、情報取得に必要な操作回数 (サービスレイヤ)、通信量 (要素技術レイヤ) の影響が大きいことを示した。

今後の課題として、インフラ設置機器を利用した歩行者ナビゲーションシステム (例えば文献 [19], [24], [25], [31]) の比較、歩行者ナビゲーションシステムの統一的な比較評価方法の確立及び体系化が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、科研費 (23500111) の助成を受けたものである。また、実験遂行に御協力頂いた金山知基氏、貴重な意見を頂いた WYSIWYAS ナビ

ゲーショコンソーシアム (WyNC) メンバ各位に深謝する.

文 献

- [1] 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,” 信学論 (A), vol.J95-A, no.3, pp.283–302, March 2012.
- [2] 長谷川孝明, “ITS プラットフォーム “EUPITS” —実現へのアプローチ,” 信学技報, ITS2003-8, May 2003.
- [3] 山下清司, 長谷川孝明, “視覚障害者誘導用ブロックを用いた M-CubITS 歩行者ナビゲーションシステムについて,” 信学論 (A), vol.J88-A, no.2, pp.269–276, Feb. 2005.
- [4] T. Manabe, S. Yamashita, and T. Hasegawa, “On the M-CubITS pedestrian navigation system,” Proc. 9th IEEE Int. Conf. ITS, pp.793–798, Toronto, Canada, Sept. 2006.
- [5] 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,” 信学論 (A), vol.J95-A, no.3, pp.268–282, March 2012.
- [6] T. Manabe, T. Hasegawa, Y. Matsuoka, S. Furukawa, and A. Fukuda, “On the M-CubITS pedestrian WYSIWYAS navigation using tile carpets,” Proc. 10th IEEE Int. Conf. ITS, pp.879–884, Seattle, USA, Oct. 2007.
- [7] 芹澤 崇, 間邊哲也, 長谷川孝明, 宮谷 隆, “音声案内・サーバ処理型 M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの提案,” 信学技報, ITS2008-90, March 2008.
- [8] 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.
- [9] 児島伴幸, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “歩行者ナビゲーションにおける道路標識を用いた位置特定システムのための撮影状況に依存した認識度調査,” 信学技報, ITS2008-14, July 2008.
- [10] S. Usui, J. Tsuji, K. Wakimoto, S. Tanaka, J. Kanda, F. Sato, and T. Mizuno, “Evaluation of positioning accuracy for the pedestrian navigation system,” IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.7, pp.2848–2855, July 2005.
- [11] 伊藤誠悟, 吉田廣志, 河口信夫, “locky.jp: 無線 LAN を用いた位置情報・測位ポータル,” 情処学研報, 2005-MBL-34(4), pp.25–31, Sept. 2005.
- [12] 森信一郎, “スマートフォン向け屋内測位技術の動向と新技術の紹介,” 情報処理, vol.53, no.4, pp.373–376, April 2012.
- [13] 萩谷範昭, 中野雅友, 中井智也, 竹田 勝, 川下史博, 山口弘樹, “FOMA i エリアシステム構成と実現機能,” NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, vol.11, no.2, pp.60–69, July 2003.
- [14] G. Retscher and M. Thienelt, “NAVIO—A navigation and guidance service for pedestrians,” J. Global Positioning System, vol.3, no.1–2, pp.208–217, June 2004.
- [15] 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,” 信学技報, ITS2008-30, Dec. 2008.
- [16] 日高洋祐, 道田英明, 中川剛志, “スマートフォンを利用した個人向け情報提供システムの開発および実証実験 (JR × AR) について,” JR East Technical Review, no.41, pp.13–18, Autumn 2012.
- [17] W. Narzt, D. Kolb, R. Muller, and H. Hortner, “Pervasive information acquisition for mobile AR-navigation systems,” Proc. 5th IEEE Workshop on Mobile Computing System & Applications (WMSCA 2003), Oct. 2003.
- [18] JAL エアポートナビ, “<http://www.jal.co.jp/k-tai/android.app/airportnavi/>,” 2012.
- [19] T. Hasegawa, A. Fukuda, S. Shimoda, T. Inoue, H. Yanai, J. Moriya, S. Yamashita, K. Mizuno, H. Watanabe, K. Ogawa, K. Kodama, H. Ota, and K. Hatano, “Airport passenger intelligent transport systems (APITS) —Airport passenger navigation by using WYSIWYAS direction boards,” Proc. 13th ITS World Congress, London, UK, Oct. 2006.
- [20] 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,” 信学技報, ITS2005-89, Feb. 2006.
- [21] 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,” 信学技報, ITS2006-95, March 2007.
- [22] 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,” 信学技報, ITS2006-96, March 2007.
- [23] 町田修宏, 芹澤 崇, 間邊哲也, 長谷川孝明, 川俣孝治, “舗道における新しい M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムについて,” 信学技報, ITS2008-91, March 2009.
- [24] 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,” Proc. 17th ITS World Congress, Busan, Korea, Oct. 2010.
- [25] 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,” 信学技報, ITS2009-63, Feb. 2010.
- [26] 間邊哲也, 長谷川孝明, “歩行者ナビゲーションシステムの分類学,” 信学技報, ITS2009-29, Dec. 2009.
- [27] 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.
- [28] 飯塚真也, 辻野孝輔, 小栗 伸, 古川博崇, “端末機能やサービスの利便性向上のための音声認識技術とアプリケーション開発,” NTT DoCoMo テクニカルジャーナル,

vol.19, no.4, pp.74-78, Jan. 2012.

- [29] 渡辺哲也, 南谷和範, 宮城愛美, 長岡英司, “視覚障害者の携帯電話利用状況調査,” 信学技報, WIT2007-54, Dec. 2007.
- [30] 遠藤英幸, “スマートフォンの業務利用における留意点,” ユニシス技報, vol.31, no.3, pp.93-101, Nov. 2011.
- [31] 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,” 情処学研報, 2007-ITS-28(10), pp.17-23, March 2007.

(平成 24 年 8 月 26 日受付, 25 年 3 月 1 日再受付)



間邊 哲也 (正員)

平 18 埼玉大・工・電気電子システム工卒。平 20 同大学院博士前期課程了。平 24 同大学院博士後期課程了。博士(工学)。同大学院理工学研究科博士研究員を経て、平 25 より同助教。空間の心地よさの質をベースとした、人のモビリティを高度化するシステムの創成に関する研究に従事。IEEE, 情報処理学会各会員。



長谷川孝明 (正員)

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