IMES 位置情報システムの開発

DEVELOPMENT OF LOCATION INFORMATION SYSTEM USING IMES

五十嵐雄哉 — * 1 貞清一浩 — * 2

Yuya IGARASHI — * 1 Kazuhiro SADAKIYO — * 2

キーワード:
IMES, 位置情報, セキュリティ, 設備制御, ビル管理システム

Keywords:
IMES, Location information, Security, Environmental control, Building management system

IMES is the pinpointing method that the compatible use with the existing positional information service using GPS. For the purpose of security and energy saving control in the indoor space, we developed a location information system using IMES. This report explains construction of the proof space of IMES, an inspection experiment of the pinpointing performance, the design of the coordinate system conversion model, and proof of the service application.

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレットに代表される携帯デバイスが急激に多機能化、高機能化している。これらのデバイスの多くには、カーナビなどで広く用いられる GPS 受信機能と、利用者の位置情報を活用したサービスを提供するアプリケーションが標準的に備わっている。しかし、都市における人間活動は、建物の内部で行われることが少なくないにもかかわらず、屋内空間には GPS 信号が届きにくいいため、正確に測位できない。いつでも、どこでも確実な位置情報サービスを提供するためには、屋内外を問わずシームレスに測位できる技術が求められる。これに対し、屋内環境での測位手法として、Bluetooth、RFID、無線 LAN、可視光通信など、様々な方式がこれまで考案されてきた。しかし、これらの無線方式はコストアップ、電池消耗、プライバシーなどの問題から、現在のところ屋内測位の標準技術とはなっていない。

このような背景や技術課題の中、屋内外の位置情報を精度良く同一の受信機で取得できる測位方式として、JAXA（独立行政法人宇宙航空開発機構）が“IMES（Indoor Messaging System）”を提案し¹⁾、IMES コンソーシアム（2011 年 6 月発足）が、実用化に向け、幾つかの商業施設や観光施設などで技術実証実験を実施している²⁾。しかし、建築空間への適用のための技術開発は緒についたばかりで、IMES 機器を建物インフラに実装するための手法や工法の研究・開発は、未だ途上にある。

筆者らは、IMES により取得できる利用者の位置情報を、施設利用の利便性や安全性の向上に活用する位置情報システムを開発した。本技術報告では、IMES の概要とその優位点について説明した後、IMES 実証空間の概要とその構築方法について述べる。次に、開発した IMES 位置情報システムの概要と、その基盤機能としての、座標変

換機能、位置情報モニタリング機能について説明し、さらに、本システムによる IMES 位置情報の活用事例として、位置情報によるコンテンツセキュリティと、ビル管理システム連動設備制御について、それぞれ説明する。

2. IMES の概要と特徴

IMES は、屋内に設置した専用の送信機が発信する自身の座標情報（緯度、経度、高さ）をもとに、受信機の位置を判別する測位方式である。GPS 信号の届きにくい屋内や地下空間でも位置情報を得られ、GPS では測位できない階高や標高といった高さ情報も扱うことができる（図 1）。現在市販される多くの GPS 端末は、IMES 信号に専用割り当てられた衛星番号に未対応だが、IMES の無線信号は GPS と同じ周波数と変調方式を利用するため、専用ファームウェアを適用し IMES に対応した端末であれば、GPS と IMES は自動で切り切り、屋内外シームレスな測位が可能である。

図 1 IMES の仕組み

¹⁾ 清水建設技術研究所高度空間技術センター 研究員
(〒135-8530 江東区越中島 3-4-17)

²⁾ 清水建設技術研究所高度空間技術センター 上席研究員

¹⁾ Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation

²⁾ Research Associate, Institute of Technology, Shimizu Corporation

IMES 方式は、既存の測位技術と比較し次の点で優位である。

- ・国が定めた位置情報管理の枠組みとの連携を想定しており¹⁾位置情報の正確さが担保される。
- ・特定のデバイスを必要としないため、利用者を限定しない。
- ・既存 GPS アプリケーションを屋内用に流用可能である。
- ・他方式とのハイブリッド測位が、GPS 同様の手法で実現できる。

3. IMES 実証空間の構築

3.1 IMES による位置情報エリア分割

屋内空間で IMES による位置情報を活用するためには、実際の建築空間に合わせた位置情報エリアが設定できる必要がある。IMES 位置情報エリア分割の実証を、図 2 に示す、実験室とその前面廊下の約 60m² のスペースで実施した。ここでは、空間を、廊下、前室、実験室の 3 つのエリアに分けることを想定し、各エリアの天井裏に IMES 送信機を設置した。すなわち、廊下～前室間の壁で仕切るエリア分割と、前室～実験室間の同一部屋内で一部をパーティションで仕切るエリア分割を設定し、各エリアを送信機の位置と出力により分割

して測位できることを検証した。検証には IMES 信号が受信できる GPS 受信機を使用した。IMES 機器の仕様を表 2、表 3 に示す。

まず、実証空間の建築部材や什器、機器などが IMES 信号の電波伝搬に与える影響を確認するため、受信電波強度を測定した。図 3 のように、送信機ごとに最大出力で信号を送信し、受信機を実証空間内のシステム天井ユニット (0.64m グリッド) に合わせて移動させ、テクトロニクス社製スペクトラムアナライザにより、各交点の電波強度を測定した。測定された各送信機からの電波強度の分布を図 4 に示す。部屋を構成する壁やパーティションは石膏ボード製、木製であるため電波伝搬に影響は殆ど見られないが、部屋出入口のドア、ガラス窓、大画面モニタなど金属製の建築部材、什器による遮蔽、反射の影響が見られた。

次に、IMES 受信機を用いて信号の到達範囲を測定し、空間が、廊下、前室、実験室の 3 エリアに適切に分割されるように、それぞれの IMES 送信機の出力を調整した (図 5)。それぞれのエリアの境界で幅 1 m 程度の重なりが見られるが、重複エリアでは受信端末は先に取得した位置情報を優先するため、実用上問題なく切り替わる。

表 2 IMES 送信機の仕様

項目	内容
技術規格	IS-QZSS ver.1.2Draft IMES 仕様
中心周波数	1575.42MHz (±82kHz オフセット可)
PRN CODE	PRN 173 ~ 182 (C/A)
送信出力	-64dBm ~ -114dBm (1dB ステップ)
データレート	50bps (100, 250, 500, 1000bps 設定可能)
外部 I/F	USB, RJ45 Ethernet 10 / 100BASE-T
電源	4.5~12VDC (USB ポートにより給電)
消費電力	2.5W (典型値)
寸法	75 (W) × 50 (D) × 30 (H) mm (本体部)

表 3 IMES 受信機の仕様

項目	内容
位置推定部	IMES/GPS 受信機
インタフェース	USB(仮想シリアルポート)
受信方式	GPS L1 C/A コード (50ch) SBAS 対応
更新最大レート	2Hz

図 3 測定方法

図 4 IMES 信号の受信電波強度

図 2 実証空間で想定した位置情報エリア分割

図 5 IMES 送信出力設定と実際の位置情報エリア分割

3.2 IMES 空間構築の課題

今回の実証空間では、実機を用いた測定により IMES 送信機の出力を調整した。しかし、大規模空間に IMES 位置情報システムを構築することを想定した場合、全ての送信機に対して同様の測定と出力調整を実施するのは手間がかかる。この出力調整作業の省力化のために、IMES 信号の到達範囲のシミュレーション手法が求められる。

筆者らは、IMES 送信機から受信機までの距離と、受信信号強度 (RSSI 値) の関係により、IMES 信号の到達範囲が定式化できると予想し、詳細なデータ測定を実施した。図 5 に示した矢印に沿って 1 cm 間隔で受信機を移動し測定した際の、実験室送信機からの水平距離と RSSI 値の関係を図 6 に示す。

図 6 送信機からの水平距離と RSSI 値の関係

しかし、実際には取得できる信号強度は安定せず、受信機を僅か数 cm 移動しただけで信号強度が大きく大小してしまう結果となった。これは、実環境では建築材料および什器、機器の金属の影響により IMES の電波伝搬が安定しないこと、また、IMES 信号の波長である約 19cm ごとに受信強度が周期的に変動することなどが原因であると考えられる。今後は、より実環境に近い形で IMES 信号の到達範囲をシミュレートできる手法の確立を目指したい。

4. IMES 位置情報システムの開発

開発した IMES 位置情報の実証システムの構成を図 7 に示す。システムは IMES 送信機、IMES/GPS 受信機を接続し専用のアプリケーションをインストールした Android 端末、位置情報基盤サーバ、ビル管理システムやセキュリティシステムなどの外部アプリケーションで構成する。Android 端末と基盤サーバは、認証情報、位置情報、コンテンツ情報を、Wi-Fi により通信する。

開発した位置情報基盤サーバは、IMES で取得した位置情報を活用するため、緯度・経度座標と建物平面座標の変換機能、位置情報モニタリング機能、位置情報サービス管理機能を備える。以下にそれぞれの機能の概要を説明する。

図 7 実証システム

4.1 座標変換機能

屋内を対象とした既存の位置情報システムの多くは、建物平面図を基にした建物ごとに独自の XY 座標系で位置を表現することが一般的である。その一方で、IMES では世界測地系 WGS84 系に基づいた、一般に緯度、経度の座標系で位置を表現する。そこで、本システムでは、式 (1) に示す、ヘルマート変換式を用いた簡易な座標系変換式^{注 1)}を用いて、2 種類の座標系を同時に取り扱う位置情報データベースを構築した。座標変換のイメージを図 8 に示す。

図 8 座標系変換のイメージ

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & -Y & 1 & 0 \\ Y & X & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda \cdot \cos\theta \\ \lambda \cdot \sin\theta \\ x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 x, y は求める地点の経度・緯度座標、 X, Y はその地点の建物平面図上の座標、 x_0, y_0 は原点の経度・緯度座標、である。また、座標の縮率 λ は平面図の縮尺から計算でき、座標軸の回転角 θ は、任意の 2 点の建物平面座標と緯度・経度座標を上式に代入して求めることができる。

この変換式を建物平面座標による既存の位置情報システムに適用することで、既存システムの位置情報データを世界測地系に対応させることができる。これにより、異なる位置情報システムによる位置情報の相互利用が可能になり、位置情報データの信頼性向上や相互補完、既存の地図情報との連携など、様々な効果が期待できる。

4.2 位置情報モニタリング機能

位置情報システムの基本機能として、システムで認証した全端末の位置情報、及び、連絡の可／不可の状態を示すプレゼンス情報を、一括でモニタリング表示する機能を持たせた。

本機能では、IMES による屋内の位置情報が GPS による屋外の位置情報を同時に表示できるが、IMES 信号と GPS 信号が同時に取得できている場合、IMES での測位結果を優先して表示することで、屋内での誤差が大きい GPS 測位を IMES が補完する形となっている。さらに、

IMES では、GPS では得られない階高情報が得られるため、屋内での詳細な位置情報をモニタリングできる。表示例を図9に示す。

図9 位置情報モニタリング表示画面

5. 位置情報サービスの実証

位置情報基盤サーバは、ユーザの位置情報に応じて異なるサービスを提供するための、サービス管理機能を持つ。本実証では、この機能を用いて、IMESにより取得できる位置情報を施設利用の安全性、利便性に活用するサービスを構築し、その実証を行った。以下に、位置情報によるコンテンツセキュリティサービスと、ビル管理システムとの連携による設備制御サービスについて概要を説明する。

5.1 位置情報によるコンテンツセキュリティ

従来、無線環境において、機密情報を特定の空間だけで取り扱うためには、部屋の電磁波シールドルーム化など、物理的に大掛かりな対策を施す必要があった。本実証では、このセキュリティ管理を、位置情報の活用によりソフトウェアで実現するシステムを構築した。

本システムでは、利用者の位置情報、ユーザ属性、スケジュールの組み合わせにより、ネットワーク上に存在する、文書などのファイル、Web サイト、アプリケーションなどの、コンテンツのアクセス権限を管理する。端末の移動により位置情報が変更されると、権限情報も同時に変更されるため、コンテンツ情報を持ち出すことはできない。この機能の活用により、仮想的なセキュリティ境界線を自由に設定することができる。

5.2 位置情報による設備制御

利用者がいる場所の、ビル管理システムの照明・空調制御画面が自動で表示できるインタフェースを構築した(図10)。

図10 位置情報による設備制御

IMESの位置情報エリアと照明・空調の制御区分を対応させることで、利用者が自分のいる場所を選択操作することなく、確実に、容易にその場所の設備を制御できる。利用者が自分のいる場所を意識することなく設備制御できる利便性の向上効果、別の場所の照明を消してしまうなどの誤操作の防止効果が期待できる。

5.3 位置情報サービスの課題

IMESの測位にかかる時間には、TTFF(初期位置算出時間:Time To First Fix)、及びTTRM(メッセージ読取り時間:Time To Read Message)があり、この内、ビットレートが50bpsの場合、TTRMには約7.4秒かかるということが実験により求められている³⁾。今回の実証でも位置情報の切換えに時間がかかり、利用者が移動した場合に権限を保持したままサービス対象圏外に移動できてしまうなど、サービス提供の適時性に課題が見られた。

6. まとめ

本開発及び実証で得られた知見を以下にまとめる。

- ・IMES送信機の適切な出力調整により、実際の建築空間に合わせた位置情報エリアが、実用上問題なく設定できる。
- ・ただし、実環境では建築材料、什器、機器の金属の影響などによりIMESの電波伝搬が安定しないため、IMES信号の到達範囲のシミュレーションは難しい。
- ・建物平面座標と世界測地系座標との変換により、既存システムの位置情報を世界測地系に対応させることができた。
- ・IMES位置情報が、ネットワークコンテンツのセキュリティや設備制御に活用でき、利用者が移動しながらの利用では無い場合、これらのサービスが実用レベルであることを確認した。

今後は、IMES空間構築の省力化のために、実環境の建築材料、什器、機器がIMESに与える影響を考慮した、IMES信号到達範囲のシミュレーション手法の確立を目指す。

また、測位時間の問題に対しては、高速ビットレートの採用によるIMES通信の転送速度向上が検討されている³⁾。これに加えて、受信機側の携帯デバイスのセンサとのハイブリッド測位による測位時間の短縮を検討したい。

謝辞

測位衛星技術株式会社様には、IMES関連の開発に際し、多大な御協力を頂きました。心から謝意を表します。

注

注1) 世界測地系と建物平面図は座標系が異なるため正確な変換ではないが、得られる座標はユニークであるため位置情報活用には問題ないと判断した。

参考文献

- 1) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構: 準天頂衛星システム ユーザインタフェース仕様書 IS-QZSS 1.5 付録 地上補完信号(IMES), 2013.3
- 2) IMES コンソーシアム(オンライン), 入手先 <<http://keiosdm.sakura.ne.jp/imesconsortium/>>, (参照 2014-01-20).
- 3) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 衛星利用推進センター: IS-QZSS ユーザミーティング資料 IMES仕様: Ver1.5の主な変更点について, 2013.2

[2013年8月6日原稿受理 2014年1月7日採用決定]