

構内 PHS を利用した位置情報把握システムの開発

佐藤 博一 山本 裕治 五十嵐 雄哉 山崎 元明 多井 慶史 小林 勝広
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (設計本部) (設計本部) (設計本部)

Development of a Local Position Information System by Local Mobile Phone Network

by Hirokazu Sato, Yuji Yamamoto, Yuya Igarashi, Motoaki Yamazaki, Keishi Tai and Katsuhiko Kobayashi

Abstract

We have developed a local position information system that uses the local mobile phone network. This system extracts terminal position from PBX, and position information on hundreds sets of terminals can be acquired at short intervals. Minimum detection area has been narrowed with our radio wave propagation control technology and adjustment of base station layout. In case where detection area is set as 240 square meters, 90% of detection accuracy has been achieved. We have developed a directory service system as an application which uses the position information. We also implemented new building automation system which controls lighting facilities and intake air flow depending on number of persons given by position information system.

概要

市販の構内 PHS を利用し、施設内のどこに誰がいるかという、位置情報把握システムを開発した。開発したシステムは、PBX から端末位置情報を抽出するため、300 台以上の端末の位置情報を高速に取得できるもので、基地局の設置位置、出力および電波伝搬制御技術を組み合わせることにより検知エリアを小さくでき、検知エリアを 240m² とした際に、90% 以上の検知精度が得られるものである。この位置情報把握システムをインフラとしたアプリケーションとして、ディレクトリサービスシステムを構築した。また、人数に応じた照明および外気取り入れ量制御をビル管理システムと連携させることで実現した。

§ 1 . はじめに

昨今の情報化社会の進展は目ざましいものがあり、ユビキタス・ネットワーキング/コンピューティングと言われるように、“いつでも”、“どこでも”、“誰でも”、コンピュータネットワークに接続し、必要な情報の入手や各種サービスを受けられるようになってきている。得られる情報の付加価値を高めたり、高度なサービスを提供するためには、端末の位置情報や ID と関連付けられた属性が必要となり、位置情報取得技術がユビキタス社会に不可欠となってくる。位置情報取得技術については、屋外では GPS (Global Positioning System) を利用したシステムがあり、すでにいくつものサービスが普及している。一方、屋内では既存インフラとして GPS が利用できないため、別途、位置情報取得専用のインフラ整備が必要となる。近年では、RFID (Radio Frequency Identification) タグを利用した、位置情報および属性を取得するシステム構築が盛んであるが、実証実験段階に留まっているのが現状で、一部、実用段階にあるサービスも、少人数と小さなエリアを対象としたものになっ

ている。我々は、ユーザが常時携帯するデバイスとして、オフィスビル、研究施設、工場などで導入が進んでいる構内 PHS (Personal Handy phone System) に着目し、構内 PHS のインフラを利用した位置情報把握システムの開発を行い、清水建設 (株) 技術研究所本館に適用した。本稿では、開発した位置情報把握システムの概要、位置情報の精度検証、および位置情報を利用したアプリケーションについて報告する。

§ 2 . システム概要

2.1 システム構成

我々が開発した位置情報把握システムの構成を図 - 1 に示す。システムは施設内の内線電話設備である構内交換機 (以下 PBX (Private Branch eXchange) とする) を含めた構内 PHS、端末位置情報抽出システム、抽出された位置情報を利用した各種アプリケーションから構成されている。構内 PHS は、市販されている標準の通信設備で、PBX、基地局、端末からなる。端末位置情報抽出システム

は、PBX と接続され、PBX から端末がどの基地局に接続しているかの情報を抽出しデータベース化するもので、市販のパーソナルコンピュータ(以下 PC)を用いている。各種アプリケーションは、位置情報データベースを参照し、各種サービスや機能を提供するものである。導入した技術研究所ではディレクトリサービスと空調や照明などの設備制御に利用している。

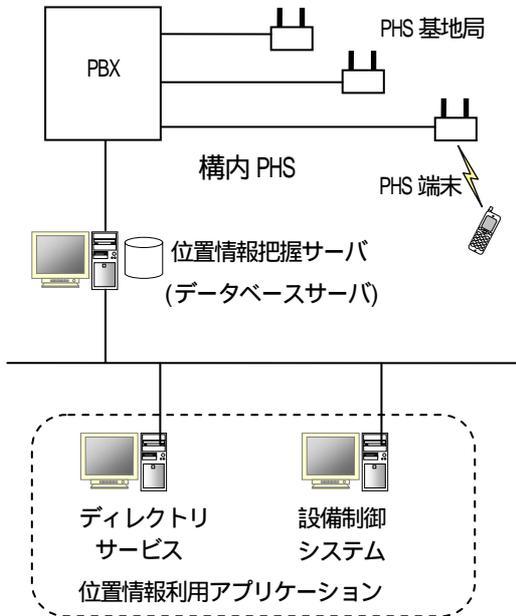


図 - 1 システム構成図

2.2 構内 PHS

構内 PHS は端末が移動可能なことが一般的な有線構内電話システムと異なる点である。PBX の呼制御は、端末と端末のいるエリアの基地局とで電波を送受信して行うため、PBX は端末がどの基地局の配下にあるかを常に把握している。図 - 2 に示すように、端末が基地局 A から送信される通話可能レベル以上の電界強度範囲に入ると、PBX に端末が基地局 A の配下に入ったことが通知される。端末が移動し、基地局 A および基地局 B から送信される通話可能レベル以上の電界強度範囲に入った場合、端末はどちらか一方の基地局の配下になくはないため、基地局 A の配下のままで、さらに端末が移動し、図 - 3 のように基地局 A からの電波が通話可能レベル以下になると基地局 A の配下ではなくなる。

その際、基地局 B からの電波が通話可能レベル以上の場合、図 - 4 のように PBX に端末が基地局 A の配下から基地局 B の配下に移動したことが通知され、PBX 内のデータも書き換えられる。このように構内 PHS では、端末は一つの基地局の配下に必ずあり、どの基地局の配下にあるかを調べることによって、端末の位置情報を得ることが可能になる。

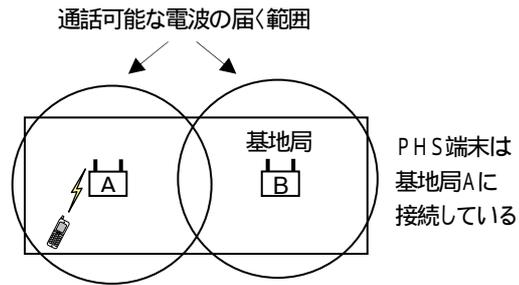


図 - 2 基地局 A との接続

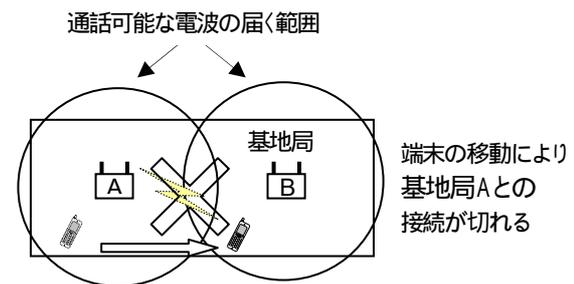


図 - 3 基地局 A との接続断

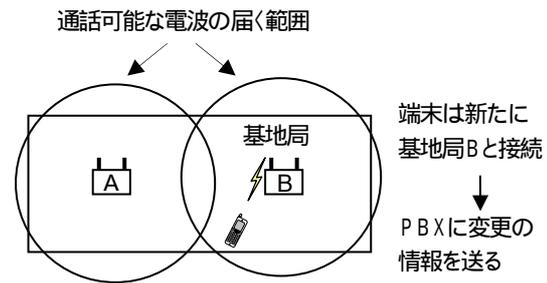


図 - 4 基地局 B との接続

2.3 位置情報把握システム

これまでの、PHS や無線 LAN を利用した位置情報把握システムは、複数の基地局で端末からの電波強度を把握し、その電波強度および基地局の配置関係から端末の位置を特定するものや、電波の伝播時間から端末の位置情報を特定するものがある。これらは、金属什器の移動など室内レイアウト変更に伴う再キャリブレーションが必要になることや、端末台数が多くなると位置同定の計算時間が増えてしまうという課題がある。一方、我々が開発した位置情報把握システムは、前項で述べた構内 PHS が持つ特徴の一つである、「端末は必ず一つの基地局の配下であり、PBX は常にその情報を把握していること」を利用しているため、専用システムが不要な上、位置同定の計算が不要であるため、位置情報のリアルタイム性が高いなどの特徴を持つ。図 - 5 に位置情報把握システムの構成図を示す。PBX に RS232C ケーブルで接続された、位置情

報データベースを兼ねた PC から、端末の位置情報取得コマンドを PBX に送信する。コマンドを受信した PBX は、端末番号と基地局番号の一覧を PC に送信する。PBX から送られたデータを受け取った PC では、端末番号、基地局番号から得られる位置情報および時刻をデータベースに格納する。このルーチンを一定時間間隔で繰り返すことにより、端末の位置情報が最新のものに更新される。なおデータ更新にかかる時間は、端末 350 台で約 50 秒である。

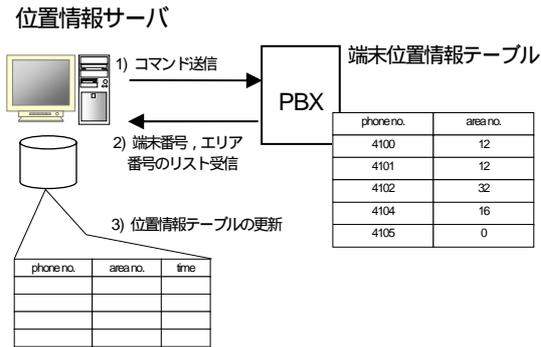


図 - 5 位置情報抽出の仕組み

§ 3 . 位置情報精度

3.1 検知エリア

構内 PHS の基地局から送信される電波の出力は、最大で 10mW であるため、基地局から 50m 以上離れた場所まで、通話可能レベル以上の電波が伝播する。図 - 6 にオフィスでの測定例を示す。図 - 6 は構内 PHS の基地局の設置場所のみを工夫した場合で、基地局はオフィスの長辺方向のほぼ中央、短辺方向の窓側に設置した。一般的に、PHS は基地局から送信される電波が、端末での受信レベルが電界強度 26dB 以上ならば通話可能で、通話可能な電波が到来する境界が、検知エリアの境界となる。図 - 6 では、26dB 以上の電界強度エリアが半径 25m 以上と広く、検知エリアも広くなり、大まかな端末位置情報しか得られないことがわかる。位置情報を利用したサービスによっては検知エリアが図 - 6 程度でも問題ない場合がある。検知エリアを小さくすると、多少の人の動きによって、基地局の切り替えが頻繁に発生し、他のエリアで検知される割合が高まるため、得られる位置情報の精度が低下することが懸念されるが、我々は空調、照明などの設備

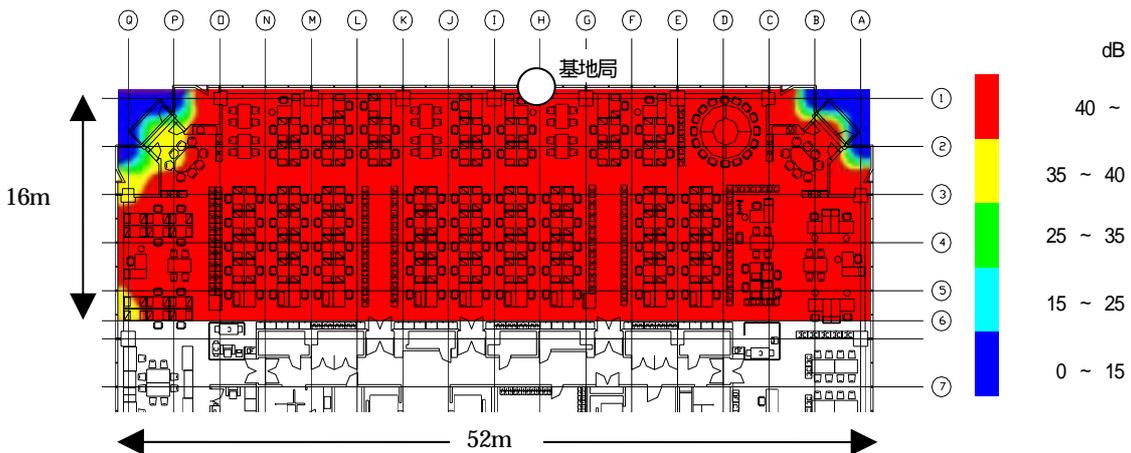


図 - 6 電界強度分布測定例 (基地局設置場所のみの工夫)

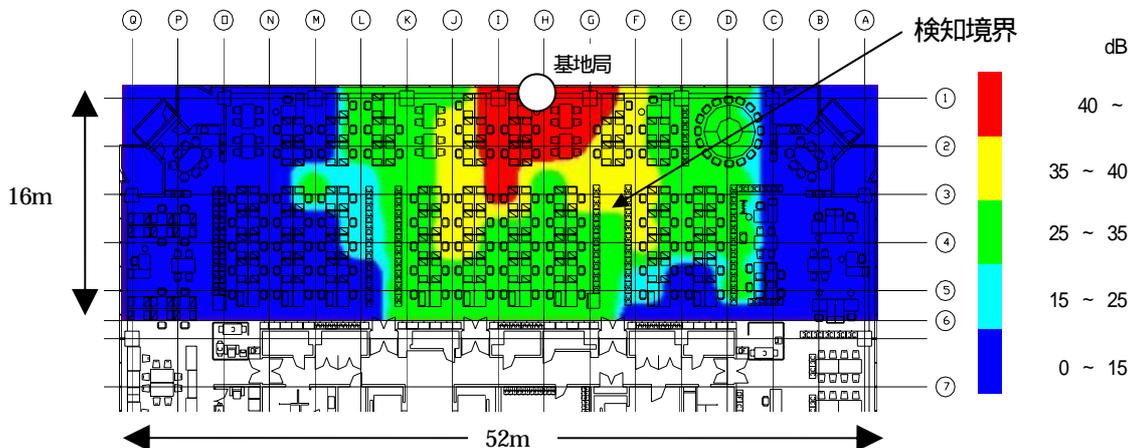


図 - 7 電界強度分布測定例 (基地局設置場所の工夫に加え電波伝搬制御を組み合わせた場合)

制御に利用することを考慮に入れ、設備制御エリアと検知エリアが等しくなるよう、什器レイアウトを考慮した基地局の設置位置、基地局の出力、電波伝播制御技術を併用することで、検知エリアを小さくすることにした。図 - 7 に検知エリアを絞った際の電界強度分布測定結果を示す。図 - 6 に比べて、検知エリアが約半分程度になっていることがわかる。さらに、端末が持つ機能である待ち受けレベルを上げることにより、検知エリアを図 - 6 の830m²以上から200 m²以下にできることを確認した。

3.2 精度検証

実際に開発した本システムを適用した建物で、精度検証を行った。建物は図 - 8 に示すように、長辺が80m、短辺が20mである。一般階における設備制御区画は、空調吹き出し制御区画が120 m²（図中の3～10）および160 m²（図中の1、2）照明点灯・消灯制御区画が240 m²および320 m²、外気取り入れ量区画が480 m²および320 m²となっている。そこで、最小検知エリアを空調吹き出し制御区画に合わせて120 m²と設定した。精度検証は、ある時刻において対象とするエリア内に存在する人間を目視によって確認し、位置情報データベース内の目視確認と同時刻のデータとの比較、すなわち、位置情報把握システムで検知した人/実際にいた人、によって行った。なお、位置情報把握システムのデータ更新は60秒間隔としている。検証結果を表 - 1 から表 - 3 に示す。表 - 1 は空調吹き出し制御区画を検知エリアとしたもので、区画平均で約82%の精度となった。位置精度が他のエリアに比べて低いエリアは、上下階の移動に利用される外部階段およびエレベータホールに近いエリアとなっている。これは、測定時に人が移動していた可能性が考えられ、データ更新間隔が60秒であることが影響しているものと考えられる。上下階への導線となる区画1,4,9を除いた7

表 1 空調吹き出し制御区画における位置精度

区画	1回目	2回目	3回目	4回目	平均精度
1	7/9	5/7	4/7	4/6	69%
2	4/4	7/7	6/6	7/7	100%
3	7/8	5/5	4/4	5/6	91%
4	0/1	1/2	2/3	2/2	63%
5	8/9	8/10	9/9	12/13	90%
6	3/4	3/4	3/4	2/3	73%
7	9/10	11/11	10/11	9/11	91%
8	4/5	3/3	4/4	4/5	88%
9	3/5	3/5	3/5	4/5	65%
10	5/6	4/5	4/5	5/5	86%

表 2 照明制御区画における位置精度

区画	1回目	2回目	3回目	4回目	平均精度
L-1	13/13	14/14	13/13	13/13	100%
L-2	8/9	6/7	6/6	7/8	90%
L-3	11/13	12/14	12/13	15/16	89%
L-4	13/15	14/14	15/15	15/16	95%
L-5	11/11	10/10	10/10	10/10	100%

表 3 外気取り入れ量制御区画における位置精度

区画	1回目	2回目	3回目	4回目	平均精度
M-1	13/13	14/14	13/13	13/13	100%
M-2	28/32	27/31	26/29	32/35	89%
M-3	15/16	12/14	14/15	13/15	90%

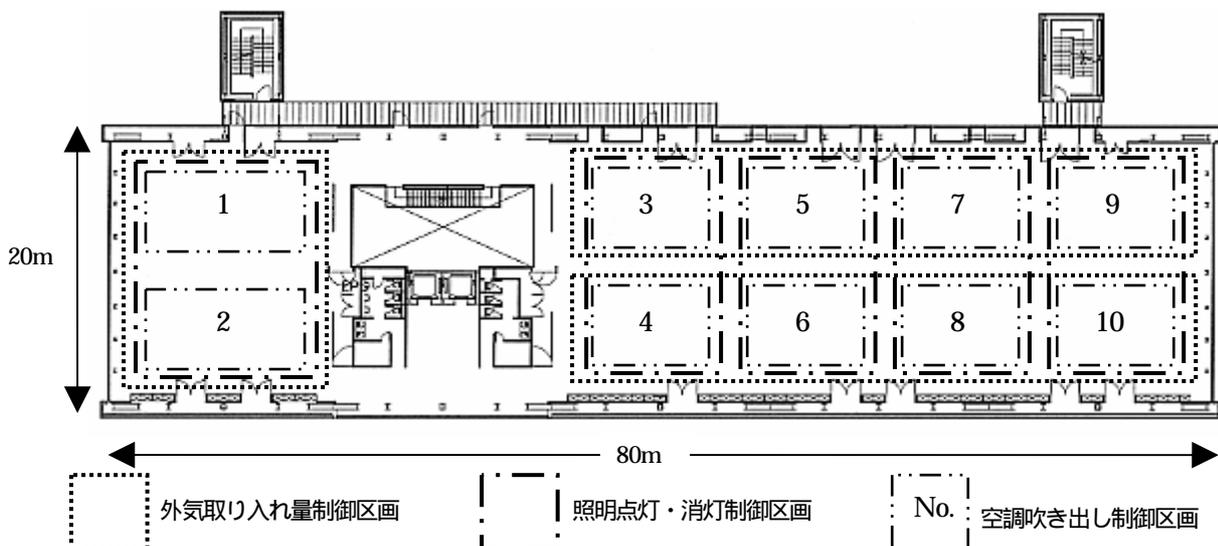


図 - 8 精度検証を行った施設の平面図

区画の精度の平均は、88%となり、人の移動が少ない区画では、高い位置精度が得られることがわかった。表 - 2 は照明制御区画を検知エリアとしたもので、区画 L-1 は、最小検知エリア区画の 1 と 2 を加えた値、同様に L-2 は 3 と 4 を加えた値である。空調吹き出し制御区画の位置精度に比べて、照明制御区画における位置精度は高くなっており、区画平均で約 95%の精度となった。精度が高い理由として、照明制御区画間には、金属製の書棚が設置されているために、他の区画に検知される割合が低くなったことが考えられる。表 - 3 は外気取り入れ量制御区画を検知エリアとしたもので、区画 M-1 は、最小検知エリアの 1 と 2 を加えた値、M-2 は最小検知エリアの 3、5、7、9 を加えた値、M-3 は最小検知エリアの 4、6、8、10 を加えた値である。空調吹き出し制御区画の精度に比べて、外気取り入れ量制御区画における精度は高くなっているが、照明制御区画に比べると多少精度が落ち、区画平均で約 93%の精度となった。照明制御区画よりも検知エリアを広くしたにもかかわらず、精度が低下した理由として、外気取り入れ量制御区画間には照明制御区画間と異なり、金属製の什器など電波を減衰されるものがないため、隣の区画に検知されていることが推測できる。

§ 4 . 位置情報利用アプリケーション

開発したシステムで得られる位置情報を利用した、アプリケーションも併せて開発した。

4.1 ディレクトリサービス

ディレクトリサービスの構成図を図 - 9 に示すように、位置情報把握システムによって得られた位置情報データベース、および各種マスターデータベースを参照し、クライアントからの要求に応じた出力を表示するものである。具体的には、(1)氏名、内線番号、所属部署名など個人の属性を利用して検索し、今どこにいるか、(2)特定のエリアに何人いるか、(3)特定のエリアに誰がいるか、を表示できる。また、ディレクトリサーバのアクセスレベルを変更することによって、自席にいる/いない/外出(圏外)のみの、プレゼンスシステムとして利用可能である。

図 - 10 にサービスの表示例を示す。左フレーム上部に検索用フィールドがあり、その下部に検索結果を示すフィールドがある。右フレーム上部には、検索したい人のプレゼンスが表示され、その下部には建物平面図とともに、どここのエリアにいるかという情報が表示される。また、エリアごとの人数が表示されるので、会議室などの利用状況を確認することも可能である。

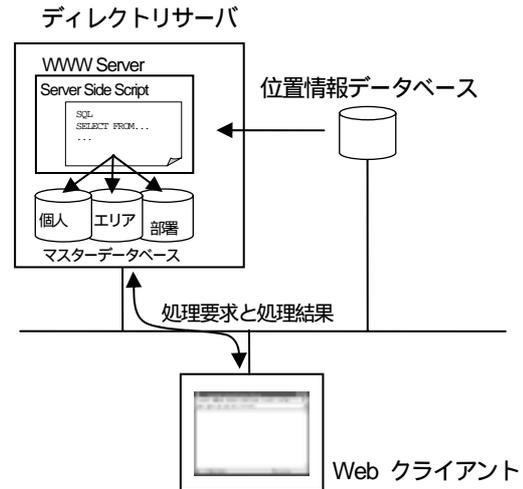


図 - 9 ディレクトリサービス構成

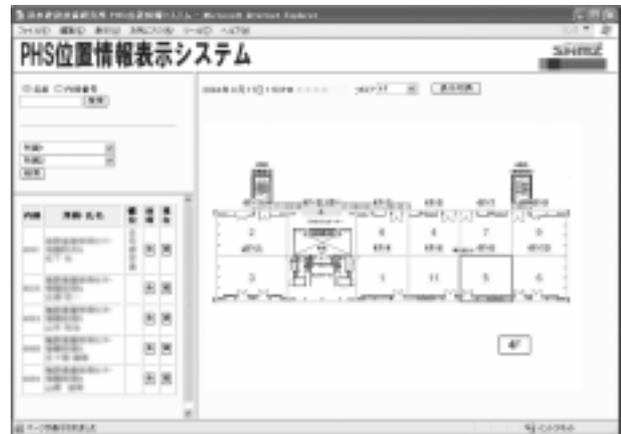


図 - 10 ディレクトリサービス表示例

4.2 ビル管理システムとの連動

位置情報把握システムで得られたエリアごとの人数情報から、設備制御エリアごとの人数を算出し、ビル管理システムによって照明制御および外気取り入れ量制御を実現した。図 - 11 に照明制御フローを示す。照明制御区画は、図 - 8 に示した一点破線で囲まれたエリアである。2カ所の最小検知エリアの値から、照明制御区画の在席人数を算出し、ある一定時間、その区画内に人がいない場合に、その区画の照明の消灯制御を行い、消し忘れ防止を図っている。図 - 12 にビル管理システムの照明管理画面を示す。人数が 0 人の照明区画が消灯されていることがわかる。

図 - 13 に外気取り入れ量制御のフローを示す。外気取り入れ量制御区画は、図 - 8 に示した破線で囲まれたエリアである。2カ所もしくは4ヶ所の最小検知エリアの値から、その区画内にいる人数を算出する。設計段階で床面積により決めた区画内の最大人数と、得られた在席人数との比により必要風量を決定し、VAV の開閉量を制御する。一定時間経過後、新たな人数情報を基にした VAV の開閉量制御を行う。図 - 14 に人数情報に応じた外気取り

入熱量制御を行った際の実測データを示す。横軸は時間、縦軸は在席人数（人）、外気取り入れ量（ m^3/h ）、 CO_2 濃度（ppm）である。図を見ると、外気取り入れ量の変動は在席人数の変動とよく一致していることがわかる。設計外気取り入れ量は、始業時間から終業時間まで一定で、 1m^2 、1時間あたり 5m^3 となり、この建物では $2,400(\text{m}^3/\text{h})$ である。一方、実際の外気取り入れ量は、 $500\sim 1,000(\text{m}^3/\text{h})$ で、設計外気取り入れ量に比べて約 $1/5\sim 1/2$ となっており、本制御によって外気取り入れ量に関するエネルギーを約70%の削減できた。また、本制御を用いても、許容 CO_2 濃度である $1,000(\text{ppm})$ を下回っており、問題ないことがわかる。このことにより、従来の CO_2 濃度センサや人感センサを用いずに、省エネルギー制御ができることが確認された。

§ 5 . おわりに

市販の構内 PHS を利用した位置情報把握システムおよび、そのシステムで得られた位置・人数情報に応じたアプリケーションを開発した。開発したシステムは、市販の構内 PHS を用いており、メーカ依存がないため高い汎用性を有している。また、基地局の設置場所、出力、電波伝播制御技術を組み合わせることで、最小検知エリアを 120m^2 にすることを可能にした。その最小検知エリアでの位置情報精度は80%を超える程度であるが、人の移動が比較的少ないエリアでは88%程度の精度があり、さらに複数の最小検知エリアを組み合わせさせた検知エリアでは90%を超える位置情報精度を得られることが確認できた。開発したシステムは、検知エリアを、利用するアプリケーションで要求される精度などに応じて任意に変更できるため、応用性が高いといえる。本システムでは、位置情報を得るためのデバイスを構内 PHS としたが、位置情報データベースや位置情報を利用したアプリケーションは、位置情報を得るためのデバイスを、IC タグや無線 IP 電話などにした場合でも利用でき、拡張性にも優れている。

今後は、エリアのアクセスコントロールや、各種災害時の在館情報利用など、セキュリティ・セーフティを目的とした応用や、在席率分析、会議室などの稼働率分析などを通じたファシリティマネジメントを目的とした応用を検討する予定である。また、他の位置情報取得用デバイスとの併用についての検討も行いたい。

<参考文献>

- 1) Yuji Yamamoto, Hirokazu Sato: "Position Information System by Local Mobile Phone Network", International Workshop on Networked Sensing Systems 2004, 2004.06
- 2) 五十嵐雄哉, 山本裕治: "構内 PHS ネットワークを利用した位置情報システム", 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 1509-1510, 2004

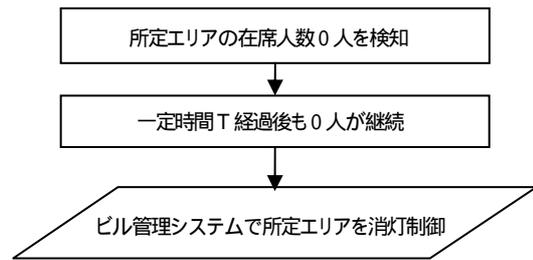


図 - 11 照明制御フロー

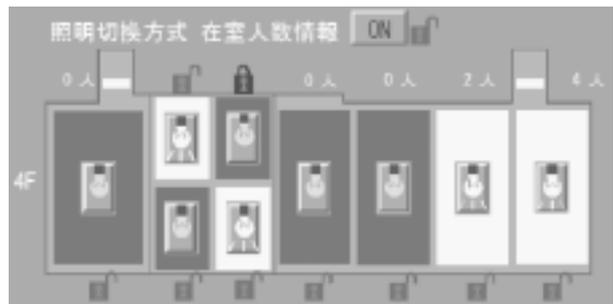


図 - 12 ビル管理システムの照明管理画面

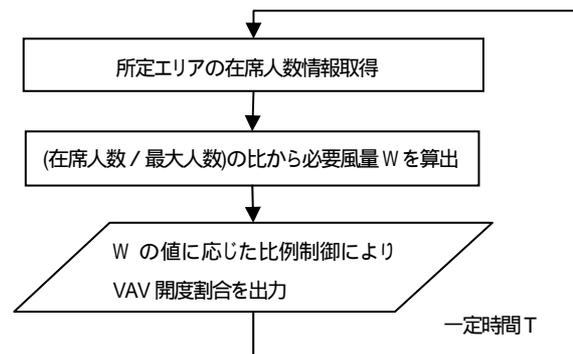


図 - 13 外気取り入れ量制御フロー

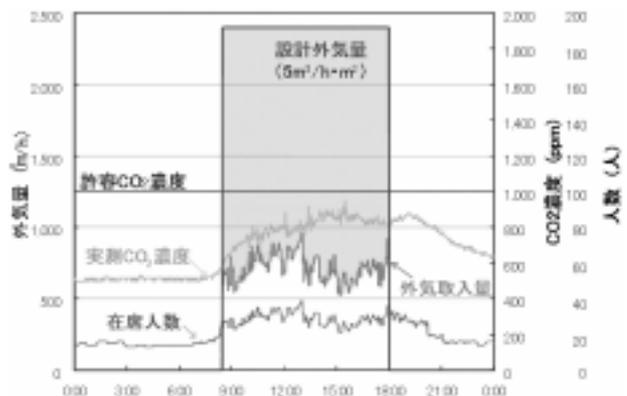


図 - 14 外気取り入れ量制御の実測