

## UMLによる高次脳機能障害患者用の徘徊看視システムの開発

### *A UML Monitoring System Trial for Patients with Wandering Problems Caused by Higher Brain Dysfunction*

朴 忠植\* 石島 悌\*

Choong Sik Park Dai Ishijima

鈴木 恒彦\*\* 平井 道恭\*\*

Tsunehiko Suzuki Michiyasu Hirai

(2004年7月2日 受理)

A monitoring system has been developed for patients with wandering problems caused by higher brain dysfunction. An infrared sensor settled on a sickroom entrance detects whether a person enters or exits the room. ID tags put on their slippers detected whether the patient passed alone when they passed on the mat type of detection antenna. Measuring the bed's weight change using load sensors put under each legs of the bed can detect patients with limb injuries that fall down from the bed. System design approach using by Unified Modeling Language (UML) provided system flexibility corresponding to the change required specifications as monitored location and number of patients.

キーワード：徘徊、看視、高次脳機能障害、UML、RFID、離床センサ

#### 1. はじめに

交通事故の脳外傷などで、重症の脳損傷を負った人は、身体機能の障害だけでなく、記憶・注意・知能・言語などの認知面の機能(高次脳機能)に障害が発生し、家庭や職場で適切に振る舞うことが出来なくなり、社会復帰はおろか日常生活にも支障をきたす人もおり、大きな問題となっている。しかし、高次脳機能障害に対する判定基準がなく、社会保障を受けられない状況であった。そこで、厚生労働省が平成13年から平成15年の期間で全国10箇所の地域において拠点病院を指定し、高次脳機能障害についての統一した評価や治療方法を作るための共同作業を行う高次脳機能障

害支援モデル事業を行った。大阪府立身体障害者福祉センター(身障者センター)も、本事業の指定機関となった。身障者センターでは、現在も高次脳機能障害の患者のリハビリ治療と並行して、モデル事業を行っているが、患者の徘徊行動が看護スタッフにとって大きな負担となり、問題となっている。

一方、老人介護施設等においても、痴呆による徘徊が以前から問題とされ、表1に示すような種々の方式のセンサを用いて、徘徊を看視するシステムが市販されている。しかし、これらのシステムには下記に示すような問題点がある。

- ①光電センサ、超音波センサや赤外線センサは、個人の識別が特定できないので、不特定多数の出入りがある病院では利用できない。
- ②RFIDを用いたシステム<sup>1)</sup>は、IDタグにより個人識別を可能としているが、付き添いがある場合でも

\* 情報電子部 制御情報系

\*\* 身体障害者福祉センター

表1 市販の看視システムの検出方法  
Detecting methods of commercial monitoring system

検出方式	検出センサ
ゲート通過検出	光電センサ, 超音波, RFID <sup>*1)</sup>
存在確認	赤外線, カメラ
位置検出	PHS, トランシーバー

徘徊としてしまう問題点がある。

- ③カメラでは、常時監視する人が必要となり、コストがかかる。
- ④位置検出では、無線機器を携帯することが必要となる。PHSやトランシーバーを常時携帯することは、患者の負担となり、患者の状態によっては、付け忘れや故意に外す可能性がある。

さらに、身障者センターでは、運動機能にも障害を持ち、歩行困難な患者がいる。付き添い以外には、ベッドにいてることになっているが、徘徊行動によってベッドから立ち上がろうとするため、転倒の危険性がある。このため、身障者センターでは、マットスイッチ型の離床センサを用いているが、マットの範囲外であるベッドの端に座ることによる誤検知や、通報用の信号線をナースコールと共用しているためにナースコールと離床検知との区別ができず、通報時の対応の判断が遅れる問題があり、改善が必要とされていた。

身障者センターでは、患者を数ヶ月単位で入れ替えている。また、専門病棟はないので、他の病気やけがの患者がおり、脳機能障害患者用として病室も固定されていない。このように病室の変更や患者の増減が年に何度か行われるため、センサの配置、種類などの変更に対し柔軟に対応可能なシステム構成を持つことが重要であるが、市販のシステムでこのような変更を行うとすると、システムの設計からやり直す必要が生じるため困難である。

本研究では、RFIDの個人識別機能とその他のセンサを組み合わせることにより、徘徊および離床の検出において、信頼性の高い看視システムの開発を行った。また、柔軟なシステム構成の決定を目的としたUML(Unified Modeling Language)<sup>2,3)</sup>によるシステムの設計を行った。本論文では、利用者に対して試

\*1) RFIDとは、Radio Frequency Identificationの略でメモリと無線機能を持つ小型チップと送受信アンテナ間で情報通信を行う装置

作したプロトタイプによるデモンストレーションを行い、システム効果の確認と改善すべき問題点について論じた内容について述べる。

## 2. プロトタイプの設計

### (1) UMLによるシステム設計法

従来のシステム開発では、要求仕様、ハードウェア構成に関する仕様書、システム構成図、インターフェース仕様書、フローチャート、プログラムという順で行われていた。フローチャートとプログラムは一意の関係があるが、これら以外の資料間関係は、明確でなくシステム設計者の頭の中にあるといえる。例えば、システム構成図は、統一した記法のない参考程度のものであり、実際のハードウェアとプログラム間の関係は、プログラムの中において設計者がコメントとして記述していた。従って、仕様やハードウェアの変更によるプログラムの変更箇所を探すには、丹念にプログラムのコード、コメントを逐一、追わなければならず、もし、コメントがなければ変更は困難であった。

また、大規模なシステムを複数人で開発する際は、各プログラマーによって、コメントの書き方が違うため、システムの変更作業の管理が大変であった。

そこで、仕様の変更の際にシステムの変更箇所を明らかにし、適切な変更を可能にするシステム開発技法であるUMLを看視システムの開発に適用した。UMLの特徴は、仕様からシステム構成、プログラムに至る全ての物をその相互の関連性を含めて、いくつかの種類のチャートにより表現し、チャートをトレースすることによりシステムの変更箇所に対応する部分を見つけることが可能となる。表2にシステム開発プロセスにおける従来法とUMLにおけるシステムの主な表記法を示す。

表2 従来法とUMLにおける表記法  
Notation of conventional method and UML

開発プロセス	従来表記法	UMLによる表記法
要求仕様	仕様書	ユースケース
基本設計	システム構成図	ドメイン構造図, 配置図
詳細設計	フローチャート	クラス図, シーケンス図, 状態遷移図
実装	ハードウェア, ソースコード	ハードウェア, ソースコード

UMLによるプログラム開発を支援するツールが、有償、無償を含めいくつかある。本研究では、フリーウェアのJudeをUMLの作図に一部使用した。また、ソースプログラムの開発には、フリーウェアのEclipseを使用した。

(2) 要求仕様

看護スタッフとのインタビュー、共同研究者とのメール等の情報により要求仕様をUMLの記法を利用して図1のユースケース図としてまとめた。ユースケース図では、ユーザが抱えている問題点を明確にするため、ユーザの言葉に近い表現で記述することが重要となる。ユースケース図により、ユーザと開発者間でシステムに対する共通認識が図化され、要求仕様とシステム機能との整合性のチェックが可能になる。

ただし、ユースケース図で表現しきれない場合がある。このような場合に対しては、UMLでは文書の併記により仕様を明確にさせる。本研究でも、徘徊と徘徊でない場合は、いくつかの条件を判定する必要があるため、ユースケース図では表現が困難であるため、図2のようにユースケースとして記述した。

ここでアクタとは、システムと相互作用する人、物のことで、図1の看護師やセンサに相当する。なお、ユースケースはハードウェアの仕様を記述する際も用いられる。

(3) 検出方法

(A) 徘徊検出方法

RFIDは、ID番号をメモリ情報にもつIDタグにより、個人識別を行う。そこで、患者だけでなく病棟、病室にいる看護スタッフを含む全員がIDタグを所持することにより、単独であるかどうかの判定が可能となる。

通過センサとRFIDのアンテナをドア付近に設置し、人がドアを通過する際に、通過センサとアンテナが同時に出入りする人を検出しないように配置することにより、通過センサとRFIDの検出時間差および検出順位から通過方向を検出することが可能となる。

(B) 離床検出方法

荷重センサをベッドの脚の下に設置し、荷重の変化により離床の有無を判定することにした。これにより、ベッド上のどこにいても、誤検出することがない。

(4) ハードウェア構成

ユースケースにより、明確になった要求機能を実現するハードウェア構成について説明する。

ハードウェアは、①センサ、②AD変換器、③徘徊検出判定部、④判定結果表示・通報部に分けられる。遠隔での監視機能が必要であるが、遠隔監視方式とし

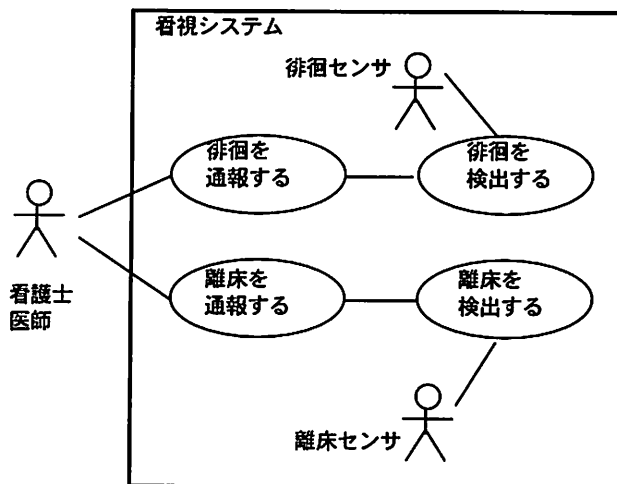


図1 ユースケース図

Use case diagram representing system requirements

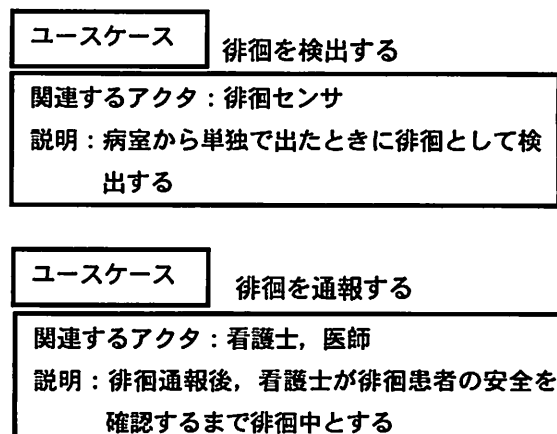


図2 ユースケース

Use case representing details of system requirements

て、集中管理方式と分散管理方式の2方式がある。前者は①、②を看視箇所(病室出入り口)に、③、④を看視ホスト側(ナースステーション)に機能を分担させたものであり、後者は、①、②、③を看視箇所に、④を看視ホスト側に機能を分担させる。一般的には、分散管理方式のほうがホストとコントローラ間のハードおよびプログラムの依存関係を少なくすることが可能なので、拡張性が高い。また、複数のコントローラの1つが故障しても他のコントローラへの影響がないので、信頼性も高い。このような特徴から、分散管理方式によるシステムを構成することとした。センサの信号管理は、センサコントローラ側で行い、ホスト側では、決められたプロトコルでセンサコントローラとセンサ情報の通信を行う。

また、分散管理方式を採用することでプログラムの

保守性が向上した。具体的には、センサの増減に対し、必要時にセンサコントローラ側での設定だけで対応可能となり、この際、同種のセンサであれば、コントローラ側のプログラムは、パラメータ（プログラム中の変数の値）の変更で済ませることが可能である。また、センサコントローラとホスト間では、判定後の検知情報を定められた通信形式（プロトコル）で送信することにより、判定アルゴリズムの改良などの変更があっても、ホスト側のプログラムの変更は不要で、コントローラ側のプログラムのみを変更すればよい。

(5) 詳細設計

図3に配置図を示す。配置図はソフトウェア（コンポーネント）が実行されるハードウェアを抽象化したノードおよびノード間の関係を表している。配置図のノード間を接続する線上に記されている1と\*は、Webサーバ1つに対して、センサコントローラが複数接続されていることを意味する。また、Webサーバのノード内に看視情報処理プログラム（複数のセンサコントローラからの看視情報をまとめて、看視ホストへの表示用HTMLを作製するプログラム）が記述されているが、配置図ではハードウェア、ソフトウェア両方の実装関係を記述する。図4にドメイン構造図の一例を示す。この図では、センサコントローラ1つに対し赤外線センサ、RFID、荷重センサが各1つ接続されている。また、各種のセンサは分類され、上位のセンサドメインに属することを示している。センサを例にすると、上段がドメイン名（センサ）、中段が属性名（-ポート番号）、下段（+値を読む）が手続き名である。このように、UMLではオブジェクト間の依存関係が明確に記述されるため、システム仕様、機能の変更によるシステムの変更箇所を見出しやすい。以後、各ノード内のソフトウェアの詳細化を段階的に行っていく。

図5はセンサコントローラの信号収集から処理、Webブラウザに処理情報を表示するために必要となる属性、処理を記述したクラス図の一部である。

図6のシーケンス図は、徘徊検出時に必要とされるオブジェクト間の情報の流れを時系列で記述している。例えば、WebブラウザからWebサーバに対して情報表示の要求メッセージを送信する。メッセージの具体的な処理（メソッド）はWebサーバに記述されている。

メッセージの両端にある長方形は、メッセージを記述する（メソッドを呼び出す）手続きの有効期間中で、C言語では関数の起動から終了の期間に相当する。これらの図より、メッセージの主体、すなわち各クラス

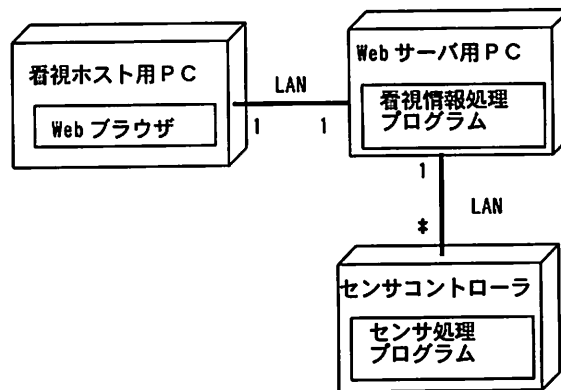


図3 配置図

Deployment diagram representing the physical processing resources in the system, and associations

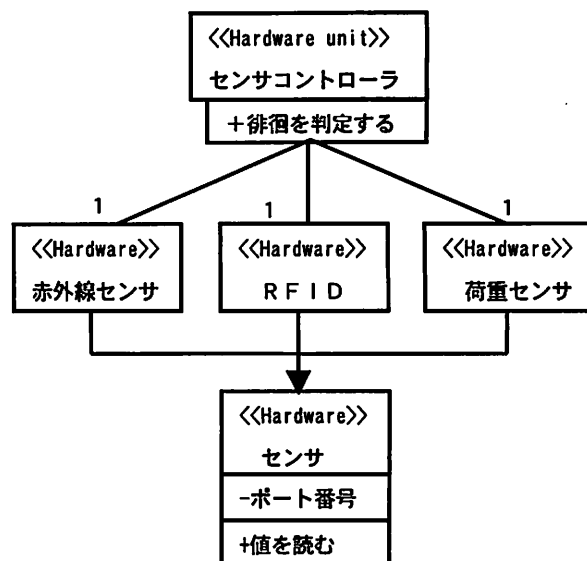


図4 ドメイン構造図（センサコントロール部）

Domain model representing relationships of objects in the sensor control domain to each other

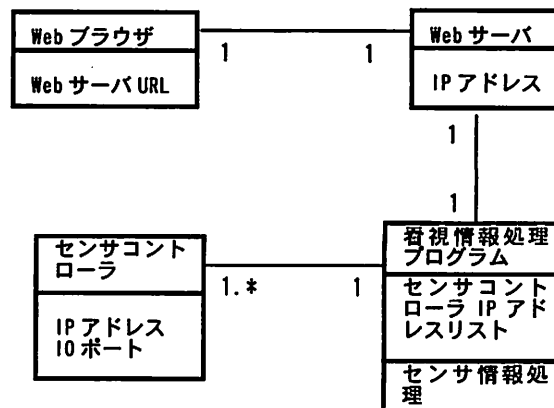


図5 クラス図

Class Diagram representing associations between methods as data process and attributes as parameters

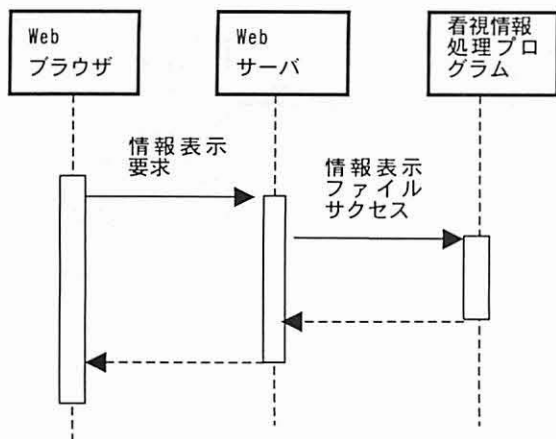


図6 シーケンス図

Sequence Diagram representing flow information requests

内で定義されるメッセージが明確化される。

### 3. プロトタイプによるデモンストレーション

#### (1) 各種センサの検出範囲

RFIDは、図7に示す市販のマット型RFIDおよび切手サイズのタグ(シスウェーブ社製)を用いた。赤外線センサは電子パーツとして市販されているキットを用い、信号線の引き出しなど一部改造を行い、使用した。離床センサには、図8に示すニッタ社製のシート型の荷重センサを用いた。表3に検出範囲の調査結果を示す。

以上のデータをもとに、徘徊検出のために、病室のドア外側にマット、病室内側ドア上部に人感センサを鉛直下方向に設置した。離床センサは、ベッドの脚4本のうち、2本の下に設置した。

#### (2) デモンストレーション

##### (A) デモの内容

身障者センターの病室で医師、看護師の前でデモを行った。ホストの通報画面を図9に示す。①単独外出の検知およびPC上での通報および ②離床検知およびPC上での通報のデモを行い、システムの効果の確認と問題点の有無についての調査を行った。

##### (B) 調査結果

システムの機能に対しては、参加者から問題点の指摘はなかった。ただ、①離床センサの信号にふらつきがある、②人感センサが誤動作を起こすなどの技術的に不安定な箇所が見出された。

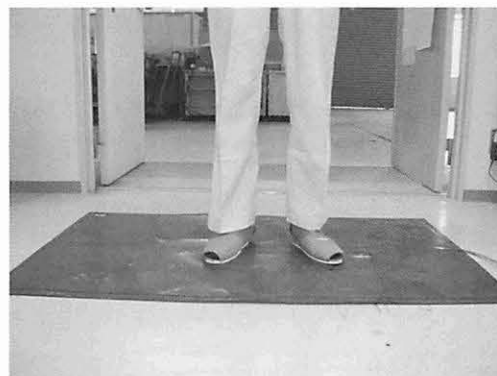


図7 マット型アンテナとIDタグ付きスリッパ  
Mat type of detection antenna and slippers with ID tag

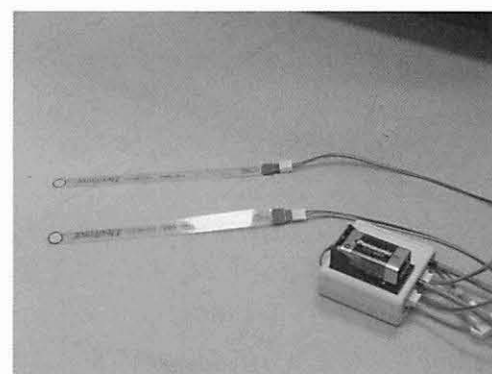


図8 離床センサ  
Bed side sensor

表3 センサの検出範囲  
Specifications of sensors

RFID	最大通信距離 15cm, アンテナに対し ID タグの姿勢角度は 45度以下
人感センサ	検知距離 200cm 程度
荷重センサ	最大検出荷重 40kgf (1つあたり)

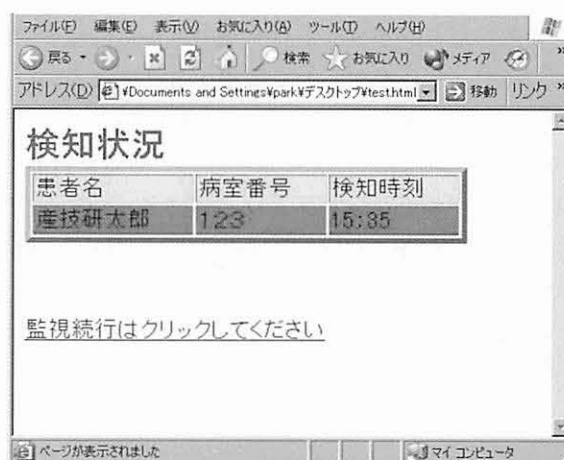


図9 看視ホスト画面  
Display of monitoring host

#### 4. 実験システムの製作

現在、プロトタイプを改良した実験システムの製作を行っている。プロトタイプとの違いは以下の通りである。

##### (1) デモ結果に対する改良

離床センサの信号のふらつきに対しては、ベッドのキャスターとセンサヘッドの接触部分が安定するような固定具を用いることにした。また、ベッドの端に患者がいると、荷重が偏るため、離床センサ側の荷重が小さくなり、離床と誤検知する場合がある。そこで、ベッドの4本の脚、それぞれの下に離床センサを設置し、全体の重量変動により離床検知を行うことにした。分散管理方式を採用していることにより、離床センサの増設およびアルゴリズムの変更は、コントローラのプログラムの変更のみで対応可能である。

赤外線センサの誤動作に対しては、信号線をシールドすることによりノイズの低減を図ることにした。

##### (2) メールによるセンサ情報通信

プロトタイプでは、センサコントローラとWebサーバ間の通信にはソケットを用いた。ソケットは単純な機能しかないので、センサ情報のやり取りに関しては、ストリームによる低レベルの入出力処理を記述する必要があり、プログラムの可読性が低かった。カメラをセンサに用いて、画像情報をやり取りする場合、プログラムが複雑になる。また、ネットワーク上での通信部分の受け渡しチャンネルとして、センサコントローラ側でポートを常時オープンにすると共に、ホスト側では、ポートを定期的に監視(ポーリング)するため、センサコントローラの増減、センサ構成の変更などの拡張を行うと、看視患者数が増加に伴い、ポート数も多くなり、ポーリング処理の時間が長くなる。

一方、徘徊は、同時多発的に起こることはなく、徘徊を検出したセンサコントローラのみから情報を受け取るだけでよく、全ポートを監視する必要はない。そこで、メールによるセンサ情報の通信を行うことにした。Webサーバ用PCにメールサーバー機能を追加し、ホストおよび各センサコントローラにメールアカウントを与える。徘徊を検出したセンサコントローラが、ホストのアカウントに検出のメールを送信する。また、センサの情報内容をメール本文または添付ファイルで送信する。ホストがメールの受信とともに、メール本文および添付ファイルの内容からブラウザに情報を表示させる。図10にメールを用いた実験システムの配置図を示す。図3と比べて、情報の受け渡しと処理を別のプログラムにすることになり、プログラムのメ

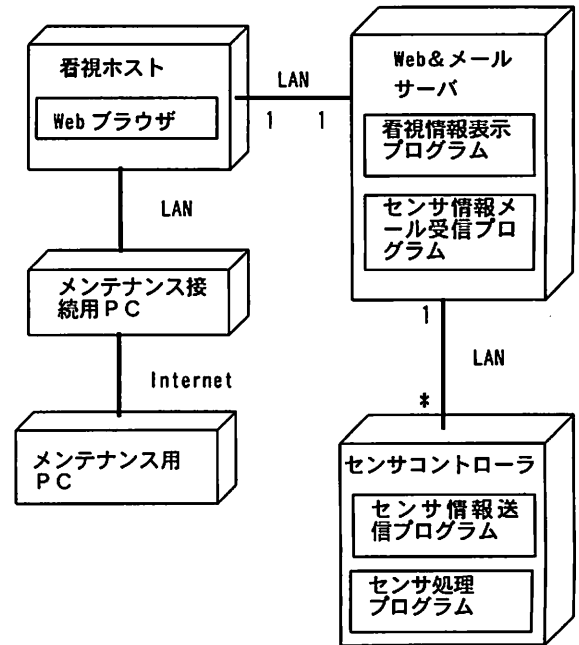


図10 実験システムの配置図  
Deployment diagram of experiment system

ンテナンス性が向上した。また、添付ファイルにより、画像情報 (CCD カメラをセンサとすれば) や詳細なセンサ情報を簡単に送ることができる。

##### (3) メンテナンス性の向上

産技研が技術開発、システムの設置場所は身障者センターである。従って、メンテナンスは産技研側が行うことになるが、別々の場所にあるので対応に遅れがある。そこで、看視システムと産技研側のメンテナンス用PCをインターネット回線で接続し、ホストまたはセンサコントローラのプログラムのバージョンアップを遠隔で行えるようにした。

#### 5. まとめ

病院内における高次脳機能障害患者用看視システムのプロトタイプの開発を行った。主な開発内容は以下の通りである。

- (1) 徘徊患者の誤検出の少ないセンサ構成およびアルゴリズムを提案した。
- (2) UML をシステム開発に使い、拡張性の高い LAN を用いたセンサ情報の分散管理型システム構成を提案した。
- (3) プロトタイプの試作を行った。
- (4) プロトタイプのデモンストレーションによる検討を行い、改良点および改良方法を提案した。

なお、本研究は、平成15年度大阪府提案調査型研究事業として採択された研究テーマである。本研究に

対し，システム開発にご協力いただいた情報電子部  
谷口正志氏に感謝します。

#### 参考文献

1) 筒井譲二, 田中智幸, 中尾敏章, 和中 剛, 光武義雄: 松

- 下電工技報, No.73 (2002) p.10  
2) 竹政昭利: はじめて学ぶ UML, ナツメ社 (2003)  
3) 渡辺博之, 渡辺政彦, 堀松和人, 渡守武和記: 組み込み  
UML, 翔泳社 (2002)