

医療現場における作業状況の推定・共有による相互連携支援手法の提案

岡田 昌也[†], 多田 昌裕[†], 奥北 和希^{†,‡}, 鳥山 朋二[†], 小暮 潔[†]

[†] (株) 国際電気通信基礎技術研究所 知識科学研究所, [‡] 大阪工業大学大学院情報科学研究科

概要 効率的かつ安全な実世界作業のためには、作業員同士の連携が重要である。しかし、病院の医療従事者など、作業員が空間的に分散している現場では互いの状況が理解しにくい場合、連携が困難な場合がある。本研究は、作業員の利用可能性（ある人が、他者の問題解決活動に協力できる程度）を彼らのスケジュール情報と位置情報から推定し、作業員の連携を円滑化するためのグループウェアシステムを提案する。実際の病院での移動データを用いてシミュレーション実験を行ったところ、問題発生時における作業員の連携を、本システムが効率化できる可能性が示唆された。

Collaboration Support in a Hospital by Estimating and Sharing Worker Situation

Masaya Okada[†], Masahiro Tada[†], Kazuki Okukita^{†,‡}, Tomoji Toriyama[†], and Kiyoshi Kogure[†]

[†] ATR Knowledge Science Laboratories

[‡] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

Abstract Although collaboration is essential for efficient and safe work, distributed workers (e.g., workers in a hospital) are hard to know mutual situations, and have difficulties to cooperate. We propose a groupware system for collaboration support that estimates worker's availability (i.e., the degree that a worker can help others' problem solution) using schedule and position information. Simulation experiments with movement data in a hospital showed that our system had potential for supporting efficient collaboration in problematic situations.

1 緒論

近年、情報通信やセンサの技術発展に伴い、実世界で分散し移動する作業員が相互協力することを支援可能となった。例えば、病院内で活動する医療従事者に対する支援が知られる [1, 2, 3]。人々の安全・安心に資す意味で医療分野を扱う意義は大きく、本研究は、医療現場を支える看護師の連携を支援する。

医療現場では、突如、問題（患者の容体の急変、急患の到着、院内暴力など）が発生し、複数の協同作業員の協力や、状況判断できる人の知識を要することがある。よって、物理的協力、知識交換など、看護師同士の連携を日常的に強化することが重要である [4]。しかし、看護師が空間的に分散する現場では、アウェアネス情報（他者の行動理解のために必要な非言語的文脈情報）[5] を、相互理解しにくくなる。そのため、互いがどこにいるか、取り込み中でないかなどを把握困難になる。その結果、必要な協力や知識を得るために長く待つなど、時間損失が生じて対応が遅れ、事態が悪化することがある。また、必要な知識が得られないまま問題に対応し、判断誤りが生じることもある。事実、このようなアウェアネス情報の共有不足が発生の一因となったと考えられるヒヤリ・ハットが医療現場で報告され [6]、深刻である。

本研究の課題は、医療現場に分散する看護師の状況を推定・共有することで、発生予測が難しい協同業務に対し、現場全体として円滑に連携可能とするこ

とである。第2章で医療関係者への聞き取り調査をもとに連携の問題を述べる。問題解決のためのシステムに関し、第3章で設計方針、第4章で実装、第5章で基礎性能を示す。第6章で研究成果をまとめる。

2 連携とアウェアネス情報

2007年1-3月、東京女子医科大学と国際電気通信基礎技術研究所で、医学系大学院現役教員（看護学）、現役看護師、看護師経験者など24名を対象として、対面型聞き取り調査を行った。そして、看護師の連携とアウェアネス情報の関係について次の知見を得た。

1. 緊急患者への対応など、至急、物理的に人の手が必要なときには、院内PHSで通話する（PHS）、ナースコールボタンを押す（NC）、廊下に出て声で助けを求める（Voice）などの方法（表1）で、協同作業員に協力を求めることが一般的である。しかし、居場所や忙しさなど、協同作業員の状況が見えないことが共通の限界である。例えば、協力依頼の相手が忙しいときには、協力依頼が無視・拒否されたり、気付かれなかったりする。そのため、協力確保に時間がかかり、即時的な問題解決が困難になる場合がある。
2. 実践経験の浅い新人看護師が、手続きの不明な業務に直面し状況判断に窮すときなど、知識レ

表 1: 問題発生時における典型的な協力依頼方法 (従来)。共通の限界は、協同作業者の状況が見えないこと。

| 依頼方法 | 長所 | 短所 |
|-----------------------|---|---|
| 院内 PHS で通話する (PHS) | 信頼する人 (熟練看護師など)、頼みやすい人 (仲のいい人など) を優先し依頼できる。 | 1 対 1 の交渉のため手間がかかる。自分で電話番号を入力し通話できる状況でなければ使えない。相手が忙しい場合、協力が得られない。相手が遠くにいる場合、到着に時間を要し対応が遅れる。 |
| ナースコールボタンを押す (NC) | 簡単な依頼方法で、ナースセンターにいる全ての協同作業者に対して一斉に依頼できる。 | ナースセンターに手隙の協同作業者がいない場合、協力が得られない。ナースセンターから遠い場所で問題が起こった場合、協同作業者の到着に時間を要し対応が遅れる。 |
| 廊下に出て声で助けを求める (Voice) | 簡単な依頼方法で、近傍の複数の協同作業者に対して一斉に依頼できる。 | 近傍に手隙の協同作業者がいない場合、協力が得られない。患者やその家族に現場の混乱が伝わり、不安感を煽ることがある。 |

ベルでの連携が必要な局面もある。しかし、自分の OJT (On-the-Job Training)¹ を担当する熟練看護師など、指示を仰げる人の居場所がわからず、かつそれ以外の人には心理的に聞きにくいなどの理由から、適切な知識が得られないことがある。この結果、新人看護師が状況判断を錯誤し、ヒヤリ・ハットや医療過誤を引き起こすことがある。

すなわち、多様な職務経験を持つ看護師 (新人看護師や熟練看護師など) が状況を共有し、問題状況に応じて円滑に連携可能とする必要があることが、一定数の医療関係者の知識・経験で裏付けられた。

3 システム設計方針

3.1 居場所と利用可能性の推定・共有

忙しい医療現場でのシステム運用を想定すると、利用者が自分の状況を手動入力するのではなく、システムが自動で状況推定を行う必要がある。本研究の用途では、看護師の状況の中でも、居場所や利用可能性を自動推定しなければならない。ここで、利用可能性とは、「ある人が、他者の問題解決活動に協力できる程度」と定義し、看護師が手隙のときに高く、多忙のときに低くとする。従来開発された医療現場の作業支援システム [1, 2, 3] では、Bluetooth や無線 LAN 電波強度などで利用者の居場所の推定は行ったが、利用可能性の推定を行うものではなかった。

看護師の状況推定においては、(1) 患者のプライバシーを保護する観点から、状況観測に有用であっても、利用に制約があるセンサ (環境設置型監視カメラなど [7]) が多いこと、(2) 歩き回ったり両手で作業する看護師に、動作を制約するようなセンサ類を装着

させられないこと、が基本的な困難である。利用可能性の推定については、これまで十分に看護師の行動が解明されていないことが、さらなる困難である。

本研究は、協同作業者の居場所や利用可能性を、患者のプライバシーを侵害せず、かつ看護師の動作を妨げない技術で自動推定し、看護師間で共有可能とすることを目指す。利用可能性の推定においては、病院での実際の業務行動を調査し、その知見を活用する。

3.2 小型端末による情報表示

看護師は、業務中、必要に応じて他者の状況を確認する必要がある。本研究は、医療現場に一般に導入され、看護師が常時負担なく携帯している PHS 端末を用いて、状況情報などを提示する。その際、迅速な状況判断が要される看護師に、情報解釈のための余計な時間や認知的負荷、状況判断のぶれなどを与えるべきでない。よって、瞬時に、かつ一意に状況判断できるように、情報をわかりやすく表現する。

3.3 問題状況に応じた連携の支援

本研究は、従来手法の長所・短所 (表 1) を参考に、問題状況に応じた方法で協同作業者との連携を支援する。具体的には、(1) 緊急でない問題時には、相手の利用可能性や依頼しやすさを考慮した上で連携を支援する、(2) 緊急の問題時には、迅速に駆け付けられる複数の人と簡単な方法で連携可能とする、(3) 問題発生の予防のために、看護師同士 (新人看護師と熟練看護師など) の連携を日頃から強化し、彼らの日常的なコミュニケーションを促す。

4 連携支援システム

第 3 章の設計方針に基づき、看護師の連携支援を目的としたグループウェアシステムの開発を、現在進

¹現場で実務を行う新人に、上司や先輩などが知識、技術などを継続的に指導し、業務処理能力などを育成する職場内訓練。

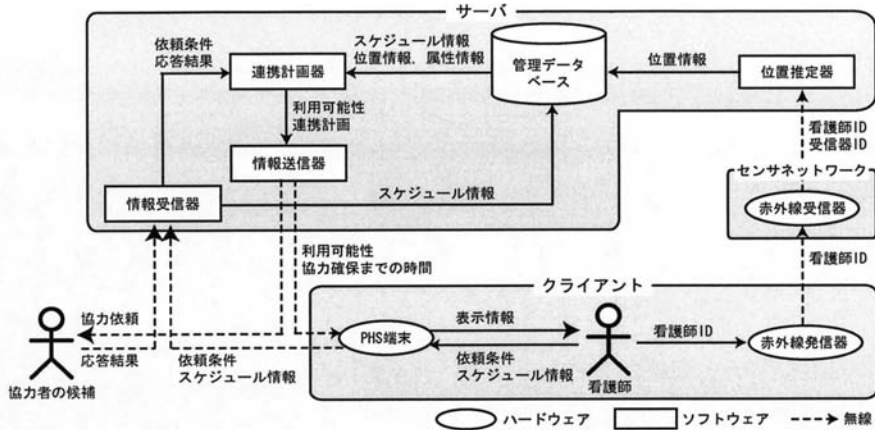


図 1: 提案システムの全体構成.

めている (図 1, 図 2). その実装を, 本章で述べる.

なお, システムに与える事前知識や, システムの評価には, ある総合病院 (大阪府) の一般病棟の一部 (以下, データ取得病棟; 38×25m; 病室 11 室 43 床) に通常勤務する看護師の実際の業務行動データを用いている. 具体的には, データ取得病棟の部屋や廊下の出入り口など (34 箇所) に施設した赤外線受信器群 [8] で, その下を通過した看護師 (後頭部に 6g の赤外線発信器を装着; 50Hz で ID 発信) の移動行動を観測・記録した時系列データである. また, 実際の看護師の行動を肉眼で観察しながら, いつどのような行動がなされるのかを記録し, その後, 文献 [9, 10] に基づく業務ラベルを用いて作成した, 時系列のアノテーションデータなどである.

4.1 クライアント

看護師は, 後頭部に赤外線発信器を付け, 首から PHS 端末 (157g) を掲げる. PHS 端末は, 通話機能だけでなく, プログラム実行環境 (.NET Compact Framework 2.0), タッチパネルディスプレイ (800 × 480), 無線 LAN 機能を備える. そして, サーバ情報の受信・表示, サーバへの情報送信に用いられる.

4.2 情報管理

看護師の行動には, 直接看護 (点滴, 測定, 全身清拭など), 診療補助 (医療機器操作など), その他 (日誌記録, 事務業務, カルテ整理, 歩行, 休憩など) がある [9, 10]. また, 一般に看護師の業務は, 予測性 (業務の発生が早期に予測できる程度), 確定性

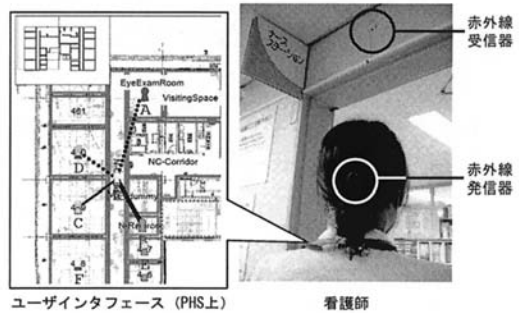


図 2: モバイルユーザーインタフェースによる状況共有.

(業務を実施しなければならない程度), 時間限定性 (時間を指定して行う程度) などで分類できる [11]. これらが高い業務 (外科手術の補助, 当日手術患者の手術室搬送, 与薬など [11]) は, 実施時間を事前に定められる. 看護師は, 予測性, 確定性, 時間限定性の高い業務のスケジュール情報 (内容, 実施者, 開始・終了時間) を, PHS 端末を用いてサーバへ送信し, 管理データベースに登録する (図 1) ².

また, サーバは, 赤外線受信器が感知した看護師の ID を無線 LAN を介して実時間に受信し, 現在, 各看護師がどのような空間的配置状況にあるかを管理データベースで管理する. 看護師の基本属性 (職位, 業務経験年数など) や人間関係 (仲が良く協力依頼をしやすい人, 上下関係など) に関する情報も, 管理データベースに格納される.

²一般的な院内情報システムが, 本システムが定めるように管理データベースへスケジュール登録を行った場合も, 本システムは動作することを想定している.

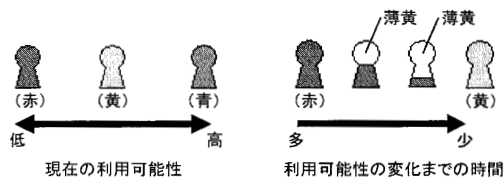


図 3: アバタを用いた利用可能性の可視化。

4.3 利用可能性の推定

サーバの連携計画器 (図 1) は、管理データベースの情報 (スケジュール情報、位置情報など) をもとに、ある時空間 (場所、時間) に存在する看護師の利用可能性を実時間で推定する。推定の粒度は、人が瞬時、かつ一意に状況を理解できるように (第 3.2 節)、3 段階 (高、中、低) とした。

4.3.1 スケジュール情報から推定

ある時点の看護師が行うべき業務が、管理データベースにスケジュール情報として登録されている場合、連携計画器はこの情報を信頼し、当該看護師は稼働予約時間はその業務を行っている (あるいは、行うべきである) とみなす。そして、業務内容に関する事前知識をもとに、業務内容と利用可能性を対応付け (外科手術の補助であれば利用可能性は低、など)、当該時間の看護師の利用可能性を決定する。また、連携計画器は、現在の利用可能性があとどの程度の時間で変化するかを、現在の業務の終了時間や次の業務の開始時間から推定する。

4.3.2 位置情報から推定

予測性、確定性、時間限定性 [11] が低い業務は、実施時間を事前に確定しにくい。看護師の現在の稼働が管理データベースのスケジュール情報から明らかでない場合、実世界の各場所で生起する業務行動に関する事前知識と、看護師の現在の居場所を照合し利用可能性を推定する。これは、直接看護と診療補助 [9, 10] を重要看護行為と定義し、データ取得病棟での実際の業務行動 (2 名、計 8.85 時間) を秒精度で分析したところ、重要看護行為の生起時間量が、場所 (診察室、面談室、処置室、病室、休憩室、ナースセンター、廊下、トイレ) ごとに異なることを認めたためである。

重要看護行為を中断することは看護師にとって心理的に許容しにくく [12]、かつ医療事故の危険を増

幅させる状況要因となる [13]。一方、その他の行動時は、中断が許容されることが知られる [12]。重要看護行為中は他者の問題解決に協力しにくいという観点から、本研究は、場所 i に存在する看護師の利用可能性に関する定量的指標 a_i を、次式で定義した。

$$a_i = 1 - \frac{n_i}{s_i} \quad (0 \leq a_i \leq 1)$$

i = 場所 (場所がもつ役割ごと)

n_i = 全看護師が、場所 i において重要看護行為を行った総時間量 (秒)

s_i = 全看護師が、場所 i にいた総時間量 (秒)

a_i は、重要看護行為の発生確率が低い場所で大きく、そうでない場所で小さくなる指標である。今回、上記の実際の業務行動データ (計 8.85 時間) で得られた n_i, s_i より a_i を算出し、その値をもとに、看護師の居場所が、休憩室、廊下、ナースセンターであれば利用可能性は高、病室、処置室、面談室であれば利用可能性は中、診察室、トイレであれば利用可能性は低とした。

4.4 利用可能性の表現

PHS 端末は、サーバの情報送信器から情報 (看護師の ID・居場所・利用可能性、看護師同士の関係性など) を実時間に受信する (図 1)。端末上には、現場の全体地図 (左上) と現在の居場所周辺の詳細地図が表示され、その上で各看護師がアバタ (名前がテキストで併記) として表現される (図 2)。アバタの色は、看護師の現在の利用可能性を表す (図 3)。また、現在の利用可能性が変化するための残り時間を推定できるときは (第 4.3.1 項)、アバタを塗りつぶす量でそれを表現する。例えば、利用可能性が低から中に変化するときは、赤から黄へ段階的に表示変更される (図 3)。また、関係のある看護師同士 (新人看護師と、それを監督する熟練看護師など) は、アバタ同士を線 (線種は任意) で接続し表現される。

4.5 状況を考慮した連携の支援

4.5.1 協力依頼 (通常)

看護師は、問題発生時にタッチパネル上で入力テンプレートを操作し、協力依頼の条件 (必要な看護師の人数や業務経験年数など; 特定の個人を指定する場合は個人名) をサーバへ送信する。連携計画器は、受信した条件に適合する人の中から、利用可能性が高く、短い移動時間量で来られる人を、協力者

の候補（優先順位付き）として求める³。そして、必要人数分の協力者の候補に対して協力依頼を同時送信する。

協力者の候補は、PHS 端末で協力依頼を閲覧し、タッチパネルなどで協力依頼への応答処理（受理、拒否）を行える。サーバは、協力者の候補から一定時間以内に受理通知を受け取らなかった場合、協力依頼が無視・拒否された、あるいは気付かれなかったとみなす。そして、不足人数分の協力を確保するために、優先順位が次点の協力者の候補に協力依頼を送信する。サーバは、協力を約束した人が到着する時間を移動の距離や経路などから推定し、協力依頼を行った看護師に通知する。

4.5.2 協力依頼（緊急）

院内暴力発生時などには、看護師は PHS 端末の特定ボタンを長押しするだけで、迅速に來られる距離にいる人のうち多数の人に対し一斉に緊急の協力依頼（警告音付き）を行える。通常の協力依頼とは異なり、利用可能性が高あるいは中の人が多人数いない場合、利用可能性が低であっても協力依頼を通知し、可能な限り協力を求める。また、対応の迅速化のために、協力者の候補からの応答処理を要求しない。

4.5.3 日常的な連携強化

本システムにより、新人看護師は、現場の雰囲気（全体の繁忙状況など）の変化を把握し、熟練看護師が空き状態にあるときを見計らって、指示を得に行くことができる。その際、相手の利用可能性が後ほど下がるようであれば早めに相手に接触し、逆に、相手の利用可能性が後ほど上がるようであれば相手の手が空くまで待つことができる。一方、熟練看護師は、自分のアバタと新人看護師を任意の線（例えば、特に心配な新人看護師は太線、概ね心配ないが念のため気にかけておく新人看護師は点線）で接続できる。そして、彼らの所在を見失うことなく見守り、自分の手隙時には彼らを訪ねて、困っていることがないかを聞いたり手助けを行える。

5 シミュレーション実験

人命をあずかる実際の医療現場で、様々な実験パラメータを用いた統制実験や長時間の実験を行うこ

³管理データベースに協力依頼しやすい人が登録してあれば、協力者の候補として優先することもできる。

表 2: シミュレーションモデルの設計.

| 項目 | 内容 |
|-----------------|--|
| 仮想空間 (hospital) | データ取得病棟の実際の構造（部屋のサイズや配置、部屋と廊下のつながり、移動の制約など）を再現. |
| エージェントの挙動 | 問題状況時に、PHS を用いる worker は、無作為に collaborator に協力依頼を行う。NC ではナースセンターの collaborator に対して、Voice では距離近傍の collaborator に対して一斉に、協力依頼を行う。提案手法では、collaborator の利用可能性を考慮して協力依頼を行う。collaborator は、場所ごとに設定された依頼受理確率で、依頼を受理/拒否する. |
| コスト | 移動時間、協力依頼方法ごとの依頼操作時間、応答所用時間など. |
| 問題状況 | 問題の重大さごとに、必要な協同作業人数（1-6 人）や問題発生確率などを設定. |

※実験の単純化のためスケジュール情報は用いなかった。

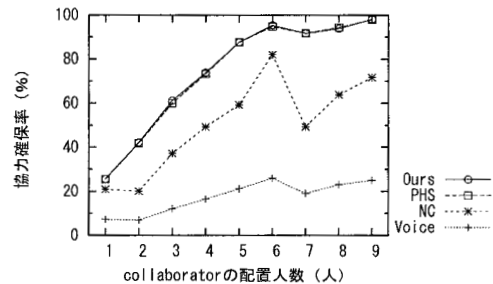


図 4: worker が協力を確保できた割合.

とは現実的には難しい。よって、次善の策として、実際の業務時に得られた看護師の移動データ（9名、計 82.67 時間；データ取得病棟で獲得）を用いて、現場の問題発生時の連携を模擬したマルチエージェントシミュレーション実験を行った。

実験に際して、協力依頼者エージェント (worker) と協同作業者エージェント (collaborator) の挙動、問題状況、協力依頼方法（本研究の協力依頼（通常）、従来の PHS、NC、Voice）などをモデル化した（表 2）。その際、定性調査（聞き取り、現場の観察）での知見を参考にした。1 試行では、(1) 移動データから 1 時点が無作為抽出、(2) その時点における看護師の実際の空間的配置状況を、collaborator の位置として仮想空間 hospital 上に再現、(3) 無作為に選ばれた場所に存在する worker が、無作為に選ばれた問題状況に直面し、ある協力依頼方法で collaborator と連携、を行う。実験では、看護師の実際の配置人数ごと（1-9 人）に、各協力依頼方法で 1,000 回試行した。

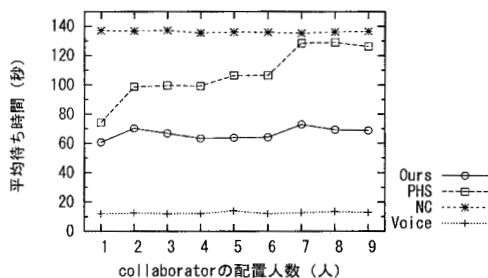


図 5: 協力確保（成功）時の worker の平均待ち時間.

実験結果を述べる．実際の現場では勤務シフトごとに協同作業者の数が異なるが，図 4 から，どの方法でも collaborator が少ないときは worker が協力確保できる割合が低いことがわかった．これから，看護師の配置が手薄な現場の状況では，問題への対応力が低いことが伺える．また，全般に Voice や NC では worker の協力確保率が低く，現場の問題意識（表 1）と整合する結果になった⁴．提案手法（Ours）と PHS は，ほぼ同様にいずれの状況でも他手法より協力確保率が高かった．また，提案手法は，協力確保までの平均待ち時間が安定して小さかった（図 5）．すなわち，看護師が状況情報を共有することで，問題発生時に迅速かつ確実な連携が可能となることが示唆された．

6 まとめ

著者らが医療関係者への定性調査で裏付けたように，現状の医療現場では，現場を支える看護師同士のアウェアネス情報の共有が不十分なため，業務連携の無駄や医療過誤に繋がる芽が潜んでいる．

本研究は，センサ使用が制約される医療現場で看護師の居場所と利用可能性を推定・共有し，看護師の連携を支援するシステムを提案した．本システムは，看護師の業務の中でも予測性，確定性，時間限定性の高いものに注目し，スケジュール管理することで，現在や将来の利用可能性を推定している．また，スケジュール管理しにくい業務時も，実際の病院の各場所で生起する業務行動に関する事前知識と，センサネットワークが観測する人の行動情報を照合し，利用可能性を推定している．これらの特徴をもつ本システムによって，看護師同士が状況を共有し

⁴業務上ナースセンターにたまたま人が多く集まっていたときは（配置人数が 6 人のとき），NC の協力確保率が上昇している．

互いに自然に気を利かせられるようになれば，チームとしての連携効率と安全性の向上が期待される．

謝辞 聞き取り調査の一部の実施に協力頂いた東京女子医科大学金井 Pak 雅子教授，聞き取り調査に参加頂いた医療関係者の皆様に感謝します．一部データを提供頂いた国際電気通信基礎技術研究所納谷太氏に感謝します．本研究は，情報通信研究機構の委託研究「日常行動・状況理解に基づく知識共有システムの研究開発」によります．

参考文献

- [1] Bardram, J. E., Hansen, T. R. and Soegaard, M.: AwareMedia: a shared interactive display supporting social, temporal, and spatial awareness in surgery, *Proc. CSCW '06*, New York, ACM, pp. 109–118 (2006).
- [2] Hansen, T. R., Bardram, J. E. and Soegaard, M.: Moving Out of the Lab: Deploying Pervasive Technologies in a Hospital, *Pervasive Computing*, IEEE, pp. 24–31 (2006).
- [3] Muñoz, M. A., Rodríguez, M., Favela, J., Martínez-García, A. I. and González, V. M.: Context-Aware Mobile Communication in Hospitals, *Computer*, Vol. 36, No. 9, pp. 38–46 (2003).
- [4] 内川洋子, 吉田道雄: 病院における看護経験 4～5 年目の看護婦の行動分析 (2): 上司や部下に対する行動の収集と分析, 熊本大学教育学部紀要, 人文科学, Vol. 49, pp. 11–23 (2000).
- [5] Dourish, P. and Bellotti, V.: Awareness and Coordination in Shared Workspaces, *Proc. CSCW'92*, ACM, pp. 107–114 (1992).
- [6] ヒヤリ・ハット事例 (重要事例) 情報データベース: <http://www.hiyari-hatto.jp>.
- [7] 小清水隆, 鳥山朋二, 西尾修一, 馬場口登, 萩田紀博: 映像サーベイランスにおけるプライバシー保護のための視覚的抽象化の提案, 情報処理学会研究報告 2006-CVIM-153, Vol. 2006, No. 25, pp. 247–252 (2006).
- [8] 坂本龍哉, 大村廉, 納谷太, 野間春生, 鳥山朋二, 小暮潔, 佐野睦夫: 複数人物移動軌跡を観測するセンサネットワークにおける時刻同期精度の評価, 情報処理学会研究報告 2007-UBI-15, Vol. 2007, No. 74, pp. 35–40 (2007).
- [9] 日本看護協会 (編): 日本看護協会看護業務基準集, 日本看護協会出版会, 東京 (2004).
- [10] 日本看護科学学会看護学術用語検討委員会 (編): 看護行為用語分類—看護行為の言語化と用語体系の構築, 日本看護協会出版会, 東京 (2005).
- [11] 横内光子, 大野ゆう子, 笠原聡子, 沼崎穂高, 石井豊志: 業務スケジュールリングからみた看護業務属性の検討, 生体医工学, Vol. 43, No. 4, pp. 762–768 (2005).
- [12] 宮前雅一, 納谷太, 鳥山朋二, 金井 Pak 雅子, 小暮潔: 看護師向け情報提示システム構築に向けた予備的考察, 情報処理学会研究報告 2007-MBL-42, Vol. 2007, No. 98, pp. 89–96 (2007).
- [13] 川村治子: 医療安全, 医学書院, 東京 (2005).