

# 看護師の業務理解のためのモデルと観測結果の照合手法について

## Workflow Model for Error Detection Method in Nursing Care

桑原教彰<sup>\*1\*2</sup> 小作浩美<sup>\*2</sup> 納谷太<sup>\*2</sup> 阿部明典<sup>\*2</sup> 小暮潔<sup>\*2</sup> 大星直樹<sup>\*3\*2</sup>  
 Noriaki Kuwahara Hiromi Ozaku Futoshi Naya Akinori Abe Kiyoshi Kogure Naoki Ohboshi

<sup>\*1</sup> 京都工芸繊維大学 <sup>\*2</sup> ATR 知識科学研究所 <sup>\*3</sup> 近畿大学  
 Kyoto Institute of Technology ATR Knowledge Science Laboratories Kinki University

We are conducting the research and development of a nursing care support system by utilizing a ubiquitous sensor network in a hospital for warning nurses when a mistake takes place or when a necessary procedure is absent. In this paper, we propose an error detection method with the following features, (1) it uses nursing a work flow model in RDF; (2) it monitors and checks the progress of a work flow by using a ubiquitous sensor network; and (3) it warns a nurse or nurses only when it detects a malpractice which can be a potential cause of a serious accident. We first present our system architecture that realizes such an error detection method. Next, we show preliminary experiments using data of the intravenous drip procedure in the experimental setup and the cataract nursing in actual scene, by which we have confirmed the feasibility of our method.

### 1. はじめに

我々は、音声や行動に伴う加速度データを記録する装着型センサや赤外線を用いた環境設置型の通過センサなどからなるユビキタスセンサネットワーク技術を用い、看護師の日常業務を妨げずに看護業務を観測、理解する技術の研究開発を行っている [小暮 06]。これらユビキタスセンサによって観測、理解された看護業務が、適切な看護業務フローにのっとったものであるかを自動的にチェックし、事故に繋がる可能性のある実施上の誤りがある場合に、看護師にただちに警告、注意を与えるシステムを実現できれば、有用な医療事故対策のひとつとなる。そのようなシステムを構築するためには、看護業務フローをモデル化して、ユビキタスセンサネットワークで観測されたデータを、そのモデルに基づいて検証するメカニズムが必要である。しかし従来、そういった目的で作られた看護業務フローのモデルは存在しない。看護業務が正しく実施されているかを理解するには、医療スタッフ、患者、システム、機材、薬剤など、看護師が看護業務中に関わる全ての人、物との間のインタラクションや、それに対する行為が記述されたモデルが必要である。

本論文ではまず、観測データとモデルとを照合する手法の概要を示す。次にユビキタスセンサネットワークで観測されたデータを、看護業務に関わる実世界の看護師、患者を含む対象物の状態へ対応付けるルールや、個々の対象物の状態から看護業務の状態を導出するルールを SWRL で記述する枠組みと、ルール構築のための予備検討の結果を述べる。そして看護業務フローのモデルを OWL-S のフロー制御の語彙を導入して記述する枠組みを説明する。次に、そのモデルを用いて看護業務フローを検証するアルゴリズムと、その予備検討の結果について述べる。

### 2. 提案手法の概要

センサネットワークで観測されたデータを、看護業務フローのモデルと照合するためには、まず看護業務フローモデルを記述する語彙と観測データとの関連付けが必要である。すなわち、図 1 のセンサネットワーク管理レイヤーの、看護師の位置を特

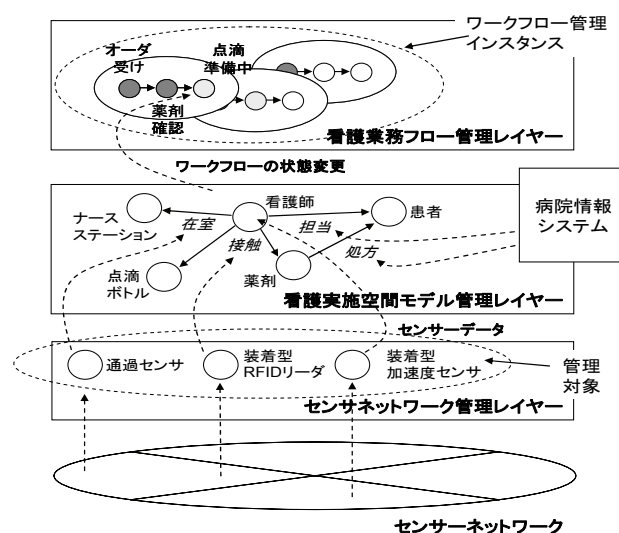


図1 提案手法の概要

定するために病棟内に設置された通過センサ、看護師が装着する RFID リーダ、加速度センサなどからの観測データに基づいて、看護実施空間モデルの看護業務に関わる看護師や患者、薬剤や医療器具を表したインスタンスの状態やインスタンス間の関係を適切に更新しなければならない。例えば、看護師の装着した加速度センサの情報から、歩いている、止まっているなどの看護師の動作が識別され、看護師の状態変数としてそれが設定される。また例えば、通過センサがナースステーションに入る看護師を検出すれば、ナースステーションと看護師の間に「在室」の関係を生じさせる。看護実施空間モデル管理レイヤーは、センサデータと看護業務の世界を記述するオントロジーや、それらの間を関連付ける推論規則を統一的に扱う枠組みを提供していることから、看護業務のドメインに特化したセマンティック・センサネットワーク[古山 06]と考えることができる。

またインスタンス間の関係はセンサからの観測データだけでなく、病院情報システムからのデータを基にした更新もありえる。例えば、看護師がどの患者を担当しているのか、また患者にどのような薬剤が処方されたのかといった情報は、看護支援システムやオーダーリングシステムから得られる情報であり、それに基づいてインスタンス間の関係が生成、更新、削除される。

連絡先: 桑原教彰, 京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科 先端ファイブ科学部門, nkuwahar@kit.ac.jp

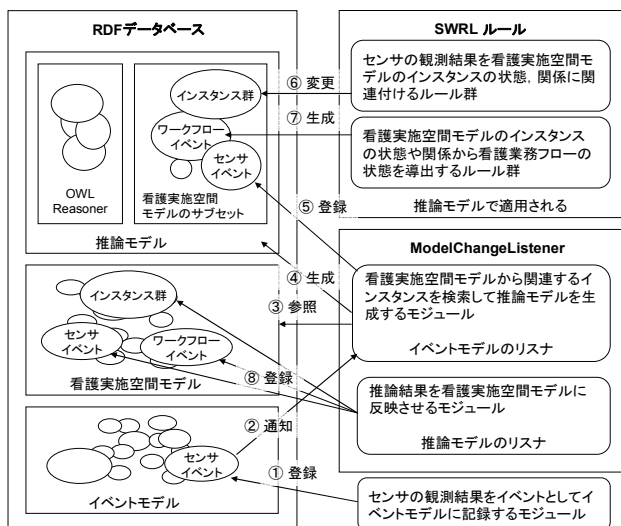


図2 本レイヤーの内部構成

次に、それら看護業務に関わるインスタンスの属性や、インスタンス間の関係を使って、看護師の実施中の業務の状態が導出され、それが看護業務フロー管理レイヤーのワークフロー管理インスタンスに通知される。ワークフロー管理インスタンスは受け取った状態を、看護業務フローモデルに基づいて検証する。

### 3. 看護実施空間モデル管理レイヤー

本章では、センサの観測データに基づいて看護業務に関わるインスタンスを管理する、看護実施空間モデル管理レイヤーについて詳細な構成を説明し、さらに SWRL を用いてセンサの観測データに基づいて対象物の状態や関係を導出する仕組み、およびそれらを用いて看護業務の状態を導出する仕組みについて述べる。

#### 3.1 本レイヤーの内部構成

図2に本レイヤーの内部構成を示す。図2のリリスナは、RDF データベース上のインスタンス群を監視し、それらの追加、更新、削除の際に、特定の処理(モジュール)を呼び出す。リスナが監視するインスタンス群のことをモデルと呼ぶ。例えば観測データに対応するセンサイベントはイベントモデルに属し、その追加を監視するのがイベントモデルのリリスナである。また、推論の結果、インスタンスや関係が追加、変更されたことを監視するのが、推論モデルのリリスナであり、推論に関わるインスタンス群は推論モデルに属している。以下では SWRL のルールがどのように適用されるのかを、図2中の①から⑧に対応させて説明する。

1. センサネットワークからの観測データはセンサイベントとしてイベントモデルに追加される。[図2-①]
2. それをトリガに推論モデルを構築するモジュールが呼ばれる。[図2-②]
3. このモジュールは、追加されたセンサイベントに関わる看護実施空間モデルのインスタンス群を用いて推論モデルを生成し、SWRL ルールを用いてインスタンスの状態や関係を推論する。[図2-③-④]
4. 上記を実施するために、上記モジュールは追加されたセンサイベントを推論モデルに追加する。[図2-⑤]
5. 推論モデルではセンサイベントが追加された事で、SWRL ルールが適用され、推論モデル上の看護実施空間モデルに対応するインスタンス群の状態や関係が変更される。[図2-⑥]

```

a. Checked Medicine Event Rule
en:id(?x, ?a) ^ en:sensingFrom(?x, ?y) ^ en:checkedMedicine(?x, ?b)
  ^ en:type(?x, en:CheckedMedicineEvent) ^ en:checkedMedicineList(?y, ?c)
  ^ en:type(?y, en:Nurse)
→ swrlb:listConcat(?c, ?b)

* Definition
- ?x : CheckedMedicineEvent Resource (Sensor Network Event)
- ?y : Nurse Resource
- ?a : Value ( → id )
- ?b : Value ( → Medicine Resource )
- ?c : Value ( → Checked Medicine List Resource )

- swrlb:listConcat(?c, ?b) : Custom Built-in
    
```

図3 看護実施空間モデルのインスタンスの状態、関係を導出するルールの例

```

a. Generate ChangeWorkFlowEvent (Mix Meds Step)
en:id(?x, ?a) ^ en:type(?x, en:Nurse) ^ en:nurseOfWorkFlow(?m, ?y) ^ en:tb
  ^ sameAs(?x, ?y) ^ en:location(?x, ?b) ^ en:fullName(?b, "Medicine Prepa
  ^ en:usedTool(?x, ?c) ^ en:fullName(?c, "Mix Tool") ^ en:checkedMedicin
  ^ en:orderOfWorkFlow(?m, ?g) ^ en:medicineOrder(?g, ?h) ^ swrlb:list
→ swrlb:genChangeWorkFlowEvent(?m, "MixMeds")

* Definition
- ?x : Nurse Resource
- ?y : Nurse Resource
- ?m : WorkFlow Resource
- ?a : Value ( → id )
- ?b : Value ( → Location Resource )
- ?c : Value ( → Tool Resource )
- ?e : Value ( → Medicine List Resource )
- ?g : Value ( → Order Resource )
- ?h : Value ( → Medicine List Resource )

- swrlb:listEqual(?e, ?h) : Mapping Jena Built-in
- swrlb:genChangeWorkFlowEvent(?m, "MixMeds") : Custom Built-in
    
```

図4 看護業務フローの状態を導出するルールの例

6. その変更をトリガにして、さらに SWRL ルールが適用され、ワークフローインスタンスの状態を変更するワークフローイベントが生成される。[図2-⑦]
7. 推論モデル上のこの変更結果は、推論モデルを監視しているリスナにより対応するモデルに登録される。[図2-⑧]

上記で、参照されるルール群は SWRL を用いて記述しているが、実装上、RDF データベースとして Jena を用いたことから、SWRL のルールを Jena のルールに変換して使用している。

#### 3.2 SWRL を用いた対象物の状態や関係の導出

図3は、センサイベントが通知された結果に応じた、看護実施空間モデルのインスタンスの状態、関係の更新を、推論モデル上で導出するルールの例である。看護師がバーコードリーダーあるいは RFID タグリーダーなどで、薬剤のチェックをすることで、センサネットワーク管理レイヤーからセンサイベント (CheckedMedicineEvent Resource) が図2のイベントモデルに書き込まれ、それをトリガに推論モデルが構築される。そして推論モデル上でこの SWRL ルールが適用されると、看護師インスタンス (Nurse Resource) のプロパティである確認済み薬剤リスト (Checked Medicine List Resource) に、チェックされた薬剤のインスタンス (Medicine Resource) が追加される。図2で示したように、この更新結果は看護実施空間モデルに反映される。本ルールで導出される節で使用されている述語 swrlb:listConcat は、RDF Resource がプロパティにリスト構造を持つとき、そこに Resource を挿入する機能を実現するため、SWRL に新たに追加、実装した述語である。

#### 3.3 SWRL を用いた看護業務の状態の導出

図4は、看護実施空間モデルのインスタンスの状態、関係から、看護業務フローの状態を推論モデル上で導出するルールの例である。看護師インスタンス (Nurse Resource) の属性 location が与薬準備スペース ("Medicine Preparation Room") で、また属性 usedTool に設定されている医療器具 (Tool Resource)





図 5 観測データの収集方法

が点滴準備に関するもの(“Mix Tool”)であり、さらに患者のオーダー(Order Resource)に設定されている薬剤リスト(Medicine List Resource)を看護師が扱っている場合に、点滴準備中(“MixMeds”)に対応するワークフローイベント(Workflow Resource)を、swrlb:genChangeWorkflowEvent という述語を用いて生成し、推論モデル中に書き込まれる。図 2 で示したように、推論モデルに追加されたこのワークフローイベントは、看護実施空間モデルに反映される。本ルールで導出される節で用いられている述語 swrlb:genChangeWorkflowEvent は、その目的のために、SWRL に新たに追加、実装した述語である。

### 3.4 看護業務の状態を導出するルール構築についての予備検討

看護業務インスタンスの状態や関係に基づいて、看護師の実施している業務の状態を導出するためのルールを、観測データ主導で構築する予備検討を実施した。具体的には、点滴業務を対象として、看護師が触れたり操作したりしている器材、薬剤に RFID タグを付与し、それを看護師の指に装着した RFID リーダで読み取った。その結果に看護師の作業場所の情報を加えて特徴量とし、それを C4.5 決定木学習によって分析することで、看護師の実施している業務が識別可能であるかを検討した [猪股 07]。

#### 3.4.1 観測データの収集とテストデータの作成

点滴業務のテキストから識別対象とする点滴業務のシナリオを作成し、実験室環境において看護師にシナリオに基づく点滴業務を実施させた。それをビデオで撮影し分析することで、点滴物品準備、点滴混注、点滴作成、点滴作成後処理、点滴接続前準備、点滴針刺入などの 12 ステップを識別対象とした。次に各ステップの識別に用いる器材、薬剤を決定するため、看護師が触れる 29 個の器材、薬剤に RFID タグを付与した。触れる位置のばらつきを考慮して、それらに対して 35 個の RFID タグを使用した。実験は被験者 1 名(元看護師、経験年数 10 年以上、女性)が、上記シナリオに沿って点滴業務を 3 回試行し、触れた器材、薬剤の RFID タグデータを収集した。図 5 のように看護師は腕に RFID リーダ(ウェルキヤット製 WIT-150-T)を装着し、器材などに付与された RFID タグのデータを指先のアンテナで読み取り、それを随時 Bluetooth 経由で PC へ送信した(サンプリングレート: 平均 16Hz)。実験で看護師が RFID リーダを装着した様子と、使用した医療器材などに RFID タグを付与した様子を図 5 に示す。実験で得られたタグから各器材、薬剤の接触

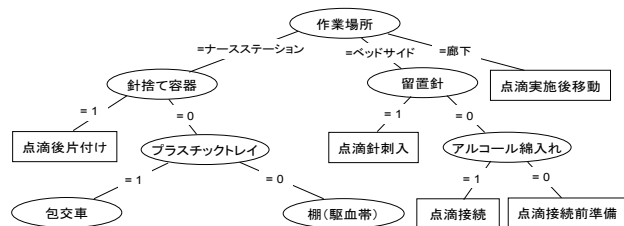


図 6 分析の結果得られた決定木の一部

情報を 0 か 1 の 2 値で表し、看護師の作業場所(ナースステーション、廊下、病室)を付加してこれを特徴量とした。

### 3.4.2 RFID タグと作業場所による点滴業務の識別結果

特徴量にスライディングウィンドウ(オーバーラップ率 50%)を適用して学習データを生成し、点滴業務の各ステップを教師データとして C4.5 決定木学習により点滴業務の各ステップを識別した。点滴業務の各ステップの識別率は、ウィンドウ幅 0.5 秒から 10 秒の間で 3 試行分全データを用いた 10-fold cross-validation により評価した。その結果、ウィンドウ幅が 6 秒のときに、最も高い識別率、76.2%を得た [猪股 07]。図 6 に分析の結果得られた決定木の一部を示す。識別率に関して、ウィンドウ内に現れる器材、薬剤が少ない場合に誤認識が発生しているので、当該ウィンドウだけでなく前後のウィンドウも考慮することで、さらなる改善が期待される。以上のように、観測データに対するこのような分析結果を基にして、3.3 節で述べた、看護業務の状態を導出する SWRL ルールを構築することが出来る。

## 4. 看護業務フロー管理レイヤー

本章では、看護師が実施している看護業務の状態の導出の結果を検証するために用いる、看護業務フローモデルと、それに基づいて看護業務の状態を検証するアルゴリズムについて述べる。

### 4.1 看護業務フローモデルと検証アルゴリズム

看護業務フローをモデル化するにあたって標準化動向も考慮し、セマンティック Web で規定されているオントロジー記述言語 OWL に基づき、Web サービスの連携を記述するための枠組である OWL-S を参考にした。本来、OWL-S はプリミティブな Web サービスをフロー制御によって組み合わせることによって、より高機能なサービスを構築することを目的としたものである。看護業務フローモデルの構築においては、サービスを看護師の作業と読み替え、点滴や清拭といった看護業務を患者の名前の確認作業、物品の準備作業といったプリミティブな作業の組み合わせとして表現するために使用した。OWL-S でのフロー制御を表す語彙を用いて、看護業務の各ステップを配置して組み合わせることで、看護業務フローモデルを構築する。そのために、当該病院の業務マニュアルから看護業務の最小単位を抽出して、それを 1 つのステップとした。図 7 に、病院 A での眼科病棟における、白内障の手術当日の術前術後の処置をモデル化した例を示す。

我々は既に、観測データから抽出された看護師の 1 日の業務の系列(シナリオ)と観測データを比較することで、ヒヤリ・ハットを検出する方法を、仮説推論に基づいて定式化した [Abe 07]。本アルゴリズムはさらに、看護業務の観測結果が前述の看護業務フローモデルから外れたこと(エラー)を検出した場合に、それがヒヤリ・ハットや事故に繋がる可能性があるか否かを判断し、



図7 白内障手術当日の術前術後処置のモデル

可能性が極めて低いと判断した場合には、仮説推論の考え方に基いて観測結果を説明する仮説を立て、それ以降の看護業務の検証を継続可能とすることを特徴としている。これはアルゴリズムがエラーを検出するたびに看護師に注意喚起を促すことが、かえって業務の妨げになる可能性があることを考慮したものである。

4.2 アルゴリズムの有効性についての予備検討

本アルゴリズムの有効性を確認するために、実際の看護業務の観測データに対して、前述の白内障の手術の術前術後の処置に関して構築した看護業務フローを用い、エラーの検出が可能であるかを検証した。実験に使用したデータは、関西のA病院の協力を得て構築したセンサネットワークを用いて収集した観測データを基に作成した。

4.2.1 観測データ収集とテストデータ作成

観測データの収集は2006年4月18日から22日の5日間で、眼科などの複合病棟において、経験年数の違う看護師のべ49人のデータを取得し、作業時間のべ450時間分のデータを得た。観測データは、赤外線通過センサ [Noma 06] によって得られた各看護師の位置情報と、イベント駆動型音声記録装置 [Ozaku 06] によって収集された看護師の発話データを書き起こして得られた、看護師の実施した業務の内容からなるものである。その結果、テストデータとしては、5人の白内障患者に対する手術当日の術前術後の看護業務の履歴を得た。

4.2.2 テストデータの検証結果

前述のデータに対して、看護業務フローの検証アルゴリズムを適用し、業務の実施忘れである「手順抜け」のエラーと、実施手順を誤った「手順前後」のエラーの検出を実施した。その結果、すべてのデータについて「手順抜け」と「手順前後」を正しく検出できることを確認した。表1にその結果を示す。

表1が示すように、実際の観測データを基にした検証結果からは「手順抜け」が非常に多く検出される場合があった。しかし、実際にそのように多くの処置を実施しない状態で患者が適切に手術を受けられるとは考えられない。この結果は、看護師が発

話により自発的に業務内容を入力することを多忙で忘れた等、今回のデータ収集方式に起因するものであると考えられる。

表1 各患者におけるエラー率の割合と担当看護師

対象患者	手順抜け率	手順前後率	担当看護師 (経験年数)
患者A	0%	4%	看護師A (2年)
患者B	25%	8%	看護師A (2年)
患者C	65%	0%	(前半) 看護師B (5年) (後半) 看護師C (4年)
患者D	30%	4%	(前半) 看護師D (13年) (後半) 看護師E (6年)
患者E	48%	0%	看護師C (4年)

5. まとめ

本論文では、ユビキタスセンサによって観測、理解された看護業務に、事故に繋がる可能性のある実施上の誤りがある場合に、看護師にただちに警告、注意を与えるシステムを実現するために、センサの観測データを看護実施空間モデルに反映させ、その結果として看護師の実施している業務の状態を導出する手法と、導出された状態が看護業務フローにのっとって正しいかどうかを検証する手法について述べた。またそれぞれの手法についての予備的な検討とその結果について述べた。現在のところ看護実施空間モデルとして、点滴処置の非常にシンプルな例をモデル化したのみであり、また看護業務フローモデルとしては白内障の術前術後処置を扱ったのみに過ぎないが、今後は各種の看護業務フローモデルを構築し、それに対応する看護実施空間モデルを構築して、実時間での看護業務のモニタリング検証につなげて行きたい。

謝辞

本研究は情報通信研究機構(NICT)の研究委託により実施したものである。RFIDタグによる看護業務識別の予備検討に協力いただいた、猪股知仁氏に感謝する。看護業務フローの検証の予備検討に協力いただいた、竹内裕晴氏に感謝する。システムの実装に協力いただいた、齋藤幸示氏と Lee John Chan氏に感謝する。また観測データの収集実験の被験者として協力いただいた、看護師の皆様へ感謝する。

参考文献

[小暮 06] 小暮潔 他: 医療現場における知識共有技術, 映像情報メディア学会誌, Vol.60, No.19, pp.1551-1555, 2006.  
 [古山 06] 古山真之 他: Viewlonによるセマンティック・センサネットワーク情報の可視化, JSAI2006, 1G1-6, 2006.  
 [猪股 07] 猪股知仁 他: RFIDタグを用いた作業行動識別に関する検討, 信学会2007年総合大会, D-12-120, 2007.  
 [Abe 07] Abe A., et al.: Scenario Violation in Nursing Activities - Nursing Risk Management from the viewpoint of Chance Discovery, Soft Computing Journal, Vol.11, No.8, pp.799-809, 2007.  
 [Noma 06] Noma H., et al.: Sensor Network Management for Understanding Everyday Activities, Proc. of the Workshop on Knowledge Sharing for Everyday Life, pp.17-24, 2006.  
 [Ozaku 06] Ozaku H.I., et al.: A Task Analysis of Nursing Activities Using Spoken Corpora, Advances in Natural Language Processing, Research in Computing Science, Vol.18, pp.125-136, 2006.