

操業者の行動分析にもとづくワークフロー詳細化手法

楼天甲[†] 白山晋^{††} 稗方和夫[†] 大和裕幸^{†††}

我々は、操業支援システムの改善のために、人間とシステムの相互間で生じる情報に対してワークフローに基づく構造化と階層化を試みている。この際に、ワークフローの詳細化が正確な情報処理において必要になる。本稿では、視線計測と位置計測からの操業者の行動分析により、操業者の知識として記述されていない慣習的な行動や、気づきを顕在化し、ワークフローを詳細化する。

Development of Detailed Specifications for a Workflow using Human Behavior Analysis

TIANJIA LOU[†] SUSUMU SHIRAYAMA^{††}
KAZUO HIEKATA[†] HIROYUKI YAMATO^{†††}

In order to improve an operation support system, we have tried to structurize/formalize and hierarchize information occurs from interactions between human and the system. A workflow becomes one of the key components for the structurization/formalization and hierarchization of information. And then, detailed specifications of the workflow are required for the accurate handling of information. In this paper, we propose a new approach for the development of detailed specifications for the workflow. The approach is based on human behavior analysis.

1. はじめに

近年、熟練者の減少や作業者の少人数化が進む状況において、製品の安定供給や設備の安定稼働を続けることが製造業における重要課題であると認識されている。このため、様々な方策が講じられている。

操業に際しての情報通信技術 (ICT) やシミュレーション技術の活用はその1つであり、計画、設備メンテナンス、操業、製品管理等の業務領域において様々なデータの蓄積と情報化、知識化が進められている。例えば、操業現場における操業支援システムや運転訓練シミュレータの導入である。これらのシステムを利用することで作業や、操業者の教育の面などで効率化がなされている¹⁾²⁾。しかし、システム利用率の低さやシステム維持の困難といった問題が生じることが多く、常にシステムの改善が促されることになる。

システムの改善には利用者からのフィードバックが必要である。一方、システムを利用するという立場からは、利用者を煩わせることなく改善されることが望ましい。このために、利用時に得られる操作履歴などのデータを改善に役立てることが考えられている。しかしながら、これは容易なことではない。自然な形で機械処理可能な情報を形成することが難しいためである。

操業現場において、システムと操業者のやり取りや、操業者自身の行動に着目すると、操業に関連する有用なデータが、やり取りや行動から自然な形で日々大量に生じているものと思われる。そのようなデータが操業支援システムの改善にとって重要である。しかしながら、データの多くは蓄積されずに棄却されるか、蓄積されたとしても活用されることは少ない。操業者という人間が介在するために、データの取得が難しく、また取得できたとしても、データから情報、知識への効率的な変換のた

めに必要な構造化や階層化が容易でないためである。

大和らは、セマンティックウェブの造船設計システムへの応用について考察し、ワークフローの重要性について指摘している³⁾⁴⁾⁵⁾。安藤らは、設計知識の獲得のために、ワークフローを利用した情報の構造化と階層化を試みている⁶⁾。Hiekataらは、安藤らのフレームワークを利用してプロベラ設計システムの改善を行っている⁷⁾。また、この際にワークフローの詳細化が問題になることを示している。我々は、これらの研究におけるワークフローに基づくデータの構造化、階層化という考えを用いて、操業支援システムの改善を試みている。

本研究の目標は、ICTを活用して、利用者の負担が少ない方法によって操業支援システムを改善することにある。このために、システムと操業者のやり取りに注目し、操業者の行動のセンシングとセンシングデータの分析を利用する。

本稿では、視線計測と位置計測を利用して操業者の行動をセンシングし、センシングデータを分析することにより、操業者の知識として記述されていない慣習的な行動や、気づきを顕在化する。その結果をヒアリング等で得られる操業者の初期ワークフローに対応付け、ワークフローを詳細化するという手法を提案する。

2. 提案システム

繰り返しになるが、提案手法の概略を述べておく。

はじめに、操業者へのヒアリング等によって初期ワークフローを作成する。次に、視線計測と位置計測を利用して操業者の行動データを記録する。そのデータから行動を抽出し、行動を初期ワークフローにマッピングする。その結果を分析することによって、操業者の知識として記述されていない慣習的な行動や、気づきを顕在化する。得られた知見に基づいてワークフローを詳細化する。

この手法にもとづくワークフローの詳細化をシステム化する場合には、データ・情報の記述、蓄積、管理が問題になる。その点を考慮し、提案システム全体を図1のようになる。

システムの構成要素は、

- 視線および位置計測システム
- 時刻・場所の同期システム

*[†] 東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻
Department of Environmental and Ocean Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo

^{††} 東京大学人工物工学センター

Research into Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo

^{†††} 東京大学新領域創成科学研究科人間環境学専攻
Department of Human and Engineered Environmental Studies, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

- (c) 操業支援システムとの同期システム
 - (d) 統合データベースと情報フィルタシステム
 - (e) 標準プロセスデータベース
 - (f) 行動抽出システム
 - (g) 操業情報データベース
 - (h) ワークフロー生成・修正システム
- というサブシステムとデータベースである。主要な要素の詳細を次節以降で説明する。

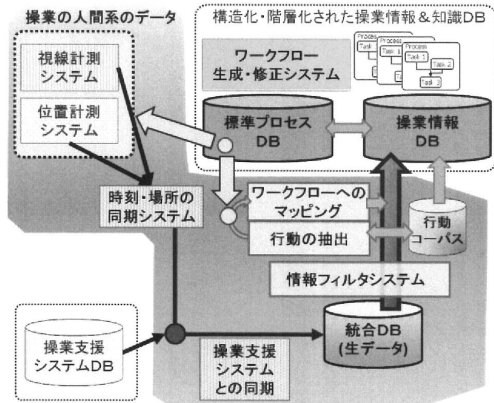


図1 提案システムの全体像

2.1 イベント抽出と初期ワークフローの作成

日常的な業務、不具合発生時に行われる手続き、あるいは業務を初期ワークフローとして記述する。

はじめに、前もってわかっている作業プロセスに対して、操業者へのヒアリング等によって、“モニターの確認”、“キーボードの操作”、“場所の移動”、“警告音の発生”などの動作やイベントの抽出を行う。イベントは、日常業務、異常時の業務における他の操業者とのインタラクションや操業支援システムなどから発生するものを対象とする。また、イベントを識別子 τ で示す。

次に、作業プロセスとイベントに基づき、動作とイベントの抽出と同様にヒアリングや操業現場の観察等によって、ShareFastを利用してワークフローを作成する。

ここで、ワークフローの識別子を W で示す。ワークフロー識別子 W とともに、記述されるプロセスがヘッダー情報として付記される。この初期ワークフローは後述する標準プロセスデータベースに蓄積される。

2.2 行動データの取得とデータの同期

本研究では、人間とシステムの相互間で生じるデータを操業者の行動データとする。具体的には、操業者の視線データと位置データ、および操業支援システムの操作履歴を行動データと考える。また視線データや位置データのような異なるモードでセンシングされるデータを竹林らに倣い、マルチモーダルデータと呼ぶことにする⁸⁾。

操業者 i の視線データを $i_s(n, t_n, x_n, y_n, z_n)$ とする。ここで、 n は注視点の番号、 t_n は記録開始からの時間、 (x_n, y_n, z_n) は注視点の座標である。操業者の位置に関するデータを $i_p(\tau, T_\tau, X_\tau, Y_\tau, R_\tau)$ とする。 τ はあるイベントの識別子、 T_τ はその発生時刻、 X_τ, Y_τ はそのときの操業者の位置、 R_τ は領域である。

視線データと位置データは、図1の時刻・場所同期システムによって同期する。具体的には、 t_n と T_τ, x_n, y_n, z_n

と X_τ, Y_τ, R_τ を関連付ける。操業支援システムから生じるイベント（例えば、警告音の発生）に関しては、位置データに付与され、イベントの識別子と発生時刻を、その影響を受ける操業者に与える。図中の操業支援システムとの同期部で τ^i, T_τ^i に値を与える。

はじめに、対象を決め、標準プロセスデータベースに対してワークフローの有無を問い合わせる。ワークフローが存在しない場合は、マルチモーダルデータ取得後に、前節のように初期ワークフローを作成する。存在する場合には、マルチモーダルデータにヘッダー情報としてワークフローの識別子 W を加える。

次に、これらのデータを一旦総合データベースに蓄える。その後、後述する情報フィルタシステムを介して、機械処理可能な形式で情報化を行い、操業情報データベースに供給する。

2.3 データと情報の構造化

データ・情報の蓄積と管理は、(d) 統合データベースと情報フィルタシステム、(e) 標準プロセスデータベース、(g) 操業情報データベースで行う。機械処理可能な形式にするために構造化を行う。

2.3.1 情報フィルタシステム

人間とシステムの相互間で生じるデータを入力として、情報抽出に必要なデータを選別する部分である。データをRDFなどの機械処理に適した記述フォーマットに変換し、出力するシステムである。

2.3.2 操業情報データベース

情報フィルタシステムからの出力の蓄積に適したデータスキーマを備えたデータベースとして、大和らが開発したShareFastを用いる⁹⁾。ShareFastはファイルやデータにRDF形式のメタデータを付加して管理するクライアント/サーバ型のウェブアプリケーションである。メタデータの管理にはJenaフレームワークを用い、組織内におけるセマンティックウェブとして構築する。サーバは文書ファイル等のデータの管理を行い、クライアントは、文書の検索・閲覧などの機能を提供する。

2.3.3 標準プロセスデータベース

2.1節で述べたワークフローが記述できるデータスキーマを備えたデータベースである。

ShareFastのクライアントはワークフローの編集・閲覧も可能であることから、基本システムとしてShareFastを用いる。ただし、本稿では、ワークフローの記述言語として、時間軸を考慮できるBPMNを併用する。BPMNの実行言語として、XMLベースの言語であるBPEL4WS (Business Process Execution Language For Web Services) を用いる。

操業情報データベースに対してはリレーショナルなデータ処理を可能にする。

2.4 行動の抽出

提案手法は、実際の業務において取得される操業者のマルチモーダルデータと操業支援システムからのイベントを情報フィルタシステムによって情報化し、その情報と初期ワークフローを対応させ、操業者の行動を分析し、行動分析の結果に基づいてワークフローの詳細化や改変を行うというものである。

マルチモーダルデータは2.2節で述べた形式で蓄積されるが、そのデータ量は多く、ノイズを含むものである。例えば、視線計測の場合、10分間で18000個のデータが取得される。また、データの持つ意味を見出すことは容易ではない。したがって、そのようなデータを直ちにワ

ークフローに対応づけることは困難である。

前処理として、データの符号化によるデータ圧縮を行い、符号化されたデータをチャートなどによって時系列で表現する。視線データに関しては、江川らの方法¹⁰⁾を利用し、領域によって符号化後にチャート化する。位置データに対しても同様の処理を行う。

行動を認識する方法にはいくつかのものがあるが、本稿では行動素に注目する。ここでは植浦ら¹¹⁾と同様に身体各部(目や頭部)の動きをクラスタリングすることで得られる身体動作の基本要素を行動素とする。例えば、“モニターの情報を確認する”という行動の際の視線データや位置データに対し、植浦らの方法などを用いて行動素を抽出する。

行動素は元の行動と対応付けられるので、視線データや位置データから行動を予測できるようになる。しかしながら、操業の現場においては、“モニターの情報を確認する”という一般化された行動ではなく、モニターAの情報を確認する”というように決められた対象に対する行動になることが多い。また、一つの行動はある行動の断片であり、いくつかの行動が纏まって意味のある行動になる場合も少なくない。

そこで、前者に対しては、受動的な行動も行動の対象とし、モニター、操作対象となるシステム、さらには、操業空間の場所を擬人化して考える。例えば、操業者 i がモニターAの情報を確認した場合、モニターAは、“操業者 i に確認された(見られた)”となる。

後者に対しては、いくつかの行動を纏めることを考える。本稿では、高橋らのインタラクションの統合手法¹²⁾を利用する。高橋らは、人の様々なインタラクションをマルチモーダルデータとして取得し、機械処理可能なインデックスを自動的に付与できるシステムを試作した。そして、そのシステムによって、動作主体(だれ/何が)、動作対象(だれ/何に対して)、動作開始時間(いつから)、動作終了時間(いつまで)、動作の種類(どのようなインタラクションを行ったのか)などが検索できることを示している¹³⁾。彼らは、また、インタラクションの発生頻度の高さと断片性を指摘し、関連性の高いインタラクションを統合する方法を提案している¹²⁾。本稿では、その方法を、行動を纏めるために利用する。纏められた行動を行動群と呼び、行動群を初期ワークフローに対応付けることを考える。また、行動素→行動→行動群は、行動コーパスとして蓄積する。

2.5 ワークフローの修正

本節では、ワークフローの修正までのながれを、故障発生時における操業の一例に基づいて説明する。

第1に、ヒアリング等によって図2に示すように初期ワークフローが作成され、図3のようにBPMNによって記述される。また、ワークフローは標準プロセスデータベースに蓄積される。ここで、PERSON1とPERSON2はそれぞれ違う操業者を示す。SYSTEMは操作対象となるシステムを擬人化している。

第2に、このワークフローに該当する操業者の実行動からマルチモーダルデータを取得する。

第3に、取得データを情報フィルタシステムによって情報化し、その後、行動素を抽出し、行動に対応付ける。同時に行動群に纏める。第4に、図3に示すBPMNで記述された初期ワークフローに対して、時間軸を利用して行動、あるいは行動群をマッピングする(図4上)。

最後に、初期ワークフローに実際の行動を反映させて、

ワークフローを修正する(図4)。一連の情報は操業情報データベースに、修正されたワークフローは標準プロセスデータベースに蓄積される。

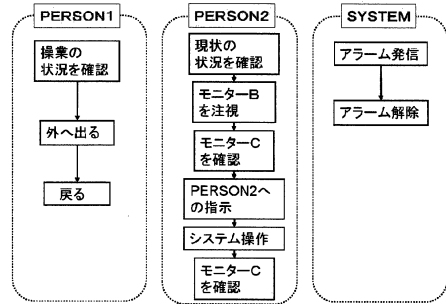


図2 初期ワークフローの例

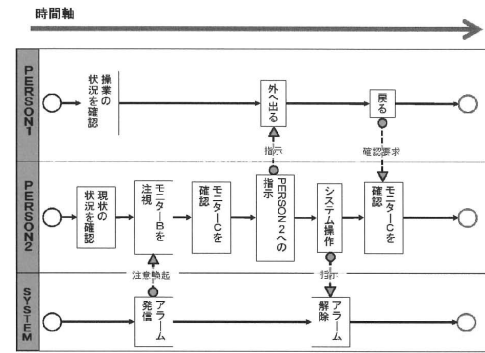


図3 図2のワークフローのBPMNによる表現

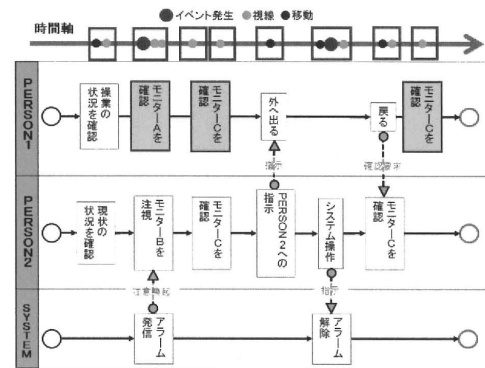


図4 詳細化後のワークフローの例

3. 実験結果と考察

提案手法の有効性を確認するために、図5に示すような操業空間内での操業者の行動を分析することによってワークフローの詳細化を試みる。

はじめに、操業者は1名とし、視線データによる行動分析を行い、ワークフローの修正までが実施できるか否かを検討する。図6は操業空間を模擬した実験空間である。実験に用いた初期ワークフローを図7に示す。

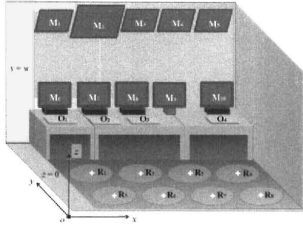


図5 操業空間の例

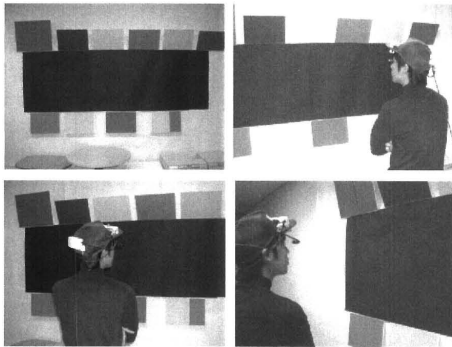


図6 実験の様子

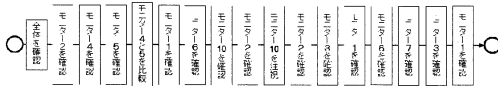


図7 初期ワークフロー

被験者に図7の初期ワークフローに従うように指示し、視線計測を行い、視線データを取得する。得られた視線データは統合データベースに蓄積される。

視線データには、「モニターの中央部を見る」、「右上を見る（視野映像からは頭部の運動が予想される）」などの詳細な情報が含まれ、行動素の存在が示唆されたが、今回はデータ分析の問題で行動素の抽出はできなかった。そこで、行動素が存在しているものとし、手作業によって、モニター毎に視線データをまとめ、行動素を行動として統合した。モニターからみて”確認された時間”を2名の被験者毎にチャート化したものを図8に示す。

同時に、モニターを擬人化し、初期ワークフローを操業者とモニターに対するBPMNとして再構成する(図9に一部を示す)。

図8で示されている時系列で発生する行動と、図9を比較して適当な解釈を行った後に、それをワークフローに対応付けることにより、ワークフローの詳細化を試みる。現時点では、個人差によって生じる時間差を考慮することが難しいこと、行動という単位だけでは粒度が小さすぎるので行動群としてまとめる必要があることがわかっていて、詳細については講演時に述べる。

4. まとめ

ヒアリング等で得られる操業者の初期ワークフローに基づいて、実際の行動から視線データと位置データを取得し、それらを分析することによってワークフローを詳細化するという手法を提案した。また、簡易的な実験を行い、提案手法が機能することを示した。

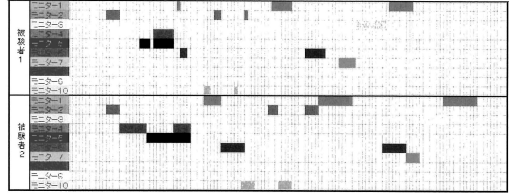


図8 モニターからみた行動

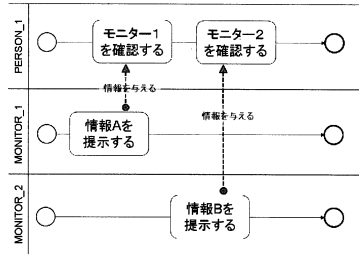


図9 擬人化とワークフローの再構成

参考文献

- 1) 伊藤雅浩, 松崎真六, 柿内一元, 磯部誠: 高炉操業解析総合支援システム Venus の開発, 新日鉄技報第 379 号, pp.32-38, 2003.
- 2) 出羽竹彦, 佐藤孝, 五味秀式, 園康次郎, 肥田孝, 鷺津加寿明: 高炉プラント運転訓練シミュレータ, 新日鉄技報第 379 号, pp.75-79, 2003.
- 3) 大和裕幸, 安藤英幸, 増田宏, 白山晋, 佐藤昌弘, 唐澤武郎, 田村雄介, 鈿吉謙: セマンティックウェブの造船設計システムへの応用, 日本造船学会論文集, 192 号, pp.387-396, 2002.
- 4) 大和裕幸, 安藤英幸, 佐藤昌弘: セマンティックウェブの造船設計システムへの応用 (第二報) - オントロジを用いたプロセスと関連文書の柔軟な連携 -, 日本造船学会春季講演会論文集, Vol.1, pp.129-130, 2003.
- 5) 大和裕幸, 安藤英幸, 唐澤武郎, 内藤紀彦: セマンティックウェブを用いた造船設計 CAD システム, 日本造船学会秋季講演会論文集, Vol.2, pp.31-32, 2003.
- 6) 安藤英幸, 大和裕幸, 伊藤康太郎, 内藤紀彦, 稗方和夫, 中澤崇: ワークフローの作成と共有ソフトウェアによる設計知識獲得手法に関する研究, 日本機械学会第 15 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp. 324-325, 2005.
- 7) Kazuo Hiekata, Hiroyuki Yamato, Wataru Oishi, Yuichi Sasaki, Kei Sato, A Knowledge Management Framework for Marine Propeller Design, Proceedings of Intl. Conf. on Computer Applications in Shipbuilding 2007, pp. 79-89, 2007.
- 8) 青島大悟, 鈴木敦志, 桐山伸也, 杉山岳弘, 竹林洋一: マルチモーダルセンシングによるブリッジ業務分析システムの開発, 第 22 回人工知能学会全国大会講演論文集, CD-ROM, 3D3-08, 2008.
- 9) ShareFast: http://sharefast.sourceforge.net/index_j.html
- 10) 江川陽, 白山晋: 注目点からの効率的・効果的な画像コンテンツの再構成手法, 映像学誌, Vol. 62, No.9, pp. 1443-1452, 2008.
- 11) 植浦総一郎, 岩井儀雄, 谷内田正彦: 準教師有リクラスターリングによる行動素抽出, 情報処理学会研究報告-コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.2008.No.36, pp.29-36, 2008.
- 12) 高橋昌史, 角康之, 伊藤慎宣, 間瀬健二, 小暮潔, 西田豊明: 時系列イベント発見のためのグラフクラスターリング手法の提案, 情報処理学会論文集, Vol.49.No.6, pp. 1942-1953, 2008.
- 13) Takahashi, M., Ito, S., Sumi, Y., Tsuchikawa, M., Kogure, K., Mase, K. and Nishida, T.: A layered interpretation of human interaction captured by ubiquitous sensors, Proc. of 1st ACM Workshop on Continuous Archival and Retrieval of Personal Experiences, pp.32-38, 2004.