

工場作業データベースにおける時空間仮想 オブジェクトの設計

今井 さやか 小林みな子 舛谷 和幸 有澤 博

横浜国立大学 工学部 電子情報工学科
〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

E-mail: {sayaka,minako,masu,arisawa}@arislabs.dnj.ynu.ac.jp

あらまし

本稿では工場作業データベース(リアルワールドデータベース)に蓄積された作業データを検索し、検索結果をCGを用いて再構築して表現する手法を提案する。そこでは、階層構造をしたOE(Object Expression)の中で、木構造データの人体モデルの表現手法が問題となるが、OE内で人体構造を表すデータを列で表現し、それぞれに列IDを付与することで解決している。また、工場作業データベースの応用分野では作業評価を行なう手段として作業シミュレーションを利用するが、シミュレーションのためのモデル再構築手法について述べる。

キーワード：リアルワールドデータベース、作業のモデル化、時空間仮想オブジェクト、作業シミュレーション、Info-Ergonomics

Design of Time-Space Virtual Objects for Work Database in Product Engineering

Sayaka IMAI Minako KOBAYASHI Kazuyuki MASUTANI Hiroshi ARISAWA

Division of Electrical and Computer Engineering
Faculty of Engineering
Yokohama National University

79-5, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama-shi, Japan

E-mail: {sayaka,minako,masu,arisawa}@arislabs.dnj.ynu.ac.jp

Abstract

The paper presents modelling of movements of factory workers for Work Database, and method of representing the query result through CG. Query result comes in the form of a hierarchical structure, called OE(Object Expression). On the other hand, human model can be described as a tree structure. Since OE cannot represent such tree structure, we offer a method for handling tree structures in OE as sequence of node identification numbers.

Keywords: Real World Database, Work Modelling, Time-Space Virtual Object, Working Simulation, Info-Ergonomics

1 はじめに

文字、数値情報に加え、映像、音声、3次元グラフィック情報など、様々な形態の情報であるマルチメディア情報を計算機上で扱うことが当たり前となってきた現在では、これらの情報を統括的に管理するシステムが求められている。このような要求から、我々はすでに様々なデータを管理・蓄積するシステムであるリアルワールドデータベースを提案している [1]。リアルワールドデータベースでは、現実世界 (リアルワールド) に生じた多様なデータをできるだけ忠実に取り込み、取り込んだデータを解析、モデル化することによって得られる被写体の形状や位置変化のデータも同一の枠組の中に蓄積し、多様な検索操作を可能としている。現実世界を取り込む過程では、取り込んだデータをどのように解析・モデル化し、蓄積するかが問題となるが、どのような情報を時空間情報として取り込み、統合化するかについては、文献 [2] で提案している。

また、我々は計算機上で表すデータのうちで最も複雑なデータとなる人間と、形状や動きを数学的な式の集まりで表現することのできる機械が協調作業を行っているエンジニアリング分野に注目し、人間の行う作業のモデル化を行い、作業データベースの構築を試みた。我々はこのような、人間-機械協調関係をモデル化し、生産に関わる様々な評価を行うための研究を行う概念を情報人間工学 [4] と呼んでいる。情報人間工学では現実の作業データをできる限り忠実に取り込み (例えば作業映像を解析したり、CAD データとして取り込む)、モデル化し、工場作業データベース (リアルワールドデータベース) に蓄積する。そこから作業データ・動作データ、部品の設計データなどを検索し、検索結果を CG で仮想的な作業空間に再構築した上で、各種作業評価を行う。情報人間工学では現実から取り込まれたデータを様々な組合せ、再構築してシミュレーションを行うことで各種作業評価を行う枠組を提供している。

このように検索結果を CG や VR などに再構築する場合にはモデルをどのように検索し、検索結果からどのように再構築するかが問題となる。というのは、リアルワールドデータベースに蓄積するデータが様々な形態の情報であるように、検索されたデータも多様なデータであり、また検索されたデータをユーザの要求された通りに再構築しなくてはならないからである。

したがって本稿ではこの点に注目し、リアルワールドデータベースの一応用例である工場作業データベースを例にとりあげ、まずデータベースに蓄積される作業データについてそのモデル化、スキーマ上での表現について述べる。その上で、データベースに蓄積された作業データを検索し、検索結果を CG シミュレーションに再構築する手法について述べる。

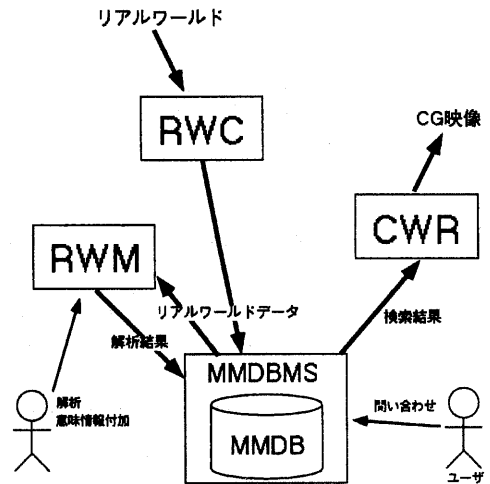


図 1: RWDB システムの構成

2 リアルワールドデータベース

2.1 リアルワールドデータベースの構成

リアルワールドデータベース (Real World Database: RWDB) とは、実世界の情報をそっくりそのまま取り込むデータベースであり、概要は文献 [1] に挙げられている。

RWDB において 3 次元情報を取り扱うシステムを構築する場合、本質的に次の 4 つの構成要素が必要である。RWDB システムの概念図を図 1 に示す。

- リアルワールドキャプチャ (Real World Capturer: RWC) … 現実世界からの情報の取り込み。
- リアルワールドモデラ (Real World Modeller: RWM) … 取り込んだデータの解析・モデル化。
- マルチメディアデータベース (Multimedia Database: MMDB) … 実世界から得た情報、および RWM による解析結果を統合して蓄積する。
- サイバーワールド再構築 (Cyber World Reconstructor: CWR) … 検索結果を CG、VR などを用いて再構築する。

RWDB は多種のデータを統合して記述するデータモデル [5] [6]、メディア依存処理を組み込んだ検索言語 [7] によって、異なるメディア情報を一律に扱い、また変換や統合を行ってモデルの再構築を行うことができる。

特に本稿では、MMDB からデータを検索し CG や VR に再構築する CWR について、検索結果の記述、CG/VR

データへの変換手法を提案し、検索結果出力システムとしての作業シミュレーションシステムを設計した。

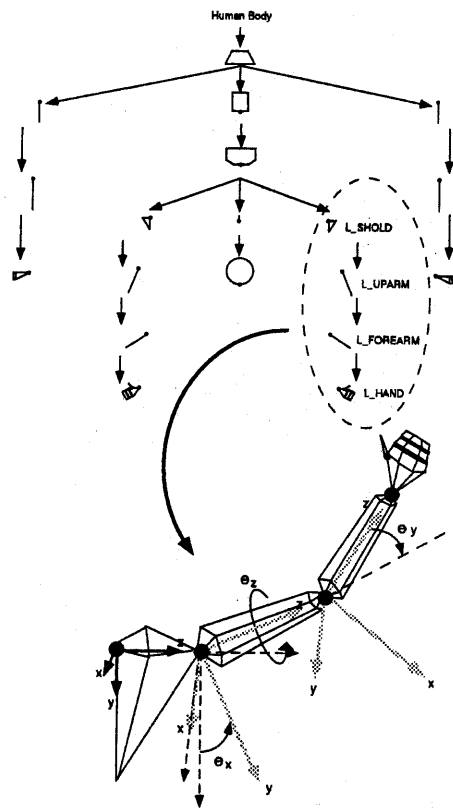


図2: 人体構造のモデル

2.2 作業データのモデル化と AIS モデルによる表現

工場作業データベースで扱うデータは作業映像だけでなく、作業内容そのもの、作業員データ(構造、動作など)、作業動作データなど3次元的な広がりを持つデータである。したがって、このような様々なデータをデータベースに蓄積するために、データのモデル化が行われている必要がある。RWDBでは「3次元時空間情報」を「時間とともに変化する情報」と「物体の構造表現」とに分けてとらえている。前者は時間の経過とともに空間内に存在するものの位置や、映りこんでいる物体(作業員)の姿勢が常に変化する情報であり、作業映像から手先の位置や、頭の位置などを画像処理を用いてある程度得ることができる。後者はいつでもこの3次元空間に存在していても物体固有の情報で、種別によって共通な情報である。この共通な情報はまた同時に、構造に関する「知識」とみなすことができる。

本研究では、作業員である人間モデルの構成を図2のような木構造を持っているとしている。図2のように人体の階層構造を表現した場合、各部品がその形状と親部品への接続位置(関節)、関節の可動範囲の情報を持つことによって、全体の構造がどのようになり、どのような姿勢をとり得るかが明確になる。このような構造に関する情報は、その物体の種別によって基本的には共通するものであるとみなすことができる。例えば人間の構造は基本的に人間一般について共通であり、個人によって変化しない。すなわち構造には物体の種類に応じて基本的な枠組があると捉えられるので、それをデータベーススキーマ上に反映させる。以上のような作業員モデルを踏まえて、工場作業データベースのスキーマの一部を図3に示す。

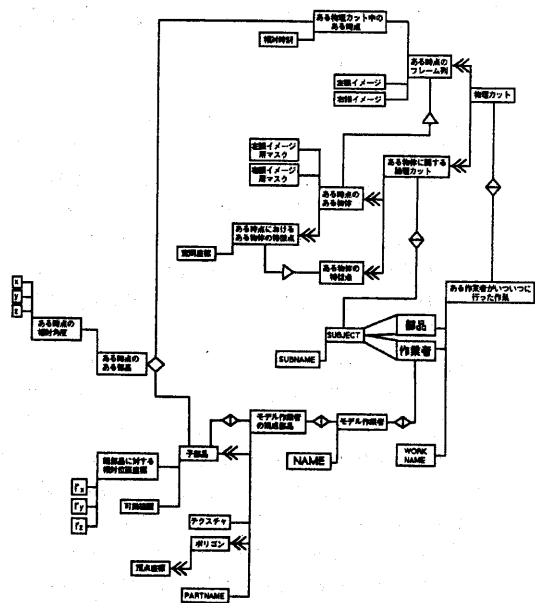


図3: 作業データスキーマ

本稿では、便宜的に主体型名を日本語で記述している。スキーマの中で特に重要な主体型は、「ある作業員がいついつに行った作業」を中心とした作業映像列を表す「物理カット」、作業員モデルをCGで再構築する際に元情報となる「ポリゴン」、「モデル作業員の構成部品」と「子部品」の親子関係である。スキーマには大きく分けて、現実世界から取り込んだイメージと解析を行った結果得られた情報(Image World Data)、非接触型3次元スキャナを用いて得られたイメージ中の被写体の詳細な形状情報、被写体の3次元構造情報(Conceptual World Data)、両者の対応をとることで得られる3次元的な動作の情報に分けられる。

また、本稿では「作業内容(動作の意味)」や「作業を

行っている時間」についての明確なモデルは示さなかったが、作業のモデリングを考えた場合、2つの面が存在する。一つは、作業映像を解析した結果得られた作業動作の記述で、もう一つは、作業動作自体のモデルの記述(例えば、作業手順マニュアルのようなもの)である。両者は「モデル」と「インスタンス」としてとらえることができ、データベーススキーマ上でともに表現されていなければならない。「時間」の記述においても「作業を行っている時間」には、「作業者が動作を行っている時間」、「作業者の右腕が動作を行っている時間」というように、ある作業の一連の時間に対して、相対的な時間が記述されていなければならない。今後の課題として残されている。

3 時空間情報を含んだ作業を表す複合オブジェクト

図3作業データベーススキーマのインスタンス例を図4に示す。図4のデータベースには、現実の作業者(HRS)がある時に行った作業(B24)と作業者(HRS)自身の情報、架空の標準作業者(MDL)の構造情報のみが蓄積されている。作業(B24)の映像(物理カット)、映像におけるフレーム(ある時点のフレーム列)も蓄積されており、映像を解析した結果である、作業者の空間位置、作業動作が蓄積されている。

一般的にCGを表示しようとする場合、仮想空間に配置するモデルは形状情報、ポリゴン、テクスチャ、位置情報など様々なデータを構造化した複合データである。さらに視点情報や光源情報、時系列に沿った物体の形状変化や姿勢の変化なども加わり、3次元仮想空間を表す情報は巨大な複合オブジェクトであるといえる。これに対して、AISモデルを用いて記述された作業データは図4に示されたように各データが関連で結ばれた平坦な構造をしている。したがって3次元仮想空間を構築するためには、この作業データからある視点から見た構造化データを得る必要がある。

図5に作業情報を表す複合オブジェクトの一部を示す。この複合オブジェクトは、図3に示したスキーマに対して、MMQL[7]を用いて検索操作を行うことで得られる。この検索結果はある見方にしたがって構造化されたデータであり、OE(Object Expression)と呼ばれる[7]。

図5は階層構造をなしており、次の情報をあらわしている。検索対象となった作業には、作業者と部品が蓄積されており、作業者は、検索の結果NAME(HRS)からNAME(MDL)という名前を持つ作業者の構造情報に置き換えられている。さらに、作業者(MDL)は構造情報を示す概念的なモデル作業者として表現され、それは各人体構造部品で構成されている。各人体部品はそれぞれ属性として、名前、ポリゴン情報、親部品との相対位置、ある時点

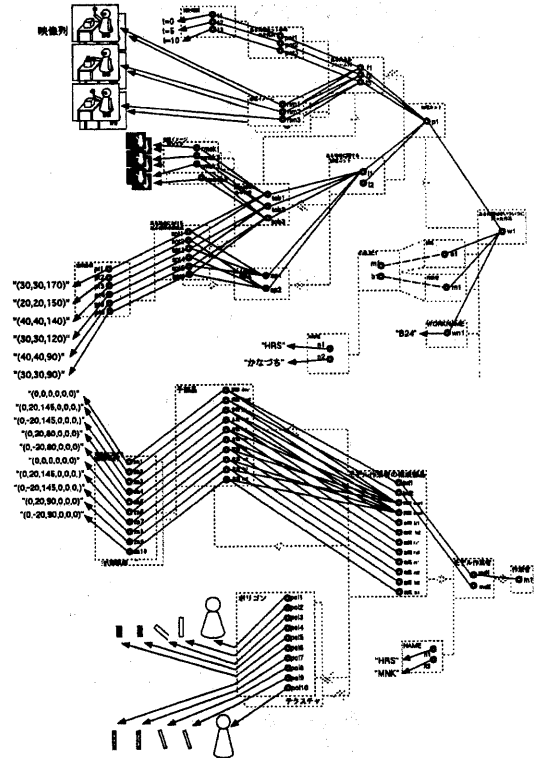


図4: 作業データインスタンス

の相対位置(姿勢)が含まれる。

ところで、前章において人体構造モデルは木構造をなすとしている。すなわち、同じ形で表現された部品が各ノードに位置したデータ構造をなしている。しかし、OEはすべての列は階層的でなければならないという規則が加えられている。したがって、人体構造部品のデータは基本形が同じデータであることから、人体部品の木構造がそのままOEの部分木となるのではなく、ある階層における列として表現されなければならない。しかし、人体部品が列として表現されたのでは親部品-子部品のつながりが表現されないで、本稿ではOEを拡張し、部品列に親子を表す列IDを付与することで解決している。部品の中で木構造の根(root)に当たる部品にはID(構造)として(POS0)が付与され、その子部品には順に(POS0.0)、(POS0.1)…というように木の深さを「.(ピリオド)」で区切ることにする。このようにして、人体構造と形状をOEで表現することができる。

図5はデータベースに対して

現実作業者(NAME HRS)が行っていた作業(WORKNAME B24)を架空の標準作業者(NAME

MDL) に置き換えて作業を検索せよ

という検索を行った結果得られる OE である。

このように検索されたデータは検索結果を CG や VR で表示するための材料と構築方法を書いた手順書とみなすことができ、この検索結果 OE をレシピと呼ぶ。

```
ある作業
者の作業: {[部品: {[NAME: "かなづち",
                  ポリゴン: ↑}],
            作業者: {[NAME: "MDL",
                    PART: {[PARTNAME: "頭部",
                            構造: POS0.0,
                            ポリゴン: ↓,
                            相対位置: "(0,0,0,0,0)",
                            ある時点の相対角: {[相対角度: "(0,0,0)", TIME: "0"},
                                                [相対角度: "(0,0,0)", TIME: "5"},
                                                [相対角度: "(0,0,0)", TIME: "10"}]},
                            [PARTNAME: "右腕",
                            構造: POS0.0,
                            ポリゴン: ↓,
                            相対位置: "(0,20,180,0,0)",
                            ある時点の相対角: {[相対角度: "(30,60)", TIME: "0"},
                                                [相対角度: "(30,45)", TIME: "5"},
                                                [相対角度: "(30,30)", TIME: "10"}]},
                            [PARTNAME: "右足",
                            構造: POS0.1,
                            ポリゴン: ↓]}]}]}
```

図 5: 検索結果

4 検索結果からのモデル再構築

前章で述べた検索結果には、作業の時系列情報や物体の位置情報が含まれている。ところが、CG で仮想空間を構築する際にはモデルの情報に加えて視体積空間(カメラの位置、カメラを通してモデルを見ることのできる空間)を決定しなければならない。また、なめらかな動作を表現するためには、データベースに蓄積されている「ある時点の姿勢」の補間を行う必要がある。CWR では MMDB から仮想作業構築のためのレシピを受けとり、視体積情報を付加した上で作業データを再構築する。仮想空間には世界座標原点(World Axis)を中心に、シミュレーション対象となる作業者および作業機械、作業対象物(製品)、作業工具などが配置される。そして、この仮想空間に時間要素(時間軸)が加わり物体形状の時間変化や姿勢変化を記述することで、仮想空間に存在するものの動きを表現する。本来、時間は連続値であるが、データベースに蓄積されている時間は「ある時点」という離散値をとり、間引きされたある時点(位置タグ: Positional Tag)について動作などの解析が行われている。したがって、作業者の動きは、時間軸上に離散的に並べられた位置タグにおける位置、姿勢の離散値として表現される。時間軸上の位置タグの間隔は任意であるので、なめらかな動きの表現には、位置タグの間の姿勢の補間をしなければならない。本研究では位置タ

グ間の時点における作業者の姿勢を補間する手段として、Inverse Kinematics を応用している [11]。

また、このような膨大なデータのかたまりを CWR では CG 出力システムに依存したデータフォーマットに変換を行う。この変換を行った 3 次元時空間データオブジェクトを時空間仮想オブジェクトと呼ぶ。時空間仮想オブジェクトの概念図を図 6 に示す。

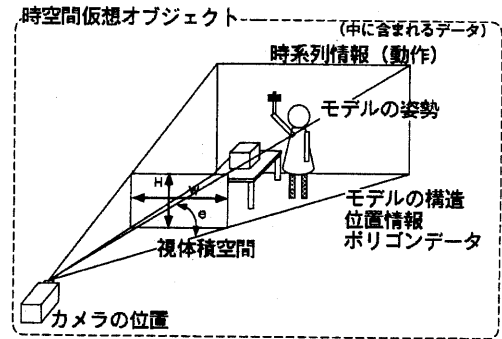


図 6: 時空間仮想オブジェクトの概念図

5 CG 出力システムの構成

作業の検索結果の出力は、CG を用いてアニメーションとして出力する。アニメーションを作成する際には、仮想空間に対する視点(View)を定義し、モデルのレンダリングを行い、CG アニメーションを生成する。CG アニメーション生成のためのレンダリング手法については、様々な手法が提案されている。本研究では CG アニメーション表示システムとして、米国 Deneb Robotics 社製のグラフィックシミュレーションシステム TELEGRIP を利用し、シミュレーションシステムの設計を行った。

マルチメディアデータベース、サイバーワールドリコンストラクタを含めたシミュレーションシステムの構成を図 7 に示す。

CWR には、MMDB からの検索結果である OE を受けとって中間結果を作成する MMO(Multimedia Object)Generator、出力アプリケーションに応じて中間結果から時空間仮想オブジェクトを作成する Application Depend Object Generator が含まれ、それぞれデータの変換を行う。

本研究ではまた、検索結果を CG アニメーションとして出力するだけでなく、アニメーションでの作業者の「動き」から「つらい作業」「快適な作業」などの評価を行うことも考えられている。

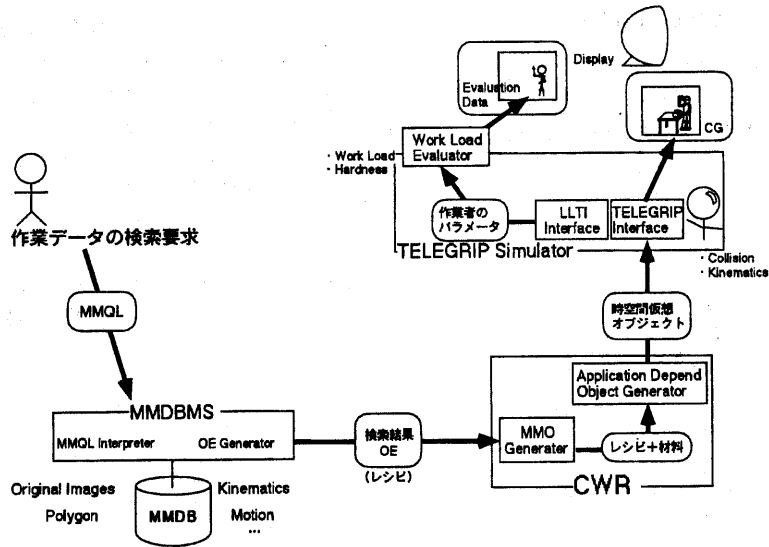


図 7: シミュレーションシステム構成図

6 まとめ

本稿では工場作業データベース(リアルワールドデータベース)に蓄積された作業データを検索し、検索結果をCGを用いて再構築して表現する手法を提案した。そこでは、階層構造をしたOE(Object Expression)の中で、木構造データの人体モデルの表現手法が問題となるが、OE内で人体構造を表すデータを列で表現し、それぞれに列IDを付与することで解決している。今後の課題として、一般的な出力システムを想定した時空間仮想オブジェクトの設計、作業内容そのもの(イベント)の記述、時空断面を用いた位置による作業情報の検索手法などが残されている。

また、情報人間工学の分野としても効果的なCGシミュレーションの利用法、作業内容のモデル化などが残されている。

参考文献

- [1] 有澤 博: “リアルワールド・モデリングについての考察”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.96, No.54, DE96-4, 1996
- [2] 小林 みな子, 今井 さやか, 有澤 博: “リアルワールドデータベースにおける3次元情報の取得と表現”, 1996年アドバンスデータベースシンポジウム論文集, 情報処理学会, pp.99-106, December 1996
- [3] 林 路彦, 今井 さやか, 有澤 博: “作業データベースにおける映像情報の解析”, 電子情報通信学会技術研究報

告, Vol.96, No.176, DE96-26, 情報処理学会研究報告, Vol.96, No.68, 96-DBS-109-16, 1996

- [4] Hiroshi Arisawa, Sayaka Imai: “Working Simulation based on Info-Ergonomics and Multimedia Database Concept Design” 1996 Japan-U.S.A. Symposium on Flexible Automation, July 1996
- [5] H. Arisawa, T. Tomii, H. Yui, H. Ishikawa: “Data Model and Architecture of Multimedia Database for Engineering Applications,” IEICE Trans. Inf. & Syst, Vol.E78-D No.11, November, 1995
- [6] 石川 英彦, 有澤 博: “データベーススキーマ上の集合間関係を効果的に表現できるダイアグラム記法”, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J80-D-I, No.3, 1997
- [7] 富井 尚志, 有澤 博: “マルチメディアデータベースにおける映像モデリングと操作言語”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-D-II, No.4, 1996
- [8] 富井 尚志, 小林 みな子, 有澤 博: “時空間モデルにおける時空間質問の実現”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.96, No.469, DE96-84, 1997
- [9] 野呂 影男 編集: 図説エルゴノミクス Illustrated Ergonomics, 日本規格協会, 1990
- [10] 中村 隆一, 斉藤 宏: 基礎運動学 第4版, 医歯薬出版株式会社, 1995
- [11] 中嶋 正之 監修: 3次元CG, オーム社, 1994