

データベースを用いた3次元部品のオンライン組み立てサポートシステムの開発

中津樞男*・宮崎ゆい**・杉浦宏樹***

*本学・情報教育講座 **トヨタコミュニケーションシステム ***カーネルコンセプト(株)

An online assembly support system of 3D objects using a database

Narao NAKATSU*, Yui MIYAZAKI** and Hiroki SUGIURA***

*Aichi Univ. of Education **Toyota Comm. Systems Inc. ***Kernel Concept Inc.

1. はじめに

製品に添付されている組み立て工程の説明図は、本来3次元であるものを2次元で表現しているため、細かい部分がわかりにくい時があり、利用者が試行錯誤しながら組み立てなければならない場合がある。静止画像の説明図では1つの視点からみた様子を表現できるだけで、裏側から見た様子や一部分を拡大して見ることもできない。説明書が簡潔になりすぎて、ユーザが組み立て工程を十分理解できない場合があり、熟練者でなければ、短時間できれいに組み立てることが困難なケースも多い。

最近のように、製品の多品種少量生産が一般的になり、製品のライフサイクルが短くなれば、すべての製品に完成度の高い説明書を準備することが困難となっている。そこで説明図に代わって、初めてその製品を組み立てる人にもわかりやすいものが必要とされる。

また近年ロボットが注目を集めており、さまざまなアイデアロボットが提案されている。メカニズムのアイデアは文書で表現するより、3Dで表現したほうがわかりやすい[1]。自動車の変速機の内部とその動作を3D表現した教材も公開されている。さらに機械修理などの作業工程を3Dマニュアルとして表現する試みも始まっている[2]。

VRMLは空間内に3次元物体をモデル化するための言語で、利用者が空間内部を移動しながら自由に視点を変えて物体を眺めることが可能である。本稿ではこの機能を利用して、部品の組立工程を3次元のアニメーションとして表示するシステムを開発した。利用者は、視点移動によって、最もわかりやすい位置から、アニメーションを見ることができ、アニメーションの再生中に自由に視点移動が可能になっている。

このシステムはWWW上での利用を前提として開発したため、作成した3D製品やその作成過程のアニメーションをデータベースに保存し、WWW上の誰もが利用できるようにした。このため本システムをロボットなどの3D製品のアイデア公開ツールとしても利用できる。

2. 部品情報と組み立て工程アニメーションのデータベース化

2. 部品情報と組み立て工程アニメーションのデータベース化

3次元物体はコンピュータグラフィックで表現されるのが一般的であるが、それらはプログラミング言語の中でモデル化されているため独立したデータとして扱えない。筆者らが利用したVRMLはテキスト形式のプログラムであるためデータベースに保存することが可能である。

最近標準化が始まったXMLベースの言語X3DはVRML97をもとにしており、両者の親和性は強い。X3Dのツールはまだ未整備なので、今回は3次元部品の表現にVRMLを利用したが、X3Dに置き換えることは容易と考えている[3]。

このシステムではLEGOブロックを対象にしている。このため、基本部品として、レゴブロックをいくつかモデル化してデータベース化している。最近はさまざまなモデル化ソフトが開発され、専門知識がなくても3次元物体を表現できるようになりつつある[4, 5]。本システムで登録している基本部品もこうしたモデル化ソフトを使って作成している。しかし、こうしたモデル化ソフトを使うと、同じ物体をVRMLで直接記述した場合に比べて、その記述が何倍にも長くなるという欠点も生じる。実際、少し複雑な部品ではそのサイズが200KBを超え、データベースに格納できなかったり、サーバとの受け渡しに障害が発生する。このため、基本部品の本体はサーバにデータファイルの形式で格納し、アニメーションデータは、いくつか分割してデータベースに格納した。データベースシステムはPostgres[6]を利用し、Linuxをデー

データベースサーバにしている。図1にこれらのデータベーススキーマを示す。

部品データベースのスキーマ構造は最低限必要な属性に限定しているが、部品の色や材質などの属性を追加して、検索機能を充実することも容易である。

データベースを利用することによって、部品選択の際の検索が容易になり、設計者にとってより使いやすいものになる。また、設計者が基本部品を結合させてきた新しい部品をデータベースに登録することにより、次回からそれを部品として、再利用することができる。また同時にそれらを公開することも可能になった。

部品表 (file_name, role)

アニメーション表 (anime_name, prog_num, program)

図1 データベーススキーマ (下線は主キー)

3. 部品選択の可視化と半製品の登録と再利用

登録されている部品の数が増加すると、部品名とその形状を記憶していることが困難になる。そこで本システムは検索した部品の中から必要とする部品の選択を視覚的に行えるようにインターフェースを設計した。データベースには部品名(file_name)と分類名(role)が登録してあり、設計者が分類名を指定して検索すると、検索条件に合致した部品がすべて図2のようにVRML空間に表示される。設計者はそこから視覚的に部品を選ぶことができる(実際には、空間内の使いたい部品をマウスでクリックする)。またVRML空間なので、必要に応じて視点やサイズを変え、部品の詳細を確認してから、部品の選択を行える。

本システムは、設計者が基本となる部品を組み合わせて、まとまりのある比較的大きな部品を作った場合、それ全体を1つの部品とみなしてデータベースに保存できるようにした。

それによって他の利用者もその部品を利用できる。Robotics Invention Systemの解説書には、自動車のバ

ンパー、ロボットの手、戦車のキャタピラといった、製品造りに利用可能ないくつかの応用部品が紹介されている[7]。このように、考えついたアイデア製品をデータベースに登録できれば、知識の共有が実現され便利である。本システムでは任意の段階で選択した部品を登録できるようにした。一旦保存すると、その部品を次からは部品作成で選び、再利用することができる。新規部品を保存する際には、その部品名と検索のための分類名をデータベースに登録する。

4. システムの利用方法

本研究では、システム全体をWebアプリケーション化することにした。その結果、ユーザはVRMLプラグイン[2]をインストールだけで、WebブラウザからURLを指定するだけで、容易にこのシステムを利用することができるようになった。インターネットに接続できる環境であれば、ユーザは組み立て工程のアニメーションを組み立て現場から利用することができる。製品を分解する過程を登録しておけば、製品の修理マニュアルとしても利用できる。

本システムの利用者は、組み立て工程のアニメーションを作成する設計者と、そのアニメーションを見ながら部品を組み立てるユーザの2者がいる。図3はシステムにアクセスした直後の画面である[8]。

4.1 アニメーションの再生

既に登録されている製品の組み立ての様子をアニメーションで見ることができる。登録されている製品はデータベースのアニメーション表を検索すればよい。

アニメーションの再生手順は次の通りである。まず編集アイコン(図3の⑥)をクリックして編集ウィンドウ(図4)を開き、図4の中の「開く」ボタンをクリックすると、図5のアニメーション選択ウィンドウが開く。テキストフィールド部分に製品名を入力して、開くボタンをクリックすれば、データが読み込まれる。

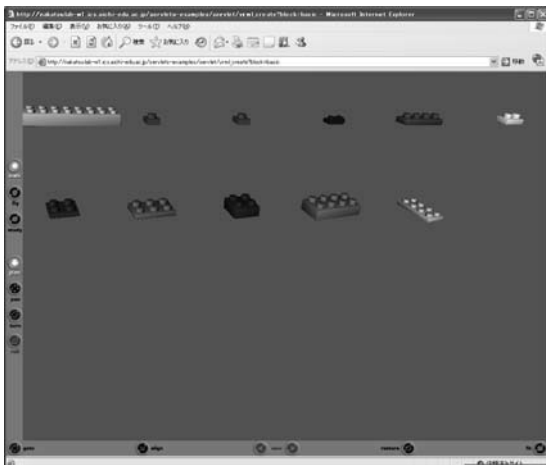


図2 部品選択の仮想空間

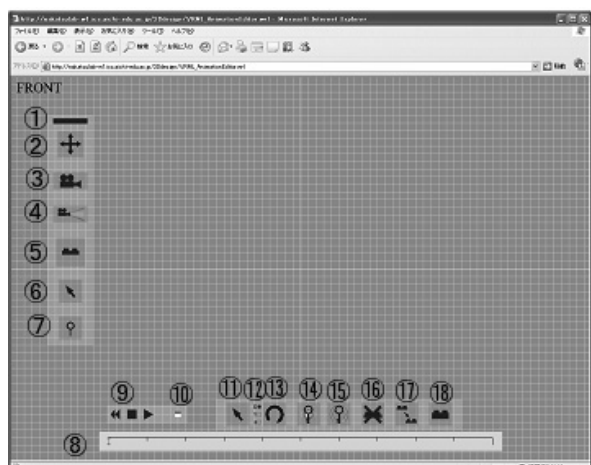


図3 システムの初期画面

テキストフィールドのプルダウンメニューから製品名を選ぶこともできる (図5)。

データが読み込まれた場合、図3内に部品の1部が表示される場合がある。図3⑨の再生ボタンを押せば、製品の組み立てアニメーションが開始する。再生が始まると⑨の再生ボタンが消え、ポーズボタンが現れる。



図4 編集ウィンドウ



図5 アニメーションの選択

⑨には他に停止ボタンと巻き戻しボタンが表示されている。再生が進むにつれ、⑧のタイムバー上をタイムカーソルが移動し、再生時間を示す。停止中にこのタイムカーソルをドラッグすることによって、任意の時間に移動することができる。

図3では製品を正面から見た場面が表示されているが、カメラボタン(図3の③)をクリックするたびに、正面→側面→上面→正面と視点が変化する。現在の視点は図3の左上に文字で Front (あるいは Side, Top) と表示される。

本システムでは図6に示す座標系を想定しており、z軸の正から負の方向を見た場合を正面、x軸(y軸)の正から負の方向を見た場合を側面(上面)と称している。

カメラボタンでは3つの固定された視点の切り替えを行うだけであるが、図3の④の3Dビューボタンをクリックすれば、図3は図7に示すような3Dビュー画面に切り代わる。この3Dビュー画面の視点移動アイコン(図7の②)にマウスを合わせ、そのままマウスを上下左右にドラッグすれば、画面内の部品を任意

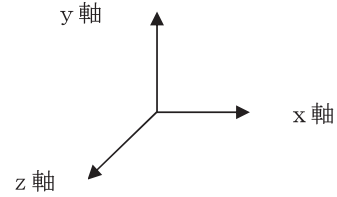


図6 本システムで想定している座標系

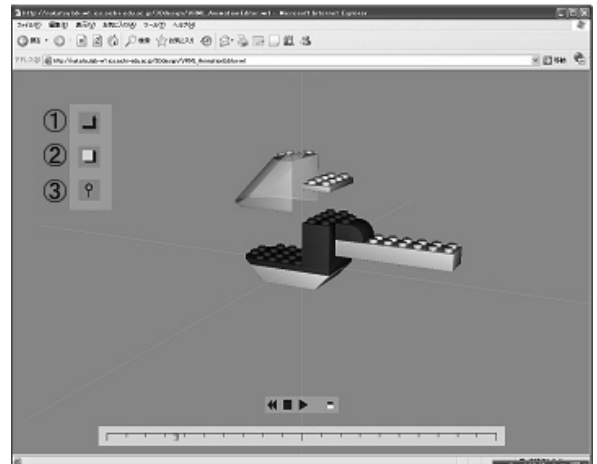


図7 3Dビュー画面

の角度から眺めることができる。図7の③は拡大縮小アイコンで、②と同様の操作で、画面を拡大したり縮小して見ることができる。視点移動や拡大縮小の操作は、アニメーションが再生中か否かに関わらずいつでも利用できる。図7の下部に表示されている制御ボタンは図3の⑧~⑩と同じである。図7の①は図7から図3の初期画面に戻るためのボタンである。別のアニメーションファイルを開けば、それまでのデータは破棄されて、新しいアニメーションデータに置き換わる。

アニメーションの再生中に、部品が画面からはみ出しそうになった場合は、図3の②をクリックしそのまま上下左右にドラッグすれば、空間を上下左右に並行移動できる。同様に図3の⑦をクリックしそのまま左右にドラッグすることで、表示部品を拡大したり縮小したりできる。こうしたアイコンが邪魔になった場合、①をドラッグすることで①~⑦のアイコンの表示位置を任意の位置に移動できる。

4.2 アニメーションの作成

アニメーション作成は、以下の手順を繰り返すことによって行うことができる。図3の⑧のタイムバー上のタイムカーソルをドラッグして任意の時刻 t_1 にセットし、必要な部品を空間内に配置する。次に同様の手順で、タイムカーソルを時刻 $t_2 (> t_1)$ にセットし、時刻 t_2 における各部品の位置や向きを各部品ごとにセットする。すると時刻 t_1 から t_2 にかけての部品の移動が自動的に補間されて、滑らかな変化としてアニメーションとして表現される。ある時刻 t_1



図8 部品検索ウィンドウ



図9 部品の作成ウィンドウ



図10 図2である部品をクリックした後の画面

に新しい部品を空間内部に配置すると、アニメーションを再生した場合、時刻 t_1 になると、その部品が空間内に突然出現する。複雑な部品を組み立てる場合には長いステップが必要になる。⑩のアイコンは、タイムバー上のステップの数を調整するためのアイコンで、⑩をクリックするとステップ数を選択するウィンドウが表示される。ステップ数の最大は100である。

新しい部品を空間内に追加する手順を説明する。図3の⑤の部品作成アイコンをクリックすると、図8、9の2つのウィンドウが新しく現れる。図8は部品検索ウィンドウで、データベースに登録されている部品検索ができる。現在基本部品は図1にあるように、role属性しか登録されていないのでこの値でしか検索でき

ないが、色や材質などさまざまな属性を登録すれば、部品検索の機能を改善できる。図8で role 属性を与えて検索すれば、その検索結果は図2に示したような仮想空間として表示される。利用者は図2の中で、作成したい部品を見て、その部品をクリックする。部品が1つクリックされると、図2は図10の画面に変化する。図10の指示に従って、図9の中の「作成」ボタンを押せば、図3の空間内に、選択した部品が追加される。図9の translation フィールドは左から順に空間内の (x, y, z) 座標を表しており、「作成」ボタンを押す前に、これらのフィールドに値を書き込めば、空間内の任意の位置に部品を作成できる。

なお図10はブラウザウィンドウなので、ブラウザの「戻る」ボタンを押せば、図10から再び図2が表示される。この段階で、再びどれかの部品をクリックして、上と同じ操作を行えば、続けて部品を作成できる。図2で再び「戻る」ボタンを押せば、図8の部品検索ウィンドウに戻る。別の条件で部品を検索して別のカテゴリの部品を追加することができる。同じ空間内に同一の部品を複数個追加することも可能である。空間内に配置された部品にはそれぞれ固有の名前がつけられているが、同一部品の場合は、部品名の最後に0から始まる通し番号をつけて区別している。

ある部品Pが、時刻 t_1 における位置から時刻 t_2 にかけて、位置や向きを変化させるようなアニメーションを作成する手順を説明する。今タイムカーソルは t_1 にあり、空間内にPが表示されているとする。Pが見えない場合には、カメラボタン(図3の③)を使って視点を変えてみればよい。まずタイムカーソルをドラッグして時刻を t_2 にセットする。図4の編集ウィンドウの select block フィールド(プロダクションメニューになっており、時刻 t_1 における、空間内の全ての部品名が現れる)で移動したい部品Pを選ぶ。この操作で選択された部品の上には選択マークが表示される。図3の部品選択アイコン(図3⑪)を使っても部品の選択ができる。図3⑪をクリックする度に選択される部品が次々と変化し、部品選択マークも移動する。自分が移動したい部品上に選択マークが付くまで図3⑪をクリックすればよい。

選択された部品は、マウスをドラッグすることで、空間内の任意の位置に移動できる。ただしマウスのドラッグによる移動は上下左右の2方向しかできない。従って正面から見た場合は選択した部品を、XY平面でしか移動できない。奥行き方向に部品を移動したい場合は視点を変えて、例えば上面からみて移動する(この場合はXZ平面上で移動できる)。

時刻 t_1 から t_2 にかけて、部品の方向を変えたい場合は、上と同様に部品選択を行う。次に、編集ウィンドウで回転軸を選び(x, y, z のラジオボタンになっている)、同じウィンドウ内の「回転」ボタンを

押す。「回転」ボタンをクリックするたびに、選択された部品は指定の座標軸の時計方向に90度回転する。従って4回転すれば元の方向に戻る（部品の位置は変わらない）。部品の回転は図3の⑫⑬のアイコンを使ってもよい。図3⑫は回転軸の指定で、⑬は選択された部品を90度時計方向に回転するためのアイコンである。

時刻 t_2 における部品の新しい位置と方向が決まれば編集ウィンドウ内の「T_SET」「R_SET」ボタンを押す。向きを変えずに位置だけを変える場合は「T_SET」を押すだけでよい。図3の⑭、⑮のアイコンはそれぞれ編集ウィンドウの「T_SET」「R_SET」ボタンと同じ意味をもつ。これらのボタンを押すまでは、何度でも部品の位置合わせや向きを変えても良い。また、空間内の位置を確認するために3Dビュー画面を利用しても良い。これらのボタンを押し忘れた場合は、選択した部品の位置や向きの変化はすべて無効になるので注意が必要である。

時刻 t_1 から t_2 にかけて3つの部品を移動する場合には、それぞれの部品ごとに（つまり3回）移動を定義する必要がある。ある場合には、複数の部品をまとめて移動したい場合がある。この場合、部品それぞれを個別に移動するのは手間がかかって仕方が無い。それら複数の部品をまとめて1つの部品として扱えば便利である。

編集ウィンドウの「結合」ボタンは2つの部品を結合して1つの部品とすることを意味する。結合したい部品（Aとする）を選択し、「結合」ボタンを押すと図11の結合相手先を選択するウィンドウが表示される。ここで結合先として部品（Bとする）を選ぶと、部品Aは部品Bの1部として扱われ、Aという名前の部品はなくなる。AをBに結合することとBをAに結合することは、どちらの名前が残るかの違いで効果は同じである。図3の⑯のアイコンは図4の編集ウィンドウの「結合」ボタンと同じく、選択した部品を他の部品に結合する場合に用いる。なお結合は、時刻0（つまりタイムカーソルが左端にあるとき）では実行されない。

なお、図3の⑰は選択した部品を削除、⑱は選択した部品の複製を作成するという意味をもち、それぞれ

編集ウィンドウの「削除」「複製」ボタンと同じ効果をもたらす。複製の場合には、空間内の全く同じ位置に部品が作成されるため、見た目は1つの部品しか表示されないが、複製された部品（オリジナルと異なる名前をもつ）を選んで移動すれば、それぞれ表示される。

編集ウィンドウの「結合解除」ボタンを押せば、再び図11が開き、どの部品を結合解除するかを選択する。この場合、最も最近結合された部品との結合が解除される。結合解除の意味は、そのような結合が初めから無かったものとして扱われる点に注意が必要である。例えば時刻 t_1 で部品BをAに結合し、その後、時刻 t_2 ($> t_1$) までの間に、部品Aを別の場所に移動したとする（部品BはAに結合されているので、Bと連動して動く）。ここで部品Aの結合を解除し、AとBに分けると、部品Aの位置は変わらないが、部品Bは移動後の位置ではなく、元あった位置（時刻 t_1 におけるBの位置）に戻るようになる。

4.3 データベースへの保存

4.2に示した手順で作成したアニメーションや、設計者自身が結合を繰り返して作成した部品を新規部品として登録することができる。完成品ではないが、あるまとまった機能を果たし、他の製品の一部として利用できそうな部品を新規部品として登録すれば、他の設計者がその部品を他の用途に利用可能である。例えば、物をつかむ機能をもったメカは、ロボットの腕として利用したり、建設機械の一部として利用できる。このように、ある設計者が考えたメカニズムのアイデアをデータベースに登録すれば、本システムの利用者はだれでもその部品を利用できる。

アニメーションや新規部品の登録は、編集ウィンドウの「保存」ボタンを押すことで行える。「保存」ボタンを押すと、図12のウィンドウが開く。アニメーションの登録の際は図12の中の「アニメーションの保存」ボタンを選択し、アニメーション名（拡張子の.vmaを入力しない場合は、自動的に付与される）だけを入力する。ここでつけた名前が、図5の画面で使用され



図11 結合（結合解除）ウィンドウ



図12 保存ウィンドウ

る。選択された部品を登録する際は、「選択された部品を保存」ボタンを選択し、新しくつける部品名（拡張子の.wrlを入力しない場合は、自動的に付与される）と分類名を登録する。ここで入力した分類名が図8の検索の場面で使われ、ここでつけた名前が、図4や11の部品名として使用される。

既にデータベースに登録されているアニメーション名や部品名と同じ名前では登録できない。しかし、全く同じ部品やアニメーションを別名で登録することは可能である（同じ部品やアニメーションが既に登録されているかどうかは判断できない）。

5. ま と め

本システムの重要な目的の1つは、設計者が現実世界に近い感覚で部品の組み立て設計を行い、ユーザは組み立て工程のアニメーションを自由な視点で見ながらスムーズに現実世界で組み立てが行えるようにすることである。

本研究で、部品を作成する際、視覚的に部品を選択できるようになり、より使いやすくなった。また保存先が前システムではファイルであったが、本研究ではデータベースを用いた。それにより部品の検索が可能となり、多くの新規部品を登録しても部品選択をしにくくなるということはなくなった。

VRMLでは部品の透明度を自由に設定できるため、本システムを利用して簡単な3次元教材を作成することが可能である。例えば立方体と平面（厚みの薄い直方体で近似）を用意して、立方体を透明度の高くし、平面の透明度を0にしておく。両者が交差する場面を、角度を変えて観測することで、立方体を平面で切断した場合の切り口の形状を観測できる（図13）。

また、VRMLでは部品の表面に任意の画像を貼り付けることもできる。そのため自転する地球などの表示も容易である。この他、太陽系をモデル化し、各惑星が自転しながら太陽の周りを公転の様子を演示する等にも利用できるかもしれない。

本システムでは、2つの部品の衝突検査を行っていないので、現実にはあり得ない関係で2つの部品を配置することもできる。例えばある部品が他の部品の中に潜り込むように配置することもできる。その代わりに、上で述べたように、2つの物体が交差する場合や、車軸がギアを貫通するようなケースはそのまま表示でき

る。

レゴのブロックを組み立てる場合は、接合面を合わせる必要がある（凸の面と凹の面を合わせて組み立てる）。本システムでは、結合が実際に可能かどうかの判定を行っていない。実際には結合できない部品同士を結合することも可能である。2つの部品が結合可能かどうかの判定、及び、その結合の妥当性（結合の強度）の判定は残された困難な課題である。

本研究で扱った3次元設計図が、わかりやすさ、製品組み立てに要する時間などの点で、従来の紙面の設計図と比べてどの程度有効であるのかを調査することもまた残された課題である。

参 考 文 献

- [1] <http://www.legoeducation/mindstorms/>
- [2] <http://www.parallelgraphics.com/>
- [3] <http://www.web3d.org/x3d/>
- [4] <http://www.mediamachines.com/>
- [5] <http://www.metaseq.net/metaseq/index.html>
- [6] <http://www.postgresql.jp/document/pg74doc/html/index.html>
- [7] Lego社 “Robotics Invention System 2.0”, 2000
- [8] http://nakatsulab-w1.ics.aichi-edu.ac.jp/3Ddesign/VRML_AnimationEditor.wrl

（平成18年9月19日受理）

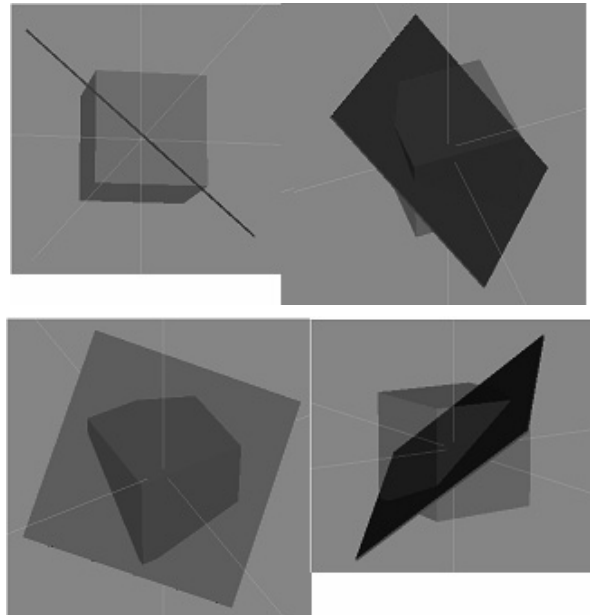


図13 立方体を平面で切断した場面をさまざまな方向から見た図