

## デジタル・モックアップとコンカレント・エンジニアリングのための 協調設計インターフェイスの開発

### Development of Collaboration Interface Devices for Digital Mock-up and Concurrent Engineering Based on VR Technology

小島一恭<sup>\*</sup>, 綿貫啓一<sup>\*</sup>

Kazuyuki KOJIMA and Keiichi WATANUKI

Concurrent engineering is a business strategy which replaces the traditional product development process with one in which tasks are done in parallel and there is an early consideration for every aspect of a product's development process. And digital mock-up is increasingly being used as a design tool when conventional CAD runs out of steam trying to manipulate large assemblies. At the same time, digital product and component visualization solutions are being deployed to enhance communication, innovation and quality in departments as diverse as designing, styling, engineering, manufacturing, purchasing, marketing, advertising and recycling. However, the tool is too complex and cumbersome for collaborators to use in the aspect like as design review (DR) discussing to modify a product. In this report, the virtual reality (VR) system in which collaborators can handle digital product easily by using 3D stereoscopic visualization system and haptic devices. Our proposed system allows collaborators to modify and combine the models while they are working on into a virtual assembly, so that they can continue the process of collaboration and work out what will happen when they fit their components together.

**Keywords: Digital mock-up, Concurrent engineering, Virtual reality, Human interface, Interaction**

#### 1. はじめに

近年, 製品開発において複数の部署や設計者が同時に製品検討を行うことが, 開発期間の短縮やコスト・ダウンを図る上で重要になってきている. この設計手法はコンカレント・エンジニアリングと呼ばれ, 製品開発の初期段階から各部署間の密なコミュニケーションを図り, 商品企画, 設計, 試験, 購買, 製造, 品質保証, 保守サービス, 営業, 広報, 環境, 廃棄, 回収, 再利用などあらゆる要素を考慮することで, 製品開発の手戻りを最小限に抑えようという考え方を取入れた手法である.

また, 一方で, 工業製品の設計段階で実物模型を製作せず, 3次元CADで作成したモデルを中心に製品検討を行う, デジタル・モックアップが大手メーカーを中心に導入され, 開発期間の短縮, コスト・ダウンで大きな効果をあげている. デジタル・モックアップでは, モデルをデジタルデータとして扱うため, 遠隔地

にいる人間同士でもネットワークを介して同じモデルを見ながらコミュニケーションを図ることが可能である. また, 設計以外の部署に所属する者でもコンピュータ画面に表示される3次元形状を通じて容易に製品形状を把握できるため, 他部署間でのコミュニケーション・ツールとしても有用である. デジタル・モックアップを利用することで, 従来の製品開発プロセス(図1)のように各プロセスにおいて担当部署のみが関与しプロセスを順次進めるのではなく, 製品開発の全プロセスにおいて多くの部署が関与し, 複数のプロセスを同時並行的に進めることも可能となる(図2). さらに, 製品設計初期段階やデザインの段階で頻繁な設計変更が生じたとしても, デジタル・モックアップであれば, 実物模型を製作するわけではないため, 時間とコストを大幅に低減でき, また, 変更後の形状確認を迅速に行うことができるというメリットがある.

しかしながら, 複数部署間あるいは複数設計者での検討の際に対象製品に設計変更が生じた場合, 3次元CADの複雑な操作を修得した者がいなければ, その場での変更は困難であるため, 設計部門への持ち帰りとなり, 開発期間に遅延を生じさせる要因となる. CAD

<sup>\*</sup> 埼玉大学 工学部 機械工学科  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Sakuraku, Saitama-shi, Saitama 338-8570, Japan.

操作に習熟した者がいたとしても、設計変更の提案者が CAD 操作者を通じて自分の考えを製品に反映させるのは容易ではない。また、コンピュータ画面に表示される 3 次元形状モデルは、実際には実物とは大きさの異なる 2 次元平面上のグラフィックイメージであり、実物大模型を製作して検討を行う場合と比べると、ボリューム感や質感に欠けるというデメリットもある。

そこで、本研究プロジェクトでは、バーチャルリアリティ (VR: Virtual Reality) 技術を応用し、実際のモックアップにより近い形態、すなわち、視覚や力覚を通じて形状やボリューム感、重量などを知覚し、かつ複数の人間が容易にコンピュータ内の 3 次元モデルを操作可能な協調設計インターフェイスを開発する。

## 2. デジタル・モックアップ

工業製品の設計段階では、実物大模型を製作し、その重量感や使用感、あるいは組立時の干渉チェックや組立性などの検討を行うことがあるが、この実物大模型をモックアップと呼ぶ。ただし、ここではデジタル・

モックアップとの混同を避けるためモックアップを実物大模型と呼ぶこととする。

近年の CAD/CAM/CAE とその周辺技術の発展に伴い、実物大模型を製作せず、コンピュータ内に作成された 3 次元形状モデルに基づいて、製品の外見や内部構造について比較検討するデジタル・モックアップが大手メーカーを中心に導入され、製品の開発期間の短縮やコストダウンで大きな効果をあげている。実物大模型を作る局面はデザインや操作性の確認など製品開発の中盤以降に限られていたが、デジタル・モックアップでは工程全体にまで拡張することが可能である。図 3 は、デジタル・モックアップを利用した設計部門と製造部門の打ち合わせの一例である。詳細寸法については 2 次元図面を見ながら、形状についてはコンピュータ画面に表示される 3 次元形状モデルを見ながら検討する。3 次元形状モデルは簡単なマウス操作で、移動、回転、拡大縮小が可能のため、形状を把握しやすい。しかしながら、デジタル・モックアップを利用する場合、次のような問題点もある。

- (1) 実物大模型を使用して製品の検討を行う場合と比して、ボリューム感や重量を把握しづらい、あるいは、把握できない。
- (2) 実物大模型に比べ形状変更・確認は迅速になったとはいうものの、3 次元モデルの形状変更には複雑な CAD 操作が必要であるため専門のオペレータが必要となり、旧来どおり設計変更とその確認に時間がかかる場合がある。
- (3) 3 次元形状モデルはデジタルデータとしてネットワークを介して遠隔地の部署間でやり取りできるが、視点移動や形状変更などの操作が同期されておらず、コミュニケーション・ツールとしての使用感に欠ける。

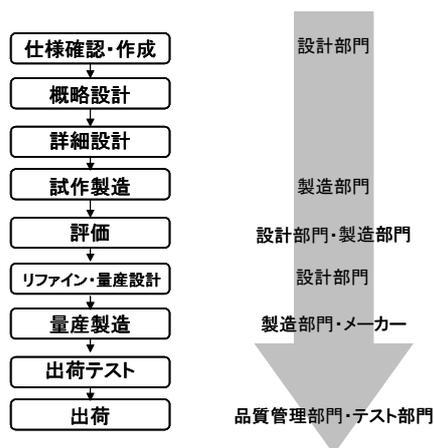


Fig.1 Conventional production process

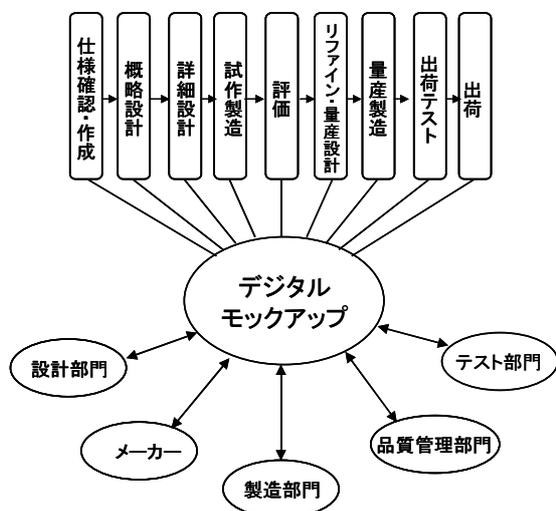


Fig.2 Concurrent engineering with digital mock-up



Fig.3 Design review with digital mock-up

### 3. VR 技術を応用した新たな協調設計 インターフェイスの開発

#### 3.1 システムの概略

本研究プロジェクトでは、前述の問題点を解決するため、VR 技術を応用した新たな協調設計インターフェイスを開発する。図 4 にシステムの概略を、図 5 に使用時のシステム構成例を示す。本システムは、コンピュータ内の仮想空間内に 3 次元モデルを構築し、そのモデルを立体視装置で立体視するとともに、力覚呈示装置を用いて、造形・変形・移動・削除などの操作を行えるようにするものである。これらの操作は、ネットワークを介して遠隔地の複数のシステムで同期的に処理される。本システムを製品開発の各工程におけるコミュニケーション・ツールとして使用することで、部署間の連携を促進するとともに、更なる期間の短縮、コストダウンの効果が期待できる。

#### 3.2 立体視システム

立体視システムは、CRT に時分割で左右の視差のついた映像を交互に表示し、液晶シャッターメガネを併用して左右の眼に視差のついた映像を独立して呈示することにより立体視が可能なシステムである。また、メガネにヘッドトラッキング装置を取付け、体験者の視点位置をフィードバックし、視点位置に応じた映像をリアルタイムで表示する。

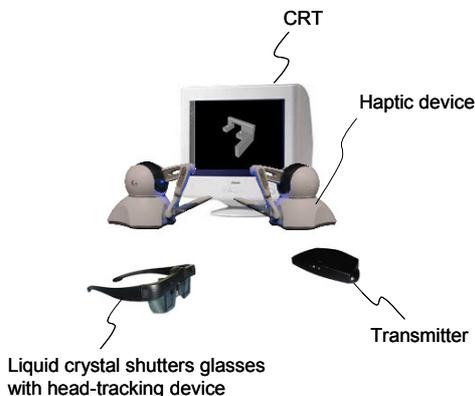


Fig.4 Outline of our proposed system

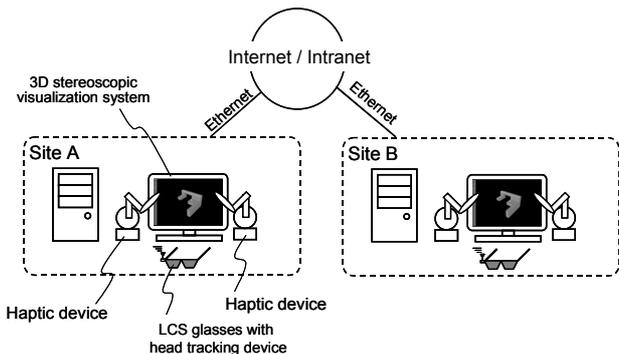


Fig.5 Collaboration interface system architecture

#### 3.3 力覚呈示装置

本研究では力覚呈示装置 (SensAble 社製 PHANTOM Omni) を PC 1 台につき 2 台使用する。表 1 に本力覚呈示装置の概略仕様をまとめる。本装置は 6 自由度 (力覚に関しては 3 自由度) の力覚呈示装置で、力覚呈示範囲は 160 × 120 × 170 [mm], 最大呈示力は 3.3 [N] である。ユーザはスタイラスを通じて 3 次元位置の入力を行い、同時にスタイラスを通じて力覚呈示装置から反力を返される。

#### 3.4 ソフトウェアの構成

図 6 に開発するシステムのブロック図を示す。図において「\*」で示される部分は独自に開発を進める部分である。立体視、力覚呈示およびネットワーク通信など全体を統合するソフトウェアを Windows XP 上のアプリケーションとして実装する。本アプリケーションは基本的に VRML2.0 (以下、VRML) のブラウザとして機能するが、立体視の設定や外部機器の制御、ネットワーク通信のために独自の拡張を施す。また、力覚呈示装置との相互作用により、3 次元形状モデルの造形・変形・移動・削除を行う部分も新たに拡張する。この拡張により、単に VRML 形式のファイルを読み込んで 3 次元形状を画面上に表示するだけでなく、VRML のコード内に記述する立体視や外部機器、ネットワー

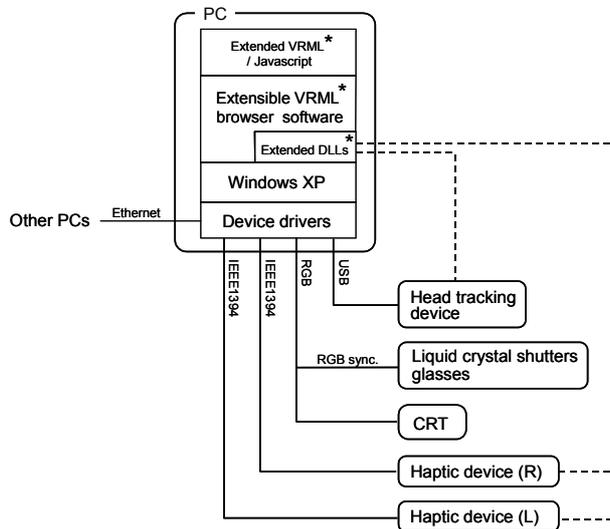


Fig.6 Block diagram of system

Table 1 Specification of haptic device

名称	The PHANTOM Omni Device
力覚呈示範囲(幅×高さ×奥行)	160 × 120 × 70 [mm]
位置分解能	0.055 [mm]
据置時の占有範囲	168 × 203 [mm]
重量	3 lb 15 oz
自由度	6
力覚自由度	3 (x, y, z)
最大呈示力	3.3 [N]

クなどの設定の読み込みが可能となり、また、スタイラスを用いた3次元形状モデルの各種操作が可能となる。これらの拡張は、ダイナミックリンクライブラリ (DLL: Dynamic Link Library) として作成するため、拡張する度に本体のソフトを再構築する必要はない。

### 3.5 視覚モデルと力覚モデルの整合性

力覚呈示装置は、コンピュータ画面に呈示される視覚モデルとは別の力覚呈示用のモデルをもつ。このモデルを力覚モデルと呼ぶ。力覚呈示装置は複数のスタイラスに加えられる力と力覚モデルとの力学的な相互作用を考慮してユーザに返す反力を決定する。しかし、視覚モデルと力覚モデルはそれぞれ独立に座標系を持つため、この整合性を保つように視覚モデルと力覚モデルを構成する必要がある。図7は、視覚モデルと力覚モデルの位置関係を模式的に示したものであるが、理解しやすいように力覚呈示装置は1台のみ表示する。図7(a)は視覚モデルと力覚モデルが一致していない場合、図7(b)は一致している場合を示している。視覚モデルと力覚モデルの位置が一致していない場合には、表示されているモデルをスタイラスで触ろうとしても適切な反力は得られない。図7(a)のような場合には、表示されているモデルとは全く異なる位置で反力が返ってくる事となる。図7(b)のように、視覚モデル

と力覚モデルの位置が一致している場合には、表示されている3次元立体視モデルをあたかもスタイラスで触っているかのような感覚が得られる。本システムでは、力覚呈示装置の設置位置をVRMLの記述で設定することにより、簡便に両モデルおよび座標系を一致できるように工夫している。

### 3.6 複数の力覚呈示装置の協調とその効果

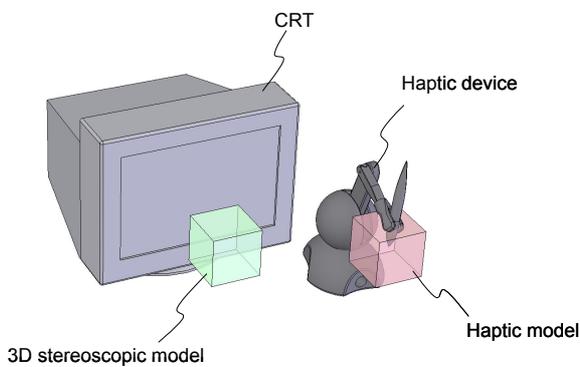
本システムでは1台のPCにつき2台のPCを使用し、2つスタイラスを動かしながらスタイラス上のボタンを操作することで、3次元形状モデルへのさまざまな操作が可能となる。例えば、一方のスタイラスで3次元形状モデルを固定し、他方のスタイラスで3次元形状モデルを変形したり、マーキングしたりということが可能となる。また、本システムはネットワークを介してさらに多くの力覚呈示装置を混在させることが可能であり、例えば、同様のモデル2個を同一のVR空間内に用意し、それぞれのモデルを2人の設計者が同時に加工し、直ちに並べて比較するという事も可能である。本システムを製品開発の各段階でのコミュニケーション・ツールとして使用することで、複数開発者間、複数部署間の密なコミュニケーションが可能となり、更なる期間の短縮、コストダウンの効果が期待できる。

## 4. おわりに

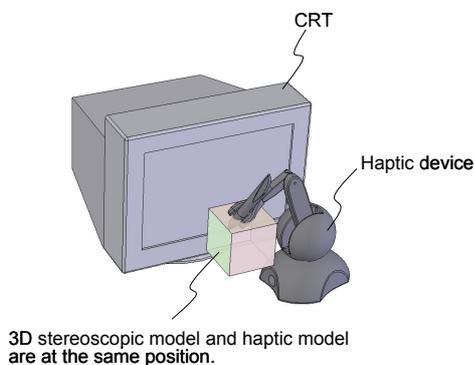
本報告では、VR技術を応用し、実際のモックアップにより近い形態、すなわち、視覚や力覚を通じて形状やボリューム感、重量などを知覚し、かつ複数の人間が容易にコンピュータ内の3次元モデルを操作可能な協調設計インターフェースの開発について述べた。本研究プロジェクトは、21世紀総合研究プロジェクト研究経費の助成により行われたものである。

### 参考文献

- 1) 綿貫啓一, 小島一恭, 可搬型仮想共有環境システムによる鋳造製品設計支援, Design Symposium 2004 講演論文集, pp.271-274, 2004.
- 2) 綿貫啓一, 小島一恭, 可搬型仮想共有環境におけるコンテンツ呈示方法と学習効果, ヒューマンインタフェース学会ヒューマンインタフェースシンポジウム2004 論文集, pp.339-342, 2004.
- 3) 綿貫啓一, 小島一恭, VR空間における可視化モデル呈示方法とその没入感・現実感への効果, 日本機械学会第14回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.04-38, pp.384-387, 2004.



(a) Incorrect arrangement



(b) Correct arrangement

Fig.7 Arrangement of 3D model and haptic model