

I-11 鋼桁橋プロダクトモデルと VR-CAD の開発及び

立体視の有効性検討

Development of a Product Model for Steel Girder Bridges and VR-CAD and Investigation on the Effectiveness of Stereoscopic Vision in Virtual Reality

矢吹信喜¹・町中啓樹²

Nobuyoshi Yabuki, Hiroki Machinaka

抄録：我々は、以前から鋼桁橋を対象としたプロダクトモデルの構築と、ヴァーチャルリアリティ技術を用いた鋼桁橋の設計システム（VR-CAD）の開発を行っている。以前構築した鋼桁橋のプロダクトモデルは、フランジやウェブ等の各要素をオブジェクトとして定義できないことや接合に関する情報を定義できないという問題があった。また、VR-CAD においては、マウス操作による部材の選択や、視点移動ができず操作性に問題があった。本研究では、これらの問題を改善するために鋼桁橋のプロダクトモデルの再構築を行い、VR-CAD を Java 3D を用いて開発することで操作性の向上を図った。さらに、VR-CAD の視覚的効果に関するアンケート調査を行った。

Abstract: We have been developing a product model and a virtual reality (VR) CAD for steel girder bridges. The previously developed model had a problem of being unable to represent elements such as flanges and webs of plate girders and being unable to define the information of connections. Further, it was impossible to select a design member by mouse clicking and it was not easy to move the viewpoint for a long distance. Therefore, in this research in order to solve these problems, the product model was modified and the VR-CAD system was improved by using Java 3D. Next, to investigate the effectiveness of the visualization of virtual reality, comparison between a 3D CAD system and VR CAD system was executed.

キーワード：プロダクトモデル, IFC2x2, プロパティセット, VR-CAD, 立体視
Keywords : product model, IFC2x2, property set, VR-CAD, stereoscopic vision

1. はじめに

土木構造物のライフサイクルにおいて、各種アプリケーションシステム間のデータの相互運用を可能にすることを目的に、3次元プロダクトモデルの研究開発が各方面で進められている¹⁾²⁾。我々は以前から、IAI (International Alliance for Interoperability) の IFC (Industry Foundation Classes)³⁾をベースとして、PC 橋梁や、鋼桁橋等の3次元プロダクトモデルの構築を行ってきた⁴⁾⁻⁷⁾。この中で我々の鋼桁橋のプロダクトモデルは、鋼桁橋を構成する各要素（フランジ、ウェブ等）を個々のオブジェクトとして定義できないといった問題があった。さらに、溶接、高力ボルト等の接合に関するモデルも定義されていないという問題があった。そこで本研究では、個々の要素をオブジェクトとして定義できるクラスを構築し、溶接、ボルト等の接合に関する属性情報を定義するプロパティセットを定義して、鋼桁橋プロダクトモデルの再構築を行うことを第一の目的とした。

また、3次元プロダクトモデル等の3次元情報モデルをベースとした設計のユーザーインターフェースは、

3次元 CAD や CG であるが、3次元とは言っても平面的なディスプレイ上にモデルが描写される。そのため、多くの部材が複雑に配置されているような構造物の場合、同一平面上に複数の部材が重なって表示され、設計作業に困難を感じることもある。そこで我々は、立体視ができ、頭や体を動かすだけで視点を移動できるヴァーチャルリアリティ (VR) 技術を用いた VR-CAD システム (図-1) を開発し、鋼桁橋の設計に適用し

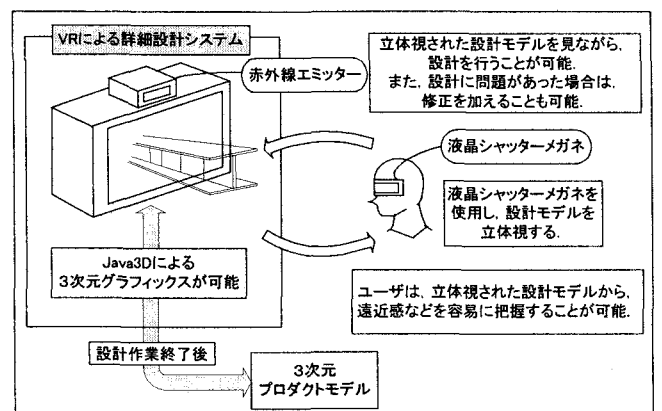


図-1 VR-CAD システムの概要

1 : 正会員 Ph.D. 室蘭工業大学 助教授 工学部建設システム工学科
 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1, Tel :0143-46-5219, E-mail : yabuki@news3.cc.muroran-it.ac.jp)
 2 : 学生会員 室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

た⁷⁾。しかしながら、1つのオブジェクトをディスプレイ上でマウスによって選択できる機能がなかった。もう1つの問題点は、視点を頭で移動できる範囲を超えて移動させるためには、座標を入力する必要があった。本研究では、VR-CADをマウスによる部材選択及び視点移動ができるように改善することを第二の目的とした。

さらに、VR-CADの形態には液晶シャッターメガネやHead Mounted Display (HMD)等があるが、これらの立体視可能なディスプレイシステムは通常のフラットな画面を用いる3D-CADシステムよりどの程度効果があるのかを評価したいと考えた。そこで、3つのシステム(液晶シャッターメガネ、HMD、通常のディスプレイ)を用いて、各種立体や3Dの鋼桁橋のモデルを土木コース三年生約50名に見せて、アンケートを行うことにより、VR-CADの有効性を検討することを第三の目的とした。

以下、鋼桁橋プロダクトモデルの開発、VR-CADシステムの改善、立体視の有効性検討に関して述べる。

2. 鋼桁橋プロダクトモデル

(1) IAIのIFC

IFCとは、建設業界での情報の共有のための方法を提供するために、建設プロジェクトで最小限必要とされるデータ(例えば、梁や柱等)をクラスとして定義し、そのクラスからオブジェクト(実態となる)の生成、各オブジェクトへのアクセスや演算を行うためのクラスライブラリである。すなわち、IFCは建築構造物の要素ならびに設計・施工・維持管理等の情報をまとめたカスタマイズ可能な業界ベースのオブジェクトを提供している。よって、施主、建築家、構造技術者、設備業者、施工業者等の各プレーヤーがプロジェクト・モデルを共有することが可能となると考えられ、ライフサイクルを通じた各種業務の大幅な効率化が期待されている。

IFCの現在の最新バージョンは、2003年5月に公開されたIFC2x2である。以前のIFC2xは梁、柱、壁、床等の建築構造物を構成するハード的な要素の定義が中心であったが、IFC2x2では荷重や変位を定義するクラス、部材の接合方法を定義するクラス等が新たに加えられた。また、オブジェクト間の関係を定義するクラスの改良が行われた。

IFCは建築構造物を主対象としていることから、土木構造物に直接応用することは困難であるため、土木構造物専用のクラスが必要になる。IAIフランス支部では橋梁を対象とするプロダクトモデルIFC-BRIDGE[®]を開発した。同時期に我々も似たようなプロダクトモデルを開発したことから、お互いに協力

しながらより良い橋梁プロダクトモデルを開発することで合意し、共同研究を実施中である。本研究は、その一環である。

(2) 鋼桁橋プロダクトモデルの再構築

以前我々が開発した鋼桁橋プロダクトモデルは、IFC2xに鋼桁クラスや荷重クラス等を新たに開発して付け加えたものであった。しかし、このプロダクトモデルでは、フランジやウェブ、補剛材等の個々の要素をオブジェクトとして定義するクラスや部材の接合法を定義するクラス等がなかった。そのため、設計を行う際には、フランジ、ウェブ及び接合部等の各要素の設計情報が1つの鋼桁クラスのインスタンスにおいて定義する形になった。その結果、1つの鋼桁クラスの属性が大きくなり過ぎる問題があった。

本研究では、上記の様な問題を解決するために、IFCの新しいバージョンであるIFC2x2にフランジ、ウェブ等の要素を定義できる新しいクラスを付け加え、鋼桁橋プロダクトモデルの再構築を行った。また、接合部はIFC2x2で新たに付加された接合部クラスを用いることとした。これにより、これまで困難であった要素や接合部の設計情報を適切に表現することができるため、プロダクトモデルを設計や施工等において有効に利用することが可能になると考えられる。

本プロダクトモデルの一部を図-2に示す。次節において開発したクラスとプロパティセットについて詳述する。

(3) 開発したクラスとプロパティセット

a) 橋梁クラス及び鋼桁クラス

本研究では、まず鋼桁橋を1つのオブジェクトとして定義することとした。IFCを検討すると、建築構造物を表すIfcBuildingが、柱や梁等の複数の部材から構成される関係に注目した。鋼桁橋もこれと同様と考え、IfcSpatialStructureElementのサブクラスに鋼桁橋用のBridgeクラスを定義した。

次にプレートガーダーを1つのオブジェクトとして定義するためにPlateGirderクラスを構築した。このクラスは鋼桁橋を構成する部材であることから、IfcRelContainedInSpatialStructure等のクラスを用いてBridgeクラスと関連付けるためにBridgeクラスと同階層に位置させる。また、プレートガーダーはI桁や箱桁等の種類があり、これを区別するためにPlateGirderTypeという属性を持たせた。この属性はI桁であればI_SHAPE_GIRDER、箱桁であればBOX_GIRDER等といったように予め属性値として定義されているものを選択する形式をとる。また、鋼桁橋の構成部材でプレートガーダー以外の部材を定義するためにOtherSteelBuiltupElementクラスを同様の手法を用いて構築した。

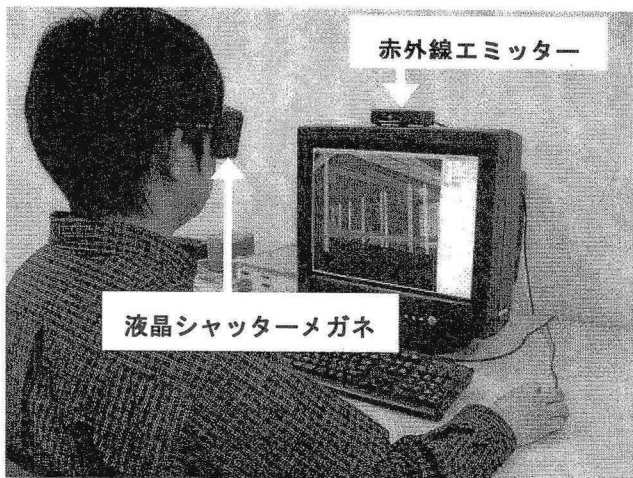


図-3 液晶シャッターメガネと赤外線エミッター

容易に移動出来るような VR-CAD システムの開発を行っている。本 VR-CAD システムの特徴は、両目視差による立体視を実現している点である。本研究で採用したディスプレイシステムは液晶シャッターメガネ及び、赤外線エミッター（図-3）であり、右目には右目用・左目には左目用の画像を見せることにより立体視を実現している。これにより、設計者は設計対象物を立体視しながら設計を行えるため、部材同士の位置関係等を3次元 CAD よりも容易に把握出来るようになる。

以前開発した VR-CAD システムでは、開発言語として Java 言語から OpenGL の描画関数を直接利用可能な API (Application Program Interface) の1つである GL4Java⁹⁾を用いた。しかし、GL4Java の環境では画面上のオブジェクトをマウスで選択することができなかった。そこで本研究では、GL4Java に代わり Java 3D¹⁰⁾を用いて VR-CAD を開発した。

Java 3D は Sun Microsystems 社が Java 2 用に開発した3次元グラフィックスの API である。キーボードやマウスをサポートする標準 Java API を使用することが出来るため、マウスで部材を選択することが可能である。

本システムの機能は、プロダクトモデルのデータを読み込み、ディスプレイ上に立体視の画像を描画する。ユーザーが通常のマウスで表示されている部材をクリックすると、最前面にある部材が選択され、部材の形状データ等を確認、変更することが可能である（図-4）。設計変更した場合には、新しいプロダクトモデルのインスタンスが作成され、表示されている画像に反映される機能を有している。

4. 立体視の有効性検討

本研究では、VR-CAD の有効性検討の1つとして、

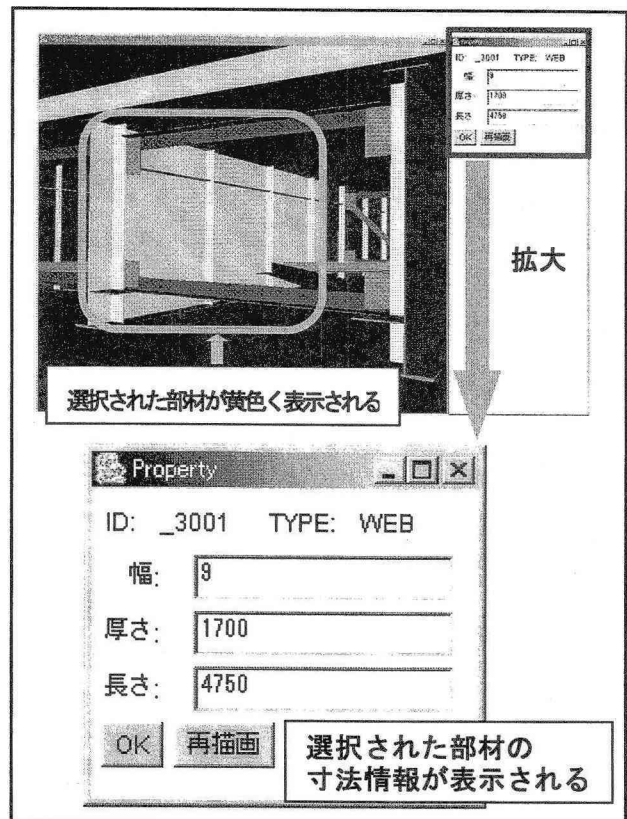




図-4 部材選択時の画面

市販されている3D-CADと本VR-CADとの視覚的な有効性を検討するために、アンケート調査を実施することとした。アンケートは本学の土木コース三年生約50名を対象として実施した。



(1) 3D-CAD と VR-CAD との比較

3D-CAD と液晶シャッターメガネを用いた VR-CAD との比較を行うために、1つの立方体、5つの立方体及び鋼桁橋の3つのモデルを作成し、以下の5つの問題を作成した（図-5、表-1）。サイズの等しいワイヤーフレームの立方体（図-6）を同じ視点から見た状態で3D-CAD及びVR-CADの画面に描画し、図-6のA、Bどちらの立方体に見えるかを選択する形式の問題を作成した。この問題において3D-CADの場合を第1問目とし、VR-CADの場合を第2問目とした。第3問目として、位置の違う5個の色の付いた（ワイヤーフレームではない）立方体（図-7）を、両システムの画面に表示させ、手前にあるものから順に順位付けを行う形式の問題を作成した。これも3D-CADの場合を第3問目、VR-CADの場合を第4問目とした。結果の評価は、1番から5番まで正しく順位付けされている解答を正解とし、一箇所でも間違っている場合は不正解とすることとした。第5問目は、両システムの画面に同じ鋼桁橋のモデル（図-8）を表示させ、視点を変える等して、実際に使用して、表-1のよう

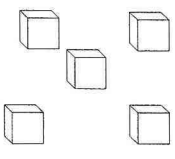
Q-1 3D-CAD の画面の立方体は以下のA, Bのどちらに見えますか？
A, Bのどちらかに○を付けてください。

A  B 

Q-2 VR-CAD の画面の立方体は以下のA, Bのどちらに見えますか？
A, Bのどちらかに○を付けてください。

A  B 

Q-3 3D-CAD の画面に表示されている5つの立方体を見て、一番手前にあるものから順に1～5まで下図の立方体に番号をつけて下さい。



Q-4 VR-CAD の画面に表示されている5つの立方体を見て、一番手前にあるものから順に1～5まで下図の立方体に番号をつけて下さい。

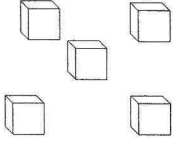


図-5 アンケートの問題（第1問～第4問）

表-1 アンケート表

	非常にそう思う	ややそう思う	どちらかといえばそう思う	あまりそう思わない	全くそう思わない
①見やすい	5	4	3	2	1
②立体感を感じることが出来る	5	4	3	2	1
③部材の特定が容易である	5	4	3	2	1
④部材の位置関係の把握が容易である	5	4	3	2	1
⑤使用した際、疲れを感じにくい	5	4	3	2	1
⑥実際の構造物をイメージ出来る	5	4	3	2	1
⑦距離感を感じることが出来る	5	4	3	2	1
⑧もっと複雑な構造物になるほど、より見やすくなると思う	5	4	3	2	1

なアンケートに答える形式とした。但し、今回使用した3D-CADは、平行投影図の状態での設計作業を行う形式であり、図法を透視図に設定するとオブジェクトの追加や修正、削除等の設計に関する操作が不可能になる。このことを考慮して本アンケートにおいては、実際の設計作業を想定して比較を行うために、3D-CADの図法として平行投影法を採用した。

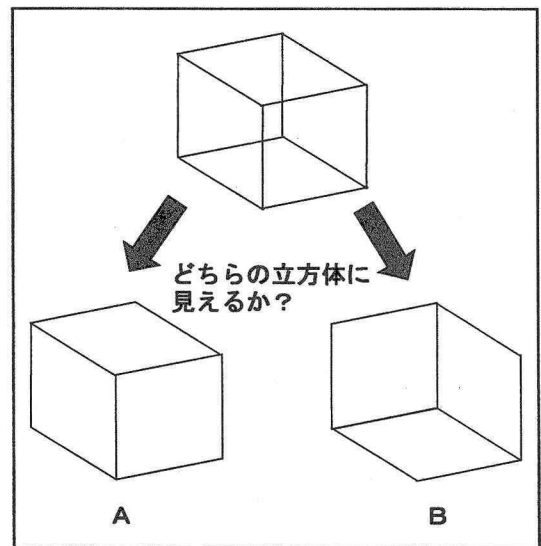


図-6 ワイヤフレームの立方体

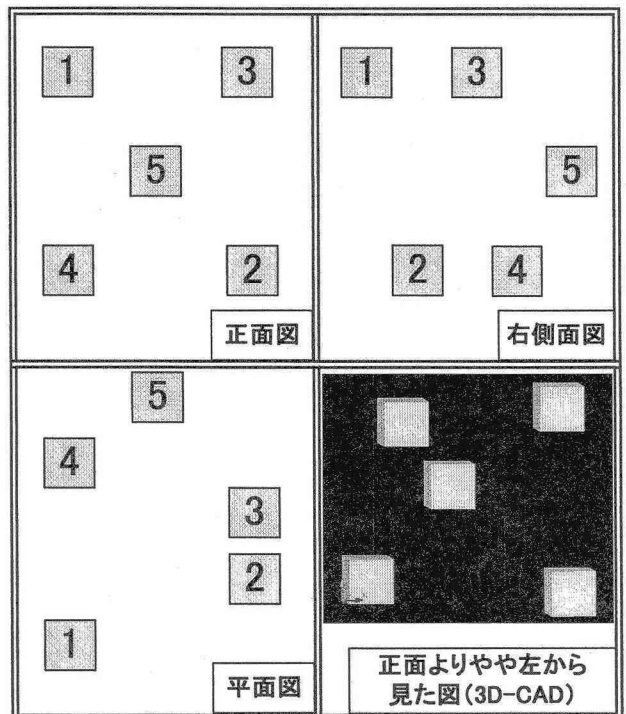


図-7 アンケートに用いた立方体

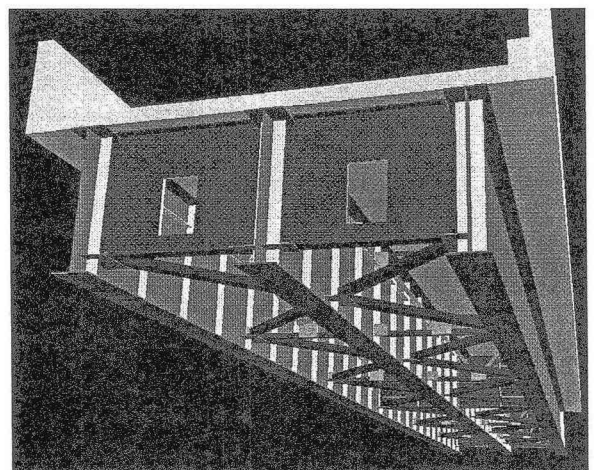


図-8 鋼桁橋のモデル

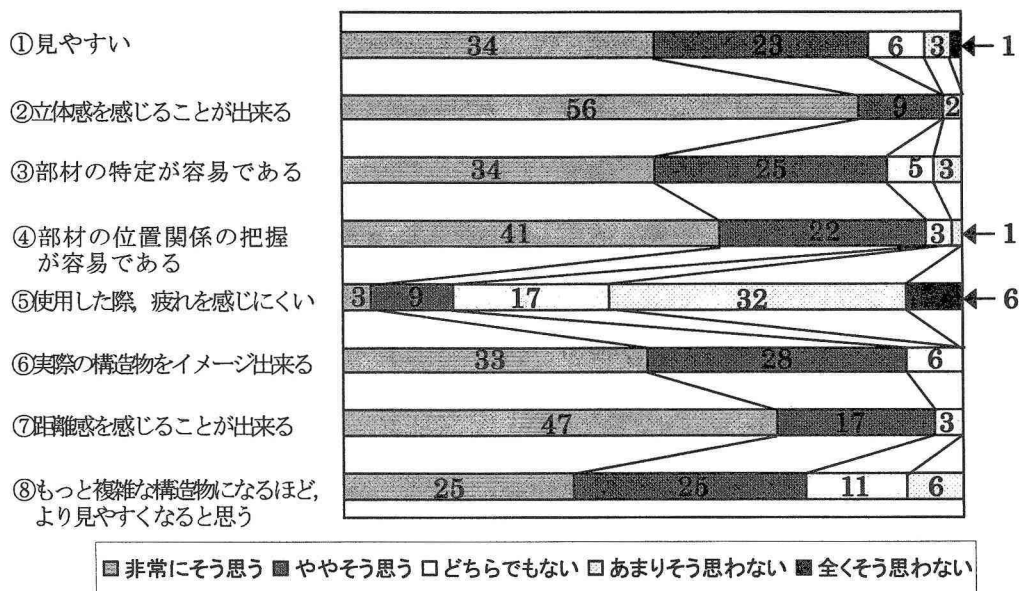


図-9 3D-CAD を基準とした場合のVR-CAD の評価

このアンケート調査の結果を表-2、図-9に示す。第1, 2問目では、両システム共正解者が約9割で大きな差は見られなかった。ワイヤーフレームで立方体を描く場合、図-6のAが一般的に多く目にする形であるためだと考えられる。第3, 4問目では、3D-CADでの正解者は0人であり、VR-CADにおいては約8割が正解した。この問題では、立体視による物体の位置関係の把握においてVR-CADの有効性が極めて大きいことが明らかになった。第5問目では、立体視が有効的に作用し、3D-CADと比較して、VR-CADは視覚的に優れていると考えられる結果が得られた。しかし、「使用した際の疲れ」に関しては、VR-CADは3D-CADに比べ劣っているという結果が得られた。疲れを感じる原因としては、視覚的な情報と平衡感覚的な情報の不一致等の脳内での情報の混乱による映像酔い、VR酔いが関係していると考えられる¹¹⁾。また、立体視の実現方法として、右目用の画像と左目用の画像を高速で交互に切り替え描画しているため、画面のちらつきも関係していると考えられる。

(2) ディスプレイシステムの違いによる比較

立体視を実現するディスプレイシステムは、現在、液晶シャッターメガネ(図-3)やHMD(図-10)、裸眼立体視が可能な液晶ディスプレイ等がある。本研究では、立体視を実現するディスプレイシステムの違いを検討するために液晶シャッターメガネ(STEREO GRAPHICS社製 Crystal EYES3)を用いたVR-CADと、HMD(i-O Display Systems社製 i-glasses)を用いたVR-CADとの比較を行うこととした。これら2つのデ

表-2 アンケート結果(第1問~第4問)

	正解者数	不正解者数
第1問	59	8
第2問	0	67
第3問	62	5
第4問	53	14

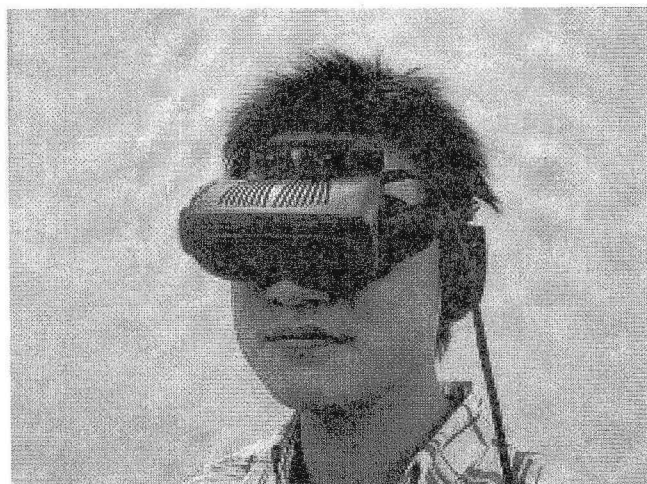


図-10 Head Mounted Display

ィスプレイは立体視を実現する際の描画方法に違いがある。液晶シャッターメガネは、ディスプレイに右目用と左目用の画像を交互に高速で描画し、これと同期

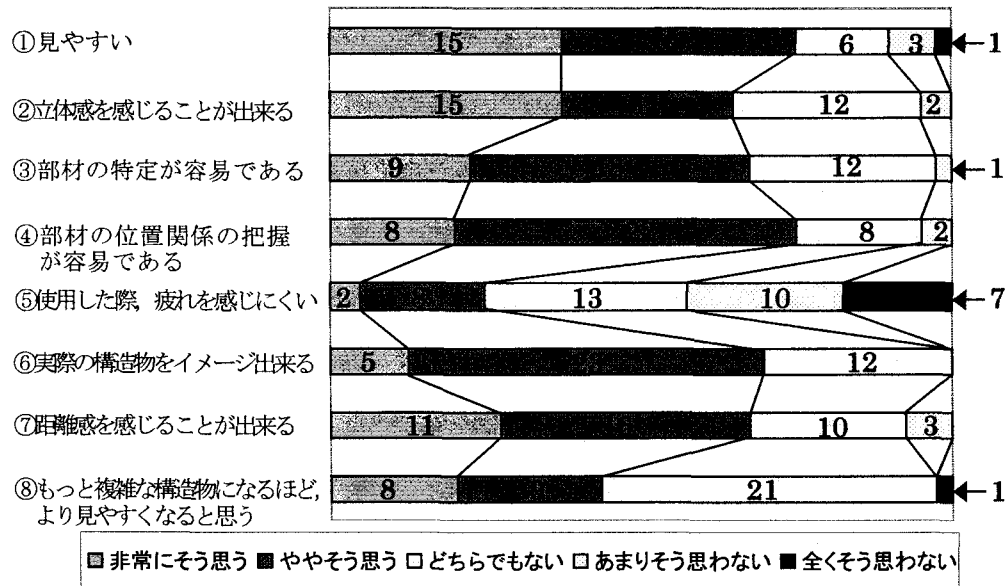


図-11 HMDを基準とした場合の液晶シャッターメガネの評価

してメガネのシャッターが下ろされ、それぞれの目に別の画像を表示することで立体視を実現する。HMDでは、右目用と左目用のスクリーンが分かれており、それぞれのスクリーンに別の画像を表示することで立体視を実現する。

本アンケートの比較方法は、両システムの画面に図-8の鋼桁橋のモデルを表示し、視点を動かす等して、実際に操作した後に、表-1のアンケートに答える形式とした。

この調査の結果を、図-11に示す。全体的に、液晶シャッターメガネ用いた場合が、視覚的に優れているという結果が得られた。一方、「使用した際の疲れ」に関しては、「どちらでもない」という解答が最も多く、若干HMDが優れているという結果となった。「疲れ」に関しては、立体視の実現方法の違いが関係していると考えられる。

5. まとめ

本研究のまとめを以下に述べる。

- ① 本研究では、IFC2x2を用いて以前開発した鋼桁橋プロダクトモデルを再構築したことにより、桁を構成するフランジやウェブ、接合部等の要素を適切に表現することが可能になった。
- ② 以前開発したVR-CADシステムを改善することにより、マウスで部材を選択し、属性データを自由に操作できるように改善した。また、以前のVR-CADにおいて、座標を入力して視点移動を行

っていたものを、マウスで視点移動できるようにした。

- ③ VR-CADとして、液晶シャッターメガネやHMD及び3D-CADとして通常のディスプレイの3システムを対象として立体視の有効性について検討したところ、VR-CADを用いることにより遠近感が容易に認識でき、3D-CADでは困難であることが明確になった。

今後の課題として、プロダクトモデルに関しては、IFC-BRIDGEと共同研究を推進し、国際的な標準を目指したい。次に、橋梁技術者が使いやすいVR-CADの構築を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 本郷延悦, 石村久治: 橋梁鋼上部工を対象としたJHDM構築に関する研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, pp.11-20, 2003.
- 2) 山本一浩, 小林一郎, 邵兵, 星野裕司: 河川におけるプロジェクトモデルに関する一提案, 土木情報利用技術論文集, Vol.28, pp.83-86, 2003.
- 3) IFC: http://www.iai-international.org/iai_international/
- 4) 矢吹信喜, 志谷倫章: PC橋梁の3次元プロダクトモデルの開発と応用, 土木学会論文集, No.784/VI-66, pp.171-187, 2005.
- 5) 矢吹信喜, 志谷倫章: プロダクトモデルを用いた設計段階における施工性検討手法, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.273-280, 2003.
- 6) 矢吹信喜, 志谷倫章, 今村晃久, 近藤琢也: PC橋梁用プロダクトモデルのコンバータプログラムと簡便な現場寸法チェックシステム, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.235-242, 2004.

- 7) 矢吹信喜, 小谷隼, 志谷倫章: バーチャルリアリティを利用したプロダクトモデルに基づく鋼桁橋設計システム, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.211-220, 2004.
- 8) IFC-BRIDGE:http://www.iai-france.org/bridge/BRIDGE-Model/Model-V1/IFC-BRIDGE-V1-Model_fichiers/frame.htm
- 9) GL4Java :<http://www.jausoft.com/gl4java.html>
- 10) Java3D:http://java.sun.com/products/java-media/3D/forDevelopers/J3D_1_3_API/j3dguide/index.html
- 11) 総務省:コンテンツの生体への影響に関する調査・研究報告書, http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/pdf/040318_1_b1.pdf, pp.18-30, 2004.

(2005.5.20 受付)