

## I-26 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

## A Product Model-Based Design System for Steel Girder Bridges Using Virtual Reality

矢吹信喜<sup>1</sup>・小谷 隼<sup>2</sup>・志谷倫章<sup>3</sup>

Nobuyoshi Yabuki, Jun Kotani, and Tomoaki Shitani

**抄録:** 本研究では、まず鋼桁橋を対象としたプロダクトモデルを IAI の IFC をベースに開発し、ifcXML を用いて実装した。次に、鋼桁橋のように多数の部材が複雑に配置されている構造物の設計では、3次元 CAD システムを利用しても、平面ディスプレイに2次的に画像が表示されることから、立体感が得られず、ユーザは混乱しがちである。そこで、両眼の立体視による没入感、センサによるフィードバック及びマシンとの対話性を満足するバーチャルリアリティシステムを、鋼桁橋設計に適用させ、プロダクトモデルとの間でデータのやり取りができる設計システムを開発した。さらに実際の橋梁に応用し、システムの検証を実施した。

**Abstract:** In this research, we developed a product model for steel girder bridges based on IFC of IAI and implemented the model by using ifcXML. Next, as it is difficult to obtain stereoscopic views when we use only 3D CAD systems for designing complicated structures such as steel girder bridges, CAD users tend to be confused. Thus, we developed a virtual reality (VR) design system that satisfies the sense of immersion by stereoscopic views with both left and right eyes, feedback by sensors, and the interactivity with computers, and applied the VR system to steel girder bridge design. The system is integrated with the developed product model by enabling the interoperability among the product model data, the VR system, and a 3D CAD system. The system was verified by applying it to a real bridge design.

**キーワード:** バーチャルリアリティ, 立体視, プロダクトモデル, IFC, 3次元 CAD, 鋼橋, 没入感, 対話性

**Keywords:** virtual reality, stereograph, product model, IFC, 3D-CAD, steel bridge, immersion, interactivity

## 1. はじめに

鋼橋のような鋼構造物の構造設計は、安全性、使用性、耐久性、経済性、美観等の諸要件を満たすよう、構造物およびその部材の材料、形状、寸法等を決定する。構造設計の流れは、まず最初に全体のレイアウトを決め、部材の寸法を仮定し、荷重を与えて、構造解析を実施し、各部材が各限界状態に対して満足するか照査し、経済性もチェックし、不満足な場合はレイアウトあるいは部材の修正を行い、全て満足するまで繰り返される。こうした設計作業は、時間と労力がかかるため、解析や照査などを行うソフトウェアが開発され、利用されている。しかし、システム間のデータ互換性が低いため、入力データを手で打ち込まなくてはならないといった「自動化の島」問題が指摘されている。

そこで、異なるシステム間でデータを相互運用できるように、プロダクトモデルの開発が進められている。プロダクトモデルの国際標準としては、ISO-STEP (Standard for the Exchange of Product model data: ISO-10303)<sup>1)</sup>があり、建築の業界標準としては IAI

(International Alliance for Interoperability) の IFC (Industry Foundation Classes)<sup>2)</sup>が実用化されつつある。橋梁では、IAI フランス支部が IFC-BRIDGE<sup>3)</sup>の開発を始めている。また、我々はプレストレストコンクリート (PC) 橋梁を対象に IFC を拡張したプロダクトモデルの開発を行っている<sup>4)5)</sup>。一方、保田ら<sup>6)</sup>は面を意識した鋼橋のプロダクトモデルの検討を行った。我々はこれまでに鋼骨組構造を対象として IFC を参考にプロダクトモデルを開発し、実装する研究を実施した<sup>7)8)</sup>。しかし、IFC を拡張した鋼橋の主桁等のプロダクトモデルは未開発であった。そこで、本研究では、鋼橋のプレートガーダ等のクラスを開発し、IFC に付加することとした。

次に、レイアウトや形状寸法の仮定を行う時、3次元 CAD システムは有効なツールである。しかしながら、現状の3次元 CAD システムでは、3次元で描画した設計部材モデルが、2次元のディスプレイ上に平面的に投影した形で表現される。従って、設計部材が多量になると、様々な部材が、同一平面状に重なって表示され、各部材間の奥行き等の直感的な把握や、体感評価が困難となる。これにより、たとえ3次元 CAD

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.ce.muroran-it.ac.jp)

2 : 正会員 修(工) 北海道旅客鉄道株式会社 (元室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻)

3 : 学生会員 修(工) 室蘭工業大学大学院工学研究科建設工学専攻

システムを利用したとしても、現場経験の少ない若手技術者にとっては、設計モデルの3次元的なイメージを持つことが困難になると考えられる。この問題を解決するためには、描画モデルの立体視を可能にし、自分がその場にいるような「没入感」が得られると共に、自分でコントロールできる「対話性」を有するバーチャルリアリティ（以下 VR）技術を利用したヒューマン・コンピュータ・インタラクション（HCI）が有効であると考えられる。

そこで、本研究では、こうした条件を有する VR 技術を利用したシステムを構築し、次に、プロダクトモデルをベースとした鋼桁設計システムに VR システムを応用し、実際の鋼プレートガーダ橋の設計に適用し、その有効性を検証することとした。

## 2. 鋼桁橋のプロダクトモデル

### (1) 開発コンセプト

IFC は前述のように、建築構造物を主対象としていくことから、土木構造物に直接応用することは困難である。さらに、IFC の現在の（ISO で認定されている）バージョン 2x プラットフォームでは、荷重を直接表現するようなクラスが無い場合、荷重データを実装することも困難である。しかし、その他の IFC2x のクラスや資源は土木分野でも有効なものが多いことから、本研究では、IFC2x の基本構造を壊さず、必要最小限の部材クラスを新しく定義し、土木構造物の表現にも利用できるような汎用性を持たせるといった基本的な考え方で、IFC2x を拡張することとした。

ここで、鋼桁橋の横構、補剛材等、単純な部材に関しては、IFC2x で規定されている梁（IfcBeam）等のクラスを用いることにより、表現することが可能である。しかし、主部材である鋼桁に関しては、梁クラス（IfcBeam）を利用することにより、形状は表現できるものの、フランジやウェブなどの要素の区別が出来ないといった問題がある。そこで、鋼桁と梁を明確に区別出来、また、鋼桁に関連するデータを厳密に表現することが出来るなどの利点から、本研究では、新たに桁クラスを開発・拡張することとした。また、土木構造物に働く荷重を表現するため、荷重クラスの開発・拡張も行った。

### (2) 桁クラス

本研究では、鋼桁を一つのオブジェクトとして定義し、さらに、鋼桁を構成するフランジやウェブも、個々のオブジェクトとして捉えることとした。また、クラス開発を行うにあたっては、梁クラスとの違いを明確に示すため、形状が梁とほぼ同じであり、一般的であるプレート桁橋の主桁を対象とした。

形状の表現は、フランジ及びウェブを個々に区別し、

それぞれ、部材端部の面形状を生成後、長手方向をベクトルとして、開始端面から終了端面まで面をつなげていく手法を用いた。これにより、プレート桁設計で行われる、長手方向の桁寸法の変化にも柔軟に対応することが出来る。また、フランジ、ウェブの区別も明確となる。

プレート桁クラスを定義する位置は、土木構造物である橋梁を構成する部材としての性質を考え、まず、IfcElement クラスのサブクラスに、土木構造物用の抽象クラスである CivilStructureElement クラスを新たに定義した。このサブクラスに、桁を定義する Girder クラスを抽象クラスとして定義することにより、最終的に、プレート桁クラスである PlateGirder クラスを、Girder クラスのサブクラスとして定義した。図-1 に本研究でクラスを付加したプロダクトモデルの構成図を示す。図中のグレーにハッチングした部分が、本研究で構築したクラスである。図-2 に PlateGirder クラスの全属性を示す。

### (3) 荷重クラス

本研究では、構造物に作用する荷重データを表現するため、荷重クラスを IfcObject クラスのサブクラスに Load クラスとして定義した（図-1）。これにより、桁などの部材を表現するクラスと本荷重クラスを、IfcRelAssignsToProduct クラスを利用することにより関連付け、部材のどの部分にどれだけの荷重が作用しているかを表現することが出来る。図-3 に Load クラスと全属性を示す。

### (4) プロダクトモデルの実装

プロダクトモデルの実装に関しては、ISO の STEP では、スキーマを EXPRESS 言語により定義し、物理ファイルは Part-21 ファイルを使用することになっている。IFC も、基本的には STEP に準拠しており、同ファイル形式を採用している。本研究においても、これらの国際標準のフォーマットを踏襲し、前章において橋梁のプロダクトモデルの構築をしてきた。しかし、EXPRESS を処理するソフトウェアは一般に高価なものが多く、また、自主開発するには相当な労力を要するといった問題等がある。

そこで近年、EXPRESS 言語や Part-21 ファイルに代わるものとして、XML が注目されている。一方、XML は、開発や処理がしやすく、無料で提供されており、インターネットでアクセス可能な言語である。また、XML は、ブラウザや他の一般的なアプリケーションに簡単に統合出来る。そこで、IAI において IFC 及びその物理ファイル（Part-21）を実装することを目標として策定された ifcXML により実装を行った。

ifcXML のスキーマの記述には、XML Schema が採用されており、XML Schema の持つ高度なクラス拡張機能や、混合型モデリング、データ型定義等の機能を

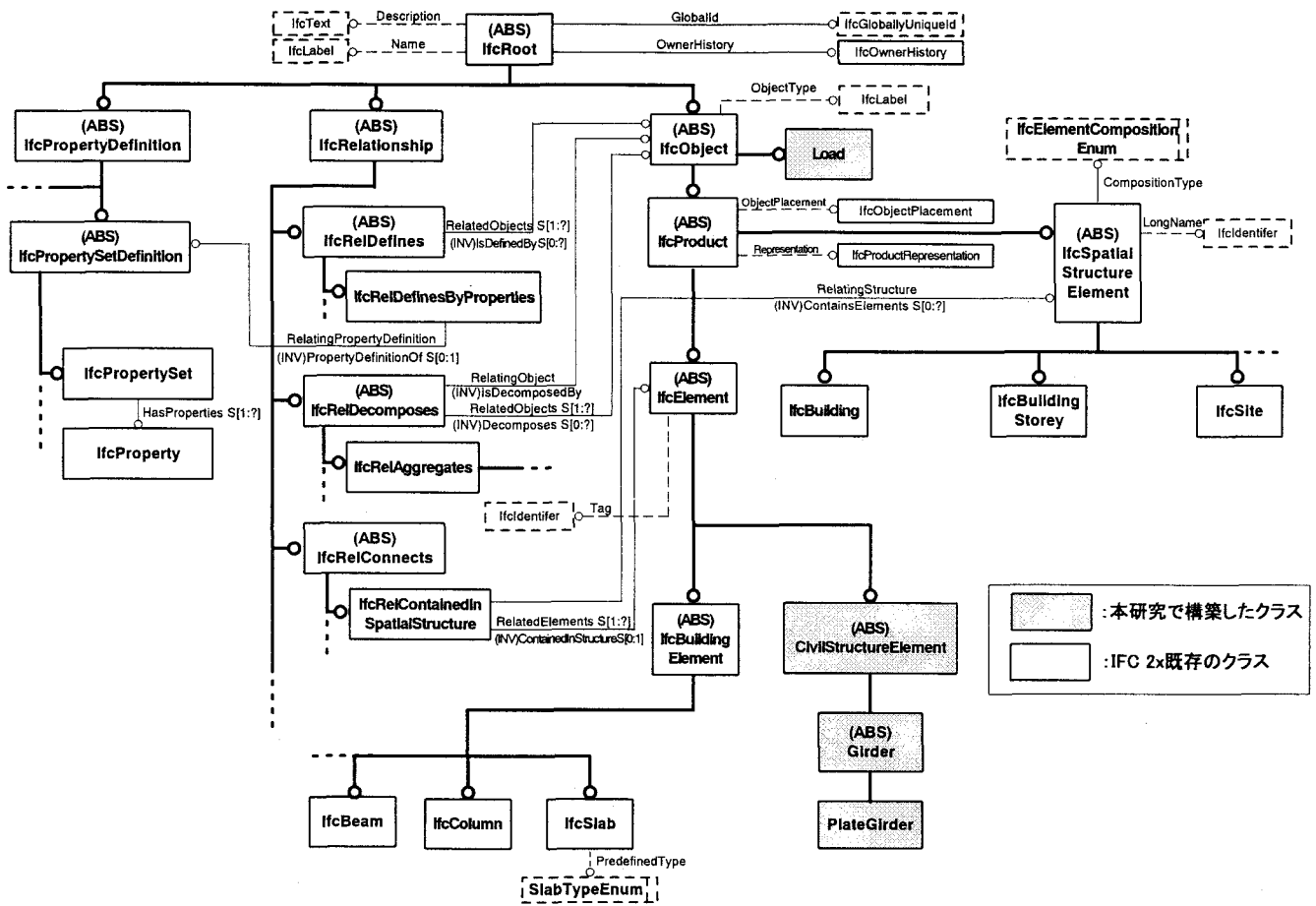


図-1 開発したプロダクトモデルの全体図の一部

```

ENTITY PlateGirder;
  GlobalId                : IfcGloballyUniqueId;
  OwnerHistory             : IfcOwnerHistory;
  Name                    : OPTIONAL IfcLabel;
  Description              : OPTIONAL IfcText;
  ObjectType              : OPTIONAL IfcLabel;
  IsDefinedBy             : SET OF IfcRelDefines FOR RelatedObjects;
  HasAssociations         : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  HasAssignments          : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
  Decomposes              : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
  IsDecomposedBy         : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
  ObjectPlacement         : OPTIONAL IfcObjectPlacement;
  Representation          : OPTIONAL IfcProductRepresentation;
  ReferencedBy           : SET OF IfcRelAssignsToProduct FOR RelatingProduct;
  Tag                     : OPTIONAL IfcIdentifier;
  ConnectedTo             : SET OF IfcRelConnectsElements FOR RelatingElement;
  ConnectedFrom           : SET OF IfcRelConnectsElements FOR RelatedElement;
  ContainedInStructure   : SET [0:1] OF IfcRelContainedInSpatialStructure FOR RelatedElements;
  ProvidesBoundaries     : SET OF IfcRelSpaceBoundary FOR RelatedBuildingElement;
  HasOpenings             : SET OF IfcRelVoidsElement FOR RelatingBuildingElement;
  FillsVoids              : SET OF IfcRelFillsElement FOR RelatedBuildingElement;
END_ENTITY;
    
```

図-2 PlateGirder クラスの全属性

```

ENTITY Load;
  GlobalId                : IfcGloballyUniqueId;
  OwnerHistory            : IfcOwnerHistory;
  Name                    : OPTIONAL IfcLabel;
  Description              : OPTIONAL IfcText;
  ObjectType              : OPTIONAL IfcLabel;
  IsDefinedBy             : SET OF IfcRelDefines FOR RelatedObjects;
  HasAssociations         : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  HasAssignments          : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
  Decomposes              : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
  IsDecomposedBy         : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
  Location                : CartesianPoint;
  NominalValue            : OPTIONAL IfcValue;
  Unit                    : OPTIONAL IfcLabel;
END_ENTITY;
    
```

図-3 Loadクラスの全属性

そのまま使用することが可能である。よって、EXPRESS 言語による複雑なデータ型定義やクラス定義を確実に実装することが可能であると考えられる。ifcXML の特徴として、まず、EXPRESS 言語との間において完全なスキーマ変換が可能であり、適切な STEP ツールを用いることにより、Part-21 ファイルとのデータ変換も自動実行により行うことが可能であることが挙げられる。また、適切なコンバートプログラムを開発することにより、プロパティセットに関するデータを、ifcXML と異なる形式の XML との間において相互運用することも可能である。さらに、ifcXML は階層指向型の構造形式であるため、クラスの継承関係を表示することが可能である。よって、拡張によりクラスを定義する場合には、そのスーパークラス名を指定することによって属性の継承が完了するので、全属性を再度宣言するといった必要がない。

### 3. バーチャルリアリティ (VR)

Virtual Reality とは「仮想現実」と訳され、コンピュータグラフィックス等を利用して、人工的な現実感や仮想世界を作る技術をいう。VR の構成要件としては、以下の要素が必要とされる。①体験可能な仮想空間 (virtual world) の構築、②五感 (のうちのいくつか) に働きかけて得られる没入感 (immersion)、③対象者の位置や動作に対する感覚へのフィードバック (sensory feedback)、④対象者が世界に働きかけることができる対話性 (interactivity) の4つである。②～④の3つを構成要件とする場合もある。この基準に照らせば、例えば小説には視聴覚による没入感が欠け、映画には対話性が欠けるため VR とはみなされない<sup>9)</sup>。作り出される仮想世界は、現実世界と同様、3次元

の空間で表現される。人間はこのような仮想空間において、ディスプレイシステムを利用することにより、没入感を得ることが出来る。さらに、センサシステムを利用することにより、フィードバックや対話性を実現することが可能となる。

3次元コンピュータグラフィックス (CG)、3D-CAD、VRML (Virtual Reality Modeling Language) 等を用いて平面的なディスプレイ上に3次元的な画像を表示し、ウォークスルー等の画像処理を可能としたものも、一般にバーチャルリアリティと呼ばれている。しかし、両眼立体視による没入感が欠けていることから、正確にはバーチャルリアリティと言えるかやや疑問である。

### 4. VR を用いた設計システム

バーチャルリアリティとしての構成要件を満足するシステムを構築するために、以下のシステムを開発・導入した。

#### (1) ディスプレイシステムによる没入感

人間の五感の内、人間が外界を認識する際に大半の情報は視覚を通じて得られるため、五感の中で最も重視されているのは視覚である。視覚で没入感を得るためには、立体視が必要である。立体視にも種々の方法があるが、図-4に示すような両眼視差による方法が人間にとって最も立体感が得やすい。こうした両眼視差に基づく視覚ディスプレイの形態には種々のものがあるが、本研究では、市場で容易に入手可能な液晶シャッターメガネを使用した。

#### a) 液晶シャッターメガネ

液晶シャッターメガネの原理は、立体視を実現するために、右眼・左眼用の画像を交互にパソコン画面やスクリーンに映し出し、左右の画像表示を切り替るタ

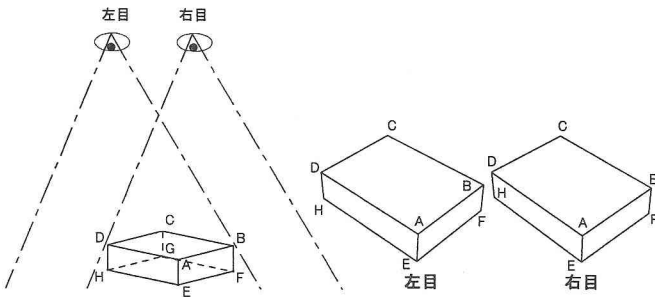


図-4 両眼視差による左右網膜像の違い

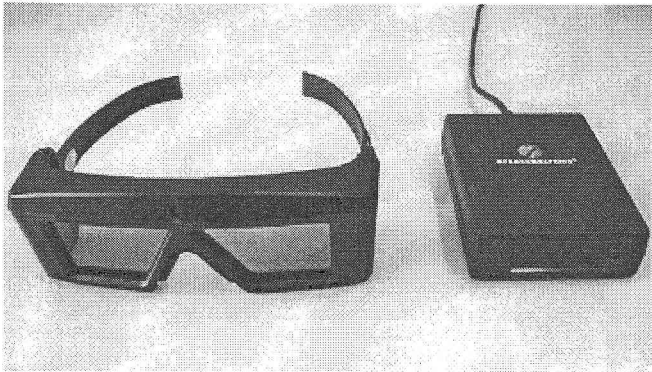


図-5 液晶シャッターメガネ及び赤外線エミッタ

イメージに同期して、メガネの液晶シャッターの開閉を行う。つまり、コンピュータが右目用の画像を表示しているときは左眼の液晶シャッターを下ろし、逆のときは左眼のシャッターを下ろす。これにより、現実世界と同様、左右の眼にそれぞれ対応した画像を見ることが可能となる。

本研究では、米国 StereoGraphics 社の CrystalEYES3 (図-5) を使用した。図中右側の赤外線エミッタから赤外線信号がメガネに発信され、シャッターとディスプレイモニタのリフレッシュが同期される。

### b) 3次元グラフィックスの利用

3次元グラフィックスとは、3次元空間内で物体がどのように見えるかを計算するための描画手法の総称であり、代表的なものに OpenGL<sup>10)</sup>、DirectX<sup>11)</sup>などが挙げられる。DirectX は、Microsoft 社が開発した、Windows 用のマルチメディア用拡張 API (Application Program Interface) であり、描画が高速に行えるなどの利点がある。しかし、Windows 環境に強く依存しているため、他の OS での利用が困難などの問題がある。一方、OpenGL は特定のハードウェアや OS に依存しないという利点があるため、当初は、3次元グラフィックスの描画関数に OpenGL の利用を考えた。しかし、本研究では、システム開発に Java 言語を使用しているため、C 言語のライブラリである OpenGL をそのまま利用することは出来ない。そこで、OpenGL を Java の

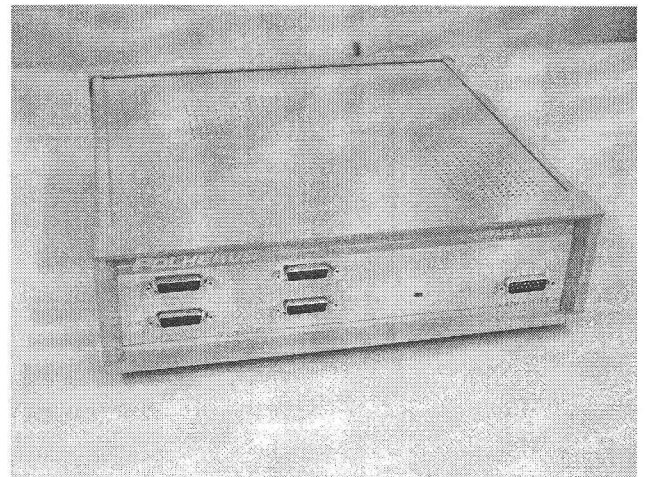


図-6 FASTRAK (3次元座標計測装置)

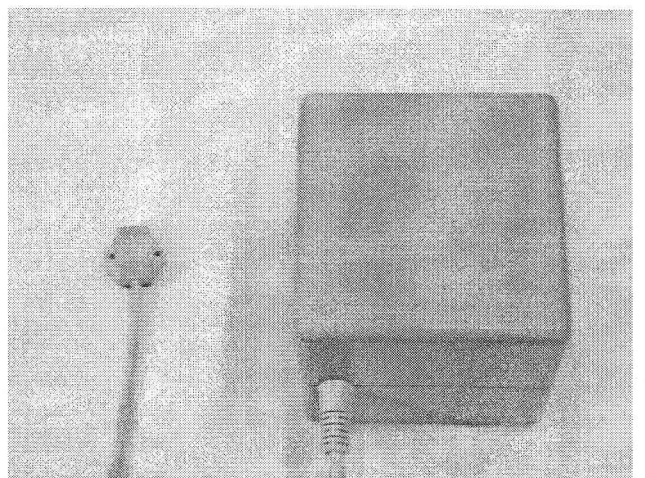


図-7 レシーバ (右) とトランスミッタ (左)

プログラムソースからでも呼び出せる、GL4Java<sup>12)</sup>を利用することとした。これにより、VR で必要な右目用と左目用のそれぞれの画像を、プロダクトモデルのインスタンスファイルから容易に作成できた。

### (2) センサシステムによるフィードバック・対話性

VR の構成要素であるフィードバックと対話性を実現するためには、センサシステムを利用し、ユーザの動きに対して、仮想現実側がインタラクティブ (対話的) に動作するようにする。一般によく使用されるセンサは、磁気を利用した空間位置計測センサで、磁気の変化によって、コイルに起電力が生ずるという原理に基づいている。この方式は微弱な磁界を使用するために計測範囲が高々半径 1~2m の球内と大きくなく、周囲に磁性体が存在すれば空間計測精度が大きく劣化するという欠点があるが、装置の拘束感が小さく、計測次元数が大きいという利点がある。

本研究では、センサとして米国 POLHEMUS 社の FASTRAK (図-6) を使用した。このシステムは、図-7 に示すように、トランスミッタと呼ばれる、互

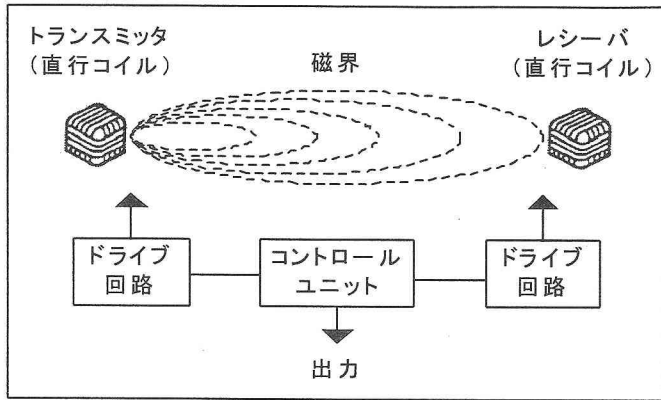


図-8 FASTRAK の計測原理



図-9 レシーバを取り付けた液晶シャッターメガネ

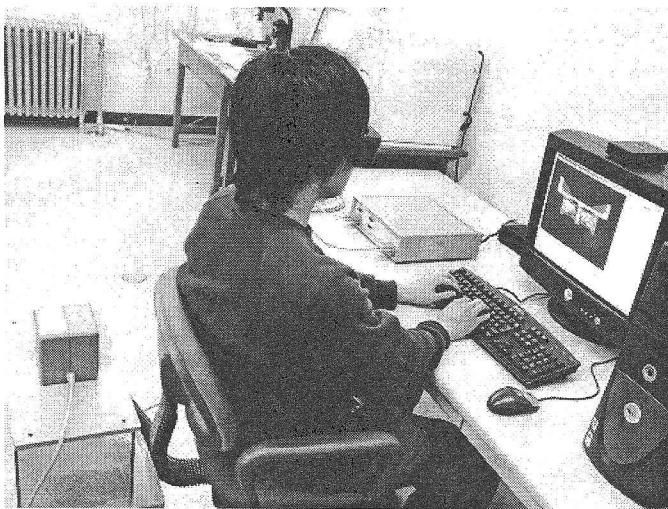
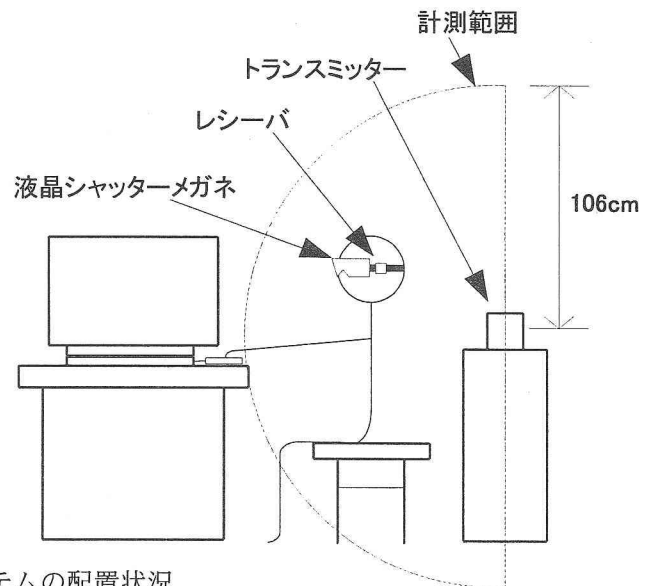


図-10 システムの配置状況



いに直行した三つのコイルを組み合わせた発信コイルによる磁界発生源、同じ構造のレシーバと呼ばれる磁力計測部、さらにそれらを制御するシステムコントロールユニットで構成されている。図-8に示すように、トランスミッターによって作られた磁場内をレシーバが移動する際に発生する誘導起電力を測定することにより、レシーバの空間位置と姿勢を表す3次元位置座標値  $x, y, z$  及びオイラー角（アジマス (azimuth), エレベーション (elevation), ロール (roll)）の計6自由度をリアルタイムに計測することが可能となる。

座標計測センサ部としては、FASTRAK のレシーバを図-9に示すように、液晶シャッターメガネに取り付け、視点の位置、姿勢情報を計測し、これを元に視点全体の動きを算出することとした。FASTRAK のトランスミッターやレシーバなどは、図-10に示すように設置した。これにより、現実空間におけるユーザの視点の3次元座標位置観測が可能となり、視点の移動

量が3次元データとして計測出来る。計測した視点の移動量は、さらにシステム上に構築される仮想空間の視点位置の移動量に利用することにより、現実空間におけるユーザの視点の移動を、仮想空間におけるユーザの視点の移動として扱うことが出来る。

一方、FASTRAK を使用した場合、計測範囲は計測精度を考慮すると、半径 1mの半球が限界である。従って、現実世界におけるユーザの視点移動を、仮想空間に再現できる範囲は、半径 1mの半球に限られる。しかし、仮想空間上にモデリングされる鋼橋の規模は、通常、数 10mのオーダーであり、ユーザの視点移動を現実世界と仮想世界でそのまま連動させると、仮想空間上のある1点から半径 1mの範囲でしか、視点移動が再現出来ない。

そこで、本システムでは、FASTRAK の計測機能を十分に活用するため、図-11に示すように、仮想空間内の任意の点に移動し、そこから半径 1mの範囲で

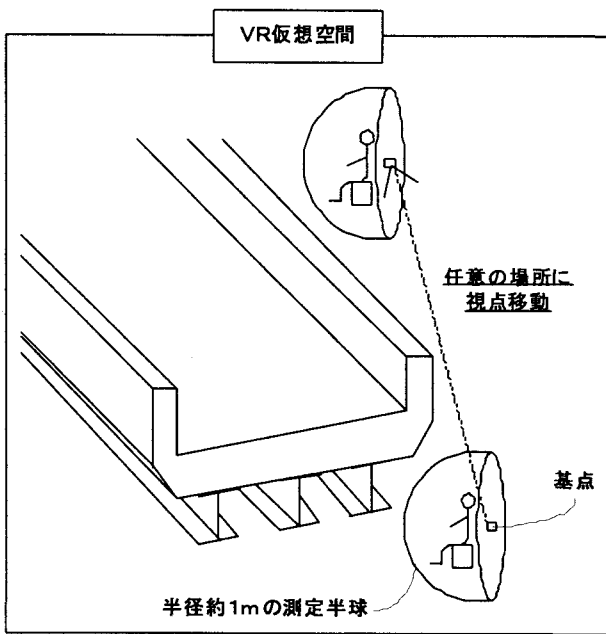


図-11 大きな視点移動の方法

視点移動量を計測出来るようにした。これにより、ユーザは、仮想空間内を何処でも観測することが出来、かつ、現実世界におけるユーザの視点の動きを再現出来るようになる。

(3) VR 設計システム

本研究で開発した VR 技術による鋼橋を対象とした設計システムの全体図を図-12に示す。本システムでは、3次元プロダクトモデルのデータから GL4Java を通して OpenGL による右目用と左目用の両方の3次元グラフィックスがディスプレイ上に表示され、ユー

ザは、それを液晶シャッターメガネで立体的に見ながら、設計を行うことができる。また、ユーザは頭を前後左右上下に動かすことにより、見る方向や位置を自由にリアルタイムに変えることができる。これにより、部材の距離感や遠近感等、これまでの3次元CADシステムより飛躍的に容易に把握でき、さらに、視点の向きや位置の変更を行う際は、面倒なコマンドを入力するのではなく、頭を自分の意志で自然に動かすだけで操作できるようになった。

尚、荷重に対する応力やたわみ等、力学的な照査や経済性のチェック等は、別の照査プログラムが、3次元プロダクトモデルのデータを読み取り、実行し、ユーザに結果を伝えるようになっている。照査プログラムは、プロダクトモデルデータとの互換性を有していれば、どのソフトウェアでも対応可能である。

5. 設計への適用

本研究で開発した VR 設計システムの適用例を示す。設計対象は道路橋単純非合成桁橋の鋼主桁とし、設計基準は道路橋示方書<sup>13)</sup>に従った。設計条件を図-13に示す。

まずユーザは、構造解析システムで得られた鋼主桁の断面力(曲げモーメント、せん断力等)のデータや、座標データ等の各データをプロダクトモデル化したものを、本設計システムに読み込ませる。次にシステムは、右眼用画像及び左眼用画像の両方(図-14)を作成し、ディスプレイに高速で交互に表示する。ユーザは、液晶シャッターメガネを使用して、ディスプレイ上に立体視された設計対象を見ながら、設計を行う。

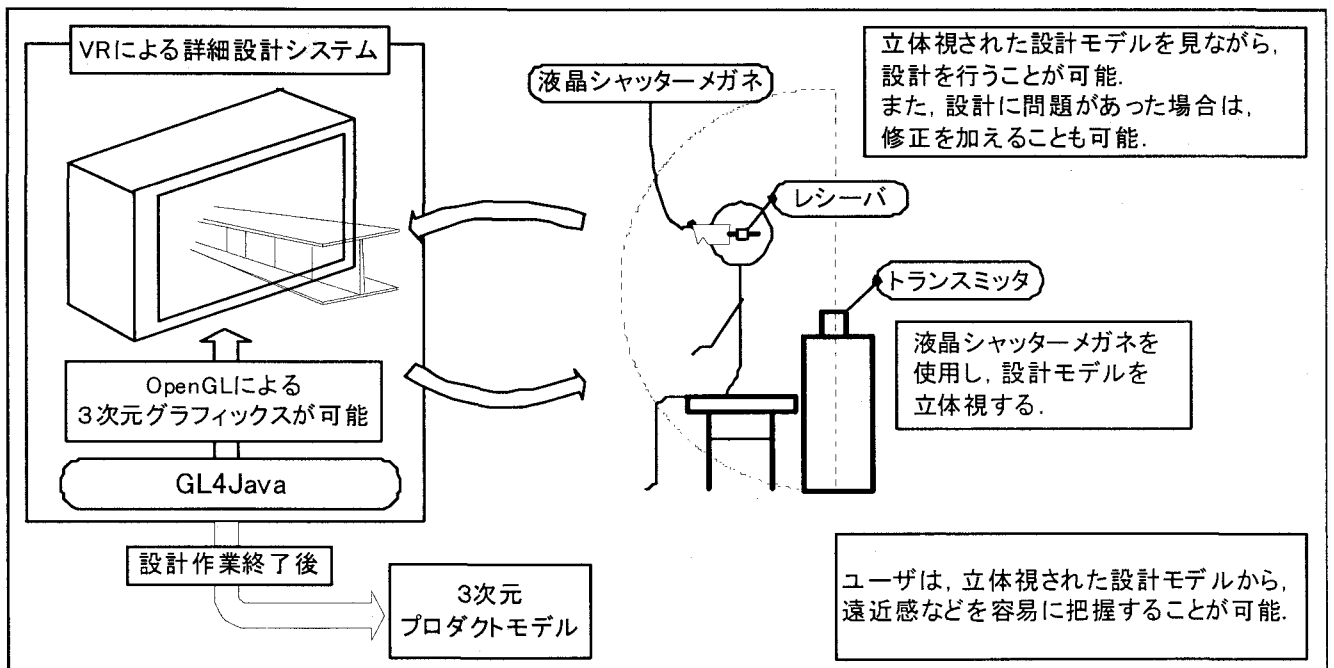


図-12 VR を利用した鋼橋の設計システム

設計条件	
形式	道路橋単純非合成桁
橋長	33.400m
支間	32.400m
幅員	全幅7.000m, 幅員6.000m(1車線のランプウェイを想定)
荷重	B活荷重
床版	RC床版 220mm厚 (大型車交通量 1日1方向1000台以上2000台未満)
舗装	アスファルト舗装 80mm厚
横断勾配	1.5% 片勾配 100m横→1.5m上下
主要鋼材	SM490Y, SS400
鉄筋	SD295, SR235
コンクリート強度	$\sigma_{ck} = 30\text{N/mm}^2(\text{MPa}), \sigma_{ca} = \sigma_{ck}/3.0$
主な適用基準	道路橋示方書・同解説(H8.12) 道路橋示方書・同解説 SI単位系移行に関する参考資料(H10.7) 鋼道路橋設計ガイドライン(案)(H7.10)
単位重量	$\sigma_{ck}$ 鋼 77KN/m <sup>3</sup> KC 24.5KN/m <sup>3</sup> アスファルト舗装 22.5KN/m <sup>3</sup>
鋼重(l=33.4m)	1.8KN/m <sup>2</sup>

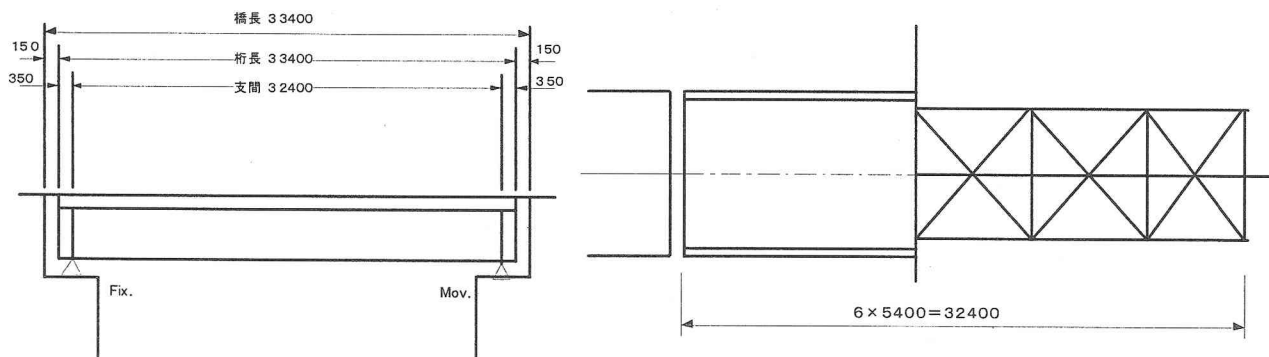
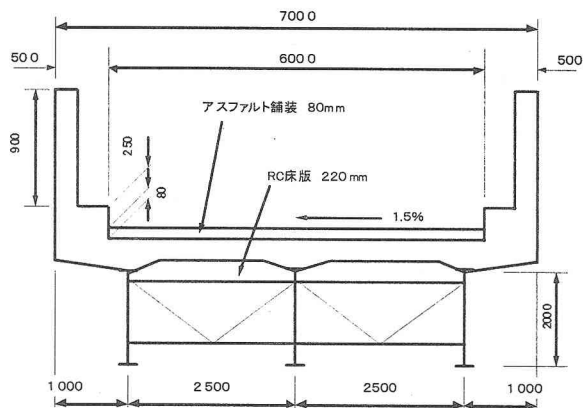


図-13 鋼プレートガーダ橋の設計条件

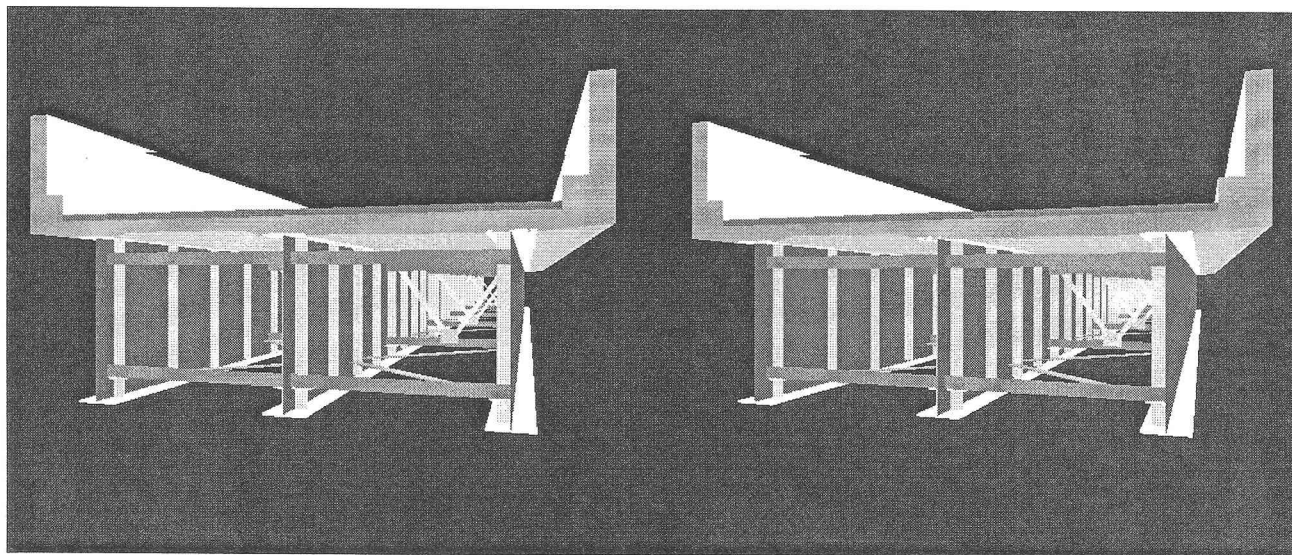


図-14 左眼用(左図)及び右眼用(右図)画像(肉眼でも立体視が可能)

その際、例として、図-15に示すようにユーザが左に視線を向けた時は、ディスプレイ上には左を向いた画像が表示され、図-16のように、右に視線を変えると、主桁を左から右方向をみた画像に自動的に変わる。これにより、ユーザは設計対象部材を容易に選択することができる。また、マウスによってクリックすることにより選択された部材は、図-17に示すよう

に、通常とは異なる色(ここではオレンジ色)に描画表示されるため、部材選択ミスを軽減することができる。部材を選択すると、図-18に示すような詳細設計データ入力ウィンドウがディスプレイ下部に表示され、ユーザがデータを入力すると、自動的に設計データが3次元プロダクトモデルに書込まれる仕組みとなっている。



図-15 視線が左向きの際のディスプレイ上の描画



図-16 視線が右向きの際のディスプレイ上の描画



図-17 選択された部材の色がオレンジになった状態

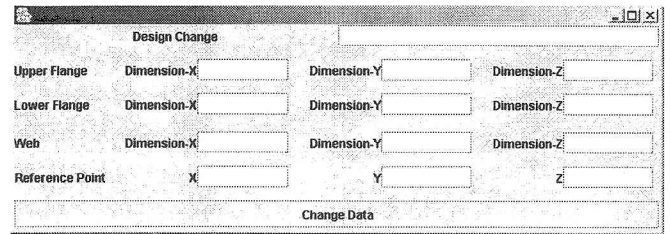


図-18 桁のフランジやウェブの寸法を入力・変更するウィンドウ

3次元CADシステムの使用に精通している本学の学生数名に本システムを使用してもらったところ、没入感があり、頭を動かすだけで向きや位置を容易に変えられ、詳細設計時に扱う部材の間隔等を容易に把握しながら、迅速に詳細設計を進めることが可能だとの感想を持った。以上より、本システムは、設計に利用することにより、ミスが少なく、品質が高い設計を、設計者に高いストレスをかけずに、迅速かつ容易に行うことを支援するものであることが確認された。これにより、当初の目的であるVR技術の設計への応用の有効性が検証された。

## 6. まとめ

本研究では、まず、鋼桁橋を対象とした3次元プロダクトモデルをIAIのIFCをベースに開発し、ifcXMLを用いて実装した。次に、VRの構成要因である没入感、フィードバック及び対話性を満足するようなVRシステムを、液晶シャッターメガネ、磁気による空間位置計測センサ、OpenGLに基づく3次元グラフィックス、等を用いて構築した。さらに、3次元プロダクトモデルとVR設計システムを統合化し、鋼桁橋設計支援システムを開発した。最後に、本システムを実際の橋梁の設計に適用させて、検証を行い、使いやすく、設計の品質を向上させるシステムであることを実証した。

今後はVR環境のさらなる改善、他の土木構造物への適用、マルチエージェントシステムによる設計照査システムとの統合等を図っていきたいと考えている。

**謝辞:** 本研究を遂行するにあたり、社団法人日本鉄鋼連盟より研究助成を受けました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) ISO 10303-1: Industrial Automation Systems and Integration-Product Data Representation and Exchange, Part 1: Overview and Fundamental Principles, 1994.
- 2) IFC:[http://www.iai-international.org/iai\\_international/](http://www.iai-international.org/iai_international/)
- 3) IFC-BRIDGE:<http://www.iai-france.org/bridge/BRIDGE-M>

- odel/Model-V1/IFC-BRIDGE-V1-Model\_fichiers/frame.htm
- 4) 矢吹信喜, 志谷倫章: IFCに基づいたPC中空床版橋の3次元プロダクトモデルの開発, 土木情報システム論文集, 土木学会, Vol.11, pp.35-44, 2002.
  - 5) 矢吹信喜, 志谷倫章: プロダクトモデルを用いた包括的設計支援システムの開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.273-280, 2003.
  - 6) 保田敬一, 飯嶋淳, 境恭宏, 辻岡政人: 鋼橋における面を意識したプロダクトモデル構築の基礎的研究, 土木情報利用技術講演集, Vol.13, pp.83-86, 2003.
  - 7) 矢吹信喜, 小谷隼, 小室雅人: マルチエージェントとプロダクトモデルを用いた3次元CAD環境, 土木情報システム論文集, Vol.11, pp1-8, 2002.
  - 8) 矢吹信喜, 小谷隼: Web サービス化したマルチエージェントによる鋼骨組構造設計の支援について, 土木情報システム論文集, Vol.13, pp.281-288, 2003.
  - 9) VR: <http://e-words.jp/w/VR.html>
  - 10) OpenGL: <http://www.sgi.com/software/opengl>.
  - 11) DirectX:  
<http://www.microsoft.com/windows/directx/default.aspx>.
  - 12) GL4Java: <http://www.jausoft.com/gl4java.html>
  - 13) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (I 共通編, II 鋼橋編), 2002.

(2004.5.21受付)