

## IFC2x2 の拡張による鋼桁橋プロダクトモデル及び Java 3D による VR-CAD の開発

Development of a Product Model for Steel Girder Bridges by Expanding IFC2x2 and a VR-CAD System Based on Java 3D

室蘭工業大学工学部建設システム工学科

正会員 矢吹信喜 (Nobuyoshi Yabuki)

室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

○学生員 町中啓樹 (Hiroki Machinaka)

### 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開発が進められている<sup>1) 2) 3)</sup>。こうした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、操作に困難を感じることが多い。そこで、我々は、立体視による没入感が得られ、3次元空間の中をユーザーが容易に移動できるようなヴァーチャリリアリティ(VR)技術を用いたVR-CADシステムを開発し、鋼桁橋の設計に適用した<sup>4)</sup>。

しかし、このシステムでは、OpenGL<sup>5)</sup>をJava言語で利用可能とするGL4Java<sup>6)</sup>をCG部分に使用したため、設計においてユーザーが部材を選択しようとする際、マウスで選択できず、部材のID番号を指定する必要があった。そこで、本研究では、Java 3D<sup>7)</sup>をCGとして使用することにより、マウス操作で部材の選択ができるようにすることを第一の目的とした。

次に、アプリケーションの対象とした鋼桁橋のプロダクトモデルとしては、IAI(International Alliance for Interoperability)のIFC(Industry Foundation Classes)<sup>8)</sup>のバージョン2x(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を使用した。しかし、この時のプロダクトモデルでは、フランジやウェブ、補剛材等の各エレメントを定義するクラスが無かった。IFC2xの次のバージョンであるIFC2x2においては、構造物と部材との関係の表現の仕方が改善され、荷重クラスや溶接とボルトを含む接合クラスが新たに加えられたことから、本研究では、IFC2x2をベースに鋼桁橋のプロダクトモデルを再構築することを第二の目的とした。

本研究では、鋼桁橋VR-CADを現在、継続的に開発中であるが、本論では、以上の2項目について主に報告する。

### 2. VRを用いた設計システム

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。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。したがって、仮想世界を視覚的に表現するためには、3次元グラフィックスが必要となる。

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やDirectX<sup>9)</sup>等が挙げられる。以前我々が開発したVR-CADではGL4Javaを使用した<sup>4)</sup>が、本研究では、前記の理由によりJava 3Dを使用した。

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(Application Program Interface)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、GL4Javaでは困難であったマウスで部材を選択することが可能となる。また、両目視差による立体視の実現も考慮して開発されているため、GL4Javaと同様に立体視も実現できる。

両目視差による立体視を実現するためには、右目用画像及び左目用画像が必要である。Java 3Dを用いることにより、立体視に必要な右目用画像及び左目用画像を容易に作成できる。さらに図-1に示すような液晶シャッターメガネと赤外線エミッター<sup>10)</sup>を用いることにより、右目には右目用画像を、左目には左目用画像を見せることが出来るため、物体の立体視が可能になる。したがって、設計者は設計対象部材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よりも容易に把握できるようになる。そこで本研究では、図-2に示すようなシステムを構築した。

本システムの機能としては、プロダクトモデルのインスタンスを読み込み、ディスプレイ上に立体視の画像を描画する。ユーザーがマウスで部材を選択すると、部材の形状データ等が別のウィンドウに表示され、必要に応

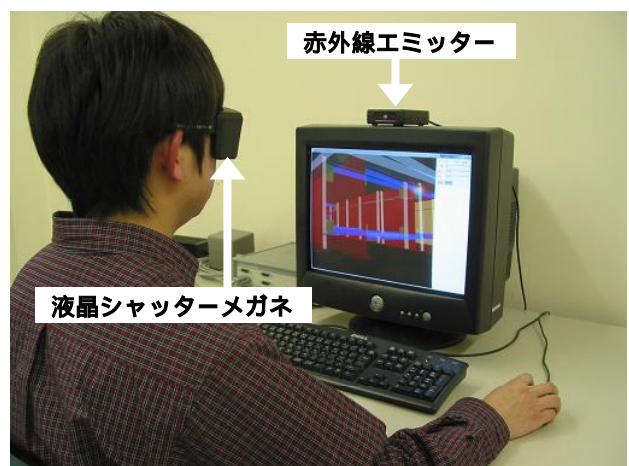


図-1 液晶シャッターメガネと赤外線エミッター

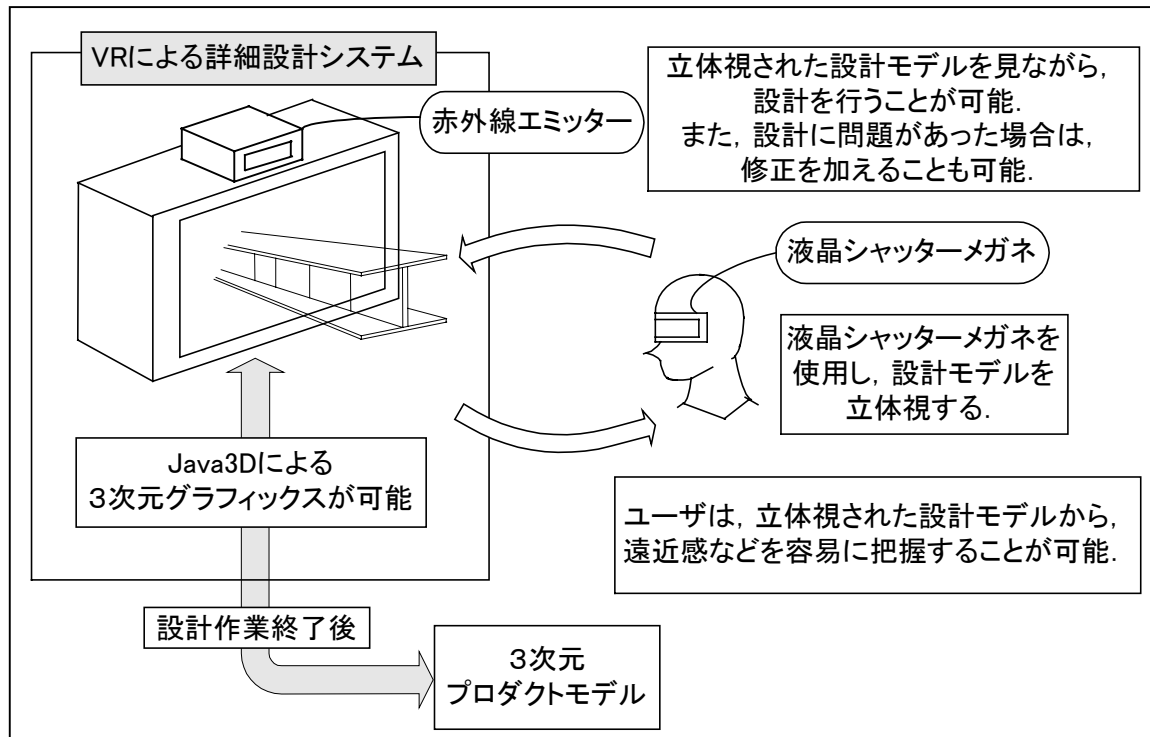


図 - 2 本研究で開発した設計詳細システム

じてその場で設計変更を行うことが可能である（図 - 3）。さらに、変更されたデータは新しいプロダクトモデルのインスタンスとして保存され、ディスプレイに表示されている画像に反映される。

### 3. 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、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付加された。さらに、オブジェクト間の関係を定義する IfcRelationship クラスの一種で、構造物と部材との関係を表現する IfcRelContainedInSpatialStructure クラスの属性が IfcElement から IfcProduct に変更になった。これにより、IfcSpatialStructureElement のサブクラスにおいて、同じ階層のクラス同士でも、この関係を使えるようになった。

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

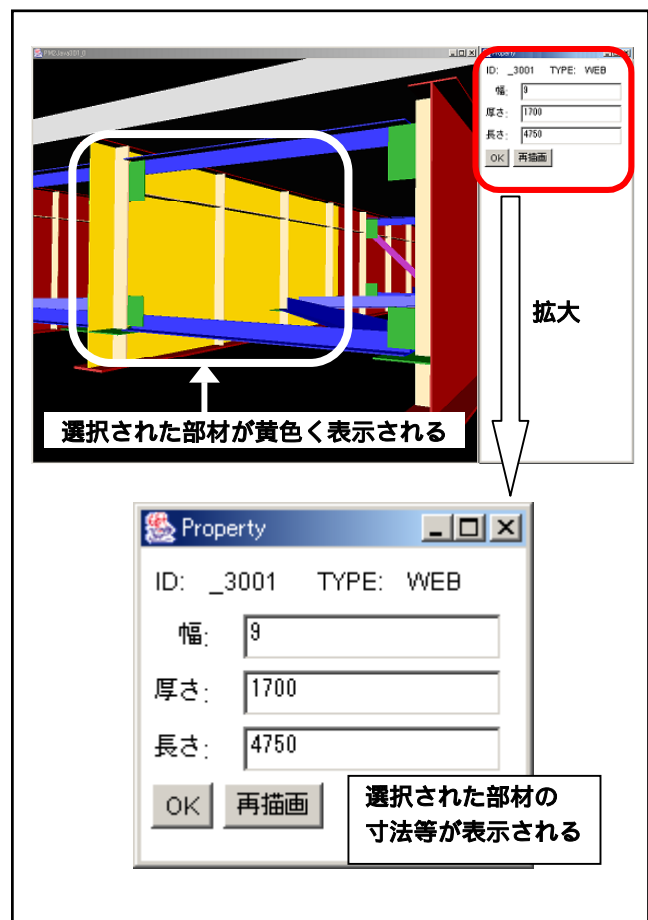


図 - 3 部材選択時の画面

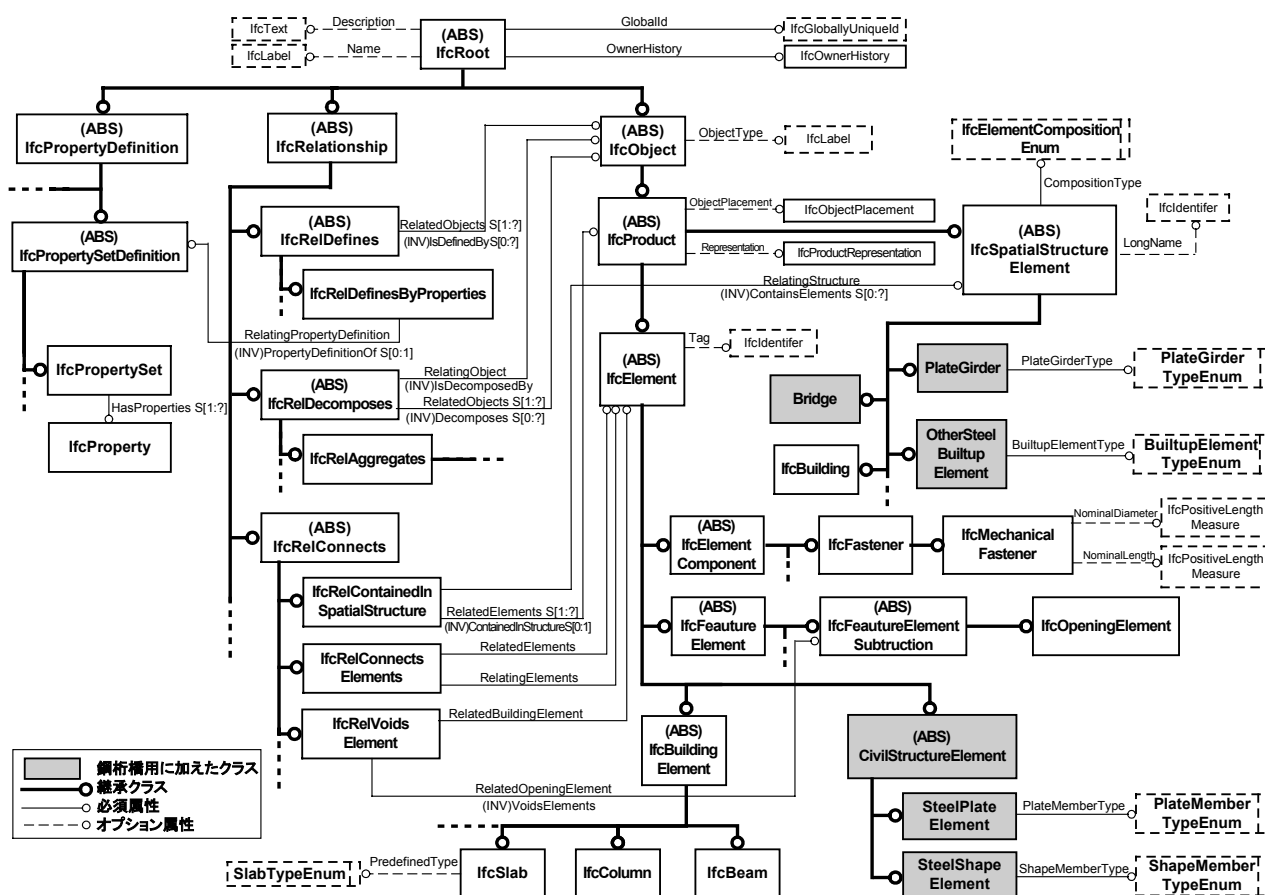


図 - 4 拡張したプロダクトモデルの全体像

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<sup>11)</sup>を開発しており、我々も協力しているが、鋼橋に関しては、今のところ IFC-BRIDGE のモデリングは鋼板エレメントを主体としておらず問題が多い。

#### 4. 鋼桁橋のプロダクトモデル

#### 4.1 鋼桁橋用クラスの拡張

本研究では、IFC2x2 に鋼桁橋用のクラスを独自の方法で拡張することとした。拡張したプロダクトモデルの全体像を図 - 4 に示す。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。

(1) 橋梁クラス及び鋼桁クラス

本研究では、鋼桁橋を1つのオブジェクトとして定義し、鋼桁橋を構成する複数の部材についても個々のオブジェクトとして定義することとした。そこで、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。さらに `Bridge` クラスが以下に述べる `PlateGirder`、`OtherSteelBuiltupElement` クラスから構成される関係を、`IfcRelationship` の一種である `IfcRelAggregates` や `IfcRelContainedInSpatialStructure` クラス等を用いることにより定義することとした。

プレートガーダーにおいても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ので IfcRelAggregates 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。さらに、プレートガーダーは I 桁を例にすると、フランジやウェブ等の部材に分けられる。これらの部材も各々オブジェクトとして定義するために、新たに部材クラスを構築することとした。詳細については次項で述べる。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。

## (2) 部材クラス

本研究では、鋼桁橋を構成する最小単位の部材を定義するために IfcElement のサブクラスに土木構造物用部材の抽象クラスである CivilStructureElement クラスを構築した。さらに、そのサブクラスとして、フランジやウェブ等の鋼板を定義する SteelPlateElement クラスを構築した。また、定義した部材が何かを識別するために、PlateMemberType という属性を持たせた。この属性も

PlateGirder クラスと同様に、定義した部材がフランジの場合は FLANGE、ウェブの場合は WEB といった属性値を選択する。また形鋼等の鋼板以外の鋼部材を定義するための SteelShapeElement クラスを SteelPlateElement と同様の手法を用いて構築した。

各部材の形状の表現は、部材端部の断面形状を生成後、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押し出す手法を用いることとした。

#### 4.2 部材の接合の表現

鋼橋は複数の鋼部材を溶接や高力ボルト等を用いて接合することで組み立てられる。本研究では、接合方法を定義するために、IFC2x2 に新たに付け加えられたクラスである IfcFastener クラスを用いることとした。IfcFastener クラスは、溶接接合や接着剤による接合等を定義することができる。また、IfcFastener のサブクラスに IfcMechanicalFastener クラスがあり、ボルト、ナット、ワッシャー等を定義することができる。ボルト接合の場合、部材に孔を空ける必要がある。部材の孔については、IfcOpeningElement クラスを用いることにより定義することとした。IfcOpeningElement は1つの孔を1つのオブジェクトとして定義できるため、孔の開いている位置や孔の形状等を表現することが可能になる。さらに、IfcRelVoidsElement クラスを用いて孔を空ける部材との関連付けを行うことにより、どの部材のどの位置に孔が開いているかを表現することが出来る。

最後に、本プロダクトモデルの実装には、XML (Extensible Markup Language) の一種である、ifcXML を用いることとした。作成した I 桁のインスタンスファイルの一部を図 - 5 に示す。

#### 5. まとめ

本研究では、以前開発した VR-CAD の操作性を改善するために、GL4Java に代わり Java 3D を CG に使用することにより、マウス操作で部材の選択が出来るようにした。次に、鋼桁橋のプロダクトモデルを、IFC2x2 をベースに、フランジやウェブ、補剛材等の各エレメントを定義するクラスを加えて再構築した。また、IFC2x2 で新たに加えられたクラスを用いて部材の接合を定義した。その結果、以前我々が開発した VR-CAD に比べ、操作性が改善され、鋼桁橋のプロダクトモデルでは、フランジやウェブ、補剛材等の部材や接合方法をエレメントとして定義することが可能となった。今後は詳細設計システムの機能拡張と、プロダクトモデルのさらなる改善、拡張を図っていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 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, 35-44, 2002.

```
- <ExtrudedAreaSolid id="_2010">
- <sweptArea>
- <RectangleProfileDef id="_2011">
  <profileType>AREA</profileType>
  <profileName />
- <position>
- <Axis2Placement2D id="_2012">
  - <location>
    - <CartesianPoint id="_2013">
      <coordinates>0,0</coordinates>
    </CartesianPoint>
  </location>
  <axis />
  <refDirection />
</Axis2Placement2D>
</position>
<xDim>240</xDim>
<yDim>12</yDim>
</RectangleProfileDef>
</sweptArea>
- <position>
- <Axis2Placement3D id="_2014">
  - <location>
    - <CartesianPoint id="_2015">
      <coordinates>0,0,0</coordinates>
    </CartesianPoint>
```

図 - 5 I 桁のインスタンスの一部

- 2) 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.
- 3) 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ト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.
- 4) 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.
- 5) OpenGL: <http://www.sgi.com/software/opengl/>
- 6) GL4Java: <http://www.jausoft.com/gl4java.html>
- 7) Java 3D: [http://java.sun.com/products/java-media/3D/forDevelopers/J3D\\_1\\_3\\_API/j3dguide/index.html](http://java.sun.com/products/java-media/3D/forDevelopers/J3D_1_3_API/j3dguide/index.html)
- 8) IFC: [http://www.iai-japan.jp/DATA/Documents/End\\_User\\_Guide/iai\\_ifc\\_guide.pdf](http://www.iai-japan.jp/DATA/Documents/End_User_Guide/iai_ifc_guide.pdf), 1995.
- 9) DirectX: <http://www.microsoft.com/windows/directx/default.aspx/>
- 10) CrystalEYES3: [http://www.stereographics.com/products/crystaleyes/body\\_crystaleyes.html](http://www.stereographics.com/products/crystaleyes/body_crystaleyes.html)
- 11) IFC-BRIDGE: [http://www.iai-france.org/bridge/BRIDGE-Model/Model-V1/IFC-BRIDGE-V1-Model\\_fichiers/frame.htm](http://www.iai-france.org/bridge/BRIDGE-Model/Model-V1/IFC-BRIDGE-V1-Model_fichiers/frame.htm)