

I-1 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

A 3D-CAD Environment with a Multi-Agent System and a Product Model

矢吹 信喜¹ 小谷 隼² 小室 雅人³ ヒュンジュウ・キム⁴
 Nobuyoshi Yabuki Jun Kotani Masato Komuro Hyunjoon Kim

【抄録】プロダクトモデルを介した3次元CADシステムによる部材設計と設計照査システムとの間のデータ移動は、照査結果が不適の場合、満足するまで繰り返されるため、効率化が望まれるところである。そこで本研究では、プロダクトモデルによるデータ相互運用機能を利用しながら、簡易照査を行ったり、部材の外部拘束条件に対する判断を行ったりする複数のエージェントを背後で動作させることにより、ユーザの設計を支援してくれるようなMultiAgent-CADの開発を行った。さらに鋼構造3次元プロダクトモデルを構築し、開発したシステムを設計例題に適用して、その有効性を検証した。

【Abstract】 After component design using a 3D-CAD system and a product model, if the result of the design checking system is violated, it is necessary to re-design until it is satisfied. Since this increases the number of data transferring, the improvement of efficiency is desired. Thus, in this research, we have developed MultiAgent-CAD to support the user's design by providing a multi-agent system including simplified code checking agents, external condition checking agents, etc., using the function of interoperability by the product model. Further, we have developed a 3D product model of steel structures and applied the MultiAgent-CAD to a sample design case to demonstrated its effectiveness.

【キーワード】 マルチエージェント, プロダクトモデル, IAI, IFC, XML, 3次元CAD, 設計照査

【Keywords】 multi-agent, product model, IAI, IFC, XML, 3D-CAD, design checking

1. はじめに

鋼構造のような骨組構造物の設計では、まず構造形式を選定し、全体システムの大まかな寸法等を仮定し、荷重を与えて構造解析を行う。次に、構造解析によって得られた断面力をもとに、各部材の断面寸法等の詳細な設計を行い、各種限界状態に対する照査を行う。こうした一連の設計作業を効率化するためには、CADシステム、構造解析システム、照査システム等の各種システムをひとつのアプリケーションとして統合する方法もあるが、組織内の既存資源の放棄や他組織とのデータ互換性の問題等が発生することが考えられる。そこで、図-1に示すように、異なったシステム間でデータが相互運用できるよう標準化されたプロダクトモデルを開発する方法が以前に提案され、プロダクトモデルベースによる各種システムの統合化に関する研

究^{1) 2) 3) 4)}が進められている。また、解析、設計、積算などが実施できる、統合化された商用システム(例えば、Xsteel⁵⁾、CIMsteel⁶⁾、SYMPHONY⁷⁾等)が開発されている。

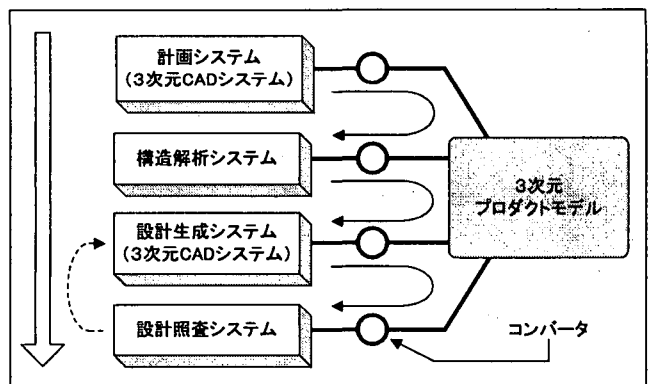


図-1 骨組構造物の設計フロー

1 正会員 Ph.D. 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助教授 〒050-8585 室蘭市水元町 27-1
 TEL: 0143-46-5219 FAX: 0143-46-5218 Email: yabuki@news3.ce.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
 3 正会員 博(工) 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助手
 4 Ph.D. Post Doctoral Fellow Dept. of Civil and Env. Engineering Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, USA.

こうしたシステムは便利であるが、実際にプロダクトモデルを介してデータの相互運用が開始されると、設計者の立場からは次のような使用上の問題が発生すると考えられる。3次元 CAD システムを使用しながら、鋼部材の詳細な断面寸法を仮定する際、断面寸法が適切であるかどうかを判断するためには設計照査システムにおいて照査を行った上でさらに、施工性や経済性に関するチェックをする必要がある。そのため、一旦全部材の寸法を仮定した後、プロダクトモデルデータに変換し、さらに照査システムにデータを変換して照査（各種チェックを含む）するという手続きが必要となる。照査の結果が NG (No Good: 不適) となれば、ユーザは 3次元 CAD データの修正を行っては、照査システムで照査を行う、というシステム間のデータ移動を繰返さなくてはならず、時間と労力がかかる。このような設計に関する問題は、設計熟練者の持つ膨大な知識を活用することで解決することができると考えられるが、現存するシステムにおいては、そのような知識とのつながりが弱く、設計基準に対する判断などの限られた範囲にしか知識が活用されていない。

そこで、本研究ではこのような問題を解決するために、プロダクトモデルを介するデータ相互運用機能を利用しつつ、3次元 CAD システムを使用して部材の設計を行っている時、背後で自律的に簡易的な照査を行ったり、部材に対する力学的な条件以外の施工性や経済性といった外部拘束条件 (external constraints) に対する判断を行うといった、ユーザの断面設計を多面的に支援するような知的なオブジェクト、すなわち「エージェント」を開発することとした。このような知的なエージェントによって、鋼部材の設計において照査及び外部拘束条件のチェックなど、きめ細かく設計者をサポートするシステムは現存しないと考えられる。

2. エージェントを用いた 3 次元 CAD システム

2.1 エージェント技術

エージェントは、情報工学分野において 1990 年代初期から研究されているが、必ずしも明確な定義があるわけではない。しかし、近年は、人間が細かく指示しなくても自律的、自発的に動作し、外部環境に適応しながら反応し、システム全体を知ることなく局所的な情報のみで動作する等の特徴を備えた知的なオブジェクトとして考えられている。また、エージェントに関連する技術をエージェント技術と呼んでいる^{8) 9)}。

エージェントには人間の代理として振る舞うために

重要な機能として、ある種の知性を与える。知性の持たせ方としては、単一のエージェントの中に知的機能を埋め込むものから、複数のエージェントの相互作用によって、集団的振る舞いのレベルで知的振る舞いを見せるものまでである。前者は一般に知的エージェントと呼ばれ、後者はマルチエージェントシステムと呼ばれる¹⁰⁾。

設計のような複雑かつ高度な作業を支援する場合、単一のエージェントに複数の機能を持たせるよりも、機能毎に複数のエージェントが協調し、ユーザを支援する方が、ソフトウェアの開発、管理、拡張の観点から有利であると考えられる。そのため、本研究ではマルチエージェントシステムを開発する。

2.2 マルチエージェントと CAD システム

本研究では、マルチエージェントは、オブジェクト指向言語である Java により開発した。Java を用いることにより、エージェントをオブジェクトとして取り扱うことができ、これにより、エージェント同士を相互作用させるマルチエージェントシステムを開発することが容易となる。また、Java 言語は特定のプラットフォームに依存しないため、開発したマルチエージェントは各種のコンピュータで動作することができる。但し、実際に特定の 3次元 CAD システムにおいて利用するには、3次元 CAD システムとマルチエージェントを連動させる、システムインタフェースが必要となる。

逆にいえば、開発したマルチエージェントは、使用する 3次元 CAD システムとのシステムインタフェースさえ開発すれば、任意の CAD システムで利用可能な一般性を有している。尚、エージェントからユーザへのメッセージは、Java Applet を使用して開発したポップアップウィンドウによって伝達される。

2.3 システムモデルの概要

本研究で開発したシステムモデルを図-2に示す。本研究では、はじめに構造解析システムにおける結果データを、プロダクトモデルを介して 3次元 CAD システムへ移動させる。このとき 3次元プロダクトモデルには、各部材の荷重データ及び基準となる位置データが書き込まれているが、詳細な断面寸法データはまだ記述されていない。そこで、3次元 CAD システムにおいて、ユーザは各部材の断面設計を行う。その際、ユーザは本研究で開発した MultiAgent-CAD により、断面設計の支援を受けることができる。

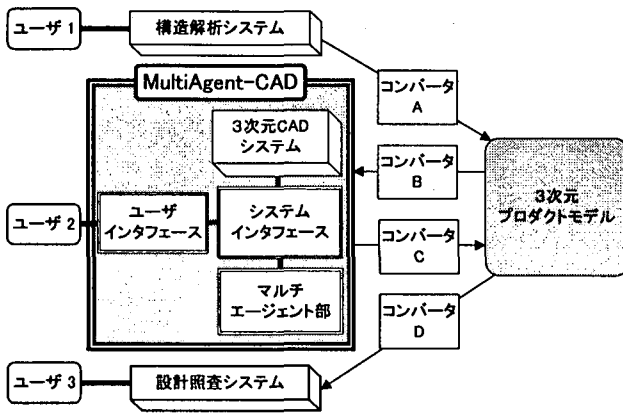


図-2 開発したシステムモデル

MultiAgent-CAD は、3次元 CAD システムとマルチエージェント部を連動させるシステムインタフェースと、システムインタフェースとユーザをつなぐユーザインタフェースで構成されており、マルチエージェント部には、簡易照査エージェント、設計状況判断エージェント、データベースエージェントの3つがある。これらが3次元 CAD システムのシステムインタフェースを通してユーザの設計作業を支援する。

マルチエージェントによる支援を受け、設計を行った各部材の断面データは、システムインタフェースに組み込まれたコンバータ C により自動的に3次元プロダクトモデルへ書き込まれる。

3. 鋼構造3次元プロダクトモデル

3.1 3次元プロダクトモデル

本研究では、鋼構造3次元プロダクトモデルを構築するにあたり、ISO10303のSTEP(STandard for the Exchange of Product model data)¹¹⁾と、IAI(International Alliance for Interoperability)¹²⁾のIFC(Industry Foundation Classes)のRelease 2x(IFC 2x)¹³⁾を参考とした。鋼構造3次元プロダクトモデルを開発することにより、2次元CADデータでは取り扱うことのできなかった、柱や梁といった構造部材そのものを、3次元オブジェクトとして取り扱うことができる。さらに、形状データだけでなく、部材の持つ特性や性質も属性として取り扱うことが可能となる。

3.2 プロダクトモデルのスキーマ

鋼部材やその他の部材をデータとして表現するためには、まず、その部材が持つ特性・性質を見極めて、それを属性として定義し、クラスを設計する必要がある。このクラスによって部材の持つデータ数やデータ

型が決定する。また、このようにして作られたクラスは、オブジェクト指向の原理により、Rootクラスのサブクラスとして定義されるため、スーパークラスが持つ属性を、すべて継承する特徴がある。

本研究では、鋼部材を表現するために必要な3つの基本となるクラス(Object, PropertyDefinition, Relationship)、そのサブクラス、さらにLoad(荷重)クラスを設計した。図-3は、3つの基本となるクラスとそのサブクラスの相互関係を、IFCにならいExpress-Gを用いて表現したものである。

(1) Objectクラス

Objectクラスとそのサブクラスでは、物理的に存在する「もの」を定義する。例えば柱、梁等が一般的であるが、空間、プロセス等もこれに含まれる。Objectの下層に位置するProductクラスは、図-3に示すように、Objectのサブクラスであるので、Objectで持つ属性を全て継承する。よってColumnクラスが持つ全属性は、Express言語を用いて表現すると図-4のように表される。

Column(柱)を一つのオブジェクトとして考えた場合、重要となるのがその形状の表現である。形状の表現は、Productから継承される属性名Representationの型ProductRepresentationクラスによって定義される。

(2) PropertyDefinitionクラス

PropertyDefinitionとそのサブクラスでは、Object及びそのサブクラスで継承されない、その他の付加的な情報を格納する。例えば柱を考えた場合、弾性係数Eや降伏応力Fy等の力学的パラメータがそれに相当する。E、Fyといった個々のデータはPropertySingleValueクラスでそれぞれ定義され、PropertySetクラスによって、一つのまとまったデータベースとしての機能を持つ。このように、オブジェクトとそのプロパティを分離して定義し実装させることで、複数のオブジェクトが同一のプロパティを共有する事が可能になり、インスタンスファイルの肥大化を抑制する事が可能となる。

(3) Relationshipクラス

Relationshipとそのサブクラスは、Object間の関係や、ObjectとPropertyDefinitionとの関係を定義する。例えば、サブクラスのRelConnectsElementsでは、柱と梁の接合関係を表現し、RelDefinesByPropertiesでは、柱とその柱が所有するプロパティの関連付けを行っている。

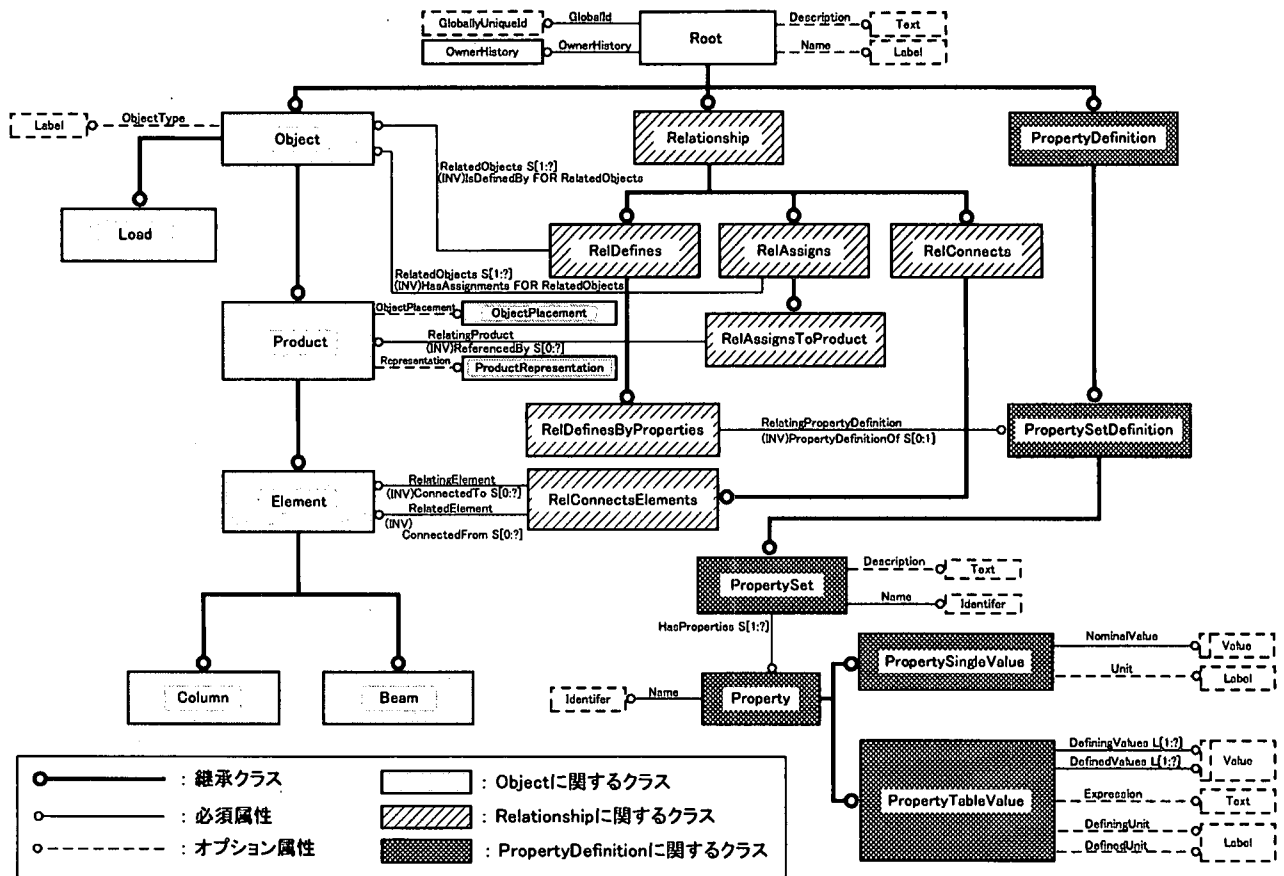


図-3 クラス図 (Express-G)

```

ENTITY Column;
  GlobalId           : GloballyUniqueId;
  OwnerHistory       : OwnerHistory;
  Name               : OPTIONALLabel;
  Description        : OPTIONALText;
  ObjectType         : OPTIONAL IfcLabel;
  IsDefinedBy       : SET OF RelDefines FOR RelatedObjects;
  HasAssignments    : SET OF RelAssigns FOR RelatedObjects;
  ObjectPlacement   : OPTIONALObjectPlacement;
  Representation     : OPTIONALProductRepresentation;
  ReferencedBy      : SET OFRelAssignsToProduct FOR RelatingProduct;
  ConnectedTo       : SET OFRelConnectsElements FOR RelatingElement;
  ConnectedFrom     : SET OFRelConnectsElements FOR RelatedElement;
END_ENTITY
    
```

図-4 クラス Column の定義 (Express)

3.3 プロダクトモデルの実装

本研究で開発したプロダクトモデルのクラスの定義は、Express でなされているので、インスタンス（クラス定義に従い、クラスに実データを与えたもの）は Express の物理ファイルである Part21 ファイル形式となる。しかし、XML の普及に伴い、IFC においても XML を用いた実装を目指し、様々な試行が行われている。プロダクトモデルの実装に関しては、固定的なデータ構造を定義するデータ指向スキーマが適しており、

中でも BLIS-XML¹⁴⁾ や ifcXML¹⁵⁾ 等が現在注目されている。また、両者ともに Express へのスキーマ変換が可能であり、インスタンスファイルは Part21 ファイルへの変換も可能であり、等価である。特に BLIS-XML は属性指向型の構造形式でかつ、階層指向型の ifcXML に比べて可視性、プログラミングの容易性等の観点から有利であると考えられる。以上の点を考慮し、本研究では、BLIS-XML を用いてプロダクトモデルを実装した。図-5 は BLIS-XML によるクラス

```
<ElementType name="Column" content="empty" model="open">
  <attribute type="XMLID" required="yes" />
  <attribute type="GlobalId" required="yes" />
  <attribute type="OwnerHistory" required="yes" />
  <attribute type="Name" required="no" />
  <attribute type="Description" required="no" />
  <attribute type="ObjectType" required="no" />
  <attribute type="IsDefinedBy" required="no" />
  <attribute type="HasAssignments" required="no" />
  <attribute type="ObjectPlacement" required="no" />
  <attribute type="Representation" required="no" />
  <attribute type="ReferencedBy" required="no" />
  <attribute type="ConnectedTo" required="no" />
  <attribute type="ConnectedFrom" required="no" />
</ElementType>
```

図-5 Column を定義するスキーマ (抜粋)

Column の定義 (スキーマという), 図-6 はクラス Column のインスタンスファイルの一部を表している。このインスタンスファイルは Column インスタンスのみではなく, Column が直接的・間接的に持つ全てのクラスのインスタンスの集合体として表現されている。

3.4 他システムとのデータ相互運用

プロダクトモデルと他システムとのデータ相互運用を図る目的で, 以下に記すデータ変換を行うコンバータを開発した。

(1) コンバータ A

コンバータ A は構造解析システムで得られた断面力 (曲げモーメント, せん断力等) や, 各部材の位置に関するデータから, プロダクトモデルを生成する。

(2) コンバータ B

コンバータ B は 3次元プロダクトモデルから鋼部材の形状データを読み取り, 3次元 CAD システム上に自動的にモデリングする。このとき, モデリングされる鋼構造物は骨組構造として表示される。

3次元 CAD 図面上には表示されないが, 各部材の荷重データは部材の属性値として, 開発した MultiAgent-CAD に読み込まれる。

(3) コンバータ C

コンバータ C は開発した MultiAgent-CAD において, 断面設計を行った鋼部材の形状データを取得し, 3次元プロダクトモデルを生成するものである。本研究では, 3次元 CAD システムとして AutoCAD2000i を使用した。AutoCAD が提供する中間ファイル形式として, DXF や DesignXML があるが, 相当な量のデータが AutoCAD から出力される。そこで, 本研究では簡易的に, 断面設計を行う際のシステムインタフェースに適切なデータを渡す方法により, コンバータ C を開発した。

```
- <BLIS-XML xmlns="x-
  schema:file:///C:/schema/Schema1.xdr">
  <Column XMLID="i101" GlobalId=".CY[Jo+Hw=#rH0,x08"
    OwnerHistory="i102" Name="ColumnA3" Description=""
    ObjectType="W14_99" IsDefinedBy="i151"
    HasAssignments="i501" ObjectPlacement="i104"
    Representation="i105" ReferencedBy=""
    ConnectedTo="i706" ConnectedFrom="i53" />
  <LocalPlacement XMLID="i104" PlacementRelTo=""
    RelativePlacement="i113" />
  <Axis2Placement3D XMLID="i113" Location="i114" Axis=""
    RefDirection="" />
  - <CartesianPoint XMLID="i114">
    <Coordinates RealValue="50" />
    <Coordinates RealValue="50" />
    <Coordinates RealValue="0" />
  </CartesianPoint>
  <ExtrudedAreaSolid XMLID="i118" SweptArea="i119"
    Position="i120" ExtrudedDirection="i121" Depth="168" />
  <IshapeProfileDef XMLID="i119" ProfileType="AREA"
    ProfileName="" Position="i122" OverallWidth="14.565"
    OverallDepth="14.16" WebThickness="0.495"
    FlangeThickness="0.780" FilletRadius="" />
  <Axis2Placement3D XMLID="i120" Location="i123" Axis=""
    RefDirection="" />
  <Axis2Placement2D XMLID="i122" Location="i124"
    RefDirection="" />
  - <CartesianPoint XMLID="i123">
    <Coordinates RealValue="0" />
    <Coordinates RealValue="0" />
    <Coordinates RealValue="0" />
  </CartesianPoint>
```

図-6 Column のインスタンスファイル (抜粋)

4. 鋼部材断面設計支援マルチエージェント

本研究で開発した3つのエージェント, すなわち, 簡易照査エージェント, 設計状況判断エージェント, データベースエージェントによって構成されている。

4.1 簡易照査エージェント

簡易照査エージェントは, ユーザが断面設計時に選択した断面寸法が, 荷重に対して適当な大きさであるかどうかをバックグラウンドで簡易的に照査し, 監視する機能を持つ。照査に使用する設計基準としては, AISC-LRFD¹⁶⁾ 及び AISC-ASD¹⁷⁾ を使用した。ユーザはいずれかを選択することができる。

簡易照査で必要となる断面データ, 荷重データ等はそれぞれ, AISC が作成したデータベース及び構造解析システムで生成したプロダクトモデルから取得する。

4.2 設計状況判断エージェント

設計状況判断エージェントは, 梁や柱部材の寸法をユーザが設定する際, 単に力学的な照査のみならず, 例えば, 隣り合う梁の梁高がそろっているか, あるいは柱の心が上下で通っているかといった, 設計上の拘束条件をバックグラウンドで常に監視する機能を有する。プロダクトモデルから部材の位置関係に関するデータ, すなわち各部材がどの部材と隣接しているのかというデータと, 各部材の基準となる座標位置のデー

タを読み取り、基準となる座標データから断面寸法を考慮した部材端部の座標を計算し、他の部材と比較することにより判断を行う。

4.3 データベースエージェント

形鋼は一般にその寸法等が表形式になっており、データベース化されていることが多い。AISC では、使用する形鋼の寸法データを表形式で定義しており、XML ファイルや STEP ファイルといった様々なファイル形式によってデータベース化され、CD-ROM として提供している¹⁸⁾。本研究では、図-7 に示すように、AISC の XML ファイル形式のデータベースを用いた。

データベースエージェントは、簡易照査エージェントと相互作用し、AISC の形鋼データベースから簡易照査等に必要な断面データを取得する機能を有する。すなわち簡易照査エージェントの要求するデータを AISC データベースから検索し、値を取得して簡易照査エージェントに値を返す。

本研究で用いる AISC のデータベースは XML ファイル形式であり、データを検索するには XML for Java Parser¹⁹⁾ によりデータベースを構文解析して、必要な値を取得する。

5. 3次元CADとエージェントのインタフェース

MultiAgent-CAD において、3次元 CAD システムとマルチエージェント部を連動させるため、システムインタフェースを VBA (Visual Basic for Application) によって開発した。さらに、システムインタフェースとユーザとの間にユーザインタフェースを VBA を使用して開発した。

MultiAgent-CAD において、システムインタフェースは鋼部材のモデリング及び3次元プロダクトモデルのインスタンスの作成を行うことができる。モデリング作業を行う際は、フランジ厚等のデータを手入力する必要は無く、鋼部材の断面寸法と基準となるような座標の位置さえわかれば、容易にモデリングを行うことが可能となっている。これにより、データの入力ミスや再入力を軽減し、効率化を図ることができると考えられる。

次に3次元プロダクトモデルのインスタンスの作成について説明する。システムインタフェースと3次元 CAD システムにより、ユーザが断面設計をしていくと、プロダクトモデルのインスタンスは MultiAgent-CAD 内にメモリとして蓄積される。尚、簡易照査エージェ

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <AISCShapes>
  <VERSION RELEASE="3" MAJOR="0" MINOR="0"
    SUBMINOR="0" />
- <UNITS TYPE="US">
  - <WShapes TYPE="W" NAME="Wide Flange Shapes">
    - <GROUP TYPE="W44">
      - <WShape EDISTANDARD="W44X335"
        AISCLABEL="W44X335" JUMBO="F"
        EQUIVSHAPE="W1100X499">
        <DIMENSIONS W="335" A="98.3" D="44"
          BF="16" TW="1.02" TF="1.77" KDES="2.56"
          KDET="2.625" />
      - <PROPERTIES H_TW="38.1" X1="2430"
        X2="5110">
        <COMPACT BF_2TF="4.51"
          FY3P="44.3" />
        <ELASTIC IX="31100" SX="1410"
          RX="17.8" IY="1200" SY="151"
          RY="3.5" />
        <PLASTIC ZX="1620" ZY="236" />
        <OTHER J="74.4" CW="536000"
          WNO="168" SW="1190" QF="279"
          QW="805" />
        </PROPERTIES>
      </WShape>
    - <WShape EDISTANDARD="W44X290"
        AISCLABEL="W44X290" JUMBO="F"
        EQUIVSHAPE="W1100X433">
        <DIMENSIONS W="290" A="85.8" D="43.6"
          BF="15.8" TW="0.87" TF="1.58"
          KDES="2.37" KDET="2.4375" />

```

図-7 AISC の形鋼のデータベース (XML)

ントの指摘等により、ユーザが断面を変更した場合、メモリ内のデータも変更される。ある量の部材が設計されると、ユーザはプロダクトモデルのインスタンスのデータを、コンバータ C によりプロダクトモデルへ移管する。これにより、ユーザは自動的に BLIS-XML 形式で記述された3次元プロダクトモデルデータを構築することができるのである。

6. システムモデルの適用例

本研究のシステムモデルの適用例を示す。本研究における適用例では、対象をフレーム構造の鋼部材 (梁-柱) とし、設計基準は AISC-LRFD に従って、プロダクトモデルの運用の検証を行った。3次元 CAD システムでは、入力フォームに図-8 に示すような構造解析システムで得られた鋼部材の断面力 (曲げモーメント、せん断力等) のデータをプロダクトモデル化したものを、コンバータ B により3次元 CAD システムへ移動させる。次に図-9 に示すユーザインタフェースにおいて各鋼部材の断面設計を行う。断面寸法を選択の際、簡易照査エージェントは3次元 CAD システムのバックグラウンドで、解析結果データと断面寸法データから照査結果を予測する。ユーザが条件に対して危険な断面を選択すると、図-10 に示すように簡易照査エージェントは「この断面は荷重条件に対して、

不足しています。」とユーザに注意を促す。このように、ユーザは断面寸法の選択を行うのと同時に、設計した断面寸法に問題がないかを判断することが出来るようになったため、何度も意識的に照査システムとの間でデータの移動を繰り返す必要がなく、効率的なプロダクトモデルの生成が可能となった。

さらに、違う部材について断面設計を行なう際には、設計状況判断エージェントが、既に設計が終了した部材との位置関係を判断し、設計した部材の位置に問題がないかをコメントとしてユーザに伝える。図-11は接合する柱 (Column01) と梁 (Beam01) の心が合っていない時のコメントを示す。また、簡易照査エージェントも設計状況判断エージェントも、部材の設計に関して問題が生じたときのみユーザにコメントを伝えるため、部材の設計が適切であった場合は、いちいち部材の設計作業を中断しなくともよい。また、ユーザインタフェースにある「3DModel」ボタンをクリックすることにより、対象となる鋼部材を3次元 CAD システム上に表現することができる。これにより、ユーザは目視によって、断面設計した鋼部材を確認する

ことが可能である。

このようにして、ユーザはエージェントのコメントや鋼部材のモデリング結果等を考慮した上で、MultiAgent-CAD のユーザインタフェースにある「ProductModel」ボタンをクリックすることにより、3次元プロダクトモデルのデータを生成することができる。

また、この適用事例問題を二人の土木系大学生に与え、エージェントを有効にした場合と、そうでない場合とで、どの程度時間的な差が生ずるか、テストを試みた。その結果、エージェントが有効でない場合、断面選択から照査システムによる照査実行までの作業を5回繰り返さないと、最適な断面を選択することができず、時間も約6分かかった。しかし、エージェントを有効にした場合は、1回の断面設計で最適な断面を選択することができ、時間は約3分半であった。エージェントを有効にすることで、作業時間が約半分となり、本システムによって大幅に作業が効率化されることが示されたと考えられる。

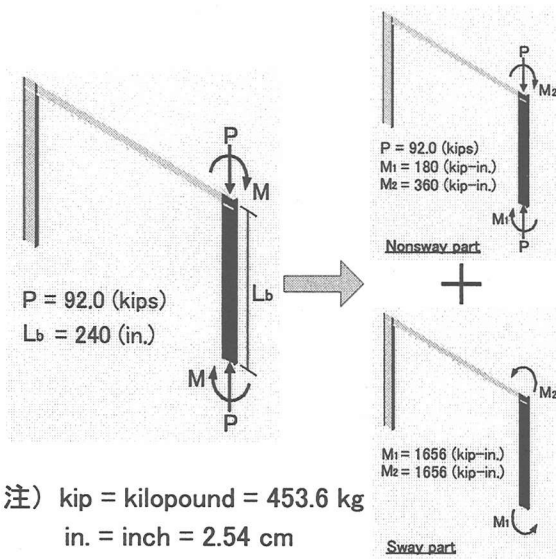


図-8 断面力の解析結果データ

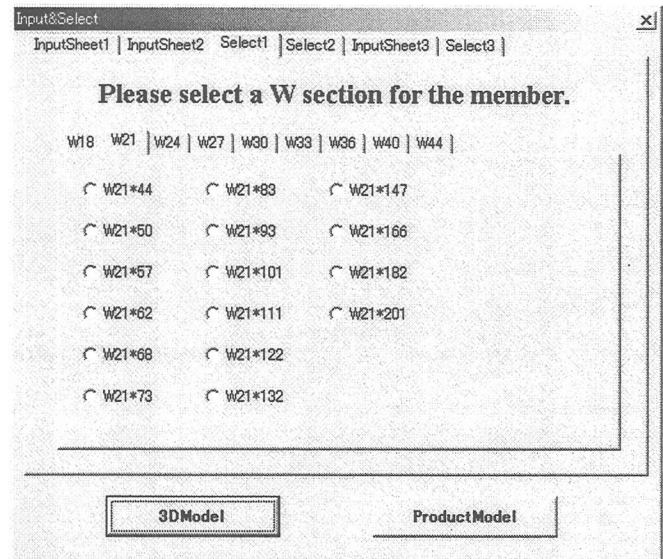


図-9 ユーザインタフェース

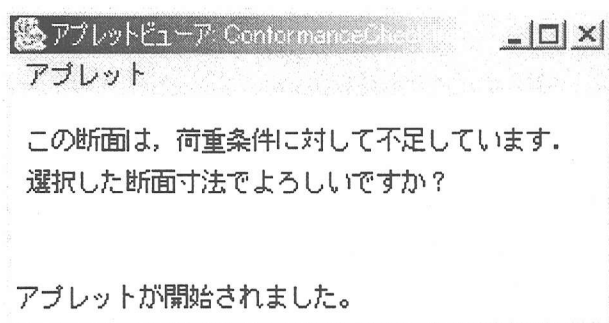


図-10 簡易照査エージェントによるコメント

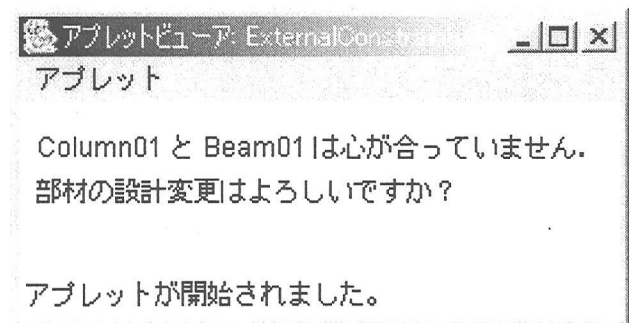


図-11 設計状況判断エージェントによるコメント

7. 考察

設計基準に基づいて照査を行うエージェント、基準以外の経験的な知識や図形的な設計状況に基づいて判断を行うエージェント、及びデータベースとの連携を行うバックエンドのエージェントといったように、エージェントを機能毎に分離することは、システム開発上極めて有効な方法である。本研究では、3個のエージェントを開発したが、今後、多くの異なる機能を有するエージェント群を開発していけば、エージェント同士の協調的な集団的行為により、より大きな効果をもたらすことが予想される。

しかし、一方、エージェント同士で反対のコメントや意見をユーザに提示するといった矛盾が問題化してくるケースも考えられる。典型的な例としては、各部材を重量という観点からのみ最適化しようとするエージェントと施工性や美観といった定性的な知識に基づいて部材選定にアドバイスするエージェントの対立が挙げられる。数多くのエージェントが、それぞれ異なるアドバイスや注意をユーザに提示してくると、ユーザは返って混乱してしまうことも考えられる。従って、その時の状況に応じてどのエージェントに、より優先的な仕事をさせるか、あるいは矛盾が表面化した時に、どのようにして矛盾を解消するかといった、企画戦略的なエージェントも用意する必要があると考えられる。

また、以前に我々が開発した、エージェントによる構造工学教育システム⁸⁾のように、各ユーザのシステム使用状況や使用履歴といった情報をエージェントの中に埋め込んで、各ユーザ毎に適切なアドバイスを提供するような機能も重要だと考えられる。

8. まとめ

本研究では、骨組構造物の各部材の設計において、プロダクトモデルを介した 3 次元 CAD システムと、設計照査システムとの間のデータ相互運用機能を利用しながら、システムの背後で自律的に設計の照査を行ったり、拘束条件のチェックを行い、ユーザを支援するマルチエージェントを開発した。マルチエージェントと 3 次元 CAD システムを連動させるため、システムインタフェースとユーザインタフェースを開発した。プロダクトモデルは、IFC を参考とし BLIS-XML を用いて実装した。本システムを、設計例題に適用してみたところ、その有効性が確認された。

今後は、プロダクトモデルのスキーマ言語を、格納されるデータ型が厳密に定義できる ifcXML へ移行したい。また設計照査システムを開発し、SOAP (Simple

Object Access Protocol)²⁰⁾による実装を行って、統合化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, 小谷隼: 鋼部材 3 次元プロダクトモデルに関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol.58, pp.76-79, 2002.
- 2) 矢吹信喜, 志谷倫章, 宮島良将, 岸徳光: 統合化された鋼構造接合部設計システムに関する研究, 土木情報システム論文集, Vol.10, pp.175-184, 2001.
- 3) 三上市蔵, 田中成典, 窪田諭, 石井由美子: インターネット技術を用いた橋梁の製品モデルデータベースの構築, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.511-522, 1999.
- 4) Park, S.K., Lin, K.I., and Kim, E.D.: A STEP-based Integrated Structural Design System for Steel Framed Buildings, Proceedings of the 8th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Stanford, CA, USA, pp.788-795, 2000.
- 5) Xsteel: <http://www.xsteel.com/>
- 6) CIMsteel: <http://www.leeds.ac.uk/civil/cae/cimsteel/cimsteel.htm>
- 7) SYMPHONY: http://www.ttk-corp.co.jp/works/05soft/soft_c.htm
- 8) 矢吹信喜, 古川将也, 飛田昌良, 松岡健一: 知的エージェントを用いた構造工学 CAI システムの構築に関する研究, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.101-110, 2000.
- 9) 前田隆, 青木文夫: 新しい人工知能, オーム社, 2000.
- 10) 本位田真一, 飯島正, 大須賀昭彦: エージェント技術, 共立出版, 1999.
- 11) ISO10303-1: Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange, Part 1: Overview and Fundamental Principles, 1994.
- 12) IAI: <http://iaieweb.lbl.gov/>
- 13) IFC 2x: http://cic.vtt.fi/niai/technical/ifc_2x/
- 14) BLIS-XML: <http://www.blis-project.org/>
- 15) IfcXML: http://www.iai-international.org/iai_international/Technical_Documents/IFCXML.htm
- 16) Manual of Steel Construction - Load & Resistance Factor Design, Third Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 2001.
- 17) Manual of Steel Construction - Allowable Stress Design, Ninth Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 1989.
- 18) American Institute of Steel Construction: CD-ROM, Shapes Database, Version 3.0, 2001.
- 19) XML for Java Parser: <http://alphaworks.ibm.com/tech/xml4j/>
- 20) SOAP: <http://www.w3.org/2002/ws/>