

I-31 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

Design Support for Steel Frame Structures Using Web Services and Multi-Agents

矢吹 信喜¹ 小谷 隼²
Nobuyoshi Yabuki Jun Kotani

【抄録】3次元プロダクトモデル等を利用した効率的な設計環境においても、3次元CADと設計照査システム間においては、設計修正の度に何度もデータ移動を行うことがあり、効率化が望まれる。そこで以前に我々は、ユーザが意識せずとも、複数の知的なエージェントが多面的に設計支援を行ってくれるマルチエージェントシステムを開発した。しかし、開発、管理等の観点から、マルチエージェントは分散した環境で構築し、連携させる方がメリットが大きい。そこで、本研究では、インターネット上に分散させたマルチエージェントを、Webサービスを利用して連動させ、ユーザの設計支援を行ってくれるようなシステムモデルを開発し、その有効性を検証した。

【Abstract】Although 3D product models can improve the efficiency of design process, data transferring from a 3D CAD system to a conformance checking system would be repeated until all design members satisfy applicable design codes. Thus, we had developed a multi-agent system that checks the design without user's consciousness. However, agents are more effective when they are distributed in the network in terms of development and maintenance. In this research, therefore, we applied the web service technology to this system so that agents are distributed in the Internet and work cooperatively.

【キーワード】マルチエージェント, Web サービス, SOAP, プロダクトモデル, IFC, XML

【Keywords】multi-agents, web service, SOAP, product model, IFC, XML

1. はじめに

以前より我々は3次元CADやプロダクトモデルを利用した効率的な設計環境の開発に関する研究を行っている^{1) 2)}。しかし、鋼部材等の詳細な断面設計を行なう際には、3次元CADシステムを使用して、一旦全部材の寸法を仮定した後、構造物のデータを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渡して照査(各種チェックを含む)を行なうという手続きが必要となる(図-1)。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、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、現状の通常設計作業に比べれば格段に速いものの、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。

このような問題を解決するためには、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

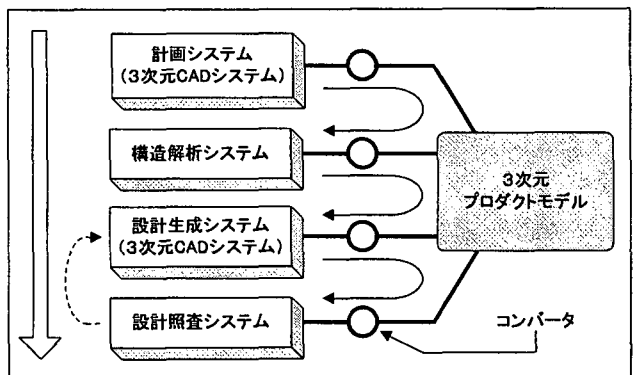


図-1 鋼骨組構造物の設計フロー

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

元 CAD システムを使用して部材の設計を行なっている最中に、ユーザが意識せずともシステムの背後で自律的に設計対象部材の力学的な照査を行なったり、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に対する判断を行なうといった、ユーザの設計作業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」³⁾ が有効だと考えられる。そこで、我々は既に 3 次元 CAD システムに上記のような複数のエージェントを加えた Multi-Agent CAD を開発した⁴⁾ (図-2)。

しかし、このような複数のエージェントにより動作するシステム、すなわちマルチエージェントシステムは、各エージェントが機能毎に個々のオブジェクトとして構築されており、様々なエージェント群を 1 台ずつ全てのユーザのコンピュータに配置するより、インターネット上の複数のサーバに分散させ、クライアントはサーバに自動的にアクセスをするようにした方がユーザにとっても、開発者にとってもメリットは非常に大きいと言えよう。こうしたインターネット上に分散・点在するマルチエージェントを他のコンピュータから動作出来るようにする技術が SOAP⁵⁾ (Simple Object Access Protocol) を用いた「Web サービス」⁶⁾ である。

そこで本研究では、既開発の Multi-Agent CAD の機能を大幅に向上させるために、マルチエージェントと Web サービスを用いた設計システムのためのモデルを開発し、鋼骨組構造の設計に適用させ、モデルの検証を行なうこととした。

2. 既開発の Multi-Agent 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。ここで、図-3 にエージェントの基本的アーキテクチャを示す。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³⁾。

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

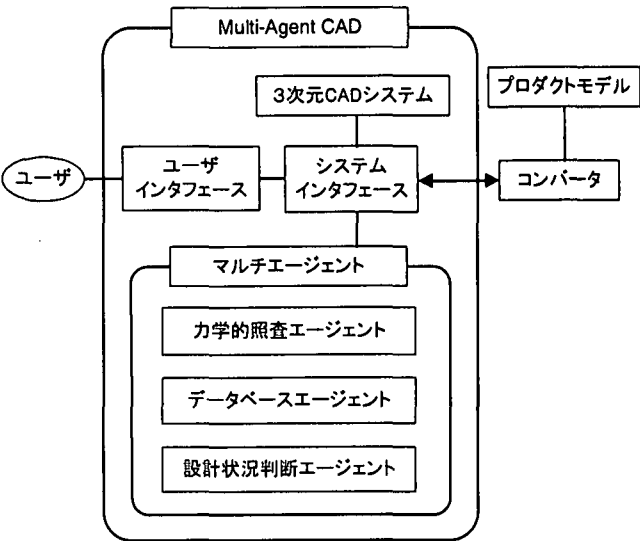


図-2 既開発の Multi-Agent CAD システムモデル

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³⁾。

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。そこで我々はマルチエージェントを用いた 3 次元 CAD 環境を開発した。

2.2 マルチエージェントと 3 次元 CAD システム

既に開発した Multi-Agent CAD のシステムモデル (図-2) 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。次に、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、ユーザはマルチエージェントにより、断面設計の支援を受けることができる。

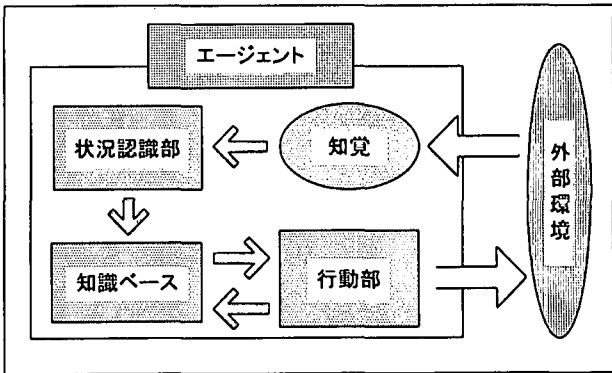


図-3 エージェントの基本的アーキテクチャ

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、力学的照査エージェント、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作業が終了すると、各部材の設計データは、コンバータを介し、自動的に3次元プロダクトモデルへ書き込まれる。尚、詳細については文献⁴⁾を参照されたい。

3. 鋼構造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、IAI (International Alliance for Interoperability)⁷⁾の IFC (Industry Foundation Classes) の Release 2x (IFC 2x)⁸⁾を用いた。

IFC2x では鋼部材やその他の部材をデータとして表現するために、その部材が持つ特性・性質を属性として定義し、クラス設計が行われている。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、このようなクラスは、オブジェクト指向の原理により、IfcRoot 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。

IFC2x では、鋼部材を表現するために IfcRoot クラスのサブクラスとして定義される、3つの基本となるクラス (IfcObject, IfcPropertyDefinition, IfcRelationship) と IfcRoot クラスとは分離して定義され、部材の形状等を表すための IfcRepresentation クラスの4つのクラス及びそれらのサブクラスにより構成されている。本研究ではさらに鋼部材に作用する荷重を表すため Load (荷重) クラスを設計し、IfcObject クラスのサブクラスとして定義した。図-4 は、IfcRoot のサブクラスである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。以下、3つの基本クラスについて説明する。

(1) IfcObject クラス

IfcObject 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。IfcObject の下層に位置する IfcProduct クラスは、

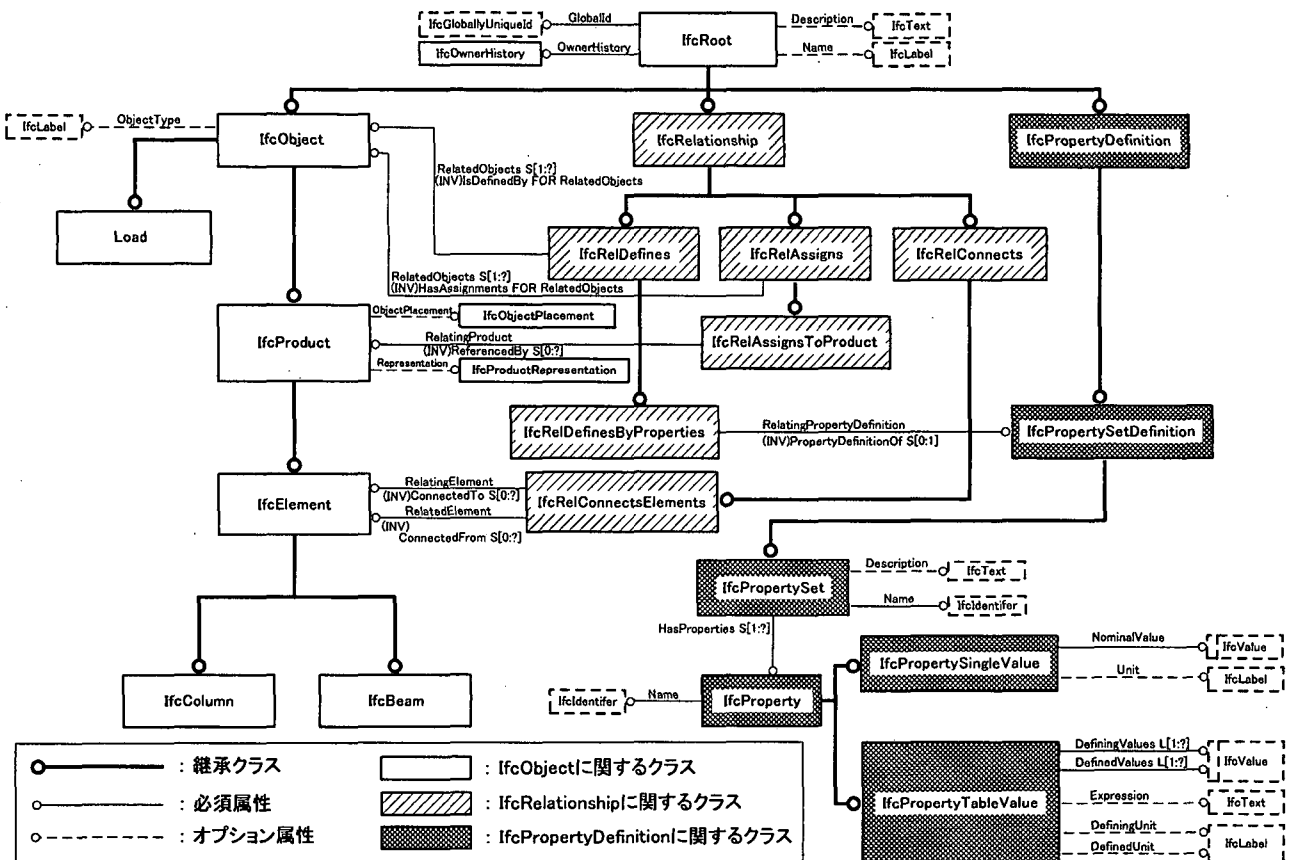


図-4 プロダクトモデルを構成するクラス図 (抜粋)

ENTITY IfcColumn;	
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-5 クラス IfcColumn の定義 (Express)

図-4 に示すように、IfcObject のサブクラスであるので、IfcObject で持つ属性を全て継承する。よって IfcColumn クラスが持つ全属性は、Express 言語を用いて表現すると図-5 のように表される。

(2) IfcPropertyDefinition クラス

IfcPropertyDefinition 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。

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) IfcRelationship クラス

IfcRelationship とそのサブクラスは、Object 間の関係や、IfcObject と IfcPropertyDefinition との関係を定義する。例えば、サブクラスの IfcRelConnectsElements では、柱と梁の接合関係を表現し、IfcRelDefinesByProperties 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。

また、さらにこれら3つのクラスの説明として、文献⁴⁾も参考にされたい。

次に、本研究では3次元プロダクトモデルを実装するにあたり、Express 言語へのスキーマ変換が可能であり、プログラミングの容易性、格納データの信頼性等の観点から ifcXML⁹⁾ (Extensible Markup Language) を用いた。ここで Column を定義するプロダクトモデルのスキーマを ifcXML によって記述したものを図-6に示す。またスキーマに従い、Column

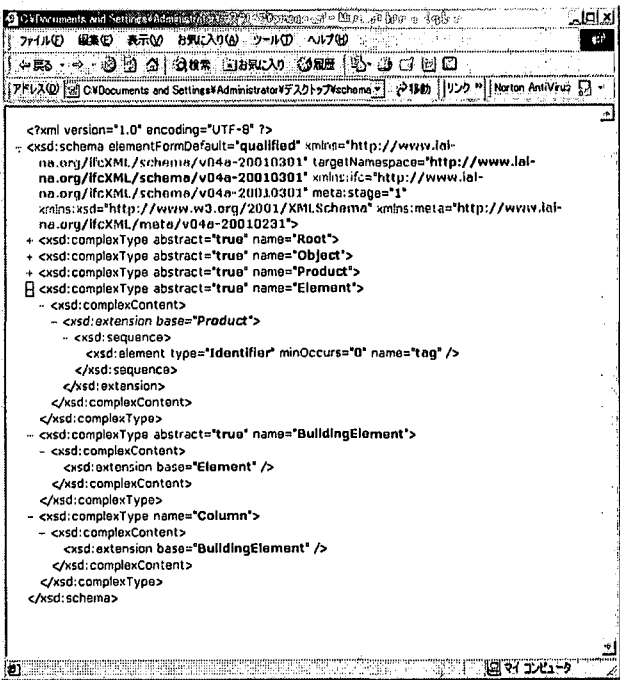


図-6 ifcXML による Column を定義するスキーマ (抜粋)

の実データを記述したインスタンスファイルの一部を図-7に示す。

4. SOAP を用いた Web サービスの利用

インターネット上に存在する複数のコンピュータにそれぞれ異なったプログラム、すなわちオブジェクトがあり、あるコンピュータのオブジェクトから別のコンピュータのオブジェクトにメッセージを送ると、受け取ったコンピュータで計算を実行し、元のオブジェクトに答えを返すことができれば、インターネット上の非常に多くのコンピュータを効果的に連動させるこ

とが可能となる。こうしたオブジェクト間の連携を実現するためには、CORBA (Common Object Request Broker Architecture) 等の分散オブジェクト技術の利用が考えられる。しかし分散オブジェクト環境はORB (Object Request Broker) 等独自の実行環境を必要とし、また分散オブジェクト間で通信を行なう際、ファイヤウォールを通過する場合には特別な設定を行なう必要があるため、システムの開発環境が限定されてしまうという問題がある。

そこで別なアプローチとして、「Web サービス」が挙げられる。Web サービスとは、このような分散オブジェクトの考え方を特別な実行環境などを必要とせず、インターネット標準のプロトコルやツールを使って実現するサービスであり、比較的安価に実装できるものである。またオブジェクトの開発言語に依存しないため、既存のシステムを Web サービス化し活用することができる。さらにオブジェクト間で通信を行う際にファイヤウォールが存在しても通過できるため、開かれたシステムの開発環境が実現可能である。そこで、本研究では分散したオブジェクトの連携を図るため Web サービスを利用した。

本研究では、Web サービスの通信プロトコルに SOAP を用いた。SOAP とは Web サービスを実現するキーテクノロジーの一つで、ネットワーク上の離れた別のコンピュータにあるプログラムを動作させるために行なう遠隔手続き呼び出し (RPC: Remote Procedure Call) やオブジェクト間でのメッセージ交換を XML ベースで行なうという仕様である。SOAP は、現在 Web の国際標準団体である W3C¹⁰⁾ (World Wide Web Consortium) により標準化が進められており、今後は国際標準になると考えられる。

SOAP によるオブジェクト間のメッセージ交換を行う際には、図-8のような SOAP メッセージと呼ばれる一定の形式に従った XML メッセージを通信手段に

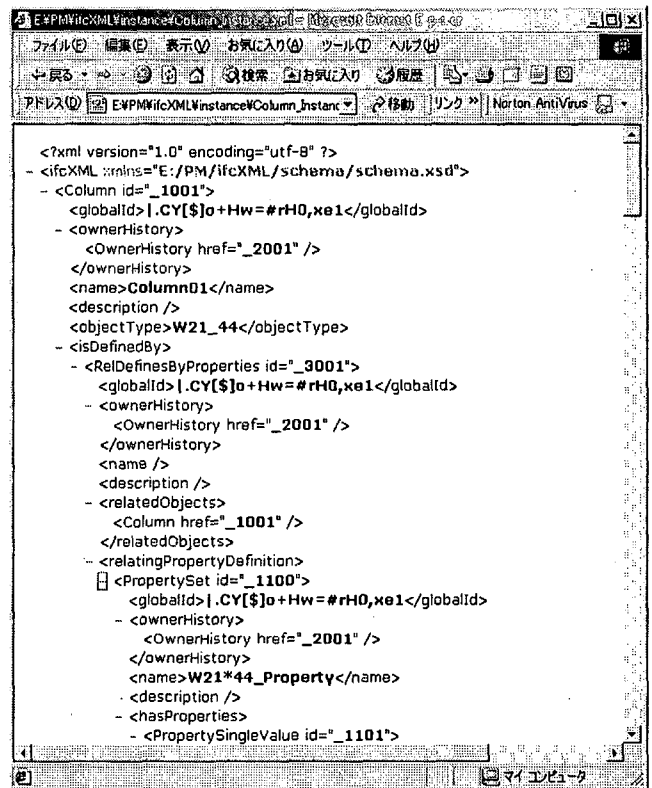


図-7 Column のインスタンスファイル (抜粋)

用いる。これにより、同じく XML でデータを記述した 3 次元プロダクトモデルをそのまま SOAP メッセージに埋め込むことが可能である。そこで本研究では、SOAP により図-9のように Web サービスの実装を行なった。システムの動作環境として、OS は Windows2000, Java プログラムには Java 2 SE SDK 1.4.0, サーバ環境に Jakarta Tomcat 4.1.12, Web サービス実行/開発環境に Apache Axis 1.0 を使用した。

5. 鋼部材断面設計支援マルチエージェント

本研究で開発したマルチエージェントは、力学的照査エージェント、設計状況判断エージェント及びデータベースエージェントの 3 つのエージェントにより構

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
- <soapenv:Body>
  <check soapenv:encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/">
    <name xsi:type="xsd:string">Column_Instance.xml</name>
    <file xsi:type="xsd:string">H4sIAAAAAAAAAAOVa227jNHB9L9B/cN0+tWvLsp1bwwjhjZPGaLWJ4r
  </check>
</soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```

図-8 SOAP メッセージの例

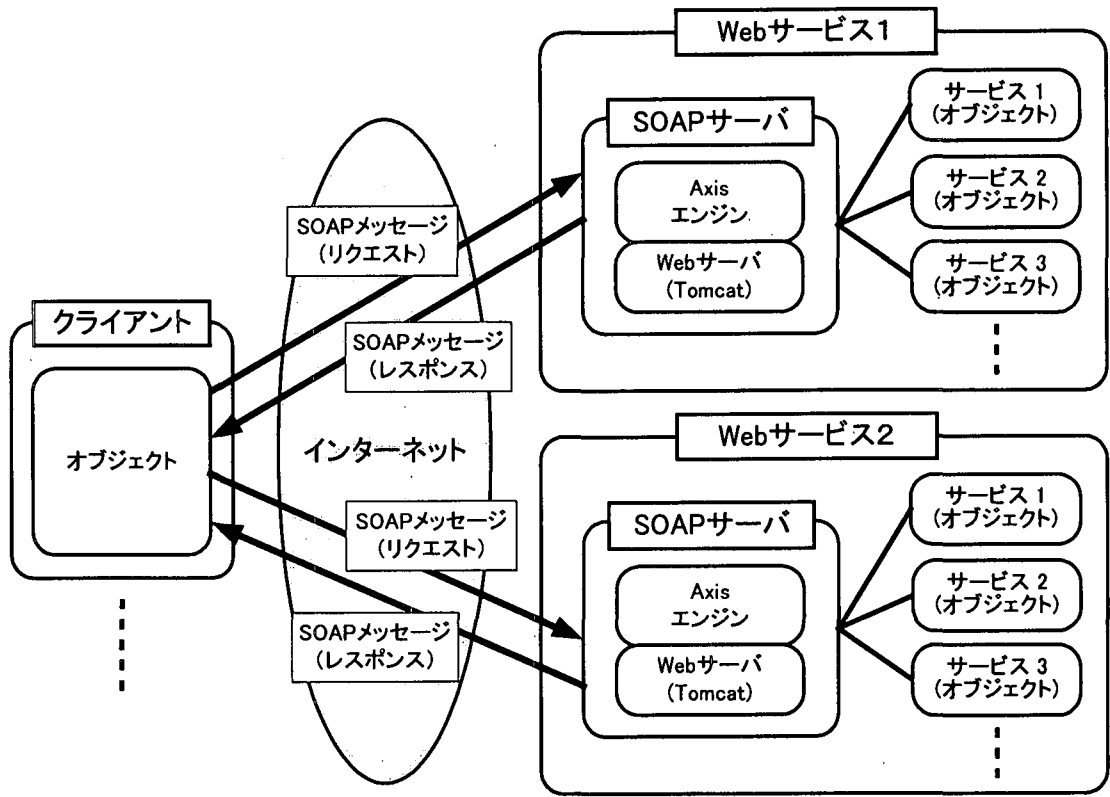


図-9 SOAPによるWebサービスのアーキテクチャ

成されている。以下に各エージェントを概説する。

力学的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 Web サービスを利用して照査し、結果を考慮してユーザへアドバイスをする機能を持つ。照査基準は AISC-LRFD^{1 1)} (American Institute of Steel Construction-Load and Resistance Factor Design) 及び AISC-ASD^{1 2)} (Allowable Stress Design) に従った。

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 Web サービスを利用し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。

一方、各エージェントが必要とする形鋼データ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 EXCEL 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^{1 3)} として提供している。そこで本研究では、AISC の XML ファイル形式の形鋼データベースを用いた。

データベースエージェントは、Web サービスを利用し力学的照査エージェント及び設計状況判断エージェントと相互作用し、形鋼データベースから断面寸法データを取得する機能を有する。すなわち各エージェントの要求するデータを形鋼データベースから検索し、値を取得して断面寸法データの要求があったエージェントに値を返す機能を有する。

また、力学的照査エージェント及び設計状況判断エージェント機能として Web サービスを利用する際には、まず Web サービスへ SOAP メッセージ (リクエスト) を自動生成し送信する。さらに Web サービスから返ってきた SOAP メッセージ (レスポンス) を処理しアドバイスの内容に反映させる。

6. プロトタイプシステムの適用例

本研究で開発したプロトタイプシステム (図-10) の適用例を示す。設計対象はフレーム構造の鋼部材 (梁-柱) (図-11) とし、設計基準は AISC-LRFD に従った。

まずユーザは Multi-Agent CAD において、入力フォ

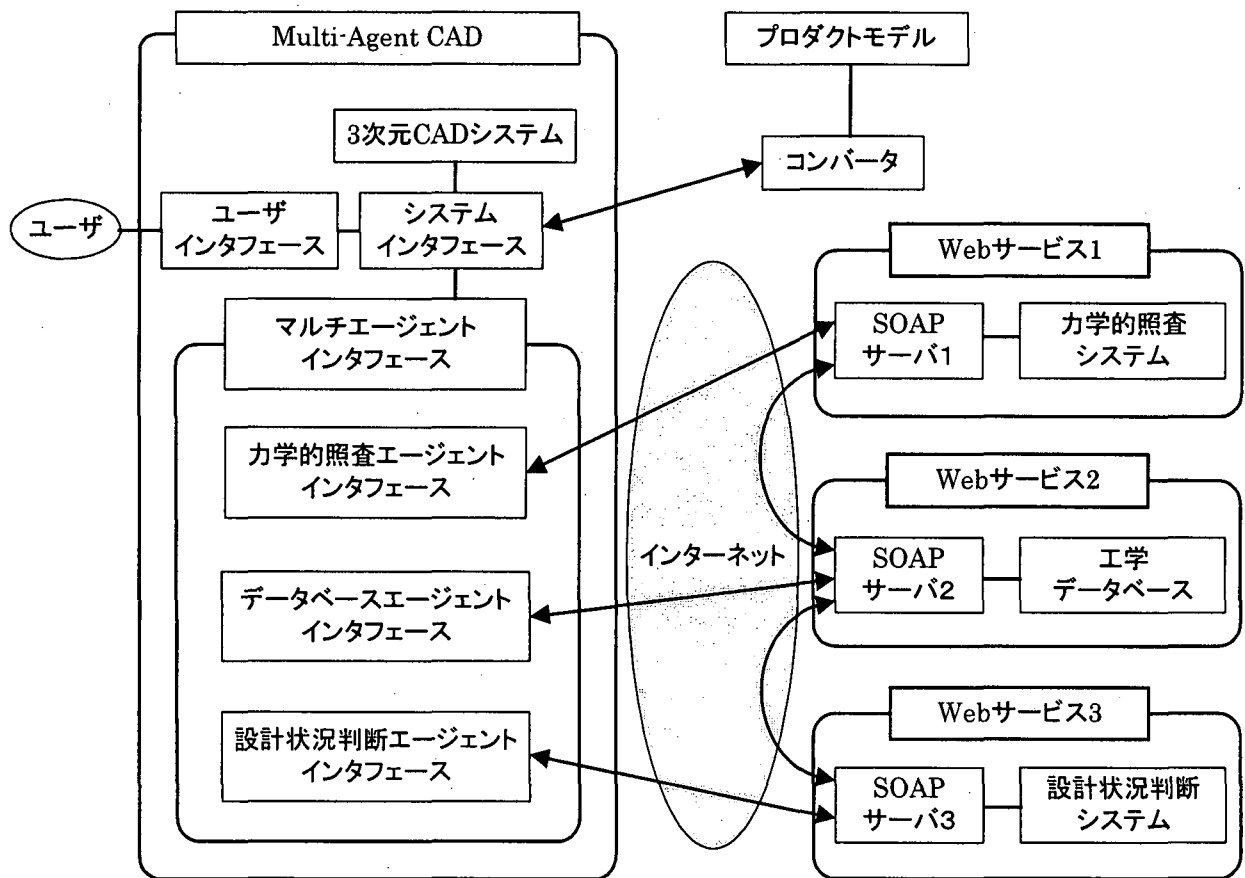


図-10 本研究で開発したプロトタイプシステム

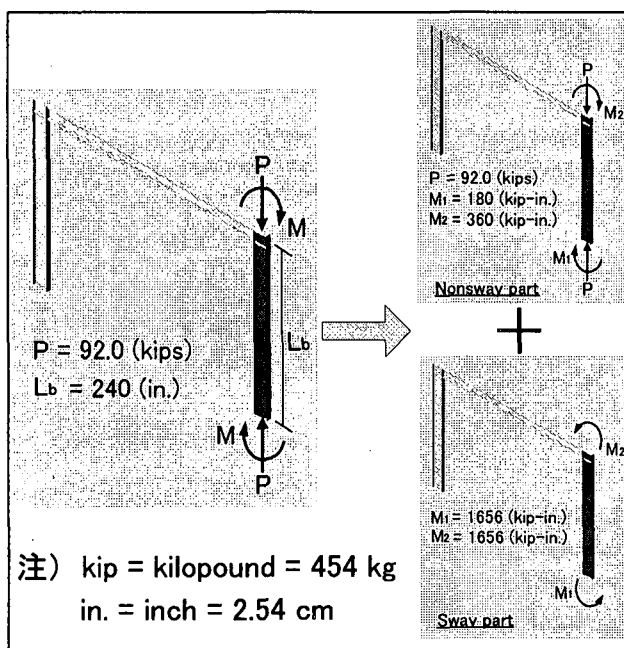


図-11 フレーム構造の鋼部材 (梁-柱)

ームに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）のデータ及び座標データをプロダクトモデル化したものを，3次元CADシステムへ移動させる。次にVBA（Visual Basic for Application）により開発したユーザインタフェースに

において各鋼部材の断面設計を行なう。断面寸法の選択の際，Multi-Agent CAD内の力学的照査エージェントインタフェースは設計対象となる部材の3次元プロダクトモデルを埋め込んだSOAPメッセージ（リクエスト）を自動生成しWebサービス1に送信する。SOAPメッセージを受け取ったWebサービス1は，SOAPメッセージとして受け取った3次元プロダクトモデルデータを読み取り，力学的照査に必要なAISCの断面寸法データをWebサービス2として構築したデータベースエージェントへ要求し，値を取得する。力学的照査を行うと，その処理結果は自動的にSOAPメッセージ（レスポンス）に埋め込まれ，力学的照査エージェントインタフェースに戻される。力学的照査エージェントインタフェースはWebサービス1からSOAPメッセージとして受け取った結果データを考慮してユーザにアドバイスを表示する。ユーザが力学的な条件に対して危険な断面を選択すると，図-12に示すように力学的照査エージェントが「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なうのと同時に，設計した断面寸法に問題がないかを判断することができるようになったため，何度も意識的に照査システム

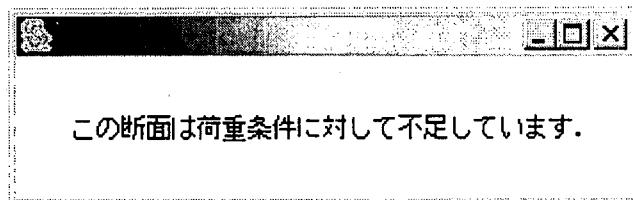


図-12 力学的照査エージェントによるコメント

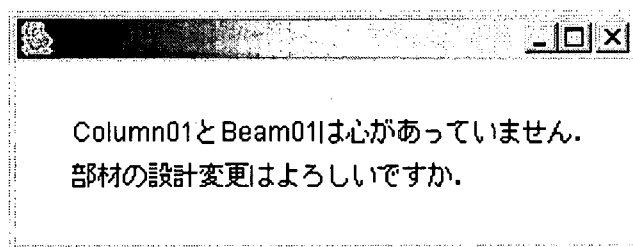


図-13 設計状況判断エージェントによるコメント

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、異なる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インタフェースが、既に設計が終了した部材との位置関係を Web サービス 3 を利用することにより判断し、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-13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、力学的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ないときはユーザにコメントを伝えないことから、部材の設計が適切であった場合は、いちいち設計作業を中断することはない。

ここで示した設計事例は単純なものであるが、本研究で開発したプロトタイプシステムが有効に動作し、設計作業を支援することが確認できた。

7. まとめ

本研究では、鋼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なったり、拘束条件のチェックを行ない、ユーザを支援するマルチエージェントを開発した。次にプロダクトモデルを、IFC を参考とし ifcXML を用いて実装した。また、マルチエージェントとして構築した力学的照査エージェント、設計状況判断エージェント、及びデータベースエージェントを Web 上に Web サービス

として分散して構築し、Multi-Agent CAD 内に各エージェントインタフェースを構築することにより、Web サービスによる協調的な設計支援を行うプロトタイプシステムを構築した。本システムを、設計例題に適用してみたところ、Web サービスを用いた Multi-Agent CAD の有効性が確認された。

今後は、他の機能を持つエージェントの開発、システムの機能の拡張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、室蘭工業大学情報工学科の久保洋教授と SVBL (当時) の長井隆博士から貴重な助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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, Vol.11, pp.35-44, 2002.
- 3) 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.
- 4) 矢吹信喜, 小谷隼, 小室雅人, ヒュンジュ・キム: 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, pp.1-8, 2002.
- 5) SOAP: <http://www.w3.org/TR/2002/WD-soap12-part0-20020626/>
- 6) S. Wu, A. Lee, G. Aouad, and C. Fu: Web Services for Crime Deterrent Design Knowledge, CIB w78 Conference, Waiheke Island, New Zealand, pp.456-462, 2003.
- 7) IAI: <http://iaiweb.lbl.gov/>
- 8) IFC 2x: http://cic.vtt.fi/niai/technical/ifc_2x/
- 9) IfcXML: http://www.iai-international.org/iai_international/Technical_Documents/IFCXML.htm
- 10) W3C: <http://www.w3.org/>
- 11) Manual of Steel Construction - Load & Resistance Factor Design, Third Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 2001.
- 12) Manual of Steel Construction - Allowable Stress Design, Ninth Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 1989.
- 13) American Institute of Steel Construction: CD-ROM, Shapes Database, Version 3.0, 2001.