

マルチエージェントと SOAP を用いた鋼骨組構造の設計システムの開発

Development of a Steel Frame Structural Design System Using Multi-Agents and SOAP

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 小谷隼 (Jun Kotani)

1. はじめに

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なっている。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。照査の結果が不適となれば、ユーザは3次元 CAD データの修正を行なっては、再度照査システムで照査を行なう、というシステム間のデータ移動を繰り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」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¹⁾。

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、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 SOAP (Simple Object Access Protocol)²⁾ を用いた「Web サービス」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 SOAP 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. エージェントを用いた3次元 CAD システム

エージェントは、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考えられている³⁾。4)。エージェントには単一のエージェントの中に知的機能を埋め込む知的エージェントと呼ばれるものから、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な動作を見せるマルチエージェントシステムと呼ばれるものまである⁵⁾。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。

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、エージェント同士の相互作用を図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 システムで利用が可能な一般性を有しているのである。そこで、3次元 CAD システム、マルチエージェント部、システムインタフェース及びユーザインタフェースを統合化した Multi-Agent CAD を構築した¹⁾。

3. 鋼部材3次元プロダクトモデル

本研究では、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い、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えるようにするために、鋼部材3次元プロダクトモデルを開発した。

鋼部材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)⁶⁾と、IAI (International Alliance for Interoperability)⁷⁾の IFC (Industry Foundation Classes) の Release 2x (IFC 2x)⁸⁾を参考とした。本研究では 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⁾を用いて3次元プロダクトモデルを実装した。

4. SOAP を用いた Web サービスの利用

インターネット上にあ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。

Web サービスには SOAP を用いる方法や、XML-RPC¹⁰⁾を用いる方法などがある。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 W3C (World Wide Web Consortium) ¹¹⁾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-1 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用いる。これにより、同じく XML でデータを記述した 3 次元ブ

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-2 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 4.1.12¹²⁾、Web サービス実行/開発環境に Apache Axis 1.0¹³⁾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 つのエージェントを有する。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。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。

設計状況判断エージェントは、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及びデータベースエージェントから得られる断面寸法データ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 として提供している¹⁴⁾。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、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。すなわち設計状況判断エー

```
<?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+tWvLsp1bwWjhjZPGaLWJ4n
  </check>
</soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```

図-1 SOAP メッセージの例

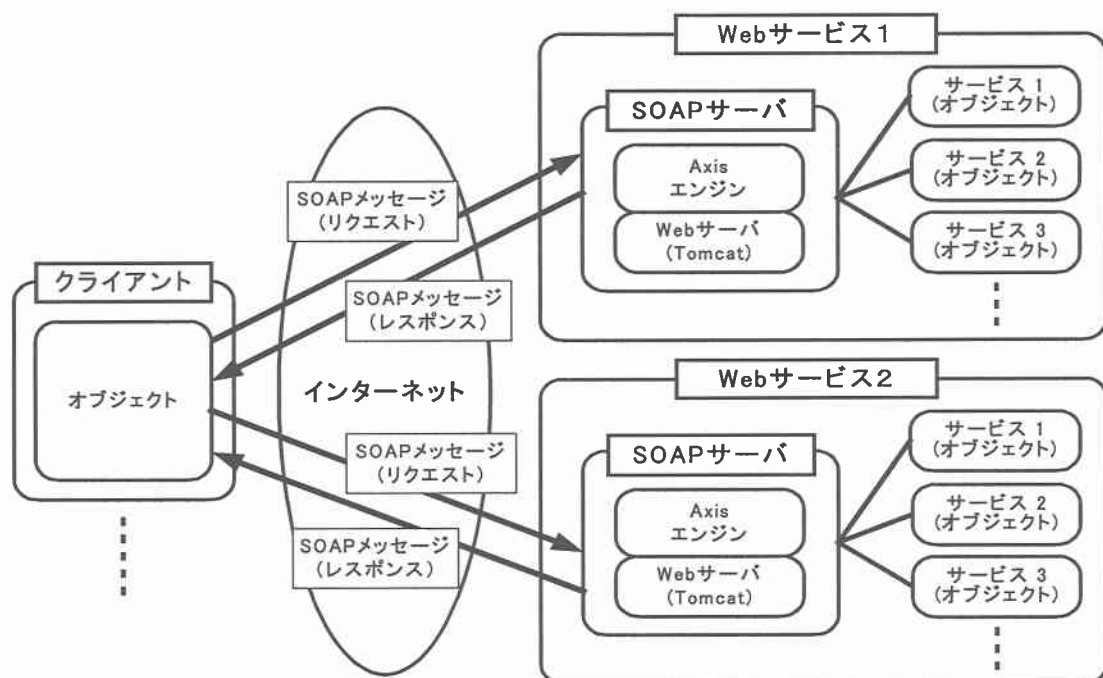


図-2 SOAPによるWebサービスのアーキテクチャ

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、値を取得して設計状況判断エージェントに値を返す。

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-3）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-4）とし、設計基準はAISC-LRFD¹⁵⁾に従った。さらに力学的照査エージェントが利用するWebサービスは、鋼部材（柱、梁、梁-柱）を対象にAISC-LRFD及びAISC-ASD¹⁶⁾の設計条文のプログラム化を行ないWeb上に照査Webサービスとして構築した。また実際に照査を行なう際に必要となる断面寸法のデータはWebサービス内に形鋼データベースを配置し、そこから取得する。

まずユーザは3次元CADシステムにおいて、入力フォ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、力学的照査エージェント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サービスに送信する。SOAPメッセージを受け取ったWebサービスは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、処理結果をSOAPメッセージ（レスポンス）に埋め込んで力学的照査エージェントインタフェースに

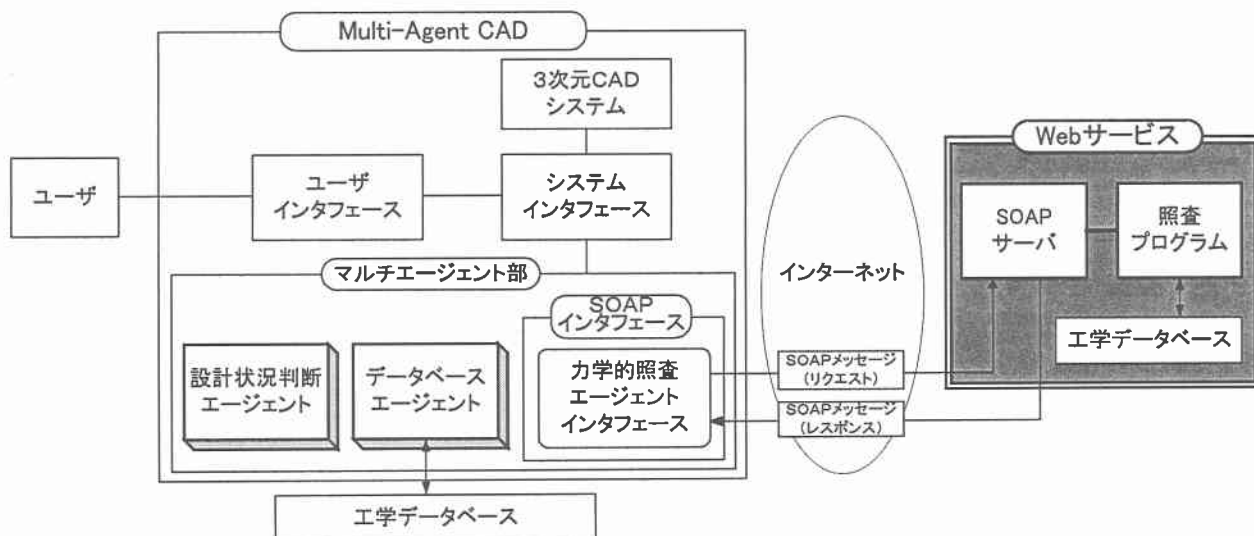


図-3 開発したプロトタイプシステム

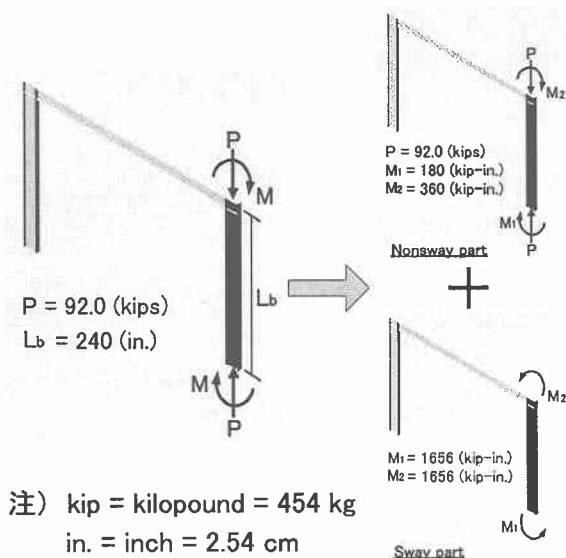


図-4 フレーム構造の鋼部材（梁-柱）

戻す。力学的照査エージェントインタフェースは Web サービスから 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-5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、Web サービスとしてではなくスタンドアロンで動作するエージェントではあるが、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-5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、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の一つである力学的照査エージェントを Web

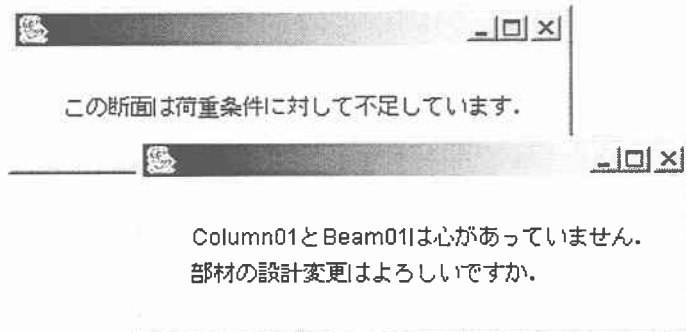


図-5 力学的照査及び設計状況判断エージェントによるコメント

上に Web サービスとして分散して構築し、SOAP により協調的に動作させ照査を行な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 サービスを用いた設計支援マルチエージェントシステムの有効性が確認された。

今後は、設計状況判断エージェントの SOAP による Web サービス化や他の機能を持つエージェントの開発、また構造解析システムとの統合化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の長井隆研究員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, 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.
- 2) SOAP, <http://www.w3.org/TR/2002/WD-soap12-part0-20020626/>
- 3) 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.
- 4) 前田隆, 青木文夫: 新しい人工知能, オーム社, 2000.
- 5) 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.
- 6) ISO10303: Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange, 1994.
- 7) IAI, <http://iaiweb.lbl.gov/>
- 8) IFC2x, http://cic.vtt.fi/niiai/technical/ifc_2x/
- 9) IfcXML, http://www.iai-international.org/iai_international/Technical_Documents/documentation/IFCXML/ifcXML_language_binding_V1-02.pdf
- 10) XML-RPC, <http://www.xmlrpc.com/>
- 11) W3C, <http://www.w3.org/>
- 12) Jakarta Tomcat, <http://jakarta.apache.org/>
- 13) Apache Axis, <http://xml.apache.org/axis/index.html>
- 14) American Institute of Steel Construction: CD-ROM, Shapes Database, Version 3.0, 2001.
- 15) Manual of Steel Construction - Load & Resistance Factor Design, Third Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 2001.
- 16) Manual of Steel Construction - Allowable Stress Design, Ninth Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 1989.