3D-CAD ソリッドモデルのエージェント化による設計支援システム (ソリッドモデルの関係性最適化と自己詳細化)

A Design Support System by Agentifying 3D-CAD Solid Models (Relation Optimization and Self Refinement of Solid Model)

○ 古谷 純平 (電通大院) 正 井上 全人 (電通大)
正 石川 晴雄 (電通大)

Jumpei Furuya, The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo
Masato Inoue, Haruo ISHIKAWA, The University of Electro-Communications

We propose a design support system that assists designers to create concept idea of design. The assistance is very important, because designers should, in general, deal with a huge variety of design knowledge even in the early product design process. In this study, at first, we give the function of software agent to 3D-CAD solid model with attribute information knowledge such as design intention, design knowledge expressing the relationship between the models and evaluation method for design requirement. In this system, three kinds of the agent, model agents, knowledge agents, and evaluation agents are proposed. The system supports designers through the optimization of the relationship among the agents, the self refinement of solid model, and the multi-objective evaluations of requirement for product model.

Key Words: Agent, 3D-CAD, Design Support System

1. 緒 言

近年, 新製品開発期間の短縮, コスト削減, 環境対応, 安全性, その他の品質の向上などの観点からコンカレントエンジニアリング (CE) が設計の新たな手法として定着しつつある。CE は, 企画・設計・試作・解析・生産準備の各工程を同時並行的に進めていく設計手法であり, 最近では製品の材料調達から廃棄・再利用に至るまでのライフサイクル各工程におけるコストや環境負荷なども設計時に同時に検討・評価することが求められるようになった。

CE の実現に際して 3D-CAD の果たす役割は大きい。3D-CAD を用いることにより, 立体形状が把握しやすく, また, 企画担当者等と設計者が意見を交換しやすくなる。さらに, 各種の解析ソフトウェアなどに 3D-CAD モデルをそのまま用いることもできるため解析担当者との連携も容易になる。

しかし, 現在の 3D-CAD では, 仕様変更や他部門からのフィードバックに伴うモデル詳細化等の手間がかかり, 評価項目が新しく追加された際にも容易には対応できないため, 設計者の作業負担の軽減という意味でも設計者を完全には支援することはできない。そこで, 設計者によるモデルの変更や評価の作業を支援することができれば設計者をアイデア出しなどの創造的な作業に専念させ, 設計作業全体の効率化もできるのではないかと考えた。

そこで, 本研究では 3D-CAD の機能を拡張することにより, ソリッドモデルが自己を検証し, 多様な設計評価に対しても柔軟に対応できるような設計支援システムの提案とその開発を目的とする。そのために協調性, 自律性等の機能的特長を有するエージェント技術を導入して 3D-CAD のソリッドモデルや各種設計知識, 評価式等に関する処理機

能をそれぞれエージェント化するとともに, それらの間の協調や設計知識を基本とする推論機能等による統合的・多目的な設計支援の考え方を提案し, そのシステムを構築する。これによりモデルエージェント同士が互いを認識し, 自己検証をしながら製品モデルの情報を詳細化するとともに, 複数の評価エージェントが自律的にモデルエージェントを評価することを可能とする。設計者は, 検討・評価のための数値計算や評価式の参照などの手間を省くと同時に機構の組合せ案の捻出など設計のアイデア出しの本質部分により専念できる。

2. 設計の詳細化とエージェント

2.1 設計の流れと詳細化

一般に製品設計では, 図 1 のように製品の仕様から機能を構築する概念設計, 機能から形態を確定する実体設計, 形態の詳細を定め生産の準備を行う詳細設計へと徐々に情報を詳細化していく^[1]。

図 1 の下段は一例であり, 仕様の段階では, 「電力で回転の仕事をする」という抽象的な仕様の情報が, 「ブラシ付 DC モータを用いる」という製品の仕様に合う機能を持つ機構の情報を詳細化される。さらに, 詳細設計では, 「外形寸法は $\phi 30$, 軸は $\phi 8$ 」という形態の情報が加わり, 最終的に各部品の詳細図面が作成され生産へと至る。

この設計の詳細化は実際には製品によって異なる道筋をたどるが, 概念的にはそれぞれのステップにおいて以下のような処理が行われていると考えられる。

- a) 部品の形状変更・寸法変更
- b) 2つの部品の統合または分割
- c) 機構の追加・削除, 変更・置き換え, 接続順の変更
- d) 属性情報の修正, 項目の追加・削除

Fig1. Flow of product design

これらを評価結果や設計知識と組み合わせることにより、製品の情報を詳細化していく。これらの処理を行うと同時に多面的な観点からの評価を行うことで初めて更なる詳細化が行える。しかし、詳細化から評価までの流れのそれぞれにおいて、設計の複雑化や環境負荷など行わなければならない評価の増加に伴い設計者にとって大きな負担となっている。

2.2 エージェント技術

本研究では、製品を構成する機構や部品の情報の処理にエージェント技術^[2]を導入することで設計者の負担を軽減し、アイデア出しに専念できる新たな3D-CADを提案する。

エージェントとは「ユーザに代わってユーザが達成しようとしている目標を実現する仕組み」である。具体的には自己を定義する情報に自律性、協調性、柔軟性といった性質を付加した情報技術であり、他のエージェントを含む環境の状況を認識し、自身で意思を決定し、必要に応じて環境に働きかけたり自己を改変したりすることができる、という特長を有する。

3. エージェント技術を用いた設計支援

3.1 モデルエージェントと知識源エージェント

上述したエージェントの持つ機能を利用して設計支援を行うために、まずは設計情報の基本である3D-CADモデルをエージェント化する。しかし、機構や部品の3D-CADモデルだけでは設計の情報としては不十分な部分もあるため、図2のように機構が持つ入出力やそれらの間の関係式、部品の諸元などの非形状情報を3D-CADモデルに属性情報として付加してモデル自体をエージェント化することとした。以後このエージェントをモデルエージェントと呼称する。

また、設計者が持つ設計に関する知識もエージェントとして扱うことで、より高度な設計支援を行うことができると考えた。これを以後、知識源エージェントと呼称する。

知識源エージェントとしてエージェント化される知識は「モデルがある状態の場合、特定の処置を施すことで性能が向上する」という知識であり、「どの性能を上げるか?」「そのためにはどういった処置を行うか?」など1つの機構に対して複数の知識が知識源エージェント内に存在する。例えば「モータの出力が要求仕様を満たしていない場合、出力を上げるために入力電流を上げるか効率の良いモータに交換する」という知識がある。この知識のなかの『入力電流を上げる』や『効率の良いモータに相当する』という部分が2.1節の詳細化d)パターンに相当する。他の部分はその詳細化が行われるべきか否かを判断する条件に当たるため、エージェントの自律性を活かしてその条件に当てはまれば詳細化を行う、という自律的な設計詳細化を行うことが可能になる。

3.2 エージェントの自己詳細化

モデルエージェントは、まずシステム内の他のモデルエージェントと互いに機能的・形状的連結相手として矛盾が無いかを確認する。このとき確認に用いられる情報は非形状情報のなかにある連結相手の名前と入出力変数の単位である。本来は連結されている機構ではある機構の出力が接続されている機構の入力となるため、モデルエージェントでもそれを再現し、他のモデルエージェントが連結相手として矛盾が無いことを確認できたら保持している入出力の情報を連結相手に渡して入出力の変数に代入する。これを本システムではモデルエージェント間の情報の共有と呼ぶことにする。共有された情報は入出力間の関係式等の引数として利用され、出力の変数に求めることができる。このようにモデルエージェント間で情報をやり取りし、各々のエージェントがそれをもとに入出力関係における未知数を求めていくことで詳細化を行うことができる。

知識源エージェントは黒板と呼ばれるメモリ空間を経由して各モデルエージェントの情報を読み込む。この情報を初期条件として知識源エージェントは推論を開始し、そのモデルエージェントが自己の保持するどの詳細化処理を行うのが十分かを判断する。このときに同一の対象に対し複数の処理が導出された場合は、改良案として複数案をユーザに提示する。ユーザは提示された複数の改良案から選択し、知識源エージェントはその選択を実行するようにモデルエージェントに指示を出す。モデルエージェントはその指示に従い自己改変を行い、その情報は3D-CADにも反映されモデル(形状と属性情報)が改良・詳細化されていく。

Fig2. Non geometry information with 3D-CAD model

Fig3. Conceptual diagram of proposed system

4. システムの構造

4.1 モデルエージェントと知識源エージェント

図3に示す本システムは、モデルを作成する3D-CADとモデルエージェントを各種知識に基づき詳細化・評価を行うエージェントシステムで構成される。

3D-CADにはSolidWorks社の製品SolidWorksを用い、本研究ではモデルに非形状情報を入力してエージェントとして出力する機能及び、エージェントシステム内でモデルエージェントに変更が加えられた場合に3D-CADモデルもそ

Fig4. Function of addition of attribute to mechanism

れに追従して変更される機能を開発した(図4)。

エージェントシステムは前述のモデルエージェント、知識源エージェントに加えてモデルエージェントを評価する各種評価エージェント、これらのエージェントの情報の中継をする黒板によって構成される。エージェントシステムの開発においては、TAFと呼ばれるエージェントシステム開発ツール^[3]を用いて実装を行った。

4.2 実装した設計支援システムの動作

本システムによる支援の流れは以下のようになる。

- 1) ユーザは自ら構想した設計案に関する3D-CADモデルを作成し、そのモデルに非形状情報を付加する。
 - 2) モデルに付加した非形状情報を出力することで、エージェントシステムが自動的にモデルをエージェント化する。
 - 3) モデルエージェント同士で情報共有を行い、非形状情報に関する未知数を求めていくことで自己詳細化(非形状情報とそれに関する形状)を行う。
 - 4) 評価エージェントがモデルエージェント群を評価する。
 - 5) 知識源エージェントがモデルエージェント群の情報から改良案を導出してユーザに提示する。
 - 6) ユーザは複数の改良案のなかから意図に合う改良案を選択する。
 - 7) ユーザの選択に基づきモデルエージェントに自己詳細化の指示が出され、更なる自己詳細化が行われる。
 - 8) モデルエージェントの詳細化で変更された非形状情報と形状が3D-CADモデルへ反映される。
- 2)~5), 7), 8)は全てシステムが自動的に行う動作であり、ユーザはモデルの作成と改良案の選択を行うだけでよい。

5. システムの実行例

本研究では、衝撃トルク負荷試験装置^[1]の設計を実行例として選択した。

Fig5. Assembly model for example

Fig6. Improvement ideas from system and user selection

Fig7. Original model and detailed model

実行例では 3D-CAD の当初モデルとして、ポンチ絵程度のモデルからスタートすることとし、あらかじめ各機構要素の簡易モデルを作成し、それらを組合せて図 5 のようなアセンブリモデルを作成した。その後モータのモデルに入力電流 0.5A・電圧 24V と電流トルク定数 5.0 Nm/A・電圧回転数定数 10 rpm/V を入力し、エージェント化して出力する。エージェントシステム側には設計知識としてモータに関する設計知識①「モータの出力が要求仕様を満たしていない場合、出力を上げるために入力電流を上げるか効率の良いモータに交換する」と設計知識②「モータと歯車減速機構の間に継ぎ手を入れる」を実装、要求仕様として「トルクは 500Nm」という条件を与えた。この状態でシステムが処理を開始するとモータのモデルに出力値が代入される。このときの出力値は要求仕様の 500Nm よりも低いため、実装した設計知識①により改良案として入力電流を 100A に引き上げるか、電流トルク定数が 1000Nm/A になる（効率の良いモータに交換する）という選択肢がユーザに提示される（図 6）。この例では電流トルク定数を修正することを選び、モデルエージェント内の電流トルク定数及び出力トルクが変更された。さらに、その出力値が歯車減速機構に伝播、連鎖的に未知数を算出していくことでモデルの自己詳細化が進んでいくことが確認できた（図 7）。

6. まとめ

3D-CAD とエージェント技術を組み合わせた設計支援システムのフレームワークを提示し、3D-CAD ソリッドモデルと設計知識をエージェント化することで設計知識に基づいて自律的にソリッドモデルの関係性を最適化し、詳細化していくことを示した。

今後はユーザの利便性の向上のためにインターフェースを改良すると共に、今回までに作成したエージェントシステムのモデルの自己詳細化に関する機能を用いて、設計知識の記述形式について検討する。そして、知識の記述テンプレートを作成することにより、本システムを様々な記述形式の設計知識に対応可能なシステムへ拡張する。

文 献

- (1) Pahl, G. Beitz, W., Engineering Design : A systematic Approach, Springer, (1996).
- (2) 本位田真一, 飯島正, 大須賀昭彦, エージェント技術, (1999)
- (3) 木下哲男, エージェントシステムの作り方, 電子情報通信学会, (2001)