設計情報・設計意図統合型CADの研究 (第3報 部品間の影響関係記述による概念設計支援)

Research for Design Information and Design Rationale Integrated CAD
(3rd Report: Supporting Conceptual Design by using Descriptions of Influential Relations between Parts)

○正 妻屋 彰 (神戸大)

矢是 秀明 (神戸大)

正 森永 英二 (大阪大)

Akira TSUMAYA, Kobe University

Hideaki YAZE, Kobe University

Eiji MORINAGA, Osaka University

正 竹内 一博 (富士通ソフトウェアテクノロジーズ)

内田 済 (富士通ソフトウェアテクノロジーズ)

Kazuhiro TAKEUCHI, Fujitsu Software Technologies

Wataru UCHIDA, Fujitsu Software Technologies

正 荒井 栄司 (大阪大)

正 田浦 俊春 (神戸大)

Eiji ARAI, Osaka University

Toshiharu TAURA, Kobe University

Key Words: *Conceptual Design, Design Rationale, Influential Relations, Condition Based Reaction Attributes/Properties*

For the cooperative design activities by a design team, a designer needs design object information not only about geometrical data and these attributes but also needs the design rationale such as the reason of decision making to understand ideas of the design proposes by other designers. This paper focused on influential relations between parts of design object, and proposed descriptions and management methods of these relations. The management support system was developed, and case studies are done by using the system. As a result, proposed method can support of the management of influential relations, and this also shows proposed method have an applicable possibility to transmit design rationale to other designer.

1. はじめに

近年、消費者ニーズの多様化に伴い、製品の多様化、複雑化、高付加価値化が進んでいる。さらに、製品トレンドの変化も早くなっていることもあり、最新技術のスピーディな製品への導入なども含め、ニーズを迅速に製品へ反映することが求められている。一方で、地球環境問題の深刻化に伴い、製造メーカーや製品に環境への配慮も求められるようになっていく。このような状況の下、現代の製品設計では、幅広い分野の膨大な知識を用いて短期間に製品設計を行うことが求められてきている。

これに対して、有効な手段と考えられている協調設計では多くの開発者達により同時進行的に設計が進められるために、設計情報の共有が重要となる[1]。そこで、情報を体系化された知識として活用する試みが盛んに行われ、ナレッジを扱うアプリケーションの商品化も行われている。しかし、これらの多くのシステムは形式知のみを扱うことから、その基礎となっている暗黙知に相違がある場合正確な理解は困難となる。従って、知識を表現する際にその背景となっているものまで含めた形で表現することが本来必要である。すなわち、知識化された情報を利用する場合において、知識の適用できる範囲やその理由をも取り扱うことが協調設計において設計者間のミスマッチを減じ、効果的に設計情報を利用するために重要となる。

さて、ここで設計現場への計算機の利用に目を向けると、CAD, CAE, CAM 等様々なアプリケーションが導入されてきている。特に三次元 CAD システムは幾何形状のモデル化を支援するツールとして広く使用されており、協調設計においてもネットワークを介した形状データの共有などが実現されている。その一方、非形状情報を取り扱うことに関しては、属性データを記述できるような仕組みが取り入れられるなど、徐々に進められているが、まだまだ発展途上であり、

それらを適用範囲や理由まで含めた設計者の意図として理解することは難しいのが現状である。そこで、設計意図も含めて取り扱う CAD を指向した研究が行われてきた。例えば、五福らは、XML 記述を利用して設計意図を含む履歴情報を図面データに埋め込む手法[3]を提案し、野間口らは設計作業を行いながら設計文書を作成・管理することによる知識管理手法[3]を提案している。また、我々も CAD 上での設計者の操作に対し CAD システムが行うレスポンスとして設計者の意図を記述する手法を提案してきた[4]。

本研究においても、CAD, CAM, CAE から生産システムへとつながる広義の CAD における知識の利用や設計意図表現等による設計者支援を目指し、第1報で必要機能の検討経過を報告し[5]、第2報で要求される挙動から機構を導出する手法の提案と機構導出支援システムの基本構想を述べた[6]。本報では、設計物の部品それぞれが持つ属性・特性の関係に着目する。設計物を構成する部品が与えられた機能を発揮するために要求される周囲環境条件があるとの仮定から、それぞれが持つ属性・特性間に影響関係があるときにそれを検出し、設計中に行われるデータ変更により部品に何らかの問題が生じる場合にはそれを設計者に伝達することにより、見落としや情報未共有に起因する不適切な設計解を防ぎ、設計の効率化を図る支援方法を提案する。

2. 設計意図を反映するCAD統合モデルアーキテクチャ

2-1 CAD 統合モデルアーキテクチャ

本節では、本研究の考え方のベースとなっている、設計中に考慮した設計情報・意図を、3次元 CAD システムを基本としたシステム上に記述し、正確な伝達や理解を支援するシステムアーキテクチャ[4]について述べる。

我々は、設計者が設定・変更・決定していく設計情報やそのときの意図が有効に活用されるためには、CAD システム

が以下の要求を満たすことが必要だと考えている。

- (1) CAD システム上で設計物に対する各種の編集操作が行われても、それまでに設計者によって設定された設計情報・設計意図が正確に継承されることが必要である。ここでいう継承は、当該幾何要素に対する形状操作時だけでなく、非幾何要素が編集されたときも含んでいる。
- (2) 設計物の編集操作時に、編集の意図も含めてシステム上に記述できること。また、以後の編集操作に対し、記述された設計者の意図を反映したリアクションをCAD システムが行うことができること。このとき同種の設計情報であっても、設計者が想定する適用範囲や前提条件、制約の強さ等の違いに応じた編集意図の記述及びそれに基づくシステムの動作ができることが必要となる。
- (3) 各種情報の対象や内容が、直感的にわかりやすいこと。各種設計情報・意図の設定時だけでなく、協調設計時や設計データの再利用時に設計情報を容易に理解できることが要求される。

以上の要求を満足するために、図 1 に示すように従来の CAD システムで一般に実装されている持つ幾何情報と幾何情報に付随する属性情報に加え、提案システムでは属性情報の変化に対応するシステムのリアクションを記述するシステム動作情報を定義した。各種設計情報に対する変更操作の可否等を予めシステム動作情報として設定することにより、設定した設計者の意図をシステムの挙動として他の設計者に伝達することができる。また、設計情報として取り扱うことができることから、設計データの再利用時にも設計時に考慮した内容を理解する手助けになり得る。

図1 提案 CAD システムの基本アーキテクチャ

システム動作情報記述のために、CAD システムが扱う幾何形状とそれらに変化を及ぼす操作について、表 1 のように整理し、さらに、幾何形状要素に対する典型的な設計情報である精度情報について整理した。ここで、精度情報は単体の幾何形状要素に対して決定されるものと複数の幾何形状要素の間に生じる関係として決定されるものがあることから、各々単体属性情報、関係属性情報と名付けてデータ構造を決定した。関係属性情報のデータ構造の概観を図 2 に示す。これらにより、幾何情報や幾何情報に付随する属性情報や意図などの設計情報を整合性を保ちつつ管理することが可能となる。

以上のデータで記述される幾何形状及び付加される設計情報の設定時に、以後その対象への編集操作に対してシステムが行うリアクションをシステム動作定義体として導入した。システム動作定義体は編集操作に対して定義に従って判

定評価を行いその結果に従って設計情報の伝達やシステムとしてのリアクションを記述するものである。システム動作定義体は対象とする属性・特性名、編集操作及び判定評価、システムリアクション記述で構成されている。システムリアクション動作としては以下の 5 つを設定した。

- ・ 継承：変更された場合、変更後の幾何情報に伝達する。
- ・ 削除：変更された場合、属性情報を削除する。
- ・ 任意情報編集：変更された場合、属性情報も追従して変更する、あるいは変更を促す。
- ・ 操作の拒否：行おうとする操作を拒否する。
- ・ メッセージ出力：設計者への注意の喚起や変更情報提供などに利用できるようメッセージを出力する。

表 1 幾何情報とその変化の関係

	面のマージ	境界変更	平行移動	回転移動	ミラー移動	幾何データ変更	値変更	削除
モデル	—	—	○	○	○	—	—	○
フィーチャ	—	—	○	○	○	—	—	○
面(face)	○	○	○	○	○	○	—	○
稜線(edge)	○	○	○	○	○	○	—	○
面(surface)	—	—	○	○	○	○	—	○
稜線(curve)	—	—	○	○	○	○	—	○
アセンブリ向き	—	—	—	—	—	—	○	○
フィーチャ寸法	—	—	—	—	—	—	○	○
作業要素	—	—	○	○	○	○	—	○

図2 関係属性情報の構造

これにより、設計情報と形状要素の関係とその変化を把握してシステムがリアクション動作を行う仕組みの記述が可能となる。

2-2 3 次元 CAD システムでの適用

上記のアーキテクチャを実装した 3 次元 CAD システムによる適用例を図 3、図 4 に示す。図 3 は万力を例題に設計変更時のシステムリアクションを示している。ここでは、予め設計者によって設定されていた 2 部品の貫通穴が同軸であるという条件が、設計変更操作の結果崩れたことを CAD システムが判定して、設計者に対してアラームを提示している。図 4 ではインクジェットプリンタの設計を例題に設計進行に伴う操作に対応して設計情報が継承されていく例である。ここでは、部品配置概要を検討した際に、まだ実体化されていないローラー要素の軸に対して設定した表面粗さの情報が、設計が進みローラーが実体化されたときにローラー表面に与えられている属性情報として継承されている。

提案アーキテクチャの詳細とそれによる設計者の支援手法の具体的内容については、筆者らの関連論文[4,7]を参照されたい。

図3 設計変更時のシステムリアクション例

図4 設計情報の継承例

3. 部品間の影響関係記述を用いた設計支援

3-1 影響関係の記述

製品が複雑化し、部品点数の多くなるにつれ、製品を構成する一部の設計を変更したときの、他の部品への影響についての把握が困難となっていく。そのため、協調設計においても、意図の伝達というだけでなく、影響関係を把握することが重要となる。一方、前節で述べたアーキテクチャで導入した関係属性情報を用いると複数の部品の間に働く関係を記述することができる。また、提案アーキテクチャを拡張すると、表面粗さや寸法公差などの精度情報だけでなく、より広範に設計者の意図を取り扱うことができると考えられる。

そこで、CADでの扱いが不十分な、属性や物理特性による部品の影響関係を抽出し、監視することで、設計者が部品間の関係を把握する支援を行うことを考えた。周囲へ影響を与える属性・特性と周囲環境の影響を受ける属性・特性の間の関係を予め記述しておくことで、影響関係が生じる可能性がある組み合わせを見つけることができる。一旦、影響関係があることが分かれば、後は前述のシステム動作定義体の記述と同様の方法によって、状態を監視し、変化に応じてシステムにリアクションを取らせることができると考えられる。この影響関係を有効に構築するために必要となるデータ項目およびそれらに要求される事項の詳細を以下のようにまとめた。

・ 附随情報

影響を及ぼしあう関係を持つ部品の属性・特性情報を総称して付随情報と呼ぶ。付随情報は、付随情報名称とその種類、及び定量値もしくは定性値表現、から構成される。付随情報の種類については後述する属性種に加え、影響関係を構築している一対の組合せにおいて、影響を及ぼす側をアクティブな付随情報（影響属性）、影響を受ける側をパッシブな付随情報（被影響属性）とし、これらを分類して記述する。属性種及びアクティブ・パッシブの種別によって部品間の影響関係の有無を判定する。値については、具体的な数値で与えられているものは定量値で記述するが、定性的な表現でも記述可能とすることにより、設計初期段階のあいまいな設計情報も含めて扱う。

・ 属性種

部品、曲面などの設計対象に一般にする性質や特徴である属性情報、および部品固有の動作時などに現れる特性情報など、付随情報を共通の性質により分類したものを属性種と呼ぶ。ここでは物理特性を表した言葉として、例えば、「発熱」、「冷却」等の言葉で分類する。

・ 変化種

設計変更に応じて「部品配置」、「幾何形状」、「付随情報」の観点で分類した変更操作が変化種である。「部品配置」と「幾何形状」に属する変更操作は前掲の表1に示す通りとなる。「付随情報」については付随情報の追加・削除、定量値が与えられた場合の設定・削除・変更である。

・ 対応動作

各属性種における変化種に応じたシステムの対応動作記述を対応動作として記述する。基本的な対応動作は前述のシステムリアクション動作と対応している。設計者が記述することにより、柔軟な対応を設定できるが、一方で設定が極めて煩雑になるため、付随情報、属性種、変化種の組合せにより、多く取られるシステムの対応動作を「優先対応動作」としてデフォルトで設定しておくことにより設定を容易にする。

以上のデータ項目と要求項目の関係をまとめると図5のように表される。

図5 影響関係記述のためのデータ項目とその関係

3-2 部品間影響関係記述を用いた設計支援システム

前項に述べたデータ項目と要求項目に基づいて、影響関係の登録と監視によって設計者を支援するシステムを作製した。このシステムは図6に示す通り、影響関係と変化種に従ってシステムが行う動作を登録するフェーズと、関係監視によって設計者を支援するフェーズからなる。以下、それぞれについて述べる。

・ 影響関係登録フェーズ：

関係登録フェーズは、予めデータベースに登録された部品の幾何情報とその付随情報を用いて、影響関係の検索と登録を行うものである。このフェーズでは、CADシステム上で部品が新規作成されたり、操作されたりしたタイミングで、まず、影響関係が生じている可能性のある部品の組み合わせの検索を行う。組み合わせ検索に用いられる条件は、同一の属性種の付随情報を持つこと、影響属性と被影響属性の組み

合わせであること、影響関係データベースに登録されていないこと、の3項目である。上記項目に該当した組み合わせは設計者に提示されて、システムに監視させるか否かの判断を仰ぐ。設計者は監視が必要だと考える組み合わせについて選択し、提示されている優先対応動作、もしくは設計者が任意に設定する対応動作を設定する。こうして選択・設定された影響関係は影響関係データベースに登録され、関係監視フェーズでシステムによって監視される対象となる。

・ 関係監視フェーズ：

関係監視フェーズは、構築された影響関係を元に、設計変更が起きた際にその変更操作に適したシステムの対応動作を行うものである。このフェーズでは、任意のタイミングで影響関係データベースに登録された部品群に対し CAD システム上で操作が行われているか否かを監視し、変更が検出された場合、登録された変化種に該当しているかの判定を行った上で、登録されている変更であればそれに対応して対応動作を行う。

図6 部品間の影響関係を用いた支援システムの構造

以上のシステムをノートパソコンを題材に、定性的な特性表現を用いた複数部品の配置変更を対象問題として適用した。図7に部品一属性情報表示画面のスナップショットを、図8に関係監視フェーズで登録された変更操作が行われたことに伴うメッセージ出力の対応動作が行われた場面のスナップショットを示す。ケーススタディの結果、登録されたデータに従って、意図通り影響関係の検出およびシステム対応動作を行うことが確認できた。

図7 部品一属性情報表示画面

図8 システム対応動作例（メッセージ表示画面）

4. 結論

部品の影響関係に着目し、関係を記述するために必要となるデータ項目とそれらに要求される事項をまとめ、幾何学的関係を踏まえた関係監視による支援手法を提案した、また定性的な表現を加える事により、CADの使用範囲を設計初期段階へと拡張した。また、試作システムによりその有効性を検証した。

参考文献

- [1] 村上・富山：設計と人工知能：設計シンポジウムの20年の歩みから、人工知能学会誌, 17 巻 1 号, pp.84-90, 2002.
- [2] 五福・杉野・伊藤：設計意図と図形を関連づけた CAD, 日本機械学会論文集(C 編), 71 巻 701 号, pp.335-342, 2005.
- [3] 野間口・吉岡・富山：設計知識管理のための CADアーキテクチャーの提案, 人工知能学会論文誌, 17 巻 1 号, pp.104-113, 2002.
- [4] 竹内・妻屋・若松・荒井：設計情報・意図を伴う設計プロセス支援のための統合モデル (第1報, 統合モデルの基本アーキテクチャ), 日本機械学会論文集(C 編), 71 巻 710 号, pp.3087-3094, 2005.
- [5] 原田・森永・妻屋・若松・荒井・竹内・若松：設計情報・設計意図統合型 CAD の研究 (第1報 次世代設計支援システムの必要機能に関する基礎的検討), 日本機械学会第 18 回設計工学・システム部門講演会, p.30, 2008.
- [6] 若松・妻屋・森永・竹内・原田・荒井・田浦：設計情報・設計意図統合型 CAD の研究 (第2報 挙動と形状を考慮した機構の分析), 日本機械学会第 18 回設計工学・システム部門講演会, pp.31-34, 2008.
- [7] 竹内・妻屋・若松・荒井：設計情報・意図を伴う設計プロセス支援のための統合モデル (第2報, ブレイクダウン設計支援), 日本機械学会論文集(C 編), 71 巻 710 号, pp.3087-3094, 2005.