1307

設計情報・設計意図統合型 CAD の研究*
(第 7 報：部品間影響関係への対応検討支援)妻屋 彰^{*1}, 結城 祥伍^{*2}**Research for Design Information and Design Rationale Integrated CAD**
(7th Report: Supporting Method for the Measures to Influential Relations between Parts)Akira TSUMAYA^{*1} and Shogo YUKI^{*2} Kobe Univ. Dept. of Mechanical Engineering
Rokkodai 1-1, Nada, Kobe, 657-8501 Japan

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 the design rationale such as the reason of decision making to understand ideas of the design proposes by other designers. To cope with such situation, we focused on influential relations between parts of design object, and previously proposed description supporting method for influential relations between parts. In this report, description method for the measures to influential relation is proposed. typical measures to influential relation is classified into five types. Then by adding description of measures to influential relation as a case data, our proposed system can indicate not only influential relations candidate but also measures which had be done to them.

Key Words : Conceptual Design, Influencial Relations, Parts Relations, Measures to Influential Relation

1. 結 言

製品の多様化、複雑化と製品開発サイクルの短縮が同時に起こっている現代の製品設計では、膨大な量の知識を用いて効率的に設計をおこなうことが求められている。そこでは、設計活動に伴う様々な競合の解消のために、既存製品の技術情報の流用や最新の技術情報等の利用のみならず、熟練技術者が有する深い知識を用いた開発が必要となっており、異なった知識背景を持つ設計者・技術者によるチームでの設計や過去の設計の再利用などが行われるようになってきている。この際、いかにして情報を共有・理解するか、とどの程度のレベルで情報を共有・理解するかが重要となる⁽¹⁾。共有される設計情報はその意味まで含めて設計者間で共通の認識・理解がされることが求められるが、個々の製品設計において扱う知識量の増大と費やせる設計開発期間の短縮化のため、設計情報を逐次その背景まで含めて体系的に整理して共有することが難しくなっており、結果として、各種設計情報の未共有や理解不足などに起因する不整合や問題が設計活動の各段階で発生し、手戻りの要因となっている。

現在、多くの製造業で、設計者を支援するツールの一つとして三次元 CAD システムが広く導入されている。三次元 CAD システムは、従来手書き図面に代わり、設計対象物の形状のモデル化により設計者を支援するツールとして発展してきたが、設計者間で幅広い設計情報を共有したいというニーズに対し、電子情報として扱われることから記述スペースの制約を受けないという CAD システムの特徴から、幾何情報に加え様々な設計情報を取り扱い、設計情報の共有や理解支援、さらには設計知識の管理を支援する研究も行われてきている。例えば、井上、石川らによる CARBA を利用した分散環境で設計属性情報を付加した三次元データを中間ファイルとして生成し共有する方法⁽²⁾や田浦らによる行為ベースの情報獲得能力を活かしながら意図説明能力も向上させる行為

^{*1} 正員, 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台 1-1)

^{*2} 神戸大学工学部

E-mail: tsumaya@mech.kobe-u.ac.jp

の連鎖構造を導入することにより設計対象物のモデルの時間連鎖に設計プロセス情報を付加する方法⁽³⁾、五福らによる図形データに対して簡便なユーザインタフェースにより履歴情報や設計意図情報を関連づける方法⁽⁴⁾などが挙げられる。

筆者らは、システムがリアクティブに設計者の意図を反映した支援を行うことを志向し、三次元 CAD システムをベースに幾何情報を中心に属性情報の決定意図及び形状に変更操作が行われた場合のシステムの対応動作を記述することにより、設計情報の正確な伝達や理解を支援する手法を提案し⁽⁵⁾⁽⁶⁾、この提案をベースに部品間の関係を、幾何的な関係だけでなく、各部品がそれぞれ持つ様々な属性・特性の關係に拡張して考え、それぞれが持つ属性・特性間に影響關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してきた⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。これらによって、部品単体での属性や幾何学的な干渉關係のみならず、部品間に働く影響關係を取り扱うことができるようになった。これまで行ってきた研究では、影響關係を部品間に働く關係式や、属性の組合せから導出する方法の他、過去に注目した部品間影響關係の事例を用いる方法も導入している。ここで、部品間影響關係の検出に事例データを用いることができるのであれば、その影響關係をふまえて過去にとった対応方法についても事例データに加えることにより、対応方法を検討する際に過去事例として提示することによって設計者を支援できるのではないかと考えた。そこで、本報では、部品間に働く悪影響を及ぼすような關係に対する対応方法について事例データとして記述に加えて利用する方法を提案することを目的とする。

2. 設計意図を反映する CAD 統合モデルアーキテクチャ

本節では、筆者らの一部が先行研究で提案した設計意図を反映する CAD 統合モデルアーキテクチャ⁽⁵⁾⁽⁶⁾を概説する。このアーキテクチャは設計情報の製作な伝達や理解を支援することを目的とし、従来の CAD システムで一般に記述可能な幾何情報や属性情報に加え、それらの変更に対してシステムがリアクションする仕組みを提案したものであり、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て導入している。これにより、設計者が幾何情報や属性情報を設定もしくは変更したときに、設計者の意図をシステム動作情報として記述することによって、編集操作を行おうとした他の設計者に対してはシステムのリアクション挙動として明確に伝達することが可能となり、また、編集操作を行おうとする箇所と関連する設計情報を設計者に対して提示することも可能となる。この CAD 統合モデルアーキテクチャの概念図を図 1 に示す。

Fig. 1 Architecture of the design information and design rationale integrated CAD system.

システムリアクション動作としては、変更操作後の幾何形状に属性情報をそのまま伝達する「継承」、変更操作が行われた形状に付けられた属性情報の「削除」、変更操作内容に追従して変更を設計者に促す「任意情報編集」、変更操作の「拒否」、注意喚起や警告提示等の「メッセージ出力」の 5 種類が設定されている。システム動作情報を記述する対象は、幾何形状要素の形状変化と精度属性の情報である。このとき、精度情報は表面粗さのように単体の幾何形状要素に対して付随するものと同軸度のように幾何形状要素間の關係として記述されるものがある。これらを各々単体属性情報と關係属性情報として定義している。図 2 に關係属性情報の模式図を示す。この図は、

Primitive 1 が持つ面 Face 1 と Primitive 2 が持つ面 Face 2 が接しているという関係を関係属性情報として記述したものである。これによって、形状要素間のどこにどのような関係があり、変更操作に対してどのようなシステムリアクションを行うかが記述される。

Fig. 2 Structure of the relational design information.

以上のアーキテクチャを導入した設計情報処理部を三次元 CAD システムに組み込んで、設計操作を行ったときの一例を図 3 に示す。これは設計変更操作に対しシステムからアラームが提示されたときのスナップショットである。この例に示すように CAD 上での形状モデルの操作に対して、設計者がシステム動作情報として記述した設計意図に従ってシステムがリアクションを行うことにより、設計意図の伝達と理解を支援できる可能性が示されている。このアーキテクチャでは、形状変化を伴う編集操作と形状に関わる精度情報を取り扱う対象としていたが、関係属性情報の記述形式は汎用性が高いため、これを用いてより広範な範囲で部品間関係を管理できると考えた。それが次節で紹介する部品間の影響関係記述を用いた支援手法となる。

Fig. 3 An example of the system reaction to design change.

3. 部品間影響関係記述

製品の構成部品が多くなると、ある部品の設計変更による製品各部への影響を把握することが困難となっていく。そこで、設計変更で当該部品にどのような変更がなされ、それが部品外部に対してどのような変化をもたらすか、それによる他の部品への影響の有無やその内容を設計者が比較的容易に把握することが重要となる。その

方法として、筆者らは前節で紹介した関係属性情報による部品間の関係を記述方法を物理特性等の関係にまで拡張することにより、設計変更に伴う影響の把握・管理を行う方法を提案している⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。本節ではそれらの方法を簡単に紹介する。

部品間の関係のうち、特に注意しておく必要性が高いものは、部品への設計変更が他の部品に悪影響を及ぼす可能性を持つものである。そこで、部品間関係の中で、影響－被影響関係に注目する。部品間に働く影響関係は、物理現象などに基づく属性間の影響－被影響関係の組として表すことができるため、各部品の有する属性・特性について、周囲の部品へ影響を与える可能性を持つ「Active な属性」と周囲の環境の変化によって影響を受ける可能性を持つ「Passive な属性」を設計者が記述することにより、影響－被影響関係が生じる可能性のある組合せを探索することが可能となる。さらに、前述のシステム動作情報を付加することにより、検出された影響関係に関わる属性について、以後の設計の進行時に監視することも可能となる。これらの考えに基づき、影響・被影響属性に関しては、属性・特性の名称と値に加えてその属性が他に影響を与えるものか、もしくは他から影響を受けるものか、についての記述を加えた。例えば、発熱量は発生した熱が他の部品に対して影響を及ぼす可能性があることから Active な属性、耐熱温度は周囲の温度によって影響を受けるため、Passive な属性となる。また、Active な属性と Passive な属性はそれぞれ関連する組合せのときに影響関係が発現することから、属性・特性情報について影響関係に関わる共通の性質を属性分類として記述する。このタイプが同一で Active な属性と Passive な属性の組み合わせが影響－被影響関係を有する可能性を持つ候補となる。これらの記述を用いて得られた候補が影響関係として注視しておく必要があると設計者によって判断されると、先に示した図 2 のような関係属性情報が構成できる。検索された候補のうち設計者が注視すべきと判断したものについては、CAD 統合アーキテクチャの中でシステムリアクション動作をさらに記述することにより、設計中に行われる変更操作をシステムが監視し、問題が生じる場合に適切なリアクションをとらせることが可能となる。さらに、注視すべきと判断した影響関係を事例データとして記録することにより、類似ケースで再利用することができる。

以上の方法は、設計者が部品の有する属性や特性が外部に対してどのような影響を与える可能性があるか、もしくは外部よりどのような影響を受ける可能性があるか、について定性的に想定できることが前提となる。そこで、新規分野や新技術の導入など、影響関係が十分に想定できない場合に影響関係を探索する方法として、既存製品で考慮されている影響関係の事例の利用を提案している⁽⁹⁾。ここでは、影響関係の背後にそれを説明する物理現象や物理法則があるとすれば、それを記述する関係式が存在するという仮定から、属性・特性を表す物理量に注目する。すなわち、既存製品の事例で関係属性情報として記録された影響関係と同じ影響関係が働いていれば、その背後にある関係式も同一であり、物理量の単位の組み合わせが同一になる。また、物理量の大きさを用いることにより影響関係の適用範囲を把握することができると考えられる。そこで、複数の部品間の属性・特性の組み合わせについて、類似している影響関係の事例を収集することによって、考慮すべき影響関係の有無を判断する支援を行っている。

以上の二つの手法は互いに補完的であるため、両者の影響関係記述方法を統合して、影響関係の候補の探索・登録と CAD システムによる監視を行う支援システムを構築することができる。そのシステムのモデルを図 4 に示す。

Fig. 4 Structure of the system using influential relations between parts.

このようにして記述された影響関係記述は一对の部品間に働く関係であり、そのままでは相互に関連する複数の部品間関係を扱うことができないため、相互に関連する複数の部品間記述を集合体として管理することにより、ある属性に起因して問題となる部品間関係が発生したときにその関係と関連する部品間関係を取り扱うこととする。この相互に関連する複数の部品間関係記述の集合体を部品間関係記述群として定義する。部品間関係記述群の構成要素同士の関係および具体的なデータの記述形式を図5に示す。部品間関係記述群は複数の部品間関係記述の集合体であるため、その群に属する部品間関係の数、各部品間関係記述に含まれている部品のActive-Passiveの組み合わせと属性分類、(既知であれば)関係記述に対応した関係式によって記述される。この記述により当該群内に属するいずれかの部品間関係が問題となるような設計変更操作が行われた場合に、部品間関係記述群内のその他の部品間関係を提示することにより同時に考慮すべき関係を示唆することができる。

Fig. 5 Representation of the parts relations group.

4. 部品間影響関係への対応方法の分類と事例による検討支援方法

前節で提案した手法に部品間影響関係を、属性・特性の性質の組合せに表現し、把握・管理することができるようになった。部品間に働く影響関係の記述をデータベースに格納することによって、後の設計時に事例データとして活用することができる。このとき、部品間に悪影響を及ぼす可能性を持つ影響関係に対しては、何らかの対策を講じているはずであるが、対策についても影響関係に対する対応として記述し、データベースに格納することによって、後の設計において、対応策を検討する際に効果的に利用できると考えられる。そこで、本節では悪影響を及ぼす可能性のある部品間影響関係について、とられている対策の例を調査した結果得られた典型的な対応を類型化して決定した記述形式と、記述データを用いた対応検討支援方法について述べる。

まず、部品間で悪影響を及ぼす関係に対してどのような対策がとられたかという点について、製品開発について書かれた記事や技術報告などを参考にして調査した。その結果、対応する箇所と対応の方式によって大きく5種類に分類することができた。それらのパターンを模式化したものを図6に示し、以下にそれぞれのパターンについて発熱する部品と熱に弱い部品の影響関係に対する対応を例にとって説明する。

Fig. 6 Classification of measures.

- ・ **タイプ A** : **Active** 側の部品そのものを変更することにより、部品間影響関係において **Active** な属性の値を変更する直接的な方法。例えば、発熱する部品について発熱量の小さなタイプの部品に変更する、といった対応がこれにあたる。
- ・ **タイプ B** : 他の部品を **Active** 側の部品に作用させることにより、**Active** な属性が発生させる影響を弱める関係を形成することで、**Active** な属性の値に変更を加える間接的な方法。例えば、発熱する部品に対し、送風ファンを作用させることにより、発生する熱を系外に取り去る、といった対応がこれにあたる。
- ・ **タイプ C** : **Passive** 側の部品そのものを変更することにより、部品間影響関係において **Passive** な属性の値を変更する直接的な方法。例えば、熱に弱い部品について耐熱温度の高い材料に変更する、といった対応がこれにあたる。
- ・ **タイプ D** : 他の部品を **Passive** 側の部品に作用させることにより、**Passive** な属性が受ける影響を弱める関係を形成することで、**Passive** な属性に変更を加える間接的な方法。例えば、熱に弱い部品を冷却することにより耐熱温度を超えないようにする、といった対応がこれにあたる。
- ・ **タイプ E** : **Active** 側、あるいは **Passive** 側の部品に作用させるのではなく、部品間影響関係として表される関係（現象）に対して作用させる方法。例えば、発熱する部品と熱に弱い部品の間に断熱材を挿入したり、両者の距離を上げたりする対応がこれにあたる。

Active 側と **Passive** 側の 2 部品が接していることが前提となるような影響関係の場合にはタイプ E は存在しないが、基本的には上記の 5 タイプが典型的な対応パターンとなる。

この分類をもとに、部品間影響関係に対する対応を記述することとした。対応がとられた事例に関しては、これまでの影響関係の記述に加えて、対応タイプとその内容を記述する。対応の内容については具体的には、タイプ A およびタイプ B の場合は、部品交換、材料変更などが書かれ、タイプ C やタイプ D の場合は、追加する部品名称および追加部品との間に生じる部品間影響関係の名称を記述し、該当する部品間影響関係は別途記述する形式とした。タイプ E の場合は、部品間影響関係に対する変更内容を、追加する部品がある場合は部品名称も含めて記述する。タイプ C の記述例を図 7 に示す。

Part 1 Active	Attribute 1	Attribute Type	Part 2 Passive	Attribute 2	Measure Type	Added part	Influential relation
Power Unit	Heat Generation	Heat	HDD	Heat proof Temp	C	Fan	Cooling Power Unit

Fig. 7 Description of measures to influential relation.

一つの部品間影響関係に対して複数の対応がとられている場合には、先行研究である部品間関係記述群の記述形式と同様の方式とした。すなわち、図 5 で示した記述形式に対応についての記述を加えることによって、複数の対応を表現することができる。

この記述によって対応事例をデータベースとすることによって、これまでの手法を用いて部品間影響関係が検出する際に、同時に過去の対応事例も検索されるため、設計者は対応を検討する際に過去の事例を簡便に参照することができる。従来システムを拡張して部品間影響関係への対応もデータに含め、実際に提示ができることを確認した。

5. 結 言

本報では、部品間関係記述に加えて、部品間に悪影響として作用する影響関係への対応策を事例として提示し、設計者による対応検討の支援とすることを目的とした。そのために、とられる対応について、影響関係の構成部品と影響関係への関わりに注目して分類し、対応タイプに合わせた事例の記述形式を提案した。また、その記述形式を含めた事例データの拡張を行い、影響関係の検出時に同時に過去にとられた対応策も検索して提示できることを確認した。本報は、過去にとられた対応の提示のみを行っているが、これに加えて提示した対応を行った根拠を記録して事例データに加えることにより、対応検討時に効果的に利用できると考えられるが、一方で設計作業中に設計者に負荷がかからないような根拠の記録をどのようにするか、という点が課題となる。

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(C) 課題番号 24603012）を受けて行われた。

文 献

- (1) 村上存, 富山哲男, “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, Vol. 17, No.1 (2002), pp. 84-90.
- (2) 井上全人, 磯江裕加里, 石川晴雄, “ネットワーク分散環境下における異種 3D-CAD の相互運用性と異部門間の協調設計支援”, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol. 75, No. 752 (2009), pp. 1179-1184.
- (3) 田浦俊春, 青木保一, 大島有三, 嶋本公徳, 池田肇, 安達政夫, 永見文理, 森田一雄, “グローバルデザインを支援する知的メディアの研究—Activity Chain モデルの提案と応用—”, 精密工学会誌, Vol. 65, No. 2 (1999), pp. 272-278.
- (4) 五福明男, 杉野友彦, 伊藤一之, “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), Vol. 71, No. 701 (2005), pp. 335-342.
- (5) 竹内一博, 妻屋彰, 若松栄史, 荒井栄司, “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), Vol. 71, No. 710 (2005), pp. 3087-3094.
- (6) 竹内一博, 妻屋彰, 若松栄史, 荒井栄司, “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), Vol. 71, No. 710 (2005), pp. 3095-3102.
- (7) 妻屋彰, 矢是秀明, 森永英二, 竹内一博, 内田済, 荒井栄司, 田浦俊春, “設計情報・設計意図統合型 CAD の研究 (部品間の影響関係記述による概念設計支援)”, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol. 76, No. 771, (2010) pp. 2764-2771.
- (8) 岩本賢, 妻屋彰, 田浦俊春, “設計情報・設計意図統合型 CAD の研究 (第 4 報 事例を用いた部品間影響関係導出支援)”, 日本機械学会第 20 回設計工学・システム部門講演会講演論文集 (2010).
- (9) 田淵堅大, 妻屋彰, 田浦俊春, “設計情報・設計意図統合型 CAD の研究 (第 6 報 部品間関係記述群による設計支援)”, 日本機械学会第 23 回設計工学・システム部門講演会講演論文集 (2013).