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)

竹内 一博*¹ 妻屋 彰*²
若松 栄史*², 荒井 栄司*²

Integrated Model for Computer Aided Design Process with Design Information and Intention (2nd Report, Computer Aided Break-Down Design Process)

Kazuhiro TAKEUCHI*³, Akira TSUMAYA,
Hidefumi WAKAMATSU and Eiji ARAI

*³ Fujitsu Info Software Technologies Ltd.,
18-1 Minami-cho, Shizuoka-shi, Shizuoka, 422-8572 Japan

Recently, 3D-CAD systems have been rapidly improving. However, the principal improvements have been focused on the geometric modeling and developing user-friendly operational improvements. It is important that 3D-CAD systems have to improve the treatment of the design information and the intention generated in the design process. Especially to support the design process flow is very important for 3D-CAD systems. In this paper, we discuss the important design information especially needed in the upstream design stage and propose the expanded integrated model of the geometric model and the design information. In order to support the design process, the transmission architecture of the design information and intention is proposed.

Key Words: Design Information, Design Intention, Geometric Model, CAD, Design Process

1. 背景

CADシステムの発展動向は, 基本的に詳細設計にフォーカスした形状処理および操作性向上に着目した進展が多く, 設計行為を支援する上で, CADシステムが設計情報・意図を扱うことは非常に重要な課題である⁽¹⁾⁽²⁾.

例えば, 設計上流支援の問題では, Umedaら⁽³⁾によって機能要件に基づく支援の研究や, 劉ら⁽⁴⁾⁽⁵⁾によって設計上流で重要な定性的な情報の扱いについての研究が行われている。また, 設計者の意図の理解の問題では, 岡田ら⁽⁶⁾による設計意図のモデル化や, Araiら⁽⁷⁾による機能に着目した意図と幾何モデルとの関連付けによる設計支援の研究が行われている。

これらの設計支援・設計意図情報のモデル化研究は, 設計上流段階に焦点をあてたものであり, CADなどを利用して詳細設計段階までどのように設計情報・意図を伝達し, 利用させるかといった問題については

まだ解決されていない。

われわれの目的は, 概念設計を含む各設計工程で考察された設計情報・意図が, 詳細設計段階でも正確に有効に利用されるための要件・システムアーキテクチャを提案することである。

このために, 前回報告⁽⁸⁾において, 抽象的・具体的を問わず, 設計情報・設計情報間の意味合い・意図を反映できる, 設計情報の伝達の仕方を制御可能な, 設計情報・意図と幾何モデルの統合モデルアーキテクチャを提案した。

本論文では, 前回提案したアーキテクチャを前提として議論を進める。本論文では, 特に設計上流段階から段階的に詳細化していく設計プロセスにおいて重要な設計情報伝達に関する考察を行い, その重要な設計情報の正確な伝達を可能にするための前回提案アーキテクチャの拡張を提案する。また, 提案するアーキテクチャの拡張性について考察し, いくつかの有効な具体的拡張例について提案する。

2. 目的と要件

多くの設計においては, 始めに製品全体の概要決定を行い, 段階的に詳細化していく設計プロセスを経る。このような設計を本報ではブレイクダウン設計と

* 原稿受付 2004年7月6日。

*¹ 正員, (株)富士通インフォソフトテクノロジ(〒422-8572 静岡市南町18-1)。

*² 正員, 大阪大学大学院工学研究科(〒565-0871 吹田市山田丘2-1)。

E-mail: takeuchi@ist.fujitsu.com

呼ぶことにする。

議論に入る前に、本論文で想定している設計上流のイメージについて述べる。ここでは、図1に示すような、製品全体の全体的なレイアウト概要が決まった段階を想定している。この段階では、幾何形状は非常に単純であり、線、面、単純なソリッドなどで構成されている。

2章では、段階的に詳細化されていくブレイクダウン設計支援において必要となる重要な設計情報伝達に関する要件について考察する。

冒頭にも述べたように、設計上流段階では全体のレイアウト概要が決定している段階であり、線・作業面など、形状としては非常に簡単なものが多い。しかしながら、それらは重要な意味を持っていることが多く、以下に特にブレイクダウン設計で重要になる要件について述べる。

(1) 分解機能

段階の詳細化のためには、全体から各サブユニットに分解していく機能が必須である。システム的には、各種の幾何要素が存在している状態から、構成(サブアセンブリー)が作成できることである。

(2) 他タイプ情報設定の必要性

非常に単純な線・平面の状態であっても、それらはサブアセンブリーや部品を表しており、サブアセンブリーや部品としての設計情報・意図が設定可能であること。

(3) 形状状態の変更に伴う設計情報伝ば

非常に単純な線・平面・ソリッドの状態から詳細化されていく。したがって、幾何形状自身の変更に伴う設計情報伝ばのみならず、形状状態の変化(線を利用したソリッド化など)に伴う設計情報の伝ばが可能であること。

(4) 既存の幾何形状利用編集に伴う設計情報伝ば

既存の設計情報が設定されている幾何形状を利用した操作(ソリッドを面で切断など)実行時に設計情報の伝ばが可能であること。

(5) 決定・未決定情報の理解しやすい仕組み

設計上流といえども、概要のみ決まっている部分と部分的には決定している場合がある。特に途中の設計

工程では、混在が一般的である。これは、位置・一部の形状などさまざまなものである。これらの決定・未決定などの状況が設計者に容易に理解できる仕組みが必要である。

3. 基本アーキテクチャの要点

3章では、ブレイクダウン設計支援のための前提として、第1報⁷⁾で提案した基本アーキテクチャの要点について簡潔に述べる。

(1) 基本アーキテクチャは、形状・寸法などの対象に設定された設計情報・意図を正確に伝達する仕組みを提供する。また、設計情報自身を対象として扱うことが可能である。

(2) 基本アーキテクチャは、単独の対象に設定される単体設計情報と対象間に設定される関係設計情報を提供する。

(3) 基本アーキテクチャは、各設計情報に対して、ふるまい定義体の設定を可能にする。

(4) ふるまい定義体において、対象の変化の種類・マスプロパティ・対象幾何情報の特徴的なベクトルなどの評価が可能である。

(5) ふるまい定義体において、上記評価結果に対して、設計情報の伝達方法、および操作の拒否・アラーム出力などのシステムの動作を定義可能である。

上記が、基本アーキテクチャの要点であり、これによって、対象に対して各設計工程で設定された設計情報・意図が正確に伝達される仕組みを提案した。

4. ブレイクダウン設計への適用の考察と拡張

2章において、ブレイクダウン設計支援での重要な5点について述べた。本項では、この5点についてさらに考察を行い、各項目についての提案を行う。

(1) 分解機能

段階の詳細化のためには、全体から各サブユニットに分解していく機能が必須である。

本要件は、ブレイクダウン設計そのものの支援機能である。本機能によって個々のサブユニット・部品が詳細化されることによって、製品全体が自動的に詳細化される。

本要件で重要なのは、複数のサブユニット・部品に同時に渡るべき幾何情報が存在することである。設計上流において、特にレイアウトを決定するうえで重要な領域境界を表す幾何情報などである。この情報は、複数のサブユニット・部品の詳細設計で参照すべき情報であり、同時に複数に渡るべき情報である。

Fig.1 Example of the Initial stage Image

（2） 他タイプ情報の設定の必要性

非常に単純な線・平面の状態であっても、サブアセンブリーや部品としての設計情報・意図が設定可能であること。例えば、設計上流で1本の線が一つの軸を表している場合、その1本の線に軸として持つべき設計情報、すなわち表面の材質、表面粗さ、重量制限など、面あるいはモデルとしての設計情報の設定の必要性を意味している。

これは、設計情報が現状の幾何情報種に依存せず設定可能な仕組みが必要であることであり、第1報⁷⁾で提案した基本アーキテクチャで実現可能である。

（3） 形状利用時の他タイプへの変更に伴う設計情報伝ば

幾何形状自身の変更に伴う設計情報伝達のみならず、他タイプへの変化(線を利用したソリッド化など)において、元の幾何情報に設定されていた設計情報が、別の新しく生成された幾何情報に伝ばが必要なことを表している。

これは、(2)で述べた他タイプの設計情報の設定に伴う、実際に幾何情報を利用した他タイプへの変化時の設計情報の伝ばの必要性を意味している。

本要件は、基本アーキテクチャで述べた設計情報が設定された幾何要素がいかなる編集を経ても設計情報が正確に伝達される仕組み、すなわち自分自身の編集に耐える仕組みではなく、設計情報が設定された幾何形状から別の新しい幾何要素へ設計情報が伝ばする仕組みに関する要件である。

幾何形状が具現化されるプロセスにおいて、線が面に、面がソリッドに、線がソリッドに変化していく。このプロセスにおいて、元の幾何要素を持つモデルとしての情報(例えば重量制限など)は新しいモデルに、元の幾何要素を持つ面としての設計情報は新しい面に伝ばされることが要件である。

（4） 既存の幾何形状利用編集に伴う設計情報伝ば

設計情報の設定された幾何形状が他の幾何形状の編集に利用された場合に、設計情報が編集後のなんらかの幾何要素に伝ばすべきことを表している。本要件

も、基本アーキテクチャの扱う自分自身の編集に耐える仕組みではなく、設計情報が設定された幾何形状から別の新しい幾何要素へ伝ばする仕組みに関する要件である。

例えばソリッドを面で切断する場合を想定する。面に設定されていた精度情報が、切断面(切断されて生成された面)に伝ばすることである。

（5） 決定・未決定情報の理解しやすい仕組み

本要件は、基本アーキテクチャで提案したふるまい定義体を利用することで可能である。位置関係、あるいは幾何編集に対して、ふるまい定義体を記述することで、拒否・アラーム・実行など各種の定義が可能となることにより、決定幾何要素の編集時の操作拒否・アラームにより、具体的に設計者が理解することが可能になる。

以下に(1)、(3)、(4)についての提案を行う。

4・1 分解機能 いくつかの幾何要素が存在している空間において、幾何要素の集合がサブアセンブリーとして定義できることが必要である。図2は、本機能を複数回利用して作成した例である。ここで重要なのは、このように段階的に詳細化したモデルにおいては、各サブアセンブリーおよび部品が詳細化されれば、製品全体は自動的に詳細化されることである。

また、図2の例において、作業平面が複数のサブアセンブリーに情報として伝ばしているが、このように4・2節で述べるような領域要素は、複数のサブアセンブリー・部品に伝ばさせることが重要である。なぜなら、4章(1)でも述べたように、これらの情報を遵守して各ユニット(サブアセンブリー)設計者が独立して設計を進めていくうえで、共有すべき情報であるからである。

4・2 領域境界要素 製品全体のレイアウト概要が決まった段階の設計段階において、重要な設計情報の一つは配置に関する情報である。存在領域、特に各サブアセンブリー・部品の領域境界を定義し、この情報が設計下流へ伝達されることは非常に重要である。

このために、領域境界なる設計情報を導入する。領域境界設計情報は、モデル(サブアセンブリー・部品)が指定した幾何要素に対して、どちら側に存在すべきかを表す。本設計情報は、基本アーキテクチャで述べた、モデルと幾何要素間の関係設計情報として定義される。この情報の重要な点は、全体のレイアウトを決定する基本となる情報であり、4・1節で述べた分解機能により各詳細設計者に情報が渡った後、各詳細設計者が変更を自由に行えないことである。したがって、例えば図3に示すようなふるまい定義体の利用が考え

Fig. 2 Example of the model decomposition

られる。本例は、すべての形状変更を許さない例である。

図4は、領域境界設計情報の例である。ソリッド要素の内部・外部、あるいは指定面からの方向付きの領域を表している。このように、領域境界を表す幾何要素として、ソリッド、面群、作業平面などが指定可能である。

以下に領域境界の応用例を示す。なんらかの要件で領域境界からある程度距離をあける必要がある場合を考える。例えば、まだ距離が数値的に表現できない時点では図5のように、編集前より近づいたらアラームを上げ、具体化されたあとでは図6のように、最短距離が1.0未満になったらアラームを上げるふるまい定義体の利用がある。このように、ふるまい定義体がデータになっていることにより、設計の進捗に伴い、容易に有効な変更が可能である。

4.3 伝ば設計情報 4章の冒頭で示した要件整理の中の(3)と(4)に関して述べる。伝ば情報、すなわち幾何要素に設定された設計情報が他のモデル・幾何要素に伝ばする場合に、大きく2種類について説明した。端的に言えば、

(a) 幾何形状自身が他幾何形状への編集に利用されたときの設計情報伝ば。4章の(4)で述べた、既存の幾何形状利用編集に伴う設計情報伝ば事象である。

```
<Relational behavior definition body>
  <Group member update definition>
    <Deign Inf.name> Region Boundary </Deign Inf.name>
    <types of changing design inf. control>
      group member editing design inf. method="Reject">
        <specify group>
          <group No>0</group No>
        </specify group>
      </types of changing design inf. control>
    </Group member update definition>
  </Relational behavior definition body>
```

Fig. 3 Example of behavior definition for region boundaries

Fig. 4 Example of region boundaries

(b) 幾何形状が具現化されるプロセスにおいて、初期の幾何要素が新しい幾何情報に変化する場合の設計情報伝ば。4章の(3)で述べた、形状利用時の他タイプへの変更に伴う設計情報伝ばである。

(a)は、切断・集合演算などの場合であり、自分自身の幾何要素は存在しなくなるが、同等の幾何情報が新しく存在する場合であり、切断・集合演算での生成面に元の幾何形状の設計情報が伝ば(設定)する仕組みの構築が必要になる。

(b)は、各種の場合が想定され、以下で考察を行っていく。

設計上流工程においては、個々のソリッド・面・線が、それぞれサブアセンブリー・部品を表現している場合が多い。したがって、個々の幾何要素にモデルとしての設計情報が設定できる必要がある。

また、1本の線が最終的には軸を表している場合に、線に表面粗さなどの面に関する設計情報が設定できる必要がある。これらの課題を整理すると下記のパターンに整理できる。

(1) モデル自身に関する設計情報

(a) 単体設計情報 幾何要素が具現化されるプロセスにおいても、モデル(サブアセンブリー・部品)

```
<Relational behavior definition body>
  <Deign Inf.name> Resign Boundary </Deign Inf.name>
  <Relational Design Inf. update Relational Key "Shortest distance">
    <characteristic value between elements control>
      editing method="message output">
        <characteristic value>shortest distance</characteristic value>
      </characteristic value between elements control>
    <Comparison ope><CDATA[<]]></Comparison ope>
    <Comparison val>old shortest distance</Comparison val>
    <message>The distance has approached.</message>
  </Relational Design Inf. update>
</Relational behavior definition body>
```

Fig. 5 Example of the behavior definition for region boundary

```
<Relational behavior definition body>
  <Deign Inf.name> Resign Boundary </Deign Inf.name>
  <Relational Design Inf. update Relational Key "Shortest distance">
    <characteristic value between elements control>
      editing method="message output">
        <characteristic value>shortest distance</characteristic value>
      </characteristic value between elements control>
    <Comparison ope><CDATA[<]]></Comparison ope>
    <Comparison val>1.0</Comparison val>
    <message>The distance is less than 1.0.</message>
  </Relational Design Inf. update>
</Relational behavior definition body>
```

Fig. 6 Example of the behavior definition for region boundary

に設定された設計情報として扱っていくもの。基本アーキテクチャで可能である。

例えば、重量・体積など。

(b) 関係設計情報 モデルと指定幾何要素間、あるいはモデル間に設定された関係情報として扱っていくものであり、基本アーキテクチャで可能である。

例えば、領域境界設計情報など。

(2) モデルに含まれる幾何要素に関する設計情報

(a) 単体設計情報 面に関する精度情報など、当初の幾何形状が具現化されていく段階で生成される面などの幾何要素に伝ばしていくべきもの。この場合、無条件にすべての生成された面に伝ばするケースと伝ば対象が特定可能な場合があり、重要なものは特定できるように扱うことが必要である。

例えば、表面粗さなどは本例であるが、軸を表す線に設定された表面粗さ情報は、軸作成時に回転面に伝ばすべきであり、伝ば対象を記述できる仕組みが重要である。このように、線が面に・面がソリッドになどタイプが変更される場合に、設定された設計情報が新しく生成される幾何データへの伝ば先を記述できる仕組みの拡張が基本アーキテクチャに対して必要になる。図7は、設計情報記述において、伝ば先対象を含めて伝ば情報として定義可能とすることで実現した例である。

(b) 関係設計情報 モデル内の指定幾何要素間の関係であり、指定幾何要素が具現化されるプロセスにおいて、単なる変形は基本アーキテクチャの範ちゅうであるが、線が面/ソリッドなどに変化する場合に伝ばの考慮が必要になる。

例えば、二つの線の間に平行なる設計情報が設定されていた場合、その線を利用した軸物の軸間も平行であるべきである。線を利用した回転体生成時に回転体

の軸を平行なる関係設計情報のグループメンバに登録することが必要となる。

5. 効果的な拡張例

第1報⁽⁷⁾において、基本アーキテクチャの拡張性について述べたが、要点は、本アーキテクチャの構成要素である、設計情報・ふるまい定義体・対象・変化種の構成要素の独立性である。

- ・対象・設計情報・ふるまい・変化種とプログラムの独立性

- ・設計情報およびふるまい定義体のデータ化

5章では、具体的に効果的な拡張例について述べる。

5.1 部分領域とその応用

いま、軸物を想定すると、先端部分だけ磨き上げる必要がある場合がある。これは、面の一部のみ異なる表面粗さ情報設定する必要があることを意味している。一方、応力解析などを想定した場合に、面の一部に応力をかけて解析を行う場合がある。この場合も、面の一部の領域に設計情報を設定する必要がある例である。

上記のように、面の部分領域に設計情報を設定可能にすることは、各種の応用において有効である。

基本アーキテクチャにおける対象の独立性から、対象として部分領域を取扱う方式を提案することにより、基本アーキテクチャが持つ設計情報・ふるまい定義体などすべての概念の適用が部分領域に対して可能となる。

部分領域を対象として取扱うために、部分領域の定義方法について述べる。部分領域をオリジナルな面および境界を表すためのシートグループで定義する。ここで、シートとは連なった面群のことである。シートグループは、複数の方向付きのシートおよび作業平面から構成される。これらの方向付きシートグループ群で境界付けられたオリジナルな面の領域を部分領域と定義する。

図8は、部分領域の典型的な例を表しており、一般的に複数の領域が一つの部分領域として定義可能になっていることを表している。図9は、部分領域のデータ形式イメージであり、図10は、部分領域に対して表面粗さ情報を設定している画面例である。

5.2 設計情報の対象化と応用 前回報告⁽⁷⁾において述べたように、設計情報自身も対象として扱うことが可能である。すなわち、設計情報に新たな設計情報を設定することが可能である。

本報では、設計情報を対象化したときの効果的な応用例について述べる。本提案では、設計変更なる設計情報を提案する。設計変更は、設計情報の一つであり、

Fig. 7 Example of spread information

Fig. 8 Image of partial region definition

したがって全対象に対して設定可能な設計情報である。図11の上段に示す例は、リブフィーチャが変更された場合に、リブフィーチャに設計情報として‘設計変更’が設定される一般的な例である。下段に示す例は、面に‘表面粗さ’が設計情報として設定されており、その‘表面粗さ’なる設計情報が変更された場合に、‘設計変更’という設計情報が‘表面粗さ’なる設計情報に設定される例である。

この拡張は、機能上自然な拡張であるが、特に有効な応用が考えられる。

多くの企業内の設計において、初版の設計が完了した段階からの設計変更については、変更内容記述を義務付けることが多い。以降このような変更を“設変”と呼ぶこととする。三次元CADの普及に伴い、本来三次元CADで設計変更内容を記述・保持できることが望ましいが、現状の三次元CADではシステム支援が貧弱であり、わざわざ一度図面化を行い、コメントを図面に記述している場合も多い。非効率のみならず、情報のミスも考えられるのが現状である。“設変”において、提案するアーキテクチャおよび設計変更なる設計情報を適用することは、効果が大きい。

設計変更情報を設定することで、確実かつ継続して情報伝達が可能になる。また、幾何情報を含めて、変更された対象が容易に、明示的に理解することが可能になる。他の一般的な情報の履歴保管方法(操作履歴、形状変更履歴)は、本提案に比較して、以下の点で課題が残る。

Fig. 9 Data structure image of partial region

Fig. 10 Picture of setting surface roughness to partial region

- すべての履歴を順番にたどらなければ理解できない。
- 最終形状内において途中で変更された要素を明示することは非常に困難である。

本提案により、大きく二つの設計フェーズで有効になる。

- (1) “設変”時に、不当操作の防止などが可能。
- (2) “設変”内容確認時に正確かつ直感的に理解可能。

図12は、設計変更時に設計変更の意図を入力している例であり、図13は、“設変”内容確認のために“設変”内容一覧を出力した画面例である。

6. ブレイクダウン設計への応用

最後に、提案した統合モデルのブレイクダウン設計への応用を、作成した実験システムを用いて説明する。

以下の例の中で、モデル分解・領域境界・設計情報伝ばについて説明する。プリンタ設計の例である。

Step 1: 最初に設計責任者は、紙の流れを設計し、主要なコンポーネントの配置を検討する。形状は未確定であり、大きさ・配置の概要を決定していくが、その中で各コンポーネントが満たすべき領域境界や最終的なコンポーネントに設定されるべき重要な伝ば設計情報をシステムに設定していく。

Step 2: 設計責任者は、線・面・ソリッドなど領域境界を含む幾何要素群を指示して、各コンポーネントを作成する。これにより、第一段階の製品の構成が決定される。

Step 3: 各コンポーネントの設計者は、設計を進めていく。図14は、ドラムの口径を変更して、紙の流れを表す領域境界をオーバした場合である。システムがアラームメッセージを出力している例である。

Step 4: この状態を回避するために、設計者は口径を再度、アラームが出力されなくなるように変更を行う。

Fig. 11 Image of design information for design change

Step 5: コンポーネント設計者は、軸を表す線を利用してローラを作成する。この軸を表す線に伝ば設計情報が設定されていたため、作成されたローラには設計情報が伝ばする。

図 15 は、ローラの持つ設計情報の出力例であり、表面粗さと材質が設定されている画面である。

Step 6: Step 3, 4, 5 を繰返して設計者は設計作業を進めていく。必要に応じて、コンポーネントは細分化され段階的に詳細化されていく。このようなブレイクダウン設計において、各コンポーネントの設計完了は、すなわち製品全体の設計完了を意味する。

7. ま と め

本論文において、第 1 報において提案した基本アーキテクチャをベースに、設計上流から段階的に詳細化していくブレイクダウン設計において、設計情報伝達に関する重要要件について考察し、加えて基本アーキテクチャの拡張性を論じて効果的な拡張を提案した。

まず、段階的詳細化設計支援において重要となる、分解機能・領域境界・設計情報伝ばを論じ、提案を行った。特に、設計情報伝達に関する基本アーキテクチャの拡張の観点を以下のように整理した。

(1) 自分自身の幾何要素は存在しなくなるが、同

等の幾何情報が新しく存在する場合の設計情報伝ば（切断、集合演算など）。

(2) 線が面に・面がソリッドになど簡易形状から具現化されていくときの、設定された設計情報が新しく生成される幾何データへの伝ば。

設計情報伝ばの提案は、設計情報を伝達するうえで、設計上流での簡易形状に設定されていた情報が、具現化プロセスにおいても有効に伝達される仕組みであると考ええる。

さらに、部分領域・設計情報の対象拡大により、具体的な応用例を示した。基本アーキテクチャの持つ設計情報、ふるまい定義体、対象、変化などの独立性が、拡張性を容易にし、具体的な応用が可能になっている。

実際の設計において、設計情報・意図を正確に下流

Fig. 12 Image of design information for design change

Fig. 13 Image of design information for design change

Fig. 14 Example of alarm message (over the region boundary)

Fig. 15 Confirm the spread design information of the roller

設計工程に伝達することは、設計ミスの削減、手戻り削減など効率化に役立つばかりでなく、計画段階での製品コンセプト・意図・重要要件の実現にとって非常に重要な意味を持っている。

提案した統合モデルのアーキテクチャは、設計の上流から下流まで支援する拡張性に富むアーキテクチャであり、設計情報・意図を伴った設計上流から下流までの設計プロセス支援の一つの有効な方法論であると考えている。

文 献

- (1) 吉川弘之・富山哲男監修, インテリジェント CAD(上), (1989), 朝倉書店.
- (2) 吉川弘之・富山哲男監修, インテリジェント CAD(下), (1991), 朝倉書店.
- (3) Umeda, Y., Ishii, M., Yoshioka, M., Shimomura, Y. and Tomiyama, T., Supporting Conceptual Design Based on the Function- Behavior- State Modeler, *Artif. Intell. Eng. Des. Analysis, Manufact.*, **10**-4 (1996), 275-288.
- (4) 劉繼紅・荒井栄司・井越昌紀, 機械の機能検証のための定性的運動シミュレーション, *機論*, **61**-585, C (1995), 2159-2166.
- (5) 劉繼紅・Amnuay, S.・荒井栄司・井越昌紀, 定性的立体モデリング (第1報, 定性的立体モデルとその構造化), *機論*, **62**-599, C (1996), 2897-2904.
- (6) 岡田公治・荒井栄司, 機械設計における設計意図モデルに基づく CAD, *機論*, **57**-544, C (1991) 283-288.
- (7) Arai, E., Akasaka, H., Wakamatsu, H. and Shirase, K., Description Model of Designers' Intention in CAD System and Application for Redesign Process, *JSME Int. J.*, Ser. C, **43**-1 (2000), 177-182.
- (8) 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 (第一報 統合モデルの基本アーキテクチャ), *機論 (C 編)* 投稿中.