

機械系のばらつき設計を中心としたカメラの 鏡枠ユニットの設計支援システム

小島 崇司^{†1} 長澤 勲^{†2} 樋口 達治^{†3}
望月 雅光^{†4} 梅田 政信^{†2} 章 志華^{†1}

筆者らは、先に公差解析のための知識表現言語 KOSA を提案し、またそのプログラミング手法を示した。本論文では、この研究を基礎にして試作したカメラの鏡枠ユニットの設計支援システムについて述べる。本システムは、次のような特徴を持つ。(1) 設計案の探索を行う基本設計、設計案の細部を編集する詳細設計、および、設計案の特性のばらつきを評価する公差解析の設計の各段階に適した設計支援の手法を提示し、これに必要な支援ツール群を整備した。(2) 設計の各段階で決定される設計案の情報を一元的に表現した設計対象のモデルを中心に、設計の各段階で使用される支援ツールを配置した。このことにより設計者は、設計データの変換に煩わされることなく一貫して設計作業を進めることができる。(3) 各支援ツールで使用する設計知識は、専用の知識表現言語を用いて設計者が自ら整理し、記述でき、設計者自身による知識ベース構築が可能である。本システムを用いて、コンパクトカメラの鏡枠ユニットの設計実験を行い、良好な結果を得た。

Design Support System for Lens Case Units of Cameras — Mainly Focused on Tolerancing of Mechanical Systems —

TAKASHI OJIMA,^{†1} ISAO NAGASAWA,^{†2} TATSUJI HIGUCHI,^{†3}
MASAMITSU MOCHIZUKI,^{†4} MASANOBU UMEDA^{†2}
and ZHIHUA ZHANG^{†1}

We have proposed a knowledge representation language KOSA for tolerance analysis, and presented its programming techniques. This paper describes a design support system for lens case units of cameras based on the research results. The system has the following features: (1) We propose the methodology of the design support for each design process based on its characteristics; basic design searching for design plans, detail design editing details, and tolerance analysis evaluating the variations of characteristics of a design. The supporting tools of the system are provided based on the methodology. (2) The design object model centrally describes information about design plans used in these design processes, and the supporting tools are arranged around it. Thus, designers need not pay any attentions to data managements. (3) Knowledge representation languages are provided for each domain to describe domain knowledge used by the tools. Design experts are able to develop and maintain the knowledge bases using the languages by themselves. The system has been applied to the design of lens case units of compact cameras. The experimental results are also shown.

1. はじめに

カメラ等の民生精密機器の設計では、多様化した市場や新しい技術動向に対応した迅速な製品開発が求められる。このことから近年、製品開発にかかわる知識を体系的に整理し、それを組織的に運用する方法が模索され始めた。筆者らは、このような活動の一貫として、カメラの開発設計を支援する知的設計支援システムの開発を進めている。

知的設計支援システムを開発するためには、設計知識を分析、整理し、記述することが不可欠である。こ

†1 九州工業大学大学院情報工学研究科
Graduate School of Computer Science and System Engineering (Doctorial Programs), Kyushu Institute of Technology
†2 九州工業大学情報工学部
Faculty of Computer Science and System Engineering, Kyushu Institute of Technology
†3 オリンパス光学工業株式会社 DI プロジェクト
DI Projects, Olympus Optical Co., Ltd.
†4 九州工業大学情報科学センター
Information Science Center, Kyushu Institute of Technology

の設計知識は、設計者が暗黙の形で持っているものであり、知的設計支援システム¹⁾の開発に際しては、その知識を専門家が自ら整理して、知識表現言語で記述することが望まれる。このことは、知的設計支援システムの開発や保守を容易にするとともに、設計技術の散逸化を防ぐためにも重要である。

そこで筆者らは、1) 設計業務ごとにその特性をよく把握した設計知識のモデル化を行い、知識ベース構築のための洗練された支援環境²⁾を整備する、2) 形式的で効率の良い知的設計支援システムと、柔軟で発想力に富む設計者の能力とを組み合わせた新しい設計手法を開発する、という立場から研究を進めている。

本論文では、機械系のばらつき設計^{*}を中心とした設計支援システムの構築法について述べる。

一般に、いくつかの部品によって構成される組立品の性能には、ある程度のばらつきが必ずある。その要因には、組立品を構成する部品の加工によるばらつきや組立によるばらつきがあげられる。ばらつき設計とは、この組立品の性能のばらつきを許容範囲に収めるために行う一連の設計作業を指し、この一部として公差解析が行われる。現状の設計現場では、設計者自身が一連の作業を手作業で行うことが多く、多数の箇所を修正、検証するためミスが生じやすい。このため汎用的に使用できるばらつき発現の機構をモデル化したもの（以下、ばらつき発現のモデル）を組み入れた公差解析システムが開発され市販されるようになってきた^{3)~6)}。また設計現場では、業務に特化して一連の設計作業を支援するシステムの開発が行われている⁷⁾。しかしながら、これらのシステムは、ばらつき設計の流れ全体を一貫して支援できないこと、また、設計者が製品ごとに考案したばらつき発現のモデルや公差解析の手法⁸⁾をシステム内に組み入れる機能が整備されておらず、製品開発に必要なばらつき設計の支援を十分にしているとはいえない。

筆者らは、先に生成検証法を用いた設計支援システム DSP^{9)~12)}や、拘束条件を用いた公差解析システム KOSA^{13),14)}を開発し、また、その知識ベース構築のためのプログラミング手法についても考察した。

本研究では、これらの研究を基礎にして、次の特徴を持つカメラの鏡枠ユニットの設計支援システムを開発した。(1) 設計作業の各段階、すなわち、設計案の探索を行う基本設計、設計案の細部を編集する詳細設計、および、設計案の特性のばらつきを評価する公差解析のそれぞれに適した設計手法を考案した。また、

このために必要な支援ツールを整備した。(2) 設計の各段階で決定される設計案の情報を一元的に表現した設計対象のモデルを中心として、設計の各段階で使用する支援ツールを配置した。このことにより設計者は、設計データの変換に煩わされることなく一貫して設計作業を進めることができる。(3) 各支援ツールに必要な設計知識は専用の知識表現言語を用いて、設計者自らが整理、記述できる。

2. 鏡枠ユニット設計の概要

ここでは、本論文の対象とするコンパクトカメラの鏡枠ユニット設計の概要について述べる。

鏡枠ユニットの構造：図1に示すようにコンパクトカメラ¹⁵⁾は、鏡枠ユニット、AFユニット、ファインダユニット、ズームモータユニット、ストロボユニット、メインコントロールユニット、本体ユニット、および、外観ユニットから構成される。この中でも鏡枠ユニットは、ズーミング、ピント調整、露出調整を行い、カメラ性能を左右する重要なユニットである。鏡枠ユニットを模式的に描くと図2のようになる。このユニットは、レンズとそれを受けるレンズ枠から成

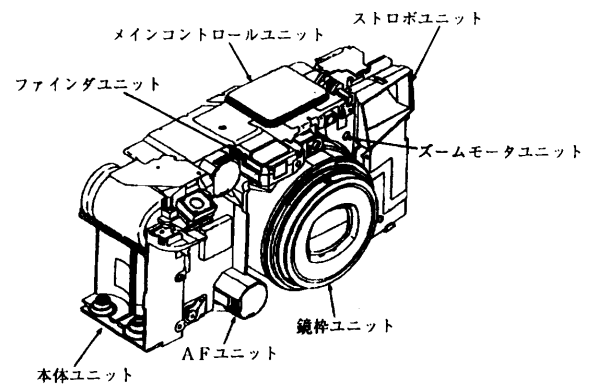


図1 コンパクトカメラの構成

Fig. 1 Components of compact camera.

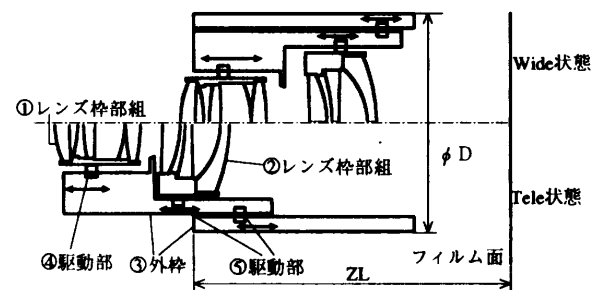


図2 鏡枠ユニット

Fig. 2 Lens case unit.

* 公差設計、精度設計という用語も使用されている。

るレンズ枠部組^{☆1}①、②と外枠③から構成される。また、レンズ枠部組①と外枠③は、駆動部④によって、レンズ枠部組②と外枠③は駆動部⑤によって、それぞれ連結されている。駆動部④はピント調整に、駆動部⑤はズームに使用される。ピント調整駆動によりピント合わせを行い、ズームの駆動により Wide から Tele へ任意に倍率を変更できる。

鏡枠ユニット設計の概要：鏡枠ユニットの設計は、図3に示すように、光学系設計、レンズ枠設計、駆動部設計、および、光学系性能評価に分けられる。図中①の光学設計では、Wide から Tele 間のレンズの明るさ、倍率、MTF 等の要求仕様から、レンズの位置、曲率、有効径等のレンズの主要諸元を決定する。また、光学シミュレータを用いて、レンズの位置姿勢のばらつきが光学系の性能に与える影響（感度^{☆2}）を調査する¹⁶⁾。図中②のレンズ枠設計では、基本設計において、光学系設計から得られたレンズの主要諸元から、レンズのレンズ枠への組付け方や受け方を決定する。このとき、多数の設計案からカメラの小型化などに配慮して、要求性能を満たすものを選択する。図2に示した ZL はカメラの厚さに、 ϕD はカメラの高さに関する。詳細設計では、レンズやレンズ枠の詳細形状を編集する。ばらつきを制御するため、寸法の追い^{☆3}、寸法値、公差等を決定する。公差解析では、レンズとレンズ枠の寸法、形状のばらつきが、レンズの位置姿勢にどのように影響するかを検討する。図中③の駆動部設計では、基本設計において設計事例を参考に主要な構造を決定する。このとき、鏡枠ユニットの設計案をカメラ全体の計画図^{☆4}の中に配置し、全体のおさまりを検討する。また、詳細設計において、加工の制約を考え、詳細形状を編集する。また、公差解析では、レンズ群の駆動に際して、レンズ群の位置姿勢が動的にばらつくため、そのばらつきを実験資料を参考に検討する。図中④の光学系性能評価では、レンズの材質、形状、および②、③で得られたレンズの位置・姿勢のばらつきを光学シミュレータを用いて解析し、要求仕様（歩留り）を満たすかどうかを検証する。

本論文では、鏡枠ユニット設計のうち、機械系のばらつき設計^{☆5}を中心として、レンズ枠設計、および、駆動部設計について述べる。

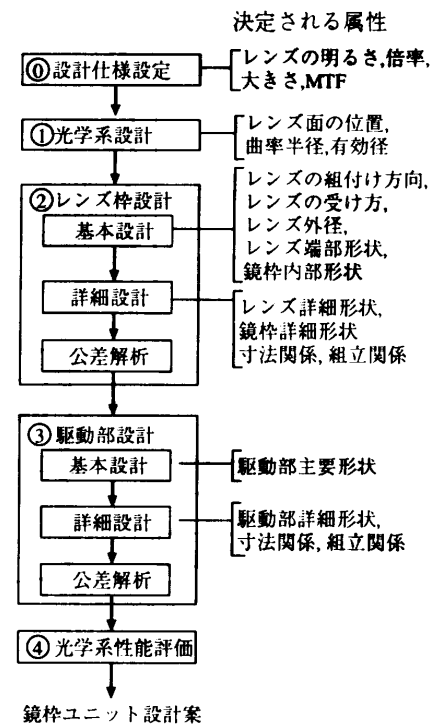


図3 鏡枠ユニット設計の流れ
Fig. 3 Design flow of lens case unit.

3. 開発方針

本論文で提案する設計支援システムの開発方針は、次のとおりである。

(1) 支援の対象

本システムの支援対象は、鏡枠設計の基本設計から駆動部の公差解析に至る、機械系のばらつき設計を中心としたコンパクトカメラの鏡枠ユニット設計である。

(2) 設計対象の一元管理

鏡枠ユニットの設計では、いくつかの設計段階が密接に関係し、試行錯誤的に行われる。このため、設計の各段階で決定される設計案の情報を設計対象のモデルを用いて一元的に管理することにより、設計者が各設計段階の支援ツールで必要とする設計データへ変換する作業に煩わされないように配慮する。

(3) 基本設計の支援

コンパクトカメラでは、高性能で低価格なカメラをできるだけ小型に作成する必要がある。このため基本設計の支援では、多数の設計案の系統的な探索や、設計資料を自動的に検索する機能を提供する。また、設計解の選択を容易にする視覚的な表示機能も提供する。

^{☆1} サブアセンブリ。

^{☆2} 公差の設定に用いる。感度が低ければ公差設定をあまり、感度が高ければ厳しくする。

^{☆3} 部品や組立品の各部位間に寸法を規定して、全体の配置関係を決定すること。

^{☆4} 設計途上の設計図、設計の進行とともに詳細になる¹⁷⁾。

^{☆5} 製品性能のばらつきを制御するために行う組立構造の編集、寸法の追い、公差の設定、公差解析等の設計作業全体を含む広い意味^{18),19)}で用いている。

表1 鏡枠ユニット設計に用いる機能素の例
Table 1 Examples of functional elements used in lens case unit design.

| 機能素の種類 | 機能素名 | 属性 | 使用部位の例 |
|--------|------|------------------|-----------------------------|
| 主要形状 | レンズ面 | 配置座標系, 曲率半径, 有効径 | 図5(a)のレンズ球面 Sp1, Sp2 |
| | 軸 | 配置座標系, 直径, 高さ | 図5(a)のレンズの円筒面 S1 |
| | 穴 | 配置座標系, 直径, 高さ | 図5(b)のレンズ枠の穴 H1, H2 |
| | 受け面 | 配置座標系, 内径, 外径 | 図5(b)の受け面 P11 |
| 詳細形状 | 丸み付け | 配置座標系, 半径 | 図5(a)のレンズの端部処理である丸み付け Round |
| | テーパ | 配置座標系, 傾き, 高さ | 図5(b)の穴 H2 に付加されたテーパ Taper |
| 組立部位 | 3点支持 | 配置座標系, 直径, 高さ | 図5(b)の3点支持部 (Tps) |

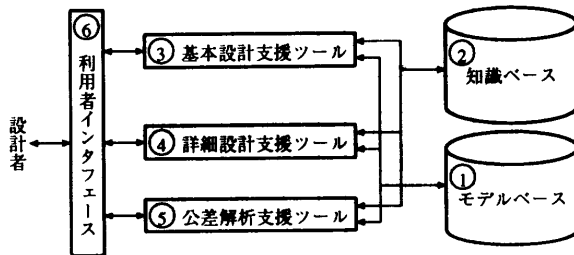


図4 システムの概要
Fig. 4 System overview.

(4) 詳細設計の支援

レンズやレンズ枠の詳細形状, あるいは, 駆動部の形状の編集を視覚的に行える機能を提供する。また, ばらつき設計に必要な, 寸法の追い, 寸法値, 公差等の編集も可能とする。

(5) 公差解析の自動化

鏡枠ユニット設計では, レンズ, レンズ枠, 駆動部のばらつきが光学系の性能に大きな影響を与える。このため設計の各段階で公差解析が多用される。この公差解析を自動化する。

(6) 設計知識の表現

(3) および (5) の支援ツールには, 製品固有の設計知識が使用され, 設計技術の重要な部分を占めている。したがって, これらを設計者自身が適切に運用管理できるための知識表現言語とその支援環境を提供する。

4. システムの概要

図4に鏡枠ユニット設計支援システムの概要を示す。本システムは, モデルベース, 知識ベース, 3つの支援ツール, および利用者インタフェースから構成される。モデルベース①は, 設計対象モデルを格納する。知識ベース②は, 各設計段階に用いられる設計知識を格納する。これらの設計知識は, 知識表現言語で記述され, 支援ツール③~⑤を通じて利用される。基本設計支援ツール③は, レンズ枠と駆動部の基本設計の支援に用いる。設計者は, このツールを用いて設計案を

系統的に生成し, その中から適切と思われる案を選択して使用する。詳細設計支援ツール④は, レンズ枠と駆動部の詳細設計に使用する。設計者は, このツールを用いて設計案の構造や詳細形状を編集する。また, ばらつき設計に必要な寸法の追い, 寸法値, 公差の編集にも使用する。公差解析支援ツール⑤は, 基本設計, 詳細設計で編集された設計対象のモデルに対する公差解析に使用する。利用者インタフェース⑥は, 設計者と各ツール間をつなぎ, 操作性の良い利用者環境を提供する。

5. 設計対象の表現

筆者らは, 既報(13)で, 公差解析のための知識表現言語と知識ベース開発のためのプログラミング手法について提案した。ここでは, 既報を基礎に, 鏡枠ユニットの設計の各段階で決定される設計案の情報を一元的に表現する設計対象モデルについて述べる。

5.1 組立構造の表現

部品は, 軸や穴のように他の部品と相互作用することにより機能を発現する部分を持ち, これを既報と同様に, 機能素と呼ぶ。部品は機能素から構成され, 組立品は部品または下位の組立品から構成される。これら組立品, 部品, 機能素を総称して組立オブジェクトと呼ぶ。組立オブジェクトはその特徴を表す寸法, 形状, 材質等の属性を持つ。一般に機能素の選び方は, 基本設計, 詳細設計, 公差解析などの設計支援の目的により異なるため, 鏡枠ユニット設計に用いる機能素を表1のように分類した。表中, 主要形状は, レンズ面やレンズ枠のレンズ受け部のように鏡枠ユニットの主要な部位を表現し, 基本設計の段階に用いる。同様に, 詳細形状は, レンズ端面の丸み付け[☆]やレンズ枠のテーパ^{☆☆}のように加工のため必要となる形状や形状の細部を表現し, 詳細設計の段階に用いる。組立部

[☆] 工作物のかど, または, すみに丸みを付けて削ること²⁰⁾。

^{☆☆} 円筒面に傾きを与えることで, 成形されたレンズ枠を金型から抜きやすくするために行われる。

表 2 依存関係の例
Table 2 Examples of dependencies.

| 依存関係の種類 | 関係名 | 説明 |
|---------|-----------------|----------------|
| 全体部分関係 | part_of | 全体部分 |
| 寸法 | transfer | ある軸方向に長さ寸法だけ並進 |
| | rotate | ある軸中心に角度寸法だけ回転 |
| 幾何公差 | coaxiality | 同軸度 |
| | parallelism | 平行度 |
| 組立 | shaft_hole_pair | 軸と穴のはめ合い |
| | sphere_tps_pair | 球面の3点支持 |
| 追加工 | round | 丸み付け |
| | taper | テーパ |

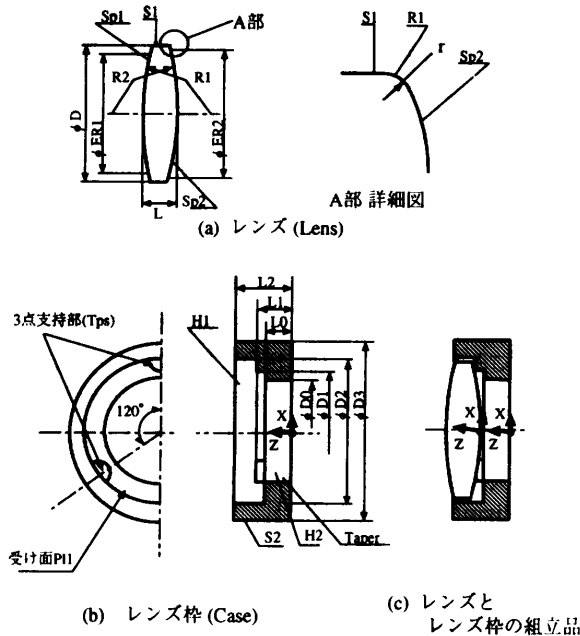


図 5 レンズとレンズ枠の組立
Fig. 5 Assembly of lens and lens case.

位は、3点支持*のように組立時のばらつきを制御するために付与される部位を表現し、ばらつき設計に用いる。

部品を構成する機能素の配置関係は、長さ寸法や角度寸法を指定することにより表現する。同様に、組立品の構造は、部品を構成する機能素間の接続関係を指定することにより表現する。

ここで、組立構造を編集可能なデータ構造とするため、全体部分関係、寸法、公差、組立、および、追加工を編集可能な関係（以下、依存関係）として表現する（表 2 参照）。

以下、図 5 に示すレンズとレンズ枠の組立を例に用いて説明する。レンズ枠 (Case) にはレンズ (Lens)

* 部品どうしの接触位置を制御するために3つの突起を持たせる設計工夫。

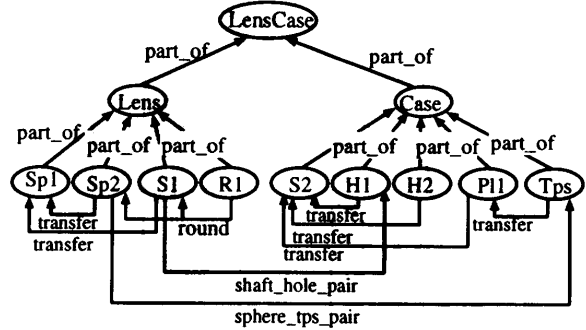


図 6 レンズ枠の組立構造
Fig. 6 Assembly structure of lens case.

を受けるための3点支持部 (Tps) があり、レンズの球面はここで受けられ、同図 (c) のように組み立てられる。

図 6 は、図 5 を組立構造を用いて表現したものである**。図中、楕円は組立オブジェクトを、矢印は、各種の依存関係を、それぞれ表す。図 6 中の Lens は、図 5 (a) のレンズを示し、2つの凸レンズ面 Sp1, Sp2 と軸 S1, および、S1, Sp2 間の丸み付け R1 から構成される。また、Case は、図 5 (b) のレンズ枠を示し、軸 S2, レンズがはめ合う穴 H1, 光が通過する穴 H2, レンズの受け面 P11, および、3点支持部 Tps から構成される。依存関係は、組立オブジェクト間の矢印で表現され、たとえば Sp2, S1^{round}R1 は、球面 Sp2 と円筒面 S1 の交線が、機能素 R1 で丸み付けしてあることを示す。

5.2 ばらつき発見モデルの表現

5.2.1 ばらつき発見モデル

特性間関係：組立オブジェクトが持つ属性のうち、製品の性能や評価を表す属性をここでは改めて特性とよぶ。一般に特性間には従属関係（以下、特性間関係）がある。たとえば、図 5 に示したレンズ枠には、図 7

** 既報では、寸法や組立は、制約として取り扱ったが、本稿では編集可能な関係とするため、組立オブジェクト間の依存関係に変更した。依存関係を制約に読み替えることは容易である。

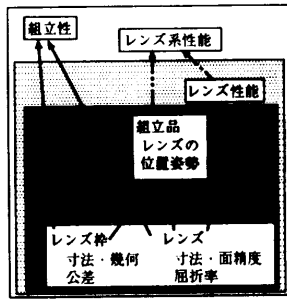


図7 レンズ枠の特性間関係

Fig. 7 Relationships between characteristics of lens case.

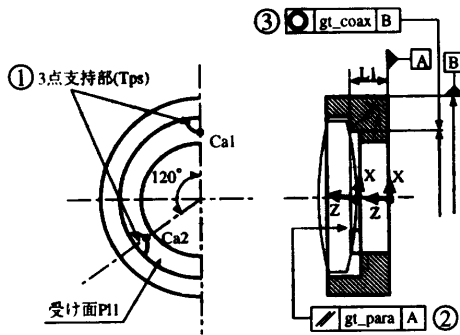


図8 レンズ枠のばらつきの制御

Fig. 8 Variation control of lens case.

に示すような特性間関係がある。レンズやレンズ枠の寸法、形状からレンズの受け面やレンズの位置姿勢が決まる。また、レンズの位置・姿勢とレンズの性能からレンズ系の性能が決まる。このように特性間には半順序関係が存在する。今、特性 a が特性 b_1, \dots, b_n によって決まるとき、 b_1, \dots, b_n を a の下位特性、また逆に a を b_1, \dots, b_n の上位特性という。

ばらつき発現モデル：特性のばらつきについて考察する。たとえば、図8に示すレンズとレンズ枠の組立では、レンズ枠の寸法、形状のばらつきがレンズの位置姿勢のばらつきを左右し、最終的にレンズ系性能のばらつきを決めている。この例では、レンズ枠に3点支持を設けレンズを受けているが、この3点の位置のばらつきを次のように規定した。まず、この3点のZ軸方向の段差のばらつきを面Aを基準とした平行度^{21),22)}(図中②)により規定した。次に、レンズ枠のZ軸方向の基準線と3点の通る円の中心軸(穴H1の中心と同じ)★との間には、X-Y平面上において位置のばらつきがある。このばらつきを円筒面Bを基準にした同軸度^{21),22)}(図中③)を用いて規定した。

このように製品の性能を決定する下位特性のばらつ

★ 3点支持と穴は同時に加工される。

きは、適切に制御する必要がある。一般に設計者は、ばらつき設計に際して、製品の性能を表す上位特性のばらつきが、下位特性のばらつきからどのように発生するかをモデル化して使用している。ところが、ばらつき発現モデルは製品ごとに異なるため、過去の事例から得られた知識に基づき、製品ごとに暗黙に用いられているのが現状である。このことから、設計者が考案したばらつき発現モデルを正確に記述できる枠組みが必要と考えられる。

5.2.2 ばらつき発現モデルの表現

ばらつき発現の原因は、大きく「寸法によるばらつき」、「幾何形状によるばらつき」、「組立によるばらつき」の3つに分類できる^{19),23)}。ここでは、幾何学的形状によるばらつきの中から、一例としてレンズ枠設計に用いる平行度について述べる**。

図8においてレンズ枠にはレンズを受けるためのレンズ受け部があり、レンズの球面はここで受けられ、図のように組み立てられる。この例では、レンズの受け部に平面を採用すると、平面度のばらつきによりレンズ面と接触する点が特定できない。そこで、レンズ受け部に人為的に3点(図中①)を設け、この3点間のZ軸方向の段差のばらつきを平行度を用いて制御し(図中②)、接触点の3点を特定する。このときの平行度は、次のように取り扱えばよい。

$\text{parallelism}(\{\text{Ca1}, \text{Ca2}, \text{Ca3}\},$

$\{\text{Cb1}, \text{Cb2}, \text{Cb3}\}, ?\text{Dim}, ?\text{Para}):-$

- ```

true |
gen_dim(Dim, 10, D1), (1)
gen_dim(Dim, 10, D2), (2)
gen_dim(Dim, 10, D3), (3)
max([D1, D2, D3], Maxz), (4)
min([D1, D2, D3], Minz), (5)
test(Maxz - Minz ≤ Para), (6)
transfer3z(Ca1, Cb1, {D1, 0, 0}), (7)
transfer3z(Ca2, Cb2, {D2, 0, 0}), (8)
transfer3z(Ca3, Cb3, {D3, 0, 0}). (9)

```

ここで、ルール  $\text{parallelism}$  の引数は順に、基準となる同じZ軸座標値を持つ3点の配置座標系\*\*\*Ca1, Ca2, Ca3, ばらつきにより生成される3点の配置座標系 Cb1, Cb2, Cb3, 基準から生成される3点まで

\*\*\* 幾何形状によるばらつきは、ばらつき発現モデルごとに取扱い方法が異なり、一般的なルール化は困難である。したがって、ここでの平行度の取扱いは、球面の3点支持に限定される。同軸度によるばらつき発現モデルについては付録A.1に示した。

\*\*\* 組立オブジェクトの位置・姿勢を表すデータ構造<sup>13)</sup>。

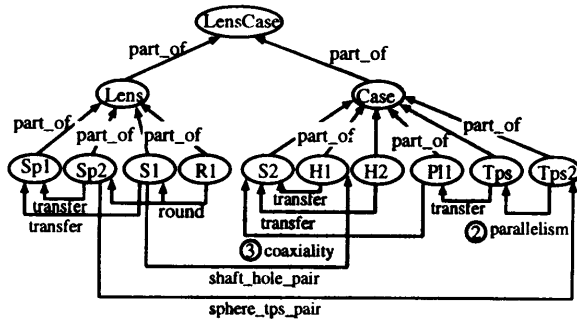


図9 レンズ枠の組立構造

Fig. 9 Assembly structure of lens case.

の Z 方向の寸法パラメータ<sup>☆1</sup>Dim, 平行度 Para<sup>☆2</sup>である。(1)~(3)では, 高さ寸法 Dim の公差範囲に等間隔に寸法値をそれぞれ 10 個生成する<sup>☆3</sup>。(4)~(6)では, 生成した寸法値が平行度 Para 以内であるかどうかを検証し, 検証が成功した組合せだけを採用する。(7)~(9)では (1)~(6) で生成した寸法値 D1~D3 を用いて, 配置座標系 Ca1~Ca3 を配置座標系 Cb1~Cb3 に Z 軸方向に並進させている。

このようなばらつき発現モデルを用いて, レンズ枠のばらつきを制御すると次のようになる。レンズ受け面の高さ方向のばらつきを, 平行度 parallelism を用いて規定する。また, 同様にレンズ枠の Z 軸方向の基準線は, X-Y 平面上において位置のばらつきが存在する。ここでは, 同軸度 coaxiality を用いてこのばらつきを制御する (付録 A.1 参照)。ばらつきを制御するための幾何公差を付加した組立構造を図 9 に示す。図中 Tps2 は, 3 点支持のばらつきを規定するために新たに導入した仮想的な 3 点である。図中②は平行度を, ③は同軸度を, それぞれ表す

本章で述べてきた組立構造はすべて既報の知識表現言語で表現できる。図 10 は図 9 の組立構造を表現<sup>☆4</sup>したものである。全体部分関係を除き, 図中依存関係は, 同名の制約として表現している。

### 5.3 組立構造の編集

組立構造の編集は, 表 3 に示す基本操作を用いて行う。以下, 図 11 に示したレンズ枠の編集操作を例に用いて説明する。まず, 基本設計において決定したレンズやレンズ枠の主要諸元から図 11 (1) に示す組立構造を作成する。ここでは, make\_instance を用いて組立オ

☆1 称呼値, 最小公差, 最大公差の組。

☆2 基準となる直線や平面に対して平行な直線または平面に対する狂いの大きさ<sup>22)</sup>である。ここでは, ある平面上にある 3 点間の高さ方向の段差許容差と解釈する。

☆3 ここでは, 一様分布を仮定した。

☆4 寸法の追いを依存関係として表現している。既報の寸法制約に読み替えるには, たとえば s2 を s2!center のようにすればよい。

```
defclass: lens,
super: object,
attributes:
dim1:real :={2.6,-0.05,0.05},
...
sub_parts:
sp1: sphere,
sp2: sphere,
s1: shaft,
r1: round,
constraints:
transfer3z(sp1,sp2,!dim1),
transfer3z(sp1,s1,!dim2),
round(sp2,s1,r1).
```

(a) レンズ

```
defclass: case,
super: object,
attributes:
coax:real :=0.05,
para:real :=0.01,
dim3:real :={2.1,-0.05,0.05},
...
sub_parts:
s2: shaft,
h1: hole,
h2: hole,
p11: plane,
tps: three_point,
tps2: three_point,
constraints:
coaxiality(s2,h1,!coax),
transfer3z(s2,h2,!dim3),
transfer3z(s2,p11,!dim4),
transfer3z(p11,tps,!dim5),
parallelism(tps,tps2,!dim6,!para).
```

(b) レンズ枠

```
defclass: lenscase,
super:part,
sub_parts:
lens: lens,
case: case,
constraints:
shaft_hole_pair(lens!s1,case!h1),
sphere_tps_pair(lens!sp2,case!tps2).
```

(c) レンズとレンズ枠の組立品

図 10 知識表現言語 KOSA による組立構造の表現

Fig. 10 Representation of assembly structure in KOSA.

ブジェクトを生成し (①~⑪), 次に, add\_sub\_part を用いて全体部分関係を編集する (⑫~⑳)。なお, 図中 part\_of の表記は, 簡単のため省略した。次に, 図 11 (2) に示すようにレンズ端の丸み付け操作を行う。これには make\_round 操作により丸み付け機能素 R1 を生成し, S1 と Sp2 に依存させて配置すればよい (㉑)。図 11 (3) では, レンズとレンズ枠の寸法の追いを編集する。これには, make\_transfer3z を用い, 組立オブジェクト間に依存関係を与えればよい (㉒~㉓)。さらに, 組立関係の編集を行う。ここでは, 図中 (4) に示すように, レンズの軸部 S1 から枠の穴部 H1 に対してはめ合い関係 make\_shaft\_hole\_pair を (㉔), レンズのレンズ面 Sp2 から枠の 3 点指示部 Tps に対して 3 点支持関係 make\_sphere\_tps\_pair を (㉕), それぞれ与えている。最後に, 図中 (5) に示すように, ばらつきモデルの編集を行う。ここでは, make\_parallelism を用いて受け部 P11 と 3 点指示部 Tps の間に平行度を (㉖), make\_coaxiality を用いて枠の軸部 S1 と受

表3 基本操作の例

Table 3 Examples of basic operations.

| 操作の種類 | 操作名                                                                                                           | 操 作                                                                         |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 生成    | make_instance(O,Class,<br>attributes(a <sub>1</sub> (v <sub>1</sub> ),..., a <sub>n</sub> (v <sub>n</sub> ))) | Class に属する組立オブジェクト O を生成する。このとき、属性 a <sub>n</sub> の初期値を v <sub>n</sub> とする。 |
| 全体部分  | add_sub_part(O <sub>1</sub> ,O <sub>2</sub> )                                                                 | O <sub>1</sub> の部分に O <sub>2</sub> を組み入れる。                                  |
| 寸法    | make_transfer3z(O <sub>1</sub> ,O <sub>2</sub> ,Dim)                                                          | O <sub>1</sub> から Z 軸方向に長さ寸法 Dim だけ並進を行った位置に O <sub>2</sub> を配置する。          |
|       | make_rotate3z(O <sub>1</sub> ,O <sub>2</sub> ,R)                                                              | O <sub>1</sub> の配置位置から Z 軸周りに角度寸法 R だけ回転を行った位置に O <sub>2</sub> を配置する。       |
| 幾何公差  | make_coaxiality(O <sub>1</sub> ,O <sub>2</sub> ,Coax)                                                         | 軸 O <sub>1</sub> を基準にして軸 O <sub>2</sub> のばらつきを同軸度 Coax により規定する。             |
|       | make_parallelism(O <sub>1</sub> ,O <sub>2</sub> ,Para)                                                        | 平面 O <sub>1</sub> を基準にして平面 O <sub>2</sub> のばらつきを平行度 Para により規定する。           |
| 組立    | make_shaft_hole_pair(S,H)                                                                                     | 軸 S と穴 H とを組み付ける。                                                           |
|       | make_sphere_tps_pair(Sp,Tps)                                                                                  | 球面 Sp を Tps で 3 点支持し、接着する。                                                  |
| 追加工   | make_round(O <sub>1</sub> ,O <sub>2</sub> ,R)                                                                 | 半径 R の丸み付けの機能素を生成し、O <sub>1</sub> と O <sub>2</sub> に対して配置する。                |

け部 P11 の間に同軸度を (⊙), それぞれ与えている。

## 6. 鏡枠ユニット設計の支援

### 6.1 設計作業の流れ

鏡枠ユニット設計におけるレンズ枠設計と駆動部設計の設計の流れは図3に示したように類似している。ここでは、レンズ枠設計を例に各設計段階における支援方法について述べる。レンズ枠設計の標準的な設計の流れを図12に示す。図中(1)~(3)は図3に示した基本設計、詳細設計、公差解析にそれぞれ対応している☆。また、図中実線枠は、システムが自動的に行う作業、破線枠はシステムの支援を受けながら設計者が行う作業である。

①設計者は、光学系設計で得られたレンズの主要諸元をシステムに入力する。②システムは、レンズ枠の可能な設計案を系統的に生成し、その解の分布を設計者に提示する。③設計者は、システムにより提案された設計案の中から設計条件に対して適切と思われるものを選択する。このときシステムは、設計者が選択した設計案に基づき組立構造を生成する。④設計者は、生成された組立構造の詳細部を編集する。⑤設計者は、レンズの位置・姿勢のばらつきを制御するため、寸法の追い、寸法値、各種の公差を設定する。また、必要に応じてばらつきを制御するため設計工夫を行い、組立構造を編集する。⑥システムは、知識ベースを用いて公差解析を自動的に行う。⑦設計者は、公差解析の結果を評価し、不具合があれば③~⑥を再試行する。

☆ 設計作業の流れをいくつかの段階に分けるときに、明瞭な基準は存在しない。ここでは、支援ツールを用いた作業の形態（探索、編集、解析）によって分けた。

公差解析の結果が満足であれば、設計を終了する。

### 6.2 基本設計の支援

基本設計は、設計案の実現可能性を検証し、その性能を最適化する設計作業である。しかし、カメラの設計現場では、熟練設計者が勘や経験から2、3の設計案を仮定し、簡単な評価から設計解を決定しているのが現状であり、この方法では、設計解の質は設計者の能力に左右される。そこで、本研究では、システムにより可能な設計案を系統的に生成し、設計者はその中から最適と思われる設計案を選択し、これを修正して用いる方法をとった。また、設計案の生成に必要な知識（付録A.2参照）は、設計者自身が保守管理することを前提に、既報11)、12)で述べた生成検証法を用いて記述する。

上記の設計知識の整理は、設計者自らが行うため、洗練された開発環境とプログラミング手法\*\*を提供する必要がある。本研究では、生成検証法を用いた設計計算支援システムDSPを使用し、基本設計の知識ベースには28個のプログラムモジュール\*\*\*を作成した。

基本設計における利用者の操作環境を図13に示す。図中①はDSPのプログラム編集画面であり、基本設計の知識の編集に、②は設計解の表示画面であり、設計諸元の値の確認に、③は設計諸元間のグラフであり、設計解の分布の確認に、④は組立構造編集画面であり、選択された設計案の組立構造の編集に、それぞれ使用する。

\*\* プログラミング手法の詳細は既報9)、10)。

\*\*\* DSPにおけるプログラムの記述単位である。



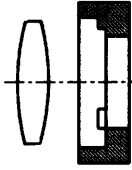
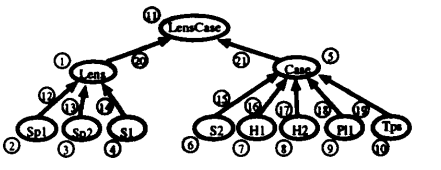
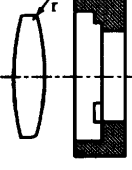
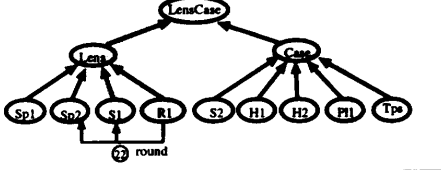
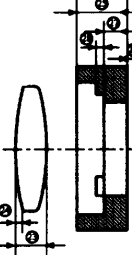
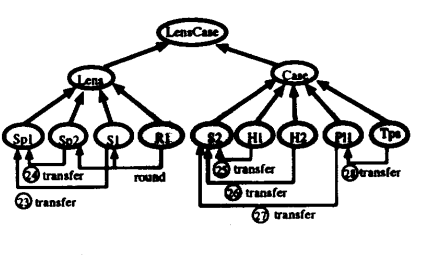
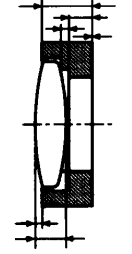
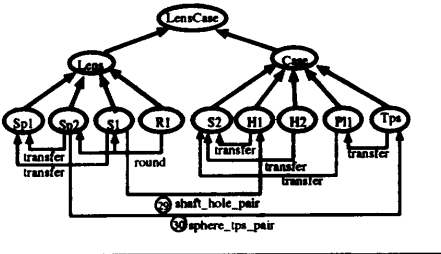
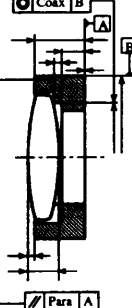
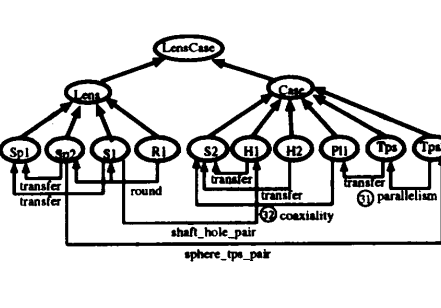
| 編集操作                                                                                                                                                                                                                            | 図解                                                                                  | 組立構造                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(1) 組立構造の生成</p> <pre> make_instance(Lens,lens), make_instance(Sp1,sphere,   attribute(r(R1),er(ER1),dir(D))), ... make_instance(LensCase,lenscase) add_sub_part(Lens,Sp1), ... add_sub_part(LensCase,Case),           </pre> |    |    |
| <p>(2) 詳細部の編集</p> <pre> make_round(Sp2,S1,r),           </pre>                                                                                                                                                                  |    |    |
| <p>(3) 寸法の追いの編集</p> <pre> make_transfer3z(Sp1,Sp2,L), make_transfer3z(Sp1,S1,L1), make_transfer3z(S2,H1,L3), make_transfer3z(S2,H2,L3), make_transfer3z(S2,P11,L2), make_transfer3z(P11,Tps,L4),           </pre>               |    |    |
| <p>(4) 組立関係の編集</p> <pre> make_shaft_hole_pair(S1, H1), make_sphere_tps_pair(Sp2, Tps)           </pre>                                                                                                                          |   |   |
| <p>(5) ばらつき発現モデルの編集</p> <pre> make_parallelism(P11,Tps,Para), make_coaxiality(S2,H1,Coax)           </pre>                                                                                                                      |  |  |

図 11 組立構造の編集例  
Fig. 11 Example of assembly structure editing.

本手法により、従来行われていなかった最適解の探索が自動化され、またそのための設計知識も設計者により容易に保守管理できる<sup>11),12)</sup>。

### 6.3 詳細設計の支援

詳細設計では、基本設計で得られた組立構造を製品全体から見た納まり、付加的機能の追加、あるいは、加工性や組立性の立場から、編集して詳細化する。レンズ枠設計では、納まりから見た寸法の調整、レンズ

端面の遮光対策、レンズ端面の丸み付け、レンズ枠のテーパ付けなどが行われる。

組立構造の編集操作環境は、市販の支援環境 Concept Modeller (以下、CM)<sup>25)</sup>を用いて構築した。利用者の操作環境は、図 14 に示すように、従来の設計作業と違和感を感じさせないために、従来の図面に相当する編集画面①と組立構造を操作するツリーペーン②を設けている。ツリーペーンは、設計対象の構造

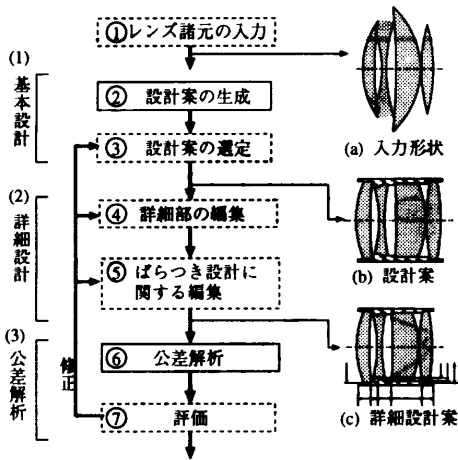


図 12 レンズ枠設計の流れ  
Fig. 12 Design flow of lens case.

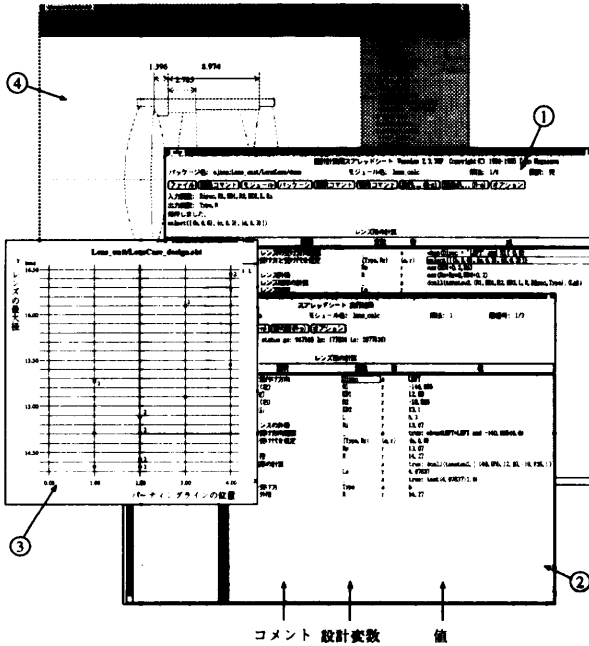


図 13 基本設計の支援環境  
Fig. 13 Support environment for basic design.

を陽に表現し、各組立オブジェクトに対応するアイコンをマウスでクリックすると、必要な操作を集めたメニュー③やその属性を表示することができる。

6.4 ばらつき設計の支援

ばらつき設計とは、上位特性のばらつきを規定するために下位特性のばらつきを制御する設計作業である。この作業は、図 12 に示した設計の流れでは、おおよそ⑤～⑦に対応している。ばらつき設計の手順の詳細を 図 15 に示す。⑤-1 では、まず、ばらつきを制御できるように組立構造を編集する。図 5 に示したレンズ枠では、レンズの受け部に 3 点支持部を付加してい

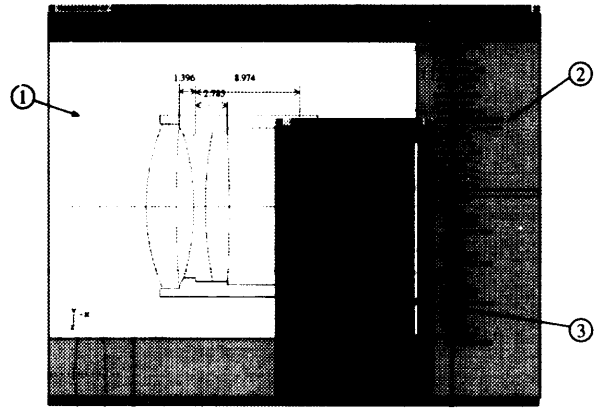


図 14 組立構造の編集環境  
Fig. 14 Editing environment for assembly structure.

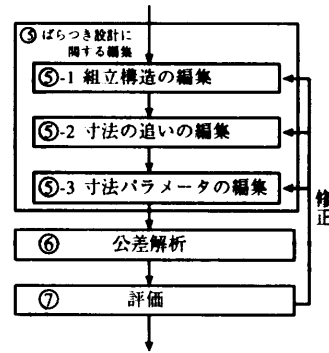


図 15 ばらつき設計の流れ  
Fig. 15 Design flow of tolerancing.

る。⑤-2 では、寸法の追いを編集する。上位特性を規定する寸法の個数を減らすことは重要である<sup>23)</sup>。レンズ枠設計では、成形部品のパーティングライン☆を参考に、寸法を追うことが多い。⑤-3 では、光学系設計で得られたレンズの位置姿勢のばらつきが光学系の性能に与える感度(表 5 参照)を参考に、レンズ枠の各部の公差を決定し、ばらつきを制御する。表 6 にその一例を示す。⑥では、公差解析を行う。まず、ばらつき発見のモデル(5.2 節参照)と公差解析の手法<sup>8)</sup>を選択する。レンズ枠のように解析精度が要求される場合には、モンテカルロ法を用いる。また必要に応じて各公差の寄与率を解析し、各種パラメータ間の関係を調べる。⑦では、公差解析の結果を評価し、必要に応じて前段階へ後戻りする。

ばらつき設計では、図 14 に示した組立構造の編集環境を用いて、上記⑤-1～⑤-3 の組立構造の編集を行う。公差解析の支援には、公差解析支援システム KOSA<sup>14),19)</sup>を使用した。本システムは、公差解析の手法として、最悪解析、統計解析、モンテカルロ法を

☆ 合わせ金型の分割線<sup>24)</sup>。

表4 レンズの主要諸元  
Table 4 Main parameters of lens.

| レンズ  | レンズ位置 | 曲率 (左) | 有効径 (左) | 曲率 (右) | 有効径 (右) | レンズ厚 |
|------|-------|--------|---------|--------|---------|------|
| No.1 | 0.0   | 18.6   | 14.2    | 85.0   | 12.9    | 2.6  |
| No.2 | 4.0   | -23.8  | 12.2    | 32.0   | 11.4    | 1.0  |
| No.3 | 7.0   | -140.8 | 12.1    | -18.1  | 13.0    | 5.3  |
| No.4 | 12.5  | 37.7   | 13.0    | -38.0  | 12.8    | 2.6  |

表5 レンズの位置姿勢が光学系性能に与える感度  
Table 5 The sensitivity of location and orientation of lens to optical subsystem performance.

| レンズ  | レンズ面の半径方向への偏芯 | レンズ光軸の振れ |
|------|---------------|----------|
| No.1 | -1%           | -2%      |
| No.2 | -18           | -3       |
| No.3 | -7            | -3       |
| No.4 | -9            | -3       |

表6 レンズとレンズ枠の寸法および公差  
Table 6 Dimensioning of lens and lens case.

| レンズ    | No.1           | No.2           | No.3           | No.4           |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| はめ合い径  | φ 16           | φ 14.3         | φ 15.2         | φ 16.4         |
| はめ合い公差 | a <sub>1</sub> | a <sub>3</sub> | a <sub>2</sub> | a <sub>4</sub> |
| 受け部径   | φ 15.0         | φ 13.5         | φ 14.4         | φ 15.4         |
| 厚さ公差   | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>1</sub> |
| 同軸度    | c <sub>1</sub> | c <sub>2</sub> | c <sub>2</sub> | c <sub>1</sub> |
| 平行度    | c <sub>1</sub> | c <sub>2</sub> | c <sub>2</sub> | c <sub>2</sub> |

装備しており、これらは同図のメニューから選択して使用できる。

6.5 レンズ枠設計の例

ここでは、表4に示した4枚のレンズ群からなるレンズ枠の例を用いて設計手順を説明する。

基本設計では、表4のレンズの主要諸元をシステムメニューを用いて入力すると(図12①)、図13②に示すように18個の設計案が得られる(図12②)。コンパクトカメラは、全体を小型化する必要がある。そこで、パーティングラインの位置とレンズの最大径の関係をシステムにより表示させると図13③のようになる。図中に付記した数値は、解の重なりを示す。ここではレンズ外径が14.35mmである解が3個とレンズ外径が14.43mmである解が2個あることが分かる。この解の中から1つの設計案を選択すると、システムは5章で述べた組立構造を自動生成<sup>☆</sup>する(図12③)。

詳細設計では、基本設計で生成した組立構造を図13に示した編集画面で確認しながら、鏡枠ユニットの全体の納まりを考慮して寸法を調整する。また、各レンズ端部に丸み付けを行い、3番目のレンズには、遮光塗料を付与した(図12④)。

☆ 組立構造の生成はDSPのプログラムによって記述する。

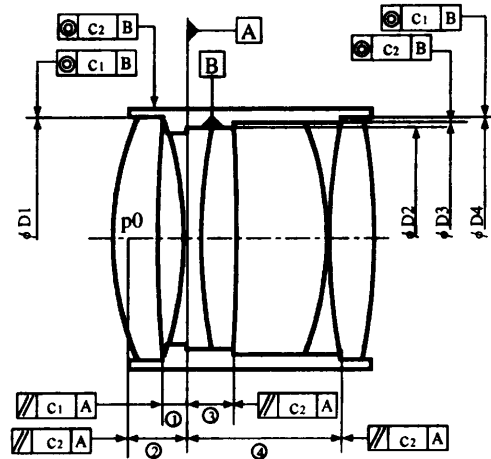


図16 寸法の追い  
Fig. 16 Dimensioning.

次に、ばらつき設計では、レンズの姿勢を制御するための設計工夫をする。ここでは、レンズの受け面に3点支持部を付与した。また、部品の基準を、パーティングラインにとり、図16のように寸法の追いを定めた。さらに、表5を参考に、寸法の称呼値と公差を表6に示すように定めた<sup>☆☆</sup>。ここでは、2番目のレンズの感度が大きいので、これを部品の基準とし公差設定も通常より厳しくした。また、1番目のレンズの感度は、比較的小さいので、公差設定を甘く設定した。残りのレンズは、普通許容差<sup>☆☆☆</sup>を用いた。このばらつき設計の結果を公差解析を用いて検証する。個々のレンズについて、レンズや鏡枠のばらつきが、レンズの位置姿勢にどのような影響を与えるかを検証する。解析手法に最悪解析を用い、図16のレンズ枠の基準点P0から各レンズを見た位置姿勢を測定すると、表7のようになる。表中レンズの傾きは、レンズ2は寸法の追いが1つであるために一番小さく、残りのレンズは寸法の追いが2つであるためにレンズ2に比べ大きくなっていることが分かる。また、軸の偏芯も同様で

☆☆ 表6の公差 a<sub>1</sub>~a<sub>4</sub> ははめ合いの、b<sub>1</sub>~b<sub>2</sub> は寸法公差の、c<sub>1</sub>~c<sub>2</sub> は幾何公差の、等級をそれぞれ示し、設計現場のノウハウから決定される。

☆☆☆ 普通許容差とは、公差の指定がない寸法の公差を規定し、通常の加工方法によって実現できる公差を適用する方式である。

表7 レンズのばらつき  
Table 7 Variation of lens.

| レンズ  | 左面頂のばらつき | 軸の偏芯    | レンズの傾き |
|------|----------|---------|--------|
| No.1 | ± 0.070  | ± 0.023 | 0.233  |
| No.2 | ± 0.010  | ± 0.008 | 0.086  |
| No.3 | ± 0.020  | ± 0.015 | 0.161  |
| No.4 | ± 0.025  | ± 0.023 | 0.161  |

ある。

また、図17はレンズ1の右側レンズ面の配置位置の公差領域である。図16, 17の結果を評価すると、実用上十分な性能があり、設計要求を満たしていることが分かる。

駆動部設計でも、レンズ枠と同様な設計が行われる。しかし、駆動部設計では、精密なばらつき設計が困難な部分があり、生産現場において調整や現合することが多い。このため、実験により駆動部の位置姿勢のばらつきを調べ、これをばらつき設計の資料としている。レンズ枠設計と駆動部設計とで行ったばらつき設計の結果を、再び光学シミュレータを用いて検証する。この結果を評価して、問題がなければ、ばらつき設計は完了する。

## 7. 実験と評価

### 7.1 実験システム

本システムは、筆者らが開発した設計支援システム DSP, 公差解析支援システム KOSA, および、市販の支援環境 CM を用いて開発した。DSP は基本設計における知識ベースの開発と実行に、KOSA は公差解析の知識ベースの開発と実行に、CM は設計対象の編集操作にそれぞれ使用した。また、CM は利用者インタフェース、および、各支援ツールの結合のためにも使用されている。

### 7.2 実験結果

本システムを評価するために、従来行われている人手による設計との比較を行った。表8に示す例は、製品化されているコンパクトカメラ2機種のレンズ枠である。実験の結果、設計者が従来から行っている個別支援の方法で設計して約1日かかる作業を新人設計者が本システムを使用して設計した場合、約1時間で終了した。設計結果には、個人差があるが、両者とも設計の品質は同等であった。本システムの効果は次のとおりである。(1) 設計作業の効率は、手作業に比較して数倍向上した。(2) 設計案の系統的な探索やばらつき発現のモデルを用いた公差解析により、新人設計者でも、品質の良い設計解を得ることができる。(3) 設計変更は、容易で設計ミスが少ない。(4) 知識ベース

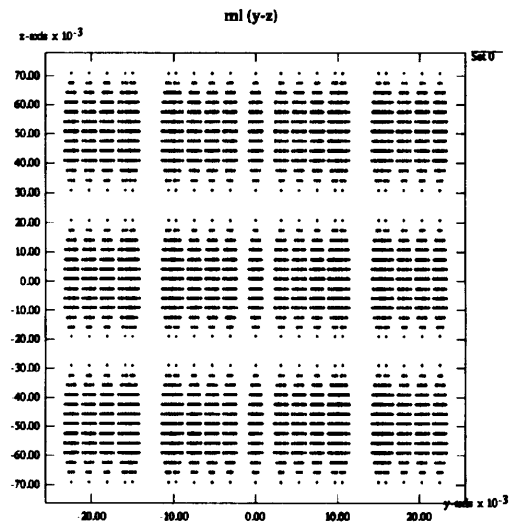
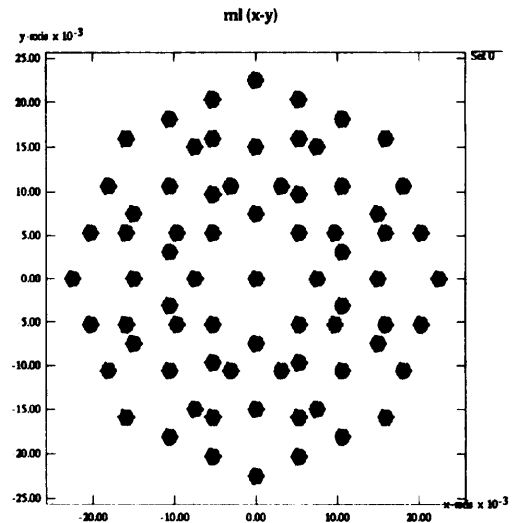


図17 ばらつきの分布

Fig.17 Variation distribution.

表8 実験結果

Table 8 Experiment results.

| 設計例<br>(コンパクトカメラ) | レンズ<br>枚数 | 基本設計<br>案の個数 | 設計に<br>要した時間 | 従来の<br>設計時間 |
|-------------------|-----------|--------------|--------------|-------------|
| カメラA レンズ群1        | 4         | 18           | 約60分         | 約1日         |
| カメラA レンズ群2        | 3         | 18           | 約50分         | 約1日         |
| カメラB レンズ群1        | 3         | 8            | 約50分         | 約1日         |
| カメラB レンズ群2        | 5         | 10           | 約80分         | 約1日         |
| カメラB レンズ群3        | 3         | 15           | 約50分         | 約1日         |

を整備することにより、設計者の属する組織内での、設計技術の標準化が行える。

## 8. まとめ

本研究は、カメラの鏡枠ユニットを例にとり、ばら

つき設計にかかわる知識の体系的整理とその支援方法の提案を目標に行ってきたが<sup>☆</sup>、この点に関しては所期の目的を達成したと考えている。本システムを実用化するには、今後、次のような課題を解決する必要がある。

(1) 本システムは、試作システムであるために、既存のツールを組み合わせ用いた。基本設計で使用したDSPや公差解析に使用したKOSAは当初の目的に沿う機能と操作性を実現できたが、各ツールの結合に利用したConcept Modellerは、デバック等の支援機能が不十分であり、設計者自身によるシステムの保守管理が困難であることが判明している。今後は、これらのツールに個別に記述された設計知識を統合的に取り扱える支援環境を整備する必要がある。

(2) 本システムを、実際の設計業務に適用して運用実験を行い、システムをより洗練する必要がある。

(3) 本論文で提案した設計支援の方法を、ばらつき設計が重要とされる各種の設計に対して適用して有効性を確認する。

謝辞 日頃、議論していただく埼玉大学機械工学科伊藤公俊助教授、九州工業大学知能情報工学科橋本正明教授、廣田豊彦助教授に深謝します。

### 参 考 文 献

- 1) 吉川弘之, 富山哲男: インテリジェント CAD, 朝倉書店 (1989).
- 2) 溝口理一郎: エキスパートシステム I, 朝倉書店 (1993).
- 3) Turner, J.U. and Gangoiti, A.B.: Tolerance Analysis Approaches in Commercial Software, *Concurrent Engineering*, pp.11-23 (1991).
- 4) 高橋 究, 鈴木宏正, 木村文彦: 公差の計算機処理に関する研究動向, 第8回設計シンポジウム講演会論文集, pp.82-87 (1990).
- 5) VSA Version 2.20 Volume ONE User Guide, Applied Computer Solutions, Inc. (1990).
- 6) VSA Version 2.20 Volume TWO Language Reference, Applied Computer Solutions, Inc. (1990).
- 7) 清水和麿, 田畑憲昭: 機械系の精度設計シミュレーション, 設計工学, Vol.28, No.12, pp.479-483 (1993).
- 8) 樋口達治, 長澤 勲, 望月雅光, 梅田政信, 小島崇司: 知識表現言語を用いたばらつき解析のための一手法, 信学技報, KBSE93-37, pp.33-40 (1994).
- 9) 梅田政信, 長澤 勲, 樋口達治, 永田良人: 設計計算のプログラム書法, 信学技報, AI91-60,

pp.25-32 (1991)

- 10) Umeda, M., Nagasawa, I. and Higuchi, T.: The Elements of Programming Style in Design Calculations, *Proc. Ninth International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*, pp.77-86 (1996).
- 11) 手越義昭, 長澤 勲, 前田潤滋, 牧野 稔: 建築物設計における小規模な組合せ選択問題の一解法, 日本建築学会計画系論文報告集, No.405, pp.157-165 (1989)
- 12) 長澤 勲, 前田潤滋, 手越義昭, 牧野 稔: 建築設計支援システムにおける小規模な組合せ選択問題のためのプログラミング手法, 日本建築学会計画系論文報告集, No.417, pp.157-166 (1990)
- 13) 望月雅光, 長澤 勲, 梅田政信, 樋口達治, 小島崇司: 公差解析のための知識表現言語とそのプログラミング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.9, pp.1922-1935 (1994).
- 14) Mochizuki, M., Nagasawa, I., Umeda, M., Higuchi, T. and Ojima, T.: Design Verification Using Knowledge Representation Language KOSA, *Computer Applications in Production Engineering, Proc. CAPE'95*, pp.566-575 (1995).
- 15) オリンパス工業第一開発部: CAMERA TEST オリンパス IZM200 クォーツデット, 写真工業, pp.74-86 (Dec.1989).
- 16) 松井吉哉: 光学系公差の合理的決定法について, 光学技術コンタクト, Vol.4, No.2, pp.13-17 (1966).
- 17) 畑村洋太郎: 実際の設計, 日刊工業新聞社 (1988).
- 18) 伊藤公俊, 弘末太郎, 塚田忠夫: 設計対象モデリングにおける許容限界の表現と指示, 精密工学会誌, Vol.61, No.5, pp.501-506 (1996).
- 19) 望月雅光: ばらつき解析のための知識表現と推論機構に関する研究, 九州工業大学大学院情報工学研究科学位論文, p.80 (1996).
- 20) 工作機械 (部品・工作方法) 用語 JIS B0106-1978, 日本規格協会 (1978).
- 21) 幾何公差の図示方法 JIS B0021-1984, 日本規格協会 (1984).
- 22) 幾何偏差の定義および表示 JIS B0621-1984, 日本規格協会 (1984).
- 23) 樋口達治, 長澤 勲, 望月雅光, 梅田政信, 小島崇司: 知識表現言語によるばらつきモデルの定式化とばらつき設計への応用, 第12回設計シンポジウム講演論文集, pp.139-144 (1994).
- 24) プラスチック用語 JIS K6900-1977, 日本規格協会 (1977).
- 25) Concept Modeller Reference Manual, Wisdom Systems (1992).

<sup>☆</sup> 本論文は既報13)の1章で示した研究計画の(5)に相当する。

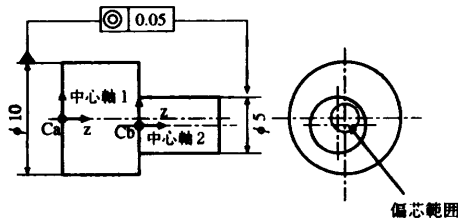


図 18 同軸度の例  
Fig. 18 Example of coaxiality.

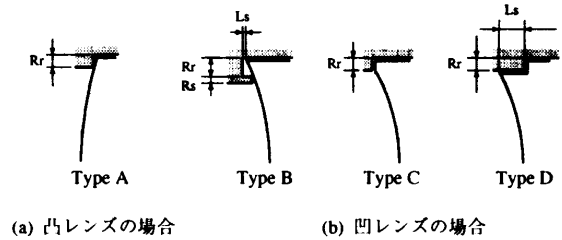


図 20 レンズの受け方  
Fig. 20 Setting type of lens.

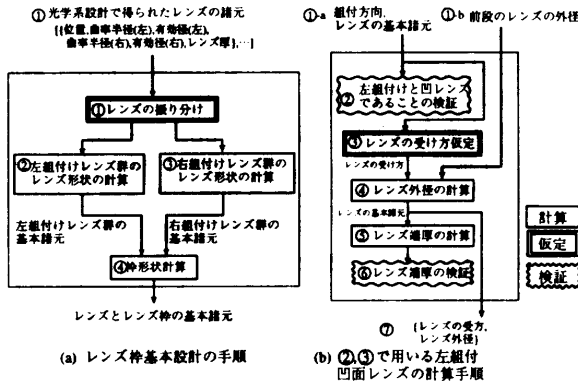


図 19 生成検証法による基本設計の手順  
Fig. 19 Basic design sequences based on generate-and-test method.

付 録

A.1 同軸度によるばらつき発現の表現

同軸度は、基準軸からの他の軸の半径方向への並進による位置のばらつきである。図 18 において、 $\phi 10$  の円筒の中心軸 1 を基準に、 $\phi 5$  の円筒の中心軸 2 は、同軸度で指定された直径 0.05 の円筒内に存在する。したがって、最悪解析\*では直径 0.05 の円を代表する点を円周上に座標系として生成すればよい。以下に記述例を示す。

```
coaxiality(Ca,Cb,?Coax):-
true |
for(0, 360, 360/8, Deg), (1)
rotate3x(Ca,C,Deg), (2)
transfer3z(C,Cb,{Cco/2, 0.0, 0.0}). (3)
```

ここで、ルール coaxiality の引数は、基準軸の座標系 Ca、同軸度が適用される機能素の座標系 Cb、同軸度の値 Coax である。(1) は、生成子 for を用いて、ばらつきを表現するパラメータとして角度を生成する(ここでは、円周上の 8 点)、(2) は、rotate3z を用いて配置座標系 Ca を生成した角度で Z 軸の回りに Deg だけ

```
lens_design((Dir: atom,
R1: real;
ER1: real;
R2: real;
ER2: real;
L: real;
Ri: real;
{Type: atom;
R: real}))
組付け方向
曲率半径(左)
有効径(左)
曲率半径(右)
有効径(右)
レンズ厚
前段のレンズ外径
受け方向
レンズ外径
①-a
①-b
⑦

method 左組付け凹面当付けの場合
Rr: real;
Ls: real;

when(Dir = left and R1 < 0.0)
{Type, Rr} := select({ b, 0.6}, {c, 0.3}, {d, 0.3});
R := max(ER1+0.2+Rr*2, Ri+Rr*2, ER2+0.2);
call(thick, {R1, R2, L, R, Direct, Type}, {Ls});
test(Ls > 1.0);
②
③
④
⑤
⑥

method
...
end.
```

図 21 DSP プログラム  
Fig. 21 DSP program.

回転し C とする。(3) は、transfer3x を用いて回転された座標系 C から円周上へ円の半径分並進し、Cb とする。ここで、rotate3z, transfer3x は既報の rotate, transfer を 3 次元に拡張したものである。

A.2 DSP による基本設計プログラム

図 19 に、設計手順の概要を示す。レンズ枠設計では、一群のレンズをレンズ枠のパーティングラインを中心に枠の左右から組み付けるため、レンズ枚数+1通りの組付け方がある。また各レンズには図 20 に示す受け方がある。このレンズの組付け方と受け方の組合せからレンズ枠の基本構成が決定される。図 19(a) 中①では、レンズの組付け方を仮定し、入力として与えられたレンズ群を右組付と左組付の 2 つに分割する。分割されたレンズ群は、それぞれ、②、③において、パーティングラインに近いものから順に、その外径と端部の形状が計算され、最後に④においてレンズ枠の形状が決定される。また、②、③で行われるレンズの形状の決定は、レンズの組付け方とレンズの組付け面の凹凸により 4 通りに場合分けされる。図 19(b) に左組付け、凹面当付けの場合を示す。

\* 上位特性のばらつきが最大となるように下位特性を積算する方法。

まず、入力として、図 19 (b) ①-a, ①-b のレンズの組付け方向、レンズの主要諸元、および、前段のレンズの外径を与える。②で、レンズの組付け方向とレンズ組付け面の凹凸を検証する。③で、図 20 に示したレンズの受け方を仮定する。次に、④で、前段のレンズの外径、受け方、レンズの厚さ、曲率、有効径からレンズの外径を計算する。⑤で、得られた形状のレンズ端厚を計算する。⑥では、レンズ端厚がレンズ形状として可能かどうかを検証する。条件を満たせば設計案として採用し、そうでなければ棄却する。

図 21 は図 19 (b) に示したレンズの詳細形状計算手順の一部を DSP で記述したものである\*。図中の番号は図 19 (b) に対応させている。

(平成 8 年 5 月 2 日受付)

(平成 8 年 10 月 1 日採録)



小島 崇司 (学生会員)

1968 年生。1992 年九州工業大学情報工学部機械システム工学科卒業。1994 年同大学院情報工学研究科修士課程修了。現在、同大学院情報工学研究科博士後期課程在学中。知識情報処理の立場から設計支援システムの研究に従事。人工知能学会学生会員。



長澤 勲 (正会員)

1944 年生。1967 年九州大学工学部電子工学科卒業。1972 年同大学院工学研究科博士課程単位取得退学。1972 年九州大学中央計数施設講師。現在、九州工業大学情報工学部教授(機械システム工学科)。工学博士。知識情報処理の立場から CAD/CAM, ロボット, 医療システム等の研究開発に従事。人工知能学会, 日本建築学会, 精密工学会, 電子情報通信学会, 日本機械学会, 日本設計工学会, 日本ロボット学会各会員。



樋口 達治

1954 年生。1977 年九州大学工学部生産機械工学科卒業。1979 年同大学院修士課程修了。同年オリンパス光学工業(株)入社。1992~1993 年九州工業大学情報工学部機械システム工学科非常勤講師。現在、オリンパス光学工業(株)DI プロジェクト勤務。カメラ開発、および開発設計現場で実用可能な設計モデルに関する研究に従事。精密工学会会員。



望月 雅光 (正会員)

1968 年生。1991 年近畿大学九州工学部経営工学科卒業。1996 年九州工業大学大学院情報工学研究科博士課程修了。博士(情報工学)。現在、九州工業大学情報科学センター助手。知識情報処理の立場から設計支援システムの研究に従事。人工知能学会, 日本経営工学会各会員。



梅田 政信 (正会員)

1959 年生。1982 年九州大学理学部物理学科卒業。1984 年同大学院工学研究科修士課程修了。1984 年富士通(株)。1989 年長崎県北工業技術センター。現在、九州工業大学情報工学部助手(機械システム工学科)。知識処理の立場から設計支援システム等の研究開発に従事。精密工学会会員。



章 志華 (学生会員)

1964 年生。1987 年中国合肥工業大学コンピュータ応用専攻卒業。1990 年同大学院修士課程修了。同年、安徽対外貿易計算機センター入社。データベースと OA システムの開発に従事。現在、九州工業大学大学院情報工学研究科博士後期課程在学中。知識表現, 知的 CAD, 設計支援システムに関する研究に従事。情報処理学会学生会員。

\* 詳細は既報 9) を参照。