

機関番号：32612

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360079

研究課題名（和文） 基本設計・意匠設計から詳細設計まで連続支援する一貫通貫高度  
CADシステムの開発研究課題名（英文） Development of advanced CAD system to continuously support basic  
design, style design and detail design

研究代表者

青山 英樹 (AOYAMA HIDEKI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：40149894

研究成果の概要（和文）：

本研究では、以下のシステムを開発した。

- (a) スタイルに関する消費者嗜好の分析に基づくトレンド予測システム
- (b) 意匠設計のためのスケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システム
- (c) 設計形状多様解（多様デザイン）の創発による発想支援システム
- (d) 部品設計のためのスケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システム
- (e) 部品設計のための三次元スケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システム
- (f) ハイライトライン入力に基づく意匠形状の高品位化システム
- (g) 印象フィーチャ入力に基づく意匠形状の作り込みシステム
- (h) 意匠形状評価パラメータに基づく意匠形状の高品位化システム
- (i) 経験の浅い設計者でも高度（熟練）な設計を可能とする詳細設計支援システム

研究成果の概要（英文）：

The following systems have been developed in this research.

- (a) A trend prediction system based on analysis of customer's preferences
- (b) A 3D model construction system from sketches for style design of a product
- (c) An emerging system of various design solutions for idea creation of product design
- (d) A 3D digital model construction system from sketches for part design
- (e) A 3D digital model construction system from 3D sketches for part design
- (f) A refining system of aesthetic shape by high light lines
- (g) A modeling system of product shape by impression features
- (h) A shape improving system based on evaluation parameters of aesthetic shape
- (i) A detail design support system for un-expert designers

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2009年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：設計工学，感性情報学，デザイン，支援システム，意匠設計，発想支援，  
スケッチ，三次元形状モデリング

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 製品開発期間の短縮

消費者の嗜好にマッチした製品をタイムリーに提供するため、製品開発期間の短縮が設計・製造技術における最重要課題の一つとなっている。詳細設計以降の製造プロセスの効率化は限界に近い状況であり、その課題の解決のために、企画・基本設計から意匠設計そして詳細設計の効率化により製品開発期間を短縮する技術開発が求められている。

### (2) 高度（熟練）設計技術者不足の解消

技能の伝承が製造技術における重要な課題となっているが、技能者育成以上に設計技術者の育成が難しいことが改めて認識されてきており、経験の浅い設計者でも高度・高品質な設計を可能とする技術開発が求められている。

## 2. 研究の目的

(1) 製品開発期間の短縮のために、(a) 基本設計において、設計者の発想を阻害せず、発想（アナログ情報）から一気にデジタルモデルを構築するシステムを開発する。(b) 意匠設計において、デザイナーの感性を容易に反映しながら、感性（アナログ情報）から一気にデジタルモデルを構築するシステムを開発する。

(2) 高度（熟練）設計技術者不足の解消のために、経験の浅い設計者であっても、部品の各部位が果たす役割（機能）を認識していることから、詳細設計において、部位に対して役割（機能）を指定することにより、設計形状から自動的に加工形状を構築するとともに、必要な属性情報（幾何公差、寸歩公差、粗さ、加工法など）を付与し、高度・高品質な設計を可能とするシステムを開発する。

## 3. 研究の方法

下記の(1)～(9)のシステムを開発する。

(1) スタイルに関する消費者嗜好の分析に基づくトレンド予測システムの開発

① スタイル（形状）に関する消費者の嗜好を分析する手法を開発する。

② 消費者のスタイル嗜好の分析に基づいてトレンドに合致する意匠形状を自動創造（創発）するシステムを開発する。

(2) 意匠設計のためのスケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システムの開発

① デザイナーが意匠形状の創発段階で描くスケッチに暗に含まれるルールを抽出する。

② 抽出されたルールに基づき、意匠スケッチから直接・自動的に三次元デジタルモデルを構築するシステムを開発する。

(3) 設計形状多様解（多様デザイン）の創発

による発想支援システムの開発

① 設計境界条件に基づいた生命体の成長法則の適用により、設計要件を満足する設計形状多様解（多様なデザイン）を自動創発するシステムを開発する。

② 多様なデザインを提示することによりデザイナーの発想を刺激するシステムを開発する。

(4) 部品設計のためのスケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システムの開発

① 部品（構造）設計の段階で発想のための描くスケッチに暗に含まれる形状構築手順（履歴）を推測（抽出）するシステムを開発する。

② 推測（抽出）された形状構築手順（履歴）をもとに三次元デジタルモデルを構築するシステムを開発する。

(5) 部品設計のための三次元スケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システムの開発

① バーチャルリアリティ技術を活用した三次元スケッチ入力方法を開発する。

② 三次元スケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システムを開発する。

(6) ハイライトライン入力に基づく意匠形状の高品位化システムの開発

① 意匠形状を感性で評価する際に有効な要素であるハイライトラインを基に意匠形状（曲面形状）を高品位化する方法を開発する。

② ハイライトライン入力により意匠形状（曲面形状）を高品位化するシステムを開発する。

(7) 印象フィーチャ入力に基づく意匠形状の作り込みシステムの開発

① 意匠形状を感性的に作り込む際に、印象フィーチャ（キャラクターライン）が重要な要素となっており、印象フィーチャを感性的に簡単な操作で作り込む方法を開発する。

② 印象フィーチャ入力による三次元デジタルモデル作り込みシステムを開発する。

(8) 意匠形状評価パラメータに基づく意匠形状の高品位化システムの開発

① 意匠形状の美しさ・複雑さを定量的に評価にするパラメータを提案する。

② 提案されたパラメータに基づいて形状を高品位化するシステムを開発する。

(9) 経験の浅い設計者でも高度（熟練）な設計を可能とする詳細設計支援システムの開発

① 部品のそれぞれの部位には果たすべき役割があり、経験の浅い設計者でもそれぞれの部位の役割は認識していること

を基礎として、CADで構築した設計形状の部位に役割（本研究では機能フィーチャとよぶ）を付与するシステムを開発する。

- ② 各部位に付与された機能フィーチャを基に自動的に属性情報（幾何公差、寸法公差、粗さ、加工法など）を付与すると同時に、必要に応じて加工形状（設計形状と異なる）を自動構築するシステムを開発する。

#### 4. 研究成果

- (1) スタイルに関する消費者嗜好の分析に基づくトレンド予測システムの開発

プロトタイプ理論に基づき、販売された製品形状から各年のプロトタイプを構築し、全販売製品形状から求められたプロトタイプに対する各年のプロトタイプの誇張率・誇張ベクトルを求め、誇張ベクトルと各年の関係よりデータの外挿式を適用することで、近い将来に消費者が好むと予想される形状の誇張ベクトルを予測し、それより消費者が嗜好する形状を提案する手法を構築した。

また、固有空間法に基づき、販売された製品形状の輪郭点群座標から固有値と固有ベクトルを算出し、固有値と固有ベクトルによりメーカーやシリーズ車種の形状特徴を定量化する手法を提案した。同手法を用いてメーカーやシリーズ車種の形状の固有イメージと変動イメージを視覚的に表現するシステムを開発し、既存の形状に対して別の製品イメージを融合することにより新たな形状特徴を創発する機能や、近い将来に消費者が好むと予想される形状を予測する機能などをもち、多様なデザイン解の導出に対する支援システムとして活用できることを示した。

- (2) 意匠設計のためのスケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システムの開発

図1は、イメージから形状を具現化するプロセスにおいて、自動車デザイナーが紙に描いたスケッチを示している。図1に示されるように、デザイナーは、1つの輪郭・特徴線に対して複数の線を描きながら全体形状を具現化していく。スケッチの最終段階では全体形状を捉えながら1つの輪郭・特徴線に対して1本の線を抽出し、デザイン形状を決定している。同図において、抽出された線は太く濃いラインで描かれている。

本研究では、スケッチ線の入力装置としてタブレットPCを用いて、このようなデザイン形状の決定プロセスを支援するスケッチ支援システムを開発を行った。また、スケッチから三次元モデルを簡単に作ることができればデザイナーにとって大きな支援になる。そこで、スケッチ線の位置情報を利用した三次元モデル構築システムを開発した。

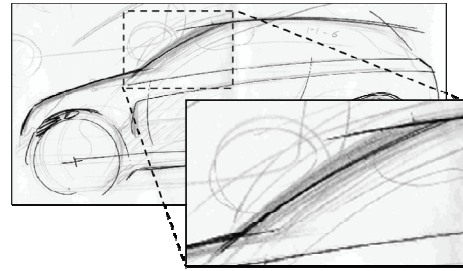
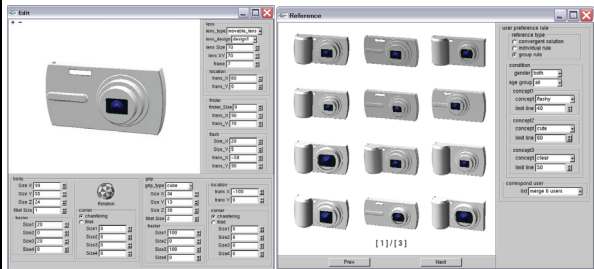


図1 手描きスケッチ

- (3) 設計形状多様解（多様デザイン）の創発による発想支援システムの開発

デザイナーは自己のデザイン案に対して消費者嗜好を反映したデザイン解候補を視覚的に把握することができ、発想の支援として活用することが可能である。また、嗜好の抽出範囲（対象消費者範囲）を自由に変更できるため、個人向けに嗜好を絞ったデザインを創出することや、ターゲットとする消費者層の嗜好に即したデザイン解を創出することが可能である。図2は、デザイナー解とそれを基に創発された解候補を示している。



(a) デザイナ解 (b) 創発解

図2 消費者嗜好適用システム

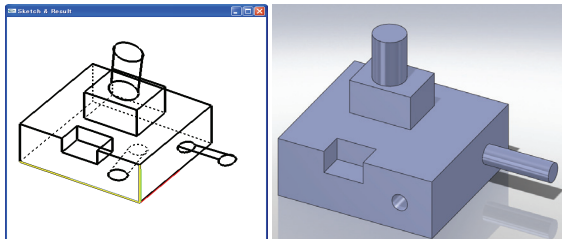
- (4) 部品設計のためのスケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システムの開発

本研究では機能部品の三次元モデル構築を対象としており、スケッチで描かれる形状は、プリミティブの組み合わせにより構築されることを基本としてアルゴリズムを開発し、システムの構築を行った。

構築したシステムでは、電子ペンを用いて液晶タブレット上にラフスケッチを描く。ラフスケッチを描きながら設計形状を具現化した後、それを基に清書スケッチを描く。清書スケッチは、入力モードをラフスケッチから清書スケッチに切り替え、ラフスケッチの上で描くことにより入力する。清書スケッチを描くプロセスにおいて、入力線分の認識、接続処理が自動的に行われる。清書スケッチとして入力された線分は、その始点と終点の距離、および始点と終点を結んだ直線に対する入力線の距離によって、直線、楕円（楕円

の一部も含む)として認識される。その認識に基づいて、認識線に対する最小自乗近似により求められた線分を入力線分として獲得するとともに、画面に表示する。

提案したアルゴリズムに基づきスケッチから、三次元モデルを自動で構築するシステムを構築した。図3は六面体と円筒の和集合・差集合演算により構築された形状例を示している。このように、スケッチから複数のプリミティブの集合演算からなる形状を構築できることが確認できた。



(a) 清書スケッチ (b) CADモデル  
図3 複数の直方体と円筒の認識結果

- (5) 部品設計のための三次元スケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システムの開発

バーチャルリアリティ技術を活用した三次元スケッチ入力方法を開発した。入力デバイスは、PHAMToM Omniを用いた。三次元スケッチ入力による三次元デジタルモデル構築システムを開発した。

- (6) ハイライトライン入力に基づく意匠形状の高品位化システムの開発

本研究で提案する手法を以下に示す。

- ① 対象曲面のハイライト曲線を表示し、修正したいハイライト曲線を指示するとともに、要求するハイライト曲線を液晶タブレットによりペン入力する。
- ② 入力されたハイライト曲線情報を基に、対象曲面の断面のハイライトプロファイルの修正・再定義を行う。
- ③ 新たに定義されたハイライトプロファイルからそのハイライトプロファイルをもつ断面形状を再構築する。
- ④ 対象曲面の全体において、上記(1)～(3)の断面処理を行う。
- ⑤ 対象曲面の全体に渡る断面データ、すなわち離散点群データより曲面を再構築する。

提案した手法を基に基本システムを構築し、提案手法の有用性の検証を行った。ユーザは液晶タブレットによりタッチペンを用いて修正ハイライト曲線の選択と要求ハイライト曲線の入力を直感的に行うことができる。図4開発したシステムにより構築された実行結果例を示している。

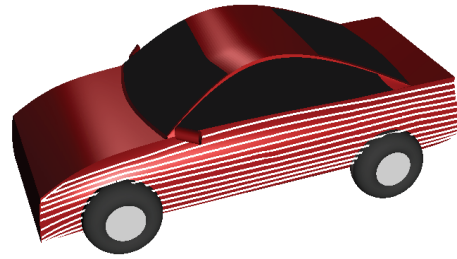


図4 システム実行結果例

- (7) 印象フィーチャ入力に基づく意匠形状の作り込みシステムの開発

システムを構築するにあたり、市販の自動車や携帯電話など様々な工業製品に形成されている印象フィーチャを調査し、形状分類を行った。

画面に表示された3次元CADモデルに付加する印象フィーチャの種類に応じて、マウスで印象フィーチャを描画、または、コマンドを選択する。3次元CADモデルには、瞬時に印象フィーチャが構築され、形状の種類とパラメータを変更することで、さまざまな形状の検討が簡単にできる。

- (8) 意匠形状評価パラメータに基づく意匠形状の高品位化システムの開発

デザイナーは、曲線・曲面の“曲率の変化の度合い”や“形状の複雑さ”を暗に意識しながら形状の具現化(デザイン)を行っているといわれている。“曲率の変化の度合い”を表す指標として、曲線に含まれる曲率とその割合(度数)を両対数軸で表したときの度数分布図(曲率対数分布図という)の分布の傾きが有効である。

本研究ではこの“曲率対数分布図の傾き”に加えて、曲がり具合を定量化するための“曲率半径総和”，および曲率を出現頻度順に並べた“Zipf分布図”，曲率分布の複雑さを定量化するための“曲率分布情報エントロピー”と形状の複雑さを定量化するための“フラクタル次元”を形状の印象を定量化する指標として提案した。曲面形状を評価対象とする際には、評価曲率として最大曲率と最小曲率を用いる。

- (9) 経験の浅い設計者でも高度(熟練)な設計を可能とする詳細設計支援システムの開発

機能フィーチャとは、機能名情報、形状フィーチャ情報に加えて、設計部位がその機能を果たすために必要な公差、面粗さ、形状補正データ、加工データ、設計意図(ノウハウ)などが関連付けられた設計単位である。設計者が設計部位に対して機能フィーチャを指定することにより、その部位がもつべき最適

な設計属性情報を自動的に付与できるとともに、各部位に必要な設計支援情報（形式知、暗黙知）を設計者に提示することができる。

機能フィーチャを用いた設計支援法では、設計者が設計部位を選択することにより、その部位形状をシステムが自動認識し、割り当て可能な機能フィーチャ候補を設計者に提示する。設計者は、提示された候補の中から割り当てるべき機能フィーチャを選択する。その結果、選択部位に必要な設計属性情報が自動付与されるとともに、必要な設計支援情報が設計者に提示される。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計20件）

- ① 柴崎慧, 青山英樹, デジタルスタイルデザインに関する研究 ―木目模様デザインのための基本システムの開発―, 精密工学会誌, 査読有, Vol. 76, No. 6, 2010, pp. 840-845.
- ② Sonken Ando, Ryo Ikeda, Hideki Aoyama, Norihito Hiruma, Development of CAD System Based on Function Features, Key Engineering Materials 査読有, Vols. 447-448, 2010, pp. 442-446.
- ③ 柴崎慧, 青山英樹, デジタルスタイルデザインに関する研究 ―木目模様デザインシステムの開発―, 精密工学会誌, 査読有, Vol. 76, No. 11, 2010, pp. 1293-1298.
- ④ Shota Fukuchi, Hideki Aoyama, Norihito Hiruma, CONSTRUCTION OF 3D CAD MODELS FROM ROUGH SKETCHES, Proceedings of 2010 ISFA, 査読無, 2010, pp. 1-7 (CD-ROM)
- ⑤ Kentarou Ohshima, Hideki Aoyama, DESIGN EMERGING SYSTEM BY APPLYING CONSUMER'S PREFERENCE TO DESIGNER'S IDEA, Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, 査読有, 2010, pp. 1-10 (CD-ROM).

〔学会発表〕（計21件）

- ① 安藤孫堅, 青山英樹, 昼間詔仁, 機能フィーチャによる設計情報・ノウハウの活用システム, 2011年度精密工学会春季大会学術講演会, 2011年3月14日, 東京.
- ② 大嶋健太郎, 青山英樹, 消費者嗜好に基づくデザイン創発手法に関する研究, Design シンポジウム 2010, 2010年11月25日, 東京.
- ③ 大嶋健太郎, 青山英樹, 消費者嗜好に基づくデザイン創発システムに関する研究,

2010年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2010年9月28日, 名古屋.

- ④ 福地翔太, 青山英樹, 昼間詔仁, スケッチ入力を基礎とした構想設計支援CADシステムの開発, 2010年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2010年9月28日, 名古屋.
- ⑤ 安藤孫堅, 青山英樹, 昼間詔仁, 機能フィーチャに基づく設計情報・設計ノウハウの組み込みと活用CAD, 型技術者会議 2010, 2010年6月15日, 東京.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

青山 英樹 (AOYAMA HIDEKI)  
慶應義塾大学・理工学部・教授  
研究者番号：40149894

##### (2) 研究分担者

松岡 由幸 (MATSUOKA YOSHIYUKI)  
慶應義塾大学・理工学部・教授  
研究者番号：20286636

氏家 良樹 (UJIIE YOSHIKI)  
慶應義塾大学・理工学部・助教  
研究者番号：70468536

##### (3) 連携研究者

該当なし