

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19360069  
 研究課題名（和文） 内部動画解析法による設計上流段階における  
 製品ユーザビリティ総合評価技術の構築  
 研究課題名（英文） Internal Video Analysis for Product Usability Evaluation at  
 Early Stage of Design  
 研究代表者  
 村上 存（MURAKAMI TAMOTSU）  
 東京大学・大学院工学系研究科・教授  
 研究者番号：20212251

研究成果の概要：本研究では、製品モックアップ操作時のユーザの手指動作、筋負担、製品外観に対する感性的印象評価や使いやすさに関する事前、事後の印象を統計的に解析し、製品ユーザビリティの総合的評価を設計上流段階で行なうことを目的として研究を行なった。その結果、外見の美的評価、使いやすさの事前、事後評価および客観的指標の間の相関関係の有無、および、形状特性と使いやすさの事前、事後評価の関係を明らかにした。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
年度			
総計	7,700,000	2,310,000	10,010,000

## 研究分野：設計工学

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：ユーザビリティ、内部動画解析法、ヒューマンインタフェース、ラピッドプロトタイプング、モックアップ

## 1. 研究開始当初の背景

製品のユーザビリティ設計においては、使ってみて使いやすさが分かる事後の印象だけでなく、例えば店頭で見たり短時間触ったのみで使いやすく感じる事前の印象を高めることが有効であると考えられる。また、ユーザビリティ評価において、客観的評価に加え外見の美しさのような主観的評価も影響を与えるという報告があり、使いやすく魅力的な製品をデザインするには、客観性と主観性の影響を総合的に考慮する必要があると

考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、製品モックアップ操作時のユーザの手指動作、筋負担、製品外観に対する感性的印象評価や使いやすさに関する事前、事後の印象を統計的に解析し、製品ユーザビリティの総合的評価を設計上流段階で行なうことを目的として研究を行なう。本研究における「事前・事後の主観的・客観的評価」の内容を表1に示す。ただし、本研究では事前

の客観的評価（価格、仕様）はすべて同一であると仮定し、評価項目に含めない。

表1 主観・客観、事前・事後評価の内容

	主観的評価	客観的評価
事前	使いやすそうか かっこいいか	価格 仕様
事後	使いやすかったか	タスク評価 身体負荷、使用状況

### 3. 研究の方法

本研究ではマウスを評価対象製品とした。その理由は、形状が多様で主観的評価にばらつきがやすいこと、ユーザビリティ設計の必要性が高いこと、身近なツールであること、などである。形状特性の組合せにより、実際に操作可能な11種類の形状のマウスのモックアップを設計、製作した(表2)。

10人の被験者に11種類の形状のモックアップについて、以下の形容詞対について外見の感性評価を行った(事前・主観評価)。7段階で相対的に評価した(図1)。

- かっこいい - かっこわるい
- かわいい - かわいくない
- 面白い - つまらない
- 重厚な - 軽快な
- 好きな - 嫌いな
- 斬新な - 保守的な
- 高級な - 安価な
- 素朴な - 洗練された
- 動かしやすそう - 動かしにくそう
- 握りやすそう - 握りにくそう
- 疲れやすそう - 疲れにくそう
- 使いやすそう - 使いにくそう

次にそのモックアップを実際を使って、画面に表示される点を順番にクリックするタスクを行った。このタスクの所要時間、ミスクリック数、筋電計を用いた右上腕の筋肉負担の取得、内部動画解析法を用いた把持状態の観察(以上、事後・客観評価)タスク中に使いやすさの評価(事後・主観評価)を行った。この評価は、モックアップを使う順序の影響を軽減するために、順序を変えて2回の評価を行った。各評価の相関関係、形状特性による使いやすさ評価の影響の解析、カメラで把持状態の観察を行った。

表2 モックアップの形状特性

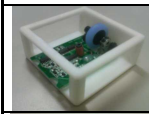


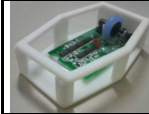


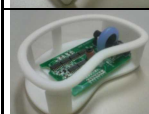
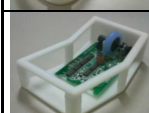

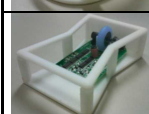
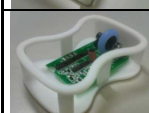
	フレーム形状	縦横長さ比率	全体形状
	直線的	均等	中央部が直線
	直線的	縦長	中央部が直線
	曲線的	均等	中央部が凸
	直線的	縦長	中央部が凸
	曲線的	縦長	中央部が凸
	直線的	縦長	右曲がり
	曲線的	縦長	右曲がり
	直線的	縦長	左曲がり
	曲線的	縦長	左曲がり
	直線的	縦長	中央部が凹
	曲線的	縦長	中央部が凹



図1 モックアップの7段階評価

#### 4. 研究成果

有意水準を1%と定め、相関係数の絶対値が0.245以上であれば、有意な相関があるとし、表において正の有意な相関がある部分を黄色、負の有意な相関がある部分を青色とした。

事前、事後の使いやすさ評価の間には有意な相関があった(表3)。これは、マウスが使い慣れたツールであるため、過去の経験から使いやすさを外見で評価できるようになっていると考えられる。

表3 事前と事後の評価の相関係数

	疲れにくそう	使いやすそう	動かしやすそう	握りやすそう
事後評価 1回目	0.232	0.435	0.282	0.329
事後評価 2回目	0.255	0.372	0.310	0.415

事後の使いやすさ評価と客観的指標との間には弱い相関があった(表4)。筋肉負担の差が微小で、被験者が実感することができなかったのではないかと考えられる。

表4 事後の使いやすさ評価と客観的指標の相関係数

		疲れにくい	使いやすい	動かしやすい	握りやすい
筋電	ch1	-0.167	-0.207	0.070	-0.008
	ch2	-0.173	-0.217	0.037	0.012
	ch3	-0.147	-0.190	0.033	-0.005
	ch4	-0.107	-0.166	0.060	-0.015
	ch5	-0.024	-0.107	0.114	0.043
タスク 評価	所要 時間	-0.221	-0.200	-0.093	-0.066
	ミス 回数	-0.226	-0.232	-0.146	0.020

事前の使いやすさ評価と美的評価の間には、「かっこいいか」、「好きか」との間に正、「重厚か」、「斬新か」との間に負の有意な相関があった(表5)。「重厚」、「斬新」と「使

いやすそう」を両立するデザインが難しい可能性を示唆していると考えられる。

表5 外見の美的評価と事前の使いやすさ評価の相関係数

	疲れにくそう	使いやすそう	動かしやすそう	握りやすそう
かっこいい	0.427	0.489	0.381	0.483
高価な	0.203	0.141	0.075	0.274
かわいい	0.118	0.148	0.010	0.117
重厚な	-0.437	-0.412	-0.231	-0.408
好き	0.295	0.339	0.347	0.350
斬新な	-0.284	-0.449	-0.545	-0.312
洗練された	0.257	0.279	0.219	0.326
面白い	-0.076	-0.158	-0.203	-0.012

直線的、縦横長さ均等の形状特性は事前、事後両方の評価で負の影響があったが、事前評価において影響がより大きく、実際以上に使いにくそうに見えてしまう形状であった(図2、図3中の青丸)。曲線的、縦長、左曲がりの形状特性は事前、事後両方の評価で正の影響があったが、事前評価において影響がより大きく、実際以上に使いやすそうに見えることができる形状であった(図2、図3中の赤丸)。その他の形状特性は被験者間のばらつきが大きく、共通の判断基準とはなっていないかった。一般的にマウスは曲線的で縦長な形状のものが多いため使いやすそうに、逆に直線的な形状や縦横長さが均等な形状は使いにくそうに見えるようである。また、左曲がりの形状も一般的な右利き用マウスに採用されており、使いやすそうに見えるようだ。しかし、事前の評価は実際の評価よりも過大評価になる傾向にある。

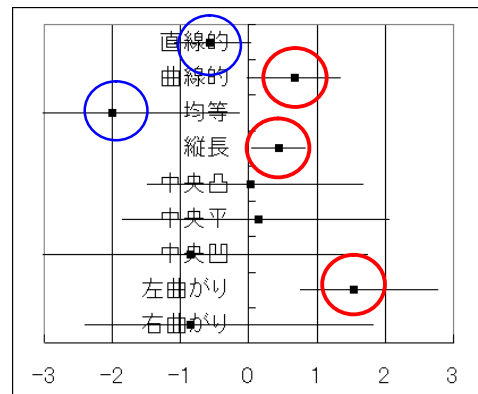


図2 事前評価に対する影響

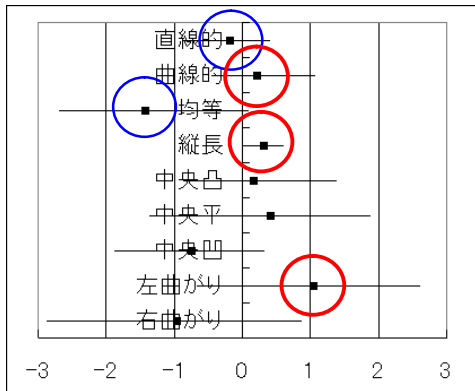


図3 事後評価に対する影響

左曲がりの形状および横幅の広い形状は全員の握り方が同じで、握り方の判断がしやすい（優れたアフォーダンスを持つ）形状、または他に握り方の余地がない形状と考えられる。左曲がりの形状は、一般的に右利き用マウスに用いられており、右利きの被験者は過去の経験から握り方のイメージがすでに形成されているようである。

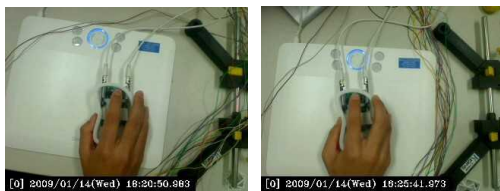


図4 握り方が1通りだった形状の例

右曲がりの形状および中央部の凹んだ形状（図5）は最終的に握り方がある方法に変化していたもので、時間がかかるものの握り方の判断ができる（不十分なアフォーダンスを持つ）形状と考えられる。右曲がりの形状は一般的に左利き用マウスに用いられているため、事前の握り方のイメージが形成されていないようである。

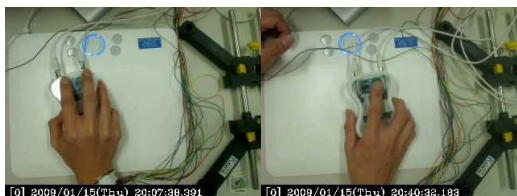


図5 握り方が変化した形状の例

長方形型は最後まで握り方が2種類で、握り方の判断ができない（アフォーダンスを持たない）形状、または多様な握り方が可能な形状と考えられる（図6）。

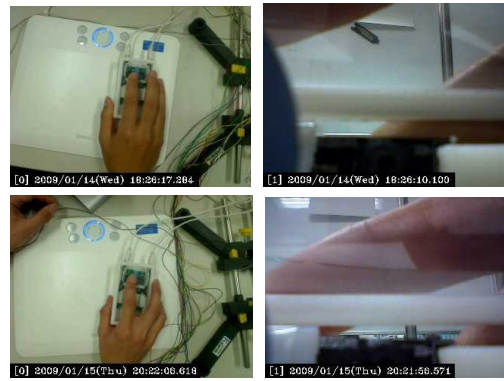


図6 握り方が複数通りあった形状の例

マウスのような身近なツールは過去に使用してきた経験則により、握り方や使い方、使いやすさに対するイメージがすでに構築されている。しかし、このイメージは主観的であり正確なものではなく、実際に使うことでそのイメージは修正され、使い方もより適当なものに変更される。よって、構築されたイメージから逸脱しない範囲で美しい製品を設計することで魅力的な製品が生まれると考えられる。

本研究では、マウスについて外見の美的評価、事前、事後の使いやすさ評価および客観的指標の間の相関関係を明らかにし、使い慣れたツールにおける、魅力的製品の設計指標を示した。本研究の手法では形状のみを変更し、色、光沢といったパラメータはすべて同一のものとした。把持状態の観察や筋電計測といった客観的指標についてはこのことは問題ないが、外見の美的評価を行う上では、これらの排除したパラメータの影響は大きい。よって今後の展望として、これらのパラメータを含めた実験を行えば、外見の美的評価についてより理解を深めることができ、審美性とユーザビリティの両立したプロダクトデザインを行う上でより有力な知見を得ることができるであろう。

また、本研究では、内部動画解析法により、ユーザ（被験者）が製品モックアップに適用している力の大きさを計測することを試みた。例えば、すべてのボタンを軽い負荷で操作することができるボタン配置や、軽く握るだけで安定した保持が可能な形状など、製品使用時にユーザが製品に適用する力の大きさも製品の使いやすさの一つの要因であると考えられる。ユーザが比較的大きな筋力を発生しているにもかかわらず製品に小さな力しか適用できていない場合、その製品は使いにくく、逆の場合には効率的に力を適用できる点で使いやすい可能性がある。ユーザが



発生する筋力は筋電計などで計測することが可能である。本研究では、ユーザが製品に適用する力を内部動画解析法で計測することを試みる。

本研究では、微弱な力学的エネルギーを直接目に見える発光に変換する材料として近年注目されている応力発光材料を用いれば、ラピッド・プロトタイピングによる造形における樹脂への混入あるいは造形物への塗布により、容易に力の計測を行なえる可能性がある。そこで本研究では、応力発光材料を用いた力の計測について試みた。本研究では、人間の視感度が最も優れている 500nm ~ 600nm の緑色領域で、肉眼でも十分に発光を確認することができるアルミン酸ストロンチウム (SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu) を使用する。

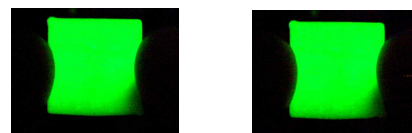
応力発光材料は、樹脂に混練して成形や塗料に添加して塗布など、その利用法により発光特性が変化する。また、樹脂や塗料に対する重量濃度も発光特性に影響を与える。そこで、内部動画解析法に適した応力発光材料の利用法を見出す必要がある。

まず、応力発光材料を光硬化性樹脂に混練してモックアップを作製する方法と応力発光材料を混練した光硬化性樹脂をモックアップの表面に塗布する方法を検討した。重量濃度 20wt% で応力発光材料を混練した光硬化性樹脂を用い、この混練した樹脂により全体を作製した板と光造形法により作製した板の表面に混練した樹脂を塗布した板を作製した。力を加えた時の発光変化を観察することにより、作製法の比較を行った。応力発光材料を混練した光硬化性樹脂で全体を作製した板と、応力発光材料を混練した光硬化性樹脂を表面に塗布した板の発光の様子を、それぞれ図 7、図 8 に示す。

応力発光材料を混練した光硬化性樹脂を表面に塗布した板は、力を加えた時の発光変化を確認できたのに対し、応力発光材料を混練した光硬化性樹脂により全体を作製した板は、力を加えた時の発光変化を確認できなかった。これは、応力発光材料を混練した光硬化性樹脂により全体を作製した板では、力による発光に対し板自体の発光が強すぎるため、発光変化が確認できなかったと考えられる。一方、応力発光材料を混入した光硬化性樹脂を表面に塗布した板は、表面のみに応力発光材料を利用することにより板自体の発光が弱まるため、発光変化を確認でき、光学的に力を観察できる板の有効な作製法といえる。

応力発光材料の光硬化性樹脂に対する重量濃度の最適化を、肉眼により発光変化を観

察して行った。重量濃度が 50wt% より高い濃度では樹脂の塗布強度が著しく弱くなるため、10wt%、20wt%、30wt%、40wt%、50wt% を比較し、重量濃度 40wt% において力を加えた時に最も大きな発光変化を確認することができた。本研究では、重量濃度 40wt% で応力発光材料を混練した光硬化性樹脂をモックアップ表面に塗布する方法における、応力発光材料を用いた力の計測を検討する。



(a) 力適用なし (b) 力適用  
図 7 応力発光材料の混練



(a) 力適用なし (b) 力適用  
図 8 応力発光材料の塗布

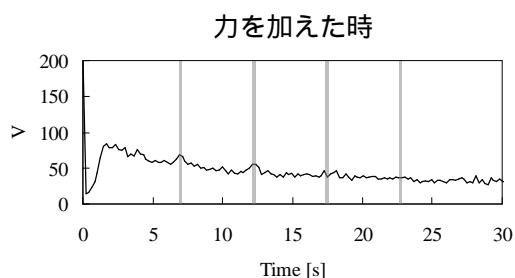


図 9 適用した力と発光の関係

重量濃度 40wt% で応力発光材料を光硬化性樹脂に混練した樹脂を、黒色のプラスチック板表面に塗布した試料を作製し、力を加えることによる発光変化を小型カラー CCD カメラ SSX-1870-N を用い観察した。アルミン酸ストロンチウムの発光領域である緑色領域の発光を観察するため、観察は暗室内で発光と同波長の緑色領域の光を排除した紫色のフィルムを通した照明環境で行った。発光変化はカメラの画像を HSV 表色系に変換し、色の明るさを表わす V (Value : 明度) により評価した。一定の力を加えた時の力を加えた点の V の時間変化を図 9 に示す。

図 9 より、力を加えることにより V が増加していることが確認できた。しかし、力を加えることによる応力発光材料の発光変化は非常に小さく、カメラにより認識できる発光変化は応力発光材料自体の発光強度に対し最大 15% 程度であった。発光強度が低いため

照度の低い環境下における観察となり、カメラによる発光強度の計測において±5%程度の誤差があり、発光強度から力を定量的に測定することは困難である。また、時間経過による発光の減少のため、応力発光材料を再励起後 20 秒以降は発光の観察が困難になると考えられる。

#### 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 1 件)

Tamotsu Murakami and Kentaro Fujii, Internal Video Analysis for Product Usability Evaluation at Early Stage of Design, Proceedings of IDMME - Virtual Concept 2008 (CD-ROM), pp.1-8, 2008, 査読：有。

[学会発表](計 2 件)

村上存, 藤井謙太郎, 内部動画解析法による製品ユーザビリティ評価における力の計測の試み, 日本機械学会第 18 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp.455-457, 2008 年 9 月 27 日, 京都。

Tamotsu Murakami, Automatic Usability Data Acquisition and Interface Simulation Using Stereolithography Mock-Up and Internal Video Analysis, Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, pp.179-185, 2007.9.24, Leiria, Portugal.

[図書](計 1 件)

村上存他(共著), 海文堂出版, デジタルスタイルデザイン(4.4「光造形モックアップと内部動画解析法による製品ユーザビリティ評価」), 2008, pp.199-205。

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

村上 存 (MURAKAMI TAMOTSU)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号：20212251

(2)研究分担者

(3)連携研究者