

1.研究の背景と目的

近年、アップルの製品のようなシンプルなデザインが人気である。このようなデザインはシンプルであるが細心の注意が払われデザインされている。全体の形がシンプルであると、製品の美学はフィレットなどの細部に、より依存してしまう。

フィレットとは「面と面の接合部のシャープエッジに対して、そこを円弧の断面でつないで丸めていくこと」⁹⁾である。現在、主流のCADソフトは円の一部を断面としてフィレットする。一般的な製品もこのようなフィレットを使う。このようなフィレットの形は簡単であり、モデルも作りやすい。機能的な観点からもより適切である。しかし、外観からは、フィレットの曲面と元の面の間に稜線が出てしまい、光の反射によりここで切断されていると感じてしまう。フィレットの断面に特別な要件がないとき、このようなフィレットは美しくないと言える。細部をよくデザインするかしないかが製品の美学に大きな影響をあたえる。

本研究はフィレットのデザインから、数学的なアプローチでフィレットの美しさに関する要素を分析する。あわせて、感性評価により感覚的に美しいフィレットを求め、フィレットの美しさに関する要素解析を目的とする。

2.調査計画

2-1 調査 I :現状製品の分析

異なる企業で作った製品はデザイナーと設計要件が違うため、フィレットも異なる形状で存在する。本調査では現状製品の異なるフィレットを分析して、フィレットの設計に関する要素が判明した。調査の流れを図1に示す。調査した製品を表1に示す。

分析する現状品のフィレットを正面から写真を撮って、Rhinoceros(三次元造形ソフト)で断面線を抽出した。比較を容易とするため、各フィレットの中央の半径を同じように拡大・縮小した。最後に Grasshopper (形状解析ソフト)でフィレットの断面線を分析した。

2-2 調査 II :フィレットの美しさに関する要素の分析

本調査では、フィレットの美しさに影響する要素を分析するため、Rhinoceros で 3D モデル(図2)を作った。試作モデルに基づいてフィレットの各要素を変換し、フィレットの形状への影響を分析した。調査の流れを図3に示す。

モデルのフィレットの半径を 5mm、10mm、15mm、20mmに変換して、変化したモデルをフィレットの半

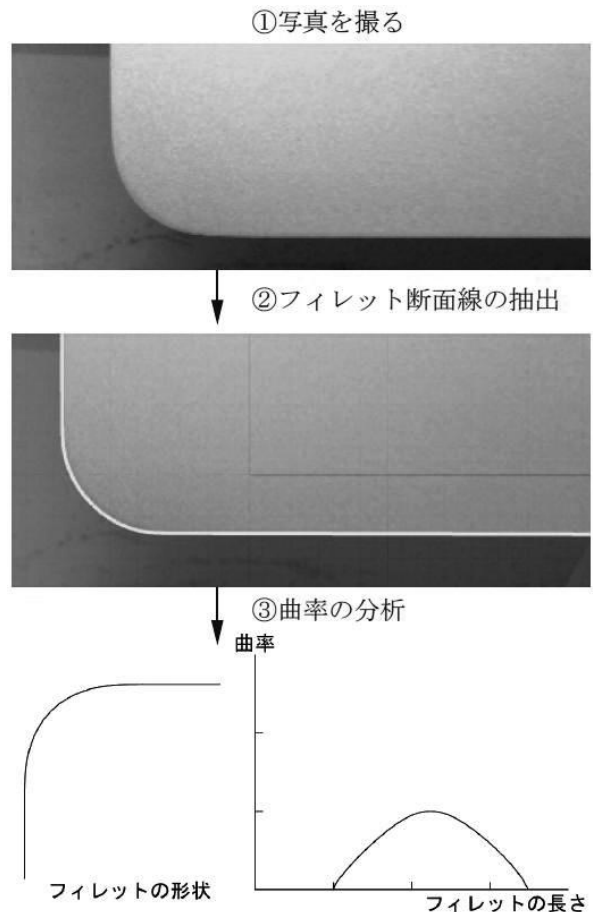


図1 調査 I の流れ

企業	名称	型番	発売年
アップル	Ipad mini	MD531J/A	2012
	Iphone 5	16GB ホワイト	2012
	Macbook pro	MD213J/A	2012
	Mac mini	MD387J/A	2012
ソニー	Imac	MC813J/A	2011
	Mn3 プレーヤー	NW-S754K	2010
	Smartwatch	MN2	2012
	Tablets	SGPT121JPS	2012
	Xperia	AX SO-01E	2012
レノボ	Nex-7	ブラック	2012
	Ideapad	U410	2012
	Ideatab	A2207	2012
	Phone k2	K2	2012
	Phone k860	K860	2012
Thinkpad	E320	2012	

表1 調査した製品

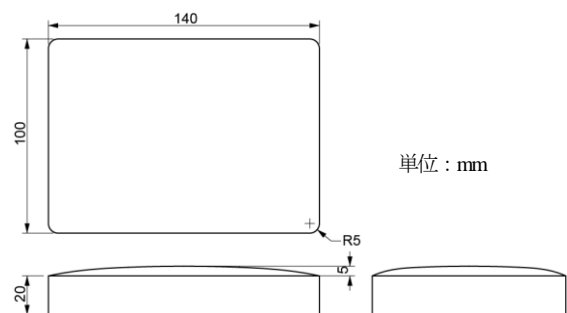


図2 モデルの三面図

径の大きさによって縦方向に並べた。次に、各モデルの上部曲面の高さを 5mm、10mm、15mm、20mm に変換して、高さによって横方向に並べた。次に、各モデルの上部の曲面を側面から 5 等分に分けて、5 つの断面線を抽出した。最後に、各モデルの断面線の曲率を調査 I と同じ方法で分析した。

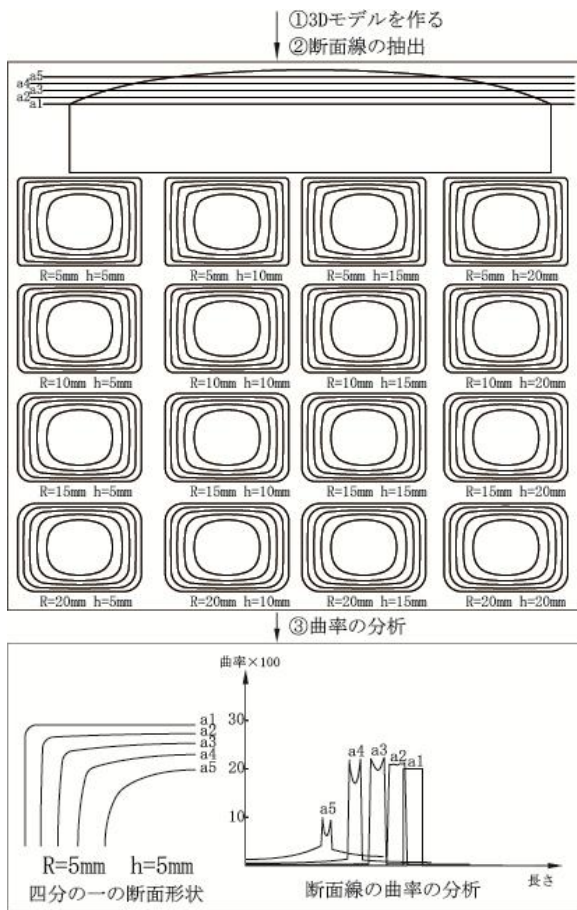


図3 調査IIの流れ

3. 調査結果と考察

3-1 調査 I 各会社の製品のフィレットの曲率と長さの関係図を図 4 に示す。横軸はフィレットの長さ、縦軸はフィレットの曲率である。

アップルの Macbook pro と Mac mini は円の一部分に近い曲線を使い、ソニーは Mp3 以外すべて円の一部分に近い曲線を使い、レノボは Ideatab 以外すべて円の一部分に近い曲線を使っていることが分かった。

今回調査したほとんどの製品が円の一部分をフィレットの断面線とし、よりスムーズな曲線を使っていないことが分かった。既往の研究²⁾から、正円のように円弧の曲率が一定の場合、人に静的と安定の印象を与える。今回の調査対象は全て家庭用製品であり、安定と静的な印象が最も適合することから、円弧を使って製品のフィレットを設計していると考えられる。フィレットの両端では、アップルの製品の曲率は最も緩やかに変化する。これはアップル製品の材料であるアルミが、光を反射しやすいことから、フィレットの両端でハイライトを滑らかにするため、緩やかに変化する曲

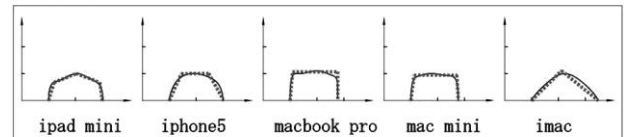
率で設計していると考えられる。

3-2 調査 II フィレットの半径とモデル上部の高さが変わるとき、モデルの曲率への影響を図 5 に示す。

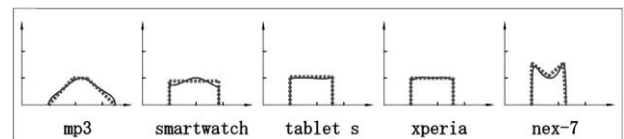
図 5 の横方向から見ると、曲面の高さ h が高くなる場合、曲率の変化は弱い。縦方向から見ると、フィレットの半径 R が大きくなる場合、曲率は著しく変化する。半径が大きくなるに従って、各断面線の曲率の段差も小さくなる。

試作モデルと同じで、フィレットと隣接する面(上部の曲面)は曲面であるとき、フィレットの形状と半径は隣接面の形への影響を与える。本調査の結果から、フィレットの半径と隣接曲面の高さは、フィレットに近い部分の形に影響すると言えるだろう。加えて、フィレットの半径の影響は隣接曲面の高さよりもっと大きい。今後のデザインではこの特徴を利用することで、フィレットと隣接曲面のハイライトと造形の滑らかさが理想的ではないとき、フィレットの半径を拡大して曲面の滑らかさを大幅に改善することが期待できる。

アップル社：



ソニー社：



レノボ社：

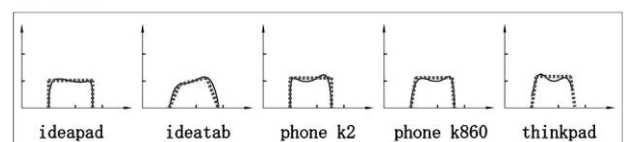


図4 フィレットの曲率と長さの関係図

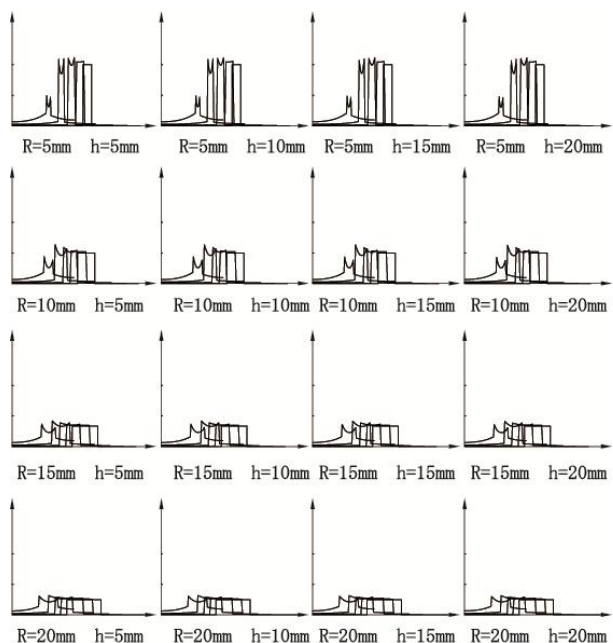


図5 各モデルの断面線における曲率の比較

4.実験計画

4.1 緩和曲線 緩和曲線とは、直線から円弧に入るとき、いきなり円弧の半径に突入しないで、直線(半径無限大)から徐々に半径を小さくしていく曲線である。一般的に緩和曲線としては、クロソイド曲線・3次曲線・サイン半波長逓減曲線が用いられる。クロソイド曲線の曲率は直線逓減であり、ほかの曲線の曲率は完全な直線逓減ではない³⁾。実験を容易とするため、本研究はクロソイド曲線を採用した。

4.2 実験 I 円の一部を使うフィレットは、隣接面と接続する位置の曲率ははっきり切断され、この位置で稜線が出る。稜線をなくしてハイライトを滑らかにするため、フィレットの両端を緩和曲線で置き換えた。緩和曲線の長さが違う3種類のフィレットを使い、それぞれ上部曲面の高さが異なる2つのグループによる計6つのモデルを制作した。各グループの基本形を図6に示し、モデルの命名と写真を図7に示す。フィレットの部分の違いを図8に示す。フィレットについてハイライト・形状・全体の美しさを評価基準とする感性評価実験を行った。実験は21~57歳の男女14名を対象に行った。

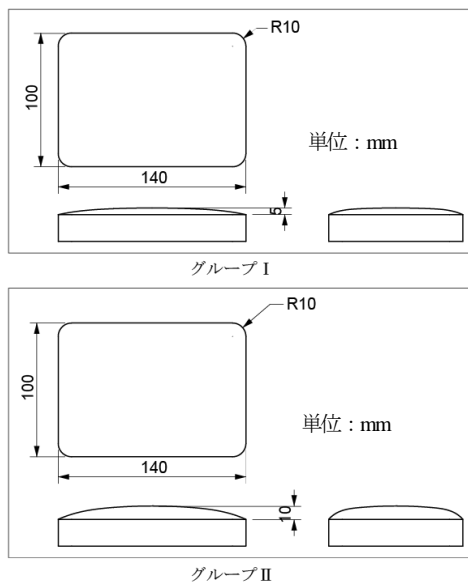


図6各グループの基本形

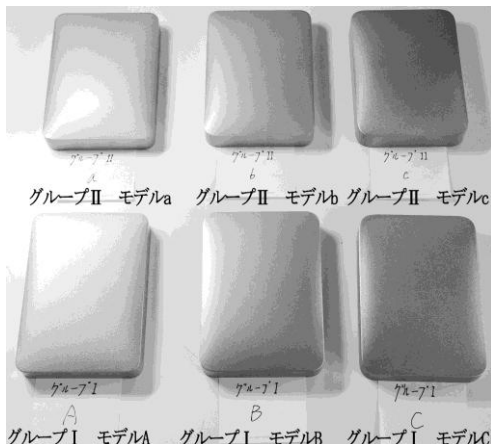


図7モデルの命名と写真

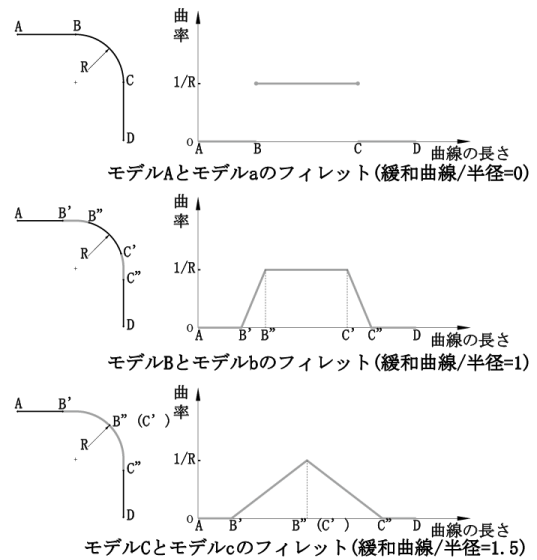


図8緩和曲線が違うフィレットの曲率

4.3 実験 II [実験 II-1] 円の一部を使うフィレットの両端を緩和曲線で置き換えて、緩和曲線の長さによって曲率の変化を制御する。緩和曲線の長さと元のフィレットの半径の比率がどの程度であれば、フィレットの形が最も美しいか探った。Grasshopper と Rhinoceros を併用し実験を行った。実験画面を図9に示す。操作レバーを右・左に移動すると、緩和曲線の長さも一緒に変化する。被験者は操作レバーを移動しながら自分で一番美しいと思うフィレットを探した。実験は21~57歳の男女14名を対象に行った。

[実験 II-2] 実験 II-1 を検証するため、実験のデータから、緩和曲線の長さと半径の比率の平均値を算出した。この平均比例を使って、実験 I の実物と同じで、上部曲面の高さが違う2つモデルを加工した。「モデル B'」と「モデル b'」と命名した。実験 I のモデル B とモデル b をモデル B' とモデル b' で置き換えて、実験 II-2 用モデル組を構成した。これらのモデルを被験者に見せて、モデルの美しさを判断した。評価は21~26歳の男女7名を対象に行った。

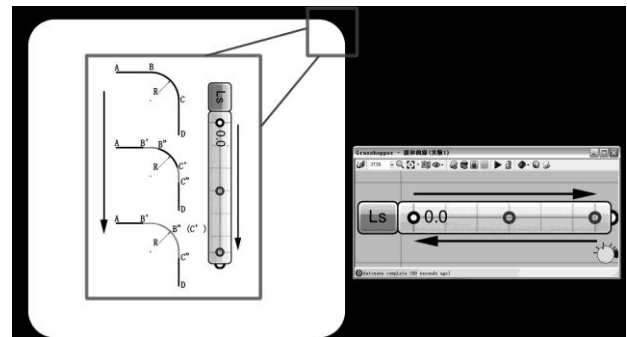


図9実験 II における実験画面

5.実験結果と考察

5-1 実験 I 実験の結果から、“美”と評価されたモデルに5点を与え、“中”と評価されたモデルに3点を与え、“普通”と評価されたのは1点を与え。各モデルの総得点の割合を図10に示す。図10の結果から、

モデルのハイライトでは、各モデルの得点に有意な差が見られ、モデルCとモデルcは最も美しいと認められることが分かる。フィレットの形状では、各モデルの得点も有意な差があり、モデルBとモデルbは最も美しいと認められることが分かる。モデルの全体の美しさでは、モデルBとモデルbが最も美しいと認められる。モデルAとモデルaはどの項目においても被験者で最も美しくないと判定された。

図10から曲率は最も緩やかに変化するモデルCとcが最も美しいハイライトがあるモデルと分かる。よって、ハイライトはフィレット曲率の変化と関係があると言える。曲率の変化は緩やかなら緩やかなほど、ハイライトは滑らかである。しかし、ハイライトの滑らかさはフィレットの美しさを判断する唯一の要素であり、全体との配合と自身の形も美しさに影響する。フィレット両端の曲率の変化が緩やか過ぎると、中間の変化は急になる。したがって、フィレットの形状と全体の美しさについて実験では、モデルBとbがモデルCとcを置き換えて一位となったと言える。

現在、最も多くの製品で使用されているフィレットによるモデルAとaでは、どの項目でも最下位である。製品の外観をデザインするとき、このようなフィレットを使用しないほうが良いと言えるだろう。

5-2 実験II [実験II-1] 直線遞減の特性による、緩和曲線で円弧両端の一部の曲線を置き換える。ここで、緩和曲線の長さはフィレットの美しさに直接に影響する。緩和曲線の長さの測定結果と分析を図11に示す。標準偏差の定義から、標準偏差が低ければ低いほど、標本値の分散が小さくなることが分かる。そのため、半径は10mmのグループを最もよい結果として採用した。緩和曲線の長さ/半径の値は0.65になるとき、フィレットは最も美しいと判定される。その時の緩和曲線と残りの円弧の比率は0.589となり、黄金比に近い。

[実験II-2] 実験Iと同じで、各モデルの得点を計算し、結果を図12に示す。モデルb'とモデルB'は一番美しいと評価されたことが分かる。この結果は実験Iと同じである。したがって、比率を0.65にした場合、フィレットは最も美しいと明らかになった。

6. 結論

本研究ではCADによるフィレットに関する要素を解析して以下のことが明らかになった。

- 1) 大部の家庭用品は円弧と近い曲線をフィレットの断面線とする。人への印象を静的と安定とするためだと言える。
- 2) imacの背面と同じように、フィレットと隣接する面が曲面の時、曲面の滑らかさを影響する要素は曲面自身の高さやフィレットの半径二つがある。その中で、フィレットの半径は曲面の高さより影響が著しく、フィレットの半径を拡大することで

曲面の滑らかさが大幅に改善できる。

- 3) フィレットの美しさに関する要素では、ハイライトだけでなく、フィレットの断面の形も非常に重要である。滑らかなハイライト、また円弧に近い断面線を持つフィレットは最も美しいと言える。
- 4) フィレットの円弧の両端を滑らかにするため、緩和曲線で円弧の一部を置き換えた場合、円弧両端の曲率が緩慢に変化することになる。緩和曲線の長さや円弧の半径の比率が0.65になるとき、フィレットは最も美しいと考える。このときのフィレットは、緩和曲線の長さや中部円弧の長さの比率は黄金比に近い。

ハイライトの総得点の割合 フィレットの形状の総得点の割合 全体の美しさの総得点の割合

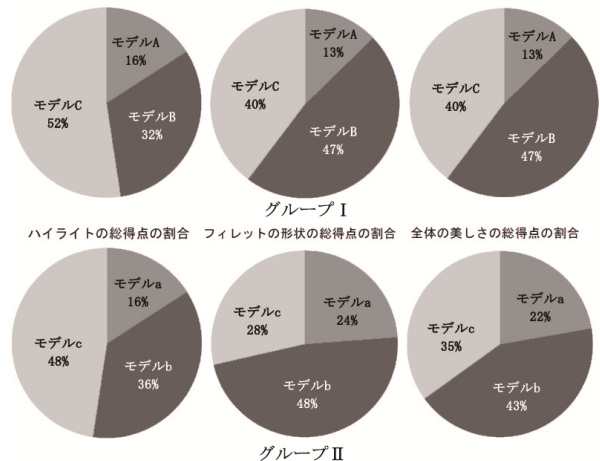


図10 各モデルの総得点の比較

被験者	半径1 (mm)	緩和曲線長さ1 (mm)	緩和曲線長さ/半径	半径2 (mm)	緩和曲線長さ2 (mm)	緩和曲線長さ/半径	半径3 (mm)	緩和曲線長さ3 (mm)	緩和曲線長さ/半径
①	5	1.982	0.3964	10	5.054	0.5054	15	5.501	0.36673333
②	5	3.496	0.6992	10	6.287	0.6287	15	9.135	0.609
③	5	7.5	1.5	10	6.505	0.6505	15	12.226	0.81506667
④	5	4.631	0.9262	10	7.075	0.7075	15	18.982	1.26546667
⑤	5	3.598	0.7196	10	5.66	0.566	15	10.541	0.70273333
⑥	5	3.61	0.722	10	3.913	0.3913	15	3.959	0.26393333
⑦	5	4.801	0.9602	10	5.626	0.5626	15	16.04	1.06933333
⑧	5	6.221	1.2442	10	10.276	1.0276	15	12.739	0.84926667
⑨	5	4.414	0.8828	10	6.474	0.6474	15	8.974	0.59826667
⑩	5	2.501	0.5002	10	0.1	0.01	15	0.618	0.0412
⑪	5	3.861	0.7722	10	10.5	1.05	15	13.49	0.89933333
⑫	5	4.732	0.9464	10	2.146	0.2146	15	13.289	0.88593333
⑬	5	2.813	0.5626	10	6.831	0.6831	15	12.868	0.85786667
⑭	5	4.84	0.968	10	7.887	0.7887	15	13.516	0.90106667
標準偏差		0.28986947			0.27688447			0.32553597	
算術平均		0.84285714			0.60238571			0.72322857	
標準偏差 (外れ値除く)		0.22863018			0.22707017			0.27029504	
算術平均 (外れ値除く)		0.79230769			0.64795385			0.77569231	

図11 緩和曲線の長さの測定結果

全体の美しさ総得点の割合 全体の美しさの総得点の割合

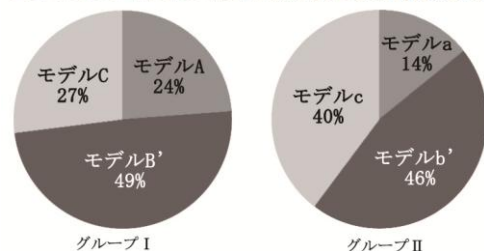


図12 各モデル総得点の比較

【参考文献】

- 1) 澄川伸一：フィレットは重要なデザイン要素、http://pdweb.jp/technique/0906_03.html, 2012-5
- 2) 原田利直：工業デザインと美しい曲線、精密工学会誌、Vol.73、No.12、2007
- 3) 宮垣圭吾：五次遞減方式の緩和曲線について、日本機械学会第10回設計技術連合シンポジウム講演論文集、No.08-51、2003-12