

手書きスケッチの自動 3D 変換へ向けた スケッチ表現の自己評価に関する調査

Investigation of Self-evaluation of Sketch

Toward Automatic Translation from Handwritten Sketches to 3D Model

杉野森 拓馬† 市川 嘉裕† 山口 智浩†
Takuma Suginomori Yoshihiro Ichikawa Tomohiro Yamaguchi

1. はじめに

昨今, VR や MR, また 3次元表現を用いたゲームや映画の普及に伴い, 3次元メディアに対する需要が増加傾向にある. しかし, 3次元メディアの作製には 3D モデリング技術が必要となり, 技術的な壁が大きい.

この問題の一つの解決策として, 直接 3D モデリングをするのではなく, 手書きスケッチを入力とした 3D モデルの自動生成技術を用いることで, 3D モデルをより容易に扱えるようにすることが挙げられる. 手書きスケッチは幼少期から技術を学び始めることから親しみ深い技術であり, また紙とペンを用意すればすぐに作業を開始できることから手軽さの面においても優れている. 先行研究では手書きスケッチから 3D モデルを自動生成することで 3D モデリング技術が必要とせずとも 3D モデルを扱う手法が研究されている⁽¹⁾⁽²⁾.

Sinha ら⁽¹⁾の研究では画像が 3次元的に成立するという制約を, 三谷⁽²⁾の研究では描かれたスケッチが立方体で左右対称という制約をそれぞれ課すことで自動生成を成し遂げている. このように, 何かしらの制限を設けることで 3D モデルの自動生成を実現しているが, これらの制限は技術的側面から設けられたものであり, 人が扱う際には不便となる場合がある. また, 現段階では 3D モデルの自動生成に関する知識は少なく, 経験則的または直感的な理論に基づいて自動生成を研究せざるを得ないため, これに対策するためには自動生成に関する新たな知見が必要である.

本研究の目的は, スケッチから 3D モデルを自動生成する技術に関する新たな知見を得ることである. 筆者らによる以前の研究⁽³⁾では, 既存の 3D モデルを人がスケッチすることでどのような 3次元情報が欠損するのかを調査するために, スケッチ&モデリング実験をした. この調査では, 欠損した情報がスケッチをした人にとって重要な情報なのかを, スケッチ者本人にアンケートを実施し評価を得ることで, スケッチから復元すべき情報と復元しなくてもよい情報の線引きを試みた. しかし, スケッチした人の自己評価とスケッチをしていない他者による評価に, 違いが見られるのではないかと疑問が残った. 本研究では, 自己評価と他者評価とを比較することで, スケッチの情報欠損と自己評価との関係性に関する知見を深めるため, スケッチをしていない他者に同様のアンケートを実施し, 得られた結果から考察を行う.

2. 情報欠損と自己評価との関係性の調査方法

2.1 スケッチ&モデリング実験の概要⁽³⁾

あるスケッチがどれだけ 3次元情報を欠損しているかを調べるには, そのスケッチの基となった 3D モデルと, ス

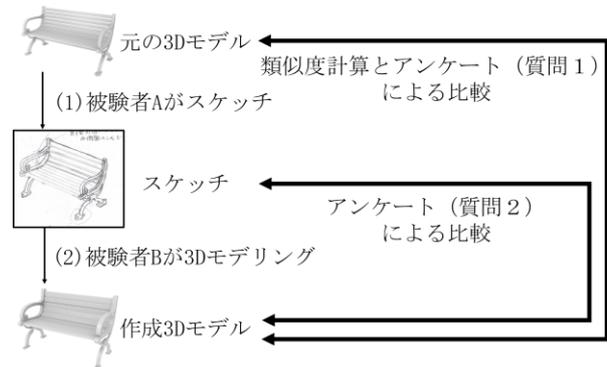


Fig. 1 スケッチ&モデリング実験の概要

ケッチを比較することが単純である. しかし, 実際には描く人の想像を基にスケッチが描かれるため, スケッチの基となる 3D モデルは存在しない. 他方で, 3D モデルとスケッチは単純に比較することは困難である. そこで, 既存の 3D モデルをスケッチに描き起こすタスクとスケッチから 3D モデルを作製する 2つのタスクを考える. これらのタスクで用いた既存の 3D モデルと作製された 3D モデルを比較することによってスケッチによって欠損する情報を定量的に導く. 上記に加えて, 作製した 3D モデルが基の 3D モデルに対してどれだけ再現されているかを, アンケートによって主観的に評価を得る. この結果と, 3D モデルの比較結果を比べることで, 人にとって欠損してもよい情報と欠損すべきではない情報の分類を試みる. このようにすることで, 自動生成ツールを開発する際に欠損が生じやすい 3D モデルと欠損が生じにくい 3D モデルについて調べることができ, 人の感覚に沿った自動生成手法の開発に貢献できる. Fig. 1 はスケッチ&モデリング実験の概要図である. 3D モデルをスケッチした際に欠損する情報を調べるために, 3D モデルを見ながらスケッチをするスケッチ実験と, そのスケッチを見ながら 3D モデルを作製する 3D モデリング実験をした. そして, これらの実験で得られる基の 3D モデルと作製した 3D モデルを類似度計算及びアンケートによって比較し, スケッチと作製した 3D モデルはアンケートのみで比較した. 類似度計算に関しては, 本稿では比較対象としないため, 説明を省略する. また, 基の 3D モデルは予め想定される欠損要因を含む 3D モデルを採用した. なお, 欠損要因については後述する. 実験の結果, 欠損が起りやすい要因として比率欠損モデルと曲率欠損モデルが挙げられ, 人にとって認知されやすい欠損の要因は歪み欠損モデルやデザイン形状モデルであることが分かった.

†奈良工業高等専門学校, Nara National Institute of Technology, Nara College

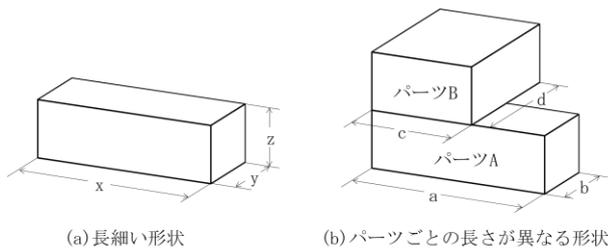


Fig. 2 比率欠損モデルの例

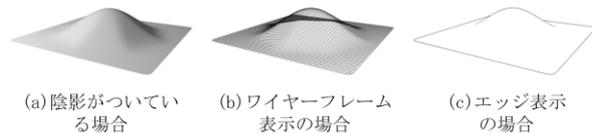


Fig. 3 曲率欠損モデルの例

2.2 他者評価実験の概要

スケッチ&モデリング実験では、欠損要因ごとの情報欠損を、類似度計算とアンケート評価によって比較した。しかし、アンケート評価はスケッチをした本人にのみ実施したため、他の欠損要因種との評価を比較する際に、主観的な評価による回答の個人差が影響している恐れがあった。そこで、本稿ではスケッチをしていない多数の人に同様のアンケートを行うことで、客観的かつ平均的な評価を得る。アンケートはスケッチ&モデリング実験で使用、または作成した 3D モデルやスケッチを用いて行う。この際、3D モデルはあらかじめ想定される欠損要因を含む 3D モデルであるため、分析の際に欠損要因によって分類する。

2.3 想定される欠損要因

3D モデルをスケッチする際、人の手で 3 次元を 2 次元に変換しているため、2 次元では表現しづらい形状や、ヒューマンエラーなどが原因で情報の欠損が生じる。そこで、あらかじめ欠損する情報について予想し、欠損要因種として定義する。欠損要因種は次の 3 つを定義した。

3D モデルをスケッチした際に欠損が生じる要因として、3D モデルの形状が影響して欠損する形状要因種と、3D モデルがデザインされたかどうかの影響して欠損するデザイン要因種と、スケッチ上に書かれる文字などの補足情報の有無によって欠損が生じる情報要因種の 3 つの欠損要因を定義する。

2.3.1 形状要因種

形状要因種は 3D モデルの形状が原因となって欠損が発生する欠損要因の種類である。形状要因種での 3 つの欠損要因を以下に示す。比率欠損モデルに分類される 3D モデルは長細いものやパーツごとの大きさが様々なものであり、長さや大きさの比率がスケッチ時に欠損する。Fig. 2(a)は長細い形状であり $x:y:z$ の比を取ると x が大きな値を持つ。しかし、スケッチすることで奥行きの情報や x の長さが変わるなどの欠損が発生し、この $x:y:z$ の正確な比が把握できないようになり、比率欠損が生じる。Fig. 2(b)はパーツごとの長さの比が異なる形状であり、(a)の例に加えて、パーツ間での長さの比も捉えなければならないため、(a)より更に比が表現しづらくなり、比率欠損が生じる。曲率欠損モデルに分類される 3D モデルは凸凹した面はスケッチしづらく、稜線を引いたり陰影を正確にスケッチするなど



Fig. 4 歪み欠損モデルの例

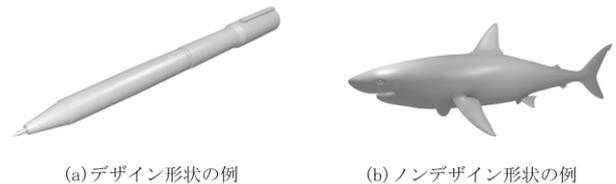


Fig. 5 デザイン形状種の例

しなければ欠損が生じる。Fig. 3 は全て同じ形状であるが、それぞれ描画方法が異なったものである。Fig. 3(a)と(b)は曲がり具合が把握できるが、(c)の場合、面の曲がり具合を把握することは難しい。このように曲面は 2 次元で表現しづらいため、曲率欠損が生じる。歪み欠損モデルに分類される 3D モデルは長細くてカーブを描き立体的な形状をしている。Fig. 4(a)と(b)は長細く曲がった形状を描画したものであるが、これらは一見ほとんど変わらないように見える。しかし、(a)と(b)を重ねた Fig. 4(c)を見ると、形状が異なっていることが分かる。このように、長細く曲がった形状では歪み欠損が生じる。

2.3.2 デザイン要因種

デザイン要因種は、3D モデルがデザインされたものか否かに着目する。3D モデルがデザインされたものであれば、それは一度デザイナーによって作られたものであるため再現しやすいものといえる。対して、自然物のような、人にデザインされていないものは再現しづらい。本研究では、デザインされた形状をデザイン形状、デザインされていない形状をノンデザイン形状と呼ぶ。Fig. 5 はデザイン形状とノンデザイン形状の例である。デザイン形状は、Fig. 5(a)のように規則的な形状をしているためスケッチをする際も欠損しにくい。ノンデザイン形状は、Fig. 5(b)のように不規則な形状をしているためスケッチによって欠損が生じやすい。データ化された 3D モデルはモデリングの時点でデザインの要素が含まれるといえるが、本稿では元となる形状が人によってデザインされていないものをノンデザイン形状に分類する。

2.3.3 情報要因種

情報要因種はスケッチに付加された補足情報の有無で起こる欠損である。補足情報なしモデルでは、文章や単語でスケッチの説明がされていないため、スケッチのみの情報から 3D モデルを作成する必要があるためスケッチ者の意図とは別の形状になる可能性がある。補足情報ありモデルでは、スケッチが補足説明されているため、スケッチ者の意図に沿った形状となる。この補足情報には、表面の質感の情報や、視点の情報などスケッチ内にあるスケッチ以外の情報が含まれる。

Table 2 アンケート結果

分類	他者評価実験				スケッチ&モデリング実験				p 値	
	質問 1		質問 2		質問 1		質問 2			
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	質問 1	質問 2
比率欠損	2.8676	0.9378	2.5735	0.9597	2.2500	0.8292	1.7500	0.8292	0.2257	0.1180
曲率欠損	2.9853	0.8992	2.6324	0.9986	2.2500	1.0897	2.0000	0.7071	0.1708	0.2349
歪み欠損	2.7794	0.8548	2.5147	0.9624	3.0000	0.7071	2.5000	1.1180	0.6392	0.9897
デザイン形状	2.5882	0.9395	2.1765	0.9975	2.5556	0.9558	1.7778	1.0304	0.8449	0.1995
ノンデザイン形状	2.7059	0.9420	2.3333	0.9901	1.7778	0.7857	1.7778	0.7857	0.0072***	0.1077
補足情報なし	2.6405	0.9539	2.1765	1.0361	2.0000	0.8819	1.7222	0.9313	0.0071***	0.0586*
補足情報あり	2.6471	0.9426	2.2549	0.9969	2.1667	0.9574	1.7778	0.9162	0.0405**	0.0411**
モデル全体	2.6438	0.9483	2.2157	1.0174	2.0833	0.9242	1.7500	0.9242	0.0008***	0.0054***

(*** : p<.001, ** : p<.005, * : p<.01)

Table 1 アンケートで使用した 3D モデルの内訳

形状要因種	デザイン要因種	情報要因種	個数
比率欠損	デザイン形状	情報なし	2
		情報あり	2
	ノンデザイン形状	情報なし	2
		情報あり	2
曲率欠損	デザイン形状	情報なし	2
		情報あり	2
	ノンデザイン形状	情報なし	2
		情報あり	2
歪み欠損	デザイン形状	情報なし	2
		情報あり	2
	ノンデザイン形状	情報なし	2
		情報あり	2
指定なし	デザイン形状	情報なし	3
		情報あり	3
	ノンデザイン形状	情報なし	3
		情報あり	3

3. 実験の構成

ここでは2章で示した他者評価実験の概要に沿って構成したアンケート調査について述べる。スケッチ&モデリング実験では任意の 3D モデルをスケッチする実験（スケッチ実験）、スケッチから 3D モデルを作製する実験（3D モデリング実験）、被験者実験より得られたデータの比較分析の大きく3つの工程を行った。本研究では、スケッチ&モデリング実験で用いた、元の 3D モデルと、スケッチと、作成した 3D モデルについてアンケートを実施する。アンケートはスケッチや 3D モデリングに関する知識と技術を問わずに奈良工業高等専門学校の 17 名の学生の方々にご協力いただいた。1つのモデルにつき3つの質問があるアンケートを全部で36個実施した。その内訳を Table 1 に示す。

アンケートは、スケッチ&モデリング実験で使用したものと同一ものを使用する。アンケート内容を以下に示す。

質問 1 : スケッチを基にして作られたモデルは基のモデルが再現されていると思いますか？

1. そう思う 2. どちらかといえばそう思う
3. どちらかといえばそう思わない 4. そう思わない

質問 2 : スケッチを基にして作られたモデルはあなたがスケッチした絵を再現していると思いますか？

1. そう思う 2. どちらかといえばそう思う
3. どちらかといえばそう思わない 4. そう思わない

質問 3 : スケッチを基にして作られたモデルについて、「もっとこうして欲しい」、「ここは良く再現されていた」などの点を教えてください。（任意）

4. 他者評価実験の結果

3章で示した構成に従って、アンケートを 17 名に実施した。アンケート結果は、Table 1 に示した欠損要因種による 3D モデルの内訳に従って、各欠損要因種のモデルの分類ごとに平均と標準偏差を計算した。結果を Table 2 に示す。Table 2 は、今回新たに実施した他者評価実験と前回実施したスケッチ&モデリング実験のアンケート結果の平均と標準偏差を表している。分類の名前は語尾の「モデル」を省略して記載している。また、アンケート評価以外に、マン・ホイットニーの U 検定を用いて、他者評価と自己評価の質問 1 と質問 2 のアンケート平均評価について両側検定を行い、p 値を計算した。3D モデルを分類してそれぞれ計算し、モデル全体に対する平均評価と標準偏差に関しても計算し、Table 2 の最下段に示した。

Table 2 から、モデル全体のアンケートの評価は、質問 1 より質問 2 の方が小さくなっていることが分かる。また、分類して求めた評価も質問 1 より質問 2 の方が小さい。つまり、他者評価による客観的な視点では、元の 3D モデルよりもスケッチの方が、作成した 3D モデルと似ていると

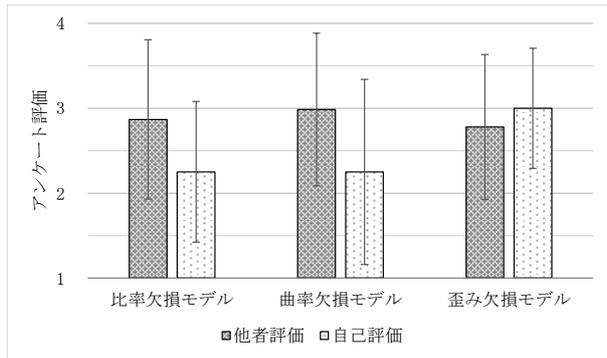


Fig. 6 アンケート結果 形状要因種 質問1

評価されていることが分かる。この結果は前回の調査でも同様の結果が得られている。

モデル全体のアンケートの評価と p 値から、他者評価よりも自己評価の方が有意に良い評価をしていることが分かる。また、分類して求めた値の平均評価についても同様の傾向にあるものが多い。

p 値について有意水準を 10%としたとき、ノンデザイン形状モデルの質問1、補足情報なしモデルの質問1と質問2、補足情報ありモデルの質問1と質問2について有意差が認められる。

5. 議論

4章で示した他者評価の結果から、自己評価に関する考察を行う。

モデル全体の結果を比較すると、質問1よりも質問2の方が、アンケート評価が良くなっていることや、他者評価よりも自己評価の方が良い評価をするということが分かった。これは、自分が製作に関わることで評価が甘くなったのではないかと考えられる。評価が甘くなる根拠としては、3Dモデルの完成度の責任の所在がスケッチした本人である評価者にも分担されるからと考えられる。

この傾向に当てはまらなかったモデルについて、以降で考察を進める。

形状要因種についてアンケート結果をまとめたグラフを Fig. 6 と Fig. 7 に示す。Fig. 6 と Fig. 7 はそれぞれ質問1と質問2のアンケート結果であり、欠損要因種の分類ごとに平均と標準偏差を示している。グラフの横軸は、モデルの分類を、縦軸はアンケート評価を示している。アンケート評価は1から4の4段階であるため、グラフの縦軸の範囲も1から4とした。グラフは値が大きいほど3Dモデルやスケッチが似ていないということを示しており、値が小さいほどその逆を示している。

Fig. 6 から、比率欠損モデルや曲率欠損モデルに関しては、他者評価より自己評価の方が似ていると評価されているが、歪み欠損モデルに関しては自己評価の方が似ていないと評価されていることが分かる。前回の調査結果では、歪み欠損モデルはスケッチがしにくく、元のモデルから大幅に欠損すると考察したが、他者評価では歪み欠損モデルは比率欠損モデルや曲率欠損モデルに近い評価を得ている。このことから、客観的には歪み欠損モデル、比率欠損モデル、曲率欠損モデルの類似度の差は小さいと分かる。

Fig. 7 から、Fig. 6 と同様に、比率欠損モデルや曲率欠損モデルに関しては、他者評価より自己評価において似て

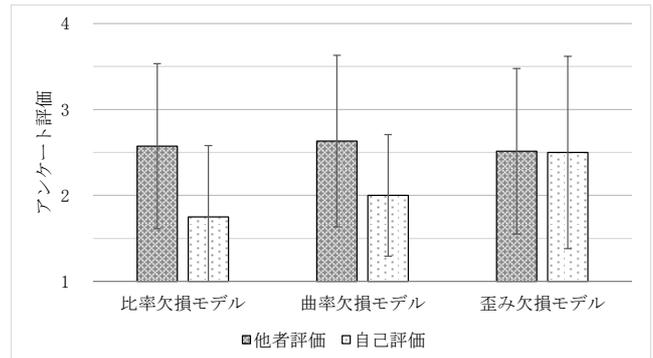


Fig. 7 アンケート結果 形状要因種 質問2

いると評価しているが、歪み欠損モデルに関しては自己評価においても似ていないと評価されていることが分かる。

Fig. 6 と Fig. 7 で示された結果から経験則的な解釈を考察する。歪み欠損モデルをスケッチする際、スケッチ者は歪みについて強い印象を持ち、その歪みをスケッチで再現しようとする。しかし、歪みはスケッチしづらいため、うまく書くことは難しい。その結果、作られたモデルも元の3Dモデルとは異なった歪みを持ってしまうため、歪み欠損が生じる。ここで、スケッチ者はその3Dモデルの歪みについて強い印象を持っているため、評価が悪くなる。このようにして、他者評価と自己評価が同等の評価になったといえる。

デザイン要因種についてまとめたグラフを Fig. 8 と Fig. 9 に示す。Fig. 8 と Fig. 9 は Fig. 6 と Fig. 7 と同様に、それぞれ質問1と質問2のアンケート結果で、デザイン要因種の分類ごとに平均を取っている。また、Fig. 8 においてはノンデザイン形状モデルにおいて有意水準1%で有意差が出ている。

Fig. 8 から、ノンデザイン形状モデルでは有意に差があり、他者評価よりも自己評価において似ていると評価されている。一方で Fig. 9 では、デザイン形状モデルとノンデザイン形状モデルのどちらでも他者評価よりも自己評価の方が評価の値は小さいものの、有意差は認められなかった。

これについて経験則的な解釈を考察する。デザイン形状モデルは、規則的な形状をしているため構造を把握しやすい。よって、スケッチをすることで全体の形状のバランスや、細部まで細かく理解することが出来る。その後、同じモデルに対してアンケートを行うと、スケッチ時に培った感覚を用いて細かな評価を行い、結果的に他者評価と同じ程度の評価となったと考えられる。

ノンデザイン形状モデルは平均評価の差が大きく、有意差もある。これについて考察する。ノンデザイン形状モデルは不規則な形状をしているため、スケッチの表現が難しく、それを基に作成される3Dモデルに対する期待が下がる。よって、出来上がった3Dモデルに対する自己評価は相対的に上がる一方で、客観的には期待の低下が起こらないため、評価に影響しなかったと考える。

情報要因種についてまとめたグラフを Fig. 10 と Fig. 11 に示す。Fig. 10 と Fig. 11 はこれまでの結果のグラフと同様に、それぞれ質問1と質問2のアンケート結果で、情報要因種の分類ごとに平均している。また、Fig. 10 と Fig. 11 のグラフにおいて、*は10%、**は5%、***は1%を有意水準としたときに、有意差があると評価されたことを示している。

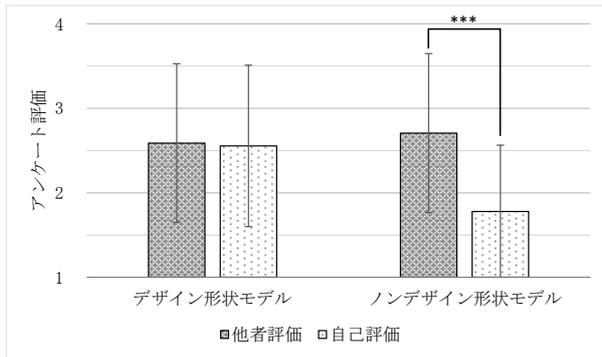


Fig. 8 アンケート結果 デザイン要因種 質問 1

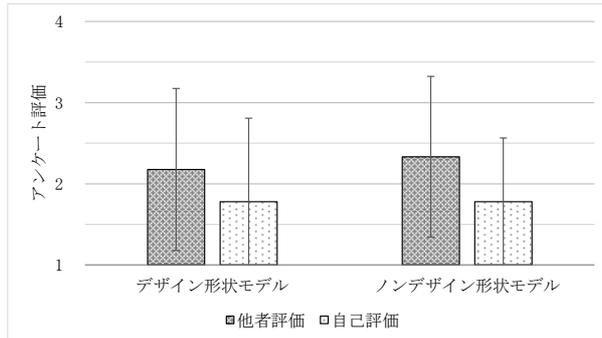


Fig. 9 アンケート結果 デザイン要因種 質問 2

Fig. 10 から、補足情報なしモデルと補足情報ありモデルどちらについても、他者評価よりも自己評価の方が似ていると評価されている。さらに、Fig. 11 も同様に、補足情報なしモデルと補足情報ありモデルどちらについても、他者評価よりも自己評価の方が似ていると評価されている。補足情報なしモデルと補足情報ありモデルの評価を比べると、質問 1 と質問 2 のどちらについても他者評価の差はほとんどないため、補足情報による情報欠損は少ないと考えられる。

よって、形状要因種の比較と考察により、歪み欠損モデルをスケッチする場合、その歪み情報は、想像できるがスケッチに書くことが難しい情報となるため、生成された 3D モデルに対して評価が悪くなる傾向があるということが分かった。

6. 結論

本研究では、スケッチをした人の自己評価とスケッチをしていない他者の評価とを比較することで、スケッチの情報欠損と自己評価との関係性についての知見を深めるために、スケッチをしていない他者に同様のアンケートを実施した。その後、自己評価と他者評価をそれぞれ欠損要因種の分類ごとにまとめ、比較することで自己評価が、スケッチや作成された 3D モデルにどのように影響するのかについて考察した。

モデル全体の評価の比較から、元のモデルよりもスケッチが似ていると評価されていることや、他者評価よりも自己評価の方が良い評価をするということが分かった。形状要因種の比較と考察により、歪み欠損モデルをスケッチする場合、その歪み情報は、想像できるがスケッチに書くことが難しい情報となるため、生成された 3D モデルに対して評価が悪くなる傾向があるということが分かった。一方で傾向に当てはまらなかったデザイン形状モデル

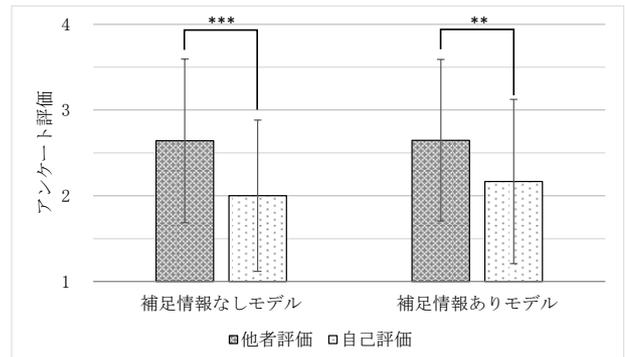


Fig. 10 アンケート結果 情報要因種 質問 1

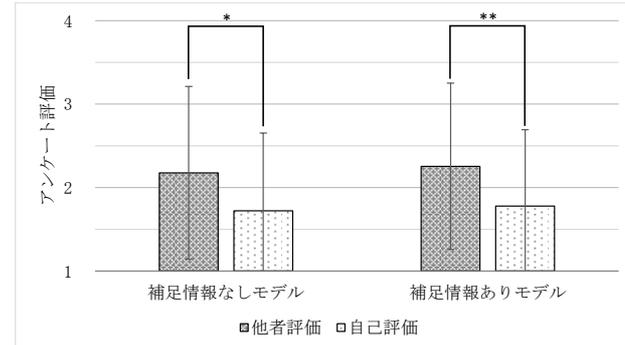


Fig. 11 アンケート結果 情報要因種 質問 2

の質問 1 のグラフから、デザイン形状モデルは自己評価において、その規則的な形状から厳しく評価される傾向にあるということが分かった。

今後の課題は、得られた知見を用いてスケッチから 3D モデルを自動生成するツールを開発することである。また、新たな欠損要因種を定義し、更に調査をすることで 3D モデルとそのスケッチの関係性を分析することが今後の課題である。

参考文献

- 1) Sinha, A. Unmesh, Q. Huang and K. Ramani: SurfNet: Generating 3D shape surfaces using deep residual networks, Proc. of CVPR2017, pp.6040-6049 (2017).
- 2) 三谷純: 意匠設計支援のための 3 次元スケッチに関する研究, 修士論文, 東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻(1999).
- 3) 杉野森拓馬, 市川嘉裕, 山口智浩: 手書きスケッチの自動 3D 変換へ向けたスケッチ時の情報欠損に関する調査, 第 46 回知能システムシンポジウム, B2-1 (2019).