

# 建築塗装分野における外観品質の判定基準に関する研究

品質マネジメント研究

5220F201-9

竹延幸雄

指導教員

棟近雅彦

## A Study on Criteria for Judging Appearance Quality in the Field of Architectural Painting

TAKENOBE Yukio

### 1. 研究背景と目的

建設現場の塗装作業は、熱中症、転落事故、有機溶剤中毒等による健康被害のリスクが伴うため、労働力不足が慢性化している。一方、外壁に多用されているタイル貼りは、剥落事故が伴うため、近年は塗装作業に置き換わり、塗装工事の市場規模は拡大傾向にある。そのため、塗装職人の従来の施工方法を根本から見直し、省力化、苦渋労働からの解放が不可避となっている。

このような背景から、これまで暗黙知であった技能を形式知化し、連続して広範囲に施工する塗装ロボットを開発・製造することが急務となってきている。塗装工事の重要な品質に外観の仕上がり状態があり、塗装ロボットによる施工でも、一流職人の施工レベルが求められる。そのため、塗装ロボットの施工条件と外観品質の関係を明らかにする必要がある。

しかし、これまで外観品質は、「すきっとした仕上がり」のような官能的表現が多く、評価者によって評価にばらつきが発生する等の問題がある。本研究では、建築塗装工事における最適条件を決めるための、外観品質の判定基準を明確にすることを目的とする。

### 2. 従来研究と研究方法

#### 2.1. 従来研究

松田[1]は、自動車の塗装面の光沢とゆず肌（ゆずの皮に似た表面性状）が、外観品質を大きく左右する外観評価項目であり、この2つの品質特性値を定量的に計測する重要性を述べている。そこで、従来の測定方法や測定機器の問題点を解決する研究を行った。その結果、測定する個人差の影響を受けにくく、測定の再現性と客観性を持った各品質特性値を計測する機器を開発した。

井上[2]は、自動車の部品で使われるプラスチックを対象とした塗装の、最適パラメーターに関する研究を行った。具体的には、部位の形状やスプレー式塗装工法による吹付条件に塗装膜厚が影響を受けやすく、ばらつきが生じている課題を改善するために、品質工学を適用し、塗装膜厚の均一性に対し最適パラメーターを検討した。

一般社団法人軽金属製品協会[3]は、環境や人体への影響の大きい有機溶剤を含まないアルミニウム合金製建築材料の表面仕上げが、建築分野で今後普及していく上で、塗膜に対する的確な性能評価の方法を標準化する検討を行った。その中で、施工場所や製造条件等を考慮しながらも、当該製品が海外で製造、または海外の建築物に使用されることを視野にいれて、様々な環境下でも性能を発揮するための規格を策定した。

以上のように、塗装による外観品質へのアプローチの重要性を主張する研究は多数ある。しかし、先行研究が提示する内容は、測定機器の開発や塗装条件の最適パラメーターの探求、性能発揮のための膜厚維持および施工方法の研究がほとんどである。本研究が導出を目指す、外観品質の判定基準を取り上げた研究は見られない。

#### 2.2. 研究方法

本研究では、建築塗装工事のうち、大半の施工数量を占め、標準的な仕上がり求められる建築物内壁塗装を対象とする。その上で、まず、外観品質の中で重要なものが何かを特定するために、過去の不具合情報をパレート図で分析する。

つぎに、特定した7つの重要不具合を因子として、その不具合の有無によって2水準をとり、合否を特性値とする $L_8$ 直交配列実験を行う。その際、各サンプルに対して「仕上りの出来栄が良い-悪い」を総合感性、各不具合の評価を感性評価項目とするSD法による調査も実施する。総合感性、感性評価項目とは、棟近ら[4]が、SD法調査によるアンケート調査を実施する際の評価用語選定の指針で示したもので、評価項目のうち総合的な評価を問うものを総合感性、その他の項目を感性評価項目と呼んでいる。本研究では、総合感性を目的変数、感性評価項目を説明変数として重回帰分析を行い、どのような感性評価項目が仕上りの出来栄に影響するかを明らかにする。

さいごに、7つの不具合のうち、特性が連続的に変化すると考えられる色調、光沢、ライン出しについては、合否判定の閾値を明確にするために、特性値を合否、因子を各不具合として、4~6水準をとった一元配置実験を行う。

以上をもとに、外観品質の判定基準を導出する。

### 3. 重要不具合の特定

外観品質に影響する重要な不具合を特定するために、塗装工事会社T社が、2018年から2020年までの3年間に、塗装作業完了後に指摘された182件の検査不具合を分析し、パレート図を作成した。その結果を図1に示す。

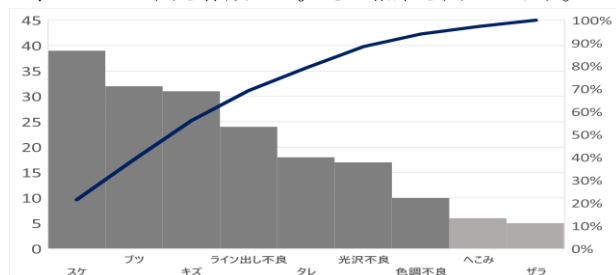


図1.T社の塗装不具合のパレート図

図1より、スケ、ブツ、キズ、ライン出し不良、タレ、光沢不良、色調不良が、重要不具合であることがわかった。

つぎに、図1で明らかになった重要不具合が、実態とあっているかを確認するために、国家技能資格を持つT社塗装作業員8名にインタビュー調査を行った。その際、日常的に注意している作業手順と注意すべき不具合を聞いた。その結果、作業員が注意している不具合は、パレット図で明らかになった重要不具合と一致していることが確認できた。また、インタビューの過程で、不具合の定義が人によって異なる場合があったため、改めて不具合の定義を行った。その結果を表1に示す。

表 1.7つの重要不具合の定義

スケ	下地が透けて見える現象
ブツ	塗膜にゴミ状のものが付着したもの(径0.5mm以上の粒状のもの)
キズ	塗装完了後に生じるあてキズ、スリキズなど
タレ	塗膜が下方に移動して起こる局所的な膜厚の異常
光沢不良	部分的に艶が高くなる現象
色調不良	色が異なって見える現象
ライン出し不良	塗装面と取り合う塗装しない部材をあらかじめ養生する境界線部分の塗装精度不良

これにより、仕上がり出来栄の総合評価に影響する不具合が明らかとなったため、次節以降でそれらの具体的な判断基準を求める。

#### 4. 判定基準の導出

##### 4.1. 不具合の有無を因子とする L8 実験

###### 4.1.1. 実験方法

合否に影響する不具合を特定するために、前述の7つの不具合の有無を水準とする L8 実験を行った。以下に実験の概要を示す。

実験対象：教室やオフィスなどの室内や廊下などの、一定面積以上かつ標準的なレベルでの仕上りを求められる建築物内壁  
 実験方法と特性値：L8 実験による合否判定、SD 法評価  
 因子と水準：重要不具合の有無、わりつけは表2に示す  
 評価者：建築主、設計事務所、ゼネコン現場監督、塗装工事会社、塗料メーカーの方、計42名  
 測定機器：色差(色調の違い)は、JIS K5600-4-5 に則り、色彩色差計ミノルタ社製 CR-400 で測定  
 光沢差は、JIS K5600-4-7 に則り、鏡面光沢計 BYK Additives&Instruments 社製 micro TRI gloss60 度鏡面光沢度で測定  
 使用塗料：合成樹脂エマルジョンペイント  
 標準見本板：色調は日本塗装工業会標準色 N-90、光沢は艶消し

なお、L8 実験の不合格の水準については、予備実験を行い、不合格の水準の中で最小の数値を採用した。また、標準的に取り付けられる窓枠、照明スイッチ、巾木を取付けた、高さ243cm×横幅193cmのパネルに塗装し、すべての評価者に、合否とSD法のアンケートに回答してもらった。

合否は、高島[5]の方法をもとに、顧客と合意した想定の内装用艶消し塗料で塗装した標準見本板と見比べて、判定してもらった。また、SD法による評価は、棟近ら[4]の方法をもとに、「仕上りの出来栄が良い-悪い」を総合

感性、各不具合の評価を感性評価項目とするアンケートを作成し、合わせて評価者に回答してもらった。その調査項目を表3に示す。

表 2.L8 実験のわりつけ

	A ブツ	B キズ	C タレ	D スケ	F ライン出し	G 光沢	H 色調
実験No.1	1	1	1	1	1	1	1
実験No.2	1	1	1	2	2	2	2
実験No.3	1	2	2	1	1	2	2
実験No.4	1	2	2	2	2	1	1
実験No.5	2	1	2	1	2	1	2
実験No.6	2	1	2	2	1	2	1
実験No.7	2	2	1	1	2	2	1
実験No.8	2	2	1	2	1	1	2

1 合格水準	なし	なし	なし	2回塗 (標準)	±0で 精度確保	艶消	日塗工 N90
2 不合格水準	0.5mm濁水 を3つ	10円硬貨で 3cmほどの 引っかき傷 を3つ	約10cmツララ状 のものを1か所	1回塗	塗装面が 取り合う部材に 3mmぬる	5分艶 (光沢差15.0)	日塗工 N87 (色差2.23)

表 3. SD 法調査項目

No.	評価項目	形容詞対	とても (全く)	少し (やや)	どちら でもない	少し	とても	形容詞対		
0.0	仕上りの出来栄が	悪い	1	2	3	4	5	6	7	良い
1.共通	仕上りの出来栄に対して、全体的に									
1.1	目立つ不具合が	目立つ	1	2	3	4	5	6	7	目立たない
1.2	出来栄のバランスが	バランスが悪い	1	2	3	4	5	6	7	バランスが良い
1.3	色調(色ムラの統一)が	統一されていない	1	2	3	4	5	6	7	統一されている
1.4	光沢が	統一されていない	1	2	3	4	5	6	7	統一されている
1.5	ライン出しが	出来ていない	1	2	3	4	5	6	7	出来ている
2.1	塗装前の下地の状態が	悪い	1	2	3	4	5	6	7	良い
3.1	仕上がった塗装を触ると	ざらざらしている	1	2	3	4	5	6	7	つるつるしている

なお、サンプル評価の際の評価条件は、以下に示す(一社)軽金属製品協会規格[3]を用い、評価の際の観察距離、角度、光源・照度等を設定した。

判定方法：顧客と合意した想定の見本板との目視による比較  
 観察距離：1m  
 観察角度：正面  
 照度：評価する上で支障のない照度

###### 4.1.2. 合格率の分析

不具合の有無を因子とする L8 実験に関して、合否判定の結果を目的変数、因子とした7つの不具合を説明変数として、ロジスティック回帰分析を行った。変数選択は、変数増減法を用いた。その結果を表4に示す。表4では、選択された変数を網掛で示した。

表 4.合格率の分析結果

No.	目的変数名 「合否判定」		尤度比検定量	尤度比寄与率	二重調整寄与率
	説明変数名	偏回帰係数	標準誤差	P値(上側)	トレランス
β0	定数項	9.397	1.67	0.00000**	
A	ブツ	-0.465	0.31	0.13316	0.859
B	キズ	-0.940	0.31	0.00241**	0.819
C	タレ	-1.826	0.31	0.00000**	0.836
D	スケ	-1.236	0.31	0.00007**	0.813
F	ライン出し	-0.564	0.31	0.06842	0.848
G	光沢	-1.289	0.31	0.00003**	0.813
H	色調	-0.512	0.31	0.09851	0.852

[\*\*:1%有意 \* :5%有意]

表4より、キズ、タレ、光沢、スケの4因子が、有意水準1%で有意となった。

### 4.1.3. 合格率と総合感性の関係の分析

合格率と総合感性の関係を分析するために、各サンプルに対しての総合感性である「仕上がりの出来栄が良い〜悪い」の評点分布を、L<sub>8</sub>直交配列実験の合格判定で層別したヒストグラムを作成した。その結果を図2に示す。

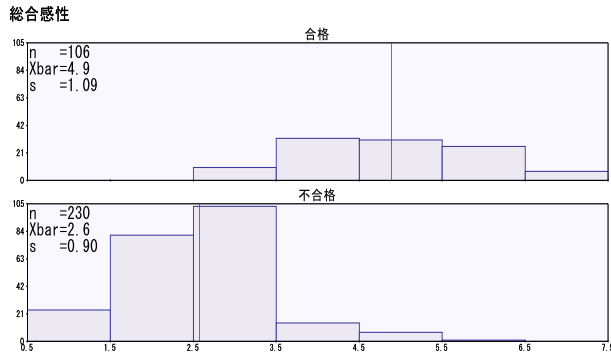


図2. 合格判定で層別した総合感性評点のヒストグラム

図2より、合格判定の違いにより総合感性の平均値に差が生じていることが考えられる。したがって、総合感性の評点と感性項目の関係を調べれば、合格を判断した際に影響する感性評価項目が明らかになり、判断の理由を推測することが可能になる。

### 4.1.4. SD 法評価の分析

SD 法による調査結果に関して、総合感性を目的変数、感性評価項目を説明変数として重回帰分析を行った。変数選択は、変数増減法を用いた。その結果を表5に示す。表5では、選択された変数を網掛で示した。

表5. SD 法評価の分析結果

No.	目的変数名 総合感性「仕上がりの出来栄の良さ」	重相関係数	寄与率R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	残差標準偏差
	説明変数名	分散比	F値(上側)	偏回帰係数	標準偏回帰	トランス
β0	定数項	9.435	0.002	0.589	-	-
X1	1.1目立つ不具合が目立たない	169.869	0.000	0.449	0.521	0.675
X2	1.2出来栄のバランスが良い	38.466	0.000	0.277	0.291	0.488
X3	1.3色調が統一がされている	2.610	0.107	-0.074	-0.084	0.398
X4	1.4光沢が統一がされている	3.657	0.057	0.088	0.096	0.426
X5	1.5ライン出しが出来ている	3.431	0.065	0.062	0.070	0.746
X6	2.1塗装前の下地の状態が良い	12.801	0.000	0.126	0.141	0.690
X7	3.1仕上がった塗装の触りがつるつるしている	5.625	0.018	-0.087	-0.087	0.808

表5より、仕上がりの出来栄の良さに対して、X1:目立つ不具合が目立たない、X2:出来栄のバランスが良い、X6:塗装前の下地の状態が良い、X4:光沢が統一されている、の順で影響が強い感性評価項目となることがわかった。

この結果と4.1.2項の結果を合わせて考えると、光沢にムラがなく、キズ、タレ、スケ等に目立ったものがないことが、出来栄のよさに効いていることがわかる。

### 4.2. 閾値を求めるための実験

特性が連続的に変化すると考えられる色調、光沢、ライン出しについて、閾値を求めるために、特性値を合格、因子を各不具合として、4~6水準をとった一元配置実験を行った。サンプルは、4.1節と同様の方法で作成した。

例として、光沢の場合の結果を図3に示す。図3では、横軸に標準見本板と比較した場合の各サンプルの光沢差を、縦軸に合格率をとった。

このデータを用いて、隣り合う2つの水準の合格率に差があるかを確認するために、マクネマー検定を行った。そ

の結果、合格率がほぼ100%である光沢差3.0と5.1では、合格率に差がなかった。また、光沢差5.1と6.4では差があったことから、光沢差5.1を閾値とすることにした。

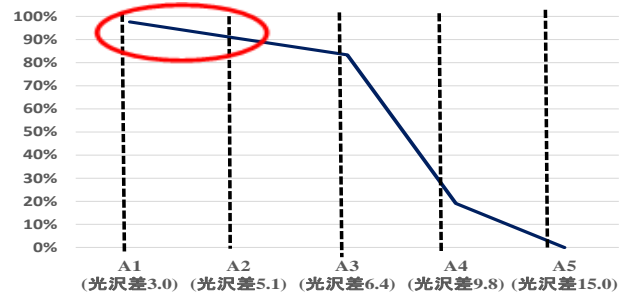


図3. 光沢差による合格率推移

### 4.3. 外観評価基準の導出

4.1節、4.2節の結果により、合格に影響する不具合を特定し、特性が連続的に変化すると考えられる因子の閾値を決定した。定めた外観評価基準(以下、誤解のない場合には基準と略す)を、表6に示す。

表6. 外観評価基準

不具合項目	外観評価の判定基準
タレ	目視によりタレがないこと
スケ	目視によりスケがなく、塗料メーカー標準塗付量であること
キズ	目視によりキズがないこと
ブツ	目視によりブツがないこと
光沢不良	鏡面光沢計により60度グロスで(光沢差)5.1以下であること
色調不良	色差計により色差0.7以下であること
ライン出し不良	塗装面が取り合う部材に対して0~1mmで被ること

### 5. 検証

#### 5.1. 重要不具合の汎用性に関する検証

7つの重要不具合が、T社だけではなく、他社にも適用可能かを調べるために、塗装工事会社24社に対して、直近1年間で件数が多かった上位7つの不具合の調査を依頼した。その結果を表7に示す。

表7. 他社が直近の検査で指摘された不具合項目

スケ	35
ブツ(径0.5mm以上の粒状)	25
キズ	15
ライン出し不良	18
タレ	22
光沢不良	26
色調不良	13
下地の凹み	12
ザラ(径0.5mm未満の粒状)	2
はじき・ピンホール	4
ローラー目・刷毛目が目立つ	3
計	168

表7より、スケ、ブツ、キズ、ライン出し不良、タレ、光沢不良、色調不良の件数が多くなっており、他社でもほぼ同じ不具合が重要不具合となっていることを確認できた。

#### 5.2. 外観評価基準の有効性に関する検証

##### 5.2.1. 検証実験の方法

4章で導出した外観評価基準によって、作業者がなるべく合格になるように気をつけ、評価者に指摘される不具合が低減するかを検証する実験を行った。以下に実験の概要を示す。

実験対象：標準的な仕上りを求められる建築物内壁  
 実験方法：合否判定、不具合内容とその箇所数の比較分析  
 評価基準：本研究で導出した外観評価基準  
 評価者：設計事務所、ゼネコン現場監督 各1名  
 作業員：T社・I社塗装会社に所属する経験歴10年以上

日差しが同じ方角から入射する、高さ約2m×長さ20m程度とする内壁を2面選んだ。そのうえで、作業員には、以下の2つの方法と手順で実際に塗装してもらった。

**方法1** 作業員に基準を伝えず、従来のやり方で1面目を塗装してもらう。

**方法2** 同一の作業員に基準を伝え、どのような仕上がりで合格となるかを理解してもらった上で2面目を塗装してもらう。伝える際には、この基準を満たすために追加すべき作業手順を聞き、作業改善を促した。

この方法を用いて、以下の手順で実験を行った。

**手順1** 東京、大阪それぞれの建設現場で、1面を前述の方法1で、残りの1面は方法2で行ってもらった。

**手順2** 評価者には導出した基準は知らせず、従来の基準すなわち評価者の感覚で評価した。

**手順3** T社（大阪府）・I社（東京都）の2箇所で同様の手順で、手順1とは異なる作業員に塗装してもらい、手順2と同一の評価者が評価した。

## 5.2.2. 実験結果

5.2.1項に則って行った実験結果を表8に示す。

表8. 外観評価基準の伝達前後での不具合比較

大阪I社での実験結果			東京I社での実験結果		
重要不具合	基準伝達前	基準伝達後	重要不具合	基準伝達前	基準伝達後
タレ	0	0	タレ	0	0
スケ	6	0	スケ	2	0
キズ	3	0	キズ	3	0
ブツ	5	0	ブツ	2	0
光沢不良	2	0	光沢不良	3	1
色調不良	1	0	色調不良	2	0
ライン出し	2	1	ライン出し	3	0

表8より、作業員に基準を伝えない場合は、各不具合が数個ずつ発生していること、伝えた場合は不具合がほぼ発生していないことがわかる。この結果から、作業員は基準を知り、それを満たすための作業改善が行われ、不具合が減少したと考えることができる。したがって、提案した基準により、作業員にどのようなものであれば不具合となり、そのように判定されないように作業を行うことを促すことができ、外観品質の向上が期待できる。

## 6. 考察

### 6.1. 本研究の意義

従来、建築塗装の分野における外観品質の判定基準は曖昧であり、従来研究においても十分に検討されていなかった。本研究では、合否に影響する不具合を特定するための直交配列実験と、閾値を求めるための実験を実施することで、外観品質の判定基準を定量的に明らかにした。

また、本研究では合否を判定するだけでなく、総合感性と感性評価項目を用いたSD法も用いた。これにより、合否を判断した際の理由を推測することが可能となった。

このように、客観的な評価基準を導出し、どのような不具合が外観品質の評価に影響を与えるかを明らかにした

ことで、外観品質の向上を進めることができる。実際に5.2節の検証では、外観品質が向上することを確認した。したがって、今後作業員の作業改善とともに、塗装ロボットの開発を促進させることができる。

### 6.2. 評価サンプルの作成

実験でのサンプル作成においては、不具合に違和感が生じないように、同じ大きさ、形の不具合を事前に多数作り、その中から自然な風合いの不具合を選び、サンプルに再現している。また、閾値を求めるための実験では、いくつかの水準を設定できるような塗料を段階的に製造する方法を開発した。このように、外観品質評価のためのサンプル作成の知見が得られたことは、意義が大きい。

ただし、ブツ、キズ、タレ、スケ等も、連続的に水準を設定できるとよいが、現時点では技術的に確立できていない。これが可能となれば、より精緻な基準を作成することができるが、これについては今後の課題である。

### 6.3. 評価者の個人差

本研究で行った実験の解析では、複数の評価者の場合、評価者の違いは単純な誤差として扱った。しかし、このような感性的な評価には個人差があることが考えられ、個人差を考慮して分析することも、有用な結果が得られる可能性がある。

例えば、4.1節の実験の評価者は、原材料メーカー、施工業者、顧客など、その属性は多岐にわたる。この属性と評価の違いを分析することで、塗装の仕様をどのように定めるべきか、生産者側ではどのように品質改善を行うべきかに関して、有益な知見を得ることができる。

## 7. 結論と今後の課題

本研究では、塗装における外観品質の仕上がりの出来栄えに影響する不具合を特定し、それらを因子とした直交配列実験を行って、仕上がりの出来栄えに影響を及ぼす不具合を明らかにした。また、特性が連続的に変化すると考えられる色調、光沢、ライン出しに関しては、合否を特性値とする一元配置実験を行い、判定の閾値を求めた。これらの実験結果をもとに、塗装における基準を明確にした。

今後の課題としては、今回の分析では、評価者の違いは単純な誤差として扱ったが、個人差を考慮して分析することがある。また、本研究で導出した基準は、基本的には、塗装ロボットの導入を目指す上での、標準的な仕上がりかつ塗装完了時点での品質検査に対応する内容であるため、顧客がさらに高い水準で要求する仕上がりや経年的に変化する塗装品質に応じて、別途異なる判定基準を検討しなければならない。

### 参考文献

- [1]松田守弘(1984)：“塗装外観品質の測定”，「計測と制御」, 23巻3号,pp.312-316
- [2]井上齊樹(2001)：“プラスチック部品の塗装品質の向上”，「品質工学」, 9巻5号,pp.42-48
- [3]一般社団法人軽金属製品協会(2016)：“軽金属製品協会規格アルミニウム合金製建築材料粉体塗装性能評価方法”，一般社団法人軽金属製品協会
- [4]棟近雅彦,三輪高志(2000)：“感性品質の調査に用いる評価用語選定の指針”，「品質」, Vol.30, No.4, pp.96-108
- [5]高島信治(1961)：“限度見本による外観検査のバラツキの管理”，「金属表面技術」, 12巻12号,pp.482-485