

塗料の比重測定/膜厚測定における不確かさの推定

財団法人 日本塗料検査協会

技術開発部 清水 亮作

1. はじめに

ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) では、校正機関又は試験所に対する技術的要求事項として不確かさの推定を規定しています(「5.4.6 測定の不確かさの推定」参照)。この規定によると、校正機関に対しては「必ず」測定の不確かさを推定する手順をもち、適用することを求めているのに対し、我々のような試験所に対しては、やや柔軟な要求と読み取れます。すなわち、すべての不確かさの要因を特定する努力及び現実的かつ目的に対して合理的に不確かさの推定を行えばよいとしています。

ただし、これは「試験所は、不確かさに対して厳密でなくてもよい」といった意味を含めているものではありません。従来の不確かさの評価では、比較的単純な物理量を対象とする場合が多かったようですが、試験所ではこのような範疇にはおさまらない量を対象とする場合が多々あります。このような測定値に対する不確かさの推定には、高度な技術的展開を要しますが、現時点では、まだそのためのノウハウが十分に蓄積されていない実情に配慮し、ノウハウの蓄積と手順の確立に向けての努力を要求したものと解釈できます。

ここでは、「塗料の膜厚測定」に関して、この要求事項に従って具体的に不確かさを推定した事例を紹介します。

2. 目的

塗膜の膜厚を塗布量から算出する場合の不確かさを推定する。

3. 塗膜の膜厚について

塗料は、溶剤分、樹脂分及び顔料から成っている。生塗料より溶剤分が揮発し乾燥すると樹脂分及び顔料から成る塗膜が形成される。すなわち、生塗料の塗付量(厚さ)から溶剤分が占める体積(厚さ)を差し引くと、乾燥後の樹脂分及び顔料から成る塗膜の膜厚が算出できる(図-1)。

5.4.6 測定の不確かさの推定

5.4.6.1 校正機関又は自身の校正を実施する試験所は、すべての校正及びすべてのタイプの校正について測定の不確かさを推定する手順をもち、適用する。

5.4.6.2 試験所は、測定の不確かさを推定する手順をもち、適用する。ある場合には、試験方法の性質から厳密で計量的及び統計的に有効な測定の不確かさの計算ができないことがある。このような場合には、試験所は少なくとも不確かさの全ての要因の特定を試み、合理的な推定を行い、報告の形態が不確かさについて誤った印象を与えないことを確実にする。合理的な推定は、方法の実績に関する知識及び推定の有効範囲に基づくものであり、例えば、以前の経験又は妥当性確認のデータを活用したものである。

5.4.6.3 測定の不確かさを推定する場合には、適切な分析方法を用いて当該状況下で重要な全ての不確かさ成分を考慮する。

塗付量(体積)を求めるには、塗料の密度が必要になり、これを測定には塗料用比重カップを用いる(写真-1)。

4. 不確かさの推定に用いた試料

ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) では、「不確かさのすべての要因を特定」することを求めている。そこで試料の性状が不確かさに与える影響について知るために、性状が極

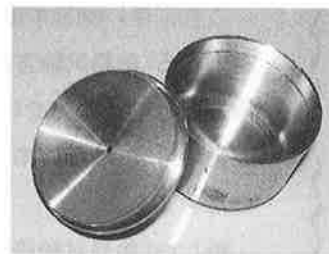


写真-1 塗料用比重カップ



図-1 塗料が乾燥し、塗膜が形成されるイメージ図(顔料分は省略)

$$\text{塗料乾燥時の膜厚(樹脂分)} = \text{生塗料の塗布量(体積)} - \text{生塗料中の溶剤分(体積)}$$

端に異なる塗料を選択した。用いた試料及び選定した理由を表-1に示した。

表-1 用いた試料

試料名	特徴	試料の選定理由
蒸留水	HPLC 用市販品	標準的な蒸留水と仮定。
JIS K 5621 一般さび止め ペイント	1種	ボイル油をビヒクルとしたもの
	2種	ワニスをビヒクルとしたもの
JIS K 5665 路面表示用 ペイント	1種(水性型)	主に高速道路で使用。移動規制で施工され、規制開放時間5分。表面だけは速乾性である。
	1種(溶剤型)	
超厚膜 エポキシ 樹脂塗料	重防食用	高粘度。 長時間放置すると、顔料分が分離するため、使用前に十分な攪拌が必要。 扱い難い試料の例。 高粘度で微粉砂状の顔料を含む。攪拌すると気泡を噛み、容易に脱泡しない。 皮膚に付着するとかぶれる恐れがある。

5. 試験方法及び不確かさの推定

まず、蒸留水を用いてカップの体積を求め、このカップによって塗料の密度を測定する。密度の解った塗料を塗布量(質量)を管理して単位面積に塗付ければ、塗付けた体積を知ることができる。次に、(塗付けた)塗料中の溶剤分の体積を求め、これを塗付塗料の体積から差し引けば、乾燥後の塗膜の膜厚を求めることができる(図-1)。

以上の膜厚測定法において、考えられる不確かさの要因を図-2に示した。それぞれの操作における不確かさをすべて求め、最後に合成することによって不確かさの推定を行う。ただし、ISO/IEC 17025で「現実的かつ合理的な推定」を認めていることから、目的に対して極めて小さい不確かさの要因については、要

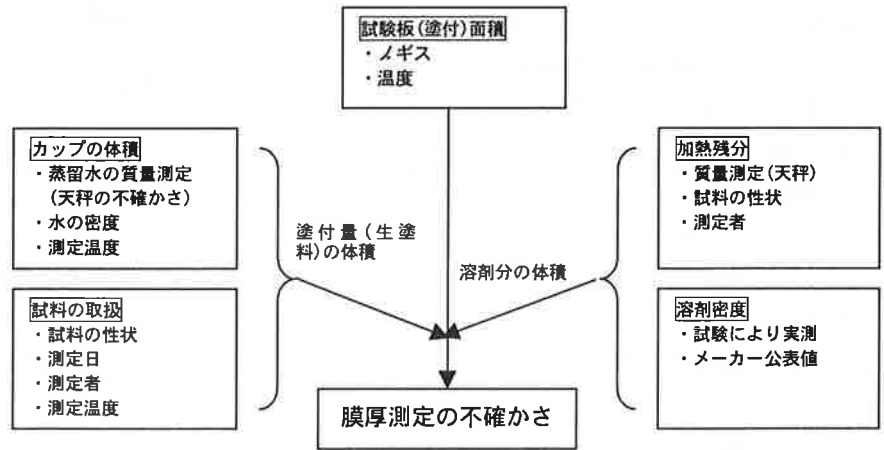


図-2 考えられる不確かさの要因

因として把握するに留め、評価については無視することとした。

5.1 膜厚の算出式と不確かさの要因

不確かさの評価手順では、(可能であれば)まず測定の

膜厚の算出式:

$$L_{(cm)} = \frac{A_{(g)} - A_{(g)} \times C_{(%)}}{\rho_s \rho_{Solv} \left(\frac{S}{cm^2} \right)} \dots\dots\dots \text{式-1}$$

L:	膜厚(cm)
S:	塗装面積(cm ²)
A:	生塗料の塗付量(g)
ρ _s :	生塗料の密度(g/cm ³)
C:	生塗料中の溶剤分(%)
ρ _{Solv} :	溶剤分の密度(g/cm ³)

$$u^2(L) = \left(\frac{\partial L}{\partial A} \right)^2 u^2(A) + \left(\frac{\partial L}{\partial \rho_s} \right)^2 u^2(\rho_s) + \left(\frac{\partial L}{\partial C} \right)^2 u^2(C) + \left(\frac{\partial L}{\partial \rho_{Solv}} \right)^2 u^2(\rho_{Solv}) + \left(\frac{\partial L}{\partial S} \right)^2 u^2(S) \quad \text{式-2}$$

$$= \left(\frac{1 - C}{\rho_s \rho_{Solv} S} \right)^2 u^2(A) + \left(-\frac{A}{S \times \rho_s^2} \right)^2 u^2(\rho_s) + \left(-\frac{A}{S \times \rho_{Solv}} \right)^2 u^2(C)$$

$$+ \left(\frac{A \times C}{S \times \rho_{Solv}^2} \right)^2 u^2(\rho_{Solv}) + \left(-\frac{A - A \times C}{S^2} \right)^2 u^2(S)$$

数学モデルを立てることから始める。今回の手法による膜厚測定では、膜厚を次式(式-1)で定義することができる。

この式を各変数で微分し、両辺の2乗の期待値を計算する(式-2)。u(L)が、膜厚測定における合成標準不確かさである。

式-2は不確かさの伝播則と呼ばれる。また、計算した微係数は感度係数を示しており、ある変数に変化があった場合、その変化が全体の不確かさ(u(L))に与える影響の大きさを知ることができる。

5.2 不確かさの要因と評価のタイプ

不確かさを推定するにあたり、その評価を測定値の統計的解析手法により行う場合「Aタイプの評価」、それ以外の情報を用いて行う場合を「Bタイプの評価」と呼んでいる。

図-2に示した不確かさの要因について、評価のタイプを表-2に示した。

5.3 標準不確かさの推定

5.3.1 カップの体積

(1) 天秤の不確かさ

電子天秤の校正証明書より、±0.001(g)が矩形分布していると仮定し、この分布の標準偏差 $\left(\frac{1-(-1)}{12^{1/2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$ を用いた。

表-2 不確かさの要因とタイプ

不確かさの要因		タイプ	内容
カップの体積	天秤の不確かさ	B	天秤の校正証明
	蒸留水の質量測定	A	測定者・気圧・温度を実測
	水の密度	B	理化学辞典より
	測定温度	B or A	水の膨張係数又は実測
試料の取扱	試料の性状	A	性状の異なる試料で実測
	測定者	A	実測
加熱残分	試料の性状	A	性状の異なる試料で実測
	測定者	A	実測
溶剤密度	メーカーの公表値	B	最大で±0.1%の誤差が含まれていると仮定
試験板の面積	試験板の工作精度	B	試験板メーカー公表の公差

$$u(\text{天秤}) = 0.001 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 5.774 \times 10^{-4}$$

(2) 蒸留水の質量測定

測定者、測定日及び測定温度が比重カップに満たした蒸留水の質量に与える影響を確認するため、それぞれの因子を3水準取り、繰返し3回の試験(表-3)を行い、分散分析を行った(表-4)。その結果、測定者及び測定温度が有意水準1%で有意となった。なお、測定者及び温度以外は要因効果が小さかったため誤差項にプールし、分散分析表を作り直した(表-5)。特に測定温度に関しては高度に有意な結果が得られた。

表-3 試験の内容(因子と水準)

水準		1	2	3	水準数	n
因子A	測定者	S	N	H	3	3
因子B	温度	21°C	24°C	29°C	3	
因子C	測定日	1002.7hPa	1007.5hPa	1013.2hPa	3	
全データの平均		50.129 (g)				

表-4 分散分析の結果

分散分析表

要因	S	φ	V	Fo	F(0.05)	F(0.01)	E(V)	備考
測定者	0.003817062	2	0.001908531	7.998 **	3.168	5.021	σ ² +27σ ² A	A
温度	0.063380173	2	0.031690086	132.800 **	3.168	5.021	σ ² +27σ ² B	B
測定日	0.000254543	2	0.000127272	0.533	3.168	5.021	σ ² +27σ ² C	C
測定者×温度	0.001836346	4	0.000459086	1.924	2.543	3.688	σ ² +9σ ² A×B	A×B
測定者×測定日	0.001110864	4	0.000277716	1.164	2.543	3.688	σ ² +9σ ² A×C	A×C
温度×測定日	0.000766420	4	0.000191605	0.803	2.543	3.688	σ ² +9σ ² B×C	B×C
測定者×温度×測定日	0.002210173	8	0.000276272	1.158	2.115	2.860	σ ² +3σ ² A×B×C	A×B×C
E	0.012886000	54	0.000238630				σ ²	
T	0.086261580	80						

表-5 効果の小さい要因を誤差項にプールし、作り直した分散分析表

分散分析表 (「測定日」、「測定者×温度」、「測定者×測定日」、「温度×測定日」、「測定者×温度×測定日」を誤差にプール)

要因	S	φ	V	F ₀	F(0.05)	F(0.01)	E(V)	備考
測定者	0.003817062	2	0.001908531	7.608 **	3.117	4.896	σ ₂ +27σ _{2A}	A
温度	0.063380173	2	0.031690086	126.333 **	3.117	4.896	σ ₂ +27σ _{2B}	B
E	0.019064346	76	0.000250847				σ ₂	
T	0.086261580	80						

$$\sigma(\text{測定者}) = \sqrt{\frac{0.0019085 - 0.000250847}{27}} = 0.00784$$

$$\sigma(\text{温度}) = \sqrt{\frac{0.0316901 - 0.000250847}{27}} = 0.0341$$

測定者と温度の合成標準不確かさは、
 $u(m_{H_2O}) = 0.00784 + 0.0341 = 0.04194 \text{ (g)}$

式-3 分散分析の結果から不確かさを算出

期待値より標準不確かさを算出すると、特に温度の影響が大きいことが示された(式-3)。ただし、今回は29℃という通常の条件(水による校正20±1℃)では有り得ない環境による測定結果に基づいており、明らかに過大な評価を行っている。

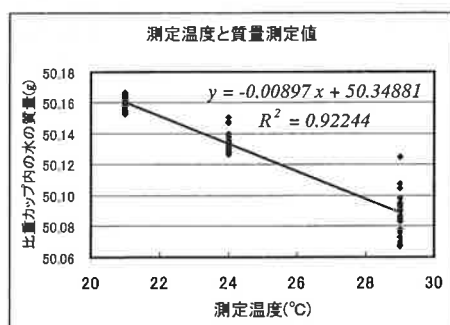


図-3 測定温度と質量測定値の関係

そこで、過大な評価から現実的な値への変換には、実験データを用いて測定温度と質量測定値の関係より傾き(偏微係数に相当)を求め(図3)、これと試験温度の不確か

さ(矩形分布と仮定)から次のように算出した。

図3より、温度変化に対する質量測定値の傾き、-0.00897を求めた。また、試験温度の不確かさとして $1/\sqrt{3}$ ℃であると仮定した。

$$\sigma(\text{測定者}) = 0.00784 \text{ (g)}$$

$$u(\text{温度の影響}) = |-0.00897| \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.00518 \text{ (g)}$$

$$u(\text{蒸留水の質量測定}) = 0.00784 + 0.00518 = 0.01302 \text{ (g)}$$

(3) 水の密度

蒸留水の密度の拡張不確かさ(K=2)は、4℃において、
 0.999972(±2ppm) (g/cm³)

であることが判っている。この不確かさに温度依存は無いため、20℃における蒸留水の密度の不確かさは次のとおりである。

$$0.99823(\pm 1\text{ppm}) = \pm 9.98 \times 10^{-7} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$u(\text{水の密度}) = 9.98 \times 10^{-7} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

(4) 測定温度

測定温度は「蒸留水の質量測定」で考慮しているため、ここであらためて評価することは、二重にカウントしてしまう。

5.3.2 試料の取扱

(1) 試料の性状と測定者

塗料の密度を性状の異なる3種類のサンプルについて測定者3人で測定し、標準偏差を比較した(表-6)。重防

表-6 性状が異なる塗料の密度

サンプル	測定者	密度 (g/cm ³)			平均 (g)	標準偏差	
		n=1	n=2	n=3			
JIS K 5621 (一般さび止め 1種)	S	1.7312	1.7313	1.7313	1.7312	0.00005774	0.000186
	N	1.7316	1.7318	1.7315	1.7316	0.00015275	
	H	1.7315	1.7316	1.7315	1.7315	0.00005774	
JIS K 5665 (路面表示用 水性)	S	1.7411	1.7411	1.7412	1.7411	0.00005774	0.000101
	N	1.7409	1.7411	1.7411	1.7410	0.00011547	
	H	1.7410	1.7410	1.7409	1.7410	0.00005774	
重防食用超厚膜 エポキシ(扱い難い)	S	1.7921	1.7909	1.7924	1.7918	0.00079373	0.003909
	N	1.7875	1.7868	1.7864	1.7869	0.00055678	
	H	1.7835	1.7811	1.7848	1.7831	0.00187705	

食用超厚膜エポキシ樹脂塗料では、他の塗料より大きなバラツキが見られた。この塗料は、粘性が極めて高く攪拌すると気泡を噛んで容易に脱泡しなくなるため、測定に大きなバラツキを与えたものと考えられる。

しかし、このような性状のサンプルを試験することは稀であり、このようなサンプルのために通常より大きな不確かさを値付けすることは良い方法とは思えない。したがって、実際に扱うサンプルの性状に合わせて使い分ける事が現実的であると考えられるが、ここでは、最もバラツキの大きかった重防食用塗料の値を用いることとする。

$$u(\text{試料の取扱}) = 0.003909$$

5.3.3 加熱残分(溶剤分)

(1) 試料の性状と測定者

加熱減量の測定において、JIS(k5407)で決められた条件(105°C, 180min)では恒量にならないサンプルが存在した(図4)。この傾向を試験前に予測することは困難である。そこで加熱減量の測定は、全てのサンプルについて恒量になったことを確認した後に行った。この恒量を確認するまで加熱する方法では、乾燥機の種類、乾燥機内の温度分布、蒸発皿の配置等が測定値に与える影響は少ないことが解っている。

種々のサンプルについて、恒量に達するまで加熱乾燥させた場合の、測定者違い及び繰返しn=3の標準偏差を表-7に示した。どのサンプルにおいても測定者及び繰返しに大きなバラツキは認められず、概ね電子天秤の1桁(0.001g)程度の差から現れる量であった。したがって、加熱減量測定においては、電子天秤の量子化誤差(及び精度)が最も大きな要因になっているものと推測される。

$$u(\text{加熱残分}) = 3.82 \times 10^{-4}$$

5.3.4 溶剤密度

塗料中の溶剤密度は、メーカーの製品データを使用するが、その値に不確かさが与えられているとは限らない。そこで、公表値には最大で±0.1%の誤差が含まれると仮定し、その幅が算出結果に与える影響について検討した。

溶剤分の密度が塗膜厚に与える影響は、塗料密度や溶剤分の含有量によっても変動するため(図-5)、用いるサンプル毎に算出することが望ましいが、多くの塗料においては経験的に概ね0.2%以下の範囲内にあることが解っている。そこでサンプルの種類は考慮せず不確かさには、

$$u(\text{溶剤密度}) = 0.002 \times \frac{1}{2} = 1.00 \times 10^{-3}$$

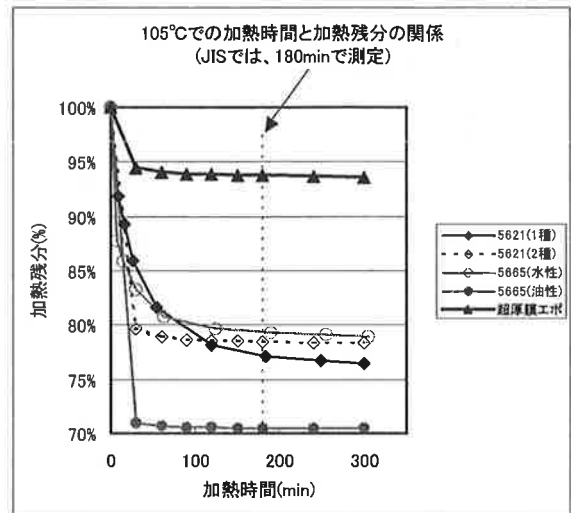


図-4 各サンプルの恒量になるまでの時間

表-7 加熱残分におけるn=3回繰返しのバラツキ

サンプル	測定者	300min(恒量)後の標準偏差(%)
JIS K 5621 (一般さび止め 1種)	S	0.000408
	N	0.000199
	H	0.000399
JIS K 5665 (路面表示用 水性)	S	0.000418
	N	0.000327
	H	0.000130
重防食用超厚膜エポキシ (扱い難い)	S	0.000557
	N	0.000311
	H	0.000141

を用いた(正規分布と仮定)。

ただし、この手法はいささか強引に思われる。メーカーの公表値に±0.1%の誤差が含まれるとする仮定も確かとは言えないし、また、多くのサンプルが0.2%を中心とする変動を受けるとする考えも妥当ではない。さらに、溶剤含有量の多いサンプルに関しても当てはまらない。もっとも、現実には溶剤含有量の多いサンプルでは、必然的に塗料密度も小さくなるため、例えば、図-5中の最

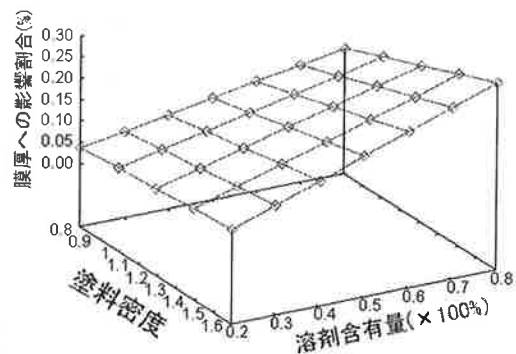


図-5 塗料密度が±0.1%変動した場合の塗膜厚への影響割合

$$L = A \left[\frac{1}{\rho_s} - \frac{C}{\rho_{sol}} \right] \text{より算出}$$

大値付近の影響割合(約0.3%)を示すことは稀である。

厳密な不確かさを推定する場合、溶剤密度については試料毎に求めることが望ましい。ここでは、0.2%を中心とする正規分布で膜厚に変動を与えていると仮定して推定を進めることとする。

5.3.5 試験板の面積

一般的な試験に用いている試験板のサイズは、試験板メーカーの成績書より縦・横ともに公差±0.5mm以下であると値付けられている。そこで、一般的な試験で最も多く使用する150×70mmの試験板について、公差が面積に与える影響を検討した(表-8)。

試験板面積の不確かさは、これらの変動が正規分布していると仮定し、

$$u(\text{塗装面積}) = 0.0105 \times \frac{1}{2} = 5.25 \times 10^{-3}$$

を用いた。

5.4 不確かさの合成

5.4.1 塗料用比重カップによる塗料密度測定の不確かさ

塗料の密度は、式-3によって現される。

$$\rho_s = \frac{m_{\text{sample}} \times \rho_{H_2O}}{m_{H_2O}} \quad \text{式-3}$$

これを偏微分し、感度係数を求める。

$$u^2(\rho_s) = \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial m_{\text{sample}}} \right)^2 u^2(m_{\text{sample}}) + \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial m_{H_2O}} \right)^2 u^2(m_{H_2O}) + \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial \rho_{H_2O}} \right)^2 u^2(\rho_{H_2O})$$

$$= \left(\frac{\rho_{H_2O}}{m_{H_2O}} \right)^2 u^2(m_{\text{sample}}) + \left(-\frac{\rho_{H_2O} \times m_{\text{sample}}}{m_{H_2O}^2} \right)^2 u^2(m_{H_2O}) + \left(-\frac{m_{\text{sample}}}{m_{H_2O}} \right)^2 u^2(\rho_{H_2O}) \quad \text{式-4}$$

なお、感度係数の算出には、実際の試験で扱った数値を用いることが望ましいが、この場合、試験の度に感度係数の算出を行う必要がある。

5.4.2 膜厚測定の不確かさ

(1) 感度係数の算出

膜厚の算出式(式-1)より求めた微係数に試験で用いる現実的な数値を代入し、感度係数を求めた(表-10)。

表-8 試験板のサイズの不確かさ

	長さ (縦 mm)	長さ (横 mm)	面積 (cm ²)	標準に対する最大 の変動割合(%)
最 小	149.5	69.5	103.9	±1.05%
標 準	150.0	70.0	105.0	
最 大	150.5	70.5	106.1	

(2) 不確かさの合成

これまでに求めた不確かさをすべて合成し、膜厚測定の不確かさを推定した(表-11)。

6. まとめ

塗膜の膜厚を塗布量より算出する場合の拡張不確かさ(K=2)は、

$$\pm 3.196 \times 10^{-5} (\text{cm})$$

$$= \pm 0.32 \mu\text{m}$$

と求められた。

最終的に得られた不確かさについて、主観的に「意外と小さい」と思われたが、この方法による膜厚測定では、刷毛目や柚子肌等の塗膜表面の凹凸は全て平均化されて求まるため、試験板に載せた塗料の量(すなわち密度測定)に大きな間違いが無ければ、概ね妥当な値と考えられる。この方法の不確かさが明らかになったことで、膜厚計等で直接測定することが困難な場合の膜厚管理に有効であることが確認できた。

比重カップの水による校正(水の質量測定)において、測定温度が高くなるほどバラツキが大きくなる結果が得られたが(図3参照)、この原因については理解できていない。今後、更に検討すべき課題である。なお、「測定者による違い」を検討していたところ、JIS等の規格で規定されていない操作手順で各人それぞれの「やり方」があるようである。実験や測定の操作手法と不確かさの関係についても興味深い。

〔この報告書は、試験機関連連絡協議会開催の「不確かさ研究会」成果報告会(2001年9月10日)で日塗検が報告した内容に基づいたものである。〕

表-9 塗料用比重カップによる塗料密度測定 of 合成標準不確かさ

標準不確かさ	$u(x_i)$	感度係数	$c_i = \frac{\partial \rho_s}{\partial x_i}$	不確かさ成分	$ c_i u(x_i)$
u(試料の取扱)	0.003909	$\left(\frac{\rho_{H_2O}}{m_{H_2O}}\right)$	0.019913		7.784×10^{-5}
u(水の質量測定)	0.01302	$\left(-\frac{\rho_{H_2O} \times m_{sample}}{m_{H_2O}^2}\right)$	-0.03476		4.526×10^{-4}
u(水の密度)	9.98×10^{-7}	$\left(-\frac{m_{sample}}{m_{H_2O}}\right)$	1.74550		1.74×10^{-6}
塗料密度測定 of 合成標準不確かさ					
$u_c(\text{塗料密度}) = \sqrt{\sum [c_i u(x_i)]^2}$			$u_c(\rho_s)$		4.59×10^{-4}

ただし、感度係数の算出には次の値を用いた。

$$m_{H_2O} = 50.129(g) \quad , \quad \rho_{H_2O} = 0.99823(g/cm^3) \quad , \quad m_{sample} = 87.5(g)$$

表-10 感度計数の算出

記号	計算式	感度係数	変数への代入値
$\left(\frac{\partial L}{\partial A}\right)$	$\left(\frac{1 - C}{\rho_s - \rho_{Solv} S}\right)$	1.369×10^{-3}	S(塗装面積) =105(cm ²)
$\left(\frac{\partial L}{\partial \rho_s}\right)$	$\left(-\frac{A}{S \times \rho_s^2}\right)$	8.239×10^{-3}	A(塗料の塗付量) =2.5(g)
$\left(\frac{\partial L}{\partial C}\right)$	$\left(-\frac{A}{S \times \rho_{Solv}}\right)$	-2.646×10^{-2}	ρ_s (塗料密度) =1.70(g/cm ³)
$\left(\frac{\partial L}{\partial \rho_{Solv}}\right)$	$\left(\frac{A \times C}{S \times \rho_{Solv}^2}\right)$	1.176×10^{-2}	C(塗料の溶剤分) =40(%)
$\left(\frac{\partial L}{\partial S}\right)$	$\left(\frac{A - A \times C}{\rho_s - \rho_{Solv} S^2}\right)$	-3.261×10^{-5}	ρ_{Solv} (溶剤密度) =0.9(g/cm ³)

表-11 合成標準不確かさバジェットシート

要因	記号	標準不確かさ	Type	感度係数	測定量の 不確かさ成分
塗料の塗付量 (天秤)	u(天秤)	5.774×10^{-4}	B	1.369×10^{-3}	7.095×10^{-7}
塗料密度の測定	u(塗料密度)	4.59×10^{-4}	A/B	8.239×10^{-3}	3.782×10^{-6}
溶剤分測定 (加熱減量)	u(加熱残分)	3.82×10^{-4}	A	-2.646×10^{-2}	1.011×10^{-5}
溶剤密度	u(溶剤密度)	1.00×10^{-3}	B	1.176×10^{-2}	1.176×10^{-5}
塗装面積 (試験片面積)	u(塗装面積)	5.25×10^{-3}	B	-3.261×10^{-5}	1.712×10^{-7}
合成標準不確かさ $u_c(L) = \sqrt{\sum [c_i u(x_i)]^2}$					1.598×10^{-5} (cm)
拡張不確かさ(k=2)					3.196×10^{-5} (cm)