バラの品種と生長特性を考慮した花弁の微視的構造に基づく反射・透過モデルとCG画像生成

立野竜也　剣持雪子　小谷一孔

北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科
〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1
Tel: 0761-51-1231
Email: { rtachino,kenmochi,ikko} @jaist.ac.jp

概要　バラ花冠のフォトリアルなCG生成の為に，品種と生長特性を考慮した微視的構造に基づく花弁反射・透過モデルを検討する．複数品種の花弁の反射及び透過を表現するために，我々が既に報告している単品種用のバラ花弁反射モデルを拡張し，バラ花弁の特徴的な多層構造に起因する独特の反射・透過特性を表現する．また細胞の生長に伴う形状の変化に起因する反射・透過特性の変化の表現を試みる．シミュレーションにより，実際の反射・透過光特性が提案モデルを用いて近似できることを示し，また提案モデルを用いて生成した画像例を示す．

キーワード: コンピュータグラフィックス，花，反射モデル，透過モデル

Reflection and Transmission Models of Multiple Breeds of Rose Petals Based on the Microscopic Structures Allowing the Growth for Computer Graphics

Ryuuya TACHINO　Yukiko KENMOCHI　Kazunori KOTANI

Graduate School of Information Science, JAIST.
1-1 Asahidai, Tatsunokuchi-machi, Nomi-gun, Ishikawa, 923-1292, Japan
Tel: 0761-51-1231
Email: { rtachino,kenmochi,ikko} @jaist.ac.jp

Abstract　This paper discribes reflection and transmission models for the computer graphics in order to create photorealistic images of roses. Our models are based on the microscopic structures of rose petals, such as the dome-shaped and translucent cells. Our models can express reflection and transmission characteristics of multiple breeds of roses and the varying the reflection that is oriented the growth. The values of our model parameter are estimated by measuring reflection and transmission intensity of the real. Finally, we show the examples of images of rose petals constructed by the our models.

Key Words: Computer Graphics, Flower, Reflection Models, Transmission Models.

1　はじめに

植物のコンピュータグラフィックス (CG) 画像は景観シミュレーション等で利用されており，その際，植物の表面の質感の表現にLambertやPhong等のモデルが用いられてきた [1]．最近では，フォトリアルな質感表現を目指して，葉や花弁といった植物の多層薄膜構造における層間での相互反射を考慮した反射・透過モデル [2] や，各層内での光の散乱をシミュレーションすることによる葉や人間の皮膚のCG画像生成 [3] 等の研究が報告されている．バラ花弁は表面がドーム形状の細胞を持つ多層構造であり，これら従来の反射モデルでは表現できなかった．このため，我々は花弁の微視的構造に基づく反射モデルを検討し，単品種のバラ花弁の反射光分布を精度良く近似できることを示した [4]．しかし，検討したモデルは単一の品種のバラのみを対象としたものであり，他の品種に対する汎用性については示していなかった．また，花弁は薄く半透明な細胞組織を持ち，フォトリアルなCG画像生成には，透過も反射と同程度の精度で表現する必要がある．

本報告では，上記のバラ花弁反射モデルを他のバラ品種及び生長特性を表現できるよう拡張する．ここでは，ハイライトの表出の度合いが大きく異なる 4 品種を対象とする．また，透過光表現の重要性を示し，微視的構造に基づく花弁透過モデルを提案する．その結果，対象とした品種のバラ花弁の反射および透過光分布を精度良く近似できることを示す．また，生長による花弁細胞形状の変化と反射特性の変化の関係を検討し，上記モデルを適用して生成したバラの花の CG 画像の生成例を示す．

2 花弁の反射・透過光強度分布測定

バラの栽培業者らと検討し，市場に生花として流通している主要な約 20 品種を，ハイライトの表出の度合いにより 4 種類に大別し，これら 4 種類に対してそれぞれ 1 品種を選定した (表 1)．ここで，花色の x および y は色度座標値である．本稿では以降，表 1 の品種をそれぞれの略称で呼ぶ．

表 1: ハイライトの表出度合による分類と対象品種

品種	ハイライト表出度合い	花色			略称
		色名	x	y	
Black Beauty	強	黒	0.476	0.255	BB
Rote Rose	中	赤	0.608	0.285	RR
Eliza	弱	ピンク	0.361	0.302	EL
Soup-less	無	白	0.337	0.345	SP

表 1 の各バラについて花弁の反射・透過光強度分布を色彩輝度計[1] を用いて測定した．図 1 に示すように，入射角は花弁表面の法線方向に対して 45 度とし，反射および透過それぞれについて，各法線方向に対して-70 度から 70 度まで，10 度間隔で測定した．測定結果を図 2 に示す．図 2 は上部が反射で下部が透過光強度分布である．また，$\mathbf{L}$ は，光源方向を示すベクトルである．花弁表面の微視的な構造は品種が違ってもほぼ同一であるため [5]，文献 [4] により報告した微視的構造に基づく反射モデルを拡張して適用することにより，反射光分布を近似できると考えられる．

[1] BM-7, Topcom Co. Ltd.

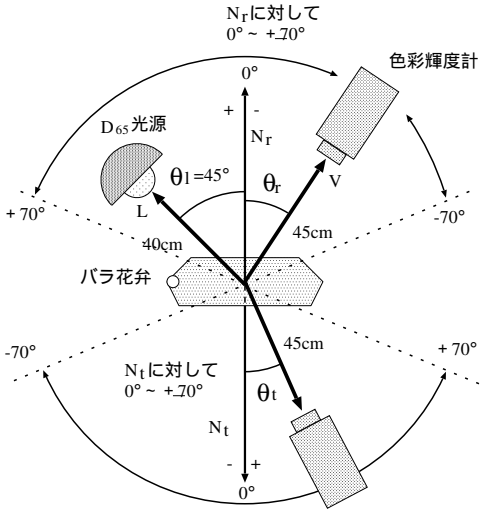


図 1: 反射および透過光分布の測定

次に，反射・透過光強度比 $R_{r/t}$ を

$$R_{r/t} = \frac{\sum_{\theta_r=-70}^{70} I_{r-exp}(\theta_l, \theta_r)}{\sum_{\theta_t=-70}^{70} I_{t-exp}(\theta_l, \theta_t)} \qquad (1)$$

として計算し，表 2 の結果を得た．図 1 より θ_l は，L と $\mathbf{N}_r$ ，のなす角，θ_r は $\mathbf{N}_r$ と $\mathbf{V}$ のなす角，θ_t は $\mathbf{N}_t$ と $\mathbf{V}$ のなす角である．$I_{r-exp}(\theta_l, \theta_r)$ および $I_{t-exp}(\theta_l, \theta_t)$ はそれぞれ反射および透過光強度である．表 2 より，対象品種の花弁の反射光強度は透過光強度より大きいが，その差は 5%から 98%程度であり，フォトリアルな質感を再現するには，反射と透過光の強度は同程度の精度で表現する必要がある．

表 2: 反射・透過光強度の比

	BB	RR	EL	SP
$R_{r/t}$	1.27	1.05	1.98	1.07

3 微視的構造に基づくバラ花弁モデル

花弁断面の微視的な構造の模式図を図 3 に示す [5]．花弁は，上面表皮細胞 (以下，上皮細胞と略す)，柵状組織細胞，海綿状組織，下面表皮細胞の 4 層からなる．その中でドーム形状をなす上皮細胞が特徴的で，花弁表面に見られる質感は，ドーム形状の陰影やハイライトによって表れていると考えられる．また，海綿状組織には細胞間隙と呼ばれる空気の粒が数多く含まれ，上面表皮細胞を透過した光は，海綿状組織内で細胞と間隙との境界で反射・屈折を繰り返し，指向性の低い反射光となると考えられる．

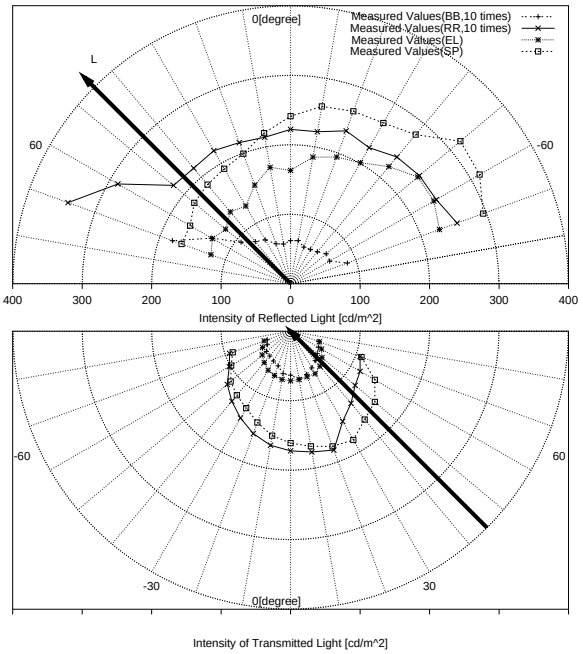


図 2: 反射 (上) および透過光分布 (下) の測定値

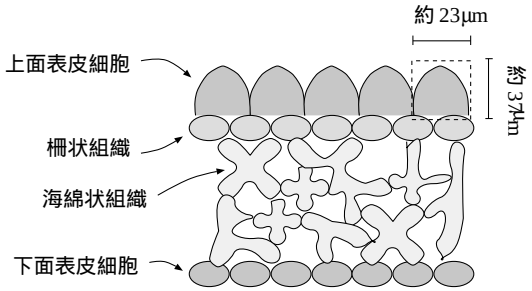


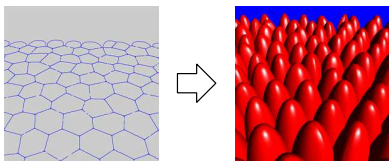
図 3: バラ花弁の断面図

そこで，我々は花弁の上皮細胞と海綿状組織の 2 層に注目し，上皮細胞の形状および各層の反射モデルを作成した [4]．以下に上皮細胞の形状モデルの作成手順を示す．

1. 上皮細胞の底面形状を生成 (図 4(a))
2. 各細胞の底面形状に対し，高さを導く関数によってドーム形状を生成 (図 4(b))

また，上皮細胞の形状モデルとして，以下の式を用いる [4]．ここで，高さを h，幅を w とする (図 5)．

$$f_{\mathrm{h}}(r) = h\cos\left(\frac{\pi r}{w}\right) \qquad (2)$$



(a) 底面形状の生成　(b) ドーム形状の生成

図 4: 上皮細胞の形状生成手順

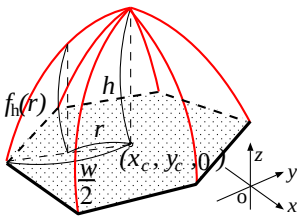


図 5: ドーム形状の生成

3.1 花弁の反射モデル

上皮細胞と海面状組織の 2 層構造を考える．

3.1.1 細胞単体の反射モデル

上皮細胞および海綿状組織の反射モデルを図 6 に示す．

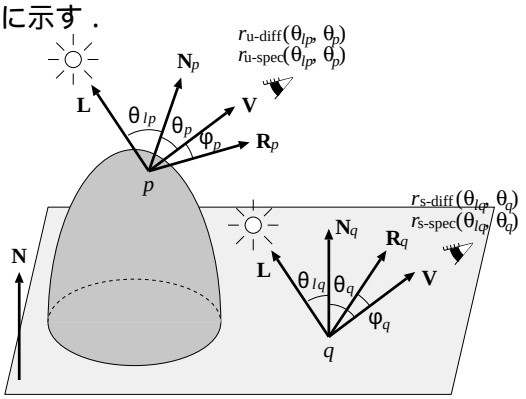


図 6: 上皮細胞と海綿状組織の反射モデル

上皮細胞表面上のある点 p の法線ベクトルを $\mathbf{N}_p$ とすると，$\mathbf{N}_p$ から角 θ_{lp} 離れたベクトル $\mathbf{L}$ から光が照射されているとき，$\mathbf{N}_p$ から角 θ_p 離れた視線ベクトル $\mathbf{V}$ への拡散反射の反射率 $r_{\mathrm{u-diff}}(\theta_{lp}, \theta_p)$ および鏡面反射の反射率 $r_{\mathrm{u-spec}}(\theta_{lp}, \theta_p)$ は，Lambert 則に基づくモデルおよび Phong モデルより，それぞれ

$$r_{\mathrm{u-diff}}(\theta_{lp}, \theta_p) = \cos\theta_{lp} \qquad (3)$$

$$r_{\mathrm{u-spec}}(\theta_{lp}, \theta_p) = \cos^{n_{\mathrm{u-s}}}\phi_p \qquad (4)$$

とする．ϕ_p は，$\mathbf{N}_p$ に対して，$\mathbf{L}$ の正反射方

向を示すベクトル $\mathbf{R}_p$ と $\mathbf{V}$ とのなす角で，

$$\phi_p = \cos^{-1}(\mathbf{R}_p \cdot \mathbf{V}) \quad (5)$$

$$\mathbf{R}_p = (2\mathbf{N}_p \cdot \mathbf{L})\mathbf{N}_p - \mathbf{L} \quad (6)$$

により得られる．ここで $\mathbf{L}$，$\mathbf{V}$，$\mathbf{N}_p$ は単位ベクトルとする．また，$n_{\mathrm{u-s}}$ は上皮細胞の表面に表れるハイライトの広がりを与える変数で，ここでは経験的に $n_{\mathrm{u-s}} = 40$ とした．海綿状組織の反射モデルも同様にして求める．上皮細胞と海綿状組織との境界のある点 q における，拡散反射率 $r_{\mathrm{s-diff}}(\theta_{lq}, \theta_q)$ と鏡面反射率 $r_{\mathrm{s-spec}}(\theta_{lq}, \theta_q)$ は

$$r_{\mathrm{s-diff}}(\theta_{lq}, \theta_q) = \cos\theta_{lq} \quad (7)$$

$$r_{\mathrm{s-spec}}(\theta_{lq}, \theta_q) = \cos^{n_{\mathrm{s-s}}}\phi_q \quad (8)$$

で表される．細胞間隙を数多く含む海綿状組織の表面は上皮細胞に比べてラフであると考えられるため，広がりの大きいハイライトが表れるよう，$n_{\mathrm{s-s}} = 5$ とした．次に，これらのモデルを用いて各層の反射特性を求める．

3.1.2 細胞層の反射モデル

上皮細胞の拡散反射特性の分布を求める．バラ花弁上のある平面領域 α 内に n_u 個の上皮細胞が存在するものとして，光の入射角 θ_l を 45 度に固定した場合について検討を行った．α の法線ベクトル $\mathbf{N}$ と角 θ_l 離れた光源ベクトル $\mathbf{L}$ の方向から強度 1 の光が照射されているとき，α 全体から $\mathbf{N}$ と角 θ_r 離れた視線ベクトル $\mathbf{V}$ へ向かう拡散反射特性 $r'_{\mathrm{u-diff}}(\theta_l, \theta_r)$ と鏡面反射特性 $r'_{\mathrm{u-spec}}(\theta_l, \theta_r)$ を求める．角 θ_r は -70 度から 70 度の範囲を 10 度刻みで変化させた．α 内の上皮細胞の表面 $S_i(i = 1, 2, ..., n_u)$ 上の点 p について式 (3) より，その総和 $r'_{\mathrm{u-diff}}(\theta_l, \theta_r)$ は，

$$r'_{\mathrm{u-diff}}(\theta_l, \theta_r) = \frac{1}{\alpha}\sum_{i=1}^{n_u}\int_{S_i} l(p)v(p)r_{\mathrm{u-diff}}(\theta_{lp}, \theta_p)dp \quad (9)$$

となる．ここで，$l(p)$ は p が光源から見えるとき 1，見えないとき 0，$v(p)$ は p が視点から見えるとき 1，見えないとき 0 となる．鏡面反射特性 $r'_{\mathrm{u-spec}}(\theta_l, \theta_r)$，海綿状組織の拡散反射特性 $r'_{\mathrm{s-diff}}(\theta_l, \theta_r)$，鏡面反射特性 $r'_{\mathrm{s-spec}}(\theta_l, \theta_r)$ も同様にして得る．

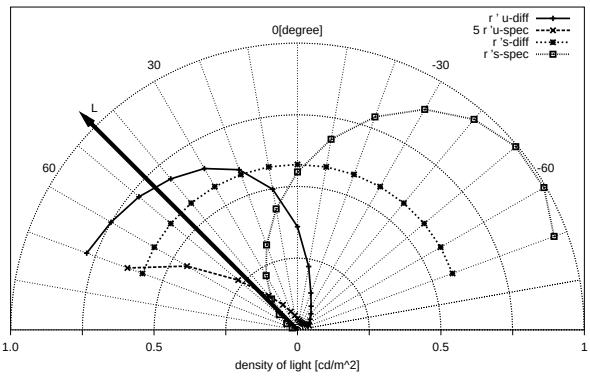


図 7: 本モデルによる上皮細胞および 海綿状組織における反射光分布

上皮細胞層及び 海綿状組織層の拡散・鏡面反射それぞれの反射特性を図 7 に示す．図 7 において，$r'_{\mathrm{u-spec}}(\theta_l, \theta_r)$ は説明のために大きさを 5 倍してある．

3.2 微視的構造の透過モデル

反射モデルと同様に，上皮細胞と海面状組織の 2 層構造を考える．

3.2.1 細胞単体の透過モデル

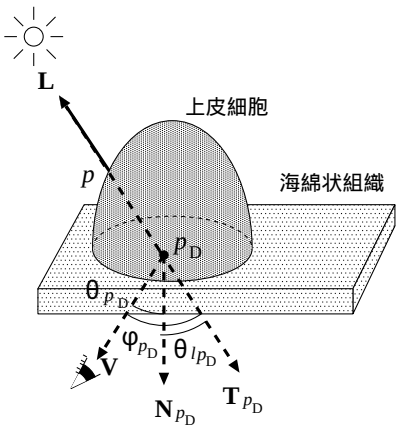
図 8(a) において，上皮細胞表面の点 p へ入射した光は，直接，下層表面に到達し透過するが，図 8(b) の場合，上皮細胞表面を通過した光は，上皮細胞の内壁で反射して，その反射光が下層へ透過していくと考えられる．

図 8(a) の場合，点 P_{D} を通る透過 (以下，直接透過と呼ぶ) を以下のように表す．

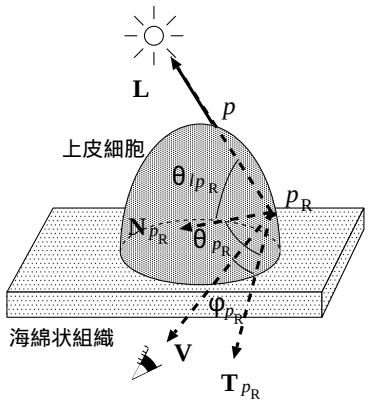
$$t_{\mathrm{D-diff}}(\theta_{lp_{\mathrm{D}}}, \theta_{p_{\mathrm{D}}}) = cos\ \phi_{p_{\mathrm{D}}} \quad (10)$$

$$t_{\mathrm{D-sprd}}(\theta_{lp_{\mathrm{D}}}, \theta_{p_{\mathrm{D}}}) = cos^{n_{td}}\theta_{lp_{\mathrm{D}}} \quad (11)$$

以降，式 (10) を拡散透過率，式 (11) を広がり透過率と呼ぶ．n_{td} は広がり透過の広がりの度合いを表し，ここでは経験的に $n_{td} = 4$ とした．$\theta_{lp_{\mathrm{D}}}$ は $\mathbf{N}_{p_{\mathrm{D}}}$ と $\mathbf{T}_{p_{\mathrm{D}}}$ のなす角，$\theta_{p_{\mathrm{D}}}$ は $\mathbf{N}_{p_{\mathrm{D}}}$ と $\mathbf{V}$ のなす角，$\phi_{p_{\mathrm{D}}}$ は $\mathbf{V}$ と $\mathbf{T}_{p_{\mathrm{D}}}$ のなす角である．ここで，$\mathbf{T}_{p_{\mathrm{D}}}$，$\mathbf{N}_{p_{\mathrm{D}}}$，$\mathbf{V}$ はそれぞれ入射光の透過方向，花弁裏面の法線方向，視線方向である (図 8(a))．図 8(b) の場合も，点 P_{R} で反射した後の下層への透過 (以下，間接透過と



(a) 海綿状組織の表面の点 p_{D} を透過(直接透過)



(b) 上皮細胞の内壁の点 p_{R} で反射した入射光の透過(間接透過)

図 8: 2 層の細胞の透過モデル

呼ぶ) をそれぞれ，$t_{\mathrm{R-diff}}(\theta_{lp_{\mathrm{R}}}, \theta_{p_{\mathrm{R}}})$ (拡散透過率)，$t_{\mathrm{R-sprd}}(\theta_{lp_{\mathrm{R}}}, \theta_{p_{\mathrm{R}}})$ (広がり透過率) として同様に求める．

3.2.2 細胞層の透過モデル

反射モデルと同様に，微視的構造から得たモデルを用いて巨視的構造における透過を考える．直接透過による拡散透過特性 $t'_{\mathrm{D-diff}}(\theta_l, \theta_t)$ は

$$t'_{\mathrm{D-diff}}(\theta_l, \theta_t) = \frac{1}{\alpha}\sum_{i=1}^{n_u}\int_{S_i} l(p)v_{\mathrm{D}}(p)t_{\mathrm{D-diff}}(\theta_{lp_{\mathrm{D}}}, \theta_{p_{\mathrm{D}}})dp \quad (12)$$

となる．ここで，$v_{\mathrm{D}}(\mathrm{p})$ を以下に示す．

$$v_{\mathrm{D}}(p) = \begin{cases} 1 & : \text{入射光が } p_{\mathrm{D}} \text{を通過する} \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases}$$

同様に，点 p_{D} を通過する広がり透過特性

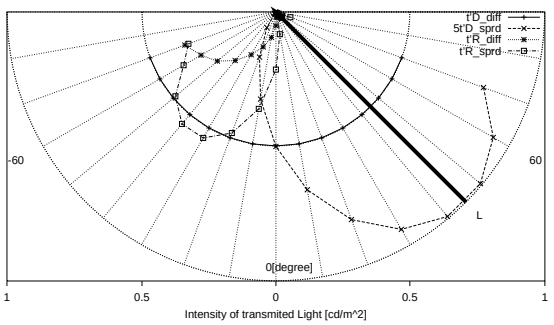


図 9: 直接および間接透過による拡散および広がり特性の分布

$t'_{\mathrm{D-sprd}}(\theta_l, \theta_t)$，間接透過光による拡散および広がり透過特性 $t'_{\mathrm{R-diff}}(\theta_l, \theta_t)$, $t'_{\mathrm{R-sprd}}(\theta_l, \theta_t)$ も得る．

以上により，$\theta = 45$ の場合における 4 つの透過特性を図 9 に示す．ここで，$t'_{\mathrm{D-sprd}}(\theta_l, \theta_t)$ は説明のために大きさを 5 倍してある．

3.3 反射および透過の混合モデル

前節までで求めた反射および透過特性を線形加算することにより，視線方向への反射および透過光強度を求める．花弁表面の法線ベクトル $\mathbf{N}$ に対して入射角 θ_l の位置から強度 I_l の光を照射したとき，方向 θ_r への反射光強度 $I_r(\theta_l, \theta_r)$ を式 (13) で表す．

$$\begin{aligned} I_r(\theta_l, \theta_r) \;=\; & I_l\Big[x_{\mathrm{u-diff}} \cdot r'_{\mathrm{u-diff}}(\theta_l, \theta_r) \\ & + x_{\mathrm{u-spec}} \cdot r'_{\mathrm{u-spec}}(\theta_l, \theta_r) \\ & + x_{\mathrm{s-diff}} \cdot r'_{\mathrm{s-diff}}(\theta_l, \theta_r) \\ & + x_{\mathrm{s-spec}} \cdot r'_{\mathrm{s-spec}}(\theta_l, \theta_r)\Big] \end{aligned} \quad (13)$$

ここで $x_{\mathrm{u-diff}}$，$x_{\mathrm{u-spec}}$，$x_{\mathrm{s-diff}}$，$x_{\mathrm{s-spec}}$ はそれぞれ上皮細胞の拡散・鏡面反射率および海綿状組織細胞の拡散・鏡面反射特性の混合係数である．

同様に，花弁裏面の法線ベクトル $\mathbf{N}$ に対して入射角 θ_l の位置から強度 I_l の光を照射したとき，方向 θ_t への透過光強度 $I_t(\theta_l, \theta_t)$ は，

$$\begin{aligned} I_t(\theta_l, \theta_t) \;=\; & I_l\Big[x_{\mathrm{D-diff}} \cdot t'_{\mathrm{D-diff}}(\theta_l, \theta_t) \\ & + x_{\mathrm{D-sprd}} \cdot t'_{\mathrm{D-sprd}}(\theta_l, \theta_t) \\ & + x_{\mathrm{R-diff}} \cdot t'_{\mathrm{R-diff}}(\theta_l, \theta_t) \end{aligned}$$

$$+x_{\mathrm{R-sprd}} \cdot t'_{\mathrm{R-sprd}}(\theta_l, \theta_t)\Big] \quad (14)$$

ここで，$x_{\mathrm{D-diff}}$,$x_{\mathrm{D-sprd}}$, $x_{\mathrm{R-diff}}$,$x_{\mathrm{R-sprd}}$ はそれぞれの透過特性の混合係数である．$I_r(\theta_l, \theta_r)$ および $I_t(\theta_l, \theta_t)$ に反射および透過の測定値を与え，それぞれ 4 つの反射および透過特性について 4 組以上の既知を与えた式 (13) および式 (14) の連立方程式を解くことにより，それぞれ 4 つの未知の係数を求めることができる．

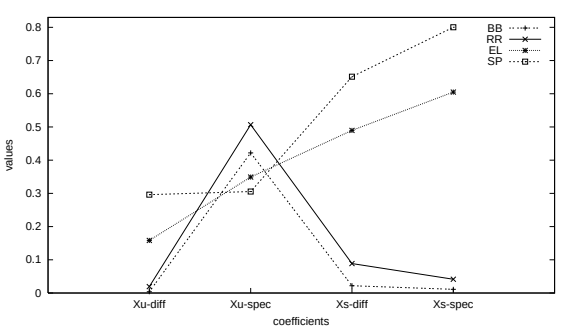
4 反射透過光分布の合成と実測値との比較

本モデルを用いて合成した反射および透過光強度 $I_r(\theta_l, \theta_r)$,$I_t(\theta_l, \theta_t)$ を図 10 に示す．図において，上のグラフは反射，下は透過の比較である．また，L は光源方向を示す．図 10 より，合成した反射および透過光分布がいずれの品種においても実際の反射および透過光分布を良く近似している．反射の実測値と合成値の誤差 $E[\%]$ を

$$E(\theta_l, \theta_r) = \frac{|I_{r-exp}(\theta_l, \theta_r) - I_r(\theta_l, \theta_r)|}{I_{r-exp}(\theta_l, \theta_r)} \times 100[\%] \quad (15)$$

により求めたところ，ほぼ 10% 以下の誤差で近似できた．ここで $I_{r-exp}(45, \theta)$ は実測値の反射光強度である．また，透過についても同様の結果を得た．

次に，$x_{\mathrm{u-diff}}$,$x_{\mathrm{u-spec}}$, のそれぞれの品種における比較を図 11 に示す．図 11 において，$x_{\mathrm{u-spec}}$，$x_{\mathrm{u-diff}}$ は品種毎の差は小さいが，$x_{\mathrm{s-diff}}$,$x_{\mathrm{s-spec}}$ は品種により値が大幅に異なった．これは，上皮細胞での反射は色素による光の吸収を受けにくく，逆に海綿状組織での反射は上皮細胞に含有される色素による光の吸収のため，品種により係数が大きく変化したと考えられる．



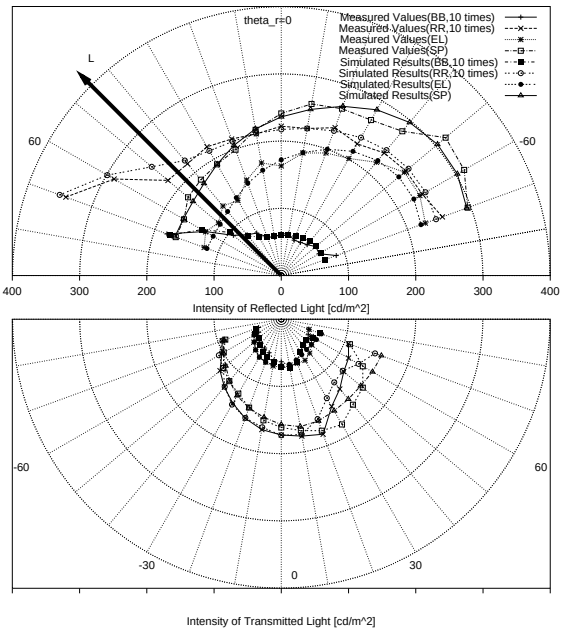


図 10: 反射透過光分布の計測値と本モデルによる合成値との比較

図 11: 4 つの反射特性係数の品種間での比較

5 生長による反射特性の変化の表現

バラ花弁は表面のドーム形状をなす上皮細胞により，独特な反射特性を持つ．上皮細胞の形状は花弁の生長に伴い変化するので，それにより花弁表面の質感も変化すると考えられる．そこで，生長によるドーム形状の変化を調べるため，RR の半咲きと満開，枯れかけにおける花弁断面の顕微鏡写真を撮影した．図 12 で，上段が半咲き，中段が満開，下段が枯れかけである．また，右側の顕微鏡写真の中で，上皮細胞の例をそれぞれ黒枠で囲ってある．次に，写真より上面表皮細胞の幅，高さの平均および幅高比を得た (表 3)．

表 3: 上皮細胞の幅高比 (RR)

	半咲き	満開	枯れかけ
幅の平均 $[\mu\mathrm{m}]$	24.8	42.4	36.0
高さの平均 $[\mu\mathrm{m}]$	37.0	29.0	13.5
幅高比 (幅:高さ)	1:1.5	1:0.7	1:0.38

求めた幅及び高さを用いて，式 (2) の w およ

図 12: 花の写真 (左) と花弁断面の顕微鏡写真 (右，×1000)(上:半咲き，中:満開，下:枯れかけ)

び h を変化させることにより，生長の度合いによるバラ花弁表面の質感の違いを表現できる．

6 CG 生成例

上述の質感表現手法及び非接触 3D ディジタイザ[2] で測定した花弁の形状を用いて，バラの CG 生成を試みた．光源は 1 個の点光源で，$I_l = 1$，方向は $\mathbf{L}_l = (1, 1, 1)$ (紙面に対して左斜め上の手前方向) とした．RR に対するバラの写真と，本手法により生成した CG 画像を図 13(全体) および図 14(拡大した花弁) に示す．また，図 15 の (a),(b),(c) にその他 3 品種の花弁拡大写真と，図 15 の (d),(e),(f) に本手法により生成したそれぞれの品種の画像の拡大図を示す．それぞれの品種において，ハイライトおよび陰影の位置が良好に再現されている．また，それぞれの品種の拡大図において，生成画像の輪郭が滑らかでないが，これは使用した非接触 3D ディジタイザが花弁輪郭部で正確な計測を行えなかったためと考えられる．

[2] VIVID700, Minolta Co. Ltd.

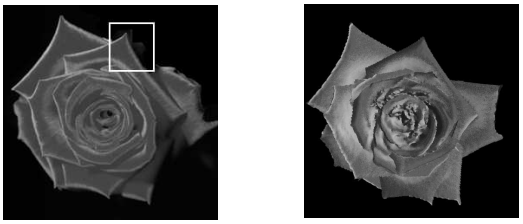


図 13: RR の写真 (左) と提案モデルにより生成した画像 (右)(花冠全体)

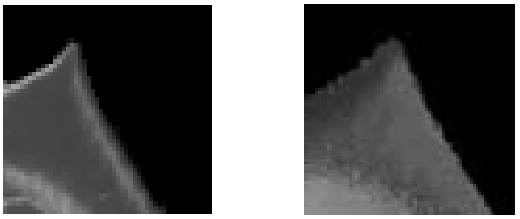
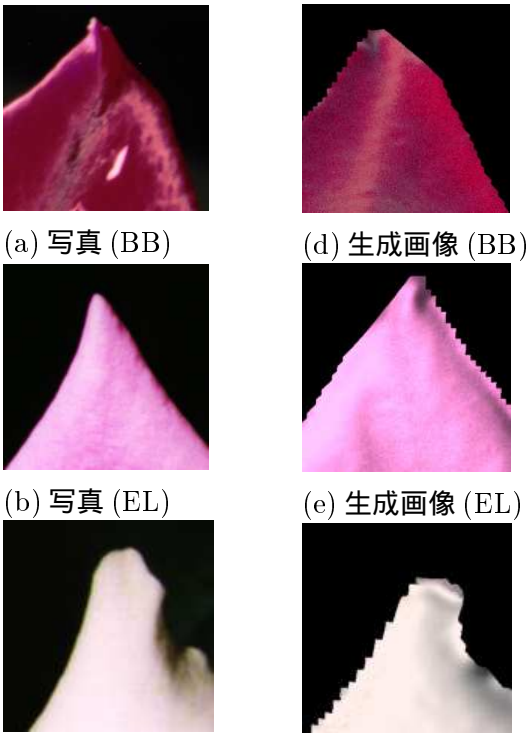


図 14: 図 13 の拡大図 (左:写真, 右:生成画像)



(a) 写真 (BB)　(d) 生成画像 (BB)

(b) 写真 (EL)　(e) 生成画像 (EL)

(c) 写真 (SP)　(f) 生成画像 (SP)

図 15: その他の品種での写真と生成画像の比較 (拡大図)

次に，モデルのドーム形状を変化させることにより，生長による質感の変化を表現する．半咲き，満開，枯れかけの花弁の写真と生成画像の比較を図 16，図 17，図 18 に示す．それぞれの図において，左が写真，右が生成画像である．

生成画像は，3 次元形状取り込み装置で実際の形状を取り込み，提案モデルを用いて花弁表面の質感を表現し，それに写真と同じ背景と花冠付根部の白い部分のテクスチャを合成したものである．それぞれの図において，生成画像は写真と同じハイライト及び陰影の出現傾向を持つことが分かる．

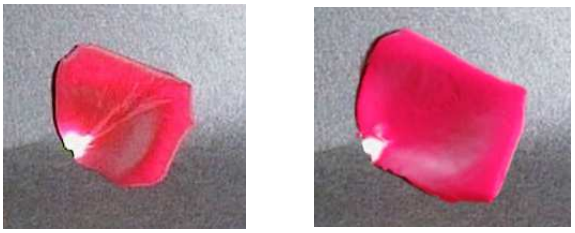


写真　　生成画像

図 16: 写真と生成画像との比較 (RR，半咲き)

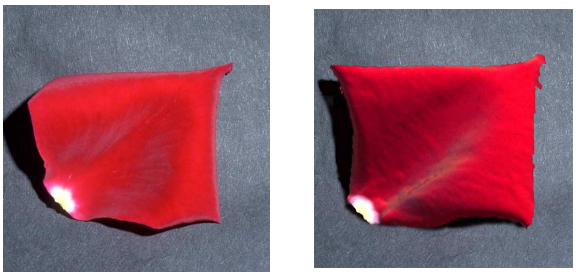


写真　　生成画像

図 17: 写真と生成画像との比較 (RR，満開)

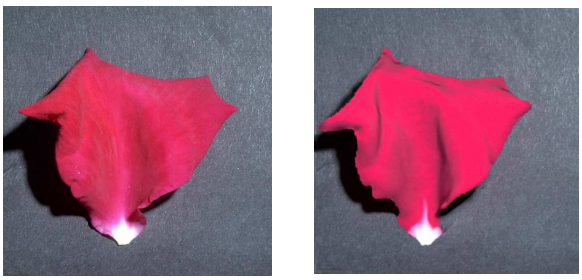


写真　　生成画像

図 18: 写真と生成画像との比較 (RR，枯れかけ)

7　まとめ

本稿では、我々が先に報告した微視的構造に基づくバラ花弁反射モデルを他のバラ品種に拡張し，また，微視的構造に基づく花弁透過モデルを検討した．ハイライトの表出の度合いが大きく異なる 4 品種を対象とし、それぞれの表面の質感を提案した反射および透過モデルで表現できた。また，モデルを用いて合成した反射および透過光分布は，対象とした全ての品種のバラ花弁の反射および透過光分布を精度良く近似できた．さらに，生長による花弁細胞形状の変化を調べ，上皮細胞形状を変化させることにより，咲き度合い毎に異なる反射特性を表現できた．最後に，上記モデルを適用して生成した複数品種および生長度合いの異なるバラの花の CG 画像の生成例を示した．

今後の課題は、屈折を考慮した反射および透過モデルの検討，色に関するモデル化の検討等を考えている．

参考文献

[1] Donald Hearn, M. Pauline Baker, “Computer Graphics”, Prentice Hall, Inc., 1994.

[2] Gladimir V.G. Baranoski, Jon G. Rokne, “An Algorithmic Reflectance and Transmittance Model for Plant Tissue”, EUROGRAPHICS, Vol.16, No.3, pp141-150,1997.

[3] Pat Hanrahan, Wolfgang Krueger, “Reflection from Layerd Surfaces due to Subsurface Scattering”, SIGGRAPH Proceedings, pp165-174, 1993.

[4] 寺戸 育夫, 剣持 雪子, 小谷 一孔, “微視的・巨視的構造に基づく花のグラフィックスモデルに関する研究”, 情報処理学会研究報告 CVIM114-19,pp145-152,1999.

[5] 安田 齋, “花色の生理・生化学”, 株式会社内田老鶴圃, 1993.

[6] Thomas W.Brakke, James A.Smith, Joann M.Harmden, “Bidirectional Scattering of Light from Tree Leaves”, Remote Sens. Environ, No.29, pp175-183,1989.

[7] 杉原 厚吉, “グラフィックスの数理”, 共立出版株式会社, 1995.