

# 半透明材質へのUV印刷による半透明感の制御

高谷 剛志<sup>1,a)</sup> 藤田 紘樹<sup>1,b)</sup> 田中 賢一郎<sup>1,c)</sup> 船富 卓哉<sup>1,d)</sup> 向川 康博<sup>1,e)</sup>

**概要:** UV プリンタは紫外光の照射によって硬化する UV インクを用いることで、様々な材質および立体物への印刷を可能とする。一般的に、材質の半透明感はデザインの邪魔になるため、下地として白色を UV 印刷することで材質の半透明感を隠蔽する。これに対し、本稿では、下地を印刷せず、半透明な材質と UV インクとの層構造を利用することで印刷物の半透明感を制御する手法を提案する。半透明感のモデルとして変調伝達関数を用い、クベルカの層理論に基づいて印刷物の半透明感を合成する。さらに、様々な材質および UV インクの組合せによる半透明感を事前に計算し、ルックアップテーブルを構築する。様々な組合せで合成した半透明感と実際に作製・計測した半透明感とを比較し、合成手法の評価を行う。

## 1. はじめに

3D プリンタなどのデジタルファブリケーション機器は、複雑な形状を持つ物体の造形を容易にするため、故障部品の修繕や各個人に最適な形状の義肢・ギプスの作製など、一品特注物の作製によく応用される。新しい 3D 印刷材料の開発により、部分的な柔らかさの制御なども可能になってきている。例えば、メカレスで動的に形状変化する 3D 印刷 [1] など、高い機能性を持つ造形手法に注目が集まっている。一方で、デジタルファブリケーションにおける視覚的質感の設計に関する検討はあまり多くない。カラー造形に対応した 3D プリンタや様々な材質にインクジェットプリント可能な UV プリンタなどはあるが、原則として、それらによって調整可能なパラメータは色のみである。色だけの制御の場合、表現力は大きく制限される。例えば、図 1 の寿司は同じ色合いであるが、半透明感や光沢感が異なるため、視覚的質感は大きく違って見える。色に加え半透明感や光沢感などの高度な質感設計が可能になれば、デジタルファブリケーションによる表現力はより豊かとなり、例えば、貴重な有形文化財の複製、各個人に最適な質感の義手や付加価値を高めたトイフィギュアの作製などが可能となる。そこで、本研究では視覚的質感の一つである半透明感に着目し、UV プリンタによって材質の半透明感を制御する手法を提案する。

UV プリンタは、紫外 (UV: Ultraviolet) 光の照射によっ



図 1 本物と食品サンプルにおける視覚的質感の違い。

て硬化する UV インクを用いることにより、様々な材質および立体物へのインクジェット印刷を可能にする。印刷業界において古くから活用されており、紙や布のみでなく、金属やプラスチックを対象としたパッケージ印刷などに応用されている。近年の UV-LED 発展に伴い、UV プリンタの低価格化が進み、共用ファブリケーション施設などにおいて誰でも利用できるようになってきた。様々な材質にインクジェット印刷できる点が UV プリンタの大きな特長であるが、材質本来の半透明感が印刷後の色に影響するため、白インクを下地として印刷し、材質の半透明感を隠蔽することが一般的である。一方で、本研究では、あえて下地印刷を行わず、材質本来の半透明感を考慮して UV 印刷することにより、印刷後の色と半透明感を制御する。

半透明材質の種類や UV インクの種類などによって印刷物の半透明感は変化する。そこで、そのような要因の組合せと印刷物の半透明感との関係をルックアップテーブルとして構築する。その際、多くの組合せについて実際に作製するのは現実的でないため、層構造に基づく半透明感の合成を行う。最終的に、構築したルックアップテーブルを用いた単純な逆引きによって、要求される半透明感に最も類

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

a) takatani.tsuyoshi.to2@is.naist.jp

b) fujita.koki.fg9@is.naist.jp

c) ktanaka@is.naist.jp

d) funatomi@is.naist.jp

e) mukaigawa@is.naist.jp

似する場合の要因組合せを探索する。

## 2. 関連研究

デジタルファブ리케이션における視覚的質感を制御する試みはいくつか行われている。Hašan ら [2] や Dong ら [3] は 3D プリンタを用いた半透明感の制御を行った。散乱特性の異なる複数の材質を層構造に印刷し、再現したい形状に基づいて場所ごとの厚みや重ねる順序などを最適化することで所望の散乱特性を再現した。層構造を用いるため、本稿におけるアプローチと非常に類似しているが、物体内部の加工と物体表面の加工という点で異なっている。Papas ら [4] は顔料を用いて半透明物体の色と散乱特性を再現した。所望の散乱特性と色の再現が可能な顔料の混合比率を推定し、シリコンモルディングによって形状を造形している。Brunton ら [5] はカラー 3D プリンタが持つ色の滲みを活用することでフルカラー印刷する手法を提案した。上記研究は光学的に濃い媒体を対象としていたが、伏下ら [6] は液体の混合によって光学的に薄い媒体を対象とした散乱特性の再現を行った。液体の混合比率と散乱特性の関係をサンプリングし、回帰モデルによって所望の散乱特性を再現する混合比率を算出している。ここまでで紹介した研究のように、物体内部を加工する手法の場合、使用する材料は半透明なものに限られるため、半透明感を一定以上弱めるような制御はできない。一方で、UV プリンタを用いた表面への加工の場合、材質が持つ半透明感を弱めることによって最終的な半透明感を制御する。したがって、従来手法とは大きく異なるアプローチとなっており、将来的には組み合わせることによって、制御可能な半透明感の領域が拡張できると思われる。

## 3. 提案手法

本稿では、半透明材質に対する UV 印刷において、印刷物の半透明感を制御する手法を提案する。ある半透明材質に異なるインクを印刷することで半透明感を変えることができる。また、同じインクであっても塗り重ねる回数によって半透明感が変化する。したがって、印刷対象となる半透明材質、インクの種類、重ねる回数などの要因の組合せによって、様々な半透明感を表現することができる。しかし、ある半透明感が要求されたとき、それを表現する要因の組合せは自明ではない。そこで、本稿では、計測に基づいて要因組合せと半透明感に関するルックアップテーブル (LUT: Lookup Table) を構築し、出力系において LUT 内を探索することで、要求された半透明感を実現するための要因組合せを決定する。

実現可能な限りの要因組合せで印刷物を作製し、半透明感を事前に計測・登録できれば、LUT 内の探索によって様々な半透明感が再現可能となる。しかし、要因組合せの数は膨大であるため、実際に作製・計測することは現実的

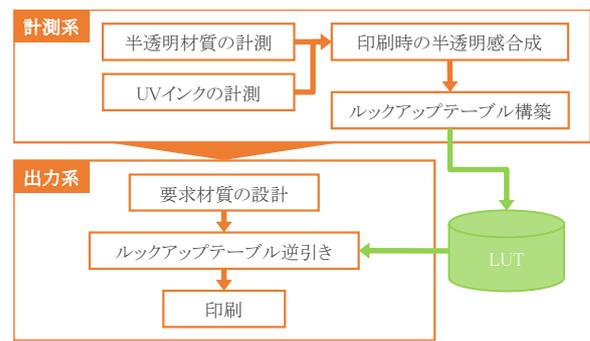


図 2 提案手法の概要図。

ではない。そこで、印刷物が半透明材質と UV インクの層構造になる点に着目し、印刷物の半透明感を合成する手法を提案する。一度、LUT が構築できれば、要求された半透明感に類似するものを逆引きすることができ、実際に出力することで再現可能となる。

出力系において要求される半透明感を実物体の計測に基づくものでもよいし、手で設計されたものでもよい。また、被印刷対象となる半透明材質が決定している場合、その材質に関するサブ LUT を用いることで探索を効率的に行うことができる。提案手法の全体的な流れを図 2 に示す。本章の残りでは、3.1 節にて本稿における半透明感の定義について述べた後、3.2 節にて半透明感の合成方法および逆引きにおける類似度について説明する。

### 3.1 変調伝達関数による半透明感表現

初めに、本稿における半透明感について定義する。我々は牛乳やロウソク、肌、リンゴなどを見たとき、それらが半透明であることを知覚できる。その主な原因は、表面下散乱である [7]。表面下散乱とは、物体内に侵入した光が物体内部の構造によって散乱し、再び物体表面から射出される現象である (図 3(a))。例えば、物体表面のある一点にレーザー光を入射すると、物体表面において光が広がる様子を観察できるが、これは表面下散乱の影響である。表面下散乱が大きいほど光は空間的に広がるため、物体の半透明感は強くなると考えられる。この現象をカメラで観測し、物体表面上のある 1 軸に沿って観測輝度をプロットすると、図 3(b) のような分布が得られる。これは、点像分布関数 (PSF: Point Spread Function) と呼ばれ、物体の材質や形状に依存する。本稿では、形状を平面と仮定し、PSF は材質のみに依存すると考える。一般に、PSF の横軸には位置、縦軸には強度 (輝度値や反射率など) が取られる。PSF を周波数領域で表現したものの絶対値を変調伝達関数 (MTF: Modulation Transfer Function) と呼び、横軸に空間周波数、縦軸に強度を取る (図 3(c))。PSF が等方的であるとき、PSF と MTF は本質的に同じであり、フーリエ解析によって互いに領域を変換することができる。本稿では、3.2 節における定式化の観点から、半透明感を表現す

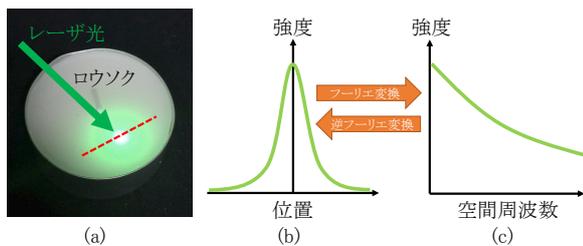


図 3 表面下散乱現象と変調伝達関数 (MTF). (a) ロウソクにレーザー光を入射すると表面下散乱によって光が空間的に広がる様子が観測できる. (b)(a) の点線に沿って輝度値をプロットしたものを点像分布関数 (PSF) という. (c)(b) を周波数領域で表現したものの絶対値を MTF と呼び、PSF が等方的なとき、フーリエ解析によって互いに交換できる.

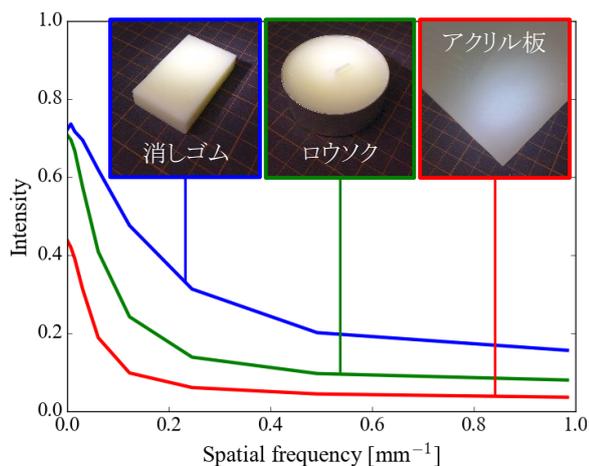


図 4 消しゴムとロウソク, 乳白アクリル板の MTF.

るために MTF を用いる. なお, 本稿では, 変調イメージング法 [8] を応用し, MTF を計測するが, MTF 計測手法は特に限定されない.

半透明感の異なる材質を対象とし, それらの MTF の変化を図 4 に例示する. 消しゴムとロウソク, 乳白アクリル板を対象とし, 一般的な室内光源下の RGB 画像と MTF を示す. 一見して, 材質に応じて MTF が変化することがわかる. 一般的な MTF の性質として空間周波数が高くなるにつれて強度が減衰するが, 表面下散乱の大きさによってその減衰程度が異なる. 表面下散乱が大きいほど, 高周波領域における減衰が大きくなるため, MTF の強度は比較的小さくなる. すなわち, MTF における高周波領域で強度が大きく減衰する場合, その材質における表面下散乱は大きくなり, 強い半透明感を示す. 図 4 に示す三つの材質の場合, 消しゴム, ロウソク, 乳白アクリル板の順序で半透明感が強くなっている.

### 3.2 クベルカの層理論に基づく半透明感の合成

様々な組合せによって作製した半透明物体の MTF を計測し, LUT として記録することができれば, 逆引きによって, 半透明感を制御することが可能となる. しかし, 半透明材質の種類や UV 印刷する色・重ね塗り回数などのパラ

メータについて, 全ての組合せを作製および計測することは現実的ではない. そこで, クベルカの層理論 [9] を応用し, 様々な組合せにおける MTF を合成することで LUT を構築する. 図 5 に示すような二層物体において, 第一層における反射・透過率をそれぞれ  $r_1, t_1$ , 第二層における反射・透過率をそれぞれ  $r_2, t_2$  とすると, クベルカの層理論により, 二層物体全体の反射・透過率  $r, t$  は次の式で表現できる.

$$\begin{aligned} r &= r_1 + t_1^2 r_2 (1 + r_1 r_2 + r_1^2 r_2^2 + \dots) \\ &= r_1 + \frac{t_1^2 r_2}{1 - r_1 r_2} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} t &= t_1 t_2 (1 + r_1 r_2 + r_1^2 r_2^2 + \dots) \\ &= \frac{t_1 t_2}{1 - r_1 r_2} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし, 各層における上下面の反射・透過率はそれぞれ同じであると仮定した. この理論を基に表面下散乱の強度分布を考慮した場合を定式化する. 二層物体の第一層の反射・透過 PSF をそれぞれ  $R_1(x), T_1(x)$ , 第二層の反射・透過 PSF をそれぞれ  $R_2(x), T_2(x)$  とすると, 二層物体全体の反射 PSF は次の式となる.

$$\begin{aligned} R(x) &= R_1(x) + ((T_1 * R_2) * T_1)(x) \\ &\quad + (((T_1 * R_2) * R_1) * R_2) * T_1(x) + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

ここで,  $*$  は畳み込み積分を意味する演算子である. 反射 PSF が等方的であるとき, 式 (3) をフーリエ変換することによって反射 MTF を算出でき, 次式のようになる.

$$\begin{aligned} \mathcal{F}[R](f_x) &= \mathcal{F}[R_1](f_x) \\ &\quad + \mathcal{F}[T_1](f_x) \mathcal{F}[R_2](f_x) \mathcal{F}[T_1](f_x) + \dots \\ &= \mathcal{F}[R_1](f_x) + \frac{\mathcal{F}[T_1](f_x)^2 \mathcal{F}[R_2](f_x)}{1 - \mathcal{F}[R_1](f_x) \mathcal{F}[R_2](f_x)} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで,  $f_x$  は空間周波数であり,  $\mathcal{F}[\cdot]$  はフーリエ変換を意味する演算子である. なお, 引数  $x$  は省略した. PSF の場合, 畳み込み積分が必要であったが, MTF の場合, 畳み込み定理により, 式 (1) に示す一般的なクベルカの層理論と同じ形の式を得ることができる. 同様に, 二層物体全体の透過 MTF は次の式となる.

$$\mathcal{F}[T](f_x) = \frac{\mathcal{F}[T_1] \mathcal{F}[T_2]}{1 - \mathcal{F}[R_1] \mathcal{F}[R_2]} \quad (5)$$

式 (4) と式 (5) を用いることで, 半透明材質と UV インクの反射・透過 MTF が既知である場合, それらの組合せによって印刷物の反射・透過 MTF を合成することが可能となる. また, 合成された反射・透過 MTF を再帰的に用いることによって, 多層構造の合成も可能となる. なお, 本稿では, 計測系を単純にするために印刷物の反射 MTF のみを対象とし, LUT の構築および逆引きを行うが, 透過型計測システムを構築することで印刷物の反射・透過 MTF 両方を対象とすることができる.

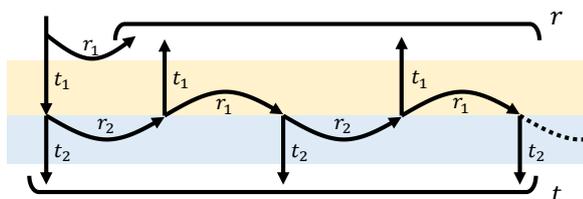


図 5 2層物体におけるクベルカの層理論 [9].

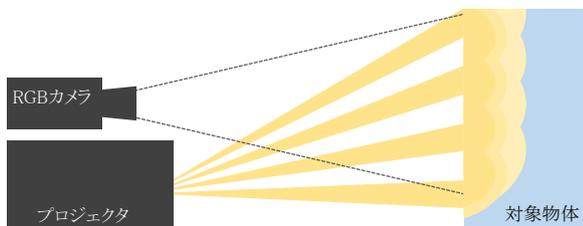


図 6 MTF 計測システム.

### 3.3 ルックアップテーブルによる逆引き

ここまでの提案により、半透明材質の反射 MTF および UV インクの反射・透過 MTF が既知であれば、様々な要因組合せに対する印刷物の反射 MTF を合成し、LUT を構築することができる。出力系では、要求された反射 MTF に最も類似するものを LUT から逆引きすればよい。逆引きを行うためには、二つの MTF 間  $M_f^A, M_f^B$  の距離を定義する必要があり、本稿では、平方平均二乗誤差 (RMSE: Root-Mean-Square Error)  $E_{AB}$  を用いる。

$$E_{AB} = \sqrt{\frac{1}{|\mathbb{F}|} \sum_{f_x \in \mathbb{F}} \{(M_f^A(f_x) - M_f^B(f_x))\}^2} \quad (6)$$

ここで、 $\mathbb{F}$  は距離計算において用いる離散的な空間周波数の集合である。二つの MTF 間の RMSE が小さくなるほど、それらの類似度は高くなる。

## 4. 実装

### 4.1 MTF 計測システム

本稿では、MTF を計測するために変調イメージング法 [8] を応用する。当該手法は、プロジェクタ-カメラシステムを用いた散乱媒体の定量的散乱・吸収係数の推定手法であるが、MTF 計測に基づいている。詳細な計測アルゴリズムは文献 [8] を参照されたい。

MTF 計測において用いた計測システムを図 6 に示す。プロジェクタ (Vivitek QUMI Q8) から正弦波パターンを投影し、RGB カメラ (FLIR Grasshopper3) でその反射光を観測する。変調パターンの空間周波数は  $0 \sim 0.985[\text{mm}^{-1}]$  の間で変化させ、異なる空間周波数で 9 回観測を行う。標準物体として、標準白色板 (X-rite ColorChecker Passport) を用いた。

### 4.2 UV インクの反射・透過 MTF の計測

クベルカの層理論による合成を実行するためには UV イン

クの反射・透過 MTF が必要となるが、物体への印刷が必要であるため、直接的に計測することができない。そこで、鏡上への UV 印刷によって間接的に計測する。

鏡上にある色の UV インクを 1 層のみ印刷したとき、式 (4) を用いて、観測対象の反射 MTF  $R_S$  は、次のようになる。

$$R_S = \mathcal{F}[R_1] + \frac{\mathcal{F}[T_1]^2}{1 - \mathcal{F}[R_1]} \quad (7)$$

ただし、鏡の反射 MTF を全周波数範囲において 1 と仮定した。次に、同じ色の UV インクを 2 層印刷したとき、式 (4) における第 2 層の反射 MTF が上記式 (7) の 1 層印刷後の反射 MTF に相当するため、観測対象の反射 MTF  $R_D$  は次のようになる。

$$R_D = \mathcal{F}[R_1] + \frac{\mathcal{F}[T_1]^2 S}{1 - \mathcal{F}[R_1] S} \quad (8)$$

これらの式から、UV インクの反射・透過 MTF は、次の式によって計算することができる。

$$\mathcal{F}[R_1] = \frac{R_S^2 R_D}{R_S^2 + R_S + R_S R_D - 1} \quad (9)$$

$$\mathcal{F}[T_1] = \sqrt{(R_S - \mathcal{F}[R_1])(1 - \mathcal{F}[R_1])} \quad (10)$$

実際に UV プリンタ (Roland LEF-300) を用いて異なる色で単色矩形を印刷し、UV インクの反射・透過 MTF を計算した結果を図 7 に示す。今回利用した UV プリンタはシアン (C)、マゼンタ (M)、イエロー (Y)、ブラック (K) インクが利用可能であるが、K インクの反射率は微小であったため、CMY インクのみを用い、それぞれの単色 100% を対象とした。

## 5. 評価

### 5.1 半透明感合成の評価

本稿で提案する半透明感合成手法を評価する。計測した半透明材質の反射 MTF および UV インクの反射・透過 MTF を用いて印刷物の反射 MTF を合成し、同じ組み合わせで実際に作製して印刷物の反射 MTF と比較し、RMSE を計算する。半透明材質として、消しゴム、ロウソク、乳白アクリル板の 3 種類を用いる。まず、それぞれの材質に単色を印刷した場合の合成反射 MTF と実際の印刷物の計測反射 MTF を図 8 に示す。それぞれの場合について RMSE を計算したところ、表 (1) のようになった。全体における平均 RMSE は 0.0853 となった。材質ごとの平均 RMSE を見ると、消しゴム、ロウソク、乳白アクリル板の順に誤差が大きくなっている。図 4 によると、これは半透明感が強くなる順序と同じであり、半透明感が強くなるほど本手法における反射 MTF の合成が難しくなっていることが示唆される。印刷する UV インクの色については、シアン、マゼンタ、イエローの順に誤差が大きくなっている。

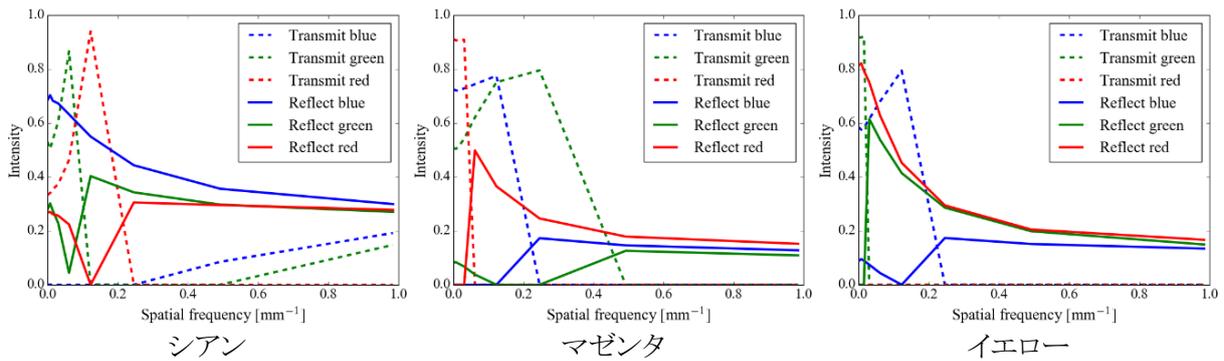


図 7 計測した UV インクの反射・透過 MTF.

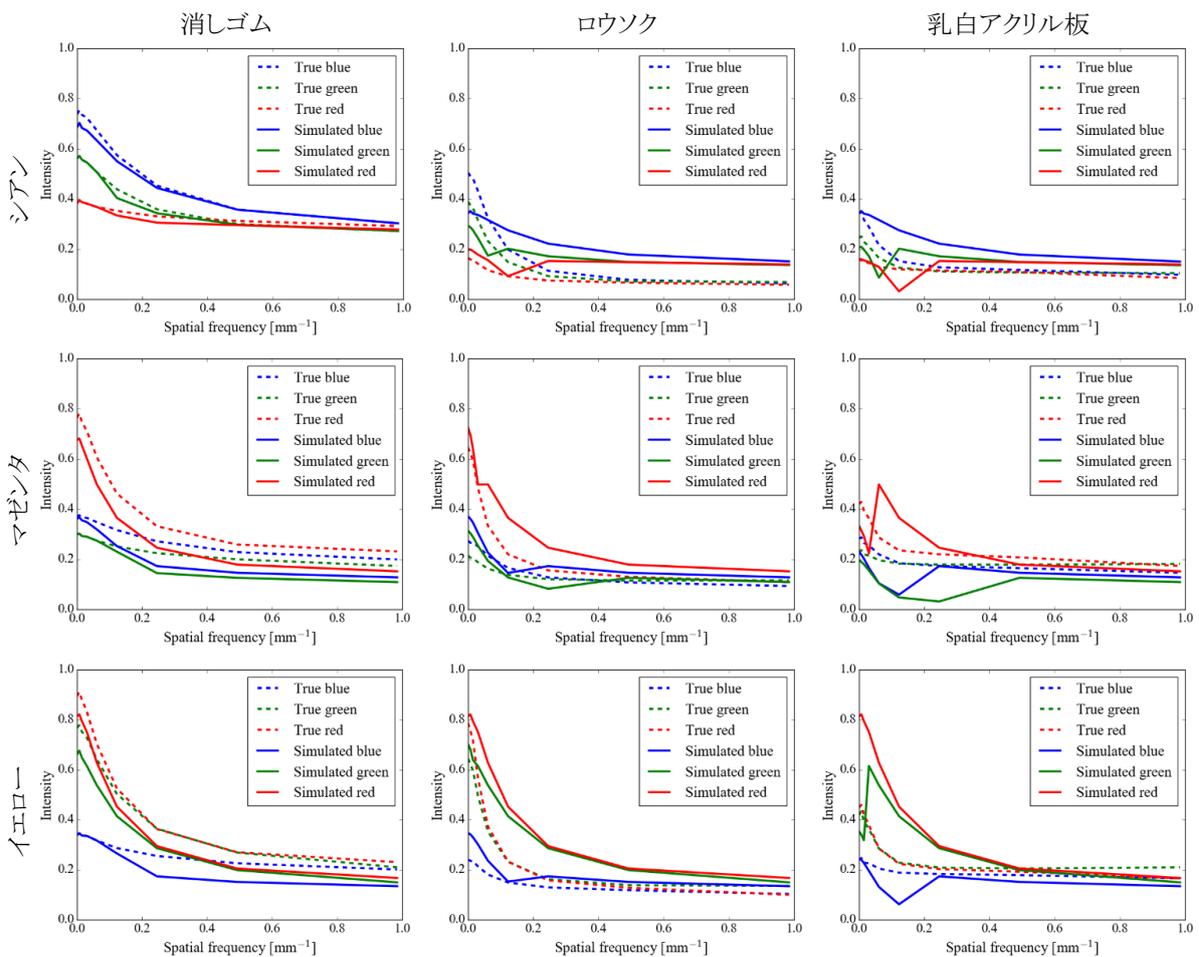


図 8 CMY 単色を印刷した場合の合成 MTF と実際の印刷物の計測 MTF の比較.

表 1 CMY 単色を印刷した場合の合成 MTF と印刷物の計測 MTF を比較した際の RMSE.

UV インク	材質			平均
	消しゴム	ロウソク	乳白アクリル板	
シアン	0.0242	0.0838	0.0548	0.0543
マゼンタ	0.0676	0.0726	0.0918	0.0773
イエロー	0.0741	0.1127	0.1861	0.1243
平均	0.0553	0.0897	0.1109	0.0853

### 5.2 逆引きによる半透明感再現の検討

最後に、逆引きによる半透明感再現について検討する。ここでは、図 9 に示すサーモン、牛肉、キウイを対象とし

て、その反射 MTF を再現する。表面テクスチャによる影響を低減するため、材質が比較的均一な小領域の反射 MTF を計測し、それを要求反射 MTF とした。LUT は、半透明材質として消しゴム、ロウソク、乳白アクリルの 3 種類を用い、CMY の 3 種類の UV インクについて、最大 5 層までの全組合せについて反射 MTF を合成することで構築したところ、1089 種類の要因組合せとなった。

構築した LUT 内を探索した結果、最も距離が近くなる組合せは、サーモンの場合、ロウソクに、マゼンタ、マゼンタの順で 2 層印刷したもので RMSE は 0.082、牛肉の場

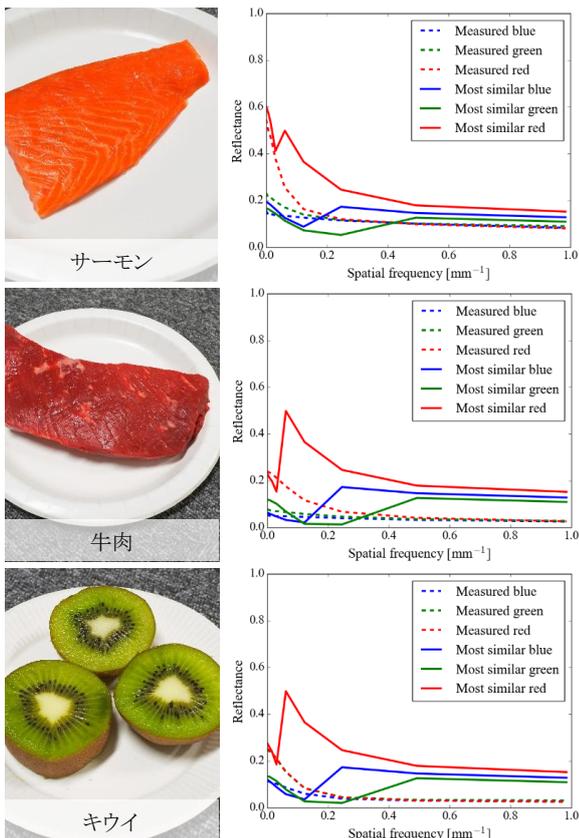


図 9 サーモン, 牛肉, キウイを対象とした反射 MTF 再現の評価.

合, 乳白アクリル板に, マゼンタ, マゼンタ, マゼンタの順で3層印刷したものでRMSEは0.1061, キウイの場合, 乳白アクリル板に, イエロー, マゼンタの順で2層印刷したものでRMSEは0.1203となった. 図9において, 点線は計測反射MTFを示し, 実線はLUTにおいて最も距離が近くなる反射MTFを示す. 反射MTFを見比べると, 再現誤差が大きいことがわかる. これはLUTが小さすぎるためと考えられる. 特に, UVインクについては, 単色100%のみしか計測できていないが, 単色で濃度が異なる場合や複合させる場合など様々な種類を考慮する必要がある. これらについては今後の検討項目と考えている.

## 6. おわりに

本稿では, 半透明材質に対するUV印刷において, 印刷物の半透明感を制御する方法を提案した. 半透明感としてMTFを用いることで層構造の定式化を容易にした. クベルカの層理論に基づき, 材質やUVインクの種類, 重ね塗り回数などの要因組合せに対する印刷物反射MTFを合成することで, LUTの構築を可能とした. 評価のため, 同じ要因組合せにおいて合成による反射MTFと作製・計測した反射MTFを比較し, 再現に関する平均RMSEが0.0853となった. 構築したLUTを用いてサーモン, 牛肉, キウイを対象として半透明感再現の検討を行った.

考察として, 表面下散乱の小さい材質(乳白アクリル板

など)において, 合成結果が悪くなる問題があったが, PSFの等方性仮定が成立していない可能性がある. PSFが等方的でない場合, MTFのみでなく, 位相伝達関数(PTF: Phase Transfer Function)も考慮する必要があり, 問題がより複雑になる. また, 異なる色のインクの混合については, 一般的なインクジェットプリンタを対象とした研究開発における手法を参考にできると考えている.

謝辞 本研究は, JST ACT-I, および JSPS 科研費 JP17K19979, JP17J05602 の支援を受けたものである.

## 参考文献

- [1] Ion, A., Frohnhofen, J., Wall, L., Kovacs, R., Alistar, M., Lindsay, J., Lopes, P., Chen, H.-T. and Baudisch, P.: Metamaterial mechanisms, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, ACM, pp. 529–539 (2016).
- [2] Hašan, M., Fuchs, M., Matusik, W., Pfister, H. and Rusinkiewicz, S.: Physical Reproduction of Materials with Specified Subsurface Scattering, *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, Vol. 29, No. 3 (2010).
- [3] Dong, Y., Wang, J., Pellacini, F., Tong, X. and Guo, B.: Fabricating Spatially-varying Subsurface Scattering, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 29, No. 4, pp. 62:1–62:10 (online), DOI: 10.1145/1778765.1778799 (2010).
- [4] Papas, M., Regg, C., Jarosz, W., Bickel, B., Jackson, P., Matusik, W., Marschner, S. and Gross, M.: Fabricating Translucent Materials Using Continuous Pigment Mixtures, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 32, No. 4, pp. 146:1–146:12 (online), DOI: 10.1145/2461912.2461974 (2013).
- [5] Brunton, A., Arikian, C. A. and Urban, P.: Pushing the Limits of 3D Color Printing: Error Diffusion with Translucent Materials, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 35, No. 1, pp. 4:1–4:13 (online), DOI: 10.1145/2832905 (2015).
- [6] 伏下 晋, 久保尋之, 船富卓哉, 向川康博: 光学特性の異なる液体の混合による半透明物体の散乱特性再現, 映像表現・芸術科学フォーラム2017, 映像情報メディア学会, pp. 45–48 (2017).
- [7] 小松英彦: 質感の科学: 知覚・認知メカニズムと分析・表現の技術, 朝倉書店 (2016).
- [8] Cuccia, D. J., Bevilacqua, F., Durkin, A. J. and Tromberg, B. J.: Modulated imaging: quantitative analysis and tomography of turbid media in the spatial-frequency domain, *Opt. Lett.*, Vol. 30, No. 11, pp. 1354–1356 (online), DOI: 10.1364/OL.30.001354 (2005).
- [9] Kubelka, P.: New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part II: Nonhomogeneous Layers\*, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 44, No. 4, pp. 330–335 (online), DOI: 10.1364/JOSA.44.000330 (1954).