

アクリルドームとデジタルカメラを用いた色情報記録装置の開発

Development of Color Image Recording System by Digital Camera with Acrylic Spherical Dome

伊與田浩志	Hiroyuki Iyota	大阪市立大学	Osaka City University
酒井 英樹	Hideki Sakai	大阪市立大学	Osaka City University
高山 正宏	Masahiro Takayama	大阪市立大学	Osaka City University
仲森 裕司	Yuji Nakamori	大阪市立大学	Osaka City University

Keywords: 食品加工, 完全拡散光, 高演色 LED.

1. はじめに

食品や農産物の色情報は、鮮度や味のほか、テクスチャ等の物理的な性質とも関わりが深く、加工業者あるいは消費者にとって、品質を判断するための重要な判断材料になる。そのため、例えば食品加工工場では、食品毎に適した色票を作成し、目視により実物と比較しながら評価・管理する方法が用いられている。あるいは、調理現場においては調理中の食品を目視により確認することにより、火加減や調理時間が決定される。このような目視による人為的な作業では、食品の色やその分布、光沢、質感等から食品の状態を判断できるが、熟練が必要で個人差も生じる。

一方、食品品質の評価・管理において、色情報をカラー画像として記録し、工場ごとの品質比較、あるいは画像情報に基づいた品質評価法の確立が現場ニーズとして求められている。そのため、できる限り人の視認状態に近い2次元画像として、かつ、再現性のある記録方法とそのための装置開発が求められている。そこで発表者らは簡便な画像の記録装置としてデジタルカメラを用い、アクリル製の白色ドーム内部で、色票とともに食品等の製品を撮影する方法の提案と装置開発を行ってきた⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。ドーム内で撮影することで、撮影時の照明条件を再現性のあるものにする、完全拡散光により凹凸を有する材料でも陰影の少ない撮影画像を簡便に得ることができる。

本報告では、従来よりも可搬性の高い装置への改良を目指し、新たに小型の白色アクリルドームとともに高演色 LED ランプを光源として用い、装置試作と精度評価を行った。また、今回新たに24色の色票により画像色調の補正を行った。また、実際の食品を用いた撮影試験を試みた。

2. 実験装置及び方法

(1) 実験装置

図1に、実験に使用した装置の一例を示す。白色塗料で内面を塗装したアクリル製ドーム内中心付近のテーブル上に食品等（撮影対象物）を置き、上部に開けられた孔からデジタルカメラにより撮影を行う。テーブルの下面に光源を設置することで、積分球を模した球状のドーム内の拡散光源下で色調補正用色票と共に撮影を行う。

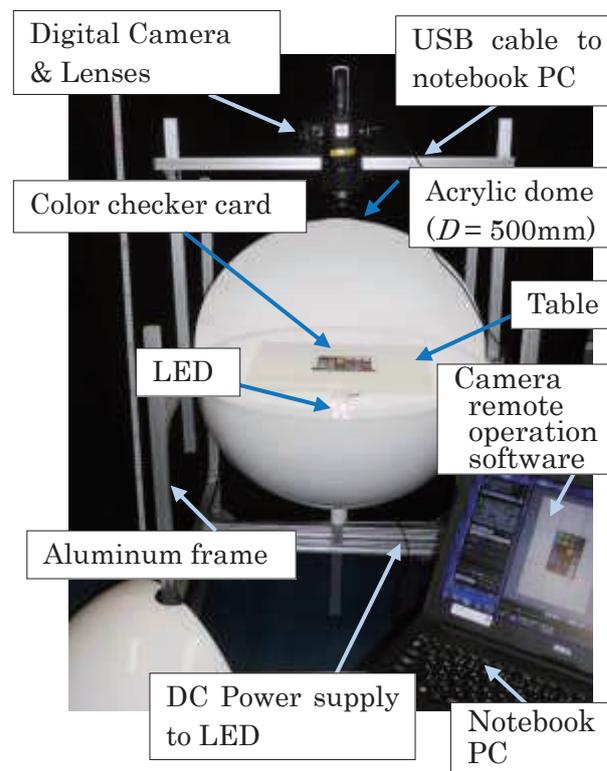


Fig.1 Photo-dome image recording system (Acrylic spherical dome in diameter of 500 mm with Digital camera Canon EOS kiss X7 and high color rendering type LED)

既報では光源として蛍光灯（色比較・検査用 D65 蛍光ランプ，色温度 6500K，Ra98）を用い直径 600mm のドームを用いていたが，本報告では従来よりも可搬性の高い装置にするために，新たに直径 500 mm のドームと高演色 LED ランプを用いた装置を試作し撮影実験を行った。

(2) 光源

省エネルギー型の光源として LED が普及する中で種々の高演色 LED ランプが販売されている。本研究では，比較的入手が簡単な 3 種類の高演色 LED を用いて実験を行った。図 2 にドーム内で分光放射照度計 (Konica Minolta CL-500A) で分光強度分布を測定した結果と，各 LED ランプの仕様（カタログ値）を示す。

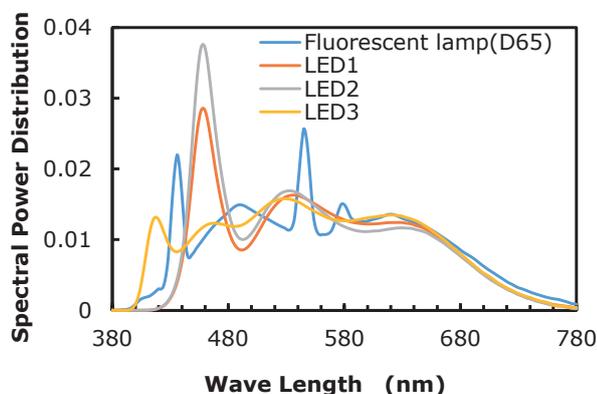


Fig.2 The SPDs of the 3 types of LEDs and fluorescent lamp (D65) measured in inside of the Acrylic spherical dome. The spectral power distributions are normalized as illuminance is equalized.

仕様（カタログ値）

LED 1 テープ型 (1 m, 30 素子)

色温度 6000K, Ra93, 12V 14.4W (汎用電源)

LED 2 テープ型 (1 m, 30 素子)

色温度 5000K, Ra95, 12V 14.4W (汎用電源)

LED 3 リング型 (直径約 100 mm, 18 素子)

色温度 5000K, Ra98, 24V 5.7W (専用電源)

(3) 撮影手順と画像処理方法

LED ランプに直流電源を接続し照度が安定するまで約 15 分程度待機する。デジタルカメラ (Canon EOS Kiss X7) を所定の位置に取り付けた後，テーブル (300 mm × 225mm) にホワイトバランスシート（つやなし白色塗装紙（日本色彩研

究所製特注品， L^* 値 94.4 標準偏差 0.25(6 か所)) を置き，被写界深度を深くするためにできる限り F 値が大きくなるように絞った状態にし，更に適切な撮影領域(230 mm × 160 mm)になるようレンズ (EF-S18-55 (F3.5-5.6) IS STM(Φ58)) のズーム及びフォーカスを調整する。次に，PC によりシャッター速度をマニュアル操作により調整する。また，記録形式は Raw モードに設定する。

撮影手順として，まずホワイトバランスシートを撮影し，次に，図 3 (b) に示すように，色調補正用色票（写真左上，ColorChecker パスポート (X-Rite inc.)) とともに，対象物となる食品等（写真右下）を撮影する。本解析では，色の精度を確認するために，紙皿上に 24 色の色票を対象物として撮影した。記録された画像データは，PC 上で非圧縮 TIFF 画像に変換して以降の画像処理を行った。なお，Raw モードでの記録画像の画素数は 5184 × 3456 pixels であるが，処理時間の短縮のために 800 × 533 pixels に縮小した。

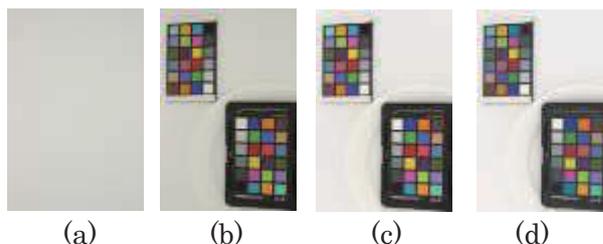


Fig.3 Recorded white balance sheet image (a), original object image (b), and corrected images after shading correction (c) and both shading and 24 color correction (d).

画像処理方法は，シェーディング補正と色調補正の 2 段階で行う。ホワイトバランスシート画像 (a) を用いてシェーディング補正係数を算出し，試料撮影画像 (b) に適用することで，カメラ光学系の周辺減光分を補正した画像 (c) を得る。なお，シェーディング補正後の画像 (c) に記録された各画素の RGB を以下，RGB 値（記録値）と表記し，D65 光源下で測色値が正確に定義された sRGB 値と区別する。

次に，RGB 値を sRGB 値に変換する方法（色調補正）であるが，本報告では，カメラ・レンズ系を，予め校正するのではなく，sRGB 色空間での sRGB 値（真の値）が正確に分かっている色調補正用色票を，試料に併置して同時撮影しておき，色調補正用色票の sRGB 値と実際に撮影された RGB 値の差異を手がかりとして，撮影画像ごと

に色調補正を行う方法を採用している。

具体的には、撮影画像の各画素の RGB 値（記録値）に対して、同じ撮影画像内の色調補正用色票 24 色の RGB 値（記録値）からもっとも RGB 値が近い 3 色を求め、その 3 色の sRGB 値（真の値）を RGB 値の差異に応じて、重み付け平均をとったものを、それぞれの画素の sRGB 値（補正值）とする。

つまり、近隣色 3 色を用いた内挿線形補間である。ただし、色調補正用色票 24 色の色域（図 4 の点線で囲まれた領域）は、sRGB 色空間（実線で囲まれた三角形の領域）よりも狭いため、標準色票の色域外では、外挿補間となる。）

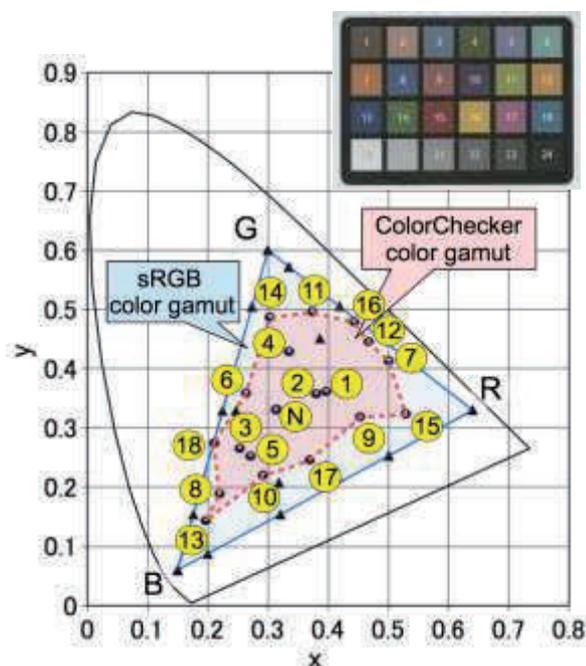


Fig 4. sRGB and ColorChecker Color Gamuts in the CIE 1931 xy Chromaticity Diagram ⁽⁴⁾

以上の 2 段階の補正を行うことで、各画素が測色値を有する色補正画像図 3(d) が得られる。これらの画像処理には、Python により独自にプログラミングしたソフトウェアを用いた。PC が一連の画像処理に要する時間は、1 画像で約 2 分間であった。

本報告では、sRGB 値をさらに、より一般的な表色系である $L^*a^*b^*$ 値に変換した上で、色差に基づく測定精度の検証を行った。

測定精度の確認の際は、紙皿上（右下）の色票の各色の中心付近 300 画素程度の平均値を求め、色調補正用色票の規格値と比較した。各 LED ランプの撮影条件を以下に示す。

LED 1 2030 lx 1/6 s (F25, ISO400)

LED 2 1860 lx 1/5 s (F25, ISO400)

LED 3 413 lx 1/2 s (F20, ISO400)

3. 実験結果

(1) 色票の用いた測定精度の確認

24 色の色別に、画像から得られた $L^*a^*b^*$ の値、色調補正用色票の規格値との差の測定結果例 (LED 1, LED 3) を表 1, 表 2 にそれぞれ示す。

Table 1 Color difference of 24 colors (LED 1)

No.	L^*	a^*	b^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*_{ab}
1	34.2	11.9	13.1	3.9	-0.1	0.6	3.9
2	62.8	12.3	18.1	2.8	1.4	-1.3	3.4
3	48.3	-1.3	-20.3	2.3	1.7	-1.3	3.1
4	41.1	-17.4	22.9	1.9	1.6	-2.5	3.5
5	53.5	12.4	-25.2	2.2	0.4	0.1	2.3
6	70.3	-30.9	1.1	0.7	0.3	0.4	0.9
7	60.4	30.9	58.0	0.7	-2.7	-1.9	3.4
8	39.7	18.4	-41.0	1.4	-1.0	-0.9	1.9
9	50.2	41.2	14.5	1.1	0.9	0.4	1.5
10	30.4	23.9	-22.1	0.7	0.5	0.0	0.8
11	71.6	-28.9	57.6	0.3	0.7	-0.7	1.0
12	70.9	11.3	65.3	0.2	1.3	-0.4	1.4
13	28.7	21.9	-46.6	1.7	4.6	-3.1	5.8
14	55.5	-41.5	32.9	-0.4	1.4	-0.6	1.6
15	40.3	48.1	25.2	1.1	1.2	-0.5	1.7
16	79.8	-4.6	76.7	0.9	1.0	0.8	1.6
17	50.8	48.5	-15.1	0.3	-0.3	-0.2	0.5
18	51.0	-20.3	-22.2	0.1	0.5	-1.1	1.3
19	95.4	-0.1	0.5	0.4	-0.1	0.0	0.4
20	80.9	-0.1	0.1	-0.3	0.2	-0.1	0.3
21	65.9	-0.7	0.2	0.0	0.7	-0.2	0.7
22	50.6	-1.0	0.6	0.6	0.8	-0.1	1.0
23	35.7	-1.1	-0.4	0.5	1.1	0.4	1.2
24	21.0	-0.4	-0.1	0.7	0.4	0.1	0.8
Average							1.8

Table 2 Color difference of 24 colors (LED 3)

No.	L^*	a^*	b^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*_{ab}
1	34.5	12.4	12.7	3.5	-0.6	0.9	3.7
2	62.7	12.3	18.5	3.0	1.4	-1.6	3.7
3	48.3	-0.6	-20.5	2.3	1.0	-1.1	2.8
4	40.8	-17.2	23.5	2.2	1.4	-3.1	4.0
5	53.2	12.7	-25.0	2.5	0.1	-0.2	2.5
6	69.8	-30.3	0.6	1.2	-0.4	0.9	1.6
7	60.6	30.5	57.7	0.6	-2.4	-1.5	2.9
8	39.6	17.6	-41.4	1.5	-0.2	-0.5	1.6
9	50.1	41.0	14.2	1.3	1.1	0.7	1.8
10	29.9	23.9	-22.0	1.2	0.4	-0.1	1.3
11	71.1	-28.7	57.5	0.8	0.6	-0.5	1.1
12	70.3	11.3	65.6	0.7	1.3	-0.7	1.6
13	28.3	23.9	-48.5	2.1	2.5	-1.2	3.5
14	55.2	-41.0	32.0	-0.1	0.9	0.3	0.9
15	40.2	48.7	25.6	1.2	0.6	-0.9	1.6
16	79.3	-4.8	76.1	1.4	1.1	1.5	2.3
17	50.4	48.6	-15.0	0.7	-0.5	-0.2	0.9
18	50.9	-20.2	-22.1	0.3	0.5	-1.2	1.4
19	95.5	0.0	0.7	0.3	-0.1	-0.2	0.4
20	80.7	-0.3	0.2	-0.1	0.3	-0.2	0.4
21	65.5	-0.8	0.3	0.3	0.8	-0.4	0.9
22	49.9	-1.2	0.7	1.3	1.0	-0.1	1.6
23	35.1	-1.5	0.0	1.0	1.5	0.0	1.8
24	20.1	-0.5	0.4	1.6	0.5	-0.4	1.7
Average							1.9

LED 1 の最大の ΔE^*_{ab} ($= \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{0.5}$) は 5.8 (No.13, Blue) で, LED 3 は 4.0 (No.4, foliage) であった.

(2) 食品を対象とした測定実験

食品の例として, 4 種類の市販の菓子をを用いて撮影を行った結果を図 5 に示す. また, 表 3 には, 三刺激値タイプの色彩計 (コニカミノルタ製, CR-13, 測定径 8 mm) を用いて測定した結果とあわせて $L^*a^*b^*$ 値を示す. L^* 値の色彩計とデジタルカメラによる測定値の差は, 試料(3)のベーカドチョコを除いて良い一致を示した. 試料(3)は, 大きな穴を複数有しており, 裏側からの光が穴を通して手前側に到達 (透過) するような状態のものであり, 色彩計による測定の際, 白い紙の上に置いたことから, L^* 値が実際よりも大きく測定された可能性がある. また, b^* 値では色彩計と画像から得られた値に 10 程度の差が見られた. これらは, 測定時の光源及び受光角度等の投受光条件の差異や, 色調補正用色票 24 色の色補正方法などの影響が考えられる. なお, 色彩計で色調補正用色票 24 色の値を測定したところ, 規格値との差 ΔE^*_{ab} は 24 色平均で約 6 であった.



Fig.5 Recorded food color image

Table 3 Measured values

	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
(1)ビスケット	66.8	9.8	34.9	
(色彩計*)	62.9	14.1	31.3	6.8
(2)チョコクッキー	49.6	12.1	31.3	
(色彩計*)	49.8	8.4	18.4	13.4
(3)ベーカドチョコ	28.5	14.5	14.8	
(色彩計*)	42.0	6.6	6.1	17.9
(4)ミニパン	48.7	19.9	38.4	
(色彩計*)	47.3	13.3	19.2	20.4
*3刺激値タイプ			平均	14.6

色彩計では, 測定対象物に光の透過性あるいは色分布, 表面に多くの凹凸を有する加工食品等の色測定には馴染みにくい場合がある. 一方, デジ

タルカメラを用いる本方法は原理的に完全な拡散光は実現しにくく, 拡散光がドーム内に置かれる物体色により影響を受ける可能性がある等の課題も残る. しかし, 調理後の食品等を, 実際の目視の色情報に近い条件下で二次元画像として色情報を記録できる. 更に対象となる食品色に適した色調補正用色票を導入して色調補正を行うことなどの応用ができることから, 特に食品用の二次元色情報を簡便に記録できる装置として有用性が高いと考えられる. 引き続き, 光の透過性や光沢を有する材料の測定試験や誤差要因の検証を進めている.

4. まとめ

高演色 LED ランプを光源とし, 白色の亚克力製ドーム内での拡散反射光下において, デジタル一眼レフカメラにより対象物の色情報を 2 次元で記録するための可搬式装置を製作した. 直径 500 mm の試作ドーム装置内で色調補正用色票を用いて色の測定精度を調べた結果, 色差 2 以下で色を測定できることを示した. また, 凹凸が少なく光の透過性が小さいクッキーとパンを試料とした場合, 画像より得られた L^* 値と色彩計で測定した値の差は 4 以下であった.

謝辞

本研究の一部は, 2015 年度飯島藤十郎記念食品科学振興財団の補助を得た. ここに記して謝意を表す.

参考文献

- 1) 伊與田他: デジタルカメラを用いた食品の焼き色評価装置の開発, 日本食品工学会誌, 11(4), 2010, 203-213
- 2) H. Iyota. *et al.*: Color measurement methods for optimization of oven operation (baking of sliced bread with superheated steam and hot air), Food Science and Technology Research 19(6), 2013, 939-947
- 3) A. Kagimoto. *et al.*: Color Measurement of Meat in Cooking under LED Lightings with Different Spectral Distributions, Proc. of AIC2015, 2015, 877-880
- 4) H. Sakai, *et al.*: Accuracy of color measurement by using digital cameras and the standard color chart, Proc. of ACA2013, 2013, 248-251