

スチームコンベクションオーブン庫内の加熱環境と食品の色変化との関係 Relationship between Heating Conditions and Food Color Behaviors during Steam Oven Cooking

仲森 裕司 Yuji Nakamori 大阪市立大学
伊與田 浩志 Hiroyuki Iyota 大阪市立大学
酒井 英樹 Hideki Sakai 大阪市立大学
吉岡 秀矩 Hidenori Yoshioka 大阪市立大学
高山 正宏 Masahiro Takayama 大阪市立大学

Osaka City University
Osaka City University
Osaka City University
Osaka City University
Osaka City University

Keywords: 色測定, 水蒸気, タンパク変性, オーブン, 加熱環境.

1. はじめに

加熱調理の際の代表的な機器として調理用オーブンがあり, 特に業務用厨房では, 水蒸気をオーブン庫内に供給できるスチームコンベクションオーブンが広く普及している. しかし, 水蒸気を利用したオーブン加熱は, 従来とは熱の伝達形態が異なることや, 装置の自動制御が進んでいることから, オーブン庫内での加熱現象や食品の熱的な変化について, 理解することが困難な場合が多い.

一方, 食品の色はおいしさを表現する上で味や香りと並ぶ重要なファクターのひとつであり, 調理現場においても, 目視により食品の状態を確認することは必須である. 発表者らは, これまでオーブン内で加熱中の食品を CCD カメラを用いてリアルタイムで色観察を行い, 実際に加熱中の食品の色の測定と解析を行ってきた^{(1)~(4)}. 本報告では, スチームコンベクションオーブンを使用した加熱調理の際の食品の加熱過程と色変化について解析を行うために, 実際にオーブン庫内で加熱中の食材の色, 温度, 庫内の温度, 湿度の同時測定を試みた. 色の測定には, CCD カメラと小型分光器を用い, 庫内の加熱環境と食品の色の履歴との関係について調べた.

2. 実験および方法

(1) 実験装置

実験装置を図 1 に示す. 実験は市販されているスチームコンベクションオーブン (tanico 社製, TSCO-4GBN3, 業務用, ホテルパンサイズ 2/3, 4 段) を改造して用いた. スチームコンベクションオーブンでは 100 °C~300 °C の範囲で 5 °C 間隔で加熱温度を設定でき, また, 0%~100% の 20%

間隔で投入スチーム量を設定できる. 実験では試料となる食品の表面温度と, 加熱温度の設定値とは別に庫内温度を K 型熱電対を用い測定した. スチーム量 20 % ~ 100 % の設定時は本研究室で開発している湿度センサ⁽⁵⁾を用いて, 乾湿球温度を測定し断熱冷却線に基づく推算法により庫内の湿度を推算した. なお, 本実験では過熱水蒸気を取り扱うので湿度の表現方法として水蒸気モル分率 x mol/mol を用いた. また, 既報によると乾球温度 300 °C において設定値と測定値の最大差は 0.043 mol/mol であった.

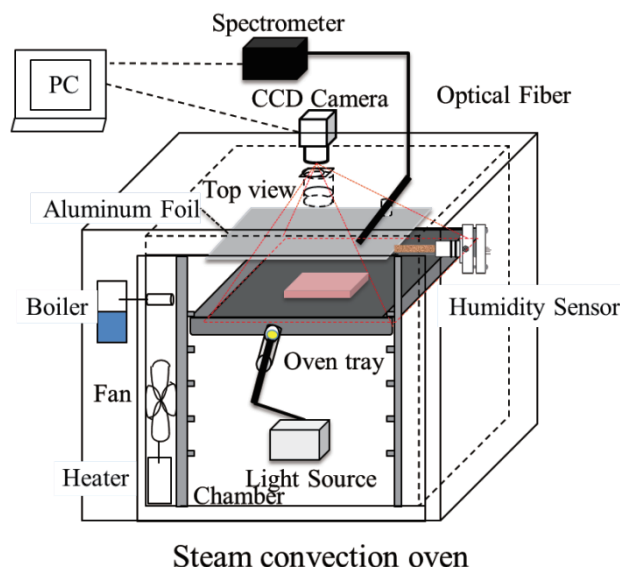


Fig.1 Details of Equipment

色を測定する装置として CCD カメラ (Imaging Source, DFK41AU02, 1/2 inch, 1280×960 pixels) を用いた. CCD カメラは, 上面に設けた直径 40 mm の穴から, 耐熱ガラスを介して庫内を観察できるように取り付けた. レンズの焦点距離 3.5mm, CCD カメラからオーブントレイまでの距離が 170 mm であり, ホテルパン (ステンレス製オーブン角皿) ほぼ全体の約 310 mm×230 mm の範囲の映像を USB 経由でパーソナルコン

コンピュータに記録できる. また同時に上面に設けた直径 7 mm の穴から耐熱光ファイバ (Ocean Optics 社製, QR400-7-VIS-NIR) をオープン内に差し込み, 小型分光器 (StellarNet, BlackComet, 280 nm ~ 900 nm) に接続し分光測定を行った. 測定範囲は CCD カメラの測定位置の中央付近になるように光ファイバの角度調節を行った.

なお, 観察用照明には, ハロゲン光 (SPI 社製, コールドライト PCS-UHX-150, 図 2) を, オープンガラス扉の外側からオープン庫内天井に向かって照射し, 天井に貼付けた拡散アルミシート (業務用アルミホイル裏面) で拡散反射した光を用いた. 色彩照度計 (コニカミノルタ製, CL-200A) で測定したオープントレイ中心付近での相関色温度は 3854 K, 照度は 830 lx であった.

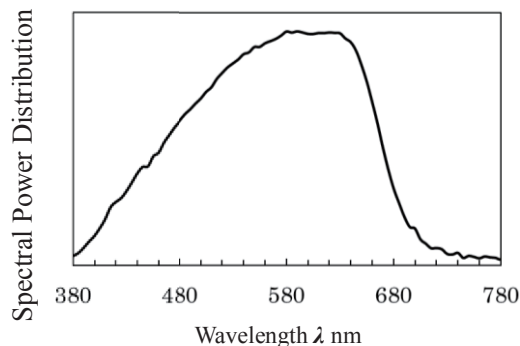


Fig. 2 The SPD of Halogen Lamp

(2) 実験条件

試料としてオープン付属のレシピ集を基に, 学校の給食でも使用されており日本の家庭料理として一般的という理由から鶏肉の照焼を選んだ. レシピ集では鶏肉 6 枚に対し, 醤油 100ml, みりん 100ml を合わせたタレに 2 時間以上漬けておき, 加熱温度 200 °C, スチーム量 80% で 12 分加熱すると記載されている.

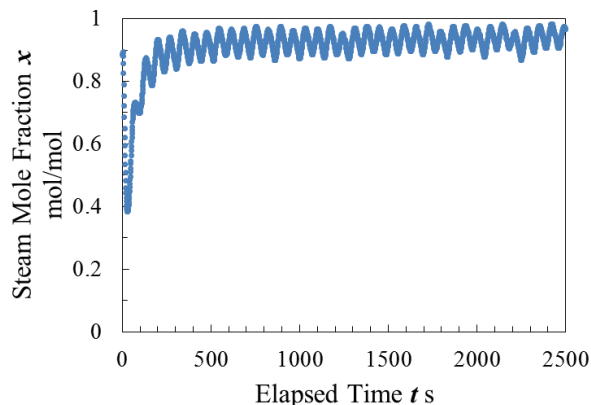


Fig. 3 Time Variation of Steam Mole Fraction

本実験ではレシピ集と同割合のタレを鶏むね肉 (約 300 g) を 2 時間以上漬けておき, レシピ集と同じ加熱温度 200 °C・スチーム量 80 %, また加熱温度 200 °C・スチーム量 0 % の 2 つの加熱条件で実験を行い, スチーム量と食品の色変化との関係を調べた. 図 3 に加熱温度 200 °C・スチーム量 80 % の加熱条件での湿度センサで得られた測定結果を示した. 鶏肉の照焼と比較のためにタレに漬けていない鶏肉も照焼と一緒に加熱した.

(3) 実験方法

実験手順について説明する. まず, オープン庫内にホワイトバランス補正用のホワイトバランスカード (X-Rite 社製, WhiteBalance Card R:243, G:243, B:242) を置き, 撮影した. その際, CCD カメラの R, G, B 受光感度を, それぞれ出力上限値の 80% 程度になるように個別にゲインを調整した (WhiteBalance Red: 33, WhiteBalance Blue: 70). そして, 色補正用の 24 色の色票 (X-Rite 社製, ColorChecker Passport) の撮影を行った後, オープンの予熱を行い, 速やかに試料である食品を置き, 扉を閉めて食品色変化の連続測定を開始した. 画像は, 10 秒間隔でパーソナルコンピュータに記録した. また, 小型分光器は積分時間 1.2 秒, 10 秒間隔で測定した.

(4) 画像処理方法と色の精度の検討

CCD カメラによって撮影した画像は, 画素を 800×600 に縮小し, 全てホワイトバランスカードの撮影画像を基準 (R:243, G:243, B:242) として画像全体に対してホワイトバランス補正 (白色点 D65) を行った後, 色票中の無彩色 6 色を使ったグレースケール補正を行った. まず, 色票画像中の該当部分の RGB 値から L^* 値を計算し, その値を色票の規格値に変換するための回帰式を求めた. 次に食品の時間ごとの画像から, 食品中央付近の RGB の平均値を求め, その値を L^* 値に変換した. 最後に, この値を上述の回帰式を用いて補正し, 焼成中の食品の L^* 値を得た. 色補正用の色票 24 色の規格値 L^*_{std} 値とホワイトバランス補正およびグレースケール補正後の測色結果 L^* 値を, 測定誤差 $|\Delta L^*| (= |L^*_{std} - L^*|)$ を求めた結果, 最大値は 4.6 で, 24 色の平均誤差は, 2.1 であった. 図 4 に (a) ホワイトバランスカードの撮影画像と (b) 色票の撮影画像, (c) 色票の撮影画像にホワイトバランス補正を施した画像を示す.

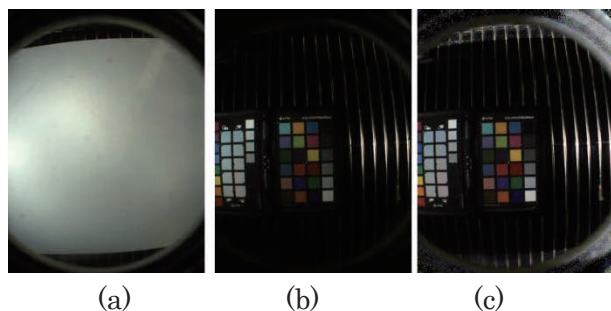


Fig. 4 Images for Corrections

これと並行して、光ファイバと小型分光器により測定した分光データから、既報⁽¹⁾で示した方法により $L^*a^*b^*$ 値を求め、CCD カメラの測定値と比較した。

3. 結果と考察

図 5 に鶏肉の照焼の CCD カメラでの色測定結果(L^* 値)と測定した表面温度の時間変化を示す。

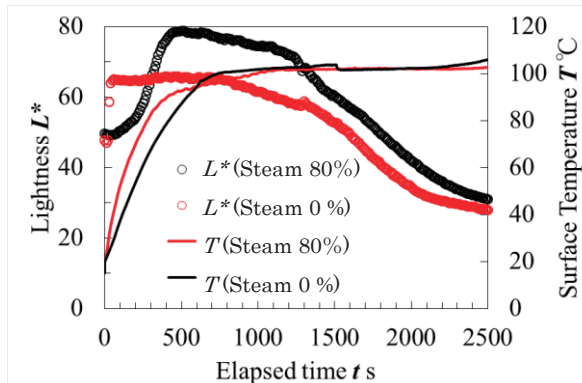


Fig. 5 Lightness Changes and Surface Temperature Changes of Teriyaki Chicken

CCD カメラでの食品の測定ということもあり食品の光沢や食品の形状変化の影響で色測定精度には議論の余地があるが、図 5 よりスチーム量 80%時は加熱開始後すぐに L^* 値上昇がみられ、スチーム量 0 %時は加熱開始約 200 秒後から L^* 値上昇するという傾向がみられた。また、並行して行った分光データでも CCD カメラと同様の傾向が得られた。

食品表面温度に関しては、スチーム量 0 %時よりもスチーム量 80 %時の方が加熱直後の温度上昇速度が速いことがわかる。その原因として、水蒸気(スチーム)の凝縮熱の影響が考えられる。オープン庫内に存在する過熱水蒸気の気流が食品の周囲に飽和水蒸気を発生させ、食品表面全体に凝縮を生じ、凝縮熱によって食品表面温度が上がる。図 6 に加熱開始 50 秒後の画像((a)スチーム量

80 %時, (b)スチーム量 0%時)を示す。

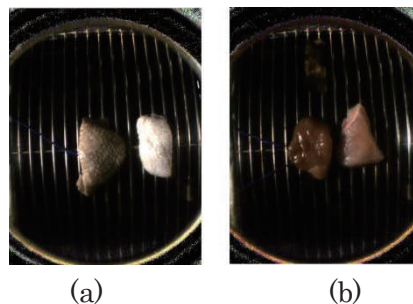
Fig. 6 Images ($t = 50$ s)

図 6 ではスチーム量 80 %時は飽和水蒸気の凝縮によって生じた水滴が食品表面に付着しているのに対し、スチーム量 0 %時は食品表面に水滴がなかった。以上のことから、水蒸気(スチーム)の供給量によって、食品表面温度に違いがみられ、その影響でタンパク変性(約 50°Cで起き、変色する)が生じる時間が変わり、色の時間変化に違いがみられることがわかった。

4. 結論

加熱調理の際、水蒸気(スチーム)をオープン庫内に供給すると(スチーム量 80 %), 供給しない場合(スチーム量 0%)と比べ食品表面の温度上昇が速くなり、その結果色変化に影響を与えることがわかった。

参考文献

- 1) H. Iyota. *et al.*: Change in Food Color During Cooking with Steam Oven, AIC2013 (2013) pp.1241-1244
- 2) S. Nomura. *et al.*: Characterization of baked color of cookie, toast and chicken: a model of light-colored food, ACA2013 (2013) pp.252-255
- 3) T. Matsumoto *et al.*: Development of food appearance monitoring system for oven cooking, ACA2014 (2014) pp.200-203
- 4) Y. Nakamori. *et al.*: Color monitoring method under high temperature during oven cooking, AIC2015 (2015) pp.856-860
- 5) K. Miura. *et al.*: Investigation of humidity measurement method using porous ceramics based on principle of psychrometer, Proc. of the 35th Japan Symposium on Thermophysical Properties (2014) pp.154-156