

光コヒーレンス断層画像化法による割卵卵黄の経時変化の観測

佐藤 卓哉^{*,***}・秋葉 正博^{**,***}・陳 建 培^{**,***}・丹野 直弘^{**,***}

^{*}山形県立産業技術短期大学校 〒990-2473 山形市松栄 2-2-1

^{**}山形大学大学院理工学研究科生体センシング機能工学専攻 〒992-8510 米沢市城南 4-3-16

^{***}山形県テクノポリス財団地域結集型共同研究事業 〒990-2473 山形市松栄 2-2-1

Depth-Resolved Imaging of *in vitro* Egg Sample Using Optical Coherence Tomography Technique

Takuzo SATO^{*,***} Masahiro AKIBA^{**,***} Kinpui CHAN^{**,***} and Naohiro TANNO^{**,***}

^{*}Yamagata College of Industry & Technology, Yamagata 990-2473

^{**}Graduate Program of Human Sensing and Functional Sensor Engineering, Graduate School of Engineering, Yamagata University, Yonezawa 992-8510

^{***}Regional Joint Research Project, Yamagata Technopolis Foundation, Yamagata 990-2473

Optical coherence tomography (OCT) technique has been applied as a tool for depth-resolved imaging of *in vitro* egg samples. The less 20 μm longitudinal resolution of our OCT system permits a visual observation of the structural changes in the yolk and yolk membrane for egg samples being stored as long as several weeks in a refrigerator. Our results suggest that a simplified, low-cost OCT system, which provides a 1-D profiling capability, may find useful applications in food and material inspections.

1. はじめに

光波の時間領域の低コヒーレンス性を利用して、生体のような強光散乱媒体において反射断層像を得る光コヒーレンス断層画像化法 (OCT: optical coherence tomography) は、眼科学臨床診断など医学の分野ですでに実用化域に達しており、今後各種材料や食材などの非破壊顕微内部検査への適用も期待されている^{1,2)}。

本研究では、この OCT 技術を流動性のある生体組織の無侵襲計測に応用する目的で、OCT スキャナーにより鶏卵の卵白部と卵黄部の内部構造の観測を行ってみた。その結果、OCT スキャナーの深さ方向の高分解能性 (20 μm 以下) を利用して、新鮮な鶏卵の卵黄部は卵黄膜に付着しているが、貯蔵日数が経った古い卵では卵黄部は卵黄膜から剥離してくるといふ顕著な経時変化の可視化に成功し、今後の食材等の非破壊検査などの新しい応用研究への知見を得たので、ここに報告する。

2. 実験方法

本研究では、これまでの光コヒーレンス断層画像化法の計測対象物としてはあまり例のない流動性のある生体組織のひとつとして、割卵した鶏の生卵を計測対象物として取り上げた。その割卵した鶏の生卵の光コヒーレンス断層像を得るために、プローブ光を生卵の真上から照射する必要があった。そこで、市販のマイケルソン型 OCT スキャナー (Humphrey: OCT 2000, SLD プローブ光波長: 830 nm, 出力: 750 μW) からのプローブ光をミラーを介して 90 度下方に曲げ、生卵の真上から垂直入射させ観測するようにして実験を行った。その鶏卵の観測実験の構成を、Fig. 1 に示す。

3. 実験結果および考察

Fig. 2(a) に、測定した新鮮な鶏卵の割卵の OCT 画像を示す。参考のために、同画像の一垂直ラインに対応する鶏卵の深さ方向の後方散乱光強度分布を、Fig. 2(b) に示す。そこで、横軸はデータ位置ナンバーを表し、縦軸は検出した後方散乱光の相対強度を表す。データ位置ナンバー 0 が OCT 画像 Fig. 2(a) の最上端位置に対応し、データ

*E-mail: takuzo@astro.yamagata-cit.ac.jp

**E-mail: chan@ckk.ygmt-techno.or.jp

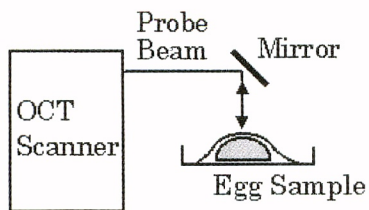
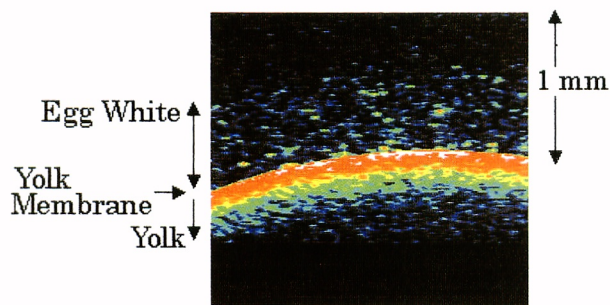
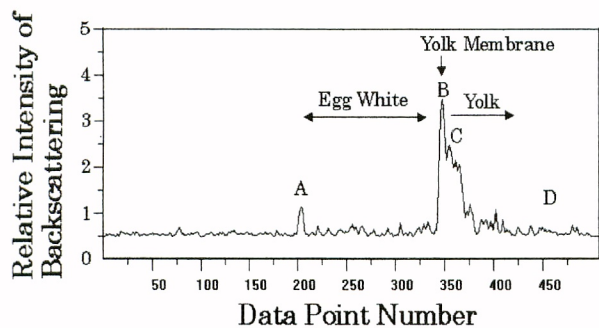


Fig. 1 Experimental configuration for OCT imaging of *in vitro* egg sample.



(a)

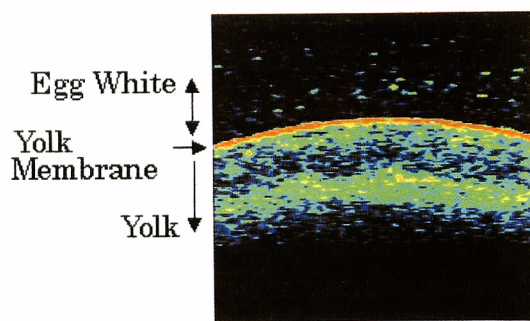


(b)

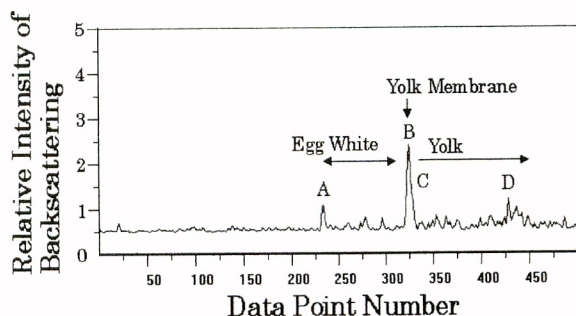
Fig. 2 OCT image (a) and line profile (b) of a new-laid egg.

位置ナンバー 525 が OCT 画像の最下端位置に対応する。その間の距離は 2 mm に相当する。Fig. 2(b) の A 点で見られる後方散乱光は卵白 (egg white) と空気との境界層からのものであり、卵黄膜 (yolk membrane) と卵黄 (yolk) 部内からの後方散乱光は、それぞれ B 点と C 点で観測されている。

次に、冷蔵庫に 15 日間貯蔵した鶏卵の OCT 画像の例を、Fig. 3(a) に示す。Fig. 2 の結果と同様に、同画像の一垂直ラインに対応する深さ方向の後方散乱光強度分布を、Fig. 3(b) に示す。さらに比較するために、Fig. 4 に貯蔵日数が 35 日の鶏卵の OCT 画像の測定結果を示す。貯蔵日数が 15 日の Fig. 3 の場合と同様に、Fig. 4(b) の C 点では後方散乱光の信号強度が低下しており、卵黄膜から卵黄が剝離している様子が観測されている。その理由

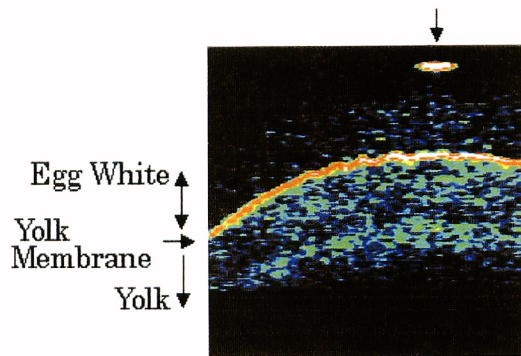


(a)

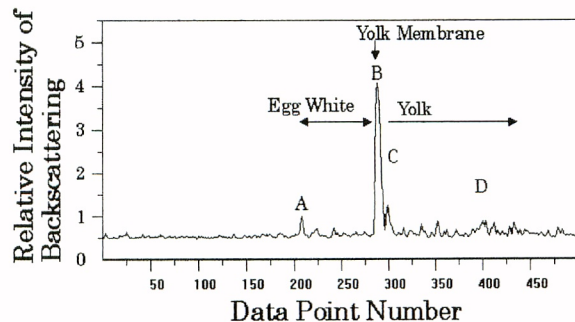


(b)

Fig. 3 OCT image (a) and line profile (b) of an egg stored for 15 days in a refrigerator.



(a)



(b)

Fig. 4 OCT image (a) and line profile (b) of an egg stored for 35 days in a refrigerator.

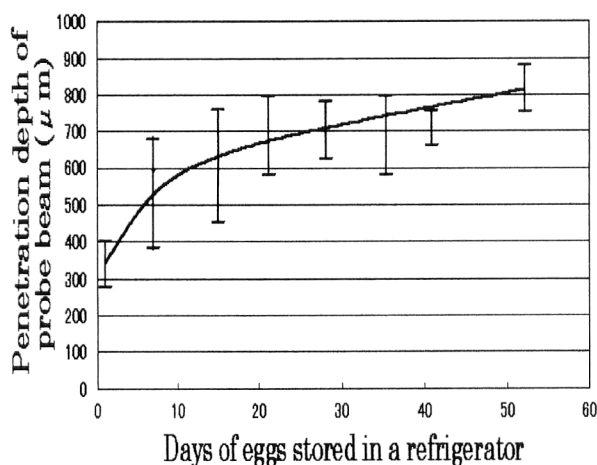


Fig. 5 Penetration depth of probe beam in the yolk of an egg vs. days of storing in a refrigerator.

は、卵黄膜に付着する卵黄部の粘性が低下し、それによって後方散乱光の強度が低下すると考えられる。また、Fig. 4(a) の上部（矢印個所）には、卵白表面の白濁個所からの強い後方散乱光も観測される。

これに対して、新鮮な鶏卵では、卵黄部は卵黄膜に付着しており、比較的均質である。したがって、Fig. 2(b) では、B 点の卵黄膜からの後方散乱光に連続して、卵黄からの後方散乱光が検出されている。卵黄膜からの深さにして 350 μm 程度の比較的浅いところまで卵黄部内からの後方散乱光が検出されている。

一方、貯蔵日数が経った鶏卵の OCT 画像では、卵黄部は卵黄膜から剥離し、その内部構造は不均一であり、後方散乱光は新鮮な鶏卵と比べて深いところからのものが検出される。このことは、Fig. 3(b) で、B 点の後方散乱光に続く C 点付近の後方散乱光が検出されず、より深い D 点付近（卵黄膜からの深さにして 600 μm 程度）からのものが検出されることからわかる。この卵黄膜と卵黄部との剥離の傾向を調べるために、OCT 画像から卵黄膜下の卵黄部内からの後方散乱光の最大深度を読み取り、それをプローブ光の深達距離として測定した。Fig. 5 に、プローブ光の深達距離と貯蔵日数の関係を示す。新鮮な鶏卵の場合には比較的浅いところ（350 μm）までしか後方散乱光が検出されないが、貯蔵日数が経った卵ではより深いところ（800 μm）からの後方散乱光が検出されている。

新鮮な鶏卵の卵白部の厚さは、OCT 画像から判断すると約 500 μm 程度であるが、貯蔵日数が経つにつれ水様化が進むので、その厚さが薄くなる傾向は OCT の測定結果から明らかである。一方、卵白の水分含量は、卵黄の水分

含量より高いため、貯蔵中に卵白の水分の一部は卵黄に移行し、また貯蔵中に卵黄膜の強度が弱まるにつれ、卵黄に卵白が混じる場合も考えられる³⁾。その結果、貯蔵日数が経つと卵黄の粘性が低下し、卵黄膜から卵黄が剥離するとともに、卵黄の内部の不均一化が進む。Fig. 5 でみられるプローブ光の深達距離の変化が、この剥離現象を反映しているといえる。なお、上述の鶏卵の卵黄が卵黄膜から剥離する傾向は、貯蔵が室温の場合のほうが、貯蔵が冷蔵庫の場合に比べてより早まることも観測された。

以上の結果を定量化するために、生体組織ごとの光の吸収と散乱係数を測定する必要があるので⁴⁾、今後それらの測定を進めていくことを考えている。

4. ま と め

今回光コヒーレンス断層画像化法による計測の対象物として、これまであまり観測例がない流動性生体組織のひとつである割卵した鶏卵の生卵を取り上げ、その OCT 画像の経時変化を観測した。その結果、貯蔵日数の経た鶏卵で起きる卵黄と卵黄膜の剥離現象は、後方散乱光強度分布の変化の測定から容易に観測できることから、光コヒーレンス断層画像化法が鶏卵の鮮度の判別に適用できると考える。また、本研究の結果からわかるように、鶏卵内部からの後方散乱光の深さ方向の一次元的情報だけからでも、卵黄の剥離が確認でき、簡易で携帯型の一次元測定用 OCT 装置は実用性があるものと考えている。今後、それぞれの使用目的に合わせた OCT 装置が開発され、食材のみならず各種材料の非破壊検査等の新しい応用分野で利用されることを期待したい。

最後に、貴重なご意見と資料をいただいた山形県農業研究研修センターの小林正人氏に深く感謝の意を表します。また、実験に助力をいただいた柴田涼太氏に感謝いたします。

文 献

- 1) 丹野直弘：“光コヒーレンス断層画像化法と生体映像への応用”，光学，28 (1999) 116-125.
- 2) 春名正光：“医療分野における光断層画像”，O plus E, 21 (1999) 800-807.
- 3) 田先威和夫，山田行雄，森田琢磨，田中克英（編）：新編養鶏ハンドブック（養賢堂，1993）.
- 4) J. M. Schmitt, A. Knüttel and R. F. Bonner: “Measurement of optical properties of biological tissues by low-coherence reflectometry,” Appl. Opt., 32 (1993) 6032-6042.