

# 近赤外光を用いた皮下脂肪厚みの測定法

## Method of Measuring Subcutaneous Fat Thickness

井出 和宏\* · 上林 正\*\* · 水内 明広\*\*\*  
Kazuhiro Ide                      Tadashi Kambayashi    Akihiro Mizu-uchi

近赤外光の生体内での散乱・吸収特性に基づいて、波長 800 nm 程度の近赤外光を皮膚表面から照射し、筋肉上部の脂肪層内で散乱されて皮膚表面からでてきた光を検出することによって、皮下脂肪厚みの非侵襲かつ簡便な測定法を開発した。

この測定法は、測定板の生体接触側に突起を設け、その内部に発光素子と二つの受光素子を配置することを特徴とし、突起の押付力が所定値に達した時点で発光素子を発光させることで遮光を確実に行うとともに、二つの受光素子の受光量を考慮したパラメータを用いることで皮膚の個人差による影響を軽減している。開発した方法での測定値と超音波断層装置による測定値の間には、二の腕、太もも、腹部でいずれも有意な正の相関がある。

Based on the diffusion and absorption characteristics of near-infrared light in human bodies, a convenient and non-invasive method of measuring subcutaneous fat thickness has been developed by irradiating near-infrared light of approximately 800 nm in wavelength from the skin surface and detecting the light diffused in the fat layer and appearing at the skin surface. An optical subcutaneous fat thickness meter using the developed method and a body composition monitor including this meter has also been produced.

The developed subcutaneous fat thickness meter features a protrusion on the body contact side of the measurement plate for ensuring light shielding, and the light-emitting element built in the protrusion is activated when the contact pressure reaches the predetermined value. Two photo-detectors built into the protrusion and spaced from one another, combined with a parameter applied to the light received by each detector, reduce the effect of individual skin difference. A significant positive correlation has been confirmed between the measured values of the developed method and those by an ultrasonography in each measurement of an upper arm, thigh and abdomen.

## 1. ま え が き

2008 年度の国民健康・栄養調査によると、中年男性の 3 人に 1 人は BMI (Body Mass Index) が 25 以上の肥満者である<sup>1)</sup>。これに対し、女性の肥満者の割合は 20 % と男性に比べて低い。近年、老若男女を問わず健康や体形に対する意識が高い傾向にあり、家庭で簡単に測定できる体重組成計が普及してきている。肥満とは脂肪が体に付き過ぎた状態をいうが、体脂肪は内臓脂肪と皮下脂肪の 2 種類に分けられる。内臓脂肪は内臓の周りに蓄積され、外からはつまむことができないが、皮下脂肪は皮膚の下に蓄積さ

れ、つまむことができる。また、内臓脂肪は皮下脂肪に比べて代謝が速いが、蓄積もしやすい。

内臓脂肪の測定は、医療機関などで腹部 CT による断層像から内臓脂肪部分の面積を算出する方法が用いられる。一方、皮下脂肪は外見上わかりやすく、簡易的な測定として厚みが用いられることが多い。

従来、皮下脂肪の厚みは皮膚をつまみ、キャリパを使って測定する方法が用いられている<sup>2)</sup>。しかし、キャリパを使う方法では挟む圧力を一定にすること、皮下脂肪下の筋肉を挟まないこと、皮下脂肪の粘弾性により一定値になるまでに時間が掛かることなどから測定に熟練を要する。ま

\* 電器事業本部 電器R & Dセンター Research and Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

\*\* 電器事業本部 ビューティ・ライフ事業部 Beauty Care Products Division, Home Appliances Manufacturing Business Unit

\*\*\* 電器事業本部 Home Appliances Manufacturing Business Unit

た、著しい肥満では皮下脂肪を挟むことができない場合もある。

そこで筆者らは、近赤外光を用いてだれでも簡単かつ短時間で皮下脂肪厚みを測定できる方法を開発したので報告する。

## 2. 光学式皮下脂肪厚測定法

### 2.1 測定原理

人の目が感じる可視光は波長が 300 nm の紫色から 800 nm の赤色までであるが、700 ~ 1500 nm 程度の波長を近赤外光という。また、可視光から近赤外光領域では、血液内のヘモグロビンと生体組織内の水が強い吸収物質となることが知られている。波長 650 nm 以下の可視光はヘモグロビンによって、波長 1100 nm 以上の光は水によって多くが吸収されるのに対し、この中間の波長 650 ~ 1100 nm の光は生体組織内での透過性が高く、生体組織を傷つけず深部に到達することから「光の窓」と呼ばれている<sup>3)</sup>。本法は、ヘモグロビンや水の影響が小さい波長 800 nm 付近の光を利用して皮下脂肪厚みを測定するものである。

これまでの近赤外光を利用したものは動脈血の酸素飽和度計測が主であったが<sup>4)</sup>、その後、近赤外分光法 (NIRS: Near-Infrared Spectroscopy) により脳機能の賦活状態、運動中の筋組織の代謝状態を調べることができるようになった<sup>5)</sup>。また最近では、光干渉断層画像 (OCT: Optical Coherence Tomography) による角膜検査、血管や消化器内部の観察など応用範囲が拡大している<sup>6)</sup>。

生体組織は光に対して吸収と散乱の二つの光学特性を有している。光は吸収されるとエネルギーが減衰するが、散乱ではさまざまな方向に分散するだけでエネルギーの減衰はない。この特性は光の波長に依存するが、近赤外光領域においては脂肪の吸収係数が筋肉よりも一桁小さい。すなわち筋肉は吸収体、脂肪は散乱体とみなすことができる。したがって皮膚の表面から近赤外光を照射すると、その光は組織内で散乱しながらさまざまな経路をたどり、一部は皮膚の表面で検出することができる。図 1 に示すように、筋肉層の上部にある脂肪層が薄いと筋肉での吸収が多く、皮膚表面での受光量が少ない。逆に脂肪層が厚いと筋肉での吸収が少なく、皮膚表面での受光量が多くなるため、脂肪層の厚みを測定することが可能となる。

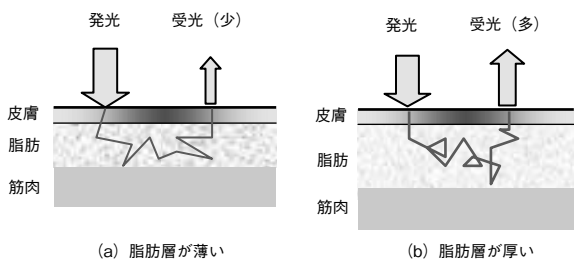


図 1 皮下脂肪量による受光量の違い

### 2.2 測定の概要

前述の原理をベースに光学式皮下脂肪厚計を試作する。その測定板は図 2 に示すように幅 90 mm、長さ 104 mm の黒色 ABS 製である。生体に押し付ける側に遮光部を構成し、遮光部中央には断面が台形状の突起部を設けるとともに、その上面に近赤外発光素子 (以下、LED と記す) および二つのフォトダイオード (以下、PD と記す) が配置している。

測定板内側には図 3 に示すように押圧調整用のばねがあり、規定の押付荷重に達するとスイッチが入って LED から光が照射される。すなわち、突起部を生体に押し付けることにより外乱光を遮断した状態で測定を行うことができる。

また、PD に発生する受光信号は微弱であるため、電流電圧変換回路において増幅された後、マイクロコンピュータに AD 変換値として取り込まれる。

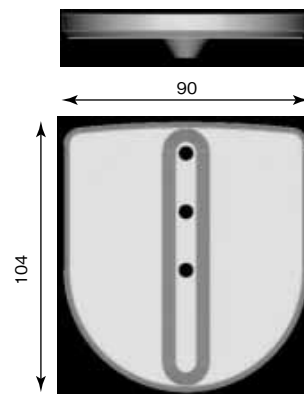


図 2 測定板形状

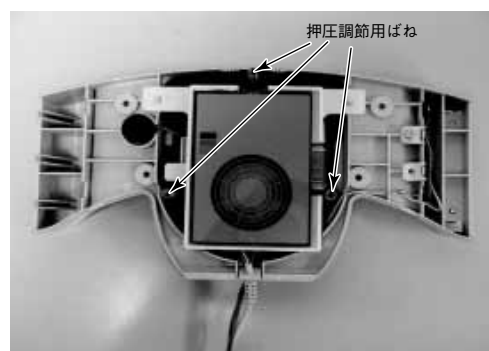


図 3 測定板内側

図 4 に示すように、LED から照射された光は生体内で散乱し、近側と遠側の PD に到達する。近側 PD には主に皮膚などの生体の浅い部分を通じた光が受光され、遠側 PD には生体のより深い部分、すなわち皮膚と脂肪を通じた光が受光される。したがって、遠側と近側の PD における受光量に基づくパラメータ (以下、受光パラメータと記す) を用いることにより、皮膚による影響が軽減される。

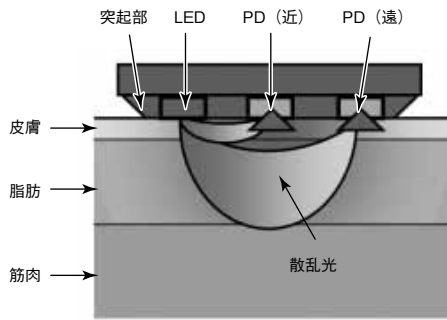


図4 発光時生体内部の概念図

### 3. 測定法の検証

#### 3.1 検証方法

本法による測定値と、従来法である超音波断層装置による測定値とを比較して検証する。

被験者は測定の内容と内容を説明して同意が得られた健康な男性47名、女性20名の計67名である。各被験者に対して二の腕、太もも、腹部における皮下脂肪厚みを光学式皮下脂肪厚測定法で3回測定した後、超音波断層装置で1回測定する。

#### 3.2 超音波断層装置による脂肪厚測定

図5に示す超音波断層装置（持田シーメンス製、ソノビスタ ST MEU-1586）を使用して、測定対象部位の皮下脂肪厚みの基準値として測定する。



図5 超音波断層装置

この装置は超音波が密度の異なる組織境界面で反射する性質を利用したもので、超音波振動子を内蔵したプローブを当てて各組織の厚みを測定することができる。超音波の反射波の表示法としては、反射の強さを振幅として表す方法（Aモード）と明るさで表す方法（Bモード）とがある。

ここではBモードを用い、超音波の周波数は7.5 MHzである。超音波断層像における脂肪層の輝度は比較的高く、筋組織はプローブを押し付けることで容易に変形するため、脂肪層と筋肉層を区別できる。

二の腕は腕の裏側のひじと腕の付け根の中央部分、太ももは太ももの前側の膝から脚の付け根の中央部分、腹部はへそから右側に5 cmの位置をプローブの幅方向の中央部に合わせて測定する。

図6に部位別の超音波断層画像例を示す。なお、脂肪と筋肉の境界判定は安部らの文献を参考にしている<sup>7)</sup>。筋肉は筋線維の走行が平行に近いことで、また骨はプローブを90度回転させると円弧状になることで判別できる。二の腕や太ももでは脂肪の下に複数の筋肉が重なっており、さらにその下に骨がある。腹部では脂肪の下に腹直筋が存在し、その下は腹腔になる。また、脂肪厚みはスケール入りのフリーズ画像をPCに取り込み、画像処理ソフトウェアを用いて求める。

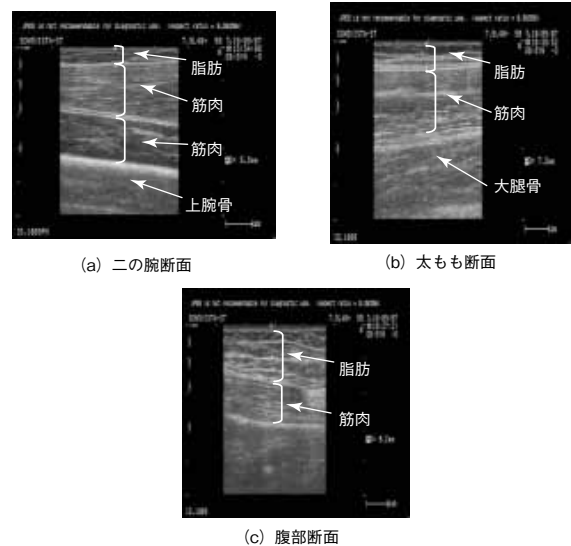
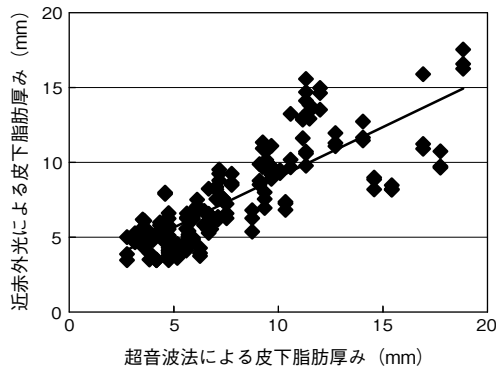


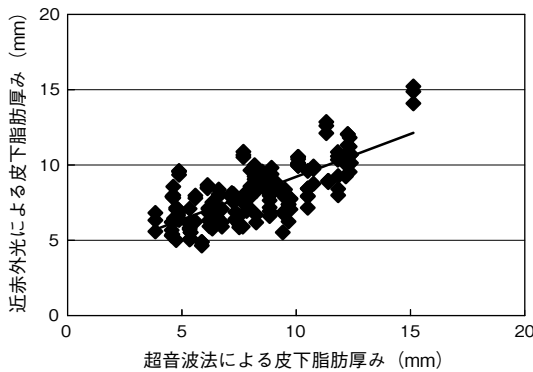
図6 超音波断層画像の例

#### 3.3 測定結果

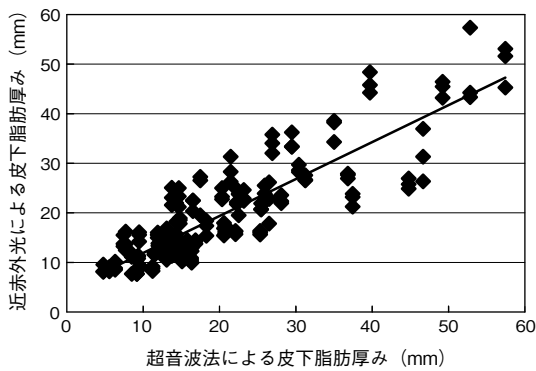
受光パラメータを用いて推定した近赤外光による皮下脂肪厚みと超音波法による皮下脂肪厚みの関係を、部位ごとにまとめて図7に示す。いずれの部位でも、超音波法による測定値と近赤外光による推定値にはおのおの統計的に有意な ( $P < 0.05$ ) 正の相関がある。



(a) 二の腕



(b) 太もも



(c) 腹部

図7 測定結果

### 3.4 考察

従来、近赤外光は筋肉や脳の酸素濃度を測定するために使われることが多く、その場合の皮下脂肪は精度に影響を与える誤差因子とされてきた<sup>8)</sup>。光学式皮下脂肪厚測定法は、この現象を逆に利用したものである。皮下脂肪より下に存在する筋肉は、ミオグロビン（以下、Mbと記す）を豊富に含んでいる。Mbはヘモグロビンとほぼ同じ吸収特性を有し、脂肪は筋肉と異なり吸収が少ない散乱体であるため、皮膚表面からの厚みが測定できると考えられる。

しかし厳密に言えば、筋肉中のMb量は部位によって異なる。日浅らによれば、腹部のMb量が8.9 mg/gであるのに対して大腿部、前腕部ではそれぞれ6.3 mg/g、5.8 mg/gと少ない<sup>9)</sup>。このことから、Mb量の差異は受光量に影響を及ぼすと考えられ、部位による差の検証および対

策については今後の課題である。

また本測定の結果では、皮下脂肪厚みの測定限界は腹部で60 mmであるが、一般的に光の到達する深さは受発光素子間距離の等倍程度と考えられている<sup>10)</sup>。

今回、受発光素子間距離が45 mmでありながら60 mmの厚みまで測定できた理由の一つには、突起部の効果が考えられる。すなわち、腹部に規定の荷重で突起部を押し当てることにより皮膚や脂肪組織中に存在する微小な血管が止血され、光をより深部まで到達させたものと考えられる。今後、受発光素子間距離や押付荷重などを改善することで、さらに測定限界を高めることが可能であると考えられる。

## 4. あとがき

近赤外光の生体内での散乱・吸収特性に基づいて、波長800 nm程度の近赤外光を皮膚表面から照射し、筋肉上部の脂肪層内で散乱されて皮膚表面からでてきた光を検出することによって、皮下脂肪厚みの非侵襲かつ簡便な測定法を開発した。

この光学式皮下脂肪厚測定法は生体接触側に突起を設け、その内部に発光素子と二つの受光素子を突起内に配置することを特徴とし、突起の押付力が所定値に達した時点で発光素子を発光させることで遮光を確実に行うとともに、二つの受光素子の受光量を考慮したパラメータを用いることで皮膚の影響を軽減した。開発した方法での測定値と超音波断層装置による測定値の間には、二の腕、太もも、腹部でいずれも有意な正の相関がみられた。

## \*参考文献

---

- 1) 厚生労働省 健康局総務課生活習慣病対策室：平成 20 年国民健康・栄養調査結果の概要（2009）
- 2) 小宮 秀一, 中尾 武平：身体組成学（2002）
- 3) 田村 守：光による医学診断（2001）
- 4) H. Koizumi, T. Yamamoto, A. Maki, Y. Yamashita, H. Sato, H. Kawaguchi, and N. Ichikawa : Optical topography : practical problem and new applications, *Appl. Opt.*, 42 (16) , p. 3054-3062 (2003)
- 5) T. Hamaoka, T. Katsumura, N. Murase, S. Nishio, T. Osada, T. Sako, H. Higuchi, Y. Kurosawa, T. Shimomitsu, M. Miwa, and B. Chance : Quantification of ischemic muscle deoxygenation by near infrared time-resolved spectroscopy, *J. Biomed. Opt.*, 5 (1), p. 102-105 (2000)
- 6) J. G.Fujimoto, B. Bouma, G. J.Tearney, S. A.Boppart, C. Pitris, J. F.Southern, and M. E.Berezinski : New technology for high-speed and high-resolution optical coherence tomography, *Ann. NY Acad. Sci.*, 838, p. 95-107 (1988)
- 7) 安部 孝, 福永 哲夫：日本人の体脂肪と筋肉分布（1998）
- 8) 庭山 雅嗣, 志賀 利一, 林 凌, 工藤 信樹, 高橋 誠, 山本 克之：近赤外光を用いた筋組織酸素計測における脂肪層の影響とその補正, *医用電子と生体工学*, 36 (1), p. 41-48 (1998)
- 9) 日浅 光春：人体各種筋におけるミオグロビン量ならびにそれと筋型クレアチンキナーゼの相関, *四国医誌*, 31, p. 193-204 (1975)
- 10) S. Feng, F. Zeng, and B. Chance : Photon migration in the presence of a single defect : a perturbation analysis, *Ap. Opt.*, 34 (19), p. 3826-3837 (1995)

## ◆執筆者紹介

---



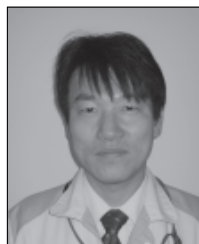
井出 和宏

電器 R & D センター  
博士 (工学)



上林 正

ビューティ・ライフ事業部



水内 明広

電器事業本部