

マイクロ波を用いた皮下脂肪厚測定に関する研究

Measurement of skinfold thickness using microwave

鶴岡正志¹, 山本隆彦¹, 越地耕二¹

¹東京理科大学

Masashi TSURUOKA¹, Takahiko YAMAMOTO¹, Kohji KOSHIJI¹

¹Tokyo University of Science

Key Words: Microwave, Fat Thickness, Reflection

1. はじめに

近年、日本人の肥満人口の増加が懸念されている。肥満を防ぐには日ごろの適度な運動管理が重要である。大腿部の皮下脂肪厚を測定することができれば運動の過不足の状態を評価でき、適切な運動管理が可能となると考えられる。体表面付近の皮下脂肪厚分布を測る従来の方法として、水中体重測定法や生体インピーダンス法などがある。前者では被測定者が息を吐ききった状態で測定する必要があるため、苦痛を伴う。後者は体内の水分バランスの影響を強く受けるため、測定結果の変動が大きくなる。また、製品によって測定値の差が大きい。

これらの難点を避け簡便な測定を可能とするため、本研究では、誘電率の異なる2つの物質の境界面におけるマイクロ波の反射を用い、非侵襲に皮下脂肪厚を測定する方法について、TLM(Transmission Line Matrix)法を用いたシミュレーション、及び実測により検討を行った。

2. 原理

Fig.1 に示すように、生体深度方向にマイクロ波を照射すると、脂肪層表面において反射波 S_1 、境界面における反射波 S_2 が生じる。この二つの反射波は互いに干渉し、電圧反射係数が強めあう周波数帯と弱めあう周波数帯が交互に現れる。[1,2]この強めあうまたは弱めあう周波数の間隔は脂肪層の厚さに依存している。本研究ではこの周波数間隔を利用して、脂肪厚を求めることを検討した。

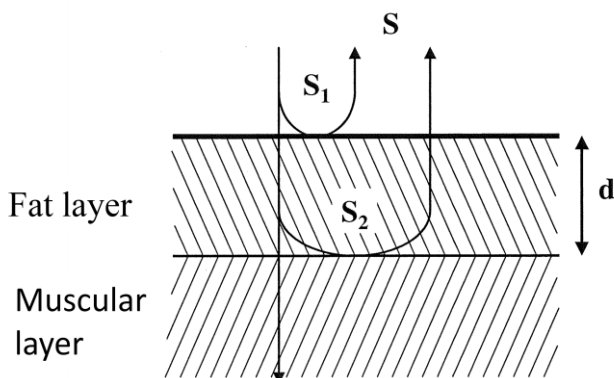


Fig.1 Reflection on boundaries of fat and muscular layer

S_1 と S_2 が互いに弱めあう最小周波数 f_1 における $2d$ に対する電気長を ϕ_1 、隣接する弱めあう周波数 f_2 における同電気長を ϕ_2 とすると、

$$\phi_1 = \beta_1 \times 2d \quad (1)$$

$$\phi_2 = \beta_2 \times 2d \quad (2)$$

ここで、 β は位相定数であり、 $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{v_p}$ (3)となる。

この ϕ_1 と ϕ_2 の位相差は 2π であるから、
 $|\phi_2 - \phi_1| = |(\beta_2 - \beta_1) \times 2d| = 2\pi$

$$\Leftrightarrow \frac{2\pi}{v_p} |f_2 - f_1| \times 2d = 2\pi \quad (4)$$

となる。よって脂肪厚 d は次式(5)により求めることができる。

$$d = \frac{v_p}{2\Delta f} \quad (5)$$

ここで、 $\Delta f = |f_2 - f_1|$ は弱めあう周波数の間隔、 v_p は脂肪層内の伝搬速度である。

3. シミュレーション

原理を確認するためのモデルとして、Fig.2 のように縦 100 mm、横 100 mm、高さ 30 mm の直方体を筋肉層(比誘電率 50)とし、その上部脂肪層(比誘電率 5.5)を付加したものについて検討した。脂肪層の厚さは 10 mm~20 mm において変化させた。上部から 1.5 GHz~10 GHz の平面波を筋肉層に対して垂直に照射し、反射係数をシミュレーションによって求めた。

脂肪層が 10 mm の場合の反射係数の解析結果を Fig.3 に示す。

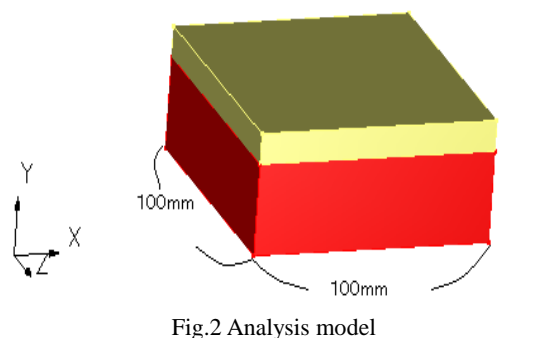


Fig.2 Analysis model

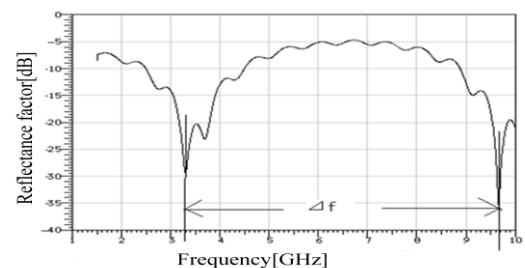


Fig.3 Reflection characteristics as a function of frequency

この結果より式(5)を用い、算出した脂肪厚と実際の脂肪厚を比較したものを Table1 に示す。検討を行ったすべての脂肪厚において誤差は 0.5 mm 以下、最大誤差 4.8% で測定可能であることが分かった。

Table1 Comparison between thickness obtained from analysis and true thickness

Fat thickness of model [mm]	Δf [GHz]	Thickness obtained from analysis [mm]
10.0	6.37	10.04
15.0	4.18	15.31
20.0	3.36	19.04

4. 実測

シミュレーションの妥当性を検討するために、脂肪と筋肉の代用として食用油と水を用いた実測を行った。アクリル容器に食用油と水を入れ、その上部からホーンアンテナを用いてマイクロ波を照射し、反射係数を測定した。測定周波数は 1~20 GHz、擬似脂肪層の厚さは 5.5 mm, 10 mm, 12.5 mm とした。Fig.4 に測定のご構成図を、また実際の測定風景を Fig.5 に示す。

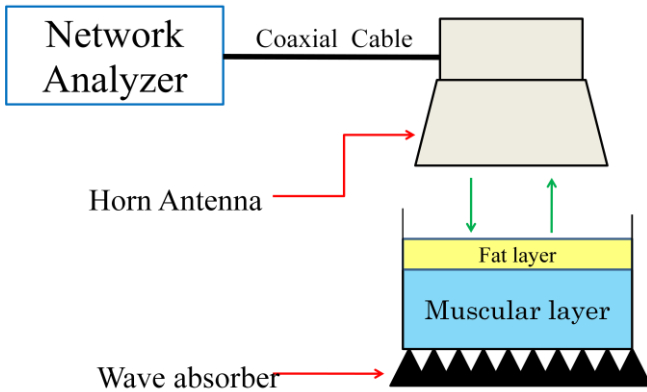


Fig.4 Measurement System

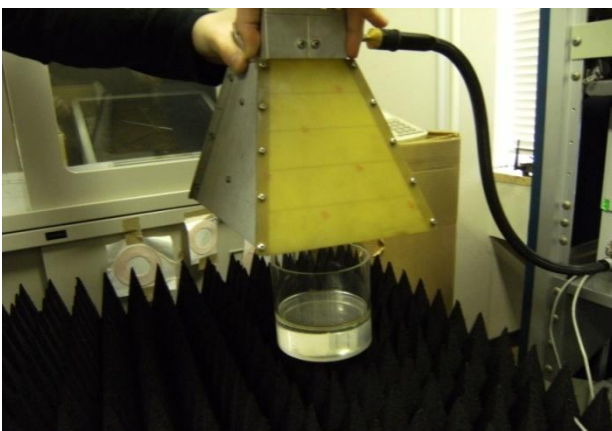


Fig.5 Photograph of Measurement System

擬似脂肪厚 10 mm における結果を Fig.6 に示す。シミュレーションと同様に、反射係数が極小となる周波数差 Δf を用いて、擬似脂肪層の厚さを算出した。算出した値と真の値の比

較を Table2 に示す。いずれも誤差は 0.5 mm 以下、最大誤差 8.1% において測定可能であることが分かった。

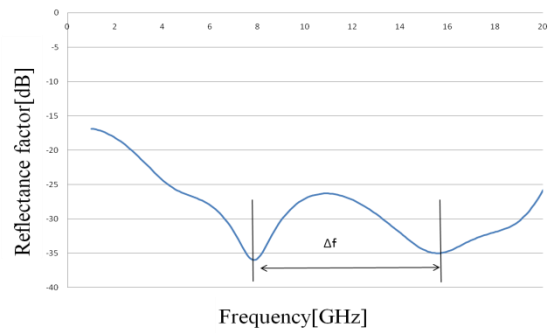


Fig.6 Reflection characteristics as a function of frequency

Table2 Comparison between true thickness and that obtained from measurement

True thickness of fat [mm]	Δf [GHz]	Thickness obtained from Measurement [mm]
5.5	14.34	5.513
10	7.7	10.27
12.5	6.37	12.41

5. 結論・課題

マイクロ波を用いた脂肪厚測定について、シミュレーション及び実測により検討した。脂肪表面における反射波と、脂肪と筋肉の境界面における反射波は互いに干渉し合い、反射係数を強めあう周波数と弱めあう周波数が交互に生じる。この干渉波を利用することによって、体脂肪測定が可能であることが分かった。

今後は皮膚層を考慮したより実物に近いモデルや、より小型なアンテナを用いた場合について検討をしていく予定である。

参考文献

- [1] 中島将光, マイクロ波工学 pp.12~15, 49~55, 森北出版, 1975
- [2] 村瀬智彦, 越地耕二, マイクロ波を用いた体脂肪厚測定の検討, p103, 電子情報通信学会, 2000