

テラヘルツ電磁波パルスを用いた皮膚水分量測定に関する基礎研究

Fundamental study on non-contact measurement of water content in skin using terahertz electromagnetic pulse

○安井武史¹⁾, 東野義之²⁾, 荒木勉¹⁾

○Takeshi Yasui¹⁾, Yoshiyuki Tohno²⁾ and Tsutomu Araki¹⁾

阪大院・基礎工¹⁾, 奈良県立医科大²⁾

Grad. Sch. Engg. Sci., Osaka Univ.¹⁾, Nara Med. Univ.²⁾

E-mail: t-yasui@me.es.osaka-u.ac.jp, <http://sml.me.es.osaka-u.ac.jp>

We propose application of terahertz electromagnetic pulse (THz pulse) to non-contact measurement of local water content in skin. The free-space propagating THz pulse is generated as dipole radiation from a photoconductive antenna triggered by a femtosecond pulsed light from a mode-locked Ti:Sapphire laser. In this paper, we demonstrate measurements of water content and thickness of the analytical region in human skin sample based on the THz pulse echo method.

1. はじめに

皮膚は人体が外界と接する部位であり、皮膚呼吸・発汗などにより生体内の環境や体温を調節するだけでなく、外部の刺激から生体内部組織を保護する役割も担っている。皮膚のこれらの機能が低下すると皮膚疾患となり、炎症や痒みを生じることになる。このような皮膚の機能は、皮膚の最外殻組織である角質層の水分含有量と関係があると考えられている。一方、アトピー性皮膚炎によるドライスキン、皮膚ガンや火傷の検査、化粧品・医薬品の評価、美容など、実用的視点からも皮膚の水分モニタリングは多くのニーズがある。

従来より、水の電気的特性を利用した皮膚水分測定法が提案・実用化されているが、マクロな領域(～ cm^2)の接触測定である上に、水分以外の電解質(汗他)の影響を受けやすく高精度化が困難であった。このような現状において、皮膚水分量測定の非接触・高感度・高精度・高空間分解能化はもちろんのこと、さらに角質層の厚さ測定を同時に実現できれば、角質層厚さに依存することなく、義的に皮膚水分量の評価を行うことが可能になると考えられる。我々は、皮膚角質層の単位厚さ当たり水分量測定法を実現する手段としてテラヘルツ電磁波パルス(THzパルス)¹⁾に注目し、非破壊・非接触で皮膚角質層の含有水分量と厚さの同時2次元分布測定が可能な高機能皮膚診断に関する研究を行っている(図1)²⁾。本講演ではその基礎研究として、ヒト皮膚の水分量と厚さの非接触・局所測定に関する報告を行う。

2. 実験装置

図2に、実験装置図を示す。THzパルスの発生及び検出にはフェムト秒モード同期チタン・サファイアレーザー(AVESTA TiF-Kit-100、パルス幅=60fs、パワー=200mW、繰り返し周波数=87MHz、中心波長=810nm)を用いる。レーザー光はビーム・スプリッター(BS)によって、THz発生用ポンプ光とTHz検出用プローブ光に分岐する。ポンプ光をレンズによって光伝導アンテナ(PCアンテナ)に集光すると双極子放射が起こり、THzパルスが超半球型シリコンレンズ(Siレンズ)側に放射される。THzパルスは軸外し放物面鏡(OAP-M)によって平行光線にされ、平面ミラーで反射された後、別の軸外し放物面鏡によってサンプルに集光される。サンプルから反射されたTHzパルスは軸外し放物面鏡によって再び平行光線にされた後、3番目の軸外し放物面鏡によって電気光学結晶(EO結晶)に集光される。プローブパルス光は時間遅延を経て偏光子(P)で直線偏光にされた後、ビームスプリッターによってTHzパルスと空間的に重ね合わされてEO結晶に入射される。EO結晶の印加電界として機能するTHzパルスは、プローブ光、 $1/4$ 波長板($\lambda/4$)、ローション・プリズム(RP)、バランス検出型フォトダイオード(PD)を用いた時間分解EOサンプリングによって測定される³⁾。

3. 実験結果

図3に、ヒト掌皮膚サンプルから得られたTHzエコーパルスの電場時間波形を示す。ここで時間波形はデコンボリューション解析によるインパルス応答として示されており、エコーパルスの正負及び大小は境界前後の群屈折率の大小関係によって決まる。図3において、(1)は空気-角質層の境界、(2)は表皮-真皮の境界、(3)は真皮-サンプルホルダー境界からのTHzエコーパルスであると考えられる。THz領域における生体組織の群屈折率を2とすると、角質層表面から表皮-真皮境界までの厚さは409 μm 、真皮の厚さは

1257 μm であり、実際のサンプルとオーダー的に一致している。

次に、皮膚含有水分量に関する実験を行った。サンプルには、蒸留水中に12時間浸したヒト掌皮膚を用いた。今回のシステムでは空気-角質層境界と角質層-表皮境界の2つのエコーパルスを時間的に分離することが出来なかったため(図3)、ここでは空気-角質層境界エコーパルス(1)の強度のみを用いて、含有水分量の推定を行った。図4は、エコーパルス(1)の強度をパラメータとして用いた場合の時間変化を示している。皮膚サンプルを空气中に放置すると、時間の経過と共にエコーパルス(1)の強度が減少した。これは以下のように考えられる。THz領域における水の群屈折率は2より大きいため、水を含んだ皮膚の群屈折率は乾燥皮膚(群屈折率=2)より大きくなる。すなわち、皮膚の乾燥と共に群屈折率が低下していくことになる。この群屈折率の低下により、空気(群屈折率=1)-角質層境界における群屈折率差も低下するため、THzエコーパルス信号の強度が減少する。図4の結果はこのような過程を反映していると思われ、角質層表面の水分量変化をプローブしていると考えられる。

5. おわりに

THzパルスを用いた高機能皮膚診断法として、皮膚の水分量と厚さの同時測定に関する基礎研究を報告した。厚さ測定に関しては、空気-角質層及び表皮-真皮の各境界からのTHzエコーパルスを確認した。また水分量測定に関しては、皮膚含有水分量によるTHz屈折率変化を利用することにより、THzパルスエコーの強度変化から皮膚表面水分量の相対的な変化をモニタリングできることを確認した。

本研究の一部は、中谷電子計測技術振興財団より援助を受けた。

文献

- 1) D. H. Auston, K. P. Cheung & P. R. Smith, "Picosecond photoconducting Hertzian dipoles", *Appl. Phys. Lett.*, **45**, pp. 284-286 (1984).
- 2) 安井武史、東野義之、荒木勉, "テラヘルツ電磁波パルスを用いた非接触・局所皮膚水分量測定の開発", 生体医工学 (投稿中).
- 3) Q. Wu and X.-C. Zhang, "Free-space electro-optic sampling of terahertz beams," *Appl. Phys. Lett.*, **67**, pp. 3523-3525 (1995).

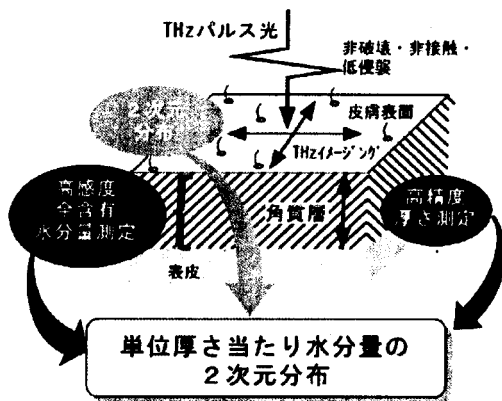


Fig. 1 Concept of the proposed method.

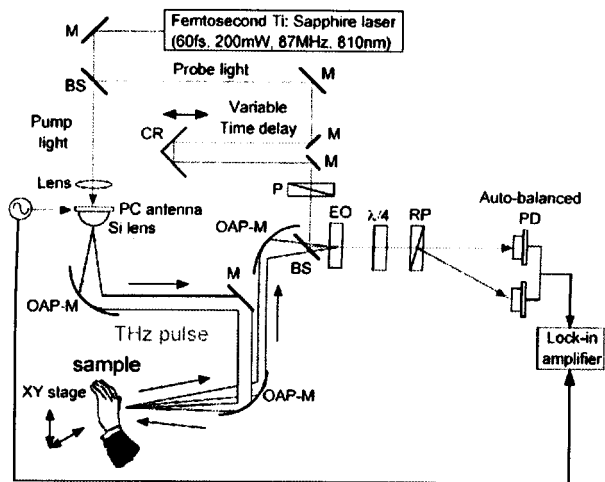


Fig. 2 Experimental setup.

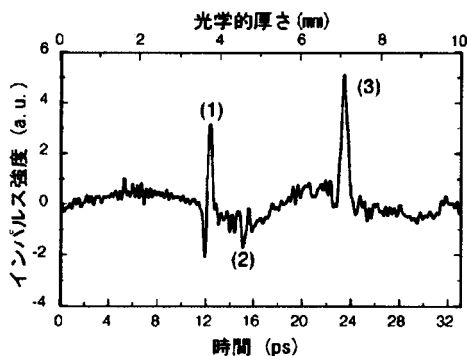


Fig. 3 THz echo pulse train obtained from human palm skin.

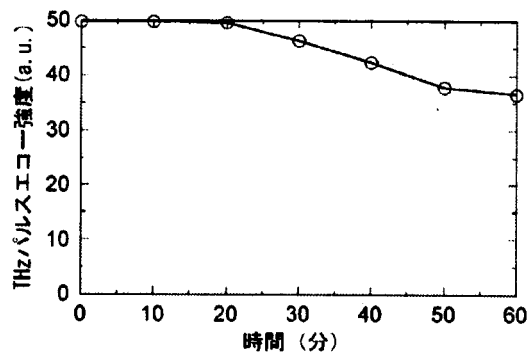


Fig. 4 Temporal change of THz echo pulse intensity in human palm skin.