

ミリ波反射による非侵襲血糖値測定の共振素子追加による感度改善

Improvement with the Addition of Resonant Element for Noninvasive Measurement of Blood Sugar Level by Millimeter Wave

○ 黒子美咲 (国士舘大) 二川佳央 (国士舘大) 大屋隆生 (国士舘大)

Misaki KUROSU, Yoshio NIKAWA, and Takao OHYA
Kokushikan University

Abstract: The diabetes is a disease which is related to the style related disease. This disease increases year by year. Glycemic control is essential especially in the pre and after meal to countermeasure of diabetes. The enzyme electrode method is commonly used in measurement of blood sugar level. It is necessary to collect the blood by invasive method using a needle. Therefore, It becomes heavy physical burden to a patient. In this study, reflection measurement of millimeter wave is applied to measure the blood sugar level. The addition of resonant element is also discussed for improving sensitivity and heightened possibility of non-invasive measurement of blood sugar level.

Key Words: Diabetes, Reflection Measurement, Blood sugar, Non-invasive measurement, Millimeter wave

1. はじめに

近年、糖尿病患者は先進国・途上国を問わず世界的に増加しつつある⁽¹⁾。国際糖尿病連合(IDF)の発表によると、2014年現在での世界の糖尿病患者数は3億8,670万人と増加し2035年までにさらに倍近く増加すると予測している⁽²⁾。日本での糖尿病患者数721万人(2014年現在)と前年度の720万人に比べると1万人もの新たな糖尿病患者が診断された。生活習慣病の一種でもある糖尿病は、増加の一途を辿っている。糖尿病を患った場合、合併症による新たな病の併発を防ぐために、日々の食事管理、食前・食後の血糖値計測による血糖値の管理を行うことが必要不可欠である。一般的なものには酵素電極を用いる方法で、採血による計測が実施される。指先に針を刺す侵襲的な計測方法となるため、糖尿患者を含めた血糖値の管理が必要な被験者は食前・食後の血糖値計測が必要な場合があり、侵襲的測定は大きな負担になる。

本研究では、非侵襲的な血糖値の測定方法として、ミリ波を用いたホーンアンテナ照射による反射係数の測定による方法について、ミリ波を照射するホーンアンテナの開口面へ共振素子を設け、TLM法を用いて電磁界解析にてシミュレーションによりグルコース濃度に対する反射係数の変化を検討した。

2. 解析方法

本研究では、TLM法を利用した電磁界シミュレータ(CST MICROWAVE STUDIO)を利用する。TLM法は微分型表示のマクスウェルの方程式で与えられる3次元電磁界ベクトル場に離散的な格子網を考え差分波動方程式が成立するように離散間隔を十分に小さくすることによって、離散的な格子点間に一次元伝送線路が仮定できる空間回路網ができる[4]。この空間回路網の各格子点での散乱行列を基本にして定式化する方法であり、伝送路行列による手法である⁽³⁾。

本研究では、図1に示すように人体モデルを皮膚、脂肪、筋肉の三層構造とし皮膚の厚み1mm、脂肪の厚み5mm、筋肉の厚み20mmとして6センチ四方の3Dモデルを作成し解析を行った。解析周波数は30~40GHzのミリ波帯を用い、30~40GHzにおける生体の血中グルコース濃度によって変化する複素誘電率に対するミリ波の反射係数を解析した。皮膚、脂肪、筋肉の複素誘電率および血糖値変化によ

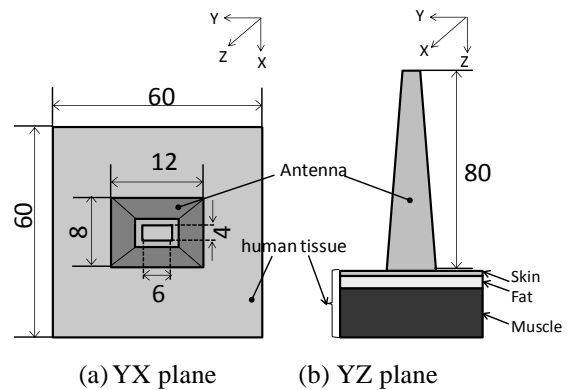
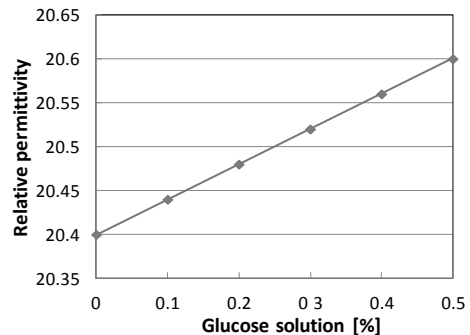
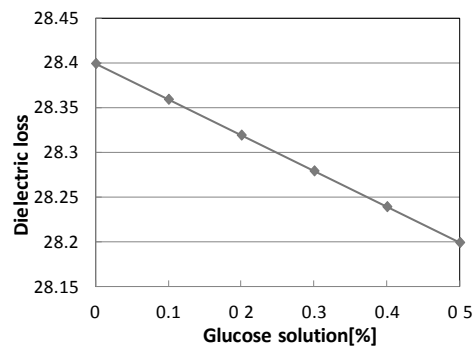


Fig. 1 Analysis model for simulation.



(a) Relative permittivity



(b) Dielectric loss
Fig. 2 The relative permittivity of Glucose solution at 35GHz.

る複素誘電率の変化は参考文献⁽⁴⁾を参照した。35 GHzにおけるグルコース溶液の濃度に対する複素誘電率の変化を図2に示す。図2(a)に比誘電率を示し、図2(b)に比誘電損率を示す。図2(a), (b)に示される誘電率を筋肉の誘電率に置き換え、グルコース濃度変化による反射係数の周波数特性を電磁界解析にてシミュレーションした。

3. 共振素子を設けた場合による血糖値の感度向上

ホーンアンテナの開口面に共振素子として、半波長ほどの長さを想定し、8 mmの金属繊維を設置した。共振素子を設置した場合と設置していない場合について、反射係数と電界分布の観点から感度の向上について検討を行う。

3-1 共振周波数

図3に、グルコース濃度ごとに变化させた反射係数の共振周波数特性を示す。図3(a)に共振素子を設置していない場合、図3(b)に共振素子を設置した場合の共振周波数特性を示す。図3(a), (b)を比較してみると、共振素子を設置したことにより、共振点が深くなっていることがわかる。グルコース濃度0%の場合の32.34 GHzの共振点に着目すると、共振素子がない場合は-10.527 dB, 共振素子がある場合は-12.495 dBとおおよそ2 dB程度の差異がある。共振素子を設置したことにより、共振の増幅が見られたことを確認した。この32.34 GHzの共振点のグルコース濃度変化について確認するため、図4に、32.34 GHzの共振点におけるグルコース濃度変化を示す。図4(a)に共振素子を設置していない場合、図4(b)に共振素子を設置した場合を示す。

グルコース濃度0%~0.2%において、共振素子を設置していない場合は、差異が0.071 dB, 共振素子を設置した場合は、0.079 dBとなった。グルコース濃度による差異は、共振素子を設置場合が感度向上に繋がっていると考えられる。しかしながら、共振素子自身の影響で反射係数の共振点が深くなっている場合が懸念される。この共振素子を設置したことによって、血糖値の感度の向上が可能であるのか検討する必要がある。

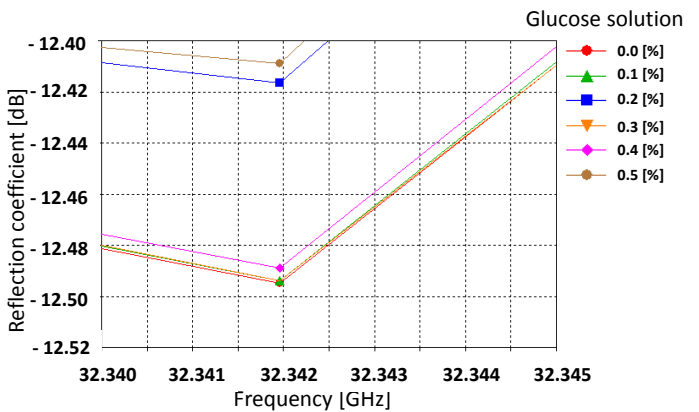
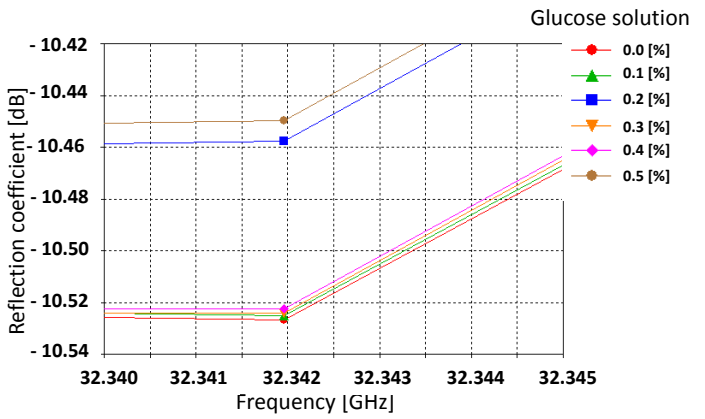
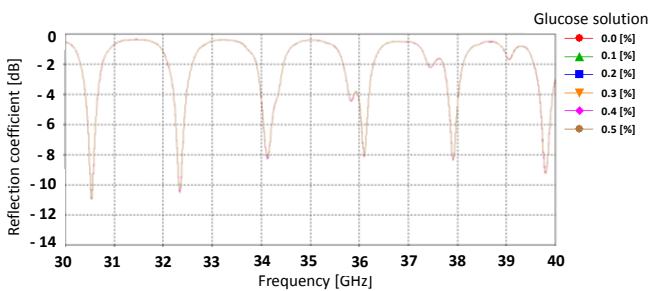
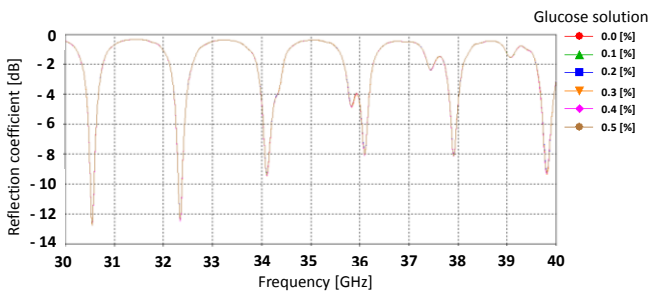


Fig.4 Properties of resonance point of Reflection coefficient by change of blood sugar level. (32.34[GHz])

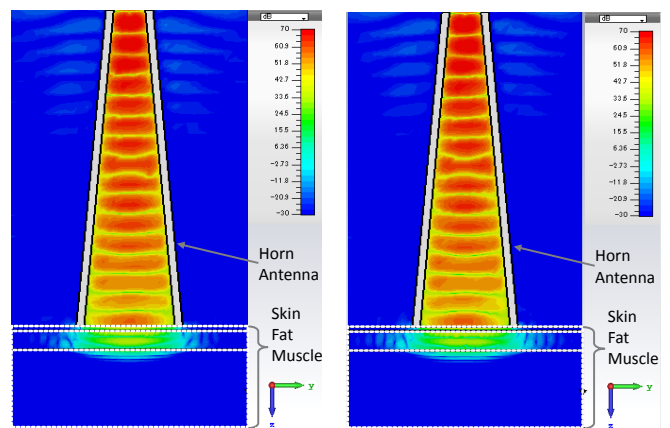


(a) Without resonance element



(b) Add resonance element

Fig.3 Properties of resonance frequency of Reflection coefficient by change of blood sugar level.



(a) Without resonance element (b) Add resonance element

Fig.5 The Electric field distribution at 32.3GHz.

3-2 電界分布

前述した反射係数の共振周波数特性では、32.34 GHz を中心に比較検討した。図 3, 図 4 での共振点の変化について電界分布の観点から、比較検討する。

図 5 に、32.3 GHz における電界分布図を示す。なお、示している面は ZY 面を通った断面図である。図 5(a) は、共振素子がない場合、図 5(b) は、共振素子がある場合の電界分布図を示す。共振素子がない場合とある場合を比較すると、共振素子がない場合の図 5(a) では、脂肪層で電界の強度が弱まり、筋肉層で反射していることが確認できる。一方、共振素子がある場合の図 5(b) は、脂肪層に強く電界が浸透し、筋肉層で電界が弱まっていることから、筋肉層まで到達した電波が反射していると考えられる。図 5(b) の共振素子を設置した場合は、共振素子を設置していない場合よりも、電界の強度が強いことが確認された。この結果から、図 3, 図 4 での反射係数の共振点の変化について、電界分布の観点からも共振素子設置による感度の向上が確認された。

4. まとめ

ミリ波による非侵襲的な反射波計測に関する共振素子を設けた場合の感度向上の検討について、図 3(a),(b) の共振素子の有無による血糖値の濃度変化による反射係数の共振周波数特性では、共振素子を設置したことにより、2 dB 程度共振点が共振点が大きく変化していることを確認した。図 4(a),(b) では、32.34 GHz における共振点でのグルコース濃度変化では、共振素子を設置した場合は 0% ~ 0.2% において、0.079 dB の差異を確認した。また、図 5 に示す電界分布での検討では、共振素子を設置することで脂肪層により強く電界が分布しており、ミリ波の反射波によって反射係数の変化がみられることを確認した。

以上の結果から、ミリ波による血糖値の非侵襲的な反射波計測の感度向上を確認した。

参考文献

- (1) World Health Organization, Diabetes Programme <http://www.who.int/diabetes/en/>, 2014.
- (2) International Diabetes Federation, Epidemiology and Prevention, Diabetes Atlas <http://www.idf.org/diabetesatlas,2014>.
- (3) Christos Christopoulos, "TLM 伝達線路行列法入門-非定常電磁界解析のためのもうひとつのモデル-", 加川 幸雄訳, 倍風館出版, June 1999.
- (4) 二川佳央, "ミリ波を用いた血糖値計測法", 光学, 第 33 巻, 第 7 号, pp. 401-403, 2004.