

ミリ波を用いた非破壊検査の基礎研究*

小田 誠*¹・江藤 誠彦*²

Fundamental Study on Non-destructive Inspection Using Millimeter Waves

Makoto ODA and Masahiko ETO

本研究ではミリ波放射計を用いた非破壊検査の基礎研究として、Ka帯（26.5GHz～40GHz）におけるシヨ糖水溶液、果物果汁、焼酎の複素比誘電率の計測を行った。その結果、糖度や焼酎度数が変われば誘電率が変換することが確認できた。このことから、ミリ波放射計を用いた食品、青果物の非破壊検査の可能性が示された。また、試作したミリ波放射計の空間分解能を測定した結果、深さ方向約15mmであることを実験的に示すことができた。これは赤外線を用いた装置に比べ、測定対象の深層部を測定できることを表していることから、ミリ波による高精度非破壊検査の可能性、広範な応用の可能性を示すことができた。

キーワード：ミリ波，放射計，非破壊

1 はじめに

ミリ波とは光と電波の中間の性質を持つ電磁波である。近年、ミリ波を使った多くの研究が行われ、ミリ波を利用した製品が実用化されてきている。ミリ波は光、赤外に比べて物質の透過性がよく、衣服、炎、粉塵、雲、ダンボールなどを通してのイメージング、あるいは食品、生体、農林畜産物等の非破壊（非侵襲）検査・診断の分野に応用可能である。当センターでは、各種計測のうちでも対象物自身からのミリ波放射（黒体放射）を検出するパッシブ型（ミリ波放射計）について、その計測方法、計測装置の研究開発を進めている。

筆者らは、今までにミリ波放射計の開発および特性改善を行っており、計測の再現性、温度分解能が高い装置の開発に成功している。また、装置の小型化にも成功している。

今回、食品、生体、農林畜産物等への応用が可能なかを予測するために、成分の含有率による放射率の違いを検討した。放射率は誘電率から導くことができるので、濃度（含有率）の違うシヨ糖水

溶液、焼酎、果物の誘電率を測定した。

また、ミリ波放射計がどの程度の深さまで、電力を受信することができるかを調べるために、空間分解能評価実験を行った。

さらに、今後への新たな展開として、対象物の背後に高温熱雑音を置き、対象物を透過する熱雑音を計測・イメージングする基礎実験を行った。

2 方法

2-1 誘電率測定

試料の複素誘電率測定は図1に示す実験装置を用い、先端解放同軸プローブによる200MHz～50GHzにおける複素反射係数から求めることができる。ネットワークアナライザにはAgilent Technologies社製8361Aを、同軸プローブにはAgilent Technologies社製85070Aスリムプローブを用いた。測定を行った試料は、①原料の異なる25度焼酎（芋、麦、米、蕎麦）、②濃度の異なるシヨ糖水溶液（0%、5%、10%、15%）、③糖度の異なるマンゴー、④糖度の異なるみかん、の4品目である。また、誘電率は試料の温度により変化するため、恒温水槽に浸し、試料間の温度差が±0.1℃以下になるようにした。なお、みかんとマンゴーについては、一つの果実から得られる

* ミリ波による非破壊検査装置に関する研究（第1報）

* 1 機械電子・デザイン部

* 2 機械電子・デザイン部（現 宮崎県企業局）

果汁が少なく、これによる誤差が大きかったため、35GHzにおける値だけを比較し、果汁糖度との関連性だけを調査した。

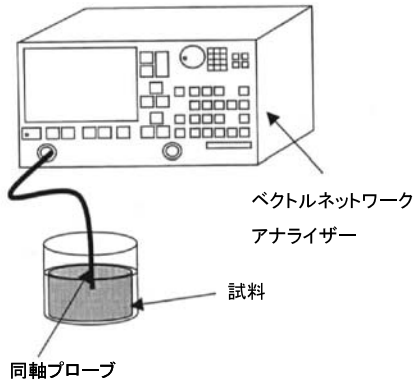


図1 同軸プローブを用いた誘電率測定装置

2-2 空間分解能

試作したミリ波放射計を使い、試料表面の計測を行った場合、どの程度の深さまで情報を得ることができるかを調査した。評価方法を図2に示す。まずミリ波放射計の先端に取り付けた導波管プローブを、底に薄型シート状電波吸収体を貼り付け蒸留水を入れたガラス製のビーカーに入れ、プローブの先端をビーカーの底に接触させた。そこから徐々にプローブの先端を上げてビーカーの底から離し、そのときの受信強度の変化を観測したところ、ある距離になったときに受信強度が変わらなくなった。このとき、プローブはビーカーの底の熱雑音を検知できなくなり、蒸留水だけを見ることになるので、この距離を空間分解能と定義した。

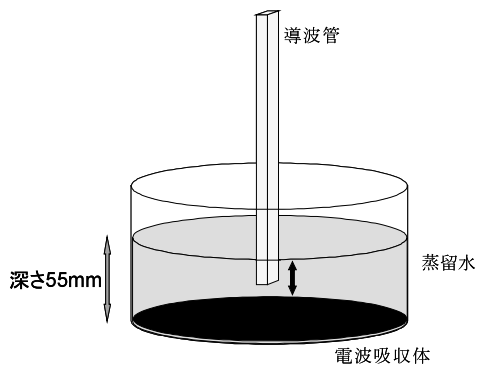


図2 空間分解能測定系

2-3 イメージング実験

今回、厚さ5mmの木材(桐)2枚の間に、10mm角、20mm角および30mm角の金属片(銅板、厚さ0.1mm)を一定間隔で挟んだものを対象物とし、実験を行った。

実験装置の構成を図3に示す。ミリ波の発信源として、Ka帯のノイズソースを用い、レンズアンテナを通してミリ波を対象物である木材に照射した。さらに、この木材から透過してくるミリ波をレンズアンテナで受けて、同じくKa帯の受信機で測定した。なお、木材を金属板が並んでいる方向に一定間隔で移動させることにより、木材に対するミリ波照射位置の移動を行った。

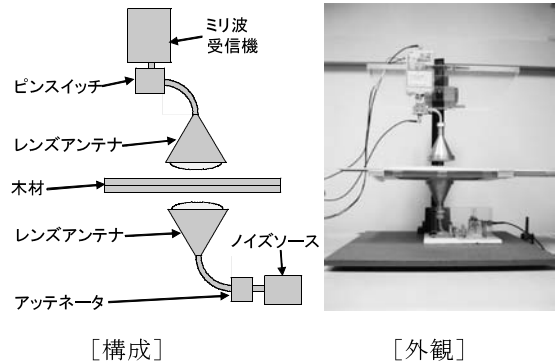


図3 イメージング装置

3 結果

3-1 誘電率測定

図4、図5に200MHzから50GHzにおける焼酎の複素比誘電率の周波数特性を示す。原料が違っても複素比誘電率には違いがないことから、ミリ波放射計を使って、焼酎の原料を特定することは不可能であると考えられる。しかし、蒸留水と比較すると焼酎の複素比誘電率は小さいことから、焼酎の濃度を判別することは可能であると考えられる。

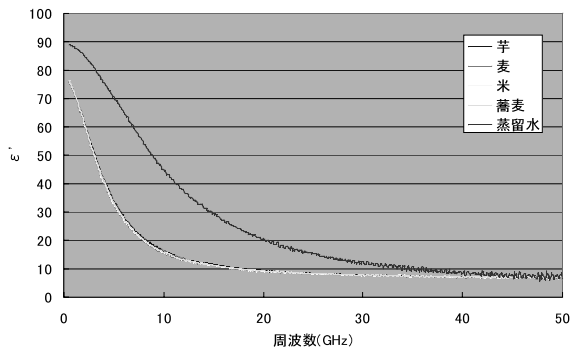


図4 焼酎の比誘電率

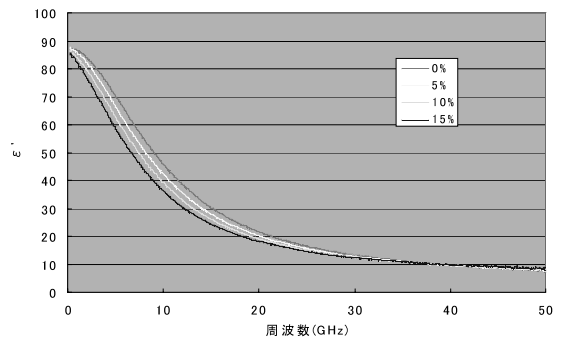


図7 ショ糖水溶液の比誘電損失率

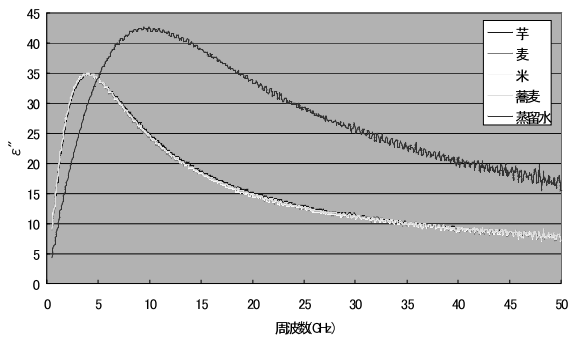


図5 焼酎の比誘電損失率

図8にマンゴーの比誘電率（35GHz）、図9にみかんの比誘電率（35GHz）を示す。

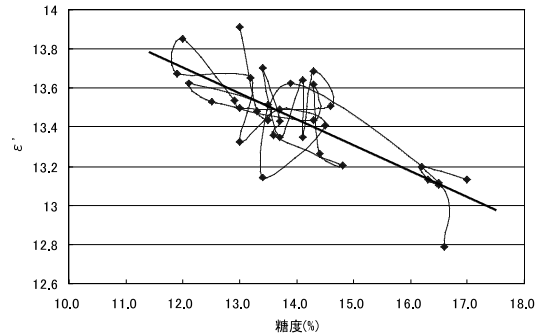


図8 マンゴーの比誘電率（35GHz）

図6，図7に200MHzから50GHzにおけるショ糖水溶液の複素比誘電率の周波数特性を示す。これらのグラフよりショ糖の増加に伴って水溶液の比誘電率，比誘電損失率が減少していることが確認できる。このことから，ミリ波によりショ糖含有率の違いを判別できる可能性が示された。

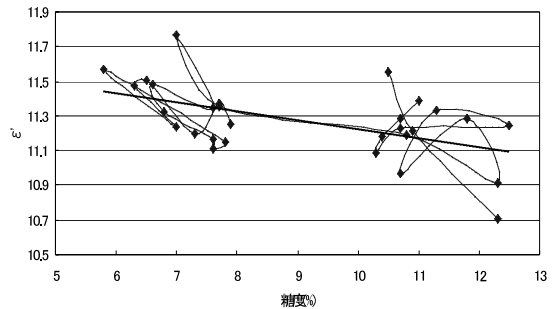


図9 みかんの比誘電率（35GHz）

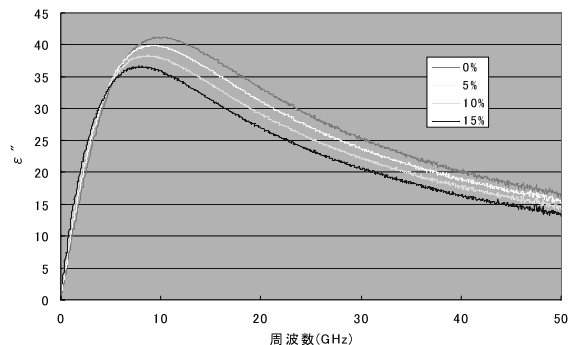


図6 ショ糖水溶液の比誘電率

同軸プローブ法による誘電率の測定では，測定試料の厚みが5mm程度必要であるが，一つの果物から採取できる果汁が少なかったため，測定の再現性に問題があった。しかし，農作物でも糖度と誘電率の間に一定の相関があることが分かった。これらの結果から，筆者らが行ったミリ波による果実の糖度判別が可能であることが裏付けられた。

3-2 空間分解能

図10に空間分解能測定結果を示す。この図よりプローブとピーカーの底との距離が15mmになったときに受信強度が変わらなくなっているので、ピーカーの底に敷いた電波吸収体からの熱雑音を受信しなくなったと考えられる。これにより、蒸留水中での空間分解能は15mmであると考えられる。

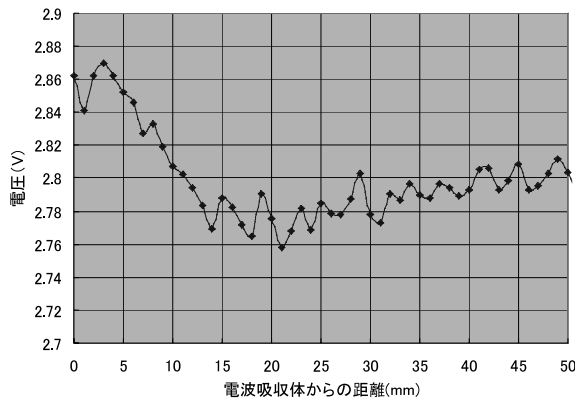


図10 空間分解能測定結果

3-3 イメージング実験

実験結果として、ミリ波照射位置とミリ波受信出力の関係を図11に示す。木材を移動させながらミリ波の照射位置を移動させたところ、金属板が挟んである箇所では、ミリ波受信出力の下がる部分が現れており、その間隔は、金属板の間隔とほぼ同等となった。この実験で、金属板が挟んである箇所とそうでない箇所とで、透過量に差異が現れたことから、本装置により木材の節、腐朽などの内部情報が検出できる可能性があることが分かった。

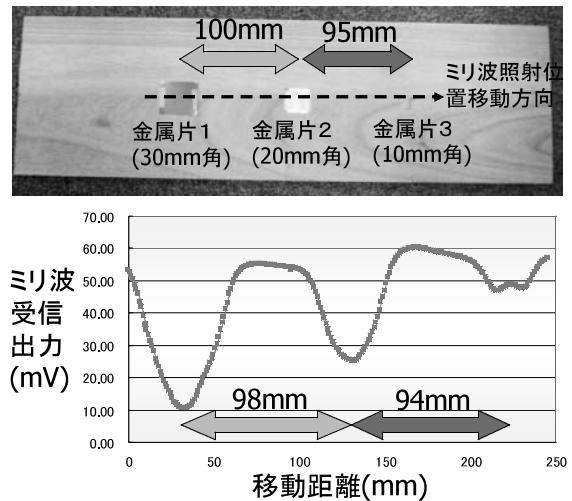


図11 ミリ波照射位置とミリ波受信出力の関係

4 まとめ

- (1) ミリ波帯における複素誘電率を測定したところ、シヨ糖の糖度や焼酎のアルコール度数が変わると誘電率が変わることが分かった。これによりミリ波による非破壊検査の可能性が高まった。
- (2) ミリ波放射計の空間分解能を測定したところ、赤外線に比べ深層部の情報を得られることが分かった。これにより、高精度非破壊検査の可能性が高まった。
- (3) イメージング装置を構成し、木材を対象物とし、基礎実験を行った結果、節、腐朽などの木材の内部情報が検出できる可能性があることが分かった。

5 参考文献

- 1) 松下大雅, 山本政宏, 二川佳央, 電子情報通信学会技術研究報告, 99, 63-70 (1999)