

ミリ波応用のセンサーに関する研究*

古川 直光*¹

Study of Millimeter Wave Sensing Technology.

Naomitsu FURUKAWA

近年注目されてきたミリ波は、従来の電磁波と光波の両方の性質を併せ持っている。この特性を利用し、自然界から放射されているミリ波の強度を計測することにより、動植物の生体情報が得られるため、農作物・木材・畜産物・水産物の品質を検査する装置の開発を行う。

また、この研究では物体から放射されているミリ波を受信する方式であるため、非破壊・非接触でしかも距離に無関係で計測でき、小型軽量で乾電池駆動の装置も実現可能である。

キーワード：電磁波、センサー、ミリ波、非破壊、非接触

1 はじめに

この研究で対象としているミリ波は、波長がミリメートル単位（1mm～10mm）、周波数では30GHz～300GHzのことで、現在の携帯電話、無線LAN等を使用されているマイクロ波と比較して、以下のような特徴が挙げられる。

①小型・軽量の装置が実現可能

②広帯域化が容易

③高分解能センシングが可能

また、可視光あるいは赤外光によるセンシングと比較して、以下の特徴が挙げられる。

④表皮効果が深いので被測定物の内部情報が得られる

⑤霧・塵・ほこりなどに強い

このように、ミリ波はマイクロ波や光等でない特徴を持っている。

これらの特徴を利用して、果実の糖度計を開発し、その後各分野への応用について検討する。

に比例して電磁波が放射されている。この関係を周波数と黒体の放射温度の関係で表すプランクの曲線を図1に示す。赤外領域には劣るもののミリ波帯でもかなりの電力が放射されており、ミリ波帯になると温度と放射電力比例関係になっていることが分かる。

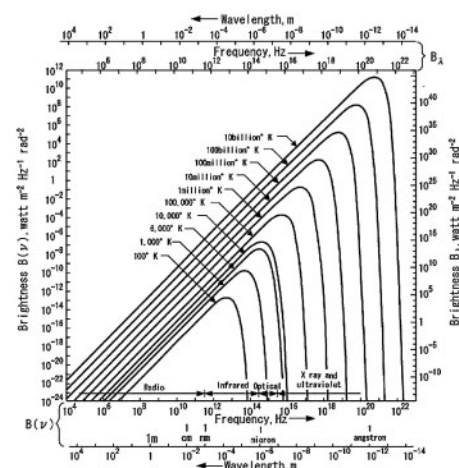


図1 プランクの放射則

2 実験方法

2-1 物体からの放射電力

自然界の全ての物体からは、その温度と放射率

次に、放射温度Tで放射率eの物体から放射されるミリ波を帯域幅B・増幅度Gの受信機で受信した場合の電力Pは次のようになる。

$$P = ekTBG$$

k：ボルツマン定数

* 電子技術に関する研究

* 1 工業技術センター 客員研究員

2-2 測定方法

上述したように、果実から放射されているミリ波は非常に微弱でありノイズに埋もれているため、低雑音アンプとロックインアンプを組み合わせた測定装置を試作した。これを図2に示す。

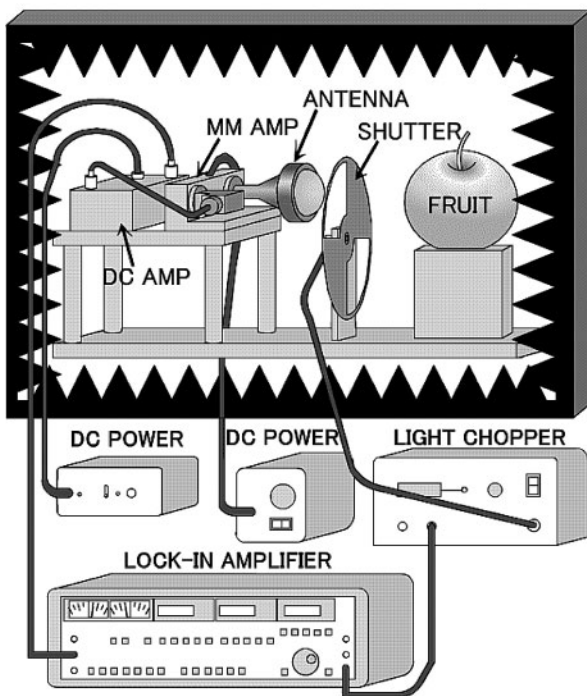


図2 測定装置

2-3 アンテナ特性測定

被測定物からの放射ミリ波を受信して、糖度換算値で0.1%まで正確に測定するためには、アンテナの指向性を鋭くして、 -20dB となる指向角が被測定物の表面に十分入るようにする必要がある。

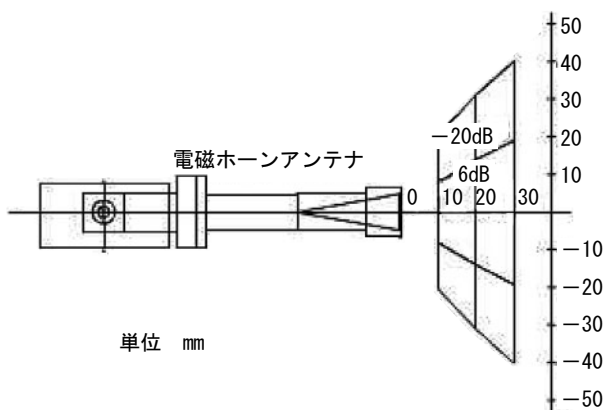


図3 35GHz帯アンテナ指向特性

このことを踏まえて、35GHz帯用電磁ホーンアンテナの指向特性を測定したものを図3に示す。この特性から分かるように、アンテナ前面から30mmの所で指向角が直径80mmの円となり、かなり大きな果実（スイカやメロン）でなければ測定できない。また、指向角がブロードであることは周りからのノイズを拾うため、アンテナの改良を検討した。

ミリ波帯で指向角が鋭いアンテナとしてレンズアンテナがあり、これを検討することとした。まずレンズの開口直径は最低限5~6波長必要とされていることから、35GHz帯では60mm以上となるため、60GHz帯で測定する事にし口径30mmのレンズアンテナを試作した。この指向特性を図4に示す。

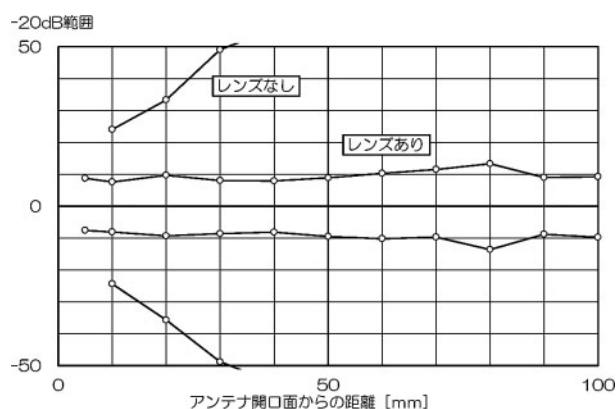


図4 60GHz帯アンテナ指向特性

この指向角であれば、直径20mm程度となるので、マンゴー・トマト・ミカン・リンゴ等が測定可能となる。

2-4 受信装置性能評価

60GHz帯低雑音受信装置の性能を評価し、糖度測定用としての機能を確認した。ここで最も問題とした点は、周囲温度によるアンプ利得の変動が大きいことで、つまり温度が上昇したら利得が下がることである。

この対策として、正温度係数抵抗器による温度補償回路を外付けし補償した。この結果を図5に示す。

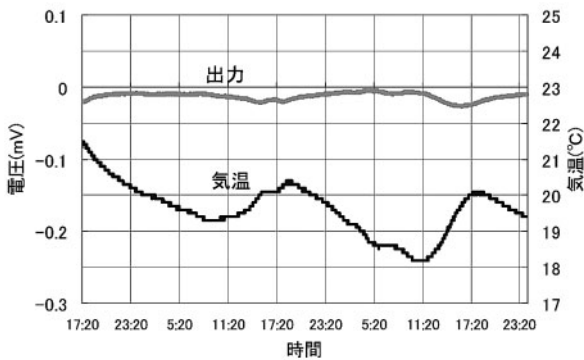


図5 温度補償特性

この特性から分かるように、周囲温度が変動してもアンプの出力が安定していることを示しているが、温度が急変したところでは変動していることが分かる。この原因は、外付け回路による補償であるためと考えられる。この対策としてはアンプ内部の回路として取り込めば良い。

3 結果及び考察

3-1 アンテナ特性測定結果

各種アンテナについて特性測定した結果、形状の異なる果実の糖度を精度良く測るためには、アンテナの指向角を鋭くする必要があることが分かった。

3-2 60GHz帯低雑音アンプ

平成15年度における35GHz帯の研究結果から測定周波数帯を60GHz帯にし、レンズアンテナの諸特性について評価した。また、アンプの温度補償をしたのは前述の通りである。

3-3 果実の糖度測定

上述した装置により、果実（リンゴ・梨・メロン）の糖度を測定し、糖度と出力電圧の関係について解明した。この測定結果の一例として図6に示す。

このグラフは熟度の異なるメロンについて、アンテナからの距離による出力電圧の変化を測定したもので、一見して明白な様にアンテナからの距離が短い場合には出力の変動幅が大きく、距離と共に減衰していくことが分かる。したがって、正確な糖度を測るには距離を300mm程度にして測定すればよい。

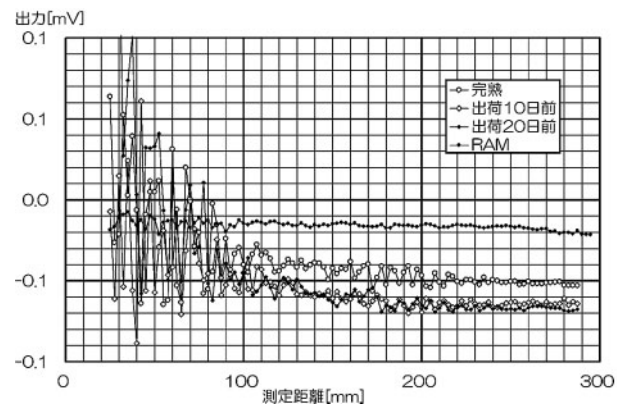


図6 糖度測定

この現象の原因については、現在解明中であるがRAM（電波吸収体）ではこの現象が起こらないことから、果実からの反射波の影響と考えている。

4 まとめ

この研究は、現時点では進行途中であり、上記現象を解明し改良した後で、主要テーマである糖度測定に入る計画となっている。

今後改良しなければならない点としては、

- 1) 農場現場であるビニールハウス内での気温変化に対応できる温度補償を施すこと
- 2) 糖度0.1%以上の測定精度と安定性を持たせること
- 3) 距離に無関係となる範囲を広くすること
- 4) 機械式シャッターを無くすこと
- 5) ロックインアンプの小型化または省略
- 6) 電池駆動のハンディタイプを意識して小型軽量で低消費電力化を考慮すること
- 7) 果実の種類毎に、検量カーブを取ることに
- 8) 糖度測定以外の応用分野について検討すること

が挙げられる。

5 参考文献

- 1) 手代木 扶, 米山 務 編著; 新ミリ波技術, オーム社 (1999)