

ミリ波による糖度測定装置の開発*

小田 誠*¹・室屋 秀峰*¹・江藤 誠彦*¹

Development of sugar content measurement system by milliwave sensing technology

Makoto ODA, Hidetaka MUROYA and Masahiko ETO

近年注目されてきたミリ波は、光と電波の両方の性質を有していることから、この性質を活用したセンサーへの応用が期待されている。ここでは、物体から放射されるミリ波を計測するミリ波パッシブ技術を用いて、果実の糖度を測定する装置を開発する。現在、糖度計は屈折式と近赤外線分光方式が主流であるが、前者は果実を絞ってその果汁を測定することから破壊検査が前提であり、後者はシステムが複雑であり高価なため、普及が進んでいない。一方、ミリ波パッシブ技術による糖度測定装置は、果実から放射されるミリ波を計測するため、非破壊測定が可能であり、またシステムが簡素化できるため、小型で安価な装置が期待できる。

まず、平成16年度は物体から放射される微弱なミリ波を受信することにより物体の輝度温度を測定する装置を開発した。また、測定物をショ糖水溶液を用いてモデル化し、ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係を解明した。

キーワード：ミリ波、パッシブ、糖度、輝度温度、放射率

1 はじめに

物体から放射されるミリ波強度を帯域幅Bの受信機で受信した場合の受信電力Pは、

$$P = ekTB [W]$$

となる。ここで、eは物体の放射率、kはボルツマン定数、Tは物体の温度である。一般的に、物体から放射されるミリ波は非常に微弱なため、物体の放射率eと温度Tを用いて、

$$t = eT [K]$$

と表される。これを、ミリ波帯における輝度温度という。

物体の輝度温度を測定することにより放射率が分かり、物体を区別することが可能となることから、従来、ミリ波イメージングの研究が行われてきた。ミリ波による糖度測定とは、この技術を応用し、果実の糖度と輝度温度の相関関係を解明した上で、測定した果実の輝度温度から果実の糖度を算出するものである。

2 研究方法

2-1 実験装置の開発及び評価

ミリ波の測定は一般的に、図1のようにミリ波アンプで増幅し検波する全電力方式が用いられる。しかし、物体から放射されるミリ波は非常に微弱であるため、全電力方式では受信したミリ波は受信機で発生するノイズに埋もれてしまう。そこで、ディック方式による実験装置を開発する。

また、受信装置を評価する指標として、感度、温度分解能及び精度を定義し、開発した実験装置を評価する。

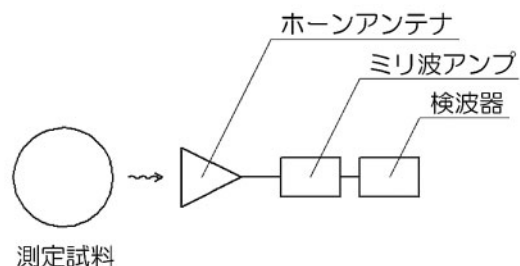


図1 全電力方式

* 経済産業省 地域新生コンソーシアム研究開発事業

* 1 機械電子・デザイン部

2-2 ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係の解明

ミリ波パッシブ技術による糖度測定の可能性を探るために、まず、ショ糖水溶液を用いて測定物のモデル化を行う。放射率は複素誘電率から計算できるため、ショ糖水溶液の複素誘電率を測定することにより、ショ糖水溶液の輝度温度を計算することができる。ショ糖水溶液の複素誘電率の実測値とそれを用いて計算したショ糖水溶液の輝度温度を表1に示す。輝度温度は物体の温度に比例するため、ショ糖水溶液の水温は23.0℃とした。表1により、ショ糖水溶液の濃度が高くなると輝度温度も高くなることが分かる。また、相関係数は、0.518K/%であった。

表1 ショ糖水溶液の複素誘電率と輝度温度

濃度 (%)	誘電率	誘電損失	輝度温度 (K)
0	30.0	33.9	123.7
10	25.5	31.8	128.8
20	24.6	28.3	134.1

ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係を解明するために、濃度の異なるショ糖水溶液の輝度温度を測定した。測定は、周囲からのノイズの影響を受けないように、アンテナをショ糖水溶液に沈めた状態で行った。測定値はアンテナの特性に依らないため、アンテナは導波管とした。また、ショ糖水溶液が浸水しないように導波管の開口面にはパラフィルムを貼った。

3 結果及び考察

3-1 実験装置の開発及び評価

開発した実験装置の構成を図2に示す。ディック方式の受信装置では、アンテナの後段にピンスイッチを接続し、参照信号の周波数に応じて、アンテナで受信した測定信号と基準信号により矩形波を生成する。その後、ミリ波アンプで増幅、さらに検波器で電圧に変換し、ロックインアンプに入力する。ロックインアンプでは、参照信号と同じ周波数のフィルタに通し、基準信号との差を求めることにより、測定信号を算出する。出力は、相対的な電圧として得られる。

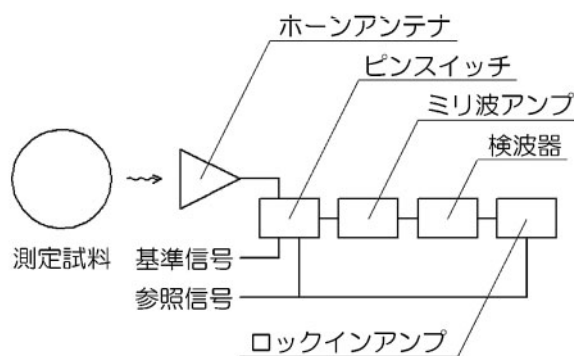


図2 実験装置の構成

輝度温度を測定するためには、実験装置の温度校正を行う必要がある。温度校正は、冷凍した電波吸収体RAMを測定することにより、RAMの温度と出力電圧の関係を求める。RAMは電波吸収特性に優れており、放射率を1と見なすことができることから、RAMの物理温度と輝度温度が等しいと考えられる。

実験装置の評価には、感度、温度分解能及び精度を用いる。感度とは、前述の温度校正において、輝度温度1Kに相当する出力電圧である。感度の測定は、温度の異なる電波吸収体RAMを測定し、

$$\text{感度 [V/K]} = \text{出力電圧差 [V]} / \text{温度差 [K]}$$

により求める。開発した実験装置の感度は、38.6 μ V/Kであった。

測定値は、受信機で発生したノイズの影響により変動幅を持つ。そこで、輝度温度を区別する最小の温度幅を温度分解能とする。温度分解能の測定は、常温のRAMを測定し、出力波形をオシロスコープで観測したときの変動幅を用いて、

$$\text{分解能 [K]} = \text{変動幅 [V]} / \text{感度 [V/K]}$$

により求める。開発した実験装置の分解能は、0.13Kであった。

精度は、同条件下における測定誤差であり、測定値の再現性を意味する。精度の測定は、周辺温度とRAMの温度を同一と考え、周辺温度とRAMの輝度温度を長期的に観測し、任意の周辺温度におけるRAMの輝度温度の測定誤差を用いて、

$$\text{精度 [K]} = \text{測定誤差 [V]} / \text{感度 [V/K]}$$

により求める。開発した実験装置の精度は、1.4Kであった。

3-2 ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係の解明

ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係を図3に示す。ショ糖水溶液の水温は約23.0℃である。測定の結果、ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係に関する相関係数は、0.155K/%となった。これにより、ショ糖水溶液の濃度が高いほど輝度温度は高くなる事が分かる。

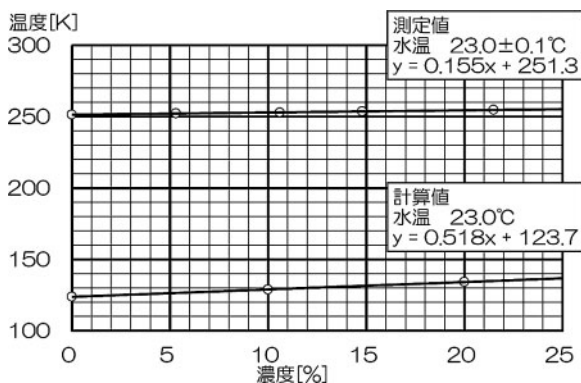


図3 ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係

次に、複素誘電率から計算したショ糖水溶液の輝度温度と比較すると、まず、ショ糖水溶液の輝度温度の計算値が124K程度であったのに対し、実測では251K程度と非常に高く観測された。これは、受信機から発生するノイズがショ糖水溶液の表面で反射し、ショ糖水溶液から放射されるミリ波に上乗せされて観測しているものと考えられる。また、ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係に関する相関係数については、計算値が0.518K/%であったのに対し、実測では0.155K/%と小さくなった。これも、受信機から発生するノイズが影響していると考えられる。放射率と反射率が逆比例関係にあることから、ショ糖水溶液の表面で反射するノイズは、ショ糖水溶液の濃度が高くなるほど小さくなる。したがって、ショ糖水溶液から放射されるミリ波が表面で反射するノイズに打ち消され、相関係数が小さくなったと考えられる。

このことから、輝度温度を正確に測定するためには、受信機から発生するノイズを低減する方法、あるいは受信機から発生するノイズによる影響を補正する方法について検討する必要がある。

4 まとめ

- 1) 物体から放射される微弱なミリ波を受信することにより、ショ糖水溶液の輝度温度を測定する装置を開発した。
- 2) 受信装置を評価する指標として、感度、分解能、精度を定義し、開発した実験装置を評価した結果、感度38.6 μ V/K、分解能0.13K、精度1.4Kを得た。
- 3) 測定物をショ糖水溶液を用いてモデル化し、実際にショ糖水溶液の輝度温度を測定した結果、ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係に関する相関係数0.155%/Kを得た。
- 4) ショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係に関する相関係数は、計算上0.518%であるが、実測では、受信機から発生するノイズが影響することにより、相関係数が小さくなると考えられる。
- 5) 輝度温度を正確に測定するためには、受信機から発生するノイズを低減する方法、あるいは受信機から発生するノイズによる影響を補正する方法について検討する必要がある。

5 参考文献

- 1) K. Mizuno, "Imaging Technologies in the Milli-meter Wave Region (Invited)," The 3rd MINT MWIS, Seoul, Feb. 2002.
- 2) 手代木 扶, 米山 務 編著; 新ミリ波技術, オーム社 (1999)