

TDR 法を用いた霜検知センサの開発 Development of Frost Sensor Based on Time Domain Reflectometry

宮川麗* 加藤高寛** ○登尾浩助*

Rei MIYAKAWA, Takahiro KATO, and ○Kosuke NOBORIO

1. 背景と目的

秋期から春期に、気温が異常に低下することで発生する農作物への被害を凍霜害という。植物は、耐凍性以下の低温にさらされることにより、細胞内や細胞間隙に凍結が起り、枯死する。

降霜を予測する手法に、気象学的手法がある。気象学的手法では、気象台で観測された気温をもとに降霜を予測する。地方気象台が発令する霜注意報は、予想最低気温が基準を下回るときに発令される。しかし、降霜は局所的にも発生するため、気象学的手法は精度の面で十分とはいえず、降霜を精度よく、直接検知する手法の開発が求められている。降霜の直接検知が可能になれば、燃焼法、散水氷結法、送風法などを降霜時のみ稼働させればよいため、稼働コストの削減が期待できる。

また、霜、氷の観測は全国の測候所で目視にて行われている。現在、測候所の無人化が進んでおり、平成 22 年度には 6 箇所の測候所が無人化される（平成 21 年気象庁報道発表資料）。無人化に伴って、目視での観測が廃止されている。初霜日の観測は、その蓄積によって気候変動を把握する重要なデータとなり、無人での観測が可能になれば、データの更なる蓄積が可能となる。

無人での降霜検知の例として、我々の研究室では、相対湿度 100% の条件下で TDR センサ上に霜を人工的に発生させ、水滴が結露し、それが霜へと変化する瞬間を比誘電率の変化として検知することに成功した。しかし、圃場での測定例はない。本研究では、プリント基板上に配置した電極をセンサとして使い、室内実験において相対湿度を変化させ、相対湿度の違いが比誘電率に及ぼす影響を調べた。また、屋外の圃場において、自然環境下で発生する霜の検知を目的とし、屋外での測定を行った。

2. 実験方法

ガラスエポキシ製、ガラスコンポジット製プリント基板を用い、渦巻き状電極長さ 57cm、電極幅 0.1cm、電極間隔 0.05cm の 2 線式 TDR 霜検知センサを作成した（写真 1）。

温度を 12°C に設定した恒温槽 (EYELA 社製 FLI2000) 内で実験を行った。冷却器であるペルチェ素子の上にセンサ置き、ペルチェ素子に電圧をかけ、ペルチェ素子の温度を -3°C ほどまで冷やし、センサ上に霜を発生させた。恒温槽内の相対湿度をそれぞれ 60、70、80% に設定したときの基板上的比誘電率を 15 秒間隔で測定した。このときの比誘電率の測定には、ケーブルテスター（テクトロニクス社製 1502C）と波形解析ソフト winTDR を用いた。基板上温度を T 型熱電対とデータロガー CR3000（Campbell Scientific 社製）を用いて 1 秒間隔で測定した。

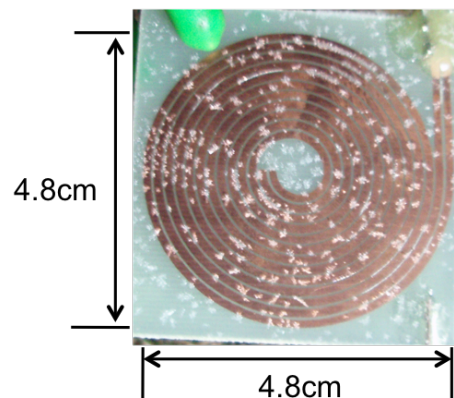


写真 1 渦巻き状霜検知センサーと霜
Picture 1. Frost formed on a frost sensor.

* 明治大学農学部 School of Agriculture, Meiji University

** 明治大学農学部農学研究科 Graduate School of Agriculture, Meiji University

キーワード：TDR 法、比誘電率、霜害

また、2009年12月19日より、明治大学南圃場の芝生において屋外測定を行った。センサを地表面と、地上5cmの高さに設置し、基板上的比誘電率と温度、地上1mの気温を1分間隔で測定した。24時から翌8時まで2時間おきに、基板上的の様子を目視した。このときの比誘電率の測定には、ケーブルテスターと波形解析ソフト winTDR と、TDR100 (Campbell Scientific 社製) を用いた。また、気温と基板上温度の測定にはT型熱電対とデータロガーCR3000を用いた。

3. 結果と考察

相対湿度が60、70、80%の時の基板上温度と比誘電率の変化を、図1に表した。基板上温度はすべての相対湿度に対して同じような値を示したため、相対湿度が60%における温度のみを掲載した。冷却開始後、基板上的温度は徐々に下がり、400秒以降センサ上に水蒸気が結露して比誘電率は徐々に上昇した。その後、比誘電率は減少し始めた。これはセンサ上の液状水が凝結し氷になったためと考えられる。また、水の比誘電率は約80であり、空気の比誘電率よりも大きいいため、1200秒付近での冷却終了と同時に氷が液状水となり比誘電率が増加した。その後、比誘電率が減少するのは、液状水が蒸発したためと考えられる。センサを冷却する前の比誘電率と、冷却中に霜が付着しているときの比誘電率の差は、相対湿度が60%のときでは0.042、70%のときでは0.063、80%のときでは0.135であった。空気の比誘電率が約1、氷の比誘電率が約3.5であることから、センサ上に霜がつくと比誘電率が大きくなると考えられるので、相対湿度が高い方が多くの霜がついたことがわかる。

図2に、2009年12月19日16時から、翌日8時20分までの基板上的比誘電率と温度を表した。比誘電率は20日0時30分頃、微小ながら上昇した。室内実験で見られたような比誘電率の増減は見られなかった。これは、基板の上に凝結が起こらず、空気中の水蒸気が昇華し、氷となって基板の上に付着したためと考えられる。その後、20日7時38分に比誘電率は大きく上昇した。これは、室内実験と同様に氷が液状水となったためである。4時38分から7時38分までの、降霜発生時の比誘電率の平均と、測定開始から3時間の、降霜がない状態の比誘電率の平均との差は0.035であった。このことから、無降霜時と降霜時での基板上的比誘電率の差より、屋外においても基板への降霜を検知することが可能であることがわかった。しかし、降霜時と降霜の無い時との比誘電率の差は小さく、今後、形状の改良などを通してセンサの感度を上げる必要がある。

参考文献

平成21年気象庁報道発表資料. <http://www.jma.go.jp/jma/press/index21.html>

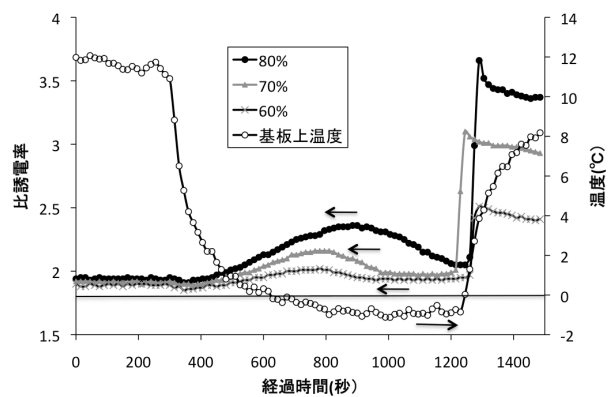


図1 基板上的比誘電率と温度の経時変化

Fig. 1. Changes in temperature and dielectric constant on the frost sensor.

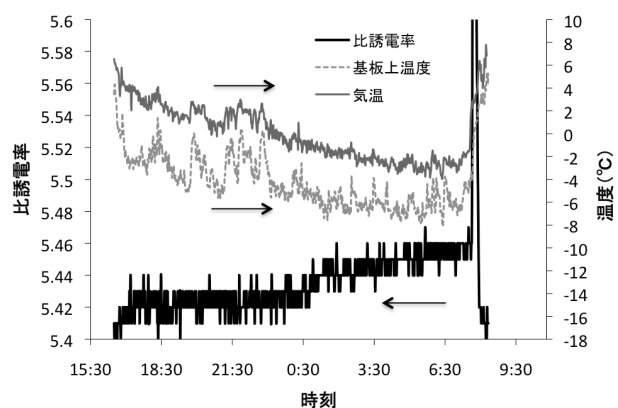


図2 比誘電率と基板上温度と気温

Fig. 2. Changes in temperature and dielectric constant on the frost sensor and air temperature.