

近赤外光吸収画像による水・氷の検知に関する研究（第一報）

堤 大祐、堀 武司、長尾 信一
 土井 義明*、石川 光浩*、渡辺 恭吾*
 池上 真志樹**

Moisture Detection of Road Surface using Infrared Camera

Daisuke TSUTSUMI, Takeshi HORI, Shinchi NAGAO
 Yoshiaki DOI*, Mitsuhiro ISIKAWA*, Kyougo WATANABE*
 Mashiki IKEGAMI**

抄 録

ロードヒーティングの制御には路面上の水分の有無を知ることが重要である。従来は路面上にセンサを埋設して水分を検知していた。しかし、それは点のセンシングであり、正確に路面の状況を把握していなかった。路面上の水分の有無を面的に把握するため、近赤外カメラを使用した。水・氷などの水分は近赤外光を吸収する性質があり、路面を近赤外領域に感度を有する近赤外カメラで撮像し、その反射強度の違いから水分の有無を検知することができる。平成7年度～8年度までは屋内で試験用の路面にて水分検知試験を行った。今年度は屋外に試験路面を敷設し、周囲の明るさの変化など屋外での影響を考慮した水分検知方法を確立するため研究を始めた。その結果、夜間においても昼間においても広範囲に水分を検知することができた。

1 はじめに

ロードヒーティングの普及は、車の冬期間スタッドレス化によってますます促進されると考えられる。一方、省エネルギーの面からその制御法は、路面温度を一定に保つ単純なものから、気象条件や路面状態などの情報に基づいて制御する精度の高い方式に移ってきている。この制御情報として、路面水分、外気温度、舗装体温度、除雪の有無などがあり、この中で路面水分は路面の凍結状態を知る上から重要である。しかし、現状では水分電極などを用いた点のセンシングであり、路面を網羅した制御情報となっていない。本研究は水や氷の水分を非接触でかつ広範囲に検出できる方法として、近赤外光を利用した画像処理により水分検知を行うものである。

平成7年度～8年度に行った屋内試験に続き、今年度は屋外で周囲の明るさの影響、除雪の影響を考慮した水分検知試験を行った。その結果、周囲の明るさが変化しても同程度に水分を検知することができたのでここに報告する。

2 水分検知の原理

水や氷などの水分は波長が1400～1500nm付近の近赤外領域に吸収帯をもっている。水分に近赤外光を照射し、その反射光の強度を観測することにより水分の有無を検知することができる³⁾。

本研究は近赤外領域を含む波長400～1800nmに感度を有する近赤外カメラを使用して、赤外投光器により近赤外光を照射し、波長1450nm（半値幅30nm）のバンドパスフィルタを用いることで吸収帯のみの反射光を観測する。これによって、水分の分布を面的に検知することができる。使用した機材を表1に示す。

* 北海道電力株式会社総合研究所

** 工業技術院北海道工業技術研究所

表1 使用した撮像機材

近赤外カメラ	C2741-03	浜松ホトニクス製
赤外投光器	L6111	浜松ホトニクス製
バンドパスフィルタ		日本真空光学製

3 屋外試験

平成7年度～8年度にかけて屋内で試験用アスファルト路面を設置して行った水分検知試験の結果をもとに、今年度は屋外に試験路面を設置して屋外の自然環境下で試験を行った。試験設備は図1、2に示すように約3.2m x 3.2mの路面を設置し、その端から約0.4m離れた場所に支柱をたて、その約2.0mの高さから赤外投光器を2灯使用して路面中央部を照射し、近赤外カメラで路面中央部を撮像した。また、近赤外カメラの隣に可視画像を撮るためにCCDカメラを設置した。各カメラはハウジングに収め、近赤外カメラのハウジングにはサーモスタット付きのヒータをつけた。近赤外画像、可視画像は画像記録装置にて記録した。また、試験路面には路面温度センサ、水分センサを埋設し、現在使用されている方式のひとつである四要素制御にて試験路面を融雪制御できる。近赤外カメラ、赤外投光器、CCDカメラの撮像系を図3に、試験路面を図4にそれぞれ示す。

本研究ではこの試験路面を用いて、以下に示す2点の屋外環境の影響を考慮した水分検知手法を確立するため試験を行った。

- 周囲の明るさの影響
- 降雪の影響

周囲の明るさの影響を試験するため、以下の条件を設定し、画像に与える影響を調べた。

- (1) 夜間における水分検知（高圧ナトリウム灯を消灯）
- (2) 夜間における水分検知（高圧ナトリウム灯を点灯）
- (3) 昼間の曇天時における水分検知
- (4) 昼間の晴天時における水分検知

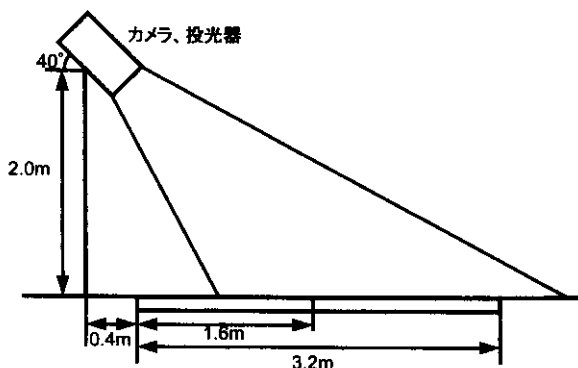


図1 試験設備の設置位置 (1)

高圧ナトリウム灯は街路灯に広く用いられているもので、これを使用して夜間において周囲の明るさに変化を与えた。

降雪の影響は降雪時に撮像し、降下する雪が画像にどのような影響を与えるか調べた。

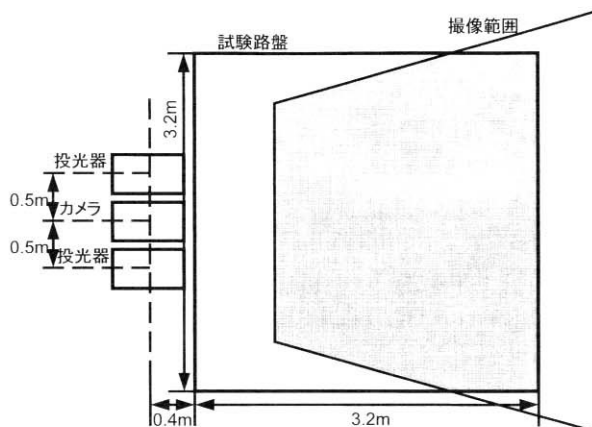


図2 試験設備の設置位置 (2)

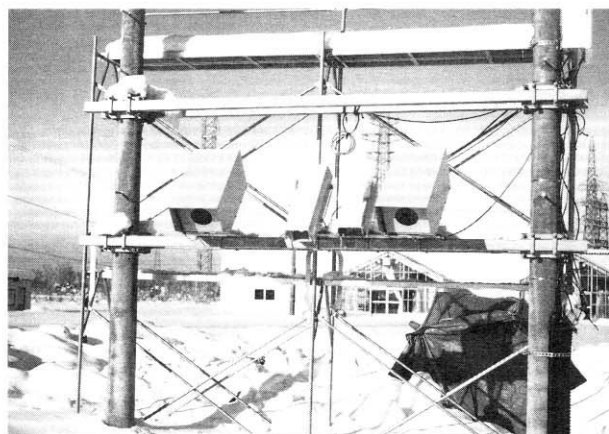


図3 撮像系



図4 試験路面

4 画像処理方法

この試験設備を用いて、昼間・夜間、晴れ・曇りの各条件で湿潤または凍結路面を撮像し、水分検知試験を行った。水分検知を行うための画像処理の手順を示す。

本研究では近赤外カメラを用いて、水分が近赤外光を吸収するときの輝度の差を利用する。従来の処理方法を以下に示す。まず、あらかじめ乾燥路面を撮像する（以下、基準画像）。次に、湿潤または凍結路面を撮像する（以下、吸収画像）。どちらの画像も赤外投光器を用いて撮像する。基準画像と吸収画像との差をとった差分画像を求め、そのヒストグラムの双峰性を利用して水分を検知する[3]。図5にその例を示す。夜間に撮像した基準画像と吸収画像をそれぞれ図5(a)、(b)に示す。図5(c)は基準画像と吸収画像の差をとった差分画像で、濃度拡張して表示した。図5(d)は図5(c)の画像に対して判別分析法を用いて2値化した分離画像である。図5(d)において、白い部分が水分として検知できた部分である。図5(b)の吸収画像は試験路面の全面が湿潤状態であった。そのため、

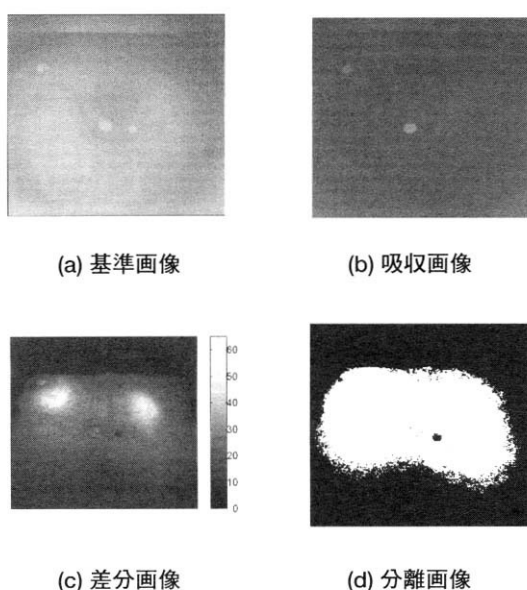


図5 従来の手法による夜間における水分検知結果

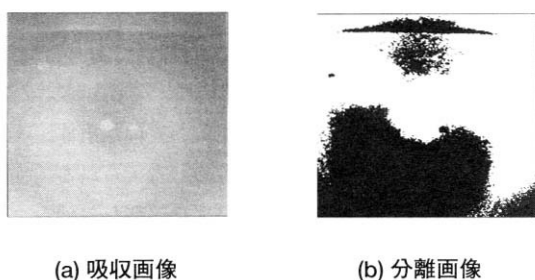


図6 従来の手法による昼間における水分検知結果

水分は白い部分の周辺部にもあるが、投光器は路面中央部に向けて照射しているため、周辺部の光量は弱く、また、差分画像のヒストグラムにおいて、その双峰性を利用していることから検知できていない。

ここで用いた基準画像と吸収画像は同じ日の夜間に撮像した。ただし、撮像した時刻は1時間ほど異なっている。

この基準画像を用いて、別の日の昼間に撮像した吸収画像を処理した。その結果を図6に示す。図6(a)は湿潤状態の吸収画像である。図6(b)は同様に2値化した分離画像である。路面の状態は全面湿潤状態であるが、投光器の赤外光よりも太陽光に含まれる赤外光などが影響して、夜間と同じように検知できていない。

今回は、昼間・夜間においても水分が検知できるように周囲の明るさの影響を補正する処理を追加した。従来の基準画像と吸収画像は投光器を使用した画像をそのまま用いていた。この画像は太陽光に含まれる赤外光や投光器によって照射された赤外光などの影響を受けている。そこで、この画像と、投光器を用いない画像を撮像し、その差をとることで、投光器の赤外光による影響のみを反映した基準画像および吸収画像を得る。処理の例を図7に示す。図7(a)は赤外投光器を使用した乾燥路面の画像、図7(b)は赤外投光器を使用しなかった乾燥路面の画像である。図7(c)は図7(a)と図7

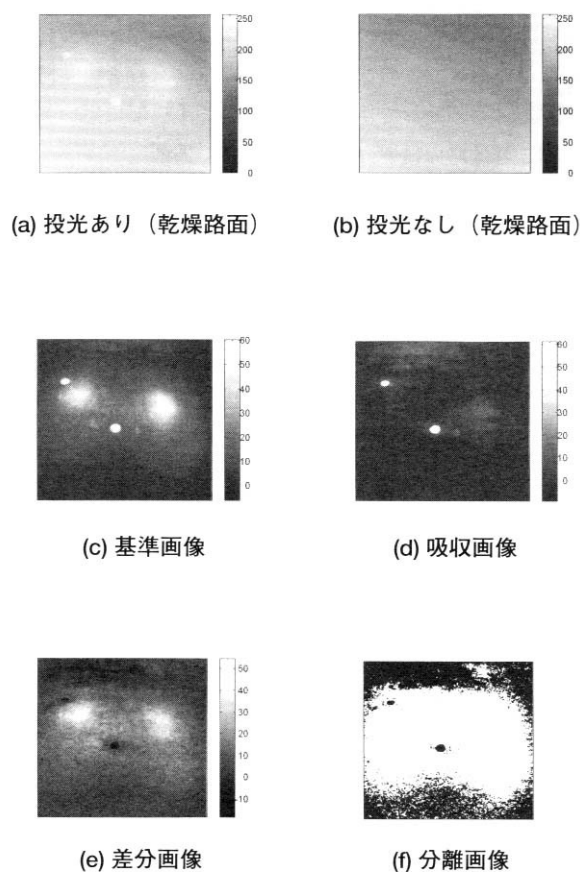


図7 水分検知の画像処理の手順

(b) との差から求めた画像でこの画像を基準画像とする。図 7(c) は赤外投光器の影響を反映した画像である。同様に、赤外投光器を使用した湿潤または凍結路面の画像から、赤外投光器を使用しなかった画像の差より吸収画像を求める。吸収画像を図 7(d) に示す。図 7(e) は図 7(c) と図 7(d) の差より求めた差分画像である。図 7(c)、(d)、(e) は濃度拡張して表示した。最後に、図 7(e) を 2 倍化して分離画像を得る。分離画像を図 7(f) に示す。2 値化の際のしきい値は 5 とした。撮像した画像は演算する前に 3x3 のメディアンフィルタを用いてノイズなどを除去した。この基準画像を共通に用いて以下、水分検知処理を行った。

5 屋外試験結果

5.1 周囲の明るさの影響

夜間と昼間において、周囲の明るさの異なる (1) ~ (4) の条件で近赤外画像を撮像した。水分検知結果を条件 (1) と (2) の夜間の場合と、条件 (3) と (4) の昼間の場合に分けて示す。

5.1.1 夜間における水分検知

夜間における水分検知の結果を図 8 に示す。図 8(a) は高圧ナトリウム灯を消灯したときの分離画像である。この路面は凍結状態であった。分離画像の白い部分が水分として検知できた部分である。この凍結路面において、水分を広範囲に検知できた。水分として検知できた部分の中央部に黒い部分があるがこれは路面に埋設されたセンサである。センサ部も凍結していたがその部分の水分は検知できなかった。図 8(b) は高圧ナトリウム灯を点灯したときの分離画像である。この路面は凍結状態であった。この場合も凍結路面において、水分を広範囲に検知できた。また、センサの部分は検知できなかった。

夜間においては路面に埋設されたセンサ部分を除くと、路面上の水分を広範囲に検知できている。図 8(a)、(b) は同じ日に撮像した。図 8(c) はそのときの可視画像である。

5.1.2 昼間の水分検知

昼間における水分検知の結果を図 9 に示す。図 9(a) は曇天時の分離画像である。この路面は湿潤状態であった。湿潤路面において、広範囲にわたって水分を検知できた。図 9(b) は晴天時の分離画像である。この路面は凍結状態であった。この凍結路面においても広範囲に水分として検知できた。昼間（曇天時、晴天時）においても路面上の水分を広範囲に検知できた。図 9(c) は曇天時の可視画像、図 9(d) は晴天時の可視画像である。

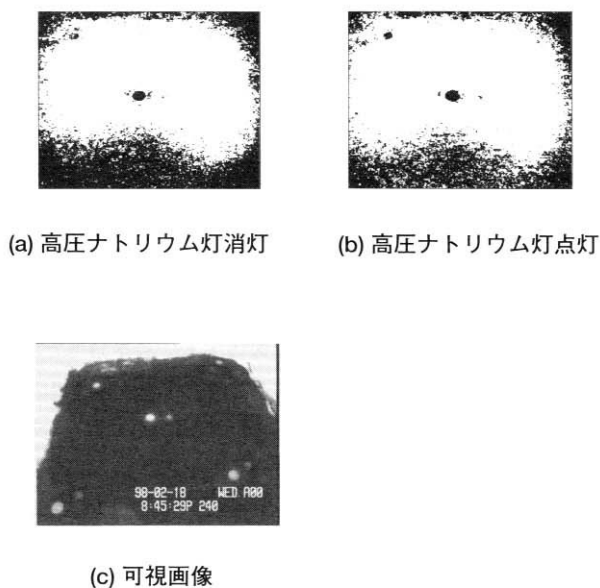


図 8 夜間における水分検知結果

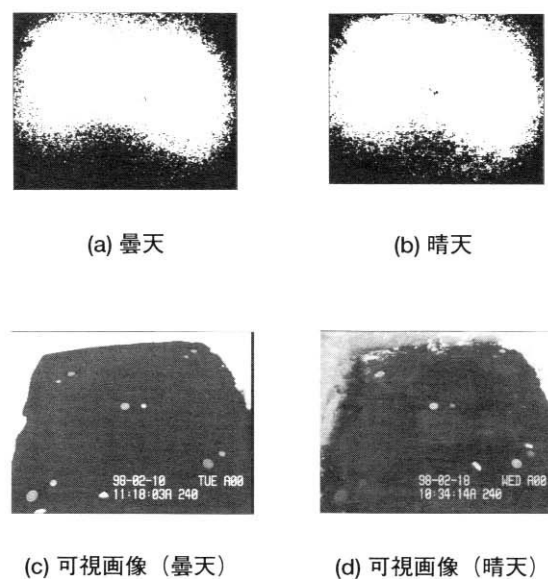


図 9 昼間における水分検知結果

5.1.3 水分検知領域

周囲の明るさの異なる 4 つの条件における水分検知領域を表 2 に示す。(2) と (4) の検知領域はほぼ同数であったが、(1) はそれより約 10% 多く、(3) は約 10% 少なく検知された。検知できた領域はおおよそ +10% ~ -10% の違いがある。その違いは分離画像の下部の検出によるものと考えられる。赤外投光器による赤外光は分離画像の中央部を照射しているため、下部は赤外光の光量が弱くなる。そのため、水分の検知が難しくなり検知精度に差異が生じたためと思われる。これは、投光器を増やすなどして、赤外光を十分照射できれば、水分

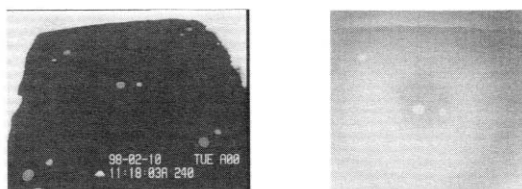
検知精度を向上させることが可能である。しかし、少ない投光器で水分を検知するために赤外光の照射が少ない部分においても安定して水分を検知することが必要である。

表2 水分の検知領域

条件	検知画素数
(1) 夜間（高圧ナトリウム灯を消灯）	約 162000
(2) 夜間（高圧ナトリウム灯を点灯）	約 146000
(3) 昼間（曇天）	約 132000
(4) 昼間（晴天）	約 146000

5.2 降雪の影響

降雪時に撮像した画像を図10に示す。図10(a)は可視画像で画像の上下方向に白っぽい線が見える。これは雪が降下している状態である。路面は降雪制御中で湿潤状態である。目視では可視画像でみるよりも激しい降雪であった。しかし、図10(b)の近赤外画像では降雪を画像で確認することはできなかった。この場合、降雪中の雪の降下が近赤外画像に与える影響は少ないと考えられる。また、大雪時にデータを収集するなどしてその影響を確認する必要がある。



(a) 可視画像

(b) 近赤外画像

図10 降雪の影響

6 考察

周囲の明るさの影響を補正するため、基準画像、吸収画像は赤外投光を行った画像と行わなかった画像の差をとった。その結果、太陽光に含まれる赤外光を補正でき、夜間においても昼間においても水分を広範囲に検知することができた。一方、投光器は路面の中央部に照射しているため、周辺部では光量が十分照射されていない。そのため、分離画像の下部の検知精度にばらつきが生じ、全体の検知領域に+10%~-10%の違いがみられた。これは、投光器を増やすなどして十分な光量を照射できれば、検知精度は向上すると思われる。しかし、少ない投光器でより広範囲の水分を検知するためには、昼夜の温度変化が撮像系に与える影響を考慮するなどし

て、光量の少ない部分においても安定した検知を行う必要がある。

また、降雪時に撮像した画像から、降下する雪は近赤外画像にほとんど影響を与えないことが確認できた。実際にはより降雪量の多いことも考えられるので、さらにその影響を確認する必要がある。

7 おわりに

本研究では周囲の明るさの影響を補正するため、赤外投光を行った時と行わなかった時の画像の差をとることにより、太陽光に含まれる赤外光の影響を補正した。その結果、夜間及び昼間のように周囲の明るさが変化しても、検知領域が+10%~-10%の精度で水分を広範囲に検知することができた。検知領域に違いを生じた原因は赤外投光器の光量が十分照射されていない部分の検知精度によるものと考えられる。今後は、光量が少ない部分においても安定して水分を検知可能にし、水分検知装置の実用化に向けて研究を行う予定である。

また、本研究は北海道立工業試験場、北海道電力株式会社総合研究所、工業技術院北海道工業技術研究所の三機関で行った共同研究「非接触による水分検知装置に関する研究」の一環として行ったものである。

参考文献

- 1) 岩元睦夫ほか、“近赤外分光法入門”、幸書房、1994
- 2) 浜松ホトニクス(株)、“赤外線ビジコン N2006-40の水分イメージングへの応用”、技術資料(1992)
- 3) 波通隆ほか、“近赤外光吸収画像を用いた路面凍結検知に関する研究”、北海道立工業試験場報告、No.296、pp 159-168、1997