

近赤外光吸収画像を用いた路面凍結検知に関する研究

波 通隆, 堤 大祐, 長尾 信一
土井 義明*, 石川 光浩*, 渡辺 恭吾*

Study on Detecting Freeze of Road Surface by using Near Infrared Absorption Image

Michitaka NAMI, Daisuke TSUTSUMI, Shinichi NAGAO
Yoshiaki DOI*, Mitsuhiro ISHIKAWA*, Kyougo WATANABE*

抄 録

広領域な路面凍結情報の獲得を目的に、水分（水・氷）に吸収のある近赤外波長帯域のバンドパスフィルタを装着した赤外ビジコンカメラと赤外投光器を組み合わせたシステムにより、水分を分布させた床面やアスファルト路面をとらえ、そのとらえた画像（水分についての吸収画像）から水分を分離検知する実験を行った。その結果、良好な検知が実現でき、「床面や路面上のどこにどの程度の広がりをもった水分が存在するか」を知ることができた。さらに、本システムを用いた恒温恒湿室内実験により、実用化に際しての実路盤となるアスファルト面上の水分についての検知システム開発の可能性を提示することができた。

1. はじめに

ロードヒーティングの普及は、車のスタッドレス化により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は、路面水分、外気温度、舗装体温度、降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検知する上から重要である。しかし、現状では路面水分検知用水分電極を用いた狭領域の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。また、冬期間における峠などの通路情報として、路面凍結検知は重要であるが、その情報獲得は人手に頼っている。本研究では、これら路面凍結情報の広領域獲得を、面のセンシングにより実現することを目的として、赤外ビジコンカメラを用いた検知実験を行い、良好な結果が得られたので報告する。

2. 凍結検知方法

路面凍結情報としては水と氷があり、凍結情報獲得は水分（水・氷）検知により実現できる。水分の面のセンシングのためには、画像化に基づく分離を行う必要がある。この操作

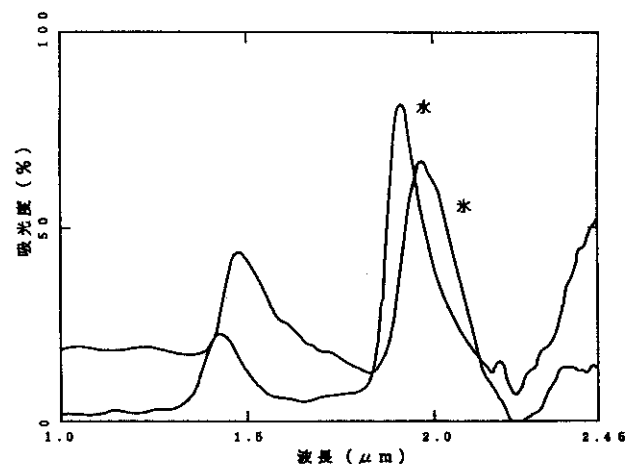


図1 水と氷の吸光度

*北海道電力株式会社総合研究所

は有機物に含まれる代表的官能基である O-H の分離イメージングに置き換えて考えることができる¹⁾。すでに、このイメージングとして、近赤外光を用いた有機物の各グループマッピングの可能性が提案されており^{2),3)}、本研究における水分検知方法は、この近赤外光を用いたイメージングを応用した。

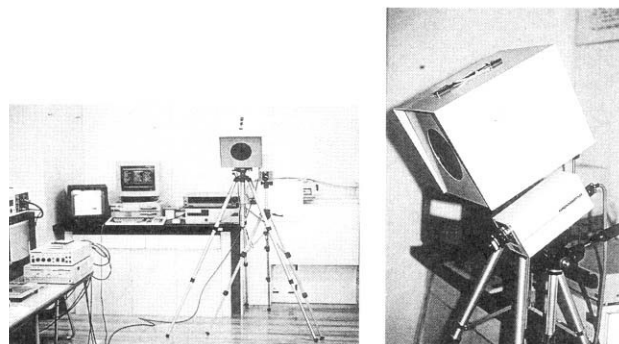
図1(浜松ホトニクス(株)資料)に示す水と氷の吸光度曲線から近赤外領域における水の吸収波長は $1.45\ \mu\text{m}$ と $1.94\ \mu\text{m}$ に、また、氷については $1.50\ \mu\text{m}$ と $1.98\ \mu\text{m}$ の各波長近傍に存在していることが分かる。

本検知方法では、この振動吸収を可視化した画像(以下吸収画像)を得るために、近赤外域に感度のある赤外ビジコンカメラ(以下赤外カメラ)とバンドパスフィルタ(以下フィルタ)及び赤外線投光器(以下投光器)を組み合わせ、水分検知を実現する。なお、赤外カメラは浜松ホトニクス(株)製 C2741 型で、仕様は、有効走査線数:487、インターレース比:2:1、レンズマウント:1インチCマウント、動作周囲温度: $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、動作保存周囲湿度:90%以下、消費電力:約 80VA である。投光器は、浜松ホトニクス(株)製 L6111 型で、実用照射距離:約 50m、波長域: $860\sim 2700\text{nm}$ 、照射角度:18 度で、消費電力:500W である。フィルタは日本真空工学(株)製である。

3. 常室内及び夜間屋外実験^{4),7)}

3.1 水分(水・氷)検知実験

第1段階の実験として、水分検知を実現するために構築したシステム(図2)の妥当性を知るための実験を常室内及び夜間屋外において行った。室内(蛍光灯下)においては、プレート状器に水を張ったもの(以下「水」とそれを凍らせたもの(以下「氷」)を用い、それらを床面に配置し、投光器による赤外光投光のもと、 $1.45\ \mu\text{m}$ フィルタを付けた赤外カメラによりとらえた。プレート形状から、「水」、「氷」とも直径 12cm 程度の円形に張られている。屋外においては、夜間、氷点下、同様な撮像環境により、いわゆる表面がブラックアイスバーンになっている凍結面をとらえた。撮像範囲



(a) 全体システム (b) カメラ&投光器
図2 実験システム

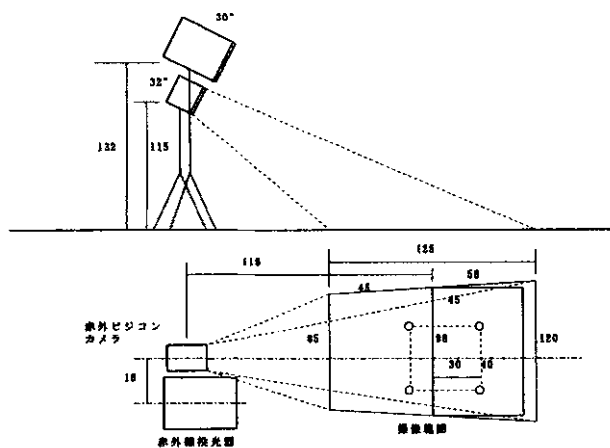


図3 撮影範囲(単位:cm)

はいずれも上底が85cm、下底が120cm、高さが125cmの台形状のエリアである(図3)。赤外カメラのゲイン及び感度目盛りは0(最小)から11(最大)まで調整可能であり、常室内及び夜間屋外実験においては感度を一定(目盛り8)とし、ゲインを調整し、画像が乱れないゲインの最大値(例えば、目盛り4)にて撮像した。

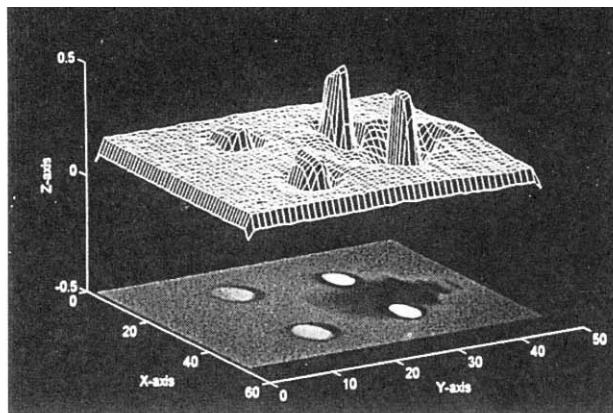
赤外カメラから得られた吸収画像に基づき、画像処理により水分の分離を行った。分離までの基本的画像処理手順を次の①~⑥に示す。

- ①基準画像と吸収画像の差分をとる。
- ②判別分析法により自動2値化する。
- ③差分画像の端点・孤立点の除去を行う。
- ④端点・孤立点除去画像の収縮処理(4近傍)を行う。
- ⑤膨張処理(4近傍)を行う。
- ⑥ラベリング処理(最小ピクセル数20)を行い、分離画像を得る。

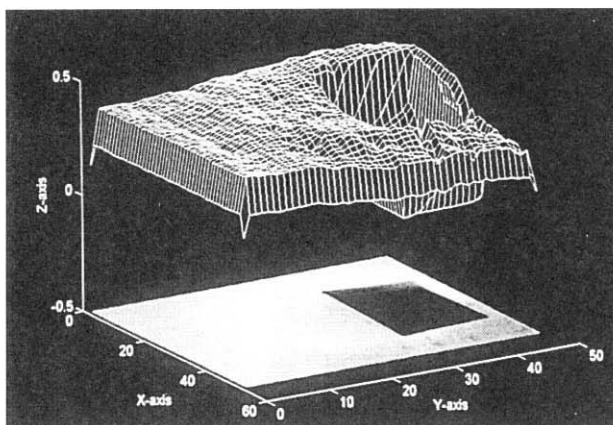
基準画像は「水」も「氷」も設置されていない赤外投光パターンのみの画像である。差分画像は、この基準画像からの吸収画像の変化分を示す。なお、画像の大きさは、 512×480 画素で、1画素8ビットである。

赤外カメラから見て、左に2つの「水」、右に2つの「氷」を配置し、とらえて処理した差分画像とその画像強度をメッシュにより表したイメージ(以下強度イメージ)を図4(a)に示す。強度イメージは、対象画像をたて、よこをそれぞれ1/10に圧縮したスケールにより表現している。図4(b)は屋外実験結果(差分画像)で、白色部分は凍結面に配置した合板(非凍結部)である。いずれも背景に対し、水分部分の画像強度が大きく、背景からの水分分離が可能であることが分かる。

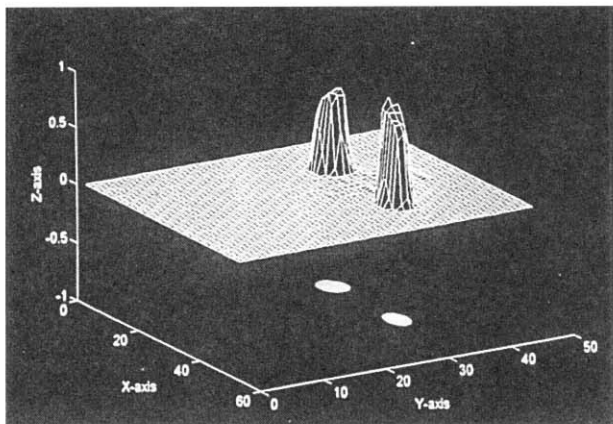
同様な環境のもと、 $1.94\ \mu\text{m}$ フィルタを用いた実験(常室内)を行ったが、得られた吸収画像の鮮明さは $1.45\ \mu\text{m}$ による画像に比べて劣っていたため、水分の正確な分離は難しかった。これは用いた赤外カメラの撮像管分光感度特性(波長 μm - 感度 $\mu\text{A}/\mu\text{W}$) (図5)が、 $1.8\ \mu\text{m}$ 近傍より急激に下降しているからである。この近辺に特性の強い撮像管



(a) 「水」・「水」(室内)



(b) アイスパン (屋外)



(c) 水・氷分離

図4 強度イメージ (室内、屋外、分離)

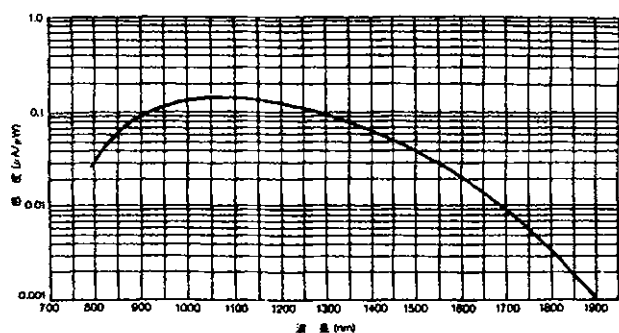


図5 赤外カメラの撮影管分光感度特性

があるが、 $1.45\mu\text{m}$ 近傍でのS/N比が、本実験にて用いた撮像管より数dB悪いとされていることから、本カメラ撮像管を用いた。なお、以下の実験においての使用フィルタは、ことわりのない限り $1.45\mu\text{m}$ フィルタを用いている。

3.2 水、氷分離検知実験

右に1つの「水」、左に1つの「氷」をマット上に配置し、水、氷の各分離検知実験を行った。

差分画像の濃度拡張画像（以下濃度拡張画像）を図4(c)に示す。「水」、「氷」両者の強度イメージから、わずかに「水」の画像強度が大きく、この差を利用して両者の分離画像を得ることができる。分離の画像処理手順は3.1の分離手順に差分画像の濃度拡張処理と穴埋め処理を加えている。また、2値化に際しては、水、氷各々についてのしきい値設定が異なり、特に氷については2つのしきい値を用いた。

4 . アスファルト路盤を用いた恒温恒湿室内実験^{4) 5) 6) 7) 9)}

第1段階の実験において、水分の分離検知の可能性が見い出せたことから、背景に実際のアスファルト路盤を用い、外気温度なども変えた実験を恒温高湿室内にて行った。湿度は40%で、一定とした。実験では、縦100cm、横80cmのアスファルト路盤を製作し、その上に、水または氷を張り、赤外カメラによりとらえた（図6）。実験エリア及び各機器の配置を図7に示す。赤外カメラについては、低温下の実験となることからサーモスタット付きヒーターを持つカメラハウジング内に据えた。

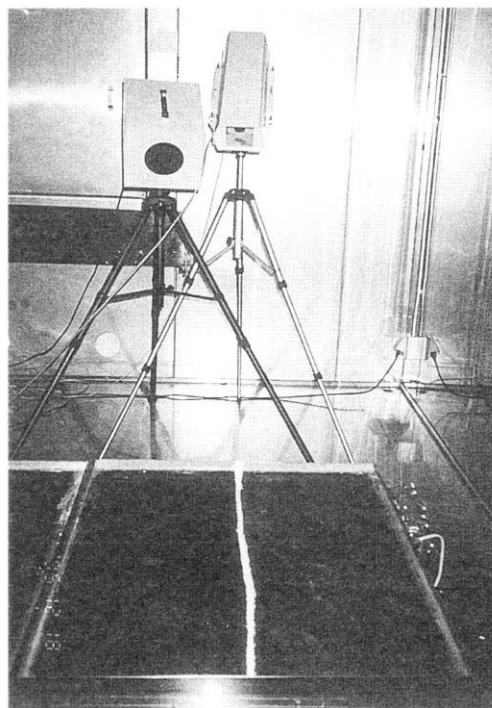


図6 実験風景

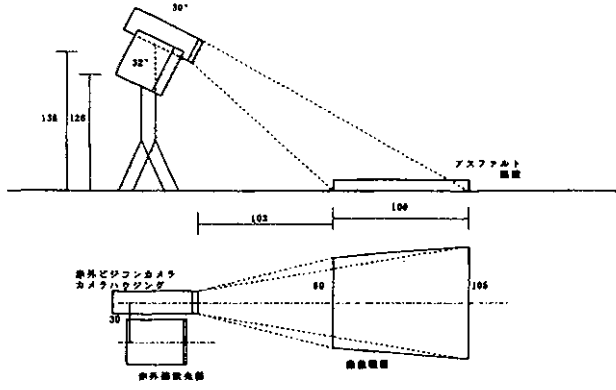


図7 撮影範囲 (単位: cm)

4.1 氷検知実験

路盤上中央に、縦にしきいを設け、赤外カメラから見て、そのしきいの左のエリア全体に氷を張り、右のエリアについては水分のないアスファルト乾燥面とし、路盤全体を赤外カメラによりとらえた。

実験パラメータとして、恒温恒湿室内温度(外気温度)を設定し、その各温度で、定常となった際の氷(または水膜)表面温度及びアスファルト路盤表面温度を記録し、撮像した。温度の関係を表1に示す。表面温度は放射温度計(放射率: 0.98)により測定した。

表1 氷、アスファルト表面温度(°C)

外気温度	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0
氷表面温度	-8.8	-7.1	-6.9	-5.6	-5.1	-3.6	-3.2
アスファルト表面温度	-5.7	-4.8	-4.9	-3.8	-2.6	-2.2	-1.5

基準画像と外気温度が-3°Cで、赤外カメラの感度を一定(目盛り8)とし、ゲインが最小(目盛り0)の場合に撮像された吸収画像を各々図8(a)、(b)に示す。なお、基準画像はある適当な外気温度時に撮像したもので、吸収画像について共通に用いた。前述した画像処理手順に従って求められた濃度拡張画像、氷の分離画像を各々図8(c)、(d)に示す。図8(d)の白色部分が氷を示す。また、強度イメージを図9(a)に示す。図9(a)から明らかなように、氷を張った左の路盤が右のアスファルト路盤よりも高い画像強度を持っていることが分かり、結果的に図8(d)に示す分離画像が得られた。

図9(b)~(g)にそれぞれ外気温度-2°C、-1°C、0°C、1°C、2°C、3°Cの各濃度拡張画像と強度イメージを示す。いずれについても-3°Cの場合と同様に、氷部分の分離画像を得ることができた。ただし、温度差による分離に及ぼす明確な差異は認められなかった。

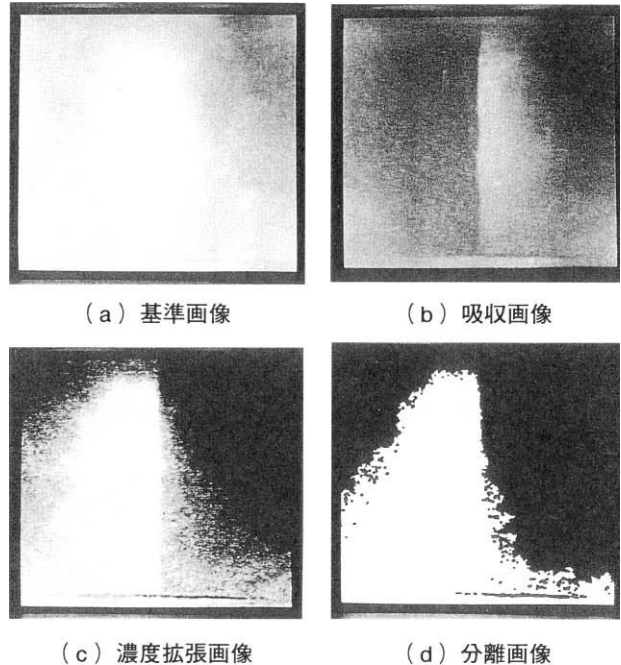


図8 実験結果 (氷: at-3°C)

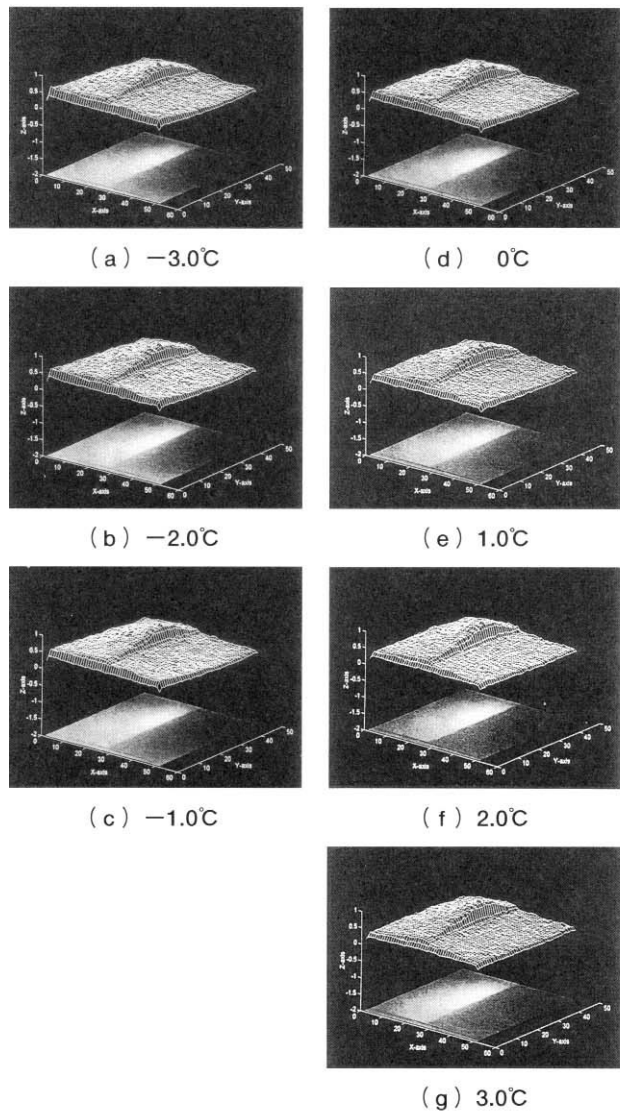


図9 凍結部・非凍結部の濃度拡張画像と強度イメージ

4.2 シャーベットについての実験

アスファルト路盤全体を、水と氷が混在するいわゆるシャーベット状態とし、撮像した(図10)。このシャーベットは、容量24386.6cm³の器1杯分の雪(密度0.15g/cm³)に、水(7068.6cm³)を加えてつくられており、厚みはアスファルト路面から最大で20cm、最小で10cmである。実験パラメータである外気温度を-0.2℃、0.5℃、1.6℃、3.2℃、4.5℃、5.0℃と変化させ、定常となった状態での各シャーベット路盤を撮像した。なお、外気温度に対応するシャーベット表面温度を表2に示す。また、実験エリアは基本的に図7と同じであるが、赤外カメラ視野の上下についてはアスファルト路盤枠外をとらえ、特に視野下部は枠外となる部分が大きくなった。赤外カメラの感度は一定(目盛り8)にて行った。

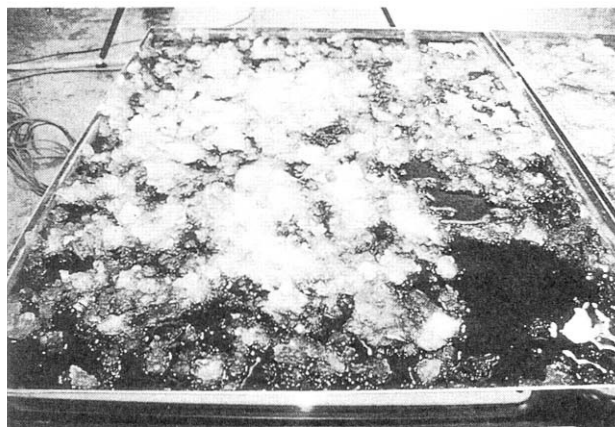


図10 アスファルト路盤上のシャーベット

表2 氷、アスファルト表面温度(℃)

外気温度	-0.2	0.5	1.6	3.2	4.5	5.0
表面温度	-1.3	-0.8	-1.1	-1.2	-1.1	-0.8

赤外カメラのゲインが最小(目盛り0)における外気温度が-0.2℃で撮像された基準画像と吸収画像を各々図11(a)、(b)に示す。なお、基準画像は、この外気温度-0.2℃時に撮像したものをを用いた。画像処理手順に従って求められた濃度拡張画像、シャーベットの分離画像を各々図11(c)、(d)に示す。

赤外カメラのゲインが0の場合の-0.2℃時以外の外気温度時についても、シャーベット部分の強度が強くなり、図11(d)に示すような分離画像を得ることができた。ただし、氷の場合と同様に温度差による分離に及ばず明確な差異は認められなかった。

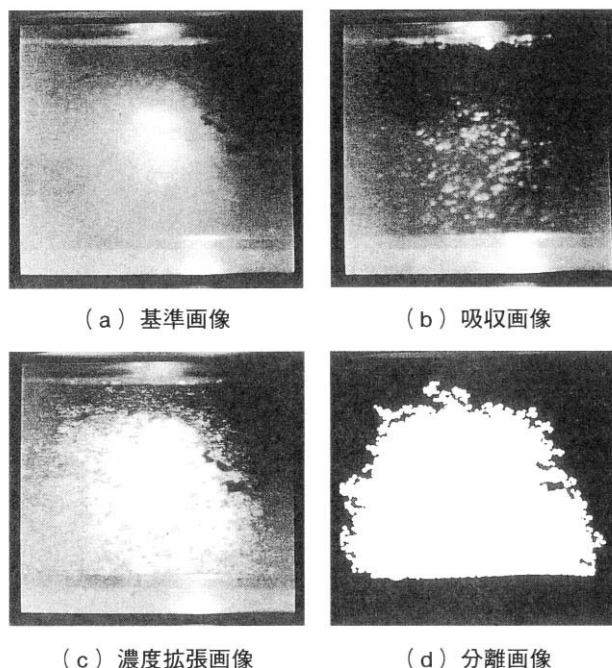


図11 実験結果(シャーベット: at-0.2℃)

4.3 水・氷分離検知実験

路盤の中央しきの右エリアに氷を、左エリアに水を張り、撮像した画像についての強度イメージを図12(a)に示す。また、右エリアに水を、左エリアに氷を張り、撮像した画像についての強度イメージを図12(b)に示す。これらイメージからは水、氷の明確な差異は確認できなかった。

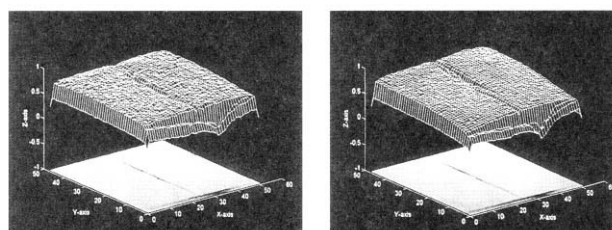


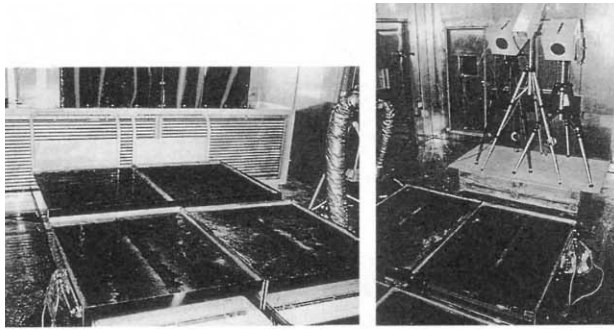
図12 氷・水の濃度拡張画像と強度イメージ

5. 広領域アスファルト路盤を用いた恒温恒湿室内実験^{8),9)}

4.において用いたアスファルト路盤を、図13(a)に示すように4面配置し、広領域アスファルト路盤(以下広領域路盤)を構成し、恒温恒湿内実験路面とした。赤外カメラなど各装置と広領域路盤との位置関係を示す平面図及び側面図をそれぞれ図14(a)、(b)に示す。路盤1面のみによる実験において用いた赤外カメラのレンズの焦点距離は25mmであったが、本実験では、16mmのものをを用いた。また、投光器を2台用い、路盤1面による実験においても認められた拡散反射光の偏りをできるだけ小さくするように努めた。

4m²程度の領域が撮像対象となり、路盤上に、水または氷

を張り、広領域路盤全体を赤外カメラによりとらえた（図13(b)）。



(a) 撮像路盤 (b) 全体システム

図13 実験風景（恒温恒湿室内）

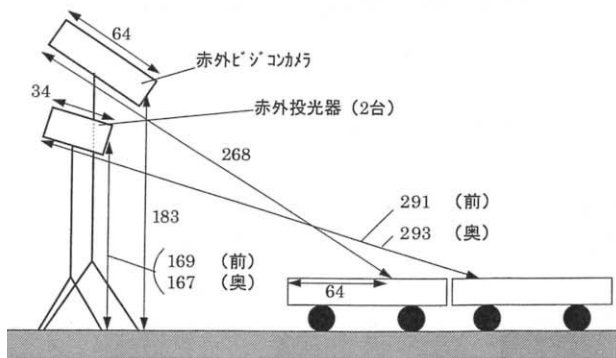
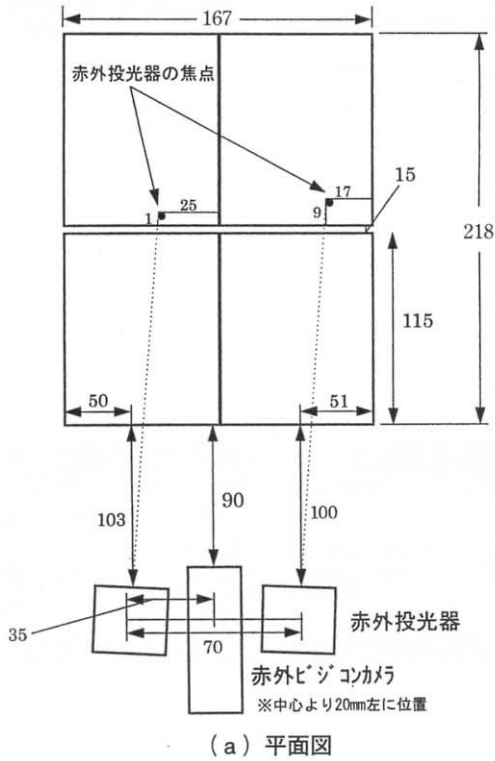


図14 広領域のアスファルト路盤配置図（単位：cm）

5.1 氷についての実験

—左2路盤：氷、右2路盤：アスファルト—

赤外カメラから見て、4つの路盤のうちの左2面に氷を張り、右2面は水分のないアスファルト乾燥面とし、広領域路盤全体を赤外カメラによりとらえた。

外気温度を -10°C に設定し、その温度で、定常となった際の広領域路盤を撮像した。また、対象が広領域になったことから、投光器から出力される近赤外光の広領域路盤よりの反射光の拡散は増大する。したがって、赤外カメラはより確実にその反射光をとらえる必要があり、その程度を知る上から、路盤1面においての実験では大きな問題にならなかったカメラゲインを実験パラメータとした。

このような実験条件のもと、 $1.45\mu\text{m}$ フィルタを用いた実験と、さらに、波長近傍のずれの影響を知る上から中心波長が $1.40\mu\text{m}$ のフィルタにより同様の実験を行った。

図15に、 -10°C におけるカメラゲインをパラメータとした $1.45\mu\text{m}$ フィルタによる実験結果としての濃度拡張画像と強度イメージを示す。カメラゲインについては、4、5、6、7、8、9とした。また、その際の各分離画像を図16に示す。カメラゲインの各値における氷の分離検知の可能性またその容易さを知る上から、カメラゲインが5、7、9の場合の濃度拡張画像の濃度ヒストグラムを図17に示す。カメラゲインが大きくなるにしたがって、双峰性を持ったヒストグラムと

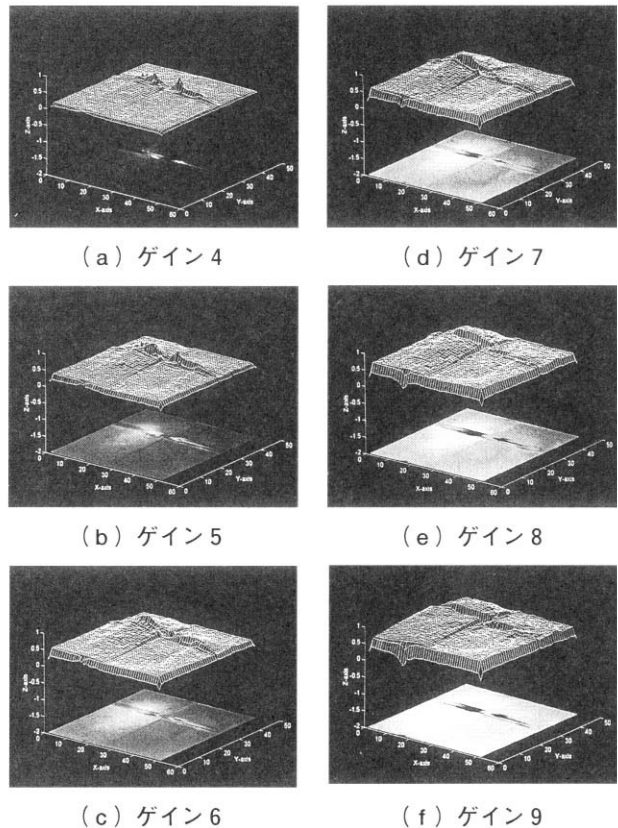


図15 広領域のアスファルト路盤上氷（左）の濃度拡張画像と強度イメージ（外気温度： -10°C ）

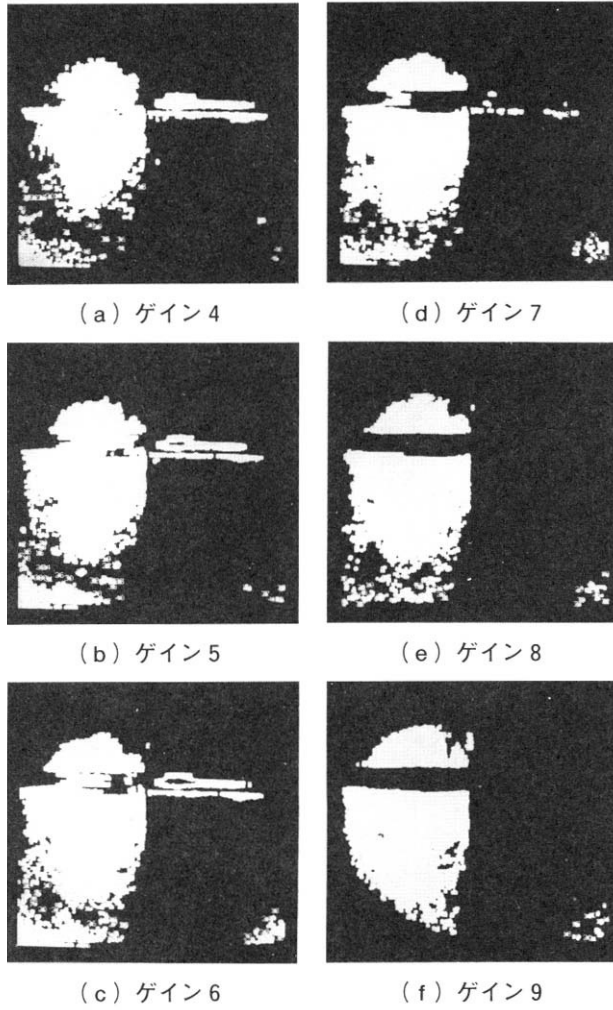


図16 広領域のアスファルト路盤上氷(左)分離画像
(外気温度：-10℃)

なり、2値化が容易であることが分かる。図16に示すような氷の分離画像を得ることによって、広領域路盤上の氷の位置、専有面積を含めた分布を知ることができる。ゲイン9の場合のラベリング処理後の2値計測結果を表3に示す。

1.40 μm フィルタを用いた実験結果も 1.45 μm の場合とほぼ同じ分離画像を得ることができた。カメラゲインが7の場合の濃度拡張画像と強度イメージを図18(a)に示す。

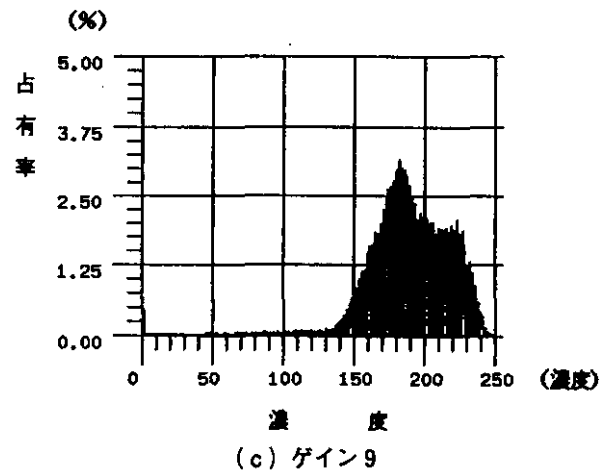
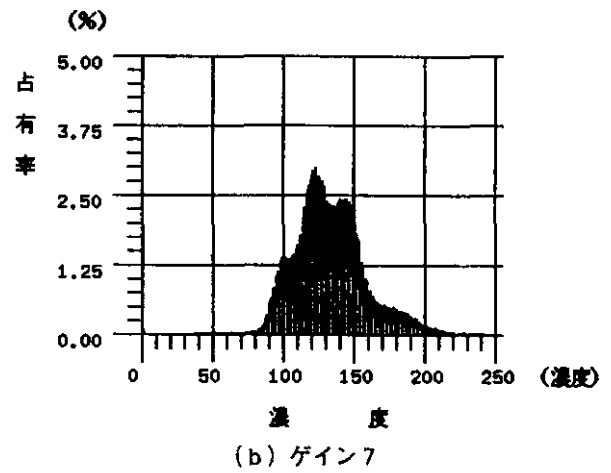
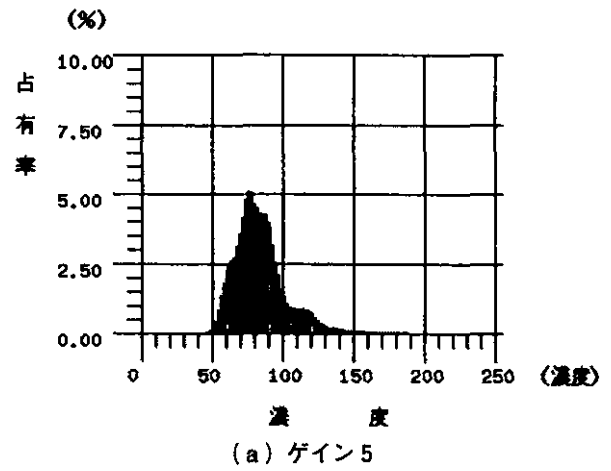
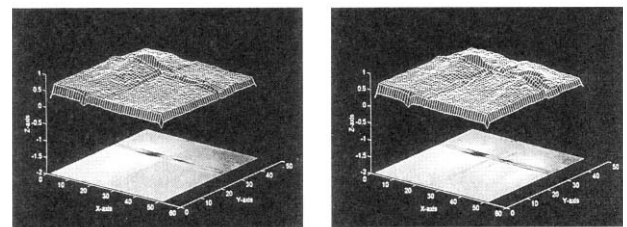


図17 濃度ヒストグラム



(a) 左:氷 右:アスファルト

(b) 左:氷 右:水

図18 広領域アスファルト路盤上氷の濃度拡張画像と強度イメージ (外気温度：-10℃、ゲイン 7、1.40 μm)

表3 広領域アスファルト路盤上氷の2値計測結果

画像博士 Mon Nov 18 18:48:29 1996

測定回数 : 0010 / 0010
 cf = 1.000e+00 pixel
 個数 = 21

面積	平均値 = 2.828e+03	標準偏差 = 9.816e+03
周囲長	平均値 = 1.869e+02	標準偏差 = 4.558e+02
円度	平均値 = 8.813e-01	標準偏差 = 3.520e-01
重心x座標	平均値 = 3.458e+02	標準偏差 = 1.557e+02
重心y座標	平均値 = 3.618e+02	標準偏差 = 1.310e+02
面積率	= 2.685e+01	

No.	面積	周囲長	円度	重心x座標	重心y座標
1	1.134e+04	6.070e+02	3.158e-01	1.402e+02	1.075e+02
2	4.360e+02	1.000e+02	4.399e-01	2.399e+02	9.121e+01
3	4.500e+01	2.000e+01	1.208e+00	2.010e+02	7.900e+01
4	4.500e+01	2.000e+01	1.205e+00	2.900e+01	1.350e+02
5	4.541e+04	2.129e+03	9.431e-02	1.270e+02	2.882e+02
6	1.020e+02	3.300e+01	9.946e-01	2.159e+02	3.754e+02
7	5.200e+01	2.200e+01	1.168e+00	5.015e+02	3.960e+02
8	2.280e+02	6.600e+01	5.310e-01	2.172e+02	4.141e+02
9	7.000e+01	2.500e+01	1.130e+00	4.890e+02	4.119e+02
10	5.900e+01	2.400e+01	1.126e+00	4.780e+02	4.150e+02
11	4.500e+01	2.000e+01	1.205e+00	4.890e+02	4.170e+02
12	5.200e+01	2.300e+01	1.112e+00	5.072e+02	4.226e+02
13	1.150e+02	3.400e+01	1.038e+00	4.938e+02	4.277e+02
14	6.000e+02	1.310e+02	3.389e-01	2.066e+02	4.417e+02
15	9.900e+01	3.300e+01	9.223e-01	4.461e+02	4.342e+02
16	2.640e+02	5.900e+01	7.606e-01	4.909e+02	4.497e+02
17	1.370e+02	4.000e+01	8.835e-01	1.833e+02	4.485e+02
18	4.500e+01	2.000e+01	1.205e+00	4.290e+02	4.550e+02
19	1.400e+02	5.400e+01	4.920e-01	4.476e+02	4.509e+02
20	4.500e+01	2.000e+01	1.205e+00	4.690e+02	4.610e+02
21	6.600e+01	2.500e+01	1.132e+00	4.801e+02	4.634e+02

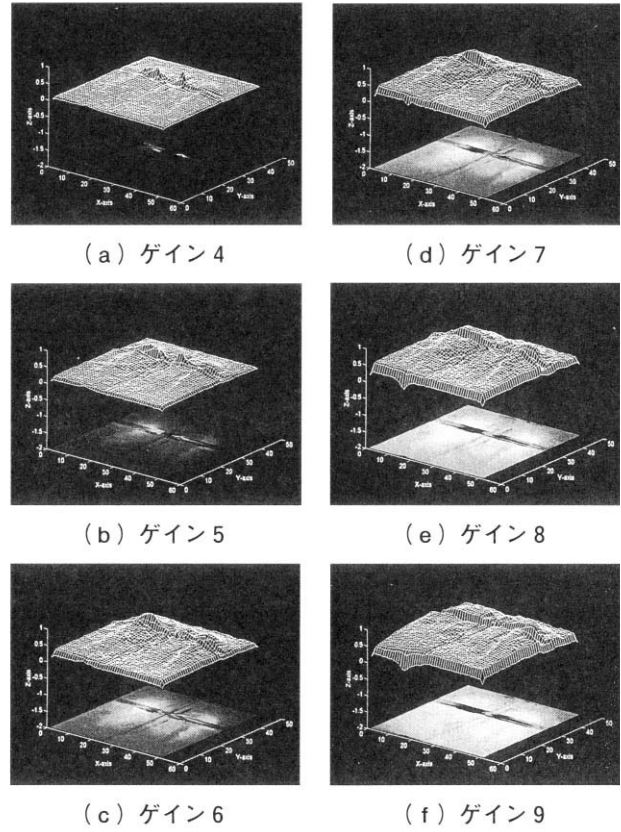


図19 広領域アスファルト路盤上氷・水の濃度拡張画像と強度イメージ (外気温度: -10℃)

5.2 氷・水の実験

—左2路盤：氷、右2路盤：水—

すでに、路盤1面による実験においては氷と水の識別分離の可能性を見いだしている。ここでは、赤外カメラから見て、左の2面に氷を張り、右の2面には水を張り、外気温度を-10℃に設定し、その温度で、定常となった際の広領域路盤を撮像した。1.45 μmフィルタを用い、カメラゲインをパラメータ(4、5、6、7、8、9)とした実験を行った。また、1.40 μmフィルタによっても同様の実験を行った。

図19に、-10℃におけるカメラゲインをパラメータとした1.45 μmフィルタによりとらえた吸収画像に基づく濃度拡張画像と強度イメージを示す。図19の各ゲインにおける濃度拡張画像及び強度イメージから、小さいながらも水と氷間の赤外光吸収の強度差が確認された。しかし、これらの画像から水と氷の完全な分離画像を得るためには、一般的な2値化手法であるモード法、判別分析法などを適用しても難しく、画像の位置によってしきい値を変化させる可変しきい値法などを用いる必要があると考えられる。

1.40 μmフィルタを用いた実験結果も1.45 μmの場合とほぼ同じ結果になった。その例としてカメラゲインが7の場合の濃度拡張画像と強度イメージを図18(b)に示す。

6. 実験結果及び考察

6.1 常温室内及び夜間屋外実験

- (1) 常温室内において、赤外光が投光されているエリアにおいて撮像された1.45 μmフィルタによる吸収画像は、水と氷が背景に比して黒くとらえられ、画像処理によりそれらの分離が可能であった(図4(a)濃度拡張画像の白色部分)。同様に、1.94 μmフィルタによる吸収画像によっても分離が可能であった。この際、赤外光の投光パターンの強弱の影響を取り除くために行った基準画像と吸収画像の差分処理が有効であった。ただし、1.94 μmフィルタによる画像は、撮像管特性上他のフィルタによる画像に比べ不鮮明となるため、完全な分離は難しかった。
- (2) 1.45 μmフィルタによる吸収画像からの水、氷の各分離検知においては、基本的にはしきい値処理により、各分離が可能であった。
- (3) 図4(b)の1.45 μmフィルタによる屋外実験結果はブラックアイスパーンの検知の可能性を示している。

6.2 アスファルト路盤を用いた恒温恒湿室内実験

- (1) 実用化の際には背景となるアスファルト路盤を用いた実験により、アスファルトの黒色表面に近赤外線が吸収される割合と特定波長（ $1.45\ \mu\text{m}$ ）の吸収割合を比較することができ、結果的には特定波長の吸収が大きいことが確認された（図 9）。
- (2)(1) の結果を受けて、吸収画像の画像処理を行うことによって、路盤上の氷、シャーベットの分離検知が可能であることが明らかになった（図 8(d)、図 11(d)）。また、外気温度を変化させ、路盤温度の定常状態における値を測定し、各値ごとの吸収画像について検討したが、温度差による明確な差異を見いだすことができなかつた（図 9）。
- (3) 路盤上で水と氷の分離検知を試みたが、本実験においては両者間に明確な強度差を見いだせなかつた（図 12）。これは、図 1 から分かるように、両者の吸収波長（ $1.45\ \mu\text{m}$ と $1.50\ \mu\text{m}$ ）は極めて近いことから、かなり微妙な計測が要求される。本実験では、路盤上で光強度の若干の偏りが見られ、このことも水・氷の分離検知に影響していると考えられる。
- (4) 投光器により路面に対して均一な照明を与えることは重要であり、光源から遠くの部分については光強度が弱くなるために図 8(d) に示すような画像左上部の黒色部分のように実際は凍結しているのに検知できない部分を生じてしまう。
- (6) 氷及びシャーベットの検知についての実験を行ったが、単に水分の検知から舗装体温度など他のデータと組み合わせ、有効な凍結情報を得ることができると考えられ、実用化に当たっては応用されるシステムにより検知法が異なってくると考えられる。

6.3 広領域アスファルト路盤を用いた恒温恒湿室内実験

- (1) 投光器を 2 台用いて、赤外カメラが広領域路盤全体からの拡散反射光を的確にとらえることができるように努めた。しかし、4 つの路盤を合わせた際に生じた隙間の部分には、水分は存在しないのに、カメラゲインが 4 や 5 の小さな値における分離画像から判断すると、水分が存在するかのよう分離検知された（図 16）。この隙間部分は、シルバーで光沢のある金属面であり、光は反射することから、相対的に赤外カメラにとって近赤外光吸収後のより強い反射光が必要になると考えられる。
- (2) カメラゲインを 7、8、9 と大きめに調整することによって、正確な氷の分離画像を得ることができた。したがって、(1) でも述べているように十分な近赤外光の照射があれば広領域であっても、路盤 1 面による場合と同様に、カメラゲインをそれほど意識しなくても良好な分離画像を得ることができると考えられる。
- (3) 広領域路盤の四隅については氷が存在する場合でも検知

できず、依然として近赤外照射光の路盤への均一光の問題は残された（図 16）。

- (4) 投光器のパワーは 500W であったが、屋外使用時などにおける外乱光に影響されないで水分の吸収画像を得るためには、(1) 及び (2) のことからより大きなパワーが必要になると考えられる。ただし、撮像は連続的である必要はなく、ある時間間隔でストロボ的に動作すれば良い。
- (5)(1) 及び (2) から屋外使用時には、オートアイリス機構の導入は不可欠と考えられる。
- (6) 広領域路盤における水と氷の識別分離の可能性は、恒温室内実験及び恒温恒湿室内の路盤 1 面による実験とほぼ同じような結果となった（図 18、図 19）。一般的な 2 値化により水と氷を分離することは難しく、手法的には可変しきい値法の導入が必要になってくると考えられる。
- (7) 表 3 に示した 2 値計測結果から分かるようにラベリングされた分離画像からは検知された各氷の面積など幾何学的特徴量を容易に計算でき、従来の検知法では不可能であった「どこにどの程度の広がりをもった水または氷が存在するか」を知ることができる。
- (8) $1.40\ \mu\text{m}$ と $1.45\ \mu\text{m}$ の 2 つのフィルタを用いた実験を行ったがともにほぼ同じ分離検知結果になった（図 15(d)、図 18(a)）。したがって、 $1.45\ \mu\text{m}$ を中心として、より広い帯域を持ったフィルタでも水分検知に適用することができると考えられる。

7. おわりに

近赤外領域に現れる水の分子の振動吸収に基づいて、水分（水・氷）を分離検知するシステムを構築し、室内、屋外の各実験及び恒温恒湿室内実験を行い、いずれについてもほぼ良好な分離画像を得ることができた。冬期間という使用環境の厳しさなどの問題が残っているが、面のセンシングが可能な凍結検知のための基本システムを提示することができた。

今後は、近赤外光照射の均一化実験、昼夜屋外における撮像実験などを進め、実用システムを構築して行く予定である。

参考文献

- 1) 岩本睦夫ほか 2 名：“近赤外分光法入門”，幸書房，pp.41-53
- 2) 佐藤宏人ほか 4 名：“近赤外光吸収イメージングと産業応用”，テレビジョン学会，Vol.16，NO.59，pp. 1-6（1992）
- 3) 浜松ホトニクス（株）：“赤外線ビジコン N2606-40 の水分イメージングへの応用”，技術資料（1992）

- 4) 波 通隆ほか4名：“近赤外光吸収画像を用いた路面凍結検知に関する研究”，第11回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集，Vol.11，pp. 392-396(1995)
- 5) 波 通隆ほか4名：“近赤外光吸収画像を用いた路面凍結検知に関する研究（第2報）”，第12回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集，Vol.12，pp. 195-201（1996）
- 6) 波 通隆ほか4名：“近赤外光吸収画像を用いた路面凍結検知に関する研究”，1996年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集，pp.54(1996)
- 7) 波 通隆ほか6名：“画像処理を用いた路面状態自動検知装置の開発研究”，平成7年度共同研究報告書（北海道立工業試験場）(1996)
- 8) 波 通隆ほか5名：“画像処理を用いた路面状態自動検知装置の開発研究”，平成8年度共同研究報告書（北海道立工業試験場）(1997)
- 9) 波 通隆、長尾信一：“近赤外光吸収画像を用いた路面凍結検知に関する研究”，1996年度，第40回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(2)，PP147-152(1997)