

赤外光を利用した路面凍結検知装置の開発

波 通隆, 本間 稔規, 宮崎 俊之, 池上真志樹*, 磯田 和志**
村上 康之**, 金村 直俊***, 安藤 浩司***

Development of freeze detection system for road surface using infrared

Michitaka NAMI, Toshinori HONMA, Toshiyuki MIYAZAKI
Masiki IKEGAMI*, Kazushi ISODA**, Yasuyuki MURAKAMI**
Naotoshi KANAMURA***, Kouji ANDOU***

抄 録

冬期間のロードヒーティング制御のためには、路面凍結情報としての路面水分（水、氷、雪の分布状態）検知が重要であるが、現状では、電極式水分センサを用いた小領域の水分検知であり、また、路面上に水、氷、雪が混在していても、それぞれの分布状態（位置と広さ）の把握は不可能である。さらに、路面埋込型であることから、摩耗・劣化等による誤動作が生じる。これら検知精度と信頼性に問題があるため、ロードヒーティングの正確な制御ができず、路面の凍結を招いたり過剰なヒーティングを行うことになる。

そこで、本研究では、道路の安全性の向上と電力消費の効率化などのロードヒーティングに係る経費の節減を図るために、水分に吸収される赤外波長域に感度を持つカメラを用い、信頼性の高い非接触式の広領域路面凍結検知装置を開発し、札幌市道に設置しての試験により実用化が可能であることを確認した。

キーワード：ロードヒーティング、路面凍結検知、赤外カメラ

Abstract

It is very important to detect water, ice and snow on road surface for roadheating system control. Now as the detection area is very small because of using electrode type sensor, it is impossible to detect distribution(position and area) of them. In addition the sensor deteriorates by abrasion and defacement, because it is laid under the ground. Accordingly as detection accuracy and reliance are not good, it is difficult to control roadheating system accurately. In result road surface freeze and over heating are caused.

So we developed system for detecting road surface freeze widely for the purpose of road safety and power saving by using infrared camera that is set up over 4.7 m away from road surface. The system can be put to practical use.

KEY-WORDS : roadheating, road surface freeze detection, infrared camera

*産業技術総合研究所北海道センター, **北海道電力(株)総合研究所, ***札幌総合情報センター(株)

*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST Hokkaido)

**Hokkaido Electric Power Co.,Inc

***Sapporo Information Network Co.,Ltd

事業名：事業化特別研究

課題名：赤外光を利用した路面凍結検知装置の開発

1. はじめに

道内各都市においては、冬期間における人の歩行・車の走行の安全を確保するため、交差点や坂道などにロードヒーティングが施工され稼働しているが、この施工や維持管理には電力費用を含め膨大な経費が必要となっている（札幌市維持管理費：約10億円/H10年度実績）。

ロードヒーティング（車道）の制御には、外気温度、路盤温度、降雪の有無及び路面水分の有無を制御情報とする4要素制御が一般に用いられている。これらの中でも、路面凍結を判断する上で路面水分（水、氷、雪の分布状態）検知が最も重要である。しかし、現状の路面水分センサは80cm²程度の小領域の水分をとらえるものであり、水と氷・雪の識別は可能であるが、その識別精度は十分ではなく、氷と雪の識別はできない。したがって、路面上に水、氷、雪が混在していても、それぞれの分布状態（位置と広さ）の把握は不可能である。さらに、路面埋込型であることから、摩耗・劣化等による誤動作が生じる。これら検知精度と信頼性に問題があるため、ロードヒーティングの正確な制御ができず、路面の凍結を招いたり過剰なヒーティングを行っているのが現状である。

そこで、本研究では、道路の安全性の向上と電力消費の効率化などのロードヒーティングに係る経費の節減を図るために、水分に吸収される赤外波長域に感度を持つカメラを用い、信頼性の高い非接触式の広領域路面凍結検知装置を開発し、札幌市道において実用化試験を行った。

2. 凍結検知方法

路面凍結を判断する上での広領域な路面水分検知のためには、水、氷、雪がそれぞれ特定の赤外波長域に特徴的な吸収を持つことを利用し、この光の吸収を画像化することで、水、氷、雪の各領域を分離検知する^{1)~3)}。

この画像化は、路面に投光した赤外波長域を含む光の反射光を、水、氷、雪についての特定の吸収波長域を中心波長とするバンドパスフィルタを通して、赤外カメラによりとらえ

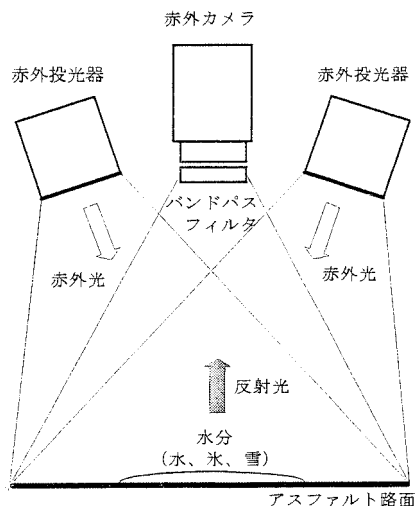


図1 凍結検知方法と凍結検知装置構成

ることで実現できる^{4)~8)}（図1参照）。このとらえた画像（以下吸収画像）^{9)~12)}から凍結情報である水、氷、雪の各領域判別が可能である。

なお、「画像」は以下、すべて「デジタル画像」を指すものとする。

3. 凍結検知装置



図2 工試構内試験システム全景



図3 構内設置赤外カメラと投光器

凍結検知装置は、個体撮像素子（128×128画素）タイプの赤外カメラ、複数のバンドパスフィルタ、2灯の赤外投光器をベースに、そのシステムが構成されている¹³⁾（図1参照）。バンドパスフィルタは4枚装着可能で、それぞれを切り換えて撮像できる。赤外投光器のランプは1kWのハロゲンタイプで、可視域カットフィルタが装着されている。

4. 凍結検知試験

開発する凍結検知装置の実用化に際して必須となる機能は、『路面上の水、氷、雪の分離検知が日射の影響を受けないで、昼夜通して可能であること』である。そこで、まず日射の影響のない夜間に撮像した吸収画像からの水、氷、雪の分離検知の可能性試験を工試構内にて実施した。

4.1 工試構内基礎試験

構内試験システム全景を図2に、赤外カメラと投光器を図3に示す。

カメラハウジングの対地距離は4.5m、赤外カメラのそれは約4.6m、投光器のそれは約5m、焦点距離25mmのレンズを使用しており、撮像領域は約2m×2mである。

画像のサイズは256×256画素、濃度階調は256（0：黒、255：白）である。以下、画像はすべてこの表現である。

カメラ絞りは使用するバンドパスフィルタの半値幅に依存し、赤外投光器の光の下、吸収画像の濃度値ができるだけ飽

和しない一定の絞り値に設定して行った。なお、吸収画像は、光の吸収が大きいと濃度値は小さい値になるので暗くなる。

例として、中心波長1200nm、1450nm、1500nm、1600nmの4枚のフィルタを使用しての試験結果を以下に述べる。

撮像対象は、図4(a)に示すようなアスファルト乾燥面に水、氷、雪が分布する路面である。図4(b)に、その路面を上方のCCDカメラによりとらえた画像を示す。

各フィルタについての吸収画像をそれぞれ図5(a)、(b)、(c)、(d)に示す。図5(a)から、雪についての吸収が他の水、氷、乾燥面に比べて、非常に小さいのが分かる。図5(b)から、水の吸収が氷の吸収よりも大きいことが分かる。この水と氷の濃度差からそれぞれの分離が可能である。図5(c)から、水分としての水・氷・雪のこれら一括したものの吸収が乾燥面に比べて大きく、これら水分と乾燥面との分離が可能である。図5(d)についても吸収差は小さくなるが、図5(c)とほぼ同様な傾向が見られた。

これらの各中心波長の値にしたがった水、氷、雪についての吸収画像に基づいて、雪、水、氷及び水・氷・雪の分離検

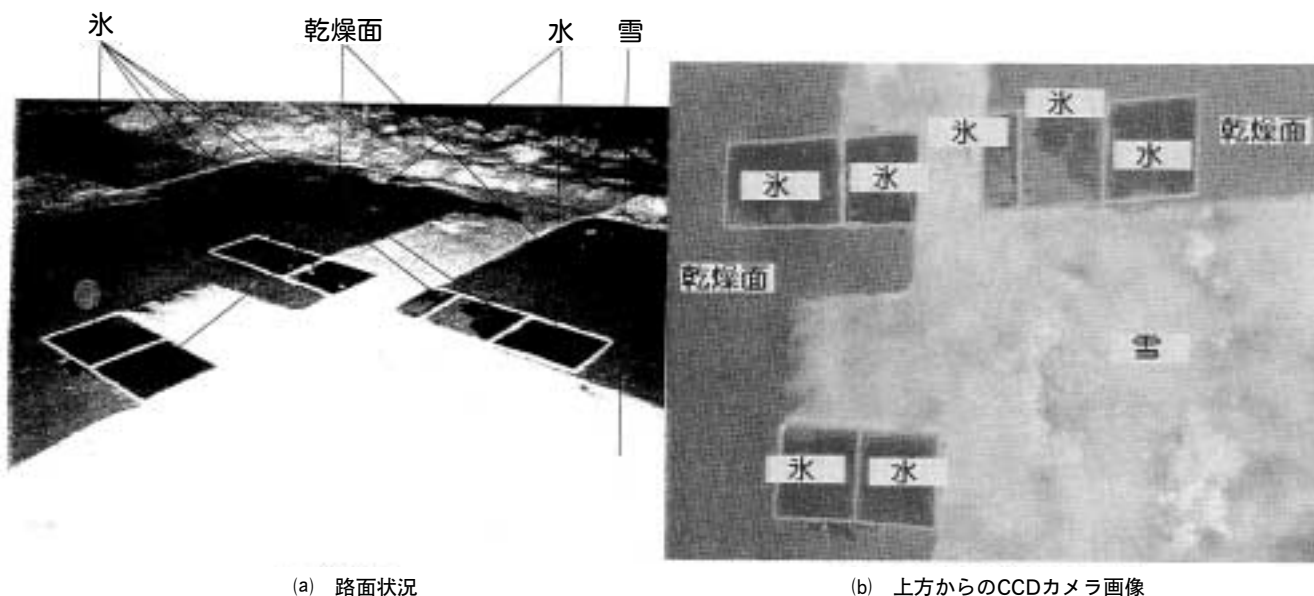


図4 撮像対象路面

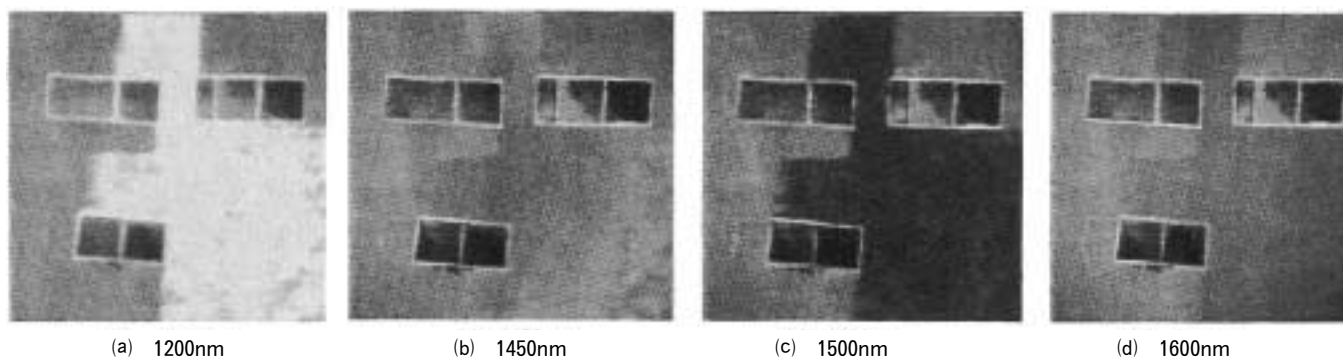


図5 吸収画像（外気温度：-7.4℃，日射量：0 W/m²）

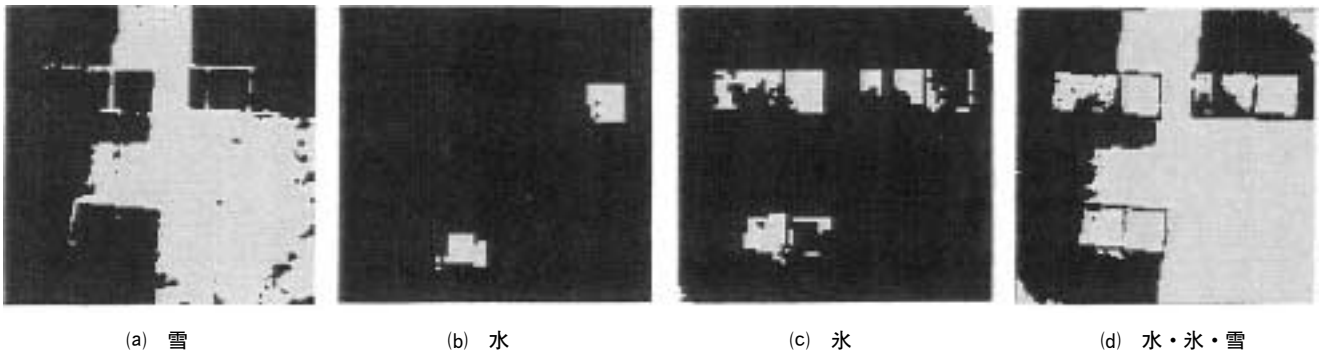


図6 分離画像

知を試み、その結果を示す2値画像（以下分離画像）をそれぞれ図6(a), (b), (c), (d)に示す。

図6において、白い部分が各検知結果であり、良好な分離検知が実現できていることが分かる。

したがって、日射の影響を補正することにより、夜間撮像相当の吸収画像を得ることができれば、装置の実用化が可能になる。

4.2 日射補正方式

日射の影響を受けないで夜間撮像相当画像を得るために、日射計を設置し、この日射計の値（以下日射量）にしたがって、カメラ絞りを制御するリモートアイリス方式による日射補正方式（以下日射連動型リモートアイリス方式）を開発した。

この制御は図7に示すような日射量－カメラ絞り値曲線に基づいて行われ、常に絞りは夜間撮像相当の吸収画像が得られるように自動的に調整される。この曲線の数はい使用フィルタ毎またはフィルタの半値幅毎に設定される。

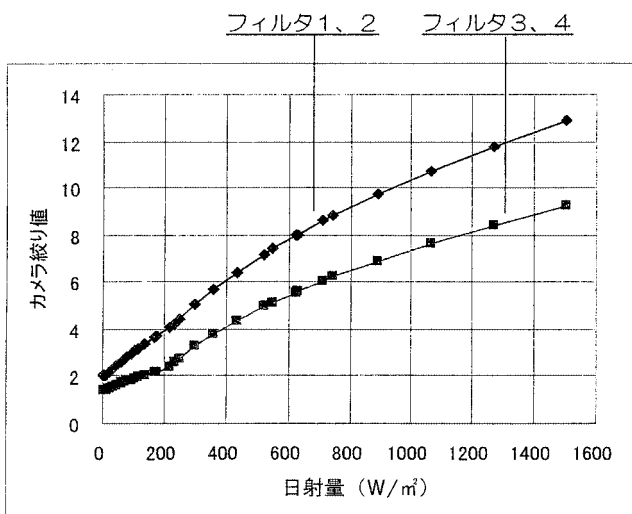


図7 日射量－カメラ絞り値曲線



図8 凍結検知装置設置風景

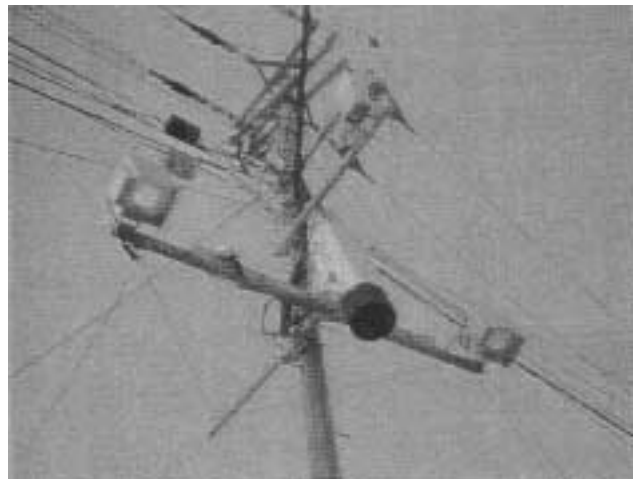


図9 市道設置赤外カメラと投光器

4.3 札幌市道での実用化試験

この方式に基づき改良した凍結検知装置を札幌市道に設置し、実用化試験を実施した。

設置風景を図8に、赤外カメラと投光器を図9に示す。カメラハウジングの対地距離は4.7m、赤外カメラのそれは約5.0m、投光器のそれは約5.3m、焦点距離25mmのレンズを使用しており、撮像領域は約2.7m×2.7mである。

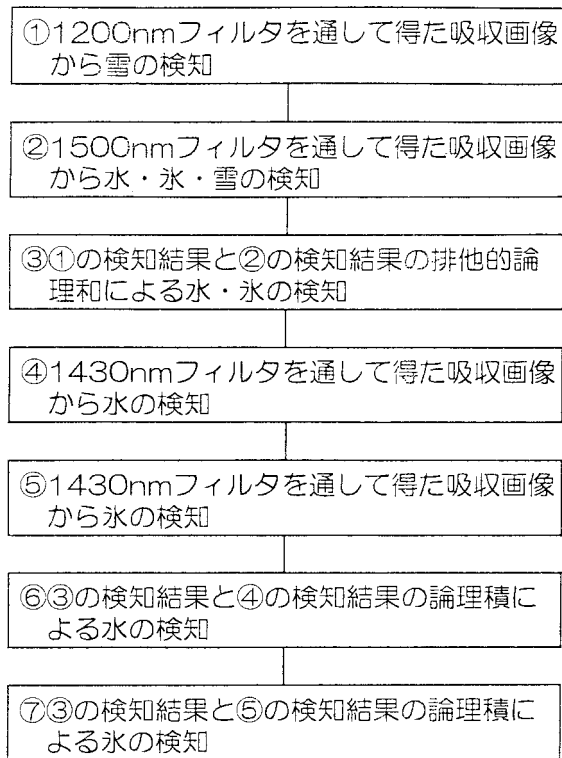


図10 凍結検知手順

撮像間隔は朝夕は10分間隔、ほかの時間帯は30分間隔を基本とした。

設置した市道路面はロードヒーティングが稼働している。

したがって、路面状態としては、路肩部分には雪が積もっており、そのすぐ路面側は水または氷が分布している。路面の大部分は、通常は乾燥しているが、降雪中はウェット状態になり、また降り始めには雪で覆われる状態も出現する。路面中央でも低温下では薄氷が生じる場合がある。また、乾燥していても、自動車の走行等の影響によりウェット状態になる部分が生じる。さらに、「すべり止め砂」が撒かれる場合もあり、特に路肩部周辺の雪、水、氷に多く混在する。

例として、中心波長1200nm、1430nm、1500nmの3枚のバンドパスフィルタを使用しての試験結果を以下に述べる。

分離検知の手順を図10に示す。この手順により、フィルタ切換時にある程度の明るさ変動があっても、それに影響されずに動作することが可能になる。

この手順にしたがって、図11（外気温度 -6.6°C 、日射量 0 W/m^2 ）、図14（外気温度 -3.6°C 、日射量 323 W/m^2 ）、図17（外気温度 3.8°C 、日射量 826 W/m^2 ）に示す撮像対象路面について、それぞれの吸収画像（図12、15、18）に基づき求めた各分離画像を図13、16、19に示す。それぞれ、日射及び影のあるなしに関わらず、正確に水、氷、雪が分離検知されているのが分かる。

なお、本市道試験期間中、日射量が $0\sim$ 約 800 W/m^2 の変動下で、ほぼ安定した吸収画像を得ることができ、水、氷、雪の分離検知が可能であることを確認した。

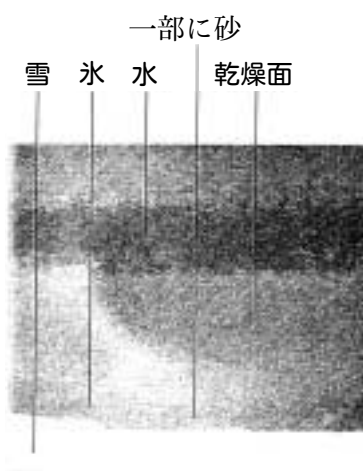


図11 撮像対象路面

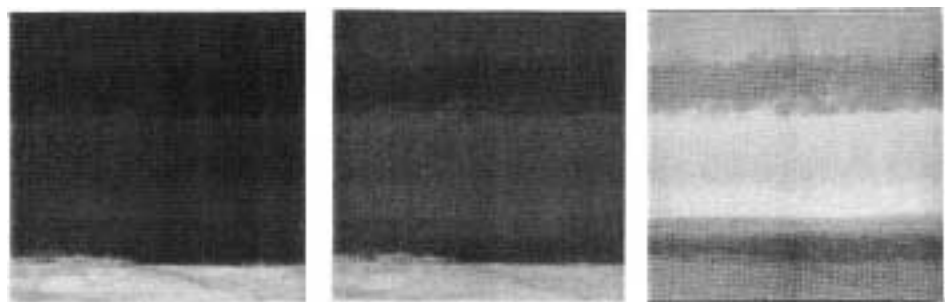


図12 吸収画像（外気温度： -6.6°C 、日射量： 0 W/m^2 ）



図13 分離画像

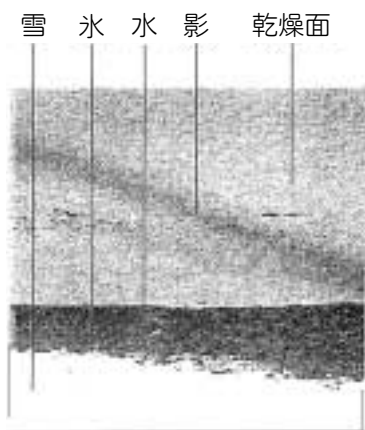


図14 撮像対象路面



(a) 1200nm (b) 1430nm (c) 1500nm

図15 吸収画像 (外気温度: -3.6°C, 日射量: 323W/m²)



(a) 雪 (b) 氷 (c) 氷

図16 分離画像

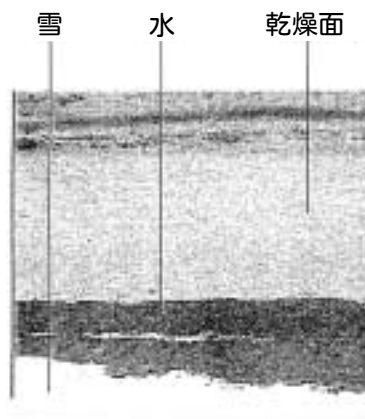


図17 撮像対象路面



(a) 1200nm (b) 1430nm (c) 1500nm

図18 吸収画像 (外気温度: 3.8°C, 日射量: 826W/m²)



(a) 雪 (b) 水 (c) 氷

図19 分離画像

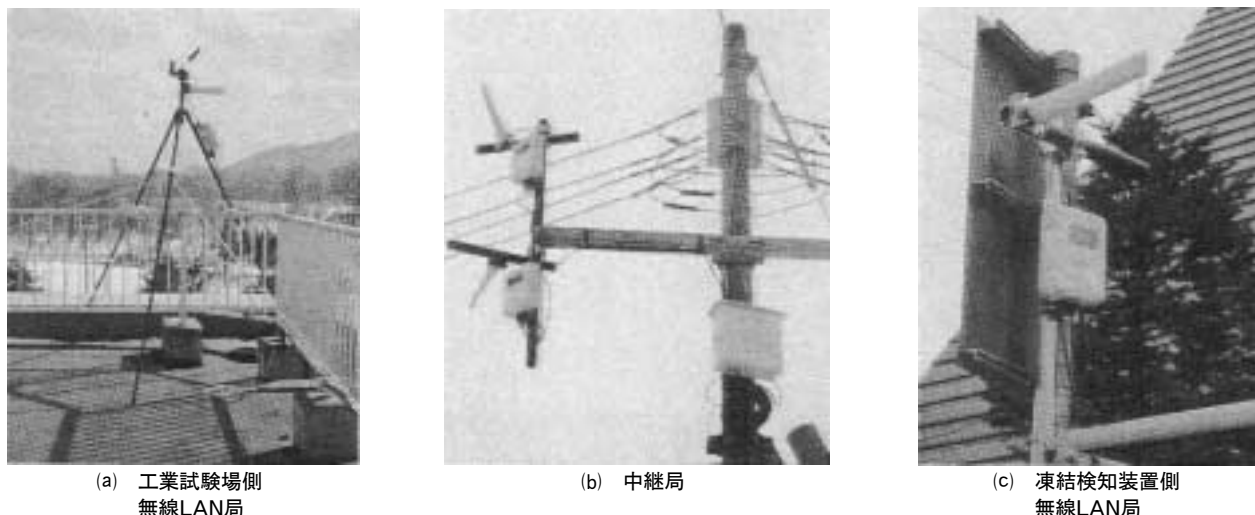


図20 無線LAN長距離伝送実験

4.4 無線LANを用いた長距離データ伝送試験

凍結検知装置の検知データは、ロードヒーティング制御のほかにも融雪剤散布情報など様々な利用が可能であることから、遠隔の道路管理者のホストPC等との通信系が必要となる。そこで、凍結検知装置と約5Km離れて設置された工試ホストPC間の無線LAN長距離伝送試験を行った。工試屋上ならびに凍結検知装置に無線LANの通信機と指向性アンテナを設置し、途中に設けた2ヶ所の中継局を経由した遠隔制御実験及び大容量(32MB)データ伝送実験を行った(図20)。これにより、凍結検知装置の遠隔操作及び吸収画像等の高速伝送のための通信系として低ランニングコスト、リアルタイム、省設置スペースという特徴を持つ無線LANが利用可能であることを確認した。

5. まとめ

- (1) 構内試験においては、日射の影響がない夜間に撮像した吸収画像に基づき、水、氷、雪の各領域がアスファルト乾燥面から正しく分離検知されていることを確認した。
- (2) (1)の試験において、雪については可視域に近い1200nm近傍フィルタ、水と氷の分離検知については1450nm近傍フィルタ、水分としての水・氷・雪すべて一括の乾燥面からの分離検知については1500nm～1600nm近傍フィルタがそれぞれ有効であった。
- (3) これら結果に基づき、[日射計連動型リモートアイリス方式]による凍結検知装置を開発した。
- (4) (3)の開発装置を札幌市道に設置し、試験を行った結果、昼夜通しての水、氷、雪の検知が可能であることを確認した。
- (5) 撮像時のノイズとなる人や車、また濃いめの影については、一つ前の検知結果との比較等の処理により解決され、実用化に際しては問題ないと考えられる。なお、急激な日射変

動に対しても同様である。

- (6) 現状のロードヒーティング制御に本開発の凍結検知装置を適用することにより、正確な路面凍結情報を得ることができ、過剰なヒーティング等が避けられることから、省エネルギー効果が得られ、また埋込型のように摩擦等に対する補修費もかからないことから、維持管理費の多大な削減が期待できる。
- (7) 本凍結検知装置の設置後の運用にあたっては、通信回線を用いた遠隔からの制御、データ収集が可能であり、特に無線LANを用いることで効率的な通信系を構築することが可能である。

6. おわりに

ロードヒーティングの維持管理経費削減を目的に、広範囲の路面凍結情報を非接触で得るため信頼性の高い路面凍結検知装置を試作開発した。本装置を札幌市道に設置し、昼夜通して実用化試験を行った結果、水、氷、雪の各領域を乾燥路面から正確に分離検知することができた。

本開発技術は、道内メーカーに移転され、「路面凍結検知センサ」として製品化された。

今後は、道内地方自治体を中心に、ロードヒーティング制御や融雪剤散布情報獲得のための装置として導入を進め、歩行者や運転者にとって安全で快適な冬期路面環境の提供を支援してゆく予定である。

謝辞

札幌市道試験と無線LANの試験を行うにあたり、ご協力いただきました株式会社エルムデータと早坂理工株式会社の各画像処理担当の皆様及び株式会社テクセルのネットワーク

担当の皆様に深く感謝いたします。

引用文献

- 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・報告書，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・報告書，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 通隆ほか1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，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)
- 10) 波 通隆ほか5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，北海道立工業試験場報告，No.296, pp159－168, (1997)
- 11) 堤 大祐ほか6名：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)，北海道立工業試験場報告，No.297, pp131－135, (1998)
- 12) 堤 大祐ほか7名：近赤外光吸収画像による水・氷の検知に関する研究(第二報)，北海道立工業試験場報告，No.298, pp145－150, (1999)
- 13) 波 通隆ほか12名：赤外光を利用した路面凍結検知装置の開発，平成11年度事業化特別研究報告書（北海道立工業試験場），(2000)