

安価なマイコン画像処理型積雪センサの開発

奥田 広行¹

¹福井県工業技術センター 建設技術研究部 (〒910-0102福井県福井市川合鷺塚町61字北稲田10)

道路上に実際に積もった雪を検知し、消雪装置を動作させるセンサ「積雪センサ」¹⁾は、消雪盤にフィードバック制御をもたらした大きな節水・節電効果を発揮するものであるが、高額であることさらに維持管理の難しさがネックとなり、「降雪センサ」のように普及していない。

これらの課題に対し福井県は、降雪センサと変わらない小型軽量、安価で保守性にも配慮した「マイコン画像処理型積雪センサ」を開発した。その後の改良と県道路管理者への技術支援の結果、県内における普及が進んできたことから、報告する。

キーワード 積雪センサ, 安価, 消雪盤, 画像処理, 節水, 節電

1. はじめに

路面の積雪状況を探査し、消雪装置のフィードバック制御に利用する積雪センサは、検知対象が「範囲」になる、という特質を有する。「範囲」を扱える技術としてはたとえば画像処理があり、福井県では2006年度、ネットワークカメラの画像をパソコンで処理する「画像処理型積雪センサ」を開発した。しかしパソコンは屋外環境に適さないため、端末から中央に画像を送り、そして中央から端末に判定結果を送り返す、というシステムにならざるを得ず、通信費が発生する。

それに対し、電子工作に用いられるマイコン基板ならば、その場で画像処理して判定結果を直接盤に伝えることができ、通信費が発生しない。さらに、バッテリーやHDD等の駆動装置を要さず、屋外環境にも強い(写真-1.これは研究開発後の導入実例となる。現場は福井市大手1丁目の日ノ出2丁目消雪盤であり、以下の写真・画像は全て同地のものである)。

このような観点から筆者は2016年度、積雪センサのコストダウン(設置費、運用費とも)を目的に、表題の「マイコン画像処理型積雪センサ」(以下「マイコン画像処理型」という)を開発した。機器費は200千円に未たないものである。

しかし、製品開発してもそれで普及していく、という訳にはいかない。というのは、安価でも画像処理型は技術的に特殊で、工事設計のための現地調査さらに設定・調整において一定の練度を要するものだからである。

そしてその難しさの根底にあるものは、道路上の環境に対しフィードバック制御を行うことの難しさであり、全ての積雪センサにほぼ共通する。



写真-1 マイコン画像処理型積雪センサの基板

そこで本稿は、積雪センサの有する特別な性格をまず明らかにし、それに対して本開発で採った技術的対策を述べ、また技術的対策の限界を述べ、最後に発注の一助になるよう福井県における導入・実用化の例を紹介する。

2. 積雪センサ全般に共通する特長と留意点

(1) 過去の積雪センサ開発と意義

積雪センサは1985年度、石川高専の今井教授が研究開発した赤外線反射方式を起点とする。この成果を受け、福井県雪対策・建設技術研究所(当時、その後改称を経て福井県工業技術センターに統合)の宮本は1990年度、山田技研㈱との共同研究により「首振り型赤外線反射方

式」を開発した。さらに2006年度には、道路監視カメラとしての機能も有する「画像処理型積雪センサ」を同研究所の佐野、青木、山崎が開発している²⁾。

積雪センサの節水・節電効果は驚異的である。2010年1～3月に実道（福井丸岡線文京大手2,970m）で実施した降雪センサとの比較実証試験では、運転時間の削減効果が65%にも及んだ³⁾。上空から降る雪を検知する降雪センサが、路面の温度によって自然に解けてしまう降雪まで検知し、不要な運転を行ってしまうこと、これが降雪センサの運転効率が悪い根本的な原因であり、将来においても改善され得ないであろう。

(2) 積雪センサに課される条件

積雪センサは、道路上の“多種多様な”環境下で雪を検知しなければならない。これは容易ならざることである。

道路上の雪の検知に必要な条件としては、まず、車両通過後のわだちこぼれに代表される“イレギュラーな消雪”に判定を左右されないよう、①「範囲」をもって積雪の有無を判別すること、である。

次に、カメラを利用する画像処理型では、白い車を雪と誤検知しないよう、②複数の画像を比較し動体を除去しなければならない（画像-1）。

しかし継続して停車される場合もあり動体除去だけでは不確実である。よって、③水分センサを併設し判断を二重化しなければならない（水分センサは55千円程度となる）。

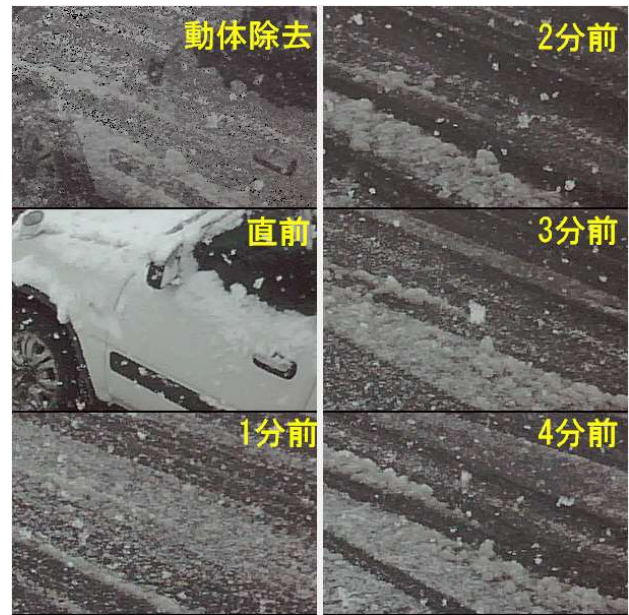
そして、現場に応じて施工方法と設定を決めてやらなくてはならない。特にフィードバック制御の大前提から、④その路線の標準的な路面が望める場所に設置しなくてはならない、⑤（散水が流れる範囲等）消雪範囲の事前確認が必要、という条件が課される。

最後に、太陽光や道路照明という外部の光源に依存する画像処理型は、その時その時の明るさが分かる尺度を外部環境の中から得ないとはいけない。そこで、⑥雪と同等以上の輝度を有する中央線等の道路標示を撮像範囲内に収め、雪判別のための閾値算出に利用する、という手法を採る。画像-2はマイコン画像処理型における画像処理設定の実例で、黄色枠の長方形（標示領域）の中に白線を収めている。なお、同写真で桃色枠の長方形は積雪判定領域といい、ここでの積雪判定領域面積（画素数）に対する積雪面積（画素数）の割合が起動積雪率（デフォルトで20%）を超えた時に「積雪あり」判定となる。

(3) 工事設計上注意すべきこと

(2)に掲げた6条件のうち、④以降は工事設計に影響があり、特に④は工事費を左右する度合いが大きいので、注意が必要である。

油断ならないのは、「消雪盤の面する道路と消雪盤の消雪制御する道路が異なる」という場合が往々にしてあ



画像-1 動体除去の例（2018.2.5 9:06～9:10）



画像-2 画像処理設定の例（2018.1.4 22:00）

ることである。そのような場合は、消雪盤と積雪センサの併設が望めず、建柱工事、架空線工事ともに余儀なくされる可能性が大きい。

一方⑤は、どちらかと言えば、施工後の画像処理設定で問題となる。

次に⑥は、大変な事ではあるが、設計調査時には必ず路面状況を確認し、必要に応じて道路標示を塗り直さなければ（或いは塗り直して貰わなければ）ならない。

最後に、(2)では挙げなかったが、夜間の照度が十分か確認が必要で、不足している時は投光器または街灯を整備しなくてはならない。

なお、首振り型赤外線反射方式は専用柱と赤外線の専用光源から成るものであるため、以上は⑤を除き、基本的に該当しない。

(4) 設定・調整上注意すべきこと

（マイコン画像処理型を含む）画像処理型積雪センサ

の設定は、一筋縄では行かない。現場を十分調べ上げたつもりでいてもなお、実際に雪が降り消雪が始まった時に初めて気づかされるようなことが多々ある。

(2)に上げた条件の中では、⑤が一番難しい。それと夜間の照明状況である。明るければよいというものではない。投光器が眩しすぎると、水たまりに反射し、積雪と誤判定してしまうような場合がある。

このような不具合があってもなお、大抵は同じカメラ方向の中で、画像処理設定のやり直しによって対処できる。できなかったとしても、取付高度の低いマイコン画像処理型であれば角度調整が容易であり、積雪判定に適した場所に撮像範囲を収め直すことが可能である。なお、説明が後先になったが、画像処理型のカメラは固定カメラに限るものである。

3. 「マイコン画像処理型」の開発

(1) 開発目標と方針

以上のような考えを元に、マイコン画像処理型の研究開発はスタートした。ちなみに筆者はこの開発に当たり、以下の目標および方針を立てている。

最終目標：降雪センサ並みに普及すること

目標1：降雪センサ並みかそれより廉価な設置コスト

目標2：降雪センサ並みに容易な機器取付

既設制御盤に対しセンサだけ交換するリプレイス型普及

目標3：設置時の調整・初期設定をコンソールPCで容易に行えるようにする

目標4：降雪センサ並みの点検で成り立つメンテナンス（年2回）。ネット画像監視不要の信頼性

方針1：従来の画像処理型積雪センサと同様、水分センサの併用を続けていく

方針2：現場において必要なカメラの高度と検知領域が確保できない場合は目標1, 2の例外とし、必要なポール建柱工事を行う

(1)に掲げた目標1に関しては、機器費で200千円弱、機器費込みの設置工事費で500～600千円となり（ただし建柱および投光器設置が不要の場合に限る）、降雪センサのレベルには達しなかったが、節水・節電効果による運用コスト減の効果があるため許容される範囲内に収まったと考えている。

なお、汎用品でないにもかかわらず、本体価格が200千円を切ったのはメーカ（日野電子(株)）が廉価販売に協力的だったから、という以外にない。

また目標1以外の目標の達成も概ね当初計画通りであった。

ちなみに、目標2に掲げた「リプレイス型普及」の実例は写真-2に記すとおりである。ただし当地は無電柱化エリアのため降雪センサのポールをそのまま利用したが、他所では電力引込柱（コンクリート柱）に取付ける場合の方が多い。

また、目標3に掲げる「コンソールPC」とは、ノートPCにソフト（無償）をコピーして作る管理用端末のことで、その実例は既に画像-2にて示したとおりである。

情報処理機器であるにもかかわらずマイコンは停電で故障することがなく、復電と共に正常復帰する、従ってUPSが不要である。そしてファン、HDD等、寿命の短い駆動装置を有さず、屋外の過酷な環境にも耐えられる仕様となっている。ハードとしての寿命、耐用年数は約10年と判断するものである。

その一方、画質は今一である。輝度の階梯が256のネ

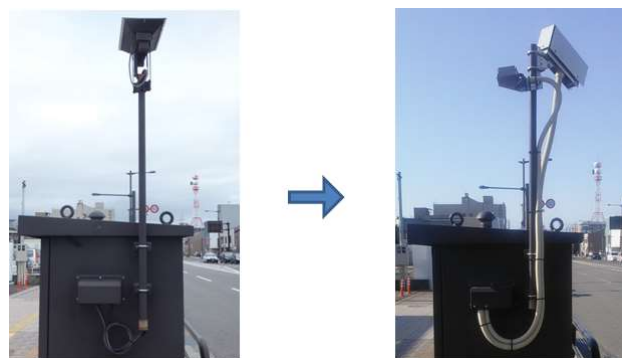


写真-2 「リプレイス型普及」の実例
左は株式会社本商会製スノーアイ

(2) 研究開発結果および開発製品の仕様

研究開発は2016年度に無事終了することができた。

表-1 マイコン画像処理型積雪センサの仕様

CPU	STM32F407ZET6 (STMicro 社製 32Bit RISC CPU)、168MHz ARM 社 Cortex-M4 アーキテクチャ採用	
メモリ	CPU 内蔵 Flash ROM 512kB、SRAM119kB、外部 SRAM 2MB	
カメラモジュール	OV7670 (OmniVision Technologies 社製)、CMOS イメージセンサ、 レンズ焦点距離 3mm、解像度 640×480、VGA、データ出力フォーマット RGB565	
USB インターフェイス	Hi-Speed 480Mbps	
マイクロ SD カードスロット	最大 32GB の SDHC 対応	
マイコン基板	165 mm×85 mm (日野電子(株)製)	
周辺機器	水分センサ	くし型電極+気温 4℃以下
	コンソール PC	ノート PC (Windows7 以上) + 専用ソフト (VisualC#)

ネットワークカメラに比して、採用したカメラモジュールOV7670のそれは32で、自動焦点機能もない。

しかし32階梯しかなくとも、積雪の判定にはそれで十分であることが屋外実験から明らかになっている。自動焦点機能については、路面しか見ない固定カメラにはそもそも不要で、寿命を下げる要因となることからむしろ無い方がよい。そしてOV7670は世界的な汎用品である。画質が劣るのは残念だが、安いに勝るものはないと諦める他ない。

(3) 通信をやめるという決断

マイコン画像処理型の積雪検知手法は、2006年度に開発の画像処理型積雪センサ（以下、マイコン画像処理型と区別する意味で「パソコン画像処理型」という）のプログラムを概ね踏襲するものである。

パソコン画像処理型からマイコン画像処理型への移行、という観点でとらえた場合、最も重い選択だったのは通信機能の廃止である。この結果インターネットを通じた遠方監視ができなくなってしまった（(1)の目標4はこのことへの対応を指したものである）。

通信をやめる利点は、もちろんある。通信費が不要になることもさることながら、最大の利点は、“ソフトの維持管理”が不要になることである。ウィルス対策→OSバージョン更新→プログラムソフトバージョン更新→プログラム自体の更新、という高額支払いコースから逃れることができ、マイコンというブラックボックスに封印したソフトはハードと一生を共にしてくれる・・・これは大きな利点であり、結論は変わらない。

しかし、以下の難点の大きさも憂慮しないわけにはいかない。

まず最大の難点は障害対応である。パソコン画像処理型では積雪センサ本体に加え盤内機器の障害情報までもサーバ経由でユーザに送り届ける仕組みになっていた。このようなサービスは今後取れなくなる。

第二の難点は、現地調査の不備に起因する設定ミスカバーできなくなることである。これは2.(4)でも触れたように結構あることなのだが、もはや、サーバの設定画面で一早くそれを見つけ、大事になる前に、現地に赴くことなく直してしまう、というサービスは取れない。

これらの難点は非常に大きい。対策としては以下の(4)および(5)であるが、それでも及ばないだろう。ただし、だから不可である、と考える必要はない。完璧な消雪でなければ許されない、というほどの重要路線ならば、パソコン画像処理型にすればよいからである。ただしその分高額となる。要は、選択肢の一つとして開発できればよいのである。

(4) 維持管理ツール、警報回路等の整備

「センサ」と称する製品としてはやや異例であるが、積雪センサは代々、警報発報機能等、維持管理に必要な

仕組みをソフトまたは消雪盤内の電気配線を通じて実現してきており、マイコン画像処理型もこれを踏襲している。ただし、ハードの形態が違う以上全く同じものにはならなし、マイコン画像処理型に特有のものもある。詳細は以下の通りである。

- ①以下の機能から成るコンソールPC（前出）
 - ・積雪判断領域等、現場ごとに必要な設定をモニタ画面を通じて簡易に設定できる。
 - ・カメラ画像および最新のデータを表示する。
 - ・ソフトはVisualC#製の無償プログラムで、汎用PCにコピーするだけで使えるようになるもの。
 - ②処理画像、ロギング等のSDカード自動保存（画像-3）
 - ③積雪センサ障害時における水分センサ（2.(2)の条件③）単独制御モードへの切り替え機能
 - ④フリーズ等、マイコンの機能停止を検知するウォッチドックタイマ回路の整備
 - ⑤④の動作後のリセット回路整備（2018年度から）
 - ⑥マイコンに関する警報を消雪盤の警報回路に送る。
- ⑥は、(3)に記した次第で、遠方監視をしない代償として不可欠のものとなる。

警報開発で最も迷い、それでも決断したことがある。それは、外部環境を警報監視の対象に加えること、である。例えば道路照明が玉切れした時、それはセンサどころか消雪装置の故障ですらないが、マイコン画像処理型は長期に渡り正常な積雪検知ができなくなる。従ってこれを警報化しないという訳にはいかない。輝度の尺度に利用している道路標示（2.(2)の条件⑥参照）の塗装剥離監視についても同様である（ただし、これは監視が難し



画像-3 ロギングデータの実例（SDカード保存）

く不要な警報を多発することが判明したため、シーズンイン点検時用の特殊な警報（「要確認」警報）に格下げした）。

(5) 工事・保守業者の育成（継続中）

本製品の設置および維持管理に関しては、地元の管工事業者が最も適任である、と考えるものである。それは

- ・制御に関わるセンサである以上、契約先として適するのは装置全体を熟知し、あるいは熟知し得る業者に限られる。

- ・たとえ特殊なセンサでも緊急保守に手慣れた地元業者にまず見てもらう方が手堅い。
- ・マイコンが発した警報でも実際は外部環境や消雪装置の異常が原因である場合があり、センサの保守に特化した業者を派遣する意義が疑わしい。

等の事由による。

このような考え方から、筆者は福井県内では、技術普及講習会（2018年度、福井県管工事センター）を行い、技術指導に努めている。また県土木部に対しては、消雪装置保守業者を工事の発注先として選ぶように推奨している。

県外の業者に対しても同じような技術指導ができればよいのだが、容易なことではない。しかしそれでも手を尽くし、何らかの形で関与していかざるを得ないだろう、と考えている。

4. 開発後の普及と技術協力

マイコン画像処理型は2016年度の開発以来、22台が普及している。全て福井県内、県管理道路である。

2.(3)および(4)に記した事情のために本センサの発注は技術的難度が高く、また開発して間もないこともあるため、基本的に全箇所筆者が技術協力して施工している。また、現段階では県外に普及すると収拾がつかなくなる恐れがあるため、基本的に県外での広報を筆者はこれまで避けており、県外への論文投稿は本稿が初めてとなる。

(1) 福井県における需要と導入目的

本題に入る前に、説明を要することがある。それは、福井県管理道路における消雪装置は全て遠方監視制御される、ということである。また、前日の降雪予想で5cm以上の降雪量が予想されるときは土木事務所職員が除雪待期し、その時の判断で消雪装置を強制的に運転、入れっぱなしにすることもしばしばある、ということである。

さらに道路除雪は業務委託契約によって行われ、消雪装置のある路線であっても、井戸枯れ等による消雪不全があれば対応して貰える、という体制にある。

それでは、マイコン画像処理型を整備した22箇所についての、目的別内訳を以下に記す。

- ①節水目的・・・・・・・・・・・・・・11箇所
 - ②老朽化更新・・・・・・・・・・・・・・9箇所
 - ③消雪装置新設に伴う設置・・・・・・・・4箇所
- ただし、①と②には重複箇所が合わせて2箇所ある。

①の11箇所のうち、9箇所は市の下水量削減要求に対応したもの、1箇所は揚水量の持続に不安があるため、1箇所は市の名水とされる水源で住民の意向が強いため、と分類できる。なお、下水量削減を目的とした導入はこの時限りになると思われる。

(2) 2017年度の技術協力

2017年度は、いきなり17箇所での導入となり、対応に苦慮した。本製品の仕様をよく分からないまま契約した業者もあり、契約後にトラブルになったこともある。

一番手強かったのは、消雪盤から路面が望めない“難工事現場”である。そういう場合は架空線工事をする、ということにルール上はなっていたが、実際に現地打ち合わせに出てみると民地上空であったり通信事業者の電柱への添架が必要だったり、と難点が次々明らかになり工事は難航した。鉄道近くの施工現場では架空線工事を結局断念、無線LANに設計変更したが、これでは降雪センサを設置した方がはるかに安価だったことであろう。

センサの初期障害も何件かあった。コンソールPCでモニタし続けるとマイコンがフリーズしてしまう不具合が起きることが判明、原因はコンソールPCの側にあったのだが、他の原因によるフリーズが起きてもいけないことから念のため、マイコン側にもフリーズ対策を施すこととした(3.(4)参照)。

(3) 平成30年豪雪について

(2)の技術協力工事が終わった後、今度は平成30年豪雪を迎えることとなった。

福井市では2月4日から連続して大雪が続き、最大積雪深147cmを記録、五六豪雪以来37年来の豪雪となった。国道8号では6日から9日未明まで1,500台の車両が立ち往生となり、自衛隊による救援をみている。

県管理道路の状況も厳しかったが、消雪が効果的に働いている路線も一部にはあった。その一方で井戸枯れし、機械除雪での対応となった路線もあり、同じ消雪装置整備路線でも明暗が分かれている。

最後に平成30年豪雪時におけるマイコン画像処理型の積雪検知状況について報告する。

実は、豪雪が始まったばかりの頃の状況については既に画像を提示していて、画像-1と画像-3がそれである。この段階では正常な積雪検知とポンプ制御が行われている、ということが読み取れる。

次に画像-4は、天候の落ち着いた2月11日に福井市大手1丁目にある日ノ出2丁目消雪盤を訪れた時の状況（コンソールPC設定画面）である。消雪装置は手動停止されており、また第一走行車線に雪が山積みされているこ



画像-4 平成30年豪雪後の状況 (2018. 2. 11 14:55)

とから、明らかに機械除雪体制に移行していることが分かる。そして、他所も大体これと同じ様な状況であった。

この時マイコン画像処理型は、「積雪あり」の判定となっている。確かに積雪判定領域（桃色枠の長方形）は雪で埋め尽くされているため、間違いではないのだが、制御としては好ましくない。というのは、このような“消えない雪”を相手に水を撒くという判断をしてはいけないからである。よって2018年度からは制御の一部を改め、「一旦運転指令が出た後に2時間水分を検知しない状態が続いた場合、積雪判定の有無によらず運転指令を取り消す」という処理を追加した。

5. 結論

以上のことから、以下の結論が導かれる。

- ・マイコン画像処理型の設置費は、建柱工事、架空線工事等を要さないリプレイス型更新の時に安価で、500千円～600千円程度に収まることも可能である。
- ・マイコン画像処理型は遠方監視の機能を有さないにもかかわらず、消雪盤の警報回路を利用することによって、安全な自動制御運転が可能である。ただし、保守業者の理解と協力が肝要である。
- ・マイコン画像処理型の工事設計のための現地調査および初期設定は、相当な練度を有する。

参考文献

- 1) 福井県建設・雪対策技術センター年報第1号
積雪センサーの意義と試験運転
- 2) 日本雪工学会誌2007-1
統計的手法に基づく画像解析による路面積雪判定
- 3) 福井県雪対策・建設技術研究所年報第24号
画像処理による積雪センサーの実用状況