

マイコン画像処理による安価な積雪センサの開発

キーワード； 節水・節電、コスト縮減

奥田 広行 ＊ 1

1. はじめに

「積雪センサ」とは道路上における積雪の有無を判定し、消雪装置の運転・停止を指令する、消雪装置制御のためのセンサである（気象観測に用いられる「積雪深センサ」とは別物である）。雪が降っても、道路に雪が必ず積もるとは限らない。また、降雪が止んでも、その時点で消雪が完了しているとは限らない。道路上の積雪を判定し運転・停止を指令することはフィードバック制御であり、消雪装置の最も効果的・的確な制御を保证する。

それに対し現在、消雪装置の制御用センサとして主流であるのは、上空からの降雪を検知する「降雪センサ」である。フィードバック制御ではなく、路温で自然に解けるような降雪にも反応してしまうため、無駄な散水となることが多い。

この違いは大きい。福井県が実道で行った実証試験（平成 22 年 1～3 月福井丸岡線文京大手 2,970m）では、積雪センサによる制御は降雪センサ制御に対して 65%という驚異的な運転時間縮減効果を記録している¹⁾（積雪センサは画像処理型積雪センサ、平成 18 年度開発品）。

積雪センサを最初に考案・開発したのは石川高等専門学校の前井教授であり、昭和 60 年度のことであった²⁾。これを受け福井県雪対策・建設技術研究所（当時。平成 29 年度を以って福井県工業技術センターに組織統合）でも研究開発に着手、平成 2 年度には車道でも効果的な「首振り型赤外線反射方式積雪センサ」（以下「首振り型赤外線反射方式」という。）の実用化に至っている³⁾。

しかし、積雪センサの普及は遅々として進まない。その主因ははっきりしている。設置費が高額だから、である。初期の首振り型赤外線反射方式は、機器費だけで約 300 万円、全体の設置費は 400 万円以上に及ぶ。平成 18 年度にはネットワークカメラによる画像処理型積雪センサを開発したが、それでも設置費は約 100 万円である。

それに対し降雪センサは、方式にもよるが電極上の雪を通電と光学検知によって検出するセンサの場合、約 40 万円で施工できる。これでは降雪センサに対抗できない。

そこで研究開発したセンサが、表題にもなっている、マイコン画像処理に基づく積雪センサである（以下、当該積雪センサを「マイコン画像処理型」という）。

平成 28 年度に開発したマイコン画像処理型は、機器費約 20 万円、既設盤改造含む設置費は約 70 万円である（消雪制御盤が路面に面していない場合は建柱・架空線工事が別途必要となる。また、夜間に十分な照度（路面上で

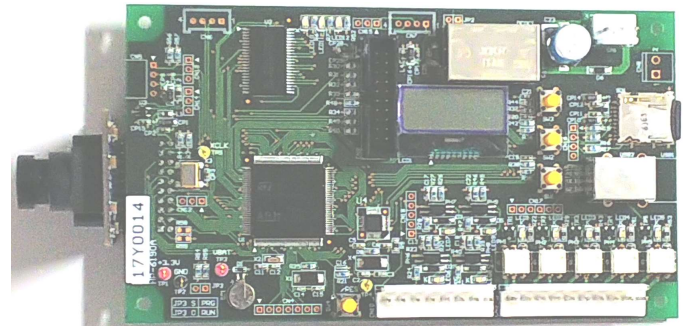


写真-1 マイコン画像処理型積雪センサ本体基板

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	入力 4 点、出力 5 点 165 mm×85 mm（日野電子(株)製）
周辺装置	水分センサ、コンソール PC

20lux 以上必要）が確保されない環境下では、投光器の増設が必要となる）。降雪センサの安さには至らなかったが、節水・節電に優れるという利点があるため、これまで以上の普及を期待できる状況となった。

マイコン画像処理型にするとどうして安価にできるのか？ 安価にすることで生じた課題はないのか？ このような観点から、本稿はマイコン画像処理型の開発について報告する。

2. 開発した積雪センサ

開発したマイコン画像処理型の基板写真そして仕様は写真-1 および表-1 に記すとおりである。

バッテリー無し、ハードディスク無し、の構成であり屋外環境下にあっても長寿命を期待できる。耐用年数は 10

＊ 1 福井県工業技術センター

年程度と想定している。停電によって故障する心配もない。

機構部の存在は寿命を引き下げてしまうことから、カメラモジュールには自動焦点機能がないもの（OV 7670）を選んだ。もっとも、画像処理型積雪センサのカメラは固定カメラに限られ、最初の焦点調整もデフォルト位置で済ませられることが多いため、これはそれ程の難点とはならなかった。

しかし OV 7670 の輝度の階梯は 32 階梯までしかなく、ネットワークカメラと比較すれば明らかに画質は落ちる。低価格化が最優先であるため、諦める他なかった。

3. 価格を下げるための試み

3. 1 積雪センサ開発における課題

フィードバック制御を大前提とする積雪センサは、道路上の“多種多様な”環境下から雪を検知しなければならない。これは大変難しいことであり、高い設置費を余儀なくされてきた一番の要因と考えることができる。

特に留意すべきことは、積雪の検知には「範囲」が必要になるということである。例えば、車両通過後のわだち代表される“イレギュラーな消雪”に判定を左右されないようにするためにそれが必要である（交通が通過する路面をとらえてこそそのフィードバック制御であるから、わだちを対象から外すという考え方をしてはならない）。

積雪検知に範囲をもたせるにはどうすればよいか。初期の首振り型赤外線反射方式では、文字通り首を振り、赤外線の照射先を“点”から“線”に拡大することでこれを実現した。それはうまくいったのだが、屋外に精密な機械装置を施工することを意味するため、高価格になることを避けられなかった。

もう一つの方法は、画像処理によることである。これを最初に実現したのが平成 18 年度開発の画像処理型積雪センサである。機械装置不要、専用光源不要。防犯目的で急速に普及した安価なネットワークカメラ。設置費を下げる条件は揃った。そして実際に設置費を下げる研究開発にも成功した。

しかし、画像処理は画像処理で、以下に論ずるような特有の課題を有するものでもあった。それは最終的に解決できたが、積雪センサの構成・仕組みはさらに一層複雑なものとなった。

3. 2 画像処理による積雪検知方法とその限界

雪は白い。そして白ほど輝度の高い色はない。真に好都合なこの 2 つの条件をうまく利用することによって、画像処理型積雪センサの積雪検知は成り立つ。

もっと具体的に説明すれば、設定した積雪判定領域の

中で、しきい値を超える高輝度画素を「雪」と判定し、積雪判定領域に対する面積割合から「積雪率」を求め、これが設定した値を超えた時に「積雪あり」、と判定する仕組みである。

しかし、画像処理で積雪判定を行っても、雪を直接検知したことにならない。雪の白さは光の乱反射に起因するものであって、物性を反映したものではないからである。

以下のような限界を指摘することができる。

第 1 に、路面の明るさは天候等、光源側の状況に大きく依存するため、どこまで輝度が高ければ雪と判定してよいのか、しきい値の値が決められないこと。

第 2 に、路上で白く輝くものが常に雪であるとは限らないこと。例えば、カメラの前に白い車が映ってしまうことを考えなくてはならない。

3. 3 しきい値選定問題の解決

上に挙げた第 1 の問題についてはしかし、最終的には解決した。中央線等、道路標示に用いられる白線を撮像範囲内に収め、輝度の二値化しきい値選定（大津の自動しきい値選定法⁴⁾による）に用いることで、しきい値の一意性を得ることができた⁵⁾。

カメラの撮像範囲内に収められた白線は、外部環境の明るさに応じ、明るければ高い輝度、暗ければ低い輝度を示す。あえて比喩的に言えば、塗装工事で利用する色見本の様な役割を、この白線は輝度に対して発揮してくれるのである。

難点がないではない。常に道路に白線が引かれているとは限らないこと。従って積雪センサ導入に適さない道路が存在してしまうこと。施工後においては、電気計装のために道路標示の状態を見るという不自然な管理になってしまうこと。

しかし、これはかかる難点を補って余りある、極めて信頼度の高い手法であり、使わないことは考えられない。



画像－1 画像処理設定画面（マイコン画像処理型）
桃色枠：積雪判定領域 黄枠：標示領域

さらに、最初から引かれている道路標示を映すだけという意味では、元手もかからない。

この手法は（細かい点では変更もあるが）マイコン画像処理型でも取り入れている。画像－１はその画像処理設定の実例である。なおこれは、福井市日ノ出2丁目消雪盤におけるものであり、以下の全ての画像および以下の全ての写真において同一消雪盤でのものとする。

3. 4 誤検知を防ぐ対策

次に、画像処理の第2の限界として例示した、白い車の映り込み問題に対してはどうか。

一応これも解決する手法がある。連続して撮った（実際は1分間隔だが）5枚の画像を画素ごとに比較し、例外的データを除くことにより短時間映り込んだ画像を除去する、という動体除去の手法である。

画像－2にこの手法で動体除去した、マイコン画像処理型における処理の実例を示す。

しかしながら、これはあくまで動体除去であって、「白い車が5分間連続して止まった場合にも有効な手法」ではない。

また「路上で白く輝くもの」は、雪と道路標示と白い車以外にもある。日光の反射がカメラに直接入ったり、夜間照明にムラがあったりすれば、道路標示の白線を超えるような白さが画像の中に現れて来る。

どうすればよいか？ 最後の手段は「水分センサの併用」である。水分センサとは、電極が濡れて通電することにより降水を検知するセンサであり、加温しているため降雪の水分も検知できる。価格は4万円未満。消雪ポンプを起動させる時のアンドの条件として使う。

苦肉の策という他なく、設置費も微増となるが、信頼



写真－2 マイコン画像処理型の施工実例
ポール上方左側が水分センサ

性確保のために採用する他はなかった。

この手法もまた、マイコン画像処理型において踏襲している。写真－2に実際に設置したマイコン画像処理型と水分センサの施工例を示す。

なお、このセンサ二重化の意味は、ポンプの起動条件を厳しくすることにある。フェイルセーフとなるように起動条件を緩めているのではない。あくまで節水・節電を優先しているのである。

また、雪の天候では照度が均一化する傾向にあるため、ポンプ起動後の積雪判定は画像処理だけで十分であり、水分センサをポンプの停止条件に用いることはしない。これで問題ないことは、冒頭に記した比較実証試験の結果からも明らかである。

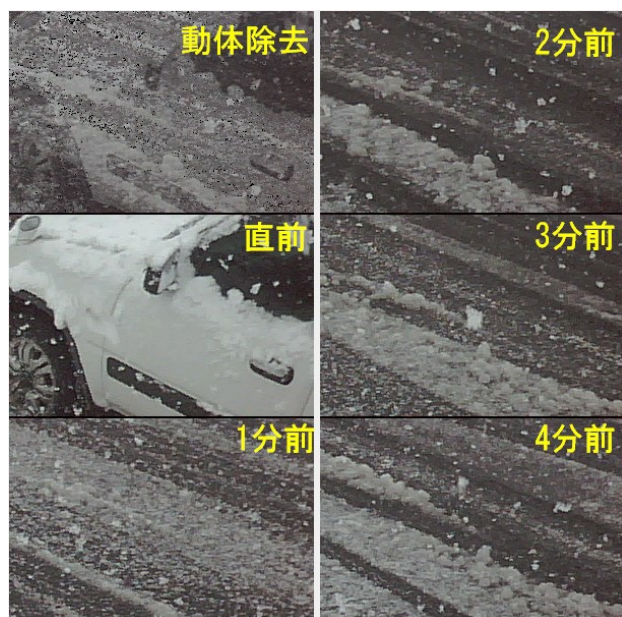
4. 通信とソフトに関する課題

4. 1 パソコン画像処理型積雪センサの現状

平成18年度開発の画像処理型積雪センサはパソコンで画像処理を行う（ここからは、当該積雪センサを「パソコン画像処理型」ということにする）。

パソコン画像処理型もマイコン画像処理型も、画像処理の手法自体は基本的に同一であるため、3. においては両者の違いを考えずに来た。しかしここからはそういう訳にはいかない。両者の優劣を論じることになるからである。

さて、パソコン画像処理型で使用するカメラは汎用的なネットワークカメラである。これを道路監視カメラとして二次利用することは有意義なことであり、事実そのように利用もされてきた。



画像－2 動体除去の実例（H30年2月5日9時10分）

そのことに加え、画像処理するサーバを無停電で温度管理された室内環境下に置きたいという、パソコン画像処理型に特有の事由もあって、同パソコン画像処理型は開発当初から通信を伴うシステムとして発達してきた。

しかし、通信を利用することの難点が3つある。

第1に、当然のことだが、通信は通信費を伴うこと。

第2に、通信のせいで「ソフトの維持管理費」が発生してしまうこと。パソコンのOSにはサポート期限があり、ウイルス対策のためにもOSを更新していかななくてはならないが、OSを更新すると今度は積雪センサのソフトに不備が生じ、場合によってはプログラムの書き換えまで必要となることがある。それに費やす労務または費用が半端なものでは済まない。

第3に、以上のような費用が派生するからこそ、複数のパソコンで画像処理することはあり得ず、中央におけるシステム統合と集中化を徹底してやっけて行かねばならなくなるが、その結果システムはますます巨大化、複雑化なものになってしまう、ということである。

4. 2 マイコン画像処理型の利点

上に記したパソコン画像処理型の難点は、マイコン画像処理型では大いに緩和される。

まず、ソフトの維持管理費はほぼ不要である。そしてシステム巨大化の件は、もちろん全く該当しない。

今回開発した製品を含め、マイコンで主流のプログラミング言語はCである。Cはバージョンアップがない言語であり、この言語で作成したプログラムは永続性を保証されたも同然、と考えることができる。

ただし、今回開発した製品の場合、保守用の周辺機器としてモニタ機能付きのコンソールPCを必要とする(先に提示した画像-1はコンソールPCの画面である)。それは汎用のノートPCに、販売品に付随のCDのソフトを導入して作る、というだけのものであるが、そのソフト(Visual C#製)は将来のOS更新対応が必要になる。

といっても、本体そのものの維持管理ではない以上これは大した問題ではない。

重要なのは、マイコン画像処理型本体のソフトがメンテナンスフリーだということである。ソフトはハードというブラックボックスに封印され、ハードと一生を共にする。そしてそのハードも長寿命品である。中身を知る必要はない。しかも安い。これらはユーザにとってとても魅力的な事である。

4. 3 マイコン画像処理型の難点

マイコン画像処理型にはしかし、難点もある。特に辛いのは維持管理が非常に特殊なことで、前述のコンソールPCにより画像のモニタ・点検を行い、調整する業務が継続的に必要となる。

設備が一見して正常でも、たとえば台風の影響で取付角度がずれてしまっているかも知れない。あるいは、道路工事が行われ周辺環境が様変わりしていることもある。

頻繁にモニタする必要はないであろうが、それでも毎年1回の消雪装置シーズンイン点検に併せて、コンソールPCによるマイコン画像処理型の点検・調整を実施する必要がある。

警報回路を導入する、というのも一つの方法である。詳述は略すが、路上の白線が薄れた時に発する警報や、夜間照明の玉切れが起きた時に発する警報を開発しており、かかる警報が発した時は保守業者に原因を突き止めさせる、という方法でカメラの周辺環境に注意を向けさせることができる。

5. 普及に向けた取り組み

今回開発したマイコン画像処理型は、第一世代の首振り型赤外線反射方式、第二世代のパソコン画像処理型に対し、言わば第三世代である。設置費は300万円近く引き下がり、ハードのコンパクト化にも成功した。

普及も好調である。平成18年度に開発の第二世代は福井県内16箇所に普及したが、平成28年度に開発の第三世代は3年間で県内22箇所に普及し、令和元年度にはさらに6箇所で施工される。安価であることに勝る利点はない、というのが現実である。

しかし、積雪センサとしての特殊で複雑な性格は相変わらずである。

現地調査、工事設計、現地工事立会、制御試験、と続く各段階で、非常に特殊な技術を要するため、現段階では筆者が工事発注に技術協力している。そのためマイコン画像処理型は福井県内でしか普及していない。

しかし、積雪センサは環境にやさしいことに本来の存在意義がある。全国規模で普及して欲しいということが開発者の願いであり、今後いろいろな形で可能な技術協力をを行い、普及に努めていきたい、と考えている。

参考文献

- 1) 山崎三知朗;画像処理による積雪センサの実用状況、福井県雪対策・建設技術研究所年報第24号、pp.16-20
- 2) 今井、石田、割沢、木下、中川、吉田;小規模消雪システムの自動制御、石川高専紀要第18号、昭和61年3月
- 3) 宮本重信;道路上での積雪センサ一連転効果、福井県建設・雪対策技術センター年報第4号、pp.49-54
- 4) 大津展之;判別及び最小2乗基準に基づく自動しきい値選定法、電気通信学会論文誌VolJ63-D7No4、1980pp.349-356
- 5) 青木靖、佐野弘;統計的手法に基づく画像解析による路面積雪判定、日本雪工学会誌2007-1、pp.3-12