

旅客上家屋根電気融雪装置用積雪センサを活用した 最適制御システムの展開と効果について

原 宏*1・阿部 真季*1・船山 花穂*1・酢谷 浩*2・徳永 透*2

1. はじめに

鉄道の駅には、ホームで列車を待つお客様が雨雪に濡れることを防ぐための建造物である屋根、「旅客上家」が設置されている。多雪地域の駅の場合、降雪・積雪により屋根から線路上空に張り出すいわゆる「雪庇」によるパンタグラフの破損事故や落雪による旅客傷害事故などの防止を目的に、屋根軒先に融雪マット（ヒーター）を設置している（写真1）。



写真1 雪庇防止用屋根融雪装置

これら融雪装置は安心・安全な旅客設備を提供するため自動制御により運転を行なっている。

従来は、降雪センサや気温センサによる自動制御（以下気温制御）の方法だったが、水分感知や温度による制御の場合だと、どうしても設定が安全側にならざるを得ない。例えば屋根上に積雪がないにもかかわらず、気温が低くなっただけで設備を稼働させてしまうなど、無駄になる運転が発生していた。そのため地域の性格上、雪氷期にはシーズンを通してほとんど連続運転している結果となっており、電力料金の支出（及びCO₂の排出）に課題があった。

JR東日本新潟支社管内の冬期雪氷対策において、現場第一線での技術開発にてこれらの課題解決のための「画像処理による制御システム（以下積雪センサシステム）」を開発した。当初は2年間の試験施工からスタートし、安定した設備の提供と電力料金の削減の両立のほか、大幅なCO₂の削減も達成することができた。こうした十分な効果が認められた上で、上越線の小出駅と越後湯沢駅（在来線）の現場に本導入され、その後順次複数駅に展開されることとなった。これらの経緯及び効果について紹介する。

2. 制御システム概要

2-1 開発経緯

従来の気温制御では、融雪マット上に実際積雪があるかどうか把握できない。そのためどうしても安全側の制御になってしまう。融雪マット部を直接見るようなセンサの開発が課題であった。種々検討を重ねた結果、道路の路面融雪用に開発・実用化された装置の中で、福井県雪対策・建設技術研究所（当時）の画像処理で積雪を検知する方式を活用した屋根融雪用の装置を、2年（2011～2012年度）の現場試行を経て開発するに至った。その結果、融雪効果及び運転時間削減についての効果が検証され、現場導入に至った。¹⁾

2-2 積雪センサシステム構成（概要）

図1にシステム構成を示す。画像処理判定用カメラで撮影した静止画をネット経由で遠隔制御PCに送付。制御PCが画像を解析し積雪ありと判定すると、今度は運転信号を再びネット経由で制御盤に送信する仕組みで動作させる。

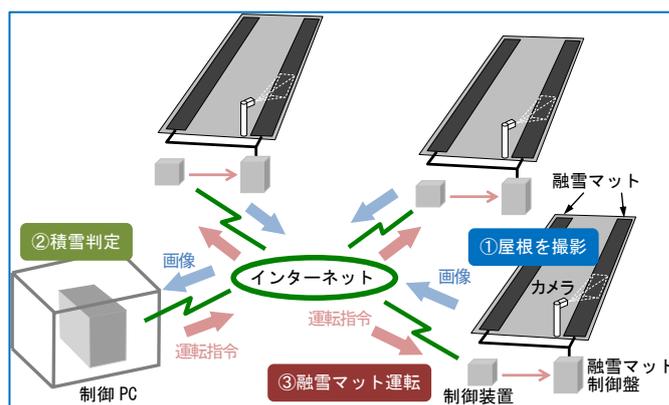


図1 積雪センサシステムの構成

2-3 機器及び設置状況（写真2）

(1) カメラ

カメラ装置は汎用的な Web カメラを使用し、積雪判定用ペイントが適切な視野に入る位置に設置する。設置箇所は当該箇所には跨線橋があれば活用するが、適当な構造物がない場合は上家上に架台を設け設置する。

(2) 赤外線投光器

夜間検知用に、列車の運行に支障のない不可視タイプの赤外線投光器を設置する。

(3) 積雪判定用ペイント

積雪検知用に、融雪マット上で路面用システムと同等の

効果を出すため、黒いマット表面に決められたサイズで帯状に白くペイントを施す。

メイン画面の各現場の詳細ボタンをクリックすると、現場ごとの主画像と過去24時間の融雪稼働状況グラフが表示される(図4)。

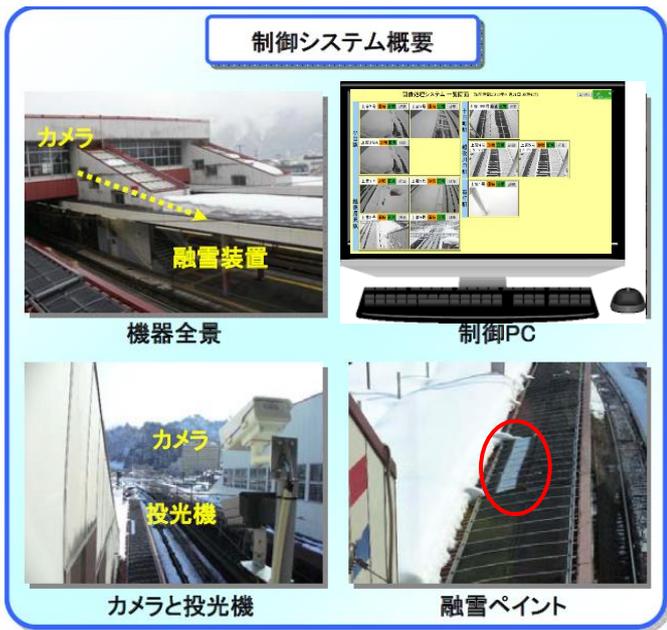


写真2 機器及び設置状況

2-4 閲覧用ソフトウェア

積雪判定のため取得した画像を、そのまま監視カメラの画像閲覧用に活用できるソフトウェアを開発した。三場面構成になっており、まずメイン画面として全融雪制御箇所の画像と融雪装置の稼働状況を表示する(図2・図3)。

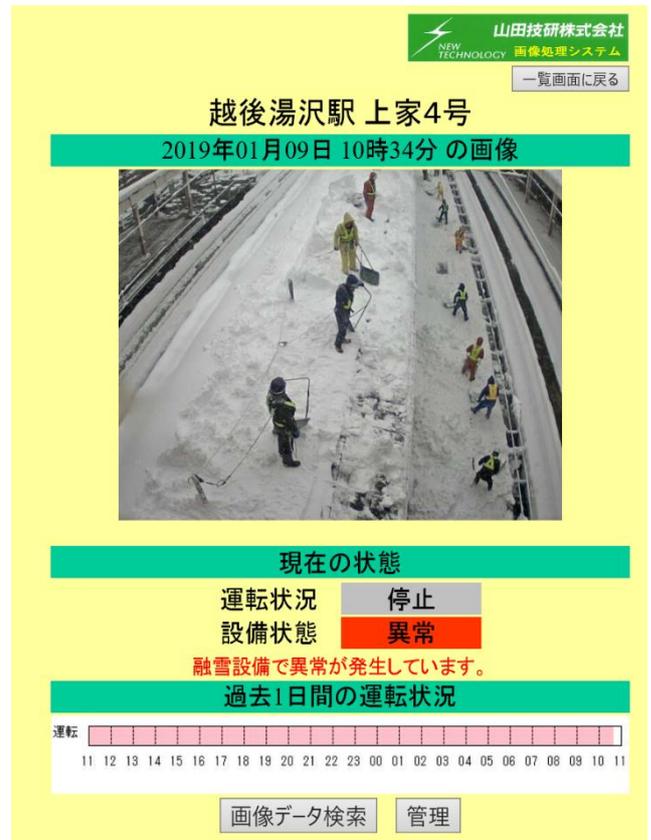


図4 各現場状況画面

次に画像データ検索画面で15分ごとの過去の全箇所全画像が検索できる。現場の降雪・積雪の推移あるいは融雪状況の検証や確認が可能である。例えば融雪が必要な時のみ稼働していることが過去画像から確認することもできる(図5)。



図2 閲覧メイン画面 (積雪なし)



図5 画像検索画面



図3 閲覧メイン画面 (積雪あり)

3. 気温制御との稼働時間の比較

2014年の上越線・小出駅と越後湯沢駅への本導入以降、順次導入が進み、2018年度までに5駅、計9上家（9つの融雪箇所）において、システムが設置された。本導入後、毎年気温制御との稼働時間比較検証を実施している。ちなみに気温制御の気温データは、近隣の気象庁アメダスのデータを元としている。

そのうち2018年度の分析結果を表1に示す。9箇所の融雪装置稼働期間である12月～3月の積雪センサシステムによる稼働時間と、気温データに基づくシミュレーションによるものを比較した。気温の稼働条件は、従前より適用していた「5℃以下で運転、7℃以上で停止」を適用。4カ月間の積雪センサシステムによる削減率は、最大で小出上家4号の79.5%、最小で越後湯沢上家3号の51.6%、9箇所平均で64.1%の削減率であった。

2018年度冬期の各地の降雪状況は、小出周辺は2017年度より少なく平年並の降雪だった一方、越後湯沢周辺は平年並みかやや多いだった（図6）。そのため小出やその近隣の越後川口・十日町では削減率は7割以上となった。越後湯沢・石打では平年並みの降雪だったが、2月～3月の降雪が少なかったこともあり、最終的には平均して5割以上の削減となった。

気温制御は12月～2月は全時間の8割以上で稼働しており（2月は100%稼働）、3月でも降雪はなくとも気温はまだ低いため、7割の稼働となっている。導入以来の傾向であるが、終冬期でより顕著に稼働時間の差が表れる結果となった。



図6 小出・越後湯沢 過去3年累積降雪量推移グラフ

融雪が必要な時のみ稼働していることよって、大幅な稼働時間短縮が図られていることが毎年確認できている。

4. 制御パラメータ追加によるさらなる改善

当システムの一歩の課題は、早朝に日射が入った時に融雪マットが濡れていると検知範囲付近が明るく映ったり、霜が付着した時などに、「積雪」と誤検知してしまうことである。誤検知により融雪装置が稼働するため安全側でのエラーなの

気温を条件とした屋根融雪装置稼働時間シミュレーション

	12月～3月		
	画像稼働時間a	気温稼働時間b	削減率(b-a)/b
小出3号	684	2,504	72.7%
小出4号	513	2,504	79.5%
湯沢1号	1,171	2,546	54.0%
湯沢3号	1,232	2,546	51.6%
湯沢4号	963	2,546	62.2%
湯沢6号	1,090	2,546	57.2%
十日町2098号	691	2,573	73.1%
石打1号	1,106	2,546	56.6%
越後川口4号	741	2,504	70.4%
計	8,192	22,815	64.1%

画像処理による屋根融雪と比較するため、気温による融雪装置の稼働時間をシミュレーションして算出した。稼働条件は、気温5℃以下で融雪開始し、7℃以上で融雪停止。

削減率70%以上

	12月			1月			2月			3月		
	画像稼働時間a	気温稼働時間b	削減率(b-a)/b									
小出3号	180	617	70.8%	221	744	70.3%	184	629	70.7%	99	514	80.8%
小出4号	193	617	68.7%	196	744	73.7%	92	629	85.4%	32	514	93.8%
湯沢1号	312	616	49.3%	496	742	33.1%	203	649	68.8%	160	539	70.3%
湯沢3号	345	616	44.0%	506	742	31.8%	230	649	64.6%	151	539	72.0%
湯沢4号	282	616	54.2%	495	742	33.3%	131	649	79.9%	56	539	89.7%
湯沢6号	313	616	49.2%	480	742	35.3%	170	649	73.8%	127	539	76.4%
十日町	191	627	69.6%	326	744	56.1%	111	652	82.9%	63	550	88.6%
石打1号	297	616	51.8%	518	742	30.2%	222	649	65.8%	69	539	87.2%
川口4号	245	617	60.3%	384	744	48.3%	79	629	87.5%	33	514	93.6%

表1 2018年度 従来制御との稼働時間比較

で安全上の問題はなく、また全稼働時間における誤検知の割合は数%であり、削減金額に比して大きな影響はなかった。

ただ、より安全で精度の高い制御システムの確立を目指していくため、2018年度に試行的に気温を制御要素に加え（積雪とのand条件）、仮に誤判定をしても気温が低くなければ稼働させない制御を越後川口駅で実施した。結果は約4時間の稼働停止増加でそれほど大きな数字ではなかったが、日射の影響で誤判定が発生している他の駅もあるため、今後は新設箇所から順次基本仕様として採用することとした。

5. 電力料金及びCO₂削減状況

表2にて積雪センサシステム制御と気温制御における電力料金削減額とCO₂削減量を算出した。方法としては、各駅各上家の融雪ヒーターの全体容量（KW）に稼働時間と電気料金を用いて、それぞれの制御による電力料金を導き、気温制御から積雪センサ制御の値を引いて算出した。

2018年度は、9上家の合計で約1,100万円の電力料金削減となり、CO₂削減量は174トン（杉の木CO₂吸収量換算：約12,400本に相当）であった。当システムの削減効果から、導入箇所の増加に比例して、合計の削減金額・削減量もそれに比して増加することになる。

6. まとめ

安全かつ安定的な輸送と経費削減の両立を目指す場合、まずは安全を優先して設備するのが一般的であるが、本システ

ムは雪の有無を確実に捉えることから従来の自動制御センサより安全であり、またそのことにより必要な時のみ稼働するのでかなりの省エネも実現できる。さらに近年の豪雪対策としても有効に機能しており、5年間の本稼働で安定した稼働も実証されている。

コスト面では、積雪センサシステムの初期投資に対し、融雪マットの面積にもよるが、メンテナンス費を考慮しても2～3年で電力料金の削減により回収できる。

本装置は既設の融雪装置にほとんど改良を加えることなく導入可能である。融雪マットの面積が大きいほど、省エネ効果のメリットが大きいため、管内の融雪マット設置箇所に優先順位をつけ、毎年少しずつ導入箇所を増やし、支社内水平展開を順次図っている状況である。

今後も本システムが冬期に快適にご利用いただける駅の実現とサービス品質向上に寄与することを広く周知し、導入促進に積極的に取り組む所存である。

（参考文献）

- 1) 山崎 三知朗：路面積雪センサを応用したホーム屋根融雪制御システムの開発 ～検知・監視能力を活かした鉄道分野への適用～ ふゆトピア 2014 釧路 第26回研究発表会論文集

構内	名称	全体容量 ^a (kW)	従来気温制御		画像処理システム制御		従来-画像	
			稼働時間 (h)	電力料金(円) ^a	稼働時間 (h)	電力料金 (円) ^b	電力料金(円) 削減額(a-b)	CO ₂ 削減量(t)
越後湯沢	1号	31.4	2,546	1,841,919	1,171	847,167	994,752	24
越後湯沢	3号	17.8	2,546	1,044,145	1,232	505,258	538,887	13
越後湯沢	4号	48.8	2,546	2,862,600	963	1,082,751	1,779,849	42
越後湯沢	6号	19.1	2,546	1,120,403	1,090	479,670	640,733	15
小出	3号	55.0	2,504	3,173,069	684	866,765	2,306,304	55
小出	4号	23.8	2,504	1,373,073	513	281,305	1,091,769	26
十日町	2101号	16.4	2,573	972,223	691	261,098	711,125	17
石打	1号	33.0	2,546	1,935,775	1,106	840,914	1,094,861	26
越後川口	4号	49.8	2,504	2,873,070	741	850,217	2,022,852	48
	9棟		17,765	17,196,277	8,191	6,015,145	11,181,132	174

※ 0.000545

※東北電力2016 自営電力発電所の単位発電量あたりのCO₂排出量(0.545kg-CO₂/kwh)により算出

※ 電力料金は、設計総電力をもとに電気使用量を算出
電気料金は、東北電力 融雪用電力 BII契約 (23.04円/kwh) により算出

CO₂削減量(本)

12.422

表2 2018年度 各現場ごと電気料金及びCO₂排出量削減状況