

省エネ型持込み雪用融雪装置のフィールド試験



矢島 武幸^{*1}



関原 孝宣^{*2}

Field tests of an energy-saving snow melting equipment for snow brought in by the train

Takeyuki YAJIMA^{*1}, Takanori SEKIHARA^{*2}

^{*1} Assistant Chief Researcher, Energy and Environment Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

^{*2} Chief Researcher, Energy and Environment Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

We have developed the snow melting equipment for snow brought in by the train, aiming to reduce the energy consumption of conventional equipment. Developed equipment has a thermography camera to understand condition of snow melting and uses the data for control. Using this developed product, field tests were conducted on Iiyama Line in the winter of 2023. As a result, there were no problems with snow melting performance throughout the test period. Test data showed that the developed product reduced energy consumption by 78% and carbon dioxide emissions by 1.6 tons compared to conventional products. Actual implementation was also considered, but the high initial implementation costs remain an issue.

●**Keywords:** Energy-saving, Snow melting equipment, Thermography camera, Field tests

^{*}JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 副主任研究員

^{*}JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 主任研究員

1. はじめに

降雪の多いエリアでは、列車による持込み雪が発生することがある。この持込み雪による分岐器の不転換を防ぐため、分岐器の前後に持込み雪用融雪装置が設置されている。現行の持込み雪用融雪装置は、ガスまたは灯油を燃料にしてボイラで温水を生成し、ゴム製のマット内を循環させる方式になっている。融雪は常にマット全面を加熱し稼働時間が長く、エネルギー消費量およびCO2排出量が多い点が課題となっている¹⁾。

2. 本開発のねらい

省エネ型持ち込み雪融雪装置の開発では、これまでにエネルギー消費量の削減を目的に、融雪マット上の雪をサーモカメラで捉え、マット上の積雪状況に応じて加熱範囲を変化させる要素技術を開発してきた。これにより常時全てのマットを加熱する場合と比べ、実運用場面にて約27%の省エネ効果が見込める試算を得た²⁾。一方で実用化に向けて、次の課題が残っていた。一つは融雪装置をフィールドで運用するための制御が開発できていない点である。これまでの開発では融雪マットに雪を載せ、それに合わせて手で電源を入れる形で行ってきた。二つ目は、必要となる電力量が非常に大きい点である。これまでの開発品は1ヶ所あたり、電圧200V・電流100Aの電源が必要であった。三つ目は、鉄道のフィールドでの検証ができていない点である。これらの課題を解決するため、JR東日本長野支社の温水マット式融雪装置の仕様に合わせた省エネ型持込み雪用融雪装置を開発し、飯山線飯山駅16番ポイント(本線上)に設置のうえ、2023年度冬季ワンシーズンのフィールド試験を行った。

3. 開発した融雪装置

3・1 ハードウェア

開発した融雪装置を図1に示す。融雪マットは融雪面積 8m^2 とし、線路方向に5つのエリアに分けた。融雪マット出力について、これまでの研究では現行品（温水マット式融雪装置）と同等の融雪性能を目標に $2.2\text{kW}/\text{m}^2$ を導き出している¹⁾。今回の試験では、必要となる電力量の抑制をねらい融雪マットの出力を4種類（ $0.6\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $1.1\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $1.7\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $2.2\text{kW}/\text{m}^2$ ）に切替ができるようにした。融雪マット上の積雪検知はサーモカメラで実施し、コストダウンをねらい光電センサによる積雪検知も合わせて実施した。

3・2 制御方式

開発した制御方式を図2に示す。サーモカメラによる融雪マット上の積雪有無の判断は、「融雪マットを2分間加熱し、マット表面温度が 5°C 以上変化したら積雪なし、 5°C 未満の変化なら積雪あり」とした（以下、「積雪チェック運転」という）。この積雪チェック運転を30分に1回行うことにした。融雪出力は4種類の出力（ $0.6\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $1.1\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $1.7\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $2.2\text{kW}/\text{m}^2$ ）から2つを選び、小さい方を「弱運転」に大きい方を「強運転」に割り当てる。この割り当てる値を、一定期間で変えながら試験を行った。「弱運転」は、「気温と降雪のAND条件」で運転開始とした。これにより「気温と降雪のOR条件」で運転制御を行っている現行の温水式マットよりも、運転開始のタイミングを遅らせて省エネを図った。積雪チェック運転によりマット上に積雪を検知した際は、当該エリアのみ「強運転」を行い、雪が融けたら「強運転」を停止する制御とした。この「気温と降雪のAND条件」による「弱運転」は、積雪が発生した場合は「積雪チェック運転」により検知ができるため可能となった方法である。

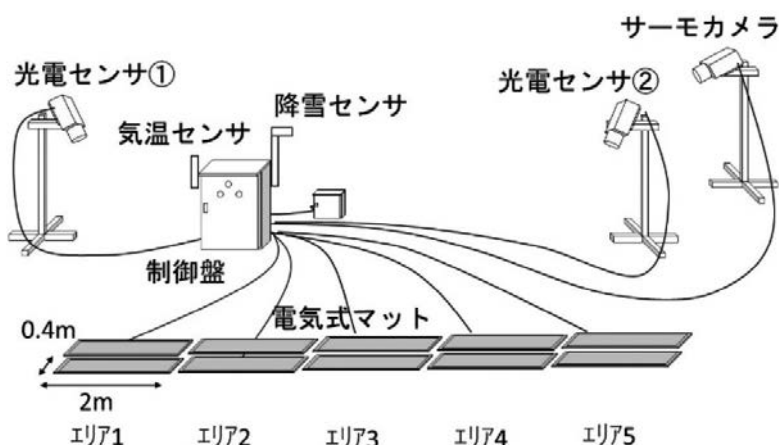


図1 開発した融雪装置

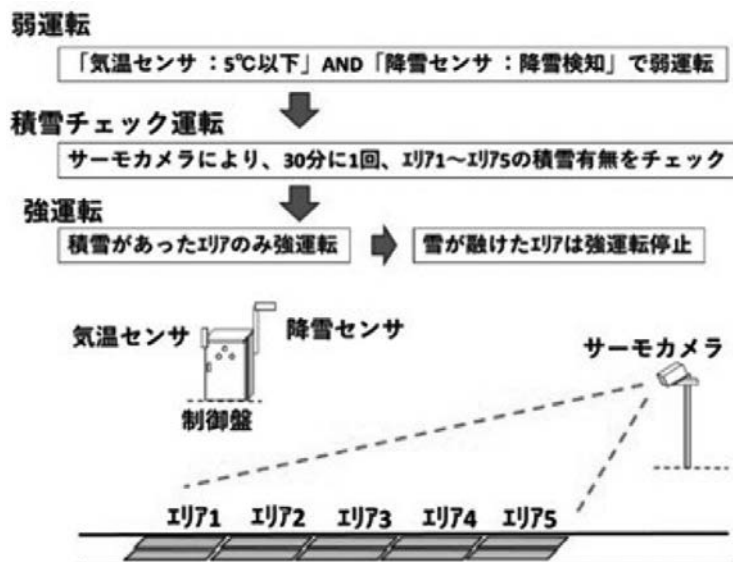


図2 開発した融雪装置の制御方式

4. フィールド試験

4・1 試験内容

開発した融雪装置を、飯山線 飯山駅16番ポイントに設置した(図3)。フィールド試験は2023年12月1日～2024年2月29日の3ヶ月間行った。試験では、「融雪装置をフィールドにて終日運用し、システム全体の動作や融雪性能を確認する運用試験」と、「雪を人手で融雪マット上に載せて、マット出力や制御方式を変更しそれぞれの性能を確認する性能試験」を行った。「運用試験」では、表1に示すように、一定期間で「強運転」と「弱運転」のマット出力および制御方式を変えて試験を実施した。

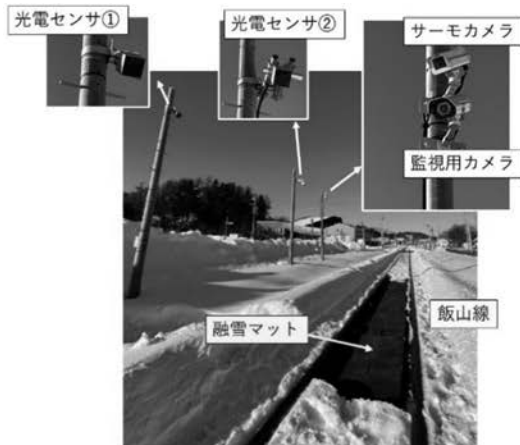


図3 開発した融雪装置の現地設置状況

表1 各期間における試験内容、制御方式、マット出力

期間	試験内容	制御方式	強運転 kW/m ²	弱運転 kW/m ²	積雪チェック 運転 kW/m ²
12/1～12/21	運用試験	光電センサ	2.2	0.6	—
12/22～1/9			2.2	1.1	—
1/10～1/14		サーモカメラ	2.2	1.1	2.2
1/15～1/19	性能試験	—	—	—	—
1/20～1/25	運用試験	サーモカメラ	1.7	0.6	2.2
1/26～2/1			1.1	0.6	2.2
2/2～2/29			1.1	0.6	1.1

4・2 試験結果

運用試験の結果、全ての期間で問題なく融雪が行えることが確認できた。分岐器の不転換の発生もなかった。試験期間中の最大の積雪(46cm/日)となった2月5日の試験時の様子を図4に示す。2月5日は「サーモカメラ制御」、「融雪マット出力は、強運転1.1kW/m²、弱運転0.6kW/m²」で試験を実施した。融雪マットの継ぎ目に積雪はあったものの、マット上面の融雪は問題なく行えておりマット出力、運用ともに良好な結果であった。また、1月8日にはラッセル車によるマット全面の持込み雪が発生したが、50分で融雪が完了した(図5)。一方、コストダウンをねらった光電センサによる積雪検知(赤外線を照射し、路面が白くなり反射赤外線が大きくなると雪を検知)は、サーモカメラと比べ検知が安定しなかった。その後の調査の結果、光電センサと融雪マットの距離が離れ過ぎていたため、センサ感度が十分でなかったことが分った。今回は線路中心から5m離れた柱上に設置したが、3.5m以内にする必要があった。



図4 最大積雪(46cm/日)となった2月5日の融雪状況



図5 ラッセル車による持込み雪の発生と融雪状況(1月8日)

5. 評価および考察

5・1 エネルギー消費量

フィールド試験期間（3ヶ月間）の「開発品」と「現行品」のエネルギー消費量を比較すると、開発品のエネルギー消費量は現行品の▲78%となった（表2）。また、CO2排出量の削減は▲1.6t-CO2となった。開発品では「気温と降雪のAND条件にして運転開始タイミングを遅らせ運転時間を短縮したこと」、「積雪があるマットのみ加熱し、雪が融けたら運転を停止したこと」がエネルギー消費量の削減に寄与したと考える。

表2 エネルギー消費量の比較（開発品と現行品）

期間	開発品		現行品	
	運転時間 h	エネルギー 消費量 kWh	運転時間 h	エネルギー 消費量 kWh
12/1-12/21	9.8	111	101.2	1,591
12/22-1/9	83.3	955	173.5	2,738
1/10-1/14	23.6	220	66.1	1,049
1/20-1/25	43.9	261	57.8	926
1/26-2/1	45.5	220	66.4	1,047
2/2-2/29	199.2	635	227.9	3,592
合計	405.3	2,402	692.9	10,943

▲42% ▲78%

開発品

- ・「エネルギー消費量2,402kWh」＝開発品の「電力消費量2,402kWh」
- ・CO2排出量＝2,402×0.406＝975kg・・・①
- ※電力の排出係数：0.406kg-CO2/kWh

現行品

- ・「エネルギー消費量10,943kWh」＝現行品の「LPガス消費量392m³」を熱量換算したもの（LPガス熱量：100.5MJ/m³）
- LPガス392m³×100.5MJ/m³＝39,396MJ＝10,943kWh
- ・CO2排出量＝392×6.6＝2,587kg・・・②
- ※LPガスの排出係数：6.6kg-CO2/m³

CO2排出量の削減＝②－①＝2,587－975＝1,612kg＝1.6t

開発品

- ・「エネルギー消費量2,402kWh」＝開発品の「電力消費量2,402kWh」
- ・CO2排出量＝2,402×0.406＝975kg・・・①
- ※電力の排出係数：0.406kg-CO2/kWh

現行品

- ・「エネルギー消費量10,943kWh」＝現行品の「LPガス消費量392m³」を熱量換算したもの（LPガス熱量：100.5MJ/m³）
- LPガス392m³×100.5MJ/m³＝39,396MJ＝10,943kWh
- ・CO2排出量＝392×6.6＝2,587kg・・・②
- ※LPガスの排出係数：6.6kg-CO2/m³

CO2排出量の削減＝②－①＝2,587－975＝1,612kg＝1.6t

5・2 融雪マット出力および制御方式

試験の結果、マット出力については「強運転1.1kW/m²」「弱運転0.6kW/m²」で融雪性能が確保できることが分かった。これにより、融雪装置で必要となる電力量をこれまでの想定（マット出力2.2kW/m²）の半分にすることができ、設備導入時の電力設備改良の負担軽減を図ることができる。また、制御方式については光電センサによる積雪検知が安定しない場面があったため、サーモカメラ制御が効果的であると判断した。

6. 実導入に向けた調整・検討・考察

6・1 実導入に向けた調整・検討

開発品の実導入に向けては、試験を行った飯山線 飯山駅の同構内の26番ポイントをターゲットに現地調査を行った。開発品の設置案を図6に、概算費用を表3に示す。初期導入費は25,100千円となり、現行品の初期導入費13,600千円と比べ11,500千円の費用増となる。一方、開発品は現行品に比べエネルギーコスト削減が▲240千円/年、CO2排出量削減が▲2.1t-CO2/年となりCO2を金額換算（5,000円/t-CO2）すると10.5千円/年となる。これより初期導入費の増分11,500千円をエネルギーコストとCO2排出の削減効果で回収するには46年（＝11,500/（240+10.5））が必要となり、融雪装置の耐用年数17年での投資回収は難しいことが分かった。



図6 開発品 飯山駅26番ポイント設置案

表3 開発品 飯山駅26番ポイント設置の概算費用

機械「機器・据付」					合計
部材費				工事費	
融雪 マット	制御盤	サーモ カメラ	その他部材 ・ケーブル ・杭 ・断熱材	設置工事	
700千円	11,200千円	3,400千円	1,000千円	8,800千円 ※うち 電源トラフ 5,000千円	25,100 千円

6・2 コストダウンに向けた考察

開発品の導入に向けて、さらなるコストダウンが必要なため考察を行った。その結果、「弱運転0.6kW/m²」と「強運転1.1kW/m²」を切替える仕組みの費用が高いことが分った。フィールド試験の結果、「弱運転」と「強運転」の運転時間比は12:88であった。これより「弱運転」をなくし「強運転」のみにしても、省エネ効果は大きく損なわれないと考えられたことから、マット出力を「強運転」のみにすることで約2,500千円のコストダウンが見込める。また、開発品では融雪マットを5分割としたことで電気部品等が5セット必要となりコスト増の要因になっていた。フィールド試験では、5分割したマットに対し「上り方2枚」と「下り方3枚」にまとめた2つのエリアとして検知する試験も実施しており、検知エリアの5分割と2分割とで融雪性能および消費エネルギーに大きな差異はなかったことから、融雪マットを2分割に変更する案を検討した。これにより、約1,000千円のコストダウンが見込める。

7. おわりに

持込み雪用融雪装置のエネルギー削減を目的に、融雪マット上の積雪の状況をサーモカメラで捉え、その情報を基に積雪がある箇所のみを加熱し、マット上の雪が融けたら加熱を停止する「省エネ型持込み雪用融雪装置」を開発した。飯山線 飯山駅にて2023年度冬季ワンシーズンのフィールド試験を実施し、性能等の検証を行った。その結果、開発品の融雪性能に問題がないこと、エネルギー消費量が現行品に比べて▲78%、CO₂排出量は▲1.6t-CO₂であることを確認した。開発品の実導入について、設置案の作成、初期導入費およびランニングコストの算出を行ったが、現行品に比べて初期導入費が高い点が課題となった。今後は初期導入費の低減に向けた機能の再検討および開発品のメリットが効果的に得られる箇所の選定などについて支社等と連携を取りながら検討を行っていく。

参考文献

- 1) 佐藤雄一郎、中谷興司、次期持ち込み雪用融雪装置の開発、日本鉄道サイバネティクス協議会、第58回シンポジウム論文、11月(2021)
- 2) 矢島武幸、中谷興司、佐藤雄一郎、省エネ型持ち込み雪用融雪装置の開発、日本鉄道技術協会(JREA)協会誌、9月(2023)