

# 登坂不能車対策におけるわだち部融雪ヒーターの試行導入

今井 翔太\* 1、星 和雄\* 1、小宮山 和也\* 1

## 1. はじめに

高速道路上における雪氷対策作業は、気象状況、交通状況、地形、道路構造等の情報を基に総合的に判断し、除雪トラックによる機械除雪作業、凍結防止剤散布作業、排雪作業等を実施している(図1)。また、機械除雪に適さない箇所及び円滑かつ安全な交通を確保する上で特に重要な箇所に対しては融雪設備を設置しており(図2)、料金所ゲート周り、サービスエリア等の休憩施設、ランプや急カーブ区間が該当する。

上記の融雪設備には、地下水等を路面に直接散水する散水融雪方式と、路面に埋設した電熱線等を用いる無散水融雪方式があり、施工箇所の気象条件等から最適な融雪方式を採用している。このうち、無散水融雪方式は、主に散水融雪が適さない地域において採用される融雪方式であるが、舗装全体を掘削して施工する必要があるため、電熱線等の発熱ユニットの施工に時間がかかることやインシヤルコストが高額になる傾向がある。また、舗装全体に対して融雪設備を設置するため、ランニングコストも高額になることが課題である。

上記の課題について、東日本高速道路(株)上越管理事務所では、車両のタイヤ部分のみを局所的に融雪する「わだち部融雪ヒーター」を上信越自動車道 上り線新井パーキングエリア流入ランプ(以降、新井PA(上)流入ランプ)(図3)に試行導入した。導入した製品は、舗装面に切削した溝に施工可能な製品であるため、従来の融雪方式と比べて短期間での施工が可能であり、インシヤルコストを抑えることが可能である。また、局所的な融雪範囲であるため、少ない消費電力で融雪可能であり、ランニングコストも抑えることが可能である。

本製品は近年各地で採用が増えているが、豪雪地域における導入事例は少なく、ヒーター1本当たりの融雪幅や融雪能力が分かっていない。そこで、令和4年度に新井PA(上)流入ランプに定点カメラを設置し、試行導入後の融雪状況を観測することで、融雪幅及び融雪能力の調査を実施した。

本論文は、上記の調査手法及び調査結果について報告するものである。



機械除雪作業



凍結防止剤散布作業

排雪作業

図1 雪氷対策作業状況



図2 融雪設備による融雪状況



図3 試行導入箇所(新井PA(上))

\* 1 (株)ネクスコ・エンジニアリング新潟

## 2. わだち部融雪ヒーターの試行導入

### 2.1 試行導入箇所

試行導入を実施した箇所は、新井PA(上)流入ランプである(図4)。流入ランプは縦断勾配2.1~4.9%の上り勾配区間(図5)であり、過去にPA内でのチェーンチェックに伴う渋滞時に登坂不能車が発生している。この流入ランプの一部範囲では、令和3年度より凍結防止剤散布装置を設置し対策を実施しているため、融雪ヒーターの試行導入範囲は、散布範囲の手前側20m(縦断勾配2.1%)とした。



図4 試行導入範囲

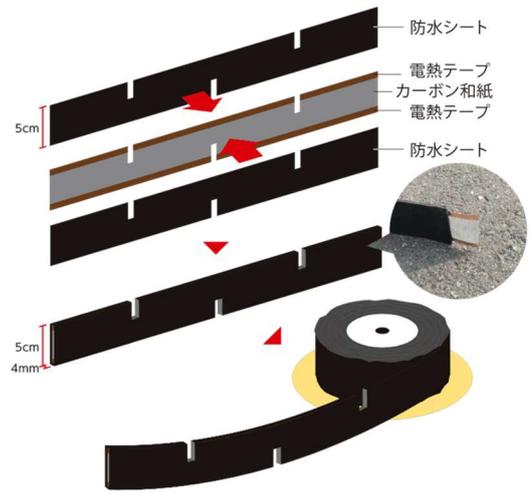


図6 製品イメージ<sup>1)</sup>

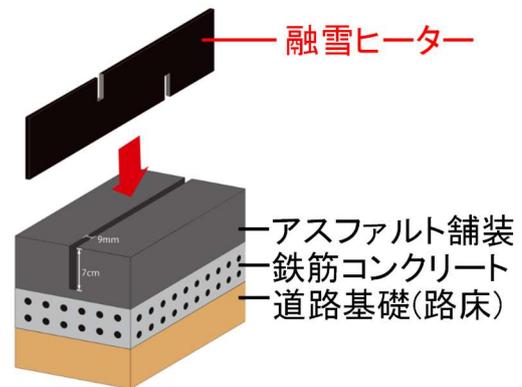


図7 施工イメージ<sup>1)</sup>

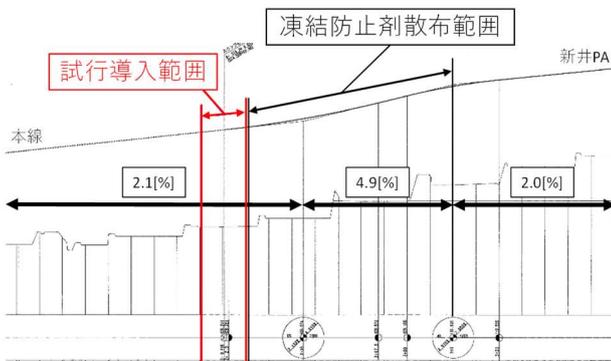


図5 試行導入範囲 縦断勾配図

表1 融雪ヒーター仕様(新井PA)

製品寸法	幅 50[mm] × 厚さ 4[mm] × 延長 20[m]
融雪延長	40[m] (20[m] × 2[本])
電圧	単相交流 200[V]
電流	20[A]
定格出力	100[W/m] × 20[m] × 2[本] = 4000[W]

### 2.2 製品概要

試行導入した製品は、熱源に和紙とカーボンを組み合わせた特殊な繊維素材を使用しており(図6)、アスファルト舗装に切削した幅9mm、深さ70mmの溝に施工し、側面の発熱部分からの熱伝導により舗装面を加温し融雪を行う製品である(図7)。試行導入したヒーターの仕様を表1、融雪状況を図8に示す。1m当たりの定格出力は100W/mであり、施工延長20mに対して左右のわだち部分にそれぞれ1本を施工した。

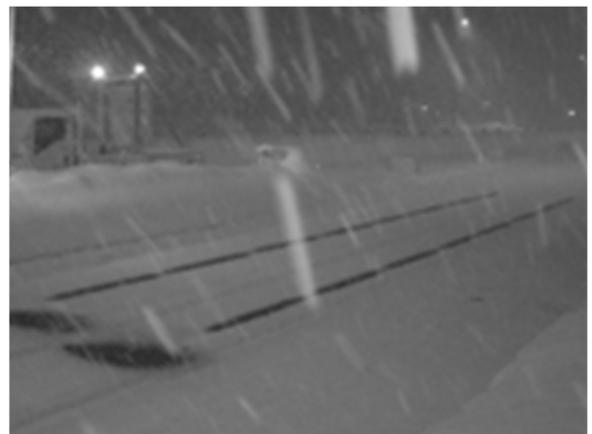


図8 新井PA 融雪状況

### 3. 調査手法

#### 3.1 融雪状況の観測手法

融雪状況を観測するため現地に定点カメラを設置し、融雪中の消費電力を調査するため制御盤内に電流及び電圧を測定・記録するデータロガーを設置した。定点カメラ及びデータロガーの仕様を表2に示す。定点カメラの撮影間隔及びデータロガーの測定間隔は10分間隔、設置期間は2022年12月23日～2023年3月17日とした。

表2 定点カメラ及びデータロガー仕様

目的	融雪状況の観測	電流・電圧の測定
手法	定点カメラ撮影	データロガー
使用製品	ハイクカム SP4G	KYORITSU KEW5020
間隔	1[枚/10分]	1[回/10分]
設置期間	2022年12月23日～2023年3月17日	

#### 3.2 融雪幅の算定手法

融雪幅の算定は、温度計を用いたヒーター付近の路面温度測定及び定点カメラ画像を用いた融雪幅計測により算定した。

#### 3.3 熱効率の算出手法

熱効率の算出は、融雪範囲1 cm<sup>2</sup>当たりに対して、融雪ヒーターが発生させる熱（供給熱量）に対する融雪に使用される熱（融雪熱量）の割合を用いて算出した。

10分間当たりの供給熱量は、データロガーを用いて測定した電流・電圧値、融雪幅より算出したヒーターの有効面積を用いて次式より求めた。

$$q_0 = (V \cdot A \cdot 3600 \cdot 10/60) / a \quad [\text{J}/\text{cm}^2]$$

$q_0$  : 供給熱量 [J/cm<sup>2</sup>]

$V$  : 測定電圧 [V]

$A$  : 測定電流 [Ah]

$a$  : ヒーター有効面積 [cm<sup>2</sup>]

また、10分間当たりの融雪熱量は降雪量に対する潜熱及び融解熱から次式より求めた。

$$q_1 = h_s \cdot \rho(334 + 2.1t_s) \quad [\text{J}/\text{cm}^2]$$

$q_1$  : 融雪熱量 [J/cm<sup>2</sup>]

$h_s$  : 10分降雪量 [cm] (上越高田IC降雪量)

334 : 氷の融解潜熱 [J/g]

2.1 : 氷の比熱 [J/g・°C]

$\rho$  : 降雪密度 [g/cm<sup>3</sup>] (新井高架橋気温値から算出<sup>2)</sup>)

$t_s$  : 雪温の絶対値 [°C] (新井高架橋気温値)

熱効率は、供給熱量及び融雪熱量から次式により求めた。

$$e = (q_1/q_0) \cdot 100 \quad [\%]$$

なお、融雪熱量は降雪量がヒーターの融雪能力より少ない場合は過小となり、降雪量がヒーターの融雪能力より多い場合は過大となる。そのため、降雪量とヒーターの融雪能力が近くなる期間を満たす下記の2期間を抽出し熱効率を算出した。

期間①：積雪状態から融雪完了までの期間

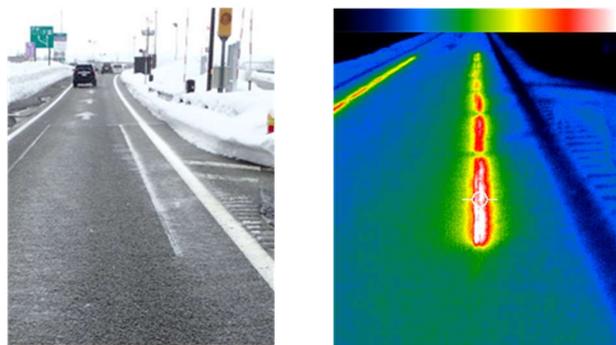
期間②：融雪状態から積雪開始までの期間

### 4. 試行導入結果

#### 4.1 融雪幅

現地写真及びサーモグラフィ画像を図9、温度計を用いた路面温度の測定状況を図10、測定結果を表3に示す。気温2.1°C、路面温度5.3°Cの気象状況において、ヒーター中心の路面温度は12.4°Cであったが、100 mm離れると8.9°Cに低下することがわかった。

定点カメラ画像(図11)を用いた融雪幅の計測結果を表4に示す。異なる日時において融雪幅を計測した結果の平均融雪幅より、本製品の融雪幅は150 mmとした。なお、融雪幅より試行導入範囲の有効面積は、6 m<sup>2</sup> (40 m×0.15 m)である。



現地写真

サーモグラフィ画像

図9 現地写真及びサーモグラフィ画像



図10 路面温度 測定状況

表3 路面温度 測定結果

ヒーター中心からの距離 [mm]	測定温度 [°C]
0(ヒーター中心)	12.4
100	8.9
200	7.9
300	7.2
400	6.9
500	6.3

※気温 2.1[°C] 路面温度 5.3[°C]

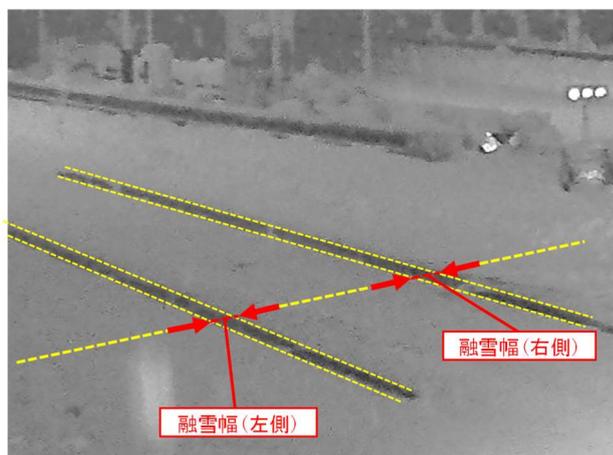


図11 融雪幅計測

表4 融雪幅 計測結果

月 日 時刻	融雪幅 [mm]	
	左側	右側
1月27日 3:30	156	161
1月28日 4:20	156	161
1月30日 0:10	140	133
1月31日 8:00	132	154
2月26日 0:10	186	133
2月26日 3:00	155	133
平均	150	

#### 4.2 熱効率

熱効率の算出条件である期間①・期間②を満たす期間は、表5に示す3期間であった。各期間において10分毎の供給熱量及び融雪熱量、熱効率を算出した。抽出期間1における10分毎の各熱量及び熱効率を表6に示す。抽出期間1の熱効率の平均は60%であった。同様に、抽出期間2-1、2-2に対して熱効率を算出した結果、熱効率はそれぞれ70%、74%であり、各抽出期間の熱効率の平均は68% ((60+70+74)/3) であった。

表5 熱効率 算出期間

抽出期間		日時
1	期間①	2023年1月28日 19:50~21:40
2-1	期間②	2023年1月27日 18:30~19:20
2-2		2023年1月28日 19:00~19:50

表6 抽出期間1 熱効率算出結果

月 日 時刻	融雪状況	融雪熱量 $q_1$ [J/cm <sup>2</sup> ]	供給熱量 $q_0$ [J/cm <sup>2</sup> ]	降雪量 $h_s$ [cm/10min]	気温 $t$ [°C]	熱効率 $e$ [%]	
1月28日 19:50	積雪状態	20.1	32.4	0.8	-3.1	62%	
1月28日 20:00		19.1	32.5	0.8	-3.1	59%	
1月28日 20:10		20.4	31.7	0.9	-2.9	64%	
1月28日 20:20		12.6	31.7	0.4	-2.6	40%	
1月28日 20:30		26.4	32.4	1.3	-2.7	81%	
1月28日 20:40		24.6	32.7	1.2	-2.8	75%	
1月28日 20:50		26.4	32.7	1.3	-2.7	81%	
1月28日 21:00		14.4	32.7	0.5	-2.7	44%	
1月28日 21:10		16.8	33.0	0.7	-2.7	51%	
1月28日 21:20		27.3	33.0	1.4	-2.6	83%	
1月28日 21:30		11.8	32.9	0.4	-2.6	36%	
1月28日 21:40		融雪完了	14.9	32.9	0.6	-2.5	45%
合計(平均)		234.9	390.5	10.3	(-2.75)	(60%)	

#### 5. 考察

ヒーター1本当たりの融雪幅は150mm程度であることから、複数本を施工する場合には、150mm程度の間隔で施工することで融雪効果が得られると考える。なお、登坂不能車の多くは大型車両でありタイヤ幅が600~700mm程度であることから、登坂不能車対策に対しては、4~5本程度の施工が必要であると考える。

また、本製品の豪雪地域における平均熱効率は68%であることから、所要発熱量の算定時には熱効率68%を考慮して製品仕様を決定することで、最適な融雪設備の施工が可能となると考える。

#### 6. おわりに

本論文では、登坂不能車対策として試行導入した「わだち部融雪ヒーター」についての調査手法及び調査結果を報告した。融雪設備の施工を行う際には、経済性・施工性・融雪能力・維持管理性等を総合的に判断し、施工箇所毎に最適な融雪設備を選定していくことが重要であると考えられる。

今後とも、お客様に対して安全・安心・快適・便利な高速道路をご利用いただけるように、冬季の道路管理に努めていきたい。

#### 参考文献

- 1) 株式会社太陽 HP: <https://taiyo-sheet.jp/>
- 2) 日本道路協会, 1990: 道路防雪便覧, p.16