＜研究ノート＞

LED 車両用信号灯器の着雪凍結対策

青森職業能力開発短期大学校　　西野　元一

Countermeasures against snow or ice accretion on LED traffic lights

Motokazu NISHINO

要約　LED 信号灯器は省エネの観点から近年急速に普及が進む一方、冬期間の着雪・凍結による交通事故誘発の危険性が問題視されている。本稿は、この問題解決のため立ち上げられた青森県産学官連携共同研究プロジェクトの概要と各機関の役割、ならびに本校が学生教育の一環として取り組んでいる融雪および振動による対策の手法と効果に関する中間報告である。 融雪法は消費電力が大きいためその利用が限定されること、一方、振動による対策法は数ワットの非常に小さな電力でも高い着雪凍結防止効果が期待できることを明らかにしている。

Ⅰ　はじめに

LED（発光ダイオード）信号灯器は、平均消費電力が 10 W 程度と小さく、従来の電球式信号灯器の 60～80 W に比べて省電力であること、数万時間程度と長寿命であること、さらに太陽光を正面から受けたときに生じる疑似点灯（ファントム）現象が無いこと等の特徴から普及が進められている。北海道・東北や日本海側の積雪寒冷地域では、冬になると雪や氷が灯器表面に付着して視認性を悪化させ、交通事故を誘発する原因となっている。この問題は電球式灯器においても発生するが、低消費電力ゆえ発熱量が小さい LED 式灯器でとくに深刻である。平成 28 年 2 月には四国九州の普段雪がほとんど降らない地域においても LED 信号灯器への着雪問題が発生し、全国的に対策への関心が一気に高まっている。青森県では、平成 26 年に県警本部が中心となって産学官連携共同研究プロジェクトを立ち上げ、県内各機関や本校が各種対策を進めることとなった。本報告では、プロジェクトの概要と各機関の役割、および本校学生が卒業研究（総合制作実習）のテーマとして取り組んでいる各種着雪凍結対策の手法と効果について述べる。

Ⅱ　対策品の現状と産学官連携体制

交通信号灯器は、車両用と歩行者用に大別され、構造や性能等に関しては警察庁が発行する仕様書[(1)]において詳細に規定されている。車両用灯器は、交差点の地上 5m 程度の高さに設置されるためその大きさを実感しにくいが、メーカーにより若干異なるものの、実物は縦 420mm 程度、横 1300mm 程度とかなり大きい。また信号表示面として、直径 200、250、300、および 450mm の 4 種が仕様では認められているが、300 mm の赤黄青 3 色灯器が一般的である。

信号灯器は、青色発光ダイオードの発明をきっかけに LED 化され、1994 年愛知県庁前の第 1 号機設置を皮切りに全国的に普及し、現在旧式の電球型は製造さ

図 1　信号灯器の雪や氷を除去する警察官
2015 年 1 月 7 日　弘前市内　青森県警提供

論文受付日　H28. 12. 26

れていない。青森県内の車両用信号灯器数は、約 2600 基（交差点数）15000 灯（台数）であり、このうち全国平均を上回る約 45%が LED 化されている。冬期間、灯器表面へ雪あるいは氷が付着し赤黄青の識別ができなくなると県警には多くの苦情が寄せられ、図 1 に示すように、警察官あるいは委託業者は長尺ブラシを用い人海戦術によってその除去に対応している。着雪・着氷防止対策として、本稿執筆時点で特許 25 件、実用新案 13 件が現在国内で登録されている[(2)]。しかしながら、理論的解析や実験データに裏付けられ、実用化可能で有効と考えられる案件は数件ときわめて少ない。

現在実用化されている対策機として、図 2(a)に示すような切り妻状の半球カバー型や、図 2(b)に示す凹凸

(a)切り妻半球型　　(b)フラット傾斜型

図 2　実用化されている着雪しにくい信号灯器

がほとんど無く薄いフラット傾斜型が登場しているが、吹雪時には着雪が生じ、その防止効果は限定的である。また、超撥水塗装型が一時設置されたが、砂塵や紫外線等に対する耐久性に乏しく、数ヶ月程度で効果がなくなるため製造中止となり現在使われていない。加熱ヒータ付き灯器は 100W 超の膨大な電力消費がネックとなり、ごく一部の灯器において試験的に利用されて

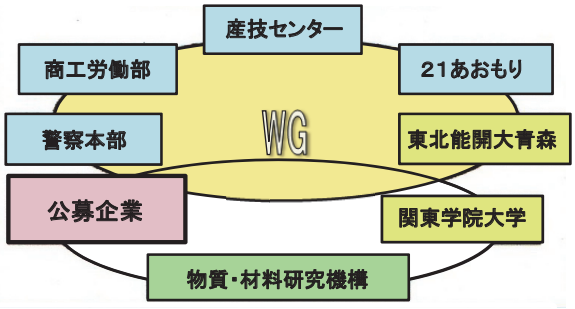


図 3　産学官連携体制

上段楕円上がワーキンググループ構成機関。県の産業技術センターが中心となり当校と関東学院大学は技術的諸問題を連携して解決。県商工労働部は産業界への働きかけと政策支援を、21 あおもり産業総合支援センターは国内研究機関や企業への働きかけを担当。

いる。

「青森県警察 LED 信号灯器着雪・凍結対策に関するワーキンググループ(WG)」は、安全・安心な交通社会実現に対する青森県民の強い要望に応えるため設置され、図 3 のように[(3)]県内外機関が相互連携しながら県の重点事業として研究・開発を行うこととなった。工業技術総合研究所（産技センター）は着氷雪モニタリングシステムを構築し、着雪凍結メカニズムの解明と各種試作品の評価を、当校は融雪および振動による雪氷の剥離効果の検証と試作品の作製を、関東学院大学は表面加工と低消費電力ヒータの開発をそれぞれ担当している。県商工労働部は産業界への働きかけと政策支援を、21 あおもり産業総合支援センターは国内研究機関や企業への働きかけをそれぞれ担っている。

着雪凍結対策のステップとして、後付けカバーの取り付けなど、既存の設置済み LED 信号灯器の改良を最優先し、将来的には着雪・凍結しにくい“made in AOMORI”の信号灯器を開発・製造し、県内技術の向上と産業活性化も視野に入れている。

III　融雪および振動による雪氷除去効果

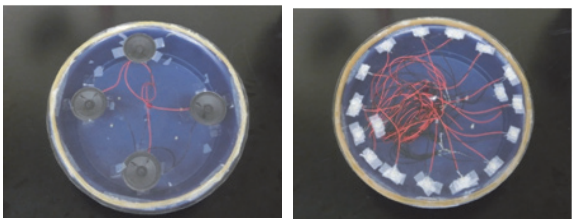
1　試作機および実験方法

車両用信号灯器メーカーは国内に 10 社ほどあるが、青森県内では概ね 3 社の製品が稼働している。形状はメーカーや型式により少しずつ異なるため、外付けの汎用カバーを作製して表示レンズ部に被せ、融雪あるいは振動により着雪凍結対策をとることにした。図 4 に屋外で

図 4　試作機およびカバー素材の耐久試験

レンズ部を透明樹脂で覆い、振動素子およびヒータを取り付けた。信号灯器は旧式電球型であるが、点灯させないため発熱量はゼロである。L アングル製フレーム両脇に各種透明樹脂材を取り付け、通年大気暴露し耐光性や強度を評価している。

の観測の様子を示す。汎用カバーは 300mmφの透明樹脂と空調ダクト用塩ビ製フランジとで作製し、直接またはゴム等柔らかな材質を介して接合の後、0.1mmφのニクロム線ヒータおよび小型スピーカや携帯電話用超小型モータ振動素子を取り付けた。透明樹脂材としてPMMA（アクリル）、PET（ポリエチレンテレフタレート）、PS（ポリスチレン）、PE（ポリエチレン）、PVC（塩化ビニール）、PVDC（ポリ塩化ビニリデン）を用い、厚さは 0.03～2mm とした。試作機および透明樹脂サンプルを通年屋外に設置し、紫外線や砂塵等に対する耐久試験を行うとともに、冬期間の着雪凍結防止効果を観測した。なお、信号機本体は旧式の白熱球型を流用しているが、点灯させていないためレンズ部分の発熱はゼロである。



(a)スピーカ 4 個　　(b)バイブレータ 20 個

図 5　振動効果評価用ダミー

また、雪の無い4月から12月にかけては、図5に示すような信号灯器のレンズ部を模した 300mmφ のダミーを作製し、温度湿度を任意に設定できる環境試験装置内において実験室レベルでの基礎データの取得を行った。振動素子として、50mmφ の音響スピーカ、およびスマートフォン用バイブレータモータを振動素子として用い、透明カバー周辺部に等間隔で配置した。

2　実験結果

2-1　カバー用透明素材の耐久性

カバー用透明素材の屋外における耐久試験において、PS、PE、PVC、PVDC は白濁や透明度の低下が見られ、厚さ 0.05mm 以下の素材は数週間程度で破損した。一方厚さ 0.2mm 以上の PMMA や PET は、表面に若干のキズがつくものの 1 年以上経過しても透明度の劣化や破損はなく、カバー用透明素材として十分利用できることがわかった。

2-2　融雪による着雪防止効果

図 6 に環境試験機内でのヒータの加熱特性を示す。評価用試料は、厚さ 1mm、1 辺 120mm の正方形アクリル板表面に 0.1mmφのニクロム線を約 20mm 間隔で貼り付け作製した。表面温度は、供給電力増加に対しほぼ直線的に上昇した。周囲温度がマイナス 10℃の場合、表面温度を 0℃以上とするのに必要な電力は、ニクロムヒータ線直上で 3W、温度が一番低くなるニクロムヒータ線間では 15W 必要であることがわかる。

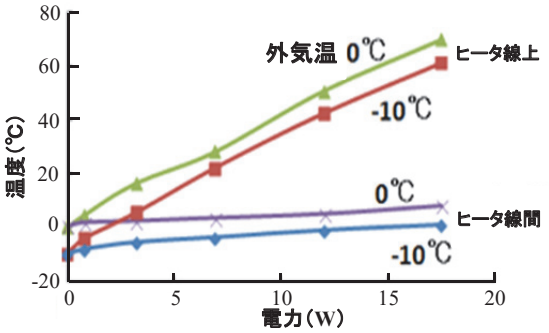


図 6　加熱特性

図 7 は吹雪時の融雪実験記録である。青森県平野部の最低気温が氷点下 10℃程度となること、および前述の実験データを基に、レンズ上部 1/4 に 20W の電力を供給した。加熱部には着雪が無く、着雪防止効果が確認できる。この結果から発光面全体を融雪するには、60～80W の電力を必要とし、さらに赤黄青 3 色全面を融雪するには 200W 以上の電力が必要になってしまうことになる。雪を溶かすために必要なエネルギー Q [J] は次式で与えられる。

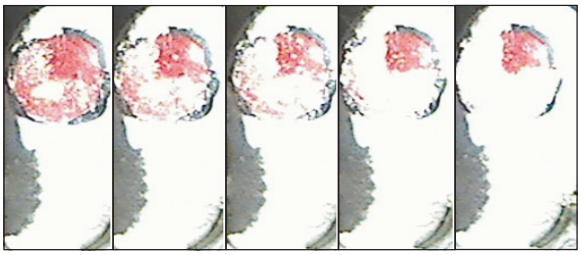


図 7　融雪による着雪防止効果の検証

2015 年 2 月 13 日 吹雪 風速 15m/s 気温-1 度　　18:25 から 1 分間隔で撮影。ヒータは透明カバー表面の右上 1/4 の面積に敷設し 20W供給。 非加熱箇所は 5 分間で約 3cm の着雪があったが、加熱箇所は着雪無し。

$$Q = V \times \rho \times q \qquad (1)$$

ここで、V は雪の体積 [m^3]、ρ は雪の密度 [g/cm^3]、q は融解熱（潜熱）であり、雪（氷）の場合 335[J/g]である。ρ は乾性新雪の場合 0.05 [g/cm^3]、湿性新雪の場合

[g/cm^3]と大きく変化するが、いま 0.1[g/cm^3]と仮定してレンズ面全体 300 mmφに付着した 3cm 厚の雪を溶かすには 85kJ のエネルギーが必要となる。この値は、同量の雪を 5 分間で融かすためには 300W もの膨大なヒータ電力が必要であることを意味し、LED 信号機の省エネ性を活かすには、他の手法との併用が必要不可欠となる。

2-3　振動による着雪防止効果

図 8 は、カバーの透明樹脂に 0.5mm 厚 PET 板を用いた場合の振動周波数と樹脂表面（カバー中心部）の振動変位量の関係を示している。55mmφのスピーカ 4 個を

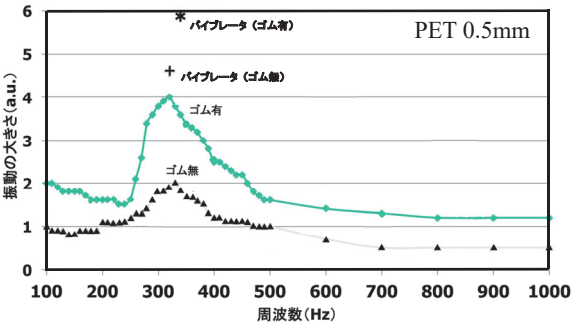


図 8　周波数に対する振幅変化

透明レンズ表面にレーザ照射し、その反射光から評価した。
330Hz 付近で振幅が最大となった。

透明樹脂裏面に直接貼り付け、それぞれに 0.75W の信号を同相供給している（合計 3W）。330Hz 近傍で共振し、振幅が最大となっている。カバー中心部の振幅は、フランジとの接合部付近(外周部)に比べ約 50%大きかった。また、透明樹脂をゴムのような柔らかい素材でフランジと接合した場合（図 8 においてゴム有と表記)、直接接合した場合（ゴム無し）に比べて約 2 倍の振幅が得られた。振動素子にモータ型バイブレータ 20 個用いた場合、振幅はスピーカ 4 個使用時の約 1.5 倍となった。このとき振動周波数は 330Hz となり、スピーカでの結果と一致し、その消費電力は 1 個あたり 0.2W であった。透明樹脂を 1mm の PMMA とした場合、振幅は大きく減少し、0.5mmPET 板使用時の約 30%程度となった。

バイブレータ 20 個、0.5mmPET 板ダミーを用いた着雪除去実験をマイナス 1℃の気象条件にて行った結果、約 1 分半程度で透明カバー全体の着雪を除去できた。このとき振動素子への供給電力は 4W と小さな値であった。LED 信号灯器（赤黄緑 3 色灯器）は、1 機あたり 20W で電力会社と契約しており、利用できる電力余力は最大でも赤色灯点灯時の 10W 程度であるから、この振動による着雪防止効果は非常に期待が大きい。

Ⅳ　おわりに

LED 信号灯器の着雪・凍結対策に関する青森県産学官連携ワーキンググループの概要と、当校が取り組んでいる融雪法および振動法による防止策について途中経過を述べた。

加熱ヒータを用いた融雪法は、3 色信号灯器 1 機あたり 200W 程度の大電力を必要とすること。一方、振動法は 5W 程度の低消費電力でも着雪･凍結に対し相当の効果があることを明らかにした。しかしながら振動法は、着雪とほぼ同時に雪氷が強固に凍結固着してしまうような過酷な気象条件の場合、着雪凍結防止効果が急激に弱まるため補助的な加熱融雪は必要である。また、振動素子が常時稼働状態では騒音や耐久性に問題がある。この解決として、着雪・凍結を検知し必要時のみ稼働させる機能の付加を現在検討している。

「融雪」、「振動」、「表面加工による親水 or 撥水」にはそれぞれ一長一短があり、WG ではこれら 3 つの手法を柱として各機関が分担・協力して今後も研究･開発を進めるとともに、知的財産権を確保しながら、地元企業の技術力向上や産業活性化を図り、安全･安心な冬季の交通社会実現のため、上記 3 つの手法を組み合わせた実用機の開発と市販化を平成 30 年度内に実現させることを目指している。

[参考文献]

(1)　警察庁、警交仕規第 1014 号「版 1」　制定 2009-03-10
(2)　特許庁、特開 2014-59644、特開 2013-12116、特許第 5314798
(3)　青森県警、「県民、国民が安全・安心を実感できる交通社会実現のために」、2015