

指向性照明およびGNSSを用いた 除雪車オペレータ等への視線誘導装置の開発

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○山崎 貴志

除雪車での走行や除雪では、吹雪による視界不良や積雪・堆雪により路側線や道路付属物等を認識することが困難な場合があり、この対策として、視線誘導を行う矢羽根やスノーポール等が設置されているが、視線誘導の効果は設置されている箇所に限定される。そこで、走行中においても連続的に視線誘導を行うことができる技術を検討し、指向性照明、電動雲台およびGNSS等を用いた試験装置を開発して動作試験を行った。

キーワード：除雪車オペレータ、視線誘導、指向性照明、GNSS

1. はじめに

除雪車での走行や除雪では、吹雪による視界不良や積雪・堆雪により路側線・中央線や道路付属物等を認識することが困難な場合があり（写真-1）、このような状況では、道路逸脱、対向車線へのはみだし、ガードレールや縁石等との衝突等が生じる可能性が高まってしまう。このため、路側線や道路付属物等の位置を除雪車オペレータ等が認識しやすいようにする目的で、視線誘導を行う矢羽根やスノーポール（写真-2）等が設置されているが、これらの視線誘導の効果は設置されている箇所に限定されるとともに、道路全線にわたってこれらの施設を設置することは費用的にも労力的にも困難である。そこで、走行中においても連続的に視線誘導を行うことができる技術として、自車両から路側線等の位置を光により指し示す装置を検討し、指向性照明、電動雲台およびGNSS等を用いた試験装置を開発して動作試験を行った。



写真-1 吹雪による視界不良（左）と積雪・堆雪による路側線等の隠蔽（右）



写真-2 矢羽根およびスノーポール

2. 視線誘導装置の概要

視線誘導装置の開発イメージを写真-3に示す。本視線誘導装置は、除雪車のキャビン上部等の高い位置に設置し、自車前方の路側線等の位置に向けて指向性の高い光線を照射するものである。本装置の主要な構成要素は、指向性の高い光線を発する指向性照明装置、指向性照明装置をロール方向に動かすことで道路横断方向の自由な位置に光線照射方向を調節する電動雲台、自車の位置を精度良く把握するcm級測位が可能なGNSSシステムである。また、光線の照射方向の目標となる箇所の位置情報（道路中央線や路側線等の位置情報）が必要となる。



写真-3 視線誘導装置のイメージ

3. 視線誘導装置の主要構成要素

本装置の主要な構成技術要素は以下のものである。

(1) 指向性照明装置

指向性の高い光線としては完全な平行光線であるレーザー光が優れた性質を持つが、安全性や価格の問題から本視線誘導装置への適用は困難なため、LEDを利用した指向性照明装置を開発し適用した。

パラボラアンテナとしてなじみのある放物面形状は、反射により平行線を1点に集める性質がある。このため、1点から発した光を放物面形状の反射鏡で反射させることで平行光を作ることができる（図-1）。実際には完全な点光源は存在せず、光源にはある程度の大きさがあるためレーザー光のような完全な平行光線を作ることはいないが、指向性の高い光線を作ることができる。

製作した指向性照明装置を写真-4に示す。指向性照明装置には、LED光源、放物面鏡のほかに、重要な構成部品として放熱板がある。高出力のLED光源は発熱量が大きく、適切な放熱処理をしなければ短寿命に直結するため、熱伝導率の高いアルミにより放熱板を製作した。また、放熱板をLED光源と放物面鏡をカバーするためのレンズに密着させて、レンズを加熱することにより、レンズへの着雪防止効果と融雪効果を与えている。なお、本

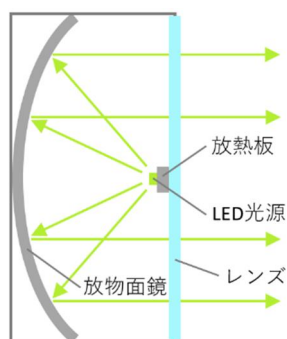


図-1 放物面反射の模式図

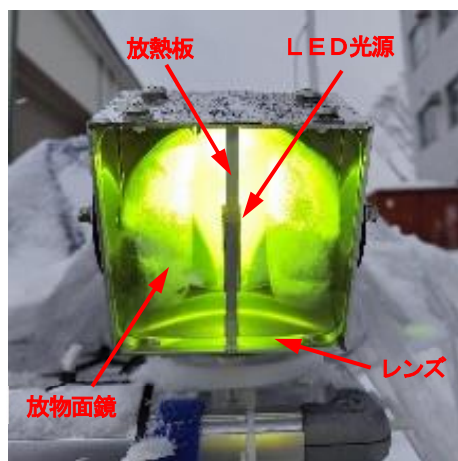


写真-4 指向性照明装置

装置では、人間の視覚特性において明るい環境下で最も高い視認性を示すとされる黄緑色のLED光源を採用し、放物面鏡および放熱板はアルミ板をCNCフライス盤により切削し研磨することで製作している。

(2) 電動雲台

指向性照明装置からの光線を連続的に位置調整を行いながら照射するためには電動雲台が必要である。光線を自由な位置に照射するためには3軸（ロール、ピッチ、ヨー）方向の制御が必要があるが、3軸同時制御には複雑な機構と演算が必要となり、安定性や信頼性の低下や装置の高価格化にもなる。このため、本装置の使用状況ではある程度前方位置で道路横断方向の位置を示すことが目的であり、この前方距離を任意に変化させる必要性は高くはないと考え、まず、ピッチ方向制御は行わないこととした。また、道路横断方向の任意位置に照射するためにはロール方向又はヨー方向のいずれか一方の制御で良い。ヨー方向制御では、回転軸を中心に外側に広がるように路面に照射される（図-2）ため、道路横断方向の距離が大きい場所に照射する場合には車両の向きに対して角度が付いてしまい、進行方向の誤認につながる恐れがあると考えられる。一方、ロール方向制御では、照射位置を道路横断方向に変化させても路面への照射パターンは車両の向きに対して平行が保たれる（図-2）ため、進行方向を誤認しにくいと考えられる。このことから、本電動雲台はロール方向のみの1軸制御とした。

電動雲台の駆動および制御はシングルボードコンピュータ（Raspbeny Pi 4）からの制御信号により駆動するサーボモータにより行っている（写真-5）。

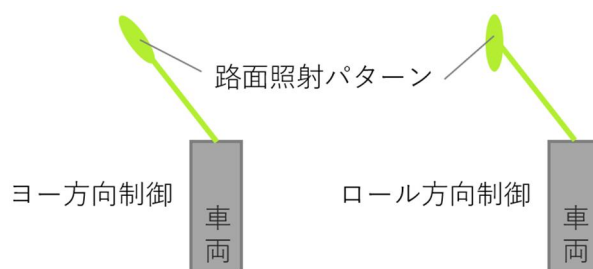


図-2 路面への照射パターンの差

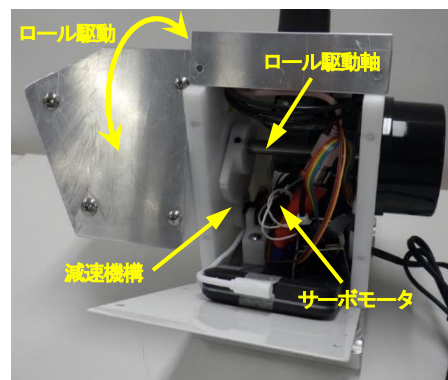


写真-5 電動雲台

(3) GNSSシステム

移動体においてリアルタイムに高精度な位置情報を得る方法として、準天頂衛星みちびきを利用した測位システムであるCLAS（Centimeter-Level Augmentation Service）および、RTK-GNSS（Real Time Kinematic）の2つのGNSS測位システムが知られており、どちらもcm級精度の測位が可能である。

CLASでは、受信機単独で測位可能であるという大きなメリットがあるが、測位精度やFIXまでにかかる時間はRTK-GNSSには及ばないと一般的に認識されている。一方、RTK-GNSSでは補正情報が必要であり、補正情報受信のための通信機器が必要となる。本件での試験環境において、CLASによる測位とRTK-GNSSによる測位を比較したところ、FIXまでにかかる時間がRTK-GNSSの方が圧倒的に速いことが多かったため、本件ではRTK-GNSSを適用することとした。RTK-GNSS測位に必要な補正情報は、株式会社HOSACが無償で提供しているNtrip方式のRTK情報配信サービス「HOSAC FREE RTK」を利用した。

(4) 全体構成

製作した視線誘導装置のシステム構成を図-3に、外観を写真-6に示す。

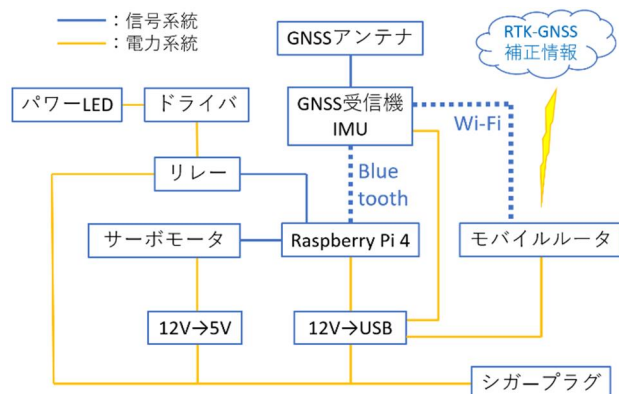


図-3 視線誘導装置システム構成

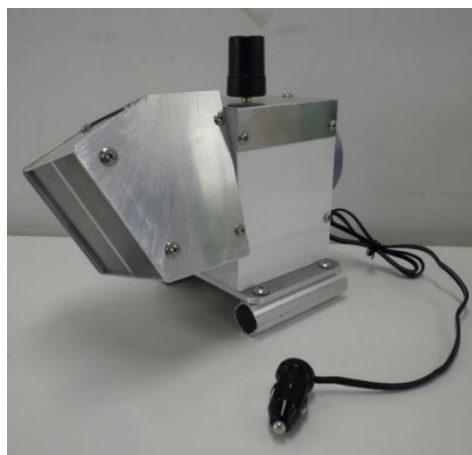


写真-6 視線誘導装置外観

視線誘導装置は車両に搭載して使用することを想定しているため、電源は車両の12Vシガーソケットから供給可能としており、各機器は分散せずに1つにパッケージングすることで、車両への設置撤去が容易になるように考慮している。前述のRTK補正情報はモバイルルータで受信し、Wi-FiでGNSS受信機に渡している。

RTK-GNSS測位情報、GNSS受信機搭載のIMUから得られる車両の姿勢情報、照射目標位置情報からRaspberry Pi 4によりサーボモータの動作量を算出して電動雲台を制御している。

(5) 照射目標位置情報の作成

光線を指定の位置に向けて照射するためには、照射目標となる位置情報が必要である。実運用時には道路の路側線や中央線が照射目標となるため、本件では寒地土木研究所構内に引かれている路面標示線を照射位置の目標とした。この路面標示線の上をGNSSアンテナを移動させながらRTK-GNSS測位を行うことにより、路面標示線の位置情報を取得した。アンテナを路面標示線に沿ってスムーズにトレースするため手押し台車を製作するとともに、地面などからのマルチパスの影響を少なくしてRTK-GNSS測位の精度を高める目的で、アンテナは地面からの高さ約1.6mの位置に直径約180mmのグランドプレーンとともに設置している（写真-7）。

上記方法で取得した位置データを図-4に示す。異なる日時に2回取得した結果を重ねて示しているが、お互いの差はおおむね10cm以下となっている。なお、この差はRTK-GNSS測位の誤差というよりは、手押し台車で路面標示線をトレースする際の位置ずれによるところが大きいと考えられる。

ここで得られた位置データは点群データであるため、そのまま照射目標とするのではなく、点群データを線分で近似して照射目標としている。

点群データからこのような線分データを作成する事例としては、MMS（Mobile Mapping System）で得られる膨大な点群から作成するものがあるが、一般的には大きな

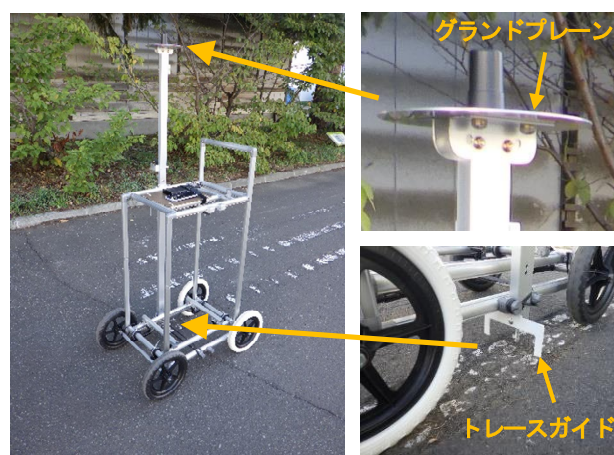


写真-7 手押し台車

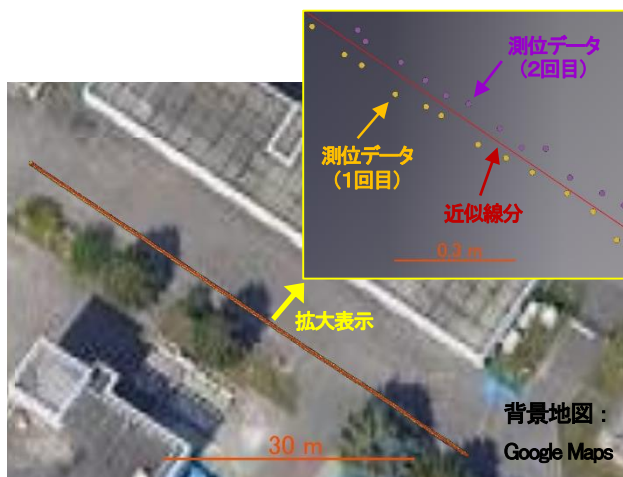


図4 照射目標線の測位データ

労力が必要とされている。対して、本方法は路面標示線の上をトレースした後に測位データの直線近似処理を行うだけで作成することができるものとなっている。

4. 動作試験

製作した視線誘導装置を使用して、2025年9月19日に寒地土木研究所構内において動作試験を行った。照射目標は前節で作成した構内の路面標示線の位置を表す線分データで、前節で製作した手押し台車の上部に視線誘導装置を設置して、この路面標示線の脇を手押し台車を走行させる方法で試験を行った（写真-8）。

試験の時系列状況を写真-9に示す。なお、写真-8および写真-9に示す照明は、カメラの露光条件等の影響により、実際に目視した場合よりも指向性が低く、広がって見えている。

視線誘導装置の照射範囲に照射目標位置がない時には照明は消灯している(a)。台車の進行に伴い照射目標位置が照射範囲に入ると、照明が自動で点灯し、照射目標に向けて照射方向が連続的に調整される(b)。今回の試

験における、照射位置と路面標示線とのずれの最大値は、路面標示線の幅（15cm）から画像上で推定した結果、約50cmであった(c)。さらなる進行や横にずれ過ぎた場合などにより照射目標位置が照射範囲から外れた場合には照明が自動で消灯することも確認した。

上記のとおり、この試験では照射位置と路面標示線とのずれの最大値は約50cmであったが、これとは別に複数回行った試験ではより大きなずれが出る場合もあった。このずれの要因としては、装置の姿勢（傾き）に起因するものや計算処理時間の遅れに起因するものの影響が大きいと考えられるため、今後これらの部分について重点的に改良を行う予定である。

(a)



(b)



(c)

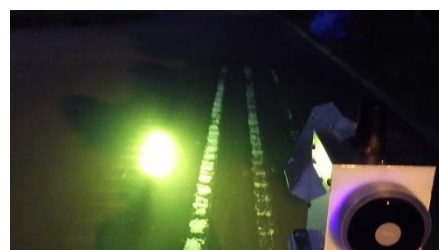


写真-9 試験状況（時系列）



写真-8 試験状況

5. まとめ

吹雪による視界不良や積雪・堆雪により路側線等が認識できないことへの対策として、自車両から路側線等の位置を光により指し示して連続的に視線誘導を行う視線誘導装置を提案・製作した。本装置は主に、指向性照明、電動雲台およびGNSSの技術から構成されるものである。

本装置の動作試験を行った結果、照射目標位置確認で照明点灯、目標追従、目標ロストで照明消灯といった基本的な動作は行えたが、精度（照射位置のずれ）の面ではまだ実用レベルには達していないことがわかった。今後は精度向上のための改良を行う予定である。