

除雪機械の高度化に関する検討 —準天頂衛星を利用した除雪作業の効率化について—

事業振興部 機械課 ○岸 寛人
飯田 和彦
石道 国弘

冬期における除雪作業は除雪機械で行われるが、少子高齢化により熟練オペレータの減少、担い手不足が進み、高精度な除雪作業が困難になるおそれがある。このことから、知床峠を実証実験の場所とし、準天頂衛星を利用した正確な自車位置把握や除雪装置操作の自動制御など熟練度によらない除雪作業の効率化に向けた検討を行ったので報告する。

キーワード：i-Snow、準天頂衛星、知床峠、ロータリ除雪車、i-Construction

1. はじめに

積雪寒冷地では、厳しい寒さや降雪などが住民生活に影響を与えてきたが、特に広域分散型の社会構造である北海道では、冬期における安全な交通の確保は重要である。近年では異常気象による通行止めの回数や時間が増加しており、道路管理の重要性は増している（図-1）。一方、北海道は全国に先駆けて人口減少および高齢化が進んでおり、国立社会保障・人口問題研究所の推計によると、2015年の人口を基準とした2045年の推計人口は、全国が83.7%であるのに対し、北海道は74.4%、札幌市を除いた北海道では64.1%となっている。これに伴い除雪機械オペレータの担い手不足が危惧されている（図-2）。

このような状況に対して北海道開発局では、積雪寒冷地特有の地域課題の解決、地域発のイノベーションに向けた北海道におけるi-Constructionの取組を進めており、その一環として平成29年3月28日に発足したのがi-Snow（Smart, Nice, Operation, Workの頭文字を取った造語）である。i-Snowは除雪関係企業・団体、学識者・研究機関、道路管理者等の行政機関、地域住民等による情報交換、技術開発の場として立ち上げられたプラットフォームであり、除雪現場の省力化に関する活動を展開し、生産性・安全性の向上に資するものである（図-3）。

本取組において、北海道開発局では除雪作業の省力化のためロータリ除雪車の高度化に取り組んでいる。ロータリ除雪車は暴風雪による吹きだまり発生により路面の積雪が30 cmを超えた状況でも作業を行うことができる機械であるが、視程障害時では除雪作業が中断される上、ロータリ除雪車は作業速度が

遅いため通行止め時間の大幅な増大の要因となる。視程障害時においても除雪作業を実施できれば早期に通行止めを解除することが可能となり、1車線分の幅員を確保することにより緊急通行車両等の通行が可能となる。

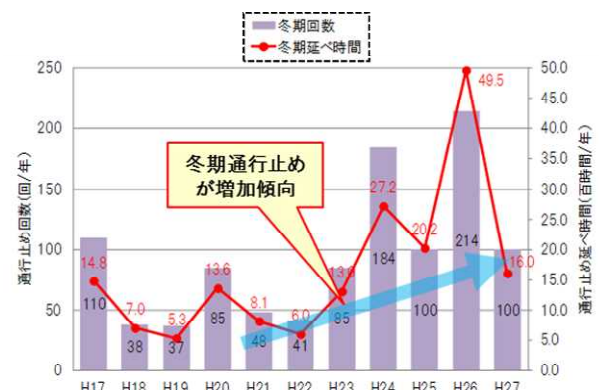


図-1 冬期通行止めの回数および時間の経年変化



図-2 除雪機械技術講習会参加者の推移（日本建設機械施工協会北海道支部資料をもとに集計）

一方、ロータリ除雪車は除雪機械の中でも比較的
操作に熟練を要する機械であり、今野²⁾が全国の除雪
工事業者430社に対して行った除雪機械オペレータへ
のアンケート調査でも、ロータリ除雪車は除雪グレ
ーダに次いで技能習得に要する期間が長いという結
果が示されている。

これらのことから北海道開発局では、ロータリ除
雪車の高度化による省力化を目的として、技術開発
を行っており、本稿ではこれまで実施した調査、試
験結果について述べる。

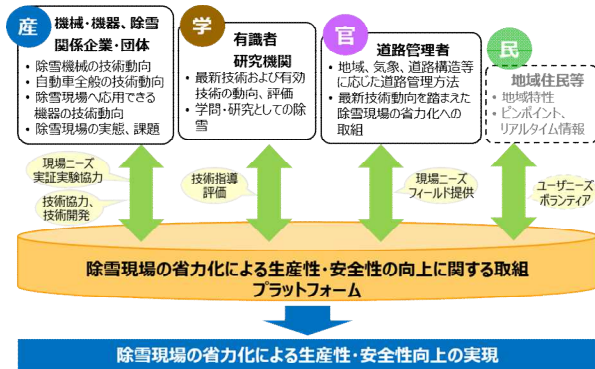


図-3 i-Snowの活動イメージ

2. 現地調査、試験

2.1. フィールド、知床峠の春山除雪

技術開発のフィールドとして、冬期（10月末頃～翌
年5月初旬）通行止め区間となる国道334号知床峠を選
定した。知床峠では冬期通行止め期間中に降り積も
った雪を春（3～4月）にまとめて除雪する「春山除
雪」が行われている。春山除雪のために、冬期通行
止めとなった後、路側に6 mの見出しポールが設置さ
れる。このポールを目印として熟練オペレータがバ
ックホウを用いて法面を45度（雪崩が発生しない安
定勾配）に除雪を行い（写真-1）、その後方から未啓
開の道路をロータリ除雪車で除雪する（写真-2）。

ロータリ除雪車による除雪作業では、積雪により
前方の道路の路側等の目標物が見えないため、見出
しポールを目印とするほか、後方のセンターライン
を何度も見ることによって自車位置を確認しながら前進
する、という熟練技術を要する作業となっている。

図4は上述の除雪作業の省力化イメージである。図
4のうち、(1)自車位置の把握、(2)作業装置操作、(3)安
全確認をICTにより省力化・自動化し、オペレータは
(4)の車両運転（操舵・加減速）に注力できるように
することを狙いとしている。以下では自車位置把握
および除雪装置の自動制御技術について述べる。



写真-1 バックホウによる道路部および斜面部の除雪



写真-2 ロータリ除雪車による雪割り除雪



図4 省力化イメージ

2.2. 自車位置把握

(1) 3Dマップを用いたガイダンスシステム

現状の春山除雪では、見出しポールや後方のセン
ターラインを頼りに道路内における自車位置を把握
していることを述べた。これらの作業を省力化する
方法として、3Dマップと準天頂衛星システムからの
高精度測位情報を利用することを検討している。

3DマップとはMMS (Mobile Mapping System) を用いて道路とその周辺地形の3次元形状を測量したデータであり、春山除雪の際に見出しポールを設置している5 kmの区間を対象として作成した。ロータリ除雪車の運転支援向けに、3次元点群データから道路形状を表す中央線、外側線、導水縁石 (内側) を抽出し、ラインデータを作成した (図-5)。

このラインデータから作成した3Dマップと自車位置をディスプレイに表示することで、道路の線形が不明瞭な状況でも除雪車が適正な位置にいるかをオペレータに示すガイダンスシステムを作成している (図-6)。

除雪作業中のオペレータに道路附属物や投雪禁止区間などの注意喚起ポイントを伝達する手法として、音、光、振動、画面点滅の警告のどれが有効かについて村上³⁾が実施した調査では、音単独もしくは音とその他の警告の組み合わせが認知程度が高いという結果が得られており、ガイダンスシステムの参考として検討している。

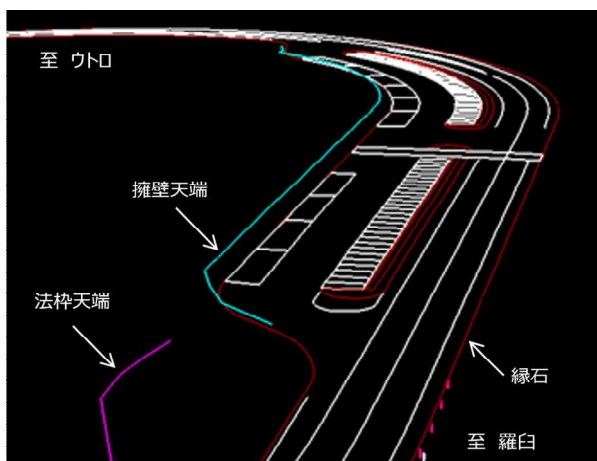


図-5 3次元点群データから作成されたラインデータ



図-6 ガイダンスシステム表示イメージ

(2) 準天頂衛星システムを利用した測位

前項のガイダンスシステムに正確に自車位置を表示するために準天頂衛星システムからの高精度測位情報を利用することを検討した。

公共工事等では高精度な位置情報を得る方法として、RTK-GNSS (Real Time Kinematic GNSS) 測量が広く用いられている。RTK-GNSS測量は、基準局を既知の地点上に固定し移動局を車両等に搭載して、基準局から補正情報を送信することで移動局の測位精度を高めることを可能とする方法である。

衛星測位は4機以上の衛星を捉えることができれば可能であるが、都市部や山間部では遮蔽物により可視衛星数が減り、位置情報が安定的に得られないことがある。準天頂衛星システムでは、人工衛星からの信号をほぼ真上から受信できるので、山間部や都心部でのGNSSの利用効率改善の効果が期待できる⁴⁾。準天頂衛星が4機体制になると、日本ではこのうち3機は常時見えることになり、GNSSと合わせて利用することで安定した高精度測位が可能となる。また国土地理院の電子基準点のデータを利用して補正情報 (センチメートル級測位補強情報) が準天頂衛星から送信され、これを受信することで誤差数cmで測位を行うことができる⁵⁾。

この準天頂衛星に対応した受信機を用いて、知床峠で走行観測を行った。走行観測では、RTK測量と同様な精度が得られるネットワーク型RTK-GNSSに対応した受信機を同時に搭載し (図-7)、ネットワーク型RTK-GNSS対応受信機による測位結果を基準として、準天頂衛星を用いた測位の有効性を検証した。



図-7 各受信機の車両への搭載状況

ネットワーク型RTK-GNSS測量とは、電子基準点の補正情報を配信事業者が通信網等を経由して移動体等に設置された受信機に配信することで、基準局を

個別に設置することなくRTK-GNSS測量と同程度の精度が得られる方法である。

図-8に時速40 km程度で走行した場合の結果を示す。Fixが最も精度が高い状態（誤差数 cm）、FloatがFixに次いで良い状態（誤差数十 cm～数 m）、単独測位が最も精度が低い状態（誤差数m～数十 m）である。

図-8から全体的に準天頂衛星対応受信機による測位の方がFixしていた割合（以下、Fix率という）が高いことがわかる。またネットワーク型RTK-GNSS測位では単独測位となっている区間が見られるが、準天頂衛星対応受信機では単独測位となった区間はなかった。これらは、ネットワーク型RTK-GNSS測量が補正情報を通信網経由で取得するため山間部では通信圏外となること、観測区間は周囲が森林や山に囲まれている地形であるが高仰角からの電波を受信できることにより地形による遮蔽の影響を受けにくいこと、などの準天頂衛星システムの長所が現れた結果と考えられる。

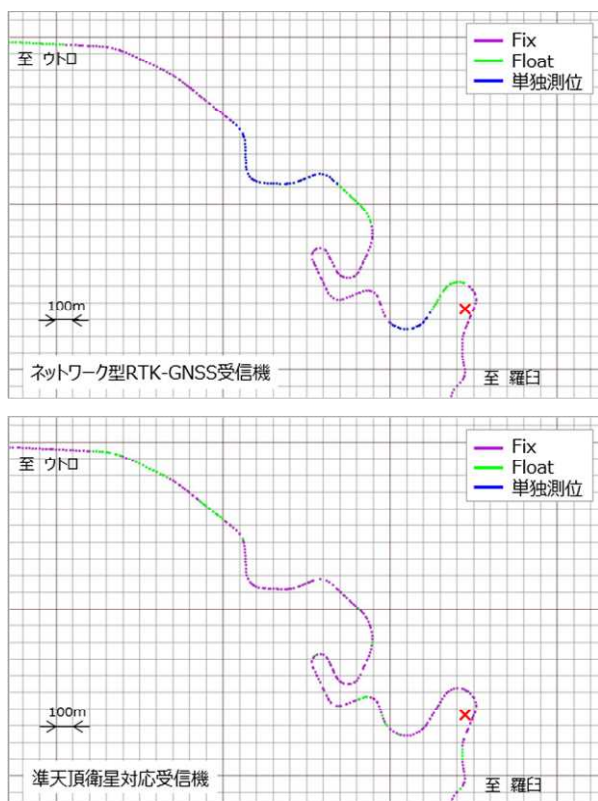


図-8 時速40 km程度で走行した場合の測位精度
（上：ネットワーク型RTK-GNSS受信機、下：準天頂衛星対応受信機、×印：知床峠頂上付近）

同観測データを用いて、ネットワーク型RTK-GNSS受信機を基準とした準天頂衛星対応受信機の水平誤差を算出した。算出は両受信機のデータがともにFixし

ている時刻のデータのみについて行い、横軸に水平誤差、縦軸に発生割合として表示した（図-9）。この結果、水平誤差2 cm以下が約98%を占めており、高精度であることが確認できた。

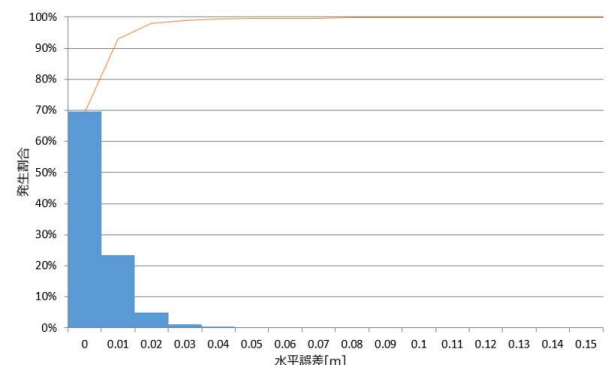


図-9 ネットワーク型RTK-GNSS測位に対する準天頂衛星システムを利用した測位の水平誤差の度数分布（曲線は累計）

次に走行速度による測位精度の違いについて述べる（図-10）。衛星測位の精度は衛星配置に影響を受けるが、衛星配置は時間により変化する。衛星配置の良否を判断する指標として精度低下率（DOP: Dilution of precision）があり、DOP値が高いほど精度が低いことを表す。

本調査では水平方向の精度に着目しているため、水平方向精度劣化率（HDOP: Horizontal DOP）を比較する。観測区間におけるHDOPの平均値は時速40 kmのデータでは1.77、時速20 kmでは1.61となり大きな差はなかった。図-10の2つのデータは異なる時間に観測されたものだが、HDOPに大差がないことから、走行速度以外の条件がほぼ同じデータと考え、図-10で両データを比較する。

時速40 km程度での観測結果の方がFloatになっている区間が多くなっている。これについては、走行速度が速い場合、一度Float状態になってから再度Fixするまでに時間を要し、その間に低速の場合よりも長い距離移動するためFloat状態の区間が長くなったことが要因と考えられる。ロータリ除雪車による除雪作業は時速5 km程度であり、知床峠の春山除雪の場合はさらに低速で実施される。上述の走行速度による測位精度の検証結果から、低速度で実施されるロータリ除雪車の除雪作業は、高精度測位にとって有利な条件と考えられる。

本調査で使用したGNSS受信機は全て位置情報のみを測定する機種であるが、現在製作中のロータリ除雪車に搭載するGNSS受信機は慣性航法装置を内蔵している。これにより衛星電波を受信しにくい箇所や

反射物等により電波が本来より長い経路でアンテナに到達するマルチパスなどにより正確な測位が行えない状況においても、安定的に高精度の位置情報を取得できることが期待される。

今後は春山除雪の現場でこのガイダンスシステムの試験を行い、装置の精度や使い勝手について評価を行う。

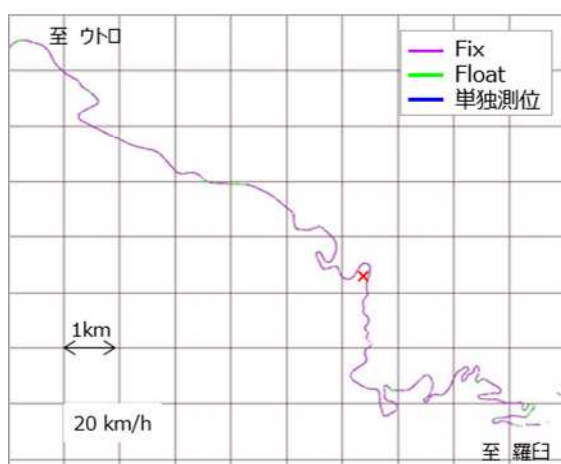
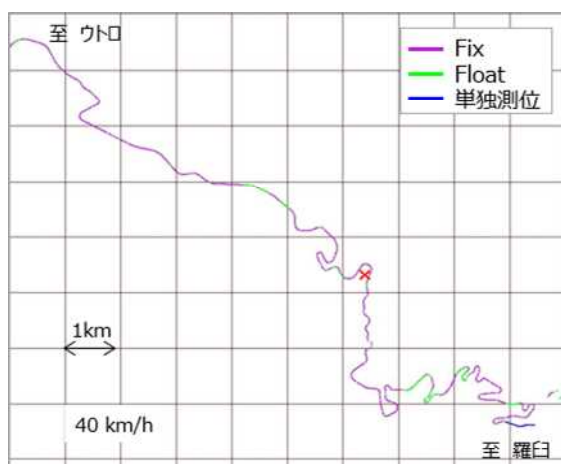


図-10 異なる走行速度における準天頂衛星対応受信機による測位精度（上：時速40 km程度、下：時速20 km/h程度）

2.3. 作業装置操作の自動化技術

ロータリ除雪車の作業装置の自動化手法としては、ティーチングの手法を検討し、実装しているところである。ティーチングとは、たとえば作業装置がある場所に来たらどのような動作を行うということをあらかじめ機械に覚えさせる手法であり、工場内の産業用ロボット等で利用されてきた手法である。

ロータリ除雪車による除雪作業の場合は、場所によって投雪方向や投雪禁止箇所が基本的には決められているため、位置情報等をもとにある地点に到達したらシュートを旋回し投雪方向を変える、などの

操作をロータリ除雪車に搭載するコンピュータに記憶させる。

投雪方向の基礎データを収集するために、平成30年4月の春山除雪において、除雪作業を行っているロータリ除雪車の位置と投雪方向を記録した。この投雪方向データを作業装置自動システムの入力データとし、ロータリ除雪車の作業装置の制御へ渡すことで投雪操作を自動化することができる。これによりオペレータは運転操作と安全確認に注力することができる。

知床峠の春山除雪では、基本的には写真-3のようにブロウのみで投雪方向を変更しており、シュートは風が強いときの投雪方向変更で使用される。そこで平成30年度の検討では、ブロウによる投雪方向変更を対象とし、制御方法の検討を行っている。現在、制御ソフトウェアを作成しているところであり、平成31年1月中旬に動作試験を実施し、平成31年3月以降の春山除雪における現地試験で、精度やシステムの使い勝手、省力化に関する評価を行う予定である。



写真-3 ブロウからの投雪状況

3. まとめ

平成30年度の調査、検討から以下のことが得られた。

- ・知床峠における、衛星受信状況調査試験から準天頂衛星システムを利用した測位では、ネットワーク型RTK-GNSS測位結果からの水平方向のずれは2cm以下であったものが98%を占め、また、通信網を利用したネットワーク型RTK-GNSSよりも広い範囲でFixした。
- ・速度の違いによるFix率の調査では、速度が速い場合ではFloatからFixに変わるまでに、より長い距離走行するため、速度が遅い場合よりもFix率が下がる傾向が見られたが、ロータリ除雪車の作業速度は

非常に低速であることから、高精度な自車位置把握が行えると考えられる。

作業装置の自動化についてはティーチングにより実装しており、平成 31 年 3 月以降に春山除雪現場において現地試験を行う予定である。この際にはオペレータによる除雪装置操作、車両位置、映像等のデータを取得する予定であり、これらに機械学習を適用することで、より高度な自動化となっていくことも考えられる。

現在、ターゲットとしている知床峠の春山除雪は通行止め区間での作業であるため、歩行者や一般の通行に対する危険がない状態であるが、安全確認に関する技術の利用可能性が検証できれば、通行止め区間以外の地域への適用も可能となっていくと考える。

謝辞：網走開発建設部施設整備課の皆様には現地調査にあたり、準備から現場作業まで多大なご協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口（平成 30（2018）年推計）
- 2) 今野孝親：除雪作業従事者の実態と体制確保に向けた課題－除雪機械オペレータのアンケート結果から、建設機械施工 Vol. 70、pp23-24、2018. 10
- 3) 村上和也、高本敏志、新保貴広：除雪機械操作における安全確認作業支援装置の開発、第 61 回（平成 29 年度）北海道開発技術研究発表会
- 4) みちびき特設サイト、準天頂軌道とは、
http://www.jaxa.jp/countdown/f18/overview/orbit_j.html
- 5) 内閣府宇宙開発戦略推進事務局 Web サイト：みちびきとは、http://qzss.go.jp/overview/services/sv01_what.html