空港除雪の省力化・自動化に向けた取組みについて

TECHNICAL DEVELOPMENT FOR LABOR-SAVING AND AUTOMATION OF AIRPORT SNOW REMOVAL

藤生　孝典*・神林　翠**・藤村　幸大***・山村　優佳*
Takasuke FUJIU, Midori KAMBAYASHI, Kodai FUJIMURA and Yuka YAMAMURA

Currently, airports in Japan are actively strengthening their functions. On the other hand, the labor shortage is becoming apparent due to the decrease in the working-age population. For this issue, the Civil Aviation Bureau promote "Aviation Innovation" utilizing technologies such as IoT, AI, autonomous driving technology, etc. while the public and private sectors share roles. In airport operations, the labor shortage of snow removal work is becoming more serious, and labor-saving and automation are strongly required. In this paper, we will report on the issues for labor saving and automation of airport snow removal comprehended by research and development, and outline of demonstration experiments and results for labor saving and automation carried out in the work ordered from the Civil Aviation Bureau.

Keywords ： *Airport snow removal, Snow removal vehicle, Automation, Labor-saving, Self-localization, Safety assist, Demonstration experiment, Runway, Engineering validation, Autonomous snow removal vehicle, Snow removal method*

1. はじめに

現在、我が国の空港では、2030 年の訪日旅客 6,000 万人の目標達成に向けて、積極的な機能強化が進められているところである。一方、生産年齢人口の減少に伴う労働力不足が顕在化しており、この課題に対応するため、国土交通省航空局は、官民が役割分担しながら、IoT、AI、自動運転化技術等の先端技術を活用した『航空イノベーション』を推進し、今後の我が国の航空輸送の拡大を支えていく方針としている。空港運用分野では、特に除雪作業の労働力不足が深刻化しており、助手による安全確認を代替する装置・機能の付与や運転支援を行う省力化や、除雪車両の装置操作や運転の自動化が強く求められている。

日本工営では、上記課題に対し、空港除雪の省力化・自動化に向けた検討課題を把握するため研究開発による技術動向調査をはじめ、国土交通省航空局発注の空港除雪の自動化に関する市場調査、自車位置測定技術、運転支援ガイダンスシステムの導入効果に関する調査業務を受注し、実施した。

本稿では、空港除雪の省力化・自動化に向けた課題と、省力化・自動化に向けた実証実験とその検証結果の概要を報告する。

2. 空港除雪の特徴

空港基本施設（滑走路、誘導路、エプロン）の除雪作業は**図－1** に示す除雪車両により実施される。

プラウ除雪車 （雪の押出し）	スイーパ除雪車 （路面仕上げ）
ロータリ除雪車 （投雪、雪堤除去）	凍結防止剤散布車 （薬剤散布による除氷）

図－1　主な空港除雪車両（写真は資料 [1)] より引用）

*　コンサルティング事業統括本部 交通運輸事業本部
港湾空港事業部 空港部
**　コンサルティング事業統括本部 中央研究所 技術開発センター
***　コンサルティング事業統括本部 仙台支店 基盤技術部

空港における除雪の特徴として、以下のものがある。

- 空港運用時間内での除雪作業は、航空機の運航を一部制限して実施するため、迅速な除雪作業が求められる。
- 除雪後の路面状態が航空機の運航判断に影響するため、高い水準での路面仕上がりが求められる。
- 滑走路や誘導路には航空灯火が設置されており、除雪作業時に損傷させないように注意する必要がある。

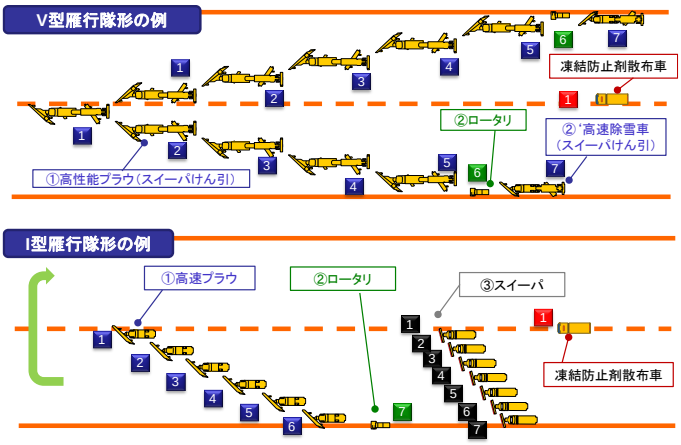
(1) 除雪作業の迅速性

空港運用時間内における除雪作業は、航空機の運航を一部制限して実施される。このような除雪作業中は、出発航空機は乗員や乗客が搭乗した状態でエプロン等に地上待機、到着航空機は上空待機(空港上空で旋回しながら待機)しており、除雪作業の遅れは航空機の出発・到着の遅延に直結する。

運用時間内の除雪作業時間は、各空港で個別に目標時間が設定され、目標時間内に除雪作業と滑走路等の雪氷状況調査が完了するような除雪体制が編成される。

一例として、新千歳空港では、延長 3,000m×幅 60m の滑走路 1 本に対して、滑走路全面の除雪の標準目標時間は 20 分と設定されている。このような短時間で広範囲の除雪を実現するため、雁行隊形と呼ばれる除雪車両の隊列を組んで除雪する。新千歳空港の雁行隊形は V 型で、滑走路全幅に渡って整列して片道走行で滑走路全面を除雪する。その他の多くの空港の雁行隊形はⅠ型で、滑走路全幅のうち片側(半分または 1/4)ずつ走行して 1～2 往復の走行により除雪する(**図－2**)。

運用時間内は迅速な出動・作業を行うため、降雪予報がある場合、除雪オペレータは空港内に駐在する等出動待機している。



図－2　除雪車両の雁行隊形の例

図－3　航空灯火の例(滑走路灯)

(2) 除雪仕上がりの要求水準

空港除雪では、除雪後に舗装表面を完全に露出(ブラックトップ)させる除雪が基本となる。加えて、滑走路では、除雪後の雪氷状況調査による路面の雪氷種別や厚さ、雪氷の占有率によって滑走路面状態が評価される。滑走路面状態は、滑走路面状態コード(RWYCC:Runway Condition Code)0～6 に区分され、着陸しようとする航空機の着陸可否の判定に適用される。このため、滑走路除雪では、除雪の仕上がりが航空機の運航に影響することとなる。

(3) 空港特有の事故リスク

空港制限区域内では、一般道路とは異なり一般歩行者がいないため、歩行者事故は道路と比較して生じにくいものの、航空灯火等の航空保安施設(**図－3**)の破損や航空機への接触、滑走路上での故障等による停車が生じた場合、滑走路の閉鎖等、空港運用への影響が生じることとなる。

また、空港施設は広域かつ平面的であるうえ除雪車両の運転席から視認できる目標物が少なく、降雪時に視界不良になると自車位置を見失いやすい。

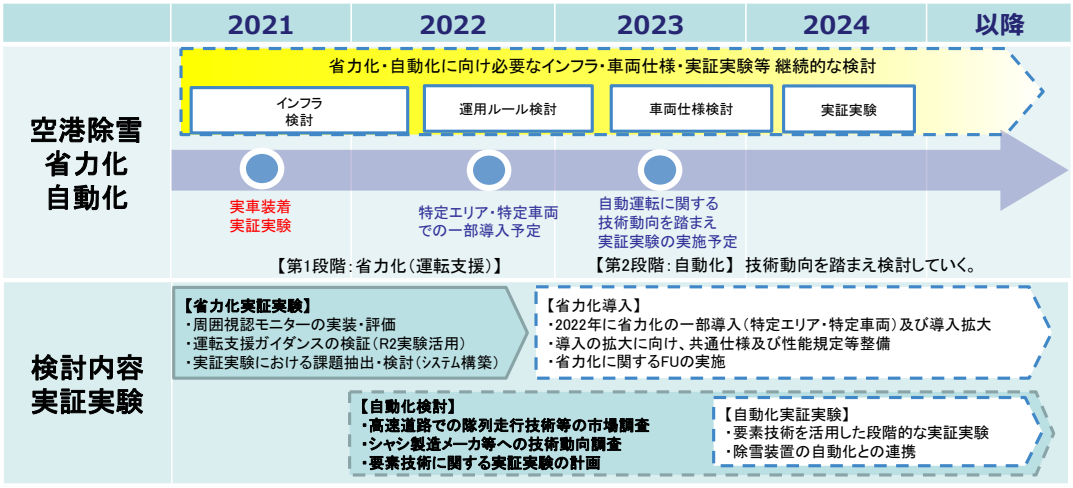
3. 空港除雪の省力化・自動化に関する市場調査

国内の道路除雪、海外の空港除雪における自動化に向けた除雪車両メーカーや施設管理者の取組みの技術情報や進捗(実証実験等の結果を含む)、今後の予定についてヒアリングを実施し、内容を取りまとめた。

ヒアリング調査により以下を把握した。

- 国内道路の除雪では、ガイダンスシステムの製品化や、車両一部自動化に着手
- 海外空港の除雪では、海外メーカーの技術開発予定を確認し、そのうち 1 社は空港用自動除雪車両を製品化する意向

市場調査により把握した技術動向を踏まえ、空港除雪車両の運転支援を行う省力化に取組む第 1 段階、一般車両の自動運転技術を取り入れ除雪装置の自動化に取組む第 2 段階の実施内容を検討するとともに、空港除雪の省力化・自動化に向けた実施スケジュール(**図－4**)を策定した。



図－4　空港除雪の省力化・自動化に向けた実施計画 [1)]

4. 空港除雪の省力化・自動化に向けた課題

積雪地域の主要空港における空港管理者および除雪事業者へヒアリングを実施し、空港除雪概要を把握するとともに、除雪作業時の操作内容を分析し、省力化・自動化に向けた課題と、それらの課題に対応するための技術要件を整理した。

(1) 空港除雪の実施概要

ヒアリング結果から、空港除雪の実施概要を**表－1** のとおり整理した。

表－1　空港除雪の実施概要（例）

項目	実施内容	実施者の例
待機判断	・気象状況・今後の予報を基に待機が必要か協議 ・除雪事業者が空港内で待機	運用担当者 作業担当者
除雪判断	・積雪量、降雪予報等から除雪基準に基づいて判断 ・除雪時間を設定	運用担当者 作業担当者
除雪開始	・各航空会社との運航調整 ・NOTAM※の発出手続き・施設閉鎖	運用担当者
	・除雪方法協議・決定 ・除雪事業者への除雪開始および終了時間の指示	作業担当者 除雪事業者
除雪実施	・決定した除雪方法により各車両のオペレータが除雪作業を実施 ・助手は安全確認を実施	作業担当者 除雪事業者
	・状況の変化により作業時間や範囲の変更等の措置を協議 ・施設閉鎖の変更等の措置を実施	作業担当者 運用担当者
除雪終了	・対象施設の除雪作業終了を確認して連絡	作業担当者
	・雪氷状況調査を実施 ・施設運用再開	運用担当者

※ NOTAM（Notice To Airmen）：航空機の安全運航のために発出される航空関係施設、業務等に係わる情報

(2) 除雪作業時の操作内容細分化

空港除雪の省力化・自動化に向けた課題と技術要件の整理に際し、運転行動の流れとなる「認知」「判断」「行動」に基づいて除雪作業時の操作内容を細分化し、**表－2** のとおり整理した。

(3) 省力化・自動化に向けた課題と技術要件

表－2 の各除雪行動は、空港内の支障物や他車両との位置関係に基づいて判断して行動するもの（A,B）と、積雪量や雪質、仕上がり状況等路面の雪氷の状態に基づいて判断して行動するもの（C,D）に大別できる。

表－2　除雪作業時の操作内容細分化

	認知	判断	行動
A	支障物	自車位置の補正	ハンドル操作
		自車速度の調整	ブレーキ、アクセル
		装置の接触回避	除雪装置の操作 ・プラウ角度・高さ ・シュート角度
B	悌団他車両との速度・相対位置	自車位置の補正	ハンドル操作
		自車速度の調整	ブレーキ、アクセル
C	積雪量、雪質、降雪状況等	除雪装置の角度、高さ（接地圧）、回転数等の調整	除雪装置の操作※ ・プラウ：プラウ装置角度・高さ ・スイーパ：ブラシ高さ、回転数 ・ロータリ：オーガ回転数 ・凍結防止剤散布車：散布量　等
		自車速度の調整	ブレーキ、アクセル
D	除雪仕上がり状況	自車位置の補正	ハンドル操作
		自車速度の調整	ブレーキ、アクセル
		除雪装置の角度、高さ（接地圧）、回転数等の調整	除雪装置の操作 （※と同様）

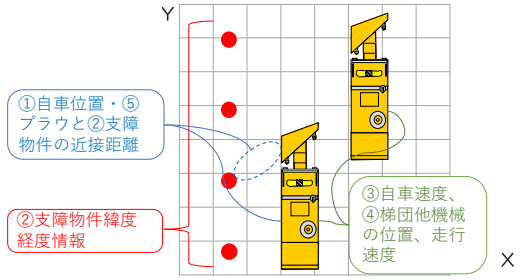
表－3　空港除雪の省力化・自動化に向けた課題

	課題	対応策（技術要件）	対応する除雪行動※1
1	自車位置と支障物位置、他車両位置の把握・伝達	位置情報に基づく走行ガイダンスシステム	A、B
2	積雪状況に応じた除雪装置等の設定	積雪状況・仕上がり状況に応じた装置状態、走行速度等の推奨値の情報提供※2	C、D
3	除雪仕上がり状況に応じた除雪装置等の設定		

※1 表－2 の A～D に対応

※2 自動化時は基礎システムとしての活用を想定

図－5　省力化・自動化に向けた技術要件イメージ



図－6　ガイダンスシステムによる取得情報のイメージ

これらの除雪行動の省力化・自動化に向けた課題と、その対応策となる技術要件を検討し、**表－3**、**図－5** のとおり整理した。

1）走行ガイダンスシステムの技術概要

走行ガイダンスシステムは、以下の情報を取得し、支障物近接時のアラーム通知や梯団他車両に対する推奨位置、追随速度の通知を実施する技術が求められる。

① 自車緯度経度情報
② 支障物の緯度経度情報
③ 自車速度
④ 他機械位置・速度
⑤ 除雪装置（プラウ・シュート等）の位置情報

2）積雪状況等に応じた情報提供の技術概要

積雪状況や仕上がり状況に応じた情報提供にあたっては、以下の情報の取得、状況に応じた推奨行動の判定技術が求められる。

【取得情報】
① 対象路面の積雪量、雪質
② 降雪状況
③ 除雪後の対象路面の雪氷状況
④ 除雪装置の状態
⑤ 自車緯度経度情報
⑥ 自車速度

【状況に応じた推奨行動の判定】
⑦ 除雪装置の必要操作（角度、高さ（接地圧）、回転数等）の判定
⑧ 推奨走行速度の判定
⑨ 走行位置の補正の要否、推奨位置の判定

なお、空港除雪作業における操作の詳細は、現状、多くがオペレータ個人のノウハウや技術として属人化しており、マニュアル化されていないため、省力化・自動化に向けては、積雪等の状況と除雪行動の関係の分析・把握が必要となる。

5. 空港除雪の省力化・自動化に向けた実証実験

(1) 自車位置測定技術導入効果に関する調査

新千歳空港内において自車位置測定機器の実証実験を実施し、実証参加事業者の公募要件の整理、実施概要・実施計画案の整理、実証実験結果のとりまとめを行った。

1）実証実験の概要

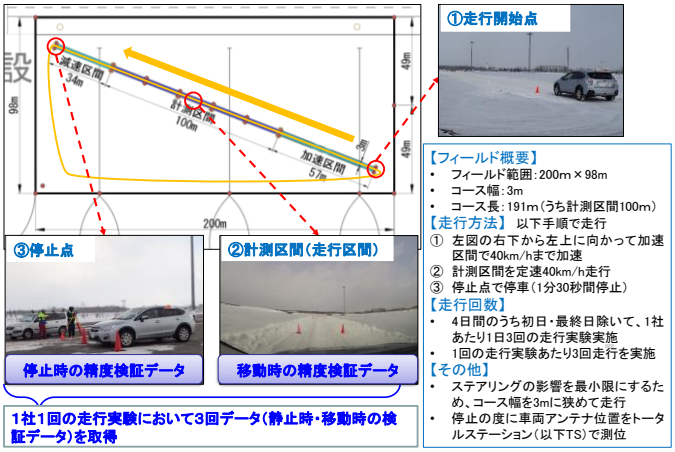
本実証実験は、厳冬期の積雪寒冷地空港内（制限区域内）における自車位置測定機器の精度、耐久性等を検証することを目的としたものであり、以下のとおり実施した。

【実験方法】
- 場所：新千歳空港ノースナイトステイエプロン
- 方法：一般車両を走行させ、データを取得
- 参加事業者（4 社）により適用された主な測位技術：RTK-GNSS、GNSS＋IMU 複合航法システム、準天頂衛星みちびき対応 CLAS

【期間】
- 実験期間：2021 年 2 月 2 日～2 月 5 日

【検証内容】
- 精度：停止時の位置精度、移動時の位置精度、電波の干渉有無
- 耐久性：低温による影響、防水性能、耐振動性能
- 測位の遅延性、その他応募者からの提案事項

図－7　自車位置測定機器設置状況の例 [1)]



図－8　自車位置測定技術の実証実験の概要 [1)]

図－9　路面積雪有り（上）・無し（下）の状況 [1)]

2）自車位置測定技術の検証

実証実験により、各参加事業者の自車位置測定技術について、精度、耐久性、測位の遅延性等を検証した。

路面積雪有り・無し（**図－9**）いずれにおいても、各参加事業者とも平均誤差は 2～3cm 程度、最大誤差も 30cm 以内であり、空港除雪車両の雁行隊形の編成に必要な精度（誤差 50cm 以内）を満足することを確認した。また、耐久性においても、各参加事業者で低温、降雪の付着、振動による影響はみられなかった。測位の遅延性は、1 事業者のみモニタ表示処理のため 10 秒程度の遅延が生じたが、他の参加事業者では 0.01 秒程度等、目視確認で問題となるような遅延は生じなかった。

位置精度の検証（**図－10**）では、実証技術の誤差を評価するため、停止点でトータルステーション（距離・角度を同時計測する測量機）を用いたアンテナ位置の測量（**図－11**）により停止時の真値を設定した。移動時の真値は、走行レーンの基終点を結ぶ直線として設定した。

（2）運転支援ガイダンスシステム導入効果に関する調査

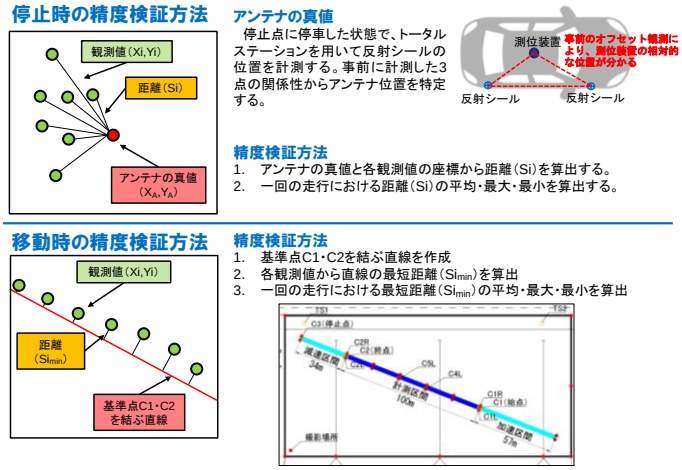
稚内空港内で除雪車両の運転支援ガイダンスシステムの実証実験を実施し、参加事業者の公募要件の整理、実施概要・実施計画案の整理、実証実験結果のとりまとめ、導入効果の調査を実施した。

1）実証実験の概要

本実証実験は、空港制限区域内において自車位置測定機器を搭載して除雪オペレータへ支障物や他車両の近接を通知する運転支援ガイダンスシステムの正確性、視認性等の検証を目的としたものであり、実際の滑走路、プラウ除雪車両を使用して以下のとおり実施した。

【実験方法】

- 場所：稚内空港　滑走路
- 方法：装置を搭載した除雪車両を稚内空港の除雪オペレータが運転し、滑走路を走行
- 車両：プラウ除雪車 2 台
- 参加オペレータ：5 名
- 参加事業者により適用された測位技術：RTK-GNSS、GNSS＋IMU 複合航法システム



図－10　位置精度の検証方法の概要 [1)]

図－11　トータルステーションによる停止点の測量状況 [1)]

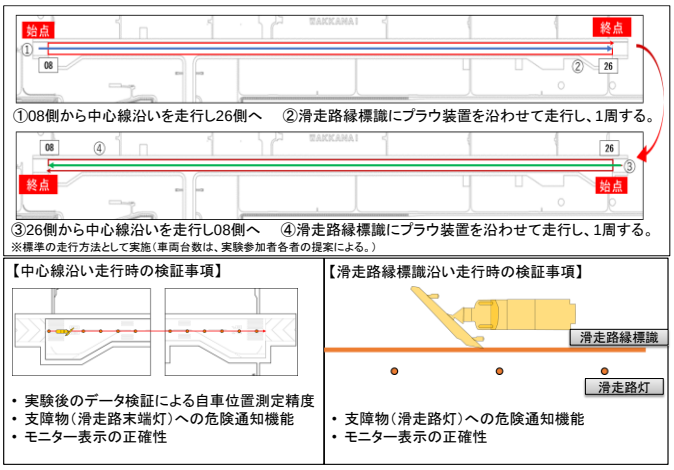
【期間】

- 実験期間：2022 年 1 月 31 日～2 月 18 日

【検証内容】

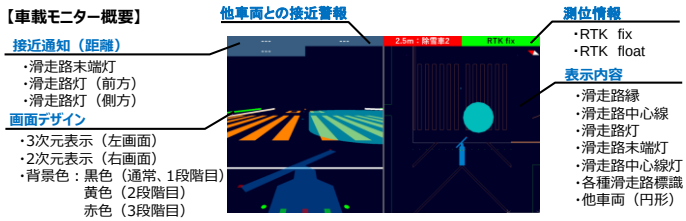
- 自車位置測定性能：Fix 率※、中心線走行時の平均誤差
- 危険通知の正確性：航空灯火への接近時の通知回数
- 画面表示の視認性・更新速度等：稚内空港の除雪オペレータへのアンケート調査により確認

※ Fix 率：全ての測位解（座標値）に対する Fix 解の割合で、100%に近いほど安定した測位と評価される。Fix 解は、測位計算に使用する搬送波位相が定まった状態で取得される高精度の測位解を指す。

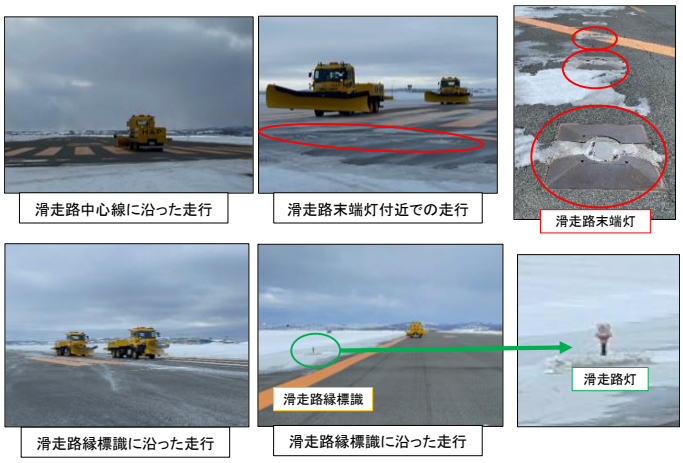


図－12　運転支援ガイダンスシステムの実証実験の概要 [2)]

図－13　運転支援ガイダンスシステムの機器設置状況の例 [2)]



図－14　運転支援ガイダンスシステムの表示内容の例 [2)]



図－15　運転支援ガイダンスシステムの実証実験の様子 [2)]

2）運転支援ガイダンスシステムの検証

ガイダンスシステムの検証として、稚内空港で日々除雪作業に従事している除雪オペレータへのアンケート調査を実施した。調査では使用者目線での正確性、有用性に加え、ニーズの調査も実施した。結果から以下を把握した。

- 支障物を表示端末により確認できることから、ガイダンスシステムは省力化に対して有効
- モニタは運転操作の邪魔にならずに見やすい位置への設置が必要
- オペレータが安心して作業が可能なように確実に機能する危険通知の信頼性が必要

6. おわりに

本報告では、研究開発により把握した空港除雪の省力化・自動化に向けた課題と、受注業務により実施した省力化・自動化に向けた実証実験とその結果の概要を報告した。

国土交通省航空局においては、2022 年度以降も実証や検討を実施予定とされており、今後も空港除雪の省力化・自動化に向けた取組みが進捗するものと考えられる。日本工営としてもこれらの動向を注視し、最新技術の把握や研究に努めるとともに、関連業務へ積極的に参画する予定である。

参考文献

1) 国土交通省航空局：第 3 回空港除雪の省力化・自動化に向けた実証実験検討委員会資料、2021
（https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000047.html）

2) 国土交通省航空局：第 6 回空港除雪の省力化・自動化に向けた実証実験検討委員会資料、2022
（https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000059.html）