

29-1 地上における航空機の防除雪氷作業

1. はじめに

航空機の耐空性は、航空機表面が清浄な状態で保証されている。飛行中は氷結防止装置の作動により航空機表面が氷結することはないが、地上においては、航空機が離陸するまでの間、霜や氷が付着し、降雪により雪が積もることがある。この場合、航空機表面が清浄とは言えず、航空機の耐空性が損なわれ安全に離陸することが保証されないことから、航空機表面から霜、雪あるいは氷を除去し、離陸するまでの間に再び付着することを防ぐ処置を講じなければならない。本記事では、地上における航空機の防除雪氷作業(Aircraft Ground Deicing and Anti-icing)について記述する。

2. 防除雪氷作業の必要性

航空機に液体をかけて作業している光景を目にすることがある。航空機に積もった雪を取り除いていることは判るが、再び雪が積もらないようにするための作業も同時に行っていることは判らない。航空機の耐空性は、航空機表面が清浄な状態で保証されていることから、航空機表面に付着した霜、氷あるいは雪（以下、コンタミネーション(Contamination)と称する。）を除去し、また、航空機が離陸するまでの間に再び航空機表面にコンタミネーションが付着しないよう保護する作業が必要となる。このことを、防除雪氷作業と言う。

航空機は、航空機を引き上げようとする「揚力」と、エンジンによる「推力」で飛ぶことができるが、同時に相反する力も作用する。航空機表面に発生する「抵抗力」と、航空機や乗客、貨物、燃料などの重量による「重力」である。コンタミネーションが航空機表面に付着すると重量や抵抗力が増加し、翼の表面の気流の流れが乱れ必要な揚力が得られなくなる一方で、航空機に作用する力のバランスが崩れ、航空機が安全に離陸できなくなる。

3. クリーンエアクラフトコンセプト

「航空機重要表面に、雪、氷、スラッシュあるいは霜が付着した状態では、何人も航空機を出発させてはならない。」航空機の耐空性は、航空機表面が清浄な状態で保証されることを表すクリーンエアクラフトコンセプト (Clean Aircraft Concept) は、航空機の運航に携わる者にとって重要な言葉である。

1980年代、未だ航空機の防除雪氷作業に対する認識や、防除雪氷体制が十分でなかった時代、コンタミネーションに起因する航空機事故が頻発した。1982年1月13日、アメリカ、ワシントンナショナル空港で発生したフロリダ航空 B737 型機墜落事故は衝撃的な航空機事故として報道された。雪や氷に起因する航空機事故を契機に、ICAO (International Civil Aviation Organization, 国際民間航空機関)は、1992年 ICAO Doc9640-AN/940 (Manual of Aircraft Ground De-Icing/Anti-Icing Operations) を発行し、地上における航空機防除雪氷体制の指針を示した。これに伴い、各国航空当局は航空法を整備し、航空会社の冬期運航体制を管理することになった。航空会社が、防除雪氷作業会社に防除雪氷作業を委託する場合は、委託元である航空会社の支援に

より体制を構築する。

4. 防除雪氷体制の仕組み

防除雪氷作業は、プロピレングリコールと水との混合物の防除雪氷液を航空機表面に散布することであり、散布した防除雪氷液の品質は防除雪氷液製造者が定めた基準を満足していなければならない。

しかしながら、航空機表面に散布した防除雪氷液の品質を作業毎に確認することは不可能であることから、航空会社および防除雪氷作業会社は ICAO マニュアルに従い防除雪氷作業体制を構築し品質を保証する。航空会社はこの体制を維持し、適切に管理していることについて、防除雪氷作業会社も含め定期的に監査しなければならない。以下に管理すべき内容について述べる。

4. 1 防除雪氷マニュアル

防除雪氷作業は、航空機整備の一部として航空機メンテナンスマニュアルに記載される。防除雪氷作業を統一するために、航空機メンテナンスマニュアルには、防除雪氷作業に係る注意事項等の機種固有の要求事項のみを記載し、全ての航空機に共通する作業手順や品質管理手順は後述する SAE (Society of Automotive Engineers) が発行するドキュメントに定める。

このような仕組みから、ICAO マニュアルでは、航空機メンテナンスマニュアルと SAE ドキュメントに記載される内容を反映した防除雪氷マニュアルを制定することを、航空会社および防除雪氷作業会社に課している。防除雪氷作業は、グラウンドハンドリング業務として位置づけられ、ICAO マニュアルに従い防除雪氷体制を構築することで、航空会社以外の会社でも防除雪氷作業を行うことができる。

防除雪氷マニュアルには、防除雪氷従事者の訓練、責任範囲および資格管理、防除雪氷作業要領、使用する防除雪氷液および品質管理、除雪車両の基本仕様や保守点検内容を反映する。

4. 2 防除雪氷作業従事者

防除雪氷作業従事者は、作業区分に応じて、防除雪氷作業確認者および防除雪氷作業者に分類され、座学および実技訓練を含む定期訓練により、防除雪氷作業従事者として冬期期間中の作業実施資格が付与される。

防除雪氷作業確認者は、航空機の状況により防除雪氷作業の必要性を判断し、使用する防除雪氷液や作業方法を防除雪氷作業者に指示する。防除雪氷作業が終了した時、航空機表面が清浄な状態であることを確認し、機長に対して出発可能であることを報告する責任を有する。防除雪氷作業確認者から報告を受けた後、航空機が離陸するまでの間、クリーンエアクラフトコンセプトが維持できていることの責任は、機長が有する。

防除雪氷作業者は、防除雪氷作業確認者の指示により、航空機の防除雪氷作業を行い航空機表面からコンタミネーションが除去されたことを確認した後に、防除雪氷作業確認者に作業完了を報告する責任を有する。

4. 3 防除雪氷液

防除雪氷液は、プロピレングリコールおよび水の混合物で、酸化防止剤、金属腐食防止剤あるいは増粘剤の添加剤が添加される。航空機に使用できる防除雪氷液は、規格を満足し認定された製品であり、FAA（Federal Aviation Administration、米国連邦航空局）が毎年 8 月に発行するホールドオーバータイムテーブル(Holdover Time Table)に記載される。

防除雪氷液は使用期限を持たない化学製品であり、品質管理要領に従い定期的に品質検査を行い、製造者が定めた品質を満足することを確認し使用する。詳細は 6 項で述べる。

4. 4 除雪車両

防除雪氷液の品質を損なうことなく散布できることが要求されており、タンクや配管の材料は防除雪氷液の蒸気で材料が劣化し、その影響で防除雪氷液が劣化することを防ぐためにステンレス材料を使用する。特に、Type-IV 液は、その特性から摩擦により粘度が低下するため、配管の曲り部分を最小限にし、ダイヤフラムを使用した加圧ポンプを使用する。Type-I 液は加熱して使用するために、常温から 80℃まで 30 分以内に加熱できる加熱装置を装備する。また、防除雪氷液は航空機表面近くで散布するために、ブームと呼ばれる伸縮可能な装置を装備する。除雪車両のブーム先端に取り付けられた作業台に防除雪氷作業者を乗せ、走行しながら作業を行うために優れた安定性も要求される。

5. 防除雪氷作業基準に係る SAE の役割

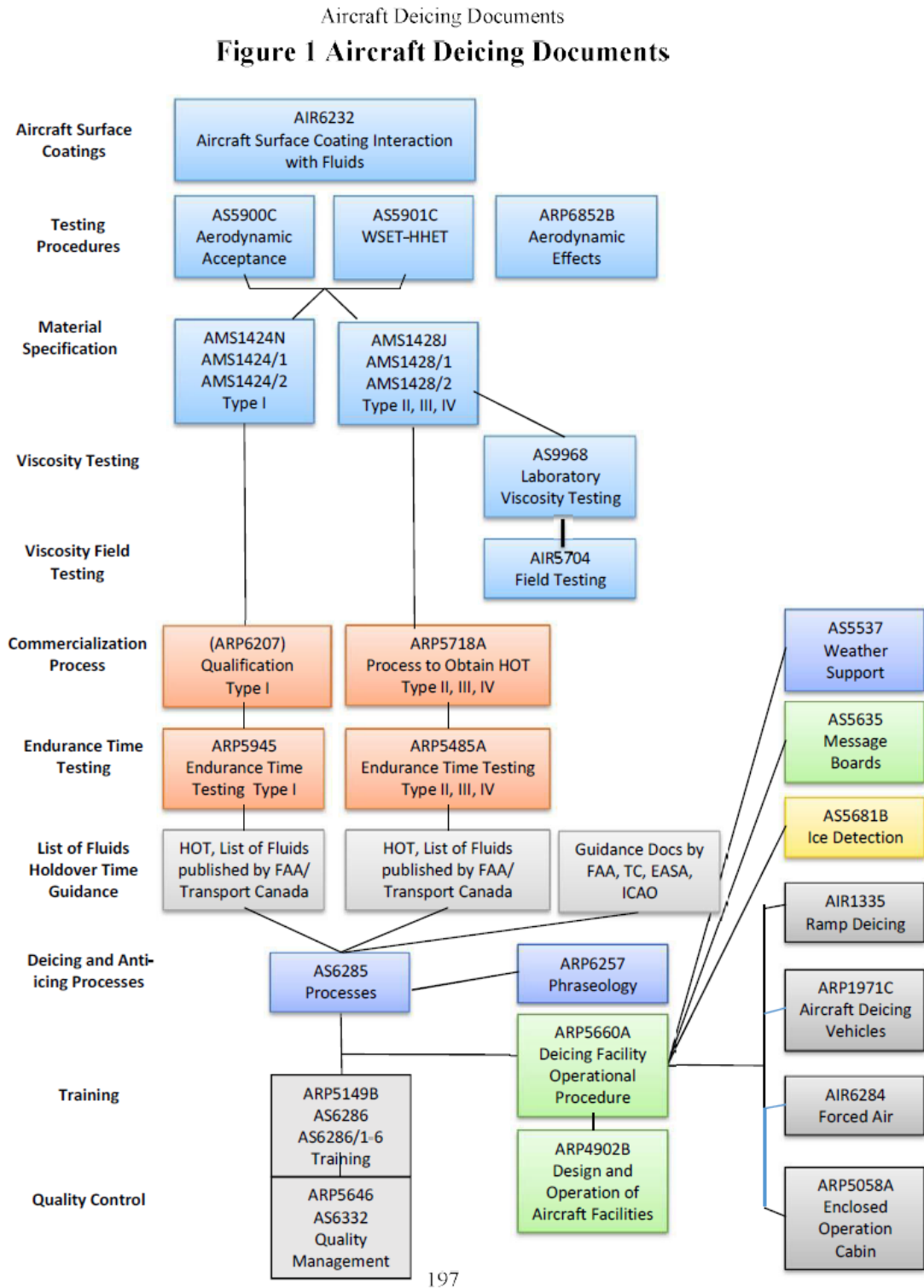
防除雪氷体制を構築するためには 4 項で記述した項目についてより具体的な要領の設定が必用であり、基本となるドキュメントを発行する役割を SAE が担う。防除雪氷作業に係る規格や容量を検討する会議体が、SAE G-12 Aircraft Ground Deicing Committee (SAE G-12・地上における航空機防除雪氷作業分科会)として運営されており、FAA 等の航空当局、航空機メーカー、航空会社、防除雪氷液や除雪車両メーカー、防除雪氷作業会社为中心的なメンバーとなる。防除雪氷作業に係る SAE ドキュメント体系を図 1 に示す。

6. 防除雪氷液とホールドオーバータイム

防除雪氷液は、性状の違いから 2 種類のタイプに分類される。防除雪氷液は、「除雪氷液」、「防雪氷液」として別々に製造されるものではなく、使用目的により「除雪氷液」あるいは「防雪氷液」となる。

AMS1424 (Aerospace Material Specification1424) では粘度が低い Type-I の基準を定め、AMS1428 (Aerospace Material Specification1428) では粘度が高い Type-II、Type-III、Type-IV の 3 種類の基準を定める。AMS1428 に属する防除雪氷液では、1990 年代初めに Type-II 液が開発され、その後航空機の大型化に伴い長いホールドオーバータイムが必要となり、1990 年後半に Type-IV が開発され現在に至っている。日

本では主に Type-I と Type-IV を使用しており、Type-III 液は離陸速度が遅い小型機に適用するもので、主にアメリカで使用される。



© 2016 Jacques Leroux

図 1 防除雪氷作業に関する SAE ドキュメント体系

6. 1 ホールドオーバータイム

防雪氷液が、コンタミネーションの付着を防止することができる効果の持続予測時間を「ホールドオーバータイム」(Holdover Time)と呼ぶ。ホールドオーバータイムは自然気象下で実測試験を行ない、その試験結果に基づき FAA が定める。機長は、出発時の降雪状況、外気温度、防雪氷液製品名から適用するホールドオーバータイムを選択する。防除雪氷作業終了後、機長は防除雪氷作業確認者から防雪氷液散布開始時間の報告を受け、ホールドオーバータイムを離陸するまでの間モニターする。ホールドオーバータイムは、防雪氷液を航空機に散布し始めた時に始まり、防雪氷液の効果がなくなり航空機表面にコンタミネーションが付着し始めた時に終了する。また、ホールドオーバータイムはあくまでも予測時間であり、機長は航空機表面へのコンタミネーションの付着状況を目視確認できないことから、降雪状況や外気温度の変化をモニターし、離陸するまでの間にホールドオーバータイムを超えないようにする。若し、ホールドオーバータイム以内に離陸できないと判断した場合には引き返し、再び防除雪氷作業を行う。

表 1 ホールドオーバータイムテーブル

Outside Air Temperature ¹	Fluid Concentration Fluid/Water By % Volume	Freezing Fog or Ice Crystals	Very Light Snow, Snow Grains or Snow Pellets ^{2,3}	Light Snow, Snow Grains or Snow Pellets ^{2,3}	Moderate Snow, Snow Grains or Snow Pellets ²	Freezing Drizzle ⁴	Light Freezing Rain	Rain on Cold Soaked Wing ⁵	Other ⁶
-3 °C and above (27 °F and above)	100/0	4:00 - 4:00	2:50 - 3:00	1:45 - 2:50	1:05 - 1:45	1:30 - 2:00	1:00 - 1:40	0:15 - 1:40	CAUTION: No holdover time guidelines exist
	75/25	3:40 - 4:00	3:00 - 3:00	1:45 - 3:00	1:00 - 1:45	1:40 - 2:00	0:45 - 1:15	0:10 - 1:45	
	50/50	1:25 - 2:45	1:25 - 1:40	0:45 - 1:25	0:25 - 0:45	0:30 - 0:50	0:20 - 0:25		
below -3 to -14 °C (below 27 to 7 °F)	100/0	1:00 - 1:55	2:10 - 2:30	1:20 - 2:10	0:50 - 1:20	0:35 - 1:40 ⁷	0:25 - 0:45 ⁷		
	75/25	0:40 - 1:20	2:25 - 2:55	1:25 - 2:25	0:45 - 1:25	0:25 - 1:10 ⁷	0:25 - 0:45 ⁷		
below -14 to -18 °C (below 7 to 0 °F)	100/0	0:30 - 0:50	1:15 - 1:45	0:20 - 1:15	0:06 - 0:20				
below -18 to -25 °C (below 0 to -13 °F)	100/0	0:30 - 0:50	0:30 - 0:45	0:09 - 0:30	0:02 - 0:09				
below -25 to -28.5 °C (below -13 to -19.3 °F)	100/0	0:30 - 0:50	0:20 - 0:30	0:06 - 0:20	0:01 - 0:06				

表 1 にホールドオーバータイムテーブルの一例を示す。防除雪氷液タイプおよび製品名毎に定められており、外気温度と降雪状況により防雪氷液の効果持続予測時間が記載される。外気温度は、マイナス 3°C 以上と、マイナス 3°C 以下では一定温度幅で Type-IV 液が使用できる最低温度のマイナス 28.5°C の温度範囲が設定される。降雪状況は、降雪量に応じて分類され、凍結性の雨 (Freezing Rain)、凍結性の霧雨 (Freezing Drizzle) も降雪に含まれるが、日本で良く経験する、ひょう (Ice Pellet) やあられ (Snow Pellet) は降雪には含まれずに個別のホールドオーバータイムテーブルが設定される。ホールドオーバータイムテーブルに時間が記載されない降雪あるいは温度条件下では、耐空性が保証されないことから航空機を出発させることはできない。防除雪氷液にはプロピレングリコールが使用されることを前述したが、マイナス 25°C を下回る極低温下の北米やシベリア等の空港では、低温特性に優れたエチレングリコールを使用することによりマイナス 40°C でのホールドオーバータイムを確保している。

6. 2 AMS1424 (Type-I 防除雪氷液)

80%のプロピレングリコールを主成分とし、20%の水、添加剤で構成される。粘度が低く航空機表面に一定時間留まることなく流れ落ちるために、ホールドオーバータイムが短く、主に除雪氷液として使用する。Type-I は耐空性を保証するために、必ず更に水と混合して使用し、水との混合比率は耐空性試験結果により決定される。Type-I は、次の工程で Type-IV を散布するまでの間に航空機表面が凍結することを防止するためのものであり、防除雪氷作業を行う時の外気温度に応じて水との混合比を決定する。

6. 3 AMS1428 (Type-II,-III,-IV 防除雪氷液)

50%のプロピレングリコールと 50%の水、添加剤で構成される。添加剤には粘度を高める増粘剤が含まれる。粘度が高いことから、航空機表面に均一な厚さの被膜を構成し、長時間留まることができる。その結果、長いホールドオーバータイムが得られることから、原液のまま常温で航空機表面に散布し、防雪氷液として使用する。添加剤に含まれる増粘剤は、紫外線や摩擦に対する抗力がないことから、保管容器は紫外線を防止できるものであり、液の移送装置や除雪車両は摩擦が生じ難いものでなければならない。

6. 4 防除雪氷液の認定

防除雪氷液は、ホールドオーバータイム試験、耐空性試験、航空機材料適合試験の認定試験の結果に基づき FAA が最終認定し、ホールドオーバータイムテーブルに記載される。防除雪氷液の性能、品質は航空機の耐空性に影響することから試験機関は固定されており、ホールドオーバータイム試験および耐空性試験は、FAA およびカナダ航空局の管理下でカナダ・ケベック州立大学内の試験機関で実施される。ホールドオーバータイム試験は自然気象下で実施しなければならないことによる。航空機材料適合試験は、アメリカ・マイアミの試験機関で実施される。

ホールドオーバータイム試験結果の有効期間は 4 年間であり、登録を継続するためには防除雪氷液製造者に対して定期的な更新試験が義務づけられる。



写真1 ホールドオーバータイム試験

ホールドオーバータイムテーブルは、防除雪氷液認定試験管理者の FAA およびカナダ航空局のみが発行できるものであり、カナダではカナダ航空局が発行するホールドオーバータイムテーブルに従うが、その他の国では FAA が発行するホールドオーバー

タイムテーブルに従う。日本では、航空会社は FAA ホールドオーバータイムテーブルに従い運用基準を制定し、航空局の承認を得て運航する。欧州においても同様であり、SAE 会議体を通じて EASA (European Aviation Safety Agency) が毎年実施されるホールドオーバータイム試験結果を承認し、FAA が発行するホールドオーバータイムを使用している。

7 防除雪氷作業

防除雪氷作業とは、除雪氷液を散布してコンタミネーションを取り除く除雪氷作業 (Deicing) と、コンタミネーションが再度付着することを防止するために防雪氷液を散布する防雪氷作業 (Anti-icing) の総称である。

7. 1 除雪氷作業と防雪氷作業の違い

除雪氷作業は、航空機表面からコンタミネーションを除く作業で、効率的な作業を行うために、散布する除雪氷液の高い圧力と温度が要求される。

除雪氷液は、80℃に加熱し、高圧力でしかも散布ノズルからストレートパターンで勢いよく散布する。この時、Type-I は航空機表面の凍結防止の役割を持つ。

除雪氷作業により清浄となった航空機表面に、航空機が離陸するまでの間に再度コンタミネーションが付着することを防ぐための作業を防雪氷作業と呼び、Type-IV を散布して均一な被膜を作る。

防雪氷作業は、Type-IV の均一な被膜を作るのが目的であり、除雪氷作業とは異なり低い圧力で、しかも広い範囲のスプレーパターンで防雪氷液が流れ落ちないように散布する。航空機が離陸するまでの間のホールドオーバータイムを保証するために、防雪氷液を 1 平方メートル当たり 1 リットル散布することが要求される。Type-IV は、航空機が離陸滑走する際によりせん断力が加わり、航空機が離陸する直前に粘度が失われ航空機表面から全て流れ落ち、防雪氷液としての役目を終える。Type-IV はこの様に複雑な働きをすることから、粘度が変化しないように防雪氷作業を行うことが重要である。



写真 2 除雪氷作業

7. 2 メカニカル手法による除雪氷作業

プロピレングリコールを含む除雪氷液の使用量を削減するために、メカニカル手法と呼ばれるホウキ、ブラシ、ロープあるいは圧縮空気を使って雪を取り除く方法がある。但し、航空機表面には構造物の接合部など小さな隙間が有り、この方法では隙間の雪を完全に取り除くことができないことから、あくまでも予備的な除雪氷作業として用いられ、その後除雪氷液を散布する。

8 将来展望

欧米では防除雪氷会社が専門的にこの業務を行い、大規模空港では防除雪氷作業実施場所を集約し効率的な防除雪氷作業が行われている。また、これらの会社の活動

により、SAE を中心として防除雪氷に係る技術力の維持、向上が図られていると言える。日本においても、将来予想される更なる空港規模の拡張やこの様な特殊技術の伝承を視野に入れた場合、防除雪氷作業会社の集約化や作業効率化施策の検討等の課題についても検討する時期にきていると言える。

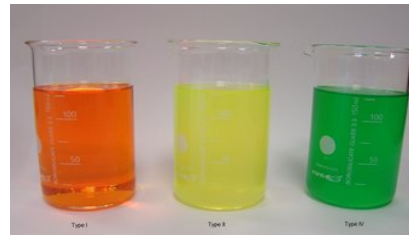


写真3 着色した防除雪氷液

また、防除雪氷液の規格では、Type-I液はオレンジ色、Type-II液は黄色、Type-IV液は緑色に着色することが規格で決められているが、日本では空港ランプ内の排水を考慮し、規格に記載される特例事項により無色の液を使用している。防除雪氷液の色は、防除雪氷作業者が散布する際に、また、運航乗務員が航空機内から散布した防除雪氷液のタイプを容易に確認できるよう、安全運航に対する大きな意味も持つ。新素材を使用した航空機が登場し、無色の防除雪氷液では航空機翼面での散布状況が判りづらいとの議論から、防除雪氷液規格に記載される特例事項を削除し、着色した防除雪氷液の使用を義務付ける動きがある。無色の液を使用しているのは、日本を含むアジアの限られた国だけであり、冬期期間中の安全運航の議論から日本が取り残されることのないよう、着色した防除雪氷液が使用できる環境の整備が求められる。

9 まとめ

技術の進歩とともに、コンタミネーションが航空機表面に付着しない塗料やコーティングの開発も活発化してきているが、大型航空機に適用出来るまでには至っていない。現状では、プロピレングリコールを主成分とする防除雪氷液を使用した作業が最も安全とされており、今後もこの状態が続くと予想される。防除雪氷作業は、冬期期間中の安全運航を維持する上で重要な作業であるが、高額な設備投資が必要であり加えて空港施設等とも関係することから、関係当局も交え防除雪氷作業体制のより一層の向上に向けた取り組みが求められる。

参考文献

- 1) ICAO Doc9649-AN/940 MANUAL OF AIRCRAFT GROUND DE-ICING/ANTI-ICING OPERATIONS (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION 999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7)
- 2) SAE AS6285 Aircraft Ground Deicing/Anti-Icing Processes (SAE International, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001, USA)
- 3) SAE AS6286 Training and Qualification Program for Deicing/Anti-icing of Aircraft on the Ground
- 4) SAE ARP1971 Aircraft Deicing Vehicle – Self-Propelled
- 5) SAE AMS1424 Deicing/Anti-Icing Fluid, Aircraft SAE Type I
- 6) SAE AMS1428 Fluid, Aircraft Deicing/Anti-Icing, Non-Newtonian (Pseudoplastic), SAE Types II, III, and IV
- 7) SAE Guide to Aircraft Ground Deicing

🔍 解説概要一覧に戻る

この解説概要に対するアンケートにご協力ください。

▶ アンケート開始

- 8) SAE G-12 Aircraft Ground De-Icing Committee 資料
- 9) 防除雪氷作業および除雪車両に関する写真、第一実業株式会社・ベスターガード社提供
- 10) 防除雪氷液写真、クラリアントジャパン株式会社提供