

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18911

研究課題名（和文）超音波を用いた過冷却解除による航空機着氷抑制技術のフィールド実証

研究課題名（英文）Field Validation of Anti-icing Method for Aircrafts by Releasing Supercooling Using Ultrasonic Sound Wave

研究代表者

吹場 活佳（Fukiba, Katsuyoshi）

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：50435814

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：航空機の翼やエンジンなどに氷が付着する着氷現象は、過去にたびたび重大な航空機事故の原因となっている深刻な問題である。本研究では超音波による過冷却解除を用いて氷の付着を抑制する新しい手法についてその有効性を検証した。過冷却の水滴が空気中で氷となった場合、翼との接触面積が減少し、付着力は急激に減少する。研究の結果、超音波による過冷却解除は予測に反しあまり効果的なものとはならなかった。一方で表面へのコーティングが着氷抑制に効果的であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで着氷実験は大規模な冷凍機を備えた風洞などを利用して行われてきた。この場合、実験回数を増やすのが難しく、再現性のある精度良いデータを取得するのが困難であった。本研究では実験室において冷凍庫を用いた着氷実験装置を開発し、高頻度での繰り返し試験が可能な環境を整えた。また従来の研究では着氷実験の結果は表面画像など定性的なデータの取得にとどまっていた。本研究では天秤を用いて着氷対象物の質量を非定常的に測定する装置を開発し、着氷量の時間変化を取得することに成功した。

研究成果の概要（英文）：Icing problem, where ice accumulates on surfaces of aircraft wings or engines, causes severe aircraft incidents in the past. In this study, we proposed a new method to prevent ice accumulation by freezing supercooled water droplets in the air using ultrasonic sound wave and validated the method. If supercooled water freezes in the air and change the phase into ice, the contact area decreases, and the attachment force reduces drastically. The results of this study showed that the method using ultrasonic sound wave does not work effectively, contrary to expectations. In contrast, surface coatings on objects showed effectiveness against ice accumulation.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：着氷

1 . 研究開始当初の背景

着氷は低温多湿の環境下において、空気中に含まれる過冷却液滴が翼面に衝突することで氷となる現象である。特に-10℃を下回るような低温環境下では、空気中の液滴が凍結せずに過冷却の液滴として空気中に存在し、機体に衝突した瞬間に凍結する。このような場合、氷が樹氷のように風上に向かって大きく成長するため、空気力学的な悪影響が大きい。着氷は1988年東亜国内航空機米子空港オーバーラン事故など、過去に多数の事故の原因となっている。着氷問題に対し、これまでもいくつかの対策が考案され採用されているが、いまだに根本的な解決には至っていない。現状として、離陸前にグリコール系の着氷防止剤を噴霧する処置がとられているが、環境負荷も高く運用上も大幅な時間のロスとなるため不利益が大きい。

2 . 研究の目的

本研究では、超音波を用いて翼に過冷却液滴が衝突する前に過冷却を解除し付着力を激減させ着氷を抑制する新たな手法を提案する。図1に概念図を示す。過冷却状態にある水滴は外部からの刺激により過冷却が解除され固体の氷滴に相変化する。本手法では超音波による振動により空気中の過冷却液滴に衝撃を与え、過冷却を解除する。空気中で氷となった場合、翼との接触面積が減少し、付着力は急激に減少する。本研究によりこれまで数多くの航空機事故の原因となってきた着氷問題を解決し、航空機の安全向上に貢献する。また現在離陸前に実施している着氷防止剤噴霧などの作業を省略できれば、機体の運用上大きなメリットをもたらすばかりでなく、有害な着氷防止剤の使用を削減または廃止することにより環境負荷の低減に貢献することができる。

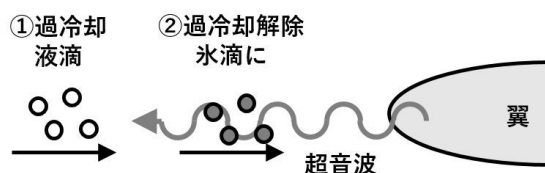


図1 超音波による過冷却解除

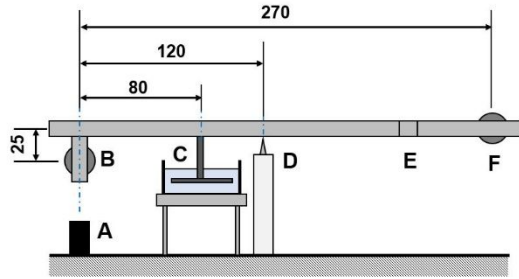
3 . 研究の方法

(1) 研究室における冷凍庫を用いた手法の開発

研究の初期段階として、市販の大型冷凍庫を改良して低温風洞を構築し、これを用いて手法の開発を行う。ファンを用いて作り出した気流中に微細な水滴を噴霧し、庫内で冷却されることで過冷却液滴となる。まずは基本的な形状を用いて着氷の成長過程を観測したのち、超音波による着氷抑制手法の有効性およびエネルギー効率を確認する。本実験では福島工業製低温インキュベータ FMU-3801-HC を用いて -10 および -20℃ の環境を用意した。この冷凍庫は内寸 W620×D545×H1081 mm である。

着氷質量に関して、過去の研究では実験終了後の質量などが測られているが、実験中の質量変化を詳細に記録した例は稀有である。本研究では天秤を利用して質量変化を傾きに変換して計測し微細な非定常質量計測を可能にした。図2に用いた天秤の図を示す。Fが着氷対象となる円柱、BがFとほぼ同質量のカウンターウエイトである。Bのカウンターウエイトを主軸から約25mm下方に配置する。Fの円柱に氷が付着して質量が増加するとつり合いの位置が変化する。つり合いの位置の変化をAのレーザー式変位センサで測定する。天秤の振動を抑えるため、Cの位置にシリコンオイルを利用したダンパが設置されている。

天秤の冷凍庫内への配置図を図3に示す。着氷対象となる円柱は庫内底面からの距離 $y=250$ mm の位置に設置された。円柱の上方 50 mm、 $y=300$ mm の位置には円柱と同じ投影面積 (20×100 mm) を持つ開口部が設けられた樹脂板が配置されている。これは円柱以外の天秤構造に液滴が付着するのを防ぐためである。 $y=600$ mm の位置にノズルを配置し、ここから液を噴霧する。ノズルの下方には可動式の仕切り板があり、ノズルに水と空気を供給し噴霧状態が十分に安定してから仕切りを取り除き実験を開始する。ノズルはタミヤ製の塗装用エアブラシ (エアブラシシステム No. 31 ベーシックエアブラシ) を分解して取り出したものを使用した。



A: distance meter, B: counter weight, C: damper and silicone oil,
D: fulcrum, E: small weight for balance, F: specimen

図 2 天秤を用いた着氷質量計測手法

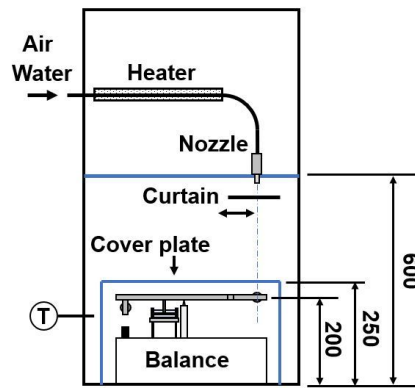


図 3 冷凍庫内の実験装置のレイアウト

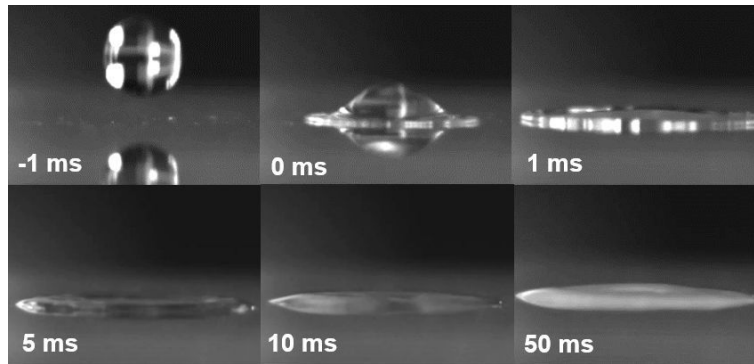
(2) フィールド実証

研究の後半では、開発した除氷装置を室蘭工業大学の有する白老実験場に持ち込み、冬期夜間の -20 の環境を用いてフィールド実証実験を行う。冷凍庫を用いた実験では液滴の衝突速度を十分に上げられない、液滴の噴霧により庫内温度が上昇し同一条件での評価が困難であるといったデメリットがある。実験場に大型のターボ送風機を持ち込み高速の気流を作り出し、気流中に暴露した翼型上に発生する着氷を提案する装置にて抑制する実験を行う。

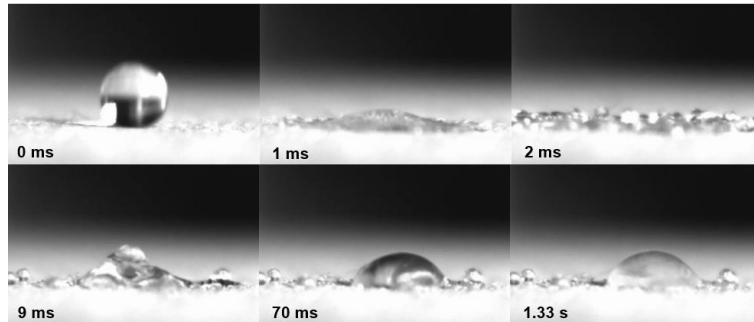
4. 研究成果

(1) 液滴の衝突過程の観察

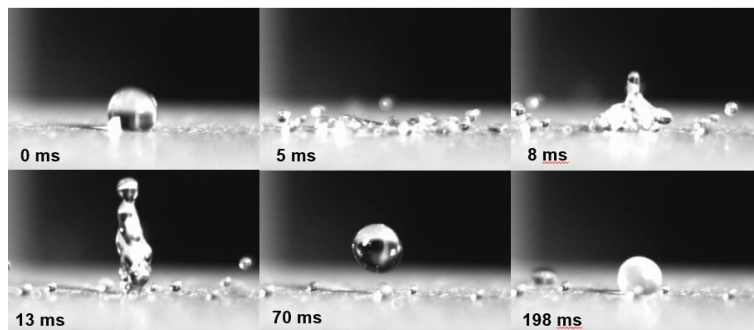
冷凍庫内の温度を -20 に設定し、注射器により単一液滴を滴下、衝突させ、平板上で凍結する様子を観察した。平板の表面は無加工のものに加え、ケミプラストと呼ばれる粗面化処理を施したもの、撥水処理を施したもの、両方を施したものの4種類を用意した。液滴径は約 2.7mm である。径が比較的大きいため、液滴は供給時の温度(約 10)からあまり冷えずに表面に衝突しているものと考えられる。図4(a)に無加工のアルミニウム板に液滴を滴下した場合の液滴凍結の様子を示す。平板に衝突した液滴は薄く円板状に広がる。常温下の場合、薄く広がった液滴が表面張力により再度球状になろうとする。しかし -20 下では広がった瞬間に凍結し、円板状のまま表面に付着する。図4(b)はアルミニウム板にケミプラストのみを施した場合の液滴の衝突、凍結の様子である。液滴は円板状に広がったのち凍結することなく半球状になる。これは表面に凹凸が施された結果液滴と表面の接触面積が低下し、冷却速度が低下したためと思われる。その後 1 s 程度経過したのちに凍結する(図4(b)右下)。図4(c)にケミプラスト処理を施したのちに表面に超撥水コーティングを施した場合の液滴凍結の様子を示す。超撥水コーティングの影響で、衝突直後に液滴は小液滴に分裂し四方に飛び散る。中心部では液柱が発生し跳ね上がる。跳ね上がった液体は表面張力により空中で再度球形に戻る。その後何度かバウンドしたのち、表面で凍結する。この表面では最終的に液滴が凍結するまで他の表面より長い時間を要する。アルミニウム板に撥水コーティングのみを施した場合についても図4(c)と同様の結果であった。



a) Bare aluminum plate



b) Chemiblust only



c) Chemiblust and hydrophobic coating

図4 様々な表面への液滴の落下，衝突の様子

(2)-20 環境下における着氷量の測定

図5に，冷凍庫内温度が -20 の場合の実験終了直後の円柱の写真を示す．表面には柱状の氷が上流側に向かって並んでいる．これはいわゆる rime ice の状態で，過冷却の液滴が表面に衝突した瞬間に凍結したと考えられる．庫内温度が -20 の場合，どの円柱でもこのような rime ice がみられた．

図6に，庫内設定温度が -20 の場合の，天秤を用いて測定した円柱への着霜質量の時間変化を示す．撥水コーティングのみを施した円柱で若干の着氷開始時刻の遅延がみられるが， -10 の場合と比べ遅延時間は短い．結果として実験終了時の着氷量の差が小さくなった．特にケミプラスト加工に加え撥水コーティングを施した円柱の場合，撥水コーティングのみを施した円柱に比べ着氷量が大きくなった．これは表面の凹凸が悪影響を及ぼしたと考えられる．



図5 庫内温度 -20 での着氷実験終了後の円柱表面の着氷

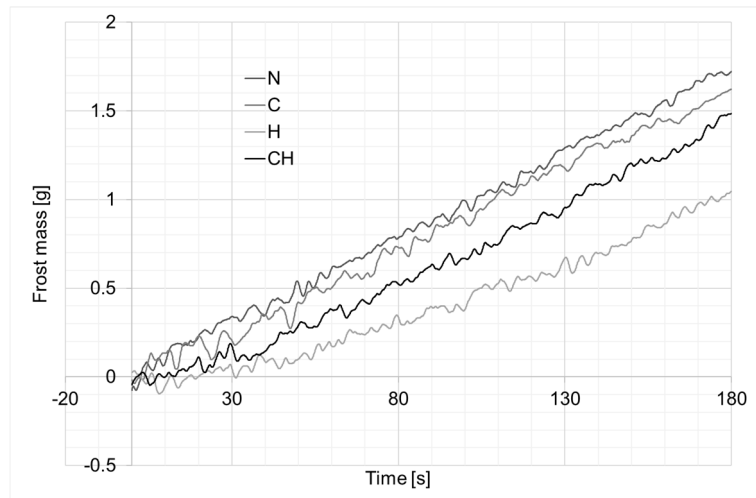


図6 庫内温度-20 での着氷質量の時間変化

N:無加工, C:ケミプラストのみ, H:撥水処理のみ, CH:ケミプラストおよび撥水処理

(3) フィールド実証実験および超音波による着氷抑制

室蘭工業大学白老実験場にて冬季夜間におけるフィールド実証実験を実施した。図7に実験装置の外観図を示す。プロアおよびダクトからなる簡易風洞を製作し、早朝の最も気温が低くなる時間帯に屋外で着氷実験を行った。風洞内に水を噴霧してアルミ円柱への着氷を観察した。期待通りに気温が下がらず、-5 前後での実験となった。気温や供給する水の温度など様々なパラメータがあり、これらを狙い通りに設定することが難しく、再現性のあるデータの取得が困難であった。4種の異なる表面性状をもつ円柱を持ち込み試験した。図8に円柱への着氷の様子を示す。表面性状の違いにより着氷状態に違いが生じることを確認した。

さらに実験室にて本研究の最終目標である超音波による着氷抑制に挑戦した。低周波から超音波まで、様々な波長の音波による効果を調べたが、実験結果のばらつきもあり、有意な効果を確認することができなかった。

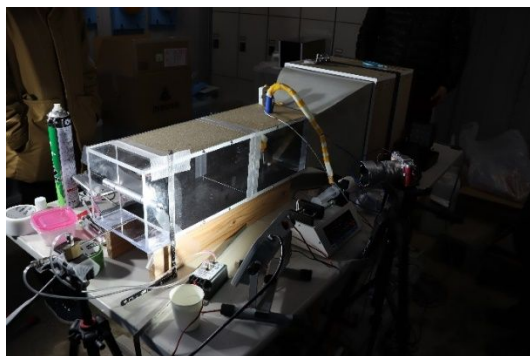


図7 屋外における着氷実験

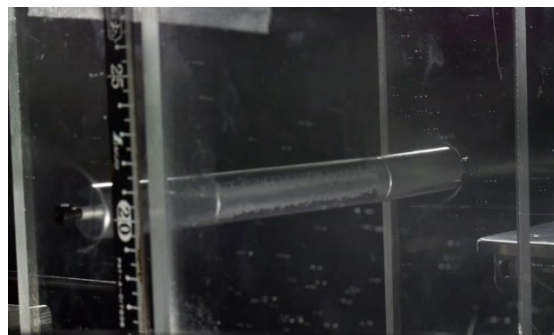


図8 屋外実験における着氷の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 原科穰、吹場活佳、中田大将
2. 発表標題 航空機の着氷に対する超撥水コーティングによる濡れ性変化の影響
3. 学会等名 第51回流体力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原科穰
2. 発表標題 航空機の着氷に対する表面への凹凸加工と超撥水コーティングによる影響
3. 学会等名 第57回飛行機シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原科穰
2. 発表標題 着氷における素材と表面性状に関する基礎実験
3. 学会等名 第56回飛行機シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中田 大将 (Nakata Daisuke) (90571969)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教 (10103)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	原科 穰 (Harashina Yutaka)	静岡大学・大学院総合科学技術研究科・修士学生 (13801)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関