

交通運輸技術開発推進制度
研究成果報告書
(ダイジェスト版)

機上の乱気流事故防止システムに対する
信頼性評価の研究開発

平成28年3月

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

研究成果報告要約

作成年月	平成28年3月
研究テーマ名	交通・輸送システムの安全性・信頼性等向上
研究課題名	機上の乱気流事故防止システムに対する信頼性評価の研究開発
研究代表者名	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 町田 茂
研究期間	平成27年6月5日～平成28年3月22日
研究の目的	旅客機の事故の半数は乱気流等の気象現象に関連しており、その対策の重要性が指摘されている。空港や旅客機には気象レーダが設置/搭載されているが、雲や水分を伴わない晴天乱気流は検知できない。そこで、乱気流を検知できるドップラーライダーを用いた機上の乱気流事故防止システム実現のために、旅客機搭載に際してシステムの有効性判定、安全性確認、耐空性審査を行う上で必要となる技術の開発を目的とする。
研究成果の要旨	<p>(1) 大気条件の標準化</p> <p>平成25年度から収集している多数のデータを統計的に処理して大気条件の高度別標準化案を作成した。統計処理に当たって3回の有識者への意見聴取を行って専門家による助言を得た。</p> <p>(2) システムの信頼性評価</p> <p>①平成26年度までに作成した飛行シミュレーションソフトウェアを用いて、大型・中型・小型機モデルにおいて突風遭遇時の機体動揺シミュレーションを、着陸進入中の場合および機器の故障を想定する条件について800回以上を実施し、このソフトの有効性を確認した。</p> <p>また、大気条件の高度別標準化および減圧環境での搭載機器の特性変化の数学モデルを組み込むことにより、シミュレーションソフトの完成度を高めた。</p> <p>②機内環境模擬装置により実機飛行状態を地上で模擬し、開発済みライダーの減圧環境下での機能・性能評価を行った。その結果各設定高度において特性変化は想定通りで、性能低下やその他特異な現象はなく実飛行状態での観測が可能であることが確認できた。</p> <p>(3) レーザ光の安全性評価</p> <p>JAXAが開発する新規試作ライダーについて航空機の運動を考慮して、レーザー光の人体に対する危険性を評価した。</p> <p>米国で発効したAC20-183（レーザー機器搭載ガイド）のレーザー光の安全性については適合可能であることを確認した。また、各飛行フェーズにおいて安全性を検討した。地上では、気象レーダと同様に作動させないこと、飛行中のレーザー放出の公称眼障害距離（NOHD）は、4.9kmであり通常衝突回避装置でこの距離に接近することはないこと、着陸進入中は、飛行方向延長線から約10～20m（速度による）外れていれば光学機器を用いた観察でも安全であること等から、安全性が確保できることがわかった。</p> <p>以上から運航中の各フェーズにおいて安全であることが確認できた。</p>
知的財産権 取得状況	平成27年度は、特になし。
研究成果発表実績	論文発表：なし 口頭発表：国内3件、海外 予定1件（2016年6月）

研究開発の目的と実施体制

研究開発の目的

乱気流を検知できるドップラーライダーを用いた機上の乱気流事故防止システム実現のために、旅客機搭載に際してシステムの有効性判定、安全性確認、耐空性審査を行う上で必要となる技術の開発

研究実施体制

他の機関で研究を実施することはありません。

研究開発成果

1. 序論

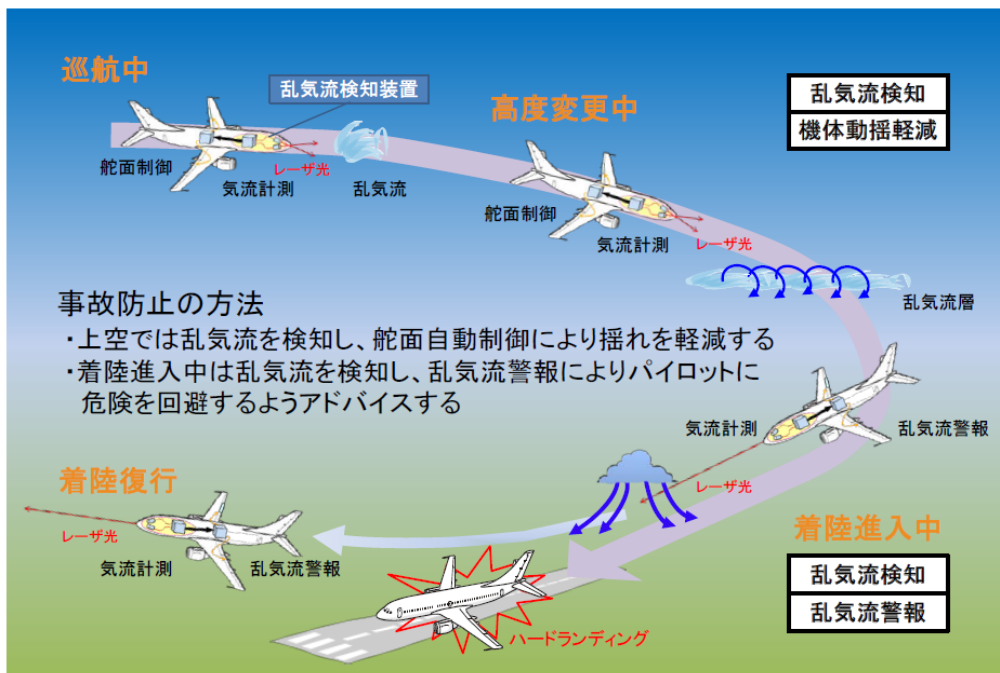
旅客機の事故の半数は乱気流等の気象現象に関連しており、その対策の重要性が指摘されている。空港や旅客機には気象レーダが設置/搭載されているが、雲や水分を伴わない晴天乱気流は検知できない。晴天乱気流を検知できるドップラーライダー*1は、一部の空港に設置されているが、大多数の空港及び上空では、飛行中に晴天乱気流の存在を事前検知できないのが現状である。そこで、ドップラーライダーを用いた機上の乱気流事故防止システム実現のために、旅客機搭載に際してシステムの有効性判定、安全性確認、耐空性審査を行う上で必要となる技術の開発を目的とする。

*1: ドップラーライダー: 光を使って遠方を観測する装置で、ドップラー効果を利用して観測対象の移動速度を求めることができる。

機上の乱気流事故防止システムで利用するドップラーライダーは、レーザ光を放射して大気中に浮遊するエアロゾルからの散乱光を受信することにより遠方の気流を観測するセンサーである。このシステムの信頼性評価のために、大気中エアロゾル*2の標準化を行う。また、本システムは万一システムに不具合が生じた場合でも危険性増大は許容されないので、考えられる故障の可能性や観測誤差を想定してシミュレーションを実施し、耐空性基準への適合性に必要な信頼性評価方法を検討する。さらに、レーザを用いることから、実情に即した安全性を評価できる基準設定と本システムのレーザに関する危険性評価を行う。

*2: エアロゾル: 微小な液体または固体の粒子が気体中に浮遊する状態

機上の乱気流事故防止システムが耐空証明を取得し旅客機搭載となれば、機上で検知した乱気流の情報をパイロットに通知し、回避操作することで乱気流を原因とした航空機事故防止に大きく貢献できるだけでなく、乱気流の検知データを用いて自動制御することにより客室内の安全性向上のみならず搭乗者の乗り心地改善にもつながり、乗客の安心感の拡大等が期待できる。



機上の乱気流事故防止システムの運用イメージ

2. 研究内容の概要

3年間の計画として以下のように研究開発を進めた。

1) 大気条件の標準化

大気中のエアロゾルによる後方散乱係数は、高度や気象条件によって大きく異なり、ドップラーライダーの観測能力に大きく影響する。システム信頼性評価を正しく行うために、これまでの世界各国のエアロゾル観測データに基づき、標準的な後方散乱係数を設定した。

平成 25 年度： エアロゾル観測データの収集

平成 26 年度： エアロゾル観測データに基づいた後方散乱係数の推定方法検討

平成 27 年度： エアロゾル観測データに基づいた後方散乱係数の統計処理

2) システムの信頼性評価

乱気流事故防止システムは、正常に動作する限り航空機の安全運航に寄与するものであるが、万一システムに不具合が生じた場合でも危険性が增大することは許容されない。したがって、考えられる故障の可能性や観測誤差を想定してシミュレーションを実施した。

平成 25 年度： シミュレーションソフトの設計・製作、機内環境模擬装置の設計・製作。

平成 26 年度： 計算機によるシミュレーションの実施

平成 27 年度： 計算機によるシミュレーションの追加試験および評価解析の実施、および機内環境模擬装置を用いた地上試験の実施

3) レーザ光の安全性評価

実情に即した安全性を評価できる基準を作成するため、既存基準(JIS)の調査を行った。一方、本システムのレーザ運用条件を JAXA が開発中の装置を例題として設定し、既存基準の調査結果に基づいて本システムのレーザに関する危険性評価を行った。

平成 25 年度： J I S 基準の調査

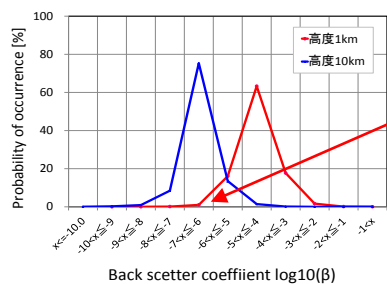
平成 26 年度： システムの運用条件の検討

平成 27 年度： システムの危険性の評価

3. 平成 27 年度の成果

3. 1 大気条件の標準化

(ア) 平成 25 年度から収集した大気データおよび人工衛星によるデータを活用して、既に確立した推定法を用いてエアロゾル粒子による後方散乱係数を高度別、および月別に求めて、高度毎、季節毎、場所毎の後方散乱係数頻度分布と平均値を得て機器の設計条件やシミュレーションに利用可能な標準パラメータとして使用できる標準値の案を作成した。結果の 1 例を図示する。



標準値 → 解析計算に活用

- ・同一条件による性能の評価
- ・誤検知の頻度、誤差の推定

(イ) 統計処理に当たって有識者への意見聴取(3回)を行った。

以上により多数のデータを統計的に処理して大気条件の高度別標準化を行い、標準値の案を提示した。

3. 2 システムの信頼性評価

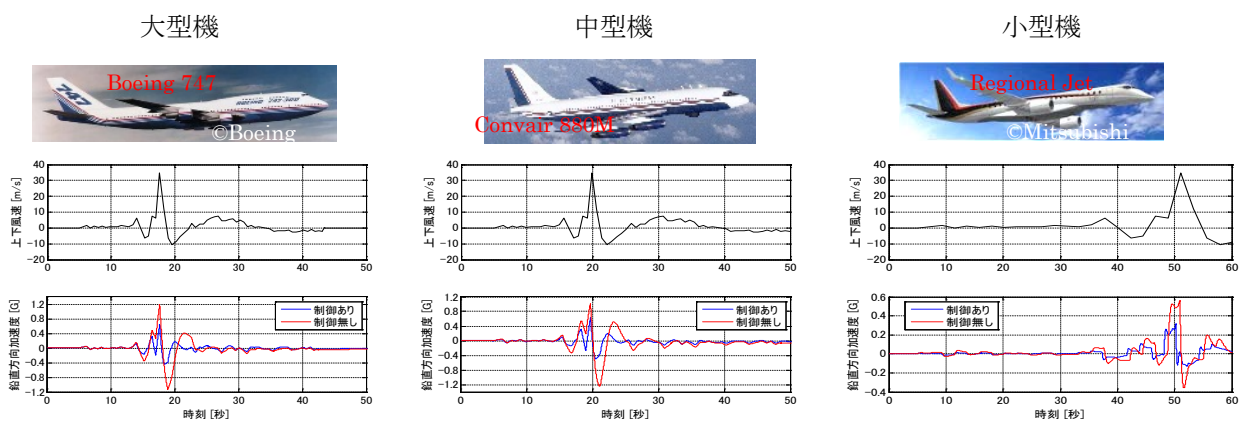
3. 2. 1 計算機によるシミュレーションの追加試験および評価解析

平成 26 年度までに作成していた飛行シミュレーションソフトを改修し、完成度を上げて機器の故障や特性変化を想定したシミュレーションを行った。航空機モデル 3 種、突風データ 10 種以上、制御条件 3 類の計 90 回以上の故障シミュレーションの追加試験を行なってソフトが評価解析に有効であることを確認した。

大型機・中型機・小型機モデルにより JAXA が開発した制御則の機体動揺シミュレーションを実施した。

(ア) JAXA が開発した制御則・有無条件において、着陸進入中の突風応答軽減性能が評価可能であることを示した。

(イ) ライダー故障を想定したシミュレーションを実行・評価した。結果の 1 例を下に示す。



これらの結果より、機器の故障や特性変化の影響について評価するうえでシミュレーションソフトが有効に活用できることを確認した。

3. 2. 2 機内環境模擬地上試験

機内環境模擬装置により実機飛行状態を地上で模擬し、開発済みライダーの減圧環境下での機能・性能評価を行った。

(ア) 各設定高度において、性能低下なく観測が可能であることが確認できた。

(イ) レーザ光の送受信望遠鏡の焦点距離の変化、受信光の信号対雑音比、機器故障などの有無は、想定通りで、その他特異な現象は発生しなかった。



3. 3 レーザ光の安全性評価

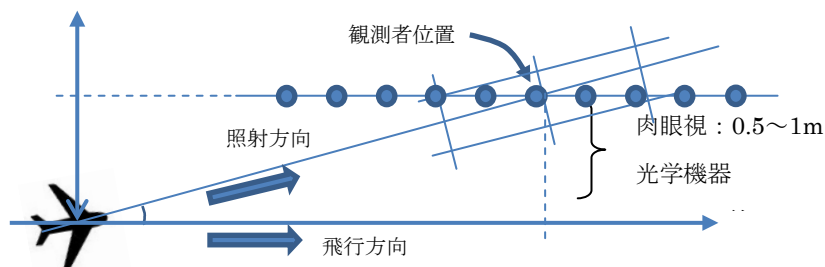
JAXA が開発中の新規試作ライダーの安全性評価を行った。また航空機の運動を考慮して、レーザー光の人体に対する危険性を評価した。

(ア) 2014年12月に米国で発効したAC20-183（レーザ機器搭載ガイド）に対する適合性について検討し、レーザ光の安全性については適合可能であることを確認した。

(イ) 飛行中のレーザ放出の公称眼障害距離（NOHD）は、4.9kmであるが、衝突防止装置の作動により、このような接近は通常起こりえない。万が一接近したとしても、MPE算出で適用する10秒間連続して厳密に正対する可能性はなく安全である。

(ウ) 着陸進入中は、飛行方向延長線から0.5~1m（速度による）外れていれば肉眼視で安全、約10~20m外れていれば光学機器を用いた観察でも安全であることが分かった。

(エ) 地上では、気象レーダと同様に作動させないことで、安全性が確保できる。



以上から運航中の各フェーズにおいて安全であることが確認できた。

4. 結論

大気条件の標準化、システムの信頼性評価、レーザ光の安全性評価について、当初予定した通りの業務を実施し、以下の成果を得ることができた。

(1)大気条件の標準化

平成 25 年度から収集している多数のデータを統計的に処理して大気条件の高度別標準化案を作成した。統計処理に当たって3回の有識者への意見聴取を行って専門家による助言を得た。

(2)システムの信頼性評価

①平成 26 年度改修した飛行シミュレーションツールを用いて飛行条件、故障条件を想定した後、大型機、中型機、小型機において合計 836 ケースのシミュレーションを実行し、下記を評価した。

- i) 大型機・小型機については、JAXA 開発制御則の有無条件で実行したシミュレーション結果を比較することにより、着陸進入中・突風応答時の機体動揺低減性能が評価可能であることを示した。
- ii) 大型機・中型機・小型機について、予見情報のゼロ故障が生じても航空機の揺れが悪化しないことを示した。

さらに、本年度においても引き続き本シミュレーションソフトウェアに改修を行い、大気条件の高度別標準化および減圧環境での搭載機器の特性変化の数学モデルを組み込み、ソフトウェアの完成度を高めた。

②機内環境模擬装置により実機飛行状態を地上で模擬し、開発済みライダーの減圧環境下での機能・性能評価を行った。その結果各設定高度において、性能低下や特性変化がなく観測が可能であることが確認できた。

(3)レーザ光の安全性評価

JAXA が開発する新規試作ライダーについて航空機の運動を考慮して、レーザ光の人体に対する

危険性を評価した。

米国で発効した AC20-183（レーザ機器搭載ガイド）のレーザ光の安全性については適合可能であることを確認した。また、各飛行フェーズにおいて安全性を検討した。地上では、気象レーダと同様に作動させないこと、飛行中のレーザ放出の公称眼障害距離（NOHD）は、4.9km であり通常衝突回避装置でこの距離に接近することはないこと、着陸進入中は、飛行方向延長線から約 10～20m（速度による）外れていれば光学機器を用いた観察でも安全であること等から、安全性が確保できることがわかった。

以上から運航中の各フェーズにおいて安全であることが確認できた。

以上の結果により、機上の乱気流事故防止システムを開発する際に、性能を客観的に評価する基準、信頼性を評価する手法、安全性を評価する手法の案を提示することができた。これらの案は今後の開発の進捗過程で実情に合わせて改定されることが想定されるが、基本的な成立性は今回の成果で明らかにしている。したがって、現在 JAXA が行っている「乱気流事故防止機体技術の実証」での航空機搭載にあたり、本研究開発成果を用いて性能、信頼性、安全性の評価基準を明らかにすることにより、早期の実用化に資することができる。

5. 知的財産権取得状況

平成 27 年度は、特になし。

6. 研究成果発表実績

1) 論文発表

平成 27 年度は、特になし。

2) 口頭発表

- (1)井之口浜木、秋山智浩、濱田吉郎、町田 茂：“機上の乱気流事故防止システムに対する信頼性評価の研究開発（その 2）”、第 53 回飛行機シンポジウム
- (2) 秋山智浩、及川博史、稲垣敏治、井之口浜木：“航空機搭載ライダー信頼性向上に向けたエアロゾル観測データによる後方散乱係数の推定方法検討”、第 53 回飛行機シンポジウム
- (3)濱田吉郎、齋藤健一、佐々木勝人：“ライダー観測誤差に対してロバストな突風応答軽減制御系の検討”、第 53 回飛行機シンポジウム
- (4)予定 H.Inokuchi、T.Akiyama、S.Machida：“Development of an Onboard Safety Avionics System using a Doppler Lidar” 18th Coherent Laser Radar Conference

7. 参考文献

1) 大気条件の標準化

- (1-1) C. M. Sonnenschein and F. A. Horrigan, “Signal-to-Noise Relationships for Coaxial Systems that Heterodyne Backscatter from the Atmosphere,” Appl. Opt. 10(7), pp. 1600-1604, 1971.
- (1-2) Rod G. Frehlich and Michael J. Kavaya, “Coherent laser radar performance for

- general atmospheric refractive turbulence,” Appl. Opt. 30(36), pp. 5325-5352, 1991.
- (1-3) S. Kameyama, T. Ando, K. Asaka, Y. Hirano and S. Wadaka, “Compact all-fiber pulsed coherent lidar system for wind sensing,” Appl. Opt., 46(11), pp. 1953-1962, 2007.
- (1-4) S. Kameyama, T. Ando, K. Asaka, and Y. Hirano, “Semianalytic pulsed coherent laser radar equation for coaxial and apertured systems using nearest Gaussian approximation,” Appl. Opt., 49(27), pp. 5169-5174, 2010.
- (1-5) Winker et al., “The CALIPSO Mission: A Global 3D View Of Aerosols And Clouds,” Bull. Amer. Meteor. Soc., 91, 1211–1229, 2013.
- (1-6) Winker et al., “The global 3-D distribution of tropospheric aerosols as characterized by CALIOP,” Atmos. Chem. Phys., 13, 3345-3361, 2013.
- (1-7) Young, S., 2010: Uncertainty Analysis for Particulate Backscatter, Extinction and Optical Depth Retrievals reported in the CALIPSO Level 2, Version 3 Data Release.
- (1-8) Vandana Srivastava, Jeffrey Rothermel, Antony D. Clarke, James D. Spinhirne, Robert T. Menzies, Dean R. Cutten, Maurice A. Jarzembski, David A. Bowdle and Eugene W. McCaul, “Wavelength dependence of backscatter by use of aerosol microphysics and lidar data sets: application to 2.1- μ m wavelength for space-based and airborne lidars,” Appl. Opt., 40(27), pp. 4759-4769, 2001.
- (1-9) Powell et al., 2013: CALIPSO Data Products Catalog (PC SCI 503).
- (1-10) Available online:
http://www-calipso.larc.nasa.gov/products/CALIPSO_DPC_Rev3x6.pdf [Accessed 26 January 2016].
- (1-11) Available online:
<http://www-calipso.larc.nasa.gov>
- (1-12) Available online:
https://eosweb.larc.nasa.gov/sites/default/files/project/calipso/CALIOP_Version3_Extinction_Error_Analysis.pdf. [Accessed 26 January 2016].

2) システムの信頼性評価: (シミュレーションによる評価)

- (2-1) “ライダー利用型突風応答軽減システムの故障シミュレーションソフトウェアの製作” 作業報告書 (JX-PSPC-384982) ,2014年2月
- (2-2) “ライダー利用型突風応答軽減システムの故障シミュレーションソフトウェアの製作” 作業報告書, (JX-PSPC-406783) ,2015年2月
- (2-3) 林千瑛, 張替正敏, “最適予見制御による乱気流中の航空機の揺れの制御”, 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 58, No. 677, pp.164-170, 2010
- (2-4) NASA-CR-114494, “THE SIMULATION OF A JUMBO JET TRANSPORT AIRCRAFT (Volume II Modeling data)”

3) レーザ光の安全性評価

- (3-1) JIS C 6802 : 2011 レーザ製品の安全基準
- (3-2) JIS Z 8120 : 2001 光学用語
- (3-3) JIS Z 8113 : 1998 照明用語
- (3-4) 平成 25 年度 成果報告書
- (3-5) 平成 26 年度 成果報告書
- (3-6) AdvisoryCircular : AC No.20-183 Laser Airworthiness Installation Guidance
- (3-7) 光産業技術振興協会 「レーザ安全ガイドブック 第4版」
アドコム・メディア株式会社、2009
- (3-8) 河野健治 「光結合系の基礎と応用」 現代工学社、1991