

	機上気象レーダー	活用方法	機上気象レーダーの特性と限界及び活用 対流雲エコーの回避での活用 積乱雲周辺の状況把握及び回避での活用
	自動操縦装置	運用方法	航空機運用規程等に従った運用 乱気流遭遇時の自動操縦装置の運用
			訓練
	新技術の活用	乱気流予測	ドップラーライダー活用による予測精度向上 気象解析技術の研究開発及び予測精度の向上

以上の指摘の多くは、事故後に運航者が再発防止策としてマニュアルの改正等で可能な限り措置されていますが、現実には、余りに突発的な揺れのためそのマニュアルに基づく対応が十分でなかった、飛行前に確認した気象情報では予想されていなかった局地的な風の急激な変化に遭遇した、発達中の対流雲からの回避が十分ではなかった等により、同種事故が発生しているのが実状です。

これらの分析結果を受け、次章では、現状において考えられる事故防止策について、運航者側の対応を含め紹介して行きます。

第4章 機体動揺事故防止のために

乱気流による事故防止の観点から、第2章での統計的な分析や第3章での事故調査報告書での指摘事項、さらに本ダイジェストの作成に当たり運航者等に行ったインタビューを基に、現状において考えられるポイントをまとめると大きく以下の3つに分けることができます。

1. 情報共有における認識不足

乗組員間での情報共有

- 揺れの予測情報を飛行前の段階だけではなく運航中においても迅速かつ綿密に共有することで、客室乗務員は揺れに備えて防御姿勢を考えておくことができ、また乗客へのシートベルト着用の要請等の適切な対応が可能となります。
- 揺れに応じた機内サービスの実施時間、実施方法を乗組員間で共有するとともに、揺れの可能性が高まった場合にはサービスの進捗にかかわらず、まずシートベルトサインを点灯させることを考慮することが大切です。
- 操縦室と後部客室での揺れの状況が大きく違うことも多いことから、揺れの実況状況について乗組員間での共有を図り、また状況により客室乗務員からシートベルト着用サインの点灯を要請することも必要です。
- 機体が動揺した際には乗客等の負傷等の被害状況の把握を迅速に行い、客室の状況を確実

に機長に伝え、地上との救護体制の連携が取れるようにする必要があります。

運航乗務員及び運航管理者の情報共有

- 運航管理者は、飛行前ブリーフィングにおいては的確に気象実況情報の解析を行い、その状況変化により揺れの兆候をつかむ等、予想資料のみに依存しない情報提供を行う必要があります。
- 飛行中においても ACARS 等を利用して、最新の PIREP や気象情報を運航乗務員に対し迅速に伝達できるようにする必要があります。
- 運航乗務員は揺れの有無を積極的に報告し、情報を関係者間で共有することも重要です。
- 航空会社間で共有されている C-PIREP(Common-PIREP)についても、通常の PIREP を補足する情報として貴重な情報になり得ることから、更なる活用を図る必要があります。

運航乗務員及び管制機関等との情報共有

- PIREP は動揺による事故防止のためには必要不可欠の情報であり、航空管制機関等が後続機への情報提供を行い、気象機関がその情報を解析や予想図作成のために活用できるように遅滞なく報告を行う必要があります。

2. 機体動揺時の被害の軽減対策

シートベルトの着用方法等

- 揺れの予想に関する情報を運航乗務員からの機内アナウンスで客室に連絡を行うことも、乗客の注目度が高まり、より効果的な周知になることが考えられます。
- 客室乗務員は乗客の体形等にも気を配りながら、機内サービス等に併せてシートベルトの適切な着用をよく確認することも重要です。
- 負傷者の多くは脊椎又は下肢の骨折となっており、機体の動揺により身体が浮き上がって落下したことによるものも多いと考えられることから、座席に深く座ってシートベルトを腰の低い位置でしっかりと締めることの有用性を含め、乗客に周知を行うことも有効です。これは縦揺れだけでなく横揺れに対しても有効な対策であると考えられます。
- 客室内の座席（客室乗務員用を含む）、サービスカートを始めとする機内設備等の使用が直接事故に結び付くことがないようにその機能等を十分把握した上で、使用方法等について周知を図る必要があります。

動揺が発生した場合の対応

- 航空機が動揺した場合の対応については、乗客に対しては十分に周知が行われていません。

とっさの場合につかまることができるハンドル等の位置や、通路ではしゃがむなど姿勢を低くしてひじ掛けを抱え込むこと、空席に着席してシートベルトを締めることなど客室乗務員と同様の情報を提供しておくことは、事故の未然防止には重要です。

- なお、その周知に当たっては、多くの乗客の目に触れるような、より効果的な方法での周知を考慮する必要があります。
- 突発的な揺れが発生した場合の対応等については、客室乗務員マニュアル等に概ね記載され周知が図られているものの、その内容について客室乗務員自らの意識付けが容易になるようにより実践的な訓練を実施しておく必要があります。
- 客室乗務員が乗客に比べ負傷するリスクが格段に高いのは業務の性格からくるものとしても、サービスに徹する余り負傷してしまうことで役目を果たせなくならないように、客室での保安要員としての役割を常に意識し、揺れが予想される状況ではもちろんのこと予想されない場合でも可能な限り着席に努める必要があります。
- なお、乗客に対し、客室乗務員の着席は安全上の措置であることを周知し、理解と協力を求めることも必要です。
- 乗客には、自分自身の安全を守る行動が必要であることが理解されるよう、機内アナウンス等を通じて機会あるごとに啓発し、協力を求めていくことも重要です。

コラム

『客室における負傷リスク低減への取組について』

航空会社では、各社それぞれに動揺事故防止のため様々な取組を検討・実施しています。全日本空輸株式会社では、乗客の予防意識を高めるための啓発ビデオの放映や客室シミュレーターを使用した客室乗務員の訓練等を行っています。同社の機体動揺事故の未然防止の取組内容について、ANA安全推進センターから寄稿いただきました。

「ANA が取り組むタービュランス（乱気流）対策」

タービュランスによる負傷リスクを低減し、受け入れ可能なレベルを維持するため次のような対策に取り組み、改善を進めています。

1. 揺らさない

ANA では、精度の高い揺れに関する予測値・実況値の気象情報を、運航乗務員、運航管理者等に提供することに力を入れて取り組んでいます。

予測値といえは、従来は VWS（Vertical Wind Shear）情報のみでしたが、現在、その情報に加え、CAT（Clear Air Turbulence）、温度変化、水平方向の風の変化、安定度、対流性雲の影響、山岳波、現況の揺れなど十数個の指標から計算された「乱気流の予測ガイダンス：GTG（Graphical Turbulence Guidance）」情報を入手し、情報提供を行っています。

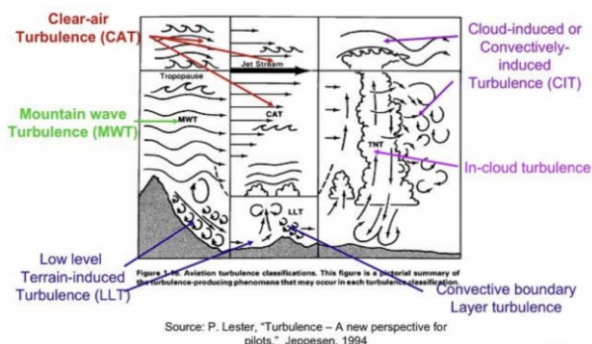
また、実況値は、従来の無線等による PIREP（Pilot Report）情報の提供に加え、IATA（国際航空運送協会）Turbulence Aware プラットフォームに参加し、飛行中の乱気流に関するデー

タを世界中の参加航空会社と共有している EDR (Eddy Dissipation Rate^{*1}) 情報の提供を開始しました。

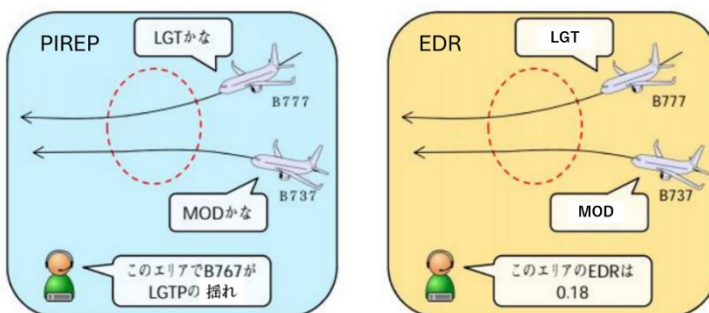
EDR は、航空機から自動で観測された気流の乱れ情報を瞬時に収集、蓄積、共有できること、また、そのデータは機種の違いなく使用できることが大きなメリットです。海外エアラインでは導入が推進されており、ANA でも導入対象機を拡大しています。

ANA では、GTG/EDR 情報を運航乗務員、地上の運航管理者等のタブレット型端末から確認できるようにしており、一部の国際線機材では機内 Wi-Fi でも最新情報を入手できるようにしています。今後は、国内線機材へも展開を予定しています。これにより、乱気流の予測および適切な飛行ルート選定が可能となります。

*1：渦消散率（気流の乱れを表す指標）



GTG の考慮要素



出典：気象庁『EDR（渦消散率）と航空機によるEDRの自動観測について』

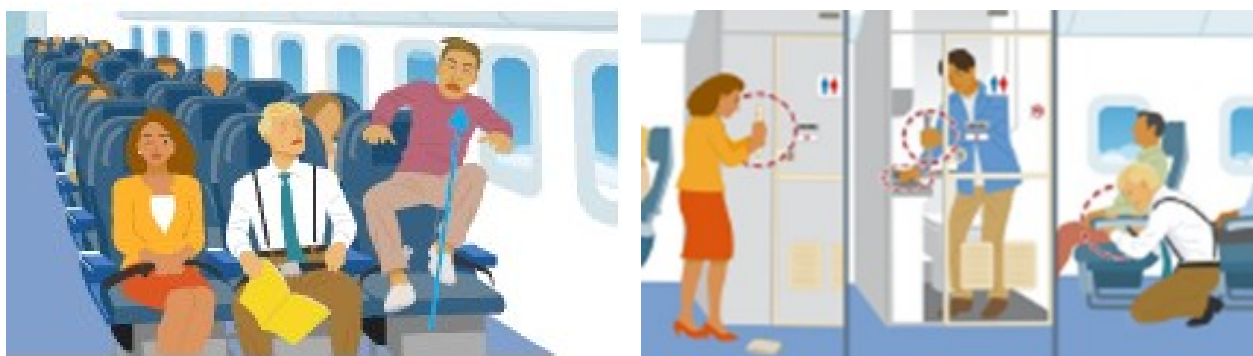
PIREP：先行機の揺れの報告を後続機の運航乗務員が自機にあてはめ揺れの大きさを予想
EDR：先行機が計測した EDR 値をもとに後続機の揺れの大きさをシステムが算出し運航乗務員に提供

PIREP と EDR の特徴

2. けがをさせない、揺れに備える

けがをさせない

客室乗務員はタービュランスが予測される、または遭遇した時に、お客様に対してアナウンスや声掛けを行って注意喚起を図っています。さらに負傷リスクの低減を図るための対応として、2020年9月からお客様への啓発ビデオの機内上映を開始しました。これはタービュランス遭遇時にお客様が取るべき行動を周知し、予防意識を高めて、お客様ご自身の安全な行動を促すことを目的としています。



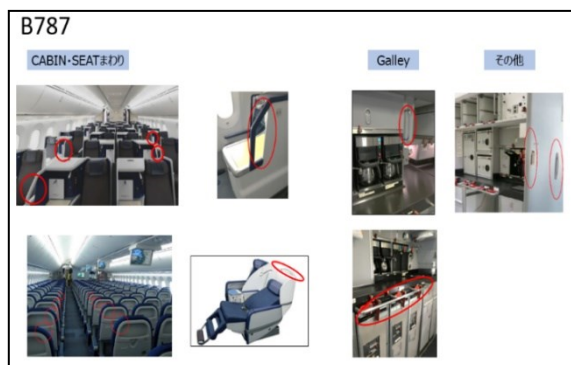
お客様向け上映ビデオ

揺れに備える

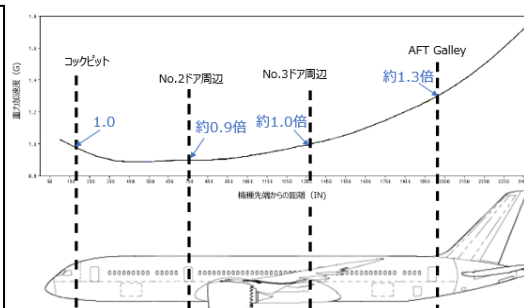
タービュランスによる負傷リスク低減には、クルー・コミュニケーションが重要な要素の一つになります。お客様や客室乗務員にとって運航乗務員からの情報が唯一のものであり、その情報提供が安全につながります。

これまで各部門がそれぞれに対策を講じてきましたが、「タービュランスによる負傷防止対策」は部門横断的に取り組むべき課題です。そこで ANA グループでは負傷リスク低減に必要な要素や留意事項を紹介することで、運航乗務員や客室乗務員の相互理解を深め、それぞれの立場で安全運航に必要な適切な行動とは何かを考え実践につなげるため、タービュランスパンフレットを発行しています。

また、予期していないタービュランスに遭遇したり、事前の情報より「(実際のタービュランスが)早い・遅い・強い」場合があります。そのような場合でも身の安全を確保できていなければ、負傷リスク低減につながりません。そこでタービュランスによる身体の浮き上がりを最小限にして客室乗務員自身の身を守るため、各機材のつかまることが可能な場所を周知、搭乗ごとに実機でつかまる場所を確認、新人訓練ではモーションモックアップ（揺れの体験ができるシミュレーター）を使って体験し、とっさに身を守る行動を徹底しています。



B787 客室内のつかまる場所



B787-9 機体位置による揺れの大きさの違い

さらに、ボーイング社のデータによるとコックピットで感じる揺れよりも、機体後方では強い揺れ（最大で1.5倍程度、機種等により異なる）となる可能性があることがわかっています。このデータや、当社での強い揺れ遭遇時のベルト着用サイン点灯状況の実績分析から、危機意識を持って強い揺れを警戒し、揺れに遭遇するかもしれないと感じたら躊躇することなく、早めにシートベルト着用サイン点灯の判断をするよう啓発を行っています。

3. 航空機搭載機器の活用等（新技術の活用）

機上気象レーダー・気象情報の活用

- 機体動揺事故の要因の中で最も多いのは雲中乱気流によるものです。雲中の乱気流については、観測されたエコーの動き、強度等を慎重に監視することで、その盛衰をある程度予測することが可能であることから、その情報を有効に活用することが重要です。そのためにはレーダーの特性、限界を熟知した上での操作方法を含めた日頃からの習熟が重要です。
- また、雷雲等の盛衰状況を的確に把握できれば乱気流の回避策として、水平方向への進路変更

での回避や、状況により垂直方向に十分な高度差を取っての回避等の対応が可能となります。

なお、回避に当たっては機上気象レーダーでは探知が困難な気流の乱れがあることを認識し、時間的、距離的に十分余裕をもって回避するとともに、揺れる可能性が予想される場合にはシートベルト着用サインを積極的に点灯させる必要があります。

- 現状において正確に予測することが困難な晴天乱気流についても、運航開始前に、よりきめ細かな予測情報が入手可能となるよう気象解析システムの処理能力、予測技術の向上が期待されるところです

航空機搭載型ドップラーライダーの実用化

- 航空機搭載型ドップラーライダー装置及び得られた情報を活用した飛行制御

レーザー光を用い大気中のエアロゾルからの散乱光のドップラー効果を利用することで、機上気象レーダーとは異なり降水粒子がなくても機体前方の風速等を計測し、それらの情報を基に機体を自動制御することにより航空機の揺れを軽減する技術開発の取組がJAXA（宇宙航空研究開発機構）を中心に行われています。飛行実験を通じて高高度における風の観測能力は実証されていますが、その探知距離をさらに伸ばすべく研究が続けられているところです。探知距離の向上は観測機器の高出力化、高性能化が必要となり、航空機への搭載のための小型・軽量化と相反するものであり、それを新たな技術を取り入れることで両立させることを目指しており、その実用化が待たれます。

EDR等乱気流情報の活用

- EDR等を利用した乱気流情報の共有

現状における乱気流の実況情報は、飛行中の運航乗務員からの報告であるPIREPにほぼ依存していますが、その揺れの強さは航空機の大きさや運航乗務員の主観によるところも大きく客観的なものではありません。これに代わるものとして開発されたEDRを使用した自動通報システムを活用すれば、よりリアルタイムで乱気流情報が入手できるようになるとともに、機体の大きさも踏まえた客観的かつ定量的な揺れの強度を評価することが可能となり、航空機はその指標の大きさに応じた対応を取ることが可能となります。このEDR等を利用した乱気流予報、共有の取組はICAO、IATAを始めさまざまな枠組みの中で公式の指標として収集、蓄積及び共有が行われています。

コラム

『新技術を活用した即時性のある揺れ情報の共有の取組について』

どこでどのような揺れが発生しているか知ることは、機体動揺事故を防止するために大切なことですが、現在の情報共有には客観性、迅速性の面での課題があります。日本航空株式会社では、EDRや民間気象事業者が提供するサービスを活用したリアルタイムな情報共有システムの活用に取り組んでいます。これについて、同社運航基準技術部から寄稿いただきました。

「JAL が取り組む航空機の突発的な揺れによる事故防止対策」

快適な機内サービスのご提供や、お客さまや乗務員のけがを防止するために、飛行中の突発的な揺れの発生位置をあらかじめ把握して影響を回避することは航空会社にとって大切なことです。

そこで最新の気象図などの気象情報を駆使して、安全な飛行計画およびそれに基づいたサービス計画を立案しますが、気象情報を補足するために、実際に揺れに遭遇したパイロットからの報告を活用することが極めて有効です。実際に遭遇した揺れの報告では、位置（緯度、経度、高度）、大きさ、時刻の正確さに加えて、報告のリアルタイム性が重要になってきます。しかし、現在運用されている C-PIREP という航空会社間の情報共有システムでは、パイロットの体感による揺れの大きさを、飛行中の揺れに対する対応が完了した後に手作業もしくは口頭で報告する方法であるため、揺れ情報の客観性やリアルタイム性といった課題があります。

C-PIREP におけるこれらの課題を解決する技術として EDR（Eddy Dissipation Rate）が注目されています。EDR とは ICAO が揺れの基準として推奨している気流の乱れを表す指標で、航空機のコンピュータに搭載された計算プログラムが、機体のセンサーデータを元に自動的に算出してリアルタイムに地上に報告されるため、理論上は曖昧さとタイムラグが発生しません。

JAL グループでは 2021 年 1 月より本邦で初めて EDR を活用し、揺れ情報をリアルタイムに地上に自動報告する仕組みの運用を開始しました。同時に民間気象事業者と共同で開発した、「自動報告された揺れ情報を AI で迅速に処理して即時に運航中の航空機に自動通知する仕組み」の運用も開始しており、現在では揺れが発生してから共有されるまでにほとんどタイムラグがなくなっています。

EDR プログラムは現在ボーイング 737 型機と 767 型機の一部（JAL グループ運航機数の約 35%）に搭載していますが、搭載機種を拡大するには技術的な課題があり、揺れ情報の量を増やすには時間を要します。



日本列島及び周辺で観測された揺れ情報

JAL グループでは既存の EDR の課題を解決する手段の一つとして、揺れ情報をより多くの機体から容易に入手できる最新テクノロジーの導入を検討しており、そのトライアル運用を 2023 年度から開始しました。

このテクノロジーは、パイロットが運航中に使用するタブレット型端末に搭載したアプリケーションが、タブレット型端末の GPS データと加速度センサを利用して 5 種類（段階）の揺れ強度を自動計測し、機上 Wi-Fi 経由で地上サーバにリアルタイムに送信する仕組みです。地上サーバに送られた自社便および他社便の揺れデータは、機上 Wi-Fi を通じてタブレット型端末のアプリケーションで閲覧が可能です。

アプリに機種情報を登録しておくことで、各機種の機体のサイズに合わせて揺れ強度が自動的に補正され、機体のサイズにかかわらずパイロットの体感に近い客観的な揺れ情報が報告されます。またビューアは、自便の経路に沿った水平面および垂直断面の揺れ情報を閲覧可能で、他の航空機からの揺れ情報の分布も視覚的に把握できるよう工夫がされています。

操縦室で GPS 受信と Wi-Fi 通信が可能な航空機であれば、アプリケーションを搭載したタブレット型端末を操縦室に持参するだけで揺れ情報の発信と入手が可能になるため、EDR と併用することで安全の層をより厚くできる可能性があるかと期待しています。ただしリアルタイムでの情報送受信には機上 Wi-Fi 等の通信環境整備が必須であることから、利用に当たっては航空会社が自社の状況に照らして EDR との棲み分けを検討することが重要であると考えられます。



航路上の揺れ情報（鉛直方向の揺れ分布（Vertical View））