

～事故等調査事例の紹介と分析～

運輸安全委員会ダイジェスト



JTSB (Japan Transport Safety Board) DIGESTS

第44号（令和6（2024）年3月発行）



航空事故分析集

～ 飛行中の突然の揺れに備えて ～

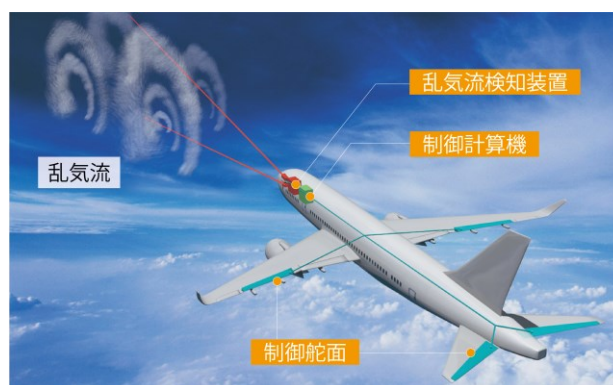
機体動揺による事故の防止に向けて

第1章	はじめに	1
第2章	機体動揺事故の発生状況	2
第3章	機体動揺事故の事例及び分析	10
第4章	機体動揺事故の防止のために	15
第5章	まとめ	23

第1章 はじめに

機体動揺による事故（以下「機体動揺事故」という。）の撲滅は、全てのエアラインにとって長年の課題で、防止のため様々な努力が続けられています。しかし、2022年には、過去20年間で最も多い6件の機体動揺事故が発生しました。近年では、この種類の事故が大型機による事故の半数以上を占めており、重傷者を伴う事故では、その大部分が機体動揺事故です。しかし、適切な対応により被害の軽減が図られた事例も見受けられることから、過去の事故を教訓に、未然防止に向けた取組を行うことが有効な対策の一つです。

そこで、この運輸安全委員会ダイジェストでは、2014年8月発行のダイジェスト第15号（機体動揺に伴う事故の防止に向けて）の内容に、近年の事故発生状況や負傷者の発生状況、原因の大部分を占める乱気流等に係る要因分析結果を加えた上で、当委員会が行った事故調査事例を紹介するとともに、乱気流回避対策の技術開発（図1参照）等を含め、現状における事故防止や被害の軽減を促進するための対策等について説明します。



出典：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

図1 機体動揺低減技術の概念図

本ダイジェストにおける「機体動揺事故」とは、

2004～2023年までに、運輸安全委員会（旧航空・鉄道事故調査委員会を含む）の調査対象となった航空事故のうち、エアラインの大型機（最大離陸重量5,700kg超）において乱気流による機体動揺により乗客又は客室乗務員が重傷を負った事故をいいます。なお、掲載のデータには調査中のものを含んでいる場合があります。

第2章 機体動揺事故の発生状況

1. 事故発生件数の推移

過去 20 年間（2004～2023 年）に当委員会の調査対象となった航空事故について、年ごとの発生件数を見てみると、事故数全体はほぼ横ばいで、大型機事故もほぼ横ばいとなっています。そのうち機体動揺事故は、大型機の事故 67 件のうち 37 件（約 55%）と半数以上を占めています。

特に最近 10 年間では、大型機の事故 35 件のうち 21 件（60%）は機体動揺事故となっており、2022 年は過去 20 年間で最も多い 6 件が発生しています。（図 2 参照）

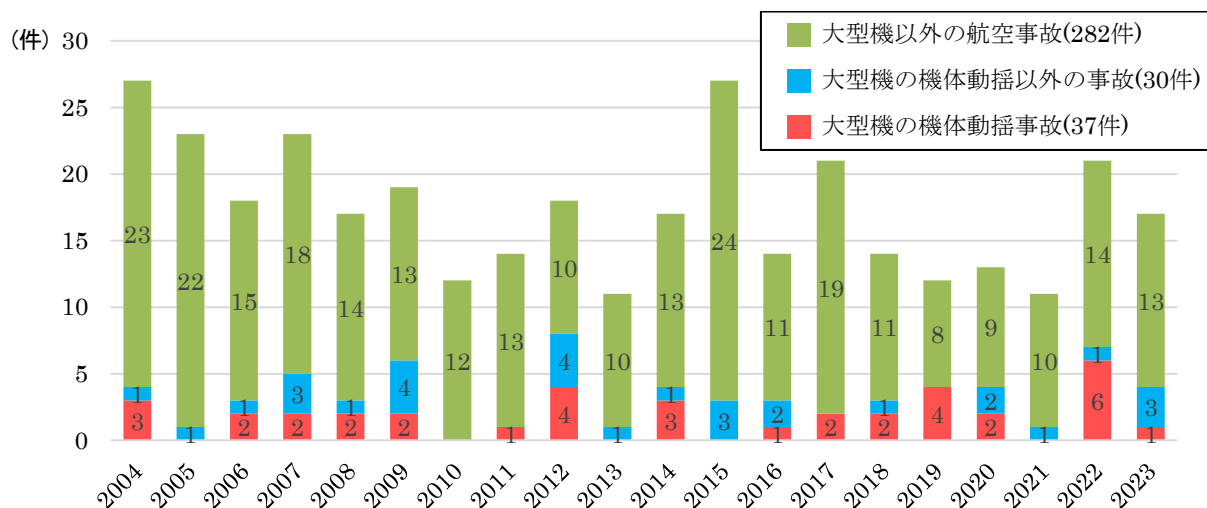


図 2 航空事故発生件数

2. 発生場所

ここからは、過去 20 年間（2004～2023 年）に発生した機体動揺事故 37 件のうち、2023 年 12 月までに事故調査報告書が公表されている 36 件の事故について見ていきます。

まず、発生場所を見ると、東北地方から南西諸島にかけて広く分布しています。比較的交通量が多い太平洋側の発生件数が多くなっていますが、陸上、海上等の場所による違い、乱気流の種類の違いによって分布に特徴はみられません。これはつまり、どこであっても機体動揺事故は発生し得ることを意味します。（図 3 参照）

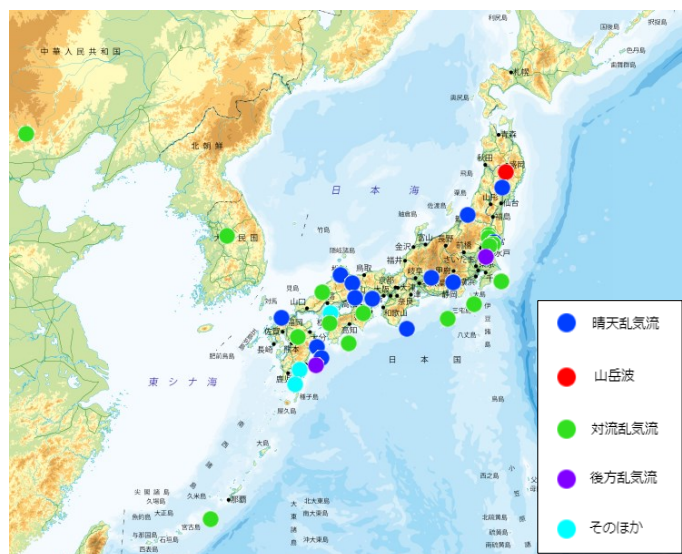


図 3 機体動揺事故の発生場所(ロシア連邦上空の 1 件を除く)

3. 機体動揺事故発生高度及び飛行の段階

機体動揺事故発生時の飛行高度を見ると 20,000ft 未満が 12 件で約 3 割、20,000ft 以上が 24 件で約 7 割となっており、25,000～29,999ft が 8 件で最多となっています。

また、飛行の段階では、乗客、客室乗務員ともシートベルトを着用していることが多い上昇中（4 件）や最終進入中（1 件）の事故は少なく、多くは巡航中（18 件）又は降下中（巡航高度変更のための降下を含む）（13 件）の事故となっています。巡航中は機内サービスが行われ乗客は化粧室を使用するために離席することもあり、また降下中は機内サービスの後片付けやシートベルトの着用の確認等の安全点検等のため、客室乗務員は離席していることが多いことが関係していると考えられます。（図 4 参照）

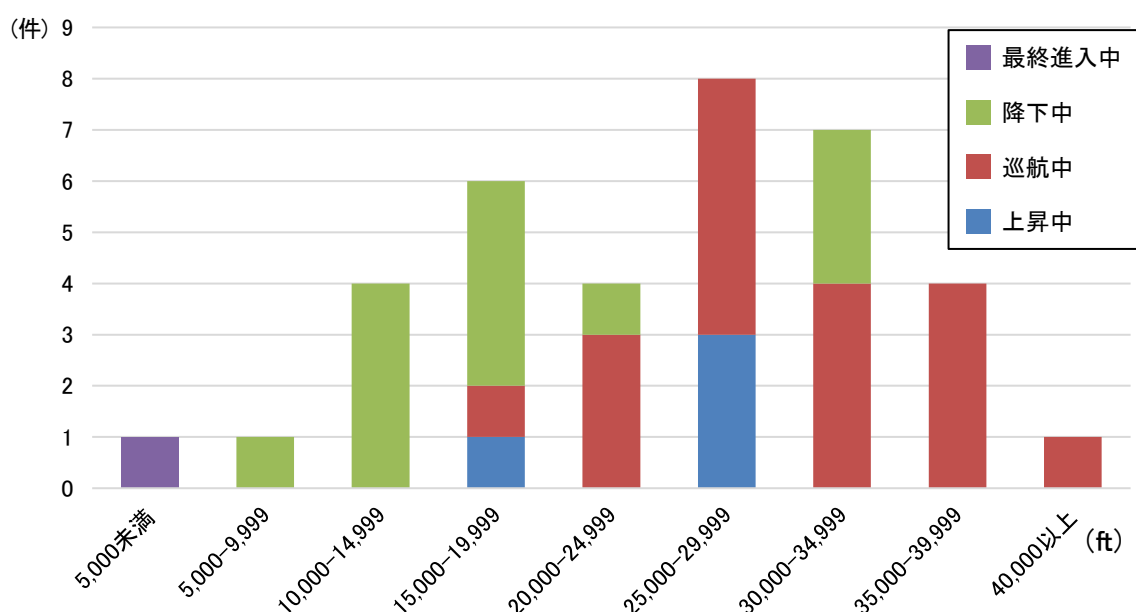


図 4 事故発生高度及び飛行の段階

4. 負傷者の状況

負傷者の発生状況を見てみると、重傷者数は 44 名で、乗客 18 名、客室乗務員 26 名となっており、軽傷者を含めた負傷者数は 118 名で、乗客 62 名、客室乗務員 56 名となっています。機体動揺事故が発生した航空機の搭乗者総数に対する負傷者総数の割合を比較すると、客室乗務員（約 16.2%）は乗客（約 0.9%）に比べ負傷する割合が 18 倍高くなっています。

これは、前項と同様に、乗客は着席しシートベルトを締めているのが通常であるのに対し、客室乗務員はシートベルトサインが点灯している場合以外は、立って作業を行っていることが多く突然の揺れに対し防御姿勢が十分とれない状況にあることが多いためと考えられます。（図 5 参照）

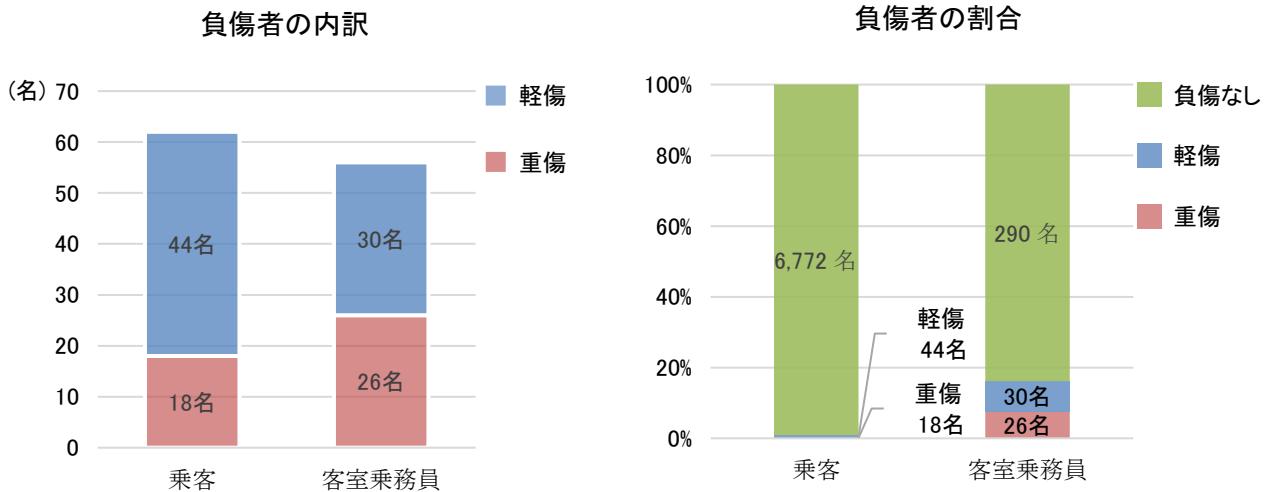


図5 負傷者の発生状況

また、重傷者の発生傾向を見てみると、乗客の負傷はこの20年間で減少傾向にあるのに対し、客室乗務員の負傷は逆に増加傾向となっています。（図6参照）

この要因として、乗客については着席中も常時シートベルトを腰の低い位置で着用することを機内アナウンスにより呼びかける等の事故防止対策の効果が現れているものの、客室乗務員についてはその業務上すぐには着席できない場面も多くあることなどが関係しているものと考えられます。今後更に事故を減少させるためには、特に客室乗務員に対する対策に重点を置いて考える必要があります。

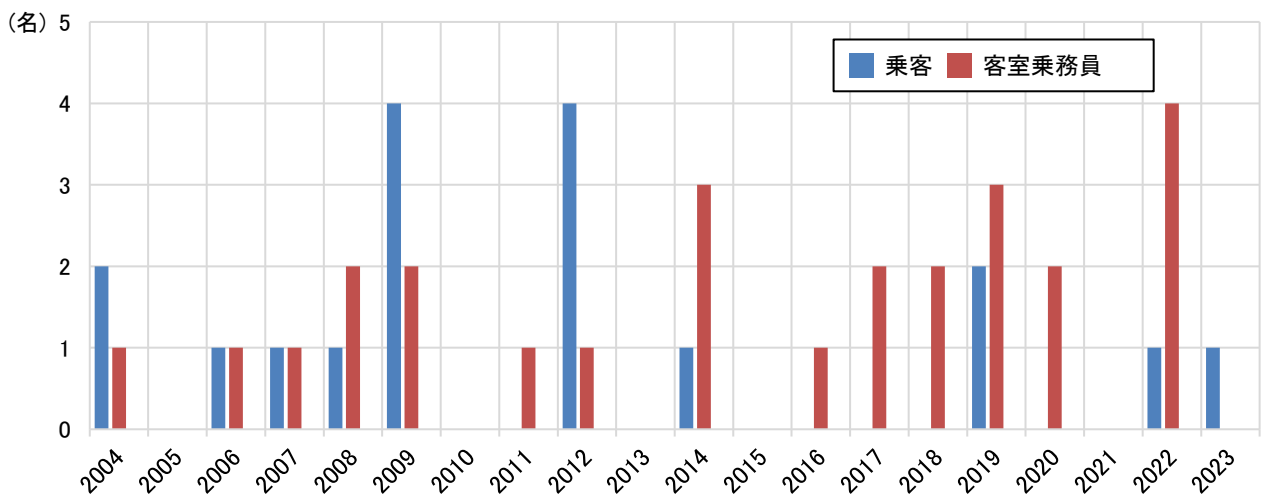


図6 重傷者数の推移

次に、負傷部位について見てみると、脊椎骨折に関係するものが14名、次いで足等の下肢骨折に関係するものが13名となっています。（図7参照）

脊椎骨折は、機体が上下に動揺（縦揺れ）して、身体が浮き上がって落下した際にしりもちをつくような事故で多く発生している傾向が見られました。下肢骨折は、突然の揺れに対抗し踏ん張ったものの転倒し足首をぶついたり、大きな荷重に耐えきれずに骨折に至るような事例が見られます。

また、着席してシートベルトを締めていたものの、強い横揺れにより右脇腹を座席の肘掛けに打ち付けたことにより骨折した等、特殊な事例も見られます。

なお、熱傷は1件のみですが、これは、提供する飲み物の温度を低くしたり、揺れが予想される場合は温かい飲み物の提供を取りやめたりするなど、航空会社による熱傷防止対策が功を奏しているものと考えられます。

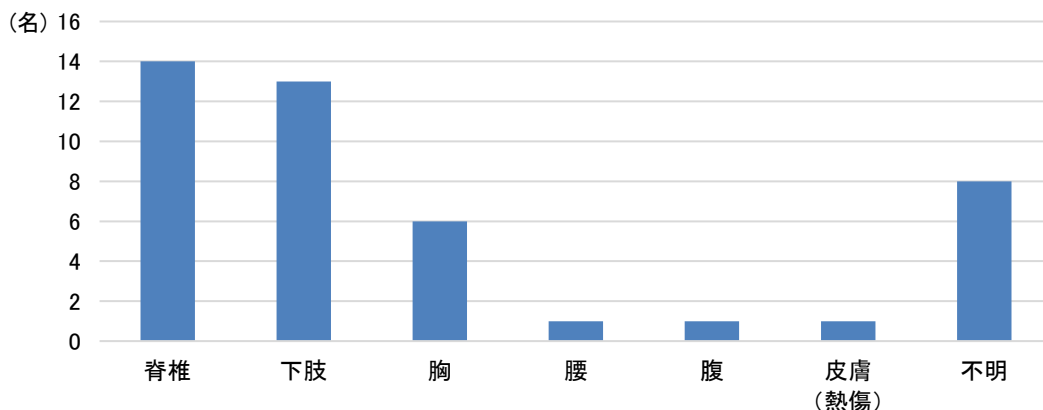


図7 機体動揺事故による負傷部位(熱傷以外は全て骨折)

5. 負傷の状況及びシートベルトの着用状況

次に、負傷した乗客及び客室乗務員の事故時の状況及びシートベルトを着用していたかどうかについて調べてみました。

まず、乗客の重傷者18名については、事故時に着席していた者が8名(約44%)、通路にいた者が6名(約33%)、化粧室にいた者が4名(約22%)でした。化粧室の利用中や通路の歩行中など座席を離れていてシートベルトを着用できない場所での事故が18名中10名(約56%)と半数以上を占めています。

また、着席していた8名のシートベルトの着用状況は、4名が着用、3名が未着用、1名がシートベルトを着用した母親に抱かれた幼児(こぼれたコーヒーにより熱傷)でした。(図8-1参照)

しかしながら、着用していた4名のうち2名は、締め方が緩い等着用方法が適切ではありませんでした。この状況を見ると、シートベルトを適正に着用することによる事故防止の効果は非常に大きいことがわかります。

次に、客室乗務員の重傷者26名については、事故時に着席していた者が2名(約8%)、通路にいた者が8名(約31%)、ギャレーにいた者が16名(約62%)でした。ギャレーや通路など、シートベルトを着用できない状態での事故が、26名中24名(約92%)とほとんどです。(図8-2参照)

着席中だった2名のうち、1名はシートベルトを着用していたものの前傾姿勢であったことが

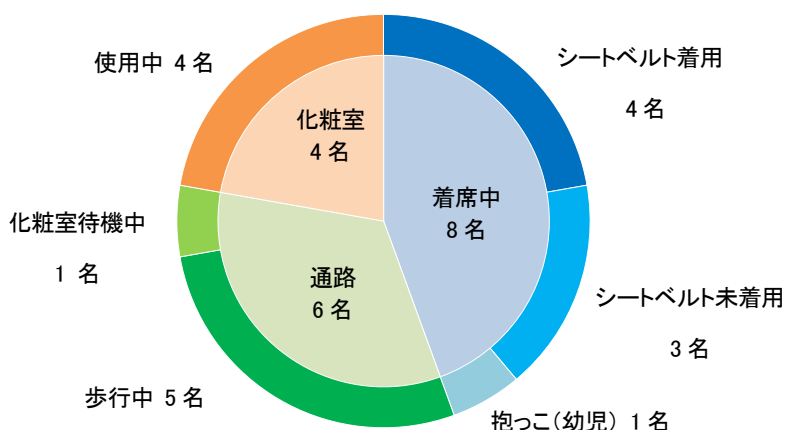


図8-1 負傷の状況及びシートベルトの着用状況(乗客)

関与した可能性が考えられ、もう1名は、客室の監視のため一時的にシートベルトを外した際の突然の揺れにより負傷しています。

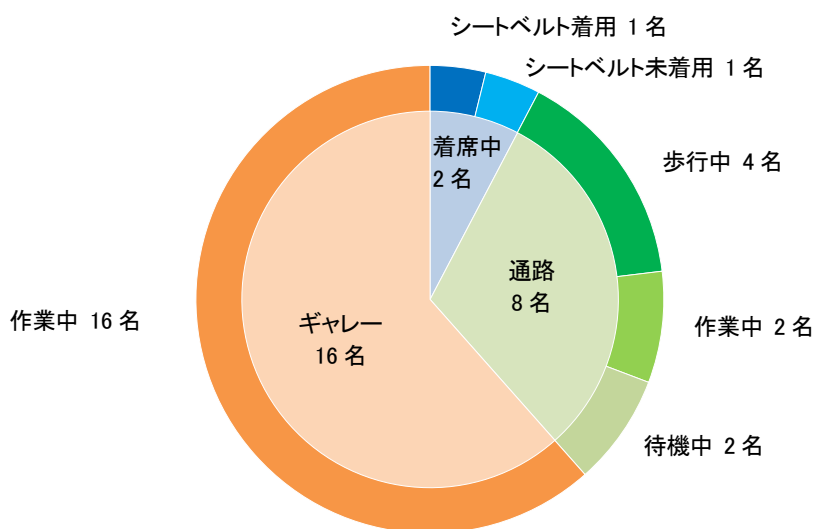


図 8-2 負傷の状況及びシートベルトの着用状況(客室乗務員)

次に、負傷場所とシートベルトの着用状況及びシートベルトサインの点灯状況を見ると、シートベルトサイン点灯中に座席以外の場所で負傷した人は乗客5名、客室乗務員6名となっています。シートベルトサインが点灯した場合には乗客であっても客室乗務員であっても、すみやかに座席に戻りシートベルトを着用する必要があります。特に客室乗務員ではシートベルトサイン消灯時においても18名が座席以外の場所で負傷していることから、必要のある場合を除き着席に努めることが必要です。

また、運航乗務員は揺れる可能性を覚知した場合には、その情報を客室乗務員と共有するとともに、揺れに対する防御を最優先とし、機内サービスの状況にかかわらずちゅうちょなくシートベルトサインを点灯させる必要があります。(表1参照)

	負傷場所	シートベルトの着用状況		シートベルトサインの状況		備考
				点灯	消灯	
乗客	座席	着用	適正	2	0	2名とも肘掛けに強打
			緩み他	2	1	うち1名抱っこ、1名緩み不明
	未着用	3	0			
	座席以外	—	5	5		
客室乗務員	座席	着用	適正	1	0	姿勢が関与
			緩み	0	0	
		未着用	1	0	客室監視のため一時的	
	座席以外	—	6	18		

表 1 負傷時のシートベルト着用及びシートベルトサイン点灯の状況

6. 機体動揺の原因となった乱気流の分類

機体動揺事故といっても、その発生原因により様々なものがあります。36件の事故を、国際民間航空機関（ICAO）、米国国家運輸安全委員会（NTSB）の統計資料の乱気流の分類項目によって分類しました。雲中乱気流（主として積乱雲等の対流雲の影響によるもの）と晴天乱気流（高高度において雲（上層雲を除く）のない空域において発生するもの）で全体の約7割を占めており、これら2つが主要な乱気流の要因であると言えます。（図9参照）

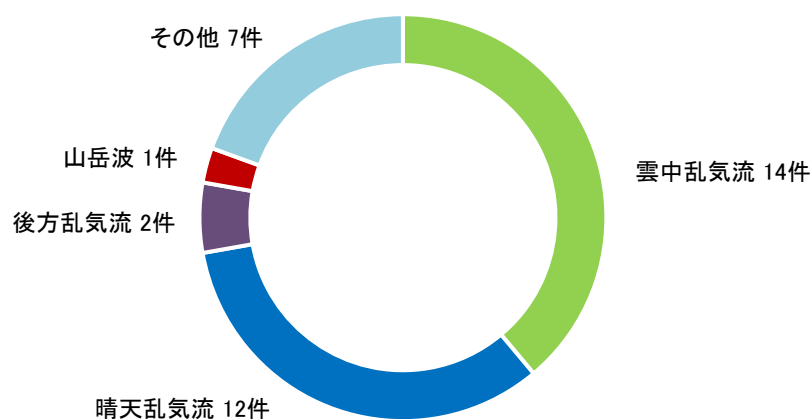


図9 乱気流の分類

最も多いのは雲中乱気流で、14件（約39%）と全体の3分の1以上を占めています。航空機が降下中の事故が多く、対流雲を認識できない場合や、認識しつつも回避できずに対流雲に接近・進入して乱気流に遭遇するケースが多くなっています。対流雲が発達していた要因としては、台風や低気圧、梅雨前線や上空の寒気による不安定な大気の状態など様々です。

晴天乱気流も、12件（約33%）と雲中乱気流に近い件数が発生しています。巡航中の事故が多く、このうち7件は周辺に雲がない状況ですが、5件は層状の雲の中又は下で発生しています。これらの事故のほとんどにジェット気流が関係しており、事故空域の近傍には、ジェット気流やジェットフロント（ジェット気流の前線帯）が存在していました。

そのほか、地形による山岳波や先行する航空機による後方乱気流、低層乱気流などによる事故も発生していますが、数は少なくなっています。

7. 動揺原因の季節的傾向

次に、発生原因の季節的な傾向を見てみます。7～9月は雲中乱気流が多く、この時期の事故12件中9件（75%）を占めています。また、12～3月は晴天乱気流が多く、この時期の事故11件中8件（約73%）を占めていて、季節的な傾向が認められます。（図10参照）

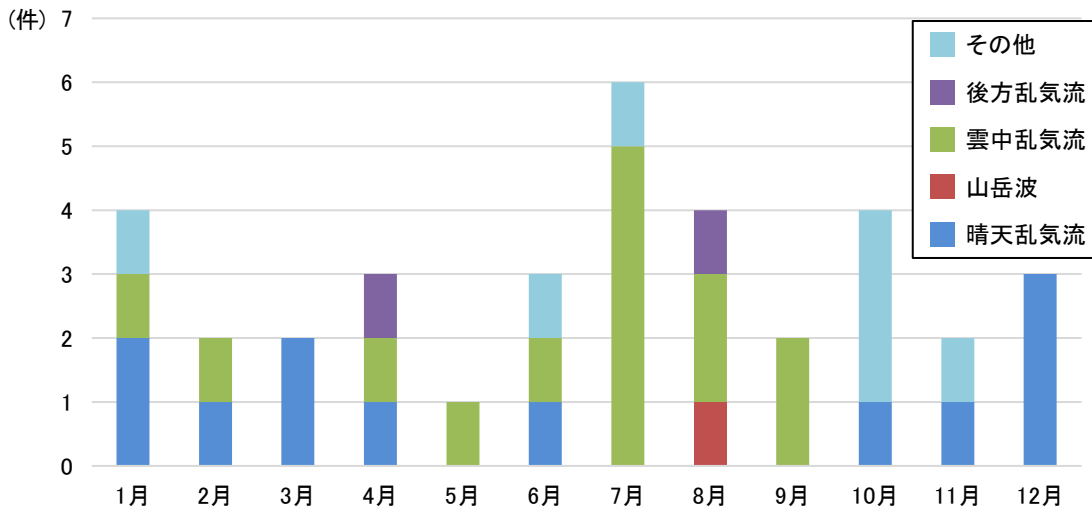


図 10 機体動揺事故月別発生状況

8. 機内位置及び機体の大きさによる揺れの比較

揺れの大きさは機体の特定の位置からの距離に左右されることから、一般的に、航空機の後方ほど揺れが大きいとされています。重傷者の発生場所は、機体後方が 35 名（約 80%）と 4 分 3 以上を占め、次いで機体中央が 7 名（約 16%）と多く、機体前方は 2 名（約 5%）のみとなっており、後方がより揺れやすいとされていることに合致したものとなっています。（図 11 参照）

また、操縦室において運航乗務員が感じた揺れの大きさと、客室乗務員が客室で感じた揺れの大きさを比較したところ、事故が発生した際の操縦室では、36 件中 14 件（約 39%）と約 4 割は並以下の揺れと感じているのに対し、客室ではほとんどが強い揺れであったと感じています。これらの状況を見ると、操縦室は客室での揺れの状況を十分把握できずにシートベルトサインの点灯が遅れる可能性も考えられることから、情報の共有に当たっては操縦室から客室への一方通行ではなく、客室から操縦室に積極的に提供することも重要です。（図 12 参照）

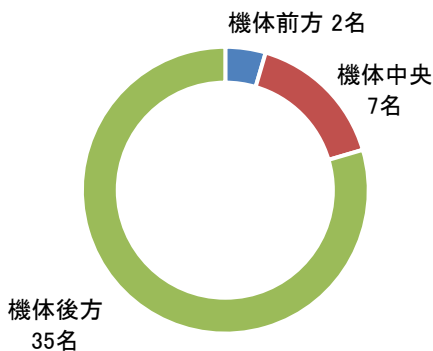


図 11 重傷者の機内位置

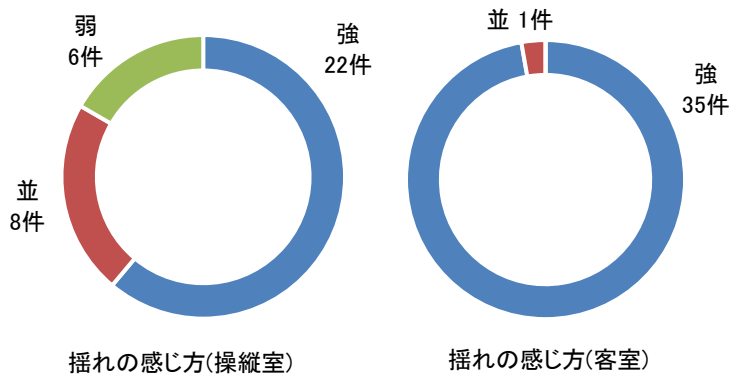


図 12 揺れの感じ方の比較

次に、大型機を更に細分化し、機体の大きさによる事故の発生状況を比較しました。2016～2022 年における機体の大きさ別に見た運航便数の割合及び事故件数の割合を比較すると、（ボーイング式）B777、（エアバス式）A350 などの大型航空機（運航便数は約 20%、事故件数は約 19%）、B767、A330 などの中型航空機（運航便数は約 12%、事故件数は約 12%）、B737、A320 などの

小型航空機（運航便数は約 68%、事故件数は約 69%）となっており、機体の大きさによる事故の発生傾向に大きな違いは見られませんでした。（図 13 参照）

また、飛行記録装置に記録された事故発生時の垂直加速度の変化量を見ると、1.0G 以上の事例が 29 件（約 81%）と全体の 8 割以上を占めているものの、振れが 1.0G 未満の場合でも事故は発生しています。そのほか横方向の加速度が関与している事例もありました。また、この変化量は図 12 で示した操縦室での揺れの感じ方との相関関係は見られるものの、事故に結びつくかどうかは、垂直加速度や水平加速度等の大きさ、変化量だけではなく、揺れた際の負傷者の姿勢や体勢、つかまる場所があるかどうか等周りの環境や、揺れた場合の対応を意識しているかどうか等も関わっているものと考えられます。（図 14 参照）

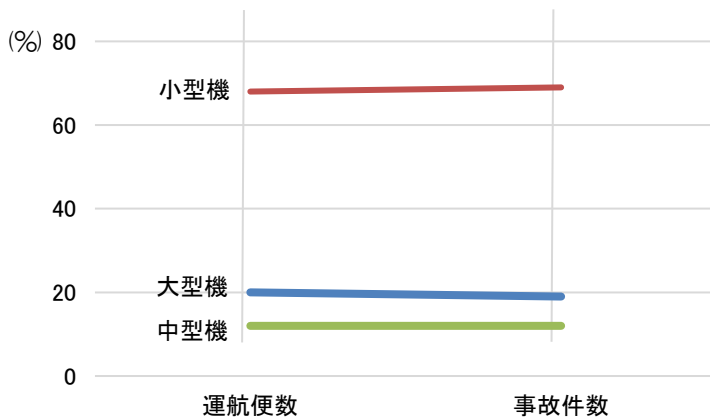


図 13 運航便数割合と事故件数割合の比較

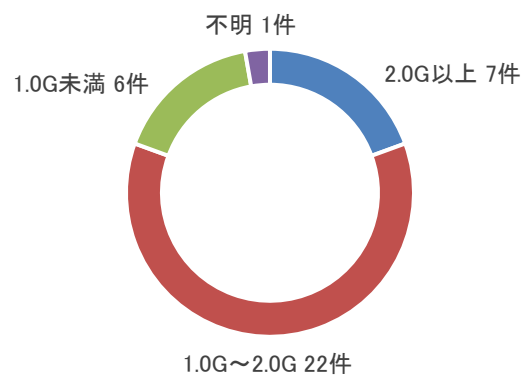


図 14 垂直加速度の変化量

9. 乗組員等の認識

事故機の運航乗務員が、運航開始前を含め揺れの可能性を認識していたかどうかを確認したところ、大きな揺れの可能性を認識していたのは 36 件中 17 件（約 47%）で、約半数は大きな揺れを予想しないまま飛行を開始していたことが分かりました。（図 15 参照）これは、NTSB が行った乱気流に関する調査結果（「認識あり」が約 53%）とも近いものです。

また、運航開始後に入手可能となった新しい情報も含め、機体動揺に関係する気象情報等が運航乗務員と運航管理者や客室乗務員の間で共有されていたかどうかについても、その不足が見られた事例が 3 分の 1 ありました。（図 16 参照）

このことから、運航開始前には気象解析による揺れの可能性の把握が、運航開始後には乗組員間や地上の運航管理者との間で揺れの予測や実況について速やかで確実な情報共有が大切なことがわかります。

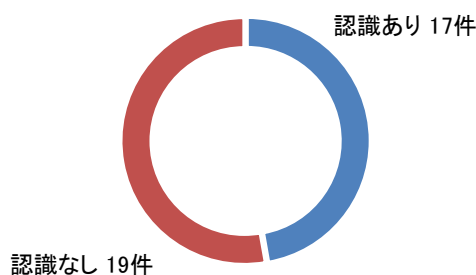


図 15 運航乗務員の認識

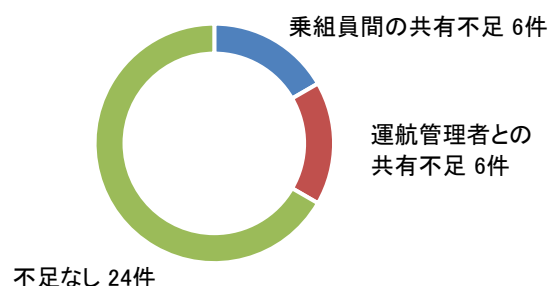


図 16 情報の共有状況

第3章 機体動揺事故の事例及び分析

ここからは、第2章で分析した事故調査報告書の事故事例を紹介するとともに、これらの報告書において、事故に至った要因あるいは事故防止に向けたポイントとして指摘されている事項を説明します。

1. 事故事例紹介

事例1

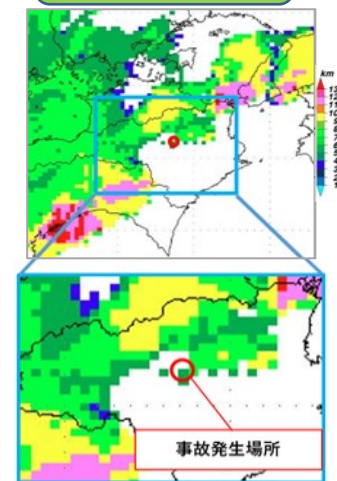
概要 A社所属ボンバルディア式DHC-8-402型は、2022年6月25日（土）、同社の定期便として、熊本空港から大阪国際空港へ向けて飛行中、17時35分、対流雲による気流のじょう乱に遭遇し機体が大きく動揺したため、客室乗務員1名が重傷を負った。

推定飛行経路図



気象

レーダー合成図
(エコー頂高度)



レーダー合成図（エコー頂高度）から、事故発生場所付近には、雲頂高度 5km（16,403ft）から 6km（19,685ft）の高さまで発達した対流雲が存在していたものと推定される。

機体の動揺

FDR の記録には、13 時 29 分 08 秒から約 12 秒間に垂直加速度が+0.2G から+2.1G の間で変化したことが記録されており、このとき同機は、発達した対流雲の直近を飛行していたものと考えられ、対流雲による気流のじょう乱に遭遇して同機は大きく動揺したものと考えられる。

運航乗務員の気象判断とベルトサインの運用

運航乗務員は、変針することによりエコーを避けることができると考えたこと、及び乗客のニーズを考慮したことから、大きな縦揺れに遭遇するまでベルトサインを消灯したままにしていたものと考えられる。運航乗務員は、ベルトサインの運用について、機体が動揺する可能性がある場合には、より安全サイドに立って判断することが望ましい。

原因：本事故は、同機が、ベルトサイン消灯中に対流雲による気流のじょう乱に遭遇し大きく動揺したため、機体後部にあるギャレーでしゃがんで作業をしていた客室乗務員の身体が宙に浮き、体勢を崩した状態で床に落下し、負傷したものと推定される。同機が対流雲による気流のじょう乱に遭遇したことについては、機上気象レーダーに表示された対流雲からの回避操作が十分ではなかったことに加え、機上気象レーダーでは覚知することが困難な発達途上の対流雲があった可能性もあり、これらから適切な距離を確保することができなかった可能性が考えられる。

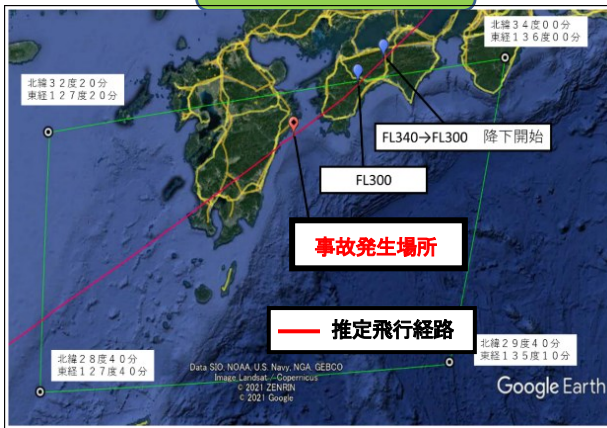
本事例の事故調査報告書は当委員会ホームページで公表しております。（2023年10月26日公表）
<https://www.mlit.go.jp/jtsb/aircraft/rep-acc/AA2023-7-2-JA854A.pdf>

事例2

概要 B社所属エアバス式A320-232型機は、2019年12月25日（水）、同社の定期便として、函館空港から台湾桃園国際空港へ向けて飛行中、16時12分ころ、ジェット気流付近のウィンドシアーに遭遇して機体が大きく動揺して客室乗務員1名が重傷を、乗客1名及び客室乗務員2名が軽傷を負った。

※「ウィンドシアー」とは、局地的に風向や風速が急激に変化する現象をいう。

推定飛行経路図



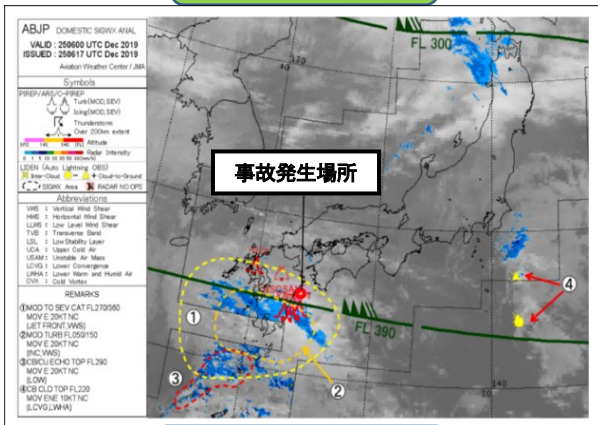
気象及び同機の動揺

事故発生場所付近では上層雲のトランスバースライン及び鉛直シアー域が観測されていることから、ジェット気流に沿って強いウィンドシアーが存在していたものと推定される。同機はこのウィンドシアーに遭遇したことにより大きく動揺したものと推定される。この動揺により、客室後方から前方のジャンプシートに戻るため通路を移動しようとしていた前任客室乗務員が転倒して右足首を骨折したものと推定される。

運航乗務員の判断

運航乗務員は、飛行前に確認した気象データ、機上気象レーダーの表示及び機上気象報告によって、乱気流に遭遇することはあってもそれほど強い乱気流に遭遇することはないと予測していたものと考えられる。しかし、14時00分に気象庁から発出されたシグメット情報を入手できていれば、運航乗務員が飛行高度及び飛行経路の変更並びにシートベルト着用及び客室へ安全情報提供の要否及びタイミングについて先行的に判断するために有用であったものと考えられる。

国内悪天解析図

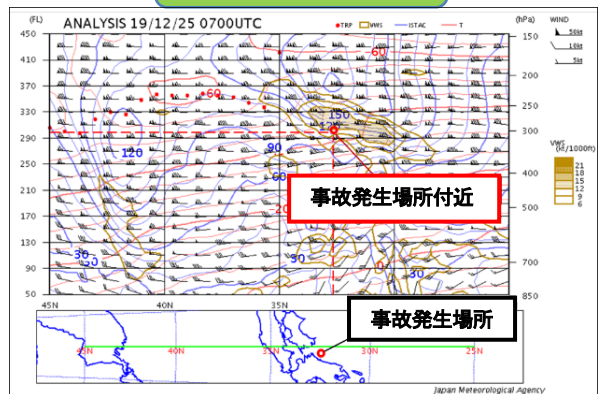


同社の運航支援体制

オペレーションコントロールセンター（OCC）は、気象庁が14時00分に発出したシグメット情報を入手していなかったものと考えられる。シグメット情報は、運航の安全に係る重要な天候の変化等に関する情報であるので、OCCがその情報を適時的に取得し、運航乗務員に対して適宜提供することが、同様の事故を防ぐ上で有用であるものと考えられる。

※「シグメット情報」とは航空機の運航に重大な影響を与える気象現象の発現が予想又は観測され継続する場合に発出される情報

毎時大気解析図



オートパイロットの解除

同機が大きく動揺したとき、副操縦士は、意図せずサイドスティックを前方に操作したものと考えられ、その操作量が機体に設定されたオートパイロット解除の閾値（前方に5°）を超えたためオートパイロットが解除されたものと考えられる。オートパイロットが解除されたことが、その後の同機の挙動に影響を与えたものと考えられる。

原因：本事故は、同機がジェット気流付近のウィンドシアーに遭遇して大きく動揺したため客室通路を移動中であつた客室乗務員が転倒し、重傷を負ったものと推定される。

本事例の事故調査報告書は当委員会ホームページで公表しております。（2022年03月24日公表）

<https://www.mlit.go.jp/jtsh/aircraft/rep-acci/AA2022-1-1-B50001.pdf>

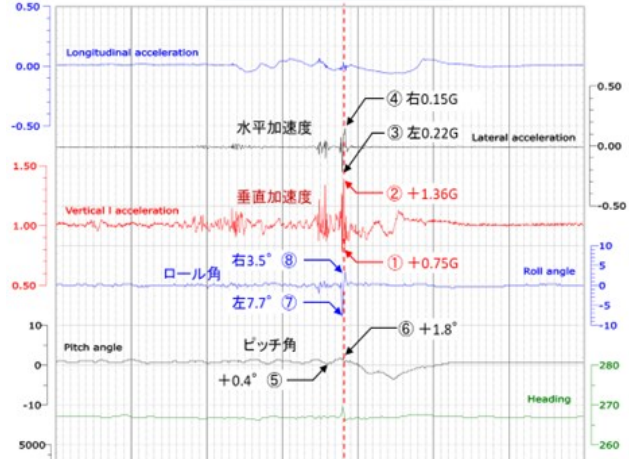
事例3

概要 C社所属エアバス式A320-214型は、2022年1月16日（日）、同社の定期便として、東京国際空港から北九州空港へ向けて飛行中、19時48分ごろ、岡山市上空FL280において機体が動揺して乗客1名が負傷した。晴天乱気流に遭遇し、シートベルト着用中の乗客が右脇腹を座席右側の肘掛けに打ち付け、負傷した。

推定飛行経路図

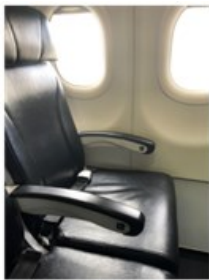


QAR の記録



気象及び同機の動揺

負傷者座席



事故発生場所付近に雲のエコーは観測されていなかったものの、ジェット気流の影響による晴天乱気流が発生していたものと考えられる。本事故発生時、PIREPによると、同機の周辺では、19時48分ごろ、事故発生場所から北西14nmの地点、FL300において晴天乱気流が発生していた。
※「PIREP」とは、Pilot Report の略で、パイロットが行う飛行中における飛行の安全に影響を及ぼす気象現象についての観測報告をいう。

垂直加速度は+0.75G から+1.36G の間で変化し水平加速度は左に 0.22G から右 0.15G の間で変化していた。同機の動揺は、毎時大気解析図に鉛直シア一域が示されていたこと及び雲がなかったことから、ジェット気流の影響により発生した晴天乱気流に遭遇したことによるものと考えられる。

乗客の負傷

同座席の肘掛けは座面から 20cm 高さであり、比較的小柄な者だと脇腹付近の高さとなる。同乗客は、シートベルト着用サインが消灯されても、飛行中は常時シートベルトを着用して着席していたが、同機の水平加速度（左 0.22G から右 0.15G）、ロール角（左 7.7° から右 3.5°）の変化及びロールレート（4.5°/秒）の状況に照らすと、同乗客は、同機の機体が動揺した際に、身体が左から右に振られ、右脇腹を座席右側の肘掛けに打ち付け、第9肋骨骨折に至ったものと考えられる。

原因：本事故は、同機が、ジェット気流の影響によって発生した晴天乱気流に遭遇した際、機体が左方向に動揺したため、乗客が右脇腹を座席右側の肘掛けに打ち付けられ、重傷を負ったものと考えられる。

再発防止に向けて

➤ 客室乗務員においては、乗客の更なる安全のために、着席中は常時、シートベルトを腰の低い位置で緩みのないように着用するよう、乗客に対して周知すること及び客室乗務員は乗客の体形等に気を配りながらシートベルトの適切な着用をよく確認することが望ましい。

本事例の事故調査報告書は当委員会ホームページで公表しております。（2023年06月29日公表）
<https://www.mlit.go.jp/jtsb/aircraft/rep-acci/AA2023-4-1-JA24MC.pdf>

2. 事故の要因と事故防止に向けたポイント

紹介した事例を含む過去 20 年間（2004～2023 年）に公表されている 36 件の事故調査報告書において、事故調査の中で判明した事実情報を基に分析等の中で指摘している事項について項目ごとに抽出してみました。指摘事項をその内容により大きく分けると「情報の共有に係るもの」、「客室内の対策に係るもの」、「機上機器の運用に係るもの」に分けることができました。

①情報の共有

これには、運航乗務員と客室乗務員との情報共有不足、運航乗務員と運航管理者との情報共有不足等があります。全般的に見ると運航開始後に入手した揺れ等の情報の共有不足が多い傾向が見られます。また、乱気流報告制度等のソフト面への指摘等もいくつかありました。

飛行中における揺れの実況情報を入手する手段としては、現状においては飛行中の航空機から報告された揺れの情報である PIREP が主体となっていますが、ACARS¹を活用した機上の観測データ等の更なる共有が求められています。

情報の共有	運航乗務員↔客室乗務員	乱気流に関する情報の提供 運航の安全に関する情報の提供 飛行経路上の正確な情報の提供 機体の動揺予想についての情報提供 客室乗務員の負傷状況の機長等への報告 負傷者の認知と状況報告
	運航乗務員↔運航管理者	規程による乱気流情報の提供 地上からの運航乗務員に対する情報の提供 気象の実況監視に基づく解析情報の提供 最新の気象情報及び外部監視情報の提供 シグメット情報の取得及び提供 乱気流に係るシグメット情報の活用
	運航乗務員↔管制機関等	乱気流強度の統一基準による報告 悪天候に係る機長報告 乱気流に関する情報の報告

※青色のテキストリンクをクリックすると各事故調査報告書の該当ページをご覧ください。

②客室内の対策

これには、機内サービスに関係するもの、シートベルトに関係するものがあります。最近の傾向としてシートベルトの締め方に着目したものが多くなっています。

また、手すり、座席等の機内設備に係るハード面への指摘もいくつかありました。

¹ 「ACARS」とは Aircraft Communications Addressing and Reporting System の略で、航空機の運航に必要な情報をデジタル・データ通信により、地上から航空機へ、又は航空機から地上へ提供する装置をいう。

客室内対策	シートベルト	ベルトの締め方	適切なシートベルトの着用① 適切なシートベルトの着用②
		ベルトサインの運用等	雲中飛行時のシートベルトサインの運用 シートベルトサイン点灯時機の考慮 シートベルトサインの安全サイドでの運用
	座席	着席姿勢等	シートベルトサイン点灯中の幼児の着席 体格に対応した座席の設計及び着席姿勢 客室乗務員の着席姿勢
	機内サービス等	サービス	負傷者手当のサービスマニュアルの周知 客室巡回時の積極的な声掛けの実施 コーヒーポットの改善及び熱傷防止対策の実施 機内サービス計画の策定及び実施
		訓練	定期訓練等による動揺対処方法の周知 同種事例の特徴及び対策の再周知
		アナウンス	注意喚起のための積極的なアナウンス 天候に関する機長からのアナウンス
	動揺への対応等	対応方法	客室位置の揺れの違いへの対応方法 予期せぬ機体動揺への対応方法 被害を軽減するための方法
		機内設備	通路へのハンドル等の設置 棚、座席下への手荷物の収納

③機上機器の運用

これには、機上気象レーダーの有効活用に係るものが多く、自動操縦装置の運用に係る指摘もあります。

動揺による事故は自然現象への対応の結果であり不可抗力の面も多々ありますが、機上気象レーダーの活用による水平又は垂直方向への回避や他機から乱気流の実況情報を入手することにより、シートベルトサインを早めに点灯させる等揺れに備えることだけでも事故は確実に減らせるものと考えられます。

また、より細かな乱気流予報の提供、さらに将来実用化される可能性のある航空機搭載型ドップラーライダー²活用による晴天乱気流の探知及び機体制御等の新技術の活用も期待されるところです。

機上装置の活用	機上気象レーダー	活用方法	悪天回避の経路変更時の活用方法 探知困難な気象状況の理解及び活用 機上気象レーダーの積極的な活用
---------	----------	------	--

² 「航空機搭載型ドップラーライダー」とは、航空機からレーザー光を放射して大気中に浮遊するエアロゾル（微細な水滴やチリなど）からの散乱光を受信し、ドップラー効果による光の波長変化を調べることにより、機上気象レーダーでは検知できない晴天乱気流を検知する装置をいう。

	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	後方乱気流遭遇時の回復操作及び訓練 最大運用速度に関する情報提供及び教育訓練
	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い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。

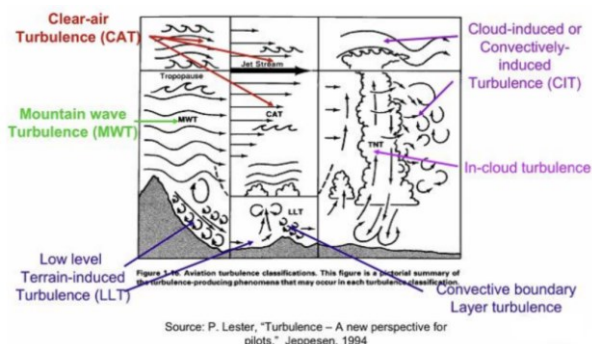
また、実況値は、従来の無線等によるPIREP（Pilot Report）情報の提供に加え、IATA（国際航空運送協会）Turbulence Aware プラットフォームに参加し、飛行中の乱気流に関するデー

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。

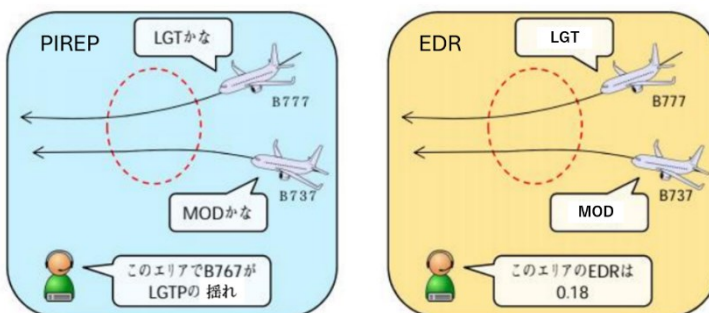
EDR は、航空機から自動で観測された気流の乱れ情報を瞬時に収集、蓄積、共有できること、また、そのデータは機種別の区別なく使用できることが大きなメリットです。海外エアラインでは導入が推進されており、ANA でも導入対象機を拡大しています。

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』

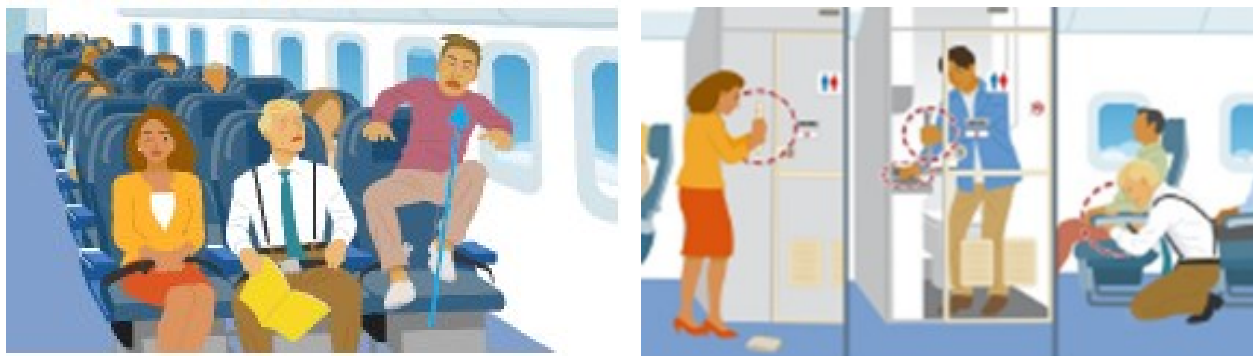
PIREP：先行機の揺れの報告を後続機の運航乗務員が自機にあてはめ揺れの大きさを予想
EDR：先行機が計測した EDR 値をもとに後続機の揺れの大きさをシステムが算出し運航乗務員に提供

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。



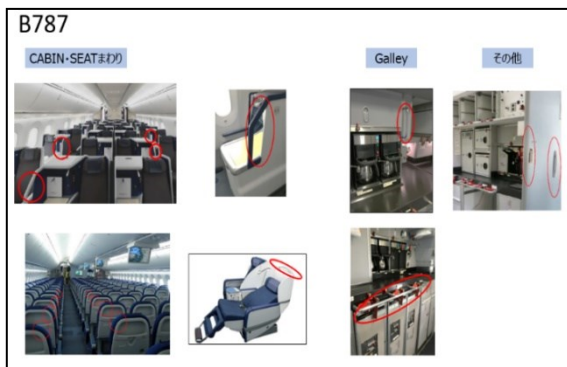
お客様向け上映ビデオ

揺れに備える

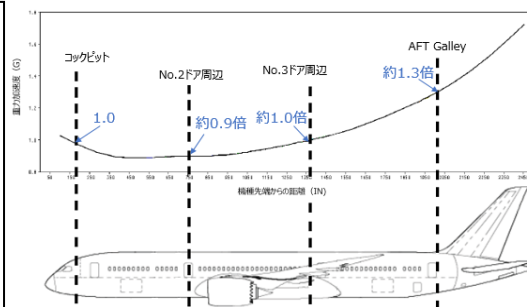
タービュランスによる負傷リスク低減には、クルー・コミュニケーションが重要な要素の一つになります。お客様や客室乗務員にとって運航乗務員からの情報が唯一のものであり、その情報提供が安全につながります。

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））

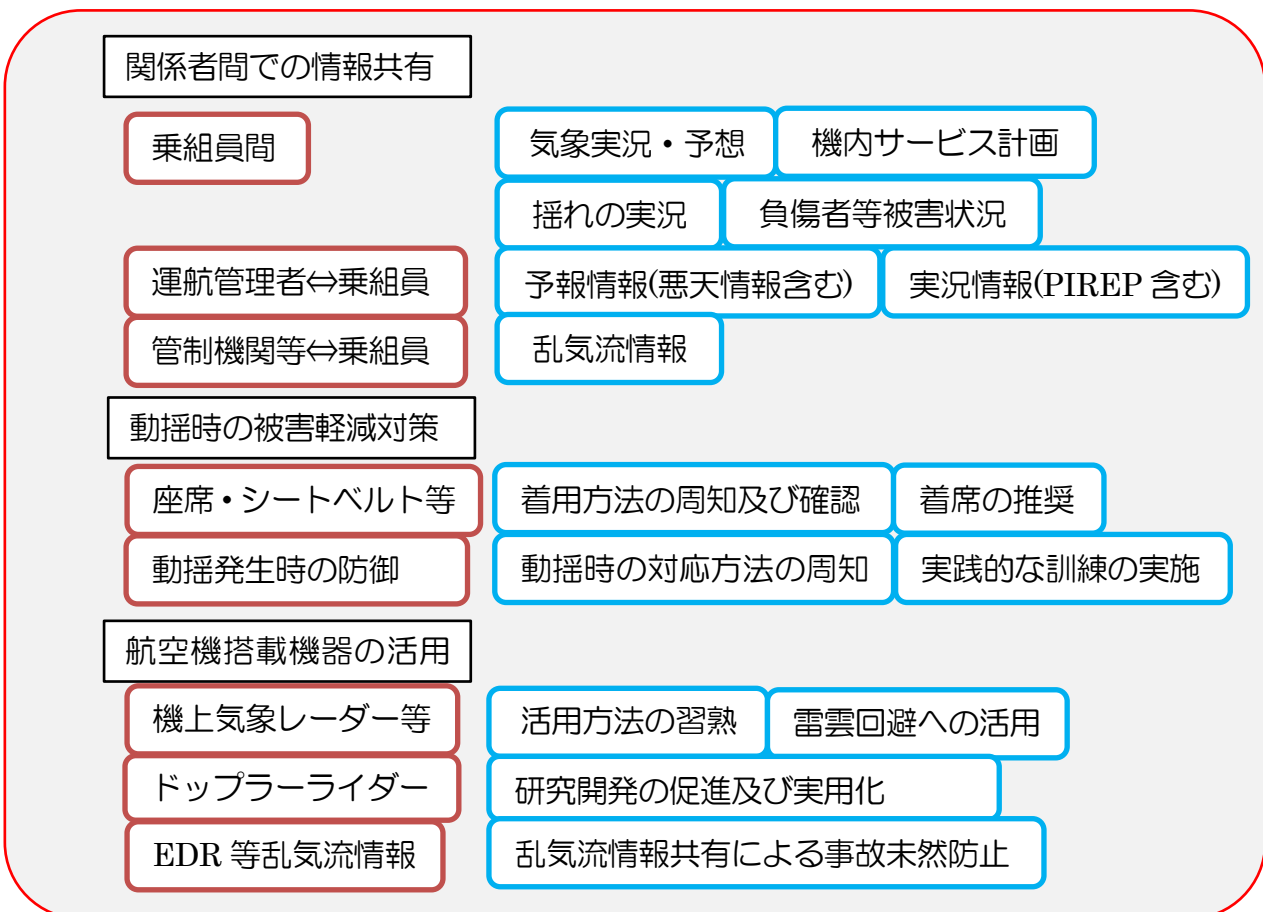
第5章 まとめ

機体動揺事故の発生状況

- 2004～2023年に、大型機による事故は67件発生していますが、その半数以上の37件は機体動揺事故です。
- 機体動揺の原因は、雲中乱気流が最多で全体の3分の1強、晴天乱気流が3分の1です。
- 重傷者数は、乗客においては減少傾向にあるのに対し、客室乗務員においては増加傾向にあります。
- 乗客の事故はシートベルトサイン点灯中が多く、客室乗務員は同サイン消灯中が約7割です。
- 受傷した機内の場所は、約8割が機体後方となっていますが、機体の大きさによる傾向の違いは見られません。
- 揺れの感じ方は、操縦室では「並以下」が約4割ありますが、客室ではほとんどが「強い」と感じています。
- 事故時の垂直加速度の変化量は、1.0G以上が8割以上ですが、1.0G未満の例も見られます。
- 運航乗務員の約半数は、運航開始前を含め大きな揺れの可能性を認識していませんでした。
- 乗組員間や、乗組員と運航管理者との情報の共有不足が見られる事例が3分の1ありました。

再発（未然防止）に向けて

事故の発生状況や事故事例等から得られた事故防止のためのポイントは、次のとおりです。「揺れの予測」及び「揺れへの対応」を適時・適切に行うことが重要です。



事故防止分析室長のひとこと

自然現象が相手である乱気流等による動揺事故防止の抜本的な対策は容易ではなく、新技術が実用化されるまでは現状の事故防止（被害軽減）対策を着実に続けるしかないのが実状です。

また、第4章の動揺事故の再発防止策も新技術開発の部分を除いては、国土交通省航空局が過去から何度も各運航者に対して対応を求めてきた内容と大きく変わるものではありません。このことから機体の動揺事故に限ってはいかに事前（未然）防止対策が難しいかが分かります。

とはいうものの、この現状のまま手をこまねているわけにはいきません。現状においては予測、検知が難しい乱気流に対しても、研究開発を進めることで精度の高い予測情報やリアルタイムでの実況状況の提供を目指していく必要があります。

また、航空機は揺れることを前提にして、着席中であっても常にシートベルトを腰の低い位置で締めることは当然ですが、化粧室の利用も可能な限り地上で済ませておく、揺れた場合の防御方法を全ての搭乗者が共有しておくだけでも被害を軽減し事故を減らすことは可能と思われます。動揺事故の防止に当たっては、運航者側の努力はもちろんですが、乗客の皆様の協力があって初めて達成できることをご理解いただければ幸いです。

さらに、運航者においても航空運送事業は安全に人や物を送り届けることが目的の輸送サービスであるということに今一度立ち返って考えてみるのはどうでしょうか。客室乗務員の負傷が増加する傾向にあることを考えると乗客へのサービスを追求することが事故に繋がらないようにする必要があります。客室乗務員も着席していることを基本にすることや、大きな揺れが予想される等の場合には機内サービスを行わないことなどを会社のポリシーとして明確にするなど、サービスを犠牲にしなければならないときの判断について現場の心理的安全性を確保する、現場任せにしないということも必要なのではないでしょうか。

本ダイジェストが運航者皆様の安全に対する姿勢をあらためて見つめ直すきっかけとなることを願っております。

最後になりましたが、本ダイジェストの作成に当たり、ANA、JAL、JAXAの皆様インタビューやコラム寄稿のご協力をいただき、それぞれの取組について貴重な情報を掲載することができました。皆様のご協力にお礼を申し上げます。

〒160-0004
東京都新宿区四谷1丁目6番1号
四谷タワー15F
国土交通省運輸安全委員会事務局
担当：総務課事故防止分析室

TEL : 03-5367-5026
URL : <https://www.mlit.go.jp/jtsb/index.html>
e-mail : hqt-jtsb_bunseki@gxb.mlit.go.jp

「運輸安全委員会ダイジェスト」に関するご意見や、出前講座のご依頼をお待ちしております。