

737MAX問題の総括

2021-04-14

Q: コロ禍のこの時期に、ボーイング 737MAX の問題を総括してみようという理由は何ですか？

A: 737MAXは、2018年から2019年にかけて相次いで起きたインドネシアのライオンエア610便とエチオピアのエチオピア航空302便の墜落事故で、2019年3月にFAAにより運航停止されていました。紆余曲折の末に1年8ヶ月後の2021年11月に運航停止が解かれましたが、事故の真因はまだ十分には解明されていません。737MAXの運航停止でボーイングは多大な経営上の打撃を被り、米国経済も少なからぬ影響を受けました。このことが、FAAが事故の真因を明確にできないまま運航停止を解かざるを得なかった一因ではないかと思っています。ボーイングは、737MAXの運航復帰と製造再開に向けて経営体制の刷新と企業文化の変革を発表しました。ですが、事故の真因を明確にできなければ説得力をもたないことは明らかです。世界の航空界や世論が今般のFAAの措置やボーイングの改善策をどのように受け取るかは予断を許しません。わが国の航空会社も737MAXの導入を計画していた経緯があり、この問題は無関係とはいえません。弊社のトップダウン思考による分析と見解が今後の航空安全の発展に些かでも貢献できることを願っています。



図.1 長期停留されている737MAX

Q: 公表されている737MAXの事故原因はどういうものですか？

A: 弊社の安全情報でも直後にお伝えしました。737MAX に初めて装備されたMCAS (Maneuvering Characteristics Augmentation System) という自動化システムがAOA (Angle Of Attack) センサーの誤信号で誤作動して、パイロットがうまく対応できなかったことが原因とされています。



図.2 737MAXのMCAS

HuFac Solutions, Inc.

Q: MCAS とはどのようなシステムなのか？

A: 失速防止システムの一つです。図. 3のように、航空機の主翼 (Main Wing) は機体の迎え角 (AOA) が大きくなれば翼上面の気流が剥がれて失速します。連邦航空規則 (FAR) は、航空機が失速に近づいた時に迎え角が増えて失速を増長させないように設計することを要求しています。ダグラスDC-8やボーイング707といった古典的な機種には、失速が自然に抑えられる傾向 (Natural Tendency) が備わっていました。ですが、遷音速翼型 (Transonic Airfoil) を採用して燃費の向上を目指した最近のハイテック航空機では、そのような傾向が失われていました。それを補うために航空機メーカーが導入したのが、Stick PusherとかStick Nudgerといった昇降舵を自動的に動かして迎え角を減らす人工的なシステムです。737MAXでは水平尾翼を直接動かして迎え角を減らすMCASというさらに高度な自動化システムが採用されていました。

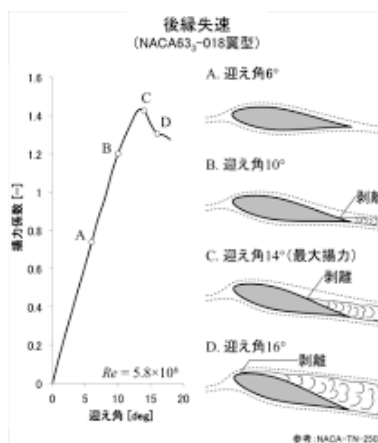


図. 3 翼の失速特性

Q: 737MAX で水平尾翼を動かす MCAS を採用せざるを得なかった理由は何ですか？

A: 737MAXは、エアバスが市場に出したA320neoという機種に対抗してボーイングが開発した機種です。燃費の向上と搭載可能重量の増加のために、CFMインターナショナルが新規開発したLEAP-1エンジンを採用しました。大型のLEAP-1エンジンと地面との間隔が確保できないために、図. 4のように前方に張り出して取り付けざるを得ませんでした。この特殊なエンジンの取り付け状況が、主翼上面の気流に影響を及ぼして主翼失速特性を著しく悪化させることになってしまいました。失速時に迎え角を敏速に減らす必要があることから、水平尾翼を直接動かすMCASを採用せざるを得なかったものです。

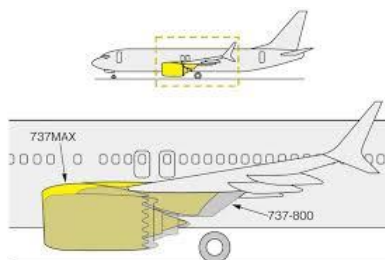


図. 4 737MAX のLEAP-1エンジンの取り付け状況

HuFac Solutions, Inc.

Q: 航空機の失速特性は、航空機の設計で最も重要視しなければならない課題なのですか？

A: まさにその通りです。航空機の失速特性は、航空機メーカーにとって最重要秘匿情報であり、ほんの一部の人物にしか開示されていません。航空機の設計では最初に検討しなければならない課題であり、瑕疵を指摘されれば設計を基本からやり直さなければならなくなります。当然、FAAなどの認可当局は最大の関心を払います。因みに、弊社代表は大学院時代に遷音速翼型を研究課題にしていました。遷音速翼型を採用すれば衝撃波の発生を防いで空気抵抗を減らせますが、反面で失速特性を悪化させるという欠点があることを学びました。航空界にとっては大きな壁といえます。

Q: ボーイングやエアバスなどの航空機メーカーは、自動化した失速防止システムで失速特性の悪化をカバーしようとしたといえるのですか？

A: そういふことになります。ですが、自動化システムと人間であるパイロットの間に新たなヒューマンファクターの問題が生じることに気づいていなかったようです。737MAX問題の本質というのは、このヒューマンファクターの問題といふことができます。

Q: 「ヒューマンファクターの問題」というのをもう少し具体的に話していただけませんか？

A: 事故の原因はMCASという自動化システムの誤作動です。自動化システムが誤作動すれば、自動化システムを信頼しているパイロットが動転してエラーをする（アップセット）というのが「ヒューマンファクターの問題」です。

Q: MCASの誤作動はAOAセンサーからの誤信号が原因とのことですが、AOAセンサーの誤信号をなくせば問題は解決するのではないのですか？

A: 当初、ボーイングは早期の運航復帰を望んでFAAにそのような解決策を提案しました。AOAセンサーは737MAXの胴体前部の左右2箇所に取り付けられています（図. 2）。737MAXのMCASは、その一方からしか信号を入力していません。ボーイングの提案は、AOAセンサーが誤信号を出してももう1つのAOAセンサーからの信号があればコンピュータが比較して誤信号を判断できるというものです。ですが、FAAはその提案を直ぐには認めようとしませんでした。

Q: FAAがボーイングの提案を直ぐには認めなかった理由は何だと思えますか？

A: 一般的に、FAAは不承認の理由を明確にしません。ですから、トップダウン思考で推測するしかありません。ボトムアップ思考の技術者は、2つのAOAセンサーから入力すればシステムの冗長性（Redundancy）が増してMCASの誤作動を防げると単純に考えてしまうようです。

Q: ボトムアップ思考の技術者の考えはなぜ適切でないのですか？

A: リスクマネジメントの原則に則っていないからです。MCASに限らず、システムには「誤作動」と「不作動」という2つの異なる故障モードがあります。その両方を同時に防止できればよいのですが、現実にはそう簡単ではありません。リスクマネジメントの原則では、それぞれの故障モードの結果の重大性と回避の難易性を考慮して優先付けをします。専門的には、故障モード・影響解析（FMEA: Failure Mode & Effect Analysis）といひます。救急医療の分野では、トリアージュ（Triage）というフランス語でよばれているようです。

HuFac Solutions, Inc.

- Q: MCASの誤作動と不作動では、どちらが重大なのでしょう？
- A: 従来は不作動の方が墜落事故につながるの重大と考えられていたようです。ですが、今般の2件の墜落事故で誤作動も墜落事故につながる重大な故障モードであることがわかりました。
- Q: ボーイングが737MAXのMCASを「1つのAOAセンサーからの入力」にしている、FAAがそれを承認していたのはなぜなのでしょう？
- A: 不作動を重大視していたからだと思います。誤作動を重大視して「2つのAOAセンサーからの入力」にすれば、2つの信号が相違した時に真偽を見極めるためにコンピュータの中にコンパレータ (Comparator) という論理回路を追加する必要があります。一般的に、システムが複雑になれば故障の確率が増えて不作動の可能性が増えることとなります。ボーイングとFAAは、MCASの不作動を防ぐためにシステムをできるだけ簡素にしておきたかったのだと思います。737MAX では「1つのAOAセンサーからの入力」が標準装備ですが、「2つのAOAセンサーからの入力」もオプションとして用意されています。

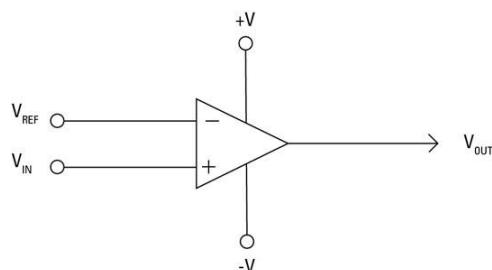


図. 5 コンパレータの論理回路

- Q: FAAはボーイングの提案を受けて大いに悩んだと思いますが、結局のところ受け入れて運航停止を解除したのはなぜだと思いますか？
- A: 運航停止処分をさらに続けると長期停留されている370機以上の737MAXがスクラップになるリスクがあると考えたからだだと思います。そうすると、ボーイングが航空会社から多額の賠償金を請求されて経営的な窮地に追い込まれる可能性があります。ボーイングは、米国経済にとって欠かせない重要な企業の1つです。FAAは、米国経済のリスクを回避するためにやむなく、1年8ヶ月後に運航停止処分を解かざるを得なかったのだと思います。
- Q: 運航停止処分の解除に際して、FAAがパイロットの訓練を条件に加えたのはなぜですか？
- A: 実は、ライオンエア610便とエチオピア航空302便の墜落事故の間の時期に米国のサウスエスト航空の737MAXが8件のMCASの誤作動を経験しています。サウスエスト航空のパイロットはいずれのケースでも墜落を回避することができました。FAAはライオンエアやエチオピア航空とサウスエスト航空のパイロットの知識と技量の違いに注目しました。調査によると、サウスエスト航空が最初のライオンエア610便の事故を知った後にパイロットに事故の原因分析と対策を勧めていたことがわかりました。パイロットが悟ったのが、ヒューマンファクターの知識を活用したアップセット訓練 (Upset Training) の必要性でした。サウスエスト航空のパイロットは普段からヒューマンファクター教育やCRM訓練に努めていましたので、アップセット訓練の習熟も早かったそうです。まさにヒューマンファクターの知識が8件の墜落事故を防いだといっても過言ではありません。FAA は、ボーイングの提案で「2

HuFac Solutions, Inc.

つのAOAセンサーからの入力」にしてもMCASの誤作動は完全には防げないと考えているようです。その場合に備えて、FAAはパイロットがアップセット訓練で技量を向上して事故を回避できるようになることを運航復帰の条件にしています。

Q: サウスウェスト航空のパイロットはアップセット訓練で事故を回避できましたが、他の航空会社のパイロットはどのようなのですか？

A: 率直に言って、難しいと思います。サウスウェスト航空は、「ハドソン川の奇跡」という映画にもあるように、世界で最もヒューマンファクター教育やCRM訓練を重視している航空会社の1つです。そうではない航空会社のパイロットが俄仕立てのアップセット訓練で事故をうまく回避できるようになるとは限りません。わが国の航空会社も737MAXの導入を計画していましたが、慎重に検討することを望みます。

Q: 冒頭、「事故の真因はまだ十分には解明されていない」と述べていますが、これはどういう意味ですか？

A: 事故の原因となったAOAセンサーからの誤信号の原因がまだ明らかになっていないということです。AOAセンサーの誤信号は2件の墜落事故で起きただけでなく、米国のサウスウェスト航空でも8件経験しました。このように短期間で頻繁に起きているということは、単なる偶発とはいえません。何か設計上の不具合に因るものと考えなければなりません。

Q: その「設計上の不具合」に心当たりがあるのですか？

A: あります。トップダウン思考で考えれば、思いつくのはそう難しいことではありません。2013年頃に、JALやANA、エジプト航空のボーイング787で搭載しているリチウムイオン電池が発火するという事故が起きます。この時にも787が6ヶ月にわたって運航停止になりました。当時、マスコミから取材された弊社代表は「原因がわからないまま運航復帰させることは問題が残る」とコメントしました。787のリチウムイオン電池発火の根本原因も、737MAXのAOAセンサーの誤信号の原因と同じ「設計上の不具合」といえます。

Q: それがわかっていながら、なぜ公表しなかったのですか？

A: 「設計上の不具合」にはわが国のある企業の技術が深く関わっているからです。そのことは、トップダウン思考ができる人にしか理解してもらえません。残念ながら、ボトムアップ思考しかできない人達の社会では逆に反感をかうことにもなりかねません。科学的に実証することもほとんど不可能です。ですから、弊社代表は787のリチウムイオン電池の発火事故の際にも沈黙を守っていました。功利的と非難されても致し方ありません。

Q: ところで、737MAXの今後はどうなるのでしょうか？

A: 現実的に考えれば、1年8ヶ月の長期にわたって停留されていた370機以上の737MAXでは搭載されている電子部品やエンジン部品、操縦系統などで劣化が進んでいると思われます。737MAXをそのまま運航復帰させれば事故を引き起こす可能性も否定できません。スクラップにされたとしても、悪徳業者が部品を回収して品質を確認しないまま市場に出回らせる事態も考えられます。航空安全の意識が高い欧米の航空利用者の間では、インターネットの時刻表などに737MAXの使用を明示するよう航空会社

HuFac Solutions, Inc.

に要求する動きがあります。読者の中のある外国人特派員の方は、「737MAXには搭乗しないようにしている」とコメントされています。それにもかかわらず、ボーイングは737MAX を主力機に据えようとしています。わが国の社会も、737MAXの動向にもっと関心を寄せる必要がありそうです。

本情報に関する連絡先：

(株)ヒューファクリュージョンス

URL: <http://www.hufac.co.jp>

E-mail: info@hufac.co.jp