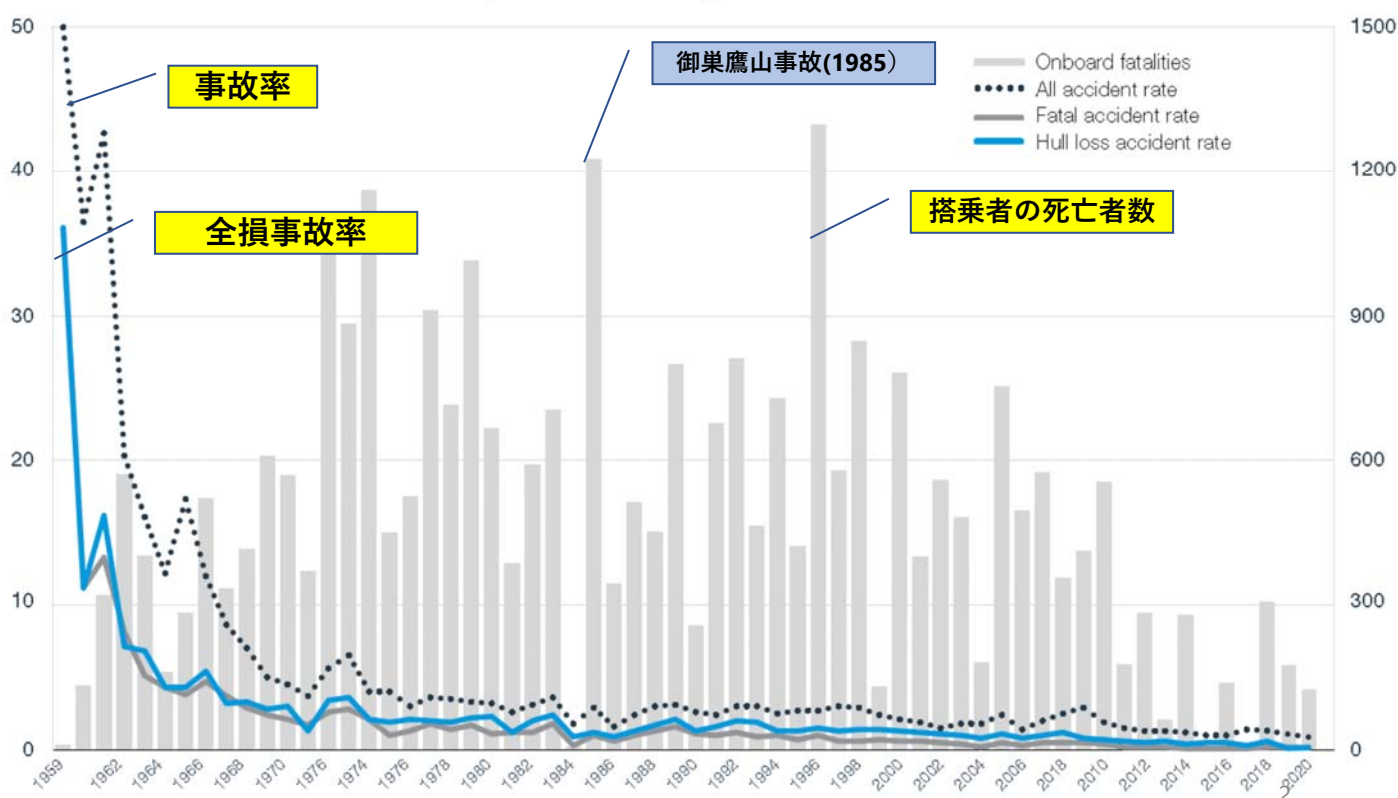


航空界における安全管理の変遷 (1970年代～2020年代)

日本ヒューマンファクター研究所
本江 彰

事故統計 (Boeing社)

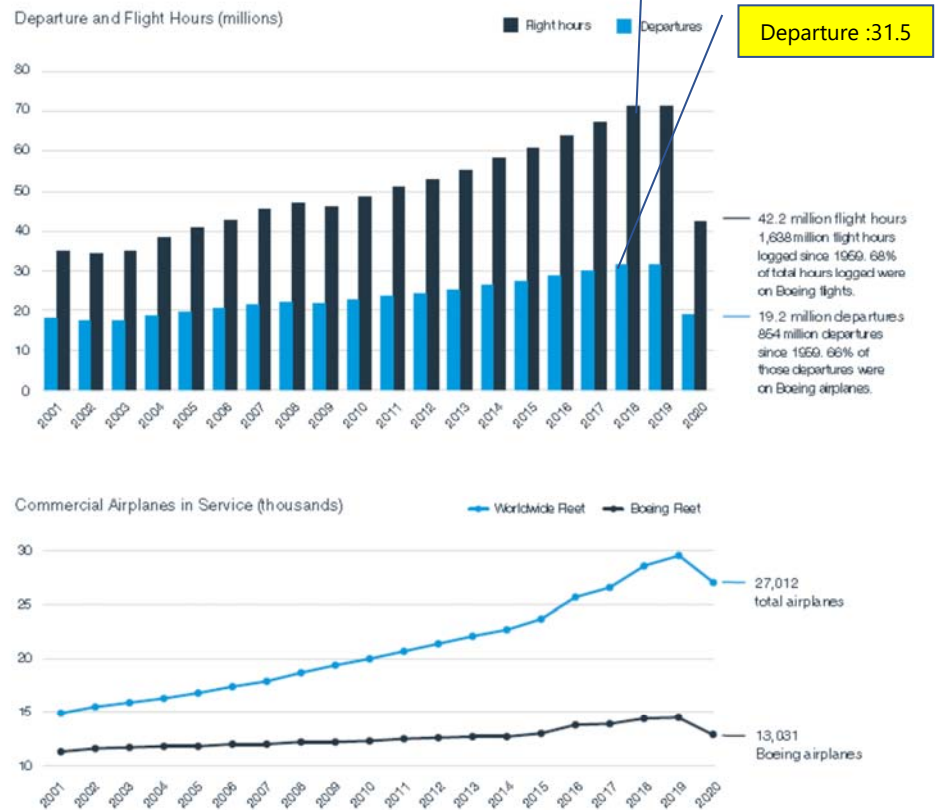
Accident Rates and Onboard Fatalities per One Million Departures



Departures, Flight Hours, and Jet Airplanes in Service*

Worldwide Commercial Jet Fleet
2001 through 2020

Over the past 20 years, the gap has grown between total number of departures and total flight hours. Following a decade of above average traffic growth, the COVID-19 pandemic significantly affected air travel in 2020. Despite this unprecedented challenge, the worldwide airplane fleet and commercial air traffic are expected to continue to grow over the next 20 years.

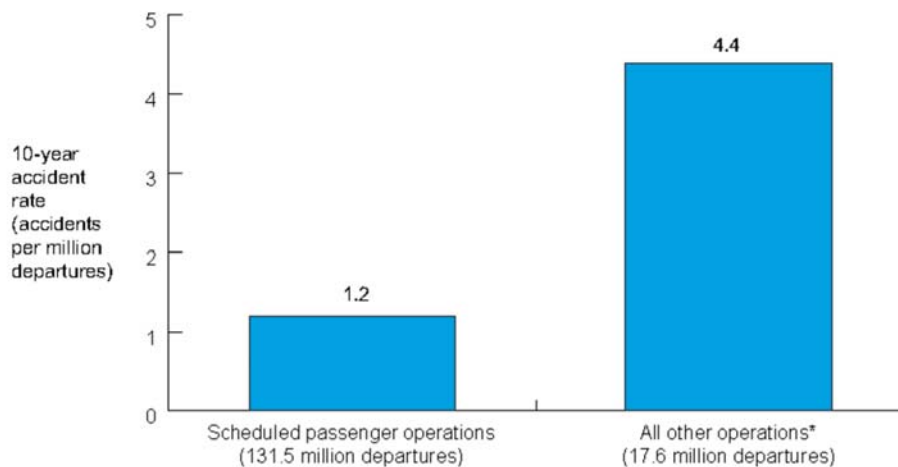


Source: 2001 - 2019, Jet Information Services, Inc. 2020: Cirium
*Certified jet airplanes greater than 60,000 pounds maximum gross weight, including those in temporary nonflying status and those in use by non-airline operators. Excluded are commercial airplanes operated in military service and CIS-, USSR-, or PRC-manufactured airplanes.

7

Accident Rates by Type of Operation

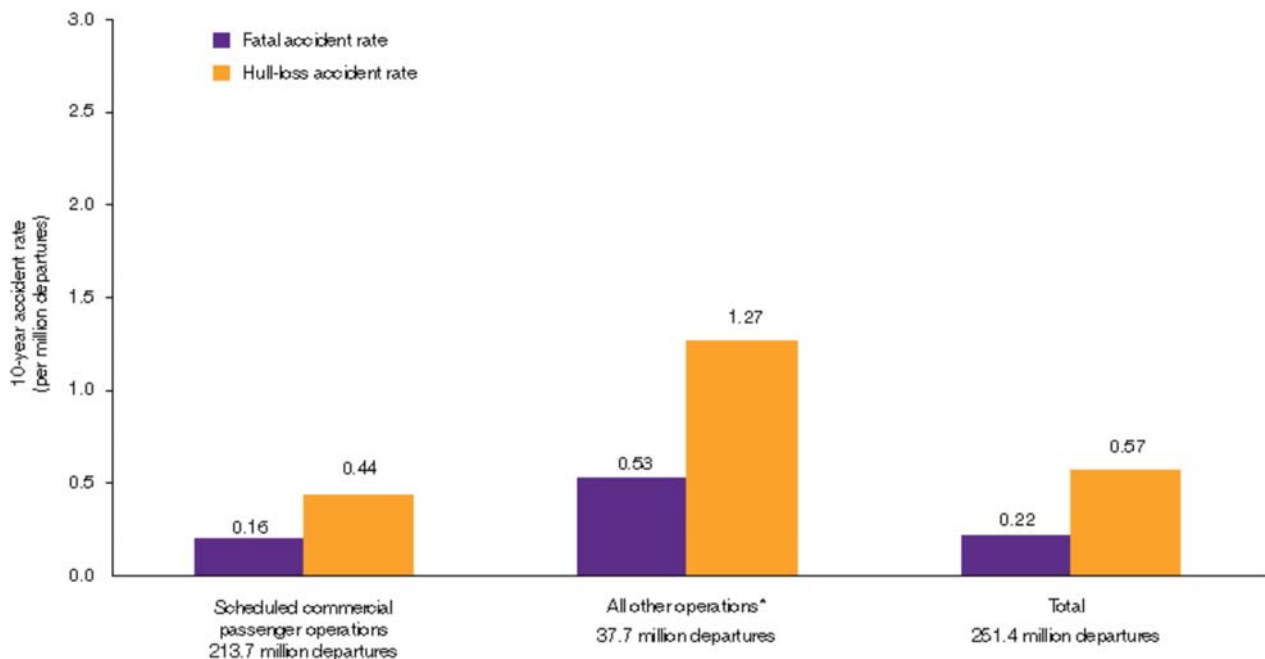
Hull Loss and/or Fatal Accidents — Worldwide Commercial Jet Fleet — 1988 Through 1997



*Unscheduled passenger and charter, cargo, ferry, test, training, and demonstration.

Accident Rates by Type of Operation

Fatal and Hull-Loss Accidents | Worldwide Commercial Jet Fleet | 2008 through 2017



* Charter passenger, charter cargo, scheduled cargo, maintenance test, ferry, positioning, training, and demonstration flights

18 | 2017 STATISTICAL SUMMARY, OCTOBER 2018

ICAO International Civil Aviation Organization (国際民間航空機関)

- 国際民間航空機関は、世界の国際民間航空の安全かつ秩序ある発展を促進する。航空の安全性、保安、効率、定期運行や航空環境保全に必要な国際基準や規則を定める。また、191の加盟国との協力の下に、安全、確実かつ持続可能な民間航空を発展させる。ICAOには、政策決定機関で全締約国の代表で構成される総会と総会が選出する36カ国で構成される理事会がある。理事会はICAOの執行機関で、総会の指示を実行する。
- 1944年に採択された国際民間航空条約（通称シカゴ条約）に基づき設置された国連専門機関です。この目的のために、ICAOは、国際航空運送業務やハイジャック対策をはじめとするテロ対策等のための条約の作成、国際航空運送の安全・保安等に関する国際標準・勧告方式やガイドラインの作成等を行っています。また、国際航空分野における気候変動対策を含む環境保護問題についても議論及び対策が進められています。



IATA

International Air Transport Association (国際航空運送協会)

- 2016年時点で117ヵ国290社の主に大手航空会社が加盟し、世界の定期運航の有効座席キロ数のおよそ82%を加盟各社が占めている。
IATAは航空会社の活動を支援し、業界の方針や統一規準制定に寄与してきた。本社の登記地はカナダ・モントリオールで、本社機構はスイス・ジュネーブに置いている

IFALPA

International Federation of Air Line Pilots' Associations (国際定期航空操縦士協会連合会)

- 国際線に乗務するパイロットは国境を越えた途端に自国の航空機操縦士協会の保護が受けられなくなる、という現実に行き当たったため、組織されたといわれる。
- 100カ国以上、10万人以上のpilotで組織。
パイロットの意見を反映するために、多数のICAOパネルおよびタスクフォースに席が設けられている
- IFALPAの常任委員会。
 - ◆ Accident analysis & Prevention
 - ◆ Aerodrome & Ground Environment
 - ◆ Aircraft design & Operation
 - ◆ Air Traffic Service
 - ◆ Dangerous Goods
 - ◆ Helicopter
 - ◆ Human Performance
 - ◆ Legal
 - ◆ Security

お話をする項目

- 事故調査
- ヒューマンファクター
- テクノロジーの進化
- 自動化
- **CRM (Crew Resource Management)**
- **TEM (Threat & error management)**
- **SMS (Safety Management System)**
- **CBT (Competency Based Training)**

事故調査

航空事故の事故調査は国際民間航空条約の規定に基づいて、事故の発生した国の政府が行い、これに事故機の所属国および製造国の代表がオブザーバーの形で参加するのが通常です。

- NTSB (National Transportation Safety Board)
- AAIB (Air Accidents Investigation Branch)
- BEA (フランス事故調査機関)

運輸安全委員会

- 1974年 航空事故調査委員会（常設）
として設置
- 2001年 航空・鉄道事故調査委員会
- 2007年 運輸安全委員会

事故調査の目的

第一条

- 航空事故等、鉄道事故等及び船舶事故等の原因並びに航空事故、鉄道事故及び船舶事故に伴い発生した被害の原因を究明するための調査行う。
(原因究明)
- 航空事故等、鉄道事故等及び船舶事故等の防止並びに航空事故、鉄道事故及び船舶事故が発生した場合における被害の軽減に寄与することを目的とする。(再発防止)

ICAO 付属書 13

- 事故又はインシデントがいかなる場所で発生しても、国の適切な司法当局が、記録の開示が当該調査又は将来の調査に及ぼす国内的及び国際的悪影響よりも重要であると決定した場合でなければ、調査実施国は、次の記録を事故又は重大インシデント調査以外の目的に利用してはならない。

ヒューマンファクターとは

ヒューマンファクターは、人間に関するものである。仕事と生活の環境における人間に関するものである。人間と機械、装置との関係、その処理との関係、その環境と関係に関するものである。

(F. H. ホーキンス)

ヒューマンファクターは、あらゆるシステムの中心をなす人間についての研究である。

ヒューマンファクターは、人間の能力とその限界を明確にし、人間やシステムの構成要素を調和させるものである。

(**FAA Human Factors Guide**)

ヒューマンファクターの定義

機械やシステムを安全に、しかも有効に機能させるために必要とされる、人間の能力や限界、特性などに関する知識や、概念、手法などの実践的学問である。

(日本ヒューマンファクター研究所)

環境の中で生きる人間をあるがままに捉えて、
その行動や機能、限界を理解し、その知識を基に
人間と環境の調和を探究し、改善すること

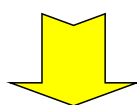
(日本航空)

Japan Institute of Human Factors

15

ヒューマンエラー

- ✓ 人間はエラーを起こそうとして行動していない
- ✓ ヒューマンエラーの原因は
人間の特性であり、
人間の能力の限界である
- ✓ また、人間の柔軟性、臨機応変な一面も
エラーの原因となる



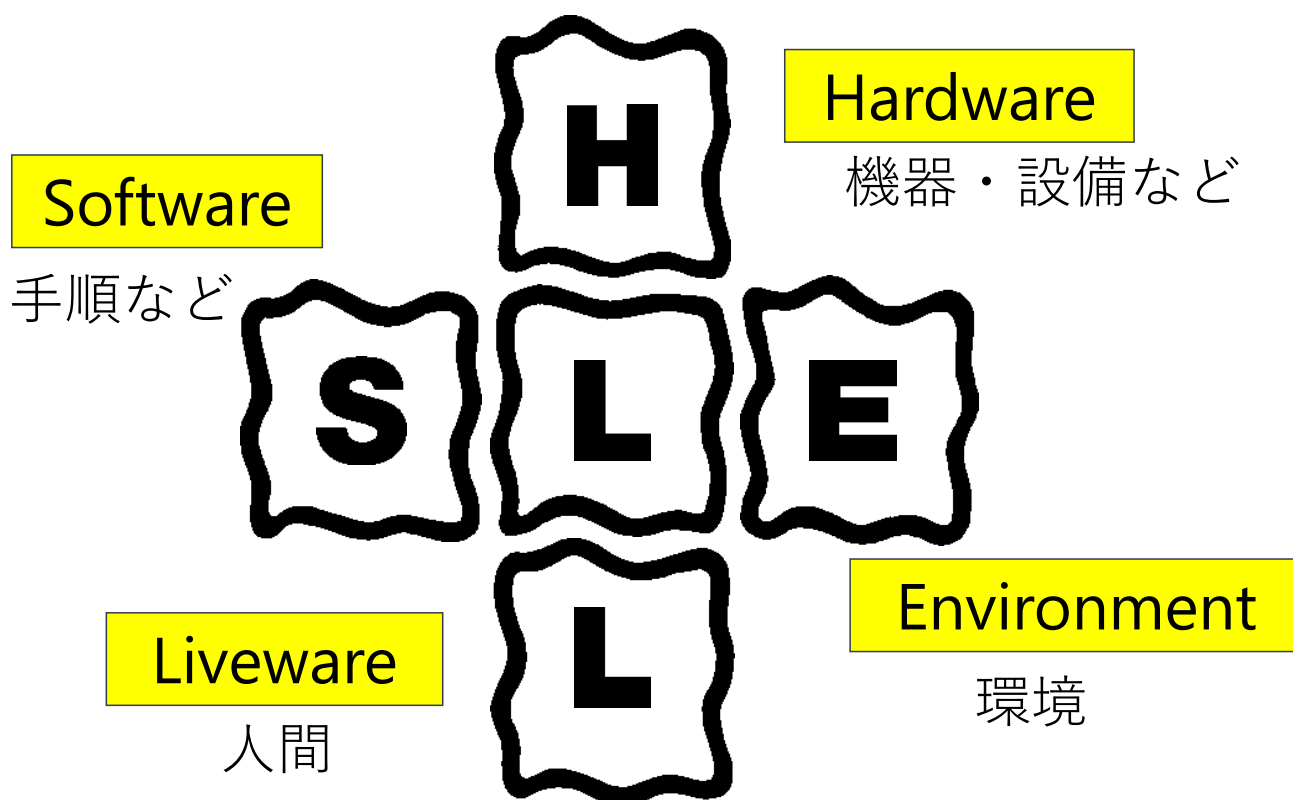
完全に無くすことはできない

人間がエラーをすることを前提
として、

人間が機械に合わせるのではなく、
機械を人間に合わせるように設計

人間を支援するシステムを構築す
る

SHELモデル

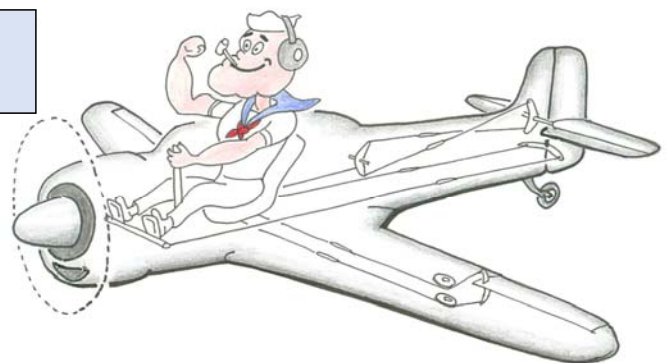


テクノロジーの進化

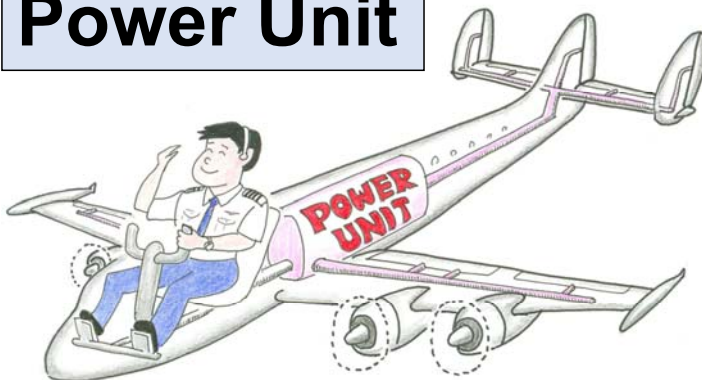
航空機の世代	代表的な機種
第4世代 (ジェット)	A318/A319/A320/A321 (including neo)、A330、A340-200/300、A340-500/600、B777、A380、B787、A350、Bombardier C Series、Embraer E170/E175/E190/E195
第3世代 (ジェット)	A310/A300-600、B737-300/400/500、B737-600/700/800 (NG)、B737 MAX、B757、B767、B747-400、B747-8、B717、BAE 146、MD11、MD80、MD90、F70、F100、Bombardier CRJ Series、Embraer ERJ 135/145
第3世代 (ターボプロップ)	ATR 42-600、ATR 72-600、Bombardier Dash 8-400、BAE ATP、Embraer 120、Saab 2000
第2世代 (ジェット)	A300 (except A300-600)、BAC111、B727、B737-100/200、B747-100/200/300、DC9、DC10、F28、L1011
第2世代 (ターボプロップ)	ATR 42、ATR 72 (all series except -600)、BAE J-41、Fokker F27/50、Bombardier Dash 7 Bombardier Dash 8-100/200/300 Series、Convair 580-600 Series、Shorts 330 and 360、Saab 340
第1世代 (ジェット)	DC8、B707

19

人力



Power Unit



Software

航空機に関するテクノロジー

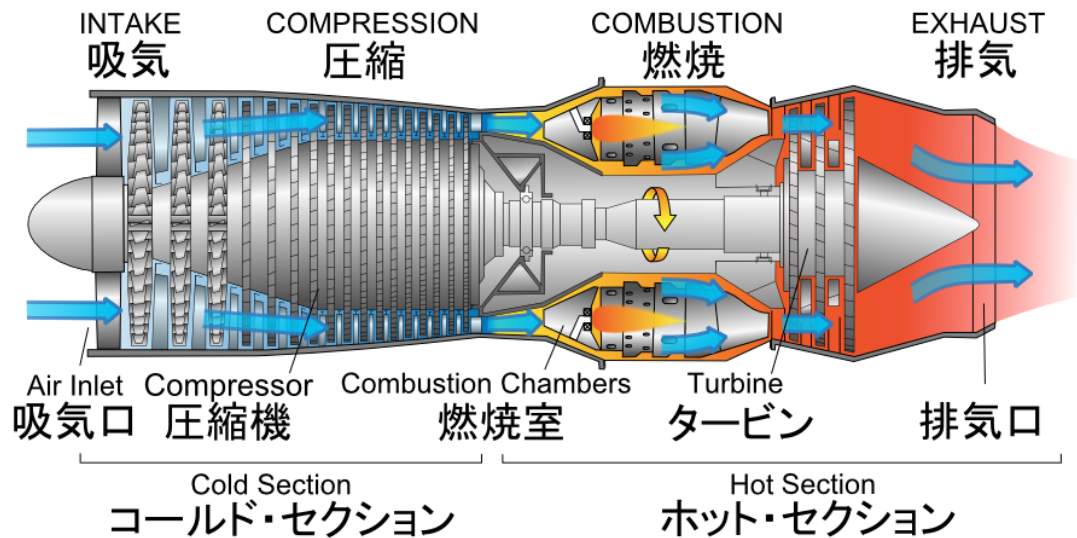
- 自動化
- 航法システム(GPS)
- エンジン: 推力、騒音
- 通信(衛星通信)
- 航空管制システム
- 複合素材
- 燃料(バイオ燃料)

航法システム

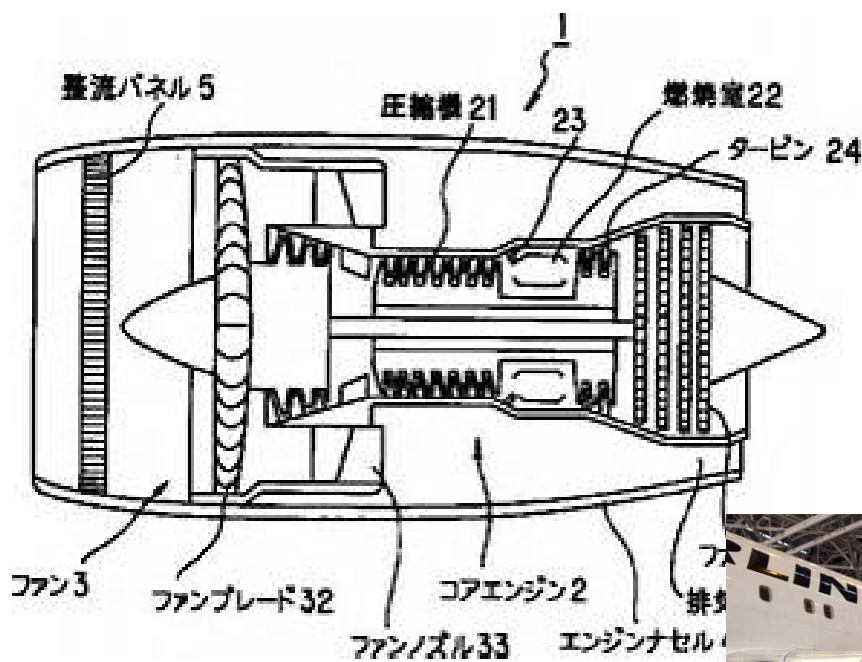


エンジン:ターボジェットエンジン

ジェット・エンジンの動作原理



エンジン:ターボ・ファン・エンジン



ENG故障



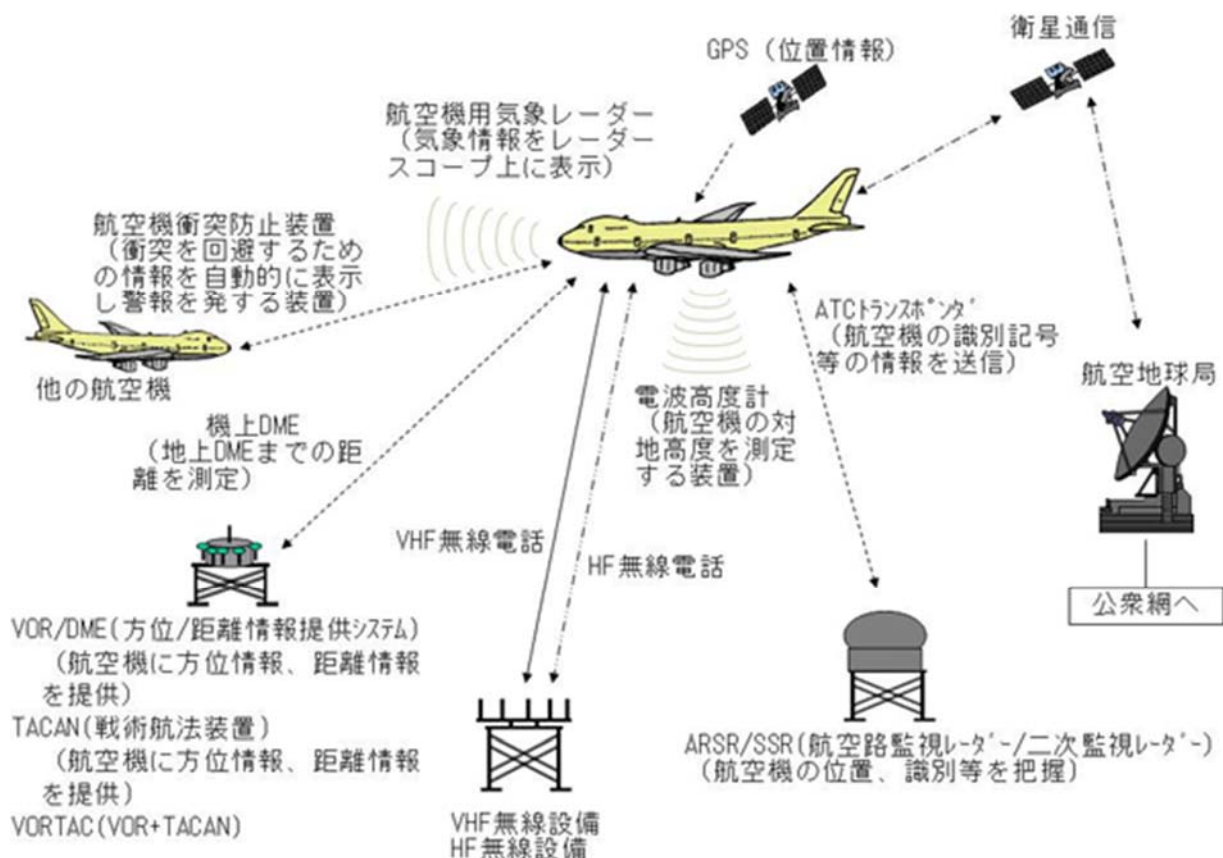
1970年代に入ると、技術の進歩により、ターボエンジンを搭載した2基の飛行機が60分の運航制限を超えて安全に飛行できるようになりました。その結果が双発機による長距離進出運航（ETOPS）であり、1985年には120分ルールと、エンジンの平均飛行中停止率（IFSD）を1,000エンジン時間あたりわずか0.05とすることが定められた。1988年の180分ETOPSでは、飛行中停止率を1,000エンジン時間あたり0.02回に抑えるという、さらに厳しい信頼性目標が設定された。このように、ETOPSはメーカーやオペレーターに、推進システムの信頼性を飛躍的に向上させることを促した。産業界はこの挑戦に応え、それを上回る成果を上げた。実際、ここ数年、全世界の180分ETOPSフリートの平均IFSD発生率は、通常、1,000エンジン時間あたり0.01IFSD以下となっており、これはETOPS運航に必要な信頼性の2倍に相当する。この傾向は非常に顕著で、わずか15年前には達成できなかった推進力の信頼性が、現在のツインジェット機では日常的なものになっている。

Japan Institute of Human Factors

25

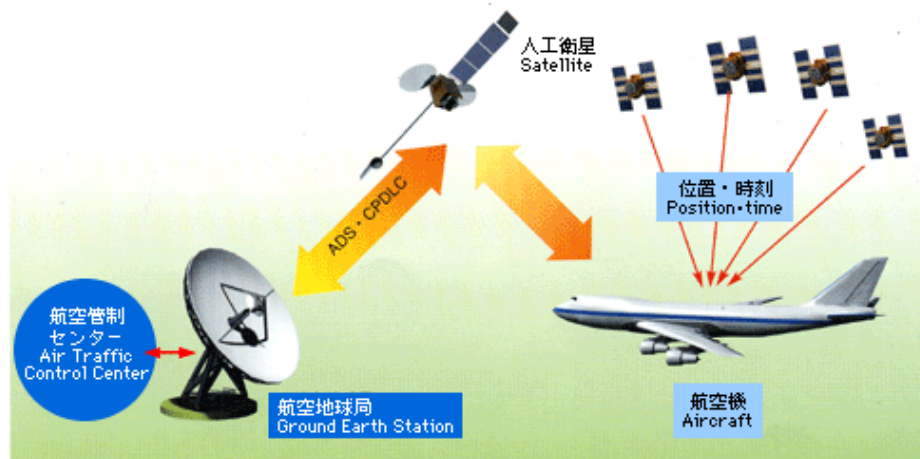


通信(衛星通信)



26

航空管制システム



- flightradars24.info

複合素材

炭素繊維：軽くて、強い

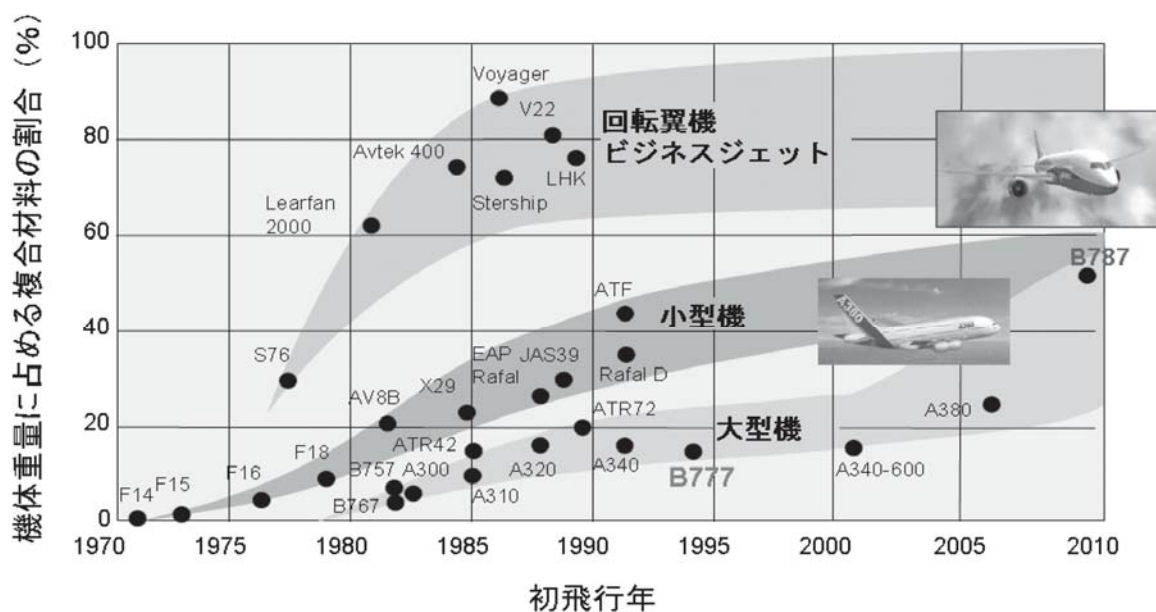


図9 航空機への複合材料適用の歴史。

自動化

- 人間を支援するために自動化が進んだ
- 人間は依存する（中途半端な自動化に頼る）
- 技術的に可能なものから自動化される
- 設計者とパイロットの認識の違い
- 人間がサイクルから外れる
- 人間は退屈する
- 自動化でコールアウトが増える

新しい形のヒューマンエラー

- **Mode Confusion**
設計者とパイロットの考え方の違い
- **人間と機械の意志の対立**
人間は自分の意志通り動こうとした
機械は押し量ってはいくれない
- **オートメーションサプライズ**
- **自動化への依存**
- **情報の共有化の失敗**
機械は自分の状況を知らせない

自動化の目的 (期待されたものは)

- 作業量の低減と疲労の軽減
- ヒューマンエラー減少（人間を支援）
- 状況認識の強化
- 効率化
- 安全の強化

自動化の結果 (使用しているパイロットの実感としては)

- 作業量は：**減る時もあるが、増える時もあるより精神的な作業が増えた。
- エラー：**減った部分もあるが、新たな種類のエラーが起きている。
エラーの捕捉が難しい。
- 状況認識は：**強化された部分だけではない
- 効率化：**両方
- 安全性：**良くなった部分も問題点も。

デザイン・コンセプト

➤ エアバス社

積極的な自動化
人間はエラーを起こすから、
人間を機械が支援しなければならない

➤ ボーイング社

ヒューマン センタード デザイン（人間中心）
過度の自動化は、人間の能力を失わせ、自動
化への依存度を高める

最終決定権を持つのは人か、機械か？

- あくまでも責任を負うのは人間である。
助言はするが、操作は人間の責任で行う。
（人間中心の設計）
- 人間がミスを起こしたときは、機械が操作
を行う。
（人間の脆弱性を補う）
- 人にも機械にも、得意領域ある同時に能力
の限界がある。

CRM

Crew Resource Management

安全で効率的な運航を達成するために
利用可能なすべての資源、
すなわち装備、手順そして人員の
効率的な利用をいう。

ASRS (Aviation Safety Reporting System)

- 1976年4月に米国で設立
航空局(当局)に報告すると罰せられる不安から
- 航空局ではなく、**第三者機関 (NASA)** が管理
しかも、**免責規定** (10日以内に報告すれば、行政処分は行わない) がある



ヒヤリハットのデータが集まり、
事故原因の研究が始まる

事故の原因は、技術ではなく
パイロットがResourceの管理が
出来ていないからだ！

安全に必要な技術は 2 種類ある

- ・ テクニカル・スキル（操縦技術）
- ・ ノン・テクニカル・スキル（操縦技術以外の技術）

クルー・リソース・マネジメント

5つのCRMスキルの向上

1. コミュニケーション
2. 問題解決
3. チームづくり
4. 状況認識
5. ワークロードの管理

権威勾配

勾配が急すぎると、ワンマンな運営になって、目下の人からの危険に関する情報伝達が遅れる傾向が出て判断が遅れ、反対にお友達状態では決定ができず、事故になる確率が高まる



最適



急すぎ



お友達

Japan Institute of Human Factors

39

アサーション

アサーション：必要な場面では思ったこと、感じたことを率直に言う（自己主張）

アサーションを阻む理由

- 確信が持てないから言えない
- 怒られそうで怖いから言えない（権威勾配）
- 間違いかもしれないので、言えない

権威勾配の解消：上位者からのアプローチが不可欠

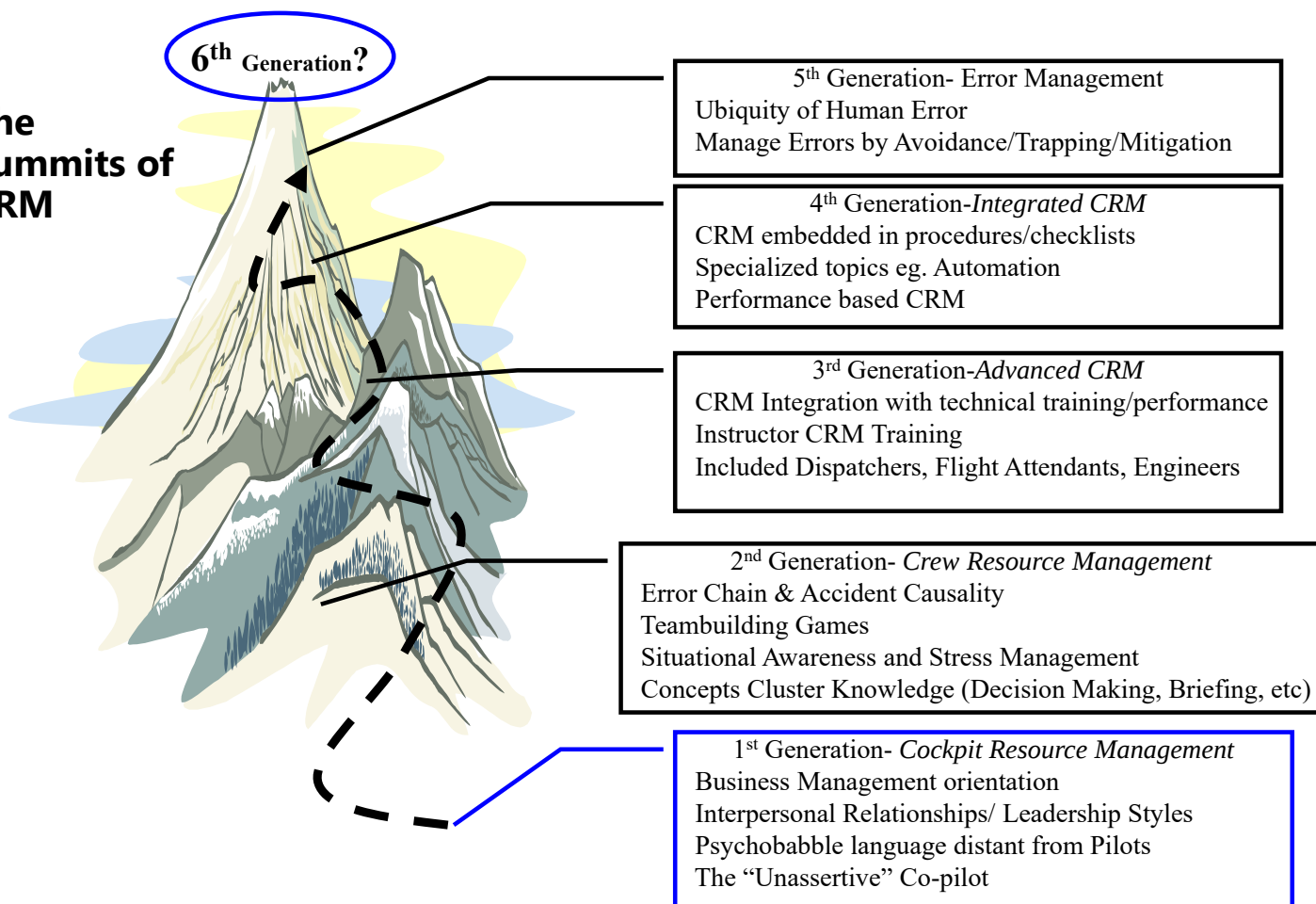
- 何でも思ったことは言ってください
- 気がついたら言ってください
- 意見はありませんか

意見を述べてくれたら、必ず「**ありがとう**」

Japan Institute of Human Factors

40

The Summits of CRM



Japan Institute of Human Factors

41

TEM Threat & error management

1994－1996 CRM 行動指標によるデータ収集

1996－ Threatを中心にしたデータ収集

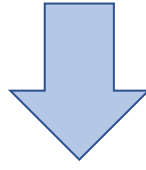
Threat（エラー誘発する要因）

Error

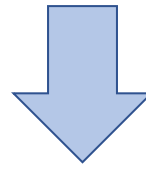
Undesired Aircraft States (UAS)

安定した運航しているPilotは、
上手にThreatを管理していた

Threat Management & Error Management



- Threat Managementは、これから起こることを管理する
- Error Managementは、起こってしまったことを管理する



TEM (Threat & Error Management)

Japan Institute of Human Factors

43

Threatの数は

Range of threats/flight: **0 - 19**

Average number of threats/flight: **3.7**

エラーの数は

Range of errors per flight: **0 - 24**

Average number of errors per flight: **2.6**

CREWはいつ エラーを起こすか？

• Pre-departure/taxi	26%
• Take-off	20%
• Cruise	6%
• Descent/approach/landing	42%
• Taxi in	6%

Threats

Threatというのは、乗員が関与しない外部の出来事で、航空機の操作を複雑にして、かつ、うまく対応しないと安全マージンを減少させてしまう脅威や兆し

- Threats
 - エラーと同じものではない
 - エラーを引き起こす可能性を増加させるもの
- Threats = 危険信号



Threatの種類

- **Observable (Overt) Threats**

- **Known**
 - 台風
- **Unexpected**
 - Engine failure on take off

- **Latent Threats** (システム、組織、個人に帰属するFactorで危険を増大させるもの)

一般には現場でも直接的にははっきりとは認識できないもの

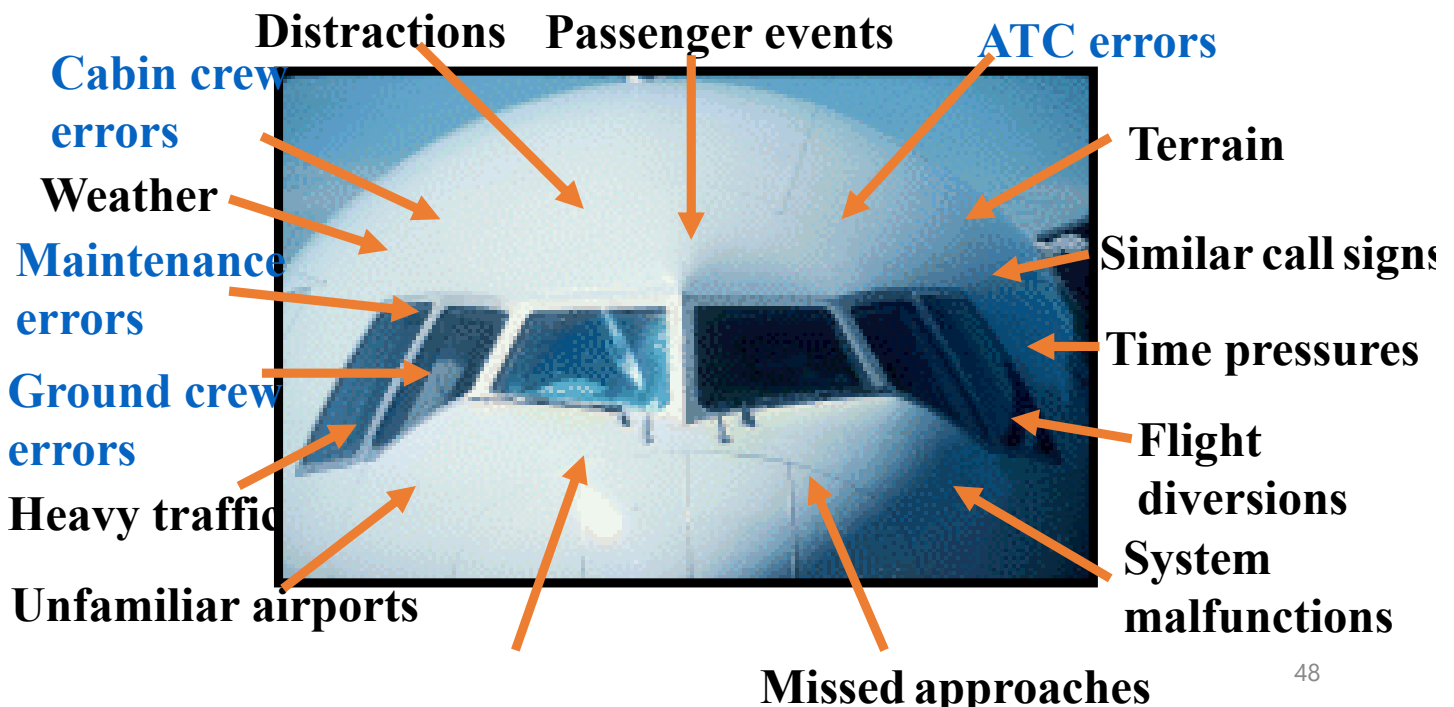
- Equipment design issues
- Optical illusions
- Air traffic system design
- Organizational culture

Japan Institute of Human Factors

47

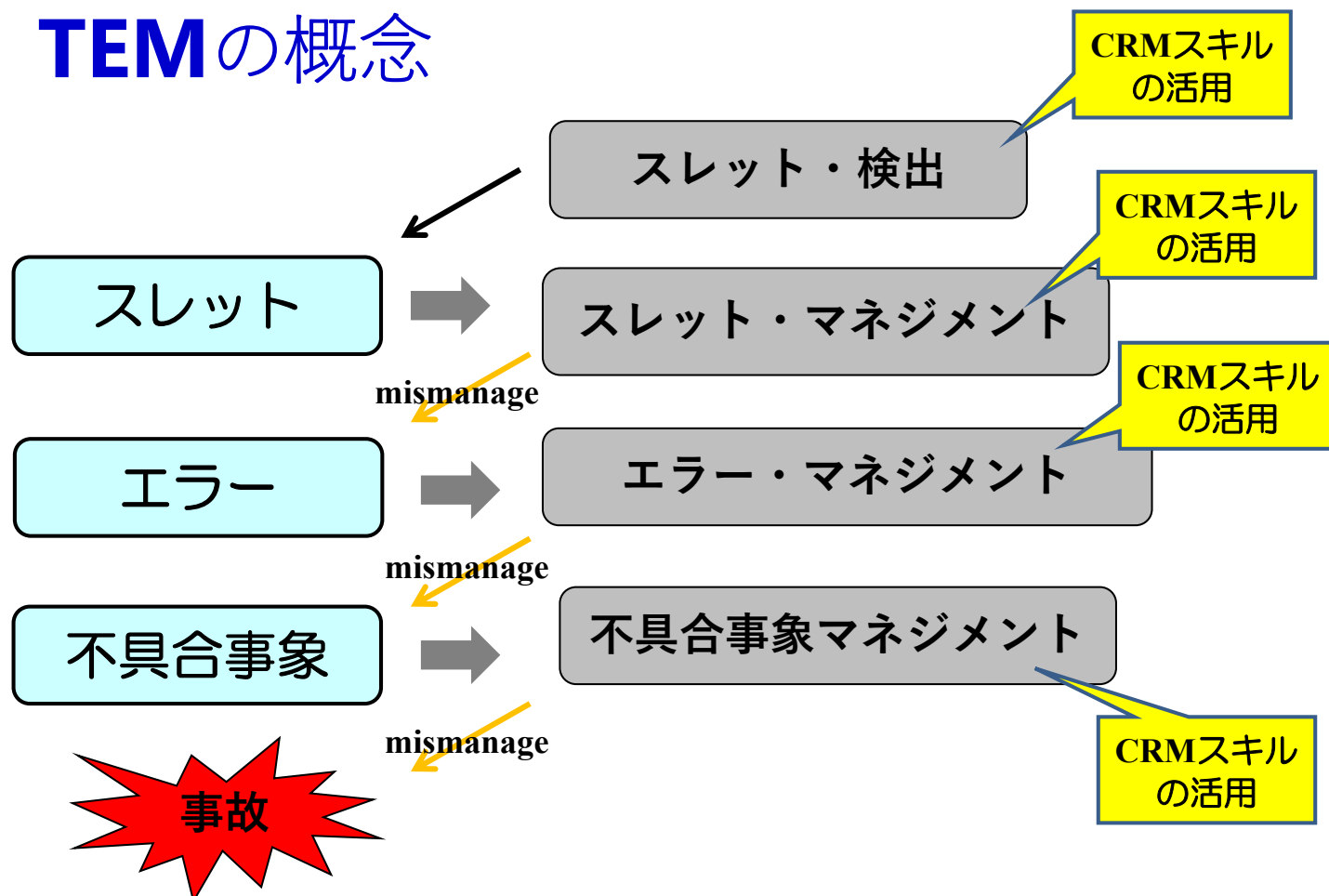
External Threats

乗員が関与しない部分で発生したSituation, Event, Errorなどで運航を複雑にしてしまう要因



48

TEMの概念



Japan Institute of Human Factors

49

SMS Safety Management System

安全管理手法

「運輸の安全性の向上のための鉄道事業法等の一部を改正する法律」（平成18年法律第19号。以下「運輸安全一括法」という。）により、運輸事業者に対して、絶えず輸送の安全性の向上に向けた取組を求めるとともに、安全最優先の方針の下、経営トップ主導による経営トップから現場まで一丸となった安全管理体制の適切な構築を図るため、運輸事業者に対して、安全管理規程の作成等が義務付けられました

Japan Institute of Human Factors

50

安全の定義

ISO :

安全とは、受け入れ不可能な危険がないこと

SMS :

安全とは、継続してハザードを特定し、リスクを管理することにより、人間や財産に危害が及ぶリスクが許容されるレベル以下まで低減され、維持されている状態をいう。

安全の概念

- ✓ ヒューマンエラーを完全になくすることはできない
- ✓ システムや機械では、バグや故障を完全には排除出来ない
- ✓ すべての事故や災害を永続的に根絶することは達成不可能
- ✓ システムでは、コントロールされたリスクやエラーは許容し、被害を最小限に抑える保障をしなければならない

⇒安全とは「管理されたリスク」

組織要因

・顕在的要因（ヒューマンエラー）

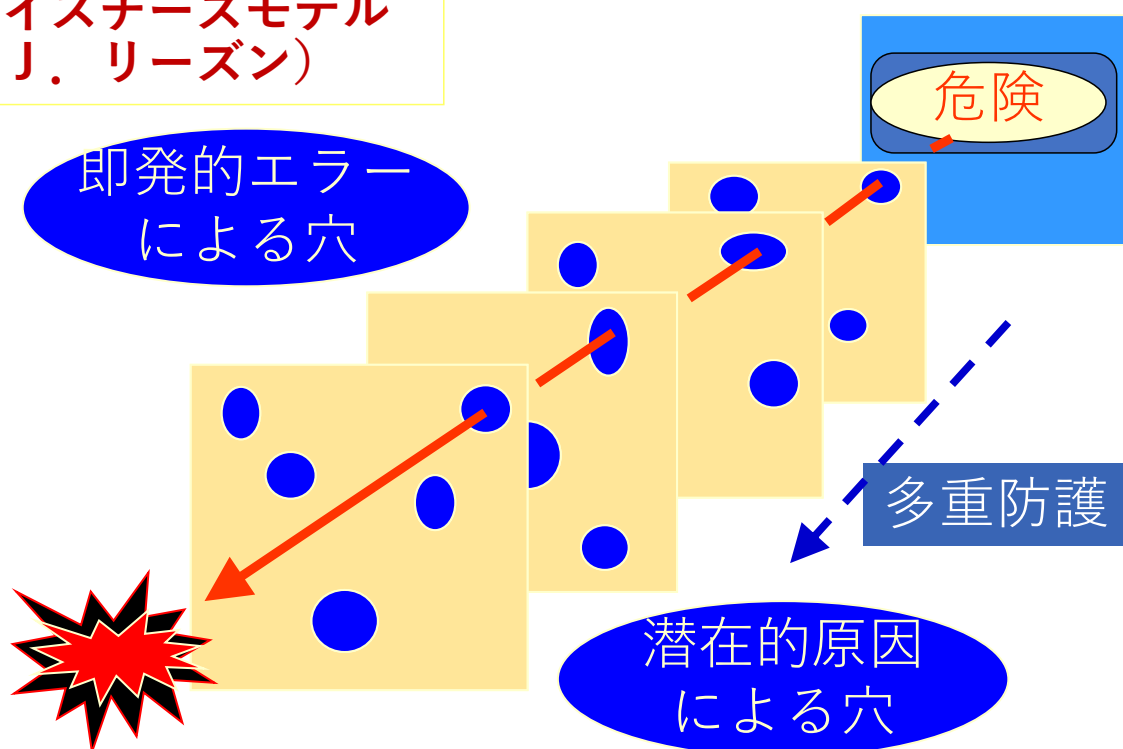
現場で起こった失敗
墜落やプラントの暴走、手術ミス・投薬ミスなどの
負の結果に、直接的・顕在的な形でつながる

・潜在的要因（組織エラー）

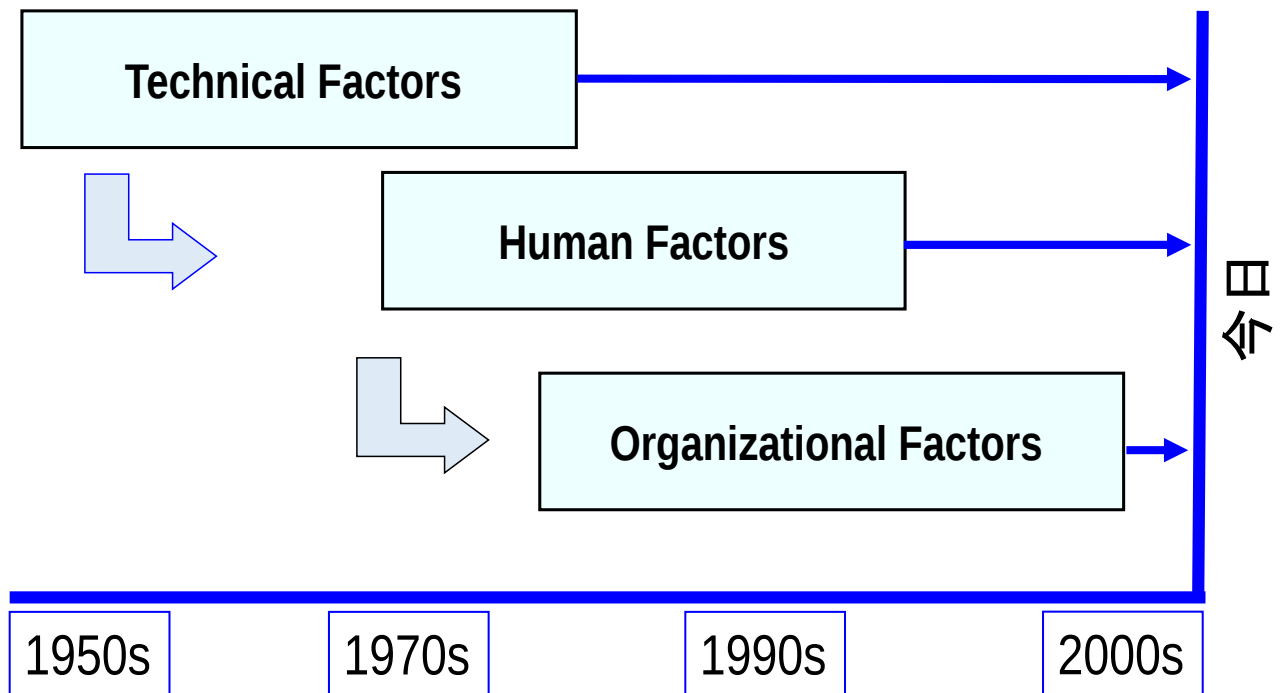
組織システムに潜伏する“コンピュータ・ウィルス”
組織システムの設計全般に関わる失敗である。潜在的失敗は、負の結果に直ちに繋がりはしないものの、個々の作業現場における局所的なエラーを起こりやすくしたり、局所的なエラーが起こった場合のシステム全体としての検出を妨げる。

システム性事故（複数要因）

スイスチーズモデル
（J. リーズン）



事故調査に対する考え方



予知型のSafety Management

- **Safety Reporting System**
- **飛行データ解析 (QAR)**
- **日常運航モニター**

* トラブルが発生する前に不安全傾向を探すことにより、Safety Managementが最も有効に機能する

* 様々なソースから、リスクの兆候を示す情報を積極的に探す

CBT

Competency Based Training

航空運送事業者では、国が定める訓練・審査基準に従って航空機乗組員に対する訓練・審査が実施されており、従来の基準では、航空機乗組員個人の操縦操作に関するスキル（テクニカルスキル）の習得に重点が置かれている。

しかしながら、運航環境の変化に伴い、新しい航空機のシステムを適切に使用すること及びあらゆる異常事態等に対処できること等の能力が必要になってきている。

このことから、テクニカルスキルに加え、航空機乗組員が連携して安全に運航業務を遂行するために必要な認知、判断及び対人等に関するスキルであるノンテクニカルスキルについても重視されるようになってきている。

Japan Institute of Human Factors



57

これらの背景の下、**Competency-Based Training and Assessment (CBTA)** は、実運航に即した実践的な訓練・審査を行うことにより、航空機乗組員として求められる **Competency** を付与するとともに、安全上の支障を及ぼす事態を未然に防ぐという予防安全の観点から、航空機乗組員による **Threat and Error Management (TEM)** の向上を図り、運航品質をより高めることを目的としたものである。

- 重大航空機事故の原因が航空機の世代により大きく異なっている
- 航空機Systemや地上施設の進化では十分に対応できない Human Factorに起因している
- 画一的な訓練・審査では、すべての航空機に対応していない



(ANA資料より)

Competencyとは

学歴や知能レベルが同等の外交官（外務情報職員）が、開発途上国駐在期間に業績格差が付くのはなぜか？」（D.C. マクレランド教授）

＊「学歴や知能は業績の高さとさほど相関はなく、高業績者にはいくつか共通の行動特性がある」

- ・ 異文化に対する感受性が優れ、環境対応力が高い
- ・ どんな相手に対しても人間性を尊重する
- ・ 自ら人的ネットワークを構築するのがうまい

「仕事のできる人」が持っている能力の模倣 （一般人の能力開発）

「行動変革あるいは行動の習慣化」

→ 「中間成果の改善あるいは達成」

→ 「業績の改善あるいは向上」

Japan Institute of Human Factors

59

CBTAについて

米国では主要な航空会社のほとんどがAQP（Advanced Qualification Program）を導入している。一方欧州では2000年代中頃からAQPと同様なコンセプトでATQP (Alternative Training and Qualification Program)が導入された。

また、ICAO/IATAが実運航で起こったインシデントやアクシデントを分析し、パイロットに必要なCore Competenciesを活用したEBTを航空会社が導入する動きがあり、近年、訓練・審査の方法に変化が見られる。

AQP/ATQPが運航乗務員の資格管理のProgramという側面を持つのに対して、EBTはパイロット個人のCompetency醸成を目的としたもので、航空会社によってはこの二つを導入して組織および個人技倆管理を行っているところもあるようである。



（EBTに基づく操縦士訓練にあり方に関する調査・研究報告書：ATEC）

AQPとEBT

- 現在、Competency Based Trainingには大きくEBT(Evidence-Based training)とAQP(Advanced Qualification Program)という2つの制度が存在し、EBTは、2013年にICAOよりドキュメントが発効され導入が可能となった。EBTとAQPでは基本的な考え方は同じで、訓練設計にあたってのEvidenceに大きな違いがある。
- EBTが世界で発生したインシデント等のデータを元に訓練やCompetency等を設定しているのに対して、AQPは、自社の運航乗務員のTaskを分析し、そのTaskを元に自社の運航乗務員に必要とされるCompetencyを設定し、評価判定していくことになる。
- 設計されている訓練についてもEBTとAQPでは違いがある。EBTは、基本的に訓練のパッケージが用意されており、基本的にこのパッケージをベースにEBT訓練を導入する。EBTは比較的新しい仕組みであるため、2018年度時点では定期訓練のパッケージのみ用意されており、限定変更訓練(技能証明取得訓練)等のEBTパッケージは用意されておらず、2020年を目途に“Enhanced EBT”としてドキュメントの発行を予定している。また、EBTでは訓練パッケージは用意されているものの審査については各国のレギュレーションに基づくようになっており基本的には訓練の変更のみをベースとしたものである。
- 一方、AQPは、すべての訓練・審査を自社で設計できるところが強みであり、運航乗務員に関わるすべての訓練・審査が対象となる。つまり「EBTが既成の訓練」であるのに対して「AQPは会社のオーダーメイド訓練・審査を設計することが可能」となっている。

Japan Institute of Human Factors

ANA資料より



61

AQP (Advanced Qualification Program)

致命的な事故にCRMの問題が関与していることから、訓練カリキュラムでは技術とCRMの両方のスキルを評価しなければならないことが明らかになった。

AQPでは、構造化されたLOS (Line Operational Simulation) を設計プロセスを採用している。

LOSシナリオに必要なCRMスキルと技術スキルを特定し、統合する。

コックピットリソース・マネジメントの訓練を要求し、LOFTの使用を奨励する。

訓練プログラムには、コックピットのリソース・マネジメントと全乗務員の積極的な調整を伴うシミュレータまたは航空機の訓練が含まれていること、そして乗務員のパフォーマンスとこれらの乗務員の行動を調整する手順の遵守を評価できることを確認する。

AQP は、パフォーマンスの向上を目的としたトレーニングと評価の機能を統合したもので、AQP は体系的に開発され、継続的に維持され、経験的に検証された技能ベースの訓練システムである。

Japan Institute of Human Factors



62

EBT (Evidence-based Training)

EBTは、世界各国のLOSA、FDM（Flight Data Monitoring）及び航空事故・重大インシデント等の報告制度から得られたデータの分析に基づき導き出されたプログラムである。データ分析においては、「発生可能性」、「重大性」及び「訓練効果」の3つの観点から、航空機の世代及び運航フェーズ別に重要な脅威（Threat）及びエラー（Error）が特定され、これらに対処（Management）するために必要なコンピテンシーと強く関連付けられている。このため、十分な分析及び訓練の開発を行うリソースを持たない航空運送事業者でも実施することができるプログラムである。



Evidence

実運航と訓練の両方をカバーするデータの有用性は過去20年間で継続的に向上してきている。IATA Global Aviation Data Management（GADM）によって提供されるデータ・ソースには、飛行データ分析(FDA)やFlight Observation、Air Safety Reportが含まれ、現代の航空機運航で遭遇するスレットやエラー、Undesired Aircraft States (UAS)に対する詳細な考察を可能にするとともに、それらデータと事故等の業界が望まない結果との関連性に対する考察も可能にする。

訓練結果の一貫した分析により、異なるManeuverや異なる航空機世代間での訓練ニーズの大きな差異が明らかになっている。データを活用することで、EBTに対するニーズを明確にすることができるとともに、結果的に完成した訓練コンセプトやカリキュラムの妥当性を支持することにもなる。



[現在の訓練・審査]

国の定めによる
訓練・審査項目の要件



国の定めに基づき
社内規程を設定



社内規程で定める項目を
訓練・審査で実施

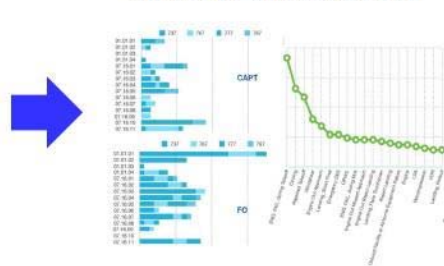


[EBT]

世界中の実際の運航や訓練など
さまざまなデータ

- 実際の運航のデータ
- 事故・インシデント事例
- 訓練データ
- パイロットへの調査
- 学術研究など

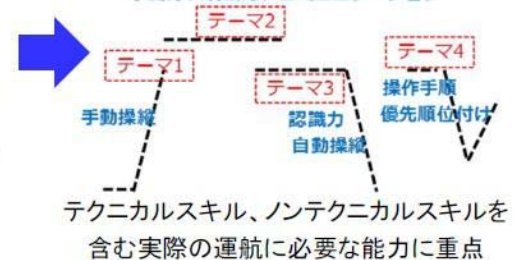
データに基づき向上させるべき
パイロットの能力を分析



航空会社が主体となり能力向上の
ための訓練・審査を実施

さまざまな能力向上のための訓練・審査テーマ

予測力、判断力、コミュニケーション



Core Competency (EBT)

1. 自動操縦による飛行管理
2. マニュアル操縦による飛行管理
3. 手順の実施
4. コミュニケーション
5. リーダーシップとチームワーク
6. 問題解決と意思決定
7. 状況認識
8. 作業負荷の管理