

航空機の安全と信頼性を支える仕組み

－航空エンジンの例－

吉岡俊彦



自己紹介

- 1979年 日本航空入社(原動機工場、技術部)
- 1991年 Pratt & Whitney社出向(Customer Support Engineering)
- 1993年 日本航空復帰(技術部、成田整備工場、整備企画室、エンジン事業部)
- 2006年 (株)JALエンジンテクノロジー出向
- 2010年 JAL メンテナンスサービス(株)出向
- 2013年 (公社)日本航空技術協会出向
- 2015年 日本航空退職 金属技研株式会社入社 生産本部

- 安全は絶対的な課題
 - 空を飛ぶことは危険なこと
 - 航空会社の企業理念は安全最優先
 - 安全でない飛行機は売れない
- 直接人命に関わる
 - 事故による死亡率が他の交通手段に比べて高い
- 被害の規模が大きい
 - 航空機の大型化に伴い、事故発生時の被害が大きい
- システムが複雑で故障の可能性が高い
 - 油圧系、気圧系、燃料系、電気系、通信系、制御系…

航空機のシステムについて

システム毎に共通の番号が設定されている(ATA No.)

ATA(Air Transport Association 現Airlines for America) Specification 100/2200

ATA 5 TIME LIMITS/ MAINTENANCE CHECKS

ATA 6 DIMENSIONS AND AREAS

ATA 7 LIFTING & SHORING

ATA 8 LEVELING & WEIGHING

ATA 9 TOWING & TAXIING

ATA10 PARKING, MOORING, STORAGE & RETURN TO SERVICE

ATA 11 PLACARDS AND MARKINGS

ATA 12 SERVICING

ATA 13 Unservicing

ATA 14 Reservicing

ATA 15 Ops Check Good

ATA 18 VIBRATION AND NOISE ANALYSIS (HELICOPTER ONLY)

ATA 20 STANDARD PRACTICES-AIRFRAME

ATA 21 AIR CONDITIONING

ATA 22 AUTO FLIGHT

ATA 23 COMMUNICATIONS

ATA 24 ELECTRICAL POWER

ATA 25 EQUIPMENT/FURNISHINGS

ATA 26 FIRE PROTECTION

航空機のシステムについて

ATA 44 CABIN SYSTEMS
ATA 45 CENTRAL MAINTENANCE SYSTEM
ATA 46 INFORMATION SYSTEMS
ATA 47 NITROGEN GENERATION SYSTEM
ATA 49 AIRBORNE AUXILIARY POWER
ATA 50 CARGO AND ACCESSORY COMPARTMENTS
ATA 51 STANDARD PRACTICES, GENERAL
ATA 52 DOORS
ATA 53 FUSELAGE
ATA 54 NACELLES/PYLONS
ATA 55 STABILIZERS
ATA 56 WINDOWS
ATA 57 WINGS
ATA 60 STANDARD PRACTICES - PROPELLER/ROTOR
ATA 61 PROPELLERS/PROPULSION
ATA 62 ROTOR(S)
ATA 63 ROTOR DRIVE(S)
ATA 64 TAIL ROTOR
ATA 65 TAIL ROTOR DRIVE
ATA 66 FOLDING BLADES/PYLON
ATA 67 ROTORS FLIGHT CONTROL
ATA 70 STANDARD PRACTICES - ENGINES
ATA 71 POWER PLANT
ATA 72 ENGINE TURBINE/TURBO PROP DUCTED FAN/UNDUCTED FAN
ATA 73 ENGINE FUEL AND CONTROL
ATA 74 IGNITION
ATA 75 AIR

航空機のシステムについて

例えばエンジン関連では

- ATA 71 POWER PLANT

- 00 General

- 10 Cowling

- 30 Fireseals

- 40 Attach Fittings

- 50 Electrical Harness

- 60 Air Intakes

- 70 Engine Drains

起こしてはならない事象(エンジンの事例)

- Uncontained Failure
 - Disk Failure: 確実にエンジン外に飛散し、客室や燃料タンクを破損する可能性がある
 - Air Seal Failure: エンジン外に飛散しエンジンの推力を失う可能性が高い
 - Turbine Blade Failure: 高圧タービンの2段動翼は重量が大きい
ためエンジンの外に飛散する可能性がある



起こしてはならない事象(エンジンの事例)

- Engine Fire

- External Fire: エンジンケースの外部に火炎が広がり電線等を焼損する
- Internal Fire: ベアリング室等の内部火災で、エンジン停止につながる
- Cowl Loss: External Fire時にエンジンカバーが脱落すると消火装置が機能しなくなる



- In Flight Shutdown
- 推力の損失により飛行が継続できなくなる
- 発生率がETOPS(Extended-range Twin-engine Operational Performance Standards)に影響

- 安全と耐空性
- 設計基準と型式証明
- 耐空証明
- 整備と運航の基準

- 「安全とはハザードの特定およびリスクの管理を継続して行うことにより、人への危害あるいは財産への損害へのリスクが許容レベルまで低減され、かつ許容レベル以下に維持されている状態」

ICAO Safety Management Manual Ch. 2.1.1

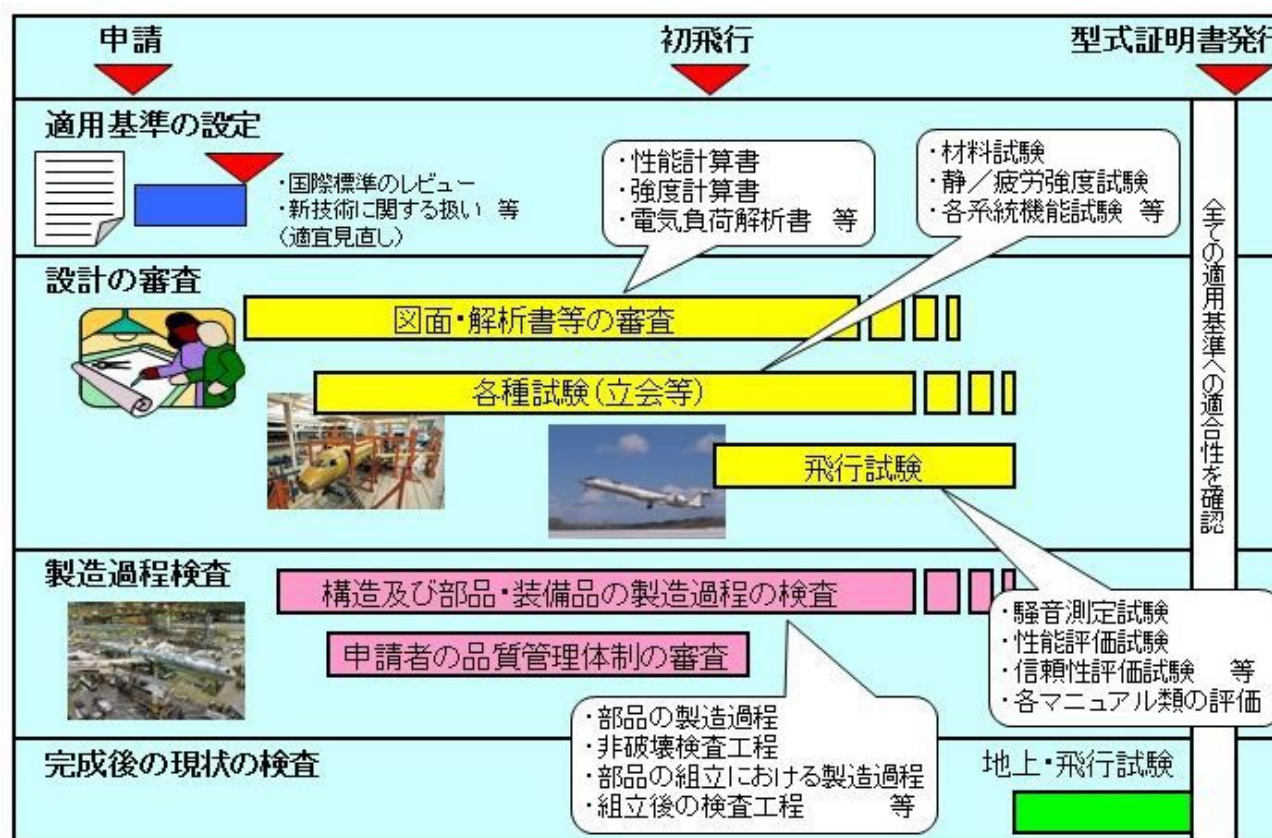
- 「耐空性がある (Airworthy) とは、航空機が安全基準に適合した設計どおりに製造され、かつ安全に運航できる状態にあること」

FAR(Federal Aviation Regulation) Sec 3.5

- FAR Part 25 - Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes
 - 輸送機の設計基準が定められており、本国ではそれに相当する耐空性審査要領が航空法に定められている
- FAR Part 33 - Airworthiness Standards: Aircraft Engines
 - 航空エンジンの設計基準が定められており、各システムの要件や安全性を確認するための耐久試験、鳥吸い込み試験、ファンブレード破壊試験等が詳細に定められている

設計基準と型式証明

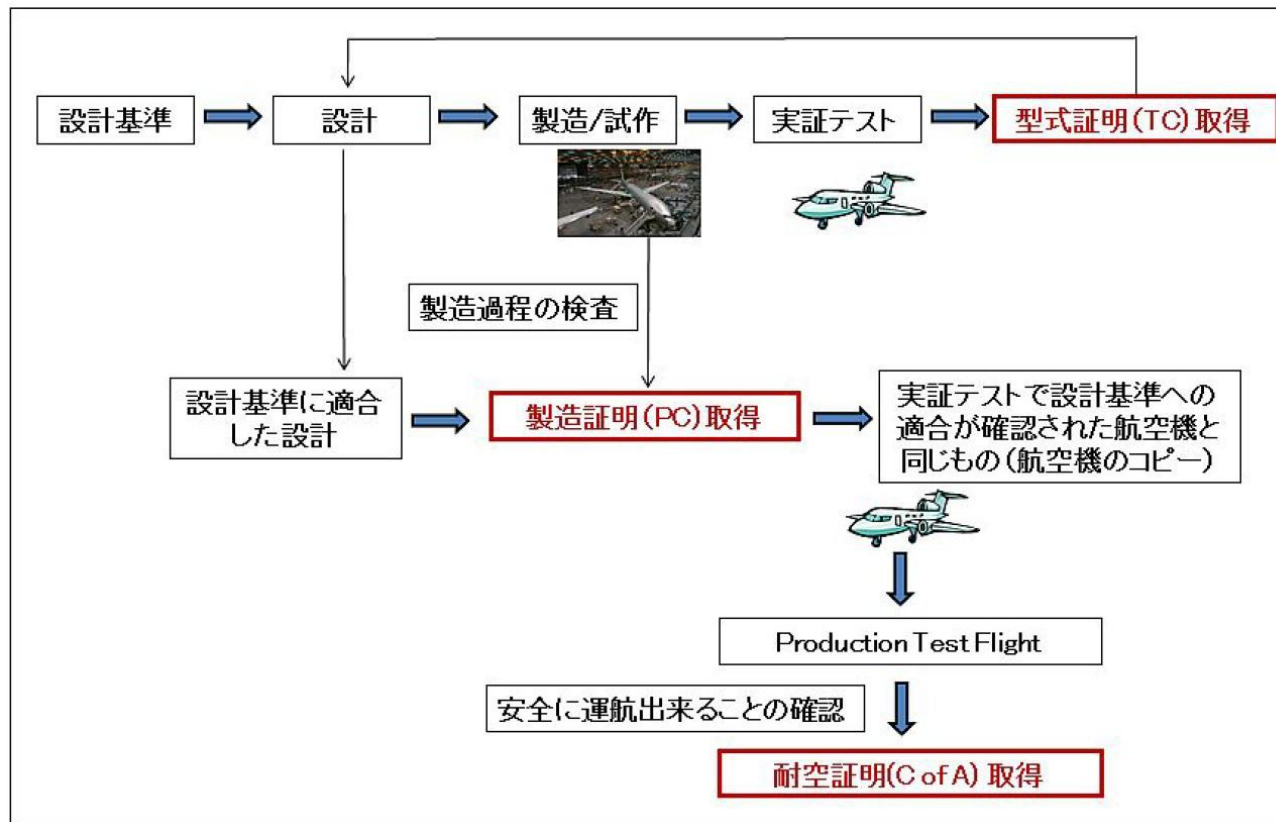
- Type Certificate(型式証明)
 - ある航空機の型式の設計が、安全性及び環境適合性の基準に適合すると認められた場合に交付される証明書



日本航空協会 航空と文化 1013年夏季号

耐空証明

- Certificate of Airworthiness(耐空証明)
 - 航空機が飛行する価値・資格を持つことの証明で、型式証明を得た設計に基づいて、製造証明を有する工場で製造されただけでなく、安全に運航できる状態にあることを証明する



(公財)航空機国際共同開発促進基金【解説概要25-4】

整備と運航の基準

- MRB(Maintenance Review Board) Report
 - 新型式の航空機の整備方式の基準となるもので、FAA組織であるMRBが策定する。メンバーはメーカーや航空会社等のオペレーターからなり、FAAがオブザーバーとして参加する検討会がMSG(Maintenance Steering Group)-3と呼ばれるロジックに基づいて整備の方式や要目を検討しReportとして策定する。
 - 各運航会社はこれをもとに各社毎に整備プログラムを策定し当局の認可を受けて適用する

MRB Report の表示例

MRER Task Number	Type Category	Title Description Note Access Panels	Applicability	Interval (I: Interval, T: Threshold)
34-11-02-001	OPC 8	STANDBY POWER SUPPLY ENABLE RELAY <i>Operational check of Standby Power Supply Enable Relay</i>	ALL	I: 12000 FH
34-15-00-001	FNC 6	PITOT STATIC SYSTEM <i>Functional check of the Pitot Static System (altitude and airspeed) of the ADS 1, ADS 2, and ADS 3.</i>	ALL	I: 24 MO NOTE: Or in accordance with Local Regulatory Authority Requirements.

何に対し

何をする

何時

整備と運航の基準

- MEL(Minimum Equipment List)
 - 膨大なシステムからなる航空機を完璧な状態に維持するのは極めて困難
 - 冗長性のある設計がなされており、全ての運航条件下で常に必要とはされない装備品もある
 - 安全性を損なわないことを前提として、故障があっても限定的に運航を認める仕組み作りMEL(Minimum Equipment List)というマニュアルに規定

AIRCRAFT Boeing B737-600/-700/-800/-900		REVISION NO: DATE:	REVISION 16 22 nd December 2009	PAGE S27-1
(1) System & Sequence Numbers Item	(2) Cat.	(3) Number installed	(4) Number required for dispatch	(5) Remarks or Exceptions
<u>27 FLIGHT CONTROLS</u>				
- 9 Control Wheel Trim Switches	B	2	1	Copilot's may be inoperative provided pilot's control wheel trim switch operates normally.
- 12 Auto Slat System	A	2	1	(O) One system may be inoperative provided: a) Remaining auto slat system is verified to operate normally, b) Auto slat fail light operates normally, and c) Not more than 2 flight days have elapsed since the Auto Slat System became unserviceable.

Operation 上の処置・確認が必要なことを示す。
 整備関連の場合は(M)で表示

修理期限

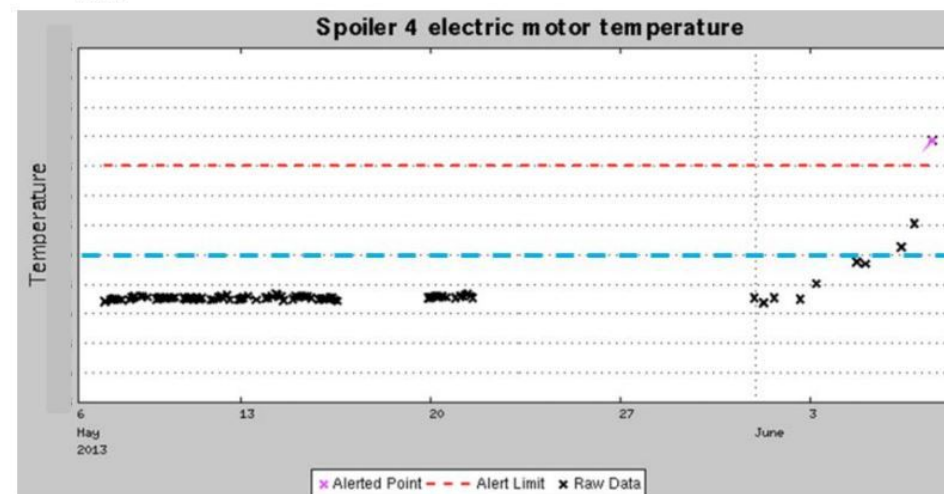
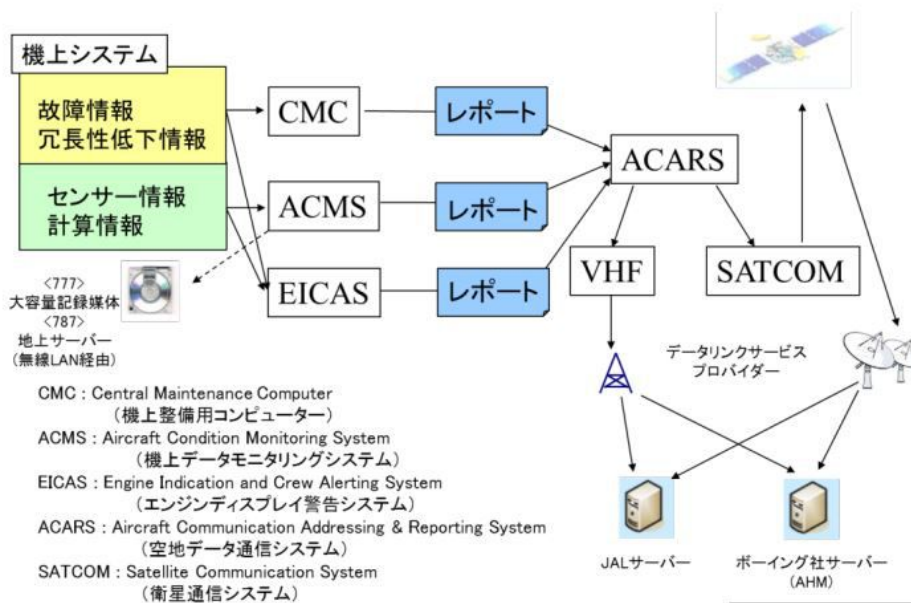
基本装備数

必要装備数。1システム作動すれば運航できる

- モニタリング
- 信頼性管理
- 不具合/事故の分類と報告
- 不具合の原因究明と是正処置

- 航空機のモニタリング
 - Boeing: AHM(Airplane Health Management) System
 - Airbus: AIRTHM(AIRBUS Real Time Health Monitoring)
 - Embraer: Aircraft Health, Analysis and Diagnosis (AHeAD) system
- エンジンのモニタリング
 - General Electric: Remote Diagnostics(RD) Service
 - Pratt & Whitney: Advanced Diagnostics & Engine Management (ADEM™) system
 - Rolls Royce: Engine Health Management (EHM)

モニタリング



(公財)航空機国際共同開発促進基金【解説概要26-6】

- 整備方式(エンジンの例)
 - ハードタイム管理方式
 - ✓ 一定の時間を定めて、定期分解手入れをしたり、部品・装備品を交換・廃棄する方式。
 - オンコンディション方式
 - ✓ 定期的に点検、試験を行って品質を確認し、不具合があれば、部品交換、あるいは修理等適切な処置をとる方式。
 - コンディション・モニタリング方式
 - ✓ 定期的な検査や手入れをせずに、発生する不具合状態に関する情報を解析・検討し、随時的確な処置をとってゆく方式。そして部品や装備品の信頼度をグループ全体として監視し、一定の品質水準を割るような場合に、適切な対策処置を行う。

- オンコンディション整備方式とモニタリング
 - 性能モニタリング

ファン
低圧圧縮機
高圧圧縮機
高圧タービン
低圧タービン

TEAM III MODULE PERFORMANCE ANALYSIS REPORT						REPORT ID
ACFT TYPE 767-300		ENG TYPE JT9D-R4DB		REPORT DATE 5NOV89		
** SMOOTHED DATA **						LAST DATA DATE 29OCT89
ノズル面積						E 28JUN89
効率	FAN EFF (F) F/C (1)	LPC EFF (A) F/C (2)	HPC EFF (B) F/C (3)	HPT EFF (C) A5 (5)	LPT EFF (D) A6 (6)	
	-3...-2...-1...0...1	-3...-2...-1...0...1	-3...-2...-1...0...1	-3...-2...-1...0...1...2	-3...-2...-1...0...1...2	
	Z17014	A17014	B0745A	C17014	D17014	
4JUL89N	.	.	.	.	.	.
7JUL89N	.	.	.	.	.	.
11JUL89N	.	.	.	.	.	.
14JUL89	F1	A2	3 B	C .5	D . 6	.
19JUL89	.F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
22JUL89	F1	A2 .	3 B .	C .5	D . 6	.
25JUL89	F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
31JUL89	F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
8AUG89	F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
11AUG89	F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
17AUG89	F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
23AUG89	F1	A2 .	3 B .	C .5	D . 6	.
28AUG89	F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
5SEP89	F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
12SEP89	F1	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
20SEP89	F1	A2 .	3 B .	C .5	D . 6	.
30SEP89	F1	2A .	3 B .	C5	D . 6	.
7OCT89	F1	2A .	3 B .	C5	D . 6	.
12OCT89	F1	A2 .	3 B .	C5	D . 6	.
18OCT89	1F	A2 .	3 B .	C5	D . 6	.
25OCT89	1F	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.
29OCT89	1F	2A .	3 B .	C .5	D . 6	.

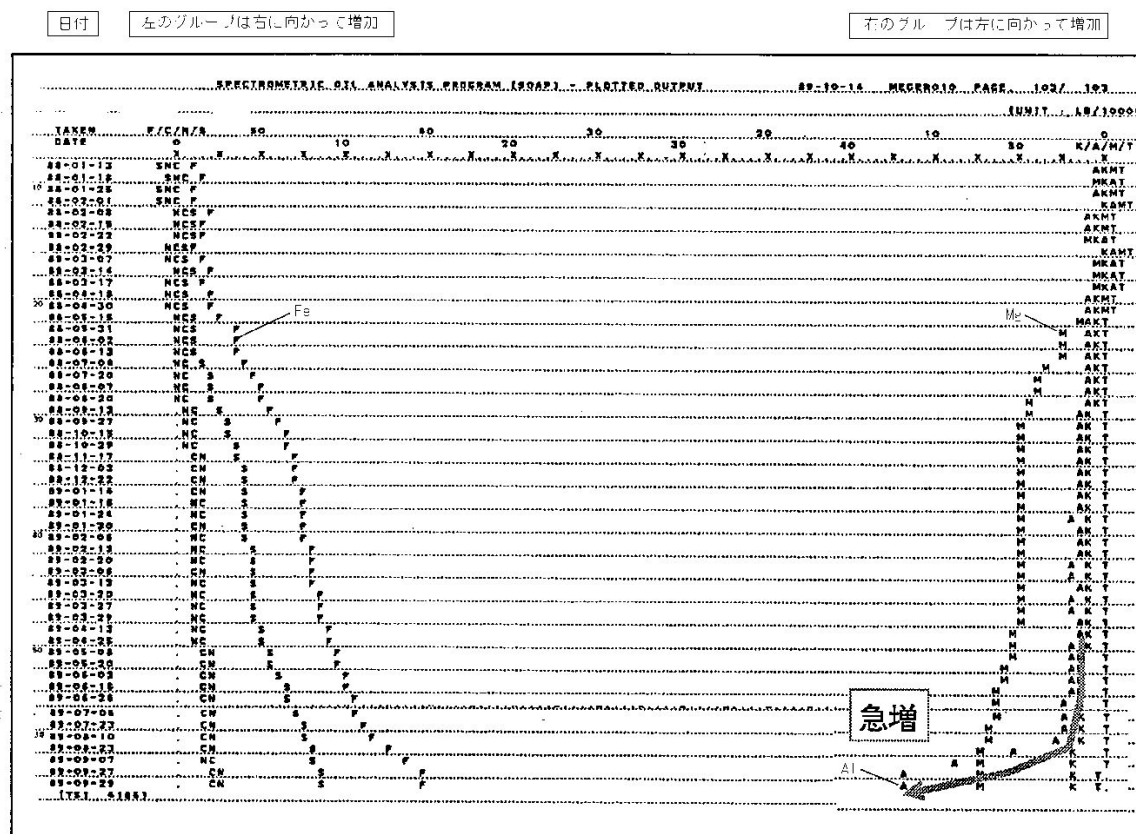
- オンコンディション整備方式とモニタリング
- オイル消費量モニタリング

日付
第1エンジン
第2エンジン
第3エンジン
第4エンジン

OIL CONSUMPTION RATE MONITORING PROGRAM							
ENG. MODEL J190-7A				METER NO. 10			
ENG. POS	NO1	NO2	NO3	NO4	ISSUE DATE	RATE (G/L)	RATE (G/L)
88/05/15	X						
88/05/17	X						
88/05/18	X						
88/05/20	X						
88/05/23	X						
88/05/23	X						
88/05/24	X						
88/05/25	X						
88/05/26	X						
88/05/27	X						
88/06/28	X						
88/06/28	X						
88/06/29	X						
88/06/30	X						
88/06/01	X						
88/06/02	X						
88/06/03	X						
88/06/04	X						
88/06/05	X						
88/06/06	X						
88/06/07	X						
88/06/08	X						
88/06/09	X						
88/06/10	X						
88/06/11	X						
88/06/12	X						
88/06/13	X						
88/06/14	X						
88/06/15	X						
88/06/16	X						
88/06/17	X						
88/06/18	X						
88/06/19	X						
88/06/20	X						
88/06/21	X						
88/06/22	X						
88/06/23	X						
88/06/24	X						
88/06/25	X						
88/06/26	X						
88/06/27	X						
88/06/28	X						
88/06/29	X						
88/06/30	X						
88/07/01	X						
88/07/02	X						
88/07/03	X						
88/07/04	X						
88/07/05	X						

急増

- ・ オンコンディション整備方式とモニタリング
 – オイル分光分析モニタリング



米国では (ICAO Annex13, NTSB Regulation Part 830, FAA Order 8020.16)に規定

- Aircraft Accident:
 - 乗客の搭乗から降機までに発生した死者あるいは重症者*が発生、または、航空機に相当な損傷**が発生した事例。
 - *48時間以上の入院を要する症状、
 - **構造強度、性能、飛行特性に影響を与えるかMajor Repairを要する損傷
 - Incident:
 - Accident以外の事例

日本では

- 航空事故:(航空法第76条)
 - 航空機の墜落、衝突又は火災
 - 航空機による人の死傷又は物件の損壊
 - 航空機内にある者の死亡(国土交通省令で定めるものを除く。)又は行方不明
 - 他の航空機との接触
 - その他国土交通省令で定める航空機に関する事故

- 重大インシデント:(第76条の2)
航空事故が発生するおそれがあると認められる事態で
 - ✓閉鎖中または他の航空機が使用中の滑走路からの離着陸
 - ✓滑走路からの逸脱(航空機自らが地上走行できなくなった場合のみ)
 - ✓非常脱出スライドを使用して非常脱出を行った事態
 - ✓航空機から脱落した部品が人と衝突した事態など施行規則第166条の4に定める事例

- イレギュラー運航：（航空局技術部長通達）
 - 米国ではフライト・イレギュラリティなどと呼称される事象であって、運航の安全に直ちに影響を及ぼすような異常事態ではなく、例えば、多重化されたシステムの一部のみの不具合が発生した場合に乗員がマニュアルに従い措置したうえで、万全を期して引き返し等を行った結果、目的地等の予定が変更されたものなど

不具合の原因究明と是正処置

- 不具合の報告：
 - 航空法施行規則 第166条に定義
- 原因調査：
 - 報告された内容により鉄道航空事故調査委員会が調査
 - 事故に至らなかった事象でも事故に至る可能性がある場合はメーカーに報告し、原因調査を行う

不具合是正のための手続き:

- Service Letter:
 - 不具合が発生した際に、メーカーが使用者(エアライン等)に対して不具合の状況や当面の対応策について連絡を行うための手段。
- Service Bulletin:
 - 発生した不具合に対し、メーカーが使用者に対して優先度を指定して定期検査、改修プログラム等の対策について通知するための指示書。性能や整備性の改善のための内容も優先度が低いカテゴリーとして発信されるが、緊急性の高いものについては、Alert Service Bulletinという形で発信される。

- Airworthiness Directive:
 - 耐空性に影響を与えるような重大な不具合に対し FAAあるいはEASAから使用者に発信される改善命令で、使用者には法的な実施義務がある。我が国においては国土交通省航空局より耐空性改善通報という形で発信される。

- 安全管理システム(SMS)
- 安全管理システムのフレームワーク(日本航空の例)
- 安全リスクの管理

安全管理システム(SMS)

- ICAOが提唱する管理手法で、安全に対する方針及び目標を明確にし、目標達成のための管理計画を立案・実施してその状況を監視し、必要な措置を講じていくという系統だった包括的な管理手法。
- 事業者はSMSを構築する義務がある。
- 国は事業者のSMSを認定し、監督する。
- 日本国内では、2005年6月 事務次官、関係局長、学識経験者等からなる「公共交通に係わるヒューマンエラー事故防止対策検討委員会」が発足。
- ここでの検討の結果、安全管理規程の作成/届出、安全統括管理者の選任/届出、輸送の安全に関わる情報の公表等を義務付ける 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(運輸安全一括法)が制定され2006年10月施行。

- 安全の方針と目的
 - ① 経営の約束と義務
 - ② 安全の責任
 - ③ 安全統括管理者の指名
 - ④ 緊急対応計画の調整
 - ⑤ 安全管理システムの文書化
- 安全リスクの管理
 - ⑥ ハザードの特定
 - ⑦ リスクの評価と低減
- 安全保証
 - ⑧ 安全実績のモニターと測定
 - ⑨ 変更の管理
 - ⑩ 安全管理システムの継続的な改善
- 安全促進
 - ⑪ 訓練と教育
 - ⑫ 安全に関する意思疎通

- ハザードの特定
 - 発生した事象を分析し、ハザードを特定する
- リスクの評価と低減
 - Risk = Severity × Probability
 - ※Severity = 重大度
 - 〔指標(例)〕 飛行に与える影響、お客様への影響、環境への影響、死傷者の程度、世評・報道の度合い
 - ※Probability = 発生の可能性
 - 〔指標(例)〕 1週間で2～3回発生、1年に2～3回発生、10年に2～3回発生

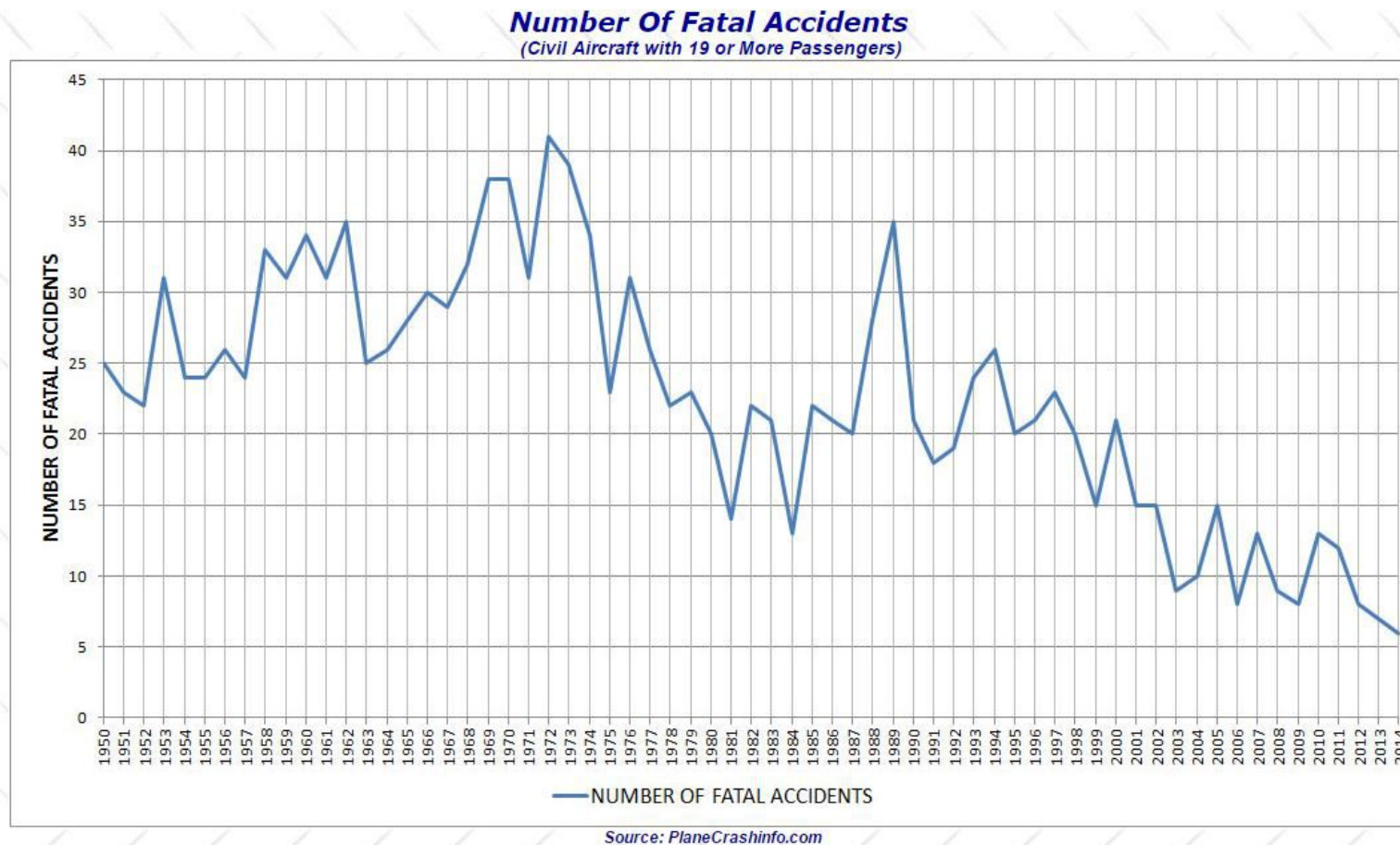
安全リスクマトリックス

Severity \ Probability	5	4	3	2	1
5	A	A	B	B	C
4	A	B	B	C	C
3	B	B	C	C	D
2	B	C	C	D	D
1	C	C	D	D	D

リスクレベル	説明	アクション
A	Extreme Risk (Unacceptable)	直ちに該当業務・プロジェクトを中断し (もしくは緊急処置を施した上で)、リスクを受容可能な水準に低減する施策を講じる
B	High Risk (Unacceptable)	リスクを受容可能なレベルに管理する施策を可能な限り早急に策定し実行に移す
C	Medium Risk (Tolerable)	リスクを受容可能なレベルに管理する施策を計画的に実施する (計画を明示する)
D	Low Risk (Acceptable)	特段のアクションは不要

安全性の推移

航空死亡事故数

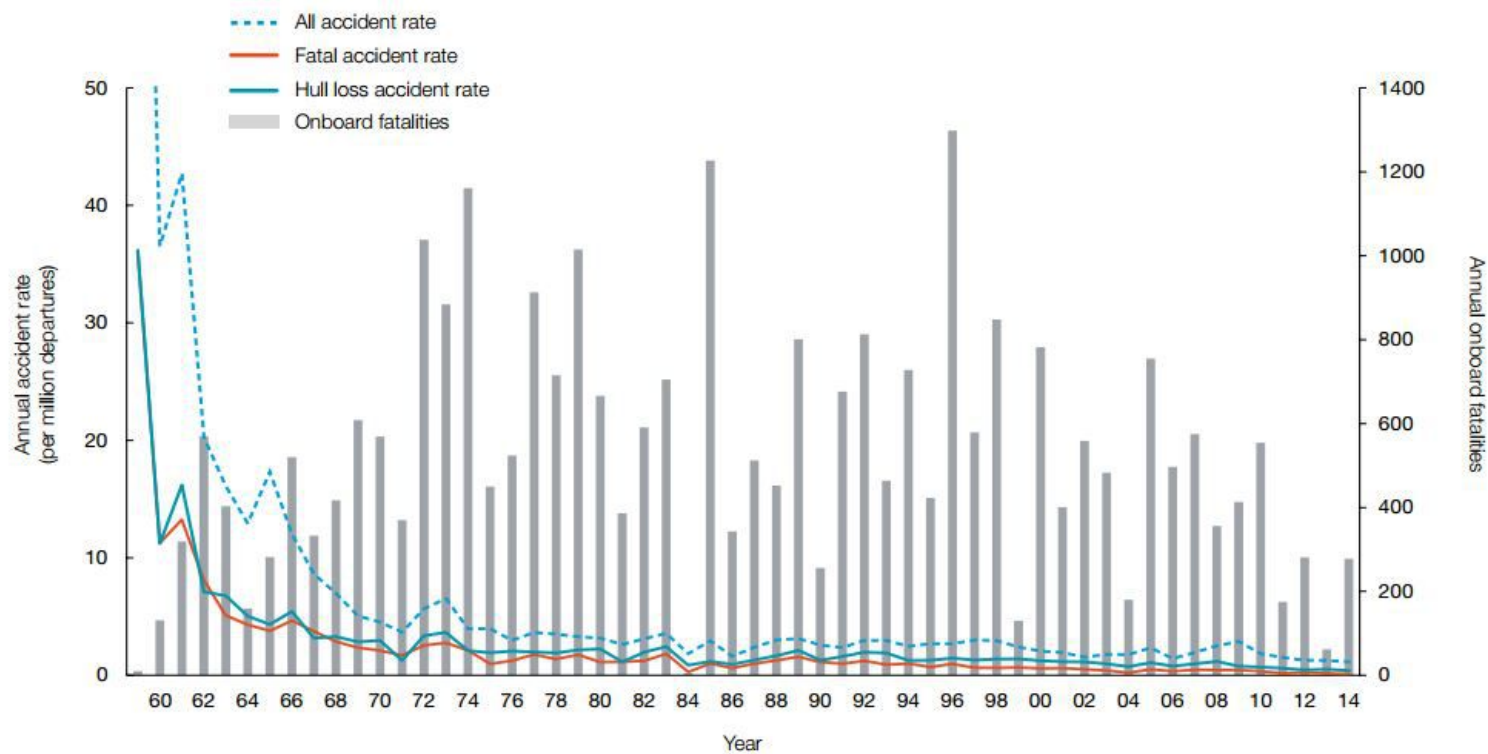


ボーイング社資料

安全性の推移

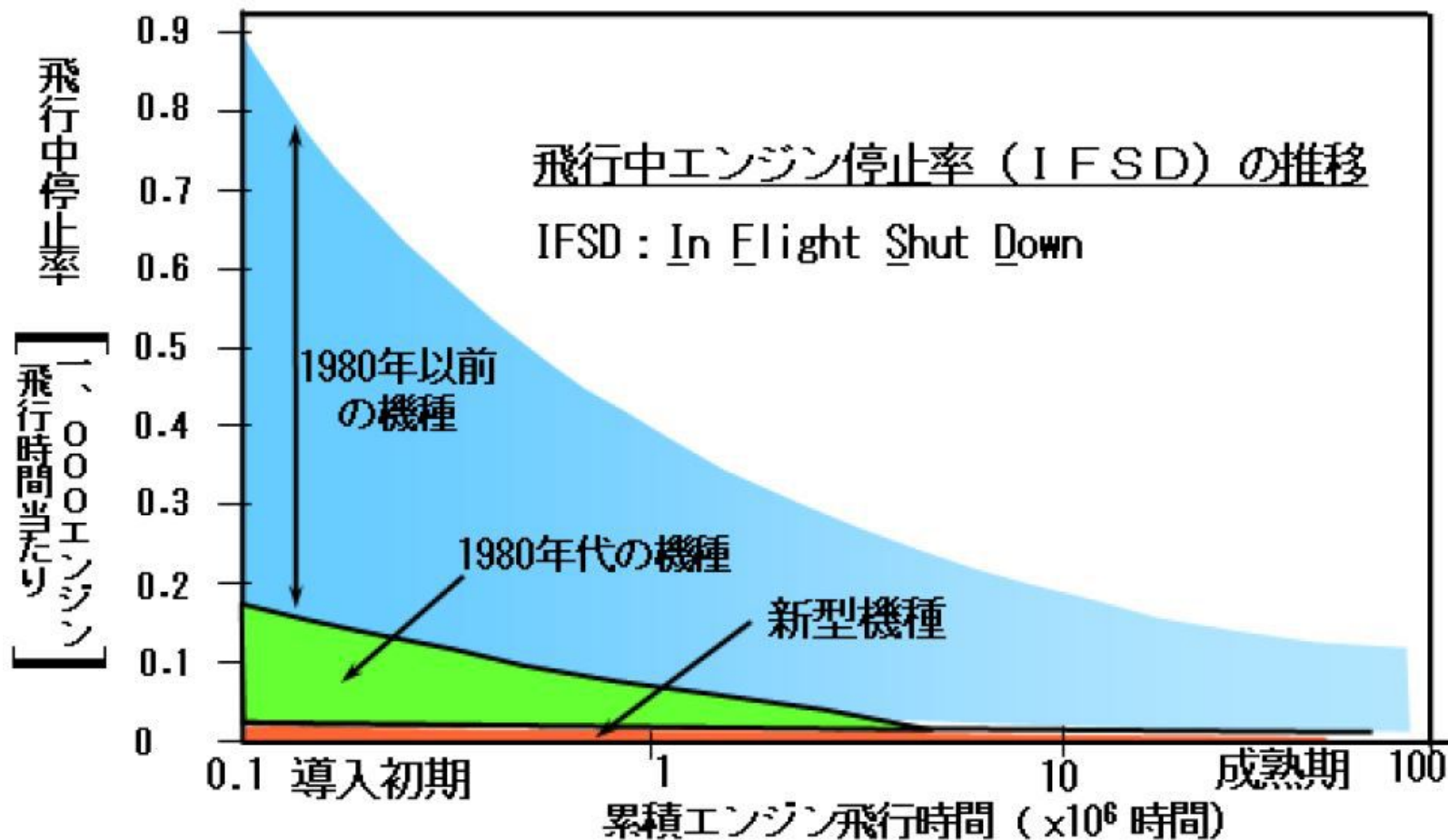
商用ジェット機の事故率

Worldwide Commercial Jet Fleet | 1959 through 2014



ボーイング社資料

安全性の推移



(公財)航空機国際共同開発促進基金【解説概要20-1】

本日は、航空の世界において安全性や信頼性を維持向上させる仕組みについてご紹介させていただきました。この情報が原子力の世界の安全性/信頼性の維持向上に少しでもお役に立てば幸いです。

ご清聴ありがとうございました。