

寄稿論説

航空機の安全性・信頼性・生存性

Safety, Reliability and Survivability of Aircraft

東京大学名誉教授
Prof. Emeritus of Univ. of Tokyo

東 昭
Akira AZUMA



川田工業の、常に新しい、未知の領域への開拓の意欲が、柔軟な思考のできる若い技術者を魅了しつつあるようです。本誌の今後益々の御発展を期待するものです。

1. 安全性の判定規準

航空機が安全であるかどうか、とくにそれが他の乗物と比較した場合、何をその判定規準にするかは問題である。ここでは事故発生件数として、つぎの三つの尺度についての“事故率”を取上げて、図-1に示した。(a)は定期航空に於ける乗客の数×移動距離が1億人・キロメートル当りの事故率を示したもので、すでに1977年に0.04回の事故率を達成している。これに対し、定期航空以外の汎用航空ではその値が16.0とはるかに大きい。これは、考えようによっては当然のことで、障害物のほとんど無い大空を、大型機で長距離飛行する定期航空にとって有利な判定規準かもしれない。(b)は乗客の数を考えない、飛行時間当りの事故率である。これも乱れの少ない高空を長時間飛び続ける定期航空にとって有利な判定ではあるが、2地点間の運航に限られる中・小型機利用のコミュータ航空がここ10年にわたって、事故率を急激に減少しつつあることは注目してよからう。(c)は距離や

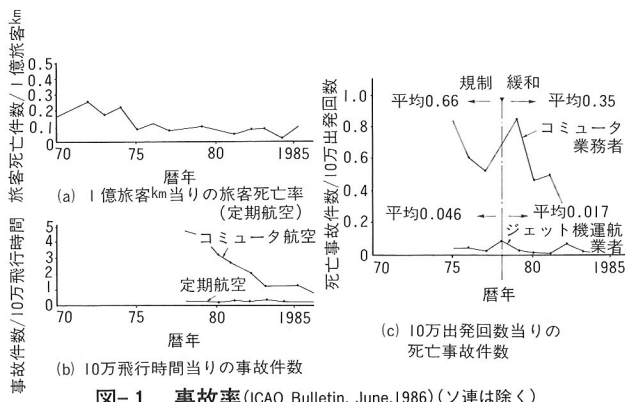


図-1 事故率 (ICAO Bulletin, June, 1986) (ソ連は除く)

時間に関係のない、発着回数についての事故率である。これは、たとえば機体の疲労に基づく破壊等を考える場合には、大気の流れを主原因とする(a)や(b)より、与圧の繰り返し負荷の回数を原因とすることに相当する。

図-2に見られるように、全ての航空機事故の約70%が離着陸時(40%の飛行時間を占める)に集中している。すなわち約50%は着陸接近と接地の際に起り、そして約20%が離陸で起る。したがって、これを減らすには、機体側では失速速度を下げ、低速度での安定性・操縦性を良くすること、管制側では地上設備を完備し、離着陸をやり易くするとともに、突風等の不意の危険に対しても、早目に知らせ回避させること等が重要である。

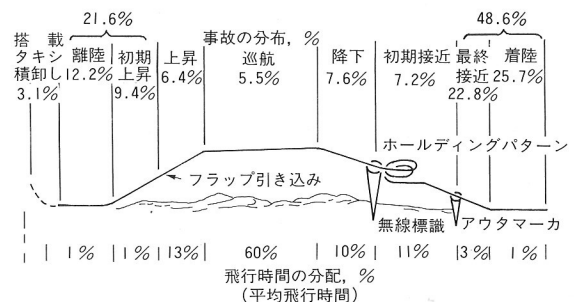


図-2 飛行形態別事故の分布

(Aviation Week & Space Technology July 13, 1987に加筆)

2. 人的要因

世界の定期航空輸送の死亡事故の関与原因の類別が表-1に示されている。関与原因の約60%が人間に関わるもので、これは運航乗務員だけではなく、管制、整備、運航管理等のほか、設計、製造、検査等々の日常の運航業務から離れたものまで含まれている。民間ジェット輸送機の、死亡に限らない全損事故(1959~1986)全般になると、人的要因は70%を越える。この人的要因の比率を下げるのがいかに大事であるかが理解されよう。しかし、人間が過ちを冒さないようにすることも大切である

が、人間が間違っても、それが致命的な事故につながらない、すなわち安全性を損うことのないようにすることの方がより重要なことである。人間というのは完璧ではあり得ない、常にミスをするものであるという認識の上になつて、全てのシステムを構築すべきであろう。

表-1 世界の定期航空輸送の死亡事故での関与要因の類別と比率

関与要因の類別	件 数	比率(%)
人 間	639	58
機械 (航空機)	216	19
環境 (気象, 航行援助施設など)	190	17
そ の 他	62	6

3. 機材の安全性

航空機では、それを構成する部品あるいはシステムの故障発生率およびそれが故障した場合に航空機に及ぼす安全性への影響の程度に応じて、その部品あるいはシステムを多重システムに組んで、決定的な故障を回避するという手段がとられる。

具体的な例として、エンジンを考えよう。たとえば1000時間に1回の故障発生率をもっているエンジンを装備した航空機の洋上飛行は許されない。では、このエンジンを2個搭載したらどうか。故障の発生率は当然2倍になる。しかしこの航空機が、1個のエンジンでも安全に飛行できるのであれば、2個が同時に故障する確率は $2/10^6$ 、すなわち 10^6 時間に2回の故障発生率に減少する。さらにこのエンジンを3個搭載したらどうか。故障発生率は3倍になるが、しかし2個が同時に故障する確率は 10^6 時間に3回。なおもしこの航空機がエンジン1個でも飛べるのなら、危険の発生率は 10^6 時間に1回となる。これが4個のエンジンになると、2個のエンジンで飛べる航空機の危険の発生率は $1/4 \times 10^6$ 時間に1回(30万年に1回の割合)と少なく、洋上飛行が許される。

このような低い故障率を確保するためには、個々の部品の故障率を下げることはいうまでもないが、充分な管理体制を組むことも大事である。一定の運用時間、たとえば150時間で外部から目視点検をし、500時間毎に見え難い所を覗いてみる“ボアスコープ”で検査し、そして2000時間に達すると振動測定を行うといった“機体整備”と、必要に応じて機体から取外して工場で分解検査を行う“工場整備”とがある。こういった綿密な整備という管理体制で、最近ではエンジンでは10000時間に1回の故障率となっている。つまり双発でも陸地が近ければ洋上を飛べるようになったのである。

エンジン以外の機器には、はっきりと故障かどうか判らない出力の違いのみられるものがある。たとえば、B747搭載の“慣性航法装置”(INS)は並列の3重系となっている。それ等の出力(機体の位置を示す緯度と経度)

を単純に平均して真値だとおもうことは、考えものである。1個が怪しいとき、推定真値がそれにひきずられる。そこで実際には、3個のINSの緯度なら緯度、経度なら経度の異なる三つの出力値の内の真ん中の値を採用する。これだと1個がくずれてもその影響をうけることなく、推定値が真値から著しくずれない。それなのに大韓航空のB747が多分入力ミスのために航路を逸脱してソ連機に撃墜されるという不幸な事故が起っている。

1985年の日航機事故では、胴体の後部隔壁が破裂した。隔壁は、それが破損すればほかの部材にも悪影響を及ぼし、機内の与圧も失われるのであるが、2重システムにはなっていない。このため、隔壁自体に故障が起っても安全性が失なわれないという“フェイル セーフ”構造になっていないといけな。つまり、隔壁は充分丈夫にできていて、かりにその一部に亀裂が入ったとしても、その進展が途中の補強材で止められ、定期検査の時点でその亀裂が発見されるものでなければならない。構造部材のフェイル セーフとは、したがって、その部材が運用期限内において絶対に致命的な破壊をすることがないという保証を与えるものでなければいけない。

通常構造部材の破壊は、荷重が小さくても何回も繰り返してそれが掛けられたときに生ずる疲労に基づく亀裂が引き金となる。さらに、たとえば雨滴が酸性である場合には材料の腐蝕が疲労強度を弱め、亀裂の進展を早める。

4. 生存性

実際に故障が発生してしまっても何とか生命を守ろうとするにはどうするか。たとえば、飛行制御システムの故障・異常を検知し、その部位を特定し、何等かの対策・処置を行い、最低限の飛行を可能ならしめる装置がある。これを“耐故障飛行制御システム”という。これは予め機器の機能や作動範囲(“オーソリティ”)に制限を加えてシステムを頑丈にしておく方法と、故障部位を切り離し、システムを再構築する方法とがある。たとえば横揺制御のスポイラが故障したとき、水平尾翼(“スタビレータ”)の左右差動操舵のみで操縦することがある。これは制御能力のレベルは低下するが、決定的な事故とはならない。

ヘリコプターのブレードは鳥が当たっても、安全に着陸するまでの短い時間内に致命的な破壊に到らぬように配慮されている。また自動車同様に、最近では墜落してもなるべく搭乗者を押し潰さない構造(抗破壊性)が採用されるようになった。

5. あとがき

事故を防ぐには、人々の経験と叡智の積み重ねが大事である。真因を探るには当事者を糾弾するのではなく、偽りのない報告を聞くべきである。