

空の安全を支えるために — 航空機整備の倫理

Ethics for aviation maintenance
—To promote aviation safety

中里公哉

元日本航空整備本部長

日本機械学会技術倫理委員会委員

Kimiya NAKAZATO

【Key words】

1. 安全第一 (Safety First)
2. ヒューマンエラー (Human Error)
3. 損傷許容設計 (Damage Tolerant Design)
4. 安全風土 (Safety Culture)
5. 委託先管理 (Subcontractor Management)

【概要】

航空会社の技術者は、最も人命の安全に関わる仕事に携わっているといえる。航空機整備の責任者を長く務めた技術者としての経験を通し、日航ジャンボ機墜落事故などのさまざまな飛行機事故の分析と教訓から、いかにしてヒューマン・エラーを防止し、航空機の安全を守るかについて論じる。

こんにちは。ご紹介いただきました中里と申します。はじめにサンプルを回覧しますが、後からこれを回収したいので無くさないようにしてください。一つは0.8ミリの板ですけれど、これは飛行機の胴体の板です。それから、今日の話の最後の方になりますが、エンジンのタービンの翼です。これ一つが100万円します。よく見てください。これはレーザーで中に穴がけてありま

して、これは1100度の高熱のところを1000度に保つために、下から空気を送ってこのなかを冷却しています。これは後から説明いたします。

航空機は空を飛ぶ

それでは今日の題は、「空の安全を支えるために」というようなことで説明したいと思います。これは飛行機のことを中心になりますが、動力付き飛行機というものは1903年にアメリカのライト兄弟が初飛行に成功して100年ちょっとで、すごい進歩をしました。ライト兄弟の飛んだ飛行機は最初37メートル飛んだのですけれども、今からご説明するジャンボ機の翼の半分ぐらい飛んだのが世界ではじめて。それが現在では、世界のどこへでも飛ぶような飛行機が出てきた。私は航空に携わったのが1953年からなので、約50数年間航空と共に歩んできましたが、その間に航空機というのはものすごい進歩を遂げております。

それで、皆様方にご説明するのは飛行機の安全性ということなのですが、私は飛行機の現場の仕事を10数年間やっており、現場で直接に飛行機を触っていたので、その経験をもとにお話を続けていきたいと思っております。皆さん方も不思議に思うでしょうが、あの大きな飛行機はどうやって空の上を飛ぶのでしょうか。私自身もそう思うことがあります。地球の引力に逆らって飛んでいるボーイング747、通称ジャンボって、この飛行機は最大離陸重量が400トンあります。翼の中に200トン燃料が入っています。もしこれが墜落したら大事故になることは当然ですね、尊い人命が失われるわけです。私がいた日本航空では24時間中いつでも2万から3万人のお客様が空に浮いています。航空会社は、飛行機を飛ばさないと収入になりません。地上にいるときは一円にもならないので、アメリカから飛んできて成田に着いたら、2時間ぐらい経ってすぐこれをヨーロッパに飛ばしたり、常に飛行機というのは飛びつづけています。

しかしながら、飛行機は整備をしなければなりません。そのために地上にいる短い時間に整備をするには、いかに効率よく整備をするかというのが大きな問題点です。私は紹介にあったように飛行機のことをずっと担当してきて整備員教育もやりましたが、社員に対して、「飛んでいる飛行機の整備をや

れ」というような、ちょっと禅問答のようなことを言っていました。万が一飛行機が空中を飛んでいて故障したら、自分がそこに行ってその飛行機を落ちないようにするようなそういう気持ちで常に飛行機を整備しなければいけないというようなことを言い続けておりました。とにかく整備員というのは安全第一ということを常に肝に銘じて決められた時間内に完全な整備をする。これが一番大事なことなのです。

航空機整備と技術倫理

さて、ここで倫理の話が出てくるわけなのですが、航空会社の技術者というのは最も人命の安全にかかわる仕事に携わっていると思います。ちょっとしたミスが大きな事故に結びつくということで、常に安全意識というのが一人一人に重要なのです。それからその組織、これは常に安全風土、これはキーワードなのですが、この安全風土がないと事故がおこる。今でも、私が整備していたころも、重要な整備を行った時は、試験飛行に乗ったり、路線のフライトに乗ったりいろいろなことをやって、自分のやった仕事に責任を持つことを常に心がけておりました。

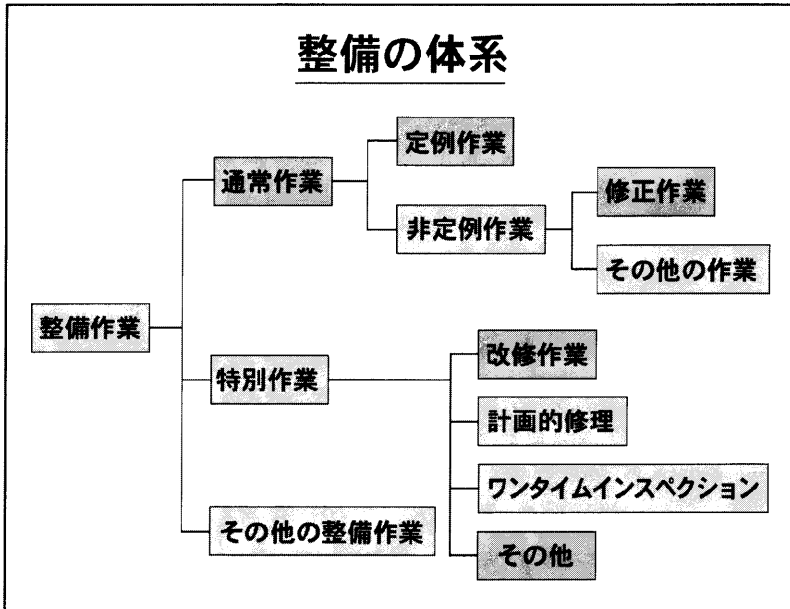
飛行機整備というのは、ほとんどが個人作業です。したがって個人で責任をもたねばなりません。そのためには、会社に入って5年までの経験者は二級整備士でここまでの仕事はしていい、10年ぐらい整備した人は一級整備士でここまではいいというような区分けをしております。それから、非常に複雑な作業、例えばエンジンを交換したり、特別な作業は検査員がいて、二重確認、人がやったところを再度チェックする、こういうやり方をしています。それから航空法で決められた作業というようなものがありまして、これは国のライセンスをもった資格者が整備確認をやる。それから大きな飛行機の整備をやる場合、格納庫の中でやるような場合には、これは会社が組織で確認を行う。これを常に正確にやっているかを審査する品質保証部というのがあって目を光らせている。

航空機整備の体系

整備の体系ですが、国の法律である航空法というのがあって、それに従って、整備に関しては整備規定、運航に関しては運航規定というのがあります。それに基づいて整備のマニュアルというのができて、そのマニュアルからおのおのが作業する作業カードというのができています。それから一方会社の中では、業務規定というのがあって業務に関するいろいろな規定があり、その技術に関しては、この整備規定と一緒にした整備技術管理規定というのがあってそれに基づいた社内規定がある。社内規定というのが、例えばこの人はこういう仕事をしていいとかいうことを決めている。こういうような仕組みになっております。

それから体系なのですが整備作業(表-1)というのは、通常作業と特別作業、それからその他の作業とこういう具合に分かれており、通常の作業というのは普通定例的にやっている仕事、それから定例に属さない仕事、修正作業や

表-1



その他の仕事になります。それから特別作業というのは、いろいろなところを改修したり、あるいは修理したり、あるいはワнтаイト・インスペクションというような他の会社で事故があった情報で、そこを調べる。その他、飛行機を水洗いするなど、いろいろな作業が入っております。それから、整備の段階に関する分類というのは、飛行機の整備はシップ整備とショッパ整備に分かれております。シップというのは、ようするに機体のことです。これの整備は、飛行前整備、飛行機が飛び立つ前に必ず整備をする。それから、あとは飛行時間により500時間たったら整備をする。それから400回飛んだらする、あるいは6000時間経ったらやるC整備、ここら辺に来ると一年に一回ぐらい。それからK整備、M整備。これは16000時間飛んだらやる。だいたいオーバーホールと通常呼ばれるものには大体20日ぐらい。今は日本ではほとんどやってなくて、中国とシンガポールの工場に持って行って整備しています。中国の方が、人件費が日本の10分の1ぐらい安いですからね。非常に短時間に大勢の人が作業せねばならないので、日本の人件費では国際競争力に負けるので海外の整備工場に持って行っていきます。

それからショッパ整備というのは、機体以外のエンジンとか降着装置などや飛行機の中についているコンピュータとか、そのような部品を整備するところです。エンジン整備。エンジンというのは一般的にオーバーホールをしないのです。昔はよくオーバーホールをしていたのですが、ものすごく部品がたくさんあり、オーバーホールして組み立てるとどうしても作業ミスが起こる。それで、オンコンディションって言うのですけれども、そのままの状態を見ながら悪くなったらそこを修理する、そういう方式をとっています。

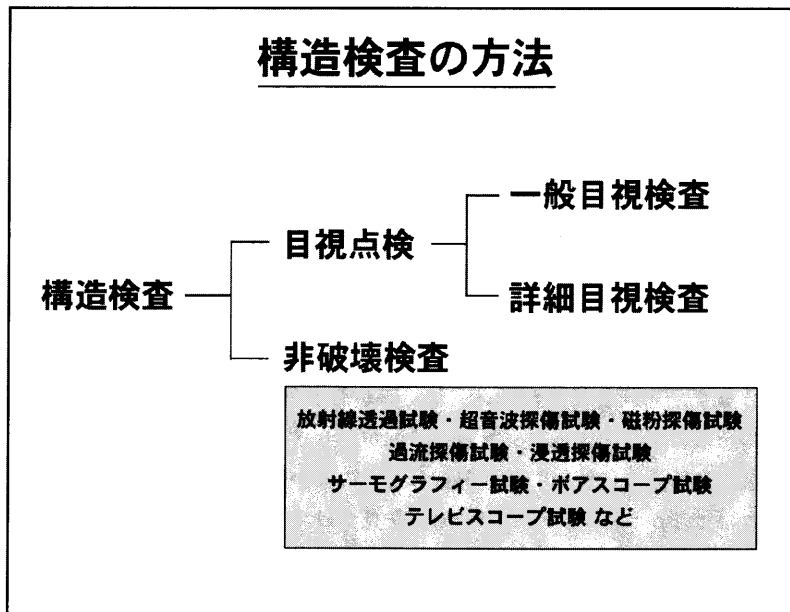
それから、ここにCMと称しますが、これはコンディション・モニタリングの略で、エンジンの中の仕組みには、回転数、温度などを監視するシステムがあります。それをモニタリングし、何かあったらそのときに修理をする。人間の血液に例えればエンジンの中に油がありますけれども、それをときどき血液検査のように抜いて成分分析してそのなかに金やアルミ、鉄が混ざっていればどこかが悪い。その悪い場所を見つけて、そこだけを整備するというやり方をしています。それから装備品の整理。これもだいたいコンディション・モニタリングで、悪くなったときに、あるいは悪くなりつつあるとこ

ろを観察しながら整備するやり方とっています。このような方法を信頼性管理方式と称します。

構造検査の方法

それから、構造検査（表-2）について、飛行機の大きな胴体というのは大部分約0.8ミリのアルミ合金の板でできています。その板が疲労破壊などしないように、いつも検査しなければなりません。構造検査というのは非常に大事な仕事で、検査には目視点検と非破壊検査があります。目視点検は一般的にただ目で見ると、虫眼鏡などを使って詳しくやる方法があります。非破壊検査は、最近、ジェットコースター事故で問題になっていますが、いろいろな方法があります。放射線を通してやる透過試験、超音波探傷、それから磁粉、マグナフラックスと言いますが、これで探傷をする方法があります。それから過電流をながしてやる方法。さらに浸透探傷試験、これは蛍光色を

表-2



発光して傷のあるところを見つける。それからサーモグラフィー、それからボアスコープ。ボアスコープというのは、人間の体に使う内視鏡とか胃カメラと同じような仕組みで、内部を覗くものです。たとえばエンジンの中を覗いてみて、どこかに傷がはいっているかとか、色が変わっていないかとか調べます。さらにテレビスコープ。これはテレビで映し出すものです。このようにいろいろな検査をしております。

ここにあげているのは翼の上の検査をやっているものです。翼の上に乗ってリベットやネジを一本一本検査するのです。そして、このように黒くなっているところやネジが緩んでいるところなどを見つけて、詳細にチェックする。あるいは、一部を少し外してチェックするようなこともしております。これは、目に見えないところの超音波検査をやっているところでは。

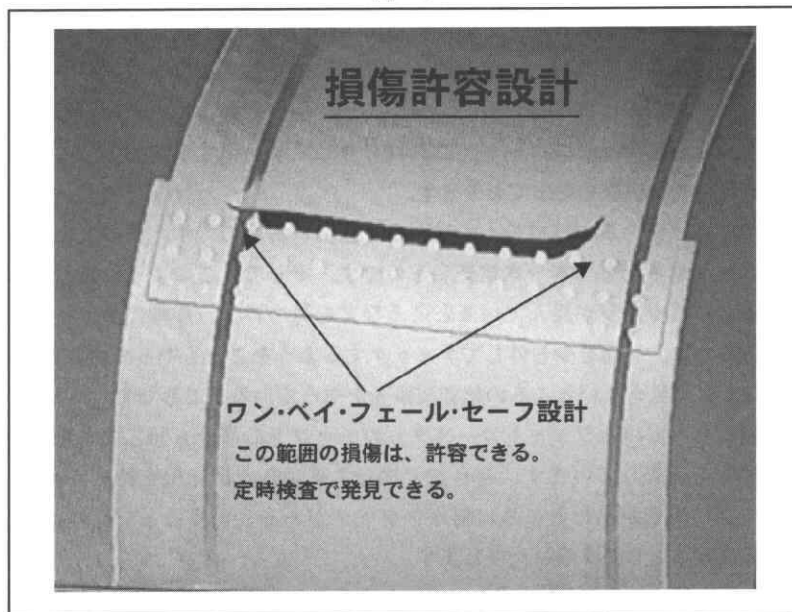
今話題になっているジェットコースターのシャフトの部分も同じような超音波を使って検査しています。超音波で検査する場合、探知機を持って調べ、スコープに波形が出たところに何かクラックがあるということを見つけて、そこを交換したり削り取ったりします。

それからリベットに1ミリぐらいの傷があることがあります。これは雷が落ちた跡です。雷は前から落ちて後ろに抜けていきますが、その間にいろいろなところに傷をつけてしまいます。こういうところも見逃せないのです。ここから亀裂が広がっていくこともあります。

航空機の安全体制

飛行機の安全性に関しては、いろいろな対策がとられています。飛行機の離発着時以外のときは、ほとんど自動操縦で、コンピュータによって飛んでいます。飛び上がるときと降りるときはマニュアルでやることが多いです。それから、機体そのものは損傷許容設計(図-1)になっており、あるところまで壊れても、ある時間までにチェックすれば見つかるという考え方、またフェール・セーフという一つが壊れても他のところでカバーする。それからフル・プルーフ。間違ってもどこかを傷つけても安全な方法。さらに、さまざまな自動化がなされています。飛んでいるときも、異常地表接近警報というものがあまして、急に山とか丘があってそこに突っ込みそうなどときには、

図-1



自動的にそれを検知して、人工の声で「機体を上にあげろ」と警告を出します。それから飛行機同士が質問電波という1030MHzの電波を出しながらいつも飛んでいまして、別の飛行機があるところまで近づくとそれを察知して自動的によける仕組みもついています。それからウィンドウ・シアー警報装置というのは、空港の前で急に吹き降ろしの風がくる場合の警報。さらに、速度や高度や火災などいろいろな警報装置によって安全に飛べるようになっています。

また、航空法によって運航規定、整備規定というものがありますが、さらにそこにマニュアルというものがあまして、必ずそのマニュアルを見ながら仕事をするように定められています。その他、最近ではテロ防止のいろいろな施策があつて、操縦室と客室の間のドアが非常に丈夫に作られています。それから、今申し上げました損傷許容基準というのは、あるところでリベットが一本や二本折れても300時間や500時間ごとに点検すれば、ある程度の時間内に見つかるだろうとされていて、そこで見落とされることは考えられて

いない。定時点検というのは、この時間内に何かないかを探す仕組みになっています。

飛行機の胴体はフレーム（枠）やストリンガー（縦通材）が走って、板の力をこういうところで支えるようになっていきます。したがって、胴体が薄い板でも結構な強度を保てるようになっていっています。ジャンボの内張りをはがすとこのような仕組みになっています。最近、名古屋の三菱重工でボーイング787の翼が作られたというニュースがありました。これは炭素繊維や強化プラスチックの複合材でできています。これからの飛行機は、こういう炭素繊維が主体になると言われています。三菱重工で作られた翼も、今までのアルミニウムに代わって、もっと軽く強度のある炭素繊維や強化プラスチックで作られています。このように航空界では今大きな変化が起こっております。これを試験しますと、強度が今までの10倍ぐらい強い。そして、素材が非常にやわらかくて加工しやすい。三菱レーヨンとか東洋レーヨンなどのレーヨン会社がこういう物を作っており、今の日本の最新技術が生かされています。飛行機を軽く作るために昔からいろいろなことが考えられてきましたが、ここまで来たかと思うような最近の進歩です。このように布みたい炭素繊維を張り合わせながら、型に入れ、これを高圧真空釜で焼いて固めることにより今までのアルミニウムで作っていたような翼の構造を作っています。軽くてアルミよりも丈夫というのが特徴です。また、最近多く飛んでいるボーイング777という飛行機ですが、尾翼の大部分や動翼などの部分が全部新素材でできています。さらに新しい787では、翼の全部分、燃料タンクも新素材でできています。機体が軽いとエンジンの燃料消費量が少ないので燃料の節約になるし長距離飛行が可能になる利点があります。このように飛行機は進歩しています。

整備情報

整備に関してどのような情報が入るかという点、一つはACARSと呼ばれるものがあります。これは航空機空地通信システムというものであり、飛んでいる飛行機のなかで故障が起こり、例えばどこかの温度が変わったとか回転数が変わったとかいうのがあると、これを飛行機から衛星を使って地上に送

信して地上のメーカー、例えばボーイングなどに知らせます。さらに各航空会社のオペレーション・センターに知らせます。

このようにして、飛んでいる飛行機の情報を地上に流しますと、例えば、日本からホノルルに飛んでいる飛行機がホノルルに到着したら、すぐ修理できるように、部品の手配や修理の方法を検討することが事前にできるようになり、飛行機の安全性、効率性に役立っています。

それから飛行機の中にはログ・ブックという航空日誌が搭載されており、これには飛行中に発見したさまざまな不具合をパイロットが記入します。これを上空から地上に電話などで知らせてすぐ修理をするようにします。地上で発見した不具合はスコークカードと呼ばれる作業カードに書いて情報を集めるようにしています。それからSBという航空機のメーカーから出される情報があり、このようにした方がより安全ですよという、サービスの書類があります。TCDというのは、SBをうけて日本の国土交通省の航空局から出される耐空性改善通報で、これをやりなさい、あるいはやってくださいというような通報です。ADというのは技術指令で、これはいつまでに実行しないと飛行機は飛んではいけないというような指令です。その他いろいろな情報があり、飛行機の非定例の整備が成り立っています。

それから日本航空では成田に整備のコントロール・センターがあり、世界中を飛んでいる飛行の情報が全部そこに集まって、どこで、どういうことが起こっているのか、その飛行機に対してどういう手当をしたら良いか、さらに海外で不具合があった場合はすぐそこに連絡して、どうしたら良いかを連絡し、質問に答える。またそれに必要な資料をいろいろ集めています。また、飛行機のさまざまな故障の中でも持ち越しても良い基準があり、次の基地まで例えば昼間なら照明用の電球はひとつ切れていても構わないというような基準があります。このような情報をもとに飛行機の整備をやっています。

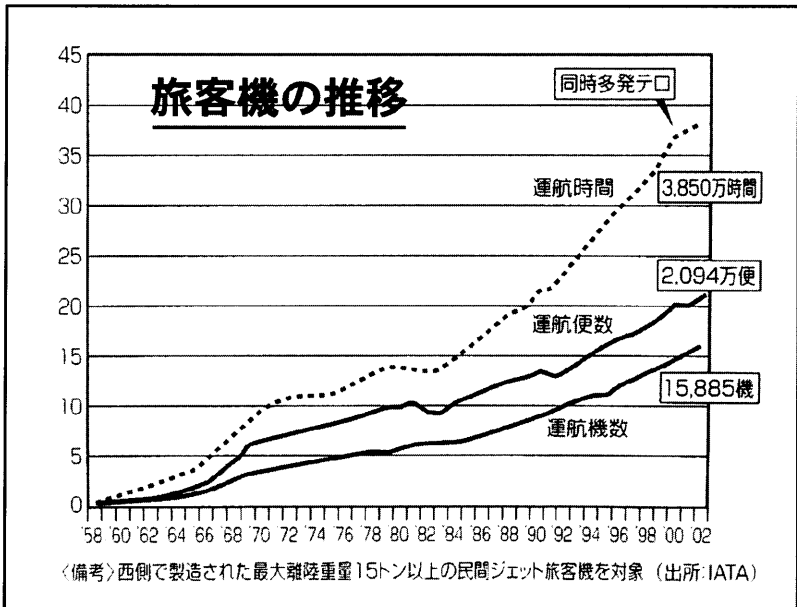
航空機のトラブルと安全性

飛行機のトラブルの区分は航空法で決まっており、航空事故と重大インシデントに分けられています。航空事故というのは、墜落、衝突、火災、人の死傷、物件の損傷、機内での死亡、行方不明、他機との接触、または航行中

に飛行機が壊れたというようなものを指します。ニアミスや航空機事故が発生する恐れがあると認められる事故を重大インシデントと呼び区別をしています。それ以外のものは、イレギュラー運航と言われ、目的地変更、引き返し、あるいは滑走路を閉鎖しなければならない場合がこれにあたります。

最近、ボンバルディアという飛行機の脚が出なくて日本中で大騒ぎしていましたが、このような場合、滑走路を閉鎖しなければなりません。これがイレギュラー運航に相当します。参考までに言っておきます。ボンバルディアが盛んにトラブルを起こしているようですが、我々の目から見るとそれほど致命的でないと思います。飛行機にもいろいろなフェール・セーフの仕組みがありまして、あの飛行機は翼が上の方に着いていますので、脚が出なくて胴体着陸しても翼の中の燃料タンクに引火することは少ないでしょう。このような安全性というものがいろいろと考えられています。その後起こった某航空のボンバルディアの脚が出なかった原因は5ミリか8ミリのネジが緩んでいたことでした。大きな事故というのは小さいミスの積み重ねです。ネジ1

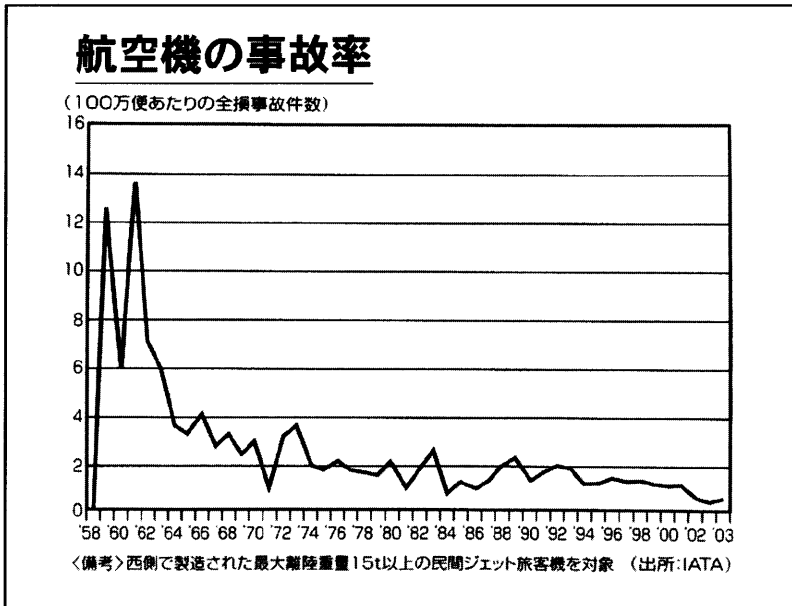
表-3



本でも心をこめて締めることが大切です。

この表は、旅客機の推移（表-3）を示しています。今後、50年の間に飛行機の数が大変増えていくと言われています。今では年間2000万回以上飛んでいます。日本航空の飛行機は年間42万回ぐらい飛んでいますから、ほんの2%ぐらいです。しかも、これはロシアの飛行機は除いています。私は昔、ロシアに住んでいました。ロシアという大きな国は飛行機でなければ行き来出来ないところが多いです。したがって飛行機の数がべらぼうに多くて驚くような数です。日本では、何時5分発とかそういう決め方をしていますが、ロシアの飛行機のスケジュールは1分刻みで23分発24分発とか決められています。それぐらい飛行機がたくさん飛んでいるのです。ですから比較になりません。私も5年間ロシアに居ましたので数え切れないぐらい飛行機に乗りましたが、一回も落ちたことはありませんから大丈夫ですが、数は比較になりません。ですから、このような統計を取るときはロシアの飛行機は除いてあります。ロシアも最近ではアメリカの航空機を使い始めたので、次第にこのような統計

表-4



に入ってくるようになると思います。

これは非常に重要な統計値の、飛行機の事故率です。100万出発あたりの全損事故の件数（表-4）です。これはさきほど言いましたが、事故ですから飛行機が墜落したとか人命が失われたとかそういう事故です。私が会社に入った頃は、100万便のうちに13件ぐらいありました。それがプロペラ機からジェット機に変わるにつれて事故率が非常に下がってきました。現在はここまで事故率が下がってきています。1995年から現在まで、だいたい100万出発あたりに0.5回ぐらい事故が起きています。これにも大きな地域差があって、アフリカや中南米は事故率が高くて、アメリカや日本などでは非常に事故率が低いです。100万出発便に0.5ということは200万フライトに一回ということですから、皆さんが毎日飛行機で一往復して、どれくらいで自分が飛行機事故に遭遇するかというと、約2700年位です。2700年乗ってやっと自分が飛行機事故で死ぬかもしれないということです。このように飛行機の安全性というのは今ものすごく向上しています。先ほども言いましたが、毎日どんな時間でも日本航空だけでも約3万人位が空に浮いています。更なる、安全運航のための努力を望んでいます。

後から説明しますが、日本航空は残念ながら今から22年前にジャンボ機が墜落しました。それが非常に反省になって今日の話の元になりますが、その後、飛行機の安全性の確保が非常に高まり、現在、日本航空では、一回も人身事故が起っていません。それはたいへん結構なことと言っていただきたいのですが、今日、安全だからといって明日の安全が確保されるわけではありません。無限の努力が必要です。

整備に関する技術的な問題でトラブルを起こしたというのは、日本航空の墜落事故、またハワイのアロハ航空の事故、イギリスの窓ガラスが割れた事故、福岡でガルーダ航空機が離陸に失敗した事故、それからアメリカン航空のエンジン脱落事故などがあります。それから最近ではエンジンのタービンの翼が破損したインシデントが多発しています。

日航ジャンボ機墜落事故

今から日本航空のジャンボのトラブルについて説明したいと思います。ジャンボというのはボーイング747という大きな飛行機です。皆さん見たことが

あると思いますが、第二次大戦が終わった頃、アメリカが世界を制覇して、アメリカの軍隊は世界中に駐留していました。ところがだんだん平和になってきますと、アメリカも世界中に軍隊を派遣するのがもったいなくなり、もしどこかで何か紛争があったら、アメリカから直接大量の兵器や人員を大型機で運ぼうとする考えが出て、当時のアメリカの飛行機メーカーのロッキード、ダグラス、ボーイングに競争入札をさせました。そのなかで採用されたのはロッキードという会社の飛行機でした。最近では、イラクへ飛んでいる非常に大きな飛行機です。早々に負けたボーイングは、せっかく設計した軍用の貨物機をどうにかして使おうとして計画したのがこの飛行機です。この飛行機はもともと貨物機として設計されたために操縦席が上についています。本来なら機首が開いて、そこから機内に貨物を入れる設計であったためこのようになりました。当時、世界で一番大きな航空会社であったパンアメリカン航空が旅客機として使おうとして採用し、特に、日本行き太平洋路線、欧州路線の大西洋線に投入し大量輸送時代を築きました。

この飛行機は長さが大体70メートルです。先ほドライト兄弟の飛行機が37メートル飛んだといいましたが、この翼の半分飛んだだけなのです。この飛行機ができる50年前の話です。50年間でこんなにも大きな飛行機ができてしまいました。この飛行機は客室が二階建てになっていて、その下は貨物室になっています。今日、話しておきたいことは、このお客さんが乗るところも貨物室も与圧してあります。与圧というのは高度10000メートル（0.2気圧）でも空気を十分に吸えるように機内に圧力をかけて0.8気圧に保っているのです。構造は非常に丈夫になっていて、ここのところの一つ隔壁があるのですが、客室、貨物室が気密状態になっています。

このジャンボ機というのは今までに1300機位製造され、日本航空がその約一割の130機くらいを購入しました。この飛行機は1985年8月12日ちょうどお盆の日、さらに高校野球があった日で、たくさんのお客さまが乗っていて満席の状態です。羽田を飛び立って大阪に行く予定でした。それが伊豆半島の上で異常事態が発生して、30分後に群馬県の山の中に墜落し、大破して、お客様520人がなくなった世界の中でもたいへん大きな事故です。

実はこの機体は7年ほど前、大阪でしりもち事故を起こしています。しりもち事故というのは、着陸時に高度30メートルぐらい迄、3度の角度で降りて

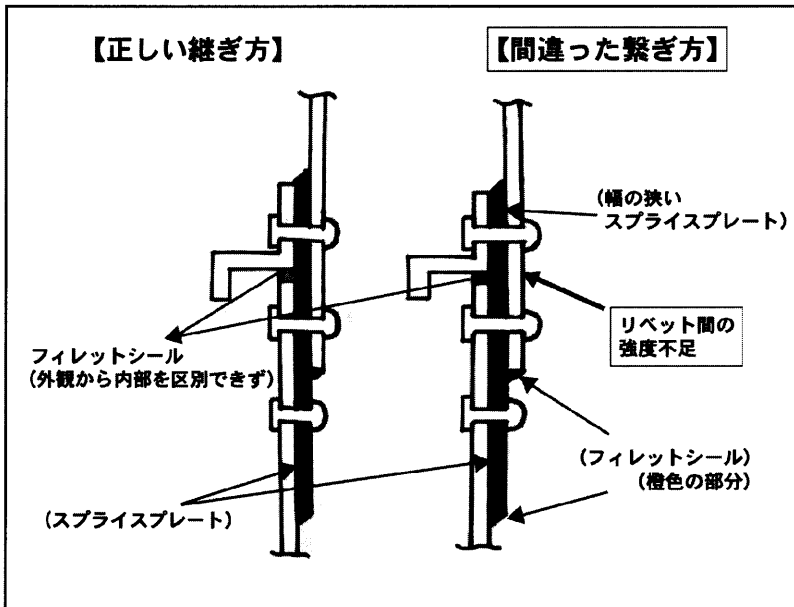
くると、主車輪から着地するために少し頭を起こすのです。そのとき頭を上げすぎたためにお尻をこすってしまったわけです。そういう事故歴がありました。修理はそのこすった部分を交換しました。交換して16000時間以上飛んで着陸回数は12000回。それだけ飛んで大丈夫でした。ところが墜落して、群馬県の山の上で機体が木っ端微塵になってしまいました。18時12分に羽田を飛び立って、通常高度10000メートルまで上がるのですが、8000メートルまで上がったところで突然大きな音がしました。異常を察知して7000メートルまで高度を下げて羽田へ引き返そうとしたのですが、その途中、フゴイド現象、ダッチロールと呼ばれる激しい振動が起きました。フゴイドというのは縦横にゆれることを言い、ダッチロールというのは左右にゆれることを言います。このような緊急事態が発生して、パイロットは「現在、操縦不能」と連絡をしながら、この飛行機は35分に低空に降りてきて56分に1565メートルの山の上に墜落しました。このような経過で事故が発生しました。

事故原因調査

飛行経路をたどりますと、羽田を飛び立って伊豆大島を通って伊豆半島の上空を飛びました。これは正常な飛行経路です。この大島の上空で大きな音がしました。その後、相模湾を通って、揺れながら富士山の横を通っていました。そのときたまたま地上から写真を写していた方がいまして、その写真を解析しますと、ちょうど尾翼のところが大きく破損していました。事故から10日経って事故現場にいろいろな調査官が入ったのですが、米国の事故調査官は圧力隔壁の接合部に不具合があることを発見しました。ボーイングがこの修理をしたのですが、しりもち事故の時に、圧力隔壁など機体尾部下部半分を交換して、もとの機体と重なり合うところ、のりしろの部分が足りなくて、間に継ぎ板というものを挟み込みました。この継ぎ板が二つに分かれ、リベットが一行にしか打たれていなかったため強度不足と推定しました。言葉でいうと難しいですが、この一行のリベットの結合部が力を十分に保つことができず疲労破壊が起きました。これは電子顕微鏡を見て立証できました。この前のジェットコースターの事故でも破断面を電子顕微鏡で見ますと、ビーチマークと呼ばれる破壊がだんだん進んでいった跡が見られました。こ

れと同じようなものが、このリベットの周辺で見つかったのです。ところがこの継ぎ板に関してボーイングの作業指示書にも設計図にも作業報告書にも何も書いていませんでした。その後、定期検査で、日本航空の検査員が検査していますが見つかりませんでした。これは、フィレットシールというもので隙間を固めてあったので見えなかったのですが、実際には、この間違っただけで修理が行われたときには日本航空の検査員は立ち会っていませんでした。ボーイングの緊急修理チームというのは世界で一番修理がうまいというエリートチームなのです。彼らを日本航空は信用しきっていたわけです。航空局の検査官も含めていずれも見落とししてしまいました。後からはめた一枚の板にのりしろが足りなくてリベットが一行しか打てませんでした。作業指示書には、ここに板を入れるという指示をしていたわけです。そうすると板同士は二列のリベットでつながっている。それからこっちのほうは、さらに別の板同士が二列のリベットでつながっています。これで強度が保てるわけです。ところが実際に修理には、継ぎ板を入れたのですが、どういうわけかこの部

図-2

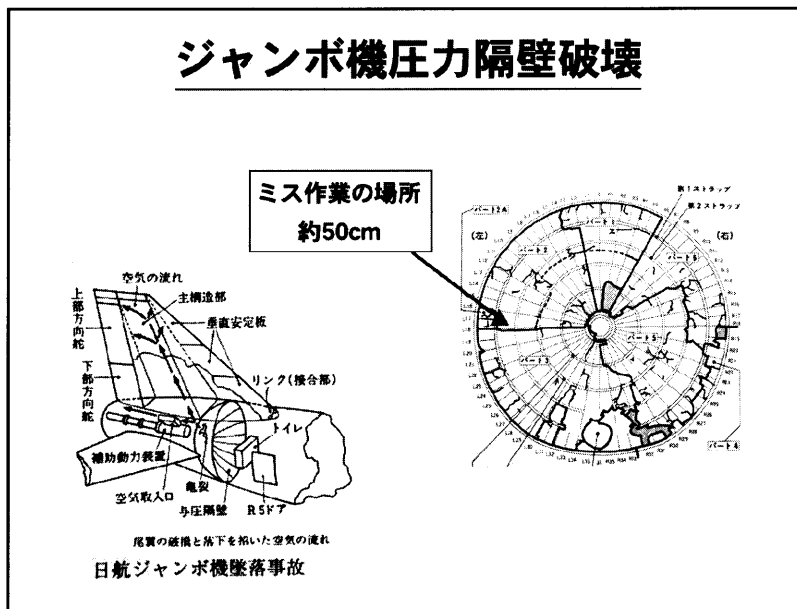


分が途中までしか入っていません。ここで一枚板を入れなければいけないものを、ここで区切ったものを入れてありました。(図-2) 更に、修理したところには水などが入らないようにゴム状のフィレットシールを入れるのです。これが中まで入ってしまっているのです、外から見たら修理状況は全く分かりません。ところがこの板に関してはリベット一列しか固定されておらず力が足りないのです。それでここに圧力が集中して疲労破壊しました。

後部隔壁のフェール・セーフ設計

後部隔壁は半球形で(図-3)、圧力气密を保っていますが、破片から見ると、この50センチの部分の強度が足りませんでした。そこから与圧している高压空気が(1平方メートルあたり6トンの力がかかっている)この破損部分から一気に抜けて後方にある操縦系統の油圧のパイプなどを全部吹き飛ばしてしまいました。普通、操縦系統というものは多重系になっておりまして、

図-3



片方が壊れても、もう片方でもつように設計されています。しかし、空気が漏れて、この辺りの板とパイプ類を全部ぶった切ってしまったので、事故発生となりました。更に、写真で出てきたような尾翼の一部分がなくなって操縦が出来なくなっていました。

一部が故障しても大丈夫だという部分、油圧に関しては三重にも四重にも分散して配置しています。外板構造は格子状になっていて、外板に亀裂が入ってもこれが広がらないような損傷許容基準設計になっているのです。このような考え方というのは、ワン・ベイ・フェール・セーフ設計という、一つが壊れても一定期間に検査することで大丈夫なような考え方で設計されています。たとえ一つの仕切りのなかで亀裂が入っても、それが他の仕切りに拡がらず修理できるので、いくつかの仕切りのなかで同時に亀裂が進行することはもともと考えられていません。

亀裂がある程度大きくなれば、必ず定時検査の時に目視検査で発見でき、油や空気の漏れや変形が発見できます。当時は、お客様は客室の中でタバコを吸っていましたが、タバコのヤニが黒い筋となって、亀裂があればすぐわかるようになっていたのですが、それが見つからないままでした。フェール・セーフというのは一つが壊れても他で大丈夫ということです。実際に飛行機の中はこのような構造になっており、この辺りで亀裂が入っても500時間なり1000時間で検査すれば必ず見つかるような設計思想で作られています。

事故調査のツール

次に、事故調査はどのようにやるかと云いますと、機体の残骸の調査の他にフライトレコーダーとボイスレコーダーというものを使ってやります。これは飛行機の中に必ず積み込んであります。

フライトレコーダーは飛行機が飛んでいるときの角度や方向などあらゆるデータをデジタルで記録するようになっています。これを調べると何時何分何秒に飛行機がどちらの方向に加速度があったか、どのように垂直荷重がかかったかなどが分かるようになっています。こういうことを解析することによって、どの地点でどのようなトラブルが起こったかが分かるわけです。いろいろなデータから、例えばダッチロールがこのあたりから始まったなどが

分かります。ボイスレコーダーは操縦席の会話をすべて録音する機械です。デジタルで録音して、飛行機が墜落した後にこれを回収して解析します。これを見ますと、「何か気をつけてください」とか「何か爆発したぞ」とか、「どこかを見てください」など、さまざまな会話が全部後から分かります。

これが実際の記録ですが、「頭を上げろ」、「ずっと前から支えています」、「パワー出せ、パワー出せ」など、中の会話が全部残っています。このようにして、事故調査のツールであるフライトレコーダーやボイスレコーダーを使って解析しますが、これは1000Gがかかっても壊れないように、それから1100度の温度で30分間燃えても内部は焼けないような構造になっていて、墜落した場合に機体の中で一番残るであろうと思われる尾部にこれが搭載されています。どこの航空会社も全部これをつけていまして、飛行機が墜落するとそれを開けてみて中をチェックします。そして、原因を突き止めて、今後このようなことがあってはならぬということで、修理・改修していくわけです。

次は、私のちょっとした疑問点ですが、急減圧でこの飛行機は高度7000メートルを飛んでいたはずなのに、なぜパイロットは酸素マスクを装着していないのだろう。必ず、先ほど説明した航空法によって乗員はチェックリストを読まなければなりません。その中に酸素マスクをつけなければならない決まりがあったのになぜ守らなかったのが、私には疑問なのです。このように、低酸素の上空を長い間飛行していると、意識が喪失して行くと思います。そのような状況下でなぜ酸素マスクをしていなかったのだろうか。それから、相模湾のところでいろいろ落としているはずなのになぜこれらの部品を海中から引き上げていないのだろうか。と気になるところです。

航空事故調査の問題点

このようなことがいろいろ考えられるのですが、それはさておいて航空事故というのは日本では過失傷害など一つの犯罪として警察はとらえています。警察の権力が非常に強いということがありまして、例えばJR西日本の事故が起こってもすぐに警察が出てきます。

そして事故調査を警察主導で行うのです。欧米では、再発防止のための調査が行われます。これは司法取引の場合もあるのですが、欧米では本当のこ

とを言ってもらって、その代わりに刑罰にはしない、そして本当のことを言ってもらったらそれを参考にして今後はこういうことが起こらないようにする。日本の場合は人権が守られているので、警察の前で自分に不都合なことは黙秘権を使ってもよいのです。ですから、本当のことをしゃべらない、またしゃべらなくて良いのです。このような矛盾がある。世界の多くの国では、特に航空機事故の場合は刑罰より優先して再発防止のために本当のことを証言してもらい、本当のことを言ってもらってもその人は過失致死傷罪などで処罰されないという方向に日本もなって欲しいと思っています。

航空機の整備の責任体制というのはいろいろあり、責任がはっきりしています。特に、委託先に整備を委託する場合には、品質を低下させないためには航空会社が要求事項を委託側に明示して、それを満足しているか目を光らせなければなりません。日本航空より優れた仕事をするボーイングに頼んでも相手は委託先ですから、これに必ず目を光らせていなければなりません。航空会社の品質保証体制を機能させて委託先の管理をするのは航空会社の責任です。このような事故が起こっても、これはボーイングがミスをしてボーイングのミスは表には出ず日本航空のミスとなります。これは非常に大切なことで、航空機の整備をやるのは組織的にもいろいろなことをはっきりさせておかねばならないというのが、今回の大きな教訓になったところで

すべての事故はヒューマン・ファクターが関与

人間は必ずミスをするので、ミスは機械で回避するように考えられています。現在、自動化がどんどん進んでいますが、手作業でやる場所はどうしてもミスが出ます。ミスが出ないようにするためにはいろいろ工夫したり、マニュアルを作ったり、検査体制を見直したりしなければなりません。それから、後から説明しますが、会社の風土というのが必要なのですが、謙虚さを忘れないことが非常に大切なことです。すべての事故というのは人間が関与しています。ヒューマン・ファクター。安全というのは人間によって支えられています。

アロハ航空事故

ハワイの島の間を飛んでいる航空会社にアロハ航空があります。即ち、アロハ航空というのは海の上ばかりを飛んでいます。しかも、飛行時間が1時間以下で、降りたり上がったりしています。飛行機の内圧が平米あたり6トンになったりゼロになったり、その周期が非常に短い。そのため疲労破壊する条件がそろっています。日本航空の事故があった3年後の1988年にアロハ航空のボーイング737が離陸して水平飛行に移ったときに、上部の胴体の半分が吹っ飛んでしまいました。その時お客様はシートベルトを着用していたのですが、立っていた客室乗務員が一人機外に放り出されました。このとき機長が緊急降下して近くのマウイ島に緊急着陸をして助かりました。破損状態は、胴体前方上部がすべて吹き飛んでしまいました。これでよく降りてきたと思います。それで、この原因というのはやはり整備のミスなのです。機体の外板のアルミニウムは低温接着されています。その板と板の間にふつう布状のものが入っています。おかしいと思う方もいらっしゃるかもしれませんが、飛行機のリベットで板と板を接着するときに、布に糊をつけて間にはさんで接着することによりせん断応力を強くしています。しかし、アロハ航空の場合は上がったり下がったりを繰り返して、さらに海上を飛んでいますので湿気と塩分が板の間にいり込み、リベット周辺の力分布が不均一となっていました。したがって、フェール・セーフ機能が活かされませんでした。

というのは一日13回以上、上ったり下がったりしていて、非常に金属疲労が起きやすいのですが、整備プログラムに不備があり、いろいろ検査はされましたが異常は発見されませんでした。こういう言い訳はジェットコースターの事故でも同じようなことが言えます。この事例は整備計画のミスの例です。そして、現場の検査員もアロハ航空の特殊性を認識していなかったと思います。

英国航空機窓ガラス破損事故

次に、イギリスの航空会社で操縦室の窓ガラスが破損した事故があります。それはBAC-111と呼ばれる飛行機が5200メートルまで飛び上がったときに、

操縦席の前の風防ガラスが吹き飛んでしまいました。そして左側に座っていたキャプテンが外に吸い出されそうになりました。辛うじて、中にいた客室乗務員が下半身を引っ張って無事に降りたのですが、キャプテンは大怪我をしました。これはどういうことかという、前の日に、ベテランの整備員が一人で窓ガラスを交換しようとしたときに、90本のボルトで窓を固定してあるのですが、そのうち新品と交換した84本が正規のサイズよりも少し細いサイズの間違って使用していました。このとき、倉庫が暗かったために部品番号を確認できなくて、手探りで集めて取り付けたのですが、後の確認作業でボルトの頭が少し通常的位置より落ち込んでいたの気づきませんでした。そのために、気圧差でボルトの強度が足りず一気に窓が吹き飛んでしまいました。この事例の場合、経験の深い整備員でしたが、多くのミス要素が重なったことに気がつかずに窓を交換したことです。ヒューマン・エラーの落とし穴に嵌ったことです。

ガルーダ航空機事故

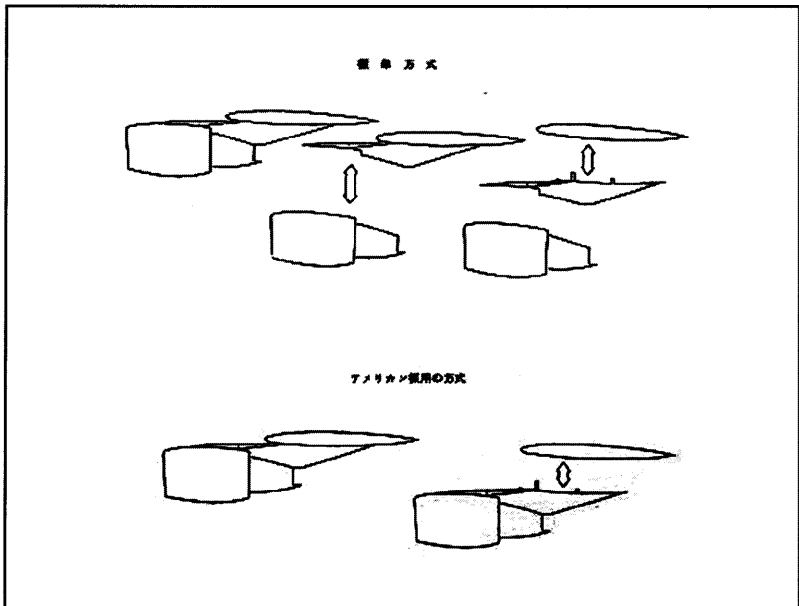
数年前に、ガルーダという航空会社のダグラスDC-10型機の事故が福岡でありました。離陸してすぐに飛行機が墜落してしまいました。これには、いろいろな理由がありますが、飛行機というのは飛び上がる時にある速度まで滑走路を走って、速度計でその日決められたV-one（この日は276km/h）と呼ばれるスピードに到達したときに離陸を決心して飛び上がります。この速度を超えたら必ず飛び上がらなければなりません。その後、着陸すると滑走路を飛び越えてしまいます。しかしこの飛行機はV-oneという速度を超えた後に離陸を中断しました。この理由は、少し機体が浮き上がったときに3番エンジンが故障したのです。高压タービンプレードというものが破損しました。メーカーが6000時間以内に交換するように通告していたが、ガルーダ航空は委託先のオランダ航空に整備を委託していたのですが、そこが4894サイクル使用した古いものを組み込んでしまいました。したがって、6000時間というのはすぐにやってきたのです。ちょうど事故のとき6182サイクルで、タービンプレード（翼）が全部吹っ飛んでしまった事故です。これが機長のヒューマン・エラーと、ガルーダ航空が整備委託しているオランダ航空の整備管理

の計画ミスと重なって事故が起きました。当然、ガルダ航空の委託先管理の責任があります。

アメリカン航空機墜落事故

それから、アメリカン航空という会社のダグラスDC-10型機が墜落したのですが、この飛行機は飛び上がってすぐ急に90度の角度で墜落しました。この理由は、エンジンが一つ外れてしまったのです。この飛行機は飛び上がって機首を上げたときに、左側のエンジンがパイロンというエンジンを支える部分と一緒に落っこちてしまいました。更に、エンジンが主翼の上を通過して外れたので、スラットという可動翼を動かす電線も切ってしまいました。それで姿勢がくずれ飛行機は31秒後に空港の敷地の中に墜落してしまいました。これは大きな整備ミスに起因する事故なのですが、この事故の二ヶ月程前にエンジンを外すときに、使用が難しいフォークリフトを使っていました。普

図-4



通エンジン交換はクレーンで上げたり下げたりしますが、この会社は合理化のため整備作業を簡単にするために、フォークリフトで、しかも普通やってはいけない作業をしました。普通決められた方式というのは、エンジンを外して作業をするときにはエンジンとパイロンを別々に外すのですが、たまたまこの辺りの修理をするときに、この会社は合理化のためにパイロンとエンジンを一緒に外してしまったのです。(図-4)このような作業をして、しかもクレーンを使用しないでフォークリフトを使って作業をしたために失敗しました。フォークリフトというのはなかなか正確に作動させることが困難でオペレーターの技術により力が保てないこともあり、しかも、たまたま作業中にフォークリフトのエンジンが燃料切れで止まってしまって、エンジンを持ち上げたまま作業が止まってしまいました。その間に無理な力がかかって、翼とパイロンの結合部に亀裂が生じ、これを点検で見逃したため、エンジンが外れて、この飛行機は墜落するに至りました。これは、無理な作業計画、作業実施段階のヒューマン・エラーに起因するものであります。

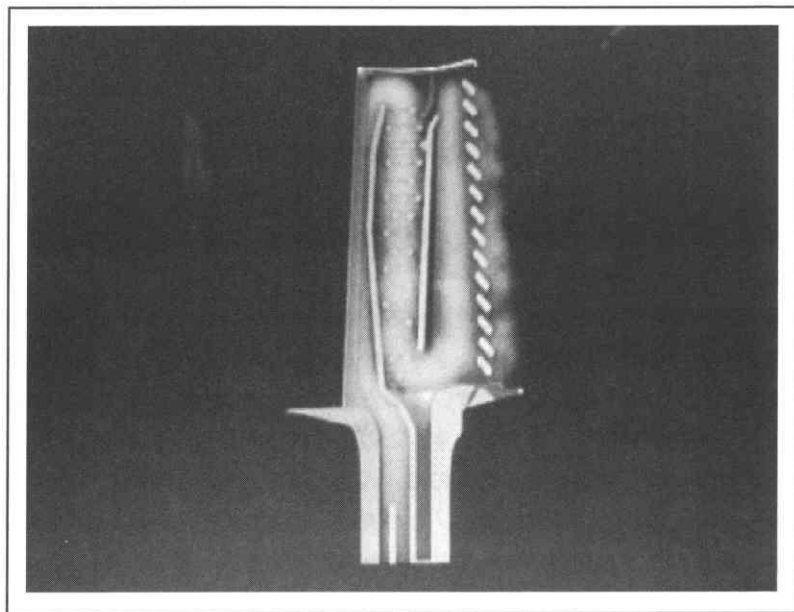
JALウェイズ機のトラブル

JALウェイズというJALの子会社のダグラスDC-10型機が、2005年8月12日ちょうど日本航空のジャンボ機が御巢鷹山に落ちた事故から20年という日、追悼式が行われている真最中に、福岡空港離陸直後にトラブルを起こしました。JALウェイズの飛行機が飛び上がって27秒したらエンジンの出力が急に落ちたために、燃料を捨てて福岡に戻ってきました。たまたまこのときにNHKの記者がエンジンから火が出るところを写真で写していました。ちょうど御巢鷹山の事故から20年経っているので、どういう因縁かということで、盛んにテレビで放映されました。火はほんの一瞬出ただけですが、破片がたくさん落ちて、これを拾った小学生が火傷をしました。また、エンジンの排気管にタービンの破片が残っていました。

今、皆さんに回覧しているタービンの翼は、エンジンの中で6段になっているディスクに、一段に約100枚取り付けられています。これは1100度ぐらいの過酷な環境で高温の熱が当たって回転しています。タービンの翼(ブレード)というものは一枚約100万円するニッケルコバルト超合金です。そして中

に小さな穴があって、中を空冷しています。そして翼自体には約15トンの遠心力がかかっています。遠心力によるひずみは0.3ミリまでOKでそれ以上は廃棄しなければなりません。一枚100万円というものを0.3ミリというほんのわずかな誤差が起こっただけで捨てなければなりません。これを捨てないで使いつづけると、先述のガルーダやJALウェイズのような事故が起こります。この徹底した検査は、蛍光検査とかX-rayなどいろいろな方法があります。ブレードの断面は、レーザーでくり抜いて複雑になっています（図-5）。表面から見ると小さな穴があり、ここから冷却空気を送って冷やすのですが、この6段あるタービンブレードの外側にエロージョンと呼ばれる侵食が発生し、そのために穴が開いたために、冷たい空気がブレードの中を通り抜けないで外側に抜けてしまいました。そのために後方がオーバーヒートして焼けてしまいました。通常これが正常な状態ですが、ここのところに穴が開いて上に冷却空気が流れてしまいました。一枚翼が壊れると、後ろの翼がパラパラと全部割れてしまって急にエンジンが止まってしまいました。

図-5



これが蛍光探傷というもので、ブレードに蛍光液をつけてチェックすると、爪跡ぐらいの亀裂が見つかったら、これを捨てなければなりません。この小さいものを見落とすと、大きな事故を引き起こします。検査員というのは非常に慎重に検査をやらなければなりません。検査員の視力は1.8以上が要求されます。これは長さを測って0.3ミリを超えているかをチェックしているところです。そして、決められた値を超えるとすべて廃棄処分にしなければなりません。コストと安全性はトレードオフの関係です。このように飛行機のトラブルというのは必ず人間のミスが引き起こすので、ヒューマン・エラーまたヒューマン・ファクターというものが必ず関わってきます。この場合エンジンのトラブルの再発防止策として、それまで1250飛行時間ごとに全周の25%サンプリングして内視鏡で検査していたものを、1000飛行時間ごとに全周検査ですべてを見なければならぬと改定されて現在に至っています。今、航空界の一番の問題点というのは飛行機の燃料の問題です。燃料消費量を少なくするには、いかに飛行機を軽く作るためにどうしたら良いか、エンジンの出力を如何に強くするかということで、機体に強化炭素繊維プラスチックを使用したり、またエンジンの出力を上げるために、どうやったらブレードを長く持たせるか、1000度の高温に耐え寿命の長いものができるか、そこらあたりが大きなクリティカルパスになっています。

ヒューマン・エラーを防止するには

ヒューマン・エラーという言葉が何度も出てきました。これは今日の一つのキーワードですが、ヒューマン・エラーというものは、もともと人間と機械が一緒になって目指す目的を達成するためのポイントがあって、人間に割り当てられた部分、人間がやらなきゃいけない部分が、期待された能力を発揮されずに失敗を起こすことです。そのためにシステム全体がトラブルを起こしたり停止状態になったりします。このように定義付けされています。ヒューマン・エラーを防止するためには、人間と機械と環境と管理と使命の五つが一体化しなければなりません。この五つを複合要因ととらえてシステム全体を検討して、人間側の改善をしなければなりません。機械側も改善しなければなりません。人間と機械の間のインターフェイスも改善しなければ

りません。それからシステム管理や作業管理の改善があります。今まで言ってきましたように、何か事故があったときには必ず作業計画や作業管理にもミスの要因があります。

航空事故防止には、機械側、人間側、インターフェイス、システム管理、作業管理、それから人間と機械の役割分担、というものをよく考えねばなりません。機械の担当する部分を多くすればヒューマン・エラーは減らせますので、今、このようなことが取り組まれています。ヒューマン・エラーというのは意図せずに行ってしまううっかりミス、これが一番怖いわけです。たぶん、先述の事故もボーイングの作業者は、これを意図せず行っていました。ボーイングの優秀な連中でもうっかりミスをして、それが大事故につながってしまいます。たった50cmのところでリベットの継ぎ方を間違えただけで520人の方が亡くなるような事故を起こします。それから、リスクを意識して意図的に行う不安全行為。これぐらい大丈夫だろうと思って事故を起こす。先ほどのKLMは本来6000飛行時間がリミットの部品を、4000時間使用（本来は使用時間0時間が望ましい）したものを、経費節減のためか組み込んで、6000時間少し超えても大丈夫だろうというリスクを意識して意図的に行う不安全行為、もし事実なら、こういうものがヒューマン・エラーになってきます。

「安全風土」の構築

この課題というのは組織の問題です。不安全行為を容認する作業環境、企業風土にも影響されます。それから技術的な問題というのは人間と機械の間、技術の間のミスマッチです。あまりにもブラックボックスが多角化していくと、どうも人間はそれに頼りがちになって問題を起こすということが言われております。キーワードである安全風土の構築、これは組織の目的に対して全員が一致協力してできる環境を作る、それから組織全体に関するポリシーの策定、責任の明確化、組織全体の確実な意思疎通が必要になります。さらに、的確な基準、作業手順を守ること、それから安全活動に関する内部監査も重要です。エラーを率直に報告できる雰囲気作り、事故を起こしても警察マターにならないで、将来の航空安全に貢献できるような報告が出来るよう

な雰囲気作りも、またそういう制度も必要と思います。

それから報告を受け入れ、それを生かそうとする開かれた組織の態度。航空機の事故が起こるたびに飛行機が安全になっていると言われていきます。どんどん改善して行って、もう二度と起こしてはならない。さきほど、言いましたように、日本航空の520人の方が亡くなった事故の後、20年間日本の会社がどこも無事故でやっているというのは、以上のことが身にしみて守られているのだと思います。

それから、安全風土をどのように作ったら良いかということの具体例ですが、安全の啓発センター、安全認識を再認識する社員教育になるように、事故機の残存機体の一部やいろいろ経験してきた事故の記録を展示するアーカイブを作る。みなさんに回しているブレードもここにおいてあるものを借りてきたものです。ここに行くとき先ほど説明した御巢鷹山に落ちたときの隔壁なども全部あります。全日空さんも同じようなことをやっていて、羽田沖に墜落した飛行機の残骸をいろいろ展示しているそうです。それからヒューマン・ファクターに関わる組織を新しく作り、それを分析するような場所、さらに現場主体の対策立案をサポートする機能が大切であります。

安全はすべてに優先する

さきほど世界の事故率が100万出発便あたり0.5と言いましたが、世界でジェット機の事故が一回も起こっていない会社というのがいくつかあります。その一つがオーストラリアのカンタス航空です。安全はすべてに優先する。安全に関する問題は直ちに実施する。安全のための経費は惜しまない。常に事故の重大性を考える。安全ポリシーを常に引き継ぐ。全社員の高い安全意識をもつ。そして、ここに書いてありますが、"If you think SAFETY is expensive, Try having Accident!". 要するに、「安全に金がかかりすぎると思ったら、事故を起こしてごらんよ。分かりますよ」。これが会社の安全標語になっております。この会社の安全に対する意識というのは非常に高いと言えます。

さきほど、人間の手からだんだん機械の手にとりましたが、ボーイングの777という400人ぐらいお客さんを乗せることができる飛行機が、名古屋に

も、東京、大阪、札幌にも飛び回っています。この飛行機は現在まで、世界で一度も墜落事故を起こしたことが無い機種ですが、かなり自動化、デジタル化が進んでいます。こういった飛行機は安全性が高いことが言えると思います。

以上

[文献]

- ・日本航空事故調査委員会資料
- ・運輸省航空事故調査報告書（1987）
- ・航空技術（日本航空技術協会）