monitoring による方式に変わり、エンジンの信頼性と経済性の向上に大いに役立っている。

6. む す び

以上、紙面の都合上エンジン・モニタリング手法に

ついてごく簡単に述べたが、このほか、超音波や渦流探傷検査等も有効に活用されている。さらに、新しい手法としては Kr-85 ガスを利用したオートラジオグラフィによるクラック検査、Cf-252 による中性子ラジオグラフィ等がある。

信頼性改善対策の事例と問題点*

建 部 透**

1. ま え が き

Air Line の整備部門における、各種の信頼性向上の努力とは、広義に、あるいは間接的に“安全性”の向上を目指すものであるが、より身近なテーマで示すとすれば“定時出発率”(萩原、田口両氏による“民間輸送機開発段階における信頼性管理”に述べられている“出発信頼度”——DISPATCH reliability——と同義の向上という目標に向かって行なわれている活動であるといえる。

定時性を“良く”保つということは air line にとって大切なテーマであり、利用者の air line に対する評価の大きな要素でもある。

また、air line の整備のすべての能力を表すパラメータとしても見ることができる。すなわち、定時出発を阻害する要因としては、天候不良や利用者の利便(乗継便の発着時間の調整等)を考慮した場合のように、止むを得ないものもあるが、機械の故障による定時出発の阻害は整備担当部門の努力により低減できるものであり、またそれをしなければならぬ。

機械の故障が定時出発を不可能にさせる場合は、次のような、故障発生からその除去までのプロセスに、時間が費されたときである。修復が必要な故障について、

- 1) 故障の発生と、発見、そして通報。
- 2) 故障修理作業への対応。
- 3) 故障原因の発見と不具合除去方法の選択。
- 4) 故障修理作業の準備と実施。
- 5) 故障除去の確認

したがってこれらの、各要素を改善していくことが必要となる。このため、これらの各項に対応して、機械の信頼性向上、情報の正確かつ迅速な伝達、合理的かつ的確な人員の投入と配備、整備技術のスキル向

上、整備作業に有用な設備機材の配備、故障部品と交換される予備部品の品質向上と十分な補給能力の確保、検査機能の充実等、各々に定時性を守るための組織的な活動が行なわれている。上のいずれもが定時性、ひいては航空機の信頼性を向上させる要点であり、各々について管理手法がいろいろ考えられているが、ここでは“故障の発生”の率を低減させる最も直接的な要素“機材の信頼性向上”について、その一例を電子整備品にとらえ、信頼性改善対策の進め方と、その過程においてどのような問題が発生してくるかということについて紹介したい。

2. L 1011—トライスター—の CADC

本格的なジェット輸送機の時代になって、新しい、あるいは進歩した機能が、いろいろ採り入れられ、装備される機器の精度や信頼性が、従来のものに較べてはるかに高いレベルで要求されるようになった。L 1011 機は、その開発段階での要求機能の一つに“CAT III”の運用があったことも手伝って、AVIONICS に関しては在来機以上の機能や精度が要求された。航空機の航法に air data が必要なことは古来より変わりはないが、程度の差こそあれジェット時代の航空機は、速度計や高度計としてだけでなく、air data の用途が増え、そのため機械的な indicator から得られない多くの air data signal を供給し得る central air data computer—CADC—の装備が常識となった。L 1011 機においても CADC の重要性は飛行機能に直接影響を及ぼすものにならざるを得ず、CADC の開発段階でもその信頼性を中心に慎重に検討された。高信頼度を主眼として採用されたのは、理論的には欠点を有するものの、総合的には十分な実績の裏付けもあり、技術的にすでに完成されたと考えられる analogue CADC (ARINC 545 系) であった。digital CADC (ARINC 575/576 系) は、当時、技術的な問題は、ほぼ解決されていたが、air line での使用実績による信頼性の裏付けを得られる段階にはなかった。このよう

* 昭和52年4月25日原稿受理 What Improved an Avionics Equipment Reliability?

** 全日本空輸株式会社技術部 Toru TATEBE

に、実際の運用の段階で得られる信頼性が重視されたのも、CADC の飛行機能に及ぼす影響の大きさによるものである。

L1011 機の CADC は、Sperry 社が設計、製作することになった。

3. 問題の発生

ところが、L1011 機が air line で運航されはじめると、この CADC の不具合が多発し、L1011 機を使用する全 air line から信頼性改善対策の要求が、あがり、air line、Lockheed 社、Sperry 社、三者間での情報交換が徹底して行なわれはじめた。信頼性改善対策を進めるうえで、その初動期のデータ収集は最も重要である。この時期（問題発生初期）には使用者である air line の実績にもとづくデータが洩れなく、機体メーカーの Lockheed 社、機器メーカーの Sperry 社へインプットされなければならない。この三者間の協力体制が無いと、後の具体的な改善対策実施の段階で、その方針を誤らせることになる。

当時 Sperry 社が見込んでいた CADC の信頼性は、URR: 1.37, MTUR: 730 飛行時間であった。

URR (Unscheduled Removal Rate) とは次式で表わされ、一千飛行時間当たりの取卸し個数をいう。

$$\frac{\text{取卸個数} \times 1,000 (\text{時間})}{\text{装備 (稼動) 台数} \times \text{飛行時間}} = \text{URR}$$

MTUR (meantime Unscheduled Removal) は、文字どおり、取卸しに至るまでの平均使用飛行時間である。

ここで UR は、“飛行時間”で表わされるが、航空機が地上にあって、電源が供給され、機器が作動状態にある時間も加えれば、使用時間はもっと大きな値になる。

実際、統計によれば、機器が実際に使用された時間は $UR \times 1.5 \sim 2.5$ という値になるといわれている。しかし air line における時間管理が、飛行時間で行なわれることが一般的であり、メーカーも信頼性の指標として MTUR を使うことが多い。これは、メーカーとしては、実際の無故障作動時間を MTUR の 2 倍程度としなければならないことを意味している。

(注: 航空機のように、多くの機器が集合した高度のシステムに対するオペレーターとしての信頼性の管理、それも運用状況を監視していく手法をとる場合、MTBF という値は、参考値にしかない)

ところが、運用が開始された L1011 機の CADC の実績が、各 air line からメーカーへ報告され、集計されると、MTUR は 422 時間にしかないという結果であった。

ここに、最初の問題は、“MTUR 730 時間であるべ

きが MTUR 422 時間でしかない”という形で提起された。

4. 問題の解決に向かって

解決すべき問題のテーマが“MTUR が 422 時間しかないこと”とされ、設計上の予測値 730 時間を大きく下回っている点について、解決策を講じていかねばならないが、前述のように、CADC の不具合は L1011 というシステムに不具合を及ぼすものである以上、本当に、CADC という機器にその原因があるのか、否かについて確認する必要がある。また、CADC はメーカーから、オペレーターへ渡されて、運用に供されているのであるから、運用方法や整備の仕方が適切でないのではないかという検討も必要である。そこで機体側に問題がないか？ という点について Lockheed 社、CADC の問題点の追究は Sperry 社、運用上に問題はないか、整備は正しく行なわれているか、については air line が各々、中心になって不具合原因の追究を行なうこととなった。

言うまでもなく、これらの情報は三者間で各々、洩れなく交換されていった。また必要に応じ全体会議が、Sperry 社、あるいは Lockheed 社主催で招集された。

4.1 機体メーカー Lockheed 社での原因探究 air line における不具合発生の原因が、機体側にある、すなわち CADC に不具合はない、と仮定し、不具合の形態を解析し、機体側にひそむ不具合の要因を設定し、飛行試験で確認することが計画された。これは Lockheed 社が実施したが、Sperry 社も参画した。

この飛行試験の結果、得た結論は以下のようなものであった。

- 1) 電源システムのトランジェントによる影響はない。
- 2) 機体の振動や環境温度などによる悪影響はない。
- 3) 静圧、動圧のトランジェントによる影響はない。
- 4) ピトー管や外気温度センサーへの落雷テストにおいても何等悪影響はない。

以上のことが確認され、信頼性改善対策は CADC 本体にある不具合原因の探究と、その改善に的が絞られた。

4.2 CADC のメーカー Sperry 社での原因探究

Sperry 社は、CADC の信頼性改善対策を進めるうえで、次のような問題にぶつかった。

- 1) すでに運用されている機器であるから、その対策は早急に講じられねばならない。
- 2) 改善対策のための作業が、air line の航空機、

第1表 Sperry 社第一次改善プログラム

L-1011 CADC RELIABILITY IMPROVEMENT PROGRAM
PROBLEM
• CURRENT MTUR-422 FLIGHT HOURS
STATUS
• EXISTING AND IN-PROCESS MODIFICATIONS WILL INCREASE MTUR TO 730 FLIGHT HOURS
• REDESIGN ACTION REQUIRED TO INCREASE MTUR TO 1250 FLIGHT HOURS
• BAD ACTOR ANALYSIS HIGHLIGHTS QUALITY DEFICINCIES

すなわち L 1011 の運航を阻害するものであってはならない。

要するに、手を施したいポイントはいろいろあり、やりたいことはヤマほどあるが、飛行機は飛ばねばならず、CADC のショップ・イン・タームは限られ、信頼性は改善されないまま悪循環を繰り返しているところですべての改善対策を進めていかねばならなかった。

そこで Sperry 社は、二段階に分割し、改善対策を講ずる計画をたてた。

- 1) まず、すでに準備されている設計改善対策作業を実施する。これにより、MTUR 730 時間を実現する。これらの作業は、部品を必要とするものについては、Service Bulletin (SB) が発行され、部品はすべて無料で提供された。また作業内容 (テスト手順等) にも改善が施され、オーバーホール・マニュアルの改訂や、Sperry 社での経験上効果の大きいものは、corrective action report として air line へ通知された。
- 2) この第一段階の対策により MTUR 422 時間を 730 時間へ延ばすことにより、308 時間の余裕を得る。この 308 時間の余裕を第二段階の改善対策に振り当てる。すなわち、再設計による新しい内容を盛り込み、一気に目標値 1,250 時間を達成してしまうということである。

この計画では、必要な作業はすべて Sperry 社へ集め、原型が形をとどめない程に改修され、新型というのが妥当なほどの再設計が組み込まれた。

この計画は“MOD. BLOCK”と呼ばれ、各 air line から Sperry 社へ機器を送り返し、改善のための作業が完了して、air line へ送り返されるまで、綿密に計画が立てられ実行された。MOD. BLOCK は Sperry 社での作業の期間に、3 週間も必要としたため、その間 air line で不足する“予備 CADC”について

第2表 Sperry 社第二次改善プログラム

L-1011 CADC RELIABILITY IMPROVEMENT PROGRAM
L-1011 CADC RELIABILITY IMPROVEMENT PROGRAM
OBJECTIVE
• TO ACHIEVE AN MTUR GOAL OF 1250 FLIGHT HOURS
PROGRAM ELEMENTS
• REDESIGN TO ACHIEVE RELIABILITY
• RETROFIT NEW DESIGNS AND ALL PREVIOUS MODIFICATIONS
• IMPROVE SHOP MAINTENANCE CAPABILITY
• TRACK RELIABILITY PERFORMANCE
• CONTINUE ENGINEERING ACTIVITY ON OTHER POTENTIAL PRODUCT IMPROVEMENTS
• AIRLINE MANAGEMENT PARTICIPATION

も準備され、各 air line へ 2～3 台宛貸出された。

無論これら、MOD. BLOCK や CADC の貸出は無料である。

この計画は、第一段階の成功が鍵であった。そのため、air line の整備についても後述のように強力な改善対策が要求された。

第一段階の計画の成功とは、すなわち、308 時間の信頼性向上である。422 時間に比し 73% の使用時間増は、その増し時間だけ機器に余裕ができることである。ショップの作業時間が多くとれるから必要な作業を多く実施できる。予備 CADC の数を少なくすることができる。たとえば MTUR 422 時間のとき、10 台の予備品が必要とされるならば、MTUR が 70% 増加したときには、7 台の予備品でまかなえるということである。

このような信頼性改善で得た、予備 CADC の不要台数分だけ、第二段階の計画実行のため、Sperry 社へ送り返すことが可能になるわけである。

ここで、CADC に内在する不具合点として抽出された内容について簡単に触れておく。

多くのデータを分析して、対策が必要とされる問題点を Sperry 社がまとめたものを第3表に示す。

第3表により、さきに述べた第一段階と第二段階各々における改善の重点と、信頼性改善の期待値の関係がよく理解いただけると思う。

ところで、top repair action として、23 項目もの改善点が挙げられていることに注目していただきたい。通常、不具合に悩まされ、同じようなプログラムを組み、不具合の要因を解析してみても、その多くは、大体 5～6 項目の要因で不具合の 7～80% を占め、2～3 項目が最も影響の大きな不具合要因であって、それを解決することで 50% 以上の不具合が取除

第3表

TOP REPAIR ACTIONS			
ACTION	CURRENT	EXISTING	NEW
1. ALTITUDE RECALIBRATION	ACTUAL REPLACEMENTS-6 MONTHS REPAIR ACTIVITY (70% OF TOTAL)		×
2. SERVO AMPRIFIER MODULE		×	
3. TANDEM SYNCHRO			×
4. MONITOR MODULE			×
5. CLUTCH SYNCHRO			
6. MOTOR TACHOMETER		×	
7. INDICATOR LAMPS			×
8. MACH RECALIBRATION		×	
9. AC OUTRUT AMPLIFIER MODULE		×	
10. AIRSPEED RECALIBRATION		×	
11. TRANSISTOR (2500264-23)			×
12. TRANSISTOR (2504649-2)			×
13. INDEX ENCODER			
14. MACH POTENTIOMETER		×	
15. SWITCH (4003368-1)			×
16. ANNUNCIATOR CONTROL MODULE			×
17. FLR POTENTIOMETER		×	
18. ENCODER (2504308-1)		×	
19. ALTITUDE P.C. BOARD		×	
20. AIRSPEED POTENTIOMETER		×	
21. TRANSISTOR (2500264-22)			×
22. ADJUST FLR POTENTIOMETER		×	
23. MONITOR BOOST MODULE			×
ESTIMATED MTUR	422	730	1,257

かれるものである。ところが 23 項目もあるわけであるから、2 つや 3 つの不具合点を解決してみても、結果として得られる信頼性改善は、わずかなものにならず、早期解決はとても望めない。このようなところにも Sperry 社の計画の妥当性があり、またそうする必要があったということを知ることができる。

4.3 Air Line での原因探究 Sperry 社が問題解決にとり組み始めたころ、air line のオーバー・ホール・ショップは、慢性的にその生産能力を越える要修理 CADC をかかえていた。Sperry 社が言うことは理解できるが、次から次と持ち込まれる修理や点検に追われて、とても SB や corrective action report に指適される点検を行なう余裕はなかった。

ちなみに、この CADC は、すべての作業が完了して (良品の状態) で最後に実施されるテストだけでも、manual すなわち、各種測定器と人の手で行なえば 4 時間を超える作業量であり、当然各 air line は ATE (Automatic Test Equipment) を使用しているが、それでも 1 時間 30 分は必要としている。

このような air line 各社の窮状に対して、米国内では air line の修理作業の一部を Sperry 社が実施する等の方策がとられたが、海外、特に我国では運送に要する時間と輸出入の事務手続きに時間がかかり過

ぎ、救済策としては効果が無いため、日本へは Sperry の作業者を派遣し、全日空のオーバーホール・ショップで作業を行ない、実質的には全日空の CADC のオーバーホール・ラインを増加させるという方策がとられた。

この Sperry 社の作業者 (CADC オーバーホールのスペシャリスト) の応援は、3 か月間続けられ作業量の増加という難局を乗り切ることができた。加えて 3 台の CADC が信頼性改善対策の期間、貸与されることになり、air line にとって最大の課題であった不具合の追求と SB の実施が開始された。

この実際の整備作業と並行し、エンジニアリング部門の交流もひんばんに行なわれ、Lockheed, Sperry チームからは air line に対し次のような要求が出た。

- 1) SB を積極的に採用すること。
- 2) 機体が地上にあるときは、circuit breaker を trip し、通電時間を短縮する。
- 3) FIRM/FI (Fault Isolation Reporting Method /Fault Isolation) の運用を徹底し、確実に CADC の不具合を検出し得た場合のみ取り卸すこと。
- 4) Sperry 社の corrective action report に従って test を実施すること。

以上であったが、ここで第 3 項の FIRM/FI について

第1図

は詳述しない。これは飛行中の不具合をパイロットが FIRM マニュアルに従って、コード・ナンバーで地上へ連絡し、整備士はレポートされたコード・ナンバーから FI マニュアルにより不具合要因を知ろうというものであり、故障修理を迅速かつ正確に行なう目的で開発されたシステムである。

第4項の corrective action report による作業は air line のオーバーホールを次第に厳密で高度なものとしていった。一例として環境温度に変化を与える方法についても、従来から不具合を発見する手段として恒温槽に入れて温度の変化を与えると同時に作動状態の変化を見ることが常識とされていたが、変化の巾を -54°C から $+55^{\circ}\text{C}$ とすることはメーカーの試験の段階の規程であり、air line で実施する性質のものとしては考えられたことはなかった。この CADC の作業ではこの試験が要求された。それも不具合修理完了品について実施が義務づけられ、温度変化を与えても十分性能が保障されることを確認することが要求された。

この試験は、当初不具合部品を抽出することが目的であったが、結果として IC オペアンプの安定性が不十分である等、使用部品の不具合が発見されたものの、予期した程の使用部品のスクリーニング効果は出ず、意外なところに大きな落とし穴があることを発見

させることになった。

それは“半田付け”作業が施された部分であった。プリント基板が採用されるようになってから、半田付け作業の技術や品質も進歩してきたはずであったが、高密度化の実現で肉眼による不具合発見が困難になったことも手伝って、ホール部におけるクラックやパターン上の小さなクラックが存在していることがなかなか確認できなかったのである。これらは一定常温下の作動では不具合として表われない。

今日では、この温度テストと 10~100 倍のマイクロスコープによる検査のおかげで、相当な高率で発見処理されている。

半田付部の不具合は、オリジナル作業の上に修理作業を実施したとき発生しやすく、半田付け修理は局所的に実施してはならないということも常識化した。

また CADC の心臓部である高度センサー (altitude capsule) は真空になっているが、製造時内圧を抜く作業 (pressure Evacuation) が伴う。このとき封止するのが、いわゆる半田であるが、この半田封止作業の不均一性から高度センサーの特性のバラツキ、半田部の温度特性によるドリフトが発生していることも発見された。この点に対しては電子ビーム溶接等が考えられ種々検討中であるが、未だ製造技術上の問題が残っており、従前のとおり半田封止が実施されている。ただし品質管理の基準はより厳しいものとされている。

かくして第3表のように 22 項目の対策がたてられたが、この間、問題提起から対策のまとめまで2年間である。対策実施のための期間は約1年半であり、完了時期は 1977 年 10 月という計画になっている。いうまでもなく以上の計画は全 air line に対する総合的なものであり、全 air line 略同時に改修が進捗するよう計画が進められている。

5. 信頼性改善の見通し

機体メーカー、機器メーカー、air line 三者の技術検討が実を結び改善対策は着々と実行され、1977 年

第2図

第3図

内にすべての CAD/C が新設計部分も含み改修される予定であるが、機能部の信頼性向上もさることながら、不要機能の省略も信頼性向上に与える影響は大きい。“Simple is the best”の言葉どおり、その外観も全く一新された。不要機能の削除は故障要因の減少となるのである。

今後の改善は第3図に見られるような予測が成立するものと確信している。

航空機整備における非破壊検査*

6. あとがき

ここに述べた事例は、その程度の差こそあれ日常の air line 信頼性活動の典型と考えていただいてもよい。22 項目もの不具合部分を内在するコンポーネントをそうしばしば使わされては困るが、このような活動を可能とし効果的なものとするのはメーカーの良心と積極的な支援活動である。また、その支援をタイムリーに受けることができるよう、日常行なわれている国際的な規模の情報活動である。したがって air line は、その使用機器を選択するにあたってハードウェアの性能とともに、メーカーの選択をする必要がある。ある航空機に採用される機能部品が、ARINC のような、air line 向けの標準規格に基づいて各社で製作されることは絶対の条件である。

以上、air line において信頼性向上を進めていく過程と、効果的な対策を実施していくまでの間に必要なメーカーの協力、そして本例題にあっては、最新技術の産物に内在する古来伝統的な作業である“半田付け”の重要性について紹介した次第である。

1. ま え が き

非破壊検査とは、構造物やその材料を破壊しないで内部や外面にある欠陥を検出する検査手法で、一般には、船舶、車輛、航空機、橋りょう、原子力機器、化学プラント等の構造物に使用する素材の製造時および構造物の組立時における検査あるいは構造物の稼動中に発生する欠陥の検査等に広く活用されており、構造物等の安全の確保、製造技術の向上、品質保証の手段、生産原価の低減などの役割りを果たしている。

航空機整備における非破壊検査は、非破壊というよりも非分解による検査手法としての活用が多く、最近の航空機のように複雑な構造物や機能部品の検査では肉眼で検出できないような微細な傷あるいは複合構造物の内部で、組込まれた部材で目視できない部分に発生する傷、変形等の欠陥の検出に効果をあげている。第1表は、日本航空における航空機整備で適用している非破壊検査の状況を示したものである。次に航空機

吉 川 実**

整備における検査についての考え方ならびに非破壊検査の代表的な事例を記述する。

2. 検査に対する考え方

検査の目的として“良品と不良品とを区別する”と言うことが考えられる。しかし、現在は製造時の検査によって良品を選び出すということよりも、設計、工程、材料、設備、作業員等品質に関連する事項を徹底的に管理することによって、製品に品質を作り込むという品質管理の考え方の方が優れていることが広く認められている。信頼性を含めた品質保証を行なうには、いろいろの機能が必要であるが、その一つとして“検査”があげられる。航空機の信頼性の多くは、その設計と製造によって決まると言って差し支えない。したがって、ひとたび製造された航空機をわれわれが使用してゆく場合、ただ厳重に検査をすることのみによって高い信頼性を確保することは不可能で、設計、製造の段階で与えられた信頼性を基にして、これを長期にわたって維持することをあらゆる面から検討し、整備方式を考えなければならない。

航空機整備における仕事の多くは、航空機の各部の

* 昭和52年6月17日原稿受理 Nondestructive Inspection for Aircraft Maintenance

** 日本航空株式会社検査部 Minoru YOSHIKAWA