民間輸送機開発段階における信頼性管理*

萩 原 晟**
田 口 栄 次 郎**

1. ま え が き

公共輸送機関としての民間輸送機は、開発初期の段階から十分な管理計画に基づいて信頼性の維持、向上を計らないと、その本来の機能や使命を果たすことが困難である。そこで民間輸送機を開発している各国の航空機メーカーは過去の経験や知識のデータの蓄積から、それぞれ独自の管理技術を持ち、機体の設計、製造、運航を通じて信頼性の維持、向上に努めている。

現在、我国で計画している次期民間輸送機の開発作業においても、他機種と比べて同等以上の信頼性を確保するために経験は乏しいが、管理手法の研究や他事例の調査等を基礎として信頼性管理計画を策定している。

ここではその管理活動の概要と実際の管理面で使用される要素の中から一つの例として信頼度予測と配分のコンピューターを使った計算手法を紹介する。

2. 信頼性管理活動の概要

民間輸送機のライフ・サイクルを信頼性管理活動の面から分けると次の四段階で表わすことができる。

(1) 開発段階 (計画段階) 市場調査、機体仕様検討の時点からゴー・アヘッドまでの期間で、開発に必要な諸要素を総合的に検討し、技術水準・動向等を基礎とした目標値を設定して設計要求を確立するとともに管理手法の開発と作業活動の計画を作る。

(2) 設計段階 計画図の出図開始から製造図の出図完了までの期間でシステムの基本設計から細部設計に至るすべての時点で目標達成のためのトレード・オフを行なって妥当な設計品質を決定する。

(3) 製造・試験段階 製造図の出図完了より初号機の製造、飛行試験の実施と型式証明取得までの期間で、目標値を達成するための生産性との兼ね合い、図面と製品との合致の評価、要すれば設計改善等を行ない、ユーザーに引渡す前の実証を行なう。

(4) 就航段階 機体がユーザーに納入され運航を開始してから以後の期間で、実用性を向上するための改善努力、運航データの集積・解析およびそれに連る設計改善等のは正処置システムの完成が行なわれる。

以上の各々の段階において信頼性の維持・向上のために最適の手法や管理技術が必要とされ、実行にあたっては常時修正し、洗練されるべきものである。

3. 開発段階での信頼性管理活動

本段階における主要な作業である目標値の設定と信頼度予測、配分の計算手法について述べる。

3.1 信頼度の目標値 民間輸送機の信頼性目標値としては、出発信頼度、運航休止率等が考えられるが一般によく使われるのは出発信頼度 (Dispatch reliability) である。出発信頼度をどの程度の値に置くかは開発を行なう側にとっても大きな問題である。これは現在の能力、今後の技術予測、目標を達成するに要する費用と期間、そして競合機との比較といった面から決定される。例えば目標をあまり高いところに置くと技術的に達成困難となり、また仮に達成できるとしてもそのために要する費用と期間が過大となって経済

* 昭和50年11月10日飛行機シンポジウムにおいて講演、昭和52年3月29日原稿受理 Reliability Study in the Commercial Transport Development.

** (財)民間輸送機開発協会 Sei HAGIWARA, Eijiro TAGUCHI

第1図 信頼性管理活動の流れ

第2図 出発信頼度の目標値

第3図 出発信頼度の考え方

的に不利となる。このようなことから出発信頼度は他機との競争に十分に耐え、かつ技術的にも経済的にも達成可能な値に決めなければならない。

現在我国で検討されている次期民間輸送機の出発信頼度は15分以内の遅延を条件に就航1年目で98%、3年目で99%という値に目標を置いている。第2図に出発信頼度の他機との比較を示す。

実作業において、この目標値を各システムやコンポーネントに配分するわけであるが、配分にあたっては、過去の実績や各システム、コンポーネントの設計特性を基に安全性はもちろんのこと整備性やMEL（運用許容基準 Minimum Equipment List）等を考慮して設計要求という形で配分値が決められ、この要求を満足するように設計が行なわれる。第3図に出発信頼度の考え方を示す。

3.2 信頼度の予測 システムの信頼度の予測手法としては次のものが考えられる。

第4図 信頼性ブロック・ダイアグラム

(a) 各部分やコンポーネントの信頼度を積み上げてシステム信頼度を予測する方法

(b) 従来機のシステム信頼度を基に、運航上の相違、部品数の相違、技術水準の向上等を比較修正して開発機のシステム信頼度を予測する方法。

(b)の方法はボーイングやダグラスのような民間輸送機メーカーとして経験豊富で従来機種を数多く持っている場合には有効であるが、我国のように経験が少ない場合には(a)の方法に頼らざるを得ない。したがってここでは(a)の方法によりシステム信頼度を求める計算プログラムの概要を述べる。

(1) システムの想定 第4図に示すようなシステムを想定する。これは直列、並列の組合わせである実際の複雑なシステムをモデル化したものと考えてよい。

(2) ブールの真理表 第4図のようなシステムの場合、信頼度計算を行なう方法として、いくつかの方法が考えられるが、このプログラムは“ブールの真理表”を使って計算を行なう。

各部品の取り得る状態を“正常”と“故障”の二通りとするとシステムを取り得る状態は“ブールの真理表”で示すことができる。そこで第4図に示されている各部品の繋がりを基に“ブールの真理表”で示された各状態がシステムとして“正常”か“故障”かを逐次チェックして“正常”である状態の確率を合計すればシステム信頼度を求めることができる。

(3) システムの簡略化 航空機のシステムは多数の部品から成り立っており、本方法でシステム信頼度を求めようとすると計算時間が非常に長くなり実用的でない。そこでこのプログラムでは直列結合の部品は一つの等価部分に置き換え、さらに単純な並列結合の部品も統合してシステムを簡略してから“ブールの真理表”を用いてシステム信頼度を求めている。このプログラムにより各部品やコンポーネントについて信頼度のデータ（故障率やMTBF等）がそろえば、どんな複雑なシステムでも、信頼度を計算することができる。第5図にこのプログラムの流れを示す。

3.3 信頼度の配分 システムの信頼度目標を重量、コスト、容積、技術レベル等（これを配分要素と呼ぶ）の制約下で、より有効に達成するためには配分要

第5図 信頼度予測プログラム

素間でトレード・オフされた信頼度を各部品に配分しなければならない。ここで述べる信頼度配分のプログラムは、各配分要素が定量的に与えられた場合、信頼度の目標が「ある場合」と「ない場合」の各組合せについて各部品に配分要素間の優先度を考慮して信頼度を配分することが可能である。

(1) プログラムの流れと基本的事項 このプログラムに用いた基本的性質は次の3つである。

(a) より信頼度の低い部品の信頼度を改善する方がシステム全体での効果大きい。

(b) 1個の部品の信頼度を改善するより数個の部品の信頼度を改善する方がシステム信頼度が向上し、一方配分要素の増加が少ない場合は後者をとる。

(c) 配分要素に優先度がある場合は、有効度の大きいものから改善する。

このプログラムの流れは第6図に示されている。システムを構成する部品の信頼度、配分要素値、改善に要する配分要素値、配分要素の制限値、システム信頼度の目標値、各部品の繋がり情報等が与えられると、優先度のない場合は信頼度の低い部品から、優先度のある場合は優先度を持った配分要素に対する有効度の大きい部品から、逐次信頼度の改善を行ない、制限値あるいは目標値に達するまで改善を行なう。

第6図 信頼度配分プログラム

(2) 計算例 10個の部品が直列に結合されているシステムを想定し、このシステムの信頼度をコスト、重量、容積を配分要素として95%まで高める場合の計算例を第1表に示す。

ケース1は配分要素に優先度がない場合で、改善に要したコスト、重量、容積はそれぞれ“425”、“382”、“1,232”である。ケース2,3,4は各配分要素に優先度を与えた場合で、改善に要した各配分要素のうち、優先度を与えた配分要素はそれぞれケース1と比較すると少なくなっている。

4. む す び

以上述べたような管理手法を用いて信頼性管理活動を行なうわけであるが、民間輸送機の開発において、開発初期の段階より信頼性管理を十分に行なって開発を進める方法は我が国においては初めての試みであり、今後開発を進める過程において種々の問題が発生することが予想されるが、優れた製品を生み出すためには是非とも必要なことである。そして今後開発を続けるにあたっては、各段階において得られたデータを常に設計作業にフィードバックすることにより信頼性の向上を計る努力を継続することが大切である。

参 考 文 献

- 信頼性管理便覧：日刊工業新聞社
- 信頼性文献抄訳集：日科技連

第1表 信頼度配分計算例

部品	信頼度 (R)	コスト (C)	重量 (W)	容積 (V)	1			2			3			4								
					計算ケ- ス			0.95			0.95			0.95								
					目 標 値			な し			コスト			重 量								
					R	* C	W	V	R	* C	W	V	R	* C	W	V	R	* C	W	V		
1	0.999	2	5	14		0.999	0	2	5	14	0.999	0	2	5	14	0.999	0	2	5	14		
2	0.99	7	60	9		0.99	0	7	60	14	0.99	0	7	60	14	0.9999	1	14	120	18		
3	0.98	8	90	130		0.9996	1	16	180	260	0.9996	1	16	180	260	0.98	0	8	90	130		
4	0.98	6	4	5		0.9996	1	12	8	10	0.9996	1	12	8	10	0.9996	1	12	8	10		
5	0.95	30	3	50		0.9975	1	60	6	100	0.9975	1	60	6	100	0.99988	2	90	9	150		
6	0.92	3	20	70		0.9936	1	6	40	140	0.99945	2	9	60	210	0.99949	2	9	60	210		
7	0.9	50	17	3		0.99	1	100	34	6	0.99	1	100	34	6	0.999	2	150	51	9		
8	0.88	70	104	80		0.99827	2	210	312	240	0.9856	1	140	208	160	0.9856	1	140	208	160		
9	0.85	90	4	107		0.99663	2	270	12	321	0.99663	2	270	12	321	0.99949	3	360	16	428		
10	0.83	4	16	300		0.99509	2	12	48	900	0.99503	2	12	48	900	0.99917	3	16	64	1200		
合計	0.46386	270	323	768		0.95996	11	695	705	2000	0.95339	11	628	621	1990	0.95205	14	794	571	2320		
改善に要した配分要素値					425			382			1232			358			298			1222		
					270			323			768			14			794			571		
					478			443			944			766			1712					

* 改善回数/元長度