論文

ファジィ推論による電子機器の信頼度予測について†

村田 忠* 小川 幸成*

本論文では、電子機器の信頼度 (MTBF) を述べている。電子機器とか精密機器がフィールドで使用される場合、機器の設計 MTBF と実測 MTBF の間には通常大きな差異がある。この問題は、主として機器の加工や組立作業の不慣れのワークマンシップ不良による初期故障のためであるが、そのことが長い期間継続することがしばしば生ずる。本論文は、フィールドで使われる航空機用電子機器の MTBF をファジィ推論で予測している。そして各期間毎にその予測 MTBF がフィールドでの実測 MTBF と比較され、約±10 %程度で近似していることを確認した。これらのことにより本論文は、ファジィ推論が機器の信頼性工学の分野でも有効であり、補用部品/機器の調達計画にも有用であることを指摘している。

キーワード：電子機器，信頼度予測，MTBF，FMEA，ファジィ推論

1. はじめに

信頼性工学の分野にファジィ理論を導入した論文として、人間の信頼性¹⁾とか、構造物の信頼性²⁾についてはいくつかの報告がある。しかし、電子機器または精密機器についての報告はあまり見かけないようである。本論文では、航空機用電子機器(エアーデータ・コンピュータ)について、フィールドにおける実測 MTBF (mean time between failures, 信頼度の尺度の一つ) とファジィ推論による予測 MTBF について検討し、若干の知見を得たので報告する。

電子機器とか精密機器がフィールドで使用される場合、一般に設計の信頼度 (MTBF) と実測 MTBF の間には大きな差異がある。この問題は主として機器の加工や組立作業の不慣れのワークマンシップ不良による初期故障のためであるが、そのことが長期間継続することがしばしば生じる。

このような場合、製造メーカーの設計と製造部門の技術者は当該機器の信頼性改善に懸命な努力を

する。勿論、機器の MTBF は、主として作業者のワークマンシップ、部品の品質、機器の設計そのもの等に関係している。

本論文は、航空機用電子機器の設計 MTBF とフィールドでの実測 MTBF を述べ、ついでフィールドの各期間毎の機器 MTBF をファジィ推論で予測している。そして、それぞれの予測 MTBF は実測 MTBF と比較され、それに基づいてファジィ推論の有効性と問題点を論じている。

2. 機器の故障データ

問題にしている航空機用電子機器(エアーデータ・コンピュータ)の外観を図1に示す。そしてその機器の設計 MTBF と数年間にわたるフィールドの実測 MTBF を図2に示している³⁾。

図1 航空機用電子機器(エアーデータ・コンピュータ)の外観

† Reliability Prediction of Electronic Equipment with Fuzzy Inference

Tadashi MURATA and Yukinari OGAWA

* 琉球大学 工学部 機械工学科

Faculty of Engineering, Univ. of Ryukyus

図2 機器の設計 MTBF と実測 MTBF

図2の縦軸は機器の MTBF を、横軸はカレンダー時間をそれぞれ示している。この図の実測 MTBF はフィールドにおける月当りの飛行時間と機器の故障数から計算される。月毎の MTBF は変化がはげしいが、年平均の MTBF は年毎に確実に改善されていることがわかる。このことは製造メーカの当該機器にたずさわるすべての技術者の信頼性改善努力によるものである。しかし、それでも実状は、年平均の実測 MTBF は、改善された後で設計 MTBF の約半分に達しただけである。

機器の信頼度、すなわち、機器の MTBF は次式で与えられる。

$$\text{MTBF} = T / r \quad (1)$$

ここで；

MTBF：機器の信頼度(平均故障間隔)

T ：月当りの総飛行時間

r ：月当りの機器故障数

3. ファジィ推論による MTBF 予測

3.1 ファジィ・ルール表

フィールドの各時期別の機器の予測 MTBF を求めるため次式を用いる。

$$y_i = k_i \cdot y_0 \quad (2)$$

ここで；

y_0 ：機器の設計 MTBF

y_i ：フィールドの i 期間における機器の予測 MTBF

k_i ：フィールドの i 期間での予測係数

フィールドの i 番目の期間における予測係数 k_i を求めるため、この場合、ベテラン技術者の経験と知識から表1に示すようなファジィ・ルール表を用いた。すなわち、予測係数 k_i がファジィ推論で求められた。表1の M_1 、 M_2 および M_3 は、それぞれ次の項目に対応させている。

M_1 ：man(製造メーカにおける作業者の熟練度)

M_2 ：method(加工や組立作業等の作業指示書

表1 予測係数 k_i のファジィ・ルール

$M_3 = Z$

		M_2		
		N	Z	P
M_1	N	-	N	-
	Z	N	Z	P
	P	-	P	-

の内容, レベル)

M_3 : material (部品または原材料の品質)

P : positive, Z : zero, N : negative

なお, その他の項目に M_4 として, 加工/組立装置や tool も考えられるが, 問題の期間中, それらはあまり変更していないため取り上げなかった。

3.2 FMEA 法を用いたファジィ・ルール⁴⁾

IF-THEN ルールを作成する場合, 一般にベテラン技術者の経験とか知識を用いてファジィ・ルールを作る。このようなとき, 知識・情報の多くを収集し, 整理するために FMEA (故障モード影響解析) 法が役立つ。すなわち, FMEA 法は知識獲得支援技法として活用できることが報じられている⁵⁾。この方法は, 現在, 信頼性設計技法として広く採用されており, その FMEA 法の手順を次に示す⁵⁾。

- (1) 故障しやすいと思われる特定部品の故障現象をリストアップする。
- (2) 技術者の経験とか知識に基づいて, その部品の故障の推定原因をリストアップする。
- (3) その部品が故障することによっておきる機器の機能的不具合を書き出す。

図3 ポテンショメータの外観

- (4) その部品の故障発生頻度を書き出す。
- (5) その部品の故障によっておきる機器の故障の程度を書き出す。
- (6) 上記の情報を用いて, FMEA 表を作成する。

もし, 上記の (4), (5) の値が大きければ, その部品または機器の設計を変更して, 機器の設計信頼度の改善を図らなければならない。図3のポテンショメータ (精密可変抵抗器) の FMEA 表の一例を表2に示す。この FMEA 表において, 欄(2)-(5)の情報はファジィ・ルールの前件部に, 欄(6), (7)の情報は後件部に対応していることがわかる。また, FMEA 表の damage degree 欄(7)の故障発生頻度と故障(機能)程度の評価基準を表3に示す。

表2 FMEA 表の一例

system:		F M E A table (failure mode and effects analysis)				date: prepared by:	
(1) No.	(2) item	(3) failure function	(4) failure mode	(5) estimated cause	(6) effect to system	(7) system damage degree	(8) action
3-1	poten- tiometer	noise voltage exceed	wear-out	a life of part ends	output is un- stable	(b) (3)	change to more reliable part

表3 機器故障のきびしさ評価基準

(A) 発生頻度による評価基準

等 級	基 準
(1)	非常にしばしば発生する
(2)	ごく普通に発生する
(3)	少ないが発生しうる
(4)	めったに発生しない

(B) 任務達成(機能)に重点をおいた評価基準

故障等級	基 準
(a) 致命故障	任務放棄, 人命が損失
(b) 重大故障	任務の重大な部分が達成不能
(c) 軽微故障	任務の一部分が達成不能
(d) 微小故障	影響がほとんどない

故障等級の低いものはFMEAを実施しない。

4. メンバシップ関数形状

ファジィ推論の前件部と後件部で採用した P, Z, N のメンバシップ関数形状をそれぞれ図 4, 図 5 に示す。非ファジィ値に変えるため、重心法で計算するが、その際、max・min 法と限界和法を比較検討した結果、表 4 に示すように、推論値が実測値により近似する限界和法を後件部の合成に用いた。

図 4 でわかるように、前件部のメンバシップ関数形状は一般的な形状である。しかし、一方、後件部の関数形状は、予測 MTBF をできるだけフィールドの実測 MTBF に近似させるため試行錯誤を繰り返して得られた形状である。このようにして実測 MTBF に高い近似度の予測 MTBF を求めることが可能となった。ファジィ推論の演算過程の一例を図 6 に示す。また、ファジィ推論での入力情報として、各期間別に表 5 の input information のものを用いた。

表 4 係数 k_i の合成法別推定結果の比較

合成法 入力情報		max・min 法			限界和法		
		A	B	C	A	B	C
クリスプ	推定	0.34	0.50	0.68	0.28	0.50	0.68
	実測	0.27	0.57	0.62	0.27	0.57	0.62
	推定/実測	1.26	0.88	1.10	1.04	0.88	1.10
ファジィ	推定	0.37	0.50	0.63	0.36	0.50	0.62
	実測	0.27	0.57	0.62	0.27	0.57	0.62
	推定/実測	1.37	0.88	1.02	1.33	0.88	1.00

入力情報の記号 A: more or less Negative, B: Zero, C: more or less Positive

図 4 前件部の関数形状

図 5 後件部の関数形状

5. 推定結果の検討

ファジィ推論で得られた予測 MTBF をフィールドにおける各期間毎の実測 MTBF と比較する。これらの MTBF データは表 6 に示されている。この表から実測 MTBF は、現実には機器の設計 MTBF より非常に低い値である。この問題は別の文献⁶⁾で著者によって論じられている。予測 MTBF は、表 6 に示されるようにフィールドの実

表 5 予測係数 k_i の計算結果

INPUT information		factor K_i (= y_i/y_c)
period (Fig.2)	INPUT	
(1) initial period	more or less negative	0.28
(2) rel. improving period	zero	0.50
(3) later period	more or less positive	0.68

where: y_c : design MTBF, y_i : predicted MTBF

図 6 ファジィ推論の演算過程の一例

測 MTBF と約±10%程度(表 6 の(b)/(a)参照)で近似していることがわかる。このように比較的高い近似性が得られた原因として次のことが考えられる。

機器の故障に影響を与える要因を 3 つに大別できたこと。すなわち, (1)man;これは製造メーカにおける加工や組立・調整作業者等の作業熟練度に関する要因である。(2)method;これは加工および組立・調整作業の作業指示書の内容とかレベルに関する要因である。(3)material;これは原材料とか部品の品質に関する要因である。その他として machine(tool)の要因もあるが, 当該期間中, それらはほぼ同一のものを使用したため, 本論文ではとくに要因として取り上げなかった。

図 2 の(2)時期(信頼性改善時期)には 設計・製造部門の技術者および作業者の血のにじむ改善努力の結果が実測 MTBF の数値に現れてきている。同様な改善努力でも, (3)時期(使用後期)ではその効果があまり現れていない。その理由は別の文献⁶⁾に説明がある。

さらに, IF-THEN ルールを作成するため, FMEA 表を活用したことにより, 多くの技術的情報の収集と整理に役だったことによる。勿論, 前件部と後件部のメンバーシップ関数形状の選定およびファジィ演算法の工夫(後件部に限界和の採用)が大きく貢献している。

6. 結 論

本論文では, 航空機用電子機器(エアデータ・コンピュータ)の予測 MTBF がファジィ推論法で計算され, その予測 MTBF がフィールドにおける各期間毎の実測 MTBF と比較・検討された。検討の結果, 次のいくつかの知見を得た。

- (1)信頼性設計技法として開発された FMEA 法が IF-THEN ルールを作成するのに役立つことが判明した。その方法は, 機器故障について多くの技術情報を収集するのに役立つと同時に, 多くの知識や経験を IF-THEN ルールの形式に整理するのにも便利である。
- (2)ファジィ推論で求められた予測 MTBF は, フィールドにおける実測 MTBF と約±10%程度で近似させることができた。(表 6)
- (3)これらの MTBF(予測, 実測 MTBF)の近似度をより一層向上させるためには, メンバーシップ関数形状をより適切なものにし, その横軸への数値の割付, および後件部の合成法, 非ファジィ値の求め方, 等に工夫が必要である。

以上のように, 本研究において, ファジィ推論を用いることによって, 機器の実測 MTBF に近い予測 MTBF が得られることをデータによって確認した。これらの事実から, ファジィ推論を採用することにより, フィールドで使用される電

表 6 予測 MTBF と実測 MTBF の比較

period terms (Fig.2)	(a)	(b)	(b)/(a)
(1) an initial period	0.27	0.28	1.04
(2) reliability improving period	0.57	0.50	0.88
(3) a later period	0.62	0.68	1.10

Notes: (a): real MTBF / design MTBF,
 (b): predicted MTBF / design MTBF,
 (b)/(a): predicted MTBF / real MTBF, (predicted error)

子機器の部品や機器の補用品調達計画が従来よりもより正確に行える可能性がある。換言すれば、ファジィ推論法は、運用上、部品／機器の整備計画精度の改善に貢献できる。

参 考 文 献

- (1) 鬼沢武久：ファジィ推論を用いた人間の信頼性評価，計測自動制御学会論文集，Vol.20，No.6，pp.498-505(1988)
- (2) 古田均，田中洋：構造工学へのファジィ理論の応用，日本ファジィ学会誌，Vol.2，No.3，pp.276-288(1990)
- (3) T.Murata: Reliability case history of air-borne Air Data Computer, IEEE, Trans. Reliability, Vol.R-24, No.2, pp.98-102(1975)
- (4) 村田忠，島袋英作：Fuzzy 推論を用いた FMEA 表の作成法の検討，電子情報通信学会，信頼性研究会，R91-25，pp.23-28(1991)
- (5) 村田忠：信頼性工学からみた診断用エキスパートシステムの知識獲得支援技法，人口知能学会全国大会講演集，No.6-12，pp.307-310(1987)
- (6) 村田忠：電子機器の MTBF の予測と実測に関する一考察，電子通信学会，信頼性研究会，R73-24，pp.1-14(1973)

(1992年 7 月30日 受 付)

(1993年 2 月27日 再受付)

[問い合わせ先]

〒903-01 沖縄県中頭郡西原町千原一
琉球大学 工学部 機械工学科
村田 忠
☎：098-895-2221(内)2719
☎：098-895-4377

著 者 紹 介

村田 忠 (むらた ただし)

琉球大学 工学部 機械工学科

昭和32年 大阪大学大学院 工学研究科修士課程(通信工学専攻)修了，同年 (株)島津製作所 入社，主として航空機用電子機器の信頼性改善の研究に従事し，TQC 事務局長，東京研究所を経て，平成元年 琉球大学工学部教授，現在に至る。工学博士，「実務に役立つ信頼性技術」(日刊工業新聞)，「故障解析ガイドブック」(共著)(日科技連)，他の著書，日本ファジィ学会，品質管理学会，信頼性学会，電子情報通信学会，機械学会，等の会員。大学で「計測と制御」，「信頼性工学」を担当。

小川 幸成 (おがわ ゆきなり)

琉球大学 大学院 修士課程

1992年 琉球大学 工学部機械工学科卒。現在，同大学大学院 修士課程在学中。ファジィ理論の応用に興味を持つ。信頼性学会の会員