ショートノート

ファジィ推論による装置の最適点検周期†

村田 忠* 高屋 英司*

大規模な生産設備の最適点検周期を求めるため、種々のモデル式が作られている。しかし、そのモデル式中にあいまい因子が含まれており、最適点検周期の最適解を求めるのは一般に困難である。

本論文ではモデル式中のあいまい因子を求める方法として、ファジィ推論法を適用することを提案する。推定されたあいまい因子をモデル式に代入し、最適点検周期を求める。さらに、ファジィ推論適用時の留意事項を述べる。

キーワード：生産装置、信頼性、点検周期、トータルコスト、ファジィ推論

検周期を論じる⁽⁴⁾。

1. はじめに

電力会社、化学工場のように大型設備や装置を使用して原材料等を生産するプラント工場において、それらの生産装置の定期点検周期をどのように決めたり、修正するかは保全性や経済性の問題等がからみ、信頼性工学上、重要な課題となっている⁽¹⁾。

すなわち、生産装置の点検周期を長期に設定すれば、もしその期間中に生産装置が故障すれば、予期せぬときに生産ストップという重大な損害を受け、かつ生産装置の修理に長時間が必要になることもある。一方、定期点検周期を著しく短期に設定すれば、点検回数が多くなるため点検に要する人件費が高くなり、かつ点検のための生産ストップも多くなり、経済的とは言えない。

そのため信頼性工学上、大規模な生産装置の定期点検周期について種々の条件の下でモデル式が作られている⁽²⁾⁽³⁾。しかし、それらのモデル式中に若干のあいまい因子が含まれている。本論文では、生産装置として自動加工機械装置のマシニングセンタ(MC)を取り上げ、その最適点検周期を求める際、ファジィ理論の推論技法を適用して最適解を求める方法を提案する。勿論、点検周期の変更については、統計分析的な方法やベイズ理論を用いた方法も考えられる。しかし、それらの方法はいずれも先験的な条件と最近の故障データに基づく色々な後験的な条件等が必要である。一方、ファジィ推論によれば、本論文で説明するように装置の故障発生確率と生産性上の損失金額の情報が考慮しやすい利点がある。従って、上記の利点を生かして本論文では、ファジィ推論法を採用して、装置の最適点

2. 生産装置の点検周期の理論式

生産設備の予防保全からみて、最適点検周期のモデル式が種々の制約条件の下で誘導されている⁽²⁾⁽³⁾。例えば、最適点検周期の設定について、① トータルコスト最小の立場からの設定、② アベイラビリティ最大の立場からの設定 等がある。本論文では、① のトータルコストを最小にするという条件の下で、生産装置の最適点検周期をファジィ推論法を適用して算出する。

2.1 装置の最適点検周期

生産装置の予防保全からみて、トータルコスト最小の立場から装置の点検周期の式は次のように誘導される⁽²⁾。

- a：警報機の故障率(1/時間)，
 - b：緊急事態が起きる率(1/時間)
 - A：定期点検1回当たりのコスト，
 - B：緊急事態による損失コスト， t_p ：点検周期(時間)
 - ・点検後 t 時間以内に緊急事態が起きない確率
： e^{-bt}
 - ・ $(t, t+dt)$ に警報機が故障する確率： $ae^{-at}dt$
 - ・ $(t+dt, t_p)$ に緊急事態が起きる確率： $1-e^{-b(t_p-t)}$
- したがって、生産装置の緊急事態(事故)が t_p の間に起きる確率 P は次式で与えられる；

$$P = \int_0^{t_p} e^{-bt} ae^{-at} (1 - e^{-b(t_p-t)}) dt$$

$$= \{a/(a+b)\} \{1 - e^{-(a+b)t_p}\} - e^{-bt_p} (1 - e^{-at_p}) \quad (2.1)$$

A/t_p ：単位時間当たりの点検コスト

BP/t_p ：単位時間当たりの緊急事態による損失コスト

とすると、単位時間当たりのトータルコスト C は；

† An Optimum Decision on an Inspection Period of a Production Machine with Fuzzy Reasoning

* Tadashi MURATA and Eiji TAKAYA
琉球大学 工学部

Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

$$C = (A/t_p) + (BP/t_p) \tag{2.2}$$

$(a+b)t_p \leq 1$ とすると

$$P \doteq abt_p^2 \tag{2.3}$$

であるから、次式が得られる。

$$C = (A/t_p) + Babt_p \tag{2.4}$$

式(2.4)を t_p について微分し、零とおき、 t_p について解くと、最適点検周期 t_p は；

$$t_p = \sqrt{A/(abB)} \tag{2.5}$$

これらの関係を示せば図 2.1 のようになる。

Fig.2.1 Inspection period t_p and parameter

3. ファジィ推論の適用

3.1 基本的な考え方

生産装置の最適点検周期 t_p は式(2.5)で求まる。定期点検コスト(A)は既知でほぼ一定であるが、緊急事態が起きる率(b)と緊急事態による損失コスト(B)は、あいまい量であるため一般に前もって確定することは困難である。そこで過去の経験や技術情報に基づき、ファジィ推論を用いてあいまい因子の b と B を推論する必要がある。まず図 3.1 に示すようにファジィ推論を適用し、 b と B を別々に推定した後、それらの値を用いて式(2.5)より t_p を計算する方法を採用する。また、この生産装置、マシニングセンタ(MC)の点検周期に影響を及ぼす因子として次のものを採用する(表

Fig.3.1 Applied method for fuzzy inference

3.1, 表 3.2)。

① 作業者に関する因子(M_{11})

② 環境に関する因子(M_{12})

③ 稼働期間に関する因子(M_{13})

④ コストに関する因子(M_{21} , M_{22})

⑤ 故障発生情報の因子(M_{23})

Table3.1 Elements and labels of risk rate (b)
(example)

symb	element	explanation of label		
		N	Z	P
M11	worker's skill	skill	normal	not skill
M12	environment	good	normal	poor
M13	machine use term	<5 year	5~9	>10

(2) THEN-part of rate (b)

label	content of label
N	10^{-7}
MN	10^{-6}
Z	10^{-5}
MP	10^{-4}
P	10^{-3}
VP	10^{-2}

Table3.2 Elements and labels of risk loss cost ratio (B/A) (example)

(1)IF-part of risk loss cost ratio (B/A)

symb	element	explanation of label		
		N	Z	P
M21	item cost	low cost	normal	high cost
M22	item quantity	few	normal	many
M23	machine fail.level	low	normal	high

(2)THEN-part of risk loss cost ratio (B/A)

label	-content of label
N	10^0 times to cost A
MN	$10^{0.5}$ "
Z	10^1 "
MP	$10^{1.5}$ "
P	10^2 "
VP	$10^{2.5}$ "

Note: cost A = inspection cost (known)

3.2 ファジィルールとメンバシップ関数

生産装置の緊急事態の発生に関するファジィ IF-THEN ルールとメンバシップ関数は、過去の経験や技術情報に基づいて次のように与えられる (表 3.1, 表 3.2)。ただし、ここではファジィ推論の応用の場として、生産装置、マシニングセンタ (MC) を考え、緊急事態の発生率や損失額等をすべて仮想して以下の議論をすすめる。

(1) ファジィ IF-THEN ルール (例)

R_b-1: IF 作業員 (M_{11}) が未熟練 (P) であり、かつ作業環境 (M_{12}) が劣悪 (P) であり、かつ生産装置の使用 (M_{13}) が 10 年以上 (P) であれば、
THEN その生産装置の緊急事態が起きる率 (b) はほぼ 10^{-2} (VP) である。

R_b-2: IF 作業員 (M_{11}) が熟練 (N) しており、かつ作業環境 (M_{12}) が快適 (N) であり、かつ生産装置の使用 (M_{13}) が 5 年以下 (N) ならば、
THEN その生産装置の緊急事態が起きる率 (b) はほぼ 10^{-7} (N) である。

R_B-1: IF 生産品目 (M_{21}) が安価 (N) であり、かつ生産量 (M_{22}) が少なく (N)、かつ生産装置の故障レベル (程度) (M_{23}) が低い (N) ならば、
THEN その緊急事態による損失コスト (B) は定期点検コスト (A) とほぼ同程度 (N) である。

R_B-2: IF 生産品目 (M_{21}) が高価 (P) であり、かつ生産量 (M_{22}) が多く (P)、かつ生産装置の故障レベル (M_{23}) が高い (P) ならば、
THEN その緊急事態による損失コスト (B) は定期点検コスト (A) のほぼ $10^{2.5}$ 倍 (VP) である。

(2) メンバシップ関数

生産装置 (MC) に緊急事態が起きる率 (b) と緊急事態による損失額 (B) に関する IF-部と THEN-部のメンバシップ関数を図 3.2, 図 3.3 にそれぞれ示す。また各要因の項目とラベルの説明を表 3.1, 表 3.2 にそれぞれ示す。

(3) ファジィ IF-THEN ルール表

生産装置 (MC) に関する緊急事態の起きる率 (b) と緊急事態による損失コスト (B) に関するファジィ IF-THEN ルールを過去の経験と技術情報に基づいてまとめてマトリックスにした例を表 3.3 に示す。

(4) ファジィ推論の適用の方法

(A) 入力情報

前述のファジィ IF-THEN ルールとメンバシップ関数を用いて min・max 重心法により緊急事態の発生率 (b) と損失コスト (B) を推論する。まず推論演算への入力情報 (シングルトン) は表 3.4 のものを用いる。

ここで、入力情報の扱い方の一例を次に示す。作業

者の作業スキル (M_{11}) がやや高い (MN) 場合、図 3.4 に示す IF-part 部の M_{11} 図の N (skill) と Z (normal) の中間値 (MN) が入力値であると決めている。

Fig.3.2 Membership function shapes of risk rate (b)

Fig.3.3 Membership function shapes of risk loss cost ratio (B/A)

Table3.3 Fuzzy IF-THEN rules for b and B (example)

(1) rule for risk (b) $M_{13}=Z$ (2) rule for risk loss cost ratio (B/A) $M_{23}=N$

		M_{12}		
		N	Z	P
M_{11}	N	Z	Z	MP
	Z	Z	MP	P
	P	MP	P	P

		M_{22}		
		N	Z	P
M_{21}	N	N	N	MN
	Z	N	MN	Z
	P	MN	Z	Z

Table3.4 Input information to fuzzy inference (example)

case	input on b			input on B/A		
	M_{11}	M_{12}	M_{13}	M_{21}	M_{22}	M_{23}
①	MN	MN	MN	MN	MN	MN
②	Z	Z	Z	Z	Z	MN
③	MP	MP	MP	MP	MP	MN

Note: N:Negative, MN:Medium Negative, Z:Zero, MP:Medium Positive, P:Positive

(B) b と B のファジィ推論値の算出

表 3.3 のファジィ IF-THEN ルールを用い、一例として表 3.4 case ①の入力情報をインプットしてファジィ推論を行う。その図的解析は図 3.4 の様になる。表 3.4 case ①～③の入力情報を与えた推論結果を表 3.5 に示す。

(C) 最適点検周期の推定

表 3.5 に示す緊急事態の起きる率(b)と損失コスト(B)の推定値を式 (2.5) に代入し、最適点検周期 t_b を算出する。ただし、ここで警報機の故障率(a)を $10^{-6.0}$ とする。また図 2.1 のグラフからも t_b を求め、それらの値を表 3.6 に比較して示す。

Fig.3.4 Fuzzy inference calculating process (example)

Table3.5 Fuzzy inference values of b and B/A

input	b	B/A
①	$10^{-3.5}$	17.8
②	$10^{-3.0}$	31.6
③	$10^{-2.5}$	56.2

Note ; b : risk rate

B : risk loss cost

A : inspection cost (known)

input case No. : see Table 3.4

4. 推論値の検討

ある大型の生産装置、マシニングセンタ (MC) を想定して、ファジィ推論法の適用を試みた。本論では、生産装置 (MC) の緊急事態を予想した最適点検周期を、トータルコスト (定期点検コストと緊急事態での損失コスト) を最小にするという条件の下で検討を行った。緊急事態の発生率(b)や損失コスト(B)はあいまい量であるため、それらの値を推定するのにファジィ推論法を用いた。当該装置や損失額等についてこれまでの経験値のデータベース化が必須である。本論では推論演算で入力情報としてシングルトン (値) を用いたが、幅の狭いファジィ値を使用する事も可能である。また、更にファジィ推論演算の結果を感度解析することが望ましい。そのためには、演算時に因子の重みづけを行うべく、次の点に特に留意する必要がある；① 点検周期への影響の重要性を考慮して因子のレベルを区分けをする、② ファジィ推論演算で影響の重要性を考慮してメンバシップ関数の形状を決める。なお、表 3.6 に示すように、式 (2.5) で求めた最適値 t_b は多くの有効数字が得られている。一方、図 2.1 で ab , B/A を用いて求めた最適値 t_b は当然かなり丸められた値となっている。 a , b , B/A の値が計算等で得られた場合、実用上は、目視で理解しやすい図 2.1 より最適点検周期 t_b を求めることでよい。

5. 結 論

自動加工機械装置、マシニングセンタ (MC) を取り上げ、その最適点検周期を求めた。この場合、トータルコストを最小にする条件でファジィ推論法を適用し、次のような知見が得られた。

- (1) 最適点検周期のモデル式中のあいまい因子 (緊急事態の発生率とその損失コスト) をファジィ推論法を用いて推定することが可能である。
- (2) あいまい因子の推定値をモデル式に代入して、最適点検周期を求めることができる。

Table3.6 Optimum inspection period t_b

input case	optimum inspection period (Hrs)	
	by equation (2.5)	by Fig.2.1
①	13,328.8 (18.5 ヶ月)	13,800
②	5,625.4 (7.8 ヶ月)	5,800
③	2,372.1 (3.3 ヶ月)	2,300

Note : see Table 3.4 for input case No.

(3) ファジィ推論法を上手く適用するためには当該生産装置に関して、① これまでの装置点検で得られた不具合データ、② 故障修理データ、③ 緊急発生データ、④ 損失コストデータ等の工場での装置保全に関するデータを収集整理(統計処理を含む)し、それらのデータを信頼性/保全性のデータベースとして活用することが必要である。

(4) ファジィ推論法での推論演算にあたって、推定値の精度を高めるには、メンバーシップ関数形状や合成法等についても今後多くの検討が必要である。

一般に生産装置の定期点検周期の見直しや修正を行う際、本論で述べたようにファジィ推論の考え方を導入することにより、最適点検周期決定のコンセプトを与えることができる。

参 考 文 献

- (1) 市田嵩：保全性工学入門，日科技連，(1976)
- (2) 菅野文友：信頼性工学，コロナ社，(1990)
- (3) 三根久，河合一：信頼性・保全性の基礎数理，日科技連，PP.152-161，(1984)
- (4) 村田忠：ファジィ理論による電子機器の信頼性評価，ファジィ学会誌，Vol.5，No.5pp.981-990，(1993)

(1995年6月20日 受付)

(1996年2月29日 再受付)

[問い合わせ先]

〒903-01 沖縄県中頭郡西原町1

琉球大学工学部機械システム工学科

村田 忠

TEL : 098-895-8625

FAX : 098-895-6406

E-mail : murata@tec.u-ryukyu.ac.jp

著 者 紹 介

村田 忠 (むらた ただし)

琉球大学工学部機械システム工学科

1957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，1988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」(日刊工業新聞社)，「故障解析ガイドブック」(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，機械学会等会員。大学で「計測と制御」，「信頼性工学」，「品質管理」を担当。

高屋 英司 (たかや えいじ)

琉球大学大学院機械工学専攻

1994年 琉球大学工学部機械工学科卒業。現在、同大学院機械工学専攻修士在学中。

An Optimum Decision on an Inspection Period of a Production Machine with Fuzzy Reasoning

by

Tadashi MURATA and Eiji TAKAYA

Abstract :

An optimum decision on a production machine inspection period is difficult because there are some failures and large loss cost for maker, if the period is too long, on the other hand there is no economical policy due to many machine stops and inspection labor costs, if the period is short. A model equation on the inspection period is studied in maintainability engineering, but some fuzzy elements as a failure distribution form and a repair time are involved in the model equation. In this paper those fuzzy elements are inferred with fuzzy reasoning, and the optimum inspection period is based on a model equation.

Keywords : Production machine, Reliability, Inspection period, Total cost, Fuzzy inference

Contact Address : **Tadashi MURATA**

Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

Nishihara Okinawa 903-01, Japan

TEL : 098-895-8625

FAX : 098-895-6406

E-mail : murata@tec.u-ryukyu.ac.jp