



タイトル Title	ファジィ集合による電気推進とディーゼル船の機器重要度に関する比較評価(Comparison of importance degree of machinery in Diesel-powered and Electric propulsion ships by Fuzzy set)
著者 Author(s)	角, 真佐紀 / 野田, 篤史 / 石田, 憲治
掲載誌・巻号・ページ Citation	神戸大学海事科学部紀要 = Review of the Faculty of Maritime Sciences, Kobe University,1:7-12
刊行日 Issue date	2004-07
資源タイプ Resource Type	Departmental Bulletin Paper / 紀要論文
版区分 Resource Version	publisher
権利 Rights	
DOI	
JaLDOI	10.24546/00420839
URL	<a href="http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/00420839">http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/00420839</a>

# ファジィ集合による電気推進とディーゼル船の機器重要度に関する比較評価

Comparison of importance degree of machinery in Diesel-powered and Electric propulsion ships by Fuzzy set

角 真佐紀 野田 篤史 石田 憲治  
KADO Masanori NODA Atsushi ISHIDA Kenji  
(平成16年4月9日受付)

## Abstract

Electric propulsion ships have been generally said to have advantage for a special ship such a passenger ship, an icebreaker and so on. However Pod type propulsion system came to be adopted as one of the models of next-generation coastal ship in Europe in recent years. Generally the pod type ship has the freedom of machinery arrangement in the engine room and larger cargo capacity and higher energy-saving effect than the ships using the propeller shaft.

Now in a field of industrial manufacture, the designing concept has to consider the LCA(Life Cycle Assessment) which is an objective process to evaluate the economic and environmental burdens associated with a product, process, or activity by energy and materials in its life. In the case of ships, there are many modifications for her life and it is impossible to design for new ships based on lifelong data of old ships. Therefore, We evaluated the importance degree of machinery and system of the pod type propulsion ship through the application of fuzzy set in this study. We propose that these comparison of machinery between diesel-powered and pod type electric propulsion ships will be one of the basic designs.

(Received April 9, 2004)

## 1. はじめに

電気推進船は、客船や砕氷船等の特殊な船でない  
と長所を発揮できないと言われて来た。しかし近年  
ヨーロッパでポッド推進方式が多く採用されるよう  
になり、「適切なポッド型推進システムと、適切な船  
型の組み合わせであれば、電気推進の効率低下は  
船体抵抗軽減によって充分補完されうる」ことが判  
明し<sup>1)</sup>次世代内航船のモデルの1つとして電気推進  
船が考えられる。

従来の船舶の推進装置は、主機関で生み出した  
動力をプロペラ軸により伝達し、プロペラを回転さ  
せることで船体を進ませる。これに対しポッド型電  
気推進システムは、動力を発電機で起こしケーブル

を使って船外に装置されたポッドに伝達し、ポッド  
内のモータがプロペラを回転させる仕組みである。  
ポッド船はプロペラ軸を使わないため機関室の配置  
の自由度、貨物容積が増し省エネ効果も高いと言わ  
れている。

現状ではポッド型推進船と在来船との比較評価は  
運航データ等の実証例不足から困難な面がある。そ  
こで本研究では従来の比較評価法にはない「プロペ  
ラ軸を使わないため機関室の配置が自由になり良好  
な安全性と貨物容積が増す」等といった分析者、乗  
組員の意見、考え方を考慮できるファジィ集合を応  
用し、機器、システムの評価を目的とする。ファジ  
ィ集合を応用することによって運航データ等の実証

例が不足している場合でも機器の重要性の位置付け、システムを構成する機器装置の故障度に対する評価が可能となる。

本研究は緒についた所で、重要度決定モデルの確立を目指した。また、電気推進船はディーゼル船とポッド船の間にあると考えられる。そこで、次世代内航船のモデルとして注目値を実施したのでその比較評価と知見を紹介する。

## 2. 重要度決定モデル

### 2.1 機器別重要度決定モデル

重要度評価は各システムの機器を必要性と故障度のファジィ集合で推論し言葉関数で表す。本研究では、言葉関数 {Very important, Important, Average, Negligible} を以下の要領で表す<sup>2)</sup>。

Very important

$$= \{0/1, \Lambda, 0/U - 3,0/U - 2,0,75/U - 1,1,0/U\}$$

Important

$$= \{0/1, \Lambda, 0,5/U - 3,1/U - 2,0,25/U - 1,0/U\}$$

Average

$$= \{0/1,0,25/2,1/3,0,5/4, \Lambda, 0/U - 1,0/U\}$$

Negligible

$$= \{1,0/1,0,75/2,0/3, \Lambda, 0/U - 2,0/U - 1,0/U\}$$

ここで上式の分子はメンバーシップ値の度合、分母は言葉関数のカテゴリーを示している。本研究では  $U = 7$  とし、メンバーシップ値を表1に示す。

表1 重要度のメンバーシップ値

Linguistic \ U	1	2	3	4	5	6	7
Very important	0	0	0	0	0	0.75	1
Important	0	0	0	0.5	1	0.25	0
Average	0	0.25	1	0.5	0	0	0
Negligible	1	0.75	0	0	0	0	0

表1によって機器重要度は言葉関数で表される。必要性  $\mu_n$  はシステムに対する必要度とし、言葉関数 {High necessity, Necessity, Average, Negligible} によって表2に定義する。必要性のメンバーシップ値は表1と同様である。

表2 必要性の定義

High necessity	プロペラ系に直接影響を及ぼす
Necessity	High necessityに影響を及ぼす
Average	Necessityに影響を及ぼす
Negligible	Averageに影響を及ぼす

故障度  $\mu_f$  は故障公算、故障程度、故障程度の発生確率から定義する<sup>2)</sup>。故障公算  $\mu_p$  はシステム内の故障発生公算とし、日本の船用機器産業が蓄積して来た『船舶信頼性調査委員会報告書』<sup>3)</sup>の故障率収集データを元に故障率を表3のように7区分し、新しく定義した。故障程度  $\mu_q$  は故障がシステム内に与える影響度合と定義し、言葉関数を {Catastrophic, Critical, Marginal, Negligible} で以下のように定義する。メンバーシップ値は必要性と同様である。

表4 故障程度の定義

Catastrophic	運航不能
Critical	運航不能に陥るが乗組員による修復可能
Marginal	運航への時間的影響を及ぼさない程度
Negligible	システムに影響を与えない程度

故障程度の発生確率  $\mu_r$  はシステム内に影響を与える故障発生公算と定義し、言葉関数を {Definite, High likely, Reasonable likely, Likely, Reasonable unlikely, Unlikely, High unlikely} で表す。故障程度の発生確率は、故障率が高いからといって直接運航に影響を及ぼすとは言い難い。

表3 故障公算の定義

Linguistic $\mu_p$	故障率 [ $\times 10^{-4}$ (1/時間)]	メンバーシップ値						
High frequent	$\geq 5$	0	0	0	0	0	0.75	1
Frequent	$2.5 \leq \alpha < 5$	0	0	0	0	0.5	1	0.25
Reasonable frequent	$1.25 \leq \alpha < 2.5$	0	0	0	0.5	1	0.25	0
Average	$0.765 \leq \alpha < 1.25$	0	0	0.5	0.75	0.5	0	0
Reasonably low	$0.28 \leq \alpha < 0.765$	0	0.25	1	0.5	0	0	0
Low	$0.07 \leq \alpha < 0.28$	0.25	1	0.5	0	0	0	0
Very low	$< 0.07$	1	0.75	0	0	0	0	0

そこで本研究では故障公算と故障程度から表5のように新しく定義した。

故障度は次式により算出する<sup>2)</sup>。

$$\mu_{fi} = \mu_q^i \circ (\mu_r^i \times \mu_p^i) \wedge \wedge \wedge \wedge (1)$$

$$\mu_r^i \times \mu_p^i = \min(\mu_r^i, \mu_p^i)$$

$$\mu_{fi} = \max(\mu_q^i, \min(\mu_r^i, \mu_p^i))$$

ここでiは機器を表す

以上から重要度を求めることができる。一般式を次式で与える。

$$\mu_{si} = [0.5 \quad 0.5] \cdot \begin{Bmatrix} \mu_{ni} \\ \mu_{fi} \end{Bmatrix} \wedge \wedge \wedge (2)$$

求めた $\mu_{si}$ は確定マトリックス(表1)と比較すると、機器がどの言葉関数に属するか決定できる。本研究では得られた $\mu_{si}$ と確定マトリックスの距離 $d_{ij}$  ( $j=1, 2, 3, 4$ )を用いてどの言葉関数に属するか決定する。すなわち両者の距離を次式で表す<sup>2)</sup>。

$$d_{i1}(\mu_{si}, very) = \left[ \sum_{\sigma=1}^7 (\mu_{si}^U - \mu_{very}^U)^2 \right]^{1/2} \wedge \wedge \wedge (3)$$

$$d_{i2}(\mu_{si}, import) = \left[ \sum_{\sigma=1}^7 (\mu_{si}^U - \mu_{import}^U)^2 \right]^{1/2} \wedge \wedge \wedge (4)$$

$$d_{i3}(\mu_{si}, aver) = \left[ \sum_{\sigma=1}^7 (\mu_{si}^U - \mu_{aver}^U)^2 \right]^{1/2} \wedge \wedge \wedge (5)$$

$$d_{i4}(\mu_{si}, negli) = \left[ \sum_{\sigma=1}^7 (\mu_{si}^U - \mu_{negli}^U)^2 \right]^{1/2} \wedge \wedge \wedge (6)$$

上式は距離 $d_{ij}$ が小さくなると重要度 $\mu_{si}$ は第j種類に属する可能性が高くなり、距離がゼ

ロになれば重要度は完全に第j種類に属することを意味する。次に $\eta_{ij}$ と $\theta_{ij}$ を次式で算出する。

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}/D_i} \wedge \wedge \wedge (7)$$

$$\text{where } D_i = \min(d_{ij})$$

$$\theta_{ij} = \frac{\eta_{ij}}{\sum_{m=1}^4 \eta_{im}} \wedge \wedge \wedge (8)$$

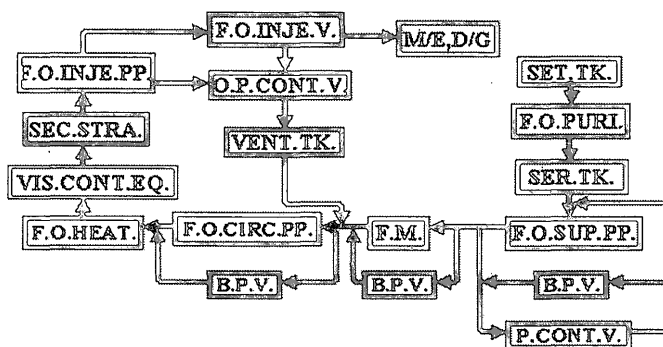
$\theta_{ij}$ は重要度 $\mu_{si}$ が確定した第j番目の言葉関数に属することを表す。 $\mu_{si}$ が完全に第j番目に属すると $\theta_{ij}=1$ となり、他の $\theta$ はゼロになる。従って $\theta_{ij}$ は $\mu_{si}$ が確定した第j番目に属する確かさの度合とみなすことができる。

## 2.2 機器別重要度の算出例 (Fuel.Oil. Injection. Valve)

以上のことから各機器の重要度が求まる。例として図1のディーゼル船のFuel Oil(F.O)の機器 F.O.Injection Valve(F.O.INJE.V)の重要度を算出する。F.O.INJE.Vは機関を動かす上で必要不可欠であり、必要性は表2の定義から‘Necessity’と考えられる。故障程度は、故障が起きた際、運航不能に陥る可能性があるが、修復により早期復旧が可能と考えられるので‘Critical’。

表5 故障程度の発生確率の定義

故障程度 故障公算	Catastrophic	Critical	Marginal	Negligible
High frequent	Definite	Definite	Reasonable likely	Reasonable unlikely
Frequent	Definite	Definite	Reasonable likely	Reasonable unlikely
Reasonable frequent	Definite	Definite	Likely	Unlikely
Average	Definite	High likely	Likely	Unlikely
Reasonably low	Definite	High likely	Reasonable unlikely	High unlikely
Low	Definite	High likely	Unlikely	High unlikely
Very low	Definite	High likely	High unlikely	High unlikely



SET. TK.: Settling Tank, SER. TK.: Service Tank, F.O. PURI.: Fuel Oil Purifier, F.O. SUP. PP.: Fuel Oil Supply Pump, B.P.V.: By-Pass Valve, P. CONT. V.: Pressure Control Valve, F.O. INJE. V.: Fuel Oil Injection Valve, F.O. CIRC. PP.: Fuel Oil Circulating Pump, F.O. HEAT.: Fuel Oil Heater, VIS. CONT. EQ.: Viscosity Control Equipment, SEC. STRA.: Second Strainer, F.O. INJE. PP.: Fuel Oil Injection Pump, .P. CONT. V.: Oil Pressure Control Valve, F.M.: Flow Meter, VENT. TK.: Vent Tank

図1 F.O.系統に対する構成図

故障公算は故障率収集データ ‘ $2.9829 \times 10^{-4}$ [1/時間]’ より ‘Frequent’ となる。故障程度の発生確率は、故障公算と故障程度より ‘Definite’ となる。従ってそれぞれのメンバーシップ値は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \mu_n &= [0/1,0/2,0/3,0/4,0.5/5,1.0/6,0.25/7] \\ \mu_q &= [0/1,0/2,0/3,0/4,0.5/5,1.0/6,0.25/7] \\ \mu_p &= [0/1,0/2,0/3,0/4,0.5/5,1.0/6,0.25/7] \\ \mu_r &= [0/1,0/2,0/3,0/4,0.5/5,0.75/6,1.0/7] \end{aligned}$$

表6 ディーゼル船のF.O.系統における機器別重要度

F.O	Very import	Important	Average	Negligible
F.O. INJE. V.	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
F.O. INJE. PP.	0.1262	0.6509	0.1192	0.1037
F.O. HEAT.	0.1460	0.1660	0.4754	0.2126
SEC. STRA.	0.1460	0.1660	0.4754	0.2126
F.O. PURI.	0.1077	0.1399	0.6409	0.1116
VIS. CONT. EQ.	0.1032	0.1388	0.6479	0.1101
F.O. SUP. PP.	0.0976	0.1288	0.6691	0.1045
P. CONT. V.	0.0976	0.1288	0.6691	0.1045
F.O. CIRC. PP.	0.0976	0.1288	0.6691	0.1045
SER. TK.	0.1660	0.1868	0.3236	0.3236
O.P. CONT. V.	0.1660	0.1868	0.3236	0.3236
F.M	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
SET. TK.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
VENT. TK.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

式(1)から(8)より F.O.INJE.V.の重要度が求まる。

$$\begin{aligned} \mu_f &= [0/1,0/2,0/3,0/4,0.5/5,1.0/6,0.25/7] \\ \mu_s &= [0/1,0/2,0/3,0/4,0.5/5,1.0/6,0.25/7] \end{aligned}$$

これらの値から F.O.INJE.V.の評価結果は1.000の割合で ‘Important’ であった。すなわち F.O.INJE.V.は設計、企画、保守点検時に他の機器と比べて重要視しなければならないと解釈できる。他の機器も同様に計算すると重要度は求まる。

以下、表6、7にディーゼル船とポッド船のF.O.系統機器別の重要度を算出した値を示す。表の網掛けは、属した言葉関数を示す。

表7 ポッド船のF.O.系統における機器別重要度

F.O	Very import	Important	Average	Negligible
STRA.	0.1660	0.1868	0.3236	0.3236
O.P. CONT. V.	0.1660	0.1868	0.3236	0.3236
AIR. SUP.	0.1032	0.1388	0.6479	0.1101
F.M	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
SER. TK.	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

### 2. 3 システムの重要度決定モデルと結果

2.1より機器の重要度は求まる。次に表6、7の値からそれぞれF.O.系統の総合重要度を求める。このために evidential reasoning 法<sup>4), 5)</sup>を用いる。

Hは言語変数とし次式で表される。

$$H = \{H_1, \Lambda, H_a, \Lambda, H_N\} \wedge \wedge \wedge \quad (9.1)$$

ここで N は言語変数の総数である。本研究では N=4 とし H を次のように与える。

$$H = \left\{ \begin{array}{l} \text{Very important, Important,} \\ \text{Average, Negligible} \end{array} \right\} \wedge \wedge \quad (9.2)$$

2.2 で求めた重要度結果  $\theta_{ij}$  と  $\lambda_i$  より次式が表される。

$$m_i^j = \lambda_i \theta_{ij} \wedge \wedge \wedge \quad (10)$$

ここで  $0 \leq \lambda \leq 1, \sum_{j=1}^4 \theta_{ij} = 1$  であるから

$$m_i^H = 1 - \sum_{j=1}^N m_i^j \wedge \wedge \wedge \quad (11)$$

が求まる。また  $\lambda$  は各機器の相対度を表しており、本研究では平均値とする。式(10), (11) をマトリックス表記すると以下ようになる。

$$\begin{bmatrix} m_1^1 & m_1^2 & m_1^3 & m_1^4 & m_1^H \\ m_2^1 & m_2^2 & m_2^3 & m_2^4 & m_2^H \\ M & M & M & M & M \\ m_i^1 & m_i^2 & m_i^3 & m_i^4 & m_i^H \end{bmatrix} \wedge \wedge \wedge \quad (12)$$

次に式(12)のマトリックスの値を元に次式で総合重要度が算出できる。

$$K_{I(i+1)} = \left[ 1 - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N m_{I(i)}^j m_{I(i+1)}^j \right]^{-1} \wedge \wedge \wedge \quad (13)$$

$$\{H_j\}: m_{I(i+1)}^j = K_{I(i+1)} \left( m_{I(i)}^j m_{I(i+1)}^j + m_{I(i)}^H m_{I(i+1)}^j \right) \wedge \wedge \wedge \quad (14)$$

$$\{H\}: m_{I(i+1)}^H = K_{I(i+1)} m_{I(i)}^H m_{I(i+1)}^H \wedge \wedge \wedge \quad (15)$$

表 6, 7 と式(10)から(15)より F.O 系統の重要度を算出すると表 8 のようになる。また  $\lambda$  は表 6 のディーゼル船 F.O 系統であれば 0.07, ポッド船の F.O 系

統では  $1/5 = 0.20$  である。表の網掛けは、属した言葉関数を示す。

表 8 F.O系統におけるシステム重要度

	Very import	Important	Average	Negligible
ディーゼル船	0.0815	0.2068	0.3701	0.3416
ポッド船	0.0762	0.0903	0.2417	0.5919

### 3. 総合評価

#### (システムの重要性の位置付け)

以上のことから各システムの重要度をまず機器レベルで算出できる。次に evidential reasoning 法で階層的に算出することで各システムの重要度が求まる。以下にそれぞれの重要度を示す。

表 9 システム系統別重要度

ディーゼル船	ranking	Linguistic
M/E	1	Very important
D/G	1	Very important
SHAFT	3	Important
B.O	4	Important
I.C	4	Important
E.C	4	Important
PROPELLER	7	Important
S.W	8	Average
L.O	9	Average
F.O	10	Negligible
L.T.CFW	11	Negligible
H.T.CFW	12	Negligible

表 10 システム系統別重要度

ポッド船	ranking	Linguistic
D/E	1	Very important
M	1	Very important
SHAFT	3	Very important
PROPELLER	4	Very important
I.C	5	Important
E.C	5	Important
S.W	7	Average
G	8	Average
L.O	9	Negligible
F.O	10	Negligible
C.F.W	11	Negligible

#### 考察

表 9 より他のシステムと比較して最も注意しなければならないシステムは主エンジン(M/E), ディーゼル発電機

(D/G), それほど注意の必要がないのは高温冷却清水(H.T.CFW)であった。システム別重要度結果を各システム、機器の重要度結果にフィードバックすることで当直中の見回り、整備の優先度、注意すべき箇所を決定する上での指標にできる。また言葉関数を裏付けられるある程度の実データを加えると信頼性の高い評価が可能となる。ここで表 7 について補足すると Strainer(STRA.) の言葉関数が ('Average' = 0.3236), ('Negligible' = 0.3236) と同値であった。この場合、本研究では言葉関数の高いほうを重要度とし、全評価を統一した。つまり重要度を低く評価した。

#### 4. おわりに

本研究は、システムの設計、企画を行う際にどのような点に考慮が必要であるかを知ること注目し、言葉関数 {Very important, Important, Average, Negligible} でシステムの重要性の位置付けを行った。さらに同様の方法で、言葉関数 {Very good, Good, Average, Poor} を用いた信頼性評価も可能であることから故障度に対する評価も同時に行った。それは、故障度のみを本研究でいう重要度評価とし、故障程度、故障公算、故障程度の発生確率に対する言葉関数を決めていく。算出式は本研究とほぼ同様であるが、異なる点は式(2)を

$$\mu_{si} = \{\mu_{fi}\} \wedge \wedge \wedge (16)$$

とし、必要性を評価に加えないことである。結果、ディーゼル船では('Good' = 0.4604), 電気推進船('Good' = 0.4673), ポッド船('Good' = 0.4666) となり、故障度に対する評価ではあまり差がない。このことから故障度のみからでは在来船からポッド船への有効性は感じられず、従来のディーゼル船

で充分と判断せざるを得ないかもしれない。しかしこの結果はあくまで著者の判断に基づくものである。従って、経験豊かな機関士が評価を行えば異なった結果となることが考えられる。今後、各機器やディーゼル船、電気推進船、ポッド船のメリット、デメリット等のアンケートを実施し、言葉関数を決める上での参考にすると、3種類の船種についてLCAを考慮した新造船設計の重要な要素となる。また本研究では、3種類の船種について主機関数や各機器のスタンバイ機を考慮しなかったため、今後、考慮した上で同型船別で評価を行っていく必要がある。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、ポッド船の資料と助言を頂いたエムイーシーエンジニアリングサービス(株)米倉信義氏に心より感謝を申し上げる。

#### 文献

- 1) 米倉ほか2名, 日本マリンエンジニアリング学誌, 38-9(2003-9), pp11~16.
- 2) 于洪亮, 石田憲治, 日本マリンエンジニアリング学誌, 37-7(2002-7), pp60~66.
- 3) 運輸省海上技術安全局, 『船舶信頼性調査委員会報告書』, (平成3年3月).
- 4) J.Wang, J.B.Yang & P.Sen, Reliability engineering and system safety, 47 (1995), pp.103~118.
- 5) J.B.Yang & Singh, M.G, IEEE Transactions on System Man and Cybernetics, 24(1994-1), pp.1~18.