

代替性・補完性評価に基づく候補案選定手法 に関する研究

正員 篠田 岳 思* 正員 福地 信義*
正員 松本 起 宜**

Methodology of Making a Choice from the Plan Proposals
Based on Substitutive and Complementary Evaluation

by Takeshi Shinoda, *Member* Nobuyoshi Fukuchi, *Member*
Okinori Matsumoto, *Member*

Summary

To make a choice from the plan proposals such as a sketch, a concept or personal likes are to be evaluated sometimes as a multi-sided problem which depends on the requirements and constraints placed on the decision-maker.

When it is difficult to make a choice from the plan proposals by an estimation based on the principal items under evaluation, a substitutive and a complementary evaluation can be used. The former method of evaluation makes a judgement on the substitutive items or their good points under evaluation and the later method of evaluation chooses the plan that has the least number of weak points.

A method for this multi-sided evaluation is proposed through the technique of management engineering applying the fuzzy measure to a preference criterion developed in this paper. As a practical example for the application of the proposed method, the problem of making a rational reduction of human hands at a mooring system is evaluated and a choice is made for the next generation mooring systems.

1. は じ め に

アイディアスケッチ、コンセプト案、計画案の選択あるいは極めて感性的な評価・選定問題では、評価選好の際に意思決定者の直面する状況や制約に応じて多面的な評価の必要性が生じる。

評価対象を重要項目のみで評価する際に、裁定に無理がある場合には、代替項目により優れた特徴のみを問題視する代替の評価を行うことがある。あるいは、評価対象から欠点のないものを選好する補完的评价を行う場合もある。これらは、目的に応じた評価選好基準を設定することにより多面性のある評価を行うことができる。

* 九州大学工学部

** 日立造船(株)
(研究当時 九州大学大学院工学研究科)

原稿受理 平成5年7月8日

秋季講演会において講演 平成5年11月9, 10日

本研究では、多面性評価問題に対して、評価選好基準にFuzzy 測度を適用した経営工学的手法による代替性・補完性評価の手法を提案する。また、この手法の適用例として、今後予測される船舶の省人化のためにネックとなる係船装置を取り上げて次世代係船システムの評価選好問題を扱い、コンセプト候補案の中から目的に応じた案を選定する。

2. ファジィ理論に基づく多基準分析法

ファジィ理論に基づく選好案選定手法には、評価問題のあいまいさを、1) ファジィ数として取り扱う方法、2) ファジィ測度を用いて取り扱う方法、3) 前記の混合法とに大別でき、これらはあいまいさのとらえ方の規範により異なる。ここでは、経営工学で用いられる多基準分析法を、重要度と評点より評点分布関数を定めることにより新たに定式化し直し、ファジィ測度の適用をはかる。

2.1 評価・決定の過程

評価問題の解析プロセスは Fig. 1 に示すように、評価構造モデル、評点モデル、評価・決定モデルとに大きく3つ

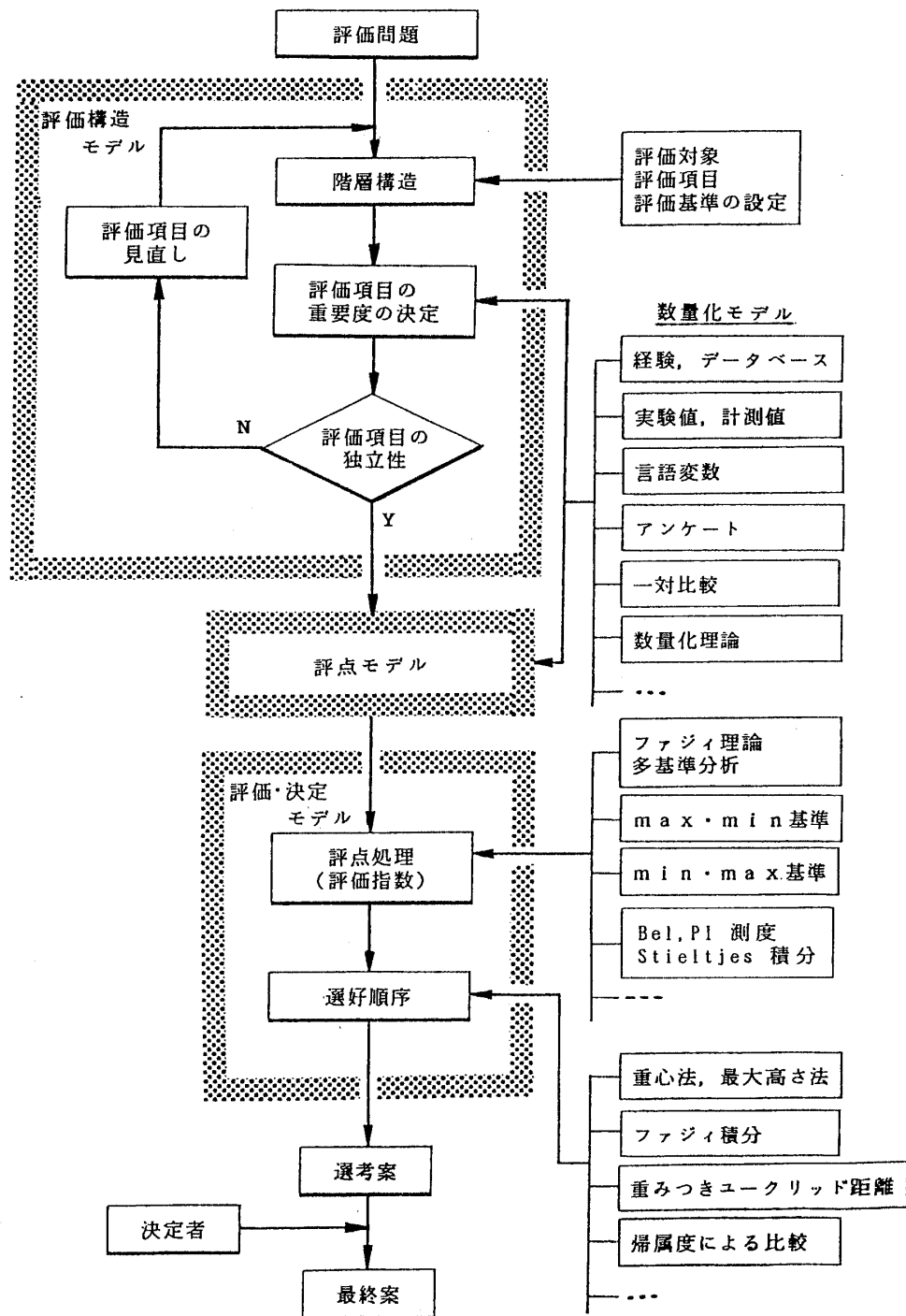


Fig.1 Flow chart of evaluation decision making process

の過程に分けられる¹⁾²⁾³⁾。

(1) 評価構造モデル

評価構造モデルでは、はじめに評価問題の領域を定め、評価の上で重要な要因をブレインストーミング法などを用いて抽出する。さらに、抽出された要因を、例えば主成分分析、因子分析法などにより評価項目としてまとめ、それらを階層構造により表す。次に、評価項目の重要度を専門家の意見などの外部の評価を参考にする方法、あるいはサティの一対比較法⁴⁾により決める。このとき評価項目の重

複があると選好順序に大きく影響するため重複判別値を求めて重複度を調べる必要がある。

(2) 評点モデル

評点モデルでは、各評価項目ごとに評価基準に基づき評価対象へ評点を裁定し、候補案を実施したときに生じる結果・効果などを定量化する。このモデルでは確定的評点を用いるだけでなく、言語による評点や評価項目のもつ基準の性質、設定域、測定精度などに従って生じる評点のあいまい量をあいまいの程度に応じて、強あいまい量、弱あ

いまい量とに分類し、ファジィ数による裁定を必要とする場合もある。

(3) 評価・決定モデル

評価・決定モデルでは、以上のモデルにより決められた評価項目の重要度と、評価対象への各評価項目に対する評点の情報を処理し、各候補案に対する評価指数を求める。代替評価項目により優れた特徴のみを重視する代替性評価、あるいは評価対象から欠点のないものを選好する補完性評価を行う場合には、Belief 測度あるいは Plausibility 測度を適用して Stieltjes 積分による評価指数を求め、これにより選好案を決める。また、評点情報、重要度がファジィ量である場合には、ファジィ理論の拡張原理に基づいた演算により評価指数を算定し、ファジィ積分あるいは重み付きユークリッド距離を用いて候補案の選好順序を決めることができる。

2.2 ファジィ量を考慮した多基準分析法

評価問題のあいまいさに、重要度と評点をファジィ数として取り扱う場合には、多基準分析法では以下の過程により評価指数を求める。

評価構造モデルにおいて、例えば、一対比較法により評価項目 x_j ($j=1, 2, \dots, m$) ごとに重要度 w_j を定め、あいまい量を考慮し w_j とする。ここで、記号“ $\sim$ ”はあいまい量を意味する。さらに、評点モデルでは、各候補案 i ($i=1, 2, \dots, n$) に対して評価項目 x_j ごとに評点を裁定し、評点情報を次のインパクト行列 $\underline{P}$ により表わす。

$$\underline{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \dots & p_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

なお、評点情報 p_{ij} にもファジィ数を用いてあいまい量を考慮する。

次に、評価・決定モデルでは、評点情報より評価対象 i の i' に対する優性の度合いを次式により優調和指数 (Fuzzy concordance index) $\underline{c}_{i'}$ により算定する。

$$\underline{c}_{i'} = \sum_j^* w_j \odot \underline{u}_{i'j} \quad (2)$$

ただし、記号“ $\odot$ ”は拡張原理による掛算であり、 $\sum^*$ は有限個のファジィ量についての加算である。また、 $\underline{u}_{i'j}$ は評点指数であり、 p_{ij} が弱あいまい量るとき、多基準分析法では評点の相対的優位性を評点差により評価するため評価項目ごとに評点差の最大値で次式により正規化する。

$$\underline{u}_{i'j} = \sigma_{i'j} \cdot \underline{abs}(p_{ij} \ominus p_{i'j}) \odot \max_{1 \leq i, i' \leq n} \{ \underline{abs}(p_{ij} \ominus p_{i'j}) \} \quad (3)$$

ここで、記号“ $\ominus$ ”、“ $\odot$ ”、“ $\underline{abs}(\)$ ”は拡張原理による減算、除算、絶対値である。また、 p_{ij} が強あいまい量の場合には、 $\underline{u}_{i'j}$ は $\sigma_{i'j}$ のみを取る。

また、 $\sigma_{i'}$ は選好条件を表しており優調和指数の場合には次式となる。

$$\sigma_{i'} = \begin{cases} 1 & (p_{ij} > p_{i'j}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (4)$$

この $\underline{c}_{i'}$ を用いて、評価対象の相対的優性度を示す優性評価指数 (Fuzzy concordance dominance index, CDI) $\underline{c}_i$ を次式により計算する。

$$\underline{c}_i = \sum_j^* \underline{c}_{i'j} \ominus \sum_j^* \underline{c}_{ji} \quad (5)$$

なお、あいまい量を考慮しない場合には、通常の演算を用い優性評価指数を求めるが、優性評価指数 $\underline{c}_i$ がファジィ量である場合は、 $\underline{c}_i$ のメンバーシップ関数にファジィ積分を適用するか、あるいは評価指数間の距離を重み付きユークリッド距離により測り、候補案を序列化することができる。

2.3 ファジィ測度に基づく多基準分析法

代替性・補完性評価に基づき候補案を選定する場合には、評価・決定モデルにおいて優調和指数を計算する際に、Belief 測度、Plausibility 測度 (以下、Bel 測度、Pl 測度と略す) を適用し Stieltjes 積分により優性評価指数を計算し候補案を序列化する。なお、ここでは、説明のため重要度、評点にあいまい量を考慮しない。

(1) 評価選好基準

(3)式における評点指数 $\underline{u}_{i'j}$ の重み 1 での値を考え、それを次式のように小さい順に並べ、 u_k ($k=1, 2, \dots, m$) とおく。

$$u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_m \quad (6)$$

上式の u_k に対応させ評価項目 x_j の重要度 w_j も並び替え、次式が成立するものとする。

$$\sum_j^m w_j = 1 \quad (7)$$

評価の目的に応じて評価選好基準を定める必要があるが、ここでは、大きな重要度に大きな評価指数が対応するように、重要度 w_j についても (6) 式と同時に次式が成立する場合を、優性評価指数を算定する上で最良評価の基準と定義する。

$$w_1 \leq w_2 \leq \dots \leq w_m \quad (8)$$

したがって、代替性評価、補完性評価では評価対象間で (8) 式を基準として (6) 式の対応がどの程度ずれているかを Bel 測度、Pl 測度を用いて測り、優性評価指数を求める。

(2) 評点分布関数

Fig. 2 に示すように、評価項目 x_j の全体集合を Ω とすると、(6) 式の付番にしたがい、(8) 式が成立している場合には、最良評価の基準を考慮するための重要度基準集合 Y_k は次式のようにおける。

$$Y_k = \{x_j | w_j \geq w_k\}, \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

このとき Y_k に含まれる項目の中で、重要度の最小のものを Y_k の基本重要度 $m(Y_k)$ とし次式により表す。

$$m(Y_k) = \min_{x_j \in Y_k} (w_j) \quad (10)$$

ここで、(6) 式で定めた評点指数を考慮するために、評点

基準集合 X_k を次式により定める。

$$X_k = \{x_j | u_j \leq u_k\} \quad (11)$$

したがって、(6)(8)式とのズレの程度を Bel 測度, Pl 測度⁵⁾を用いて測り次式に示す評点分布関数 F_B, F_P 定める。

$$F_B(u_k) = \text{Bel}(X_k) = \sum_{Y_k \subset X_k} m(Y_k) = \sum_{Y_k \subset X_k} w_k \quad (12)$$

$$F_P(u_k) = \text{Pl}(X_k) = \sum_{Y_k \cap X_k \neq \emptyset} m(Y_k) = \sum_{Y_k \cap X_k \neq \emptyset} w_k \quad (13)$$

(3) 優性評価指数

Bel 測度, Pl 測度による優調和指数 $C_{Bii'}$, $C_{Pii'}$ は Fig. 3 に示すように (12), (13) 式に示した評点分布関数 F_B, F_P の Stieltjes 積分により求める。

$$C_{Zii'} = \int u dF_Z(u) = \sum_{k=1}^m u_k dF_Z(u_k) \quad (14)$$

ここに

$$dF_Z(u_k) = F_Z(u_k) - F_Z(u_{k-1}), \quad F_Z(u_0) = 0 \quad (15)$$

また、サフィックス Z はコード B, P をとるものとし、それぞれ Bel, Pl 測度を意味する。 $C_{Bii'}$, $C_{Pii'}$ を使い、Bel 測度, Pl 測度による Bel, Pl 優性評価指数 C_{Bi} , C_{Pi} は (5) 式と同様に次式より求める。

$$C_{zi} = \sum_{i'=1}^n C_{zii'} - \sum_{i'=1}^n C_{zi'i} \quad (16)$$

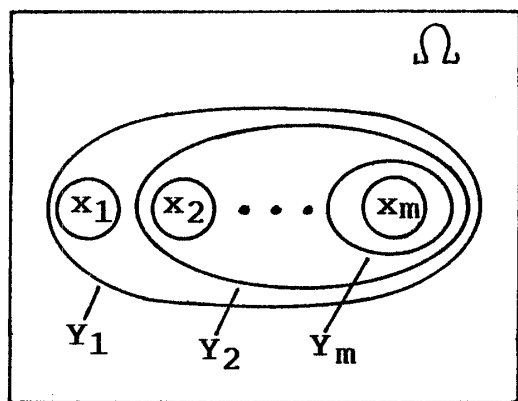


Fig. 2 Concept of base set of weighting under evaluation

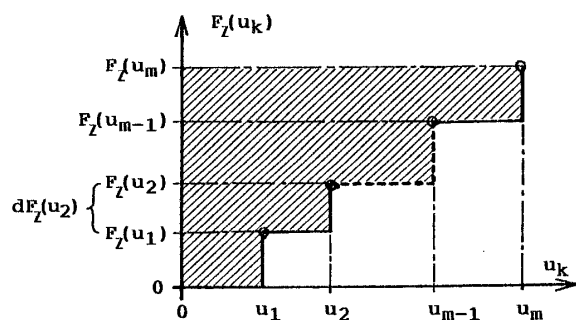


Fig. 3 Distribution function of a grading estimation and its Stieltjes integration

ただし、サフィックス Z はコード B, P をとる。

なお、通常の測度による優性評価指数を付録に示す。

3. 適用例 —— 次世代係船システム

3.1 次世代係船システムの概要

(1) 新しい係船システムの志向

近年、内航船では船員確保や船員費節減の面から極めて省人化の志向が強い。一方、外航船では現在のところ混乗等の代替措置によりさほど省人化は要請されないが、近い将来船舶近代化の動向に伴い再度問題なるものと考えられる。この船舶の省人化を行う際にネックとなる事項の一つに、離着岸時に多くの要員を必要とする事がある。

このため、従来からの係船索と係船機による係船システムに替わる、運用要員が少なくすみ、係船機能に優れ、兼つ安全で軽量な新しい係船システムの開発が必要となる。ここでは従来通り本船側に装備する装置と、フェリーなどの極めて離着岸回数の多い港湾に設備する陸上支援システムに分けて新しい係船システムの候補案を考え、これに対して運用側、建造側などの立場の違いも考慮した多面的な評価を行うことで候補案の選定を行う。

なお、錨と揚錨機については、錨泊の他に回頭の補助、船体の揺れ止め、ブレーキなどに利用され、また船主側の錨に対する思い入れが強いので、従来通り装備するものとして考えた。

(2) 候補案の特徴と問題点

次世代係船システムの候補としては、本船側のシステムとして 1) 多数の索の替わりに少数のチェーンを用いるチェーン係留式、2) 船底孔より海底にスタッドを打ち込むスタッド式、3) サイドスラスタ式、4) 金属腕で岸壁のビットを握るメカニカル・アーム式、を考え、さらに陸上支援システムとして 1) 吸盤の負圧吸引力による方式、2) 電磁力による吸引による方式、3) 岸壁側から金属腕で船体を握る上部アーム式、4) 船底側から船体を固定する下部アーム式、を考案の対象とする。これら候補案の概念図を Fig. 4 に示す。

従来式も含めた各方式の考えられる特徴と問題点は次の通りである。

- 1) 係船索とウインチによる従来方式
歴史ある係船法であり、ルールや機能上の問題は少ないが、極めて人員を要する。景観上やや好ましくない。
- 2) チェーン係留方式
実績があり、実用的であるが省人化効果は少ない。また、チェーンの陸側への受け渡し、チェーンの格納に難点がある。
- 3) スタッド式
停泊位置決め、接岸に他の方法を必要とし、緊急時の対処が困難な点があるが省人化効果は大きい。また、同一場所でのスタッド打ちは保持力の低下が考えられ

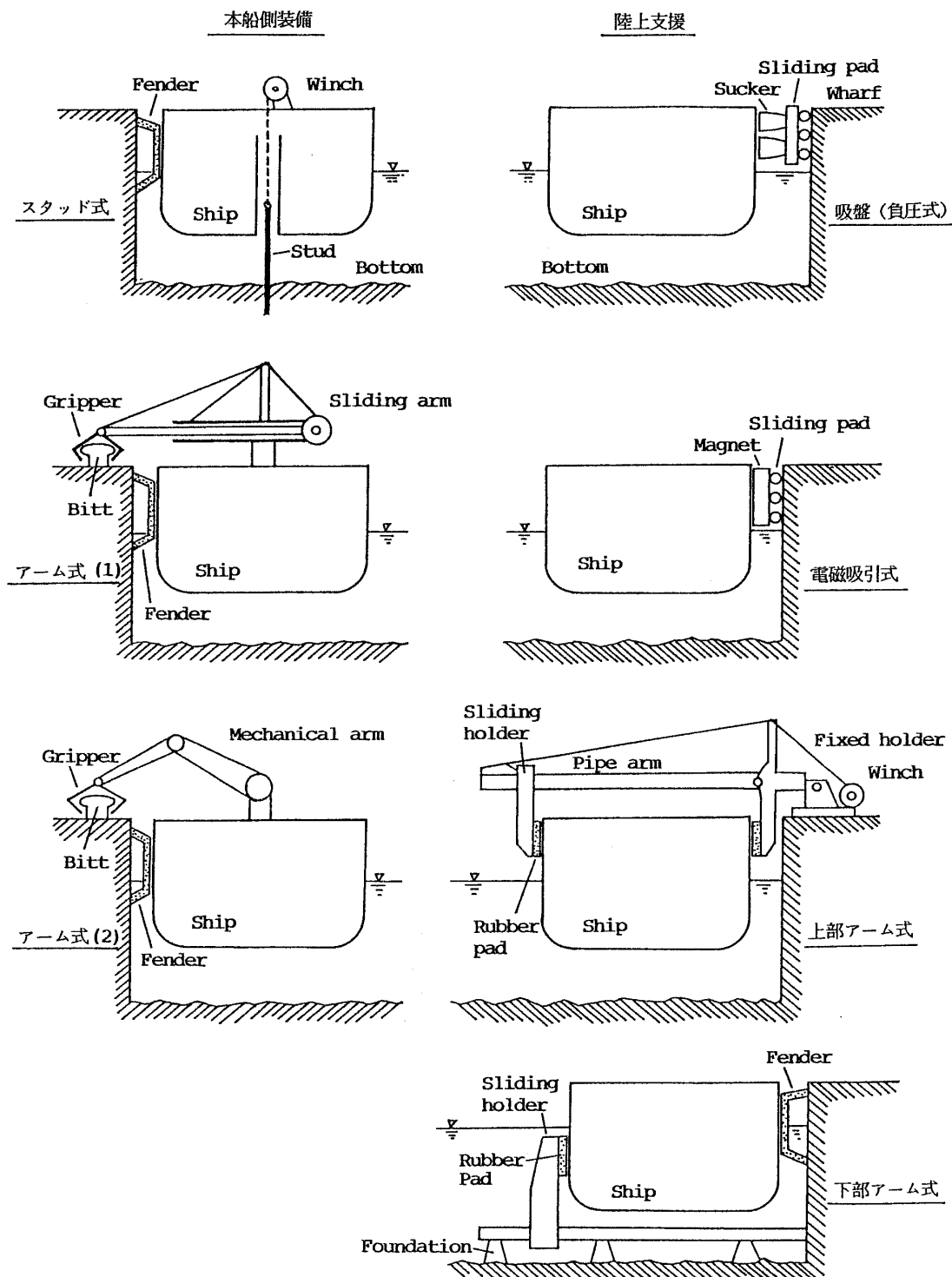


Fig. 4 Concepts of the next generation mooring systems

- る。
- 4) サイドスラスタ装備
実績のある装置であり、開発が不要であり、離着岸に便利である。一方、常時稼働による電力消費が多く、不経済であり、船内騒音、発電機停止時に問題がある。また、前後方向の保持力がない。
 - 5) 本船側装備アーム式

組立アームロボットに比べ引張、荷重のみ耐えれば良く構造が簡単であり、離着岸のための横力も発生できかなりの省力機器となる。ただ、関節の強度、装備スペースが問題となる。

- 6) 吸盤式
力量に問題なければ実用性の高い装置であるが、干満の差、船の大きさへの追従、ゴムの劣化などによる吸

盤の維持、船体の引き寄せ力等に難点がある。

7) 電磁吸引式

他設備への磁界の影響が問題となるが、船体の引き寄せ力があり極めて簡単な装置となる。干満の差、船の大きさへの追従対策が必要である。

8) 陸上支援上部アーム式

関節強度が問題となるが、離着岸もある程度可能で省力効果は大きい。

9) 陸上支援下部アーム式

水中の状態確認が困難で、船の大きさに対処しにくい面があり維持費がかかる。景観は優れる。

なお、陸上支援方式は船の大きさ、船種等にある程度制約を生じるが、多くの船の利用により割掛費を安くできる。

3.2 候補案の選定

(1) 評価項目と重要度、評点

次世代係船システムの候補案から実現の可能性を評価して選定するための評価の大項目を制約、機能、技術、信頼性、コスト、省人化効果とし、Fig. 5に示すような階層構造とした。なお、制約の小項目として法津も考えられるが、いずれの候補案も法津に抵触しない装置とすることを条件として、この項目は考慮しない。

評価項目の重要度は一対比較法により決めたが³⁾、これは各項目の対を作り、点数表を参考にして、相対的優劣度を主観的に比率尺度により数値を与え作った行列の最大固有ベクトルを正規化したものを重要度とした。例としてLevel-1の大項目間の結果をTable 1に示す。また、Level-2

の小項目間の重要度の値をFig. 5に示す値とするとLevel-1, 2の総合的な重要度はTable 2のようになる。

各評価対象に対する評点は、5段階（1：極めて悪い，2：悪い，3：普通，4：良い，5：極めて良い）とし、設計経験者とシステム工学専門家の総合的な裁定をA，熟練した設計者の裁定をBとしてTable 2に示す。なお、評定は従来方式は制約がないために“5”，他の項目は“3”と評点を与え，他の評価対象はこれを基準に評点を与えた。

(2) 優性評価指数

次世代係船システムの候補案の選好を行うために、Table 2に基づき優性評価指数を計算する。始めに、評価選好基準となる重要度基準集合 Y_k ，基本重要度を(8)，(9)，(10)式より求める。例えば，(3)式の評点指数がTable 2に記載した評価項目の順であった場合には，Table 3のようになる。評点指数の大小により， Y_k の付番は変わるが要素の組み合わせは変わらない。

次に，この Y_k を基に評価対象間の優調和指数をTable 2の上段の評定Aにより計算する。例えば，アーム式（評価対象5）の従来型（評価対象1）に対する優性度を示す Bel ，PI 優調和指数 C_{B51} ， C_{P51} ，および通常の測度での優調和指数 C_{N51} は(14)，(A.4)式によりFig. 6に示す評点分布関数 F_B ， F_P ， F_N のStieljes積分により計算する。なお，図中斜線部は C_{N51} を示している。すべての評価対象間の $C_{Bii'}$ ， $C_{Pii'}$ ， $C_{Nii'}$ を(16)，(A.6)式より総合すると各候補案の優性評価指数 C_{Bi} ， C_{Pi} ， C_{Ni} が計算できる。

評価項目の中の省人化効果，ルール，強度・振動の項目

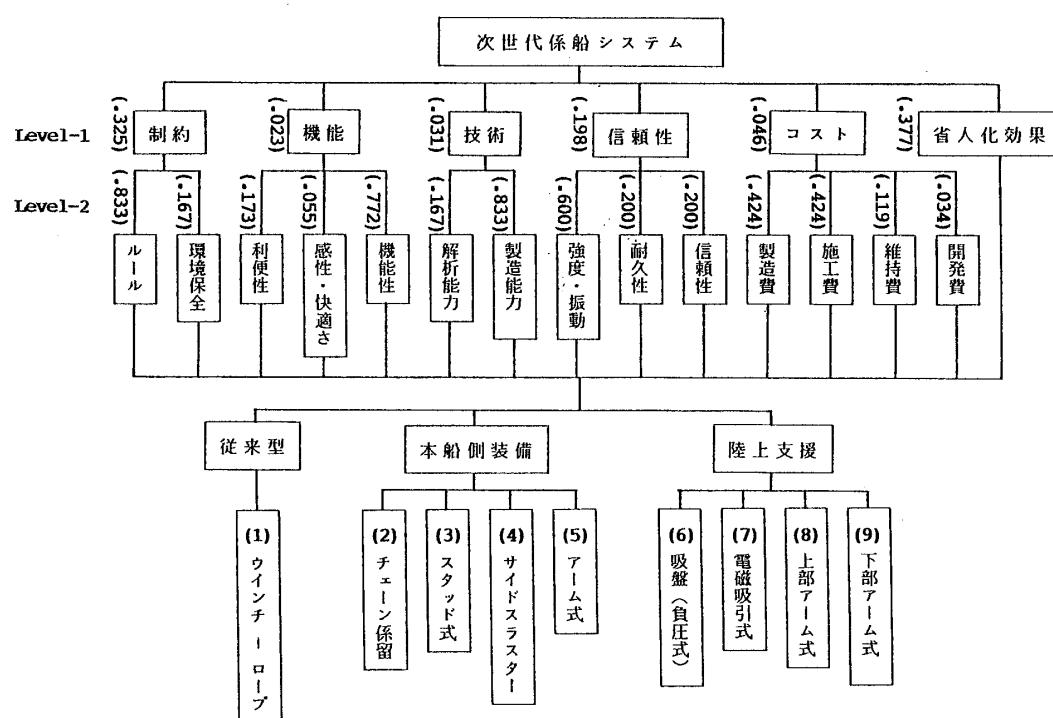


Fig. 5 Hierarchy analysis model for the next generation mooring systems

Table 1 Table of pair test for weighting evaluation under level 1 of the hierarchy analysis model

評価項目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	重要度
(1) 制約	1	5	7	1	9	1	0.325
(2) 機能	1/5	1	1	1/3	1	1/3	0.023
(3) 技術	1/7	1	1	1/5	3	1/5	0.031
(4) 信頼性	1	3	5	1	5	1/3	0.198
(5) コスト	1/9	1	1/3	1/5	1	1/5	0.046
(6) 省人化効果	1	3	5	3	5	1	0.377

I. R. = 0.070

一対比較値	意味
1	両方の項が同じくらい重要
3	前項が後項に比べ若干重要
5	〃 重要
7	〃 かなり重要
9	〃 絶対的に重要
2, 4, 6, 8	補間的に用いる
上数値の逆数	後項から前項を見た場合

Table 2 Table of goodness gradation for the next generation mooring systems

評価項目 評価対象	制約		機能			技術		信頼性			コスト				15 省人化効果
	1 ルール	2 環境保全	3 利便性	4 感性・快適さ	5 機能性	6 解析能力	7 製造能力	8 強度・振動	9 耐久性	10 信頼性	11 製造費	12 施工費	13 維持費	14 開発費	
(1) 従来型 ウインチ - ロープ	5 5	5 5	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	5 5	1
(2) 本船側装備 チェーン係留	5 3	5 5	1 1	3 1	3 3	3 3	3 3	4 4	4 4	4 4	3 2	3 2	4 2	4 4	2
(3) スタッド式	3 1	4 2	4 4	4 2	3 2	2 2	3 3	4 1	4 1	2 2	2 2	2 2	4 2	3 4	4
(4) サイドスラスト	1 1	3 3	5 5	4 5	1 2	2 2	3 3	3 1	2 3	1 1	1 1	2 2	1 1	5 4	4
(5) アーム式	4 2	5 2	4 4	2 1	4 1	3 2	2 2	4 4	3 1	4 2	2 2	3 2	3 2	2 2	4
(6) 陸上支援 吸盤(負圧式)	2 2	5 3	4 4	4 4	4 4	4 3	3 3	3 2	2 2	2 2	3 3	2 2	2 2	3 3	3
(7) 電磁吸引式	2 2	3 3	4 4	4 4	4 4	4 3	4 3	5 4	4 4	2 2	3 3	2 2	3 2	4 3	3
(8) 上部アーム式	2 2	5 2	4 4	2 1	4 1	3 2	2 2	4 4	3 1	4 2	2 2	3 2	3 2	2 2	4
(9) 下部アーム式	2 2	4 1	4 4	4 2	4 2	2 2	2 2	4 4	2 1	3 2	1 1	1 1	1 1	1 1	3
重要度	.271	.054	.004	.001	.018	.005	.026	.119	.040	.040	.019	.019	.005	.002	.377

(評点) 5:Excellent, 4:Good, 3:Fair, 2:Bad, 1:Very bad

ただし、上段は評点A、下段は評点Bを示す。なお、有効桁の丸めのため小計があわない場合もある。

Table 3 Table of basaset of weighting for the next generation mooring systems

Y_k	$\{x_j \mid w_j \geq w_k\}$														$m(Y_k)$				
1	x_1														x_{15}	0.271			
2	x_1	x_2												x_{15}	0.054				
3	x_1	x_2	x_3											x_{15}	0.004				
4	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	0.001			
5	x_1	x_2				x_5	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}				x_{15}	0.018		
6	x_1	x_2				x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}			x_{15}	0.005	
7	x_1	x_2							x_7	x_8	x_9	x_{10}					x_{15}	0.026	
8	x_1							x_8	x_9	x_{10}							x_{15}	0.119	
9	x_1	x_2							x_8	x_9	x_{10}							x_{15}	0.040
10	x_1	x_2							x_8	x_9	x_{10}							x_{15}	0.040
11	x_1	x_2							x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}				x_{15}	0.019
12	x_1	x_2							x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}				x_{15}	0.019
13	x_1	x_2				x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}			x_{15}	0.005	
14	x_1	x_2	x_3			x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	0.002		
15															x_{15}	0.377			

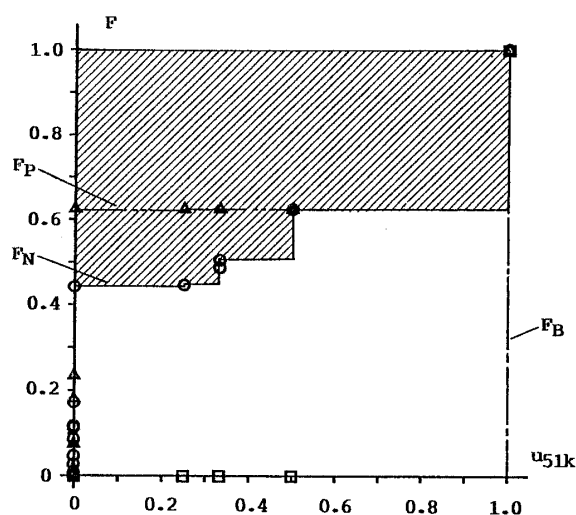


Fig. 6 Distribution function of a grading estimation for advantage of the 5th to 1st object

の重要度はその他の項目に対して比較的大きな値を取るため、これらは候補案選定の際の重要項目である。そこで、これらの重要度の大きな項目から順に累積して評点モデルに取り込み、重要度の優性評価指数への寄与がどのように推移するかを Fig. 7 に示す。

この場合では、重要度の寄与を累積していくにつれ Bel 優性評価指数および通常測度での優性評価指数 C_{Bi} , C_{Ni} は大きく変化し、順位も大きく変動するのに対して、PI 優性評価指数 C_{Pi} は大きな変化が見られず、順位も変化することはない。

このことから、 C_{Bi} , C_{Ni} では重要度が大きいが劣った評点の項目であっても他の項目で代替できるかを見る代替的評価であり、 C_{Bi} は C_{Ni} に比べ長所をより評価する。また、 C_{Pi} は、重要度の大きな項目に劣った評点がない場合に大きな値を取るため、欠点の少ない候補案を評価できる。したが

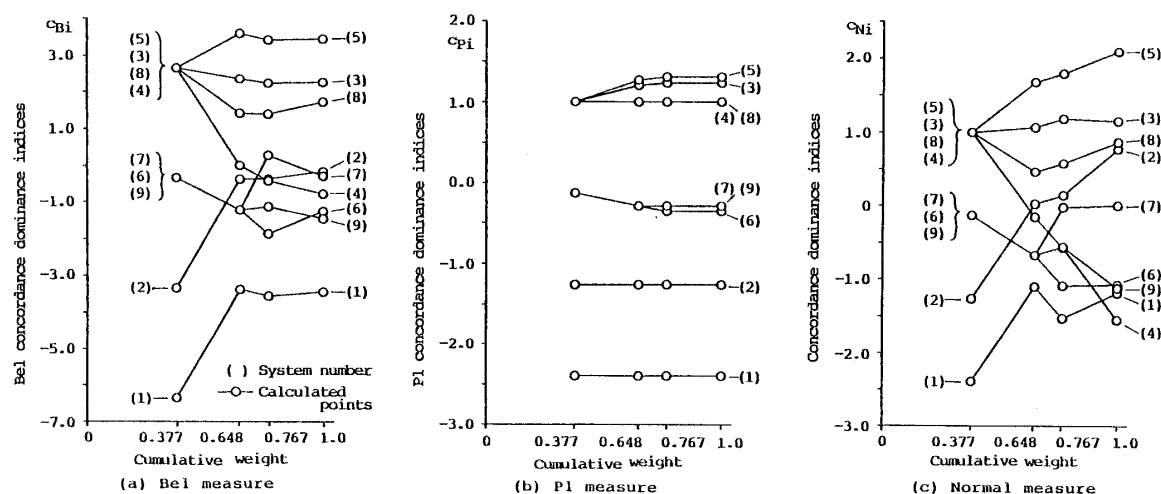


Fig. 7 A change of concordance dominance indices of Bel, PI and normal measures for mooring systems under their cumulative weight

って、評価項目を平均的に評価する C_{Bi} , C_{Ni} に対して、 C_{Pi} は補完的評価に利用できる。

(4) 総合評価

次世代係船システムの候補案を評定 A により序列化した場合の Bel 測度による代替評価, PI 測度による補完性評価, 通常測度による多基準分析法での優性評価指数 (CDI), C_{Bi} , C_{Pi} , C_{Ni} および選好順位を Table 4 に示し, さらにこれを最小値を 0 最大値を 1 として正規化し図にしたものを Fig. 8 に示す。なお, 表および図では指数の大きい値を取る候補案ほど優性である。

ここで, C_{Bi} は長所をより大きく見積もるため C_{Ni} に比べ候補案の間で大きな差ができる。また, 候補案の中で, 本船側装備のスタッド式, サイドスラスター式, アーム式, 陸上支援の上部アーム式には重要項目に欠点が少ないため

C_{Pi} は似たような正値を取るが, 他の方式とは大きな差ができるため, C_{Pi} により欠点の差を区別できる。

また, 本船側装備のチェーン式は代替性評価できる場合には C_{B2} による順位が上位のため比較的優性であるが, 重要項目に欠点があるため C_{P2} による補完性評価では劣る。これとは逆に, サイドスラスター式は重要項目に欠点が少ないため補完性評価では比較的優性であるが, C_{B4} が小さいことにより代替評価が難しいことを示している。したがって, この場合 C_{B5} , C_{P5} , C_{N5} とともに大きい本船側装備のアーム式が選好されることを示している。

また, Table 2 の評定 B による優性評価指数 C_{Bi} , C_{Pi} , C_{Ni} およびその順位を Table 5 に示す。評定 B と評定 A では評点についてある項目ではかなりの差があるにもかかわらず評定 B の場合も C_{B5} , C_{P5} , C_{N5} のとともに大きい本船側装備

Table 4 Table of concordance dominance indices (CDI) of Bel, PI and normal measures and preference ordering for mooring systems using the type A evaluation

System number	CDI Bel measure	Preference ordering	CDI PI measure	Preference ordering	CDI Normal measure	Preference ordering
1	-3.445	9	-2.388	9	-1.189	8
2	-1.169	4	-1.257	8	.770	4
3	2.251	2	1.238	2	1.163	2
4	-.777	6	1.005	3	-1.535	9
5	3.444	1	1.316	1	2.092	1
6	-1.265	7	-.353	7	-1.076	6
7	-.298	5	-.284	5	.006	5
8	1.719	3	1.005	3	.873	3
9	-1.460	8	-.284	6	-1.105	7

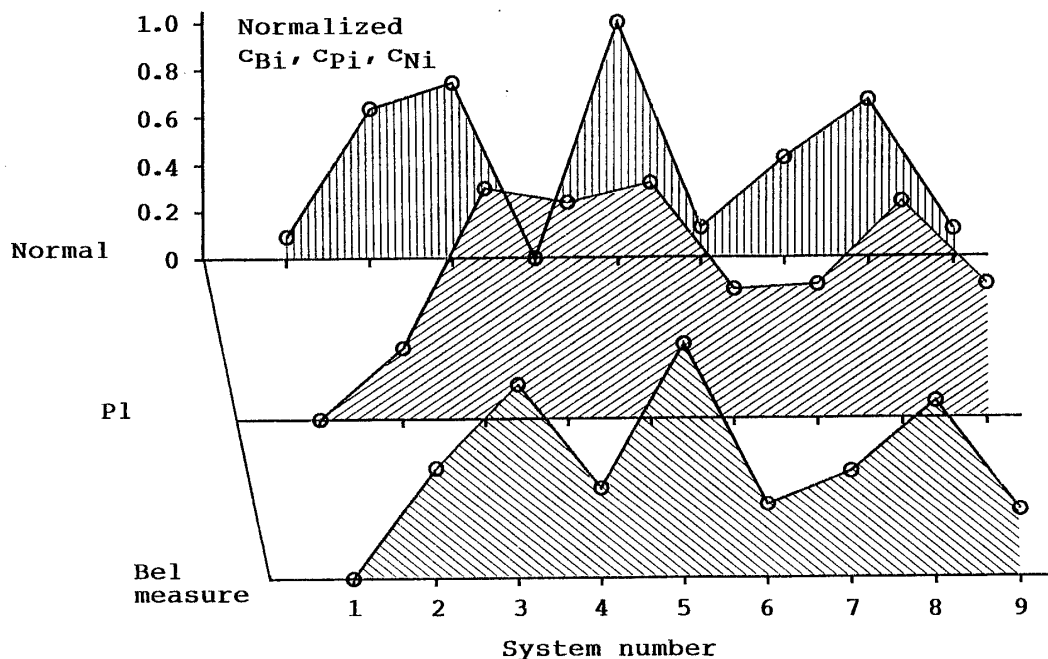


Fig. 8 Normalized concordance dominance indices of Bel, PI and normal measures for the next generation mooring systems

Table 5 Table of concordance dominance indices (CDI) of Bel, Pl and normal measures and preference ordering for mooring systems using the type B evaluation

System number	CDI Bel measure	Preference ordering	CDI Pl measure	Preference ordering	CDI Normal measure	Preference ordering
1	-2.332	9	-2.388	9	.033	5
2	-1.267	8	-1.257	8	.321	4
3	.638	3	1.005	1	-.390	6
4	.010	5	1.005	4	-.592	8
5	2.072	1	1.005	1	.640	1
6	-.878	7	-.126	5	-.426	7
7	.519	4	-.126	5	.528	3
8	2.072	1	1.005	1	.640	1
9	-.834	6	-.126	7	-.754	9

のアーム式が選好されることを示している。

4. 結 言

評価選好の際に意思決定者が直面する目的や状況に応じて生じる評価の多面性問題に対して、評価選好基準に Belief 測度あるいは Plausibility 測度のような Fuzzy 測度を用いた多基準分析法による代替性・補完性評価の手法を提案した。

この手法の適用例として、次世代係船システムの評価問題を扱い、評価対象を重要項目での評価が難しい場合の代替項目により優れた特徴を評価する場合と、評価対象を欠点のないものを選好する場合の評価手法を示し、コンセプト候補案の中から目的に応じた案を選好できることを示した。

今後は、本手法に基づく評価選好の基準の定義の違い、また評価者が多人数の場合、評価の様相がどのように変化するかを調べる必要がある。

なお、本研究の次世代係船システムの評価問題に関しては、貴重なご意見ならびに評点をいただきました九州共立大学 吉富佐教授および日立造船(株)田中清紀氏に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 篠田, 福地: あいまい問題の評価と意思決定支援ツールの構築(その2)評価構造の確定法と多面性問題, 日本造船学会論文集, 第171号, (1992)
- 2) 篠田, 福地: あいまい問題の評価と意思決定支援ツールの構築(その1)評価・決定の手法, 日本造船学会論文集, 第170号, (1991)
- 3) 篠田, 福地: 機装設計における不確定性のある問題

の解析手法について(その3)評価解析法, 日本造船学会論文集, 第169号, (1991)

- 4) Saaty, T: Mathematical Methods of Operations Research, Dover Publications, Inc., (1988)
- 5) 田中: ファジィモデリングとその応用, 朝倉書店, (1990)

付録 通常測度による優性評価指数

通常測度による多基準分析法では、重要度基準集合 Y_k を(9)式の代わりに次のようにとる。

$$Y_k = \{x_k\}, \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (\text{A.1})$$

(10)式より基本重要度は次式となる。

$$m(Y_k) = w_k \quad (\text{A.2})$$

したがって、(6)式の評点指数 u_k の場合には、通常測度による評点分布関数 F_N は次式のように表せ、(12)、(13)式の、Bel 測度、Pl 測度を用いても同様に表せる。

$$F_N(u_k) = \sum_{k=1}^m w_k = \text{Bel}(X_k) = \text{Pl}(X_k) \quad (\text{A.3})$$

優調和指数 $C_{Nii'}$ は(14)式と同様に評点分布関数 F_N の Stieltjes 積分により求める。

$$C_{Nii'} = \int u dF_N(u) = \sum_{k=1}^m u_k dF_N(u_k) \quad (\text{A.4})$$

ここに

$$dF_N(u_k) = F_N(u_k) - F_N(u_{k-1}), \quad F_N(u_0) = 0 \quad (\text{A.5})$$

したがって、通常測度による優性評価指数 C_{Ni} は(16)式と同様に次式より計算できる。

$$C_{Ni} = \sum_{i'=1}^n C_{Nii'} - \sum_{i'=1}^n C_{Nii} \quad (\text{A.6})$$

(A.4)、(A.6)式は、それぞれ(2)、(5)式であいまい量を考慮しない場合に一致する。