研究論文

970. 集団意思決定による原子力プラント 保守計画支援手法

清水 俊一*, 桜井 昭次**,
高岡 和**, 兼本 茂*, 福富 茂樹*

(1990年12月5日受理)

*Maintenance Planning Support Method for Nuclear Power Plants
Based on Collective Decision Making*

By Shunichi SHIMIZU, Shoji SAKURAI,
Kazushi TAKAOKA, Shigeru KANEMOTO and Shigeki FUKUTOMI

Inspection and maintenance planning in nuclear power plants is conducted by decision making based on experts' collective consensus. However, since a great deal of time and effort is required to reach a consensus among expert judgments, the establishment of effective decision making methods is necessary. Therefore, the authors developed a method for supporting collective decision making, based on a combination of three types of decision making methods; the Characteristic Diagram method, Interpretive Structural Modeling method, and the Analytic Hierarchy Process method. The proposed method enables us to determine the evaluation criteria systematically for collective decision making, and also allows extracting collective decisions using simplified questionnaires. The proposed method can support reaching a consensus of groups effectively through the evaluation of collective decision structural models and their characteristics.

In this paper, the effectiveness of the proposed method was demonstrated through its application to the decision making problem concerning whether or not the improved ultrasonic testing equipment should be adopted at nuclear power plants.

KEYWORDS : *nuclear power plants, reactor maintenance, supports, inspection, evaluation, analytic hierarchy process, characteristic diagram, collective decision making, decision making method, interpretive structural modeling, ultrasonic testing*

I. 緒 言

原子力プラントでは設備の信頼性や稼働率をより一層向上していくために、適切かつ効果的な点検・保守計画の策定が重要な課題となっている。ここでは、より高度な点検・保守技術の導入や設備の経年劣化対策の立案、さらには設計改良項目の抽出など幅広い問題の解決が要求されている。具体的には以下のような問題が挙げられる。

(1) 新規の点検・保守技術の導入可否の判断

(2) 点検・保守(検査, 更新等)周期の決定

(3) 点検・保守対象設備(部位)の優先順位の決定

(4) 設備の重要度, 故障影響度等の順位の決定

(5) 設計改良, 監視・診断の優先順位の決定

現在, これらの問題は専門技術者の集団的な合意

* ㈱東芝 原子力技術研究所 (Nucl. Eng. Lab., Toshiba Corp.)

** ㈱東芝 磯子エンジニアリングセンター (Isogo Eng. Center, Toshiba Corp.)

形成に基づいた意思決定により解決されている。しかし、複雑な点検・保守状況と多様な価値観のために集団的な合意形成に至るまでに多大な労力と時間が必要であり、効率的な集団意思決定手法の確立が望まれている⁽¹⁾。そこで、点検・保守計画の策定における集団意思決定を効率的に支援する方法を検討した。

意思決定問題に関しては、オペレーションズ・リサーチ(Operations Research: OR)の技術分野において、構造解釈モデリング(Interpretive Structural Modeling: ISM)法⁽²⁾、階層化意思決定(Analytic Hierarchy Process: AHP)法^{(3)~(6)}、多属性効用分析法⁽⁷⁾等の手法が提案されている。これらの手法は種々の産業分野で広く応用されており、個々の問題解決に適した手法の改良や新しい手法の提案が現在も多数報告されている⁽²⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。これらの応用において、意思決定とは「目的を達成するための多様な方策(代替案)の中からどれを選択するかという問題」と定義されている。ところがこの選択は、定量的な判断基準だけでなく、個人の価値観に基づくあいまいな判断に基づいてなされる場合が多い。このため意思決定に際しては、多様な価値観の矛盾をいかに処理し、総合的にバランスのとれた決定ができるかが重要な課題となる。

一方、原子力プラントの点検・保守計画の策定のような意思決定問題では、膨大な情報と専門的な知識に基づいた複雑かつあいまい性を含む判断の調整に加えて、規制部門、電力会社およびメーカー(これらを部分集団と呼び、それをすべて集めた集団を全集団と呼ぶ)といった立場による価値観の違いの調整を図る必要がある。本報では、これらの特徴を踏まえて、点検・保守計画の策定における集団意思決定を支援するために、以下の4つの問題を解決する具体的手法を提案する。

- (1) 意思決定に必要な評価項目を明確にする方法
- (2) 各部分集団に属する専門技術者の意思を効率的に抽出する方法
- (3) 立場の異なる各部分集団の意思を定量化し、その特徴(構造)をモデル化する方法
- (4) 各部分集団の合意形成に基づいて全集団の意思決定を支援する方法

前記のISM法やAHP法といった従来の意思決定手法を、これらの問題に単純する適用するだけでは十分に実用に耐える結果は得られないため、これ

らの手法の長所を相補的に組み合わせることが必要である。このような観点から、従来の3つの手法をまとめた次のような一連の意思決定手法を開発した。

- (1) 特性要因図法⁽¹⁰⁾を用いて意思決定問題の解決に必要な評価項目の洗い出しと絞り込みを行う。
- (2) ISM法のアンケートを用いて、評価項目に対する各部分集団の意思を関連性の定量値として抽出するとともに、各部分集団の意思構造モデルを評価する。
- (3) ISM法による意思構造モデルを基にAHP法の階層構造モデルを決定する。また、ISM法のアンケートにより得られた重要度の定量値をAHP法の一対比較値に変換する。
- (4) AHP法を用いて、各部分集団ごとに評価項目に対する重要度を評価し、この重要度を用いて最終的な代替案の選定、すなわち全集団の意思決定を行う。

本報では、自動化技術を取り入れた改良型超音波探傷装置の原子力プラントへの導入可否に関する意思決定問題に上記の手法を適用し、その有効性を検討した。この問題では、同装置の経済性や信頼性、安全性について、部分集団である規制部門、電力会社およびメーカーがそれぞれの立場で異なる価値観を持っている。これらの価値観を上述の意思決定手法により定量化し、各部分集団の価値観を相互に比較することにより、全集団の意思決定を効率的に支援できる。第II章でこの集団意思決定の手順を説明し、第III章で本手法を上述の問題へ適用した結果について述べる。第IV章ではこれらの結果をまとめる。

II. 集団意思決定手法

1. 点検・保守計画策定支援への適用性

第I章で述べたように、点検・保守計画の策定では様々な問題解決が要求されているが、本報ではこの典型的な問題として、改良型超音波探傷装置の導入可否に関する意思決定問題を取り上げ、まず従来よく用いられているISM法とAHP法の適用を試みた。([付録]参照)

ISM法は簡単なアンケートにより多数の専門技術者の意識調査を行う方法であるが、これを適用した結果以下の点についてさらに詳しい検討が必要と

なった。

- (1) 意思決定のために必要な評価項目の選定方法
- (2) 評価項目間の独立性を配慮する方法(例えば, “安全性”と“危険性”のように一見相反するが, 実質的には互いに従属的な関係にある項目を選定しないように配慮する方法)

- (3) 最終的に代替案を評価, 選定する方法

そこで, (1), (2)項の問題を解決するために, 特性要因図法(特定の結果と原因との関係を系統的な図に表わす手法)を新たに導入した。また(3)項に対しては, 代替案の評価, 選定が可能である AHP 法の適用を検討したが, さらに, 以下の問題点があることがわかった。

- (4) AHP 法では各個人の価値観を一对比較行列により表現するが, AHP 法に熟達していないと, この行列の作成には労力と時間がかかる。
- (5) AHP 法では意思決定のための階層構造モデルを設定する必要があるが, その設定方針が不

明確である。

上記(4)項の問題は, ISM 法のアンケートによる意識調査の結果を AHP 法の適用に必要な一对比較行列に変換する方法を考案することにより解決した。この方法により, AHP 法に熟達していなくても容易に一对比較行列を作成することができる。また, (5)項の問題は, ISM法の適用により得られたISM意思構造モデル([付録]参照)を基にAHP法の階層構造モデルの設定法を新たに考案して解決した。

以上のように, 特性要因図法, ISM 法, AHP 法を相補的に活用することにより, 系統的に集団意思決定を支援する一連の手法を開発した。この手法により作成される各部分集団の意思構造モデルは, 部分集団の意思を定量的に表現しており, これを用いて全集団の合意形成を効率的に支援できる。

2. 集団意思決定の手順

集団意思決定の手順を第1図に示す。以下, 図中

第1図 集団意思決定手法の分析手順の概要

の各ステップでの分析手順を示す。

[ステップ1: 評価項目の抽出と選定]

第2図に示すような特性要因図法を用いて、評価項目の抽出と選定を行う。このステップは、ISM法、AHP法に用いる評価項目とその選定基準を明確にするために必要となる。特性要因図法には、以下の利点がある。

- (1) 評価項目を分類ごとに細分化していくため、系統的な評価項目の洗出しができる。
- (2) また各分類の中から代表的な項目を選定することにより、独立性を配慮した項目の選定ができる。

この特性要因図は、意思決定問題に関係する技術分野の専門技術者によって作成される。これら専門技術者によって各項目が評価され、適切な項目が選定される。

[ステップ2: アンケートの実施]

ステップ1で選定された各評価項目に対して、第3図に示すようなISM法のアンケートを行い、各評価項目の「関連性」と「重要度」の二通りについて各部分集団に属する個々の専門技術者の価値観を抽出する。

ISM法のアンケート方式とAHP法のアンケート方式は、設問、回答の様式により以下のように異なっている。

(1) ISM法のアンケート方式

(設問)『評価項目A』は『評価項目B』よりも重要ですか？(関係があるか？)

(回答)YES または、NO を記入

(2) AHP法のアンケート方式

(設問)『評価項目A』は『評価項目B』よりもどの位重要ですか？

(回答)第1表の一対比較値(9段階のランクの中から1つのランク)を記入((付録)参照)

以上に、両方式の特徴を比較、考察してみる。

回答者にとっては、2値選択であるISM方式が明

第1表 AHP法における一対比較判定尺度の考え方

一対比較値 (ランク)	意味 (A項目はB項目より重要か？という設問)
9	Aの方がBより、『圧倒的に』重要である
7	Aの方がBより、『非常に』重要である
5	Aの方がBより、『かなり』重要である
3	Aの方がBより、『少し』重要である
1	AとBは、『同じ位』重要である
1/3	ランク3の逆の場合
1/5	ランク5の逆の場合
1/7	ランク7の逆の場合
1/9	ランク9の逆の場合

偶数値の補間的な
利用も可能である

らかに簡単であり負担が少ない。これに対して、AHP方式は多値選択であり、しかも相対的な比較判断が必要であるため、特に初心者には難しい設問となる。

AHP方式は、回答者が1人の場合でも評価項目の重要度を定量的に把握できるが、ISM方式は(回答者が1人の場合には)重要度の定量的な関係は評価できない。しかし、回答者が複数の場合には、ISM方式においても多数決の論理(どれだけの人が『項目A』の方が『項目B』よりも重要と感じているか)により評価項目の重要度を把握することができる。

AHP法では第4図に示すような意思決定のための階層構造を決定する必要があるが、AHP方式の設問からは構造化検討に必要な情報は得られない。しかし、ISM方式(『項目A』は『項目B』に関連するかという設問)ではステップ3に示す方法を採用することにより、評価項目間の階層構造を評価することができる。

以上の考察に基づき、本研究では専門技術者の価値観をISM法のアンケート方式で抽出する方法を採用した。

[ステップ3: 階層構造モデルの設定]

AHP法のための階層構造モデルは、ISM法の「関連性」に関するアンケート結果を統計処理し、さらにISM法の適用により得られるISM意思構造モデルを基に作成する。アンケートの統計処理は、以下の手順で行う。

- (1) ISM法の「関連性」に関する各設問のアンケート結果(YES=1, NO=0)から回答者数に対するYES率を求める。例えば“『評価A』は『評価B』に関係があるか？”という設問に対して、回答者15名中12名がYESと答えた場合、YES率は0.80となる。

- (2) 各設問のYES率を第5図に示すような評価項目で構成される行列の要素とし、YES率の行列を作成する。例えば、第5図の1行4列の行列要素は、“『評価項目1(法規・基準との整合性)』は『評価項目4(検査装置の適用性)』に関係しますか？”という設問に対するYES率が0.87であることを示している。

- (3) 各YES率を四捨五入(例えばYES率が0.87の場合1に変換する)により2値に変換し、0, 1で表わされる2値行列を作成する。

以上の変換により得られた2値行列にISM法を

第2図 特性要因図法による評価項目の抽出例

「自動UT装置に関し前記10項目がどんな関係にあるのか質問させていただきます。
(YES・NO) のどちらかに○をつけて下さい。」

設問1-1 (法規・基準と整合) することは (装置の安全性) の向上につながりますか。	(YES・NO)
設問1-2 (法規・基準と整合) することは (装置の操作性) を向上することにつながりますか。	(YES・NO)
設問1-3 (法規・基準と整合) することは (装置の通用性) を拡大することにつながりますか。	(YES・NO)
設問1-4 (法規・基準と整合) することは (本装置の検査精度を高める) ことにつながりますか。	(YES・NO)
設問1-5 (法規・基準と整合) することは (ひばく低減) につながりますか。	(YES・NO)
設問1-6 (法規・基準と整合) することは (検査時間を短縮する) ことにつながりますか。	(YES・NO)
設問1-7 (法規・基準と整合) することは (検査装置及び検査のcost) を低くすることにつながりますか。	(YES・NO)
設問1-8 (法規・基準と整合) することは (採用実績) につながりますか。	
設問1-9 (法規・基準と整合) することは (検査の効率) につながりますか。	

「次に自動UT装置に関し前記10項目の重要度について質問させていただきます。
(YES・NO) のどちらかに○をつけて下さい。」

設問11-1 (法規・基準との整合) は (検査装置の安全性) より重要ですか。	(YES・NO)
設問11-2 (法規・基準との整合) は (検査装置の操作性) より重要ですか。	(YES・NO)
設問11-3 (法規・基準との整合) は (検査装置の通用性) より重要ですか。	(YES・NO)
設問11-4 (法規・基準との整合) は (検査精度の高さ) より重要ですか。	(YES・NO)
設問11-5 (法規・基準との整合) は (ひばく低減) より重要ですか。	(YES・NO)
設問11-6 (法規・基準との整合) は (検査時間の短縮) より重要ですか。	(YES・NO)
設問11-7 (法規・基準との整合) は (検査装置・検査の経済性) より重要ですか。	
設問11-8 (法規・基準との整合) は (採用実績) より重要ですか。	
設問11-9 (法規・基準との整合) は (検査の効率) より重要ですか。	

第3図 ISM法の「関連性」と「重要度」アンケート例

適用し、評価項目間の関連性を示すISM意思構造モデルを作成する([付録1.]参照)。AHP法のための階層構造モデルは、このモデルを参考に容易に作成することができる。

[ステップ4: 一対比較行列の作成]

AHP法のための一対比較値は、ISM法の「重要度」に関するアンケート結果を統計処理することにより作成する。この処理は以下の手順で行う。

- (1) ステップ3の(1),(2)と同様に、「重要度」に関する各設問のアンケート結果から回答者数に対するYES率を求める。
- (2) YES率の行列の対称要素(すなわち、相反する設問)の差からYES率の差を求める。例えば

第5図において1行4列の行列要素“0.87”は、「1)法規・基準との整合性」は「4)検査装置の適用性」よりも重要であると回答した人が15名中13名(YES率0.87)であったことを示している。すなわち、大多数の人が「1)法規・基準との整合性」の方を重要と考えていることを示している。

一方、逆の設問に対する値(行列の対称要素)は、反対意見のYES率に相当し、“0.07”となっている。したがって、YES率の差は“0.80”となる。この値をYES率の行列の1行4列の要素に置き換えることにより、YES率の差の(右上三角部分にのみ値を持つ)行列が得られ

第 4 図 AHP 法のための階層構造モデルの作成例

項目番号	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)
1)		0.47	0.93	0.87	0.87	0.80	0.87	0.87	0.87	0.87
2)	0.33		0.93	0.93	0.80	1	0.93	0.93	0.93	0.93
3)	0.07	0		0.33	0.20	0.27	0.47	0.67	0.87	0.73
4)	0.07	0	0.60		0.20	0.27	0.47	0.33	0.93	0.80
5)	0.07	0.20	0.80	0.73		0.67	0.73	0.73	0.93	1
6)	0.20	0.07	0.73	0.60	0.33		0.80	0.67	0.93	0.80
7)	0.07	0	0.40	0.47	0.07	0.13		0.53	0.80	0.60
8)	0.13	0	0.27	0.27	0.20	0.33	0.47		0.60	0.47
9)	0.13	0	0.13	0.13	0.07	0.13	0.20	0.33		0.40
10)	0.07	0	0.20	0.33	0.20	0.13	0.33	0.53	0.47	

第 5 図 アンケートの統計処理による YES 率行列(回答者 15 名)例

る。また、この対称要素を加えて 1 から引いた値“0.06”は、無回答率(15 名中の 1 名)に相当する。各設問に対する相反する 3 種類(YES/NO/無回答)の回答は、この計算により定量値として表わすことができる。

- (3) (2)で得られた YES 率の差の行列要素を、第 6 図上に示す変換尺度に従って、以下のように一対比較値に変換する。

- $-1.0 \leq \text{「YES 率の差」} < -0.9$: 一対比較値 “1/9”
 $-0.9 \leq \text{「YES 率の差」} < -0.7$: 一対比較値 “1/7”
 ……(途中省略)……
 $-0.3 \leq \text{「YES 率の差」} \leq 0.3$: 一対比較値 “1”
 ……(途中省略)……
 $0.7 < \text{「YES 率の差」} \leq 0.9$: 一対比較値 “7”
 $0.9 < \text{「YES 率の差」} \leq 1.0$: 一対比較値 “9”

例えば、YES 率の差の行列要素(1 行 4 列の値) 0.80 は、一対比較値 “7” ; 「1) 法規・基準との整合性」の方が「4) 検査装置の適用性」より「非常に」重要である”に変換できる。この一対比較値を、行列の 1 行

第6図 変換尺度を用いた YES 率行列の一対比較行列への変換例

4 列の要素に置き換え、さらにその逆数(この場合 1/7)を対称要素(この場合, 4 行 1 列の要素)とする。

以上の処理により ISM 法の「重要度」に関するアンケート結果は, AHP 法の適用が可能な一対比較行列に変換できる。

[ステップ5: 集団意思決定]

[付録2.]に示す AHP 法のステップ2~6の手順に従って集団意思決定(代替案の選定)を行う。ここでは, 異なる価値観を持つ各部分集団の特徴を把握し, 相互に価値観の理解を深めることにより, 最終的に全集団における合意形成を行なっていく必要がある。このため本ステップでは, 単に全集団の意思に基づいて代替案を選定するだけでなく, 部分集団ごとにアンケート結果を整理し, 部分集団ごとの評価項目に対する重要性(価値観の度合い)の評価などから部分集団間の意思の相違や特徴も把握する。

III. 適用と評価

改良型超音波探傷装置の原子力プラントへの導入可否に関する意思決定問題を取り上げ, 本手法の有

効性を説明する。

1. 適用結果

(1) 評価項目の選定

まず特性要因図法を用いて評価項目の抽出, 整理を実施した。この結果, 第2図に示すように, 評価項目を系統的に抽出できた。これを基に専門技術者による評価項目の絞込みを行い, 第2表に示す10種類の評価項目を選定した。このよう特性要因図を用いることにより評価項目を効率的に選定できた。

(2) アンケートの結果

次に選定した評価項目を基に, 第3図に示す ISM 法の「関連性」と「重要度」に関する二通りのアンケートを作成し, ①規制部門, ②電力会社, ③メーカーの3つの部分集団(各5名)計15名に対して調査を実施した。このアンケートは前章で述べたように, 設問に対して YES/NO で答える非常に簡単な方式である。このため, 回答者の負担を減らし効率的に集団意思を抽出することができた。

(3) 階層構造モデルの検討

第2表 超音波探傷装置の評価項目の選定(絞込み)例

項目番号	評価項目	特性要因図における関連項目
1	法規・基準との整合性	21), 23)
2	装置の安全性	12), 16), 17), 20)
3	装置の操作性	5), 6), 7), 8), 10), 11), 25)
4	装置の適用性	24), 26), 27)
5	検査精度の高さ	3), 4), 14)
6	ひばく低減	18)
7	検査時間の短縮	9), 19), 22)
8	装置の経済性	13), 15)
9	採用実績	28)
10	検査の自動化	1), 2)

「関連性」に関するアンケートに ISM 法を適用した結果、ISM 意思構造モデルは 10 種類の評価項目間に特定の階層のない均一な構造(すなわち項目間に従属的な関係のない構造)と評価できた。この評価結果を基に、AHP 法による意思決定のための階層構造モデルを第 4 図のように設定した。ここで、第 4 図のレベル 2 の評価項目が、第 2 表の評価項目に対応している。従来、この階層構造モデルは AHP 法に熟達した技術者の経験的判断により設定されていたが、ISM 意思構造モデルを参考とすることにより容易かつ合理的に設定できるようになった。

(4) 一対比較行列の作成

集団の価値観や意思を定量化するために、第 3 図に示した「重要度」に関するアンケートを統計処理して第 5 図に示す YES 率の行列(回答者 15 名の例)を求め、さらに第 6 図に示す一対比較行列を算定した。この結果、AHP 法に熟達していなくても、容易かつ効率的に一対比較行列を算定できるようになった。ここで第 5, 6 図の項目番号は、第 2 表の項目番号および第 4 図のレベル 2 の評価項目に対応している。なお第 6 図は、回答者 15 名全員のアンケートより作成した一対比較行列を示したものであるが、部分集団ごとの一対比較行列も同様の手順で作成することができる。

(5) 部分集団意思の特徴把握

第 7 図は、部分集団ごとに作成した一対比較行列を用いて AHP 法により評価項目間の重要度を求め、その順位を比較した結果を示している。この結

果より、部分集団ごとの各評価項目に対する価値観(意思)の相違点や特徴を分析することができる。例えば、部分集団 1 は他と異なり「1) 法規・基準との整合性」を「2) 安全性」よりも重要と考えている。このような評価は各部分集団の価値観を相互に理解し、合意の形成を進めていく上で非常に有益な情報となる。

(6) 全集団意思の特徴把握

第 8 図左は、全集団 15 名のアンケートに AHP 法を適用した結果(評価項目の重要度順位)を示している。図右は ISM 法により評価項目の重要性の構造を ISM 意思構造モデルにより表わした結果を参考として示している。両者は一致した傾向を示しているが、AHP 法では重要度により定量化された結果が得られている。この結果は集団全体の総意を現わしているが、より信頼性の高い集団意思決定を行うためには、これと並行して(5)項に示したように各部分集団の特徴を把握しておくことが重要となる。

(7) 一対比較行列の整合性の検証

第 7, 8 図の結果はいずれも整合比(C.R.), 整合度(C.I.)が、整合性の目安値である 0.10~0.15(〔付録 2.〕参照)を越えており、一対比較行列の見直しが必要である。この場合、評価項目や階層構造の見直しを図る必要がある。例えば、評価項目の中から重要度の低い(意思決定のための重要性が少ない)項目を除き、評価項目を絞り込んで再度評価する。本例では、第 7 図に示したいずれの部分集団においても重要度順位が 6 位以下の「3) 装置の操作性」、「7) 検査

重要度 順位	[部分集団1:規制部門5名の場合] CR=0.133; CI=0.198	[部分集団2:電力会社5名の場合] CR=0.158; CI=0.236	[部分集団3:メーカー5名の場合] CR=0.193; CI=0.288
1	1) 法規・基準 : 0.328	2) 安全性 : 0.369	2) 安全性 : 0.332
2	2) 安全性 : 0.231	1) 法規・基準 : 0.162	1) 法規・基準 : 0.297
3	5) 検査精度の高さ : 0.154	8) 装置の経済性 : 0.125	5) 検査精度の高さ : 0.147
4	6) ひばくの低減 : 0.099	6) ひばくの低減 : 0.103	6) ひばくの低減 : 0.062
5	10) 検査の自動化 : 0.044	5) 検査精度の高さ : 0.070	4) 操作の適用性 : 0.047
6	3) 装置の操作性 : 0.043	7) 検査時間の短縮 : 0.050	3) 装置の操作性 : 0.042
7	4) 操作の適用性 : 0.039	3) 装置の操作性 : 0.046	7) 検査時間の短縮 : 0.029
8	7) 検査時間の短縮 : 0.028	4) 操作の適用性 : 0.044	10) 検査の自動化 : 0.021
9	9) 採用実績 : 0.021	9) 採用実績 : 0.017	8) 装置の経済性 : 0.020
10	8) 装置の経済性 : 0.013	10) 検査の自動化 : 0.015	9) 採用実績 : 0.012

第7図 各部分集団における評価項目の重要度の評価結果

重要度 順位	[AHP法による全集団15名の評価結果] CR=0.101; CI=0.151	[（参考例）ISM法による全集団15名の評価結果] （重要性の構造をISM意思構造モデルにより表わした例）
1	2) 安全性 : 0.322	2) 安全性 (同レベル) 1) 法規・基準
2	1) 法規・基準 : 0.282	
3	5) 検査精度の高さ : 0.129	5) 検査精度の高さ
4	6) ひばくの低減 : 0.088	6) ひばくの低減
5	3) 装置の操作性 : 0.047	4) 操作の適用性
6	4) 操作の適用性 : 0.039	7) 検査時間の短縮 (同レベル) 3) 装置の操作性
7	7) 検査時間の短縮 : 0.035	
8	8) 装置の経済性 : 0.025	8) 装置の経済性
9	10) 検査の自動化 : 0.018	10) 検査の自動化
10	9) 採用実績 : 0.016	9) 採用実績

第8図 全集団における評価項目の重要度の評価結果

時間の短縮」,「9)採用実績」の3つの項目を除いた7つの項目を用いて再分析を行なった。

この結果,部分集団ごとの分析では,いずれの場合もC.R.を0.15以下に,また全集団の分析では,C.R.=0.08, C.I.=0.10,まで改善され,整合性の基準をほぼ満足することができた。この7項目による重要度の順位は,10項目の順位と変わらないため,本報では10項目の分析結果(第7,8図)のみを提示している。

(8) 集団意思決定(代替案の選定)

次に,改良型超音波探傷装置の導入可否に関する集団意思決定の結果を示す。第3表は各評価項目に対する代替案の一对比較値を示している。第3表の一对比較値と第7,8図の結果から代替案の総合重要度([付録2.]参照)を算定する。

第4表に二通りの超音波探傷装置の総合重要度を示す。表より,いずれの部分集団でも改良型の装置を導入すべきという意思決定が示されている。

2. 適用結果の検討

本手法は,次の点において点検・保守計画の策定に関する集団意思決定を合理的かつ効率的に支援できることを確認できた。

(1) 特性要因図法は,意思決定のために必要な評

第3表 評価項目に対する代替案の一对比較値の例

改良型装置に対する在来型装置の一对比較ランク値			
評価項目	一对比較値	評価項目	一对比較値
1)法規・基準との整合性	1	6)ひばくの低減	5
2)装置の安全性	5	7)検査時間の短縮	3
3)装置の操作性	3	8)装置の経済性	1/7
4)装置の適用性	1	9)採用実績	1/3
5)検査精度の高さ	3	10)検査の自動化	5

第4表 各部分集団と全集団における超音波探傷装置の総合重要度

集 団 \ 代替案	改良型装置	在来型装置
規制部門(5名)	0.671	0.329
電力会社(5名)	0.652	0.348
メーカー(5名)	0.679	0.321
全集団(15名)	0.682	0.318

価項目を系統的に選定する1つの有効な手法となる。

- (2) 集団の価値観や意思は,ISM法の簡単なアンケートにより効率的に抽出できる。またこのアンケートをAHP法の適用に必要な階層構造モデルや一对比較行列に変換することができる。このため回答者の負担を軽減し効率的に集団の価値観や意思を抽出することができる。
- (3) アンケートを部分集団ごとに処理し,AHP法を適用して各集団の価値観や意思の特徴をモデル化および定量化することにより,部分集団の意思を客観的に評価できる。これにより,全集団のより信頼性の高い合意形成を図ることができるようになった。

以上の結果により,本報で提案した一連の手法は,原子力プラントの点検・保守計画の策定に関わる集団的な意思決定に有効であることが確認できた。

しかし,特性要因図法による評価項目の選定は専門技術者の判断に依存しており,また評価項目間の独立性を定量的に検証する方法,最適な評価項目を抜けなく選定するより合理的な方法の検討が課題として残されている。またISM法の(YES/NO)設問から得られるYES率の差を一对比較値に変換する尺度(第6図上参照)は1つの例であり,その最適性を評価する方法,例えば一对比較行列の整合度を最小とする変換尺度の設定方法などの検討が課題として残されている。

保守計画の策定支援では,設計技術,設備の信頼性情報,点検技術,あるいは経済性に関する問題を意思決定の評価に取り入れ,最良の方針を決定していく必要がある。このためには保守管理技術や設備のLife Cycle Cost評価を含めた総合的な評価に基づいて,原子力プラントの保守計画を支援する手法の確立が必要と考えられる。

IV. 結 言

本研究では,原子力プラント点検・保守計画の策定を支援するための集団意思決定手法の検討を行なった。

この結果,特性要因図法,ISM法,AHP法の長所を相補的に組み合わせた一連の処理により集団意思決定を支援する1つの手法を提案した。提案した手法を改良型超音波探傷装置の導入可否に関する意思決定問題に適用することにより,次の点が明らかに

なった。

- (1) 意思決定のために必要な評価項目を系統的に選定できる。
- (2) 簡単なアンケートに基づいて、効率的に集団の価値観や意思を抽出できる。
- (3) 全集団の合意形成のために必要な部分集団意思の特徴を定量的に評価し、方針の決定を効率的に支援できる。

以上により、提案した手法が点検・保守計画の策定支援に有効な1手法となることを確認できた。

本研究は、発電設備技術検査協会の検査・保守管理技術評価委員会(委員長 飯田國廣東大名教授)における成果の一部である。本研究をまとめるにあたり、アンケートの実施等に助力頂いた(発電設備技術検査協会の山田佳生、黒川昭夫の各氏、ならびに本手法の検討に有益な助言と指導を頂いた野本敏治東京大学教授、北村正晴東北大学教授をはじめとする委員各氏に深く感謝します。

— 参考文献 —

- (1) SHIMIZU, S., et al.: *J. Nucl. Sci. Technol.*, 28 [11], 1041 (1991).
- (2) 榎本義一, 河村和彦編: “参加型システムズ・アプローチ”, (1981), 日刊工業新聞社.
- (3) SAATY, T.L.: オペレーションズ・リサーチ, 1986. 8, 9-11, (1986).
- (4) 真壁龍太郎: 同上, 1986. 8, 4-8, (1986).
- (5) 中山弘隆: システムと制御, 30 [7], 430, (1986).
- (6) 刀根 薫: “ゲーム感覚意思決定法”, (1986), 日科技連出版.
- (7) 藤田真一, 他: システム制御情報学会論文誌, 3 [8], 237 (1990).
- (8) 寺野隆雄, 他: オペレーションズ・リサーチ, 1986. 8, 30-34, (1986).
- (9) 加藤直孝: 同上, 1989. 4, 5-11, (1989).
- (10) 石原勝吉: “現場のQC七つ道具(II)”, (1983), 日科技連出版.

〔付 録〕 ISM 法と AHP 法の概要

1. ISM 法の概要⁽²⁾

ISM 法は意思決定問題における意思構造モデルの解明を目的とした以下のような一連の手法である。

〔ステップ1: 『要素』と『関係』の設定〕

最初に意思決定問題を『要素』(例えば, 故障)と『関係』(例えば, 影響する)の関係に置き換える。

〔ステップ2: アンケート調査の実施〕

ステップ1で設定された関係(評価項目)が成立するか否かを“『故障A』は『故障B』に『影響』するか?”というような YES/NO 選択方式のアンケートにより調べる。この結果は, YES の場合を 1, NO の場合を 0 とする 2 値行列として整理する。

〔ステップ3: アンケート結果の行列計算〕

次式により 2 値行列 A の可到達行列 T を計算する。

$$\begin{aligned}(A+I)^{r-1} &\neq (A+I)^r \\ &= (A+I)^{r+1} = T\end{aligned}$$

可到達行列は, 行列 A の要素間に直接的な関係がなくても, 他の要素を介して間接的な関係を持つ要素を導き出すために計算する。

〔ステップ4: 多階層有向グラフの作成〕

各評価項目をノードで表現し, それらの間の到達関係(例えば, 要素 $ij=1$ の場合, $i \rightarrow j$ の方向性のある関係)を矢線で表わすことにより多階層有向グラフを作成する。

〔ステップ5: ISM 意思構造モデルの作成〕

可到達行列は, 評価項目間のすべての到達関係を表わしており, このまま多階層有向グラフを作成すると矢線の数が多くなり見づらくなる。そこで可到達行列から推移性を含む到達関係を縮約(すなわち, 直接隣り合うことのない階層レベルに属する要素間の関係を示す矢線を消去)し, 最小の矢線で構成される ISM 意思構造モデルを作成する。

〔ステップ6: 意思構造モデルの検討〕

ステップ5で作成された ISM 意思構造モデルを基に問題の理解を深め, 解決のための検討を繰り返す。

以上の分析手順により, ISM 法では意思決定問題の構造をモデル化することができる。

2. AHP 法の概要^{(3)~(6)}

AHP 法は代替案の選定を目的とした以下のような一連の手法である。

〔ステップ1: 意思決定のための階層構造の設定〕

最初に意思決定問題を『最終目標』→『評価項目』→『代替案』の3種類の階層を持つ階層構造モデルとして表現する。ただしこの評価項目は, 意思決定問題の複雑さに応じて階層的に構成する。

〔ステップ2-1: 評価項目の一对比較行列の作成〕

次に, 評価項目に対する評価者の価値観を一对比較尺度に従って一对比較値に変換する。例えば“[項

目 a)は「項目 b)より「非常」に重要である」場合、一対比較値のランクを“7”とする等。(第1表参照)

n 個の評価項目 $X_i (i=1, \dots, n)$ がある場合、 $n \times n$ 個の要素 $[a_{ij}]$ を持つ一対比較行列 A を作成する。まず右上三角要素にある項目の組合せについて一対比較値を作成し、次にその値の逆数を各対称要素には付与するという手順により行列 A を作成する。

[ステップ2-2: 評価項目の重要度の決定]

n 個の評価項目 X_i の最終目標に対する重要度(評価者の価値観) $W^T = (w_1, \dots, w_n)$ は、ステップ2-1で得られた一対比較行列 A の固有値ベクトルとして求める。すなわち行列 A は、 w_i/w_j を a_{ij} で推定していることに相当する。そこで、行列 A の要素 a_{ij} を w_i/w_j で置換し、行列 W を右から掛けると、 $(A - \lambda I)W = 0$ 、となる。この λ は、行列 A の固有値、また W は、その固有ベクトルとなる。また、一般に $\sum \lambda_i = n$ となり、ゼロでない唯一の固有値 λ を $\lambda_{\max}$ とすると、 $\lambda_{\max} = n$ 、他の λ_i は、 $\lambda_i = 0$ 、となる。ただし AHP 法では、 $\sum w_i = 1$ となるように規格化した値を重要度とする。

[ステップ3: 代替案の一対比較評価と重要度の決定]

ステップ2-1と同様の処理により、各評価項目ごとに、代替案の一対比較行列を作成する。次にステップ2-2と同様の処理により、各評価項目毎に作成された代替案の一対比較行列から代替案の重要度を決定する。

[ステップ4: 総合重要度の決定]

n 個の評価項目 X_i の最終目標に対する重要度を

W^T 、また、 m 個の代替案 $C_k (k=1, \dots, m)$ の各評価項目 X_i に対する重要度を $B^T_i = (\beta_{i1}, \dots, \beta_{im})$ とする。このとき代替案 C_k の総合重要度 S_k は、次式により与えられる。

$$S_k = \sum_{i=1}^n w_i \beta_{ik} \quad (k=1, \dots, m)$$

[ステップ5: 各一対比較行列の整合性の評価]

一対比較行列 A は、「 $a_{ik} = a_{ij}a_{jk}$ が、すべての i, j, k について成立」する場合、整合性があるとされ $\lambda_{\max} = n$ が成立する。しかし、人間の価値観が常に完全な整合性を保つとは限らない。そこで次式により整合性の尺度値(Consistency Index: C.I.)を求め、一対比較行列の整合性を確認する。

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

一対比較行列の整合性は、C.I.値0.1(場合によっては0.15)以下となることが推奨されている⁽⁶⁾。もう一つの指標として、次式で与えられる整合比(Consistency Ratio: C.R.)も同様の基準として推奨されている。

$$C.R. = C.I. / M$$

ここで、 M は、ランダムに与えられる一対比較値で構成された一対比較行列のC.I.値を多数回計算し、この結果求まるC.I.値の平均値(ランダム整合度と呼ばれている)を表わしている。

[ステップ6: 階層構造と評価項目の見直し]

C.I.およびC.R.が基準値を越える場合、階層構造の設定、一対比較行列を見直して、再分析を行う。

以上の手順により、AHP法では代替案の総合重要度の大小から、専門技術者の意思決定を支援することができる。

○「会誌」送本などの宛名ラベル下部の7桁数字は会員番号です。Xマークは会費未納または不足の印です。会費完納までXは毎月1つずつ増え、9月でXが6つになると、10月号から送本が保留になりますので、ご留意願います。

○本会への連絡には、氏名と会員番号をお忘れなくご記入願います(FAX 03-3581-6128をご利用下さい)。

○ひと月分の入金や異動の記録は、毎月2日に一括して電算機に入力されますので、1日までにご連絡下さい。2日を過ぎると1ヵ月遅れの入力になります。(郵便振替は着金までに5～7日かかります)