

多属性意思決定手法を用いた保全方策選択に関する考察

鈴木 淳

1. はじめに

近年、いわゆる IoT (Internet of Things; モノのインターネット) が話題となっている。IoT の目的の一つとして考えられる事柄は、保全への活用である。IoT の特徴の一つはあらゆる物にセンサーを付け、ネットワーク経由でデータを収集することである。保全活動では対象設備や機器の状態データを基にして、点検、部品取り替え、修繕、設備や機器の置き換えを計画するわけであるから、IoT の発展によってより多くのデータ収集が可能になれば、保全活動の向上が期待される。

様々な産業分野や組織で、施設や設備の保全活動は存在する。しかしながら、保全の水準は一律ではなく、データを基にした保全の計画や実施に習熟した分野や組織もあれば、そうではない分野や組織も存在する。このため、早計に IoT を導入しても直ちに活用ができない企業や組織が考えられ、「身の丈にあった」保全方策の選定も大切である。

本稿では、保全方策選択の多属性意思決定のための方法を考察する。本稿の構成は次のようになっている。第 1 章は導入であり、第 2 章では保全方策選択に関する関連研究での考慮すべき事項として属性と代替案を収集し、分類整理する。第 3 章では階層分析法を適用した意思決定支援モデルの構成を検討する。第 4 章では、第 3 章で提案したモデルの考察を行う。第 5 章で本稿のまとめである。

2. 保全方策選択において考慮すべき事項

2.1. 多属性意思決定モデル

同時に複数の属性を考慮して複数ある代替案から実施案を選び出すプロセスを多属性意思決定と呼ぶ。似たものに多目的計画があるが、矢野 [1] によれば「代替案が列挙できる」場合は「多属性決定」となり、「制御可能な決定変数を用いて目的関数や制約式を関数として記述することができる」場合

を「多目的計画」となるとしている。本稿では、代替案に相当する保全方策は列挙可能なものとして扱うので、多属性意思決定と表記することとする。ただし、研究者によって「多属性決定」と「多目的計画」を厳密に使い分けていない場合や、「多基準評価」を用いる場合もある。

本稿では、2008 年以降の保全方策選択に関する研究をオンラインで集め、それらで考慮されている属性と代替案について比較検討した。当該期間の全ての研究は網羅できていないかもしれないが、実践レベルで検討されてインターネットで流通している研究成果を中心に扱うことで、利用者を限定する専門誌ほど先端過ぎず、また、紙メディアでしか公表されない即時性の薄い内容でもない、適度に実用されている技術を対象とすることができると考えたからである。以下、考慮されている属性と、代替案となる保全方策の種類について、検討を加える。

2.2. 考慮すべき属性の検討

Jafari et al. (2008) [2] によれば、次のような goal を考慮するべきだとしている：

- Low Maintenance Cost
- Acceptance by Labors
- Improved Reliability
- Enhance Competitiveness
- High Product Quality
- Minimum Inventories

数値で表すことが容易であるものと、そうではないものが存在している。

Pariazar et al. (2008) [3] によれば次の criteria と sub criteria が挙げられている：

- Value added
 - Product's quality
 - Equipment and personnel efficiency
- Cost
 - Personnel training

- Hardware
- Software
- Safety
 - Equipment safety
 - Personnel damages
 - Environmental effects
- Execution capacity
 - Human resource
 - Equipment and technology

Ahmadi et al. (2009) [4] は次のような階層的評価基準を提示している：

- Operation Availability
 - Air Interruption
 - Ground Interruption
- Failure Cost
 - Operational Interruption
 - Maintenance Interruption

なお論文題目では明示されていないが文中では航空産業を対象としていることが記述されている。このため、サブ評価基準は産業によって異なることを想定すべきであり、主項目で一般化すべきであろう。

Azadeh et al. (2009) [5] では評価手法に DEA を用いているため、2つの入力項目と3つの出力項目が用いられている：

- Costs (Input1)
- Risks (Input2)
- Strategic benefits (Output1)
- Information benefits (Output2)
- Transactional benefits (Output3)

このうち Costs は数値化し易いが、その他の項目は数値化が容易ではない。Azadeh らはデルファイ法を用いた手順を提案している。

Faghihinia と Mollaverdi (2012)[6] は次の3項目を挙げている：

- Reliability
- Cost
- Downtime

Zaim et al. (2012) [7] では、次の4つが挙げられている：

- Value Adding
- Cost
- Safety
- Implementation

Odeyale et al. (2013) [8] では次の項目が用いられている：

- Low maintenance cost
- Improved reliability
- Improved safety
- High product quality
- Minimum inventory
- Return on investment
- Acceptance by labor
- Enhanced competitiveness

Rashidpour (2013) [9] は次の4項目を挙げている：

- Cost
- Safety
- Value added
- Equipment and technology

前述のZaimらと共通する項目があるが、Equipment and technology が異なっている。

Dorri (2014) [10]は21因子 (factor) を挙げている。これらのうち重要かつ他の研究と共通と思われるキーワードに下線を引く：

- Information security and prevention from its disclosure
- Monitoring capability of the conditions of machinery and production equipments
- Maintaining a hierarchy of access to classified information
- The level of basic trainings in the field of maintenance operations
- The skill level and the training of maintenance staff in IT system
- Wages of maintenance personnel
- Existence of personnel skills in emergency and urgent repairs of IT-based systems
- Maximizing the reliability of machinery and equipments using IT
- Maximizing the useful life period of equipments and computers
- Increasing the accessibility of equipments
- Manpower efficiency
- Fast and easy access to manpower in emergencies
- Response time

- The average monthly cost of maintenance and repairs
- Purchase costs of equipments
- The time of equipments installation and commissioning
- The amount of investment of IT systems
- Minimizing the costs of production line stoppages and mandatory unemployment of staff
- The life of IT system equipments
- The level of influence which the equipments failure of IT systems has on the production schedule
- Average losses due to per hour lost production for each failure

Azizi と Fathi (2014)[11] は次の 4 項目を用いている :

- Production quality
- Reliability
- Cost
- Safety

Muinde et al. (2014) [12] は次の項目を採用している :

- Plant designed life
- Plant functionality
- Cost effectiveness
- Plant and environmental safety

Zilka (2014) [13] は次の 9 項目を挙げている。ここでも重要なキーワードに下線を加える :

- Purchasing Price of the machine
- Total maintenance cost
- Work hours of the maintenance department
- Age of the machine/planned durability
- Saving in the implementation of the chosen maintenance strategy
- Increase of the real production capacity of the machine
- Hourly costs of overtime and lost production capacity
- CAPEX associated with maintenance strategy, ROI, payback period
- Downtime/Uptime rate

このうち 8 番目の "CAPEX …" については、広い意

味で investment として捉えてよいのではないだろうか。

Chandrasah et al. (2015) [14] は次の 4 項目を挙げている。

- Cost
- Safety
- Value-added
- Equipment and technology

Lazakis と Olccer (2015) [15] は次の 8 項目を用いている :

- Maintenance cost
- Maintenance type efficiency
- System reliability
- Management commitment
- Crew training
- Company investment
- Spare parts inventories
- Minimisation operation loss

Muyengwa と Marowa (2015) [16] は次の 10 項目を挙げている。ここでも重要なキーワードに下線を加える :

- Maintenance capacity
- Maintenance facilities
- Maintenance technology
- Vertical integration
- Maintenance organization
- Maintenance procedures and concepts
- Maintenance planning and control systems
- Manpower
- Maintenance modifications
- Maintenance performance measurement

Vishnu と Regikumar (2016) [17] は次の 6 項目を挙げている。

- Impact on production
- Impact on safety
- Availability of standby
- Cost
- Equipment Criticality
- Class

Emovon (2016) [18] は次の 12 項目を挙げている。重要なキーワードに下線を引く :

- Spare parts inventories
- Maintenance cost

- Crew training cost
- Equipment damage cost
- Personnel safety
- Equipment safety
- Environment safety
- Minimisation of operational loss
- Equipment reliability
- System failure characteristics
- Available monetary resource
- Equipment risk level

これらのうち、3種類のcostのうち maintenance cost は文字通り用いるとしても、training と damage についてはそれぞれの対象を見るべきであろう。また、3種類の safety があるが、Pariazar et al. (2008) と同様に safety として一括りにしておく。

Jacob et al. (2016) [19] は次の項目を用いている：

- Time requirement
- Cost requirement
- Safety requirement
- Strategic requirement

Karim と Karmaker (2016) [20] は次の項目を挙げている：

- Productivity
- Flexibility
- Cost
- Quality
- Reliability
- Service facility
- Safety

Parmar et al. (2016) [21] は次の4項目を用いている：

- Cost
- Safety
- Value added
- Execution

以上の各項目（長い場合はキーワードのみ）を一覧にして、それぞれの件数を付記すると表1のようになる。

ただし、これら属性は似ていたり包含関係があったりする語句が混在している。そこで次に、整理統合を試みた結果を表2に示す。これは、類似した概念は1項目に統合し、1件のみの属性は省略して、残った事項を和訳したものである。

表1 属性と件数（整理前）

属 性	件数
Cost(s)	20
Safety	12
Reliability	8
Value added	5
Inventory, Investment, Quality, Training	各 4
Capacity, Operation loss(es)	各 3
Access, Availability, Competitiveness, Downtime, Equipment and Technology, Implementation, Labors, Life, Manpower, Purchasing, Risk, Strategic,	各 2
Accessibility, Age, Class, Commitment, Criticality, Damage, Execution, Facilities, Failure, Flexibility, Functionality, Influence, Information benefits, Installation, Integration, Modifications, Monetary resource, Monitoring, Organization, Overtime, Performance measurement, Planning, Procedures, Production, Productivity, Response time, Security, Service, Skills, Technology, Time requirement, Transactional benefits, Type, Wages, Work hours	各 1

表2 属性と件数（整理後）

属 性	件数
コ ス ト	20
安 全 性	12
信 頼 性	10
付 加 価 値	5
投 資	5
在 庫	4
品 質	4
訓 練	4
機 器 と 技 術	4
作 業 者	4
競 争 ・ 戦 略 性	4
容 量 ・ 生 産 能 力	3
ロ ス	3
寿 命	3
ア ク セ ス 性	3
ダ ウ ン タ イ ム	2
導 入	2
調 達	2
リ ス ク	2
生 産 性	2

2.3. 代替案としての保全方策の検討

次に、代替案として用いられている保全方策について文献調査から収集し、保全方式の性格から分類と整理を試みる。前述の[2]～[21]の文献で maintenance policy（あるいは maintenance strategy）として用いられているものを表3のように集計した。ただし、異なる呼び名でも同様な方策である場合はまとめて1つの項目とした。

表3 保全方策と件数

保全方策	件数
Corrective Maintenance	12
Preventive Maintenance	10
Predictive Maintenance	9
Condition Based Maintenance	7
Scheduled Maintenance, Periodic Maintenance	6
Breakdown Maintenance, Reactive Maintenance, Failure Based Maintenance	5
Proactive Maintenance	2
Reliability Centered Maintenance	2
Opportunistic Maintenance	1
Prognostic Health Management	1
Passive Maintenance	1
Total Productive Maintenance	1
Design-out Maintenance	1
Continuous On-Condition Task	1

これらもある保全が他の保全に下部概念であることもあり、このような分類以外も考えられるが、本稿では便宜上、このように分けて考える。また、件数は対象とした論文で着目された数であり、重要度とは異なることにも留意したい。

3. 多属性を考慮した意思決定モデルの検討

3.1. 階層分析法

階層分析法 (AHP; analytic hierarchy process) は Saaty[22] によって提案された複数の評価項目を考慮して複数の代替案を評価するための方法であり、評価項目を階層構造として表すことと、一対比較を利用することが特徴である (図1 参照)。

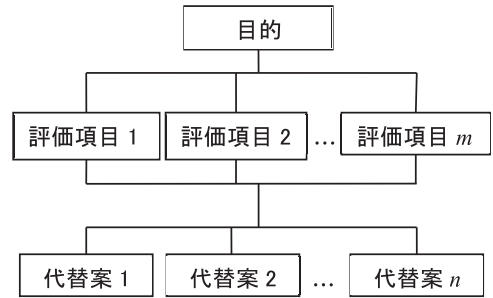


図1 階層分析法の概念図

我が国では1986年に刀根 [23] によって「ゲーム感覚意思決定法」として紹介された後、「階層化意思決定法」[24] という呼び名も提示されたが、近年は「AHP」と表記するか、「階層分析法」[25] という訳を用いることが一般的である。

階層分析法では、項目間で一対の比較を考えられる組合せの全てで行い、どちらがどの程度重要であるか、一対比較値を用いて表現する。一対比較値は項目数 $n \times n$ の行列で表され、それぞれの数値は行の項目と列の項目の比較結果を意味する。手順として、最初に属性に相当する評価項目の一対比較、次に評価項目ごとに代替案の一対比較、最後にそれらを総合して代替案の総合点計算を行う。

この階層分析法を用いて、複数の保全方策を評価し、最も良い方策を選択するという意思決定を支援するためのモデルを考える。本稿では状況を考慮して、途上モデルと先進モデルに分けて構成した。

3.2. 途上モデル

途上モデルで想定しているのは、いわゆる新興国や途上国でメンテナンスの普及がまだ進んでいない状況である。先進国でも、メンテナンスの理解が浅い現場も存在するかもしれない。このような状況では、図2のような評価項目と代替案の構成としたモデルで評価を行い、保全方策を選択して実施することが考えられる。そして、効果を上げてきたならば、このモデルでの評価を再び行い、選択する方策の変更を検討する。これを繰り返して、予知保全まで向上させていくことがシナリオとして考えられる。

調査対象とした論文では、manpower, labor, training について課題を挙げているものもあった。予知保全や状態監視保全などに基づくレベルが高い機器や技術、システムを導入しても、メンテナンス

担当者や現場作業員などの人的資源が理解して活用できなければ、投資効果が低い事態になる。そこで表1での「訓練」や「作業員」を統合し「人的資源」として評価項目に加えた。

表4には途上モデルの導入段階の評価数値例を示した。表4(a)の評価項目の対比較結果では導入初期には人的資源のウェイトが高いことが示されており、表4(f)では事後保全の総合点が高くなる結果となった。

表5には途上モデルの成熟段階の評価数値例を示した。表5(a)では安全性のウェイトが高く、表5(f)では予知保全の総合点が高い。これらは、保全に関する向上があったため選択すべき保全方策が移行したことを表している。

3.3. 先進モデル

先進モデルで想定しているのは、いわゆる先進国や中進国でメンテナンス概念の普及が進んでいる状況である。このような場では、図3のような評価項目と代替案によるモデルを評価に用いることが考えられる。当初は予知保全から出発し、向上が見られたらこのモデルで評価をし直し、状態基準保全を経て、故障要因を除去するようなプロアクティブ保全

まで向上させていくシナリオである。予知保全と状態基準保全は近い概念かもしれないが、昨今のIoTの進展によって、オンラインかつリアルタイムでのデータ活用に状態基準保全は重点を置くようになる。また、評価項目として人的資源の問題が解消されて相対的に考慮必要度合いが低いとして省略し、付加価値や戦略性を重視する局面が増えていくとして含めている。

表6には先進モデルの導入段階の評価数値例を示した。表6(a)の評価項目の対比較結果では導入初期には安全性と信頼性のウェイトが高いことが示されており、表6(g)では状態基準保全の総合点が高くなる結果となった。つまり、この評価対象の現場では、現行は予知保全が選択されているが、今後、状態基準保全への移行が望ましいことになる。

表7には先進モデルの成熟段階の評価数値例を示した。表7(a)では安全性、信頼性、戦略性のウェイトが同じ値であり、安全性と信頼性を担保しつつ戦略性をより意識するべきことが表れている。表7(g)ではプロアクティブ保全の総合点が高い。これは、故障要因そのものを除去するような高度な保全方策へ移行する段階へ達したことを表している。このように保全方策選択の意思決定支援が考えられる。

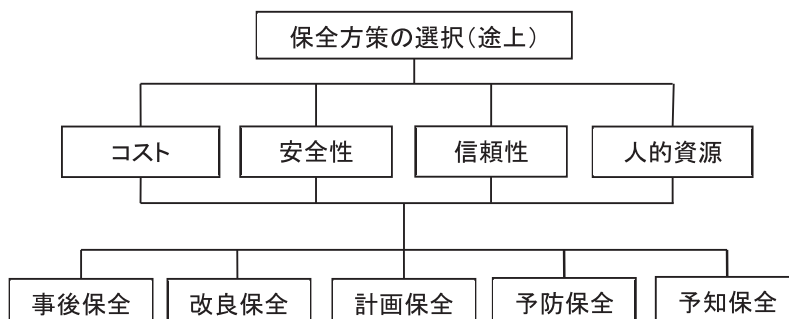


図2 途上モデルの評価項目と代替案

表4 途上モデルの導入段階の評価例

(a) 評価項目間の対比較とウェイト計算

	コスト	安全性	信頼性	人的資源	幾何平均	ウェイト
コスト	1	1/7	7	1/9	0.577	0.083
安全性	7	1	5	1/5	1.627	0.235
信頼性	1/7	1/5	1	1/9	0.237	0.034
人的資源	9	5	9	1	4.486	0.648
計					6.927	1.000

(b) コストを基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

コスト	事後保全	改良保全	計画保全	予防保全	予知保全	幾何平均	ウエイト
事後保全	1	3	5	7	9	3.936	0.510
改良保全	1/3	1	3	5	7	2.036	0.264
計画保全	1/5	1/3	1	3	5	1.000	0.130
予防保全	1/7	1/5	1/3	1	3	0.491	0.064
予知保全	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.254	0.033
					計	6.927	1.000

(c) 安全性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

安全性	事後保全	改良保全	計画保全	予防保全	予知保全	幾何平均	ウエイト
事後保全	1	1/3	1/5	1/9	1/9	0.242	0.026
改良保全	3	1	1/5	1/7	1/9	0.394	0.043
計画保全	5	5	1	1/7	1/9	0.831	0.090
予防保全	9	7	7	1	1/7	2.290	0.247
予知保全	9	9	9	7	1	5.515	0.595
					計	9.272	1.000

(d) 信頼性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

信頼性	事後保全	改良保全	計画保全	予防保全	予知保全	幾何平均	ウエイト
事後保全	1	1	1/2	1/3	1/3	0.561	0.099
改良保全	1	1	1/2	1/3	1/3	0.561	0.099
計画保全	2	2	1	1/2	1/2	1.000	0.176
予防保全	3	3	2	1	1	1.783	0.313
予知保全	3	3	2	1	1	1.783	0.313
					計	5.687	1.000

(e) 人的資源を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

人的資源	事後保全	改良保全	計画保全	予防保全	予知保全	幾何平均	ウエイト
事後保全	1	3	5	7	9	3.936	0.510
改良保全	1/3	1	3	5	7	2.036	0.264
計画保全	1/5	1/3	1	3	5	1.000	0.130
予防保全	1/7	1/5	1/3	1	3	0.491	0.064
予知保全	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.254	0.033
					計	7.718	1.000

(f) 総合点の計算

評価項目	コスト	安全性	信頼性	人的資源	総合点
(ウエイト)	(0.083)	(0.235)	(0.034)	(0.648)	
事後保全	0.043	0.006	0.003	0.330	0.383
改良保全	0.022	0.010	0.003	0.171	0.206
計画保全	0.011	0.021	0.006	0.084	0.122
予防保全	0.005	0.058	0.011	0.041	0.115
予知保全	0.003	0.140	0.011	0.021	0.174

表5 途上モデルの成熟段階の評価例

(a) 評価項目間の一対比較とウエイト計算

	コスト	安全性	信頼性	人的資源	幾何平均	ウエイト
コスト	1	1/7	1	1/3	0.467	0.081
安全性	7	1	7	3	3.482	0.607
信頼性	1	1/7	1	1/3	0.467	0.081
人的資源	3	1/3	3	1	1.316	0.230
				計	5.732	1.000

(b) コストを基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

コスト	事後保全	改良保全	計画保全	予防保全	予知保全	幾何平均	ウエイト
事後保全	1	1	1	5	7	2.036	0.315
改良保全	1	1	1	4	6	1.888	0.292
計画保全	1	1	1	3	5	1.719	0.266
予防保全	1/5	1/4	1/3	1	3	0.549	0.085
予知保全	1/7	1/6	1/5	1/3	1	0.276	0.043
					計	6.468	1.000

(c) 安全性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

安全性	事後保全	改良保全	計画保全	予防保全	予知保全	幾何平均	ウエイト
事後保全	1	1	1/3	1/5	1/5	0.422	0.061
改良保全	1	1	1/3	1/5	1/5	0.422	0.061
計画保全	3	3	1	1/3	1/5	0.903	0.130
予防保全	5	5	3	1	1/3	1.904	0.275
予知保全	5	5	5	3	1	3.272	0.437
					計	6.922	1.000

(d) 信頼性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

信頼性	事後保全	改良保全	計画保全	予防保全	予知保全	幾何平均	ウエイト
事後保全	1	1/3	1/5	1/9	1/8	0.247	0.032
改良保全	3	1	1/3	1/5	1/7	0.491	0.064
計画保全	5	3	1	1/3	1/5	1.000	0.129
予防保全	9	5	3	1	1/3	2.141	0.277
予知保全	8	7	5	3	1	3.845	0.498
					計	7.724	1.000

(e) 人的資源を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

人的資源	事後保全	改良保全	計画保全	予防保全	予知保全	幾何平均	ウエイト
事後保全	1	1	1	1	5	1.380	0.242
改良保全	1	1	1	1	5	1.380	0.242
計画保全	1	1	1	1	5	1.380	0.242
予防保全	1	1	1	1	3	1.246	0.219
予知保全	1/5	1/5	1/5	1/3	1	0.306	0.054
					計	5.691	1.000

(f) 総合点の計算

評価項目	コスト	安全性	信頼性	人的資源	総合点
(ウエイト)	(0.081)	(0.607)	(0.081)	(0.230)	
事後保全	0.026	0.037	0.003	0.056	0.121
改良保全	0.024	0.037	0.005	0.056	0.122
計画保全	0.022	0.079	0.011	0.056	0.167
予防保全	0.007	0.167	0.023	0.050	0.247
予知保全	0.003	0.287	0.041	0.012	0.343

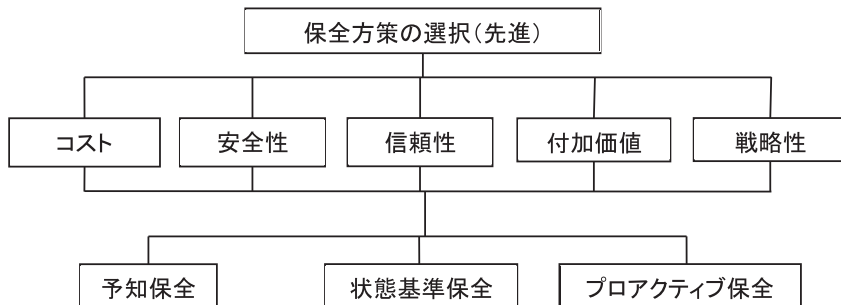


図3 先進モデルの評価項目と代替案

表6 先進モデルの導入段階の評価例

(a) 評価項目間の一対比較とウエイト計算

	コスト	安全性	信頼性	付加価値	戦略性	幾何平均	ウエイト
コスト	1	1/7	1/7	5	9	0.983	0.129
安全性	7	1	1	7	9	3.380	0.443
信頼性	7	1	1	3	5	2.537	0.332
付加価値	1/5	1/7	1/3	1	3	0.491	0.064
戦略性	1/9	1/9	1/5	1/3	1	0.242	0.032
					計	7.632	1.000

(b) コストを基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

コスト	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予知保全	1	7	9	3.979	0.799
状態基準保全	1/7	1	1	0.523	0.105
プロアクティブ保全	1/9	1	1	0.481	0.096
			計	4.983	1.000

(c) 安全性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

安全性	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予知保全	1	1/2	1/2	0.630	0.200
状態基準保全	2	1	1	1.260	0.400
プロアクティブ保全	2	1	1	1.260	0.400
			計	3.150	1.000

(d) 信頼性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

信 頼 性	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予 知 保 全	1	1/2	1/2	0.630	0.200
状 態 基 準 保 全	2	1	1	1.260	0.400
プロアクティブ保全	2	1	1	1.260	0.400
			計	3.150	1.000

(e) 付加価値を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

付加価値	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予 知 保 全	1	1/3	1/3	0.481	0.143
状 態 基 準 保 全	3	1	1	1.442	0.429
プロアクティブ保全	3	1	1	1.442	0.429
			計	3.365	1.000

(f) 戦略性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

戦 略 性	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予 知 保 全	1	1/5	1/5	0.342	0.091
状 態 基 準 保 全	5	1	1	1.710	0.455
プロアクティブ保全	5	1	1	1.710	0.455
			計	3.762	1.000

(g) 総合点の計算

評価項目	コスト	安全性	信頼性	付加価値	戦略性	総合点
(ウエイト)	(0.129)	(0.443)	(0.332)	(0.064)	(0.032)	
予 知 保 全	0.103	0.089	0.066	0.009	0.003	0.270
状 態 基 準 保 全	0.014	0.177	0.133	0.028	0.014	0.366
プロアクティブ保全	0.012	0.177	0.133	0.028	0.014	0.364

表7 先進モデルの成熟段階の評価例

(a) 評価項目間の一対比較とウエイト計算

	コスト	安全性	信頼性	付加価値	戦略性	幾何平均	ウエイト
コ ス ト	1	1/5	1/5	1	1/5	0.381	0.059
安 全 性	5	1	1	5	1	1.904	0.294
信 頼 性	5	1	1	5	1	1.904	0.294
付加価値	1	1/5	1/5	1	1/5	0.381	0.059
戦 略 性	5	1	1	5	1	1.904	0.294
				計		6.472	1.000

(b) コストを基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

コ ス ト	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予 知 保 全	1	3	5	2.466	0.637
状 態 基 準 保 全	1/3	1	3	1.000	0.258
プロアクティブ保全	1/5	1/3	1	0.405	0.105
			計	3.872	1.000

(c) 安全性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

安全性	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予知保全	1	1/5	1/9	0.281	0.058
状態基準保全	5	1	1/5	1.000	0.207
プロアクティブ保全	9	5	1	3.557	0.735
			計	4.838	1.000

(d) 信頼性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

信頼性	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予知保全	1	1/5	1/7	0.306	0.072
状態基準保全	5	1	1/3	1.186	0.279
プロアクティブ保全	7	3	1	2.759	0.649
			計	4.250	1.000

(e) 付加価値を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

付加価値	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予知保全	1	1/5	1/5	0.342	0.091
状態基準保全	5	1	1	1.710	0.455
プロアクティブ保全	5	1	1	1.710	0.455
			計	3.762	1.000

(f) 戦略性を基準とした代替案の一対比較とウエイト計算

戦略性	予知保全	状態基準保全	プロアクティブ保全	幾何平均	ウエイト
予知保全	1	1/3	1/5	0.405	0.105
状態基準保全	3	1	1/3	1.000	0.258
プロアクティブ保全	5	3	1	2.466	0.637
			計	3.872	1.000

(g) 総合点の計算

評価項目	コスト	安全性	信頼性	付加価値	戦略性	総合点
(ウエイト)	(0.059)	(0.294)	(0.294)	(0.059)	(0.294)	
予知保全	0.037	0.017	0.021	0.005	0.031	0.112
状態基準保全	0.015	0.061	0.082	0.027	0.076	0.261
プロアクティブ保全	0.006	0.216	0.191	0.027	0.187	0.627

4. 考察

上述のように、階層分析法を元にした2つのモデルの使い分けによって、状況に応じた保全方策選択意思決定の支援が可能になることが示された。

この数値例で注意すべきことであるが、それぞれのウエイトは相対的な比較によるものであり、絶対的な値ではない。従って、途上モデルでのウエイト値や総合点と、先進モデルでのそれらの値を比較し

て、先進モデルでは戦略性を重視するあまりに安全性を軽視している、というようなことは言えない。その時点における経営資源をどのような方針のもとで振り分けるかの目安となる数値であり、本来数値化が困難な事柄を相対的に定量化するプロセスだからである。

コストと安全性は途上と先進いずれのモデルでも考慮しているのは重要だからであるが、これらを並

列に評価対象として取り扱うことについては再考の余地がある。例えば、コストは上限の制約がある資源であるし、安全性は下限の制約がある特性である。コストと安全性の制約の下で、信頼性、付加価値、戦略性を最大化する数理計画モデルとすることも可能性としては考えられる。しかし、代替案として挙げられた保全方策によってどのように信頼性、付加価値、戦略性が得られるのかを表す関数が定義できなければ、数理計画モデルとして定式化はできない。特に事前評価である場合には、予測モデルをどのように構築するかが課題となり、現時点では困難である。

従って、階層分析法のように評価者の感覚を何らかの数値に置き換えるプロセスを介在させることで、意思決定の支援が現時点では可能になるであろうと考える。なお、表4から表7の数値はシナリオに基づく仮想例であり、普遍的な数値ではないことを付記しておく。

5. おわりに

本稿では、保全方策選択における評価項目および代替案について考慮されるべき事項を、文献調査から分類整理した。そして、調査から得られた事項を用いて、保全方策選択のための意思決定支援方法として、階層分析法を用いた評価モデルを途上モデルおよび先進モデルとして構成した。途上および先進モデルのそれぞれに対し、導入段階と成熟段階でどのように評価結果が表れるかについて、数値例を用いて検討し、考察した。

参考文献

- [1] 矢野均: “不確実状況下における多目的計画問題に対する意思決定手法”, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 62, No. 3, pp. 141-148 (2017)
- [2] Jafari, A., Jafarian, M., Zareei, A. and Zaerpour, F.: “Using Fuzzy Delphi Method in Maintenance Strategy Selection Problem”, Journal of Uncertain Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 289-298 (2008)
- [3] Pariazar, M., Shahrabi, J., Zaeri, M. S. and Parhizi, Sh.: “A Combined Approach for Maintenance Strategy Selection”, Journal of Applied Sciences, Vol. 8, No. 23, pp. 4321-4329 (2008)
- [4] Ahmadi, A., Khouy, I. A., Kumar, U. and Schunnesson, H.: “Selection of Maintenance Strategy, using Analytical Hierarchy Process”, Communications in Dependability and Quality Management, Vol. 12, No. 1, pp. 121-132 (2009)
- [5] Azadeh, A., Keramati, A. and Jafary Songhori, M.: “An Integrated Delphi/VAHP/DEA framework for Evaluation of Information Technology/Information System (IT/IS)”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, pp. 1233-1251 (2009)
- [6] Faghihinia, E. and Mollaverdi, N.: “Building a Maintenance Policy through a Multi-criterion Decision-making Model”, Journal of Industrial Engineering International, Vol.8, Article 14 (2012)
- [7] Zaim, S., Turkyılmaz, A., Acar, M. F., Al-Turki, U. and Demirel, O. F.: “Maintenance strategy selection using AHP and ANP algorithms: a case study”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 18 Issue: 1, pp.16-29 (2012)
- [8] Odeyale, S.O., Alamu, O.J. and Odeyale, E.O.: “The Analytical Hierarchy Process Concept for Maintenance Strategy Selection in Manufacturing Industries”, Pacific Journal of Science and Technology, Vol. 14, No. 1, pp. 223-233 (2013)
- [9] Rashidpour, K.: “Using Improved AHP Method in Maintenance Approach selection”, Master thesis, Malardalen University, Sweden (2013)
- [10] Azizi A. and Fathi, K.: “Selection of Optimum Maintenance Strategies based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process”, Management Science Letters, Vol. 4, pp. 893-898 (2014)
- [11] Dorri, M., Kazemipour, H., and Peydaei, M. M.: “Proposing A Model for the Selection of Repair and Maintenance Strategy for IT Systems with the Help of DEMATEL and ANP Fuzzy Process”,

- Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review Vol. 3, No.6; pp. 202-218 (2014)
- [12] Muinde, P. M., Muchiri, P. N. and Ikua, B. W.: "Maintenance Strategy Selection using Analytic Hierarchy Process: A Case Study", Journal of Sustainable Research in Engineering, Vol.1, No. 4, pp. 21-29 (2014)
- [13] Zilka, M.: "Methodology for Selecting the Appropriate Maintenance Strategy for Production Machines", Proceedings of The 3rd Conference Održavanje - Maintenance 2014 in Zenica, Bosnia and Herzegovina, pp.209-216 (2014)
- [14] Chandrahas, Santosh Kumar Mishra and Deepak Mahapatra: "Maintenance Strategy and Decision Making – AHP Method", International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, Vol.4, No. 2 pp. 256-258 (2015)
- [15] Iraklis Lazakis, Aykut Ölçer: "Selection of the best maintenance approach in the maritime industry under fuzzy multiple attributive group decision-making environment", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, Volume: 230 issue: 2, pp. 297-309 (2015)
- [16] Muyengwa, G. and Marowa, Y N.: "Analyzing Adoption of Maintenance Strategies in Manufacturing Companies", International Association for Management of Technology IAMOT 2015 Conference Proceedings, pp. 879-903 (2015)
- [17] Emovon, I.: "Ship System Maintenance Strategy Selection Based on DELPHI-AHP-TOPSIS Methodology", World Journal of Engineering and Technology, Vol. 4, pp. 252-260 (2016)
- [18] Jacob, J., Subin, G. M. and Harikrishnan A. R.: "Selection of an Optimum Maintenance Strategy for Improving the Production Efficiency in a Casting Unit", International Journal of Science Technology & Engineering, Vol.3, Issue 02, pp. 138-141 (2016)
- [19] Karim, R. and Karmaker, C. L.: "Machine Selection by AHP and TOPSIS Methods", American Journal of Industrial Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 7-13 (2016)
- [20] Parmar, M., Soni, M. and Patidar, S.: "Selection of Plant Maintenance Strategy and Performance Enhancement of A Wire Manufacturing Industry Using AHP", International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering, Vol.4, Issue 1, pp. 81-85 (2016)
- [21] Vishnu C. R., Regikumar V.: "Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study", Procedia Technology, Vol. 25, pp. 1080-1087 (2016)
- [22] Saaty, T.L.: The Analytic Hierarchy Process, New York, McGraw Hill. (1980)
- [23] 刀根薫:「ゲーム感覚意思決定法: AHP 入門」, 日科技連出版社 (1986)
- [24] 刀根薫, 真鍋 龍太郎編:「AHP 事例集—階層化意思決定法」, 日科技連出版社 (1990)
- [25] 高萩 栄一郎, 中島 信之:「Excel で学ぶ AHP 入門—問題解決のための階層分析法」, オーム社 (2005)