



## 保全学の構造と体系に関する検討

日本原子力発電株式会社 青木 孝行 Takayuki AOKI

三菱重工業株式会社 正森 滋郎 Shigero MASAMORI

### 1. はじめに

我が国は戦後の焦土の中から、先進国に追いつけ・追い越せで経済復興を計り、バブル崩壊の時点までは「右肩上がり」の経済成長を果たしてきた。このような背景のもと、我々は多種多様な人工物を作り、不要になったり、故障したりしたら、直ぐに使い捨てという習慣が染み付いてしまった。又、国内各所で公害も発生するという不幸な事例も生じた。

しかしながら、地球上の人口が爆発的に増加し、莫大なエネルギーを必要とする人類の活動が地球環境・地球活動そのものにも影響を与えるようになった今日、地球環境問題・エネルギー問題等への関心が高まり、使い捨てという習慣への反省から、現有の人工物を上手く、そして長く使うというカルチャーに転換しつつあることは必然である。人類が造り出す人工物を合理的に維持管理して長期間活用できるようにすることは、もはや喫緊の課題となっている。

一方、従来の保全活動は、保全管理者の経験と勘に大きく依存しており、これが保全を最適化する上での大きな障害となっている。このため、保全を学術として捉え、それを体系化することによって、合理的効率的に保全の最適解を求められるようにすることが強く期待されている。人工物を合理的に維持管理できるようにするための学術体系の整備、すなわち保全科学や保全工学を包含する保全学を構築すべく積極的な活動を展開することは時宜を得たことと言える。

以上のような背景の中で、保全学が、どのような形式、構造を有するものであるか、どのような体系を有するものか、について検討してみたい。このような新しい試みを行う場合、既存の学術体系がどのようになっているか、について考えることは極めて重要である。このため、保全学や保全工学が既存の学術体系と類似した形式、構造を有していることを想定しながら、それらのイメージを以下の検討で描いてみたい。

### 2. 保全学のイメージ

人類は、地球上の動物の中で唯一、言語を操る動物である。これは、人類が生まれながらにして持っている固有の能力とも言える。この言語を基盤に人類は思考を積み上げ、新たなものを創造する。この世の中にある人工物は全て言語を基盤とした人類の思考の産物であり、頭脳の産物である。このように考えると、言語は、人類の思考や思考パターン、考え方、アプローチなどを支配する根源的な能力であるように思われる。このため、ここでは言語学の基本的考え方を「保全」という行為に適用して、その中で保全学のイメージを可能な限り明確にしてみたいと思う。

まず、我々が言葉を話す場合、名詞、形容詞、副詞などの多くの単語が集積されている言葉の海（大言海）の中から、単語を選び、それを順序良く並べ文章にし、最終的にその文章に意味を創出させる、ということほとんど無意識のうちに実施している。言語学では、大言海の中から単語を選び出すことを「選択原理」、選び出された単語を一定の法則に則って並べ文章とすることを「投射原理」、そして、単語が並べられて作られた文章に意味を創出させることを「結合原理」という。

「保全」という行為も、人類の頭脳活動の一つであるので、言語を基盤とした思考活動に類似しているものと考え、これら3原理を適用すると、どのようになるか考えてみる。

まず、「選択原理」、すなわち大言海に相当するものは何であろうか。単語に相当するものは、保全の内容を規定するある種のルールあるいはツールの1つ1つであり、物理学や数学などの学術、機械工学や電気工学などの工学大系、規格基準などではないだろうか。これらは、保全の世界では「保全言語」に相当すると考えられる。従って、大言海に相当するものは、保全を支える「保全言語」である学術や工学大系などの全体をプールしたものに相当すると考えられる。

次に「投射原理」であるが、言語学から類推すれば、「保全言語」を一定の法則に則って並べ保全計画を立案すること、とでも言えるであろうか。これは、従来保全技術者が過去の知識や経験、そして技術者の勘などに基づいて実施してきた行為であり、その内容を分析したり、体系化したりして整理することは、これまで殆ど手付かずであった。これが、保全の体系化や保全学、保全工学の構築が必要であると近年強く認識されてきた所以であると考えられる。

この「投射原理」を理論化、体系化するヒントは、やはり言語学にあると考えられる。この世の森羅万象は時空の世界で生じると我々は脳で理解しており、当然のことながら、言語も時空の概念から成り立っている。すなわち、時間的には、過去、現在、未来であり、空間的には、要素、関係、抽象（意味）である。これら時空の各3要素が3×3マトリックスを構成する。これは、「保全」にも適用できると考えられる。すなわち、時間軸の過去・現在・未来は、設備機器の経年変化事象の進行過程であり、空間軸の要素・関係・抽象（意味）は、検討対象としている保全の各要素、それらの間の関係（たとえば、支配方程式）、そして各要素間の関係を踏まえた意味の創出（たとえ

ば、判定基準）である。この3×3マトリックスに、今後どのような意味を見出し、どのように体系化、理論化するかについては、保全学構築の主要テーマの一つである。

最後に、「結合原理」である。これは、保全を考えたときの「答え」を出すプロセスに相当する。すなわち、この活動は保全を立案・計画する流れに沿った行為であり、この流れに沿って検討した結果として特定の対象をどのように保全するのが最適か、についての答えを出す。前述の「選択原理」「投射原理」に従って検討してきた成果の集大成であり、答えを出すステップである。

言語学の理論から見た「保全」は、前述のようになり、この概念を図示すると、図-1に示すようになる。ここで議論した全ての範囲が保全学のカバーする範囲であると考え、これをここでは「保全学」と呼ぶこととしたい。

### 3. 保全学の構造

前項では、既存の学術、特に言語学の理論に着目し、それを保全に適用した場合、どのように理解する

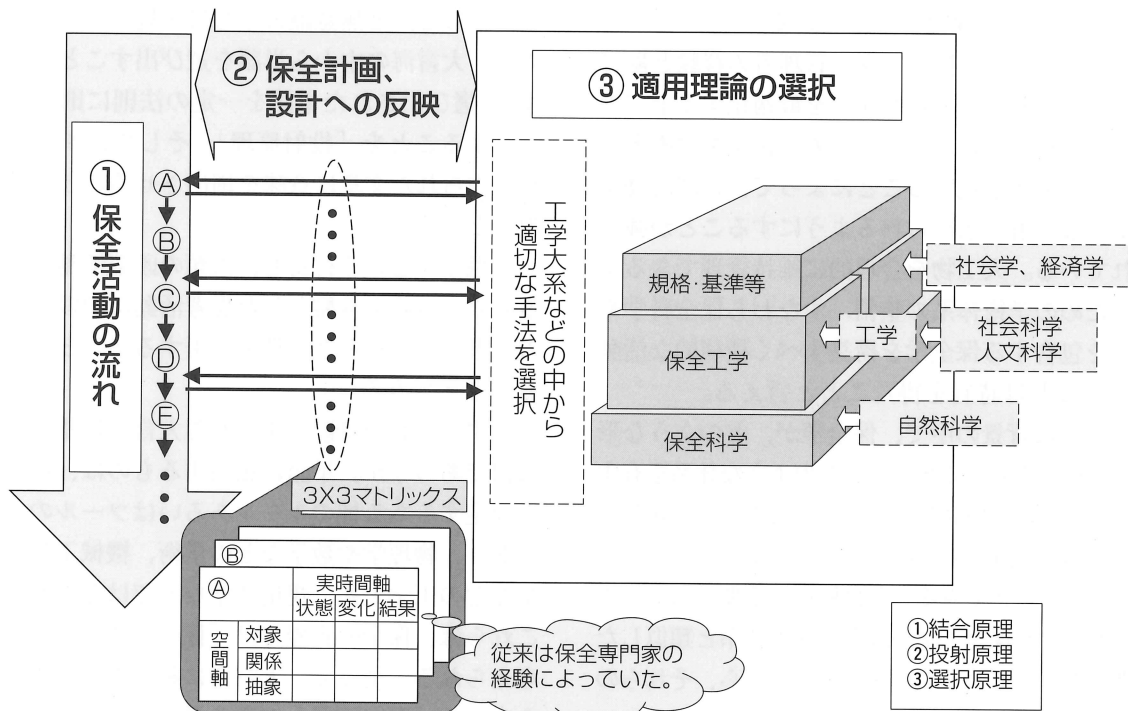


図-1 保全生成の全体スコープ

ことが出来るかについて検討した。その結果、保全の世界でも「選択原理」「投射原理」「結合原理」が適用でき、保全学が対象とする保全全般に関する説明が可能であることを示した。ここでは、更に検討を進め、「選択原理」内に位置すると考えられる保全科学および保全工学について検討してみたい。

言語学における「選択原理」、すなわち大言海に相当するものは、前述のように、「保全」の世界においては「保全言語」であり、その中に多くの学術や工学大系などが詰まっている。おそらくこれら既存の学術や工学大系の中の何れかに、保全に関する学術も位置付けられるのであろうが、それらが既存体系の中の何処に位置付けられ、どのような構造を持っているか、について少し検討してみたい。なお、ここで論じる保全科学や保全工学は、「選択原理」内に位置し、既存の学術体系と同様のレベルで論じる対象である。これに対し、前項で論じた保全学はこれらの学術体系を包含する、より大きな概念として、ここでは定義している。

保全は、機械系と人間系から成り、技術的側面と人間的側面があると言われている。このため、保全科学は、学術的には「自然科学」と「社会科学や人文科学」の両方が関与する学術分野であると考えられる。そこで、まず、既存の学術体系を整理してみたい。

### 3-1) 学術体系の分析

広辞苑によれば、学術とは「一定の理論に基づいて体系化された知識と方法。哲学・史学・文学・社会科学・自然科学などの総称。」とある。即ち、学術とは、時間や空間に左右されること無く成立する法則、即ち普遍学と定義されるものであり、大きくは自然科学と社会・人文科学に分類される。

自然科学は「自然に属する諸対象を取扱い、その法則性を明らかにする学術。普通、天文学、物理学、化学、地学、生物学に分ける。」と定義され、社会科学は「実証的研究方法によって社会現象を取り扱う科学の総称。社会学・経済学・政治学・歴史学・民俗学及びその他の関係諸科学を含む。」、人文科学は「政治・経済・社会・歴史・文芸など広く人類文化に関する学術の総称。」と定義されている。

一方、我々が慣れ親しんでいる工学は「基礎科学を工業生産に適用して生産力を向上させるための応用的科学技術の総称。古くはもっぱら兵器の製作及び取扱いの方法を指す意味に用いたが、のちには土木工学を更に現在では物質・エネルギー・情報などにかかわる広い範囲を含む。」と定義されており、前述の学術と基本的な差異があることがわかる。又、工学の場合には、機械工学や電気工学のような応用学と原子力工学

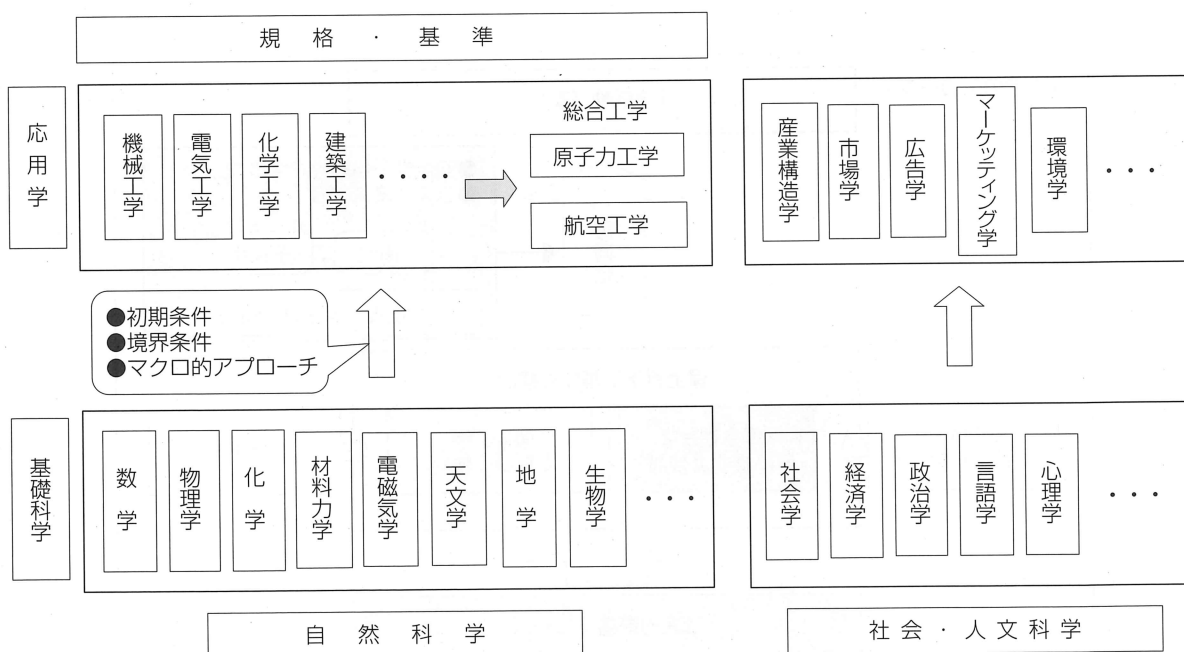


図-2 学術体系の分析

や航空工学のような応用学を組み合わせで構築された工学、即ち総合工学に分類することが出来る。

自然科学や社会・人文科学のような基礎科学は時間や空間に左右されない普遍的に成立する法則・公式を取扱うが、応用学としての工学は基礎科学に初期条件や境界条件を与えたり、現実的・マクロ的な見方をしたりすることにより、人間の生産活動を具現化し生産力を向上させるもの、すなわち最適化するものと考えられる。さらに、工業生産の効率化を図る上では、規格化・標準化が望ましく、応用学を基盤として規格・基準が整備されている。

以上を図示すると、図-2のようになる。これは、既存の学術体系の構造を示していると考えられる。保全学も広い意味で、この既存の学術体系と同様の構造を持つものと推定される。

### 3-2) 保全学の学術体系

ここで保全科学と保全工学を考える。まず、「選択原理」内に位置付けられる保全科学と保全工学の関係であるが、自然科学と各種工学がそうであったように、また社会・人文科学と各種の実用学がそうであったように、保全科学を基礎として、その上に保全工学が構築されると考えるのが自然であろう。では、保全科学とはどのような学術であろうか。これは今後の研

究に待たねばならないが、少なくとも言えることは、①社会のニーズに従って、②使用する人工物（設備機器）の信頼性を最大限にし、③コストを最小限にするための手段を提供する学術であるということである。

(図-3) また、保全科学は自然科学や社会・人文科学と同レベルに位置し、両科学に属する各種の学術を活用して得られる理論、知識などを包含するものであろう。

一方、その保全科学を基礎としてその上に構築される保全工学は、各種の工学と同レベルに位置付けられ、各種の工学を活用して得られる理論、知識などを包含するものであろう。また、保全工学は、経年変化事象を扱う学術であり、対象とする系が実時間の進行とともにどのように変化するかを予測、評価し、実施を予定している保全の内容を最適化する学術である。従って、経年変化事象の発生進展を「予測」して、最適な保全活動、すなわち「保全対象」を決め、その「点検・検査」「診断・評価」「対応措置」を実施するための手段を提供する学術、さらにそれらを踏まえて最適な規格・基準を策定するための学術であると言える。保全は前述のように、工学的側面と社会・人文学的側面があるため、社会に受け入れられる「規格・基準」は、単に工学に支えられるものではなく、特に、一般国民に対する説明責任という観点から社会学、人

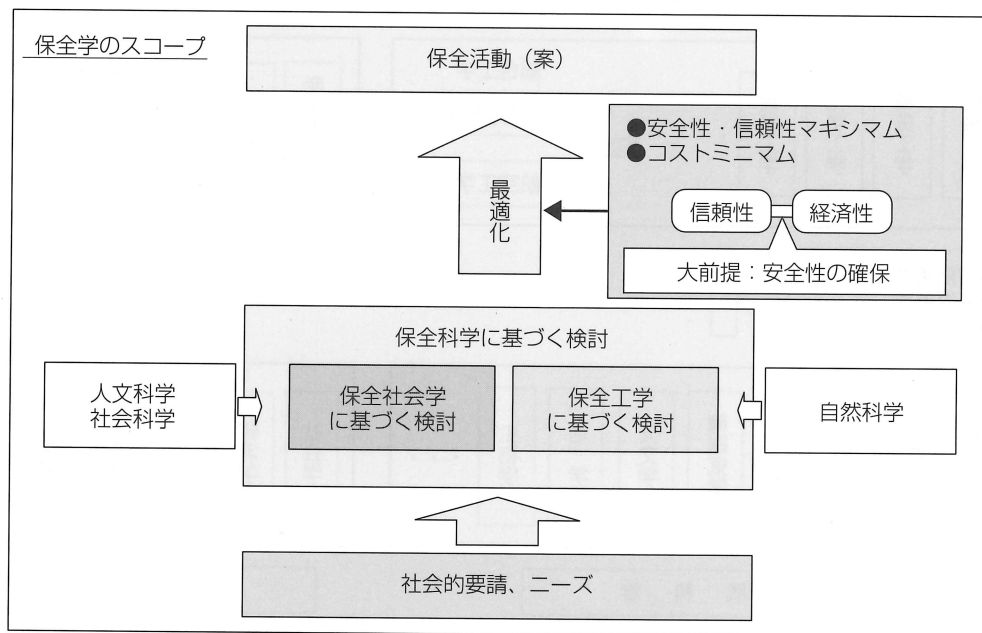


図-3 保全を支配する作用機構



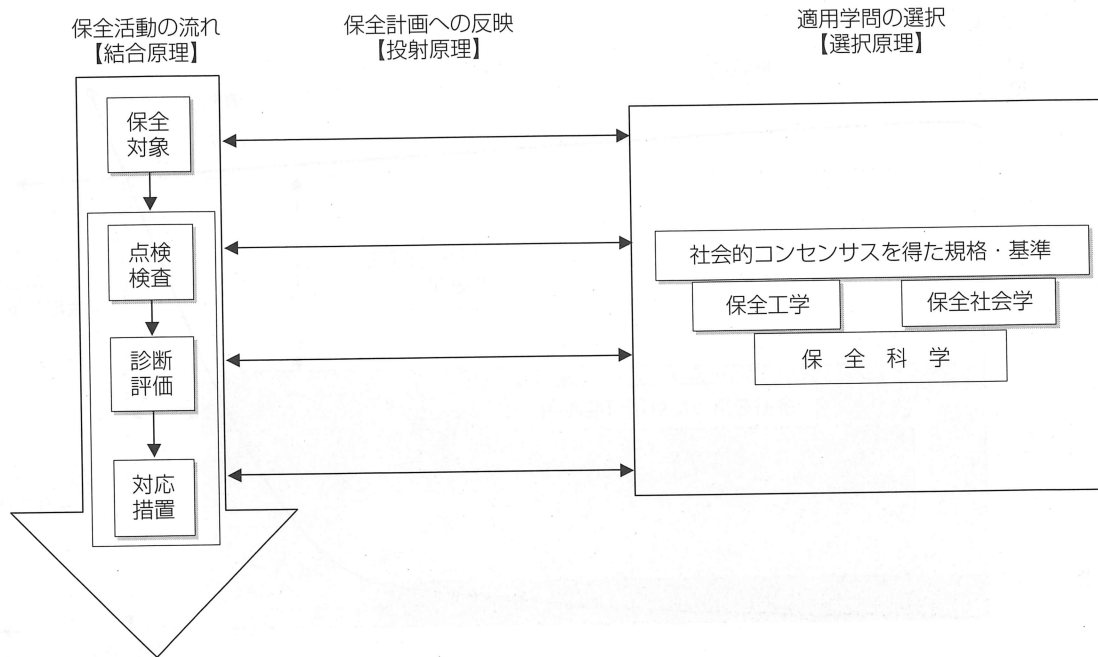


図-4 安全活動に関連付けた保全学の学術体系

文学にも支えられた「社会的コンセンサスを得た規格・基準」であるべきである。

保全活動に関連付けた保全学の学術体系を図-4に示す。

#### 4. 保全科学の構造

保全科学の最終的な目標を「現状の保全を如何に最適化するかを研究する学術」と捉えた場合、保全科学は、前述のとおり、大きく2つに分化される。1つは、適切な安全性を確保した上で工業生産性を最大限向上させるために、主として自然科学的見地から最適化を検討する応用学であり、これを「保全工学」と定義する。もう1つは工業生産活動自体の社会的受容性、経済性を最大限向上させるために主として社会科学及び人文科学的見地から最適化を検討する応用学であり、これを仮に「保全社会学」と定義する。

保全科学の構造については、今後、たとえば物理学との対比などを行って、詳細に研究し、議論を重ねていく必要があるが、ここでは、そのイメージを描いてみる。

##### 4-1) 保全工学の構造

前述した保全活動の流れで考えると、保全の内容は

保全対象（劣化部位、劣化事象）に対する点検・検査（方法、精度、定量化）、劣化評価（健全性）、対応措置（補修、取替、劣化緩和）であるので、これらの活動について保全工学で取り扱うべき内容を以下に検討する。

##### (1) 保全対象

保全対象は、プラント、システム、機器、部品であるが、最適化を図る上では、対象の重要度に応じた計画が必要となる。現状では、安全性と運転継続性に着目した重要度になっているが、更に加えて保全経験の反映や保全の実効性、さらには経済性等に着目した重要度評価を行う「重要度評価工学」が必要になる。この場合、経済性への影響や社会への影響度といった保全社会学の観点及びリスク概念の導入が必要になると考える。

##### (2) 劣化事象

劣化事象に対する健全性評価を行うために必要となるのが、劣化メカニズム・劣化速度・劣化限界に関する知見及び最適な点検・検査である。今後は、維持規格が適用されることから、健全性評価の考え方も図-5に示すような形に変わる。<sup>3)</sup>ここで重要なことは、劣化の進展度合いと機能低下との関係から、トラブル

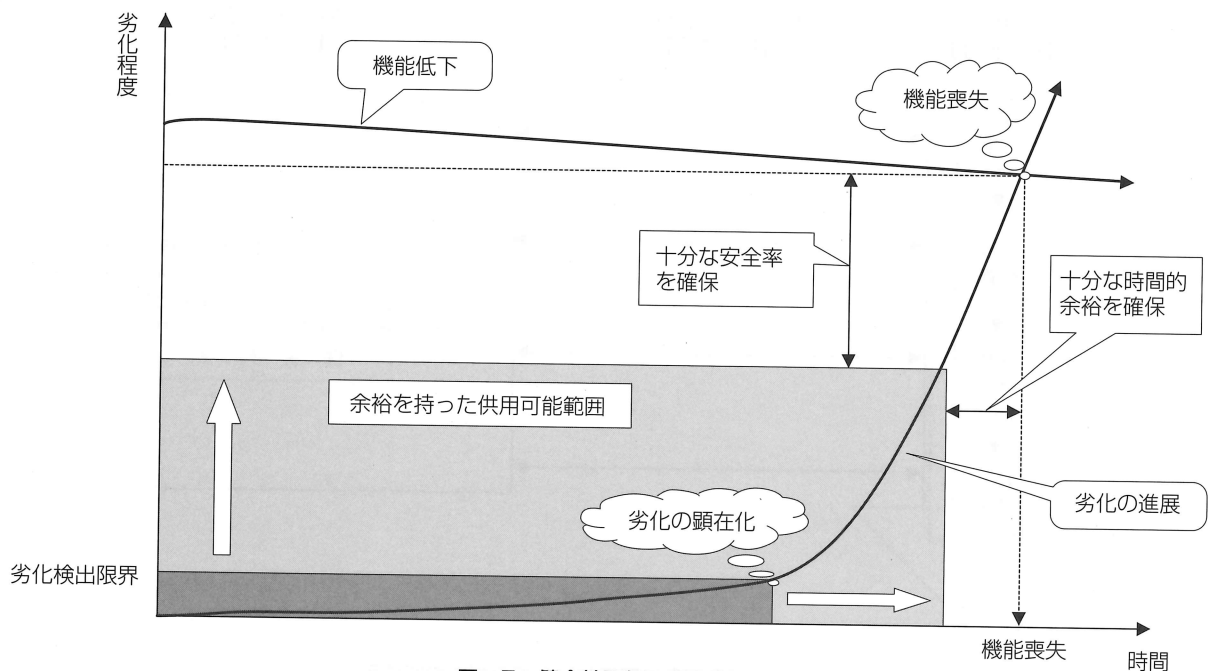


図-5 健全性評価の考え方

の予測を行い、それを予防する「事故工学」、劣化の進展度合いを考慮して適切な精度・定量性をもった検査を実現する「検査システム工学」、余裕を持った供用可能範囲を決定するための安全裕度の最適配分を可能とする「規格工学」が必要になる。更に、劣化は不可逆事象であることから、シミュレーション技術を活用して、劣化の進展度合いやトラブルの予測を行う「仮想システム工学」もトラブルの撲滅や最適保全方式の選定に有効である。

### (3) 対応措置

劣化事象を評価した結果に基づき実施する対応措置は、消耗品の取替や部品の手入れ等の保全活動であるが、如何なる措置を選定するかによってその結果が大きく異なる可能性があり、この意味で保全の成功・不成功は対応措置によって決まると言っても良いほどの重要なステップである。従って、トラブル時の対応措置は、保全の最適化の観点から極めて重要な問題である。安全性・信頼性を確保した対応措置を決定するためには、トラブルに対する効率的な原因究明を可能とする「事象分析工学」が必要になる。また、対応措置は、我が国ではトラブル原因を排除した対策品への取替が一般的であるが、米国のように従来品での対策や応急的な対策（補修・劣化緩和等）を論じる工

学、すなわち対策立案にあたって、経済性も考慮した最適な対応措置の選定のベースとなる「事故対策工学」も必要になる。

### (4) 保全活動

保全活動は、前述のように、保全対象に対する点検・検査、診断・評価及び対応措置で成り立っており、これらを最適化するためには経済性を評価する必要がある。それには保全行為を経済性（費用）によって一元的に比較できるようにする必要があり、これを実現するには「数理保全工学」「保全経済学」などが必要になる。

## 4-2) 保全社会学

保全社会学は、前述のように「保全工学」と並立して保全学を支える重要な要素の一つである。更に、一般大衆の原子力に対する「何となく不安」という深層心理も保全社会学が必要となる大きな要因と考えられる。具体的にはプラントの保全を考える場合に必要となる下記の問題を取り扱う学術であると考えている。

- ① ヒューマンウェア
- ② 安全と安心－社会的信頼性、受容性
- ③ 社会反響と説明責任
- ④ 保全活動や判断基準の社会的受容性

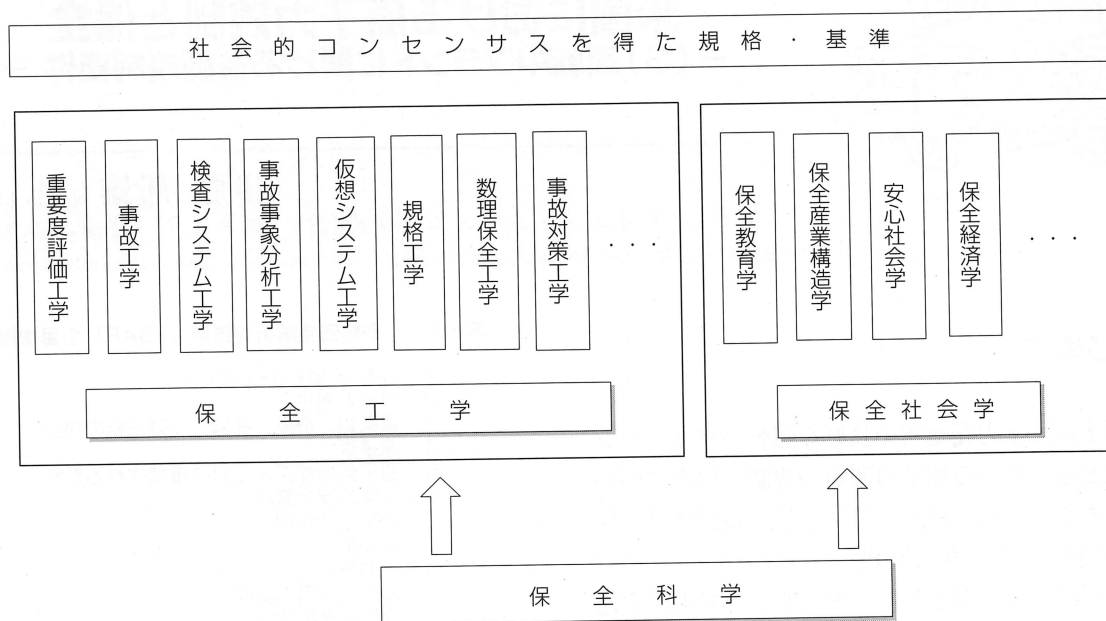


図-6 保全学の構造

- ⑤経済性
- ⑥雇用体制（多層の下請構造・地元対策）
- ⑦労働者確保（高齢化・少子化・女性・外国人）
- ⑧その他

保全活動は、技術的な分野に留まらず、社会的な分野にも跨っている。このため、社会的受容性確保の観点から産業活動（たとえば、原子力発電）に対する安心感の醸成を図るための「安心社会学」のような学術が必要になる。また、保全活動は、人の行為から成り立っており、且つ、我が国独特の産業構造に支えられていることから、高齢化に対応する労働者確保（女性・外国人労働者の採用も含む。）や工事実施体制の下請多層構造に対応するための「保全教育学」や「産業構造学」なども必要になると考えられる。

以上、保全学を構成する保全工学と保全社会学について述べ、保全学のイメージアップを試みた。その結果、イメージされた保全学の構造を図示すると、図-6のようになる。

## 5. まとめ

今回は、既存の学術体系を参考に保全学の構造と体系に関する考察を試みた。その結果、保全学は既存の学術体系の中でイメージすることが可能であり、今後構築することが期待される保全工学及び保全社会学、更にそれを構成する新しい学術分野が具体的に想定されることを確認した。

今後は、更に検討を進め、保全学のより詳細な構造を明確にすべく、既存の物理学のように基礎的な自然科学、社会・人文科学とのアナロジーを考慮して、具体的に検討を深めていくこととしたい。

### 参考文献

1. 宮、高瀬、青木、千種；保全学の構築に向けて(1) 日本AEM学会「フォーラム保全学」vol.1, No.1 (2002)
2. 織田；保全学の必要性 日本保全学会「保全学」vol.2, No.1 (2003)
3. 山下、酒井、青木；軽水炉炉内構造物の点検評価ガイドラインの体系化 日本AEM学会「フォーラム保全学」vol.1, No.1 (2002)

(平成15年11月28日)