

# 保全体系化の基本的考え方

## Fundamental Concept of Systematization of Technical Maintenance

慶應義塾大学 宮 健三 Kenzo MIYA Member

### Abstract :

Actions to be taken in maintenance of nuclear plants are normally various in its manner and complicated depending on components. Unless systematic views are introduced, it is very difficult to systematize maintenance actions theoretically and to plan optimized maintenance schemes. The systematic views consist of essentials and variables, an assemble of principles, maintenance langue and maintenance parole, introduction of hierarchical structure, laws and boundary conditions determining maintenance phenomena, construction of maintenance equations etc. With keeping in mind these items, it is important to complete relevant technologies useful to maintenance. At present, a framework of the fundamentals has been completed and the present stage is under construction of each technologies.

**Keywords:** maintenance phenomena、essentials and variables、maintenance langue and maintenance parole、laws of maintenance、maintenance equations.

miya@iiu.co.jp

## 1. 保全体系化のアプローチ

### 常項と変項 :

保全体系化の手がかりは、現状の保全の中に不変的なものと変化するものを見分けていくことにある。これをそれぞれ常項と変項と呼ぶことにする。事物の中に両者を見分けていくことは本質を理解する基本である。とりわけ保全のように膨大な数の行為が単純に並びそのなかに秩序ある構造を発見するのは容易でない。このような場合には常項・変項を見分けていく努力がとりわけ重要となる。保全方式は状況に応じてまた保全設計の目的の違いにより様々である。これら様々な保全の中に不変的なものを発見することが保全体系化の出発点となる。体系化を行うとき重要なポイントとなるものを列記すると次のようになる。

#### 1) 劣化と点検

機器および材料は劣化するのが通常である。劣化が進行しあるレベルに至れば故障が発生し事故に至る可能性がある。従って、適当な周期でかつ適切な方法で機器の点検を行う必要がある。

#### 2) 結合原理：検査、評価、補修

この保全の行為には変更できない作業順番がある。点検もしくは検査、点検結果の評

価、運転継続か補修/取り替え の3項目は順番と内容を変更することが出来ない。順番と内容は常項である。とはいっても、内容はさまざまである。どんな保全にも見られるこの形式が保全の普遍性であると認識する。これを結合原理という。

#### 3) 選択原理：工学理論

保全方式が決まれば、それを実現できる保全行為の技術的内容を決定する必要がある。それは言うまでもなく、各種の工学体系である。点検周期の科学的決定方法、機器の構造重要度の決定方法、劣化の技術的評価方法など多くの工学理論が必要とされる。どの理論を適用するかを決める行為を選択原理という。

#### 4) 投射原理：選択原理の具体化

保全設計に際して、始めに保全のアイデアが考案され提案される。そのアイデアを実現するためには、あらかじめ決まっている結合原理に基づいて設計の流れを決め、選択原理を用いて適用すべき工学理論を決定し実現可能な保全を策定しなければならない。現実存在する制約条件を考慮しながら、選択原理をどのように適用するかを具体的に決定するのが投射原理である。

#### 5) 保全の常項：3つの原理

従って、3つの原理、結合原理、選択原理、

投射原理、は保全策定のための常項であり、変えることはできない。それらが機能する状況を Fig.1 に示す。

以上が保全体系化に向けた有力なアプローチであり、これを出発点として体系化に向けて内容を充実させていけばよい。

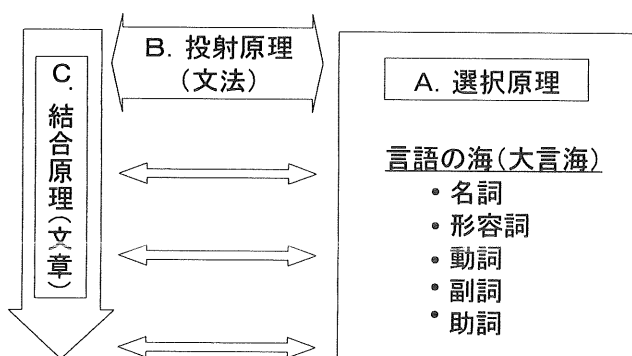


Fig.1 言語学の3原理

## 2. 体系化の骨格

体系化が持つべき特徴を列記すれば次のようになる。

### 2.1 保全制度 (ラング) と保全行為 (パロール)

適切で合理的な保全を計画し、実行し、その結果を評価するためには技術的な手段を持たなければならないが、適切な計画を立案するためには機械工学便覧のような準拠すべき基準が常項として用意されていなければならない。この基準のことをいま保全制度と呼ぶ。この保全制度に基づいて計画され実行される保全が保全行為である。言語学上の用語に従えば、それぞれラング (文法) とパロール (文章) である。保全体系化が目標として目指すべき形態はこの保全制度の確立と保全行為の設計方法である。

### 2.2 原理の集合

保全の不変的な形式は、先に述べたように、1) 結合原理、2) 選択原理、3) 投射原理の3つから構成される。つまり、保全行為は3つの原理で表現されると認識するのである。それらの原理をさらに詳しく説明すると次のよう

になる。

#### 1) 結合原理

点検すべき一つの機器を見た場合、まず劣化の可能性が考えられ、それに対処するため劣化モードに着目して点検を行う。点検結果に基づいて機器の健全性の評価を行い、対応措置を判断する。対応措置とは補修するか、あるいは取り替えるか、あるいは問題なしとしてそのまま運転を継続するかを判断するのである。この3つの行為、点検、評価、措置の過程を経れば、当初問題であった機器の劣化が解決されることになる。この3つの行為は保全の中核的なものであり、その順番と内容は代えようがない。この意味でこれらの行為を保全の結合原理と呼ぶ。

#### 2) 選択原理

結合原理によって保全の流れが定まる。それでは、次に点検、評価、措置を技術的に具体化するにはどうしたら良いかが問題となる。点検に関して言えば、まず機器としての構造重要度を合理的にかつ科学的に決定しなければならない。これを経験だけで行うには限界があり、科学的な手法の開発が望まれる。また点検をどの程度の頻度で実施するかは点検方法や構造重要度と関係しており出来れば科学的に決定したい。これらの諸問題を適切に解決するには科学と技術に基盤を置くことが必要で、合理的な保全にも繋がることになるので研究開発が必要である。これらを保全の工学体系と呼ぶことにすれば、選択原理とはどの工学体系を保全行為に適用すればよいかを決定することを言う。

#### 3) 投射原理

計画を策定する行為は一つの創造とみなせる。この創造は思いつきだけで勝手には出来ない。準拠すべき理論体系が不可欠である。これを保全制度 (ラング) ということは先に述べた。そうするとこのラングと創造の間を結ぶものが必要になる。これを創造の橋と呼ぶことにすれば、その中身は一体何かということが問題になる。これは一般的に言って人間の潜在知となっており、その内容を言葉で説明することは易しくない。しかしながら、

創造を行う形式に着目すれば、一言でいって  
投射原理である。

原子炉を設計し製作することを考えて見ると、始めに経験に基づいたイメージがあり、これを具現化することが課題となる。具現化の手段として、各種の工学体系が活用される。この工学体系は、原子炉製作の場合、原子力工学、機械工学、電気工学、材料工学、放射線工学などである。もっと直接的な有用性を考えれば、技術基準としての告示501号が思い浮かぶ。設計・製作に際してこれらの学術体系を如何に適用し活用していくか、これが投射原理である。投射原理は境界条件とか制約条件を考慮しなければならない。これらのことから明らかなように、保全の場合も、保全計画の策定・実行・評価を実現する手段として同じ事が適用されるのである。

かくのごとくして、保全の体系化は、原理の集合として表現することができ、結合原理、選択原理、投射原理の3つから構成される。これが保全体系化の形式であり、骨格であるといえる。問題はこれらの諸原理を技術的に如何に充実にしていくかであろう。

### 3. 体系化の要件

体系化は単に保全事象を整理・整頓すればよいというものではない。文が構造を持っている

ように保全も構造を持つ。それを以下に説明する。

#### 3.1 法則から理論へさらに規格へ ：保全学の階層構造

自然現象を支配する規則には、原理、法則、理論が用語として用意されているが、それらは適用範囲およびレベルが異なる。原理は法則より根源的であるが、保全技術のレベルで見れば同じレベルにあるとしてよい。良い例はニュートンの運動則である。理論は原理・法則から出発して対象を具体化して問題解決に直接対処できるように発展的になっている。弾性論とか梁理論とかはその例である。構造設計にとって原理・法則はほとんど役に立たない。それに引き換え、梁理論は設計にとってなくてはならない。また告示501号は、梁理論よりはるかに原子炉構造機器の設計に密着している。従って、理論からさらに発展したものが規格・基準であるということが出来る。Fig.2 にその構造が示されている。

#### 3.2 体系化の照合

保全の体系化も体系化された力学も多くの共通点を持つ。先に述べたラングとパロールの形式など共通である。変項と常項を峻別するなども共通である。従って、体系化されている言語学とか力学、または電磁気学などと保全の体

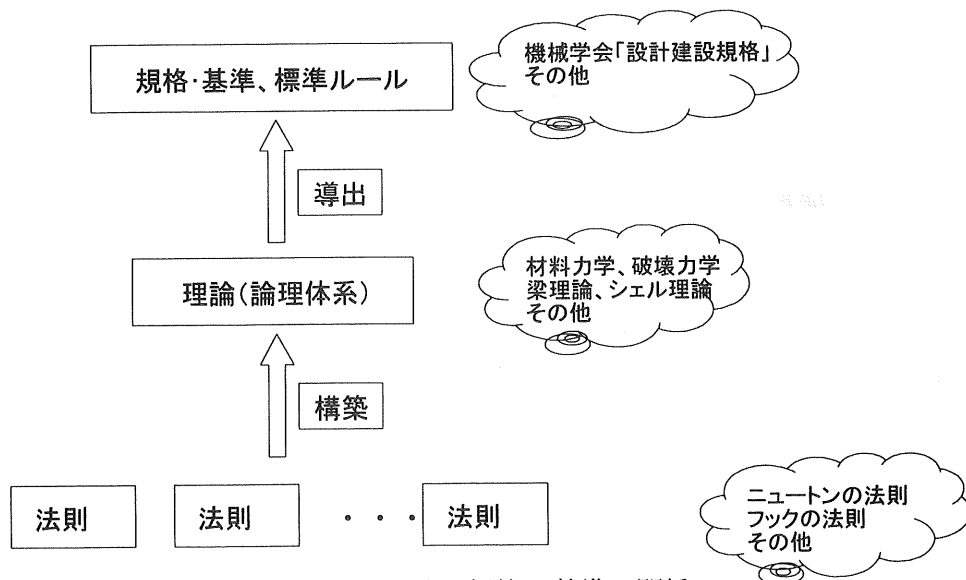


Fig.2 法則、理論、規格・基準の関係

系化は共通の方法論をもっているはずである。学術分野の体系化の照合を行うことは保全体系化にとって参考になる。

### 3.3 法則の存在と境界条件

照合から出てくる有用な知見は、体系化にはよって立つ基盤的な法則が実相の背後に仮想的に存在しなければならない、ということであろう。電磁現象におけるマクスウエル方程式や力学現象におけるニュートンの運動則、流体力学におけるナビアーストークス則などその良い例である。現象の特徴は法則または原理によってそれぞれ決められているのである。それでは、保全のよって立つべき基盤的な法則とは何であろうか。それは、イ) 電力生産に対する社会的受容性、ロ) コストミニマム、ハ) 信頼性マキシマム の3点であろう。

一方で具体的な現象は法則だけでは決まらない。境界条件や初期条件が必要である。原発の保全事象はこれらの法則に加えて、原発が持つ境界条件や経済的な制約条件から決定される。原発の境界条件が何かを定義する必要性がある。

### 3.4 保全学と実時間

機械工学は時間が関与する諸問題を扱うが、それは仮相的な時間である。この意味で機械工学は空間的な学問である。それに反して、保全は、材料や機器の時間経過による劣化、定期検査の短縮化に見られるように、実時間を陽に扱わなければならない。この意味で、保全学は時間が陽に関係する学術であるといつてよい。

### 3.5 保全方程式の構築

物理現象における境界値問題の解の一意性に関する考察を保全にも適用することができる。保全の場合には、コストと信頼性に関する2つの汎関数を極値にする条件を求める問題に帰着される。このとき、満足しなければならない境界条件も考慮されなければならない。解くべき問題の構図はこのように明白であるが、極値問題に還元されたこの問題は解けるであろうか。この問題は史上解かれたことは一度も

ないのは周知のことである。挑戦的な試みがなされることが強く期待される。

ここで、上の議論を集約すれば、結合原理、選択原理、投射原理 といった原理の集合は変項及び常項といった原理から導出でき、ラングとパロールは常項・変項の原理はもとより、言語学や電磁気学や力学と言った体系化されているものが採っている創造の形式から導出される。最後の基盤的法則の必要性は体系化の策定結果が的外れになってはならないという暗黙の要請から来ている。ニュートンの法則は力学事象を醸し出し、マクスウエル方程式は電磁現象を創り出すように、保全学という対象の色合いもしくは保全現象の特徴を決定するものがこの3つの基盤的な法則と保全の持つ境界条件及び制約条件なのである。

## 4. 体系化の具体化

これまでの議論の流れから明らかなように、体系化を具体化するためには結合原理と選択原理と投射原理を充実させなければならない。それを理解するために実際の保全の流れを見てみる。Fig.3 に保全の構図(流れ)を示す。その中で結合原理、選択原理、投射原理がいかに使われているかを見るのは有意義である。

#### (1) 結合原理

- 1) 保全行為は定期的もしくは計画的に実施されるから、プラント寿命中、時間的にサイクルを構成する。サイクルの種類は、定常的なサイクル、スクラムを伴うサイクルの2種類に分けられる。
- 2) 定常的なサイクルは、機器劣化を想定して、点検・検査、状態の評価、対応措置(補修/取り替え)の3点からなる。
- 3) 定常的なサイクルは、原因の重大さに応じて機器損傷、系統機能喪失、プラント停止の3つに分けられ、保全の観点からは原因究明(評価)と対応措置の2点からなる。

以上の過程は、原子力発電プラントに限って言えば変化しない部分であって、プラントや保全計画のバリエーションあるいは国によって

異なるものと考えてよい。従ってこれを結合原理と呼ぶ。上のプロセスは Fig.3 の中に含まれている。

(2) 選択原理

- 1) 保全行為を科学的・技術的に合理的にし、その結果を信頼できるものにするためには、結合原理の中で分節化された保全行為を技術的に実現させる必要がある。一般的に言ってそれは工学体系であるが、必要とされる理論体系は多岐にわたる。
- 2) 必要とされる理論体系を列挙すれば、機器の構造重要度および保全重要度の決定理論、機器の劣化モードに関する破壊理論、保全方式の選定理論、点検方法と点検周期の決定理論、機器単体の状態評価に関する理論、劣化進行に関する予測理論、亀裂進展理論、補修に関する工学理論、システムの信頼性評価理論などが考えられる。これらの理論を保全に密着した形で開発し選択していくことが選択原理である。すでに十分進展している理論もあれば、いまだ未成熟でこれから開発しなければならないものも多い。
- 3) 今述べた理論の多くは、要素技術に関するものである。発電プラントがシステムである以上システムの特徴の把握という

困難な課題が我々を待ち受けている。システムの特徴の把握がいかに重要であるかは、それが可能となったあかつきにはシステムの故障および事故発生の予測ができることに繋がっていくことにある。究極的には選択原理はこの問題の解決を要求していると解釈できるのである。

Fig.3 に示されている保全行為を完結させるためには、上に述べた理論や規格を完成させておき、保全行為に使えるようにしておくことが選択原理を機能させる方便である。

(3) 投射原理

- 1) 人間の知的活動を考えて見ると、投射原理は潜在知的になっており人々はこの能力を当然としていてその分析にほとんど手がつけられていない。この知的機能に光を当てているのは言語学だけである。そこでは、心の中に生じたアイデアもしくは発想は深層構造と呼ばれており、いまだ現実のものとして具体化されていない。これを具体化するには文法とボキャブラリーを必要とする。具体化されたものを表層構造という。この両者を結んで意味のある文を作るとき活躍するのが投射原理である。

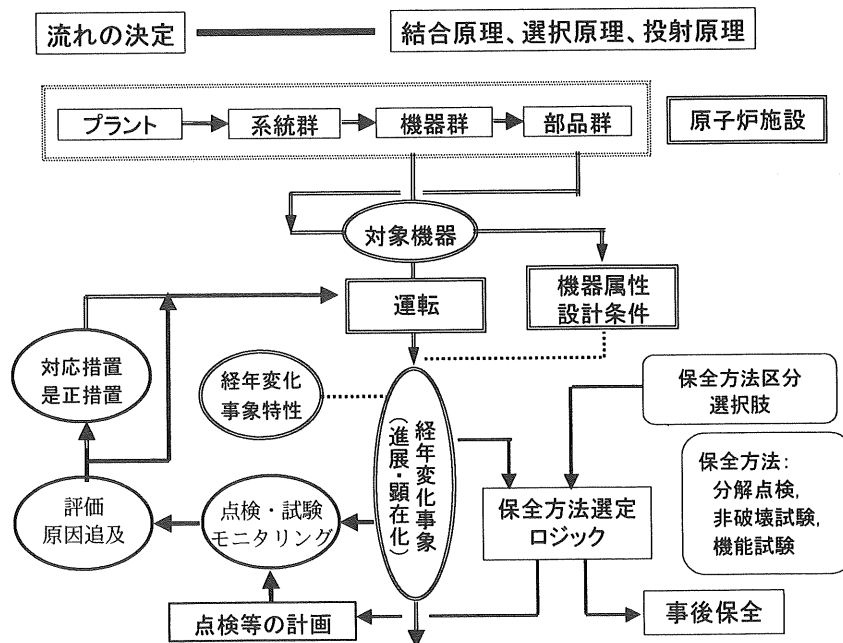


Fig.3 保全体系化の要件 (流れの決定)

- 2) 比喩的に言って、結合原理と選択原理の両者を結ぶものが投射原理になっており、それに課された役割の中核的な部分は、結合原理に依拠しながらかつ選択原理を活用しながら保全計画を立案するというものである。実際、結合原理と選択原理だけではニュートンの運動則が構造機器の設計に直接役に立たないと類似の事情にある。
- 3) 投射原理の役割として重要なものが2点考えられる。一つは結合原理と選択原理の間を埋める理論を構築することである。これは材料力学や板理論などに基づいて告示501号を制定するのと類似な作業である。例えば機器の材料に関する一般的な劣化理論に基づいて実際の点検行為に直接有用な理論を構築することである。これまで、このような体系的な保全の必要性がはっきりしていなかったために、投射原理の内容は現在未解決なままである。

## 5. 結言

結局、保全の体系化も従来の学術の体系化と同じ構造を持っていることが明らかになったといえる。その根幹は3つの原理から推測されるように言語学にあることも明らかである。

しかしながら、法則と境界条件が物理現象や保全現象を決めている状況は言語現象ではあまり明白ではない。文法と表現しようとする意志が法則と境界条件に対応しているのではあるが。人間の言語は根源的には自然現象に倣っていると思えない。このような人間の認識や意味あるものを構築する方法は保全や物理や工学などとそんなには違わないことが保全学の構築作業のなかで明らかになってきたというのが本稿の結言である。

### 謝辞：

本稿では3つの図を使った。それらは、原電の青木 孝行氏が慶応義塾大学で行った講義の資料から借用させていただいた。ここに感謝します。