

保全標準体系における漏えい管理ガイドラインの位置付けに関する考察

Study on the Position of Leakage Management Guideline in OM Code and Standard System

日本原子力発電（株） 青木 孝行 Takayuki AOKI Member
東京大学大学院工学研究科 関村 直人 Naoto SEKIMURA Member
東京大学大学院工学研究科 出町 和之 Kazuyuki DEMACHI Member

In this study, a structure of code and standard system for plant maintenance is discussed. And also where the draft guideline for leakage management, developed by the special research committee of Japan society of maintenology (JSM), should occupy a position in the code and standard system is discussed. As a result of consideration, it was concluded as follows.

- (1) Maintenance program for plant components consists of two (2) parts, a regular program for dealing with minor ageing and a special program for dealing with specific ageing degradations.
- (2) Standards for regular maintenance should be developed as OM guidelines. Codes for special maintenance should be developed as fitness-for-service codes.
- (3) The fitness-for-service code for pressure retaining components can be developed from the following viewpoints.
 - a) How much a structural strength reduction can be accepted on a precondition of leak tightness
 - b) How much a leakage can be accepted on a precondition of sufficient structural strength.
- (4) The JSM draft guideline for leakage management is a rule developed from the viewpoint of the above b) and occupies a position in the fitness-for-service code system. On the contrary, JSME rules on fitness-for-service for nuclear power plants is a code developed from the viewpoint of the above a).

Keywords: Code & Standard System, Rules on Fitness-for-Service, OM Guideline, Leakage Management

1. 緒言

一般に、構造物は時間の経過とともにその構成部品の物性が徐々に変化し、それがさらに進展すると経年劣化（き裂、減肉など）として顕在化し、故障、破壊等の機能喪失に至ることがある。これは如何なる産業に用いられている設備/機器にも言えることであり、供用時間の経過とともに発生・進展する。このため、たとえ設備/機器に経年劣化が発生・進展したとしても、その「機能」、特に「安全機能」が常に確保されるように維持管理する必要がある。言い換えると、「安全機能」が常に維持される範囲内で経年劣化を許容する、という考え方をとる必要がある。しかしながら、だからと言って経年劣化の進展を無制限に許容することはできない。そこで、経年劣化が発生・進展することを前提に設備/機器の「安全機能」が常に確保される範囲内という一定の制限を掛けて経年劣化を許容する考え方が現在一般的となっている[1]。また、その考え方は広く一般社会に受け入れられるようなものでなくてはならないため、最近では中立性、公平性、公開性などを備えた学協会でその考え方が盛り込まれた、多くの規格等が策定されている。

学協会で精力的に策定されている規格類は学術的、技術的な基盤の上にこれまでの知見を集大成したものであり、社会の安全と発展を支える重要な創造物である。したがって、これらの規格類が体系的に整備されれば、その社会的貢献度は大きいものがあると考えられる。そこで本研究では、保全に関連する規格類の体系や構造について検討するとともに、昨年度、日本保全学会「漏えい事象評価研究分科会」[2]が開発した「原子力発電所機器のシール部からの漏えいに関する管理ガイドライン案（以下、漏えい管理ガイドライン案という。）」の保全規格体系内における位置付けについて検討した。以下にその検討内容について述べる。

2. 保全標準体系

2.1 保全標準の構成—保全指針と維持機規格—

設備/機器の機能を維持するために実施する保全には大別して下記の2つがあると考えられる。

- (1) 特定の経年劣化を想定していない、または軽度の経年劣化を想定した保全（一般保全）
通常、設備/機器は想定される経年劣化に対応でき

連絡先:青木孝行、〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町 1-1、日本原子力発電(株)発電管理室、電話: 03-4415-6008、e-mail:takayuki-aoki@japc.co.jp

るように設計・製作されているので、手入れや整備など若干の保全を定期的に繰り返せば、その都度、機能を回復でき、健全性を維持できるので長期間の使用が可能である。このような保全は予め設計段階で使用開始後に実施することを想定していた若干の保全であり、機器の機能を維持するために行う保全活動の中で一般的、基盤的な保全である。具体的には、消耗品取替、潤滑油取替、汚れ除去、補修塗装などの保全活動が含まれる。

この一般保全に分類される保全は、原子力発電所のような巨大プラントを構成している多数の機器に対する定例的な保全であるので、取り扱う情報量もまた膨大である。したがって、この種の保全を取り扱うには保全内容を機種毎あるいはグループ毎に一律に定型化あるいはテンプレート化して取扱えるようにすると効率的である。また、統計的取扱いをするのにも適している。

(2) 特定の経年劣化の顕在化を想定した保全(特別保全)
 供用開始後に顕在化することが判明した経年劣化

や設備/機器を設計する段階で使用開始後に顕在化することが想定されたが十分な対策が取れなかった経年劣化に対し、当該機器の機能を維持するために実施する保全である。この保全は、特定の経年劣化が時間軸に沿って発生・進展し、回復することはないので、これを予め想定、予測し、その結果に基づき検査、評価、補修などを適時実施することにより機能が確保されていることを常に確認するとともに、必要に応じて補修などの是正措置を施して機能を維持・確保する特別保全である。具体的には、SCCなどの各経年劣化に応じた検査(対象箇所、検査方法、検査頻度など)、評価(評価方法、許容基準など)及び補修(特殊工法、適用条件など)などの保全活動が含まれる。

上記の一般保全と特別保全の具体的イメージ(ポンプの例)を Fig.1 に示す。

ここで上記 2 つの保全を標準化あるいは規格化した場合のことを考える。前者の保全に対応する標準また

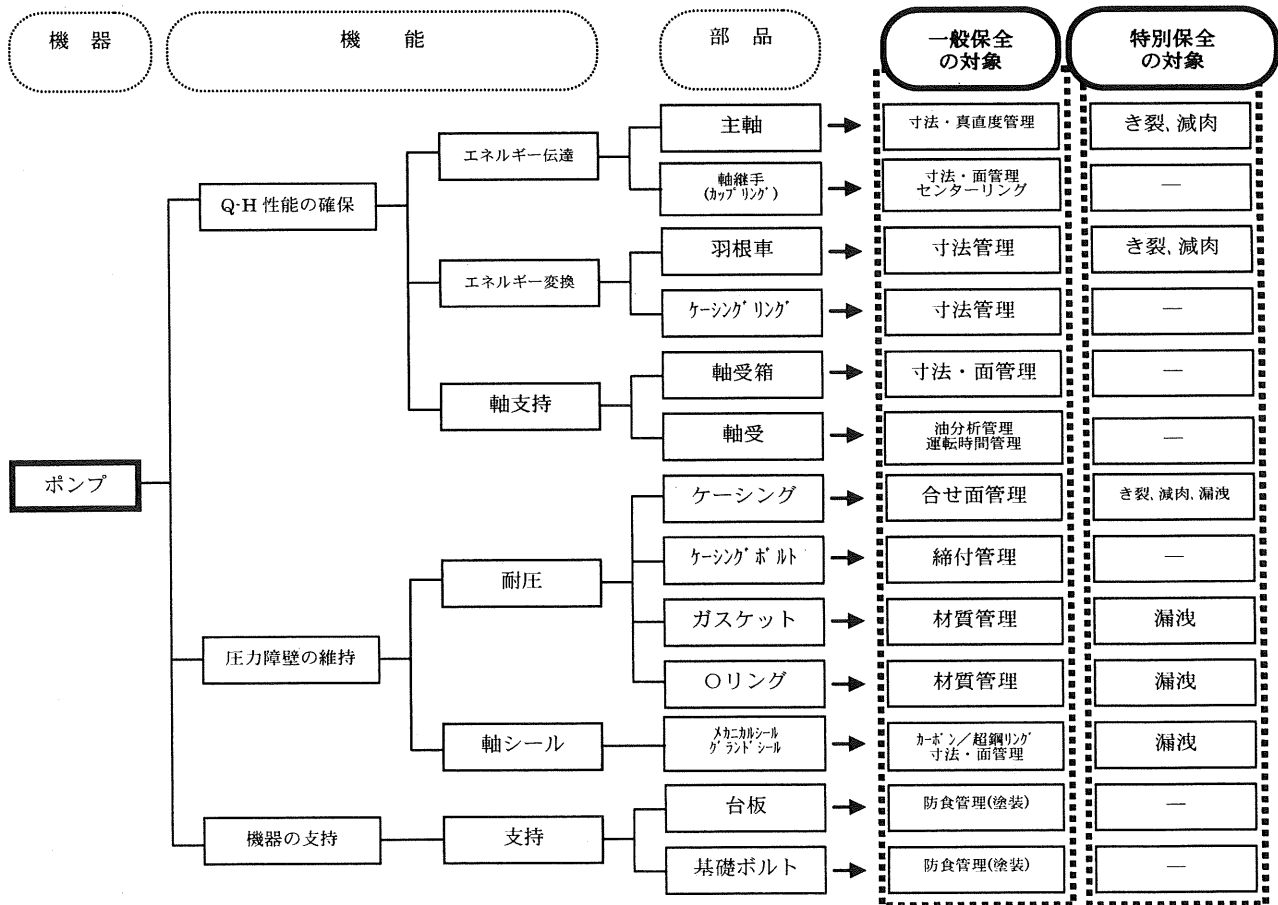


Fig.1 Objectives of regular maintenance and special maintenance (ex. of pump)

は規格(以下、標準と規格をまとめて標準という。)は、一般的、基盤的な保全に対するものであり、また、これに分類される保全は、機器の健全性を維持するために必要な要求事項を満足する保全方法が多種多様であり、一つの固定した保全内容を限定要求しなければならないような種類のものではないと考えられる。このため、このような一般的、基盤的「保全」の標準は「指針(ガイドライン)」と呼ぶのが相応しいように思われる。そこで、ここではこれを「保全指針」と呼ぶこととする。なお、これは ASME 等で既に用いられている「OM 指針(Operation & Maintenance 指針)」に対応するので、OM 指針と呼ぶこともできる。一方、後者の保全に対応する標準は、経年劣化が進展すると当該機器が破壊する等の機能喪失に至り、安全問題につながる可能性も考えられるため、特定の評価手法や基準を要求する必要がある標準であると考えられる。(社)日本機械学会の維持規格[3]はこの標準に分類されると考えられ、すでに「維持規格」という用語が定着しているので、この標準を「維持規格」と呼ぶ。

以上述べた2つの標準、すなわち「保全指針 (OM 指針)」と「維持規格」を総称して、ここでは「保全標準」と呼ぶこととする。このようにすると、保全標準の体系は Fig.2 のように表現できる。一般に、産業界等で用いられている設備は、機械、電気、制御、土木、建築の各設備から構成されているので、これらの設備をすべて視野に入れて保全標準の整備を考えれば、保全標準の全体体系が構築される。

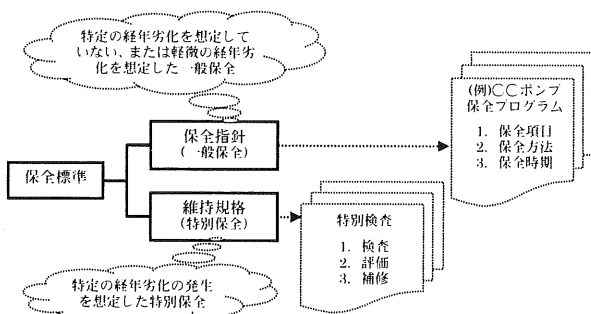


Fig.2 Structure of code and standard system for maintenance

2.2 有意な経年劣化が無い場合の保全の基本的考え方

前節で述べたように、通常、設備/機器は手入れや整備など若干の保全を定期的に繰り返せば長期間使用できる場合が多い。このような定例的保全のプログラム

は一般に「保全対象」「保全項目(保全タスク)」「保全方法」「保全時期」から成っており、予め設計段階で採用開始後に実施することが想定されていたベースとなる保全である。(Fig. 3)

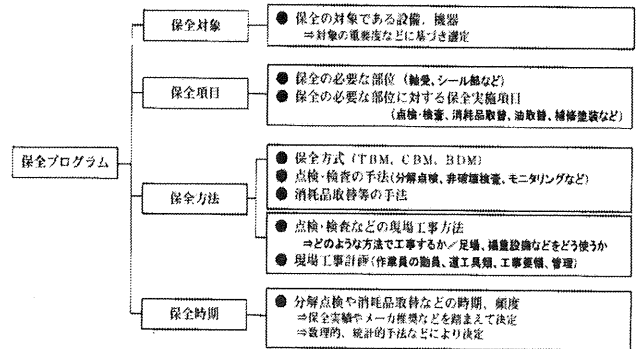


Fig.3 Four (4) elements of maintenance program

これに分類される保全は軽微な劣化(あるいは軽微な変化)しか発生しない機器が対象であり、故障が発見された部品はその都度、修理、取替が行われるので、明確な故障率の増加傾向期は現れない[4]。その劣化によってシステムティックに故障が発生し、故障率が経年的に増加するのではなく、不規則に低頻度で発生する。(Fig. 4)

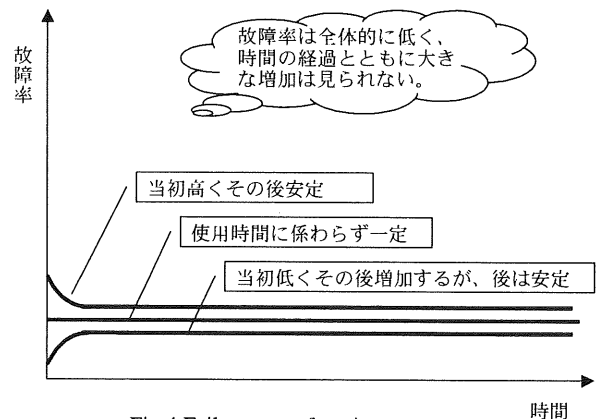


Fig.4 Failure rate of equipment parts

したがって、特定のパラメータに対して一定の管理値を設定して当該設備/機器の健全性を維持管理する手法がとられる。このような特性を持つ軽微な劣化(あるいは軽微な変化)が想定される設備/機器は一般に数が多いので、ある特定の故障率で故障が発生すると仮定して数的に取り扱おうと効率的である。特に、原子力発電所のような巨大プラントは単純なシステムではなく、いくつかのサブシステムによって構成され、サブシステムは多数の機器や装置から成り、さらにそれ

それぞれの機器や装置は膨大な数の部品等から構成されている。このような複雑で階層的な構造を持つ全体システムの個々の構成要素に発生する劣化あるいは故障を予測するには数理的手法、すなわち統計的な手法を用いて取り扱うのが現実的である。

2.3 特定の経年劣化が顕在化することを想定した保全の基本的考え方

2.1 節で述べたように、維持規格は想定される特定の経年劣化が発生・進展することを前提に、設備/機器の各種機能が維持・確保されるように規定する必要がある。この考え方は、経年劣化が発生・進展した結果として生じる機能喪失に対して十分な余裕を確保した範囲内においてのみ経年劣化の発生・進展を許容するというものであり、この考え方を図示すると、Fig.5 に示すようになる[5]。

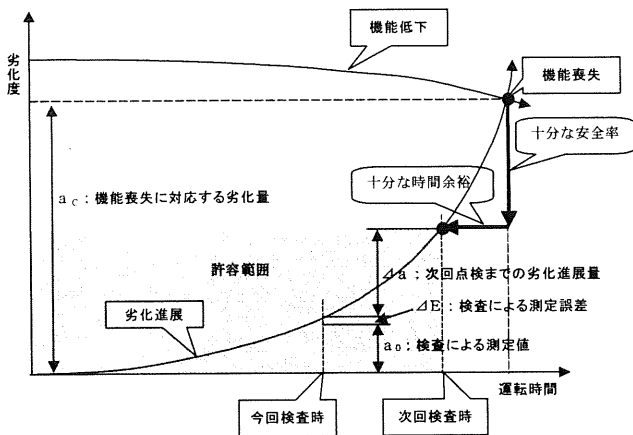


Fig.5 Acceptance limit of ageing degradation

このような考え方をとると、特定の経年劣化の発生・進展を想定して下記の保全活動を実施することになるので、これらの標準化、規格化が必要である。

(1) 点検・検査

点検・検査は、その時点および次回までの当該設備/機器の健全性が確保されるか確認するために実施する。したがって、その健全性を担保できるように点検・検査の時期と手法を規定する必要がある。

(2) 評価

評価は、経年劣化の発生・進展を予測し、どの時点まで許容できるか確認するために実施する。したがって、機能がどのように低下するかを評価する手法とその低下がどの程度まで許容できるかを判断する基準の設定方法を規定する必要がある。

(3) 補修等の是正措置

評価の結果、許容不可と判定された場合、機能を復旧あるいは一部回復させるためには是正措置を実施する必要がある。したがって、是正措置後の健全性を担保できるような是正方法を規定する必要がある。

Fig.5 は特定の経年劣化事象だけでなく、機能を有する機械、電気、制御、土木、建築の各設備の経年劣化事象すべてに対して当てはまる共通の概念である。たとえば、これら設備の機能の例を列挙してみると、下記のようなになる。

- 機械設備(ポンプ) ⇒ 流体輸送機能、耐圧機能(構造強度)、密閉機能
- (配管) ⇒ 耐圧機能(構造強度)、密閉機能
- 電気設備(モータ) ⇒ 回転力発生機能
- (ケーブル) ⇒ 電路機能(伝導機能)、絶縁機能
- 制御設備(制御回路) ⇒ 制御信号発信機能
- 土建設備(建物) ⇒ 空間保持機能(構造強度)、密閉機能、保温機能

このように、各種の設備・機器毎にその機能と顕在化する可能性のある経年劣化事象をすべて視野に入れて検討すれば、維持規格体系の全貌が明らかとなる。

2.4 保全標準(保全指針と維持規格)の体系

2.3 節および2.4 節で検討した内容を踏まえて、保全標準を構成する保全指針および維持規格の体系について検討した。その結果をそれぞれ Fig.6 および Fig.7 に示す。

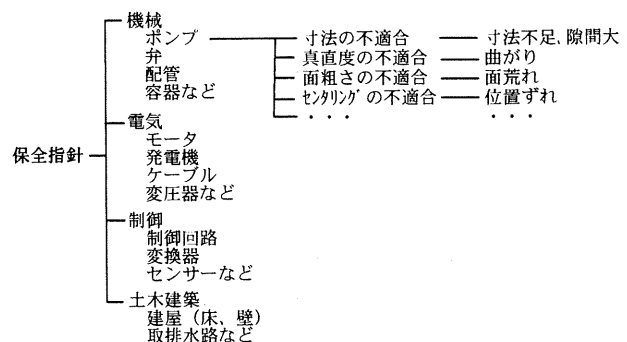


Fig.6 Structure of OM guideline system

保全指針は、有意な経年劣化の顕在化を想定していない保全の内容を標準化したものである。Fig.6 に示すように、保全指針は機械、電気、制御、土木建築の全設備に亘って機器単位で整備し、その内容は前述の各「保全対象」に対し「保全項目(保全タスク)」「保全方

法」「保全時期」を標準化したものが規定される。

維持規格も、保全指針同様に、基本的に機械、電気、制御、土木建築の全設備に亘って機器単位で整備されるものと考えられるが、この規格は特定の経年劣化が進展し対象機器の機能が低下することを想定しているので、対象機器の機能と経年劣化事象の組合せを念頭に入れて規格体系を確立する必要がある。(Fig.7) 経年劣化評価手法は経年劣化事象毎に機器横断的にまとめて標準化、規格化することもできる。

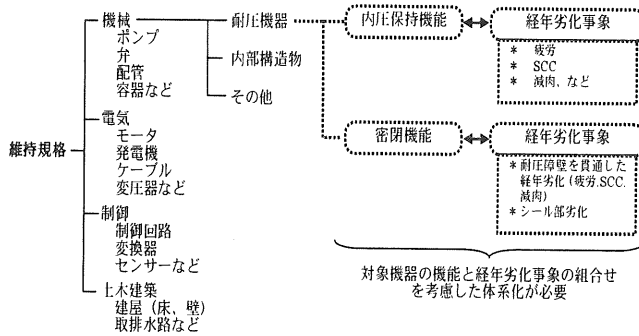


Fig.7 Structure of fitness-for-service code system

3. 維持規格体系内における漏えい管理ガイドラインの位置付け

3.1 き裂に対する維持規格と漏えい管理ガイドラインの考え方の違い

一般に配管や容器のような耐圧機器は流体を内包する。したがって、これら耐圧機器は下記の2つの機能を持っていると考えられる。

①圧力障壁としての内圧保持機能

当該機器に作用する内圧に耐え、内包流体を保持する役割の構造強度すなわち「内圧保持機能」

②密閉機能

内包流体を外部に漏らさないようにする役割の「密閉機能」

耐圧機器の圧力障壁にき裂などの経年劣化が発生・進展すると、上記2つの機能が低下あるいは喪失し、内部流体の漏えいや機器の破壊に至ることがある。漏えいや破壊のプロセスは Fig.8 に示すように、複数考えられる。ここで、特に注目すべきことは漏えい事象には大別して下記の2つのケースがあり、後者は構造強度の低下を伴わないことである。

a) 圧力障壁にき裂、減肉等の経年劣化が発生・進展

し、それが貫通して漏えいする場合

b) 機器シール部の機能が低下(劣化)して漏えいする場合

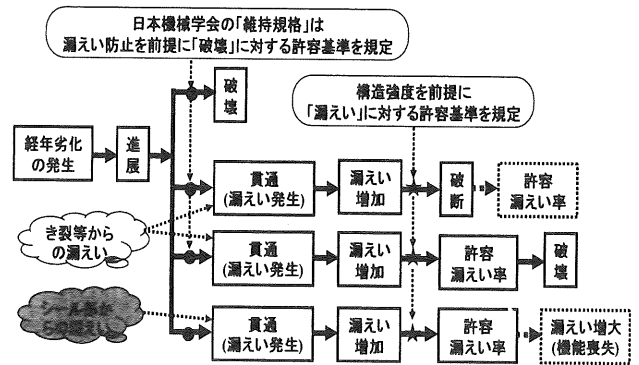


Fig.8 Ageing degradation process of pressure retaining component (from initiation to propagation and function failure)

機器の安全性を確保するには、上記2つの機能が一定の値以下に低下しないように管理する基準を定め、それによって対応する必要がある。その管理基準を策定する視点は2つあると考えられる。まず、(社)日本機械学会の「維持規格」は耐圧機器の圧力障壁にき裂等の経年劣化が発生・進展し、構造強度が一定限度内で低下することは許容するが、その経年劣化が耐圧障壁を貫通すること(内包流体が漏えいすること)は許容しない。すなわち、「密閉機能」が確保されることを前提として構造強度がどの程度まで低下しても「内圧保持機能」を維持できるかについて評価できる手法を規定していると言える。これに対し、日本保全学会の「漏えい事象評価研究分科会」が開発した漏えい管理ガイドライン案は構造強度が確保されたシール部の漏えいを対象としているので、「内圧保持機能」が確保されることを前提に「密閉機能」が低下して発生した漏えいがどの程度まで増加しても安全性を維持できるかについて評価できる手法を規定している。(Fig.9)

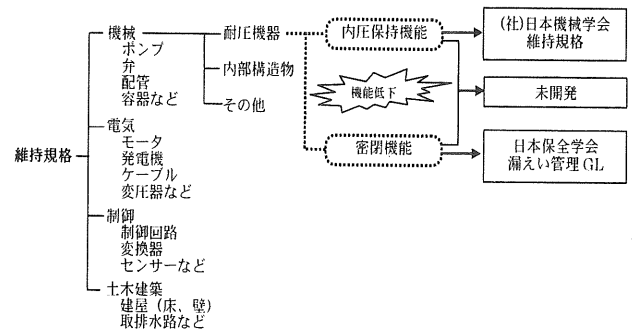


Fig.9 JSME rules on fitness-for-service for nuclear power plants and JSM leakage management guideline in the fitness-for-service code system

なお、き裂等の経年劣化が耐圧障壁を貫通し、内圧保持機能と密閉機能の両方が同時に低下するような条件下で両機能が常に維持されるように規定された基準は未だ開発されていない。

3.2 耐圧機器の維持規格の構造と漏えい管理ガイドラインの位置付け

耐圧機器に対する維持規格体系内における漏えい管理ガイドライン案の位置付けについて以下に検討した。

前述のように、耐圧機器に対する維持規格は下記の3つの観点から開発することが考えられる。

- ①密閉機能の確保を前提として内圧保持機能の低下を想定した維持規格
- ②内圧保持機能の確保を前提として密閉機能の低下を想定した維持規格
- ③内圧保持機能と密閉機能の両方の低下を想定した維持規格

これら3つの維持規格を念頭に、想定される経年劣化事象を体系的に表現したものを Fig. 10 に示す。

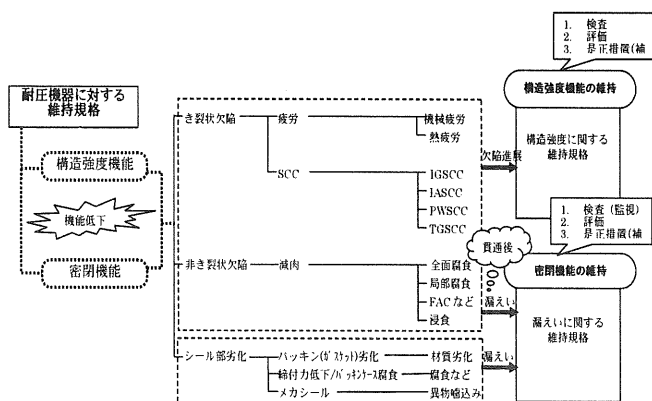


Fig.10 Structure of fitness-for-service code system for pressure retaining components

この図では上記①を「構造強度に関する維持規格」と表現した。また、耐圧機器から漏えいが発生するケースとしては、き裂等の進展によって構造強度が低下し、さらにそれが貫通して生じる漏えいとシール部の劣化によって生じる漏えいの2つが考えられるので、上記②、③をまとめて「漏えいに関する維持規格」と表現した。ここで、日本保全学会「漏えい事象評価研究分科会」が策定した「漏えい管理ガイドライン案」は上記②に対応し、Fig. 10 では「シール部の劣化」の部分に対応する。

4. 結言

- (1) 保全標準の体系は、定例的な保全を標準化した「保全指針」と特定の経年劣化に対応するための保全を標準化した「維持規格」の2つから成っていると考えられる。
- (2) 「保全指針」は、定例的保全の内容を標準化したものであり、保全対象に対し保全項目(保全タスク)、保全方法、保全時期に関する事項が記載される。したがって、機器単位で指針体系を整備すべきであると考えられる。
- (3) 一方、「維持規格」は対象機器の機能と経年劣化事象の組合せを想定し、機器の機能が常に維持されるように検査、評価、対応措置に関する事項が記載される。したがって、この事を考慮して機器単位で規格体系を整備すべきであると考えられる。
- (4) 耐圧機器は、「内圧保持機能」と「密閉機能」の2つの機能を持っている。したがって、耐圧機器の維持規格は、これらの機能を同時に確保できるような基準を規定したものとと言える。
- (5) 日本保全学会の「漏えい管理ガイドライン案」は内圧保持機能の確保を前提として密閉機能がどの程度まで低下しても許容できるかを定めたものであり、維持規格体系内に位置付けられる。(社)日本機械学会の維持規格は密閉機能の確保を前提として内圧保持機能がどの程度まで低下しても許容できるかを定めたものと考えられることができる。

参考文献

- [1] 原子力安全・保安院ホームページ、「健全性評価制度」(http://www.nisa.meti.go.jp/7_nuclear/02_untan/kenzenhyouka.htm).
- [2] 漏えい事象評価研究分科会、「漏えい事象評価研究分科会の活動状況」、保全学、Vol.4, No.2, 2005、pp.19-24.
- [3] (社)日本機械学会「JSME S NA1-2004 発電用原子力設備規格 維持規格(2004年版)」
- [4] 松田、「航空機整備の方式とその適用について」、発電コスト・ミニマムを支えるプラントの科学的保守管理計画に関する講習会、火原協 関東支部 1997.
- [5] 青木、宮、高瀬、千種、「保全学の構築に向けて(4)」、保全学、Vol.3, No.1, 2004、pp.57-69.