



原子力発電所における検査計画の 基本的立案方法に関する考察

Discussion of In-service Inspection Planning for Nuclear Power Plants

日本保全学会
東北大学流体科学研究所

青木 孝行
高木 敏行

Takayuki AOKI
Toshiyuki TAKAGI

Member
Member

For creating an inspection plan for industrial plants like nuclear power plants, it is necessary to have a well-grounded basis. Therefore, this paper proposes a method for determining the following three elements of such a plan: the equipment to be inspected, the inspection method to be adopted, and the timing of its implementation using a scientific approach. The key idea is to analyze the components of the plan by employing the understanding of cancer detection and diagnosis in medical science and also to take an approach of creating a plan based on the characteristic features of the component and its aging degradation mode, the performance of the inspection method, and the relationship between the two. Taking all the above into account, the factors to be considered and the best way for inspecting the plants are presented in this paper.

Keywords: Inspection, Planning, Aging Degradation, Functional Degradation, Maintenance Strategy

1. 緒言

原子力発電所を構成している多数の機器に発生する経年劣化を完璧に予測できる評価手法が存在するとしたら、検査を実施する必要はない。なぜなら検査を実施して健全性を確認するまでもなく、現状および将来の状態を事前に、しかも正確に予測できるからである。しかしながら、通常は検査を計画的に実施し、その結果を活用しないと、その後における機器の状態（経年劣化が発生/進展した状況）を正確に予測することは難しい。これは予測する将来が遠ければ遠いほど、誤差が大きくなるためであり、検査を小刻みに実施し、実態に合った将来予測をしなければ正確な予測ができないからである。

そこで、実際には劣化評価技術を用いて機器に発生する経年劣化の発生/進展を予測しながら、一方で計画的に検査技術を用いてその時点における機器の状態を確認し、その結果を予測評価に取り入れその後の機器状態を予測するという方法を取る。すなわち、評価技術と検査技術の組合せで機器の将来をできるだけ正確に予測しようとする方法を取る。(Fig.1)

ここでは上記を踏まえ、これまで部分的あるいは断片的にしか取り扱われず、その全体像が必ずしも明確でない原子力発電所機器の検査計画全体を俯瞰的に捉え、計画を立案するための主要な事項を整理、分析することにより、検査計画の構造と体系を明らかにする。

連絡先: 青木 孝行, 〒110-0008 東京都台東区池之端
2-7-17, 日本保全学会, E-mail: aoki@jsm.or.jp

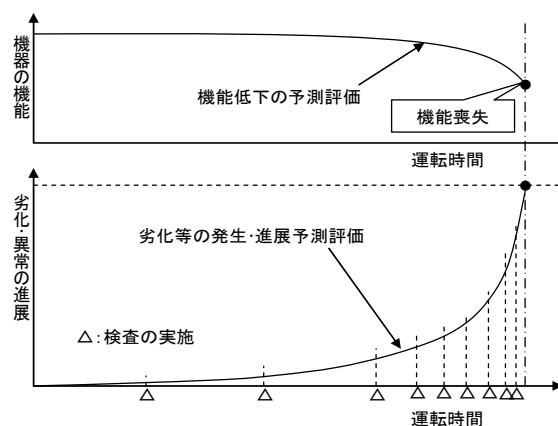


Fig.1 Prediction of Aging Degradation and Timing of Inspection

2. 検査計画立案の概要

予防保全の一環として機器に対して検査を実施しようとする場合、事前に具体的な計画を立案する必要がある。この計画は対象機器に対してどのような検査方法を用い、いつ実施するか、を規定するものである。すなわち、検査計画とは「対象機器（部位）」「検査方法」および「実施時期」の3要素を決定、立案することである。

具体的な検査計画を決めるには、まず検査を実施する目的を明確にする必要がある。なぜならば、検査対象機器のどこからどのような劣化を検出するのか等、その目的によって実施する検査の考え方や採用する方法、実施時期などが異なってくると考えられるからである。目的が明確になると、次にその目的を達成できる具体的な検査方法や実施時期を選定することが可能となる。この選

定に当たっては一定の制約がある。それは機器を安全に運転するには事前に想定される運転期間において機器の健全性が維持できることを証明する必要があるということである。機器を安全に運転するには、前述のように、検査技術で機器の劣化状態を把握した上でその結果を用いて劣化の発生・進展とそれに伴う機能の低下を評価し、少なくとも次の検査時期まで当該機器の健全性が確保できることを証明する必要がある。もし以下に示す検査技術と評価技術の性能が十分でないなら、保守的評価をせざるを得なくなり、結果として対象機器の健全性を証明できないことになる。

- ① 機器に発生する劣化の発生・進展を検出する「検査技術の性能（精度等）」および
- ② 劣化の発生・進展と機器の機能低下を評価する「評価技術の性能（精度）」

検査計画は、これらの特性を十分理解した上で、合理的な立案方針（戦略）に則って決定される必要がある。

以上述べた内容をまとめて Fig.2 に示す。

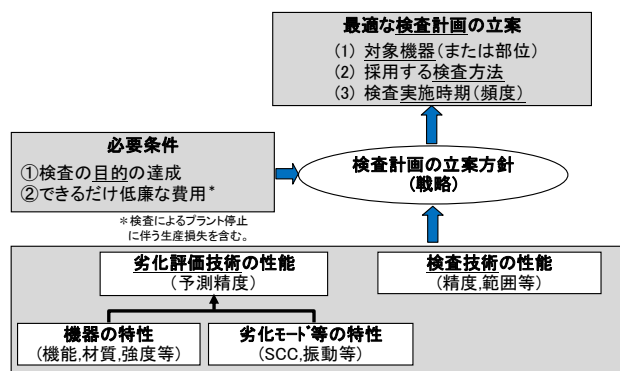


Fig.2 Overview of Inspection Planning Process

本研究では、Fig.2 に示す主要要素について次節で詳細検討する。検討に当たっては、医療の検査・診断・治療とプラント保全の検査・評価/判断・対応措置に対応関係や内容の相似性があることの指摘^[1]や医学の学術体系から保全学の学術体系を類推するなどの試み^[2]があり、医療とプラント保全の間には強い類似性があるので、これを踏まえて、高度に発達した医療における検査の考え方を参考にしながら検討を進める。

3. 検査の主要要素に関する検討

久道茂著「がん検診判断学」^[3]によると、医療における検査には「健診」と「検診」があり、前者は健康の確認と病気のリスクファクターを発見するために行うものであり特定の疾患を発見することを目的としたものでは

なく、後者は特定疾患の早期発見を目的とするものである、とある。これをプラント保全における検査に引き直してみると、前者は特定の経年変化事象の発生がないと考えられる箇所に対して行う一般共通的な検査である標準検査^[4]、後者はある特定の経年劣化事象がある機器に対して行う個別検査^[4]に当たると考えられる (Fig.3)。本研究では、人体とプラントの類似性を念頭に、医療における特定疾患の「がん」に対する検診と、これに対応すると考えられるプラント保全における特定の劣化事象 (IGSCC や FAC 等の減肉等) に対する個別検査を対比しながら検討を進める。

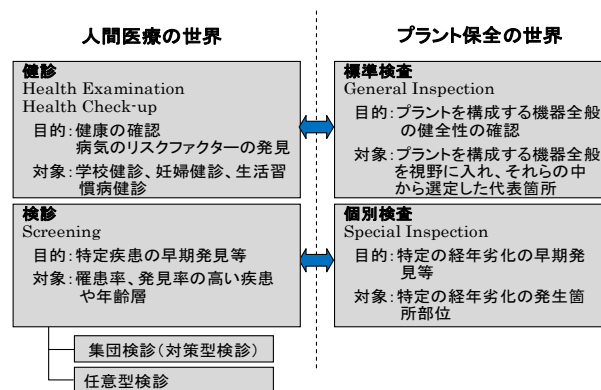


Fig.3 Similarity between Medical Inspection and Plant Inspection

3.1 検査の目的

前述の「がん検診判断学」を参照すると、がん検診の目的は下記の通りである。

- ① 受診者の心配している「がん」の早期発見（早期治療によってがん死回避）
- ② 前がん病変¹の発見（早期治療か、定期的な経過観察でがん罹患とがん死の予防）
- ③ 安心を得ること（「異常なし」の結果を得ると安心して仕事に張りが出るというプラスのラベリング、「要精密検査」の通知で心配し仕事も手につかなくなるというマイナスのラベリング）
- ④ がん医療費の軽減（手遅れの進行がんの医療費は早期がんの2~3倍）
- ⑤ 「がん」の自然史²の解明（がん細胞の増殖・成長、前がん病変の「がん」への変化、それらの時間、成長速度の把握に基づく予防、治療）

上記①の「がんの早期発見」については、プラント保全においてもほぼ同様のことが言える。すなわち、機器は、

¹ 何らかの病的な状態が存在し、そこでがんが高確率で生じる可能性のある状態
² がんの発生から人を死に至らしめるまでの経過や、がんが潜在したままだったり、自然に消滅したりする経過

人体に「がん」が発生・進行し、生命を脅かすのと同様に、供用開始とともに特定の劣化事象（IGSCC、減肉等）が発生・進展し、機器あるいはプラントの機能を喪失させる可能性がある。もしこれらの劣化事象の発生・進展を速やかに発見できれば、その後の対応（是正措置等）を格段に容易とすることができる可能性がある。したがって、これら特定の劣化事象に対する個別検査の第一の目的は、劣化の早期発見のためであると言うことができる。なお、医療の場合は、早期発見された前がん病変の状況によっては経過観察し、適切な治療時期を模索することとなるが、人命に係わることであるので、早期治療に重点が置かれるものと考えられる。これに対し、プラント保全では取替等の是正措置によって劣化機器の再生が可能であるので、劣化事象の進展予測評価結果や是正措置方法、是正後の検査程度（方法、頻度）を勘案し、プラントの存続に不可欠な安全性および経済性の観点から最適な時期を選定することになる。

上記②の「前がん病変の発見」は、プラント保全においては「欠陥に移行する可能性のあるインディケーション（指示）」に対応すると考えられる。がん検診の目的である「前がん病変の早期発見」はその後の早期治療か、定期的な経過観察によってがん罹患とがん死を予防することを想定している。これをそのままプラント保全に置き換えると、個別検査の目的は「欠陥に移行する可能性のあるインディケーションの早期発見」となり、早期是正と定期的な経過観察によって機能喪失を予防することとなる。プラント保全では、劣化とインディケーションは機能喪失に対して十分余裕がある段階では技術的に大きな相違はなく、個別検査後の対応はほぼ同じであるので、上記①と②を明確に区別する意味合いは少ないと考えられる。

上記③の「安心の獲得」とは、被検者が生命を脅かされるような「がん」は存在しないことを確認するために検診を実施し、安心を獲得することであるが、この安心の獲得は被検者に留まらず、その関係者や検診を実施する医師もその対象に含まれると考えられる。プラント保全においては、特定の劣化事象に対する個別検査によってプラントの機能喪失、その結果生じる可能性のある安全問題や経済問題を回避できることが確認されれば、検査を計画実行する事業者のみならず、その関係者や周辺市民等にとっても安心が得られる。また、事業者にとっては安全性と経済性（運転継続性）に対する自信を獲得でき、プラントの健全性についての対外説明性を向上させ

ることができる。このように、安心の獲得は、医療におけるがん検診の目的であり、プラント保全における個別検査の目的であるとも言える。一方、大きく異なる点もある。それは医療の検査対象は感情を持つ人間であるため、被検者のプラスとマイナスのラベリング³があるが、プラント保全の検査対象は感情を持たないプラントであるため、プラスとマイナスのラベリングが無いということである。しかしながら、それにも係わらず、安心の獲得は依然として個別検査を計画実行する事業者やその関係者等にとって重要な検査目的の1つであると言える。

上記④の「医療費の軽減」は、プラント保全に引き直すと「保全費用の軽減」となり、両者ではほぼ同様のことが言える。医療にしてもプラント保全にしても、突然の状態悪化による計画外費用や死亡/機能喪失で不必要な損失が発生しないように計画的に検診または個別検査を実施し、その結果に基づき、がん/劣化の発生・進展をできるだけ正確に予測し、適切な措置を適時取ることにより、できるだけ費用を軽減しようとしている。言い換えると、医療費/プラント保全費をできるだけ軽減するために実施するのががん検診あるいは個別検査の目的であると言える。

上記⑤の「がんの自然史の解明」は、前述の「がん検診判断学」によると、がん細胞の増殖・成長、前がん病変の「がん」への変化、それらの時間、成長速度を把握することである。これをプラント保全に引き直すと、劣化の発生時期、進展速度を把握することであり、「劣化の発生・進展現象の解明」となる。両者はほぼ同様の対応関係あると言える。劣化の発生・進展現象が解明されれば、あるいは少なくとも発生・進展のデータが十分得られれば、劣化の発生・進展を予測できるようになり、適切な検査の実施時期や是正措置の実施時期を決定することができるようになる。これは正しく個別検査の目的の1つである。

以上述べた内容をまとめてFig.4に示す。

3.2 劣化評価技術の性能（精度）

(1) 機器の特性と劣化モードの特性

プラントを構成する機器は何らかの機能を発揮することが期待されており、その機能が運転中に喪失することが無いよう求められている。言い換えると、運転中に

³ 検診を受けて「異常無し」の通知が来ると、安心し元気が出て仕事にも張りが出てくる。逆に「要精密検査」という通知が来ると、がんではないかと心配ししょげかえって仕事も手につかない。前者をプラスのラベリング、後者をマイナスのラベリングという。

においてその機能が維持されている限り、劣化が発生・進展すること自体は許容されており、特に問題はない。

機器は一般に供用の開始とともに劣化が発生・進展し、それに伴って機能が低下するので、そのまま是正措置を加えないと、特定の条件で機能喪失し、プラントの安全性と経済性に影響を与える可能性がある。このような状況を回避するには、事前に劣化がどのように発生・進展するか、またそれに伴い機能がどのように低下し機能喪失に至るか、その特性を予測し、その予測結果に基づいて適切な時期に是正措置を講じればよいのである。この考え方はプラント保全の基盤となっており、極めて重要である。

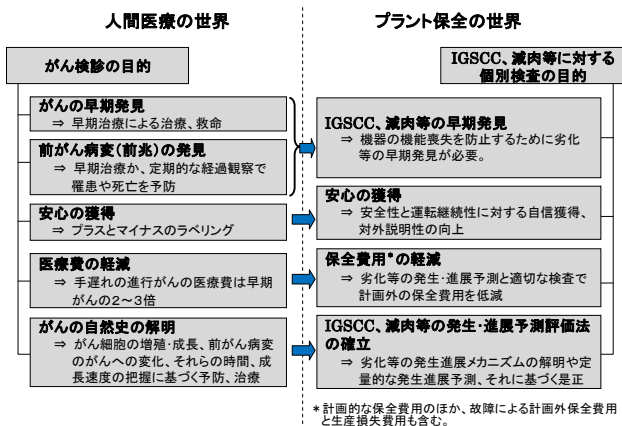


Fig.4 Comparison between Purposes of Cancer Detection/Diagnosis and Plant Inspection

たとえば、耐圧機能が期待されている機器にき裂が発生・進展し、それが大きく成長しても機器が破壊（機能喪失）しない限りき裂の成長それ自体は支障ない。強度が高く機能喪失に対して余裕の大きい機器は破壊が生じるような大きなき裂がないことを検査技術で確認すればよく、このような場合には検査技術の精度を厳しく問われることはない。また、機器に生じる劣化の発生・進展が比較的遅い条件下では、機能喪失条件から遠く離れており機能喪失のリスクが相対的に低いので、必ずしも高頻度で検査を実施して機器の状態を確認する必要はない。一方、機能喪失条件に対して余裕が小さい機器の場合や劣化の発生・進展が比較的速い条件下では、機能喪失条件が近接し機能喪失のリスクが相対的に高いので、検査技術の精度が問われ、高頻度で検査を実施して機器の状態を確認する必要に迫られる (Fig.5)。

このように、機器の特性と劣化モードの特性によって検査に要求される内容は大きく異なる。したがって、検査計画を立案する場合はこれらの特性を十分に考慮する必要がある。

(2) 劣化評価技術の性能

上記(1)で述べた内容は、劣化評価技術が一定の精度を

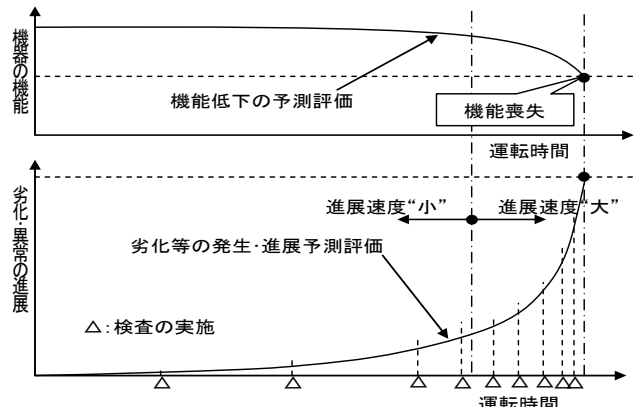


Fig.5 Inspection Frequency affected by Design Margin or Aging Degradation Rate

有することを前提としている。しかしながら、現実には精度が必ずしも十分でない評価技術あるいは十分な精度での予測が難しい事象がある。たとえば、耐圧部材等に発生した IGSCC の進展現象は、数年オーダの比較的短期間であるならば進展予測は可能ではあるが、長期間後の状態を予測することは難しい。このため、き裂進展速度が徐々に加速すると予測される時期以降は比較的高頻度で検査を小刻みに実施し、き裂の現状と将来の進展挙動を確認するのが通常である。これは、Fig.6 に示すように、評価技術による評価でき裂進展が加速すると予測され、実際に検査でその兆候が確認しれた場合、従来よりも検査間隔を短くして次回検査を実施し、その時点の状態を確認するとともに、得られた実際のデータを用いて再評価し、その後の進展挙動を予測し直すという方法を繰り返すことにより、できるだけ正確な将来予測を実施しようとするやり方である。

このように、劣化評価技術の性能によって検査に要求される内容が変わってくる。したがって、検査計画を立案する場合はこれらの特性を十分に考慮する必要がある。

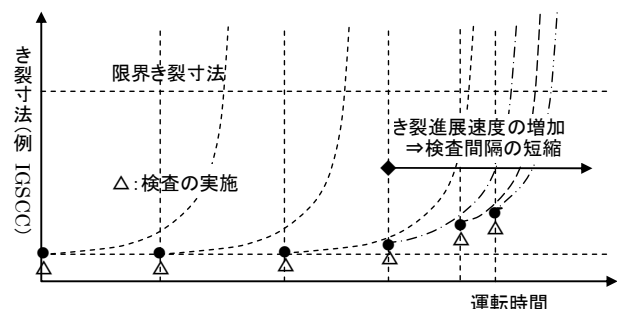


Fig.6 Degradation Evaluation based on Results of Inspection

3.3 検査技術の性能

前述の「がん検診判断学」を参照すると、がん検診を対策型検診として行うためには Table1 に示す 8 条件が必要であるとしている。これら「がん」検診の 8 条件のうち、②、④、⑤および⑦の一部は、検診の方法に関するものであるため、本項において検討することとし、これらの条件からプラント保全における検査技術が備えるべき条件について検討する。残りの①、③、⑥、⑦の一部および⑧は検診全体に係る内容であるため、これらについては、後述する 3.5 項の「検査計画の立案方針(戦略)」の中で検討する。

Table 1 Information required in Inspection

No.	がん検診を対策型検診として行うための条件
①	罹患率、死亡率の高い「がん」であること(重要性)
②	検診、特に集団検診に適したスクリーニング法があること(簡便性、効率性)
③	早期発見による早期治療効果があること(治療効果)
④	検診方法に危険がなく、安全であること(安全性)
⑤	検診精度が高いこと(測定能力)
⑥	検診の目的にかなった有効性があり、科学的に証明されたものであること(有効性)
⑦	一次検診後の費用も含めたトータルの費用が安いこと(経済性)
⑧	総合的にみてメリットがデメリットを上回ること(総合純利益)

まず、上記②の「簡便性、効率性」は、一人の検診に長時間がかかるような手間隙のかかるやり方では効率的ではなく、特に集団を対象とする対策型がん検診では簡便な方法が求められるということである。プラント保全においても IGSCC や減肉などの劣化を想定した個別検査はその対象箇所が多く、検査の経済性が追求されるので、ほぼ同様のことが言える。すなわち、検査方法の選定に当たっては、下記の事項に注意し、できるだけ短時間で、しかも労力の掛からないものを選定する必要がある。

- 検査の準備
- 検査時間 (特にクリティカルパス期間)
- 後片付け
- 検査で得られる情報の豊富さ、範囲

上記④の「安全性」は、検診による危険や不利益、すなわち、検診に用いる薬品や検査手法等の適用による人体への悪影響の有無に関することである。これをプラント保全に置き換えると、検査に用いる液材や物理現象を利用した非破壊検査手法等によって検査部位に悪影響を与え、機器あるいはプラントの劣化、故障 (機能喪失) を誘発する可能性に関することになる。運転中保全として行うモニタリングなども含め、機器に故障、損傷を与

えないような検査方法を採用することが必要である。

上記⑤の「測定能力」は、医療と同様、プラント保全においても測定能力 (検査能力) が高いことは望ましいことである。しかしながら、プラント保全においては、3.4 項で述べるように、検査精度は高めれば高いほど良いということではなく、劣化評価技術との関係で如何に機器の健全性を証明するかということが重要であるため、プラント保全における検査には目的に見合った検査精度があればよいという面がある。ここでいう精度とは Table 2 に示すような情報に関する精度のことである。

Table 2 Information required in Inspection

	一定の精度を要求される情報(例)				
	劣化有無	位置	方向	寸法(形状)	劣化程度
IGSCC	○	○	○	○	
疲労	○	○	○	○	
減肉	○	○		○	
ケーブル劣化	○				○
振動	○				○

検査技術には一定の精度があり、必ずしも全ての劣化を検出することはできない。すなわち、限界がある。ただし、検査の第一義的目的は機器の機能が当面維持できることを証明できるようにすることであるため、必要以上の高精度は必ずしも必要ない。少なくとも機能喪失条件に対応する劣化を検出できる十分な精度、すなわち下式が成立する範囲内であればよいと考えられる (Fig.7)。

$$E_m < a_c - (a_m + \Delta a + M) \quad (1)$$

ここで

- E_m : 検査による最大測定誤差 (精度)
- a_c : 機器の機能喪失に対応する劣化の大きさ
- a_m : 検査による劣化の測定値
- Δa : 次回検査時期までの劣化の進展量 (= $(da/dt) \cdot \Delta t$)
ここで da/dt は劣化の進展速度、 Δt は点検周期 (次回点検までの時間) である。
- M : 余裕

上式において $\Delta a = (da/dt) \cdot \Delta t$ であるので、これを用いて上式を変形すると下記ようになる。

$$\Delta t < \frac{(a_c - a_m) - E_m - M}{da/dt} \quad (2)$$

上式から下記が言える。

- 検査精度 E_m が向上すれば (誤差が小さくなれば)、安全余裕 M を従来より大きく確保することができ、機能喪失のリスクをより一層低減できる。
- 検査精度 E_m が向上すれば (誤差が小さくなれば)、検査周期 Δt を延長できる。

ここで式(2)の関係から以下に示す実際の原子力発電所の配管減肉データ^[5]を用いて検査の測定誤差 E_m と余裕 M が

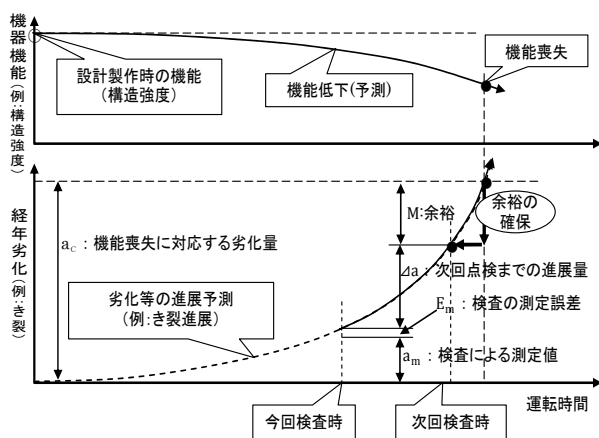


Fig.7 Relation among Equipment Function, Aging Degradation and Inspection

検査時期にどの程度の影響を与えるか確認する。 E_m と M はパラメータとし、それぞれ E_m は0.1mm、0.3mmおよび0.5mm、 M は0mm、1mmおよび2mmと仮定する。Fig.7における劣化等の進展予測曲線は、通常、規格等によって規定された与条件であるので固定して考える。また、これらの条件を当てはめると下記となる。

$$a_c = \text{初期肉厚} - \text{最小必要肉厚} = t - 3.8\text{mm}$$

$$a_m = \text{初期肉厚} - \text{最小測定肉厚} = t - 7.1\text{mm}$$

$$da/dt = 0.6\text{mm/年}$$

なお、ここで t は初期肉厚であるが、実測値が不明であるので計算には公称肉厚を用いる。

計算結果を Table 3 に示す。

- +外径 165.5mm
- +材質 STPT42
- +公称肉厚 7.1mm
- +配管内流体 蒸気
- +配管内温度 96°C
- +配管内圧力 -0.0152MPa
- +配管内流速 約 120m/s
- +最小測定肉厚 7.1mm
- +最小許容肉厚 3.8mm
- +減肉進展速度 0.6mm/年

Table 3 Calculated Inspection Interval when Inspection Accuracy is changed (単位: 年)

測定誤差 E_m (mm)	0.1	0.3	0.5
余裕 M (mm)			
0	5.3	5.0	4.7
1	3.7	3.3	3.0
2	2.0	1.7	1.3

Table 3 から分かるように、たとえば減肉測定精度を0.5mmから0.1mmへ上げると、 $M=0$ の場合、検査間隔を4.7年から5.3年、すなわち0.6年延長できる。このケースは減肉速度が比較的大きいケースであるが、大部分の場合は日本機械学会の配管減肉管理規格^[6]というFAC-S

(減肉率 $0.2 \times 10^{-4} \text{mm/hr} = 0.18 \text{mm/年}$ 超過) 以下であるので、上記ケースの3倍程度、すなわち2年程度以上延長できる計算となる。

以上のように、機器の特性や劣化モードの特性、劣化評価技術の性能によって検査に要求される内容が変わってくる。したがって、検査計画を立案する場合はこの事を十分に考慮する必要がある。

⑦の「経済性」は、早期がん一例発見費用や救命一例当たりの費用が安く、その後の治療も含めて安いということである。これはプラント保全においてもほぼ同様のことが言える。検査技術を選定するに当たっては下記を十分に考慮するのは勿論のこと、数多い検査対象に対し、劣化による欠陥一例発見費用や機能喪失防止の一例当たりの費用が安く、その後の保全活動も含めて保全管理全体として経済性が高いことが重要である。

- 準備費用 (要領書、検査員、検査装置等)
- 検査の実施費用
- 後片付け費用
- 検査に伴うプラント生産損失

以上述べた内容をまとめて Fig.8 に示す。

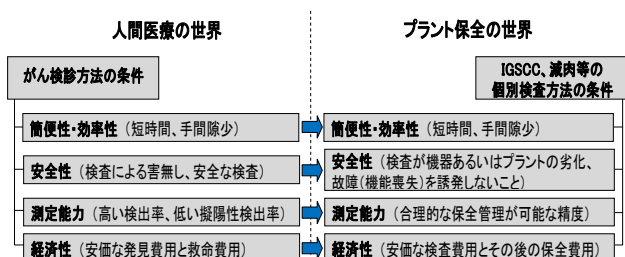


Fig.8 Comparison between Requirements for Cancer Detection/Diagnosis Technology and Plant Inspection Technology

3.4 「検査技術」と「劣化評価技術」の関係

機器に劣化が発生・進展しても、必要な機能が維持されている限り、劣化が発生・進展することそれ自体は特に問題とならない。ただし、機器の必要な機能が運転再開後の一定期間、維持されることを如何に証明するか、あるいは確信できるようにするかは大きな問題である。

機器の健全性 (機器の機能を維持できるか否か) は、検査を実施するだけでは判定できない。機器の状態を把握するために検査を実施した上で、その結果を劣化評価技術に入力してその後の状態を評価することによって初めて機能が維持されるか否か判定できるのである。このように、機器の健全性を評価、判定するには、検査技術と劣化評価技術の両方が必要であり、いずれを欠いても評価、判定できない。言い換えると、両技術の組合せは

機器の機能が維持されるか否かを評価、判定するのに必要不可欠であり、これら両技術が無いと機器の健全性を証明できない、あるいは機器の健全性に確信を持ってない、とすることができる。

劣化評価技術は、その発生・進展メカニズム研究の成果、加速試験結果、実機運転保守データなどに基づき確立される。その技術の予測精度は、対象とする劣化モードや運転条件によってまちまちであるが、一般に実機あるいは類似機器の運転保守経験が多く蓄積されればされるほど、向上すると考えられる。したがって、十分な運転保守経験があり、実際的な評価技術が確立されている劣化については、確立された評価技術に基づき将来を予測評価し、その結果に従って検査の対象を適切な範囲に限定したり、検査頻度を決定したりすることは合理的である。

以上より、検査技術と劣化評価技術の関係については、次のように考えることができる。

- (1) 機器の健全性を証明する上で、「検査技術」と「劣化評価技術」は、機器の健全性を判定あるいは証明する上で補完関係にある (Fig.9)。

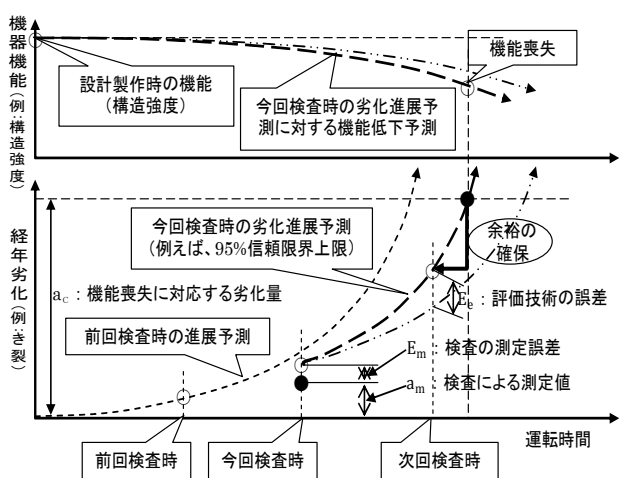


Fig.9 Relation between Aging Degradation Evaluation Technology and Inspection Technology

- (2) すなわち、劣化評価技術の予測精度が十分でない場合は、高い精度の検査技術を採用することによって補完できる場合がある。このような場合は、広範囲な検査により、実機データを充実させ、評価技術の精度向上に努めることが望ましい。
- (3) 逆に、劣化評価技術の予測精度が高い場合は、必ずしも高い精度の検査技術を採用する必要はない。このような場合は、評価技術を用いて条件の厳しい箇所を特定し、検査範囲を限定することも可能である。

3.5 検査計画の立案方針 (戦略)

前述のように、Table 1 に示したがん検診8条件のうち、①、③、⑥、⑦の一部および⑧は、がん検診全体に係る内容であり、これらはプラント保全における検査計画全体あるいは計画の立案方針に対応すると考えられるので、本項で検討する。

①の「重要性」は、がん検診を実施する場合、人命に影響を与える「がん」がまれにしか発見されないようでは重要と言えないという意味で、重要度を考慮するということである。これをプラント保全に置き換えると、プラントを構成する個々の機器に発生する故障がプラントの安全性および経済性に与える影響の大きさを定量化した指標、すなわち保全重要度⁷⁾を用い、その重要度の高い機器とそれに発生する劣化 (IGSCC、減肉等) に着目することに相当する。医療においてもプラント保全においても人命への影響、安全性/経済性への影響を重視して対応することは合理的である。

③の「治療効果」は、「がん」の早期発見で治療した場合の程度延命あるいは完治させることができるかということである。これをプラント保全に置き換えると、検査で異常を早期発見し、その後の是正措置等の保全によって如何に機器の機能喪失を防止し、それを安価に実現するかということに相当する。プラント保全ではそのような検査技術に加えて是正措置技術を開発しておく必要がある。

⑥の「有効性」は、がん検診の結果死亡率減少効果があることが科学的に証明されているかということである。これをプラント保全に置き換えると、IGSCC や減肉に対する個別検査の結果プラントの安全関連故障および計画外停止の減少効果があることが科学的に証明されているかとなる。個別検査は機器の機能喪失を予防できていることが科学的に証明されたものであることが必要である。

⑦、⑧の「経済性」「総合純利益」は、がん検診の経済性を追求するのは勿論のこと、その後の治療等を含めて総合的に正味利益が大きいことが重要ということである。プラント保全においても、検査だけでなく、その後の是正措置も含めて保全管理全体として経済性が成立すること、また総合的に見て利益が不利益を上回る正味利益が大きいこと (プラント保全では安全性と経済性のバランスを追求する保全最適化に相当すると考えられる。) が重要である。

以上述べた内容をまとめて Fig.10 に示す。

前項までに述べた検査に関連する主要要素の特性や

性能を踏まえ、以下に検査計画の立案方針（戦略）について検討する。

(1) 一般事項

検査の第一義的な目的は、劣化の早期発見、すなわち対象機器の健全性を確認することである。したがって、検査の方法、精度および頻度（または次回までの期間）は無闇に選定するのではなく、対象機器の健全性を証明あるいは確信するために必要な方法、精度および頻度（または次回までの期間）を、劣化評価技術の精度も勘案して選定することが合理的であり、重要である。

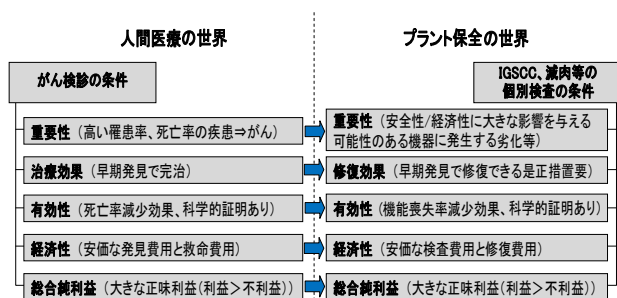


Fig.10 Comparison between Requirements of Cancer Detection/Diagnosis and Plant Inspection

(2) 検査計画3要素のうちの「対象機器」に関する事項

- ① プラントを構成する個々の機器に発生する故障がプラントの安全性および経済性に与える影響の大きさを定量化した指標、すなわち保全重要度を用い、その重要度の高い機器に重点を置いて検査計画を立案する。
- ② 運転実績が十分でない等の理由により、劣化評価技術の予測精度が十分とは言えない場合は、広めに検査対象範囲を設定して対象機器を選定したり検査頻度を高めにしたたりして実機データの蓄積に努めるとともに、評価技術の見直し、精度向上に努める。また、劣化部位の破壊検査を可能な範囲で実施し、予測技術の検証に努める。
- ③ これに対し、豊富な運転実績等に基づき、劣化評価技術の予測精度が高いと考えられる場合はその評価技術を用いて条件の厳しい箇所を特定し、検査対象範囲を限定するなどして検査の合理化を図る。

(3) 検査計画3要素のうちの「検査方法」に関する事項

- ① 検査の目的である「機器に発生・進展する劣化の早期発見」に立ち返って、得たいデータ（機能に影響を与えるパラメータ）とその精度を明確にし、それらを得ることができる検査方法を選定する。
- ② 上記①の要求を前提にできるだけ経済性の高い検査

技術を選定する。

(4) 検査計画3要素のうちの「検査時期（周期あるいは頻度）」に関する事項

- ① IGSCC や減肉等の評価技術が確立されている事象については、Fig.7 に示す方法に基づき、劣化評価技術を用いて発生・進展を予測し、適切な余裕を持って機能喪失を回避し得る時期に検査を実施する。
- ② 保全重要度の低い機器については、評価に用いている余裕を減らして検査計画を立案することが考えられる。

4. 結言

本検討によって得られた成果を以下にまとめて示す。

(1) 原子力発電所機器の検査計画の立案プロセスや思考過程を整理、分析した結果、

- これまで明示的に示されていなかった、検査計画の主要構成要素と要素間の関係、すなわち検査計画の構造と体系を明確にした。
- また、IGSCC や減肉等の発生・進展が想定される機器の検査計画を構成する主要要素の内容と意味を明確にした。

(2) 上記を通じて IGSCC や減肉等に対する検査計画の基本的立案方法（手順、考え方）を明確にした。

参考文献

- [1] 織田満之, “医療と保全活動の相似性”, AEM学会「フォーラム保全学」, Vol.1, No.2, pp.35-44 (2002)
- [2] 正森滋郎, 三牧英仁, “医学から類推される保全学の構造と体系”, 日本保全学会誌「保全学」, Vol.3, No.1, pp.121-15 (2004)
- [3] 久道 茂, “がん検診判断学”, 東北大出版会 (2009)
- [4] 日本機械学会, “発電用原子力設備規格 維持規格 (2009年追補版)”, JSME S NA1-2009 (2010-05)
- [5] 原子力安全・保安院, “福島第一原子力発電所5号機の配管減肉の管理について”(http://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286890/www.meti.go.jp/press/0005666)
- [6] 日本機械学会, “発電用原子力設備規格 沸騰水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格 (2006年版)”, JSME S NH1-2006 (2006-12)
- [7] 青木孝行, “大規模複雑プラントシステムの保全重要度の定量評価手法に関する研究”, 日本保全学会誌「保全学」, Vol.9, No.3, pp.25-30 (2010)

(平成 23 年 7 月 11 日)