

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

宇宙機環境試験設備の保全有効性評価による 費用対効果最大化に向けた取り組み

Initiatives to Maximize Cost Performance by Evaluating Maintenance Effectiveness
of Spacecraft Environmental Test Facilities

嶋崎 信吾, 施 勤忠

SHIMAZAKI Shingo, SHI Qinzhong

2020年8月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

目次

1. 緒言	2
2. 環境試験設備の概要	3
2.1. 試験ユニットが所管する環境試験設備	3
2.2. 環境試験設備の老朽化状況	5
3. 環境試験設備の保全有効性評価に向けた検討	6
3.1. 試験有効性検討 (Test Effectiveness) の保全有効性検討 (Maintenance Effectiveness) への応用	6
3.2. 機器の不具合モードに着目した保全費用対効果指標の導出	7
3.3. 不具合発生確率の導出	9
3.4. 本手法における仮定	9
4. 環境試験設備への保全有効性評価・改善の試行例	10
4.1. 対象設備	10
4.2. 想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目の整理	12
4.3. 信頼性分析	24
4.4. 分析結果の保全項目・保全周期への反映	31
5. 結言	32
参考文献	32

宇宙機環境試験設備の保全有効性評価による 費用対効果最大化に向けた取り組み

嶋崎 信吾^{*1}, 施 勤忠^{*1}

Initiatives to Maximize Cost Performance by Evaluating Maintenance Effectiveness of Spacecraft Environmental Test Facilities

SHIMAZAKI Shingo^{*1}, SHI Qinzhong^{*1}

ABSTRACT

For the maintenance of spacecraft ground environmental test facilities, it is very important to concurrently improve the reliability of facility and efficiency with its maintenance. This paper reports on the efforts to maximize the cost-effectiveness of facility maintenance, adopting the method of performance-based maintenance, in which the effectiveness of maintenance items and cycles is quantitatively evaluated based on the results of past failures of facility equipment. By looking into the failure modes of equipment in conjunction with maintenance items, the probability of failure occurrence can be quantified. That is expected to contribute to the reduction in maintenance costs while maintaining equipment reliability. Moreover, this maintenance improvement activity is considered to be applicable not only to spacecraft ground environmental test facilities but also to various other facilities.

Keywords: Spacecraft, Environmental test facility, Maintenance effectiveness, Time-based maintenance, Performance-based maintenance, Weibull distribution

概要

本報告書は、JAXA 環境試験技術ユニット（以下、「試験ユニット」という）による宇宙機環境試験設備の保全費用対効果の最大化に向けた取り組みについて報告するものである。

振動や熱真空等、宇宙機の耐環境性能を検証するための環境試験設備は、その試験中に不具合が発生してしまうとスケジュールやコスト等に多大な影響を及ぼす可能性があることから、従来試験ユニットでは時間基準保全 (Time-Based Maintenance, TBM) を主とした予防保全により不具合の未然防止に努めてきた。しかし、近年の宇宙機の高度化や多様化に伴い環境試験設備も高度化・複雑化が進んできたことに加え、建屋や設備構成装置の老朽化が顕著となってきたこと等に起因し必要となる保全費は年々増加傾向を辿ってきており、試験設備のような共通インフラ系の基盤的維持費の削減が叫ばれる中、如何に効率的に保全を行い必要な設備品質を確保していくかが重要な課題となっている。

そこで、試験ユニットでは保全費の費用対効果最大化を志向し、保全項目や保全周期の有効性を過去の不具合実績等から定量的に評価する実力基準保全 (Performance-Based Maintenance, PBM) の手法を取り入れた保全改善の取り組みを行った。具体的には、保全実績を整理するとともに構成装置単位での想定不具合モードを過去の不具合履歴や FMEA 等から洗い出すことで、ワイブル分析による不具合モード別の発生確率の定量的評価、並びに不具合発生時の想定損失コストを考慮したリスク評価を試行したものであり、検討の結果としていくつかの保全項目や保全周期について見直しが反映され設備信頼性の定量評価並びにその信頼性を維持した状態での保全費用の削減に寄与することができた。

本取り組みは宇宙機環境試験設備のみならず、追跡管制設備や射場設備、さらには宇宙分野以外の高度な信頼性の担保を必要とするインフラ設備等でも同様の課題を抱えているところが多く存在すると考えられるため、他設備にて同様・類似の取り組みを行う際の参考資料として資するべく、研究開発資料として広く公開を図るものである。

^{*} 2020年7月10日受付 (Received July 10, 2020)

^{*1} 環境試験技術ユニット (Environmental Test Technology Unit)

1. 緒言

宇宙機開発には、製造・組み立てを行うための施設や設計・製造検証を行うための地上試験設備、ロケット打上げのための射場設備や宇宙機の運用を行うための追跡管制設備等、多くの地上インフラ設備が必要となる。JAXAが開発する宇宙機は量産品ではなくいわゆる「一品モノ」として開発されることが多く、開発コストも高価（設計寿命数年～十数年に対して開発コスト数十億～数百億円）となることが多いため、開発プロセスの中で不具合が顕在化し開発出戻りが発生した場合の損失コストも図1に示す通り自動車やその他の業界よりも高い傾向にある。そのため、宇宙機開発では不具合による開発出戻りを未然に防ぐことが開発コストを抑制する上で極めて重要であり、宇宙機本体のみならずそれを支える地上インフラ設備にも高い信頼性が求められている。

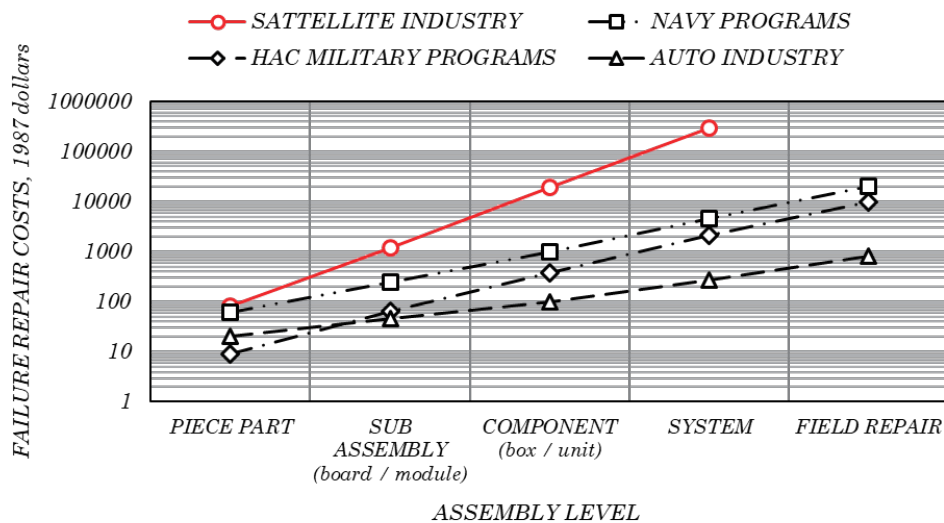


図 1 分野別のアセンブリレベルに対する不具合発生時の損失コスト¹⁾

そのため、従来の試験ユニットにおける環境試験設備の保全活動では定期点検・定期交換等による時間基準保全を主として行い不具合の未然防止に努めてきたが、近年の宇宙機の多様化や高度化に伴い環境試験設備も大規模化や高度かつ高価な装置を扱うようになってきたことに加えて建屋や一部装置の老朽化が顕著となってきたことから、時間基準保全だけでは必要となる保全費が膨らむ一方であり、このような基盤的維持費の抑制は重要な経営課題として認識されていた。一方で、石油プラントや水道・電力インフラ等他産業界の設備保全動向に目を向けると、定期検査・定期交換を行う従来までの時間基準保全に加えて、ある機器に不具合が発生した場合の設備全体に与える影響を評価し影響の小さい機器は不具合が発生してから交換等の処置を行うリスク基準保全 (Risk-Based Maintenance, RBM)、さらには近年の IoT 技術の急速な進歩に伴い機器の運転状況をリアルタイムモニタし異常の予兆を検知した場合に点検や交換等の処置を施す状態監視保全 (Condition-Based Maintenance, CBM) の研究や導入が盛んに行われており²⁾、宇宙機環境試験設備の保全においてもこのような技術動向を取り入れた保全計画のさらなる合理化が望まれている。

しかし、このような水道・電力インフラ等と環境試験設備はその稼働率において決定的な違いがある。前者は基本的に 24 時間体制で連続稼働するため保全における技術課題は「如何に異常の予兆を検知し顕在化する前に適切な処置を講じられるか」であるため状態監視保全との親和性が高いとされているが、環境試験設備の稼働率は概ね年間数%～数十%程度であるためその技術課題は「次回試験時に不具合が発生しないことを如何にその時点までのデータを基にして担保するか」であり、IoT 等による状態監視保全の導入にはその効果が見通せない部分があると考えられる。

そこで、試験ユニットでは保全項目や保全周期の有効性を過去の不具合実績等から定量的に評価する実力基準保全³⁾の適用を試みた⁴⁾。これは設備の経年劣化に起因する想定不具合モードを過去の

不具合履歴やFMEA等から洗い出し想定不具合モードごとの(前回点検時からの稼働時間に応じた)不具合発生確率をワイブル分析に基づいて定量的に評価することに加え、当該不具合発生時の想定損失コストも考慮したリスク評価に基づいて適切な保全項目・保全周期の識別を試みたものであり、ある時点までの設備の稼働実績や保全実績に基づいて次回試験時のリスクを定量的に評価し必要に応じて適切な処置を施すことができることから、環境試験設備の保全に対する親和性が高いものと考えられる。

本稿でははじめに試験ユニットが所管する環境試験設備の概要について紹介した後、実力基準保全に基づく保全改善の方法及びその試行例について示す。本稿に示す保全改善の取り組みは宇宙分野のみならず、環境試験設備のような比較的稼働率だが高信頼性が要求される設備(例えば、災害時に確実に稼働することが要求される防災システムや非常用電源設備等を想定する)にて同様・類似の取り組みを行う際の参考として資することを期待し、ここに記すものである。

2. 環境試験設備の概要

2.1. 試験ユニットが所管する環境試験設備

まず試験ユニットが所管する環境試験設備の概要とその状況について紹介する。宇宙機はロケット打上げ時の加速度、振動、音響等の機械環境、宇宙空間での熱真空環境や放射線環境、アウトガスによる分子状汚染からスペースデブリに至るまで、運用中に様々な環境に曝される。地上試験設備はこれらの環境を地上に再現し打上げ前に機器の健全性を検証するための設備であり、JAXAの前身組織である宇宙開発事業団(NASDA)は1989年に茨城県つくば市筑波宇宙センターに総合環境試験棟(Spacecraft Integration and TEst building, SITE)を建造し運用を開始した(図2~図4)。



図2 筑波宇宙センター 環境試験技術ユニット所管建屋

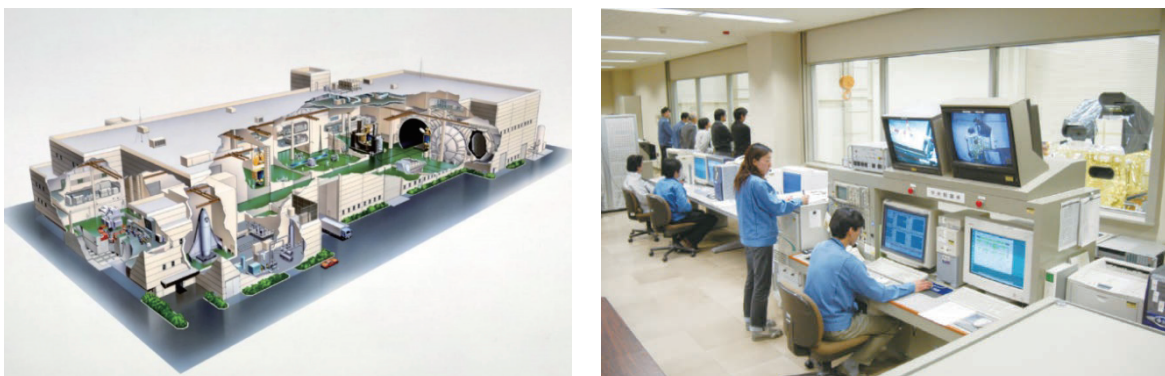


図3 筑波宇宙センター 総合環境試験棟イメージ図



(a) 13mφスペースチャンバ



(b) 6mφ放射計スペースチャンバ



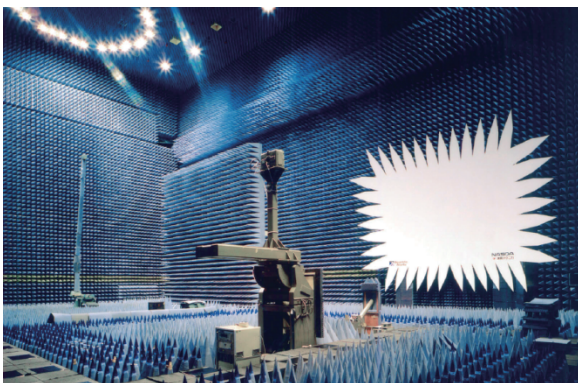
(c) 大型振動試験設備



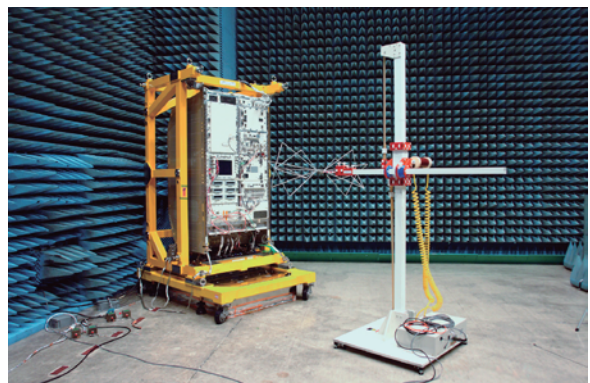
(d) 小型振動試験設備

(e) 1600m³音響試験設備

(f) 旋回腕型加速度試験設備



(g) 電波試験設備



(h) 電磁適合性試験設備

図4 環境試験技術ユニット所管設備 (一部)

2.2. 環境試験設備の老朽化状況

これらの試験設備は 2020 年現在において稼働開始から 30 年以上が経過しており、全体的に老朽化が進んでいる。図 4 に示す設備の内、(a) 13mφスペースチャンバ、(c) 大型振動試験設備、(e) 1600m³音響試験設備、(g) 電波試験設備を例にとり設備別の不具合発生件数推移を表したものを図 5 に、そしてその中でも経年劣化に起因する不具合割合の推移を表したものを図 6 にそれぞれ示す。なお、JAXA では不具合情報システム (JAXa Problem reporting and Corrective Action System, JAPCAS) に過去の設備不具合がデータベースとして蓄積されており、このデータベースから下表 1 に示す検索条件で不具合を抽出した。ここに示す不具合は試験中に発生した不具合のみならず、試験前後作業中や保全作業中に顕在化した不具合も併せて示している。

表 1 不具合検索条件

検索システム	JAXA 不具合情報システム (JAPCAS)
検索条件	「不具合の発生場所」に設備名を入力し一括検索
検索期間	1989/4/1 ~ 2020/3/31
経年劣化起因不具合の識別	「経年」「劣化」「摩耗」「損耗」「老朽化」のキーワードが含まれていたものを経年劣化不具合として識別

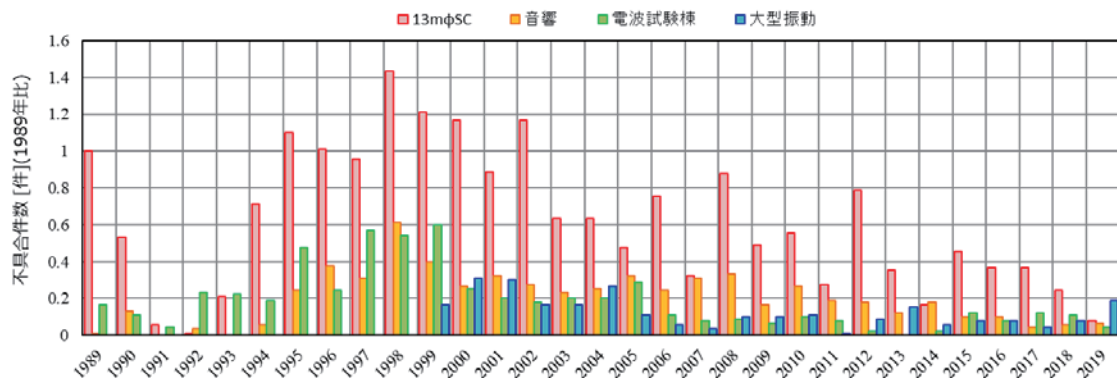


図 5 設備別 年間不具合発生件数推移 (1989 年比)

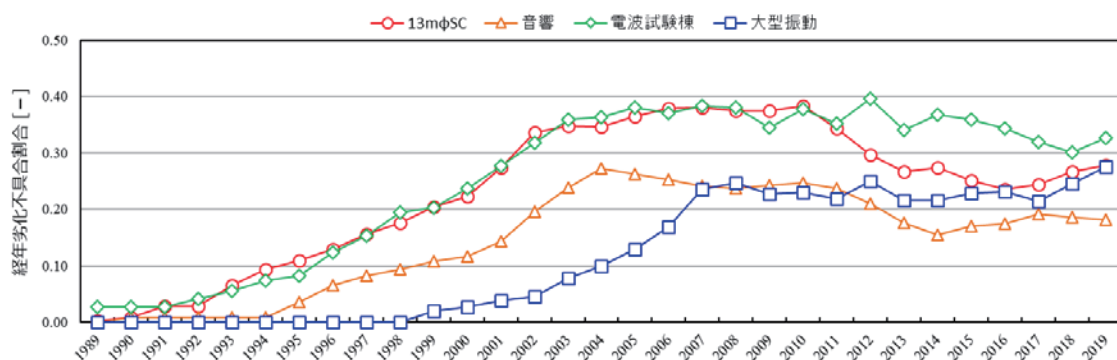


図 6 設備別経年劣化起因不具合割合推移 (10 年移動平均)

図 5 を見ると 1990 年代後半から 2000 年代前半にかけて各設備とも不具合数のピークが見られるが、2010 年代に入ってから不具合発生件数としては一定傾向に推移している様子が見取れる。しかし、図 6 に示す設備ごとの不具合数に占める経年劣化起因不具合割合の推移を見ると各設備とも右肩上がりの傾向にあることが分かり、これは設備の老朽化度合を表すいわゆるバスタブカーブでいうところの初期故障域から偶発故障域、そして摩耗故障域へと徐々に推移している様子が表れているものと考えられる。そのため、今後本格的に摩耗故障域へと突入していくと不具合数が大幅に増大していくことが予想されるため、早急な対策が急務であると考えられる。

3. 環境試験設備の保全有効性評価に向けた検討

前項に示すように設備全体の老朽化が進んできている一方で、保全費の削減・効率化もまた重要な経営課題として認識されている。試験ユニットでは設備品質の維持向上と保全費削減の両立を図るべく、現行の設備保全の有効性を定量的に評価することで費用対効果の高い保全項目・保全周期を識別し集中してリソースを投入していく、より効果的・効率的な保全の在り方に関する検討を行った。

3.1. 試験有効性検討（Test Effectiveness）の保全有効性検討（Maintenance Effectiveness）への応用

まず参考としたのが、試験有効性（Test Effectiveness）評価に関する考え方である。これは試験ユニットが試験技術に関する研究開発として行っている環境試験の有効性を適切に評価し費用対効果を最大化させる試験方法や試験順序、試験条件等を検討する活動であり、この考え方を設備保全へと応用することで保全有効性（Maintenance Effectiveness）の定量評価を試みた。試験有効性評価と保全有効性評価は下図 7 に示すように対象とする不具合領域が異なり試験有効性評価は初期故障域を、保全有効性評価は摩耗故障域を主なスコープとするが、試験結果を踏まえて以降の試験計画へと反映を図るという観点から同様の活動であると考えられ、下図 8 に示すように保全有効性評価を PDCA サイクルにおける Check から Action の部分を担う活動として定め検討を行った。

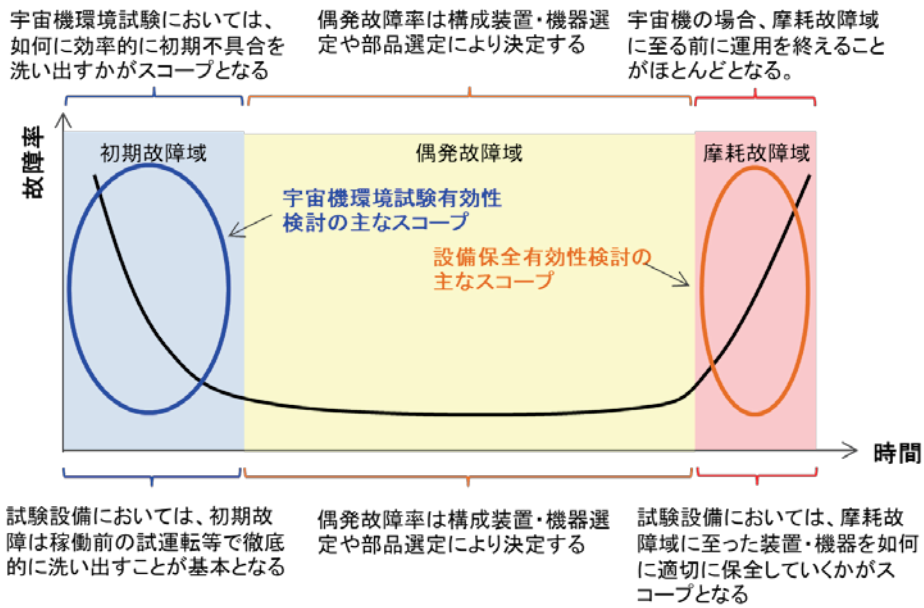


図 7 試験有効性検討と保全有効性検討のスキームの違い



図 8 試験有効性検討（左）と保全有効性検討（右）の位置付け

3.2. 機器の不具合モードに着目した保全費用対効果指標の導出

試験有効性評価では、ある試験において発見された不具合数を F_t 、その試験より後の工程において顕在化した不具合数（宇宙機においては軌道上不具合を含む）を F_f としたとき、その割合を

$$T_E = \frac{F_t}{F_t + F_f} \quad (1)$$

として定義する⁵⁾。 T_E は当該試験における不具合のスクリーニング力を表しており、たとえばある試験において不具合が発見されなかった（ $F_t = 0$ ）にも関わらずその後の工程において本来ならばその試験でスクリーニングしておくべき不具合が顕在化してしまった（ $F_f > 0$ ）場合はその試験は不具合スクリーニング力を持たない（ $T_E = 0$ ）ということになり、反対にある試験で不具合を洗い出していた（ $F_t > 0$ ）おかげで当該試験通過後の工程で不具合が顕在化しなかった（ $F_f = 0$ ）場合はその試験は完璧な不具合スクリーニング力を有している（ $T_E = 1$ ）効果的な試験であると考えられる。この考え方を設備保全へと拡張する場合、ある試験前保全において発見された不具合数を F_m 、その後の試験時に顕在化した不具合数を F_t として

$$M_E = \frac{F_m}{F_m + F_t} \quad (2)$$

と定義することで試験有効性指標 T_E と同形の指標 M_E を得ることができる。しかし、試験有効性評価の場合と異なり保全においては保全周期をどの程度の頻度で行うのかも考慮に入れる必要がある。たとえば、高頻度で保全を行った場合は試験時不具合数が小さくなるため M_E の値は大きく評価されることになるがその分保全コストがかかってしまうため、保全の費用対効果を評価するためにはこれに時間変化の要素を取り入れる必要がある。

そこで、機器の不具合モードに着目した実力基準保全の考え方を導入する。ある設備構成機器のある不具合モードが試験中に顕在化した場合の損失コストを C_L とし（ここで、 C_L は修理や交換等の不具合処理の要するコストのみならず、スケジュール遅延等の機会損失も考慮した損失コストとなる）、その不具合モードの時刻 t における不具合発生確率を $P_f(t)$ とすると、当該不具合モードに対するリスク（＝発生確率×影響度） R は以下のように表される。

$$R(t) = P_f(t) \times C_L \quad (3)$$

不具合発生時の損失コストは時間に依らず一定と仮定しているが、不具合発生確率が時間によって変化する（劣化が時間とともに進展する）ためリスクもまた時刻 t の関数であると考えられ、これをリスク関数と呼ぶ。保全の費用対効果は、当該保全項目を実施することによりリスクをどの程度下げられるか、すなわち「単位保全費当たりのリスク低減量」と考えられる。いま、当該不具合モードの劣化進展度を確認するための保全項目に掛かる保全費用を C_M 、当該保全項目実施後の不具合発生確率を $P_f'(t)$ とすると、保全費用対効果指標 $M_E(t)$ は保全実施によるリスク低減量を $\nabla R(t)$ として以下のように考えられる。

$$M_E(t) = \frac{\nabla R(t)}{C_M} = \frac{\nabla P_f(t) \times C_L}{C_M} = \{P_f(t) - P_f'(t)\} \frac{C_L}{C_M} \quad (4)$$

この式から、保全費用対効果指標 M_E もまた時刻 t の関数として（どのタイミングで保全を実施するかにより有効性が変化する）、その計算には不具合発生時の損失コスト C_L 、当該不具合を未然防止するための保全項目に要する保全コスト C_M 、及び保全を実施したことによる不具合発生確率の低減量 $\nabla P_f(t)$ のパラメータが必要であることが分かる。この保全費用対効果指標 M_E は保全実施時期を前回保全時期から遅らせる程高くなるが、図 9 に示すように保全実施時期を遅らせるということはその分不具合発生確率が上昇しリスクが増加するということを意味している。

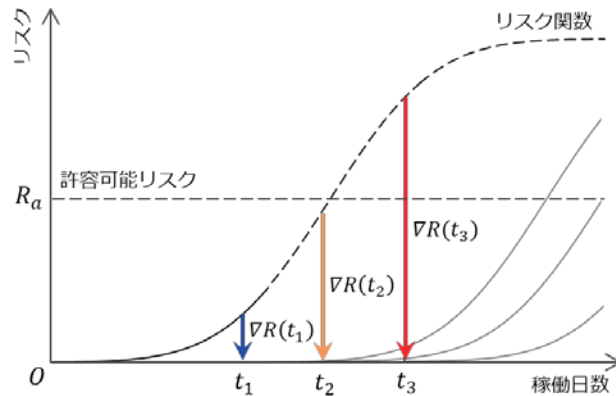


図 9 保全実施時期と保全費用対効果指標の関係

いま、「保全を行い異常が確認されなかった（前回保全結果と比較し有意差が生じていない）場合には不具合発生確率はゼロリセットされる」、すなわち $P_f'(t) \approx 0$ であると仮定すると、時刻 t_1, t_2, t_3 ($t_1 < t_2 < t_3$) における保全有効性指標 $M_E(t_1), M_E(t_2), M_E(t_3)$ は $\nabla R(t_1) < \nabla R(t_2) < \nabla R(t_3)$ であることから $M_E(t_1) < M_E(t_2) < M_E(t_3)$ となるが、高度な信頼性が要求される宇宙機試験設備保全にとってこれは高ければ高いほど良いというものではなく、当該不具合モードにおける許容可能リスク R_a を定めこの R_a を超える前に保全を実施することが適切となる。逆に言えば、当該不具合モードが発生したとしても損失コスト C_L が小さく許容可能リスク R_a を上回らない場合、当該不具合モードについては事前保全する必要がなく事後保全にて対応することが望ましいと考えることができる（下図 10）。

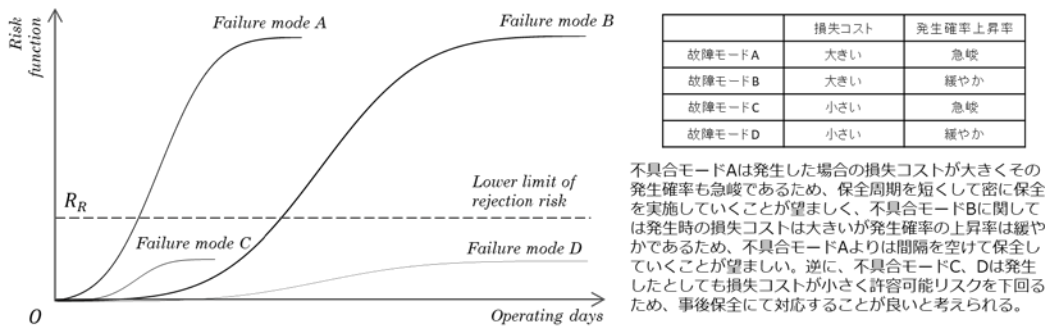


図 10 許容リスク閾値とリスク関数による保全方式の選択

このように、合理的な保全を実施するためには構成機器単位で経年劣化に起因する不具合モード及び当該不具合が発生した場合の影響度（損失コスト）を洗い出し各不具合モードを未然防止するための保全項目との関係性を明らかにした上で、設備全体としての生涯保全コストを最小化するように保全周期を調整することが重要となる。上記の例では 1 つの不具合モードに対して 1 つの保全項目が対応している場合を考えたが、実際には 1 つの保全項目で複数の不具合モードが点検される場合がある（例えば、装置全体の外観点検は外観で異常が確認できるすべての不具合モードを点検し異常が認められなければゼロリセットと見なすことができるであろう）。例として、ある保全項目 U が機器 A の不具合モード 1, 2、機器 B の不具合モード 1、機器 C の不具合モード 1, 2, 3 を一度に点検できる場合、その保全費用対効果指標 M_E は次のように表される。

$$M_E(t) = \frac{\nabla R_{A1}(t) + \nabla R_{A2}(t) + \nabla R_{B1}(t) + \nabla R_{C1}(t) + \nabla R_{C2}(t) + \nabla R_{C3}(t)}{C_M} \tag{5}$$

但し、リスク R の添え字は機器毎の不具合モードを表している。前述の通り、許容可能リスク R_a を超える前に保全を実施する必要があるため、当該保全項目が管理する各種不具合モードの中で最も早く許容可能リスク R_a に到達する不具合モードを識別し、その不具合モードのリスクが R_a を超えないように保全周期を決定することが重要となる（下図 11）。

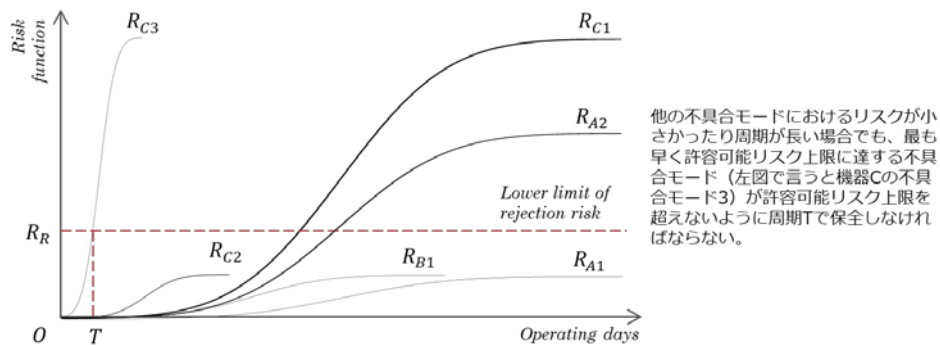


図 11 ある保全項目が管理する不具合モード毎のリスク関数の概念図

3.3. 不具合発生確率の導出

前項の理論において最も重要となるのは「各不具合モードの不具合発生確率 $P_f(t)$ をどのように推定するか」という点である。過去の発生実績の多い不具合モードについては、寿命予測に広く用いられるワイブル分布の累積分布関数と確率密度関数

$$F(t|m, \eta) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (6)$$

$$f(t|m, \eta) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (7)$$

を用いて、対数尤度関数

$$\ln L(m, \eta|t) = \ln \left[\prod_i^n \left\{ \frac{m}{\eta} \left(\frac{t_i}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{t_i}{\eta}\right)^m\right\} \right\} \right] \quad (8)$$

が最大となるような最尤推定値を算出することにより $P_f(t)$ を求めることが可能であるが、サンプル数（不具合件数）が少ない不具合モードに関しては分布形を定めることが困難となる。このような機器や不具合モードに対しては、たとえば原子力発電所等では国内の設備における運転実績をデータベースとして整理しベイズ統計手法を用いてデマンド故障確率を更新するなどの手法が用いられているが⁶⁾、試験ユニットでは図 4 に示す通り(a) 13mφスペースチャンバと(b) 6mφ放射計スペースチャンバ、(c) 大型振動試験設備と(d) 小型振動試験設備のように設備規模や稼働率に違いはあるものの類似した設備が存在し、構成機器単位で見ると同様・同等の機器が使用されていることが多いことから、これら類似設備における不具合を共有化して活用することとした。

しかし、中には不具合数が少なく、かつ一般には流通していないようなその設備に特化した構成装置の不具合発生確率を見積もらなければならない場合もあるであろう。そのような場合にはデータから分布系を推定し不具合発生確率を推算するという手法は困難であるため、一般的には安全側となるようにはじめの内は高い頻度で保全を行っていき、実績データが集まってきたところで徐々に保全間隔を広げていく等といった個別の対策を取ることが有効であると考えられる。

3.4. 本手法における仮定

本手法で置いている仮定を以下に再掲する。

- ① 不具合発生時の損失コストは時間に依らず一定。
- ② 不具合発生確率は、前回点検結果と比較して異常（有意差）が認められなかった場合、点検完了を以ってゼロリセットされる。
- ③ 経年劣化は、設備稼働でのみ進展する（適切な環境で保管されていれば自然劣化は稼働劣化に対して十分無視できる程度に小さい）。

例えば、屋外に設置されている装置等は設備稼働による摩耗・損耗よりも自然劣化の方が支配的となる場合が考えられるため、そのような場合には自然劣化も考慮した不具合発生確率を設定する必要があり、使用状況や周辺環境も考慮した不具合モードの識別が重要になると考えられる。

4. 環境試験設備への保全有効性評価・改善の試行例

4.1. 対象設備

前項の理論を実際の環境試験設備の保全有効性評価・改善に試行した例を示す。試行に際し、試験ユニットが所管する設備の中から下に示す「小型振動試験設備」と「1600m³音響試験設備」を対象とした（図 12～図 15）。選定理由としては、小型振動試験設備は一般産業界でも多く利用されている装置類で構成されており、また JAXA 内でも類似設備が多くデータ収集が容易で比較的稼働率が高いことから、対して 1600m³音響試験設備は JAXA 内のみならず国内に類似設備が少なく一般に流通していない宇宙分野に特化した構成装置も多く、また比較的稼働率も低いことから、この2設備で試行を行うことにより他設備への展開可能性を判断できると考えられるためである。

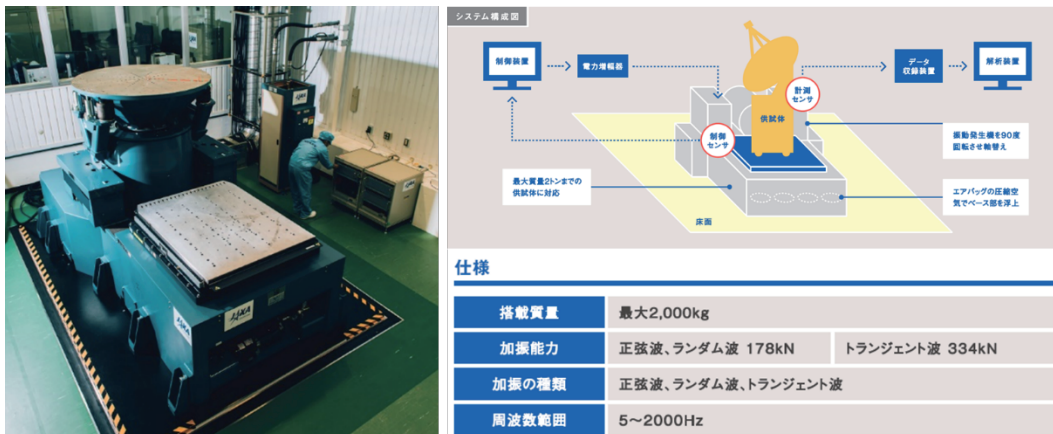


図 12 小型振動試験設備 システム構成図と主要諸元

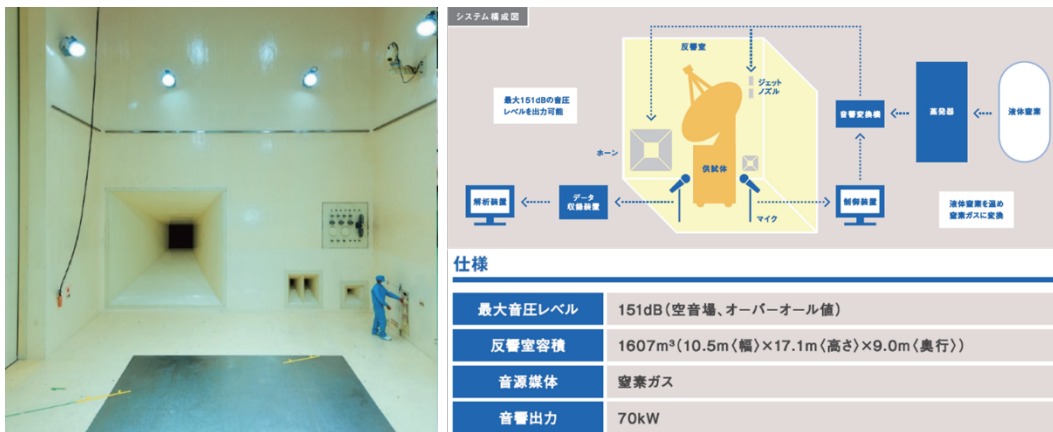


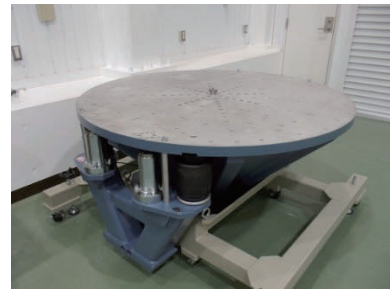
図 13 1600m³音響試験設備 システム構成図と主要諸元



(a) 振動発生機



(b) 水平振動台



(c) 垂直振動台



(d) 電力増幅器



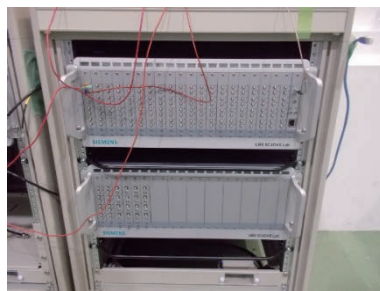
(e) 冷却装置



(f) クーリングタワー



(g) 制御装置



(h) データ計測・解析装置



(i) 計算機

図 14 小型振動試験設備 主要構成装置類



(a) LN2 タンク



(b) クーリングユニット



(c) 圧力制御弁



(d) 音響変換器



(e) パワーアンプ



(f) ジェットノズル

図 15 1600m³ 音響試験設備 主要構成装置類

4.2. 想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目の整理

この保全改善の取り組みにおいて最も重要となるのが、「保全項目と不具合モードの関係性を適切に整理すること」である。試験有効性検討においては試験項目とその試験においてスクリーニングされ得る不具合モードとの関係性の分析・整理を行っており（たとえば、振動試験でスクリーニング効果の高い不具合は構造的な破損やねじの緩み、熱真空試験でははんだの剥離や電子部品の温度性能異常等）、その整理の下で不具合数の収集・分析を行うことで指標となる T_E の算出が可能であったが、従来の試験ユニットにおける設備運営においては当該設備にどのような不具合モードが存在し、どの不具合モードをどの保全項目が対処しているのかといった関係性が、現場のエンジニアの経験知としてのみ存在しており体系立てられて整理されてなかった。そこで、まずは過去の不具合実績やFMEA等を用いて設備に存在する不具合モードの洗い出し、及び現行の保全項目との関係性の整理を行った。

小型振動試験設備の整理結果を表 3～表 5 に、1600m³ 音響試験設備の整理結果を表 6～表 13 にそれぞれ示す。表に示している通り、小型振動試験設備は「加振系」「冷却系」「計測データ処理系」の 3 系統に大別することができ、それぞれの系統の構成装置における不具合モードの洗い出しを行っている。1600m³ 音響試験設備も複数の系統により構成されているが、ここでは主要な系統である「音響源発生系」にフォーカスし分析を行った。なお、表中にあるように各想定不具合モードの影響度を四段階で評価しており、影響度の区分けは下表 2 に示す定義に基づいて行った。また、損失コストや保全コストに関しては「アマチャ/テーブル劣化」や「励磁コイル劣化」不具合発生時の損失コストを 1 とした場合の相対値として表示している。

表 2 不具合影響度の定義

I (破局)	供試体の破損もしくは深刻なスケジュールインパクト (復旧まで 6 日以上)
II (重大)	重大なスケジュールインパクト (復旧まで 2 日以上 5 日以内)
III (局所的)	軽微なスケジュールインパクト (1 日以内に復旧可能)
IV (無視可能)	機能制限等により試験続行可能

表 3 小型振動試験設備 加振系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
振動発生機	インサート劣化	Ⅲ (局所的)	0.02	振動発生機 加振機サスペンション目視点検	1	0.12
	ダイヤフラム劣化	Ⅱ (重大)	0.2	振動発生機 加振機サスペンション目視点検	1	0.12
	マイクロスイッチ劣化	Ⅱ (重大)	0.2	振動発生機 加振機サスペンション目視点検	1	0.12
	トラニオン破損	Ⅰ (破局)	0.5	振動発生機 加振機サスペンション目視点検	1	0.12
	防振空気バネ劣化	Ⅱ (重大)	0.2	振動発生機 加振機サスペンション目視点検	1	0.12
	荷重分散板劣化	Ⅱ (重大)	0.2	振動発生機 加振機サスペンション目視点検	1	0.12
	エアバネ劣化	Ⅰ (破局)	0.5	振動発生機 加振機サスペンション目視点検	1	0.12
	エアーホース類劣化	Ⅲ (局所的)	0.05	振動発生機 加振機サスペンション目視点検	1	0.12
	ベアリング劣化	Ⅰ (破局)	0.5	振動発生機 分解点検	10	0.63
	ループバネ劣化	Ⅱ (重大)	0.2	振動発生機 分解点検	10	0.63
	アマチャ/テーブル劣化	Ⅰ (破局)	1	振動発生機 分解点検	10	0.63
	励磁コイル劣化	Ⅰ (破局)	1	振動発生機 分解点検	10	0.63
	消磁コイル劣化	Ⅰ (破局)	0.5	振動発生機 分解点検	10	0.63
	シール部劣化	Ⅱ (重大)	0.2	振動発生機 分解点検	10	0.63
エアーコンプレッサ故障	Ⅱ (重大)	0.05	コンプレッサ 機能点検	1	0.03	
水平振動台	インサート劣化	Ⅲ (局所的)	0.02	振動台 機能点検	試験前点検	0.02
	ベアリング劣化	Ⅰ (破局)	0.5	振動台 機能点検	試験前点検	0.02
	ブルノーズ破損	Ⅰ (破局)	1	振動台 機能点検	試験前点検	0.02
	連結ボルト不良	Ⅲ (局所的)	0.01	振動台 機能点検	試験前点検	0.02
	油圧ポンプ故障	Ⅰ (破局)	0.1	油圧ユニット 機能点検	2	0.05
	油圧ホース類劣化	Ⅱ (重大)	0.1	油圧ユニット 機能点検	2	0.05
	圧力スイッチ劣化	Ⅲ (局所的)	0.05	油圧ユニット 機能点検	2	0.05
	ケーブル類劣化	Ⅲ (局所的)	0.02	油圧ユニット 機能点検	2	0.05
	フィルタ目詰まり	Ⅲ (局所的)	0.02	油圧ユニット 作動油フィルタ交換	4	0.03
	作動油劣化	Ⅳ (無視可能)	0.05	油圧ユニット 作動油分析	1	0.03
垂直振動台	インサート劣化	Ⅲ (局所的)	0.02	振動台 機能点検	試験前点検	0.02
	ベアリング劣化	Ⅰ (破局)	0.5	振動台 機能点検	試験前点検	0.02
	空気バネ劣化	Ⅰ (破局)	0.5	振動台 機能点検	試験前点検	0.02
電力増幅器	回路素子劣化	Ⅰ (破局)	0.1	駆動電源部 機能点検	2	0.07
	ケーブル劣化	Ⅲ (局所的)	0.05	駆動電源部 機能点検	2	0.07
	ヒューズ劣化	Ⅲ (局所的)	0.05	駆動電源部 機能点検	2	0.07
	半田不良	Ⅱ (重大)	0.1	駆動電源部 機能点検	2	0.07
	絶縁不良	Ⅰ (破局)	0.05	駆動電源部 機能点検	2	0.07
	インターロック不良	Ⅱ (重大)	0.05	遠隔操作部 機能点検	1	0.02

表 4 小型振動試験設備 冷却系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
冷却装置	ヒートエクスチェンジャー水漏れ	Ⅲ (局所的)	0.1	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.002
	ヒートエクスチェンジャー水漏れ	I (破局)	0.5	機能点検	2	0.3
	冷却水ホース劣化	Ⅲ (局所的)	0.05	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.002
	電気伝導度異常	Ⅲ (局所的)	0.03	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.002
	空冷用ブロワ異音	Ⅳ (無視可能)	0.1	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	空冷用ブロワ故障	I (破局)	0.2	機能点検	2	0.3
	吸排気ダクト破損	I (破局)	0.2	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	振動発生機外気導入機構故障	I (破局)	0.2	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	電源ケーブル劣化	Ⅲ (局所的)	0.05	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	配管劣化・水漏れ	Ⅳ (無視可能)	0.05	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.002
	バルブ腐食	Ⅲ (局所的)	0.03	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.002
	計器類故障	Ⅳ (無視可能)	0.03	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.002
	電装部品故障	Ⅱ (重大)	0.03	機能点検	2	0.3
クーリング タワーシス テム	密閉型冷却塔水漏れ	Ⅳ (無視可能)	0.05	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	密閉型冷却塔劣化・破損	I (破局)	0.5	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	密閉型膨張タンク水漏れ	Ⅳ (無視可能)	0.01	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	密閉型膨張タンク破損	I (破局)	0.1	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	冷却水ポンプ異音	Ⅳ (無視可能)	0.1	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	冷却水ポンプ故障	I (破局)	0.2	機能点検	2	0.3
	ファンモータ異音	Ⅳ (無視可能)	0.1	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	ファンモータ故障	Ⅲ (局所的)	0.2	機能点検	2	0.025
	ファンベルト劣化	Ⅳ (無視可能)	0.01	ファンベルト交換	2	0.001
	ストレーナ腐食	Ⅳ (無視可能)	0.01	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.006
	電気伝導度異常	Ⅳ (無視可能)	0.03	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.006
	レジオネラ菌発生	I (破局)	0.05	クーリングタワーの水質分析	1	0.005
	温度調節器故障	Ⅳ (無視可能)	0.03	温度調節器の交換	5	0.02
	薬注装置詰まり	Ⅳ (無視可能)	0.01	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.006
	薬注装置故障	Ⅲ (局所的)	0.03	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.006
	配管劣化・水漏れ	Ⅳ (無視可能)	0.05	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	バルブ腐食	Ⅲ (局所的)	0.03	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	計器類故障	Ⅳ (無視可能)	0.03	日常点検 (隔週)	0.04	0.002
	電装部品故障	Ⅱ (重大)	0.03	機能点検	2	0.002

表 5 小型振動試験設備 計測データ処理系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
制御装置フ ロントエン ド	チャージアンプ故障	IV (無視可能)	0.05	精度確認	1	0.5
	電装部品故障	I (破局)	0.05	精度確認	1	0.5
	加速度センサ不良	IV (無視可能)	0.05	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	ローノイズケーブル不良	IV (無視可能)	0.03	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	ケーブル・コネクタ類の接触不良	IV (無視可能)	0.01	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	COLA 信号異常	I (破局)	0.05	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	非常停止ボタン故障	II (重大)	0.01	非常停止スイッチ点検作業	不定期	0.01
制御装置ワ ークステー ション	PC 故障	I (破局)	0.05	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	PC フリーズ	IV (無視可能)	0.005	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	ソフトウェアのバグ	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.03
	ソフトウェアの設定不良	III (局所的)	0.01	システム点検	1	0.03
	プリンタ故障	III (局所的)	0.01	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	DRIVE 信号異常	II (重大)	0.05	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
データ計測 解析装置フ ロントエン ド	チャージアンプ故障	IV (無視可能)	0.05	精度確認	1	0.5
	ストレインアンプ故障	IV (無視可能)	0.05	精度確認	1	0.5
	電装部品故障	I (破局)	0.05	精度確認	1	0.5
	ローノイズケーブル不良	IV (無視可能)	0.03	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	ケーブル・コネクタ類の接触不良	IV (無視可能)	0.01	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
データ計測 解析装置ワ ークステー ション	PC 故障	I (破局)	0.05	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	PC フリーズ	IV (無視可能)	0.005	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008
	ソフトウェアのバグ	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.03
	ソフトウェアの設定不良	III (局所的)	0.01	システム点検	1	0.03
	プリンタ故障	III (局所的)	0.01	日常点検 (3ヶ月)	0.25	0.008

表 6 1600m3 音響試験設備 音響源発生系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目
(1/8)

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
LN2 タンク	圧力計の校正不合格	I (破局)	0.03	圧力計の校正作業	2	0.025
LN2 タンク	LN2・GN2 漏洩	I (破局)	0.5	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
LN2 タンク	締結部、開閉部、可動シール部の微量漏えい	IV (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
LN2 タンク	変形・錆	IV (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
LN2 タンク	基礎部の割れ	III (局所的)	0.1	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
LN2 タンク	断熱性能劣化	II (重大)	0.1	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
LN2 タンク	圧力計の故障	I (破局)	0.03	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
LN2 タンク	液面計の故障	I (破局)	0.03	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
LN2 タンク	安全弁の動作不良	I (破局)	0.03	安全弁の保守作業	1	0.035
LN2 タンク	液面計の校正不合格	I (破局)	0.03	液面計の校正作業	2	0.025
LN2 タンク	腐食・肉厚減少	IV (無視可能)	0.2	高圧ガス設備定期自主検査	1	0.2
LN2 タンク	不同沈下	I (破局)	1	高圧ガス設備定期自主検査	3	0.06
LN2 タンク	バルブの動作不良	II (重大)	0.03	高圧ガス設備定期自主検査	1	0.2
LN2 タンク表示パネル	電装部品故障	I (破局)	0.05	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
インバータ	インバータの故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
インバータ	インバータの故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
インバータ	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
インバータ	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
クーリングユニット	ラインポンプの故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
クーリングユニット	循環ポンプの故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
クーリングユニット	パキュームブロワの故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
クーリングユニット	エア噛み	III (局所的)	0.01	システム点検	1	0.06
クーリングユニット	絶縁不良	II (重大)	0.05	電気設備系点検	1	0.05
クーリングユニット	フロン漏洩	I (破局)	0.1	除湿機等のフロン漏洩確認	0.25	0.02
クーリングユニット	電磁弁の故障	II (重大)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
クーリングユニット	タンク・配管の腐食・水漏れ	II (重大)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
クーリングユニット	計器類故障	II (重大)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
クーリングユニット	電装部品故障	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
クーリングユニット	モータベアリングの劣化	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	3.6
クリップアンプ (DC-200A-2)	性能劣化	II (重大)	0.1	クリップアンプの点検	2	0.075
クリップアンプ (DC-200A-2)	接触不良	III (局所的)	0.05	クリップアンプの点検	2	0.075
クリップアンプ (DC-200A-2)	電装部品故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.075
クリップアンプ (DC-200A-2)	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.02	システム点検	1	0.06

表 7 1600m3 音響試験設備 音響源発生系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目 (2/8)

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
クリッパアンプ (DC-200A-4)	性能劣化	II (重大)	0.1	クリッパアンプの点検	2	0.075
クリッパアンプ (DC-200A-4)	接触不良	III (局所的)	0.05	クリッパアンプの点検	2	0.075
クリッパアンプ (DC-200A-4)	電装部品故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
クリッパアンプ (DC-200A-4)	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.02	システム点検	1	0.06
コンデンサ・マイクロフォン	ダイアフラム破損	III (局所的)	0.1	システム点検	1	0.06
コンデンサ・マイクロフォン	電装部品故障	III (局所的)	0.1	システム点検	1	0.06
コンデンサ・マイクロフォン	精度不良	II (重大)	0.1	制御系システムキャリブレーション	1	0.03
コンデンサ・マイクロフォン	校正不合格	IV (無視可能)	0.1	計測機器等の校正	2	0.02
ジェットノズル	GN2 漏洩	I (破局)	0.5	システム点検	1	0.06
ジェットノズル	変形・破損	I (破局)	1	反響室系点検	1	0.02
スペクトラムシェーパ	電装部品故障	III (局所的)	0.1	システム点検	1	0.06
スペクトラムシェーパ	ケーブル・コネクタ類の不良	III (局所的)	0.05	システム点検	1	0.06
スペクトラムシェーパ	校正不合格	IV (無視可能)	0.1	計測機器等の校正	2	0.06
データ入出力装置	電装部品故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
デジタルアッテネータ	電装部品故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
デジタルアッテネータ	校正不合格	I (破局)	0.1	計測機器等の校正	2	0.06
パワーアンプ	電装部品故障	I (破局)	1	システム点検	1	0.06
パワーアンプ	絶縁不良	II (重大)	0.5	電気設備系点検	1	0.05
パワーアンプ	性能劣化	IV (無視可能)	1	音響発生装置等の点検	2	0.25
パワーアンプコントロールパネル	電装部品故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
パワーアンプコントロールパネル	接触不良	III (局所的)	0.02	システム点検	1	0.06
ヒータ1段目	ヒータの故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	3.6
ヒータ1段目	ヒータの絶縁不良	III (局所的)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
ヒータ2段目	ヒータの故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
ヒータ2段目	ヒータの絶縁不良	III (局所的)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
フィールドサブライ	電装部品故障	I (破局)	1	システム点検	1	0.06
フィールドサブライ	絶縁不良	II (重大)	0.5	電気設備系点検	1	0.05
フィールドサブライ	性能劣化	IV (無視可能)	1	音響発生装置等の点検	1	0.06

表 8 1600m3 音響試験設備 音響源発生系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目 (3/8)

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
プラットフォーム	高压ガス警戒標の破損	IV (無視可能)	0.005	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
プラットフォーム	変形・錆	IV (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
ブローオフバルブ	GN2 漏洩	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
ブローオフバルブ	ブローオフバルブの動作不良	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
ブローオフバルブ	ブローオフバルブの調整不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
ブローオフバルブ	シートリーク	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
ブローオフバルブ	ダイヤフラム膜の劣化	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.2
ホーン	GN2 漏洩	I (破局)	0.5	システム点検	1	0.06
ホーン	変形・破損	I (破局)	1	反響室系点検	1	0.02
マイクロフォン・プリアンプ	電装部品故障	III (局所的)	0.1	システム点検	1	0.06
マイクロフォン・プリアンプ	接触不良	III (局所的)	0.01	システム点検	1	0.06
マイクロフォン・プリアンプ	ケーブル・コネクタ類の不良	III (局所的)	0.05	システム点検	1	0.06
マイクロフォン・プリアンプ	精度不良	II (重大)	0.1	制御系システムキャリブレーション	1	0.03
マイクロフォン・プリアンプ	校正不合格	IV (無視可能)	0.1	計測機器等の校正	2	0.02
マイクロフォンアンプ	電装部品故障	III (局所的)	0.1	システム点検	1	0.06
マイクロフォンアンプ	ケーブル・コネクタ類の不良	III (局所的)	0.05	システム点検	1	0.06
マイクロフォンアンプ	精度不良	II (重大)	0.1	制御系システムキャリブレーション	1	0.03
マイクロフォンアンプ	校正不合格	IV (無視可能)	0.1	計測機器等の校正	2	0.03
マイクロフォン切換ボックス	電装部品故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
マイクロフォン切換ボックス	ケーブル・コネクタ類の不良	III (局所的)	0.05	システム点検	1	0.06
マイクロフォン切換ボックス	ソフトウェアのフリーズ	III (局所的)	0.01	システム点検	1	0.06
マイクロフォン切換ボックス	精度不良	II (重大)	0.1	制御系システムキャリブレーション	1	0.03
マイクロフォン切換ボックス	校正不合格	I (破局)	0.1	計測機器等の校正	2	0.03
リレーボックス	電装部品故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
レーザプリンタ	プリンタ故障	III (局所的)	0.05	システム点検	1	0.06

表 9 1600m3 音響試験設備 音響源発生系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目 (4/8)

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
ローリーチャージ電源ボックス	絶縁不良	Ⅲ (局所的)	0.03	電気設備系点検	1	0.05
ローリーチャージ電源ボックス	変形・錆	Ⅳ (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
ローリーチャージ電源ボックス	電装部品故障	Ⅰ (破局)	0.05	—	0	0
ローリーチャージ電源ボックス	ケーブル・コネクタ類の不良	Ⅱ (重大)	0.05	—	0	0
圧力制御弁 (40A)	GN2 漏洩	Ⅰ (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
圧力制御弁 (40A)	圧力制御弁の動作不良	Ⅰ (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
圧力制御弁 (40A)	圧力制御弁の調整不良	Ⅱ (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
圧力制御弁 (40A)	シートリーク	Ⅳ (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
圧力制御弁 (40A)	ダイヤフラム膜の劣化	Ⅳ (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.2
圧力制御弁 (80A)	GN2 漏洩	Ⅰ (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
圧力制御弁 (80A)	圧力制御弁の動作不良	Ⅰ (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
圧力制御弁 (80A)	圧力制御弁の調整不良	Ⅱ (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
圧力制御弁 (80A)	シートリーク	Ⅳ (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
圧力制御弁 (80A)	ダイヤフラム膜の劣化	Ⅳ (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.2
圧力調節計 (圧力制御パネル含む)	電装部品故障	Ⅰ (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
圧力調節計 (圧力制御パネル含む)	出力異常	Ⅰ (破局)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
温水タンク 1 段目	水漏れ	Ⅱ (重大)	0.1	システム点検	1	0.06
温水タンク 1 段目	計器類故障	Ⅱ (重大)	0.05	システム点検	1	0.06
温水タンク 1 段目	タンク内の汚れ	Ⅳ (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
温水タンク 2 段目	水漏れ	Ⅱ (重大)	0.1	システム点検	1	0.06
温水タンク 2 段目	計器類故障	Ⅱ (重大)	0.05	システム点検	1	0.06
温水タンク 2 段目	タンク内の汚れ	Ⅳ (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
温水タンク用架台	変形・錆	Ⅳ (無視可能)	0.02	システム点検	1	0.06
温水回収タンク 1 段目	水漏れ	Ⅱ (重大)	0.1	システム点検	1	0.06
温水回収タンク 1 段目	計器類故障	Ⅱ (重大)	0.05	システム点検	1	0.06
温水回収タンク 1 段目	タンク内の汚れ	Ⅳ (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
温水回収タンク 2 段目	水漏れ	Ⅱ (重大)	0.1	システム点検	1	0.06
温水回収タンク 2 段目	計器類故障	Ⅱ (重大)	0.05	システム点検	1	0.06
温水回収タンク 2 段目	タンク内の汚れ	Ⅳ (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6

表 10 1600m3 音響試験設備 音響源発生系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目 (5/8)

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
温度調節装置制御盤	電装部品故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
温度調節装置制御盤	絶縁不良	IV (無視可能)	0.03	電気設備系点検	1	0.05
温度調節装置制御盤	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
音圧信号解析器	PC の故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
音圧信号解析器	PC のフリーズ	III (局所的)	0.01	システム点検	1	0.06
音圧信号解析器	OROS の故障	I (破局)	0.5	システム点検	1	0.06
音圧信号解析器	周辺機器の故障	III (局所的)	0.02	システム点検	1	0.06
音圧信号解析器	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.02	システム点検	1	0.06
音圧信号解析器	メモリ電池劣化	IV (無視可能)	0.005	システム点検	1	0.06
音圧信号解析器	ソフトウェアのフリーズ	III (局所的)	0.01	システム点検	1	0.06
音圧信号解析器	精度不良	II (重大)	0.1	制御系システムキャリブレーション	1	0.03
音圧信号解析器	校正不合格	I (破局)	0.5	計測機器等の校正	2	0.03
音響制御プログラム	ソフトウェアのフリーズ	IV (無視可能)	0.01	システム点検	1	0.06
音響制御プログラム	処理異常	IV (無視可能)	0.1	システム点検	1	0.06
音響制御装置切換ボックス	電装部品故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
音響制御装置切換ボックス	接触不良	III (局所的)	0.02	システム点検	1	0.06
音響変換器	GN2 漏洩	II (重大)	0.1	システム点検	1	0.06
音響変換器	音響変換器の故障	II (重大)	0.03	システム点検	1	0.06
音響変換器	コイルの絶縁不良	III (局所的)	0.05	音響発生装置等の点検	1	0.06
音響変換器	コイルの直流抵抗値不良	III (局所的)	0.05	音響発生装置等の点検	1	0.06
音響変換器	フィルタ汚れ	III (局所的)	0.05	音響発生装置等の点検	2	0.25
音響変換器	内部腐食	III (局所的)	0.05	音響発生装置等の点検	2	0.25
音響変換器	ホース破損	I (破局)	0.2	音響発生装置等の点検	1	0.06
音響変換器	ケーブル・コネクタ類の不良	III (局所的)	0.05	音響発生装置等の点検	1	0.06
音響変換器	性能劣化	III (局所的)	0.05	—	0	0
加圧蒸発器	LN2・GN2 漏洩	I (破局)	0.5	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
加圧蒸発器	締結部、開閉部、可動シール部の微量漏えい	IV (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
加圧蒸発器	変形・錆	IV (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
加圧蒸発器	基礎部の割れ	III (局所的)	0.1	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
加圧蒸発器	腐食・肉厚減少	IV (無視可能)	0.2	高圧ガス設備定期自主検査	1	0.2
機器検査プログラム	ソフトウェアのフリーズ	IV (無視可能)	0.01	—	0	0

表 11 1600m3 音響試験設備 音響源発生系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目 (6/8)

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
機器検査プログラム	処理異常	IV (無視可能)	0.05	—	0	0
計算機 (ディスプレイ含む)	PC の故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
計算機 (ディスプレイ含む)	PC のフリーズ	III (局所的)	0.01	システム点検	1	0.06
計算機 (ディスプレイ含む)	周辺機器の故障	II (重大)	0.02	システム点検	1	0.06
計算機 (ディスプレイ含む)	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.02	システム点検	1	0.06
計算機 (ディスプレイ含む)	メモリ電池劣化	IV (無視可能)	0.01	システム点検	1	0.06
計算機ブック (接続端子盤含む)	変形・破損	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
計算機ブック (接続端子盤含む)	接地不良	II (重大)	0.05	電気設備系点検	1	0.05
計装用空気圧縮機	空気圧縮機の故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
計装用空気圧縮機	除湿器の故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
計装用空気圧縮機	フロン漏洩	I (破局)	0.1	除湿機等のフロン漏洩確認	0.25	0.02
計装用空気圧縮機	コンプレッサの絶縁不良	III (局所的)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
計装用空気圧縮機	エア漏れ	II (重大)	0.02	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
計装用空気圧縮機	配管腐食	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
計装用空気圧縮機	計器類故障	II (重大)	0.02	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
計装用空気圧縮機	フィルタ汚れ	IV (無視可能)	0.01	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
現場操作盤	電装部品故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
現場操作盤	絶縁不良	III (局所的)	0.03	電気設備系点検	1	0.05
現場操作盤	変形・錆	IV (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
現場操作盤	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
自動弁 (送ガス、自己加圧)	自動弁の動作不良	II (重大)	0.1	システム点検	1	0.06
自動弁 (送ガス、自己加圧)	LN2・GN2 漏洩	I (破局)	0.5	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
自動弁 (送ガス、自己加圧)	シートリーク	IV (無視可能)	0.1	高圧ガス設備定期自主検査	1	0.2
自動弁 (送ガス、自己加圧)	調節計の故障	I (破局)	0.05	高圧ガス設備定期自主検査	1	0.2
遮断弁	GN2 漏洩	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
遮断弁	遮断弁の動作不良	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
遮断弁	遮断弁の調整不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
遮断弁	シートリーク	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
遮断弁	ダイヤフラム膜の劣化	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.2

表 12 1600m³ 音響試験設備 音響源発生系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目 (7/8)

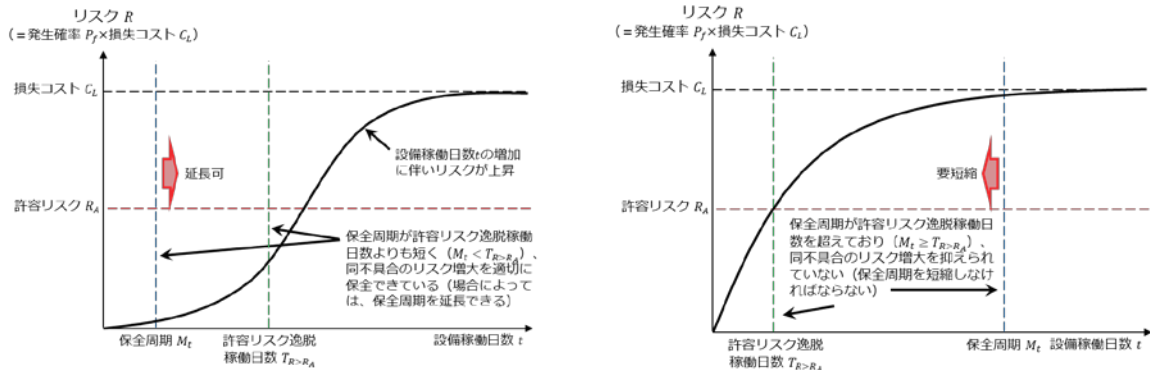
原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
遮断弁機側制御盤	電装部品故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
遮断弁機側制御盤	絶縁不良	III (局所的)	0.03	電気設備系点検	1	0.05
遮断弁機側制御盤	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
循環ポンプ1段目	循環ポンプの故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
循環ポンプ1段目	エア噛み	IV (無視可能)	0.01	システム点検	1	0.06
循環ポンプ1段目	計器類故障	III (局所的)	0.02	システム点検	1	0.06
循環ポンプ1段目	モータの絶縁不良	III (局所的)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
循環ポンプ1段目	配管劣化・水漏れ	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
循環ポンプ1段目	モータベアリングの劣化	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.6
循環ポンプ2段目	循環ポンプの故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
循環ポンプ2段目	エア噛み	IV (無視可能)	0.01	システム点検	1	0.06
循環ポンプ2段目	計器類故障	III (局所的)	0.02	システム点検	1	0.06
循環ポンプ2段目	モータの絶縁不良	III (局所的)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
循環ポンプ2段目	配管劣化・水漏れ	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
循環ポンプ2段目	モータベアリングの劣化	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.6
制御信号選択器	電装部品故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
制御信号選択器	校正不合格	I (破局)	0.1	計測機器等の校正	2	0.035
選択弁	GN2 漏洩	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
選択弁	選択弁の動作不良	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
選択弁	選択弁の調整不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
選択弁	シートリーク	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
送ガス蒸発器	蒸発器ファンの故障	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
送ガス蒸発器	LN2・GN2 漏洩	I (破局)	0.5	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
送ガス蒸発器	締結部、開閉部、可動シール部の微量漏えい	IV (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
送ガス蒸発器	変形・錆	IV (無視可能)	0.02	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
送ガス蒸発器	基礎部の割れ	III (局所的)	0.1	日常点検 (毎日)	0.00274	0.0005
送ガス蒸発器	腐食・肉厚減少	IV (無視可能)	0.2	高圧ガス設備定期自主検査	1	0.2
送ガス蒸発器	モータの絶縁不良	III (局所的)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
送ガス蒸発器	モータベアリングの劣化	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.6
窒素ガス供給装置制御盤	電装部品故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
窒素ガス供給装置制御盤	絶縁不良	III (局所的)	0.03	電気設備系点検	1	0.05
窒素ガス供給装置制御盤	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6

表 13 1600m³ 音響試験設備 音響源発生系想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目
(8/8)

原因装置	想定不具合モード	影響度	損失コスト	保全項目	保全周期 [年]	保全コスト
吐出空気濾過器	GN2 漏洩	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
吐出空気濾過器	フィルタ汚れ	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
入出力模擬装置	電装部品故障	IV (無視可能)	0.1	—	0	0
熱交換器 1 段目	GN2 漏洩	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
熱交換器 1 段目	水漏れ	II (重大)	0.05	システム点検	1	0.06
熱交換器 1 段目	計器類故障	II (重大)	0.02	システム点検	1	0.06
熱交換器 1 段目	腐食	III (局所的)	0.1	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
熱交換器 2 段目	GN2 漏洩	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
熱交換器 2 段目	水漏れ	II (重大)	0.05	システム点検	1	0.06
熱交換器 2 段目	計器類故障	II (重大)	0.02	システム点検	1	0.06
熱交換器 2 段目	腐食	III (局所的)	0.1	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
反響室外室ガス圧分配装置	GN2 漏洩	I (破局)	0.1	システム点検	1	0.06
反響室外室ガス圧分配装置	配管腐食	IV (無視可能)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
反響室外室ガス圧分配装置	計器類故障	II (重大)	0.02	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
流量圧力調整装置制御盤	電装部品故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
流量圧力調整装置制御盤	絶縁不良	III (局所的)	0.03	電気設備系点検	1	0.05
流量圧力調整装置制御盤	ケーブル・コネクタ類の不良	II (重大)	0.05	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
流量計	流量計の故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
流量計	出力異常	I (破局)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
流量計	精度不良	II (重大)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.2
流量指示計 (流量指示パネル含む)	電装部品故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
流量指示計 (流量指示パネル含む)	表示異常	I (破局)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
攪拌機 1 段目	攪拌機の故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
攪拌機 1 段目	モータの絶縁不良	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
攪拌機 1 段目	モータベアリングの劣化	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.6
攪拌機 2 段目	攪拌機の故障	I (破局)	0.05	システム点検	1	0.06
攪拌機 2 段目	モータの絶縁不良	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	2	3.6
攪拌機 2 段目	モータベアリングの劣化	IV (無視可能)	0.03	窒素ガス発生装置等の保守作業	4	4.6

4.3. 信頼性分析

前項の想定不具合モードと影響度、損失コストと対応保全項目の関係を基に、過去の不具合実績等を用いてリスク関数を算出し、現行保全周期と比較した結果を図 17～図 43 に示す。リスク関数と許容リスク、保全周期の関係は下図 16 に示す通り。



(a) 保全周期の延長が期待できるケース (b) 保全周期の短縮が必要となるケース
図 16 リスク関数と保全周期の関係

まず小型振動試験設備について、図 18 を見ると、現行 10 年周期で行っている加振機分解点検に対し、アマチャ/テーブル劣化不具合と励磁コイル劣化不具合はリスク関数の増加が急峻であり、10 年間隔よりも早く不具合が発生してしまう恐れがある。そのため、保全周期を短縮しより密なメンテナンスによる予防保全で対応することが望ましいと考えられる。一方で図 19、図 22、図 23 を見ると、保全項目が対応する不具合モードは他不具合に比してリスクが低いものであり不具合発生時の影響度・損失コストが小さいと考えられることから、保全周期を延長し、より効率的に保全を行っていくことが望ましいと判断できる。また、図 25、図 26 を見ると、最も損失コストの大きい不具合モードである「密閉型冷却塔劣化・破損」「給排気ダクト破損」に対しても現行保全周期は非常に密であり、6 か月点検まで延長したとしても増加するリスクは十分無視可能な程度に微小であることが分かる。また、図 27 を見ると、システム点検（1 年毎）で確認できる項目として識別されている「ソフトウェアのバグ」「ソフトウェアの設定不良」はいずれも設計起因もしくはオペミスに伴う不具合であり経年劣化起因ではない。これら不具合の他に、システム点検ではサイン波・ランダム波・ショック波での制御性・加速度波形歪確認を行っているが、同保全項目で確認すべき不具合モードは加振機サスペンション目視点検（毎年）、振動台機能点検（毎年）、動作点検（試験前作業）で確認することが可能であるため、システム点検周期を 1 年から 2 年に延長し機能点検（2 年毎）と統合しても増加するリスクは十分無視可能な程度に微小であると考えられる。一方で、図 28 を見ると、機能点検は損失コストの大きい不具合である冷却水ポンプ故障等をリスクが増大しきる前の段階で保全出来ており、現行保全周期 2 年は概ね妥当であると判断できる。

次に 1600m³ 音響試験設備について、図 34 を見るとシステム点検は多くの想定不具合モードを一度に保全できる効果的な保全項目であることが分かる。保全周期の延長の観点から図 29～図 43 を見ると、「システム点検」及び「音響発生装置等の点検」以外の保全項目に関しては保全周期を半年～1 年程度延長させてもリスクの増分が微小であり、影響は軽微なものと考えられる。しかし、高圧ガス関係の法令点検は周期延長/短縮の対象外となることから、それ以外の点検項目について延長を検討することが望ましいと判断することができる。

ただし、本検討では構成装置を最小単位として不具合モードを想定したが、実際の不具合は装置の中でもさらにそれを構成する部品単位で発生するものも存在する。より詳細を把握するためには部品単位での不具合モード分析を行うべきであるが、粒度を細かくしていくとその分類不具合発生件数が少なくなるため、本検討のようなワイブル分析は不適となる。したがって、本検討で示した通りまずは構成装置単位等の粒度で不具合分析を行い、そこでクリティカルな装置を絞った上でより詳細な分析・対策の検討へと移行していくことが現実的であると考えられる。

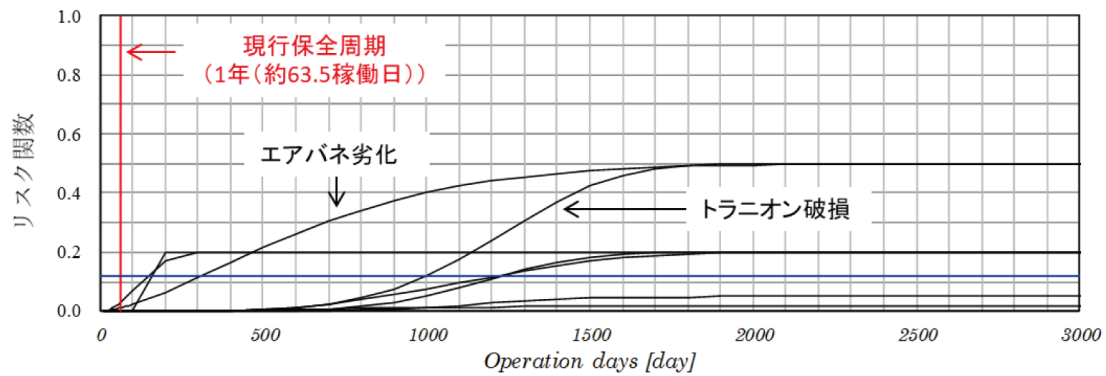


図 17 小型振動試験設備 加振機サスペンション目視点検に対する想定不具合モードのリスク関数

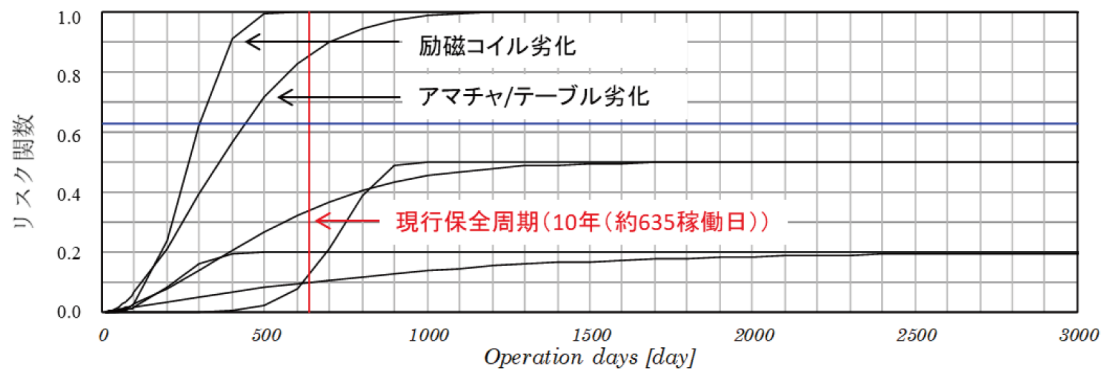


図 18 小型振動試験設備 加振機分解点検に対する想定不具合モードのリスク関数

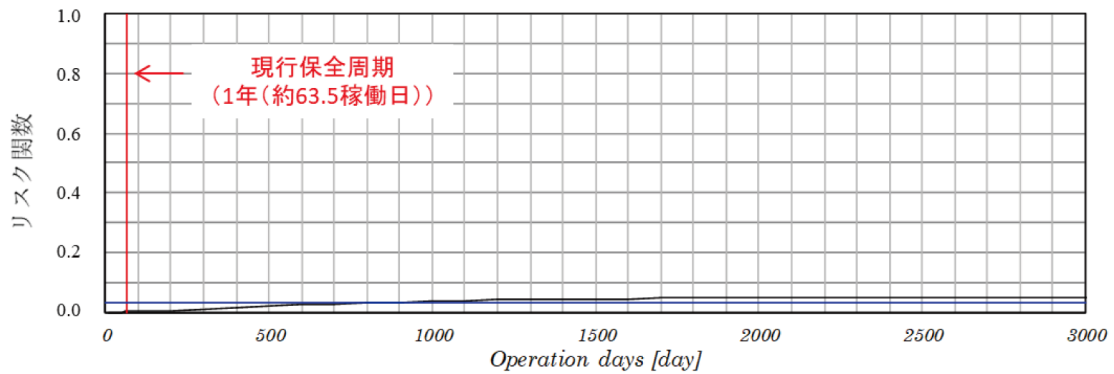


図 19 小型振動試験設備 コンプレッサ機能点検に対する想定不具合モードのリスク関数

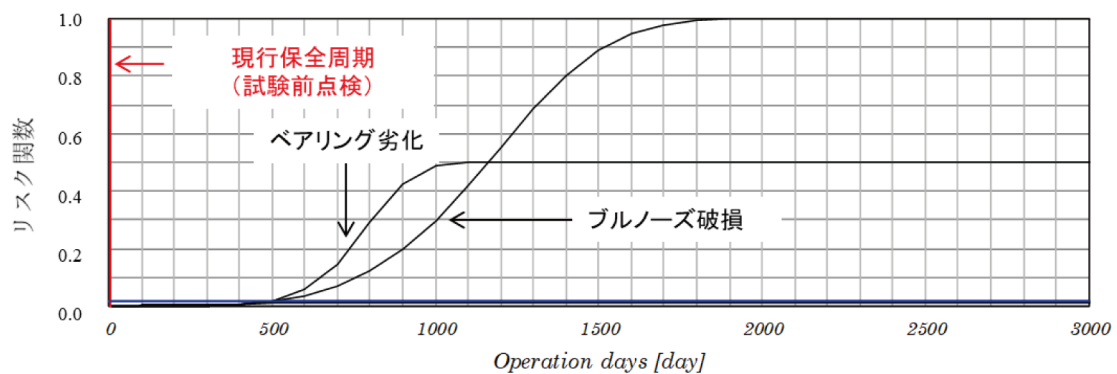


図 20 小型振動試験設備 水平振動台機能点検に対する想定不具合モードのリスク関数

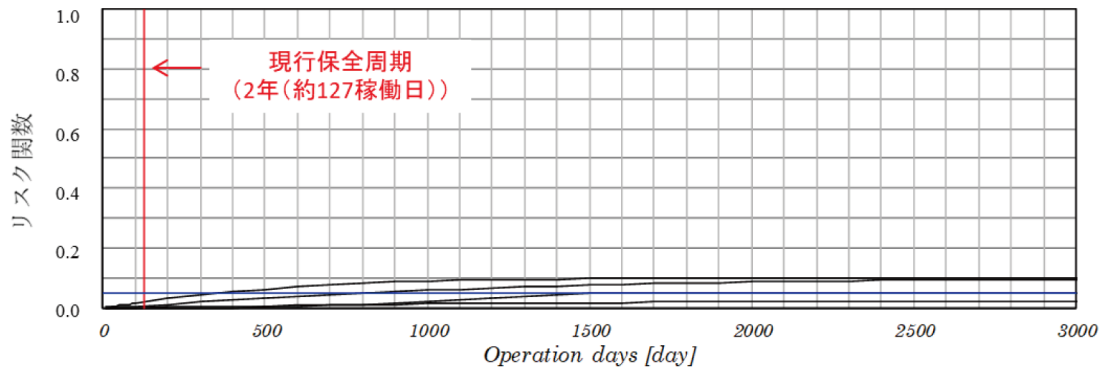


図 21 小型振動試験設備 油圧ユニット機能点検に対する想定不具合モードのリスク関数

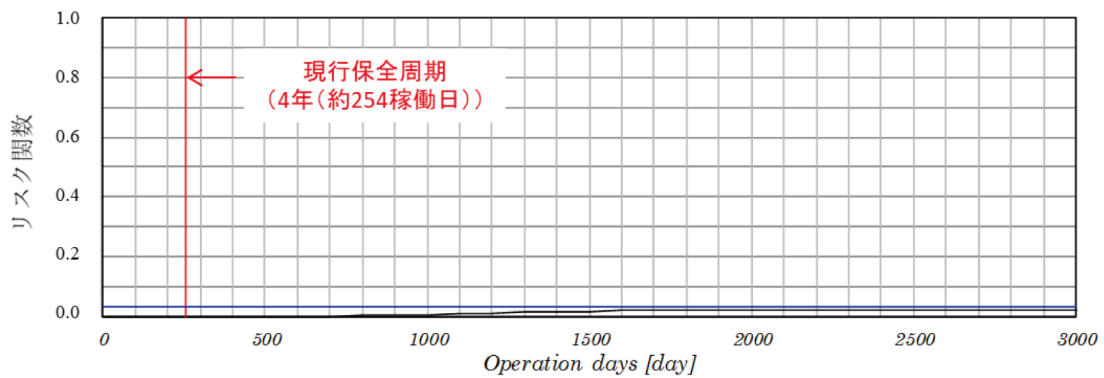


図 22 小型振動試験設備 油圧ユニット作動油フィルタ交換に対する想定不具合モードのリスク関数

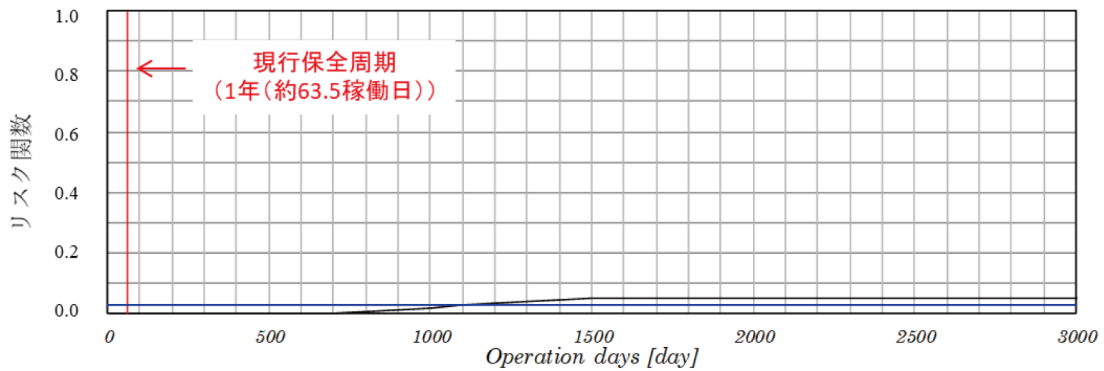


図 23 小型振動試験設備 油圧ユニット作動油分析に対する想定不具合モードのリスク関数

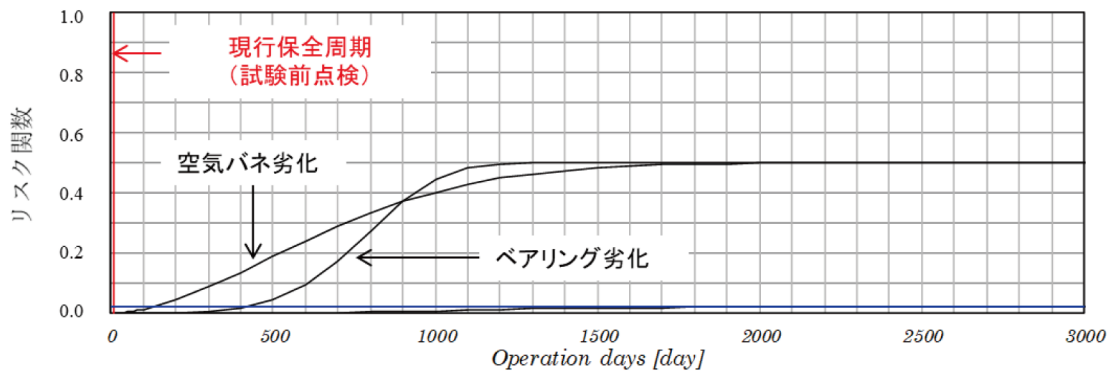


図 24 小型振動試験設備 垂直振動台機能点検に対する想定不具合モードのリスク関数

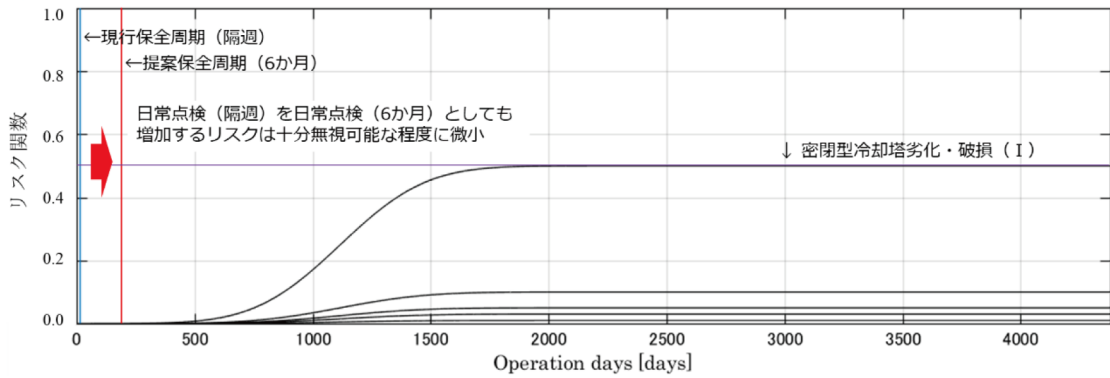


図 25 小型振動試験設備 日常点検（隔週毎）に対する想定不具合モードのリスク関数

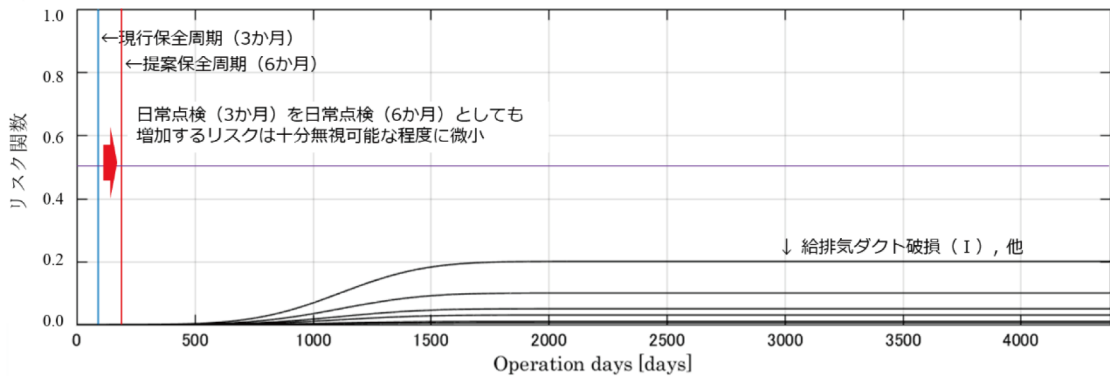


図 26 小型振動試験設備 日常点検（3 か月毎）に対する想定不具合モードのリスク関数

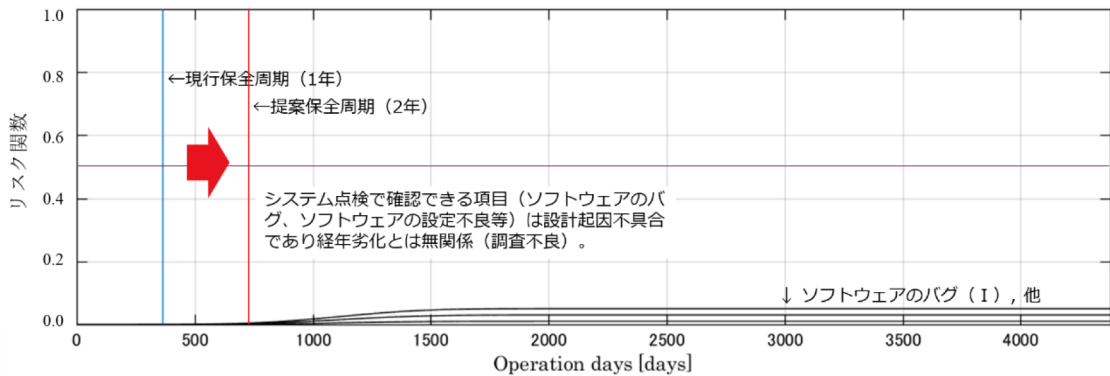


図 27 小型振動試験設備 システム点検（1 年毎）に対する想定不具合モードのリスク関数

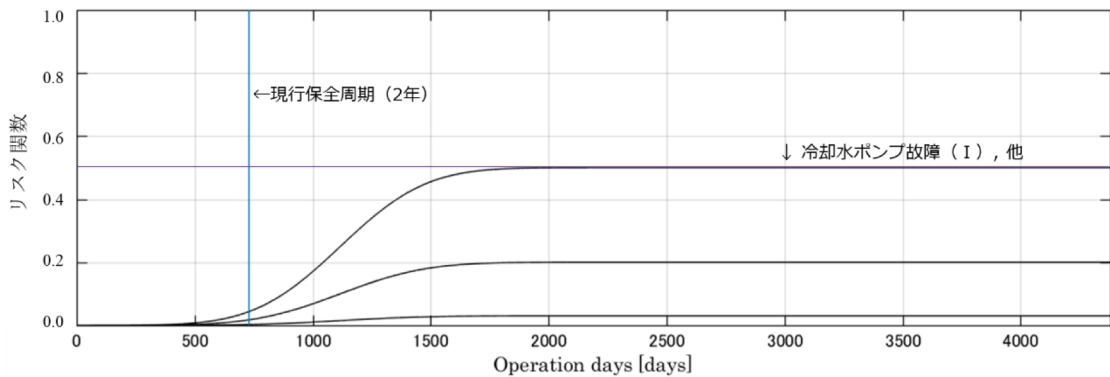


図 28 小型振動試験設備 機能点検（2 年毎）に対する想定不具合モードのリスク関数

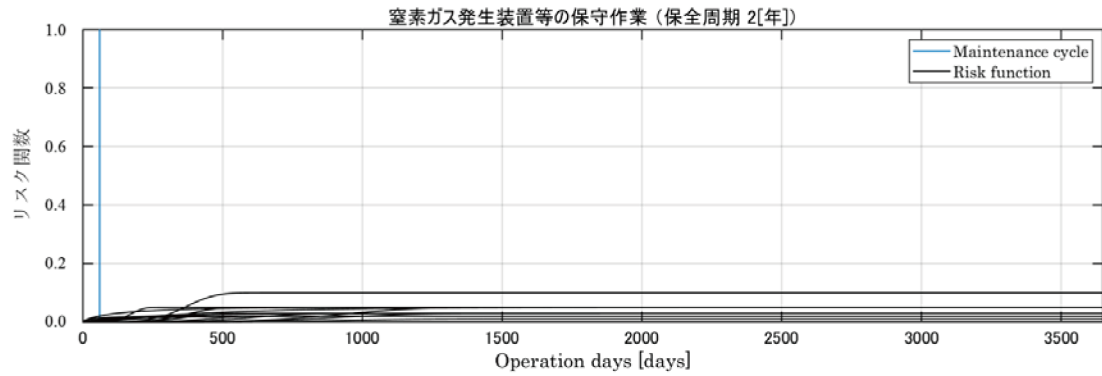


図 29 1600m3 音響試験設備 窒素ガス発生装置等の保守作業に対する想定不具合モードのリスク関数

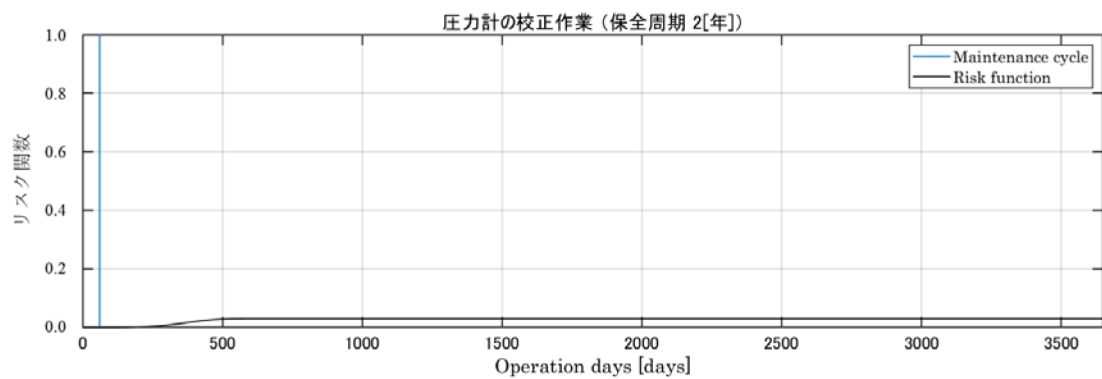


図 30 1600m3 音響試験設備 圧力計の校正作業に対する想定不具合モードのリスク関数

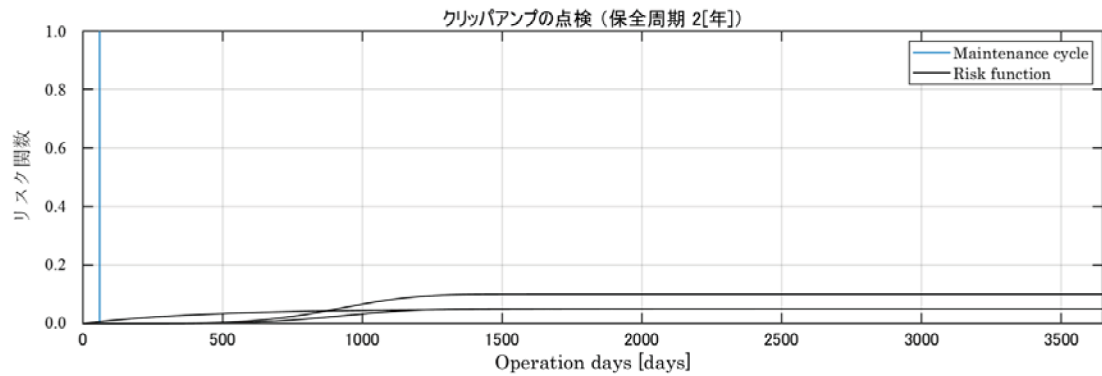


図 31 1600m3 音響試験設備 クリップアンプの点検に対する想定不具合モードのリスク関数

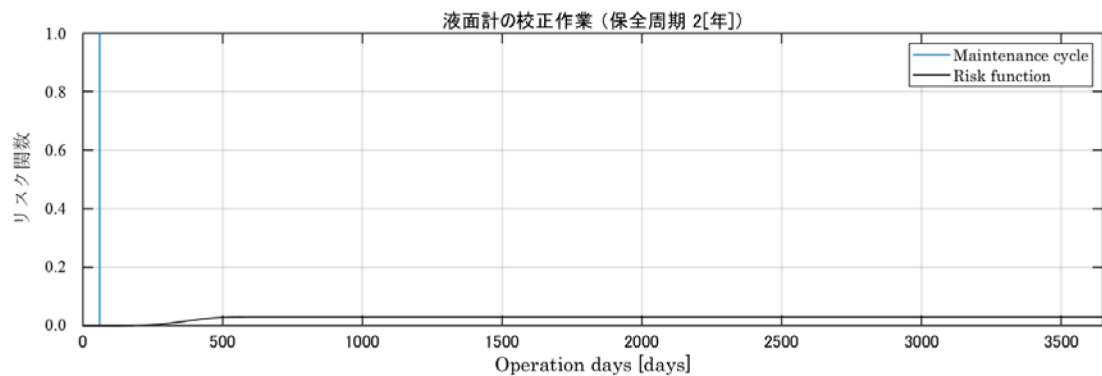


図 32 1600m3 音響試験設備 液面計の校正作業に対する想定不具合モードのリスク関数

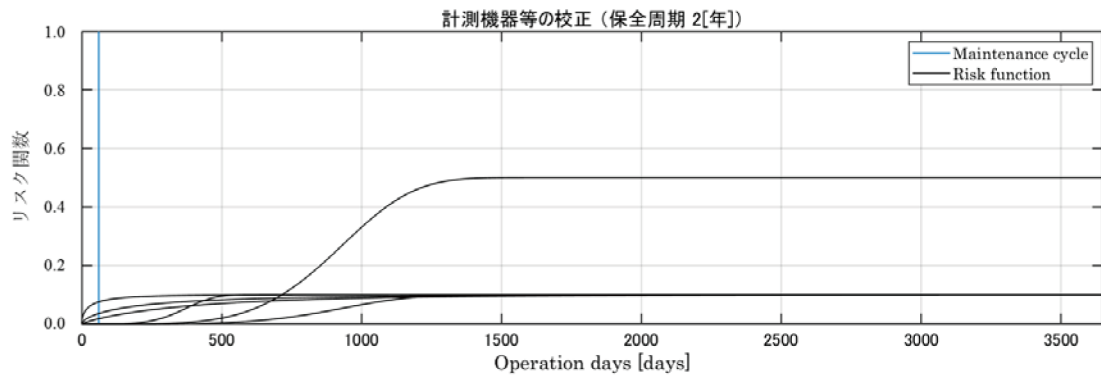


図 33 1600m3 音響試験設備 計測機器等の校正作業に対する想定不具合モードのリスク関数

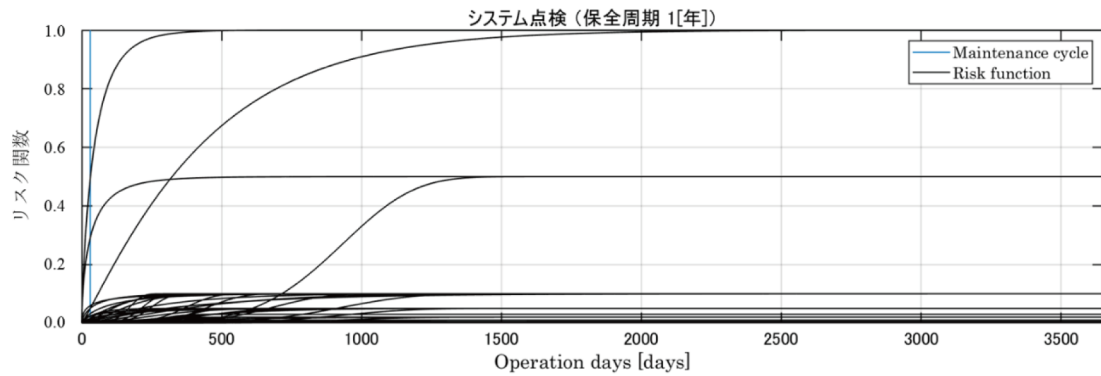


図 34 1600m3 音響試験設備 システム点検に対する想定不具合モードのリスク関数

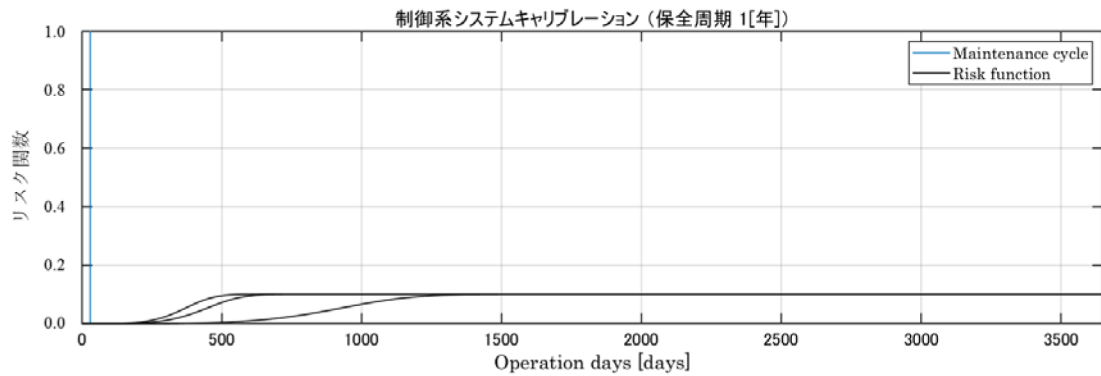


図 35 1600m3 音響試験設備 制御系システムキャリブレーションに対する想定不具合モードのリスク関数

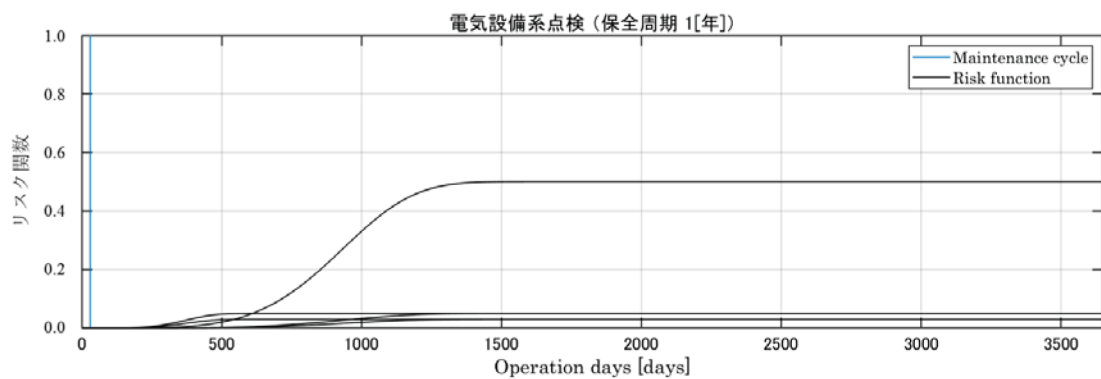


図 36 1600m3 音響試験設備 電気設備系点検に対する想定不具合モードのリスク関数

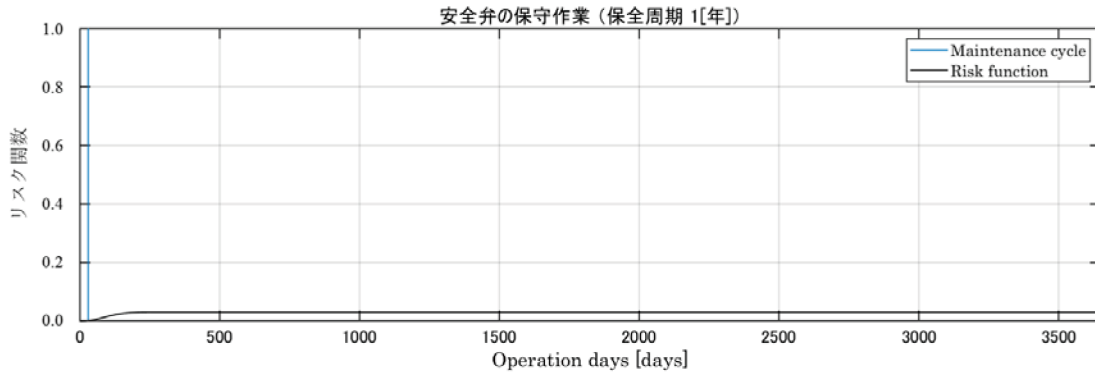


図 37 1600m³ 音響試験設備 安全弁の保守作業に対する想定不具合モードのリスク関数

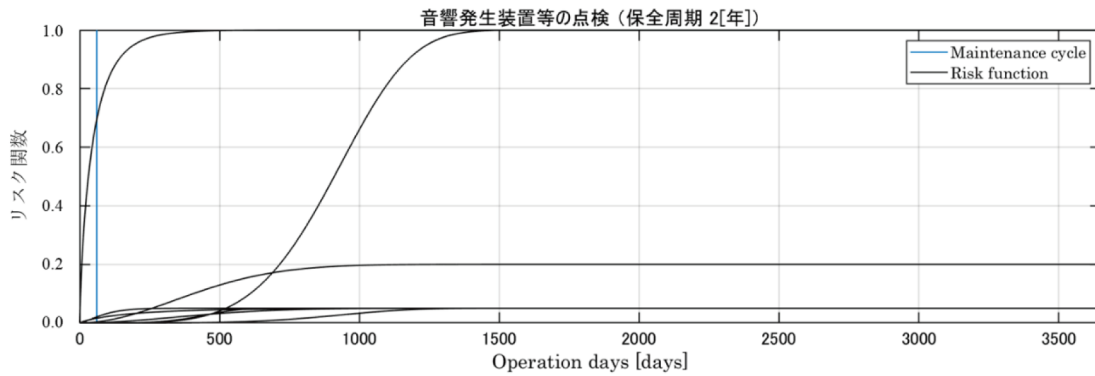


図 38 1600m³ 音響試験設備 音響発生装置等の点検に対する想定不具合モードのリスク関数

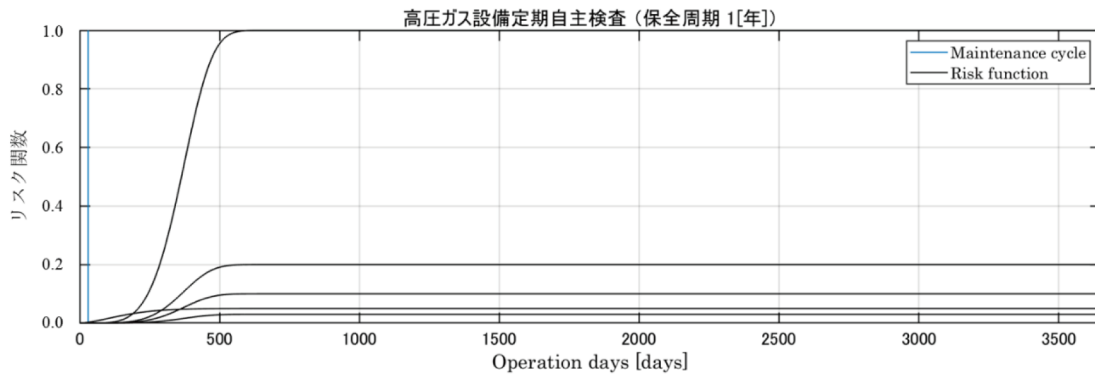


図 39 1600m³ 音響試験設備 高圧ガス設備定期自主検査に対する想定不具合モードのリスク関数

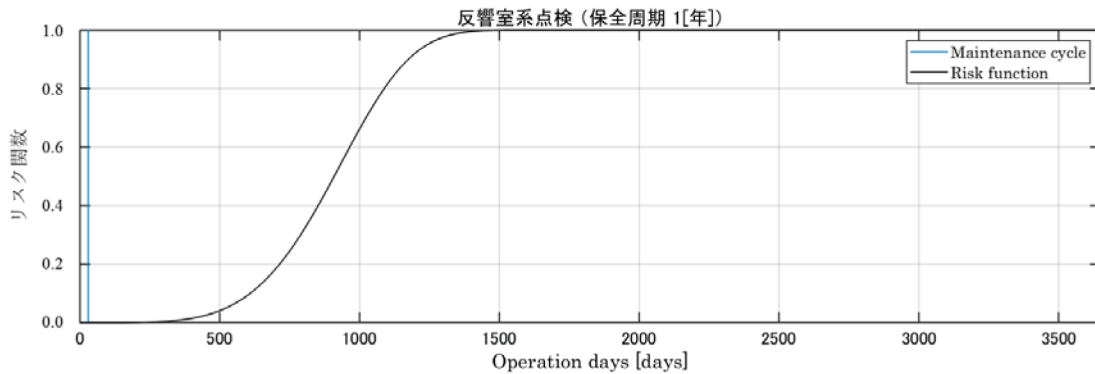


図 40 1600m³ 音響試験設備 反響室系点検に対する想定不具合モードのリスク関数

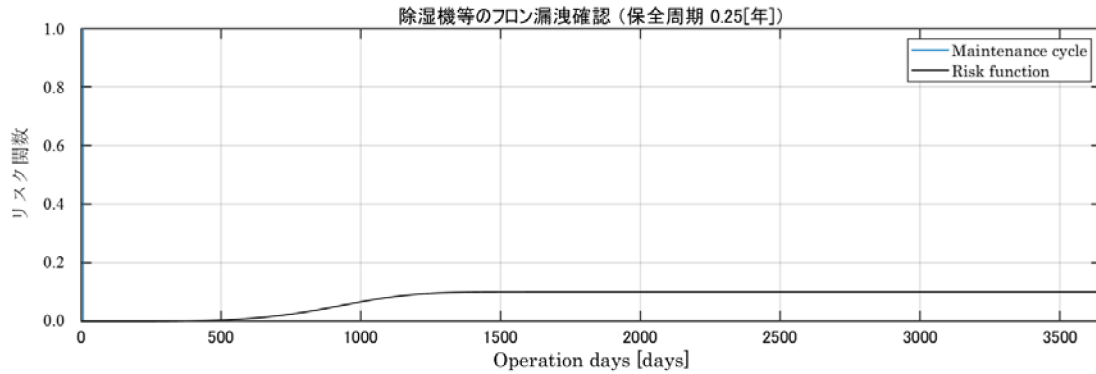


図 41 1600m3 音響試験設備 除湿器等のフロン漏洩確認に対する想定不具合モードのリスク関数

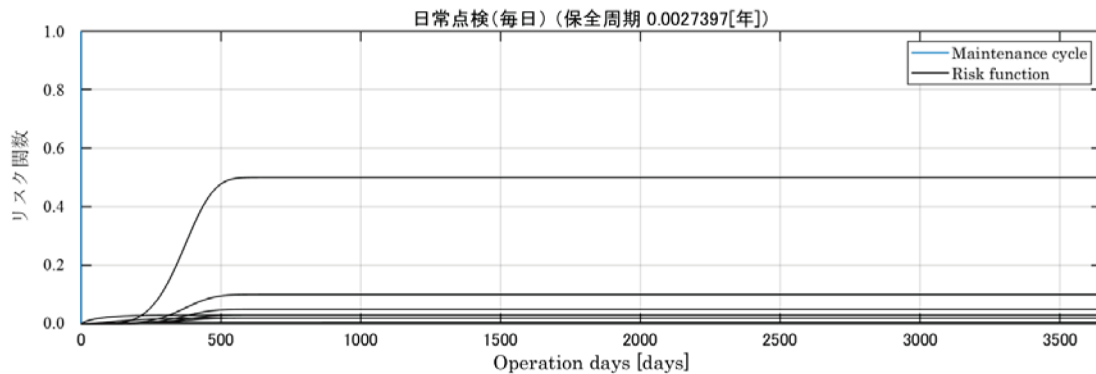


図 42 1600m3 音響試験設備 日常点検 (毎日) に対する想定不具合モードのリスク関数

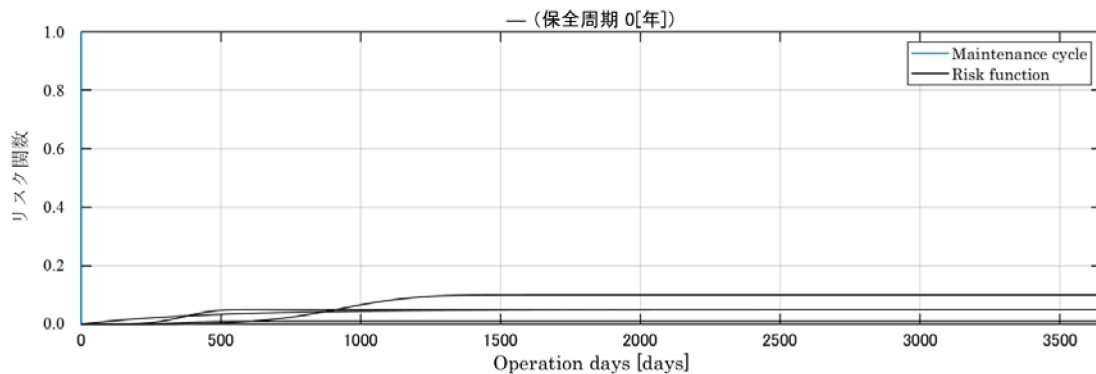


図 43 1600m3 音響試験設備 保守項目の対象外となっている想定不具合モードのリスク関数

4.4. 分析結果の保全項目・保全周期への反映

前項までの分析結果を基に、たとえば小型振動試験設備においては以下の保全項目・保全周期の見直しを行い、設備の信頼性を維持した上での保全費用の削減に寄与することができた。

- ・ 日常点検 (隔週) の頻度を延長 (隔週→6 か月)。
- ・ 日常点検 (3 か月) の頻度を延長 (3 か月→6 か月)。
- ・ システム点検の頻度を延長し機能点検に統合 (1 年→2 年)。

今後より精緻な情報を収集・整理することにより、さらに正確な分析が可能になると考えられる。また、設備全体としての保全管理基準を統合的に管理、PDCA を回していくことで、より効率的・合理的な設備保全が実現できるものと考えられる。

5. 結言

本稿のまとめを以下に示す。

- ・ 試験ユニットが所管する宇宙機環境試験設備について、保全費の費用対効果最大化を志向し、保全項目や保全周期の有効性を過去の不具合実績等から定量的に評価する実力基準保全の手法を取り入れた保全改善の取り組みを行った。
- ・ 保全実績を整理するとともに構成装置単位での想定不具合モードを過去の不具合履歴やFMEA等から洗い出すことにより、ワイブル分析に基づく不具合モード別の発生確率の定量的評価、並びに不具合発生時の想定損失コストを考慮したリスクの定量評価を行うことができた。また、分析の結果として小型振動試験設備では日常点検の頻度を倍に延長する等、設備信頼性の定量評価並びにその信頼性を維持した状態での保全費用の削減に寄与することができた。
- ・ 今後より精緻な情報を収集・整理し保全改善の取り組みを保全管理基準として統合的に管理、PDCAを回していくことで、より効率的・合理的な設備保全が実現できるものと考えられる。本稿で示した保全改善の取り組みは宇宙分野のみならず、環境試験設備のような比較的稼働率だが高信頼性が要求される設備等で応用することが可能であると考えられることから、本稿が他設備にて同様・類似の活動を行う際の参考として資することを期待する。

なお、試験ユニットでは今後もこれらの設備を効率的かつ確実に維持するとともに環境試験に関わる技術・設備を宇宙開発のみならず産業界へと利用拡大していくことを目指し、2020年度より民間活力を用いた官民連携の手法による環境試験設備等の維持・運営及び運転ならびに利用拡大事業を開始した⁷⁾。これからも設備保全の一層の効率化、及び高度化・複雑化するミッション要求へと応えていくべく、設備及び試験技術の研究開発並びに設備保全の適切なサーベイランスを行っていく。

参考文献

- 1) MIL-HDBK-340A, VOL II, p8, Figure 1, April 1999.
- 2) 坂井 信介, リスクベースメンテナンスによる保全計画の合理化, オペレーションズ・リサーチ, 2012年9月号
- 3) 釜谷 昌幸, 実力基準保全による検査頻度の合理化(確率論的破壊力学による機器破損確率への影響評価), 日本機械学会論文集 Vol.83, No.856, 2017
- 4) 嶋崎 信吾, 梶川 隆史, 施 勤忠, 宇宙機の地上試験設備における保全方法改善の取り組み, 日本保全学会 第13回学術講演会, 2016
- 5) JAXA, 環境試験信頼性要求ハンドブック, JERG-2-130-HB006, 2017
- 6) 電力中央研究所, ベイズ統計による原子力発電所の信頼性パラメータ評価手法—機器時間故障率・デマンド故障確率のベイズ更新—, 電力中央研究所報告, L05019, 2006
- 7) JAXA プレスリリース, 官民連携による、JAXA 筑波宇宙センターの「環境試験設備等の運営・利用拡大事業」の開始について～日本最大級の環境試験設備を提供しものづくり産業の発展を支援～, 2020, https://www.jaxa.jp/press/2020/06/20200612-2_j.html

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-20-001
JAXA Research and Development Memorandum

**宇宙機環境試験設備の保全有効性評価による費用対効果最大化に向けた
取り組み**

Initiatives to Maximize Cost Performance by Evaluating Maintenance Effectiveness of
Spacecraft Environmental Test Facilities

発 行 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1
URL: <http://www.jaxa.jp/>

発 行 日 2020年8月28日
電 子 出 版 制 作 松枝印刷株式会社

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。
Unauthorized copying, replication and storage digital media of the contents of this publication, text and images are strictly
prohibited. All Rights Reserved.

