

第11章 機械の製品コスト及びメンテナンスと標準

本資料は、経済産業省委託事業である「平成17年度基準認証研究開発事業(標準化に関する研修・教育プログラムの開発)」の成果である。

制作日:2007年12月25日
制作:THK(株)技術開発統括部 顧問
吉岡武雄

- 1 標準が機械の製品コスト及びメンテナンスにおいて果たしている役割を考える。
- 2 機械のメンテナンスに関する標準を把握し、機械システムのメンテナンスの方式や経済効果を理解する。
- 3 機械システムの故障への対応としての異常検出・診断法を学習する。
- 4 機械のメンテナンスに関係する診断技術者認定制度について最近の国際的な動きを知る。
- 5 国際的に重要視されている環境問題の解決に向けた研究開発の現状を学ぶ。

1. 製品コスト及びメンテナンスにおける標準化の意義
 2. 機械部品の寸法に関する標準
 3. 機械部品の材料に関する標準
 4. 機械のメンテナンスに関する標準
 5. 機械のメンテナンスとは
 6. メンテナンス方式とその応用における考え方
 7. 状態監視メンテナンス法の実例
 8. ISOにおける機械の診断技術者認定制度の動き
 9. 環境負荷低減に向けた研究開発
- 参考資料



p. 3

◆ 解説

本編では、機械の製品コストおよびメンテナンスと標準の関係について紹介する。ここで、機械のメンテナンスとは、活動する機械を使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを回復するためのすべての処置及び活動のことである。

本編の内容と順序は、次のとおりである。

1. 製品コスト及びメンテナンスにおける標準化の意義
2. 機械部品の寸法に関する標準
3. 機械部品の材料に関する標準
4. 機械のメンテナンスに関する標準
5. 機械のメンテナンスとは
6. メンテナンス方式とその応用における考え方
7. 状態監視メンテナンス法の実例
8. ISOにおける機械の診断技術者認定制度の動き
9. 環境負荷低減に向けた研究開発

1. 製品コスト及びメンテナンスにおける標準化の意義 標準化と機械の製品コスト

機械構成部品の寸法や材質などの
標準化



部品の大量生産を可能に
品質の安定と低価格の実現



機械の信頼性の向上と低コスト化

4

p. 4

◆ 解説

標準と機械の製品コストの関係については、機械を構成する部品の寸法や材質などが標準化されることにより、部品の大量生産が可能となり、大量生産によって品質が安定し、価格の低廉化につながる。その結果、機械そのものの信頼性が向上するとともに機械の製作コストを低減することができる。

1. 製品コスト及びメンテナンスにおける標準化の意義 標準化と機械のメンテナンスコスト

機械構成部品の寸法や材質などの
標準化



部品の**互換性**の実現



機械の**メンテナンスの容易化と低コスト化**

5

p. 5

◆ 解説

さらに、機械構成部品の寸法や材質の標準化によって、機械部品の互換性が実現し、機械の構成部品が破損したときには交換が容易になり、メンテナンス作業が簡単化し、その結果として機械の休止時間を短縮でき、メンテナンスコストを低く抑えることができる。

2. 機械部品の寸法に関する標準 ねじ

■ ねじ

- JIS B 0143:1985 ねじ部品各部の寸法の呼び及び記号
- JIS B 0205-4:2001 一般用メートルねじ-第4部:基準寸法
- JIS B 0209-2:2001 一般用メートルねじ-公差-第2部:一般用おねじ及びめねじの許容限界寸法-中(はめあい区分)
- JIS B 0209-3:2001 一般用メートルねじ-公差-第3部:構造体用ねじの寸法許容差
- JIS B 0209-4:2001 一般用メートルねじ-公差-第4部:めっき後に公差位置H又はGにねじ立てをしためねじと組み合わせる溶融亜鉛めっき付きおねじの許容限界寸法

など 10件

p. 6

◆ 解説

機械部品の寸法についての標準の例をいくつか示す。

ねじの種類に応じて標準が決められており、ここに示すものを含めて10件の規格がある。

2. 機械部品の寸法に関する標準 歯車・転がり軸受

■ 歯車

- ・ JIS B 1701-1:1999 円筒歯車-インボリュート歯車歯形 第1部:標準基準ラック歯形
 - ・ JIS B 1701-2:1999 円筒歯車-インボリュート歯車歯形 第2部:モジュール
- など9件



■ 転がり軸受

- ・ JIS B 1512:2000 転がり軸受-主要寸法
 - ・ JIS B 1536:1999 転がり軸受-針状ころ軸受-主要寸法及び精度
- など4件

p. 7

◆ 解説

同じく機械部品の寸法については、転がり軸受に関する規格が4件、歯車に関するものが9件作成されている。

3. 機械部品の材料に関する標準 ねじ・すべり軸受・転がり軸受

機械部品に特定した材料に関する標準は多くない。

■ ねじ

- ・ JIS G 3507-2:2005 冷間圧造用炭素鋼-第2部:線

■ すべり軸受

- ・ JIS H 5401:1958 ホワイトメタル

■ 転がり軸受

- ・ JIS G 4805:1999 高炭素クロム軸受鋼鋼材

など

p. 8

◆ 解説

機械部品の材料に関する規格はそれほど多くはなく、ここに示すようにねじやすべり軸受、転がり軸受に関するものがある。

4. 機械のメンテナンスに関する標準 メンテナンス方式

機械のメンテナンスに関する標準も多くはない。

■ メンテナンス方式に関する標準

- ・ JIS Z 8115:2000 ディペンダビリティ(信頼性)用語
- ・ JIS Z 8141:2001 生産管理用語

など

JIS 規格票
(例: JIS Z 8115:2000)



9

p. 9

◆ 解説

機械のメンテナンスに関する標準は多くはない。メンテナンスに関する用語が次の二つの規格に定義されている。

JIS Z 8115:2000 ディペンダビリティ(信頼性)用語ではメンテナンス一般についての用語が定義され、JIS Z 8141:2001 生産管理用語ではメンテナンスをメンテナンス活動の視点から定義されている。

◆ 参考資料

- 1) JIS Z 8141 生産管理用語
- 2) JIS Z 8115 ディペンダビリティ

5. 機械のメンテナンスとは 保全・保守（メンテナンス）の定義

■ 保全・保守（maintenance）の定義

アイテム(※)を使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを回復するためのすべての処置及び活動。

[JIS Z 8115:2000 ディペンダビリティ(信頼性)用語]

※ アイテム(item)とは？

ディペンダビリティの対象となる、部品、構成品、デバイス、装置、機能ユニット、機器、サブシステム、システムなどの総称又はいずれか。

- 機械システムは使用によって**実体機能(実際の性能)**が低下(劣化)する。



- 性能の劣化に対処するのが**保全・保守(メンテナンス)**

10

p. 10

◆ 解説

JIS Z 8115:2000 ディペンダビリティ(信頼性)用語では、メンテナンスを「アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを回復するためのすべての処置及び活動」と定義しており、ここで言う「アイテム」は機械を指している。

機械は、生産活動の開始時点で可動部におけるなじみによって一時的に実体機能すなわち性能が良くなることもあるが、活動時間が経過するうち可動部の構成部品などに劣化を生じ、性能の低下として現れる。性能の劣化に対処することをメンテナンスと呼んでいる。

◆ 参考資料

- 1) JIS Z 8115:2000 ディペンダビリティ(信頼性)用語

実体機能とメンテナンス

〔図版掲載許諾申請中〕

p. 11

◆ 解説

メンテナンスの標準の解説に入る前に、メンテナンスの考え方を簡単に述べてみる。

機械の実体機能とメンテナンスの関係を概念図で表わすと、このようになる。すなわち、機械は要求機能すなわち必要とされる性能をもとに製造される。そのときに、要求機能が実体機能として具現される。実体機能が機械の使用時間とともに構成部品の劣化によって低下する。メンテナンスを行わないでそのまま使用を継続すると、実体機能が低下を続け、当初求められた要求機能を下回ることになる。

状態監視保全すなわち状態監視メンテナンスでは、実体機能を反映するパラメータを監視し、実体機能が要求機能まで低下しないうちに必要な修正・修理を行う。

状態監視を行っていても予兆が認識できず、突如実体機能が要求機能を下回る故障に遭遇することがある。この場合は、事後保全、事後メンテナンスとして修理を行い、要求機能を上回るように実体機能を回復する。

改良保全では、従前を上回る要求機能が使用の途中で要請されたとき、これに応えるためになされる実体機能向上の作業である。

◆ 参考資料

- 1) 木村好次:メンテナンス・トライボロジーの現状と課題, トライボロジスト, Vol.39, No.7(1994)p.553-558.
- 2) 木村好次:メンテナンスとトライボロジー, トライボロジスト, Vol.31, No.5(1986)p.287-290.
- 3) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.773.

5. 機械のメンテナンスとは

生産活動の観点から見たメンテナンス

■ 要求機能に基づいて設計・製造された機械システムが生産活動をする。

■ 生産活動の中で機械システムの実体が劣化する。



■ メンテナンスの具体的な内容は、

- ① 実体の劣化を属性について監視し、
- ② 実際の性能と要求性能とを比較し、
- ③ 修正の要否を決定する診断を行い、
- ④ 保全作業を通じて要求機能を満足する実体に修正する。



12

p. 12

◆ 解説

メンテナンスを生産と対比してみると、次のようになる。要求機能に従って機械の設計が行われ、設計に際して機械に形状や寸法などの属性が加えられる。それらが製造を通じて機械の実体、形状や寸法、性能として具現化され、生産に供される。

生産活動をする機械は、大局的に見れば、活動開始時点から構成部品の劣化が始まり、実体に変化する。実体が変わると、それに対応して実体属性が変化する。実体属性を反映したパラメータ、例えば温度あるいは振動、生産量や製品の品質などを監視することによって、そのときの実体機能を推測することができる。

推測される実体機能と要求機能を比較し、前者が後者を上回っていれば、問題なく機械を使用することができる。もし、前者が後者を下回る兆候が認められたときには、機能の修正を決め、修正量を決定することになる。このように、実体機能と要求機能を比較・検討し、必要な処置を確定するのが診断である。

診断に基づいた保全作業によって機械の実体機能が要求機能を越えて回復され、新たな実体となって生産活動に復帰する。

ここから分かるように、メンテナンスは生産に付随する、一体不離の関係にある。

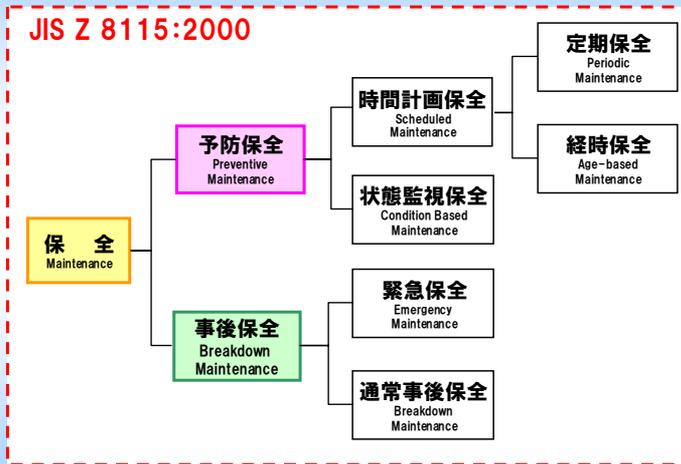
また、メンテナンスの内容を具体的に見ると、監視、診断、保全作業が含まれる。

◆ 参考資料

- 1) 木村好次:メンテナンス・トライボロジーの現状と課題, トライボロジスト, Vol.39, No.7(1994)p.553-558.
- 2) 木村好次:メンテナンスとトライボロジー, トライボロジスト, Vol.31, No.5(1986)p.287-290.
- 3) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.774.

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 メンテナンスの方式 ①

■ 保全(メンテナンス)の管理上の分類



保全:アイテム(機械システム)を使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを回復するためのすべての処置及び活動。

予防保全:アイテムの使用中の故障の発生を未然に防止するために、規定の間隔又は基準に従って遂行し、アイテムの機能劣化又は故障の確率を低減するために行う保全。

事後保全:フォールト(故障)発見後、アイテムを要求機能遂行状態に修復させるために行われる保全。

13

p. 13

◆ 解説

実際に行われているメンテナンスの方式は、JIS Z 8115によると、この図のように分類される。

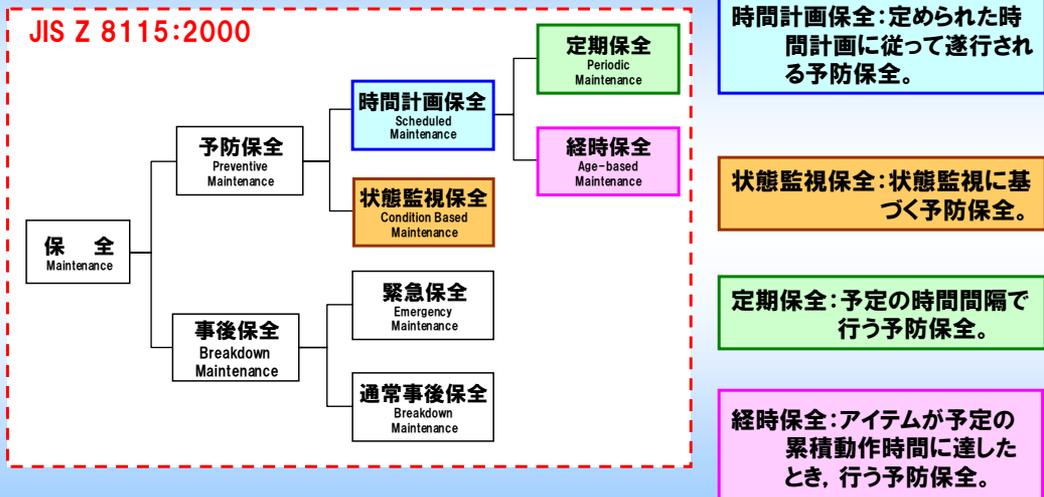
保全すなわちメンテナンスは、最初に予防保全と事後保全に大別される。保全は、既に述べたように、「アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを回復するためのすべての処置及び活動」と定義されており、予防保全は「アイテムの使用中の故障の発生を未然に防止するために、規定の間隔又は基準に従って遂行し、アイテムの機能劣化又は故障確率を低減するために行う保全」、事後保全は「フォールト(故障)発見後、アイテムを要求機能遂行状態に修復させるために行われる保全」と定義されている。

◆ 参考資料

- 1) JIS Z 8115 ディペンダビリティ

メンテナンスの方式 ②

■ 保全(メンテナンス)の管理上の分類



14

p. 14

◆ 解説

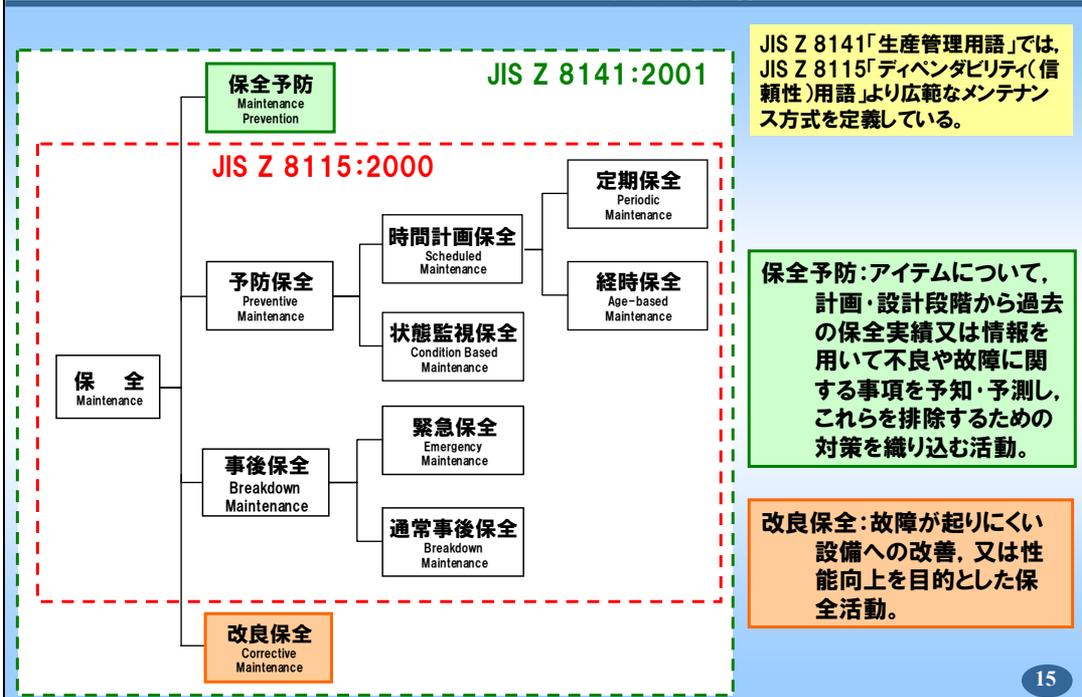
予防保全は、時間計画保全と状態監視保全に分かれ、それぞれ「定められた時間計画に従って遂行される予防保全」と「状態監視に基づく予防保全」と定義されている。時間計画保全は、さらに定期保全と経時保全に分類されている。定期保全は「予定の時間間隔で行う予防保全」であり、経時保全は「アイテムが予定の累積動作時間に達したとき、行う予防保全」となっている。

事後保全は、緊急保全と通常事後保全に細分されているが、定義がされていない。保全作業が緊急を要するものと、そうでないものを意味していると考えられる。

◆ 参考資料

- 1) JIS Z 8115 ディペンダビリティ

メンテナンスの方式 ③



p. 15

◆ 解 説

JIS Z 8141 生産管理用語では、JIS Z 8115 ディペンダビリティで示されているメンテナンス方式に保全予防と改良保全を加えている。そして、保全予防は「アイテムについて、計画・設計段階から過去の保全実績又は情報を用いて不良や故障に関する事項を予知・予測し、これらを排除するための対策を織り込む活動」、改良保全は「故障が起りにくい設備への改善、又は性能向上を目的とした保全活動」と定められている。

これらのメンテナンス活動は、機械のライフサイクルコストミナム、すなわち機械の製造から廃棄までに要する費用を最小にしようとする考えに基づいて付け加えられたと思われる。

◆ 参考資料

- 1) JIS Z 8141 生産管理用語
- 2) JIS Z 8115 ディペンダビリティ

メンテナンス戦略とは ①

- 製鉄所、ジェット機などの機械システムは膨大な数の機械部品から構成されている。



- 機械部品は、それぞれ多種類の破損モードと破損の進行過程を持っている。
- したがって、機械システムのメンテナンスを実施するには、機械部品ごとに最適メンテナンス方式を採用することが大切である。



- 機械システム全体について、合理的なメンテナンスを実施する方法を検討することを「戦略」と呼ぶ。

p. 16

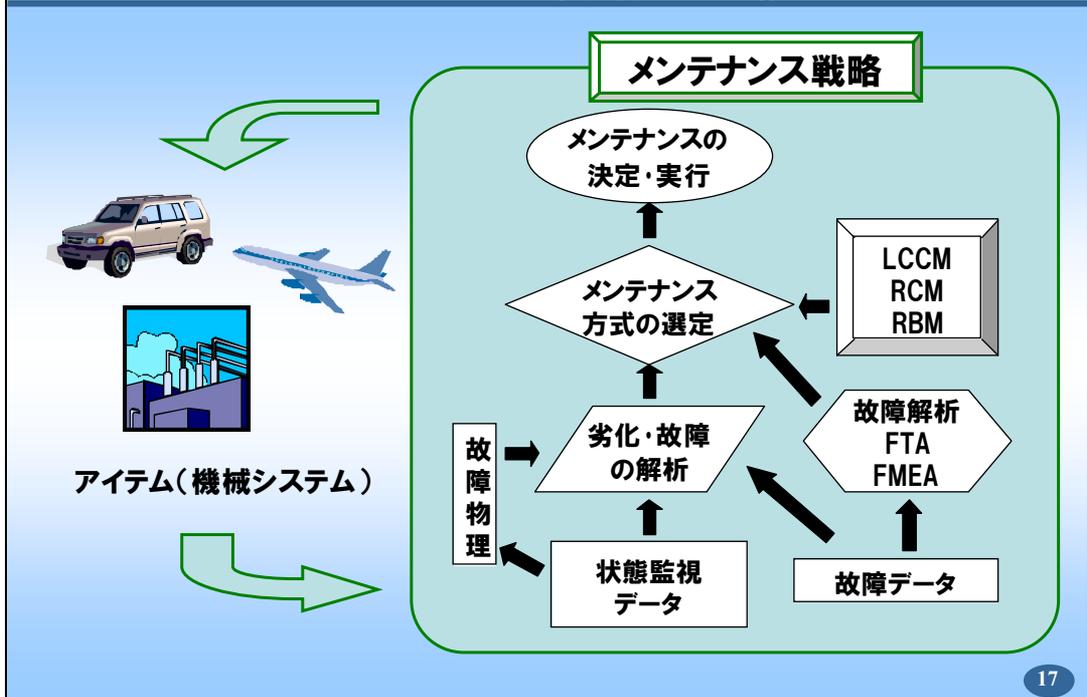
◆ 解説

製鉄所やジェット旅客機などの機械は膨大な数の機械部品から構成されている。それぞれの部品がいろいろな損傷モードを有しているので、部品単位で機械をメンテナンスすると大変難しい問題が生じる。そこで、機械全体を大局から見てどのようにメンテナンスをするかを検討し、実践することが課題となる。この課題に応え、機械の合理的なメンテナンスの実施方法を検討するのがメンテナンスの戦略である。

◆ 参考資料

- 1) 木村好次:メンテナンス・トライボロジーの現状と課題, トライボロジスト, Vol.39, No.7(1994)p.553-558.
- 2) 木村好次:メンテナンスとトライボロジー, トライボロジスト, Vol.31, No.5(1986)p.287-290.
- 3) 似内昭夫:メンテナンストライボロジーの現況, トライボロジスト, Vol.46, No.12(2001) p.914-921.

メンテナンス戦略とは ②



p. 17

◆ 解説

メンテナンスの戦略に関する内容の関係を概括的に示したのがこの図である。図に示すように現状を示すデータの収集と解析に始まり、過去のデータとその解析から得られた故障解析の結果や、機械を故障に至らしめる構造変化又は内部状態変化のメカニズムと原理を対象とする故障物理を参照しながら、メンテナンス方式の決定と実行が行われる。メンテナンス方式の決定の基盤には、ライフサイクルコストミニマム(LCCM)やリライアビリティセンタードメンテナンス(RCM)、リスクベースインスペクション(RBI)、リスクベースメンテナンス(RBM)の考え方がある。

ここに出てくる用語については以下に説明する。

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 メンテナンス戦略の基本に関する用語

■ LCCM (Life Cycle Cost Minimum)

機械システムの生涯費用を最小にすること。

■ RCM (Reliability Centered Maintenance)

故障の影響度解析と、その結果を用いたメンテナンス方式決定ロジック解析から最適なメンテナンス方式を決定する方法。

■ RBI (Risk Based Inspection)

■ RBM (Risk Based Maintenance)

リスクを基準に検査及びメンテナンス(検査, 補修, 改造, 更新など)の計画を作る方法。

p. 18

◆ 解説

ライフサイクルコストミニマム(LCCM)は先に述べたように機械が設計・製造される段階から廃棄までの機械の生涯にかかる費用を最小にしようとする考え方を意味している。設計・製造過程のコストを低く抑えるだけでなく、生産活動中のメンテナンスコストや廃棄に至る過程でのリサイクルを含めたコストをいかにして最小にするかを目標にしている。

リライアビリティセンタードメンテナンス(RCM)は、故障部品の機械全体への影響度を解析し、影響度を考慮して最適なメンテナンス方式を決定する方法である。

リスクベースインスペクション(RBI)とリスクベースメンテナンス(RBM)は、リスクを基準に検査とメンテナンスを決定する方法である。これについては、例を後に示す。

◆ 参考資料

1) 似内昭夫:メンテナンストライボロジーの現況, トライボロジスト, Vol.46, No.12(2001)
p.914-921.

故障解析に関する用語

■ **FTA** (Fault Tree Analysis) : フォールトの木解析

下位アイテム又は外部事象, 若しくはこれらの組合せのフォールトモードのいずれかが, 定められたフォールトモードを発生させ得るかを定めるための, フォールトの木形状で表された解析。

■ **FMEA** (Failure Mode Effect Analysis) : フォールトモード・影響解析

あるアイテムにおいて, 各下位アイテムに存在し得るフォールトモードの調査, 並びにその他の下位のアイテム及び元のアイテム, さらに, 上位のアイテムの要求機能に対するフォールトモードの影響度の決定を含む定性的な信頼性解析手法。

[出所: JIS Z 8115:2000 ディペンダビリティ(信頼性)用語]

p. 19

◆ 解説

故障解析に関する用語については, フレームの通りである. これらの定義は, 「JIS Z 8115 ディペンダビリティ(信頼性)用語」に示されている.

6. メンテナンス方式とその応用における考え方

メンテナンスにおける主要な用語

■ 信頼性 (reliability)

アイテムが与えられた条件の下で、与えられた期間、要求機能を遂行できる能力。

■ 保全性 (maintainability)

与えられた使用条件で、規定の手順及び資源を用いて保全が実行される
とき、アイテムが要求機能を実行できる状態に保持されるか、又は修復
される能力。

[出所: JIS Z 8115:2000 ディペンダビリティ(信頼性)用語]

p. 20

◆ 解説

メンテナンスにおいてよく使用される用語について紹介する。用語の定義はフレームにあるとおりであり、これらの用語も「JIS Z 8115 ディペンダビリティ(信頼性)用語」に定められている。

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 メンテナンス方式の適用にあたって

■ メンテナンスにおける信頼性・保全性・経済性の検討

メンテナンスにおける信頼性・保全性・経済性の検討（表）

〔図版掲載許諾申請中〕

p. 21

◆ 解説

これは、メンテナンス方式の適用に際して考慮される視点とそこで選定されるメンテナンス方式を示している。まず視点として挙げられる点は、信頼性の向上、保全性の向上及び経済性の向上である。信頼性の向上と保全性の向上の視点については、表の中に主要なポイントを例として示されており、経済性の向上では、部品費や作業費を含む保全費と故障の発生に伴う生産停止から生じる劣化損失、機械の製造費などの合計として評価することが示されている。そして、これらの視点から推奨されるメンテナンス方式が下の欄に示唆されている。

◆ 参考資料

1) 似内昭夫:メンテナンストライボロジーの現況, トライボロジスト, Vol.46, No.12(2001)
p.914-921.

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 故障率のパターンと理論分布形状及び理論式

故障率のパターンと理論分布形状及び理論式（表）

〔図版掲載許諾申請中〕

22

p. 22

◆ 解説

これは、メンテナンス方式の決定において参考とされる、診断対象のアイテム(部品, ユニット等)の故障に関する統計とその理論について概説した図である。故障密度関数が正規分布をする場合, 指数分布をする場合, ワイブル分布をする場合の3種類について示している。以前は, 故障密度関数がバスタブ曲線を示すとされてメンテナンス方式が検討されてきたが, 最近では故障密度関数がバスタブ曲線には従わないアイテムが多くあることが知られるようになり, これらの分布を考慮してメンテナンス方式を検討することを提起している。

その例として, アイテムの確率密度関数が推定されると, そこからMTTF(故障までの平均時間)が計算されるので, その計算値をめぐりにメンテナンス方式が選定され, またメンテナンス作業を計画することができる。

◆ 参考資料

1) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.779.

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 故障率のパターンと理論分布形状及び理論式における用語 ①

■ 信頼度 (reliability)

アイテムが与えられた条件の下で、与えられた時間間隔 (t_1, t_2) に対して、要求機能を実行できる確率。

■ 故障率 (failure rate) = 瞬間故障率 (instantaneous failure intensity)

当該時点でアイテムが可動状態にあるという条件を満たすアイテムの当該時点での単位時間当たりの故障発生率。

■ 故障までの平均時間 (mean time to failure)

故障までの時間の期待値。

[出所: JIS Z 8115:2000 ディペンダビリティ(信頼性)用語]

p. 23

◆ 解説

先のフレームの故障率のパターンと理論分布形状及び理論式に出てきた用語についてフレームに示したとおり概説する。

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 故障率のパターンと理論分布形状及び理論式における用語 ②

- **IFR分布** (increasing failure rate distribution)
故障率関数 $\lambda(t)$ が t の非減少関数である分布。
- **CFR分布** (constant failure rate distribution)
故障率関数 $\lambda(t)$ が時間 t に関わらず一定である分布。
すなわち, 指数分布。
- **DFR分布** (decreasing failure rate distribution)
故障率関数 $\lambda(t)$ が時間 t の非増加関数である分布。

[出所: JIS Z 8115:2000 デイペンダビリティ(信頼性)用語]

p. 24

◆ 解説

前のフレームと同様に, 故障率のパターンと理論分布形状及び理論式における用語についてフレームに示したとおり概説する。

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 RBMにおけるリスクマトリックスの例

■ リスク

RBMにおけるリスクマトリックスの例（表）

〔図版掲載許諾申請中〕

リスク = (故障・破損の起こりやすさ) × (起きた場合の被害の大きさ)

25

p. 25

◆ 解説

リスクベースドメンテナンス(RBM)の考え方を図に基づいて概説する。

リスクは(故障・破損の起こりやすさ)と(起きた場合の被害の大きさ)の積と定義されている。これを図に表わすとこの図のようになる。横軸に被害の大きさをとり、縦軸に起こりやすさをとり、それぞれを4つのレベルに分けて評価し、リスクをそれらのマトリックスで推定して、メンテナンスにおけるアイテムの優先順位やメンテナンス方式を決定する。

◆ 参考資料

1) 木原重光, 富士彰夫:メンテナンスの新方向としてのRBI・RBM, トライボロジスト, Vol.46, No.12(2001)p.922-928.

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 劣化・故障パターンによるメンテナンス方式の選定

劣化・故障パターンによるメンテナンス方式の選定

〔図版掲載許諾申請中〕

p. 26

◆ 解説

この図は、先の「故障率のパターンと理論分布形状及び理論式」より故障率のパターンを簡潔化し、メンテナンス方式の決定を直感的に説明したものである。

まず、寿命すなわち故障の予測性の視点から故障密度関数の分布を2つに分類し、時間基準保全と状態監視保全としている。状態監視保全については、劣化速度によってさらに3つに分類し、それぞれにふさわしい保全方式を提示している。

◆ 参考資料

- 1) 似内昭夫:メンテナンストライボロジーの現況, トライボロジスト, Vol.46, No.12(2001) p.914-921.
- 2) 日本トライボロジー学会:養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.777.
トライボロジーハンドブック,

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 トライボロジーによる改善の経済効果

項 目	イギリス	日本
	1966年 〔百万£〕	1970年 〔億円〕
摩擦減少によるエネルギー消費の節減	28	700
労働力の節減	10	1 200
潤滑油経費の節減	10	100
保全費, 部品交換費の節減	230	7 500
破損により生じる波及効果の節減	115	3 800
稼働率, 機械効率の向上による設備投資の節減	22	1 100
耐用年数の延長による設備投資の節減	100	5 500
合 計	515	19 900

27

p. 27

◆ 解 説

少し古いデータではあるが、メンテナンスをトライボロジーの視点から実施した場合にどの程度の経済効果があるかを調べた結果がこの表である。1970年の日本では、約2兆円の節約が可能であると推定されている。その内訳を見ると、①保全費、部品交換費の節減、②耐用年数の延長による設備投資の節減、③破損により生じる波及効果の節減すなわち破損による生産休止などで生じる損失の節減の順になっている。日本より少し前の1966年の英国の調査では、節約の推定総額が5億1千5百万ポンドとなっていて、内訳は①保全費、部品交換費の節減は日本と同じであるが、②と③の順序が逆転している。

節減を金額で見ると、国相互の比較が困難なので、国民総生産のGNPとの比較で示したのが次の表である。

◆ 参考資料

1) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編,

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 トライボロジーによる改善の経済効果とGNP比

国 (調査年)	推進団体	トライボロジー改善による節約	GNP 比, %
英 (1966)	教育科学省 -技術省	5.15億£ (5 000億円)	1.3
日 (1970)	機械振興協会 -日本潤滑学会	1.99兆円	2.6
西独 (1976)	連邦研究技術省	50億マルク (5 000億円)	0.5
(1977) 米	海軍研究所・ エネルギー省 -ASME, MTI	160億\$ (3.9兆円) ●全米エネルギー消費の11%	0.84
(1981) 見直し		210億\$ (5.1兆円) ●全米エネルギー消費の5.3%	0.79

p. 28

◆ 解 説

推計の仕方や調査の年に相違があるので単純には言えないが、表を見る限りでは日本のGNPに対する比率が最も高い。言い換えると、他の国々に比べて日本ではメンテナンスが遅れているといえなくはない。

◆ 参考資料

1) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編,

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 現場における機械システムの故障要因

現場における機械システムの故障要因(統計)

〔図版掲載許諾申請中〕

p. 29

◆ 解説

ここからは、トライボロジーに関係したメンテナンスの実態に話を移そう。

これは、潤滑油協会が1995年にまとめたメンテナンスに関する実態調査の結果である。18業種511事業所の回答によるものであるが、潤滑がらみすなわちトライボロジーに関係した原因で機械が故障した件数が全体の19%、ほぼ5件に1件を占めている。動力源・制御が原因の場合や構造が問題となった場合に比べてその半分程度ではあるが、少ないとはいえない。

◆ 参考資料

- 1) 潤滑油協会:潤滑管理効率化促進実態調査報告書, (1995)

6. メンテナンス方式とその応用における考え方 トライボロジーに起因して故障する機械システムの構成要素

トライボロジーに起因して故障する機械システムの構成要素(統計)

〔図版掲載許諾申請中〕

30

p. 30

◆ 解説

この図は、先の潤滑油協会の調査で、機械が故障を生じたときの要素・部品とそれらが故障で占める割合を示している。転がり軸受が最も多く、28%を占め、次に案内面・しゅう動面が13%で続いている。他のものは10%以下であるが、これらが10%を超え、特に転がり軸受が故障の原因となる頻度が高い。

転がり軸受は、他の機械部品に比べて特別壊れやすいわけではないが、使用されている数が他の機械部品に比べて桁違いに多く、故障率が同じであっても数の効果として故障の原因になる割合を高めている。また、転がり軸受の場合、他の部品にはない、寿命を推定する式が確立されていて信頼性が高いことが災いし、限界に近い条件で使用されることが多いことも故障の割合を高める原因となっている。

◆ 参考資料

- 1) 潤滑油協会:潤滑管理効率化促進実態調査報告書, (1995)

7. 状態監視メンテナンス法の実例 現場で使用されている状態監視法

■ 状態監視メンテナンスが主流に

現場で使用されている状態監視法(統計)

〔図版掲載許諾申請中〕

31

p. 31

◆ 解説

このような部品の故障に対処するために実施されているメンテナンス方式では、状態監視メンテナンスが主流となってきている。事後保全や時間計画保全では対処できない用途では、状態監視メンテナンスがとりわけ重要である。

実際には、この図に示すように、いろいろな状態監視法が適用されている。既に述べたように部品の故障モードが多数存在し、それらに対応できる情報媒体も必然的に多種類にならざるを得ない事情がある。それにしても、振動法と油分析法を合わせると75%、3/4を占めており、有力な状態監視法となっている。

以下に、状態監視法のいくつかを簡単に紹介する。

◆ 参考資料

- 1) 潤滑油協会:潤滑管理効率化促進実態調査報告書, (1995)

7. 状態監視メンテナンス法の実例

振動法の例

■ 振動法

- 機械システムに加速度センサなどを取り付ける。
- 検出信号を時間領域で処理。
- 実行値, 波高値, ひずみ度, とがり度などを求め, それらの値の経時変化又は値そのものから正常あるいは異常の判定を行う。
- 信号を周波数領域で解析し, 異常部品の特定も行う。

振動法

〔図版掲載許諾申請中〕

2

p. 32

◆ 解説

これは, 状態監視法で最も一般的な振動法について示している。

監視対象の機械部品に振動センサを取り付け, 振動の速度や加速度を検出する。速度や加速度の時間的な変化を観測し, その変化から異常の発生を検知したり, 検出信号を周波数解析し, 異常発生部位の推定を行ったりして, 診断に役立てている。

振動は, SN比に優れるなど異常検出能力が高く, いろいろの信号処理法の開発により多種類の部品の多くの故障モードの検出に対応できることから, 先の図のように広範囲の用途で使用されている。

右下の図は, 周波数解析によって得られたピークの周波数から損傷部品の損傷部位を推定した例である。

◆ 参考資料

1) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.801-805.

油分析法

■ 油分析法

- 潤滑油やグリースの性状を測定
- 潤滑油やグリースに含まれる摩耗粒子を分析。

フェログラフィ法

〔図版掲載許諾申請中〕

原子吸光分光分析法

〔図版掲載許諾申請中〕

発光分光分析法

〔図版掲載許諾申請中〕

p. 33

◆ 解説

ここでは、油分析法の三つの例を示す。いずれも摩耗粉を分析して、機械の中で摩耗を生じている部品とその状態を推定することに使用されている。

(a) フェログラフィ法は、機械から採取した潤滑油を磁場に対して傾斜したガラス板の上に流して摩耗粉を大きさの順に配列させたフェログラムを作成し、顕微鏡で摩耗粉の色や形状などを観察・分析して損傷部品を特定し、その状態を診断することに使用される。

(b) 原子吸光分光分析法は、摩耗粉を含む潤滑油を噴霧器を用いて炎の中に噴射し、過熱して原子状態にし、それに光を当てると摩耗粉の中に存在する原子によって固有の波長の光が吸収されるといった性質を利用して摩耗粉の組成と量を分析・測定し、組成から損傷部品を、量から損傷の程度を診断する方法である。

(c) 発光分光分析法は、摩耗粉をアークの中で過熱するとそれに含まれる元素に固有な波長の光を発生するので、その光を回折格子により分光して摩耗粉に含まれる元素を特定し、診断に役立てる方法である。

この他、油分析法には潤滑油の色や酸化の程度を測定し、潤滑油そのものの性質の変化から油の交換の判定に使用する方法もある。

◆ 参考資料

1) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.798-800.

7. 状態監視メンテナンス法の実例 AE (Acoustic Emission) 法

■ AE (Acoustic Emission) 法 [AE診断]

- AEとは、固体が変形あるいは破壊する際に、それまでに貯えられたひずみエネルギーが解放されて弾性波が生じる現象。
- ヒトでは認識不能な50kHz以上の超音波領域の弾性波信号を検出。



測定装置の構成例

AE法による測定結果例

[図版掲載許諾申請中]

34

p. 34

◆ 解説

AE(アコースティックエミッション)法は、まだあまり普及をしていないが、振動で検出できない潤滑状態の評価や転がり疲れ損傷の検出・予知への応用が期待されている。この方法は、振動と同様に監視対象にセンサを取り付け、発生する高周波の信号を検出・処理し、信号のエネルギーの大きさや時間的变化、信号発生源の測定から潤滑状態や異常の検出、異常部品の特定を行うことができる。

左の図はAE法における測定装置の構成例である。大まかに、AEセンサと、信号処理装置、データの収集・記録をするコンピュータからなっている。右上の図は、転がり軸受の転がり疲れの損傷検出における測定例で、下の振動加速度の増加が始まる前からAEの発生が認められ、損傷の発生予知に使用できる可能性を示している。

◆ 参考資料

1) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.806-809.

7. 状態監視メンテナンス法の実例 RI (Radio Isotope) 法

■ RI (Radio Isotope) 法

- RIとは、構造が不安定なため時間とともに放射性崩壊していく原子(原子核)。放射性同位体とも言う。
- RIをトレーサとしてオンラインで摩耗検出する手法。

・ RI法による測定装置の構成例

・ RI法による測定結果の例

〔図版掲載許諾申請中〕

35

p. 35

◆ 解説

RI(ラジオアイソトープ)法は、自動車エンジンのしゅう動部の摩耗を測定するなど他の方法では測定できない用途で活用されている。具体的には、中性子や陽子などを衝突させて放射化した試料をエンジンしゅう動部の一部に埋め込み、そこで発生する放射線をエンジン外部に設置した放射線検出器(シンチレーションプローブ)で測定する方法やしゅう動部を潤滑する油に分散する摩耗粉の放射線を測定する方法で行われている。

測定装置の構成例を左図に示す。

右の図は、転がり軸受の転がり疲れの実験に応用されて例で、軸受を潤滑する油に分散した摩耗粉の放射線強度が疲れ損傷の発生とよく対応しているのがわかる。

◆ 参考資料

1) 日本トライボロジー学会:トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.809-811.

8. ISOにおける機械の 診断技術者認定制度の動き ①

■ ISO/TC108/SC5では、機械の状態監視と診断に関するISO化を進めており、「診断技術者認定制度」の確立を目指している。これに関する8つのISO規格が既に制定されている。

- ISO 13380 機械の状態監視と診断 性能データを用いた診断に関する一般指針
- ISO 13374-1 機械の状態監視と診断 データ処理、解析及び表示の一般指針
- ISO 17359 機械の状態監視と診断 一般指針
- ISO 18436-2 機械の状態監視と診断 認証と訓練 パート2 振動状態監視と診断
- ISO 13379 機械の状態監視と診断 データの解釈と診断手法
など

p. 36

◆ 解説

最近のメンテナンスに関わる世界的な動向の一つとして、ISOにおいて機械の診断技術者認定制度の確立の動きが活発化している。これについて簡単に紹介する。

この制度確立についてはISO TC108 SC5で審議が行われており、現在までに8つのISOが制定されている。それらの一部を示すと、

ISO 13380 機械の状態監視と診断 性能データを用いた診断に関する一般指針

ISO 13374-1 機械の状態監視と診断 データ処理、解析及び表示の一般指針

ISO 17359 機械の状態監視と診断 一般指針

ISO 18436-2 機械の状態監視と診断 認証と訓練 パート2 振動状態監視と診断

ISO 13379 機械の状態監視と診断 データの解釈と診断手法

である。

この制度は機械の診断技術者の育成と技術レベルの均一化をグローバルに遂行しようという考えに基づいているものと思われる。

8. ISOにおける機械の 診断技術者認定制度の動き ②

■ 認定制度としては、

● 振動

については国内で既に実施されており、他に

● トライボロジー(油の分析など)

● 電流(電気機械)

● 温度

● AE (Acoustic Emission)

● 超音波音響 (Ultrasound)

などの検討が進んでいる。

p. 37

◆ 解 説

制定されたISOに対応して、振動による診断技術者認定制度が機械学会に創設され、2004年度から認定作業が開始されている。

振動に続いて、トライボロジー(油分析)、電流(電気機械)、温度、AE、超音波音響による機械の診断技術者認定制度に関する審議が進行しており、ここ数年のうちにこれらに関する制度が国内でも発足し、認定事業が進むものと思われる。

9. 環境負荷低減に向けた研究開発 研究開発例

■ 機械システムのトライボロジーに関する 2つの例について

- 鉛フリー

鉛公害の問題



鉛を含まないすべり軸受材料の研究開発

- 代替フロン

フロンのオゾン層
破壊の問題



代替フロンに対する潤滑技術の開発

p. 38

◆ 解説

最後に、環境負荷低減に向けた技術開発に関連して、機械のメンテナンスと密接な関係にあるトライボロジー分野の例を2つ紹介する。

一つ目は鉛公害に端を発した鉛フリーにおける技術開発で、鉛を含まないすべり軸受材料開発について述べる。2つ目はオゾン層の破壊を抑制するための代替フロン冷媒に関わる潤滑技術の開発についてである。

いずれも、機械を構成する要素のトライボロジーに関する問題があり、寿命や性能において機械のメンテナンスに関わる問題でもある。

9. 環境負荷低減に向けた研究開発 すべり軸受材料の研究開発

■ 鉛を含まない銅合金の開発

・鉛を含まない銅合金の開発

〔図版掲載許諾申請中〕

p. 39

◆ 解説

すべり軸受材料には、大別してホワイトメタル系と銅合金系があり、これまで銅合金系に鉛が含まれていた。鉛はすべり軸受の耐焼付き性の向上に貢献してきたが、鉛に代わるものとして、耐焼付き性において似た性質をもつビスマス(Bi)の添加が試みられ、さらに炭化モリブデン(Mo_2C)を加えることによってこれまでの鉛を含む銅合金材料に近づいている。

すべり軸受材料に求められる主な要件には、耐焼付き性のほかに耐疲労性がある。ビスマスなどを添加した新しい材料はこの耐疲労性においては鉛を含むこれまでの材料を優に超えている。

このように、新しい材料の開発によって鉛フリーが着実に歩を進めつつある。

◆ 参考資料

1) 岡本 裕:すべり軸受における摩耗と疲労, トライボロジスト, Vol.47, No.8(2002) p.616-622.

9. 環境負荷低減に向けた研究開発 代替フロン対応の潤滑技術 ①

■ フロンに含まれるClがオゾンを破壊

Clが冷凍サイクルで良好な潤滑作用

- 代替フロンの開発
- 潤滑油の開発
- 冷媒圧縮機用しゅう動部材の開発

p. 40

◆ 解説

これまで、塩素(Cl)を含むフロンが冷蔵庫やエアコンなどの冷媒に使用されてきた。しかし、これが空気中に放出されると成層圏まで拡散して行き、塩素がオゾンを分解し、オゾン層が破壊されることが解明されてから、塩素を含むフロンの使用が全廃されつつある。実際、1996年にオゾンを破壊しやすい特定フロンが全廃された。

一方、フロンに含まれた塩素は冷凍機械において優れて潤滑作用を果たしてきた。それは、機械のしゅう動面の表面に塩化物膜を形成し、摩擦を低減させる作用を有していたからである。

現在、冷凍機械用に①塩素を含まない代替フロンの開発、②代替フロンに添加する潤滑剤の開発、③しゅう動部材の開発 の三つの分野から技術開発が進められている。

◆ 参考資料

- 1) 水原和行:代替フロン中の潤滑問題, トライボロジスト, Vol.38, No.5(1993) p.414-420.
- 2) 瀧川克也:冷凍サイクルにおけるトライボロジー, トライボロジスト, Vol.43, No.3(1998) p.183-186.

9. 環境負荷低減に向けた研究開発 代替フロン対応の潤滑技術 ②

■ 代替フロンの開発

フロンに近い性能の冷媒の開発と探索

CFC → HCFC → HFC → ?

	CFC12	HCFC22	HFC32
オゾン破壊係数(ODP)	1.0	0.05	0

■ 潤滑油の開発

代替フロン用の潤滑剤の開発

基油 ポリオールエステル(POE)

ポリアルキレングリコール(PAG)

アルキルベンゼン(AB)

41

p. 41

◆ 解説

代替フロンの開発では、オゾン層を破壊しない、すなわち塩素を含まない冷媒の探索と開発が進んでいる。CFC (chloro fluoro carbon) が既に全廃になったことは述べたが、現在、塩素を若干含むHCFC (hydro chloro fluoro carbon) や塩素を含まないHFC (hydro fluoro carbon) について、CFCに近い性能を有する冷媒の研究開発が進んでいる。

代替フロンの開発と並行して、代替フロン用の潤滑剤の開発も行われている。一つは冷媒と容易に溶けあう相溶性のある潤滑剤の研究開発であり、もう一方は非相溶性の潤滑剤開発である。前者の代表的なものがポリオールエステル (POE) とポリアルキレングリコール (PAG) であり、後者のそれはアルキルベンゼン (AB) である。

代替フロンやそれよりの潤滑剤の開発で、前進が見られるがまだフロンに代わるものが開発されてはいない。

◆ 参考資料

- 1) 水原和行: 代替フロン中の潤滑問題, トライボロジスト, Vol.38, No.5(1993) p.414-420.
- 2) 瀧川克也: 冷凍サイクルにおけるトライボロジー, トライボロジスト, Vol.43, No.3(1998) p.183-186.

9. 環境負荷低減に向けた研究開発 代替フロン対応の潤滑技術 ③

■ 冷媒圧縮機用しゅう動部材の開発

● 材料評価の例

冷媒・油・材質の違いによる焼付き発生温度

材 質	冷 媒	油	結 果
高速度工具鋼	R22	鉱油	210℃ → 焼付き発生
	R407C	エステル	190℃ → 焼付き発生
上記 + セラミックス膜			220℃ → 異常なし

42

p. 42

◆ 解 説

冷凍機械用のしゅう動材料の開発では、高速度工具鋼などが開発対象になっている。この表からわかるように、高速度工具鋼の表面にセラミックス膜を形成することによってHFCのR407Cに対しても焼付きを生じない、優れた材料が開発されつつある。

◆ 参考資料

- 1) 水原和行:代替フロン中の潤滑問題, トライボロジスト, Vol.38, No.5(1993) p.414-420.
- 2) 瀧川克也:冷凍サイクルにおけるトライボロジー, トライボロジスト, Vol.43, No.3(1998) p.183-186.

- (1) 製品コスト及びメンテナンスにおける標準化の意義
 - ・大量生産を可能にし、製品の品質の安定と低価格を実現
 - ・互換性を可能にし、メンテナンスの容易化と低コスト化を実現
- (2) メンテナンスの用語や方式及びメンテナンスの経済効果
 - ・メンテナンスの定義と必要性
 - ・メンテナンス方式の内容や適用、故障発生の理論的整理とメンテナンス方式の選定
 - ・トライボロジー技術適用によるメンテナンスへの経済効果
- (3) 機械システムの異常検出・診断法
 - ・振動法, 油分析法, AE法, RI法の理解
- (4) 機械のメンテナンスに関係する診断技術者認定制度
 - ・振動については, 既に制度を実施
 - ・トライボロジー (油分析法など), 電流, 温度(熱画像), AE, 超音波音響については
準備中
- (5) 環境問題の解決に向けた研究開発の例
 - ・鉛フリーとオゾン層破壊の進行抑制に向けた研究開発

p. 43

◆ 解説

(なし)

以下の文章について、空欄に適切な用語で埋めなさい。

- (1) 機械部品の寸法や材質などを (①) することによって、部品の (②) が可能になり、(③) が安定し、(④) が実現する。それによって、機械の (⑤) が向上し、低コスト化も実現する。
- (2) 機械システムの劣化・故障パターンによる保全方式の選択では、最初に寿命予測性について判別し、寿命予測が可能な場合は (⑥) 保全を、寿命予測が不能な場合は (⑦) 保全を選択する。さらに後者では、劣化速度により突発型と漸進型 (劣化速度未知)、漸進型 (劣化速度既知) に分類され、突発型では (⑧) 保全と改良保全が、漸進型 (劣化速度未知) では (⑨) 保全と (⑩) 保全、改良保全が、漸進型 (劣化速度既知) では (⑪) 管理と (⑫) 保全、(⑬) 保全、改良保全が選択される。
- (3) ISOに基づく国内の診断技術者認定制度は (⑭) について既に実施されている。

p. 44

◆ 解 説

(なし)

- (1) JIS Z 8115:2000に定義されている「保全(メンテナンス)」の管理上の分類について記述せよ。
- (2) 機械システムについて、実態機能(実際の性能)とメンテナンスの関係を図を用いて説明せよ。
- (3) JIS Z 8115:2000に定義されている用語の「信頼性」について記述せよ。

p. 45

◆ 解 説

(なし)

- 1) 木村好次;メンテナンス・トライボロジーの現状と課題, トライボロジスト, Vol.39, No.7 (1994) pp.553-558.
- 2) 木村好次;メンテナンスとトライボロジー, トライボロジスト, Vol.31, No.5 (1986) pp.287-290.
- 3) 日本トライボロジー学会;トライボロジーハンドブック, 養賢堂, (2001), メンテナンス編, p.773.
- 4) 似内昭夫;メンテナンストライボロジーの現況, トライボロジスト, Vol.46, No.12 (2001) pp.914-921.
- 5) 木原重光, 富士彰夫;メンテナンスの新方向としてのRBI・RBM, トライボロジスト, Vol.46, No.12 (2001) pp.922-928.
- 6) 潤滑油協会;潤滑管理効率化促進実態調査報告書, (1995)
- 7) 岡本 裕;すべり軸受における摩耗と疲労, トライボロジスト, Vol.47, No.8 (2002) pp.616-622.
- 8) 水原和行;代替フロン中の潤滑問題, トライボロジスト, Vol.38, No.5 (1993) pp.414-420.
- 9) 瀧川克也;冷凍サイクルにおけるトライボロジー, トライボロジスト, Vol.43, No.3 (1998) pp.183-186.



p. 46

◆ 解説

(なし)