

船用ディーゼルエンジンへの リスクベースメンテナンス適用の研究

石村恵以子*、高木 正英**、桐谷 伸夫***、永井 建夫****、
春海 一佳**

Study on Application of Risk-based Maintenance to Marine Diesel Engine

by

Eiko ISHIMURA, Masahide TAKAGI, Nobuo KIRIYA,
Tateo NAGAI and Kazuyoshi HARUMI

Abstract

Most machines including marine diesel engines and plants are operated while maintaining their functions and safety through inspection and maintenance. Under the present situations, time-based inspection and maintenance are generally adopted. However, more effective inspection and maintenance schemes that reflect on the economical efficiency are required. As one of the candidates, a risk-based inspection/maintenance (RBI/RBM) technique is introduced. This technique is regarded as efficient to maintain the machine and plant safety using the reasonable cost and manpower. At present, RBI/RBM has not been applied to marine diesel engines yet. In order to apply RBI/RBM to marine diesel engines, risk evaluation should be conducted first. In this paper, a risk evaluation of marine diesel engines was performed based on a database of ship failures.

* 海洋リスク評価系、** 動力システム系、*** 基盤技術 PT、**** 元海技研
原稿受付 平成22年11月15日
審査日 平成22年11月30日

目 次

1. はじめに	80
2. RBI/RBM の概要	81
3. 船用ディーゼルエンジンのリスク評価	83
3.1 船齢によるリスク評価	83
3.2 主要構成部品のリスク評価	84
3.3 リスク評価ソフトウェアの試作	91
4. まとめ	91
参考文献	92

1. はじめに

船用ディーゼルエンジンを含め、多くの機械やプラントは検査／保守を行うことによってその機能を維持し、安全性を確保した状態で運航・運転・稼働を行っている。検査／保守手法としては予め設定した間隔で行う時間基準型が一般的である。機械やプラントの構成機器・部品の故障が使用状況に関わらず全て同じ確率で発生し、同じ影響（被害）が発生する場合は構成機器・部品に対し時間基準型で検査／保守を行うのが効果的だが、現実にはそういった機械やプラントは存在しないため、過剰に検査／保守を行っている可能性がある。また、保守や検査時の作業ミス等による故障も考えられるため、過剰な保守や検査は不必要な故障を招く事に繋がりがかねない。さらに、近年は経済情勢などから検査／保守に対しても効率化が求められているとともに、検査／保守分野でも規制緩和が進んでいることから、新たな検査／保守導入の可能性が高まっていると言えよう。このような状況を背景として、限られた経済的あるいは人的資源の中で効率的に機械やプラントの安全性を保つ手法としてリスク基準型検査／保守手法（RBI/RBM：Risk Based Inspection / Risk Based Maintenance）の導入が進んでいる¹⁾。RBI/RBM、とはリスクの高低に応じて優先度をつけて検査／保守を行うものである。ここで言うリスクとは、機械やプラントの故障が起こる確率と故障が起きた場合の影響度（被害の大きさを定量化した値）の積で表わされるものである。故障の発生は、一般的にバスタブ曲線といわれる初期故障、偶発故障、摩耗故障からなる曲線に従うとされているが、使用条件や使用頻度などにより大きなばらつきがあると考えられている。バスタブ曲線を図-1に示す。故障が発生した場合の影響度は、「被害」を捉える観点によって、算出する指標が異なる。具体的指

標としては人的被害、環境被害、経済的被害など様々なものがある。人的被害は航空機や自動車などの交通手段の、環境被害は化学工場などの、そして経済的被害はほぼ全ての機械やプラントのリスクを評価する場合の指標として用いられる。

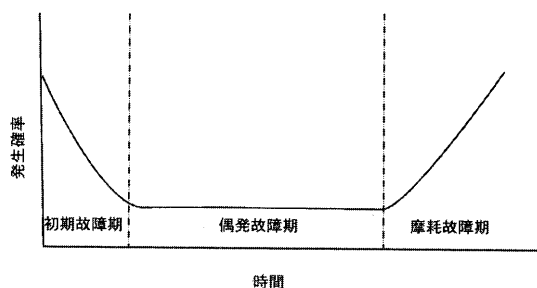


図-1 故障のバスタブ曲線

リスクを早くから活用している分野としては、保険商品（生命保険、損害保険等）がある。この場合のリスクとは、保険会社の視点に立ったリスクである。保険会社は、利潤を得ることのみが目的の営利企業と単純化して考えた場合、保険者から得られる保険料は利得であり、保険者が損害を被った場合に会社から支払われる保険料は、会社にとって損失である。従って、生命保険（例えば死亡保険）では、ある集団が一定期間に死亡する確率と会社にとっての保険料収入及び支出を「影響度」と捉え、保険料を算出することになる。各種統計調査²⁾によると、死亡率は乳幼児期を除き、一般的に年齢の増加と共に高くなる。そのため年齢に関わらず保険料を一律とした場合、保険料は死亡率が低い集団（若者）には割高になるが、死亡率が高い集団（年配者）にとっては割安になる。それを性別や年齢、既往歴なども勘案することにより、それぞれの集団にあった保険料が算出されることになる。損害保険（例えば自動車保険）などは、運転実績や事故実績から等級を定め、それにより保険料を決定する。

現在の主な船舶（ここでは、機関を対象とする。）の検査方法は、一定期間ごとに定期検査と中間検査を行う。事故が起きた場合は臨時検査を受検するが、年間稼働時間が一定時間より少ないといった一部例外を除き、状態の良い機関であっても悪い機関であっても同じ検査間隔で検査を受けている。検査は安全を確保する目的で行うため、より安全側に短い間隔で期間が設定されていると考えられる。このことから高い安全性は確保されるが、状態が良い機関にとっては必要以上の検査や保守を受けている可能性がある。自動車保険で例えるならば、時間基準型の検査や保守は保険料一律、リスク基準型の検査や保守は、運転実

績などを考慮して保険料が定められている、といった捉え方も出来よう。

リスク基準型検査／保守は発電所や化学プラントでも導入が進んでいる。例えば、国内の火力発電所で全機器一律だった保守計画を機器ごとのリスクに応じた保守計画に変更したところ、定期点検にかかる費用が50%程度削減できたという報告もされている³⁾。また、ドイツの第三者試験認証機関では、リスク評価を行う独自のソフトウェアとデータベースから化学プラントの検査・保全間隔を5年から7年に延長させることが可能となり、費用の削減と稼働率の向上が行えたという報告もある⁴⁾。

船用分野においては、海洋構造物、船体構造、船用ディーゼルエンジンに対してもRBI/RBMに関する研究が進んでいる^{5),6),7)}。例えば、海洋構造物に関しては、浮体式風力発電施設と浮体式空港を検討対象としてリスクベース安全性評価を実施し、安全性に関して必要な対策を提案している⁵⁾。また、船体構造に関しては、ハル構造のタンクに関して、その位置と経年によるリスクの評価を行っている⁶⁾。さらに船用ディーゼルエンジンに関しては、故障に関する各種データとベイズ定理を用いてリスクの経年変化を算出し、そのことから保守の立案計画の提案を行うシステムの試作を行っている⁷⁾。

船用分野におけるリスク基準型検査規則としては、ABS、DNVなどのオフショア設備、日本海事協会（以下、NK）のディーゼルエンジンを含む主機⁸⁾に対するものなどがある。

NKが制定している主機に対する検査は、機関計画保全検査（PMS）と呼ばれるものであり、船齢15年以下で適切な管理下にある船舶で、状態監視を行い、あらかじめ定めた正常範囲内であれば検査が延長できるというものである。このリスク基準型検査の適用は、その殆どがボイラー船で、ディーゼル船に対しては、未だ適用事例は殆どないと言われている。

船用ディーゼルエンジンへRBI/RBMを適用するには、リスクの評価を行う事が必要不可欠である。リスクとは発生確率と影響の積で表され、評価対象とする範囲と目的にあった指標を影響として設定する必要がある。本研究では、外航船のディーゼルエンジンを評価対象として、「発生確率」と「影響」を定量化し、リスク評価を行うこととした。

船用ディーゼルエンジンや多くの機械の故障は初期故障、偶発故障、整備不良、恒常的な過負荷など使用範囲を超えての運転など様々な原因によって発生すると考えられるが、一般的には時

間の経過とともに故障が発生しやすくなると考えられる。そのため、まず本研究では、船齢と船舶の運航に重大な影響を与える故障発生の関係をNKが毎年公表している「機関損傷のまとめ」⁹⁾から調査を行った。

運航中の船舶にとって主機が停止や減速運転を余儀なくされることは、運航上大きな支障となる。そこで、機関区域無人化船（MO運転）の外航船のディーゼルエンジンの構成機器・部品について、船舶信頼性情報データベース（以下、SRICDB）¹⁰⁾から運航時に発生した故障が主機に及ぼした影響（主機停止、主機減速、影響無し）別に修理に要した人時を調査し、そこから得られた結果を利用して船用ディーゼルエンジンのリスク評価を行った。

先にも言及したが、RBI/RBMとは、リスクを算出したのち、必要な措置を実施してリスクの管理を行い、機械やプラントを安全かつ合理的に運転・運用するものである。保守や検査を行った場合、リスクは変化するので、RBI/RBMを実施する際には保守や検査などの措置を講じた後のリスクの再評価を行う必要がある。本研究で利用したSRICDBは、故障の原因も調査しているため、その調査結果を用いて必要な措置を講じた場合のリスクの変化を算出できるリスク評価ソフトウェアの試作を行った。

本報では、以上の結果について報告する。

2. RBI/RBMの概要

機械やプラントを安全に運転・稼働するためには、適切な保守／検査を行う必要がある。保守手法としては導入実績が多い一定間隔ごとに行う時間基準型保全（TBM：Time Based Maintenance）、故障しそうな要素から保守を行う状態基準保全（CBM：Condition Based Maintenance）、高い信頼性が期待できる信頼性重視保全（RCM：Reliability Centered Maintenance）、そしてリスクを基準に行うリスク基準型保全など様々な手法がある。それぞれの手法の特徴を表-1に示す。

保守／検査手法で広く使われているTBI/TBMとは一定期間毎に対象機器の検査／保守を行うものであり、高い信頼性は得られるが、費用の高額化、稼働率の低下などの問題点も挙げられる。CBMやRCMでも高い信頼性を重視しているため、過剰な保守を行っている可能性がある。そのため費用の高額化といった問題点が指摘されている。

RBI/RBM とは対象機器のリスクをあらかじめ算出し、そのリスクに応じた形で検査／保守を行うものであり、経費の削減を含め効率的に安全性を保つ手法である。RBI/RBM の標準的な基準としては米国石油学会 (API) の API5812 がある。

RBI/RBM における処理の流れを図-2 に示す。RBI/RBM では評価対象を構成要素に区分けし、その要素ごとのリスクを算出し、それがあらかじめ設定したリスクレベル内に納まっているかの評価を行う。設定リスクレベル以下の場合には検査・保守を行い、設定リスクレベル以上の場合にはリスクを下げる措置を提案する。各要素のリスクは何らかの措置（検査・保守／リスクを下げる措置）を取った場合変化するものなので、RBM/RBI では措置の実施ごとにリスクの評価を行い、リスクを設定したレベル内に収めるというものである。

リスクは、機械・プラントを構成する機器・部品が損傷・故障した場合、機械・プラントの稼働／運転などに与える影響度と、あらかじめ設定した期間内の発生率の積で定義される。すなわち、影響度が大きく、発生しやすいものが高リスクと評価される。発生率は、機器・部品の一般的故障・損傷データベースが整備されている場合、その値を利用する。ただ、多くの機器・部品はそのようなデータベースが整備されていないため、金属部材は損傷メカニズム（疲労、クリープ、腐食）と使用条件（負荷応力、温度、環境）を把握することにより寿命予測が可能なので、その予測から損傷・故障発生率を決定する。このため、機器別の損傷メカニズムと使用条件を把握する事が RBI/RBM の実施には不可欠となる。影響度につ

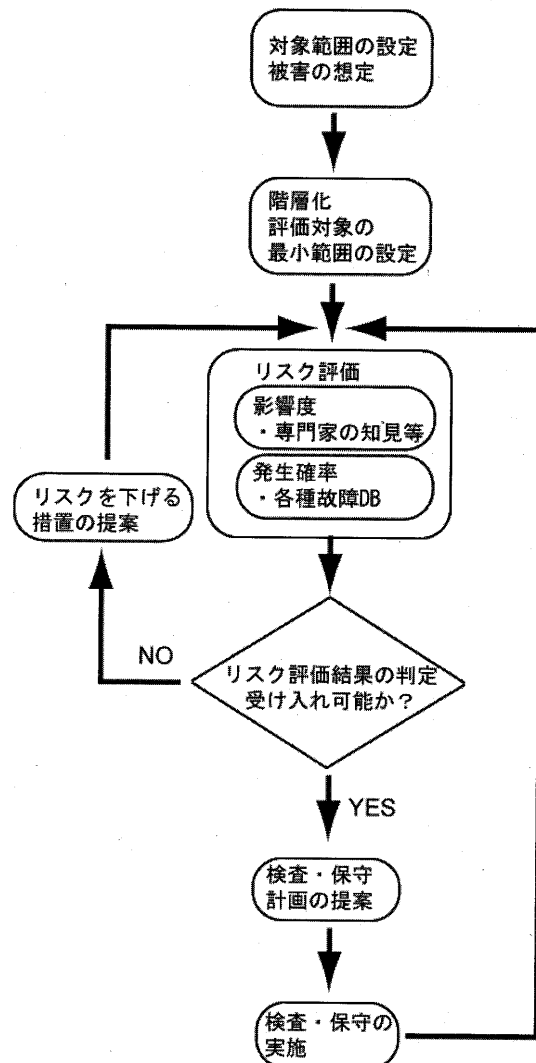


図-2 RBI/RBM 処理の流れ

表-1 保守手法と特徴

手法名	実施手法	特徴
時間基準型保全 (TBM)	あらかじめ設定した時間ごとに保守を実施	・ 高い信頼性 ・ 広い分野で適用 ・ 保守計画の立案が容易 ・ 費用の高額化 ・ 稼働率の低下
状態基準保全 (CBM)	構成要素の状態を判断し、状態が悪いものから保守を実施	・ 各要素の状態に応じた適切な保守の実施 ・ 適切な診断技術の導入が難しい ・ 費用の高額化
信頼性重視保全 (RCM)	要素の故障が全体の運転・稼働に大きな影響を与えるものから優先的に保全	・ 高い信頼性 ・ 影響度の評価が定性的なため、保守実施の優先順位付けが難しい
リスク基準型保全 (RBM)	要素ごとのリスクを算出し、リスクに応じて保守を実施	・ 効率的な保守 ・ 費用の削減 ・ 故障の進展予測（寿命予測）と影響度評価を行う必要があるため、ある程度故障に関するデータが無いものに対しては導入が難しい

いての指標としては、人的被害・経済的損失・損傷の度合いなどがあり、目的に応じて適切な指標を用いる。

RBI/RBM では、算出したリスクを数段階のリスクレベルに分け、それぞれのリスクレベルに応じた検査／保守を行う。レベル分けは、各種法規、社会的要因、経済的要因等から決定される。検討・決定されたリスクの高低に応じ、検査／保守計画の提案がなされる。なお、検査／保守計画を1つの措置だけではなく、複数の措置の組み合わせとして提案することも可能である。リスクレベルは図-3に示すリスクマトリックスという発生確率と影響度を数段階に分けた半定量的な表にあてはめて評価する。代表的なリスクレベルおよび対処方法を表-2に示す。

リスクは固定されたものではなく、保守や検査の実施により変動するものなので、RBI/RBM を精度よく実施するにあたっては検査／保守の実施内容をフィードバックすることも重要である。

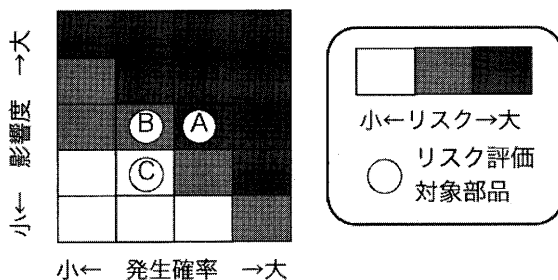


図-3 リスクマトリックス

表-2 リスクレベルと対処方法

リスクレベル	リスクの受容	対処方法
高リスク領域	不可	経済性を無視してリスクを許容範囲まで削減
条件付きリスク許容領域	条件付き可能	経済性を満足する範囲でリスクを最大限下げる
低リスク領域	可能	特に無し

3. 船用ディーゼルエンジンのリスク評価

3.1 船齢によるリスク評価

船用ディーゼルエンジンにRBI/RBMを適用するにあたっては、同エンジンのリスクの把握を行う必要がある。本研究ではまず、船齢による故障（損傷）発生率の違い、すなわち船齢によるリスクに差があるかどうかについて調べた。

NKでは年度毎に発生したNK登録船の機関関係の損傷について、統計データを公表している⁹⁾。

損傷は運航には支障を来さない一般損傷（主に定期検査時に発見）、運航に支障を来す重大損傷（自航不能に至る1級損傷、減速運航を余儀なくされる2級損傷）の3種類に分類されている。NK登録船の機関では、1年間に一般損傷が発生する割合は20年前の10～20%から最近では5%台までと低下しているが、運航に大きな影響を及ぼす1級損傷は0.3%、2級損傷は1%程度とここ20年大きな変化は無い。2003年度から2006年度のNK登録船について、船齢分布と重大損傷の関係について調査を行った¹¹⁾。船齢分布の集計時期と重大損傷の集計時期が一致しない場合は、前後の集計時期から当該年度の船齢分布を推定した。

まず、船齢分布を調べた結果を図4に示す。集計年月によるばらつきはあるが、概ね船齢15年以上のものが全体の3割を占めている。

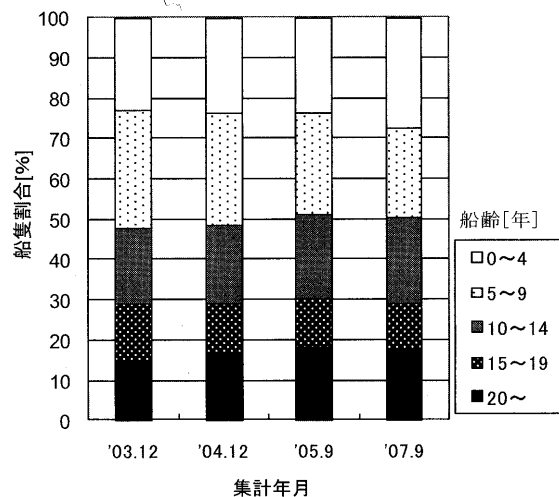
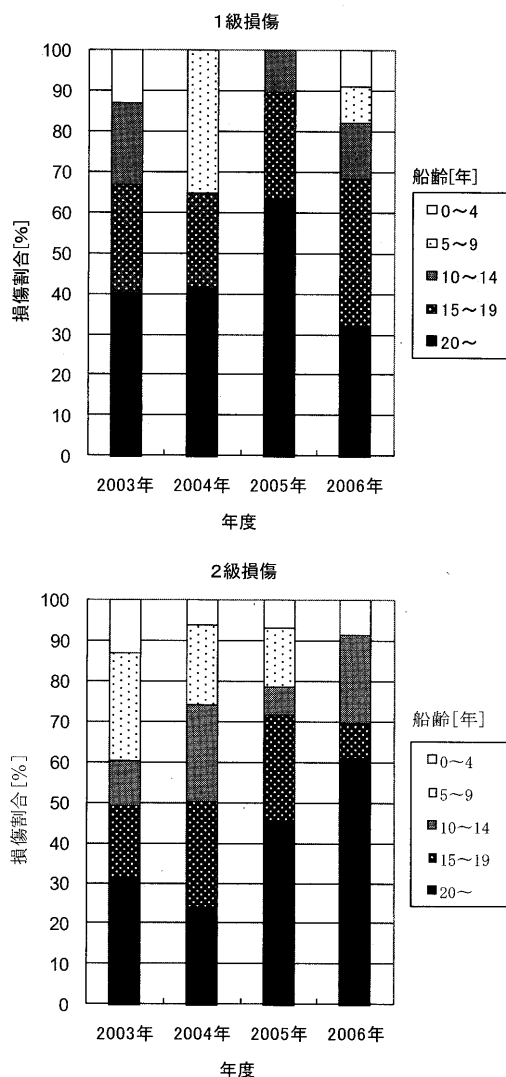


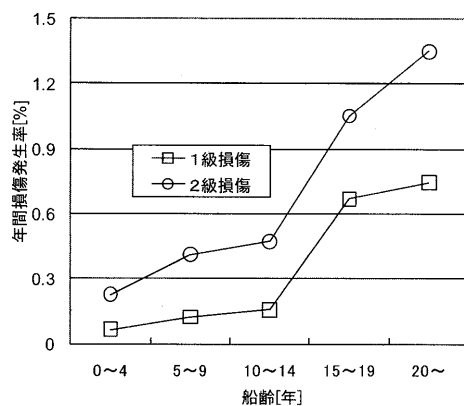
図-4 NK登録船の船齢の割合

次に、重大損傷について船齢による分類を行った。1級損傷と2級損傷について、それぞれの年度についての船齢による損傷割合を図-5に示す。全体の3割でしかない船齢15年以上の船舶が、1級損傷の約7割を、2級損傷では5～7割を占める事がわかった。

次に、船齢による重大損傷発生率（発生件数／登録船舶数）を調べた。2003年度から2006年度までの年間損傷発生率の平均値を図-6に示す。船齢の増加とともに1級損傷、2級損傷の発生率は高くなり、特に船齢が15年を超えると損傷発生率は大きく上昇することがわかった。そのため、今回の調査から船齢によるリスクは15年を超えると高くなると言える。



図－5 2003～2006年度における重大損傷の船齢による割合（上：1級損傷、下：2級損傷）



図－6 2003～2006年度における重大損傷の船齢による発生率

今回得られた結果に対する検査／保守計画としては、船齢15年を超えるリスクが高い船用ディーゼルエンジンにはリスクを下げる保守計画、船齢15年未満のリスクが低いものに対しては検査間隔の延長の提案などが考えられるが、具体的な検査／保守計画の提案は今後の検討課題である。

3.2 主要構成部品のリスク評価

本研究で評価対象とした船用ディーゼルエンジンの機器・部品を表－3に示す。機器の分類はSRICDBによった。本研究では、SRICDBから発生確率ならびに影響度の算出を行った。このデータベースは、1982～1999年に実施された船用機器に関する信頼性調査によって構築されたものであり、警報発生及び故障発生フィールドデータの総数は、約11万5千件である。これまでに本データを利用して様々な解析がなされている^{12),13)}。

表－3 評価対象機器・部品

燃焼系	吸排気系
ジャケット・ライナ ピストン シリンダカバー	掃気室・掃気弁・ポンプ 過給機・補助プロア 空気冷却器
軸系	
クランク軸・ポンプ、クロスヘッド・軸受 各種カム軸・カム、ピストンロッド	

評価対象機器の、軽微な場合も含めた全ての故障とそれらのうち主機に影響を与えた故障の年間発生率を図－7に示す。発生率は1年間に1隻の船に対する各機器の故障割合を表している。故障は燃焼系部品と吸排気系機器に多く、軸系の部品は少ない。同様の結果はNKからも報告⁸⁾されている。

影響度には経済的、人的、損害、健康など様々な指標が使われており、本研究では運航中に修理に要した人時と主機への影響を併せたものを指標として採用することを検討した。

船の運航への影響という観点からは機関停止とそうでない場合とでは、仮に修理人時が同じであったとしても前者は後者に比し大きな影響を及ぼしたと考えられる。そこで、主機に与えた影響を「停止」、「減速」、「影響無し」と言う3つに分類した。

まず、評価対象機器が故障した場合、主機に与えた影響別に修理にかかった人時の調査を行なった。表－3に示した評価対象機器ごとの結果を図－8.1～図－8.9に示す。主機に影響を与えない故障（図中上段）は少ない人時で修理が終わるが、

主機に影響を与えた故障(図中下段)は修理にかかる人時が概ね多いことがわかった。

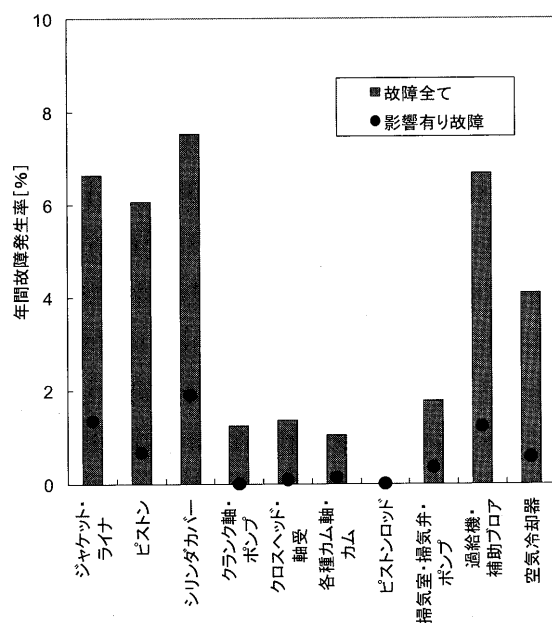


図-7 評価対象機器の故障発生率

また、図-7で故障が多い4機器(ジャケット・ライナ、ピストン、シリンダカバー、過給機・補助ブロア)については、それぞれの主機に与えた影響別に修理にかかった件数、平均人時および標準偏差の調査を行った。その結果を図-9に示す。平均修理人時は主機に影響を与える故障の方が概ね多くなるが、標準偏差については平均修理人時や件数と一定の傾向は見られなかった。標準偏差が大きいということは、様々な故障事例が混在していることを表している。また、これは平均修理人時という単純な指標で影響度を表現することの妥当性に、疑問を抱かせる結果でもある。

以上を踏まえ、各部品・機器に対する影響度を以下のように評価することとした。なお、リスクを高く、すなわち安全側に評価するため、偏差も影響度の式に加えてある。

$$\begin{aligned}
 \text{影響度} = & \text{主機停止}[\text{平均修理人時} + \text{偏差}] \times \\
 & \text{主機停止割合} \times (a) \\
 & + \text{主機減速}[\text{平均修理人時} + \text{偏差}] \times \\
 & \text{主機減速割合} \times (b) \\
 & + \text{影響無し}[\text{平均修理人時} + \text{偏差}] \times \\
 & \text{影響無し割合} \times (c)
 \end{aligned}$$

影響別の重みは、 $a=0.6$ 、 $b=0.3$ 、 $c=0.1$ とした。

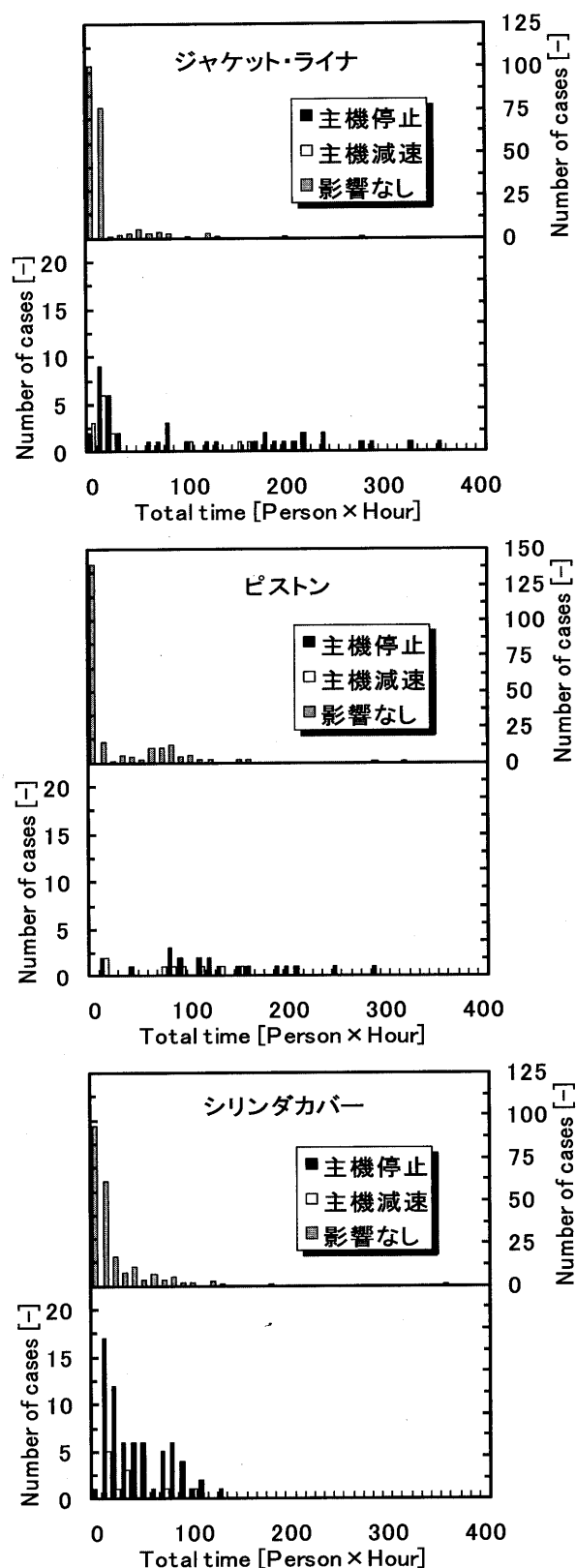


図-8.1~8.3 ジャケット・ライナ(上)、ピストン(中)、シリンダカバー(下)の影響度別修理人時

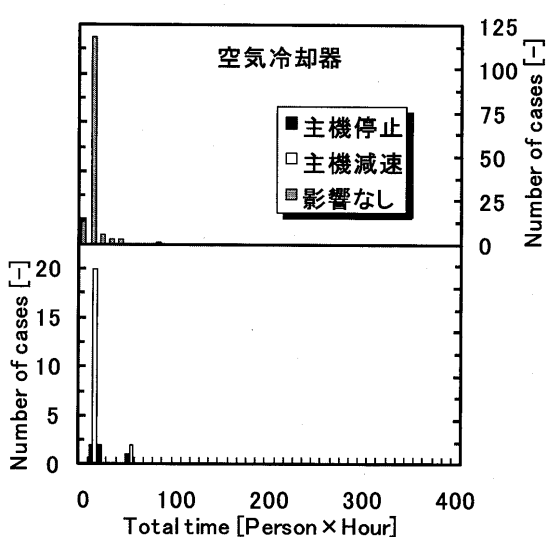
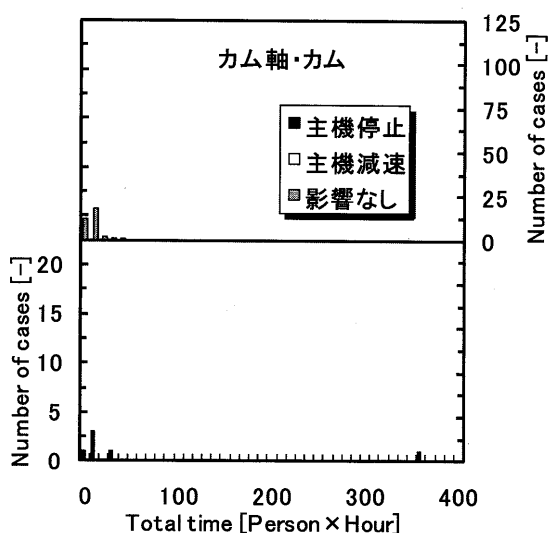
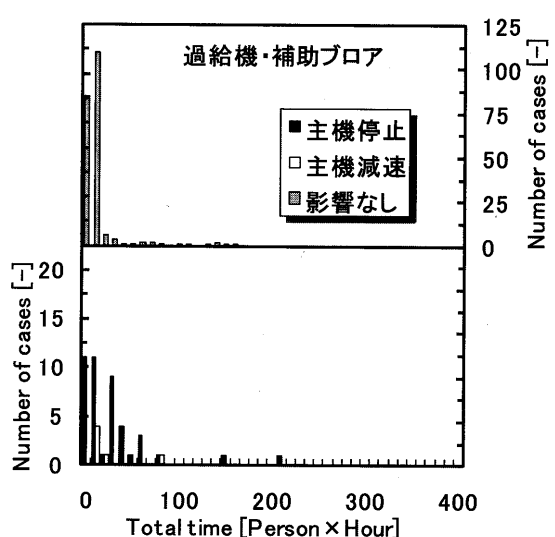
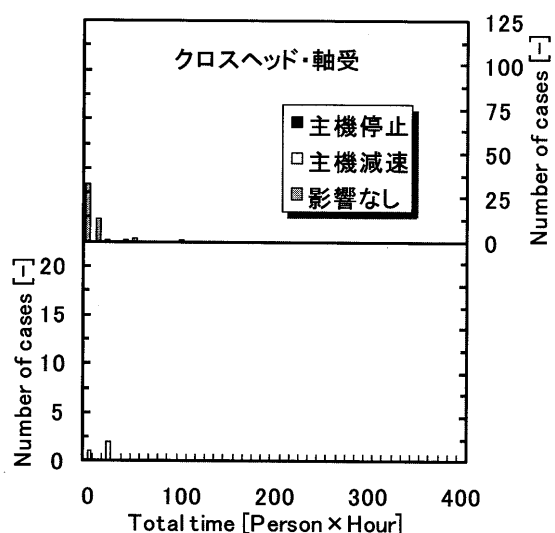
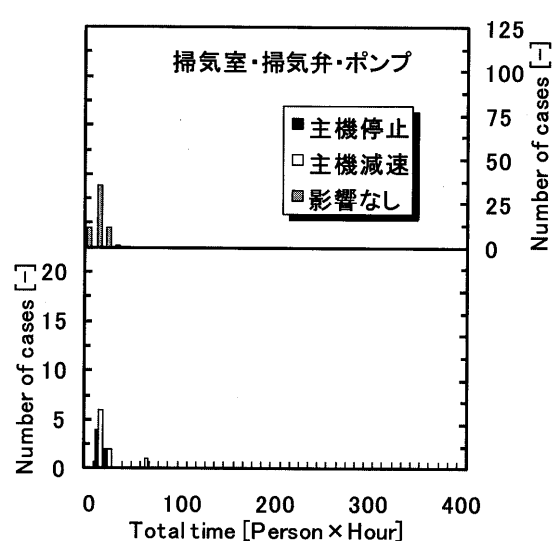
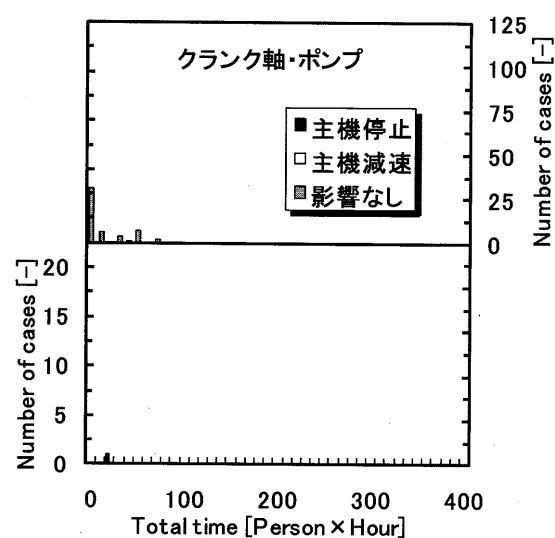


図-8.4～8.6 クランク軸・ポンプ（上）、クロスヘッド・軸受（中）、カム軸・カム（下）の影響度別修理人時

図-8.7～8.9 掃気室・掃気弁・ポンプ（上）、過給機・補助ブローア（中）、空気冷却器（下）の影響度別修理人時

各項の割合は、各機器の故障件数における停止、減速、影響無しの比である(偏差=0、かつ $a=b=c=1$ の場合は、当該機器の故障1件あたりに要する平均修理人時となる)。

図-10に得られた各機器の影響度と影響度算出において用いた標準偏差を示す。これより、影響度の大きい部品は標準偏差も大きくなっている。これは修理平均人時の多さと様々な故障の混在を示すものである。

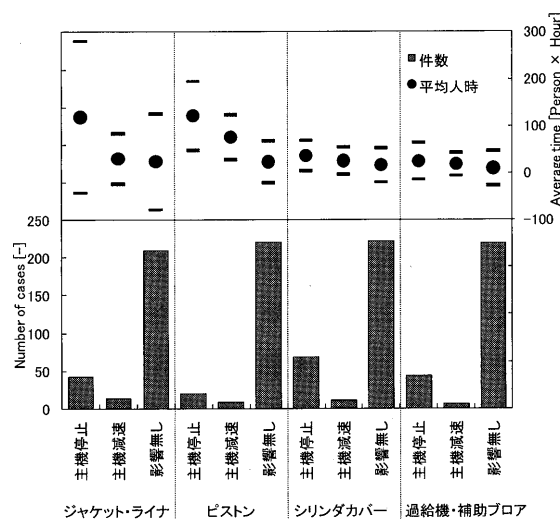


図-9 4機器の影響度別発生件数及び平均修理人時

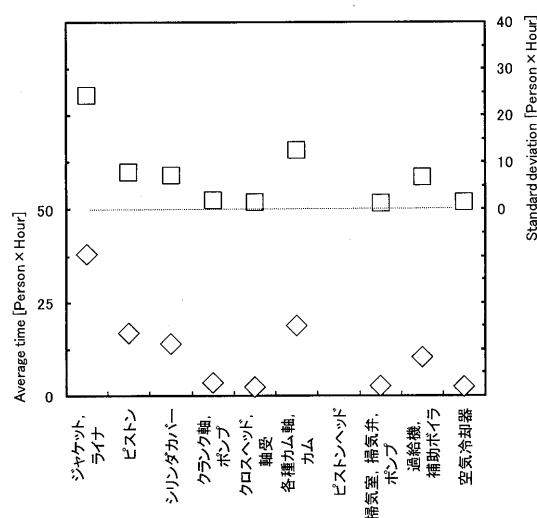


図-10 各機器の影響度と標準偏差

得られた発生確率と影響度からリスクマトリックスを作成した。結果を図-11に示す。RBI/RBMの実施にあたっては、リスクをどの範囲まで受け入れるかの検討をする必要があるが、今回は行っていない。しかし、今回の結果では影響度、発生確率が共に高い機器と低い機器に大別出来たため、機器間の相対的なリスクの高低は把握可能となった。これより高リスク機器としてジャケット・ライナ、ピストン、シリンダカバー、過給機・補助ブロアを抽出した。クランク軸、カム軸は故障が機関停止に直結する重要部品である。本調査でリスクが低く評価されたのは、重要部品であるという認識の下保守や検査が適切に行われている結果と考えられる。

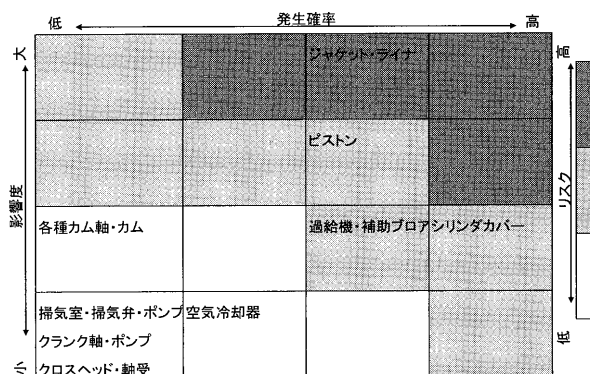


図-11 リスクマトリックス

高リスク機器のリスクを低くする為には異常や故障を初期の段階で発見する必要がある。そのため、各機器の故障状態の調査を行った。結果を図-12.1 から図-12.9に示す。ジャケット・ライナ、過給機・補助ブロアとも多くが亀裂によって主機停止になっている。主機への影響が無い場合には過給機・補助ブロアでは様々な原因によって、ジャケット・ライナでは亀裂、摩耗、漏洩によって故障が起こる。ピストン、シリンダカバーについてもジャケット・ライナとほぼ同様の傾向となった。

これらの故障の特徴から考えられるリスク低下措置を、今回は燃焼系の3部品と過給機について考察を行なった。燃焼系部品では、給油毎に性状が変わる燃料油の問題が要因と考えられる。従って、筒内圧力計測、燃料性状や燃焼性の確認が重要と思われる。また、過給機については、全ての故障が起こっており、軸受の冷却系、組立時の振回りの確認等を含めた総合的なモニタリングが必要と考えられる。

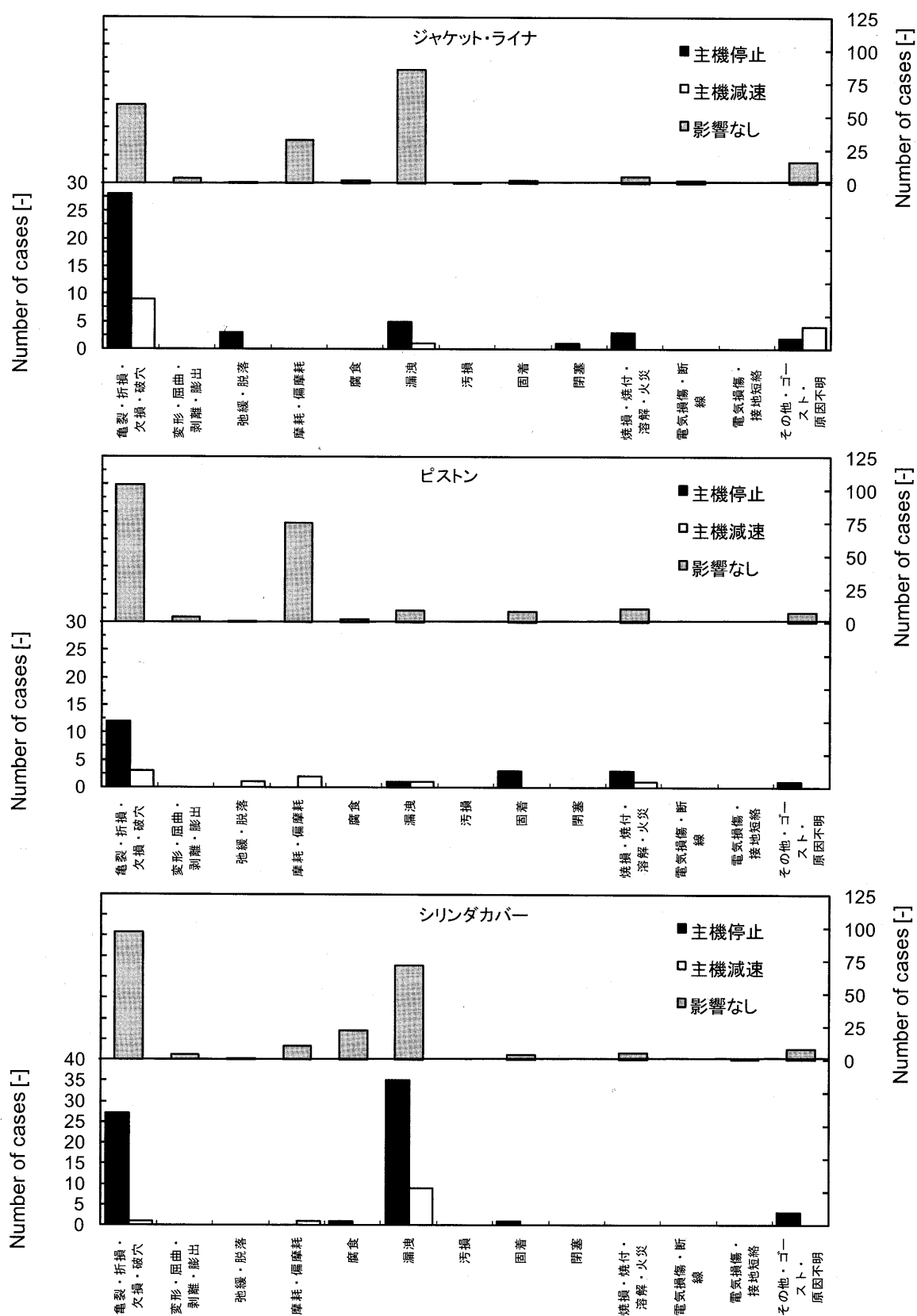


図-12.1~12.3 ジャケット、ライナ（上）、ピストン（中）、シリンダカバー（下）の故障発生状況

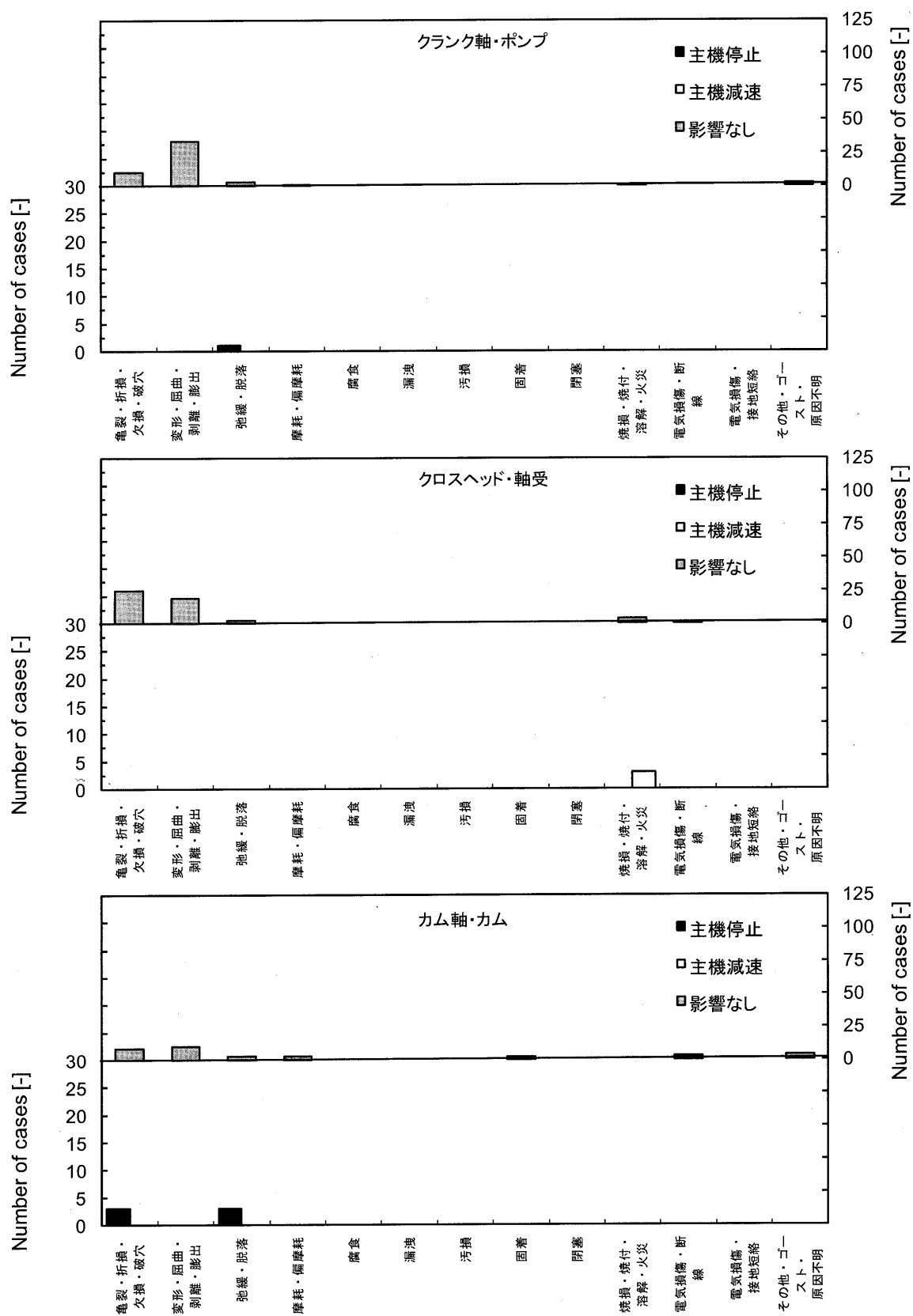


図-12.4~12.6 クランク軸・ポンプ (上)、クロスヘッド、軸受 (中)、カム軸・カム (下) の故障発生状況

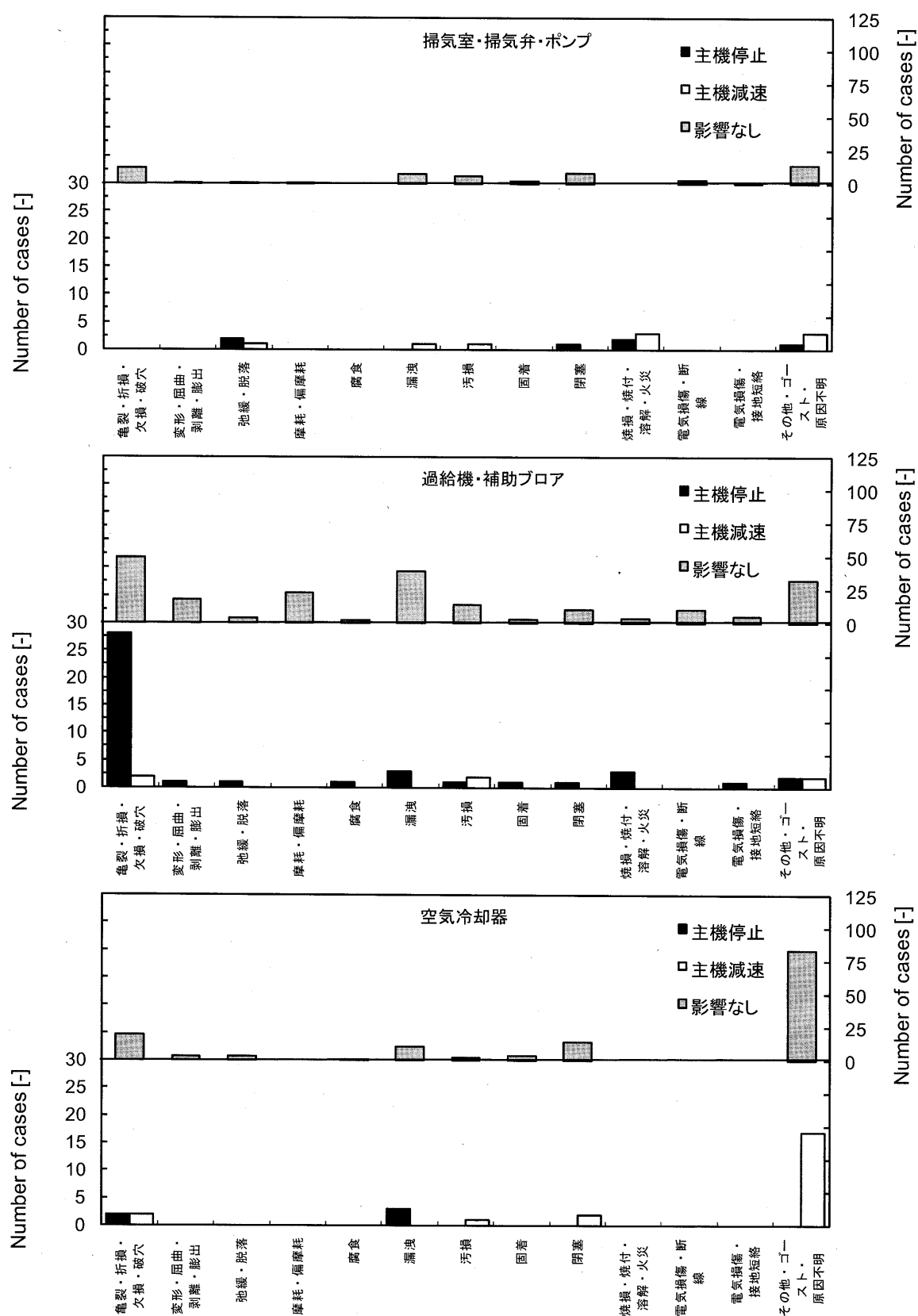


図-12.7~12.9 掃気室・掃気弁・ポンプ（上）、過給機・補助ブローア（中）、空気冷却器（下）の故障発生状況

3.3 リスク評価ソフトウェアの試作

RBI/RBM では多くのデータを扱いリスクを算出するため、ソフトウェアを利用して実施することが一般的である。RBI/RBM を実施するためのソフトウェアの構成要件を図-13に示す。

実際にRBI/RBMを実施するためにはこのように様々なデータの収集及びその処理方法をソフトウェアに組み込む必要がある。

本研究では第一段階として必要な措置を行った場合のリスクの変化を算出するソフトウェアの試作を行った。本研究で利用したSRICDBは故障の原因も調査しているため、その調査結果を用いてリスクの変化の算出をエクセルのマクロを用いて行った。処理フローを以下に示す。

- ・データの読込
- ・保守前リスク評価
- ・保守作業入力
- ・データ書き換え
- ・保守後リスク評価

試作したリスク評価ソフトウェアを用いてリスクが変更した例を図-14に示す。

本ソフトウェアは試作段階にあり、将来的には検査・保守履歴、船齢からリスクを算出した上で、保守と修復コストを勘案し、最適な保守間隔を提案出来るソフトウェアを開発していきたいと考える。

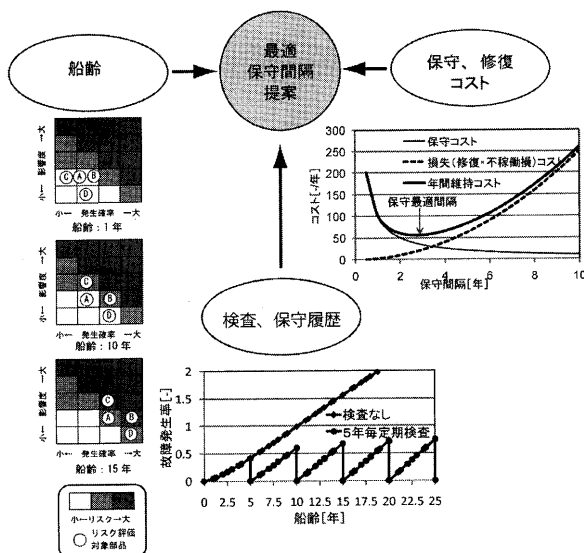


図-13 RBI/RBM 実施ソフトウェアの構成要件

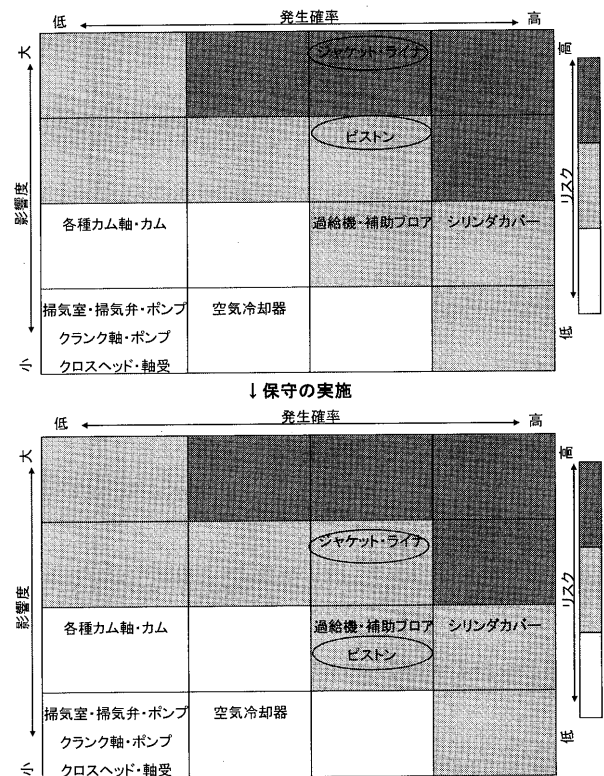


図-14 変更されたリスクの例

4. まとめ

RBI/RBM を船用ディーゼルエンジンに適用するにあたり、まず船齢によるリスクの調査を行った。船齢が15年以上のものは全船隻の3割を占めるが、重大損傷発生率の割合は5~7割を占めた。重大損傷発生率は、船齢の増加とともに高くなり、特に船齢が15年を超えると大きく上昇する事がわかった。

次に、構成機器に対してリスク評価を行った。相対的ではあるが、高リスクと考えられる機器に対して故障状態の調査を行い、リスクを低減する措置の提案を行った。本研究では故障の発生が運航に大きな支障を与える、すなわち重要度が高いと考えられるクランク軸や各種カム軸はリスクが低いと評価された。これは、本研究では影響度を実際に修理に要した人時と運航に与える影響から算出しているため、ひとたび故障が起きると運航に大きな影響を与えると考えられているクランク軸やカム軸については故障を回避するため保守や検査を重点的に行っていると考えられる。その結果、リスクは低く算出されたものと考えられる。このように本研究で得られたリスク

(あるいはその一部)は、実施した保守や検査の結果と見なせる。すなわち、リスクと保守は強く結びついている。そのため一般的に重要と考えられる機器・部品のリスクが低いと評価されたとしても、これは重要度を考慮した上で検査／保守を適切に行なわれている為と考えられる。このことから、同じリスクと評価された機器・部品も保守や検査を同程度行なったとは必ずしも言えない。そのことも考慮してRBI/RBMを実施する必要がある。

RBI/RBMは運転・検査・保守履歴、現状診断、寿命診断(将来予測)など多くのデータからリスク評価を行い、その結果を判断することによって実施されるものである。そのため、RBI/RBM実施にあたっては、専用のソフトウェアを利用することが一般的である。本研究では必要な措置を講じた場合のリスクの変化が算出できるソフトウェアの試作も行った。

今後の研究は部品レベルでの重大損傷および一般損傷の発生率、故障・損傷が運航に与える影響、損傷メカニズム・使用条件の把握、保全・検査履歴などの調査を行う事により、船用ディーゼルエンジンのリスク評価を行う。さらに、リスク受容範囲の検討、保守コストと修復コストの調査、各機器の適切な状態監視方法の選定も併せて行い、RBI/RBMを船用ディーゼルエンジンに適用する為の要件について検討し、それら要件を統合したソフトウェアの開発も行う予定である。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、船用機関の検査、保守、故障に関して日本海事協会、国土交通省海事局並びに地方運輸局、東海運株式会社、株式会社三和ドック、ヤンマー株式会社、新潟原動機株式会社を初め多くの方々に貴重なご意見を頂戴した。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1)木原他：RBI/RBM 入門(2002)、JIPM ソリューション
- 2)例えば、「性、年齢(5歳階級)別死亡率、(1920～2008年)」、人口統計資料集(2010)、国立社会保障・人権問題研究所
- 3)リスクベースメンテナンス(RBM)手法の導入による火力発電所メンテナンスコストの大幅な削減について、関西電力、<http://www.kepco.co.jp/pressre/2002/0128-1j.html>
- 4)泉他：化学プラントにおける国内外のリスク基準の検査・保全、化学装置、7月号(2007)
- 5)日本船舶海洋工学会大規模海上浮体施設の構造信頼性および設計基準研究委員会：大規模海上浮体施設の安全性評価指針最終報告書(2009)
- 6)Roger Basu, et al.: A flexible approach to the application of risk-based methods to the inspection of hull structures, ABS TECHNICAL PAPERS 2006 (2006)、pp.21-29
- 7)椎原他：船用機関・機器の効率的、合理的な保守を目指したリスクベースメンテナンスシステムの開発、日本マリンエンジニアリング学会誌、Vol.45 No.1 (2010)、pp.90-96
- 8)鋼船規則・同検査要領B編、日本海事協会(2007)
- 9)2007 年度機関損傷のまとめ、日本海事協会誌(2008)など
- 10)<http://www.nmri.go.jp/main/publications/reliability/reliability.htm>
- 11)Register of Ships(CD-ROM)、日本海事協会(2003)など
- 12)桐谷他：船用機器の信頼性に関する統計的考察と安全管理、日本マリンエンジニアリング学会誌、Vol.35 No.12(2000)、pp.833-840
- 13)城戸他：船用プラントの重故障領域における安全性評価-2、日本マリンエンジニアリング学会誌、Vol.39 No.2(2004)、pp.8-16