

PS-33 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

海洋リスク評価系 *石村 恵以子、松井 裕
運航・物流系 沼野 正義、疋田 賢次郎

1. はじめに

船用ディーゼルエンジン（以下船用 DE）を含め、多くの機械やプラントが機能を維持し、安全性を確保しながら正常な運航・運転・稼働を行うには、適切な検査/保守を行うことが必要である。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（TBI/TBM）が一般的である。しかし、検査/保守の実施に伴い、作業ミス等により故障や異常が発生する事も考えられるため、過剰な検査/保守の実施は安全性の向上につながらないことも考えられる。さらに、検査/保守の実施中には運転・稼働は停止し、費用も発生する。そのため、適切なタイミングで過不足無く検査/保守を行うことが安全性と経済性を同時に確保するためにも求められている。それらの要求に応えるべく、発電所、化学プラントなどではリスク基準型検査/保守（RBI/RBM）の導入が進んでいる。

本研究では、まず、船齢による船用 DE の故障発生の違いに着目し、現状の故障発生率に応じ、検査時期と検査割合を変更した場合の安全性に与える影響を試算する。さらに、船用 DE はその運転状況や整備状態により、船齢は同じでも個々の状態は大きく異なる。そのため、個々の船用 DE の状態を日々の点検結果や計測値から診断し、状態が良好な間は解放検査を行わない検査手法も管理が優良な船舶においては有効と考える。そこで、船用 DE の状態を監視することにより検査時期を決定する状態監視方式検査への適用についても考察する。

2. 船用 DE の検査時期・割合を変更した場合の安全性への影響評価

船用 DE の検査は、状態監視を行い、良好な場合は解放検査を延長出来る状態監視方式の検査方式も制定されているが、SOLAS 条約で規定される証書の有効期限である 5 年間で 100% 解放となるよう毎年部分的に検査を行う継続検査や、5 年ごとに 100% 解放を行う定期検査が主流となっている。日本海事協会（以下 NK）では年度ごとに 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¹⁾。損傷は運航に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（1 級損傷：自航不能、2 級損傷：減速運航）の 3 種類に分類されている。NK によるとここ 20 年で重大損傷は年間 0.5~2% 程度発生し、一般損傷は 5~15% 程度発生となっている。調査年度による増減はあるものの、長期的には減少傾向にある。一般損傷に比べ、重大損傷は発生割合が低いが、重大損傷については発生時の船齢も公表されている。2003~2006 年度の登録隻の船齢分布と重大損傷発生割合を図 1 に示す。登録隻数の船齢分布は NK の Register of ships から算出した²⁾。船齢 15 年程度までの重大損傷発生率はほぼ一定となっているが、それを超えると重大損傷発生率の増加

がみられる。

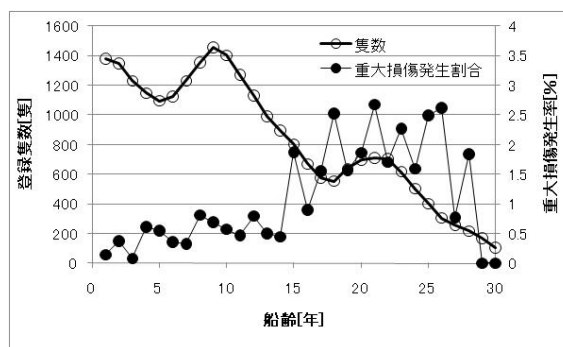


図 1. 登録隻数と重大損傷発生割合

船用 DE や多くの機械の故障は初期故障、偶発故障、経年劣化故障などに分類できると考える。経年と故障発生との関係はワイブル分布で表わすことが多い³⁾。時間 t における信頼度（累積故障率）を式 1 に示す。式 1 中の α は形状パラメータ、 β は尺度パラメータとよばれる。 α が 1 未満の場合は初期故障状態を表わし、1 の場合は偶発故障状態を表わし、1 より大きい場合は経年劣化故障状態を表わす。

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right) \dots (式 1)$$

船用 DE では初期、偶発、経年劣化の 3 種類の故障がそれぞれ発生すると考えられるが、その多くは経年劣化型と考える。偶発故障の除外は困難であるが、初期故障については船齢 2 年までに発生した故障は初期故障とみなすこととし、本研究では初期故障を除外した形で解析を試みた。

解析の結果、故障の種類を表わす形状パラメータ α の値は約 1.8 となった。ワイブル分布においては α が 1 より大きい場合は経年劣化状態を表わすため、この不具合データからは船用 DE の不具合発生傾向は経年劣化型と考えられる。故障発生傾向に対し、検査の時点で発生が期待される不具合が、検査割合減少するという前提で故障率の変化を試算した。すなわち、検査毎に 5 年一巡の継続検査では 20%、5 年毎の定期検査では 100% の不具合が是正されることとなる。なお、修理が原因で発生する不具合は考慮せず、継続検査で不具合が発見された場合でも本試算では追加の解放は行わないとした。結果を図 2 に示す。

船齢 25 年までに発生する故障率（以下総故障率）は図 2 のグ

ラフを積分したものとなり、継続検査の総故障率は定期検査より多くなるが、現状では許容されている。これは、実際の継続検査では不具合が発見された場合、他の部品も解放し、不具合があれば修理を行うと考えられるが、本試算ではその点は考慮していないため、実際の総故障率は試算結果より低くなるものと考えられる。船用 DE の故障の傾向は船齢の増加と共に不具合も増加する経年劣化型であるが、現在の検査の間隔・解放割合は船齢によらず一定となっている。そのため、継続検査、定期検査とも効果的な検査間隔・解放割合となっていない可能性が考えられる。そこで、継続検査に関して、船齢に応じて検査間隔や解放割合を変更した場合の総故障率の試算をすることとした。その検査間隔と解放割合、総故障率および船齢 25 年までに解放する割合（以下総解放率）の比較を表 1 に示す。総故障率及び総解放率は毎年 20% 検査のものを 100% として比較した。

継続検査の検査間隔や解放割合を船齢に応じて変更したところ、総故障率を同一としたままで、総解放率を低くする組み合わせ（表 1 の①、②）や、総解放率を同一にしたままで総故障率を低くする組み合わせ（表 1 の③）があることがわかった。

船舶安全法に基づく国の検査を受けている船用 DE の信頼性解析をこの手法を用いて行った結果等をもとに、国土交通省では、平成 24 年に製造後 11 年未満のものにあつては中間検査の際に解放検査が省略できる旨の改正を行い、解放検査が緩和されることとなった。⁴⁾

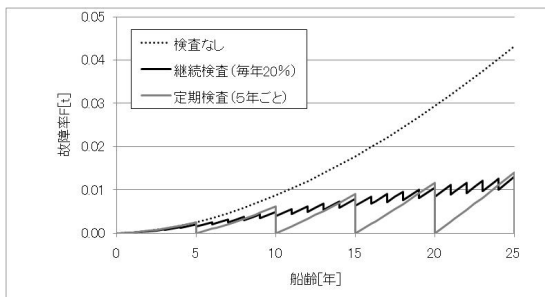


図 2. 継続検査と定期検査の故障率の変化

表 1. 検査間隔と解放割合を変更した場合の総故障率および総解放率の比較

	検査間隔、解放割合	総解放率	総故障率
毎年 20% (現状)	1 年毎 20%25 回	100%	100%
①検査間隔変更 (総故障率同一)	2 年毎 20%6 回、1 年毎 20% 8 回、半年毎 20%10 回	96%	100%
②検査割合変更 1 (総故障率同一)	1 年毎 10%10 回、20%5 回、 25%10 回	90%	100%
③検査割合変更 2 (総解放率同一)	1 年毎 10%10 回、20%5 回、 30%10 回	100%	92%

3. 船用 DE への状態監視方式検査の適用

NK では、状態監視の診断結果に異常が認められるまで解放検査を延長することが出来る機関計画保全検査 (PMS-CBM) を定めてい

る。⁵⁾ 状態監視方式の検査を実施するにあたっては、対象機器・部品の運転状態を監視し、そのデータをグラフ等にプロットすることで劣化傾向を推定し、検査/保守計画の管理を行うものである。データの収集及び管理・分析はコンピュータを用いて実施する事が要求される。状態診断には各種センサによる自動的なデータ収集に加え、日常の巡回点検時に機関員が計測するデータや実施した保守結果を含むことも重要と考える。現在の機関日誌は主に点検時に手書きでメモ等に記載し、その後事務室で PC へ入力を行っているため、機関日誌作成に時間を割かれ、かつ転記ミス等の懸念がある。そのため、当所では巡回点検を支援するシステムの開発を行っており、現在はプロトタイプが完成し、今後は運航会社等と共同で実用に堪えうるシステムの開発を行う予定となっている。⁶⁾ このシステムでは点検・保守結果を PC 上で管理し、データを陸上とも共有し、陸上からの支援も得られるように開発を進めていく予定となっている。このようなシステムを活用することで、巡回点検時のデータも含んだ状態監視を行うことで、より信頼性の高い状態診断および将来予測が可能と考える。

4. まとめ

船用 DE に対し、効果的な検査/保守を実施するにあたり、まず船齢により検査間隔や解放割合を船齢に応じて変更した場合の総故障率の試算を行った。その結果、総検査率を 10% 減少しても総故障率は現状とほぼ同一となる組み合わせや、総解放率は同一でも総故障率は現状の方式より約 8% 減少する組み合わせがあることがわかった。また、この手法等を用いて船舶安全法に基づく国の検査を受けている船用 DE の解放検査が緩和されることとなった。当所では状態監視方式の機関計画保全検査 (PMS-CBM) の要件たりうる機関点検支援システムの開発も行っており、その概要について述べた。

船用 DE 全体の故障に関する信頼性解析を行うことと、状態監視システムに活用出来る機関支援システムの開発を行うことは、長期的に効率的な保守・検査計画の立案に役立つと考える。

謝辞

本研究を実施するにあたり、船用機関の運用、保守、検査、故障に関して日本海事協会、国土交通省海事局ならびに地方運輸局、新島物産株式会社、独立行政法人航海訓練所をはじめ多くの方々に貴重な意見を頂戴した。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 2003 年度機関損傷のまとめ、日本海事協会誌、2004 など
- 2) Register of Ships(CD-ROM)、日本海事協会、2003 など
- 3) 佐野他、信頼性工学、日科技連、1983
- 4) 国土交通省海事局検査測度課、船舶のエンジンの検査を緩和します、国土交通省プレスリリース、2012
http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji08_hh_000020.html
- 5) 鋼船規則検査要領 B 編、日本海事協会、2013
- 6) 沼野他、機関点検支援システムの開発、第 14 回海上技術安全研究所研究発表会講演集、2014 (掲載予定)