

除雪機械劣化度の評価手法について

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○伊藤 義和
 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 住田 則行
 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 幸田 勝

近年の予算縮減により、除雪機械の更新が先送りされ老朽化した機械が増えている。それに伴い、重大故障の発生件数及び除雪機械の稼働不能日数が増加し、道路除雪体制に支障を来している。このため、限られた予算の中での効果的かつ効率的な除雪機械の維持管理が求められている。

本報では、除雪機械劣化度の定量的評価に基づいた合理的な維持管理手法の提案にむけて、除雪機械で発生する故障の傾向を把握するとともに、定量的評価の試みとして、信頼性評価手法の一つであるFTA (Fault Tree Analysis : 故障の木解析) の適用を検討したので報告する。

キーワード：除雪機械、維持管理

1. はじめに

積雪寒冷地における冬期の円滑な道路交通の確保は、地域住民の生活にとって必要不可欠であり、道路除雪に使用される除雪機械は、常に安定した稼働が求められている。

しかし、近年の予算縮減により、除雪機械の更新が先送りされ老朽化した機械が増えている。それに伴い、重大故障の発生件数及び除雪機械の稼働不能日数が増加し、道路除雪体制に支障を来している。

このため、限られた予算の中で効果的かつ効率的に除雪機械の維持管理を行い、重大故障の発生及び除雪機械の稼働不能日数の低減を図ることが求められている。

そこで、除雪機械における合理的な維持管理手法の提案にむけて、道路管理者所有の除雪機械の稼働及び故障データを収集して分析し、除雪機械で発生する故障の傾向を把握した。また、除雪機械劣化度を定量的評価するために、信頼性評価手法の一つであるFTA (Fault Tree Analysis : 故障の木解析) の適用を検討した。

2. 除雪機械の稼働、故障データの収集、分析

北海道開発局から除雪機械(約1,000台×8年分)の稼働及び故障データ(H19～H26年度分(約3,800件))を収集した。稼働及び故障データの内訳を図-1に示す。

(1) データ基礎整理

故障データは年度毎に記載要領が若干異なっていたため、故障発生時の稼働時間、走行距離及び故障箇所を次のように統一した。

稼働時間と走行距離は、故障発生年度末時点で整理した。

故障箇所については、建設機械整備標準作業工数表(除雪機械編)¹⁾の作業項目区分を参考にして、除雪機械の機種毎に表-1のように分類(大項目・中項目・小項目)した。

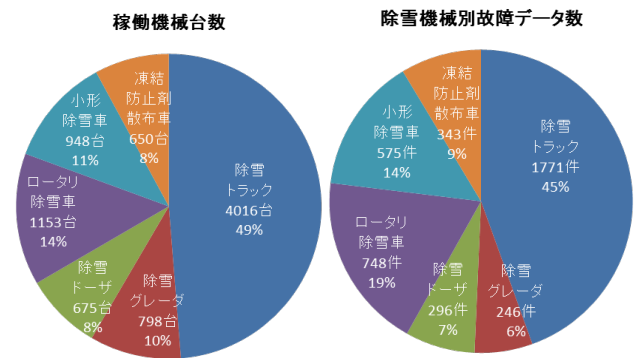


図-1 H19～H26年度の稼働、故障データ内訳

表-1 故障箇所の分類(除雪トラックの例)

No.	大項目	中項目	小項目	
1	車両	エンジン	エキゾーストパイプ	マフラー
2	車両	冷却装置	ラジエータ	ファン
3	車両	燃料装置	インジェクション	アクセルワイヤー
4	車両	電気装置	オルタネータ	スタータモータ
...
19	作業装置	G装置	シャーピルス装置	昇降装置
20	作業装置	S装置	油圧調整管	ウイングホルダ
...
28	不明			

(2) データ分析

前節で整理したデータを用いて、機種毎に使用年数、稼働時間及び走行距離別に故障発生件数と故障発生率（機械1台あたりの故障発生件数）を求めた。機種毎の故障発生件数及び故障発生率を図-2に、機種毎の年度別故障発生件数を図-3に、機種毎の使用年数別故障発生率を図-4に、機種毎の使用年数別稼働不能日数を図-5に示す。

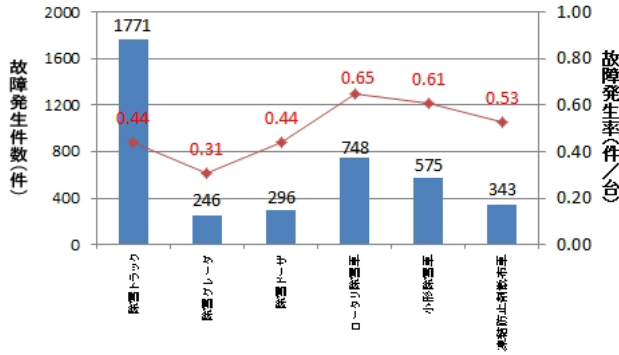


図-2 機種毎の故障発生件数及び故障発生率

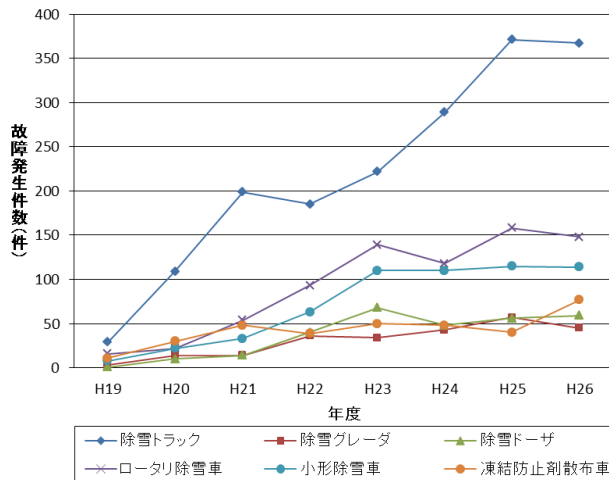


図-3 機種毎の年度別故障発生件数

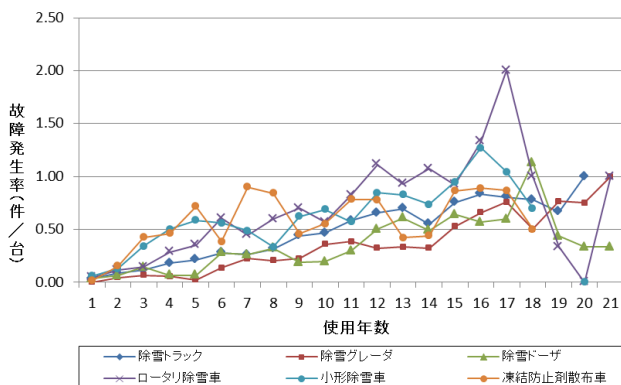


図-4 機種毎の使用年数別故障発生率

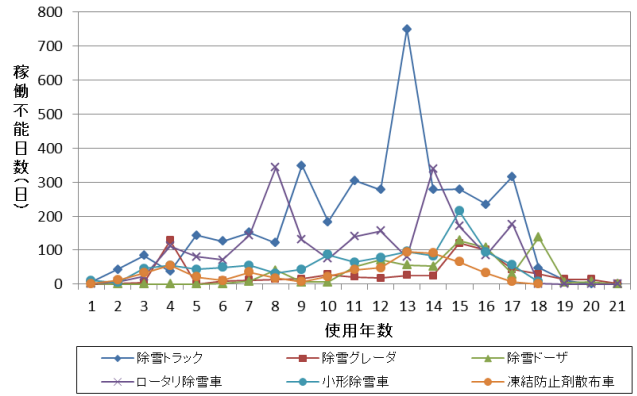


図-5 機種毎の使用年数別稼働不能日数

機種毎の故障発生件数は、台数の多い除雪トラックが多いが、故障発生率はロータリ除雪車と小形除雪車が高い。機種毎の年度別故障発生件数は、H19年度以降、全機種ともに増加傾向になっている。機種毎の使用年数別故障発生率は、全ての機種において、ばらつきはあるものの使用年数が増すほど高くなる傾向にある。機種毎の使用年数別稼働不能日数は、13年目の除雪トラックが突出して多いが、この日数には、稼働不能246日の故障1件が含まれている。次に稼働不能日数が多いのは、8年目と14年目のロータリ除雪車となっている。

除雪作業に対する影響が大きい故障箇所として、中項目単位で、稼働不能日数に関係なく故障が多い箇所、稼働不能2日以上、稼働不能5日以上、稼働不能のそれぞれ上位3箇所を抽出し、これらの箇所について故障発生傾向の分析を行った。抽出した故障箇所を表-2に示す。

表-2 抽出した故障箇所

除雪機械	抽出した故障箇所
除雪トラック	・エンジン ・電気装置 ・クラッチ ・トランスミッション ・G装置
除雪グレーダ	・電気装置 ・トランスミッション ・灯火装置 ・G装置
除雪ドーザ	・エンジン ・電気装置 ・アックス及びサスペンション ・ブレーキ ・プレート装置 ・油圧装置
ロータリ除雪車	・電気装置 ・トランスミッション ・オーガ ・フロワ ・シャフト装置 ・油圧装置
小形除雪車	・エンジン ・アックス及びサスペンション ・オーガ ・フロワ ・シャフト装置 ・油圧装置
凍結防止剤散布車	・エンジン ・トランスミッション ・アックス及びサスペンション ・散布装置 ・油圧装置

抽出した故障箇所の1つである除雪トラックの「エンジン」について、年度毎の使用年数別の故障発生件数を

図-6に、年度毎の規格別の故障発生件数を図-7に、除雪トラックのH26年度における規格別の使用年数毎の台数を図-8に示す。

年度毎の使用年数別の故障発生件数では、H19年度以降故障件数は増加しており、H21年度以降は、使用年数11～15年の機械で約20件程度発生している。

規格別の故障発生件数ではIGMとIGSが多い傾向にある。これは、他の規格に比べて使用年数が長い機械の台数が多く、また、稼働も多いため劣化が進行していることが要因と考えられる。

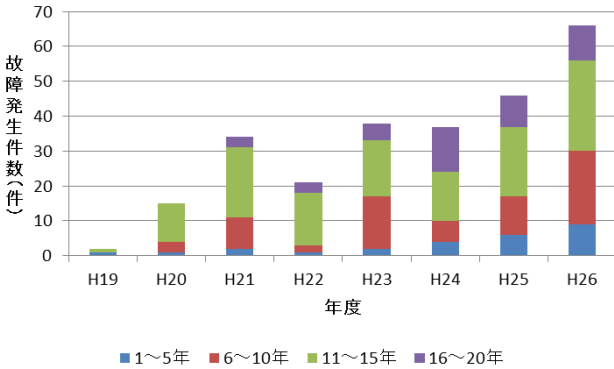


図-6 使用年数別の故障発生件数 (除雪トラックのエンジン故障)

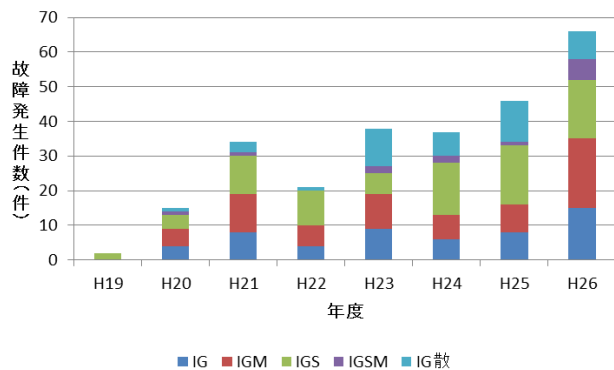


図-7 規格別の故障発生件数 (除雪トラックのエンジン故障)

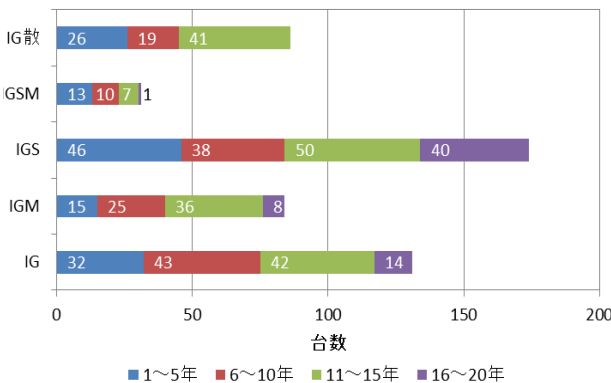


図-8 H26年度における規格別の使用年数毎の台数 (除雪トラック)

3. 劣化度の定量的評価への取組み

除雪機械の劣化度を定量的に評価する取組みとして、信頼性評価手法の一つであるFTA(Fault Tree Analysis: 故障の木解析)の適応性について検討した。

FTAは、システムや機器の設計、開発段階において、その発生が好ましくない事象をトップ事象として、発生経路、発生原因及び発生確率を論理記号を用いて樹形図(FT図)に展開して解析する手法で、故障などの分析に対する取組みがトップダウン方式の手法である。

ここでは、前節のデータ分析において故障件数が最も多い除雪トラックの故障データを用いて、次に示す手順で、トップ事象が発生する確率の算定に必要な「最終的な故障要因(基本事象)」の抽出とその発生確率の近似式の導出を試みた。

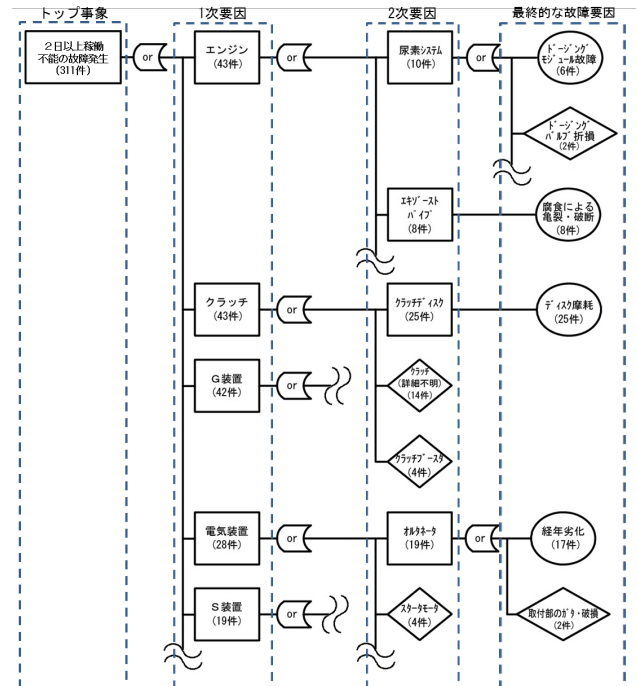
手順1: トップ事象を「2日以上稼働不能の故障発生」に設定。

手順2: トップ事象に直結する1次要因(故障箇所)を設定。

手順3: さらに、故障箇所や状況を掘り下げて、1次要因の下位である2次要因(故障箇所の「小項目」単位)や最終的な故障要因(基本事象)に至るFT図を作成。

手順4: トップ事象に対して影響の大きい基本事象(ここでは故障5件以上)を抽出し、使用状況(使用年数、稼働時間、走行距離)を変数とする回帰分析により、基本事象の発生確率を算定する近似式を導出。なお、影響の小さい事象は対象外とした。

以上の手順から作成したFT図を図-9に、抽出した基本



□: 事象 ◇: 基本事象 ○: 影響の大きい基本事象

図-9 FT図 (抜粋)

事象の発生確率の近似式を表-3に示す。また、代表例として「クラッチディスク摩耗」と「オルタネータ経年劣化」の故障発生状況と発生確率のグラフを図-10、11に示す。

表-3 抽出した基本事象の発生確率の近似式

基本事象	使用状況の分類	発生確率の近似式
クラッチディスクの摩耗	使用年数	$y = 0.000001934x^3 - 0.000102574x^2 + 0.001821136x - 0.002414486$
オルタネータの経年劣化	走行距離	$y = -0.000000716x^3 - 0.000015272x^2 + 0.000289100x - 0.000399274$
インジェクタの不良	稼働時間	$y = 0.000011880x^3 - 0.000024584x^2 + 0.001509317x + 0.001310164$
エキゾーストパイプの腐食による亀裂・破断	稼働時間	$y = 0.000005442x^3 - 0.000145046x^2 + 0.001265497x - 0.001098434$
尿素システムのドーピングモジュールの故障	走行距離	$y = 0.000000776x^3 - 0.000039789x^2 + 0.000621998x - 0.00077363$
ラジエータのコア等の劣化・腐食	走行距離	$y = -0.000000244x^3 + 0.000002180x^2 + 0.000152993x - 0.000319025$
パワーステアリングパイプの劣化	使用年数	$y = 0.000000662x^3 - 0.000005216x^2 - 0.000004938x + 0.000035276$
G装置振れ止め装置の取付部品劣化	走行距離	$y = -0.000000117x^3 - 0.000003456x^2 + 0.000223501x - 0.000492535$

y: 故障発生確率 x: 下表による

x	使用年数	稼働時間	走行距離
1	1年目	1000h未満	1万km未満
2	2年目	1000~2000h	1万~2万km
...

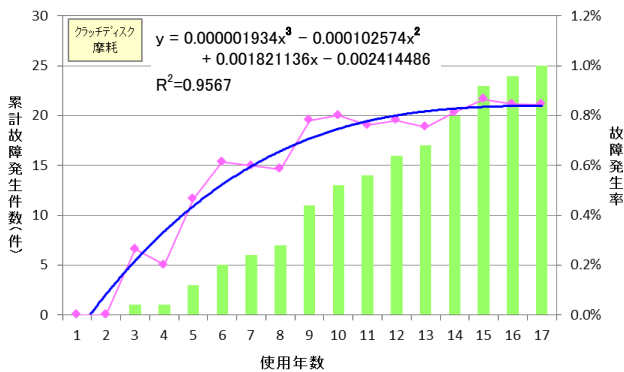


図-10 「クラッチディスク摩耗」の故障発生状況と発生確率のグラフ

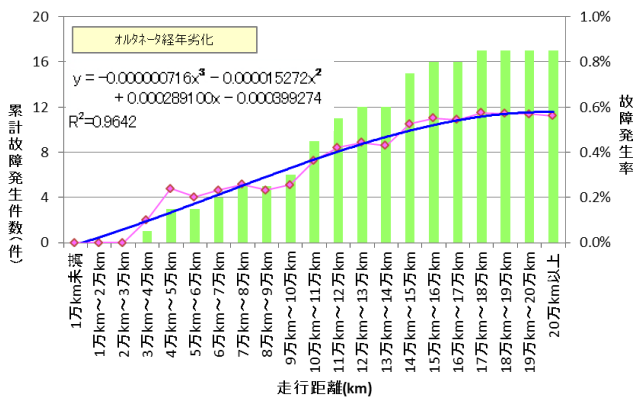


図-11 「オルタネータ経年劣化」の故障発生状況と発生確率のグラフ

このように使用状況（使用年数、稼働時間、走行距離）から基本事象の発生確率を算定することができ、この発生確率は劣化度の定量的評価における指標となりうる。

しかし、今回の検討では、故障内容を細分化した結果、基本事象の発生確率を算定できたのが8事象しかなく、データ数の少ない故障は発生確率の算定が困難であった。さらに、故障データの少ない機種では、基本事象の発生確率の算定がより難しくなると想定される。

なお、今回の発生確率算定の試行においては、使用状況（使用年数、稼働時間、走行距離）の中で最も相関の高いものを変数とする近似式としたが、今後、劣化度の定量的評価の精度を上げるには、使用状況（使用年数、稼働時間、走行距離）全ての要因を変数とする近似式の導出や、整備履歴を考慮した評価手法の検討が必要と考えられる。

4. あとがき

北海道開発局所有の除雪機械の稼働及び故障データを収集して分析した結果、機種や使用状況により、故障の発生傾向が異なっていることがわかった。

除雪機械劣化度の定量的評価に向けた取組みとして、故障件数が最も多い除雪トラックにおいて、信頼性評価手法であるFTAの適応性について検討した。その結果、劣化度の定量的評価の重要な指標となりうる基本事象の発生確率を、使用状況から算定できることがわかった。

しかし、発生確率の算定には、より多くの故障データが必要であり、故障データの少ない故障箇所や機種では、発生確率の算定が難しくなることが想定される。

今後、FTA以外の信頼性評価手法の適応性も検討し、劣化度の定量的評価手法を構築するとともに、その定量的評価に基づく除雪機械の合理的な維持管理手法の提案に向けて引き続き研究を進めていく。

参考文献

- 1) 建設機械整備技術委員会：建設機械整備標準作業工数表（除雪機械編）（平成22年度版）、2010