

学位論文内容の要旨

主査 成田吉弘 教授
副査 竹内 茂 教授
副査 大滝誠一 教授
副査 太田佳樹 助教授

北海道工業大学大学院工学研究科
機械システム工学専攻
博士後期課程 固体システム部門
申請者氏名 福士賢一

融雪機の機能・故障解析と設計法に関する研究

近年、日本は出生率が低下しているが人口はまだ増加傾向にある。北海道は冬期間の積雪が少ない所でも0.5m, 多いところでは2.5mから3mに達する所があり、冬の社会活動を維持する上で大きな障害になっている。特に都市部においては、人口や自動車の保有台数の増加に比例して交通量や物流が増えるため、冬期間に円滑な都市機能を保つための主要道路や住宅街の除排雪作業が不可欠となっており、加えて高齢化社会への移行と共に、住宅敷地内通路や車庫前など宅地内の雪処理が大きな課題となってきた。そこで民生用雪対策として考えられたのが、堆積場所を必要とせず、現場で雪処理が行える融雪機である。融雪機は、熱源部と雪を溶かす融雪槽が一体化して、槽内に投入した雪を急速に溶かすことを目的にした機械である。当初は一般住宅向けの家庭用小型機が主流であったが、その能力の大きさと経済性が認められ、現在では大型店舗等の駐車場の雪を処理できる大型融雪機や、車道を走行しながら処理を行う融雪車等が実用化されている。このように融雪機は積雪地特有の今日的なニーズに基づく生活に直結する設備であり、融雪効率の向上、コストの低減、耐久性の向上など改良が進められていくことにより、今後は北国住宅の必需付帯設備となっていくものと考えられる。

融雪機は製品としての歴史が浅く、広く流通し始めたのはこの10年ほどである。このため各メーカーにより融雪方式に違いがあり、具体的な安全基準や設計指針の統一化が十分検討されておらず、効率の良い設計方法と信頼性・安全性を確立することが緊急の課題となっている。その前提には、融雪機の機能を分析して、工業製品としての位置づけを明らかにしなければならない。このため機械を構成する機械要素間の関係を具体的に明らかにする構造モデリングを行う必要がある。また歴史が浅い製品ではあっても、過去の融雪機の使用例からその故障の特性を捉え、特徴の分析を行って対策をとることが重要と考えられる。そして最終的には、工業製品としての設計方針と基準を提案することが、融雪機の発展にとって本質的な貢献となる。しかしながら融雪機の工業製品としての価値の高まりにも拘らず、いままで融雪機は工学の研究対象として取り上げられることはなかった。

本論文は全6章から構成されており、各章の内容は以下のようになっている。

第1章は、本論文における研究の目的と意義、従来の関連する研究と技術をまとめ、本論文の構成を説明している。

第2章は、本研究の中心となる第3-5章を理解するための基礎知識を広くまとめている。寒冷積雪地に降る雪の特性と積雪の特徴、雪の物理的性質、また融雪技術の詳細な現状を整理している。また本研究が対象とする融雪機の機械構造と融雪の方式を解説する。

第3章は、従来から明確な機能の裏づけがなかった融雪機について、システム工学のアプローチである2つの方法を用いて機能解析を行う。1つはInterpretive Structural Modeling法(ISM法)、もう1つは定量的な解析が可能なDECISION MAKING TRIAL AND EVALUATION LABORATORY法(DEMATEL法)

である。ISM 法は、機能に関わると判断された項目をブレインストーミング等によりリストアップし、これらの項目の修正・削除・追加を対話形式で行い、最終的に項目間の連鎖を系統的に求めるモデリング手法である。また DEMATEL 法は、機能項目間の関係の強弱を定量的にランク付けすることにより互いの影響度合いをグラフ表現することができるシステム分析手法である。このため適切に使用すると、ISM 法より問題の詳細な構造の分析が定量的に可能である。

本研究では、融雪機が積雪寒冷地の自然環境で使用される機械であるという特殊性を考慮して、機能は「機器・要素の働き」、「信頼性・安全性」、「環境（使用）条件」の 3 つのグループとその共通領域により構成されたと考えた。その結果得た 35 項目を行列の形に並べ、ISM 法では 2 値行列 A を作る。この行列 A と単位行列 I を用いた隣接行列 $B=A+I$ に対して、間接的な関係がすべて明示されて行列が変化しなくなる $B \neq B^2 \neq \cdots B^{m-1} = B^m \equiv T$ を求める。要素同士の演算はブール演算の規則に従う。この可達行列 T 中の項目に対して、この項目から到達可能な横と縦の項目からなる集合を $R(s)$ 、 $Q(s)$ として、 $R(s) \cap Q(s)$ を示すことにより、どの項目にもつながらない項目である最上位レベルを得る。次に最上位の項目を除いた行列 T をつくり、先ほどと同様に $R(s) \cap Q(s)$ を求めることにより、次の上位レベルの項目が抽出される。この操作を項目が無くなるまで繰り返し、最終的にシステム全体の機能を表す有向グラフが生成される。この方法により、融雪機の機能に最も影響を与える最上位のレベル 5 から、一番影響が少ないレベル 1 まで、5 段階に分類された機能表現図を作成した。

DEMATEL 法では、同様に縦の項目が原因で横の項目が生じるとされるクロスポイント部分に、項目間の関係の強弱を 5 段階にランク付けをして行列をつくる。正規化した行列 X をもとに間接的な影響関係を求める。このため、べき演算を $X^m \rightarrow 0$ になるまで続け、行和 D と列和 R を計算し、各項目に $(D \cdot R)$ と $(D+R)$ の値を求め、横軸に $(D+R)$ 、縦軸に $(D \cdot R)$ をとることで項目間の相対関係を示すグラフ表現をすることができる。これらの機能表現以外にも、階層グラフを用いると融雪機のある機能に問題が生じた際に、その機能項目が直接の原因でない場合の原因追及が可能である。設計手順とは逆方向に原因調査を行うと、迅速に故障診断ができる。

第 4 章は、融雪機の故障について、故障解析の一般的な知識をまとめると共に、融雪機への適用を検討する。融雪機の特定期種の過去 6 年間にわたる 1377 件のデータをもとにバーナーの不着火、黒鉛の発生など 16 項目に分け、故障解析を試みた。始めに融雪機の故障現象について相関関係を明確にした。時系列データとして整理をして、故障と時間経過について考察を行った。また機能解析と関連づけて、故障データを利用する方法を提案した。さらには融雪機の季節製品としての特色に着目して、その季節性を表す故障の新しい図式法を提案した。これらの故障解析を利用して、融雪機の故障の傾向をまとめた。

第 5 章は、第 3, 4 章で得られた新しい知見を利用して、融雪機的设计指針と提案を考察している。第 6 章は、結論として論文全体から得られた考察をまとめている。その他、付録には故障解析に用いたデータと、著者らが融雪機業界全体に関わって作成、使用されている家庭用融雪機の審査基準をのせている。

以上の研究をまとめると、本論文では、システム工学手法の ISM 法と DEMATEL 法を適用して、融雪機の機能のグラフ表現を行って、その機能の構造化の検討を行うとともに、故障原因の相関関係と時間経過についての関係を表現した。さらに、製品自体の補修と今後の設計の改善に役に立てられるよう融雪機的设计に対する方針を提言した。融雪機の機能と故障の解析に関しては、系統的な研究報告が過去に全く見受けられない。このため本論文で提示された機能解析と故障解析により、融雪機の理解や問題点の抽出が容易となり、設計期間の短縮や製品の改良、新製品開発の可能性が期待できる。