



学位論文審査結果の要旨

博士(工学)申請者 福士 賢一

審査委員

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

融雪機の機能・故障解析と設計法に関する研究

本論文は、民生用雪対策として今や積雪地に不可欠な機械となっている融雪機について、その機能解析と故障解析を行い、その成果の上に融雪機の設計法について提言したものである。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。一般住宅向けの家庭用小型機から発展し、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上で処理を行う融雪車が実用化されている。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示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研究の対象として取り上げられることはなかった。

本論文は、以上の背景に基づき行った研究内容に関して、全6章から構成されている。

第1章では、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章では、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。積雪寒冷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章では、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 $B \neq B^2 \neq \dots \neq B^{n-1} = B^n \equiv T$ 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 の中の項目に対して、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ている。

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。これから正規化した行列 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 $X^n \rightarrow 0$ 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ができる。これらの機能の表現以外にも、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。すなわち設計手順と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章では、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、融雪機への解析の適用を検討する。融雪機の特種機種種の過去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、黒煙の発生など16項目に分け、故障解析を試みた。初めに融雪機の故障現象について相関関係を明確にした。つぎに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ている。

第5章では、第3,4章で得られた新しい知見を利用して、融雪機の設計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、著者が関わって作成され業界で使用されている家庭用融雪機の審査基準を載せている。

以上をまとめると、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的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の設計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は、工学面から見て新しい分野を切り開いた成果であり、学術的な独創性に富んでいる。実用面からは、融雪機を理解や問題点の抽出が容易となり、融雪機業界において設計期間の短縮や製品の改良、新製品開発の可能性が大いに期待されるものである。

よって著者は、博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。