

学位論文題名

民生用ロードヒーティングの性能予測手法の 開発および省エネルギー化に関する研究

学位論文内容の要旨

敷地の狭小化や高齢化などを背景に、冬季においても安全な通路を確保するため、ロードヒーティングは路面の雪処理・凍結防止対策として強いニーズがあり今後も増加が予想される。本論文は、住宅、事務所、病院などの敷地内に設置される民生用ロードヒーティングに関して、その省エネルギー化、高効率化を図るために必要な技術を開発し、エネルギー消費量増大の抑制に資することを目的としている。ロードヒーティングは、地盤の熱容量や気象条件が一定しないなどの理由により実験での性能評価が難しいことから、数値シミュレーションによる評価手法を提案し、それを用いて省エネルギー方策を検討している。各章の内容は以下のとおりである。

1章では、研究の背景と目的、既往の研究、論文の構成を述べている。

2章では、民生用ロードヒーティングの設備容量を決定するための設計用融雪負荷計算法について検討した。省エネルギーのためには予熱を行わないことが望ましいが、その場合、蓄熱負荷の見積もりが重要になる。そこで、設計用データとして整備されていない蓄熱負荷を放熱効率として表し、相当外気温、運転時間を変数とする放熱効率の予測式を導いた。次に、設計用降雪量の選定方法について検討し、積雪を許容する場合、1時間降水量の代わりに、「ひと雪」毎の平均降水量を用いる方法を提案した。また、予熱運転を行わない民生用システムの融雪負荷計算法として、要求される路面水準に応じて気象データと計算法を使い分けることを提案し、積雪を許容できる場合の計算手順を新たに示した。

3章では、冬季間全体を通して路面の融雪状況とエネルギー消費量を解析するシミュレーション手法について述べた。降雪や積雪の融解を簡易な二次元非定常熱伝導モデルを用いて解析する計算方法を示し、三次元モデルとの比較およびフィールドでの実測結果との比較によりその妥当性を検討した。その結果、二次元モデルでも放熱特性を十分表現でき、舗装温度および融雪状況をほぼ再現することができた。本シミュレーション手法を用いて、舗装内部の水分移動を無視できる一般的な舗装構造について、舗装材の厚さや熱物性、設備容量、制御方法を比較検討することが可能となった。

4章では、前章に示した1シーズンにわたる融雪シミュレーションにより、舗装体の熱伝導率と断熱材の有無、水はけの影響などについて検討し、その影響を明らかにした。さらに、民生用ロードヒーティングによく用いられている、降雪センサーとタイマー、舗装温度による制御方法を対象として、その設定条件が、融雪特性、期間融雪負荷に与える影響を検討し、予熱運転の影響が大きいこと、路面付近に温度センサーを設置し、温度管理することが省エネルギーに効果のあることを明らかにした。

5章では、歩行者通路用電気式ロードヒーティングの省エネルギー化の一方策として、鋼板ブロックおよび面状発熱体ヒーターを用いたロードヒーティングシステムを提案した。簡単な融雪実験と施工実験および融雪シミュレーションにより、適切なヒータ間隔を明らかにし、ヒーターの容量を通常の方式より小さくできること、舗装温度を適切に管理することで、エネルギー消費量もまた削減できることを示した。また、温度センサーを用いた簡便で遅延タイマー方式より優れた制御方法を提案した。

6章では、歩行者通路のロードヒーティングを対象として、その未使用期間に、舗装体を太陽熱コレクターとして活用し給湯の予熱を行うことを提案し、集熱に適した舗装構造について検討した。5種類の舗装体を試作してフィールド実験を行い、舗装体による集熱性能の違いを明らかにし、また、日集熱量は運転時の平均相当外気温と送水温度の差から推定できることを示した。さらに集熱性能の予測を可能にするシミュレーションプログラムを開発し、実測値と比較したところ、集熱量はほぼ10%以内の誤差で一致した。これを用いて舗装の被り厚さの影響、熱拡散用アルミニウム板を貼り付けた断熱パネルの有効性、断熱厚さの影響を明らかにした。

7章では、6章で検討した舗装体と、ボイラ、貯湯槽などで集熱・給湯システムを構成し、標準的住居を想定した集熱面積20 m²を有するシステム全体での集熱・給湯実験を行った。日集熱量の最大値は42 MJ/日、集熱効率の最大値は11%であり、71日間で約1000 MJの集熱が行われた。また、システム全体の性能を予測可能なシミュレーションモデルを構築し、その妥当性を検証した後、集熱性能に及ぼす要因をシミュレーションによって明らかにした。さらに、実験システムに用いた舗装体の融雪性能について、融雪実験およびシミュレーションにより検討し、問題のないことを確認した。実験条件に等しい標準モデルの札幌における4~10月の集熱量は3700 MJ、平均集熱効率は5.6%であり、融雪に使用されるエネルギーの約29~37%を給湯で回収できることがシミュレーションにより予測された。

8章では、研究の総括と今後の課題を示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 窪 田 英 樹
副 査 教 授 繪 内 正 道
副 査 教 授 横 山 真 太 郎
副 査 助 教 授 長 野 克 則
副 査 助 教 授 濱 田 靖 弘

学 位 論 文 題 名

民生用ロードヒーティングの性能予測手法の 開発および省エネルギー化に関する研究

高齢化がすすむなか、生活環境のバリアフリー化が大きな課題となっている。なかでも積雪寒冷地においては、冬季に安全な通路を確保することが重要で、路面の雪処理・凍結防止対策としてロードヒーティングは有用な手段であり、今後も増加が予想される。

著者は、住宅、事務所、病院などの敷地内に設置される民生用ロードヒーティングに着目して、そのエネルギー消費量を軽減すべく、省エネルギーに資する高効率化システムづくりに必要な特性を検討することにより合理的な設計方法を提示しようとしている。ロードヒーティングは地盤の熱容量が比較的大きいことや、気象条件が常に変動することなどの理由により短時間の実験ではその性能を評価することは難しい。そのことから数値シミュレーションによる評価手法を提案し、それを用いて省エネルギー方策を検討している。

本論文は8章で構成される。各章の内容は以下のとおりである。

1章では、研究の背景と目的、既往の研究、論文の構成を述べている。

2章では、民生用ロードヒーティングの設備容量を決定するための設計用融雪負荷計算法について検討している。通常の車道とは異なり、荷重強度が小さい民生用ロードヒーティングの場合、ヒーターを浅く設置することが出来、予熱を行わずに降雪に対応した運転が可能となるが、その場合、蓄熱負荷の見積もりが重要になる。著者は、蓄熱負荷を放熱効率として表し、融雪期間の平均相当外気温と総降雪時間（運転時間）を変数とする放熱効率の予測式を導いている。さらに設計用降雪量の選定方法について検討し、1時間降水量の代わりに「ひと雪」毎の平均降水量を用いる方法を提案し、積雪を許容できる場合の計算手順を新たに提示している。

3章では、冬季間全体を通して路面の融雪状況とエネルギー消費量を解析するシミュレーション手法について述べている。降雪や積雪の融解を簡易な二次元非定常熱伝導モデルを

用いて解析する計算方法を示し、三次元モデルとの比較およびフィールドでの実測結果との比較によりその妥当性を確認している。そのシミュレーション手法を用いて、舗装内部の水分移動を無視できる一般的な舗装構造について、舗装材の厚さや熱物性、設備容量、制御方法を比較検討することが可能となった、としている。

4章では、前章に示した1シーズンにわたる融雪シミュレーションにより、舗装体の熱伝導率と断熱材の有無、水はけの影響などについて検討し、その影響を明らかにしている。さらに、民生用ロードヒーティングで多用される降雪センサーとタイマー、舗装温度による制御方法を対象として、その設定条件が、融雪特性、期間融雪負荷に与える影響を検討し、予熱運転の影響が大きいこと、路面付近に温度センサーを設置し、温度管理することが省エネルギーに効果のあることを明らかにしている。

5章では、歩行者通路用電気式ロードヒーティングの省エネルギー化の一方策として、鋼板ブロックおよび面状発熱体ヒーターを用いたロードヒーティングシステムを提案している。融雪と施工実験および融雪シミュレーションにより、適切なヒータ間隔を明らかにし、ヒーターの容量を通常の方式より小さくできること、適切な舗装温度管理でエネルギー消費量も削減できること、また、温度センサーを用いた簡便で優れた制御方法を提案している。

6章では、歩行者通路のロードヒーティングを対象として、その未使用期間に、舗装体を太陽熱コレクターとして活用し給湯の予熱を行うことを提案し、集熱に適した舗装構造について検討している。5種類の舗装体を試作してフィールド実験を行い、集熱性能の予測を可能にするシミュレーションプログラムを開発検証し、これを用いて舗装の被り厚さの影響、断熱厚さの影響などを明らかにしている。

7章では、6章で検討した舗装体と、ボイラ、貯湯槽などで集熱・給湯システムを構成し、標準的住居を想定したシステム全体での集熱・給湯実験と、実験舗装体の融雪性能について融雪実験およびシミュレーションにより検討している。その結果、実験条件に等しい標準モデルを札幌に設置した場合、融雪に使用されるエネルギーの約29～37%を4～10月の集熱・給湯利用により回収できることを予測している。

8章では、研究の総括と今後の課題を示している。

これを要するに、著者は、民生用のロードヒーティングの性能予測手法を開発すると共に、これに基づく省エネルギーに資する設計と制御の方法を提案しており、都市環境工学ならびに人間環境工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。