



学位論文審査結果の要旨

博士（工学）申請者 泉谷 諭司

審査委員

主査 教授 三田村 保

副査 教授 松崎 博季

副査 教授 昆 恵介

冬期の転倒予防を目的としたスマートシューズの開発に関する研究

本論文は、積雪寒冷地の冬期の転倒予防を目的としたスマートシューズの開発に関する研究である。

近年、我が国は少子高齢化が進み、人々の健康寿命の延伸が重要な政策の一つとして位置付けられている。若年層の働き手の不足が叫ばれる中、高齢者の益々の活躍が期待されるが、加齢による様々な身体機能の低下は活躍を妨げる要因の一つと言われている。特に身体機能の低下に起因する高齢者の転倒は、要介護になる原因として注目されており、転倒後は恐怖感から活動意欲が低下することが報告されている。このことから、高齢者の転倒予防は少子高齢化が進む現在において非常に重要な課題である。

しかしながら、積雪寒冷地に着目すると、多くの人々が冬期間に転倒していることが明らかになっており、特に40代～70代に多く見られ、救急搬送されるケースが報告されている。また降雪によって濡れた路面や圧雪・凍結した路面に遭遇することが多く、特にこの圧雪・凍結状態の路面は滑りやすいことから、歩行者の転倒リスクを高める。そのため、人々は冬期用靴や杖、歩き方を変えることによって転倒リスクを下げるが、依然として多くの人々の転倒が報告されているのが現状である。

このような転倒が続く一因には、歩行者の油断や慢心が指摘されており、移動中に遭遇した判別の難しい路面を強く警戒しないために、結果として転倒するケースが報告されている。したがって路面状況を正確に知る必要があるが、歩行者の視覚情報だけでは限界があり、また移動中に常に足元を注視することは現実的ではない。そのため、今日までに自動車両を利用した車載型センサによる路面状況の把握や、設置型カメラによる路面判別が試みられてきたものの、歩行者が主に使用する歩道での試みは未だ充分とは言えないのが現状である。また、判別結果を移動中の歩行者にメリットのある形でフィードバックする手法の検討も充分とは言えず、歩行自体をサポートするような効果的な転倒対策は依然としてないままである。

そこで本研究は、歩行者の転倒予防を目標とし、路面情報の取得及び路面判別を可能としながらも、判別結果から靴底の防滑性能を向上させることが可能な冬仕様のスマートシューズの開発を行った。開発したスマートシューズが、歩行中に冬期の路面を計測可能かどうか、その情報から路面判別が可能かどうか、また靴底の防滑性能を向上させる機構が歩行中に利用可能かどうかを明らかにすることを目的として評価を行った。

本論文は全6章で構成されており、各章の内容は以下の通りである。

第1章では、序論として研究背景、現状の課題、本研究の目的、論文の構成を記述した。

第2章では、スマートシューズ（プロトシューズ）の路面判別原理・構成を述べるとともに、スパイクピンの出納ユニットについて記述した。また、同シューズを使用し、湿潤

路面を模擬した歩行路にて行った歩行実験について記述した。

第3章では、屋外使用に先立って改良したプロトシューズ ver. 2 を使用し、実際の冬期凍結路面にて行った歩行実験について記述した。

第4章では、歩行時の利用を想定した出納ユニットの基礎的な評価に関して記述した。

第5章では、簡易的に路面判別を可能とするプログラムを組み込んだプロトシューズ ver. 3 を使用し、凍結路面を模擬した歩行路上にて判別機能の評価について述べるとともに、判別結果からスパイクピンが出納するまでの一連の動作に関して記述した。

第6章では、結論として本研究によって得られた結果をまとめるとともに、限界と課題、展望を記述した。

以上のことから、本研究で明らかになったことは次の通りである。1) 試作型スマートシューズ（プロトシューズ）を製作し、同シューズが歩行中に乾燥・湿潤・凍結路面の計測及び判別が可能であることを明らかにした。2) 判別結果より駆動の制御が可能なスパイクピンの出納ユニットを製作し、歩行時に利用可能であることを明らかにした。3) プロトシューズと出納ユニットを組合せた状態で、歩行中に路面判別が可能であることを明らかにした。

1) で明らかになったとおり、本研究で開発した試作型スマートシューズは、冬期間の積雪寒冷地の歩行中に遭遇しうる、乾燥・湿潤・凍結路面の計測及び判別を歩行中に可能とするものであった。同シューズで計測したデータを解析して利用することで、これまでは車道を中心とした路面状況の把握であったものが、歩道の状況把握にも利用可能であることが予想された。これによって、より細かな地点・地域の把握が可能となれば、道路管理上で必要となるスリップ・転倒対策の一環である砂撒き・融雪剤散布などをより効率良くできるなどの利用用途が考えられ、歩行者の転倒予防に寄与すると思われる。

次に、2) で明らかになった出納ユニットの歩行時の利用に関しては、現在普及しているスパイク付きの冬期用靴が抱える課題を解決する一案であった。具体的には、非常に滑りやすい凍結路面を移動する際の防滑機能として期待されるほか、自動でスパイクピンの吐出と格納を行うことで屋内外移動時の着脱の手間を解消することが期待された。これによって、歩行者の転倒事故の減少に寄与するものと思われる。

最後に明らかになった 3) は、前述したユニットを一体化した際に、歩行中に高精度で路面判別が可能であることを示唆するものであった。このことから、現在の結果からは一部の歩行・環境下での利用に限られるものの、滑りやすい凍結路面を検知後にスパイクピンを吐出させることが可能であった。これらの研究成果から、本研究の目的である冬仕様のスマートシューズの開発が達成されたものと思われる。

本研究の展望として、本研究は冬期間の歩行中を対象とした路面判別を試みる際の計測機器の構成案・計測手法として位置付けられるとともに、これまでに引き上げられてこなかった歩行者の移動ルートの実態に介入し、道路管理等の最適化に大きく貢献しうるものと考えられる。また、歩行中に遭遇しうる路面間の判別指標は、歩道のみならず自動車が走行する車道の判別にも共通するものであることから、都市全体の管理に大きく寄与する情報であると期待される。将来的には、スマートシューズで得られる路面情報の他に、自動車の走行中の路面情報や、歩行者のスマートフォン・スマートグラス・スマートウォッチ等の高性能な内部センサ・位置情報と地図情報を組み合わせることで、すべての人・車・物の移動を包括的にアシストすることができるシステムの構築が可能と考え、本研究成果はその一助となるものであると考える。

以上要するに本論文は、寒冷地における転倒予防を目的としたスマートシューズの開発を行い、その有用性を示したものであり、医療工学に資するところ大である。

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。