

令和元年6月13日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01338

研究課題名(和文) 限界集落における人手除雪の排雪搬送高効率化移動式除雪圧縮押し機械の自動制御

研究課題名(英文) Autonomic control of high speed snow compressor to help human intensive snow remove and increase snow disposal work efficiency by elderly person at marginal society.

研究代表者

石黒 農 (Minoru, Ishiguro)

富山高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：40455126

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)： 少子高齢化によって、限界集落で80歳代の高齢者が、自力で除雪を行うことが困難になってきている。2018年には、積雪時に自宅から外に出ることが出来ない積雪自宅遭難者が発生したことが新聞報道されている。現在は60～70代の比較的若く元気な高齢者が、高齢弱者の除雪・排雪作業を援助しているものの、今後の高齢化深刻化と、その増加によって、現在の様な安定した除雪活動が行えなくなることが危惧されている。本研究では、私的共助除雪作業で全体作業効率低下の問題となっている排雪作業の支援を目的とした、除雪高速圧縮成形機の自動制御の設計に必要な除雪の高速圧縮・圧密成形特性を小型金型を用いた模擬実験により調査した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者の除雪・排雪支援を目的とした、除雪の高速圧縮装置の自動制御の設計に関わる研究を実施した。その基礎となる除雪の高速圧縮・圧密成形特性を評価した。本研究では、ひずみ速度  $\dot{\epsilon}=10^{-1}\sim 10^{-2}\cdot s$  程度の比較的高速領域での除雪圧縮圧密成形を実施した。その結果、従来、ひずみ速度  $\dot{\epsilon}=10^{-3}\cdot s$  の除雪の低ひずみ速度圧密成形において仮定されていた等方性圧縮変形が成り立たないことを新たに発見した。これは該当科学研究分野の30年ぶりの発見であった。英語論文5本、海外発表1回、国内発表3回を実施し、広く国民に状況説明を行った。今後の除雪高速圧密成形に関する大きな進歩となった。

研究成果の概要(英文)： With the declining birth rate and aging population, it has become difficult for elderly people about 80s years old in in their marginal society to remove snow on their own. It is reported that in 2018 there were some home locked person who could not get out of the house at the time of snowfall. Although relatively young elderly people about 60 to 70s years old helped to remove snow of the weak elderly person's house. It is feared in future that there will rapidly increase some weak persons who can not perform snow removal by themselves by serious population aging. In this project, we aimed to support snow disposal work which is a problem of efficiency reduction in private co-snow removal work at elderly weak person society. As physical characteristics necessary for designing autonomic control of snow removal high speed compressor, high speed compression characteristics of snow were investigated by simulation experiment using a small pressure vessel.

研究分野：設計工学

キーワード：設計工学 高齢者除雪問題 限界集落

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

科研費を申請した2015年、日本は少子化と高齢化に伴う労働人口の減少が問題となっていた。2000年頃には、出生数が100万人/年程度に低下し、その後底打ち傾向にあった。一方、1945年から1955年の10年間に生まれた平均300万人/年の国民が、60歳になり始め、日本全体の市町村が高齢化社会・高齢社会・超高齢社会に急速に移り変わろうとしていた。また、申請研究実施中の2018年には、団塊の世代が健康寿命73歳を超えた。それに合わせるかのように、人口構成割合の高い高齢者から寄せられる社会インフラに対する要求が変化し、現状のインフラ体制との乖離が社会問題として顕著化してきていた。

2016年頃には、申請者の研究所在地である富山県も一部の地域で65歳以上の高齢者が50%以上の構成比率を持つ限界集落が形成されている。これ以前に1999年から2010年の間に、富山県では人口減少に対応するためのインフラ統合・高効率化を目的として平成の市町村大合併が実施され市町村枠の再構築が行われた。その後、当時の地方自治体の予想通りに山間地域で限界集落が発生するようになってきた。この高齢者の急速な増加と、労働人口の低下の傾向は、2019年現在も富山県で拡大している。人口統計から見積もると、富山市と黒部市を除いた、富山県全域の小核市および中核市で限界都市化が、今後30年の間に発生することが分かっている。富山県では産学官金連携で、色々な対策を行っているが、十分な対応が行えていない。

申請者は、冬季降雪時の駐車スペースの有効利用を目的とした、町興しとしての排雪を用いた灯籠づくりに関する研究を実施してきた。そこに、富山県内の共助除雪を支援している中小企業から、限界集落における人海戦術除雪の支援要望があった。富山市には、富山市商工会を中心とした、富山県に密着した中小企業と大企業の連合会が存在している。その連合会に参加している多くの企業は、地元の様々な共助活動を昔から支援してきた。更に、行政も連携し、その活動力を利用して地方自治体の活動を統括維持してきた経緯がある。申請者の排雪を用いた灯籠造りに関する研究を聞いた地元有志から、研究結果を高齢者除雪の支援に転用できないかという問い合わせであった。具体的には、高齢者が多く住む町や、限界集落では、人海戦術型の共助除雪が行われているが、その中で、生活居住区で集まった除雪を町はずれの河原に排雪搬送する作業がある。「この排雪作業が他の除雪作業に比べ非常に労力がかかり、全体の除雪作業効率の低下を招いており、排雪作業を支援する装置を開発できないか。」と、いう問い合わせであった。その背景には、「慢性的に共助除雪に関するボランティアが少なく、共助除雪がもともと困難な作業であったことに加え、急速な高齢化により、単身高齢者宅が増加しており、人海戦術型の共助除雪の計画が破綻し始めている。」と、いう事があった。また、共助除雪のために地域住民が計画的に休暇をとる必要があり、ボランティアにも大きな負担を強いている。そもそも、「地元住民の協力なしには実施できない、生活に関わる重要なインフラ維持作業を住民の力に頼っている。」と、いう問題があった。行政もインフラ整備を実施し、流雪溝を用いた計画的な排雪で、大きな成果を上げているが、町ごとの計画排雪のために、やはり基本的に実施計画の自由度は無いに等しい。「個人の力で、膨大に積み上げられた排雪を簡単に少ない回数で運ぶことが出来れば、住民生活に与える負荷が大幅に軽減できる。」と、いう訴えであった。

上述の要請を受け高齢者「限界集落における人手除雪の排雪搬送高効率化移動式除雪圧縮押し出し機械の自動制御」に関する研究を実施した。人間が高速除雪圧縮装置を安全に自動動作させるには、圧縮圧力容器の安全性を確保する必要がある。そのため、除雪圧縮特性に関する研究論文の文献調査をしたが、色々な研究機関から発表された除雪圧縮特性に関する研究報告の結果には大きな違いがあった。また、除雪圧縮成形時に圧力容器側面に発生する背圧の定量評価に関する報告はなかった。そこで、申請研究では、包括的な実験条件での除雪圧縮特性の再調査と、除雪圧縮成形時において圧縮圧力容器の側面に発生する背圧の定量評価を実施した。また、日本全国の高齢者人手除雪に関する観察科学報告も無かったため、富山県を中心とした北陸地方の高齢者人手除雪に関する調査を実施した。更に、既存の公的除雪における局所的な雪溜まりについて、セル・オートマトン(CA)プログラムを開発し、「なぜ交差点などの曲がり角に除雪が溜まるのか？」を考察し、既存の公的インフラ除雪によって、高齢者宅の出口に背の高い残雪山が形成され、降雪時の自宅遭難につながる可能性を報告した。

### 2. 研究の目的

冬季の除雪活動の住民に与える生活負担を軽減することを目的に、現在配備されている排雪インフラの流雪溝の他に、既存の道路インフラを用いて、個人が高効率に住宅街の排雪を実施できる機械の開発を目的とし、「限界集落における人手除雪の排雪搬送高効率化移動式除雪圧縮押し出し機械の自動制御」に関する研究を実施した。人間が高速除雪圧縮装置を安全に自動動作させるには、除雪の圧縮圧力容器の安全性を確保する必要があるが、既存の研究結果では情報が少なく、安全な設計を実施する事が困難であり、実験科学によるデータ収集が必要であることが分かった。そのため、申請研究では、包括的な実験条件での除雪の圧縮特性の調査および除雪圧縮成形時に圧縮圧力容器の側面に発生する背圧の定量評価を実施した。

続いて、多くの自治体では、ホームページを通して、高齢者除雪が困難になってきていることを発表しているが、世界中で高齢化と人口減少が進むことが懸念されている中で、高齢者除雪に関する情報は、非常に有意義で必要なものであるが、学術誌での公表が無い。そのため、

世界共通認識の研究を進めるためには、多くの情報を収集し全世界に発信する必要があった。そこで、富山県を中心とした北陸地方の高齢者除雪に関する情報を集め、研究論文の形で公表し世界の至る所で参考のできる公共福祉情報を提供することを目的とした。

続いて、降雪時の除雪状況を見ると、交差点の角地によく雪が溜まっている事が観察される。積み上げられた残雪は、自動車の車高よりも高く、交通渋滞の原因ともなっている。また、体力が弱い高齢者にとっては、自宅から外出する時の大きな障害となっている。この局所的な路面整正拡幅除雪が、いかに高齢者にとって大変な作業になっているかを調査して報告する。また、簡単なCAプログラムによって、大まかな除雪たまり場を予測するプログラムを開発し、道路角地や私有地の出入り口で除雪がどの程度高く積みあがるか予測できることを目的とした。

### 3. 研究の方法

地方の有志から要請のあった除雪の排雪搬送を支援する除雪圧縮固化装置の設計に係る除雪の圧縮固化特性を、小型模擬実験を用いて調査した。それらの研究成果を論文の形で公表した。詳しくは研究業績を読んで頂きたい。〔雑誌論文 - 〕

フィールドワーク調査として、大野〔引用文献 〕の実施した研究の延長として、40年前に人口減少によって自然消滅が予想された高知県の市町村に対して電話調査を実施し、どのように町が消滅したのか調査を実施した。高知県では市町村合併によって2000年の53市町村から、2018年の34市町村へ統合縮小が行われている。大野〔引用文献 〕の研究では、人口動態統計から、物部、大豊、池川、吉川、吾比、大月、十和の7つの市町村が2030年頃に自然消滅すると推定していた。2018年現在存続していた大豊、大月のうち大豊町に対して電話調査を実施した。存続している町の現状と問題点について調査を実施し、町の高齢化プロセスにおいて発生する問題点を調査した。その結果を富山県内の国土交通省、県庁、市庁に研究取材を実施した折に情報交換を実施し、これから富山県で発生する問題点について提起した。さらに、北陸地域で起きた福井豪雪において、降雪時に発生した高齢者自宅遭難について、現地地方新聞社を通して調査を実施した。それらの結果の一部をまとめ論文として公表した〔雑誌論文 〕

除雪溜まりの残雪高さを予測するCAプログラムを開発した。その予測プログラムと観察結果との比較を実施した。その結果を論文の形で公表した。詳しくは研究成果を読んで頂きたい。〔雑誌論文 〕

#### [引用文献]

大野晃、山村環境社会学序説：現代山村の限界集落化と流域共同管理、農山漁文化協会、（2005）

### 4. 研究成果

「限界集落における人手除雪の排雪搬送高効率化移動式除雪圧縮押し出し機械の自動制御」に関する研究を実施した。研究成果として、〔雑誌論文 - 〕および〔学会発表 - 〕の知見を得た。

包括的な実験条件での除雪圧縮特性の調査と、成形時の側面背圧の測定を実施した。その結果、除雪圧密特性に関する諸先輩研究者達の研究結果に大きな違いが表れたのは、「実験条件に統一性が無かったこと。」が、起因していることを明らかにした。包括的な実験条件で実施した実験の結果、諸先輩研究者の研究結果をそれぞれ再現することができた〔雑誌論文 - 〕。除雪圧縮特性は実験条件によって大きく左右されることが分かった。そのため、除雪圧縮装置を設計するにあたり、除雪圧縮特性を評価するには、想定する機械の寸法比で予備実験を実施する必要があることが分かった。

除雪圧縮成形時の圧縮圧力容器の側面に発生する背圧の定量評価に関する研究では、該当実験科学分野において新しい発見があった。従来、除雪圧縮特性はガスの圧縮特性と同様に、理想気体として取り扱われ、等方圧縮変形が起きていると仮定されていた。そのため、軸方向成形圧力が側面圧力と同等として扱われていた。しかし、多点圧力計を用いた圧縮圧力容器の側面に発生する背圧の定量評価により、「除雪圧密成形時において容器の底面部近傍以外で、圧力容器の側面には背圧が発生せず、軸方向成形圧力と側面圧力は一致しない。」と、いう事実を明らかにした〔雑誌論文 、 〕。この結果により従来の仮定が成り立たなくなったため、既存の研究結果の多くを再度調査する必要が出てきた。

高齢者除雪の現状調査では、新たな観察科学知見が得られた。2018年の福井豪雪では、降雪時に高齢者が自宅遭難したことが初めて新聞報道されている。テレビ等で元気な高齢者が報道されているが、一方では自身の力で除雪が行えない弱者が発生している。弱者保護および今後の限界都市化による高齢者急増についての現状調査し、行政と住民を巻き込んだ共助除雪の更なる連携強化の重要性を訴える啓蒙活動を論文公開という形で実施した〔雑誌論文 〕。

降雪時の路面整正拡幅除雪における交差点角地の残雪山高さを予測するCAプログラムを開発した。その結果、少なくとも通常降雪量の4倍の除雪溜まりが発生することが理論科学の知見から得られた。しかしながら、実際の観察結果では、7倍以上の高さに除雪溜まりが形成さ

れていることが観察されている。この除雪溜まりの高さの違いは境界条件の違いに起因することを示した〔雑誌論文〕。どちらにせよ、このように高く積み上げられた残雪山を、80歳を超えた高齢者は独自に排雪できない。今後高齢者が都市部で急増するが、除雪溜まりの処理方法を新たに検討する必要があることを示した。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 5 件)

Ishiguro Minoru, Tomoki Tajiri, Shin-ichiro Kaneko, Yotsumi Yoshii, Hiro-aki Okegawa, Toshimasa Chaki, Human-Intensive Snow Disposal and Elderly Residents of Toyama Prefecture, International Journal of Transportation Engineering and Traffic System, 査読有, Vol. 5(1), 2019, 25-41.

Minoru Ishiguro, Hiroki Hayashi, Yotsumi Yoshii, Tomoki Tajiri, Shin-ichiro Kaneko and Hiro-aki Okegawa, Evaluation of Back Pressure on Lateral Wall of Square Cross Section Snow Compression Pressure Vessel, Journal of the Japanese Society for Experimental Mechanics, 査読有, Vol. 18(2), 2018, 130-140 DOI: <https://doi.org/10.11395/jsem.18.130>

Minoru Ishiguro, Snow Compression Property Assessment Using Several Cross-Section Compression Pressure Vessels, International Journal of Mechanics and Design, 査読有, Vol. 3, 2018, 30-46

Minoru Ishiguro, Shu-ichiro Matsui, Miyu Nakagawa, Tomoki Tajiri, Shin-ichiro Kaneko, Yotsumi Yoshii, Compression and Extrusion Processes for Snow Disposal using a Rectangular Cross-section Die Container, Journal of Japan Society for Design Engineering, 査読有, Vol. 53(1), 2018, 69-84 DOI:<https://doi.org/10.14953/jjsde.2016.2718>

Minoru Ishiguro, Hiroki Hayashi, Shin-ichiro Kaneko, Yotsyumi Yoshii, Tomoki Tajiri, Sotomi Ishihara, Kei-ichi Masuyama, Naoki Sase, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, 査読有, Vol. 5(3), 2017, 141-149 DOI: <https://doi.org/10.12792/jiiae.5.141>

### 〔学会発表〕(計 4 件)

石黒 農, 高齢社会・限界中核市・政令指定都市における高齢者人手除雪の高効率支援に関する研究, NaDeC BASE (新潟県長岡市), (招待講演), 2019年3月.

石黒 農, 一緒に乗り越えたい高齢者除雪問題, 大学コンソーシアム富山 研修室1(CiCビル5階), (招待講演), 2018年8月.

Minoru Ishiguro, Evaluation of Crack Propagation of Compact Tension Specimen by using Ultrasound Measurement System, Pazmany Peter Katolikus Egyetem Informatiocios Technogiai es Binonikai Kar., (招待講演), 2016 October.

石黒 農, 限界集落における人手除雪の排雪搬送高効率化移動式除雪圧縮押し出し機械の自働制御, 第4回製品開発セミナー 富山高専 階段教室, (招待講演), 2016年7月.

### 〔図書〕(計 0 件)

### 〔産業財産権〕

#### 出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

#### 取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

### 〔その他〕

ホームページ等

研究代表者石黒農研究室ホームページ <https://ins-tech-toyama-coll-mech-ishi.jimdofree.com/>

研究業績一覧ホームページ <https://researchmap.jp/read0142249>

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：由井 四海

ローマ字氏名：Yoshii Yotsumi

所属研究機関名：富山高等専門学校

部局名：電子情報工学科

職名：准教授

研究者番号（8桁）：( 10413759 )

研究分担者氏名：田尻 智紀

ローマ字氏名：Tajiri Tomoki

所属研究機関名：富山高等専門学校

部局名：機械システム工学科

職名：助教

研究者番号（8桁）：( 10735525 )

研究分担者氏名：石原 外美

ローマ字氏名：Ishihara Sotomi

所属研究機関名：富山高等専門学校

部局名：その他部局等

職名：校長

研究者番号（8桁）：( 60019221 ) [H29.3.31 分担削除]

研究分担者氏名：金子 慎一郎

ローマ字氏名：Kaneko Shin-ichiro

所属研究機関名：富山高等専門学校

部局名：電気制御システム工学科

職名：准教授

研究者番号（8桁）：( 60446242 )

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：石原 外美

ローマ字氏名：Ishihara Sotomi

〔退職に伴って科研費応募資格が喪失したため、研究分担者から外れたが、研究協力者として、引き続き研究を実施している。〕

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。