

平成 28 年度 委託研究開発成果報告書

I. 基本情報

事業名：(日本語) ロボット介護機器開発・導入促進事業  
(英語) Project to Promote the Development and  
Introduction of Robotic Devices for Nursing Care

研究開発課題名：(日本語) 安全評価基準  
(英語) Safety evaluation criterion

研究開発担当者 (日本語) 山田 陽滋 名古屋大学・大学院工学研究科機械理工学専攻・教授  
所属 役職 氏名：(英語) Department of mechanical systems engineering, Professor, Yoji Yamada

実施期間：平成 28 年 4 月 1 日 ～ 平成 29 年 3 月 31 日

分担研究 1 (日本語) 安全評価試験方法・装置の開発 (人間工学的整合 (姿勢)、介護者対象)  
開発課題名：(英語) Development of method and device for safety evaluation test (Ergonomic  
mismatch (Posture), Caretaker)

研究開発分担者 (日本語) 伊藤大輔 大学院工学研究科機械システム工学専攻・助教  
所属 役職 氏名：(英語) Department of mechanical systems engineering, Assistant Professor,  
Daisuke Ito

分担研究 2 (日本語) 安全検証手法の開発 (人間工学的整合 (皮膚)、介護者対象)  
開発課題名：(英語) Development of method and device for safety evaluation test (Ergonomic  
mismatch (Skin), Caretaker)

研究開発分担者 (日本語) 秋山靖博 大学院工学研究科機械システム工学専攻・助教  
所属 役職 氏名：(英語) Department of mechanical systems engineering, Assistant Professor,  
Yasuhiro Akiyama

## II. 成果の概要（総括研究報告）

### ・ 研究開発代表者による報告の場合

安全評価試験方法・装置の開発（人間工学的整合（姿勢）、介護者対象）**(Akiyama wrote from 実績報告書)**

提案したリスクカーブに基づく介護動作時の腰痛発生確率との対応を評価する目的で、MR 撮像のような準侵襲の方法によらず、介護作業に伴う屈曲進展運動の際にヒトの背面に貼ったマーカをモーションキャプチャで撮影するのみで、得られたデータから腰椎の位置・姿勢を求める実験方法を、エンドポイントを含め設計した。さらに、産業技術総合研究所において開発中の人体シミュレータ(Dhaibaworks)との相互比較を行うべく、以下の共同研究を開始した。すなわち、われわれのチームが提案してきている、弾性梁を組み込んでその曲げモーメントから CS 負荷を推定する方法を Dhaibaworks に搭載することを課題として、Dhaibaworks のトレーニングを研究協力者が受講した。さらに、弾性梁モデルを用いた負荷推定方法の課題である特定の姿勢における推定精度の低下を改善するため、モーションキャプチャデータからの脊柱位置推定方法の精度の向上を試みた。

安全検証手法の開発（人間工学的整合（皮膚）、介護者対象）

装着型ロボット装着部位における創傷リスクを推定するため、動作中の当該部位における作用力および滑りを計測するための計測カフを製作した。これまでの研究において、装着部位においては応力の著しい空間的な偏りがみられたことから、特に創傷が発生しやすいと考えられる部位についてその接触部挙動を計測できる構造を実現した。さらに、計測カフを試験用装着型ロボットに搭載し、被験者実験により装着部挙動を計測・解析した。計測されたデータについて関連する学会において発表を行い結果を公表するとともに、接触部挙動の発生機序およびそれに伴う創傷リスクについて議論を行い、計測方法の改善について意見を得た。

また、装着者を危険にさらすことなく長時間使用時における、あるいは作用力増加時における創傷リスクを見積もるため、装着型ロボット使用時の動作をダミー上で再現するための装置開発を行った。装置は、動作を再現するための 6 軸マニピュレータおよびカフを固定したエンドエフェクタ、ダミーとそれに固定された人工皮膚からなる。ダミーについては、形状の妥当性を考慮し、新たに人体データベースから選定された平均的な体格を有する個人の 3 次元データに基づいて再設計を行った。また、創傷リスクに影響するせん断力および摩擦力を再現するため、マニピュレータの制御アルゴリズムの開発を行った。

さらに、装着者の体格・軟組織物理特性の個人差が創傷リスクに与える影響を反映するため、インフレタブルな構造により表面形状および硬さを制御可能な人体ダミーを開発した。特に本年度は、その制御可能範囲の検証および装置を用いた形状再現方法の開発に取り組んだ。これにより、装着が予想される部位の曲率および弾性を再現可能であることが示された。膜面変形のシミュレータを開発し、インフレタブル部分の拘束力と膨張力を変数として表面形状を計算し、装置との比較によってその妥当性を確認した。形状再現機構およびシミュレータの性能および形状再現手法について学会において報告を行い、その有用性を示した。

Development of a method and a device for safety evaluation test (Ergonomic mismatch (Posture), Caretaker)**(Akiyama translated)**

To evaluate the risk of causing the low back pain of nursing care workers based on the risk

curve, we made a design of experiment with relevant endpoints estimating the configuration where the lumbar spine runs at the back of a worker during his/her extension/flection motion of nursing care. The designed method can estimate the position of spine without taking such quasi-invasive images as MRIs. The configuration of the spine is assumed to be estimated from the observation of the motion of the subject using a motion capture system. Furthermore, we start a collaborative work with a team in AIST in the following manner: We dispatched a doctoral candidate to AIST where a cutting-edge human simulator Dhaibaworks is under development by setting an assignment to him to implement the algorithm of estimating CS load computed from the bending moment of a non-rigid beam which represents a human spine. In addition, the issue that incorporating an elastic beam into a part of spine may deteriorate a decrease in the estimation accuracy of the CS load is under examination and a method for improving the accuracy of spine configuration estimation was initiated with the coordinate frames carefully introduced.

Development of method and device for safety evaluation test (Ergonomic mismatch (Skin), Caretaker)

To estimate the risk of tissue injuries around the contact area of a wearable robot, an instrumented cuff, which can measure the interaction force and slippage at the contact surface, was developed. Because of the unevenness of the stress observed previously, the cuff was improved to measure the contact condition of the area, where the stress concentration appears, separately from the other part of the cuff. Furthermore, interaction force, slippage and relative motion of the contact area when a subject using a wearable robot was measured using developed cuff. The result of this observation and analysis was not only reported in a conference but also many constructive opinions and suggestions were obtained through discussion.

Then, to estimate the risk of injuries when the robot is used long time or with larger torque without endangers the wearer, a method which can reproduce the motion and force applied by the cuff when using the wearable robot on the human dummy was developed. The device consists of a 6-DOF manipulator, which reproduces cuff motion, end effector, which the cuff is attached to, dummy, and artificial tissue fixed on the dummy. The human dummy was re-designed to represent an average shape, which was extracted from a human database. The algorithm of manipulator was also improved to reproduce the shear force and friction force.

Furthermore, a dummy, which can change the shape and elasticity by using inflatable structure, was developed to evaluate the difference of the risk of injury caused by individual difference. In this year, the degree of freedom of shape and elasticity was tested and the method to reproduce a specific shape and elasticity was developed. As a result, it was certified that our device potentially reproduced the curvature and elasticity of estimated range of shape. In addition, a simulator of membrane deformation, which calculate surface shape from the tension and pressure of membrane, was developed. Then, the method was validated by comparing to the shape of device. The developed method and device were introduced in the conferences and the efficiency was reported.

### III. 成果の外部への発表

(1) 学会誌・雑誌等における論文一覧（国内誌 件、国際誌 件）

1. Akiyama Y, Okamoto S, Yamada Y, and Ishiguro K, "Measurement of contact behavior including slippage of cuff when using wearable physical assistant robot," IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering, 2016, vol. 24, no. 7, pp. 784-793
2. Mao X, Yamada Y, Akiyama Y, Okamoto S, and Yoshida K, "Safety verification method for preventing friction blisters during utilization of physical assistant robots," Advanced Robotics, 2017, 1-15

(2) 学会・シンポジウム等における口頭・ポスター発表

1. 装着型ロボット装着部の創傷リスク評価を目的とした人体形状再現機構の開発, 口頭, 境勇真, 秋山靖博, 山田陽滋, 岡本正吾, 日本機械学会第 29 回バイオエンジニアリング講演会, 2017/1/20, 国内.
2. 装着型ロボット装着状態における動作時のカフ - 皮膚接触状態の計測, 口頭, 劉一, 秋山靖博, 岡本正吾, 山田陽滋, 日本機械学会第 29 回バイオエンジニアリング講演会, 2017/1/20, 国内.
3. "ロボット装着時創傷リスク評価を目的とした皮膚 3 次元形状再現機構の開発," 口頭, 境勇真, 秋山靖博, 山田陽滋, 岡本正吾, 第 22 回ロボティクスシンポジウム, 2017/3/16, 国内
4. 工藤直紀, 山田陽滋, 伊藤大輔, 腰痛リスク評価のための椎骨耐性値リスクカーブ, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会予稿 DVD, 山形市, 1Z3-03, 2016/9/7, 国内.
5. 工藤直紀, 山田陽滋, 伊藤大輔, 本城頭彦, 弾性梁理論に基づく腰部負荷評価の基礎検討, 口頭ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿 DVD, 横浜, 1A2-13b4, 2016/6/8, 国内.

(3) 「国民との科学・技術対話社会」に対する取り組み

1. 山田陽滋, 機器の安全から臨床の安全へ課題提示と解決策提案, LIFE2016 シンポジウム/スペシャルセッション, 仙台市, 2016/9/5, 口頭.
2. 秋山靖博, 装着型ロボット装着部における創傷リスク, 日本実験力学会人体損傷評価分科会・第 8 回研究会, 2016/10/21

(4) 特許出願

なし