

## 高齢社会での社会参加支援のための軽労化技術の研究開発と評価システムの構築

### KEIROKA Assistive Technology for Elderly Person's Social Participation and Its Evaluation System

- 田中孝之 (北海道大学) 山岸孝幸 (三菱電機エンジニアリング) 奈良博之 (北海道大学)  
 吉成 哲 (北海道立総合研究機構) 瀧澤一騎 (北海道大学) 山中正紀 (北海道大学)  
 鈴木善人 (スマートサポート) 清水俊治 (諏訪東京理科大学)

Takayuki TANAKA, Hokkaido University  
 Takayuki YAMAGISHI, Mitsubishi Electric Engineering Co. Ltd.  
 Hiroyuki NARA, Hokkaido University  
 Kazuki TAKIZAWA, Hokkaido University  
 Masanori YAMANAKA, Hokkaido University  
 Yoshihito SUZUKI, Smart Support Technology Inc.  
 Shunji SHIMIZU, Tokyo University of Suwa

**Abstract:** This paper describes some results in the project “KEIROKA assistive technology for elderly person’s social participation and its evaluation system” on the JST Industry-Academia Collaborative R&D Programs “ICT/IRT for Aged Society”. KEIROKA is assistive technology for fatigue reduction which designed under the concept entitled “3S assist”, i.e. secure, sustainable and subliminal assist. A wearable KEIROKA assistive device “Smart Suit®” was developed for supporting 3D back and waist motion and for reducing burdens around back in farmer works. The practical effectiveness of Smart Suit was shown in the field tests with professional farmers. Smart Suit could reduce the muscular burden of 30-60%, also could keep the user’s physical performance. The goal of this project is to develop KEIROKA assistive technology and the evaluation system to establish the KEIROKA community.

**Key Words:** KEIROKA, Assistive technology, Wearable assist, IRT/ICT,

#### 1. はじめに

労働支援, 生活支援を目的としたアシスト技術の研究開発が国内外で盛んに行われている。我々は, 農作業, 介護作業, 土木作業など各種作業における作業者の身体負担を目的とした筋力補助スーツ「スマートスーツ」, 「スマートスーツ・ライト」を開発してきた<sup>(1,2)</sup>。これらは, 作業者の動作を妨げずに, 人の力の一部を補助するように設計されている。このように, 人が主体の作業において, 人の作業形態を可能な限り維持し, 労力や疲労を軽減するためのアシスト技術を, 我々は「軽労化技術」と呼んでいる。軽労化技術を含むアシスト技術を広く社会に普及させるためには, 筋力補助効果などの短期的な効果だけでなく, 長期的な視点に立った効果を検証しなければならない。

我々は, JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」において, 高齢者の過度の負担や疲労を取り除くことで作業や仕事の質を高めることが可能である軽労化技術を高齢者に適用することで, 自立生活と社会参加を実現することを

目的とした軽労化技術とその設計評価システムの構築を行っている。その中で, 人の手による仕事の価値を見直し, 安心・安全(Secure), 持続的に(Sustainable), さりげなく(Subliminal)作業支援する 3S アシストを開発する軽労化技術のコンセプトとして提唱している。

本報では, 農作業支援を目的として開発した軽労化®スーツ「スマートスーツ®」(軽労化とスマートスーツは(株)スマートサポートの登録商標です)とその制御手法, およびフィールド試験結果について紹介するとともに, 本プロジェクトにて目指す軽労化コミュニティについて述べる。

#### 2. 軽労化

##### 2-1 アシスト技術における軽労化技術の考え方

各種作業において人の負担を軽減する技術は, 作業員を専用機械やロボットに置き換える「機械化・自動化」と, 作業員の肉体的, 身体能力的な補助を行う「アシスト技術」とに大別することができる。さらに, アシスト技術も2つに大別でき, すなわち「増力化技術」と「軽労化技術」である (Fig. 1)。

増力化技術とは, 人の力を増幅することで, 人の身体能力では実行不可能な作業を実現するためのアシスト技術である。例えば, 重量物搬送や組み付けなどの工場作業を支援するバランスサやパワースーツ, 歩行訓練リハビリのためのパワースーツなどがあり, これらは人ができないことをできるようにするための技術と言える。人間機械系であるが, 作業性は主に機械の能力に依存する。

一方, 軽労化技術とは, 人の身体能力の一部を補助し, 人の能力で実行可能な作業において, 人の労力や疲労を軽減するためのアシスト技術である。人の作業形態を変えずに, 人ができることを楽にできるようにするための技術である。作業においては, 人の能力が主体となる。



Fig. 1 自動化, 増力化と軽労化

軽労化技術においても多くの例で、他のアシスト技術と同様に、情報ロボット技術(IRT)や情報通信技術(ICT)に基づき、人間中心の設計・開発が行われている。

## 2-2 軽労化技術の実例

軽労化技術の開発事例を紹介する。

我々が開発した筋力補助スーツ「スマートスーツ」および「スマートスーツ・ライト」(Fig. 2)は、人の作業形態を維持可能な「装着型軽労化技術」である。いずれも弾性材を補助力源とし、受動要素によるバックドライブバリエーションを持つことで基本安全な補助機構を実現している。

スマートスーツには、弾性材の補助力を電動モータで調整するセミアクティブアシスト機構を搭載し、筋骨格力学モデルによって導出した、動作と筋力との関係に基づいて、ユーザの筋力に調和した、動作に最適な補助力を出力することができる<sup>(3)</sup>。

また、スマートスーツ・ライトは弾性材のみによるパッシブな筋力補助スーツであるが、後背部の筋力補助だけでなく、体幹を安定化させる機能を併せ持っている。動作と筋力、弾性材の伸長量との関係から、弾性材の配置と特性を最適化するモーションベースアシスト技術によって設計している。

装着型軽労化技術は、人の作業形態を変えることなく、作業負担を軽減することができる。これに対して、器具や環境を改良し、作業形態を改善することで軽労化を実現している例もある。吉成らは、スコップの柄をS字に湾曲させることで、除雪時の腰部負担を軽減した軽労化スコップを開発している<sup>(4)</sup>。その他にも、イチゴの高設栽培やリンゴのわい化・低樹高栽培など作業環境を改善し、無理な姿勢での作業を防止する方策が取られている。



(a) スマートスーツと農作業支援



(b) スマートスーツ・ライトと介護支援

Fig. 2 装着型軽労化技術の開発事例

## 2-3 軽労化技術のコンセプト「3Sアシスト」

我々は、軽労化技術のコンセプトとして以下の3項目からなる「3Sアシスト」を提案する。

- (1) Secure assist (安全なアシスト)
- (2) Sustainable assist (持続的なアシスト)
- (3) Subliminal assist (さりげないアシスト)

まず、Secure assist は、ユーザおよび周囲に安全なアシストである。特に筋力補助スーツのような装着型軽労化技術は、人間に力を加えるため、基本安全である必要がある。パワーアシスト機器に対する安全基準は現在国内外での制定が急がれているが<sup>(5)</sup>、研究開発の段階において最も重要視すべきである。

つぎに、Sustainable assist は、ユーザの身体機能を維持させるアシストである。特に、筋力補助を目的としたアシスト機器については、これまでも長期使用、過度な補助によって、筋力の退化や体力の減衰を誘発する可能性が指摘されてきたが、明確な解析はほとんど行われていない。吉成、瀧澤らは、前述の軽労化スコップを6週間使用した際の身体機能の変化について調査している<sup>(4,6)</sup>。この調査では、通常スコップと軽労化スコップとを用いた被験者群で、それぞれ6週間の除雪作業を実施し、持久力、筋力、瞬発力、バランス能力の変化を調べている。このように軽労化技術を使用した際に、短期的な筋力補助効果だけでなく、長期的な筋力や基礎体力への影響を、多くの装置、用途で評価し、それを体系化することで、ユーザの身体機能、作業負担に応じた適切な持続的アシスト手法を確立すべきである。

最後に、Subliminal assist は、さりげないアシストである。人に優しいアシストとして、ユーザの感覚機能を遮断することなく、感覚運動機能へ大きな負担をかけずに、ユーザに違和感を与えることが無いアシストが望まれる。特に、装着型軽労化技術では、補助力によって運動が変化する可能性が指摘されている。脳の可塑性、適用性が高い若年層であれば、その変化への対応も容易であると考えられるが、高齢者への負担は非常に大きなものとなる。近い将来迎える超高齢化社会においては、高齢者の持続的社会的参加が切望されており、それを支援する軽労化技術への期待は高い。高齢者にも安心して使用できる軽労化技術の開発に向けて、ユーザに違和感を与えない、さりげないアシスト法を確立すべきである。その評価法として、軽労化技術を使用した際の脳活動や運動の変化に基づく評価法が考えられる。

## 3. 軽労化による高齢者社会参加支援

### 3-1 軽労化農業コミュニティ

本プロジェクトでは、高齢者の社会参加支援として、農業を通じた高齢者コミュニティを形成するとともに、作物の成長や収穫の喜びや農作業による心身への刺激によって、基礎的体力の維持、身体機能の維持、認知症予防等を目的として、高齢者にとって心地良い居場所と役割を提供する軽労化農業コミュニティの形成を目指している。参加者が本事業を意識することなく、高齢者の予後観察を行い、高齢者のための最適な軽労化技術の開発と継続的な改良サイクルの形成も期待できる (Fig. 3)。

### 3-2 農業における軽労化ニーズ

軽労化コミュニティの形成先として農業フィールドの適性を確認するために、農業従事者に対する軽労化技術のニーズ調査を行った。北海道内農家、農業経営者にアンケート調査を行ったところ、全世代にわたって高いニーズがあり、全体で66%の農業従事者が、疲労を軽減するための軽労化技術を必要としていることが確認された (Fig. 4)。

また、負担の大きな部位と作業について分析したところ、全体の9割が腰部に不安を感じており、6割以上が慢性的な腰痛症を抱えていることが確認できた。さらに、「中腰姿勢作業」と「軽負荷持ち上げ作業」による負担感自覚率が全体の55%に上ることが分かった。



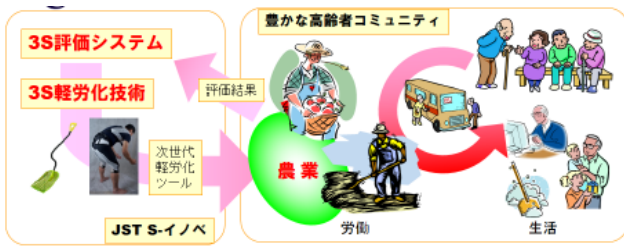


Fig. 3 軽労化農業コミュニティ

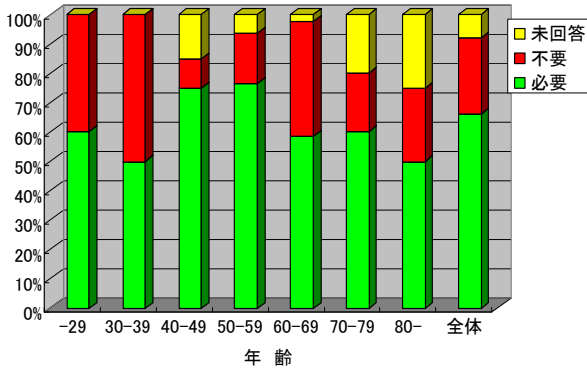


Fig. 4 農業における軽労化技術ニーズ



Fig. 5 農作業用スマートスーツ

### 3-3 農作業軽労化スーツ

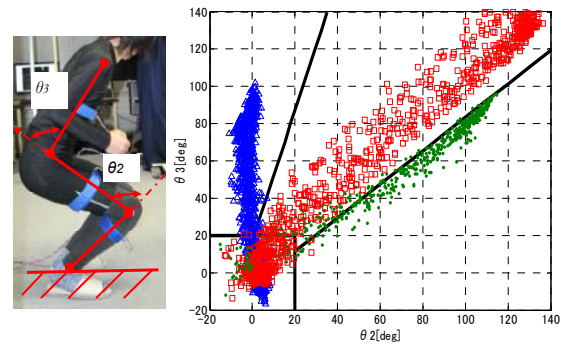
上記のアンケート調査結果に基づいて、農作業における腰部補助を目的とした軽労化スーツ「スマートスーツ」を開発した<sup>(3)</sup>。

開発した3次元動作補助用スマートスーツを Fig. 5 に示す。3次元動作として、腰部屈曲動作に加えて体幹のひねり動作も考慮する。肩部の2つのモータユニットで弾性材に接続されたベルトを巻き取ることで、背中クロス配置した弾性材の固定点を独立に制御する。クロス配置した弾性材が屈曲動作に加えて回旋動作にも有用なことは、パッシブ型軽労化スーツ「スマートスーツ・ライト」の弾性材特性設計ですでに解析されている<sup>(2)</sup>。

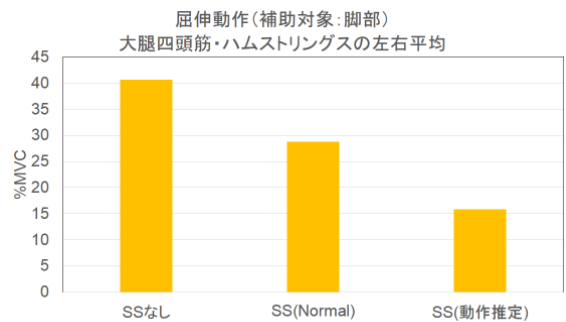
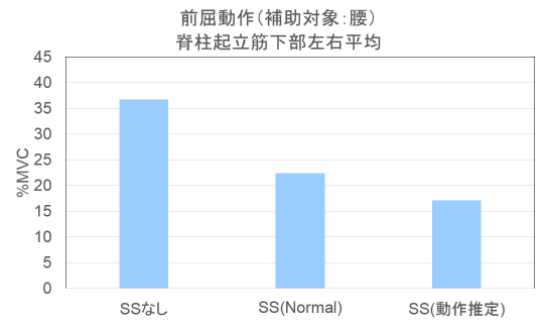
また、股関節部に配置した2つのバンドセンサの変化率の違いにより、屈曲動作だけでなく体幹のひねりの検出も可能になった。3次元動作補助用スマートスーツはクロス配置弾性材をセミアクティブ化し、様々な対象作業に柔軟に補助力の調整を可能にしたものである。補助力制御は、動作ごとに補助対象筋の補助効果が最大化するよう制御パラメータを最適化している。



Fig. 6 酪農現場におけるフィールド試験



(a) 動作認識



(b) 補助効果

Fig. 7 動作認識による最適な補助力制御

### 4. 農作業用スマートスーツのフィールド試験

開発したスマートスーツの補助効果を検証するために、酪農現場におけるフィールド試験を実施した。酪農家にスマートスーツを着用してもらい、実作業における負担軽減効果を検証した (Fig. 6)。

まず、補助対象作業における動作分析を行った。酪農作業を腰屈伸動作、膝屈伸動作、腰・膝屈伸動作の3つに分類し、それぞれの動作を姿勢センサにて認識できることを

確認した (Fig. 7(a)). また, 各動作に対してユーザに適した補助効果が得られるよう, 補助力制御パラメータを調整した. 作業中の筋活動量を筋電位センサによって計測したところ, スマートスーツによる筋負担軽減効果が確認できた. まず制御パラメータが3種動作で同一のパラメータを使用した場合には, 未装着時に比べて, 腰屈伸動作では39%, 膝屈伸動作では29%の負担軽減効果であったのに対して, 制御パラメータを動作ごとに調整した場合には, 腰屈伸動作では53%, 膝屈伸動作では61%に, それぞれ補助効果が向上したことが確認できた (Fig. 7(b)). このように, 補助対象作業の動作分析と, それに基づく補助力制御系の設計手法を構築している.

さらに, パッシブ型軽労化スーツ「スマートスーツ・ライト」を用いた長期フィールド試験では, 負担軽減効果が確認できたとともに, 長期アシストを実施した際にもユーザの体力, 筋力を低下させない, 持続的なアシストを実現できていることを確認している<sup>(4)</sup>. また, 筋力補助を施した際の最大筋力の変化モデルを提案し, 実験的にそのモデル妥当性を検証しており<sup>(5)</sup>, 3S軽労化システムの評価・設計手法の確立を進めている.

## 5. さいごに

本報では, JST 戦略的イノベーション創出推進プログラムにて研究開発してきた, 農作業支援を目的とした軽労化スマートスーツとその制御手法, およびフィールド試験結果について紹介した. 開発したスマートスーツは, 実際の農作業において, 作業負担を30-60%軽減することに成功している.

軽労化技術の開発コンセプトとして, 3Sアシストを提唱し, それに則ってスマートスーツならびに, その設計評価手法を確立している. 本プロジェクトのゴールは, 高齢者が社会参加する上で, 労働負担を軽減するための軽労化技術ならびに設計評価システムを構築することであるが, その先には軽労化技術を活用した高齢者コミュニティの実現にあり, 経験豊富な高齢者がいつまでも生きがいを持って社会参加できる社会の実現を目指していく.

## 参考文献

- (1) T. Tanaka, et al. , Smart Suit: Soft power suit with semi-active assist mechanism - prototype for supporting waist and knee joint -, Proc. of Intern. Conf. on Control, Automation and Systems 2008, 2002-2005 (2008).
- (2) 田中, ほか, 体幹安定化補助を考慮したパッシブ筋力補助装置, 福祉工学シンポジウム講演論文集2009, 116-117 (2009).
- (3) 日下, ほか, 3次元動作を補助するセミアクティブ軽労化スーツ, 計測自動制御学会SI2012講演論文集, 1N1-4 (2012).
- (4) 安藤, ほか, 作業負荷の変動が骨格筋に及ぼす影響と筋力モデル, 日本ロボット学会RSJ2012講演論文集, 3C1-5 (2012).
- (5) 吉成, ほか, 筋力補助スーツを用いた長期農作業による身体機能への影響評価, 計測自動制御学会SI2012講演論文集, 1N2-5 (2012).