



北海道開発局 インフラDX+i-Constructionセミナー  
(2022.7.20, オンライン)



## 軽労化®という働き方改革


北海道大学 大学院情報科学研究院  
ヒューマンセントリック工学研究室 教授  
軽労化研究会 会長



田中 孝之

「軽労化」は株式会社スマートサポート（軽労化研究会事務局）の登録商標です。

0




## ヒューマンセントリック工学研究室2022

■ **スタッフ**  
田中孝之 教授  
松下昭彦 助教  
吉川美紀 事務補助員

■ **学生・研究生**  
博士課程 5名\*  
修士課程 6名  
学部4年 3名  
研究生 2名  
\* 社会人博士3名含む

■ **学外から入学（在籍中）**  
他大学 1名  
留学生 3名  
社会人 3名

■ **共同研究・研究協力（2022年度）**  
大成建設、大林組、スマートサポート、電力中央研究所、コロンビア大学、県立広島大学、横浜国立大学、香川大学、苫小牧高専、佐世保高専、産業技術総合研究所、北海道立総合研究機構



ヒューマンセントリック  
ヒトにちょうどいいシステムを

2021年9月撮影

1



## ヒューマンロボットシステム



スマートスーツ®



デジタルヒューマン



超人スポーツ人間拡張



歩行アシスト



センシングウェア®



アシストウェア®



介護支援ロボット車椅子



任意点操作型パワーアシストロボット

【ヒューマンロボティクス】  
ロボット工学に基づき、生体力学と神経制御をシステムレベルで融合。人の動きの神経制御とそれに伴う神経系の信号伝達や筋肉の増強とその力学的制御。  
E. Burdet, D.W. Franklin and T.E. Milner, "Human Robotics" (2013)



2



## 人の手による作業に潜むリスク

■ **人の手による作業**



農業



漁業



介護



建設



物流



工場



消防・救急



除排雪

■ **共通課題**

- ✓ 労働力不足と高齢化
- ✓ 長時間・長期間労働
- ✓ 無理な姿勢での作業
- ✓ 高い労働災害リスク（腰痛、転倒など）



8



## Smart Suit® series

【Smart Suit® LITE】



Lift up  
Stabilize

Dual Back Support Technology


【Smart Suit®】



Motion Based Assist Technology




10




## 自動化、増力化と軽労化


軽労化技術とは？  
人がおこなう作業において疲労、労力を軽減するアシスト技術



Robot / Machine



Powered Suit



Smart Suit

受動 ← 主体

自動化 Automation  
人がいなくてもできるようにする

増力化 Enhancement  
人ができないことをできるようにする

軽労化 Fatigue/Effort Reduction  
人ができることを楽にできるようにする

12

## 軽労化のコンセプト

**アシスト（たすける）／ リスク回避（まもる）**

- ▶ 人の手による作業を持続的に安全かつ快適に行えるように身体にかかる負担と疲労を軽減することで傷病リスクを低減すること

**トレーニング（たもつ・きたえる）**

- ▶ 継続的な作業によって得られる適度なトレーニング効果が体力（筋力・持久力・気力）の維持・増進に寄与し、作業者の労働意欲を高めること

**3Sアシストの提唱**

- **Secure** 安全なアシスト
- **Sustainable** 身体機能を維持するアシスト
- **Subliminal** 感覚を鈍らせない、さりげないアシスト

13

13

## DXには変革目標がある

アナログ

デジタルイゼーション

デジタルイゼーション

デジタルトランスフォーメーション

「ICTの浸透が人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させること」  
Erik Stolterman "Information Technology and Good Life"

14

14

## 適切なアシストで誰でも活躍

**軽労化社会**

身体能力や作業内容に応じた適切なアシストで誰もが持続的に活躍できる社会

15

15

## 高齢者雇用安定法の改正 2021

改正高齢者雇用安定法が令和3年4月から施行されます

65歳までの雇用確保（義務） + 70歳までの就業確保（努力義務）

70歳までの就業確保義務を要しないことが「努力義務」となることに留意し、必要に応じて就業確保措置を講ずることが求められます。

**高齢者就業確保措置について**

- 1971年 制定（当時 55歳定年）
- 1986年 60歳定年が努力義務
- 1994年 60歳未満定年が禁止
- 2000年 65歳までの雇用確保が努力義務
- 2012年 65歳まで継続雇用が義務化
- 2021年 70歳までの就業機会確保が努力義務
- 20xx年...

70歳までの就業確保が努力義務化

16

16

## 加齢による身体能力の衰え

**70代の筋力は20代の約6割に低下**

出典: 人間工学基準数値款式便覧

**高齢者の7割が70歳を過ぎると生活的自立度が徐々に低下**

17

17

## 軽労化社会のねらい

いつまでも生きがいを持って働き、生活できる軽労化社会を目指す。

**怪我をさせない 自分の力を使う**


**足りない分だけ助けるアシスト技術**

**健康労働寿命の延伸**

人生の最後まで可能な限り自立度を維持する → 軽労化社会のねらい

18

18



## 軽労化研究会

<http://keiroka.org/>

### いつまでも生きがいを持って働き 楽しく暮らせる社会を目指して

さまざまな仕事の機械化、ロボット化が進む中、人だからできる仕事、人のぬくもりが必要な仕事は少なくありません。そのような仕事は、人々の生きがいとなり、日々の生活の糧となりますが、年齢とともに衰える体力で、離職せざるを得ない人が増えています。人の手による仕事の労力や、人の疲労を軽くし、いつまでも生きがいを持って働き、楽しく暮らせる社会を支える技術、これが「**軽労化技術**」です。

私たちは、誰もが安心して使える「**軽労化技術**」を研究・開発するだけでなく、「**軽労化技術**」によって労働意欲のある方の身体機能をサポートし、誰もが持続的に参画可能であるエイジフリーな「**軽労化社会システム**」の創造を目指します。

19



## 軽労化で健康労働寿命延伸

大成建設

建設業界の現場作業での「軽労化®」に向けた共同研究を開始

スマートスーツ※※※※※により身体への負担や疲労を軽減

2021年4月21日  
大成建設株式会社  
大成建設株式会社  
〒100-8355 東京都千代田区千代田1-1-1 (有楽町線)  
御徒町駅 徒歩5分 建設現場の現場作業における「軽労化®」に向け、作業用スマートスーツの一種であるスマートスーツの開発に関する共同研究を開始します。

昨今の少子高齢化に伴い、建設業界では高齢化と若年層の減少が顕著になっており、深刻な課題となっています。そのため、建設業の生産性向上を促す機械化は不可欠な課題と捉え、人への負担を軽減し、作業を支援するスマートスーツの開発に注力して取り組んでいます。

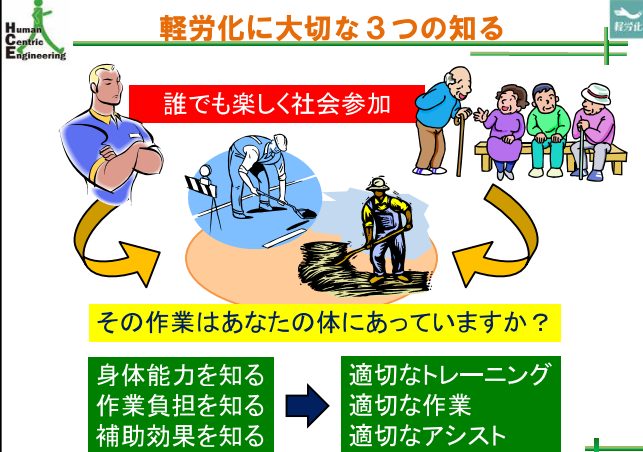
研究の背景として、これまで高齢化が進む建設現場において、高齢者労働者の減少が懸念されてきました。高齢者労働者の減少は、建設現場の生産性向上を促す機械化は不可欠な課題と捉え、人への負担を軽減し、作業を支援するスマートスーツの開発に注力して取り組んでいます。

また、国土交通省でも「Construction 2050」を掲げ、「建設現場におけるスマートスーツ導入による生産性向上」が2050年時点から開始されるとしています。本研究は、国土交通省の「建設現場におけるスマートスーツ導入による生産性向上」の取り組みの一環として、建設現場でのスマートスーツの活用に関する共同研究を開始します。当社の主力事業(建設)に導入したスマートスーツは試験導入し、積極的に活用を行うことで「軽労化®」の概念を構築し、現場作業を減らすことで健康寿命を延伸する効果を期待します。

共同研究のテーマは下記のとおりです。

- 建設現場での作業の省力化の課題  
建設現場における高齢化と若年層の減少に伴う生産性向上の課題を把握し、リスク軽減を目的
- 建設現場での作業の省力化の課題  
省力化と作業の省力化の両立を促進し、作業を支援するスマートスーツの開発
- 建設現場での作業の省力化の課題  
省力化と作業の省力化の両立を促進し、作業を支援するスマートスーツの開発
- 建設現場での作業の省力化の課題  
省力化と作業の省力化の両立を促進し、作業を支援するスマートスーツの開発

21



## 軽労化に大切な3つの知る

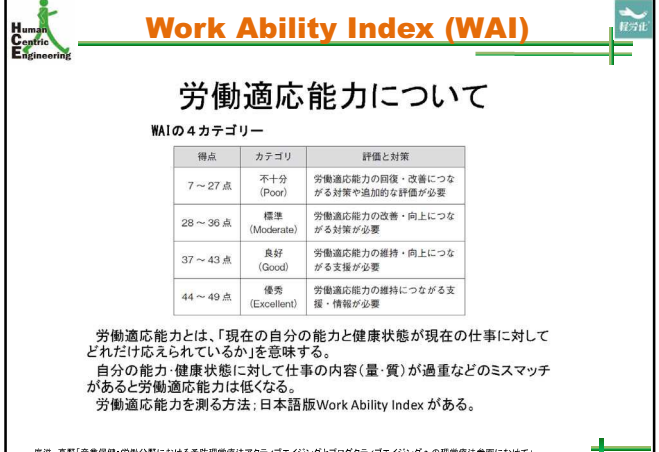
誰でも楽しく社会参加

その作業はあなたの体にありますか?

身体能力を知る  
作業負担を知る  
補助効果を知る

適切なトレーニング  
適切な作業  
適切なアシスト

22



## Work Ability Index (WAI)

### 労働適応能力について

WAIの4カテゴリ

得点	カテゴリ	評価と対策
7~27点	不十分 (Poor)	労働適応能力の回復・改善につながる対策や追加的な評価が必要
28~36点	標準 (Moderate)	労働適応能力の改善・向上につながる対策が必要
37~43点	良好 (Good)	労働適応能力の維持・向上につながる支援が必要
44~49点	優秀 (Excellent)	労働適応能力の維持につながる支援・情報が必要

労働適応能力とは、「現在の自分の能力と健康状態が現在の仕事に対してどれだけ応えられているか」を意味する。  
自分の能力・健康状態に対して仕事の内容(量・質)が過重などのミスマッチがあると労働適応能力は低くなる。  
労働適応能力を測る方法:日本語版Work Ability Indexがある。

廣道 高野「産業保健・労働分野における予防理学療法アプローチとプロダクティブエイジングへの理学療法参画について」  
<http://www.jpapnet.or.jp/uploads/branch/prevention/06/files/document/hirog.pdf>

23



## 安全体力®で身体能力を知る

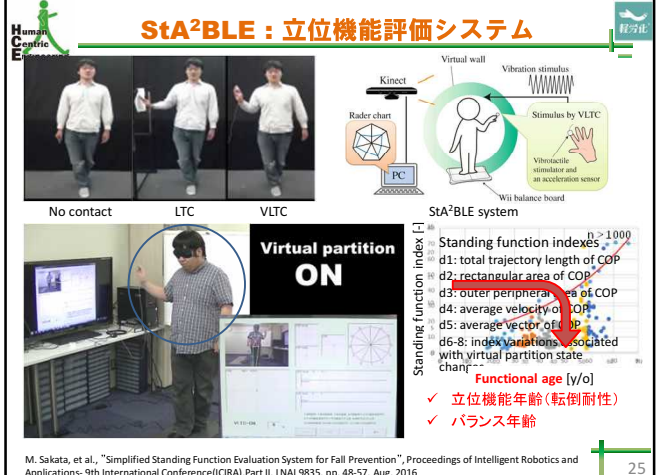
【安全体力®】JFEスチール  
作業別の体力指標  
作業レベルごとの参加基準  
体力指標と参加基準に基づく復帰基準  
体操によるケガの予防や改善

JFEスチール(株)  
西日本製鉄所倉敷地区  
ヘルスサポートセンター

職場における転倒災害防止研究会  
(2015年11月12日 JFEスチール西日本製鉄所倉敷地区)

「安全体力®」は株式会社JFEスチールの登録商標です。

24



## StA²BLE: 立位機能評価システム

Virtual wall, Vibration stimulus, Stimulus by VLTC, Vibrotactile stimulator and IM acceleration sensor, Wii balance board

No contact, LTC, VLTC

Virtual partition ON

Standing function index [F]

Standing function indexes  $F > 1000$

- d1: total trajectory length of COP
- d2: rectangular area of COP
- d3: outer perimeters of COP
- d4: average velocity of COP
- d5: average vector of COP
- d6-8: index variations correlated with virtual partition state change

Functional age [y/o]

- ✓ 立位機能年齢(転倒耐性)
- ✓ バランス年齢

M. Sakata, et al., "Simplified Standing Function Evaluation System for Fall Prevention", Proceedings of Intelligent Robotics and Applications- 9th International Conference(IICRA), Part II, LNAI 9835, pp. 48-57, Aug. 2016

25



## 作業負担可視化のためのウェアラブルセンサ

### センシングウェア®



**負担を見る**

**負担を予測する**

### SMART (軽労化センシング)



**動きを測る**

**負担を見る**

**負担を知る**

**負担を計る**

**軽労化効果を見積もる**

「センシングウェア」は株式会社ニコンの登録商標です。

26

## センシングウェア®とアシストウェア®

### センシングウェア (2015.9.9)



**負担を見る**

### アシストウェア (2017.6.1)

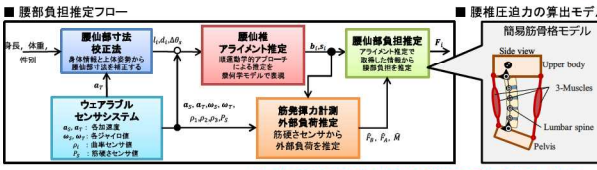


「センシングウェア」「アシストウェア」は株式会社ニコンの登録商標です。

27

## 外部負荷を考慮した腰部負担算出

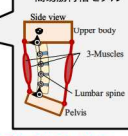
### 腰部負担推定フロー



■ 筋発揮力の増減から外部負荷増減を自重増減に換算

■ 手先負荷をかけた前屈姿勢での腰椎アライメントと腰椎圧迫力のリアルタイム計測

### 腰椎圧迫力の算出モデル



筋発揮力計測  
外部負荷推定  
筋硬さセンサから  
外部負荷を推定

筋硬さセンサ無  
筋硬さセンサ有

■ 手先負荷をかけた前屈姿勢での腰椎アライメントと腰椎圧迫力のリアルタイム計測

28

## 大成建設の軽労化取り組み

### 体力テスト

- ファンクションリーチ
- 2ステップテスト
- 座位ステップピンク
- 閉眼片足立ち
- 握力・フランク等

### 腰痛症アンケート

### トレーニング

### 作業時の腰部負担計測

データ再生



## 身体能力・身体負担と腰痛リスクとの関係調査

## 建設作業員の「軽労化」意識改革

資料提供: 杏小牧高専 土谷圭央 准教授

29

## 情報ロボット技術による設計

### 動作を計測・解析する



**人の動きを情報化**

### デジタルヒューマン(情報ロボット技術)で ゴムベルトの配置・特性を最適化



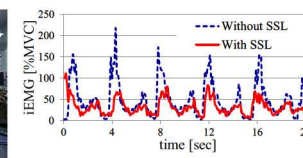
スマートスーツ・ライト試作

31

## アシスト効果の評価

目標アシスト率: 背筋活動 25% 軽減

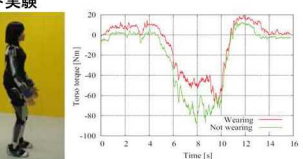
### ■ 被験者実験



subject	reduction [%]
Male A	30.5 ± 3.2
Male B	11.5 ± 6.9
Female A	31.1 ± 2.1
Average	24.7 %

個人差あり

### ■ ヒューマノイド実験



	torso pitch
With Smart Suit	Mean 68.9, Std. dev. 1.0
Free Motion	Mean 92.7, Std. dev. 4.4

**25.3% reduction**

32

## ウェアラブルセンサとDHMによる効果推定

現場で計測した動作からアシストツール効果を推定

作業現場

加速度・角速度センサ

センサ傾き

変換式

関節角度

作成

センサ位置の最適化

SIMM 筋骨格力学シミュレータ

関節トルク

筋活動

作業負担

アシスト効果

DHM: Dhaibaモデル

※DHM=Digital Human model

SSLモデル

33

33

## アシスト効果の事前評価

作業風景

腰と膝の角度変化

筋骨格力学シミュレーション

腰関節トルク(腰まわりにかかる力)変化

3% 補助

97% 負担

協力:ミサワホーム北海道工場

◆ 小型センサ内蔵スーツによる簡易動作計測

◆ デジタルヒューマンを用いたスマートスーツ適用性評価

軽労化効果 23.5% (腰関節トルク積分値減少率)

34

34

## スマートスーツ®活用事例

スマートスーツ® 試験販売標準タイプ(¥28,000)

スマートスーツの社内での活用事例

北海道ワイン(2014)

富良野市農家(2013)

◆ 農業、物流、工場、介護を中心に導入

◆ 用途によってカスタマイズ可能

◆ ゴムの力で腰部負担を25%軽減

◆ 約6000着の導入実績

<http://www.smartsuit.org/>

「スマートスーツ」は株式会社スマートサポートの登録商標です。

横浜市内特別養護施設(2014) テノ/エイド協会支援事業

ミサワホーム北海道工場(2015)

35

35

## スマートスーツPLUS

【スマート介護ユニフォーム】  
北九州市介護ロボット開発コンソーシアム(2017)

作業着とスマートスーツの一体化  
作業着を着るだけで装着完了  
機能性とデザイン性の両立

【スマート農作業着NORAGI】  
豊根市(2016)

36

36

## 大成建設の軽労化取組み

大成建設

ユニフォームとスマートスーツを一体化

建設作業員の「軽労化」意識改革

2021年4月 大成建設プレスリリース

37

37

## 軽労化認定

軽労化のコンセプトに従って開発されたアシスト技術、センシング技術(研究開発中も含む)および作業軽労化の取組みに対して、**軽労化認定**を実施。

1. **アシスト技術**  
身体負担軽減効果および身体能力維持効果を併せ持つアシスト技術
2. **センシング技術**  
身体負担や身体能力を計測、可視化することで身体負担軽減と身体能力維持に有効なセンシング技術
3. **作業軽労化取組み**  
軽労化の概念に則って労働環境の改善を行う取組み

38

38

## 軽労化認定技術（ウェアラブルアシスト）

Human Centric Engineering

**ナチュアシスト (住友ゴム工業)**

NATUASHI

腰をいたわりながら「いつもどおり」を楽しめる背負型アシストパンツ

**e.z.UP (ASAHIKO)**

FABRIC MECHANISM

スマートスーツ (スマートサポート)

スマートスーツ

39

39

## 軽労化による持続的な労働

Human Centric Engineering

**アシスト（たすける）／ リスク回避（まもる）**

- ▶ 人の手による作業を持続的に安全かつ快適に行えるように身体にかかる負担と疲労を軽減することで疾病リスクを低減すること

$$\text{作業負担率} = \frac{\text{作業負担} - \text{アシスト量}}{\text{身体能力}}$$

**トレーニング（たもつ・きたえる）**

- ▶ 継続的な作業によって得られる適度なトレーニング効果が体力（筋力・持久力・気力）の維持・増進に寄与し、作業者の労働意欲を高めること

46

46

## 軽労化技術としてのねらい

Human Centric Engineering

場所：札幌市内特別養護老人ホーム  
 期間：4週間（着用2週間、非着用2週間）  
 被験者：介護職30名（女性29、男性1）

**疲労感**

全身 **12.2%軽減**（危険率6.1%）  
 腰部 **13.6%軽減**（危険率5%未満）

**体力・筋力 低下なし**

身体能力を維持するアシストを実現！

疲労感の変化

部位	着用 (p=0.061)	非着用
全身	~30	~32
腰	~25	~28

背筋力の変化

測定項目	着用 (kg)	非着用 (kg)
着用前	~70	~70
非着用後	~70	~70

48

48

## 適切なアシストで誰でも活躍

Human Centric Engineering

軽労化社会

身体能力や作業内容に応じた適切なアシストで誰もが持続的に活躍できる社会

49

49

## 軽労化技術で労働のDX

Human Centric Engineering

アナログ

デジタルイゼーション

軽労化技術

デジタルイゼーション

デジタルトランスフォーメーション

軽労化社会・軽労化労働

50

50

## お問い合わせ先

Human Centric Engineering

北海道大学 大学院情報科学研究院  
 システム情報科学部門 教授  
**田中 孝之**  
 E-mail: [tanaka@ssi.ist.hokudai.ac.jp](mailto:tanaka@ssi.ist.hokudai.ac.jp)  
 ホームページ: <https://www.hce-lab.net/>  
 Tel/Fax: 011-706-6756

**軽労化研究会**

E-mail: [info@keiroka.org](mailto:info@keiroka.org)  
 ホームページ: <http://keiroka.org/>  
 Tel/Fax: 011-206-1462 (株式会社スマートサポート)

51

51