



建設施工作業の軽労化®と パワーアシストスーツ普及への課題

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 准教授
軽労化研究会 会長

田中 孝之



■ スタッフ

田中孝之 准教授
松下昭彦 助教
吉川美紀 事務補助員

■ 学生・研究生

博士課程 7名*
修士課程 9名*
学部4年 3名

*社会人博士3名含む

*デジタルヒューマン情報学分野所属
修士1名を含む



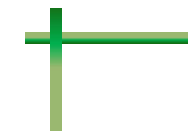
2020年3月撮影

■ 学外から入学（在籍中）

他大学 1名
高専 1名
留学生 4名
社会人 3名

■ 共同研究・研究協力（2020年度）

パナソニックアドバンステクノロジー, 大林組, アステラス製薬, スマートサポート, コロンビア大学, 産業医科大学, 県立広島大学, 広島大学, 横浜国立大学, 苫小牧高専, 産業技術総合研究所, 北海道立総合研究機構, 北大電科研



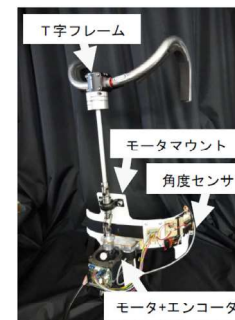
ヒューマンロボットシステム



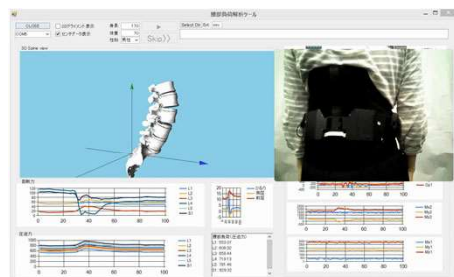
スマートスーツ®



走行拡張 Super Sprint



体幹回旋歩行アシストスーツ



センシングウェア®



アシストウェア®



ポータブルビークルSweeper



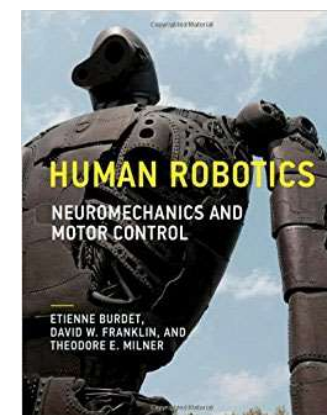
任意点操作型パワーアシストロボット



【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合成。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機構とその力学的制御。

E. Burdet, D.W. Franklin and T.E. Milner, "Human Robotics" (2013)



講演概要

健康労働寿命の延伸を目的としたアシスト技術の概念「軽労化」技術について紹介するとともに、軽労化ツール「スマートスーツ」とスマートスーツによる土木・建設作業などの軽労化事例を紹介する。また、パワーアシストスーツの現場普及への課題について経験的に述べる。

目 次

- (1) 軽労化とは - アシストとトレーニングの両立による健康労働寿命の延伸
- (2) 軽労化ツール「スマートスーツ」の仕組み
- (3) スマートスーツの導入事例(土木・建設, 農業, 介護など)
- (4) パワーアシストスーツの現場普及への課題と対策 - アシストツール
職場導入手順など



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。



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

無人

自動化
Automation

人がいなくても
できるようにする



Powered Suit

増力化
Enhancement

人ができないことを
できるようにする



Smart Suit



有人

軽労化
Fatigue/Effort
Reduction

人ができることを
楽にできるようにする

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

■ 軽労化技術適用分野＝人手による作業



農業



介護



建設



物流



消防救急



除雪



競走馬調教



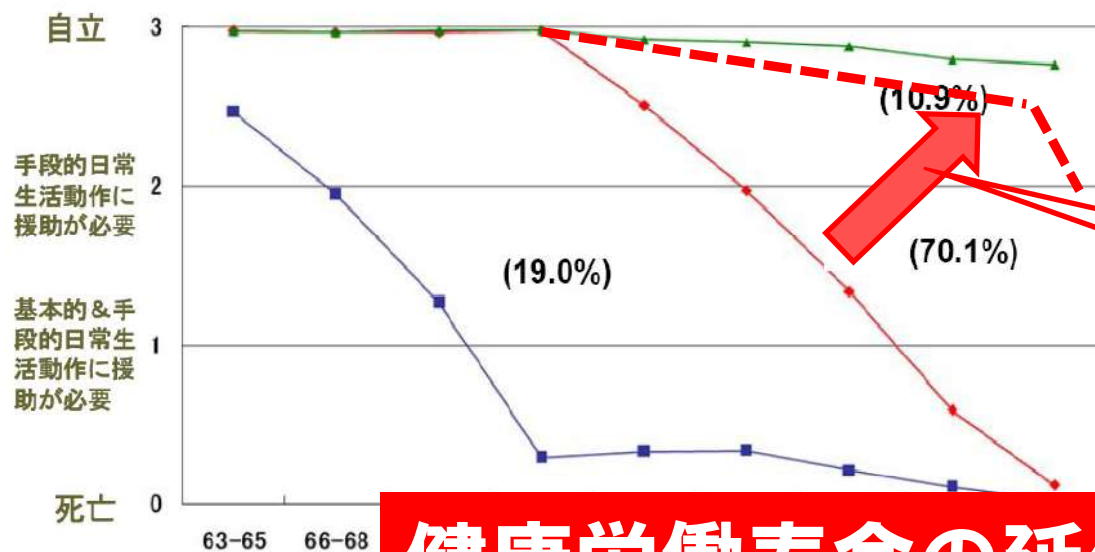
漁業

■ 共通課題

- － 長時間・長期間の作業
- － 無理な姿勢での作業
- － 高い腰痛等罹患リスク
作業関連性運動機能障害
- － 労働力不足
- － 作業者の高齢化
- － 巨大なアシストは不要
- － 複雑なものは受け入れられない

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



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

健康労働寿命の延伸

Akiyama et al. (2008) アメリカ老年学会
年次大会より抜粋し改編

【スマートスーツ®LITE】

NEDO福祉用具実用化開発推進事業 (2009-2012)



上体を引き上げる効果



腰を屈めると、
筋力補助と体幹安定化補助が発現！



各種作業の軽労化を実現！



【スマートスーツ® Pro】



動作ボタンに最適な
腰の3次元補助を実現！



科学研究費補助金事業 (2006-2008)

JST戦略的イノベーション推進プログラム(2010-)

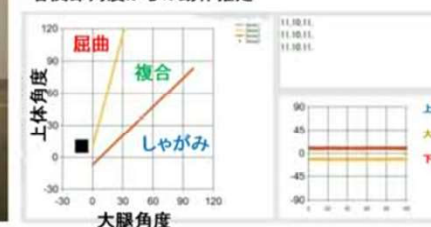


多様な農作業に最適なアシスト

- キャリブレーション不要
- ボタンひとつで始動・停止
- モーションセンサによる動作認識
- 動作パターンに補助力を最適化
- スーツ重量2.5kg
- 腰部・大腿部の筋力を30-50%補助



各関節角度からの動作推定





弾性材を補助力源として、同時に筋力補助と体幹安定化補助を実現



特許第4496398

弾性材を補助力源とした**軽労化スーツ**。情報ロボット技術によって、移乗介助を補助する最適な弾性材の特性と配置を設計しました。腰を屈めると、背筋をサポートするとともに、コルセットのように体幹を引き締め、体を安定させる効果を得ることができます。



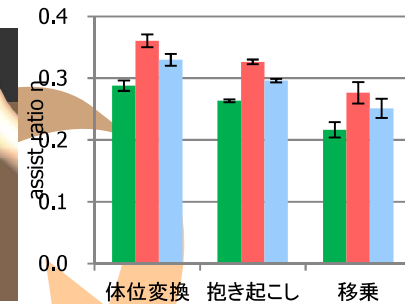
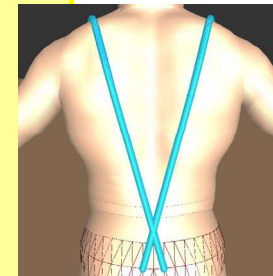
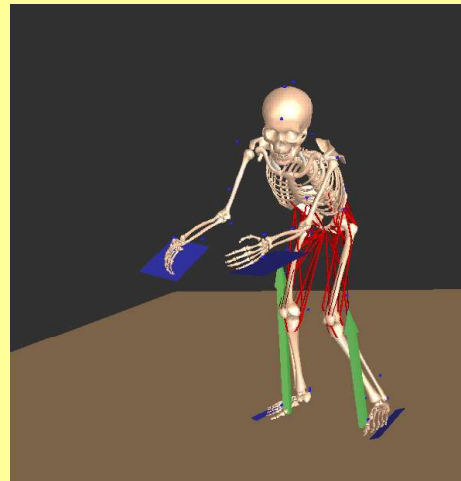
スマートスーツLITEの設計

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



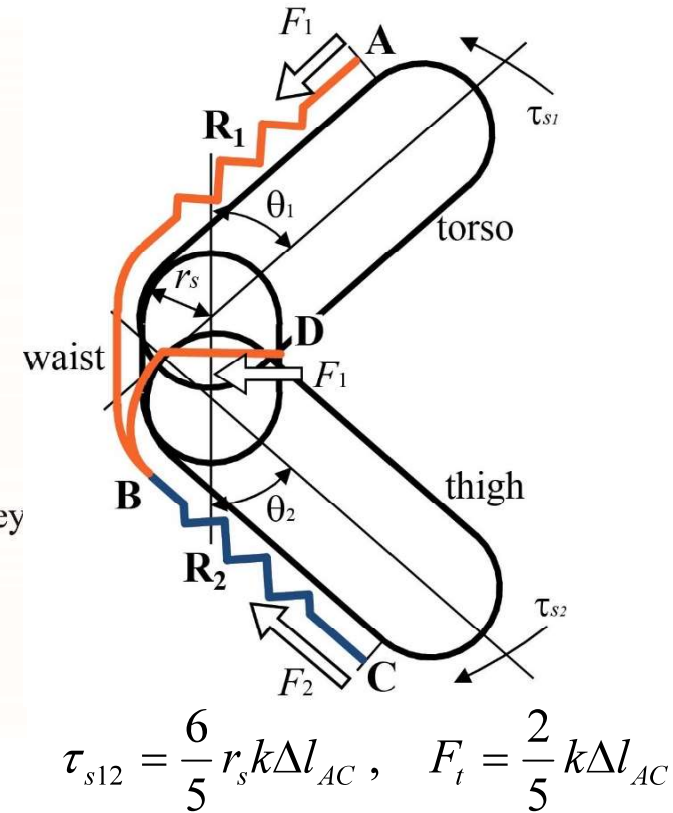
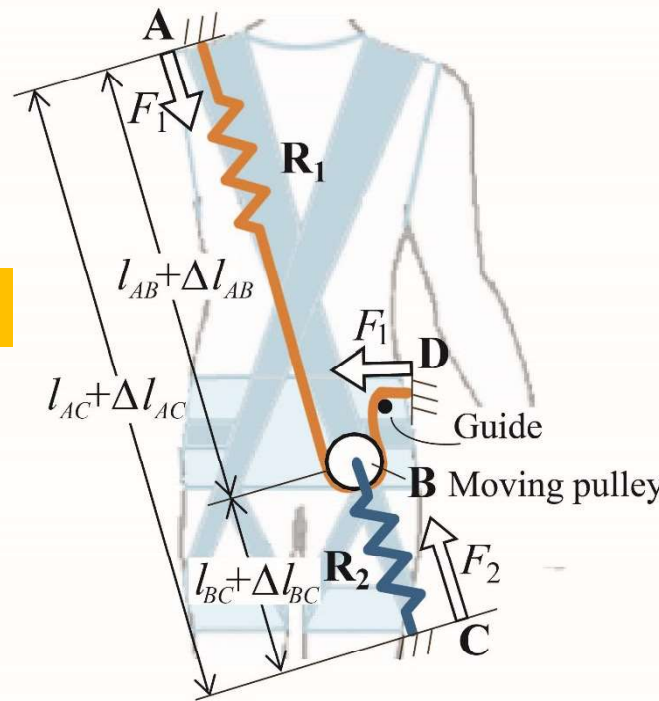
スマートスーツ・ライト試作



スマートスーツの補助メカニズム



弾性材



腰を曲げる → 皮膚，弾性材が伸びる
→ 補助トルク，締め付け力が発生する

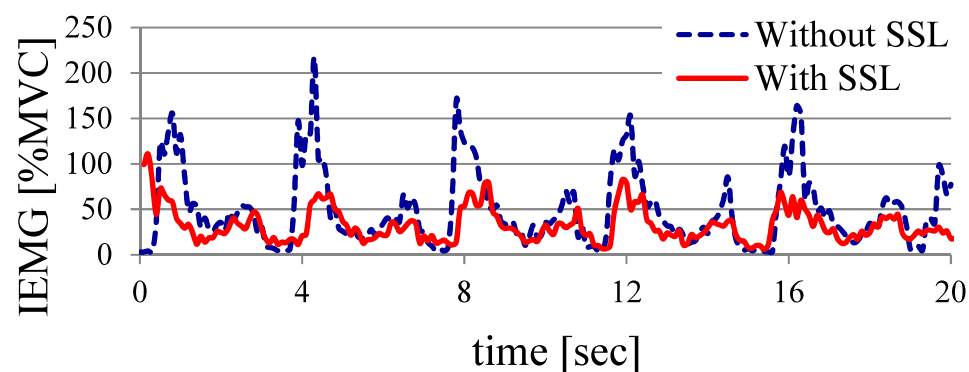
目標補助力25%の介護用スマートスーツ・ライト



補助効果検証用サンプル



北海道大学における効果検証実験



被験者	補助率[%]
男子学生A	30.5 ± 3.2
男子学生B	11.5 ± 6.9
介護職女性	31.1 ± 2.1
AVERAGE	24.7

■対象動作
正前屈動作

■動作
位置制御により
SSLありとなしで
同じ動作を行う

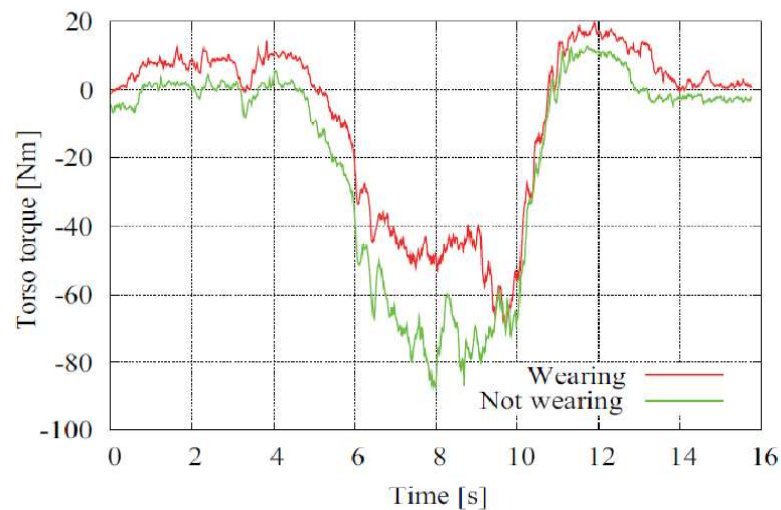


Fig. 11. Measured torso torque with and without Smart Suit.

【産総研開発】

HRP-4C 『未夢』

●身長158cm

●体重43kg(バッテリー含む)

●特徴

腰3自由度, 首3自由度, 顔3自由度であり, モーションキャプチャーで計測した人間の動きを参考に人間に極めて近い動作を実現している。



TABLE I

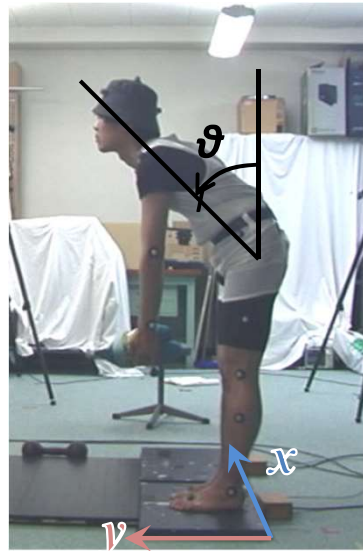
MAXIMUM ABSOLUTE TORQUES DURING MOTION

		torso pitch	hip pitch	
			right	left
With Smart Suite	Mean	68.9	60.3	64.8
	Std. dev.	1.0	1.6	1.7
Free Motion	Mean	92.2	65.5	69.4
	Std. dev.	4.4	1.3	1.9

Unit: [Nm]

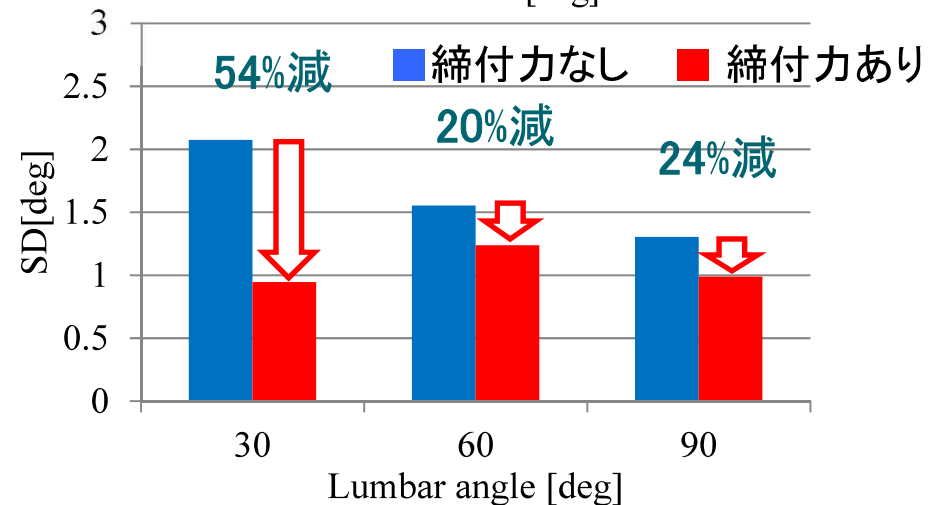
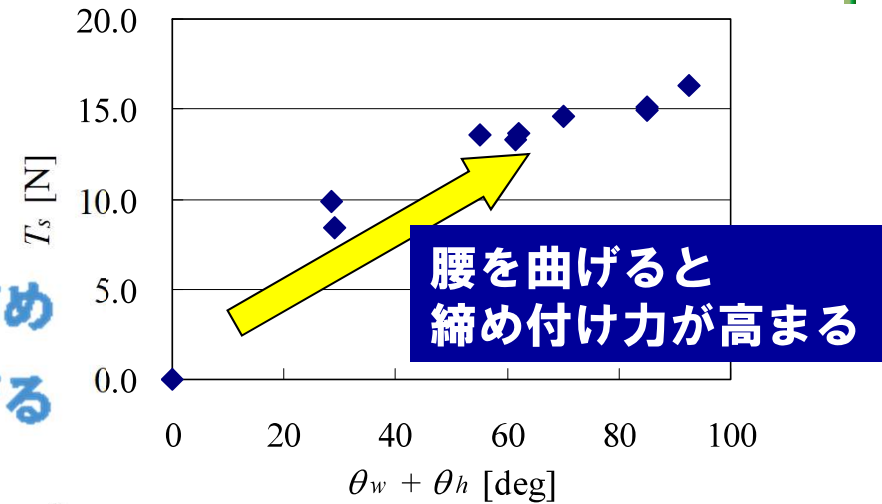
SSL着用によりトルクが23.3Nm減少
(約25%)

【体幹安定化機能】



お腹を引締め
腹圧をあげる

体のふらつきを抑えて
安定した介助作業を実現

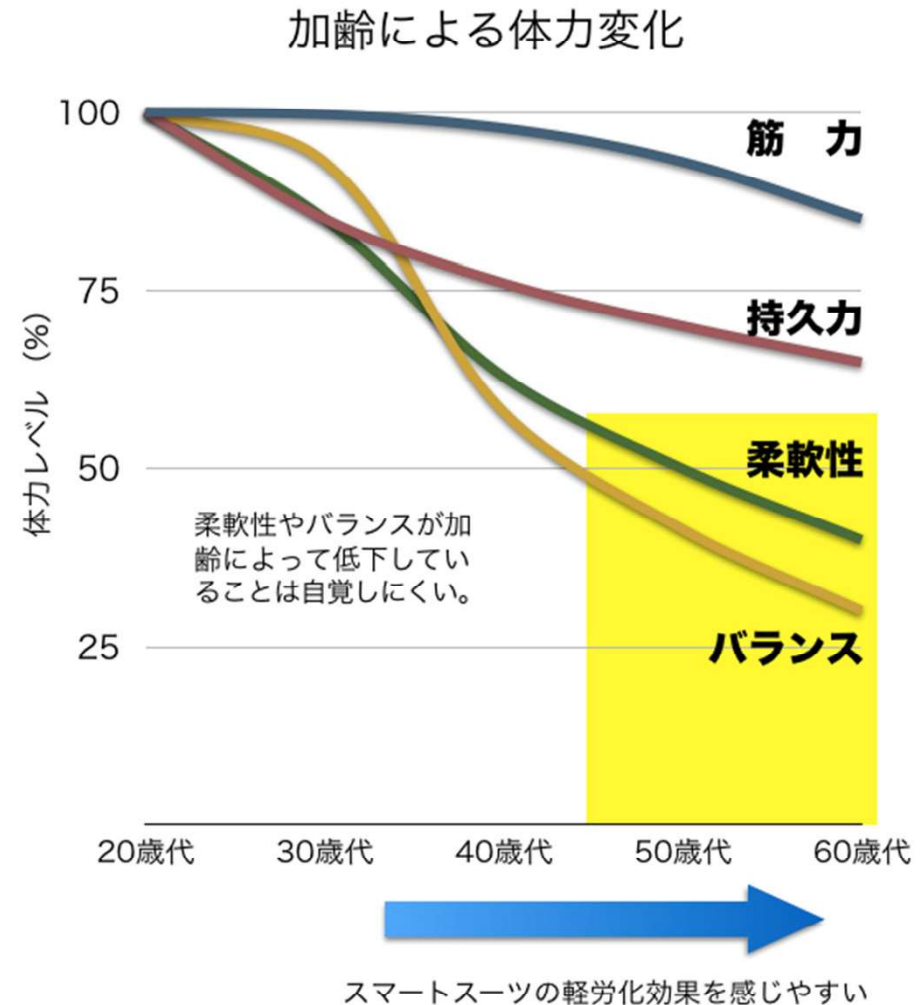


腰部関節角度 θ_l の標準偏差(ふらつき度合い)

スマートスーツを必要とする作業者

これまでのスマートスーツの試験販売の傾向から、**スマートスーツを必要とし、その効果を実感しやすい年齢は、概ね45歳以上**であることがわかった。

この年代は、若い世代と比較して筋力の衰えは少なく、自分の体力には自信を持っているものの、柔軟性やバランス力が低下しており、体幹が弱っていることを自覚せず、作業等で無理をして腰痛症を発生しやすい。



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3000着の導入実績

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



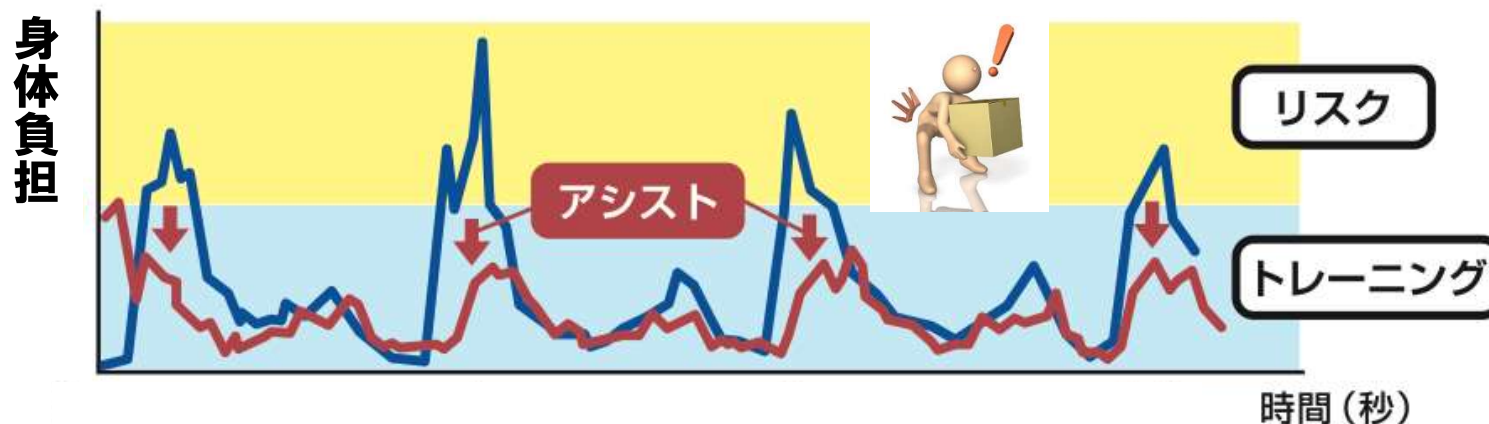
横浜市内特別養護施設 (2014)
テクノエイド協会支援事業



ミサワホーム北海道工場 (2015)

身体機能を維持するアシスト

軽労化[®]技術 = 「疾病リスク低減」 + 「さりげないトレーニング」



Keep Your Performance !

加齢とともに失われる体力（筋力）を維持し、疾病に強い身体をつくる。

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）

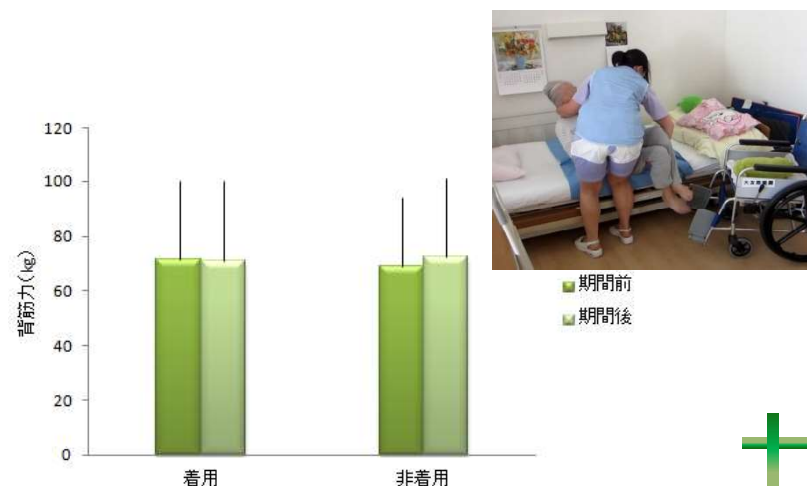
被験者：介護職30名（女性29，男性1）

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）

身体機能：体力・筋力維持！



【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

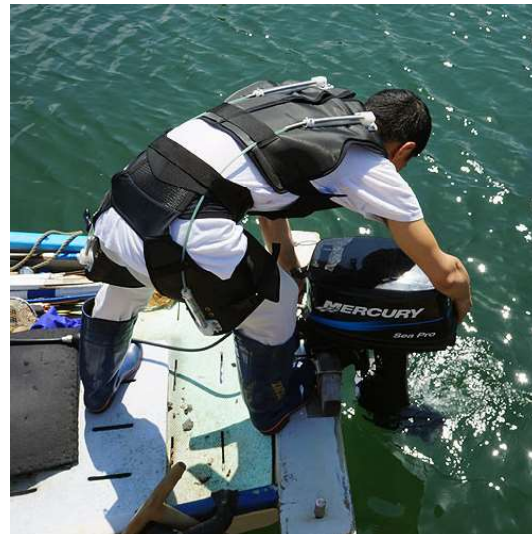


【スマート農作業着NORAGI】

豊橋市(2016)

■ 漁労支援S-FRPスーツ

水産工学研究所・スマートサポート



水産総合研究センター、水産工学研究所（前野幸男所長）は、この「漁りけな」作業を支援して、漁業現場における労働軽減の「今」をテーマに、さびげなくというの平成27年度水産工学関係は、スーツの着用で、作研究開発推進会議を都内業を完全アシストしなで開催。漁業労働の現状をい。アシストしすぎや課題、職場改善ノウハウと着用品の筋力を衰えウや軽労化研究などの各々、感覚を鈍らせない程専門家が話題を提供し、参加者らで議論した。

軽労化支援スーツ紹介

田中・北大准教授が講演

弾性材使い作業アシスト

減する活動を続けている」と語る「漁」。
「このスーツは筋肉のサポートまでにとまっています。微は、改善の余地が、今後は、骨のサなどのサポートができるものを開発することを「新軽減さ規就業負担でなく高齢水とい漁業者の就業継続を促進性で軽させたい」と語っている。

現在、産業界などへの広報を維持する。ただ、着用品の年齢や体力、作業内容などでアシストする程度が変わることから田中准教授は、「実際に販売する際には、着用者ごとにカスタマイズする体制を整える必要がある」と、現在、産業界などへの広報

■ 疲れ知らずスーツ

大林組・北海道大学



「プレスリリースストップへ

「ツ」を開発

の改善と生産性の向上へ

北海道大学と共同で、上向き作業時に首の疲労を軽減し、作業効率を改善する「上向き作業軽労化装置（疲れ知らずスーツ）」を開発しました。

従来、建設現場では、天井工事（軽量鉄骨、ボード、システム天井、塗装など）や補修工事（吹き付け、左官、鉄筋組み立てなど）の工種があり、その作業の多くは首への負担が大きい上向き作業で、作業員にとって厳しい労働環境となっています。身体的負担から、首を上に向けていることができる時間に限りがあるため、作業効率の低下にもつながっています。首の負担を軽減するサポーター類は、以前から各種商品化されていますが、首全体を覆うことによる首の固定や上半身全体の動きの制約により、作業への障害になるという課題がありました。また、建設作業に適用するには、簡単に装着できることや装具の重量が負担にならないことが求められていました。

今回開発した「疲れ知らずスーツ」は、弾性素材のみを利用したジャケット式のモデルです。新築工事をはじめ、今後の工事増加が想定される維持管理・補修・補強工事など、さまざまな工事に適用でき、労働環境を改善することで生産性向上に寄与します。大林組では、既に屋根補修工事や設備配管工事へ導入しており、今後も上向き作業を伴う工事への普及展開を推進していきます。



共同通信社（2014年3月4日）

水産経済新聞（2015年11月20日）

■ スマートスーツ 全身サポートタイプ

スマートサポート・JFEエンジニアリング



電気新聞(2015年10月14日)

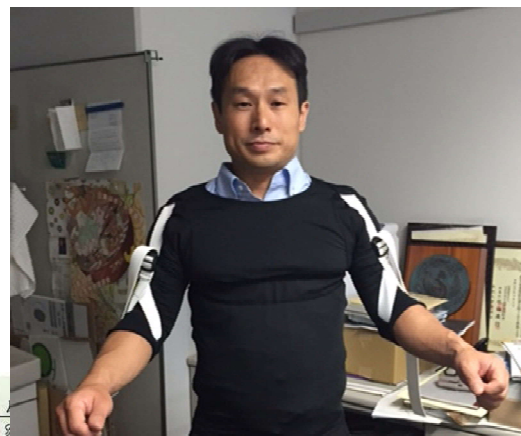
エネ技術でフォーラム
「エネ」は、エネルギーの略。エネルギーの活用は、社会の発展を支える重要な要素である。エネ技術は、エネルギーの効率的な利用を実現するための技術であり、社会の持続可能な発展に貢献している。エネ技術の分野では、再生可能エネルギーの活用が注目されており、エネ技術の発展が社会の持続可能な発展に貢献している。

行政と民間の役割
行政と民間の役割は、社会の発展を支える重要な要素である。行政は、社会の発展を支えるための政策を立案し、民間企業は、社会の発展を支えるための技術を開発する。行政と民間の役割は、社会の発展を支える重要な要素である。

経済的な
経済的な発展は、社会の発展を支える重要な要素である。経済的な発展は、社会の発展を支える重要な要素である。

■ 運動感覚機能補助スーツSEnS

北海道大学・広島大学



運動機能強化スーツ
運動機能強化スーツは、運動機能の向上をサポートするための技術であり、社会の持続可能な発展に貢献している。運動機能強化スーツの分野では、再生可能エネルギーの活用が注目されており、運動機能強化スーツの発展が社会の持続可能な発展に貢献している。

行政と民間の役割
行政と民間の役割は、社会の発展を支える重要な要素である。行政は、社会の発展を支えるための政策を立案し、民間企業は、社会の発展を支えるための技術を開発する。行政と民間の役割は、社会の発展を支える重要な要素である。

経済的な
経済的な発展は、社会の発展を支える重要な要素である。経済的な発展は、社会の発展を支える重要な要素である。

電気新聞(2015年10月14日)

日刊工業新聞(2016年1月27日)

『要求身体能力 − 身体能力 = アシストツール』

『作業負担 − 負担耐性(能力) = アシストツール』

− アシストツールは能力ギャップを埋めるためのもの

✓ 要求身体能力(作業者の要求仕様)の定量化

- − 要求身体能力：筋力, バランス能力, 柔軟性, 持久力など
- − 必ずしも「筋力補助効果＝アシスト効果」ではない

✓ 作業負担の定量化

- − 作業に潜む疾病・障害リスクの見える化

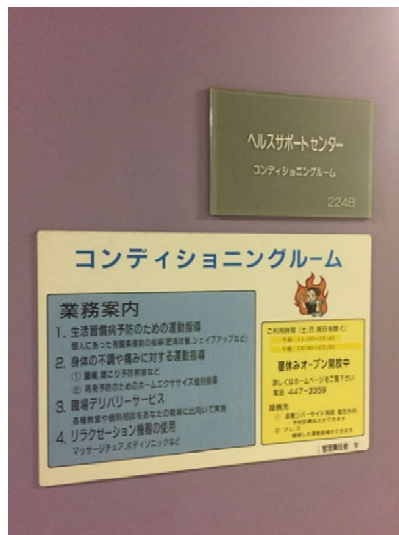
✓ アシスト効果の定量化

- − アシストツールの作業適応性の見える化
- − 主観と客観の一致

【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)

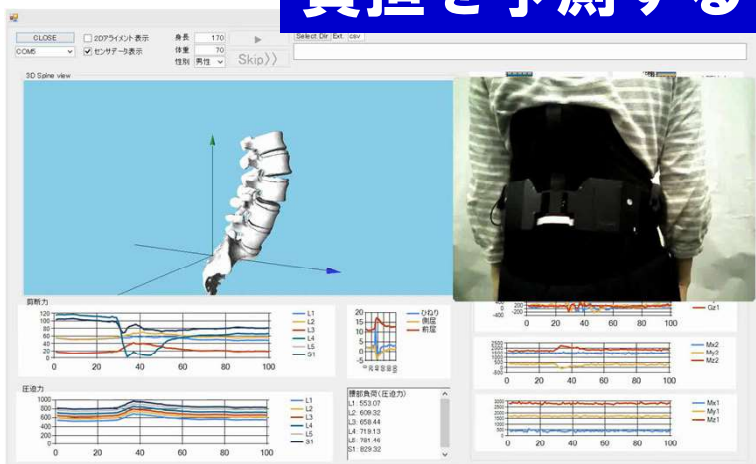
「安全体力」は株式会社JFEスチールの登録商標です。

センシングウェア[®]

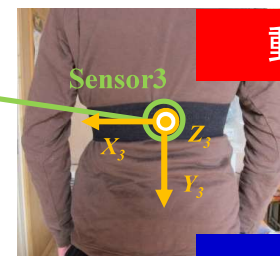


負担を見る

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®とアシストウェア®

センシングウェア (2015.9.9)



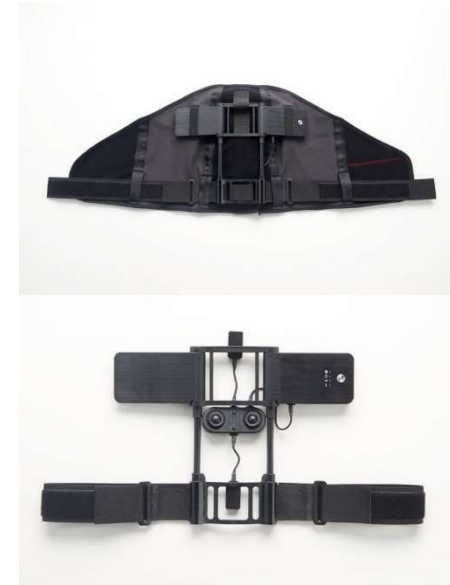
負担を見る

2017年4月23日, NHK サイエンスZERO



「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。

アシストウェア (2017.6.1)



スマートスーツの適用作業

スマートスーツで負担軽減効果
が見込める作業



前屈みが続く作業



前屈みで腰をひねる作業



荷物の持ち上げ作業

万能薬ではない

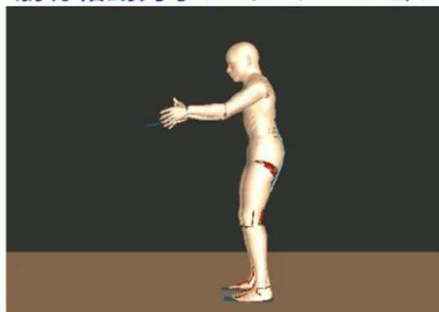


片足を出した(ついた)
荷物の持ち上げ作業

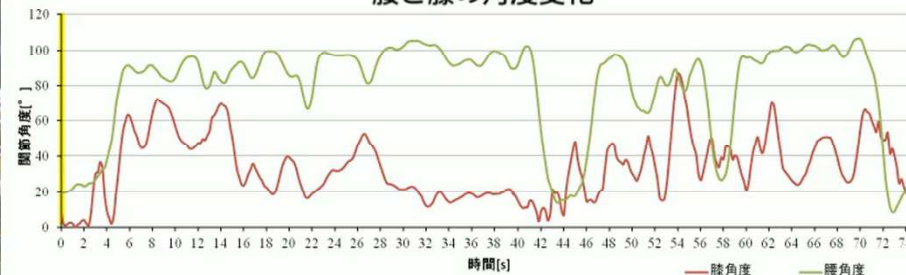
軽労化効果の見積もり



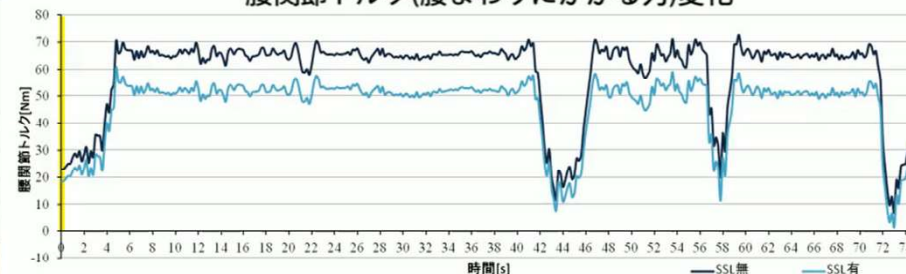
筋骨格動力学シミュレーション



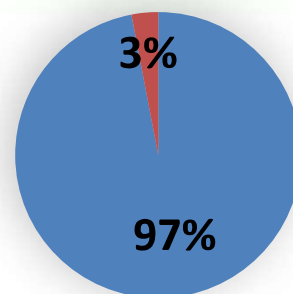
腰と膝の角度変化



腰関節トルク(腰まわりにかかる力)変化



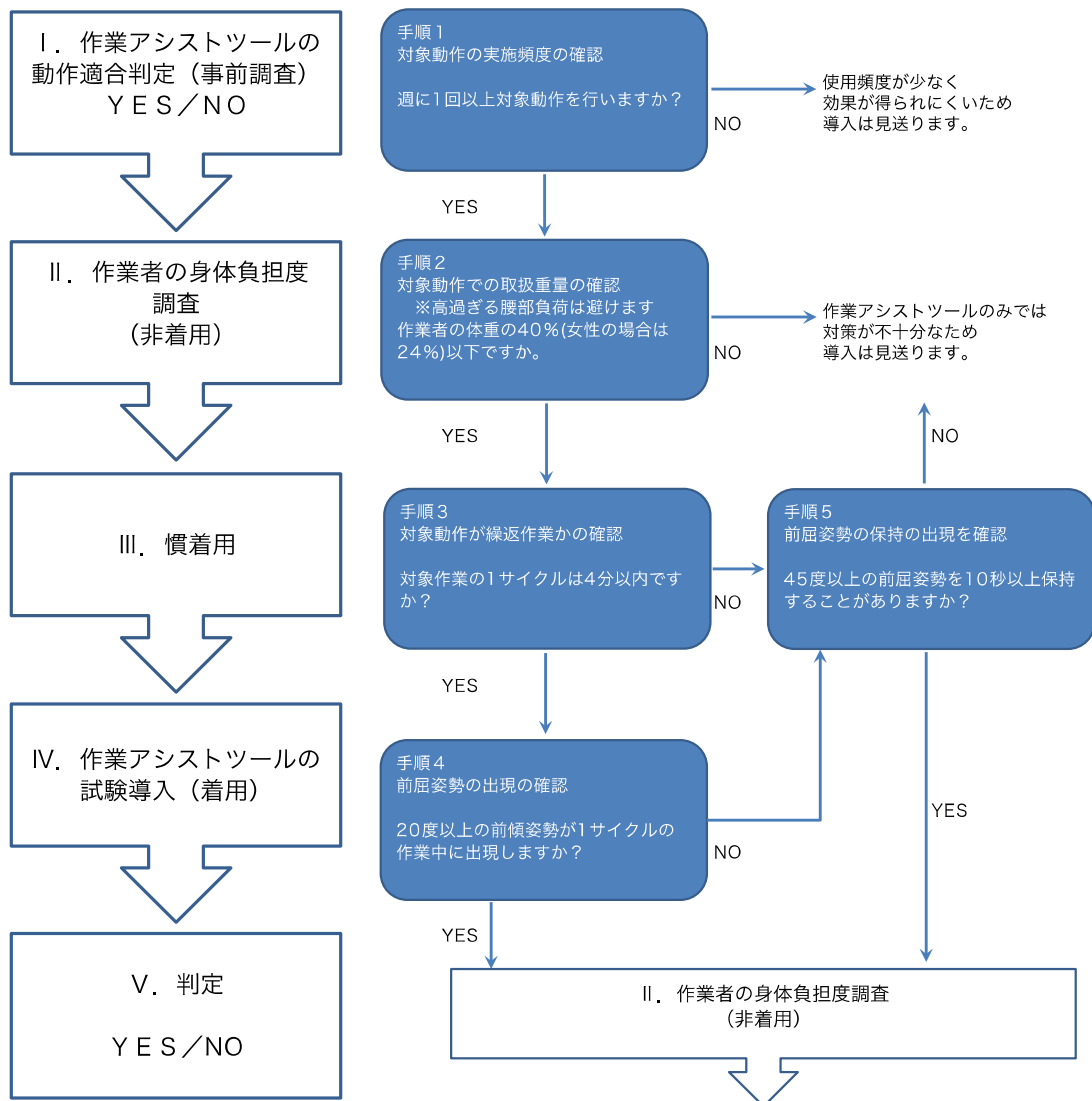
- ◆ 小型センサ内蔵スーツによる簡易動作計測
- ◆ デジタルヒューマンを用いたスマートスーツ適用性評価



協力: ミサワホーム北海道工場

軽労化効果 23.5%
(腰関節トルク積分値減少率)

アシストツール職場導入手順



身体負担度調査 非着用 5日間					
【始業前】	A	A	A	A	A
	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
【終業後】	A B	A B	A B	A B	A B C D

A: 自覚症しらべ⇒計10回 身体負担度調査5日間の始業前・終業後
B: 疲労部位しらべ⇒計 5回（// 調査5日間の作業終了後）
C: 蓄積疲労度診断チェックリスト⇒計 1回（// 調査5日目の作業終了後）
D: 腰痛症患者機能評価質問表⇒計 1回（// 調査5日目の作業終了後）

◎判断の基準	A 平均の差 終業－始業）が+2点以上 B 背・腰・臀部・大腿部に2点以上がある。 C やや高い以上 2点～ D 総得点が5点以上
--------	--

◎判断の基準	A: 導入後平均値」< 導入前平均値」であれば導入する。 ☆ 本人の希望
--------	---

主観的評価に基づくアシストツールの作業適合性評価

ホームセンター物流部門での導入試験



■ 被験者 10名(男女20～50代)

■ 2019年1月～2月, 17日間

- ✓ 事前体力測定 1日間
- ✓ 慣れ着用期間 5日間*
- ✓ 非着用期間 5日間*
- ✓ 着用期間 5日間*
- ✓ 事後体力測定 1日間

*アシストツール職場導入手順に準拠

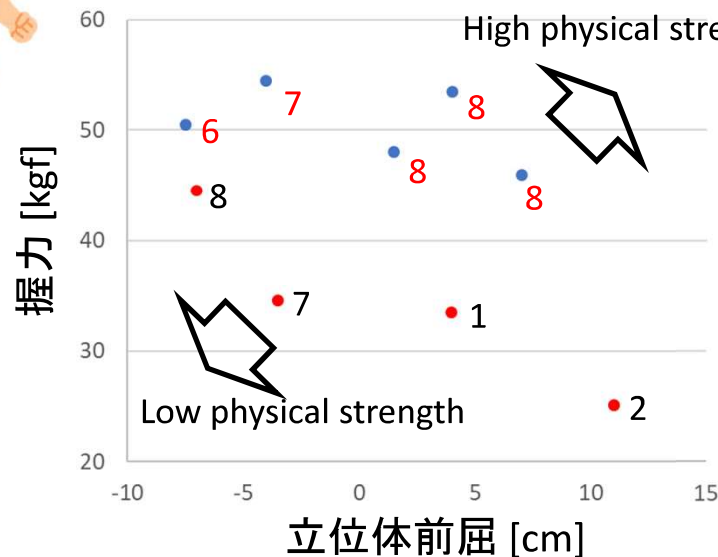
■ 体力測定項目

- ✓ 握力
- ✓ 立位体前屈
- ✓ ファンクショナルリーチテスト
- ✓ StABLE®による立位年齢・バランス年齢



身体能力とアシスト効果の主観評価

Personal Information					Physical Strength			Subjective evaluation	
No.	Age	Sex	Height[cm]	Weight[kg]	AIS[cm]	FRT[cm]	GS[kgf]	fatigue	effect
a	46	M	165	53	7.0	41	46.0	-	8
b	33	M	165	75	-7.5	37	50.5	×	6
c	53	M	177	85	4.0	43	53.5	-	8
d	38	F	150	48	11.0	46	25.0	○	2
e	42	M	166	81	-4.0	40	54.5	○	7
f	55	M	169	61.2	1.5	50	48.0	-	8
g	28	F	157	63	4.0	47	33.5	○	1
h	56	M	165	71	-7.0	44	44.5	○	8
i	52	M	172	51.5	-3.5	41	34.5	-	7



✓ 低身体能力者ほど疲労軽減効果を実感している。
→ パワーアシスト効果

✓ 高身体能力者は疲労軽減効果は実感していないが、アシスト効果は実感している。
→ 体幹安定化効果か？

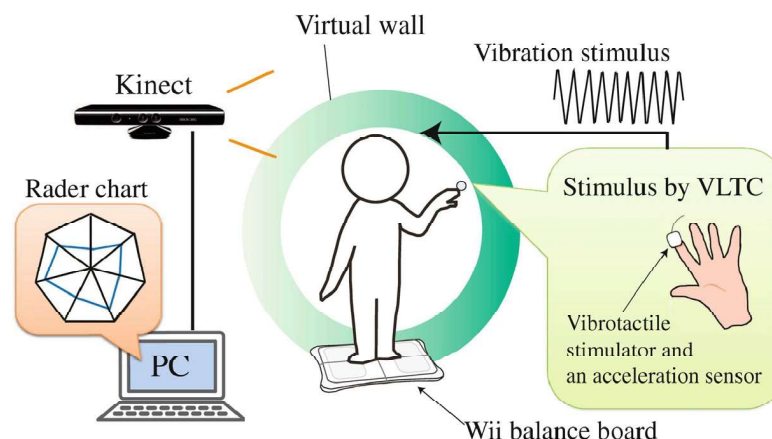
StA²BLE : 立位機能評価システム



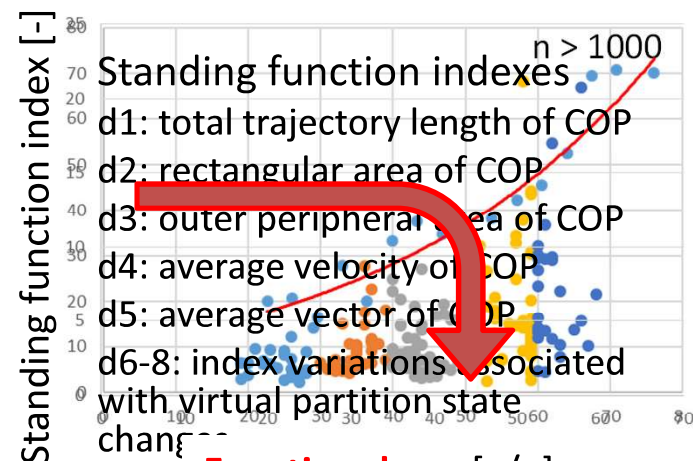
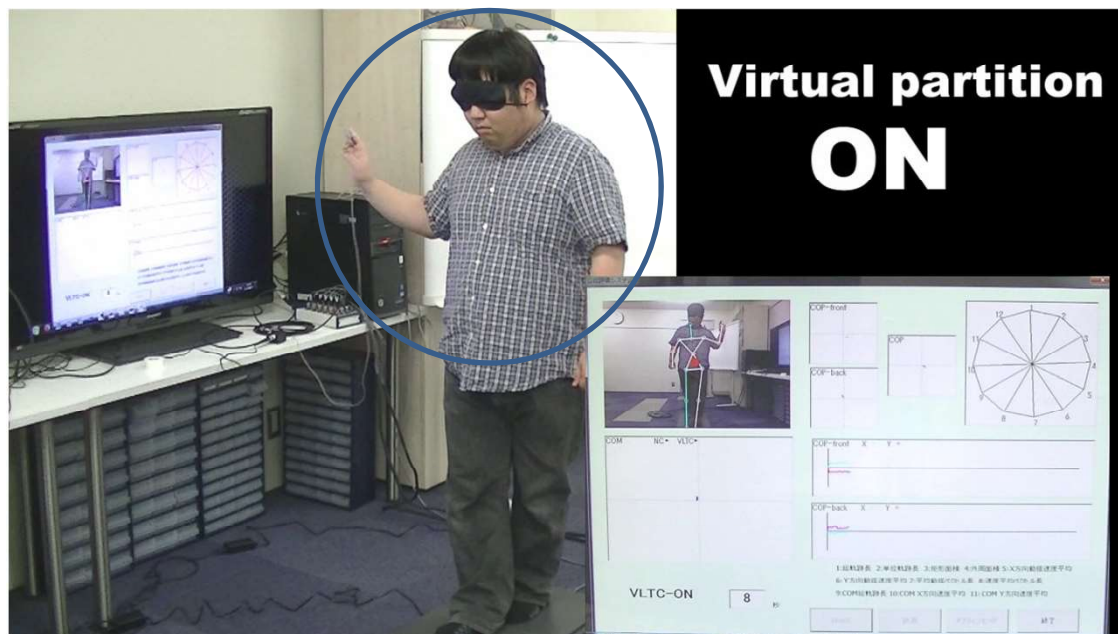
No contact

LTC

VLTC



StA²BLE system



Functional age [y/o]

- ✓ 立位機能年齢(転倒耐性)
- ✓ バランス年齢

体幹安定化効果と主観評価

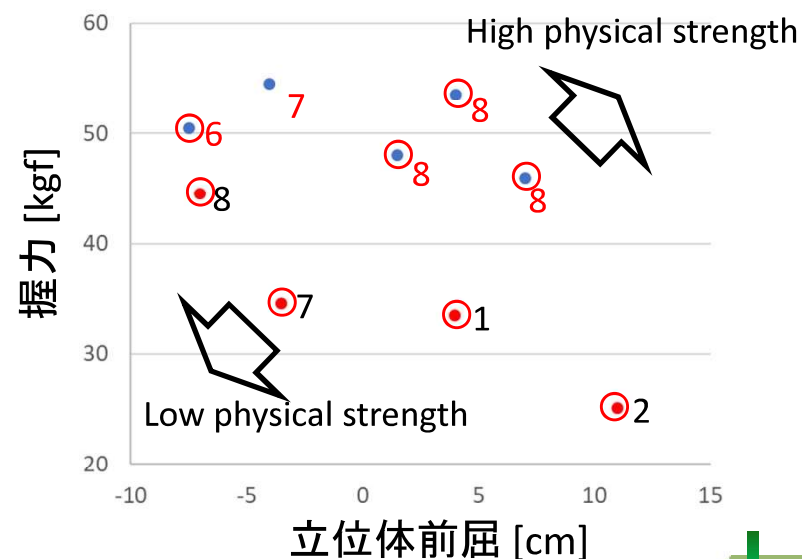
Personal Information					Physical Strength			Subjective evaluation		Stand Func. Assess	
No.	Age	Sex	Height[cm]	Weight[kg]	AIS[cm]	FRT[cm]	GS[kgf]	fatigue	effect	S/F	Balance
a	46	M	165	53	7.0	41	46.0	-	8	×	○
b	33	M	165	75	-7.5	37	50.5	×	6	○	○
c	53	M	177	85	4.0	43	53.5	-	8	○	○
d	38	F	150	48	11.0	46	25.0	○	2	○	○
e	42	M	166	81	-4.0	40	54.5	○	7	○	○
f	55	M	169	61.2	1.5	50	48.0	-	8	○	○
g	28	F	157	63	4.0	47	33.5	○	1	○	-
h	56	M	165	71	-7.0	44	44.5	○	8	○	×
i	52	M	172	51.5	-3.5	41	34.5	-	7	×	×

✓ 体幹安定化効果＝スマートスーツ装着による立位機能・バランス年齢の若返り

8 Subjects (a-h):

主観評価と客観的評価が一致

1 Subject (i): 不一致



- ✓ 少子高齢社会での働き方改革に軽労化の概念と軽労化ツールの導入を薦めたい.
- ✓ 身体能力, 作業負担, アシスト効果を定量的かつ多様に評価し, 適切なアシストツールを導入すべきである.
- ✓ アシスト効果の主観評価と客観評価を一致させることが円滑な導入につながる.

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 准教授
田中 孝之

E-mail: ttanaka@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
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)

