軽労化技術を活用したスマートスーツの導入による漁労作業の省力化および安全性向上の実証

【事業実施主体】

株式会社スマートサポート

目　次

Ⅰ　課題名 63

Ⅱ　実施主体名 63

Ⅲ　実証試験の内容 63

1　目的 63

2　導入技術の概要 63

2－1　導入技術 63

2－2　技術導入の方法（手法） 65

2－3　スケジュール 67

2－4　実証事業の目標 67

3　実証試験の方法 68

3－1　「丹後とり貝」養殖業の現状についての聞き取り調査 68

3－2　被験者へのスマートスーツの効果の説明 70

3－3　実証実験　評価項目と方法 71

3－4　実証実験　実施場所および被験者 74

3－5　「丹後とり貝」用オリジナルスマートスーツの開発 75

4　実証試験結果 80

4－1　養殖フィールド実験の結果 80

4－2　模擬環境実験（北海道大学） 83

4－3　評価 84

5　考察 85

6　今後の課題 85

7　謝辞 86

Ⅰ　課題名

軽労化技術を活用したスマートスーツの導入による
漁労作業の省力化および安全性向上の実証

Ⅱ　実施主体名

株式会社スマートサポート

Ⅲ　実証試験の内容

1　目的

漁労作業の省力化と安全性向上のために、労働環境改善の一環として漁業者の作業負担を軽減し、腰痛や転倒などを予防する軽労化®の概念によって開発されたスマートスーツ®を漁労環境に最適化させ作業現場（ここでは垂下式養殖を対象とする）への導入効果を実証すること。

※「スマートスーツ」、「軽労化」は株式会社スマートサポートの登録商標

2　導入技術の概要

2－1　導入技術

株式会社スマートサポートが開発した「スマートスーツ®（特許 4496398 号、特許 5505631 号他）」は、機械的な動力を用いず弾性体（ゴム材）の張力だけで軽労化効果を発生させる“内骨格型のパワーアシストスーツ”である。外骨格型のパワーアシストスーツと比較し、出力は小さいものの安価で優れた着心地と高い安全性が特徴である。外骨格型のパワーアシストスーツが増力化を目的としているのに対し、内骨格型のパワーアシストスーツであるスマートスーツは、動作を妨げず、筋負担軽減を目的としている（表１）。

	外骨格（Exoskeleton）	内骨格（Endoskeleton）
フレーム剛性	高剛性	柔軟（低剛性）
PAS出力	高出力（PAS骨格依存）	低出力（人骨格依存）
アシスト主目的	増力、能力強化	筋負担軽減
動作拘束性	拘束される場合がある	比較的自然な動作が可能

表１　パワーアシストスーツの種類

その効果は、中腰姿勢の維持や重量物の持ち上げ等のかがみ込み時に後背部の体表面長の伸びとともに弾性体が伸長し、上半身を引き起こす筋力補助（アシスト効果）と腹部を引き締めて体幹を安定化（コルセット効果）させバランス能力を向上させる２つの補助効果がある。（図２）

スマートスーツの設計概念である「軽労化」とは図１のように定義されている。

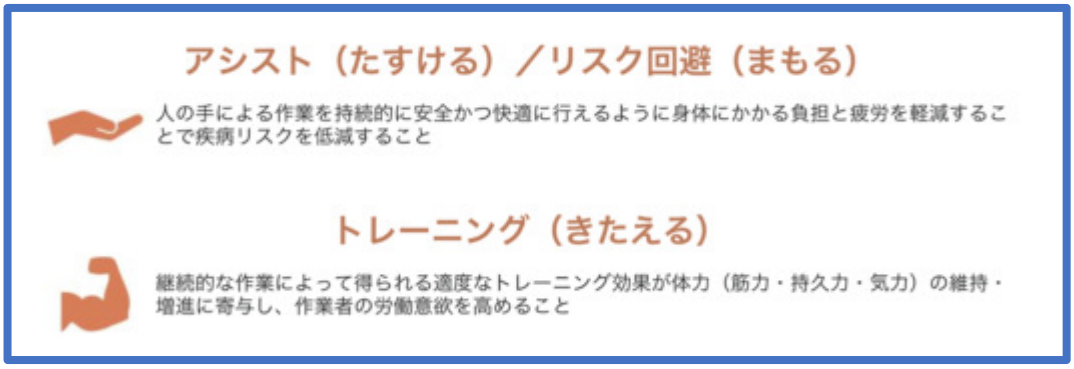


図１　軽労化®の定義

図２　スマートスーツの特徴

漁労作業の多くは、中腰姿勢の維持や重量物の持ち上げなど、後背部への負担が大きく、腰痛リスクが高い。また、水濡れや揺れにより、滑りやすく不安定な足場での作業は転倒や

落水といった事故の原因にもなる。さらに、漁労作業者が年々高齢化しており、体力低下から腰痛発症や転倒といったリスクもより増加している。

対象作業の多くは、作業者の経験やノウハウによるものが多く、機械化やロボット化が困難であり、仮に機械化、ロボット化されたとしても、費用対効果、作業効率や生産性の面から作業現場への導入は難しい。

作業そのものは人が行い、人の動作をアシストするパワーアシストスーツの導入にしも、安全操業のために動作拘束があるものや動力（バッテリ等）の管理、屋外での使用で海水への暴露や炎天下での長時間の使用に耐えるものが求められるため、現行の外骨格型のパワーアシストスーツの導入も難しい。

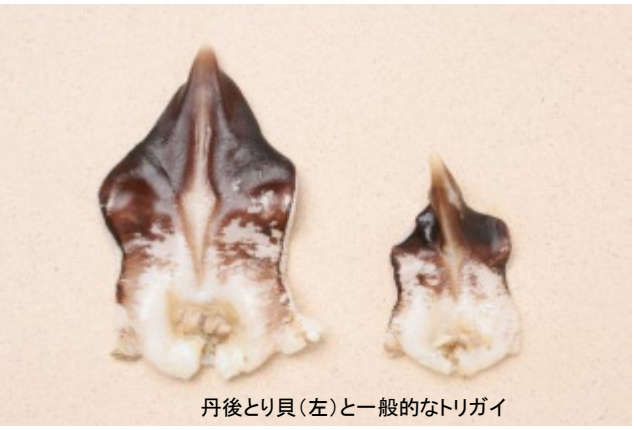
スマートスーツはモーター等の機械力を使用せず、材料として金属を使っていない。また、動作拘束もほとんどないため、イカダ上で操業する「丹後とり貝」の作業に適している。丹後とり貝の生産者のひとりは、試験販売されているスマートスーツを導入し、丹後とり貝の作業にも用い、その軽労化効果を確認しているが、日常の操業に欠かせない道具として定着させるためには、作業者が実施している毎日の作業の強度や身体への負担を客観的に評価しなければならない。

スマートスーツは 2014 年から試験販売を実施している。農業や漁業などの一次産業、ものづくりの現場や物流業、介護、医療分野など幅広い分野で使用実積がある。

2−2　技術導入の方法（手法）

本実証実験では、京丹後市、宮津市で垂下式養殖によって生産されている「丹後とり貝」の生産者の協力を得て、身体に大きな負担がかかるイカダ上での海中からのコンテナの引き上げ作業を主たる対象として技術導入を図った。

トリガイは北海道を除く全国の内湾域に分布しており、寿司だねとしても利用される高級貝であるが、高水温に弱く、水温が高くなると抵抗力が低下し、環境の影響（特に酸素不足）により死亡してしまうため、多くの地域では夏を迎える前に漁獲される。しかし、丹後では夏を越えて 2 年近く生育し、大型に成長することができるため、丹後の舞鶴湾、栗田湾、宮津湾は、大型の天然トリガイが漁獲される、日本有数の優良漁場として知られている。（京都府農林水産部水産事務所）



丹後とり貝（左）と一般的なトリガイ

写真１　丹後とり貝

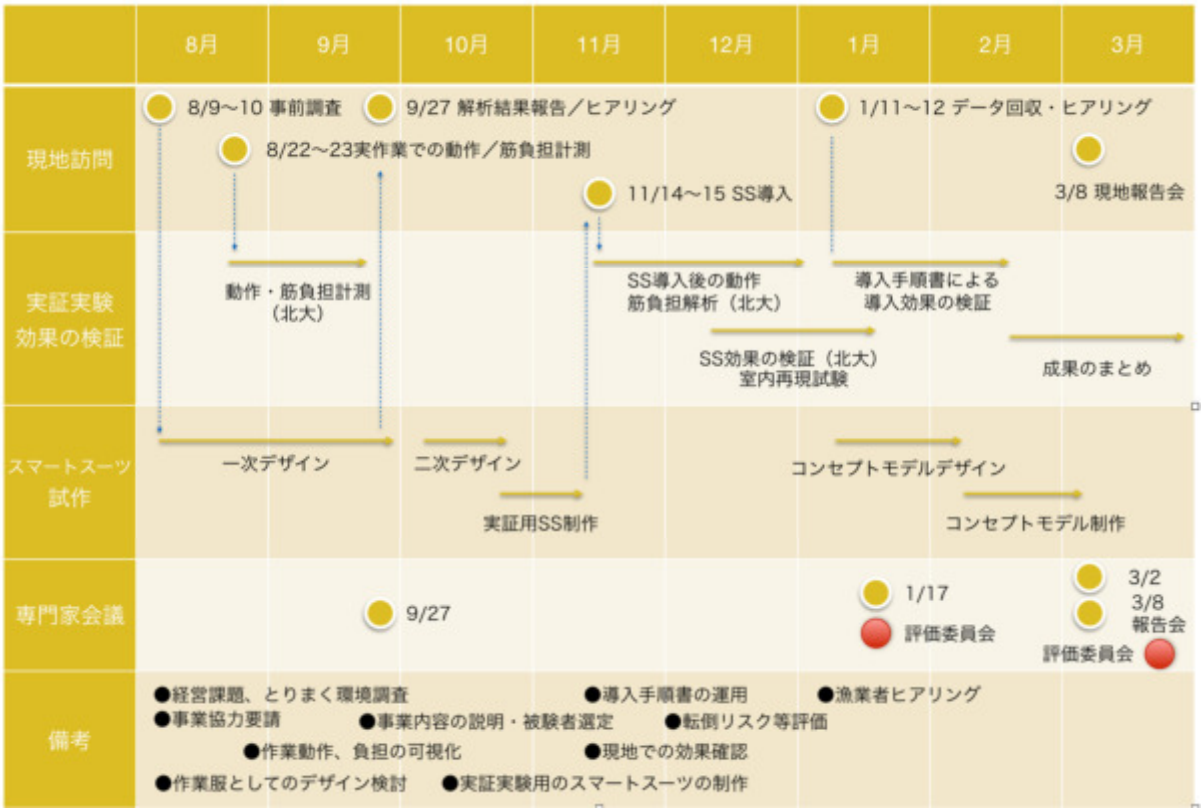
京都府農林水産技術センター海洋センターでは、大型のトリガイを安定的に供給するため、全国に先がけて、トリガイの種苗（稚貝）を大量生産し、育成する技術を開発した。「丹後とり貝」はこの種苗（稚貝）を、漁業者が、内湾（舞鶴湾、栗田湾、宮津湾、久美浜湾）でアンスラサイトという砂状の粒（石炭の一種）が入ったコンテナに入れ、約一年かけて丁寧に養殖、育成したトリガイであり、京都府がブランド産品として推奨し、地域団体商標にも登録されている。

しかし、丹後とり貝の養殖にかかる作業は過酷であり、水やコンテナ内の充填基材であるアンスラサイトを含め１箱 40kg にもなる養殖コンテナを海中からイカダ上に引き上げる作業を１日数十回、繰り返して行なう作業は腰痛リスクが極めて高く漁業者の健康と漁の持続可能性から大きな課題となっていた。

対象作業はスマートスーツによる軽労化効果が期待される。一方で着用の手間や着心地の悪さ、軽労化効果の感じ方など着用者の主観的かつ心理的な負の要素が軽労化効果をキャンセルすることも予想されることから、技術の着実な導入のために、下記の手法によって導入を図った。

①「丹後とり貝」養殖業をとりまく現状についての聞き取り調査
② 被験者へのスマートスーツの効果の説明
③ 実証実験
　評価項目と方法
　　(1) 筋力補助および CPUE 向上効果（省力化・作業効率）
　　(2) バランス能力向上効果
　　(3) 自覚的疲労度
④「丹後とり貝」用オリジナルスマートスーツの開発

２−３　スケジュール



２−４　実証事業の目標

この技術を導入することで、下記の成果を達成できることを確認する。また、長期的な持続可能性を高めるため、丹後とり貝の作業時におけるスマートスーツ着用の定着を目指し、その下地作りを行う。

① 前屈作業時において腰部筋発揮力の 25%軽減

② 作業時平均筋力が最大筋発揮力の 10%を超えないための筋力補助効果

③ スマートスーツの着用により重心動揺の抑制や繰り返し作業時の動作のバラ付きを低減

④ スマートスーツの着用ストレスを低減する素材、デザインや機能性の改善

なお、②については筋電図を用いた作業負担の評価において、以下の知見を根拠としている。Jonsson は、P = 0.5 における%MVC 値を、その作業における平均的な作業強度を表すものとしている。また、Jonsson らは 1 時間かそれ以上の作業では、P = 0.5 における%MVC 値は 10%を超えるべきではなく、14 %を超えてはならないとしている。

Jonsson, B. Measurements and Evaluation of Local Muscular Strain in the Shoulder During Constrained Work. J. Human Ergol. 11, 1982, p.73 -88.

３　実証試験の方法

３−１　「丹後とり貝」養殖業の現状についての聞き取り調査

現在、「丹後とり貝」は、舞鶴湾、栗田湾、宮津湾、久美浜湾の４内湾で垂下式養殖によって生産されている。

海洋センターから供給される 10㎜程度の稚貝は７月初旬に導入され、コンテナ（50ｃｍ×32㎝×21ｃｍ（内寸））の中に基材のアンスラサイト（無煙炭）とともにイカダから海中7〜8ｍの位置に沈められる。イカダ（8ｍ×12ｍ）には 160〜170 個のコンテナが吊るされており、１生産者あたり平均的に 2〜3 イカダ（330〜400 個）ほどを保有している。

写真２　久美浜湾の丹後とり貝イカダ

海中に沈められたコンテナは 2〜3 週間毎に海上に引き上げられ、コンテナ内の水の入れ替えや異物の除去を行い、成長にあわせてコンテナ内の数を調整する。また、定期的にコンテナに付着している貝や生物を洗浄除去する作業が行われる。これらの作業は海水温の高い 10 月頃までは高い頻度で実施されており、毎日、平均して 30〜50 個のコンテナの引き上げ作業を実施している。この作業は丹後とり貝の生育や歩留まりに大きな影響を与えるため、休みなく行われ、炎天下での作業を避けるため、比較的涼しい夜明けから 3〜4 時間の間の限られた時間で作業される。

写真３　丹後とり貝に用いられるコンテナ

写真４　コンテナの中のアンスラサイト（無煙炭）

コンテナは１個 40kg にもおよび、とくに海面からイカダ上までの 30～40cm の高さを引き上げる際に腰部や腕に大きな負担がかかる。また、連日の作業により疲労が蓄積し、慢性疲労から腰痛等の症状を訴える生産者も多い。

生産者は 30～40 歳代が中心であるが、60 歳代、70 歳代の生産者もおり、加齢による体力の低下とともに経営するコンテナ数は減少傾向にあり、コンテナの引き上げメンテナンス頻度も低下するため品質の低下が懸念されている。

京都府の水産試験場では、ウィンチ等の利用によるコンテナ引き上げ作業の機械化も試みたこともあったが、限られた時間で数多くのコンテナを引き上げるには時間がかかりすぎて実用化には至っていない。

過酷な作業を理由に丹後とり貝漁をやめる生産者も出ている。また、漁をやめないまでも、コンテナの引き上げメンテナンスを怠ることで品質低下も指摘されており、ブランド力や市場での評価もあがりにくい状況にある。

スマートスーツの導入は、作業による身体への直接的な負荷を減免するとともに、疲労を減らし、作業の持続可能性の向上や丹後とり貝の品質向上に寄与するものとして期待されている。

写真５　丹後とり貝のコンテナ引き上げ作業
（現地調査　2017 年 8 月 9～10 日に実施）

３−２　被験者へのスマートスーツの効果の説明

丹後とり貝の作業は生産者にとって大きな身体的負担を伴うものであり、深刻な腰痛症等の原因となることを認知しているが、日常的な作業であり、疲労や負担があっても作業は実施している。

生産者にスマートスーツの着用を促してもスマートスーツ自体は、自らの能力以上の力を発揮することによって本来扱うことができない重量を扱ったり、より軽い力で扱ったりする“増力化”を目的とするものではなく、同じ重量を扱った時に筋負担を軽減させる“軽労化”を目的とするものである。軽労化効果は短期的に作業者自身が効果を実感するよりも、長期間連用した際にその効果が強く現れる。すなわち、生産者にとっては着用することで、ただちに生産性が向上したり、作業スピードが早まるわけではないため、着用により得られる本来の効果を理解しないまま着用してしまうと、着用するという一手間が面倒であったり、炎天下の作業の中でスマートスーツの着用が暑さやムレを感じさせたり、締め付けによる不快感があったりすると、着用効果がキャンセルされる可能性が大きい。

そこで被験者となる生産者には、軽労化およびスマートスーツの機能を知識として知ってもらい、正しい装着方法と期待される効果、長期的に作業を継続していくうえで、スマートスーツを着用する意義の理解を促すことで、着用することへの精神的な障壁をなくすことを目的とした説明会およびスマートスーツの試着会を開催した。

期待する効果を理解してもらったうえで、被験者となってもらう人を選定した。被験者には「アシストツール導入手順書」に準拠し、日常の作業にあたってもらった。
（アシストツール導入手順書は別紙資料）

写真６　軽労化およびスマートスーツの説明会

３−３　実証実験　評価項目と方法

本実証試験では開発した漁労用スマートスーツを次の 3 つの観点で評価した。

(1)　**筋力補助および CPUE 向上効果（省力化・作業効率）**

漁労用スマートスーツは従来のスマートスーツをベースに、前屈作業時において腰部筋発揮力の 25%軽減を目指して開発した。本実験では、作業全体を通してだけでなく、その内訳、つまり作業種別ごとの負担軽減効果を評価した。筋電位計 DL-5000 を用いて、図 3 のように左右の脊柱起立筋中部、下部の筋活動を計測した。各作業における筋電位 e の時間平均を各作業の筋負担として、筋負担減少率を評価した。併せて、労働安全衛生上の目安とされる、作業時平均筋力が最大筋発揮力の 10%を超えないための筋力補助効果の達成度も評価した。

また、CPUE（Catch Per Unit Effort）の考え方にならって、作業効率の向上度合いを評価し、漁業者が得られる実質的な利益を評価した。ここで、作業者の筋発揮力を F, 作業速度を v, 作業時間を T, とすると、作業者の消費エネルギー E は、

$$E = \int_0^T F v dt$$

となる。筋発揮力 F は筋電位 e で、作業速度 v は作業時間 T の逆数でそれぞれ代用した。本実験では、直接的に収穫を伴わない垂下式養殖のコンテナ引き揚げ作業を対象としたため、漁獲量の代わりにコンテナ引き揚げ数を用い、それを C とすると、CPUE（P）は

$$P = \frac{C}{E}$$

と定義され、これをコンテナ引き揚げ作業の効率として、スマートスーツ有無による筋力補助効果と共に作業効率を評価した。作業動作はウェアラブルモーションキャプチャシステム Perception Neuron を図４のように被験者に装着して計測した。

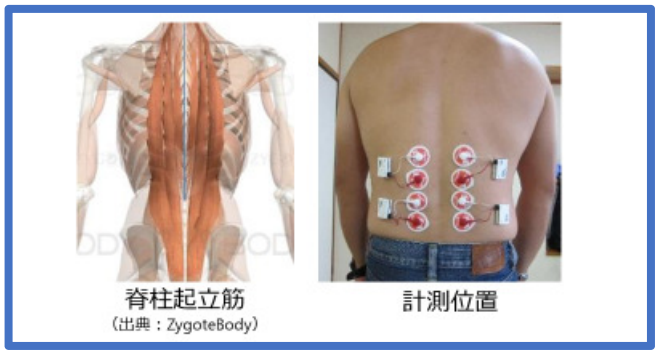


図３　腰部筋発揮力計測のための筋電位計測部

図４　作業動作計測のためのウェアラブルモーションキャプチャ

(2)　**バランス能力向上効果（安全性）**

スマートスーツには筋力補助効果と共に、前屈姿勢における体幹安定化効果が認められており、開発した漁労用スマートスーツでも、イカダ上での作業のような不安定な作業環境におけるバランス能力向上効果を評価した。床反力計として Wii Fit を用いて、立位および前屈姿勢での重心動揺を重心総軌跡長によって評価し、スマートスーツ有無による差異を比較した。

(3)　**自覚的疲労度**

上記評価項目(1)、(2)の客観的な評価に加えて、作業者本人が自覚する疲労度を主観的に評価した。スマートスーツは軽労化を目的としており、軽労化は“できていることを楽にする”技術とも言えるため、軽労化効果を感じるためには、作業によって自らがどの程度、疲労しているのかを自覚し、スマートスーツを着用する意義を理解することで、着用習慣が定着し、軽労化効果を得ることができる。

自覚症状を評価するために「北九州産業学術推進機構」が北九州市の国家戦略特区の一環として実施している「介護ロボット開発コンソーシアム」の取組みの中で、介護現場へのスマートスーツの導入を目的とした手順書（別紙資料）を運用した。スマートスーツの軽労化効果と対象作業の特性を理解して適正に使用するために、スマートスーツが補助対象作業に適合するかを判断し、作業者自身が作業による身体の負荷を認知し、スマートスーツの導入プロセスとその軽労化効果を理解し、実感することで職場に定着させ、苦渋作業の軽減、軽労化を達成することを目的に作成されたものである。その実施手順は図５とおりである。

手順書の疲労の調査には、日本産業衛生学会疲労研究部会が作成した「自覚症しらべ」を亜急性疲労（日周性疲労）、厚生労働省が公開している「労働者の疲労蓄積度チェックリスト」を蓄積疲労（慢性的疲労）の指標として用いている。また、筋骨格系負担調査には、日本産業衛生学会疲労研究部会が作成した身体疲労部位を短期の指標として、日本整形外科学会・日本運動器リハビリテーション学会・日本臨床整形外科医会合同作業部会が作成した腰痛症患者機能評価質問表（JLEQ: Japan Low Back Pain Evaluation Questionnaire）を長期的な指標として使用している。これらの回答から、II 群:不安定感 III 群:不快感 IV 群:だるさ感 への回答を抜き出し点数化して、疲労の自覚症としている。

導入手順における【手順２】及び【手順４】の身体的負担度調査は図６のとおりで、【手順５】における導入の判定は、身体負担度調査の中の「自覚賞調べ」において、「導入後平均値」＜「導入前平均値」を判断の基準としている。

本実証実験においては、スマートスーツ導入前後でこの点数が減少しており（表２）、スマートスーツを着用している作業者もその効果を実感しているといえる。

図５　導入手順

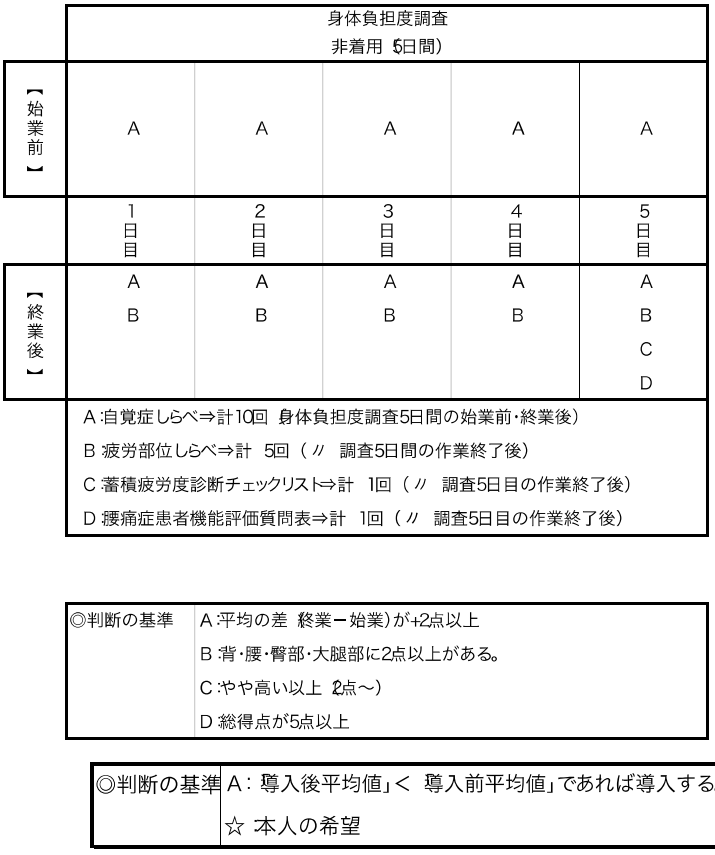


図６　身体負担度調査

作業者	スマートスーツ 導入前（A）	スマートスーツ 導入後（B）	B-A
A	19	17	-2
B	18	18	0
C	20	17	-3
D	20	18	-2
E	21	20	-1

表２ スマートスーツ導入前後の自覚的疲労度

作業に着用を定着させるためには、実際にスマートスーツを使用する作業者が第三者的な立場（アシストツールを評価するという立場）に立って一定期間使用し続けた後に、今後の使用を希望するかどうかが重要であり、作業者が効果を実感していれば、使用の際に多少の手間がかかるとしても使用の継続を希望すると考えられる。

３−４　実証実験　実施場所および被験者

(1)　養殖フィールド実験（京丹後）

京丹後市久美浜湾トリガイ生産者４名（30 代１名、40 代２名、50 代１名）、同宮津湾トリガイ生産者１名（50 代）に協力いただき、各生産者のイカダおよび桟橋等にて実験を行

った。スマートスーツ装着、未装着で、写真５のようなコンテナ引き揚げ、コンテナ洗浄の通常作業を行った。

(2)　模擬環境実験（北海道大学）

作業者の安全面に配慮して、また実験条件を一定にするために、バランス能力に関わる実験は北海道大学内の模擬環境にて実験を行った。被験者は男性 3 名（20 代、30 代、40 代各 1 名）で非漁業就労者である。10kg の荷物の持ち上げ、横移動、下げおろしの繰り返し動作を行った。荷物には、安定した作業を模擬したコンテナと、不安定な作業を模擬したウォーターバッグ（水と空気が入った袋）の 2 種類を用意した。

３−５　「丹後とり貝」用オリジナルスマートスーツの開発

現在、試験販売に供しているスマートスーツは、農業や水産業などの一次産業ばかりではなく、製造業や介護、医療など汎用的に効果が得られるようデザインされている。一方で、どのような用途においても実作業では、「既存の作業服とのデザイン上の相性が悪い」、「ポケットが使えない」、「着用の手順が面倒だ」といった声が上がることから、作業環境や軽労化対象作業の手順に適合したオリジナルのデザインを提案している。

(1)一次デザインの提案

8 月に実施した事前ヒアリングでは、汎用的に試験販売をしているスマートスーツを試着してもらい、実作業に用いた場合に求められる機能や素材、デザインについて意見を聞いたところ、下記のような意見が得られた。

・腰部をコルセットのようにしっかりと固定してほしい
・夏でもカッパを着用するので、スマートスーツはカッパの下に着たい
・カッパの上から締め付け調整は難しいので、調整後は緩まないしっかりとした構造が望ましい
・留め具は大型のプラスチック製などを用い、しっかりととまるものが良い
・炎天下での作業なので、なるべく軽く薄い生地が良い
・動作を干渉しないデザイン。とくに脇の下が擦れないよう肩ベルトの形状を工夫してほしい
・着用しやすいように生地の裏表がわかるような構造が良い
・正しい位置で着用できるように工夫してほしい

その後、9 月に実施した生産者への軽労化およびスマートスーツの説明会の際に、丹後とり貝漁に必要と思われる機能を織り込んだデザインを提案した（図７、図８）。なお、操業中のライフベストの装着が義務付けられることから、ライフベストとの一体型や、ベスト一体型にリフレクターを装備し、スマートフォン等のデバイスを収納できる防水ポケットなどのオプションを提案した。

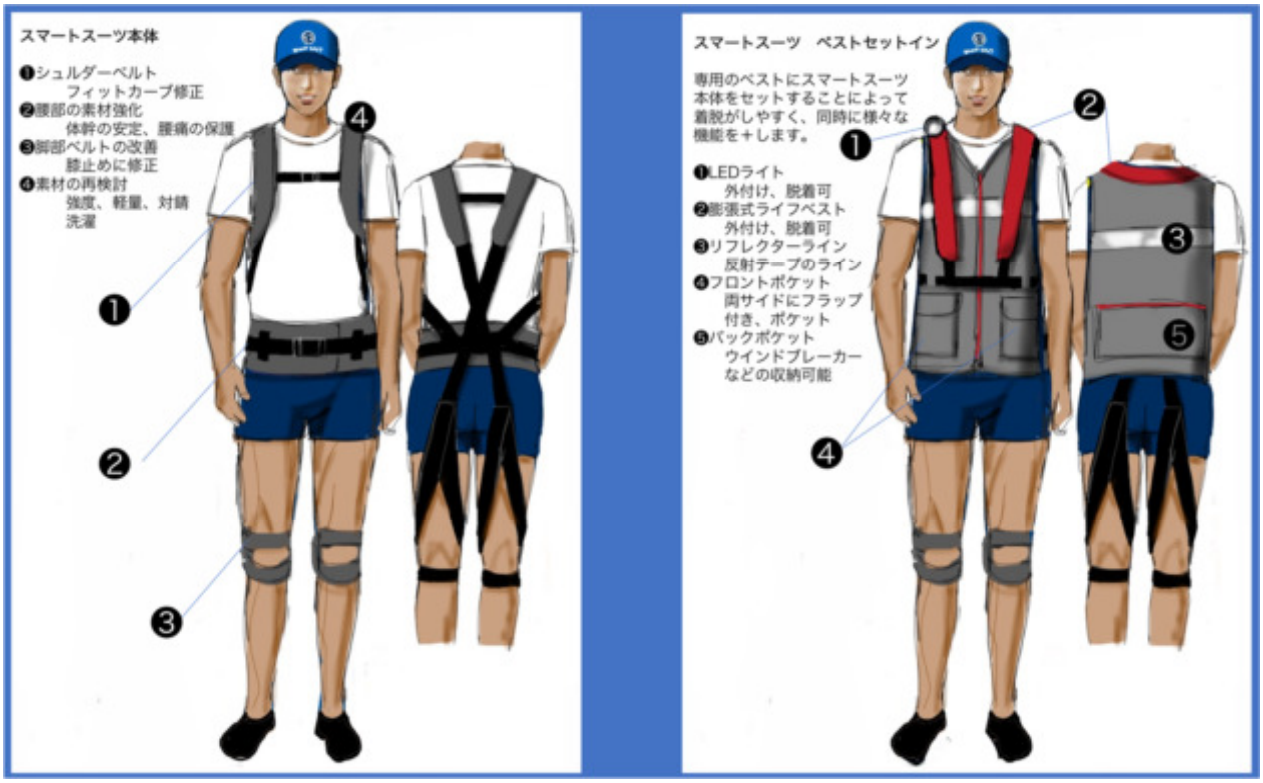


図７　　丹後とり貝漁用スマートスーツ　１次デザイン（案）－１

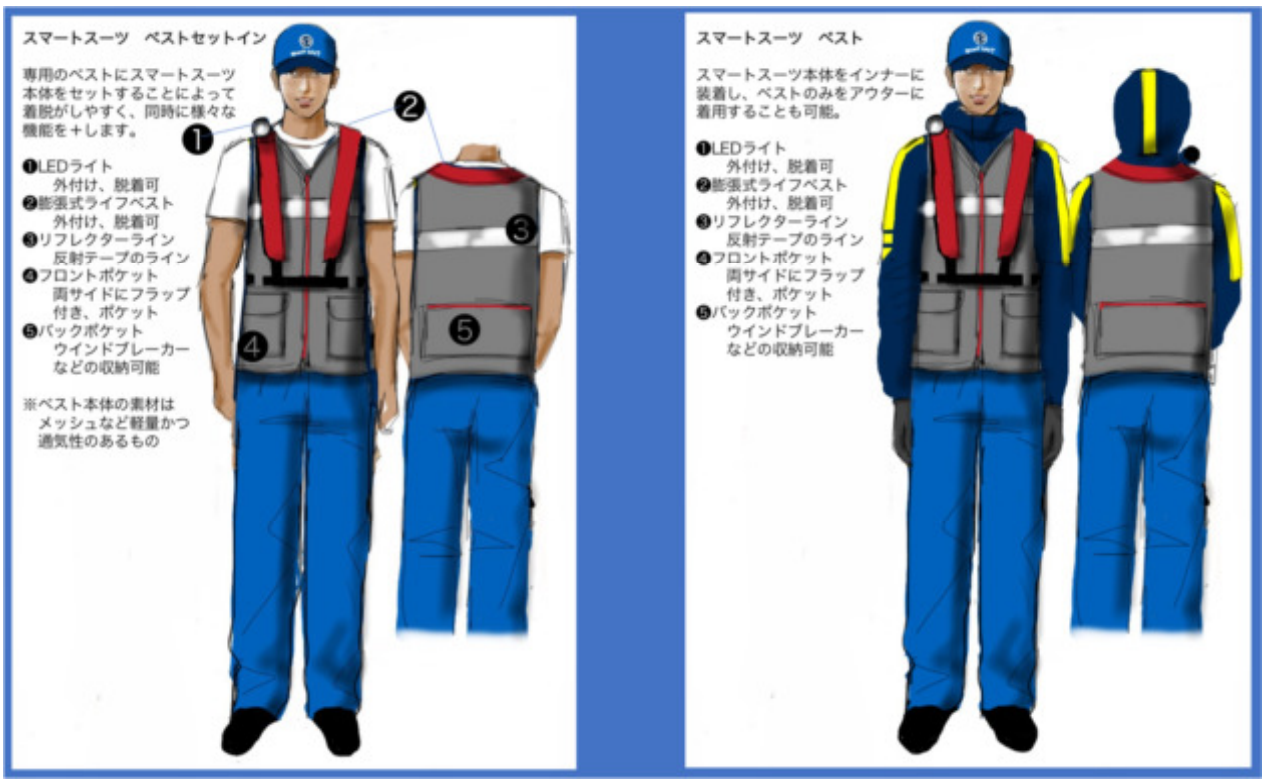


図８　　丹後とり貝漁用スマートスーツ　１次デザイン（案）－２

（２）二次デザインの提案

一次デザインの提案に対し、生産者からは「イカダ上ではひとりでの作業なので、ファッション性は全く必要ない。できればよりシンプルで必要な機能のみがあれば良い」などの意見があった。

一次デザインの絵型から生産者の意見を反映し、２次デザインとして実証試験で用いる丹後とり貝用のスマートスーツを考案し、被験者用に制作した（図９）。

図９　丹後とり貝用スマートスーツ（２次デザイン）　2017 年 9 月

（３）コンセプトモデルの提案

スマートスーツの軽労化効果、すなわち前屈時における後背部の筋負担の軽減、作業時平均筋力が最大筋発揮力の 10%を超えないための筋力補助効果、およびスマートスーツの着用が重心動揺の抑制や繰り返し作業時の動作のバラ付き低減については実験から実証されている。さらに、CPUE の向上効果も得られていることから、生産者にとってスマートスーツを着用することは、自ら身体をいたわり、長く安全に仕事をしつづけることに貢献し、かつ作業効率も上がることがわかった。

生産者はイカダ上で１日３時間から６時間をほぼひとりで過ごす。ひたすら同じ動作を繰り返す単調な仕事である。しかし、単調な仕事の中にも、コンテナの水の入れ替え時やコンテナに残す貝の選定時の観察には経験や集中力を必要とし、日々の作業の積み上げが出荷時の品質、すなわち販売価格に大きな影響を与える。疲労の蓄積によって、この観察眼が低下し、作業すること自体が目的化すると品質が低下し、ブランドの毀損も避けられない。スマートスーツの効果には疲労をためにくくすることもあるが、継続した着用をしてもらうことでより強く効果が発現される。

しかし、それらの効果が実験的に証明されていたとしても、これまで作業に使用しなかったツール（ユニフォーム）として、生産者が毎日の着用を動機づけするには足りない。そこで、丹後とり貝に必要とされる便利な機能をスマートスーツに組み込み、生産者に関心を持ってもらおうと試みた。生産者からのヒアリングで日々の作業で起こる、困り事を聞き取り、スマートスーツをユニフォームとして提案することで、関心をもってもらおうと考えた。

イカダ上の作業で不便を感じたことについては下記のような点があげられた。

- コンテナに付着している貝などでカッパがすぐに破れる。カッパは消耗品であり、スマートスーツとは別にした方が良い。
- 携行するスマートフォンなどを海中に落とす事故が多くある。携行品を落とさないようにするポケット等があると良い。

・ 操船時のライフジャケットの装着が義務化された。ストレスなくライフジャケットを装備できるような工夫があるとよい。
・ イカダ上ではひとりの作業であり、落水事故があった際にも発見が遅れることがある。何らかの対策が必要である。
・ 夏場は炎天下での作業であり、冬場は極寒の中での作業となる。年中、快適にスマートスーツを装着できるような工夫が欲しい。

これらの意見を考慮して図 10 のようなコンセプトモデルを提案し、試作品 1 着を製作した。

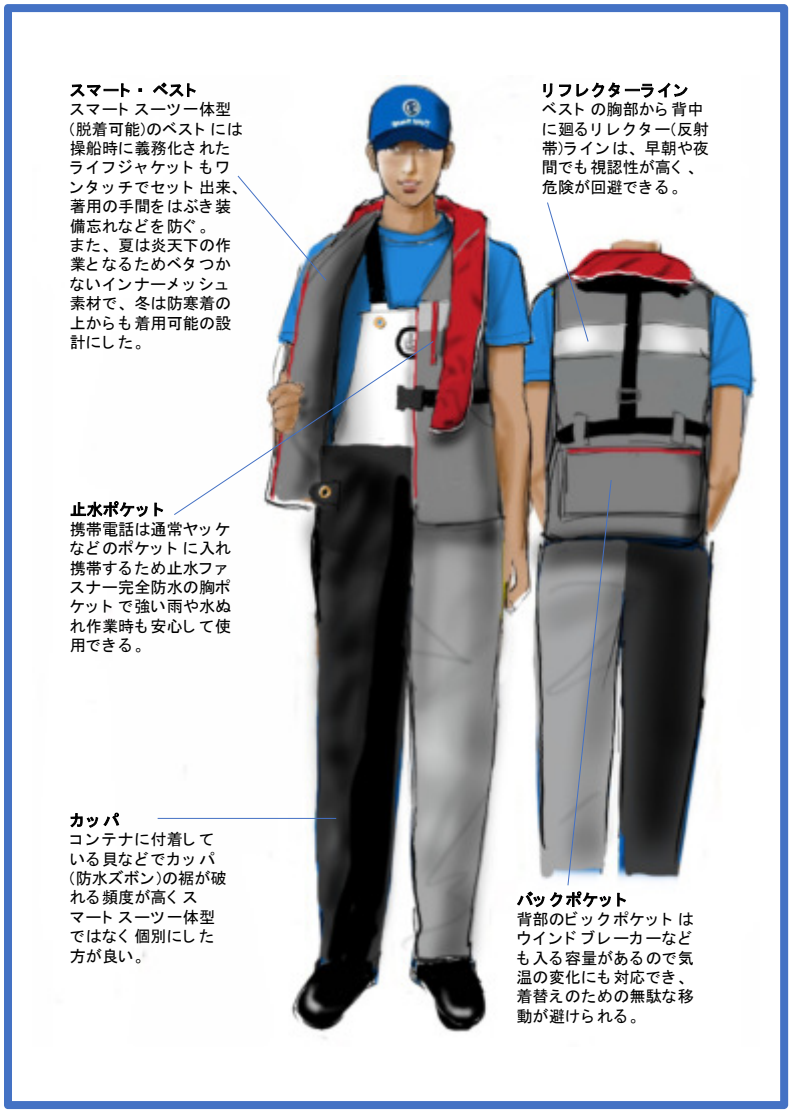


図 10 コンセプトモデルデザイン

写真７　コンセプトモデル着用例

４　実証試験結果

４－１　養殖フィールド実験の結果

実フィールドでのコンテナ引き揚げ作業において、作業分類を行ったところ図 11 のような 5 つの作業に分類することができた。このうち、歩行・待機（W0）を除く 4 つの作業、つまり、イカダ上での手作業（W1）、箱持ち上げ（箱海中）（W2）、箱持ち上げ（箱海上）（W3）および箱の水捨て（W4）において筋力補助効果および CPUE 向上効果の評価を行った。

図 12 に筋力補助効果の結果を示す。W1～W3 の作業において、1.8～60.9%の筋力補助効果が確認できた。箱引き上げ作業における W3 は腕による引き上げがメインであり、スマートスーツによる補助効果は確認できなかったが、短時間の活動（図 13）であり、作業全体の安全性に悪影響は少ないと考えられる。同様に W4 でも補助効果は見られなかったが、後述する不安定な環境下でバランス能力は向上していたものと思われる。

図 14 に CPUE 向上効果の結果を示す。W1～W3 の作業において、1.5～153%の向上が見られ、スマートスーツ着用による作業効率の向上が確認できた。

図 15 に作業全体を通した結果を示すが、15.3%の筋力補助効果、18.2%の CPUE 向上効果が確認でき、スマートスーツによる実質的な省力化の効果が確認できた。また、作業全体を通した筋活動が 10%MVC を下回っており、労働安全衛生の基準を満たしていることも確認できた。

分類	W0	W1	W2	W3	W4
写真					
内容	歩行・待機 (評価対象外)	筏上手作業 網交換 網洗浄など	箱持ち上げ 移動 (箱は海中)	箱持ち上げ 移動 (箱は海上)	箱の水捨て
代表姿勢	• 直立静止 • 歩行	• 直立 • 腰屈曲	• 直立 • 腰屈曲	• 直立 • 腰屈曲	• 直立 • 腰屈曲
荷重	-	ほぼなし 例：網，たわし ～1kg	水+箱 (浮力あり) 3～6kg	水+箱 30kg～	変動

図 11　イカダ上コンテナ引き揚げ作業の作業分類（京丹後市久美浜湾）

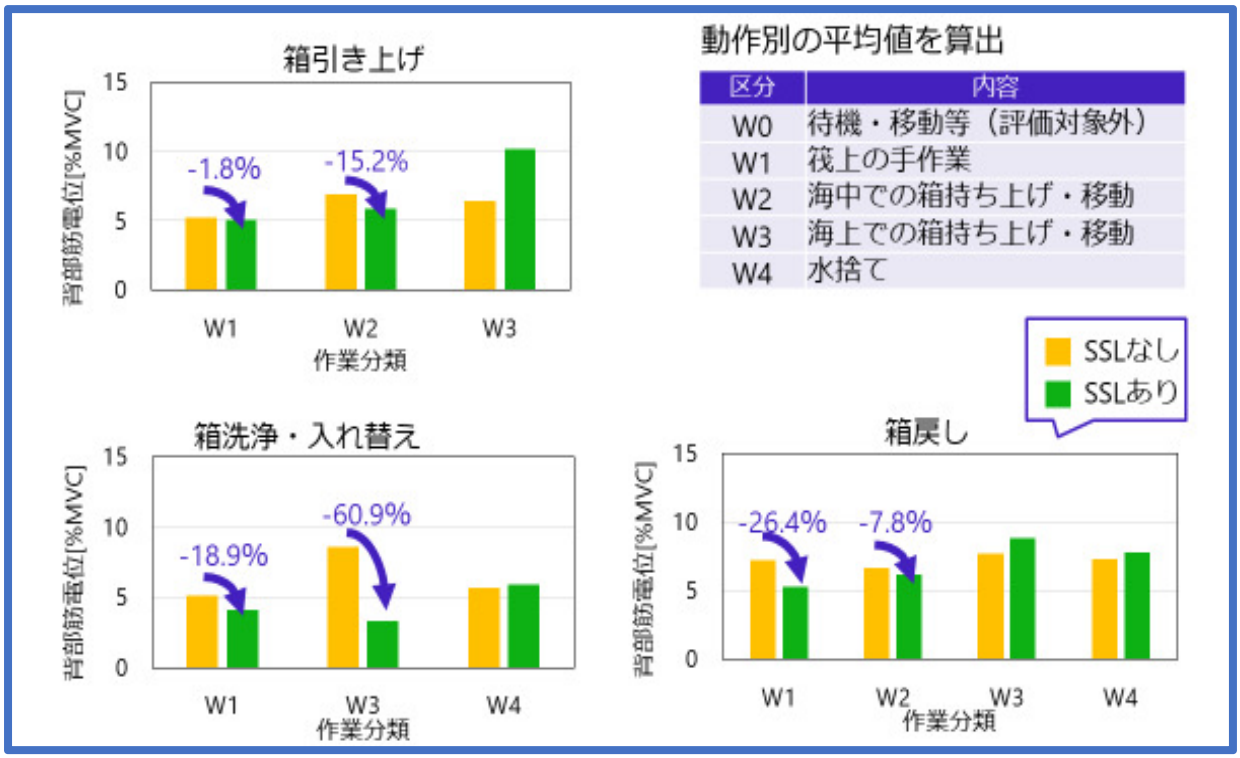


図 12　筋力補助効果

W	内容	時間[s]	割合[%]
1	筏上作業	594.2	80.4
2	海中箱操作	55.8	7.6
3	海上箱操作	54.7	7.4
4	水捨て	34	4.6

図 13 作業割合（スマートスーツなし）

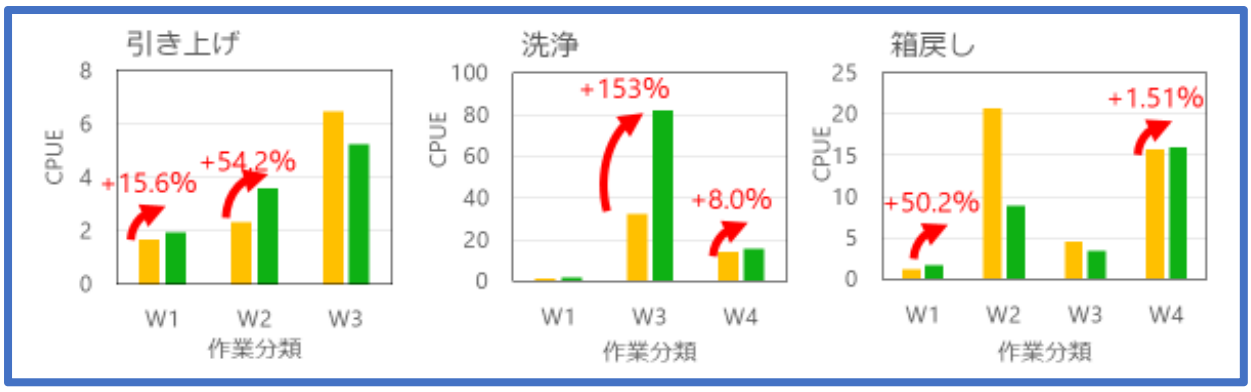


図 14　CPUE 向上効果

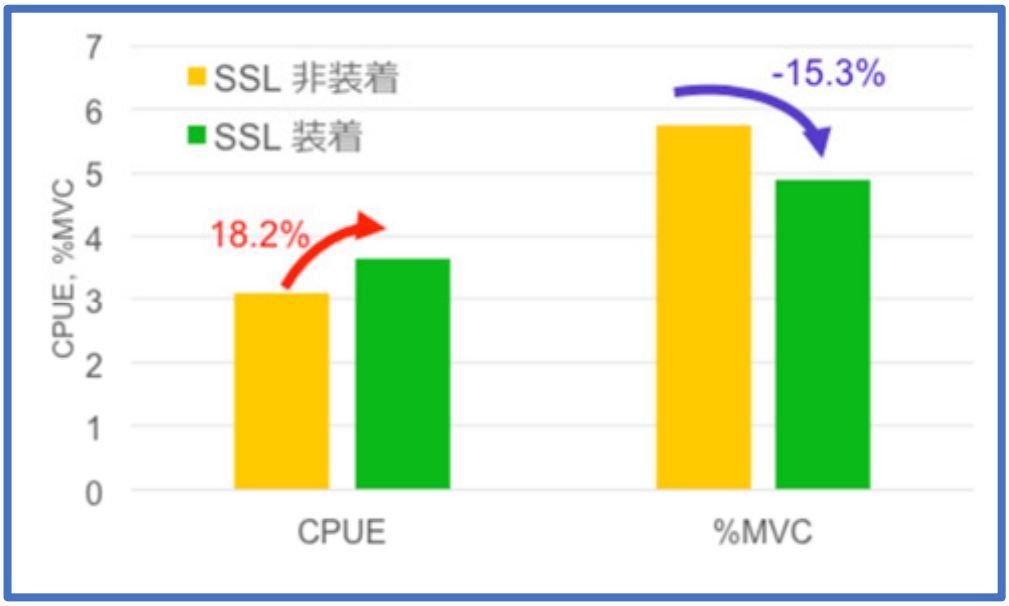


図 15　作業全体を通した筋力補助効果、CPUE 向上効果

４－２　模擬環境実験（北海道大学）

北海道大学に設けた模擬実験環境において、10kg のコンテナおよびウォーターバッグの持ち上げ動作実験を行い、筋力補助効果およびバランス能力向上効果を確認した。

図 16 に被験者 3 名の筋力補助効果を示す。被験者 H では、安定したコンテナ持ち上げで 18%、不安定なウォーターバッグ持ち上げで 29%の筋力補助効果が確認できた。全身筋力すなわち背筋力及び握力の大きな被験者 T および Y では有意な筋力補助効果は確認できなかった。

図 17 にバランス能力向上効果を示す。筋力補助効果が見られなかった被験者 T および Y に、バランス能力の向上が確認できた。被験者 H は、閉眼片足立ちのスコアが高く、元々バランス能力が高い被験者であったことが分かる。

以上のように、筋力とバランス能力でそれぞれ不得意な方をスマートスーツで補助できていることが確認できた。実際に作業現場で使用する際には、体力テストを実施し、下位の対象者から使用するなどの工夫も有効と思われる。また、筋力が大きくない被験者で筋力補助効果が確認できたことから、体力の大きな人でも疲労が蓄積し、体力が一時的に低下した時には有効に働くことが推察される。

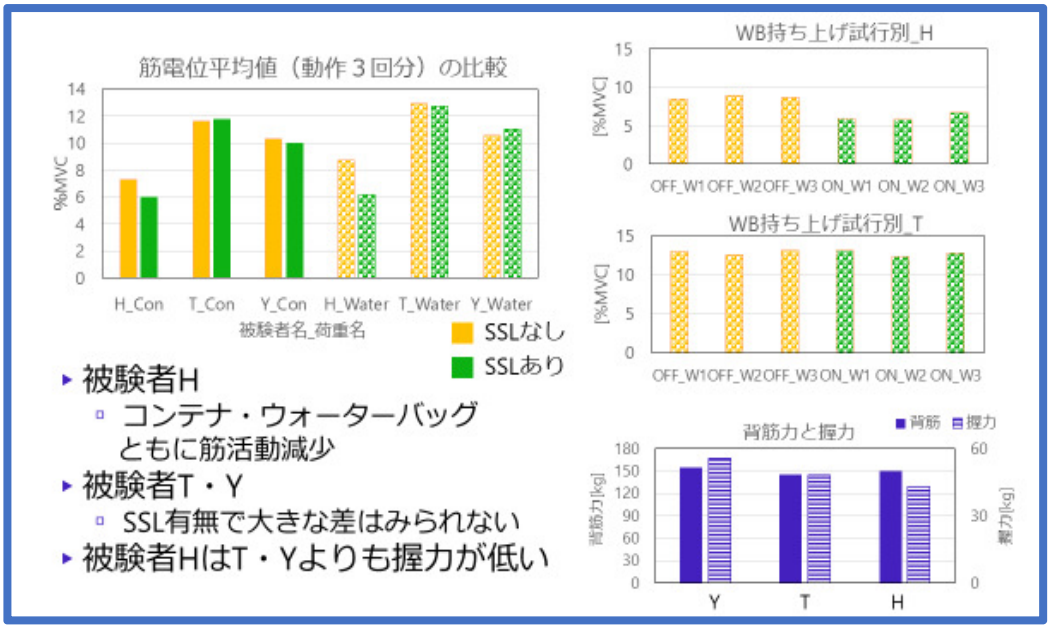


図 16　模擬環境での筋力補助効果

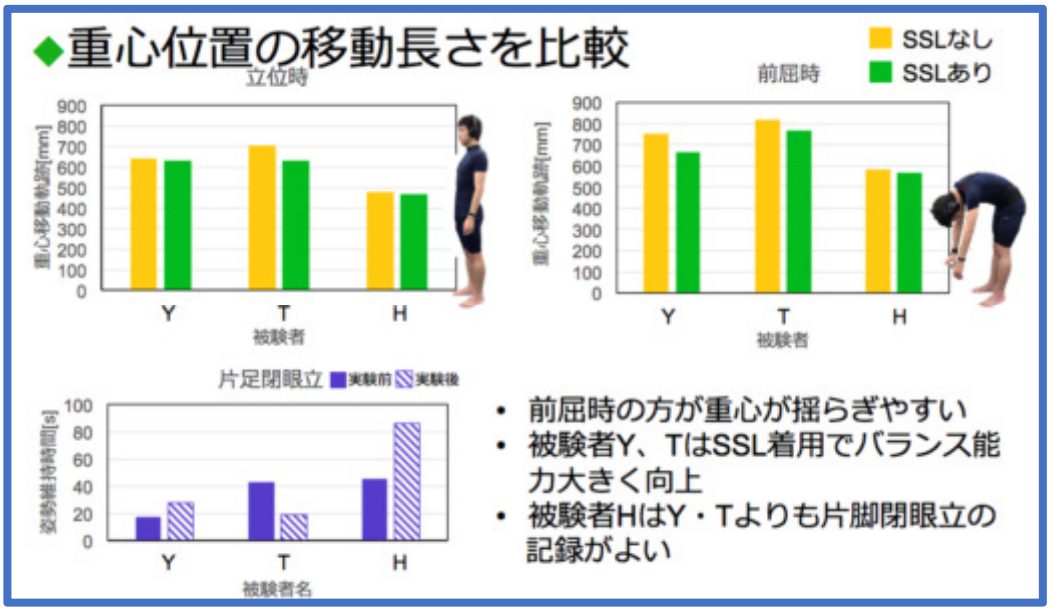


図 17　模擬環境でのバランス能力向上効果

4－3　評価

本実証実験によってスマートスーツの着用により作業中の筋負担が 15.3%軽減され、CPUE は 18.2%向上した。この結果は投入エネルギーおよび投入時間あたりの漁獲量の向上を示すものであるが、実証実験によるヒアリングでは、コンテナ１個あたりの処理時間を故意に短縮しようとする意欲は少ない。

実際に変化したのは、作業者の主観的な疲労限界が向上したことで、１日あたりの処理個数が増えたことである。また、１コンテナあたりに投入する労力（エネルギー）が減少することで、コンテナのひとつひとつをしっかりと観察する余裕ができたために、コンテナへの付着物の丁寧な除去や、変形貝、生育の悪い貝の除去、適正なコンテナ内の貝の数の管理など、結果的に品質の向上効果が期待されている。

費用対効果の定量的な評価は経営するコンテナ数が限られているので難しいが、スマートスーツの導入によって下記の効果が期待される。

- コンテナ１個あたりの処理時間が減少する。処理時間が変わらなくても、深く観察できるようになり、品質が向上する。
- 体力（疲労）の許容限度が高まるため、１日あたりの処理量が増える。
- 身体に過度な負荷がかからないため、腰痛等の疾病を予防し、休業リスクを低くする。
- 体幹安定化効果による重心揺動が減少するため、イカダ上での転倒や落水のリスクが減少する。
- 投入労働力あたりの収益性の向上の可能性がある。儲かる漁業でブランドの価値向上や担い手の確保に貢献できる。

５　考察

本実証実験によって丹後とり貝漁で日常的に行われるおよそ 40kg のコンテナを海中からイカダ上に引き上げる作業の身体的負担が非常に大きいことが動作解析および筋負担計測の結果からわかった。また、スマートスーツの着用により作業中の筋負担がおよそ 15.3%軽減され、重心揺動が抑えられことによりバランス力が向上した。

単位労働力投入あたりの漁獲量（＝単位漁獲量あたりの労働力投入量）が改善されること、すなわち CPUE（Catch Per Unit Effort）が 18.2%向上することが確認された。

上記結果からスマートスーツの着用が、作業者の負担や疲労の軽減、すなわち「軽労化」に効果的であることがわかった。

さらに、「スマートスーツ導入手順書」の運用による自覚的疲労度調査では、ほぼすべての被験者でスマートスーツの導入後に自覚的疲労度が低下しており、スマートスーツの着用が作業疲労度の軽減に効果的であることを主観的に確認している。

これらの結果が、丹後とり貝の経営体質の強化に直結することは考えにくいが、過重労働を強いられる丹後とり貝の担い手確保による生産維持には貢献できると思料される。また、疲労の蓄積やバランス力の低下に起因する作業中の転倒、落水等の事故を未然に防ぐことが示唆されており、長期の休業による経営損失のリスクを低減できるものと思われる。

実証実験の結果、当該技術は効果的であることがわかったが、現場に普及すること、すなわち、丹後とり貝の作業にスマートスーツの着用を定着させるには、生産者自身が作業によって疾病リスクがあることを自覚しなければならない。今後、生産者団体が主導しながら労働安全教育等を継続的に実施すべきであると思われる。

さらに、生産者からの聞き取り調査では、作業労働が過酷な割には、労働に見合った販売価格が形成されておらず、より詳細な出荷規格を設定し、手をかけて品質が高くなった生産物はより高く買取るなどの取組みが求められる。丹後とり貝のブランド力向上による価格引き上げ効果も生産者のモチベーション向上に欠かせない。

６　今後の課題

スマートスーツの設計理念である「軽労化」は、“人ができている仕事を楽にする”ものであり、スマートスーツを着用しなければ作業ができないというものではない。また、着用すること、および着用によって感じる暑さやムレ、締めつけ感などが、スマートスーツの軽労化効果をキャンセルすることがある。

もっとも大きな課題は、生産者に着用の動機づけをすることである。本実証実験においても自覚的疲労度調査や作業負担の可視化、スマートスーツの効果の解説などを実施し着用の動機づけ効果は得られた。また、ストレスをより少なくするために、軽労化効果を感じやすい製品の仕様や、暑さやムレ、締めつけ感を感じにくい素材の採用、着用が義務付けられるライフジャケットと一体化したデザインなどを提案したが、より強い動機づけが求められる。

今後は、スマートスーツに慣性センサなどを内蔵し、IoT や AI などの技術を活用し、疲労度をリアルタイムで可視化したり、作業手順や作業記録、日報などを自動記録し生産物の

トレーサビリティへの反映や品質向上へのデータ収集をしたりなど、インテリジェント・ユニフォーム等を提案したい。

7　謝辞

本実証実験の実施にあたっては下記関係者より多大なるご支援・ご協力を頂いた。この場を借りて御礼を申し上げたい。

・京都府京丹後市久美浜湾トリ貝生産者

村岡克大氏
村岡弘隆氏
村岡省司氏
豊島淳史氏

・京都府宮津市宮津湾トリ貝生産者

本藤靖氏

・専門家会議

水産研究・教育機構　水産工学研究所　グループ長　高橋秀行氏
産業医科大学　産業生態科学研究所　准教授　泉博之氏

・技術導入

北海道大学大学院　情報科学研究科　准教授　田中孝之氏
北海道大学大学院　情報科学研究科　博士課程　宮島沙織氏

・コンセプトモデル作成

株式会社クラウドナイン　代表取締役　峰江卓也氏