



2022年11月11日 セーフティネットワークジャパン(SNJ)定例会

マーカレスモーションキャプチャーを用いたアルミ合金製可搬式作業台 を対象とした3次元動作解析システムの提案



ジー・オー・ピー株式会社 安全・安心技術研究センター(SATEC) 清水尚憲
長岡技術科学大学 北條理恵子
コレムラ技研 バラスト事業部 是村由佳



ジー・オー・ピー株式会社

代表取締役：千田豊治

設立：1981年4月1日

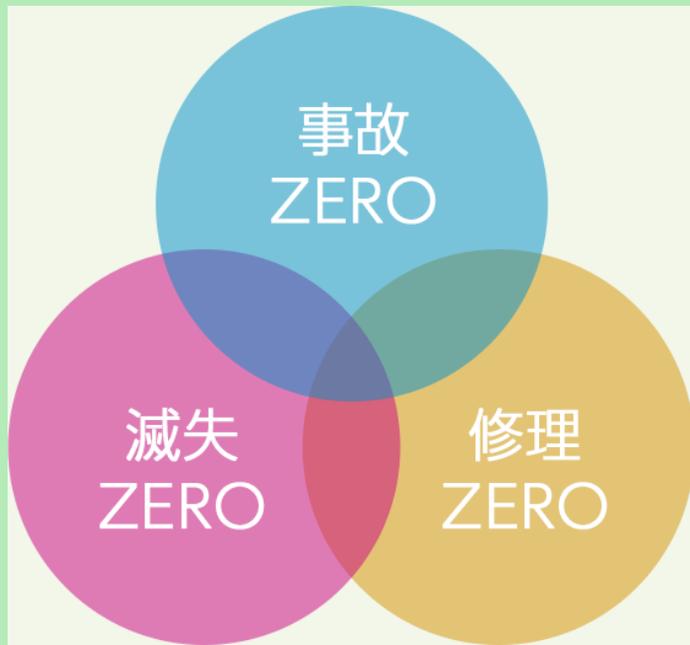
事業内容：建設用仮設機材の開発・製造及び
レンタル・販売

従業員数：70名（2021年7月）

売上高：85億円（2020年7月）

所在地：東京都渋谷区広尾1-1-39 恵比寿プラ
イムスクエア13F

GOPが提供する「安全」 3つのZARO



事故ZERO・修理ZERO・滅失ZEROを目指します。

当社は、現場の声を一番にお客様の声を拾い、活かすことで貢献をし、お客様の利便性、利益を追求し、社会の産業に「安全」を提供する会社です。

「安全は人へのやさしさと、確かな品質から」をスローガンに、その貢献を幸せと感じる仲間と、その家族、関連する人々の幸せを実現する

100年継続できる企業体を目指しています。

事故
ZERO

参加体験実演説明会で、 作業員に方たちの災害を未然に防ぎたい



ユーザー参加型の実演説明会を通して、作業台や台車の始業前点検や使用ルール、危険行為などを認知していただき、現場での事故・災害を未然に防ぐ活動をしています。

修理
ZERO

現場で点検・修理を行い、製品を常に安全にご利用いただきたい



滅失
ZERO

バーコードによる個体管理で 滅失の心配を減らしたい



バーコードによる個体管理と使用会社管理による正確な現場残数の把握が可能です。

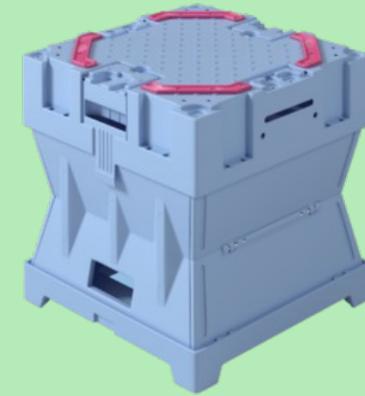
取扱製品の一例



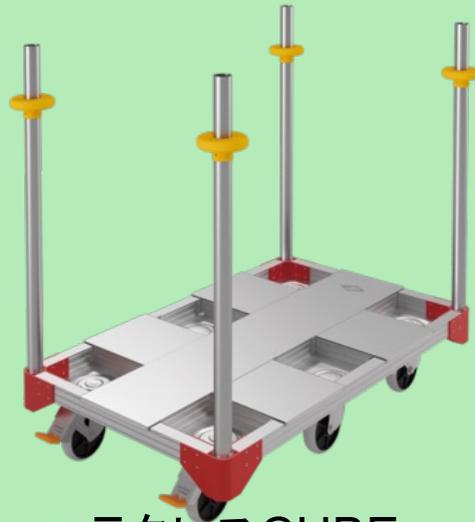
SGペガ500



ギャラクシーシステム



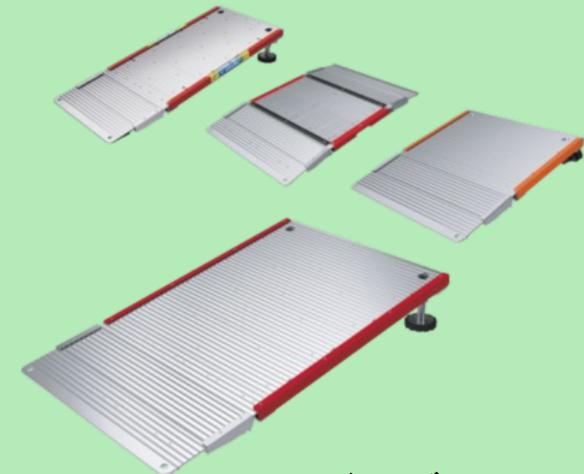
オリオン500



ヘラクレスCUBE



SGエンジェル



SGドラゴン

安全・安心技術研究センター

Safety and ANSHIN Technical Research Center (SATEC)

- 2022年4月1日にジー・オー・ピー株式会社の技術研究所として発足
- 本部を広尾本社に、研究室を東金工場内に設置



Copyright © 2022 GOP-SATEC All Rights Reserved



安全・安心技術研究センターの関係者構成

ジー・オー・ピー株式会社

千田豊治
(社長)

連携
(共同研究・業務委託)

(業務委託)

連携
(業務委託)

長岡技術科学大学

安全・安心技術研究センター

コレムラ技研

北條理恵子准教授

(労働衛生、行動分析学)

清水尚憲
(所長)

(労働安全
システム安全)

学生指導

野村孝平
(副所長)

(元清水建設
安全環境部部長)

実験補助

是村由佳運営責任

(組織パフォーマンス
行動分析学)

都立高等専門学校、仙台高等専門学校

可搬式作業台の歴史1

2台の脚立に足場板を設置した足場台が生み出された。



- 問題点
- 階移動が困難
- 使用時にゴムバンド等による結束が徹底できない
- 足場板が4mの場合、脚立3台の3点支持が徹底できない

四脚調節式はしご兼脚立をベースに足場台を開発



【アシバダイ のび太郎】

天板板に関して、当初は足場板の幅であったが、より作業性と安全性を高めるために、天板幅の広い製品が開発された

可搬式作業台の歴史2

[GTW]



各ゼネコンの要望により製品化を行う。
平成7年5月には、移動式室内足場の第二種にて業界初の仮設工業会の認定を取得。
また、アルミニウム合金製可搬式作業台の認定基準が平成9年4月1日より制定され、適用運用となる。
この認定基準により手がかり棒の備え付けの基準が出来る。



各ゼネコンからの要望を踏まえて、更に安全性・軽量化作業性を追求し、揺れ、ガタつきのない可搬式作業台が開発された

“高い場所の作業”における 安全技術の変遷

人の領域

共存領域

設備の領域

※労働安全衛生法では、「高さ2m以上」
を高所と定義している



Safety0.0
台、梯子、脚立



Safety1.0
可搬式作業台
+
注意力、判断力



Safety2.0
可搬式作業台
+
人的リスク低減

安全・安心な作業台とは？

墜落・転落災害が発生しなければ安全なのか？



墜落・転落のリスクがあれば、いつかは災害が発生する



許容可能なレベル以下のリスクに低減する(安全確保)



許容可能なレベル以下となれば、安心なのか？



作業者に負担をかけたリスク低減方策の採用では、リスク低減効果は維持できない



作業者に負担がない、許容可能なリスクレベルを維持した製品を開発する必要がある
(安全性、安心感の確保)

安全とは？

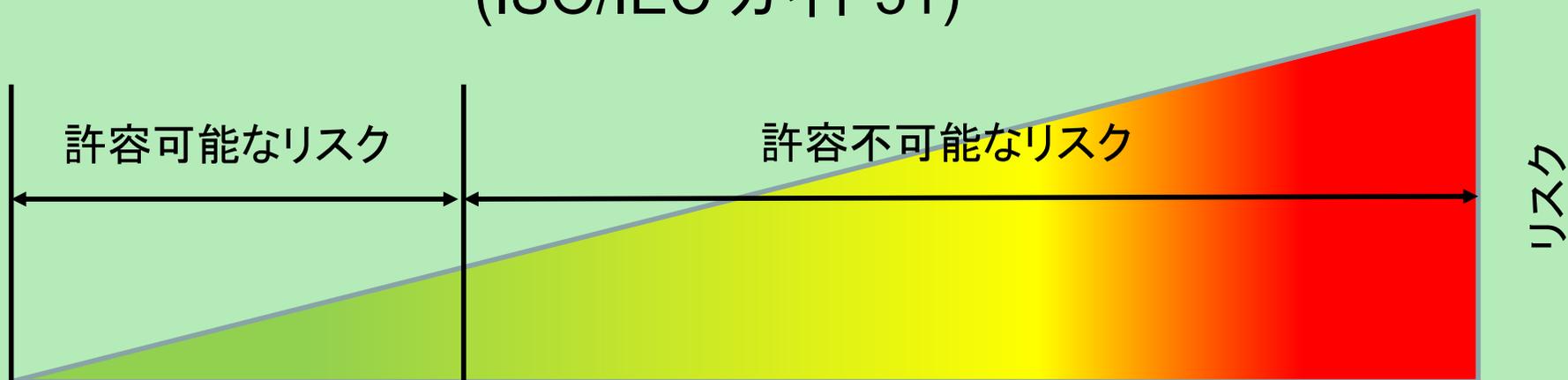
危険ではないこと

安全

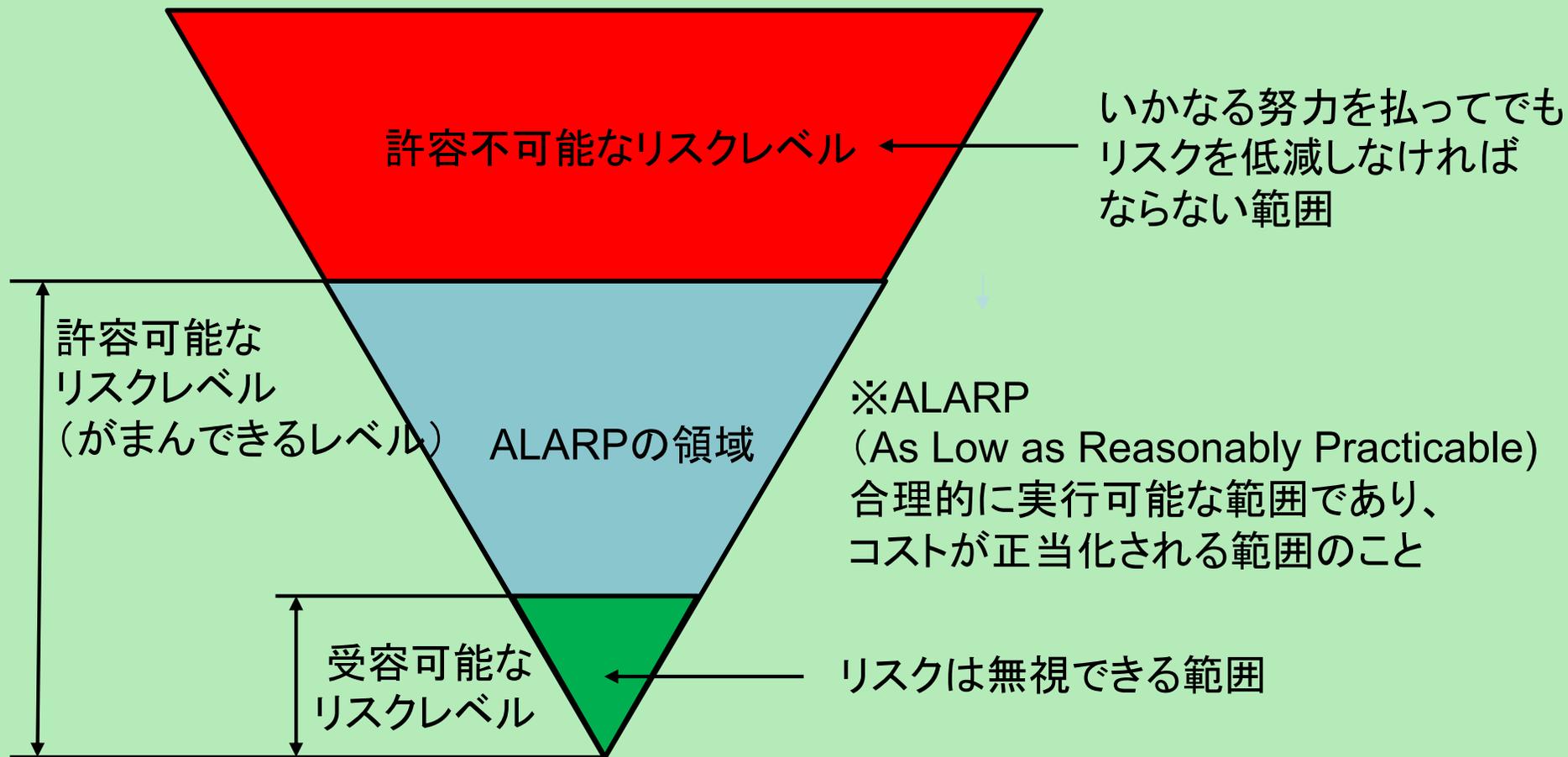
わからない

危険

安全とは、“許容不可能なリスクのないこと”
(ISO/IEC ガイド51)



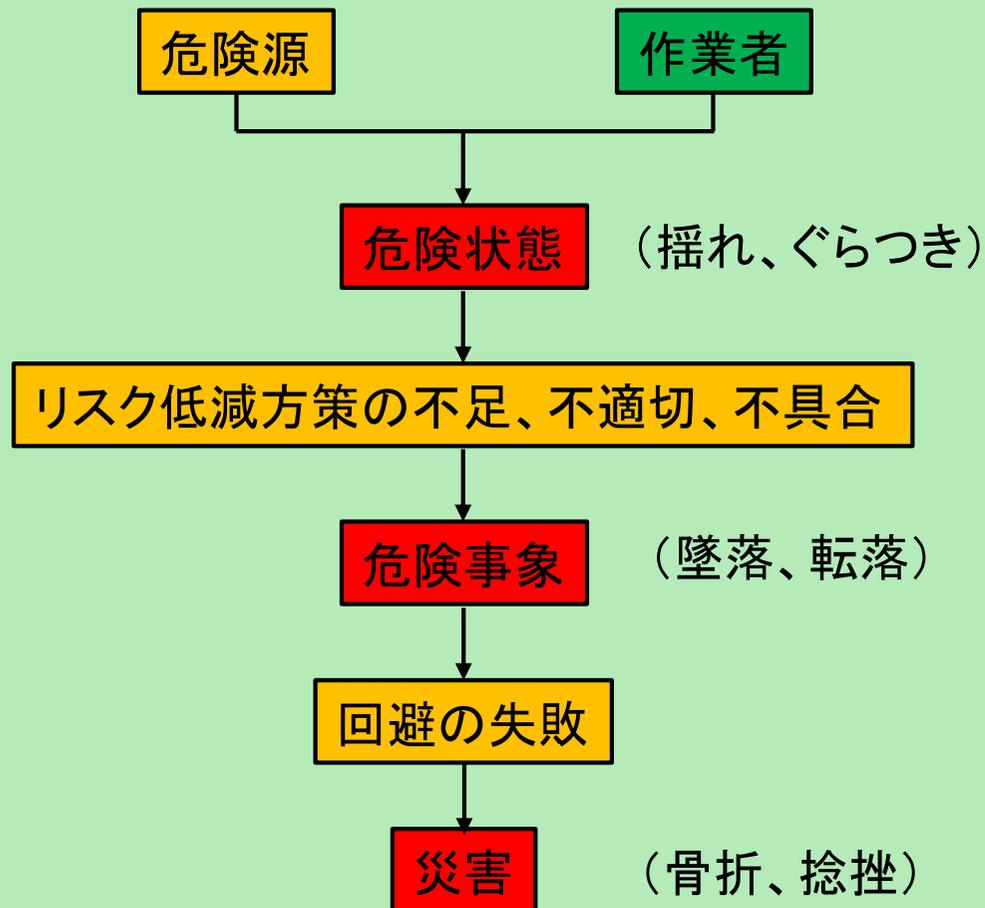
リスク低減の目標とALARPの関係



研究の目的

「事前の定量的な安全性評価 → 動的な定量的な安全性・安心感評価」

作業台に人が乗って作業することを想定



各メーカーの作業台を対象とした定量的な安全性評価と、作業時の作業者の代償動作(作業に不必要な余計な体の動き)を動的に計測することで、**安全性と安心感の定量的評価**を行う。
→作業時に安心感を得られる作業台の構造要件を明確にして、精神的・身体的負荷の少ない作業台を提供し、**作業者の注意力に大きく依存しない作業台の提供を目指す。**

※ぐらつきの少ない作業台を製造すれば、危険事象の発生確率が低減されるため、作業者の注意力に大きく依存しない作業が可能となる。

安全・安心定量評価システム

身体的行動評価

マーカーレス3次元骨格位置推定装置

アイ・トラッキングシステム

+

構造的評価

フォースプレート(床反力計)

3軸加速度センサ

+

精神的主観評価

精神的ストレス

主観的Well-being

心理的Well-being

GOP方式RA=危害の重篤度×危害の発生確率×人的リスク低減効果

モーションキャプチャーシステムの種類と活用例(光学式)

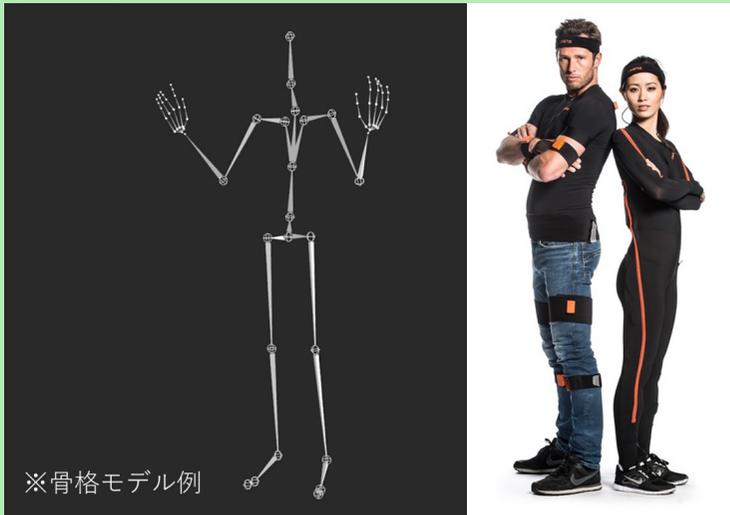
- 光学式モーションキャプチャーシステムは、複数台のカメラを使って、反射マーカールの位置をトラッキングするシステム。位置精度が高く、反射マーカールをつけることで、人やモノの動きをキャプチャ可能。



メリット	デメリット
位置精度が高い 人以外でもキャプチャ可能	キャプチャエリアの制限 マーカールの欠落

モーションキャプチャーシステムの種類と活用例(慣性式)

- 慣性式モーションキャプチャーシステムは、体に装着した慣性センサから得た加速度・角速度・方位の情報を骨格モデルに当てはめることで、体の動きを計測するシステム。



メリット

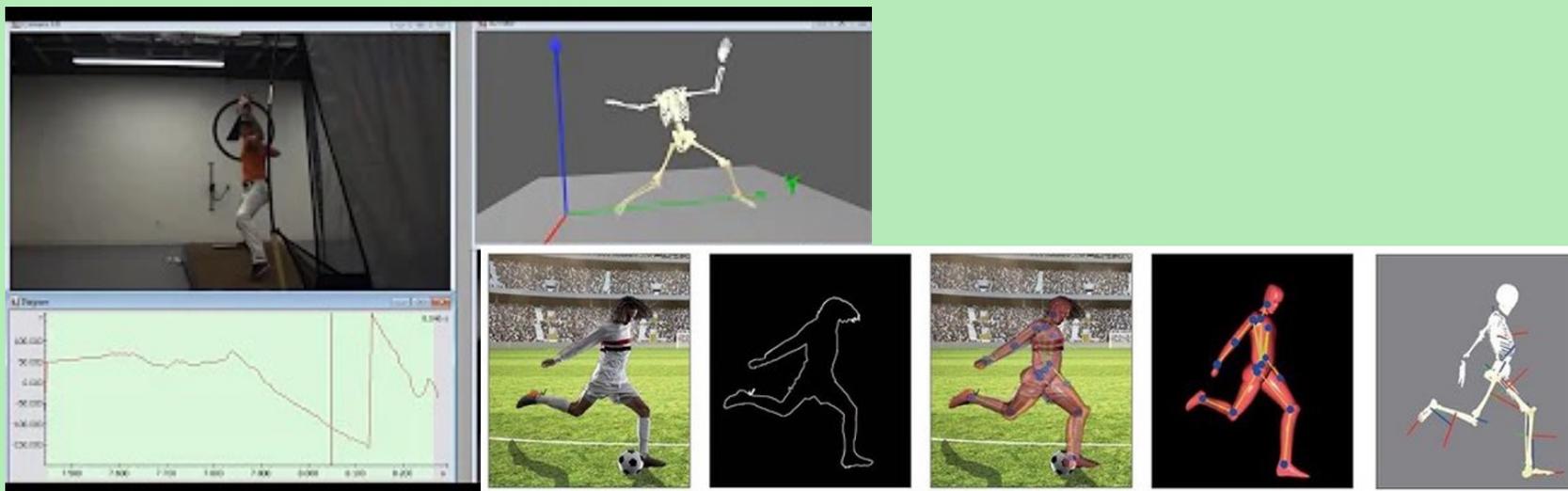
場所の制約がない(カメラ等他の機器を設置する必要がない)

デメリット

位置精度が低い
磁場の影響を受けやすい
慣性センサがずれることがある

モーションキャプチャーシステムの種類と活用例(ビデオ式)

- ビデオ式モーションキャプチャーシステムは、複数台のカメラを使って人の動きをトラッキングするシステム。マーカレスでも計測が可能(精度を求める場合はマーカ併用もあり)



メリット

マーカ、センサが不要
作業中の動きをキャプチャ可能

デメリット

精度が良くない
リアルタイム性がない

安全・安心可視化評価システムの構成①

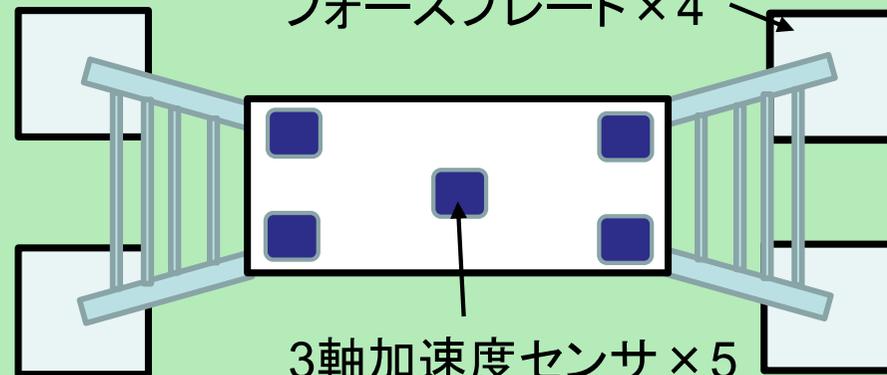
構造的評価

- 本システムは「フォースプレート」、「3軸加速度センサ」、「アイ・トラッキングシステム」、「マーカレス3次元骨格位置推定装置」から構成される。

フォースプレート
(床反力計)

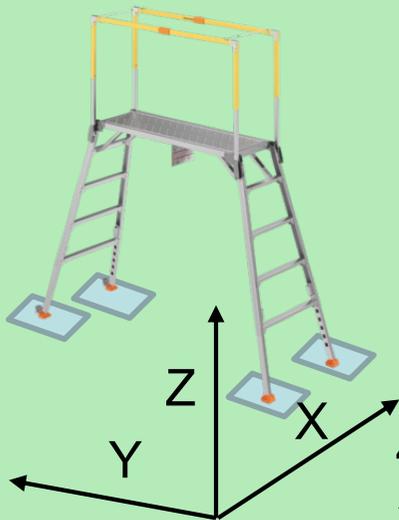


フォースプレート×4



3軸加速度センサ×5
(作業床裏に設置)

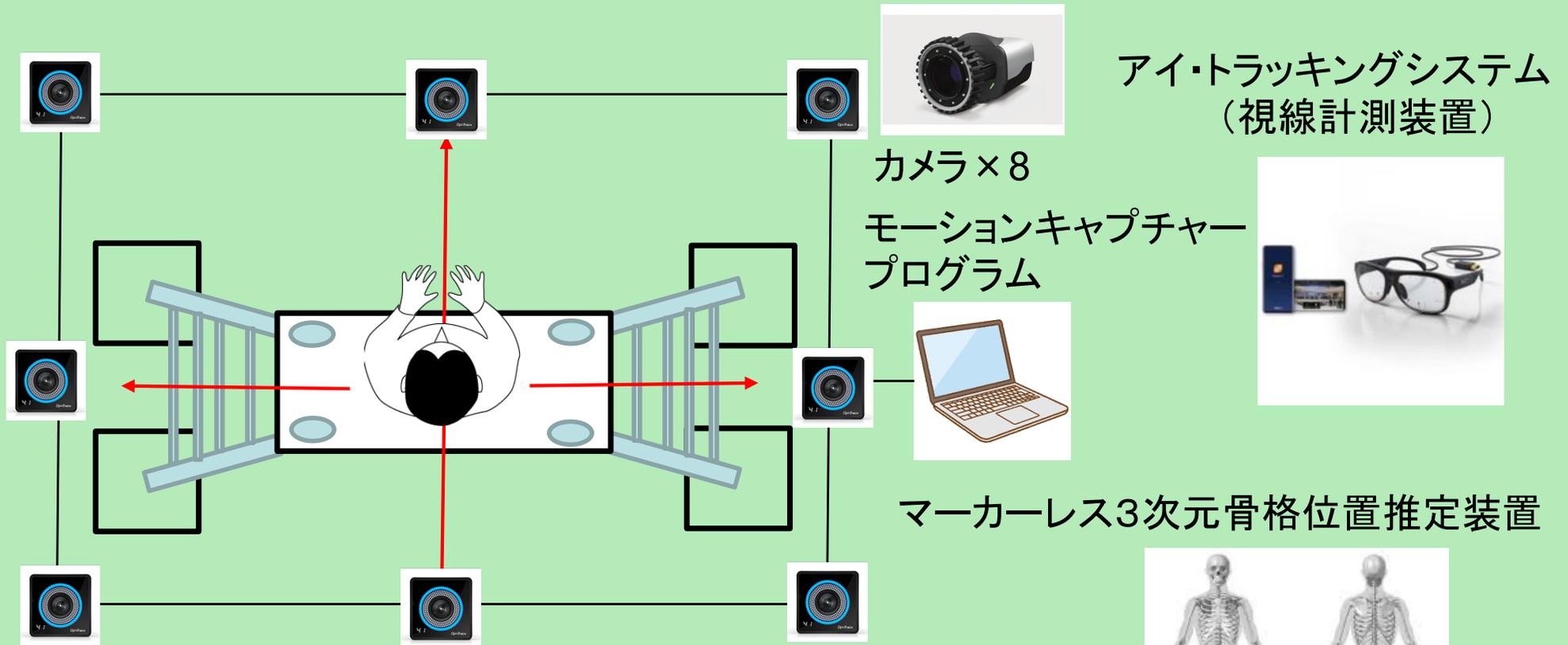
3軸加速度センサ



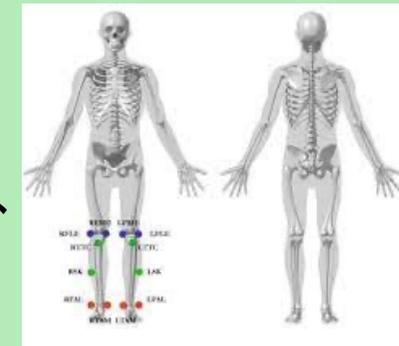
4つのフォースプレート上に作業台を設置して、作業を行った時の重心移動のリアルタイムな計測を行うとともに、3軸加速度計による作業床の揺れ・ねじれを計測する。

安全・安心可視化評価システムの構成②

身体的行動評価



作業床上での作業中の行動解析、重心移動解析、視線軌跡解析、作業台の構造的評価と組み合わせ、各作業台ごとの動的な安全性・安心感の評価を行う。



可搬式作業台を対象とした実験の概要

- 実験対象: 4種類の作業台を対象として、最も高い位置と低い位置で5回の作業評価を行った。
- 作業者にはアイ・ラッキングシステムを装着した。



実験方法

心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温

アンケート
ストレス
SWB
PWB

心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温



心拍数
酸素濃度
血圧
体温

アンケート
ストレス
SWB
PWB

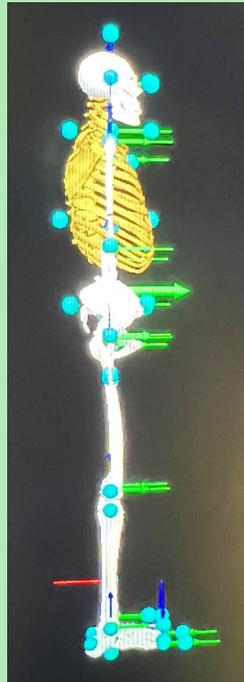
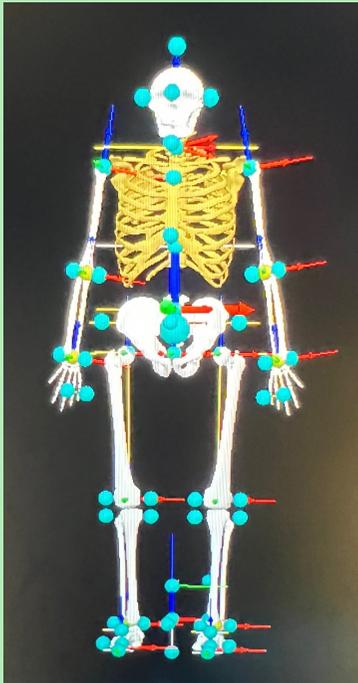
代償動作の可視化実験の概要

実験で設定した作業(平均50秒)
被験者3名(新人)、作業台2台(A、B)

- ①スタート位置から移動し、作業台にのぼる
- ②作業床上にある荷物(3kg)を持ち上げる。
- ③作業床の中心まで移動する
- ④その場で回転する
- ⑤反対側の端部まで進み半回転する
- ⑥前向きで登口端部まで戻る
- ⑦荷物を下ろす
- ⑧作業台から降りてスタート位置に戻る

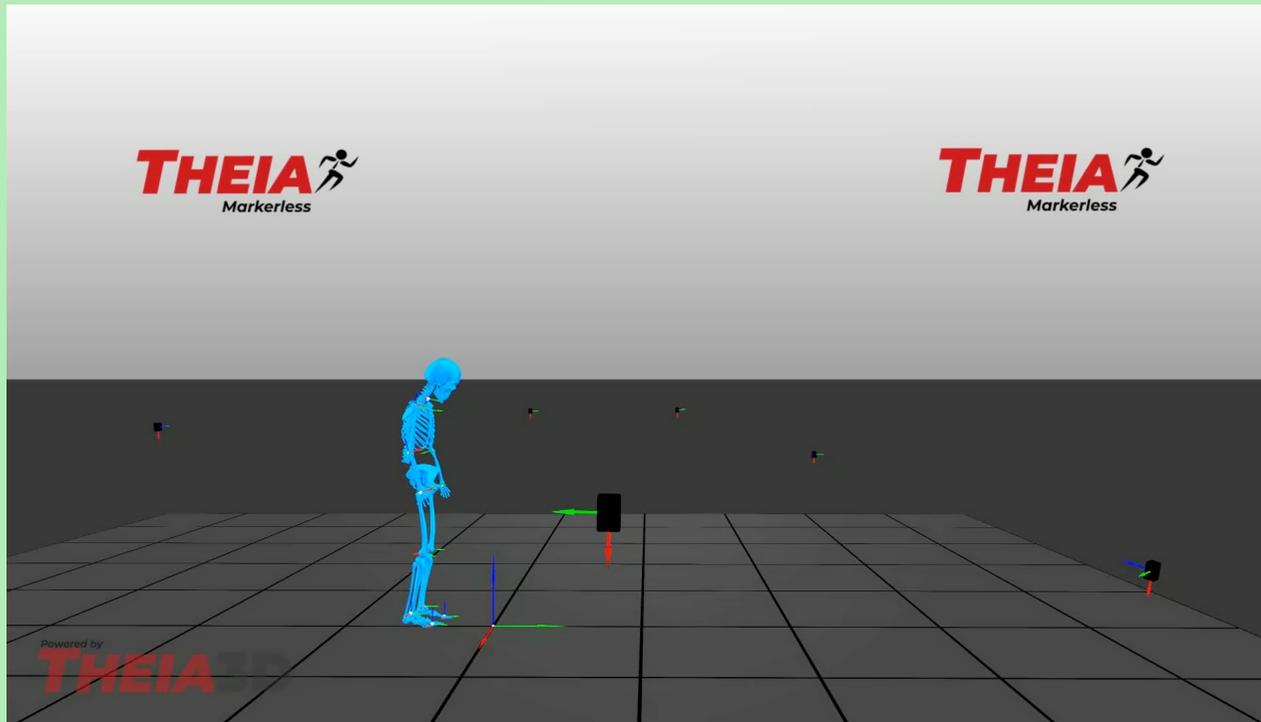


作業行動の3Dモデル化



各関節に欠損データが無いように3Dモデル化する

マーカレスモーションキャプチャー による骨格推定モデルの作成

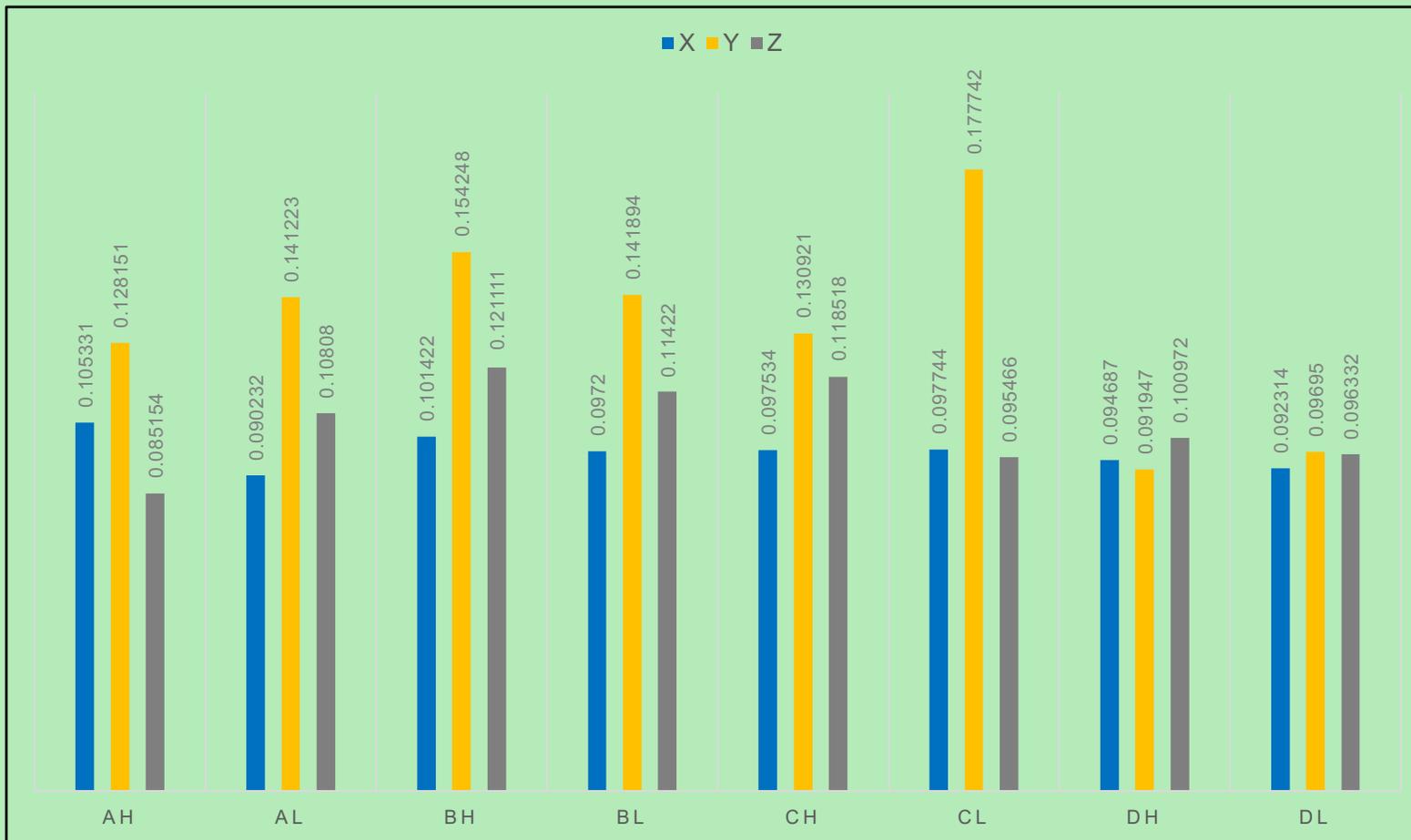


各関節の動き、歩幅、
姿勢から作業負荷を
計測する(安心感)

作業台の主脚にかかる
荷重から重心移動を計測
する(安全性)

作業床の揺れ(加速度、
変位量)を計測する(安全性)

最大重心の揺れ幅(m)

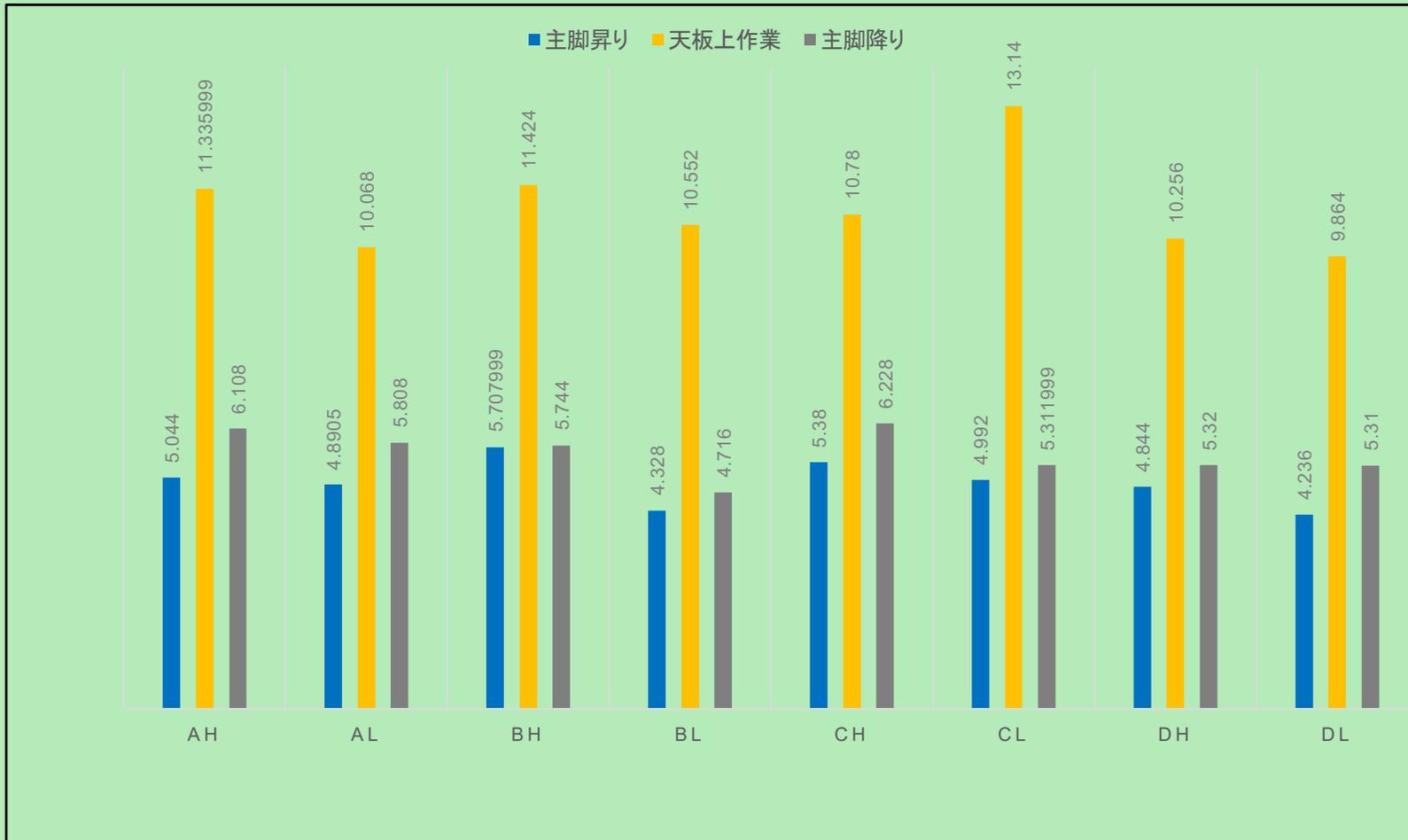


X:横方向、Y:長手方向、Z:高さ方向

重心の揺れ幅解析の結果

- 作業中の重心移動量については、概ねY方向（作業床長手方向）が大きく、X方向（作業床横方向）が小さいことがわかった。
- DH、DLは、他のモデルに比べると、X、Y、Z方向の重心移動量が変わらない傾向があり、一方向に大きく重心が変化しないことから、作業者にとって負担感が少ないと推測できる。

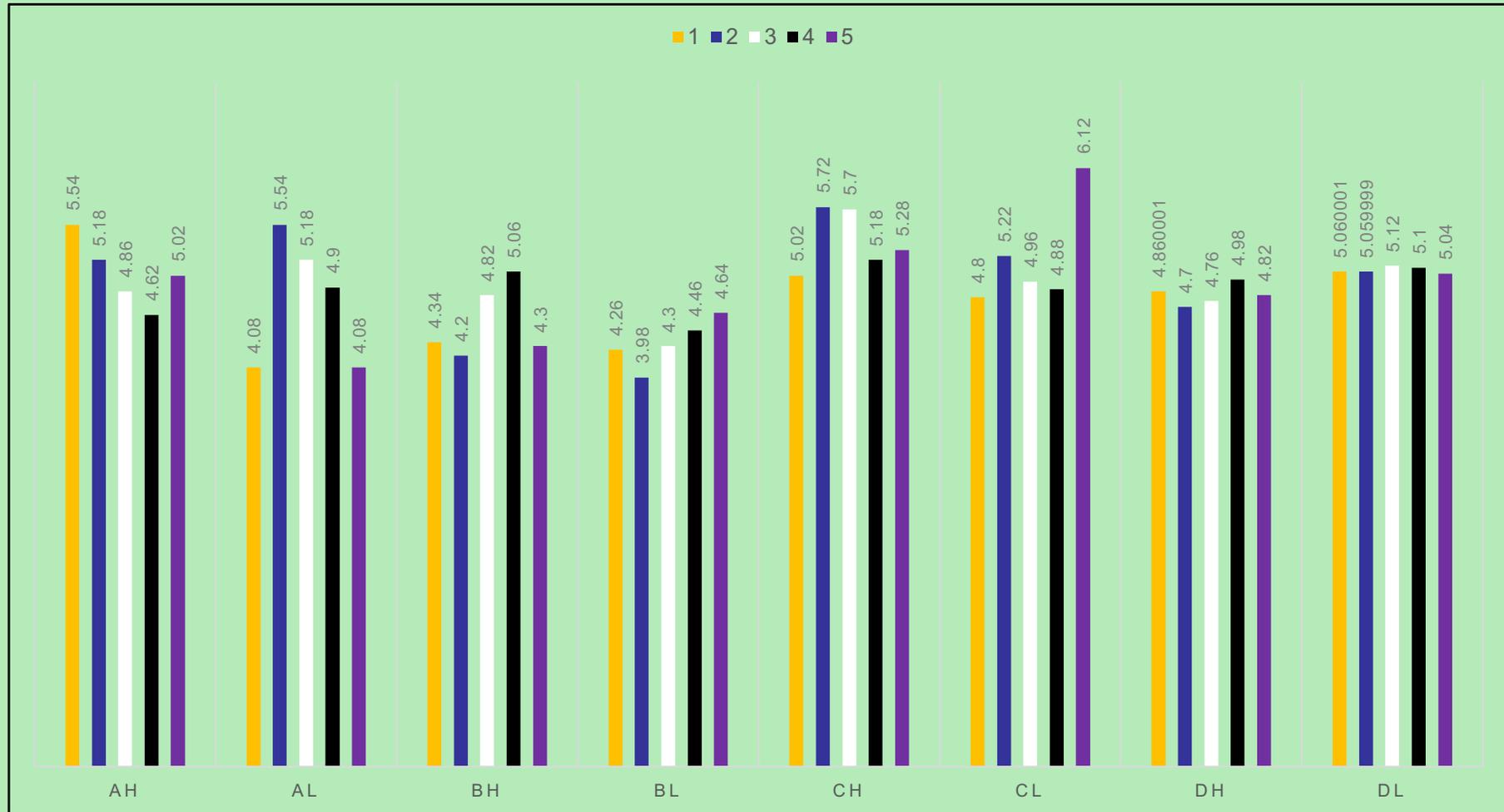
作業時間の平均値(秒)



作業時間の解析結果

- どのモデルも昇り、降り時に比べて、作業床上の作業時間が長い。
- どのモデルも昇り時に比べて降り時の作業時間が長いことから、作業を行う際、降り時に慎重になっていると思われる。
- 作業時間が長くかかるほど作業のしにくさを表していると思われる。

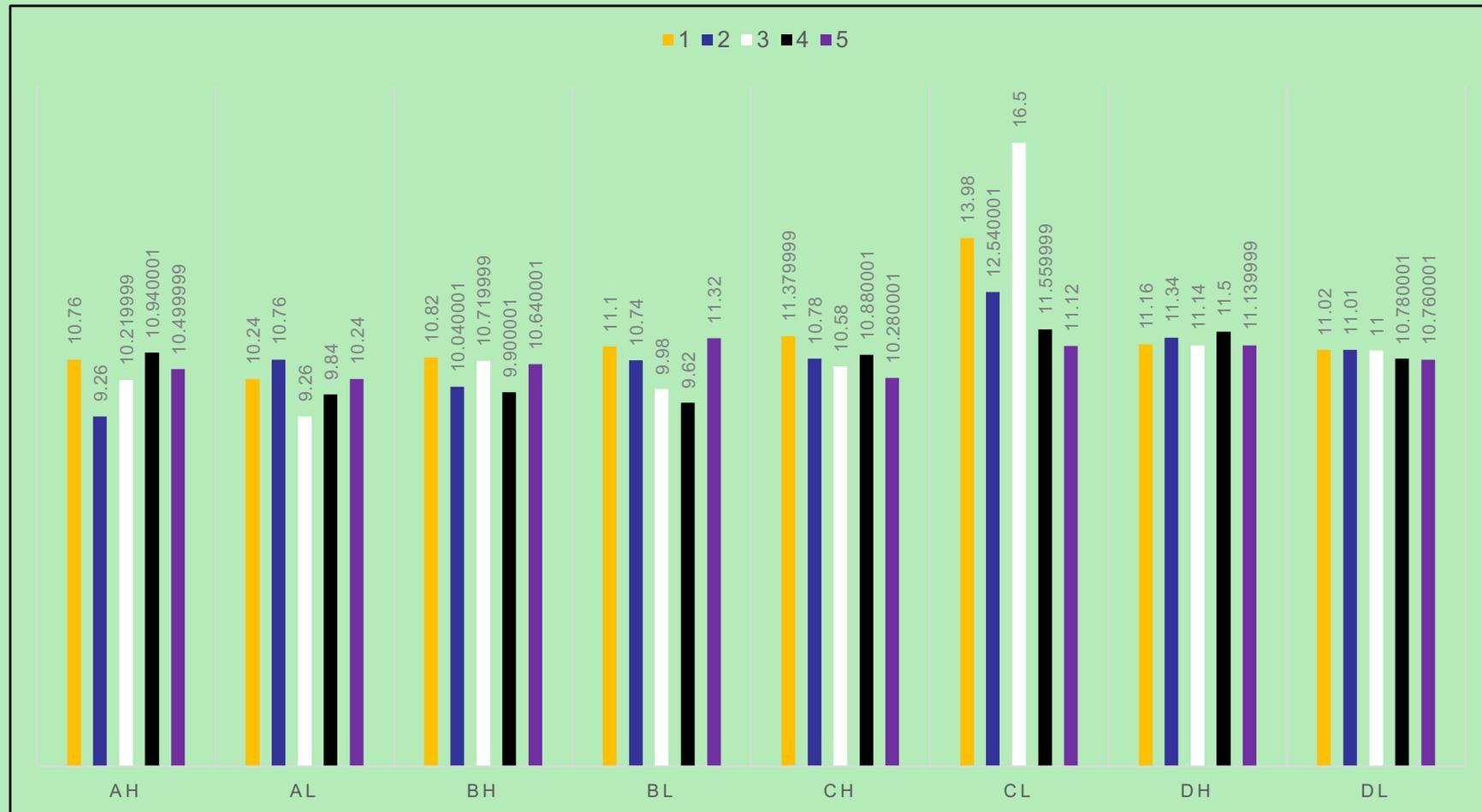
作業時間の繰り返し効果（主脚昇り） （秒）



作業時間の繰り返し効果 (主脚昇り)の解析結果

- 5回作業を繰り返すことに対して、AH、AL、BH、BL、CH、CLは作業に慣れて作業時間が短縮することはなかった。特にBL、CLは作業時間が長くなる傾向がある。
- DH、DLは作業を繰り返すことに対して作業時間の変化は少ないことから、特段訓練等の必要はないと思われる。

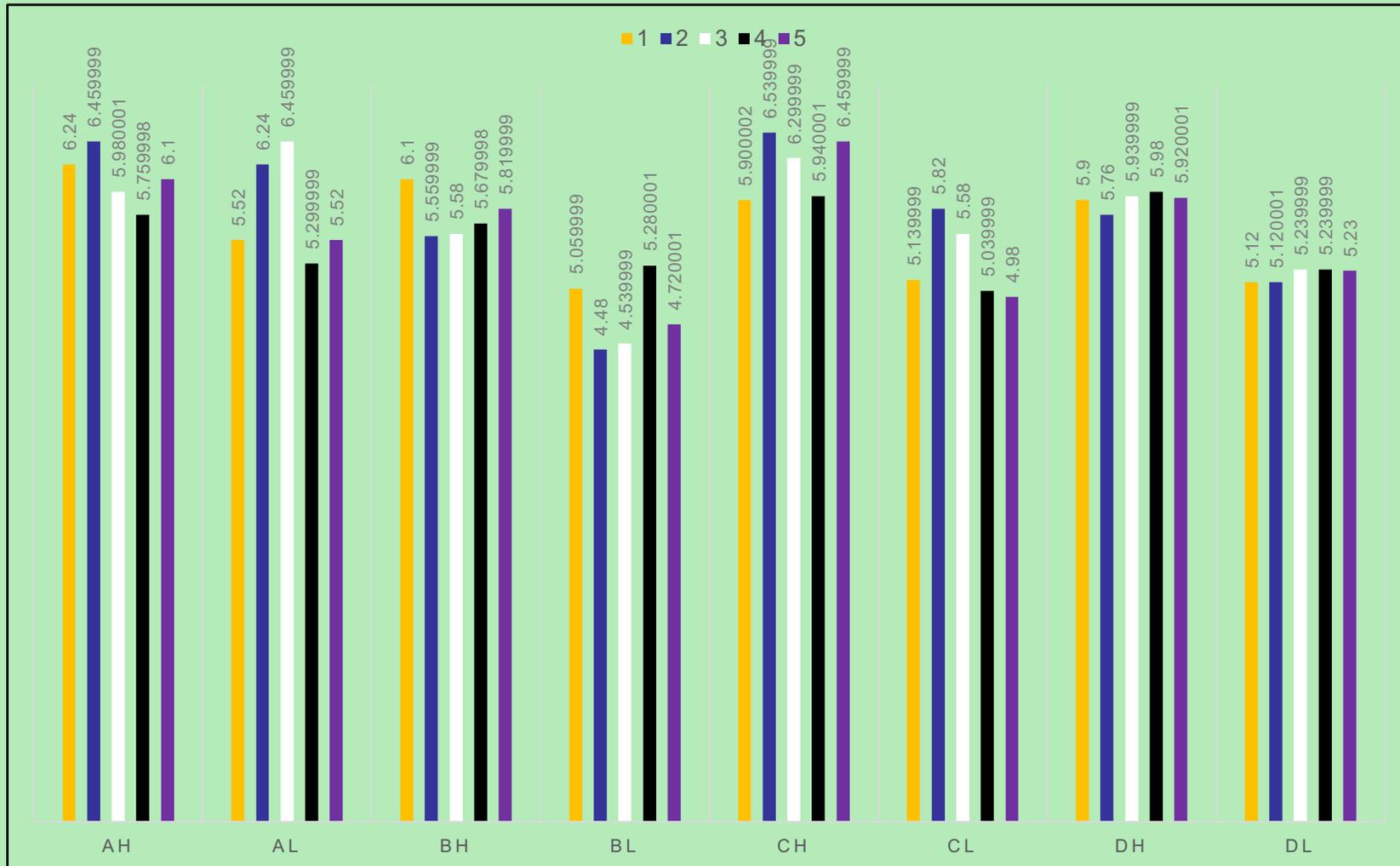
作業時間の繰り返し効果（作業床） （秒）



作業時間の繰り返し効果 (作業床)の解析結果

- 5回作業を繰り返すことに対して、AH、AL、BH、BL、CLは作業に慣れて作業時間が短縮することはなかった。
- DH、DLは作業を繰り返すことに対して作業時間の変化は少ないことから、特段訓練等の必要はないと思われる。

作業時間の繰り返し効果（主脚降り） （秒）



作業時間の繰り返し効果 (主脚降り)の解析結果

- 5回作業を繰り返すことに対して、AH、AL、BH、BL、CHは作業に慣れて作業時間が短縮することはなかった(DLは若干作業時間を短縮できる傾向があった)。
- DH、DLは作業を繰り返すことに対して作業時間の変化は少ないことから、特段訓練等の必要はないと思われる。

作業負荷実験結果



骨格推定モデルから、肩、指、肘、腰、膝、足首の関節を対象に変位量と回転角速度を計測した。

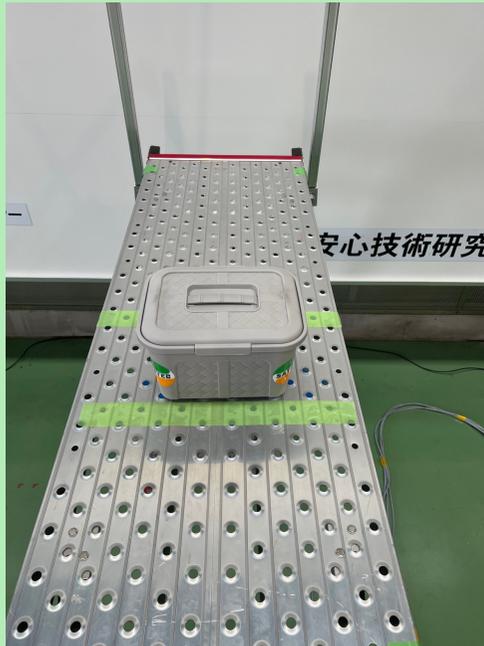
作業台DLを利用した場合の各関節の負荷を100とした場合、作業台CLの各関節の最大負荷は以下の通りであった。

- ①肩：130(30%増)
- ②指：101(1%増)
- ③肘：110(10%増)
- ④腰：138(38%増)
- ⑤膝：121(21%増)
- ⑥足首：126(26%増)

	作業時間	最大歩幅
作業台DL	19.5秒	26.3mm
作業台CL	23.4秒	17.1mm

※実際の作業負荷は、作業時間を考慮した値となる

アイ・トラッキングシステムによる 視線計測実験の様子



アイ・トラッキングの指標

- 関心領域における**注視点の数**と**視線の滞留時間**を計測することにより、作業時において気になる箇所とその際の作業台の挙動を明らかにする(よそ見行動が発生する条件の解明)。

※ 本実験における注視点の定義

眼球運動が完全に止まった場合、静止網膜象の状態となり、視対象は消失する。

これを防ぐために、眼球は常に個視微動という細かい運動を行なっている。

そこで、人間が情報を取り入れる時間を考慮して、眼球運動速度(角速度)5deg/s以下の状態が150ms(0.15秒)以上続いた場合を1つの注視点とした(先行実験参照)

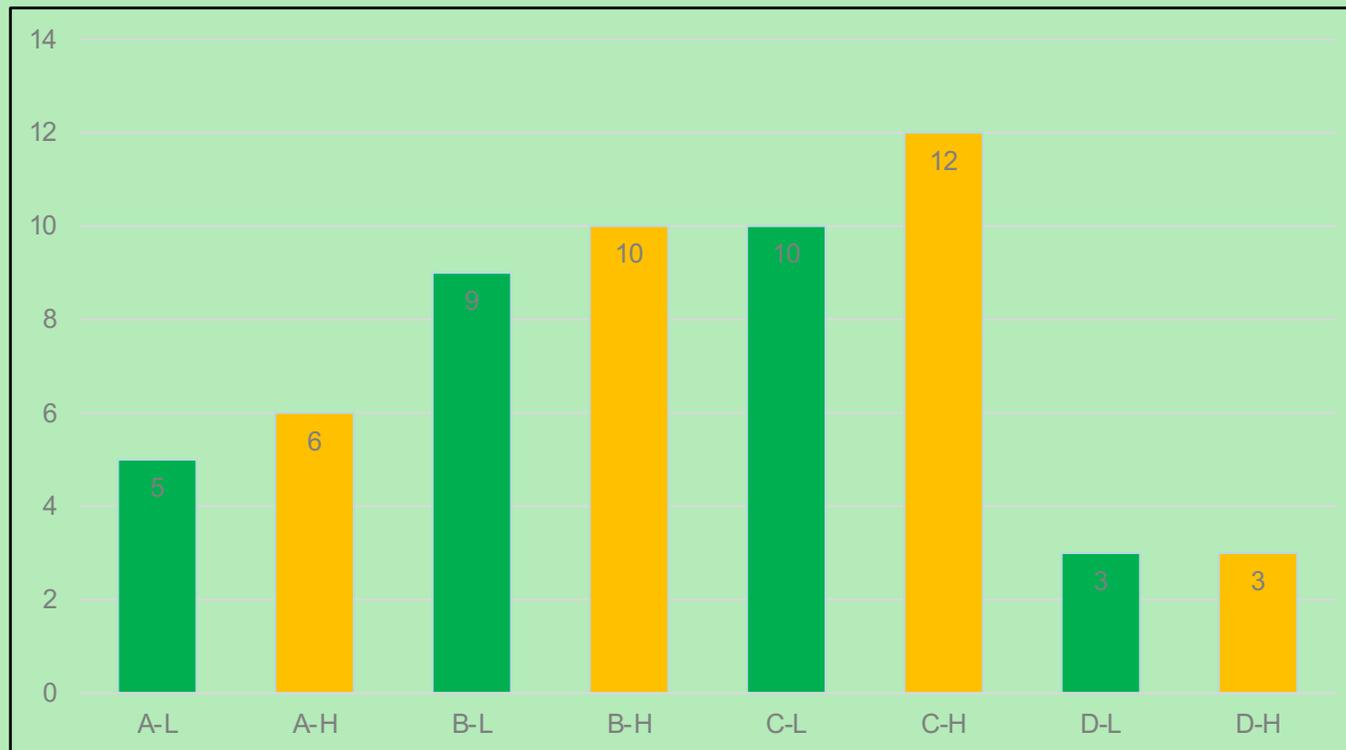
アイトラッキングシステムの計測結果 (作業時間内に足元を見た回数と滞留時間)

作業台	注視点の数	視線の滞留時間 (s)
A-L	5	4.9
A-H	6	4.8
B-L	9	5.9
B-H	10	6.1
C-L	10	6.0
C-H	12	6.2
D-L	3	1.1
D-H	3	1.4

(6人、5回の平均)

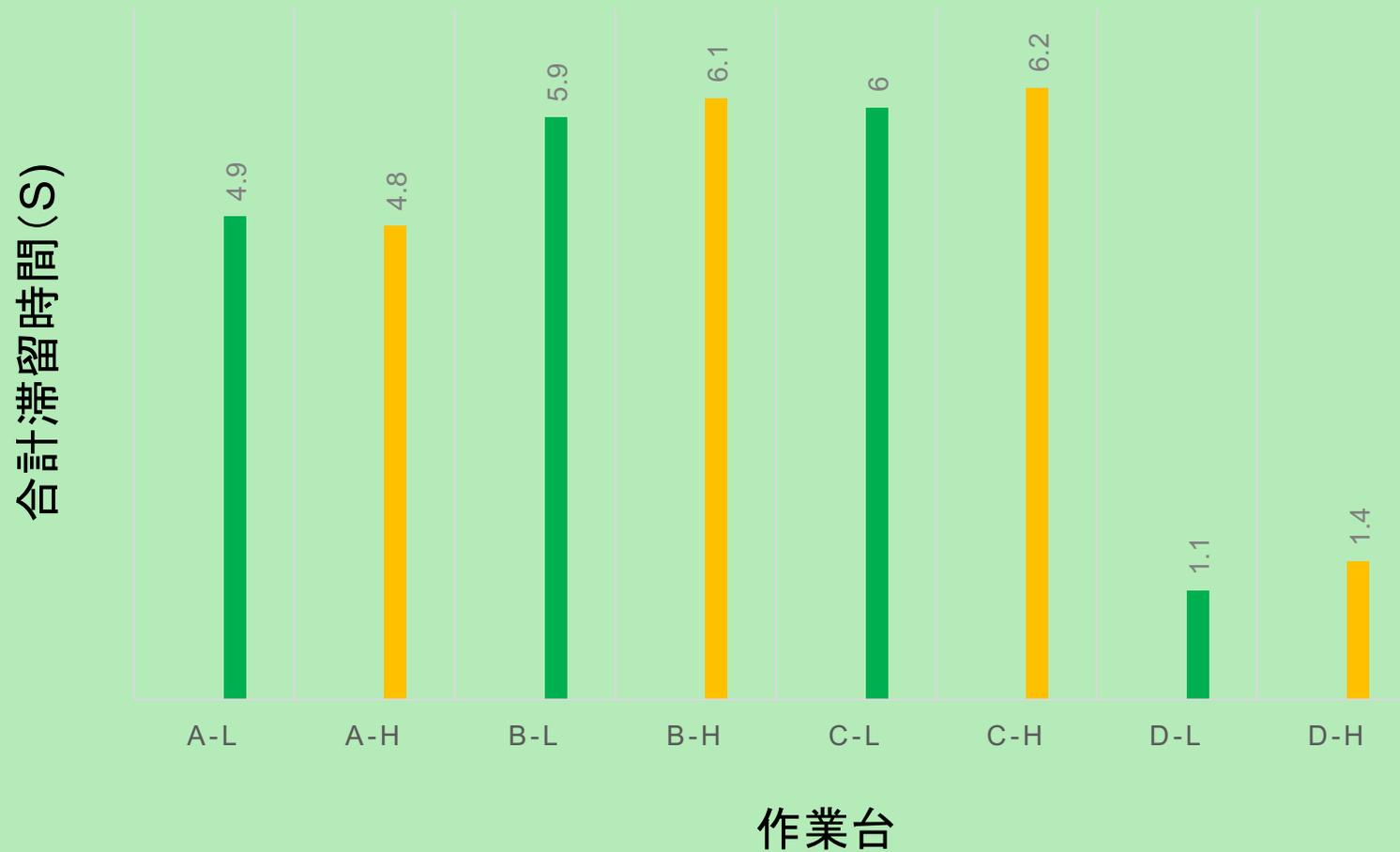
注視点の合計発生回数

注視展発生回数(回)



作業台

注視点の合計滞留時間



注視点と滞留時間の解析結果

- A、B、C、D全て作業床が高い時(H)が低い時(L)よりも注視点の発生回数が多く、滞留時間も長い傾向がある。
- Dは、作業床が高い時(H)、低い時(L)どちらも他のモデルに比べて、注視点の発生回数が少なく滞留時間が短いことがわかった。これは作業時間中に気になることが少ないことが影響していると思われる。

まとめ

- 安全とは事故が無いことではなく、許容不可能なリスクのないこと
- リスク低減は、リスクを作り出す人に優先順位がある
- リスク低減は「本質的安全対策」、「設備対策」、「管理的対策」の順番で検討する
- 現場で得られた安全に関わる知見はメーカーと共有することで新たな製品開発に反映させる

労働安全衛生法第一章 総則

(目的)

第一条

この法律は、労働基準法と相まって、労働災害の防止のための危害防止基準の確立責任体制の明確化及び自主的活動の促進の措置を講ずる等その防止に関する総合的計画的な対策を推進することにより職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な職場環境を促進することを目的とする。



単にリスクを許容可能なレベルにするだけではなく、やりがい、生きがい、働きがいのある職場環境を作る必要がある

Vision Zero→Beyond Zeroへ

ゼロ災

災害の無い快適な職場環境の促進

ご清聴ありがとうございました