

令和3年度7月13日
第4回建設施工におけるPAS導入に関するWG
資料3

令和2年度の検証結果 について

令和2年度 模擬環境下における 試験結果について

| | |
|----------------------------------|---------|
| 1. 検証概要 | |
| (1) ユースケース(模擬作業)の設定 | P 4～P 9 |
| (2) 試験実施日程 | P10～P11 |
| (3) 検証PAS | P12～P15 |
| (4) 被験者概要 | P16～P20 |
| 2. 評価指標 | P21～P23 |
| 3. 検証試験結果と評価 | P24～P42 |
| 4. 令和2年度試験結果を踏まえた 検証、評価指標の見直し | P43～P48 |

令和2年度 パワーアシストスーツ（略称：PAS）の検証視点

**市販のPASは介護現場、物流現場などの屋内、
屋外でも開放地の農作業など軽作業向けに
開発や商品化が先行**

＜市販PASの特徴、先行活用環境＞

- ① **単一作業へ対応** : 単作業や反復作業を対象に一定の効果がでるよう機能設計
- ② **軽装備を前提** : 先行活用現場の多くはPASを単独で装着し利用
(作業装具や安全装備との併用装着は限定的)
- ③ **比較的開けた場所で利用** : 一定の高張りがある外骨格型でも利用しやすい環境

建設施工への
適用検証
(模擬作業検証)

検証目的

□ 建設施工への適用性はあるか

- 介護現場、物流現場向けに開発、普及が進んできたPASが建設現場でも有用か
- 苦渋作業の負担軽減、生産性や効率性の向上にどの程度貢献するのか

□ 早期導入に適する工種、作業（ユースケース）はどのようなものか

1. 検証概要

(1) ユースケース(模擬作業)の設定

効果が期待される作業場面の整理(素案)【平時】

平時

- 持続的な建設現場の実現 (i.e. 苦渋低減、施工環境改善)
 - ・ 【持つ】 コンクリート圧送、締固め作業、吹付作業、除草工 (肩掛け式)
 - ・ 【運ぶ→置く】 重量物の運搬 (現場内小運搬)、足場仮設
玉石・Coブロック等構造物設置、付属物設置
 - ・ 【掘る、退ける】 人力掘削、人力清掃 (側溝)、人力除雪



コンクリートバイブレイタによる締固め作業状況



人力による岩掘削作業状況



人力清掃作業状況



客土の吹付作業状況



人力による土羽築立作業状況

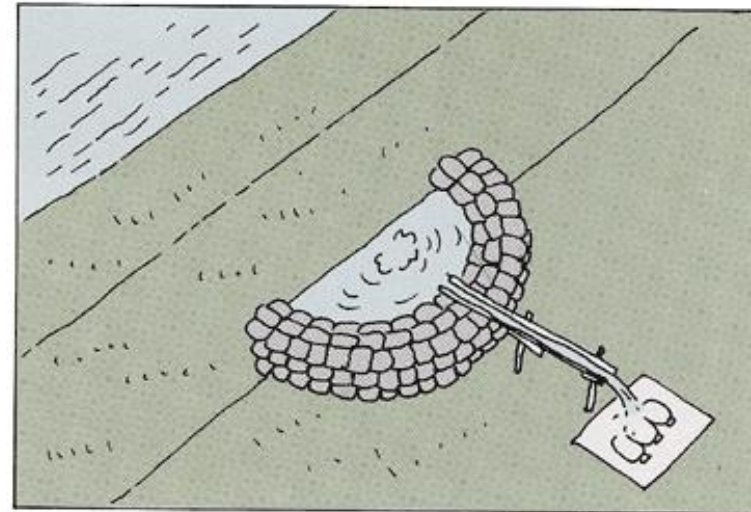


人力による処理作業状況

□ 緊急、迅速な災害復旧の実現 (i.e. 苦渋低減、負荷低減)

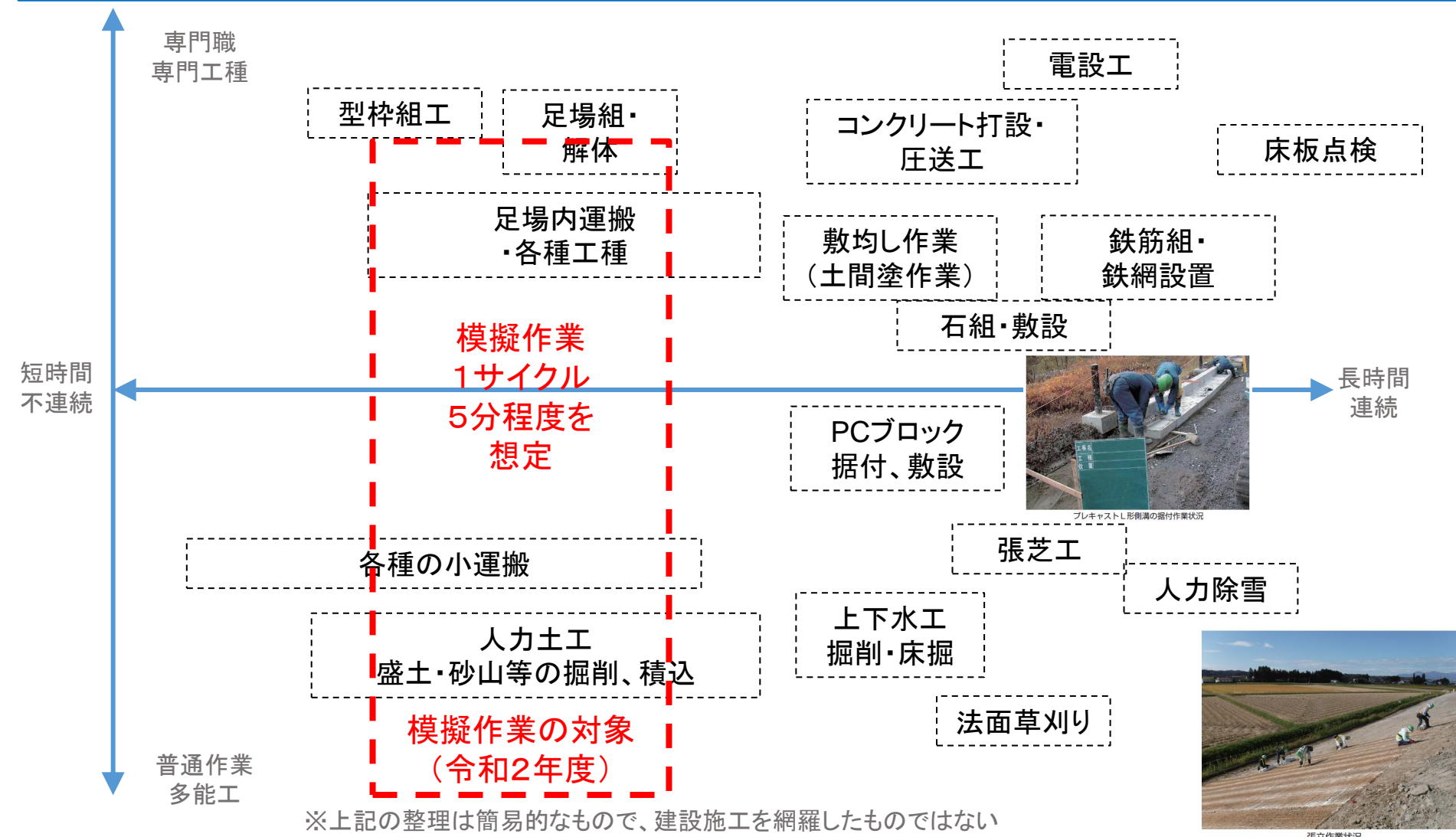
災害時

- ・ 【詰める】 土のうづくり
- ・ 【運ぶ→置く】 土のう運搬、月の輪工法、釜段工法
土砂・災害ゴミ撤去 (一輪車)



工種と作業連続性(例)

- 工種により作業の連続、継続性が異なる
- 短時間作業、移動の繰り返しとなる工種も多い
- 初期の検討として多様な現場で共通性のある、掘削と小運搬を候補とする



※上記の整理は簡易的なもので、建設施工を網羅したものではない

ユースケース(模擬作業)負荷の考え方

- 模擬作業は短期間に複数のPASを装着し、評価を行う
- 各作業間の疲労が蓄積しにくい負荷の程度で設定することとした

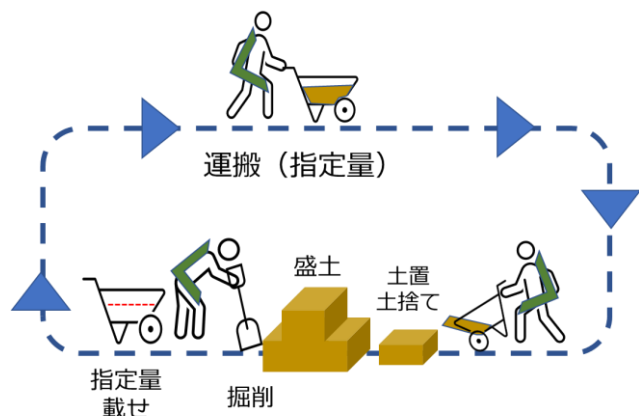
| 目安 | 実作業時間 | 弱い | ←作業負荷→ | 強い |
|-----------------------|---------------|----|-----------------------------|----------------|
| 短作業 (各種連携作業) | 0.5~1時間 程度 | | R2年度 試験評価の 目安 | |
| 4分の1日 (休憩と休憩の間の作業) | 1.5時間 程度 | | | |
| 半日 | 3時間 程度 | | | |
| 1日 | 6時間 程度 | | | |
| ... | 数日 間 | | | |
| 1週間 | 5営業日 程度 | | PAS開発会社 などによる 効果実感の推奨 | 次年度以降の 評価候補 |
| 数週間 | 十数日 程度 | | | |

ユースケース(模擬作業)2種3パターン

人土工(掘削・運搬)

掘削、運搬(一輪車運搬)

平場/屋外平坦地



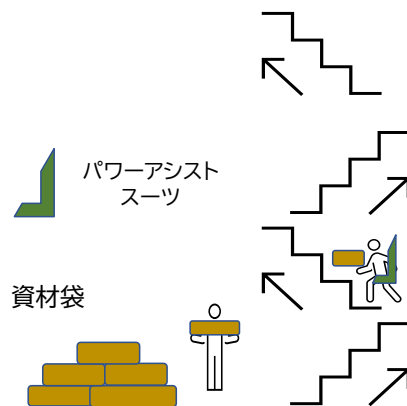
- ①土・砂山の切り崩し【掘削】
- ②掘削土の一輪車載せ【載せ】
・回あたり土量は目安線で指定
- ③一輪車で運搬【運搬】
- ④土捨場への運搬

土量:重量20kg程度
 運搬距離:20m以下
 所要時間:4分(4往復:一定負荷)
 2分(2往復:軽負荷)

現場内 小運搬

階段昇降運搬

建物階段(90cm幅)



- ①資材持上げ
- ②階段上り運搬
- ③荷下ろし
- ④階段降り

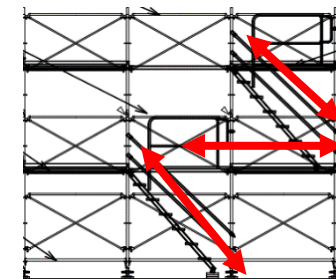
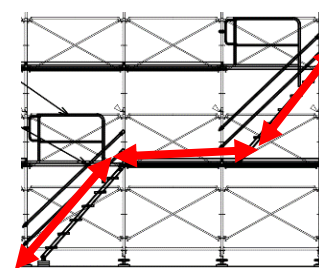
高さ:5階相当
 運搬重量:クランプ袋15kg
 所要時間 4分(1往復)

仮設足場のステージ上への
 資材運搬・集積

仮設足場 (60cm幅)

A
 直通昇降(踊り場あり)

B
 折返し昇降



- ①資材持上げ【持上げ】
1回目:単管3本 2回目:クランプ袋
- ②階段上り運搬
- ③ステージ上の軽作業【中腰作業】
- ④階段降り
- ⑤荷下ろし【持下げ】

高さ:2階相当
 運搬重量:15kg (単管3本 又は クランプ袋)
 所要時間:3分(4往復)

参考
 (装着関連)

その他
 (模擬現場以外)

①標準装具類
 の同時装着

②装着状態で
 の動き易さ

1. 検証概要

(2) 試験実施日程

試験実施日程

- 2020年12月から2021年2月まで3回に分け※検証を実施した。
 - 人土工（掘削、運搬）は、掘削、運搬を全4往復する“一定負荷”と、全2往復のみの“軽負荷”に分け実施した。
 - 何れの日程も好天での実施となった。
- ※コロナ禍により分散日程で実施

| 検証種類 | 人土工（掘削・運搬） | | 小運搬（主に上下移動） | |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| | 一定負荷 | 軽負荷 | 建物階段 | 仮設足場 |
| 高さ | ———— | ———— | 5階相当 | 2階相当 |
| 所要時間 （往復数） | 4分 （4往復） | 2分 （2往復） | 4分 （1往復） | 3分 （4往復） |
| 年月日 | 2021年2月24日 （水） | 2020年12月18日 （金） | 2020年12月18日 （金） | 2021年1月18日（月） 1月19日（火） |
| 日数 | 1日間 | 1日間 | 1日間 | 2日間 |
| 天候 | 晴れ | 晴れ | 晴れ | 晴れ |
| 気温 最高気温 | 11℃ | 11℃ | 11℃ | 1月18日 9℃ 1月19日 8℃ |

1. 検証概要

(3) 検証PAS

検証用PASの選定

技術公募に応募があり、2020年9月時点で事業者等により市販またはレンタルされ市場流通している機器、パッシブ、アクティブの2種を対象に次の基準で4種の検証を行った。

- 助力：
 - パッシブ : ゴム、バネなど素材の伸縮力や空気圧で助力
 - アクティブ : 電動モーターなどで助力
- 形状：
 - 身体フィット型 : 着衣に近い形状で嵩張り少なく装着可能なもの
 - 外骨格型 : 堅いフレーム等を配置し、腰、腿などに助力を行う構造のもの
- 助力部位：
 - 腰のみ、腰に加え腿部
- 固定部位
 - 肩又は背筋、腰、腿
- 装着時の他装着具の併用性：
 - フルハーネスとの併用可能(または併用可能性あり)、併用困難または不可

パッシブ (助力の素材/形状/固定部位)

- P1 : **ゴム** / **身体フィット型** / **肩、腰、腿**
- P2 : **圧縮空気** / **外骨格型** / **肩、腰、腿**

アクティブ (助力の動力/形状/固定部位)

- A1 : **モーター** / **外骨格型** / **腰、腿**
- A2 : **モーター** / **外骨格型** / **肩、腰、腿**

検証PASと機能概要

検証PAS 4区分

フルハーネスと併用可能性あり



フルハーネスと併用困難可能性



| 指標 | | パッシブ | | アクティブ (外骨格型) | |
|----------------|------|--|---|--|--|
| 助力強度 | | 弱(身体フィット型) | 強(外骨格型) | ※多段階で設定可能 | |
| 関節固定・保持 (中腰維持) | | | | | |
| 腰への助力 | 持ち上げ | <div data-bbox="493 629 783 862" data-label="Complex-Block"> <p>P1(ゴム) 助力部:腰 【重量:0.45kg】 腰負担25%軽減</p>  </div> | <div data-bbox="924 558 1234 862" data-label="Complex-Block"> <p>P2(圧縮空気) 助力部:腰 【重量:3.8kg】 補助力25.5kgf (100Nm)</p>  </div> | <div data-bbox="1301 472 1653 1182" data-label="Complex-Block"> <p>A1(モーター) 助力部:腰、腿 【重量:3.1kg】 腰負担最大40%低減</p>   </div> | <div data-bbox="1680 472 1991 1286" data-label="Complex-Block">  <p>A2(モーター) 助力部:腰、腿 【重量:4.7kg】 腰負担59%低減</p>  </div> |
| | 下ろし |  |  |  |  |
| 腿に助力 (歩行支援) | | | | | |

※補助力、負荷低減値は各メーカー独自測定公表値。同一指標の補助力は公表されていない。

検証PAS 建設作業者の装着例

- パッシブ2種 (P1、P2)、アクティブ2種 (A1、A2) の合計4種を検証。

●パッシブ



【P1】 身体フィット型



【P2】 外骨格型

●アクティブ



【A1】 外骨格型



【A2】 外骨格型

1. 検証概要

(4) 被験者概要

被験者概要

- 被験者は普通作業員、監理者等、とび工の各4名、合計12名で次の内訳となる。

| 模擬作業員の種類 | 普通作業員 | 監理者等 ^{注1)} | とび工 |
|-------------|---|------------------------------------|--|
| 年代 | 20～50代 | 20～50代 | 20～50代 |
| 人数 | 4人（各年代1人） | 4人（各年代1人） | 4人（各年代1人） |
| 経験年数 | 20代：4年、30代：9年 40代：1年、50代：5年 | 20代：1年未満、30代：4年 40代：15年、50代：34年 | 20代：6年、30代：12年 40代：24年、50代：34年 |
| 過去に大きなけがの有無 | ない | ない | ない |
| 現状の腰痛 | ない1名（20代） ある1名（30代） ときどき痛み2名（40代、50代） | ない | ときどき痛み3名 （20代、40、50代） ある1名（30代） |
| PASの事前認知 | 知ってはいたが 利用経験無し （全年代） | 試着経験あり 作業経験なし （全年代） | 知ってはいたが利用経験 なし2名（20代、40代） 未認知2名（30代、50代） |

| 模擬 作業 | 人土工 | | ●（一定負荷 ^{注2)} ） | ●（軽負荷 ^{注2)} ） | |
|----------|---------|------|-------------------------|------------------------|---|
| | 小 運搬 | 建物階段 | | ● | |
| | | 仮設足場 | | | ● |

注1) 監理者等：日常業務は現場管理などで、建設作業については新規入職者相当

注2) 一定負荷：掘削、運搬を4往復
軽負荷：掘削、運搬を2往復

実施概要 ①人力土工(掘削・運搬)



装着しての掘削(持上げ)



装着しての積み込み(斜め持上げ)



一輪車による運搬(左P1右,P2を装着)



一輪車による運搬(左A1,右A2を装着)

実施概要 ②小運搬(建物階段)



腰高位置から抱え込みのための
資材の斜め持上げ
(A1装着)



建物階段昇り(P1装着)



建物階段昇りの踊り場(P2装着)
※白色クランプ袋(15kg)を抱え込



上面資材置き場(中腰維持で潜抜け、資材移動)



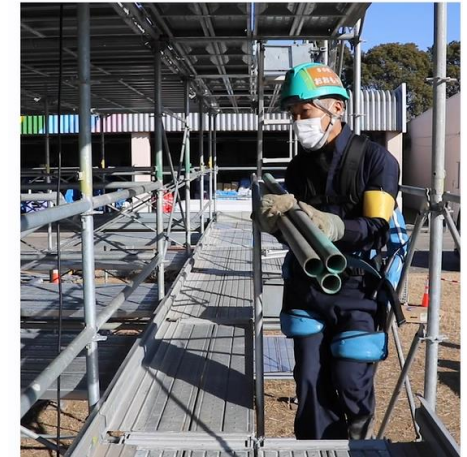
昇降パターン①(踊り場)



昇降パターン②(折返し)



資材持上げ状況



折返し型階段踊り場内の移動・運搬

2. 評価指標

導入効果評価指標(R2年度の検証項目)

R2年度の現場検証項目

| | 短期指標 | 中長期指標 |
|----------|--|---|
| 効率性 | <ul style="list-style-type: none"> ・作業のサイクルタイム※1 | <ul style="list-style-type: none"> ・生産性指標(日建連) |
| 持続的な建設現場 | <ul style="list-style-type: none"> ・負荷・疲労の低減 (主観(アンケート)／客観) ・作業の質の確保 | <ul style="list-style-type: none"> ・建設技能者の若手の就労、定着 (新卒3年離職率など) |

※1 第3回WGにおいて、被験者間の競い合いなど懸念から評価指標からは除外

※2 他に、主観(アンケート)でPASの装着性等

| | モニタリング指標(案) |
|-----------------|--|
| 熟練技術・技能の伝承、若手教育 | <ul style="list-style-type: none"> ・作業に対する習熟度評価 (主観(アンケート)／客観) ・建設技能者の若手の就労、定着 (新卒3年離職率など) |

評価方法等

| 短期指標 | 検証評価指標 | 計測方法 | サンプル数等 |
|----------|---|---|---|
| 負荷・疲労の低減 | <ul style="list-style-type: none"> 作業疲労度 疲労蓄積度 各作業における使用PAS適合度(外した方が作業しやすい等) 今後のPAS装備継続意向 | <ul style="list-style-type: none"> 撮影による観測 現場立会人による観察 アンケート ヒアリング | <p>対象数: 12人 (20~60歳代で年代3区分程度、腰痛経験有無なども考慮)</p> <p>期間: 3日</p> <p>比較: PAS装着あり・なし</p> |
| | <ul style="list-style-type: none"> 出来高の本人評価 作業遂行の安定度・作業のムラの発生 ヒヤリハットの発生 | | |

● 補足的に計測

| 計測値 | 計測値 | 計測方法 |
|------------|---|---|
| 作業のサイクルタイム | <ul style="list-style-type: none"> 特定動作(作業)所要時間、休憩時間 一連の作業の所要時間(または一定時間内の動作業処理回数) PAS着脱等にかかる時間 | <ul style="list-style-type: none"> 現場時間測定 撮影による観測(補完) |

3. 検証試験結果と評価

(1) 模擬作業別の総合評価

模擬作業の試験条件は次で行った。

1) P A S 装着への習熟

- 短時間講習
- 模擬作業による検証前の事前の作業体験 数分～10分程度

2) 標準装備品の同時装着

作業着は個々の作業員が日常業務で利用のものを着衣

- **人土工**：普通作業員、監理者等
作業着上に装着
- **小運搬（建物階段）**：監理者等、**小運搬（仮設足場）**：とび工
安全帯（フルハーネス）、工具付き腰ベルトを同時装着
※ P A S 装着時にこれらと両立しない場合は P A S のみ装着で模擬作業
※ 工具付き腰ベルトの同時装着困難時は、代替の重りベルトを装着

3) その他

- 休憩は作業直後の着座によるアンケート聞き取り時など含めて各 5 分程度

装着作業後の作業員へ、9段階評価※によりアンケートを実施。

※未装着時の作業を5として±4段階での評価

1) 作業に対する評価

- 対象の作業(6種)

- ①物の持上げ、②斜め持上げ、③中腰のまま作業、④上への押上、⑤単独の歩行、⑥運搬時の歩行

- 評価着目点(3種)

A: 作業の早さ B: 質や出来高 (または正確性) C: 作業負担の軽減

- 総合評価 作業全体を通した効果

2) PAS自体の装着感、使用感に関わる評価

- 評価着目点(6種)

- ①重量、②装着のしやすさ、③体へのフィット感、④動きの軽快感、⑤邪魔にならない、⑥ (使用時の) 安心感

3) 総合評価要素

被験者に対する今後の使用意向等のヒアリング

検証は介護、物流、農業向けに開発されたPASの建設施工作業への適用性を確認。

建設施工作業への導入効果

PASの種類、工種（作業）により差はあるが、作業早さ、質や出来高への貢献、苦渋作業に対する身体負担の軽減に効果がある。

● パッシブ

● P1 ゴム/身体フィット型/腰を助力

- ・ 人土工の作業早さ、小運搬（建物階段）の負担軽減では、ゴム素材で動作制約が少なく未装着時の作業動作と同等程度（P29、P31参照）
- ・ 小運搬（仮設足場）の負担軽減では、嵩張らない点で未装着時と同等程度の負担軽減（P33参照）

● P2 圧縮空気/外骨格型/腰を助力

- ・ 仮設足場の中腰の潜り抜け、資材などを目線高さまで押上作業の負担軽減に効果（P33参照）

● アクティブ

- ・ 監理者等（新規入職者相当）ではモーター助力により人土工（連続の掘削、持上げや中腰作業）の身体負担軽減に効果（P29、P31参照）
- ・ 腿部にモーター助力も働き、建物階段の運搬歩行で負担軽減に効果（P32参照）

● A1 モーター/外骨格型/腰・腿を助力

- ・ 腿部へのモーター助力により、仮設足場の単独歩行、運搬歩行で負担軽減に効果（P33参照）

● A2 モーター/外骨格型/腰・腿を助力

- ・ 仮設足場の上へ押上作業で負担軽減に効果（P33参照）

建設施工作業におけるPAS利用の留意事項

● パッシブ

● P1 ゴム/身体フィット型/腰を助力

- ・ 人カ土工（掘削）小運搬（重量物の持上げ）ではゴム素材による助力でもあり負担軽減を感じにくい（P31、P33参照）

● P2 圧縮空気/外骨格型/腰を助力

- ・ 腰部への補助力を得るために前腿部で反力を得るため、運搬歩行・移動早さは低下（P29参照）
- ・ 外骨格型は仮設足場内移動で気を遣うため作業全体の負担軽減効果を感じにくい（P33参照）

● アクティブ

● A1 モーター/外骨格型/腰・腿を助力

- ・ 作業経験が複数年の普通作業員では、運搬歩行時の負担軽減効果は感じにくい（P31参照）

● A2 モーター/外骨格型/腰・腿を助力

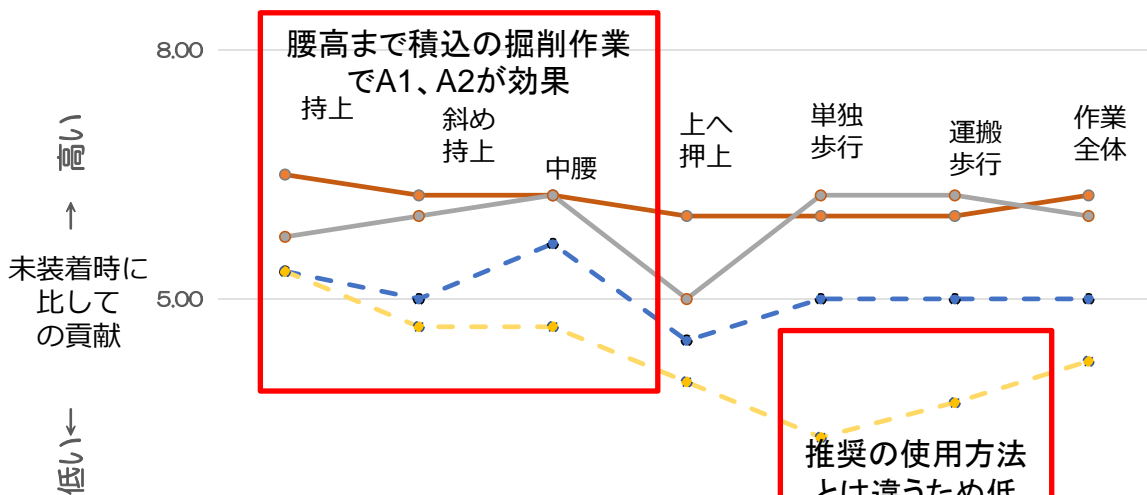
- ・ 作業経験が複数年の普通作業員では、掘削の斜め持上げ、中腰維持時に意図する動作と補助動作との差異が生じ負担軽減効果を感じにくい（P31参照）

アンケート結果① 早さ (人カ土工/監理者等/平均値)

- 監理者等において、P1はゴム素材で動作制約が少なく未装着時の作業動作と同等程度。
- モーター助力によるアクティブA1、A2は持上げ、連続中腰作業の早さに貢献。
- パッシブP2は補助力の反力を腿部で得ており、今回は腿部の拘束解除をせずに作業を実施したため低評価となった。

※P2のメーカーは歩行時に腿部の拘束を解いての利用を推奨。模擬作業時は一連作業での評価とするため脚部拘束で実施。

作業の早さへの貢献：監理者等注2)



- P1
- P2 **パッシブ**
- A1
- A2 **アクティブ**

| | 物の持ち上げ作業 | 斜め持ち上げ作業 | 中腰のままの作業 | 上への押上作業 | 単独歩行作業 | 運搬時の歩行作業 | 作業全体を通して |
|------|----------|----------|----------|---------|--------|----------|----------|
| ● P1 | 5.33 | 5.00 | 5.67 | 4.50 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| ● P2 | 5.33 | 4.67 | 4.67 | 4.00 | 3.33 | 3.75 | 4.25 |
| ● A1 | 6.50 | 6.25 | 6.25 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.25 |
| ● A2 | 5.75 | 6.00 | 6.25 | 5.00 | 6.25 | 6.25 | 6.00 |

注1) 9段階評価でどちらでもない(中央値)を5.00とした

注2) 監理者等：日常は現場管理業務などに従事し、作業現場における新規入職者相当



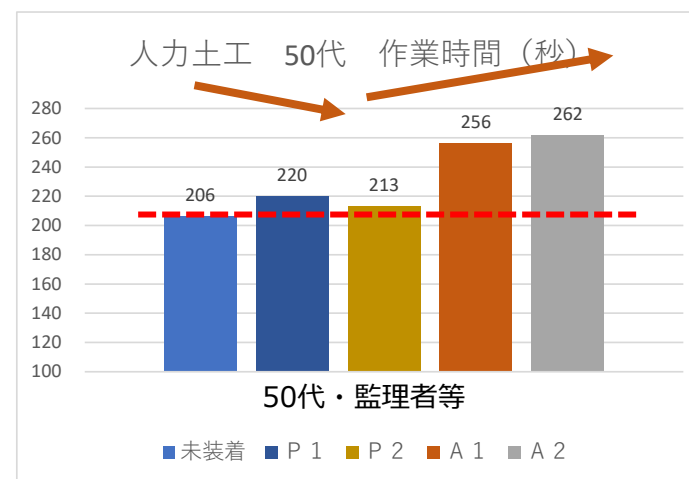
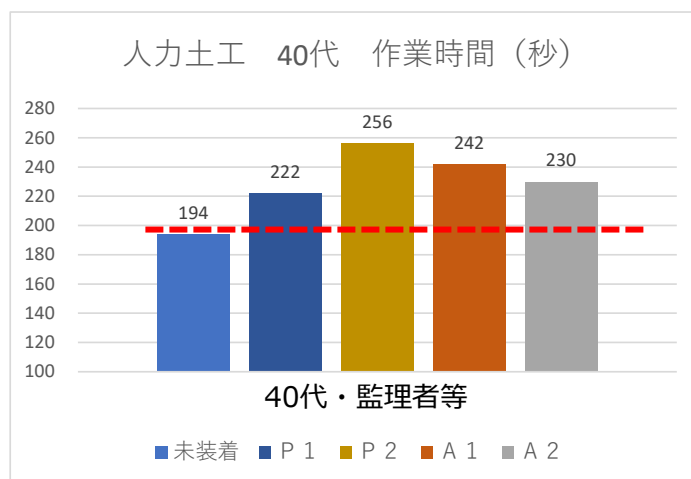
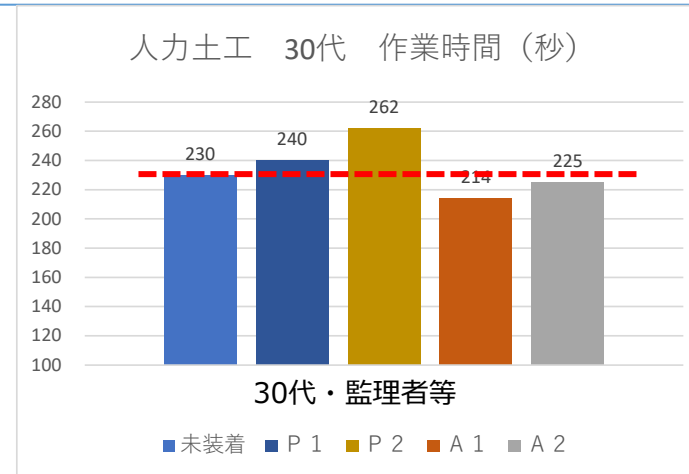
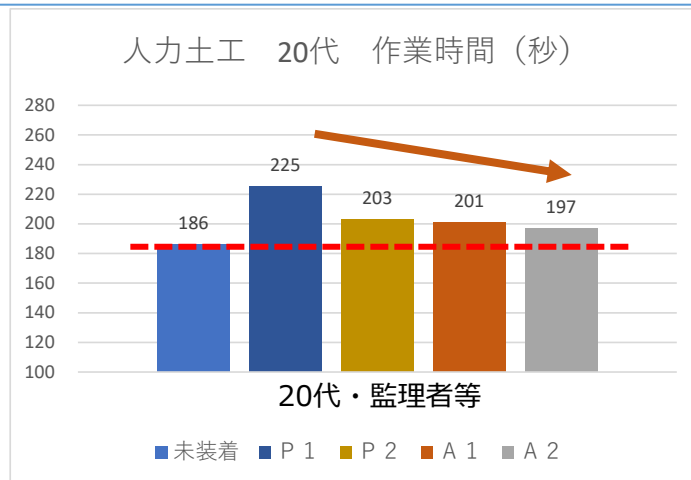
中腰掘削 (A2 装着)



一輪車運搬 (P2 装着)

作業時間計測① 早さ(人カ土工/監理者等/年代別)

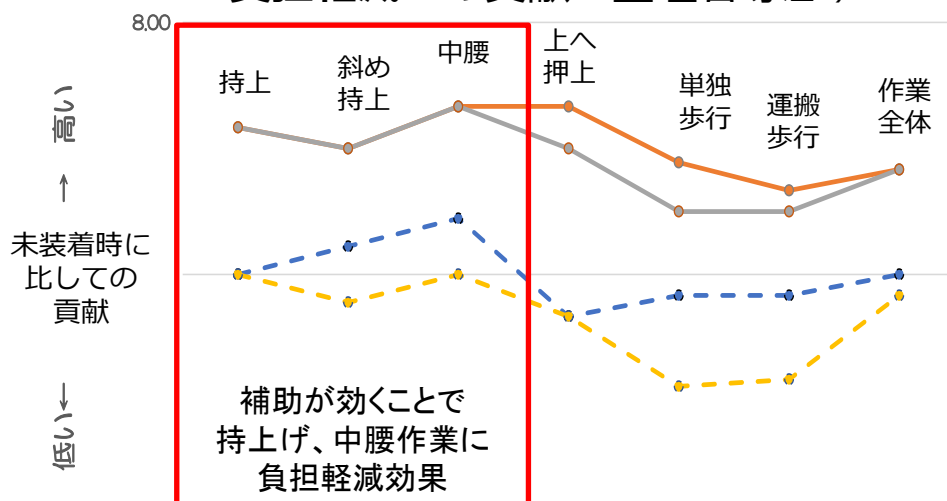
- 作業後アンケートで作業早さへの貢献の評価がされている、未装着時に比べ必ずしも短時間化していない。
- 実測と実感の相違は、**身体負担が軽減し疲労感が低下する事で、作業者が体感では作業が早くなった**と感じていると思われる。



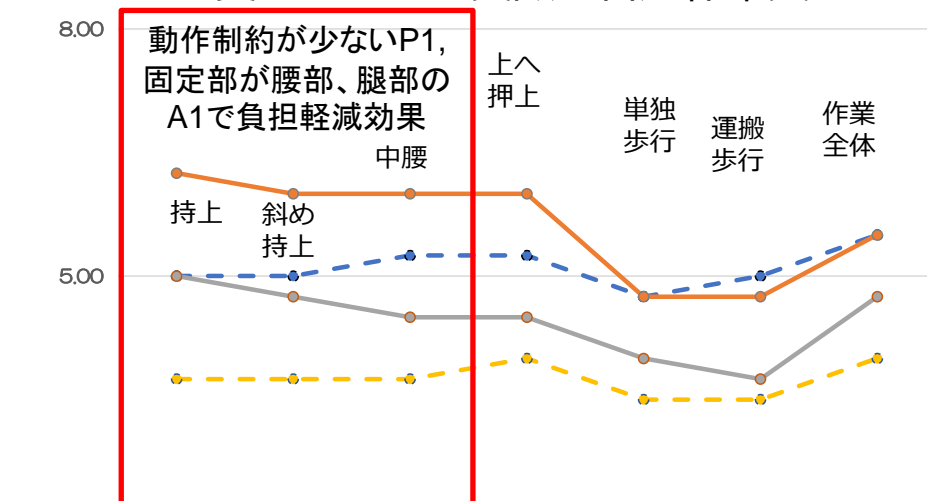
アンケート結果② 負担軽減感の比較 (人カ土工/平均値)

- 監理者等(新規入職者相当)は、アクティブA1、A2の2種で負担軽減効果あり。
- 普通作業員は助力部が腰、腿のアクティブA1のみで負担軽減の効果。

負担軽減への貢献：監理者等注2)



負担軽減への貢献：普通作業員



| | 物の持ち上げ作業 | 斜め持ち上げ作業 | 中腰のままの作業 | 上への押上作業 | 単独の歩行作業 | 運搬時の歩行作業 | 作業全体を通して |
|---|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
| Q3.次の作業・動作において、PAS装着時は装着していない時と比べ、どの程度負担が軽減または増したと思うか。(9段階) | | | | | | | |
| P1 | 5.00 | 5.33 | 5.67 | 4.50 | 4.75 | 4.75 | 5.00 |
| P2 | 5.00 | 4.67 | 5.00 | 4.50 | 3.67 | 3.75 | 4.75 |
| A1 | 6.75 | 6.50 | 7.00 | 7.00 | 6.33 | 6.00 | 6.25 |
| A2 | 6.75 | 6.50 | 7.00 | 6.50 | 5.75 | 5.75 | 6.25 |

| | 物の持ち上げ作業 | 斜め持ち上げ作業 | 中腰のままの作業 | 上への押上作業 | 単独の歩行作業 | 運搬時の歩行作業 | 作業全体を通して |
|---|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
| Q3.次の作業・動作において、PAS装着時は装着していない時と比べ、どの程度負担が軽減または増したと思うか。(9段階) | | | | | | | |
| P1 | 5.00 | 5.00 | 5.25 | 5.25 | 4.75 | 5.00 | 5.50 |
| P2 | 3.75 | 3.75 | 3.75 | 4.00 | 3.50 | 3.50 | 4.00 |
| A1 | 6.25 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 4.75 | 4.75 | 5.50 |
| A2 | 5.00 | 4.75 | 4.50 | 4.50 | 4.00 | 3.75 | 4.75 |

注1) 9段階評価でどちらでもない(中央値)を5.00とした

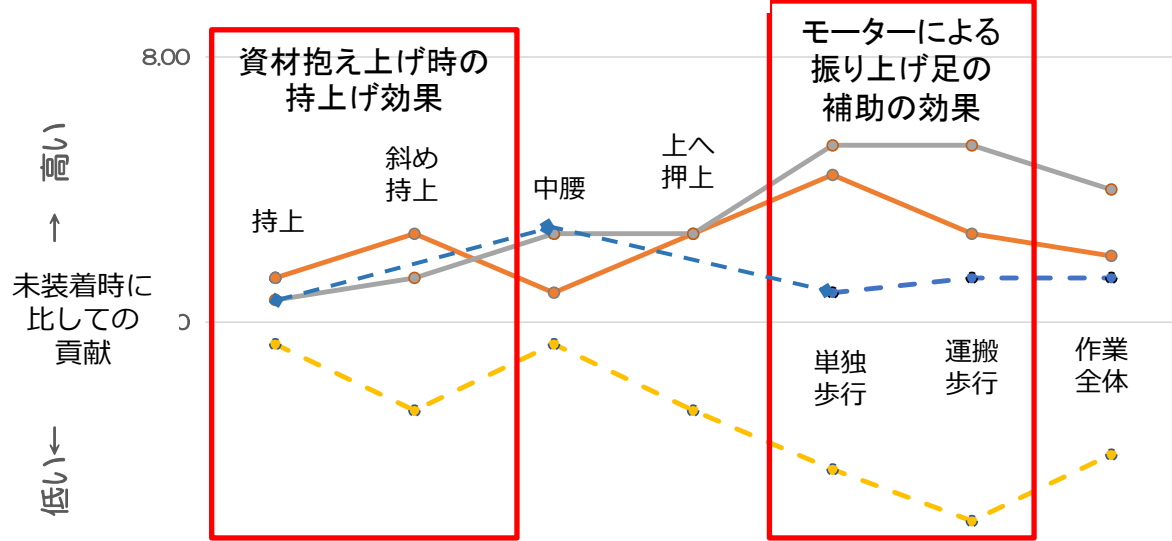
注2) 監理者等：日常は現場管理業務などに従事し、作業現場における新規入職者相当

アンケート結果③負担軽減 (建物階段/監理者等/平均値)

- P1はゴム素材で動作制約が少なく未装着時の作業動作と同等程度。
- 足振り出し時に腿へ外力が働き邪魔に感じやすい外骨格型のP2は評価が高くない。
- 持上げ、階段昇降の腿部への助力があるアクティブA1、A2は負担軽減で高い効果。

※P2のメーカーは歩行や昇降時に脚部の拘束を解いての利用を推奨。模擬作業時は他PASと同一条件とするため脚部拘束で実施。

負担軽減への貢献：監理者等注2)



注1) 9段階評価でどちらでもない(中央値)を5.00とした
注2) 監理者等：日常は現場管理業務などに従事者

- P1
- P2 **パッシブ**
- A1
- A2 **アクティブ**



資材運搬の建物階段昇り (A2 装着)



腰高位置から抱え込みのための資材の斜め持上げ (A1装着)

| | 物の持ち上げ作業 | 斜め持ち上げ作業 | 中腰のままの作業 | 上への押上作業 | 単独の歩行作業 | 運搬時の歩行作業 | 作業全体を通して |
|--|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
| Q3. 次の作業・動作において、PAS装着時は装着していない時と比べ、どの程度負担が軽減または増したと思うか。(9段階) | | | | | | | |

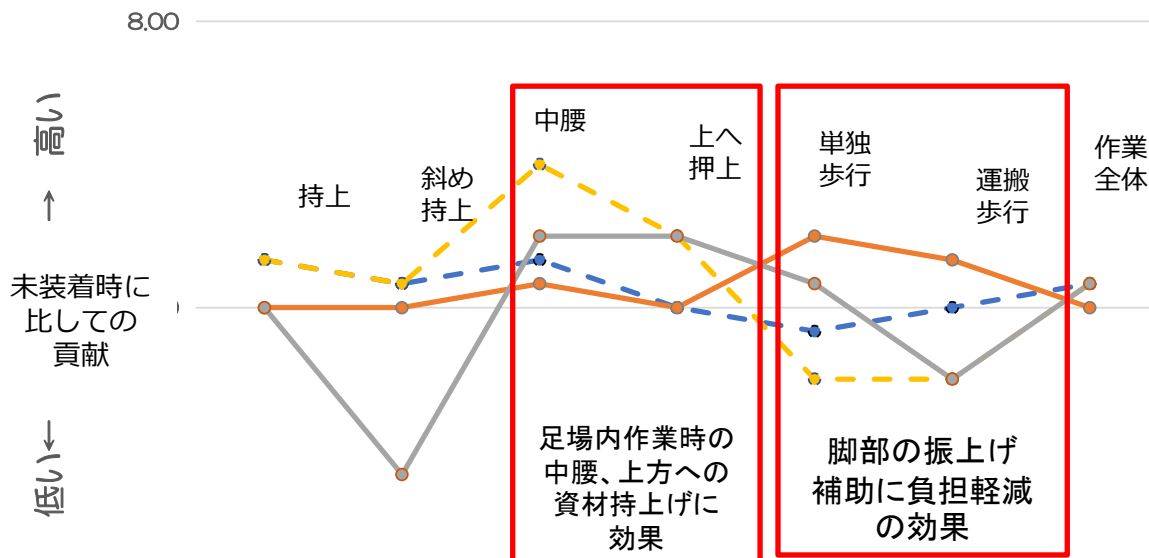
| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ● P1 | 5.50 | | 6.00 | | 5.33 | 5.50 | 5.50 |
| ● P2 | 4.75 | 4.00 | 4.75 | 4.00 | 3.33 | 2.75 | 3.50 |
| ● A1 | 5.50 | 6.00 | 5.33 | 6.00 | 6.67 | 6.00 | 5.75 |
| ● A2 | 5.25 | 5.50 | 6.00 | 6.00 | 7.00 | 7.00 | 6.50 |

※ 重量物を抱えての昇降作業のみだったため、一部項目の回答を得られていないものがある。

アンケート結果④ (仮設足場/とび工/平均値)

- P1は嵩張らない点で、運搬歩行の負担軽減において未装着時と同等程度。
- P2は中腰の潜り抜け作業、上への押上作業で負担軽減効果が最も高い。
- A1は腿部へのモーター助力により単独歩行、運搬歩行で負担軽減に効果。
- A2は中腰の潜り抜け作業、上へ押上作業、単独歩行で負担軽減の効果。

負担軽減への貢献：とび工



| | 物の持ち上げ作業 | 斜め持ち上げ作業 | 中腰のままの作業 | 上への押上作業 | 単独の歩行作業 | 運搬時の歩行作業 | 作業全体を通して |
|--|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
|--|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|

Q3.次の作業・動作において、PAS装着時は装着していない時と比べ、どの程度負担が軽減または増したと思うか。(9段階)

| | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| P1 | 5.50 | 5.25 | 5.50 | 5.00 | 4.75 | 5.00 | 5.25 |
| P2 | 5.50 | 5.25 | 6.50 | 5.75 | 4.25 | 4.25 | 5.25 |
| A1 | 5.00 | 5.00 | 5.25 | 5.00 | 5.75 | 5.50 | 5.00 |
| A2 | 5.00 | 3.25 | 5.75 | 5.75 | 5.25 | 4.25 | 5.25 |



中腰の潜り抜け作業



足場進入前の資材持上げ (A2 装着)



足場内の長尺物の運搬 (P2 装着)

注1) 9段階評価でどちらでもない(中央値)を5.00とした

P1
P2 **パッシブ**
A1
A2 **アクティブ**

作業別まとめ(人カ土工)

人カ土工 普通作業員／監理者等



中腰掘削 (A1 装着)

監理者等(新規入職者相当)でアクティブタイプにおいて負担軽減に効果がみられた

- **アクティブ**: 腿部に助力働くことで運搬歩行にも負担軽減の効果
- **パッシブ**: あまり効果はみられない

<留意点>

- アクティブ2種、パッシブ外骨格型は機敏な歩行動作にはむかない



<有効な活用場面>

新規入職者の移動を伴わない掘削作業



一輪車運搬 (P2 装着)

作業別まとめ(小運搬(建物階段))

小運搬(建物階段) 監理者等



アクティブタイプで資材を抱えての階段昇降において負担軽減に効果がみられた

- **アクティブ**: 持上げにおいて負担軽減に効果
- **パッシブ**: 身体フィット型はゴム素材で動作制約が少なく、持上げ、階段昇降において未装着時と同等程度の負担軽減

<留意点>

- **アクティブ** アシストが強力な分、動きに違和感を持つ機種も有
- **パッシブ** あまり効果がみられない

<有効な活用場面>

アクティブタイプによる資材を抱えての運搬昇降



資材運搬の建物階段昇り
(A2装着)

作業別まとめ(小運搬(仮設足場))

小運搬(仮設足場) とび工



足場進入前の資材持上げ (A2 装着)



足場内の移動 (P2 装着)



上面作業場における中腰潜り抜け運搬

地面や上面作業場で足元の資材を中腰で持上げ、下げする作業において負担軽減に効果がみられた

- **パッシブ**: 身体フィット型はフルハーネスとの同時装着が可能
- **パッシブ外骨格型、アクティブ外骨格型(腰、腿、肩部で固定)**: 足場での資材持ち替え等における上への押上の負担軽減に効果
- **アクティブ(腰、腿で固定)**: 運搬歩行の負担軽減に効果

<留意点>

- フルハーネスや工具類の腰ベルトと同時に装着困難な機種も有
- 外骨格型3種は通常装具より嵩張り、狭隘な仮設足場で動き回りに気を遣う

<有効な活用場面>

(足場組、解体時の平場作業等)
重量物の持上げ、下げ作業

3. 検証試験結果と評価



(2) スーツ別の振り返り評価

被験者のPASに対する評価点・意見まとめ

- アンケート項目とは別に、被験者にヒアリングを行い装着作業の評価意見を得た。
- PASの機能と合致する建設工種・作業で効果期待できるが、機能向上や構造改良意見もあった。

| パッシブ | | アクティブ | |
|---|--|---|---|
| P1 身体フィット型 | P2 外骨格型 | A1 外骨格型 | A2 外骨格型 |
| <ul style="list-style-type: none"> 現場で使用の意向。 手軽でかつ一定のアシスト効果がある。 フルハーネス併用可で、建設作業対応しやすい。 装着性、動きやすさなど比較的普及しやすい要素を有す。 | <ul style="list-style-type: none"> (会社などから)提供される場合に使用意向。 特定の作業(中腰主体、動き回らない)には効果を発揮できる。 意外と軽く、装着に抵抗感は少ない。 | <ul style="list-style-type: none"> 価格次第では購入の意向。 持上げ、階段昇降、持ち運びで良好な評価。 道具装着への対応、操作性の改善などを行うと、今後利用度は高まるとの声。 | <ul style="list-style-type: none"> 特定の作業(例えば持ち上げ作業)で効果を発揮。 運搬歩行、階段昇降でも効果を発揮。 アシストが比較的強力である点に高評価。 |
| <ul style="list-style-type: none"> アシストがもの足りないとの声もある。 | <ul style="list-style-type: none"> 足場内では背中突起が邪魔との声がある。 (腰部への補助得るには)大腿部に反力が働き、歩行や階段昇降には、あまり向いていない。 (装着位置により)スーツがズレて痛さを感じる場合がある。 (使い慣れていないので)動作がしにくい場合がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 操作の分かり難さ、装着時の圧迫感を感じる被験者もあった。 比較的良否の評価が分かれる。 高価なPASイメージから、壊してしまう懸念ももたれた。 | <ul style="list-style-type: none"> アシストが強力な分、その動きに違和感を持つ被験者もある。 複雑な作業で瞬時の動きがし難いとの声もある。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 指先や腕の補助もあるとよい(長尺や不定形の資材、資材袋や土のう袋の持上げや保持しての移動作業時) | | | |

PAS評価まとめ①

| | パッシブ | | アクティブ(モーター) | |
|--------|--|--|--|--|
| | P1 ゴム/身体フィット型 | P2 圧縮空気/外骨格型 | A1 腰、腿/外骨格型 | A2 肩、腰、腿/外骨格型 |
| 重量 | ← 軽い メリット | | → 重い デメリット | |
| 手軽さ | ← 手軽、装着が簡単 メリット | | → 装着に手間がかかる、高価感 デメリット | |
| フルハーネス | 装着可 メリット | 装着困難 デメリット | | |
| サポート力 | ← 弱い(パッシブ) デメリット | | → 強い(アクティブ) メリット | |
| PAS |  |  |  |  |

| | パッシブ | | アクティブ(モーター) | |
|------------|---|---|---|---|
| | P1 ゴム/身体フィット型 | P2 圧縮空気/外骨格型 | A1 腰、腿/外骨格型 | A2 肩、腰、腿(外骨格型) |
| |  |  |  |  |
| 特性 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 多様で複雑な動きが可能 ▶ フルハーネス、腰ベルトと両立可能 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 中腰など特定の姿勢維持等で特に効果あり ▶ 助力度合いは、空気圧の範囲で任意調整可能 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 連続掘削など特定の動作には効果あり ▶ 同時装着可能なフルハーネスも有 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 持上げ、階段登り等特定の動作には効果あり ▶ 同時装着可能なフルハーネス、道具用腰ベルトも有 |
| 留意点 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ サポート力は小さめ | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 動き回りが多く、多様で複雑な動きがある作業にはあまり向かない | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 多様で複雑な動きにはサポートがきかない ▶ 利用者の動きと合わない場合がある | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 多様で複雑な動きにはサポートがきかない ▶ 利用者の動きと合わない場合がある |
| 建設現場が望む改善点 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ サポート力の強化 ▶ ハーネスとの一体化型開発 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 小型化 ▶ 建設現場の多様な一連の動きへの対応 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 建設現場の多様な一連の動きへの対応 ▶ 利用者の動きに柔軟に対応(きめ細かな設定、動きを学習等) | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 建設現場の多様な一連の動きへの対応 ▶ 利用者の動きに柔軟に対応(きめ細かな設定、動きを学習等) ▶ 軽量・小型化 |
| 有効な作業 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 中腰作業 ▶ 運搬作業 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 中腰作業 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 人力掘削 ▶ 資材抱え上げの昇降 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 人力掘削 ▶ 重量物の持上げ・下げ |

4. 試験結果

(3) メーカーヒアリング

模擬作業の評価に対するPASメーカー意見

評価対象としたPASのメーカー4者にヒアリングを実施し、模擬作業の評価に対する意見や現場実証に向けた留意点を把握した。

● 機種特性や仕様の違いに応じた評価の要望

- ・ 設計機能が腰支援中心のPASに対し、歩行移動多い模擬作業はやや不利であったとの指摘もあり

● 評価指標

- ・ 先行の検証経験では、身体負荷が減っても、作業ペースは作業者の主観により左右されるため必ずしも作業時間は低減しにくい

● 新たな評価指標の提案

- ・ 複数社より疲労度変化の指標として、作業者が無意識に休憩する時の休憩延べ時間、休憩頻度のデータ計測の提案あり

● 現場作業における実証への要望

- ・ 適正装着を促すための各種対応の実施(初期説明、中間チェックの2段階等)
- ・ 一定の装着期間(装着、未装着で各1週間程度)の確保
- ・ 有無比較時の留意(未装着→装着の順より、装着→未装着の順を推奨)

5. 令和2年度試験結果を踏まえた 検証、評価指標の見直し

現状PASの建設施工への適用①

- 高所や狭隘下の作業、補助機能と俊敏な動作との連動面から頻繁な移動を伴う作業は、現状性能や機能の段階では適用が困難。

- 形状・構造** 身体フィット型、外骨格型
フルハーネス、工具用腰ベルトとの同時装着未対応も含む

建設現場の条件

フルハーネス、
工具用腰ベルトとの
同時装着

令和2年度検証・評価

多様なPASのうち形状や助力形態が複数種ある“腰補助”PASを評価

人工土工（掘削・運搬）

小運搬
（建物階段）

小運搬
（仮設足場）

早期の適用候補

連続の
掘削

中腰を維持
しての
作業

重量物の
持上・下げ
（据付）等

資材抱え上
げの運搬
歩行、昇降

目線高さ
や頭上への
持上げ

高所作業
（特に外骨格系）

狭隘下の作業
（特に外骨格系）

脱着を伴う
移動を伴う作業
（特に機敏な動き）

現状は適用困難

短時間、特定の模擬作業からのスーツタイプ別の建設施工への適用

早期の適用

- **パッシブ** :
 補助力限られるが、動き易さ等はある**不連続作業が一定ある工種**
 - **身体フィット型** : 普通作業員、とび工などの地上部での持上・下げ、運搬作業（比較的軽量物）
 - **外骨格型** : 張芝工、鉄筋組工など中腰を維持しての作業
- **アクティブ** :
 複数回の掘削、重量物の持上・下げ、据付など、力を要する**長時間の連続した工種**

実現場での検証

短時間、特定の模擬作業では
検証が困難だった事項の検証

建設作業からの
PAS機能への
要望

- ① **検証工種・PASの多様化** :
工種・PAS毎の特徴、評価を把握・分析
- ② **実建設現場で検証** :
長時間の作業、短時間の作業
グループ作業で複数者が装着での作業効果検証等
- ③ **装着、使用馴れで効果発揮の期待** :
習熟に一定期間を確保
- ④ **タイプにより効果設計思想が相違** :
設計機能に併せた個別評価指標

- ① **軽量化**
- ② **スリム化又は標準装具との両立**
- ③ **動作円滑性の向上**

現状PASで効果を発揮するユースケース

- 多様な建設施工のうち、**身体負担が大きい苦渋作業**（掘削、持上げ、据付など）において適用可能性が高い
- パッシブ、アクティブで機能が異なるため、特性に応じた使用が必要
- 人力作業が多く、緊急性の面から年代を問わず身体負担が高い作業を強いられることが多い災害現場における対応も適用可能性が高い



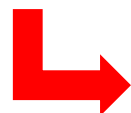
導入効果の評価指標(案)

装着後アンケート、メーカーヒアリングを踏まえた評価指標の追加や改善

- PAS本来の機能評価の面から、装着慣れの度合いによる評価
- PASにより設計機能が異なる点に対応し、長期的な作業、短期の重負荷による疲労の変化等を把握
- 部分的な作業における出来高の評価は困難な面もあり、作業正確性に置き換え

建設作業における評価指標

| | 短期指標 | 中長期指標 |
|----------|---|--|
| 持続的な建設現場 | <ul style="list-style-type: none"> • 負荷・疲労の低減 (長期的な作業) (主観(アンケート)/客観) • 作業の質の確保 | <ul style="list-style-type: none"> • 建設技能者の若手の就労、定着 (新卒3年離職率など) |



- PAS機能に応じた指標を適用する (長期で効果、短期でも効果など)
- 工事目的物に対する出来高の評価は、各動作の作業正確性に置き換える

評価方法等

- 装着慣れ、長期的な利用、短時間の重負荷による変化指標の把握として観測タイミング、観測方法の見直し
- 疲労状況、作業正確性の把握観点から必要に応じて分析や観測方法の変更

| 短期指標 | 検証評価指標 | 計測方法 |
|----------|--|---|
| 負荷・疲労の低減 | <ul style="list-style-type: none"> • 作業疲労度 • 疲労蓄積度 • 各作業における使用PAS適合度 (外した方が作業しやすい等) • 今後のPAS装備継続意向 | <ul style="list-style-type: none"> • 撮影による観測 • 現場立会人による観察 • アンケート • ヒアリング • バイタル機器による測定 (非接触計測、各種の接触計測)※ |
| 作業の質の確保 | <ul style="list-style-type: none"> • 出来高の本人評価 • 作業遂行の安定度・作業のムラの発生 • ヒヤリハットの発生 | ※サンプル調査、詳細は関連研究を踏まえ検討 |

● 補足的に計測

| 計測指標 | 計測指標 | 計測方法 |
|------------|--|--|
| 作業のサイクルタイム | <ul style="list-style-type: none"> • 特定動作(作業)所要時間、休憩時間 • 一連の作業の所要時間 (または一定時間内の動作業処理回数) • PAS着脱等にかかる時間 | <ul style="list-style-type: none"> • 現場時間測定 • 撮影による観測 (補完) |