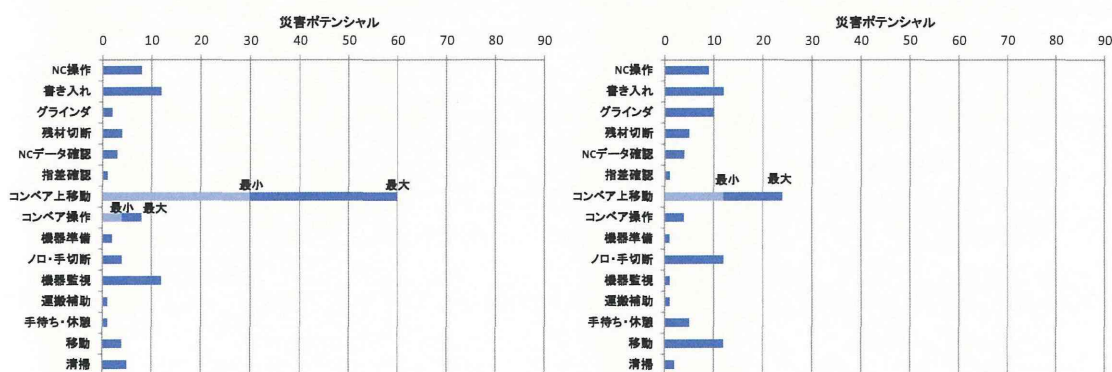


C-1-4-1 切断工程への適用

切断工程における過去の災害事例について要素作業，足元の状態，不安全状態を定め，それぞれについて災害ポテンシャルを求めた。なお，災害事例において，発生場所の足下がプラズマ切断機かレーザー切断機どちらのスラットコンベアか判断できないものについては両方で算出した。個別の災害事例の記載は省略する。

次に，要素作業，足下の状態毎に，災害ポテンシャルを集計し，比較したものを図 C-1-4-1，C-1-4-2 に示す。ただし，同一項目で災害が 2 件以上発生し，災害ポテンシャルを 2 通り以上計算できるものについては，最小値と，最大値を記している。

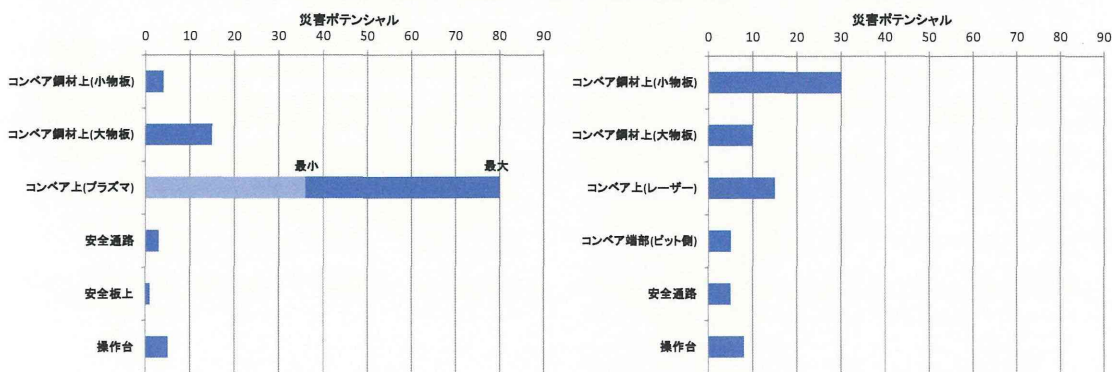
図 C-1-4-1 より，要素作業については，「コンベア上移動」がともに高い。次に，図 C-1-4-2 より，足下の状態については，プラズマ切断機の「コンベア上（プラズマ）」が他に比べ極めて高い。一方，レーザー切断機では「コンベア上（レーザー）」は低く評価された。これより，足下の状態として，「コンベア上（プラズマ）」に対して対策の優先度が高い。



(a) プラズマ切断機

(b) レーザー切断機

図 C-1-4-1 要素作業の災害ポテンシャル



(a) プラズマ切断機

(b) レーザー切断機

図 C-1-4-2 足下の状態の災害ポテンシャル

C-1-4-2 反転機装ブロック現場への適用

機装ブロックの作業現場における過去の災害事例について要素作業、不安全状態を定め、それぞれについて災害ポテンシャルを求めた。

要素作業、足下の状態毎に災害ポテンシャルを集計し、比較したものを図 C-1-4-3, C-1-4-4 に示す。

図 C-1-4-3 より、PDA 作業・安全観測で、不安全発見率と観測比率が高く観測された、「移動」と主作業である「電線敷設・バンド掛け」と「管取付」が高い。ここで「移動」に注目して、図 C-1-4-4 の足下の状態についての災害ポテンシャルを比較すると、管が高く、特に機装作業ではブロック内平坦面と管が他に比べて極めて高くなっている。これより、足下の状態として、ブロック内平坦面と管に対して対策の優先度が高いと考えられる。

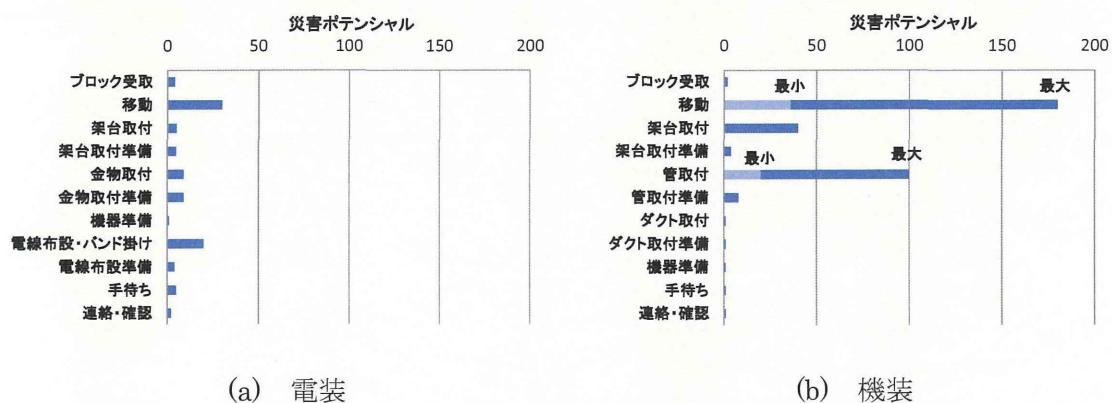


図 C-1-4-3 要素作業の災害ポテンシャル

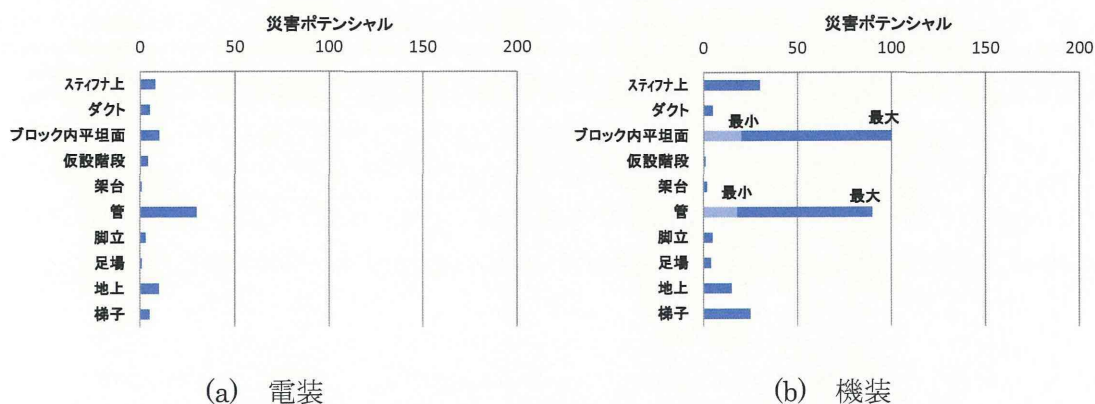


図 C-1-4-4 足下の状態の災害ポテンシャル

C-1-5 ハザード指数によるリスク解析の検討

ここでは、はじめに、作業中の足下の状態に対して転倒・躓きなどの不安全状態へのつながらりやすさを表す“転倒・躓き指数”を表 C-1-5-1 のように定義した。安定して歩行できる平坦路を基準の 1 として、後述の歩行実験の結果を比較して設定した。

表 C-1-5-1 各歩行路環境における転倒・躓き指数の定義

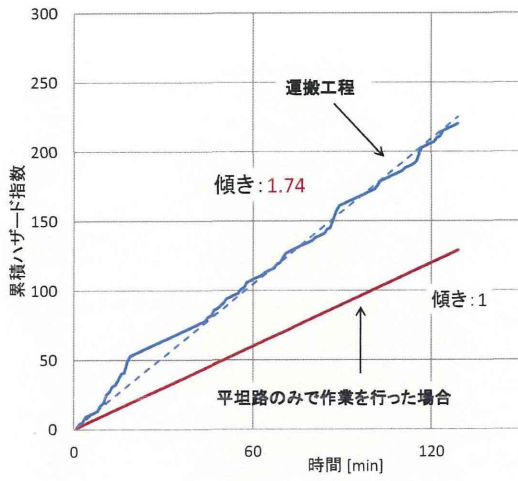
(a) 切断工場

歩行路環境	転倒・躓き指数
スラットコンベア (スラット間隔 100mm)	4
スラットコンベア (スラット間隔 150mm)	6
コンベア鋼材上	2
階段上り	2
階段下り	3
平坦路	1

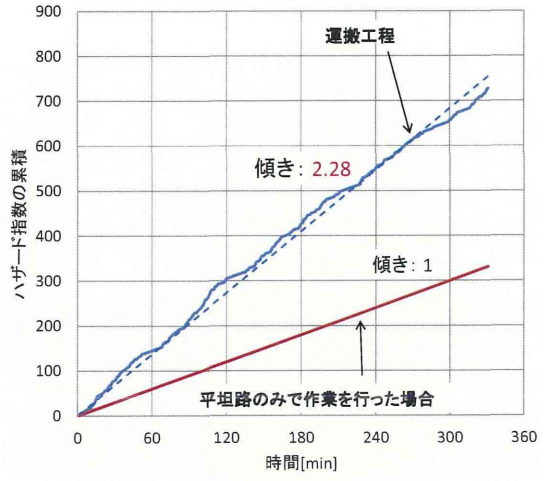
(b) 反転艀装ブロック現場

歩行路環境	転倒・躓き指数
梯子	3
管	6
スティフナ	2
架台	2
ブロック内平坦面	2
階段上り	2
階段下り	3
平坦路 (地上)	1

次に、C-1-3 においてビデオ画像から得られた歩行路環境の推移図において、歩行路環境の暴露時間と転倒・躓き指数の積を求め、その積算を累積ハザード指数と定義し、切断工程と反転艀装ブロックについて求めた例を図 C-1-5-1、C-1-5-2 に示す。図中の点線は、累積ハザード指数の平均の傾きを表す平均ハザード指数を示している。また、全ての作業を地上の平坦面で行った場合の累積ハザード指数も基準として示す。この図により、切断工場の運搬工程は、作業をすべて平坦路で行った場合と比較すると、転倒・躓きに関する危惧が約 2 倍になる。また、反転艀装ブロックでは約 2.5 倍以上になることがわかる。

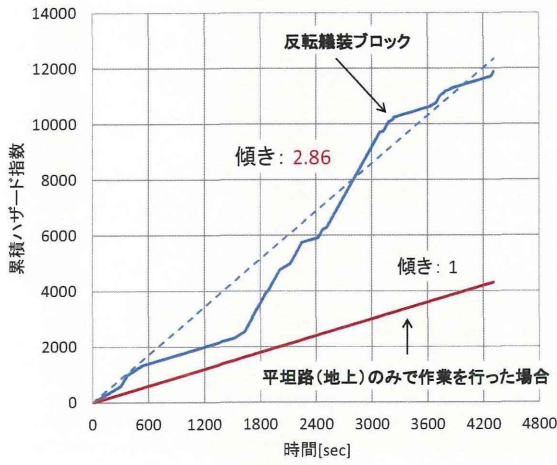


(a)例 1

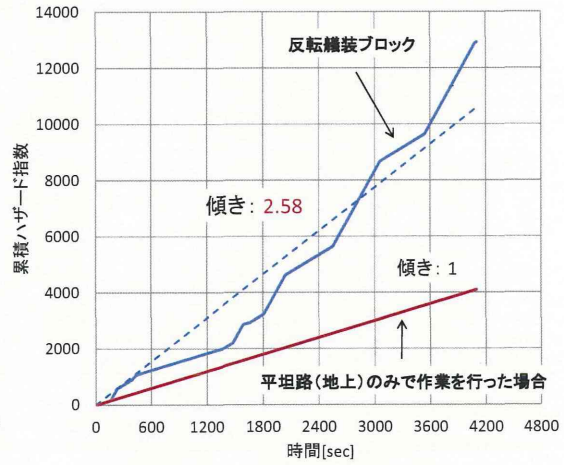


(b)例 2

図 C-1-5-1 累積ハザード指数の例 (切断工程・運搬作業者)



(a)例 1



(b)例 2

図 C-1-5-2 累積ハザード指数の例 (反転機装ブロック現場)

C-1-6 切断工場と反転艤装ブロックにおける不安全状態の特徴

ここでは、PDA 作業・安全観測の結果とビデオ画像による観測およびインタビューから不安全状態の特徴を整理する。不安全状態の例についてビデオ画像から抽出した。

(1) 切断工程

(a) NC 切断機のオペレーター

プラズマ切断機においてコンベア上の移動は不安全状態が多く観測された。また、両切断機において、書き入れ作業で不安全発見率が高く、特にプラズマ切断機においては機器接触の不安全発見率が高い。この作業は主にコンベア上で行われており、NC 切断機を背にしたまま作業を行っている。NC 切断機は大型かつ機器自体が移動するため機器接触に限らず、巻き込まれや切断部での火傷等の危険も懸念される。

(b) 運搬作業

運搬工程では、安全レベルにおいてルール違反と災害直結が観測された。

マグチャックとマグポーターは一度の運搬で鋼板 2 枚までの吸着がルールとされているが、捜査では重量制限を過大視した 3 枚以上吊りが多く観測された。ここでは、運搬中の鋼板の落下が危惧されるが、実際に落下が観測された。マグポーターでは吊荷の重心ズレと荷振れが多く観測された。マグポーターは磁石の吸着面積が小さいため鋼板が縦長な場合に重心がとりづらく荷振れが起きやすい。また、マグポーターでは吊荷の鋼板に乗ったり、位置調整のために足を掛けるのが見られた。鋼板が外れた場合に鋼板がはねて転倒や激突が危惧される。さらに、運搬中の監視不良や不十分な人払いも多く見られ、鋼板の上に小物板を乗せて運搬する危険行為も観測された。

クレーン操作をしながらの階段の昇降や歩行も見られた。階段の場合、バランスを崩した際に手すりを掴めない、階段の踏み外しによる転倒が危惧される。さらに、走行中のクレーンの追い越しや、運転者がクレーンと非常に離れている場面も見られた。この場合ではクレーンの挙動が分かりにくい。人などへの吊荷の激突などの二次災害も危惧される。

(2) 反転艤装ブロック

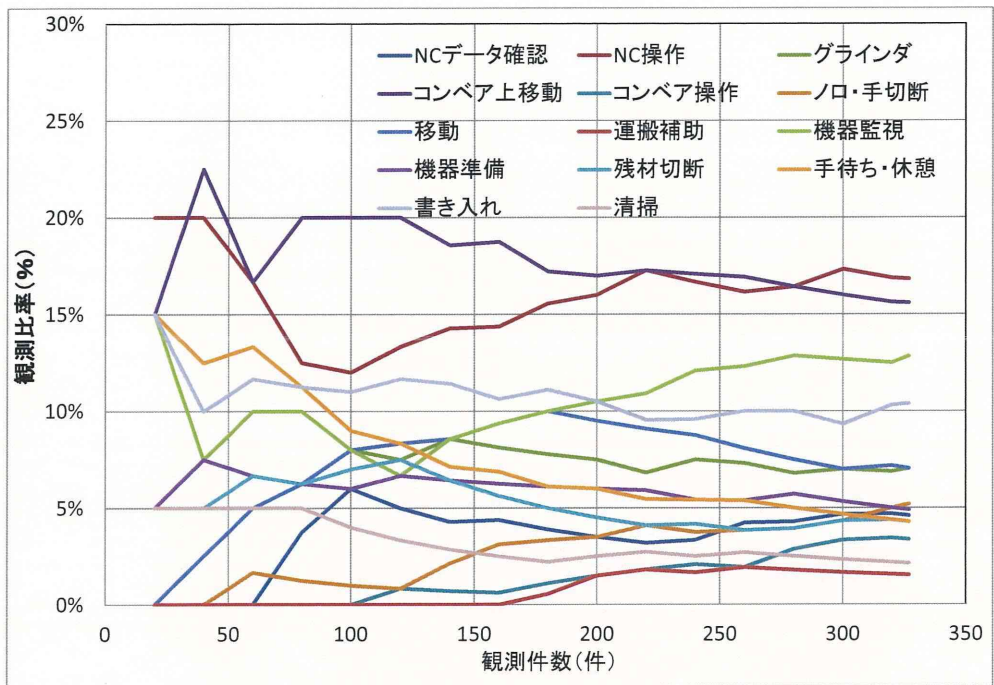
安全带に関するルール違反、墜落・転落、転倒に関する不安全状態が多く観測された。

ここでは高所での作業が多いため、安全带が必要な場面が多いが、安全带の不使用や不適切な使用が多く見られた。

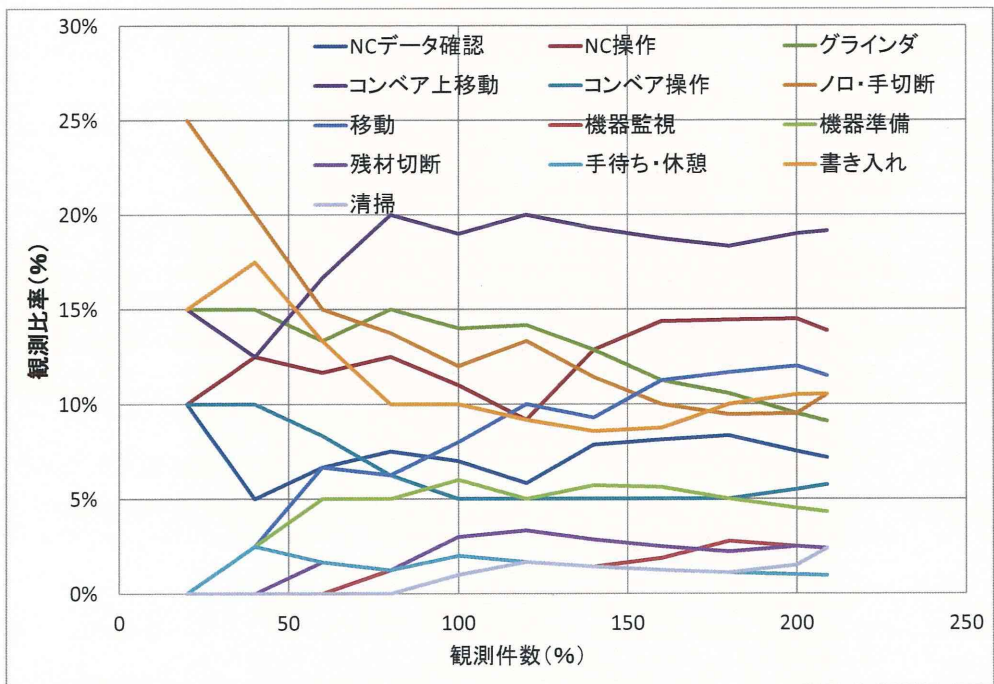
ブロックは受台の上に置かれているため、ブロックには仮設階段が架けられているが、高所に対する慣れから階段を使用せずに直接昇降することが多い。また、ブロック内の区画から区画への移動には一度地上に降りず、区画を隔てるブロック側面の隔壁に手を掛けて乗り移ることも多い。背中を地上側に向けて渡っているときに転落した場合、被害が大きくなる可能性がある。さらに、ブロック上部と平坦面との間の昇降や配管の乗り越えの際に、管の径に関わらず配管を踏み台にすることが多く、踏み外しによる墜落・転落や転倒が危惧される。実際に、管に乗った際のよろめきも観測された。

C-1-7 観測件数の検討

観測件数に対する要素作業の観測比率の変化の例を図 C-1-7-1 と図 C-1-7-2 に示す。切断工程では収束に向かうとそのまま収束するが、反転艀装ブロックでは、収束を始めた後でも、それまでほとんど観測されていなかった作業が増え始め、その後、改めて収束している。これは、切断工程では同じ内容の作業を毎日繰り返すのに対して、反転艀装ブロックでは、作業の周期が長いため、作業観測の日時によって観測される作業内容に偏りがあるためである。以上から、作業観測においては、観測件数だけでなく、対象の工程の進捗と観測比率の収束状況を比べる必要があることがわかった。

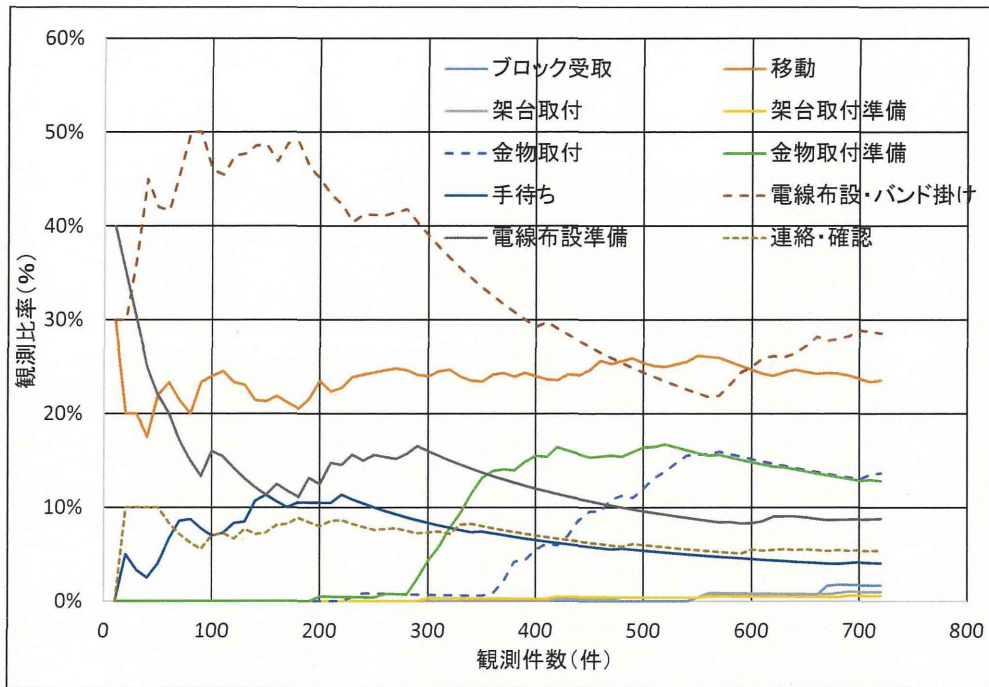


(a) プラズマ切断機オペレータ

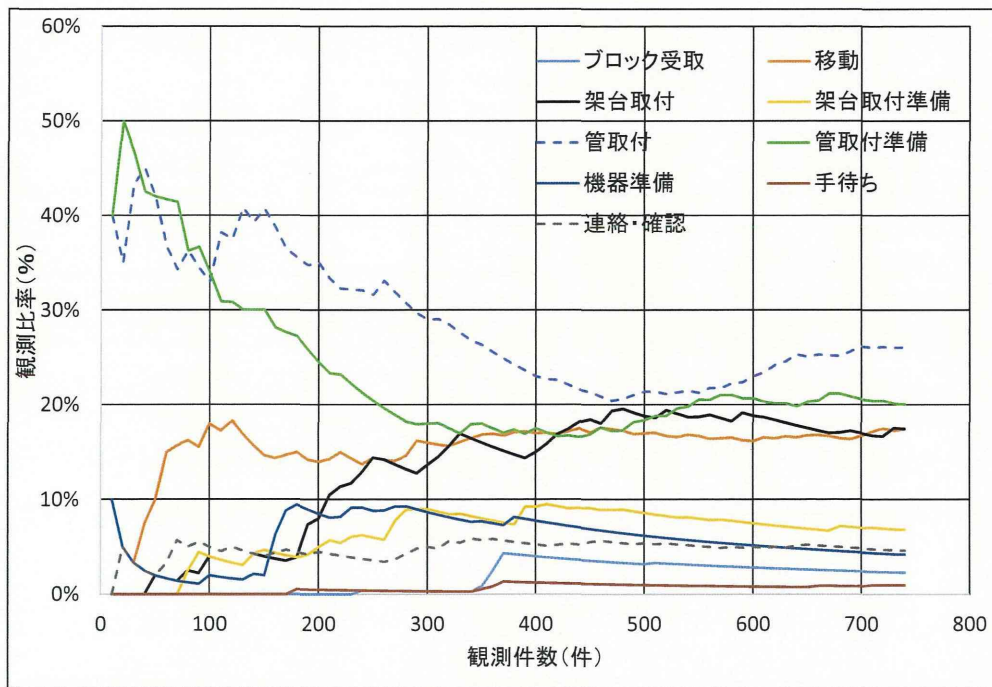


(b) レーザー切断機オペレータ

図 C-1-7-1 観測件数に対する要素作業の観測比率の変化 (切断工程)



(a) 電装作業者



(b) 機装作業者

図 C-1-7-2 観測件数に対する要素作業の観測比率の変化 (反転機装ブロック)

C-1-8 対策マトリックス

ハザードの潜在的危険要因として5つのハザード要因に展開し、それぞれについて現状と3つの視点からなるマトリックスに対策を展開する。例として、切断工程におけるコンベア上移動については表 C-1-8-1、反転艀装ブロックにおける管上の移動については表 C-1-8-2 に示す。

スラットコンベア上の移動については、作業環境の現状は、切断機の種類（プラズマ、レーザー）によって工作上的理由のみでスラット間隔が異なる寸法に決められている。間隔がコンベア上での歩行の身体バランスに影響を及ぼすと考えられ、歩行実験によりコンベア上の歩行路環境の安全性を検討した。

管上の移動については、ブロック

を反転させることで作業効率と安全性の向上を図っているが、作業が進むにつれて足下は管が多く走る状態となり、ブロック内の移動の際には管に乗ることが多いため、歩行実験により管上の歩行路環境の安全性を検討した。

表 C-1-8-1 ハザード対策マトリックス (スラットコンベア上の移動)

ハザード検討対象:コンベア上の移動 危険項目:躓き・転倒の恐れ		人間	危険回避・防護 (Risk Avoidance)		危険源		
		人間・作業従事者 (Man) 身体状況、健康状況、 心理・精神状況、 技量、知識、 コミュニケーション	リスク回避・ハード (Hardware) 防護具、防護施設	管理 (Management) 組織、管理規定、 工程計画、 教育・訓練方法、 手順書、マニュアル、 チェックリスト、表示	作業基準 (Machine) 設備、機械、器具、 機能、配置、強度、 品質	作業環境 (Environment) 施設、設備、 歩行路環境、 足下状況、 労働時間、勤務時間、 工程余裕	
対策	現状 (Event)		・スラット上でクレーン操作を行う。 ・スラット上での歩行方法に問題がある。 ・靴底がスラットのバリに噛み、躓き転倒する恐れがある。		安全・作業改善活動の効率が十分でない。	・スラットへの躓きや甲プロの引っ掛かりによる躓き転倒が心配である。 ・歩行板(ベニヤ板、エキスパンドメタル)を使っていない。	スラットの歯の幅が150mmと中途半端な幅である。
	教育的対策 (Education)	知識教育 意識教育 実技教育 危険体験センター	歩行方法を確認する。 定期的な安全靴の交換が必要である。		定点カメラの動画の作業・安全分析をチーム内で定期的に行い、発表会を行う。		
	工学的対策 (Engineering)	安全改善 作業環境改善 表示・警報 多重化 仕様変更 工程変更・削除 フェールセーフ	安全な歩行方法を人間工学的検知で検討する。(歩行実験)	スラットの適正幅を人間工学的検知で検討する。(歩行実験)		スラットを定期的に交換する。 歩行板を軽くなる(アルミ製)。	・スラットの形状を検討する。(例)レール型のスラットにする。 ・天板がグレーチング形状のエスカレーター方式のコンベアにする。
	確実に実施するための対策 (Enforcement)	規定化 手順の設定 注意喚起 事例の表示 模範の提示	相互忠告による注意喚起を行う。	人間工学的に検討した内容を作業員へ周知する。	作業・安全分析を週に一度就業時間内に業務として設定する。		スラットの交換基準を策定する。

表 C-1-8-2 ハザード対策マトリックス (管上の移動)

		ハザード検討対象: 管上の移動 危険項目: 墜落・転落, 転倒				
		人間	危険回避・防護 (Risk Avoidance)		危険源	
		人間 (Man) 身体状況、健康状況、 心理・精神状況、 技量、知識、 コミュニケーション	リスク回避・ハード (Hardware) 防護具、防護施設	管理 (Management) 組織、管理規定、 工程計画、 教育・訓練方法、 手順書、マニュアル、 チェックリスト、表示	作業基準 (Machine) 設備、機械、器具、 機能、配置、強度、 品質	作業環境 (Environment) 施設、設備、 歩行路環境、 足下状況、 労働時間、勤務時間、 工程余裕
対策	現状 (Event)		・管上を伝って移動したり、管上で作業を行ったりすることが習慣化している。	・安全帯を使っていない。適切に使われていない。	・安全・作業改善活動の効率が十分でない。 ・作業中の管へ乗ることに対するルールが決められていない。	・作業が進むにつれて作業足下に管が多く走る環境となる。
	教育的対策 (Education)	知識教育 意識教育 実技教育 危険体験センター	・歩行方法を確認する。	・安全帯の使用ルールの再教育。	・定点カメラの動画の作業・安全分析をチーム内で定期的に行い、発表会を行う。	
	工学的対策 (Engineering)	安全改善 作業環境改善 表示・警報 多重化 仕様変更 工程変更・削除 フェールセーフ	・管上に乗ることの不安要素を人間工学的検知で検討する。(実験)		・作業の工程管理が適切か検討する。	
	確実に実施するための対策 (Enforcement)	規定化 手順の設定 注意喚起 事例の表示 模範の提示	・相互忠告による注意喚起を行う。 ・人間工学的に検討した内容を作業者へ周知する。	・相互忠告による注意喚起を行う。	作業・安全分析を定期的に就業時間内に業務として設定する。	・管に乗ることに対するルールを作る。(禁止、または管径)

C-2 足圧力分布を用いた歩行の安全性評価

C-2-1 歩行実験の目的

ここでは、安全対策の検討として、切断工程および反転機装ブロックでよく現れる歩行路環境の安全性について検討した。歩行路環境としては、スラットコンベア上の歩行、管上の歩行、階段の昇降、傾斜路について実験を行い、これらの環境における歩行のリスクコントロールオプションの検討を行った。

C-2-2 歩行実験の概要

C-2-2-1 使用機器の概要

被験者の安全靴の中敷きにセンサーシートを入れ、歩行時の身体バランスとして歩行中の足底の圧力分布の時系列データを取得する。ここでは、足裏が床面から受ける反力を計測できるF-スキャン(足圧力分布測定システム)を用いて実験を行った。10秒間に1000フレームの計測が可能である。システムの概観を図C-2-2-1に示す。また、歩行中の時系列の圧力分布の時間変化の例を図C-2-2-2に示す。



図 C-2-2-1 F-スキャン(足圧力分布測定システム)

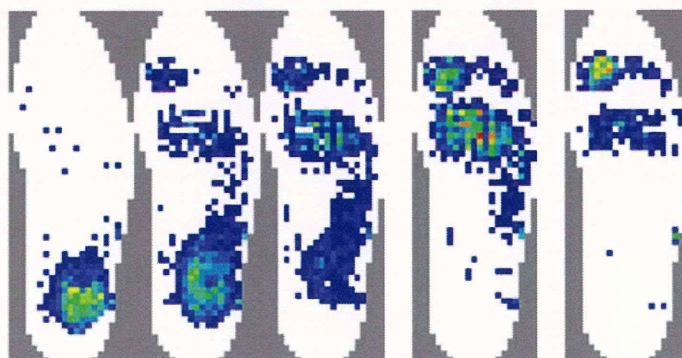


図 C-2-2-2 歩行中の足圧力分布の時間変化の例

C-2-2-2 歩行のメカニズム

(1) 歩行サイクル

歩行サイクルは、片足が踵から着地し、つま先で蹴って床から足が離れるまでを1歩行周期とし、1歩行周期は5段階(Phase)に分けられる。以下に各Phaseにおける歩行動作と足圧分布図を図C-2-2-3に示す。

- <Phase1> 足が地面に触れた瞬間で、床との接触は踵によってなされる。
- <Phase2> 両足接地の期間である。この状態は最初の床接地に始まり、もう一方の足が地面から離れるまで続く。
- <Phase3> 片足支持期間の前半である。色付きの足の膝・股関節が伸びている間に、もう一方の足が接地している足を越えて前進する。
- <Phase4> 片足支持期間の後半である。色付きの足の踵が浮くときに始まり、もう一方の足が地面に着くときまで続く。
- <Phase5> 歩行サイクルの最後の接地状態であり、2度目の両足接地期間である。

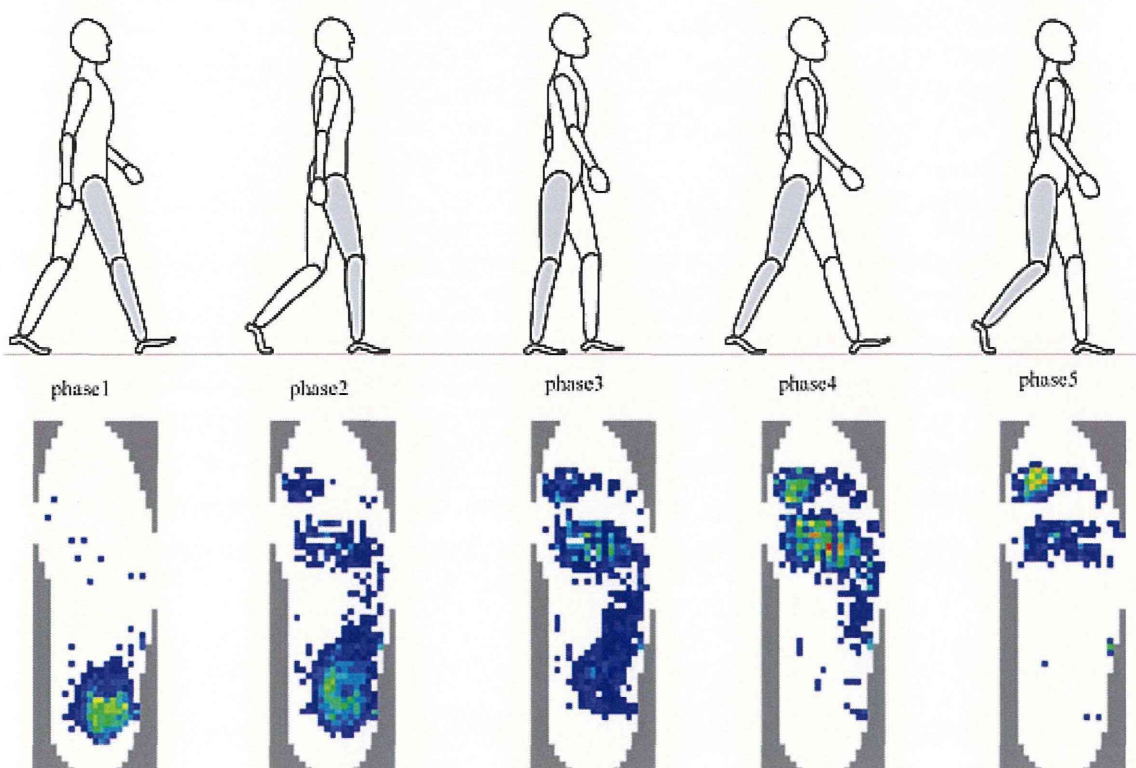


図 C-2-2-3 歩行サイクルと足圧分布図

(2) 歩行時の足底荷重の時間変化

安定して歩行できる平坦路において、足底が受ける荷重の1歩行周期中の時間変化の例を図 C-2-2-4 に示す。ここで、荷重は足底全体の足圧の合計から求められる。この図のようにM字型を示す。始めに現れるM字の左の山は Phase1 から Phase2 にかけて踵の着地時のインパクトを表し、谷は Phase3 においてもう片方の足が着地足を追い越している時で、右の山は Phase4 から Phase5 にかけてつま先が地面を蹴る状態に対応している。つまり、安定した歩行を行える平坦路では、荷重の時間変化がM字型をしており、理想的な荷重の移動ができています。

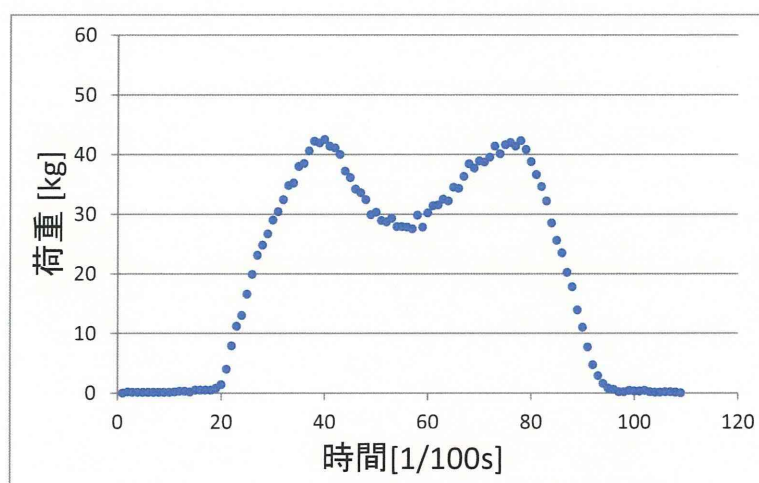


図 C-2-2-4 平坦路の歩行における荷重の時間変化

C-2-3 スラットコンベアのモックアップを用いた歩行の安全性評価

C-2-3-1 歩行実験の概要

前年度までの検討で、実際のコンベアでスラット間隔 150mm と 100mm について歩行実験を行い、スラット上の歩行路環境では、身体バランスが安定した歩行を保つには、スラット間隔と歩行角度が歩行路検討の重要な要素であることがわかった。ここでは、スラット間隔を 10mm 単位で調整できるようにボルトでスラットを固定したモックアップにおいて歩行実験を行った。図 C-2-3-1 にモックアップにおける歩行実験の概要を示す。歩行時の身体バランスに影響を及ぼすと考えられる歩行路環境の要因として、スラット間隔を 50mm から 150mm まで 10mm 間隔、歩行角度は 0 度、30 度、45 度、60 度、90 度を実験条件を設定して行った。安定した歩行が行える歩行路環境として平坦路についても行った。被験者には歩きやすい歩行方法(足運び)で歩いてもらい、歩きやすさの印象についてインタビューを行った。ここでは、被験者は、学生 3 名(X~Z)とした。

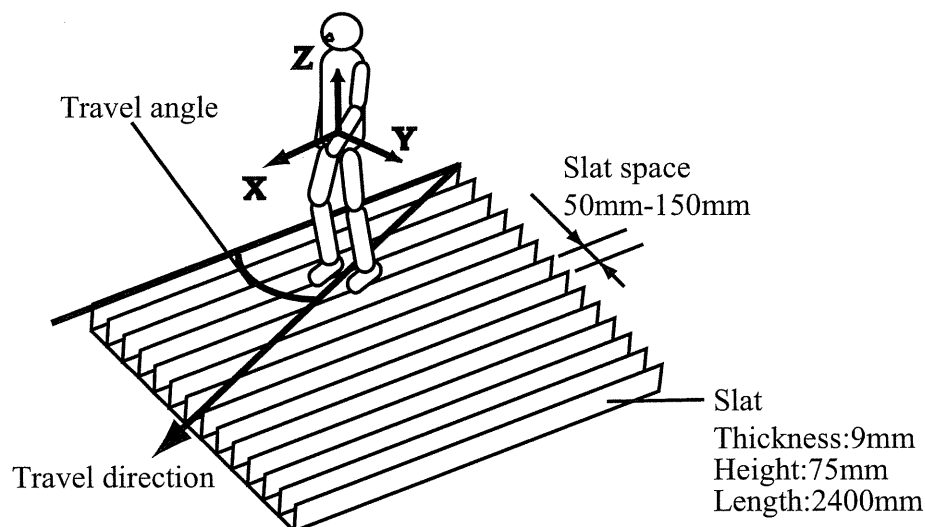


図 C-2-3-1 スラットコンベアのモックアップを用いた実験の概要

C-2-3-2 スラットコンベアにおける足運び

作業員へのアンケートによるとスラットコンベアを横断する時、作業員は歩行距離が短くなるように、スラットに対して浅い角度で歩くことが多い。しかし、浅い角度で歩くと靴底で支えるスラットの本数が減り、身体のバランスを崩しやすくなる。

実験から、スラット上での足運びは図 C-2-3-2 に示す 5 種類に分けられる。また、実験における足運びを歩行角度で整理した例を表 C-2-3-1 に示す。この表より、スラット間隔が広くなるにつれ、通常の足運びが難しくなり、また、歩行角度の浅い 0 度、30 度では通常の歩行が難しくなり、靴底を支えるスラットを踏める足運びを選んでいる。このことからスラットコンベア上での歩行角度は 45 度以上が歩きやすく、歩行の安全性を検討する上で歩行角度は重要な要素であることが分かる。

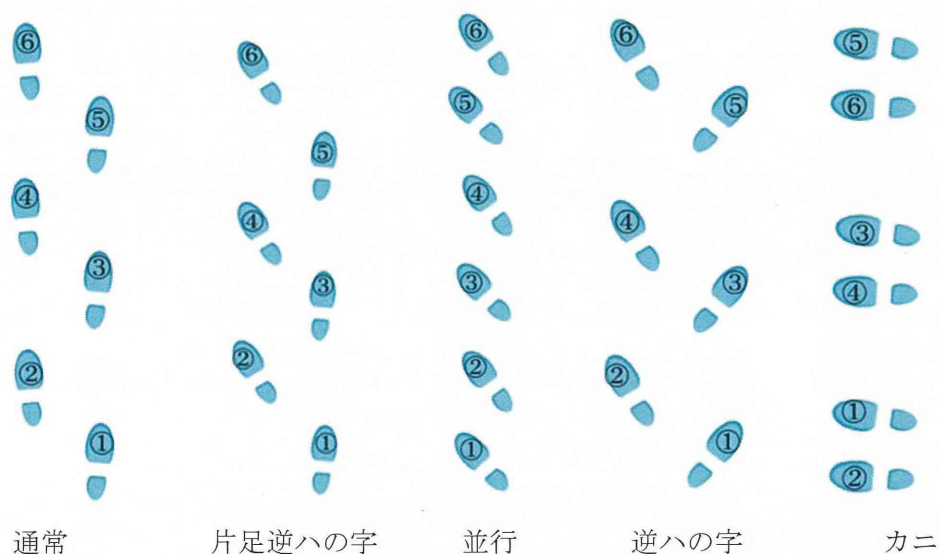


図 C-2-3-2 スラット上の足運びパターン

表 C-2-3-1 スラットコンベアにおける足運びの変化の例 (被験者 X)

スラット間隔	歩行角度				
	0°	30°	45°	60°	90°
50mm	通常	通常	通常	通常	通常
60mm	通常	通常	通常	通常	通常
70mm	逆ハ	通常	通常	通常	通常
80mm	逆ハ	通常	通常	通常	通常
90mm	並行	通常	通常	通常	通常
100mm	並行	並行	片足逆ハ	通常	通常
110mm	並行	並行	並行	通常	通常
120mm	並行	並行	並行	通常	通常
130mm	並行	並行	並行	通常	通常
140mm	並行	並行	並行	通常	通常
150mm	並行	並行	並行	通常	通常

C-2-3-3 スラットコンベア上の歩行の特徴

(1) 足底荷重の時間変化

C-2-2-2 で述べたように平坦路における歩行では理想的な荷重の移動ができるため、足底荷重の時間変化は図 C-2-2-4 のように M 字型になるが、スラットコンベア上ではつま先で地面を十分に蹴ることが難しくなり M 字の右のピークが現れず図 C-2-3-3 のようになる。

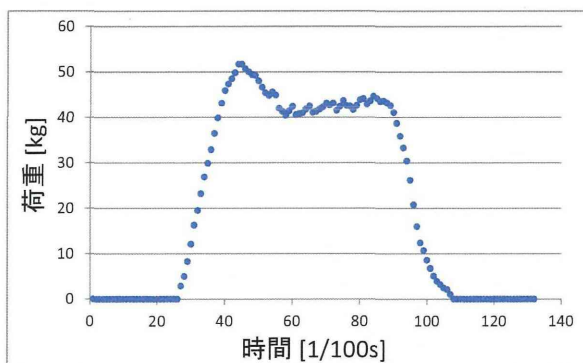
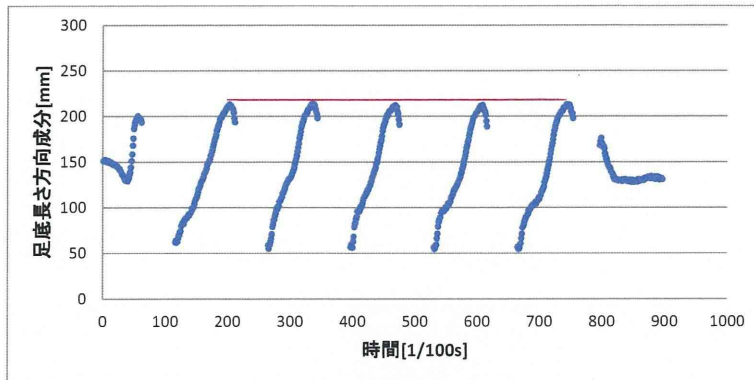


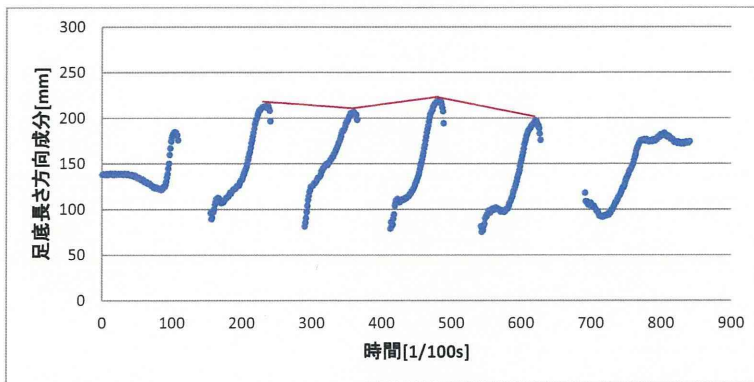
図 C-2-3-3 スラットコンベア上での歩行における荷重の時間変化

(2) 荷重中心移動の時間変化

平坦路における歩行では足底の圧力分布は図 C-2-2-3 のように荷重は踵からつま先の方へ移動する。ここでは、圧力分布の代表値として圧力分布の重心（荷重中心）の位置の時系列変化を比較した。例を図 C-2-3-4 に示す。この図において、赤線で結ばれたピークは歩行サイクルの Phase5 におけるつま先が地面から離れる位置を表している。この位置に注目すると平坦路ではほぼ一定であるのに対して、スラットコンベア上ではゆらぎが見られる。



(a) 平坦路の歩行



(b) スラットコンベア上の歩行 (スラット間隔 150mm, 歩行角度 90°)

図 C-2-3-4 荷重中心の時間変化 (足底長さ方向成分)

C-2-3-4 荷重中心のピークのゆらぎによる安全性評価の検討

ここでは、歩行路環境とつま先の荷重中心のゆらぎを比較した。荷重中心のゆらぎは、ピークの位置の標準偏差を用いた。

(1) スラット間隔による比較

始めに、実際のスラットコンベアについて、間隔 150mm と 100mm における歩行を比較した例を図 C-2-3-5 に示す。左右の足で小さい方の偏差で比べる。150mm に比べて 100mm の偏差が小さくなっており、被験者の印象と一致している。

次に、モックアップ実験においてスラット間隔を 150mm から 50mm まで 10mm 間隔で段階的に狭めて比較した例を図 C-2-3-6 に示す。これより、偏差は、いずれの歩行角度でも、スラット間隔が狭くなるにつれて小さくなっている。また、100mm から 90mm の間で大きい偏差の減少がみられる。これらも被験者の印象と一致している。

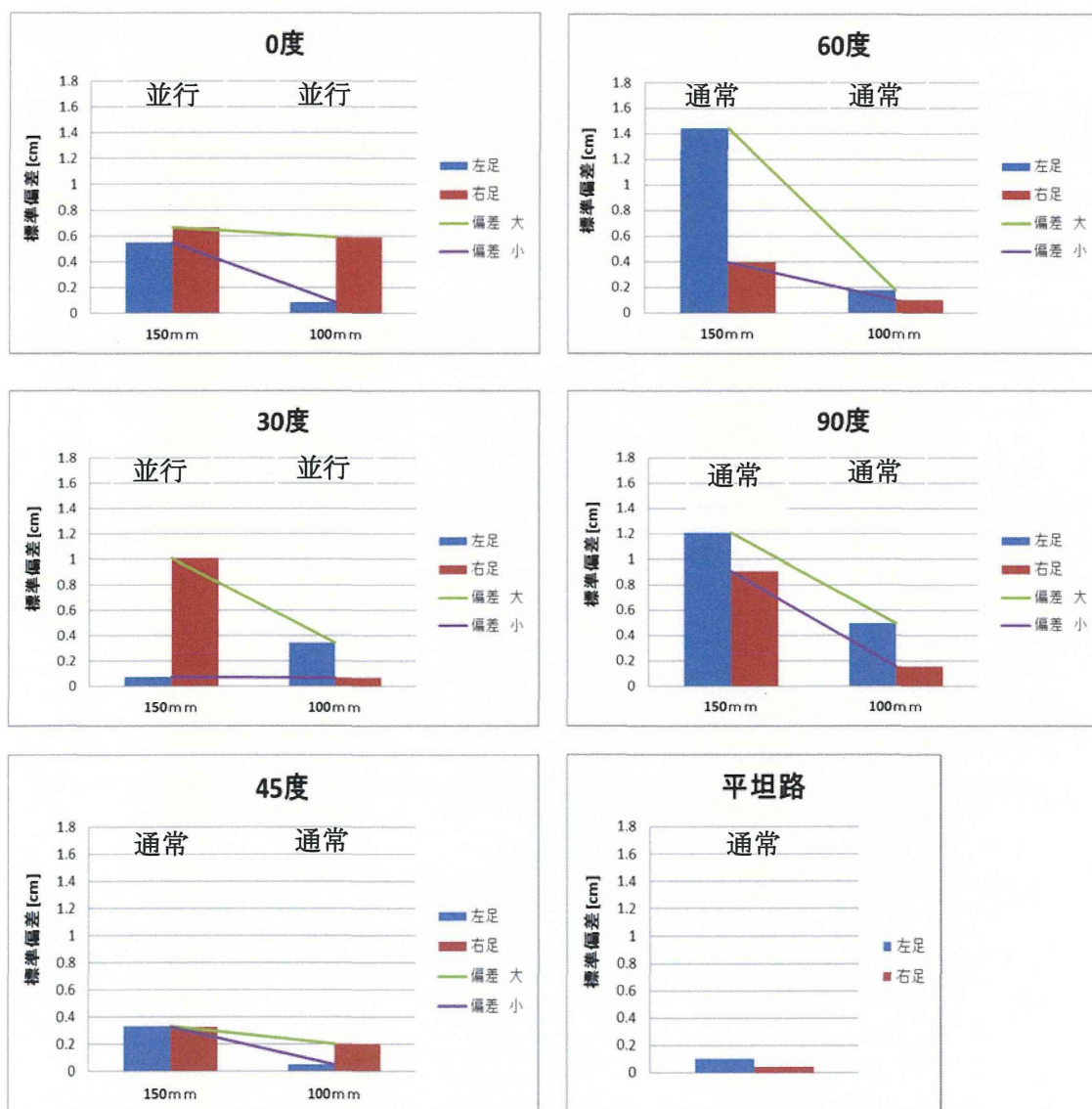


図 C-2-3-5 実際のスラットコンベアにおけるスラット間隔による比較 (被験者 A)

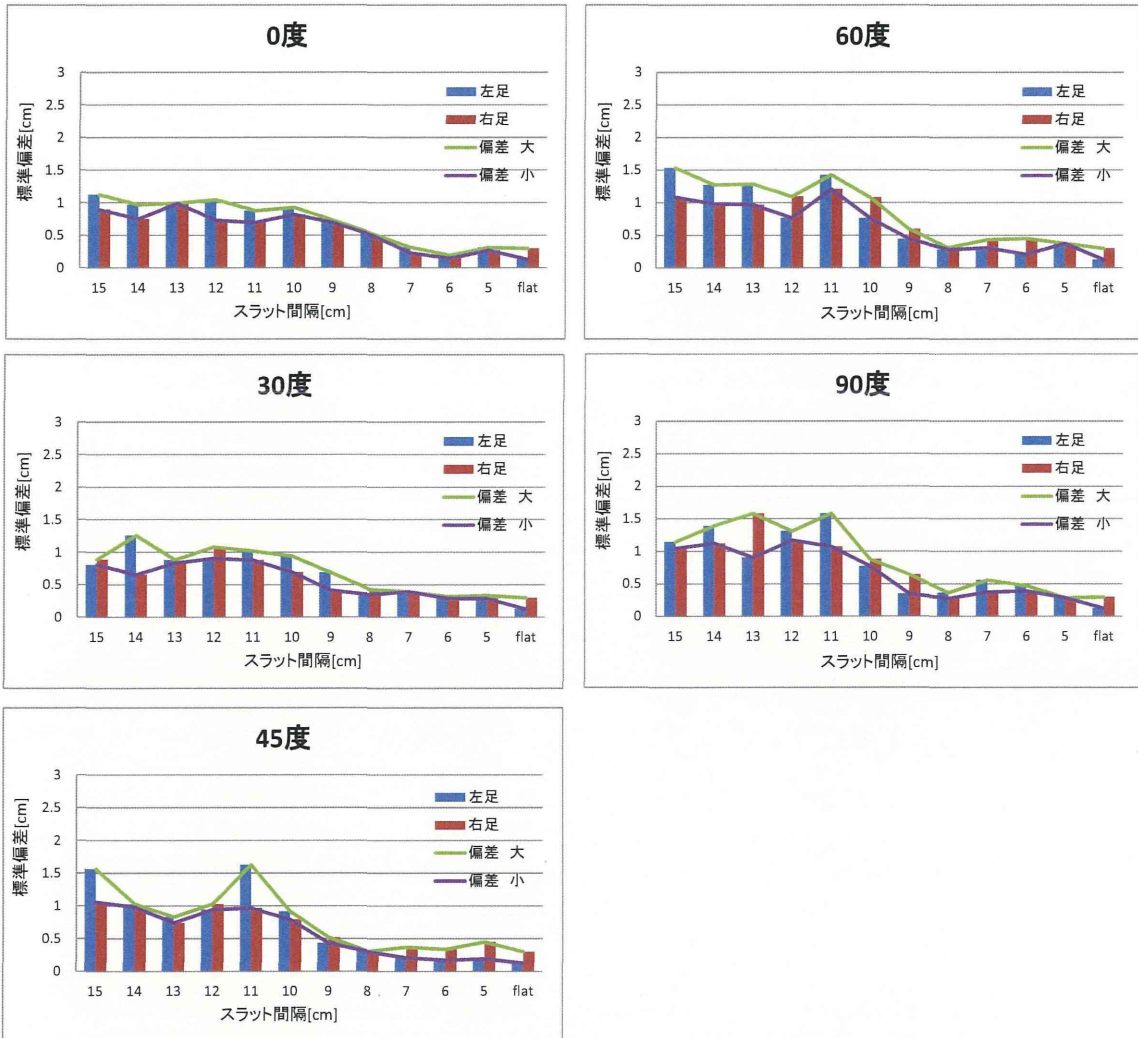


図 C-2-3-6 モックアップにおけるスラット間隔による比較 (被験者 X)

(2) 歩行角度の検討

これまでの研究で行った実際のスラットコンベアでの間隔 150mm と 100mm での実験をスラット間隔別に比較した例を図 C-2-3-7 に示す。この図より、概ね 45 度と 60 度で極小を示す。これは、インタビュー調査によると表 C-2-3-2 に示すように、45 度、60 度方向によく歩き、歩きやすいと感じている結果と一致する。よって、スラットコンベア上での歩行角度は 45 度以上が望ましく、特に 45 度、60 度で安定した歩行がしやすいことが分かる。