

C-3-2-5-4 下り動作の安全性評価

(1) 蹴り出し (Phase4) における荷重値による安全性評価

この階段では、傾斜角度が大きくなると一段あたりの水平方向の前進距離が小さくなる。ここでは、つま先で蹴り出す時 (Phase4) の荷重値を比較した。30度と56度での荷重値を比較した例を図 C-3-2-5-6 に示す。この図において、蹴り出しは M 字の右の山に相当する。30度に比べて56度では蹴り出しに相当する山が崩れ、小さい。これは、傾斜が急になると一歩で踏み出す距離が短いため、蹴り出す荷重も小さくなることを表していると考えられる。荷重値が小さいと床面にかけられる摩擦力が減少し、もし外乱があった場合に身体バランスを保てないことが危惧される。

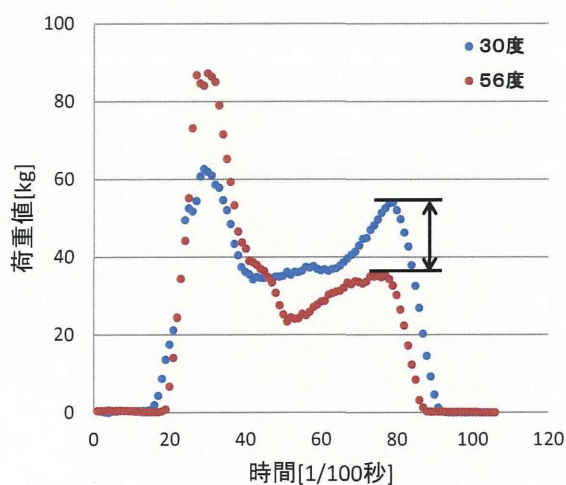
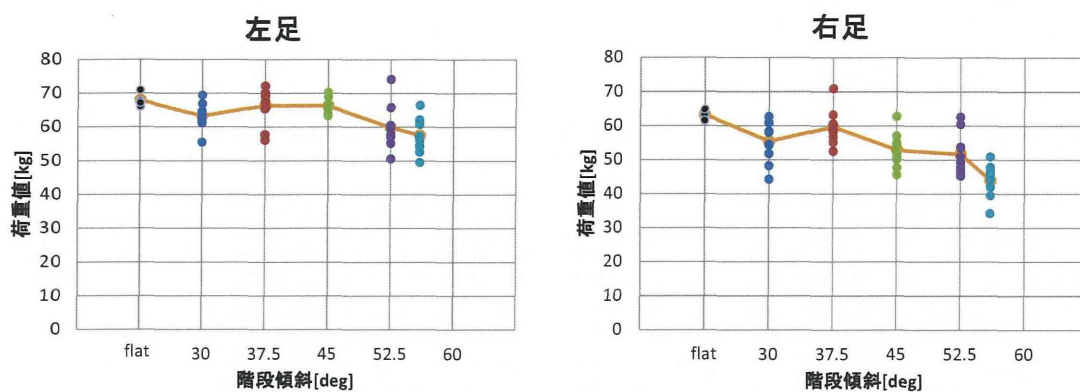
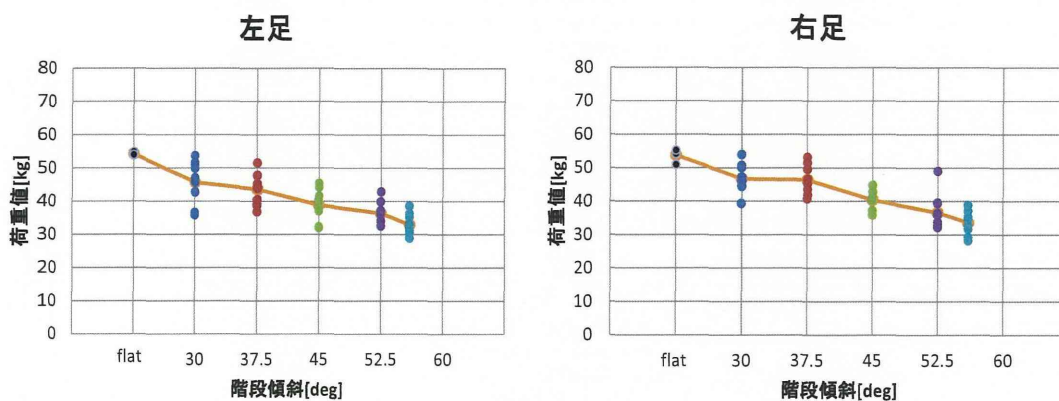


図 C-3-2-5-6 つま先が蹴り出す時の荷重値の階段の傾斜角度による比較 (下り, 左足)

次に、図 C-3-2-5-7 に示すように傾斜で比較した。傾斜 45 度辺りを境に荷重値が大きく減少しており、この辺りに身体バランスが変わる境界があると考えられる。



(a)被験者 A



(b)被験者 B

図 C-3-2-5-7 蹴り出し時の荷重値の階段の傾斜角度による比較

C-3-2-6 傾斜路の歩行の安全性評価

C-3-2-6-1 実験の目的

一般に造船所では、船体ブロックの斜面を持つ外板上で作業を行うこともある。傾斜面でも転倒や躓きが危惧される。ここでは、傾斜路で歩行実験を行い、傾斜面における歩行の安全性を検討した。

C-3-2-6-2 実験の方法とその条件

傾斜角 15 度の傾斜路において上りと下りの歩行を行った。被験者は、学生 2 名、教員 1 名(A~C)とした。

C-3-2-6-3 支持位置と荷重中心の位置関係による安全性評価

C-3-2-4-5 と同様に、図 C-3-2-6-1 に示すように支持位置と荷重中心の位置の距離を傾斜角度で比較した。上りは平坦路での歩行に比べて小さくなり、身体バランスを崩しやすいと考えられる。被験者へのインタビューによると、傾斜路では着地時の足とインナーソールのすべりが強いとの感想が多いことから、傾斜路の評価には足底に働くせん断力も考慮した評価が有用であると考えられる。

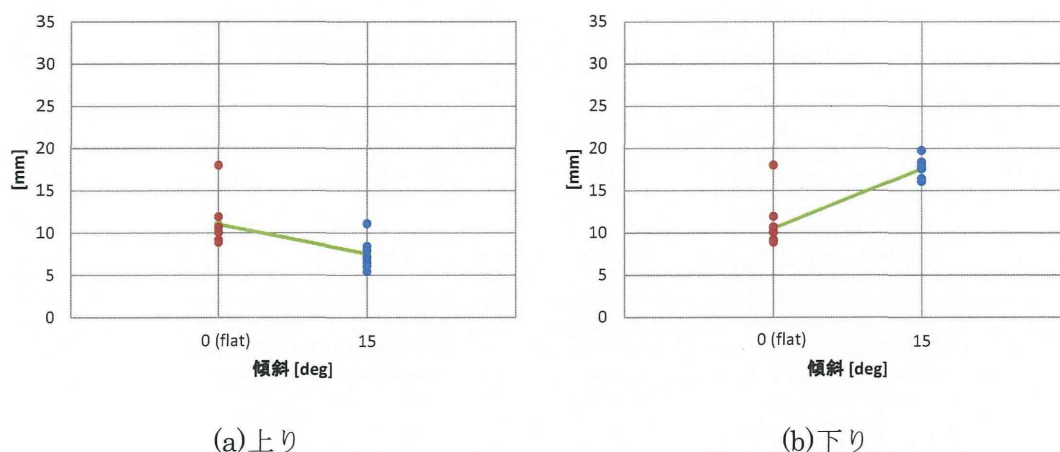


図 C-3-2-6-1 支持位置と荷重中心位置の距離の傾斜路における比較 (左足)

D. 考察

作業・安全の向上のためのリスクアセスメントのシステム構築を行い、実際の造船所において適用を行うことや、計測による検討から以下について、以下の知見を得た。

(1) リスクアセスメントツールの改良の検討

作業にはリスクアセスメントは必ずしも馴染みがなくリスクアセスメントシステムを現場に適用し易いように工夫をしていく必要がある、さらに導入課題を研究課題として取り組む必要があるこのための検討を行い、以下を確認した。

1) PDA 入力 of 課題として、作業者は携帯電話等の操作やスマートフィンの普及から PDA 導入の障害は比較的低い、入力画面が狭いため、さらに入力しやすいデザイン上の工夫を行った。

2) 作業・安全観測項目作成の課題として、作業・安全観測項目作成には作業や安全の熟知が前提となる場合がある。このため、一般的な建造工程や不安全に関わる観測項目として用意して、例示項目を選択して観測項目を構成できるようシステム上の工夫を行った。

3) リスクアセスメントの運用の課題として、現場ではリスクアセスメントの運用や作業・安全リスク分析への抵抗感がある。リスクアセスメントの定型化、リスクアセスメント分析の簡易化、対策案の設定方法や運用方法の整備から解決を図った。

(2) リスクアセスメントシステムの現場への適用

提案するリスクアセスメント法の造船所への現場の適用例を増やすことにより、課題点の抽出と改良を図った。作業・安全のためのリスクアセスメントについて、労働安全上の危害となりうるハザードの同定から、PDA 作業・安全観測ツールを造船所の実際の現場での適用性への改善や、リスクアセスメント手順書の整備によりリスクアセスメントの定型化について検討を行った。

主な適用工程としては、造船所の鋼材切断工場での鋼板切断工程と、外業での艀装工程について、複数の造船所において実施して、以下を確認した。

- ・ 従来でも造船所の現場では、言葉による評価から定性的なリスクアセスメントについて検討がなされていたが、本方法である PDA 作業・安全観測ツールによる作業や安全の定量化が可能で有り「見える化」には有効なツールとして現場でのニーズも高いことが分かった。
- ・ 得られた観測データについて集計方法の検討を行った。要素作業と不安全状態の関連分析や、不安全状態での要因の同定について検討を行い、安全上の課題を抽出する際に有効な方法であることを確認した。
- ・ 要素作業について過去の災害発生状況や災害の起こりやすさを定量化するために、災害ポテンシャルの定義を行い、適用工程での各要素作業について試算した。これにより災害が危惧される対策を取るべき対象の順位付けについて検討を行い、その有効性を確認した。
- ・ 災害が危惧される要素作業について、ハザード・対策展開法による対策の立案方法の検討を行い、ハザードに着目した対策の立案への有効性を確認した。

(3) 計測に基づく歩行路環境の評価方法の検討

計測に基づく安全歩行の評価方法の検討として、造船所内において各種の想定される歩行路環境について検討を行うため、スラットコンベヤ上の歩行、傾斜角度の異なる階段上の歩行や勾配のある歩行路、さらに管やスティフナー上での歩行について、現場の足下環境を模擬したモックアップを作成することや実際の現場において、歩行足圧センサーを用いた計測による検討を行い、以下を確認した。

- ・ 安全歩行のためのスラット間隔の検討として、安定な歩行路環境である平坦路上の歩行の際に現れるゆらぎの特徴量とスラットコンベヤ上の歩行のゆらぎの特徴量を不一致度による比較を行い、スラット上の歩行路環境の安全性の評価を行うことにより、スラットコンベヤのリスク削減対策として、スラット間と歩行角度について検討を行った。
- ・ 歩行の際に足裏に現れる荷重中心の移動軌跡について、安定な歩行路環境である平坦路

上の歩行と各歩行路環境との比較を行い、身体バランスの変化に与える影響を評価することにより安全性評価の検討を行った。

- ・ 各歩行路環境において、条件値として勾配等を変えることにより、身体バランスの変化に与える影響の限界値について算定を行った。
- ・ 歩行路環境の実験結果に基づき、通常に行われる作業の足下環境の危惧度について、足下環境に暴露される時間を評価するためにハザード指数の定義を行い、暴露による累積値の傾きと平坦路での足下環境との比較から、危惧度について検討を行い、有効性を確認した。
- ・ 上述の計測に基づく歩行路環境の評価法の検討から、作業の有するリスクについて作業環境からもアセスメントの定量化について検討を進められることを確認した。

E. 結言

本研究では、作業・安全の向上ためのリスクアセスメントのシステム構築を行い、PDA 作業・安全観測ツールを造船所現場での運用性を高める改善や、リスクアセスメント手順書の整備によりリスクアセスメントの定型化から整備を行い、安全対策案を立案する手助けとなるハザード・対策展開法による対策の立案方法を提案した。これらを基にして作業安全のためのリスクアセスメントを実際の複数の造船所において試験的な運用を行い手法の有効性を確認した。さらに、作業をする際の体を支える作業場所の環境評価や歩行路の評価として、モックアップ実験や実際の造船所での計測を行い、これらの安全性の評価の検討を行い、提案する計測に基づく作業場所や歩行路環境の評価法から、作業の有するリスクについて作業環境からもアセスメントの定量化について検討を進められることを確認した。

以上より、リスクアセスメントから対策の検討までを一貫して行い、提案したリスクアセスメント方法の有効性を確認した。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

学会発表

- 1) 篠田岳思, 熊田徹, 田中太氏, ネットワークカメラによる造船工場の作業・安全観測システムの構築に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集,第12号,pp.285-286,2011年
- 2) 篠田岳思, 木村孝司, 田中太氏, 小林晃大, 船舶居住区の快適性および省エネ性向上のための温熱環境設計に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集,第12号,pp.263-264, 2011年
- 3) 竹内淳, 福地信義, 篠田岳思, 造船所における暑熱環境下作業のための温熱環境評価と熱対策に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集,第12号,pp.289-292,2011年
- 4) 田中太氏, 篠田岳思, 中尾友彦, 造船工場の歩行路環境の安全性評価のための歩行分析に関する研究- NC コンベアラインへの適用-, 日本船舶海洋工学会講演会論文集,第12号,pp.287-288,2011年
- 5) 田中太氏, 篠田岳思, 中尾友彦, 造船工場の歩行路環境の安全性評価のための歩行分析に関する研究- NC コンベアラインへの適用-, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第12号, pp.287-288, 2011年
- 6) 篠田 岳思, 田中 太氏, 柳原 史希, 熊田 徹, 瀬々 さおり, ネットワークカメラによる造船工場の作業・安全観測に関する研究 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第13号, p p.99-100, 2011年
- 7) Takeshi Shinoda, Takashi Tanaka, evelopment of Risk Assessment Methodology for Occupational Safety in Using Work Observation Technique, SNAME Annual Meeting 2012,2012.10, Providence, RI, USA
- 8) 篠田 岳思, 田中 太氏, 柳原 史希, 熊田 徹,造船工場の作業・安全向上のためのネットワークカメラ観測システムの構築に関する研究,日本船舶海洋工学会秋季講演会,2012.11, 千葉県柏市
- 9) 田中 太氏, 篠田 岳思, 松本拓久,造船工場の歩行路環境の安全性評価に関する研究- NCコンベアのスラット間隔が与える身体バランスへの影響-,日本船舶海洋工学会秋季講演会,2012.11, 千葉県柏市
- 10) 田中 太氏, 篠田 岳思, 松本拓久,造船工場のNCコンベア上の歩行環境の安全性評価に関する研究,日本船舶海洋工学会春季講演会,2012.05,兵庫県神戸市
- 11) 竹内淳, 篠田岳思, 松尾充洋, 造船所における暑熱下作業環境の評価に関する研究, 日本船舶海洋工学会春季講演会,2012.05, 兵庫県神戸市
- 12) 篠田 岳思, 田中 太氏, 西口 純平,造船工場の作業・安全モニタリングのための画像処理による観測に関する研究,日本船舶海洋工学会春季講演会,2013.05, 広島県広島市
- 13) 竹内淳, 篠田岳思, 岩永俊哉, 造船所における暑熱環境下作業での人体蓄熱に関する研究-溶接放射熱の人体蓄熱への影響-, 日本船舶海洋工学会春季講演会,2013.05, 広島県広島市

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

Ⅱ. 研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
篠田岳思, 熊田徹, 田中太氏	ネットワークカメラによる造船工場の作業・安全観測システムの構築に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第12号	pp.285-286	2011
篠田岳思, 木村孝司, 田中太氏, 小林晃大	船舶居住区の快適性および省エネ性向上のための温熱環境設計に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第12号	pp.263-264	2011
竹内淳, 福地信義, 篠田岳思	造船所における暑熱環境下作業のための温熱環境評価と熱対策に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第12号	pp.289-292	2011
田中太氏, 篠田岳思, 中尾友彦	造船工場の歩行路環境の安全性評価のための歩行分析に関する研究 - NC コンベアラインへの適用 -	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第12号	pp.287-288	2011
篠田岳思, 田中太氏, 柳原史希, 熊田徹, 瀬々さおり	ネットワークカメラによる造船工場の作業・安全観測に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第13号	pp.99-100	2011
田中太氏, 篠田岳思	造船工場の NC コンベアラインの歩行路環境の安全性評価に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第13号	pp.101-102	2011
Takeshi Shinoda, Takashi Tanaka	Development of Risk Assessment Methodology for Occupational Safety in Using Work Observation Technique	Proceedings of SNAME Annual Meeting	2012	221-232	2012
田中太氏, 篠田岳思, 柳原史希, 熊田徹	造船工場の作業・安全向上のためのネットワークカメラ観測システムの構築に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第15号	131-132	2012

田中 太氏, 篠田岳思, 松本 拓久	造船工場の歩行路環境の安全性評価に関する研究-NCコンベアのスラット間隔が与える身体バランスへの影響-	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第15号	289-290	2012
田中太氏, 篠田岳思	造船工場のNCコンベア上の歩行環境の安全性評価に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第14号	407-408	2012
竹内淳, 篠田岳思, 松尾充洋	造船所における暑熱下作業環境の評価に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第14号	429-430	2012
田中 太氏, 篠田岳思, 西口 純平	造船工場の作業・安全モニタリングのための画像処理による観測に関する研究	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第15号	569-570	2013
竹内淳, 篠田岳思, 岩永俊哉	造船所における暑熱環境下作業での人体蓄熱に関する研究-溶接輻射熱の人体蓄熱への影響-	日本船舶海洋工学会講演会論文集	第15号	567-568	2013

Ⅲ. 研究成果の刊行物・別刷

ネットワークカメラによる造船工場の 作業・安全観測システムの構築に関する研究

正員 篠田 岳思* 正員 熊田 徹**
正員 田中 太氏*

Construction of the Work and Safety Observation System by Network Camera at Shipyard
by Takeshi Shinoda, Member Toru Kumata, Member
Takashi Tanaka, Member

Key word: Work and Safety Observation, Occupational Safety, Network Camera, Risk Assessment

1. 緒言

近年の建造量の増加と国際的な競争を背景にして、造船工場では生産性の向上のための改善が求められている。しかし一方で、技能不足に伴う労働災害の増加も危惧されており、生産性と安全性を両立させた効果の高い作業改善の方法について検討が求められている。

これまでの研究により、造船所内でのビデオカメラ画像の分析による作業・安全分析の有効性を確認している。しかし、この方法では撮影画像の取得方法や取得された画像の分析に多くの時間と労力を要するため、効率的な分析方法が求められている。本研究では、このための解決策としてネットワークカメラによる作業・安全観測システムを提案する。提案のシステムでは、造船工場の作業現場のカメラモニタリング機能に加えて、動画像中の作業者の作業内容を識別するための画像解析による自動作業観測機能を有するものである。

本システムの開発には1) ネットワークカメラの工場設置の際の障害の除去、2) パターン認識理論と瞬間観測法を応用した自動作業観測プログラムの開発、について課題を設定し、実験室レベルの動画像について試作を行い、次に実際の造船工場の内業小組立工場において適用を行った。適用では作業の要素時間分析とクレーン作業に伴う安全分析について検討を行い、観測システムの課題について整理を行った。

2. ネットワークカメラによる作業・安全観測システム

作業・安全観測システムの構成を Fig.1 に示す。システムでは防塵対策の採られたドーム型ネットワークカメラ (AXIS 社製, AXIS232D) 用いて録画装置は録画用サーバ、ハードディスクドライブ、UPS(無停電電源装置)、カメラ用ジョイスティック、およびカメラ電源供給用の変圧器から構成される。撮影された動画像は無線 LAN を通じて工場外からモニタリングが可能であり、安全管理部門では動画像の検索、閲覧、作業観測が可能である。なお、作業観測プログラムはこのモニタリング用の PC に組み込まれることを想定している。

造船所にカメラを設置するために、観測対象の絞り込みのための事前調査を行い、制約条件を事前に十分に検討する必要がある。ここでは作業中の不安全要素の存在、画像処理可能な観測対象、カメラおよびレコーディング装置の設置環境条件を考慮して、内業小組立工場を作業・安全観測対象として選定した。

3. 作業観測のための行動識別プログラムの開発

作業観測を自動化するためにここではパターン認識理論を適用した。パターン認識とは入力された分析対象の画像のパターンが、予め分析された画像パターンのうちのどのクラスに分類されるかを判別する手法である。こ

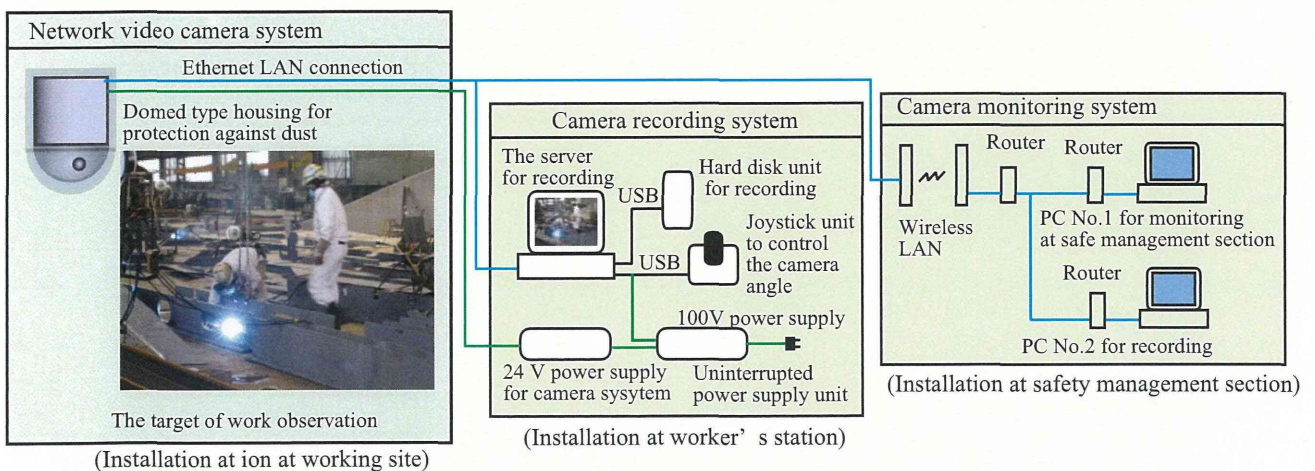


Fig.1 Construction of work and safety observation system by network camera

* 九州大学大学院工学研究院

** 商船三井 (研究当時 九州大学大学院工学府)

原稿受付 平成 23 年 4 月 8 日

春季講演会において講演 平成 23 年 5 月 19, 20 日

©日本船舶海洋工学会

Table 1 Class of behavior

Class	Behavior	Direction
1	Standing position	front side
2		back side
3		left pointing side
4		right pointing side
5-8	Sitting position	Do.
9-12	Walking toward	Do.
13	Sidling	left forward diagonal
14		left backward diagonal
15		right forward diagonal
16		right backward diagonal

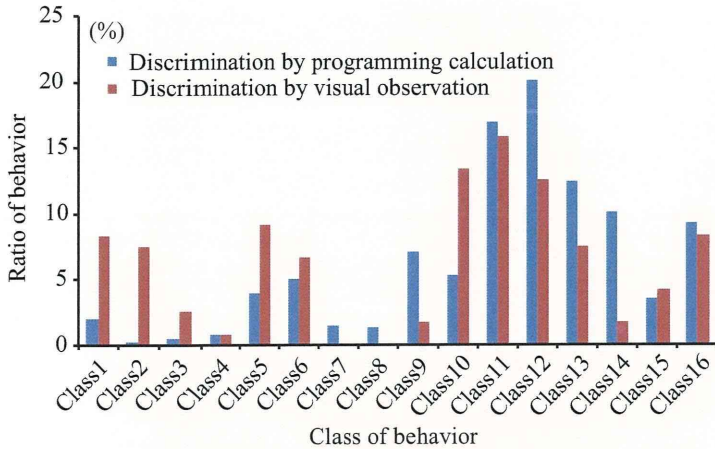


Fig.2 Discrimination of behavior from controlled image

ここでは作業者の行動クラスとして立位、座位、歩行運動、おび方向を考慮して16クラスを定義した。各クラス10,000件の学習用データサンプルから266次元の画像特徴ベクトルを抽出し、線形識別関数により行動クラスを識別する行動識別器を開発した。

データサンプルについて、k個のデータ集合に分割し、そのうちk-1個を学習用データ集合、残り1個をテスト用データ集合としてk回の検定を繰り返すk分割交差検定法を用いて識別器の認識精度の指標である認識率を計算した。ここではk=10として各クラス10,000件のデータの認識率の目標値を80%に設定しすると、平均88.4%の認識率を有する行動識別器を構築できた。

この行動識別器の有効性の確認実験として、実験室で背景を整えて撮影した人の行動の動画像に対して行動識別分析を行い、目視観測した行動比率を比較した。計算による行動識別によっても目視と類似した傾向が得られることを確認した (Fig.2 参照)。

4. 造船工場内の作業モニタリング実験

内業小組立工場造船工場内において適用を想定して取得した作業動画像を用いて行動識別分析による作業観測実験を行った。

作業観測対象とした内業小組立工場では約7名の作業者が分担してクレーンを用いた配材、仮付溶接、溶接を中心とした作業を行っており、これらの作業の時間分析とクレーン作業に伴う安全分析について検討を行った。動画像の解析上の問題となる点としては、照明変化や人物以外の移動物体の存在等、物体検出に影響する要因が含まれることがあるため、対策として背景差分法を適用した。また、溶接作業の抽出には、画像中の溶接光の

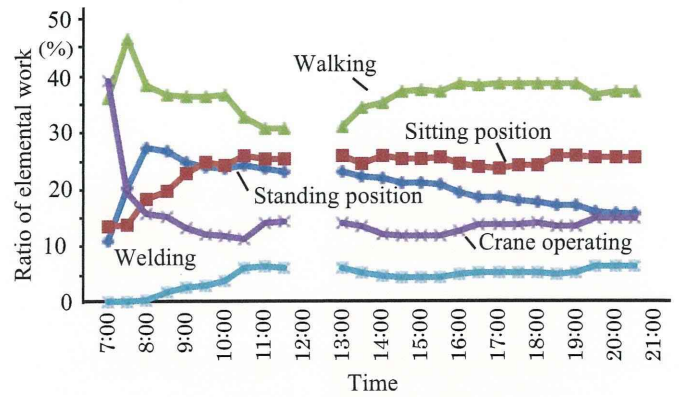


Fig.3 Discrimination of elemental work

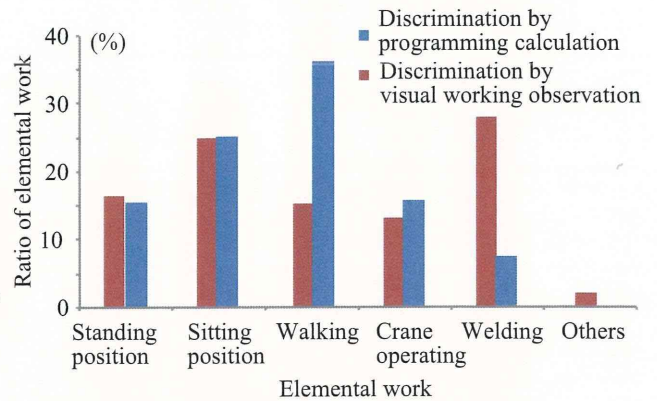


Fig.4 Discrimination by calculation and observation

輝度値変化に着目してプログラムの開発を行った。

開発した行動識別分析法と目視による作業観測法による比較を行い有効性の確認を行う。ここでは動画像内に複数の作業者が存在することを想定し、作業観測法として瞬間観測法を作業観測プログラムに適用することを試みた。観測時刻は一定時刻を採り観測間隔を5分(9,000フレーム)に設定し、1) 観測背景の設定(500フレーム)、2) 作業解析(1,800フレーム)、3) 観測休止インターバル(6,700フレーム)を繰り返し観測することとした。また、要素作業としては、立ち作業、座り作業、歩行作業、クレーン作業、溶接作業の5種類を設定した。

作業動画像(2008年12月4日)に対して、行動識別分析法を用いて抽出した要素作業の割合をFig.3に示す。クレーン作業による配材、その後の手による配材作業、さらに仮付溶接、本溶接作業と移る様子等の作業の傾向を大凡把握できることが分かった。

また、要素作業の比率について、動画と同じ工程の作業観測(2009年1月14,15日)と比較を行った場合には、歩行作業と溶接作業の比率に差はあるが、同じ傾向の要素作業割合が推定できることを確認した (Fig.4 参照)。

5. 結言

行動識別分析プログラムの開発を行い、実験室での背景が整えられた動画像と実際の内業小組立工場の作業動画像に対して、行動および要素作業を識別することの有効性を確認した。

参考文献

- 1) K. Kim et al. : Background Updating for Visual Surveillance, LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, vol. 3804, pp. 337, 2005.

船舶居住区の快適性および省エネ性向上のための 温熱環境設計に関する研究

正員 篠田 岳思* 正員 木村 孝司**
正員 田中 太氏* 正員 小林 晃大***

Study of Thermal Environmental Design for Thermal Comfort and Energy Saving at Ship's Cabin

by Takeshi Shinoda, Member Takashi Kimura, Member
Takashi Tanaka, Member Kobayashi Akihiro, Member

Key word: Thermal Environmental Design, Thermal Comfort, Energy Saving

1. はじめに

近年の環境負荷軽減から省エネルギーは船舶設計において重要課題である。特に艙装設計に関わる温熱環境設計においては、船舶という閉鎖空間では、乗客やクルーの温熱上の快適性を満足しながら、省エネルギー性能を向上させることが課題である。温熱環境設計での省エネルギー性能の向上には、遮熱・防熱塗料や遮熱・遮光ガラス・フィルムが陸上施設・設備に用いられるようになり船舶分野での適用が検討されはじめている。

研究では、初めに壁材やガラス材の遮熱性能を把握するために屋外の日射下での実験を行い、壁体の材料の遮熱性能に関わる熱授受評価について検討を行う。続いて、この遮熱性能データを基にして、船舶居住区における温熱環境設計について主に冷房熱負荷の検討と、熱授受の動的応答としてレスポンスファクター法による検討を行い、遮熱塗料や遮熱フィルム等を船舶居住区の壁体に適用した際の省エネルギー性能の効果について検討を行う。

2. 断熱箱を用いた日射遮熱性能の把握実験

Fig.1 に示すように断熱性能の高い箱を製作し、日射遮

熱性能の把握のために壁材試料を断熱箱の一面に設置して、屋外暴露下において実験を行った。

断熱箱の壁材には厚さ 100mm のウレタンフォームを用い外表面にアルミ箔を施工し、温熱データは輻射センサ、熱流板、熱電対、温度データロガー、日射計を壁体の各所に設置してデータロガーに取得した。日射遮熱性能を把握するための種々の壁材試料 (Fig.1 付表参照) を垂直面にとり常に太陽方向 (南) に向くように調整し、断熱箱に建物の陰の落ち込みを避けて位置決めし、地面からの輻射を避けるために芝生上に設置し散水を適宜行った。

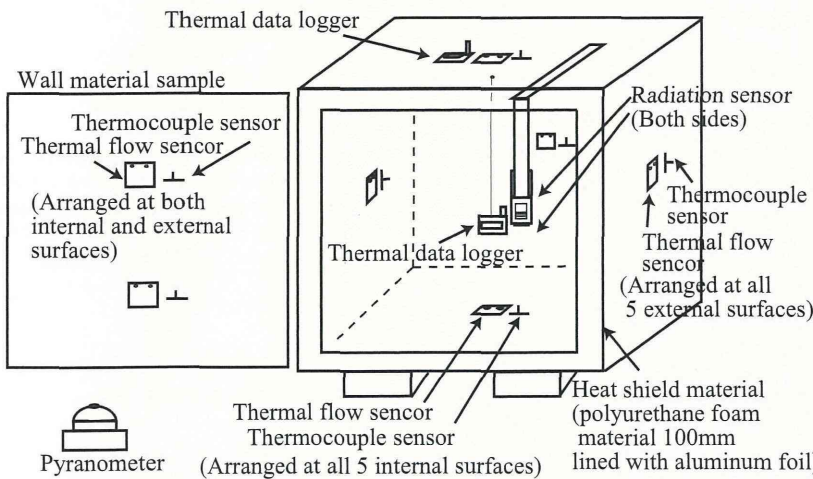
この実験により日射と断熱箱から放出される熱授受のバランスから熱収支方程式を立てて、各壁材試料の定量的な日射遮熱性能について検討を行った。

日射量 J は断熱箱に侵入する熱量 Q_{in} と外気へ放出される熱量 Q_{out} の合計値と考えられるため、以下のような熱収支方程式を導いた。一例として実験 B のガラス試料の場合を示す。

$$J = Q_{in} + Q_{out}$$

$$Q_{in} = Q_{s1} + Q_{s3} + Q_{k2}$$

$$Q_{out} = Q_{r1} + Q_{r2} + Q_{r3} + Q_{c1}$$



Denom.	Composition of material sample	Thickness
A1	Steel plate without painted	3mm
A2	Steel plate with coating, coating thickness 100 micro meter	3mm
A3	Steel plate with heat shield coating, coating thickness 100 micro meter	3mm
A4	Aluminum plate	3mm
B1	Clear float glass (CFG), only	3mm
B2	CFG with heat shield film (Sterling 60)	3mm
B3	Do. (Sterling 40)	3mm
B4	Do. (Sterling 20)	3mm
B5	Do. (Sterling 60)	8mm
C1	CFG in window frame with heat shield film (Sterling 60)	8mm
C2	Do. (Sterling 40)	8mm
C3	Do. (Sterling 20)	8mm

Fig.1 Experimental setup for thermal characteristic under solar insolation using thermal insulation box

* 九州大学大学院工学研究院
** 三井造船 (研究当時, 九州大学大学院工学部)
*** サノヤス・ヒシノ明昌 (研究当時, 九州大学工学部)

原稿受付 平成 23 年 4 月 8 日
春季講演会において講演 平成 23 年 5 月 19, 20 日
©日本船舶海洋工学会

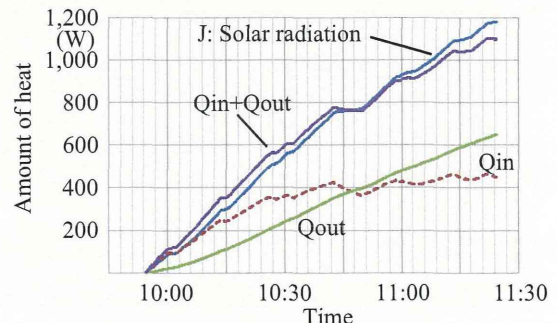


Fig.2 Consideration of heat balance on experimental value (material sample B2)

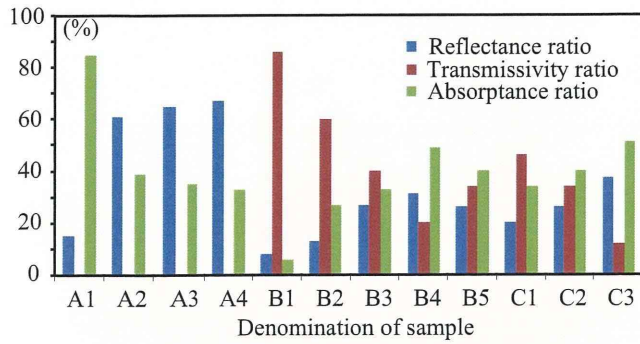


Fig.3 Thermal characteristic of material sample under solar insolation

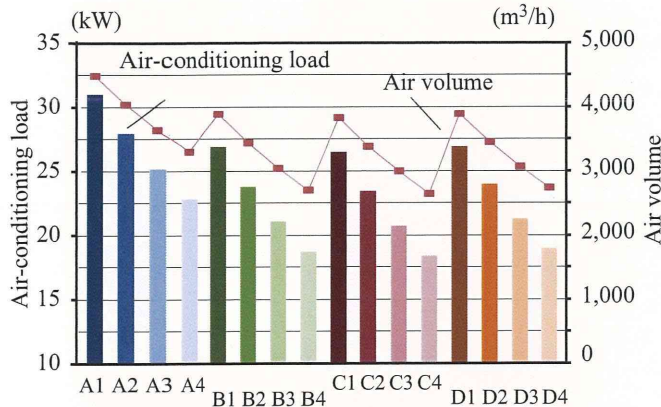


Fig.4 Calculating examples of air-conditioning and air volume

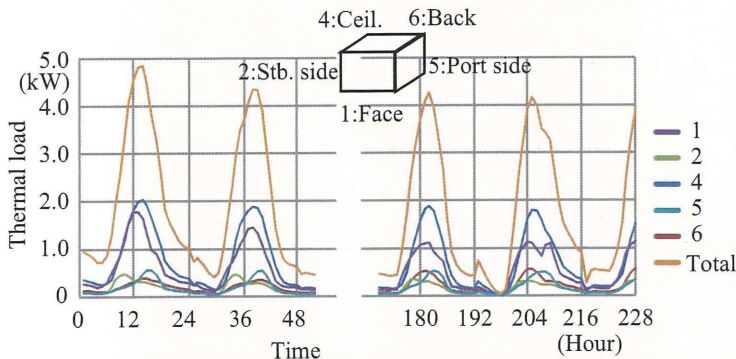


Fig.5 Calculating examples of dynamic thermal load by methodology of response factor

ここに、 Q_{s1} は断熱箱内部の空気の蓄熱、 Q_{s3} はガラスの蓄熱、 Q_{k2} は箱の壁体に吸収される熱量であり試料面以外の壁体内面5面に貼った熱流板による計測値である。また、 Q_{r1} はガラス外表面からの放射成分、 Q_{r2} はガラス外表面からの反射成分、 Q_{r3} は箱内表面からの反射、 Q_{c1} はガラス外表面に発生する対流成分とする。

(1) 式を満たし、垂直な壁材試料の向きに設置した放射センサの計測値が Q_{r1} 、 Q_{c1} 、 Q_{r2} 、 Q_{r3} の合計値となるように反射率、吸収率、透過率をそれぞれ定め、これを試料の放射に関する物性値とする (Fig.2 参照)。

3. 船舶居住区における温熱環境設計

VLCCの操舵室モデルを対象に、各実験で得た遮熱性能特性の算出結果を用いた室内熱負荷計算を行い、これを空調計算に織り込んだ定量的な評価方法を提案する。Table 1 に計算条件と仕様を示す。

(1) 室内熱負荷の算出

空調容量の算出には、太陽高度の影響を受けるため1

Table 1 Condition of calculation and material of wall

Denom.	Composition of material of wall (Thickness)
E1	Steel plate without coating (SPN, 7mm) + Clear float glass (CFG, 15mm)
E2	SPN (7mm) + CFG with heat shield film (Sterling 60)
E3	SPN (7mm) + CFG (Sterling 40)
E4	SPN (7mm) + CFG (Sterling 20)
F1	Steel plate with coating (SPC, 7mm) + CFG (8mm)
F2	SPC (7mm) + CFG (8mm, Sterling 60)
F3	SPC (7mm) + CFG (8mm, Sterling 40)
F4	SPC (7mm) + CFG (8mm, Sterling 20)
G1	Steel plate with heat shield coating (SPH, 7mm) + CFG (15mm)
G2	SPH (7mm) + CFG (Sterling 60)
G3	SPH (7mm) + CFG (Sterling 40)
G4	SPH (7mm) + CFG (Sterling 20)
H1	Aluminum plate (AL, 7mm) + CFG (8mm)
H2	AL (7mm) + CFG (8mm, Sterling 60)
H3	AL (7mm) + CFG (8mm, Sterling 40)
H4	AL (7mm) + CFG (8mm, Sterling 20)
Dimensions of navigation bridge	
Breath: 13,600mm, Depth: 7,200mm, Height: 2,850mm	
Window: Front 2,300 x 800mm, Flank: 1,000 x 600mm	
5 persons staying in the cabin	

日内の時刻・方位での室内に侵入する最大の熱負荷を算出する必要がある。また、太陽の放射を受ける甲板及び側壁などの居住区表面は太陽放射熱の影響を受け外気温度より高くなることから、ここでは相当外気温度を用いた壁体の熱貫流率から計算を行った。一方、窓からの熱侵入には、透過、対流、貫流成分に分けて計算に考慮した。さらに、甲板からの反射には実験 A1 の反射率を用い、総熱伝達率への風速の影響には実際に内航フェリーにて計測した値を用いて計算に考慮した。Table 1 での各壁体の仕様での計算結果を Fig.4 に示す。一般鋼材に防熱・遮熱塗装に施工した場合に 14%、さらにフロートガラスに ST60、ST40、ST20 を施工した場合に、順に 10%、18.7%、26.4% の省エネ効果が期待できることが分かった。

(2) レスポンスファクター法による動的熱負荷計算

船舶が就航する航路によって外気の熱環境や日射状況等の外的条件が刻々と変わってくる。このため必要な空調機の冷房負荷量も変化する。ここでは、日本からオーストラリアに向かう航路を想定した場合の 1 時間毎の緯度・経度、太陽高度・方位角を求め日射量を算出し、動的熱負荷計算手法であるレスポンスファクター法を用いてシミュレーションを行った (Fig.5 参照)。南下するにつれ北向きの日射量が増加し南向きの日射量が減少する。これに伴い、特に壁 1 と壁 2 での熱侵入量が大きく変化していることが分かる。

4. 結言

断熱箱を用いた実験により日射遮熱性能を把握し、操舵室モデルでの冷房熱負荷計算の検討を行い、またオーストラリア航路での動的熱負荷の計算から省エネルギー性能の効果について検討を行った。

参考文献

- 1) 田中俊六他：建築環境工学，井上書院，2008

造船所における暑熱環境下作業のための 温熱環境評価と熱対策に関する研究

正員 竹内 淳* 正員 福地 信義**
正員 篠田 岳 思***

A Methodology of Evaluation of Thermal Environment
and its Improvement for Working under the Summer Heat at Shipyard

by Jun Takeuchi, *Member* Nobuyoshi Fukuchi, *Member*
Takeshi Shinoda, *Member*

Key Words: Thermal environment, Storage of body heat, Contour line of thermal storage

1. 緒 言

造船工場での作業は、一般に夏季には厳しい熱的環境下に曝され、人体の産熱・放熱の不均衡による蓄熱のために作業効率の低下、注意力低下による労働災害の発生、さらには熱中症¹⁾の発症も起こり得るため、人体を熱的許容限界内に維持するための適切かつ効果のある熱対策が必要となる。

本研究では、はじめに造船所外業現場の熱的環境調査を行ってその実態を把握するとともに、エルゴメーターを用いた人体蓄熱実験と人体の熱平衡方程式から人体蓄熱量を算出した。また、日射のある暑熱環境下での作業において、熱的要因と人体蓄熱量との関係を明らかにし、暑熱環境下の作業における熱的安全性を評価するための等蓄熱量線図を作成した。

2. 温熱環境要因と人体熱平衡

2.1 人体の熱収支

人体は発熱体であり恒温体である。体内で産出した代謝熱を仕事（行動）、呼吸による放熱、皮膚から衣服を通しての対流・放射により外部環境に逃がして熱平衡を保ち、人体基幹部の体温を一定に保っている¹⁾²⁾³⁾。

この人体と環境との熱交換に影響を与える要素をここでは温熱環境要因³⁾と呼び、その主要因は代謝量、着衣量⁴⁾⁵⁾、環境温度、環境湿度、気流速、放射温度である。

2.2 人体熱平衡方程式と蓄熱量

人体の熱平衡方程式は代謝量 M に対し、外へなす仕事 W 、呼吸による対流と潜熱放熱 ($C_{res} + E_{res}$)、皮膚からの対流と輻射放熱 ($C + R$)、そして不感蒸泄と発汗などによる皮膚表面の濡れによる潜熱放熱 E_{sk} の合計が平衡する式で表される⁶⁾⁷⁾⁸⁾。しかし、暑熱環境下での作業では、人体に照射される日射熱量を考慮する必要がある、本研究では日射による受熱 E_{sun} を加えて計算を行った。

$$M + E_{sun} = W + C_{res} + E_{res} + C + R + E_{sk} \quad [W/m^2] \quad (1)$$

* 株式会社 アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド

** 九州大学大学院工学研究院 (研究当時)

***九州大学大学院工学研究院

原稿受付 平成23年4月8日

春季講演会において講演 平成23年5月19,20日

©日本船舶海洋工学会

この人体熱平衡方程式より、体内の熱不均衡量を S とすると次式で表され、熱の平衡がとれている場合には、 S は0となる。

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - E_{sk} + E_{sun} \quad [W/m^2] \quad (2)$$

これより、蓄熱量 H_s は熱不均衡量 S の時間積分となり、次式となる。

$$H_s = \int S(\tau) d\tau \quad [J/m^2] \quad (3)$$

3. 日射環境下の温熱環境評価と人体蓄熱実験

3.1 熱的環境計測

造船所外業現場における熱対策の検討や作業者の人体蓄熱量の予測を行うために、上甲板において、気温、湿度、日射量などの熱的環境計測および作業の様子、内容、

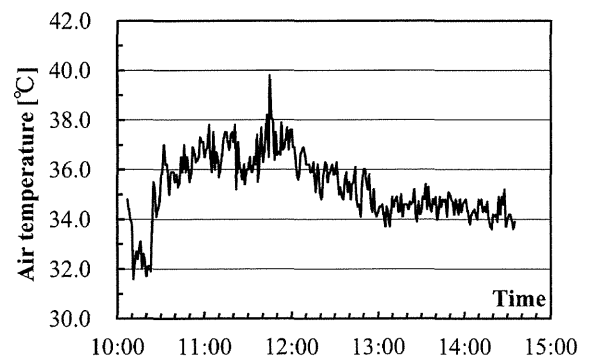


Fig. 1 Variation of Air temperature

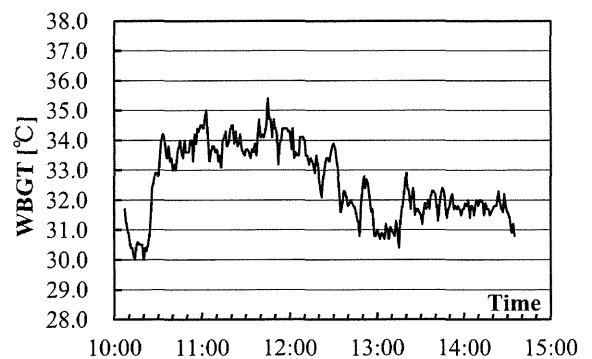


Fig. 2 Variation of WBGT

その継続時間などの調査を行った。Fig. 1 に気温を, Fig. 2 に WBGT の計測結果を示す。

調査当日はほとんど雲の無い快晴であったこともあり, 午前中から気温が 35℃を超え, WBGT の平均値も 32.6℃であった。これは, 日本体育協会による指針において「運動は原則中止」とされている WBGT の 31℃を超えており, 上甲板上が熱的に厳しい環境であることが分かる。なお, WBGT は気温 (乾球温度), グローブ温度, 湿球温度から算出され, 気温, 相対湿度, 平均放射温度 (全天日射量), 気流速を総合した温熱指標である⁴⁾。

また, 暑熱対策として遮光ネットが張られており, その影に入っている上甲板の温度と直射日光下の上甲板の温度では 20℃ほどの差があった。このことから, 遮光ネットは日射環境下での熱対策として非常に有用であると考えられた。

3.2 人体蓄熱実験

適切かつ効果のある熱対策を策定するためには, 代謝量, 温熱環境要因と人体蓄熱の関係を把握する必要がある。そのために, 日射環境下においてエルゴメーターを用いた運動を行い, 作業負荷や環境要因に応じた人体の皮膚温度を計測して, 人体蓄熱に対する以下の要因の影響を調べる人体蓄熱実験を行った。

(1) 個人差に関する実験

運動による皮膚温度や人体蓄熱量の変化に対する個人差を把握するために, 4人の被験者についてエルゴメーターの負荷 160W の運動を行う実験を行った。Fig. 3 に被験者 A, B, C, D の皮膚温度の計測値と蓄熱量計算の結果を示す。

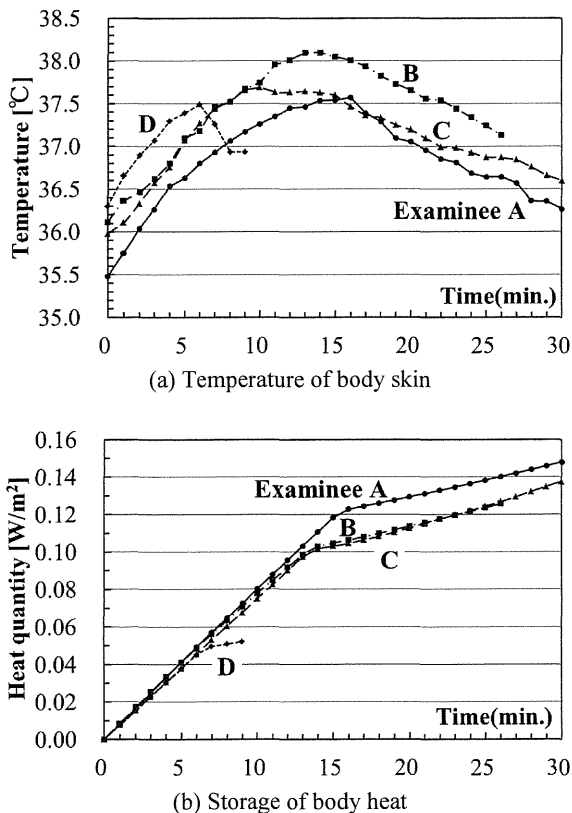


Fig. 3 Variation of temperature of body skin and heat storage of examinees

各被験者の初期皮膚温度に差があるものの, 皮膚温度の上昇速度は同程度であり, 皮膚温度の上昇速度には個

人差はあまり無い。蓄熱量については, 環境要因や皮膚温度に変動があるにもかかわらず, 各被験者の発熱量 (蓄熱量の増加率) はほぼ同じで, その累積値である蓄熱量の変化は時間的な線形性が強い。したがって, 蓄熱量に関しても個人差は少ないと考えられる。

(2) 代謝量に関する実験

作業負荷の影響を把握するためにエルゴメーターの運動負荷を, 0W (1.12Met), 110W (2.02Met), 160W (2.48Met) に設定して計測する実験を行った。

全天日射量が多い環境下の実験では, 代謝量が多くなるに従い蓄熱量も増加していた。しかし, 全天日射量が少ない場合の実験においては, 負荷 0W と 110W では蓄熱量が逆転している結果が得られ, 低代謝量の場合には, 環境要因が蓄熱量に大きく影響するものと推測される。

(3) 日射量に関する実験

日射の蓄熱量への影響を把握するために, 全天日射量が低, 中, 高の場合において運動を行う実験を行った。Fig. 4 に被験者 A の蓄熱量計算の結果を示す。

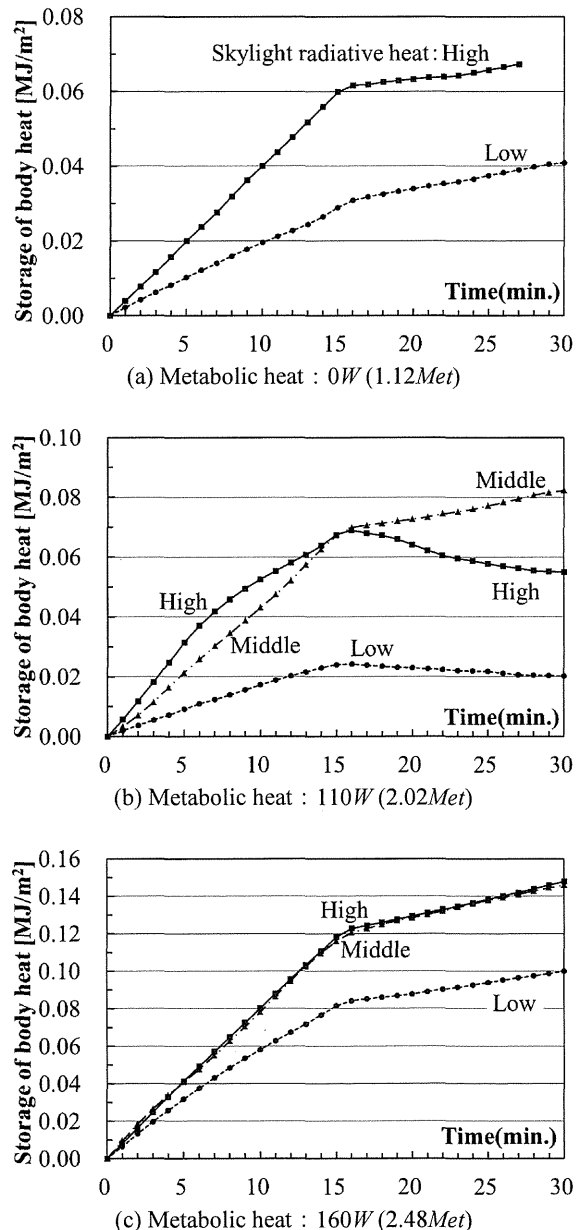


Fig. 4 Storage of body heat in experiment for varying radiative heats of skylight

全天日射量が多くなるほど蓄熱量が多くなる傾向が見られるが、負荷 160W の運動においては全天日射量が中、高の場合には蓄熱量の差はほとんど無く、蓄熱量に対する全天日射量の影響はそれほど大きく現れていない。

これに対し、全天日射量が低、中の場合には、気温などの差が僅かであったわりには蓄熱量に大きな差が見られ、また負荷 110W の運動においては、全天日射量が多くなるほど蓄熱量も増加している。これらのことから、全天日射量は人体蓄熱に対し決定的ではないが、かなりの影響を及ぼすものと考えられる。

(4) 気流速に関する実験

造船所において実際に行っている熱対策の1つとして、放熱を促すための冷却ファンによる送風がある。このような送風が人体の放熱に対しどれほどの影響を及ぼすのかを把握するために、扇風機による送風のなかで運動を行う実験を行った。

蓄熱量に関しては、全天日射量の多少にかかわらず、ファン無しとファン有りとの間に明らかな差が見られ、送風により放熱が促され、蓄熱が抑制されている。

3.3 実験結果の考察

実験において得られた種々の温熱環境要因の計測データと、算出された人体蓄熱量との関係を明らかにするために、統計的手法を用いて考察した。

(1) 相関分析

相関分析¹⁵⁾を行う際には、温熱環境要因相互の重複を除去するために偏相関係数を用いて検証し、人体蓄熱量を目的変数にとり、代謝量、気温、相対湿度、平均放射温度、気流速、皮膚温度、全天日射量などの温熱環境要因を説明変数とした。

代謝量に従い蓄熱量も変化する実験的事実に加えて、皮膚表面での対流熱伝達や周囲からの放射熱交換に関与する気温および平均放射温度の蓄熱量に与える影響は大きい。逆に、皮膚表面での放熱や周囲からの放射による熱交換に関与する気流速や皮膚温度は、これらが上昇すれば蓄熱量が減少するという負の相関が現れている。

相対湿度および全天日射量に関しては、蓄熱量との間に強い相関関係は見られなかったが、これは、実験を行ったのが夏季であり、これらの計測値に大きな変動がなかったためと考えられる。

(2) 重回帰分析

ステップワイズ法による重回帰分析¹⁵⁾を行った。目的変数および説明変数は相関分析と同様とした。Table 1 に回帰係数とその標準偏差、および標準化回帰係数を示す。

Table 1 Regression coefficients of the thermal environmental factors

Objective variable : Storage of body heat	Regression coefficient			Normalized regression coefficient
	β	Standard deviation		
Explanation variable				
Metabolic heat [Met]	0.974	0.974	0.974	0.974
Air temperature [°C]	0.949	0.949	0.949	0.949
Relative humidity [n.d.]	0.417	0.417	0.417	0.417
MRT [°C]	0.916	0.916	0.916	0.916
Air flow velocity [m/s]	-0.554	-0.554	-0.554	-0.554
Skin temperature [°C]	-0.900	-0.900	-0.900	-0.900
Skylight radative heat [W/m ²]	0.319	0.319	0.319	0.319
(Constant) [n.d.]	1.319	1.319	1.319	1.319

相関分析と同様に、人体の蓄熱量に大きな影響を及ぼ

す温熱環境要因としては、気温、代謝量、平均放射温度であり、人体蓄熱を抑制する際には、代謝量や気温、平均放射温度、気流速を調整することが最も効果的である。

一方、相対湿度および全天日射量については、相関分析と同様に蓄熱量に対しての影響はそれほど大きくない結果が得られたが、今後より様々な環境条件において実験を行い、検証する必要がある。

4. 暑熱対策とその効果

4.1 各種対策の効果

造船所において取り得るいくつかの熱対策について、人体蓄熱量を計算することにより、その効果を検証した。計算においては、計測データから種々の環境要因を推定し、午後1時から午後5時まで4時間作業を行うものと仮定した。

(1) 遮光ネット

造船所では熱対策の1つとして、日射による受熱を減少させるために遮光ネットが用いられている。

全天日射量を55%カットする遮光ネットを作業中に用いたとして蓄熱量を計算した結果、軽度作業および中程度作業のどちらの場合にも、0.05MJ/m²程度蓄熱量が減少している。しかし、蓄熱の許容値や限界値⁷⁾⁸⁾を下回るほどの減少は見られず、遮光ネットのみの対策では不十分な場合があり得る。

(2) ファンによる送風

造船所で取られている熱対策の1つであるファンからの送風は、実験の結果からも、人体の放熱が促されて蓄熱量の抑制に効果があることが検証された。

ファンの気流速を2.0m/sとして蓄熱量を計算をした結果、ファンが無い場合(気流速1.64m/sとして計算)に比べて蓄熱が抑えられており、蓄熱量の減少は遮光ネットによるものと同程度であった。

(3) 休憩

生産性を考慮すると休憩には限度があるが、30分の作業毎に10分間休憩する場合について蓄熱量の計算を行った。なお、休憩する場所としては、空調を効かせた部屋を用意し、その中で安静座位にて休憩することとした。

計算の結果、休憩中は代謝量が少ないために蓄熱が抑えられ、休憩室での休憩の場合は若干ではあるが放熱もされている。休憩の有無による蓄熱量の差は大きく、特に休憩室の中で休憩することがより効果的である。

ただし、休憩をとることは工程管理の面からも難点があり、予め作業中の休憩を考慮した工程計画を策定することも重要である。

(4) 複数の暑熱対策の併用

上記(1)~(3)の対策を組み合わせた場合について蓄熱量計算を行った結果をFig.5に示す。

これからも分かるように最も効果のある対策は休憩であり、遮光ネットおよびファンによる送風はほぼ同程度の効果である。遮光ネットやファンによる送風、およびそれらの併用は、短時間よりも長時間の連続作業において取るのが効果的である。

また、全ての対策を取った場合の作業者の4時間蓄熱量は、無対策の場合の蓄熱量の2/3以下に抑えられ、人体蓄熱量を十分に抑制できることが分かった。

4.2 等蓄熱量線図

4.1においては、環境要因を推定して作業者の蓄熱量を算出したが、実際には場所や日によって環境条件は異なる

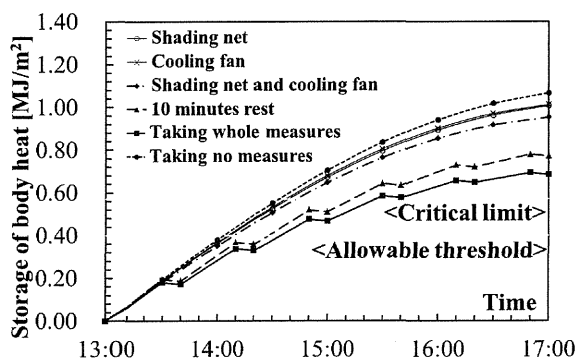


Fig. 5 Storage of body heat in case of work using several measures

り、その状況に応じて作業者の人体蓄熱量を把握し、様々な対策を講じる必要がある。その人体蓄熱量を把握する方法の一つとして、WBGTと代謝量から人体蓄熱量を推定する等蓄熱量線図を作成した。これをFig.6に示す。

WBGTは気温、相対湿度、平均放射温度(全天日射量)、気流速を総合した温熱指標であり、気象要因の影響度を1つの指標で表せるものとして採用した。

この等蓄熱量線図を用いることにより、様々な状況において人体蓄熱量を容易に把握でき、それらに応じた熱対策を講じることで、日射のある暑熱環境下での作業の労働安全を確保できる。

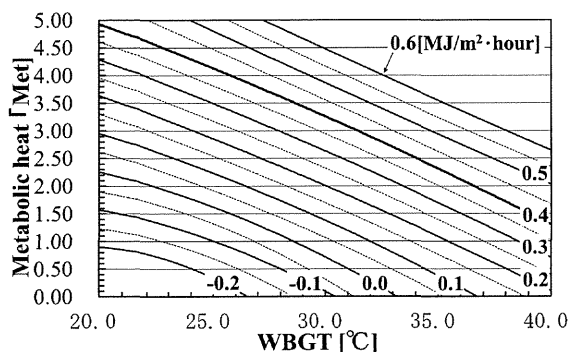


Fig. 6 Contour line of thermal storage related to WBGT and metabolic heat

5. 結 言

造船外業現場における暑熱環境下の労働安全の確保を目的として、外業現場の熱的環境の実態を把握するとともに、エルゴメーターを用いた実験を行い、日射による受熱の影響を加えた人体熱平衡方程式を作成して人体蓄熱量を計算した。また、人体蓄熱量と温熱環境要因との関係を調べ、人体を熱的許容限界内に維持するための熱対策やその効果について評価し、以下の結論を得た。

- 1) 外業現場の熱的環境調査より、夏季の外業現場は温熱指標 WBGT が ISO7243 や日本体育協会の基準値を超え得る熱的に厳しい環境である。
- 2) 実験結果より、人体蓄熱量に大きな影響を及ぼす温熱環境要因は気温、代謝量、平均放射温度、気流速であり、人体蓄熱を抑制するにはこれらを調整することが最も効果的である。相対湿度、全天日射量については相関分析および重回帰分析の結果、影響があまりないと考えられたが、実験を行ったのが夏季でこれらの計測値の変動が小さかったためとも考え

られ、今後様々な条件における検証が必要である。

- 3) 熱対策としては、遮光ネットとファンによる送風はほぼ同程度の効果であるが、遮光ネットは日射の多い場合のみ有効な対策である。また、休憩は工程計画において予め休憩時間や間隔を考慮し、休憩室を設置すれば、効果的な熱対策となる。
- 4) 実験や計測で得られたデータを基に、等蓄熱量線図を作成し、様々な環境条件において WBGT と代謝量から容易に人体蓄熱量を把握できる方法を提案した。

なお、これらの結論は限られた計測と実験に基づくものであり、実活用のためには、さらに多くの計測と実験により精度を高める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 中山昭雄(編)：温熱生理学，理工学社，1995.
- 2) 南幸治(編)：建築計画原論・建築設備，共立出版，1957.
- 3) 人間-熱環境系編集委員会(編)：人間-熱環境系，日刊工業新聞社，1989.
- 4) 建築学大系編集委員会(編)：建築学大系 8，彰国社，1959.
- 5) 中橋美智子，吉田敬一：新しい衣服衛生，南江堂，1990.
- 6) ISO7933, Hot environmental-Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate, 1989.
- 7) 村山雅己，福地信義，中橋美智子：暑熱環境下の海洋作業における熱的限界と温熱対策に関する研究(その1)，日本造船学会論文集，第 179 号，1996，pp.239-251.
- 8) 村山雅己，福地信義，中橋美智子：暑熱環境下の海洋作業における熱的限界と温熱対策に関する研究(その2)，日本造船学会論文集，第 182 号，1997，pp.507-519.
- 9) 村山雅己，福地信義，中橋美智子：海洋暴露作業における人体への熱的影響と温熱対策の評価，日本造船学会論文集，第 183 号，1998，pp.499-508.
- 10) 井上宇市：空気調和ハンドブック，丸善，1982.
- 11) 空気調和・衛生工学会(編)：空気調和・衛生工学便覧 I 基礎編，空気調和・衛生工学会，1989.
- 12) ISO7730, Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1994.
- 13) Fanger,P.O: Thermal Comfort, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1972.
- 14) ISO7243, Hot Environments-Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT, 1989.
- 15) 菅民郎：多変量解析の実践，現代数学社，1993.
- 16) 社団法人 日本溶接協会：溶接作業環境管理基準 WES9007, 1982.

造船工場の歩行路環境の安全性評価のための歩行分析に関する研究

— NC コンベアラインへの適用 —
 正員 田中 太氏* 正員 篠田 岳思*
 中尾 友彦**

Evaluation for Safety Assessment by Gait Analysis on Walkway at Shipyard
 - Application to Working on NC Cutting Machine Conveyor Line -
 by Takashi Tanaka, Member Takeshi Shinoda, Member
 Tomohiko Nakao

Key Words: Occupational Health and Safety, Gait Analysis, Walk Experiment, Fluctuation

1. 緒言

労働災害の発生リスクの軽減を図るためには、事故発生のメカニズムを明らかにして、予防策を講じる必要がある。スラットコンベアを用いた造船工場のNC切断工程では、多くの切断部材の寸法からスラット間隔が150mm程度と幅広く取られることが多い。このスラットコンベア上を作業者が移動、クレーン作業することがあるが、バランスを取りにくい所を歩行することや、スラットがNCのトーチにより楕円形に変形しているため靴底やプロテクターが引っかかり、躓きによる転倒が懸念される。本研究では、スラットコンベア上の歩行移動について、造船工場のスラットコンベアとモックアップにおいて歩行実験を行い、歩行路環境が歩行時の身体バランスに与える影響について、足裏にスラット面から働く足底圧分布のデータの特徴を抽出することにより、スラットコンベアでの歩行路環境の安全性評価の検討を行った。

2. 歩行路の環境安全性評価のための歩行実験

2.1 歩行動作時の身体バランス・データの取得

歩行実験は造船工場のスラットコンベアとモックアップにおいて行った。Fig.1にスラットコンベアにおける歩行実験の概要を示す。一方、モックアップにおける歩行実験はスラットコンベアと同様に行ったが、スラット間隔を調整できるようにボルトで固定したモックアップを製作した¹⁾。また、歩行の角度により足底にかかる支持点が異なるため、スラット上に歩行方向をマークした。

被験者にはインナソール型の足底圧センサ(Tekscan社製)を敷いた安全靴を履いてスラット上を歩行してもらい、歩行時の身体バランスとして歩行中の足底圧分布について時系列データを取得した。

2.2 歩行路環境と歩行時の身体バランス

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の環境の要因としてTable 1に示す実験条件を設定して歩行実験を行った。スラットコンベアにおける歩行実験ではNC切断工程の作業員6名と学生1名の計7名、また、モックアップにおける実験では学生3名の被験者で行った。

*九州大学大学院工学研究院
 ** (株) アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド (研究当時 九州大学工学部)

原稿受付 平成23年4月8日
 春季講演会において講演 平成23年5月19,20日
 ©日本船舶海洋工学会

歩行実験の計測例として、足底圧分布センサの各荷重セルにかかる、1歩行周期(Gait Cycle)における最大の荷重値の分布を表す足底圧のピーク分布図を、作業員Cの例をFig.2に示す。安定な歩行路環境である平坦路上の歩行では、つま先部分の荷重が集中する位置はあまり

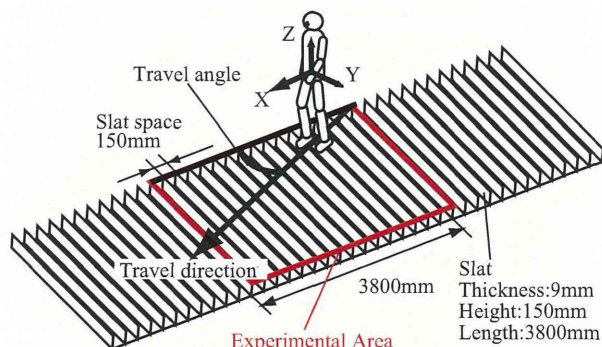


Fig.1 Experimental setup in actual shipyard for human walking on the slat conveyor

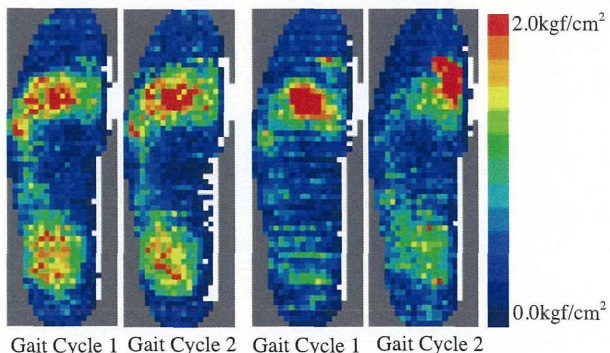
Table1 Experimental conditions

(a) On the actual slat conveyor in shipyard

Nominal designation	Condition	
Flat	Horizontal condition	
SY - Travel angle (ex. SY-90deg.)	Slat space (mm)	Travel angle (deg.)
	150	90, 60, 45, 30, 0

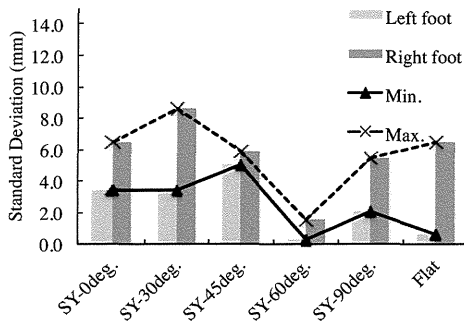
(b) On the mock-up of slat conveyor

Nominal designation	Condition	
Flat	Horizontal condition	
Slat space - Travel angle (ex. 150mm-90deg.)	Slat space (mm)	Travel angle (deg.)
	150, 120, 90, 60	90, 60, 45, 30, 0

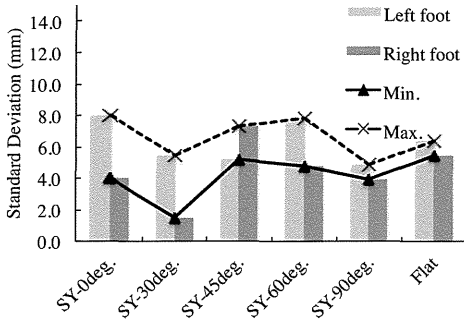


(a) Condition: Flat (b) Condition: SY-30deg.

Fig.2 Change in the peak point of pressure by inner sole type sensors on examinee C (worker)



(a) Examinee C (worker)



(b) Examinee B (worker)

Fig.3 Standard deviation of the peak point of pressure on toe of walking on the actual slat conveyor

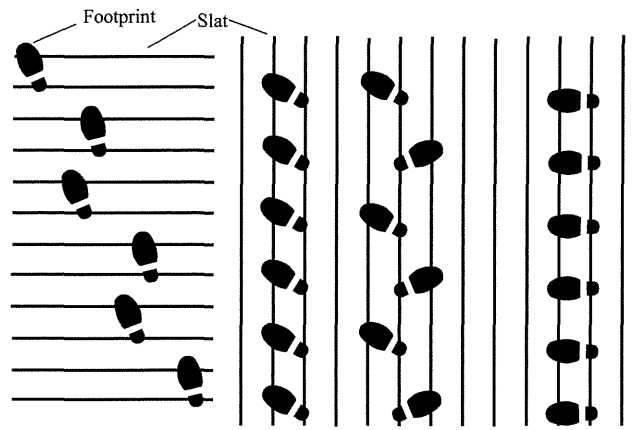
変わらないが、歩行しづらいスラット上の歩行角度30度における歩行では、つま先部分の荷重が集中する位置や母指球部の荷重位置がゆらいでいる。以上のことから、ピーク分布図におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎと歩行路環境の関係を把握することにより、歩行路環境の安全性評価の検討を行う。

3. 足底圧分布の荷重集中点のゆらぎによる歩行動作の安全性評価

ここでは、足底圧のピーク分布図におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎを解析するために、踵から荷重集中点までの距離を求め、その距離の標準偏差を比較した。

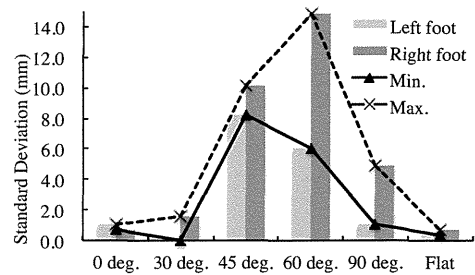
はじめに、スラットコンベアにおける歩行について比較した。ここでは、Fig.3に作業者CとBの例を示す。多くの被験者において、Fig.3(a)に示すように、歩行角度が45度と60度では標準偏差が概ね極小となり、被験者の歩行時の印象と一致することを確認した。ただし、浅い歩行角度0度と30度では、Fig.4に示す、カニ歩き、平行歩き、逆ハの字歩きなど通常と異なる足運びの場合も標準偏差は小さい。なお、Fig.3(b)に示すように、スラット上の歩行に熟練していない作業者は概ねゆらぎが大きい。

つぎに、スラット間隔が調整出来るモックアップ上の歩行について比較した。ここでは、スラットの間隔と歩行角度による歩行中の身体バランスへの影響を検討した。Fig.5に学生Yの例を示す。歩行角度については、45度と60度では標準偏差が概ね極小となり、被験者の歩行時の印象と一致することを確認した。また、浅い歩行角度0度と30度では通常と異なる足運びとなる場合も標準偏差は小さい。一方、スラットの間隔が大きいと、安定した歩行が出来ずにゆらぎが大きく、スラット間隔が小さくなると、ゆらぎの減少も見られるが、歩行データを増や

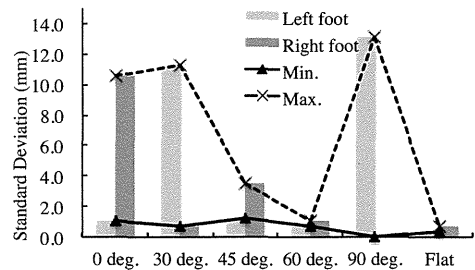


Ordinary Parallel Figure Shape "V" Crab like walk

Fig.4 Gait pattern of walking on slat conveyor



(a) Slat space: 150mm



(b) Slat space: 60mm

Fig.5 Standard deviation of the peak point of pressure on toe of walking on the mock-up of slat conveyor for examinee Y (university student)

した再度の調査が必要である。

以上のことは、身体の加速度の時系列波形にカオス理論を適用したゆらぎ解析法を用いた歩行路環境の安全性評価の検討¹⁾による、歩行方向は45度、60度が望ましいことと一致することを確認した。

4. 結言

歩行時にバランスを取りにくいスラットコンベアおよびモックアップにおいて歩行実験を行い、歩行路環境が歩行時の身体バランスに与える影響について、足底圧分布におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎを検討することにより、歩行動作の安全性評価の検討を行った。

参考文献

- 1) 田中太氏, 篠田岳思, ゆらぎ解析による造船工場の歩行路環境の安全性評価に関する研究—NC切断機のコンベアラインの歩行動作への適用—, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第11号, pp.111-112, 2010.11

ネットワークカメラによる造船工場の 作業・安全観測に関する研究

正員 篠田 岳思* 正員 田中 太氏* 正員 柳原 史希**
正員 熊田 徹*** 非会員 瀬々 さおり****

Study on Work and Safety Observation by Network Camera at Shipyard
by Takeshi Shinoda, Member Takashi Tanaka, Member Shiki Yanagihara, Member
Toru Kumata, Member Saori Zeze, Student Member

Key word: Network camera, Monitoring, Work and Safety Observation

1. はじめに

労働安全衛生マネジメントシステム OHSAS18001では、「事業者は、労働安全の実績を定期的にモニタリングおよび測定するための手順を確立し維持すること」が求められている。しかし、造船所の労働安全管理の現状では災害の事後対処に翻弄されているのが現状であり、災害の事後対処から事前対処へのリスクアセスメント適用による転換が課題となっている。本研究ではリスクアセスメントにおけるハザードの同定、およびそのリスク解析や対策実施後のリスク軽減のチェックについて有効な手法として、ネットワークカメラによる作業安全観測を実際の造船所の切断工程に適用し、作業安全モニタリングシステムの検討を行った。

2. 作業安全観測

2.1 作業安全リスクアセスメント

造船所における労働安全向上のためのリスクアセスメントの方法については、作業員達自らが作業の安全改善に取り組めるように工夫し、次の1)労働災害ハザードの同定、2)作業安全ハザードのリスク解析3)リスク軽減対策案の策定、4)対策実施の合意形成、5)対策実施後のリスク軽減のチェック、の5つの過程から構成し、実際の造船工場に適用した。

2.2 PDAによる作業・安全観測

作業安全ハザードのリスク解析には、作業と不安全状態を同時に観測することにより、作業に潜む不安全状態を定量的に把握する。これには観測の利便性を図るために、PDA(Personal Digital Assistant, 小型携帯端末)を用いた作業・安全観測方法の開発を行っており、利用効果の検証としてNC切断工程について適用を実施した。

NC切断工程において安全上懸念される事項としては、プラズマやレーザーを利用した装置を用いることからスラットコンベアを採用されていることが多いが、スラット間の隙間が大きく足元が悪いため、作業や移動に伴う動作を行うには身体が不安定になることあり、時折、労働災害が発生している。日本造船工業会による「休業災害(含む死亡)調査報告」の災害事例では、スラットコンベア上でのクレーン操作の際の転倒や、不安定な状態にあった切断材に乗り転倒することや、NC切断機が稼働している際の機器との挟まれがある。

働している際の機器との挟まれがある。

NC切断工程における要素作業の内、安全レベルが危惧される事象として作業・安全観測が実施された際の内訳をTable1に示す。この工程ではスラットコンベア上での切断や移動に関する要素作業に不安全状態が多く、災害の型分類では、転倒・躓きが最も多く、次に、NC切断機器との接触への不安全が懸念されている。特にスラットコンベア上移動では安全レベルにおいて災害直結すると考えられる例が5件あり、これまでに発生したこの種の事故の特徴と一致した。

3. ネットワークカメラによる作業・安全観測

3.1 作業・安全モニタリングシステムの構築

作業・安全観測のため動画の撮影や画像の効率的な分析方法として、ネットワークカメラによる作業・安全観測システムを構築し、本システムの構成図をFig.1に示す。撮影された動画は無線LANを通じて工場外からモニタリングが可能であり、工場の安全管理部門では動画の検索、閲覧、作業観測が可能である。

3.2 不安全状態の検出

作業・安全モニタリングシステムの検討のため、PDA観測を行ったNC切断工程への適用を試みた。この工程でのスラットコンベアを7月1日より12日まで10日間の昼夜二交代の作業についてネットワークカメラにより撮影して得られた動画を目視により作業・安全観測を行った。不安全状態として考えられるものとして81件を抽出した。転倒・躓きが24件と最も多く、残材を処理するために稼働中のコンベア上での歩行等の問題が見られた。また、残材ピットの近くにはスラット交換のために作業があったが墜落・転落への心配も見受けられた。

3.3 NC切断コンベア上における歩行の分析

Table 1 Result of work and its safety observation by PDA observation

要素作業	ルール違反	災害直結	不安全発見件数合計	観測件数 (不安全発見率)	災害の型分類			
					転倒 躓き	激突 され 機器 接触 等	高温 接触 火傷	その他 保護具 未使用
NC操作	2		2	44 (5%)				2
グラインダー	3		20	52(38%)	2	6		12
コンベア上移動		5	21	49(43%)	19	2		
ノロ・手切断		1	1	21 (5%)		1		
機器監視	2		2	27 (7%)				2
機器準備	1		1	18 (6%)				1
残材切断	3		29	87(33%)	6	11	9	3
書き入れ		1	1	44 (2%)		1		

* 九州大学大学院工学研究院
** DNV (研究当時 九州大学工学部)
*** 商船三井 (研究当時 九州大学大学院工学府)
**** 北九州市役所 (研究当時 九州大学工学部)
原稿受付 平成23年9月19日
秋季講演会において講演 平成23年11月1,2日
©日本船舶海洋工学会