

表 C-2-1-5 PDA 作業・安全観測項目の定義（不安全状態）

No	工程名	事故の型分類	不安全状態	不安全状態の定義（例）
1	工程 1	事故の型 1	作業 1	例 1
			作業 2	例 2
		事故の型 2	作業 3	例 3
			作業 1	例 1
		事故の型 3	作業 4	例 4
			作業 5	例 5
作業 6	例 6			
2	工程 2	事故の型 1	作業 1	例 1
			作業 2	例 2
		事故の型 4	作業 7	例 1
			作業 8	例 8
•		•		
•		•		
•		•		

ID 0			ID 4			ID 20		
工程名			工程5, 7, 8			工程5		
工程1 水切り	工程2 鋼板仕分け	工程3 ショット	(船内) 指揮者	(船内) 作業者	クレーン オペレータ	NC操作	NCデータ 確認	書き入れ
工程4 印字 標内搬入	工程5 NC切断	工程6 二次加工	(陸上) 指揮者	(陸上) 作業者	オペレータ	残材切断	コンベア 操作	コンベア上 移動
工程7 アイトレーサ	工程8 フレームプレーナ	工程9 運搬	仕分け 指揮者	指揮者	作業者	機器準備	機器監視	ノロ・ 手切断
工程10 屋外での 仕分け	工程11 グラインダー	工程12 トレーラ 運搬	運搬者	フォークリフト 運転手	トレーラ 運転手	グラインダ	運搬補助	指差確認
						清掃	移動	手待ち・ 休憩

ID 28			ID 36			ID 41		
足下の状態			工程5:NC切断			安全レベル		
鋼板上	定盤上	定盤端部	墜落・転落	転倒・踏み	部材の倒壊	良好		
コンベア上	安全通路	階段	荷振れ	合図無し	人払い	やや良好		
			吊荷下	退避不十分	ペンダント 誤作動	不足		
			機器接触	手足払い・ 立ち位置	ロー、チェーン 巻き込まれ	違反		
			火傷	保護具 未使用	不安全 状態なし	災害直結		

図 C-2-1-1 PDA アプリケーション設定ファイル

<Step 6> PDA アプリケーションの設定

(1) 概要

PDA アプリケーションに、作業・安全観測項目を反映する。

(2) 内容

PDA やメモリーカードを準備し、アプリケーションの設定ファイルを作成し、アプリケーションに反映する。

<Step 7 > PDA 作業・安全観測練習

(1) 概要

PDA の操作・観測方法について練習を行う。

(2) 内容

Step 3 で工程ごとに整理した動画を見ながら、観測時の入力についての練習を行う。また、複数人が同一の動画で練習を行うことで、要素作業や不安全状態に対する認識の統一を行うことも目的である。

<Step 8> PDA 作業・安全観測

(1) 概要

PDA アプリケーションを用いて、作業・安全観測を行う。

(2) 内容

- 1) トライアルとして1週間程度観測を行う。
- 2) 途中経過を集計する。(集計方法を Step9 に示す)
- 3) 引き続き、3週間程度の観測を行う。

観測数は、1工程当たり150件程度を目標に観測を行う。

(3) 観測時の注意点

- ・トライアル後、観測者に観測する上での問題点を報告してもらおう。
例えば、観測項目について、足りない項目や選択に迷った項目を見直し、追加・削除・統合を行う。
- ・途中経過の集計では、観測されたデータの偏り、不足、観測のペースについてまとめ、観測者に報告・指示を行う。

<Step 9> 作業安全リスク分析

(1) 概要

PDA 作業安全観測データより、リスク分析を行う。

(2) 内容

観測データを変換プログラムでエクセル形式に変換し、以下の順でリスク分析を行う。

- 1) 工程毎の要素作業別に安全レベルを集計する。(集計2)
- 2) 安全レベルが低い順番に要素作業を並べる。
- 3) 列挙された要素作業について安全レベルの低さで対象を絞る。(集計1)

(3) 作成資料および資料作成の方法

- 1) 集計1：不安全状態が危惧される要素作業
集計2より、安全レベルの低い要素作業を抽出し、その要素作業に対する不安全状態の関係を確認する。
- 2) 集計2：要素作業の安全レベル
縦軸に各工程の要素作業、横軸に安全レベルをとり、要素作業についての安全レベルを確認する。
- 3) 集計3：不安全状態のレベル

縦軸に各工程の不安全状態，横軸に安全レベルをとり，不安全状態についての安全レベルを確認する。

4) 集計4：要素作業の危惧される不安全状態（RA）

縦軸に各工程の要素作業，横軸に安全レベルと不安全状態をとり，要素作業と不安全状態の関係より，総数が多い要素作業について，KYとして考えられる。

<Step 10> リスク分析の評価・対策の検討

(1) 概要

リスク分析の結果より，審議を行い安全改善の検討を行う。

(2) 内容

リスク分析より挙げられた安全レベルの低い要素作業について審議を行い，その原因について対策・検討を行う。

1) 集計1における安全レベルの低い要素作業についてヒアリングを行い，対策を講じる対象をさらに絞る。

2) 対象となる要素作業について，現状について審議を行い，実行可能な対策を検討する。

(3) 準備資料

1) PDA 作業・安全観測集計表

2) 過去の災害事例（DB）

3) ハザード対策展開表を用いて対策案の立案を行う。

<Step 11> 意思決定者への揭示・報告

(1) 概要

意思決定者に対して対策の報告を行い判断を委ね，また全体の合意形成を計る。

(2) 内容

Step 10 の結果について，意思決定者（所長，工場長，部長等）に検討を行った対策の報告を行い，対策実行の判断を委ね，また全体の合意形成を計る。

(3) 準備資料

1) PDA 作業・安全観測項目・定義

2) PDA 作業・安全観測の入力パネル配置

3) 過去の災害事例（DB）

4) PDA 作業・安全観測集計表

5) ハザード対策展開表（作業安全対策の検討結果）

C-2-2 建造現場でのリスクアセスメントツールの適用

建造現場において開発した PDA 作業・安全分析法を手順に従い，鋼材の切断工程への適用を行った。なお，集計等の詳細については省略する。

C-3 モックアップ実験による歩行路環境の安全性評価

本研究において開発されたリスクアセスメントツールを用いた解析や、安全管理者による安全パトロールによると、NC切断工程のスラットコンベヤ上の歩行において不安全状態が心配されている。ここではスラットコンベヤ上の歩行路環境の安全性評価についてスラット上の歩行実験による検討を行い、リスクコンベヤ上の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-3-1 歩行動作の取得

図 C-3-1-1 に歩行路のモックアップ実験の概要を示す。

歩行動作中の身体重心の加速度の時系列データの取得には加速度センサを用いる。ここでは、被験者の腰の付近に小型の3軸加速度センサを取り付け、歩行中の加速度を計測し、この加速度の時系列波形を解析することにより被験者の動作を取得する。図 C-3-1-2 には被験者に取り付けたセンサの位置を示すが、ここでは、重心位置に近い腰にセンサを取り付けた。なお、これまでの歩行路環境が身体バランスへ与える影響の検討によると、身体重心の近くに位置する左右の大腿骨の外側の出張りである大転子の軌跡を身体重心の軌跡の代わりに用いて、身体バランスの解析が可能である。次にこの被験者に図 C-3-1-1 に示すモックアップ上を歩行してもらい、歩行中の加速度について3次元方向の時系列データを取得する。

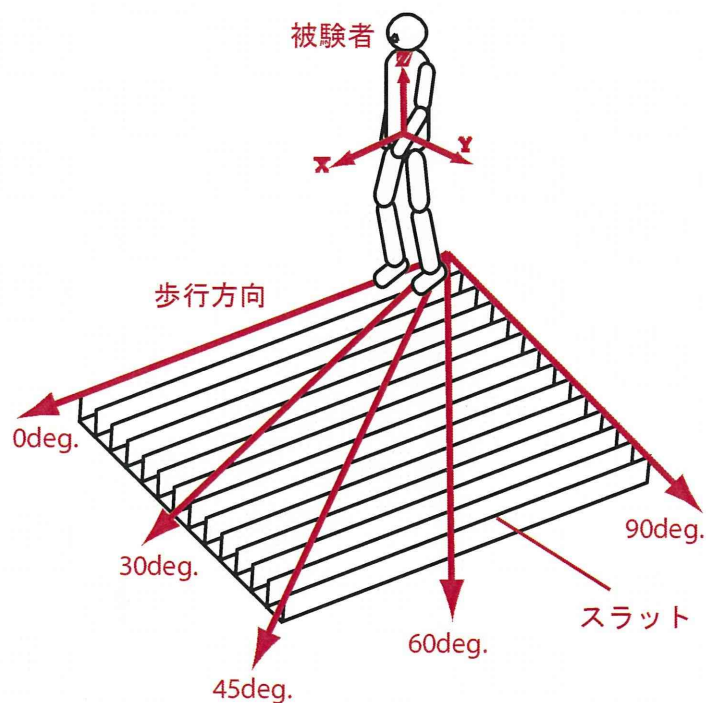


図 C-3-1-1 歩行実験のモックアップ

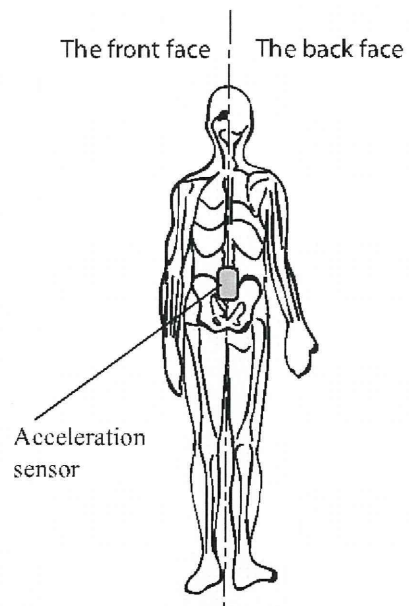


図 C-3-1-2 加速度センサの取り付け位置

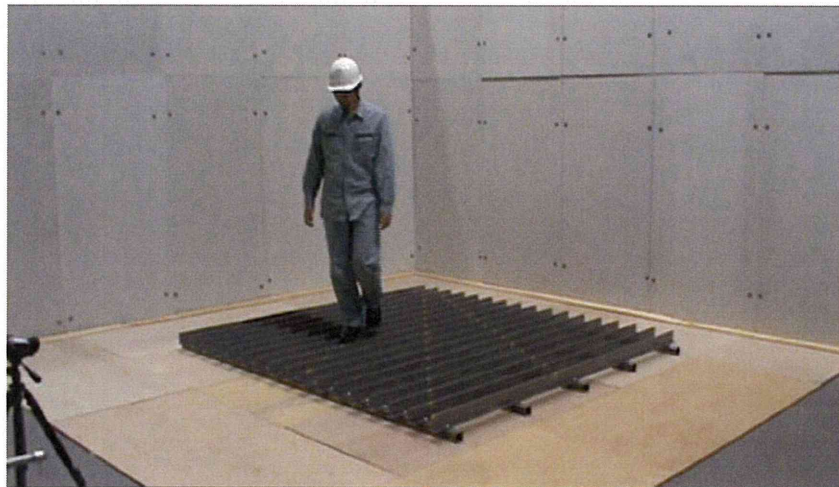


図 C-3-1-3 モックアップによる歩行実験の様子

C 3-2 リカレンスプロットによるゆらぎ解析

歩行時の加速度の波形のゆらぎを解析するために、ここではカオス理論におけるリカレンスプロットを用いて 2 次元画素上にプロットとしてゆらぎを抽出し、このプロットの分布をパターンマッチングに用いられる手法により特徴化してゆらぎを特徴量として定量化する。さらに、異なる歩行路環境下における歩行実験において現れるゆらぎの特徴量と、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の比較を行い、歩行路環境の安全性評価の検討を行う。次にゆらぎ解析の手順を述べる。

リカレンスプロットは図 C-3-2-1(a)に示すような時系列データに含まれるアトラクタの構造・性質上の周期性や定常性のような時間的変化を、アトラクタ上の二点の相対位置関係から図 C-3-2-1(b)に示すように視覚的に表現する方法である。N 点の時系列データ $x_i (i \in N)$ で現されるアトラクタに対して、2 次元画像 $N \times N$ を設定し、 $x_i, x_j (i, j \in N)$ の二点間の相対位置量として元の軌道からの変動量を表すために、次式で定義する距離 $D_N(i, j)$ に基づいて計算される量を画素として (i, j) に割り付けて視覚化する。

$$D_N(i, j) = (D(i, j) - D_m) / (D_M - D_m) \quad (1)$$

ここに、 $D(i, j) = \|x_i - x_j\|$ であり、 D_m, D_M は $D(i, j)$ の最小値、最大値であり、0 に黒、1 に白として画素の色に $D_N(i, j)$ に応じてグレースケールを割り当て、グレースケールの程度に応じて相対位置関係の強弱を表す。例えば、図 C-3-2-1(b)に示すように、周期性が強い時系列データには整った菱形の格子状のパターン分布が現れる。

ここで、リカレンスプロットの模様に見えるゆらぎの特徴をパターンマッチングに用いられるパターンの分布を用いて特徴化して定量化する。ここでは、図 C-3-2-1(c)に示すように、プロット値の角度方向のゆらぎ分布である次式で定義される $q(\theta)$ を用いる。

$$q(\theta) = \sum_{0 \leq r < N/\sqrt{2}} \{1 - D_N(r, \theta)\} \quad (2)$$

なお、 $D_N(r, \theta)$ は $D_N(i, j)$ のプロット領域の中心を原点として極座標形式に変換したものである。

さらに、異なるパターン的一致度として用いられるパターン分布間のユークリッド距離をゆらぎの不一致度として次式で求め、ゆらぎのパターンの違いを定量化する。

$$D(Q) = \left\{ \sum_{0 \leq \theta < 360} (Q_s(\theta) - Q_0(\theta))^2 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

ここに、 $q(\theta)$ の分布の最小値と最大値で 0-1 へ正規化した値を $Q(\theta)$ と表し、 Q_0 はパターンの基準を示し、 Q_s はパターンの比較対象を示す。

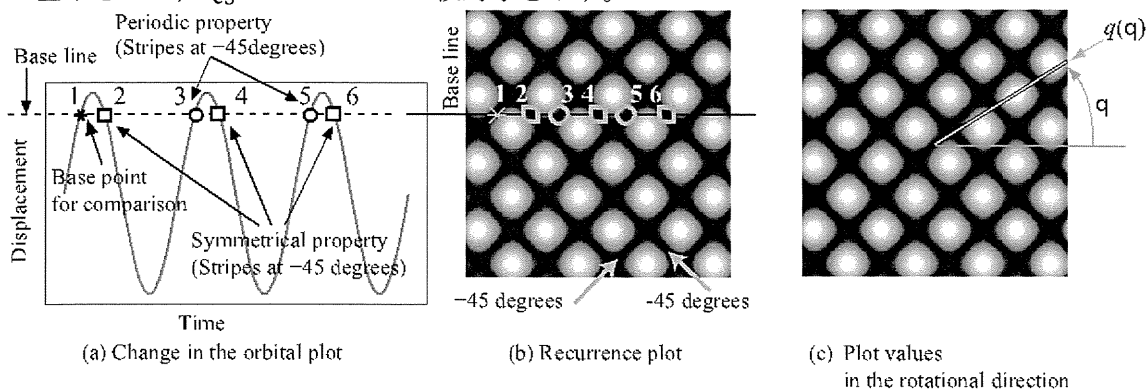


図 C-3-2-1 時系列データ（正弦波）の波形とリカレンスプロットとプロットの角度方向の分布の例

C 3-3 歩行路環境と歩行時の身体バランス

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、歩行路のモックアップを作成して歩行実験により検討を行う。

NC 切断工程においては、スラットコンベヤの端部に載せられた材料の鋼板が NC 切断機の場所まで搬送される。コンベヤ上で鋼板は切断加工され、作業が完了すると、製品はクレーンによって搬出され、残材もコンベヤによって残材箱へ搬出される。この工程ではコンベヤ上で加工されるため、コンベヤ上の作業のために、作業担当者は平行かつ等間隔に並んだスラット（羽根板）上を歩行しなければならないが、スラットの厚さは 1cm 程度と薄いため、歩行中に身体バランスがゆらぎ易く、歩きにくい。一方、作業担当者はスラットコンベヤ上の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。浅い角度でスラット上を歩行すると、靴底を支えるスラットの本数が少なく、靴底のパターンでスラットをグリップしにくく、身体バランスを崩す恐れがある。ここでは、スラットコンベヤ上の歩行時の身体バランスに影響を及ぼすと考えられるスラットコンベヤ上の歩行路の環境の要因として、表 C-3-3-1 に示す実験条件をモックアップにより再現して歩行実験を行った。

歩行実験での計測例として、等間隔で並ぶスラットに対する歩行進路の角度を拘束したスラット上を歩行する場合の負荷影響の下での実験における加速度について、被験者の上下方向の変位を表す z 方向の加速度の時系列波形の外形を図 C-3-3-1 に示す。ここに、時間軸は一步を一周期として正規化して表す。この図によると、平坦路の歩行では、ほぼ規則的な運動を示し、間隔 15cm のスラットに対して垂直に(90 度)スラット上を歩行した場合も同様な傾向を示すが、足底の荷重は接地面積の小さいスラットで支え、踵から爪先への荷重移動の時間が短くなるため、ピーク値が大きくなる。次に、スラットに対する歩行の進行方向の角度が浅くなるに連れて、卓越したピークを中心とした波形の山の形状が崩れ、小さな多数のピークの集合に代わり、波形がゆらいでいることがわかる。このため、歩行時の身体重心の加速度波形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について検討を行う。

表 C-3-3-1 モックアップ歩行実験の実験条件

呼称	条件		
Flat	平坦な平滑面での歩行		
		スラット間隔	角度
15cm・90deg	スラット上の歩行	15cm	90deg.
15cm・60deg			60deg.
15cm・45deg			45deg.
15cm・30deg			30deg.
15cm・0deg			0deg.
10cm・90deg		10cm	90deg.
10cm・60deg			60deg.
10cm・45deg			45deg.
10cm・30deg			30deg.
10cm・0deg			0deg.
5cm・90deg		5cm	90deg.
5cm・60deg			60deg.
5cm・45deg			45deg.
5cm・30deg			30deg.
5cm・0deg			0deg.

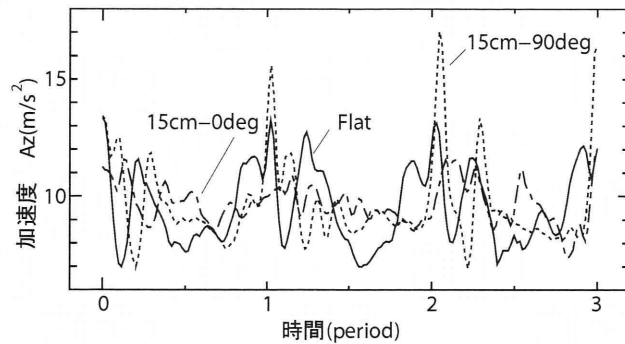


図 C-3-3-1 時系列波形の変化

C 3-4 歩行動作のリカレンスプロットによるゆらぎ解析

(1) リカレンスプロット

図 C-3-3-1 に例を示した、スラット上の歩行時の身体バランスの波形のゆらぎを、リカレンスプロットによるゆらぎ解析を用いて検討した。図 C-3-4-1 にそのリカレンスプロットを示す。この図によると平坦路歩行では波形の周期性を表す+45 度方向に現れる黒筋よりも卓越したピークを表す複数の白筋が目立つ。スラット上の垂直方向の歩行では、鋭い卓越したピークに対応して、白筋が細くはっきりとしているが、スラットに対する歩行の進行方向の角度が浅くなるに連れて、鮮明な白筋が多数の白筋に別ればやけてくる。これは、加速度の波形の周期性がゆらぎ、歩行動作が適正に取れていないことを示している。

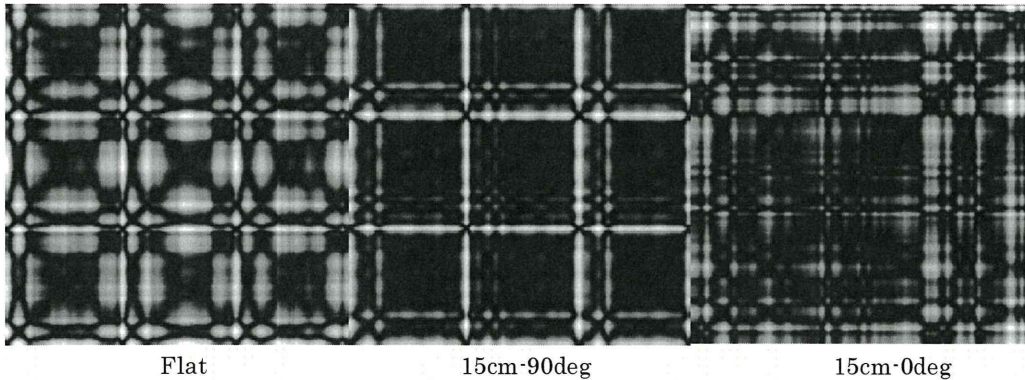


図 C-3-4-1 リカレンスプロットの変化

(2) 不一致度による比較

歩行時の身体バランスに影響を与える各種の歩行路環境について、平坦路上での歩行を基準として歩行路環境の身体バランスに与えるゆらぎの違いを不一致度として数量化して比較したものを図 C-3-4-2 に示す。この図によると、歩行に支障が現れる印象がある歩行路環境を尋ねた被験者へのインタビューから、スラット間隔によらずに、スラットへの進入角度が浅い状態になると、歩行動作の支障として身体バランスにゆらぎが現れ、不一致度として増加していることを確認した。なお、今回の実験では、スラットの間隔が 5cm の場合には、作成したモックアップ上は歩行数の制約があった。特に 45 度以上では歩数の確保が難しかったため、他のスラット間隔と比較して条件とゆらぎの違いが抽出できなかった可能性があり、不一致度の変化が不揃いである。以降ではスラット間隔 5cm については 0 度、30 度のみを抽出して検討したが、スラット間隔 15cm、10cm では進入角度が大きくなると不一致度が減少する傾向があること、スラット間隔 5cm においても、0 度から 30 度の間にも減少傾向があることから、45 度以上でも同様の減少傾向の可能性がある。

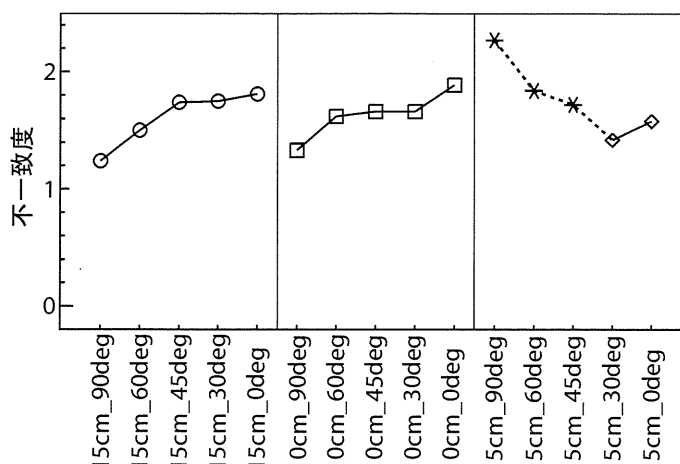


図 C-3-4-2 さまざまな歩行路環境要因によるリカレンスプロットの不一致度

次に、様々な歩行路環境要因の間において、全ての組み合わせの相互のゆらぎの違いを不一致度のマトリクスとして比較しものを図 C-3-4-3 に示す。

この図によると、平坦路とスラット上の間では不一致度が大きく、平坦路の歩行を基準に比較すると、スラット上の歩行のバランスの変化が相対的に小さくなり、比較しにくい。ため、あるスラット上の歩行を基準とする。始めに、スラットコンベヤ上の作業におけるリスクコントロールオプションの検討であることを考慮し、スラットに対して垂直な進入角度 90 度は検討から除外した。次に、平坦路とスラット上の歩行を比べると、スラット間隔 5cm において不一致度が小さく、ゆらぎが小さいため、スラット間隔 5cm の 30 度を歩行の基準と仮定した。

スラット間隔 5cm・30 度の歩行を基準として、歩行路環境を不一致度で比較すると、図 C-3-4-4 に示す様にスラット間隔が 15cm の場合は、45 度、60 度の不一致度が小さい、スラット間隔が 10cm の場合は 30 度、45 度、60 度の不一致度が小さい。スラット間隔 5cm の場合は 30 度、0 度の不一致度が小さい。

		歩行路環境																																												
		15cm_90deg_1	15cm_90deg_2	15cm_90deg_3	15cm_60deg_1	15cm_60deg_2	15cm_60deg_3	15cm_45deg_1	15cm_45deg_2	15cm_45deg_3	15cm_30deg_1	15cm_30deg_2	15cm_30deg_3	15cm_0deg_1	15cm_0deg_2	15cm_0deg_3	10cm_90deg_1	10cm_90deg_2	10cm_90deg_3	10cm_60deg_1	10cm_60deg_2	10cm_60deg_3	10cm_45deg_1	10cm_45deg_2	10cm_45deg_3	10cm_30deg_1	10cm_30deg_2	10cm_30deg_3	10cm_0deg_1	10cm_0deg_2	10cm_0deg_3	5cm_90deg_1	5cm_90deg_2	5cm_90deg_3	5cm_60deg_1	5cm_60deg_2	5cm_60deg_3	5cm_45deg_1	5cm_45deg_2	5cm_45deg_3	5cm_30deg_1	5cm_30deg_2	5cm_30deg_3	5cm_0deg_1	5cm_0deg_2	5cm_0deg_3
歩行路環境	15cm_90deg_1	00	1.1	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6	0.9	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	12	0.7	1.6	1.1	1.1	1.5	0.8	1.0	1.0	1.1	1.2	1.1	1.5	1.1	1.0	1.5	1.3	0.9	0.9	1.1	1.2	0.7	1.2						
	15cm_90deg_2	11	00	0.8	0.4	0.8	1.5	1.5	0.7	0.9	1.0	1.4	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	12	0.8	0.9	1.3	1.2	1.2	1.0	1.0	1.1	0.9	1.2	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.2	0.7	0.8	1.4	1.0	2.1					
	15cm_90deg_3	05	08	00	0.5	0.5	1.0	0.9	0.7	0.5	0.6	1.0	0.6	0.8	0.5	0.7	0.9	0.8	1.3	0.8	1.1	1.2	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.2	0.8	0.8	1.2	1.0	0.8	0.6	0.9	1.2	0.8	1.5							
	15cm_60deg_1	07	04	0.5	0.0	0.4	1.2	1.2	0.5	0.6	0.7	1.1	0.5	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.8	1.1	1.1	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	1.0	1.0	0.7	0.8	1.0	0.8	0.9	0.5	0.7	1.2	0.8	1.8							
	15cm_60deg_2	05	08	0.5	0.4	0.0	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.8	0.5	0.9	0.7	0.7	1.0	0.7	1.3	0.9	1.1	1.2	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.3	0.9	0.8	1.3	1.0	0.7	0.7	0.9	1.1	0.6	1.5							
	15cm_60deg_3	06	15	1.0	1.2	0.9	0.0	0.4	1.3	0.8	0.8	1.1	1.3	1.1	1.2	1.6	0.9	2.0	1.4	1.3	1.7	1.0	1.3	1.3	1.4	1.6	1.3	1.8	1.5	1.2	1.9	1.6	1.1	1.3	1.5	1.3	0.9	0.9								
	15cm_45deg_1	06	15	0.9	1.2	0.8	0.4	0.0	1.2	0.8	0.7	0.7	1.1	1.4	1.1	1.3	1.6	0.9	2.0	1.4	1.3	1.7	0.9	1.2	1.3	1.3	1.5	1.3	1.8	1.5	1.2	1.9	1.6	1.0	1.2	1.5	1.3	1.0	1.0							
	15cm_45deg_2	09	07	0.7	0.5	0.6	1.3	1.2	0.0	0.7	0.8	1.0	0.6	0.9	0.8	0.7	0.6	0.8	1.1	0.6	1.0	0.9	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0	0.7	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9	0.8	1.7							
	15cm_45deg_3	05	09	0.5	0.6	0.4	0.8	0.8	0.7	0.0	0.5	0.8	0.6	1.0	0.7	0.9	1.1	0.8	1.4	1.0	1.1	1.3	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.0	1.4	1.1	0.9	1.4	1.1	0.8	0.8	1.0	1.1	0.7	1.4							
	15cm_30deg_1	05	10	0.6	0.7	0.4	0.8	0.7	0.8	0.5	0.0	0.7	0.7	1.0	0.8	0.9	1.2	0.8	1.5	1.0	1.2	1.4	0.8	0.9	0.9	1.1	1.2	1.1	1.5	1.1	0.9	1.5	1.2	0.9	0.9	1.1	1.2	0.7	1.4							
	15cm_30deg_2	08	14	1.0	1.1	0.8	0.8	0.7	1.0	0.8	0.7	0.0	1.1	1.4	1.2	1.3	1.5	0.9	1.8	1.3	1.4	1.6	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3	1.8	1.5	1.3	1.8	1.4	1.0	1.3	1.4	1.3	0.9	1.2							
	15cm_30deg_3	08	07	0.6	0.5	0.5	1.1	1.1	0.6	0.6	0.7	1.1	0.0	0.9	0.7	0.7	0.9	0.9	1.1	1.0	1.0	1.1	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9	1.1	0.9	0.9	1.1	0.9	0.8	0.7	0.8	1.1	0.8	1.8							
	15cm_0deg_1	09	0.8	0.8	0.8	0.9	1.3	1.4	0.9	1.0	1.0	1.4	0.9	0.0	0.9	0.8	0.9	1.1	1.3	0.9	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	0.9	0.9	1.1	1.0	1.1	0.8	0.9	1.3	1.0	1.8							
	15cm_0deg_2	08	0.9	0.5	0.7	1.1	1.1	0.8	0.7	0.8	1.2	0.7	0.9	0.0	0.7	1.0	0.8	1.1	1.3	1.0	1.0	1.2	0.9	0.9	0.9	1.1	1.0	1.1	0.9	0.8	1.3	1.0	0.9	0.8	1.3	1.0	1.2	0.8	1.5							
	15cm_0deg_3	09	0.8	0.7	0.7	1.2	1.3	0.7	0.9	1.3	0.7	0.8	0.7	0.0	0.8	1.1	0.8	0.9	1.1	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.5	0.6	0.9	0.7	0.8	0.5	0.6	1.0	0.8	1.7							
	10cm_90deg_1	12	0.8	0.9	0.8	1.6	1.6	0.6	1.1	1.2	1.5	0.9	0.9	1.0	0.8	0.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.9	0.6	0.6	0.5	0.9	0.7	0.5	0.8	0.5	0.6	0.8	0.6	1.0	1.1	2.0								
	10cm_90deg_2	07	1.2	0.8	0.9	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1	0.8	0.8	1.0	0.0	1.4	0.9	0.9	1.1	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9	0.8	1.3	1.0	0.7	1.3	1.0	0.6	1.0	0.8	0.7	1.3								
	10cm_90deg_3	16	0.8	1.3	0.9	1.3	2.0	2.0	1.1	1.4	1.5	1.8	1.1	1.3	1.3	1.1	0.9	1.4	0.0	1.1	1.5	1.2	1.5	1.2	1.1	1.3	0.9	1.3	0.9	1.0	1.2	0.9	1.4	1.0	0.8	1.5	1.5	2.8								
	10cm_60deg_1	11	0.9	0.8	0.8	0.9	1.4	1.4	0.6	1.0	1.0	1.3	1.0	0.9	1.0	0.8	0.5	0.9	1.1	0.0	0.9	0.7	0.8	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8	0.8	0.7	0.9	1.0	1.8							
	10cm_60deg_2	11	1.3	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3	1.0	1.1	1.2	1.4	1.0	1.1	1.0	0.9	1.0	0.9	1.5	0.9	0.0	0.8	0.7	0.7	0.8	0.6	0.9	0.5	1.0	0.9	1.1	0.9	0.7	1.0	0.8	0.7	1.0	1.6								
	10cm_60deg_3	1.5	1.2	1.2	1.1	1.2	1.7	1.7	0.9	1.3	1.4	1.6	1.1	1.2	1.2	0.9	0.6	1.1	1.2	0.7	0.8	0.0	1.0	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9	0.6	0.5	0.9	1.0	0.7	0.8	1.2	2.0							
	10cm_45deg_1	0.8	1.2	0.8	0.9	0.8	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	1.0	0.9	1.1	0.9	0.8	0.9	0.5	1.5	0.8	0.7	1.0	0.0	0.5	0.6	0.6	0.9	0.6	1.2	0.9	0.7	1.2	0.9	0.4	0.9	0.8	0.7	1.3								
	10cm_45deg_2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	1.3	1.2	0.6	0.9	1.1	0.8	1.0	0.9	0.7	0.6	0.6	1.2	0.5	0.7	0.7	0.5	0.0	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9	0.7	0.6	0.9	0.7	0.6	0.9	0.4	0.8	0.6	0.8	1.6							
	10cm_45deg_3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	1.3	1.3	0.7	0.9	1.2	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6	0.6	1.1	0.5	0.8	0.7	0.6	0.4	0.0	0.5	0.5	0.7	1.0	0.7	0.6	0.9	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	0.8	1.7								
	10cm_30deg_1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	1.4	1.3	0.7	1.0	1.1	1.3	0.9	1.0	0.9	0.8	0.6	1.3	0.6	0.5	0.6	0.4	0.5	0.0	0.6	0.5	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6	0.5	0.8	0.6	0.5	0.6	0.9	1.7								
	10cm_30deg_2	1.2	0.9	1.0	0.8	0.9	1.6	1.5	0.7	1.1	1.2	1.4	1.0	1.0	1.1	0.7	0.5	0.9	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.5	0.5	0.6	0.0	0.8	0.7	0.6	0.8	0.6	0.4	0.8	0.8	0.5	0.9	1.0	2.0							
	10cm_30deg_3	1.1	1.2	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	0.8	1.0	1.1	1.3	0.9	1.1	1.0	0.8	0.9	0.8	1.3	0.8	0.5	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	0.8	0.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.6	0.7	1.0	1.6								
	10cm_0deg_1	1.5	1.0	1.2	1.0	1.3	1.8	1.8	1.0	1.4	1.5	1.8	1.1	1.1	0.9	0.7	1.3	0.9	0.9	1.0	0.7	1.2	0.9	1.0	0.8	0.7	0.9	0.0	0.6	1.0	0.6	0.7	1.1	0.9	0.7	1.2	1.3	2.2								
	10cm_0deg_2	1.1	0.9	0.8	0.7	0.9	1.5	1.5	0.7	1.1	1.1	1.5	0.9	0.9	0.5	0.5	1.0	0.6	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6	0.8	0.6	0.0	0.7	0.6	0.9	0.6	0.5	1.1	1.0	1.0	1.9									
	10cm_0deg_3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	1.2	1.2	0.8	0.9	1.3	0.9	0.8	0.6	0.8	0.7	1.2	0.8	0.9	0.9	0.7	0.6	0.6	0.8	0.8	1.0	0.7	0.0	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	0.9	1.6									
	5cm_90deg_1	1.5	1.0	1.2	1.0	1.3	1.9	1.9	0.9	1.4	1.5	1.8	1.1	1.1	1.3	0.9	0.5	1.3	0.9	0.7	1.1	0.6	1.2	0.9	0.8	0.6	1.0	0.6	0.7	1.0	0.0	0.5	1.1	1.0	0.7	1.2	1.3	2.3								
	5cm_90deg_2	1.3	0.8	1.0	0.8	1.0	1.6	1.6	0.6	1.1	1.2	1.4	0.9	1.0	1.0	0.7	0.5	1.0	0.9	0.6	0.9	0.5	0.9	0.6	0.6	0.6	0.4	0.8	0.7	0.6	0.8	0.5	0.8	0.5	0.9	1.0	2.0									
	5cm_90deg_3	0.9	1.2	0.8	0.9	0.7	1.1	1.0	0.7	0.8	0.9	1.0	0.8	1.1	0.9	0.8	0.6	1.4	0.8	0.7	0.9	0.4	0.4	0.6	0.5	0.8	0.6	1.1	0.9	0.7	1.1	0.8	0.0	0.7	0.5	0.8	1.4									
	5cm_0deg_1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.7	1.3	1.2	0.7	0.8	0.9	1.3	0.7	0.7	0.5	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.6	1.1	0.8	0.9	0.6	0.7	1.0	0.8	0.9	1.8									
	5cm_0deg_2	1.1	0.8	0.9	0.7	0.9	1.5	1.5	0.7	1.0	1.1	1.4	0.8	0.9	1.0	0.6	0.6	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	1.9									
	5cm_0deg_3	1.2	1.4	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3	0.9	1.1	1.2	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.8	1.5	0.9	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.9	0.7	1.2	1.1	0.9	1.2	0.9	0.5	1.2	0.9	1.0	1.6									
Flat_1	0.7	1.0	1.0	0.8	0.6	0.9	1.0	0.8	0.7	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.1	1.5	1.0	1.0	1.2	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.3	1.0	0.8	0.9	1.0	1.0															

D. 考察

(1) リスクアセスメントツール

作業者には RA 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り、さらに導入課題を研究課題として取り組む必要がある。

1) PDA 入力 of 課題：作業者は携帯電話等の操作から PDA 導入の障害は比較的低いですが、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必要とする。

2) 作業・安全観測項目作成の課題：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ていく。

3) RA の運用の課題：現場では RA 運用や作業・安全リスク分析への抵抗感がある。RA の定型化、RA 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ていく。

(2) 安全歩行のためのスラット間隔の検討

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、スラットコンベアのリスクコントロールオプションを検討した。身体バランスのゆらぎを小さくし、身体バランスを崩すリスクを抑えるために、リスクコントロールオプションとして以下の点を提案した。

- ・スラット間隔が 15cm の場合、45 度、60 度の歩行角度が望ましい。
- ・スラット間隔が 10cm の場合、浅い角度においても問題が現れにくくなるが、30 度以上 60 度程度の歩行角度が望ましい。
- ・スラット間隔が 5cm の場合は、概ね問題ない可能性がある。

今後は実際の現場に設置されているスラット間隔の異なる定盤での実際の計測とモックアップでの実験による比較を行う計画である。

E. 結言

本研究では、作業安全のためのリスクアセスメントのシステム構築を行い、実際の建造現場へ導入するための課題の設定を行い検討を行った。PDA 作業・安全観測ツールの改良により、造船所現場での運用性を高める改善を行った。また、リスクアセスメント手順書の整備によるリスクアセスメントの定型化を行い、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建造現場の切断行程に導入し運用を行い有効性を確認した。

さらに、安全対策への課題として、切断行程での身体バランスの問題に対して、モックアップ実験による歩行路環境の安全性の評価の検討を行った。

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, pp.99-100, 2011年

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

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

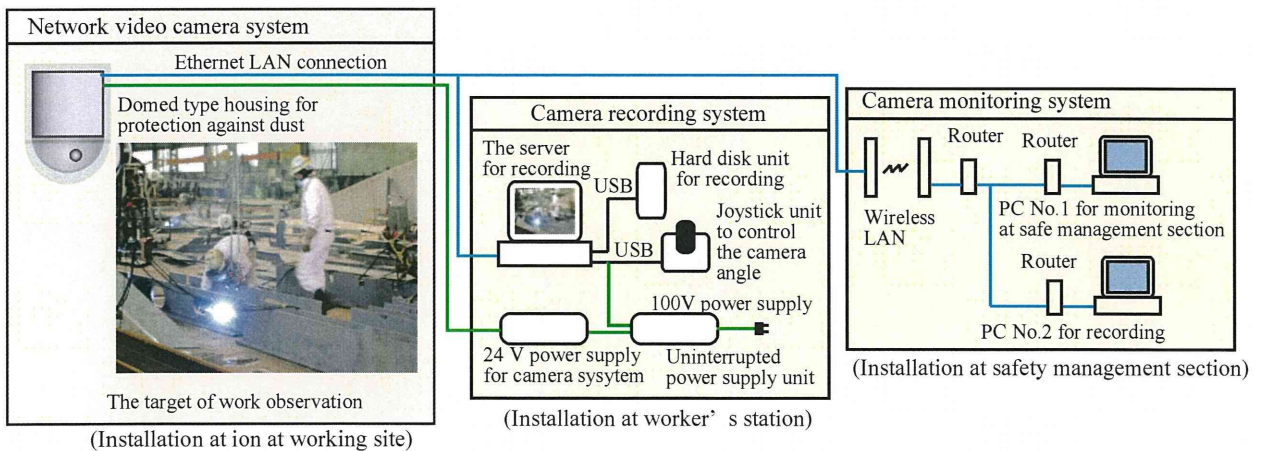


Fig.1 Construction of work and safety observation system by network camera

* 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

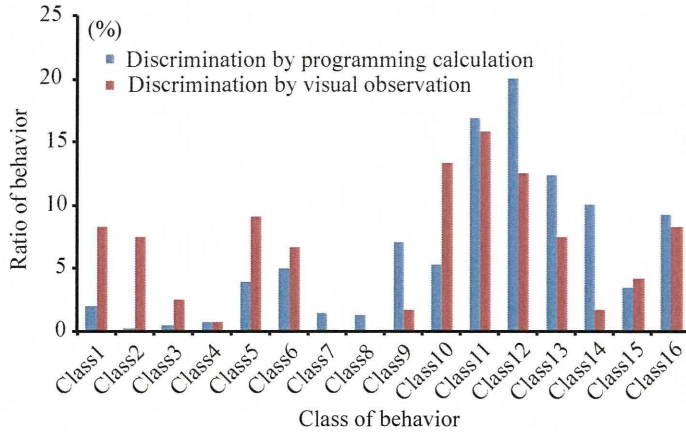


Fig.2 Discrimination of behavior from controlled image

ここでは作業者の行動クラスとして立位，座位，歩行運動，および方向を考慮して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用いた。また，溶接作業の抽出には，画像中の溶接光の

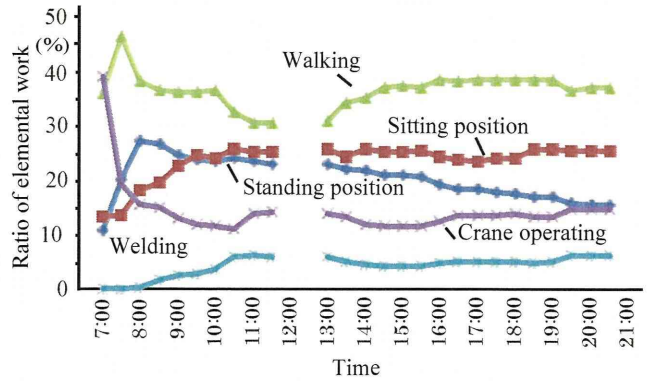


Fig.3 Discrimination of elemental work

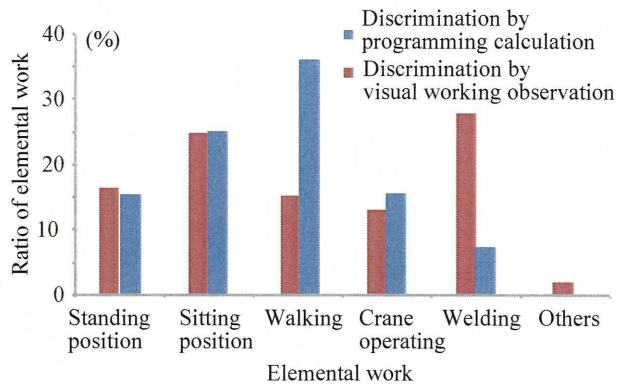


Fig.4 Discrimination by calculation and observation

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。

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

$$Q_{in} = Q_{s1} + Q_{s3} + Q_{k2} \quad (1)$$

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

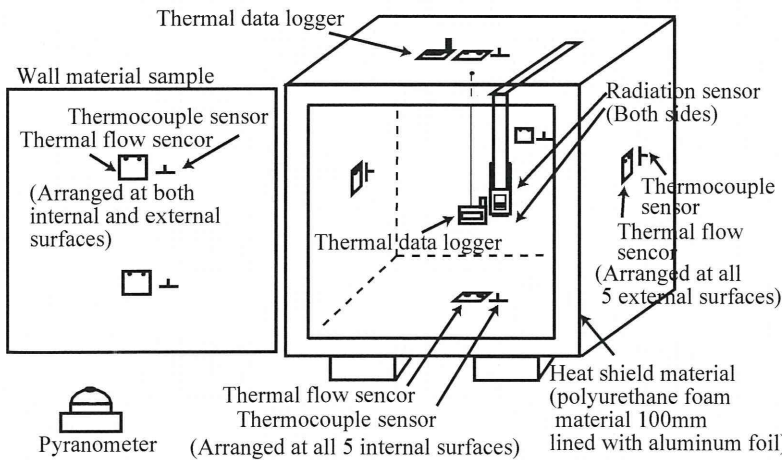


Fig.1 Experimental setup for thermal characteristic under solar insolation using thermal insulation box

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

* 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府)
*** 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

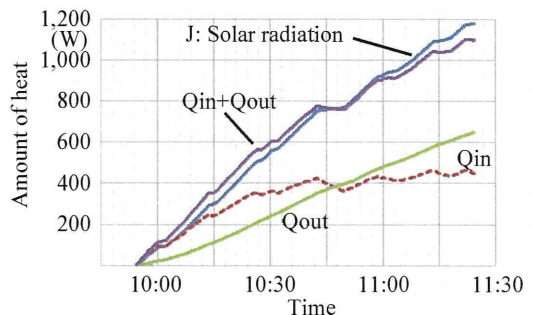


Fig.2 Consideration of heat balance on experimental value (material sample B2)

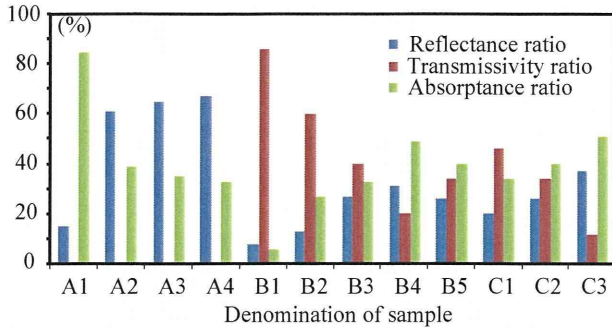


Fig.3 Thermal characteristic of material sample under solar insolation

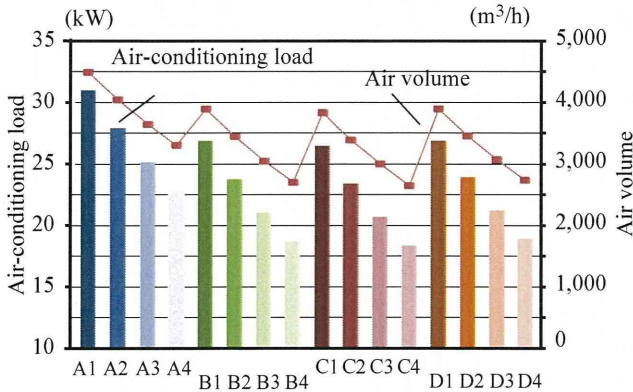


Fig.4 Calculating examples of air-conditioning and air volume

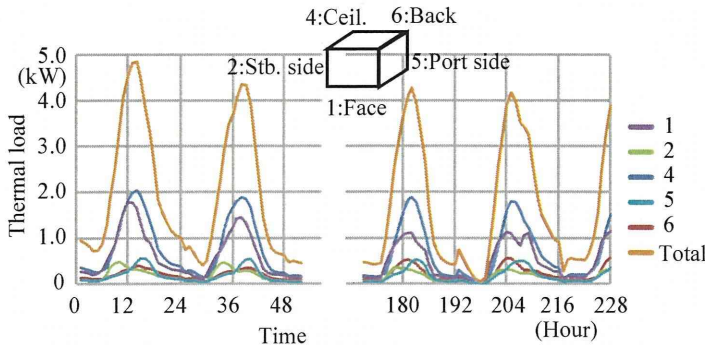


Fig.5 Calculating examples of dynamic thermal load by methodology of response factor

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_{e2} 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	
Breadth: 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、総合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・放熱の不平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な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

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り、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、体内の熱不平衡量を 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 は熱不平衡量 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、

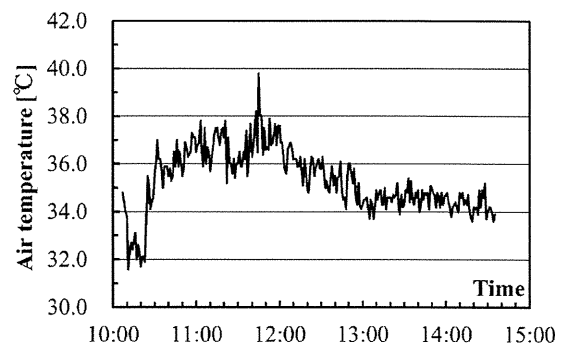


Fig. 1 Variation of Air temperature

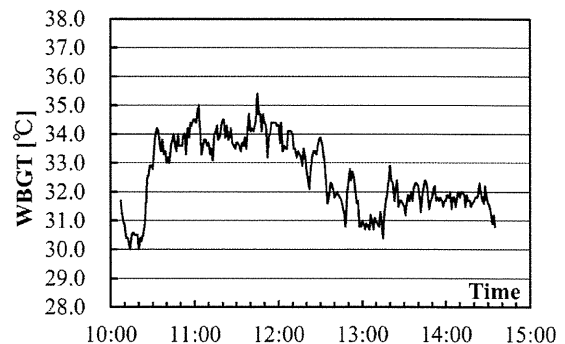


Fig. 2 Variation of WBGT

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。

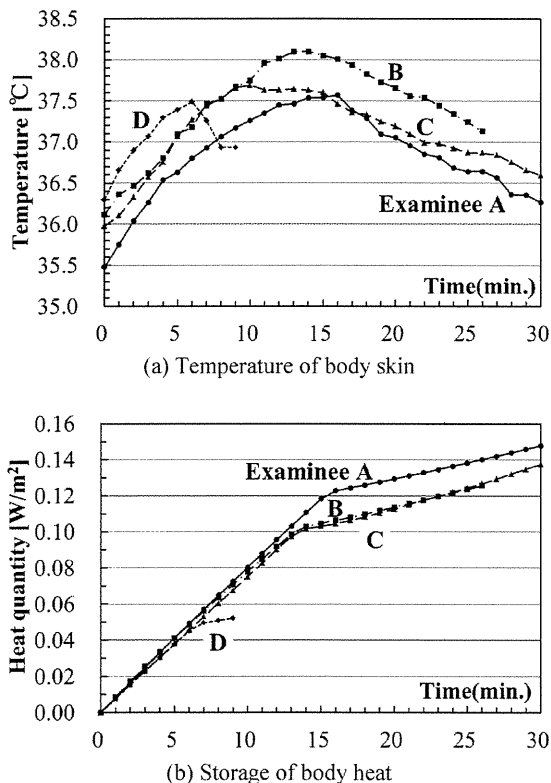


Fig. 3 Variation of temperature of body skin and heat storage of examinees

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。

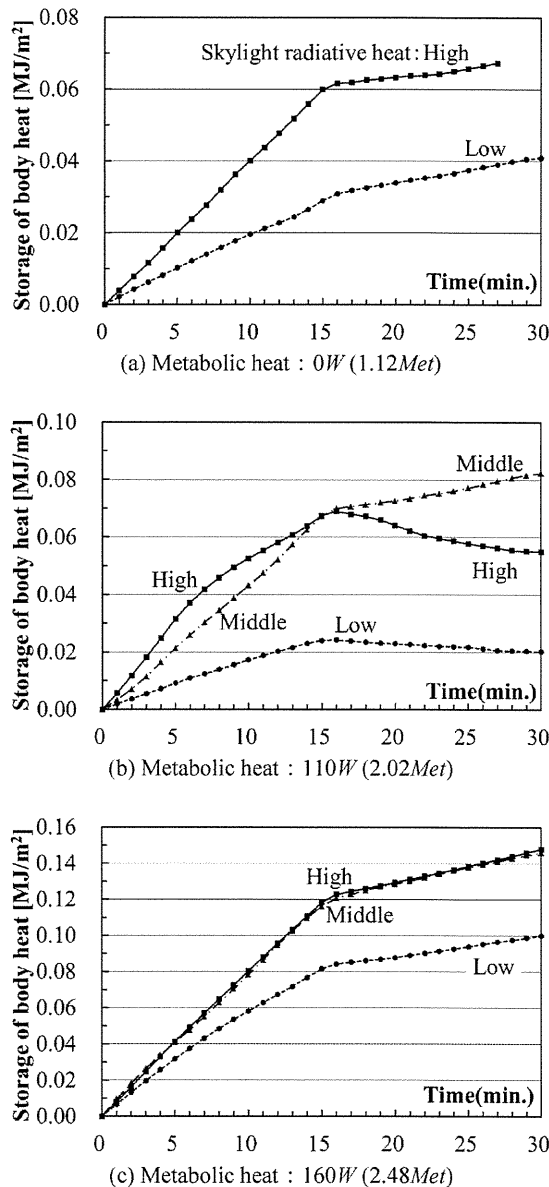


Fig. 4 Storage of body heat in experiment for varying radiative heats of skylight