

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

正会員 田中 太氏^{*} 正会員 篠田 岳思^{*}
学生会員 西口 純平^{**}

Observation by Image Processing for Monitoring of Work and Safety at Shipyard

by Takashi Tanaka, Member Takeshi Shinoda, Member
Junpei Nishiguchi, Student Member

Key Words: Work and Safety Observation, Occupational Safety, Image Processing, Risk Assessment

1. 緒言

2005年に制定された改正労働安全衛生法では、リスクアセスメントにより職場における危険源を評価して安全対策や是正処置を実施することが産業界に求められている。一方、造船所での取得が進められている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及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。本研究では作業・安全観測に有効と考えられる画像モニタリング、画像処理技術の適用による効果的なモニタリング方法について、実際の造船所の NC 切断工程に適用し、検討を行った。

2. ネットワークカメラによる作業・安全観測システム

2.1 NC 切断工程における作業・安全観測

これまでの研究では作業・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検討・構築してきた。ネットワークカメラによる作業・安全観測システムの概要を Fig.1 に示す。撮影された動画は LAN を介してハードディスクに長時間に渡り記録され、また無線 LAN を通じて工場建屋外の安全管理課からもモニタリングがなされている。

これまで、2010年7月から約1年間、作業での不安全状態が課題となり労働災害が多発している NC 切断工程への適用がなされており、目視によるスラットコンベア上の不安全状態の抽出や、作業員への注意喚起や安全指導について検討を行ってきた。

2.2 作業・安全モニタリングの課題

作業・安全モニタリングシステムのうち安全モニタリングに関わる適用課題としては、モニタリングスキームの検討、膨大な画像の中から不安全状態の抽出、リスクアセスメントへの適用等が考えられる。また作業・安全

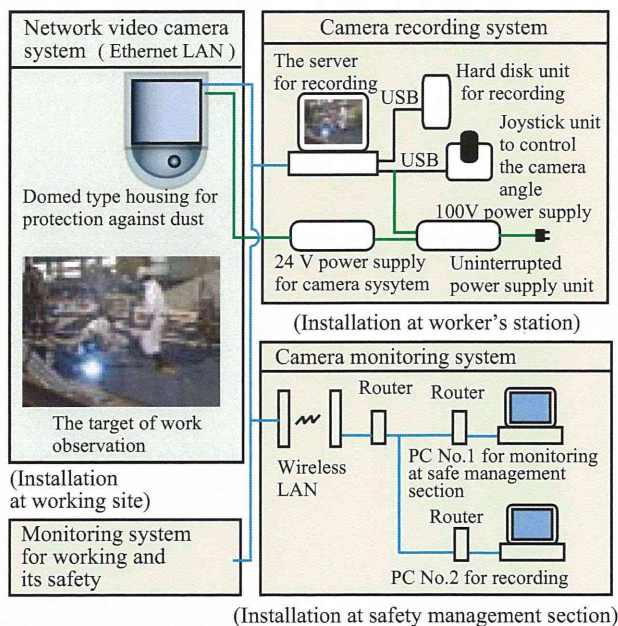


Fig.1 Construction of work and safety observation system by network camera

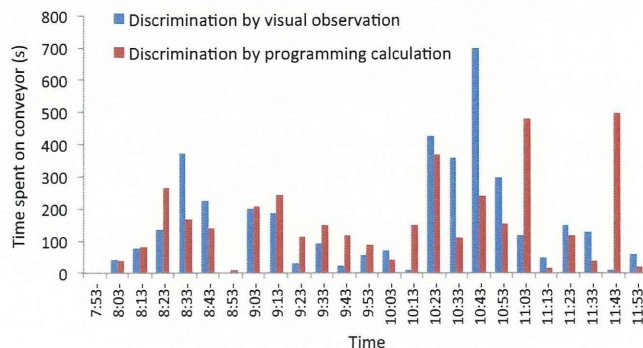


Fig.2 Discrimination of time spent on slat conveyor

^{*}九州大学大学院工学研究院

^{**}九州大学大学院工学府

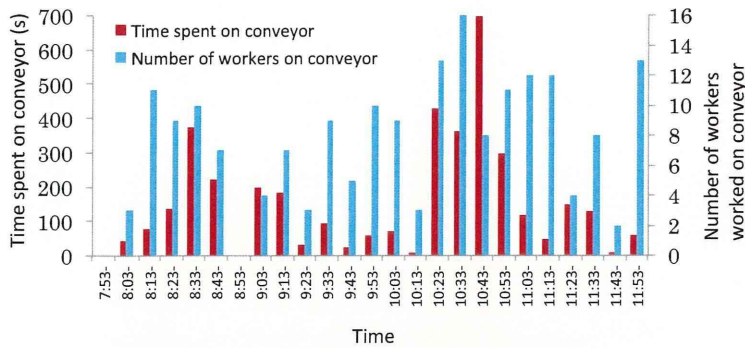


Fig.3 Comparison between time spent and number of workers worked on slat conveyor

モニタリングシステムの課題には、人物の検出方法、人物の場所の特定、人物の動作の検出方法、動作の安全不
安全の判断等がある。ここでは、これまで膨大な画像が蓄積されている画像を基にこれらの課題の検討を行う。

3. 画像処理による作業・安全 モニタリングシステムの検討

本研究では、主に、スラットコンベア上での人物の検出方法、人物の場所の特定について、画像処理によるモニタリングプログラムを作成して検討を行った。なお、プログラムは画像処理ライブラリ OpenCV を用いて開発し、大きくわけて4つの処理、背景差分、2値化、作業
者抽出、コンベア上の内外判定で構成される。

4. 造船工場内の作業・安全モニタリング実験

NC 切断工程では不安全状態はコンベア上の作業や歩行において多く観測されたため、コンベア上に作業者が存在する時間について、作業・安全モニタリングシステムによる観測を試みた。2010年7月2日8-12時の作業動画像に対してモニタリングプログラムを用いてコンベア上の作業者の存在時間について抽出したものを Fig.2 に示す。観測は10分毎に集計した。目視による観測結果と比較すると、プログラムと目視の結果は概ね一致したが、差が見られる時間帯もある。今後、改善の検討を進める。

次に、作業動画像の観測を用いた、コンベア上での作業のリスクのモニタリングを検討した。ここでは、Fig.3 に示す目視による観測で得たコンベア上の作業者の延べ人数とコンベア上の存在時間の時間変化の比較、Table1 に示すそれぞれの時間帯におけるコンベア上で行われた要素作業のリストを用いた例を示す。これらの図表によると、2つの特徴が分かる。存在時間に対し人数が多い時間帯では、早朝・昼休み前（例えば 8:13, 11:43, 11:53）はコンベア上の通行が多く、また、9:43 から 10:13 の間はクレーンによる運搬が多かったため作業者の出入りが多い (CaseT1)。また、人数に対し存在時間が多い時間帯では（例えば 9:03, 10:43）、コンベア上での手作業による溶接、鋼材へのマーキングが多い (CaseT2)。一方、これまでの検討における目視観測によるコンベア上の作業者の不安全状態の特徴(2010年7月1-3, 5日, 10月12-15, 18日の動画による)から、CaseT1の場合には、歩き始めや振り返りの際の身体バランスの不安定、コンベア上の鋼材に乗ったときのバランスの不安定、クレーン操作等の際の足元不注意、

Table1 Timeline of work at conveyor

Time	Work
7:53-	
8:03-	Moving on conveyor Cleaning
8:13-	Moving on conveyor Cleaning
8:23-	Moving on conveyor Crane operation
8:33-	Moving on conveyor Cutting work with hand gas burner
8:43-	Cutting work with hand gas burner Moving on conveyor
8:53-	
9:03-	Code writing on cut members NC machine monitoring
9:13-	Crane operation
9:23-	Moving on conveyor
9:33-	Crane operation NC machine monitoring Moving on conveyor
9:43-	Crane operation NC machine monitoring
10:03-	Crane operation Moving on conveyor
10:13-	NC machine monitoring
10:23-	Cutting work with hand gas burner
10:33-	Cleaning up tools Code writing on cut members Meeting Moving on conveyor
10:43-	Cutting work with hand gas burner
10:53-	Cutting work with hand gas burner Code writing on cut members Moving on conveyor
11:03-	Cutting work with hand gas burner NC machine monitoring Moving on conveyor
11:13-	NC machine monitoring
11:23-	Meeting Moving on conveyor Crane operation
11:33-	Meeting Moving on conveyor
11:43-	Moving on conveyor
11:53-	Moving on conveyor

スラットに対しての浅い角度での歩行、CaseT2 の場合には、歩き始めや振り返りの際の身体バランスの不安定、切断の際の火花による火傷等が考えられる。以上の検討から、コンベア上の作業者の人数と存在時間を観測できれば、コンベア上の作業者のリスクをモニタリングできることが分かった。

5. 結 言

作業・安全観測のためのモニタリングプログラムを開発し、これを実際の造船工場の NC 切断工程においてネットワークカメラ観測システムによる動画に適用し、コンベア上での作業のリスクをモニタリングできる可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) 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, 2011, pp.99-100.

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 —

正会員 竹内 淳* 正会員 篠田 岳 思**
学生会員 岩 永 俊 哉***

A Methodology of Evaluation of Body Heat Storage
for Working under the Hot Environment at Shipyard
: Radiant Heat Effect on Body Heat Storage during Welding Work

by Jun Takeuchi, Member Takeshi Shinoda, Member
Syunya Iwanaga, Student Member

Key Words: Hot Environment, Body Heat 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、有効な熱対策の立案のために、建造作業における日射や溶接に伴う厳しい熱的環境下での人体の蓄熱モデルの構築について検討を行った。特に建造作業において大きな割合を占める溶接作業が人体蓄熱に与える影響を明らかにするために、溶接に伴う熱輻射を人体への熱伝達として人体熱方程式を組み立て、種々の作業条件や環境下における人体蓄熱量を算出した。

これにより、日射および溶接作業に伴う暑熱環境における熱的要因と人体蓄熱量との関係を明らかにした。

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。

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と呼び、その主要因は代謝量、着衣量、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 $M [W/m^2]$ に対し、外へなす仕事 $W [W/m^2]$ 、呼吸による対流と潜熱放熱 ($C_{res} + E_{res}$) $[W/m^2]$ 、皮膚からの対流と放射放熱 ($C + R$) $[W/m^2]$ 、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 $E_{sk} [W/m^2]$ の合計が平衡する式で表される。

しかし、日射のある暑熱環境下での作業においては、人体に照射される日射熱量を考慮する必要がある。また、造船所の作業において溶接作業は必須作業であり、溶接に伴う輻射熱の影響も大きいと考えられたため、本研究では日射による受熱 $E_{sun} [W/m^2]$ および溶接に伴う輻射熱

$E_{weld} [W/m^2]$ を加えて計算を行った。

$$M + E_{sun} + E_{weld} = W + C_{res} + E_{res} + C + R + E_{sk} \quad (1)$$

この人体熱平衡方程式より、体内の熱不平衡量を $S [W/m^2]$ 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。

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - E_{sk} + E_{sun} + E_{weld} \quad (2)$$

これより、蓄熱量 $H_s [J/m^2]$ は熱不平衡量 S の時間積分となり、次式となる。

$$H_s = \int S(\tau) d\tau \quad (3)$$

3. 日射および溶接による受熱

3.1 輻射熱の伝熱プロセス

日射および溶接に伴う輻射熱が人体に与える影響を明らかにするために、これらを直接的な伝熱量として考え、以下のように算定した。

日射熱量および溶接に伴う輻射熱が人体に伝わるプロセスとしては、Fig. 1 に示すように、まず日射による受熱熱量 J_{man} および溶接に伴う輻射熱 Q_{weld} を受けた衣服がそのエネルギーにより温められて衣服温度が上昇し、次にその衣服温度における衣服からの放射エネルギーが人体に伝わると考えた。

Fig. 1 Process of heat transfer

3.2 溶接による受熱 E_{weld}

溶接に伴う輻射熱 $Q_{weld} [W/m^2]$ は、主に母材からの輻射熱 $Q_{base} [W/m^2]$ と溶接アークによる輻射熱 $Q_{arc} [W/m^2]$ に分けられる。

$$Q_{weld} = Q_{base} + Q_{arc} \quad (4)$$

* ジャパン マリナシティ(株) / 九州大学大学院工学府

** 九州大学大学院工学研究院

***九州大学大学院工学府

原稿受付 平成 25 年 4 月 12 日

春季講演会において講演 平成 25 年 5 月 27, 28 日

©日本船舶海洋工学会

母材からの輻射熱量 Q_{base} は溶接により高温となった母材から人体へ放射される熱量であり、溶接アークによる輻射熱量 Q_{arc} は溶接において発するアーク熱のうち、溶接に用いられずに人体へ放射された熱量である。

(1) 母材からの輻射熱量 Q_{base}

文献に掲載された溶接時の母材の温度分布を参考に、母材を温度毎の区画に分け、区画毎に人体に到達する輻射熱量をステファン・ボルツマンの法則により求めた。

このとき、溶接部と人体との形態係数を考慮し、溶接部から人体に到達する輻射熱量は次式で表される。

$$Q_{base} = \varphi_{12} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 (T_1^4 - T_2^4) \quad (5)$$

人体の形状は複雑であるため、実際の計算においては人体を頭部、胸部、腰部、上腕部、前腕部、手部、大腿部、下腿部に分け、それぞれを矩形とみなした作業モデルを作成し、人体各部位における形態係数を求めた。

(2) 溶接アークによる輻射熱量 Q_{arc}

アーク電圧を $V[V]$ 、電流を $I[A]$ とするとアークで発生する熱エネルギーは $VI[W]$ であり、このうち放射熱となる熱エネルギーは、Alexander の実験より 15% とみなした。

これに溶接部と人体との形態係数を考慮し、溶接部から人体に到達する溶接アークによる輻射熱量 Q_{arc} は次式で表される。

$$Q_{arc} = \varphi_{12} \cdot 0.15 \cdot VI \quad (6)$$

3. 3 溶接に伴う輻射熱量の計測

輻射センサーを用いて、実際に炭酸ガスアーク溶接を行っているときの輻射熱量 Q_{weld} の計測を行い、計算結果との比較を行った。計測は、下向き溶接、横向き溶接、上向き溶接の 3 通りを行った。Table 1 に輻射熱量の計測結果、およびその条件における計算結果を示す。計測結果と計算結果を比べると、計算によりある程度の精度で輻射熱量を算出できると考えられる。

Table 1 Results of measurement and calculation of radiant heat from welding

Welding Position		Q_{weld}	Head	Body	Arm	Leg
Flat Position	Measurement [W]	278.4	27.4	57.9	84.9	108.2
	Calculation [W]	271.0	32.0	52.5	85.7	100.7
Horizontal Position	Measurement [W]	233.7	112.5	61.4	44.6	15.2
	Calculation [W]	259.9	130.1	73.9	48.1	17.8
Overhead Position	Measurement [W]	145.9	79.2	23.9	42.8	0.6
	Calculation [W]	162.2	92.6	25.5	44.1	0.7

4. 作業者の蓄熱量予測

人体熱平衡方程式を用いて、午後 1 時から午後 5 時まで作業を行った場合の作業者の人体蓄熱量の計算を行った。計算に用いる環境条件のデータは、実際に夏季に行った環境計測のデータを用い、作業内容、作業時間等はワークサンプリングにより計測したデータを用いた。

(1) 各溶接姿勢における人体蓄熱量

内業工程と外業工程において、溶接電圧を 25[V]、溶接電流を 270[A] とし、下向き、横向き、上向きの各溶接姿勢で作業を行った場合の計算を行い、比較した。

内業工程においては、横向き、下向き、上向きの順で人体蓄熱量が多くなっており、日射の無い内業工程においては、溶接部からの熱放射を受ける人体各部分の投影面積（形態係数）の影響が大きいためと考えられる。

一方、外業工程においては、内業工程と同様に横向きが最も人体蓄熱量が多くなっているが、下向きと上向き

はほぼ同程度の人体蓄熱量となった。これは、それぞれの溶接姿勢における日射を受ける面積と溶接に伴う輻射熱量を受ける面積の大小関係によるものと考えられる。

(2) 各工程における人体蓄熱量

内業工程および外業工程において溶接作業の有無による作業者の人体蓄熱量の計算を行い、比較した。

溶接電圧は 29[V]、溶接電流は 270[A]、溶接姿勢は下向きとし、内業工程においては日射が無いものとして計算を行った。Fig. 4 に人体蓄熱量計算の結果を示す。

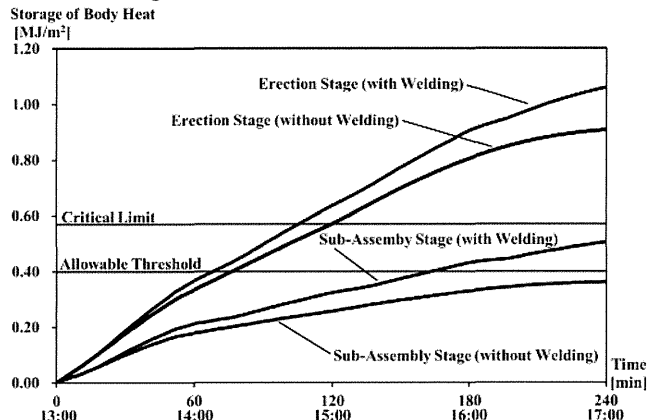


Fig. 4 Storage of body heat during imaginary operation

人体蓄熱量の許容値は $0.4[MJ/m^2]$ 、限界値が $0.57[MJ/m^2]$ であるのに対して、内業工程で溶接を行わない場合の蓄熱量は許容値をやや下回る程度であるが、同じ内業工程でも、溶接を行う場合は作業開始から 160 分ほどで許容値を超えてしまっている。外業工程においても、溶接作業がある場合は人体蓄熱量が増加しており、溶接が人体蓄熱量に与える影響が大きいことが分かる。

5. 結 言

造船所での作業における日射や溶接に伴う厳しい熱的環境下での人体の蓄熱モデルの構築について検討を行い、人体に照射される日射および溶接に伴う熱放射を人体との間の熱伝達として人体熱平衡式に加え、この人体熱平衡式を用いて種々の環境における人体蓄熱量を算出した。

その結果、溶接による輻射熱量をある程度の精度で計算により算出でき、溶接による輻射熱量が人体蓄熱量に大きな影響を与えることが明らかとなった。また、各溶接姿勢における人体蓄熱量に大きな差は見られなかったものの、日射の有無に関わらず、横向き姿勢の溶接作業における人体蓄熱量が最も大きくなると考えられた。

今後は、溶接に伴う輻射熱量の計算精度の向上や、人体をより細かくモデル化し、より正確な人体蓄熱モデルの構築を行う必要がある。

なお、本研究の一部は、造船学術研究推進機構からの助成を受けて行われた。ここに記し、謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 福地信義, 竹内淳: 労働安全のための日射下の温熱環境評価と熱対策に関する研究 (その 1), 日本船舶海洋工学会論文集, 第 1 号, 2005, pp.97-109.
- 2) 福地信義, 竹内淳: 労働安全のための日射下の温熱環境評価と熱対策に関する研究 (その 2), 日本船舶海洋工学会論文集, 第 2 号, 2005, pp.139-147.

