

Table 5 Result of PDA work/ safety observation under NC cutting process

Element work	Unsafe condition																		
	Num. of insufficient cond.	Num. of violation of rule	Num. of near-miss accident	Sum. of unsafe observ.	Ratio of unsafe observ. (%)	Ex. items of unsafe observ.	Sum. of unsafe observ. (%)	Ratio of element work observ. (%)	Fall to pit	Fall down on slat convy.	Riding on the moving convy.	No use of walking convy.	Clear person away	Struck by machine	Caught in by conv. plt.	Rubbed by grinder	A burn	No use of protect. P/C	
NC machine related work																			
NC operation	29	1		30	44.1	25.0	68	17.4	1	1	5	10	7				3	3	
NC data check	8			8	47.1	17.6	17	4.4	1	2		3						2	
NC machine monitoring	9			9	36.0	24.0	25	6.4		1		2	5					1	
Additional work																			
Code writing	29	2		31	64.6	52.1	48	12.3		2		6	23						
Grinder	32	1		33	61.1	59.3	54	13.8	1	4		1	1	9	2	15			
Finishing touch w/ brnr.	5			5	62.5	62.5	8	2.1		1					4				
Cutting rmmns w/ brnr.	34	2	1	37	59.7	46.8	62	15.9	1	6		7	1	9	11	1	1		
Preparation for tools	5	1		6	40.0	33.3	15	3.8			1	1	1			2			
Conveyor operation	7	3	1	11	47.8	4.3	23	5.9		1								10	
Assistance work																			
Crane assistance	6			6	60.0	50.0	10	2.6				5						1	
Others																			
Moving on conveyer	10	2		12	37.5	9.4	32	8.2		2		8		1				1	
Moving	0			0	0.0	0.0	5	1.3											
General confirmation	2	1		3	37.5	12.5	8	2.1				1						2	
Cleaning	1			1	20.0	0.0	5	1.3				1							
Rest	0			0	0.0	0.0	10	2.6											
Sum.	177	13	2	192	49.2	33.8	390	100.0	4	20	6	39	8	46	0.0	10	17	21	21
Ratio of item of unsafe condition									2.1	10.4	3.1	20.3	4.2	24.0	0.0	5.2	8.9	10.9	10.9

Table 6 Definition of risk level for the potential hazard index

Level	Ratio of work (P_{Work})	Ratio of unsafe status (P_{Unsafe})	Damage (D_{UW})
1	Less than 3%	Less than 10%	0 day
2	3% to less than 6%	10 % to less than 20%	less than 4 days
3	6 % to less than 10 %	20 % to less than 30 %	4 days to less than 2 weeks
4	10 % to less than 15 %	30 % to less than 40 %	2 weeks to 4 weeks
5	Over 15%	Over 40 %	Over 4 weeks

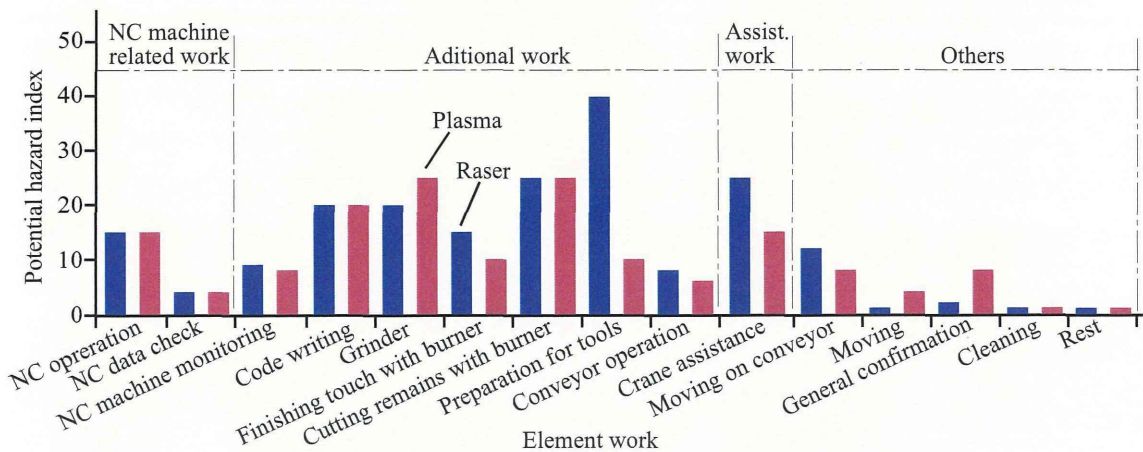


Fig. 8 Calculation result of potential hazard index for element work under the process of NC plasma and raser cutting

the relationship between unsafe conditions and work situation factors. In order to be evident and visualized, and to promote the issues in improvement of safety, even if the observed safety level is unavoidable situation, when the unsafe condition is found at present, it was encouraged not to enter the “good” and to enter the unsafe conditions. Thus, rather than to determine the

magnitude of the absolute value of the unsafe conditions such as 49.2% of all observations, an attention was paid to the items with relatively large value in comparison to others.

According to this table from unsafe status aspect, the ratio of unsafe status of fall down on slat conveyer is 10.4% of all unsafe condition by PDA observations, ratio of struck by machine is

Table 7 Preparation of countermeasure planning by methodology of hazard-countermeasure deployment

(a) Items for five factors of hazard and tree perspective measures

Hazard				
Human	Risk Avoidance/ Protection		Risk Source	
	Hardware	Management	Machine	Environment
Physical Conditions Health Conditions Skills Knowledge Communication	Protection Equipment Protection facilities	Organization Management Regulations Education Training method, Processing manual Checklist Signs	Equipment Machine Tools Function Placement Strength Quality	Facilities, Equipment, Walking path environment Floor condition Working hours Occupation Hours Processing

Countermeasure		
Education	Engineering	Enforcement
Knowledge Acknowledgement Practical Risk experience	Improving Safety Improving working environment Signs/Warnings Multiplexing Changing specification Change/Omit process Fail safe	Standardization, Establishing the procedure Caution Posting accident examples Posting good examples

(b) Applied example for hazard-countermeasure deployment

		Hazard				
		Human	Risk Avoidance/ Protection		Risk Source	
			Hardware	Management	Machine	Environment
Countermeasure	Work status	-Operating crane on the slot conveyer -Problems in walking manner on the slot conv. -Risk of falling by trapped sole on the slot conv.				-The space of slots 150mm is fit to the cutting material, but causing trap and falls
	Education	-Confirm walking manner -Recommend workers for periodical replacement of safety shoes				
	Engineering		-Study of the proper space on the slots according to the ergonomics		-Study of the shape of the slots (ex.) alter the shape to rail shape	-Periodical replacement of slots
	Enforcement	-Alert each other	-Acknowledge the results from ergonomic studies			-Establish the standard for the slot replacement

24.0%. The item concerning the work safety regulation is found that the ratio of no use of walking support plate is 20.3% and the ratio of pointing and calling is 10.9%. These suggest that the results show the difficulty to keep the implementation for safety regulation. On the other side, from the work element aspect, the grinder has a 61.1% detection ratio of unsafe conditions, the cutting remains with burner has 59.7% and the moving on conveyor has 37.5%. In this way, it is possible to quantify the unsafe condition by PDA work/safety observations.

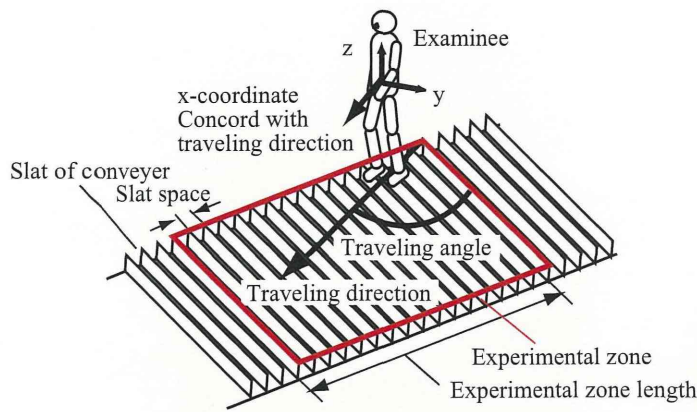
For the sake of convenience in assessing the risk under working, we attempt to set the potential hazard index of occupational safety for element work U_{EW} as an index for risk analysis by using the results of PDA work/safety observations and constructed database on the occupational safety. Two major factors

such as a degree of unsafe work P_{UW} and a degree of damage by unsafe work D_{UW} are considered. The equation is defined as follows:

$$U_{EW} = P_{UW} \times D_{UW} \quad (1)$$

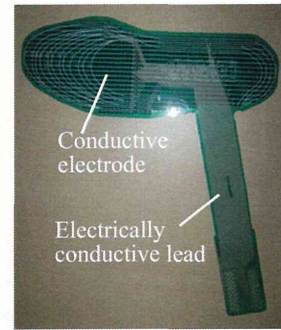
P_{UW} is divided by two factors such as a factor of frequency of element work P_{Work} and a factor of its unsafe observation P_{Unsafe} determined by PDA work/ safety observation. In this study, these all three factors are transferred to 5 grading level for risk assessment as in Table 6, because the numerical observed data has some ambiguity.

Here, $L_{P_{Work}}$, which is the level of P_{Work} , is classified by ABC analysis that is based on accumulated frequency.



Experimental data		
Traveling angle: 0°, 30°, 45°, 60°, 90°		
Examinee: 6 workers at the shipyard		
Slat of conveyor		
Dimensions	Plasma	Laser
Slat space	150 mm	100 mm
Thickness	9 mm	6 mm
Height	150 mm	100 mm
Length	3,800 mm	4,560 mm
Exp. zone length	(Same as length)	

(a) Experimental setup



(b) Insole type foot pressure sensor



(c) Fitted measuring equipment on an examinee's leg

Fig. 9 Outline of experiment for evaluation for walking environment on slat type surface plate

$L_{P_{Unsafe}}$, which is the level of P_{Unsafe} , is classified by 5 grades of separation of every 10%. And D_{UW} is defined by basis of lost-worktime injuries from constructed database, and the level L_D is classified by 5 grades of severity damage. Thus, U_{EW} is redefined as follows;

$$U_{EW} = L_{P_{Unsafe}} \times L_{P_{Work}} \times L_D \quad (2)$$

Fig. 8 shows the calculation result of potential hazard index for element work. Each levels are determined Table 6 by referring the observation results on Table 5. In this calculation, P_{Unsafe} is considered for the result of unsafe observation except no use of working support plate and pointing and calling because these aren't firmly established in workers in surveying site. The higher potential of occupational accident are found in the element work item of preparation for tools, cutting remains with burner and crane assistance. Therefore, the risk control can be taken with this potential hazard index in consideration.

According to the calculation of impact of item of unsafe condition based on Table 5, the item of fall down on slat conveyor is observed 20 cases of the unsafe condition and this impact is around 5% down when all of observation results of this shift are to be safe condition. So, in the following chapter, we investigated the measurement to improve the item of fall down on the slats where can be difficult to keep the body balance of workers.

3.3 Study on safety improvement based on PDA work/safety observation

3.3.1 Methodology of hazard-countermeasure deployment

In the commonly exercised safety measure, "to mentor and educate worker's unsafe manner" and "to ensure" the safety rule which relies on the worker's consciousness at the shipyard, and the effectiveness in safety measure may be concerned. In addition, the conception of the security varies to each worker and manager and it makes difficult to build an effective measure through discussion at the safety measurement meetings.

In this study, we developed an effective methodology that we call a hazard-countermeasure deployment to create an effective

measure for a apprehensions about worker's safety. This methodology is based on the 4M4E model and SHEL model which have been conventionally used as accident analysis, and five factors for potential hazard are defined as factor of the man/worker, management systems, equipment, protective equipment, work environment [6]. The current situation of each hazard factor was described. And, the matrix of the tree perspectives of measures such as educational countermeasure, engineering countermeasure, successful enforcement were created to expand the issues to test.

3.3.2 Implementation of hazard-countermeasure deployment

Table 7 considers an example that is working on a conveyor moving elements of NC cutting process with a risk of falling and stumbling. First, the measure was designed. The views were exchanged on the current situation for walking on the slat conveyor at the debriefing session of a risk assessment meeting. For example, the present hazards were pointed out as follows:

- 1) A stumbling by caught in between the slats attached to the top of the foot instep protectors and safety shoes
- 2) The worn-out sole of safety shoes being trapped in Slat Bali that is irregular form of spikes generated by the plasma torch
- 3) The space of slats are designed to avoid hitting the torch of the NC cutting machine and narrow slat space bring about increase the power of conveyor
- 4) Replacement of slats scheme are no documented criteria.

Above factors in work status were deployed in the top of row of the matrix. The concrete measures are deployed in the vertical column of the matrix. For example, the column of human/workers, the need for periodic replacement of safety shoes is set as an educational measurement and alert each other is set as an ensuring implementation measurement for enforcement. In addition, the management of work environment as a source of hazard, the periodical replacement of slats with severe burr engineering as an engineering measurement, a proper consideration of the width as the ergonomic point of view are raised. One way to ensure the implementation, the developing the standard of slat replacement, educating workers with the ergonomic knowledge

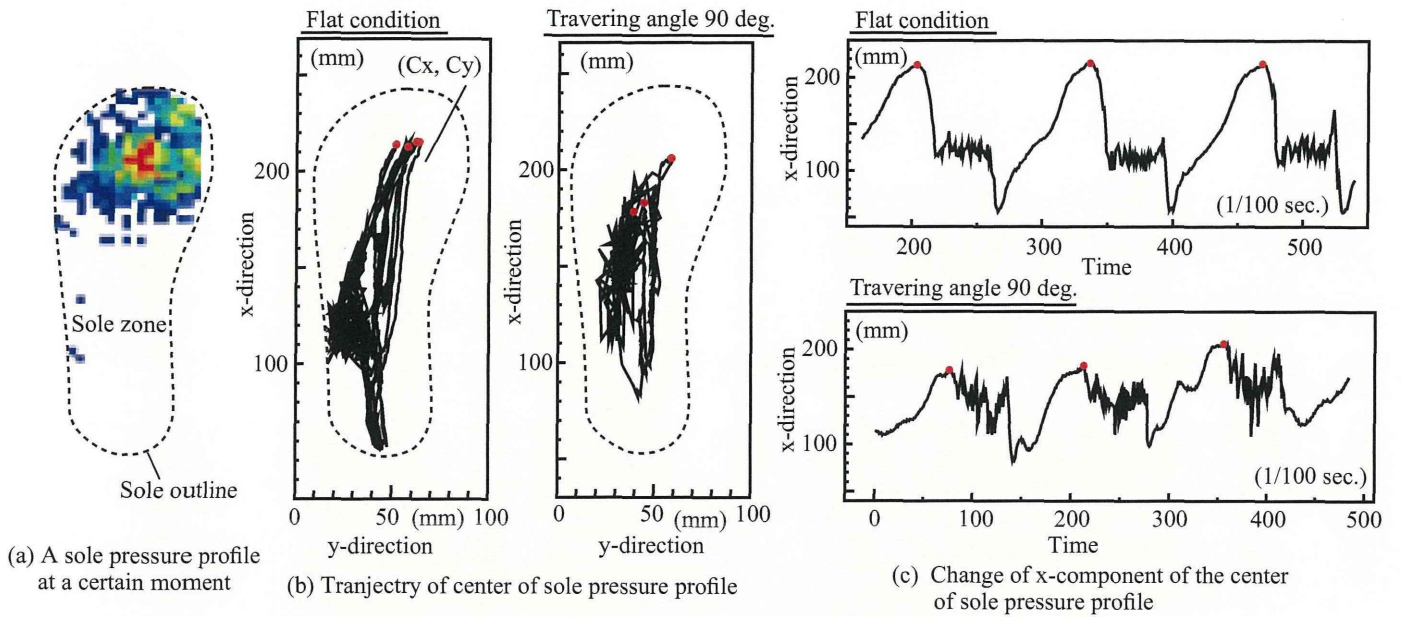


Fig. 10 Methodology of fluctuation analysis for walking on slat type surface plate

is discussed some of the measurements.

During this process to fill the squares of the matrix by testing the validity and effect of the developed measures, it was found that this methodology is convenient to make safety measurement.

4. Walking experiment to assess the safety of walking environments

The difference of slat space of conveyor in the process of NC cutting is due to the difference of safety of walking environment. We attempt experimentally to verify the safety influence of the difference of slat space. It is the feet that support the body during walking on the floor and keep the human body balance. We expect that the difference of sole pressure appears during walking on the slat conveyor.

4.1 Out line of experiment for human walking

Fig. 9 shows an outline of experiment for evaluation for walking environment on a slat conveyor at shipyard.

Fig. 9(a) shows experimental setup and the coordinates for human walking on a slat conveyor. In order to obtain time-series of pressure distribution on the surface of sole during walking motion, insole type sensors are installed the protective shoes that worker at shipyard commonly wears, and worker as a examinee walks on the slat conveyor at shipyard, where square shaped experimental zone are indicated.

We used FScan as the measurement instrument that is produced by Tekscan, Inc. in US and use the personal computer to collect data by the online connection. The insole type sensor is 0.1 mm of paper-thin and this consists of two thin layers that are made of flexible polyester sheets as shown in Fig. 9(b). In this figure, a grid pattern on the surface of sheet can be seen, and around 800 to 900 conductive electrodes with 4.2 cells per cm² of sensor's cell density are mounted on the surface of sheet. Fig. 9(c) shows that a walker wear the sensor unit with device units. Sheet sensor connects to analog-to-digital conversion unit, and through the interface board unit on the personal computer, sole pressure data can be collected. The examinees always fix laces up on their work shoes, and the insole sensor sheets don't slip inside the work shoes.

4.2 Development of analytical method for sole pressure

As an example of the measurements which is obtained from a walking experiment, a screen shot of sole pressure profile on the insole type sensor appeared as shown in Fig. 10(a).

We need to analyze this pressure profile and challenge to develop the analysis methodology for the relation with sole pressure and body balance by focussing the motion of the center of sole pressure profile.

$p(x_i, y_j, t)$, which is shown as screen shot in Fig.10(a), is pressure profile at a certain moment t and a point (x_i, y_j) on sole, where, each x-axis and y-axis is along the horizontal and traveling direction with walking direction, and z-axis for the direction of pressure is set as three-dimensional coordinate system. The center of sole pressure profile during walking is defined as follows:

$$c_{x_i}(t) = \frac{\sum_{x_i} x_i \sum_{y_j} p(x_i, y_j, t) \Delta S}{\sum_{x_i} \sum_{y_j} p(x_i, y_j, t) \Delta S} \quad (3)$$

$$c_{y_j}(t) = \frac{\sum_{y_j} y_j \sum_{x_i} p(x_i, y_j, t) \Delta S}{\sum_{y_j} \sum_{x_i} p(x_i, y_j, t) \Delta S} \quad (4)$$

Where, ΔS is the area of conductive electrode and the sole region of insole type sensor which examinee wears is represented as follows:

$$x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax} \quad (5)$$

$$y_{jmin} \leq y_j \leq y_{jmax} \quad (6)$$

The trajectory of the center of sole pressure profile (c_{x_i}, c_{y_j}) during walking on the slat conveyor under scan interval 1/100 sec. are shown in Fig. 10(b) and the component of c_{y_j} is shown in Fig. 10(c).

According to these figure, the trajectory has the different cyclic motion with the slat conveyor type and traveling angle, and especially c_{y_j} can features the profile of the difference of walking by examinee. The peaks of trajectories c_{y_j} which appear when toe kicks on the flat floor constantly keeps the same position. Whereas, in case of walking on the slat conveyor, the peaks of trajectories c_{y_j} fluctuate and can't keep the original position. When this feature appears during walking, this almost of the examinee had the hard impression to walk.

By comparing the differences in the fluctuation of the peaks in different walkway environments, we introduce the following standard deviation SD_{TY} to analyze the safety evaluation for walkway environment.

$$SD_{TY} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (TY_k - \overline{TY})^2} \quad (7)$$

Here, TY_k is peaks of c_{y_j} on step number k .

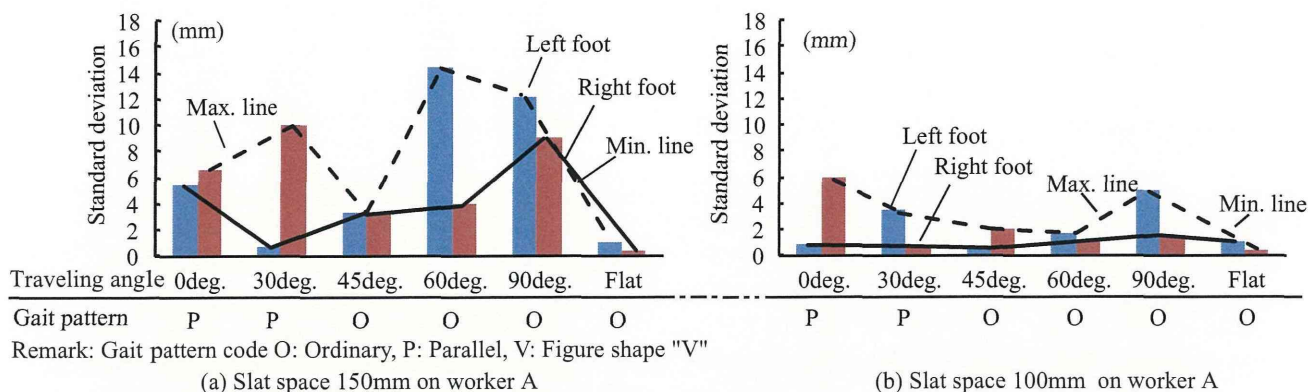


Fig. 11 Standard deviation of the peak point of pressure on toe of walking on the actual slat type surface plate

4.3 The result of experiment

We investigated the influences of walkway environments such as the slat space and the travel angle upon the body balance during walking.

In Fig. 11, the results on the experimental cases of two types of slat conveyor are shown with the comparison during walking on ordinal flat floor.

According to this figure, the standard deviations on the slat conveyor are higher than that on the flat floor, especially the experimental case of 150 mm of slat space is remarkable.

And the standard deviations on the experimental case of 100 mm of slat space are mostly lower than the deviations on the 150 mm of slat space. The standard deviation at travel angles 45 degree and 60 degree may be mostly minimized with by comparison with the angles 0 degree, 30 degree and 90 degree, because examinee had to take an unordinary gait walking pattern, such as "Crab like walk", "Parallel walk", "Figure shape "V" walk".

The walking experiment has been carried out to total six examinees, the impressions of examinees to keep balance on walking action through walking experiment are concord with the difference of standard deviation.

To sum up these findings, on the 150 mm of slat space, the fluctuation is higher. In contrast, on the 100 mm of slat space, fluctuations mostly decrease. In perspective of keeping body balance on walking, the slat space and travel angle are important factors for evaluation of walkway environment.

5. Conclusion

This paper proposes the methodology for risk assessment for occupational safety through the basis of developing process. And we introduce the application example to the process of NC cutting at an actual shipyard in Japan that has potential hazard for occupational safety at the working place. The effectiveness of the proposed methodology is confirmed through its application and continuing to apply to some processes of ship construction.

References

- [1] The headquarters of Japan shipbuilding Health and Safety Measures ,<http://www.zensenan.jp/toukei/index.html> (accessed on June 1st, 2012)
- [2] T. Shinoda, T. Tanaka, K. Hirao: Study of Risk Assessment on Occupational Safety at Shipyard by Work and Safety Observation, Conference Proceedings of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.11, pp.115-116, 2010
- [3] H. Hirano: New Work Study, p.121-124, Nikkan Kogyo Shimbun-sya, 2001
- [4] Association of Japan Shipbuilders: Reports of Occupational Accident (Including death accident), from 1989 to 2011
- [5] T. Shinoda, T. Tanaka, Y. Kano: Risk Analysis for Occupational Safety Management at Shipyard, Proceedings of the 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, pp.581-588, 2010
- [6] T. Shinoda et al.: Temporary Construction Engineering, p.113-116, 2008

Appendix 1 Principle of instantaneous observation

Instantaneous observation method is based on the binomial distribution. This distribution means whether some work is discovered or undiscovered and this type of distribution is expected to converges the normal distribution with increasing number of observations. From this character, confidence intervals are set number of samples are determined depending on the confidence.

$$SP = \alpha \sqrt{\frac{P(1-P)}{N}} \quad (A1)$$

Where P is the probability of occurrence of the observed item including element work, S is the precision, N is the number of observation. Also, α coefficient is decided by reliability and when confidence level is 95% , 2.0 is taken.

Number of observation, for example, when calculating the $S \pm 10\%$ accuracy in the observed item that occurs 35% of the work requires 745 observations, obtained at $\pm 10\%$ to 5% accuracy of the work element requires 7,600 times.

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

正員 田中 太氏* 正員 篠田 岳思*
学生員 松本 拓久**

Safety Evaluation for Walking Environment
on NC Conveyor at Shipyard

by Takashi Tanaka, Member Takeshi Shinoda, Member
Taku Matsumoto, Student Member

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

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。このスラット定盤上を作業者が端材処理、部材消し込み作業のための移動、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ため、身体バランスを崩す恐れがある。本研究では、NC定盤のスラットコンベア上の歩行移動について、実際の造船工場で行われているスラット間隔が異なる2種類のコンベアにおいて歩行実験を行った。両実験の比較から歩行路環境が歩行時の身体バランスに与える影響を調査した。実験では、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し、これを基にして、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 歩行実験の概要

2種類のスラット間隔100mm,150mmのスラットコンベアにおいて歩行実験を行った。Fig.1に間隔150mmのスラットコンベアにおける歩行実験の概要を示す。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 スラットコンベア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。

安定な歩行路環境である平坦路上の歩行では、足底の接地面が踵からつま先へ移るのに従って、足底圧分布も踵からつま先へ移動する。足底圧分布の重心を表す荷重中心点の歩行中の軌跡の例をFig.2に示す。この図

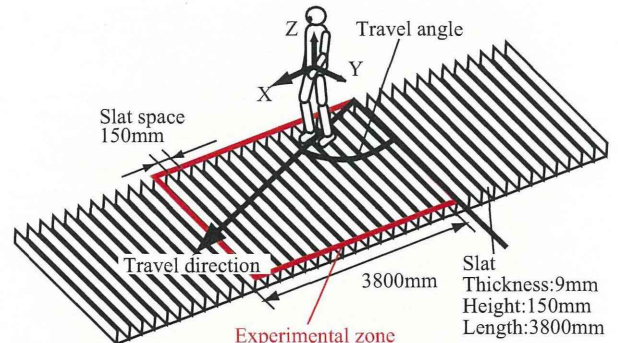
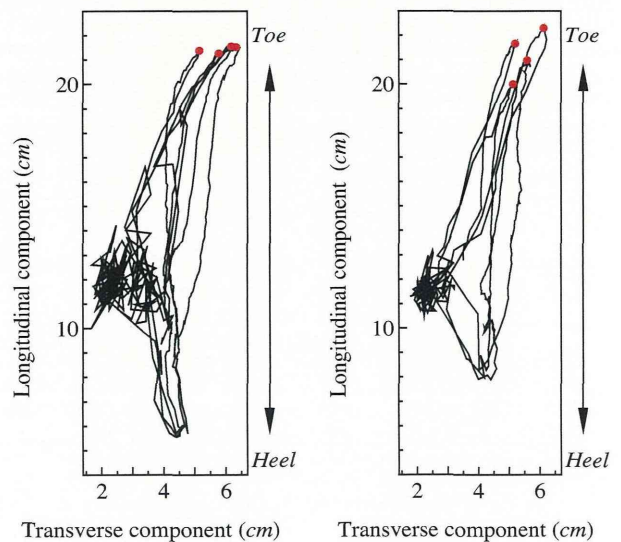


Fig.1 Experimental setup in actual shipyard for human walking on the slat conveyor

Table 1 Experimental conditions on the actual slat conveyor in shipyard

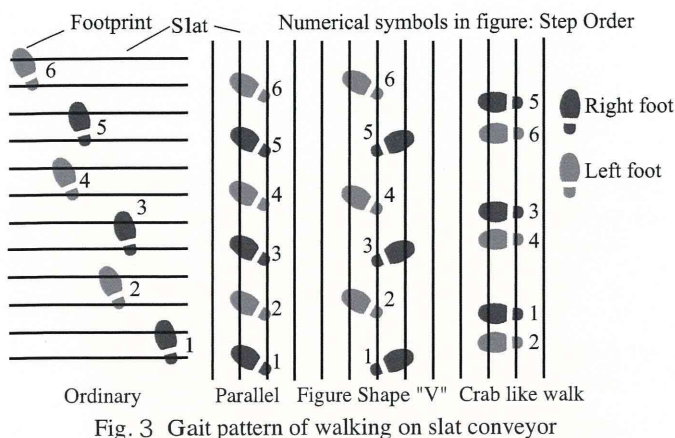
Nominal designation	Experimental condition	
Flat	Horizontal condition	
SY-Slat space - Travel angle (ex. SY-150mm-90deg.)	Slat space (mm)	Travel angle (deg.)
	150, 100	90, 60, 45, 30, 0



(a) Experimental condition: Flat (b) Experimental condition: SY-100mm-90deg.

Fig. 2 Profiles of load center point by inner sole type sensors (Worker A)

*九州大学大学院工学研究院
**九州大学大学院工学府



によると、安定した歩行が出来る平坦路では、最もつま先に近づく先端の点はあまり変わらないが、スラット上の歩行では、その位置がゆらぐため、被験者が歩行しづらいことを示している。実際の造船工場での歩行実験によると、身体バランスが崩れた歩行を安定した歩行と比べると、この先端のゆらぎが顕著である。このことから、先端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。

また、実際の造船工場での歩行実験によると身体バランスを確保するために、足運びが作業者により異なり、Fig.3に示すように、通常の足運び、平行歩き、逆ハの字(Shape V)歩き、カニ歩きに大まかに分類できることが分かった。

3. 荷重中心点のゆらぎ解析による歩行動作の安全性評価

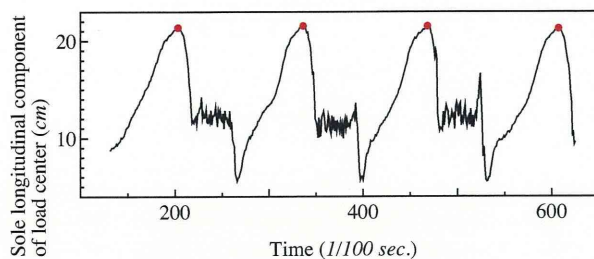
スラットコンベア上での歩行の足運びにともない、足底圧の荷重中心点のゆらぎを解析するために、Fig.4に示すように踵から荷重中心点の先端まで距離を求め、その距離の標準偏差を比較した。ここでは、スラットの間隔と歩行角度による歩行中の身体バランスへの影響を検討した。これをFig.5に示す。なお、図には足運びのパターンも示す。

スラット間隔 100mm のときは 150mm に比べて、標準偏差は全体的に小さくなる。また、スラット間隔 100mm,150mm ともに、歩行角度が 45 度と 60 度では標準偏差が概ね極小となる。さらに、浅い歩行角度 0 度と 30 度では、Fig.3 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をしなければならない。これらは、被験者の歩行時の歩行しやすさの印象と一致することを確認した。

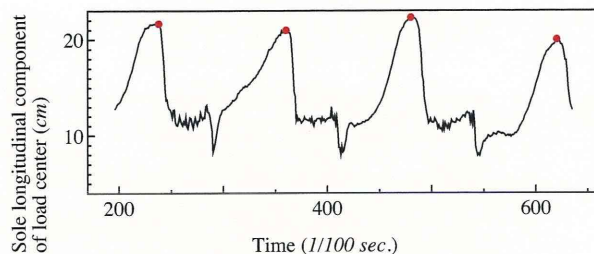
以上のことより、スラットの間隔 150mm のときは身体バランスが安定した歩行が出来ずにゆらぎが大きく、スラット間隔 100mm になると、ゆらぎの全体的な減少が見られることがわかり、身体バランスが安定した歩行を保つにはスラットの間隔や歩行角度は歩行路検討の重要な要素であることが分かる。

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について、スラットの間隔が異なる 2 種類のコンベア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、足底圧分布の荷重中心点のゆらぎ解析から、歩行路環境の安全性評価の検討を行った。

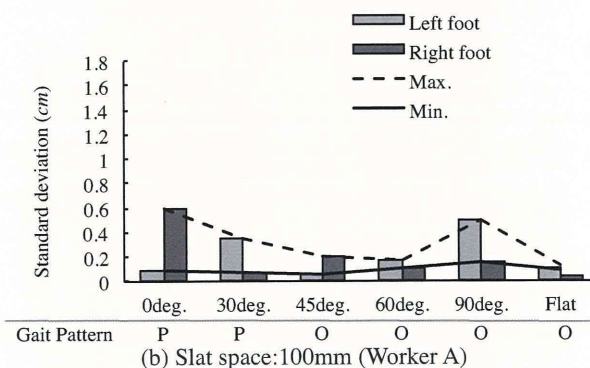
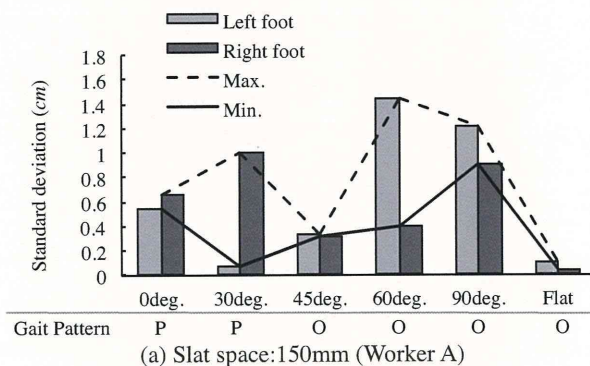


(a) Experimental condition: Flat



(b) Experimental condition: SY-100mm-90deg.

Fig. 4 Change in the sole longitudinal component of load center point by inner sole type sensors (Worker A)



Gait pattern code O: Ordinary, P: Parallel, V: Figure Shape "V"

Fig. 5 Standard deviation of the sole longitudinal component of load center point of walking on the actual slat conveyor

参考文献

- 1) 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, 2011, pp.101-102.

造船所における暑熱下作業環境の 評価に関する研究

正員 竹内 淳* 正員 篠田 岳 思**
学生員 松尾 充 洋***

A Methodology of Evaluation of Thermal Environment
for Working under the Heat Condition at Shipyard

by Jun Takeuchi, *Member* Takeshi Shinoda, *Member*
Mitsuhiro Matsuo, *Student Member*

Key Words: Thermal Environment, Storage of Body Heat

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。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を組み立て、この人体熱平衡式を用いて種々の環境下における人体蓄熱量を算出した。これより、日射および溶接作業を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 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。

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} および溶接に伴う輻射熱 E_{weld} を加えて計算を行った。

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

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。

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

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量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_{sun} および溶接に伴う輻射熱量 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。

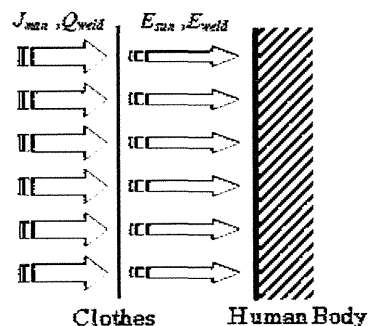


Fig. 1 Process of heat transfer

3.2 溶接による受熱 E_{weld}

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

$$Q_{weld} = Q_{base} + Q_{arc} \quad [W/m^2] \quad (8)$$

母材からの輻射熱量 Q_{base} は溶接により高温となった母

* (株)アイ・エフ・アイ マリノテック / 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部 (研究当時)

原稿受付 平成24年4月6日

春季講演会において講演 平成24年5月17, 18日

©日本船舶海洋工学会

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。

$$Q_{base} = \varphi_{12} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 (T_1^4 - T_2^4) \quad [W/m^2] \quad (10)$$

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、胴部、上肢、下肢の部位に分け、それぞれを矩形とみなした作業者モデルを作成し、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 、電流を I とすると、アークで発生する熱エネルギーは VI 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。

$$Q_{arc} = \varphi_{12} \cdot 0.15 \cdot VI \quad [W/m^2] \quad (11)$$

(3) 溶接に伴う輻射熱量 Q_{weld} の計算

900[W/m²]の全天日射量がある夏季の日射環境下において、溶接電圧 30[V]、溶接電流 300[A]の溶接を行った際に、人体に到達する日射による熱量および溶接に伴う輻射熱を上記の式を用いて求めた結果を Table 1 に示す。計算結果より、人体に到達する溶接に伴う輻射熱は日射熱量のおよそ 3 倍となっており、溶接に伴う輻射熱は人体蓄熱量にとって無視できない要素であることが分かる。

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の計測を行い、計算結果との比較を行った。計測においては輻射センサーを用いるが、人体の各部位に照射される輻射熱量を計測するための治具を作成した。また、溶接部とその周辺の温度をサーモグラフィにより測定し、母材温度の参考とした。

溶接は、作業者と治具の中心線に沿ってビードオンプレート溶接を行い、溶接電圧、溶接電流を高い場合と低い場合について計測を行った。

Table 2 に溶接条件と輻射熱量の計測結果、および同条件における計算結果を示す。

電圧、電流が大きくなると輻射熱量も大きくなっていることが分かる。また、計測結果と計算結果を比べるとほとんど差はなく、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。

4. 作業者の蓄熱量予測

人体熱平衡式を用いて、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。

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、皮膚温度については Fanger による近似式を用いた。また、溶接電圧を 30[V]、溶接電流を 300[A]とし、内業工程においては日射がないものとして計算を行った。Fig. 2 に人体蓄熱量計算の結果を示す。

人体蓄熱量の許容値は 0.4[MJ/m²]、限界値が 0.57[MJ/m²]

Table 1 Calculation results of J_{man} , Q_{weld} , Q_{base} and Q_{arc}

J_{man} [W]	Q_{weld} [W]	
	Q_{base} [W]	Q_{arc} [W]
	40.6	383.7
140.0	424.3	

Table 2 Results of measurement and calculation of radiant heat from welding

Voltage [V]	Current [A]	Measurement [W]		Calculation [W]	
		Head	Body	Head	Body
28.1	245.0	14.0	108.1	15.5	107.5
36.4	319.0	28.2	174.9	24.9	172.3

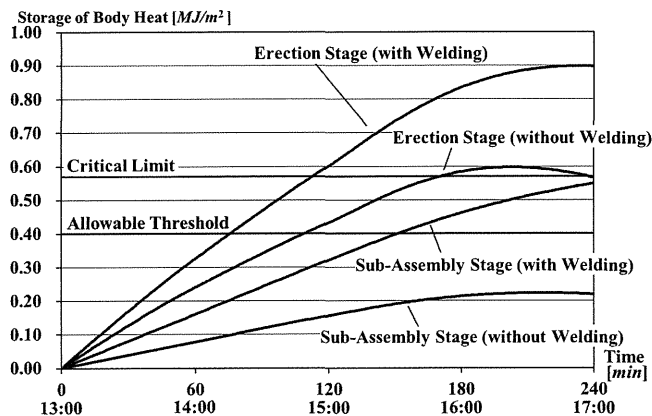


Fig. 2 Storage of body heat during imaginary operation

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 0.2[MJ/m²]程度である。一方で、同じ内業工程でも、溶接を行う場合は作業開始から 150 分ほどで許容値を超えてしまっている。外業工程では、溶接の有無に関わらず許容値、限界値ともを超えてしまっているが、溶接を行う場合には溶接を行わない場合に対して、限界値に達する時間が 60 分程度早くなっており、外業工程においても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。

今後は、実際に人体へ到達する輻射熱量の計測や、溶接における母材からの輻射熱量の計測について検討を行い、より正確な人体蓄熱モデルの構築を行う必要がある。

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.
- 3) 安藤弘平, 長谷川光雄: 溶接アーク現象, (株)産報, 1962.

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—

正会員 田中 太氏* 正会員 篠田 岳思*
学生会員 松本 拓久**

Evaluation for Safety Assessment on Walkway at Shipyard
-Effect on Body Balance of Slat Space of NC Conveyor-

by Takashi Tanaka, Member Takeshi Shinoda, Member
Taku Matsumoto, Student Member

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

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。このスラット定盤上を作業者が移動、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ため、身体バランスを崩す恐れがある。本研究では、スラットコンベア上の歩行移動について、モックアップにおいてスラット間隔を変えて歩行実験を行い、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から荷重移動の特徴を抽出することにより、歩行環境の安全性評価の検討を行った。

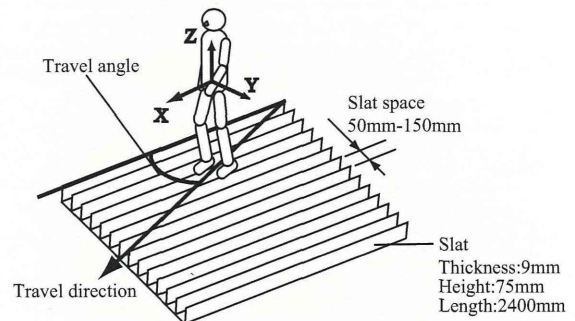


Fig.1 Experimental setup for human walking on the slat conveyor

2. 歩行路の環境安全性評価のための歩行実験

2.1 歩行実験の概要

これまでの検討で¹⁾、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、スラットの間隔と歩行角度は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。Fig.1にモックアップにおける歩行実験の概要を示す。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。

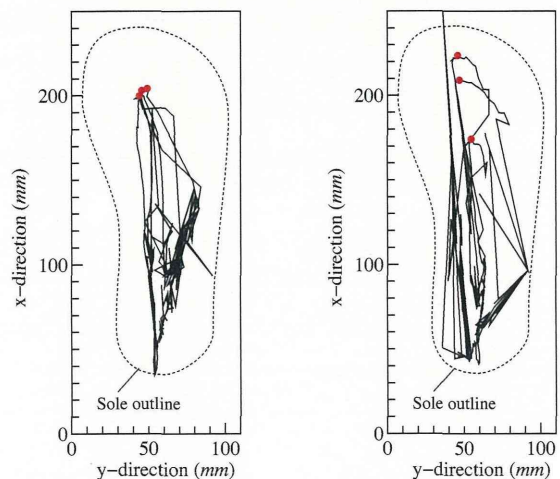
被験者にはインナソール型の足底圧センサ (Tekscan社製) を敷いた安全靴を履いてスラット上を歩行してもらい、歩行時の身体バランスとして歩行中の足底圧分布について時系列データを取得した。

2.2 スラットコンベア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。

Table 1 Experimental conditions of the mock-up of slat-conveyor

Nominal designation	Experimental 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) Experimental condition: Flat (b) Experimental condition: 150mm-60deg.

Fig. 2 Trajectory of center of sole pressure profile (Examinee A)

*九州大学大学院工学研究院
**九州大学大学院工学府