船員の静電気防止具着用に関する基礎的研究

山本 一誠*

Basic Study on Donning Personal Antistatic Devices for Seafarers

Kazusei YAMAMOTO

Abstract

ISGOTT⁽¹⁾ says that, "Experience over a very long period indicates that electrostatic discharges caused by clothing and footwear do not, however, present a significant hazard in the oil industry. This is especially true in a marine environment where surfaces rapidly become contaminated by deposits of salt and moisture that reduce electrical resistances, particularly at high humidity." and "An increasing number of items manufactured from synthetic materials are being offered for use on board ships. It is important that those responsible for their provision to tankers should be satisfied that, if they are to be used in flammable atmospheres, they will not introduce electrostatic hazards." Then the author heard what a seafarer and a land personnel with personal antistatic devices in a tanker discharged.

In this paper, the consciousness about seafarer's static electricity by the questionnaire was investigated, and the seafarer's electrostatic potential on tankers was measured.

The obtained results are summarized as follows:

- (1) Human-body electrostatic potential is about 0v with personal antistatic devices, however, it is rarely about 1 kV.
- (2) Although antistatic measures are implemented by tankers, the two-thirds questioners has felt the static electricity inboard.
- (3) Antistatic measures are carried out on all tankers by antistatic apparatus and personal antistatic devices.

Keywords : *Static, antistatic, Seafarer*

キーワード: 静電気, 静電気防止, 船員

1. はじめに

1.1 研究の目的

本研究は、タンカーで、静電服を着用していたにも係らず、船員および陸上職員から放電するのを見たとの言葉より、その事実を確認するとともに、船員の静電気に対する認識及び静電気防止具の活用及びその効果の現状を明らかにするものである。

タンカーの発達は著しく、それとともにそれら船上で働く者の静電防止服の発達も著しい。当初の静電服は、金属線を縫いこんだものであったが、現在では導通性の化学繊維で作られている。それら静電

服は着用者のニーズに合わせて作られたが、その下に着用するものは、危険物等を運び始めた当初の綿であるという慣習は守られているか否かは明白でない。また、International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals⁽¹⁾には、石油産業界での長期にわたる経験によれば、衣類や履物による静電放電は大きな危険ではないことが判明している、及び船上における合成繊維製品の使用は増加し、船内での静電気の危険が発生しないことを確認する必要があると述べられている。

しかし、人体帯電がタンカーでの危険要因の一つ

* 正会員 海技大学校 (〒659-0026 兵庫県芦屋市西藏町 12-24) yamamoto@mail.mtc.ac.jp

であることは否めない。

Table 1 Human-body electrostatic potential
and Electric shock

Human-body electrostatic potential (kV)	Electric shock
1.0	A static shock is not felt at all.
2.0	Although a static shock is felt for the point of a finger, it is not painful.
2.5	A static shock is not painful, although it is thought that a needle touches and the point twitches.
3.0	It is thought painful that a static shock is stabbed with a needle.
4.0	A static shock is thought to have been deeply stabbed with the needle, and has a pain in a finger faintly.
5.0	A static shock is painful from a palm to a fore-arm.
6.0	A static shock makes a finger painful strongly and impresses a brachium heavy.
7.0	A static shock gives a pain strong against a finger and a palm, and gives numbness.
8.0	A static shock gives numbness from a palm to a fore-arm.
9.0	A static shock gives a pain strong against a wrist, and gives the weight numbed to the hand.
10.0	A static shock gives the sensibility into which the pain and the electricity flowed to the whole hand.
11.0	A static shock makes it a finger numbed strongly, and impresses numbness strong against the whole hand.
12.0	A static shock gives the sensibility which hits the whole hand hard.

※The capacitance of Human-body : approx.100pF

そこで、船員の静電気に関する意識および静電防止具の活用調査を行い現状を明らかにするとともに、さらに、静電気防止具の効果を帯電電位を測定することにより、静電気災害防止の一助とする。残念ながら、船舶での帯電電位の放電を確認するには至らなかったが、若干の知見が得られたので報告する。

1.2 静電気放電の危険性⁽²⁾

帯電した船員が、甲板上、ハンドレールやカーゴハッチ等の金属に接近した場合、人体に蓄積されていた静電気は指先等から放電する。人体は静電気的には、導体とみなされるので、放電時には蓄積されていた静電気エネルギーの全てが瞬間的に放出される。このため、帯電した船員からの放電は電撃や放電火花によるベントからの可燃性ガスへの着火等の火災・爆発を引き起こす恐れがある。

帯電した人体からの放電による電撃の発生限界は、人体の静電容量がほぼ一定とみなされる場合には、人体の帯電電位によってあらわすことができ、人体静電容量を約 100pF の場合における人体帯電電位と電撃の強さとの関係は Table 1 のとおりである。

Table 2 Minimum ignition energy of typical gases⁽³⁾

Substance	Explosion Limit (Vol.%)		Minimum Ignition Energy (mJ)
	U.E.L.	L.E.L.	
Hydrogen	4	75.6	0.019
Acetylene	1.5	82	0.019
Ethylene	2.7	36	0.096
Methanol	5.5	44	0.14
Acrylonitrile	2.8	28	0.16
Benzene	1.2	8	0.2
Hexane	1.1	7.5	0.24
Butane	1.5	8.5	0.25
Ethane	3	15.5	0.25
LPG	2.1	9.5	0.25
Methane	5	15	0.28
Acetaldehyde	4	60	0.376
Ethyl acetate	2	11.5	0.46
Acetone	2.1	13	1.15
Toluene	1.2	7.1	2.5

静電容量 $C(F)$ のコンデンサが $V(V)$ の電圧で充電されたときに蓄積される静電気エネルギー $W(J)$ は、

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$

で示される。いま、船員が 1kV に帯電している場合、船員に蓄積されている静電気エネルギー W_1 を、人体静電容量を 100pF として算出すると、 $W_1=0.05(\text{mJ})$ となる。

主だったガスの最小着火エネルギーを Table 2 にしめす。この数値 W_1 は Table 2 の水素ガスの最小着火エネルギーを上回っている。つまり、水素ガスやアセチレンガスが漂っている大気において、着火に適した混合気のある場合には、1kV に帯電していた船員からの放電により着火の恐れがある。

2. 船員の静電気に関する意識調査

乗組員の静電気に関する意識調査をするために、アンケート用紙ファイルを船会社および運航管理会社に送信し、船舶等から回答を受信した。平成 23 年 1 月から 3 月までの調査で、379 件の回答が得られた。

Table 3 Questionnaire

①Date
②Male/Female
③Age
④Deck/Engine/Others
⑤Cargo
⑥LOA
⑦GT
⑧Dress under job
⑨Dress when free
⑩What do you consider about a static electricity?
⑪Do you worry about a static electricity?
⑫Where do you worry about a static electricity?
⑬Have you felt the static electricity onboard?
⑭When did you feel the static electricity?
⑮What are you keeping in mind to prevent of static electricity?

アンケートの内容は Table 3 のとおりで、回答が自由記入であったことから、テキストマイニングにより、集計した。

回答者は Fig.1 のとおりで、50 代、20 代、40 代、30 代、60 代の年齢構成であった。さらに、Fig.2 からわかるように 4 分の 3 近くが甲板部であった。貨物は Fig.3 に示すように、石油類が大半を占めており、アンケート配布先が大半タンカー運航会社であったためである。回答者の乗船している船舶の大きさは Fig.4 に示すとおりで、総トン数 500t 以上 1600t

未満、3000t 以上 5000t 未満が大半を占めた。

Fig.1 Questioner's Age

Fig.2 Questioner's Group

Fig.3 Cargo

Fig.4 Questioner's Ship Size

Fig.5 Dress under job & when free

作業中及び作業外の服装は、Fig.5 に示すように、作業中は静電気帯電防止作業服及び静電気帯電防止安全靴（以下、静電服等という。）を着用し、作業外では、およそ 70% がジャージ等のスポーツウェアを着用、静電服のままという者もいるようである。

Fig.6 What do you consider about a static electricity?

アンケート⑩の「静電気について何を連想するか」の回答を Fig.6 に示す。火災・爆発が 66% を占め、次いで 28% が静電気そのものと回答していた。回答文においては、火災・爆発は、火災、爆発、火花、発火、着火、スパーク、引火、暴発のような語句を、静電気は、電気、放電、痛い、ビリ、パチ、感電、雷、稲光、ビリ、パチパチ、光、ビリッ、ビリビリ、バチッ、走る、摩擦、しびれ、流れる、開ける、車、高電流、除電、アース、指先、脱ぐ、セーター、下敷きのような語句、危険は危険、気候は、乾燥、冬、寒いのような語句を集計した。

Fig.7 Do you worry about a static electricity?

Fig.8 Where do you worry about a static electricity?

アンケート⑪静電気を気にするか、気にする場合はアンケート⑫でそれはどこで気にするかを、Fig.7 および Fig.8 に示す。85% が静電気を気にし、その場所は、甲板上、車、荷役中と回答している。車は別にして、Fig.6 で火災・爆発と連想する者が多かったが、その可能性の多い場所である甲板上および荷役中の回答が多い。

Fig.9 Have you felt the static electricity onboard?

Fig.10 When did you feel the static electricity?

アンケート⑬の「静電気を船上で感じたことがあるか」、感じた場合はアンケート⑭で「それはどのような場合に感じたか」を、Fig.9 および Fig.10 に示す。62% が船上で静電気を感じているが、回答者のほとんどが石油類を運んでいることを鑑みると火災や爆発を引き起こすのではないかとと思われる。

Fig.11 What are you keeping in mind to prevent of static electricity?

アンケート⑬の「静電気防止のために心がけていること」を Fig.11 に示す。静電気防止具が 49%、静電服等が 37%、特に無し、柔軟剤、加湿となっている。静電気防止具は、静電気除去シート、静電気除去バー、静電気除去板、除電板、除電、アース、放電、バー、シート、握る、触る、さわる、ステンレス、水道のような語句を、静電服等は、静電衣、静電服、作業服、綿、衣類、服、着る、着用、化学繊維、ナイロン、セーター、毛糸、化学製品、ナイロのような語句を、柔軟剤は、静電防止剤、洗剤、洗濯用柔軟剤の名称、柔軟剤のような語句を、加湿は、乾燥、湿度、加湿、水のような語句を集計した。静電気防止に洗濯用柔軟剤と回答しているところが、船員が身近なところから安全に取り組んでいることが伺える。

Fig.12(a) Correlation between “Have you felt the static electricity onboard?” and Questioner's Ship Size

Fig.12(b) Correlation between “Have you felt the static electricity onboard?” and Questioner's Age

Fig.13(a) Correlation between “Do you worry about a static electricity?” and Questioner's Ship Size

Fig.13(b) Correlation between “Do you worry about a static electricity?” and Questioner's Age

アンケート⑬「静電気を船上で感じたことがあるか」と船舶の大きさおよび年齢との相関を Fig.12(a)(b)に示す。10000 トンから 30000 トンでは

回答数が少ないので別として、ほとんどの大きさの船舶で、半数は静電気を感じており、年齢についても同様に静電気を感じている。年齢においては、高齢になるほど静電気を感じる数が少なくなっている。

また、アンケート⑩「静電気を気にするか」と船舶の大きさおよび年齢との相関を Fig.13(a)(b)に示す。船舶の大きさにおいては 200t 以上 500t 未満と 5000t 以上 10000t 未満に近づくとき若干ではあるが静電気を気にせず、年齢においては、10 代から 40 代へと静電気を気にするが増え、40 代から減るという傾向を示している。

Fig.14(a) Correlation between “What do you consider about a static electricity?” and Questioner's Ship Size

Fig.14(b) Correlation between “What do you consider about a static electricity?” and Questioner's Age

さらに、アンケート⑩「静電気について何を連想するか」と船舶の大きさおよび年齢との相関を Fig.14(a)(b)に示す。船舶の大きさにおいては、火災・

爆発、静電気及び危険の割合が 100t 以上 10000t 未満でその割合に傾向は見出せないが、火災・爆発の割合が多い。100t 未満、10000t 以上 30000t 未満では火災・爆発を連想していない。年齢ではいずれの年齢でも火災・爆発を 60%以上が連想し、ついで静電気を連想している。

最後に、アンケート⑮「静電気防止のために心がけていること」と船舶の大きさおよび年齢との相関を Fig.15(a)(b)に示す。10000t 以上 30000t 未満では特に無しとあるは、コンテナ船であることが推察される。5000t 以上 10000 未満に加湿が半数を占めている。

Fig.15(a) Correlation between “What are you keeping in mind to prevent of static electricity?” and Questioner's Ship Size

Fig.15(b) Correlation between “What are you keeping in mind to prevent of static electricity?” and Questioner's Age

高齢になるほど静電気防止具より静電服等の着用の割合が増えており、特に無しが各年齢若干あり、静電気防止を心がけない者のいることが危惧される。

Fig.12 から Fig.15 において、船舶の大きさおよび年齢との相関をとったことは、調査項目について顕著な傾向が得られると推察したことによる。つまり、船舶の大きさにおいては、貨物油量や油種による静電気災害のリスクから、大きな船舶ほど静電気について過度な反応があり、年齢においては、その経験年数から高齢者ほど過度な反応が予想されるものと考えたが、顕著な傾向が得られなかった。船員の静電気への恐れや静電気防止具活用の動機付けを明らかにすることが目的に含まれていたのであるが、前述のように顕著な傾向は得られなかった。この理由として推察すると、船員は静電気に関する教育及び指導を随時受けていることをあげることができるであろう。

3. 内航タンカーにおける船員の帯電電位

Fig.16 Human body electrostatic potential on deck in Coastal Oil tankers

平成 23 年 2 月、千葉縣市原市の某精油所棧橋係留中の内航タンカー甲板上で、船員の静電気帯電電位を静電メーター(春日電機、KSD1000)にて測定した。船員 29 名から協力を得られ、Fig.16 に、積載容量を横軸に、静電気帯電電位を表示した。○は白油、つまり、ガソリンやナフサなどの精製油を、●は黒油、つまり、重油や潤滑油を貨物としているタンカーである。船員は全員静電服等着用で、その下には綿素材のものを着用していた。彼らの中には合成繊維のシャツやネックウォーマーを着用している者もいた。

測定した結果、静電気帯電電位はほとんどの者が 0kV であったが、白油タンカーと黒油タンカーでは船員の帯電電位に異なる傾向があった。これは、白

油は引火点が低く、火災爆発の危険性が高いものであり、黒油は引火点が高く、火災爆発の危険性が低いものであるとした貨物油に対する船員の注意が異なるであろうことからと推察する。また、5000KL 積み GT3500t の船舶では最大 0.4kV、1000KL 積み GT499t の船舶では最大 0.8kV が測定された者がいた。これらの数値を式(1)により静電気エネルギーに換算すると、0.4kV では 0.008mJ、0.8kV では 0.032mJ と計算された。Table 2 を参照すると水素やアセチレンが大気中にあれば引火の可能性があると推察された。

4. まとめ

船員の静電気防止具着用に関する基礎事項を調査するにあたり、アンケートによりその現状を調査し、静電服等の効果を静電メーターにより、船舶上において船員の静電帯電電位を測定した。本研究により得られた結果を要約すると以下の通りである。

(1) 静電服等を着用していれば、静電気帯電電位はほぼ 0V であるが、1kV 近く帯電する場合がある。

(2) 静電気防止対策が施されている現状ではあるが、回答者のおよそ 3 分の 2 が船内で静電気を感じている。

(3) 船員の静電気に関する意識は船の大きさおよび年齢について顕著な傾向は現れなかった。このことは静電気に関する教育及び指導が随時なされているものと推察される。

今回、人体の静電容量を 100pF で計算したが、この値が適当であるかどうかを調査する必要がある。さらに、内航タンカーでは、取り扱う石油類によりブタン、エタン、プロパン等がベントから放出されている場合があり、それらの最小着火エネルギーから帯電電位を式(1)により導くと 2.2kV となる。つまり、人体に感じるような放電をした場合引火となる恐れがある。さらに、静電服の下に着用する物については調査しなかったが、この電位が発生するような場合が現在の機能的下着の組み合わせにより発生する可能性を否定することはできないので、さらに調査する必要がある。

5. 謝辞

本研究を進めるにおいて、アンケートにご協力いただいた方々に、特に旭タンカー株式会社千葉駐在事務所長三木繁雄氏、同安全管理部竹谷和男氏には多大なるご助言ご指導頂き、深く感謝致します。

6. 参考文献

- (1) ICS/OCINF/IAPH : International Safety Guide for Oil Tanker and Terminal 5th ed, P.62, Witherbys Publishing, 2006
- (2) 村田雄司他 15 名 : 帯電の測定方法と静電気障害対策, pp.189-197, サイエンス&テクノロジー, 2008.11
- (3) 小野雅司 : 人体の帯電危険とその防止, 静電気学会誌 Vol.15, No.2 (障災害防止)、1991、pp.125-133, 静電気学会誌 Vol.15, No.2 (障災害防止), 1991

7. 質疑応答

堀晶彦 (海技大学校) :

実測結果の中で、白油の場合、黒油の場合で、値が異なっているが、この結果は何か船員の取り組みとの関係があるのでしょうか。

山本一誠 :

本研究からは、推察できません。

笹健児 (広島商船高等専門学校) :

アンケート項目のいくつかで 10000~30000 トンの船舶が他の大きさの船舶の調査結果と異なる傾向が出ていると考えられますが、船種その他で何らかの景況があるのかその点がお分かりでしたら教えてください。

山本一誠 :

データ数の関係から詳細な検討をしていませんので、今後の検討課題とします。

藤本昌志 (神戸大学) :

内航船では甲板上よりも船内での静電気を感じるのとアンケート結果ですが、内航船では船内の圧力が外気と同様であればガス流入があった場合危険と思いますが、船内での静電気の防止についてハード、ソフト面でどのような対策等が考えられますか。

山本一誠 :

船舶安全法及び ISGOTT 遵守から、ハード面では出入り口にガス検知器、ソフト面では荷役中調理用火気厳禁等がとられています。