

静電気によるGLの損傷とその対策

Troubles of Glass Lined Equipments by Static Electricity and Countermeasures against It



(化)技術部 製品開発課
沢田 雅光
Masamitsu Sawada

In the last decade, about twenty five cases of troubles have occurred on glass lined equipments by static electricity. This static electricity is produced by three ways; collisions of contents themselves, frictions of contents and lined glass surface by agitating, and carrying from outside of a reactor. Then straged static electricity causes various spark discharges at the interface of contents and a lined glass or between a lined glass surface and a base metal. These spark discharges break the lined glass like as chipping or pinhole.

This report mainly shows the examples of these troubles and countermeasures against the static electricity.

まえがき

本誌前報¹⁾において、東京大学生産技術研究所の山本助教による講演の抄録を掲載させて頂いたが、その内容は主に粉体に係わる静電気の基本とその静電気を有効に活用するための理論および応用例などについてであった。

GL 攪拌槽に関する限り、静電気は否定的なものである場合が多い。既報²⁾において、GL 攪拌槽に発生する静電気の概要を述べたが、その時点で経験した静電気によるGL 機器の損傷は2例であった。以来、現在まで約10年間で25件発生している。その25件は、GL 機器が損傷したことで当社がなんらかの対応をしたものだけの数であり、実際にはもっと多くの事故や生産性障害が起きているものと予測される。樹脂製品の量産化、多様化が進む中、各種原材料のファイン化も手伝い、この種のトラブルは今後も引き続き多発する傾向にあると考える。このような静電気に対し、効果的な防止対策は見つかっていないのが現状であるが、多くの損傷事例と、今現在考えられる静電気対策などについて次に述べる。

1. グラスライニング攪拌槽内での静電気発生

グラスライニング攪拌槽は、化学プラントのプロセス中駆部に位置することが多く、攪拌槽の前後には原料仕込用あるいは、排出用の配管類、熱交換器、貯槽などが付属する。グラスライニング攪拌槽内の静電気には、このような槽外のプロセスにおいて発生した静電気が槽内に持ち込まれる場合と、槽内の攪拌により発生する場合の2種類に大別される。ここでは特に、槽内で発生する静電気を扱うことにする。

1.1 帯電

グラスライニング攪拌槽中で静電気を発生させる因子として、槽内部の材質、形状、攪拌動力、仕込まれる原料の種類とその性状、量がある。槽内部の材質はもちろん全面ガラスで体積抵抗率の高い誘電体である。槽形状は円筒型で、攪拌効率を良くするため、攪拌翼の他にバッフルが設置されているのが普通である。攪拌の強さは、仕込まれる数種の原料が十分混合されるように設定されている。以上のことから、仕込まれる原料次第では静電気が発生することは極めて当然の仕様といえる。今までに静電気が発生

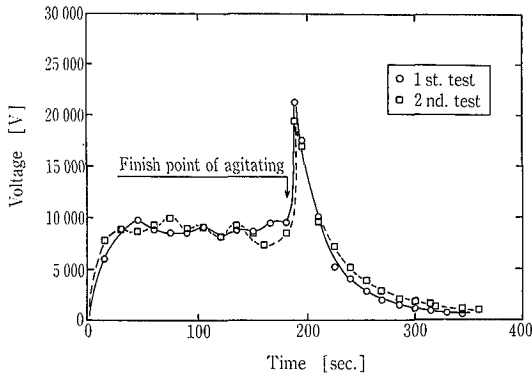
したときの仕込まれた原料についての詳細は把握できていないが、体積抵抗率の高い ($10^{14}\Omega \cdot \text{cm}$ 前後) 溶剤および粉粒体であることが分かっている。特にこの両者の混合物である場合が多い。ここで帯電列の例を第1表に示す。帯電列中の2つの物質を摩擦または剥離したとき、表中上の物質が正極性(+)に帯電し、下の物質が負極性(-)に帯電する。その帯電量は、帯電列中の位置が離れるほど大きくなる。例えば、ガラスとポリエチレンが摩擦、剥離を起こすとガラスが正極性、ポリエチレンが負極性に帯電することになり、その帯電量はガラスと絹の場合より大きい。

グラスライニング攪拌槽内で攪拌され、静電気を発生し、それが蓄積されるような原料としては、表中の物質以外にベンゼン、トルエン、ヘプタン、ブタノール、ヘキサン、ブタジエン、四塩化炭素、キシレン、純水などがある。

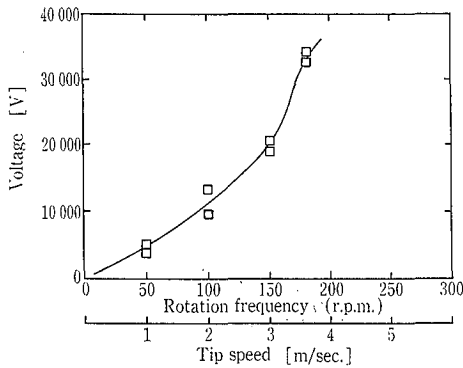
第1表 帯電列の例³⁾

Table 1 An example of series of frictional electrification

Metals	Fiber	Natural matter	Synthesis resin
(+)	(+)	(+)	(+)
		Asbestos Hair Glass Mica	
Lead	Wool Nylon Rayon		
	Silk Cotton Hemp	Wood Skin	
Zinc Aluminium	Glass fiber Acetate	Paper	
Chromium			Ebonite
Iron Copper Nickel Gold		Gum	Polystyrene
Platinum	Nylon		Polypropylene
	Polyester Acryl		Polyethylene
	Polyvinylidene	Celluloid Cellophan	
(-)	(-)	(-)	(-)
			Vinyl chloride Polytetrafluoroethylene



第1図 攪拌時間と発生電位
Fig. 1 Relation between agitating period and potential



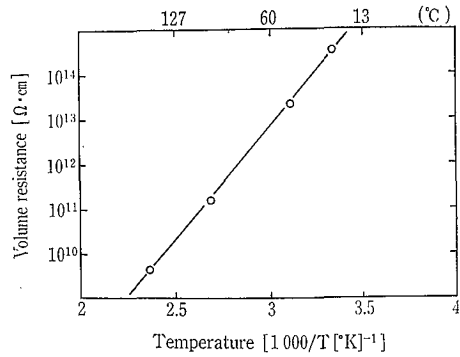
第2図 攪拌速度と発生電位の一例
Fig. 2 An example of relation between agitating speed and potential

る。そして、これらの原料の量が多いほど帯電量も大きい。またポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンなどの粒体では、粒が細くなるほど帯電量も大きい。このような原料でも塩酸、硫酸、水道水などの体積抵抗率の小さい物質が多く添加されていれば静電気の発生は問題にならないようである。溶剤中への微量な水の添加は水滴と溶剤との接触摩擦による帯電、さらには水滴が溶剤中の電荷を集めるといように逆に静電気の発生を助長することがある⁴⁾。

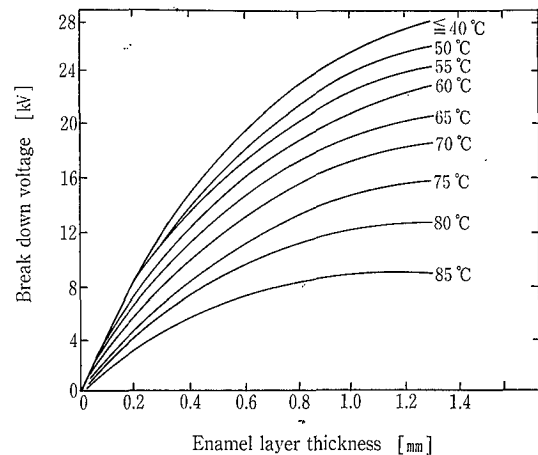
攪拌槽内で発生する静電気は、攪拌によるガラスと原料の衝突摩擦、分離の他に、2種類以上の原料同士の衝突、分離あるいは、槽内の高圧洗浄の際の洗浄水の吐出、衝突、付着物の剥離などによるケースもある。

体積抵抗率約 $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ の粒状粉体と、約 $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ の溶剤からなるスラリーを 100 l のガラスライニング攪拌槽内で、スパン 400 mm の攪拌翼を用い回転数 150 r.p.m. で攪拌したときに発生した電位の測定例を第1図に示す。

攪拌開始後20秒で約 9 kV に達し、その後攪拌を続けても電位の増加は認められず、電荷の発生量と漏洩量がバランスされると考えられる。しかし、攪拌開始から 180 秒後に攪拌を停止したところ、一時的に電位が上がり、約 21 kV まで観測された。電位の測定は、液表面近傍で測定したが、攪拌を停止したとき、沈降していた溶剤より高い電荷をもった粉体が表面に浮いてきて測定プローブの近くに集まったため、一時的な電位の上昇となった。すなわち攪拌中には部分的に 21 kV 以上の高い電位に達していたものと思われる。



第3図 グラスの体積抵抗と温度の関係
Fig. 3 Relation between volume resistance of glass and temperature



第4図 グラス厚みと破壊電圧⁶⁾
Fig. 4 Relation between enamel layer thickness and breakdown voltage with temperature

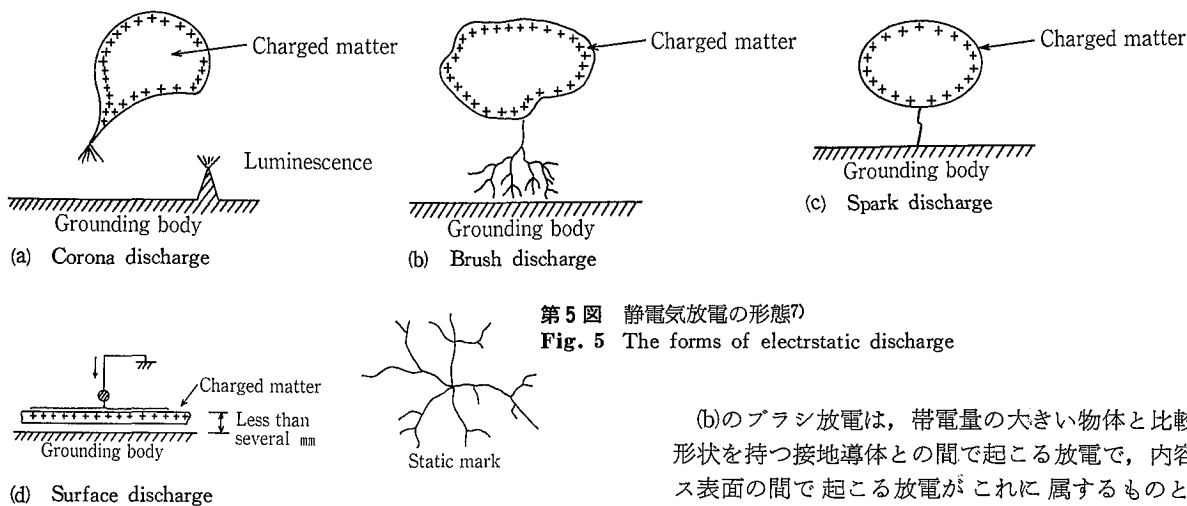
ピーク電位を記録した直後から電位は減衰し、攪拌停止後 150 秒で電位は約 1 kV 以下になった。

次に、同じ条件で回転数のみを変化させたときのピーク電位を測定したので、その結果を第2図に示す。横軸の速度は、翼先端の周速を表わす。この結果は、攪拌翼の回転数の上昇は帯電電位を確実に増加させることを示すものである。

またこの時、槽内温度と帯電電位の関係も調べた。ライニングされたガラスの体積抵抗率と温度の関係をワイブルプロットにより第3図に表わした。20°C のガラスを 45°C まで昇温すると、約 1 ケタ抵抗率が低下することが分かる。ところが、槽内温度を同じように 20°C から 45°C に上げてても帯電電位は低下しなかった。これは $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の抵抗率が 1 ケタ程度下がって、漏洩し易くなっても帯電量の方が大きく上回り、電位の低下につながらなかった。あるいは、一般に温度の上昇は静電気が発生し易くなるといわれており⁵⁾、相殺されたためと考えることもできる。

1. 2 放電

正極性と負極性にそれぞれ帯電した 2 つの物体は、その帯電電位が 2 つの物体で挟まれる電界の絶縁破壊強度以上に達したとき、放電により急激に電位が緩和される。この絶縁破壊強度は、例えば電界が空気であれば約 $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ であり、この値以上の電位が蓄積された場合に気中放電現象が認められる。



第5図 静電気放電の形態?
Fig. 5 The forms of electrostatic discharge

一般的なライニング用ガラスの絶縁破壊強度は、第4図に示すとおりである。1.2 mmにライニングされたガラスに40°C下において、25 kV以上の電位が加わったとき破壊し、温度の上昇に伴いその絶縁破壊強度は低下し、破壊電位も下がる。

ガラスライニング攪拌槽内の放電は、3種類のケースが考えられる。1つは内容物間での放電で、内容物が1種類のときは強い攪拌により分裂した際にそれぞれが両極に帯電し、再度接近した時放電を起こす。内容物が2種類以上のときは、いずれかが正極性になり、他が負極性に帯電し、それらが分離して放電を起こす。

別のケースとしては、内容物とライニングされたガラス表面との間で起こる放電である。第1表でも示したように多くの場合、内容物とガラスの摩擦、衝突が繰り返されると内容物が負極性に、ガラスが正極性に帯電する。攪拌による乱流や液面の上下で両者が接触・分離を繰り返すようなところに放電が起こり易くなるわけである。攪拌槽内の気液界面、攪拌翼やパッフル翼の裏側などがこの部位に相当する。

さらにもう1つのケースとしては、上記現象から電気二重層が形成され、正極の電荷が集まるガラスの表面と、アースされた負極性の素地金属との間で電位が生じ、第4図で示した破壊電圧以上の電位が発生したときに起こる放電のケースである。前記の2つのケースでは、内容物間あるいは、内容物とガラスの間の放電であったのに対し、この場合は、ガラスが絶縁破壊することによる放電であり、槽内の帯電量が増せば、内容物とガラスの接触、分離の如何にかかわらず発生する。

いったんガラスが絶縁破壊し、素地金属に達する貫通孔（ピンホール）ができると、その後もピンホール近傍のガラス表面と素地金属間で放電が繰り返される。ここで静電気放電の形態を第5図に示す。

(a)のコロナ放電は、帯電した物体に尖鋭な突起部分の刃状部分があるとき、または帯電物体の近くに突起状あるいは、刃状の接地導体があるとき、突起部分などの近くだけに微弱な発光が現れる放電といわれているが、ガラスライニング攪拌槽内においては、内容物が流体であること、ガラス面が平滑であることなどからこの形態の放電は少ないと思われる。

(b)のブラシ放電は、帯電量の大きい物体と比較的平滑な形状を持つ接地導体との間で起こる放電で、内容物とガラス表面の間で起こる放電がこれに属するものと考えられる。

(c)の火花放電は、帯電物体と接地導体の形状がともに比較的平滑なときに、強い破壊音と図に示すような一条の発光を伴って突然発生する放電で、ガラス表面と素地金属間の放電はこの形態であり、ガラス層にピンホール状の損傷を与える。

(d)の沿面放電は、帯電物体の背面に接地導体がある場合に、帯電物体表面の電位が非常に大きくなったとき、帯電物体の表面に沿って発生する放電である。ガラスの損傷の中でピンホールを中心にして、スタティックマークが観察されることがあるが、正にこの沿面放電によるものである。火花放電によって形成されたピンホール中に出現した素地金属とガラス表面との間の放電現象と考えられる。

1. 3 緩和

蓄積された電荷は、放電により瞬時にあるいは電気伝導によって徐々に漏洩、緩和される。ここで電気伝導による緩和時間 τ （時定数ともいう）は、帯電している物体の体積抵抗率を ρ 、その誘電率を ϵ とすると次式で示される。

$$\tau = \rho \cdot \epsilon$$

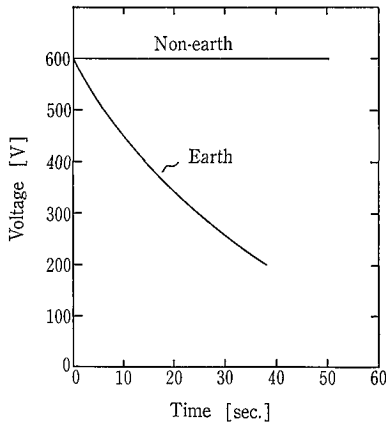
すなわち緩和時間は、帯電している物体の体積抵抗率あるいは、その誘電率に比例して長くなる。

また帯電電位 V_m の t 秒後の電位 V は、次式の古典的緩和法則で表される。

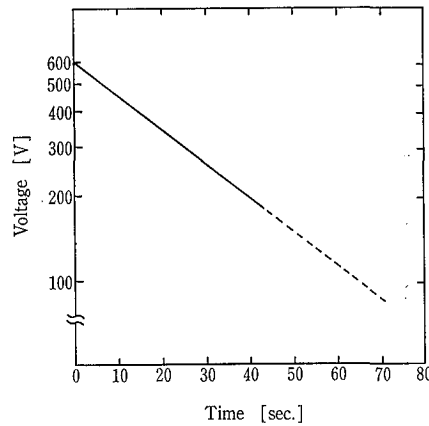
$$V = V_m \cdot e^{-t/\tau} \quad \text{①}$$

①から $t = \tau$ を代入して、緩和時間後の電位を求めると $V = 0.37 V_m$ となり、緩和時間とは初期の帯電電位の37%の電位になるのに要した時間ということになる。

北川ら⁸⁾は、約2ℓのガラスライニング容器中にミネラルスピリットを約1.8ℓ入れ、これを電氣的に600 Vまで帯電させた後、電極を取り除き、静置した状態で電位の減衰を調べた。その結果を第6図に示す。(a)はガラスライニング容器の素地金属からのアースの有無による時間と電位の関係を表したもので、アースを施すことによって初めてガラスを通し、電荷が漏洩することがわかる。この減衰曲線を(b)に示すように縦軸の電位を対数表示すると、直線になることから①式にあてはめると、



(a)



(b)

第6図 帯電電位の減衰曲線
Fig. 6 The decline curves of charged potential

$$V = 600 \cdot e^{-t/34.6}$$

②

と書き換えられる。この式から緩和時間は、34.6秒であり、半減期は24.6秒が求められる。

また、仮にこの容器に50kVの帯電があったとし、それが100Vまでアースからの電気伝導のみで緩和すると仮定すると、約4分かかることになる。100ℓのテスト機の場合も半減期は約30秒であったが、例えば約30kVに帯電していたものが100V以下に減衰するには6分以上必要であることが分かっており、実際に使用されているガラスライニング攪拌槽は、これらのテスト容器に比べ、ライニングされたガラス表面積に対する内容物の量が大きいので、静置した状態での漏洩時間ももっと大きいと予測される。

2. 静電気によるGLの破壊状態

固体誘電体の電氣的破壊は、真性破壊および電子なだれといった電子的破壊に始まり、純熱的破壊を経て機械的破壊に至ると説明される絶縁破壊と、トラッキング、部分放

電あるいは、トリッキングなどと呼ばれる放電による破壊があるといわれている⁹⁾。

静電気によるGLの破壊にも絶縁破壊と放電による破壊の両者が存在する。GLの静電気による破壊例を写真1に示す。

(a)から、直径0.5~1.0mmのガラス表面から素地金属に達するピンホールで、ガラス表面の開孔部周囲の角が取れて丸くなっていることがうかがえる。これはガラスが絶縁破壊あるいは、放電により貫通孔ができ、その時あるいはその後の放電の熱により開孔部周囲が溶けて角が取れたものと思われる。

(b)はガラス表面に形成されたスタティックマークの写真である。中心部は、素地金属まで貫通したピンホールがあり、樹枝状の部分はガラスの微細な表層チップの集団である。

(c)も樹枝状ではなく、円形ではあるが、10~15mmφの同様のトリッキングが認められる。

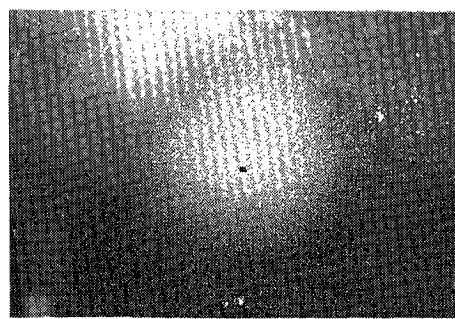
パッフルチップの先端の小さいR部に破壊が起こるとピ



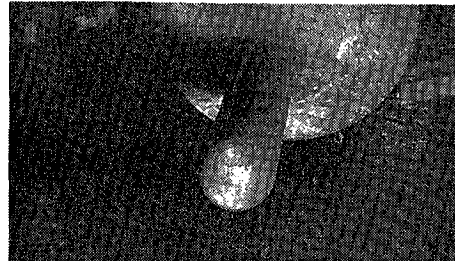
(a)



(b)



(c)



(d)

写真1 静電気によるGLの破壊例

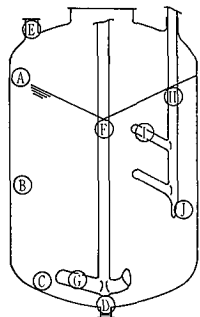
Photo. 1 Examples of GL destruction by electrostatic discharge

第 2 表 静電気による損傷事例一覧表

Table 2 The list of troubles by static electricity

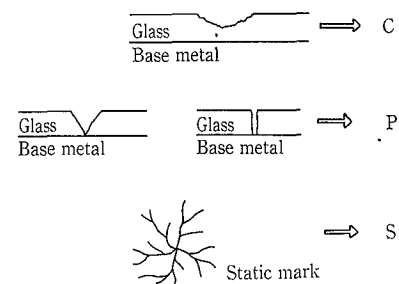
No.	Vessel M ¹	Contents	Tip speed m/s	Temp. °C	※ 1 Location of defects	※ 2 Phenomena of defect	Remarks	No.	Vessel M ¹	Contents	Tip speed m/s	Temp. °C	※ 1 Location of defects	※ 2 Phenomena of defect	Remarks
1	2	Ligroin, powders, etc.	—	—	A, B, C, G	P, S (Numberless)	Dipping pipe and level sensor were made of metal.	13	3.5	Polyethylene, hexane, etc.	—	—	A, F, H	P (Many)	Pinholes occur at the downstream of nozzles with vessel wall.
2	2	Benzene, sulphuric acid, etc.	—	—	A	P, S (Numberless)		14	3	N-hexane, powders, n-cyclohexane, etc.	—	—	A, B	P, C (Many)	Charge eliminating agent was added.
3	2	Polypropylene, toluene acetic anhydride, pyridine, benzene	—	—	B, C, J	P (Numberless)		15	16	Polyethylene, carbon tetrachloride, solvent, etc.	1.7 - 3.3	130	A, F, H	P (Many)	
4	55	Heptane, butanol, etc.	—	—	I, J	P (Many)		16	1.8	Benzene, toluene, heptane, powders, etc.	—	—	A, C, G, I	P (Numberless)	A worker observed spark discharges from view window
5	40	Polypropylene, etc.	—	—	E, F	P (Numberless)		17	7	Carbon tetrachloride, polypropylene, polyethylene, etc.	5.5	120	A, B, C, F, I	P (Numberless)	
6	1.5	Toluene, powders, hydrochloric acid, etc.	1.6 - 6.1	—	A, C, F, G, I	P (Numberless)		18	3	Toluene, nitrobenzene, methyl ethyl ketone, polyethylene, etc.	1.9 - 6.0	80 - 130	D, G, H, I	P, (52 pieces)	
7	4	Plastics, hydrochloric acid, etc.	—	—	A, B, C	P (Numberless)		19	13	Pure water, chlorine, polyethylene, surface active agent, etc.	—	—	B, C	P, C (Many)	Pinholes increased in spite of Ta repairing.
8	14	Solvent, powders, etc.	—	—	B	P (Numberless)		20	3	Xylene, powders, etc.	—	170 - 180	D	P (6 pieces)	
9	60	Polypropylene, etc.	—	—	F	P (Many)		21	15	Hexane, solvent, powders, etc.	5.3	110	C	P (2 pieces)	Pinholes occur just below inlet nozzle.
10	3	Plastics, etc.	—	—	B, G, I	P, S (Many)		22	12	Hexane, solvent, powders, etc.	5.0	60	C	P (3 pieces)	Pinholes occur just below inlet nozzle.
11	6	N-heptane, solvent, etc.	—	—	A, D	P, S (Numberless)		23	20	Hexane, globular silica, etc.	2.11 - 6.7	150	C, G	P (70 pieces)	Baffles were made by metal.
12	40	Polypropylene, butadiene, etc.	—	—	G, F	P (Numberless)		24	8	Paraformaldehyde, sulphuric acid, etc.	—	—	A, C, F, G, H, I	P (103 pieces)	

※1



- A : Vessel wall near liquid surface
- B : Middle height of vessel wall
- C : Bottom of vessel
- D : Drain nozzle
- E : Inlet nozzle
- F : Shaft of impeller
- G : Blades of impeller
- H : Shaft of baffle
- I : Blades of baffle
- J : Tip of baffle

※2



ンホールだけで済まされず、(d)の写真に示すようなチップングへと発達し易い。バッフルおよび攪拌翼のブレード部の小R部も同様の傾向になることが多い。

GLの静電気による破損の中には必ずしも素地金属まで達しておらず、ガラス表面のチップングのみの場合もある。これは、内容物とガラス表面との間の放電による衝撃痕あるいは、熱に起因するものと推測する。

GLの静電気による破壊の最も顕著な特長は、破壊箇所が無数に及ぶことである。過去の事故例では、1基の攪拌槽内で合わせて1000箇所以上といった具合である。そして、その破壊の多くは写真1の(a)およびそのガラス表面の開口部が欠けた状態を呈している。

3. 損傷事例

最近10年間の当社に寄せられたガラスライニング攪拌槽の静電気による損傷状況を第2表にまとめた。

表中で内容物については、判明している範囲で記入した。その量比については明かでない。

チップスピードは、攪拌翼の回転数と翼のスパンから算

出した。

損傷部位と損傷状態は、表下に示した概略図と記号で表した。

これらの事例の特長と共通点について次に述べる。

No.1とNo.23では、金属製のアクセサリを挿入していてもまた、No.13ではTaプラグで補修しても静電気による損傷が起きていることから、これらの物がアースになり、損傷を防止することにはならないことが解される。帯電し易い物体は、電荷の移動が極めて遅く、金属部分に到達して漏洩する以上に、蓄積する速度が上回るためである。ピンホールが発生しても、数ミリないし数十ミリ離れた部分に新たに絶縁破壊が起こることからも裏付けられる。

No.13の場合は、槽の胴部（気液界面付近）に設けられた2カ所のノズルスエッジの下流側に発生しており、ノズルの存在による流れの乱れが損傷に結びついた例である。

No.14では除電剤を添加していたにもかかわらず、多くのピンホールやスタティックマークが発生している。除電剤は、緩和時間を小さくする効果はあるが、その添加量に

よっては不純物として帯電を助成する恐れがあることを示唆している。

No. 21, 22は同じプロセスに同じ目的で設置された2台の攪拌槽において、それぞれ同じようにして原料を仕込み、共に同じ仕込ノズルの直下のガラスが破損されたケースで、この場合は槽外からの持ち込まれた静電気によるものである。

No. 2, 6, 7, 24では、内容物に体積抵抗率の小さい($<10^2 \Omega \cdot \text{cm}$)塩酸や硫酸が含まれているにもかかわらず、多くのピンホールが発生している。これらの液体の添加量、濃度など詳細な条件が明らかでないが、既に静電気が発生している状態の中へ仕込んだものと理解している。

これら24件の事例で共通点としては、ほとんど溶剤と体積抵抗率の大きい粉体の混合物であること、損傷状況がピンホール状で数が非常に多いことが分かる。発生部位は、気液界面および内容物が接触、分離を繰り返すところに多い。

4. 静電気対策

グラスライニング攪拌槽内の静電気は、機器の損傷だけでなく、人体への感電、火災および爆発といった重大災害の危険性があり、有効な対策を講じなければならない。田島¹⁰⁾は災害の防止対策として、次のことを実施すべく提案している。

- (1) 接地を確実に励行する。
- (2) 混合、攪拌などの運動速度を大きくしない。
- (3) 容器の中にイオン化空気を送り、静電気を除電する。
- (4) 容器内で生成される可燃性混合気の濃度を測定し、爆発範囲に入らないように管理する。

GL機器の上記以外に考えられる静電気対策を次に列挙する。まず、攪拌槽の仕様としては、

- (1) 体積抵抗率の小さい材料の使用
- (2) 強い攪拌を避ける。
- (3) バッフル強さを低くする。
- (4) 槽内面の凸凹を減らす。
- (5) 防災の観点からアースを増す。

(1)について、現在使用されているガラスの体積抵抗率は、約 $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ であるが、これを $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下にするのが良いとされている。しかしながら、現時点では耐食性を考慮して、なおかつ体積抵抗率を $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下にすることは困難であり、今後の開発が望まれる。静電気の発生ステージに合わせ、金属製の攪拌槽とグラスライニング攪拌槽の2槽にすることなどは有効な手段であろう。(2)については攪拌翼の形状、スパンを小さくする。あるいは回転数を下げるといった方法が考えられる。チップスピードは 1 m/s 以下¹¹⁾程度が妥当と思われる。

(3)について、バッフルの本数、翼の形状、設置角度などの変更が考えられる。

(4)について、槽の液相部および気液界面にノズルや温度計などを設けない。また、付着物があればそれを除去して平滑なガラス面を確保する必要がある。

(5)のアースは、漏洩抵抗が 100Ω 以下にしないと効果がないといわれている。アースの設置は、アースを通して電

気伝導による槽内の電位の緩和、人体の感電防止ということでは有効であるが、一方で、急激な電荷の蓄積があれば電気伝導だけでなく放電による緩和が起り、機器の損傷、火災などに結びつく可能性もある。

次に内容物の性状としては、

- (6) $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の体積抵抗率の原材料を使用する。
- (7) 引火性原料を避ける。
- (8) 粉体原料は、その粒径を大きくする。
- (9) 粉体原料を湿潤化して用いる。
- (10) 除電剤を添加する。
- (11) 量を減らす。

などが挙げられる。

また、原料の仕込過程では次のことに留意しなければならない。

- (12) 原料の搬送速度を下げる。
 - (13) 電導性物質を先に仕込む。
 - (14) 金属性スクリーフィーダーなどを使い、仕込速度を下げる。
 - (15) 粉塵を起さない。
 - (16) イオン化ガス中を通す。
- そして、運転時の対策としては次のような方法がある。
- (17) 槽内に不活性ガスをバージする。
 - (18) 静置するなど緩和時間を設ける。
 - (19) 気相部の湿分を増し、 $65 \sim 70 \%$ 以上に保つ。

グラスライニング攪拌槽における静電気現象は、再現性に乏しい。それだけ影響を与える因子が多く、種々の対策が考えられる反面、これといった効果的な対策が見あたらないのが現状である。

経験的に攪拌槽内で発生した静電気を除電することは極めて難しく、除電対策が逆に静電気発生量を増加させることにもなりかねない。すなわち、製品の製造プロセスの変更をも含め、静電気を発生させない方策こそ重要と考える。

む す び

静電気によるグラスライニング攪拌槽の損傷事例については、詳細な情報が把握できていないし、また本報で公表できる範囲にも制約があり、簡略化されたことをご容赦願いたい。静電気対策については、結果的に製品品質、生産性を低下させる内容に終始したが、これらが現在考えられる対策であることをご理解頂く一方で、当社においては耐静電気用GL機器の開発が急務であると痛感する次第である。

〔参考文献〕

1. 神鋼パンテック技報, Vol. 34, No. 3, (1990)
2. 神鋼ファウドラニューズ, Vol. 25, No. 1, (1981) p.1
3. 静電気安全指針, (1988) p. 3
4. 森田;安全工学, Vol. 9, No. 3, (1970) p. 144
5. 静電気ハンドブック, 静電気学会編, (1981) p. 799
6. I S O 2746, (1973)
7. 静電気安全指針, (1988) p. 8
8. 北川ら;未発表, (1962)
9. 「放電ハンドブック」電気学会, (1989) p. 414, オーム社
10. 田島;「OHM」(1977) p. 68
11. 静電気安全指針, (1988) p. 20