

静電気障害を防止する導電性ガラスライニング

"ECOGL-Electrically Conductive Glass Lining"



技術開発本部
プロセス技術開発部新規プロセス室
多田篤志
Atsusi Tada
プロセス機器事業部生産部製造室
宮内啓隆
Hiroataka Miyauchi

ガラスライニング機器の使用時に発生した静電気によるガラス層の破損を防止するため、導電性ガラスライニング (ECOGL-Electrically Conductive GL) を開発した。ECOGL は発生した静電気を表面方向に緩和することで、ガラス層への帯電を防止し、ガラス層の破損を防ぐことを特長とする導電性ガラスである。ECOGL の表面抵抗率は 10^6 ~ 10^7 Ω/□、帯電半減時間は1.0 sec以下と、優れた帯電防止効果を備えているうえに、耐食性についても、当社の高耐食性標準ガラス (#9000) と同等である。

また、導電性ガラスは、それ自体が電気を通すため、高電圧ピンホール検査が適用できないという問題があったが、ECOGL は当社独自の構造により、ノーピンホール性が確認可能であるため、簡易、かつ確実にノーピンホール品質を担保できるといった特長を備え、高品質な導電性ガラスライニング機器を安定してユーザへ提供できるようになった。

The electrically conductive glass lining (ECOGL) was developed to prevent breakage of glass layer by static charge generated in the operation of glass lined equipments. The ECOGL has two layers of glass over the substrate; conductive surface layer over an ordinary non-conductive layer. The static charge, if generated, is introduced to the earth along the surface layer. With the surface resistivity and static charge half-life period respectively 10^6 to 10^7 ohms per square and less than 1.0 sec., the ECOGL has high antistatic effect. Moreover, the corrosion resistance of the ECOGL fairly compares with that of our high corrosion resistance standard glass (#9000).

The high voltage pinhole test cannot be applicable to the conductive glass lining for its electrical conduction. The ECOGL, however, can be easily controlled to no-pinhole grade by the test because of the characteristic 2-layer structure. Stable supply is assured for the reliable, quality-controlled conductive glass lined equipments.

Key Words :

導電性ガラスライニング	Electrically conductive glass lining
静電気	Static charge
表面抵抗率	Surface resistivity
帯電半減時間	Static charge half-life period
帯電防止効果	Antistatic effect
ノーピンホール性	No-pinhole grade
高電圧ピンホール検査	High voltage pinhole test

まえがき

グラスライニングとは素地金属上に高耐食性のガラス層をライニングしたもので、ガラスの耐食性と鋼の強靱性を兼ね備えた複合材料である。ガラス層は絶縁物であるため、グラスライニング製の压力容器内で、体積抵抗率が $10^{10} \Omega\text{cm}$ 以上と高い有機溶媒や、粉粒体などの内容物を攪拌した場合、攪拌や沈降等の摩擦によって大きな静電気が発生し、帯電が生じる。帯電した静電気はガラス層が絶縁体であるために緩和されない。帯電が一定以上になると沿面放電が発生し、ガラス層が絶縁破壊するという静電気障害が報告されている。^{1), 2)} この問題は単に機器破損にとどまるものではなく、放電によって内容物が爆発する危険性を秘めた、安全上の大きな問題である。ユーザからの強い要望の声もあり、この問題の解決はグラスライニング機器にとって大きな命題のひとつであった。

当社が開発した導電性グラスライニング (ECOGL) は、この問題を解決するもので、ガラス層への静電気帯電を防止し、放電の発生を抑制、ガラス層の破損を防止する。また、導電性グラスライニングでありながら、ノーピンホール品質のグラスライニング機器を確実に提供することができるという特長も備えている。

本稿では、2004年10月に上市された、導電性グラスライニング『ECOGL (Electrically Conductive GL)』の、性能について報告する。

1. ECOGLの帯電防止原理

1.1 静電気障害の防止策

静電気障害を防止するためには、図1に示すように、

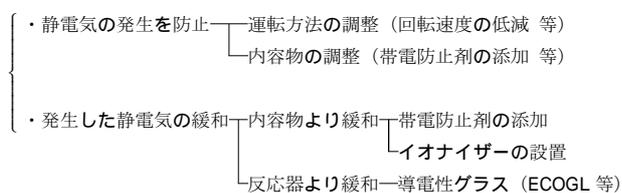


図1 グラスライニング反応器における帯電防止策

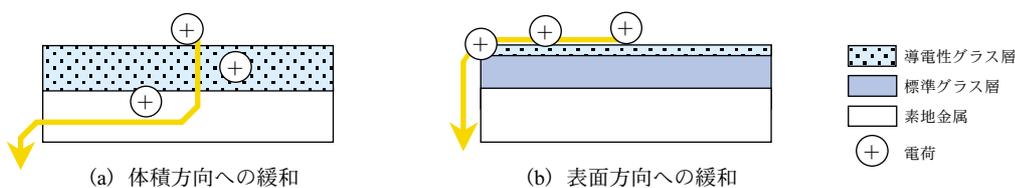


図2 グラスライニング機器からの静電気の緩和方式

- ① 「静電気の発生を防止」
 - ② 「発生した静電気を緩和」
- という2つの方法がある。

①の方法は、静電気自体の発生を抑制する方法で、これまで、反応器の運転方法を調整して静電気の発生を抑制する等の試みがなされている。³⁾ しかし、運転方法はユーザのプロセスに左右されるため、静電気障害を完全に防ぐことは現実的に困難である。

②の方法は、内容物、反応器にそれぞれ導電性を付与して、発生した静電気を緩和する方法である。両者のうち、内容物への導電性の付与は、ユーザの制限があるため、不可能な場合が多い。当社の開発したECOGLでは、反応器に導電性を付与する方法、つまり本来絶縁物であるガラス層に導電性を付与して、発生した静電気を緩和させている。

1.2 グラスライニング機器からの帯電緩和方式

ガラス層に導電性を付与し、帯電を緩和させる方法には、図2に示すような2通りの方式がある。

1つは図2-(a)のように、ガラス層全体に導電性を付与して、体積方向に帯電を緩和させる方式である。この方式は、ガラス層全体が導電性であるため、高電圧ピンホール検査によりノーピンホールの品質を確認できないという欠点がある。

もう1つは図2-(b)のように、最表層部のガラス層のみに導電性を付与して、表面方向に帯電を緩和させる方式である。この方式では、製作工程中にノーピンホールの品質を確認することが可能であり、品質管理の点で有利である。

各方式には、表1に示すようにそれぞれ長所、短所があり、ECOGLは表面方向に緩和する図2-(b)の方式を採用している。

表1 各緩和方式の長所と短所

特徴	体積方向への緩和	表面方向への緩和
導電性物質添加量	多い	少ない
緩和経路	短い	長い
導電層のアース	施工済み	別途施工必要
ノーピンホール管理	困難	容易

2. ECOGL の構造

ECOGL は、当社の標準ガラスである高耐食性 #9 000 ガラス層（以降、標準ガラス）の上に、最表層として導電性ガラス層を形成している。その導電性ガラス層の端部において、導電性ガスケット等をもちいて機器外にアースすることで、帯電を緩和する構成となっている。

最表層の導電性ガラス層は、標準ガラスに導電性粉末を添加して製作される。導電性ガラス層中では図3の断面観察結果に示すように、導電性粉末が導電経路を形成しており、この経路によって導電性をえている。

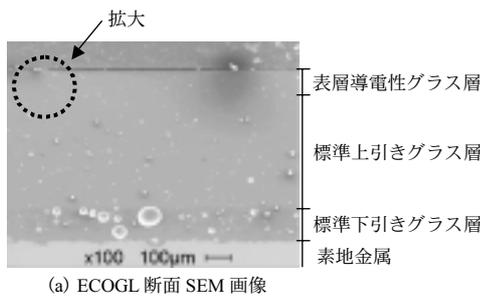
3. ECOGL の帯電防止性能

3.1 表面抵抗率

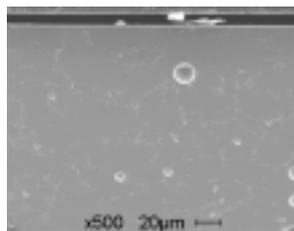
ECOGL は発生した静電気を表面方向に緩和する方式のため、最表層の導電性ガラス層の表面抵抗率が重要となる。文献によると、表2に示すように、表面抵抗率が $10^{10} \Omega/\square$ 以下であれば帯電が防止できるといわれている。⁴⁾ ECOGL の表面抵抗率を評価した結果を以下に示す。

<評価条件>

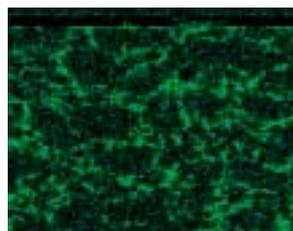
- ・測定雰囲気：湿度10%以下，温度20～25℃
- ・測定するガラス層表面の吸着水分を乾燥させた後に測定する。
- ・表面抵抗計：シムコ製 ST-3，ヒューレット・パッカード製 HP4339A



(a) ECOGL 断面 SEM 画像



(b) ECOGL 表層部拡大 SEM 画像
白い網目状に見えるのが導電性粉末による導電経路



(c) ECOGL 表層部拡大 EDS 画像
緑の輝点が導電性粉末による導電経路

図3 ECOGL の断面構成

<評価対象>

標準 GL, ECOGL で以下サンプルを製作した。

- ・□100 mm×t1 mm
- ・100 L 反応器（胴部，攪拌翼部，バッフル部を評価）

<評価結果>

表3に測定結果を示す。標準ガラスの表面抵抗率が $10^{14} \Omega/\square$ と帯電の大きさが1—10 kV 程度であるのに対し、ECOGL の表面抵抗率はどの部位においても $10^{6-7} \Omega/\square$ 以下のため、帯電が0.1 kV 以下程度と非常に小さいことが確認された。

3.2 帯電圧半減時間

次に実際に ECOGL を帯電させ、帯電圧が半分緩和するまでに要する時間（帯電圧半減時間）を測定して、帯電防止性を評価した。

測定方法は、帯電性試験法（JIS L 1094）を模した方法でおこなった。詳しくは図4に示すように、ガラス層表面より15 mm の距離に設置した針状電極に20 kV を印加してコロナ放電を発生させる。コロナ放電によって直下のガラス層表面を30 sec 帯電させた後、直ちに電極を移動させる。それと同時に、

表2 帯電性の表面抵抗率の指標

帯電の大きさ／帯電電位の目安 (kV)	表面抵抗率 (Ω/\square)
ほとんどなし／0.1以下	10^{10} 以下
小さい／0.1-1	$10^{10}-10^{12}$
普通／1-10	$10^{12}-10^{14}$
大きい／10以上	10^{14} 以上

表3 各ガラスの表面抵抗率測定結果

ガラス種類	表面抵抗率 (Ω/\square)	
	当社標準ガラス (#9 000)	導電性ガラス (ECOGL)
100 mm×t1 mm サンプル	7.5×10^{14}	10^{5-6}
100 L 反応器	胴部 攪拌翼部 バッフル部	10^{12} 以上 2.5×10^6 10^{6-7} 4.0×10^6

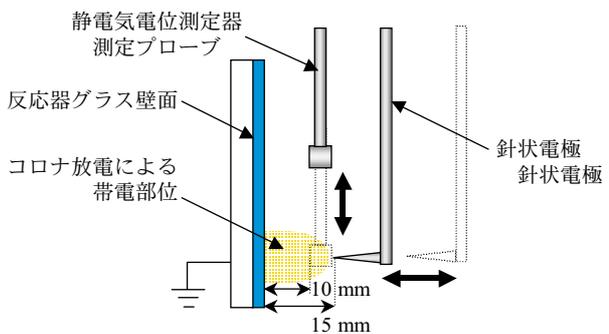


図4 帯電圧減衰測定概要図

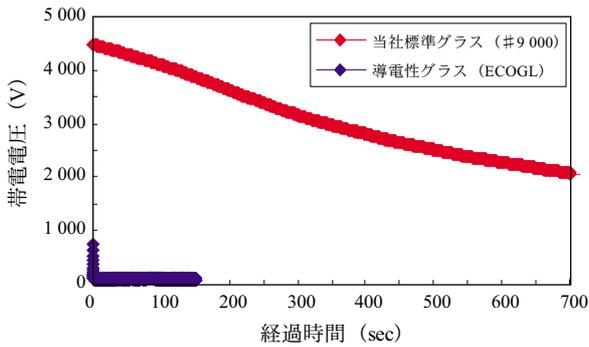


図5 各ガラスの帯電圧減衰曲線
(100 L 反応器胴部, 帯電条件: 20 kV—30 sec)

ガラス層表面より10 mm で針状電極があった場所に静電気電位測定器（春日電機製 KSD-0109, KS-2001）の測定プローブを移動させて、ガラス層表面の帯電圧の時間変化を測定した。

測定は100 L 反応器の胴部と攪拌翼部において実施した。ガラス層表面から大気中へと緩和する電荷の影響を少なくするため、反応器内の雰囲気湿度10%以下に調整し、1日以上保持して、ガラス層表面の吸着水分を乾燥させてから測定した。

例として、本測定によってえられた ECOGL と標準ガラス反応器胴部の帯電圧減衰曲線を図5に示す。この減衰曲線からえられた帯電圧半減時間を表4に示す。標準ガラスの半減時間が700 sec以上であるのに対して、ECOGLの半減時間は1.0 sec以下と非常に短いという結果がえられた。この結果は帯電される量より、ECOGLが緩和する量の方が大きいことを示しており、胴部のみならず、形状が複雑な攪拌翼部においても、ECOGLの帯電防止性能が非常に高いことがわかる。

3.3 漏洩抵抗

ECOGLが表層方向に帯電を緩和するには、表層の導電性ガラス層がアースされていることが重要となる。アースが不十分な場合、導電層が絶縁された状態になるため、帯電は緩和されない。さらにその状態で放電が発生すると、放電個所に帯電荷が集中し、エネルギーの大きな放電となるため、発火等の災害が発生する危険性が高まることとなる。

アースがとれているかどうかを示す指標は漏洩抵抗であり、文献によると放電が発生する恐れがある場所での漏洩抵抗は $10^9 \Omega$ 以下にする必要があるといわれている。⁵⁾

以下、ECOGLの漏洩抵抗を評価した結果を示す。

<評価条件>

- ・測定雰囲気：湿度10%以下，温度20～25℃
- ・反応器内部を上記雰囲気に調整し，1日以上保

表4 各測定部位における帯電圧減衰測定結果

測定場所	初期帯電圧(kV)／帯電圧半減時間(sec)	
	当社標準ガラス(#9000)	導電性ガラス(ECOGL)
100 L 反応器胴部	4.5/721	0.7以下/1.0以下
100 L 反応器攪拌翼	—/—	0.3以下/1.0以下

表5 ECOGL 反応器の各測定部位における漏洩抵抗

測定部位	漏洩抵抗 (Ω/\square)	
	100 L 反応器測定結果	10 m ³ 反応器推定結果
胴部	$1.6-5.0 \times 10^6$	$1.6 \times 10^6-8.5 \times 10^7$
攪拌翼部	$1.3-2.5 \times 10^7$	$1.3 \times 10^7-3.1 \times 10^8$
バッフル部	$5.5 \times 10^6-5.0 \times 10^7$	$5.5 \times 10^6-5.0 \times 10^8$

表6 各ガラスの耐食性

	当社標準ガラス(#9000)	導電性ガラス(ECOGL)
耐水性 (純水, 沸点, 気相) (mm/年)	0.01	0.01
耐酸性 (20% HCl, 沸点, 気相) (mm/年)	0.04	0.04
耐アルカリ性 (1N-NaOH, 80℃, 液相) (mm/年)	0.20	0.20

持してガラス層表面の水分を乾燥させた後に測定する。

- ・絶縁抵抗計：横河電機製 2406

<評価対象>

- ・100 L 反応器：胴部，攪拌翼部，バッフル部

<評価結果>

100 L 反応器の各部位における、ECOGL層から外部アース端子までの漏洩抵抗の測定結果、および測定結果から推定した10 m³ 反応器の各部位における漏洩抵抗を表5に示す。推定結果は、10 m³ 反応器と100 L 反応器の各部位における表面積の比より算出した値である。

本結果より ECOGL は、10 m³ の反応器においても安全基準である漏洩抵抗 $10^9 \Omega$ 以下の接地が可能であり、良好な帯電防止性を示すものと推察できる。

4. ECOGLのその他の特長

ECOGLは良好な帯電防止性能を示す以外に、その構造によって、以下のような特長を備えている。

①「標準ガラスと同等の耐食性，耐熱衝撃性」

ECOGLは耐食性を備えた導電性粉末を導電物質として使用するため、表6に示すように標準ガラスと同等の耐食性を有する。

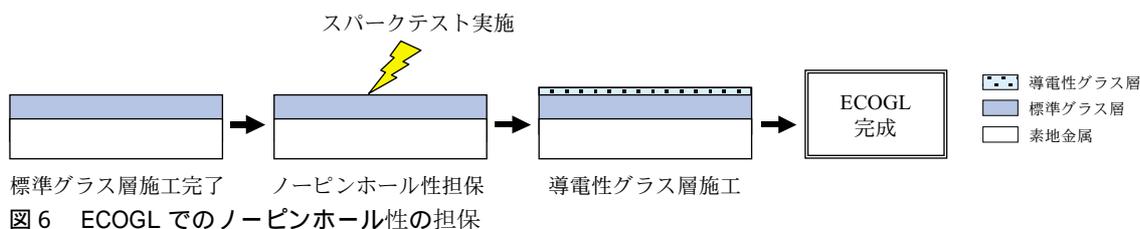


図6 ECOGLでのノーピンホール性の担保

また、耐熱衝撃性についても同等の性能を有しており、導電性ガラス層／標準ガラス層間で、剥がれや割れが生じることはない。

②「容易で確実なノーピンホール品質管理」

完成後のガラス層にピンホールやクラック等の欠陥が生じていると、グラスライニングの特長のひとつである耐食性が失われ、その部分より素地金属の腐食が発生してしまう。このため一般的に高電圧ピンホール検査によって、ガラス層のピンホール、クラック検査がおこなわれる。高電圧ピンホール検査とは、ガラス層表面に直流高電圧を印加して、絶縁破壊電圧が低くなっているピンホールやクラック等の欠陥部を、絶縁破壊させて検知する検査である。

本テストは容易、かつ確実な検査方法であるが、導電性ガラス層に適用すると、印加した高電圧は導通してしまうため、欠陥部で絶縁破壊が発生せず、ピンホール、その他の欠陥の検知ができなくなってしまう。そのため、ガラス層全層が導電性ガラス層(図2-(a))であると、高電圧ピンホール検査が実施できず、グラスライニングのノーピンホール品質を担保することが困難であった。

それに対してECOGLは、高電圧ピンホール検査により標準ガラス層が無欠陥であることを確認して、耐食性を確保した後、最表層に導電性ガラス層を施工する(図6)。このためECOGLは、容易に、かつ確実に高品質なグラスライニング機器を提供でき

るという特長を有する。

③「良好な洗浄性」

ECOGLでは粉末状の導電物質を使用するため、針状、繊維状の導電物質を使用した場合と比較して、ガラス層表面の凹凸が少なく、平滑である。そのため反応器内壁への内容物の付着が軽減でき、また洗浄時も良好な洗浄性がえられるという特長を有する。

むすび

帯電防止性能を中心に、導電性グラスライニング『ECOGL』の特長を紹介した。ECOGLは反応器だけでなく、同様に静電気障害が問題となる容器回転型粉体混合乾燥機(CDB)へも適用可能であり、本開発によって永年の課題であった静電気障害を解決し、ユーザに対してより安全な生産設備を提供できるようになったと確信している。

[参考文献]

- 1) 静電気災害・障害基礎講座, 静電気学会誌, Vo.12, No.6, (1988), p.454-455
- 2) 児玉ら, 産業安全研究所報告 RIIS-RR-89, (1989), p.80
- 3) 澤田, 神鋼パンテック技報, Vol.34, No.3, (1990), p.22-27
- 4) 静電気学会編, 新版静電気ハンドブック, (1998), p.318, オーム社
- 5) 山隈, 電気と工事(静電気災害と防止対策), (2001/2), p.50