

# 静電気障害を防止する 導電性ガラスライニング (2) その優れた静電気破壊防止効果



"ECOGL-Electrically Conductive Glass Lining -2-"  
The Excellent Static Electricity Destruction  
Prevention Performance

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  
前背戸智晴  
Tomoharu Maeseto  
(工学博士)  
プロセス機器事業部  
生産部 製造室  
宮内啓隆  
Hirota Miyuchi

当社では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、製品化している。その優れた帯電防止効果をユーザに評価して頂き、反応機、CDB (Conical Dryer Blender) 等で約50機と納入実績を着実に伸ばしつつある。表面方向へ帯電を緩和する ECOGL は静電気放電を模した実験で、従来の耐静電気 GL にくらべ2倍強の破壊電圧を示し、体積方向へ帯電を緩和する従来の耐静電気 GL にくらべ優れた静電気破壊防止効果を有している。本報では ECOGL のその優れた静電気放電破壊防止効果、帯電防止性能 (表面抵抗率  $10^{6-7} \Omega/\square$ , 帯電圧半減時間 1.0 sec 以下) 等について紹介する。

The electrically conductive glass lining (ECOGL) has been developed to prevent breakage of the glass layer by static charge accumulation during the operation of glass lined equipments. ECOGL has been put on the market and the excellent static charge accumulation prevention performance is evaluated by customers. The number of ECOGL's track records reaches approximately fifty as reactors, CDB (Conical Dryer Blender) etc.. ECOGL has the structure that the electrically conductive glass lining layer is lined on the conventional non-conductivity glass lining layer. The structure of ECOGL shows the excellent static electricity destruction prevention performance compared with conventional one. As the result of experiments, the structure of ECOGL shows more than twice breakdown voltage compared with conventional one. Static electricity destruction prevention performance, static charge accumulation prevention performance etc. are reported in this paper.

## Key Words :

導電性ガラスライニング  
静電気  
帯電防止効果  
ノーピンホール性  
静電気破壊防止効果

Electrically conductive glass lining  
Static electricity  
Static charge accumulation prevention  
No-pinhole grade  
Static electricity destruction prevention performance

## 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 (GL) 製の反応機内で体積抵抗の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、帯電が生じる。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静電気障害が報告されている。<sup>1), 2)</sup> 静電気に起因する放電は GL 機器の損傷とともに、放電による内容物爆発の危険性も秘めており安全上の大きな問題である。当社は2004年10月に導電性グラスライニング『ECOGL (Electrically COnductive GL)』を開発し、製品化した。<sup>6)</sup> その優れた帯電防止効果をユーザに評価して頂き、反応機、CDB (Conical Dryer Blender) 等で約50機と納入実績を着実に伸ばしつつある。表面方向へ帯電を緩和する ECOGL は体積方向へ帯電を緩和する従来の耐静電気 GL にくらべ優れた静電気破壊防止効果を有している。静電気放電を模した実験結果では、従来の耐静電気 GL にくらべ2倍強の破壊電圧を示した。以下に ECOGL のその優れた静電気放電破壊防止効果、帯電防止性能 (表面抵抗率  $10^{6-7} \Omega/\square$ 、帯電圧半減時間 1.0 sec 以下) 等について報告、紹介する。

## 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①「静電気の発生防止」と②「発生した静電気を緩和」の2つの対策がある。①は攪拌速度の抑制、原料投入方法、投入速度の調整等操業方法による静電気発生抑制方法である。<sup>3)</sup> しかし、あくまで静電気発生を抑制する方法であり、静電気障害を完全に防ぐことは困難である。②の方法は内容物や機器に導電性を付与し、発生した静電気を緩和する方法である。内容物への導電性付与については製品へ影響をおよぼすため現実には実施困難である。当社の開発した ECOGL はガラス層に導電性を付与し、発生した静電気を緩和させている。

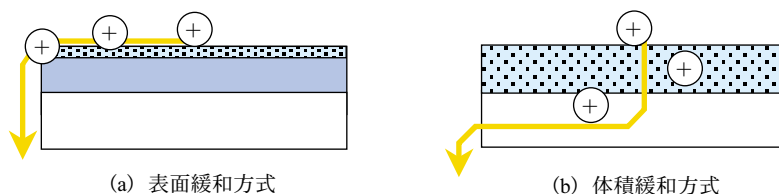
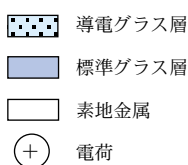


図1 ECOGL と従来技術の構造および静電気緩和方式の違い

## 1.2 ECOGL の構造

ECOGL の構造は図1の(a)に示すように標準ガラスの最表層に導電ガラス層を設けた表面緩和方式を採用している。一方、従来の耐静電気 GL は(b)に示すようにガラス層全体を導電ガラス層とした体積緩和方式を採用している。この静電気緩和方式の違いが後述する静電気破壊防止やピンホール検査といった点で従来技術より優れた性能をもたらしている。

## 2. ECOGL の帯電防止性能へ影響をおよぼす基本性能

すでに述べたように GL 機器で体積抵抗の高い有機溶媒や粉粒体などの内容物を攪拌した場合、ガラス面と溶媒や内容物との摩擦や接触剥離が原因となり、静電気が発生しガラス層と溶媒や内容物に帯電が生じる。ECOGL は1.2で述べたように最表層に導電ガラス層を設けることでガラス層に発生した静電気を漏洩させガラス層の帯電を防止している。その帯電防止性能を発揮するためには、導電ガラス層で発生した電荷がいかにも移動しやすいかを示す指標である表面抵抗率と、その移動した電荷を確実にアースへ漏洩させるための指標である漏洩抵抗の2つが重要となる。以下にその2つの重要な指標について説明する。

### 2.1 表面抵抗率

一般には表1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。<sup>4)</sup> ECOGL の表面抵抗率を測定した結果を以下に示す。

<測定条件>

- ・測定雰囲気：湿度10%以下、温度20~25℃
- ・表面抵抗計：シムコ製 ST-3、ヒューレット・パッカー製 HP4339A

表1 帯電に対する表面抵抗率の指標

帯電の大きさ／帯電電位の目安 (kV)	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )
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2 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/□)	
		当社標準ガラス (#9000)	導電性ガラス (ECOGL)
サンプル種類			
テストピース (100 mm×100 mm)		7.5×10 <sup>14</sup>	10 <sup>5-6</sup>
100 L 反応機	胴部	10 <sup>12</sup> 以上	2.5×10 <sup>6</sup>
	攪拌翼部		10 <sup>6-7</sup>
	バッフル部		4.0×10 <sup>6</sup>

表3 ECOGLの実機での漏洩抵抗と表面抵抗率の測定例

製品種類	容量	漏洩抵抗 (MΩ)	表面抵抗率 (Ω/□)
CDB	16型 (全容量 2 170 L)	2.9	0.5~1.7×10 <sup>6</sup>
CDB	18型 (全容量 2 940 L)	4.0	1.1~3.8×10 <sup>6</sup>
CDB	21型 (全容量 5 000 L)	5.1	0.8~4.1×10 <sup>6</sup>
反応機 (JOW)	1 000 L	2.1	0.6~1.5×10 <sup>6</sup>
反応機 (JOW)	5 000 L	2.4	0.4~1.2×10 <sup>6</sup>
反応機 (JCW)	6 000 L	3.8	0.8~2.6×10 <sup>6</sup>

<測定サンプル>

- 標準ガラス, ECOGL で以下サンプルを製作した。
- ・テストピース (100 mm×100 mm, ガラス施工厚み 1 mm, 母材厚み3.2 mm)
- ・100 L 小型反応機 (胴部, 攪拌翼部, バッフル部で測定)

<評価結果>

測定結果を表2に示す。標準ガラスの表面抵抗率が10<sup>14</sup> Ω/□と帯電が大きい指標値に該当するのに対して, ECOGL の表面抵抗率は10<sup>5-7</sup> Ω/□以下と帯電をほとんどしない指標値10<sup>10</sup> Ω/□を大きく下回ることがわかる。また, 表3に実機の表面抵抗率測定結果例を示しているが, いずれも10<sup>5-7</sup> Ω/□以下と表2のテストピースや小型反応器 (100 L) と同等の良好な性能を示していることがわかる。

2.2 漏洩抵抗

良好な接地がおこなわれていなければ発生した静電気を十分に緩和することは不可能である。その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<sup>9</sup> Ω未満にする必要があるといわれている。<sup>5)</sup> 客先ではGL機器のアースラグを利用して接地工事がおこなわれるが, ECOGL 層とアースラグまでの漏洩抵抗が十分に低ければ, その先は通常の接地工事がおこなわれていればとくに問題はない。ECOGL 実機では出荷前に漏洩抵抗測定を実施し保証値である10<sup>9</sup> Ω未満であることを確認している。その漏洩抵抗測定結果例を表3に示す。漏洩抵抗は図2に示すように本体のアースラグまでの距離が一番長くなるセンターマンホール部のECOGL 表層とアースラグ間での測定結果で

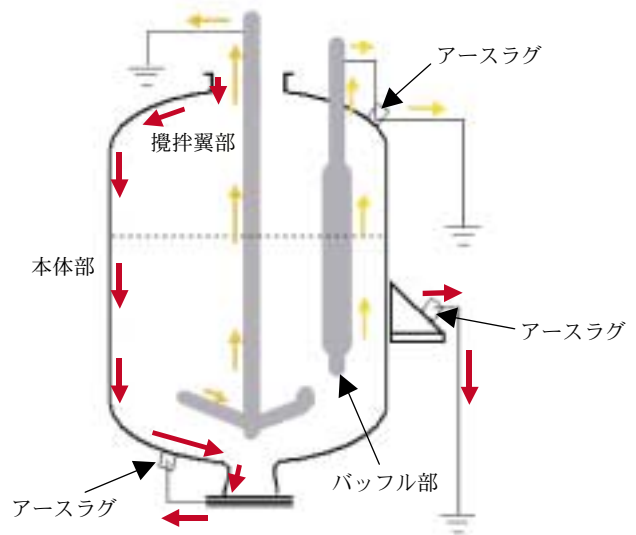


図2 ECOGLの各部での接地方法と漏洩抵抗測定ポイント

漏洩抵抗測定ポイントは以下;  
 攪拌翼部では翼先端部と軸端の金属部分間  
 バッフル部ではバッフル先端とアースラグ間  
 本体部分ではセンターマンホールとアースラグ間

ある。CDB と反応機のいずれの測定結果も10<sup>6</sup> Ω台であり, 先程述べた保証値/安全指標10<sup>9</sup> Ω未満を大きく下回っている。したがって, 客先にてGL機器アースラグから通常の接地工事をおこなって頂くことで安心して使用頂けることがわかる。

3. ECOGLの帯電防止性能

実際にGL製反応機に内容物として有機溶媒と樹脂粒子等を入れ攪拌帯電させる代わりに, コロナ放電を利用してECOGLを帯電させ, 帯電圧が半分に緩和するまでに要する時間(帯電圧半減時間)により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。100 L 反応機胴部のガラス層表面より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、30 sec 帯電させた後に直ちに電極を移動させ、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。測定は反応機内の雰囲気湿度を10 %以下に調整して1日以上保持した後におこなった。当社標準ガラスと ECOGL の測定結果を図3に示す。標準ガラスの半減時間700 sec

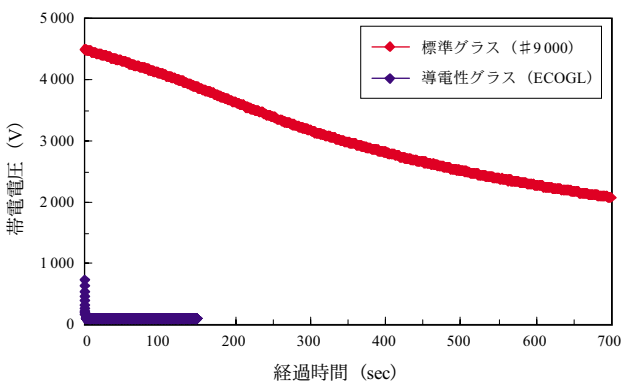


図3 各ガラスの帯電圧減衰曲線  
(100 L 反応機胴部, 帯電条件: 20 kV—30 sec)

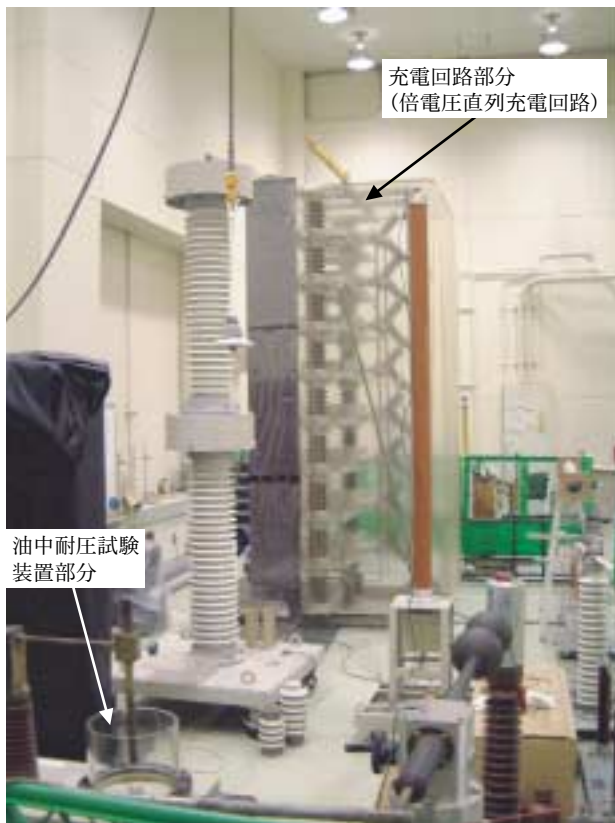


図4 静電気破壊防止効果確認実験装置  
(800 kV 衝撃電圧発生装置)

以上に対し、ECOGL の半減時間は1.0 sec 以下と非常に短く良好な帯電防止性能を示すことがわかる。

#### 4. 静電気破壊防止効果

導電性 GL 機器を使用することで GL 機器側の帯電緩和は可能であるが、絶縁性の内容物の帯電緩和は不可能である。したがって、内容物の帯電量が大きくなり、内容物からの静電気放電がガラス表面に生じることで、従来の耐静電気 GL 機器ではガラス層が破壊する事例がある。そこで、静電気放電を模した高電圧パルスをもちいることで、そういった内容物からの静電気放電によるガラス層の破壊に対する強さ（静電気破壊防止効果）を確認した。

サンプルは ECOGL と同じ表面緩和方式の GL サンプルと従来の耐静電気 GL と同じ体積緩和方式の GL サンプルの2種類で、導電性 GL へ添加する導電性物質の添加量を調整して漏洩抵抗を $10^5 \sim 10^{14} \Omega$  と変化させたサンプルを製作し、その静電気破壊防止効果を確認した。実験は図4の衝撃電圧発生装置（指月電機製作所製）をもちい、静電気放電を模した図5の波形の高電圧の単パルスを印加し、ガラス層が破壊する電圧（放電破壊電圧）を測定した。内容物の帯電極性は内容物とガラスの帯電列により変化するため、正極性および負極性の両方のパルスで実験をおこなった。測定結果を図6および図7に示す。図6は正極性のパルスを印加した場合で、図7は負極性のパルスを印加した場合である。体積緩和方式のサンプルでは漏洩抵抗の減少とともに破壊電圧がやや低下する傾向を示すのに対して、表面緩和方式のサンプルでは漏洩抵抗の減少とともに破壊電圧が上昇する傾向を示すことがわかった。実際の導電性 GL 機器で適用されている漏洩抵抗 $10^9 \Omega$  付近では表面緩和方式が体積緩和方式の約2倍高い破壊

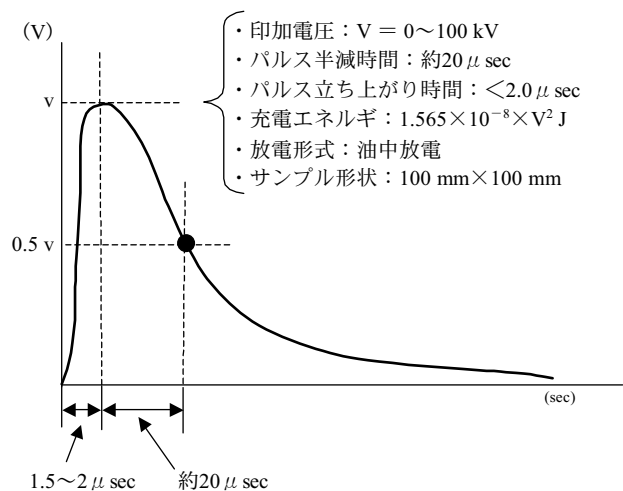


図5 静電気放電を模して印加した高電圧パルス波形

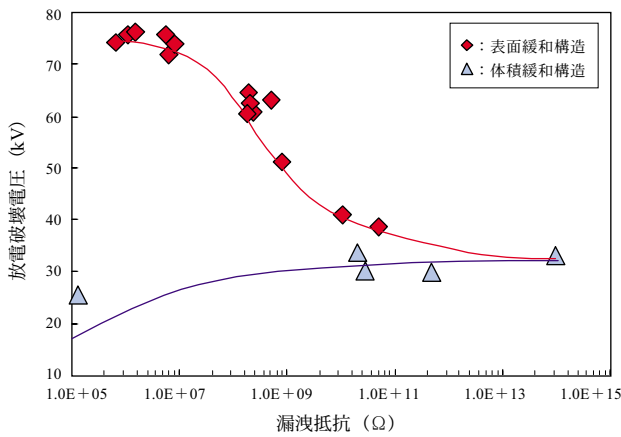


図6 漏洩抵抗と放電破壊電圧の関係（正極性）

電圧を示すことがわかった。これらの傾向は正電荷、負電荷の静電気放電を模した正極性、負極性いずれのパルス印加の場合でも同様の傾向を示した。

この理由としては、体積緩和方式では電荷の漏洩経路が体積方向となり、放電電荷が局所的に蓄積し体積方向へ漏洩するため高電圧がGL層にかかり、電荷漏洩による大きなエネルギーが短い漏洩経路を流れるため、通常の絶縁性GLよりも破壊電圧が低下する傾向を示すと思われる一方、表面緩和方式では漏洩抵抗の低下にともない放電電荷の表面方向への拡散速度が増加し放電電荷が分散するためGL層へかかる電圧が低下することで導電性GL層の下層に存在する通常の絶縁性GL層の絶縁破壊が生じにくくなり、結果として破壊電圧が上昇する傾向を示したものと思われる。

## 5. ECOGLのその他の性能

ECOGLはこれまで述べたように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物質を使用しているため、当社標準ガラスと同等の耐食性を有する。また、耐熱衝撃性についても同等の性能を有する。

### ②「容易で確実なノーピンホール品質管理」

通常GL機器はガラス層の高電圧ピンホール検査により、ノーピンホール品質を保証している。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、ピンホールやガラス層中に粗大な泡が存在し絶縁破壊電圧が低下している部分を絶縁破壊させて検出する破壊検査である。従来の体積緩和方式の耐静電気GL機器では印加した高電圧が導電性GL層を導通するため本試験を実施することが不可能であり、ガラスライニングのノーピンホール品質

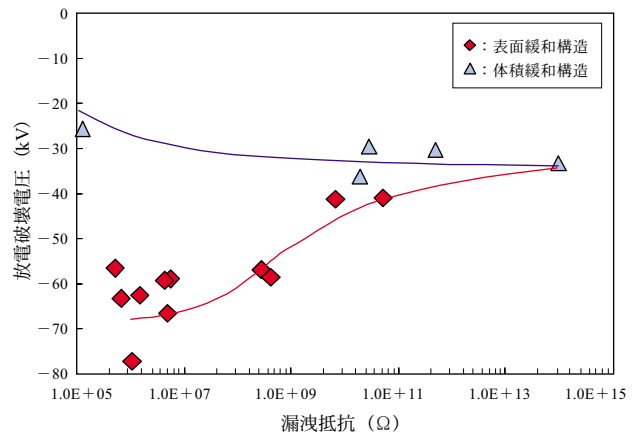


図7 漏洩抵抗と放電破壊電圧の関係（負極性）

を担保することが困難であった。しかし、ECOGLで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た後に、最表層へ導電ガラス層を施工している。このためECOGLは容易に、かつ確実に高品質なガ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する従来の耐静電気GL機器と比較してガラス層表面の凹凸が少なく、平滑である。そのためガラス面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

優れた静電気破壊防止効果と良好な帯電防止性能を中心に導電性ガラスライニング『ECOGL』の特長を紹介した。すでに述べたようにECOGLはその優れた帯電防止性能をユーザに評価して頂き、反応機、CDB等ですでに多数の納入実績があり、着実に実績を伸ばしつつある。ユーザの方々にECOGLを採用頂くことで製品のより安全な生産作業をおこなっていただけるものと確信している。

本開発をおこなうにあたり、有益なご助言とご協力を頂きました神戸市立工業高等専門学校 電気工学科 藤井富朗教授に感謝致します。

### [参考文献]

- 1) 静電気学会誌：静電気災害・障害基礎講座，Vo.12，No.6（1988），p.454
- 2) 児玉ら：産業安全研究所報告RIIS-RR-89（1989），p.80
- 3) 澤田雅光：神鋼バンテック技報，Vol.34，No.3（1990），p.22
- 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) 山隈瑞樹：電気と工事，Vol.42，No.2（2001）p.44-51
- 6) 多田篤志ら：神鋼環境ソリューション技報，Vol.1，No.2（2004），p.38