

新しい導電性ガラスライニング “ECOGL II”

New Electrically Conductive Glass Lining “ECOGL II”



多田篤志*
Atsushi Tada



香川博行**
Hiroyuki Kagawa



宮内啓隆**
Hirotaka Miyauchi

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、'04年に導電性ガラスライニング ECOGL (Electrically Conductive GL) を開発し、上市した。その優れた耐静電気性能がユーザに評価され、反応機、CDB (Conical Dryer Blender) 等で約100機と納入実績を伸ばしてきた。一方で ECOGL には、缶内視認性の向上や静電気対策以外の多種多様な用途への適用等のニーズが増えてきている。そこでさらに多くのニーズに対応可能な新しい導電性 GL として、ECOGL II を開発した。ECOGL II は、ECOGL と同等の耐静電気性能を有しており、さらに缶内視認性に優れた明るいガラス色相、多種多様な用途において使用可能な耐腐食性を備えた導電性 GL である。

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 in 2004 and the excellent static charge accumulation prevention performance is evaluated by customers. Although the number of ECOGL's track records reaches approximately one hundred as reactors, CDB (Conical Dryer Blender) etc., there are needs of improvement of visibility in glass lined equipments and application to multi-use by users of ECOGL. ECOGL II was developed as a new ECOGL to respond to these needs. ECOGL II is a electrically conductive glass lining with light glass color, long anticorrosive life for multi-use and static electricity-proof performance equivalent to ECOGL's one.

Key Words :

導電性ガラスライニング	Electrically Conductive Glass Lining
静電気	Static Electricity
帯電防止効果	Static Charge Accumulation Prevention
ノーピンホール性	No-pinhole Grade
静電気破壊防止効果	Static Electricity Destruction Prevention Performance
缶内視認性	Visibility in glass lined equipments

【セールスポイント】

- ・ ECOGL と同等の性能（耐静電気性能、ノーピンホール性等）を備える
- ・ 明るいガラス色相であるため、機器内の視認性が向上
- ・ 導電層厚みが従来の3倍であるため多種多様な用途での使用が可能

まえがき

グラスライニング (Glass lining, 以下 GL) とは素地金属上に高耐食性のガラス層をライニングすることによって、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、GL 製の反応機内で電気抵抗率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静電気が発生し、大きな帯電が生じる。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^{1) 2)}。静電気に起因する放電は GL 機器の損傷を引き起こすだけでなくとどまらず、放電によって内容物が爆発する危険性があ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、上市した。その優れた耐静電気性能が高く評価され、反応機、CDB (Conical Dryer Blender) 等で約100機と納入実績を伸ばしてきた。ECOGL が適用される静電気障害が問題となる用途は増加しているが、一方で ECOGL には、缶内視認性の向上や静電気対策以外の多種多様な用途での使用等のニーズが増えてきている。このようなニーズに答えるべく、ECOGL と同等の性能を備え、かつ様々な用途での使用に耐えうる明るい色相の導電層を有した ECOGL (ECOGL II) を開発した。本報では新たに開発した ECOGL II について、その特長を紹介する。

1. ECOGL に対するニーズ

1.1 GL 機器における静電気障害対策

一般的に静電気障害による GL 機器の破損を防止するためには、①静電気の発生防止と②発生した静電気の緩和という2つの対策がとられている。GL 機器において、①は攪拌速度の低下、原料投入方法や投入速度の調整等、運転方法の変更により静電気の発生を抑制する方法がとられている³⁾。しかしこれらの方法は、あくまで静電気の発生を抑制する方

法であり、静電気の発生を完全に防ぐことは困難である。②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。内容物に対して導電性を付与することは、製品品質に影響を及ぼすため現実的ではない。そこで機器側の帯電を防止するために、ガラス層に導電性を付与し、発生した静電気を緩和して、静電気障害の発生を防止するという対策をとられることが多い。

しかしこのような対策だけでは、十分に GL 機器の破損を防止することはできない。前述したように、ガラスへ導電性を付与することによって、ガラス面の帯電を防止することは可能であるが、絶縁性の内容物の帯電を完全に防止することは不可能である。静電気により大きな帯電が発生するような使用環境では、導電性 GL を使用しても内容物の帯電が大きくなり、ガラス面に対して内容物から静電気放電が発生して、GL 層が絶縁破壊するような事例がある。このように GL 機器における静電気障害対策は、内容物から放電が発生する場合に対しても対策を図る必要がある。

1.2 ECOGL の特長と適用事例

ガラスに導電性を付与する方式は、図1に示すように2種類の方式が実用化されており、1つは (a) のようにガラス全層を導電ガラス層として体積方向に静電気を緩和する方式であり、もう1つが (b) のように標準ガラスの最表層を導電ガラス層として、表面方向に静電気を緩和する方式である。GL 機器のような大面積かつ複雑な形状の構造物の静電気を緩和する場合、素地金属までの緩和距離が短いことから (a) の体積方向緩和方式が採用されることが一般的である。しかし後述するように、放電に対する耐絶縁破壊性と品質担保性の観点から、ECOGL は (b) の表面方向緩和方式を採用している。

表面方向緩和方式では緩和距離が長くなるため、ECOGL の帯電防止性能を懸念される可能性がある

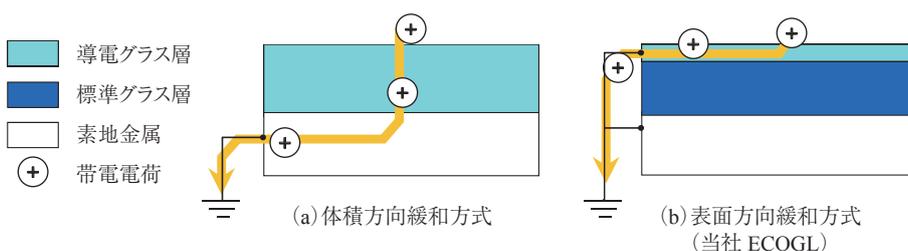


図1 導電性 GL の断面構造と帯電緩和方式

が、ECOGLは静電気安全指針を満足する導電性を有しているため、十分な帯電防止性能を備えている。その例として、GL製CDB(図2参照)では、静電気の発生により乾燥・混合した粉体が機器内ガラス面に付着することが問題となっていたが、ECOGLの適用によってガラス面の帯電を防止し、粉体の付着を大幅に減少可能であることを確認している。このように実機においてもECOGLは良好な帯電防止性能を示すため、多くのユーザーにご好評頂いている。

また1.1で述べたように万が一内容物の帯電により放電が発生した場合、ECOGLで採用している表面方向緩和方式は、体積方向緩和方式よりも絶縁破壊されにくい性質を示す⁴⁾。いったん、内容物より静電気による放電が発生すると、体積方向緩和方式では、放電電荷が体積方向へ漏洩しようとするため、放電エネルギーが局所的に集中し、通常の絶縁性GLが絶縁破壊しない低電圧の放電であっても絶縁破壊してしまう。これに対して表面方向緩和方式では放電電荷が面方向に緩和され、放電エネルギーが分散することによって、下層の通常ガラス層にかかる電圧が低下し、絶縁破壊されにくくなると考えられる。実際に静電気放電によるガラスの破損が多発し

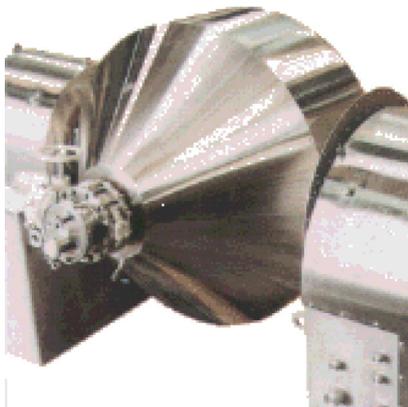


図2 CDB (Conical Dryer Blender) 外観

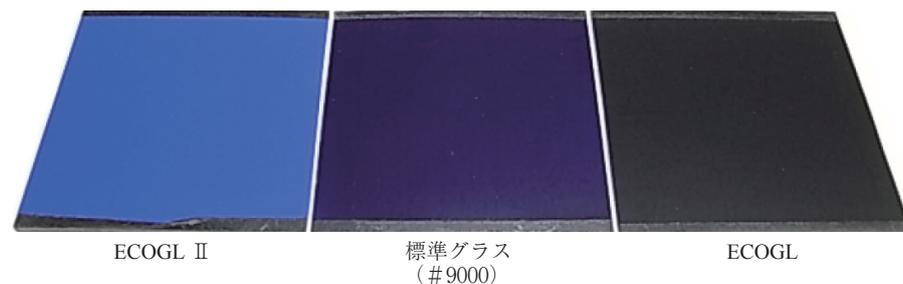


図3 各ガラスの色相

ているユーザーにおいて、体積方向緩和方式の導電性GLとECOGLを同環境で使用した結果、体積方向緩和方式の導電性GL機器では放電によるガラスの破損が多発したが、ECOGLでは破損が全く発生しないことが実証されている。

1.3 ECOGLの改善ポイント

このように優れた性能を備えたECOGLは、多くのユーザーにご好評頂いているが、さらに多くのニーズに対応するためには、改善すべきポイントがある。その一つが「視認性の向上」である。ECOGLは導電性を付与するために添加する導電物質が黒色であるため、黒色のガラス色相となる。黒色は光を吸収するため、閉鎖された機器内の状態を照明で照らして確認する場合に、缶内の視認性が標準ガラス(紺色)と比較して劣っている。

また静電気が発生しやすい使用環境では、主に有機溶剤等が使用されるため、ガラスに対する腐食性は非常に小さい。ECOGLは主としてこのような腐食性の小さい環境での使用を想定していたため、表層に施工する導電ガラス層厚みを約0.1 mmとし、コストと性能のバランスを図っていた。しかし最近ユーザーにおいて1つの機器を1つの用途に固定して使用するのではなく、その他様々な用途で使用するケースが増加しており、今後ECOGLも標準ガラスと同様の腐食性が厳しい環境でも使用されるケースが増えてくると考えられる。その場合、導電ガラス層が腐食され、導電性を示さなくなることを不安視される可能性があると考えられる。

そこでECOGLの優れた性能を担保しつつ、薄色のガラス色相とすることによって缶内の視認性を向上し、導電ガラス層厚みを3倍に増加することによって耐腐食性を向上した新しいニーズに対応可能な導電性GL (ECOGL II)を開発した。

2. ECOGL IIの特長

2.1 ECOGL IIのガラス色相

ECOGL IIは薄色の導電性物質を使用してガラスに導電性を付与しているため、図3に示すようにに標

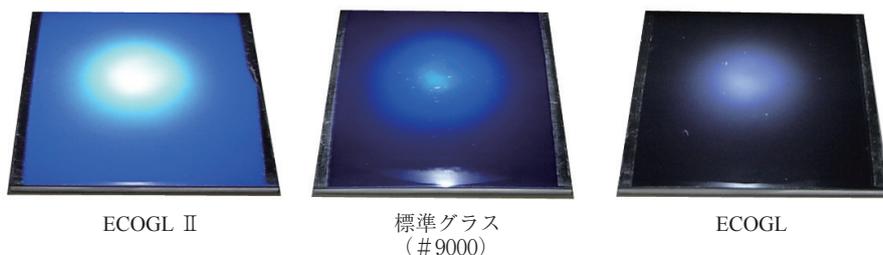


図4 ライト照射時の各ガラスの視認性
(300 mm 直上より LED ライトにて照射)

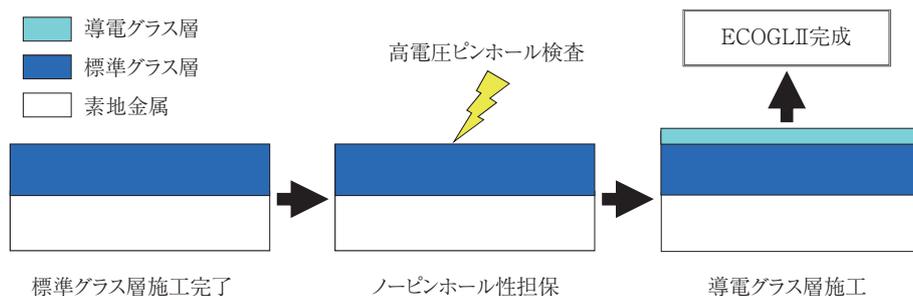


図5 ECOGL IIでのノーピンホール性の担保の仕方

表1 各ガラスの耐食性

耐食試験種類	腐食率 (mm / 年)		
	標準ガラス (#9000)	ECOGL	ECOGL II
耐水性 (純水, 沸点, 気相)	0.01	0.01	0.01
耐酸性 (20% HCl, 沸点, 気相)	0.04	0.04	0.04
酸アルカリ性 (1N-NaOH, 80℃, 液相)	0.20	0.20	0.20

標準ガラスより明るい青色のガラス色相となる。図4に暗室にて標準ガラス, ECOGL, ECOGL IIの各ガラスサンプルに300 mm 直上からLEDライトで照らした場合のガラスの視認状態を示す。ECOGLがライト直下のガラス面にしか光が届いていないのに対して, ECOGL IIはサンプル全面に光が届いており, 標準ガラスよりも良好な視認性をもつGLであることがわかる。

2.2 ECOGL IIの構造と耐食性

ECOGL IIはECOGL同様に, 図1 (b) のような標準ガラスの表層に導電ガラス層を形成した表面方向緩和方式の構造である。ただし表層の導電ガラス層の厚みはECOGLの3倍の約0.3 mm 施工する仕様となっている。またECOGL IIの耐食性は, 表1に示すように標準ガラス, ECOGLと同等である。

このことから, ECOGL IIの導電ガラス層の耐腐食寿命はECOGLの約3倍に向上しており, 標準ガラスと同様の腐食性の厳しい用途でも使用可能な導電性GLとなった。

2.3 ECOGL IIの品質担保性

通常, GL機器ではガラス完成後に, 高電圧ピンホール検査を実施することで, ノーピンホール性を担保している。高電圧ピンホール検査とは, グラス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泡が存在して絶縁破壊電圧が低下している個所を, 強制的に絶縁破壊することで検出する検査方法であり, 容易かつ確実にガラス全面のピンホール検査が可能な方法である。ピンホールや粗大泡が残存している個所は, 腐食環境で機器が使用された場合に短時間で金属母材に達する孔食が発生してしまうため, ノーピンホール性は耐腐食性が重要なマルチ使用の機器においてもっとも重要な性能である。

図1 (a) のような全層が導電性のGLでは, 正常なガラス面にも電流が流れて絶縁破壊してしまうため, 高電圧ピンホール検査を適用することができない。そのため, 目視によりピンホール検査を実施する必要がある。大面積の機器内全部のガラス面を確実に検査することは, 高い技能が必要であり, 現実的にはほとんど不可能であると考えられる。それに対してECOGL IIは, 図1 (b) のように表層のみが

導電性の構造であるため、図5に示すように標準ガラス施工後に、高電圧ピンホール検査を実施してノーピンホール性を担保し、その後に導電ガラス層を施工することが可能である。このように表面方向緩和方式の構造を採用することで、確実にノーピンホール性を担保した高品質のマルチ使用向けの耐静電気用GL機器を提供可能である。

2.4 ECOGL IIの帯電防止性

標準ガラス、ECOGL、ECOGL IIの帯電防止性を評価した結果を図6に示す。図中の帯電圧減衰曲線は、帯電性試験法（JIS L 1094）を模した次の方法にて評価した。各ガラスを施工した100×100 mmのGLサンプルのガラス面をアルコールで清拭して

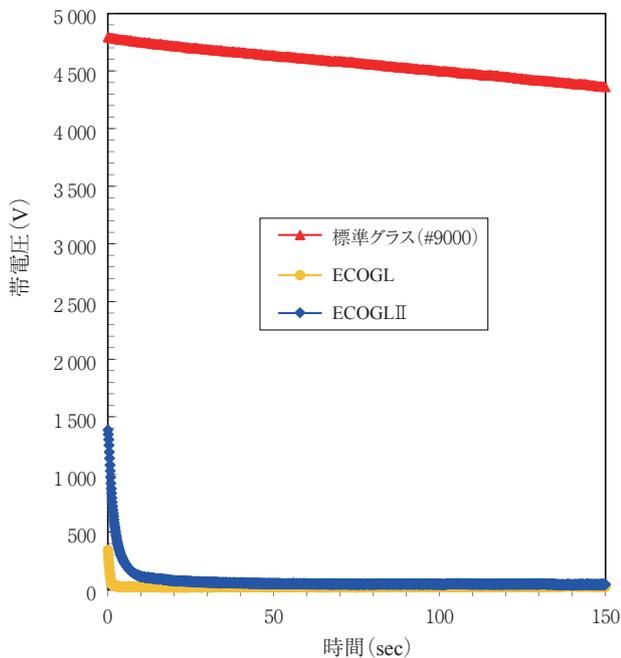


図6 各ガラスの帯電圧減衰曲線 (DC15 kV, 30 sec 印加時)

脱脂し、湿度5%以下の雰囲気中で1日以上保持して吸着水分を十分乾燥させる。その後サンプルのガラス面の直上10 mmに設置した針状電極に、直流15 kVを印加してコロナ放電を発生させる。直下のガラス表面を30 sec帯電させた後、サンプルを静電気電位測定器（春日電機製 KSD-0109）の測定プローブ（KS-2001）の下に移動させ、ガラス面の帯電圧の時間変化を測定した。図6より、ECOGL IIの15 kV, 30 sec印加後の帯電圧は1500 V以下で、帯電圧が半減するまでの時間は2.0 sec未満である。非常に短時間での減衰を比較しているため、ECOGLよりも帯電防止性がわずかに劣っているが、使用上問題となるレベルの差異はなく、標準ガラスと比較すると非常に良好な帯電防止性を有していることがわかる。

また各ガラスに対する静電気による粉体附着テストの結果を図7に示す。図7は、ガラス面をアルコールで清拭して脱脂した100×100 mmの各GLサンプルを、70°に立てた状態で保持し、直流15 kVを印加したブラシ状電極で各サンプルのガラス面をなでるように接触させて20 sec帯電させる。その後、静電気によって附着しやすいSiO₂粉末（比表面積（BET法）：200 m²/g、1次粒子平均粒径：12 nm、見かけ比重：約100 g/L）を帯電させたガラス面に約3 gふりかけ、附着性を確認した結果である。図7より、標準ガラスにはSiO₂粉末が多量に附着しているのに対し、ECOGLとECOGL IIにはほとんど粉体が附着していない。これはガラス面に静電気が残っていないことを示しており、ECOGL IIが十分な帯電防止性を有していることがわかる。

2.5 ECOGL IIの耐放電破壊性

1.1節で述べたように万が一内容物から放電が発生した場合を想定し、各GLの放電発生時の絶縁破壊耐力（耐放電破壊性）を評価した結果を図8に示

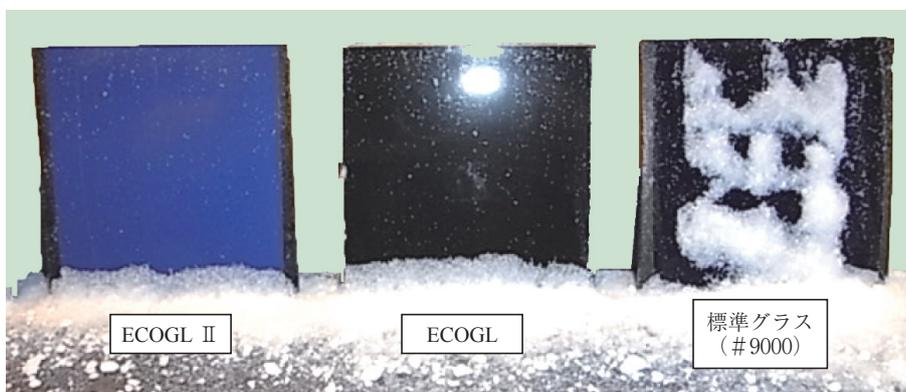


図7 各ガラスに対する粉体附着性

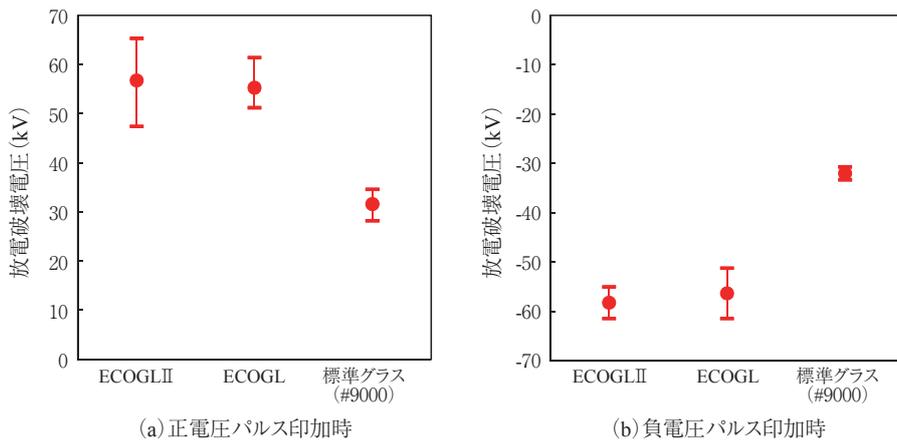


図8 各ガラスの放電破壊電圧
(N = 15, 電圧印加回数: 3 - 6 回/点, 電圧上昇間隔: 2 - 5 kV)



(a) 装置外観 (b) 油中電圧印加部

図9 衝撃電圧試験装置

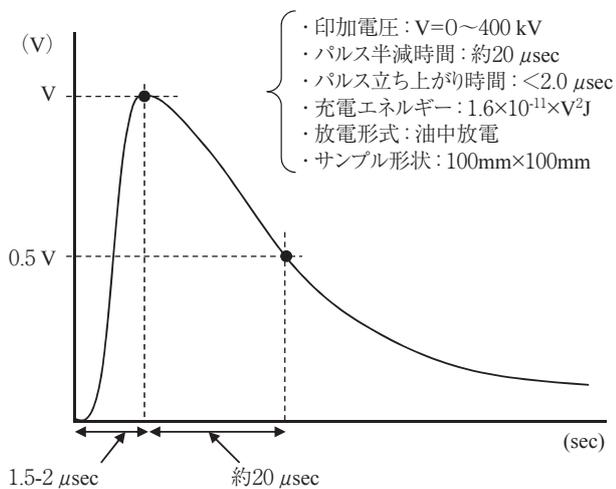


図10 インパルス電圧波形

す。図8中の放電破壊電圧は、次の方法にて評価した。絶縁油中に浸漬した100×100 mmのGLサンプルに、衝撃電圧発生装置（指月電機製作所製、図9参照）を使用して、図10のような静電気による放電を模したインパルス電圧を印加し、ガラス層が絶縁破壊する電圧を測定した。

図8より、標準ガラスが±30 kVのインパルス電圧印加時に絶縁破壊するのに対し、ECOGLとECOGL IIが絶縁破壊するインパルス電圧は±50—60 kVと高く、1.2節で述べたように、表面方向緩和方式の導電性ガラスは耐放電破壊性が良好であることがわかる。ECOGL IIの耐放電破壊性は標準ガラスの1.7—2.0倍であり、ECOGLと同等の耐放電特性を示す。

このように ECOGL II は静電気の帯電を防止する効果が大きいだけでなく、万一放電が発生した場合にも絶縁破壊しにくい優れた耐静電気性能を有している。

む す び

ECOGL II が ECOGL と同等の耐静電気性能を備え、缶内視認性に優れ、さらに多種多様な用途において使用可能な導電性 GL であることを紹介した。当社の導電性 GL は他社製の導電性 GL にない特長を備えており、ECOGL II の開発によって、その利便性はさらに大きくなったと考える。是非多くのユ

ーザの方々にご採用いただき、その効果をご確認頂くとともに、製品の安全な生産操業にご活用頂けることを期待している。

[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.454-455
- 2) 児玉ら：産業安全研究所報告 RIIS-RR-89 (1989), p.80
- 3) 澤田雅光：神鋼パンテック技報, Vol.34, No.3 (1990), p.22-27
- 4) 多田篤志ら：神鋼環境ソリューション技報, vol.4, No.2 (2008), p.25-29

*商品・市場技術開発センター プロセス技術開発部 新規プロセス室 **プロセス機器事業部 生産部 製造室