

ライニングタンク（応用編）

1. はじめに

前回のライニングタンク(基礎編)に続き今回は「応用編」を紹介する。

基礎編ではふっ素樹脂の種類と特徴、ふっ素樹脂シートライニングの工程、ふっ素樹脂ライニングタンク設計上の注意点など基礎的な事項を記してきたが、今回は当社のシートライニング加工の特徴並びに当社で取り扱うライニング用シートの特徴について紹介する。

2. 当社のライニング加工方法の特徴

本報では当社加工技術の特徴である高純度ふっ素樹脂ライニングタンクの製法について説明する。

2-1) 鏡板部分のライニングシートの癖付け及び貼り付け

ふっ素樹脂ライニングタンクは一般に外殻の金属性の缶体にふっ素樹脂シートを貼り付ける。シートはロール状に巻かれており短冊状に切断し使用する。缶体胴体部分は短冊状のシートをそのまま貼り付けることが可能だが、鏡板部分は曲面であり、短冊状のシートでは貼り付けが困難なため数等分にシートを貼り合わせている。

当社の貼り付け方法は鏡板部分のライニングシートを貼り付け前に加熱し鏡板形状に癖付けを行い使用している。

- 鏡板用ライニングシートを事前に癖付け加工する事により
- ・後述する真空貼り付け法とシートの鏡板癖付けの併用によりシートを貼り付ける際、シート表面を擦る作業を削減させ表面のキズが激減させ、シートの汚染を削減させることとなる。
 - ・癖付け前のシートは正方形に加工され、溶接ラインは少ない。これにより溶接部破損等のトラブルリスクが削減される。
 - ・癖付け温度は接着剤加硫温度よりも高温でありシートの残留応力は少ない。

これにより接着剥離のトラブルリスクが削減される。
以上3点の効果が期待出来る。



Figure1 他社製タンク



Figure2 当社のライナー

Figure1は他社施工のライニングタンクである。底部の鏡板部分に溶接線が多い。

Figure2は当社の加熱癖付けを行った鏡部分のライナーであり、溶接線がない。

内径1200mmを上回るタンクのライナーはFigure3のように溶接線が1本または2本入る。



Figure3 大型タンクの鏡部分ライナー

当社の鏡部分癖付けの最大内径はφ2800である。3枚のシートを2本の自動溶接ラインでつなぎ癖付けする。

鏡板ライナーと胴部ライナーの接続は鏡板ライナーが胴部に至るため自動溶接も行っている。

2-2) シート表面擦りキズが少ない真空接着法

真空接着法とは、平らなシートや鏡成形されたシートを缶体に沿わせ、シート背面と缶体との間の空気を抜き取り真空にすることでライニングシートが大気圧で缶体に押し付けられ、擦ることなく接着できる方法である。

この貼り付け方法では

- ・シート表面のキズが激減しシートの汚染を削減する。
 - ・ムラの少ない接着が可能となり、接着強度が安定する。
- 以上2点の効果が期待出来る。

2-2-1)「鏡成形」「真空接着」の外観の違い

Figure4は他社が採用している擦り貼りのイメージ図である。

Figure5は当社開発の真空貼り付け法のイメージ図である。

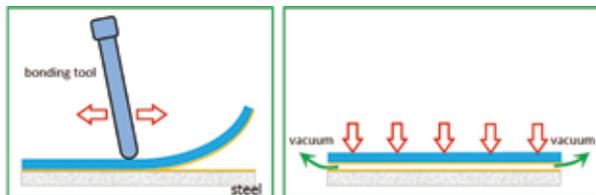


Figure4 擦り貼り付け

Figure5 真空貼り付け

従来のシートの貼り付け方法では、ライナーをタンクに押し当てるための擦りジグを使用している。そのためライナー全面に擦りキズ傷が付く。

真空貼り付けでは大気圧でシートをタンクに押し当てるため、シート端部など極一部分のみ擦ることとなり、大幅に擦る面積を減少される事を実現した。

Figure6は真空貼り付け法で鏡部分を貼り付けた写真であり、Figure7は、それを拡大した写真である。



Figure6 真空貼り付けしたタンクのライナー鏡板



Figure7 当社ライナー表面拡大

2-2-2) ライニング後の表面粗さ

以下にM-PTFEシートを用いた「擦り貼り付け」と「鏡成形+真空接着」のタンクの鏡板部分のライナー表面を比較した。

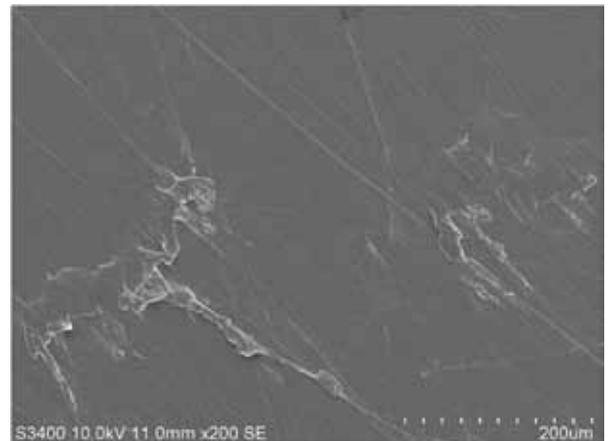


Figure8 擦り部分電子顕微鏡写真

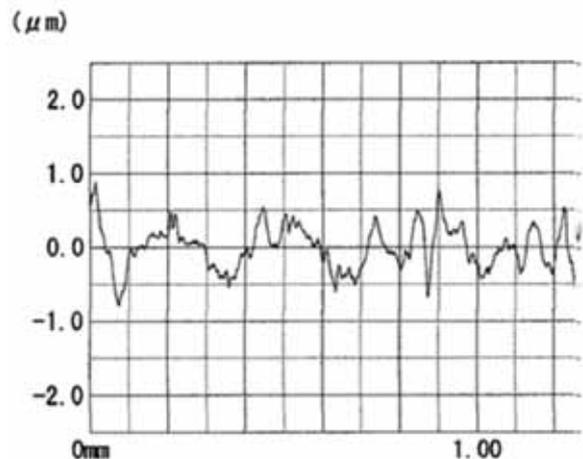


Figure9 当社ライナー表面 (Ra0.25 μ m)

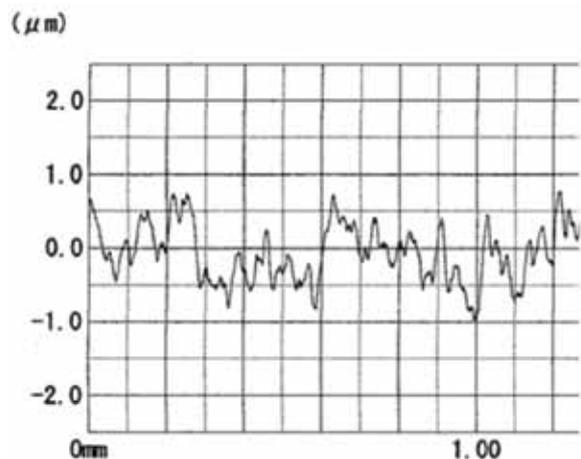


Figure10 他社ライナー表面(Ra0.34 μ m)

Figure9は、真空貼り付け法でのライニングタンク表面粗さを測定したグラフであり、Ra0.25 μ mであった。Figure10は従来の貼り付けのシート表面を測定したグラフであり、Ra0.34 μ mであった。

2-3) 溶接の機械化による安定品質

Figure11はライナーの溶接部断面である。

ライニングタンクのライナーの接合は、PFA 溶接により接合する。溶接は2つの段階の溶接があり、ライナー端部に開先を取った後にPFA棒による下盛り溶接、次にPFA帯を用いた帯溶接(補強溶接)を施す。

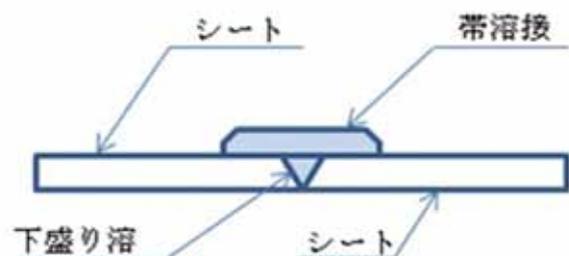


Figure11 帯溶接断面形状

当社は、帯溶接に自走式の溶接機(自動溶接機)を使い、溶接の重要条件である「温度」、「速度」及び「圧力」の安定化を図っている。この結果、作業者による手動溶接に比べ溶接条件が安定し強度のバラツキが格段に減少した。

また、溶接ラインの「うねり」、「蛇行」及び「変形」も少ない帯溶接が可能となった。

更に、他社の手動帯溶接は14mm幅であるが、当社では機械化により帯幅を17mm幅に拡大し溶接部の強度向上を図り溶接部の信頼性を高めている。



Figure12 自動溶接機で溶接作業



Figure13 当社品 自動溶接(M-PTFE-ET)

Figure13は自動溶接で行った帯溶接であり、幅が広く蛇行が少ない。

2-4) 部品構造の安全設計

2-4-1) ノズル構造

ノズルの管部分は缶体への強固な接着が困難なため、溶接破損が多い部位である。

他社では、Figure14に示すように温度変化によるライナーの膨張収縮応力が溶接部に直接加わる構造である。当社は、Figure15に示す様にタンク内部側もフレアー加工し、このフレアー部が応力を受ける構造なので溶接部には伸縮応力の負担が加わり難い。

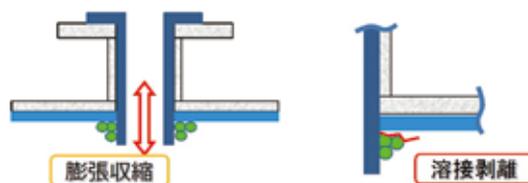


Figure14 ノズルの温度変化による挙動と損例

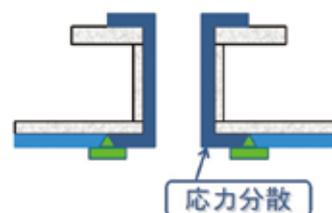


Figure15 当社のノズル部施工方

2-4-2) 集液カップ構造

タンク底に設ける集液カップの構造もノズルと同様である。

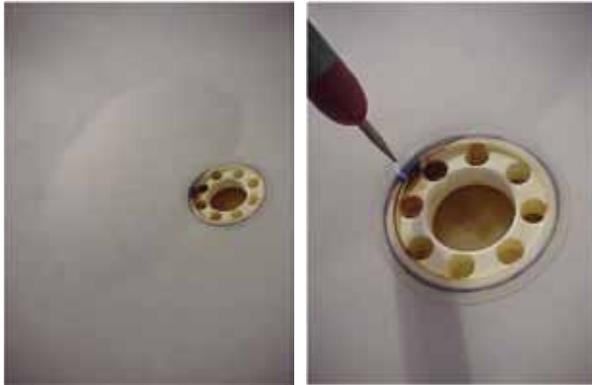


Figure16 集液カップ周辺のライニングが剥離
Figure17 原因は、集液カップとシート溶接部の破損

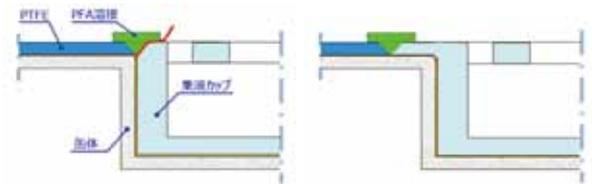


Figure18 他社の施工例
Figure19 当社の施工方法

3. ライニング材料の選定

当社で使用するふっ素樹脂ライニング用シートは材質ではPTFE、PFA、M-PTFEの3種類を、接着性付与方法ではふっ素樹脂表面を化学的に処理したケミカルエッチングシートとガラスクロスシートをラミネートしたグラスバックシートの2種類を用いている。

3-1) 当社が扱うライニング用シートの機能性評価

下表は当社が扱うライニング用シートの5つの機能性を5段階で自社評価したものである。

評価シートの種類

- PTFE-ET : PTFEケミカルエッチングシート
- M-PTFE-ET : 変性PTFEケミカルエッチングシート (PLPシート)
- M-PTFE-GB : 変性PTFEグラスバックシート
- PTFE-GB : PTFEラスバックシート
- PFA (NEW) -GB: PFAグラスバックシート
- PFA (HP-PLUS) -GB: PFAラスバックシート

評価の内容

- 表面平滑性 : 洗浄時の汚れ除去の優劣を表す。
- 接着性能 : シートと接着剤の接着強度の優劣を表す。
- 溶接性能 : シート接続部の溶接信頼性を表す。
- 耐透過性 : 薬液に対する耐透過性を表す。
薬液透過に対する寿命に影響する。
- 価格 : シートコストの優劣を示す。

Table1 ライニング用シートの機能性評価

評価：(優) 5・4・3・2・1(劣)

材質	表面平滑性	接着性	溶接性	耐透過性	価格
PTFE-ET	3	3	3	4	5
M-PTFE-ET	4	3	4	5	4
PTFE-GB	3	3	3	2	3
M-PTFE-GB	4	3	4	4	2
PTFE-GB	5	3	5	3	2
PFA (HP-Plus) -GB	5	3	5	4	1

備考1 ET: Etched sheet, GB: Glass Backing, M: Modifiedの略。
備考2 数値は優劣を表すために5段階で評価。

3-1-1) 表面平滑性

下記に材質の異なる3種のライニング用シート表面の写真及び表面粗さを示す。



Figure20 PTFE-ET×100

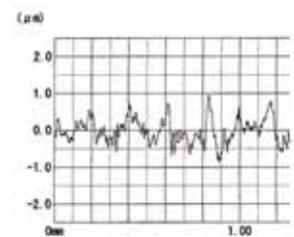


Figure21 Ra0.29 μm



Figure22 M-PTFE-ET×100

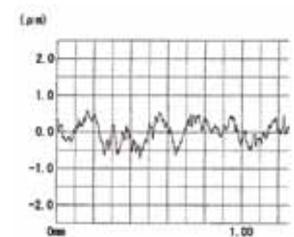


Figure23 Ra0.24 μm



Figure24 NEW PFA×100

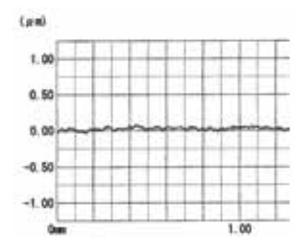


Figure25 Ra:0.03 μm

- PTFE : 最も表面粗さが大きい。
- M-PTFE : PTFEよりは若干表面粗さが小さい。
- NEW PFA : 最も表面が平滑である。

本測定はシートの段階のものであり、前述のライニング施工方法の違いによりライニング後の表面粗さRaは大きく変わっている。

3-1-2) 接着性能

ふっ素樹脂は非粘着性であるため、ふっ素樹脂シートに接着剤を塗布しても粘着せず剥がれる。

当社のエッチング処理シートはふっ素樹脂シートに接着性を持たせるため、シート製造後にケミカルエッチングを行い接着性を付与している。

他方、ガラスバックシートは接着性を持たせる手法として、ふっ素樹脂シートとガラスクロスシートとの間のPFAを溶融させめり込ませることでアンカーし固着したものである。

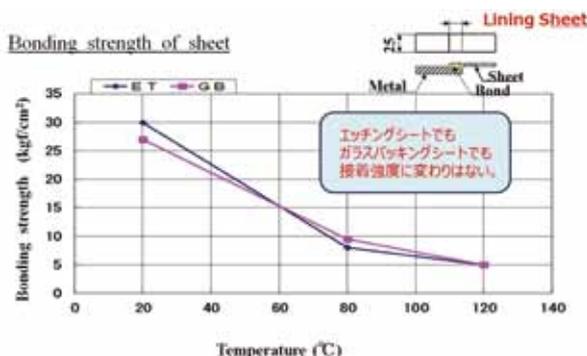


Figure26 ETシートとGBシートの接着強度(せん断)

Figure26はETシートとGBシートにゴム系接着剤を用いて金属と接着した際のせん断強度測定試験結果を示している。

剥離箇所は何れも金属面であり、同等の接着力を有している。

3-1-3) 溶接性能

Figure27はライニング用シートの溶接強度を比較したものである。

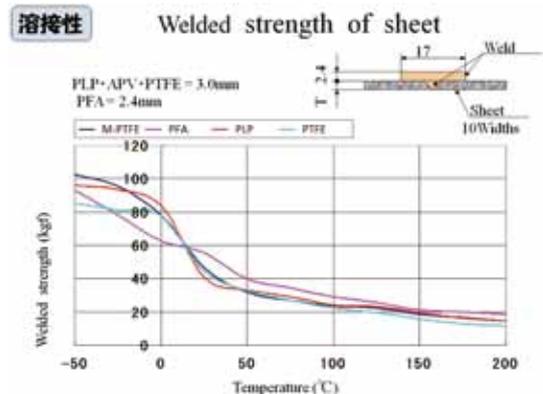


Figure27 溶接強度測定結果

(PLP: M-PTFEのシートであるが、耐透過性を向上させた当社製造のシートである。)

一般的に使用される温度域においては、全てのシートの溶接強度に大きな差異は見られない。しかし、溶接棒、帯材質と同じPFAシートは理論的には溶接時の融合が良好であり溶接の安定性が高いと言える。

ふっ素樹脂の材質(分子構造)から推測すると、溶接の安定性は PFA>M-PTFE>PTFEとなる。

3-1-4) 耐透過性

薬液の透過は樹脂内部の非結晶部で主に発生していることは知られている。

Figure28はふっ素樹脂シートの肉厚断面の結晶構造を模式的に描いたものである。

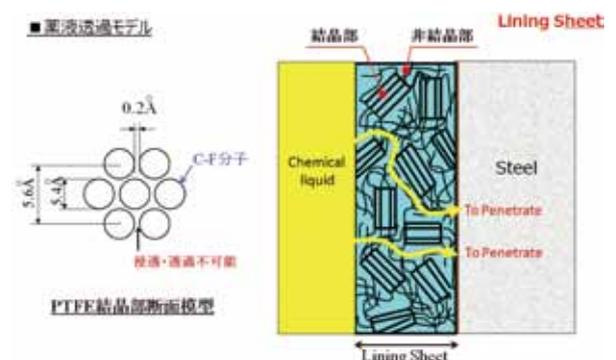


Figure28 ふっ素樹脂内への薬液透過イメージ

整列して並んでいる分子部分は結晶部であり、複雑に分子が絡み合った部分が非結晶部である。

結晶部は分子が密集しており高密度である。非結晶部は

分子が絡まりランダム配置のため密度が低い。よって、結晶部が多いシートほど比重が大きくなる。

薬液の透過は非結晶部を伝わり徐々にシート内を拡散し、最終的には接着面があるシートの裏側である缶体側に到達する。

Figure29はふっ素樹脂の比重と塩酸の透過量を示したグラフである。グラフには市販されているふっ素樹脂シートの比重の位置を追表示している。

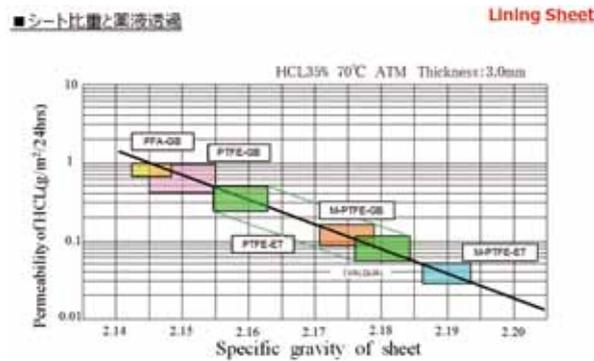


Figure29 ふっ素樹脂の比重に対する透過率

薬液の透過量は、比重が高いほど減少することを示している。

PTFEは融点を超えるとゲル化するが形状を保持出来るため、結晶化に影響を与える冷却条件の操作が可能である。この特徴を利用して結晶化度を操作する事が可能である。

一般に市販されるPTFEは生産性を加味し比重は2.14～2.16程度であるが、当社のライニング用シートは耐透過性を向上させるために比重を2.18程度に仕上げている。

PFAは溶融樹脂であり、その成型方法から冷却条件の操作が難しく、比重2.14～2.15の範囲が一般的である。

Figure30はM-PTFE-GBシートの断面である。

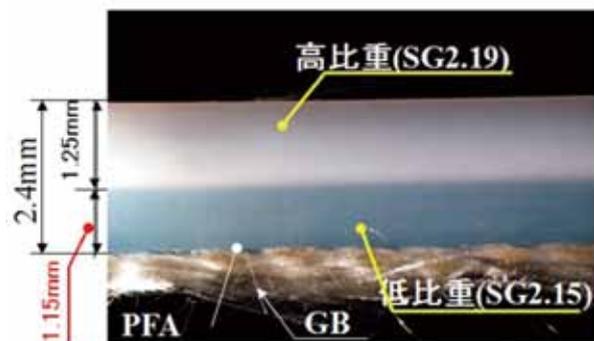


Figure30 M-PTFE-GBシート断面

PTFE-GB及びM-PTFE-GBシートはガラスクロスシートにラミネートの際にシートをゲル化させる必要がある。ゲル化後は冷却を行うが除冷が困難なため比重が低下する。

写真のGB側の半透明部分は比重が低くなった部分である。

Figure31は当社のPLPシート断面である。



Figure31 PLPシート断面

PLPシートはPTFEより高密度化が可能な樹脂であり、加熱処理の不要なエッチング処理ではシートをゲル化させないため、比重を低下させることなく使用が可能である。

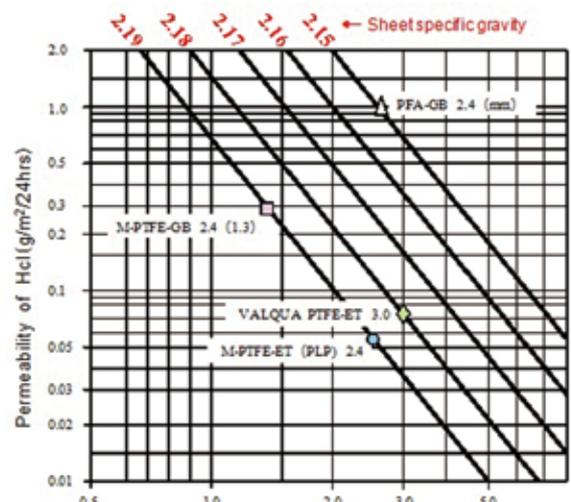


Figure32 ふっ素樹脂の比重及び厚さと透過率

シートの肉厚も耐透過性の重要な要素であることが読み取れる。

3-1-5) 価格

Figure33はライニング用シートの表面平滑性とライニングシートの市場価格の関係、Figure34は耐透過性との関係を模式化したものである。

横軸右側に向かい機能が高く、縦軸上側ほど高コストを示す。

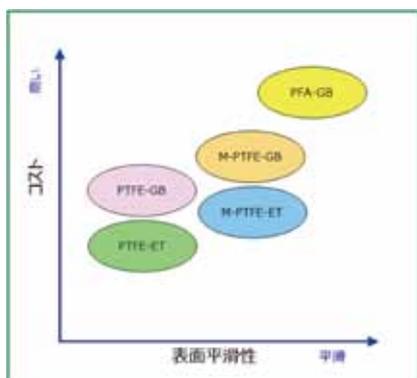


Figure33 表面平滑性：コスト

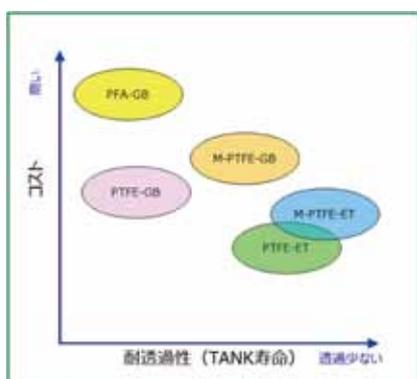


Figure34 耐透過性：コスト

ふっ素樹脂原料のコストは、PFA>M-PTFE>PTFEとなる。

接着性付与コストは、ET>GBとなる。

原反シート表面平滑性は、PFA>M-PTFE>PTFEとなる。

これは原料の特徴及びシートへの加工手法が異なることが起因となっているが、ライニング貼り付けの方法も考慮にいれる必要がある。

4. おわりに

当社ではライニングタンク生産開始以来、ライニングタンクの異常発生や更新の際に、返送調査の依頼に対応してきた。異常の原因は多様ではあるが、大凡3種に分類された。

「薬液透過」「想定外の構造的な欠陥」「施工技術の未熟」である。

当社では各個原因を調査し改善を進め現在に至っている。

例えば、薬液透過に対してはライニング用シートの原料選定やシートの高密度化を、構造的な問題には前報の缶体設計方法やノズル構造の改善など、施工技術については帯溶解の自動化を進めてきた。

半導体業界の隆盛に伴い、化学系プラントでは要求の少なかったクリーン性が重要視されるようになると、真空貼り付けや鏡板ライナーの癖付け技術の開発によりライナー表面の傷を極力減らすことを実現した。

今後も市場の要求に応え新しい技術の開発に努めていく。

次号では、現在取り組んでいる技術についての概要や今後の方向性について紹介する予定である。



横山 竹志
機能樹脂PM付