

蒸発性能を向上させた新型薄膜蒸発機 “WIPRENE STM” **

New “WIPRENE S” Wiped Film Evaporator with Improved Evaporation Performance



細見 優*
Hosomi Masaru



野路草太*
Noji Sota

当社の薄膜蒸発機 WIPRENE[®]（ワイブレン）は、短い滞留時間や高い伝熱性能などの特長からファインケミカル製造プロセスにおいて50年以上に渡り2 000基以上が使用されている。今回、蒸発性能に寄与する因子を再検証し、液膜の混合性を改善し蒸発性能を向上させる新型機“WIPRENE S”を開発した。ワイパ構造を主に各部を最適化し、約2倍の脱揮性能向上と、約20%の伝熱性能向上を達成した。

More than 2 000 WIPRENE[®] wiped film evaporators have been used in various fine chemical processes over the past 50-plus years thanks to their short residence time, high heat transfer performance and other features. We developed a new model “WIPRENE S” that improves evaporation performance by revalidating the factors that contribute to evaporation and improving mixing of thin films. With various aspects of the equipment optimized including the wiper structure, the WIPRENE S delivers twice the stripping performance and 20% higher heat transfer performance than the conventional model.

Key Words :

新型薄膜蒸発機 ワイブレン S

New WIPRENE S wiped film evaporator

脱 揮

Stripping

ワ イ パ の 溝

Wiper groove

充 満

Filled

フ イ レ ッ ト

Fillet

【セールスポイント】

- ・脱揮性能 約2倍
- ・伝熱係数 約20%向上
- ・液膜とフィレットとの混合性改善

まえがき

一般に薄膜蒸発機は、処理液を薄い膜状にして蒸発させる装置であり、伝熱係数が大きく受熱時間が短いため、熱影響を受けやすい物質の蒸留、濃縮、脱揮などのプロセスに使用されている。熱影響抑制に加え、高真空操作対応、高粘度液対応、連続処理対応などの特長を有し、薄膜形成機構により数種類

の装置があり、それぞれに特徴を持つ。当社の WIPRENE は接触式ワイパにて薄膜を形成する構造で、高真空操作や高粘度液に対する高い伝熱性能、付着性物質の付着抑制などの特長を有し、2 000台以上の納入実績がある^{1, 2)}。当社は WIPRENE の特長を最大限に活かすべく顧客とともに取り組んできた。

*プロセス機器事業部 技術部 装置設計室

**「WIPRENE S」は当社の商標であり、Sのみを赤色で使用している。

近年、化学物質の健康、環境への影響に対する基準が厳しくなっており、製品中の残存溶媒・モノマーを除去する高脱揮処理に対するニーズが高まっている。また、ケミカルリサイクルや廃液減容化への用途も増加している。これらのニーズに応えるべく、WIPRENEの構造変更による基本機能の改善に取り組んだ。特に、製品（残留液）から揮発分を除去する脱揮操作において、その性能向上をターゲットに取り組んだ。

1. 新型機 WIPRENE S の性能

WIPRENEでは、ワイパによる薄膜形成過程が性能を左右する。特にワイパに設けられた溝が、処理液を押し広げ、押し下げ、攪拌する効果を有しており、性能を決めるポイントになる。このワイパを主とした機器構造を最適化し、新型機 WIPRENE Sを開発した。

WIPRENE Sは、従来機の約2倍の脱揮性能、約20%大きい伝熱性能が得られている。ただし、サンプルによって性能向上率が異なるため、サンプル毎にテストを実施し性能を確認する必要がある。脱揮操作とは、製品に含まれる揮発成分を蒸発除去する操作を表す。脱揮操作では揮発成分が少量になる領域があるため、伝熱性能で性能差を表せない。そのため脱揮性能と伝熱性能とを分けて評価する。

1.1 WIPRENE S の脱揮性能

図1に2種類のサンプルにおける従来機とWIPRENE Sとの脱揮性能の比較を示す。製品Aは、モノマーが6 220 ppm 残存した原料からモノマーを蒸発除去する処理である。処理後の残存モノマー濃度が、従来機では980 ppmであるのに対し、WIPRENE Sでは420 ppmとなる。製品Bは、溶剤30%の原料から溶剤を蒸発除去する処理である。処理後の残存溶剤濃度が、従来機では8.3%であるのに対し、WIPRENE Sでは4.6%となる。いずれのサンプルについても、WIPRENE Sの残存揮発分濃度は従来機の約半分となり約2倍の脱揮性能を有する。同じ残存揮発分濃度であれば、処理量を約2倍にすることができる。例えば、製品Aの場合、残存モノマー濃度約1 000 ppmの製品を得るためには、従来機では供給量50 kg/hに対し、WIPRENE Sでは供給量100 kg/hを処理することができる。

1.2 WIPRENE S の伝熱性能

図2に、WIPRENE Sと従来機との内面側境膜伝熱係数の比較データを示す。テストサンプルには水を使用した。WIPRENE Sの方が、流量に関係なく内面側境膜伝熱係数が約20%高くなる。これを総括伝熱係数で表すと、12-4型機（伝熱面積：0.4m²、

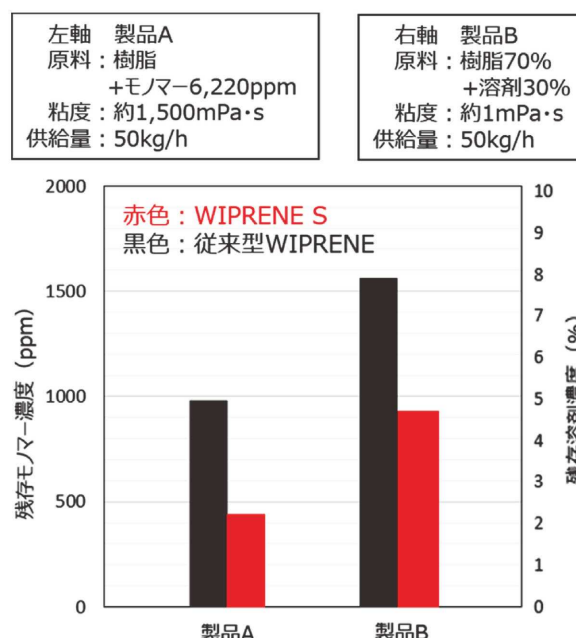


図1 WIPRENE S と従来機の脱揮性能比較

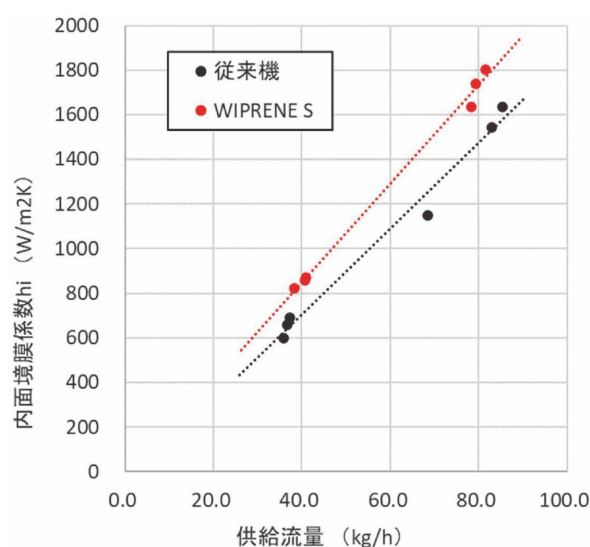


図2 WIPRENE S と従来機の伝熱性能比較

伝熱壁：SUS製、板厚6mm）の場合、約15%高くなる。

1.3 WIPRENE S の動力

動力については、処理粘度1 500 mPa・s以下の場合、従来機とほぼ同等のデータが得られている。ただし、1 500 mPa・sを超えると従来機よりも高くなるデータも得られており、サンプル毎に確認する必要がある。

2. WIPRENE S の構造

WIPRENE Sは、従来機から主に下記2点を変更し、機器全体を最適化した構造としている。

- ・ワイパの溝・山幅：従来機より小
- ・周方向のワイパ列数：従来機より多

2.1 ワイパ構造の検討

ワイパの形状（図3）、ワイパの周方向の列数（図4）、回転数、面圧を変化させ、性能差をサンプルテストで調査した。樹脂中の残存モノマーを数千ppmまで除去する脱揮操作を行い、残存モノマー濃度の差で性能差を比較した。テスト装置には当社テストセンターの12-4型高真空型 WIPRENE を使用した。

表1に、各構造による性能差の有無を示す。ワイパの溝・山幅、周方向のワイパ列数、回転数を変えると性能差が生じた。

溝・山幅について詳細にデータ取得し、溝・山幅が小さいほど性能が高くなることを確認した。

周方向のワイパ列数が多いほど、回転数が高いほど性能が高くなった。回転数を変化させると、かき取り回数、面圧、速度が変化する。ただし、面圧については性能差が現れない。ワイパ列数もかき取り回数を変化させていることになるので、かき取り回数＝列数×回転数で評価した結果、列数を変化させた場合と回転数を変化させた場合と同様の傾向が見られた。このことから、かき取り回数が多いほど、高い性能が得られると言える。回転数を高くすると機械設計への影響が大きいため、WIPRENE S では、回転数は従来通りとし、ワイパ列数増加を採用した。

ワイパの溝・山幅と列数の両方を変えると、さらに性能が高くなる。図5では、従来型（左端）から溝・山幅を小さくすると、残存溶剤濃度が下がり脱揮性能が高くなっている（中央）。さらに、小さい溝幅のまま、列数を4列から8列へ変えると、残存溶剤濃度はさらに低減している（右端）。

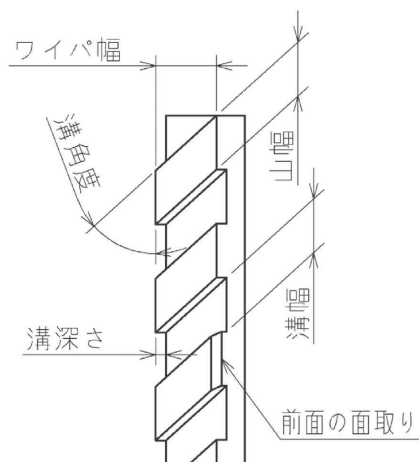


図3 ワイパ形状

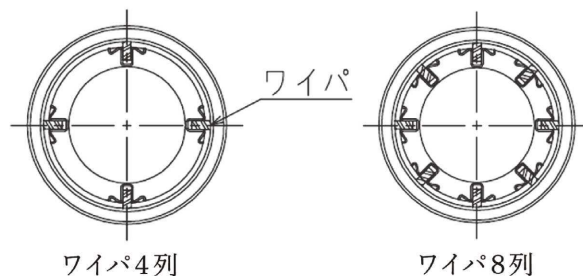


図4 周方向のワイパ列数

表1 ワイパ構造の性能への影響有無

変更部位		性能差
ワイパ形状	溝・山幅（溝幅と山幅は同じ）	有
	溝深さ	無
	溝角度	無
	幅	無
	クロス溝	無
	前面の面取り	無
周方向のワイパ列数		有
回転数		有
面圧（ワイパ重量）		無

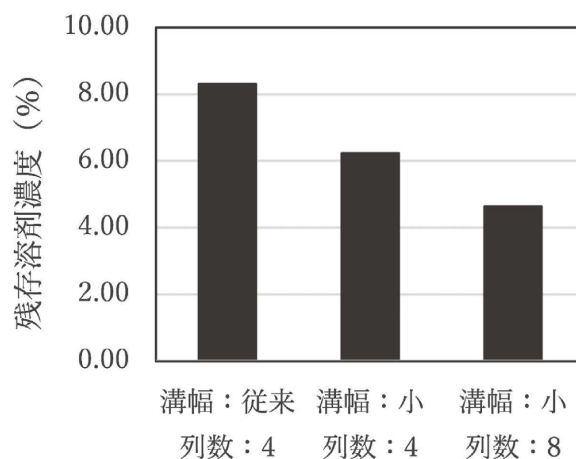


図5 溝・山幅と列数両方を変えた時の性能

3. 性能を決定するメカニズム

溝・山幅の変更によって性能差が生じるメカニズムを解明するため、図6に示す透明アクリル樹脂製実験装置を用いて、内部の液膜状態を確認した。性能は、液膜厚さ、液膜とフィレットとの混合度、滞留時間の3つの要素で決まると考え、それぞれについて確認した。

3.1 処理液の流動状態

図7に観察写真を示す。従来機では溝内に液が流れていない領域が存在するのにに対し、WIPRENE Sのワイパでは溝内を液が充満して流れていることが分かる。流体が溝内に充満することで、ワイパと流体とが接触し、流体内の混合が促進されると考える。

また、ワイパかき取り前方の液だまり（フィレット）が、WIPRENE Sでは上下方向に一様に分布しているのに対し、従来機では上下方向に一様でないことが分かる。

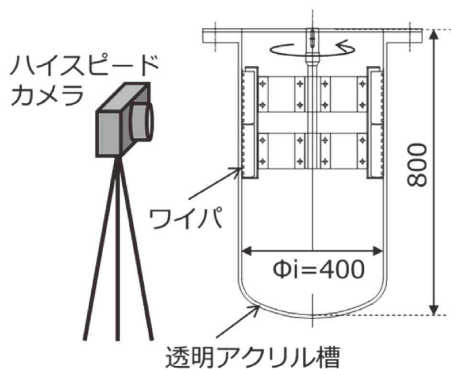
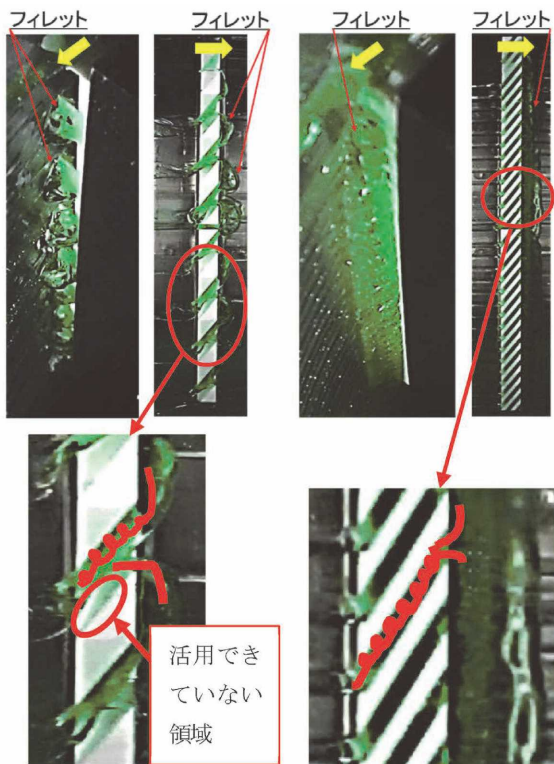


図6 液膜観察実験装置



左：従来機

右：WIPRENE S

- ※ 流体粘度：約 1500mPa・s
- ※ 観察しやすいよう流体を緑色に着色
- ※ 周方向のワイパ列数は同じ

図7 液膜観察写真

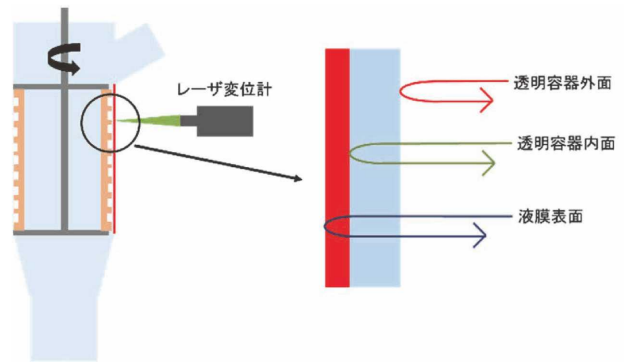


図8 液膜厚さ測定方法

3.2 液膜の厚さ

図8のようにレーザー変位計を用いて、液膜厚さを測定した。流量、回転数、ワイパ形状、流体粘度を変化させたが、液膜の厚さは0.1～0.3mmで変化せず、性能差は液膜厚さの違いによって生じているのではないことが確認された。

3.3 液膜とフィレットとの混合度

蒸発機内の処理液は、図7や図9に示すように液膜部とフィレット部に分かれる。蒸発は液膜部で起こるため、フィレット部から液膜部への物質移動（混合度）は、重要な要素と考えられる。

この混合度を各部の流体の電気伝導率の変化で評価した。図10に示すように、液膜部の電気伝導率を壁内面に面一に電極を埋め込み計測し、フィレット部の電気伝導率をワイパ前面に電極を取り付けて計測した。

供給液の塩分濃度0%からスタートし10秒後に1%、40秒後に0%へ切り替えた時の、電気伝導率（塩分濃度）の変化の様子をフィレット部と液膜部とで比較した。結果を図11に示す。従来機では液膜部とフィレット部の塩分濃度に差が生じているのに対し、WIPRENE Sでは液膜部とフィレット部がほぼ一致して変化している。WIPRENE Sでは液膜部とフィレット部が十分に混合されていると考えられる。一方、従来機ではフィレット部の液が液膜部へ移動するよりも先に流下していると考えられる。

ワイパ山・溝幅の縮小に伴い処理液とワイパとの接触面が大きくなったことに加え、3.1項に示すように溝内に流体が充満することにより溝内の流体（フィレットの一部）と液膜との混合度が高まり、フィレットと液膜との混合度が高まったと考えられる。

3.4 滞留時間

電気伝導率法の実験において、上段ワイパ部と下段ワイパ部を同時に測定し、上段ワイパと下段ワイ

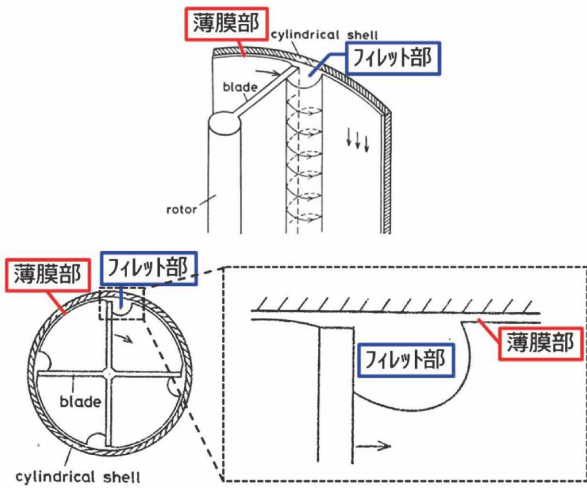


図9 薄膜部とフィレット部の模式図³⁾

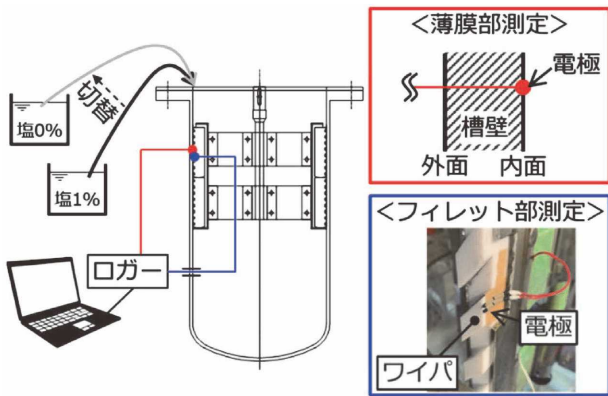
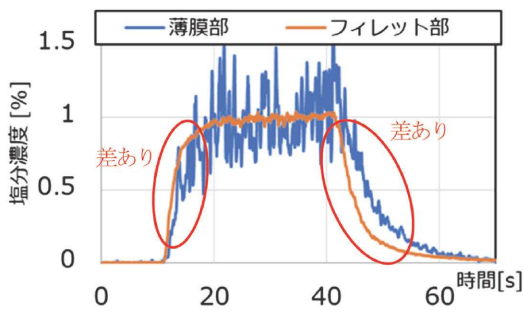
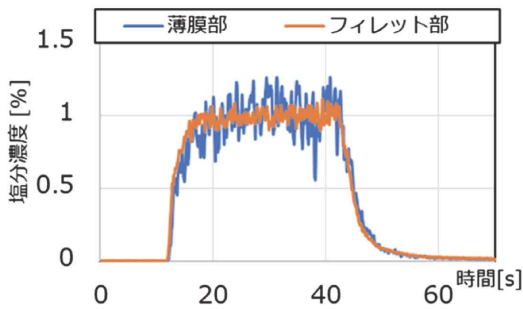


図10 混合度評価テスト装置



(i) 従来型ワイパ



(ii) WIPRENE S ワイパ (列数は従来と同じ)

図11 フィレット部と液膜部の濃度変化の様子

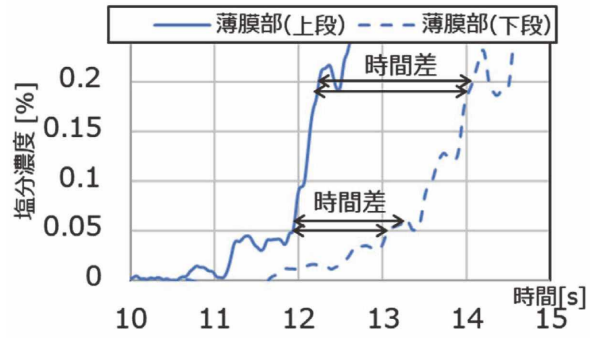


図12-1 上段と下段ワイパ間の濃度変化の時間差

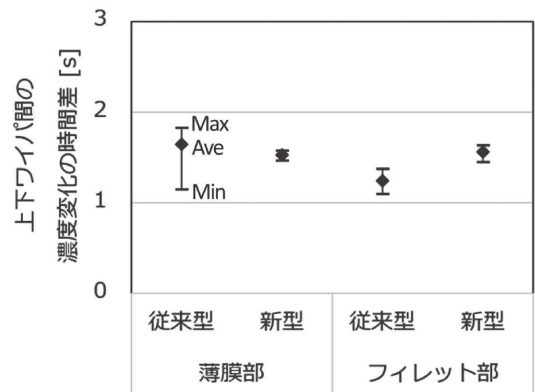


図12-2 濃度変化の時間差比較

パとの濃度変化の時間差 (図12-1), すなわち上段ワイパから下段ワイパまで流下する時間を用いて滞留時間を評価した。図12-2のように, 従来型とWIPRENE S に有意差は見られず, 性能差が滞留時間の違いによって生じているのではないことが確認された。

3.5 まとめ

WIPRENE S の性能向上には, 液膜とフィレットとの混合度向上が大きく寄与していることを確認した。溝内に液を充満させることによる混合度向上に加え, 列数の増加に伴い各列のフィレットが小さくなることにより, 液膜とフィレットとの混合度がさらに高まると考えられる。

4. その他の利点

4.1 飛沫同伴に対する性能

図6の実験装置においてワイパより内径側にろ紙を貼り, ろ紙の重量変化で飛沫量を計測した。WIPRENE S の飛沫量は従来機よりも少ない結果が得られた。飛沫はワイパかき取りの際の跳ね飛ばしと蒸発・沸騰に伴う同伴とが重なって起こるためこの結果だけですべてを判断することはできないが, WIPRENE S の飛沫量の減少傾向が示唆された。今後のデータ収集により確認を進める。

4.2 蒸発面の可視化

蒸発面に設けるのぞき窓を試作し、リークテストと試運転を実施し使用可能なことを確認した。実運転における内部の状態を観察することで、内部での固形物生成、高粘度化、付着、発泡等の異常の有無を目視確認でき、より詳細な検討が可能となる。

む す び

新型ワイパを主とした機器構造の最適化により、約2倍の脱揮性能と約20%大きい伝熱性能を有するWIPRENE Sを開発した。従来機をWIPRENE Sへ改造することも可能であり、既にご使用中のユーザーにもその効果を実感頂ける新型機である。近年ニーズの高まっている高脱揮処理やりサイクルなどの用途に、より効率の高いWIPRENE Sを適用するこ

とで環境問題にも貢献できると考える。また、本取組で用いた内部状態の評価手法を、個々のテストや新たな改良に応用することにより、今後の更なる薄膜蒸発技術の向上につなげることができる。

最後に、テスト用のサンプル提供と分析にご協力頂きましたユーザー様、液膜の混合に関しアドバイスを頂きました呉工業高等専門学校の高田一貴教授をはじめ、関係者各位に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 池田幸雄:神鋼ファウドラ―技報, Vol.30, No.1 (1986), 高真空蒸留におけるWFE 薄膜蒸留装置
- 2) 三木洋二:神鋼パンテック技報, Vol.34, No.2 (1990), WFE 薄膜蒸留装置の新適用分野の紹介
- 3) 高田一貴, 攪拌式薄膜蒸発機に関する流動工学的研究 (1988)