

# 「アクシーズシステム」による環境負荷低減への 新たなアプローチ

ソマール株式会社\*1 技術本部 技術開発部 但 木 孝 一\*2

三吉 洋平, 藤原 要子, 須ヶ崎 かおり

## New Approach to Effluent Load Reduction by “AXISZ System”

*Koichi Tadaki\*2, Yohei Miyoshi, Yoko Fujiwara, and Kaori Sugasaki*

Technical Div. Technical Dept., SOMAR Corporation\*1

### Abstract

Somar has developed wet-end improvement system named “AXISZ System” which enables various types of wet-end chemicals to demonstrate the original and intrinsic performances to the maximum. “REALIZER A Series” is high-performance coagulant which is effective for sticky pitch and defect paper surface and is also, special cationic polymer which is good to be applied to stuff box. High-performance retention aid, “REALIZER R Series, FX Series” is multifunctional polymer with special structure and can achieve higher retention even with small dosage. Optimum Wet-end system can be obtained by combination of those chemicals. Also, it should be noted it is unique that each chemical alone can demonstrate its own capability.

The match which reduces the displacement because the amount of consumption is quite watery by paper industry becomes important. The tendency which rises every year can see white water load by which it's for COD and the electric conductivity. I focus on effluent load reduction in paper mill by writing and introduce several new way to approach to which white water load of a papermaking machine is reduced. During these research and development, we found that the application of wet-end improver “AXISZ System” could reduce wet-end chemical dosage, reduce effluent load, and reduce other environmental load. Development of wet-end chemicals focused on less environmental load is the main feature of Somar and its performance is verified through number of machine trials. This report describes effect of our latest paper chemicals.

### 1. はじめに

製紙業界での水の使用量は大変多く、近年のクローズド化システムの強化により水の再利用率も高まってきている。その様な状況の中、排水負荷管理は益々厳しくなっている。製紙業界に限らず企業では、水質汚濁防止法をはじめ、各種条例で求められている排水基準の他、それを上回る自主管理基準を設定し、排水負荷低減に取り組んでいる。本稿では、製紙工場の排水負荷低減に焦点をあて、抄紙マシンの白水負荷を低減する新しいアプローチ方法をいくつか紹介する。

近年では、古紙原料の品質悪化の影響もあり、紙品質の低下を防ぐために紙力剤やサイズ剤等の内添薬剤の添加量を増加する傾向が見られる。その影響もあり、白水負荷が更に高まる要因となっており、各種内添薬剤の効果が発揮し難い悪循環となっている。また、歩留りの面でも微細成分の歩留りが、低下する傾向が見受けられる。その対策として全歩留りを向上させ、各種内添薬剤の歩留りを向上させる取り組みがなされているが、地合いや紙力低下と言った紙品質低下の課題も、完全には解決されていない。弊社が開発を続けている歩留り向上システム「アクシーズシステム」は、歩留り向上のみに重きを置いたシステムではなく、各種内添薬剤の定着性向上が可能な特殊カチオン性ポリマーである「リアライザーAシリーズ」、リアライザーRシリーズ」と特殊なアニオン性ポリマーである「リアライザーFXシリーズ」から成る新しい歩留り向上システムとなっている。この「アクシーズシステム」に新しい技術である「リアクティブポリマーテクノロジー」を導入することにより、各種内添薬剤のパルプ繊維への定着性を更に向上させ、白水負荷を大きく低減することが可能となったので報告する。

\*1 〒340-0003 埼玉県草加市稲荷 5-19-1/19-1, Inari5-Chome. Soka, Saitama, 340-0003. Japan

\*2 E-mail: [tadaki.koichi.z4@somar.co.jp](mailto:tadaki.koichi.z4@somar.co.jp)

## 2. 各抄紙マシンの白水負荷と歩留り物性の変化

古紙原料の品質低下は、板紙マシン、洋紙マシンいずれにおいても操業上、ピッチや欠陥トラブルの増加を招いている。それらのトラブルを低減させるために硫酸バンドや凝結剤、歩留り剤等の添加量を上げて対応するケースが多い。また、洋紙分野での填料高配合化は、灰分歩留りの低下や紙力等の紙質への悪影響も大きく、歩留り剤や紙力剤の添加量を増加して対応しなければならない状況となっている。その様な状況下で、各抄造銘柄において白水負荷と歩留り物性がどの様に変化してきているかをまとめた一例が、表1である。同マシンで10年前に測定した白水のCOD値と比較して、ライナーマシン①、塗工原紙マシン②共に20%程度高くなっている。また、白水のNTU濁度の数値も高くなる傾向を示している。各種抄紙マシンの白水SSが高くなり、歩留り物性が低下する傾向にある中で、内添薬剤の添加量が増えていることが白水のCODやNTU濁度の数値を高める要因となっていると考えられる。これらの白水負荷の上昇は、クロフター等の白水処理装置の負荷を高めることにも繋がっている。弊社では、これらの白水の数値をコントロールすることにより白水負荷を低減できる薬剤開発を進めている。

表1 各抄紙マシンの白水負荷と歩留り物性の変化

	測定日	pH	電気伝導度 ( $\mu$ S/cm)	SS (%)	COD (ppm)	NTU濁度 (度)	カチオン要求量 ( $\mu$ eq/L)	全歩留り (%)	灰分歩留り (%)
ライナー マシン① (中層)	2007年4月	7.8	1200	0.22	850	39.0	28.1	70	45
	2017年4月	7.5	1600	0.29	1100	87.5	50.2	68	42
塗工原紙 マシン②	2007年4月	8.3	500	0.18	540	9.1	16.4	66	35
	2017年4月	7.9	620	0.24	700	18.2	10.5	62	30

図1は、抄紙マシン系内で白水負荷が高まる要因をまとめたフロー図である。内添デンプンやPAM等の紙力剤、AKD、ASAやロジン系サイズ剤、歩留り剤、凝結剤等の各種内添薬剤の添加量が増えている点、及びその定着性の悪化が白水負荷上昇の大きな要因になっている。弊社では、各種内添薬剤の定着性を向上させることのできる歩留り向上システム「アクシーズシステム」を開発してきた。これまで多機能凝結剤「リアライザーAシリーズ」によるロジン系サイズ剤の定着性向上や高機能アニオン性歩留り剤「リアライザーFXシリーズ」による内添薬剤の定着性向上について報告してきた<sup>1)2)</sup>。近年では、新技術「リアクティブポリマーテクノロジー」を導入した「リアライザーAシリーズ」と「リアライザーFXシリーズ」を組み合わせた「ニュータイプデュアル添加システム」の適用により、地合い物性を大きく向上させて紙力やサイズ度を向上させることが可能となっている。また、抄紙マシンの白水回収装置用凝結剤としても「リアクティブポリマー」を適用して、低添加量で高い処理効率を得られる薬剤の開発を進めている。

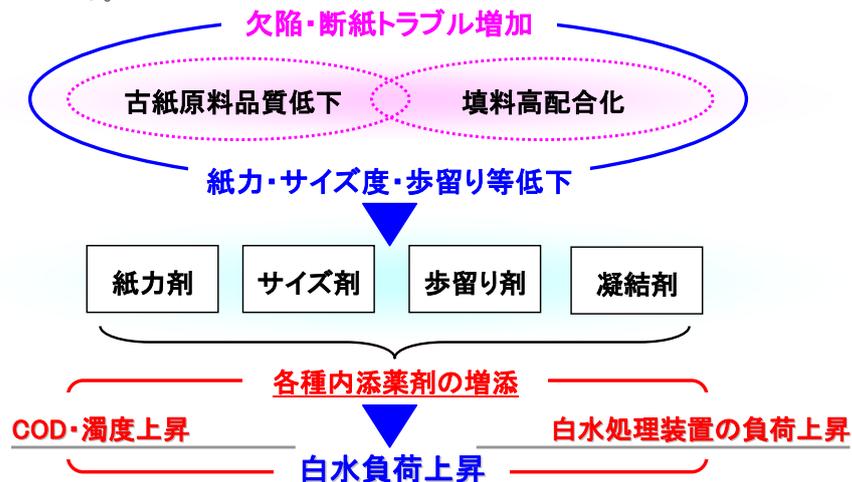


図1 各抄紙マシンの白水負荷上昇要因

## 3. 各種内添薬剤の定着性向上について

紙面欠陥や断紙トラブルの原因を調査して行くと填料やサイズ剤等が要因となっているケースが多い<sup>3)</sup>。歩留り物性を上げることで紙面欠陥を低減できることもあるが、近年のウェットエンド状況は、原紙灰分を高めるために填料の添加量を上げるケースや、紙力剤の添加量を増やしているためにカチオン過剰な状態にあるケース等、色々な課題を抱えている。まずは、添加している各種薬剤の定着性の重要性をいくつかの例をもとに紹介する。次に各種薬剤の定着性が上がることで得られるメリットを解説して行く。

### 3.1 「アクシーズニュータイプデュアル添加システム」による内添薬剤の定着性向上

A社、中質紙マシンの紙面欠陥トラブルを改善するために、新技術を導入した「リアクティブポリマー」2薬剤から成る「アクシーズニュータイプデュアル添加システム」を適用した例を紹介する。従来使用していた歩留り剤は、スクリーン前にカチオン性ポリマー、スクリーン後にアニオン性ポリマーを添加する一般的なデュアル添加システムであった。マシンチェストに内添紙力剤としてカチオン化澱粉を0.7%、AKDサイズ剤を0.07%添加していたが、サイズ度が発現し難い問題も抱えていた。従来の歩留り剤の問題点として、スクリーン前に添加されていたカチオン性ポリマーの凝集力が強いため、填料成分の過凝集が生じ、地合い低下と欠陥トラブルの要因の一つとなっていた。また、白水のNTU濁度やCODが高い状態であり、カチオン化澱粉やAKDサイズ剤の定着性が悪いことが推察された。

表2に示す様に、スクリーン前後で添加していた従来品歩留り剤のデュアル添加を次の様に変更してテストを実施した。スクリーン前にカチオン性特殊ポリマーである「リアライザーA3300」を100ppm、スクリーン後にアニオン性特殊ポリマーである「リアライザーFX70」を170ppm添加した結果、灰分歩留りが6ポイント程度向上したが、白水CODの低減率が20%以下であり、顕著な低減に至っていなかった点と表3に示すステキヒトサイズ度が大きく向上していなかったため、カチオン化澱粉やサイズ剤の定着性をより向上させる必要があると判断した。そこで次のステップとして、カチオン、アニオン各歩留り剤の添加比率の最適化の検討を行った。白水CODとNTU濁度を効率良く低減できる歩留り剤の最適添加比率を検討した結果、「リアライザーA3300」を140ppm、「リアライザーFX70」を80ppm添加した際に最も低い数値が得られた。この時、3Dシートアナライザーで測定している紙の地合い物性が最も良くなり、フロックサイズも最も小さくなった。ステキヒトサイズ度、インターナルボンドテスターによる内部強度測定値の面でも従来品デュアル添加と比較して向上する結果が得られた。

表2 ニュータイプデュアル添加適用時の白水負荷の変化

	添加量 (ppm)		SS (%)*	COD (ppm)*	NTU濁度 (度)*	カチオン要求量 (μeq/L)*	全歩留り (%)	灰分歩留り (%)
	S/C前	S/C後						
カチオン/アニオンポリマー (従来品デュアル添加)	100	170	0.25	820	19.0	14.5	72.2	48.8
リアライザーA3300/FX70 (ニュータイプデュアル添加)	100	170	0.19	670	10.3	12.0	77.5	55.2
	80	140	0.21	700	12.3	12.8	73.5	50.0
	140	80	0.20	490	6.6	10.9	74.8	52.2

※白水についての測定結果

従来品デュアル添加時のカチオン、アニオン各種歩留り剤添加量をそれぞれ20%程度削減して「リアライザーA3300」を80ppm、「リアライザーFX70」を140ppm添加とした場合と比較して「リアライザーA3300」を140ppm添加としたカチオンリッチ処方の方が歩留り剤のトータル添加量は同じであるのに、白水のCODやNTU濁度の低減率が顕著なものとなっている。こちらの中質紙マシンでは、最終的に歩留り剤の添加量、添加比率の最適化及び、各種内添薬剤の定着性の向上により課題であった紙面欠陥を大きく低減できた。

紙面欠陥数低減には、歩留り物性の向上が重要な要素ではあるが、各種内添薬剤の添加量が多い抄紙マシンや定着性が悪いマシンにおいては、白水CODやNTU濁度低減を指標とした方が有効であることが多い。弊社では、この「リアライザーAシリーズ」と「リアライザーFXシリーズ」からなるデュアル添加システムを「アクシーズニュータイプデュアル添加システム」と命名し、各種内添薬剤の定着性を向上させ、白水負荷と紙面欠陥を低減できる新しい歩留り向上システムとして、各種抄紙マシンへの適用を進めている。

表3 ニュータイプデュアル添加適用時の紙質物性の変化(原紙坪量 70g/m<sup>2</sup>)

	添加量 (ppm)		地合い指数*	フロックサイズ* (mm <sup>2</sup> )	ステキヒトサイズ度(秒)	内部強度 (mN・m)
	S/C前	S/C後				
カチオン/アニオンポリマー (従来品デュアル添加)	100	170	29.5	12.2	8.8	120
リアライザーA3300/FX70 (ニュータイプデュアル添加)	100	170	30.3	11.8	9.0	118
	80	140	38.8	8.5	8.5	116
	140	80	40.3	7.1	11.5	125

■地合い指数：数値が大きい方が地合い良好

※3Dシートアナライザーにて測定

### 3. 2 「アクシーズニュータイプデュアル添加システム」の特徴

「アクシーズニュータイプデュアル添加システム」で使用する「リアライザーA シリーズ」, 「リアライザーFX シリーズ」の各ポリマーには, 「リアクティブポリマーテクノロジー」という新しいポリマー設計技術を導入している。図2に「リアクティブポリマーテクノロジー」の概要を示す。各ポリマーが抄紙マシンに添加された後には, 系内でのせん断力 (シアー) によりポリマーが少しずつ, ダメージを受け低分子量化して行くのが一般的である。従来のポリマーでは, 低分子量化したポリマーがパルプ繊維や填料成分等に定着し難くなり, 系内を循環してしまう問題点があった。「リアクティブポリマー」は, 低分子量化したポリマーのパルプ繊維等への定着性が高く, また各種内添薬剤の定着性向上のために働けるように予め設計している。そのため, 歩留り向上だけでなく紙力剤やサイズ剤等の各種内添薬剤の定着性向上効果も高い。特殊なポリマー構造を持つ「リアライザーA シリーズ」, 「リアライザーFX シリーズ」のポリマー自体の自己定着能力が高いため, 未定着の薬剤成分が系内を循環する量を最低限の量に抑えられる特徴もっており, 白水負荷低減を重視した環境配慮型のポリマーとなっている。

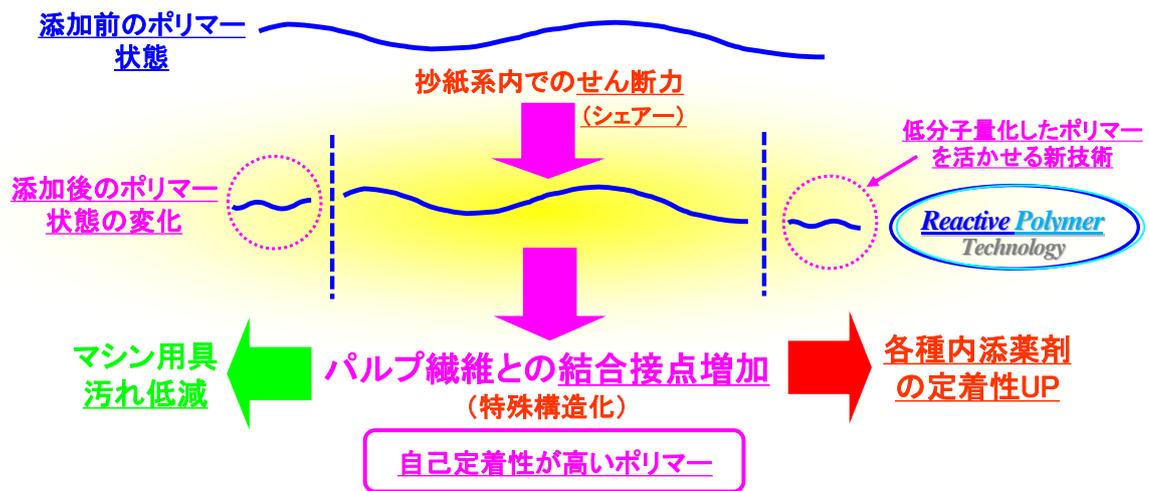


図2 「リアクティブポリマーテクノロジー」の概要

### 4. 「リアクティブポリマー」による白水負荷の低減

近年の板紙マシンのウェットエンドの状態は, 古紙品質の低下の影響を受け大きく変化してきている。原料中の微細成分やピッチの含有量が増え, 歩留り物性を上げる動きを取ると紙面欠陥や断紙トラブルが増加するケースも多々ある<sup>4)</sup>。白水のCOD値も古紙由来のデンプンや抄紙工程で使用される外添, 内添用デンプン等の増加の影響で高い数値になっている<sup>5)</sup>。特殊な構造を持つ「リアクティブポリマー」を歩留り剤として適用して, 抄紙マシンの白水負荷を低減することで欠陥トラブルも低減できた例を紹介する。

#### 4. 1 ライナーマシンでの白水負荷低減例

B社, ライナーマシンでの白水負荷低減のために, アニオン性歩留り剤「リアライザーFX77」を適用した例を紹介する。従来の歩留り剤は, 全層共にスクリーン前にカチオン性ポリマー, スクリーン後にコロイダルシリカを添加するデュアル添加システムであった。表層にロジン系サイズ剤を0.4%, 紙力剤として両性PAMを全層0.2%添加している4層抄きのライナーマシンで, ロジン系サイズ剤の定着性が悪く, 図3のような紙面欠陥が発生していた。この紙面欠陥を分析するとロジン系サイズ剤由来の成分が検出される状況であった。「アニオン性リアクティブポリマー」である「リアライザーFX77」をスクリーンの後に添加することで低添加量の歩留り剤でサイズ度や紙力物性の向上と共に, 紙面欠陥数を低減できないか検討した(図4)。

「リアライザーFX77」は, 特殊な構造を持っているため, 抄紙マシン系内に添加された後の分散性に優れている。そのためスクリーン後添加にも最適な薬剤であり, 最低限の歩留り剤添加量で高い歩留り効果を得ることができる。こちらのライナーマシンでは, 「リアライザーFX77」の適用により, 白水のNTU濁度を大きく低減でき, ロジン系サイズ剤の定着性が向

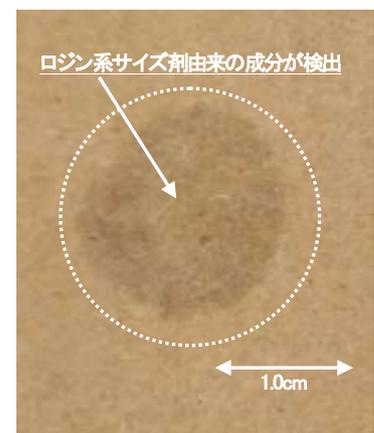


図3 ライナーマシンでの紙面欠陥

上した結果、ロジン系サイズ剤由来の欠陥が低減できた。また、その際、白水のCOD値は「リアライザー-FX77」適用前と比較して最大で36%程度低減できた。表4に「リアライザー-FX77」適用時の表層に関するウェットエンド物性を示す。「リアライザー-FX77」適用前の白水のゼータ電位の数値を見ると-1.7mVと、0に近い状態であって抄造条件によっては、陽転することもあった。系内にカチオン性物質が多く存在する状態であったため、各種内添薬剤の定着性が悪くなっていると考えられた。ラボテストを実施した段階で、従来品歩留り剤のカチオン性ポリマーと比較して、明らかにアニオン性歩留り剤「リアライザー-FX77」の方が低添加量で高い効果を発揮できることが分かったため、まずは歩留り剤の最適化を進める必要があると判断した。

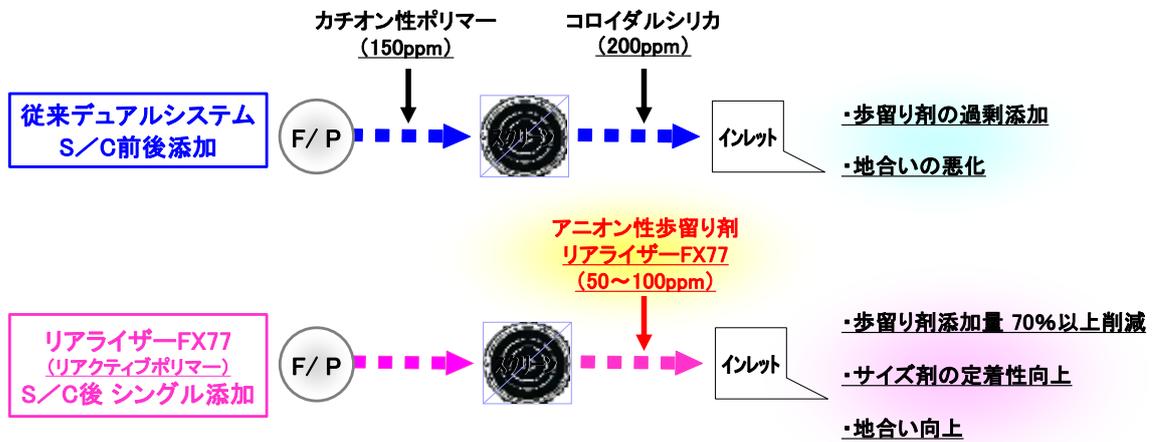


図4 「リアライザー-FX77」適用によるメリット

表層に関して「リアライザー-FX77」をスクリーン後に50ppm添加した場合、歩留り物性は、従来品デュアル添加と同等の数値であり、地合いが大きく向上したが白水CODの数値に関しては、大きく低減できていない状態であった。また紙面欠陥数にも大きな変化が見られなかった。「リアライザー-FX77」の添加量を80, 100ppmと増やして行くと白水CODとNTU濁度の数値が大きく低減でき、紙面欠陥数を低減することができた。特に100ppm添加時の白水CODは、従来品デュアル添加時と比較して36%程度低減できており、紙面欠陥数も最も低減できた。「リアライザー-FX77」添加時は、歩留り物性が大きく向上しているにも関わらず、地合い物性も向上できている点が大きな特徴である。これは「リアクティブポリマーテクノロジー」を導入したポリマーである「リアライザー-FX77」がパルプ繊維の凝集より内添薬剤や微細成分の定着性向上に重きを置いている歩留り剤のためである。

表4 ライナーマシンでの「リアクティブポリマー」の効果(表層)

	歩留り剤 添加量(ppm)	SS (%)*	COD (ppm)*	NTU濁度 (度)*	カチオン要求量 ( $\mu$ eq/L)*	ゼータ電位 (mV)*	全歩留り (%)	灰分歩留り (%)	地合い 指数(-)
カチオン性ポリマー/ コロイダルシリカ (従来品デュアル添加)	150/200 (S/C前後添加)	0.142	950	125	33.0	-1.7	65.8	23.5	25.4
リアライザー-FX77 (アニオン性歩留り剤 シングル添加)	50 (S/C後添加)	0.067	890	90	32.6	-1.8	66.9	25.0	35.7
	80 (S/C後添加)	0.062	720	75	32.5	-2.0	74.8	35.5	32.4
	100 (S/C後添加)	0.059	610	62	31.8	-2.2	81.5	42.6	29.0

■地合い指数：数値が大きい方が地合い良好  
※白水についての測定結果

## 5. 白水回収装置へのアクセシブシステムの適用

これまで抄紙マシン向けの歩留り剤として開発してきたカチオン性高機能歩留り剤「リアライザー-Rシリーズ」の白水回収装置用凝集剤への適用を進めている。白水回収の方法としては、凝集沈殿法、加圧浮上法、フィルター法等が挙げられるが、いずれの方法においても白水中に存在する微細成分や未定着薬剤成分をできるだけフロックに定着させて、固液分離を効率良く実施することが求められる。そこで、微細成分や各種内添薬剤をパルプ繊維に定着する能力の高い「リアライザー-Rシリーズ」を凝集剤として適用することにより、これまで回収が困難であった白水中の未定着薬剤を回収しやすくなると考え各抄紙マシンの白水回収装置への適用を進めている。

図5のフロー図に抄紙マシン用歩留り剤及び白水回収装置用凝集剤の添加位置等を示した。上述してきた抄紙マシンでの各種内添薬剤の定着性向上による白水負荷低減は、直接白水回収装置の負荷低減に繋がる。ここで重要なポイントは、これまでの凝集剤を白水回収装置に適用した場合、回収できていない未定着薬剤が、再利用する水として抄紙マシン系内に再度、混入してしまう点である。「リアライザー-Rシリーズ」を凝集剤として適用

することで白水中の未定着薬剤成分を効率良く回収して、抄紙マシン系内で、循環する薬剤量を低減し系内汚れ等を防ぐことができるメリットが得られる。

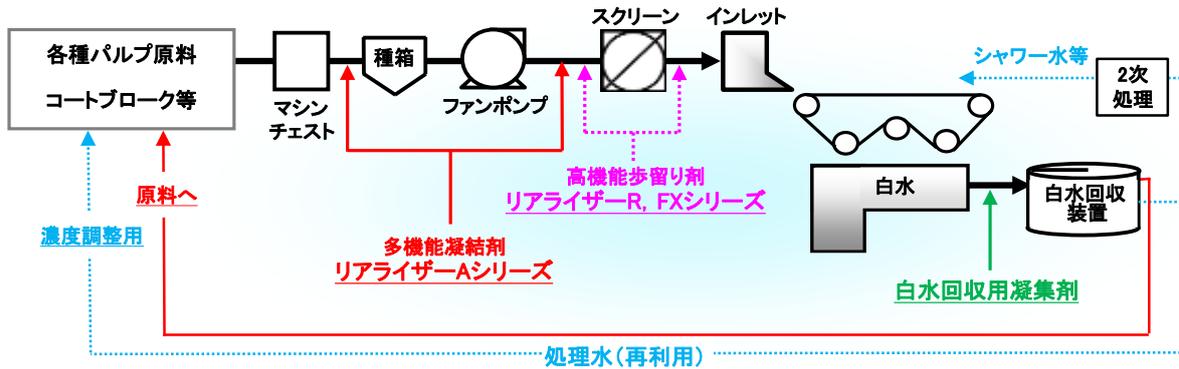


図5 抄紙マシン用歩留り剤と白水回収装置用凝集剤の添加位置

### 5.1 白水回収装置用凝集剤としての「リアライザーRシリーズ」適用

カチオン性高機能歩留り剤「リアライザーR シリーズ」の白水回収装置用凝集剤への適用例として、いくつかの実機テスト例を紹介する。表5は、C社ライナーマシンの白水処理について、加圧浮上装置への添加テストを実施した結果である。従来品の凝集剤は、凝集力の高い粉末タイプのカチオン性ポリマーであり、溶解性や分散性に問題があったため、ポリマー本来の効果が発揮できていない状態であった。また、凝集力に重きを置いたポリマーであったため、白水中に存在する未定着分の薬剤の回収には適していないと判断した。そこでエマルジョンタイプのポリマーである「リアライザーR600」を適用して、添加量を60%以上減らしても高いSS処理効率を得ることができた。また、NTU濁度物性も従来品凝集剤と比較して40%以上低減できている。

表5 ライナーマシン白水回収装置への「リアライザーR600」の適用

	添加量 (ppm)	処理後SS (mg/L)	処理後灰分 (mg/L)	処理後NTU濁度 (度)	NTU濁度 低減率(%)
従来品カチオン性ポリマー (粉末タイプ)	3.0	64	44	220	—
リアライザーR600 (カチオン性高機能凝集剤)	1.5	46	36	119	45.9
	1.2	50	39	128	41.8
	1.0	60	43	166	23.6

表6は、D社塗工原紙マシンの白水を加圧浮上装置で処理している例で、先程のライナーマシンの例と同様にカチオン性エマルジョンポリマーである「リアライザーR600」を適用した結果である。従来品の凝集剤は、上述したライナーマシンの例と同様に凝集力の高い粉末タイプのカチオン性ポリマーであった。凝集剤の添加量を50%程度低減しても、従来品凝集剤と比較して高いSS処理効率を得られた。またその際のNTU濁度物性も35~43%低減できている。両マシンにおいて、従来品の凝集力の高い粉末タイプのカチオン性ポリマーから微細成分の定着性向上に重きを置いた高機能凝集剤「リアライザーR600」に変更したことにより、低添加量で高い処理効果が得られるようになった。

表6 塗工原紙マシン白水回収装置における「リアライザーRシリーズ」の検討

	添加量 (ppm)	処理後SS (mg/L)	処理後灰分 (mg/L)	処理後NTU濁度 (度)	NTU濁度 低減率(%)
従来品カチオン性ポリマー (粉末タイプ)	1.9	20	6.1	51	—
リアライザーR600 (カチオン性高機能凝集剤)	1.9	6.0	4.0	26	49.0
	1.5	12	4.5	29	43.1
	1.0	17	5.3	33	35.3

リアライザーR シリーズに「リアクティブポリマーテクノロジー」を導入して、より低添加量で高い処理効率を得られる様に開発した凝集剤「新規開発品A」を適用した一例を紹介する。E社、塗工原紙マシンの白水を加圧浮上装置で処理する際に従来品としてエマルジョンタイプの凝集剤を使用しているが、SSやNTU濁度の処理効率が悪い問題を抱えていた。

表7に「リアクティブポリマー」であるカチオン性凝集剤「新規開発品A」のラボテスト結果を示す。従来品凝集剤と比較して凝集剤の添加量を55%程度低減した0.4ppm添加時でも従来品凝集剤添加時と比較して、SS処理に関しては、80%高い処理効率が得られた。またNTU濁度の数値は、顕著な改善効果が見られた。未定着薬剤が多く含まれる、SS処理効率の悪い白水回収装置に「リアクティブポリマー」が有効であることが分かったため今後は、更なる適用を進めて行く。これらの様に、抄紙マシンへの歩留り剤の最適化による白水負荷低減だけでなく、白水回収系への新規凝集剤の適用により、さらなる環境負荷低減へのアプローチができた。

表7 「リアクティブポリマー」の白水回収装置への適用

	添加量 (ppm)	処理後SS (mg/L)	処理後灰分 (mg/L)	処理後NTU濁度 (度)	NTU濁度 低減率(%)
従来品カチオンポリマー (エマルジョンタイプ)	0.9	29	15	18	—
リアライザー新規開発品A (カチオン性リアクティブポリマー)	0.6	4.0	1.6	2.1	88.3
	0.4	5.6	2.2	2.5	86.1

## まとめ

「リアクティブポリマーテクノロジー」を導入した多機能凝集剤「リアライザーA シリーズ」及び高機能歩留り剤「リアライザーFX シリーズ」, 「リアライザーR シリーズ」を適用することで、各種内添薬剤のパルプ繊維への定着性を大きく向上させることができるため、低添加量で白水負荷低減が可能であり且つ、紙面欠陥低減に有効であることが分かった。

今後、古紙原料の品質が一層厳しくなっていく中で、更なる開発を進め抄紙マシンの操業性、生産性向上への貢献を目指していきたい。

## References

- 1)Yuta Mochizuki, Koichi Tadaki and Miho Onuma:Japan Tappi J. **71**, (5), 496 (2017)
- 2)Kazutaka Kasuga, Koichi Tadaki and Hiroyuki Oishi:Japan Tappi J. **70**, (5), 487 (2016)
- 3)Hiroyuki Oishi, Koichi Tadaki and Kazutaka Kasuga:Japan Tappi J. **68**, (2), 32 (2014)
- 4)Koichi Tadaki:Japan Tappi J. **62**, (11), 33 (2008)
- 5)Koichi Tadaki, Tomoko Asada and Kazutaka Kasuga:Japan Tappi J. **63**, (10), 15 (2009)