

# 機能性バイオマス素材配合 新規高濃度乾燥紙力増強剤について ～第2報～

研究開発本部 水系ポリマー開発部 PS1グループ  
神原 隆介

**Kambara Ryusuke**



## 1 はじめに

紙はリサイクル可能な素材であるが、リサイクルを繰り返すと強度が低下する傾向にある。そのため、紙の強度低下を補強する薬品として乾燥紙力増強剤が広く使用されている。当社では乾燥紙力増強剤(ポリストロンシリーズ)として主にカチオン性基とアニオン性基を有する両性ポリアクリルアミド(両性PAM)系紙力増強剤を製造、販売している。ポリストロンの役割としては紙の強度を向上させるだけでなく、パルプを凝集させることでパルプ繊維や各種薬品(サイズ剤、染料など)の歩留まりを向上させる効果もあり、抄紙マシンの生産性向上に貢献している。また、ワイヤー上での水切れ性を向上させる効果もあり、これにより紙の乾燥工程での電気・蒸気使用量を削減でき、抄紙マシンの安定操業にも寄与している。

近年、持続可能な社会の実現に向けてバイオマス素材の活用、ライフサイクルでのCO<sub>2</sub>削減に注目が集まっている。ポリストロン(以下PS-と表記)製品の高濃度化により輸送回数を削減できれば輸送燃料由来のCO<sub>2</sub>が削減されると考え、高濃度化の検討を実施した。荒川ニュースNo.394(2021年秋号)テクノロジーレポートにて、特定の機能性バイオマス素材を配合した試作品について報告したが、その後の検討によりPS-4000、PS-4100の2製品を開発したので以下に紹介する。

## 2 ポリアクリルアミド水溶液の高濃度化について

### 2.1 これまでの検討結果と問題点

これまでポリアクリルアミド(PAM)水溶液の高濃度化について種々検討を実施したが、①ポリマーの構造を変えずに濃度を高めた場合、製品粘度が上昇し、ポンプでの送液不良など操作性が悪化する、②製品粘度を高めずに

高濃度化するためにはポリマーサイズを小さく設計する必要があるが、そうするとポリマーの分子量が低下し、各種性能(パルプの凝集性、紙力効果)が低下する、という2つの問題があった。

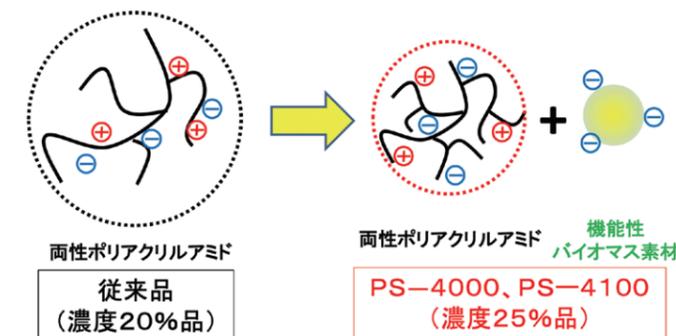
上記問題解決のため、当社のポリマー重合技術を駆使し、ポリマーサイズを下げつつ分子量を同等に維持したサンプルを作製したが、分子量を下げて粘度上昇を抑えたサンプル対比では、パルプの凝集性は高まるものの、従来品対比では劣っており、ポリマーサイズ低下による性能低下は補いきれなかった。

### 2.2 バイオマス素材を活用した高濃度化検討

2.1での問題解決のためバイオマス素材を用いた高濃度化の検討を行った。

当該バイオマス素材は、単独使用ではパルプ凝集性が弱いものの、両性PAMに配合することで強いパルプ凝集性を示す。

この特性から両性PAMに機能性バイオマス素材を併用することで、製品濃度を高め、かつ性能を維持できるPS-4000、PS-4100を開発した。その設計イメージを図1に示す。



## 3 PS-4000、PS-4100の物性

PS-4000、PS-4100の組成、一般物性値を表1に、PS-4000の外観を図2に示す。PS-4000、PS-4100は製品濃度が25%であり従来品Aと比較して高いが、製品粘度は同じである。製品の希釈性も従来品対比で大きな差はなく、従来の紙力増強剤の添加設備で希釈・添加可能で、ハンドリング性に差はない。温度に対する粘度変化も従来品と同じである(図3)。

品名	組成	不揮発分(%)	製品粘度(mPa・s)	pH(1%液)
従来品A	両性PAM	20	7,000	3.6
PS-4000	両性PAM/機能性バイオマス素材	25	7,000	3.6
PS-4100	両性PAM/機能性バイオマス素材	25	7,000	3.6

表1 PS-4000、PS-4100の組成、一般物性値



図2 PS-4000の外観

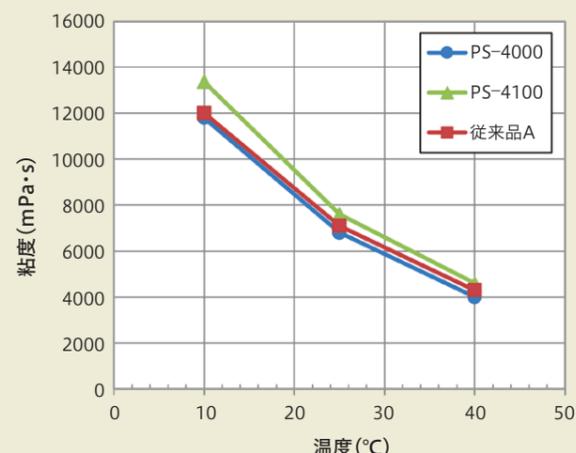


図3 PS-4000、PS-4100の温度—粘度の関係

PS-4000、PS-4100の組成、物性値を表2に示す。PS-4000は中芯で使用実績のある従来品Aと同じカチオン量で、PS-4100はパルプ凝集性の向上を狙いカチオン量を増量したイオン組成で設計した。

品名	組成	カチオン量	カチオン密度	濁度極大値(NTU)
従来品A	両性PAM	基準	基準	40
PS-4000	両性PAM/機能性バイオマス素材	基準と同じ	高	150
PS-4100	両性PAM/機能性バイオマス素材	多い	高	250

表2 PS-4000、PS-4100の組成、物性値

PS-4000、PS-4100は従来品Aと対比して、

①カチオン密度が高い ②希釈液の濁度が高いという特徴を有する。

①カチオン密度が高いことによる効果

PAM系紙力増強剤はポリマー中のカチオン部位がパルプ繊維のアニオン部位と静電相互作用することでパルプ繊維に吸着し、紙力効果を発揮する。ポリマー中のカチオン部位の高密度化で、パルプ繊維のアニオン部位に効率的、かつ強く相互作用し、**パルプへの吸着性が向上する**(図4)。結果として紙への紙力増強剤定着量が増え、高い紙力効果を示す。

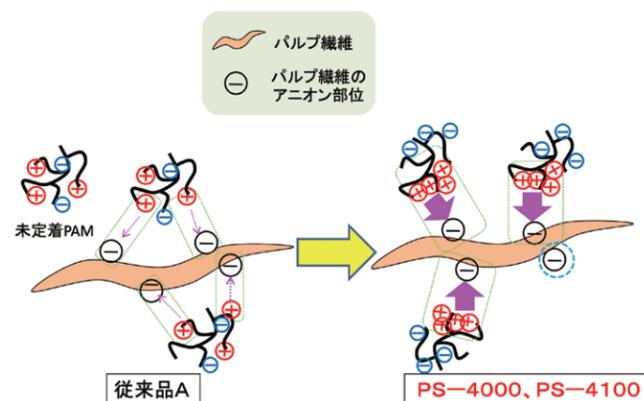


図4 カチオン高密度ポリマーの効果イメージ図

②希釈液の濁度が高いことによる効果

PS-4000、PS-4100における両性PAMと機能性バイオマス素材との相互作用については2種類の相互作用があると考えている。1つ目はポリマー鎖同士が複雑に絡まりあう物理的な相互作用、2つ目はイオン性の相互作用である。カチオン性基とアニオン性基を有する両性PAMはイオン性の相互作用により、大きなイオン集合体=ポリイオンコンプレックス(PIC)を形成する。PICの大きさの指標としては希釈液の濁度を測定する方法が一般的で、濁度が高いほどPICが大きい、つまりポリマー間のイオン性相互作用が強いと考えている。イオン性相互作用が強いポリマーはパルプとも強く相互作用すると考えられ、パルプ凝集性、パルプへの吸着性の向上が期待できる。

0.2%硫酸ナトリウム水溶液中におけるPS-4000、PS-4100および従来品Aの濁度測定結果とPIC形成イメージを図5に示す。PS-4000は従来品Aとイオン組成はほぼ同じだが、従来品Aと比較して濁度が高い。これは機能性バイオマス素材と両性PAMの相互作用により、従来品Aと比較して大きなPICを形成していることを示唆しており、パルプスラリーに添加されたときに、ポリマー間およびパルプ—ポリマー間の相互作用が強くなると考えられる。従来品A対比でポリマーサイズが小さいことによる性能低下をこの強い相互作用で補うことで、従来品A対比で同等性能の発揮が期待できる。なお、PS-4000からイオン量を増量したPS-4100はさらに濁度が高かった。

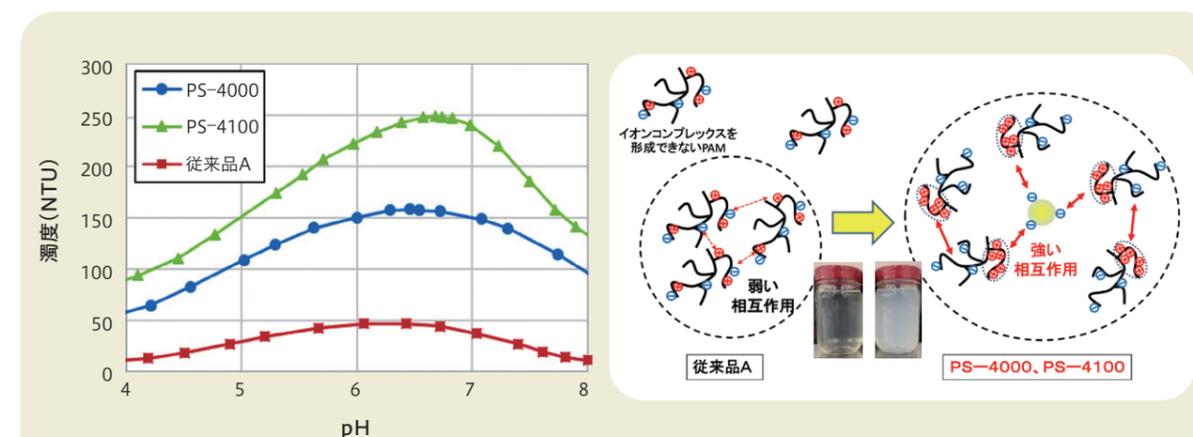


図5 PS-4000、PS-4100の濁度測定結果(左)とPIC形成イメージ図(右)

# 4 PS-4000、PS-4100の抄紙評価

段ボール古紙を離解・叩解した後、塩化カルシウムを用いて電気伝導度を2mS/cmに調整したパルプを用い、中芯での使用を想定した抄紙評価およびライナーでの使用を想定した評価を実施した(図6)。紙力増強剤はPS-4000、PS-4100、従来品A、従来品B(高カチオンタイプ、ライナーマシンで使用実績あり)を使用し、これらを使用した際のパルプの濾水量、紙への紙力増強剤の定着率、各種強度を測定した(坪量150g/m<sup>2</sup>、密度0.6g/cm<sup>3</sup>になるように調整)。中芯想定の評価結果を表3に、ライナー想定の評価結果を表4に示す。

**試験条件** 濾水量、各種強度、Cobb吸水度:JISに準じて測定した。  
紙力増強剤定着率:紙中の窒素含有量を微量窒素分析装置TN-2100(日東精工アナリテック製)にて測定し、算出した。  
地合変動係数:成紙を通過して行く光(輝度)をCCDカメラで画像データとして取り込み、その画像データを元に変動係数を算出した。  
値が小さいほど紙のムラが少ない、地合の良い紙と判断する。

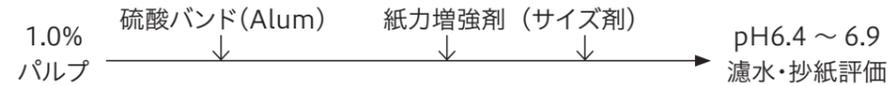


図6 中芯・ライナー想定抄紙評価 薬品添加スキーム(サイズ剤はライナー想定評価時のみ添加)

No	Alum 添加率 %	紙力増強剤		濾水量 (mL)	比圧縮強度 リングクラッシュ		比引張強度 (DRY)		地合 変動係数 (%)	紙力増強剤 定着率 (%)
			添加率%		(N・m <sup>2</sup> /g)	(指数)	(N・m/g)	(指数)		
1	2.0	-	-	381	197	100	37.1	100	24.8	-
2	↓	従来品A	0.6	453	239	121	50.4	136	26.7	72
3	↓	PS-4000	↓	472	241	122	50.8	137	27.6	78
4	↓	PS-4100	↓	495	236	120	49.0	132	29.0	79
5	↓	従来品B	↓	508	234	119	48.2	130	29.7	77

表3 中芯想定抄紙評価結果

PS-4000は従来品A対比で濾水量は向上傾向で、紙力増強剤定着率および各種強度は同等以上であった。一方、PS-4100や従来品BはPS-4000よりも濾水量が高かったが、紙の地合が悪くなった影響で各種強度(特に引張強度)が若干低かった。

No	Alum 添加率 %	紙力増強剤		濾水量 (mL)	2分Cobb 吸水度 (g/m <sup>2</sup> )	比圧縮強度 リングクラッシュ		比破裂強度		地合 変動係数 (%)	紙力増強剤 定着率 (%)
			添加率%			(N・m <sup>2</sup> /g)	(指数)	(kPa・m <sup>2</sup> /g)	(指数)		
6	1.5	-	-	379	198	198	100	2.94	100	24.5	-
7	↓	従来品A	0.3	420	91	222	112	3.65	124	25.7	86
8	↓	PS-4000	↓	432	88	223	113	3.71	126	25.8	90
9	↓	PS-4100	↓	446	70	224	113	3.70	126	26.2	91
10	↓	従来品B	↓	458	69	224	113	3.68	125	26.9	89
11	3.0	従来品A	↓	431	69	224	113	3.66	124	25.9	90
12	↓	PS-4000	↓	448	61	226	114	3.73	127	26.3	94
13	↓	PS-4100	↓	460	55	225	114	3.70	126	26.9	95
14	↓	従来品B	↓	471	59	224	113	3.68	125	27.3	94

サイズ剤(弱酸性ロジンエマルジョンサイズ剤)添加率:0.25%

表4 ライナー想定抄紙評価結果

各種薬品(紙力増強剤、サイズ剤)の定着助剤としての効果があるAlum添加率1.5%、3.0%の2水準で評価を実施した。いずれの条件においてもPS-4100は従来品B対比濾水量は若干低いが、Cobb吸水度と各種強度は略同等であった。一方、PS-4000は従来品B対比でAlum添加率が低い条件(1.5%)でCobb吸水度が高い傾向(サイズ性が良くない)が見られたが、Alum添加率が高い条件(3.0%)では同等であった。

これらの評価結果から、PS-4000は中芯マシンとAlum添加率が高いライナーマシン、PS-4100はライナーマシンの使用に適していると考えている。

なお、本評価ではベーシックな条件(Alum、紙力増強剤、サイズ剤のみを添加)で抄紙したが、実際の抄紙マシンではその他の薬品(染料、歩留剤)も添加されており、その影響も受けると考えられる。実際に紙力増強剤を選定する際には対象となるマシンの抄紙条件に沿った評価を実施し、最適な薬品をご提案させていただく。

## 5 PS-4000のCO<sub>2</sub>排出量算出結果

PS-4000、PS-4100は高濃度化とバイオマス素材の活用により、以下のCO<sub>2</sub>排出量削減効果があると期待される。

- 原料・製造・排水処理にて発生するCO<sub>2</sub>
- 輸送燃料由来のCO<sub>2</sub>

⇒濃度25%のPS-4000、4100は濃度20%の従来品と比較すると輸送回数が2割削減される。

当社では各製品のCO<sub>2</sub>排出量の算出を適宜おこなっておりPS-4000についても試算した。従来品Aと比較した結果を表5に示す。この場合、PS-4000(濃度25%品)は従来品A(濃度20%品)対比でCO<sub>2</sub>排出量の14%削減が期待される。(削減率は輸送距離に応じて変動する)

製品固形1t当たりのCO <sub>2</sub> 排出量(指数)	従来品A	PS-4000
①原料・製造・排水処理	65	59
②運搬	35	28
合計 (製品固形1t当たり)	100	86

※従来品AのCO<sub>2</sub>排出量(t-CO<sub>2</sub>eq / t)の合計を100として指数で表記  
※工場間距離100km(往復200km)と仮定  
※CO<sub>2</sub>排出原単位は、環境省発行資料「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出単位データベース(Ver.3.1)」より算出

表5 従来品AとPS-4000のCO<sub>2</sub>排出原単位比較

また、「働き方改革関連法」施行による2024年4月1日からのトラック運転手の時間外労働の上限制限により物流業界に生じる「2024年問題」に対しても高濃度化による輸送頻度の削減で貢献できると考えている。

## 6 まとめ

本報では両性ポリアクリルアミドに機能性バイオマス素材を配合することで、製品濃度を20%から25%に高め、かつ性能を維持できるPS-4000、PS-4100について紹介した。今回開発したPS-4000、PS-4100は段ボール古紙を用いた抄紙評価にて従来品対比でパルプ凝集性、紙力増強剤定着率、各種強度は同等以上で、PS-4000は中芯マシンとAlum添加率が高いライナーマシン、PS-4000はライナーマシンでの使用に適していると考えられる。また、PS-4000、PS-4100は製品の高濃度化により輸送回数の削減および輸送燃料由来のCO<sub>2</sub>の削減が期待され、PS-4000、PS-4100の使用により従来品対比ライフサイクルでのCO<sub>2</sub>低減が見込まれる。

当社では持続可能な社会の実現に貢献する製紙用薬品の研究開発を進めており、こうした取り組みを通して製紙業界の発展に貢献していきたい。