

高濃度紙力増強剤と新規定着剤による環境対応型製紙用薬品システム

A new Environmentally Friendly Papermaking Chemical System Using a High-Concentration Paper Strength Agent and a Novel Fixing Agent



相川慶博

相川慶博

Yoshihiro Aikawa

研究開発カンパニー 研究開発センター 製紙用薬品開発室

Paper Chemicals Development, R&D Center, R&D Company

1

はじめに

2015年の国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において、地球温暖化対策の一環として温室効果ガスの排出量削減を目的とする国際的枠組みである「パリ協定」が採択された。これを受け、製紙関連各社では、自社の事業活動におけるCO₂排出量の削減目標を掲げる動きが進んでいる。この動きは、原材料調達、物流・流通、製品の使用および廃棄など、自社の活動範囲外における排出も含めたサプライチェーン全体でのCO₂排出量削減へと拡大している。また、CO₂排出量の削減に加え、化成品原料を石油由来からバイオマス素材へ転換することで環境負荷の低減を図る動きも見られている。

一方、2019年の労働基準法改正により時間外労働の上限が規定され、猶予期間を経て2024年度から本格的に施行された。物流業界においては、トラックドライバーの時間外労働上限規制および改正改善基準告示が適用され、労働時間の短縮に伴う輸送能力の不足が懸念されてきた「物流の2024年問題」が現実のものとなった。現時点では、懸念されていた輸送能力の著しい低下や全面的な物流の崩壊には

至っていないものの、問題が解決したわけではない。構造的な変化としてドライバーの拘束時間は減少しつつあるが、本質的な人手不足などの課題は依然として残されている。さらに、具体的な対応が講じられない場合には、2030年には輸送能力が34.1%不足するとの試算¹⁾も示されており、今後も物流問題は拡大していくとの認識が一般的となっている。

本稿では、製紙関連業界における環境負荷低減、省エネルギー、そして物流問題といった社会的課題の解決に貢献すべく、新たに開発した製紙用薬品として「高濃度紙力増強剤」と「定着剤」を紹介する。加えて、紙力増強剤と定着剤を併用する「製紙用薬品システム」として提案する。

2

開発品「高濃度紙力増強剤」と「定着剤」

2-1 社会的課題に貢献する紙力増強剤

まず、表1に当社のポリアクリルアミド（以下、PAM）系紙力増強剤の製品構成を示す。当社はPAM系紙力増強剤として「ハーマイドEXシリーズ」（洋紙用）、「ハーマイドRBシリーズ」（板紙用）を幅広く展開している。加えて、

表1 当社の内添紙力増強剤

分類	製品名	イオン性	濃度%	用途・特徴
汎用品	ハーマイド EXシリーズ	両イオン性	20	洋紙用内添紙力増強剤、広範な抄造条件で良好な紙力効果
	ハーマイド RBシリーズ	両イオン性	20	板紙用内添紙力増強剤、広範な抄造条件で良好な紙力効果
法規制対応品	ハーマイド C-10	アニオン性	10	米国・FDA、ドイツ・BfR、中国・GB9685 適合品 食品包装用の紙・板紙向けの紙力増強剤として使用可能
	ハーマイド KSシリーズ	両イオン性	20	米国・FDA、中国・GB9685 適合品 食品包装用の内添紙力増強剤、ピッチコントロール剤として使用可能
	ハーマイド T2	両イオン性	20	米国・FDA、ドイツ・BfR、中国・GB9685 適合品 ※上記主要3規制に対応可能（両イオン性PAMとして世界初） 食品包装用の内添紙力増強剤、ピッチコントロール剤として使用可能
環境対応品	ハーマイド RBシリーズ	両イオン性	20	Alumゼロ〜少量条件に対応 パルプへの自己吸着性付与、抄造条件の変化にも安定した効果
	開発品	両イオン性	25	高濃度タイプA：紙力増強効果を重視 環境負荷低減（CO ₂ 排出量削減）に貢献、Scope3対応に有効
		両イオン性	25	高濃度タイプB：濾水・歩留り効果を重視 環境負荷低減（CO ₂ 排出量削減）に貢献、Scope3対応に有効

近年では、食品包装材に使用される間接食品添加物として取り扱うことができ、FDA（米国食品医薬品局）、GB9685（中国国家衛生健康委員会）、BfR（ドイツ連邦リスク評価研究所）が管轄する食品接触材料に対する推奨基準、さらに日本製紙連合会の暫定ポジティブリストといった各国の規制に対応した製品が求められている。当社はこれらの規制に対応した製品として、FDAおよびGB9685基準を満たす「ハーマイドKSシリーズ」、両イオン性のPAM系紙力増強剤として初のFDA、BfR、GB9685といった世界的な主要3基準を満たす「ハーマイドT2」をそろえ、顧客のさまざまなニーズに対応している。

ところで、Alum（硫酸バンド）は各種製紙用薬品に対する安価かつ有用な定着助剤として広く使用されているが、この助剤には臭気（硫化水素）の発生や排水処理の阻害要因となるCOD（化学的酸素要求量）増加を引き起こす可能性がある。また、スケール（無機塩類の析出物）発生による設備への悪影響や、それに伴う設備洗浄などの負担も大きく、Alumの削減、ひいてはAlumを未使用とするニーズが増えつつある。しかし、単にAlumを削減すると製紙用薬品の歩留り低下や抄造系内への夾雑物蓄積などにより、紙の品質低下につながる場合がある。この課題に対して当社は、Alumによる定着に頼らずにパルプへの自己定着力を向上させた製品を開発し、顧客から高い評価を得ている。一方、製品濃度を従来の20%よりも高めた紙力増強剤の開発を進めてきた。

2-2 高濃度紙力増強剤「ハーマイド高濃度タイプ」と適用事例

新たに開発した高濃度紙力増強剤「ハーマイド高濃度タイプ」は、幅広い抄造条件に対応できるようイオン性モノマー導入量が異なる2つの品種を展開している。ハーマイド高濃度タイプの物性と特徴を表2に示す。

表2 ハーマイド高濃度タイプの物性と特徴

PAM	濃度 %	pH	粘度 mPa・s (25℃)	特徴
ハーマイド 高濃度タイプA (両イオン性PAM、イオン量 少)	25	3.0～5.0	5,000～15,000	紙力増強効果を重視
ハーマイド 高濃度タイプB (両イオン性PAM、イオン量 多)	25	3.0～5.0	5,000～15,000	濾水・歩留り効果を重視

従来のPAMは濃度20%品が主流であり、この20%品と同様の作業性、ハンドリングを保持させながら、高濃度化を図るためには製品粘度の維持が大きな課題であった。既存の重合方法では、従来品と同じ物性（分子量）を維持しながら25%へ高濃度化した場合、20%で10,000mPa・s以下であった粘度が、5%ほど濃度を上昇させただけで30,000mPa・s以上へ大きく上昇する。そのため、この課題を解

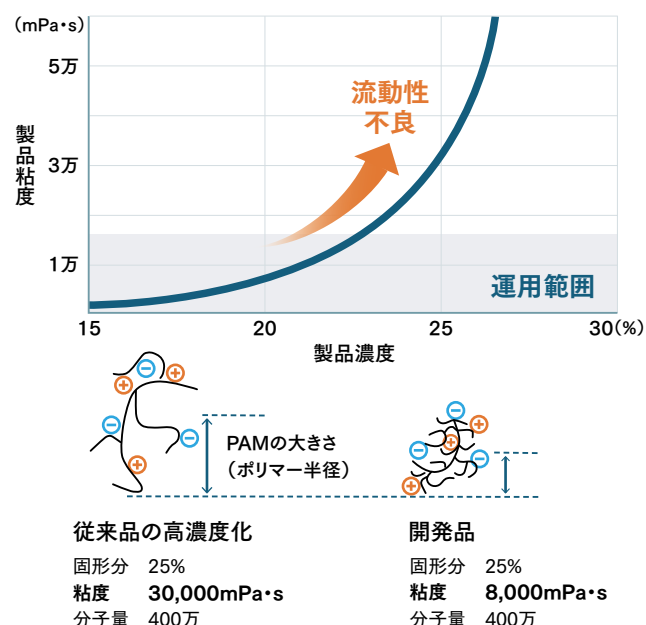


図1 PAM高濃度化による課題と開発品のモデル図

決すべく粘度と分子量を維持させる技術の開発に注力した。その開発課題に関するイメージを図1に示す。従来手法によって得られるPAMのポリマー構造に対して、ポリマーの分岐構造を進めて高分岐化させることで、ポリマー半径を適切な範囲に設計した。その結果、従来の20%品に対して同程度の分子量を維持することができ、紙力増強剤としての諸性能を維持しつつ、粘度を8,000mPa・s程度に抑制した濃度25%品「ハーマイド高濃度タイプ」の開発に成功した。

次に、海外製紙会社のライナー抄造系で行った、ハーマイド高濃度タイプA（低イオン型）の適用テスト結果の概要を表3に示す（PAM添加量はパルプ対比の固形添加量で記載）。生産性および紙質面、抄造系内状態も含め、ハーマイド高濃度タイプAは従来の20%品と同程度の効果を発揮しており、性能面でも遜色ないことが確認された。

表3 海外製紙会社における実機評価結果

項目		ハーマイド 従来品 (20%)使用	ハーマイド 高濃度 タイプA(25%)使用
PAM添加量 (表/中/裏層)	固形%	0/0.4/0.4	0/0.4/0.4
抄速	m/min	400	400
圧縮強度	指数	100	102
破裂強度	指数	100	101
層間強度	指数	100	100
SS-OPR (表/中/裏層)	%	61/69/76	61/69/75

1) Alum量：全層平均で1.3%程度 2) 圧縮強度、破裂強度、層間強度は従来20%品使用時の数値を100とした場合の指数として表記

また、同様に国内製紙会社のライナー抄造系において、ハーマイド高濃度タイプB（高イオン型）の適用テストを行った。そのテスト結果の概要を表4に示す。ハーマイド高濃度タイプAと同様に、従来の20%品と同等の効果およ

表4 国内製紙会社における実機評価結果

項目		ハーמיד 従来品 (20%)使用	ハーמיד 高濃度 タイプB(25%)使用
PAM添加量 (表/中/裏層)	固形%	0.3/0.3/0.2	0.3/0.3/0.2
抄速	m/min	840	840
圧縮強度	指数	100	99
破裂強度	指数	100	101
層間強度	指数	100	100
SS-OPR (表/中/裏層)	%	60/86/86	64/89/85

1) Alum量：全層平均で0.25%L程度 2) 圧縮強度、破裂強度、層間強度は従来20%品使用時の数値を100とした場合の指数として表記

び性能を発揮していることが確認された。

2-3「定着剤」と適用事例

近年、Alumの使用量減少を主要因とする抄造pHの中性化や新水使用量の削減、抄造系のクローズド化（抄造用水の循環再利用）、原料古紙への無機物質混入量の増加による高灰分化が進行している。これにより、抄造系は紙力増強剤やサイズ剤といった内添薬品の効果が発現しにくくなっており、一般的には薬品添加率を高めて補っている。また、より高強度の紙・板紙を得る場合にも紙力増強剤の添加率を高めて対応するが、一定の添加量域を超えると、添加量の増加に見合う紙力向上が得られず、頭打ちの状態となる。このような状況への対応策として、当社では内添薬品の効果を最大限に発現させる定着剤を新たに開発した。

紙力増強剤使用時にこの定着剤を併用すると、紙力増強剤のパルプへの歩留り向上や、パルプとの相互作用の強化といった相乗効果によって、紙力増強剤単独では達成困難であった紙力レベルに到達させることが可能となる。これにより、紙力増強剤やサイズ剤の使用量が削減でき、結果として各種薬剤の製造および輸送に伴うCO₂排出量の低減が可能となる。さらに、この定着剤は、濾水性や歩留りの向上にも寄与することから、乾燥性改善による蒸気使用量の削減、抄速・生産性の向上、エネルギー使用量削減への貢献も期待できる。

表5に定着剤の性状と特徴、図2に効果発現イメージを示す。この定着剤は水溶性ポリマーを主成分とし、他の内添薬品と同様の方法で添加・使用することができる。

定着剤をPAM系紙力増強剤と併用する際は、PAM添加

表5 新規定着剤の性状と特徴

外観	黄色～淡褐色透明	特徴	薬品定着を改善し、歩留りや濾水性の向上に寄与する。特にPAM系紙力増強剤と併用することで強度を向上させることが可能。
固形分	10～12%		
pH	2.0～4.0		
粘度	500mPa・s以下		
溶解性	水に易溶		

25℃条件下での測定値

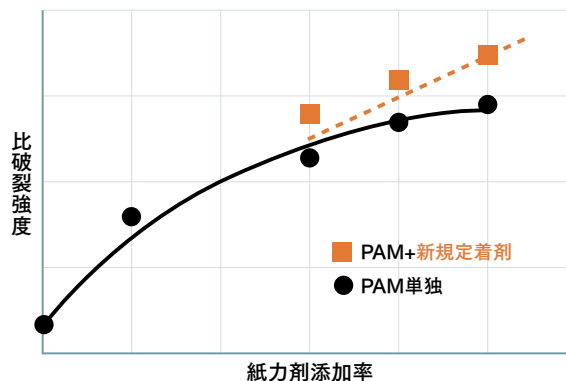


図2 新規定着剤の適用イメージ

量に対して5～15%（固形比率）の添加を推奨する。添加場所については、強度向上が目的であればPAMの直後、あるいはPAMと同時に添加することで、効果を最大限発揮させることができる。濾水歩留りの改善が必要な場合は、白水濃調後の添加が望ましい。なお、内添薬品が未使用な条件においても濾水性や歩留りの向上による抄造・生産性の改善が期待されるため、定着剤の単独使用に加え、先に紹介した高濃度紙力増強剤（25%品）との併用も有効である。

次に、定着剤の海外製紙会社の紙管原紙抄造系における適用事例を挙げる。結果概要として操作性および強度工程値を表6に示す。定着剤の適用によりPAM系紙力増強剤と層間澱粉の使用量削減、抄速の上昇が観察された。ここでは、PAC使用条件での事例を挙げたが、国内製紙会社で広く使用されるAlum使用や未使用の条件でも同様の効果が得られると考えている。

表6 新規定着剤の実機評価結果

項目		テスト前 PAM単独	テスト① 定着剤併用	テスト② 定着剤併用
PAM系紙力増強剤	固形%	0.42	0.40	0.32
層間澱粉	固形%	5.6	4.8	4.6
新規定着剤	固形%	-	0.03	0.06
抄速	m/min	258	278	285
蒸気圧	指数	100	98	92
圧縮強度	指数	100	100	99
破裂強度	指数	100	97	101

1) PAC併用 2) 蒸気圧、圧縮強度、破裂強度はテスト前の数値を100とした場合の指数として表記

3

社会的課題への貢献

3-1 製紙会社のCO₂排出量削減と2024年問題への貢献

製紙産業のサプライチェーンにおける温室効果ガス排出イメージを図3に示す。サプライチェーン排出量とは、自社の事業に関わる原材料調達から製造・物流・使用・廃棄までバリューチェーン全体で発生する温室効果ガス排出量（Scope 1、2、3の合計）を指す。製紙会社にてサプライ



図3 温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）排出のイメージ

チェーン排出量を試算するには、Scope 3 試算のためにサプライヤーの製品についても使用量当たりのCO₂量を計上する必要があります。

当社の加古川製造所は2005年よりバイオマス発電設備を稼働させている。その結果、当製造所で製造されるPAM系紙力増強剤は、購入電力を使用して製造する同製品に対してCO₂排出量を20～30%程度に抑えることが可能と算出されている。また、PAM系紙力増強剤の主流製品は製品濃度（有効成分）が20%である。この製品濃度を高めたうえで、固形換算量あたりの性能が同等であれば、濃度が高まる分だけ薬品の運搬頻度を下げることが可能となるため、運搬に要するエネルギー、CO₂排出量が削減でき、サプライチェーン排出量（Scope 3）への多大な貢献が期待される。さらに、薬品運搬頻度の削減は、輸送時間や荷待ち・荷役時間削減にもつながり、荷待ち・荷役時間が比較的長い業種とされる紙・パルプ分野²⁾においては物流問題の改善に向けた貢献も大きい。

3-2「高濃度紙力増強剤」使用による製品輸送でのCO₂削減効果

PAM系紙力増強剤について、製品濃度20%品から25%の高濃度タイプに置換した際の、薬品輸送およびPAM製造時におけるCO₂排出量について試算した（表7）。各交通手段によるCO₂排出量は公開されているデータ³⁾、PAM製造に関わるCO₂排出量は当社加古川製造所内製造条件での算出データを用いて試算し、従来の20%品を100km先に輸送する際に発生するCO₂量を100とした指数にて表記している。新たに開発した製品濃度25%のハーמיד高濃度タイプは、ポリマー設計の工夫や製造処方の最適化により、製造時にかかるエネルギーおよびCO₂排出量を従来20%品対比で12%程度削減でき、輸送時の製品濃度上昇分を反映させると、

表7 CO₂削減効果の試算結果

PAM		製品輸送		輸送時CO ₂ 排出量(指数)	製造時CO ₂ 排出量(指数)	CO ₂ 排出量合計(指数)	同輸送条件でのCO ₂ 排出量削減率
品種	製品濃度	距離(km)	交通手段				
従来品	20%	100	営業用貨物車	82	18	100	-
		300	営業用貨物車	247	18	265	-
		3,000	船舶	510	18	528	-
新規高濃度品	25%	100	営業用貨物車	66	16	82	▲18.0%
		300	営業用貨物車	197	16	213	▲19.6%
		3,000	船舶	408	16	424	▲19.7%

各CO₂排出量は、PAM従来品1tを製造し、100km先に輸送する際のCO₂総排出量を100とした指数で表記した

トータルで20%程度のCO₂削減効果が期待される。

3-3「定着剤」使用およびPAM系紙力増強剤の併用によるCO₂削減効果

定着剤は先の第2項で示したように、使用によりPAM系紙力増強剤と層間澱粉の使用量削減、抄速の上昇が観察された。このことから、紙力増強剤などの使用薬品の削減によるCO₂量の削減（Scope 3）と、蒸気エネルギーの削減（Scope 1、2）にもつながるものと考えられる。

PAM系紙力増強剤の開発品であるハーמיד高濃度タイプ（25%品）と定着剤の効果をそれぞれ紹介した。ハーמיד高濃度タイプの適用によって薬品輸送頻度、CO₂排出量が従来対比で削減でき、また定着剤の併用によって各種薬品使用量、それに伴うCO₂排出量がさらに削減可能と考えられ、製紙会社のScope 3 原料調達への多大な貢献が期待できる。一方、定着剤は紙・板紙製造時の蒸気エネルギーなどの削減も可能とし、Scope 1、2におけるCO₂排出量低減につながるものと思われる。この定着剤とPAM系紙力増強剤との併用は、製紙関連産業の環境調和および社会的課題への貢献の可能性を大いに秘めた「環境対応型製紙用薬品システム」になり得ると考えている。

4

おわりに

企業を取り巻く社会環境が大きく変化する中、「自然の恵みをくらしに活かす」という企業理念のもと、当社は地球環境と共存し、社会とともに発展することを目指して、環境負荷の低い製品の開発および市場投入を推進している。本稿では、新たに開発したハーמיד高濃度タイプに加え、さらなる環境負荷低減に貢献する定着剤とPAM系紙力増強剤を併用する環境対応型製紙用薬品システムとして紹介した。これらは、製紙会社のサプライチェーンにおける排出量低減（Scope 1、2、3）に大きく寄与する新技術であると考えている。

当社はハリマ化成グループの一員として、今後も環境負荷低減などの社会的課題の解決に貢献する製品を開発し、持続可能な社会の実現を目指していく所存である。

参考文献

- 1) 経済産業省HP、持続可能な物流の実現に向けた検討会（令和5年8月 最終取りまとめ）
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/sustainable_logistics/pdf/20230831_1.pdf
- 2) 国土交通省HP、トラック輸送状況の実態調査結果
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001409523.pdf>
- 3) 国土交通省HP、運輸部門における二酸化炭素排出量「輸送量当たりの二酸化炭素の排出量（貨物）」
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html