ハイフローテーターの紹介 構造及び操業結果

(株)プラント建築設計研究所 宮 部 範 司

“Hi-FLOTATOR” a new cyclone-type flotation cell designed for deinking, which has been developed by Shinham Pump Mfg. Co., Ltd.

Noriji Miyabe

Executive Director Plant Construction Design & Research Co., Ltd.

Japan TAPPI gave praise to Mr. Morizane, the president of Shinham Pump Mfg. Co., Ltd., who developed the new flotation cell which was based on his own idea.

The kneading process is used to improve the quality of deinked pulp by helping to release the ink particles from the surface of the fiber.

A certain portion of the ink particles are small in size. These small particles are difficult to remove by conventional flotation cells.

It has been proven in both pilot plant and commercial scale runs that the new type of flotation cell has excellent small particle removal efficiency.

This makes it possible to reduce the amount of wash water required and, to potentially reduce the size of the washer itself.

The new “Hi-FLOTATOR” has other advantages apart from excellent ink removal, these include clean operation, compact design, reduced maintenance and increased energy savings due to fewer motors and pumps.

To date, Nippon Paper group has installed 11 “Hi-FLOTATOR” plants in 8 mills. In this paper, I will show some comparisons between the “Hi-FLOTATOR” and other flotation cells that are in operation in our mills.

1. ま え が き

コスト節減のために始まった古紙再生利用は今や世界的な省資源・省エネルギーによる環境保護の観点と、ゴミの減量化も含めたりサイクル運動によりノルマ化されつつある。特に日本では世界に先がけ、1991年4月に公布されたりサイクル法により、日本製紙連合会が自主的な目標として掲げた'95年度古紙利用率55%を一年繰り上げることが目標とされている（平成6年度55%）。DIP配合率のアップに伴い当然脱墨率の向上が要求される。従来タイプフローテーターは滞留時間やG/Lを大きくして性能を良くする傾向にあり、大型且つエネルギー多消費型になって来ている。特に近年はより脱墨率を上げるためと“ヒゲ”や“赤玉・

青玉”を無くするためにニーディングによりインクの微粒子化・分散化を計る傾向にあり、従来は洗浄分野とされていた数 μ 以下の微小なインク片までもフローテーターによって除去することが必要となってきた。

本稿で紹介するハイフローテーターは(株)新浜ポンプ製作所の独自の開発によるもので種々の試行錯誤を経て完成され、平成5年度の佐々木賞を受賞されたフローテーターである。数 μ から200 μ 以上までのインク片・填料類及び微細な軽量異物・粘着物等が高性能に除去でき、滞留時間が2~3分と極めて短く、G/Lは4~8/8セルと比較的少ない。コンパクトな密閉型サイクロンであるため、従来のフローテーターの汚いイメージを一掃し清潔で作業環境が良いほか、稼働部が

ないためメンテナンスフリーであり操業も極めて安定している、またポンプ以外の動力は不要であるため、電力原単位が少なく省エネ的であるが、他方、処理濃度が高くなると繊維ロスが多くなる傾向があり、低目の濃度で運転するか2次フローテーターの強化が必要である。

日本製紙(株)釧路工場では'86年に既設ラインの補完用に開発当初のHIF-10型の第1号機を採用した。インク除去率は平均的には満足の行くものであったが、変動幅も大きく、良い時は極めて高効率であったため、高位安定が出来れば素晴らしいフローテーターになると予測されたので、透明なサイクロンにより旋回流の調整が出来る様にすることを前提に、'88年に石巻工場に新型のHIF-20型の第1号機を採用した。その結果が良好であったので、日本製紙Gでは合計11プラントにハイフローテーターを採用している。本来ならば本紹介記事は(株)新浜ポンプ製作所殿が行うべきかと思われるが、上記経過もあり、また操業データを盛り込んだ内容にとの要望であったので先越ではあるが引き受けすることにした。

古紙によって脱墨性が大幅に変動すること、及びパルパーの種類、ニーディングやソーキングの有無・滞留時間或いは晒薬品・脱墨剤の種類や添加率等により脱墨性が変わるため、フローテーターの性能比較は極めて困難であるが、たまたま釧路工場や石巻工場で同一系統にハイフローと他機種種のフローテーターを使用しているので、それらの比較からハイフローの性能を調査した結果を紹介する。またその解析の中から使用方法の反省等も含め言及してみた。

2. 開発初期のハイフロー及び旧型ハイフロー

図1は開発初期のハイフローの断面図である。サイクロンシリンダーの上部に搭載したヘッダーから原料がエジェクターで外気を吸引してサイクロンに入り、遠心分離された空気が上部よりフロスを排出し、下部よりアクセプトが排出される。サイクロン下部の固定のエルトリエーターによってフロスの分離は助長される。図2は旧タイプハイフローの系統図である。原料インレットヘッダー及び複数のエジェクターノズルを装備したノズルケースがサイクロンシリンダーに直結され、下部のエルトリエーターがお椀型に改善されている。

釧路工場ではDIPの増産に伴うフローテーターの能力増強のためにこの旧タイプHIF-10型を採用した。その操業データを図3に示す。A、B社のフローテーターをシリーズに用いて処理していた中間にHIF-10

図1 開発初期フローテーター

図2 旧タイプハイフロー系統図

型2セル×2段処理を追加した場合の、1セル当りのインクカット率(点線)は処理濃度1.0%で7%~16%と、石巻工場の新聞古紙を使用したパイロットテスト結果(実線)よりも2~3%良い結果であった。

また●印は H_2O_2 添加率0.1%、▲印は0.3%添加時の実機でのテストの結果であり、インクカット率は相当大幅に変動している。▲印の内8点は、追加設置した図4に示すフロスガイドを調整した時のデータであるが、その結果は図5に示す様にフロスガイド位置200mmの時を除けば、他の要因の変動範囲内であり効果が判明しなかった。フロスガイド位置200mmの2つのデータを除く6点の平均値(1セル処理)を表1に示した。

図 3.1 ハイフローでの白色度アップ

図 3.2 ハイフローテーター入口インク量とインクカット率 (1セル当たり)

図 4 フロsgガイドの位置

フロsgの白色度は17.7%と低く灰分は28.1%であるが、ふるい分組成の150 m/sパスは80.3%と高く、フリーネスは98 ccと低い。またフロsg発生量は1.38%でインク量のカット率は8.8%であるが、ルーゼックスによる墨個数のカット率は19.8%、面積カッ

図 5.1 フロsgガイド位置とインクカット率

図 5.2 フロsgガイド位置とフロsg発生量

ト率は25.2%であり白色度は1.6%上昇している。通常は8セル処理であるため単純計算ではインク量のカット率は50%以上、インク個数カット率80%以上、面積カット率90%程度が期待出来た。前述の様な大幅な変動が心配であったが、インジェクターによる空気の吸引及びサイクロン下部のエルトリエーターの調整により、フロsgの発泡がコントロール出来れば画期的なフローテーターになるものと予想された。そこでインジェクターの性能アップと透明サイクロンによるフロsg調整装置の開発を条件として、石巻工場N-DIPのフローテーター150 T/日及び200 T/日2系列のう

表 1 ハイフロー廻り調査結果

サンプリング箇所	バルブ濃度	フリーネス	灰分	白色度及び色相				ふるい分組成					ルーゼックス量			インク量	フロス発生量
				白色度	L	a	b	24 Mesh on	42 Mesh on	80 Mesh on	150 Mesh on	150 Mesh pass	数平均径	個数	面積		
	%	ml	%	%	%	—	—	%	%	%	%	%	μ	10個/g	cm ² /g	%	%
1次ハイフロー入口	0.95	158	9.0	45.9	71.4	0.18	5.1	29.8	12.9	15.0	8.2	34.3	8.0	29.3	26.8	0.83	
1次ハイフロー出口	0.96	153	8.7	47.5	72.8	0.17	5.3	29.7	13.0	15.1	8.2	33.9	7.6	23.5	20.0	0.76	
1次ハイフローフロス	1.18	98	28.1	17.7	41.9	-0.47	-0.15	4.4	4.2	6.8	4.3	80.3			カット量 (%)		
備考 (フロス/入口)	1.22	1/1.6	3.1	1/2.6	1/1.7			1/6.8	1/3.1	1/2.2	1/1.9	2.3		19.8	25.2	8.8	1.38

ち、LWC 用に使用する晒 N-DIP 200 T/日系に第 1 号機の HIF-20 型を採用することにした。LWC 用に採用したのはインクカット量の多い時のサンプルに軽量異物・粘着物が少なかったことに魅力を感じたためであった。

3. 石巻工場に採用した HIF-20 型ハイフロー

(1) HIF 型ハイフローの改善

図 6 に HIF 型ハイフローの断面図を示す。

原料入口ヘッダーサイクロンコーン部に架台兼用で取り付け、サイクロン上部には吸気ヘッダーを、また空気の真空度制御用の CV を取り付けである。

コーン下部にボルテックスフロー調整装置を取りつけ、フロス出口弁との調整と合わせ内圧コントロールとフロス量の調整が出来る様になった。

(2) インジェクターの改善

図 7 にインジェクターの性能を示すが、従来型ノズルと比較して新型ノズルは高真空では大差ないが、低真空では 2 倍以上の G/L が可能となった。この新型ノズルとボルテックスフロー調整装置の開発により、表

図 7 インジェクターノズルの性能

2 に示す様に同一のノズル入口圧力 P_1 、原料流量 Q_1 でサイクロン内圧 P_2, P_3, P_4 を $0.05 \sim 0.08 \text{ kg/cm}^2$ 下げることが出来、G/L は同一真空度で 33~77% 増加している。このため、同一条件でサイクロン内部での噴流速度は 14~16% アップしサイクロン効果が増強された。

(3) 石巻工場フローテーターの比較

表 3 に石巻工場 N-DIP の未晒用フローテーターと晒用ハイフローの性能比較を示した。この両フローテーターはバルパー、スクリーン、濃縮、ニーディング、ソーキングまで全く同一ラインであるが、図 8 に示す様に 2 次フローテーターの回収原料を未晒用フローテーターに回収しているため、未晒用フローテーターの入口原料の白色度が約 0.5 ポイント低く、インク量が約 0.6% 多いのみである。入口インク量とインクカット量を図 9 に示した。

図 9.3 に見る如く両者ほぼ同一性能であるが、図 9.1, 9.2 を比較すると相関係数はハイフローテーターの方が大きくより安定していることが分かる。X 軸の切片が小さいことはハイフローの方がより微小のイン

図 6 HIF 型ハイフロー断面図

表 2 真空度及び各部の圧力並びに G/L

従来方式

V ₁ (mmHg)	P ₁ (kg/cm ²)	P ₂ (kg/cm ²)	P ₃ (kg/cm ²)	P ₄ (kg/cm ²)	Q ₁ (L/min)	Q ₂ (NL/min)	噴流速度 (m/s)	G/L
0	0.8	0.14	0.14	0.18	154	70	1.39	0.45
50	0.8	0.12	0.12	0.16	155	47	1.19	0.30
100	0.8	0.11	0.11	0.15	156	37	1.14	0.24

新方式

V ₁ (mmHg)	P ₁ (kg/cm ²)	P ₂ (kg/cm ²)	P ₃ (kg/cm ²)	P ₄ (kg/cm ²)	Q ₁ (L/min)	Q ₂ (NL/min)	噴流速度 (m/s)	G/L
0	0.8	0.09	0.11	0.12	151	93	1.44	0.62
50	0.8	0.07	0.08	0.10	153	81	1.38	0.53
100	0.8	0.03	0.05	0.07	158	62	1.30	0.39

ク片まで取れることを示しているものと思われる。

なお、図 10 は鉋路工場に採用した旧タイプの HIF-10 型 1 セル処理での入口インク量とインクカット量の関係であるが、相関係数は 0.42 であり、バラツキが大きく x 軸切片も極めて大きかったが、インジェクターノズルの新型化とボルテックスフロー調整装置の開発により、サイクロン効果が高位安定し相関係数は 0.946 となっている。

(4) インク粒径別のインクカット率

表 4 及び図 11 にインク粒径別のインクカット率を示す。初期のハイフローと A, C, D 3 社のフローレーターの比較から明らかな様に、10 μ 以下のインクのカット率には相当の差がありハイフローが優れている。

なお図 11 に現在のハイフローのパイロットプラントによる米国の低質上質古紙 (Super Mixed

Officewaste) の粒径別カット率を並記したが、他社フローレーターに比して 200 μ を越える粒径のインクまで相当に高いインク除去率となっている。表 5 は元データで米国 B. C. 社による測定値である。インクが除去し易い上質古紙とはいえ、10 μ 以上のインクのカット率は個数で 93~98%, インク量で 95~98% と良好である。

前述した様に今後更に DIP の配合率を上げるためには、ニーディングが必要不可欠になると思われるが、その際のフローレーターとしてはハイフローが適していると思われる。

(5) H₂O₂ 添加の影響

石巻工場では低白色度のパルプが少ないために末晒 N-DIP の白色度は 50 程度と低目にする必要がある。このため夏場の一時期を除いては H₂O₂ の添加はして

表 3 N-DIP フローター性能比較

年月日	未晒用フローター						晒用ハイロー					
	生産ベース (t/日)	濃度 (%)	白 色 (%)	インク量 (%)	インクカット率 (%)	ΔBr (%)	生産ベース (t/日)	濃度 (%)	白 色 (%)	インク量 (%)	インクカット率 (%)	ΔBr (%)
01/06/01	111	0.60	43.2	1.10	54.5	7.7	192	0.65	44.3	1.09	47.7	5.7
		0.65	50.9	0.50				0.57				
01/06/02	107	0.78	43.6	1.18	61.0	6.7	192	0.60	44.4	1.18	61.0	6.4
		0.78	50.3	0.46				0.46				
01/06/05	128	0.61	41.0	1.55	67.7	6.4	196	0.84	41.1	1.53	58.2	5.9
		0.72	47.4	0.50				0.64				
01/06/06	111	0.70	39.4	1.22	40.2	4.1	154	0.73	39.5	1.16	51.7	4.4
		0.91	43.5	0.73				0.56				
01/06/08	171	0.81	41.8	1.29	58.9	6.3	128	0.70	41.5	1.26	63.5	7.7
		0.97	48.1	0.53				0.46				
01/06/29	154	1.02	44.4	0.96	61.5	6.4	213	0.84	45.0	0.95	61.1	7.6
		1.02	50.8	0.37				0.37				
01/06/29	164	0.49	44.3	0.82	57.3	5.8	196	0.82	43.6	0.86	53.5	8.5
		0.74	50.1	0.35				0.40				
02/02/22	128	0.80	42.5	0.92	54.3	5.7	128	0.76	43.3	0.84	57.1	5.5
		0.85	48.2	0.42				0.36				
02/02/26	165	0.85	39.5	1.18	63.6	7.8	183	1.09	41.8	0.93	55.9	5.0
		0.98	47.3	0.43				0.41				
05/02/08	107	0.90	43.4	0.93	50.5	5.8	119	0.77	43.2	0.88	50.0	4.9
		0.95	49.2	0.46				0.44				
05/03/19	196	0.99	43.8	0.87	44.8	5.2	137	0.79	44.8	0.77	51.9	4.4
		1.01	49.0	0.48				0.37				
05/03/29	128	0.73	43.6	1.09	49.5	7.0	115	0.69	43.9	1.02	56.9	6.8
		0.84	50.6	0.55				0.44				
単純平均	139.2	0.773	42.54	1.093	55.3	6.24	162.8	0.773	43.03	1.039	55.7	6.07
		0.868	48.78	0.482				※55.9	※6.24	0.881		

(上段：入口，下段：出口)

(上段：入口，下段：出口)

※は単純平均による計算値

図 8 フローテーターのフローバランス

図 9.1 入口インク量とインクカット量(石巻工場N-DIP 未晒用フローテーター)

図 9.2 入口インク量とインクカット量(石巻工場N-DIP 晒用ハイフロー)

いないが、表 6 の様に 0.1~0.2% の添加で白色度は 2% 程度上昇し、インクのカット率も約 5% 上昇している。

(6) 電力原単位

フローテーション用の電力原単位は除塵やニードリングに比して少ないが、未晒用フローテーターとハイフローとでは約 15% ハイフローが少ない。

図 9.3 入口インク量とインクカット量

図 10 入口インク量とインクカット量 (ハイフロー 1セル処理)

(7) 各種フローテーターの比較

図 12.1 に各種フローテーターでのインク量変化を示す。

前処理の方法及び H_2O_2 の添加量によりインクカット量は大幅に変化するため単純な比較は出来ないが、ハイフロー及び石巻の末晒用フローテーターが高性能であることが明らかである。

表 4 ルーゼックスによる粒径別カット (DI-600 の時)

	粒径別個数 ($\times 10^4$ 個/g)				
	～ 4 μ	4～ 8 μ	8～ 12 μ	12～ 16 μ	16～ 20 μ
ハイフロー入口	2,160	1,155	538	140	52
1セル出口	1,080	562	272	101	38
3セル出口	577	301	210	16	21
10セル出口	222	118	15	30	15
個数カット率 η	89.7	89.8	97.2	78.6	71.2
D社 F/T 入口	1,203	636	342	140	112
D社 F/T 出口	364	139	96	43	19
個数カット率 η	69.7	78.1	71.9	69.3	83.0
C社 F/T 入口	1,676	958	435	152	112
C社 F/T 出口	461	270	127	32	16
個数カット率 η	72.5	71.8	70.8	78.9	85.7
A社 F/T 入口	1,259	597	305	140	112
A社 F/T 出口	460	176	90	36	18
個数カット率 η	63.5	70.5	70.5	74.3	83.9

図 11 インク粒径別カット率

表 5 米国 B. C. 社の測定値

DIRT COUNT-SHINHAMA "FORT HOWARD PACK" TRIAL								
SAMPLE	SUB-VISIBLE (10-52 micron)		VISIBLE (50-200 micron)		TAPPI (200+micron)		TOTAL	
	count	ppm	count	ppm	count	ppm	count	ppm
Pulpet out	2,448	3,154	152	3,660	9	7,629	2,610	14,443
Decker out	1,708	2,444	109	3,359	2	532	1,821	6,334
#1 kneader out	1,445	2,114	88	1,551	—	—	1,533	3,664
#1 Hi-con tower	2,048	3,240	146	2,838	1	331	2,197	6,409
First Flotation								
1 Hi-Flo in	1,611	2,118	78	1,299	—	—	1,689	3,417
1 Hi-Flo out	758	944	65	364	—	—	822	1,308
2 Hi-Flo out	782	958	24	455	—	—	806	1,413
3 Hi-Flo out	395	428	11	389	2	408	408	1,225
4 Hi-Flo out	337	351	8	241	1	158	346	750
5 Hi-Flo out	207	146	2	23	0	0	208	170
6 Hi-Flo out	220	211	6	99	0	0	226	310
7 Hi-Flo out	193	171	5	67	0	0	197	237
8 Hi-Flo out	164	147	3	62	0	0	167	209
#1 Washer	93.3	95.3	98.0	98.3			93.6	98.6

NOTE : count = #particles per 100 square millimeters

表 6 H₂O₂ 添加の影響

		未晒用フローテーター			晒 用 ハ イ フ ロ ー		
		入 口	出 口	差カット率	入 口	出 口	差カット率
H ₂ O ₂ 添加 せず	濃 度 %	0.99	1.01	+0.02	0.79	0.97	+0.18
	インク量 %	0.87	0.48	44.8	0.77	0.37	52.0
	灰 分 %	8.69	7.53	13.3	8.26	5.55	32.8
	白 色 度 %	43.8	49.0	+5.2	44.8	49.2	+4.4
H ₂ O ₂ 0.15% 添加	濃 度 %	0.73	0.84	+0.11	0.69	0.80	+0.11
	インク量 %	1.09	0.55	49.6	1.02	0.44	56.9
	灰 分 %	8.24	6.72	18.5	9.75	6.69	31.4
	白 色 度 %	43.6	50.6	+7.0	43.9	50.7	+6.8

表 7 フローテーション用電力

		未 晒 用 フローテーター	晒 用 ハイフロー
設備馬力/モーター台数	kW/台	624.5/17 台	446.3/14 台
入力消費電力	kW	410	464
完成原料日産	t/日	150	200
電力原単位	kWH/t	65.5	55.7

図 12.2 に各種フローテーターのフロスの比較を示した。

機種及びフロス排出率によりフロス中の繊維の篩分組成及び灰分に大幅な差がある。しかもこれはスポットのデーターであり、フローテーターの処理濃度及び脱墨剤の種類により大幅な変動がある。表 8 に示す如くハイフローのフロス灰分は通常は高い処理濃度を上げるとフロス中の繊維組成が増加し灰分除去は悪くなり脱墨率も低下する。図 13 に示す様にハイフローでは濃度が低目の方が白色度アップ及びインクカット量が

高い傾向にあり、後述するフロスの繊維回収と合わせ検討を要するものと思われる。

表 8 ハイフローフロス中の灰分

	石巻工場	釧路工場	勇払工場
1 セルフロス	19.3*	34.0	32.3
2 セルフロス	22.2	—	27.1
3 セルフロス	24.4	40.6	26.8
5 セルフロス	—	40.9	—
8 セルフロス	41.2	36.4	15.8

*No.1 セル給液量が少ない時と思われる

図 12.1 各種フローテーターの比較(インク量の変化)

図 13 石巻工場 晒用ハイフロー
(入口濃度—白色度アップ)
(入口濃度—インクカット量)

図 12.2 各種フローテーターのフロス比較

図 14 ハイフロー処理の DIP プラント

4. ま と め

種々記述した通り、HIF 型ハイフローは微細なインク片、填料等の分離効果は良好で図 14 に示す様に納入実績が急増しているが、今回本稿を書くに当たって種々に調査してみると、石巻工場未晒用フローターと石巻工場でテストした某社のフローターも微細なインク等のカット率及び電力原単位を除けば同レベルにある。世界的にみて全く獨創性のあるフローターを新浜ポンプ製作所(株)が独自に開発されたことに対し敬意を表すると共に今後、更に下記 2 項を含め改良を加えてより性能向上を計られることを期待したい。

① フロスの回収

図 8 に示した様に晒用ハイフローと未晒用フロー

図 15 フロス処理のフローバランス

テーターの繊維排出量は4.0%と3.6%で大差がない様であるが、前述した様に晒用ハイフローのフロスを回収を未晒用フローテーターに回収しているためであり、他工場の例では10%以上も廃棄している例もある。

図15の④は現在のハイフローの標準的なフローであり10%程度のフロス廃棄が必要であるが、⑤のフローに変更しフロス処理を強化すれば6%程度に減少出来る。また⑥のフローに変更すれば4~5%に減少で

きるものと思われる。

② サイクロン効果の向上

サイクロンコーン部の角度は新浜ポンプ製作所殿の経験から決められている筈であるが、理論的には角度を小さくするとサイクロン効果が大きくなり、フロスの発生面積も増加するので効率向上に寄与するものと思われる。