

住環境と木材利用科学

大学院農学生命科学研究科
生物材料科学専攻 製紙科学研究室

江前敏晴
えのまえ としはる

< 江前担当日 >

11月8日, 11月15日, 12月13日

この講義資料は次のURLからダウンロードできます。

<http://psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp/hp/enomae/lectures/Prints4Lectures.htm>

住環境と木材利用科学

< 江前の担当内容 >

1. 紙の製造とリサイクル (11月8日)
2. 紙と生活 (11月15日)
3. 紙と環境問題 (12月13日)

1. 紙の製造とリサイクル

一番影響を与えた人

- あるアメリカのインターネット上の投票で「現在までで自分に一番影響を与えた人」
- 第二位はイエス・キリスト。
- 第一位は蔡倫であった。
- 当然紙がなければ、出版技術も発達していないし、現在の(比較的)裕福な生活は保障されていなかったであろう

紙の起源

- 紙は、一説には蔡倫なる人物が紀元105年頃に発明したと言われているが、実際には製紙法の改良、製紙法の確立者である。
- 当時蔡倫が紙作りに用いたには、麻のボロきれや、樹皮、漁網(ぎょもう)などであった。



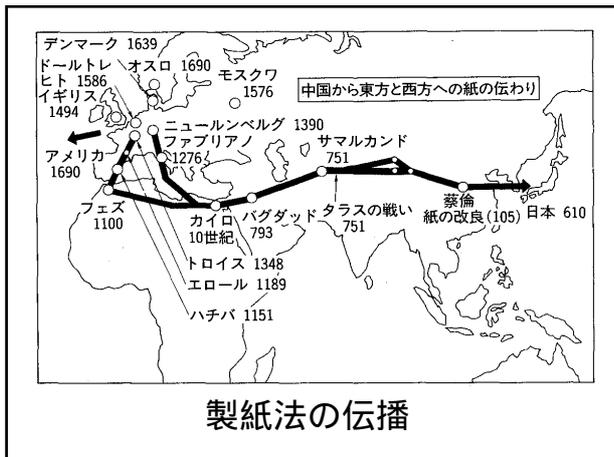
蔡倫

紙の起源

- 紀元前150年頃の世界最古の紙といわれている。
- 前漢時代の地図が書かれていた。



放馬灘(ほうばたん)紙



製紙技術の変遷-原料

- **靱皮繊維**
 - 大麻 中国・日本で布や網の材料(10 mm)
 - 亜麻 西アジア~ヨーロッパ(25 mm)
 - ボロ 布のリサイクル。原料は麻。
 - 綿 16世紀頃イギリスがインドから輸入。ボロとして。
 - ケナフ 麻の一種。森林保護のため1950年頃から。
 - コウゾ、ガンビ、ミツマタ(江戸時代から)。(10, 5, 4 mm)
- **木材**
 - 針葉樹、広葉樹 大量供給が可能(3, 1 mm)
- **プラスチック**
 - ユボ ポリプロピレンの合成紙。
 - 有機トランジスタ 電子ペーパー




グーテンベルグ
(1400年頃~1468年頃)

1445年頃に鉛合金の活字とアマニオイルを煮詰めた油性インク、ワイン絞り機にヒントを得た印刷用プレス機を発明した。

42行聖書を印刷し刊行

- 200部程度の聖書(42行聖書)を印刷し刊行した。
- 現代印刷技術の原型

紙との関係

- 紙の需要増大
- 紙の大量生産技術の発展
- 製紙原料としての木材利用開始
- 連続抄紙機の開発



過去二千年間で最も重要な発明

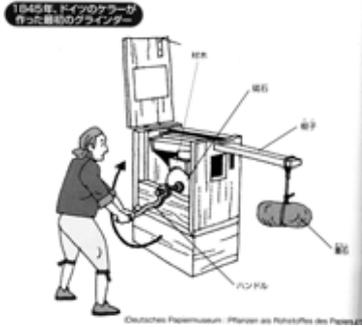
- 『米国の作家が、欧米の名だたる自然科学者らに「過去二千年間で最も重要な発明や発見は何か」と問いかけ、ノーベル賞受賞者を含む百人以上がインターネットの電子会議室で論争を続けている。「老眼鏡」「消しゴム」など意表を突く見解も出て、議論は当分続きそうだ。ニューヨークの作家ジョン・ブロックマン氏が主宰する電子会議室「エッジ」がその舞台。ノーベル物理学賞を受けた米フィリップ・アンダーソン博士ら**大勢が「印刷技術」を挙げた。特権階級が独占していた知識を大衆に広めた功績が評価された。**別の物理学者は「個人の感覚頼りだった時の経過を数量化した」という理由で「時計」を推す。…「地動説」や「数学」「微積分」のほか、「民主主義」「宗教」も有力だ。」
(朝日新聞1999年2月4日付け朝刊)

近代製紙産業技術史

1670	ホランダールピーターの発明(オランダ)
1719	レオミュールはスズメバチの巣を見て 木材から紙ができるはずと学会に提案(フランス)
1798	ルイ・ロベールが 長網抄紙機 を発明(フランス)
1844	ケラーが碎木パルプ を発明(ドイツ)
1851	ワットとバルガスは木材を原料としたソーダパルプ を発明
1852	フェルターが碎木機を実用化(ドイツ)
1856	ハーレイは初めて 段ボール の特許を取得(イギリス)
1856	ティルマンが 亜硫酸パルプ(Ca法) を発明(アメリカ)
1884	ダールがクラフトパルプ を発明(ドイツ)
1950	広葉樹材のパルプ化 始まる(日本)
1968	サーモメカニカルパルプ(TMP) を開発(スウェーデン)
1977	キノン添加パルプ蒸解法 の発明(日本)

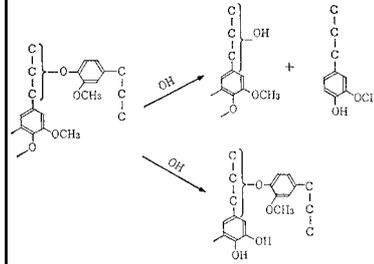
機械パルプ - 碎木パルプ

- 碎木(さいぼく)パルプ = GP or SGW ([Stone] Groundwood Pulp)



化学パルプ - クラフトパルプ

- クラフトパルプの蒸解(じょうかい)工程
NaOH + Na₂S、高圧下170 で5時間

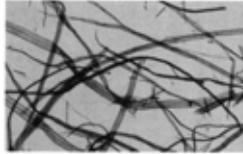


- 水酸化ナトリウムの役割は、リグニンを低分子化し、カルボキシル基や水酸基を生成して可溶性にする。
- 硫化ナトリウムは、低分子化の促進と溶出リグニンの再結合を防止

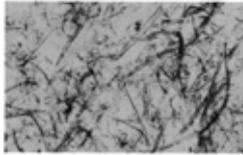
図 15 リグニンの低分子化

化学パルプ - クラフトパルプと機械パルプ

- KPIは、機械パルプに比べると、繊維に与えるダメージがはるかに少ないことがわかる。

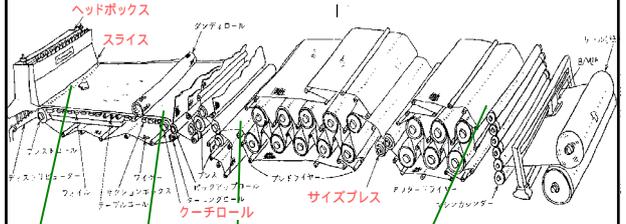


針葉樹類 クラフトパルプ



機械パルプGP

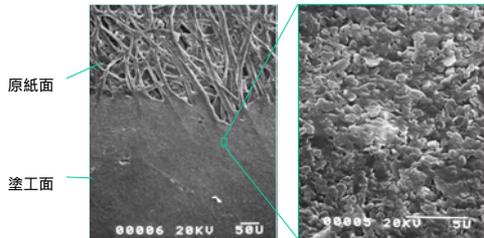
抄紙 - 抄紙工程(広義のワイヤーパート)と水分



パルプ	1 %	20 %	40 %	95 %
水分	99 %	80 %	60 %	5 %

塗工紙表面

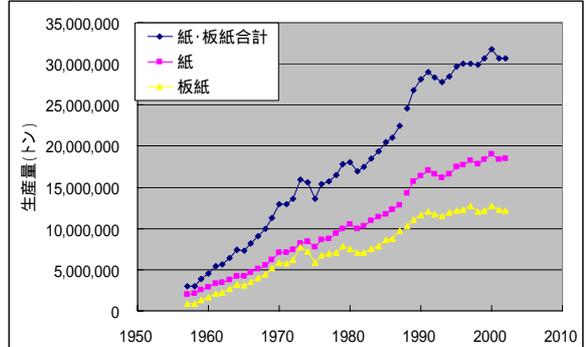
走査型電子顕微鏡写真



- 平滑性、白色度、不透明度、光沢の向上、液体浸透の制御などを目的とする。

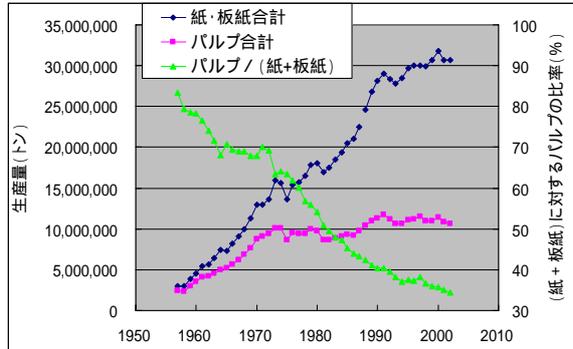
日本の紙・板紙の生産量

(経済産業省紙パルプ統計年報からグラフ化)

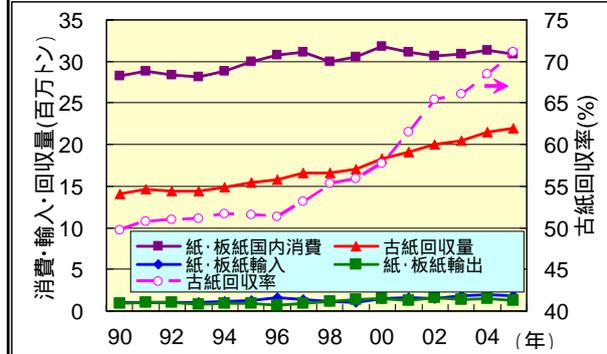


日本のパルプの生産量

(経済産業省紙パルプ統計年報からグラフ化)



古紙回収率推移



古紙回収率と古紙回収率

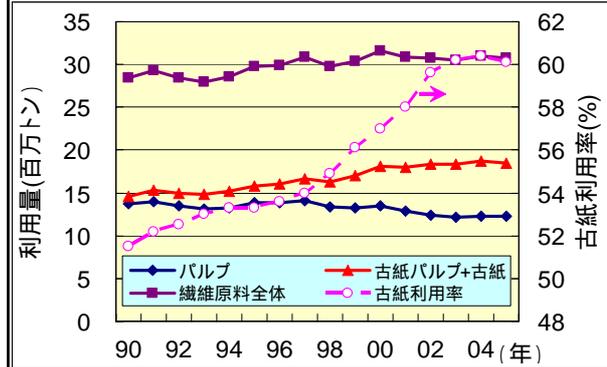
古紙回収率(%) = 紙の流通

$$\frac{\text{古紙国内回収量(メーカー入荷+輸出-輸入)}}{\text{紙・板紙国内消費量(メーカー払出-輸出+輸入)}} \times 100$$

古紙利用率(%) = 紙の製造

$$\frac{\text{古紙消費量+古紙パルプ消費量}}{\text{繊維原料合計消費量(パルプ+古紙+古紙パルプ+その他)}} \times 100$$

古紙利用率推移



紙の主要品種別古紙投入率 (2004年)



循環型社会の実現

- 循環型社会形成推進基本法(2000年6月)
- リサイクルと廃棄物に関する基本的な枠組み
- 循環型の新しいリサイクル社会の構築をめざす「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律(容器包装リサイクル法)」が制定されました。家庭から一般廃棄物として排出される容器包装廃棄物のリサイクルシステムを確立するため、「消費者が分別排出」し、「市町村が分別収集」し、「事業者が再商品化(リサイクル)」するという各々の役割分担を規定するものであり

古紙利用の義務付け

- 容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律(容器包装リサイクル法)
- 容器包装(ガラス製容器、ペットボトルなど)の製造事業者などへの、リサイクルの義務付け

容器包装リサイクル法

- 「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」が制定された。
- 家庭から一般廃棄物として排出される容器包装廃棄物のリサイクルシステムを確立するため、「消費者が分別排出」し、「市町村が分別収集」し、「事業者が再商品化(リサイクル)」するという各々の役割分担を規定する。

容器包装リサイクル法

	1997年	2000年
大企業	ガラスびん、ペットボトル	プラスチック製、紙製容器包装
中小企業	ガラスびん、ペットボトル	プラスチック製、紙製容器包装
小規模企業※	適用除外	

容器包装リサイクル法



- 容器包装リサイクル法とは？
- 紙製容器包装のリサイクルの流れは？

容器包装リサイクル法 - 分別回収

統計分類	主要銘柄	内容
上白カード	1 上白	製本・印刷工場、断裁所等より発生する印刷のない白色上質紙の載落及び損紙
	2 クリーム上白	製本・印刷工場、断裁所等より発生する印刷のないクリーム色上質紙の載落及び損紙
	3 雪白	製本・印刷工場、断裁所等より発生する白色又はクリーム色上質紙の青帯・トンポのある載落及び損紙
	4 カード	電子計算機等による使用済カード類
特白白マニラ	5 特白白	製本・印刷工場、新聞社等より発生する印刷のない中質紙の載落及び損紙
	6 中白	製本・印刷工場、新聞社等より発生する印刷のない更質紙の載落及び損紙
	7 白マニラ	紙器工場等より発生する着色及び印刷のないマニラボールの載落及び打抜き
模造上(アート古紙を含む)	8 模造	墨印刷のある上質紙
	9 色上	色刷りのある上質紙でアート紙も含む
	10 ケント	製本・印刷工場等より発生する一部色刷りのある上質及びアート紙の載落
	11 白アート	製本・印刷工場等より発生する印刷のないアート紙の載落及び損紙
	12 飲料用ハック	家庭等より発生する飲料用紙が並びに紙ハックの印刷・加工段階で発生する雑種及び損紙(アルミ付き紙ハックを除く)
	13 オフィスペーパー	オフィスより発生する紙及び紙製品で、主として製本していないリラの墨印刷・色刷りのある印刷物、使用済みのコピー用紙を含んでいるもの

家庭・オフィスで日常的に発生する古紙 家庭・オフィスで発生するが量の少ない古紙

容器包装リサイクル法 - 分別回収

切付中更反古	14 特上切	製本・印刷工場等より発生する色刷りのある中質紙の載落
	15 別上切(マンガサイラ)	製本・印刷工場等より発生する色刷りのある更質紙の載落
	16 中質反古	製本・印刷工場等より発生する印刷・色刷りのある中質紙の損紙
	17 クラフトマニラ	紙器工場等より発生する印刷・色刷りのあるクラフト紙の載落及び打抜き
新聞雑誌	18 新聞	家庭、会社及び官公庁等より発生する新聞及び残紙
	19 雑誌	家庭、会社及び官公庁等より発生する雑誌、書籍及び紙本(印刷用紙を含む)
	20 雑がみ	家庭より発生する紙・板紙及びその製品で、新聞・雑誌・段ボール・飲料用パック以外の区分で回収されたもの
茶樽造紙(洋段を含む)	21 切茶	製袋工場等より発生する印刷・色刷りのない製袋及び封筒のクラフト紙の載落
	22 無地茶	製袋工場等より発生する印刷・色刷りのないクラフト紙の損紙
	23 雑袋	セメント、薬品、肥料、食品等のクラフト紙の空袋
	24 クラフト段ボール	回収されたクラフト段ボール(主に輸入品)
段ボール	25 段ボール	段ボール・紙器工場、市中等より発生する段ボール
	26 ワンプ	新聞用紙、その他紙の包装紙で使用済みのもの
台地ボール新	27 上台紙	紙器工場等より発生する白版紙の載落及び打抜き
	28 台紙	紙器工場等より発生するチップボール、色ボール等の載落及び打抜き
	29 ボール	市中等より発生する白ボール、チャージボール、色ボール等の古紙及びそれに類似したもの

グリーンマーク

- (財)古紙再生促進センターが1981年5月に制定
- 古紙を原料とする製品の目印。40%以上の利用が原則として必要。トイレトーパーとちり紙は100%、コピー用紙と新聞用紙は50%以上。



紙のリサイクルの流れ



古紙を分別回収する



古紙を品種別にプレスし製紙工場へ

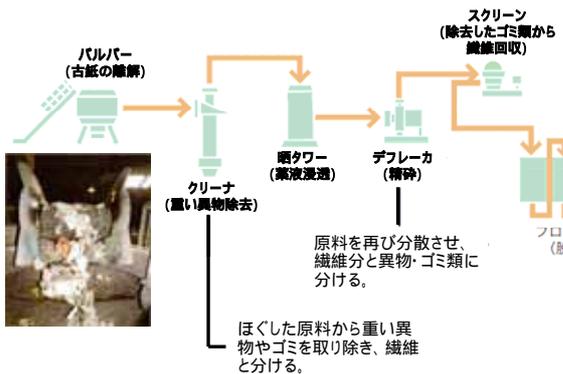


新しい紙に生まれかわる



古紙から紙をつくる

古紙から紙へのリサイクル工程(1)



古紙から紙へのリサイクル工程(1)

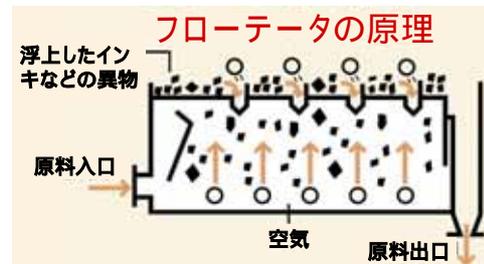


- 巨大なミキサー状の機械(パルパー)に古紙とアルカリ水等を投入し、腰をおかゆ状にほぐす。ほぐした原料は、機械底部の多孔板から次の工程へ移動する。

古紙から紙へのリサイクル工程(2)



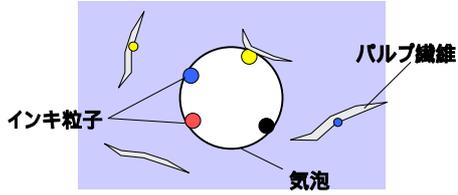
古紙から紙へのリサイクル工程(2)



- 晒タワーの薬液によって繊維から剥がされたインキを除去する工程。装置の下部から空気を送り込み、インキを洗剤の泡と一緒に浮かせて除去する。繊維は親水性なので下に沈み、インキと分けられる。

古紙から紙へのリサイクル工程(2)

フローテーション法(泡沫浮遊選鉱法)



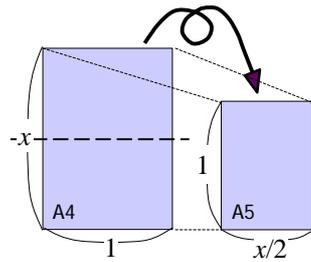
- 粉碎されたインキ粒子を含むパルプ繊維懸濁液に、界面活性剤を添加し、その後細かい多数の気泡を吹き込んで、その気泡表面に疎水性のインキ粒子を付着させ、浮上させて分離除去する方法。

2. 紙と生活

紙の寸法

■ 紙の規格サイズ

- A4, B5等の紙のサイズはISO規格で規定
- この規格サイズでは半分に切っても縦横比が同じ。つまり、A4サイズの紙を半分に切ってA5にしたとき90度回転させると、相似形
- A0サイズは面積が1 m²で、B0は1.5 m²

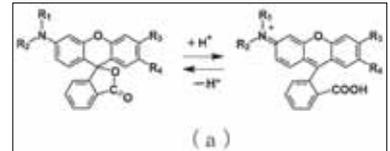


Q A4サイズの縦横の長さ(cm)を求めよ。

感熱紙

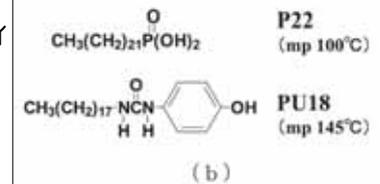
■ ロイコ染料(a)

- 酸性下でカルボキシル化すると発色



■ 顕色剤(b)

- 酸性化合物
- 結晶化するとロイコ染料と離れる



リライタブルペーパー

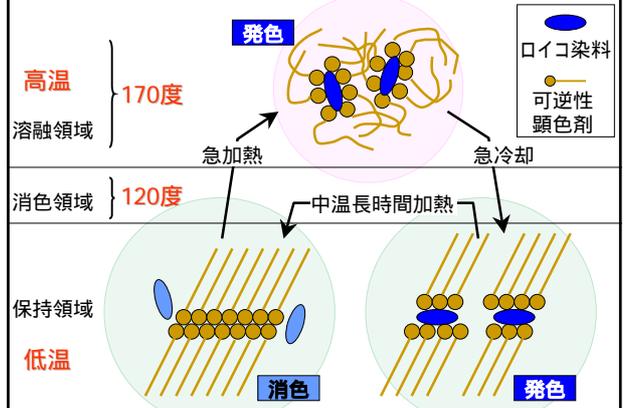
■ サーモライト

- 何度でも書いたり消したできる紙

サーモライトのカード



なぜ書いたり消したできる？

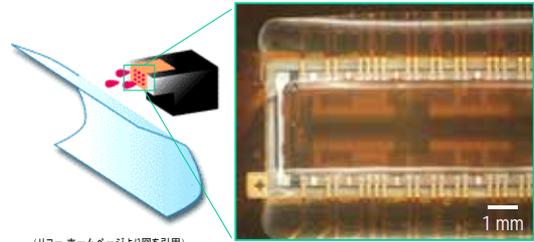


インクジェット紙

- 1.1. インクジェットプリンタ
- 1.2. インクジェット紙の製造と構造

インクジェット印刷とは

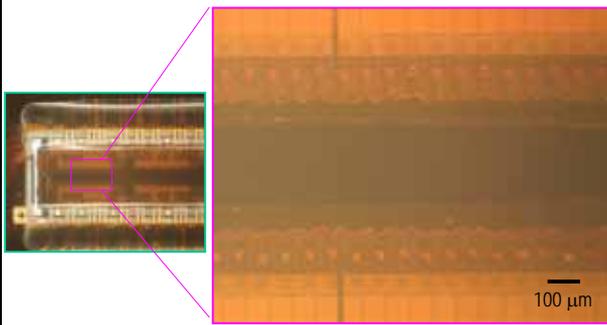
- インクの微細な粒子を紙に吹き付けることによって行う印刷の方法



(リコー ホームページより図を引用)

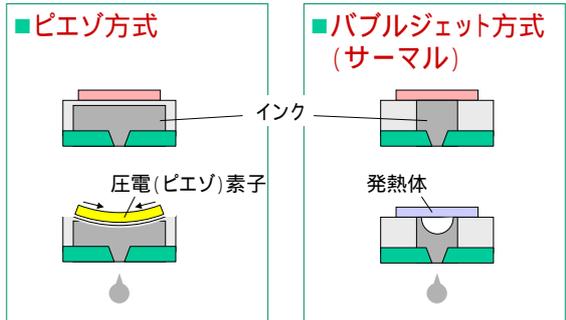
インクジェットヘッドの構造

ノズルの拡大図



インクジェットヘッドの構造

吐出(としゅつ)原理



インクジェット紙の画質の違い



- インクジェット紙
- コピー用紙
- インクジェット紙の裏
- オフセット印刷用塗工紙

インクジェット紙の画質の違い



ドット形状の比較

インクジェット紙とオフセット印刷用塗工紙の違い

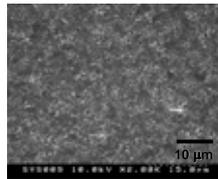
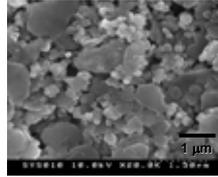


インクジェット紙



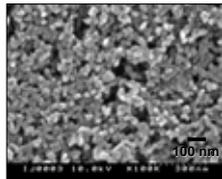
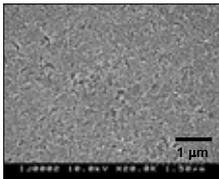
オフセット印刷用塗工紙

走査電子顕微鏡(SEM) 商業印刷用塗工紙



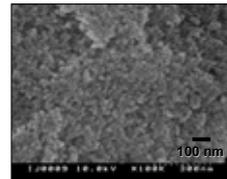
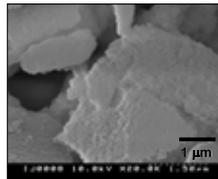
■オフセット印刷用塗工紙
炭酸カルシウム33% +
カオリン67%

走査電子顕微鏡(SEM) 写真画質専用紙表面



■インクジェット紙
Konica - Minolta
Photolike QP

走査電子顕微鏡(SEM) 汎用専用紙表面



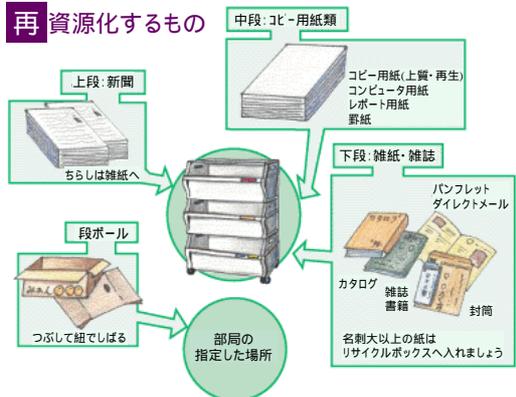
■インクジェット紙
三菱化学
Super High Grade

古紙の分別

- 新聞紙 (チラシ込み)
- 雑がみ (上質紙、雑誌など)
- 段ボール

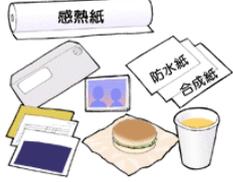


東京大学(本郷キャンパス)での古紙の分別



リサイクルの禁忌品

- 裏カーボン複写紙、感熱紙、写真、合成紙、捺染紙(アイロンプリント)、ノーカーボン紙

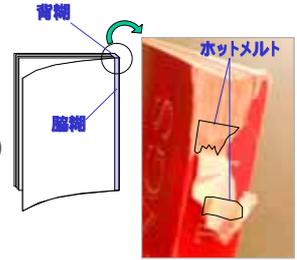


- プラスチック、ビニール袋、金具、クリップ、ガラス、セロハン、布、粘着テープ、フィルム



リサイクル対応材料(1)

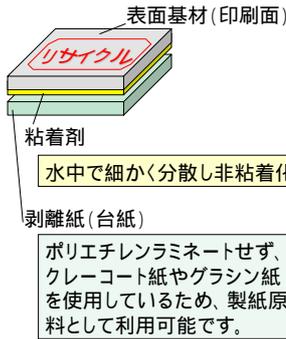
- 従来型ホットメルト接着剤の問題点**
リサイクル工程で細劣化しスクリーンを通過して再生紙の斑点になる。断裁した「背」を板紙向け製紙原料に(逆有償)
- 難細裂化ホットメルト接着剤**
細裂化しにくいリサイクル対応型の接着剤に改質
- 使用量**
2004年で使用率が55%



ホットメルト接着剤とは… 常温では固体で、加熱することにより融解し、冷却により固化接着する接着剤

リサイクル対応材料(2)

- シール(粘着紙)の問題点**
粘着剤が細かく分散せず、粘着性のある塊として紙に残る。剥離紙は、ポリエチレンがラミネートされ離解できない。雑誌等の折り込みシールを除去
- リサイクル対応型シール(全離解可能粘着紙)**
雑誌からシールを除去することなくそのままリサイクル可能



リサイクル対応材料(3-1)

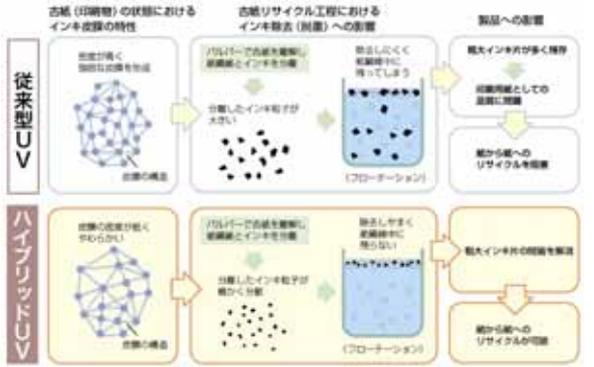
- UVインキの問題点**
強固なインキ皮膜を保ち、リサイクルで細かく分離・分散しない
- ハイブリッドUVインキ**
皮膜が柔らかく、フローテーション工程でインキの除去が容易、UV完全硬化型と、UV酸化重合併用型がある。

UVインキとは… 紫外線で瞬間的に硬化するインキで、VOC(揮発性有機化合物)成分をもたない。



リサイクル対応材料(3-2)

- ハイブリッドUVインキの除去しやすさ**



古紙リサイクル適性ランクリスト(案)

- 印刷会社・製本会社へのアンケート-B, C, Dランクから選択**

古紙リサイクル適性ランクリスト(案)

*本リストに掲載されていないものは、古紙リサイクル適性について判断を行っていません。

*本表掲載の古紙(印刷物)における脱墨技術における脱墨要因(脱墨剤)による変化が認められる場合は、随時本リストを再考します。

ランク	Aランク	Bランク	Cランク	Dランク
紙類(紙種別)	脱色しやす コート紙 上質紙 中質紙 更紙	脱色しやす 色紙、青、その他の薄いもの ポリエチレン等樹脂コーティング紙 ポリエチレン等樹脂ラミネート紙 グラシンペーパー インディアペーパー	脱色しやす 色紙、赤、緑、その他の濃いもの 樹脂含浸紙(水溶性のものを除く) 複写紙、カーボン紙 ロウ紙、セロハン、合成紙 ノーカーボン紙 捺染紙、複写紙	脱色しやす 複写紙、複写転写紙 感熱性発泡紙
インキ類	凸版インキ(全般) 平版インキ(全般) グラビインキ(溶剤型) フレキインキ(溶剤型) スクリーンインキ(全般) ハイブリッドUVインキ オフセット用金・銀インキ パールインキ、OCRインキ(油性) UVインキ	グラビインキ(水性) フレキインキ(水性) UVインキ グラビア用金・銀インキ E8インキ 銀インキ OCRインキ(UV)	芳香インキ 感熱インキ 感熱インキ	芳香性インキ 発泡インキ
加工資材	製本用針金、ホッチキス等 難細裂化(A系)ホットメルト ナイロン糸(糸状) 水溶性のUV 光沢コート(ニス引、プレスコート) リサイクル対応型シール粘着剤 リサイクル対応型シール剥離紙	製本用糸 EVA系ホットメルト 純アクリル系(PP粘剤、OPP) UVコート、UVラミネート シール粘着剤 シール剥離紙	金属接着 金属、アルミ箔等金属箔 フォトリソ 立体印刷物(リフトオフ不使用)	
その他			石、ガラス 食物、製本用ホッチキス、針金等除く 土砂、木片、プラスチック類 布類、建材(石膏ボード等) 高燃発、粘着テープ 芳香性緑油、芳香剤、香水、口紅等	

リサイクル阻害可能性のある資材

■ 印刷会社・製本会社からの回答 (回答数305/複数回答可)



3. 紙と環境問題

製紙会社の取り組み

環境社会をめざして 企業行動と環境
王子製紙 環境憲章

日本製紙グループ
NIPPON PAPER GROUP

社会環境活動/環境モデル

北越製紙
環境物語

王子製紙の取り組み

環境社会をめざして 企業行動と環境
王子製紙 環境憲章

- 森のリサイクル推進 - 植林事業を積極的に展開
- 紙のリサイクル推進 - 古紙資源の一層の活用
- エネルギー対策の推進
- 環境改善対策・環境管理体制の強化
- 環境負荷の小さい生産技術と製品の開発
- 廃棄物の低減と有効利用の推進
- 環境対策技術の海外移転推進
- 広報・啓発・社会活動の促進

王子製紙の取り組み

環境社会をめざして 企業行動と環境
王子製紙 環境憲章

■ 木材チップの調達構成

2011年度の調達量は2004年度の1.3倍。輸入チップは、78%を占める。

年度	輸入・広葉樹	輸入・針葉樹	国内・針葉樹	国内・広葉樹
2004年度	58%	15%	24%	3%
2011年度計画	66%	12%	13%	3%

(注) 2011年度計画は、中国新工場向け木材原料調達量を含む。

王子製紙の取り組み

■ 輸入チップにおける植林木

年度	内当社植林	植林木	製材	天然林
2004年度	8%	72%	9%	19%
2011年度計画	16%	81%	6%	13%

■ 海外植林面積の拡大計画

年度	面積 (ha)
2004年度	14万
2011年度計画	30万

王子製紙の取り組み

■ 森林認証材の増量計画

天然林低質材は持続可能な森林経営により育成された資源である事を確認の上、調達



森林認証制度とは、森林管理が環境的に適切で社会利益にかなない経済的にも持続可能であり、かつ加工流通の段階で他の木材と混ざることなく管理されていることを第三者機関（森林管理協議会FSCの他、林業者が中心となるPEFC、SFI等）が評価・認証する制度で、森林の保護を目的とする。認証材に相当する量の製品にFSCマークを付けることができる。

日本製紙の取り組み

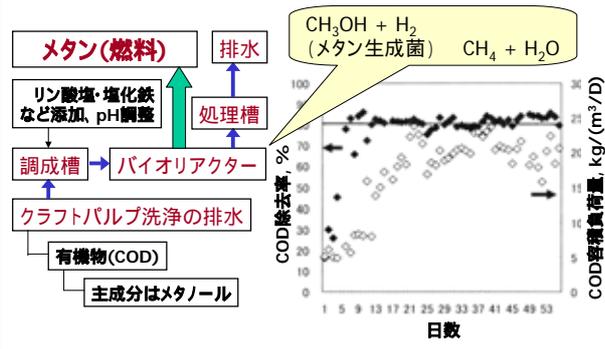


日本製紙環境憲章

1. 森林資源の保護育成
持続可能な資源造成のため植林事業を推進し、木材資源の有効利用を図る。
2. 資源の有効活用
省エネルギー、古紙利用、容器・包装材のリサイクル化などを推進する。
3. 環境負荷の低減
環境負荷物質の管理と抑制を強化し、廃棄物を削減する。
4. 技術開発の環境との調和
5. 環境情報の積極的開示

日本製紙の取り組み

メタン発酵による水質浄化



北越製紙の取り組み

北越製紙
環境物語

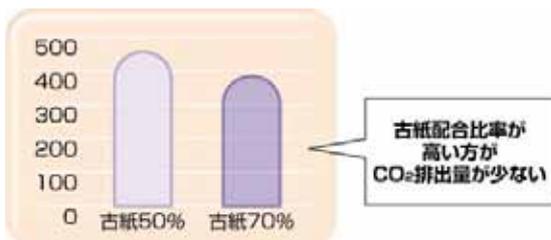
行動指針

- 森林資源の保護育成
- 環境にやさしい生産技術の向上
- 省エネルギーの推進
- 古紙の利用とリサイクルの推進
- 廃棄物の減少と有効活用
- 社会への貢献と社内啓蒙
- 緊急時の適切な対応

北越製紙の取り組み

新聞用紙を1tつくる時の化石燃料からのCO₂排出量 (Kg-C / 紙t)

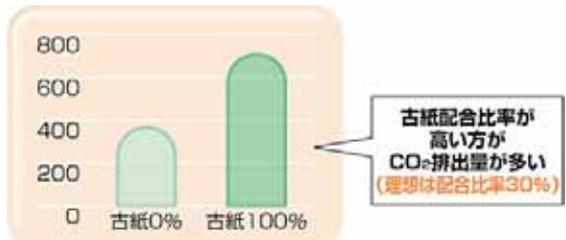
出典: 紙バ技協誌第55巻 第10号



北越製紙の取り組み

上質紙を1tつくる時の化石燃料からのCO₂排出量 (Kg-C / 紙t)

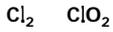
出典: 紙バ技協誌第55巻 第10号



北越製紙の取り組み

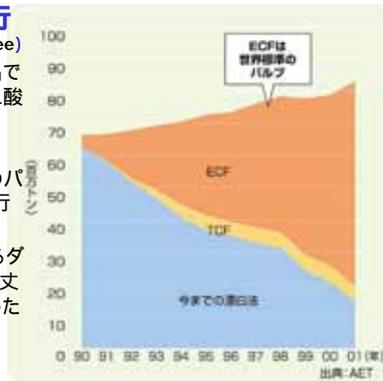
ECFパルプへ移行 (Elemental Chlorine-Free)

- 従来の主要漂白薬品であった塩素ガスを、二酸化塩素に代える。



- 2000年に会社全てのパルプ設備をECFへ移行(日本で初めて)

- ECFは、繊維が受けるダメージが少く、繊維が丈夫でリサイクルに適したパルプとなる。



北越製紙の取り組み

ECFパルプへ移行(Elemental Chlorine-Free)

- 工場排水中のAOX(有機塩素化合物)発生量は10分の1以下



北越製紙の取り組み

ECFパルプへ移行(Elemental Chlorine-Free)

- 大気汚染物質のクロロホルム発生量は100分の1以下

