

# 流動層と木材工業

遠藤 展

## まえがき

近年、石油工業における流動触媒法の適用をはじめとして、多くの触媒反応、焙焼、乾燥、コーティング等、流動層法は単に石油工業にとどまらず、一般化学産業、金属工業分野においても広汎に利用されている。

木材を原料とする工業においても、鋸屑を原料とする活性炭の製造においては、すでに流動化法が使用されている。最近に至りたとえば、雑誌 F.P.J. では、流動層を利用した単板の乾燥実験例が掲載される等、今後とも流動層法を木材工業に適用しようとする試みはつづき、充分の成果が期待されるので、流動層の数式を使わない、ごく簡単な説明と、そのいろいろな型式を紹介し、あわせて、実際に使用されている2,3の例と、ファイバーボード工業における、その適用の可能性、問題点について述べる。

## 流動層の原理

流動層では、一個の粒子が対象ではなく、多くの粒子(粒子群)を取り扱うが、説明の順序として、まず一個の粒子の挙動について述べ、それと対比して、粒子群の流動層内の挙動について述べる。

一個の粒子を円筒の上部より落下させると、その粒子は、そのまま円筒の下部まで落下するが、その時に円筒の下方より空気を吹きこむと、その粒子の落下速度は小さくなる。さらに、空気の吹きこみ量を大きくしてゆくと、空気の粒子に及ぼす力が粒子を空中にささえる程になり、粒子は空中に静止または浮遊し、さらに空気の量を増してゆくと、粒子は吹きとんでしまう。1個の粒子で考えられるこれ等の挙動のうちで、流動層は粒子群全体が空气中に静止、または浮遊している状態をさすもので、一個の粒子の挙動はその基礎になるものである。

一般に、流動層の形成過程は次のようである。材料

粒子を満たした塔の下部より気体、または液体(流体と総称する)を、その流れが均一になるように目皿或いは多孔質板を通して吹きこむと、吹き込み量の比較的少ない時には、材料粒子群は静止し、吹き込んだ流体は粒子層の空隙を、ただ吹き抜けるだけである。さて、さらに吹き込み量を増加させると、材料粒子群は、静止状態からわずかに膨張し、粒子は動きはじめ、ついで、流体中で運動をはじめ。さらに吹き込み量を大きくすると、材料粒子の運動は激しくなりあらゆる方向に混合して懸濁状態を示す。この状態が比較的安定した時の材料層を流動層という。この状態は、1個の粒子の挙動で言えば、流体の粒子に及ぼす力が粒子を持ち上げる程になり、粒子が空中に浮遊する状態である。従って、流動層のように、粒子群が浮遊している時、流体が粒子に与える力は、全粒子重量と等しくなる。なお、この状態より、さらに吹き込み量を大きくしてゆくと、まず材料層内の小さい粒子が、流体に同伴されて層外に飛び上り、粒子濃度の薄い流動層となり、さらに吹き込み流体の粒子に及ぼす力が、大きい粒子を持ち上げる以上になるに到っては、層内の材料は流体によってすべて吹き飛ばされてしまい、いわゆる空気輸送の段階へと入る。

しかしながら、熱風乾燥等においては、流体と材料粒子との比重差が大きいため、上述のような円滑な状態変化を保持することが、困難な場合がある。それは、ガス系流動層では、粒子層内部に粒子濃度の小さい気泡が生じやすく、その気泡は流動層内を上昇するにつれて集合、分裂をくりかえし、しだいに大きく成長する。従って、流動層といっても、粒子濃度がいたる所で均一なのではなく、気泡と均一粒子濃度相との混合相であるといえる。流動層の利用においても、この気泡が乾燥、コーティング、反応等に及ぼす影響が問題となり、現在もその研究は行なわれている。

この不均一な状態を端的にあらわすものとして、チャンネリング、スラッキングと呼ばれる現象がある。前者は、充填材料の性状、充填状態、特に整流の不均一性によって、ガスが材料層内に均一に分散せず、部分的に材料層内の空隙を吹き抜ける状態を言い、後者は、発生した気泡が集合し、ピストンのように層全体を持ち上げては、下部よりくずれ、ふたたび材料粒子層を持ちあげるといった往復運動をさすものである。

### 流動層法の特徴と利点

流動層法の特徴としては、その使用目的によって多少の差異はあるが、代表例として、流動層法乾燥（冷却）における特徴、利点について述べる。

#### (1) 材料と熱風の混合が激しい

粉粒体材料は熱風中を浮遊しながら、激しく熱風混合されるので、粉粒体材料の熱風と接触する表面積が極めて大きい。また、流体はいろいろな径路を通り粉粒体材料と接するので、粉体の囲りには固定した流れが存在しえず、常に新しい熱風が配給されるので、その乾燥効率が良くなる。これ等の理由により、装置全体としての乾燥速度も速くなり、処理能力も大きくなる。

#### (2) 流動層内の温度は一定である

材料と熱風との混合がはげしく、流体同志の熱の交換も迅速に行なわれるため、流動層の温度は、ほとんど均一に保持でき、かつ自由に調節できる。

#### (3) 装置の構造が簡単である

装置には、一部の型式を除いては可動部分がまったくないため、故障、補修にはほとんど経費がかからない。また、建設費も安く、処理能力が大きいため据付け面積も少なくすむ。

#### (4) 材料の層内投入時間を長くとれる。

材料を、数分～数時間層内に滞留しておく事ができるので、任意の水分まで乾燥できる。従って、乾燥時間を長く要するごく低水分までの乾燥に適している。

#### (5) その他

流動層内では、材料粒子はあたかも流体の如く行動するので、取り扱いが容易であり、簡単に輸送するこ

とができる。

また、流動層内では小さい粒子は層高部に、大きい粒子は層低部に位置する等、分級効果（粒子をその大きさで分別すること）があるので、粗粒と細粒に分けて製品をつることができる。また製品の顕熱を回収して乾燥に送る空気を予熱することができる。

### 流動層乾燥法の適用範囲

流動層乾燥法の対象となる材料は、粉粒状材料でかつ、水分による凝集の少ないものでなければならない。粒径50～300メッシュ近辺に代表粒径を持つ粉粒体材料から、1～6mm程度のもので容易に、かつ経済的に処理できる。含水率の高い材料の処理においては、最初に滞留時間の長い、連続一室式の流動層で、乾いた流動層を形成させ、それに少量の湿潤材料を投入する方法がとられる。

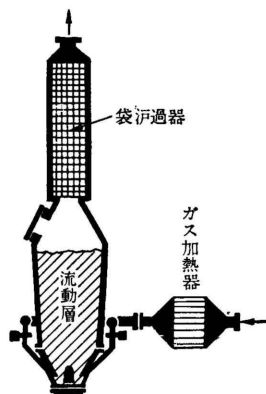
また、粒径の大きい材料を処理することは、流動化に必要な風量が大きすぎるため、所用動力、付帯設備が大きすぎて経済的に成り立たない。

### 流動層の形式と分類

この項においても、代表例として乾燥装置について述べる。

#### (1) 回分式

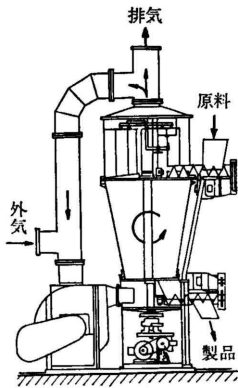
もっとも普通の方法で、材料をそのたびごとに装置へ仕込み、流動化し乾燥する方法である。（第1図）



第1図 回分式装置例

(2) 半連続式

いくつかの回分式の流動層を組み合わせ、全体として材料が連続して流れる方式のもので、第2図にその一例を示す。



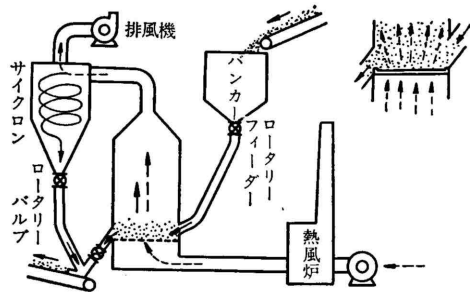
第2図 半連続式装置例

(3) 連続式

a) 連続一段式

流動層に一方より材料を連続して投入し、他方、溢流管の様なもので、製品を連続して取り出すようなもので、第3図にこの一例を示す。

この型の装置では投入直後の粒子が塔外に飛び出しやすく、乾燥ムラの原因となるので、装置を高くしな



第3図 連続1段式装置例

ければならず、それだけ、装置も大きく、圧力損失も大きくなる。したがって、効率をあげるため、乾燥速度の大きい表面乾燥に高温の空気をを用いて利用されている。

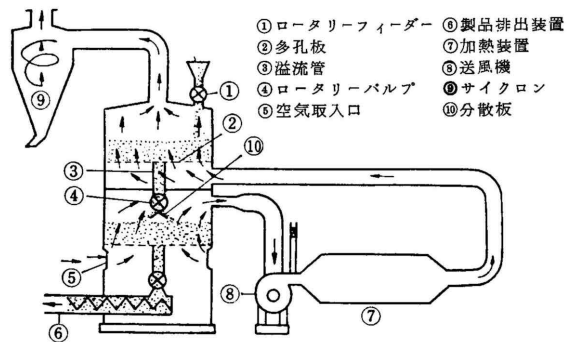
b) 連続多段式

乾燥ムラが大きい等の欠点を持つ前記の一段式流動

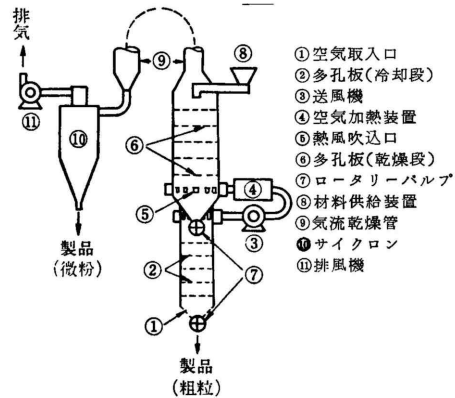
層の欠点を補うもので、一段式にくらべて粒子の飛びだしは飛躍的に減少する。また原料を塔高部から、熱風は塔低部から吹き込む構造であるため、乾燥の効率も良くなり、多段式であるため処理量も大きい。

粒子の移動方式としては、溢流管によるもの、多孔板によるものがあり、前者は上下の段のヘッドの差によって材料粒子を下段に移動させる方式のもので、この方法では溢流管内部でスラッキングや、ガスの吹き抜けが起きやすい。これを防ぐために、溢流管の下端にオリフィスや、ロータリーバルブをつけたりする方法がある。この一例を第4図に示す。

多孔板によるものは段に粒子径より大きい孔を持つ



第4図 溢流管付連続多段流動層乾燥装置

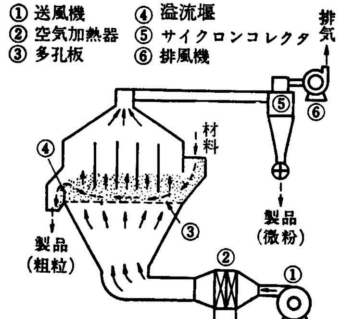


第5図 多孔板式多段連続流動層乾燥(冷却)装置

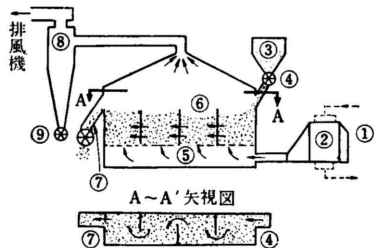
多孔板を使用し、材料を移動させる方式である。第5図にこの例を示す。

c) 横型連続式

材料を均一に横方向に移動させながら流動層を形成させる方式のもので、この利点はたて型とちがって溢流管等に材料粒子がつまる等の欠点を補うことであり、また、操作がきわめて容易であり、安定している



第6図 横型連続多室流動層乾燥(冷却)装置



- ① エアーフィルター
- ② エロフィンヒーター
- ③ 原料ホッパー
- ④ ロータリーフィーダー
- ⑤ エアースペース
- ⑥ 流動層
- ⑦ ロータリーバルブ
- ⑧ サイクロン
- ⑨ ロータリーバルブ

第7図 横型連続多室流動層装置

こと、定常状態になるのにほとんど時間を要しないことである。この型には、第6図のように、材料が仕切り板と整流器の間を通過して移動する型と、第7図のように仕入り板の間を通過して材料が移動する型とがある。

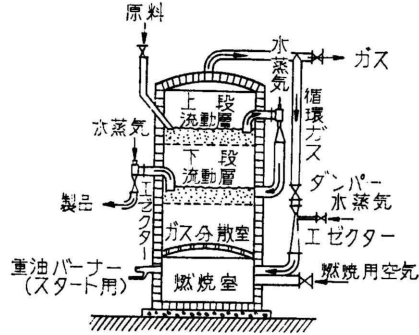
### 木材工業における流動層の利用例

現在まで、木材工業における流動層の利用例はまだ数少ないが、現在稼動している2、3の適用例と、流動層を利用した単板の乾燥の実験例について述べる。

#### 1) 鋸屑を原料とした活性炭の製造<sup>1)</sup>

木質粒状物の流動層熱処理の代表例として、鋸屑からの活性炭の製造について述べる。第8図は、スイスのCIPAが開発した1.63ton/dayの活性炉である。この

装置は2~5mmの鋸屑を活性炭化する。鋸屑は活性炭化すると重量が85%も減少し、粒径も小さくなるため浮遊するので、これを水蒸気エゼクターで吸引する。炉から排出されるガスを循環して燃料とする。わが国でもより改良された装置が稼動中とのことである。



第8図 活性炭製造装置

#### 2) セミケミカルパルプ廃液の処理<sup>2)</sup>

亜硫酸ソーダ、及び有機質繊維を含んでいるパルプ廃液の処理に、流動層を利用している。その例が第9図である。この例では5%の有機物と、4%の無機物を含む廃液600ton/dayを蒸発器で固体分35%まで濃縮し、濃縮液を内径3mの流動層で処理している。

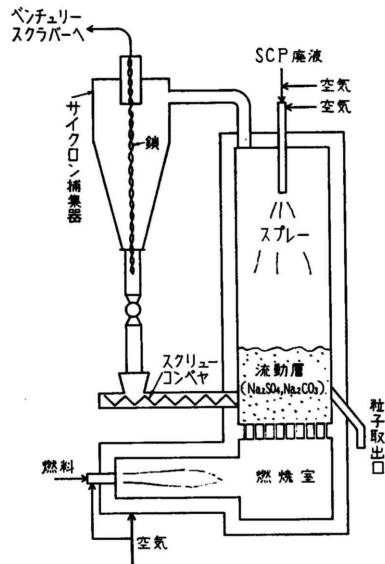


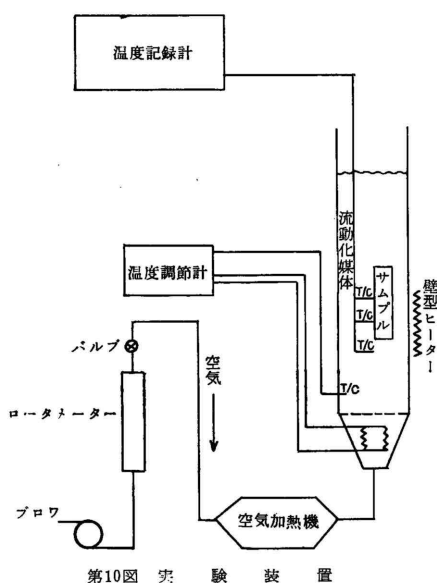
図9 セミ・ケミカルパルプ廃液の流動層による燃焼装置

700 ~ 720 に保たれた流動層の上部から噴霧された廃液中の有機物は、流動層内で完全燃焼し、その熱は水分の蒸発に有効に利用される。また、廃液中の無機物は流動層内で  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  に焼成され、粒子として溢流管より外へ取りだされる。

### 3) 単板の流動層乾燥<sup>3)</sup>

流動層内での熱の伝達速度が早いことを利用して、南部松の合板用単板(厚さ2.54mmと4.76mm)を砂と、陶土粉末を流動化した層内に固定して、流動層乾燥の実験をおこなっている。

温度は、3条件(121, 163, 204)で、流入空気流量は2条件(0.85, 1.86 $\text{m}^3/\text{min}$ .)である。水分5%



第10図 実験装置

まで乾燥するために要した時間は、2.54mm単板の時砂の流動層中で、温度204, 流入流量1.86 $\text{m}^3/\text{min}$ で1分45秒以内であった。最大乾燥速度は同温度のジェット気流乾燥より、砂の場合で3倍、陶土の場合で2倍早いという知見と、つぎの結論をえている。

- 1) 流入空気の温度を上げることは乾燥速度を早めるが、その効果は陶土より砂の場合が大きい。
- 2) 空気流量は低温度乾燥や、陶土粉末の場合に乾燥速度に大きい影響をおよぼすが、高温乾燥や砂の場合、影響は小さい。
- 3) 流動層乾燥の時には単板の表面にキズが付き接

着性の低下をひきおこすことが考えられるが、それ等は接着剤、接着条件の検討により克服される。

実験装置の概要を第10図に示す。

### 流動層のファイバーボード製造過程における利用<sup>4)</sup>

#### 1) 可能性について

木材工業における流動層の利用の可能性を考える時、ファイバーボードの原料である木材ファイバーの平均粒径は、32~60メッシュであり、とくに乾式法の処理工程は現在稼働中の流動層の適用例と類似の工程が多いので、流動層法の利用が期待される分野であろう。流動層法を、木材ファイバーの製造工程に適用しようとする時、その期待される諸例をあげるとすれば次の如くなる。

#### a) 流動層を用いる木材ファイバーと接着剤との混合・付着

流動層の適用分野の一つにコーティングがあり、流動層内の粒子群に気流中に混入した微細粒子群を混合、付着させるといった工程がすでに実用化されている。また、気流中にガス状あるいは、エアゾルとして混入した成分を、流動層内の粒子群表面で凝固させるといった工程もすでに試みられている。

流動層内の粒子群の層はいわゆる多孔性の炉過媒体(フィルター)と同一の構造を持ち、炉過能力を示す。同時に、流動化によって、粒子群は相互の位置を交換している。これ等2つの作用によって、粒子表面に付着する成分は均等化され、炉過作用によって添加成分の損失は小さいことが期待される。

上述の作用を木材ファイバーと、バインダーとの混合、付着に適用できるとすれば、新たな工程が生まれることが期待される。

#### b) 木材ファイバーの改質改良を目的とする連続流動層の適用

ファイバーボードの材質改良を目的とする前処理としては、製品の要求する品位によって異なるにせよアセチレーション、熱処理、クッキング等が考えられ、その何れも木材ファイバーと周囲の気体との効率の良い接触操作という工程に含まれる。このように改質の

方法が異なっている、工程としては共通であり、何れも接触操作という意味で、今日、連続流動層の適用が十分期待できる領域である。

連続流動層の安定した操作条件がみいだされるならば、改質技術に新たな実用化のみちを開くことが期待される。

#### c) 連続流動層による木材ファイバーの熱処理

前項b)に含まれるが、ファイバーボード製造工程においては、木材ファイバーの乾燥のために気流乾燥機が使用されている。装置構成上また、気流輸送に伴う乾燥をおこなうため、処理能力に比して装置の大きさその占有面積は一連の他工程装置に比して、著しく大きいのが現状であり、ファイバーの充填度を高め、同時に、熱交換能力のすぐれた装置の開発が望ましい。

#### 2) ファイバーの流動化における問題点

前述のようにファイバーボードの製造工程は、流動層原理と類似の工程が多く、かつ流動層を適用すれば流動層のメリットが期待できる点も多いと考えられる。しかし、これまでの流動層の適用例は、いわゆるさらさらとした粉粒体が主体で、ファイバーのように相互に包絡する性質を有するものに対する適用例はない。したがって、ファイバーに関しては流動化現象の条件をとらえることから検討しなければならない。

各種の形式の流動層によって、ファイバーの流動化条件を基礎的に検討した結果<sup>4)</sup>によれば、ファイバー群が流動化を開始すると同時に、ファイバーが互にからみ合いにより凝集する傾向がみられ、さらに静電気発生によってこの傾向を著しく助長し、これがチャンネリングの原因となって、ファイバー群の一樣の流動化は起きない。このようにファイバーの特性の一つであるからみ合いの効果は製品ボードの品位を決定する要因でもあるので、流動層を適用するカギは、このからみ合いの性質を流動層にとっていかにマイナスにならぬようにするかである。すなわち、からみ合いを流動化開始前後の流速で解離し、出来るだけ単一の粒子として流動させることにある。流動化開始以上の流速を与えるとファイバーの輸送になってしまうので低流速範囲の流体による剪断力を、いかに加えるならば

派生する細毛、さらには静電気力に基ずく、からみ合い強度にうち勝つことができるかといったことが問題となる。このようにからみ合いの強さを評価し、これに対応する解離手段が見出さなければ、ファイバーの処理工程としての流動層の適用は困難といわざるをえない。

これまで、単体としてのファイバーの空気中での挙動、あるいは群としてのファイバーの空気透過抵抗など、流動層の基礎ともいべきファイバーの空気抗力に関する検討<sup>5)</sup>がなされてきた。今後はこれらの知見を基に、ファイバーのからみ合いの強さの評価をおこなってゆきたい。

#### おわりに

流動層法は石油工業の領域から、その応用分野を広めつつあり、すでに多方面に実用化されている。このように技術は常にその適用分野を広めようとし、適合の条件さえととのえば他に波及してゆく。したがって、流動層といった、一見木材工業とは無縁のように考えられる技術でも、適用の姿は変ってゆこうが、基本原理を同一にする分野に浸透してゆくであろう。この意味で、単板の乾燥に流動層をとり入れてみたのであろうし、ファイバーボードへの可能性についても検討してみた。これらが既存の技術の中に定着するには、解決されねばならぬ問題も多く時間もかかるであろう。何でも流動層法でゆくのだと考えるのは無茶であるし、おのずから適用しうる分野の限界はある。したがって、適用可能な分野にあっては、既存の操作とのメリットの比較が十分基礎的になされなければならない。今回は相手を知るといって現状の流動層の紹介と、適用例についてのべたが、今後共、この方面の研究、検討を期待したい。

#### 引用文献

- 1) 国井大蔵, 吉田邦夫: 化学工学, 29, 961 (1965)
- 2) Copeland, G. G., Honway, J. E.: Tappi, 47, 175-184A (1964)
- 3) Wesley E. Loos: F. P. J., 21, No. 12, 31 (1971)
- 4) 遠藤一夫: 昭和45年度依託試験報告書, 北大工学部合成化学工学科化学装置講座
- 5) 高橋裕, 遠藤一夫, 鈴木弘: 木材学会誌 18, No. 1 9 (1972)

一試験部 繊維板試験科一