(10) クラッド鋼の焼鈍作業は実施されているか。またその場合の注意事項は。

答：耐食性向上のためあるいはクラッド鋼母材側からの要求により行っており、その実施例は非常に多い。

焼鈍における危険性の主なものは熱膨脹差による変形、高クロム系溶接棒を用いた場合の滲炭およびシグマ相脆化などがある。

[Session 5] 高粘度物質の撈拌技術*

大 島 栄 次**

昭和47年10月6日(金) 9:30~13:00

チェアマン 大島 栄次(東京大学工学部助教授)

スピーカー 大島 栄次(東京大学工学部助教授)

村 上 泰弘(九州大学工学部助教授)

コメンター 梶本彦久寿(三菱重工(株)技術本部)

林 福 弘(エム・ティー・ピー化成(株))

山 浦 誠(宇部合成ゴム(株)千葉工場)

高粘度物質の撈拌技術に関連した討論会は化学プラント技術会議においても何回か企画されている。たとえば撈拌、撈拌槽のスケールアップ、重合反応などであるが、このことは撈拌の分野には未解決の問題が多く、しかも実際のな面でも関心が高いことの現われであろうと想像される。今回のセッションには高粘度物質の撈拌技術という表題がつけられたが、撈拌という言葉を広く解釈して混合あるいは取扱いに関する問題点をも対象とすることにした。

このセッションの内容を検討するに当って、高粘度撈拌装置のもつ機能に関する問題点を指摘し、性能の評価法および実用的な問題点を取上げることとした。

1. 高粘度撈拌装置のもつ機能と性能(大島栄次)

まず撈拌槽が他の単位操作に比べて特殊な操作であることが指摘された。すなわち、撈拌槽は種々の目的に用いられ、その目的によって要求される機能が異なるという点である。単純に均一化が達成されれば、それぞれの目的をかなえるすべての機能が満足されると考えることはできない。しかしごく一般的であると思われる混合について考えても混合度の定義すら決定的な表示法がない。撈拌操作のもつもう一つの機能に伝熱の問題がある。この場合は槽内において撈拌熱あるいは反応熱など

によって発生した熱も除かなければならないので、混合に比べて取扱いはさらに複雑となる。さらに蒸発を伴うような場合には蒸発表面積をできるだけ大きくすることが要求され、その上各流体塊が均等にその表面に曝される必要がある。

このように、撈拌槽に要求される種々の機能に関連して、現象論的取扱いの問題点についていくつかの指摘が行なわれた。まず、混合現象に関しては、剪断混合が取上げられ、Mohrの取扱いに見られるように剪断場における拡散現象として混合の問題を考えると推進力である濃度勾配と同時に界面積も時間とともに変化することになり、流線が限られた場合のみ実用的に解を得ることが可能である。このことは、剪断混合を理論的に対応づけようとする、剪断場の状態に加えて全体のフローパターンが重要となることを示唆している。

つぎに対流混合に関しては、槽内流の循環時間分布が得られれば、対流による混合の特性は求めることができるとして、数種の撈拌槽について実測した結果から循環時間分布の一般的な関数近似の可能性が紹介された。

また伝熱現象に関しては熱流束を増すために伝熱係数、伝熱面積、温度差のいずれかを大きくする必要があるが、それぞれにかなり厳しい限界があるように思われる。とくに高粘度液の場合には、その制限はさらにせまめられることになる。撈拌による発熱が無視できなくなると撈拌速度の増大による伝熱係数の増加の効果も打消されてしまう。また、冷却媒体の温度を下げることは壁面の粘度を増加させ、伝熱係数の低下を招く結果となって効果が現われない。高粘度液を撈拌槽で冷却する場合に、よく用いられる手段は撈取り板による境膜の剝離の効果であるが、この効果の定量的な検討はほとんど行なわれていない。簡単な仮定に基づいて、撈取り頻度の影響について計算すると、撈取り間隔の平方根に逆比例して熱流束が増大する結果となることが示されたが、撈取

* 昭和48年2月3日受理

** Eiji O'Shima(正会員) 東京大学工学部 化学工学科

ヘリカルリボン

上 昇 流 (壁のところで上昇流)

下 降 流 (壁のところで下降流)

コンバインドミキサー (ドラフトチューブ外側に
スタティックミキサー設置
20個×6段)

図 1 異 粘 性 液 の 混 合

り板の形状、角度、壁との間隙などの影響や摩擦による発熱の問題など解明すべき点が多いことが示された。高粘度液中で反応を行なわせる場合には、本質的に拡散の影響から逃れることはできない。微視的混合と巨視的混合の理論的な考察は行なわれているが、実際上の問題との関連が不明確である点が指摘された。とくに微視的混合に対して搅拌のような機械的操作がどの程度制御を行なうことができるかは明らかにされていないことが問題となる。また、熱収支と物質収支とを連立させて解く必要がある反応系は少なくないが、分布系として搅拌槽を取扱うことが困難で、集中系として計算せざるを得ない例が少なくない。搅拌の反応に及ぼす影響を実用的な意味で評価するためには、分布系としての特性を表現する方法論が開発される必要性が強調された。

その他、蒸発を伴う場合、異粘度物質を混合する場合などの問題点が指摘され、求められた機能とそれに應えるべき性能との関係を具体的な形で結びつける研究が要望されており、ファインケミカルに指向するといわれている今後の化学工業にとって重要な問題となることが示された。

2. 高粘度搅拌装置の技術的評価 (村上泰弘)

村上氏の今までの研究成果を基礎にして、高粘度搅拌装置の中での流動状態とその情報および性能選定の問題と高粘度搅拌装置内での混合均一化過程の機構と選定への技術的裏付けの二つの観点から装置評価に関するまとめが行なわれた。

均相の高粘度液の搅拌混合装置における混合均一化の

過程を理解する上でもっとも重要な情報の一つはフローパターンであるとして、回転搅拌型、無搅拌混合器を含めた広範な装置の形式について、それぞれのフローパターンの特徴が紹介された。フローパターンに関連して重要な問題は流れの停滞部が生じることを防ぐことにある。翼の形状や装置の形状を工夫することによって大幅に流れの様子が異なってくることを実測例で示され、搅拌軸の有無によっても混合時間に大きく差があることが紹介された。また、高粘度液では乱流による混合機構の寄与が期待できず、均一化は剪断による細分化と位置の入れ替え機構によって進められると考えられる。最近その特性が注目されている無搅拌型のスタティックミキサーの性能の一原因が位置の入れ替えにあることを、モデル計算の結果から推定できることが示された。

この方面の搅拌技術の定量的解明への可能性について混合時間に関するスケールアップ定数がフローパターンの実測によって得られる動力消費分布などの情報から計算されることを示した。ここでいうスケールアップ定数とは混合時間 θ_m 、回転数 n 、単位容積あたりの所要動力 $P_v g_0$ などから計算されるつぎのような数である。

$$C_1 = n\theta_m, C_2 = \theta_m \sqrt{P_v g_0 / \mu}, C_3 = (1/n) \sqrt{P_v g_0 / \mu}$$

これらの数はそれぞれ、混合終了までの必要回転数、混合終了までに与えられた剪断量、1回転あたりの剪断量(系の無次元剪断速度)に対応することになり、 C_2 によってスタティックミキサーのような全く形式の異なった混合器と回転搅拌装置との比較が可能となること、および C_1 の到達予想値は16程度になることが示された。

一般的な性能評価の方法として、 C_1 と C_2 の関係を表示したグラフ(嶋田・梶本の方法)上で領域によって低粘度、中粘度、高粘度に適する操作であるかが判定でき、それによる各実用装置の評価方法についての紹介があった。また C_3 に関しては装置内のもっとも剪断支配であると思われる最小の間隙を無次元化したものと点綴することにより、各形式の特徴が把握でき、さらにそれぞれの剪断特性の判定が可能となることが示された。 C_2 についても、装置の液漬面積、羽根面積その他の特徴的な装置を用いることにより推定できる可能性があることが紹介されたが、このような数値を頼りに、従来複雑で経験的に定性的な考察の範囲にとどまっていた装置特性の評価が、より一般的にしかも定量的に判定しうることが示され、今後この方面の検討がさらに進められることが期待される。

つぎに、異粘性系の均一過程に関して興味ある実験結果が紹介された。ドラフト付スクルー軸型の搅拌装置のドラフトの外部に混合性能を有する構造物として箱型スタティックミキサーを設置した改良型(コンバインドミキサーと名付けている)を用いて、粘度の異なる2種の液体の混合実験を行なって良好な結果を得ている。構

造物のない場合に C_1 が 45 位であったものが 38 程度に改良されており、これまで均相系にすぐれているといわれているダブルヘリカルリボン翼では軸の回りや壁の付近に偏る傾向があり、試料の仕込み方法などによって均一化の特性に大きな差異が生じるのに比べて、改良型では能率のよい混合特性を示すのが特徴的である(図1)。異粘性液混合の問題は実用的な面でも関心のもたれている問題であるが、この種の発想は示唆に富む実験ということができよう。

3. コメント

以上のスピーカーによる発表に引続いて、実用的な観点から具体的な問題に関するコメントが企業側の専門家から述べられた。

堀本氏は、「高粘度撹拌技術と伝熱」と題して高粘度撹拌技術の中でもっとも重要な機能の一つと考えられる伝熱の問題に関して長年の経験から得られた考え方に基づいて、解決策の例を示された。伝熱面を通しての熱伝達による伝熱方法は前に述べたような意味から、ことに高粘度物質の取扱いにおいては限界があり、最近とくに目覚ましいという技術的進歩はみられず、翼と壁との間隙の減少ないしはその極限である掻取り方式がもっとも有効であると評価されているのが現状であるようである。一方、蒸発潜熱を利用した沸点型除熱方法は除熱能力および温度制御性からみて優れた方法であるが、この場合でも高粘度液に対してはそれ特有の対策が必要であり、たとえば高粘性液の更新自由表面に低沸点冷媒をかけ、蒸発除熱を行なわせる方式が有効であることが紹介された。また、懸濁重合に似た考え方による異相系の操作による解決法など、種々系に応じた対応の余地があることが示唆された。

林氏は「高粘度物質の高速撹拌技術の問題点」について、とくに高粘度と低粘度の物質を混合する問題に着目し、その具体的な方式についての意見が述べられた。たとえば異粘度の2液を混合する場合に空気を微細気泡として分散させる方法など興味ある解決策の例が示された。またインペラーの形状についてはピンタイプと呼ばれる特殊な形式のものなどが紹介されたが、一般的には高粘度物質にはラセンタイプの翼で縦に長い形の槽を用い、高低粘度物質にはピンタイプのインペラーで横に大きい槽を用いるのが撹拌効果を増大させる方向であることが示された。

山浦氏からは、ポリブタジエンを長らく取扱ってこられた経験から「高粘度重合プロセスにおける撹拌技術の位置づけ」について問題点の指摘が行なわれた。重合反応の場合には生成された製品を処理して所定の物性に調整することはむずかしいために十分管理された条件で反

応を行なわせなくてはならない。そのためある程度溶剤を用いて均一化を容易にするとしても、反応熱の除去が重要な鍵をにぎることになる。このことは溶剤回収の負荷を減らすなどの経済的な問題ばかりでなく、製品の品質の面にも大きな影響を及ぼすといわれる。この問題を解決するための方策には溶剤の選択、反応機構の改善、除熱能力の改良などが考えられ、熱除去に関しては内部蒸発による方法や溶剤の二次冷却の方法が有効であることが報告された。反応面での対策では、反応制御剤の添加に当ってインラインミキサーの有効性が紹介され、製品のブレンド・タンクの均質化にもポンプとインラインミキサーの組合せによる外部循環形式が適しているという意見が述べられた。

4. 討 論

以上のような発表があった後に参会者からの質問を中心にいくつかの問題について意見の交換が行なわれた。その一部を紹介すると、まず無撹拌方式と回転撹拌方式の比較の問題に関し、具体的にどのような根拠で C_2 を算出し、 $C_1=16$ が目安となるのかという技術的な質問やスタティックミキサーがもっとも効果的に適用されるのはどのような場合と考えられるかという質問など、村上氏が評価された新しい形式である無撹拌混合器に関心が寄せられていた。

また、各講演者が紹介した形式に対しても、その適用限界あるいは操作上の問題点に関して実用的な観点からの質問があり、たとえば更新表面に除熱媒体を吹きつける蒸発型の除熱方式について、適用粘度範囲は2~3万ポイズであろうなどの意見交換が行なわれた。実際の運転上、大きな問題となってよく質問に出される話題に重合反応器におけるスケールの付着あるいはポリマーの融着の問題があるが、このセッションにおいてもそれに関連した質問が出されていたことは、技術的に未解決の部分が多いことを反映しているように思われた。

一方、たとえば高粘度液の撹拌装置における伝熱係数の信頼できる推算式や所要動力の推定方式に関する質問がいくつか出されていたが、この種の問題はいわゆる化学工学の基本的な分野であるにもかかわらず、実用的な意味では発表されたデータがまだ不十分であることの現われであろうと見受けられ、とかく目新しいものを追いがちな研究に対して、一方では基礎的ではあるが地味な地道めが重要であることを痛感した。

このほか、共通の話題として異粘性の高粘度液混合や非ニュートン流体の撹拌の問題などに関しても討論が行なわれ、最後に各パネルメンバーから今後の高粘度撹拌技術の研究はどのような方向にむかうべきかという点についての意見が出されたが、たとえば剪断の種類を自由に

制御し、混合へ有効に利用できるような分配管理が可能な装置を開発することが重要であるという意見や、同じ装置内でも一つのインペラーで全ての機能を満足させるようなものを考えるよりはそれぞれを分担する方向へ進むべきではないかという意見が述べられ、また処理量が変わっても混合特性の変わらないような混合装置を開発することの重要性も強調された。

高粘度物質の攪拌の問題は比較的古くから問題になっている技術ではありながら、実用的には体系化が遅れて

いる技術分野の一つである。今回のセッションにおいても多数の参加者があったことは未解決の問題が多いことの反映であろう。しかし、このセッションでは単に問題点の指摘を行なっただけでなく、問題解決の糸口なり考え方についてもいくつかの示唆が与えられたことは大きな成果があったということができよう。今後さらにこの方面の研究が進められ、新技術発展の推進役を担うことができるということを期待したい。

[Session 6] 粉粒体貯槽におけるブリッジ防止技術*

青 木 隆 一**

昭和 47 年 10 月 6 日 (金) 14:00~17:30

チェアマン 青木隆一 (横浜国立大学工学部)

スピーカー 有田秀昌 (千代田化工建設 (株) 第 2 事業部)
中村 豊 (安川商事 (株) 振動粉体機部)

パネラー 藤原幸実 (日本セメント (株) 埼玉工場)
野田日吉 (日本食品化工 (株))
松本英二 ((株) 村上精機工作所)

ま え が き

粉粒体貯槽におけるトラブルの一つに粉体の付着力によるブリッジ形成のため閉塞を起すということがある。最近、貯槽内粉体層における応力解析があるていど進みブリッジ形成の条件、流出口の閉塞限界寸法などを理論的に論ずることができるようになったが、それは理想的な粉体および条件に対するものであって、実際には付着・凝集性の時間的変化、湿度、温度などの環境条件の変化に対する粉体物性の变化など理論解析には到底かからない多くの因子に極めて大きく左右され、理論的な取扱いには限度がある実情である。閉塞現象は粉体プロセスの自動化、無人化に際して生ずる障害の中で最大のものということができ、さらに貯槽の大型化が進展している現在、ブリッジ崩壊による人命の危険ということも大きな問題となっている。したがって以前から各種のブリッジ防止技術が考案、開発されているがその必要性はますます高まりつつある。

この問題は実際に極めて広範囲にわたり、かつ場合場合に応じた考え方・対策が要求されるため限られた時間内に満足のゆく説明および討論を行なうのは困難であっ

たが、粉体を取扱うプラント設計の立場からのブリッジ対策の考え方と、各種の架橋破壊装置の展望を中心にこのセッションを進めた。

1. 自動化の立場からみたブリッジ防止対策 (有田秀昌)

プラントを自動化する場合、流体を取扱う部分の装置は技術的に予測が容易で、運転上においても設計、製作上のミスがなければトラブルは少ない。しかし粉体を取扱う部分はプロセスと装置に経験的なものが多いため、運転に際してトラブルを起し易い。また公害防止の観点から発塵を完全に防止することが要求され、そのため装置機器は完全密閉式の採用が多くなり貯槽においてもサイロ形式のものの使用範囲が拡がりつつある。

粉体のプロセスには粉体の貯蔵が一つの要素となるが、貯蔵量の多少、受入・排出の便利、さらに接続する輸送機の便利によって各種の貯蔵設備形式が採用される。そして上述の理由および大量取扱いの場合の土地の有効利用という面からサイロが脚光を浴びてきているが、粉体の挙動が千差万別であることおよび、排出口の形状、構造、方法によって架橋現象を起し、閉塞が問題になることが多い。

1.1 プラントと粉体プロセスについて

プラントのプロセスを物理的にみると液体、気体、固体の物質を取扱い、取扱いやすさは上記の順序になる。粉体の取扱いは流体、気体と異なって流動性がなく、成分粒度、粒度分布、粉体密度、湿度などのうちの一つの条件が異ると粉体相互の摩擦、付着力が異なる。また静止

* 昭和 47 年 10 月 28 日受理

** Ruichi Aoki (正会員) 横浜国立大学工学部 化学工学科