

第16回実践化学工学講座・シラバス

第16回実践化学工学講座

日 時 10月14日(木), 19日(火), 22日(金), 27日(水), 28日(木)
11月5日(金), 9日(火), 11日(木), 16日(火) (全9回・各9:00-17:00)
会 場 大阪科学技術センター(大阪市西区靱本町1-8-4)
*10月14日(木)「蒸留」は関西化学機械製作(株)(尼崎市南七松町2-9-7)

序文

化学工学会関西支部では、これまで化学関連産業の現場において活躍されている技術者や現場スタッフを対象に、平成4年から6回にわたり「現場技術者のための基礎化学工学講習会」を実施してきました。

しかしながら、化学工学が初期の単位操作から、反応工学、移動現象論、プロセス制御・システム工学へと拡大をとげ、さらに最近では、ナノテクノロジー、環境工学、生物工学への展開・深化し、工学として充実していくにつれ、講習会の内容を見直そうとする機運が起こってきました。また、産業界においても企業内化学技術者教育に変化が現れ、教育のアウトソーシング化も叫ばれるに至っています。

このような状況のもと、関西支部の常任幹事会の中に化学工学講習会のワーキンググループを設け、その内容について議論を重ねてきました。企業からのニーズを的確に把握するために、企業の教育担当者との懇談や、アンケート調査を行いました。特にアンケート調査では100社に近い企業からの回答をいただき、企業における教育の現状と要望を知ることができました。

平成13年より、このようなワーキンググループの活動を通して講習会をより企業のニーズにお応えする形でリニューアルし、新しい構想のもとに企画しました「実践化学工学講座」を実施いたしました。本講習会はその第10回目に当たります。

以下に本講習会の特長をまとめます。

1. プログラム

- 第1日 蒸留 (10月14日・木)
- 第2日 反応工学 (10月19日・火)
- 第3日 吸収 (10月22日・金)
- 第4日 晶析 (10月27日・水)
- 第5日 吸着 (11月28日・木)
- 第6日 粉粒体 (11月5日・金)
- 第7日 流動・伝熱 (11月9日・火)
- 第8日 攪拌・混合 (11月11日・木)
- 第9日 プロセス制御 (11月16日・火)

(1) 「反応」から「分離」, 「制御」へ

実際の製造プロセスのイメージに合わせて, また化学系の技術者の方が興味をもちやすい「反応」から「分離」, 「制御」にすすめていくという形の講習会となっています。

(2) ニーズに合わせて

「攪拌」, 「ろ過」などは企業では課題に直面する頻度が高い単位操作と言えます。このような企業でニーズの高い単位操作をとりあげました。

(3) 1日だけの参加も可能

9日もあけられない, 当面の業務との関連が乏しいテーマもあるなどのケースも考えられます。一部のテーマだけの参加もできるようになっています。

2. 各テーマの1日の進め方

(1) 1日1テーマ

以前は講義と演習が別の日に行われていましたが, 本講座では1日1テーマのスタイルをとります。各テーマは基礎の解説から演習までの一連を1日で行い, 1日参加すれば, そのテーマについては実験室とプラントの関係が理解できたといった実感を得られるような講習会を目指しています。

(2) まず「事例紹介」, つぎに「理論の解説」の順に

理論・数式から入るのではなく, 直観的に理解でき, 専門知識の無い人でも理解しやすいように, 装置など具体例の紹介から入るスタイルです。工業化事例の解説では, 基礎研究の成果を工業化していく段階でどういう基礎データが必要か, どのようなアプローチが必要なのか, またフラスコでの現象がプラントではどんな結果になるのか等がよくわかるように, ビデオ, デモンストレーションなども取り入れて化学工学以外の出身者にも十分理解していただけるように平易に解説いたします。また, 最終的には演習により理解度をチェックできるようにしました。

3. 目指すもの

化学工学のものの見方・現象のとらえ方が身につくような講習会を目指しています。

具体的には, 物質収支・熱収支などが取れ, 定量的な取り扱いができるようになる 平衡論的な見方だけでなく, 速度論的な見方でも現象を見る眼を養う 単位操作での実践的課題を理解し, 問題解決の手法を勉強する 実装置を念頭に置いて工業化のデータが取れるようになる, です。

今後, 諸氏からの多くのご意見を頂き, 本「実践化学工学講座」がより良い講習会として発展することを願っており, 皆様方のご参加をお願い申し上げます。

2010年6月

化学工学会関西支部 実践講座委員会 (旧称: 生涯教育委員会)

単元：蒸留

日時：10月14日・木

（午前）講師：塩井 章久 [同志社大学理工学部教授]

講義内容

気液平衡の原理と分離操作としての蒸留の基本について、講義する。講義レベルとしては、理工系出身であるが、化学工学を全く、あるいはほとんど学んだことがない受講者を対象としている。まず、気液平衡について物理化学的な説明を行い、混合溶液系の蒸気圧の計算について講義する。その後、主として理想溶液系を対象として、単蒸留、フラッシュ蒸留、および精留塔の計算について講義する。単蒸留では、留出液と缶残液の組成の時間変化の計算方法を、Rayleigh の式を用いて説明する。精留塔については、McCabe-Thiele の図解法による理論段数の計算、さらに、最小還流比、最小理論段数について説明する。McCabe-Thiele の図解法については、演習を行いながら、その方法に習熟することを目指す。

（午後）講師：野田 秀夫 [関西化学機械製作(株)代表取締役社長]

講義内容

実習では 連続と 回分操作の 2 種類のシステムを体験していただく予定です。それらの特徴と使用範囲などを説明します。次に使用される主要機器の解説をします。塔本体、塔に内装される気液接触用の充填物またはトレイ、実際に使用するトレイと充填物について、塔頂で蒸気を凝縮するコンデンサー、蒸留塔に蒸気を供給する数種類のリボイラーの比較、熱回収のための熱交換器などの補助装置について説明します。

最新の省エネルギー型の蒸留システム (H I D i C) および回分操作でチェンジトレイを使用して始めて可能になった省エネ + 省時間についても少し触れたいと思います。

単元：反応工学

日時：10月19日・火

（午前）講師：三浦 孝一 [京都大学大学院工学研究科教授]

講義内容

反応工学の目的は「化学反応装置の合理的な設計と運転」にあります。その目的達成のためには、化学反応と速度に対する理解、反応の量的関係を記述する量論関係に対する理解、それらを総合した反応装置を設計するための設計方程式に対する理解が求められます。

本講義では、反応工学の基礎事項として、連続槽型反応器（CSTR）、押し出し流れ反応器（PFR）と呼ばれる理想流れ反応器に対する物質収支式とエンタルピー収支式の定式化法、複合反応の量論関係と反応速度の定式化法と速度解析の方法、気固触媒反応解析の基礎について解説した後に、合成ガスからメタノールを合成する固定層型気固触媒反応装置を例にとり上げて、設計方程式を定式化する方法を順を追って説明します。付録にはBASICで作成したプログラムを添付し、設計方程式を解く具体的な方法も紹介します。簡単な微分方程式の知識が必要ですが、それ以外には初歩の物理化学の知識があれば十分理解できるように説明します。

（午後）講師：古尾谷逸生 [元武田薬品工業(株)，化学・環境技術コンサルティング Ltd.]

講義内容

基礎研究の成果を工業化していく段階で、企業における化学研究者・技術者に求められる役割とは「与えられた問題を単に解くのではなく、自ら問題を作成する」ことが重要であり、「Chemist は Engineering を、Engineer は Chemistry を理解する」必要があることをまず述べる。

ついで、問題作成の事例として、医薬品バルクを始めとするファインケミカルズ製造プロセスの設計思想、スケールアップ方法論、留意点を詳述する。

最後に、グローバルな環境問題解決において、化学研究者・技術者がどのような形で貢献すべきかを、塩素系化合物の完全無害化を事例にとり、平易に解説する。

単元：吸収

日時：10月22日・金

（午前）講師：三宅 義和 [関西大学環境都市工学部教授]

講義内容

ガス吸収操作は蒸留操作に次いで多用されている単位操作である。ガス吸収に用いられる充填塔など吸収塔においては、塔内が非平衡状態にあることが蒸留や抽出装置と大きく異なる点である。つまり塔内での物質移動速度過程が塔性能に大きく影響する。この事を定量的に考察するための基本的な考え方を説明する。また物質移動速度の定量的な取り扱いがガス吸収操作に限らず、例えば粉体の溶解速度、液液抽出系での抽出速度および異相反応系での総括反応速度の考察などにおいて、基本的でかつ重要である。

以上のことを踏まえて、以下の内容について演習を交えて講義する。

1. 気液平衡関係；ヘンリーの法則，液相で化学反応が起こる場合の気液平衡
2. 物質移動速度の定量化；フィックの第一・第二法則，境膜モデル，二重境膜モデル
3. 充填塔の設計問題（塔高，塔径）

講義レベルは、基礎的な物理および化学の知識があれば十分に理解できる内容である。また、物質移動速度の諸問題をより深く定量的に考察したい場合は微分方程式などの数学的知識が不可欠であるが、本講義では数学の結果を利用するという立場で行うので数学に弱い人でも理解できるはずである。

（午後）講師：田村 善継 [月島環境エンジニアリング(株)充填物機器部マネージャー]

講義内容

充填塔を用いたガス吸収塔の設計講座

内容

- ・ 充填塔・充填物入門
- ・ 各産業における吸収操作 / 放散操作の事例説明
- ・ 物質移動の基本概念（HTU・NTU とは）
- ・ 充填物（テラレット）を使用した塔径の算出方法（ローディング・フラッディングとは）
- ・ 解離を伴う気液平衡

レベル

講習内容は、充填塔の基本的な設計方法が主となります。

初めて充填塔を設計する方・既設充填塔の運転変更などを考えているの方、など初心者から中級者程度の内容となっております。

単元：晶析

日時：10月27日・水

(午前) 講師：須藤 省吾 [住友化学(株)生産技術センター主席研究員]

講義内容

晶析操作は分離精製技術の一つとして古くから利用されていますが、最近では機能性素材の開発や高度分離技術の観点からも広く注目されている、重要な単位操作の一つです。本講座では、溶液からの晶析操作を中心に、下記事項について解説します。

- (1) 晶析現象に関する基礎事項
- (2) 晶析現象の平衡論、速度論的取り扱い
- (3) 工業晶析に関する基礎事項(操作、粒径・分布の制御、多形選択晶析、他)
- (4) 工業晶析操作、装置の種類とその設計法
- (5) スケールアップ、スケールダウンの考え方

また、本講座では、晶析という一つの単位操作を通じて、化学工学に共通する考え方や事象へのアプローチ法などについても適宜言及します。具体的課題を抱えておられる研究者、技術者の方など化学工学領域で活躍されている方はもちろんのこと、化学工学的アプローチに興味をお持ちの方など、これから種々の領域において活躍されることを期待されまた自らそう願われている方の参加を期待します。

(午後) 講師：加々良耕二 [大原薬品工業(株)医薬開発研究所所長]

講義内容

所望の結晶形を安定的に生産スケールで製造することは医薬品製造において、極めて重要なことである。晶析操作のスケールアップでは、今までにない新しい結晶形が出現したり、不要な結晶形が混入したり、小実験と異なった現象に直面することが多い。しかし、晶析挙動を注意深く解析すれば、多くの場合これらの現象を理解することができる。そこで、スケールアップを目的とした基礎データの取得とそれらのデータの実生産規模への展開について、いろいろな事例を挙げながら実践的に紹介する。

事例としては、

1. 溶媒媒介転移を抑制して、不安定形を製造する場合
2. 安定形に不安定形が混入する場合
3. 安定形、準安定形、不安定形の3種の結晶形から準安定形を製造する場合

についてとりあげる。

単元：吸着

日時：10月28日・木

(午前) 講師：吉田 弘之 [大阪府立大学 21世紀科学研究機構特認教授]

講義内容

吸着現象は一見難しいように見えるが、入ってみれば非常に興味深い現象である。ここでは、その基礎を身近な例を織り交ぜながらわかりやすく以下に示す順序で講義する。

(1) 吸着はなぜ起こるかを、様々な吸着現象について物理、化学、化学工学の観点から解説するとともに、ここでは特に固体吸着剤、イオン交換樹脂についてのみ講義する意味を説明する。その後、代表的な固体吸着剤の特性と用途について概説する。

(2) 吸着平衡、イオン交換平衡について説明した後、代表的な吸着等温線の分類、吸着平衡式の理論を解説する。

(3) 吸着速度を流体境膜および粒子内拡散について説明する。粒子内拡散では、粒子を均質体とみなす場合、細孔が存在する場合の細孔拡散、細孔の表面を拡散する表面拡散などについて説明する。

(4) 典型的な実操作として、回分吸着(バッチ吸着)と固定層吸着を取り上げ、簡単な理論を用いて設計計算ができることを示す。

(5) 近年、広範囲に用いられるようになった圧カスイング吸着、クロマトグラフィー分離、擬似移動層分離などについて、その原理を解説する。

(午後) 講師：茨木 敏 [エア・ウォーター(株)ベルパール事業部技術開発グループリーダー]

講義内容

吸着材料はIT、自動車、家電、環境関連等の産業で用いられており、最終製品の性能を大きく左右する主要部材となることが多い。従って吸着材料の技術進歩は、これら他産業の技術を牽引するといっても過言ではない。

演者は様々な産業分野の方と協力し、炭素系吸着材の開発、製造、市場開拓に携わってきた。本講演ではこれらの経験を生かし、吸着材の基礎と応用、その製造方法、現状の課題等について述べる。

現在のような景気低迷、途上国の追い上げの中で日本の化学産業が今後もその競争力を維持するためには、環境・省エネ分野に注力することが重要である。ここでは、これらと深く関わる以下3点を中心に紹介する。

1) 分子篩炭素とPSA式窒素ガス発生装置

厳密な細孔径制御による窒素/酸素分子篩の例

2) 溶剤回収用・浄水器用活性炭

一般的吸着材の例

3) 電気二重層キャパシタ用電極材

細孔径、表面化学特性、粒子形状制御の例

単元：粉粒体

日時：11月5日・金

（午前）講師：森 康維 [同志社大学理工学部教授]

講義内容

粉粒体操作は多岐にわたり，1日の限られた時間では基礎から応用まで網羅することは困難である．そこで午前中と午後の一部を用いて，粉粒体を取り扱う基礎的な知識を教授し，いくつかの演習で理解を深める構成とした．

午前中には，粉粒体を構成する個々の粒子の大きさの定義を明らかにし，それらが集合した粉粒体としての大きさを表現する手法を述べる．すなわち，集合体を構成する粒子の大きさの平均値（平均粒子径）や，大きさの広がり（分布の幅，例えば幾何標準偏差）について解説し，粒子径の測定方法や表現方法が異なると，同じ集合体でもそれらの値が異なることを明らかにする．

次いで，流体中での1個粒子の運動を表現する式（粒子の運動方程式）を導出し，重力場や遠心力場下での粒子の運動を述べ，これらの結果は粒子の沈降や分散状態を把握することに役立つことを示す．さらに2つの粒子間に働く力として，静電気力，ファンデルワールス力，液架橋力を取り上げ，午後の粉体層力学に関する基礎知識を与える．最後に粒子径が小さくなり，粒子のブラウン運動が支配的となるような状態での粒子の拡散・凝集現象について解説する．

（午後）講師：遠藤 禎行 [住友化学㈱生産技術センター上席研究員]

講義内容

化学プロセスなどで取扱う物質の状態は，気体，液体および固体のいずれかであるが，その中で固体は粒子状物質として気体や液体中に分散して存在する．粒子が介在すると，その現象は粒子の種類によって多種多様で複雑になり，取扱いは厄介なものになる．

午後の前半では，午前の一箇の粒子に着目した基礎知識を粒子層（粉体）に展開して，気体や液体とは異なる粉体の基礎的特性（粒子充填状態，引張りやせん断などの力学的強度），貯槽内の粉体圧と貯槽からの粉体の排出，粒子充填層を通過する流体の抵抗（圧力損失）と粒子充填状態の関係などの基礎的事項に重点をおいて，現象観察の例示や演習を交えて解説し，複雑な粉体操作に対して科学的に対応できる素地づくりを目指す．

後半では，粉体操作の中でニーズの高い「ろ過」と「集じん」を取上げ，それらの原理と理論（たとえば，Ruthの式，ろ過比抵抗の物理的意味など）について講義し，ろ過面積やろ過時間を決定するなどの工業的な取扱いについて解説する．

単元：流動・伝熱

日時：11月9日・火

（午前）講師：大村 直人 [神戸大学大学院工学研究科教授]

講義内容

化学プロセスを支配する運動量（流動）、エネルギー（熱）の移動の原理を相似則の観点から解説し、これらの移動原理に基づき、流動と伝熱の基礎となる流体摩擦係数と圧力損失、力学的エネルギー収支、伝熱抵抗の考え方と伝熱係数などを初学者にもわかりやすく解説することで、簡単な配管設計および、二重管式熱交換器の設計が行えるようにする。

1. ニュートンの粘性の法則
2. 運動量，エネルギー，物質移動の相似性
3. 層流と乱流
4. 流体摩擦係数
5. 力学的エネルギー収支とベルヌーイの式
6. 伝熱機構とフーリエの法則
7. 伝熱抵抗の考え方と伝熱係数
8. 総括伝熱係数と対数平均温度差
9. 二重管式熱交換器の設計

（午後）講師：辻中 正博 [株カネカ高砂工業所工場革新チームリーダー]

講義内容

企業での化学系研究者や技術者が、現実の制約条件の中で仕事をするためには、その分野の基本項目となる基礎理論を理解し、応用するための基本的な知識を身につけており、必要が生じたときに実際に応用できることが重要となる。基礎理論では流動・伝熱の実用に必要な基本項目を順序良く一覧する。応用編では反応装置システムを題材とした実践的な演習を通して、基礎理論を応用した計算の実際に触れる。演習の内容は、化学系企業での具体例としてバッチ式反応槽に新たな攪拌翼を用いることを想定し、攪拌槽内の伝熱性能推算、送液ポンプの所要動力及び冷凍機の必要能力を求める。特に、伝熱性能の推算では、実験装置を用いた模擬実験によるデータの取得から、取得データの解析方法、実機の伝熱性能の推算、反応器内の伝熱コイル面積の推算に至るまでの一連のプロセスを実際の演習を通して解り易く解説する。

単元：攪拌・混合

日時：11月11日・木

(午前) 講師：平田 雄志 [大阪大学名誉教授]

講義内容

攪拌・混合は、汎用の工業プロセス操作であり、均一化、分散、ガス吸収、溶解、反応、伝熱など多様な目的に使用されています。本講座の午前の部では、この操作の基礎的な内容を以下の項目に従って演習を交えながら講義します。

- 1 攪拌操作論の基礎：回分式，流通式攪拌槽に関する物質収支式，エネルギー収支式の立て方．完全混合槽モデルに基づいた簡単な収支式(微分方程式)の導出．その解を利用した反応，伝熱，物質移動操作の設計と性能評価．
- 2 攪拌装置の基本事項：低粘度液用と高粘度液用の攪拌翼の違い，翼形状・設置位置と流動パターンとの関係，邪魔板の役割，攪拌レイノルズ数とフルード数の定義．
- 3 攪拌所要動力：攪拌動力に影響を与える因子と動力数の定義，線図・相関式を用いた攪拌所要動力の算出，非ニュートン流体の攪拌所要動力の算出．
- 4 流体混合：動力数，吐出流量係数を用いた混合時間の算出，混合性能の評価．
- 5 スケール・アップ：条件設定と操作因子の関係．

(午後) 講師：亀井 登 [ダイセル化学工業(株)プロセス開発センター所長]

講義内容

午後の演習の部では、この操作の実操作や設計に関わる実践的な内容を、以下の項目に対して例題を中心に演習を交えながら講義します。

- 1 実践的な知識として、実装置における攪拌機モーターからの動力の伝播メカニズムやモーター動力設計方法など．
- 2 具体的な攪拌所要動力の算出方法，混合時間に着目した効率的な攪拌翼の設計．
- 3 固液系の固体分散のメカニズムと，物質移動促進に関わる設計のポイント．
- 4 液液系の分散のメカニズムと，スケールアップ方法．
- 5 気液系のガス分散並びに物質移動に関わるメカニズムとその設計のポイント．
- 6 高粘度液攪拌の攪拌動力の算出並びに非ニュートン流体の取扱い．

単元：プロセス制御

日時：11月16日・火

(午前) 講師：加納 学 [京都大学大学院工学研究科准教授]

講義内容

流量制御や温度制御を何気なく実務で使っているが、きちんと「プロセス制御」を勉強したことがないという技術者を対象に、プロセス制御の基礎を伝授します。プロセス制御の基礎を身に付けたと言えるためには、1) 現在でも適用件数の90%以上を占めるPID制御の仕組みとその調整方法、2) 制御系設計の基礎となるプロセスのモデル化方法、を習得しなければなりません。本講では、フィードバック制御を中心とするプロセス制御で必須の基礎用語、伝達関数やブロック線図などの制御工学特有の基礎知識、プロセスのモデル化方法、PID制御の仕組みと調整方法を解説します。これだけ知っておけば90%は大丈夫という内容で、最小限の勉強で最大限の効果を目指します。思い切って言えば、制御したいプロセスを、一次遅れ、二次遅れ、積分、および無駄時間の組み合わせでモデル化し、定常偏差なく、振動させずに、制御変数を設定値に維持できるPIDコントローラが設計できれば良いのです。これらを受講者が自分でできるようになることが本講の目的です。

(午後) 講師：巒 義則 [住友化学(株)生産技術センター上席研究員グループマネージャー]

講義内容

本講座の後半では、プロセス制御が実際の企業活動の中でどのように活用されているかを理解してもらうため、まず、その目的、方式・手法(ソフト面)、装置・計器(ハード面)、コンピュータシステムなど、基礎知識全般について一通り学ぶ。次に、前半の講義で理論面を学んだ制御技術について、化学プロセスの各要素を対象とし、実際面から基本的な使い方を学習する。その際、簡単なモデルを組み込んだシミュレータ上で様々なケースを試行しながら制御応答を確認して、制御の効用やパラメータ調整の難しさを体験する。具体的なプロセスの例として蒸留塔を取り上げ、その制御の問題点、基本的な制御系、高度な制御手法などについて学ぶ。最後に、演習問題で、制御ループの設計や制御上のトラブルシューティングに挑戦することでさらに理解を深める。受講対象は、化学工学や制御工学の基礎知識やそれに関連した実務経験があればよいが、なくても理解できるように、実例を交えながらできるだけわかりやすく説明する予定である。