

## <1週>化学プロセスにおける動特性の把握、制御の重要性およびフィードバック制御について学ぶ

### この講義の方針

●理解すること(=知識を実際の現場で使えること)→頭で覚えない。腕で覚える。(本を読んだだけで身に付く技術は無い! 自分で手を使って計算して身に付ける。)

●ある方法で出した計算結果を別の方法で **Cross Check** すること。計算機は入力ミスや計算方法の間違いを指摘してくれない。

●1つの科目の知識だけでデザインはできない。複数の科目の知識を統合して初めてデザインができる。この講義を受けるにあたっては、他の講義の内容を復習したり予習したりする必要がある。

### 科目の概要

重要性と内容：プロセスの動特性を解析する方法、動特性の表現について解説します。プロセスの動特性を数式で表す方法、**On-Off** 制御と **PID** 制御の動作ならびに **PID** 制御の実時間での数値計算法、**PID** 制御の安定性の判別法を解説します。また、制御に使われる数学手法として、ラプラス変換とフーリエ変換を解説します。

この科目には、化学工学量論、熱力学、移動現象論などに関する基礎も含まれる。

### 学習の到達目標

到達目標は、具体的には、次の通りである。

(1)各種プロセスの入力を変化させたときの出力の時間変化を与える微分方程式を量論関係、熱力学(平衡、速度)、熱・物質の移動現象の知識を用いて導けること。特に、完全混合流れと押し出し流れにおいて、入口条件を変化させたときの出口での変化を計算できること。

(2)オンオフ制御器の動作を理解すること。

(3)**PID** 制御の動作を実時間形式で計算できること。

(4)**PID** 制御の安定性を判定する方法を習得すること。そのために、ラプラス変換形式、フーリエ変換形式でプロセスの応答特性を記述できること。

また、レポートを課すので、課題に対する自分の考えを論理的にまとめて、文書により相手に伝えることができること、および、レポートを定められた期限内に提出できることも達成目標とする。

### 教科書の指定

教科書に「**PID** 制御の基礎と応用」(山本重彦、加藤尚武著、朝倉書店 第2版 (ISBN4-254-23110-5))を使用する。なお、この本の第1版 (ISBN4-254-23091-5)を持っている者は、そのまま使用しても良い。

教科書+講義で理解する。(教科書だけでは理解できないところも多い)

### この講義の成果が卒業研究などで具体的に利用できるケース

1)実験装置の制御(温度制御など)

2)ばらつきのあるデータから代表的な値を得る方法

3)過渡的な現象を測定する測定器に必要なとされる特性

4)時間とともに変化する系の微分方程式の立て方と数値解法

5)過渡現象を解析するのに必要な数学的手法

フィードバック制御とは(教科書第1章を読むこと)

あるプロセスの出力(制御量)を測定し(検出器)、その出力が希望した値(設定値、目標値)とずれている場合は、希望した値になるように入力(操作量)を調整する制御方法。

フィードバック制御に必須なもの：検出器、制御量、操作量

### 制御システムが実験精度に影響を及ぼした具体例

吸着カラムの温度調整器の特性により定常状態(吸着=脱着)での吸着カラム出口濃度が変動して定常状態の判定が難しくなった例(図1-a)と、温度制御がうまくいって定常状態がうまく判定できた例(図1-b)。

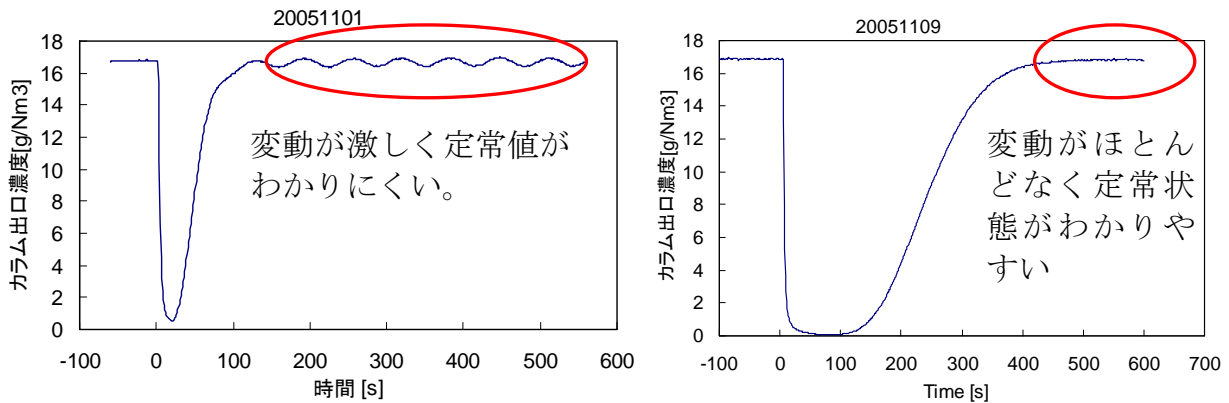


図 1-a 温度制御がうまくいかなかった例

図 1-b 温度制御がうまくいった例

### 良い制御

- 平均的な状態が目標とする状態からのずれが少ない
- いつでも目標からのずれが少ない
- 素早く目標状態に到達する
- 行き過ぎ(オーバーシュート)が大きすぎない

制御対象となるものに必要とされるものの要求から考える。(例えば生物の飼育・培養では加熱する時、温度のオーバーシュートで生物が死ぬことが考えられる。)

1. ある瞬間の状態(濃度、温度など、これを  $X$  と表す)が与えられている。
2. 検査面を作る
3. その瞬間の検査面での物質、熱の流入・流出速度を求める
4. 非常に短い時間  $\Delta t$  の間、物質、熱の流入・流出速度は一定であると仮定する
5. その短い時間  $\Delta t$  の間に検査面内部に蓄積した物質、熱の量  $\Delta q$  を求める
6.  $\Delta q$  の物質、熱の蓄積に伴う濃度、温度の変化  $\Delta X$  を体積、熱容量などから計算する。
7.  $\Delta X$  を  $\Delta t$  で割って、 $\Delta t \rightarrow 0$  の極限をとると微分方程式  $dX/dt = \dots$  が得られる

例 1) 完全混合槽のトレーサー濃度変動を表す微分方程式

液体が容積  $V[\text{m}^3]$  の容器に体積流量  $F[\text{m}^3/\text{s}]$  で流入・流出する。槽の中では溶液は十分早くかくはんされているので、流入する溶液は瞬時に完全に混合し、槽内のどの部分をとっても溶液は均一である。すなわち、完全混合槽内部では液体は完全に混合されているので、内部の濃度  $C$  と出口濃度  $C_{\text{OUT}}$  は等しい。また流出する溶液も槽内の溶液と同じである。このような槽を完全混合槽と呼ぶ。

流入液中にトレーサー(Tracer)が濃度  $C_{\text{IN}}[\text{mol}/\text{m}^3]$  で溶解している。トレーサーは生成も消失もしない(反応しない)。流入濃度  $C_{\text{IN}}$  が変化したときの出口濃度  $C$  の変化を考える。

1. ある瞬間の濃度 (ここでは  $C$  と表す) が与えられているとする。

2. 適宜検査面を作る

完全混合槽を取り囲む仮想検査面を考える

3. その瞬間の濃度勾配、温度勾配等から、検査面での物質、熱の流入・流出速度を求める

$$\text{流入速度} = \text{流入濃度} \times \text{体積流量} = FC_{\text{IN}} \quad [\text{mol}/\text{m}^3] \times [\text{m}^3/\text{s}] = [\text{mol}/\text{s}] \quad (1)$$

$$\text{流出速度} = \text{流出濃度} \times \text{体積流量} = FC_{\text{OUT}} = FC \quad [\text{mol}/\text{m}^3] \times [\text{m}^3/\text{s}] = [\text{mol}/\text{s}] \quad (2)$$

4. 非常に短い時間  $\Delta t[\text{s}]$  の間、物質、熱の流入・流出速度は一定であると仮定する

$$\text{蓄積速度} = \text{流入速度} - \text{流出速度} = FC_{\text{IN}} - FC = F(C_{\text{IN}} - C) \quad [\text{mol}/\text{s}] \quad (3)$$

5. その短い時間  $\Delta t$  の間に検査面内部に蓄積した物質、熱の量  $\Delta q$  を求める

$$\text{蓄積量} = \text{蓄積速度} \times \Delta t = F(C_{\text{IN}} - C) \Delta t \quad [\text{mol}] \quad (4)$$

6.  $\Delta q$  の物質、熱の蓄積に伴う濃度、温度の変化  $\Delta C$  を体積、熱容量などから計算する

$$\text{濃度変化} \Delta C = \text{蓄積量} / \text{体積} = F(C_{\text{IN}} - C) \Delta t / V \quad [\text{mol}/\text{m}^3] \quad (5)$$

7.  $\Delta C$  を  $\Delta t$  で割って、 $\Delta t \rightarrow 0$  の極限をとると微分方程式  $dC/dt = \dots$  が得られる

$$\Delta C / \Delta t = (F/V)(C_{\text{IN}} - C) \quad (6)$$

$$dC/dt = (F/V)(C_{\text{IN}} - C) \quad (\Delta t \rightarrow 0 \text{ の極限}) \quad (7)$$