



## 自動制御と熱交換器制御の研究

増 淵 正 美\*

制御工学の面から見た熱交換器の研究はこれまで筆者の研究室の重要な仕事の一つとなってきた。元来、熱交換器は機械工学、化学工学などにおいて加熱、冷却を行う重要な機器であり、小はわれわれの身の周りの暖冷房から始まって大は製造工場のあらゆるエネルギー受授を担うものであり、さらにガスプラント、発電プラントまた、原子力プラントにおいても各種の熱交換器が多数使われている。

熱交換器はふつう金属壁をへだてて高温流体と低温流体とを接触させて熱移動を行わせるもので、使用目的、流体の種類や性質によってさまざまな構造のものがありうる。

### 1. 熱交換器制御の意味

熱交換器はエネルギー受授において重要な立場を占めるものであるからその制御を行うことにより、操作の高速化、精密化や省力化および安全性の向上など通常の制御の目的は十分実現できる上、エネルギーの有効利用を適切に行うことができる筈である。すなわち、負荷のあらゆる変化に対応した制御によってエネルギーの節減が可能になるわけであり、身近の空気調和から大型プラントに至るまでその効果ははかり知れないものがある。

### 2. 熱交換器制御の研究の要点

(1) 熱交換器の動特性 制御される対象の特性としてもっとも重要な特性が動特性である。熱交換器では流体の種類にも依存するが動特性には熱交換器の形状、構造による特性の違いが大きな影響をもつ。特に熱交換器内では流体の攪拌がふつう行われなから流体温度が時間は勿論、場所の関数になっていることが解析的研究を非常に困難にしている。これを分布系と呼ぶ。

### (2) 使用目的に依存する特性評価

熱交換器の使用される場所が固定した工場内であるとか、移動する交通機関においてであるとかによって特性評価の基準が大きく変わる。もっとも著しい差異は定常運転が多いか、運転状態がひんぱんに変わるかという点であろう。また、最近では特性の良さと省エネルギーとの間の重点のおき方も問題になる。

### (3) 制御方式

古くから知られているPIDフィードバック制御方式を始め、あらゆる制御方法が適用可能である。検出の問題、操作条件、特性改善対策など興味ある問題を多く含む。

### 3. 研究の問題点

当研究室で手がけた熱交換器の種類はかなりの数に及んでいる。すなわち、高温、低温の両流体が並んで流れる並流形、向き合って流れる向流形から始まり、並流と向流が複雑に組合された多管路形、また管路を収めるシェルの数が二個以上の多シェル—多管路形、流動方向が互いに直角をなす直交流形、さらに渦巻形、プレート形、固体壁移動形にも及んでいる。

研究の主要点は前項で述べた動特性解析である。器内の温度変動は上であげたように分布系をなすので、管路数が増したり流体流動方向が複雑になると流体の温度変動を表わす理論式は管路や流路の数に比例した数の偏微分方程式群となる。これを解くには複雑な複素関数が出現するのでこの数値計算はかなり面倒である。研究を始めた頃は手廻しの機械式計算機一例のタイガー式でよく知られた一しか無かったので、流体の入口温度変動に対する出口温度変動の周波数特性曲線を一本画くのにも数週間の日数がかかった。この有様では多数の曲線群を眺めて特性を選んだりすることは夢のような話であって、計算例を示すことしかできなかった。

\* 増淵正美 (Masami MASUBUCHI)工, 産業機械

その後、電動式計算機、リレー計算機、トランジスタ式計算機などと計算手段はめまぐるしく変って現在の大型計算機の時代に入った。

従って懸案になっていた理論計算が急速に進んだことはいうまでもない。だがやはり重要なのは理論式の解だけではなく、作成した理論式が現実の対象をどの程度忠実に表わすかということであり、実験的研究もかなり行った。

実はこれがまたなかなか短時間にデータがきれいにそろそろようなしるものではない。研究室の熱源が貧弱なため温度の安定度がわるいのである。測定にはどのような手法をとるにしても比較的長時間かかるので、近所の研究室の電力、ガス、水道などの使用状況の変動が蓄積されて現われてくるため、役に立つデータは深夜以外にはとれない時代も長く続いた。日曜日が絶好の実験日だったこともある。今から思えばなつかしい限りである。

動特性が判明すると種々の制御方式を試みることができる。流量制御を行う場合の不安定性の存在を確認できたこと、モード制御を行って動特性改善を実施できることを示したこと、オ

ブザーバを用いて応答予測が可能なことがわかったことなどは主要な成果であった。

#### 4. 本研究の発展性

熱交換器の制御は工業プロセス制御の典型と呼べる程、プロセス制御によっての基礎的問題を含んでいるといえそうである。

まず、理論面でいえば偏微分方程式を扱う分布系という点で、どのような制御方式を考えるにしても今後の理論的展開が注目されている分野である。

実際面でいえば熱交換器はもっぱら熱伝達のみを考えているのであるが、さらに蒸発、凝縮の現象を考慮したり、また化学反応、結晶などの現象も追加して取扱うことが比較的容易に行いうるプロセスなのである。また、伝熱や物質移動を主に必要とする人工臓器の研究にも密接な関係がある。

従って熱交換器自体では動特性研究と制御問題の一応の体系はととのってきたと思われるが、今後工業プロセス制御へのより高度な展開がこれから興味ある分野である。