

## 設計トラブルと対策事例シリーズ 向流クロマトグラフィー装置における 遠心力による転がり軸受の破損

液体クロマトグラフィーは、水溶液中から目的の物質の分離や定量、濃縮などのプロセスを取り行う装置で、化学の分野において広く使用されている。また医用分野で、薬の精製においては、この装置なくしてその産業は成り立たないというくらいのキー技術となっている。

この装置は、JIS K0124：2011に次のように記載されている。

「液体の移動相をポンプなどによって加圧してカラムを通過させ、分析種を固定相と移動相の相互作用である吸着、分配、イオン交換、サイズ排除などの差を利用して高性能に分離して検出する」。

この装置と同じ原理を用いた、溶液を溶媒と溶質に分離するプロセスを実現する向流クロマトグラフィー装置は、自転・公転運動による遠心力を用いて、このプロセスを達成している。本稿では、この分離プロセスを実現するチューブの自転運動を支持する転がり軸受に、遠心力の過大な力が負荷荷重として加わることで、この軸受が破損した事例とその原因および対策を示す。さらに、回転体のバランス取りと不釣り合いによる、回転体に発生するモーメント力の汎用的な計算法である慣性乗積を用いた方法も併せて説明する。

### 執 筆 者

米屋技術士事務所 金友 正文\*

\*かねとも まさふみ：代表，技術士（機械部門・情報工学部門） URL：www.kbtcomeya.com

## 向流クロマトグラフィー装置とは

向流クロマトグラフィー (Counter Current Chromatography<sup>1)</sup>) 装置 (CCC 装置) は、液体クロマトグラフィーに分類される装置で、溶質、溶媒が重力などによって分離される性質をもつ溶液を濃縮するプロセスを実現する。液体クロマトグラフィーは、水溶液中から目的の物質を取り出す濃縮プロセスを実施する装置で、化学の分野では広く使用されており、製薬会社などではこの装置なくして、その産業は成り立たないくらいキーとなる技術である。

この装置は、JIS K0124:2011に次のように記載されている。「液体の移動相をポンプなどによって加圧してカラムを通過させ、分析種を固定相と移動相の相互作用である吸着、分配、イオン交換、サイズ排除などの差を利用して高性能に分離して検出する」。機械技術者になじみのない単語が多く出てきて、理解しづらい現象である。

通常の液体クロマトグラフィーの使用法としては、移動相液体の流れの中に少量の分析種を導入し、固定相との相互作用を利用して分析種中の目的物質を分離し、分析する方法が主流であるが、移動相中に均一に含まれる微量物質を連続的に固定相中に濃縮することも可能である。溶かし込んだ溶液中の溶質のみを吸収する固定相を準備し、移動相を固定相に接触させてその溶液の吸着を行い、連続動作として、濃縮プロセスを実施する装置と考えるとわかりやすい。以下、この液体クロマトグラフィーの一種である CCC 装置の機械技術との接点について説明する。

装置に要求される機能は、濃縮を効率的に行う環境の提供、すなわち両液がよく混ざり合い、さらに目的の液体が回収できる機能を有することである。目的の物質を溶かし込んだ2種類の液体を処理する CCC 装置の原理を理解するために、らせん状に巻いたカラムと呼ばれるコイル状のチューブ内を、図1に示すように溶液を通過させる方法を示す。

同図左が固定相のチューブが回転しない方式で、右がチューブが回転する方式である。回転するこ

とで移動相の流れが変わってくる。この両方式は、チューブの固定相内をシリンジの加圧による移動相が動く過程で、移動相と固定相間のプロセスで、濃縮などの処理が行われる。このとき、目的とするプロセスを行うように固定相と移動相の溶液を選択し、これを用いなければならない。

この方法は、比重の異なる2種類の液体を用いており、チューブ静止方式では、重力によって移動相が固定相内を通過し、容器にプロセスの終わった移動相の溶液が回収される。この場合、コイルの直角方向に重力が作用しており、上図から順位プロセスは下方向に移動する。

まず初期の注入では、水滴状態で移動相溶液が固定中の溶質を100%吸着し、溶液内を進み、ここで両溶液相間でプロセスが実施される。この溶液がチューブの下部に達すると塊化し、チューブの頂上位置まで塊が一体となり移動して、頂上に達した移動相溶液はこの部分で水滴化する。そして最下段に示す絵のように連続した移動となり、処理の終了した移動相の溶液が回収される。ユーザーである化学分析者は、この容器に回収した移動相の溶液を目的の作業に使用する。例えば、たんぱく質の濃縮精製にこのプロセスを使う。

一方、チューブを回転させる場合に移動相の動きを示したのがカラム回転方式で、図1の右図がその内容を示している。ここでは、処理済の移動相の溶液がチューブの他端にその回転力の影響で集まり、その収集能力が増す特徴がある。これは、中段に示したように重力とねじれによる軸方向の移動相の送り力が、中段から下段に示したようにチューブの右端に処理済の移動相の溶液を集める。したがって、この溶液を容器に連続的に回収することで、目的のプロセスを実行することができる。チューブ回転方式が、装置の基本性能である処理速度が速い特徴がある。

チューブの回転を用いた図2に示す現象によって、CCC装置内で濃縮プロセスが実施されていると考えられると理解が進む。図2は、自転するチューブ内の溶液の流れを示したもので、CCCプロセスを実現するチューブを巻いたドラムを自転させる機構に加え、公転機能を追加し、チューブ内の固定相と移動相が混じり合う様子を示している。