



工学部産業機械工学科第六講座

研究室紹介

森川敬信・辻裕

当研究室は昭和41年設置の産業機械工学科において、昭和44年設備工学講座として発足した。現在、森川敬信（教授）、辻裕（助教授）、吉岡宗之（助手）、田中周治（助手）、上村満子（事務官）のスタッフのほか、大学院後期課程1人、前期課程6人、学部学生7人より構成されている。研究室担当の森川教授は植松時雄名誉教授とともに、長く固気二相流の研究に携わり、当研究室においても空気輸送およびその基礎として固体・気体二相流（以下、固気二相流と呼ぶ）の流動に関する研究を進めている。

穀物の輸送から出発した空気輸送技術は、排気ガス、粉塵、騒音などの輸送公害を発生せず、設備設置の床面積が小さく、遠隔操作が容易であるなどの利点を有し、今日では多種多様な物質の輸送に応用されている。しかし一方では消費動力が他の輸送手段に比べ大きいことが欠点として挙げられ、省エネルギーのための技術開発が重要な課題となっている。その他、被輸送物質のこわれや管の摩耗が問題となる場合には高濃度かつ低速度で輸送を行い、しかも管の閉塞の危険性がない方法の開発など高度な仕様が要求されている。その上、管内の固気二相流については、固体粒子の種類、形状、濃度さらに空気流速、管径など関与するパラメータが多く、流動特性の予測は一般に困難である。

当研究室の現在の主な研究テーマは以下のとおりである。

1. プラグ輸送

固体粒子群に管内でプラグ（栓）を形成させ、低速度で輸送する方法は、空気流量が少なくすむため、所要動力の低減法として最近とくに期待されているものである。また、食品やタブレット状薬品は輸送時の破損により商品価値を失うものが多い。通常の空気輸送では粒子

は高速で管壁と激しい衝突を繰り返すが、プラグ輸送では粒子群が密な状態のまま輸送されるので管壁との衝突がない。したがって従来こわれの問題のため空気輸送の対象からはずされていた物質への応用が可能である。逆に鉱石類など硬い物質の輸送において、上と同様の理由で管壁の摩耗が問題となる場合にも、プラグ輸送は適している。このようにプラグ輸送は理想的輸送法であるが、与えられた条件によって流動状態が著しく異なり、安定した流れが得られにくいいため、まだ十分安心して利用できる段階には至っていない。当研究室では、輸送管内に内管を設けた二重管方式を用い、内管の一定区間ごとに設けた小孔から二次空気を噴出させ、プラグ流の安定化を試みている。現在、試作した輸送装置を用い、プラグの形態や安定したプラグが発生するための条件、またプラグの移動速度や発生割合を決定する要素などを調査している。さらに輸送動力を決める基礎として重要な個々のプラグ内で生ずる圧力損失を測定し、圧力損失の整理法を模索している。当研究室で採用している方式の利点は、閉塞の危険性が少ないことにあり、研究の今後の発展に期待をかけている。

2. レーザ流速計による固気二相流の測定

管内固気二相流に関する従来の研究の多くは流れを一次元的に扱い、また粒子と流体の相互作用を無視してきた。これは適当な計測手段を欠いていたためであるが、そのために管内の現象に対する理解は单相流に比べ非常に遅れている。粒子の挙動については高速カメラや種々の光学的方法を用いて、これまでも研究されてきたが、流体の運動に関する情報が伴わなかったため、相互作用を論じるには至らなかった。現在当研究室では空気輸送の基礎的研究の一つ

として、レーザ流速計を用い、管内固気二相流の流体および粒子の運動の詳細を調べている。非接触測定を特長とするレーザ流速計はピトー管や熱線流速計では測定できない量を測定可能にしたが、管内固気二相流に応用する場合、この流れ場に固有の問題が存在する。たとえば、粗大粒子からの信号と流体運動に追従すると考えられる散乱粒子からの信号を逐次判別し処理することが必要となる。とくに流体の乱れのスペクトルを求めるためには、特別な工夫を要する。当研究室ではこのような計測技術上の問題と取り組み、水平管内の実験において粗大な粒子が流れを一層攪乱する効果と、逆に乱れの抑制効果の両面をもち、乱れ場に著しい非対称性を与えることなどを明らかにした。また比較的粒子径が小さい場合、流体の乱れが容易に抑制され、二相流における抵抗減少の機構と定性的に関連する結果を得ている。

3. 複数の球の流体力学的干渉

二相流は微視的には球のまわりの流れの集合であり、球と流体運動の相互干渉が巨視的な二相流の性質を決定する。粒子濃度が大きくなれば粒子に作用する流体力は単一球に作用するものと同じとして扱うことができるが、高濃度になれば粒子間の相互作用を考慮しなければならない。当研究室では流水槽を用い、複数の球のまわりの流れの可視化実験、さらに球の流体抵抗の測定も行い、干渉の程度を明らかにした。現在、一様流中に球が置かれた場合から、管内乱流中に球がある場合へ研究を進めている。

4. 空気輸送の計算機シミュレーション

空気輸送の従来理論では、個々の粒子の運動を問題にせず、粒子の集合体の運動を一次元的に扱う方法が採られてきた。この場合、粒子群に作用する力として空気の抵抗力、管壁との摩擦力、重力などを考慮して粒子群の運動方程式を導いてきた。これらの力の中で管壁との摩擦力の表現が便宜的なものであり、また従来の方法の問題点は、その摩擦力の表現に必要な実

験定数を、結局は空気輸送の実験から定めざるを得ない点にある。管壁との摩擦力は本来個々の粒子が管壁と接触するときのみ作用する力であり、個々の粒子が管壁と接触する際に失う運動エネルギーを知ることができれば、便宜的表現を避けることが可能である。また微粒子の場合を除けば、一般に粒子速度ベクトルは気流の乱れや二次流れの影響をほとんど受けない。したがって、個々の粒子の運動の記述において、それらの影響を無視することができ、粒子の運動の追跡はそれほど困難ではない。以上の考え方に基づき、当研究室では、粒子の径、密度、反発係数、動摩擦係数が与えられた場合、ホッパからランダムに落下する個々の粒子が流体力および重力の作用を受け、時には管壁と衝突しながら飛行する過程を計算機で追跡している。すでに、曲り部における粒子の運動、付加体力損失などに関して良好な結果を得たので、種々の条件下の場合への拡張を行っている。

5. カプセル空気輸送

増大する一方の輸送需要に答え、しかも既存の輸送手段が持つ種々の欠点のない新しい物流システムとして大量カプセル空気輸送構想が最近再び注目されている。輸送原理は管路内を車輪で支えられたカプセルを空気圧によって送るというきわめて単純なものである。しかし、大重量・長距離カプセルでは、すでに郵便局や工場などで使われている小規模なカプセル輸送に比べ、高度な技術が必要となる。たとえば、非定常でしかも複数のカプセルの運動を正確に予知しなければならないが、そのためには流体力学的に幾多の問題を解決しなければならない。当研究室では、大規模カプセル輸送の実用化に向けての基礎資料を得ることを目的とし、管内流中に固定されたカプセルのまわりの流れの詳細を調べることから研究に着手した。実際の走行実験に先立ち、走行の理論解析や、相互干渉下にある複数カプセルに働く力の測定なども行っている。さらに、発進、停止、再発進、回収時の制動などの非定常特性の調査に重点を置き、走行実験を行う予定である。