

氏 名	片 岡 邦 夫
	かた おか くに お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 224 号
学位授与の日付	昭 和 45 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専 攻	工 学 研 究 科 化 学 機 械 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	共軸二重回転円筒間流れの輸送現象
論文調査委員	(主 査) 教 授 水 科 篤 郎 教 授 桐 栄 良 三 教 授 吉 岡 直 哉

論 文 内 容 の 要 旨

同心軸をもつ2重円筒間にできる環状部に流体をみたして外円筒を静止し、内円筒を回転すると、環状部に流れ方向の圧力勾配をもたない剪断流れが形成される。本研究はこの回転流動系の輸送現象の基礎的研究である。

先ず序説において本研究の目的とその概要について記述し、ついでこの研究の歴史的背景についてふれている。このような流動系に関する従来の研究の主流は、流れが不安定になりテイラー渦が発生する遷移現象の、主として理論的研究であり、輸送現象に関する研究には回転機械への応用の立場から、時間・位置平均の輸送速度を研究した報告が少しあるのみである事を指摘し、今後この種の回転流動装置が応用されるためにはさらに基礎的な研究の必要な事を主張している。

以下主として実験的技術の面から3章にわけて記述を進めている。

第1章は管内流れ等の並進流において発展して来た熱および運動量の乱流輸送機構のアナロジーの理論を共軸回転円筒間流れに適用したものである。すなわち本章では各種の有機液体および水銀を流体とし用い、完全乱流域における時間・位置平均の伝熱係数および流体摩擦係数を測定し、ついで熱および運動量の乱流拡散係数を求め、それぞれ並進流の結果と対比的に論じている。

第2章においては完全層流域より少し早い回転数の範囲で発生するドーナツ状のテイラー渦流れの輸送現象について研究している。輸送現象の局所的变化および時間的变化を測定するために、反応イオンの拡散速度が律速の電極反応を利用して外円筒壁上の物質移動速度分布を実測し、その局所的分布とテイラー渦との関係、物質移動速度の時間的平均値および時間的変動の軸方向分布より解明した、各テイラー数範囲の流動状態の遷移現象、さらにテイラー渦の形と性質等につき論じている。

第3章においては、テイラー渦の存在するテイラー数範囲の流れ本体の流動機構を解明する目的から流体中に浮遊させた微粒子の飛跡を写真撮影し、流れの速度を算出するストロボ解析法につき記述している。ついで、その結果得られたテイラー渦流れの3次元速度分布について述べ、さらに軸方向の位置的変

動に関する運動方程式と運動エネルギー方程式について論じ、それより得られるテイラー渦流れの速度分布の理論値を実測値と比較検討している。またテイラー渦の発生する臨界テイラー数を理論的に求め実測値と比較してよくあう事も示している。

最後の第4章には総括を行ない今後の問題点を指摘していると共に、この共軸回転円筒間流れに軸方向流れを伴う場合の輸送現象は、電動機等の回転機械の設計の際に応用されるのみではなく、攪拌槽の循環流に相当するテイラー渦が軸方向に数多く並ぶことより、連続的混合槽として連続操作の化学反応装置にも応用される可能性のあることを示唆している。

論文審査の結果の要旨

本論文は内円筒が回転し、外円筒が静止する共軸二重回転円筒間の環状部流れの輸送現象の基礎的研究を記述したもので3部よりなっている。その主な成果はつぎの通りである。

1. 乱流輸送現象

1.1 流体としてトルオール、*n*-ブチルアルコール、グリコール、水銀を用い、内壁面に働く剪断応力を測定し、流体摩擦係数を求めると、既往の研究者とほとんど同じ関係式で整理される事を示した。

1.2 同種の流体を用いて壁面間の熱貫流係数を求めると既往の研究者と同じ関係式で整理されるが、水銀だけは30%ほど低く、液体金属特有の性質を表わすことを示した。

1.3 乱流中心部の運動量および熱の乱流拡散係数を求め、前者は半径方向にほとんど一様な分布を示すにもかかわらず、後者は間隙の中心部に山を有し、しかも前者の20倍程度の値を有することをみいだした。

1.4 この差は運動量はベクトル量であり、熱はスカラー量であることが原因であることを混合距離理論を用いて説明した。

2. テイラー渦流れの輸送現象

2.1 拡散速度律速の電極反応を用いて外円筒壁面における物質移動およびその時間的変動の局所値の軸方向分布を求め、層流からテイラー渦流れをへて、完全乱流に至る遷移現象を、テイラー数の範囲により5段階に分類した。

2.2 またその分布形よりテイラー渦の形を推定したが、それによると、テイラー渦は巾が大体二重円筒の間隙と等しく、規則正しく並ぶが、必ずしも断面が円形ではなく、履歴により楕円形にひずむことを示した。

3. テイラー渦流れの流動機構

3.1 流体中に流体と同密度の微粒子を浮遊させ、その飛跡を写真撮影し、流れの速度を算出する、ストロボ解析法により、テイラー渦流れの3次元速度分布を求めた。

3.2 層流からテイラー渦流れに遷移する臨界点に関する不安定性理論を臨界テイラー数以上の遷移域まで拡張し、3速度成分の相対的大きさを求め、つぎにこれらに乱れエネルギーの収支論を応用する非線型理論を適用した式を数値積分して、本研究に用いた装置においてテイラー渦の発生し始める臨界テイラー数を求め、さらにテイラー渦の速度分布の理論解を得た。臨界テイラー数は実測値とよくあい、速度分

布もテイラー数が臨界テイラー数の2倍までの間の実測値とよくあうが、テイラー数がそれ以上大になるに従い、1次渦のみで近似した実測値の整理法および理論式の欠点が出て、理論式と実測値が合わなくなること示している。

以上要するに本論文は共軸二重回転円筒間の流れの輸送現象につき、基礎的研究を行った結果をまとめたものであり、その成果は学術上高い価値を有するのみでなく、回転機械の設計の際に応用され、また連続操作の化学反応装置にも応用される可能性を有するなど工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。