

氏 名 原 田 巖
はら だ いわお
 学位の種類 工 学 博 士
 学位記番号 論 工 博 第1325号
 学位授与の日付 昭 和 55 年 9 月 24 日
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
 学位論文題目 Numerical study of compressible rotating flows in a gas centrifuge
 (遠心分離機回転胴内における圧縮性回転流れの数値計算による研究)

論文調査委員 (主査) 教 授 桜 井 健 郎 教 授 徳 岡 辰 雄 教 授 赤 松 映 明

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、超高速気体遠心分離装置内の気流に関するものである。定常流れを非定常流れの漸近状態としてとらえる立場から、気体に対するナビエ・ストークス方程式の初期境界値問題を構成し、差分法を用いて精度良く安定に解く方法を確立し、バッフル板を有するような複雑な形状の分離機内の流れ及び圧縮性の強い場合の流れに適用した。また、レーザー・ドップラー流速計を用いて給排気形流れを測定し、理論結果と比較している。7章23節より成っている。

第1章は緒言で、気体遠心分離装置内の流れの研究の歴史と現状及びこの論文の構成を述べている。

第2章は差分法の適用に便利な形の基礎方程式を述べている。2.1節で保存形原始方程式を、2.2節で流れ函数一温度方程式を述べているが、前者は圧縮性後者は非圧縮性の場合の扱いに便利である。

第3章では、非圧縮回転流れの差分解法は気象学に於ける Willams の解法に於ける重力の項を遠心力の項に読みかえると得られる事を述べている。

第4章は非圧縮回転流れに関するものである。

4.1節で熱誘起形流れ即ち上下端板間の温度差によって起される流れを論じ、定常流れに漸近する時間はほぼ回転減衰時間であるが、円周方向の速度成分は拡散時間で変化する事、線形理論の適用範囲では軸方向の速度成分は同理論とよく一致する事を明らかにした。

4.2節では外部誘起形流れ即ち上端板からの流入下端板からの流出によって起される流れを透明な容器と空気を用いて作り、円周方向の速度成分をレーザー・ドップラー流速計の前方散乱モードを用いて良い精度で測定出来る事を明らかにしている。

4.3節では4.2節の流れを解いて流れ模様を明らかにし、4.4節で測定結果とよく一致する事、線形理論と不一致があるがそれは線形理論では予測出来なかつた子午面流れの存在による事を明らかにしている。

第5章は圧縮性回転流れの差分解法について述べている。

5.1節でオイラー風上差分法、5.2節でデュフォー・フランケル蛙跳び風上差分法を述べ、前者は圧縮性

の弱い流れ、後者は圧縮性の強い場合に適する事を明らかにしている。

第6章は圧縮性の弱い流れに関するものである。

6.1及び6.2節に於てバッフ板を有する円環域内の流れの境界条件を与え、6.3節では数値解の安定性、精度及び経済性の問題を論じている。

6.4節では熱誘起形流れを論じ、複雑な流れ模様も境界層の考えに基づいて見通し良く整理出来る事、特に子午面流れが数個の基本ループの重ね合せとして理解出来る事を明らかにしている。

6.5節はまさつ誘起形流れ即ち上下端板と側壁の間に角速度の違いのある場合を論じ、特に円環域内の流れの大域は柱状クエット流れで、流れ模様の変化はバッフ板近くに限られる事を明らかにした。

6.6節で熱誘起形流れを、6.7節で熱・まさつ混合誘起形流れを論じ、混合誘起形流れでは夫々の誘因を基に流れの定性的模様を簡明に理解出来る事を示した。

第7章は圧縮性の強い流れに関するものである。

7.1節乃至7.3節では境界条件、パラメータについて論じ、内側壁と外側壁の間の高い圧力比の為に起る数値解法上の困難がデュフォー・フランケル蛙跳び風上差分によって除去される事を明らかにしている。

7.4乃至7.6節では熱誘起形及びまさつ誘起形流れについて外側壁の回転速度について取ったマッハ数の2つの値に対して比較している。そして内側壁近くの低密度域が高粘性部として働らく有様を明らかにし、まさつ誘起形流れに於けるまさつ発熱の作用の重要性を明らかにしている。

最後に7.8節では時間刻み、空間格子の切り方を3通りに変化させて計算結果を比較し精度を確かめている。

論文審査の結果の要旨

我が国はウランの濃縮に遠心分離法を用いているが、本論文の筆者は気体力学の立場からその開発にたずさわって来た。本論文は開発研究の内容を纏めたものである。

実用の遠心分離装置は半径約10cm高さ約3mの細長い円筒で1分間に5万乃至8万回転する。側壁上の遠心力は約10万Gで、6弗化ウランガスは側壁上の薄い成層“大気”に集中しているが、給気は軸附近の希薄な部分から行われる。側壁は数個の円筒をペローで接続して構成され、端板近くにはバッフ板や静止スクープ管がある。

このような装置内の気流を調べるには、翼理論のような狭義の気体力学的手法は役立たない。筆者は定常な気流に対応する非定常な気流の漸近状態としてとらえる立場に立ち、気流に対するナビエ・ストークス方程式の初期境界値問題を解く際に天文学及び気象学に於て早くから確立されている手法を用い、任意の境界条件の下での気流を求める安定で精度の高い経済的な差分法を確立した。また、レーザードップラー流速計を用いて給排気形回転流れの円周方向の速度成分を高い精度で測定し、計算結果と比較している。得られた主な成果は次の通りである。

(1) 線形理論の適用範囲では、同理論によって明らかにされている境界層の構造が筆者の方法によってもよく再現出来る事を明らかにした。そして、定量的不一致の原因は線形理論では予測出来なかった流れ模様の詳細：即ち境界層外の子午面流れに起因する事を明らかにした。線形理論の適用範囲外の計算結果

も、境界層的な考察を基に定性的に理解出来る事及び子午面流れの模式的構造が幾つかのループの組み合わせとして理解出来る事を明らかにした。

(2) 線形理論、差分法、レーザードップラー流速計による測定3者の結果を給排気形回転流れの円周方向の速度成分について比較し、差分法の結果と測定結果がよく一致する事、線形理論の結果との不一致の原因は(1)と同様に理解出来る事を明らかにした。分離機内の流れについてこのような比較が公表されたのは始めてである。

(3) 側壁の圧力を一定にして高速回転にした場合について、デュフォー・フランケルの手法が有効である事を見出し、軸附近の希薄で動粘性係数の高い領域によって子午面流れが支配される有様を明らかにした。また、粘性まさつによる発熱の効果が流れに及ぼす影響を始めて取り上げ、発熱の効果によって子午面流れが強められる事を明らかにした。

以上のように本論文は実際の気体遠心分離装置内の流れの研究を進展させた。その成果はパッフル板、ペロー等の形状決定のような具体的な問題を通して我が国の遠心分離装置の開発に直接反映されており、学術上、工業上寄与する所が少なくない。

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。