

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12962 号
------	---------------

氏 名 KADU Pravin Ananta

論文題目

Numerical investigation of momentum and scalar transport in
turbulent unconfined coaxial swirling jet
(乱流開放型同軸旋回噴流における運動量とスカラー輸送の数値的
研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	酒井 康彦
委員	名古屋大学	教授	内山 知実
委員	名古屋大学	教授	長田 孝二
委員	名古屋大学	准教授	伊藤 靖仁

論文審査の結果の要旨

KADU Pravin Ananta 君提出の論文「Numerical investigation of momentum and scalar transport in turbulent unconfined coaxial swirling jet (乱流開放型同軸旋回噴流における運動量とスカラ輸送の数値的研究)」は、開放された空間に放出される軸対称同軸旋回噴流を対象として、運動量とスカラ輸送機構を数値的に明らかにしたものである。特に、外側の環状噴流に与えられた旋回の強さが乱流レイノルズ応力や乱流スカラフラックスなどの乱流統計量の分布や流れの構造に与える影響を解明することに重点が置かれている。本論文は6章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は結論であり、まず旋回噴流の産業応用について述べ、次に、旋回噴流とそれに伴う渦崩壊現象に関する基礎理論を広範な文献調査に基づき紹介している。さらに、これまでの同軸旋回噴流に関する問題点を指摘することにより本論文の研究目的が示され、最後に本論文の構成がまとめられている。

第2章では、調査に対して採用された流れの条件と数値計算法が示されている。フラクショナルステップ法が支配方式であるナビエ・ストークス方程式と連続式を解くために採用され、また、汎用ソフトであるOpenFOAMを利用して、噴流出口での瞬間的な速度成分データが内側と外側のノズルの両方について生成され、それを直接数値計算格子に写像するという方法を考案している。外側環状噴流の旋回の強さを3種類(スワール数 $Sw=0, 0.5, 1.8$)に変え、下流の噴流の状態を調べている。

第3章では、まず、 $Sw=0, 1.8$ の結果に対して実験データと比較することにより数値計算結果の有効性を示している。次に計算結果について考察し、中程度の旋回強さ($Sw=0.5$)の場合は噴流上流側で負の圧力勾配が発生し縮流加速域が発現するが、下流側では流れ方向速度の減衰と半径方向の拡がりが増加することが示されている。また、強い旋回強さ($Sw=1.8$)の場合は、軸対称渦崩壊泡あるいは内部再循環領域(IRZ: Internal Recirculation Zone)と呼ばれる領域が発現することが示された。さらに、レイノルズ応力の収支が調べられ、旋回によってレイノルズ垂直応力の生成が促進されること、特に平均速度の流れ方向や半径方向勾配を持つ項がそれらの生成に貢献することが示された。

第4章では、二つのスカラを内側と外側の噴流に別々に入れることにより二つの噴流の混合が調べられた。中間の大きさの旋回($Sw=0.5$)の場合は、旋回のない場合($Sw=0$)と比べて噴流上流側では、内側噴流スカラのよりゆるやかな減衰と外側噴流スカラの内側へのよりゆっくりした発展が観測されたが、下流領域ではより大きい拡がりが見られた。旋回が強い場合はIRZの発現のため他の二つの場合と比べてスカラの著しい拡がりが見られた。また、旋回の導入によって二つのスカラのセグレーションパラメータが下流領域で正の値を取ることが示され、これは旋回によって混合が促進されること示すものとして興味ある結果である。

第5章では、強い旋回の場合に対してスペクトル正規直交展開法(SPOD)法による解析が実行され、物理的に重要な流れ場とスカラ場の構造が抽出された。速度場に対して最初の4つの最もエネルギーが大きい空間モードは中心のよどみ点上流側で対向回転する渦対構造を持つことを明らかにし、一方スカラ場についても最初の4つの空間モードがまた内部せん断層内で正負に交互に配置するような整った塊構造を示すことを明らかにした。これらの4つのモードは速度場、スカラ場ともにRMS変動速度値、RMS変動スカラ値、半径方向スカラ流束の大きさにかなりの貢献をすることを明らかにした。

第6章では、第2章から第5章で得られた知見をまとめ、本研究の結論を与えるとともに将来の課題と展望が示されている。

以上のように、本研究は数値計算により、軸対称同軸噴流において、外側環状噴流の旋回の強さが各種乱流統計量の分布や流れの構造に与える影響を明らかにしたものである。特に、強い旋回が導入された場合に、内部再循環領域(IRZ)が発現し、その上流側で乱れエネルギーが大きい空間モードが示す渦対構造が運動量とスカラの混合・促進に重要な役割を果たすことを見出している。本研究で得られた知見は産業界で実際に使用されている燃焼器やバーナー等の流れ特性や混合状態を予測するための基礎知識を与え、実機設計のために有用と考えられ、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者であるKADU Pravin Ananta君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。