

## 論文審査の結果の要旨

博士後期課程 先端融合科学専攻

オプティクスバイオデザインプログラム

氏名 武田 玄太郎

(1,500字程度とし、1行43文字で記入)

本論文は、「ガスワイピング高性能化のための二次元衝突壁面噴流安定制御」と題し、二次元噴流の初期せん断渦状態による噴流遷移領域での衝突壁面噴流の発達形態を可視化実験によって定量化し、初期せん断渦形成の制御方法と衝突壁面噴流安定性、およびその工業適用について検討した結果をまとめたものである。

二次元噴流は工業プロセスに広く用いられているため古くからの研究課題であり、その基本的な発達形態は明らかになっているものの、工業的に重要な噴流の **transition region** における衝突壁面噴流の発達やその制御方法は明らかになっていない。そこで本論文では、二次元噴流ノズル条件（内部形状、噴射角度、噴流レイノルズ数）によって噴流の初期特性を変化させ、その発達挙動と衝突壁面噴流発達形態を流体可視化実験で俯瞰するとともに、噴流速度場を PIV（粒子画像流速測定法）で定量比較した。

本論文は5章で構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的として溶融亜鉛めっき鋼板に求められる特性を踏まえ、めっき付着量制御における課題を俯瞰し、各課題の流体工学上の関連性を整理した。そして先行研究に基づいて、理想的な二次元噴流形態の方向性を示した。

第2章では、二次元噴流ノズルの内部流路形状によってノズル出口における初期流速分布を変化させ、初期噴流せん断渦の形成と衝突壁面噴流形成への影響について検討した。

第3章では、二次元噴流ノズルを衝突板に対して $65^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 傾斜させた際の壁面噴流発達形態変化と安定性について調査した。

第4章では、二次元噴流の積極制御形態として3スリットノズルを対象にし、3噴流合流後の合成噴流の直進性制御、ワイピング性能に有利な補助噴流条件とそのときの合成噴流発達形態を明らかにした。

最後に、終章となる第5章では、本研究を振り返り、その成果や工業的価値をまとめた。

本研究によって得られた成果は以下の通りである。

- 1) 噴流発達形態における **transition region** では、ノズル噴射初期の二次元噴流両縁せん断層制御によって衝突壁面噴流形態を制御可能である。本研究で用いたコンタードノズルでは、噴射出口での速度分布をトップハット型になるため周囲流体との速度差が大きく、噴射後直ちに噴流両縁に双子渦を形成させることで衝突噴流自体の振動を抑止し、ストレートノズルに比べて速

度変動の小さい壁面噴流を形成する。コンタートノズルの適用によって安定領域が広がり、製造性向上が期待できる。

- 2) 傾斜衝突形式にすると、ストレートノズルであっても壁面衝突後の分流割合の偏りによって衝突噴流振動を高次モードに移行させ、大規模渦の発生を抑制と壁面から剥離しにくい壁面噴流を形成する。
- 3) 3スリットノズルでは、ストレートノズルタイプの中央噴流両縁の乱流エネルギーを中央噴流よりも低速の補助噴流によって低減し、中央スリットの拡散の抑止によって急峻な衝突圧力分布を形成すること、それによってガスワイピング性能が向上する。

本論文については、令和6年1月23日に宇都宮大学陽東キャンパス10号館3階センター会議室において、審査委員全員を含む多数の出席のもとで公聴会が開催され、研究成果の発表および質疑が行われた。その後学位審査会が開催され、本論文の内容を詳細に検討した結果、二次元衝突壁面噴流に及ぼす初期せん断層渦の影響メカニズム、それに基づいた初期せん断層渦制御方法、壁面噴流の安定化条件が提示されていること、さらに工業有用性についても示されていることが確認された。本論文は学術的にも工業的にも価値があり、研究としての独創性においても優れたものと判断した。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。