

論文の内容の要旨

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

(2,000字程度とし、1行43文字で記入)

自動車、建材、家電用表面処理鋼板を製造する連続溶融亜鉛めっきライン (Continuous Galvanizing Line, 以後 CGL) の亜鉛めっき付着量制御には、一般的にガスワイピング法が用いられている。ガスワイピング法は二次元気体噴流を用いてめっき液体付着量を制御する手法であるため、鋼板およびめっき液に非接触で亜鉛付着量を制御でき、付着量均一性、薄めっき性および経済性に優れているなどの利点がある。ガスワイピングは亜鉛めっき鋼板の表面品質を決定づける重要な工程であり、この二次元噴流の振動現象に起因して、種々のめっき後表面欠陥が発生することが知られている。

二次元噴流は、加熱、冷却、乾燥、混合、汚染物除去、液膜調整といった工業プロセスに広く用いられている。そのため二次元自由噴流は古くからの研究課題であり、その基本的な発達形態は、流れ場の可視化観察、速度場計測、およびそれらを統計処理した平均速度、レイノルズ応力といった指標で整理される。自由噴流の流れ場は、ノズル噴射口 (ノズル出口ギャップ B) からの距離 h によってノズル出口平均速度が衰えないくさび型のポテンシャルコアの存在する **near field** ($h/B \leq 6$)、ポテンシャルコアが消失し混合が進展して複雑な流動となる **transition region** ($6 \leq h/B \leq 30$)、初期運動量の自己保存則が成り立つ **far field** ($h/B > 30$) に大きく分類される。

従来の噴流研究を踏まえると、CGL でめっき表面模様を安定化すべく噴流振動を極力回避するには、ポテンシャルコアが存在する **near field** でガスワイピングするのが望ましい。しかし、実際の CGL では、ワイピングされた溶融金属の一部が飛沫 (スプラッシュ) となって飛散し、ノズル噴射口に付着してノズルを閉塞させてしまうノズル詰まりが発生する。そのためワイピングノズルを鋼板に十分に近接化させることは困難であり、CGL のガスワイピングは **transition region** で行われることが多い。従って、ガスワイピングプロセスの **transition region** における噴流衝突挙動の制御が特に重要となる。本研究では、ワイピングノズル内部構造やノズル姿勢によって二次元噴流の初期速度分布と発達形態を変化させ、衝突壁面噴流形成と亜鉛めっき付着量制御への影響を調査し、その工業的価値を明らかにした。本論文は、その概要と効果についてまとめたものであり、全5章からなる。各章の概要を以下に示す。

第1章では、本研究の背景と目的について説明した。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、衝突壁面噴流形成への影響を考察した。ノズル出口付近でなだらかな縮流形状を有するノズル（コンタードノズル）ではトップハット型の初期速度分布になり、ポテンシャルコアが長くなる一方、下流側での乱流遷移は早くなる。出口付近で長い平行部を有するノズル（ストレート）では、厚いせん断層が形成することで両肩がなだらかな初期速度分布になり、ポテンシャルコアが短く、**transition region** でもなだらかな速度分布を形成する。**transition region** ではコンタードノズルの初期流速分布で衝突壁面噴流が安定形成することを明らかにした。

第3章では、二次元噴流ノズルを衝突板に対して 65° ～ 90° 傾斜させた際の壁面噴流発達形態変化の把握を試みた。尚、二次元噴流が衝突板に垂直に当たる角度を 90° と定義した。傾斜衝突噴流では噴射角度によって衝突壁面噴流の分流比率が変化し、壁面噴流の剥離挙動に大きな影響を及ぼすことを明らかにするとともに、傾斜二次元噴流の振動安定性を示した。

第4章では、鋼板に垂直な主スリットを挟むように2つの補助スリットを配置した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把握した。ワイピング性能の評価には著者らが考案した熔融パラフィンを用いたガスワイピング装置を用い、合成噴流発達検証には数値シミュレーションを実施した。この合成噴流をガスワイピングに適した噴流形態とするには主噴流と副噴流の間隔を狭めることでスムーズな混合とし、下側の補助噴流を弱めることで衝突圧力勾配を急峻とすることが効果的であることを示した。

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。