

氏名	劉業堃
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第8361号
学位授与年月日	平成29年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	システム情報工学研究科

学位論文題目 **Flow of a Falling Liquid Curtain onto a Moving Substrate**
(基材に架橋する液体カーテンの流れ)

主査	筑波大学 教授	工学博士	京藤 敏達
副査	筑波大学 教授	工学博士	武若 聡
副査	筑波大学 教授	農学博士	足立 泰久
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	白川 直樹
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	金川 哲也

論文の要旨

カーテンコーティングは、スロットコーティングやグラビアコーティングに比べて、機械振動が伝わり難いこと、凹凸のある基材に塗布可能であること、高速塗布が可能であることなど、多くの利点を有する。一方で、この塗布方法は、自由表面が広いため、液膜の破れや空気連行などの問題が発生し易い。この問題を避けるためには、液体カーテンの Weber 数 (慣性力/表面張力) をカーテン全域で大きくする必要があり、特に低流量下では塗布を作動できないという制約条件がある。

審査対象論文では、液体カーテンの落下高さを小さくすると、低 Weber 数域であっても液体カーテンの架橋が可能であることを実証し、低 Weber 数域における塗布の可能性及び問題点を探求したものである。当該論文は、後述のように、大きく分けて、液体カーテンについての実験的研究と解析的研究に分けることができる。

実験的研究では、低 Weber 数域で液体カーテンを発生させ、基材を模擬した回転ローラー上に液体カーテンを架橋させ、液体カーテンの表面形状とカーテン内の流れを高速ビデオ画像で撮影し、結果の解析を行っている。その結果、Weber 数が小さい場合でも、液体の粘度を大きくすれば液体カーテンの表面は安定し、ローラーから発生した varicose 波はカーテン上流に向かって急激に減衰すること、一方で粘度が小さい時は、varicose 波の波峰方向に振幅の空間的な変調が現れることを見出している。また、液体カーテンがローラーに転移する際にはローラー上に ribbing という筋が現れることは知られているが、Weber 数が小さい場合には、不安定性が生じ、ribbing が時間的に変調し、ローラーとエッジガイド間に重複波が現れることを明らかにしている。

さらに、基材に塗布量の1%程度のミストをあらかじめ噴霧すると基材上の接触角が小さくなり、液体カーテン上の varicose 波が低減すること、また、極低 Weber 数域でも液体カーテンの基材への転移が安定し、塗布が可能となることを示している。

理論的研究では、実験から判明した varicose 波の形状が、Kistler の方程式で予測可能であることを示している。また、Kistler の方程式が、スロット出口の膜厚、液体カーテン下端の膜勾配及び膜曲率を与えた場合は、3つの分岐解を持つことを発見している。次に、Re 数が大きい場合に varicose 波が波峰方向に不安定となり波峰が staggered パターンとなることを、varicose 波の不安定解析により示している。同様の方法を用いて、peak-valley パターンについても考察し、実験ではこのパターンが現れ難いことを示している。

審 査 の 要 旨

【批評】

審査対象論文の価値は、低 Weber 数域におけるカーテンコーティングについて、液体カーテンを生成することが可能であること、ミストにより基材を予め濡らすことで液体カーテンの表面波が低減すること、varicose 波が発生し staggered パターンが現れることを見出したこと、工学的に重要な知見を示したことである。また、Kistler 方程式の液体カーテンに対する分岐解を見つけたこと、staggered パターンがより不安定となることを示したことは、流体力学の知見として興味深いため評価できる。なお、コーティングの際に最も重要な、液体カーテンと基材の接点における波・流れに関する詳細な実験及び解析については、今後さらに掘り下げた研究が期待される。これらを総合的に評価すると、本研究は博士（工学）にふさわしい内容と考えられる。

【最終試験の結果】

平成 29 年 8 月 1 日および 8 月 2 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。