



Title	繊維強化複合材料の射出成形における粒子法に基づく樹脂・繊維流動評価と複雑金型モデルへの適用
Author(s)	井上, 直生
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/101683
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (井上 直生)

論文題名

繊維強化複合材料の射出成形における粒子法に基づく
樹脂・繊維流動評価と複雑金型モデルへの適用

論文内容の要旨

本論文は、短繊維強化複合材料の射出成形を対象に、粒子法の一つであるMPS法 (Moving Particle Semi-implicit method)を用いて繊維－樹脂の相互作用を考慮した繊維・流動の流動評価と複雑金型モデルへの適用を実施したものであり、全6章で構成した。

第1章では研究背景として、短繊維強化複合材料の用途拡大と射出成形の現状を示し、既往研究に関して射出成形実験・有限要素解析・粒子法の3つの視点から述べ、粒子法での解析の重要性を示し、研究目的および新規性を明示した。

第2章では、繊維の混入や温度変化による粘度変化を樹脂特性の変化により表現し、金型全体を模擬する全体解析においては樹脂流動評価を行い、金型の一部の領域を模擬する局所解析においては繊維流動評価を実施し、樹脂粘度が樹脂・繊維流動に及ぼす影響の評価を行った。その結果、樹脂流動への粘度の影響として、低粘度ではフローフロントの形状や温度分布に大きな影響を与える一方で、高粘度ではその影響は小さく、ある一定以上の粘度では樹脂流動への影響は見られなくなることが示唆された。また、繊維配向への粘度の影響として、繊維の位置によって繊維配向変化の推移が変化したことから、速度差の小さい金型中央付近では粘度による影響が大きく、速度差の大きい金型表面付近では粘度による影響が小さいことが示唆された。

第3章では、伸長流動下での樹脂・繊維流動評価を実施するために射出口付近に着目し、伸長流動下での射出速度や射出口付近の金型形状による影響評価を実施した。その結果、伸長流動により射出方向に対し垂直に繊維が配向する傾向が確認された。また、射出速度を上昇させることでファウンテンフローの形態をとらず流動したことから、ある一定以上の射出速度では、流動形態が変化することが示唆された。さらに、射出口において厚さ方向のみ変化する場合、射出口付近から流動方向への配向が発生したことから、射出口形状の変更などにより、より均一な繊維配向分布の平板の成形が可能であることが示唆された。また、射出速度の上昇によって伸長流動下の範囲が増加する可能性が示されたことや、幅方向の伸長流動の有無によって繊維配向の傾向が変化したことから、射出速度や射出口の形状、平板までの流動距離等が射出口から同じ傾向を有する繊維配向分布の平板を獲得することに重要な因子になることが示唆された。

第4章では、局所領域連結解析を新たに提案し、解析コストを抑制しつつ流動距離と解像度を確保した解析が可能となった。この局所領域連結解析によって、せん断流動下での流動速度や金型厚さによる影響の評価を実施した。その結果、せん断流動下においては高せん断速度時と低速流動時に繊維の回転が発生しやすいことを示した。また、金型厚さを変更した結果、中央付近の繊維配向が変化しない範囲が小さくなったことから、せん断流による影響範囲が拡大し流動方向に配向しやすくなることが示唆された。

第5章では、複雑形状であるT字および十字の金型モデルを作成し解析を実施し、フローフロントの合流および分岐が発生する条件での繊維配向のメカニズムを検討した。その結果、フローフロント合流によって発生する5層の繊維配向分布の発生メカニズムが明らかになり、その5層の配向分布の割合は流入時のスキン層とコア層の層厚比が重要であり、コア層の割合が大きければ流動方向に配向する割合が小さくなることを明らかにした。また、流入箇所を変更し、フローフロントの合流が発生しない条件では5層の繊維配向分布は発生せず、伸長流動の影響が支配的な配向分布が発生することを明らかにした。

第6章では、得られた知見を整理し、粒子法に基づく解析手法により射出成形における物体の挙動追跡などによる樹脂・繊維の流動評価が可能であることを示した。また、物性値や金型形状などの成形パラメータの変更による樹脂・繊維流動への影響を示し、得られた成果は金型形状の設計指針等の実験に先立った成形パラメータの選定などに貢献するものと結論付けた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (井 上 直 生)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主 査 教授	倉敷 哲生
	副 査 教授	中川 貴
	副 査 准教授	宮坂 史和

論文審査の結果の要旨

地球環境保護やエネルギー資源の有効利用などの観点から、比強度・比剛性に優れる短繊維強化複合材料の用途拡大が進められている。射出成形により短繊維強化複合材料を成形する場合、成形パラメータが膨大であり実験による評価のみでは時間的・経済的な観点から困難である。そこで、有限要素法による数値解析を用いた評価が有効だが、流動中の繊維挙動の解析や繊維・樹脂や繊維同士の相互作用を考慮した十分な評価には至っていない。

本論文では、数値解析として粒子法に基づき繊維・樹脂の混合流体を粒子の集合体として扱い、樹脂と繊維の相互作用を考慮した流動解析を実施しその有効性を検討している。さらに、樹脂粘度や金型形状などの成形パラメータが樹脂流動に及ぼす影響の評価や複雑金型形状への適用を実施している。以下に成果を要約する。

(1) 粒子法に基づき樹脂粘度が樹脂・繊維流動に及ぼす影響の評価を実施した結果、粘度による樹脂流動への影響として、低粘度時にはフローフロントの形状や温度分布に大きな影響を与える一方で、高粘度ではその影響は少なく、ある一定以上の粘度では樹脂流動への影響は微少となることを示している。また、繊維流動への影響として、速度差の小さい金型中央付近では粘度による影響は大きく、速度差が大きい金型表面付近では粘度による影響は小さいことを明らかにしている。

(2) 伸長流動下での樹脂・繊維流動評価を実施するために射出口付近に着目し、伸長流動下での射出速度や射出口付近の金型形状による影響の評価を実施している。樹脂流動に関してある一定以上の射出速度では射出口付近での樹脂流動の形態が変化し、さらに、射出口において厚さ方向のみ変化する場合には、射出口付近から流動方向への配向が発生し、射出口形状の変更等により均一な繊維配向分布の平板の成形が可能であることを示している。

(3) 局所領域連結解析を新たに提案し、解析コストを抑制しつつ解像度と流動距離と解像度を確保し、流動距離による流動速度の変化を考慮した評価を可能としている。また、局所領域連結解析を用いてせん断流動下での流動速度や金型厚さによる影響の評価を実施し、せん断流動下においては高せん断速度時と低速流動時に繊維の回転が生じやすいことを明らかにしている。また、金型厚さを変更した結果、中央付近の繊維配向が変化しない範囲が小さくなったことから、せん断流による影響範囲が拡大し流動方向に配向し易くなることを示している。

(4) 複雑金型形状としてT字形状および十字形状を対象とした解析を実施し、フローフロントの合流・分岐が発生する場合の樹脂・繊維流動評価を実施し、繊維配向変化のメカニズムの解明を検討している。解析による樹脂粒子の追跡結果と実験結果との比較により、解析ではフローフロントの合流時の樹脂流動を評価可能であることを示している。また、繊維挙動の追跡から合流後に発生する 5 層の繊維配向分布の発生メカニズムや配向層厚比の決定因子などを示している。さらに、フローフロントの分岐によって発生する繊維配向分布も明らかにしており、分岐地点で発生する伸長流動による影響が支配的であることを明らかにしている。

以上のように、本論文は粒子法に基づく相互作用を考慮した解析手法により、金型形状や樹脂の物性値などの成形パラメータが流動に及ぼす影響の評価や繊維配向変化のメカニズムの検討などを実施し、解析手法の有効性を示している。本解析手法に基づき、射出成形における成形パラメータの選定や金型形状の設計支援などへの展開が期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。