

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04175

研究課題名(和文)多成分複合高分子系の材料と成形のプロセッシング理論の構築と体系化

研究課題名(英文)Processing theory of multi-component polymeric compounds

研究代表者

梶原 稔尚(Kajiwara, Toshihisa)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：10194747

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：混練機内の流れについて、伸長流動の分布を定量化する方法を提案した。これは高分子複合材料の溶融混練過程における流動パターンと混練機形状の関係を把握するのに有効である。この方法を用いて溶融混練の数値シミュレーションからニーディングディスクの形状と流動パターンの関係を特徴づけられることを示した。提案した方法によって、混練機形状と流動パターンの直接的な関係を議論することができ、特定の混練仮定における装置形状と混練効果の関係について見通しよく議論でき、装置形状の改善や新たな形状の設計に役立つと期待される。

研究成果の概要(英文)：The mixing characteristics of different mixing elements for twin-screw extrusion are evaluated by using the numerical simulation of the melt flow. For quantification of the local flow pattern, we have derived a quantity called "strain-rate state" which is useful to discuss the relationship between the geometry of the kneading elements and their geometry-driven flow patterns. Understanding the relation between the channel geometry and the flow pattern behind the different mixing characteristics of different mixing elements is an essential issue in the optimization and the development of mixing processes. In this line, the approaches used in this study can be applied to other mixing devices, including twin-screw ones as well as single screw ones, in order to discuss the geometry effects on the mixing characteristics.

研究分野：高分子成形加工操作

キーワード：高分子成形加工操作

### 1. 研究開始当初の背景

高分子ブレンドや高分子コンポジットなど、異種の高分子あるいは高分子と固体の充填物(フィラー)からなる多成分系の高分子材料は非常に多くの目的に使用されている。これは、個々の成分材料の短所を複合化により補うこと、新規高分子の合成に対して材料開発コストが圧倒的に安価であることが背景にある。材料や成形品の各種の機械的強度の向上や、ガス透過性の制御など、ブレンドやコンポジットの高次構造制御を利用した手法が実現されてきた。近年では、より積極的に構造制御を行うことで導電性や光学特性などの機能付与を行う技術が展開されている。また、材料の混練や成形プロセスにおいては、最終的な高次構造の制御ではなく、易成形性など材料や成形品の生産を実現するための各種の添加剤が用いられている。さらにゴムやエストラマーなど成形中の架橋反応により高強度、高耐久性の成形品と製造プロセスにおいても多くの成分材料が含まれる。

以上のように、高分子材料は単体で使用されることはなく、特殊な例を除けばいろいろな多成分系を取り扱っている。しかし、これらの材料やその材料を用いた成形品の生産プロセスは、経験的な知見や勘による新規プロセス開発や対処療法的な不良現象・トラブル回避を行っているのが現状である。これは、生産プロセスの現象の理論構築がなされていないことによる。

### 2. 研究の目的

本研究では、ブレンドやコンポジット、ゴム等の多成分系材料からなる複合系高分子材料の材料生産とそれら材料を用いた成形加工プロセスに関して、せん断場、伸長場における混練および成形加工の基礎研究を行い、さらにそれらの知見と実際のプロセスを結びつける研究を行うことで、プロセスの理論の構築と体系化を行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

押出における溶融混練部の流れについて熱流動シミュレーションを行う。高分子溶融体を想定した非ニュートン流体の非圧縮流れを解き、混合過程の評価を行う。異なる混練エレメント形状を用いた場合の流れを比較し、混練エレメント形状と混練性能の関係を調べる。混練エレメント形状と混練性能の関係を明らかにするために、流動様式を定量化する方法を開発する。また、混合過程の定量化のために、有限時間リアブノフ指数を使った評価法を構築する。

### 4. 研究成果

混練機内の流れについて、伸長流動の分布を定量化する方法を提案した。これは高分子複合材料の溶融混練過程における流動パターンと混練機形状の関係を把握するのに有効

である。この方法を用いて溶融混練の数値シミュレーションからニーディングディスクの形状と流動パターンの関係の特徴づけられることを示した。提案した方法によって、混練機形状と流動パターンの直接的な関係を議論することができ、特定の混練仮定における装置形状と混練効果の関係について見通しよく議論でき、装置形状の改善や新たな形状の設計に役立つと期待される。

この方法を用いて、ニーディングディスクの傾斜チップによって混練特性をより均一にできること、それに加えて形状パラメータの調整によって混練特性を連続的に調整でき、多様な混練特性を設計できることを示した。開発した方法によって混練スクリュの形状にもとづいて混練特性を系統的に理解することができる。またこの方法は流路形状が支配する様々な流動プロセスに適用することができる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計11件)

木村公一, 富山秀樹, 名嘉山祥也, 梶原稔尚, 単軸押出機のフィン型混練スクリュの分配混合性能評価, Seikei-Kakou, 2018, in press, 名嘉山祥也, 梶原稔尚, 溶融混練部のシミュレーションによる研究とその応用, プラスチックスエージ, 査読無, Vol.64, No.6, 2018, pp.51-57

Yasuya Nakayama, Hiroki Takemitsu, Toshihisa Kajiwara, Koichi Kimura, Takahide Takeuchi, Hideki Tomiyama, Improving mixing characteristics with a pitched tip in kneading elements in twin-screw extrusion, AIChE J., 査読有, Vol.64, 2018, pp.1424-1434, <https://dx.doi.org/10.1002/aic.16003>

木村公一, 富山秀樹, 名嘉山祥也, 梶原稔尚, 単軸混練スクリュの分配混合性能の評価, 日本製鋼所技報, 査読無, No.68, 2017, pp.110-116, [http://www.jsw.co.jp/product/technology/uploads/110\\_68giho\\_houkoku\\_single%20screw.pdf](http://www.jsw.co.jp/product/technology/uploads/110_68giho_houkoku_single%20screw.pdf)

Yasuya Namayama, Nariyoshi Nishihira, Toshihisa Kajiwara, Hideki Tomiyama, Takahide Takeuchi, Koichi Kimura, , Effects of pitched tips of novel kneading disks on melt mixing in twin-screw extrusion, Nihon Reoroji Gakkaishi(Journal of the Society of Rheology, Japan), 査読有, Vol.44, No.5, 2016, pp.281-288, <http://dx.doi.org/10.1678/rheology.44.281>

梶原 稔尚, 高分子材料の溶融混練シミュレーションと混練性能評価, 日本ゴム協会誌, 査読無, Vol.89, No.12, 2016, pp.355-361, <https://www.srij.or.jp/newsite/magazines/mokuji/mokujilist/89/?page=12>  
Yasuya Nakayama, Tatsunori Masaki, and Toshihisa Kajiwara, Strain Mode of General Flow: Characterization and Implications for Flow Pattern Structures, AIChE J., 査読有, Vol.62, No.7, 2016, pp.2563-2569, <http://dx.doi.org/10.1002/aic.15228>  
正木辰典, 名嘉山祥也, 梶原稔尚, 力学的視点からのファイバー分散に関する基礎的理解, Seikei-Kakou, 査読無, Vol.27, No.12, 2015, pp.533-539  
名嘉山 祥也, [Interface] [若手注目研究] 電気二重層の微分容量: 溶媒和による誘電率減少と排除体積の効果, Colloid & Interface Communication, 査読無, Vol.40, No.4, 2015, pp.28-30  
名嘉山 祥也, [トピックス] スーパーキャパシタ: イオンをナノポアへ吸着させると..., 化学工学, 査読無, Vol.79, No.7, 2015, pp.578-579  
Kunihiro Hirata, Hiroshi Ishida, Motohiro Hiragori, Yasuya Nakayama and Toshihisa Kajiwara, Numerical study on mixing performance of glass fiber dispersion in a twin-screw extruder with backward-mixing elements, AIP Conf. Proc., 査読有, Vol.1664, No., 2015, pp.20009, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4918389>

[学会発表](計 31 件)

伊藤恵, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚, 高電場におけるコロイドの非線形電気泳動, 化学工学会 第 83 年会, 2018/3/13-15  
Y. Nakayama, S. Esaki, K. Nakao, T. Kajiwara, T. Takeuchi, K. Kimura, and H. Tomiyama, Mixing characteristics of different kneading elements: An experimental study, The 33rd Annual Meeting of the Polymer Processing Society (PPS-33), 2017/12/10-14  
名嘉山祥也, 伊藤恵, 梶原稔尚, 高電場におけるコロイドの非線形電気泳動, 第 31 回分子シミュレーション討論会, 2017/11/29-12/1  
木村公一, 富山秀樹, 名嘉山祥也, 梶原稔尚, 分離の程度を利用した単軸混練スクリュの分配混合性能の評価, 第 25 回プラスチック成形加工学会秋季大会 成形加工シンポジウム'17(大阪), 2017/10/31-11/1  
Yasuya Nakayama, Hiroki Takemitsu, Toshihisa Kajiwara, Koichi Kimura,

Takahide Takeuchi, Hideki Tomiyama, Impacts of Pitched Tips of Kneading Element in Twin-Screw Extrusion: Tuning Flow Pattern and Mixing Performance, Asian Workshop on Polymer Processing 2017 (AWPP2017), 2017/10/16-19  
名嘉山祥也, 竹光洋樹, 梶原稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 二軸スクリュ溶融混練における傾斜チップの効果: 流動パターンのチューニング, 第 65 回レオロジー討論会, 2017/10/17-19  
伊藤恵, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚, 高電場におけるコロイドの非線形電気泳動, 第 54 回化学関連支部合同九州大会, 2017/7/1  
名嘉山 祥也, 竹光洋樹, 梶原 稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 二軸スクリュ溶融混練における傾斜チップの効果: 流動パターンのチューニング, プラスチック成形加工学会 第 28 年次大会, 2017/6/14-15  
名嘉山 祥也, 竹光洋樹, 梶原 稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 二軸スクリュ溶融混練における傾斜チップの効果: 流動パターンのチューニング, 化学工学会 第 82 年会 (東京 2017), 2017/3/6-8  
竹光 洋樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚, 二軸スクリュ溶融混練における混練エレメントの形状と混練性能の関係, 平成 28 年度粒子・流体プロセス部会 総会・部会セミナー, 2017/3/5  
Hiroki Takemitsu, Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara, Koichi Kimura, Takahide Takeuchi, Hideki Tomiyama, Impacts of mixing elements on mixing characteristics in twin-screw extrusion, International Symposium on Chemical Engineering 2016, 2016/12/3  
Satoshi Esaki, Kenta Nakao, Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara, Koichi Kimura, Takahide Takeuchi, Hideki Tomiyama, Mixing characteristic of different kneading elements: An experimental study, International Symposium on Chemical Engineering 2016, 2016/12/3  
竹光洋樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 二軸スクリュ溶融混練における混練エレメントの形状と混練性能の関係, 第 64 回レオロジー討論会, 2016/10/28-30  
竹光洋樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 二軸スクリュ溶融混練における混練エレメントの形状と混練性能の関係, 化学工学会 第 48 回秋季大会 (徳島 2016), 2016/9/6-8  
江崎哲史, 中尾建太, 名嘉山 祥也, 梶

- 原 稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 二軸スクリュ押出機における混練エレメントの性能評価, 化学工学会第 48 回秋季大会 (徳島 2016), 2016/9/6-8  
Toshihisa Kajiwara, Yasuya Namayama, Hiroki Takemitsu, Satoshi Esaki, Takahide Takeuchi, Koichi Kimura, Hideki Tomiyama, Melt-Mixing by Pitched-Tip Kneading Disks in a Twin-Screw Extruder - Experimental Verification - , The XVIIth International Congress on Rheology (ICR2016), 2016/8/8-13  
Yasuya Namayama, Tatsunori Masaki, Toshihisa Kajiwara , Strain Mode of General Flow: Characterization and Implications for Flow Pattern Structures, The XVIIth International Congress on Rheology (ICR2016), 2016/8/8-13  
Toshihisa Kajiwara, Yasuya Namayama, Hiroki Takemitsu, Satoshi Esaki, Takahide Takeuchi, Koichi Kimura, Hideki Tomiyama, Melt-Mixing by Pitched-Tip Kneading Disks in a Twin-Screw Extruder - Experimental Verification - , The 32nd International Conference of the Polymer Processing Society (PPS-32), 2016/7/25-29  
中尾建太, 江崎哲史, 竹光洋樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 二軸スクリュ押出機における異なる混練エレメントの混練性能, 第 53 回化学関連支部合同九州大会, 2016/7/2  
Yasuya Namayama, Strain Mode of General Flow: Characterization and Implications for Flow Pattern Structures, Collaborative Conference on 3D and Materials Research (CC3DMR) 2016, 2016/6/20-24
- 21 名嘉山 祥也, 正木 辰典, 梶原 稔尚, 混練機形状による流動パターンと伸張流動の分布, 化学工学会 第 81 年会 (2016), 2016/3/13-15
- 22 T. Kajiwara, Y. Nakayama, H. Takemitsu, S. Esaki, T. Takeuchi, K. Kimura and H. Tomiyama, Melt-mixing by Pitched-tip Kneading Disks in a Twin-screw extruder, Asian Workshop on Polymer Processing 2015 (AWPP2015), 2015/12/1-4
- 23 竹光洋樹, 江崎哲史, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 熔融混練されたブレンドの分散状態の画像解析, プラスチック成形加工学会第 23 回秋季大会 成形加工シンポジア'15, 2015/11/2-3
- 24 江崎哲史, 竹光洋樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚, 木村公一, 竹内貴季, 富山秀樹, 二軸スクリュ押出機の熔融混練におけるニーディングディスクの形状と混練性能, プラスチック成形加工学会第 23 回秋季大会 成形加工シンポジア'15, 2015/11/2-3
- 25 名嘉山 祥也, 正木辰典, 梶原 稔尚, 混練過程の流動様式:局所的な定量化と大域的な混合への洞察, 第63回レオロジー討論会, 2015/9/23-25
- 26 水本 博, 藤井 祐輔, 上平 正道, 梶原 稔尚, バイオ人工肝臓の基盤技術としての遺伝子導入マウスヘパトーマ細胞の中空系培養, 化学工学会第 47 回秋季大会, 2015/9/9-11
- 27 Kunihiro Hirata, Hiroshi Ishida, Motohiro Hiragori, Yasuya Nakayama and Toshihisa Kajiwara , Prediction of fiber dispersion for glass fiber reinforced plastics in a twin-screw extruder using flow simulation, Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF '15), 2015/9/1-4
- 28 Kunihiro HIRATA, Hiroshi ISHIDA, Motohiro HIRAGORI, Yasuya NAKAYAMA and Toshihisa KAJIWARA, Numerical Study on Mixing Performance of Glass Fiber Dispersion in a Twin-Screw Extruder with Backward-Mixing Screw Elements, International Symposium for Advanced Materials Research ( ISAMR ) 2015, 2015/8/16-20
- 29 Yasuya Nakayama, Tatsunori Masaki, Toshihisa Kajiwara, Strain mode of general flow: characterization and implication to mixing , 31st International Conference of the POLYMER PROCESSING SOCIETY (PPS-31), 2015/6/7-11
- 30 梶原稔尚, 『基礎を固める特別授業』高分子材料の熔融混練, プラスチック成形加工学会, 2015/6/2-4
- 31 梶原稔尚, 高分子およびガラスの成形加工プロセスにける複合化技術関す研究 高分子およびガラスの成形加工プロセスにける複合化技術関す研究 高分子およびガラスの成形加工プロセスにける複合化 技術関す研究, 日本レオロジー学会, 2015/5/13-14

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

梶原 稔尚 (Kajiwara, Toshihisa)  
九州大学・工学研究院・教授  
研究者番号：10194747

##### (2) 研究分担者

名嘉山 祥也 (Nakayama, Yasuya)  
九州大学・工学研究院・准教授  
研究者番号：10422982

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )