

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02501

研究課題名(和文) ナノフィラーネットワーク形成プロセッシングによる機能性ポリマー材料の創出

研究課題名(英文) Creation of Functional Polymer Materials by Nano-filler Network Formation Processing

研究代表者

木原 伸一 (Kihara, Shin-ichi)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授

研究者番号：30284524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：ポリマー材料の高機能化の一つにナノフィラー分散による複合化がある。近年、高強度、高熱伝導性、高導電性の観点からカーボンナノチューブ(CNT)やグラフェンなどのナノカーボン(NCs)の利用が検討されているが、ナノスケールに由来する強い相互作用のためポリマーにNCsを高濃度で微分散化できず、表面化学処理や強混練等のNCs特性を大きく低下させる分散方法をとらざるを得ない状況である。本研究では超臨界流体場を利用して可塑化と気泡同伴を含むマイルドな混練場でナノ分散化方法を検討した結果、CNTの最適解繊条件を部分的にはあるが見出し、ナノ気泡空間を有するコンポジット形成など本混練法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノカーボンなど強い分子間相互作用のあるナノフィラーをポリマーに高濃度で分散できるプロセッシング開発は、高機能性ポリマー複合材料を開発する基礎技術として関連産業界に極めて有益である。本研究成果は、超臨界流体の特性を活かし、ポリマーの可塑化とナノフィラーへの親和性向上とともに気液界面形成を適切に併用した機械的混練により、表面修飾せずにCNTバンドルを解繊する最適な混練条件を部分的であるが見出すとともに、ナノ空間を有するCNT微分散ネットワーク形成方法を明かにした点で学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：One of the ways to enhance the functionality of polymer materials is to composite with nanofillers. Recently, the use of nanocarbons (NCs) such as carbon nanotubes (CNTs) and graphene has been considered from the viewpoint of high strength, high thermal conductivity, and high electrical conductivity. However, the strong interaction due to their nanoscale origin between NCs, compared with polymers, make difficult to micro-disperse NCs in polymers at high concentrations. In this study, we investigated a nano-dispersion method using a supercritical fluid field in a mild mixing field that includes plasticization and bubble accompaniment. As a result, we found, albeit partially, optimal conditions for CNTs to be resolved, and confirmed the effectiveness of the high pressure fluid mixing method in forming composites with nano-bubble spaces.

研究分野：高分子レオロジー

キーワード：ポリマーナノコンポジット ナノフィラーネットワーク 超臨界流体混練 泡 熱伝導性

1. 研究開始当初の背景

本研究は、通常きわめて困難である、30 vol%以上の高濃度でフィラーをポリマーに分散し、フィラー界面間を部分的に 100 nm 間隔以下の拘束領域にし、その界面領域の非平衡特性を顕在化させた機能性材料を創出する「ナノフィラーネットワーク形成プロセッシング」を開発する研究である。具体的なプロセッシングは、超臨界 CO₂ のポリマーの可塑化効果と減圧・昇温発泡を利用し、① 微細な多数の泡を使った温和なミキシング技術、② ポリマー発泡を利用したナノフィラー群の濃縮相を三次元的界面に形成する、従来の視点とは異なるプロセッシングによりポリマー系ナノコンポジットを開発する。本プロセッシングを実証し、これまで達成されていない高熱伝導性や高断熱性ポリマーを創出することを目標とする。

2. 研究の目的

本研究では、高熱伝導性ポリマーを創出する目標に対して、超臨界流体の温度・圧力操作と力学的なせん断場を利用して、カーボンナノチューブやグラフェンなどのナノ炭素(NCs)をポリマー中に欠陥生成を抑制して 30 vol%以上の高濃度で分散させ、同時に NCs を三次元ネットワーク化する方法を実験的に明らかにすることである。本研究の中心的な課題は、(a) NCs をできるだけ欠陥を与えず解繊し微細分散し、適切なネットワークをポリマー中に形成する、(b) ポリマー中に分散した NCs に部分的に化学結合を形成する、(c) 気相・界面相分布を 3 次元に高密度で配置する、であり、これら課題を克服するため、物理化学・レオロジーの観点からメカニズムの解明を図り、高熱伝導性ポリマーを生み出す「ナノフィラーネットワーク形成プロセッシング」を構築することを目的とした。図 1 に本研究でのナノフィラー高密度分散化方法の概略を示す。

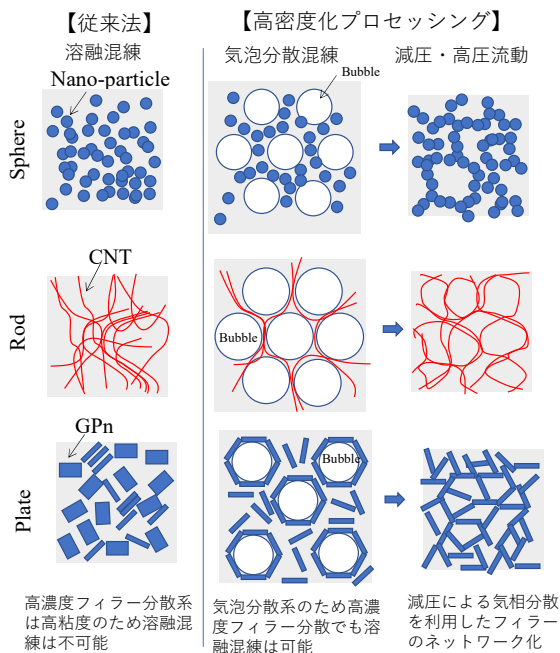


図 1. ナノフィラー高密度分散化方法の概略図。

3. 研究の方法

本研究では、前述した目的を達成するために、独自に開発している高圧流体場でポリマー混練できるバッチ式二軸混練機を用いて、以下の 5 項目のメカニズムを解明する研究を対象とした。(a) NCs を高濃度で高分子中に分散するメカニズム、(b) 超臨界流体の微細な泡をつかって NCs 凝集体を解繊するメカニズム、(c) 解繊された NCs の三次元ネットワーク形成メカニズム、(d) NC 間の接触部の化学結合形成による高熱伝導パス形成メカニズム、(e) NCs 分散による高気泡数密度ナノ気泡形成メカニズム。これらは互いに関係しているものの、(d)、(e)については高熱伝導性を発現する化学結合種の選定ができず、ナノ発泡化についても研究期間内に十分実施できなかったが、研究期間終了後も継続して研究を実施する。

(a)、(b)については、超臨界流体 (CO₂+エントレーナ) 場で気泡を含む過飽和状態を形成し、泡を含むポリマー溶融体のマイルドなせん断場を負荷することで NCs への欠陥導入を抑制しながら解繊する混練条件 (解繊に必要な臨界せん断応力が数 kPa であることなど) を確認した。その後、NCs を高濃度化していき、解繊性を SEM などの他、熱伝導性を評価軸として材料性能を評価した。

これら結果から、NCs 分散で気泡のナノ化や、NCs のネットワーク化の点で、NCs のナノ・メゾスケールの構造形成と材料物性との関係性を評価し、熱伝導性や強度を向上させるネットワーク形成メカニズムの解明を行った。さらに、混練を伴うプロセッシング現象やバッチ発泡メカニズム解明に必要な平衡物性 (ガス溶解度、エントレーナの溶解性) およびレオロジー特性について測定を行い、定量性の点で対象メカニズムを評価した。以上の得られた結果を基にして、超臨界流体場を利用する「ナノフィラーネットワーク形成プロセッシング」構築の方向性を探索した。

4. 研究成果

(1) 超臨界流体場での CNT バンドルの解繊効果：図 2 に当研究室で開発した混練機のかみ合い部の平均せん断応力に対する CNT バンドルの解繊と CNT の欠陥導入との関係を示す[1]。超臨界 CO₂ 場と N₂ 場での混練では、解繊に必要なせん断応力はどちらも 3 kPa 程度であるが、解繊された CNT の欠陥導入抑制は超臨界 CO₂ 場の方が優れていることが分かる。用いた単層 CNT は、スーパーグロース法により作製されたもので、初期にも 10 nm 程度のバンドル構造をとっており、バンドル間に 40 nm 程度の隙間がある。ポリマーは分子量 32 万の汎用のアタクチックポリスチレン(PS)で安定な絡み合い構造をもつため、CNT に対して親和性の低い PS は、CNT の隙間になかなか入り込むことはできない。超臨界 CO₂ を CNT 間に浸透させ、かつ超臨界 CO₂ で膨潤され運動性が増したポリマー鎖により、CNT バンドル間の隙間に PS を拡散導入し、付着した膨潤ポリマーによって表面からせん断力でバンドルがはぎ取られ解繊される。解繊に必要なせん断応力は、棒状分子間の Hamaker 定数と安定距離から求まる vdW 力からなる剥離エネルギーよりもせん断応力による仕事が上回れば解繊が進むと考えられ、バンドル化した棒状分子の端部からジッパーのようにはぎ取る端部に負荷されるせん断変形が、より低い剥離エネルギーで解繊されるため、そのような混練機構が最もよいと推定された。本単層 CNT の保持長はみみず鎖モデルとの相関により概算で約 270nm であり、保持長の数倍程度の距離がせん断力により座屈しない程度で曲げられ、さらにそこにポリマー鎖が浸透し、再凝集や再バンドル化を防ぎながら周期的な混練を繰り返すことで解繊が進むと推定される。この考え方で、解繊に必要な臨界せん断応力を求めた。保持長から 10 倍（理想鎖で保持長の 100 倍）の距離までゆっくりと離すのに必要なせん断応力エネルギーを Riseman-Kirkwood モデルによる棒状分子分散系の粘度式から求め、CNT 全長を 1 本面はぎ取るのに必要な剥離エネルギーを求めると、臨界せん断応力は 2.4 kPa と求めることができた。これは今回の実験結果を支持するせん断応力値である[2]。回転系のせん断応力により超臨界 CO₂ 場で解繊が進むメカニズムがおおむね表現されている。よって、臨界せん断応力とほぼ同じオーダーのせん断応力を負荷していけば CNT に欠陥を作らずに徐々に解繊を進めることができるが、それ以上ではせん断応力を負荷する（回転数をあげる場合も同様）と保持長単位以上の長さで CNT が座屈などを起こし欠陥生成が進み、バンドル径にも分布が生じる。加えて、超臨界 CO₂ でポリマー相が可塑化されすぎても、温度を上昇させ可塑化されすぎても、バンドルに臨界せん断応力以上が負荷されず解繊が進まないことも実験的に確認した。本解繊条件では、CNT は適切に可塑化されたポリマー中へ希釈混合されていき、非充満混合であるため発生する気泡や、混練装置の減圧操作で生じた微細気泡が混在した気液界面混合が進むことで、過剰な局所のせん断力の一部が開放されやすい混練状態となっており、G/D 比の大きな低下を招かずに CNT バンドルを解繊しながら分散混合されていくと推定され、本超臨界 CO₂ 混練法の有効性が示されたと考えられる。

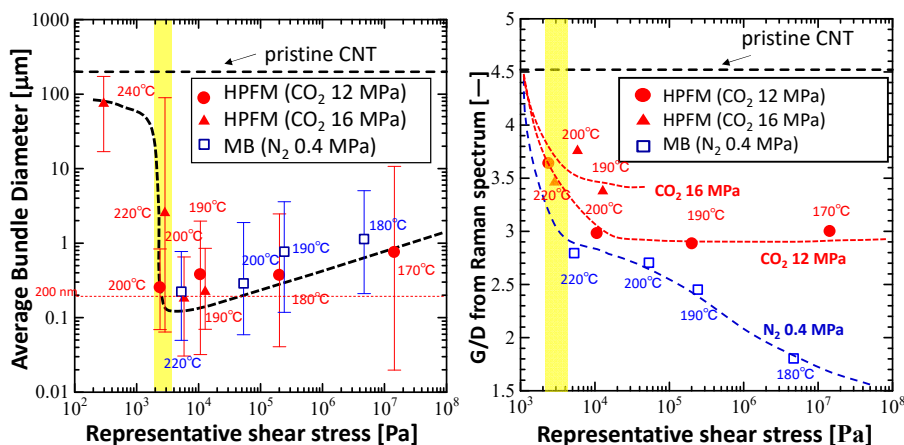


図 2. CNT バンドルの解繊に必要なせん断応力と CNT 欠損生成との関係. 解繊が進むせん断応力は、CNT を端部からはぎ取る場合のファンデルワールス力と棒状分子分散系のせん断応力値で大凡推定され、この材料系では解繊せん断応力は約 2.4kPa であった。

(2) 超臨界流体混練を用いた CNT/PS 系の熱伝導性：CNT/ポリマー系の熱伝導性は、電気伝導性とは異なり、CNT を大量導入しても殆ど向上しないことが知られている。(1)で示した混練条件、高濃度 CNT 分散における CNT 前処理効果、サンプル作成時のプレス成形の影響について、サンプル内部に形成された CNT のモルフォロジーと熱伝導性を評価した。前処理として、CNT を有機溶媒 (THF ; Hansen パラメータを基に選定) に浸漬すると、バンドル化した CNTs は 2~3 倍程度膨潤し、さらに前処理分散すると、G/D 比は大幅に低下するが、平均バンドル径が 100nm を下回る分散が可能であった。THF 量の調整が必要であるが、超臨界混練を用いるとポリマー (PS) に CNT を混練しても CNT の G/D 比はほぼ変化しない。しかしながら、熱伝導性には G/D 比よりも解繊によるバンドル径の減少が最も

重要な因子であることが分かった (図3)。これは 20 wt%以上の高濃度 CNT 系ではより顕著となり、このレベルの熱伝導性向上には CNT の欠損よりも解繊による緻密なネットワーク形成が重要であることが示唆された。他方で、図4に示すように 10 wt% CNT/PS 系の超臨界 CO₂ 混練試料 (前処理無し) では、20 nm 径程度まで解繊が進み、プレス成形圧力条件によっては CNT メッシュ中に気泡形成の影響と考えられる、CNT が球を包む様な構造を形成している場合があった。微細気泡形成に由来する三次元的なネットワーク形成がなされると、熱伝導性の向上と異方性の低減に有効であった。このようなネットワーク形成は図1の想定したナノ構造であり、ナノ空間を利用する電池や分離膜などのナノスケールの多孔性をもつ基材作製方法として今後有効なプロセッシングと考えられる。

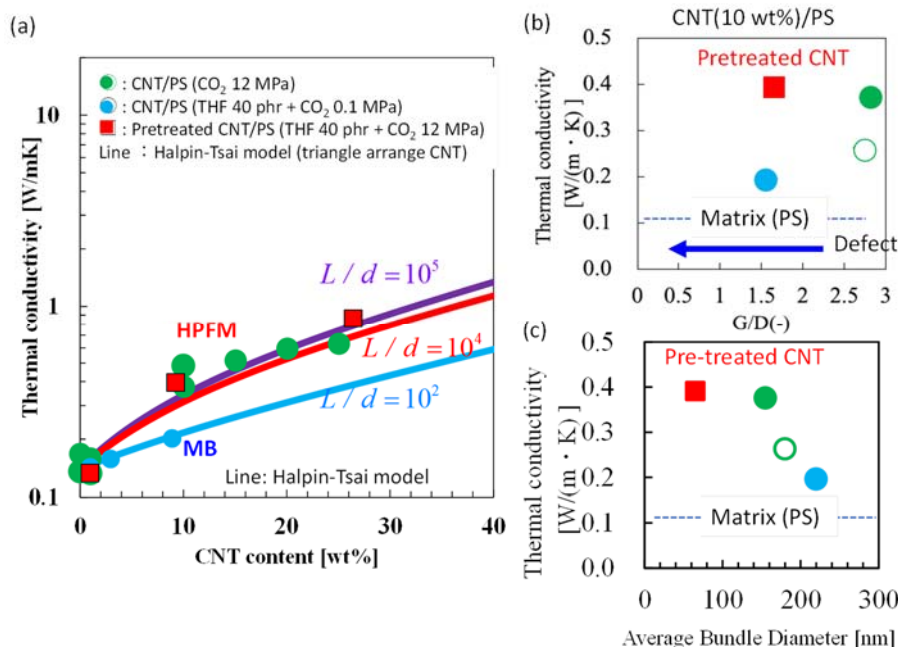


図3. CNT/PS 系の熱伝導率と CNT 濃度の関係(a). ラインは垂直配向した CNT を想定した Halpin-Tsai モデル[3]. G/D 比と熱伝導率(b)と平均バンドル径と熱伝導率(c)の関係.

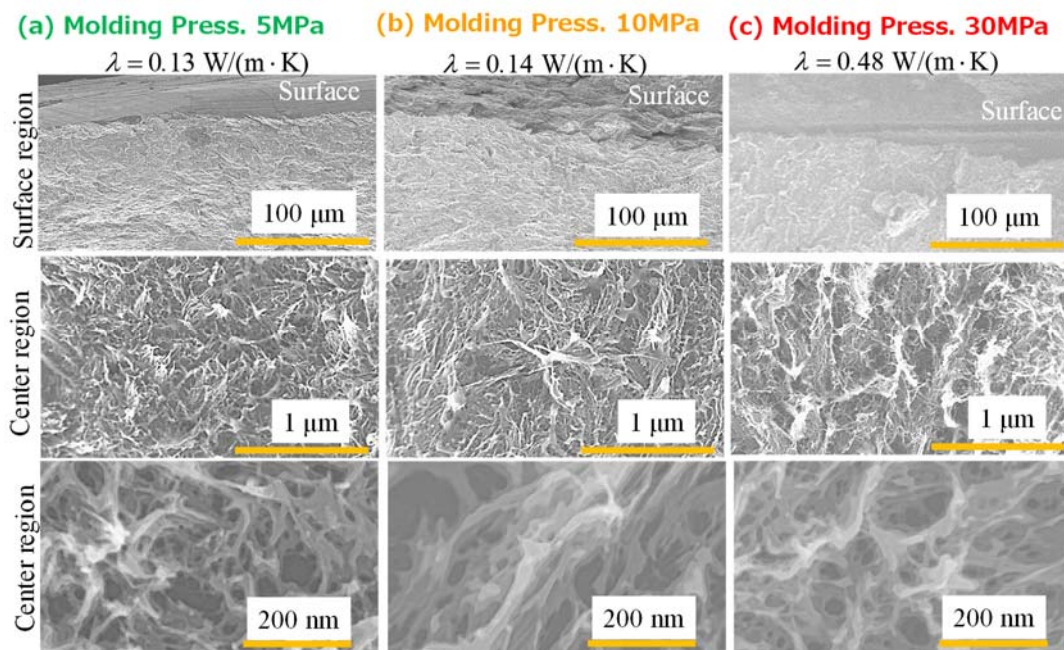


図4. CNT(10wt%)/PS の超臨界混練後の CNT 分散状態. 気泡同伴された混練のため、シート成形条件によって内部空隙状態が変化する. 熱伝導性は気泡状の空隙が形成される(c)の場合に高くなる傾向が見られた[4].

(3) グラフェンと CNT を含む高濃度分散系ナノコンポジットの熱伝導性: 三元系のフッ素系ポリマー(FFKM)にグラファイトを高濃度 (28~43 wt%) で導入して混練し、それに CNT を 4~16 wt% 後添加して超臨界 CO₂ 混練(HPFM)することにより、CNT が積層グラフェン間に分散した構造を形成させ、熱伝導性向上ができるかどうかを検討した。図5にその結果を示す。NCs 導入量は最大で 51wt% であり、著者の知る限り混練法で作成された NC s ナノコ

ンポジットで最高レベルの濃度である。ただし、グラファイトの解繊は超臨界場の混練では困難であり、強混練条件で溶融混練(MB)を行ったが、それでも解繊は殆ど進まず十分でなかった。後添加の CNT 導入については、超臨界 CO₂ 混練は明かに有効であり、CNT は部分的に解繊された積層グラフェン間に位置し、プレスサンプルの垂直方向の熱伝導性向上に有効である結果を得た。また、グラファイトを超音波分散した場合は破壊が進み面方向の熱伝導性は大きく低下し有効ではなかった。垂直方向の熱伝導率は、予想に反し、高アスペクト比の CNT を想定した Halpin-Tsai モデルで推定された。これは、孤立した CNT バンドル群による熱伝導性が支配的で、その方向に欠損領域 (G/D 比の大幅低下部) が多く存在し、フォノン振動の umklapp 散乱が多く存在した結果、熱伝導性が向上しないと推定された。

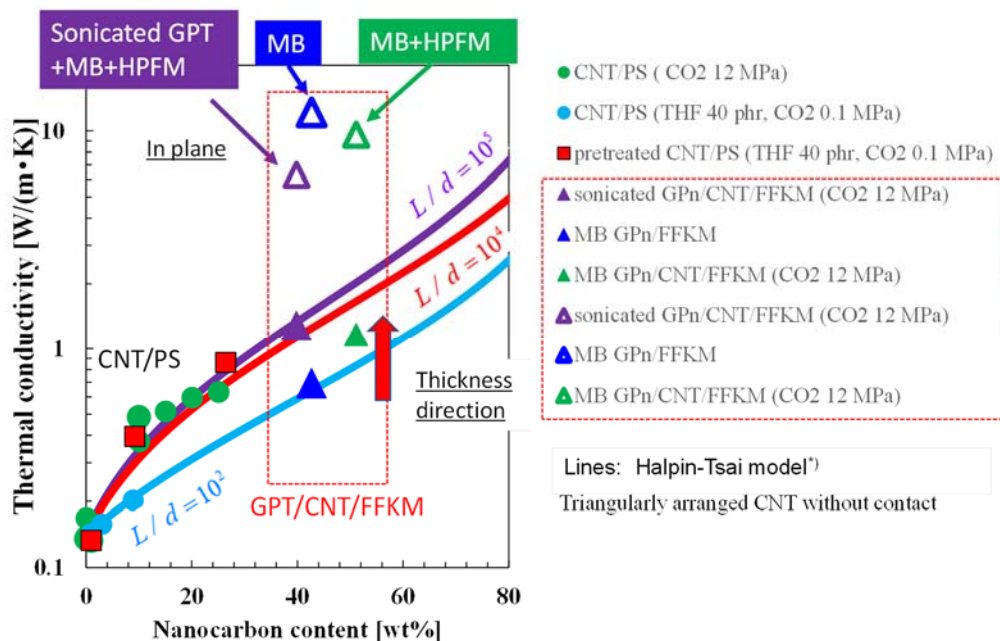


図 5. NCs 量に対する GPT/CNT/FFKM 系の熱伝導率および CNT/PS 系の熱伝導率.

(4) まとめ: 「ナノフィラーネットワーク形成プロセッシング」構築を目的として、高圧流体混練法に超臨界 CO₂ や N₂ を使い、CNT バンドルの温和な解繊条件を明かにし、グラフェン + CNT 分散系に対する高濃度分散と熱伝導性との関係を明かにした。超臨界 CO₂ 混練では、ポリマーの可塑化と微細な気泡形成などがあり欠陥導入の少ない CNT 解繊が行えること、解繊が進んだ CNT は CNT のナノスケールのメッシュからなるナノ空間を形成する可能性があることが分かった。また、超臨界 CO₂ 混練は積層グラフェン間などナノ空間への CNT 導入にも有効で、熱伝導性の異方性低減に効果があった。本プロセッシング構築には、超臨界 CO₂ のポリマーへの溶解度、拡散の他、せん断粘度に見られる可塑化効果の定量化は重要であるが、今回は PS と FFKM の二種類のポリマーに対しての検討にとどまった。極性のあるポリマーのガス溶解特性[5]と超臨界 CO₂ 混練による解繊性の関係解明や、混練機の連続プロセスへの展開条件は今後の課題として残った[6]。また、材料機能を格段に向上させると期待される、解繊された NCs 同士を化学的に繋ぐ剛直性分子の選定ができなかったため、それらは継続して研究を行い、ナノ空間を利用する高機能性ポリマー材料開発技術に役立つ研究を目指す予定である。

<引用文献>

- [1] 木原伸一、滝島繁樹、第 5 章 5 節 高圧流体混練法による CNT バンドルの解繊、「樹脂の溶融混練・押出機と複合材料の最新動向」(監修 田上秀一) シーエムシー出版 (2018)
- [2] 木原伸一、菅野雅貴、佃祐介、宇敷育男、滝島繁樹、高圧流体/ポリマー場での溶融混練による CNT 解繊機構の推定、第 67 回レオロジー討論会 (2019)
- [3] J.C. Halpin and J. L. Kardos, Polym. Eng. Sci., **16** (1976) 344
- [4] 木原伸一、渡邊智紀、宇敷育男、滝島繁樹、超臨界流体混練によるナノカーボン/ポリマー系複合材料の開発、D-203 プラスチック成形加工学会 第 32 回年次大会
- [5] I. Ushiki, Y. Yoshino, S. Hayashi, S. Kihara, S. Takishima, "Measurement and modeling of solubilities and diffusion coefficients of carbon dioxide in poly(ethylene-co-acrylic acid)", J. Supercrit. Fluids **158** (2020) 104733
- [6] M. Ohara, S. Tanifuji, Y. Sasai, T. Sugiyama, S. Umemoto, J. Murata, I. Tsujimura S. Kihara, K. Taki, "Resin distribution along axial and circumferential directions of self-wiping co-rotating parallel twin-screw extruder", AIChE. J., **66** (2020) e17018

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ohara Masatoshi, Tanifuji Shin ichiro, Sasai Yuya, Sugiyama Takemasa, Umemoto Sho, Murata Jun ichi, Tsujimura Isao, Kihara Shin ichi, Taki Kentaro	4. 巻 66
2. 論文標題 Resin distribution along axial and circumferential directions of self wiping co rotating parallel twin screw extruder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIChE Journal	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aic.17018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ohara Masatoshi, Sasai Yuya, Umemoto Sho, Obata Yuya, Sugiyama Takemasa, Tanifuji Shin-ichiro, Kihara Shin-ichi, Taki Kentaro	4. 巻 12
2. 論文標題 Experimental and Numerical Simulation Study of Devolatilization in a Self-Wiping Corotating Parallel Twin-Screw Extruder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 2728 ~ 2728
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym12112728	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ushiki Ikuo, Hayashi Souta, Kihara Shin-ichi, Takishima Shigeki	4. 巻 152
2. 論文標題 Solubilities and diffusion coefficients of carbon dioxide and nitrogen in poly(methyl methacrylate) at high temperatures and pressures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Supercritical Fluids	6. 最初と最後の頁 104565 ~ 104565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.supflu.2019.104565	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ushiki Ikuo, Yoshino Yuki, Hayashi Souta, Kihara Shin-ichi, Takishima Shigeki	4. 巻 158
2. 論文標題 Measurement and modeling of solubilities and diffusion coefficients of carbon dioxide in poly(ethylene-co-acrylic acid)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Supercritical Fluids	6. 最初と最後の頁 104733 ~ 104733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.supflu.2019.104733	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ushiki Ikuo, Kawashima Hirotaka, Kihara Shin-ichi, Takishima Shigeki	4. 巻 181
2. 論文標題 Solubility and diffusivity of supercritical CO2 for polycaprolactone in its molten state: Measurement and modeling using PC-SAFT and free volume theory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Supercritical Fluids	6. 最初と最後の頁 105499 ~ 105499
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.supflu.2021.105499	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 木原伸一, 渡邊智紀, 宇敷育男, 滝島繁樹
2. 発表標題 超臨界流体混練によるナノカーボン/ポリマー系複合材料の開発
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会 第32回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 業天裕未, 滝島繁樹, 木原伸一, 宇敷育男
2. 発表標題 高圧ガスを用いた Poly(ethylene-co-vinyl acetate)の微細発泡
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会 第32回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊智紀, 木原伸一, 滝島繁樹, 宇敷育男
2. 発表標題 ナノカーボン/ポリマー系コンポジット材料の開発-プレス成形がおよぼす熱伝導性への影響-
3. 学会等名 第14回中四国若手CE合宿
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大坪華奈子, 滝島繁樹, 木原伸一, 宇敷育男
2. 発表標題 LDPEへの二酸化炭素と窒素の溶解度と拡散係数
3. 学会等名 第14回中四国若手CE合宿
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅野雅貴, 木原伸一, 宇敷育男, 滝島繁樹, 田中貴將
2. 発表標題 超臨界流体混練法を用いて作製したCNT/ポリマー系ナノコンポジットのCNT分散性と熱伝導性の関係
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会 成形加工シンポジア ' 21
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Kihara, M. Sugano, T. Watanabe, U. Ikuo, and S. Takishima
2. 発表標題 Development of Highly Filled Nanocarbon-based Polymer Nanocomposites by Supercritical Fluid Mixing Method
3. 学会等名 37th International Conference of the Polymer Processing Society (PPS-37) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木原伸一, 田原幹太, 宇敷育男, 滝島繁樹
2. 発表標題 同種の微架橋微粒子分散系ポリマーナノコンポジットの超臨界流体発泡
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会 第31回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田 早姫, 宇敷 育男, 木原 伸一, 滝島 繁樹
2. 発表標題 Poly(vinyl acetate)への二酸化炭素と窒素の溶解度と拡散係数
3. 学会等名 化学工学会 第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅野雅貴, 木原伸一, 宇敷育男, 滝島繁樹, 田中貴將
2. 発表標題 超臨界混練法を用いたCNT/ポリマーコンポジット作製におけるCNT前処理の影響
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会成形加工シンポジア ' 20, 富山
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木原 伸一, R. P. Anugrah, 佃 祐介, 宇敷育男, 滝島 繁樹
2. 発表標題 カーボンナノチューブ分散における溶媒自己酸化と塩効果
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第30回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木原伸一
2. 発表標題 高压流体混練法によるポリマー系ナノコンポジット作製に関する研究
3. 学会等名 広島大学若手研究者による研究シーズ発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木原伸一、菅野雅貴、佃祐介、宇敷育男、滝島繁樹
2. 発表標題 高压流体/ポリマー場での溶融混練によるCNT解繊機構の推定
3. 学会等名 第67回レオロジー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木原伸一、菅野雅貴、宇敷育男、滝島繁樹
2. 発表標題 レオロジーと動的光散乱によるCNT分散溶液中のCNT長さの評価法の検討
3. 学会等名 第2回 非ニュートン流体力学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木原伸一、菅野雅貴、佃祐介、宇敷育男、滝島繁樹
2. 発表標題 超臨界流体により可塑化されたポリマー-溶融体によるCNT 解繊機構の推定
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第27回秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木原伸一、宇敷育男、滝島繁樹
2. 発表標題 高压流体混練法を用いたポリマー中へのナノカーボン分散技術の開発
3. 学会等名 中国地区化学工学懇話会2019年度セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 (分担) 木原伸一, 宇敷育夫, 滝島繁樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 12
3. 書名 「ポリマーアロイ/ブレンドにおける相溶性・分散条件の最適設計, 評価応用の最新技術」第2章 ナノポリマーアロイの考え方、相溶性コントロール 第3節「高圧流体混練法を用いたポリマー系ナノコンポジットの作製」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	滝島 繁樹 (Takishima Shigeki) (10188120)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授 (15401)	
研究 分担者	宇敷 育男 (Ushiki Ikuo) (30734850)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	
研究 分担者	瀧 健太郎 (Taki Kentaro) (70402964)	金沢大学・機械工学系・教授 (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------