

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760129

研究課題名(和文)乱流抑制を高分子の伸張粘度の観点から解明する薄膜干渉流動画像法の開発

研究課題名(英文)Effects of extensional viscosity of polymers on turbulent drag reduction analyzed by Film Interference Flow Imaging

研究代表者

日出間 るり(Hidema, Ruri)

神戸大学・学内共同利用施設等・助教

研究者番号：20598172

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：流体に微量の高分子を添加すると乱流が起こりにくくなる。乱流抑制と呼ばれるこの現象は、流体輸送の省エネ化や、関節液や血液など体内の液体の流動解明に繋がり重要である。本研究は、乱流抑制に高分子の伸張粘度(高分子を伸長した際に、伸長方向に感じる伸ばしにくさ)が与える影響を実験により調べた。伸張粘度の発現には異方性があるため、乱流抑制効果は高分子の種類だけでなく流れの方向に影響を受けることを示した。

研究成果の概要(英文)：An experimental study has been performed in order to investigate the relationship between the extensional viscosity of polymers and turbulent drag reduction (DR). Self-standing flowing soap film was used to obtain Two-dimensional grid turbulence which is mostly dominated by extensional flow. Polyethyleneoxide, as a flexible polymer, and hydroxypropyl cellulose, as a rigid rod-like polymer were added to the flow. The effects of these polymers were visualized by the interference pattern of flowing soap films. The vortex deformation by adding polymers was analyzed by Fourier transformation and wavelet transformation. The scaling exponents of the power spectrum of interference patterns indicate that the mechanism of DR due to the extensional viscosity is anisotropic. A wavelet analysis reveals the high and low fluctuations of the polymer added flow. Results from wavelet analysis indicate disappearing of original vortices, and appearing of new structures in low frequency in 2D flow.

研究分野：複雑流体のレオロジー

キーワード：乱流抑制 複雑流体 レオロジー 高分子

### 1. 研究開始当初の背景

流体に微量の高分子を添加すると、乱流の流体摩擦抵抗が著しく減少する現象は、乱流抑制として知られている。この乱流抑制の技術は、工業的に流体輸送のエネルギー効率を高める観点から、地域冷暖房やパイプラインなどの流体輸送に多く用いられている。これまでの、乱流抑制に関する研究では、壁付近の速度勾配により流体にかかる剪断応力、剪断応力により生じる剪断粘度に注目が集まっていた。

しかし、近年の数値計算による研究から、剪断粘度よりも、流体に伸長応力がかかった際に生じる伸長粘度が乱流抑制に影響を与えているのではないかという指摘があった。実際、乱流中では流体が局所で高速に動いており、剪断速度や伸長速度が大きくなると考えられる。この際、より大きな剪断速度で高分子溶液の剪断粘度は減少する傾向があるのに対し、より大きな伸長速度では高分子溶液の伸長粘度は急激に増加する。これには、溶液中での高分子の伸びが関係していると考えられる。乱流中の局所で、急激な粘度の上昇があれば、当然、乱流に影響を及ぼすと考えられる。

しかし、流体に、剪断応力の影響を小さく、伸長応力が支配的にかかるようにすることは実験的に難しく、これまで、実験による検証は十分に行われていない。そこで、本研究を行うにあたり、乱流抑制には溶液の伸長粘度が重要だと考え、それを実験的に証明したいと考えた。

### 2. 研究の目的

乱流抑制には、高分子の伸長に由来する伸長粘度の増加が関係していると考え、それを実験的に証明することが目的である。伸長粘度特性の異なる二種の高分子で溶液を調整し、剪断歪みがかかりにくい流動場に乱流を発生させる。高分子の効果を実視化した乱流画像の画像解析から求める。このような観察・解析システムである薄膜干渉流動画像法 (Film Interference Flow Imaging, FIFI) および、溶液の伸長粘度を実測する装置 (Extensional Viscosity Analyzer, EVA) の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 高分子の伸長粘度が、乱流抑制に与える影響を調べるため、剪断応力がかかりにくい流動場を用意し、そこに乱流を発生させた。具体的には、二次元流体として知られる流動石鹸膜に、格子を差し、格子の下流に発生する流動場(二次元乱流)を実視化した(図1)。この流動場では、流体の周囲が空気であるため、流体に、壁面の摩擦による剪断応力がかかりにくい。また、格子の部分で、流速が局所的に速くなるため、流体には伸長応力がかかる。従って、高分子が流体中にあると、格子の部分でかかる伸長応力により、伸長粘度

が増加し、乱流中の渦を変化させる。

流動石鹸膜はドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム(SDBS)の2wt%溶液を図1の装置に流すと作成でき、流速は約130cm/sとした。高分子を添加する場合は、SDBS溶液に、ポリエチレンオキシド(PEO, 分子量:  $3.5 \times 10^6$ ) や、ヒドロキシプロピルセルロース(HPC, 分子量:  $1.0 \times 10^6$ ) をそれぞれ  $0.25 - 3.0 \times 10^{-3}$ wt%,  $0.01 - 0.05$ wt% で添加した。

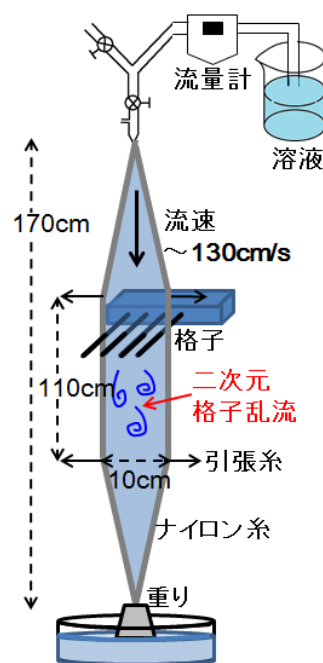


図1. 流動石鹸膜の概観図

(2) 高分子溶液の伸長粘度を実測する装置(EVA)の開発の基盤研究を行った。図2に示したような急縮小型のシリンジを溶液で満たし、シリンジポンプで流量をコントロールしながら溶液を押し出す。その際、フランジに取り付けたタップと縮小部通過後の細管に取り付けたタップ間の圧力を測定し、急縮小部を溶液が通過する際に受けた伸長応力により発生する伸長粘度を測定した。

測定した溶液はポリエチレンオキシド(PEO, 分子量  $5.0 \times 10^6$ ) の0.25wt%と0.38wt%である。

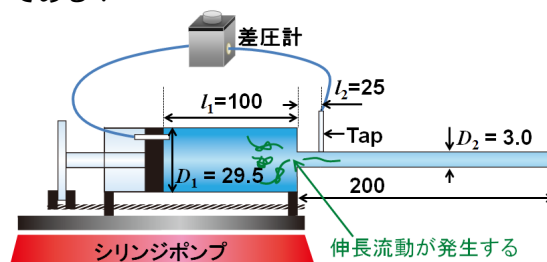


図2. 伸長粘度測定器の概観図

### 4. 研究成果

図3に高分子を添加していない二次元格子乱流、および、PEOやHPCといった高分子を添加した場合の可視化した様子を示した。この時、装置によってかかる伸長速度は  $250 \text{ s}^{-1}$  である。PEO添加溶液では、渦がNormal方向に拡がらずStreamwise方向に伸びていた。これらの画像を、画像解析した。まず、画像を二次元フーリエ変換し、スペクトルを求めた(図4)。図4(a)には例としてNormal方向のスペクトルを示した。高分子添加無しの画像では、スペクトルのスケール指数が

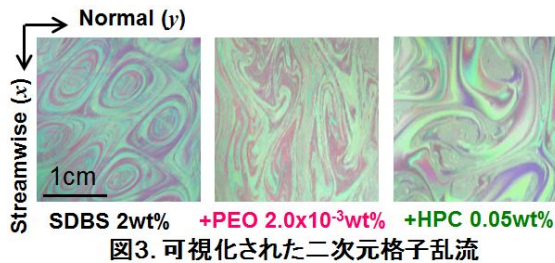


図3. 可視化された二次元格子乱流

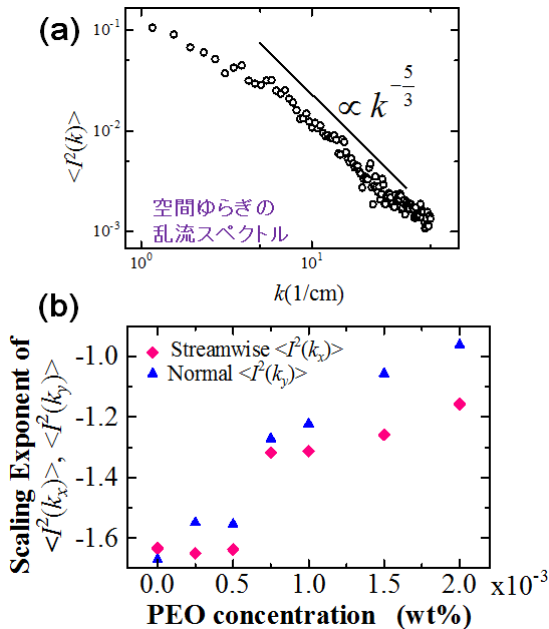


図4. 二次元格子乱流のスペクトル

-5/3 となり、二次元乱流に特徴的な値となった。この指数の変化の高分子依存性、濃度依存性を、伸長速度が  $250s^{-1}$  の場合について示したものが図 4(b)である。指数の値は、高分子濃度の増加に伴い、-5/3 に近い値から -1 へとシフトしていく。変化の仕方は高分子の種類によって異なった。PEO の場合は、ある濃度から急に指数が変化するのに対し、HPC の場合は、序々に値が増加した。また、Streamwise 方向よりも、Normal 方向で指数の変化が大きかった。さらに、伸長速度が  $350s^{-1}$  の場合についても調べると、指数の変化は大きく、また変化が起こる濃度が低い方へシフトした。

この指数の変化は、二次元乱流の理論から、乱流中でのエネルギーの輸送が抑制される場合に起こると予想されている。本研究の場合には高分子が乱流中のエネルギー輸送を変化させ、指数に変化を生じさせると考えられる。また、高分子が流路の格子部分を通る際、伸長応力によって一時的に伸長し、この伸長が溶液の伸長粘度を増加させると考えられる。従って、伸長粘度の影響が見られる伸長方向 (Streamwise 方向) に、高分子の違いがより顕著に表れると考えられる。つまり、PEO の方が HPC のデータよりも伸長粘度が大きいため、Streamwise 方向では PEO により顕著な違いが出ると考えられる。また、格子付近で伸長した高分子が配向すると、Normal 方向へのエネルギー輸送を抑制しや

すくなると考えられ、Normal 方向が影響を受けると考えられる。

伸長粘度の影響は Streamwise 方向により顕著に表れると考えられたため、Streamwise 方向の乱流の変化を Wavelet 変換により詳しく解析した (図 5)。高分子添加無しの溶液の場合は、0.5cm 付近に特徴的なパターンが見られ、これは乱流中の渦のサイズに相当する。この初期の渦は、高分子の添加と共に、序々に減少し、2cm 以上のより大きなスケールに特徴的なパターンが見られるようになる。この変化は、PEO の方がより顕著に見られ、HPC の場合は 2cm 以上の大きなパターンの現れ方はランダムであった。

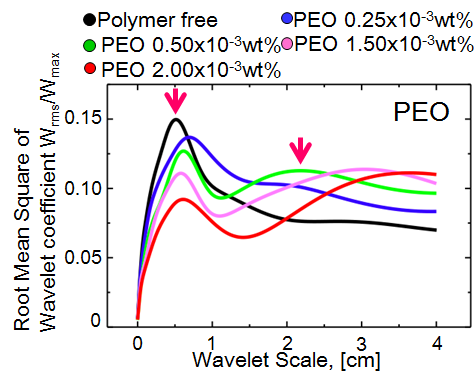


図5. 乱流中の渦サイズへの高分子の影響

高分子溶液の伸長粘度の試験的測定の結果を図 6 に示した。PEO0.25wt% と PEO0.38wt% の溶液の伸長粘度は、別の測定法を用いた先行研究の値と、比較的一致したが、まだ十分とは言えず、今後、精度向上を目指す。

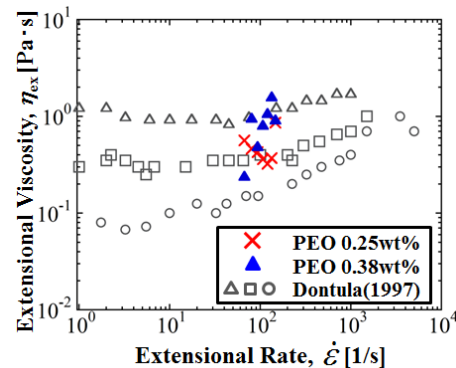


図6. EVALによる伸長粘度の試験的測定

以上の結果から、高分子溶液の伸長粘度が乱流抑制に与える影響の実験的解析と、伸長粘度測定実測の基盤構築ができたと言える。数値計算による考察は多数あったが、伸長粘度の影響を実験で調べた例は少なく、インパクトが大きかったため、国内外で評価を得たと言える。その結果が研究業績、受賞、特許出願に結びついたと言える。

なお、本報告では紙面の都合上割愛したが、ひも状ミセルを形成する界面活性剤溶液の抵抗低減効果についても調べた。ひも状ミセルの場合は、乱流中の渦の変化が高分子の場合とは異なった。これは、ひも状ミセルが

ねに生成, 消滅, 変形を繰り返している結果だと考えられた.

本研究を通して, 高分子溶液などの複雑流体の流動現象は, 様々なスケールの現象が関係した階層構造を持つ現象であるということが明らかになったと考える. 今後はさらに研究対象を広げ, nm スケールでの高分子と水の相互作用が, m スケールの流動現象にどう影響を与えるかを詳細に調べていきたい.

#### 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 13 件) 主要なもののみ

#### 以下, 全て査読有

1. R. Hidema, 他 3 名, Flow and Heat Transfer Characteristics of Ammonium Alum Hydrate Slurries with Surfactants as Drag-Reducers and with Polyvinyl Alcohol as Stabilizers, Int. Heat Transfer Conf. 15, begell house, DOI: 10.1615/IHTC15.fcv.009469, (2015)
2. H. Suzuki, R. Hidema, 他 1 名, Size Effect of the Flow Path on the Flow and Heat Transfer Characteristics in a Cavity Swept by a Visco-Elastic Fluid, Int. Heat Transfer Conf. 15, begell house, DOI: 10.1615/IHTC15.hex.009449, (2015)
3. H. Suzuki, H. Sato, R. Hidema, 他 1 名, Bulge structure in a cavity swept by a viscoelastic fluid, J. Phys.: Conf. Ser., 530 (2014) 012055
4. R. Hidema, Effects of extensional rates on characteristic scales of two-dimensional turbulence in polymer solutions, J. Phys.: Conf. Ser., 530 (2014) 012065
5. T. Toyoda, R. Hidema, 他 2 名, Crystal Growth and Viscosity Behaviors of Ammonium Alum Hydrate Solution with PVA in Shear Flow, Nihon Reorji Gakkaishi, 42 (2014) 219
6. R. Hidema, 他 3 名, Characteristic Scales of Two-Dimensional Turbulence in Polymer Solutions AIChE J., 60 (2014) 1854
7. R. Hidema, 他 3 名, Turbulent Flow Characteristics Controlled by Polymers, Mechanics and Model-Based Control of Advanced Engineering Systems, Springer (2014) 163
8. H. Suzuki, Y. Furukawa, R. Hidema 他 1 名, Flow and Oxygen-Dissolution Characteristics of Micro-Bubbles in a Viscoelastic Fluid, J. Chem. Eng. Japan, 47 (2014) 201
9. R. Hidema, 他 5 名, Phase separation characteristics of ammonium alum hydrates with poly vinyl alcohol, J. Chem. Eng. Japan, 47 (2014) 169
10. R. Hidema, 他 4 名, Effects of the Extensional Rate on Two-dimensional

Turbulence of Semi-dilute Polymer Solution Flows, Rheol. Acta, 52 (2013) 949

11. 日出間るり, 他 4 名, 急縮小流れを利用した低粘度高分子溶液の伸長粘度測定法の開発, 日本機械学会論文集 B 版, 査読有, 79 (2013) 1264
12. R. Hidema, 他 3 名, Extensional Viscosity of Semi-Dilute Polymer Solution Effect on Two-Dimensional Turbulence, Int. J. Trans. Phenom., 13 (2013) 183
13. R. Hidema, 他 1 名, Development of Film Interference Flow Imaging Method (FIFI) Studying Polymer Stretching Effects on Thin Liquid Layer”, e-J. Surf. Sci. Nanotech. 10 (2012) 335

[国際会議発表論文](計 11 件) 主要なもののみ

1. R. Hidema, 他 2 名, Elastic Instability of Hyaluronate Solution in Micro Abrupt Contraction-Expansion Channels, Proc. AIChE Annual Meeting 2014, 査読無, No. 381883 (2014)
2. H. Suzuki, Ruri Hidema, 他 1 名, Flow Characteristics in a Micro-Cavity Swept by a Visco-Elastic Fluid, HTFFM-V, 査読有 (2014)
3. R. Hidema, 他 3 名, Micro-Fluidic Behavior Near Gas/Liquid Interface on Liposome Production in a Micro-Channel, HTFFM-V, 査読有(2014)
4. R. Hidema, 他 3 名, Intermittent Gas/Liquid Interfaces in a Micro-Channel for Liposome Production, Proc. AIChE Annual Meeting 2013, 査読無, No. 334575, (2013)
5. S. Hisamatsu, R. Hidema, 他 2 名, Effects of Counter-ion Concentration of Drag-reducing Surfactant Solutions Analyzed By a Two-dimensional Turbulent Flow, WCCE-9, 査読無, No. MoP-T1-111 (2013)
6. R. Hidema, 他 2 名, Drag Reduction Effects Due to Polymer Extensional Viscosity Analyzed By Two-dimensional Turbulent Flow, WCCE-9, 査読無, No. WeO-T129A-3 (2013)
7. T. Shiraki, R. Hidema, 他 2 名, Development of an Extensional Viscosity Measurement Method For Low Viscous Polymer Solutions with an Abrupt Contraction Flow, WCCE-9, 査読無, No. WeO-T129B-1 (2013)
8. R. Hidema, Anisotropic structures induced by polymers in two-dimensional turbulent flows, CC3DMR 2013, 査読無(2013)
9. R. Hidema, 他 3 名, Drag-reducing surfactant effects on two-dimensional turbulent flow, ExHFT-8, 査読有, No. 4c.3 (2013)
10. R. Hidema, 他 2 名, Energy transfer in drag

reduction of two-dimensional turbulence studied by frequency analysis, IWPI2012, 査読無, p.33 (2012)

11. Ruri. Hidema, 他 3 名, Single Image Turbulence Analysis for Drag Reduction Affected by Flexibility of Polymers, Proc. AIChE Annual Meeting 2012, 査読無, No.142ag (2012)

〔受賞〕(計 3 件) 主要なもののみ

1. 化学工学会 2014 年度 研究奨励賞(玉置明善記念賞), 「薄膜干渉流動画像法を用いた高分子伸長が乱流抑制に与える影響の解明」(2015 年 3 月 15 日)
2. XIII Prof. J.W. Elsner's Competition for the best paper in the field of fluid mechanics, the First Prize, "Effects of Extensional Rates on Characteristic Scales of Two-Dimensional Turbulence in Polymer Solutions", Krakow, Poland. (2014 年 6 月 18 日)
3. 化学工学会 粒子・流体プロセス部会 2013 年度シンポジウム賞・奨励賞, 「異なる伸長速度が高分子乱流抑制に与える影響の解明」(2014 年 3 月 17 日受賞)

〔国際学会発表〕(計 16 件) 主要なもののみ

1. T. Oka, R. Hidema, 他 2 名, Flow Behaviors of Hyarulonate Solutions Through Micro Abrupt Contraction-Expansion Channels, IWEAYR-10, No. P.59, 4-7, February. Fukuoka, Japan (2015)
2. R. Hidema, 他 2 名, Elastic Instability of Hyaluronate Solution in Micro Abrupt Contraction-Expansion Channels, 2014 AIChE, No. 381883, 16-21, November. Atlanta, GA, USA (2014)
3. R. Hidema, 他 3 名, Flow and Heat Transfer Characteristics of Ammonium Alum Hydrate Slurries with Surfactants as Drag-Reducers and with Polyvinyl Alcohol as Stabilizers, IHTC-15, No. IHTC15-9469, 10-15, August. Kyoto, Japan (2014)
4. R. Hidema, 他 3 名, Flow Behavior of Sodium Hyaluronate Solution in a Micro Abrupt Contraction-Expansion Channel, No. OR075, PRCR-6, 20-25, July. Melbourne, Australia (2014)
5. R. Hidema, Effects of Extensional Rates on Characteristic Scales of Two-dimensional Turbulence in Polymer Solutions, XXI-FMC, No. E-7, 8pages, 15-18, June. Krakow, Poland (2014)
6. R. Hidema, 他 2 名, Micro-Fluidic Behavior Near Gas/Liquid Interface on Liposome Production in a Micro-Channel", HTFFM-V, 22-25, April. Marseilles, France (2014)
7. R. Hidema, 他 3 名, Intermittent Gas/Liquid Interfaces in a Micro-Channel for Liposome

Production", 2013 AIChE, No. 334575, 8pages, 3-8, November. San Francisco, CA, USA (2013)

8. S. Hisamatsu, R. Hidema, 他 2 名, Effects of Counter-ion Concentration of Drag-reducing Surfactant Solutions Analyzed By a Two-dimensional Turbulent Flow, WCCE-9, No. MoP-T1-111, 18-23, August. Seoul, Korea (2013)
9. R. Hidema, 他 2 名, Drag Reduction Effects Due to Polymer Extensional Viscosity Analyzed By Two-dimensional Turbulent Flow, WCCE-9, No. WeO-T129A-3, 18-23, August. Seoul, Korea (2013)
10. T. Shiraki, R. Hidema, 他 2 名, Development of an Extensional Viscosity Measurement Method For Low Viscous Polymer Solutions with an Abrupt Contraction Flow, WCCE-9, No. WeO-T129B-1, 18-23, August. Seoul, Korea (2013)
11. R. Hidema, Anisotropic structures induced by polymers in two-dimensional turbulent flows, CC3DMR 2013, p. 323, 24-28 June (2013), **invited talk**
12. R. Hidema, 他 3 名, Drag-reducing surfactant effects on two-dimensional turbulent flow, No. 4c.3, ExHFT-8, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Lisboa, Portugal, 16-20 June (2013)
13. R. Hidema, 他 2 名, Extensional Viscosity of Semi-Dilute Polymer Solution Effect on Two-Dimensional Turbulence, No.155, ISTP-23, 19-22 November. Auckland, New Zealand (2012)
14. R. Hidema, 他 3 名, Single Image Turbulence Analysis for Drag Reduction Affected by Flexibility of Polymers, 2012 AIChE, No.142ag, 28 October - 2 November. Pittsburgh, USA, (2012)
15. R. Hidema, 他 2 名, Energy transfer in drag reduction of two-dimensional turbulence studied by frequency analysis, IWPI 2012, 8-9, November. Seoul, Korea, (2012)
16. R. Hidema, 他 4 名, Flow Control by Polymers Studied with Film Interference Flow Imaging, Advanced Dynamics and Model Based Control of Structures and Machines, 1-4, July, Saint Petersburg, Russia (2012)

〔国内学会発表〕(計 17 件) 主要なもののみ

1. 日出間るり, 薄膜干渉流動画像法を用いた高分子伸長が乱流抑制に与える影響の解明, 化学工学会 第 80 年会, C309, 2015 年 3 月 19 日 ~ 21 日, 芝浦工業大学, 東京
2. 日出間るり, 他 2 名, マイクロ急縮小急拡大流路における高分子溶液の流動挙動, 流体工学部門, 0112 (2014) 10 月

- 25日～26日，富山大学，富山
3. 白木能仁，日出間るり，他2名，急縮小流れの圧力損失から算出されるカチオン性界面活性剤溶液の伸長粘度，日本レオロジー学会第62回討論会講演要旨集，3E01(2014) 10月15日～17日，福井市地域交流プラザ，福井
  4. 久松史穂，日出間るり，他2名，棒状ミセルによる抵抗低減効果が二次元乱流の渦変形に与える影響の解析，化学工学会第46回秋季大会CD-ROM版講演論文集，C123(2014) 9月17日～19日，九州大学，福岡
  5. 久松史穂，日出間るり，他2名，二次元乱流の渦変形観察による棒状ミセルの抵抗低減効果の解析，第14回複雑流体研究会(2014) 6月21日，同志社大学，京都
  6. 日出間るり，異なる伸長速度が高分子乱流抑制に与える影響の解析，化学工学会平成26年度粒子・流体プロセス部会総会・部会セミナー，粒子・流体プロセス部会奨励賞受賞講演 2014年3月17日，岐阜大学，岐阜
  7. 日出間るり，他2名，円柱列を通過する層流粘弾性流体の数値計算，第61回レオロジー討論会 USB版講演要旨集，2D06(2013)9月25日～27日，山形大学工学部，山形
  8. 日出間るり，他3名，異なる伸長速度が高分子乱流抑制に与える影響の解析，化学工学会第45回秋季大会CD-ROM講演要旨集，XA107(2013)9月16日～18日，岡山大学，岡山
  9. 白木能仁，日出間るり，他2名，急縮小流れにおける高分子溶液の圧力損失および流れ場解析から得られる伸長粘度，第59回高分子研究発表会(神戸)予稿集，p.217，(2013)7月17日，兵庫県民会館，神戸
  10. 久松史穂，日出間るり，他2名，界面活性剤水溶液の乱流抑制効果の二次元乱流における解析，日本レオロジー学会第40年会講演予稿集2013，p.71，(2013)5月16日～17日，京都テルサ，京都
  11. 白木能仁，日出間るり，他2名，急縮小流路を用いた高分子低粘度溶液の伸長粘度測定，日本レオロジー学会第40年会講演予稿集2013，p.73，(2013)5月16日～17日，京都テルサ，京都
  12. 日出間るり，他3名，二次元石鹸膜内乱流における波数変動特性に関する研究，日本機械学会第90期流体工学部門講演会CD-ROM版講演論文集，No.1102(2012)，11月17日～18日，同志社大学，京都
  13. 日出間るり，他3名，急縮小流れにおける高分子水溶液の圧力損失から推定される伸長粘度特性，第60回レオロジー討論会講演論文集，No.2C09(2012)9

- 月26日～28日，名古屋大学，名古屋
14. 日出間るり，他5名，高分子水溶液の伸長粘度増加が乱流抑制に及ぼす影響の解明，化学工学会第44回秋季大会CD-ROM版研究発表講演要旨集，N106(2012)，9月19日～21日，東北大学，仙台
  15. 山田直也，日出間るり，他2名，二次元乱流における高分子伸長粘度が与える影響の解析，日本機械学会2012年度年次大会DVD-ROM論文集，12-1，S054013(2012)，9月9日～12日，金沢大学，金沢
  16. 日出間るり，他2名，高分子形状が乱流挙動に及ぼす効果の薄膜干渉流動画像法による解析」第58回高分子研究発表会(神戸)予稿集，p.80，(2012)，7月13日，兵庫県民会館，神戸
  17. 日出間るり，他2名，薄膜干渉流動画像法による高分子準希薄溶液の伸長粘度が流体に及ぼす影響の解析」Polymer Preprints Japan., 61(1), 929(2012)，5月29日～31日，パシフィコ横浜，横浜

〔産業財産権〕

○出願状況(計2件)

名称：伸長粘度測定方法および伸長粘度測定装置

発明者：日出間るり，鈴木洋，菰田悦之

権利者：国立大学法人神戸大学，株式会社ユービーエム

種類：特許

番号：特願2013-026052

出願年月日：2013年2月13日

国内外の別：国内

名称：粘弾性溶液の濃度評価方法および濃度評価装置

発明者：日出間るり，鈴木洋，菰田悦之

権利者：国立大学法人神戸大学

種類：特許

番号：特願2014-165756

出願年月日：2014年8月18日

国内外の別：国内

〔その他〕

Research Gate

[http://www.researchgate.net/profile/Ruri\\_Hidema](http://www.researchgate.net/profile/Ruri_Hidema)

6. 研究組織

(1)研究代表者

日出間るり(Ruri Hidema)

神戸大学 自然科学系先端融合研究環

助教

研究者番号：20598172

(2)研究協力者

鈴木洋(Hiroshi Suzuki)

神戸大学大学院 工学研究科 教授

研究者番号：90206524