

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 11 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420752

研究課題名(和文)熱伝導性を制御した高分子機能性材料の設計

研究課題名(英文)Thermal design of polymer materials specified on heat transport properties

研究代表者

森川 淳子 (Junko, Morikawa)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：20262298

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：高分子複合系の熱伝導特性の分子構造設計の指針を得るために、炭素繊維複合材料、液晶、蓄熱材等のモデル系の熱伝導特性を温度波法を用いて検討し、分子の配向性による熱伝導特性の制御の可能性を示すとともに、熱物性全4定数の温度可変下の同時測定法の方法論を提案した。さらに、熱イメージングと同期させた、赤外吸収スペクトルのイメージング化を高速に行う、熱・スペクトル同時測定法を提案し、試作した。

研究成果の概要(英文)：Temperature wave method applicable to thin and small specimens was utilized for the measurement of various kinds of model materials, such as polymeric composites, liquid crystals, phase change materials, etc., in order to understand the general principles of thermal design to control the high performance thermal properties. It was shown that the molecular anisotropy was controllable to enhance the higher thermal conductive properties. At the same time, the method of simultaneous measurement of thermal and spectral IR images is proposed, applying to the imaging of phase transition of n-alkane.

研究分野：熱物性・熱分析

キーワード：高分子 熱拡散率 熱伝導率 異方性 相転移 温度波

1. 研究開始当初の背景

材料の熱物性設計時の熱の可視化は、世界的に未開拓な分野の一つであると同時に競争の激しい分野である。提案者は、薄膜の熱拡散率測定法を開発・実用化する過程で、平均値としての物性値のみでは複雑な高次構造を持つ高分子やその複合材料の、本来テンソル量である熱伝導率・熱拡散率を十分に評価しきれないとの実験結果に基づいて、特に材料開発への応用を目的として、ミクロスケールの熱の可視化技術“Micro-scale Thermal Imaging”の開発を進めてきた。光学系の開発を含む熱イメージングシステムの開発は、国内外で評価を得て、JST分析技術・機器開発事業に採択された実績をもつ。

しかしながら、これらの熱の可視化技術を実際に材料開発に応用した例は少ない。理由として、測定システムの構築が容易ではないこと、熱現象は観測するのみでは、解析足り得ず、数学的なモデルによる検証が必要となることにある。

一方で、熱伝導を制御した高効率エネルギー制御材料の高機能化を実現するためには、モデル化可能な明確な構造解析の結果を持つ材料群と、熱物性を関連付ける必要があり、高分子系材料では、この観点からも、実験データの蓄積が充分ではなかった。2次元あるいは3次元の熱イメージング技術の進展のためにはこれら基礎熱物性データの構築が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、温度波解析をベースに、種々の有機高分子系材料の熱拡散率の温度依存性測定データの構築を行う。同時に、非定常の熱移動を高速なセンシングによって2次元で観測できる赤外カメラを用いた可視化熱分析方法のさらなる機能化と、それをもとにした高機能熱伝導材料の設計指針を得ることにある。全体の流れは以下に要約される。

(1) 計測法の観点から：高速、2次元、顕微可視化技術を、赤外線素子と、サンプル加熱方法との連動を中心にして構築する。計測法の装置本体を徹底的な省エネルギー設計とし、高性能化、利便性との両立を図る。

(2) ミクロスケールからマクロスケールの領域をカバーするため、分光法を用いたイメージング法を取り入れる。

(3) 熱伝導性制御機能材料設計の観点から：熱伝導機能性材料設計の指針を、温度波法の適用を中心に進め、分子構造に起因する熱伝導性発現の機構を解明する。

3. 研究の方法

(1) 提案者が自ら開拓してきた熱解析のミクロスケールイメージング技術を、高分子や高分子複合系材料、あるいは液晶などのモデル物質群による熱伝導性制御材料の設計に応用し、複合系の熱伝導や輻射による熱エネルギー輸送の定量化を行う。

(2) そのためのモデル系あるいは微小センサー群を電子線リソグラフィにより作成し、続いて変調レーザーสキャン型の光源-ステージの装置試作を行う。

(3) 赤外振動吸収波長と発熱の関係をイメージング化する手法を新たに導入する。

(4) これらのイメージングデータを基に熱伝導、対流、輻射を考慮した高分子系複合材料の機能発現について基礎的な解明を行い、具体的な熱伝導性制御のための構造設計の概念を提案する。

4. 研究成果

(1) 炭素繊維強化複合材料の熱伝導特性
炭素繊維強化複合材料は、軽量かつ高強度、高剛性という特徴を有するため、宇宙航空分野に応用されている。そのため幅広い温度範囲での熱物性が必要であり、本研究では、低温域の熱拡散率の温度依存性を測定した。薄板状試料に対して高感度な温度波熱分析法を用いて、炭素繊維/エポキシ複合材料の室温から数十Kまでの範囲にて熱拡散率測定を行い、異方性の観点から考察を行った。試料として、繊維軸方向の異なる2種類の炭素繊維強化複合材料(IM700/Q153)を用いた。またケブラー49(単糸 12 μm \times 1000 本)に、エポキシ樹脂(主剤:エピコート 828/硬化剤:TTA)を含浸し硬化させた一軸配向ケブラー繊維/エポキシ系複合材料も比較用試料とした。

ケブラー繊維複合材料は温度低下に伴い熱拡散率が増加、炭素繊維複合材料は熱拡散率が低下し、2つの試料は異なる温度依存性を示すことがわかった。各試料の熱拡散率の絶対値は、低温域においてケブラー繊維の繊維方向、垂直方向、炭素繊維の繊維方向、垂直方向、エポキシ樹脂の順に 30.5(31K), 6.0(35K), 19.7(39K), 7.3(40K), 4.0(39K) [$10^{-7}\text{m}^2/\text{s}$]となり、エポキシ樹脂、垂直方向、繊維方向の順で大きくなることがわかった。

(2) 液晶試料の異方性制御：アンカリング転移

熱伝導特性における異方性制御は、材料設計の観点から重要であることから、低分子液晶材料をモデルに、配向膜と液晶の分子間相互作用によって生じるアンカリング転移による熱拡散率の異方性制御の可能性について温度波法を用いて検討した。液晶 4-ヘプチル-4'-ブチル-1, 1'-ビスシクロヘキサ-4-カルボニトリル (CCN-47, Merck) は、配向膜として CYTOP (旭硝子) を用いた場合に、ネマチック相においてアンカリング転移という特異な構造転移が起こり、液晶分子の配向が変化する。配向膜を構成するフッ素系高分子の間の界面における相互作用が原因であると考えられている。配向膜を CYTOP とした場合、他の配向膜の場合と同様に温度の低下とともに、Iso (等方) - N (ネマチック) - Sm (スメクティック) - A - Cry (結晶) の4つの相が順に観察された。CYTOP の場合は、そ

れに加えてN相において、温度の低下とともに、液晶分子の配向が基板に対して平行な方向から垂直な方向へと変化することが確認された。液晶 CCN-47 と配向膜 CYTOP 間の特異なアンカリング転移により、熱拡散率の異方性制御が可能であることを示した。

(3) シッフ塩基液晶の熱拡散率と相転移 p-butyloxybenzilidene-n-octylanilene (BBOA, または 40.8) は代表的なシッフ塩基 (nO.m) の一つであり、温度により N-SmA-SmB 相を示すサーモトロピック液晶である。炭素数の異なるシッフ塩基について、N相, Sm相における熱拡散率の異方性を測定した。分子の長軸に平行な方向の熱拡散率測定には、垂直配向膜 JALS-204 (JSR)、長軸に垂直な方向の熱拡散率測定には、水平配向膜 AL1254 (JSR) を用いた。偏光顕微鏡下の構造変化の同時観察より、温度の低下とともに、Iso-N-SmA-SmB-Cry 相が現れ、これらの間の相転移において、熱拡散率の急激な変化が捉えられた。特に、降温過程の Iso-N-SmA 相転移においては、熱拡散率が急激に減少した後、増加するディップ型の変化を示すのに対し、SmA-SmB 相転移においては、ステップ状に増加する特徴を示した。液晶分子の長軸に平行な方向 ($\alpha_{//}$)、垂直な方向 (α_{\perp}) の熱拡散率の温度依存性は、N相から SmB相までの液晶相において、常に $\alpha_{//} > \alpha_{\perp}$ となり、温度の低下に伴い、その度合いは大きくなった。一方、物質拡散の拡散係数 D の場合、N相では $D_{//} > D_{\perp}$ 、SmA, SmB 相においては $D_{//} < D_{\perp}$ との報告があり、nO.8 の熱拡散率の異方性は、物質拡散における異方性とは異なる傾向を示した。

拡散係数の異方性が Sm 相において変化する理由として、分子長軸に垂直な方向に形成される層構造により、長軸に平行な方向への物質拡散が妨げられることが指摘されているが、熱拡散はその影響を受けないことが示された。この理由として、物質拡散と熱拡散の平均自由行程の違いが考えられる。すなわち、物質拡散の平均自由行程は Sm 相の層間距離よりも長いため、層構造の影響を受けるのに対し、熱拡散の平均自由行程はそれよりも短く、層構造の影響を受けないことが考えられる。

(4) 微小複合材料の熱伝導特性の測定方法 材料の熱伝導率・熱拡散率は、高次構造や複合状態に敏感で、実測が重要となる。温度波法は、簡便な装置で、水や種々の試料による検定によって十分な精度を有していることを明らかにした。さらに、(i) 測定の迅速性、(ii) 測定周波数を変化させることによって厚さや熱拡散率が異なる材料への幅広い対応、(iii) 絶縁膜を用いることで電気伝導性物質への展開、(iv) 少量あるいは極薄膜での測定の容易さ、(v) 1 mm 程度の微小部分の測定による熱拡散率分布計測、などの特徴を有

し、従来法では難しい微小複合系材料の測定を可能とした。また単なる物性値を得るばかりなく、均一化時間を用いることで、薄膜材料の伝熱特性を得ることができていることを明らかにした。(図1)

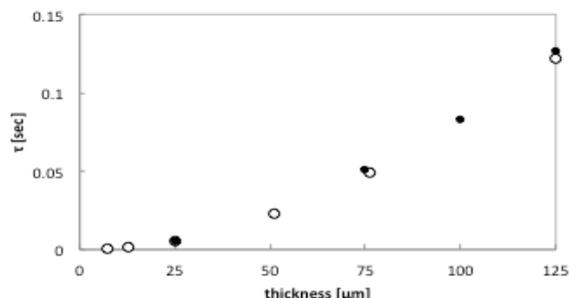


図1 ポリイミドフィルムの熱拡散率測定における均一化時間 τ と試料厚さの関係。

(5) 高分子系潜熱蓄熱材料

n-アルカンを基材とした高分子潜熱蓄熱材の相転移と熱拡散率との相関および構造変化について検討した。n-アルカンと同程度の相転移温度で、n-アルカンそのものよりも大きな熱拡散率の変化が観察された。相転移時の熱拡散率変化の増大は、蓄熱材における潜熱の放出性の向上に繋がると考えられる。温度波法による熱拡散率測定は、蓄熱材の性能評価にも有効な手法と結論づけられた。

(6) 環状高分子は、直鎖状高分子と異なり主鎖末端が存在しないため、組成や分子量が同一の場合にも異なる特性(トポロジー効果)を示すことが知られている。熱物性におけるトポロジー効果について検討し、環状および直鎖状 PTHF の熱拡散率を室温付近において比較した。分子量の増加に伴い融点が上昇していることが分かるトポロジー効果が融点には現れる一方、検討した分子量の範囲では、熱拡散率にははっきりとは見受けられないことが分かった。

(7) 潜熱蓄熱材としての糖アルコールの素熱物性と相転移

潜熱蓄熱材は外部からの熱エネルギーを潜熱として貯え、それを後に外部に取り出すことを目的とした材料であり、その性能には潜熱のエネルギーや相転移温度だけでなく、自身の熱の伝えやすさも関わってくる。しかし、蓄熱材の相転移時の熱物性の変化や温度依存性について、詳細データの報告例は限られている。潜熱蓄熱材として用いられるエリスリトールについて温度波法を用いて熱拡散率の温度依存性と、構造異性体であるスレイトール、および同じ糖アルコールであるソルビトール、キシリトールについて、熱拡散率の温度依存性の測定と相転移時の変化の観察を行い、それらの結果の比較を行った。エリスリトールは立体配座が異なる分子の割合によって、複数の結晶形が存在し、固相

-固相転移が起こることが報告されており今回の実験ではエリスリトールの結晶形 A から B への転移が熱拡散率の変化という形で観察された。結晶 A は半径数 mm の球晶であり、結晶 B は多結晶であった。熱拡散率の値は結晶 A の方が B に比べ、約 1.7 倍大きい値を示し、結晶 B の方が結晶 A より融点を示した。一方、エリスリトール、スレイトールの固相状態はソルビトール、キシリトールのガラス状態と比較して熱拡散率が大きく、スレイトールの熱拡散率よりエリスリトールの熱拡散率の方が大きい。熱伝導性の観点からも蓄熱材としての性能が良いと考えられる。

(8) 熱浸透率導出のための温度波振幅の絶対値のキャリブレーション法

液晶や有機分子性結晶、高分子などの熱物性は、材料設計の観点からも非常に重要であるが、広い温度範囲で体系的に熱拡散率、熱浸透率、熱伝導率、熱容量を同時測定する測定法は報告が少ない。温度波法は、温度波の位相、振幅の両方を連続昇降温下で同時に測定する方法であるが、位相差の値から直接熱拡散率を算出することに対して、振幅項から熱浸透率や熱伝導率を求めるためには、エネルギーの散逸項などを見積もる必要がある。正確な熱容量の求められている液体試料をリファレンス試料として用いることにより、伝播する温度波の熱エネルギー量のキャリブレーションを行う方法論を開発し、液晶試料の熱拡散率/熱浸透率同時測定が可能であることを液晶試料により示した。

(9) 可視光・紫外線光照射による熱伝導性異方性のスイッチング

アゾデンドリマーを 0.2wt% 添加した液晶 5OCB はネマチック相で、無照射/紫外線照射/可視光照射により、垂直配向/水平配向/垂直配向を示す。このような配向変化に伴う熱伝導特性の変化を、温度波を用いた熱拡散率・熱浸透率・熱伝導率同時測定により明らかにした。

液晶試料には 4pentyloxy-4-biphenil carbonitrile (5OCB) を用い、このホスト液晶分子に対して 0.2 wt% の割合でアゾデンドリマーを添加した混合物を試料とした。温度波法の測定条件は配向膜により配向制御された 5OCB と同様の条件である。光異性化には 365 nm の紫外光を用いた。

測定セルは ITO を温度センサー(0.5 x 1 mm²)およびヒーター(1 x 2 mm²)とし、試料の厚さは 35 μm とした。熱浸透率の測定の際には、熱物性が既知の hexaoxyethylene *n*-dodecyl ether の液相を標準液体として用いた。温度波の周波数を 120 Hz とし温度走査速度 1 °C/min で 80 °C から 50 °C までの降温過程で熱拡散率と熱浸透率を同時測定した。

アゾデンドリマーの光異性化に伴う液晶の配向変化では、紫外光を照射した際にホストの液晶分子は基板に (a) に対して水平に配向

し、可視光を照射した際には液晶分子は基板に対して垂直に配向した。可視光、紫外光を照射しながら系の温度を変化させた際の熱拡散率、熱浸透率、熱伝導率、および体積熱容量の変化は、ネマチック相では、液晶が垂直配向している可視光照射時の熱伝導率の値は、液晶が水平配向する紫外光照射時よりも高い値を示し、異方性を示した。照射光の波長により、熱伝導性の異方性のスイッチングが可能であることが示された。一方、体積熱容量は配向状態によらず同じ値の変化を示した。体積熱容量は異方性をもたない物性値であるためと考えられる。

このような光異性化に伴う系全体の熱拡散率、熱浸透率、熱伝導率、体積熱容量の変化を同時にとらえられる測定は例がなく、今後より幅広い現象の測定に適応できることが期待される。

(10) 赤外線 CCD を用いて試料から発せられる輻射強度分布の測定から行う熱イメージングと、別途、光源からモノクロメーターを介して試料の照射した赤外線の振動吸収による透過率の変化を分光波長のスキャンを行いながら、画像で取得する赤外分光吸収スペクトルイメージングを、同期信号として同時測定する手法を提案し、熱スペクトロスコピー法を提案し、装置の試作を行った。この手法により、*n*-アルカンの相転移におけるアルキル鎖 CH₂, CH₃ の伸縮振動、逆対称伸縮振動に帰属されるスペクトルの強度変化と、1 次転移における潜熱の発生ならびにその面内方向への伝播の様子を画像により捉えること方法論を提案した。

(11) 総括

高分子複合系の熱伝導特性と分子構造設計の指針を得るために、種々のモデル系について熱伝導特性と、構造や相転移の関係を、温度波法を用いて検討し、分子の配向性による熱伝導特性の制御について検討した。高分子複合系、液晶、蓄熱材各々において、詳細な熱伝導特性と構造の関係を得た。これらの結果をさらに拡張して構築することにより、マテリアル分野のインフォマティクスへの応用を目指す。

一方、複雑な材料群の熱物性評価方法のさらなる進化のために、熱物性全 4 定数の温度可変下の同時測定法の方法論を提案した。さらに、熱イメージングと同時に、赤外吸収スペクトルのイメージング化を高速に同期して行う、熱・スペクトル同時測定法を提案し、試作し、実際の有機分子性結晶の相転移における発熱イメージとスペクトル変化の相関を得た。

以上により、高分子複合系の熱伝導特性発言のための熱物性データの構築と測定方法論について、提言を行った。

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 10 件)

- ① M. Uehara, S. Aya, F. Araoka, K. Ishikawa, H. Takezoe, J. Morikawa, Discontinuous thermal diffusivity change due to the anchoring transition of a liquid crystal on a perfluoropolymer surface, 査読有, ChemPhysChem Vol.15, 2014, pp. 1452-1456, DOI: 10.1002/cphc.201300975
- ② M. Romano, C. Ndiaye, A. Duphil, A. Sommier, J. Morikawa, J. Mascetti, J.C. Batsale, L. Servant, C. Pradere, Fast infrared imaging spectroscopy technique (FIIST), Infrared Physics & Technology, 査読有, Vol. 68, 2015, pp. 152-158, <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2014.12.005>
- ③ M. Uehara, H. Takezoe, N. Vaupotič, D. Pocięcha, E. Gorecka, Y. Aoki, J. Morikawa, Thermal diffusivity anisotropy measured by a temperature wave method in the homologous series of (p-alkoxybenzylidene)-p'-octylaniline (nO.8), The Journal of Chemical Physics 査読有, Vol.143, 2015, 074903, doi: 10.1063/1.4928587
- ④ M. Ryu, H. Takezoe, O. Haba, K. Yonetake, J. Morikawa, Photo-controllable thermal diffusivity and thermal conductivity driven by the orientation change of nematic liquid crystal with azo-dendrimers, Appl. Phys. Lett. 査読有, Vol.107, 2015, 221901, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4936374>
- ⑤ A. Balcytis, M. Ryu, G. Seniutinas, J. Juodkazyt, B. C. C. Cowie, P. R. Stoddart, M. Zamengo, J. Morikawa, and S. Juodkazyt, Black-CuO: Surface-enhanced Raman scattering and infrared properties, Nanoscale, 査読有, Vol. 7, 2015, pp. 18299-18304, DOI: [10.1039/C5NR04783H](https://doi.org/10.1039/C5NR04783H)
- ⑥ A. Godin, M. Duquesne, E. Paolomo del Barrio, J. Morikawa, Analysis of crystal growth kinetics in undercooled melts by infrared thermography, Quantitative Infrared Thermography, 査読有, Vol. 12, No.2, 2015, 237-251, <http://dx.doi.org/10.1080/17686733.2015.1066133>
- ⑦ J. Morikawa, M. Ryu, K. Maximova, A. Balcytis, G. Seniutinas, L. Fan, V. Mizeikis, J. Li, X. Wang, M. Zamengo, X. Wang, S. Juodkazyt, Silk fibroin as water-soluble bio-resist and its thermal properties, RCS Advances, 査読有, Vol. 6, 2016, pp. 11863-11869, DOI: 10.1039/C5RA20201A
- ⑧ M. Romano, M. Ryu, J. Morikawa, J.C. Batsale, C. Pradere, Simultaneous

microscopic measurements of thermal and spectroscopic fields of a phase change material, Infrared Physics & Technology, 査読有, Vol. 76, 2016, pp. 65-71,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2016.01.010>

- ⑨ 森川 淳子, 熱測定 of これから一熱イメージングとマイクロ可視化熱分析一、熱測定 Vol. 41, No. 4, 2014, pp. 148-151
- ⑩ 森川 淳子, マイクロスケール赤外線サーモグラフィー: 材料科学の視点から、伝熱, Vol. 54, 2015, pp.27-32

[学会発表] (計 21 件)

- ①中澤 俊也, 織江 章裕, 森川 淳子, 橋本壽正, 温度波熱分析法による低温の熱拡散率測定, 第62回高分子学会年次大会 2013年5月、京都
- ②上原 みちる, 織江 章裕, 森川 淳子, 橋本 壽正, 温度波熱分析法による n-アルカンの相転移と熱拡散率 第62回高分子学会年次大会 2013年5月、京都
- ③村山輝明, 引間悠太, 森川淳子, 橋本壽正, 接触補正 ATR-FTIR 法による高分子フィルムの3次元分子配向評価と熱拡散率, 第62回高分子学会年次大会 2013年5月、京都
- ④ Junko Morikawa, Temperature wave analysis for the precise measurement of thermal diffusivity and thermal conductivity, 2013 North American Thermal Analysis Society Aug. 04-07, 2013, KY, USA.
- ⑤ Junko Morikawa, Hubert Lobo, Lars Halldahl, Bruno Hay, Martin Rides, Klaus Koennecke, Pierre le Parlouer, and Sam Eldin, Temperature wave analysis for the precise measurement of thermal diffusivity and thermal conductivity, 2013 North American Thermal Analysis Society Aug. 04-07, 2013, KY, USA.
- ⑥中澤 俊也, 織江 章裕, 森川 淳子, 橋本 壽正, 温度波熱分析法による炭素繊維強化複合材料の低温域の熱拡散率測定, 第34回日本熱物性シンポジウム, 2013年11月、富山
- ⑦上原みちる, 謝曉晨, 織江章裕, 森川淳子, 竹添秀男, 橋本壽正, アンカリング転移による液晶の熱拡散率の変化, 第34回日本熱物性シンポジウム, 2013年11月、富山
- ⑧上原みちる, 野口仁志, 森川淳子, 山本拓矢, 手塚育志, 環状および直鎖状 poly(THF) の温度波熱分析に基づく熱拡散率に対するトポロジー効果の検討2, 第63回高分子討論会, 2014年9月、長崎
- ⑨ 森川淳子 熱測定 of これから一熱イメージングとマイクロ可視化熱分析一 熱測定討論50周年記念講演会, 2014年9月、大阪
- ⑩ 森川 淳子, 早川 栄太, 橋本 壽正, 非冷却赤外線カメラを用いた熱物性・熱分析統合測定装置の開発, 第35回日本熱物性シンポジウム, 2014年11月 東京
- ⑪上原みちる, 森川淳子, 竹添秀男, 温度波熱分析法を用いたシッフ塩基液晶の熱拡散

率測定、第35回日本熱物性シンポジウム、
2014年11月 東京

⑫船田知広、森川淳子、温度波熱分析法による糖アルコールの熱拡散率測定、第35回日本熱物性シンポジウム、2014年11月 東京

⑬劉芽久哉（東京工業大学）森川淳子（東京工業大学）、温度波熱分析法による液晶の熱拡散率・熱浸透率同時測定、第35回日本熱物性シンポジウム、2014年11月 東京

⑭村山輝明 森川淳子、橋本壽正、温度波法による複合微小試料の熱拡散率評価、第35回日本熱物性シンポジウム、2014年11月 東京

⑮J. Morikawa, E. Hayakawa and T. Hashimoto, Signal superimpose system of micro-scale thermal imaging applied to un-cooled infrared cameras, QIRT2014, July, Bordeaux, France.

⑯劉芽久哉、森川淳子、竹添秀男、羽場修、米竹孝一郎、光異性化アゾ dendrimer による液晶 50CB の配向変化と熱拡散率・熱浸透率・熱伝導率同時測定、第64回高分子学会年次会、2015年5月 北海道

⑰上原みちる、船田知広、Massimiliano Zamengo、森川淳子、n-アルカンを基材とする高分子潜熱蓄熱材の相変化と熱拡散率、第64回高分子学会年次会、2015年5月 北海道

⑱森川 淳子、マイクロスケール赤外線サーモグラフィによる熱伝導解析と構造制御、第64回高分子討論会、2015年9月 仙台

⑲ Junko Morikawa, Recent progress of microscale IR thermography: a practical application to visual thermal analysis and microscale heat transfer, SPIE 2015 OPTICS+PHOTONICS, Conference 9608, Infrared Remote Sensing and Instrumentation XXIII, San Diego, Aug. 9-15, USA.

⑳Junko Morikawa, Microscale IR thermography: a practical application to visual thermal analysis, NATAS(North American Thermal Analysis Society), 43th Annual Conference, Montreal, Quebec, August, Canada

21 Junko Morikawa, “Microscale IR thermography: A novel instrument for IR spectroscopic thermal imaging”, 1st Quantitative Infrared Thermography Asia Conference (QIRT – Asia 2015)

〔図書〕(計 1 件)

森川 淳子 (分担)、(株) 産業技術サービスセンター、最新 材料の性能・評価技術、プラスチック系材料および製品事例、2014

〔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〕

<http://spie.org/newsroom/5455-microscale-ir-thermography>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森川 淳子 (MORIKAWA, Junko)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号 : 20262298

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :