

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03065

研究課題名(和文) 蛍光X線分析と斜入射小角散乱の同時測定による多成分有機薄膜の空間分解構造解析

研究課題名(英文) Spatial-resolved structure analysis of organic thin films using simultaneous measurement of Fluorescence X-ray analysis and grazing-incidence small-angle X-ray scattering

研究代表者

山本 勝宏 (Yamamoto, Katsuhiro)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30314082

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,200,000円

研究成果の概要(和文)：有機薄膜の構造解析手法の一つとしてある微小角入射X線小角散乱法が広く利用されている。本研究では、より幅広い波長領域のX線利用によって、得られる構造情報が多様化させられる。単なる膜全体の平均構造解析のみならず、膜の厚み方向への空間分解能の向上、特定元素の吸収端近傍のX線利用による標的要素の空間分布解析、さらに蛍光X線分析法を組み合わせた手法を新たに開発した。これにより多成分混合系薄膜(有機、無機、金属など)の表面近傍から内部方向への空間的構造不均一性を観察する手法を確立した。これらの成果によって薄膜の構造形成機構の解明とその構造と機能の相関解明につながる研究を進展させられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

薄膜の内部構造や、表面・界面といった微小・局所領域の構造・物性はバルクのそれらとは全く異なり、高付加価値材料創製には、薄膜の構造および構造形成・配向化、表(界)面の構造・物性の理解が極めて重要である。さらに蛍光X線分析との併用利用によって多成分からなる薄膜におけるそれらの空間的分布の時間・空間的構造解析を可能とすることが期待できるようになった。有機・無機、有機・金属を含め多成分複合系薄膜は有機薄膜太陽電池、量子ドットや金属ナノ構造体の創製テンプレート、選択分離・透過膜などはライフサイエンスや先端ナノテクノロジーを支える重要な材料の詳細な構造解析がかのとなることで、高付加価値材料設計が可能となる。

研究成果の概要(英文)：The grazing-incidence small-angle X-ray scattering method, which is one of the structural analysis methods for organic thin films, is widely used. In this research, the structural information obtained is diversified by using X-rays in a wider wavelength range. Not only the method of the average structure analysis of the entire film, but also the improvement of spatial resolution in the film thickness direction, the spatial distribution analysis of the target element by the use of X-ray near the absorption edge of the specific element, and the method combining the fluorescent X-ray analysis were newly developed. As a result, we have established a method for observing the spatial inhomogeneity of multi-component mixed thin films (organic, inorganic, metallic, etc.) from the surface vicinity to the inside. These results will advance research leading to the elucidation of the structure formation mechanism of thin films and the relationship between their structure and function.

研究分野：高分子科学

キーワード：小角X線散乱 有機薄膜 テンダーX線 蛍光X線分析 斜入射小角X線散乱 高分子 放射光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高分子をはじめ有機薄膜(厚み1ミクロン以下程度)が有する階層構造の nm オーダーでの非破壊構造解析には、斜入射小角入射 X 線散乱法(GISAXS)が有効であることが数多くの研究者によって示されてきた。この薄膜の内部構造(相分離や非平衡状態)や、表面・界面といった微小・局所領域の構造・物性はバルクのそれらとは全く異なり、高付加価値材料創製には、薄膜の構造および構造形成・配向化、表(界)面の構造・物性を理解することが極めて重要である。この空間スケールの構造解析には電子顕微鏡法による実空間観察が直観的に理解しやすく重要な手法である。しかし実空間像は局所的かつ非破壊測定ではないことなどから恣意性や任意性が入るため、逆空間(散乱法)観察と実空間観察の相補利用が不可欠である。構造の時間発展を捉えるには電子顕微鏡観察よりも、むしろ「その場観察」や「オペランド観察」が可能である GISAXS 法は薄膜構造解析に極めて有効な手段である。GISAXS 法に着目すると、近年は、米国の放射光施設の研究グループが軟 X 線領域(数 100eV)を用いた実験で、軽元素からなる高分子多成分系であっても成分選択的に空間分解構造解析が可能になることを報告しており、我が国もこの分野で後れを取らないよう環境整備が望まれる。機能性有機薄膜は、多成分系であり、様々な元素やイオンが高分子と相互作用し、階層構造間の相互作用を通して構造・機能・物性が決まると考えられる。ゆえに、これらの元素が材料中にどのように分布し相互作用しているかを知ることは重要となる。GISAXS 法に加え、これらの元素の異常分散効果を活用(X 線吸収端の利用)した異常 X 線小角散乱(Anomalous SAXS: ASAXS)法および X 線吸収分光法(蛍光法、蛍光 X 線分析 XRF)を組み合わせることによって、薄膜内部の空間的平均構造のみならず、構造(表面・内部・界面など)の空間不均一性、特定元素の空間分布、化学結合環境、機能性原子団の配向性評価が可能となる。

2. 研究の目的

申請者はこれまで、タンダー X 線領域(2-4keV)を利用した GISAXS 法が薄膜の構造解析において、X 線エバネッセント波の全反射臨界角近傍での表面からのしみこみ深さが数 10nm 程度のオーダーで制御可能であることから、膜厚の深さ方向への空間分解による構造解析に極めて有効であることを明らかにした。この X 線エネルギー領域の GISAXS 実験は高エネルギー加速器研究機構の放射光研究施設に整備されており、世界に先駆けて利用できる環境が整っている。ただし、近い将来海外でも整備されると思われる。ASAXS 法も放射光利用の得意とするところであり、ハードマター中心に有効性が示されてきたが、ソフトマター分野でも臭素や硫黄による ASAXS 研究が、申請者も含め日本の研究グループからも報告がされており、元素選択的な構造解析を行える利用環境は整っている。そこで、この広域帯 X 線が利用できる環境がある利点を活かし、本申請では新たに XRF 法と GISAXS 法を同時測定できる環境を整備し、注目元素の結合環境など化学的情報も得られることから、薄膜内部での構造形成に与えるそれらの元素の働きを評価し、厚さ方向に対する空間不均一情報(化学構造や存在領域)の依存性が明らかにできることが期待できる。

これらを達成するために、まず[1]GISAXS 法に XRF 法を組み合わせた測定を可能とするシステムを以下の波長領域に分けて設計・整備する。[2]タンダー X 線利用により有機薄膜の深さ方向(数 nm から 100 nm 程度)に対する構造の不均一性を議論できることが実証できたため、これに加えて、タンダー X 線領域(約 2.1~4 keV)に X 線吸収端を有する元素(P, S, Cl, K, Ca)を含む有機薄膜(天然および合成高分子の多成分系)の詳細な構造解析を

行う。特に、これらの元素の空間配置を明確にするために GISAXS に ASAXS および XRF 法を組みあわせる装置を整備し、解析手法を確立することを目的とする。例えば、硫黄元素はゴム材料にとって重要な要素であり、その動態を知ることは重要な課題である。GISAXS 法は、基板の上に製膜した薄膜を測定することになるため、例えば、基板(グラファイト基板など)をゴムに充填されたフィラーとして見立て、その基板の上に製膜された高分子中(例: スチレン-ジエン系共重合体)の相分離構造(配向性や界面、表面の構造の相違)に加えて、硫黄分布状態のみならず硫黄の結合状態などについても議論が可能となる。また、[3]波長領域(7-14 keV)での有機薄膜の GISAXS 法による構造解析において、深さ分解法はテングー X 線領域に比べると不向きとなるが、表面近傍領域と、膜全体領域に分けて解析を行うことは可能である。この波長領域では元素周期表のマンガンから臭素の K 吸収端を利用できる。ブロック共重合体の相分離構造の特異的配向化に、金属塩添加が影響を及ぼすことを報告したが、[2]で述べた手法を利用することで、相分離構造の配向と金属塩の動態との相関解明につながる鍵を得ることができることが期待できる。[4]上述の手法を様々な多成分有機薄膜系(実用的機能性材料、生体材料、モデル材料)に展開し、特異な構造と機能の相関を新たな視点(マーカー元素の空間配置解析)で議論し、実空間構造解析手法を含め相補的に理解し、本申請研究の手法確立と有用性を示す。これらを研究目的とする。

3. 研究の方法

高エネルギー加速器研究機構(KEK)の放射光研究施設(PF)のテングー X 線用の GISAXS ステーションに蛍光 X 線検出機構を備えた真空チャンバーを設計・制作する。テングー X 線領域での GISAXS 測定ステーションは既に KEK PF のビームライン BL15A2 に整備されており、申請者もそのステーションを利用した実験で、有機薄膜における膜厚み方向に対する構造の不均一性を数 10 nm の分解能で構造解析が可能であることを報告してきた。このステーションの実験設備に新規購入の蛍光 X 線検出器(シリコンドリフト検出器 SDD)を取り付けた新規試料チャンバーを設計し制作する。また試料交換等のハンドリング性を高めるため、試料周りのみをさらに小部屋で囲い込む形で設計する。これらは、研究分担者である KEK PF 職員の清水氏を中心に、この XRF/GISAXS 同時測定システムの設計・制作を行う。

テングー X 線領域と同様に 7-14keV 領域の X 線を利用できるビームライン BL10C でも、蛍光 XRF/GISAXS 同時測定システムを整備する。でのテングー X 線領域のシステムに比べ、放射光 X 線導入部から散乱 X 線検出器までを完全真空環境にすることは必須ではないが、様々な環境下(雰囲気)で実験も想定しているため、システムは共通化が可能かどうか検討しながら進める。共通化が難しいとなれば、BL10C 専用に試料環境周りの設計を行う。研究分担者 高木氏(KEK PF)を中心に、制作した装置をビームラインに設置した後、ビームラインを含め装置性能評価・調整を行う。そのうえで、問題点・改善点など清水氏と連携し改良を進める。性能評価のための標準的な試料を研究代表者である山本が準備し、情報共有する。同時に測定用ソフトウェア開発も清水氏を中心に進める。

設置調整したシステムを用いた多成分複合系の有機薄膜の構造解析を進める。まずは、これまでの研究において、ブロック共重合体薄膜でそのミクロ相分離構造が高度に配向する試料を用いる。特に塩化鉄および臭化鉄を含む有機複合膜において、相分離構造が特定方向に配向し、金属塩が含まれない膜では、相分離構造が無配向になるか、全く異なる配向性を示す。即ち、配向状態が全く異なることを見出しており、鉄や臭素の薄膜内部での分布状態

が相分離構造の配向に影響を及ぼしていることが示唆された。また我々以外の研究でも、ブロック共重合体と金属塩とのコンプレックス形成が相分離構造の配向性に影響を及ぼすことが報告されている (T. P. Russell et.al, *Macromolecules* 2008, 41, 963)。この相分離構造の配向性や配向過程と添加金属塩の空間分布状態や化学状態を調べる。これによって配向メカニズムを議論できると考える。

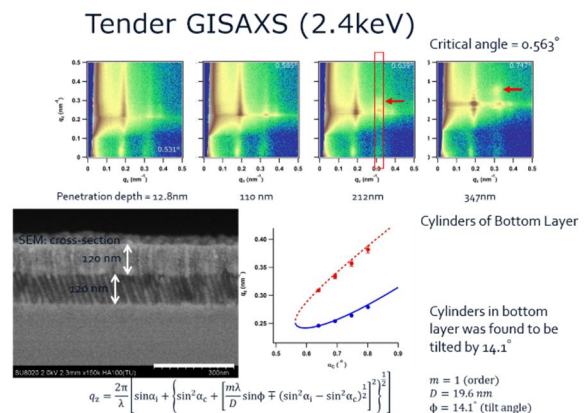
テNDER-X 線領域の実験においては、まずは硫黄を含有する系をターゲットとする。硫黄元素を含む系は、ゴム材料(加硫)や有機薄膜太陽電池(ポリチオフェンなど)が実用材料として重要である。これらの系における硫黄元素が試料中どのように分布しているか、また各々の空間でどのような化学状態にあるかを知ることは極めて重要であり、それらの情報は材料性能に直結することが考えられる。

4 . 研究成果

まず、高エネルギー加速器研究機構の BL15A に整備されているテNDER-X 線用斜入射小角 X 線散乱ようチャンパーの改良を行った。その際、計画通り、新規購入の蛍光 X 線検出器(シリコンドリフト検出器 SDD)を取り付けた新規試料チャンパーを設計し制作した。また試料交換等の時間短縮とハンドリング性を高めるため、試料交換専用の個別交換用小部屋を設置した。小部屋と測定の際の試料チャンパーはそれぞれ独立に真空排気可能な仕様とした。また試料交換時には、測定用チャンパーの真空度が若干落ちるため、検出器の保護目的に検出器直前にもシャッターと取り付けた。これにより、測定中の試料チャンパーは常に真空状態を保ち、検出器の保護も可能となった。試料交換小部屋は、10cm 角程度の小部屋であり、数十秒での測定用チャンパーと同程度の高真空を達成するため、これまで試料交換に 1 時間程度を要していたところをわずか数分程度にまで短縮化を図った。それにより測定効率は 2 倍から 3 倍へ飛躍した。

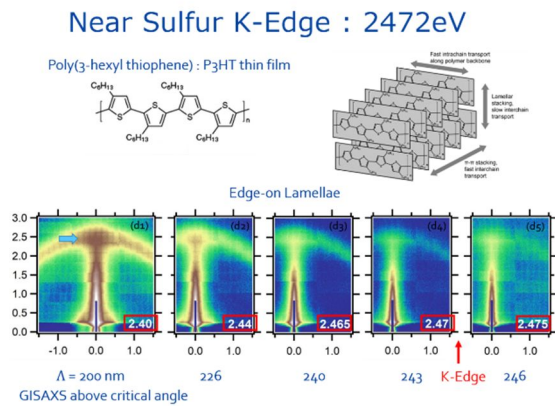
高分子薄膜(膜厚数 100nm)の構造解析としては、まずテNDER領域での深さ分解構造解析として、ブロック共重合体の相分離構造、側鎖液晶性高分子からなるブロック共重合体を用いて進めた。テNDER-X 線を用いると、GISAXS 測定において、高分子薄膜に対して、X 線の表面からの侵入深さが、入射角度に依存して、数 10nm から数 100nm 程度で制御できることを示してきたが、この深さ分解構造解析はエネルギー可変でも可能である。エネルギー可変で行うメリットは、入射角度を固定したまま、入射 X 線のエネルギーを変えるだけで侵入深さを制御できることにある。また深さ方向として制御ステップ幅の精度を高くすることが可能である。もちろんこれは角度変化で行うときには、試料ステージの稼働精度に依存することではあるが現状では、入射角変化による制御に比べ、エネルギー可変での制御はほぼ 10 倍の精度がある。

側鎖液晶性高分子からなるブロック共重合体薄膜では、二種類の異なる側鎖液晶成分を有するブロック共重合体のブレンド薄膜について構造解析を行った。二種の液晶性ブロック共重合体は互いのスメクチック相 等方相の転移温度が異なる。溶融ブレンド薄膜状態から、低温への冷却過程で、その相転移温度が高い成分から先に構造形成を開始する。構造が形成されると表面自由エネルギーの低い側鎖末端が表面に偏析し、表層で構造を形成する(マクロ相分離)。その表面層で単独ブ

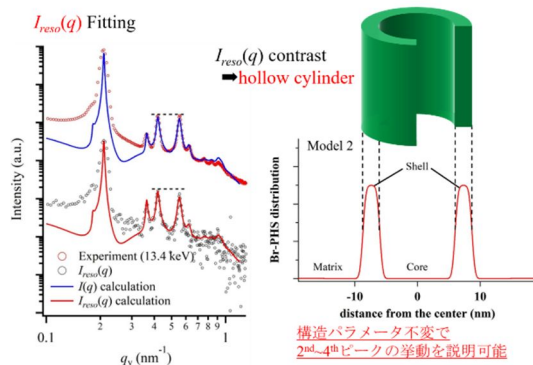


ロック成分で、ミクロ相分離構造を形成する。ついでさらに温度が低下すると、下層のブロック共重合体が構造を形成する。最終的には、上下で異なるミクロ相分離構造を有する薄膜となる。テンダー-X 線 GISAXS により非破壊実験で、上下構造をそれぞれ区別して、ミクロ相分離構造の配向性に議論を可能にした。上下でマイクロドメインの配向性が若干異なっていること、さらにその配向角度を精度高く定量評価できることを確認した。

テンダー-X 線領域での GISAXS における、もう一つの元素選択的な構造解析の実施例として、有機薄膜太陽電池としての候補材料であるポリ(3-ヘキシルチオフェン)(P3HT)薄膜を用いて行った。P3HT は主鎖に硫黄元素を持ち、側鎖はアルキル鎖となる。主鎖は剛直性があり、薄膜中では主鎖と側鎖がミクロ相分離したような構造を形成し、主鎖の芳香族環が基板表面に対して、垂直に配向し、アルキル鎖も基板



表面に垂直方向に延びる形をとる(側鎖が長いと折り畳み鎖となる)。これによりチオフェン骨格とアルキル側鎖の交互ラメラ構造(Edge-on 配向: 下図)が形成する。このことは、通常の GISAXS から確認できる。テンダー-X 線領域には硫黄の吸収端(2471eV)に相当するエネルギーがある。このエネルギー近傍で GISAXS 測定を行うと、ちょうど吸収端での散乱パターンで見かけ上、Edge-on ラメラからの反射ピークが極めて弱くなることが確認できた。その他のエネルギーでも散乱強度にエネルギー依存性があることが分かった。この散乱強度のエネルギー依存性は、アルキル鎖ドメインと、骨格ドメインの散乱長密度を考慮すると、説明がつくことが確認できた。さらに吸収端で散乱が観測されなくなったことを利用し(コントラストマッチ)、アルキル鎖ドメインの密度を評価できた。同時に蛍光 X 線スペクトルも観測したが、こちらのデータは現状では精度がわるく、硫黄元素の化学状態を議論するには至っていない。



高エネルギー X 線領域(7 - 14keV)での GISAXS においても、多成分系高分子薄膜の構造解析について研究を進めた。ターゲット元素は臭素として、ブロック共重合体に臭素含有の高分子をブレンドした薄膜をモデルに用いた。臭素含有高分子

がブロック共重合体が形成するマイクロドメインのどの部分に存在するのかを明らかにすることを目指した。下記の図に示すように、シリンダードメインの外側部分に選択的に臭素化ポリマーが分配されることを明らかにした。さらに、存在領域のみならず、このエネルギー領域は GISAXS において侵入深度が数ミクロンとなる。通常の GISAXS に供される薄膜は数 100nm 程度であるため、膜全体の構造を観測することになると考えられる。我々が準備した膜は 1 ミクロンから 2 ミクロン薄膜として、実験を行った。ここで、臭素含有高分子が溶け込んでいる薄膜においては、臭素の吸収端近傍の X 線を用いると、吸収より、侵入深度をサブミクロンレベルで制御できることを意味する。今回用いた試料においては、膜の表面と内部でやはりミクロ相分離構造の配向性の違いが存在することを見出した。配向性が違うことが発見ということではなく、非破壊でサブミクロンオーダーでの配向性の差異を議論できることが新たな視点である。

これらの実験結果は各種学会・書籍で報告してきた。論文投稿準備を行っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hideaki Takagi, Katsuhiko Yamamoto	4. 巻 76
2. 論文標題 Close-Packed Lattice in Sphere-Forming Block Copolymer /Block Copolymer Blends	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Kobunshi Ronbunshu	6. 最初と最後の頁 157-162
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1295/koron.2018-0048	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 Hideaki Takagi, Ryo Hashimoto, Noriyuki Igarashi, Katsuhiko Yamamoto, and Shunji Kishimoto	4. 巻 924
2. 論文標題 High spatial resolution small angle X-ray scattering experiments using SOPHIAS detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 417-421
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2018.09.073:	査読の有無 無
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 Hideaki Takagi, Katsuhiko Yamamoto	4. 巻 52
2. 論文標題 Phase Boundary of Frank-Kasper s Phase in Phase Diagrams of Binary Mixtures of Block Copolymers and Homopolymers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 2007-2014
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.macromol.8b02356	査読の有無 無
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27件（うち招待講演 11件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Katsuhiko Yamamoto, Mayu Aikawa, Itsuki Saito, Eri Miura
2. 発表標題 Analysis of depth-dependent structures in polymer thin films by GISAXS utilizing tender X-ray
3. 学会等名 GISAS (4th International GISAS conference) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦 永理, 山本 勝宏
2. 発表標題 X 線・中性子線を用いた ABA 型トリブロック共重合体エラストマー薄膜の深さ分解構造解析
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱本 博己, 山本 勝宏
2. 発表標題 異常分散効果を利用した斜入射小角 X 線散乱法による多成分系高分子薄膜の構造解析
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 勝宏
2. 発表標題 X線・中性子散乱を利用した高分子ミセルの構造解析
3. 学会等名 東海ミニシンポ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuhiko Yamamoto, Mayu Aikawa, Itsuki Saito, Eri Miura
2. 発表標題 Depth Dependent Structures of Polymer Thin Films Revealed by GISAXS Utilizing Tender X-ray
3. 学会等名 Small Angle Scatteinrg 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦 永理, 山本 勝宏
2. 発表標題 X 線・中性子線を用いた ABA 型トリブロック共重合体エラストマー薄膜の深さ分解構造解析
3. 学会等名 第29回 エラストマー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱本 博己, 山本 勝宏
2. 発表標題 異常分散効果を利用した斜入射小角 X 線散乱法による多成分系高分子薄膜の構造解析
3. 学会等名 第29回 エラストマー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuhiko Yamamoto
2. 発表標題 Analysis of Depth-dependent Structures in Polymer Thin Films by GISAXS Utilizing Tender X-ray
3. 学会等名 The 12th International Polymer Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本勝宏
2. 発表標題 テンドーX線斜入射X線散乱法および共鳴X線散乱法利用による高分子薄膜の構造解析
3. 学会等名 平成30年度ソフトマター中性子散乱研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本勝宏
2. 発表標題 放射光を利用した実用高分子の高次構造解析技術-あいちシンクロトロン光の企業活用について
3. 学会等名 ゴム協会東海支部 2018年度セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本勝宏
2. 発表標題 小角X線散乱技術入門とソフトマテリアルの構造解析実施例
3. 学会等名 第2回シンクロトロン光産業利用セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本勝宏
2. 発表標題 テnder-X線斜入射X線散乱法および共鳴X線散乱法利用による高分子薄膜の構造解析
3. 学会等名 第11回日本レオロジー学会中部支部（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsuhiko Yamamoto
2. 発表標題 Depth-resolved Structure Analysis of Polymer Thin Films by Grazing-incident Small Angle X-ray Scattering Utilizing of Tender X-rays
3. 学会等名 4th International Conference, Advances in Sustainable Polymers 17（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木秀彰、清水伸隆、五十嵐教之、森丈晴、西條慎也、永谷康子、大田浩正、山本勝宏
2. 発表標題 テンダーX線を利用した斜入射小角散乱法による高分子薄膜の構造解析
3. 学会等名 第22回高分子分析討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本勝宏, 斎藤樹, 相川真夕
2. 発表標題 テンダーX線を利用した斜入射小角X線散乱法による高分子薄膜の深さ分解構造解析
3. 学会等名 第66回高分子学会討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三浦永理, 山本勝宏
2. 発表標題 斜入射小角 X 線散乱法によるABA型トリブロック共重合体エラストマー薄膜の構造解析
3. 学会等名 第66回高分子学会討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本勝宏
2. 発表標題 テンダーX線を利用したGISAXS法によるブロック共重合体薄膜の深さ分解構造解析
3. 学会等名 高分子基礎物性研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相川真夕, 山本勝宏
2. 発表標題 テンダーX線を用いた斜入射小角 X 線散乱によるブロック共重合体薄膜の深さ分解構造解析
3. 学会等名 第66回高分子年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本勝宏
2. 発表標題 テンダーX線を利用した斜入射小角散乱法による高分子薄膜の深さ分解構造解析
3. 学会等名 平成29年度繊維学会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相川真夕, 山本勝宏
2. 発表標題 テンダーX線を利用した斜入射小角散乱法による高分子薄膜の深さ分解構造解析
3. 学会等名 平成29年 日本ゴム協会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本勝宏
2. 発表標題 波長可変小角 X 線散乱によるブロックポリマー薄膜のマイクロ相分離構造解析
3. 学会等名 第28回ポリマー材料フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本勝宏
2. 発表標題 Densification of Interfacial Region in Phase Separated Structure of Polystyrene-b-poly(n-butyl acrylate) Making X-ray Scattering Profiles Anomalous
3. 学会等名 5th Internatioanl Symposium on Advances in Sustainable Polymers (ASP-19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川合洋平, 山本 勝宏
2. 発表標題 テングーX線を用いた斜入射小角X線散乱法によるブロック共重合体薄膜のナノ構造解析
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本勝宏, 濱本博己
2. 発表標題 異常分散効果を利用した斜入射小角散乱法によるブロック共重合体薄膜中のホモポリマーの分布
3. 学会等名 2019年度 繊維学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川合洋平, 山本 勝宏
2. 発表標題 テングーX線による斜入射小角 X線散乱による深さ分解構造解析の定量性評価
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 勝宏
2. 発表標題 小角X線散乱技術入門とソフトマテリアルの構造解析実施例
3. 学会等名 第2回シンクロトロン光産業利用セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 勝宏
2. 発表標題 放射光を利用した実用高分子の高次構造解析技術-あいちシンクロトロン光の企業活用について
3. 学会等名 ゴム協会東海支部 2018年度セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 日本化学会	4. 発行年 2018年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 224
3. 書名 構造制御による革新的ソフトマテリアル創成	

1. 著者名 山本勝宏	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 239
3. 書名 ブロック共重合体の構造制御と応用展開（新材料・新素材シリーズ）	

1. 著者名 Katsuhiko Yamamoto	4. 発行年 2017年
2. 出版社 InTech	5. 総ページ数 226
3. 書名 X-ray Scattering	

1. 著者名 山本勝宏(分担)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京化学同人	5. 総ページ数 478
3. 書名 基礎高分子科学	

〔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	高木 秀彰 (Takagi Hideaki) (10720261)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特別技術専門職 (82118)	
研究 分担者	清水 伸隆 (Shimizu Nobutaka) (20450934)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授 (82118)	