

POLYMERS



高分子

2022 MARCH Vol.71

3

特集

世界の高分子研究における
日本の役割と国際連携

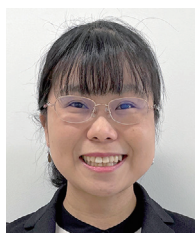
Japan's Role and International Collaboration
in World Polymer Society

祝！高分子学会設立70周年
SPSJ 70th Anniversary
Platinum Message



www.spsj.or.jp/

仕事と私事のリーダー



櫻木美菜

崇城大学工学部ナノサイエンス学科
[860-0082] 熊本市西区池田4-22-1
博士(工学), 准教授.
専門は超分子化学, X線散乱.
d08b0101@nano.sojo-u.ac.jp
<https://sites.google.com/view/mina-sakuragi/>

学生時代に携わったドラッグデリバリーキャリアの研究テーマや、兵庫県の大型放射光施設SPRING-8、学会でいろいろなところに行けることが魅力的だったことから、研究者の道を選んだ。2015年までは自分が好きなことを好き放題やっていたが、2015年11月から母親になり、2019年4月から研究室を独立して運営するようになり、私事と仕事の両方において、これまで苦手としていたリーダー的役割を担うようになった。この原稿では、リーダー初心者として実施していること・感じていることを述べている。

2013～2018年度まで、崇城大学の草壁克己先生の研究室で助教として勤務していた。机も学生の隣りにあり、私はみんなの先輩のような気持ちでノー天気な教員だった。しかし、2019年度から研究室を独立して運営するようになって、研究室の学生を育てる立場の指導教員として一気に責任を感じた。初めて配属される研究室で経験したことは、結構その後の人生に影響するし、記憶に強烈に残ると思う。学生がどのように成長するのか、研究を楽しめるのかどうか、指導教員の影響はとても大きいし、学生にいろいろな経験を積んでもらうため、研究を深く掘り下げたりテーマを拡大したりするためには、研究成果を残して予算を毎年確実に獲得したい。

学部の頃、北九州市立大学の櫻井和朗先生の研究室で、初めて検討会に参加したとき、自分より一つ年上の先輩達が、訳のわからない用語ばかりの会話をしていた、目が点になった。自分も1年間頑張ったら、もしかするとこの会話の中に入れるのかもしれない、とワクワクしたのを覚えている。卒論発表のスライドを、試行錯誤して作成し「よし完璧!」と思って先生に見せたら、ほとんど訂正された。私のサンプルはこんな構造です、とTEM像のデータを週報で発表したら、「これゴミやで」と言われた。英会話が最大の苦手、一生日本からは出ないつもりでいたのに、研究者になるなら必ず留学をしろと、櫻井先生に無理矢理イギリスに3カ月間渡航させられた。しかし、イギリスに着いたその日から、世界の広さに圧倒され一気に視野が広がるとともに、英語アレルギーが完治した。櫻井

研究室で過ごした6年間は本当に衝撃的で、人生が100倍楽しくなった。せっかくなら、私達の研究を面白いと思って選んでくれた今の研究室の学生にも、衝撃的な経験や、目標を達成する喜びを経験してもらい、濃い数年間を過ごしてほしい。現在所属している崇城大学は修士進学者が1～2割程度で、研究室に修士の学生が少ない。そのため、学部で配属されたときに、私がかつて経験した宇宙語のような先輩達の研究のディスカッションを聞いて、衝撃を受ける機会も少ないと思われる。しかし、アットホームな雰囲気と教員と学生一人一人とのディスカッションの機会は設けやすいと思う。研究は、一人黙々とするより、しゃべっているとときや会話中に相手から質問されたときに、アイデアが沸いたり気が付いたりすることも多いように思うので、検討会のような緊張した場面だけではなく、リラックスした状態で学生になるべく多くのことをしゃべってもらおうよう心がけている。いろいろな学生がいるので、多くを語らない学生がいたとしても、どれだけ相手の言葉を引き出せるのか試行錯誤しているところである。みんなが心から研究生活を楽しんで成長できる、活発な研究グループを目指し、一丸となって現在の研究分野に貢献したい。

私事では、ほとんど100%に近いくらい6歳の息子「はるくん」が頭にある。はるくんは、繊細だが自由奔放でいたずらっ子で、暇さえあればソファでジャンプしている元気な男の子だが、新しいことに挑戦しない傾向だ。たとえば、仲良しの子が自転車で隣りをスイスイ走っていても、はるくんはまったく興味なし。こんなにも奥手で、将来は大丈夫だろうか心配しているところだが、子供の頃一輪車、鉄棒の新技、竹馬で学校から家まで帰るなどいろいろな独自の目標を立て挑戦して、積極的だと思っていた私自身も、よくよく振り返ってみると、上述したように「英会話」を避け続けていたことはすごく奥手だったと思う。息子には、これからいろいろな人と出会う中で、衝撃的な体験をして、人生を精一杯楽しんでほしいと思う。私はそのきっかけ作りを応援する、はるくんファンクラブのリーダー1号である。

小角X線・中性子散乱法の最先端



竹中幹人

京都大学化学研究所
[611-0011] 宇治市五ヶ庄
教授、博士(工学).
専門は高分子物性.
takenaka@scl.kyoto-u.ac.jp
<https://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~polymat/index.html>

1. はじめに

小角散乱法は、X線、中性子を入射光として用いて比較的散乱角の小さな領域(数度以内)における散乱光強度の角度分布から数nm~数 μm の大きさの濃度や密度の揺らぎ、不均一構造を明らかにする方法である。この小角散乱法は、相分離構造、結晶構造、フィラーなどによる高次構造を有する高分子複合材料・合金などの金属材料、ゲル、タンパク質分子、などの構造解析に用いられている。小角散乱法の基本的な解説については、文献^{1)~7)}を参照していただきたい。本稿では、小角散乱法における新しい構造解析法の展開として、小角X線散乱(SAXS)法とコンピュータトモグラフィ(CT)法を組み合わせたSAXS-CT法、X線の吸収端近傍での散乱のコントラスト変化を用いた多成分構造解析の手法である異常小角X線散乱(ASAXS)法、および重水素と水素の割合を変えて中性子の散乱コントラストを変化させるコントラスト変調小角中性子散乱(CV-SANS)法について解説する。

2. SAXS-CT法

SAXS-CT法とはSAXSの散乱強度をコントラストとしてCT像を再構成する方法である^{8)~10)}。図1にX線吸収CT法とSAXS-CT法の違いを示す。X線吸収CT法においてはサンプルに対して一様にX線を照射し、その吸収像をサンプルを回転させて測定することによ

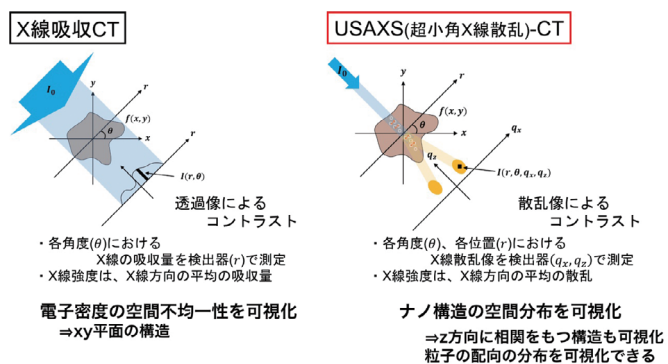


図1 X線吸収CT法とSAXS-CT法

て、その吸収像より内部の構造を再構築する。一方、SAXS-CT法では、通常のSAXS測定において、サンプルをビームの進行方向の垂直方向に動かしてサンプルの端から端まで行う。測定が終わったら、サンプルを回転させ、再度、端から端まで散乱測定を行うことによって、その散乱像からCT像を再構築する。X線吸収CT法においては、吸収をコントラストとするため、サンプル内の電子密度の空間分布が観測される。それに対してSAXS-CT法においては、散乱強度やその配向等をコントラストとするため、散乱によって特徴づけられる構造や配向などの空間分布を明らかにすることができる。

図2に250%延伸下での加硫スチレンブタジエンランダム共重合体(SBR)/シリカ(Si)充填系の不均一構造を超小角X線散乱(USAXS)-CT法によって解析した結果である。超小角X線散乱法とはSAXS法の中でより小さい角度でのX線散乱を測定する手法である。得られた散乱パターンから粒子間相関に由来する散乱強度分布に対して球面調和関数展開を行い、粒子の分布の異方性について明らかにした。また、より小角側におけるボイド由来の散乱強度からボイドの分布状態を独立に求めることができていた。これらの解析により、ボイドの周辺部において、粒子が延伸方向に斜めに配向した領域が形成されていることが見いだされ、ゴムの破壊においてのさまざまな構造の相関を明らかにす

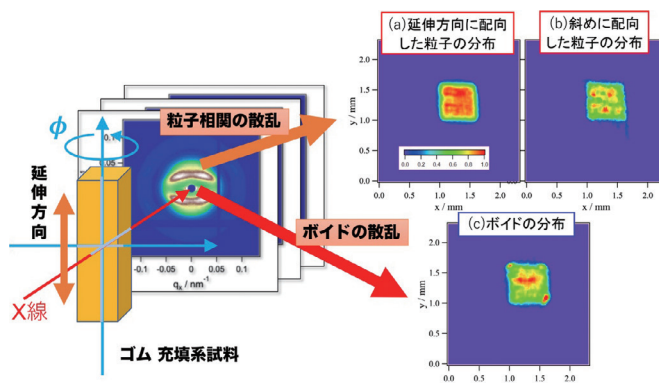


図2 延伸されたゴム充填系のSAXS-CT法によって得られた各種CT像

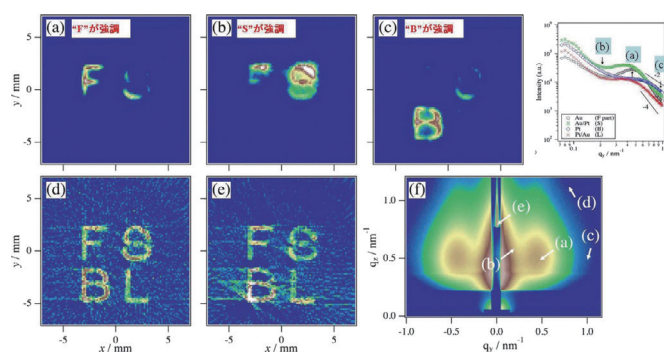


図3 GI-SAXS像より再構成されたCT像. (a)~(e) の図は (f) の散乱パターンにおける各箇所から再構成された.

ることができている。

図3は、シリコン基板上に金属粒子のスパッタ蒸着による文字をGI-SAXS/CT法により解析した結果である。GI-SAXSとは、斜入射小角X線散乱法とも呼ばれる手法である。シリコン基板上的高分子薄膜などの平滑な試料に対して、わずかに試料を傾けることで微小な入射角をつけて、散乱測定を行う。文字はスパッタ蒸着された金属粒子であり“F”、“S”、“B”、“L”はそれぞれ、金、金／プラチナ、プラチナ、プラチナ／金で構成されている。特定のピクセル位置における散乱強度は、特定の周期距離や形状因子に由来する散乱を意味しており、たとえば、金粒子に由来する散乱強度を抽出・再構成することでも“F”だけが再構成された像を得ることができている。

3. ASAXS法

ASAXS法とはX線において原子の吸収端近傍の散乱コントラストが大きく変化することを用いて多成分構造解析を行う方法である¹¹⁾。ここでは、具体的な応用例として、加硫ゴム充填系における構造解析の例を示す。タイヤなどに使われるゴム充填系においては、充填剤の階層構造が系の力学物性を支配している。よって、その構造解析はゴム充填系の力学物性の制御にとって重要である。しかし、ゴム充填系には硫黄、酸化亜鉛などのほかの多くの成分も含まれており、とくに酸化亜鉛はX線において散乱コントラストが強いために、充填剤の構造をX線散乱法で観察する場合に正確な構造解析の妨げになる可能性がある。そこで、酸化亜鉛を含むSBR／カーボンブラック (CB) 充填系において亜鉛のK殻吸収端近傍でASAXS測定を行うことによって、亜鉛の構造関数とCBの構造関数を分離してCB充填剤そのものの構造を明らかにすることを試みた。

図4は、SBR/CB/ZnO/硫黄/架橋促進剤=100/20/3/1.5/5 (重量比) のサンプルの入射X線のエネルギー E を変化させた散乱プロファイルを示す。小角側において E 依存性が見られるのに対して、広角側では変化が

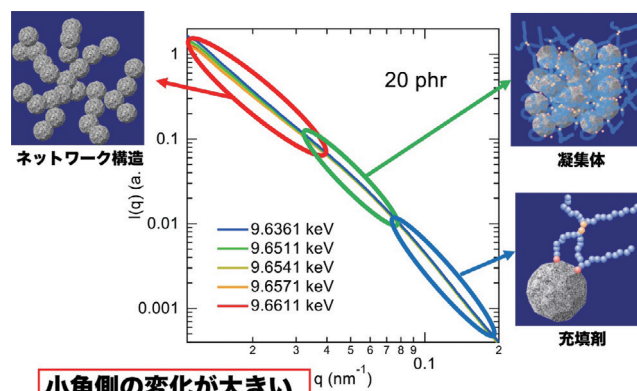


図4 Znの吸収端近傍における散乱強度のX線エネルギー依存性

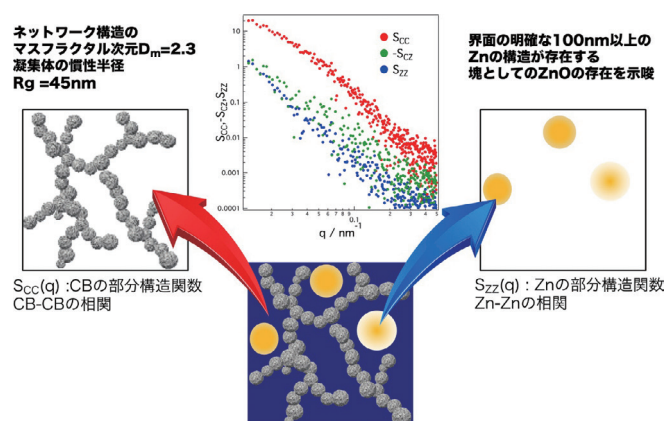


図5 ASAXS法により得られた部分散乱関数からのCB, Znの構造。

ほとんど見られないことがわかる。この散乱関数より、けいをSBR/CB/Znの3成分とみなすと、波数 q , E の散乱関数 $I(q, E)$ は次式であらわされる。

$$\begin{aligned}
 I(q, E) &= \left[(\rho_{0,Z} + \rho_Z'(E) - \rho_{0,SBR})^2 + \rho_Z''(E)^2 \right] S_{zz}(q) \\
 &+ 2(\rho_{0,Z} + \rho_Z'(E) - \rho_{0,SBR})(\rho_{0,C} - \rho_{0,SBR}) S_{ZC}(q) \\
 &+ (\rho_{0,C} - \rho_{0,SBR})^2 S_{CC}(q)
 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、亜鉛の部分散乱関数 S_{ZZ} 、亜鉛-CBの部分散乱関数 S_{ZC} 、CBの部分散乱関数 S_{CC} であり、 $\rho_{0,i}$: 成分 i のThomson散乱項(原子番号)からのコントラストファクター、 $\rho_Z'(E)$: Znの共鳴項実部からのコントラストファクター、 $\rho_Z''(E)$: Znの共鳴項虚部からのコントラストファクターである。 n 個の E での実験より求められる散乱関数のベクトル $[I_1(q, E), I_2(q, E), \dots, I_n(q, E)]$ と疑似逆行列の積より部分散乱関数を求めることができるため、ASAXS法により充填剤CBの構造とZnの構造とを分離して観測することができる。図5に部分散乱関数およびその構造を示す。 S_{CC} よりCBの慣性半径 $R_g = 45$ nmの凝集構造と凝集構造がマスフラクタル

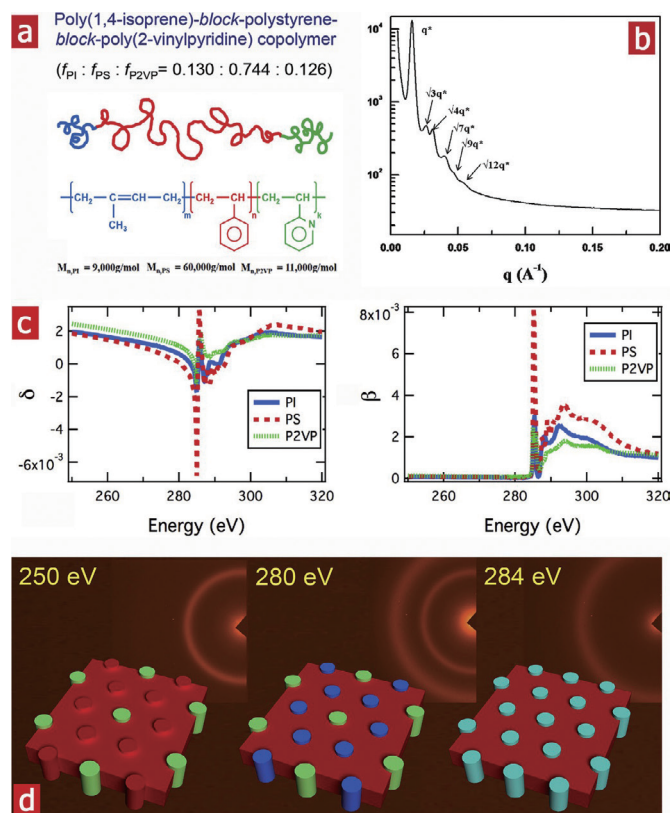


図6 (a) PI-b-PS-b-P2VP ブロック共重合体の化学式, 組成, 分子量. (b) PI-b-PS-b-P2VP ブロック共重合体の硬 X 線小角散乱プロファイル. (c) PS, PI, P2VP の複素屈折率の実数成分と虚数成分のエネルギー依存性. (d) RSoXS パターンのエネルギー依存性と対応する構造.

次元 $D_m = 2.3$ のネットワークを形成していることがわかった。また、 S_{ZZ} からは 100 nm 以上の大きさの塊としての ZnO の存在を示唆する結果が得られた。この吸収端近傍での散乱コントラスト変化を用いた成分構造解析法は、軟 X 線領域における多成分構造解析にも非常に有効な手段である。軟 X 線領域においては、この手法は共鳴軟 X 線散乱 (RSoXS) と呼ばれており、高分子材料の化学種の違いに対して強い散乱コントラストをつけることができるため、高分子材料の構造解析において有効な手段である。その一例として、Wang らによる RSoXS を用いたトリブロック共重合体 (BCP) のモルホロジー解析の例を示す¹²⁾。Wang らは図 6 (a) に示すポリ (1,4 イソプレン) (PI)-ポリスチレン (PS)-ポリ (2-ビニルピリジン) (P2VP) トリブロックコポリマー (IS2VP) をモデル系として RSoXS による多成分構造解析を試みた。まず、図 6 (b) に硬 X 線による SAXS の結果を示す。SAXS のプロファイルにおいては、六角格子に充填されたシリンドラー構造に由来する 1 : が観測される。しかし、このプロファイルから各成分の分布を明らかにすることが困難である。それに対して、炭素 K 端 (284 eV 付近) の軟 X 線領域においては、複素屈折率のエネルギー依存性が化学組成や結合環境に強く依存するため、RSoXS においては異なる高分子を区

別することができる。図 6 (c) は、PS, PI, P2VP の複素屈折率の実数成分と虚数成分を示したものであり、高分子の種類によって異なっていることがわかる。よって、軟 X 線のエネルギーを調整してブロックコポリマーの構成成分中のいずれか二成分の複素屈折率を一致させることで、残りの成分からの散乱の寄与を分離することができる。図 6 (d) は、三つの異なるエネルギーでの散乱パターンと、ブロックコポリマーのモルホロジーモデルである。このモデルには、エネルギーを変えたときの三つのブロック間のコントラストの変化も模式的に示してある。エネルギーを 250 eV にすると、PI と PS のコントラストが一致するため、PS と PI の二つの成分が散乱においては同じ成分とみなされ、P2VP のみがコントラストももって散乱に寄与する。よって、250 eV では P2VP 成分の構造の間隔の広い周期構造からの散乱パターンになる。それに対して、284 eV では、PI と P2VP のコントラストが一致し、散乱パターンには PI と P2VP のシリンドラー構造に由来する間隔の狭い周期構造からの散乱パターンになる。エネルギーを 280 eV にすると、コントラストはどのペアでも一致しないため、散乱パターンには単位胞間隔の異なる PI と P2VP のシリンドラー構造の相関からのピークがあらわれる。これら散乱パターンより、各成分のドメイン構造の相関が明らかになり、PI と P2VP のシリンドラー構造がそれぞれ入れ子状になった六方格子に充填された構造を明確に決定することができている。

4. CV-SANS 法

ASAXS 法においては原子の吸収端近傍における散乱コントラストを変化させて多成分構造解析を行ったのであるが、CV-SANS 法においては溶媒に重水素化溶媒と非重水素化溶媒の混合系を用いることにより溶媒の散乱長密度を変化させて、その散乱の変化から部分散乱関数を求める方法である^{13)~18)}。ここではゴム充填系における充填剤周りのゴム吸着層の解明に応用した例を示す。

ゴム充填系の高性能化にはさまざまな要素がある。その一つの要素は、先ほど ASAXS 法において観測したシリカなどの充填剤の凝集構造およびその高次構造である。もう一つ重要な要素は充填剤とポリマーの界面領域である。界面領域におけるゴムと充填剤の接着性が悪いとゴム充填系の力学的性質が悪化する。通常シランカップリング剤などを配合して、ゴムとシリカの接着性を良くすることによりゴム充填系の高性能化を図っている。ゴムがどのように吸着しているかを明らかにするのはバルクの散乱からでは見いだすことができない。そこで、ゴム充填系を溶媒で膨潤させることによって、界面付近の膨潤度の違いによる散乱のコントラストの差を用いてシリカ表面の高分子鎖の吸着層を明らかにしようとするために CV-SANS 法を用いた。図 7 に重水素化へ

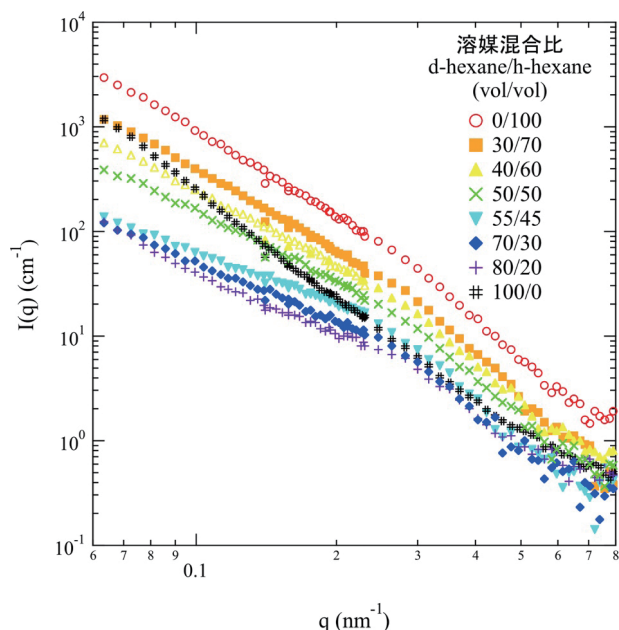


図7 重水素化ヘキサン／ヘキサン混合溶媒により膨潤されたゴム充填系のSANSプロファイル

キサン (d-hex) とヘキサン (h-hex) をさまざまな比率で混合した溶媒に膨潤されたゴム充填系の散乱を示す。溶媒の散乱長密度を変化させると散乱関数の波数 q 依存性が大きく変化することが観測される。このことは、ゴム成分の膨潤度に空間不均一性があること、すなわちシリカ粒子周りの吸着層とマトリックス部分では膨潤度が異なることを示唆する。そこで、この系をゴム成分・シリカ粒子・溶媒の3成分系として、遠藤らによって開発されたコントラスト変調法によって各成分の構造解析を試みた^{15),16)}。3成分系の散乱関数 $I(q)$ は

$$I(q) = (a_P - a_H)^2 S_{PP}(q) + (a_P - a_H)(a_S - a_H) S_{PS}(q) + (a_S - a_H)^2 S_{SS}(q) \quad (2)$$

であらわされる。ここで、 a_i は i 成分 ($i = P$: SBR, S : シリカ, H : ヘキサン) の散乱長密度、 S_{ij} は部分散乱関数である。ASAXS法と同様にヘキサンの散乱長密度を変化させて行った n 個の実験より求められる散乱関数のベクトル $[I_1(q), I_2(q), \dots, I_n(q)]$ と疑似逆行列の積より部分散乱関数を求めることができる。図8は図7の散乱関数より特異値分解法を用いて求められた部分散乱関数である。フィティングの結果より、吸着層の厚みは5.3 nmと求められた。ほかのパラメーターとして、シリカ粒子の凝集構造の大きさ32.7 nm、マトリックスのゴム相の架橋点間分子量が 7.1×10^3 、シリカ粒子の平均サイズ7.9 nmなどが求められた。また、マトリックスの架橋点間分子量やシリカの凝集構造も明らかにすることができた。ここでは、コントラスト変調の方法として重水素化溶媒を用いたが、動的核スピンの偏極法によるコントラスト変調中性子小角散乱もある。

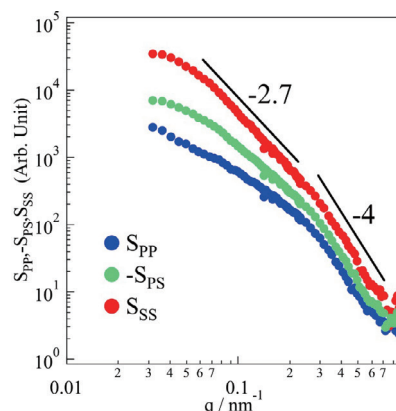


図8 CV-SANS法により得られた部分散乱関数と部分散乱関数の解析より得られたSBR/Si系の構造的特徴のパラメーター

5. まとめ

ここでは、小角散乱法の構造解析法における展開のいくつかの例を示した。今後は東北放射光などでの軟X線を用いたRSOXSをはじめとする各種の構造解析法がより有機材料に適用されてくるものと思われる。

文 献

- 1) A. Guinier and G. Fournet, "Small-Angle Scattering of X-ray", John Wiley (1955)
- 2) 菊田惺志, "X線回折・散乱技術上", 東京大学出版会 (1992)
- 3) H. Brumberger, ed., "Small-Angle X-ray Scattering", Gordon and Breach Sci. Pub. (1967)
- 4) O. Glatter and O. Kratky, "Small-Angle X-ray Scattering", Academic Press (1982)
- 5) 竹中幹人, ぶんせき, **486**, 224 (2015)
- 6) 竹中幹人, 日本ゴム協会誌, **92**, 57 (2019)
- 7) 橋本竹治, "X線・光・中性子散乱の原理と応用", 講談社, 東京 (2017)
- 8) H. Ogawa, Y. Nishikawa, M. Takenaka, A. Fujiwara, Y. Nakanishi, Y. Tsujii, M. Takata, and T. Kanaya, *Langmuir*, **33**, 4675 (2017)
- 9) M. Takenaka and H. Ogawa, *SEN-I GAKKAISHI*, **75**, 92 (2019)
- 10) H. Ogawa, S. Ono, Y. Nishikawa, A. Fujiwara, T. Kabe, and M. Takenaka, *J. Appl. Crystallogr.*, **53**, 140 (2020)
- 11) I. Morfin, F. Ehrburger-Dolle, I. Grillo, F. Livet, and F. Bley, *J. Synchrotron Radiat.*, **13**, 445 (2006)
- 12) C. Wang, D. H. Lee, A. Hexemer, M. I. Kim, Z. Wei, H. Hasegawa, H. Ade, and T. P. Russell, *Nano Lett.*, **11**, 3906 (2011)
- 13) H. Endo, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **85**, 102 (2000)
- 14) H. Endo, *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **115**, 580 (2001)
- 15) S. Miyazaki, H. Endo, T. Karino, K. Haraguchi, and M. Shibayama, *Macromolecules*, **40**, 4287 (2007)
- 16) M. Takenaka, S. Nishitsuji, N. Amino, Y. Ishikawa, D. Yamaguchi, and S. Koizumi, *Macromolecules*, **42**, 308 (2009)
- 17) M. Takenaka, S. Nishitsuji, N. Amino, Y. Ishikawa, D. Yamaguchi, and S. Koizumi, *Rubber Chem. Technol.*, **85**, 157 (2012)
- 18) M. Takenaka, S. Nishitsuji, Y. Watanabe, D. Yamaguchi, and S. Koizumi, *J. Appl. Crystallogr.*, **54**, 949 (2021)

編集その他の都合により多少の変更があるかもしれませんがご了承下さい。

Polymer Journal

Vol. 54, No. 3

[Focus Review]

Development and Application of pH-Responsive Polymers

.....S. YUSA

[Original Article]

Spatial Inhomogeneity of Chain Orientation Associated with Strain-Induced Density Fluctuations in Polyethylene

.....M. ARAKAWA, M. KISHIMOTO, Y. NAKANISHI, K. MITA and M. TAKENAKA

Modeling the Crystallization Kinetics of Polymers Displaying High Levels of Secondary Crystallization

.....C. A. KELLY and M. J. JENKINS

Configurational Heat Capacity of Various Polymers Above the Glass Transition Temperature

.....E. NISHIYAMA, M. YOKOTA and I. TSUKUSHI

Photoinduced Plasticizing Effect of the Addition of Azobenzene on the Glass Transition Temperature and Mechanical Properties of Polycarbonate

.....M. MAEDA, S. NOBUKAWA and K. INOMATA

Chain Movements of a Molecularly Flat PMMA Substrate Surface Prepared by Thermal Imprinting with Mica and Isolated PMMA Chains Deposited on the PMMA Substrate Observed by AFM Around the Bulk T_g

.....J. OHKAWA and J. KUMAKI

Thermo-Driven Self-Healable Organic/Inorganic Nanohybrid Polyurethane Film with Excellent Mechanical Properties

.....H. WANG, H. WANG, J. XU, X. DU, S. YANG and H. WANG

Highly Transparent, Stretchable, and Self-Healing Polymers Crosslinked by Dynamic Zinc(II)-poly(amic acid) Bonds

.....A. AU-DUONG, Y. HSU, M. MALINTOI, A. N. UBAIDILLAH, Y. LI, J. LAI and Y. CHIU

Novel Degradable Acetal-Linkage-Containing Epoxy Resins with High Thermal Stability: Synthesis and Application in Carbon Fiber-Reinforced Plastics

.....M. KUROYANAGI, A. YAMAGUCHI, T. HASHIMOTO, M. URUSHISAKI, T. SAKAGUCHI and K. KAWABE

Hybridization of an n-type Semiconducting Polymer with PbS Quantum Dots and their Photovoltaic Investigation

.....K. YOSHIDA, J. CHANG, C. CHUEH and T. HIGASHIHARA

Tuning the Thermal and Mechanical Properties of poly(vinyl alcohol) with 2,5-Furandicarboxylic Acid Acting as a Biobased Crosslinking Agent

.....N. V. TRUNG, N. P. THI, T. H. NGUYEN, M. N. NGUYEN, D. T. ANH, T. N. TRUNG, T. T. QUANG, H. T. VAN and T. T. THI

Analysis of the Formation Mechanism of Polyion Complexes of Polysaccharides by Molecular Dynamics Simulation with Oligosaccharides

.....M. YAMAZAKI, M. YABE and K. IJIMA

The Role of Reduced Graphene Oxide as a Secondary Filler in Improving the Performance of Silica-Filled Styrene-Butadiene Rubber Compounds

.....M. N. KALAT and M. RAZZAGHI-KASHANI

Crystallization Behavior of Isotactic Polypropylene Containing a Fibrous Nucleating Agent in a Flow Field

.....K. JANCHAI, T. KIDA, T. INOUE, S. IWASAKI and M. YAMAGUCHI

[Rapid Communication]

Facile Fabrication of Gelatin Hydrogels with Anisotropic Gel Properties via Self-Assembly

.....K. KAWAGUCHI, S. KOMATSU, A. KIKUCHI, Y. NOMURA and K. MURAI

高分子

Vol. 71, No. 4

特集◇進撃の環状“巨”分子

<素描>

分子リングを操る高分子科学.....伊與田正彦

<展望>

π 共役系巨大マクロサイクル.....西長 亨・伊與田正彦

ポリマーからポリカテナンを創る.....磯辺 篤・矢貝史樹

<トピックス>

ピラー[5]アレーン一次元チューブの創出

.....大谷俊介・生越友樹

柔軟なトリペプチドからの巨大環状錯体形成.....三宅亮介

キラル環状 π 共役分子を芳香環構築でつくる

.....野上純太郎・田中 健

環状分子とキラリティ.....上遠野 亮

二次核形成という素過程を利用した精密超分子重合

.....佐々木紀彦・杉安和憲

Polyman 画

<高分子科学最近の進歩>

細胞操作変数としての高分子基材の変形特性

.....政池彩雅・木戸秋 悟

<グローイングポリマー>

なにものにもこだわらない（または身軽さ）.....稲葉 央

<Hot Topics>

Awards for Encouragement of Research in Polymer Science;

The Society of Polymer Science, Japan 2020

<海外でラボをもつということ>

アメリカでラボをもつ.....長谷川 麗