

中性子反射率計 SOFIA を利用したチョコレートの結晶化観察

根本 文也¹, 山田 悟史², 高島 芙弥², 瀬戸 秀紀²

¹防大電情, ²KEK 物構研

ずり流動下でのソフトマターの構造は物理学やトライボロジーの分野から多くの注目を集めている。その理由は、流動による構造変化がエネルギー散逸を伴う非平衡構造を形成し、摩擦を低減することにある。特に摩擦で重要な表面でのずり流動に伴う構造変化を調べる手段として、中性子の高い透過率と重水素化によるコントラスト強調を利用した、ずり流動と中性子反射率の同時測定 (Rheo-NR) が知られている[1]。最近、J-PARC MLF の試料水平型中性子反射率計 SOFIA にレオメーターが設置され、Rheo-NR 実験が実施できるようになった[2]。その中で、チョコレートの結晶成長について興味深い成果が得られた。

チョコレートの主要成分であるココアバター (CB) の特徴の 1 つは、結晶多型を有することにある。Y 字型の CB (主にトリアシルグリセロール) 分子が六方晶、直方晶、三斜晶を形成し、分子に長軸・短軸の異方性があるために層状の構造をとる。中でも V 型と呼ばれる三斜晶相 (準安定相) は、33°C というヒトの体温よりやや低い融点を有し、食べる直前まで保持された結晶が口内で一気に融解するため、食用に適する。V 型結晶の作製プロセスとして、融解した CB にずり流動を印可しながら冷却し、28°C の融点をもつ IV 型結晶 (直方晶, 準安定相) を種結晶として作製した後、30°C に温度を上げて V 型結晶の成長を促進する、テンパリング操作がある。その際、ずり流動に垂直な方向に V 型結晶の層法線が向くよう成長することが X 線回折で示されている[3]。本研究では、基板界面が CB のずり流動下での結晶成長や成長則に与える影響を明らかにするため、時分割 Rheo-NR 測定を実施した。

実験は中性子反射率計 SOFIA に設置されたレオメーター (Brookfield RST-CC) と自家製のサンプルステージを使用して行った。測定角度は 1.6° に固定、使用した波長 λ は 0.2 - 0.88 nm である。温度はチラーからの流水で制御した。基板は厚さ 8 mm、直径 3 インチのシリコンウェハを使用し、コーンプレートは直径 50 mm、角度 1° のものを使用した。試料は「チョコレート効果カカオ 95%」 (明治製菓) を用いた。40°C に試料を 3 時間おいて完全に溶解させた後、ずり速度 500 s⁻¹ とずりなしで 25°C まで冷却しながらそれぞれ反射率を測定した。

図 1 に得られた反射率プロファイルを示す。ずり流動ありの場合 (図 1 (a)) は V 型に対応する回折ピークが観測されたのに対し、

ずり流動なしの場合 (図 1 (b))、III 型に対応するピークのみが観測された。この結果はずり流動が V 型の基板垂直方向への成長に寄与するという従来の結果を支持する。基板や砂糖・繊維類の結晶成長へ寄与した可能性については研究会当日に議論する。

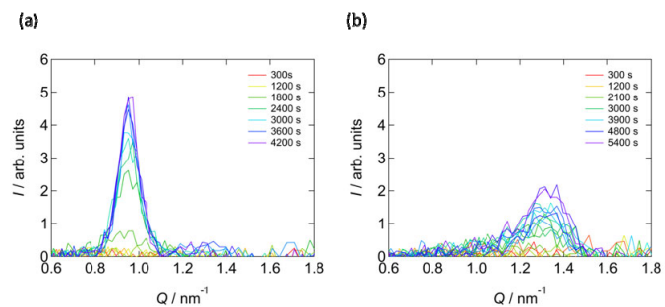


図 1 (a) 500 s⁻¹, (b) ずりなし, の反射率プロファイルの時間発展

References

- [1] M. Wolff *et al.*, *Langmuir* **24**, 11331 (2008).
- [2] F. Nemoto *et al.*, *JPS Conf. Proc. (Proc. J-PARC Symp. 2019)*, submitted
- [3] S.D. Macmillan *et al.*, *Cryst. Growth Des.* **2**, 221–226 (2002).