

# 大学院教育支援機構（DoGS）海外渡航助成金 報告書

## Outcome report

計画名 Plan	交互グラフト共重合体を用いた配列特異的ナノポーラス材料の創成
氏名 Name	石川 碧人
研究科・専攻・学年 Graduate school/Division/Year level	工学研究科・高分子化学専攻・博士後期課程 1 回生
渡航国 Country	フランス
渡航日程 Travel schedule	2025 年 9 月 18 日 ~ 2025 年 12 月 12 日

- ページ数に制限はありません。No limits on the number of pages
- 写真や図なども組み込んでいただいて結構です。You can include pictures or illustrations.
- 各項目について具体的に記述してください。Please fill in each item specifically.
- 日本語または英語で記載ください。Please use Japanese or English.

### 渡航計画の概要 Outline of the travel plan

フランス・ストラスブールの研究施設 Institut Charles Sadron (ICS、写真左)にて、Dr. Daniel Grande (写真右) の指導のもと、高分子の薄膜相分離に関する研究を行う。具体的には、基盤上へのポリマーのスピニング技術や、溶媒蒸気アニーリング法、加水分解によるセグメント除去の方法などのサンプル調整法を習得し、さらには、小角 X 線散乱(SAXS)や原子間力顕微鏡 (AFM)、走査型電子顕微鏡(SEM)などを用いた各種解析手法についても学ぶ。そして配列（構造）の異なるポリマーを用いることで、高分子の配列に特異的な薄膜相分離の解明及びナノポーラス材料の創成を行う。



写真左：ICS, 写真右：指導教官 Dr. Daniel Grande

### 成果 Outcome

本渡航は、申請者にとって初めての海外での研究活動であったが、Dr. Daniel Grande をはじめとする ICS (Institut Charles Sadron) のメンバーによる手厚いサポートのもと、非常に充実した研究生活を送ることができた。

具体的な研究内容については、ポリスチレン (PS) とポリ乳酸 (PLA) からなる共重合体 (交互グラフト共重合体、ランダムグラフト共重合体、ブロック共重合体) を用いて、高分子薄膜における配列特異的なマイクロ相分離挙動を調査し、さらに PLA セグメントの選択的エッチングによるナノ多孔質材料への展開を検討した。まず、PS-PLA 薄膜は、テトラヒドロフラン (THF) に溶かしたポリマー溶液をシリコン基板上にスピニングすることで作製し、その後、両ブロックに対して良溶媒である THF を用いた溶媒蒸気アニール (SVA) を行い秩序構造の形成を行なった。SVA 1 時間後の薄膜について斜入射小角 X 線散乱 (GISAXS) 測定を行った結果、交互グラフト共重合体において最も強い散乱強度が観測され、秩序構造が良好に形成されていることが示唆された (図 1)。また、ランダム配列と比較して、交互配列ではドメイン間隔が小さいことが明らかとなった。アニール時間、アニール溶媒、

グラフト鎖長、体積分率を変化させた場合においても、交互配列サンプルは一貫してランダムサンプルより強い散乱と小さなドメイン間隔を示した。一方で、得られた散乱パターンは等方的であり、材料応用の観点からは、異方的に配向した秩序構造の形成が今後の課題として残された。

得られたマイクロ相分離構造をナノ多孔質材料へと展開するため、PLA ドメインの選択的加水分解反応による除去を試みた。UV 照射による反応耐性を高めた薄膜に対し、水酸化ナトリウム水溶液中で加水分解を行い、PLA セグメントを選択的に除去した。加水分解後の試料について GISAXS 測定を行った結果、交互グラフト共重合体では SVA 後と同様の強い散乱が維持され、特に基板に対して垂直配向成分に由来する散乱強度の増大が確認された(図 2A)。さらに、原子間力顕微鏡 (AFM) 観察からは、溶媒蒸発および PLA セグメントの除去に起因する微細な孔構造が観測され、交互グラフト共重合体では、ランダムグラフト共重合体よりも多数の微小孔が形成されていることが明らかとなった(図 2B)。

加えて、フランスでの研究生活は、日本での研究環境とは異なる点が多く、異文化を吸収する貴重な機会となった。例えば、週に複数回設けられているコーヒブレークでは、研究グループの枠を超えた活発な議論や交流が行われており、研究のみならず人脈形成の観点からも有意義であった。多くの外国人研究者・留学生と共に研究を行うことで、国際的な研究環境におけるコミュニケーション能力の向上にもつながった。

以上より、本渡航を通じて、配列特異的な薄膜マイクロ相分離およびそのナノ多孔質材料への応用可能性を明らかにするとともに、国際的な研究環境における研究遂行能力と視野を大きく広げることができた。

## 今後の展望 Prospects for the future

Dr. Daniel Grande の指導のもと、今回行った研究活動の成果は、現在論文化を進めているところである。また、本渡航で学んだサンプル調整技術は、当研究室でも再現可能であり、技術の伝搬・普及を図る。さらに、本渡航で出会った研究者とは、学会や SNS 等で引き続き交流をする予定である。

最後になりましたが、ご支援をいただきました、京都大学大学院教育支援機構 (DoGS) 様に改めて感謝を申し上げます。

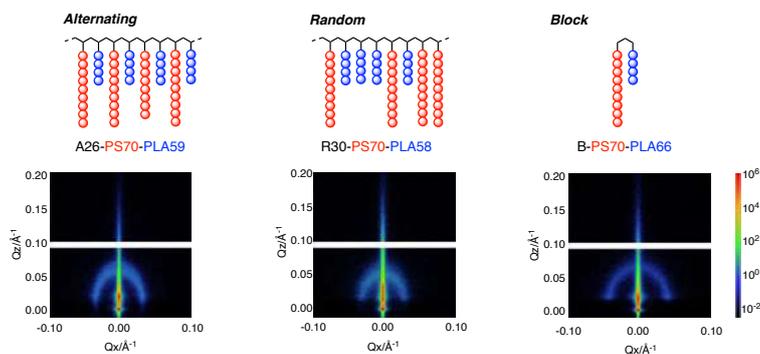


Figure1. GISAXS patterns after SVA 1 h.

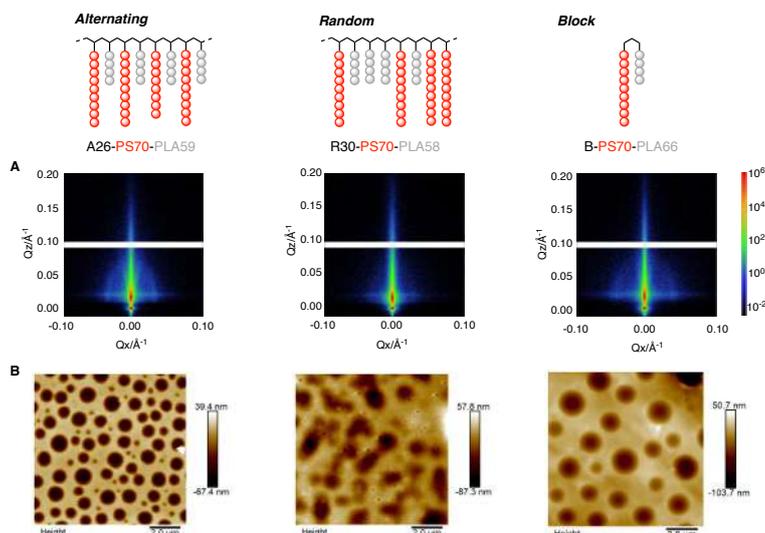


Figure2. GISAXS patterns (A) and AFM height image (B) after hydrolysis reaction.