

補助事業番号 2025M-439

補助事業名 2025年度 コンパクトで安価な化合物生産用シリンジポンプシステムの開発補助事業

補助事業者名 宮岸 拓路

1 研究の概要

フロー合成は、有機合成のみならず高分子・光・超分子化学など幅広い分野で有用性が確立された合成手法である。しかし、送液に用いるシリンジポンプが1台60万円前後と高価であり、フロー系の構築には最低3台を要するため、装置導入コストが他分野からの参入障壁となっていた。本研究では、汎用の電子工作部品と3Dプリンタ・板金加工を活用し、1台5万円以内で構築できる安価かつ高性能なシリンジポンプを開発した。市販品にはない同軸 (Co-axial) 型構造を採用することで、市販品 (占有体積約12 L) の半分以上となる占有体積5 Lの省スペース化を実現するとともに、3気圧の高圧条件下でも脈流のない安定した送液を達成した。開発したポンプを実際のフロー反応に適用し、SGLT2阻害剤原料となるC-グリコシドの連続合成 (収率85%、生産量98.0 g/h) およびアニオン重合による高品位ポリマー合成 (M_n 3,120、PDI 1.09、収率96%) に成功し、安価な自作装置でも実用的なフロー合成が可能であることを実証した。本成果はフロー化学への参入障壁を大幅に引き下げるものであり、設計データのオープンソース化を通じて、多様な分野へのフロー系の普及に貢献することが期待される。

2 研究の目的と背景

近年、マイクロ・ミリスケールの流路内で反応を行うフロー合成は、優れた伝熱・物質移動効率、精密な反応制御、スケールアップの容易さなどから、有機合成化学における重要な手法として確立されてきた。その有用性は有機合成にとどまらず、高分子化学、光化学、超分子化学など多様な分野へと広がりつつある。一方で、フロー合成を新たに導入しようとする研究者にとっては、二つの参入障壁が存在する。一つは知識の障壁であり、これは情報交換や共同研究を通じてある程度解消が可能である。もう一つが装置の障壁であり、これは資金面の問題と直結する。特に送液を担うシリンジポンプは1台あたり60万円前後と高価であり、フロー系の構築には流路や反応容器に加えて最低3台のポンプを要するため、装置の導入コストが他分野からの参入を妨げる大きな要因となっていた。この課題に対し、既存のオープンソース自作シリンジポンプも報告されているが、高圧・高流速に対応できるものはほとんど存在せず、実用的なフロー合成への適用は限定的であった。そこで本研究では、汎用の電子工作部品と3Dプリンタ・板金加工を組み合わせることで、安価でありながら高圧・高流速条件に耐える、コンパクトなシリンジポンプシステムを開発することを目的とした。市販品にはない同軸 (Co-axial) 型構造の採用により省スペース化と高い送液安定性を両立し、開発した装置を実際のフロー反応に適用することでその実用性を実証する。さらに、設計データのオープンソース化を通じて、フロー化学への参入障壁を引き下げ、多様な分野への普及に貢献することを目指す。

3 研究内容

(1)コンパクトで安価な同軸型シリンジポンプの開発

市販品にはない同軸(Co-axial)型構造を採用し、汎用電子部品と3Dプリンタ・板金加工によりシリンジポンプを開発した。初期試作機(Rev0)では3Dプリンタ製部品の剛性不足により脈流が生じたため、主要部品を板金加工に置き換えたRev1を製作し、脈流のない安定した送液を実現した。電気回路・制御基板も独自に設計・製作し、1台あたり5万円以内、占有体積5 Lのコンパクトな装置を完成させた。

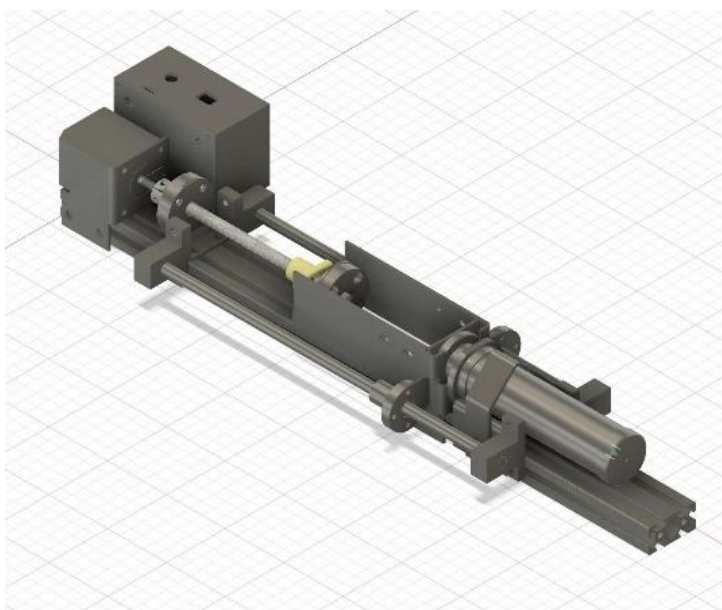


Figure 1. 設計したシリンジポンプの3Dモデル.

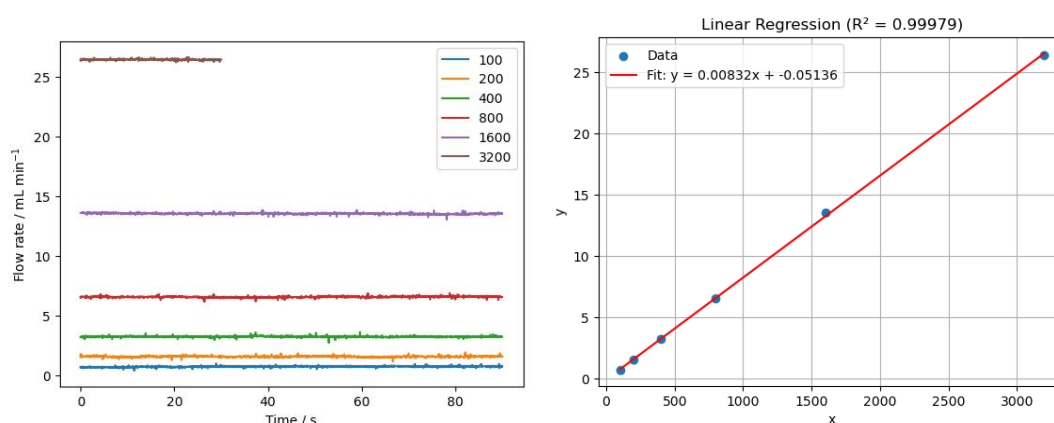


Figure 2. 製作したシリンジポンプの(A)流量の時間依存性と(B)モーター周波数-流量の検量線.

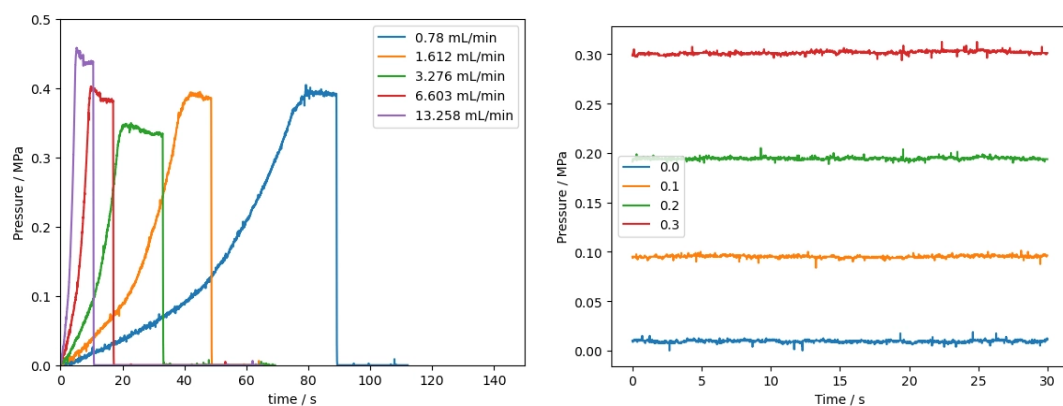


Figure 3. 製作したシリンジポンプの(A)耐圧試験と(B)背圧弁を用いた加圧下での流量安定性.

(2) 開発したポンプによるフロー合成の実証

① *O*-グリコシドの連続合成

SGLT2阻害剤の原料となる*O*-グリコシドの連続フロー合成に適用し、収率85%、生産量98.0 g/h (空時収量 6.2×10^4 g/(h·L))を達成した。

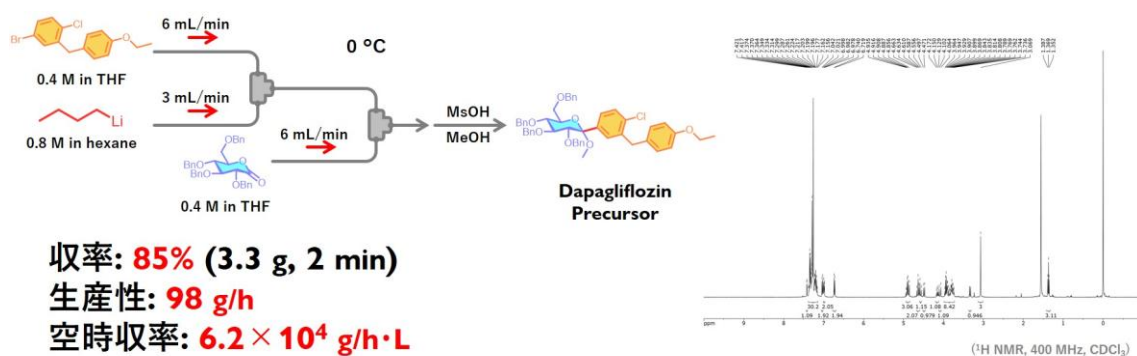


Figure 4. 製作したシリンジポンプを用いた*O*-グリコシド合成.

② アニオン重合による高分子合成

精密重合が要求されるアニオン重合に適用し、 M_n 3,120 (理論値3,180)、PDI 1.09、収率96%、転化率99%超の高品位ポリマー合成に成功した。

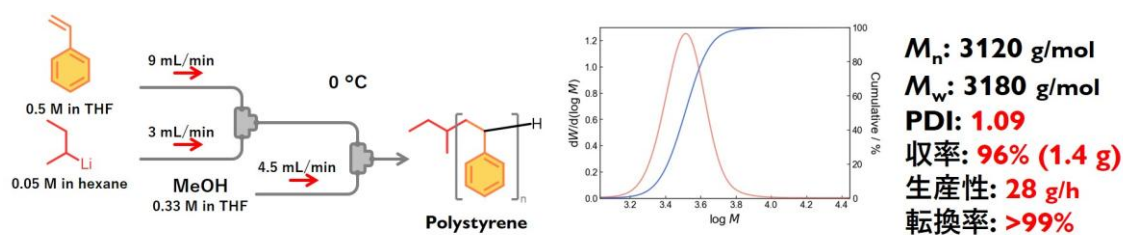


Figure 5. 製作したシリンジポンプを用いたアニオン重合.

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

フロー合成は、医薬品中間体や機能性高分子の効率的かつ安全な連続生産を可能にする手法として、アカデミアのみならず製造現場でも注目を集めている。しかし、装置、とりわけシリンジポンプの高コストが、有機合成以外の分野や小規模な研究室への普及を妨げてきた。

本研究で開発した1台5万円以内の安価なシリンジポンプは、市販品の約1/10のコストで同等以上の性能を実現するものであり、フロー化学への参入障壁を大幅に引き下げる。これにより、高分子化学・光化学・超分子化学をはじめとする多様な分野の研究者が、低コストでフロー系を導入できるようになる。

さらに、設計データ(CAD)をオープンソースとして公開することで、世界中の研究者が本装置を自作・改良し、各分野の課題に応じて活用することが可能となる。本成果は、フロー合成の裾野を広げ、医薬品や機能性材料の研究開発を加速する基盤技術となることが期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者はこれまで、フローマイクロリアクターを用いた有機リチウム化学や精密重合、ベイズ最適化を活用した反応条件最適化など、フロー化学を基盤とした研究に従事してきた。これらの研究を通じて、フロー合成が有する精密制御性とスケールアップ性の高さを実感する一方で、装置コストの高さが分野横断的な活用の妨げとなっている現状を強く認識してきた。

本研究は、こうした研究歴の中で蓄積したフロー化学の知見を、「装置そのものを安価に再構築する」という新たな方向へと展開したものであり、これまでの反応開発中心の研究から、研究基盤・ツールの民主化へと視野を広げる転換点に位置づけられる。今後は、本装置を活用したフロー超分子化学・機能性材料合成へと研究を発展させる予定である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

〔発表〕宮岸拓路「5万円で構築可能なDIYシリンジポンプの開発」第1回超分子フロー研究会、東京理科大学、2026年3月16日（口頭発表）。

〔論文〕現在準備中。開発した装置の設計および性能評価に関する成果を、2026年度中にオープンアクセス論文として公開予定。

〔知財〕本研究に関する特許出願は現時点ではなし。

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

コンパクトで安価な同軸型シリンジポンプ(Rev1)一式(制御ユニットを含む)

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

シリンジポンプの設計データ(CADデータ)および電気回路・制御基板の設計データ(今後オープンソースとして公開予定)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 北海道大学大学院理学研究院(ホッカイドウダイガクダイガクインリガクケンキ
ュウイン)

住 所： 〒060-0810

北海道札幌市北区北十条西八丁目

担 当 者： 助教 宮岸 拓路(ミヤギシ ヒロミチ)

担 当 部 署： 化学部門 有機反応論研究室(永木研究室)(カガクブモン ユウキハンノウロ
ンケンキュウシツ)

E - m a i l: HVMiyagishi@sci.hokudai.ac.jp

U R L: <https://wwwchem.sci.hokudai.ac.jp/~yuhan/index.php/miyagishi/>