

【助成 40-12】

多品種少量の放射性薬品を精緻に調製するための唯一無二の自動化システムに関する研究

研究者 東京電機大学工学部 教授 茂木 克雄

〔研究の概要〕

微量の放射性核種を用いた非破壊的な画像診断技術は、がんの診断だけでなく社会的関心の高い疾患（アルツハイマー病や、パーキンソン病、糖尿病など）の確定診断や、創薬分野のリード化合物の評価検証に有効性が示されており、世界的にその重要性が増してきている。一方で、放射性薬品の調製にかかる膨大な運用コストと人材不足が普及を妨げる課題となっている。そこで、本研究では運用コストと人材不足の致命的な課題を、ロボティクスと微小液滴の操作技術によって解決し、健康長寿社会の新しい枠組みを拓こうとしている。本申請者は、微量の試薬を自動操作できる知財技術を有しており、これを応用して放射性薬品の調製を安全かつ正確に行える自動化システムの開発を進めている。具体的には、本申請で以下の3つのテーマに取り組んだ。

〔研究経過および成果〕

1. システムに組み込む温調ユニットの開発

加熱処理が必要な薬品の調製に用いる温調ユニットを製作した。この温調ユニットは、センサーの値を参照して温度をフィードバック制御するもので、一定温度の試薬調製環境を保持することができる。温調ユニットは温調台と制御部で構成されており、温調台はペルチェ素子と、電熱線シートおよび、K型熱電対を積層した5×30×30 mm³の基板となっている。また、制御部は温調台に接続されたリレースイッチとArduino UNO R3で構成されており、熱電対から得られる温度をモニタリングしてリレースイッチを切り替えている。

試作した温調ユニットの動作検証のために、60分間、37℃の環境を保持する実験を行った。図1は、検証実験の結果である。誤差は±1.5℃となっており、一定の温度が保持されていることがわかる。リレースイッチの切り替えのみで温度制御が行える単純な機構は、小規模で故障しづらいことから放射性核種を扱う用

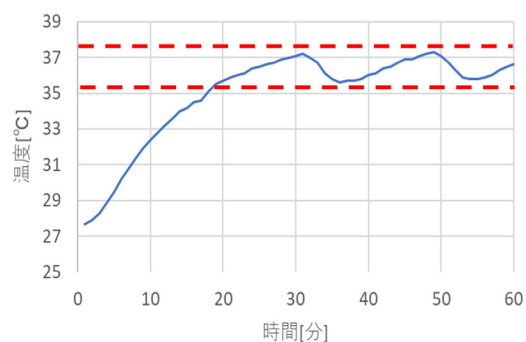


図1. 温調ユニットによる温度保持結果

途に高い親和性がある。今後の展開としては、特定の薬品調製で必要となる150℃の環境を保持する運用テストを行っていく予定である。

2. 汚染基板の交換ユニットの開発

薬品の調製作業において、放射性核種が付着する用具は基本的には使い捨てにする必要がある。本研究で開発を進めている自動化システムについても、汚染基板は使い捨てにしなければならない。そのため、汚染基板を交換する際の作業者の負担を軽減するための交換ユニットを開発した。放射性核種を安全に扱うために、ネオジム磁石の磁力を利用した単

純な機構を考案し実装した。この交換ユニットにより、汚染物質と使い捨て基板を同時に廃棄できるようになった。交換ユニットの脱着機構は汎用性が高いため、今後は放射性薬品だけでなく、抗癌剤、毒劇試薬、病原性ウイルスなどに適用できるように仕様を拡張していく。

3. 原理検証機による実証実験

調製作業を自動で行うシステムを試作し、放射性医薬品の代替試薬を用いた実証実験を行った(1)。試作したシステムの薬品搬送機構は、小規模な実験室や診療所などで利用されることを想定し、安価かつ単純な構造のものとなっている(図2)。具体的には、無線通信が可能な電子ピペットをアームロボットに取り付けた機構であり、使い捨てのピペットチップの脱着方法や、試薬の搬送先座標の決定方法などに独自の工夫がなされている。これにより、簡単な操作で正確な試薬搬送が行えるようになった。また、本研究では微量の液体を送液する駆動力としてパッシブポンプの技術を取り入れた。従来の微量試薬送液には、機械式のシリンジポンプが広く用いられているが、低流量で安定した流れを発生させることが難しく、システムも複雑化してしまう。そこで本研究では、シンプルな構造で安定した低流量の送液が可能な「表面張力を利用したパッシブポンプ」を実装してこの課題を解

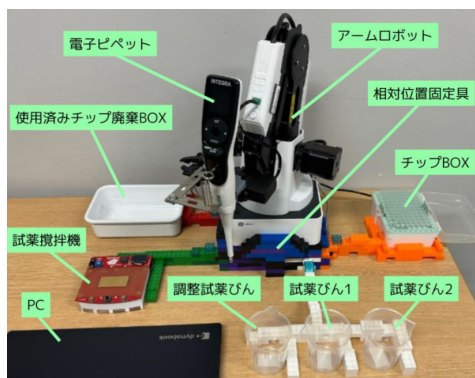


図2. 薬品搬送機構

決した(2、3)。パッシブポンプへの試薬の補充作業については、試薬滴下装置を試作して自動化を試みた。我々は、滴下装置の精度検証結果を、国際学会MNE2023で発表するとともに(4)、詳細をまとめた論文を国際誌に投稿した(5)。

本テーマでは最後に、放射性医薬品の代替試薬を用いた調製作業を行い、試作したシステムによって一連の作業が自動化できることを確認した。放射性核種を用いた実証実験については、共同研究者の新所属先の研究施設で年度内に実施しようとしている。本システムは、多くの有能な放射線技師を単純作業から解放する画期的なものであり、社会実装されれば有能な人材が高度な医療や創薬の学術研究に専念できる新しい社会の仕組みが拓かれる。

[発表論文]

1. 【招待講演】茂木克雄, 木村寛之, 高田尚樹, 第34回日本臨床微生物学会総会・学術集会, 企業セッション, (横浜), 2023.02.
2. 嶋田玲皇, 木村寛之, 小此木孝仁, 茂木克雄*, 1P28, CHEMINAS47, (仙台), 2023.05.13-14.
3. 松永愛海, 高田尚樹, 茂木克雄*, 1P39, CHEMINAS47, (仙台), 2023.05.13-14.
4. R. Shimada, H. Kimura, N. Takada, K. Mogi*, “Development of an automatic reagent drip system for passive pumps”, 49th international conference on Micro and Nano Engineering, Berlin, 25 - 28 Sep 2023.
5. R. Shimada, H. Kimura, N. Takada, K. Mogi*, “Development of an automatic reagent drip system for micro passive pumps”, Micro and Nano Engineering, Elsevier (査読中)