

大学院教育支援機構 企業寄附奨学制度（DDD） 報告書

氏名	河野 達朗
研究科・専攻	工学研究科 機械理工学専攻
修士/博士・学年	修士 1 年
支援企業名	京都製作所

・提出期限：2025 年 3 月 28 日（金）17：00

・ページ数に制限はありません。

・写真や図なども組み込んでいただいて結構です。

・各項目について具体的に記述してください。

・大学院教育支援機構のウェブサイトに掲載します。

奨学金を得て行った研究の成果

私が本研究で取り組んだテーマは、「接触帯電」という静電気発生機構の解明です。静電気は、多様な分野で積極的に利用されている一方、静電破壊や粉塵爆発、火災などの事故を引き起こす原因にもなり得るため、安全管理や品質保証の観点から予測と制御が強く求められています。しかし、接触帯電を支配する法則は未だ明確に解明されておらず、発生した電荷がどのようにして最終的に表面に固定されるのかは未知の部分が多い状況です。

帯電を生じさせる原因となるキャリアとしては、電子のほかに帯電した原子や分子が考えられますが、本研究では特に最も普遍的なキャリアである電子に注目しました。先行研究においては、第一原理計算を使った表面同士が静止した状態の基底電子状態解析が行われています。しかし、実際に帯電量を決定づけるのは分離過程における平衡化、すなわち接触中に移動した電子がどの程度元の表面に戻り、どの程度移動先の表面に残るかです。そのため、本来は表面が動く分離過程の動的な電子状態を解析する必要があります。

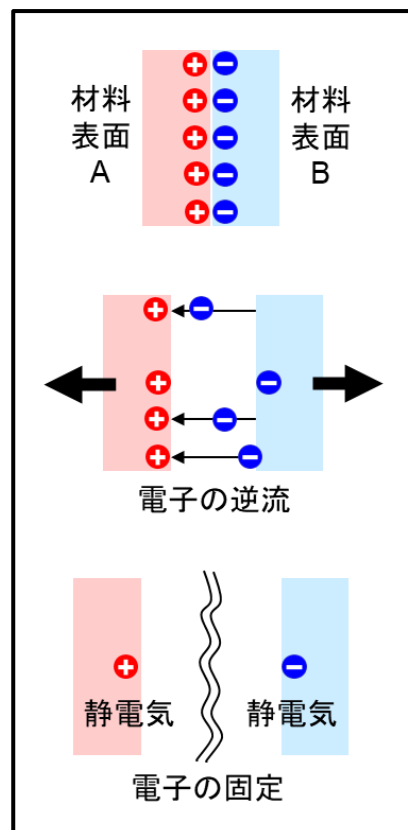


図 1. 接触帯電プロセス

ところが、第一原理計算のみならず分子動力学法を組み合わせると、非常に高コストかつ短い時間スケールしか扱えないという課題がありました。そこで私は、考慮する状態を大幅に制限した量子力学的なトイモデルを用いて、分離速度と帯電過程の関係をシンプルに捉えるアプローチを試みました。途中経過として確認できたのは、ある一定以上の速度で表面間を引き離すと、電子状態の平衡化が追いつかないまま表面が遠ざかり、結果として移動先の表面に電子が固定される現象です。これにより、静電気が実際に発生

する仕組みが理論的に説明できる見通しが得られました。

産学協同の取組における成果

産学協同の一環として工場見学に参加しました。訪問先では、顧客の要望に応じたオーダーメイドの包装・梱包機械を設計・製作しており、実際に高速包装機械が稼働している様子を見学できました。日常的に目にする製品がどのように包装されているかを意識する機会はありませんだったため、形状の異なる製品を効率よく扱うための設計上の工夫や、スピードと正確さを両立させる制御技術などを直接目にできたのは大変新鮮でした。設計ルームでは、仕様検討を経て装置を試作し、機能改善を繰り返す工程について説明を受け、開発フローを具体的に学ぶ良い機会となりました。こうした見学を通して、一般にはあまり意識されていない包装工程にも多くのノウハウが詰まっていることを実感し、産業における技術活用の多様性を改めて認識できました。

今後の展望

今後は、考慮する電子状態の種類や状態間の相互作用を段階的に増やすことで、モデルをより具体的かつ現実に近い形に拡張し、第一原理計算や実験データとの比較を進めていきます。将来的には、表面原子の格子振動や熱浴との相互作用も導入し、より高い精度で帯電挙動を再現できるよう取り組みたいと考えています。こうしたアプローチを通じて、接触帯電による静電気を予測するモデルとしての有用性を検証し、最終的には産業や研究の現場で活用される理論的基盤を確立することを目指します。