

## 機械学習による結晶成長炉内温度のリアルタイム将来予測

### Real time prediction of temperatures in a crystal growth furnace using machine learning

理研 AIP<sup>1</sup>, 東北大金研<sup>2</sup> °沓掛 健太郎<sup>1</sup>, 前田 健作<sup>2</sup>

AIP, RIKEN<sup>1</sup>, IMR, Tohoku Univ.<sup>2</sup>, °Kentaro Kutsukake<sup>1</sup>, Kensaku Maeda<sup>2</sup>

E-mail: kentaro.kutsukake@riken.jp

【はじめに】我々は機械学習による将来予測に基づく結晶成長制御を目指している。結晶成長は時系列プロセスであるため、時々刻々と変化する状態に応じて成長条件をその場制御することが理想である。しかし、成長条件の影響は複雑であり、さらに過去の履歴も考慮する必要があるため、一般的には開始前に定めたプロセス条件に従って結晶成長されることがほとんどである。本研究ではその場制御に向けた第一歩として、機械学習を用いて、過去の履歴と将来の成長条件設定から将来の炉内温度を予測することを試みた。さらに、炉内環境の変化（具体的には観察窓のシャッタ開閉）が与える影響を定量的に予測した。

【実験方法】小型の結晶成長その場観察装置[1]を用いたシリコンの融液成長を対象とした。同装置は2ゾーンのヒータを備え、結晶成長実験時の各ヒータの出力値と温度を時系列データとして記録した。また試料近傍に設置した熱電対によって計測した試料温度に加えて、観察窓のシャッタ開閉状態を時系列データとして取得した。11回（ただし1回の実験中に複数回の融解・凝固を含む）の結晶成長実験データをリカレントニューラルネットワークを用いて学習し、過去1分間の履歴と将来のヒータ設定プログラムから、将来30秒後までの試料温度を予測した。

【結果と考察】図1にシャッタ開閉による将来の炉内温度変化の予測を示す。学習に用いていない結晶成長実験の試料温度変化について、時刻0まではシャッタ閉状態での測定結果を示し、時刻0以降はシャッタが開閉それぞれの状態に対する温度変化の予測である。シャッタを開けることによって窓からの放熱が発生し、温度上昇が緩やかになることがわかる。この結果が示すように、シャッタ開が温度上昇を抑制する効果を定量的に見積もることができた。炉内温度の将来予測は、実験を行った範囲内でのあらゆるヒータ出力・シャッタ開閉の組合せに対して有効であり、さらに瞬時に計算できるため、リアルタイム予測が可能である。このような情報は、特に結晶成長をマニュアルで制御する場合には非常に役に立つ。以上のように、機械学習を用いた結晶成長の将来予測は有用であり、より精密な結晶成長制御に貢献すると考える。

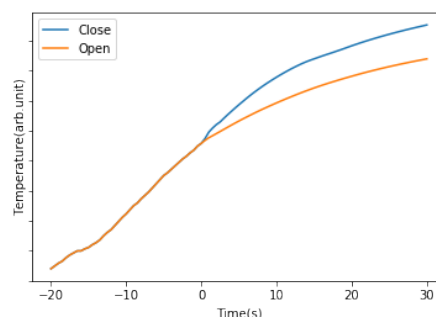


Fig. 1 Predicted temperature in a furnace.

参考文献 [1] K. Fujiwara, *et al.*, J. Cryst. Growth 262 (2004) 124.