ベイズ最適化を用いた SiC 研削条件の探索

Exploration of condition for grinding SiC by Beysian optimization

名大院工 [1], 名大未来研 [2], 産総研 GaN-OIL[3], ニートレックス [4], 名大未来機構 [5],
○(M1)長田 圭一 [1,2], (D2)角岡 洋介 [1,2,3], 成田 潔 [4], 小泉 晴比古 [1,2], 沓掛 健太朗 [5], 原田 俊太 [1,2],
田川 美穂 [1,2], 宇治原 徹 [1,2,3]

Nagoya Univ. [1,2,5], AIST GaN-OIL[3], Nitolex Corp. [4], ○Keichi Osada[1,2], Yosuke Tsunooka[1,2,3],
Kiyoshi Narita[4], Kentaro Kutsukake[5], Haruhiko Koizumi[1,2], Shunta Harada[1,2], Tagawa Miho[1,2],
Toru Ujihara[1,2,3]

E-mail: osada@unno.material.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】SiC は次世代パワーデバイス材料として期待されている。SiC 基板は、インゴットを切断し、研削、研磨を行うことで製造される。本研究では、研削過程に注目している。しかし、研削条件には、研削砥石の種類やその回転速度、SiC 基板の回転速度や研削砥石への軸送り速度などの多くのパラメータがあり、実験のみで最適化するのは非常に困難である。そこで、我々は近年機械学習の一種として注目されているベイズ最適化を用いた SiC 研削の最適条件探索と実験を逐次的に行った。

【実験方法】まず、砥石軸とワーク軸、ドレス軸の回転速度、ワーク軸とドレス軸の送り速度、許容加工負荷、研削砥石の結合剤の体積割合の 7 つの変数をランダムに変化させた 27 条件で研削を行い、加工速度と表面粗さを評価した。表面粗さはコヒーレンス干渉法で計測した高さ分布から二次元平均表面粗さを求めることで計測した。次に、この 27 条件からの結果からベイズ最適化により最適条件を決定し、その条件で研削と評価を行った。その後、最適化した条件での結果を加えて（つまり 27+1 条件）再び最適化し研削実験を行った。このプロセスを逐次的に 20 回繰り返した。ベイズ最適化を用いた各実験では、その時点での教師データ中、最大の加工速度と最小の表面粗さから、最も加工速度が大きく、表面粗さが小さく改善すると予測される実験条件を求めた。

【実験結果】ベイズ最適化を用いた実験における加工速度と表面粗さの結果を Fig. 1 に示す。横軸は加工速度、縦軸は表面粗さである。図中の数値は、最適化開始後に 20 回繰り返した実験回数 N(=1~20)を表している。ただし、13 回目の実験結果は図を見やすくするため、省いている。従来条件(previous condition)では加工速度が 6.42 μm/min、表面粗さが 1.23 nm であった。最適化の結果、加工速度 24.5 μm/min、表面粗さ 0.81 nm と今まで達成できなかった大きい加工速度と小さい表面粗さを同時に実現できた。また、従来条件より加工速度を約 4 倍に、表面粗さを約 5 分の 4 倍に改善した上で、最適化していない研削砥石の摩耗率を約半分に抑えた条件も得られた。この条件と従来条件の実験での SiC 基板から切り出した 12 mm×9 mm 試料を、11$\bar{2}$8 反射、1.3Å の波長、侵入深さ 13.6 μm の条件で撮影した X 線トポグラフ像を Fig. 2 に示す。従来条件(Fig. 2(a))に比べ最適条件(Fig. 2(b))における研削後の SiC 基板表面付近のダメージが小さいことが分かる。

【参考文献】[1] B. Shahriari, K. Swersky, Z. Wang, R. Adams, and N. de Freitas. Taking the human out of the loop: A Review of Bayesian Optimization. Proc. Of the IEEE, (1), 12/ 2015 2016.

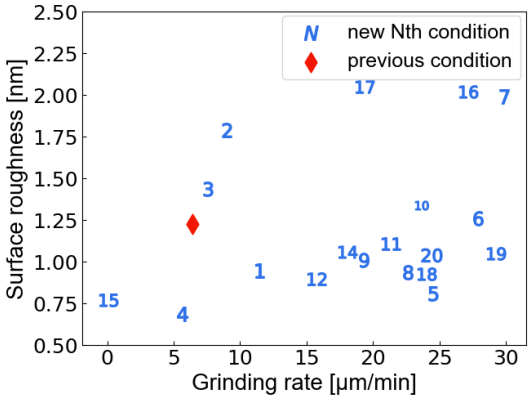

Fig. 2 Process rate and surface roughness through experiments by Bayesian optimization.

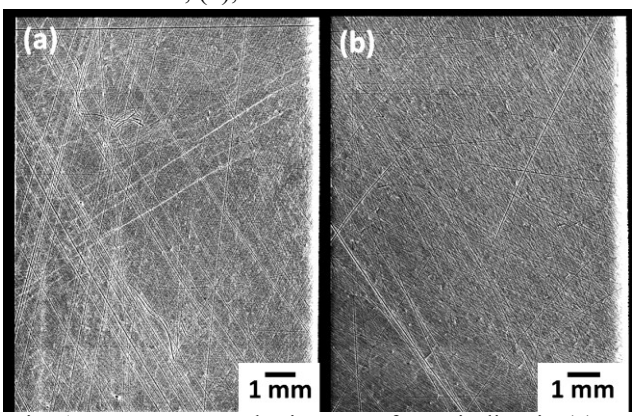

Fig. 1 X-ray topography images after grinding in (a) previous condition and (b) condition after optimization.