

カーボンニュートラルに向けた切削加工における環境性能評価

機能素材加工課 川嶋宣隆

製品・機能評価課 羽柴利直

1. はじめに

近年、国内外でカーボンニュートラルに向けた動きが加速している。国内では、2020年10月の菅前総理の「2050年カーボンニュートラル」の宣言を皮切りに、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」の策定¹⁾や炭素税導入の検討などが行われており、今後は商品の価値を決定するうえで、「品質」や「コスト」に加えて、

「環境性能」が重要視されることが予想される。製造工程ではこれに対応するため、環境負荷を定量的に評価したうえで、それを低減することが求められる。

本研究は、製品製造の重要な工程である切削加工において、従来までの品質、能率、コストに環境性能を加えた観点から、最適な加工条件について検討することを目的とする。本報ではLCAの考え方を基に、金型鋼のミリング加工におけるCO₂排出量を算出するとともに、加工条件によるCO₂排出量の変化についても検討した。

2. 本研究の調査範囲

図1は、本研究で評価する切削加工のプロセスフローである。製品システムの影響評価では、製品の各製造プロセスそのものに加えて、使用する工具等の原料の採掘から製造までの工程や、必要な電力の発電工程なども含まれる。本研究は製品製造工程の中で、とくに切削加工工程に着目し、その工程のCO₂排出量の算出、およびその要因を明らかにすることを目的としている。このため評価では、切削加工工程およびそこで使用される工具、切削油、電力等の原材料からその製造プロセスを対象に、地球温暖化に影響するCO₂排出量の評価を行った。なお、加工前の素材、加工された製品およびマシニングセンタ製造時のCO₂排出量は加工条件によらず同等と仮定し、評価から除外した。

切削加工工程の評価を行うにあたり、単純な製品モデルとして、150 mm × 100 mm × t50 mmの材料上面の9 mm × 100 mm × t10 mmの領域をエンドミル加工することで製品となるように設定した。すなわち、表1に示す条件で、長さ150 mmの方向を送り方向として、6回側面加工することで、製品形状となる。

加工機には、キタムラ機械(株)製 Mycenter-3XiGを使用した。工具には直径10 mmの超硬エンドミルを使用し、プリハードン鋼NAK55を加工したときの評価を行った。

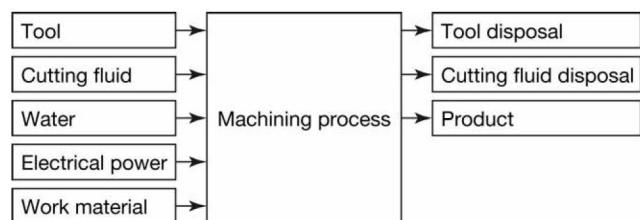


Fig. 1 Process flow of machining

Table 1 Cutting conditions

Tool material	Cemented carbide
Tool diameter (mm)	10
Number of tooth	2
Work material	NAK55
Cutting speed (m/min)	25
Feed rate (mm/tooth)	0.1
Axial depth of cut (mm)	10
Radial depth of cut (mm)	1.5
Type of cutting	Down cut
Lubrication method	Wet, Dry

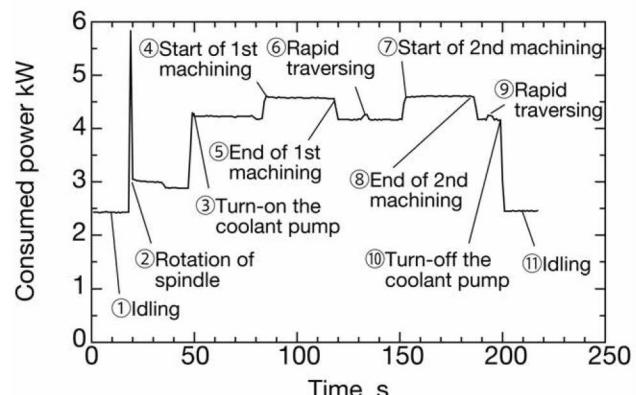


Fig. 2 Change in the consumed power while milling heat-treated steel using machining center

3. マシニングセンタの電力特性

まず、切削加工工程においてCO₂排出の大きな要因となるマシニングセンタの加工中の消費電力の変化について検討した。図2は、マシニングセンタのアイドリング状態から、被削材を2回エンドミル加工し、アイドリング状態に戻るまでの消費電力の変化である。なお、コンプレッサーの消費電力は含まれていない。アイドリング状態⑪から、②スピンドル回転、③切削油ポンプの起動、④1回目の加工開始、⑤1回目の加工終了、⑥早送り、⑦2回目の加工開始、⑧2回目の加工終了、⑨早送り、⑩スピンドルとポンプ停止、⑪アイドリング状態、の順で動作

している。また違いがわかりやすくなるよう、各工程間で約10~30秒待機させている。これより、スピンドル、ポンプ等の各機械要素を動作させることで、消費電力が大きく増加することがわかる。また、加工中の負荷によっても消費電力は増加する。スピンドル回転数や切込みを大きくした場合、消費電力は大きく増加したことから、加工条件によっても消費電力は大きく変化するといえる。

評価では、各機械要素起動時の消費電力の増加量より、各機械要素の消費電力を算出した。

4. 工具寿命の評価

つぎに、工具の耐摩耗性の評価を行った。実験では第2章で示したプリハードン鋼に対して、湿式および乾式で側面加工を行った際の工具摩耗について検討した。工具寿命は、逃げ面摩耗幅が0.2mmを越えるまでとした。加工長さは、工具1パスあたり150mmである。

湿式加工の場合、加工にともない摩耗が進行し、切削回数240回(加工時間225分)で工具寿命に達した。一方、乾式切削の場合、初期の段階で微小なチッピングが生じ始め、切削回数120回(加工時間113分)で工具刃先に欠けが生じ、工具寿命に達した。

5. インベントリ分析

以上の結果を基に、インベントリ分析を行った。本研究で扱うモデルは第2章で述べた製品形状、加工工程であり、1ヶ月あたりのCO₂排出量を算出した。製品の生産は1日8時間、1ヶ月あたり20日間行うこととし、工具および製品の交換時間も考慮した。また切削油の交換は、6ヶ月ごととした。CO₂排出量の原単位には、データベース、文献値や企業の公開情報を使用した²⁾。

図3は、湿式加工、乾式加工で1ヶ月生産したときの、CO₂排出量である。湿式加工の場合に、CO₂排出量は大きくなかった。加工方法がいずれの場合でも、マシニングセン

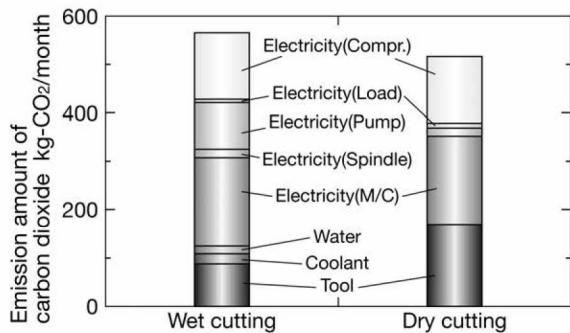


Fig. 3 Comparison of emission amount of carbon dioxide between wet and dry cuttings, for 1 month

タ稼働のための電力(アイドリング時の電力に相当)に起因したCO₂排出量が最も大きくなる。湿式加工の場合、切削油供給のためのポンプの電力と切削工具に起因したCO₂排出量が大きな割合を占める。一方、乾式加工ではポンプの電力による排出はないものの、工具消費量の増加から、その生産、廃棄に係る排出量が大きくなる。

以上の結果より、切削加工におけるCO₂排出量を見える化するとともに、切削油の有無によるCO₂排出量の主要因の変化を明らかにすることができた。

6. おわりに

本報では、切削加工工程におけるCO₂排出量の見える化およびその改善について検討するため、プリハードン鋼をミリング加工したときのCO₂排出量の算定を行った。これより、加工条件によるCO₂排出の主要因の変化を明らかにした。これらの要因は、加工条件や加工方法によって変化する。今後は、加工条件等によるその要因の変化についても、詳細に検討していく。

参考文献

- 1) <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>
- 2) たとえば、LCI データベース IDEA version 2.3.

キーワード：カーボンニュートラル、LCA、切削加工、CO₂排出量

Evaluation of environmental performance in cutting process for carbon neutrality

Functional Material Processing Section; Noritaka KAWASEGI, and
Product and Function Evaluation Section; Toshinao HASHIBA

Carbon neutral production is required in industrial field to correspond to environmental issues. In this study, emission amount of carbon dioxide in cutting process was evaluated. The measurement of consumed power indicated that the spindle, coolant pump and load of machining strongly affect it. The emission amount of carbon dioxide was calculated by LCA method, and indicated that factors causing carbon dioxide is different due to the machining method.