

平成 22 年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20760089

研究課題名（和文） マイクロバブルによる切削・研削加工環境の改善に関する研究

研究課題名（英文） Research on improvement of environment of cutting and grinding processing by micro bubble

研究代表者

二ノ宮 進一（NINOMIYA SHINICHI）

日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80453950

研究成果の概要（和文）：水溶性加工液は 90%以上が水なので腐敗しやすい。本研究では、マイクロバブルを用いた独自の水溶性加工液の浄化法を考案した。マイクロバブルによる細菌類の不活性化作用および液中懸濁物質の分離作用を実験的に明かにした。加工液使用量を低減できる加工液供給法とマイクロバブル発生装置をハイブリッド化し、環境調和型加工液システムを構築した。さらに、マイクロバブル化したマイナスイオン混入空気によって水溶性加工液腐敗臭の悪臭抑制にも成功した。

研究成果の概要（英文）：Water soluble coolant is perishable, because 90% or more is composed water. In this study, an original purification method using micro bubbles for the water soluble coolant was proposed. It was clarified experimentally that the actions of the inactivation of bacteria and the separation actions of suspended substances in the coolant by the micro bubbles. An environment-conscious coolant system was constructed with the combination of the method of decreasing coolant like a floating nozzle and the micro bubble. In addition, it was found that mixing a negative ion into the putrefied coolant for the micro bubbles controlled a bad odor of the coolant.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：機械工作・生産工学，精密加工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：機械工作・生産工学，材料加工・処理，環境対応，精密部品加工

1. 研究開始当初の背景

(1) 切削/研削液における問題点

製造業における部品加工では、加工液使用量の低減，加工品質の向上，および工具寿命の増大を目的とした研究が活発に行われて

いる。近年，切削加工では，環境への配慮から，ドライ化に向けた検討がなされ，一部実用に供されているが，研削加工では目づまりなどによりドライ化は困難とされ，従来は主に除去加工液成分に関する研究（環境に優し

い加工液の開発)が行われてきた。申請者らは、環境調和型研削加工を目的とした画期的な研削液供給法を開発し、研削液使用量の大幅な低減と加工特性の向上を実現してきた。一方、切削/研削液の腐敗、切屑除去、使用液の廃棄に対しては依然として課題が残されている。生産現場で多用される水溶性クーラント(切削/研削液)は、機械装置が稼働されない休日が続いた場合や気温が高く高湿度となる季節には腐敗が起きやすいと言われている。特に、量産工場ではクーラントが集中管理されることが多いため、腐敗の発生は極めて多量のクーラントの交換、廃棄とそれに伴う多額の経費を要することが問題となっている。また、通常、加工液は一定期間循環して再利用されるため、使用液に含まれる微細な切屑や砥粒屑、さらには機械油などの不純物を精密に過す必要があるが、液内の不純物を完全に除去することは極めて困難であり、加工性能の低下だけでなく、液の劣化を早める要因ともなっている。さらに、多量の加工液使用は微細なミストが発生することが多く、作業者の作業環境を悪化させる原因の一つにもなっており、これらの解決策が切望されていた。

(2)マイクロバブルクーラント法の提案

マイクロバブルは直径 50 μm 以下の微細な気泡で、水の浄化や部品の洗浄、物体と液体との摩擦抵抗低減などに応用する研究が一部実用化されている。申請者らは、このマイクロバブルに着目し、水溶性クーラント中にマイクロバブルを混入すれば、液が活性化されて加工液特性の向上に効果的であると考え、「マイクロバブルクーラント」を提案した。これまでに、各種加工特性に及ぼす効果を調査した結果、穴あけ加工、旋削加工および研削加工特性の向上効果を確認している。しかしながら、前述した液の腐敗の問題、使用液に含まれる不純物(切屑、砥粒屑)の浄化、作業環境に及ぼす影響等については未検討であった。

2. 研究の目的

本研究では、マイクロバブルクーラントに期待される水溶性加工液の浄化作用について明らかにする。まず、バクテリアによる水溶性加工液腐敗の問題解決について取り組み、マイクロバブルが細菌類の不活性作用に及ぼす効果を実験的に明らかにする。次に、液中の懸濁物質(微細切屑や油分)を積極的に除去することを目的として、マイクロバブルが持っている懸濁物質を加工液から分離洗浄する作用について効果を検討する。さらに、開発したマイクロバブル装置に、各種環境調和型加工液供給法等の機能を付与することによってハイブリッド化し、実用化に向けた取り組みを行い、作業環境に及ぼす影響

を調査する。

3. 研究の方法

まずは、除去加工に適したマイクロバブル発生方法について検討し、マイクロバブル発生方式の選定および装置開発を試みた。以下の特徴を持つマイクロバブル発生装置を、現有機もしくは市販品を改良して試作した。

- (1)直径が小さく、均一なバブルの発生
- (2)直径および発生密度の制御
- (3)バブル内気体の最適化
- (4)各種クーラントへの適用
- (5)装置の小型化、低価格化のため、低バブル発生圧力、低発生エネルギーの実現
- (6)懸濁物質(切屑等)混入液への対応

次に、マイクロバブルクーラントの腐敗防止特性調査を行った。意図的に腐敗させた水溶性クーラントにマイクロバブルを吹き込み、腐敗の改善効果を確認した。高温多湿条件下で、攪拌のみとマイクロバブル吹き込みで腐敗に対する効果を細菌の繁殖状況などにより確認した。また、数種のマイクロバブル発生装置にて実験を行い、効果発現理由について考察した。

また、マイクロバブルクーラントの加工液浄化特性調査として、既存の部品洗浄技術で用いられている効果を応用して、切屑除去効果や微細屑の浮上による加工液浄化効果を検討した。具体的には、加工液に混入するマシン油剤やスピンドル油剤などとの分離を試みた。

マイクロバブルクーラントを特に切屑処理が問題視される研削加工へ応用するため、申請者らが開発したフローティングノズル法と併用して環境調和型研削加工システムの構築を目指した。また、研削加工特性に及ぼす影響を調査するため、2, 3の研削テストを行った。

さらに、マイクロバブルの腐敗防止作用には、マイクロバブルが収縮、消滅する際に生じるフリーラジカルが起因していることを考察し、その結果を受けて、マイナスイオンを利用した腐敗水溶性加工液の悪臭抑制作用について検討した。

4. 研究成果

- (1)提案した「マイクロバブルクーラント」に期待される各種の特徴のうち、まずは、研削加工液(研削液)として使用した場合の「加工特性に及ぼす作用」について検討した。マイクロバブル発生方式として、安定的に微細なマイクロバブルが発生でき、簡便性、経済性、メンテナンスの容易性などの理由から、旋回流方式とベンチュリ方式を選定した。また、マイクロバブルクーラントが供給できるように加工液使用量の大幅な低減が期待できるフローティン

グノズルを改良した環境対応型供給ノズルを開発し、平均直径が20~50 μm の微細気泡が水溶性加工液中に多量に混入されること、ならびに必要な最小限の加工液を確実に研削加工点に供給できることを確認した。試作した研削液供給装置を用い、ステンレス鋼材を被削材としてWA砥石で平面プランジ研削実験を行った結果、窒素混入マイクロバブルクーラントを供給した本実験の範囲では、通常の研削加工液供給方法を使用した場合に比べて砥石摩耗体積量を15~30%程度抑制できることを確認した。

(2)水溶性加工液の腐敗の主要因と考える細菌の除去作用(除菌作用)について検討した。図1のように、あらかじめ細菌を発生させた水溶性研削液中でマイクロバブルクーラントを5~30分間循環させた後、細菌検出器によって採取したサンプルを37℃の恒温器内で24時間培養した結果、図2に示すように、加工液中に 1×10^6 個/ml存在していた細菌はほとんど消滅し、1ヶ月以上経過しても細菌が発生しないことを明らかにした。その効果発現理由について検討したところ、外気からバブルを供給する場合と、液中の溶解空気を使用す

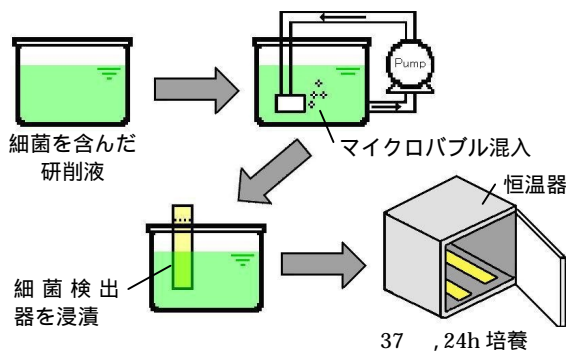


図1 細菌が繁殖した加工液を用いたマイクロバブルの細菌消滅作用の確認実験



(1)放置した研削液に浸漬後 (2)ポンプのみで循環した液 (3)マイクロバブルを混入した液

図2 旋回流方式による細菌の繁殖状況 (水溶性研削液: 1%, $Q=5 \text{ L/min}$, 細菌検出器: バイオチェッカ, マイクロバブル混入時間: 30 min)

る場合と比較し、この除菌作用は液中の溶解酸素量の影響を受けていないことを明らかにした。そして、マイクロバブル圧壊時に発生するフリーラジカルが細菌の不活性化に有効に作用していると結論付けた。

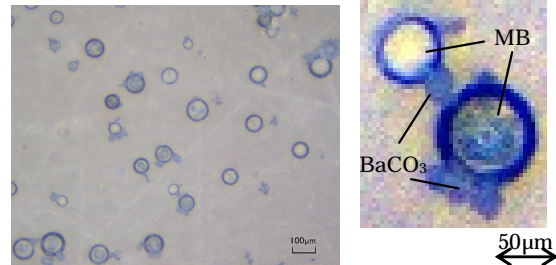


図3 マイクロバブルによる疑似微細屑の吸着状況の観察 (BaCO₃: 平均粒径0.1 μm)

(3)次に、クーラント内に浮遊する切屑や油分の除去作用について、主に水溶性研削液を対象としてマイクロバブルの効果を実験的に検討した。疑似的な加工屑として炭酸バリウム粉末(公称平均粒径0.1 μm)を水溶性液に混入して、CCDカメラで観察したところ、図3に示すように、マイクロバブルの周囲に付着してゆっくりと上昇してくることを確認した。この作用は、マイクロバブル自身が負の電荷を帯びていることに起因している。よって、マイクロバブルは加工液中の微細な切屑や摺動油を吸着して液面に浮上させて分離できる作用を持ち、加工液を容易に浄化できる効果があることがわかった。上記の結果により、本技術によって加工性能の向上は勿論のこと、加工液自身の浄化および長寿命化が可能であることが明確となった。

(4)上記の結果を受けて、上昇して凝集させた切屑や油分を容易に除去できるクーラントタンク構造について検討した。タンク内の水位を上昇させて懸濁物質を飽和除去する方式、強制吸引によって除去する方式、スキージを利用する方式、送風による凝集効率の向上など、複数の懸濁物質除去装置を試作した。いずれの方式も、液面上に浮上した懸濁物質を除去するのに有効であった。また、懸濁物質の除去処理の効率化を考慮すると、加工に使用する加工液量自身を少なくすることが有効であるため、当該申請者が考案したフローティングノズル法やフレキシブル導液シート法などの効果的加工液供給方法をマイクロバブルクーラント技術と併用する新しい環境に優しい加工技術を提案した。

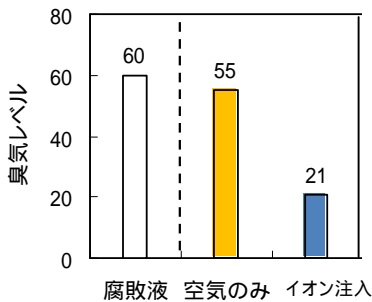


図4 マイナスイオンを混入した直後の腐敗加工液の臭気レベル
(腐敗加工液, 液温 18°C)

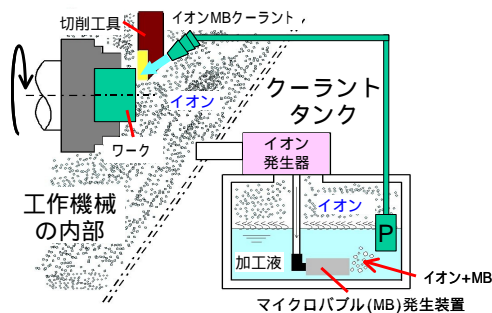


図5 環境対応型新工作機械の提案
(NC 旋盤への適用例)

- (5) 簡易イオン発生器によるマイナスイオンを用いた加工液の腐敗臭除去について検討した。加工液腐敗臭は、それ自身が悪臭を放つだけでなく、付着した加工機からも悪臭を放つようになる。図4に示すように、予め腐敗させた水溶性加工液にマイナスイオンを混入させることで、積極的に腐敗臭が抑制できることを明らかにした。このマイナスイオンをマイクロバブル化して容易に長時間滞留させることが可能である。また、加工機自身の腐敗臭抑制にも効果があることを確かめた。図5に示すような、新しいコンセプトの環境に優しい工作機械の開発に向けて指針を得ることができた。
- (6) 本研究成果は、加工液自身の長寿命化に繋がり、加工性能の向上、使用済み加工液の廃棄コストを低減させる。また、加工液に起因する腐敗臭も大幅に低減できるので加工従事者の作業環境も改善できる。したがって、当初の目的とした製造現場で問題となっている水溶性加工液の腐敗抑制に大きく貢献できることを見出した。
- (7) 実際の製造ラインでの検証が必要不可欠であり、今後の課題となった。本研究の結果を踏まえて、現在、マイクロバブルクーラント技術の実用化に向けた取り組みを、

国内の工作機械関連メーカーと共同で継続実施するに至っている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

S. Ninomiya, M. Iwai, T. Shimizu, T. Uematsu, K. Suzuki, Purification effect of micro bubble coolant, Advanced Materials Research, 査読有, Vols.76 - 78, 2009, pp.651 - 656.

二ノ宮進一, 岩井学, 鈴木清, 研削加工高度化のための周辺技術 - マイクロバブルクーラントおよび新しい研削液供給技術について - , 機械と工具, 査読無, Vol.53, 2009, pp.10 - 16.

[学会発表](計4件)

二ノ宮進一, 岩井学, 高野和義, 門田 拓也, 清水俊晴, 鈴木清, 家庭用イオン発生装置による水溶性加工液の腐敗臭抑制, 2009年度砥粒加工学会先進テクノフェア講演会, 2010.3, 大田区産業プラザ

二ノ宮進一, 岩井学, 清水俊晴, 鈴木 清, マイクロバブルクーラントの研削液浄化効果, 2009年度砥粒加工学会学術講演会, 2009.9, ものづくり大学

二ノ宮進一, 清水俊晴, 岩井学, 植松 哲太郎, 鈴木清, マイクロバブルクーラントの浄化効果, 2009年度精密工学会春季大会学術講演会, 2009.3, 中央大学

二ノ宮進一, 樊強, 清水俊晴, 西崎 匡, 岩井学, 植松哲太郎, 鈴木清, マイクロバブルクーラントによるステンレス鋼の研削特性, 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2008.9, 東北大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

二ノ宮 進一 (NINOMIYA SHINICHI)

日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80453950