

ファインバブルの工作機械への応用と効果



2024年4月2日

有限会社 OK エンジニアリング 代表 松永 大

1. はじめに

バブル(泡)は、古くから人々の暮らしの中にあるものでした。自然界では大きな泡から微細な泡(ファインバブル)まで生成され、存在しています。このファインバブルを意図的に多量に発生させると大きな効果があることが分かってきました。広島で赤潮対策のためにファインバブルを利用したところ、カキの生育を促進させました。このことが報道され、大きな話題を呼びました。これをきっかけにファインバブルへの関心が深まり、研究が進み、水産業や農業、医療、食品工業、化学工業、排水・水浄化などに応用されるようになりました。現状は応用技術が先行し、科学的解明が遅れています。特に生物活性化などのメカニズムは未解決です。

ここでは、ファインバブルの説明とファインバブルを発生させる「ループ流式 OK ノズル」を用いた、工作機械での応用事例と効果について紹介します。切削ものづくり現場で困っている問題を解決する手段として参考にしていただければと思います。

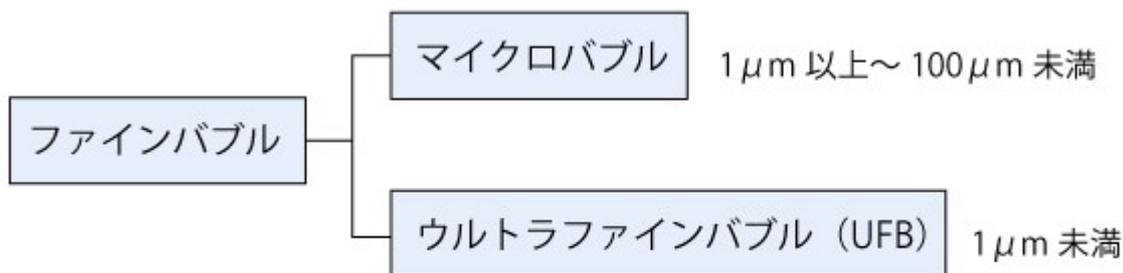
もくじ

1. はじめに
2. ファインバブルとは？
3. 工作機械でのファインバブル応用事例と効果
4. おわりに



2 ファインバブルとは？

ファインバブルとは、マイクロバブルとウルトラファインバブルの総称です。ウルトラファインバブル(UFB)とは、ナノバブル(NB)のことです。マイクロバブルはバブル径 $1\mu\text{m}$ 以上～ $100\mu\text{m}$ 未満、ウルトラファインバブル(ナノバブル)はバブル径 $1\mu\text{m}$ 未満であると国際規格で定義されています(参照:ISO 20480-1、2017 Fine bubble technology-General principles for usage and measurement of fine bubbles-Part 1, Terminology(ファインバブル技術-ファインバブルの使用と計測に関する一般原則-パート1:用語)2017.6.22)。



※ウルトラファインバブル (UFB) = ナノバブル (NB)

図 1: ファインバブルの分類

ファインバブルは、泡というよりも白い濁りに見えます。マイクロバブルは目視可能です。ただ、 $5\mu\text{m}$ 以下は、目視が難しくなります。水に含まれる気体の量によって濁りの濃さが変化します。例えば、加圧溶解タンクで十分気体を溶解させた水をノズルで噴射すると、牛乳のように真っ白になります(図 2)。給湯器からのお湯の方が、水道水よりも白く濁ります。これは水道水が暖められ、飽和状態に近くになるからです。

水に界面活性剤、油、アルコール等が添加されていると真水よりも多量のファインバブルを発生します。また、海水のように NaCl などミネラルが多く含まれているとより多くのファインバブルを発生します。これは、水に含まれる上記の物質がファインバブルの周りに集まりファインバブルの合体を妨げるからです。

工作機械のクーラント液の場合、水溶性クーラント液、油であっても多量のファインバブルが発生します。このことにより大きな効果を発揮します。



図 2: ファインバブルにより白濁した水槽

ウルトラファインバブル(ナノバブル)とは、サイズが小さいため肉眼では見えませんが、レーザービームを照射すると間接的に可視化できます。ループ流式 OK ノズルは、わずか 1ml 中に約 4 億個(4 億個/ml)のウルトラファインバブルを発生するのが確認できます。大気中の真水に含まれるバブルの寿命は数日です。浮き上がることなく水の動きに漂っています。保管状況が良いと、数カ月～1 年は存在します。

3. 工作機械でのファインバブル応用事例と効果

工作機械は、使用する上で常に装置が最良の状態であることが求められます。そのために、日頃から綿密な確認や手入れをしなくてはなりません。切削に必ず発生する切屑の除去やクーラントタンクの洗浄などは、効率的な作業を行うための必要事項です。クーラント液にファインバブルを発生させると、加工を行う上で複合的な効果があることを説明します。

(1) アルミニウム構成刃先剥離効果

切削中の工具刃先は高温で、高圧がかかります。この時、切粉の一部がツール刃先に溶着して刃先に似た形状のものを生成させます。これを、構成刃先といいます。ファインバブルは、ア

ルミニウム加工時に生成する構成刃先を剥離し、構成刃先をできにくくしています。それにより切削条件に応じた面粗度を確保でき、アルミニウム加工時の不良率を大幅に下げることができています。

構成刃先ができにくくなるメカニズムは以下のことが考えられます。ファインバブル噴射衝突時の破裂の衝撃波、及び切削時の刃先は 800°C 近くになるのでファインバブルが刃先部に接触した時、急激な熱膨張により破裂した衝撃により構成刃先を剥離します。また、ファインバブルによる刃先の放熱効果もあります。ファインバブルが熱膨張し、切り刃部に構成刃が生成しにくい空間を連続的に作っていることも考えられます。

自動車業界では、自動車の軽量化のため、アルミニウム部品が増えています。今後、アルミニウム製品の加工不良率を下げるため、ファインバブル発生ノズルが工作機械に常備されることが予想されます。

(2) 小型金型研磨時間短縮

端子金型のような小型金型を作成する上では、精密な切削、研磨が必要とされます。この金型の研削加工事例では、切り込み量は通常 4 μm でしたが、ファインバブルの研削液を使用することで 7 μm にすることが可能になりました。このメカニズムは、ファインバブルの破裂の衝撃波によって砥石に付いた切粉を除去し、常に砥石の切り刃が確保されているからだと考えられます。ファインバブルの発生条件や研削条件を工夫することで、加工時間を大幅に短縮できる可能性があります。



図 小型金型用研磨盤クーラント油が透明から乳白色に変化

(3) シリコンウエハーの超超鏡面研磨

シリコンウエハーとは、半導体を構成する部品素材です。普段生活する上ではほとんど目にすることがありませんが、あらゆる電子機器に採用されています。名称どおりシリコンから作られており、素材形状は薄い円盤状をしています。表面が厳密に平坦になるよう加工されており、この加工がシリコンウエハーの性能に大きく関係しています。従って、より滑らかな面粗度が年々要求されます。鏡面研磨とは、微細な砥粒によって工作物の表面の凹凸を均一に仕上げる加工のことをいいます。一般的に面粗さ Rz200nm 以下になると、鏡のように曇りのない面を作れます。超超鏡面研磨になると面粗度がさらに細かくなります。シリコンウエハーの厳密な平坦さを得るために、超超鏡面研磨が取り入れられています。この超超鏡面研磨にファインバブルを使用することにより大きな成果がありました。現場技術者からは以下の報告が上がっています。

- ・面粗度を上げるため数種類の対策をしましたが、要求される面粗度ができませんでした。しかし、シリコンウエハーの超超鏡面加工にファインバブルを使用し、簡単に要求される鏡面がクリアできました。
- ・研削液配管途中にファインバブル発生用 OK ノズルを設置し、合格品が供給できることになりました。大変喜んでおります。

ファインバブルによって質の高い鏡面研磨加工ができるメカニズムは、ファインバブル破裂時の衝撃波によって砥石に付着している切粉が剥離され、砥石の切り刃が常に確保されていること、また、ワーク上の研削切粉が洗浄されていることで必要面粗度が得られたものだと考えられます。



図 3: シリコンウエハーの鏡磨加工に使用の FB 発生装置 60LOK ノズル

(4)クーラントタンクの清掃と液の浄化等の効果

クーラントタンクとは、工作機械に常備されている冷却に用いる容器をいい、タンクに入っている液体をクーラント液といいます。クーラント液は、加工時に発生する熱を冷却し膨張を防ぎます。そのことにより、加工精度を維持して寿命を延ばすこともできます。

このクーラント液にファインバブルを利用することで、バイオフィルム除去、潤滑油の浮上分離、水溶性クーラント液の腐敗防止と悪臭抑制、クーラント液温度上昇抑制に効果があるのが分かり、利用され始めました。その利用例を4つ紹介します。

①バイオフィルム除去

バイオフィルムとは、水の入ったタンク内面に発生する微生物により形成されるヌルヌルした物質です。ファインバブルは、バイオフィルムの発生を抑制し、除去することが出来ます。また、ファインバブルはマイナスに帯電していますが、水面に浮遊するごみや水中に沈んだごみでも、比重が1に近いとプラス・マイナス電荷に関係なく付着、吸着する特徴があります。魚貝類の大型水槽では、壁面に付着したバイオフィルムを除去し、ごみなどに吸着し浮上分離するので、水槽清掃のために用いられています。この清掃方法は、自動車部品を扱うアルミ加工工場などでも利用が始まっています。ファインバブルは、クーラントタンクの壁面のバイオフィルムとともに付着したアルミ微粉の除去も可能です。

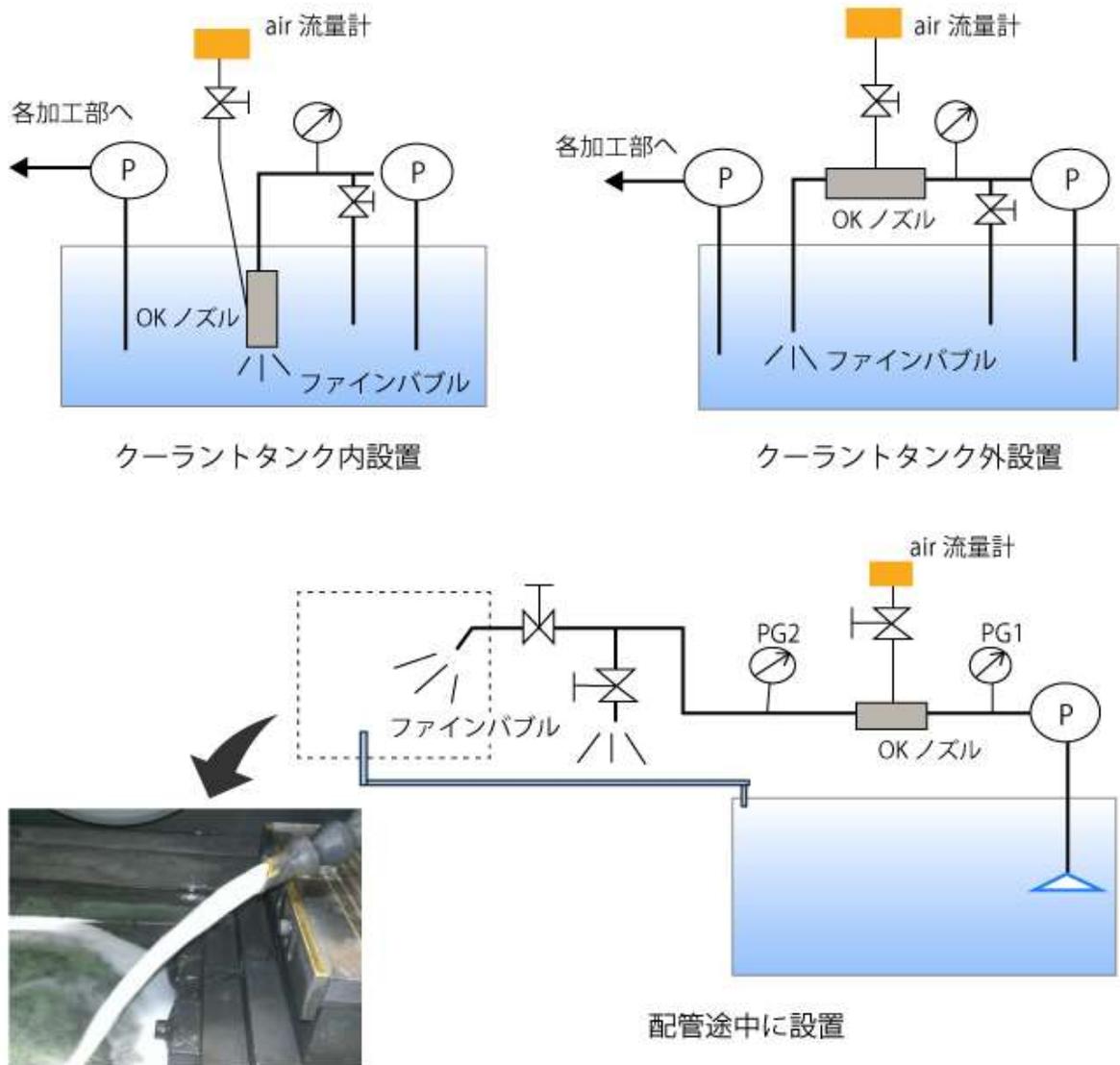
②潤滑油の浮上分離

工作機械の加工時、クーラント液に潤滑油が混じっている場合、切削の際に刃物が滑るなどの恐れがあります。ファインバブルは、クーラント液に混じった潤滑油を浮上分離させてあらかじめ除去します。マシニングセンター(複数の刃物を自動で交換でき、NCのプログラミング制御に従って穴開けや平面削りなどを1台でこなせる工作機械)の加工などにも用いられています。

③水溶性クーラント液の腐敗防止と悪臭抑制

クーラント液は、使用に伴って特に夏場は悪臭も発生させます。悪臭を抑えるには、好気性の菌など微生物を利用すると効果的です。ファインバブルは、タンク内の溶存酸素を上げて好気性微生物を活性化させます。それにより悪臭を抑えることができます。

以上の3つは、クーラントタンクの内面を清掃するとともにクーラント液も浄化します。これらを実施する場合、ファインバブル発生ノズルをクーラントタンク内、もしくは配管途中に設置することが効果的です(図4)。



※OKノズルとは、ファインバブルを発生させる機器の商品名です。

図 4:クーラントタンクのファインバブル発生ノズル設置例

④クーラント液温度上昇抑制

クーラント液内でファインバブルを発生させると液温度上昇をある程度抑えることができる。このメカニズムはシンプルである。上記したように切削時発生する熱をクーラント液で冷却するとともに液中のファインバブルが切削で高温になった刃先から熱を奪い、膨張破裂し熱を大気中に放出する。また、タンク内でファインバブルがクーラント液の熱を奪い液面で破裂し、大気中に熱を放出する。このことによって、液温が下がるとともに刃物寿命も延びる。

また、工作機械の熱変位を抑えることもできる効果があるので、加工精度の安定化に寄与できます。

4. おわりに

以上がファインバブルと工作機械の関係についての説明ですが、いかがでしたか？この事例でも明らかなように、ファインバブルは様々な産業において根底から支える基盤的技術となる日が近いかも知れません。また、河川や湖沼、海洋の汚染など環境問題に対するファインバブルへの期待も大いに高まり、活用され始めています。

しかし、前述のとおりファインバブルの効果については、そのメカニズムが科学的に解明されていないものもあります。特に生物活性化のメカニズムの解明は急務となっています。

ちなみに、本文に掲載した工作機械の事例の内容は、全て私たちが開発した「ループ流式OKノズル」を使用した応用事例です。今後、この技術がみなさまのご支持、ご協力の下に地球環境に優しい技術(SDGs)の1つとして世界中に普及することを期待しているところです。

以上

SDGs 認証マーク

ループ流式ファインバブル発生OKノズルはFBIA（一般社団法人ファインバブル産業会）のSDGs 認証を取得しています。

「SDGs001、」は、当社がSDGs 認証一番目であることを示します。



FBIA

RUM0016

SDGs0001

