

■技術名

マイクロ・ナノバブル発生器

[著者] 清水 友佑 エンジニアリング事業部 流体テクノ部 製品開発グループ

技術の

芽

研削液への マイクロ・ナノバブル技術の応用

[展開性・目指す方向性]

研削液の安定維持(腐敗・臭気抑制、混入油・微細切粉浮上分離)、
工具寿命向上、加工効率アップ

日本発の革命的な技術であるマイクロ[※]・ナノバブル[※]は、様々な産業において活用が進んでいます。

加工分野においてマイクロ・ナノバブルを用いると、研削液の安定維持や、

研削砥石などの工具寿命向上、加工面品位向上が可能との研究結果が報告されており、

一部研削盤メーカーでは加工能率の大幅アップを達成した製品も実用化されています。

ノリタケでは、多孔質セラミックを用いたマイクロ・ナノバブル発生器の開発を行っており、

研削砥石・研削液濾過装置と組み合わせて環境改善と加工性能向上の両立に取り組んでいます。

日本発の技術

「マイクロ・ナノバブル」の活用

マイクロ・ナノバブルは日本で開発された技術です。マイクロ・ナノバブルの産業利用は、水へ気体を供給する用途で多く実用化されています。例えば排水処理における曝気工程(排水を分解する微生物へ酸素を送る処理)では、微細な気泡を使用することで処理効率が上がり、気体を送り込むブロー設備に要する電気エネルギーの削減に役立っています。魚介類の養殖においても利用されており、気体供給の効率化、魚介類の酸素吸収促進によってサイズアップ・鮮度向上を図っています。

また、微細な気泡が汚れに吸着・剥離する効果を利用した、工業用の洗浄装置や、一般家庭向けにも体の汚れが落ちやすくなるお風呂・シャワー、洗浄効果を高めた洗濯機が市販されています。機械加工においても加工能率向上、工具寿命向上などの効果が期待されています。

マイクロ・ナノバブルの性質

100 μm 以下の微細な泡をマイクロバブル、1 μm 以下になるとナノバブルといいます。

大きな泡は、発生すると速やかに浮上し液面ではじけて消えてしまいますが、マイクロ・ナノバブルのような小さい泡になるとその挙動が変わってきます(図1)。マイクロバブルの

図1 マイクロ・ナノバブル発生の様子



状態になると、例えば水に発生させると白く濁ったように見えます(図2左)。泡の浮上速度は非常に遅くなり、マイクロバブルが液面に浮上して消えるまでには数分かかります。ナノバブルまで小さくなると、人の目では存在が確認できず、見た目

図2 マイクロバブルとナノバブルの違い

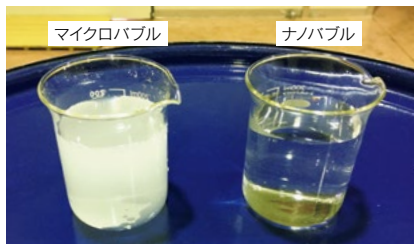
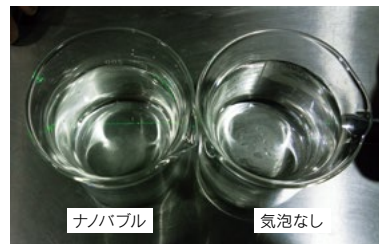


図3 レーザー光によるナノバブルの可視化



にはただの水と変わらないように見えますが(図2右)、レーザーを使った微粒子の測定手法を用いると泡の存在が確認できます(図3)。ナノレベルの泡は浮上速度が極めて遅く、液体中に停滞する性質があります。そのため、発生させた泡を数日経過してから計測しても、泡の個数が変わらないといったことも確認されています。

また、目に見える違い以外にも、泡がマイナスの電荷をもっていて、泡が小さくなるにつれて電荷も大きくなっていくといった特徴があります。

マイクロ・ナノバブルを発生させる代表的な方式には以下の4つがあります。

①エジェクター方式

エジェクター(ベンチュリー効果で負圧を発生させる配管)で少量の気体を吸引し、液体と混合して噴射する方式です。

②旋回流方式

液体サイクロンのように偏心位置から円筒内に液体を流入させて旋回流を作り、中心の渦流を小さい穴から噴射し強いせん断力を与えることで微細気泡を生成させる方式です。

③加圧溶解方式

液体と気体を加圧状態で混合して溶解し、その後減圧状態に解放し溶存気体を微細気泡として析出させる方式です。

④微細孔方式

樹脂や焼結金属、セラミックなどで微細な孔を形成し、そこから気体を放出する方式です。

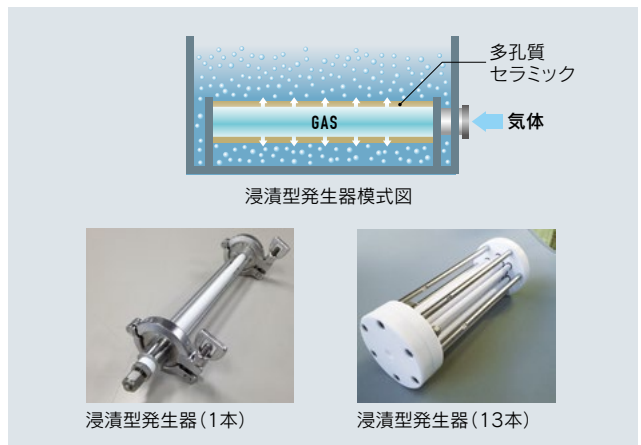
ノリタケでは、自社のコア技術であるセラミック製造手法の活用、研削液濾過装置への組込みの容易さ(設置方法、コスト)から、多孔質セラミックを用いた微細孔方式発生器の開発に取り組んでいます。

ノリタケ製マイクロ・ナノバブル発生器のメカニズム

ノリタケで開発製造している多孔質セラミックは管状に成形され、膜面の気孔サイズが均一に制御されています。膜面に一定の圧力をかけることで液中へ微細な気泡を放出できます。材料には純度の高いアルミナを使用しており、強度・耐薬品性に優れます。

微細気泡を発生させる発生器には、1浸漬型と2インライン型の2種類があります。

1 浸漬型

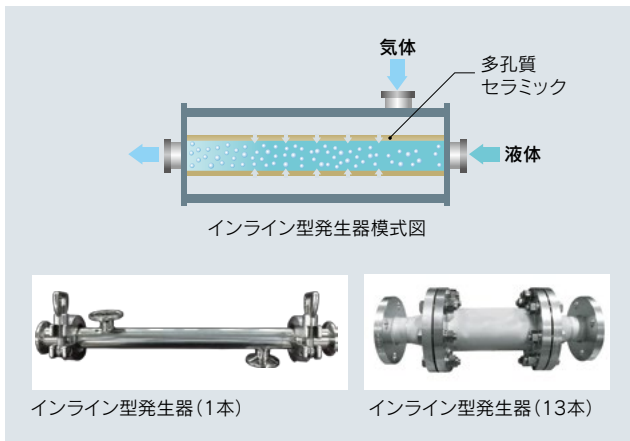


多孔質セラミックの内面へ気体を供給し、外面へ微細気泡を放出させる発生器です。容器、タンクの底面に設置して使用します。気体の供給源を準備して発生器に繋ぐだけで使用できますので、設備の改造が不要で容易に導入できます。

表1 マイクロ・ナノバブル発生方式と長所、短所

①エジェクター方式	長所	・発生器の構造がシンプルでメンテナンスが容易 ・気体の供給源が不要(自吸可能)
	短所	・添加できる気体流量が少ない ・使用には高揚程(20mH以上)のポンプが必要
③加圧溶解方式	長所	・得られるマイクロ・ナノバブルの数密度が高い
	短所	・構成機器点数が多い (ポンプ、溶解管、圧力調整弁等)
④微細孔方式	長所	・気泡発生にポンプなどの動力が不要で最も導入が容易 ・水以外の粘度の高い液体への気泡発生が可能
	短所	・気泡径分布が比較的大きい

2 インライン型



浸漬型とは逆に、外面より気体を供給し、多孔質セラミック管内を通過する液体へ微細気泡を発生させる発生器です。液体の移送配管に取り付けて使用します。管内面から発生する微細気泡を液流で剥ぎ取りますので、浸漬型と比べてより微細な気泡が得られます。また、油性研削液のような粘性の高い液体への気泡発生にも使用できます。

浸漬型、インライン型ともに、多孔質セラミックを複数本組み込んだ発生器も製作でき、必要な処理能力に合わせて最適な本数を選択することができます。

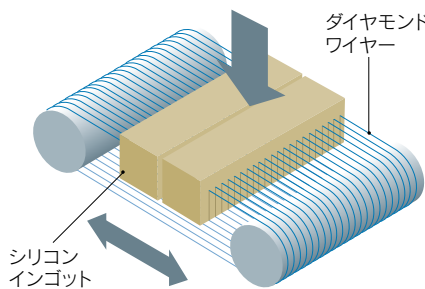
臭気抑制や異物の浮上分離など研削液の安定維持を目的とする場合はタンク内へ常に大量の気泡を発生できる浸漬型が適しており、工具寿命延長や加工性向上など加工点へ確実に微細気泡を送り込む必要がある場合はインライン型が適しています。

加工分野への応用事例

金属加工分野では、大学のグループが水溶性研削液へのマイクロ・ナノバブルの応用研究について取り組んでいます。^[1]

また、マイクロ・ナノバブル発生器を搭載した高能率研削盤もいくつかの研削盤メーカーから製品化されています。^[2]

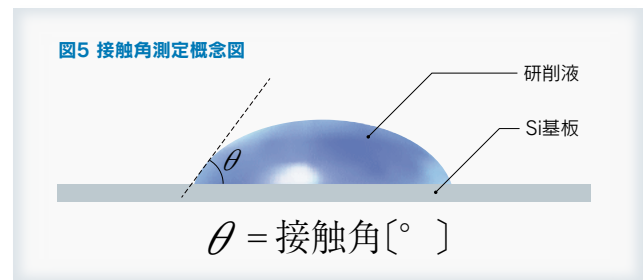
図4 ダイヤモンドワイヤーによる切断イメージ



ノリタケでもテスト検証を進めており、本報ではダイヤモンドワイヤー*を使用するシリコンインゴット切断工程(図4)への適用

検討事例をご紹介します。ダイヤモンドワイヤーによるシリコン切断では、③ワイヤーの細線化への対応のためワイヤーとシリコンの隙間に研削液を上手く浸透させることと、⑤加工により生じるシリコン切り屑のワークへの付着軽減が課題となっています。マイクロ・ナノバブルによってこれらの課題を解決できるか、検証を行いました。

③浸透性の評価は、表面張力の変化を見るためにシリコン板上での研削液の接触角を計測しました(図5)。マイクロ・ナノバブルなしの状態では10回測定時の平均値が14.8°でしたが、微細気泡発生後の研削液で同様の測定を行うと5.6°に低下しました。マイクロ・ナノバブルの持つマイナス電荷によって、シリコンへの濡れ広がりがよくなったものと推測します。実際の加工へ適用した場合、シリコン切断面への研削液浸透性向上によってダイヤモンドワイヤーの寿命向上、細いダイヤモンドワイヤーを使用した場合の加工性向上が期待できます。



⑥シリコン切り屑付着軽減については、切断加工後のシリコン微粉を混ぜた研削液をステンレス板に流下させた後に乾燥させ、粒子の付着状態を確認しました(図6)。目視により確認すると、マイクロ・ナノバブルを発生させた方がシリコンの付着が少ない結果となりました。実際の加工現場では、ダイヤモンドワイヤー装置ワーク内の汚れ低減、切断面からの切粉排出促進による表面粗さ向上が期待できます。

図6 シリコン付着確認



これまで行ったテスト検証の結果として、加工分野におけるマイクロ・ナノバブルの応用には以下の効果を期待できる

ことが分かりました。

▶加工サイクルタイムの短縮

研削時の消費電力値が下がりますので、切込み量やワークの移動速度を上げることができ、加工時間が短くなります。

▶加工面性状の改善

マイクロ・ナノバブルによってワークと研削砥石の間から砥粒・切り屑の排出が促進されるため、加工後の表面粗さが細かくなります。

▶研削工具寿命の向上

研削液の浸透性が高まるため、研削抵抗が下がり砥粒の脱落が抑えられ、研削砥石等の研削工具が長持ちします。

▶研削液の臭気抑制

研削液の嫌な臭いのもととなる嫌気性バクテリアの繁殖を、マイクロ・ナノバブルを発生させ続けることによって抑制でき、研削液の長寿命化が図れます。

▶混入異物の浮上回収

一般の濾過装置では除去できない油分や微細な切り屑にマイクロ・ナノバブルが吸着して浮上させるため、簡単に回収することができます。

マイクロ・ナノバブルによる
新たな加工技術を皆様へ

ノリタケはマイクロ・ナノバブルを使った研削に適する砥石の開発、マイクロ・ナノバブル発生器を組み込んだ研削液濾過装置の開発に取り組んでいます。加工条件によって効果の大小があるため、最適条件の見極めが課題となっておりますが、研削砥石・研削液・濾過装置を全て取り扱う研削・研磨の総合メーカーとして、技術を確立し、加工分野に携わる皆様へ広く製品をお届けしたいと考えています。

■適用範囲と期待効果

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●		●		●
サイクルタイム短縮	工具寿命向上	加工品質向上	作業性改善	環境配慮
●	●	●		●

[注釈]

※マイクロ：1μm(マイクロメートル)は1mの百万分の1の長さ

※ナノ：1nm(ナノメートル)は1mの十億分の1の長さ

※ダイヤモンドワイヤー：太陽電池用ウエーハ(基板)に使用されるシリコンやLED基板に使用されるサファイアなどの各材料をスライスするのに使用される工具

[参考文献]

① FT専門委員会 第26回研究会・セミナー「高機能マイクロ・ナノバブルの生産加工への最新応用事例」講演資料

[社外発表]

FT専門委員会 第26回研究会・セミナー「高機能マイクロ・ナノバブルの生産加工への最新応用事例」

[特許(出願中)]

・2016-011680 微小気泡発生具および装置

・2016-055834 微小気泡発生装置

・2016-055841 微小気泡発生装置

Q 使用する場合、取り付けるために大掛かりな改造工事が必要でしょうか？

A 浸漬型発生器は、コンプレッサーやガスボンベなど気体の供給源さえあれば研削液タンクに設置するのみで使用できます。インライン型を使用する場合には、研削液供給ポンプから加工点ノズルまでの配管経路の改造が必要ですが、ホース等での接続も可能ですので大掛かりな工事は必要ありません。

Q 試してみたいと思うのですが、装置はテスト的にお借りすることはできますか？

A 小型の貸出器を保有していますので、現場に持ち込み実証試験を行うことが可能です。

Q マイクロバブルとナノバブルに効果の違いや、向き不向きなどはあるのでしょうか？

A 研削液中の異物除去、バクテリア繁殖抑制といった用途にはマイクロバブルの利用が適しています。加工能率向上、工具寿命延長、表面粗さ向上にはナノバブルの効果が大きく貢献していると考えていますがメカニズムは十分に解明できておらず、ノリタケでも継続して研究を行っています。

