

旋回型マイクロバブル発生ノズルの開発

システム情報工学研究科 京藤敏達

1. はじめに

旋回型マイクロバブル発生装置は大成(2000、[1])により発明され、マイクロバブルの特性と併せて研究が進められてきた。このような中で、我々は2005年にマイクロバブルの研究を始めた [2]。その動機の1つは、「水が白濁するほどであれば、気体の溶解速度や効率が非常に高いに違いない」という思い込みであった。現在では、気体溶解にマイクロバブルを使用することは、エネルギー的に非効率であることが判明している。

一方で、以下で紹介するように、マイクロバブルが意外なところに応用されることもあり、研究の工学的な目標を明確にし過ぎると、最近良く言われる社会貢献の幅を逆に狭くすることも理解できた。

本ノートでは、直径が数十 μm 程度である気泡を旋回流によって生成する方法およびマイクロバブルの工学分野への応用について紹介する。

2. マイクロバブルの工学分野への応用

まず、気泡の物理的な特性について述べ、次にその特性を工学に応用することを考える。

気泡の物理的な特性としては、①気体溶解、②泡沫浮上、③圧力吸収が挙げられる。

①気体溶解については、水処理場や湖沼で気泡を使用する場合に微細気泡である必要が無く、気泡を微粒化する際に多大のエネルギーを要するため効率が極めて低いことが問題となっている。

②泡沫浮上は、液中の固形物に気泡を付着させて浮上させるため、気泡よりも小さな物を浮上さ

せることは難しい。

③圧力吸収では気体の圧縮性を利用するため、低減対象である圧力波の代表的な周期が気泡の固有振動周期よりも長いことが必要である。

結果的に、上記の②および③では、気泡が小さい必要があり微細気泡が有効であることが分かる。例えば、泥水処理で対象となる固形物の大きさは数百 μm 、また水銀中の熱衝撃波の代表周期は数 μs となる。これらに要求される気泡径は数十 μm 程度であり、本ノートでは、これをマイクロバブルと呼ぶことにする。

3. 旋回型マイクロバブル発生ノズル

写真1に我々が開発したマイクロバブル発生ノズルを示す(京藤ら、2005、[2])。ノズルは、写真左の旋回流ノズル(vane swirler)と右の渦崩壊ノズル(vortex-breakdown nozzle)から構成される。この左の旋回流ノズルは、砲弾形状の円柱に6枚のベーンが固定されており、その製作は工作部門に依頼した。また、右の渦崩壊ノズルはシステム情報工学等技術室にお世話になった。以下、液体お

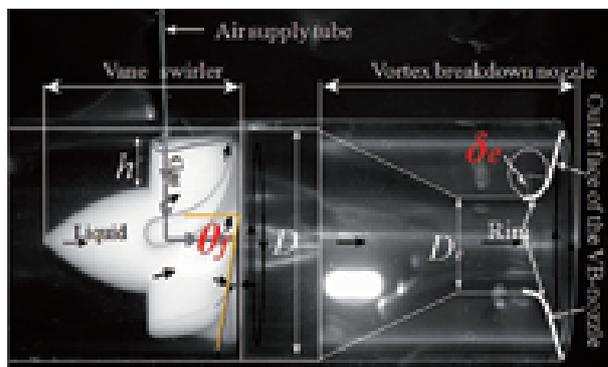


写真1 旋回型マイクロバブル発生ノズル

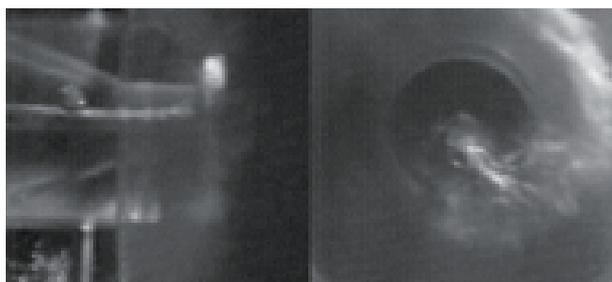


写真2 渦崩壊ノズル側面および前面写真

よび気体の流れとマイクロバブルの発生原理を説明する。ここで、渦崩壊とは、竜巻のように集中した渦の渦核が崩壊してバブル形状もしくはスパイラル形状になることをいう。

まず、写真1の左から液体が流入し、旋回流ノズルにより渦が形成され、縮流部で渦の伸長が起き、最後に渦崩壊ノズル全面で渦がスパイラル形状となる。また、気体は写真1のベーンの1つにある空気孔を通して砲弾部中心に供給される。写真2にマイクロバブル発生時の渦崩壊ノズル側面および前面の様子を示す。渦崩壊ノズル中心に円柱状の気柱が形成されており（側面図）、これが渦崩壊ノズル出口で旋回しながら砕け、微細気泡が生成されている。

キャビテーション気泡の崩壊で見られるように、低下下の気泡は高压に曝されることで破碎される。写真2でも同様の現象が起きており、第一に渦崩壊ノズルの縮流部により気柱の圧力が低下し、第二に渦崩壊ノズル出口の角を曲がる流れにより気柱圧はさらに低下、その後、気柱先端は外圧に曝され破碎されている。したがって、マイクロバブルを発生させるためには、このような流れを発生させるように設計することが必要となる。我々の研究の結果、本マイクロバブル発生ノズルで最も重要な部分は、写真1の渦崩壊ノズル出口の曲率半径 δ_e であることが判明した。

流体現象は非線形性が強いいため、装置のパラメータの値により現象が遷移し、その予測が難しい。

結果的に、写真1に示されるような簡単な装置であっても、そこに含まれるパラメータを試行錯誤の中で変化させ、実験を繰り返す作業が必要となる。研究開発を迅速に行うためには、工作部門や技術室の役割は非常に大きい。

4. マイクロバブル発生ノズルを組み込んだ機器

本マイクロバブル発生ノズルが製品化された例を紹介する。ただし、本ノートでは試作段階の写真を示すに留め、具体的な製品名については言及しない。

写真3はマイクロバブル発生ノズルをシャワーヘッド内に挿入したものである。このノズルは水道水圧でマイクロバブルが発生できるように、旋回流ノズルのベーン角 θ_f が決められている。同時に、写真2に示すように気柱が渦崩壊ノズル前面に張り付くように設計されている。



写真3 シャワーヘッド（左）
およびマイクロバブル発生ノズル(右)[3]

写真4は水銀チャンネルに組み込む微細気泡発生ユニットである。1つのマイクロバブル発生ノズルの内径は31mmである。水銀チャンネルに組み込まれているポンプの能力から、マイクロバブル発生ノズルの抵抗は、写真3のシャワーノズルの1/40

程度にすることが必要であった。この場合は、旋回流ノズルのベーン角 θ_f を小さくし、渦崩壊ノズルの口径 D_e を大きくすることで、写真2に示す流れを発生させることができる。



写真4 水銀チャンネル用
マイクロバブル発生ユニット[3]

以上のことから、マイクロバブル発生ノズルを応用する際には、マイクロバブル発生原理の解明、原理に基づいたノズルの設計が必要であることが分かる。

5. まとめ

本マイクロバブル発生ノズルを開発する段階で重要であったことは、工作部門に旋回流ノズルの製作を引き受けて頂いたこと、および、システム情報工学等技術室に多数の渦崩壊ノズルを製作して頂いたことである。研究では未知の内容を対象とするため、試行錯誤およびその迅速な確認を行わないと前に進むことはできない。

最後に、本研究をご支援いただいた方々に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- [1] 大成、旋回式微細気泡発生装置、PCT/JP00/03089, 2000.
- [2] 京藤、松内、飯高、マイクロバブル発生装置、マイクロバブル発生装置用渦崩壊用ノズル、マイクロバブル発生装置用旋回流発生用翼体、マイクロバブル発生方法およびマイクロバブル応用装置、PCT/JP2005/021502、2005.
- [3] 株式会社エール・オー.