

特集1：増圧・高圧技術の現状を探る①
特集2：油空圧と教育②

油圧・空気圧技術雑誌

2011 **2**

619. Vol.50. No.2

油空圧技術

Hydraulics & Pneumatics

環境に配慮した 液だれ低減カプラ

NEW

気体・液体用 迅速流体継手

ステンレス製/真ちゅう製

ゼロスピルカプラ™

液だれ量：最大で96%減(当社製SPカプラTypeA比)



特集

増圧・高圧技術の現状を探る①

キャビテーションによる微粒化効果

高圧湿式微粒化装置におけるキャビテーションの有効利用

ナノマイザー(株) 廣瀬 倫孝・石原 恵子

Y1009-11
0914-6253/11/4500/論文/JCLS

1 はじめに

昨今キャビテーションによる乳化、分散、破碎を含む微粒化技術は広く応用され、多くの装置で用いられている。これらの代表的な装置としては次のものがあげられる。

- ① 高圧湿式微粒化装置
- ② 超音波微粒化装置
- ③ 高速回型微粒化装置

当社は、およそ30年前にキャビテーションによる微粒化効果に着目し、国内で一番早く高圧微粒化装置の開発に取り組んできた。

キャビテーションは、現象としては19世紀末に建造された駆逐艦デアリング号が予想された速度を得られないことから発見された。キャビテーションの典型的な現象として、船舶のスクリューから気泡が発生して激しい騒音を生じさせたり、その気泡が崩壊する際の衝撃によってスクリューに壊食(エロージョン、Erosion)を生じさせることはよく知られている。同様の現象は、低圧が生じるポンプなどの流体機械はもちろん、プラント配管や油圧機械等、流れの圧力変動が伴う個所で必ず発生する。このようにキャビテーションは、局所的に低圧が生じる場所で発生・成長し、再び圧力が上昇すると崩壊・消滅する。キャビテーションが崩壊・消滅する際、気泡の中心付近では局所的に、10ナノ秒程度の間、数千度、数千気圧数を超える高温・高

圧場となる。また、崩壊した気泡の周囲ではマイクロなジェット流や衝撃波が生成することも知られている。これらの作用に伴い、機械表面での壊食、振動・騒音、機械性能低下などが引き起こされる。

当社はこのキャビテーションが崩壊する際のエネルギー作用を逆にとり、これを応用することで効率のよい微粒化技術として利用することを発案した。すなわち、同じ圧力、流速下で如何に効率よくキャビテーションを発生させるかに視点を置き、新しい微粒化技術として開発を進めてきた。また、実用化、量産化を視野に入れ、キャビテーション発生装置としてノズル構造を採用することとした。所謂、高圧ポンプにより特殊なノズル(キャビテーション発生部位)を通過する際にキャビテーションを発生させる方式である。この構造は生産ライン等において、ライン上に組み込みやすく、量産化向きと考えたからだ。キャビテーションは当然ながら圧力や流速に依存するが、これらの要因は実用化においてコスト(ポンプ性能、消費電力、ノズル摩耗等々)と直結するものであり、他の要因の最適化により、より効率を上げることが重要であった。当社はこれらを踏まえ、キャビテーションを効率よく発生させるノズル構造を中心に開発を進めてきた。加えて、高圧・高速流体となりキャビテーションが発生・成長・崩壊する部位には単結晶ダイヤモンド等の超硬質の材料

を用いて、キャビテーションによる摩耗、および摩耗に伴う異物混入を最小限に留めることを可能とした。

本稿では、シリカの分散処理、および活性白土の破碎処理を具体的な微粒化例として取り上げ、微粒化効率に及ぼすノズル構造の影響について紹介する。

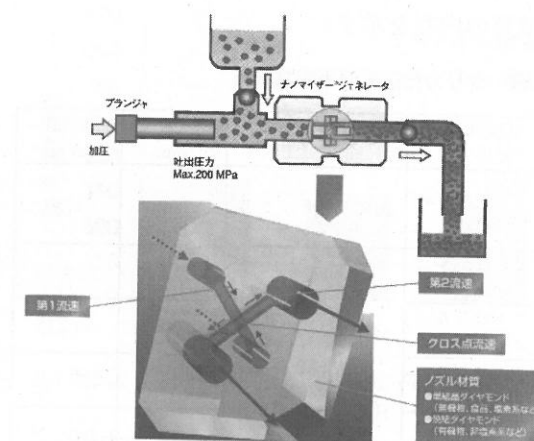
2 実験装置

実験装置として、当社の高圧湿式微粒化装置「ナノマイザー NMS-200L-D10」を用いた。写真1にナノマイザー卓上実験装置を示す。

ナノマイザーは、単結晶ダイヤモンドを主とする超硬質材料に微細な流路を形成したジェネレータに、プランジャーポンプで試料を押し流す。その際、高圧(最大200MPa)を発生させ試料を高速で押し流し、圧縮力、せん断力、衝撃力、摩擦力等のエネルギーに加えて、キャビテーシ



写真1 ナノマイザー NMS-200L-D10



第1図 ナノマイザー基本構造

オンを効率よく利用することで微粒化効率を高めている。第1図にナノマイザーの基本構造を示す。

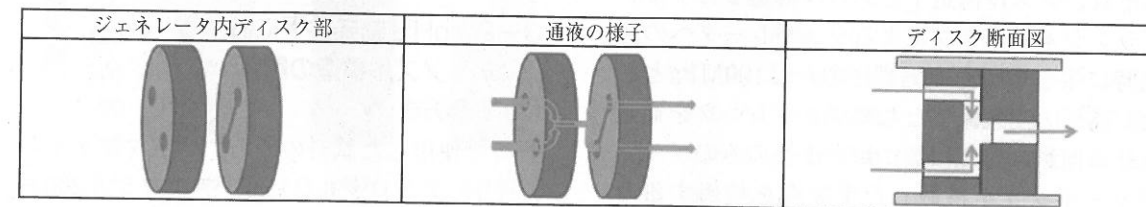
ジェネレータ内の高圧・高速流体が通過する部分には、ダイヤモンドを主とする超硬質の材料を用い、そこに直径30~400μmのノズルを形成させる。数種類のタイプがあるが、ここでは代表的な「衝突型」の構成について紹介する。衝突型のジェネレータのノズル部分は、2枚のディスクから構成されており、2枚のディスクを隙間なく組み合わせることで流路を形成させている。第2図に衝突型ジェネレータ内部のノズル構成図を示す。

3 シリカの分散処理におけるノズル構造の影響

3-1 各種シリカ試料の微粒化に対するノズル構造の影響

(1) 試験方法

実験試料は、アドマテックス社製および日本アエロジル社製のシリカを用いた。第1表に実



第2図 衝突型ジェネレータノズル構成

試験料の内容を示す。

第1表 シリカ分散処理用実験試料

実験試料 (製品名)	メーカー	一次粒子 (nm)	比表面 (m ² /g)
アドマファイン SO-C1	(株)アドマテックス	250	17.4
アエロジル OX50	日本アエロジル(株)	40	50±15
アエロジル 50		30	50±15
アエロジル 130		16	130±25
アエロジル 200		12	200±25
アエロジル 300		7	300±30
アエロジル 380		7	380±30

試験試料は、事前に160℃のオーブンで一晩乾燥し、デシケータにて放冷した粉末を使用した。これを、3.0vol%の濃度になるように精製水(和光純薬)に分散させ、1mol/L水酸化ナトリウム溶液(和光純薬)によりpH7に調整した。

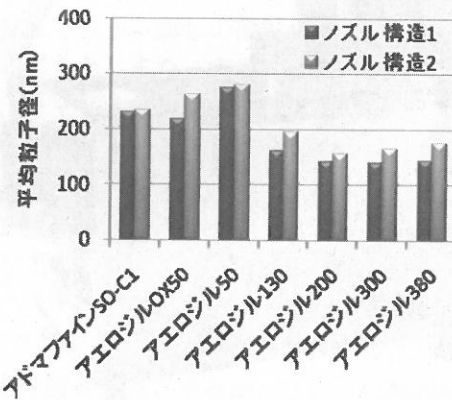
ナノマイザーで処理する前の予備解砕手段として、卓上型ボールミル(入江商会V-1ML)により予備解砕を行った。解砕媒体としてφ5mm、φ10mmのジルコニアボールを使用した。φ5mmのジルコニアボールは試料と同量入れ、φ10mmのジルコニアボールは、ボールミル容器を横に寝かせた時に縦1列に並ぶ個数とした。ボールミル回転数は60rpmとし、解砕時間は5時間とした。

ボールミル処理後、ナノマイザージェネレータ部を閉塞させる恐れのある粗大凝集粒子をナイロンメッシュにより取り除いた後、ナノマイザーによる微粒化処理を行った。ジェネレータはノズル構造の異なる2種類を用いた。それぞれ、ノズル構造1とノズル構造2とする。プランジャーポンプによるジェネレータへの送液時に生じる圧力(処理圧力)は100MPaとした。高圧・高速流体としてジェネレータを通過させる回数(処理回数)は、1機だけのプランジャーポンプを搭載した実験機を使用するため、3回処理とした。これは、プランジャーポ

ンプ1機のみでは、圧力の立ち上がり部分では100MPaに達さず、圧力が不安定なため試料の処理条件を平均化する目的で3回を設定している。試料の評価には、動的光散乱式粒度分布測定装置(Nano S、Malvern)を用い、平均粒子径(z-average)を指標に処理効果の比較を行った。

(2) 試験結果・考察

処理圧等の処理条件を統一し、ノズル構造の異なるジェネレータを用いて、各種シリカの微粒化処理を行った。第3図に平均粒子径の計測結果を示す。ノズル構造1のジェネレータを用いた場合、平均粒子径はいずれの試料においても、ノズル構造2のジェネレータよりも小さくなる傾向を示した。アドマファインSO-C1とアエロジル50におけるノズル構造の差はわずかとなっているが、全体の傾向としては、ノズル構造1の処理試料の方がノズル構造2の試料に比べ、平均粒子径が小さくなる結果となっており、その傾向は明らかであると考えられる。従って、ジェネレータのノズル構造の違いにより、微粒化効果が異なることは明らかである。



第3図 各種シリカの微粒化に対するノズル構造の影響

3-2 pH変動条件下におけるノズル構造の影響

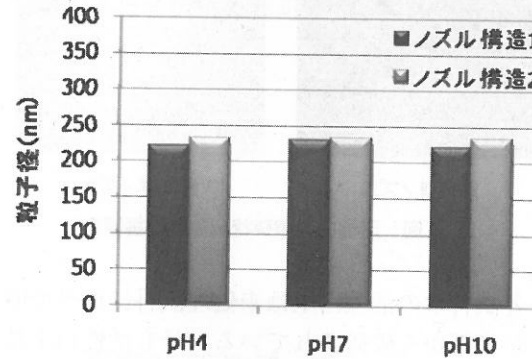
(1) 試験方法

3-1で使用した試料のうち、アドマファインSO-C1、アエロジルOX50、アエロジル200およびアエロジル380の4試料を対象とし、pHを

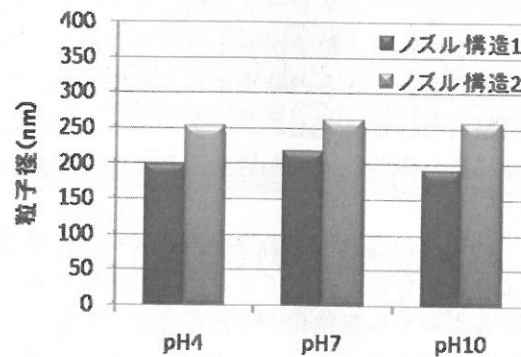
酸性側(pH=4)とアルカリ性側(pH=10)に変化させ微粒化効果に及ぼす影響について確認を行った。pH=4の調整は、1mol/L塩酸溶液(和光純薬)を用い、pH=10の調整は、1mol/L水酸化ナトリウム溶液(和光純薬)を用いた。その他の操作は、3-1と同様に行い、各pHにおける各ノズル構造の粒子径を確認した。

(2) 試験結果・考察

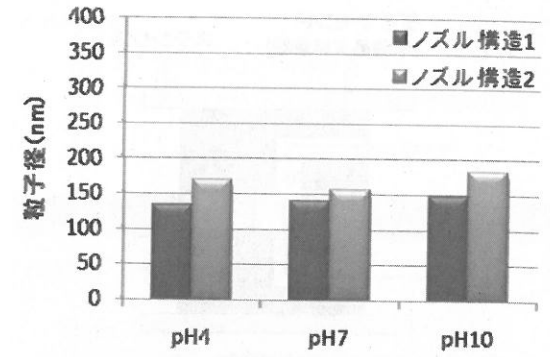
pH変動条件下において、同様に100MPaに処理圧を統一し、ノズル構造の異なるジェネレータを用いて処理を行った。第4図~第7図に平均粒子径の計測結果を示す。pHの値にかかわらず、すべての試料において、ノズル構造1のジェネレータで処理した試料は、ノズル構造2のジェネレータよりも平均粒子径が小さくなる傾向を示した。従って、pH変動条件下においてもジェネレータのノズル構造の違いにより、微粒化効果が異なることが確認された。



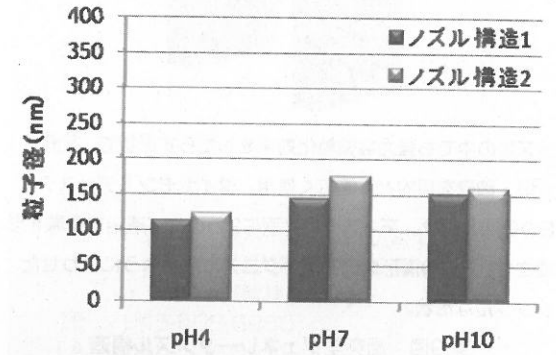
第4図 アエロジルSO-C1 (1次粒子径250nm)



第5図 アエロジルOX50 (1次粒子径40nm)



第6図 アエロジル200 (1次粒子径12nm)

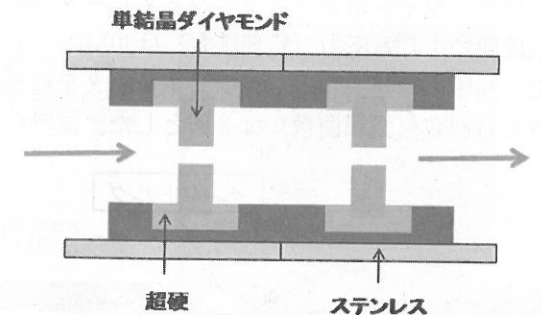


第7図 アエロジル380 (1次粒子径7nm)

4 活性白土の破碎処理におけるノズル構造の影響

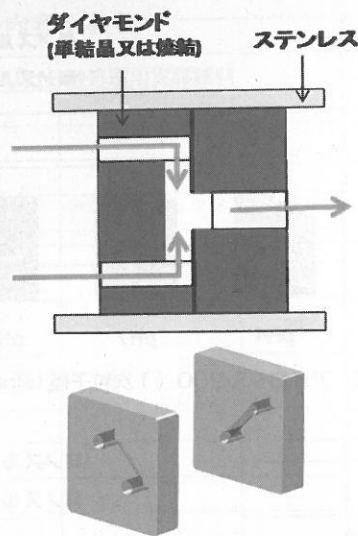
(1) 試験方法

植物油の脱色に使用される活性白土の破碎を例にとって示す。活性白土を植物油中に3%添



2つのオリフィスを通過させる構造になっており、イン側とアウト側のオリフィス径は異なっている。両オリフィス前後でキャビテーション効果を含む微粒化作用が発生する。主に乳化・分散に使用。

第8図 貫通型ジェネレータノズル構造



ノズルの中でも強力な微粒化効果をもたらす形状で、乳化・分散・破碎を目的とし幅広く使用。ダイヤモンドディスクに2つの穴を設け、ディスクの片面に2つの穴に連結する溝を形成させ、2枚の溝形成面を溝がクロスになるように合わせたシンプルな形状。

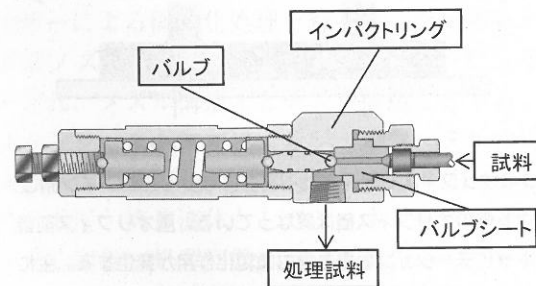
第9図 衝突型ジェネレータノズル構造

加し、微粒化処理を行った。ジェネレータ部分には構造の異なる3種類のノズルを使用した。

- ① 貫通型ノズル (第8図)
- ② 衝突型ノズル (第9図)
- ③ ホモバルブ (第10図)

なお、ホモバルブは高圧ホモゲナイザーに使用される一般的な構造のものを使用した。

プランジャーポンプによるジェネレータへの送液時に生じる圧力(処理圧力)は30MPaとした。高圧・高速流体としてジェネレータを通わせる回数(処理回数)は3回とした。試料の

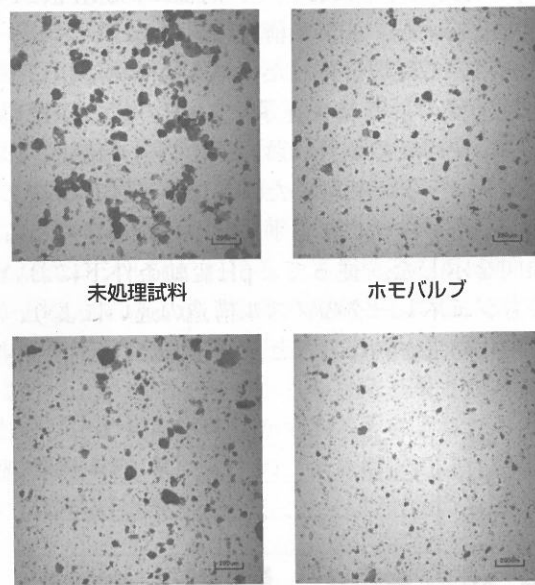


第10図 ホモバルブ構造

評価には、レーザー顕微鏡(OPTELICS H1200、レーザーテック)を用い、顕微鏡観察における活性白土粒子の大きさを指標に処理効果の比較を行った。

(2) 試験結果・考察

30MPaに処理圧力を統一し、ノズル構造の異なるジェネレータを用いて処理を行った。第11図に顕微鏡観察結果を示す。



第11図 活性白土破碎状況の顕微鏡観察

各試料中の活性白土は未処理試料に比べて明らかに細かく破碎されている。最も活性白土粒子が細かく破碎されたのは、衝突型ノズルのジェネレータであった。続いて、ホモバルブ、貫通型ノズルのジェネレータの順に大きなまま残っている活性白土粒子が多くなっていることが確認された。これらの結果より、前項3のシリカの検討と同様にジェネレータのノズル構造の違いにより微粒化効果が異なることが確認された。

当社製品の貫通型と衝突型のノズルは、用途により使い分けを行っており、比較的緩やかなエネルギーでも微粒化が可能な乳化・分散には主に貫通型のジェネレータを用い、さらに強力

なエネルギーで微粒化が必要な場合には衝突型のジェネレータを用いている。このように目的に応じてジェネレータを使い分けることも可能である。

5 おわりに

本稿では、シリカの分散処理および活性白土の破碎処理を例にとり、当社高圧湿式微粒化装置を用いて同じ処理条件で処理を行った場合に、ノズル構造の違いで微粒化効果に差が出ることを紹介させて頂いた。これらは、直接的にキャビテーションの効果であることを示している結果ではないが、ノズルの形状により微粒化効果が変化することは事実であり、その現象の要因としてキャビテーションが大きく関与していると考えられる。今後さらに、キャビテーションのエネルギーを有効利用するという観点から、ノズル構造をはじめ、キャビテーションに影響を及ぼす因子の解明を行っていく所存である。

<参考文献>

- (1) 粉体工学会：粉体工学用語辞典
- (2) 加藤洋治：キャビテーション、基礎と最近の進歩

筆者紹介

廣瀬 倫孝

ナノマイザー(株)
研究開発部 次長
〒230-0045 横浜市鶴見区末広町1-1-40
横浜市産学共同研究センター
実験棟D
TEL : 045-508-6380
FAX : 045-508-6382
E-mail : n.hirose@nanomizer.co.jp

石原 恵子

ナノマイザー(株)
研究開発部 マネージャー
〒230-0045 横浜市鶴見区末広町1-1-40
横浜市産学共同研究センター
実験棟D
TEL : 045-508-6380
FAX : 045-508-6382
E-mail : k.isihara@nanomizer.co.jp

— 初歩と実用シリーズ —

ステンレス鋼の基礎と
上手な使い方

— ステンレス鋼の本質・製造・使用法 —

B5判・128頁・定価2,625円(税込) 著者 根本 力男

お求めは
日本工業出版(株) 販売課 netsale@nikko-pb.co.jp
フリーダイヤル ☎ 0120-974-250

