

駅トイレにおけるナノバブルを用いた尿石除去方法に関する研究 その1 ～ナノバブル発生機の性能確認と尿石除去性能の確認～

○ 正会員 後藤 郁乃*1
正会員 秦 文仁*1

臭気 駅トイレ 尿石
ナノバブル 性能確認

1. 研究の目的

駅トイレの臭気対策は、お客さまへ快適な駅空間を提供する上で重要な課題である。本研究は「ナノバブルのフローラジカル性能¹⁾に着目し、尿石除去性能の確認と、駅トイレの臭気対策方法の検討を行うこと」を目的としている。

本稿では、ナノバブル水の尿石除去性能の確認と、今回得られた効果について報告を行う。

2. ナノバブル概要

ナノバブルとは目視では確認できないほど微細な気泡である。本稿では1.0 μm (=1000nm)未満の気泡をナノバブルとして扱うが、粒径や物理的性質等が未だ規格化されていない開発途上の分野である。(図1)

ナノバブルの発生方法は、「旋回流方式」「微細孔方式」「減圧析出方式」の3方式が認められている。本研究では、駅トイレでの利用を前提としているため、「小便器内に容易に設置できる規模であること」「小便器内で供給可能な電力の範囲であること」を条件として選定し、図2の「減圧析出方式」を用いた機器を利用する。なお、同機器は水道水の給水管内の圧力を利用してナノバブルを発生させるものであり、動力を必要としない。



図1 本稿における気泡の大きさと浮上速度の比較

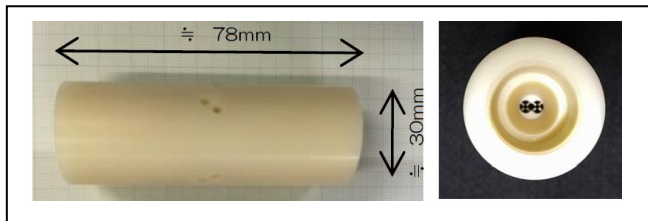


図2 減圧析出方式を用いたナノバブル発生機

3. ナノバブル発生機の性能確認

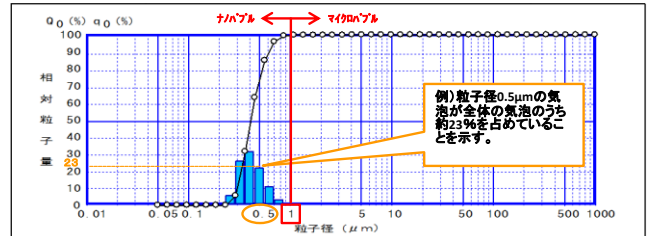
3-1 確認方法

ナノバブル発生機を用いて蒸留水から試験水を生成し、

試験水中のナノバブルを計測する。計測にはレーザ回折・散乱法を用いた。同手法は、水中に浮遊するナノサイズの微細な粒子を測定する方法として信頼性の高いものとされている²⁾。

計測方法は以下の3ステップである。①水中に存在する気泡の体積と気泡の粒子径ごとの分布を測定する。②1.0 μm (1000nm)未満の気泡(=ナノバブル)が存在していることを確認する。③分布と体積の情報をもとに1ccに存在するナノバブルの個数を推定する。

3-2 試験結果



径 μm	積算値 %	差分値 %	換算値*1 -	体積*2 μm^3	半径 μm	個数 個	
マイクロバブル(1 μm 以上900 μm 以下)							
4.076	100.000	0.004	1.00	35.439	2.038	10	
3.271	99.996	0.009	2.25	18.316	1.6355	44	
2.625	99.988	0.015	3.75	9.466	1.3125	1,404	
2.106	99.973	0.016	4.00	4.888	1.053	290	
1.69	99.957	0.034	8.50	2.526	0.845	1,193	
1.356	99.922	0.073	18.25	1.305	0.678	4,957	
1.089	99.849	0.405	101.25	0.676	0.5445	53,090	
差分値合計		0.556	マイクロバブル個数合計				60,977
ナノバブル(1 μm 未満)							
0.874	99.444	3.329	832.25	0.349	0.437	8,441,547	
0.701	96.155	11.105	2,776.25	0.180	0.3505	5,457,667	
0.563	85.010	21.864	5,466.00	0.093	0.2815	20,741,825	
0.451	63.146	31.627	7,906.75	0.048	0.2255	58,367,475	
0.362	31.520	25.882	6,470.50	0.025	0.181	92,366,536	
0.291	5.638	5.638	1,409.50	0.013	0.1455	38,733,669	
差分値合計		99.445	ナノバブル個数合計		224,108,719		
*1 差分値を1として%を換算			*2 体積の計算式 $4\pi r^2/3$				

図3 レーザ回折・散乱法による測定結果と発生個数推定

試験結果を図3に示す。試験水中には0.291~4.076 μm の気泡が存在し、全数がマイクロバブル以下であることが分かる。また計測された気泡の直径と割合から個数を算出すると、ナノバブル気泡はおよそ2.2億個/ccとなり、同水中の気泡の内99.4%がナノバブルであった。

4. 尿石除去性能の確認

4-1 確認方法

前項の結果から、使用機器よりナノバブルの発生が確認されたため、同機器を用いて尿石除去性能の確認を行う。

1. 試験方法：通水試験（尿石の剥離状況を確認する）
2. 試験期間：①2015年10月14日～20日 水道水 50時間
②2015年10月27日～11月17日 ナバブル水 50時間
3. 試験体：約35年使用の駅トイレの排水管 尿石は固化
4. 確認方法：便器と同等の水量・水圧(11L/分、通水時圧力0.11MPa、締切時圧力0.5MPaに設定)で一定期間通水。フローリングによって尿石が徐々に剥離していくことを想定し、堆積している尿石厚(mm)を日々測定し評価。1試験体しかないため、図4の方法で実験を行う。



写真1 尿石除去 通水試験状況

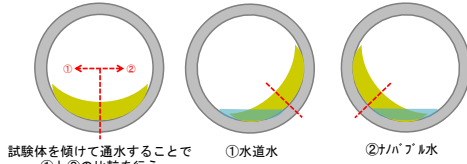


図4 試験体の使い分け方

4-2 試験結果

結果を表1に示す。①②について、各50時間の通水試験の結果、水道水では端部の薄い尿石層が一部剥離したことに對し、ナバブル水の場合は水道水と同様の結果に加え、端部の尿石の欠けと、配管と尿石間にわずかな隙間が発生している状況が確認された。通水によって剥離した尿石の重量については表1に示す。

	①水道水	②ナバブル水
尿石厚 (mm)	変化なし	変化なし
剥離重量 (g)	2	10

表1 通水試験結果まとめ

4-3 追加試験

前項の結果をふまえ追加試験を行うこととした。なお、試験体について、約35年間洗浄水(=水道水)が流れていた状況下で尿石が堆積していたことから、水道水による尿石除去性能はないと考えられるため、追加試験においては水道水での実験を行わずナバブル水のみを対象として追加試験を行った。通水方法としては図5のように傾きをなくして通水した。この結果、追加試験開始10時間後(累計60時間後)、尿石が一気に剥離する状況が確認された(写真2)。当初の想定ではナバブルの厚さに変化がみられると考えていたが、今回の実験結果から、尿石と排水管の「付着部」に對し作用していることが分かる。ナバブルの尿石除去性能として、通水していた表面の尿石に作用するのではなく、「付着部」に作用し剥離させる

という現象を見ることができた(図5)。ただし今回の実験において固化した尿石の確認は行ったが、軟化した尿石に対する確認は行っていないため、ナバブルが「付着部」に作用することについては今後の実験で検証していく必要がある。さらに今回の実験では、尿石剥離状況の確認を厚さの計測(目視)と剥離物の採取(筈)の計測としていたため、微細な剥離がどの程度なされていたかは不明である。

なお、第三者機関にて剥離した尿石のスケール分析を行ったが、剥離機序(物理化学的)について議論できる知見は得られなかった。

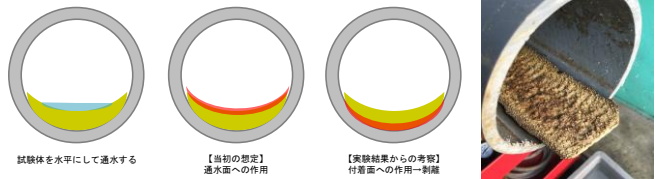


図5 追加試験と考察イメージ

写真2 尿石剥離状況

5. まとめ

今回ナバブル発生機の性能とナバブル水の尿石除去性能の確認を行い、以下の点が明らかとなった。

- ①ナバブル発生機について、 $1.0\mu\text{m}$ 未満のナバブルを発生させる能力を有することが確認できた。また得られた結果から、1ccあたり約2.2億個のナバブルが存在していることが推察された。
- ②ナバブルが尿石除去に對して効果があることが分かった。しかし今回の試験体は尿石が乾燥・固化しており、駅トイレ排水管内では軟化した尿石も見られるため、駅トイレにおいて効果があるかを見極めるべく、既存駅トイレにナバブル発生機を設置し効果を確認する必要がある。
- ③尿石除去性能について、ナバブルは「表面からの剥離」ではなく、「付着部に作用し剥離させる」という効果があることが分かった。一方で、前者に對する考察を深度化するため、試験体に付着していた尿石を利用し、通水面での微細な剥離の観察を目的として、今後水道水とナバブル水の比較実験を行うこととする。

ナバブルが汚れの付着部に作用するならば、防汚に對しても効果があると考えられる。ナバブルの尿石除去性能及び防汚性能について、今後駅トイレでの実験を行い、引き続き検証していくこととする。

【参考文献・出典】

- 1) 高橋正好「マイクロバブルの特性と工学的な役割」環境技術 36
フローリング：電子を1つしか持たない「不對電子」という極めて不安定な原子や分子であり、他の分子と電子をやり取りして安定になるという性質がある。
- 2) 小林秀彰「高出力レーザー回折散乱装置を用いた nanoGALF により生成したナノバブルの定量測定」
日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集