

発表番号 10

窒素ナノバブル水および 窒素ナノバブルを用いた水の処理方法

九州工業大学
イノベーション推進機構

客員教授 田中 洋征

■ 新技術の概要

窒素ナノバブルを安価かつ安全に製造可能とし、殺菌および酸化防止機能等が長期間持続可能な窒素ナノバブル水および窒素ナノバブルを用いた水の処理方法を提供する。

■ 従来技術・競合技術との比較

従来技術のナノバブル生成装置は、低濃度であったり粒径が不均一、高コストなどの問題があった。本技術は、安価で安全な窒素ガスを利用し、殺菌および酸化防止機能等が長期間持続可能な窒素ナノバブル水および窒素ナノバブルを用いた水の処理方法を提供する。

■ 新技術の特徴

気泡をナノレベルまで超微細化することで海水中の溶存酸素を長期にほぼゼロから飽和状態以上に自由に制御でき、魚の鮮度保持や養殖に極めて有効。また新しい産業への利用が可能である。

■ 想定される用途

- 魚介類の鮮度保持
- 食品の酸化防止と保存期間の長期化
- 陸上養殖における成長促進と斃死率の激減

2016年2月9日

KTC新技術説明会 in KAGOSHIMA

ウルトラファインバブル水生成装置とその利用

九州工業大学 イノベーション推進機構
客員教授 田中 洋征

ウルトラファインバブル水生成装置 研究開発の背景

マイクロバブルの有効性からナノバブルの必要性の増大

気泡が超微細化されると、ガス溶解能力が増加するのでナノレベルになるとその有効性は飛躍的に拡大。さらに浮力がゼロとなり飽和状態をこえると水中に留まることやガス供給能力の増加のみでは説明できない現象が出現。例えば、酸素ナノバブルは成長ホルモン効果や抗炎症効果、生体活性効果等の可能性が示唆されている。

● 日本はマイクロ・ナノバブルの研究開発では世界のトップ

ナノ・マイクロバブルの国際標準化と応用技術の開発を目指して(社団法人)微細気泡産業会を2012年に発足

ナノバブル発生装置はほとんど開発されていない

2

I ウルトラファインバブル水生成装置

開発に要した経済産業省の獲得助成金

H22年 地域イノベーション創出事業 (5千万円/2年)

H26年 基盤技術高度化支援(サポイン)事業
生鮮魚介類を長期保存するハニカム構造を用いたナノバブル生成装置の開発 (9,800万円/3年)

H26年 ファインバブル基盤技術研究開発事業 (5千万円/5年)

その他の外部資金獲得状況

H24年 北九州市中小企業産学官連携研究開発事業補助金

H25年 キューテック(福岡銀行の助成財団)補助金

開発後のマスコミ報道(全国放送)

1. TBS「夢のとびら」 H26年11月30日
 2. NHKサイエンスzero H27年 8月30日
 3. NHKクローズアップ現題 H27年10月6日: [小さな泡が世界を変える 日本発技術革命は成功するか]
- JSTの新技術説明会 H24年11月

ファインバブルとは

気液混合系

ミリバブル

50μm(0.05mm)

マイクロバブル

100nm(0.1μm)
=0.0001mm

ウルトラファインバブル

浮力の実験

50 μm : 30分

10 μm : 330分

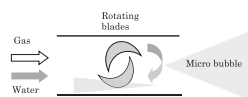
1 μm : ほぼ浮力ゼロ
長期存在

性能変化 : 白濁
浮力有
上昇後消滅
飽和状態まで溶解

劇的性能変化 :
透明 浮力なし
飽和状態まで溶解後
長期存在可能
ブラウン運動

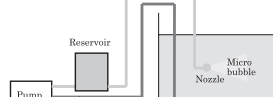
マイクロバブル生成法 (一般的従来技術)

超高速巡回方式



- ・刃の高速回転により渦を発生
- ・渦の崩壊により微細化を実現
- ・低濃度のマイクロバブルを生成
- ・連続的生成可能

加圧溶解法



- ・高圧下で気体を過飽和溶解
- ・圧力解放により高濃度のマイクロバブルを生成
- ・粒径のばらつきが大きい

ナノバブル生成は困難

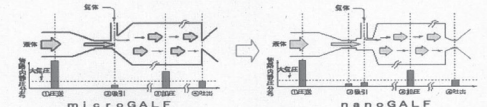
5

超微細気泡発生装置を新発売 IDEC nanoGALF(ナノギャルフ): ニュース&イベント: IDEC

最近のファインバブル発生装置

- ・ISO12100機械類の安全設計—設計のための一般原則—リスクアセスメント及びリスク低減
- ・IEC60204-1機械類の安全設計—機械の電気装置—第1部: 一般要求事項
- ・IEC61310機械類の安全性—表示、マーキング及び作動
- ステンレス筐体で耐環境性と清潔感を実現し、ラボやクリーンルーム、他の用途に最適。
- タイマ運転、無人運転など、タッチパネルで簡単設定。
- 流量は毎分4リットルポユースに最適。
- イーサネットを使い複数のnanoGALFを1台のコントローラで制御するシステム構築ができ、更に運転情報のロギング、遠隔運転、総合監視が可能。
- 超微細気泡水発生量の多量化を実現する、スクラビング技術を開発。
- GALF技術に産業分野で培ったIDEC独自の制御技術の融合させ、水処理、ラボユースや大型産業分野、そして環境分野まで、幅広い超微細気泡発生装置の大形システム化を実現。
- 空気以外の気体も吸引可能な、気体入口を装備。
- 参考標準価格: 2,350,000円(税別)

[原理]



圧送: ポンプで液体を圧送します。

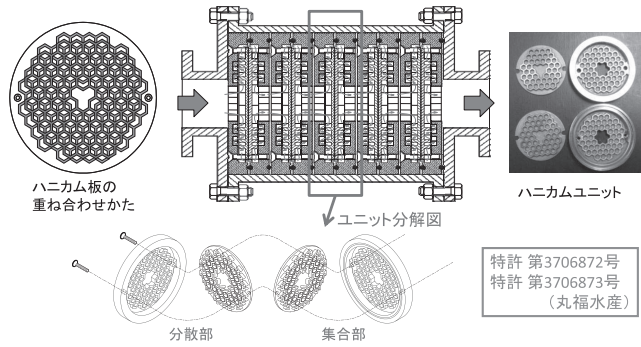
6

従来技術と本装置の特長

これまでに提案されたバブル生成装置は多数あるが、ほとんどがマイクロバブルであり大量のナノバブルを生成することは困難である。気泡を超微細化するためには一様なせん断力が連続的に発生することが望ましいが既存技術は単発的であり本格的にナノバブルの生成が困難。

本技術は、狭い空間内で水流の変化がおこり一様なせん断力が100桁以上連続的に発生する機構であり、その機構も世界に例をみない斬新である

ハニカム構造によるナノミキサー

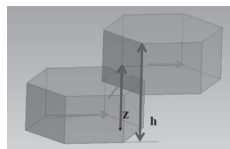


H22年度 経産省地域イノベーション研究開発事業にて開発済み

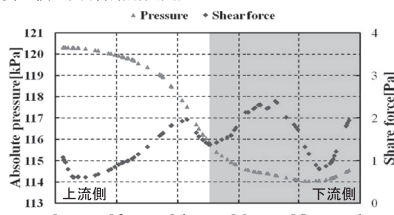
ナノバブル生成に適したせん断場の形成



気泡の分裂の模式図(管路断面図)



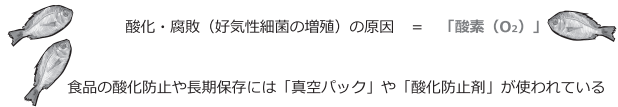
h: 上下セル高さの合計
z: 上流側セル底面からの距離



圧力の急低下⇒気泡変形⇒せん断力により分裂

窒素ナノバブル海水による鮮度保持

魚の鮮度は、主に血液や油脂分の酸化と腐敗（好気性細菌の増殖）による【変色、異臭（酸化臭・腐敗臭）の発生、変質（硬化・軟化）、食味・食感の悪化など】



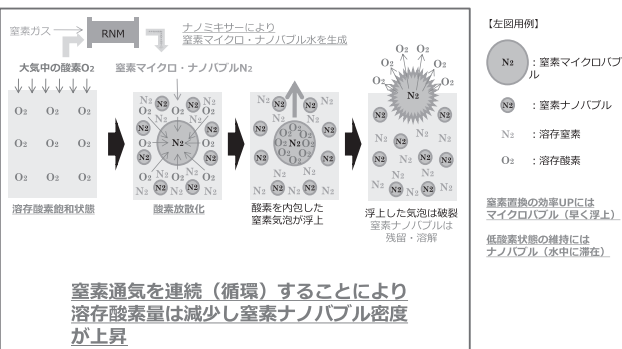
生きた魚には必要不可欠
でも死んだ魚には邪魔

それなら
酸素がない
水を作ろう!

魚を冷却した酸素のない海水（塩水）の中で保存
⇒ 酸化や好気性細菌の増殖を抑制できる

10

窒素ナノバブル化による酸素置換



11

水中への溶存酸素量 (DO)

DO (Dissolved Oxygen) = 溶存酸素量とは、水中に溶解している酸素の量。容器中の水には、大気中の酸素が飽和量に達するまで水中に自然溶解する。飽和溶存酸素量は、気圧が高く・水温が低く・溶存塩類濃度が低いほど大きくなる。

蒸留水・一気圧における各温度の飽和溶存酸素量

水温	0	0.5	1.0	2.0	3.0
0	14.15	13.97	13.78	13.58	13.45
1	13.77	13.59	13.40	13.21	13.08
2	13.40	13.22	13.03	12.84	12.71
3	13.04	12.86	12.67	12.48	12.35
4	12.70	12.52	12.33	12.14	12.01
5	12.37	12.19	12.00	11.81	11.68
6	12.06	11.88	11.69	11.50	11.37
7	11.77	11.59	11.40	11.21	11.08
8	11.51	11.33	11.14	10.95	10.82
9	11.27	11.09	10.90	10.71	10.58
10	11.05	10.87	10.68	10.49	10.36
11	10.85	10.67	10.48	10.29	10.16
12	10.67	10.49	10.30	10.11	9.98
13	10.51	10.33	10.14	9.95	9.82
14	10.37	10.19	10.00	9.81	9.68
15	10.25	10.07	9.88	9.69	9.56
16	10.15	9.97	9.78	9.59	9.46
17	10.07	9.89	9.70	9.51	9.38
18	10.00	9.82	9.63	9.44	9.31
19	9.94	9.76	9.57	9.38	9.25
20	9.89	9.71	9.52	9.33	9.20
21	9.85	9.67	9.48	9.29	9.16
22	9.82	9.64	9.45	9.26	9.13
23	9.79	9.61	9.42	9.23	9.10
24	9.77	9.59	9.40	9.21	9.08
25	9.75	9.57	9.38	9.19	9.06
26	9.74	9.56	9.37	9.18	9.05
27	9.73	9.55	9.36	9.17	9.04
28	9.72	9.54	9.35	9.16	9.03
29	9.71	9.53	9.34	9.15	9.02
30	9.70	9.52	9.33	9.14	9.01

海水・一気圧における各温度の推定飽和溶存酸素量

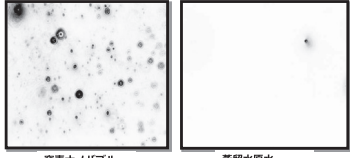
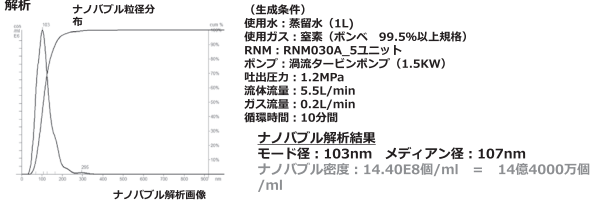
水温	0	0.5	1.0	2.0	3.0
0	11.22	11.05	10.87	10.68	10.55
1	10.85	10.68	10.50	10.31	10.18
2	10.50	10.33	10.15	9.96	9.83
3	10.16	10.00	9.82	9.63	9.50
4	9.84	9.68	9.50	9.31	9.18
5	9.54	9.38	9.20	9.01	8.88
6	9.26	9.10	8.92	8.73	8.60
7	8.99	8.83	8.65	8.46	8.33
8	8.74	8.58	8.40	8.21	8.08
9	8.51	8.35	8.17	7.98	7.85
10	8.29	8.13	7.95	7.76	7.63
11	8.09	7.93	7.75	7.56	7.43
12	7.90	7.74	7.56	7.37	7.24
13	7.73	7.57	7.39	7.20	7.07
14	7.57	7.41	7.23	7.04	6.91
15	7.43	7.27	7.09	6.90	6.77
16	7.30	7.14	6.96	6.77	6.64
17	7.18	7.02	6.84	6.65	6.52
18	7.07	6.91	6.73	6.54	6.41
19	6.97	6.81	6.63	6.44	6.31
20	6.88	6.72	6.54	6.35	6.22
21	6.80	6.64	6.46	6.27	6.14
22	6.73	6.57	6.39	6.20	6.07
23	6.66	6.50	6.32	6.13	6.00
24	6.60	6.44	6.26	6.07	5.94
25	6.55	6.39	6.21	6.02	5.89
26	6.50	6.34	6.16	5.97	5.84
27	6.46	6.30	6.12	5.93	5.80
28	6.42	6.26	6.08	5.89	5.76
29	6.38	6.22	6.04	5.85	5.72
30	6.35	6.19	6.01	5.82	5.69

海水（塩分濃度3.2〜3.5%程度）の場合は蒸留水の概ね80%

12

5-1-⑨ ナノバブル生成数密度

【ラモンドナノミキサーのナノバブル生成能力解析】RNM030A_5ユニットによる窒素ナノバブル解析



RESULTS:
Distribution Data: Mean: 114nm
Mode: 103nm SD: 41nm
Cumulative Data: D10: 70nm, D50: 107nm, D90: 165nm, D70: 126nm
User Lines: 0nm, 0nm
Total Concentration: 108.54 particles / frame, 14.40E8 particles / ml

ナノバブル解析
NANO SIGHT LM10-HS (英国/NANO SIGHT社製)

2. 研究内容

海水/酸素混合試験(於:丸福水産(株)実験室)

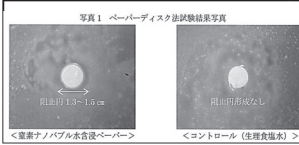
使用水: 袋外縛殺菌海水40L 回転数: 2400rpm (42.23Hz) 酸素発生濃度: 95.0%
円筒槽: φ340mm×H500mm 吐出量: 40.3L→15.5L/分

No.	流量 L/min	O ₂ 量 L/min	水温 ℃	DO(mg/L)						
				原水	1/バス 5分	2/バス 10分	4/バス 15分	6/バス 20分	10/バス 25分	
1	15.5	0.2	9.9	8.7	28.1	29.8	30.3	32.2	33.0	33.9
2	15.5	0.2	9.9	8.7	28.2	30.0	30.5	32.3	33.2	34.1
3	15.5	0.2	9.9	8.7	28.0	29.9	30.3	31.9	32.9	33.4
4	15.5	0.2	9.9	8.7	28.0	29.9	30.2	31.9	32.7	33.2
5	15.5	0.2	9.9	8.7	28.3	30.3	31.2	32.1	33.0	33.9
6	15.5	0.2	9.1	8.4	28.1	29.7	30.1	32.0	32.6	33.1
7	15.5	0.2	9.1	8.4	28.0	29.8	30.4	32.3	33.1	33.7
8	15.5	0.2	9.1	8.4	28.2	29.9	30.2	32.2	33.0	33.8
9	15.5	0.2	9.1	8.4	28.1	29.8	30.2	32.3	33.1	33.8
10	15.5	0.2	9.1	8.4	28.4	30.5	31.4	32.2	33.0	33.9
平均	15.5	0.2	9.5	8.6	28.1	30.0	30.5	32.1	33.0	33.7

5-1-⑩ ナノバブル水の殺菌効果確認の先行結果

真菌に対する抗菌性比較試験

ナノバブルの抗菌活性効果により、阻止円の形成が認められた。



カビ混合菌を25℃にて前培養後、生理食塩水にて10⁴個/CFU程度に希釈。寒天培地に接種し、直径9mmの濾過紙に窒素ナノバブル水0.1mlを含ませ、寒天培地中心に置き、25℃にて培養後、阻止円の形成を観察。

窒素ナノバブル水は無毒!

気体種別ナノバブル水の抗菌試験

窒素ナノバブル水のオープンナノバブル水と同等の抗菌性を確認。

試料区分	初発菌数	24時間後	判定結果
窒素ナノバブル水	5.2×10 ⁶	4.0×10 ²	○抗菌性有
酸素ナノバブル水	5.2×10 ⁶	5.2×10 ⁴	○抗菌性有
空気ナノバブル水	5.2×10 ⁶	2.3×10 ⁴	○抗菌性有
オープンナノバブル水	5.2×10 ⁶	9.0×10 ²	○抗菌性有
コントロール(生理食塩水)	5.2×10 ⁶	4.0×10 ⁷	×抗菌性無

一般生細菌を25℃にて前培養後、生理食塩水にて希釈し、一般生細菌濃度が10⁶になるように各種ナノバブル水に添加。24時間経過後寒天培地に接種して一般生細菌の生存菌数を測定。

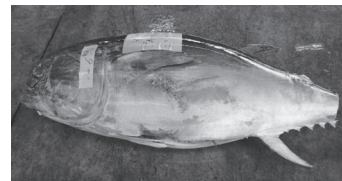
5-1-⑪ 窒素ナノバブル水の実証実験

【近海まぐろはえ縄船における実地テスト】



第八寿利丸19t (大分県漁協保戸島支店所属)

7/28大分出港 ~ 8/29 宮城県塩釜港にて水揚げ
航海初期漁獲の魚を入れる一番槽(23日経過)内の魚を、氷温ナノ窒素海水(-1℃)で保存したところ、魚の価値を著しく下げる「腐敗によるくさい臭い」がなくなり、外観の色艶も従来と比べ良いと絶賛評価!

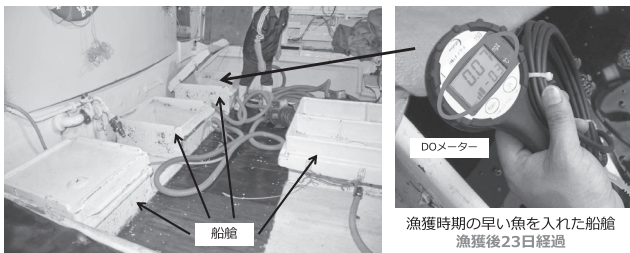


漁獲から23日経過した本マグロ



漁獲から23日経過したメバチマグロ

近海まぐろはえ縄船における実地試験(続き)



左側3槽が3t、右側1槽が5tの容量。3t~5t槽の窒素置換に要する時間は2~4時間。航海中、水替えは1回するかしないか程度で済んだ。(船頭談)

DO値: 0.07mg/L (通常海水は10mg/L程度)
水温: -0.3℃

窒素ナノバブル水による鮮魚保存テスト

魚種	区分	産地	漁法	漁獲日	輸送	荷姿	北九州着	入荷状態					
真アジ	メ	枕崎(島)	巻網	8/18	冷蔵車	下水	8/19	△					
				初発(8/19)			5日目(8/23)						
K値				4.3	細菌		4.8×10 ⁴	→	K値	6.9	細菌		2.3×10 ⁴
ホウボウ	メ	鹿島(長)	巻網	8/18	冷蔵車	下水	8/19	○					
				初発(8/19)			5日目(8/23)						
K値				5.2	細菌		1.1×10 ⁴	→	K値	7.1	細菌		1.3×10 ⁴
マアジ	メ	鹿島(長)	巻網	8/18	冷蔵車	下水	8/19	○					
				初発(8/19)			5日目(8/23)						
K値				3.2	細菌		3.1×10 ⁴	→	K値	4.6	細菌		1.8×10 ⁴

K値計測: (財)北九州生活科学センター

天然鯛内臓

5日経過してもK値の上昇が抑えられている

K値による鮮度の判断基準
10%以下: 活魚レベル
20%以下: 生食(刺身)に適当
60%以上: 腐敗

写真1-1 各被験試料における炊飯後の挙動写真

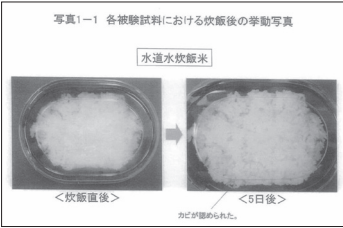
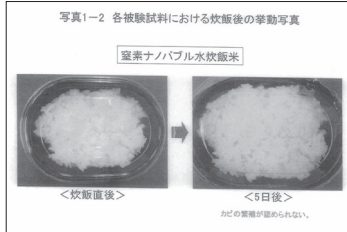


写真1-2 各被験試料における炊飯後の挙動写真



ナノバブル水の基本知識

気体(ガス)をナノレベルまで微細化すれば、

- ① **ガス溶解能力が増加し、飽和状態以上に溶解する。**
酸素、窒素、水素、炭酸ガス等を溶解させると
- ② **優れた浸透力があり、表面にとどまらず内部へ作用を及ぼす。**
生体や植物細胞は異物を排除する作用があるが、ナノ化すると容易に内部に浸透する。
- ③ **オゾンとおなじような殺菌効果がある。**
分子動力学では、気液界面の電氣的極性が揃う特長があり、界面の静電効果により殺菌作用があると指摘(産総研理事 矢部彰氏資料より)
- ④ **酸素ナノバブル水は、生理活性作用があり、生物の成長促進、生体活性化が認められる。(低酸化還元電位が関係か)**

液体やガスを超微細化するとこれまでにない未知の新自然現象の出現。

ナノバブル水の可能性 その①

陸上養殖における酸素ナノバブル水の可能性

生活排水、工業排水等による水質汚濁や赤潮、ウイルスなどの外的要因の影響を受けにくく漁業権の心配がない陸上養殖、特に閉鎖循環式は今後確実に増加する。

養殖場の飼育水のDO値を制御(飽和状態の5倍程度まで増加)することで、成長促進、過密飼育(酸欠防止と水質浄化)魚病の病原菌の抑制による死亡率の低減、洗浄効果により清掃作業の低減と生産性の向上が図れた。冬の低水温期でもエサをよく食べ成長促進が確認できた。

殺菌・洗浄効果が飼育槽の一般細菌数が激減し、稚魚の死亡率が激減した。(一般細菌数は通常105~106/mlが30~70個/mlに激減)

真鯛の養殖実験では、稚魚の死亡率激減と12%程度の成長促進トラフグ、ウマスラハギ、オコゼの養殖では、界面養殖と比較し成長促進で10ヶ月~4ヶ月の短縮ができた。

21

ナノバブル水の可能性 その②

界面活性剤不要の洗浄液への可能性

水をナノレベルに微細化すると界面活性作用が増し、油との融和性が良く界面活性剤がなくてもほぼ完全に均一混合する。ナノバブル水は、水質汚濁の原因となっている界面活性剤を使用せずに食器や鍋蓋の洗浄に十分に効果を発揮する。さらに、河川水、都市下水が流入する沿岸域では、富栄養化、有機物汚染低酸素が進んでおり、環境破壊の原因の一つである界面活性剤不要の洗浄液が期待できる。

カット野菜等の洗浄に有効

- ・大手スーパーや外食産業において使用されるカット野菜等残留次亜塩素酸等で洗浄されている。
- ・残留すると健康に影響するので完全除去が望ましい!
- ・残留次亜塩素酸水あるいはオゾンガスに代わる低コストの安全・安心な洗浄剤が期待できる。

ナノバブル水の可能性 その③

人工炭酸温泉の(天然炭酸温泉を超える)可能性

炭酸温泉はヨーロッパでは古くから健康維持や治療目的に利用されているが、日本では炭酸ガスが容易に気化するため、炭酸泉が湧き出す一部の地域にのみ利用されている。お湯1Lに1g(1,000ppm)以上溶解したものを高濃度炭酸泉と呼び「療養泉」としており、医療機関から生理活性効果があることが認められている。

天然炭酸泉は、溶解濃度は1000ppm程度が限界値であり、飽和溶解後、1時間に5~20%程度気化する。高濃度を維持できず効果も維持できないという欠点がある。当該グループの生成装置は、飽和溶解度を超えて、2,000ppm程度まで容易に溶解し、5日後でも90%の濃度を維持する。

その効用

1. 血流促進による効用 : 血液の循環がよくなることにより、冷え性・高血圧・肩凝りや血行障害の改善など、幅広い効用が報告されている。

炭酸泉の定義: 源泉で25℃以上、お湯1Lに250mg(250ppm)以上溶解
市販の炭酸ガス入浴剤 : 40℃で50ppm程度
炭酸飲料(ビール、サイダー等)は3,000~4,000ppm程度

ナノバブル水の可能性 その④

農業への利用 特に水耕栽培に有効

高密度ナノバブル水の高浸透、殺菌能力の利用

酸素ナノバブルは、溶存酸素が減少する高温期(夏場)の成長促進効果がある
土壌を用いないので、肥料等の工夫で、差別化野菜等が開発
例えばこれまでにない味覚の良い野菜果物

嫌気性土壌の改良

水は微細化するとは表面張力が小さくなる。また内部に深く浸透するので、酸素ナノバブル水の利用で、酸素リッチな土壌へ改良できる

高い消毒効果が可能

消毒剤と水を均一混合し、ナノバブル水噴霧式洗浄で、高い消毒効果が可能

24

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称:「窒素ナノバブル水および窒素ナノバブルを用いた水の処理方法」
- 出願番号:特願2013-086161
- 出願人:九州工業大学、株式会社MGグローアップ、丸福水産株式会社
- 発明者:最上賢一、青木和茂、米澤裕二、平木講儒、田中洋征

25

お問い合わせ先

九州工業大学
産学連携・URA領域 コーディネータ
田中 洋征 (客員教授)

TEL:093(884)3485

FAX:093-881-6207

E-mail:htanaka@ccr.kyutech.ac.jp

26