

## 人工ゼオライトによる農地の改善とエアレーションによる 池水の貧酸素改善に関する研究

竹山光一・樋口 昭\*・山本太平\*\*

### Studies on the Ameliorations by the Artificial Zeolite for Agricultural Soil, and Aeration Against the Anoxic Condition in Pond Water

TAKEYAMA Kouichi\* , HIGUCHI Akira\*\* and YAMAMOTO Tahei\*\*\*

**Abstract** With the high facilities of soil amelioration, as water-holding and cation exchange capacity, the Artificial Zeolite (AZ) with the zeolitic material synthesized, by-products material mainly gained from coal fly ash of electric-power plants, has improved the increased yields of marsh grass, watermelon and soybean, and reducing their replant failures in some high technology-farmers, upland fields in the Tohaku National Irrigation Project in Tottori Prefecture, where many advanced technologies as micro irrigations systems have improved water efficiencies with AZ. We investigated another AZ for its sediment remediation effect in enclosed water area as rainwater storage pond water, and it improved the amelioration in anoxic and high COD conditions, by coagulation and clarification, with stirring the water by submerged pumps by natural energy. And, in small scale, the comparison of the different kind sizes of fine bubbles, so called as, milli-meter scale bubbles from an "air-stone" of porous plastics and micro-meter one from its generator, showed that the more finer bubbles showed the longer sustention time of higher DO value in test tank and pond water, as it showed clouded color and adhered to many goods in water tank.

**Keywords:** aeration, artificial zeolite, coagulation, micro bubble, pond water

#### I. はじめに

島根県は天然ゼオライトの宝庫であり西日本最大の産地であり、これは土壌改良材、イオン交換剤、吸着材など多様な利用がされている。近年はこれよりさらに高機能の「合成ゼオライト」「人工ゼオライト」が開発され、原材料もアルミ廃材や火力発電所などの石炭灰など副産物から得られ、リサイクル利用され、高い機能と有効性が注目されている。ここではこれらを「人工ゼオライト」(以下合成ゼオライトを含めてAZと略す)として農業利用の効果を調べたこと、また近年閉鎖水域の貧酸素状態の環境改善に注目されている溶存酸素(以下DOと記す)を増加させるエアレーションについて、これまでの「エ

アストーン」のミリスケールバブルと近年話題の微細の空気粒子(「マイクロバブル」)を比較して、水槽、池水で行った成果を報告する。

#### II 土壌保湿効果と農業への利用

##### 1.1 試験農地の概要

鳥取県中部の北栄町は平成18年完成を予定して進められてきた農業水利事業の受益地に含まれ、砂丘地も含めて畑地灌漑が大きなウエイトを占める特徴があり、事業の完成まで日本の畑地灌漑の先端技術が試行されてきた。このなかにはスプリンクラーの散水を方形に均等化して節水効率を高めること、節水灌漑装置改良、人工ゼオライトを土壌に混ぜて、土壌の保水性や保肥性を高めることや、砂丘地や乾燥地の土壌劣化を防止((山本(2002))のほか、作物の連作障害を改善するなどの実績もある。

\*日耕機電株式会社

\*\*鳥取大学名誉教授

このK氏は多年にわたり土壌改良材のテストや散水技術を先駆的に試行し資材の改良に繋げてきた。

## 1.2 土壌の保水性の概要

2002年に人工ゼオライトを畑地に散布した後、6月に降雨（近辺の気象台のデータでは当時約60mmの降雨が観測された）があり、その2日後の乾燥・保水の状況の違いが、K氏の写真1では色の明確な違いによって示された。



写真1：AZ散布と雨後の保水性の比較

このAZはA社の石炭灰中のアルミノシリケートを原料とする「合成ゼオライト」Caタイプで、酸性土壌用にも使われ、保肥力を示す陽イオン交換容量は、250~300 (cmol(+)/kg)を示し、成育促進、収量増加、早期発芽、発芽率の向上などの効果が確認され、主に酸性土壌用のCaタイプと称される。主成分の特徴は $Al_2O_3$ が24%、 $SO_3$ が19%、 $SiO_2$ が46%を占め、これにCaO 12%、 $Fe_2O_3$  6%、 $Na_2O$  5%などである。

## 1.3 農業利用例と調査結果

聞き取りと視察の結果、砂質土壌でハウレンソウは一週間早く収穫できたこと、ラッキョウが背丈や重量で約10%の生長が見られたこと、畑地の保水力が一年たっても影響が残っていたこと、作物（大豆、ハウレンソウなど）の連作障害の防止に効果があったこと、ハウスのスイカは収穫適期になって、生殖生長への適切な移行が見られたなどを知った。写真2はAZが混入され、方形に均等に散水するスプリンクラーを備えて、連作障害が改善された大豆畑である。

また2007年の追加調査では前年11月に播種したハウレンソウは例年の50%近い生産増を実現したこと、2007年の夏の異常な高温条件のもとでも、ハウス内の温度管理とAZなど土壌改良材添加の効果もあって、平年に近い収穫ができたことと確められた。近年は土壌のpHの調整が可能



写真2：方形面積に均等に散水するスプリンクラーを備えたAZ混入畑の大豆栽培



写真3：AZなどが添加された土壌改良効果が比較されたハウレンソウ栽培

で、ハウスの中での散布作業が容易なものが開発され普及している。

## Ⅲ 人工ゼオライトによる池水浄化

### 2.1 実験地とその概要

松江市内にあるR公園（約20,000m<sup>2</sup>）は江戸時代に自



図1：松江市R池の概要

然の山に囲まれるように築かれた。図1の池（約7,000 m<sup>2</sup>）の中央付近に小島があり、時には約8割の面積がスイレンで占められ、鯉など魚の生息も時々観ることができる。池の南側の部分では水深が約1 m程度のところもあり、池底を調べると周辺の森や植栽の落ち葉やヘドロなどが一面に堆積している。この池の周辺環境には特別に汚濁源は無いが、夏場には透視度は15 cm程度になり上層でも極度の貧酸素の状態（溶存酸素（DO値）で0.2以下）が見られ、このときの化学的酸素要求量（COD）は表層で20-50 ppm/Lが得られることがあった。これまでこの池水を、鳥根県産の天然のゼオライト（セリサイトが主成分）と活性炭を入れた濾過槽と水草とポンプがある送水槽を設えた筏に組み入れ、ソーラパネルを用いて充電したバッテリーでポンプを動かして水を循環させる小規模な水浄化システムは、池水の透明度やDO値を向上させ、窒素、リン濃度の低下などに効果があることを調べてきた。

## 2.2 人工ゼオライト水処理凝集沈降剤の実験と結果

R池の実験場所の脇に150 Lの水槽を置き、ポンプで中層の池水120 Lを汲み上げ、その浮遊物質を短時間に凝集・沈澱させマイクロ灌漑などに利用し、併せてヘドロを除去することを検討した。このB社の人工ゼオライトはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が12%、SO<sub>3</sub>が19%、SiO<sub>2</sub>が20%を占め、これにCaO18%、Na<sub>2</sub>O10%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>4%、OH15%である。矩形の水槽底に2個の水中ポンプを対角線に攪拌した。AZ凝集剤は、事前に1Lの池水をビーガーに入れ攪拌・沈澱テストを行った。AZ0.2-0.5 gでも2~4分という極めて短時間に浮遊物質が凝集させ底に沈澱できた。なお投入量が多いほど（最大1.6 g）、実験後の池水はやや酸性度を増すことが観察された。

実験前の透視度は15 cm、COD50 mg/L、EC110 μS/cmで、AZ 50 gを散布・投入して4分間攪拌し、20分放置後透視度は30 cm以上COD値は1/4程度に減少し、EC

表1：AZ 散布攪拌によるR池水浄化試験結果

	池の表層水 (実験前)	AZ 処理 20分後	AZ 処理 20時間後
透視度 (cm)	15	>30	45
COD (パック) mg/L	50弱	10~20	20弱
COD (Cr2K2O7) mg/L	43		12
EC (μS/cm)	119	480	390
pH	6.6	6.7	6.8

は400 μS/cm程度に増大した。また実験終了後に水槽の底に沈澱したものはAZが混入してヘドロ状をなしており、寒冷紗に梱包して回収した。

## IV. エアレーションによる水環境の改善

閉鎖性水域の貧酸素化した底泥に高濃度酸素水を接触させると、底泥からリンおよび鉄の溶出抑制効果が得られることが今井ら（2006）の研究で示されている。小池やダム湖や汽水湖や河川などの貧酸素水塊は魚や貝に大きな影響を及ぼし、スケールが大きくなると水温などの躍層の存在の下、貧酸素水塊も複雑な状況を呈し、夏場などに魚介類の斃死が発生することがある。魚介類の水槽ではエアレーションの気泡はミリサイズと見られる多孔質のプラスチック製の「エアストーン」（適正風量15L/分、φ28.5×300mm）がよく使用される。このバブルと近年話題の「マイクロバブル」とでDO値の変化の比較を水道水とR池で行い、また愛知県のN池でE社の微細空気装置で連続テストを行ったので結果を報告する。

### 3.1 水道水でのエアレーションの比較実験

エアストーン用のブローは60 W、40 L/min 基準圧力は11.8 [kPa]で、直流での利用も可能で写真4の様な「ミリバブル」が水深30cmの水槽内で見られた。「マイクロバブル」の発生装置は写真5の大成（2006）による「超高



写真4：エアストーンによるミリバブルの発生



写真5：水道水でのマイクロバブルの発生

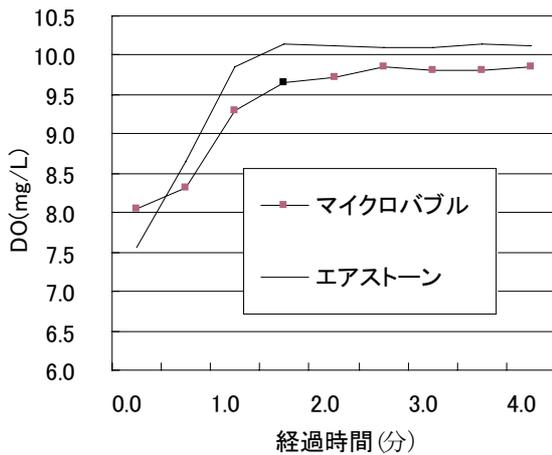


図2：エアレーションによる DO 上昇の比較

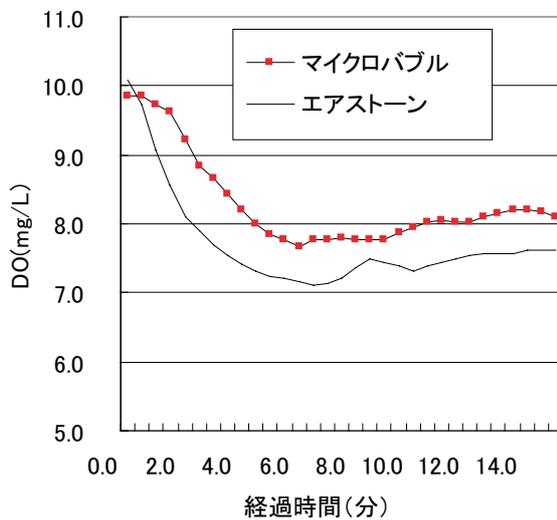


図3：エアレーション停止後の DO 変化の比較

速巡回方式」によるもので、用いたポンプは A) 揚水量 13.2 [L/min] (DC: 12V) 45PSI (S社(USA))と、B) 揚水量 24[L/min], 全揚程 26m, (AC: 100V) (H社)である。水道水約 60L (13.8℃) にエアストーンからエアレーションを行ったものとマイクロバブル (M2/PVC を使用) (13.0℃) で自吸空気量を 0.5L/min 以下にして比較した。マイクロバブルでは写真5のように空気は白濁して見られ、これが水平方向や鉛直方向へも拡散し壁や発生器の周辺に噴出停止数分後まで付着していた。エアストーンの空気量はマイクロバブルの10倍以上多いものの、エアレーション停止後はマイクロバブルのほうの DO 値がやや大きく、そして持続していることが確かめられた。

### 3.2 小池でのエアレーションの比較実験

R池の実験場所でエアレーションの比較を行い表層での DO 値を比較した。電源はいずれも DC (12V) である。

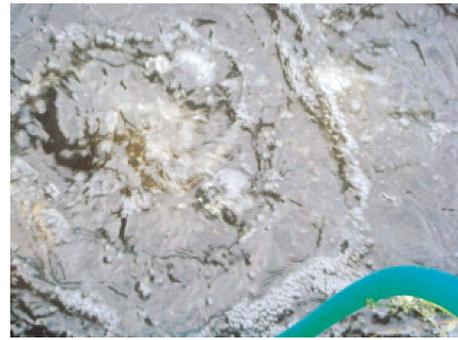


写真6：エアストーン3個によるエアレーション



写真7：マイクロバブルによるエアレーション

エアストーンからは写真6のように大量の気泡が池底から上昇し水面での気泡のサイズが大きい。一方マイクロバブルは水平・鉛直方向にも拡散し、上昇速度が非常に遅いため、水中における滞留時間が長く、少ない(エアストーンによるものの1/10程度)自吸空気量でも写真7と図4の様に DO 値で 0.3-0.4 mg/L になり、ポンプ停止後もこのエアストーンによる、より持続した高めの DO 値の傾向が見られた。

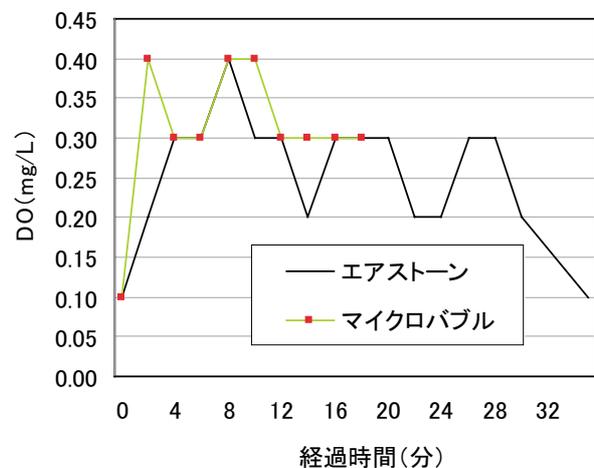


図4：R池におけるエアレーションの比較

### 3.3 農業用水の池での連続曝気試験

#### 試験池の概要

愛知県知多市のN池（写真8， 提高15.3m 堤頂長241m）は総貯水量75,000m<sup>3</sup>で，かんがい用水を目的としている．この池は「農村自然環境整備事業」の対象の一部で，「自然環境の保全や回復を図り」，「多種多様な野生動物の生育環境の創造を基本とし」ている．ここでは水生植物帯（ヨシ，キショウブ）も観察される．この池流



写真8：N池と設置場所の概要



写真9：N池で用いたE社の微細気泡発生器



写真10：N池で稼働する微細気泡の様子

域内には畜産農家もあり，雨水とともに様々な排水が入る．南側の巡回木橋の下東西2箇所に吐き出し量130L/minのE社製の曝気装置（写真9）を5機と4機を3～4mの距離間隔で配置し連続した曝気を行った．

#### 連続運転の結果と考察

N池の計測点は秋から春には干しあがることがある．梅雨期など多雨で水位が上昇し，曝気装置が作動しないこともあった．2005年の夏の水質変化（計測は午後1～3時に行うようにした）．結果の一部を写真10と図5，6に示す．9月13日から9月27日の期間の水の透視度は約0.3mで水深は8月31日は0.5mで，その後約0.7mとなった期間ではDO値の上昇傾向が見られた．2006年の8月9日～9月12日の期間，同地点の水深は約0.9mとほぼ一定で，DO値はポンプの清掃のため停止していた．8月29日にDOが激減し，この連続運転がDO増加に効果があると分かった．2007年8月には装置が停止し，強い日照が続き，高い水温とCOD値のもと，DO値は2mg/Lより低下していた．

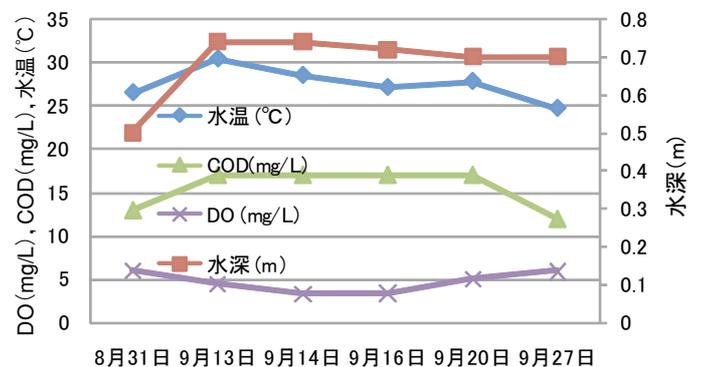


図5：N池2005年の事例

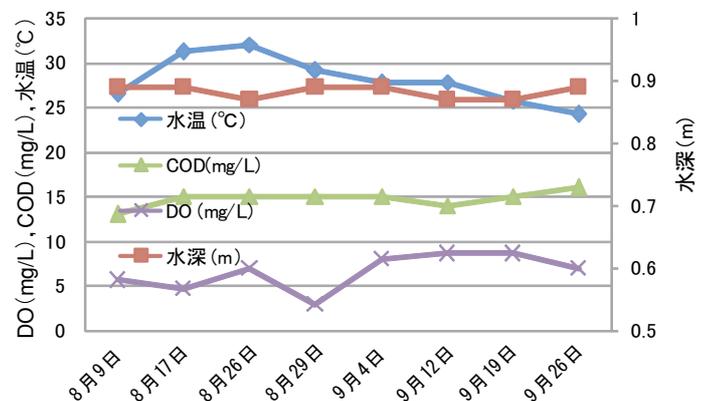


図6：N池2006年の事例

## V. まとめ

原油価格が異常に高騰を続け、火力発電所は原料を益々石炭に依存するようになり、ここで発生する石炭灰をゼオライト化したりサイクル材は高価値副産物として多様な利用が進められている。AZの高機能の保水性・保肥性をはじめ陽イオン交換機能は、平成18年度の完成を目指して進められてきた鳥取県中部の東伯農業水利事業の受益地のなかに、高度な畑地灌漑を先進的に産学官の連携で進めてきた農家を調査する機会を得て、ここで大きな土地改良に資していることが確かめられた。また雨水を貯めた小池で水質が悪化した際に、AZの散布・攪拌することは、浮遊物質の凝集・沈澱を短時間に実現し、底泥処理などにつなげることができた。また貧酸素水域では微細な気泡によるエアレーションは、溶存酸素を増加させ、より微笑な気泡は、水の白濁を可視化させ、周辺の生物などに付着するなど、これまでのエアレーションより長く溶存酸素を水域により長く停留させることが、実験室や池水で確かめられた。

## 謝 辞

この研究に協力してくれた平成18年度専攻生の平岡哲君、角知博君に、また調査にご協力いただいた鳥取県北栄町の河本輝美氏に記して謝意を表します。

## 引用文献

- 安立 学・竹山光一・喜多威知郎 (2001) 自然エネルギーを利用した小池の浄化システム 雨水資源化システム学会誌 Vol.7, No.1: 19-23
- 今井剛・村上奉行・浮田正夫・関根雅彦・樋口隆哉 (2006) 閉鎖性水域における底層部への高濃度酸素水導入による水質改善効果に関する研究, 水環境学会, Vol.29, No.11, 737-744
- 竹山光一・喜多威知郎・樋口 昭 (2002), 人工ゼオライトと自然エネルギーを用いた小池の浄化システムについて, 日本雨水資源化システム学会第10回講演要旨 pp.34-37
- 竹山光一・平岡 哲・角知 博・樋口 昭・山本太平 (2007), 閉鎖性水域内の水環境改善に関する研究, 日本雨水資源化システム学会第15回講演要旨 pp.39-41
- 樋口 昭・東松 隆・竹山光一・小松健彦 (2004), 溜池の汚染底泥(ヘドロ)処理の考察; 日本雨水資源化システム学会12回講演要旨 pp.45-50, 2004
- 山本太平・山田美奈・グアンウェン・ 祐谷有垣 (2002) 乾燥地農業における土壌劣化とリサイクル資材の活用, 農士学会誌 Vol.70, No.7: 13-16
- 大成博文 (2006) マイクロバブルのすべて 日本実業出版, p.166-210
- 中本信忠 (2005) おいしい水の作り方, p.110, 築地書館, 東京