

# 閉鎖系におけるエコバイオ・ブロック(EBB)の 水質浄化性能

松永 信博\*1・増田 壮佑\*2,†・徳永 貴久\*3  
矢野 真一郎\*4・押川 英夫\*4・藤田 和夫\*4  
古雅 雅之\*5・岩下 智明\*6・原田 敦彦\*7

(平成18年7月31日 受理)

## Capacity of Water Quality Purification by Eco Bio-Block (EBB) in a Closed Water System

Nobuhiro MATSUNAGA, Sousuke MASUDA, Takahisa TOKUNAGA,  
Shinichiro YANO, Hideo OSHIKAWA, Kazuo FUJITA,  
Masayuki KOGA, Toshiaki IWASHITA and Atsuhiko HARADA

†E-mail of corresponding author: sou\_m@esst.kyushu-u.ac.jp

Laboratory experiments were carried out on water quality purification of Eco Bio-Block (EBB), which is a porous concrete block including *Bacillus subtilis* natto group. The mineralization of organic matter and the nitrification of ammonium were examined in a closed water system and compared with those of normal concrete blocks on the market. The capacity of water quality purification by EBB was much higher than that of the normal concrete blocks and increased outstandingly with the increase of the water temperature. The generation speed of dissolved inorganic nitrogen and the nitrification speed by EBB were estimated by changing the water temperature.

**Key words:** *Eco Bio-Block, Water quality purification, Laboratory experiments*

### 1. 結 言

現在、沿岸域、河川、湖沼など様々な水域で、水質環境の悪化が顕在化している。特に、人間活動による有機物の流入の増加は水域の富栄養化を引き起こし、深刻な水質汚濁を引き起こしている。有機物や栄養塩の過剰な負荷に起因する水環境悪化を根本的に防ぐには、水域に流入する負荷量を抑えることが急務であるが<sup>1)</sup>、下水道整備や高次排水処理には莫大な費用と時間がかかり、十分な整備がなされるには至っていない<sup>2)</sup>。このような状況下では、水質改善対策が並行して行われることが必要であり、水質改善のための技術開発が望まれる<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>。特に、生態系の物質循環システムを有効に利用し、栄養塩や有機物を系外へ除去する技術開発が強く求められている<sup>5)</sup>。

著者らは納豆菌群の中でもアルカリ性に極めて強い耐性をもつ有用微生物群を抽出・培養し、それを多孔型コンクリートブロック内に封入することに成功した。そのブロックはエコバイオ・ブロック(EBB)と呼ばれ、これまで熱帯魚観賞用水槽等の小規模な水質浄化に利用されてきた。本研究プロジェクトでは、ポーラスブロックに封入された納豆菌群により有機物分解とアンモニア態窒素の酸化(硝化)を促進させ、脱窒活性を高めると同時に、富栄養状態の進んだ水域の水質を直接浄化するための技術開発を目指している。その第一段階として、環境条件を制御した上でEBBの基本性能実験を行ってきた。基本性能実験の主目的は、室内実験によりEBB菌の有機物分解能力と硝化能力の水温依存性を評価することである。さらに、EBBの基本性能を定量化し、実際の河川や海域に設置した場合の効果を見積もることである。

これまでのEBBによる水質浄化性能試験から、以下の結果を得た<sup>6)</sup>。

\*1 総合理工学研究院 流体環境理工学部門  
\*2 大気海洋環境システム学専攻修士課程  
\*3 佐賀大学 低平地研究センター  
\*4 工学研究院 環境都市部門  
\*5 コヨウ 株式会社  
\*6 株式会社 ビッグバイオ  
\*7 NPO 法人 河川環境基金

- 1) EBBによる有機物分解能力および硝化能力は、市販されている通常のコンクリートブロックに比べ、著しく大きい。
- 2) EBBによる分解速度、硝化速度は水温の上昇とともに増加する。
- 3) 全酸素消費量のうち、60%が硝化過程、40%が有機物分解過程に使われている。
- 4) 硝化の活性は水温25℃で最大となる。
- 5) DIN生成速度は45℃以上で最大となる。

本研究では、前回の実験<sup>6)</sup>よりも多くのサンプルをオートアナライザを用いて分析することにより、分析結果の信頼度を向上させた。また、EBBは有用微生物群の餌として有機物を混入させているため、有機物が溶け出し窒素量が初期に急激に増加してしまうという問題が指摘された。これを避けるため、今回の実験では、3日間、全ての試験体(EBB、ポーラスブロック、コンクリートブロック)を水温20℃に保った試料水に馴染ませ、その水を捨て、改めて試料水をフランビンに入れ直した後、水質の変化を調べた。

## 2. EBBの概要

著者らは、自然の土壤中に生息する納豆菌群(*Bacillus subtilis natto* group)から特定の微生物を抽出し組み合わせることにより、耐アルカリ性を備えた水質浄化に有効な微生物群の培養に成功した。そして、この有用微生物群をポーラス状骨材、セメント、水と混合することにより、有用微生物群を封入したポーラスコンクリートブロックを開発した<sup>7)</sup>。その水質浄化機能のメカニズムは未だ不明な点はあるものの、EBB中の有用微生物群(以下、EBB菌と呼ぶ)が、他の菌と互いに補完しあう関係を保つことで単菌では得られない自然浄化能力を有していることが期待されている。現在、様々な形状のEBBが開発されているが、代表的なものをFig.1に示す。形状は、直径90mm、高さ80mmの中空円筒状である。EBB菌およびEBBの特徴を以下に示す。

- 1) EBB菌はpH3~11程度までの範囲で生存できるため、セメントペースト中への封入が可能である。
- 2) EBB菌の有効な増殖可能温度帯は10~65℃であることから、水温が激しく変化する自然界においても水質浄化機能を十分発揮することが期待できる。
- 3) EBBはポーラス構造のコンクリートブロックであるため、浄化対象となる水塊との接触面積が非常に大きい事に加え、水中の有機物がゆっくりとブロック内を流れるため、封入されたEBB菌は効率的に有機物を分解することができる。

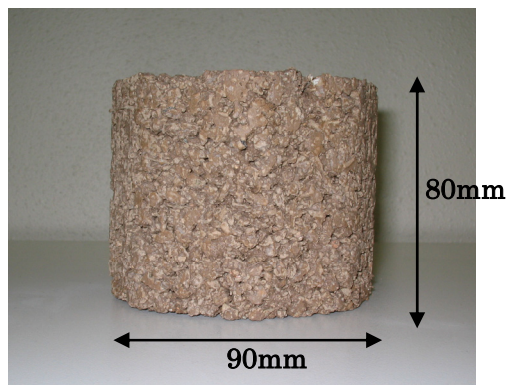


Fig.1 A typical form of Eco Bio-Block.

今回実験に使用したEBBの構成物質を以下に示す。

### <EBBの骨材>

- ・ 島根県石見鉾山(三菱マテリアル)産の天然ゼオライト
- ・ 熊本県三加和鉾山産の堆積岩砕石
- ・ 壱岐島産除塩砂
- ・ 普通ポルトランドセメント
- ・ セメント分散剤(界面活性剤)
- ・ 無機顔料
- ・ EBB菌
- ・ EBB菌の餌としての有機物

## 3. EBBの水質浄化に関する比較性能試験

### 3.1 実験方法

実験において、九州大学筑紫キャンパス内の池の水を試料水として用いた。2005年10月11日に採水し、試料水として冷凍保存した。以下のすべての実験においては、保存しておいた試料水を解凍して使用した。Table 1に試料水の初期水質を示す。クロロフィルa(Chl.a)濃度、フェオフィチン(Pheo.)濃度およびBOD<sub>5</sub>の値より、初期の試料水には、植物プランクトンが通常の河川よりも多く発生していたことがわかる。また、溶存態無機窒素は、全体的に低い値を示している。これは、試料水採取時には植物プランクトンが増殖し、すでにDINが吸収されていたためと考えられる。

実験においては、閉鎖系内における水質変化を明らかにするため、水表面からの再曝気を防ぐ目的でフランビンを使用した。100mlフランビンに試料水とEBB菌入りのブロック5gを入れて密閉した。これらを60本用意し、恒温器(三洋電機バイオメディカ株式会社NIR-253)の中に静置し、水温を一定に保った。

比較する試験体として、オートクレイブで滅菌したコンクリートブロック5gを入れたフランビン60本とポーラスブロック5gを入れたフランビン60本をそれぞれ用意して同条件で実験を行った。また、EBBのみによる有機物分解能力と硝化能力を評価するために、

Table 1 Initial water contents.

| Table 1 Initial water contents. |          |                          |                          |                          |                          |                            |
|---------------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 水温[°C]                          |          | Chl.a[ $\mu$ g/l]        | Pheo.[ $\mu$ g/l]        | BOD <sub>5</sub> [mg/l]  |                          |                            |
| 21.7                            |          | 24.0                     | 9.1                      | 5.7                      |                          |                            |
| TN[mg/l]                        | TP[mg/l] | NH <sub>4</sub> -N[mg/l] | NO <sub>2</sub> -N[mg/l] | NO <sub>3</sub> -N[mg/l] | PO <sub>4</sub> -P[mg/l] | SiO <sub>2</sub> -Si[mg/l] |
| 0.55                            | 0.14     | 0.02                     | 0.002                    | 0.003                    | 0.06                     | 10.0                       |

試料水のみを入れたフランビン60本を用意し、同じ設定温度の下で実験を行った。つまり、EBBをフランビンに5g入れたもの、市販のコンクリートブロック5gを入れたもの、市販のポーラスブロック5gを入れたもの、試料水のみを入れたものをそれぞれ60本ずつ用意し、それらを恒温装置に入れ水温を一定に保った。これら一連の実験を10°C、20°C、30°Cと水温を3段階に変化させることにより、浄化能力の水温依存性を調べた。恒温器内は植物プランクトンの光合成を抑えるために暗条件とした。EBBにはEBB菌の餌として有機物が混入されているため、試料水中に有機物が溶け出し窒素量が初期に急激に増加してしまうという問題が指摘された。この問題を解決するため、前述した様に、今回の実験ではすべての試験体を水温20°Cの試料水に3日間漬け、馴染ませ、その後、水を捨て、改めて試料水を入れ直して実験を行った。

実験は開始から0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 60, 72, 96時間後(全4日間)にフランビンを6本ずつ取り出し、そのうち3本を栄養塩[全窒素(TN)、全リン(TP)、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)、硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)、リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)、ケイ酸態ケイ素(SiO<sub>2</sub>-Si)]の分析に用い、残りの3本を溶存酸素(DO)濃度の分析に使用した。各溶存態栄養塩の分析には、ガラス繊維濾紙(Whatman GF/F 0.45  $\mu$ m)で濾過することにより得た濾液が用いられた。今回の実験では実験精度を上げるため、各時間で得られた3つのデータを平均化し、その平均値を各時間における値とした。DO濃度はウィンクラー法によって分析された。初期水におけるChl.a濃度とPheo.濃度は試料水500mlをガラス繊維濾紙(Whatman GF/F 0.45  $\mu$ m)で濾過した後、濾紙を90%アセトン溶液中に入れ、得られた抽出液をLorenzenの方法<sup>8)</sup>に従って分析した。生物学的酸素要求量(BOD)は、水温20°Cにおいてバクテリアが有機物を酸化する時に消費する酸素量と定義されており、有機物量の指標の1つである。今回は5日後のDOの値から得られたBOD<sub>5</sub>によって有機物量を評価した。TN, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-NおよびTP, PO<sub>4</sub>-P, SiO<sub>2</sub>-Siは、それぞれTN・TP Auto Analyzer (BLTEC社製: swAAt)を用いて分析した。TN・TP Auto Analyzerの各項目の測定方法を以下に示す。

## 分析項目

## 測定方法

|  |                  |
|--|------------------|
| TN                                     | アルカリペリオキシ二硫酸カリ分解 |
| TP                                     | ペリオキシ二硫酸カリ分解     |
| NH <sub>4</sub> -N                     | インドフェノール法        |
| NO <sub>2</sub> -N+ NO <sub>3</sub> -N | Cd-Cu還元法 ジアゾ法    |
| NO <sub>2</sub> -N                     | ジアゾ法             |
| PO <sub>4</sub> -P                     | リンモリブデン法         |
| SiO <sub>2</sub> -Si                   | シリカモリブデンブルー法     |

## 3.2 水質の時間変化と試験体間の比較

Fig.2に水温10°Cにおける水質の時間変化を示す。図中において、プロットされたデータは3本の測定結果の平均値であり、縦線は最大値および最小値を表している。DO濃度の変化は各試験体ともそれほど大きく変化しておらず、4日後においても貧酸素状態に達していない。TNの値は、実験開始後減少する傾向が見られるが、大きく変動しながらもほぼ一定値に落ち着く傾向が見られる。TNが実験開始後減少する理由は、ブロックに懸濁態有機窒素(PON)が付着したためと考えられる。また、EBBのTNの値は、他の3ケースに比べて大きな値を取っている。この傾向は、水温20°Cと30°Cの場合においても認められた。従って、3日間EBBを試料水に馴染ませたからといって、有機物の溶出を完全に止めることはできなかったものと思われる。NH<sub>4</sub>-Nの値も他のブロックより大きく、有機物分解能力が他の2つのブロックよりも高いことが分かる。また、NO<sub>2</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nの値も他のブロックより大きく、EBBが高い硝化能力を備えたブロックであることが確認された。TPとPO<sub>4</sub>-Pの値は全てのケースにおいて徐々に減少し、一定値に落ち着く傾向が認められる。試料水のみケースにおいてTPとPO<sub>4</sub>-Pの値が最も高くなっている。この理由として、有機態、無機態ともにリンはブロックに吸着された可能性が示唆される。SiO<sub>2</sub>-Siの変動は大きいものの試験体間の違いはほとんど見られないという結果となっている。

Fig.3に水温30°Cにおける水質の時間変化を示す。EBBによるDO濃度の変化は、他の2つのブロックよりは大きいものの、試料水のみDO濃度の変化と大差がないという結果になっている。また、実験開始40時間後において試料水は貧酸素状態に達していることが分かる。このことは、水温10°Cの場合と比べ、試料水内のバクテリアによる有機物分解の活性が高まったことを示している。EBBのTNの値は、他の3ケースに比

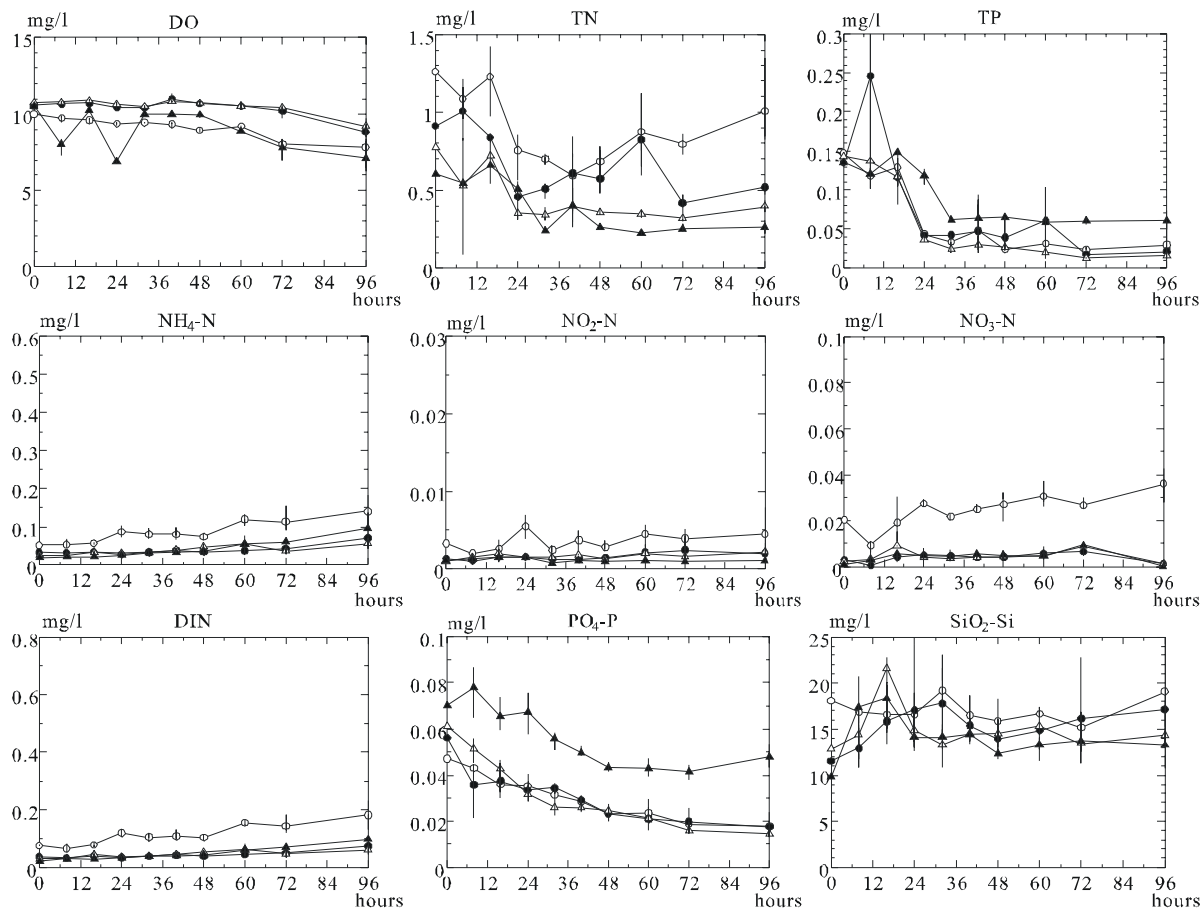


Fig.2 Time variations of water quality at 10°C.

○—EBB  
●—Porous Block  
△—Concrete Block  
▲—Reference

べて大きな値を取っている。この理由は、前述したように3日間馴染ませたからといって、有機物の溶出を完全に止めることができなかつたためと考えられる。NH<sub>4</sub>-Nの値は、貧酸素状態に達する前までは増加傾向にあり、貧酸素状態に達したと考えられる40時間以降はほぼ一定となっている。NH<sub>4</sub>-Nの生成速度は、EBBを入れた試料水が最も高いことがわかる。また、EBBによるNO<sub>2</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nの生成も、他の3ケースよりも著しく大きいことがわかる。NO<sub>2</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nの生成は、貧酸素状態になってから生成されており、EBBは高い有機物分解能力と硝化能力を備えていることがわかる。TPとPO<sub>4</sub>-Pの値は、10°Cの場合と同様、全てのケースにおいて徐々に減少し、一定値に落ち着く傾向が認められる。また、試料水のみの場合においてTPとPO<sub>4</sub>-Pの値が最も高くなっている。この理由として、前述したように、有機態、無機態ともにリンはブロックに吸着されたためと考えられる。

### 3.3 EBBによる水質変化の水温依存性

Fig.4は、EBBによる水質変化の水温依存性を示す。DO濃度の変化は水温が上昇するにつれて大きくなっており、水温の上昇とともに活性が高まることがわかる。TNの値は4日間を通してほぼ一定とみなせるが、TPとPO<sub>4</sub>-Pの初期値は著しく高く、その後減少して一定となる傾向を示す。この理由は、有機態リン、無機態リンともにブロックへの吸着あるいは付着が原因と考えられる。NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nの値はともに水温が上昇するにつれて増加しており、EBBの有機物分解能力と硝化能力は、水温が上がるにつれ高くなることが分かる。

Fig.5は、EBBによるDIN生成速度と硝化速度を示す。●印は、EBBを3日間試料水に漬け、馴染ませた後に実験を行った結果である。○印は、EBBを試料水に馴染ませず、試料水に漬けた後直ちに実験を開始した場合の結果である<sup>6)</sup>。Fig.4に示されるように、各実験開始から24時間の間はDO濃度が十分大きく保たれており、開始から24時間の間で有機物分解能力と硝化能力を見積もることが妥当であると考えられる。

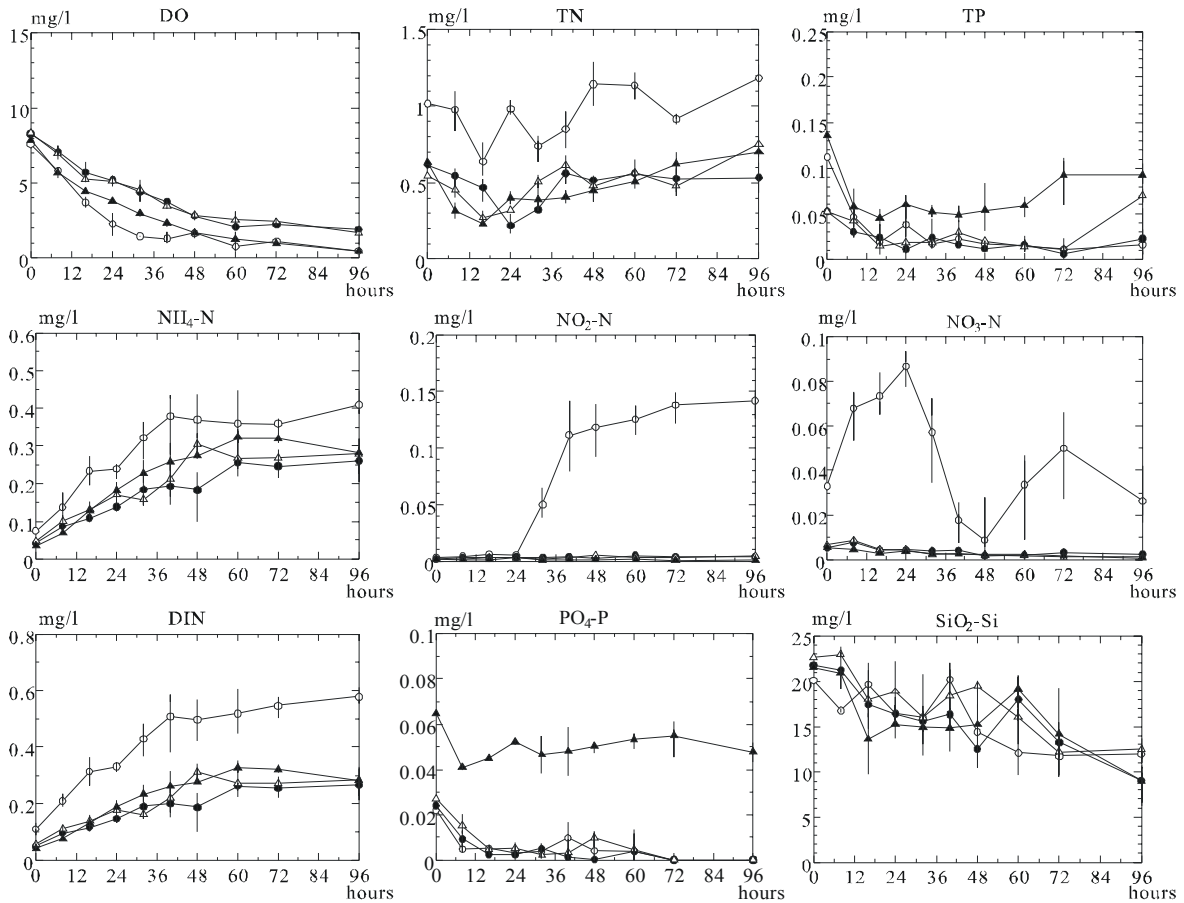


Fig.3 Time variations of water quality at 30°C.

○—EBB  
●—Porous Block  
△—Concrete Block  
▲—Reference

従って、DIN生成速度と硝化速度は、実験開始から24時間までの<試料水+EBB>のデータから<試料水のみ>のデータを差し引き、その結果に対して線形近似を当てはめることにより求められた。今回の実験で得られたDIN生成速度と硝化速度は指数関数的に増加していることがわかる。一般的に、湖沼や海域における硝化速度はそれぞれ数10~数100  $\mu\text{g N/l/day}$ 、数  $\mu\text{g N/l/day}$ 程度<sup>9)</sup>であることが知られており、EBBによる硝化速度は大きいことがわかる。EBBを試料水に馴染ませない場合のDIN生成速度と硝化速度は、馴染ませた場合に比べて桁違いに大きな値をとることがわかる。EBBを実水域に設置した場合、どちらの結果が期待されるのかについては今後正確に評価していく必要があると思われる。

#### 4. 結 言

閉鎖系における水質試験により、EBBがもつ高い有機物分解能力と硝化能力が確認された。また、それらを定量化し、水温依存性を評価した。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 市販のポーラスブロックやコンクリートブロックに比べるとEBBによる有機物の分解速度や硝化速度は著しく大きい。
- 2) 水温が高くなるにつれEBBによる有機物分解速度も硝化速度も並行して指数関数的に高くなり、有機物→アンモニア態窒素→硝酸態窒素という無機化プロセスを効率的に行うことができる水質浄化ブロックである。

有機物汚濁が著しい湖沼や河川、アンモニア態窒素の生成速度が大きい富栄養化海域、硝化過程と脱窒過程が密接に結びついている干潟底泥や硝化作用の低下が報告されている有明海湾奥部等においては、EBBの水質浄化機能が十分発揮されると推察される。さらに、EBBを現地に設置する場合、EBBがもつ高い硝化能力を生かしてどのように脱窒プロセスを促進させるかが水質浄化の鍵となると思われる。

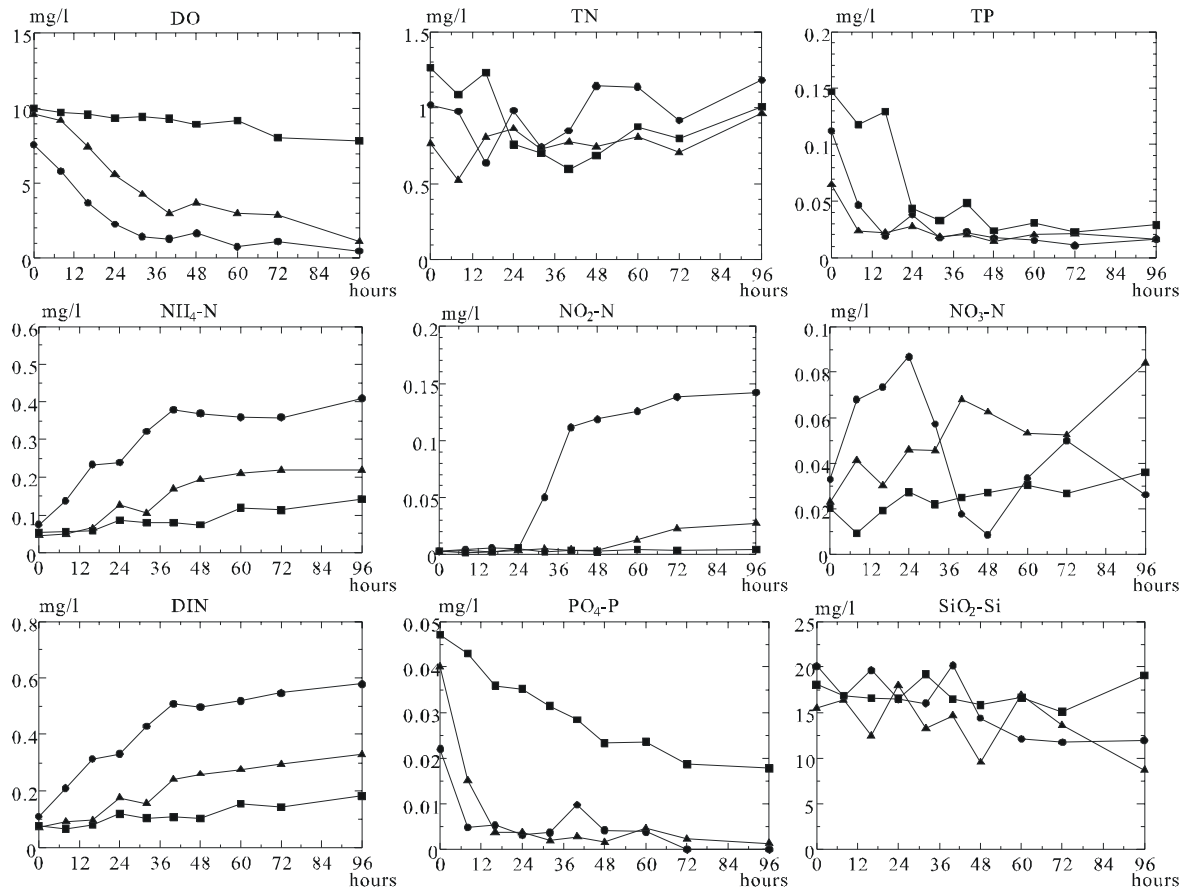


Fig.4 Dependence of water quality variations on water temperature.

● 30°C  
 ▲ 20°C  
 ■ 10°C

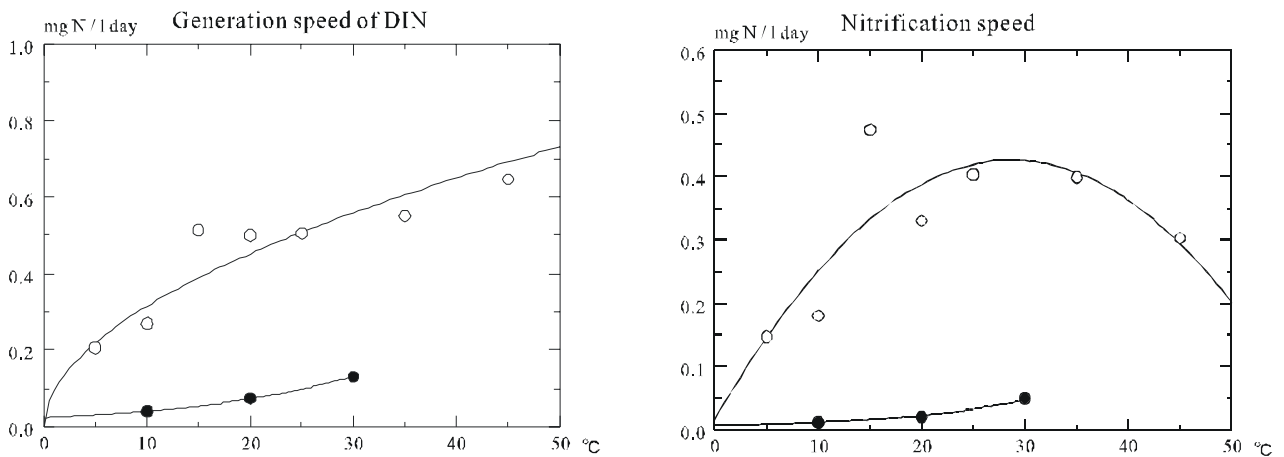


Fig.5 Generation speed of DIN and nitrification speed by EBB.

● After three-days-soak of EBB in water.  
 ○ Without previous soak of EBB in water.

## 謝 辞

本研究は、平成17年度建設技術研究開発助成制度の助成（代表者 松永信博）を受けて行われた。また、室内実験および水質分析を行うにあたり高橋篤氏および中牟田大嗣氏に多大なる協力を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 柳哲雄：貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響，海の研究(2004)，13(5)，pp.451-460.
- 2) 須藤隆一：環境修復のための生態工学，講談社(2000)，pp.42.
- 3) 小松利光，小橋乃子，田嶋健太郎，藤田和夫，安達貴浩，矢野真一郎，末松吉生，甲斐一洋：底面粗度を用いた海域の水質改善技術の実用化へのアプローチ，水工学論文集(2000)，第44巻，pp.957-962.
- 4) 池田佳子，荒木佐知子，鷺谷いづみ：浚渫ヘドロを利用した水辺の植生復元の可能性の検討，保全生態学研究(1999)，Vol. 4，pp. 21-31.
- 5) 羽田好孝：アオサの除去による浜名湖の水質浄化対策，水産業における水圏環境保全と修復機能，日本水産学会編，恒星社厚生閣(2002)，pp. 106-118.
- 6) 松永信博，徳永貴久，増田壮佑，矢野真一郎，押川英夫，藤田和夫，古賀雅之，岩下智明，原田敦彦：エコバイオ・ブロック(EBB)の水質浄化機能に関する基礎的実験，水工学論文集(2006)，第50巻，pp. 1081-1086.
- 7) <http://www.eco-bio-block.jp>
- 8) Lorenzen, C. J. : Determination of Chlorophyll and Pheo-Pigments : Spectrophotometric Equation, Limnology and Oceanography(1967), Vol. 12, No. 2, pp. 343-346.
- 9) 吉田陽一：汚濁物質の無機化および硝化・脱窒，水産学シリーズ 水域の自浄作用と浄化，恒星社厚生閣(1979)，pp. 22-35.