

# 微細藻類を用いた室内快適化装置「バイオアート」の開発

加藤 顕 窪 寺 友 子  
辻 博 和 喜 田 大 三

## Development of “BIO-ART” for Making Indoor Space Comfortable with Microalgae

Akira Kato Tomoko Kubotera  
Hirokazu Tsuji Daizo Kita

### Abstract

People want to live in a comfortable indoor environment and it was thus that the authors developed a new type of interior decoration using algae named “BIO-ART”. It consists of culturing microalgae in a decorative clear vessel, and it is enjoyable to see its color and movements of water currents and air bubbles. It is hoped to install this decoration on columns and walls of atriums, at entrances of buildings, and in underground spaces. Algae for BIO-ART were selected, and the compositions of media and condition of light were examined. A self-standing type was developed as the first unit.

### 概 要

室内環境における快適性のニーズに応えるものとして、藻類の特性を活用した『バイオアート』を開発した。これは、従来の花や観葉植物による静的な装飾に対して、藻類を各種形状の透明な容器で培養し、色彩、水流及び気泡の動きによって積極的に景観演出を行える装置である。アトリウム、ビルの玄関部及び地下等の大空間に適用するのが効果的であり、柱・壁面等に設置する。開発においては、「バイオアート」に活用する藻類及びその適切な培養法について検討し、1号機として独立設置型の装置を製作した。

## 1. はじめに

近年、生活環境の向上に伴って「快適性」が強く求められている。室内空間においては、従来花や観葉植物によって景観を演出し快適化を図ってきたが、最近、水や水草・魚等による親水性のある動的な演出方法が利用されつつある。しかし、アトリウム等の大空間への適用はあまり積極的に行われていない。

一方、炭酸ガスの増加による地球温暖化など地球環境問題が盛んに叫ばれている。その対策技術の一つに、炭酸ガスの固定・クリーンエネルギー（水素）の生産等を生物学的に行う技術として、光合成を行う藻類の活用が非常に注目されてきている。

藻類の特性としては次のような点が挙げられる。①光合成によって炭酸ガスを固定し、酸素を放出する。②栄養分として無機の窒素・リン等を吸収する。③藻体は蛋白質・生理活性物質に富み食料、油脂、医薬品原料として利用できる。実際に食糧生産への適用に関しては、昭和20年以降数多く研究されており、健康食品等として利用されている。また水処理への利用も研究されている。

当研究室においては、藻類のこのような特性を活用して、炭酸ガス固定・有用物回収、さらには水の浄化などを目的とした環境浄化・快適化技術の開発を目指して、現在研究開発を進めている。

その中で得られたノウハウ等を活用し、室内環境における快適化のニーズに応えるものとして、室内快適化装置『バイオアート』を開発した。これは花や観葉植物を用いた従来の静的な室内装飾に対して、新たに微細藻類を用いて「色彩」、「水」、「動き」のある動的な景観を大空間等において積極的に演出するものである。この「バイオアート」における微細藻類の生育維持に際しては、良好な景観演出のために、従来の食料品を目的とした大量培養と異なり、適切な色調と適度な藻体濃度を維持する培養方法が重要である。

本報告書では「バイオアート」の概要を紹介するとともに、活用する藻類及び培養法に関して述べ、1号機として製作した独立設置型「バイオアート」の適用実績について報告する。

## 2. 室内空間快適化のための景観演出技術の動向

景観演出による快適化に関して、人工的な室内空間に潤いと安らぎを与える手段として、従来から表1に示すような①造花、②花や観葉植物、が用いられてきた。

最近では③水と照明、④水草と魚等が用いられてきている。従来の①・②と比較して、③は親水性のある動的な演出が可能になり、④は生き物による身近な自然の演出を図り、かつ精神的に落ち着ける演出となっている。

しかしながら、景観演出に自然の生き物を用いつつ、親水性を与えた動的な演出を大空間でも可能とし、設置場所もある程度自由に選択できる技術はなかった。

### 3. 「バイオアート」とは

#### 3.1 特徴と適用場所

バイオアートとは、微細藻類を用いて「緑」、「水」、「動き」のある動的な景観を積極的に演出する室内快適化装置である。

バイオアートの演出イメージは図-1に示す通りである。円柱・板状等の透明な容器に微細藻類と培養液を入れ、室内空気を吹き込み、エアリフトで攪拌循環すると共に培養に必要な光は緑の演出も兼ねてランプで照射する。従って、バイオアートの特徴は前掲の表-1に併記したように、各種のデザインが可能であり、動的な面白さと自然的な色調（緑）によって心理面での快適化を図れることである。さらに培養液が流体であるため、配管を施すことで任意の場所に演出することが可能である。

また吹き込む室内空気を繊維状活性炭等のフィルターに通すことによって、粉塵や臭気等を除去し室内空気の浄化が可能となっている。藻類の光合成による炭酸ガス吸収、酸素付加の効果も期待できる。

このようなバイオアートはあらゆる空間に設置できる。特にビルの玄関部やアトリウム、地下等の大空間においてその効果は大きい。その際には柱・壁面に設置するのが適している。

ところで、開発したバイオアートは室内快適化装置として室内設置するものであるが、この装置を工場等の建築物の外壁面に設置することによって、景観演出を図りつつ工場で発生する炭酸ガスを固定するバイオリクターとしての活用も可能と考えている。

#### 3.2 「バイオアート」のシステム概要

景観演出のためには、微細藻類の正常な増殖を維持しつつ、適正濃度に制御するための維持管理を含めたシステムが必要となる。そのシステム概要を図-2に示す。基本的な構成は、微細藻類を培養し緑を演出する演出装置と培養液及び藻体濃度を制御する維持管理装置の2つに分けられる。維持管理装置は、各種センサー（pH、藻体濃度等）及びそれに連動する装置（各種溶液注入ポンプ、藻体引き抜き装置等）によって構成されており、培養液と藻類は、この演出装置—維持管理装置間を循環ポンプによって常時循環され、pH調整及び増殖した藻体の分離等が自動的に行われる。

### 4. 使用する藻類とその制御に関する検討

#### 4.1 景観演出に適した藻類

以下の藻類が景観演出に利用可能と考えられる。

- ① 緑藻（黄緑色）クロレラ、ミカヅキモなど
- ② 藍藻（青緑色）スピルリナ、ミクロキスティスなど
- ③ 紅藻（赤紫色）アサクサノリ、テングサなど
- ④ 珪藻（褐色）イトマキケイソウ、ツノケイソウなど

表-1 室内景観演出方法の評価

演出方法	①	②	③	④	⑤
比較項目	造花	花と観葉植物	水と照明	水草と魚	バイオアート
親水性	×	×	○	○	○
動的な面白さ	×	×	○	○	○
自然の演出	×	○	×	○	○
デザインの自由度	○	△	○	△	△
設置場所の自由度	○	△	○	×	△
維持管理	○	△	○	×	△
景観演出以外の機能	×	△	×	×	△

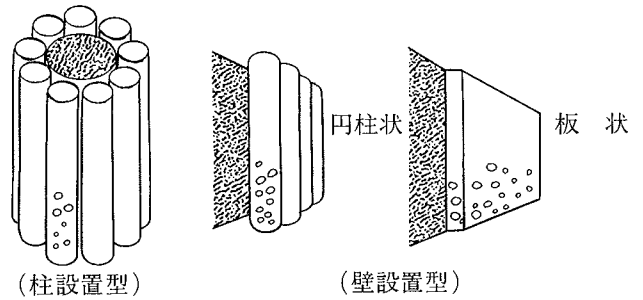


図-1 「バイオアート」の設置イメージ

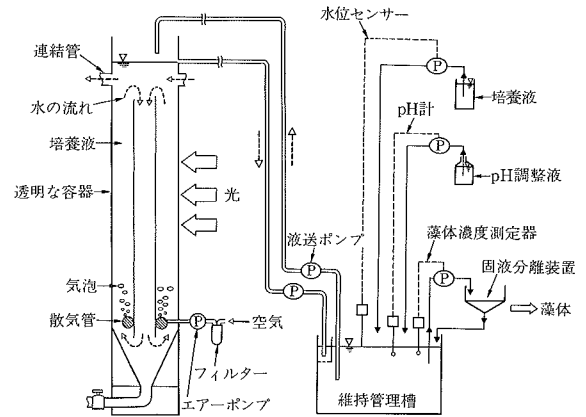


図-2 「バイオアート」のシステム概要

3.1に述べたような「バイオアート」に適用可能な藻類の条件として、以下の点が考えられる。①気泡とともに動きを見せるため、微細であること、②色彩として、心理的に落ち着きと安らぎを与える色である緑色系のもの、③他の微生物と共存しにくい生育条件であること、④藻体が増殖した場合、余剰藻体の回収・分離が容易であること。

以上の点を考慮して、代表的な微細藻類であるクロレラ（緑藻）とスピルリナ（藍藻）の2種類を候補に挙げて比較した。

色調についてはクロレラとスピルリナの分光反射率を図-3に示した。色彩色差計による実測値はクロレラがL\*=55.87, a\*=-13.22, b\*=39.06, スピルリナがL\*=59.16, a\*=-9.86, b\*=9.58で、色調はクロレラが黄緑色、スピルリナが青緑色である。クロレラの培養液は中性で、他の藻類・微生物等にも適しており、長期培養の

際にはこれらの共生生物が優勢になる恐れがある。これに対してスピルリナでは、pHが9～10の弱アルカリ性で他の微生物の繁殖を抑制できる。さらにクロレラは藻体の大きさが1～10 μmであるのに対し、スピルリナは、写真-1に顕微鏡写真を示すように約300 μmと大型であり、分離回収が容易である。

以上の比較から、①色彩が美しく装飾に適する、②他の微生物が増殖しにくい、③分離回収が容易であることを重視して、今回はスピルリナを使用することとした。

#### 4.2 スピルリナの適切な培養方法

「バイオアート」に適用する場合藻類の色調及び濃度を適正に保つことは最も重要である。藻類の色調さらには増殖速度は照射する光、pH、培養液の組成などに左右され、これらの条件の適性管理が課題となる。

また、培養液は溶媒である純水に窒素、リン、炭酸塩、微量栄養素(A5)等を添加して作成するが<sup>1),2),3)</sup>、純水を水道水に変える等の簡略化が可能と考えられる。

以上の点を考慮して、スピルリナの適切な培養方法について、亀型藻類培養装置などを用いて検討した<sup>2)</sup>。培養液はSOT培地<sup>3)</sup>を標準の組成として用い、実験条件によって一部の組成等を変更した。

**4.2.1 「バイオアート」に適した培養液** ①溶媒に水道水を用いた場合、A5を無添加とした場合、②炭酸塩無添加の場合、③pHが7～11の場合の実験結果を図-4に示す。バイオアートに適したスピルリナの濃度は後述するように藻体濃度(1ℓ当たりの乾燥重量)で150～200 mg/ℓ程度である。微生物の増殖速度は現存量に比例することが知られており、その比例定数が比増殖速度である。図-5に例示する増殖曲線から藻体濃度約200 mg/ℓの時の比増殖速度を求め図-4に示した。

今回の実験条件では、比増殖速度が大きいものは色調も良好であった。その条件は、pHについて8～10であった。培養液の溶媒については、A5が添加してあれば、イオン交換水、水道水ともに良好であった。

一方、維持管理面からは比増殖速度が小さいことが望ましい。炭酸塩が無添加である場合、色調を良好に保ちつつ比増殖速度は小さくなった。

以上の結果から、「バイオアート」の培養液には、溶媒に水道水を使用し、pHを8～10、炭酸塩を添加しない標準合成培地が適していると判断した。

**4.2.2 「バイオアート」の演出に適した照明** 図-5左は照度300, 3,000, 15,000 (lx)の照度で連続照射した場合の藻体濃度の経時変化である。照度が高くなるにつれ増殖速度が早くなっており、高い照度で演出する場合には藻体濃度の維持管理が重要になる。また、藻体増加量あたりのクロロフィルaの増加量を測定・比較したものが図-5右である。低い照度ではクロロフィルaが増加しており緑が濃くなっていると考えられ、肉眼観察においてもこれが確認された。従って、スピルリナの色をより一層鮮やかに保つためにはカラムの太さや照明に変化をつけて低照度の状態を出来る限り確保することが好

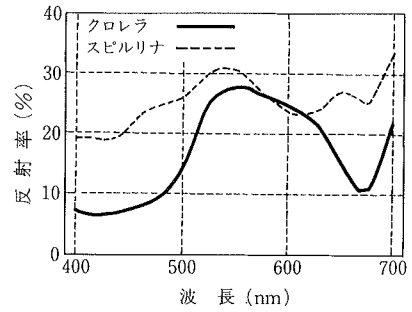


図-3 クロレラ、スピルリナの分光反射率

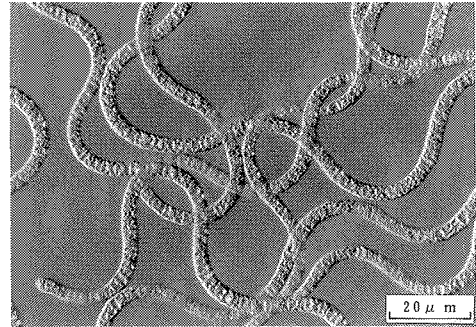


写真-1 スピルリナの顕微鏡写真

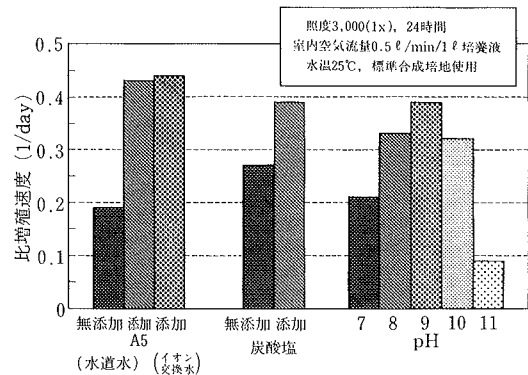


図-4 各種培養条件下におけるスピルリナの比増殖速度

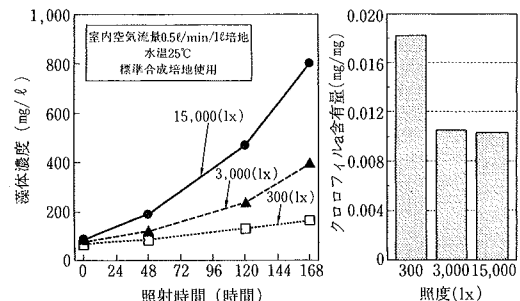


図-5 各種照度条件下におけるスピルリナの増殖挙動とクロロフィルa含有量

ましいと判断した。

### 5. 「バイオアート」1号機の製作と設置

1号機として設置場所を自由に移動できる独立設置型の装置を製作した。以下その概要と室内に設置した際の結果を紹介する。

### 5.1 独立設置型「バイオアート」の概要

装置の仕様を表-2に示す。演出部分であるカラムは、光を透過する透明なアクリル（メタクリル樹脂）にて作製し、形状は円筒型とした。前掲の図-2に示したように、カラム内に内管を設置し水の流れが円滑に行えるようにした。カラムは、径が60~150mmの太さの異なるものを、直径約1mの円周上に20本を配置した。

また、透明感のある緑及び気泡による水の動きを演出するため、出力が0~100%に調整できる調光用蛍光灯を用いて、カラム背後から光を当てる方式にした。なお、気泡はカラム底部に設置した散気管によって均一に発生させた。カラム内の培養液は、各カラムを連結し循環させることで一括管理できる方式にした。

### 5.2 装置の設置例

独立設置型バイオアートの設置状況を写真-2に示す。装置の背後には鏡を設置し、広がりのある演出を図った。照明は、日中（9時~17時）は調光器の出力を0~100%の範囲で所定周期で変化させながら点灯し、夜間は消灯した。

ここで、pH及び藻体濃度、カラム外側の表面照度の経日変化の一例を図-6に示す。但し例示した期間は、日中、調光器の出力を100%で点灯した。その際のカラム内側の表面照度は約10,000 (lx) である。

当初約100 mg/lであった濃度が、3日後には200 mg/lまで上昇した。緑の演出と藻体濃度の関係に関しては、スピルリナを用いた場合、150~200 mg/lが適していると判断された。カラム外側の表面照度は、藻体濃度の上昇に伴い細いカラムでは3,700 (lx) から2,000 (lx)、太いカラムでは1,800 (lx) から400 (lx)まで低下した。しかし約500 (lx)の室内照度よりカラム透過光の照度が高いため、緑を浮かび上らせる美しい演出となった。このことによって、カラムの背後から光を照射する方法は、室内等の照度の低い場所に適していると判断された。またカラムの管径を変えることによって、緑の濃淡を変化させることができた。

### 6. まとめ

室内環境の快適化を図るものとして、微細藻類を用いて「緑」、「水」、「動き」のある動的な景観を積極的に演出する『バイオアート』を開発した。バイオアートに適した微細藻類の種類とその適切な培養法に関する検討結果、さらに一号機として製作した独立設置型「バイオアート」の成果を要約すると下記の通りである。

- ① 使用する微細藻類は今回スピルリナとした。
- ② バイオアートに使用する培養液は、水道水を溶媒として基本的な組成（但し炭酸塩は無添加）にて作製し、pHは8~10に管理するのが適切である。
- ③ 独立設置型「バイオアート」は、管径がφ60~150mmのアクリル製円筒カラム20本を組合せ、直径約1mの円周上に配列し、カラム中で微細藻類を培養する装置

表-2 独立設置型「バイオアート」の仕様

各部名称	仕様
演出装置	方式：多柱列円筒カラムによる藻類培養方式 構成：円筒カラム（アクリル製、φ60~150mm計20本） 内部照明（20W蛍光灯20本、0~100%自動調光） 空気供給（通気流量10~20 ℓ/min） 寸法：φ1,200mm×H2,200mm 総重量：約600kgf（運転時） 消費電力：600W（照明点灯時）
維持管理装置	方式：培養液の循環・自動計測制御方式 管理項目：藻体濃度の自動計測と藻体引き抜き pHと水位の自動調整 循環量：8 ℓ/min 寸法：650×600×1,650mm 総重量：約100kgf 消費電力：600W

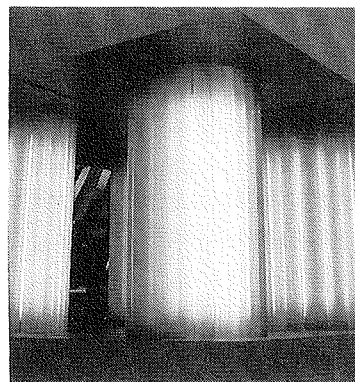


写真-2 「バイオアート」の設置状況

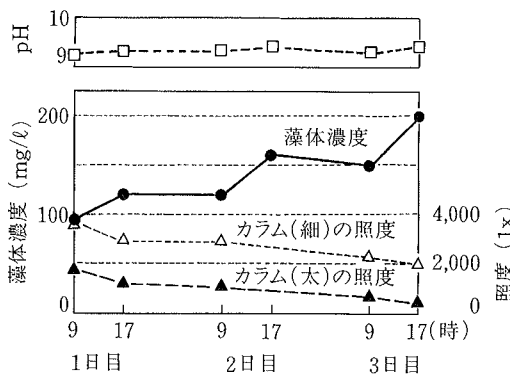


図-6 藻体濃度・カラム外側の表面照度・pHの経日変化の一例（内部照明点灯時に測定）

である。内側からは調光した照明を所定の周期で当て、濃淡に変化のある緑を演出し、同時に通気によって気泡による水の動きを表現できる。

なお今回紹介できなかった維持管理装置に関しては、長期的な運転結果とともに後日報告する予定である。

### 参考文献

- 1) 島松英典：微細食用藻スピルリナの量産（上），BIO INDUSTRY, Vol. 3, No. 5, p. 25~31, (1986)
- 2) 田宮 博，渡辺 篤：藻類実験法，南江堂，(1975)
- 3) 西澤一俊，他：藻類研究法，共立出版，(1979)