

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560164

研究課題名（和文）走化性バクテリアによって生じる生物対流中の輸送特性の制御に関する数値解析

研究課題名（英文）Numerical Analysis of Transport Control in Bioconvection Generated by Chemotactic Bacteria

研究代表者

柳岡 英樹（YANAOKA HIDEKI）

岩手大学・工学部・教授

研究者番号：40281951

研究成果の概要（和文）：

本研究では、走化性バクテリアにより生じる生物対流中の輸送特性の制御に関する数値解析を行った。懸濁液が入った容器の下壁面を振動させたとき、非定常生物対流が発生し、プルームが周期的に変動する。プルームの周波数応答性を調査することにより、プルームの波長が短くなると、プルームの干渉が強まり、輸送特性が向上することが明らかとなった。これらの結果は既存の実験では得られていない初めての研究成果である。

研究成果の概要（英文）：

Numerical simulations were carried out modeling the bioconvection generated by chemotactic bacteria, and the control of transport characteristics was examined. A suspension of bacterial cells is contained in a chamber. When the lower wall of the chamber vibrates, unsteady bioconvection occurs, and the plume periodically fluctuates. It is found from the examination of frequency response of the plume that the increase of interference between the plumes enhances transport characteristics when the wavelength of plume decreases. These results don't clarify in the previous results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：生物対流，バクテリア，酸素，走化性，計算流体力学

1. 研究開始当初の背景

地球上には多様な微生物が存在し、これらの微生物は、外部からの刺激に反応し、特定の方向へ移動する性質を持っている。このような微生物の特徴は走性と呼ばれ、走性の種

類として、重力に反応する走地性、光に対する走光性、化学物質に対する走化性などがある。懸濁液中では、枯草菌のような微生物が走性により水面近傍に集中すると、その比重は水より重いため、微生物の沈降がはじまり、

生物対流が発生する。この生物対流に関する基礎的研究は従来から数多く行われている。一方では、生物対流を制御することにより、微生物の集団を工学的に利用することが考えられている。今後のバイオチップ内における微生物制御や環境浄化における微生物利用の観点からも、流体中における走性を持つ微生物の挙動を解明し、微生物によって生じる生物対流を効率的に制御する方法を見出すことは重要である。

2. 研究の目的

実際に観察される生物対流では複数のプルームが干渉し合い、それに伴う波長(プルーム間の間隔)の変化が輸送特性に重大な影響を及ぼすと考えられる。微生物の工学的利用を考えると、このような変化を効率的に制御することを考えるべきであるが、このような研究例はいまだ報告されていない。以上のような観点から、本研究では、走化性バクテリアによって生成される生物対流におけるバクテリアと酸素の輸送特性を制御することを目的とする。まずは多様な生物対流パターンに着目し、プルームの波長と輸送特性の関係を明らかにする。その後、容器内の生物対流に振動を与えたときの非定常プルームの周波数応答性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) プルーム同士の干渉による輸送特性の変化に関する調査

計算においては、対象とする容器は浅く、水面から酸素が一様に供給され、懸濁液中には走化性バクテリアが存在している状態を考える。容器内に複数のプルームが存在する生物対流の解析を行う。得られた計算結果から、バクテリアと酸素の濃度場と流れ場の関連を明らかにするとともに、バクテリアと酸素の流束分布を求め、プルーム同士の干渉が生じている場合の輸送特性を詳細に調査する。次に、バクテリアの初期濃度に様々な乱れを加え、波長の異なる多様な生物対流パターンを発生させ、プルームの波長による輸送特性の変化を明らかにする。

(2) 生物対流中のプルームの周波数応答性に関する調査

計算モデルは上記の調査(1)と同じである。この状況下において、容器の下壁面を振動させたときのプルームの周波数応答性を調査する。調査(1)の結果をもとに、輸送特性の良い生物対流パターンに着目する。容器の下壁面を加振させたときのプルーム間の干渉による濃度場や生物対流の時間変化を観察し、バクテリアと酸素の輸送の非定常特性を調査する。次に、加振周波数や振幅を変化させたときのプルームの周波数応答性を調査

し、輸送特性を向上あるいは抑制させる最適な条件を明らかにする。

(3) バクテリアと酸素の輸送制御に関する調査

計算モデルは上記の調査(2)と同じである。波長の異なる複数の生物対流パターンに関して、加振周波数や振幅を変化させたときのプルームの周波数応答性を調査する。これにより、プルームの波長、加振周波数や振幅などの関係を明らかにし、バクテリアと酸素の輸送制御の指針を得る。以上の結果を総合して、走化性の特徴を利用したバクテリア制御が化学分析や環境浄化などの工学的問題へ応用できることを明らかにし、制御に対する指針を示す。

4. 研究成果

(1) プルーム同士の干渉による輸送特性の変化に関する調査

本研究は、プルーム同士の干渉による輸送特性の変化に関して調査している。500種類の初期乱れをバクテリア濃度と与えると、プルームの波長と出現頻度が異なる10種類の生物対流パターンが形成される(図1が一例)。10種類の対流パターンの中でも、プルームの波長が容器深さの2倍となる対流パターンの出現頻度が最も高い。各対流パターンにおいて、複数のプルームが周期的に形成され、プルームまわりに生物対流が発生する。プルームの波長が短くなるに従い、プルームの中心における下降流の速度は遅くなり、酸素とバクテリアの濃度は低下する。一方、プルーム間ではプルーム同士の干渉が強くなるため、上昇流の速度は速くなり、酸素とバクテリアの濃度は増加する。生物対流が発生している

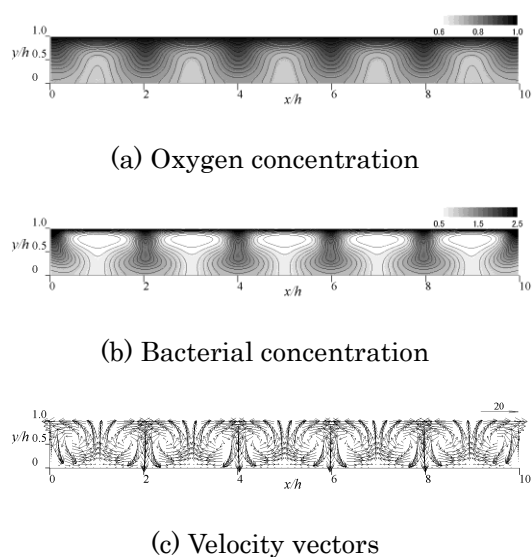


Fig.1 Bioconvection at $\Gamma=1000$.

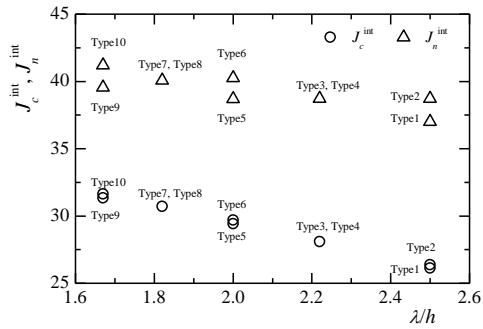


Fig. 2 Integral values of total flux of oxygen and bacteria in y -direction.

ため、水面近傍を除いて、対流による酸素とバクテリアの輸送が輸送形態の中で支配的である。プルームの波長が短くなるに従い、プルーム同士の干渉が強まるため、容器内全体における酸素とバクテリアの輸送特性は向上し、プルームの波長が輸送特性を決定する一つの要因となる (図 2)。

(2) 生物対流中のプルームの周波数応答性に関する調査

本研究は、バクテリア制御の工学的応用の可能性を調査するため、生物対流が発生していない静止状態の懸濁液に対して、容器の下壁面を振動させて生物対流を生成できるかを調査し、そのときのプルームの周波数応答性を調査している。生物対流が発生していない定常場において、下壁面を振動させると、生物対流を発生させることができ、周波数によって対流現象や輸送特性が変化する。下壁面が低周波数で振動するとき、プルームは左右に周期的に振動する (図 3)。このとき、プルーム内のバクテリア濃度が過濃となり、プルーム中心における下降流の速度は速くなるため、生物対流による輸送特性は向上する。周波数が高くなるに従って、プルームが下壁面の振動に追従できなくなり、プルームの振幅と規模が小さくなるため、輸送特性は低下していく (図 4)。さらに高周波数になると、プルームが生成されず、生物対流は発生しなくなる。以上のことから、下壁面を低周波数で振動させると、生物対流を発生させ、輸送特性を向上させることができるといえる。

(3) バクテリアと酸素の輸送制御に関する調査

本研究は、バクテリア制御の工学的応用の可能性を調査するため、加振周波数や振幅を変化させたときのプルームの周波数応答性を調査した。下壁面を振動させると、プルームは周期的に変動する。下壁面の振動周波数の低下や振幅の増大とともに、プルームが振動する振幅は大きくなる。このとき、一つの

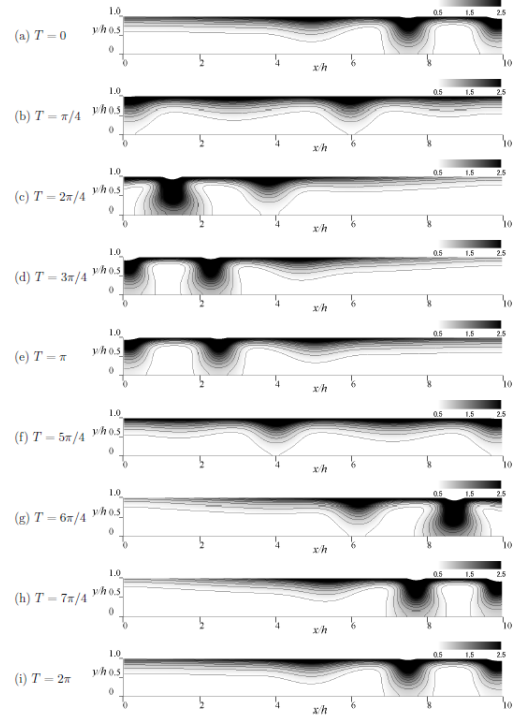


Fig.3 Bacterial concentration contours at low frequency.

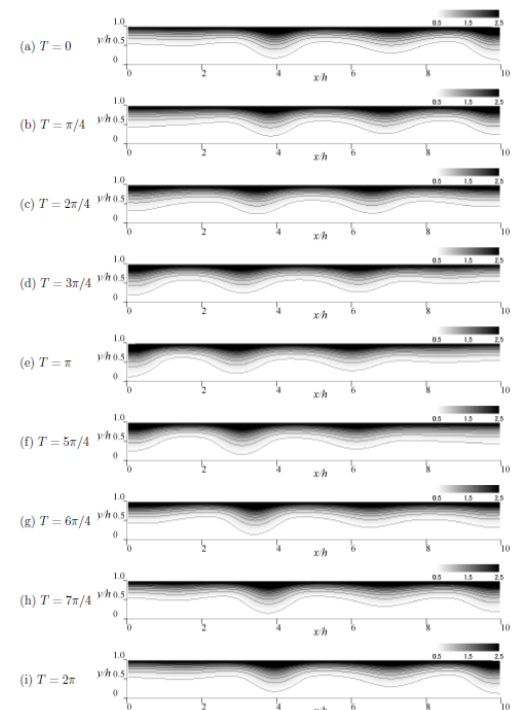
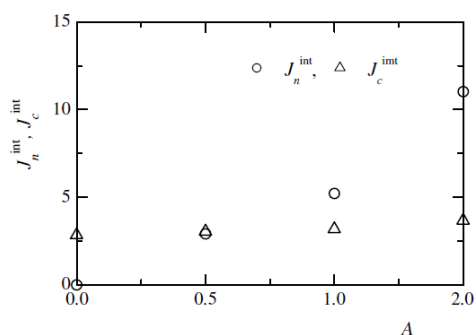


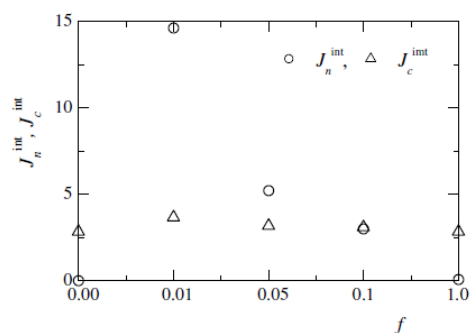
Fig.4 Bacterial concentration contours at high frequency.

ブルームまわりの生物対流の規模が大きくなる。周波数が低くなるに従って、ブルーム内のバクテリア濃度が過濃となるため、ブルームの中心における下降流の速度が速くなる。一方、ブルーム間では、周波数の低下とともにブルームの波長は長くなり、ブルーム同士の干渉が弱くなるため、上昇流の速度が遅くなる。周波数の低下とともに、バクテリアと酸素の時間平均的な輸送特性が向上する(図 5(a))。また、振幅の増加とともに、時間平均的な輸送特性は向上する(図 5(b))。

次に、今後の研究の方向性を探るため、下壁面を固定した場合の三次元解析を行った。その結果、三次元的な生物対流パターンが得られ、複雑な三次元生物対流の輸送特性を制御する方法を探ることができた。



(a)



(b)

Fig. 5 Integral values of time-averaged total flux of oxygen and bacteria.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

- ① 西村大夢, 末永陽介, 柳岡英樹, 走化性バクテリアによって生成される三次元的な生物対流パターンに関する数値解析, 日

本機械学会東北学生会第 42 回学生員卒業研究発表講演会, いわき, pp.138-139, 2012.3.6.

- ② 鍋島保彦, 柳岡英樹, 壁面の振動によって生成される生物対流の周波数特性に関する数値解析, 日本機械学会東北学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会, 盛岡, pp.76-77, 2011.3.3.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳岡 英樹(YANAOKA HIDEKI)

岩手大学・工学部・教授

研究者番号: 40281951