

氏名(本籍)	はし ば のり あき 橋 場 憲 明 (石川県)
学位の種類	博 士 (学 術)
学位記番号	博 甲 第 1,655 号
学位授与年月日	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	農 学 研 究 科
学位論文題目	気泡塔型培養槽内の流動状態の測定法に関する研究
主 査	筑波大学教授 農学博士 中 原 忠 篤
副 査	筑波大学教授 農学博士 祥 雲 弘 文
副 査	筑波大学教授 工学博士 松 村 正 利
副 査	筑波大学教授 工学博士 向 高 祐 邦

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

気泡塔型培養槽は、装置構造が簡単で雑菌汚染の恐れが少なく、ガス成分溶存操作に関連した物質移動特性に優れており、装置内の攪拌条件が均一で培養細胞に対する剪断応力が低いなど、培養器として優れた特性を有することにより近年応用例が増加してきており、大型装置、組織培養用の装置などとしても使われている。培養槽内の流動状態と培養成績との相関を求めるためには、培養系に適した流動測定法の確立が必要である。従来用いられてきたプローブの測定原理は、微細熱線からの伝熱特性を利用するもの、培養液にトレーサー液を添加するもの、特殊な電解液を用いるものなど、培養系に直接応用するには問題のある方法が用いられてきた。本論文ではこれらの問題の少ない電極反応を用い、培養系に適した流動測定法を検討した。以下にその概要を述べる。

用いたプローブは3個の白金微小電極を正三角形の各頂点に配置した形状であり、電極反応として従来多く用いられてきたファロシアン化カリ酸化還元系ではなく、溶存酸素の還元反応を用いた。これにより、希薄塩化ナトリウム水溶液、無機塩類及び有機物を含む微生物用培地などの実培養系に直接応用することが可能であることを示した。液流の速度と角度は、流れに含まれる速度の変動成分を3つの電極により検知し、それらについての3組の相互相関関数における遅れ時間を用いて求めた。回転水槽内の既知の液流について、測定因子—電極間距離及び相互相関関数を計算する時間幅など—の最適値を決定するとともに、このプローブによる流れの角度と速度の測定値と、固体トレーサーの写真撮影による測定値が一致することを確かめた。

三極プローブ法を気液二相流に応用した場合、気泡による大きい変動成分により測定値への誤差を生ずる。これに関して気泡による信号の部分を計算機処理によって除去する方法を開発し、ドラフトチューブ(内管)を有する気泡塔(二重管エアリフト型)において流動測定を行なった。内管外側の下降流部の気液二相流について、三極プローブ法を応用する場合の測定因子の最適値を求めた。この方法による二重管エアリフト内の液循環速度は、固体粒子の循環速度から求めた液速度測定値と一致した。測定されたエアリフト下降流部の流れは、通気速度及び内管径の違いにより大きく変化した。内管と気泡塔径の比  $D_i/D_o$  が0.3以上の比較的太い内管を用いた場合、下降流部の液は垂直方向に流れ、通気速度を増加させても流れの方向に変化は認められなかった。一方、内外管径比がこれより小さい場合、通気線速度が0.5cm/s以上で下向きと円周方向の速度が同程度となり、螺旋状の流れとなることなど、従来の方法では検知することが困難な新しい知見を得た。

三極プローブ法を培養系に応用する場合の問題点を明らかにするため、高粘度の模擬培養液であるカルボキシ

メチルセルロース (CMC) 水溶液, 及び細胞外多糖を生成する微細藻 *Porphyridium purpureum* の培養系について流動測定を行なった。三極プローブ法は電気伝導度法などのトレーサー法では測定が不可能な無機塩類を含む培養液においても流動測定が可能であった。CMC 水溶液については, 液流の角度測定値の誤差の主な原因が気泡によることを示した。また微細藻類懸濁液の流動特性は, 培養の経過と共に多糖の生成に伴い弱い非ニュートン性を示した。藻懸濁液の場合下降流部の液流速は, 非ニュートンパラメータの値が等しい CMC 水溶液に比べて低く, また通気速度の増加に伴う液流速の増加は殆ど認められなかった。この原因は培養系において発泡性が高く, 下降流部の空気空隙率が CMC 水溶液の 20 倍に達することによると考えられ, 培養系における流動については粘性だけではなく, 発泡性などの界面張力に関連した液物性の影響も考慮すべきであることを示した。

## 審査の結果の要旨

この論文の主目的は, 培養槽として近年の多く使われるようになった気泡塔型培養槽に関して, 装置内の液流を測定するため新しい型のプローブ (三極プローブ法) を開発し, 実際の培養系において応用可能であることを示す点にあり, 所期の目標を達成している。

本論文で用いた三極プローブ法の第 1 の特長は, 液流速変動を検知するための電気化学反応として, 溶存酸素の還元反応を用いる点にあり, 従来用いられてきたフェロシアン化カリウム酸化還元系のような特殊な溶液を必要とせず, 実際の培養系を含む広い範囲の液物性を持つ溶液について流動測定が可能であることを示している。第 2 の特長は, 3 個の微小電極から得られる変動信号の相互相関関数を利用して, 液流の速度と角度を求めている点にある。これにより, 測定に先立ってあらかじめプローブの角度, 速度特性を求めておく必要がある従来のプローブの欠点を避けることができ, また培養に有害なトレーサーを添加する必要がないなどの, 優れた特長を持つ。また培養系に必須の気液二相流における応用上の問題点についても, 信号の計算機処理により解決している。

本研究は, 培養系の流動測定に関し, 基礎・応用の面から詳細に検討した点を高く評価できる。

よって, 著者は博士 (学術) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。