



新型マイクロアレイ電気培養装置（試作機）

微生物の電気培養で環境浄化

微生物の電気培養技術を開発

電気培養のしくみ

微生物の有効利用を目指す

ひとこと 環境科学研究所 バイオテクノロジー領域 主任研究員 松本 伯夫

微生物の電気培養技術を開発

地球上には、土壌中や岩中、水環境中など、ありとあらゆる場所に多種多様な微生物が生息しており、各々がさまざまな機能を発揮することにより、自然界のバランスを保つ役割を担っています。この中には、発酵食品、医薬品、産業用酵素の生産にかかわったり、環境浄化に貢献する有用な菌も存在しており、電力中央研究所では、平成6年にイオウ分を餌とする微生物（鉄酸化細菌）に着目し、同菌を火力発電で燃やす石炭のイオウ分除去に活用するという研究に着手しました。

微生物を上記のような目的で有効活用するには、ある程度まとまった量の有用微生物を確保する必要がありますが、地球上でこれまでに判明している全微生物の内、実に99%については、その培養方法が未だに確立されていないのが実情です。

当研究所では、これら難培養性微生物を高密度に培養するための方法として、「電気培養技術」を独自に開発しました。同技術でこれまでに培養、増殖に成功した微生物の中には、難培養微生物も20種類程が含まれており、このようにして培養できた微生物を環境浄化や地下環境保全に役立てるべく、鋭意研究を推進しています。

微生物の生育のしくみ

微生物は、物質の酸化還元反応（2種の物質間で電子を放出したり、取り込んだりする際に生ずる化学反応）を利用して、生育に必要なエネルギーを獲得しています。その際に電子が減少することを「酸化される」といい、逆に電子が増加する現象を「還元される」と称して、微生物は、これらの相伴って起きる反応原理をうまく自らの呼吸に生かして生育しています。

具体的には、微生物は、自らの生育環境下に存在する高エネルギー物質から放出された電子をエネルギーとして取り込んだり、排出したりする一連の「呼吸」を通じて、生育に必要なエネルギーを獲得しています。

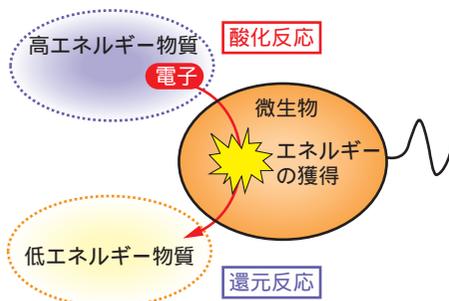


図 微生物がエネルギーを獲得するしくみ

微生物の電気培養とは

酸素を用いて呼吸する微生物を「好気性微生物」といい、酸素を用いずに鉄、硝酸、硫酸などを用いて呼吸する微生物を「嫌気性微生物」といいます。

電気培養とは、好気性、嫌気性の別にかかわらず、常に培養液中に電極を通じて電気エネルギーを流すことにより、微生物の呼吸に必要な「電子受容体」または「電子供与体」を電気化学的に連続供給し、半永続的に微生物にエネルギーを供給し続けられるしくみを提供するものです。これは、これまで培養法が確立していなかった多くの微生物の培養の可能性を格段に高めるとともに、電気をかけない通常の培養法に比べ、数倍～100倍の増殖を実現できる革新的な培養技術です。

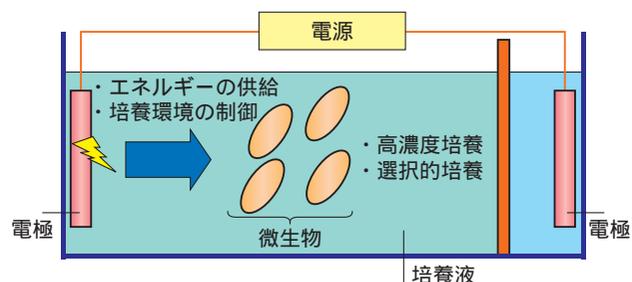


図 電気培養のしくみ

電気培養のしくみ

「嫌気性微生物」の培養法

多くの微生物が、無酸素条件下でも赤さびの3価鉄を利用して生育する能力を兼ね備えていることが判明しており、これは大気中にまだ酸素が無かった太古の時代の呼吸形態が、現在も記憶として潜在しているといわれています。

そこで、その中の一つである鉄酸化細菌を使用した電気培養のしくみを紹介します。

鉄酸化細菌は酸素が無い場合、水素を酸化して3価鉄を黒さびの2価鉄に還元する過程で、生育エネルギーを獲得しており、この場合の呼吸に必要な「電子供与体」は、水素であるため、培養液中には常に水素と、微生物の体を作る炭素源のCO₂を供給するしくみを持たせています。一方、「電子受容体」は、3価鉄のため、これも培養液中に予め溶解させておきます。

鉄酸化細菌は、水素から奪った電子を3価鉄に渡す鉄呼吸により、生育エネルギーを獲得し、還元反応で電子を奪った3価鉄は、即酸化して2価鉄に置き換えられます。同2価鉄は、今度は培養液中に浸した電極(+)から電子を奪われて再び3価鉄に戻り、電極が奪った電子は、再び水素に戻されるという、一連の電子を媒体とした授受サイクルを通して、鉄酸化細菌が培養されていきます。

微生物の単離培養に成功

自然界の下水処理場流入水や湖沼底泥、堆積軟岩から採取した嫌気性微生物について、微生物生育の汎用的自然環境(中性pH)下での電気培養を7~10日間、実施した結果、数種のこれまで発見されていなかった新規微生物が検出されました。

しかし、この状態では同時に検出された他の微生物と混在しているため、一度に最大で18種のある特定の微生物のみを電気培養することが可能な「マイクロアレイ電気培養装置」を独自に開発しました。

この装置は、一枚の炭素板上に直径5mmの穴を合計で18箇所設け、各微生物種ごとに1匹の微生物の入った培養液を各穴へ注入することにより、最大で18種の単一種ごとの電気培養を同一の電極下で同時に行えるようにしたものです。

同装置を使用して実験した結果、微生物の単離培養が確認され、それにより得られた培養密度は、通常の電気をかけない培養法に比べ、10倍以上の増殖効果がみられました。

現在は、より効率的な培養を図るため、18箇所の各穴(培養槽)ごとに電極を差し込み、各微生物種ごとに適切な電流になるよう調整可能な試作機の開発にも成功しました。

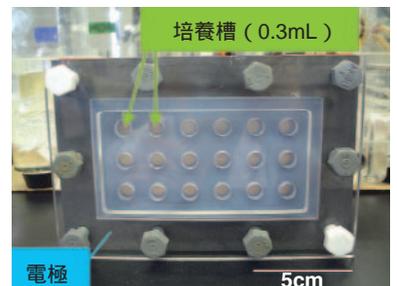
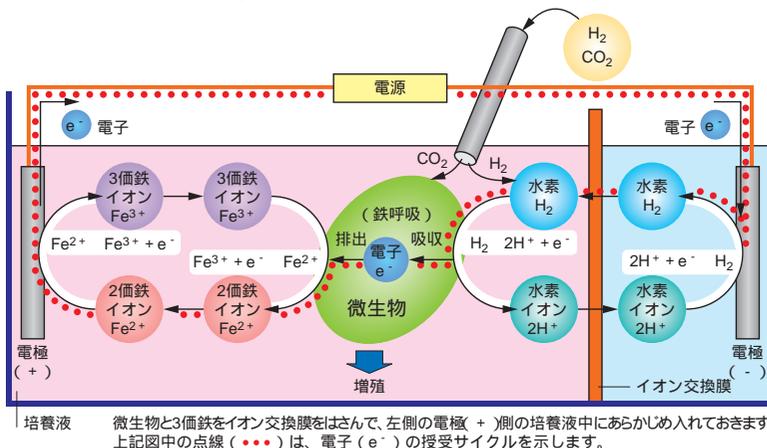


図 鉄酸化細菌の嫌氣的電気培養

写真 マイクロアレイ電気培養装置

微生物の有効利用を目ざす

六価クロムの無害化に挑む

ステンレス鋼や顔料、めっきの材料として使用される六価クロムは、可溶性と強い酸化力があり、人体へも害を与える有害物質です。

そこで、汚染排水中などに含まれる六価クロムを還元して無害化できるクロム還元菌の電気培養を試みてみました。

通常の嫌氣的培養法では、クロム還元菌と六価クロムとを混入させて培養した場合、初期段階ではクロム還元菌の繁殖が認められるものの、時間の経過とともに六価クロムの無害化が進み、それによる雑菌の繁殖と、クロム還元菌の還元活性元である六価クロムの減少に伴う、クロム還元菌の著しい活性低下がみられました。

そこで、上記のクロム還元菌などを嫌氣的条件下の培養液中に混入させ、1.0Vの電気エネルギーを与えながら2週間培養したところ、クロム還元菌のみの増殖を維持できることが判明しました。

地下施設の安全評価も対象に

これまでには、上記以外にもドライクリーニングや、電子機器用チップなどの洗浄剤に使用される有害なテトラクロロエチレンを、分解させることができる微生物の発見、ならびにその培養などにも成功していますが、今後は、これまで蓄積した電気培養技術を活用して、地下施設の安全な運用を目ざした関連微生物のメカニズム解明など、主に以下の課題に挑みます。

汚染土壌の浄化に役立つ難培養微生物の探索
 有害な重金属還元（無害化）微生物の獲得
 金属原子以外の酸化還元反応の媒体発掘
 放射性廃棄物処分施設の安全性評価
 微生物による建物の劣化・腐食影響評価

ひとこと



環境中には実に興味深い働きを持った微生物が、まだまだ潜んでおり、いわば「宝の山」ということができ、世界中の研究者がその探索に乗り出しています。

環境科学研究所
 バイオテクノロジー領域
 主任研究員

松本 伯夫

また、地下施設の安全な運用を考える上で、土の中の微生物の作用を正しく理解することは、非常に重要な作業といえますが、ここでも難培養性の微生物が鍵を握っています。これらの課題に、当研究所発の技術である電気培養法が威力を発揮するものと期待しています。

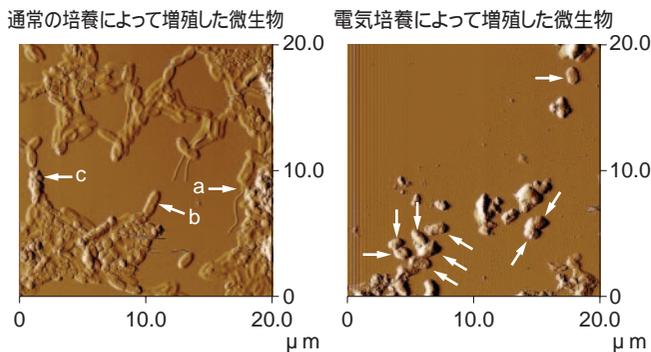


写真 顕微鏡によるクロム還元菌の培養確認結果

通常の培養法では、複数の微生物種（左写真a～c種）の混在培養が、電気培養法では、クロム還元菌のみの単一培養（右写真矢印）が各々確認できました。

既刊「電中研ニュース」ご案内

- No.423 画像による腕金の再利用判定
- No.422 広範囲な海の流れを陸上から把握

- No.421 電力自由化に伴う家庭の電力会社選択
- No.420 CRIEPIのうごき 2006.1冬