

微生物の電気化学培養システムによるCO₂固定

Study on CO₂-fixation using microbial electrochemical cultivation system

固体腐植ヒューミンの支援によるCO₂から酢酸の生成

地球温暖化の抑制のためにはCO₂発生量削減は急務であり、様々なCO₂固定化技術の開発が進められている。その一つの方法として、微生物を利用したCO₂固定技術のラボ試験による検証と、電気化学培養システムの検討を行った。

執筆者
電力技術研究所
機械グループ
菰田 峰生



1 背景・目的

微生物を用いたCO₂の固定化は、CO₂を有用物へ変換して再資源化する技術として期待されている。それらのうち、好気性光合成微生物によるCO₂の固定化は、光や酸素供給が必要という制約から、大型化・高密度化が難しい。一方、酢酸生成菌やメタン生成菌などの嫌気性非光合成微生物による方法では大型化・高密度化が容易であるが、外部からの水素供給が必要である。

電気化学技術によって微生物を制御する技術は、微生物による発電など共に微生物電気化学の一分野として注目されており、近年、細胞外の電極と電子を授受できる、電気活性を持つ微生物も多く報告されている。酢酸生成菌もその一つであり、この技術を用いれば水素供給なしにCO₂固定化が可能であることから、その実用化について検討を行った。

2 固体腐植ヒューミン*の支援による微生物電気化学反応

※固体腐植ヒューミンとは・・・

土壌中には生体を起源とする有機物が多く存在する。これらは、植物や動物の死骸等が生物学的反応および化学的反応により分解された腐植物質である。それらのうち、酸・アルカリの双方に不溶な物質が、『固体腐植ヒューミン』と呼ばれている。第1図に水田土壌より抽出したヒューミンを示す。

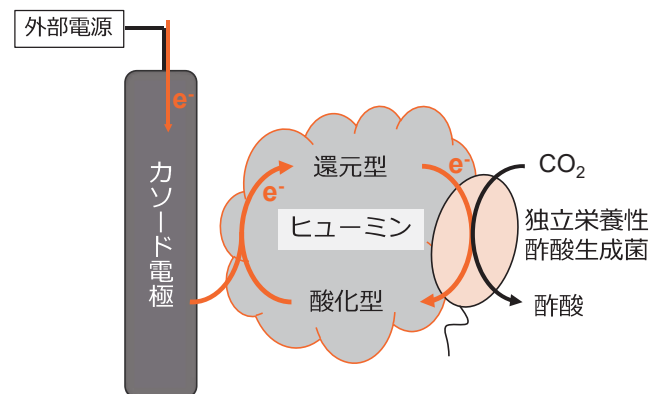


第1図 固体腐植ヒューミン

酢酸生成菌は、CO₂を還元して酢酸を生成する反応に必要な電子を、電極から直接、または水素 (H₂=2H⁺+2e⁻) として得ることができるが、その反応速度はいずれも低い。

固体腐植ヒューミンは、外部から電子を供給されることにより、構造が『還元型』に変化し、電子を放出することにより『酸化型』に戻る性質を有する。酢酸生成菌を用いた微生物電気化学培養システム（微生物活動を電氣的に制御するシステム）において、この性質を支援物質（即ち、細胞外電子伝達物質）として利用することにより、CO₂還元反応が促進されることを見出している。第2図にその概要を示す。

しかしながら、適切な運転条件は不明であったため、この培養システムのCO₂固定反応に関する各種パラメーターの検討・評価を行った。



第2図 微生物によるCO₂固定化反応の模式図

3 CO₂固定技術のラボ試験による検証

第3図に微生物によるCO₂固定化のラボ試験装置を示す。

微生物電気培養槽は、ガラス製の2槽式培養槽を用いた。

固体腐植ヒューミンを利用した微生物によるCO₂変換について、影響を及ぼすことが予想される複数のパラメーター（ヒューミン量、微生物量、印加電位など）についての評価を行った。

第3図 微生物によるCO₂固定化のラボ試験装置

(1) 固体腐植ヒューミン量による効果

支援物質のない条件では主として副生水素が発生し、支援物質の必要性が示された。固体腐植ヒューミンの添加により酢酸生成が確認されたが、添加量を増加しても酢酸生成量の増加は見られなかった。これは固体腐植ヒューミンが繰り返し利用されているためであり、微量の添加で十分であることが分かった。

(2) 微生物量による効果

微生物のない場合には副生水素が主生成物となり、微生物を少量添加した場合は水素量が減少した。また、この反応系での最適量は、水素量が最少となる10%程度であることが分かった。

(3) 印加電位による効果

固体腐植ヒューミンと微生物を添加した反応条件において、印可電位-300～-400mV(対、標準水素電極)で酢酸生成量は最大となり、水素発生量も少なくなった。このことから水の電気分解により水素発生が発生するような条件ではない、消費エネルギーの少ない温和な条件下で反応が進むことが分かった。

(4) 最適条件の評価

上記パラメーターの評価結果を基に、反応の最適条件を選択した。また、長期培養方法についても検討し、培養環境の維持(酢酸生成によるpH低下の防止など)が必要であることが分かった。

4 微生物電気化学培養システムの検討

以上の結果をもとに、微生物電気化学培養システムのスケールアップと実用化に向けて、反応槽、分離・精製方法などの単位操作条件を検討した。システム構成の概略を第4図に示す。

(1) システム構成

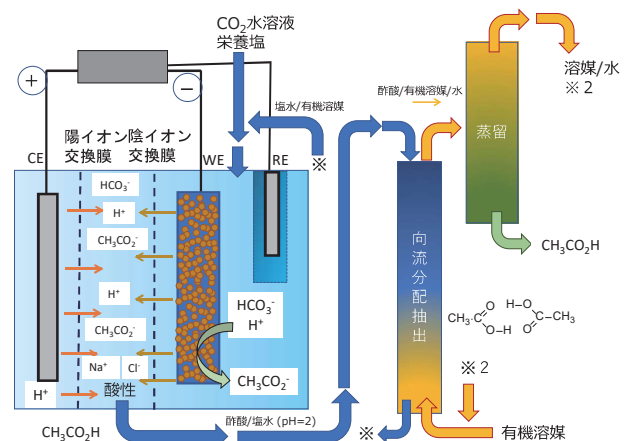
【反応槽】CO₂を連続的に供給する反応槽の容量を1m³とし、平均滞留時間を135hとした。

【膜分離電気透析濃縮槽】反応槽からの流出量が少ない

ため、後段の抽出工程の効率向上を目的として設置した。反応槽と濃縮槽を組み合わせると10モジュールとした。

【向流分配抽出塔】生成酢酸を水相から抽出するため設置した。抽出溶媒は抽出能力および蒸留工程での効率を考慮しメチルイソプロピルケトンを選定した。98%の抽出に必要な理論段数は8段となった。

【蒸留塔】抽出層から生成酢酸を分離精製するために設置した。工業利用可能な99.5%の精製に必要な理論段数は90段となった。



第4図 微生物電気化学培養システムの概略

(2) エネルギー収支、経済性の評価

本システムにおけるエネルギー収支、経済性などの評価を行った。

【エネルギー収支】 運転時の消費エネルギーは3,600kJ/kg-CO₂となった。このうち、蒸留塔における加熱に必要なエネルギーが全体の約9割を占めているため、外部の廃熱利用により大幅に低減できることが分かった。

【経済性評価】 酢酸生成に係るコストは酢酸の市販価格と比較して、廃熱を利用した場合でもコスト面での優位性を見いだすには至らなかった。これは微生物による酢酸生成反応の効率が低いことが主要因であり、更なる効率向上が必要である。また、蒸留塔をはじめとする構成設備のコンパクト化など、実用化に向けての課題を把握することができた。

5 あとがき

本研究は名古屋大学未来材料・システム研究所片山新太教授・笠井拓哉助教との共同研究により実施した。