堆積物燃料電池によるチョウバエ抑制作用に及ぼす金属の効果

日本大学　学生会員　○菊地　宏明
日本大学　　正会員　　中野　和典

1.　研究背景および目的

堆積物燃料電池(SMFC)とは電流生産微生物が堆積物中の有機物を利用して発電するシステムである。アノード（負極）側の電極を嫌気的な堆積物中に、カソード（陽極）側の電極を好気的な環境に設置することで構成される。前任者は、図-1 に示す濃縮型 SMFC を用いてチョウバエの抑制効果を検証し、閉回路（ろ材：銅スラグ）と電圧測定状態の開回路において抑制効果を確認した。さらにチョウバエの成長過程において特に卵に対し抑制効果があることおよび抑制効果には発電が必要であることを明らかにした。一方、濃縮型 SMFC の課題として、汚泥の投入回数に伴い発電性能が低下し発電の持続性が無いことが明らかとなった。また、閉回路（ろ材：銅スラグ）の汚泥が赤褐色になり、鉄酸化物の生成が示唆されたことから、汚泥中に含まれる金属がチョウバエ抑制効果に関与している可能性が指摘された。

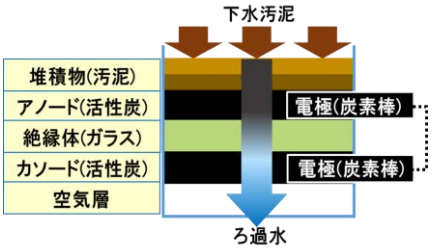


図-1 ろ過濃縮型堆積物燃料電池

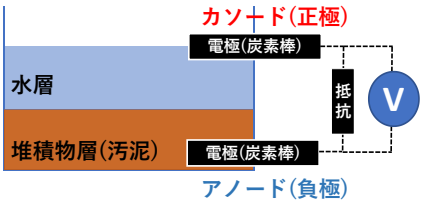


図-2 非濃縮型堆積物燃料電池

そこで本研究では、殺虫剤に頼らずに微弱な電気を用いてチョウバエなどの衛生害虫の発生を抑制する手法を開発することを目指し、①：SMFC の発電持続性の改善、②：鉄がチョウバエ発生抑制へ及ぼす効果を明らかにすること、③：下水汚泥中に含まれる様々な金属種がチョウバエ発生抑制へ及ぼす効果を明らかにすることの 3 つを目的とした検証実験を行った。

2.　実験方法

2.1　実験に用いた SMFC の概要

本実験には、図-1 に示す濃縮型 SMFC と、図-2 に示す汚泥層と水層に電極を挿し発電を行う非濃縮型 SMFC を準備した。堆積物として所定条件の下水汚泥を用い、抵抗は 1MΩ とし、データロガーで 30 分ごとに生じた電圧を記録した。

2.2　チョウバエ抑制試験の方法

下水汚泥に含まれる金属を希釈するとともに燃料電池の燃料源を補うため、ミートペプトンとグルコースをそれぞれ 0.7g/L 含む人工排水で 1/10 に薄めた下水汚泥に所定条件の金属成分を添加した非濃縮型 SMFC によりチョウバエ抑制試験を実施した。図-3 に示すチョウバエ抑制試験の手順に従い、扱いが容易な蛹を投入して非濃縮型 SMFC 内でチョウバエを発生させ、チョウバエが産卵するまでを条件調整期間とした。SMFC によるチョウバエ抑制効果は特に卵に対し作用することが確認済みであることから、二世代目のチョウバエの発生の有無により、チョウバエ抑制効果を判定した。

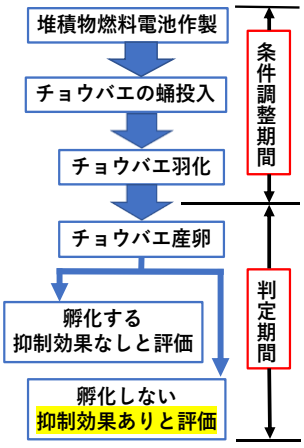


図-3 チョウバエ発生抑制試験の手順

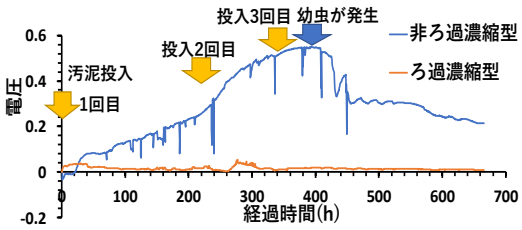
3.　結果および考察

3.1　SMFC の発電持続性の改善

堆積物として下水汚泥原液を投入した濃縮型 SMFC と非濃縮型 SMFC における電圧

キーワード：堆積物燃料電池、衛生害虫、発電、金属
〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 日本大学工学部　土木工学科　環境生態工学研究室

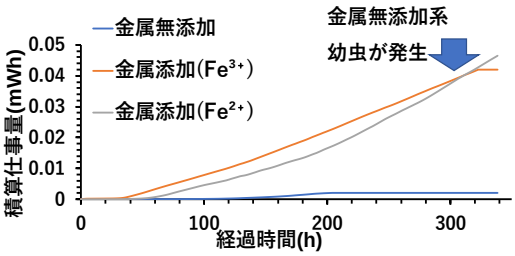
の経時変化を**図−4** に示す。濃縮型 SMFC の発生電圧は低く、3 回にわたる下水汚泥の投入にも関わらず上昇の傾向は見られず、実験開始から 390h 後にチョウバエの幼虫の発生が観察されたことから、濃縮型 SMFC の課題である発電の持続性が無いことが確認された。これに対し非濃縮型 SMFC では、下水汚泥の投入が初回の 1 回だけであるのにも関わらず 650h を超えても発電が継続し、チョウバエの発生は観察されなかった。この結果より、非濃縮型 SMFC であれば発電の持続性に問題がないと言え、これ以降のチョウバエ抑制試験では非濃縮型 SMFC を試験装置として採用することとした。



図−4 ろ過濃縮型 SMFC と非濃縮型 SMFC における電圧とチョウバエ発生の関係

3.2 チョウバエ抑制作用に及ぼす鉄の効果

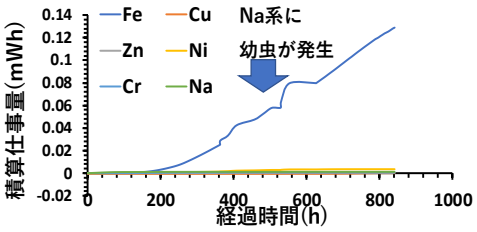
下水汚泥に含まれる金属の中で鉄の含量が最も高いことから添加する金属として鉄を選択し、金属がチョウバエ抑制作用に及ぼす効果を検証した。非濃縮型 SMFC を 4 系列（開回路 Fe^{3+}添加、閉回路鉄無添加、閉回路 Fe^{3+}添加、閉回路 Fe^{2+}添加）作製し、鉄添加系では鉄濃度を 100mg/L（0.370mmol/L）とし、チョウバエの蛹をそれぞれ 5 匹ずつ投入して発生抑制試験を実施した。電圧が発生しない開回路 Fe^{3+}添加系を除く 3 系列で得られた発電量（積算仕事量）を**図−5** に示す。鉄添加系では鉄の価数の違いに関わらず積算仕事量は 300h で 0.04mWh に達し、チョウバエの発生は抑制された。これに対し、開回路 Fe^{3+}添加系では、試験開始後 250h で孵化した幼虫が確認され、同濃度の鉄が存在していても発電が伴っていなければ抑制効果は発揮されないことが明らかになった。一方、閉回路鉄無添加系では発電が継続せず、電圧が低下し 310h に幼虫の発生が確認された。したがって、鉄無添加条件でも発電中は抑制効果が得られるが、金属濃度が低いと発電は持続せずチョウバエ抑制効果も持続しないことが示唆された。鉄の存在は発電性能には直接的な、チョウバエの発生抑制には間接的な影響を与えていると考えられた。



図−5 鉄の有無による積算仕事量とチョウバエの発生関係

3.3 チョウバエ抑制作用に及ぼす汚泥中に含まれる鉄以外の金属種の効果

下水汚泥に含まれる金属の中で鉄に次いで濃度の高い金属を 5 種類選択し、金属がチョウバエ抑制作用に及ぼす効果を検証した。非濃縮型 SMFC の閉回路を 6 系列作製し、それぞれ異なる 6 種類の金属（Fe、Cu、Zn、Ni、Cr、Na）を 5mmol/L となるように添加し、チョウバエの蛹をそれぞれ 4 匹ずつ投入して発生抑制試験を実施した。800h で得られた積算仕事量を**図−6** に示す。Fe 添加系では積算仕事量が 0.14mWh に達しチョウバエの発生が抑制された。Cu、Zn、Ni、Cr 添加系での積算仕事量は 0.01mWh に過ぎず低い値であったが、チョウバエの発生は抑制された。これに対し、Na 添加系では発電は持続せず 500h に幼虫の発生が確認された。Cu、Zn、Ni、Cr 添加系は、Fe 添加系と異なり発電性能は低く積算仕事量も低いが、抑制効果が確認されたため、金属毒性のような直接的な影響によりチョウバエ抑制作用を与えている可能性がある。



図−6 金属種ごとの積算仕事量とチョウバエの発生関係

4. まとめ

本研究により、濃縮型 SMFC の課題であった発電持続性を非濃縮型 SMFC を採用することで解消することができた。下水汚泥中に多く含まれる鉄は、SMFC の発電を持続させる効果を有し、結果としてチョウバエの発生抑制が持続するという間接的な効果を発揮することが示された。汚泥中に含まれる鉄以外の金属種は、SMFC の発電促進効果は小さいが、チョウバエの発生は抑制されたことから、金属毒性のような直接的な効果をチョウバエに及ぼしている可能性がある。