鉄バクテリアによる強酸性含鉄排水処理に及ぼすグルコースの影響

東北大学大学院　学正員　○中村寛治
東北大学工学部　正会員　野池達也
東北学院大学　佐藤幸男

1. はじめに　鉄バクテリアは、低pH条件下で第一鉄を第二鉄に酸化する際発生するエネルギーを増殖エネルギーとして空気中のCO_2を固定すると同時にグルコースなどの有機物も利用できる通性化学合成独立栄養生物である。現在、この鉄バクテリアを用いて強酸性の鉱山排水中の第一鉄を第二鉄に酸化し、その後炭酸カルシウムにより中和処理しようとする試みが各地で行なわれている。ここでは、鉄バクテリアを回転円板に付着させて強酸性含鉄排水処理を行なう際、グルコースが添加されると、処理能力あるいは付着する鉄バクテリアはどのような影響を受けるかを検討する。

2. 実験装置および方法　回転円板装置は、図-1に示す通りである。鉄バクテリアは、岩手県の赤川から採取したもので9K培地に入れ、30°Cで1ヶ月間通気培養して植えつぎしてきたバクテリアを用いた。まず、酸化反応槽内に9K培地の第一鉄を酸化し終わった鉄バクテリアの菌溶液を0.3ℓ入れ、これに2.1ℓの9K培地を加え、30°Cの回分状態で、2日間円板を回した。こうしてある程度、バクテリアを円板表面に付着させた後、表-1に示す基質を連続的に与えた。水温は30°C，滞留時間は60分に設定した。また円板装置には、カバーを取り付け、水温と気温の差が開くことをさけた。分析項目は、第一鉄、全鉄、pH、細菌数で、第一鉄はJIS K0102 $KMnO_4$法，全鉄は原子吸光光度計，pHはpHメーター，細菌数は位相差顕微鏡600倍下でThomaの血球計算盤を用いて測定した。

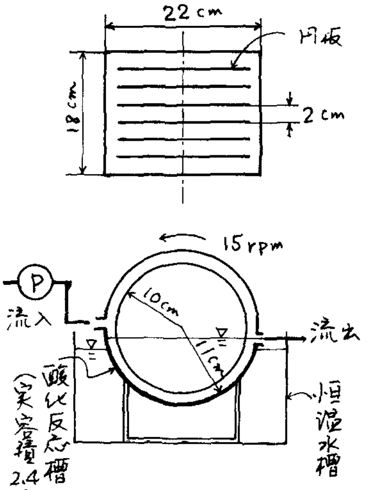

図-1 回転円板装置

表-1 基質組成（1ℓ中）

成分	量
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	2.5 g (Fe^{2+}=500 mg/ℓ)
D-グルコース	適宜
$(NH_4)_2SO_4$	150 mg
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	25 mg
K_2HPO_4	25 mg
KCl	5 mg
$Ca(NO_3)_2$	0.5 mg
10N H_2SO_4	0.7 mℓ

水道水で希釈

3. 実験結果および考察　実験では、グルコースを基質に添加したRUNで白い粘質状のカビのようなものが発生し、円板表面にも付着した。そしてその量はグルコース濃度が高くなるほど多くなった。このことから粘質物はグルコースを栄養源とする従属栄養生物であろうと思われるが、この生物の詳しいことはわかっていない。実験期間は1つのRUNにつき約1ヶ月で、定常の判断は酸化率が一定値に落ち着いたかどうかによって行なったが、どのRUNでもかなりはっきりした定常が得られた。各RUNごとの定常時での平均値および解析値を表-2に示し、これらの値から求められる、グルコース濃度と酸化率，グルコース濃度と付着菌数，グルコース濃度と付着菌1個当りの酸化量の関係を各々図-2，図-3，図-4に示した。酸化率は、グルコース濃度が5(mg/ℓ)のRUNB，50(mg/ℓ)のRUNC，100(mg/ℓ)のRUNDではほとんど影響を受けず、コントロールのRUNAと同様に80%前後に落ち着いた。しかし300(mg/ℓ)のRUNE，500(mg/ℓ)のRUNFでは、酸化率はまったく低下してしまい、各々1.7%，5.6%になってしまった。付着菌数は、図-3に示すように、酸化率が上がらなかったRUNE，RUNFで若干低下しているだけであるが、付着菌1個当りの酸化量は図-4に示すように、RUNE，RUNFでは他のRUNのそれの約1/10という低い値になってしまった。結局、

表-2 定常時の平均値および解析値

RUN NO	RUN A	RUN B	RUN C	RUN D	RUN E	RUN F
滞留時間 (min)	60.8	60.5	60.9	60.2	60.2	61.7
水温 (℃)	30.0	30.0	29.7	30.0	29.9	30.3
気温 (℃)	24.8	28.9	27.3	29.2	27.9	28.8
流入 Fe^{2+} (mg/l)	499.5	498.8	501.0	504.3	498.9	504.3
流出 Fe^{2+} (mg/l)	71.7	60.8	74.1	103.3	490.4	476.3
槽内への沈殿 (%)	10.6	45.3	37.0	37.6	-4.5	-4.8
流入 pH	2.30	2.31	2.30	2.30	2.30	2.29
流出 pH	2.48	2.46	2.44	2.51	2.27	2.27
酸化率 (%)	85.6	87.8	85.2	79.5	1.7	5.6
付着菌数 (個/cm²)	1.38×10^{8}	2.67×10^{8}	1.09×10^{8}	1.09×10^{8}	4.54×10^{7}	7.95×10^{7}
水量負荷 (l/m²·日)	155	156	155	157	157	153
Fe^{2+} 負荷 (gFe/m²·日)	77.6	77.9	77.6	79.2	78.4	77.1
酸化量 (gFe/m²·日)	66.4	68.4	66.1	63.0	1.33	4.32
付着菌当りの酸化量 (gFe/個·日)	4.81×10^{-11}	2.58×10^{-11}	6.06×10^{-11}	5.78×10^{-11}	2.91×10^{-12}	5.43×10^{-12}
グルコース濃度 (mg/l)	0	5	50	100	300	500

酸化率低下の大きな原因となっているのは、鉄バクテリアの第一鉄酸化活性が大幅に低下してしまったものとわかったが、これが、単なるカビの阻害によるものなのか、あるいは、鉄バクテリアがグルコースを利用し、増殖する従属栄養生物に変わってしまったことによるものなのか明らかでないのでこれを検討するため追実験を行なった。実験に用いたバクテリアはRUNEよりかき取ったもので、培地は第一鉄とグルコースの混合培地とした。培地の第一鉄濃度，グルコース濃度はともに、1000(mg/l)である。またここでのグルコース濃度は、TOCで400(mg/l)に値する。初期pHは、2.3とした。この結果を図-5に示す。これによると、実験を開始して24時間後にグルコース濃度(TOCで表わしてある)が減少しはじめ、48時間後には約80%，72時間後には約90%のグルコースが消費されていて、これに対応するように、細菌数が増加しているのがわかる。しかし第一鉄にはほとんど変化はない。このことから、RUNEに付着していたバクテリアは、連続的なグルコースの供給により、第一鉄ではなくグルコースを利用し、増殖する従属栄養のバクテリアになってしまっていたことが判明した。結局、これら一連の実験から、鉄バクテリアは連続状態ではグルコース濃度100～300(mg/l)の範囲において、その栄養形式を独立栄養から、従属栄養に変えてしまうことが結論づけられる。また、実験開始当初は、低濃度のグルコース添加により、従属栄養生物が円板表面で増殖し、そこに鉄バクテリアが共生すれば、付着菌も増えて、酸化率はコントロールにくらべて上昇し、処理能力もアップするのではないか、と予測したが、これは著しい結果となって表われてこなかった。

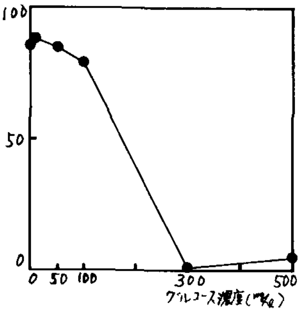

図-2 グルコース濃度 vs 酸化率

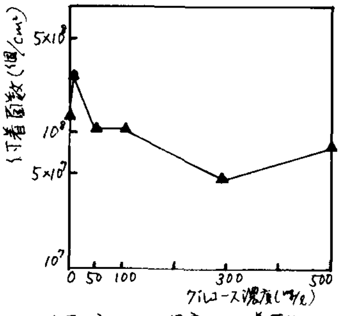

図-3 グルコース濃度 vs 付着菌数

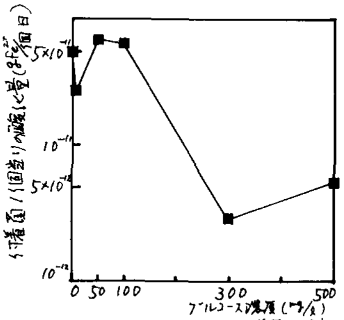

図-4 グルコース濃度 vs 付着菌1個当りの酸化量

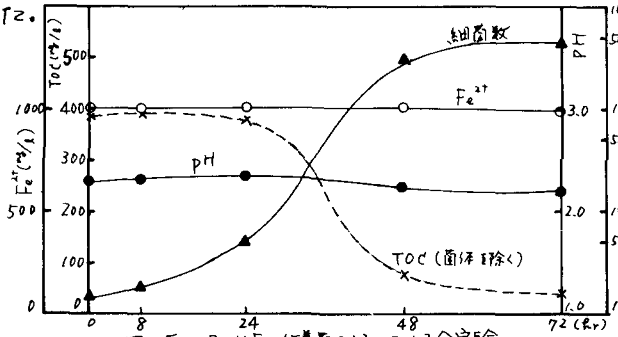

図-5 RUNEの付着菌を用いた回分実験