

II-153 グラニュール化の初期段階における水素分圧の変化と細胞外ポリマー生成について

九州大学大学院 学生員 〇 賈 曉珊

九州大学工学部 正 員 古米弘明 正 員 楠田哲也

1. はじめに 従来、嫌気性消化過程における水素の役割は、極めて重要であることが指摘されてきた^[1]。UASBにおけるグラニュール化に関してもSam-Soonら^[2]は、炭水化物を基質としたグラニュール形成には酸発酵に伴って生成する水素が深く関わっており、その水素を利用するメタン生成菌の代謝機能から判断して、グラニュール形成に重要な役割を持つ細胞外ポリマーが生成されうるといふ仮説を立てている。しかし、現在まで、UASB反応器のグラニュール生成過程における水素分圧の変化及び細胞外ポリマーの生成についての実験的報告はほとんどない。本研究では、炭水化物（グルコース）を人工廃水の主成分として、水素分圧及び水素消費活性、細胞外ポリマー量の変化を調べることで、グラニュール化の初期段階における水素分圧の変化と細胞外ポリマー生成の関係を実験的に把握することを目的とする。

2. 実験装置及び方法 反応器は、内径6cm、カラム長100cm、有効容積2.40Lであり、35℃の恒温箱に設置した。グルコースを基質として用いて、流入COD濃度を2000mg/Lとなるように調節した。種汚泥には都市下水処理場の中温消化汚泥を用いた。水素分圧の測定はヘッドスペースにより行い、細胞外ポリマーの抽出は冷却抽出法^[3]を用いた。連続実験における測定項目は反応槽温度、流量、流出水のpH、TOC、揮発性脂肪酸濃度（VFA）、発生ガス量、ガス組成などである。また、汚泥の活性を調べるために、バイアルを用いた回分実験（容積約70mL）を行った。バイアル内の汚泥濃度は1000-2000mgVSS/Lに調整した。基質は、グルコース、酢酸（HAc）を用いて、初期濃度が1000mgCOD/Lとなるように設定した。また、基質として、 $H_2 + CO_2$ （4:1）を用いたバイアル実験では、水素の初期添加量を液量基準で500mgCOD/Lとなるように設定した。すべてのバイアル実験は35℃振とう培養槽で行った。

3. 実験結果及び考察

a) 連続運転 図-1に負荷を5段階に増大させた連続運転結果を示す。実験初期に3週間の回分培養を行ったのち、0.67kgCOD/m³・dの容積負荷で連続運転を開始した。負荷を増加させた直後は除去率が一時的に低下するが、数日のうちに容積負荷の増加に汚泥が対応し、良好なTOC除去率が得られた。

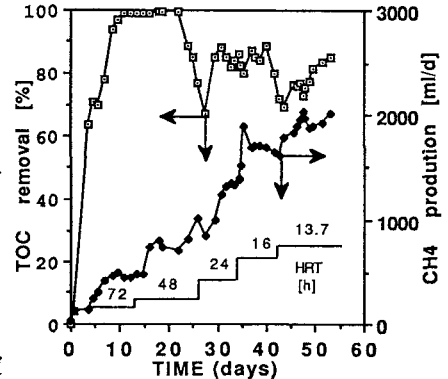


図-1 連続運転結果

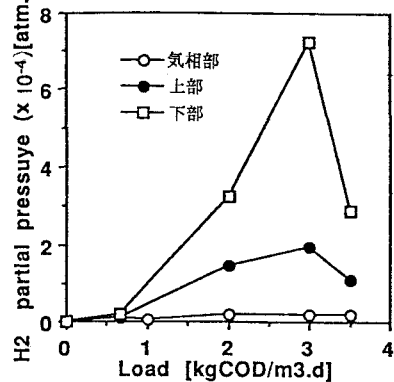


図-2 水素分圧の変化

b) 水素分圧及び水素消費特性 スタートアップ期間中、汚泥床の下部及び上部の2ヶ所から汚泥を採取し、その水素分圧及び水素消費活性変化を調べた。図-2に示すのは、各容積負荷での汚泥床内の水素分圧の変化である。比較のため気相部の水素分圧も一緒に示した。気相部の約 10^{-5} atmという低い水素分圧に比べ、

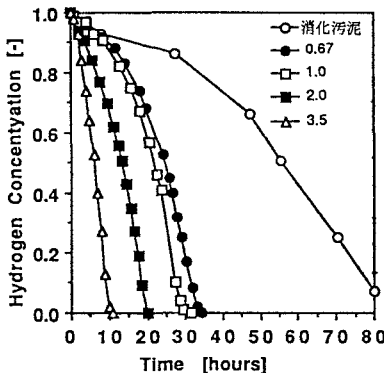


図-3 水素消費の経時変化（上部）

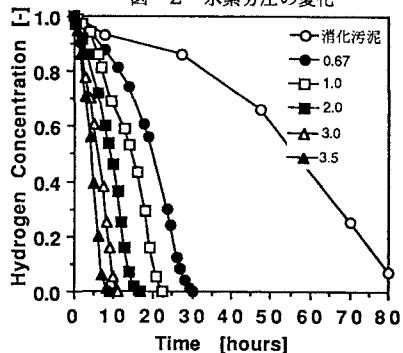


図-4 水素消費の経時変化（下部）

汚泥床内の水素分圧はかなり大きな値を示した。容積負荷の増加に伴って汚泥床内の水素分圧は増大し、また、汚泥床の下部と上部を比較すると下部がより高い値を示した。特に、汚泥床の下部の水素分圧は初期に比べ、数十倍に増加したことがわかった。各容積負荷での汚泥床の上部及び下部の水素消費の経時変化をそれぞれ図-3、図-4に示した。汚泥床内の水素利用速度は負荷の増大に伴って増大した。上部に比べ、下部の水素利用速度が大きいことがわかった。また、水素利用メタン生成菌の“活性菌体量”を把握するために、動力学的な菌体量推定法^[4]を用いて検討を行った。図-5にその結果を示した。汚泥床内の水素利用メタン生成菌の活性菌体量は負荷の増大に伴って増加している。特に、消化汚泥に比べ、3.5kgCOD/m³・dでの汚泥床下部の菌体量は、25倍増加したことがわかった。図-6、図-7に示したのは、負荷が0.67、2.0kgCOD/m³・dでの汚泥床下部の汚泥によるグルコースを基質としたバイアル実験におけるVFAの経時変化である。プロピオン酸(HPr)、酪酸(HBu)の蓄積量は、グルコースからの生成菌、分解菌、水素分圧の相互作用により決定されていて、熱力学的考察よりグルコースからのHPr及びHBuの生成に有利な水素分圧が存在することが報告されている^[5]。両バイアル実験ともHPr、HBu生成及び蓄積に有利な水素分圧であるにもかかわらず、0.67kgCOD/m³・dに比べ、2.0kgCOD/m³・dではHPrが多量に蓄積している。一方、HBuはこれと逆の傾向を示している。このことより、負荷の増大とともに汚泥がグルコースからHPrを優先的に生成する傾向を強めたことが示された。図-2に示したように負荷の増大とともに汚泥床内の水素分圧は高くなっており、水素分圧条件の変化に伴い汚泥の酸生成能が遷移していることが明らかとなった。

c) 細胞外ポリマー生成と水素利用メタン菌の増殖の関係
 細胞外ポリマーの組成について検討したところ、細胞外ポリマーの糖に比べ、タンパク質が優占することがわかった。図-8に示したのは各容積負荷での汚泥床下部の水素分圧、水素利用メタン菌の活性菌体量及び細胞外タンパク質である。図に示したように、水素利用メタン菌の増加傾向に対して、汚泥床下部の細胞外タンパク質の量は減少する傾向が見られた。これは、Sam-Soonらの仮説と食い違っており、今後、さらに検討する必要がある。

4. 結論 本研究から得た結論としては、①、容積負荷の増加に伴って汚泥床内の水素分圧は増大し、水素利用メタン菌の増殖がみられた。②、グルコースからのHPr、HBu生成能は汚泥床内水素分圧の変化に伴い遷移することがわかった。③、スタートアップ初期に、細胞外タンパク質の増大がみられたが、負荷の増大につれて、その量が減少し、水素利用メタン菌の増殖と逆の相関性があった。

【参考文献】 ① Perry L.McCarty et al.: Environ.Sci. Technol., Vol.20, No.12, 1986 ② PALNS Sam-Soon et al.: Water SA Vol.13, No.2, April, 1987 ③ Methods in Microbiology, Vol.5B, ACADEMIC Press, 1979 ④ 古米ら 衛生工学研究論文集 Vol.26, 1990 ⑤ PALNS Sam-Soon et al.: Water SA Vol.16, No.3, July, 1990

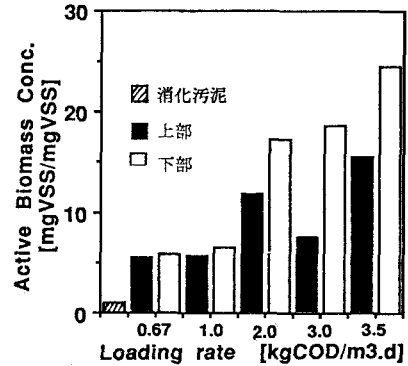


図-5 活性菌体量の変化

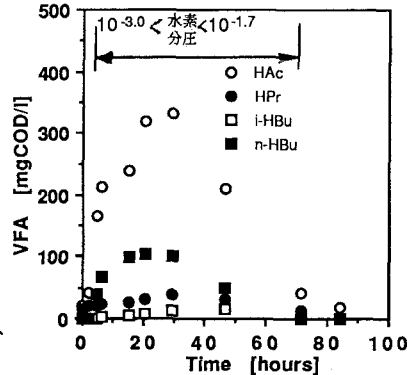
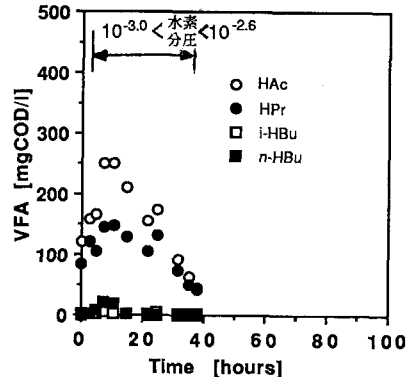
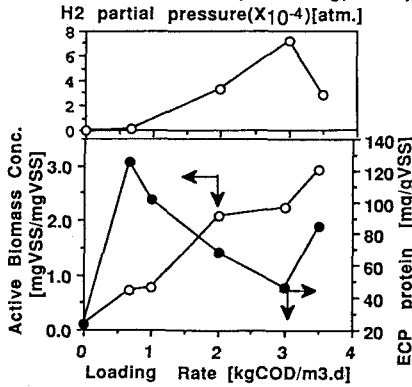

 図-6 VFAの経時変化(0.67kgCOD/m³・d)

 図-7 VFAの経時変化(2.0kgCOD/m³・d)


図-8 下部汚泥の各指標の変化