

画像処理を用いたメタン菌計測と 膜複合メタン発酵リアクタの制御

廣辻 淳二、吉村由美子、中津川直樹、中山 繁樹

三菱電機株式会社 中央研究所
〒661 尼崎市塚口本町8-1-1

概要

でんぶん工場廃水を処理する50 m³/日の膜複合メタン発酵リアクタにおいて、1年間にわたり蛍光画像処理によるメタン菌計測装置の評価試験を行うとともに、プロセス制御への適用として回収エネルギー量を最大にする制御方式について検討した。この計測装置はF420の蛍光性を利用してメタン菌を選択的に計測するので、試験期間中コントラストの良い蛍光画像が安定して得られ、短時間で再現よく計測することができた。さらに、画像計測値は手分析によるF420濃度と相関係数0.9程度の高い相関性を示し、オンライン計器として使用できることが分かった。また、プロセス制御への適用として、微生物反応モデルと膜ろ過モデルを用いて回収エネルギー量が最大となる運用条件を求め、これを制御目標値とする制御方式について、実験データを用いてシミュレーション検討を行った。その結果、回収エネルギー量を約40%増大できることが分かり、本制御方式の有効性を検証することができた。

キーワード

メタン発酵、メタン菌、補酵素F420、画像計測、膜複合リアクタ、分離膜、エネルギー、プロセス制御

1. まえがき

省エネルギー、新エネルギー資源開発の観点からメタン発酵法が見直され、分離膜を複合することにより高効率化を図る新しいメタン発酵リアクタの研究が行われている。膜複合リアクタでは、メタン菌の高濃度化により、ガス化率・処理水質の向上、設備の小型化が図れるが、ろ過動力の低減、流入負荷変動対策などの課題があり、計測制御の果たすべき役割は従来以上に大きいと考えられる。例えば、メタン菌は温度やpHの急変などにより活性を失い易いので、リアクタの効率的な運用にはメタン菌の濃度や活性の計測が重要であり、メタン菌のみを直接計測することが望まれる。また、膜複合リアクタでは、菌体の高濃度化によりガス化率は向上するが、同時にろ過動力も増加するので、ろ過動力の低減、流入負荷変動対策と合わせてメタンガス発生量とろ過動力とをバランスさせることも重要である。

筆者らは、新しい計測制御法として、画像処理によるメタン菌計測技術、膜複合リアクタの制御方法について研究を行ってきた^{1, 2, 3, 4)}。今回、パイロットプラントにおいてこれらを検証したので報告する。

2. パイロットプラントの概要

本研究で使用したパイロットプラントは、でんぷん工場廃水を処理する50 m³/日の膜複合2相消化システムであり、酸発酵槽は固定床、メタン発酵槽はUASBで、分離膜は酸発酵槽に複合されている⁵⁾。

3. 蛍光画像処理によるメタン菌計測

蛍光画像処理によるメタン菌計測装置の構成を図1に示す。この装置は、メタン菌固有の補酵素F420の蛍光性を利用して、画像処理により形状、輝度、大きさ等から10分程度の短時間でメタン菌を識別し計数するものである。すなわち、サンプリングプランジャーによって固定した試料に420 nm付近の励起光を直接照射し、試料からの蛍光を高感度カメラで撮影して、画像処理によりメタン菌をきょう雑物から分離・認識して計数するものである。

図2、3にパイロット試験で撮影した蛍光画像、ならびに処理画像を示す。これらに示すように試料の蛍光画像にはメタン菌の蛍光がコントラストよく撮影されており、メタン菌は画像処理によりほぼ完全に拾い出されている。図4に半年間の画像計測値(活性計測値)と手分析によるF420濃度の相関を示す。両者は長期間にわたって相関係数0.9以上の良好な相関を示しており、画像計測により比較的精度よくメタン菌濃度を計測できることが分かる。

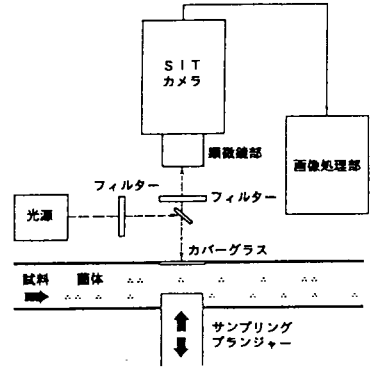


図1 メタン菌の画像計測装置の構成



図2 画像計測装置で撮影した蛍光画像

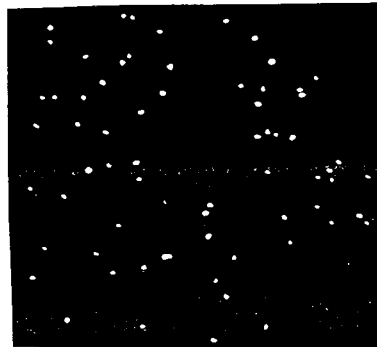


図3 処理した蛍光画像

酸発酵槽における汚泥引抜量(ブロー量)と画像計測値の時系列を図5に示す。同図において、35~95日は週1回1週間分をまとめて引抜き、他の期間は平日一定量の汚泥を引抜いている。なお、図には記載していないが、65~70日もリアクタ内部調査のため、運転を停止し一部の汚泥を引抜いている。1週間分をまとめて引抜いた期間の画像計測値は、汚泥引抜き後一時的に低下しその後急激に増加するという週間変動を示しているのに対し、他

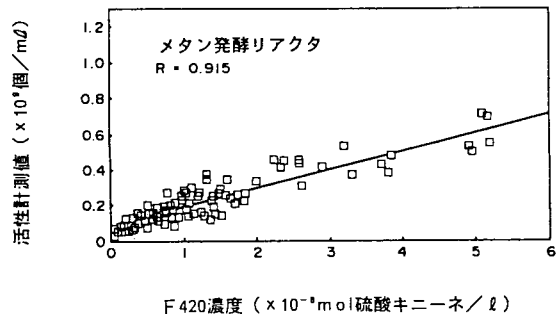


図4 メタン菌の画像計測値とF420濃度の相関

の期間は比較的安定で、増加している場合も増加幅は小さくなっている。集中的に引抜く方がメタン菌濃度の変動が大きくなる傾向は、汚泥引抜方法についてシミュレーションした結果と一致しており、妥当なものと考えられる。

以上のように、メタン菌の画像計測装置は長期間にわたって安定して計測でき、また、画像計測値の精度、計測値の変動傾向もほぼ妥当であることから、オンライン計測することが可能であり、プロセスの監視制御に有効と考えられる。

4. 膜複合メタン発酵リアクタの制御方式

膜複合リアクタでは分離膜供給水のSS濃度の管理が非常に重要である。これは、分離膜供給水SS濃度はろ過動力と直接的に関連していると同時に、リアクタ内微生物濃度でありメタンガス発生量にも関連しているからである。従って、分離膜供給水SS濃度をうまく設定することにより、メタンガス発生量とろ過動力を調整してシステム全体のエネルギー効率を高めることができる。また、分離膜のろ過動力はろ過圧力、膜面SS濃度（SS濃縮率）、膜面線速の設定によっても変わるので、ろ過動力の低くなる運転条件（組み合わせ）を選定することにより、システム全体のエネルギー効率をさらに高めることができる。

検討した制御方式の回路構成を図6に示す。この制御はメタン菌濃度などのプロセス状態を計測し、微生物反応モデルと膜ろ過モデルを用いて、発生するメタンガスエネルギー量とろ過動力の差を最大にする運転条件（リアクタ内SS量、膜面SS濃度、膜面流速、ろ過圧力）を求め、これを制

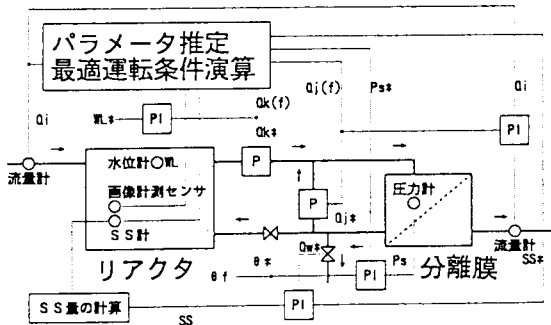


図6 膜複合メタン発酵リアクタの制御回路構成

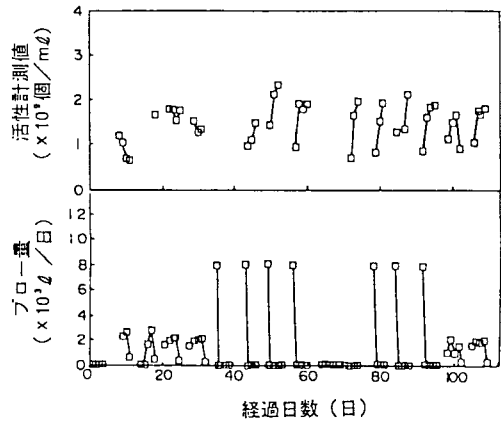


図5 メタン菌画像計測値と汚泥引抜量の時系列

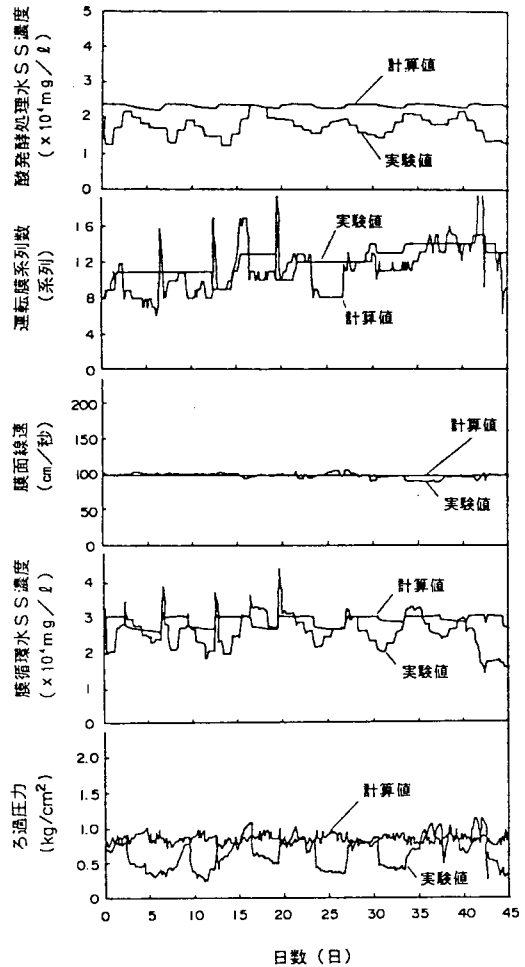


図7 制御シミュレーション結果

御目標値、あるいはフィードフォワード値として運用制御するものである。なお、速度定数等のモデルパラメータは、膜特性の変化や廃水成分の季節的変動等によるモデル誤差を修正するため、プラントデータから逐次推定するようにしている。

パイロット試験データからパラメータを逐次推定しながら、流入条件の実測値を用いて計算機シミュレーションを行い、この制御方式を実施する場合の有効性を検討した。

図8、9に示すように、酸発酵処理水SS濃度はシミュレーション値(計算値)の方が実験値よりかなり高く、メタンガス発生量も計算値の方がでんぶん工場が操業している平日に増大している。これは、パイロット試験の場合、実験時よりリアクタSS濃度を高くしても、メタンガス発生量の増加分の方がろ過動力増加分より大きく、エネルギー的に有利になることを示している。

一方、分離膜では、ろ過動力に占める膜循環ポンプ動力の割合が高いため、運転系列数を実験値と同程度、もしくはそれ以下に抑え、ろ過圧力を

0.9 (kg/cm²)程度と実験値よりかなり高く使用限界付近に保っている。また、濃縮倍率は低く抑えているが分離膜供給水のSS濃度が高いため、膜循環水SS濃度は26,000~30,000 (mg/l)程度で実験値よりかなり高く限界付近である。このように、運転系列数を減少させ、膜面SS濃度、ろ過圧力を使用限界付近に保つことによりろ過動力の低減を図っているが、供給水SS濃度が高いため、ろ過動力は実験値よりも若干多めになっている。しかし、メタンガス発生量の増加分の方が、ろ過動力増加分よりも大きく、パイロットプラント全体のエネルギー収支は、特に平日のメタンガス発生量の多いときに40%程度改善されている。

これらのことから、この制御方式はエネルギー回収の観点から膜複合メタン発酵リアクタの有効な運用制御法であることが分かる。

5. まとめ

本稿では、筆者らが考案し検討してきたメタン菌計測技術、ならびに膜複合メタン発酵リアクタの制御技術をパイロット規模で検証した結果を報告した。メタン菌の画像計測技術によれば、リアクタ内の混合微生物群の中からメタン発酵の中核微生物であるメタン菌のみを短時間で、直接計測することができる。また、長期間にわたって比較的精度よく計測することができ、オンライン計測が可能であることが分かった。一方、提案している制御方式によれば、膜複合メタン発酵リアクタ全体の回収エネルギーを最大にすることができ、リアクタを効率的に運用できることが確認できた。

なお、本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構からアクアルネサンス技術研究組合への委託業務「高性能分離膜複合メタンガス製造装置開発」の一環として実施したものである。

参考文献 (1)廣辻等、第26回下水道研究発表会講演集、729(1989)。(2)山内等、平成元年度日本発酵工学会大会講演要旨集、206(1990)。(3)山内等、第28回下水道研究発表会講演集、699(1991)。(4)廣辻等、第3回水システム自動計測制御国内ワークショップ論文集、259(1989)。(5)柳、第3回水総合再生利用システム研究開発成果発表会予稿集、94(1991)。

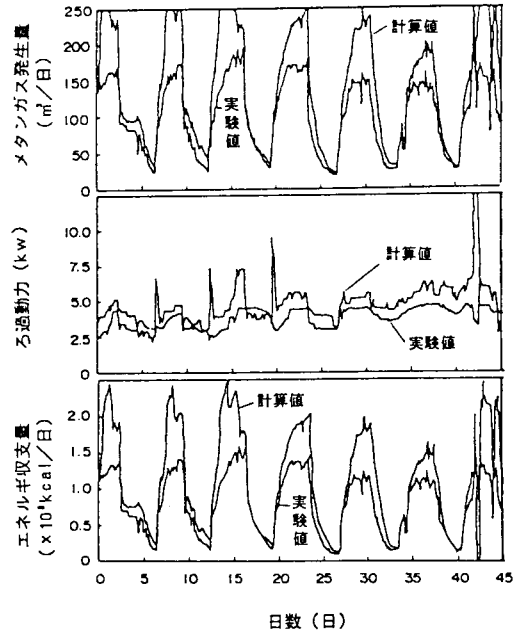


図8 制御シミュレーション結果