

滅菌設備制御システム

高瀬 長武, 福岡 正芳, 長崎 進, 野瀬 勝利

株式会社 明電舎 総合研究所
東京都品川区大崎 2-1-17

概要

滅菌設備制御システムは、化学発光による酵素免疫測定法を応用して大腸菌群を自動的に、しかも短時間（2時間程度）で測定し、その測定結果等に基づいて次亜塩素酸ナトリウムの注入比率を求め処理水量に対する注入量を算出して、ポンプの台数制御、回転数制御により、適正な次亜塩素酸ナトリウムの注入を行うことを目的として開発したシステムである。

本報では、大腸菌群の短時間測定法、大腸菌自動測定装置及び本システムにより都内の下水処理場において自動運転を行った結果について報告する。

キーワード

酵素免疫測定法, 化学発光法, 大腸菌群, 次亜塩素酸ナトリウム, 滅菌制御システム

1 はじめに

我国では、放流水の大腸菌群数は下水道法で 3,000 個/mL 以下でなければならないと定められている。そのため、各下水処理場では次亜塩素酸ナトリウムで滅菌した後、処理水の放流を行っている。従来の大腸菌群の測定はデスオキシコール酸塩培地による平板培養法（デソ法）で、この測定法では測定結果が出るまでに18時間以上要するために、今までその測定結果を次亜塩素酸ナトリウムの自動制御指標として用いることが困難であった。従って、次亜塩素酸ナトリウムの注入は、次亜塩素酸ナトリウムの注入比率を設定し、処理水量に比例した注入を行う方法が用いられてきた。

滅菌設備制御システムは、東京都下水道局と共同で開発したもので、化学発光による酵素免疫測定法により大腸菌群数を短時間（2時間程度）で測定し、その測定結果に基づいて適正な次亜塩素酸ナトリウムの注入を行うことを目的として開発したシステムである。

2 大腸菌自動計測の原理と方法

2.1 測定原理

測定原理は微量な蛋白質の測定法として知られている酵素免疫測定法を基本原理としている。図1に測定原理を示す。

(1) 固相調製

ポリスチレン製の試験管（φ11×L70mm）に、第1抗体を入れて固相化する。[1]

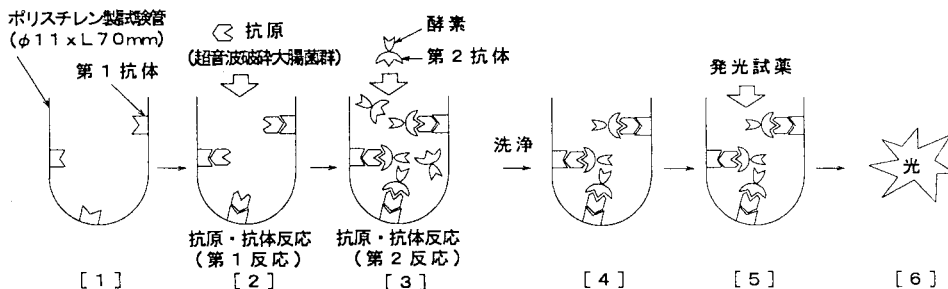


図1 測定原理

(2)第1反応

固相化した試験管に、予め超音波破砕した試料（抗原：大腸菌群）を加え、抗原抗体反応を行い、固相化抗体に抗原を結合する。[2]

(3)第2反応

第1反応終了後、[3]で示されるように目印として酵素を標識した抗体（第2抗体）を添加し、抗原抗体反応を行い、洗浄して上澄液中に残留する酵素標識抗体を除去する。[4]

このように、抗原が固相化抗体と酵素標識抗体にはさまれた形となっているため、この測定法はサンドイッチ法と呼ばれている。

(4)化学発光反応

第2反応終了後、[5]で示すように化学発光試薬を加え、発光反応を行う。[6]

この時の発光量は標識酵素量に比例し、標識酵素量は抗原量（大腸菌群数）に比例するので、発光量から間接的に大腸菌群数を求めることができる。

従って、予め既知濃度の大腸菌群数に対する発光量を計測して標準曲線を作成し、未知濃度の大腸菌群を含む試料の発光計測値から未知濃度の大腸菌群数を求めることができる。

2.2 測定方法

大腸菌群の短時間測定プロセスを図2に示す。測定は大別して、前処理工程、免疫反応工程及び発光反応工程の3つのステップから構成される。前処理工程は試料の濃縮と濃縮液中の大腸菌群（抗原）から蛋白質を抽出するための超音波破砕を行う工程である。

免疫反応工程は大腸菌群由来の抗体と抗原を結合させる工程と酵素を標識した抗体との結合を行う工程である。

発光反応工程は標識酵素と化学発光試薬を反応させ、発光量を計測する工程である。

3 大腸菌自動測定装置

大腸菌自動測定装置の主な仕様を表1に示す。大腸菌自動測定装置は、大腸菌群の短時間測定プロセスの各工程を全て自動化した装置で、オンラインで大腸菌群を自動的に測定することができる。

特に前処理工程の試料水のサンプリング、フィルターの供給を自動で行うことができるところに特長がある。

大腸菌自動測定装置の評価を行うことを目的として、東京都下水道局の水処理センター・処理場の放流水（塩素接触前）を採水し、従来のデゾ法で計測した大腸菌群数と大腸菌自動測定装置で計測した大腸菌群数の相関関係を図3に示す。

デゾ法と大腸菌群の自動測定方法との相関係数(r)は、 $r=0.92$ ($n=85$)と高い相関関係が得られ、大腸菌自動測定装置は十分満足が行くものであることを示している。また、この実験は大腸菌群に対する下水処理場間の

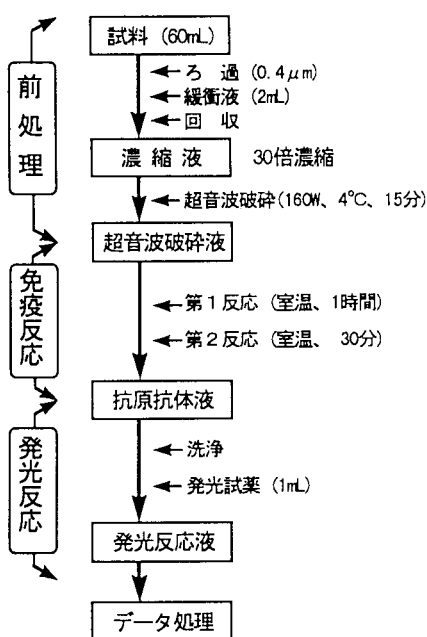


図2 測定プロセス

特異性を検証する目的もあり、3ヶ所・5幹線の処理水について実験した結果であるが、特異性にも問題がないことを示している。

今回の相関性試験では、絶対値において大腸菌自動測定装置の計測値がデゾ法の計測値より少し高い値を示した。その要因はデゾ法がコロニーの大きさや色調の判定に個人差を伴い、どちらかという完全大腸菌群のコロニーと思われる大きさや色調のものだけを計数し、実際の大腸菌群のコロニー数より少なく計数しがちであることと、酵素免疫測定法は特異性が高い反面、抗原抗体反応が抗原の調製に影響するので、大腸菌群の抗原の選定と精製等の調製法にあると推定される。

表1 大腸菌自動測定装置の仕様

形 式	LFD-7700E		
測定方法	化学発光法による酵素免疫測定法		
濃縮方法	フィルター過方式		
測定時間	2時間 / 試料		
検出感度	100個 / ml (濃縮倍率による)		
測定精度	CV≤10%		
外形寸法	装置本体	1240 (W) x 748 (D) x 1255 (H) (mm)	
	サンプリング部	470 (W) x 740 (D) x 2249 (H) (mm)	
電 源	装置本体	AC100V±10%、8A	
	冷却装置	AC100V±10%、15A	

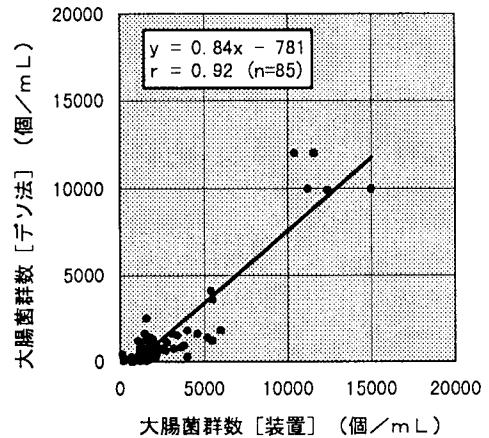


図3 デゾ法との相関性

4 滅菌設備制御システム

図4は都内下水処理場に設置した滅菌設備制御システムで、大腸菌群数をオンラインで計測するための大腸菌自動測定装置とサンプリング部の外観写真である。右側の装置が塩素接触前処理水の大腸菌群数を計測する装置で、左側の装置が塩素接触後の処理水の大腸菌群数を計測する装置である。

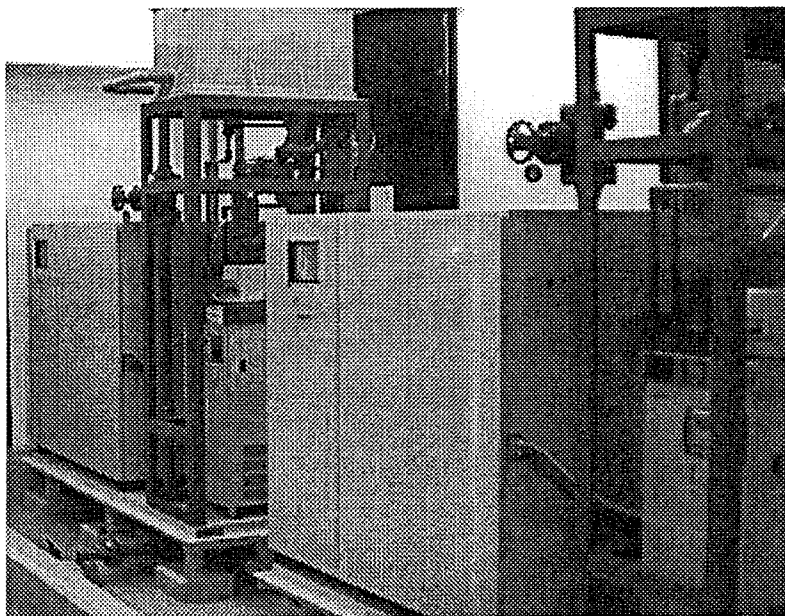


図4 滅菌設備制御システム

図5には本システムの構成図を示す。

次亜塩素酸ナトリウムは、水中の有機物、鉄、マンガン、アンモニア性窒素及び有機性窒素等によって消費されることが知られている。しかし、今回設置した下水処理場のアンモニア性窒素濃度と有機物濃度は、特有の固定値で良いのか、変動幅が大きく、大腸菌群数と同様の時間間隔で測定する必要があるのかが不明であるため、今回設置した下水処理場において、1997年5月から1998年2月までの期間のアンモニア性窒素濃度と有機物濃度の日内変動及び日間変動について調査を行った。

日内変動については、毎月1回、2時間毎に塩素接触前の処理水を採水して測定した。また、日間変動は毎月4日程度、塩素接触前の処理水を採水して測定した。

その結果、日内変動はアンモニア性窒素濃度が最大9.1mg/L、有機物濃度が最大5.5mg/Lの変動があり、日間変動はアンモニア性窒素濃度が最大14.1mg/L、有機物濃度が最大9.4mg/Lの変動があった。

従って、本システムは精度の高い塩素注入制御を行うために、アンモニア性窒素濃度と有機物濃度を定期的に測定し、大腸菌群数とそれらの計測値から次亜塩素酸ナトリウムの注入比率を求め、処理水量に対する塩素注入量を算出して、ポンプの台数制御、回転数制御により次亜塩素酸ナトリウムの注入を行うシステムとした。

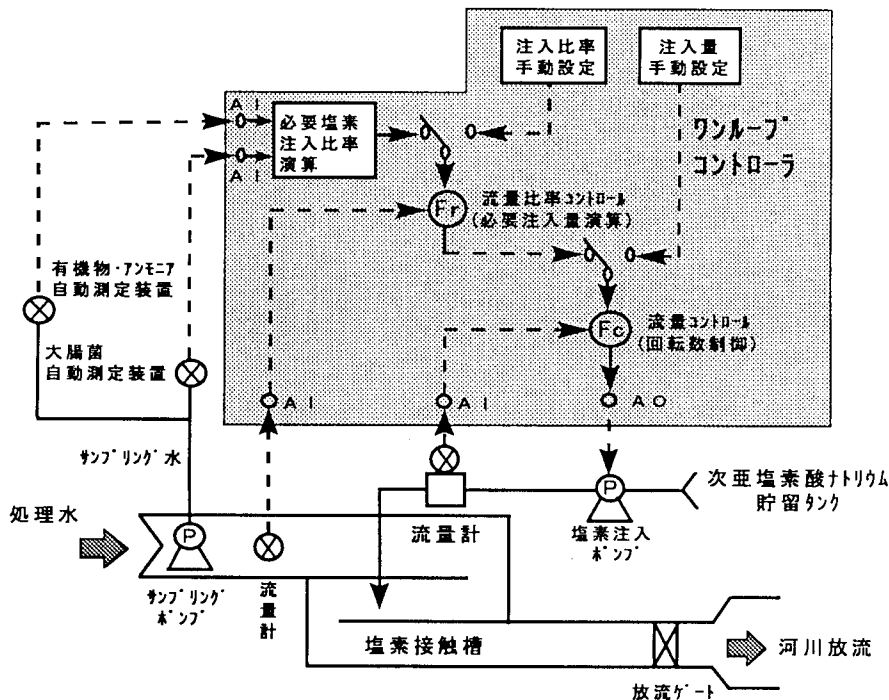


図5 システム構成

目標となる次亜塩素酸ナトリウムの注入比率 (r) は、以下の関係式として、それぞれの係数を実験結果を基に重回帰式から求めた。

$$r = K_1 \cdot (\text{滅菌前大腸菌群数}) + K_2 \cdot (\text{滅菌前アンモニア性窒素濃度}) + K_3 \cdot (\text{滅菌前有機物濃度}) + K_4$$

このようにして求めた関係式に、1997年6月から1998年1月までの期間に測定した塩素接触前の大腸菌群数、アンモニア性窒素濃度及び有機物濃度を代入して、次亜塩素酸ナトリウムの注入比率を算出した結果を図6に示す。このシミュレーション結果は、従来の注入比率より約70%の注入比率でも十分に大腸菌群を死滅させることができることを示している。

このシミュレーション結果を基に、都内の処理場において滅菌設備制御システムにより算出した設定値 (次亜塩素酸ナトリウムの注入比率) により、次亜塩素酸ナトリウムの自動注入運転を行い、残留塩素濃度及び塩素接触後の大腸菌群数から設定値が適正であるかの評価を行った。

その結果、滅菌設備制御システムにより算出した設定値 (次亜塩素酸ナトリウムの注入比率) は、0.32mg/L か

ら 0.36mg/L で、この設定値により自動運転を行った時の塩素接触後の大腸菌群数は 300 個/mL 以下で、残留塩素濃度は 0.02mg/L から 0.05mg/L であったことから、次亜塩素酸ナトリウムの自動注入運転を行っても問題がなく、従来の注入比率より約 70% の注入比率でも十分に大腸菌群を死滅させることができることがわかった。

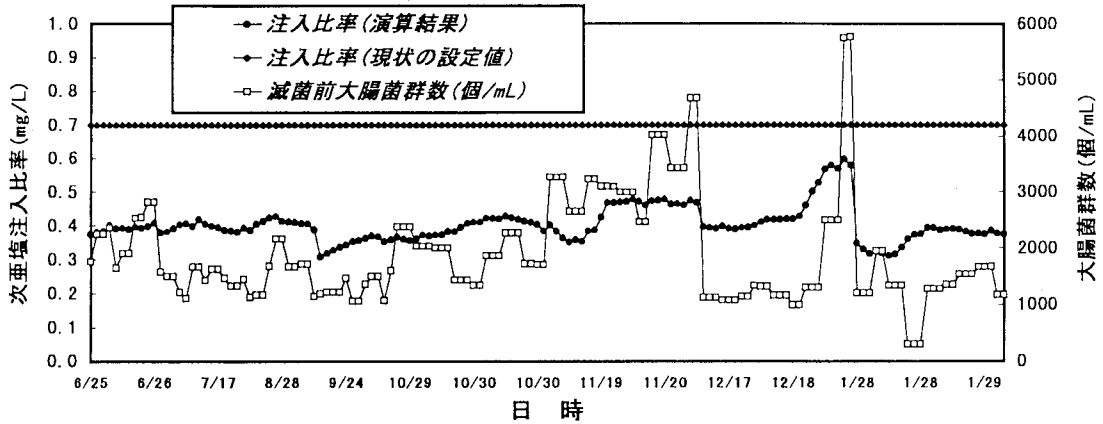


図6 次亜塩素酸ナトリウム注入比率のシミュレーション結果

5 むすび

酵素免疫測定法と化学発光法を応用して大腸菌群を短時間で測定して、その結果を制御指標とした滅菌設備制御システムを開発し、都内下水処理場に設置して運転を行った。

大腸菌群数、アンモニア性窒素濃度、有機物濃度から算出した次亜塩素酸ナトリウムの注入比率により、自動運転を行った結果、塩素接触後の大腸菌群数及び残留塩素濃度から判断して、滅菌設備制御システムのアルゴリズムは適正で、従来の次亜塩素酸ナトリウムの注入量を約 30% 削減できることがわかった。

今後は、システムの安定性、維持管理の容易性、省資源、省エネルギーなどを考慮した経済的で、効率的な滅菌設備制御システムの確立を目指して行く予定である。

《参考文献》

- (1) 福岡ほか；酵素免疫分析法による大腸菌群の測定方法，第 29 回日本水環境学会年会講演集，1995
- (2) 野瀬ほか；大腸菌群の自動測定方法，第 32 回下水道研究発表会講演集，1995
- (3) 高瀬ほか；大腸菌自動測定装置，第 33 回下水道研究発表会講演集，1996
- (4) 長崎ほか；オンライン型大腸菌自動測定装置，第 34 回下水道研究発表会講演集，1997
- (5) 高橋ほか；滅菌設備制御システム調査(その 1)，平成 7 年度東京都下水道局技術調査年報，1996