

〈研究発表〉

電気伝導率による下水処理制御

高橋 麻由子¹⁾, 三好 幸一郎²⁾

¹⁾ 東京都下水道局 (〒161-0034 新宿区上落合 1-2-40, E-mail: Mayuko_Takahashi@member.metro.tokyo.jp)

²⁾ 東京都中央卸売市場 (〒104-0045 中央区築地 5-2-1, E-mail: Kouichirou_Miyoshi@member.metro.tokyo.jp)

概要

下水処理は流入下水の水量・水質が大きく変動するため、管理が難しい。良好な水質を得るためには、反応槽内の溶存酸素(DO)管理は重要な操作因子である。制御方法を反応槽終段のDOによるフィードバック制御から流入水質によるフィードフォワード制御に変えることで、より効率的な運転管理が行える可能性がある。そこで、簡便に測定できる電気伝導率(EC)を指標とした流入水質監視を行い反応槽終段のDO等との関係を調査したところ、強い関連が認められ、運転のさらなる効率化への可能性を見出したので報告する。

キーワード: 下水処理, フィードフォワード制御, 電気伝導率, 流入水質監視, 送风量制御 (wastewater treatment, feedforward control, electrical conductivity, influent quality monitoring, control of supplied air flow)

1. はじめに

下水道事業は、下水処理の過程で多くのエネルギー(主に電力)を消費している。東京都下水道局の温室効果ガス排出量は、87.1万t-CO₂(平成21年度見込み)であるが、そのうちの38万t-CO₂は、電力消費によるものである。このため、当局は温室効果ガスの排出削減対策として消費電力の削減に取り組んでいる。

下水を処理する水再生センター(下水処理場)で最も電力を消費する機器は、下水処理のために反応槽へ空気を送っている送風機(センター電力の30~40%)であることから、送风量を適切に制御することで送風電力を削減する技術が求められている。

標準的な活性汚泥処理のフロー図をFig.1に示す。下水の処理は、主に反応槽で行われている。ここでは、微生物を大量に含む活性汚泥と下水とを混合し、空気

を流入水量の3~5倍程度送風することで、微生物に下水中の汚濁物質を主に酸化分解させている。

東京都下水道局落合水再生センターでは、反応槽終段の溶存酸素(DO)値によるフィードバック型の送风量制御を行うことで、適正な運転管理及び電力量の削減に一定の成果を上げている。しかし、フィードバック型制御は、反応槽終段で必要送风量を判断することから、流入水質の変動に対してタイムラグが発生するなど、よりきめの細かい送風制御を行うには限界がある。そこで、電気伝導率計を活用したフィードフォワード型の送风量制御の可能性を検討した。

2. 電気伝導率計による水質監視の可能性

電気伝導率を測定することで下水の水質変化を監視できるのか、電気伝導率と他の水質項目との相互関係を調査した。

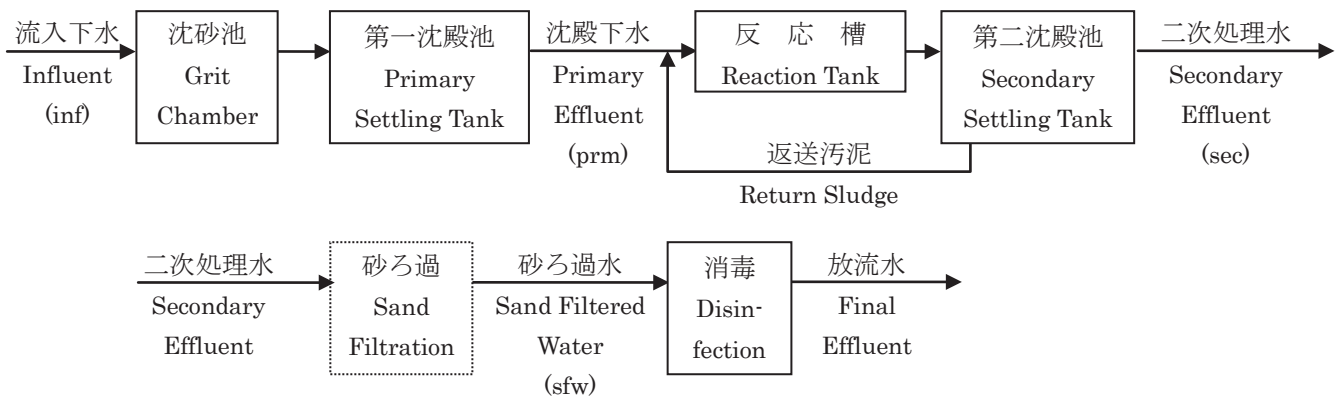


Fig. 1 Treatment flow of wastewater treatment plant. Alphabets in parentheses are abbreviation in figures and table of this report.

2.1 調査期間及び内容

調査期間：2008年3月24日～6月16日
 試料：流入下水，沈殿下水，二次処理水及び砂ろ過水
 電気伝導率計：TOADKK CM-20S
 水質測定項目：COD_{Mn}，
 アンモニア性窒素，硝酸性窒素
 りん酸性りん

2.2 結果及び考察

(1)電気伝導率の変動

調査期間中の雨量及び水処理過程における電気伝導率の推移を Fig.2, 3 に示した。Fig.2 から，流入下水及び沈殿下水の電気伝導率は，降雨の影響がないときには 550 μ S/cm 以上と高い値であった。一方，降雨時は，下水が雨水で希釈されることで電気伝導率が低下していた。このことは，降雨量が多いほど顕著な傾向が見られた。

Fig.3 の二次処理水，砂ろ過水の電気伝導率も降雨の影響がない場合は，400～450 μ S/cm 程度で推移していた。また，Fig.2 と同様，降雨時に低下する傾向も見られたが，その変化幅は小さかった。

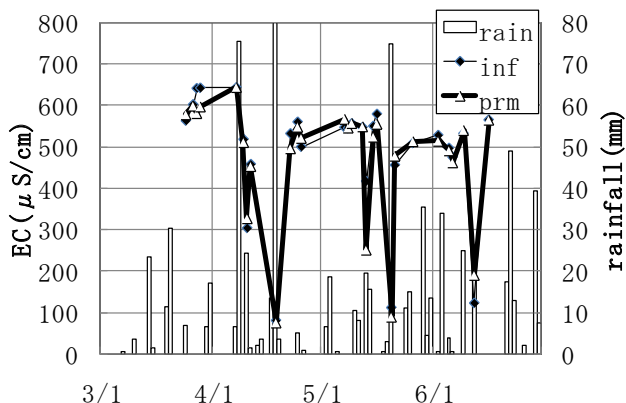


Fig.2 Electrical conductivity of influent and primary effluent (2008/3/24 - 6/16), the white bar shows daily rainfall total (3/1 - 6/30)

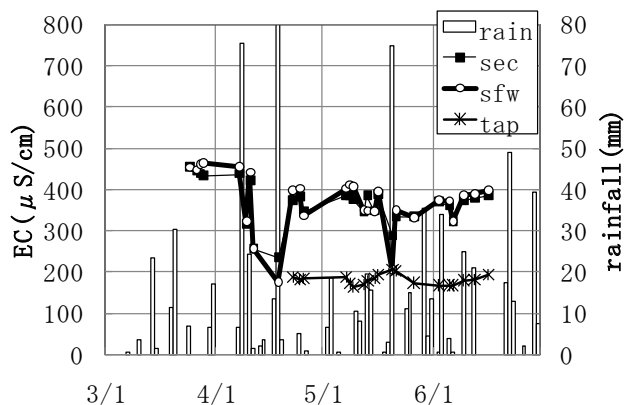


Fig.3 Electrical conductivity of secondary effluent, sand filtered water (2008/3/24 - 6/16) and tap water ('tap' in figure, 4/22 - 6/16), the white bar shows daily rainfall total (3/1 - 6/30)

(2) 他の水質項目との相互関係

調査期間中の流入下水及び沈殿下水について，電気伝導率と COD との関係性を Fig.4 に示した。電気伝導率は，流入下水，沈殿下水と極めて強い相関関係が認められた。

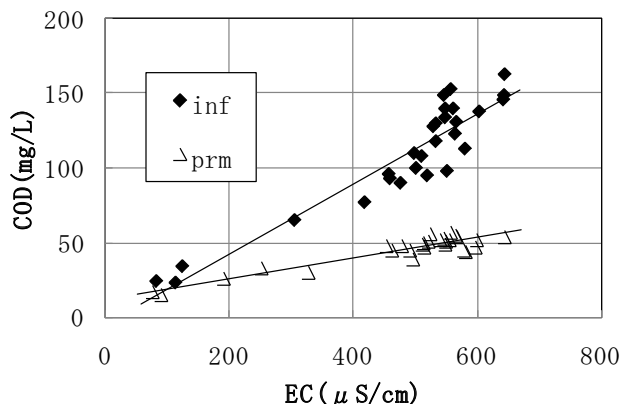


Fig.4 Concentration dependence of electrical conductivity for COD, in influent and primary effluent

相関係数 R (n=28) は流入下水，沈殿下水ともに 0.93 であった。この結果から，電気伝導率を COD の代替指標として利用できることが確認できた。特に，近似直線の傾きが大きい流入下水は，COD の変化をより感度良く検知できることから，フィードフォワード型制御を念頭に置いた測定地点として適しているといえる。

同様に，他の試料水についても電気伝導率との関係を調べたところ，Table1 のような関係が得られた。沈殿下水は，Fig.5, 6 にも示すとおり，COD と同様に

Table1 Correlation coefficients between electrical conductivity and other properties (n=28)

	inf	prm	sec	sfw
COD	0.93	0.93	0.44	0.83
NH ₄ -N	—	0.95	—	—
NO ₃ -N	—	—	—	0.47
PO ₄ -P	—	0.96	—	0.64
Turbidity	—	—	—	-0.14
Chromaticity	—	—	—	0.85

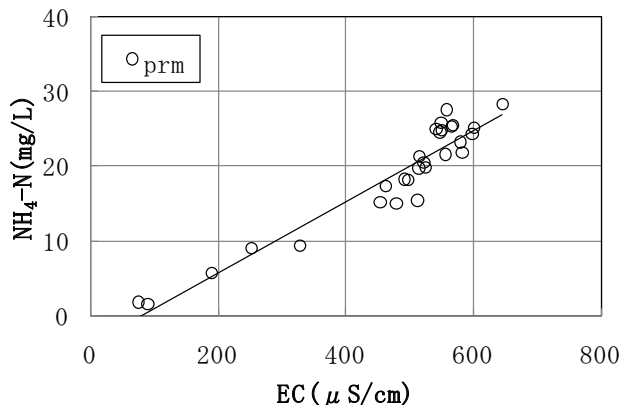


Fig.5 Correlation of electrical conductivity and ammonium-nitrogen in primary effluent

アンモニア性窒素, リン酸性りんとも相関係数 0.9 以上の強い相関が認められた。一方で, 二次処理水, 砂ろ過水等の下水処理の後段過程の試料水では, 相関係数が低い項目もあった。これらのことから, 測定場所を適切に選定すれば, 電気伝導率は, 水質変動の指標として活用できると判断された。

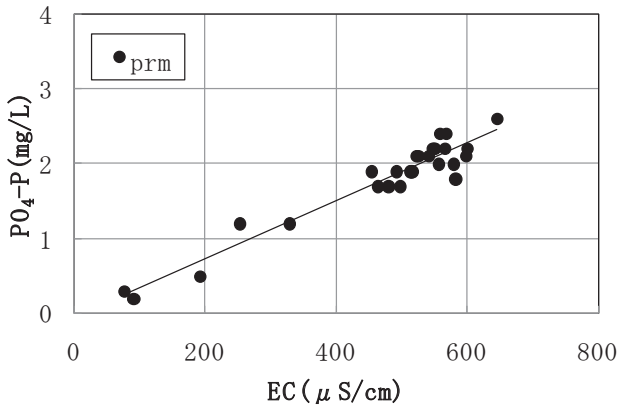


Fig.6 Correlation of electrical conductivity and phosphate-phosphorus in primary effluent

3. 電気伝導率計による送風量制御の可能性

電気伝導率計で検知した流入水質の変動を送風量制御に活用するため, 沈殿下水の電気伝導率と反応槽の DO 値との関係を調査した。

3.1 調査期間及び内容

調査期間: 2008年7月25日~12月26日

送風量制御: 7/25~9/10 風量一定制御

11/24~12/26 DO 値制御

電気伝導率計: TOADKK CM-21P

(沈殿下水を測定)

溶存 DO 値計: MITSUBISHI TY3301

(反応槽終段に設置)

測定間隔: 10分

3.2 結果及び考察

(1) 風量一定制御

調査期間中における電気伝導率, DO 値及び送風量

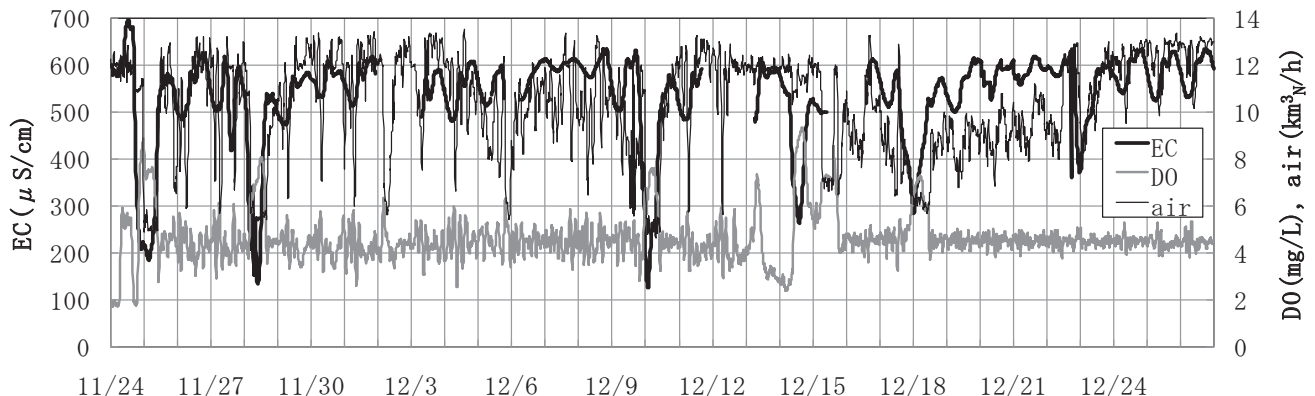


Fig.8 Electrical conductivity of primary effluent (EC), DO in the end of reaction tank (DO) and supplied air flow (air) at constant air flow term from 2008/11/24 to 12/26.

の変動例を Fig.7 に示した。電気伝導率は, 7月29日の降雨(雨量 38.5mm/日)に伴って低下し, その後上昇しているが, このとき同時に DO 値も上昇している。風量一定制御であるので, DO の上昇は降雨による希釈効果で汚濁濃度が低下したことを表していると考えられるが, 電気伝導率計でも同様のことが検知できたことを示している。

また, 降雨のなかった期間についても電気伝導率が低下(上昇)した3~4時間後に DO 値が上昇(低下)する現象が観測され, 天候に関わらず両者に相関性があることが判明した。実際, 全期間にわたり DO 値が 2mg/L を下回る直前に電気伝導率が 575 μS/cm を超えることが 10 回中 9 回あり, 再現性が高いことを確認できた。

なお, Fig.7 の期間中は電極の洗浄を行わず 11 日間連続測定したが測定値は安定しており, メンテナンス面でも流入水質監視に有利であることが分かった。

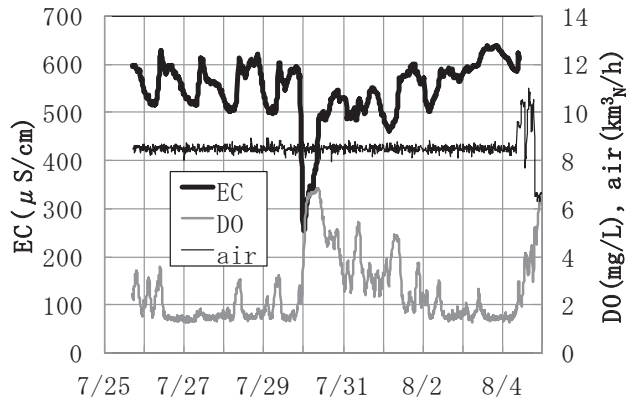


Fig.7 Electrical conductivity of primary effluent (EC), DO in the end of reaction tank (DO) and supplied air volume (air) at DO controlled term from 2008/7/25 to 8/4

(2) DO 値制御

DO 制御期間における電気伝導率, DO 値及び送風量の推移を Fig.8 に示した。電気伝導率で示された流入水質の変動が, 送風量とほぼ対称の変動パターンを示していたことが読み取れる。このことから, 沈殿下

水の電気伝導率を連続測定し、その変動パターンに沿って送風量をフィードフォワード制御することにより、送風量の過不足、DO 値の変動を抑え、運転管理の効率化・合理化につなげることができると考えられる。

4. 2地点間の流達時間の推定

測定点の異なる電気伝導率計と DO 計を用いてフィードフォワード制御を行う場合、流入水量の変動により常に変化する測定地点間の流達時間(遅れ)を推定する必要がある。そこで、電気伝導率の変化を比較することで流達時間を推定することができるのではないかと考え、第一沈殿池の前後などで測定を行い、その変動の様子から流達時間の算出を試みた。

4.1 調査期間及び内容

調査期間：2008年12月10日～15日、
2008年12月18日～26日

調査対象：流入下水、沈殿下水、二次処理水

4.2 結果及び考察

それぞれの期間における電気伝導率の推移を Fig.9, 10 に示した。Fig.9 から、14 日の降雨(雨量 13.5mm/日)により沈殿下水、二次処理水共に電気伝導率が低下したこと、全体的に二次処理水の電気伝導率の方が

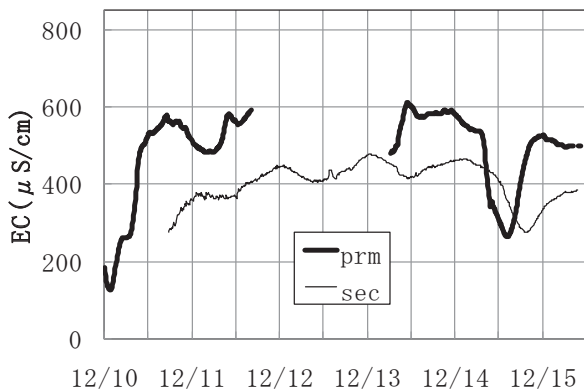


Fig.9 Electrical conductivity of primary effluent and secondary effluent from 2008/12/10 to 12/15

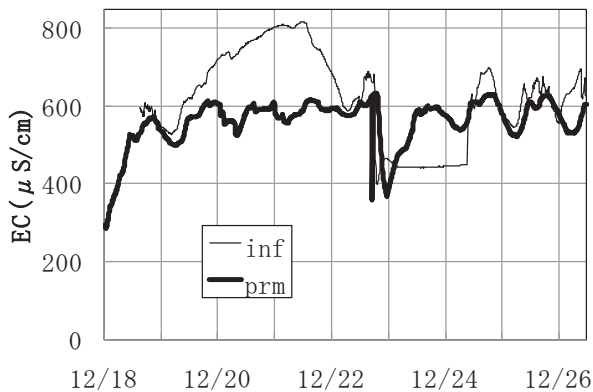


Fig.10 Electrical conductivity of influent and primary effluent from 2008/12/18 to 12/26

100~150 $\mu\text{S/cm}$ 低くなっていた。これは、反応槽での硝化反応によりアルカリ分が消費されたことが主な理由であると考えられる。一方、反応槽に入って第二沈殿池を出るまでの流達時間は 14 日の電気伝導率の変動パターンから 5~6 時間と推定できるが、同時刻の水量、返送汚泥量のデータから求めた計算値は 9.1 時間であり、両者には開きがあった。

晴天日については、反応槽での攪拌や第二沈殿池での滞留により水質が均一化されることから二次処理水の変動が緩和されて小さくなり、流達時間を推定することが難しかった。

Fig.10 では、24 日の午後以降は流入下水と沈殿下水の変動が類似していた。この変動パターンから、両地点間の流達時間は 0.5~3 時間と推定できた。同時刻の流入水量から求めた計算値は 2.7~3.3 時間であり、Fig.9 で推定した滞留時間よりも精度が高かった。また、24 日午前までの流入下水の電気伝導率は不可解な変動パターンを示したが、これについては、今後の継続調査が必要であると考えている。

以上の結果から、実測値と計算値との誤差についてさらに検証する必要があるものの、電気伝導率により水再生センター内の任意の地点における流達時間を調べられる可能性がある。また、電気伝導率は流入下水に対して安定して計測できることから、センターの維持管理にとどまらず処理区という広い範囲で流達時間を測定する用途にも活用できると考えられる。

5. まとめ

フィードフォワード型制御による効率的な運転管理を目指して、流入下水の水質変化を早い段階で把握するための指標として電気伝導率の可能性を検討し、以下の結果が得られた。

風量一定期間中に、沈殿下水の電気伝導率と反応槽終段の DO 値を測定したところ、一方が上がり他方が下がるという関係がみられた。また、DO 値制御期間の電気伝導率と送風量もお互いに対称な変化をしており、沈殿下水の電気伝導率の測定結果を反応槽の必要空気量の予測に使うことができる。DO 値制御時にオンサイトでの連続計測を DO 値計などと組み合わせることで使用することにより、より精度よく必要空気量の算出ができると考えられる。

また、2 地点間の電気伝導率を比較することで、流達時間が推定できる可能性が示された。