

〈研究発表〉

京都府流域下水道における既設高度処理施設での省エネ運転の実例報告

上村 岳史¹⁾， 駒路 勝男²⁾， 一二三 純子³⁾

¹⁾ 日本メンテナンスエンジニアリング株式会社

(〒617-0836 京都府長岡京市勝竜寺樋ノ口1番地, E-mail:rakusai@jme-net.co.jp)

^{2),3)} 京都府流域下水道事務所洛西浄化センター

(〒617-0836 京都府長岡京市勝竜寺樋ノ口1番地, E-mail:ryuiki-rakusai@pref.kyoto.lg.jp)

概要

京都府流域下水道では全5流域で下水道処理施設が供用中である。この内4流域で高度処理が実施されているが、内、桂川右岸流域下水道において高度処理水質を維持しつつ省エネ（エネルギー原単位削減）を目的とし、水処理系を中心とした生物反応槽における水中攪拌機、循環ポンプ及び返送汚泥ポンプを主とした動力費削減運転を、経年的に試行・調査・解析を経て実施し、安定した処理水質を得た上での一定の効果（4年でエネルギー原単位-11%）が得られたので今後の課題と共に経緯を報告する。

キーワード: 省エネ, 高度処理, 水中攪拌機, 循環ポンプ, 返送汚泥ポンプ,

1. はじめに

1.1 京都府での高度処理の現況と省エネ運転への概況

京都府では昭和47年より流域下水道事業に着手し、現在5流域下水道施設において汚水処理事業を展開している。その内4流域は瀬戸内海へと最終流下する処理場であることから閉鎖性水域の富栄養化防止等を目的として、順次高度処理法へと転換を図ってきている。

本編に挙げる京都府桂川右岸流域下水道（以下「洛西浄化センター」）においても供用開始以降標準活性汚泥法でのスタートから、5系列中4系列が凝集剤併用型循環式硝化脱窒法へと増築・改修がなされ、また唯一標準法が残っていた系列についても現在凝集剤併用型ステップ流入式多段硝化脱窒法へと更新工事が行なわれているところである。

一方で日約14万tの汚水を受け入れ焼却処分までを行い、日約9万kWhの電力を使用する洛西浄化センターは第1種エネルギー管理指定工場に該当する。

また、昨今の世界情勢及び京都議定書発効都市の施設である事からもエネルギー原単位の削減は社会的な責務であり、これを、高度処理を維持しつつ行う事が求められる。

そこで本編では、処理水質を鑑みながら、主に大きく電力を必要とする水処理設備、中でも汚水処理の中核をしめる生物反応槽水中攪拌機・循環ポンプ及び返送汚泥ポンプについて省エネ運転の可能性を探り、また実施効果を検証した結果、処理水質を良好に維持しつつ一定の効果が得られたので報告する。

1.2 洛西浄化センターの現状について

洛西浄化センターは市街地の連担した桂川右岸の3市1町の区域を対象とし、京都府の事業として最初の流域下水道であり、昭和54年より供用開始している。

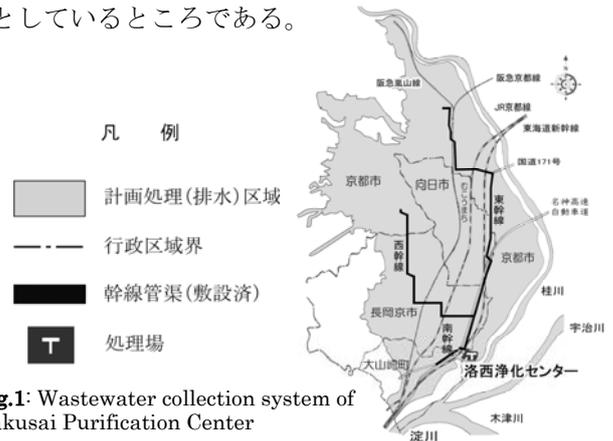
この地域は交通の要所でもあり、高度成長期から急激に都市化が進行し、旧市街地と新住宅地並びに企業敷地が混在している。

また下流域には阪神地域の都市群が控えていることから公共用水域の良好な水環境の保全に資するため下水道整備がなされている。

Table 1: Wastewater management infrastructure of Rakusai Purification Center

| 計 画 概 要 | |
|---------------|---------------------------------------|
| 関 係 市 町 | 京都市、向日市、長岡京市、大山崎町 |
| 処 理 面 積 | 5,156 ha |
| 処 理 人 口 | 362,000人 |
| 排 除 方 式 | 分 流 式 |
| 処 理 能 力 水 量 | 225,100m ³ /日 |
| 標 準 法 | — |
| 凝 集 ・ リ ン 対 応 | 225,100m ³ /日 |
| 放 流 先 | 桂川 |
| 施 管 設 路 | 東幹線 約9.8km : 西幹線 約6.0km : 南幹線 約1.0km |
| 計 | 約16.8km |
| 名 所 在 地 | 洛西浄化センター |
| 面 積 | 京都市伏見区淀大下津町他、長岡京市勝竜寺樋ノ口他、乙訓郡大山崎町宇下植野他 |
| 約 | 17.3ha |
| 施 末 処 理 場 | 凝集剤併用型循環式硝化脱窒法+急速ろ過 |
| 処 理 方 法 | 凝集剤併用型ステップ流入式多段硝化脱窒法+急速ろ過 |
| 供 用 開 始 | 昭和54年10月18日 |

面整備としては、山間部を除く約99%に下水道の普及を終えており、まさに維持管理・保全の時期を迎えようとしているところである。



平成 21 年度末の状況としては、処理系列 A～F 系列までが計画、A～E 系列までが整備・供用されている。また昭和 54 年より供用されていた A 系列については前述のとおり更新工事の最中にある。その他の B～E 系列については凝集剤併用型循環式硝化脱窒法+急速繊維ろ過設備として運転を継続中である。

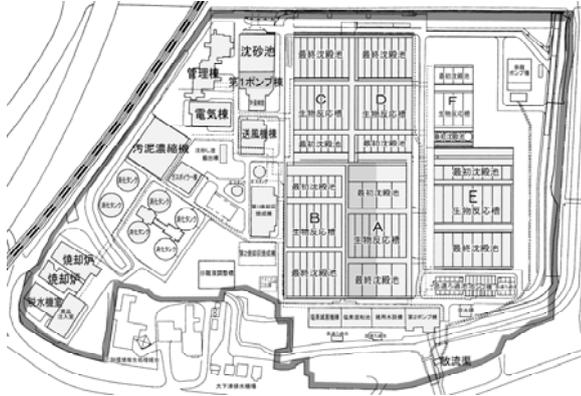


Fig.2: Plane figure of Rakusai Purification Center

2. 水中攪拌機間欠運転の経緯と状況

2.1 予備調査と試行運転結果

生物反応槽水中攪拌機については B～E 系列の嫌気・無酸素槽及び好気槽全てに浸漬型、計 248 台 (2.2kW～5.5kW) が設置され、連続運転となっていた。

平成 18 年度にこれらの水中攪拌機について停止(間欠運転)の可否について予備調査を行なった。

これは、好気槽・無酸素槽別で、槽内の 16 地点において、光学式の MLSS 計を用いて、攪拌機停止時・運転再開時の動水・沈降状況を、前後段からのエアリフト効果や汚水流下といった実処理状況下で測定を行なったもので、停止可能時間、再攪拌までの必要時間を求める為の調査である。

好気槽については併せて DO 計を用いて溶存酸素の状況変化も測定した。これにより停止後約 10 分後より溶存酸素濃度が 0.1mg/L 以下の状況が得られ無酸素槽として機能させる事が可能であると判明した。

また、好気槽については前後段からのエアリフト効果及び流下による攪拌効果により完全沈殿状況には至らず、ある程度の濃度勾配・分布で均衡(上層部約 1,100mg/L～下層部約 1,700mg/L)する事から間欠運転によるデッドゾーンの発生や汚泥浮上等の槽内状況の異常等が無く停止可能である事が判明した。

以下 Fig.3 に槽内測定点 (16 点) と攪拌機設置状況の模式図を、Fig.4 に DO 平均値変動状況を示す。

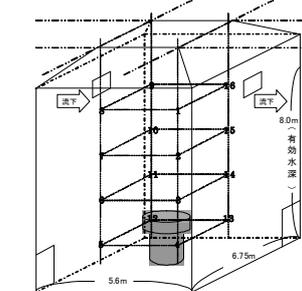


Fig.3: Schematic diagram of submerged mechanical aerator in bioreactor and measurement point

上記の濃度分布均衡状況からの完全攪拌状態への復

帰に要する時間についても測定を繰り返し、5 分間の攪拌機運転で完全攪拌状態への復帰が可能との結論を得た。この際、5 分間の攪拌機運転で MLSS 濃度分布の平準化と溶存酸素濃度も回復 (1.0mg/L 以上)、好気槽として再機能することが確認された。

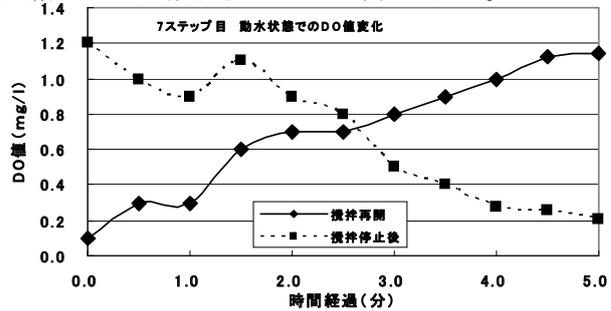


Fig.4: Dissolved oxygen concentration change in bioreactor when submerged mechanical aerators are stopped and drive again

無酸素槽については 30 分で沈殿状況(上層部数 100mg/L～下層部約 2,500mg/L)に至り、再攪拌状況への復帰に要する時間は同じく 5 分であった。

これらの結果より、攪拌機の停止時間は最大 30 分、再攪拌時間は最小 5 分と設定し、25 分停止 5 分運転～5 分停止 25 分運転までを季節、水温、A-HRT(水理学的好氣的滞留時間)、A-SRT(好氣的固形物滞留時間)及び処理水質を勘案して設定していく事とした。

間欠運転を行なう槽としては 8 ステップに分割されている槽のうち前段 3 槽が無酸素槽(嫌気 1 槽、無酸素 2 槽)、後段 5 槽が好気槽で A₂O 法として使用していた事から、2,5,7 ステップを対象とする事とした。

無酸素槽については 2 ステップ目が循環水の返流口としていた事により、ある程度の攪拌効果が期待できる観点、好気槽については 4,6,8 ステップからの前後へのエアリフト効果による攪拌と循環水が期待できる観点からの設定である。以下 Fig.5 に連続運転時(対照系)と間欠運転時(試験系)の槽配置を模式図で示す。

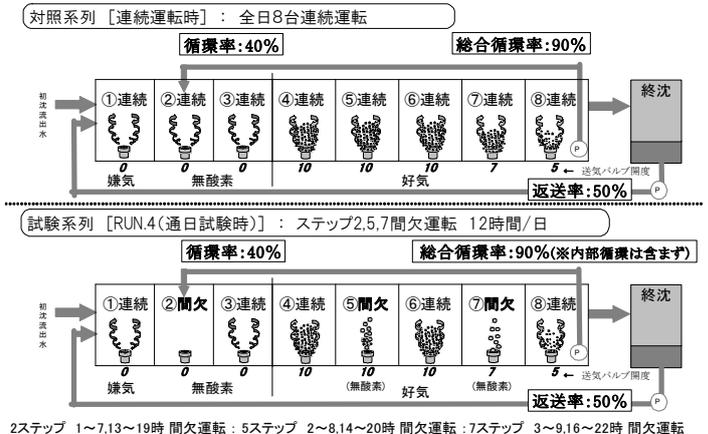


Fig.5: Schematic diagram of bioreactor

制御については試験的に各攪拌機の電磁接触器下にタイマーを増設しサイクリックで設定時間運転・停止を繰り返す事ができるよう改造工事を行なった。

この予備調査後 D 系列の生物反応槽 8 列中 2 列に装

置を設置して通日試験を行い、分析・解析を試みた。

これは、間欠運転実施系列と、対照系列として連続運転系列での負荷変動の下での処理水質状況変化について2時間毎に各ステップ別に活性汚泥の溶解性成分(ろ過試料、ろ紙5C)について各態窒素・リン・COD等の汚濁物質残留状況を調査したものである。

以下 Fig.6 に例として窒素除去状況を示す。

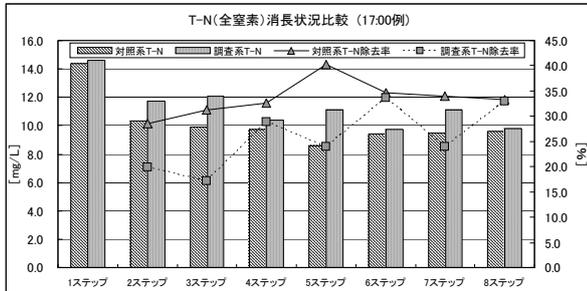


Fig.6: Result of continuous sampling and analysis. Trend of total nitrogen removal

結果としては、運転時間には好気槽として酸化(有機物の酸化、硝化反応を含む)、停止時間には脱窒反応とそれに伴う有機物消費が確認された。また窒素の残留・消長状況も制御可能であり、他の除去対照物質についても差異無く運転が可能である事が確認できた。

2.2 試験運用結果

予備調査・通日試験結果を踏まえ D 系列の 8 列中 4 列 2,5,7 ステップへタイマーを設け、平成 19 年度に連続運転系列と間欠運転系列で処理水質について試験運用比較を行なった。

結果としては無酸素槽については通年で、好気槽については間欠運転時間の増減による A-HRT の調節は必要であるが通年で間欠運転が可能であり、使用電力の大幅な削減が可能である事が判明した。これによる全系列での削減幅は水処理動力での 15.8%、処理場全体での電力使用量の 4.0%に達した。(H21 年度実績)

また、この比較調査分析により、好気槽の攪拌機停止時の無酸素槽としての機能(内生硝化脱窒の効果)から循環水量の削減も可能であるとの見解を見出した。

3. 循環ポンプ間欠運転の経緯と状況

3.1 循環ポンプ運転時間削減について

平成 19 年度の水中攪拌機の間欠運転については上記の結果を受けて全系列(B~E 系列)についてタイマーを増設し本運転に入った。これにより電力削減はもとより無酸素槽の拡大(多段内生硝化脱窒法としての効果)により硝酸性窒素濃度(放流水質全窒素濃度)の減少が得られた。

A-SRT 及び A-HRT 短縮による硝化不良や未硝化も看過できないが、これにより放流水質管理基準(放流全窒素濃度 12.2mg/L 以下)との兼合いから循環率、循

環水量に係る電力削減についても検討を行なった。

平成 20 年度に、生物反応槽 32 列に各 2 台ずつ設置(3.7kW,7.5kW:設計循環水量合計 110%相当)されている循環ポンプについて間欠運転を試験・対照系列を設定して実施した。

流入水の水質及び負荷変動から検討し、有機物負荷の高く脱窒速度の速い時間帯のみの循環ポンプ運転とし、季節に応じ循環率を 5%から 40%までの運転とした。(3.7kWh 連続運転で約 50%となる)

結果として総合循環率で、(返送率 50%が固定であった事から)55~90%(正月期間のみ 160%)を水温及び窒素除去の状況に応じて使い分けていく事とした。

硝化・脱窒能力については水温と MLSS 濃度によって変動が見られたが、概ね窒素除去に必要な不可欠分として最終沈殿池流出水のアンモニア性窒素及び全窒素濃度残留状況に注視し、総合循環率を設定していく事で過不足の無い窒素除去を達成した。

これによる全系列での削減幅は水処理動力での 6.1%、処理場全体での電力使用量の 1.4%に達した。(H21 年度実績)

4. 返送率削減運転の経緯と状況

4.1 返送率削減について

平成 20 年度までの経緯を踏まえ、更なる電力削減を模索した結果、50%固定で運転している返送率についても検討の余地がある事が判明した。(返送ポンプ 15kW×6 台/系列については回転数及び台数制御)

すなわち、特に夏期において総合循環率の削減が更に可能である事、また、元来洛西浄化センターでは流入 SS が設計値に対し低い(設計値 200mg/L に対し 120mg/L)傾向にあり MLSS 濃度も 1,300mg/L と低く管理しており、返送汚泥濃度についても 3,500~4,500mg/L であったことから最終沈殿池で更に圧密を増しても弊害は出ないと想定された事による。

これらを踏まえ、平成 21 年度の 5 月より試験系列から試行運転を始め、返送率を順次引き下げて最終沈殿池での固液分離状況・界面・脱窒による汚泥浮上状況等に注視しながら電力削減を試みた。

夏期及び秋期の状況から全系列通日 25%(但し 3 時間/日、高揚水時間帯のみ最終沈殿池の汚泥回収と圧密状況確認の為 50%の運転を行う事で実質、日 28%)を採用する事とした。これに際しても、返送汚泥濃度は 7,000~9,000mg/L までの上昇で安定し、最終沈殿池の固液分離状況悪化や脱窒浮上・汚泥界面の上昇による流出に至る傾向は生じなかった。

これによる全系列での削減量は水処理動力での 2.7%、処理場全体での電力使用量の 0.6%に達した。(H21 年度実績)

5. まとめと今後の課題について

5.1 処理水質の維持について

以下 Table.2 に過去 4 年間の処理水質を、Table.3 に電力使用量・原単位の推移を示す。

生物反応槽に係る電力削減諸運転の結果、水温に代表される生物相の活性状況に応じて季節別に A₂O 法と A₂OAOAO 法までを使い分ける事で富栄養化物質除去に係る動力費及び PAC 等ユーティリティ費用を大幅に削減することができた。

Table 2: Annual trend of treated water quality

| 平成18年度 | | | |
|--------|------------|------------|---------|
| | 流入水 [mg/l] | 放流水 [mg/l] | 除去率 [%] |
| BOD | 110 | 2.4 | 97.8 |
| COD | 67.1 | 8.9 | 86.7 |
| SS | 97 | 1 | 99.0 |
| T-N | 19.9 | 9.3 | 53.3 |
| T-P | 2.57 | 1.39 | 45.9 |
| 平成19年度 | | | |
| | 流入水 [mg/l] | 放流水 [mg/l] | 除去率 [%] |
| BOD | 120 | 2.3 | 98.1 |
| COD | 73.1 | 9.2 | 87.4 |
| SS | 101 | 1 | 99.0 |
| T-N | 20.7 | 9.1 | 56.0 |
| T-P | 2.55 | 1.37 | 46.3 |
| 平成20年度 | | | |
| | 流入水 [mg/l] | 放流水 [mg/l] | 除去率 [%] |
| BOD | 121 | 3.4 | 97.2 |
| COD | 69.5 | 9.2 | 86.8 |
| SS | 103 | 0 | 100.0 |
| T-N | 20.5 | 9.0 | 56.1 |
| T-P | 2.46 | 1.31 | 46.7 |
| 平成21年度 | | | |
| | 流入水 [mg/l] | 放流水 [mg/l] | 除去率 [%] |
| BOD | 105 | 2.8 | 97.3 |
| COD | 66.9 | 9.4 | 85.9 |
| SS | 91 | <1 | 100.0 |
| T-N | 19.7 | 9.4 | 52.3 |
| T-P | 2.39 | 1.23 | 48.5 |

Table.3: Annual trend of electric power consumption and specific consumption

| | 放流水量 (日平均) [m3/日] | 使用電力量 (日平均) [kwh/日] | 原油換算量, 放流流量比 | | | 前年度比 | |
|--------|-------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------|------|
| | | | 電力 原単位 [kL/千m3] | 熱 原単位 [kL/千m3] | エネルギー 原単位 [kL/千m3] | | |
| H17 | 141,482 | 90,604 | 0.1601 | 0.0203 | 0.1804 | | |
| H18 | 145,417 | 94,207 | 0.1627 | 0.0223 | 0.1850 | 2.5% | |
| H19 | 144,213 | 92,663 | 0.1617 | 0.0199 | 0.1816 | -1.8% | |
| H20 | 147,699 | 89,966 | 0.1524 | 0.0149 | 0.1673 | -7.9% | |
| H21 | 147,829 | 85,996 | 0.1455 | 0.0149 | 0.1604 | -4.1% | |
| H17年度比 | 4.5% | -5.1% | 5カ年目標達成度 (加重平均にて99%以下に対し) | | | 97.1% | -11% |

これらの諸要素の最適化によって処理水質を保持しつつの更なる電力削減も視野に入っている所である。

5.2 水中攪拌機間欠運転について

現状仮設にて 2,5,7 ステップのみの間欠運転であるが、シーケンサーの変更、増設等により全ステップでの細やかな間欠運転についても検討材料としており、現状の間欠運転対象外ステップについても、好気槽については6分の1程度、嫌気槽では2分の1程度まで運転時間の削減が可能でないかと模索中である。

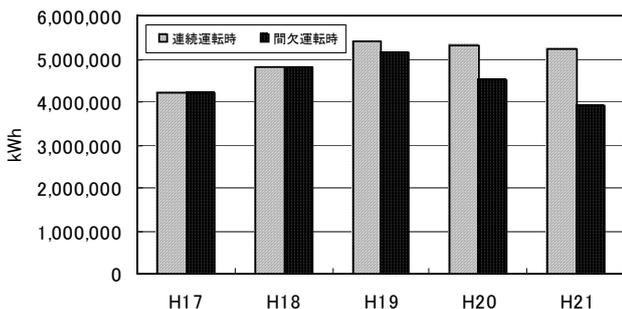


Fig.7: Effect of an intermittent drive of submerged mechanical aerator and trend of electric power reduction

5.3 循環ポンプ運転間欠運転について

上記の攪拌機間欠運転により生物反応槽の好気（硝化）時間が必要最低限に抑えられれば、副次効果として無酸素槽(脱窒槽)の拡大に繋がり、多段内生硝化脱窒法へと更なるシフトが期待できることから、必要最小限を求めると更なる停止時間の延長が可能であろうと考える。

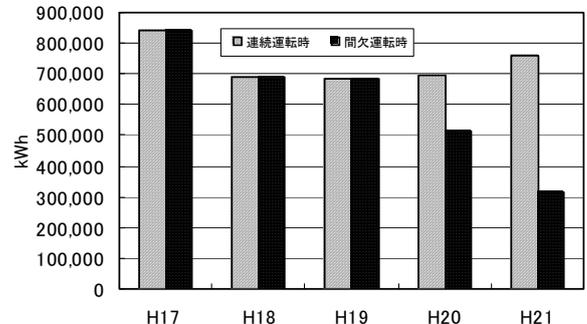


Fig.8: Effect of an intermittent drive of internal recycle pump and trend of electric power reduction

5.4 返送率削減による電力削減について

通年で 28%運転試行で問題が生じていないことから、脱窒状況に注視しながら(最終沈殿池での固形物滞留時間の長時間化による脱窒浮上防止)更なる返送率削減による電力削減を模索中である。固液分離状況の良好さを維持しながら上述の最適化と併せての設定を試みていく次第である。

また、この返送率削減運転によって、余剰汚泥濃度の上昇による余剰汚泥量の削減にも一定の効果 (24%減量) が得られており、余剰汚泥ポンプの運転時間の削減にも繋がっている事もあるが、更に、濃縮(加圧浮上式機械濃縮)工程でも稼働池数削減の可能性が生じており、現在試行運転中である。

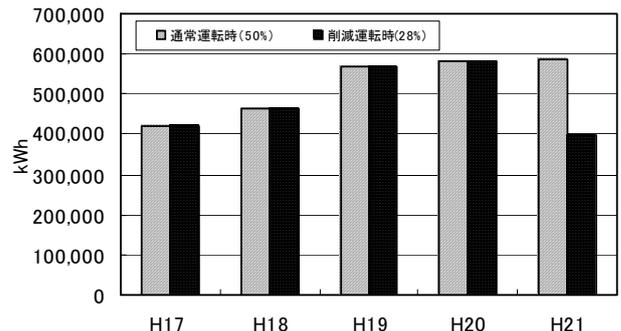


Fig.9: Effect of return sludge reduction and trend of electric power reduction

5.5 まとめ

処理水質を維持しつつの省エネ運転は、いまだ試行の域を出ないものであるが、予備調査の着手から4年でエネルギー原単位 11%削減と一定の効果が確認できた。既設処理場に潜在する能力を最大限に引き出しながらの最適化と、次なる着想を求め、エネルギー原単位・温室効果ガス排出量削減に取り組んだ運転管理を追及していく所存である。