

〈特集〉

水環境分野における計測技術

山口 太 秀

メタウォーター(株) R&D センター 水道技術開発部
(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 JR 神田万世橋ビル E-mail: yamaguchi-dabide@metawater.co.jp)

概 要

水に関わる計測技術は上下水道、各種工場、廃水処理施設、公共用水域等における水質監視を支えてきた。その測定値は監視・記録されるだけでなく、プロセス制御において入力因子として用いられる場合もあり、重要な管理対象であると言える。昨今では AI と組み合わせ、新しい環境モニタリング手法や自律運転に向けた制御技術に関する研究成果も数多く報告されており、計測技術の更なる発展は我が国が抱える技術者不足の課題解決に繋がるものと期待される。本稿では水質基準に関わる法令、主な計測技術や計測器の活用事例等について紹介する。

キーワード：計測技術、水質、有機フッ素化合物、上水、下水

原稿受付 2024.5.4

EICA: 29(1) 11-17

1. はじめに

我が国では、上下水道インフラの整備により、水道普及率は98%、下水道普及率は80%を超えた。そして、水質基準が厳しく定められるとともに、以下の取り組みにより、公衆衛生は向上し、生活環境は改善されてきた。

- 下水や工場排水等の河川への放流水における有害物質や環境汚染物質の低減
- 湖沼等の閉鎖性水域における富栄養化対策
- 水道水における病原性微生物、重金属、発がん性の疑われる消毒副生成物やその他の化学物質、農薬、異臭味等の低減

ここで、上記の推進に当たっては、処理水や排水の安全性確認が必要不可欠であり、その根幹を水質計測技術が支えている。本稿では、水質基準に関わる法令、主な計測技術、計測器の活用事例について紹介する。

2. 水質基準に関わる法令

2.1 法令制定の概要

高度経済成長期の発展にともない、各地で公害による被害が発生すると、1958年に水質保全法、1967年に公害対策基本法が制定された。そして、1970年に水質汚濁防止法を含む公害関係14法が成立し、1972年には新たに自然環境保全法が制定され、環境保全のための基本的な体系が確立された。その後、公害対策基本法と自然環境保全法は、1993年に環境基本法として統合されている。

下水道関連の法令は、土地の清潔の保持を目的に

1900年に旧下水道法が制定され、1958年に都市の健全な発達、及び公衆衛生の向上を目的に新下水道法が制定されている。その後、1970年の改正で公共用水域の水質保全が目的に定められ、水質監視・管理が重要な位置を占めるようになった。このことで、河川や閉鎖性水域の水質改善が進んだことは多くの人の知るところである。

水道関連の法令は、1957年に水道法が制定された。第1条の「水道事業を保護育成することによって、清浄にして豊富、低廉な水の供給を図り、もって公衆衛生の向上と生活環境の改善に寄与する」は、水道の基本理念として有名である。その後、拡張整備を前提とした時代から既存の水道の基盤を確固たるものとすることが求められる時代に変化したとして、2019年に下線部は「水道の基盤を強化する」に改められた。改正後も清浄・豊富・低廉の三原則は維持されており、「清浄」であることを監視する水質計測が重要なことは今後も変わらないと言えよう。以下、各法令で定められている水質について、概要を紹介する。

2.2 水質環境基準

人の健康の保護と生活環境の保全を目的に環境基本法によって水質環境基準が定められており、都道府県及び政令市は水質汚濁を常時監視する責務がある。水質環境基準は健康項目と生活環境項目で構成され、健康項目の27項目は、カドミウム、シアン、鉛、六価クロム、砒素等の毒性が強いものであることから、公共用水域で一律の基準値が設定されている。

生活環境項目は、利用目的の適応性の判断のため、河川、湖沼、海域等の水域毎に類型別（水道、水産、

工業用水、農業用水、水浴)の基準値が設定されている。また、水生生物の生育状況、及び水生生物が生息・再生産する場の適応性の判断のため、生物の種類別(イワナ、サケマス、コイ、フナ等)にも基準値が設定されている。具体的には、水域や類型に応じてpH、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、浮遊物質(SS)、溶存酸素量(DO)、大腸菌数、窒素、りん等が設定され、総検体の平均値や最大値等で管理されている。

人の健康の保護に関連する物質、あるいは生活環境を構成する有用な水生生物及びその餌生物、並びにこれらの生息又は生育環境の保全に関連する物質ではあるが、検出状況等からみて、直ちに環境基準とはせず、引き続き知見の集積に努めるべきものは、要監視項目として定められている。要監視項目の内、人の健康の保護に係る項目は、公共用水域に対して27項目、地下水に対して25項目、水生生物の保全に係る項目は、クロロホルム、フェノール、ホルムアルデヒド等の6項目が設定されている。

昨今、世界的な汚染問題となっているペルフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)、及びペルフルオロオクタンスルホン酸(PFOA)は、2014年に要調査項目として位置づけられた後、2020年に要監視項目として、50 ng/L(合算値)が設定されている。これら有機フッ素化合物(PFAS)は、フッ素ポリマー加工助剤、界面活性剤、半導体反射防止剤・レジスト、金属メッキ処理剤、泡消火剤として利用されてきた。現在は残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約(POPs条約)に基づき、PFOAは廃絶、PFOSは制限されている。国内でもPFOSは2010年、PFOAは2021年から製造・輸入等を禁止されているが、PFASは既に環境中に広く存在しており、指針値の50 ng/L(合算値)を超える汚染が各地で報告されている¹⁾。

2.3 排水基準

生活環境に被害が生じる物質の発生源から公共用水域に排出される水を規制するために、水質汚濁防止法によって排水基準が設定されている。事業者の損害賠償の責任を定めることで、被害者を保護することが目的である。

排水基準は環境省令によって定められ、政令によって指定された特定施設を設置する特定事業場は、人の健康に係る被害を生ずる恐れのある有害物質28項目(健康項目)が適用される。健康項目は水質環境基準と同様の項目になっており、水質環境基準の10倍に設定されている。

また、平均排水量50 m³/日以上の特特定業場は、生活環境に係る被害を生ずる恐れがあるものとして、pH、BOD、COD、SS、n-ヘキサン抽出物質(油分)、

大腸菌群数、窒素、りん等の15項目(生活環境項目)も適用される。これらの項目は、排出される水域の状況(閉鎖性海域に繋がる河川等)に応じて、都道府県条例で定める上乘せ排水基準で、更に厳しい基準値が設定されることがある。また、大腸菌群数については、水質環境基準が2022年に糞便汚染をよりの確に捉えることのできる大腸菌数に改められたのに続き、排水基準も2025年4月より大腸菌数(800 CFU/mL)が適用される。

なお、水質汚濁防止法施行令第1条の別表で、水道施設における沈でん施設やろ過施設等の浄水施設(浄水能力1万 m³/日未満の事業場を除く)や下水道終末処理施設も特定施設の対象として挙げられている。今後、ウォーター PPPにより上下水道インフラに対する民間の関わりが増加していくに当たり、水質汚濁防止法に関わる損害賠償の責任と罰則への対応等については、官民であらかじめ取り決めをしておく等の注意が必要である。この時、排水基準を遵守しているかどうかを判定する水質計測の精度の管理等が益々重要になることは言うまでもない。

2.4 総量規制基準

排水基準だけでは特定事業場以外からの生活排水や濃度は低いが量としては多い汚濁負荷への対応はできない。そこで、人口や産業の集中により、生活又は事業活動に伴い排出された水が大量に流入する広域の公共用水域であり、かつ水質環境基準の確保が困難であると認められた場合、政令によって定められた指定水域、及び指定水域ごとに定められた指定地域において、汚濁負荷量の基準が定められている(水質汚濁防止法第4条)。現在の指定水域は東京湾、伊勢湾、瀬戸内海であり、指定地域は、東京、大阪をはじめ20都道府県となっている。汚濁負荷量はCOD、窒素、りんに対して各々以下で求められる。

$$L=C \times Q \times 10^{-3} \quad (1)$$

ここで、Lは汚濁負荷量(kg/日)、Cは濃度(mg/L)、Qは1日当たりの排水量(m³/日)である。総量規制基準は、都道府県知事が業種ごとに定めるC値に事業場の排水量Qを掛けた値Lで水質項目ごとに計算され、複数の業種がある場合は合算値で管理される。なお、平均排水量が400 m³/日以上の特特定業場では、毎日測定が定められており、基本的に自動計測器が採用される。

2.5 下水排除基準

下水道法第12条により、「下水道施設の機能保全と損傷防止」、及び「放流水質の水質確保」のために定められた基準である。下水道法施行令第9条により、

前者としては、温度、pH、n-ヘキサン抽出物質、よう素消費量が定められている。一方、後者の「放流水質の水質確保」に関しては、特定事業場であるかどうかと1日当たりの平均排水量に応じて基準値が異なる。政令ではカドミウムやダイオキシン等の有害物質や処理困難物質が、条例ではアンモニア性窒素・亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素、pH、BOD、SS、n-ヘキサン抽出物質、窒素、りん等が定められている。なお、公共下水道を使用する特定施設の設置者は、国土交通省令で定めるところにより、当該下水の水質を測定し、その結果を記録する必要がある。また、排除基準を遵守しない場合には、罰則が定められている。

2.6 放流水質基準

下水道法第8条により「公共下水道から河川その他の公共の水域又は海域に放流される水の水質は、政令で定める技術上の基準に適合するものでなければならない」と定められている。「技術上の基準」は、水処理施設が計画放流水質の区分に応じて、採用できる処理方式が定められていることを意味する。水質の区分はBOD、窒素、りんに対して設定されている（下水道法施行令第5条）。その他、雨水影響の少ない時にpH:5.8以上8.6以下、SS:40 mg/L、大腸菌群数:3,000 個/mL（2025年4月から大腸菌数800 CFU/mL）以下が設定されている。なお、排水基準が放流水質基準より厳しい場合や、放流水質基準以外の項目に関して排水基準が定められている場合は、排水基準が適用される。

2.7 水道水質基準

水道水質基準は水道法第4条に基づき、水質基準に関する省令で、健康関連31項目、生活上支障関連20項目（合計51項目）が設定されており、水道事業者は、水質検査と水質検査の記録が義務付けられている。

この他に毒性評価値が暫定的であったり検出レベルは高くないが、水道水質管理上注意喚起すべきものについては、厚生労働省健康局長の通知に基づき、遵守すべき目標値として27項目が水質管理目標設定項目に設定されている。また、毒性評価が定まらない、浄水中の存在量が不明等により、水質基準及び水質管理目標設定項目の何れにも分類できない項目であるが、情報・知見の収集に努めるべきものとして46項目が要検討項目に設定されている。

我が国においても汚染が広く知られるようになったPFASは、2020年にPFOSとPFOAが要検討項目から格上げされ、水質管理目標設定項目として50 ng/L（合算値）が設定された。また、残留性有機汚染物質検討委員会（POPRC）において、2019年に廃絶項目として勧告されることが決定され、POPs条約で2022

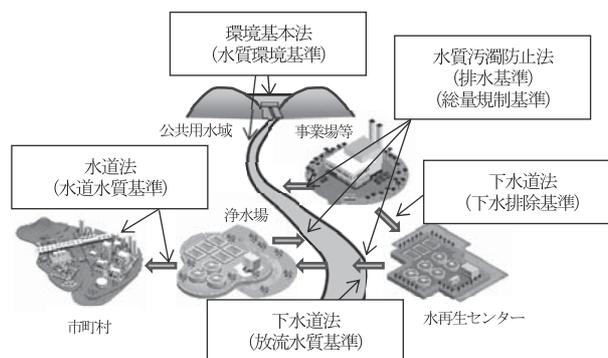


Fig. 1 Laws and regulations related to water quality measurement

年に廃絶とされたペルフルオロヘキサンスルホン酸 (PFHxS) が2021年に要検討項目に設定されている。一方、米国環境保護局 (USEPA) は2024年4月に法的拘束力のある最大汚染レベル (MCL) を通知し、PFOS、PFOAを各々4 ng/L、PFHxS、PFNA、HFPO-DA (GenX)を10 ng/L、その他にHFPO-DA、PFBS、PFNA、PFHxSのうち2つ以上を含む混合物としてハザードインデックスを設定した。これらは非常に厳しい数値であり、対策費用は膨大なものになると予想されている。また、国際がん研究機関 (IARC) がPFASの発がん性を評価し、2023年にPFOAをグループ1 (ヒトに対して発がん性がある) に、PFOSをグループ2B (ヒトに対して発がん性がある可能性) に分類した²⁾。USEPAの対応やIARCの発表が我が国の水質基準にどのような影響を与えるのか、関係者は注目しているところである。

なお、2024年4月に厚生労働省所轄の水道行政について、整備や管理等を国土交通省に、水道水質基準策定は環境省に移管された。下水や水環境の水質基準とともに地球環境や健康問題に対して全体的な視野に立ちつつ、水道水質基準が策定・改正されていくものと期待される。

以上、これらの水質基準は、我が国の水環境の保全と公衆衛生の向上に不可欠であり、Fig. 1に示すように、各々が密接に関連している。

3. 水質計測技術

水質監視・管理が実施される対象は、公共用水域、事業場等からの排水、下水道における流入水と放流水、水道における原水と水道水等である。本章では吸光光度計、原子吸光光度計、LC-MS、GC-MS等の分析機器、及び水温、pH等の基本的な計測器は除き、上下水道のプロセス制御に欠かせない、比較的新しい計測技術について紹介する。また、技術者不足の時代を迎えて、どのような水質計や水質計を用いた技術が必要とされるのかを公共用水域、下水道、水道の各分野ごとに整理した。

3.1 公共用水域における水質計測

公共用水域や排水の水質計測は、水質環境基準、排水基準、総量規制基準に対応するものが主となる。以下、公共用水域で用いられる計測器について、簡単に紹介する。

(1) COD 計

COD は有機物を酸化分解した際に消費される酸素量であり、水質汚濁が進むと高い値となる。その測定方法は、過マンガン酸カリウムを酸化剤とし、酸性下で酸化する「酸性法 (CODMn)」, アルカリ性下で酸化する「アルカリ性法 (CODOH)」, ニクロム酸カリウムを酸化剤とし、強酸性下で酸化する「ニクロム酸法 (CODCr)」がある^{3,4)}。自動計測器としては、国内では主に CODMn による方法が採用されている。

(2) 全窒素・全りん計

窒素、りんは富栄養化の要因物質であり、自動計測器としては、ペルオキソ二硫酸カリウムを添加し、全窒素化合物、あるいはりんを熱分解する「オートクレーブ法 (120℃)」と紫外線で分解する「紫外線分解法」がある。検出方法としては、全窒素について「紫外線吸光度法」、全りんについて「モリブデン青吸光度法」が用いられる^{3,5)}。その他に全窒素については、触媒を備えた分解炉で酸化反応をさせた後、オゾンと反応した際に発生する化学発光を検出する「接触熱分解-化学発光法」がある。また、サンプルを送液しながら連続的に分解・検出を行うフローインジェクション法 (FIA) が採用される場合もある。なお、窒素・りん双方の測定工程の一部が共通しているため、多くが全窒素・全りん計として販売されている。

(3) DO 計

DO は水中の溶存酸素量であり、有機物濃度が高い場合、微生物の活動が活発になり、水中の DO が減少する。魚介類の生育等に影響を与える項目である。自動計測器としては、隔膜を透過した酸素が電極で酸化される際に、酸素濃度に比例して電流が流れることを利用する「隔膜電極法」と蛍光物質に青色の励起光を照射して発生させた蛍光について、蛍光の減衰が酸素濃度に応じて強くなることを利用する「蛍光法」がある³⁾。

(4) BOD 計

BOD は好気性微生物によって水中の有機物が酸化分解されるときに消費される酸素量であり、汚濁が進むほど高い値となる。20℃で5日間培養した際の前後の溶存酸素量の差を測定するのが一般的である。自動計測器については、固定化微生物膜と酸素電極を組み合わせた微生物電極により、微生物の呼吸活性を検出し、BOD に変換するセンサ⁶⁾や発電細菌が生み出す電流が水中の BOD に比例することを利用するセンサ⁷⁾が製品化されている。また、密閉容器に接続した

圧力センサで、微生物の呼吸による酸素消費と発生した二酸化炭素の吸収剤への吸着とによる圧力低下を変換する方法が製品化されている。

(5) 蛍光光度計

蛍光光度計は、試料水に励起光を照射したときに、溶存有機物等に由来して発生する蛍光を検出する装置である。吸光光度計と比較して感度が高く、励起波長、蛍光波長、蛍光強度を解析する三次元励起蛍光マトリックス (EEM) と多変量解析の組み合わせによる成分分析は、様々な分野で利用されている。なお、フミン質等の消毒副生成物前駆物質の分析も可能なため、水道原水や浄水の処理性の評価に使われた事例もある⁸⁾。

(6) 開発が期待される計測器 (公共用水域)

環境省が都道府県の水質調査担当を対象として行ったアンケート⁹⁾で、負担が大きいという回答のあった項目を **Table 1** に示す。大腸菌については、排水基準等が大腸菌群から大腸菌数に改められることもあり、新たな自動計測器の開発が望まれる。また、煩雑な作業を簡略化できる簡易的な計測技術の開発も期待されるところである。

Table 1 Items that are burdensome to analyze⁹⁾

項目	負担内容
BOD	分析時間がかかる
大腸菌群	同上
n-ヘキサン抽出物	分析が煩雑
アルキル水銀	同上
PCB	同上
農薬類	同上
海水中の貴金属類	塩類が分析を妨害する

3.2 下水道における水質計測

下水道における水質計測は、流入水、各工程の処理水、放流水が対象であり、流入水と放流水は公共用水域と重複する水質項目が多い。一方、水処理プロセスでは、特有の計測器が用いられる。以下、主な計測器を紹介する。

(1) DO 計

反応槽における活性汚泥中の微生物は、酸素と汚泥中の有機物を栄養にして繁殖する。必要な DO がないと微生物の活性が落ち、逆に高すぎる DO は pH の低下をもたらしと同時にエネルギーの無駄となる。ばっ気風量の制御で用いられる DO 一定制御では、DO 計の出力が入力因子として用いられ、反応槽の状態を監視する重要な計測器として扱われている。

(2) ORP 計 (酸化還元電位計)

ORP は試料水に白金電極と比較電極を入れた際に、電極と溶液の間に生じる電位差である。酸化物が多いと正の値を、還元物が多いと負の値を示すことを利用

して、ばっ気風量の管理に用いられる (DO は還元状態になるとゼロで変化しない)。

(3) MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) 計

MLSS は反応槽内の浮遊物質濃度であり、返送汚泥量や余剰汚泥引抜量を制御する上で重要な指標となる。標準活性汚泥法では 1,000~3,000 mg/L 程度で管理されている。測定原理は、光源から受光部に向かって照射した光が浮遊物質によって遮断、あるいは散乱される光の量を乾燥汚泥重量に換算する方式が採用されている。

(4) SVI (Sludge volume index) 計

SVI は反応槽から採水した試水をメスシリンダーで一定時間静置した際の汚泥の割合である SV を MLSS で除した値である ($SVI=SV \times 10,000/MLSS$)。活性汚泥の正味の沈降性を表す指標として用いられ、一般的に 50~150 mL/g に管理される。SVI 計はメスシリンダーに自動的に採水/排水する装置、汚泥界面を自動的に追尾する光学式のセンサ、及び MLSS を測定する汚泥濃度計で構成され、余剰汚泥量、返送汚泥量の制御等に活用される。

(5) 汚泥界面計

汚泥界面の上昇は水質の悪化に繋がるため、余剰汚泥量、返送汚泥量、水量負荷の調整等による適切な管理が必要である。汚泥界面計は、汚泥濃度計を可動させて、検出信号に変化のあった地点を界面とする方法とセンサから超音波を発信し、汚泥界面で反射されるエコーの強度から伝搬時間を解析して界面を判定する方法がある。

(6) アンモニア計

下水処理場のエネルギー消費量の 50% 近くが水処理に由来し、中でも送風機の割合が大きい。そこで、送風機のエネルギー消費を抑制するため、アンモニア制御が開発されている。本制御は反応槽内のアンモニア濃度に応じて酸素供給を変化させるものであり、有機物やアンモニア等の流入負荷が低い時の過ばっ気防止や処理水のアンモニアの低減が見込まれる¹⁰⁾。アンモニア計は、入力因子として用いられるため、リアルタイムで連続測定が可能なイオン電極式の採用が一般的である。

(7) 開発が期待される計測器 (下水道)

下水道向けの計測器は、数多く製品化されており、特に DO, COD, MLSS 計は広く活用されている。一方、BOD, アンモニア, SVI 計等は重要な指標にも

関わらず、コストと保守性に課題があるためか、普及率は十分であるとは言えない。そこで、下水道向けとしては、改良開発による発売済みの製品のコストダウンと保守の簡略化 (便益/コストの向上) を要望したい。比較的新しい計測器としては、硝化脱窒の状態を把握するための硝酸計やりん回収設備向けのりん酸計の需要が高まる可能性がある。メーカーは限られており、新たな開発を期待する (Table 2)。

3.3 水道における水質計測

水道における水質計測は、取水から浄水場の各工程、そして給水栓までが対象となる。製造業に例えるなら、その工程は原材料調達から加工、配達に相当し、品質に該当する水質は、網羅的に管理する必要がある。計測器の原理や仕様は「上水試験方法」¹¹⁾ や「水道水質管理における連続自動水質計器の役割と開発状況」¹²⁾ に記載されているので、以下では各計測器を簡単に紹介する。なお、本内容は急速ろ過法を採用する浄水場を対象として記載した。

(1) pH 計・アルカリ度計

pH は水質基準で 5.8 以上 8.6 以下が定められており、水質管理目標設定項目では、配管の腐食に関わるランゲリア指数を保つため、7.5 程度が設定されている。浄水場では各工程の監視だけでなく、酸・アルカリ注入による適正凝集 pH 範囲への制御にも用いられる。また、消毒副生成物の生成やアルミニウム漏出の抑制のため、低 pH で凝集処理した場合の後アルカリ制御にも用いられる。

アルカリ度は凝集剤注入後の混和池で 10 mg/L 以上 (最適は 20 mg/L 以上) 必要とされ¹³⁾、逸脱すると凝集不良が起こる。アルカリ度の低い原水を取水する場合、アルカリ度計を設置し、その測定値と凝集剤による減少分に応じて、苛性ソーダやソーダ灰を注入するのが有効である。

(2) 濁度計・色度計

濁度、色度は取水から沈澱処理水、ろ過水、浄水、給水栓に至るまでが管理対象となる。濁度は 2 度、色度は 5 度が水質基準である。また、原水濁度は凝集剤注入率制御で最も重要な入力因子となっている。

(3) 残留塩素計

水道法で給水栓の遊離残留塩素を 0.1 mg/L (結合塩素の場合は 0.4 mg/L) 以上保持するように塩素消毒することが定められており、残留塩素も給水栓での管理が必要となる。残留塩素計は、給水栓での測定の他に浄水場での塩素注入率制御に必須な計測器である。測定方式には、有試薬と無試薬タイプがあり、遊離塩素、結合塩素のいずれかあるいは双方を測定する。

(4) 高感度濁度計

「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」

Table 2 Water quality sensors for sewage system expected to be developed

項目	用途
簡易 BOD・アンモニア計	流入負荷把握, 制御入力因子
硝酸計	硝化脱窒把握, 制御入力因子
りん酸計 (加熱なし)	りん回収設備の無機態りん把握

に謳われている「ろ過池出口の濁度 0.1 度以下」に対応する計測器である。従来方式を高感度化したものから干渉縞カウント方式や微粒子カウント式等の方式が製品化されている。各方式の測定値に差異はあるが、浄水場内で方式を揃えておけば濁度管理に支障はないとされている¹⁴⁾。

(5) 毒物監視装置

取水場や着水井において、シアンや農薬等の毒物の流入を検知するものである。イオン電極によるシアン化物イオン測定装置、固定化微生物膜と溶存酸素電極による毒物監視装置、ヒメダカの行動パターンの解析による毒物監視装置等が製品化されている。

(6) 油膜検知器・油分モニタ

水面に光を照射し、水と油とで屈折率が違うことを利用して油膜を検知する方式と気化した油分を水晶振動子で検知する方式がある。水質事故の大半が河川への油流出であり、浄水場内への流入前の油検知は有効である。

(7) VOC 計

発がん性物質で水質基準項目に設定されているベンゼン等の揮発性有機物質 (VOC) を測定する。GC と水素炎イオン化検出器により成分を分析する方式と半導体センサで検知し、トルエン換算で出力する方式がある。

(8) 塩素要求量計

アンモニアや有機物等による塩素消費量を事前に把握するための計測器であり、塩素濃度が一定になるように電解次亜を制御した際の電流値を塩素要求量に変換する。

(9) アンモニア計

アンモニア 1 mg/L に対し、塩素はおおよそ 10 倍の量が必要なため、アンモニアの挙動は注意が必要であり、原水中の濃度が高い時期のある浄水場で導入されている。

(10) UV 計・TOC 計

消毒副生成物の前駆物質である有機物の検出のための計測器である。凝集剤注入率制御の入力因子として利用される場合もある。UV 計には上水用に濁度、色度の測定も可能な方式と UV 吸光度を COD に変換可能とした方式がある。TOC 計は紫外線と酸化剤により有機物を分解した際に発生する CO₂ を導電率で検出する方式と 680℃ に加熱した白金触媒による分解で発生した CO₂ を赤外線ガス分析計で検出する方式がある。

(11) 生物粒子計数器

植物ピコプランクトンのクロロフィル a の蛍光を計数する方式と生物粒子中に存在するリボフラビンの蛍光を計数する方式がある。凝集阻害やろ過池から漏洩する生物の監視を目的に導入される。

(12) 溶存オゾン濃度計

オゾンによる高度処理において、オゾン注入率を制御するために利用される。気相にパージされたオゾンガスを紫外線吸収方式で測定し、液中オゾン濃度に換算する。

(13) 汚泥界面計

下水と同様に沈澱池の異常監視や汚泥の引抜作業を適切なタイミングで実施するための指標として用いられる。

(14) フロックセンサ

吸光度変動解析法により、フロック形成池のフロック平均粒径を測定し、凝集剤注入不足、高 pH、低アルカリ度等によるフロック形成異常を判定する。沈澱池濁度よりも早期に異常検知できる特徴がある。

(15) トリハロメタン (THM) 計

トリハロメタンはメタンを構成する 4 つの水素原子のうち 3 つが塩素または臭素によりハロゲンに置換した化合物の総称であり、発がん性が疑われている。水質基準では各物質の基準値が定められると同時に総トリハロメタンとしても 100 μg/L が設定されている。THM 計は強アルカリ下においてトリハロメタンとニコチン酸アミドが反応して生成される蛍光物質を検出する方式とロボットと GC-MS を組み合わせ、カビ臭も検知可能とした方式がある。

(16) 給水水質モニタ

毎日検査の対象となる給水栓の濁度、色度、残留塩素を自動測定する装置である。オプションまたは標準で、導電率、pH、水温、圧力を測定できる機種もある。検査人員不足に対応するため、都市部を中心に通信機能とセットで利用されている。

(17) 多項目水質計

多項目の水質 (水温、導電率、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィル、シアノバクテリア、蛍光性溶存有機物等) をまとめて測定できるポータブルなセンサが製品化され、公共用水域の監視等も含めて活用されている。

(18) 開発が期待される計測器 (水道)

水道向けに開発が期待される計測器を **Table 3** に示す。カビ臭対策に粉末活性炭を使用している浄水場では、粉炭使用量の増減が大きく、水道経営に影響を与えている。GC-MS より低いコストで導入・自動計測できれば、粉炭注入率を最適に制御し、浄水コストを削減できる。

Table 3 Water quality sensors for water supply expected to be developed

項目	用途
カビ臭センサ	粉末活性炭注入率制御
PFAS センサ	吸着剤の交換周期把握
オンライン蛍光光度計	凝集剤注入率制御

PFAS対策としては、粒状活性炭やイオン交換樹脂の導入が想定される。これら吸着剤の交換時期を判断できるセンサがあれば、高価で時間のかかるLC-MSによる分析を削減できると同時に、最適な交換時期を迅速に判断することが可能となる。

凝集剤注入率制御では、有機物の変動により最適制御が崩れることがある。有機物の分子量によって必要な凝集剤の量は異なり、TOCを指標としても最適解は必ずしも得られない。蛍光光度計により、凝集に与える影響度毎に成分を分けて定量できれば、この問題は解決される可能性がある。

3.4 水質計測技術を利用した新しい取り組み

IT技術の発展により、水質データとAIを組み合わせた水質の予測、プロセス制御、運転支援ツール等が開発されるようになった。公共用水域では、湖沼における富栄養化によるアオコ発生やカビ臭を発生させる藻類の増殖の予測等で水質データを利用したAIの研究が行われている。

下水分野では下水道革新的技術実証事業(B-DASH)¹⁵⁾において、各種水質データを活用したAIによる運転管理支援(操作対応や制御設定値の指示、異常時の対応方法の提示、水質予測)や、アンモニア計と硝酸計及びICT・AIを活用した単槽型硝化脱窒プロセスの実規模実証等が行われており、積極的なAI活用が推進されている。

水道分野ではカビ臭、沈澱水濁度、残留塩素等の水質予測や、塩素や凝集剤等の薬注制御に関して、水質データを活用したAIの研究が行われている。今後、公共用水域、上下水道の水質データにインターネットを経由してアクセスできるようになると、更にAI活用は広がると期待される。

4. おわりに

水質基準に関わる法令、計測器の技術と活用事例について紹介した。技術者不足が深刻になる中で、計測器やAIを用いた制御システム、及び運転支援ツールは重要になってくる。本稿がその開発や運用の資料として一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 環境省：令和2年度有機フッ素化合物全国存在状況把握調査の結果について(2020)
<https://www.env.go.jp/press/109708.html>
- 2) 食品安全委員会：PFOA(パーフルオロオクタン酸)及びPFOS(パーフルオロオクタンスルホン酸)に対する国際がん研究機関(IARC)の評価結果に関するQ&A(2023)
- 3) JIS K 0102：工場排水試験方法
- 4) JIS K 0806：化学的酸素消費量(COD)自動計測器
- 5) 環境省：窒素・りん自動計測器による水質汚濁負荷量測定方法マニュアル(改訂版)(2007)
- 6) JIS K3602：微生物電極による生物化学的酸素消費量(BODs)計測器
- 7) 横山 浩, 山下恭広：BODバイオセンサーを利用したスマート養豚排水処理, 畜産技術, No. 778, pp. 6-13 (2020)
- 8) 春田知昭, 平林達也, 北本靖子：水道水質管理における三次元蛍光分析の活用, 水道協会雑誌, Vol. 89, No. 3, pp. 2-11 (2020)
- 9) 環境省：水質モニタリング方式効率化指針の通知について(1999)
- 10) 日本下水道事業団：アンモニア計を利用した曝気風量制御技術の評価に関する報告書(2020)
- 11) 日本水道協会：上水試験方法2020年版(2020)
- 12) 山越修蔵, 山口太秀：水道水質管理における連続自動水質計測器の役割と開発状況, 「水道における連続監視の最適化および浄水プロセスでの処理性能評価に関する研究」分担研究報告書(2017)
- 13) 水道技術研究センター：高濁度原水への対応の手引き(2014)
- 14) 船水尚行, 伊藤雅喜, 竹田静雄, 山口太秀, 川村幸生, 眞柄泰基, 藤原正弘：低濃度濁度計の基礎的性能評価に関する研究, 水道協会雑誌, Vol. 69, No. 6, pp. 26-38 (2000)
- 15) 国土交通省国土技術政策総合研究所：下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)
<https://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>