

新規色濁りセンサを用いた給水水質モニタリングシステム

野田直広* 平岡陸久* 金井秀夫** 多田弘***
後藤圭司**** 白水暢**** 細田三朗**** 一戸正憲****

* (株)富士電機総合研究所 水処理・バイオ研究所 横須賀市長坂 2-2-1
** 富士電機(株) 計測システム事業部 日野市富士町 1
*** 富士電機(株) 公共システム事業部 日野市富士町 1
**** (社)日本水道協会 渋谷区代々木 2-7-8 東京南新宿ビル

概要

給水の着色を評価する新指標「色相」「着色度」を提案し、これらを自動計測する色濁りセンサと遠隔監視システムを開発した。これらを用いて実給水栓での連続運転試験を行い、その実用性を確認した他、鉄錆の赤やマンガンの黒等、給水特有の着色に対して、センサが目視と同様に色識別でき、検出感度は目視と同等以上、しかも、着色濃度に対する特性が視覚的感覚に近いことを明らかにした。これらの結果から、「色相」「着色度」は目視の代替として毎日検査の自動化に有効と期待される。

キーワード

給水水質、着色度、色相、色濁りセンサ、モニタリングシステム

1 はじめに

水質新時代を迎え、安全かつおいしい水の提供、震災等異常発生時の迅速な復旧など高度な要求が増加している。これらに応えるために各種水質の自動監視システムが普及しつつある。その代表例が、水道法で義務付けられている給水栓での毎日検査(色、濁り、残留塩素濃度)の自動化システムである。

毎日検査の中で「色」「濁り」の測定は目視による外観検査が原則とされているが、現状は自動測定可能な「色度」「濁度」で代替されている。「色度」は390nm、「濁度」は660nmの光の吸光度から求められる。このうち「濁度」は「濁り」に近い指標と言われているが、「色度」は本来、有機物由来の黄色系の着色の指標であり、人が感じる全波長域の光のバランスによって決まる「色」とは本質的に異なるものである。このため、目視に近い形で水の着色異常を自動測定し、水質状況をより詳細に把握できる指標および、技術が強く望まれていた。

そこで、我々は、新たな指標として「色相」「着色度」を提案し、これらを従来の色度、濁度と併せて自動測定可能な装置(色濁りセンサ)を開発した。「色相」は試料水が何色かを表し、「着色度」は試料水の色付きの程度を表す。例えば、色相が黄系であれば有機物由来の着色、赤系であれば鉄錆の混入といった状況が推定でき、着色度で異常の程度を推測できる。

2 着色度・色相の測定原理

人間は波長が380~780nmの可視光の範囲で赤、緑、青の三原色に感受性のある視細胞をそれぞれ持っており、これら視細胞に生じる刺激のバランスから色を認識する。一方、本開発の色濁りセンサは赤、緑、青の3種類の光学フィルタによって、人の視細胞の分光特性を模している。図1は色濁りセンサ構成図である。光源からの白色光を三原色の上記光学フィルタにより分光し、赤、緑、青の光とする。これらを試料水に照射したときの透過率をそれぞれR、G、Bとして計算式

ら13時にかけて行われ、11時30分から12時45分にかけてモニタ装置への送水が停止した。

断水復帰直後の13時から着色度、色度、濁度が高くなり色相が黄系になっている。その後14時30分に色度は通常値に戻り、同時に色相が白黒系に変化した。少し遅れて15時45分には着色度、濁度が通常値に、色相が無色に戻っている。

これらのデータから13時~14時30分に濁質を伴った黄色系統の着色水が流入し、その後15時45分まで濁質のみが引き続き流入していたことがわかる。これは溶解性の色度に比べて、濁質は沈降と巻上げを繰り返して管内での滞留時間が長いためと推定できる。

4.2 送水停止時の水質測定結果

B市浄水場で集中豪雨時の瞬間停電により送水ポンプが一時停止した際にモニタ装置が観測した水質データを図5に示す。

停電は12時30分頃発生し、直後に通電は再開された。この時、送水ポンプが一旦停止後再起動し、それに続いて、通常よりも高い着色度が3日間に渡り観測された。

送水再開後は着色度、濁度が上昇し、色相は白黒系となった。これは、送水ポンプの通常運転時には流出しない濁質が、急激な水圧変動によって巻き上げられモニタ装置に流入したためと考えられる。初期の極端な高濁状態は約4時間継続した。この時、色度が一時的にマイナスになっているが、これは色度測定の問題点であり詳細は後述する。

その後、翌日になり、再び着色のピークが観測された。この時は色相が黄系を主体として時折白黒系と出力されている。ここでは、停電直後とは異なり、濁質を伴った黄色系の着色水が流入したと考えられる。

さらに、翌々日にも一時的に着色のピークを観測した。この時、色相は白黒系であり、残留していた濁質が管内で脱離、混入した可能性が高い。

4.3 擬似着色水の測定結果と目視との比較

実際の浄水配管での測定では、極端な着色異常が発生する頻度は低い。そこで、水道水特有の多様な着色に対するセンサの能力を検証するため、経年管から採取した鉄錆主成分の赤水、導水渠から採取した二酸化マンガン主成分の黒水、色度標準液、濁度標準液、酸化第二鉄着色液、二酸化マンガン着色液の6種類の着色水を測定した。

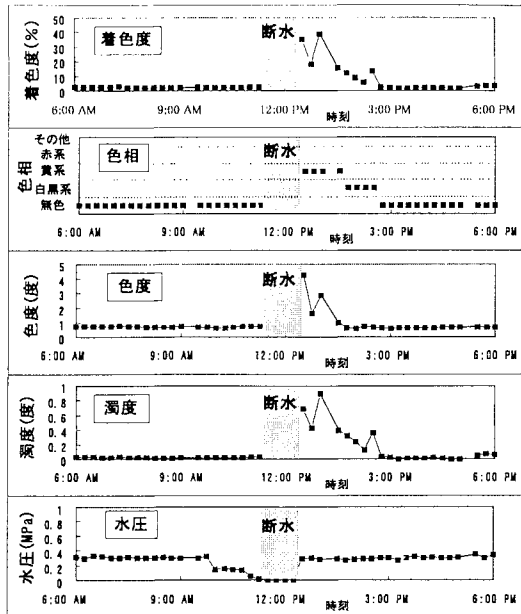


図4. 断水時の水質データ

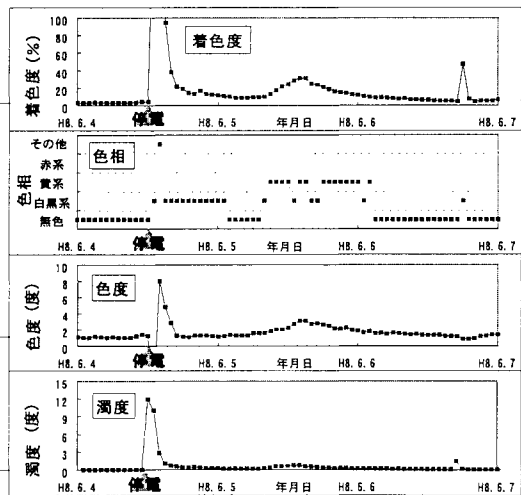


図5. 送水停止時の水質データ

表1はその結果を目視検査と比較して示したものである。これによると、色濁りセンサは目視と同様に色識別ができ、さらに、目視と同等以上の検出感度を持っていることがわかる。

この他、各々の着色試料水を濃度を変化させて測定したところ、色の種類に関わらず着色度が濃度に比例して高くなり、目視の感覚に近い特性を示すことを確認した。

表1. 着色水の測定結果 目視との比較

| 試料 | 色濁りセンサ | | 目視 | |
|---------|--------|-----------------------|------|--------------|
| | 色相判定 | 検出限界 | 色識別 | 目視限界 |
| 鉄錆試料水 | 赤系 | 0.3 ^注 mg/L | 赤褐色 | 0.3 mg/L |
| マンガン試料水 | 白黒系 | 0.9 ^注 mg/L | 黒褐色 | 0.9 mg/L |
| 色度標準液 | 黄系 | 0.5 度 | 黄 | 4 度 |
| 濁度標準液 | 白黒系 | 0.1 度 | 白 | 0.3 度 |
| 酸化第二鉄液 | 赤系 | 0.05 Fe-mg/L | 赤褐色 | 0.05 Fe-mg/L |
| 二酸化マンガ液 | 白黒系 | 0.1 Mn-mg/L | 黒-灰色 | 0.1 Mn-mg/L |

注：記載濃度未満を未測定のため検出限界がより低い可能性がある。

5 水質管理における色相・着色度測定の有用性

5.1 色度の問題点と着色度

色度は前述の通り波長 390nm の吸光度であり、本来、溶解性有機物が呈する黄褐色の指標である。ところが、試料水が濁質を含む場合は、粒子による光散乱のために 390nm の光が減少し、色度を大きく見積る。このため、濁度標準液を基準として濁質の影響を次式によって補正するのが一般的である。

$$[\text{補正後の色度}] = [\text{色度}] - C \times [\text{濁度}] \quad (C \text{ は定数})$$

しかし、この補正では濁質の分光特性が濁度標準液と異なる場合は正しい補正が行われない。B市で発生した着色異常の際に色度がマイナス値を示した例は、この時の着色に対しては上記補正演算が不適当だったことを示している。このように、色度と濁度の組合せでは着色状況の把握が困難な場合がある。これに対し、着色度は可視域全体の光を包含することで、特殊な補正を必要とせず、様々な色に対して目視に近い感覚で着色の程度を評価できる。

5.2 色識別の有用性

色濁りセンサを用いることで、水道水の典型的着色である鉄錆の赤色、マンガン等の黒色、溶解性有機物由来の黄色、気泡混入や亜鉛混入の白色等を色相として推定でき、従来の黄褐色のみを検出対象とする色度と比べて水質管理をよりきめ細かに行える。例えば、様々な着色を識別できることで配水管の老朽化把握がより的確になる。また、震災や漏水処置等による断水後の水質を詳細に把握できる。

6 おわりに

水の着色の新たな指標として色相と着色度を提案し、その自動計測装置の測定結果を報告した。実際の給水栓や浄水場で発生した水質異常を色相、着色度の測定により捉えることができた。また、経年管から採取した赤錆試料水、導水渠から採取したマンガン含有試料水、各種標準液の測定実験により、色相と着色度を用いて実際の状況に近い赤、黒、黄、白の着色異常を目視と同等に計測できることを確認した。これらの結果から、色相および着色度の測定は、人が行う外観検査の代替として毎日検査の自動化に有効と考えられる。さらに、水の着色測定は、浄水処理プロセスや下水処理プロセスの状況把握、河川や湖沼の水質把握にも活用できる可能性があり、今後の課題として取り組む予定である。

参考文献

- 1)財津、平岡、野田、多田、後藤、白水、細田、一戸「給水水質の自動監視へ向けた新しい着色計測方法の提案」第45回全国水道研究発表会講演集, pp.117~119(1995)
- 2)平岡、野田、大戸、多田、後藤、白水、細田、一戸「給水着色度、色相測定の実用化検討」第46回全国水道研究発表会講演集, pp.480~481(1996)

$$x = R / (R + G + B) \quad , \quad y = G / (R + G + B)$$

により色度図上の座標 x, y を得る。

「色相」は、座標 x, y (図2の点H) が色度図のどの領域に含まれるかによって無色、白黒、黄、赤、その他の5系統のいずれかとして判定される。この x, y 色度図を用いる色判定法は、国際照明委員会がCIE1931標準表色系として定めた方法であり、上水試験方法解説編にも「色の単色表示」として着色測定に有効であると紹介されている。

次に、新たに定義した「着色度」について述べる。色相と刺激純度(色の鮮やかさ)を表す x, y 色度図に明度減少率を z 軸として導入し、三次元の表色空間を規定する(図2)。ここで、無着色水測定点を W 、試料水測定点を S 、 S の x, y 平面への投影点を H 、 W から H への延長線が色度図の輪郭と交わる点を H' とし、着色度 Q を次式から求める。

$$\text{明度減少率} \quad L = 1 - G \quad (\text{無着色水では} 0)$$

$$\text{刺激純度} \quad P = WH / WH' \quad (\text{無着色水では} 0)$$

$$\text{着色度} \quad Q = \sqrt{C_1 L^2 + C_2 P^2} \quad (C_1, C_2 \text{ は定数})$$

着色度は上式では WS 間の距離として表現されている。ここで C_1, C_2 は水道水で発生する微少な着色に対して適当なスケールとなるよう、色度標準液の5度(概ね目視限界)を着色度10%に正規化する定数である。そして、着色度の単位は%で表示する。

3 モニタリングシステムの構成と試験方法

モニタリングシステムの構成を図3に示す。モニタ装置は、前述の色濁りセンサの他、残留塩素濃度、電気伝導率、pH、水温、水圧の各センサを備える。測定データはNTT公衆回線を介してホストコンピュータへ伝送される。

モニタ装置をA市の給水栓とB市の浄水場に、ホストコンピュータを横須賀市内富士電機総合研究所に設置し、約6ヶ月間、着色度、色相、色度、濁度他の連続測定を行った(B市は継続中)。

また、赤水、黒水の発生を擬似的に測定するため、実際の経年管から採取した腐食物質と浄水場の導水渠から採取した付着物とを各々希釈して着色液を調製し、色濁りセンサに注入した。さらに、比較のため色度標準液、濁度標準液、酸化第二鉄着色液、二酸化マンガ着色液の測定を併せて行った。

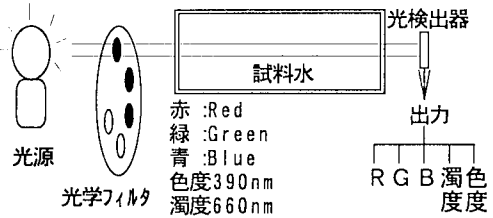


図1. 色濁りセンサ構成図

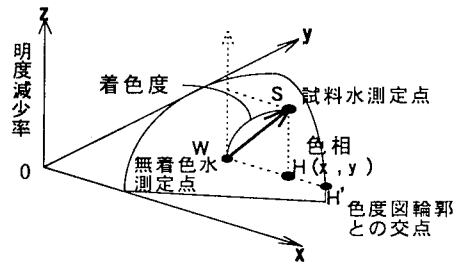


図2. 三次元表色空間図

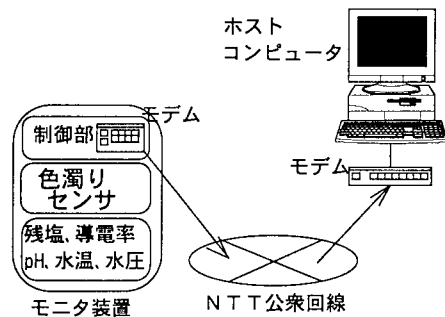


図3. モニタリングシステム構成図

4 試験結果

4.1 断水時の水質測定結果

A市給水栓で漏水修理の断水時にモニタ装置が観測した水質データを図4に示す。漏水修理は10時か