

## 〈研究発表〉

## 紫外線量に基づく遊離残留塩素分解量推算に向けた検討

毛 受 卓<sup>1)</sup>, 黒 川 太<sup>1)</sup>, 鷹 箸 幸 夫<sup>1)</sup>横 山 雄<sup>2)</sup>, 平 岡 由 紀 夫<sup>2)</sup><sup>1)</sup> 東芝インフラシステムズ(株) インフラシステム技術開発センター  
(〒183-8511 府中市東芝1 E-mail: takashi.menju@toshiba.co.jp)<sup>2)</sup> 東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部 (〒212-8585 川崎市幸区堀川町72-34)

## 概 要

浄水場における前塩素は覆いの無い池で日射による分解が進むため、注入量も日射量に応じて変化させているが、実際は紫外線により分解されていると考えられている。そこで日射量と紫外線量を測定し、晴天時と曇天時の残留塩素分解量を比較した。晴天と曇天では日射量は大きく異なるのに対し、紫外線量の曇天時の減少は比較的少なく、曇天でも残留塩素の分解は進む結果となった。紫外線量と残留塩素の分解量には相関があり、紫外線量に基づいて残留塩素の分解量が推定できる可能性を示した。

キーワード：遊離残留塩素，次亜塩素酸，日射量，紫外線量，分解

原稿受付 2019.6.28

EICA: 24(2・3) 55-57

## 1. は じ め に

水問題は発展途上国と先進国で二極化しており、先進国である日本では、人口減少に伴う使用水量の減少による水道料金の収入減や、水道事業職員の減少に伴う組織的技術継承の困難、またインフラ老朽化に対する対応ができないといった問題が顕在化している。これらの問題に対し、ICTを活用して定常時の省コスト化や非定常時のリスク低減を図ることを目的として、上下水道施設における自動化とそれに向けた最適化技術の開発を行っている。

本報告では、浄水場における塩素注入制御に関する自動化・最適化に向けて、季節や天候により連続的に様々に変化する原水水質や環境条件に応じて最適注入率を演算するシステムの検討のなかで得られた、日射分解に関する知見、および紫外線量に基づく塩素消費モデルについて述べる。

水道水の衛生を保つため給水栓で遊離残留塩素濃度0.1 mg/L (結合残留塩素濃度の場合は0.4 mg/L) 以上に維持することが義務付けられている。また浄水場内では、衛生を保つことや藻類の発生を抑えるなどの目的で、残留塩素が常に存在するように運転される場合もある。多くの浄水場の凝集沈澱池は屋外で上部が解放であるため、日中は日射に含まれる紫外線により次亜塩素酸や次亜塩素酸イオンの分解が進む<sup>1,2)</sup>。そのため、天候や日射量に応じて、塩素消毒剤の注入率を高め補正して設定する場合がある。しかし、晴天では日射量と紫外線量の時間変化がほぼ一致している

が、曇天では両者の変化が異なる場合がある。そこで、晴天時と曇天時の日射量と紫外線量を測定し、残留塩素の分解量との関係を調査した。

## 2. 晴天時および曇天時における残留塩素分解量と日射量・紫外線量との関係

## 2.1 日射量・紫外線量の時間変化の天候による差異

日射量、紫外線量は、共に英弘精機(株)社製の全天日射計 ISO セカンドクラス (285-3000 nm) MS-40C と B 領域 (280-315 nm) 紫外線計 MS-212W を用いて測定した。両測定機器を弊社府中事業所内に設置し、各線量の時間変化を1分周期で GRAGHTEC 社製データロガー GL-240 に記録した。Fig. 1 は快晴時の日射量と紫外線量の測定結果、Fig. 2 は曇天時の測定

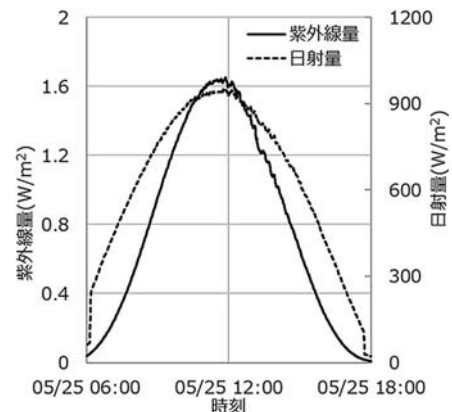


Fig. 1 UV irradiance and solar irradiance measurements in fine weather

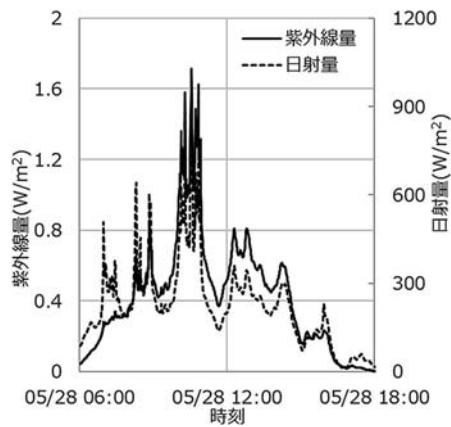


Fig. 2 UV irradiance and solar irradiance measurements in cloudy weather

結果一例である。曇天時は、雲の切れ目から薄日がさす状態であったため、高いピークが間欠的に現れている。また、Fig. 1, Fig. 2より、快晴時・曇天時とも日射量と紫外線量はほぼ類似した経時変化を示しているが、Fig. 1の晴天時は日の出、日の入の太陽高度が低い時間帯で紫外線量が少なく、一方曇天時では太陽光が雲に遮られて線量が下がっている時間帯で、日射量が紫外線量より減少率が大きくなる傾向が見られる。ほぼ同時時季のデータであり、曇天時の両者の減少率を比較するため、Fig. 1の快晴時の線量に対してFig. 2曇天時の線量の比を求め、日射量比と紫外線量比の経時変化を示したものがFig. 3である。グラフに示した時間帯の日射量比の平均が0.381であるのに対し、紫外線量比の平均は0.573と、日射量の方が大きく低下する傾向を示した。太陽光中の紫外線は他の波長領域の光線と比較して、雲に遮られずに地表に届いていると考えられる。雲の厚さや量によっても上記比率は変化すると考えられるが、快晴時の注入率に対して曇天時に日射量の減少から塩素注入率の追加補正を減少させると、予想以上に残留塩素が分解され低下してしまう可能性がある。

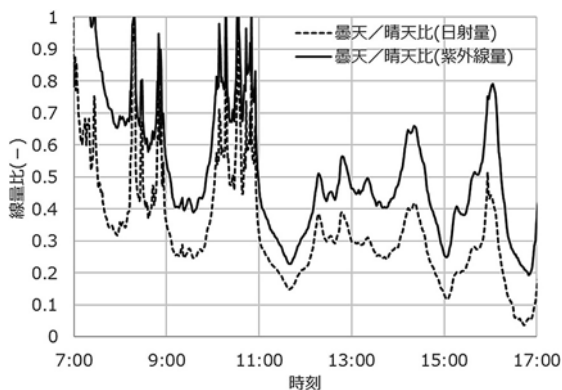


Fig. 3 Ratio of the measurements of radiation on the cloudy/fine weather

## 2.2 遊離残留塩素濃度の天候に対する分解比較

晴天時と曇天時の紫外線量、日射量に対する残留塩素の分解を、次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いて比較した。線量測定機器と側部を遮光したガラス容器に入れた次亜塩素酸ナトリウム溶液を、弊社府中事業所内に設置し、各線量時間変化をロガーに記録しながら、水道機工(株)社製携帯型DPD法デジタル式残留塩素測定器CRP-1000-000Qで残留塩素濃度を30分周期で測定した。次亜塩素酸ナトリウム溶液は、関東化学(株)社の鹿1級次亜塩素酸ナトリウムを純水で希釈して生成し、分解試験の初期濃度を1.0 mg/Lになるように調整した。Fig. 4は晴天時の紫外線量、日射量、残留塩素の経時変化を示したグラフである。実験は日光がほぼ真上から当たる正午前後の約4時間で実施したため、日射量は1000 W/m<sup>2</sup>付近で安定しているが、時折薄い雲が流れてきて遮光したため低下した。紫外線量は1.6 W/m<sup>2</sup>付近をピークにやや増加減少の曲線を描き、日射量と同様に流れ雲による遮光の影響を受けている。残留塩素濃度は、実験開始後から2時間は直線的に減少し、そのうち徐々に緩やかになり、実験開始4時間後に検出限界以下になった。Fig. 5は曇天

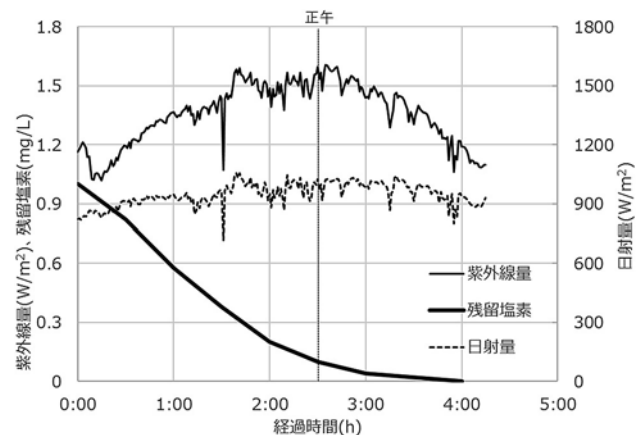


Fig. 4 UV irradiance, solar irradiance and residual chlorine in fine weather

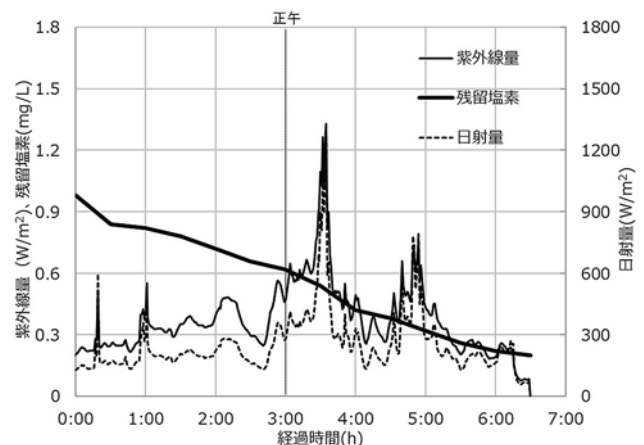


Fig. 5 UV irradiance, solar irradiance and residual chlorine in cloudy weather

時の紫外線量, 日射量, 残留塩素の経時変化を示したグラフである。実験は晴天時と同様に日光がほぼ真上から当たる正午の前後3時間で実施した。雲の切れ間から時折陽がさしたため, ピークが数箇所現れているが, 日射量は  $200 \text{ W/m}^2$  前後で晴天時の  $1/5$ , 紫外線量は  $0.3 \sim 0.6 \text{ W/m}^2$  で晴天時の  $1/3$  程度で推移した。残留塩素濃度は, 実験期間中ほぼ直線的に低下しており, 日射・紫外線量がやや高めのピークを示していた時間帯 (3:00~4:00 経過時点) では減少の傾きが大きくなっていった。晴天時の初期2時間における残留塩素濃度の減少速度が  $0.40 \text{ mg/L/h}$  であるのに対し, 曇天時の6時間における減少速度は  $0.13 \text{ mg/L/h}$  と晴天時の約  $1/3$  であった。曇天時の日射量が晴天時の  $1/5$  であり, 紫外線量は  $1/3$  付近であったことから, 紫外線量で塩素の分解を考慮した方が良いことが示唆されたと考えられる。

### 3. 紫外線に基づく残留塩素分解モデル

これまでの測定や実験の結果より, 有効塩素の日射分解は紫外線量に相関があると考えられたことから, 紫外線量より有効塩素の分解量を推算するモデルを検討した。残留塩素濃度と同様に30分間おきの残留塩素推算値を(1)式より紫外線量積算値から求め, 残留塩素濃度の変化と比較したグラフを Fig. 6 に示す。

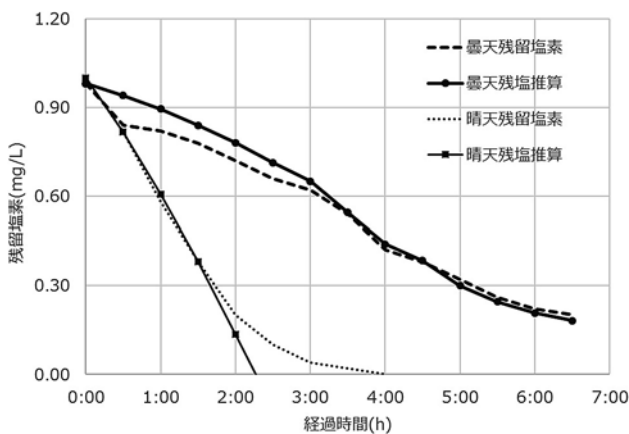


Fig. 6 Estimate and actual values of residual chlorine concentration

$$C_t = C_0 - a \cdot \Sigma UV \cdot t \quad \dots (1)$$

$C_t$ : 経過時間後における残留塩素濃度 (mg/L),  $C_0$ : 初期有効塩素濃度 (mg/L),  $UV$ : 紫外線量 ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{min}$ ),  $a$ : 定数,  $t$ : 照射時間 (min)

定数  $a$  の数値は, 晴天時の前半の傾きから求め,  $0.0053$  とした。晴天時の分解速度が緩やかになる終盤の領域や曇天時の初期の低下などでやや乖離があるが, 残留塩素濃度  $0.2 \text{ mg/L}$  までの領域で, 定数  $a$  を晴天時・曇天時とも同じ数値として (1) 式でほぼ近似できていると考えられる。今回の分解試験は, ピーカースケールで, 不純物を含まない次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いているため, 実際の表流水などでの推測に向けて多くのパラメータを検討する必要があるが, 試験条件を晴天時と曇天時ではほぼ同様として行ったことから, 塩素の日射による分解に関しては紫外線量の関数として (1) 式の形で推算できると考えられる。

### 4. ま と め

弊社府中事業所に, 日射量計, 紫外線量計を設置し, 天候の違いによる線量の変化や残留塩素の分解との相関を調べた。残留塩素の分解は, 日射量より紫外線量との相関が見られ, また曇天時には日射量ほど紫外線量は低下しないため, 日射量が低下しても浄水場における凝集沈澱池などで残留塩素は分解が進むと考えられる。紫外線量の積算値と残留塩素の分解量とに比較的高い相関がみられ, 日射による残留塩素の分解量は, 紫外線量の積算値から推算可能と考えられる。

### 5. お わ り に

紫外線による次亜塩素酸の分解は, 単位時間に浄水に降り注いだ太陽光中の紫外線領域の光子が水中の残留塩素に吸収されておこると考えられており, 次亜塩素酸および次亜塩素酸イオンの光子吸収率などから塩素分解量を求めるモデルを検討し, 表流水を対象として検証していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 福崎智司, 次亜塩素酸の化学, 米田出版, 20-24 (2012)
- 2) 益崎大輔ら, 浄水中の塩素臭低減化技術 —— 紫外線処理の効果 ——, 平成 25 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 574-575 (2013)