

<論文>

水源水質悪化時の取水制御システム

New intake control system based on river water quality

○古川誠司¹、守川 彰¹、増田直人²、坂口 功³¹三菱電機(株) 先端技術総合研究所²三菱電機(株) 電力・社会システム事業所³三菱電機(株) 社会システム事業部○Seiji Furukawa¹, Akira Morikawa¹, Naoto Masuda² and Isao Sakaguchi³¹Advanced Technology R & D Center, Mitsubishi Electric Corporation²Energy and Public Infrastructure Systems Center, Mitsubishi Electric Corporation³Public-Use Infrastructure Systems Division, Mitsubishi Electric Corporation

Abstract

The authors proposed a new intake control system for water purification plants based on river water quality. In this system the intake flow rate of a plant is to be decreased during river water is polluted whereas it is to be increased after water quality of the river is recovered. The purpose of this system is to reduce operational costs for water purification while securing the adequate amount of water supply. Simulation studies on the proposed system were conducted to investigate the reduced amount of coagulant dosage and waste sludge generated. Simulation results with two-year' on-line turbidity data revealed that the reduction percentage of waste sludge for the first and second year was 5.8% and 8.5% respectively. By this remarkable effect, it was suggested that the proposed system could also contribute to enlarging the capacity of landfill sites for incinerated sludge and, moreover, preserve the environment.

Key Words: Control, Cost Reduction, Turbidity, Intake, Water Purification Plant, Water Source

1. はじめに

日本の上水道事業及び水道用水供給事業の水源の約70%は、河川水やダムなどのいわゆる地表水である¹⁾。地表水は一般的に取水が容易で量が確保しやすいという利点がある一方、天候や社会活動などの影響を受け水質が悪化しやすいという側面がある。

「水源水質悪化」に含まれる事象は、①降雨時などの濁度上昇、②富栄養化によるプランクトン増殖、③トリハロメタン生成能などの生物難分解性微量物質による汚濁、④クリプトスポリジウムなどの病原菌による汚染、⑤油類、重金属、薬品などの流出による水質事故等々、多岐にわたる²⁾。筆者らは、これらのうち比較的短時間での水質回復が見込まれる①の濁度上昇と⑤の水質事故の一部に着目し、その対策としての取水制御システムを提案してきた³⁾⁴⁾⁵⁾。本システムの目標は、水源水質を監視しながらこれが悪化している期間は取水を抑制する一方、水質回復後に取水量を増やすことにより上水供給量としては過不足なくこれを維持しつつ、本来汚濁度の高い原水を処理するのに必要であったコストを削減することである。なお水質事故については、油流出などのようにその汚染状況がモニタリング可能であり⁶⁾、かつ重篤度・緊急度が高くない場合のみを対象と考えており、緊急性の高い事故の際は、取水停止を余儀なくされることは言うまでもない。

水源からの取水量の制御システムについては、河川流量予測に基づく取水により渇水期の給水を確保するシステム⁷⁾や、水力発電所への土砂混入を防止するために水路への土砂流入を加速度センサで検出するシステム⁸⁾、灌漑

用水としての取水量を一定に維持するためのシステム⁹⁾などが提案されている。しかし、水源水質との連携とこれを浄水処理するためのコストの削減を目的とした取水制御システムの検討例は見当たらない。

本論文では、水源水質の指標として特に濁度に注目する。水質事故はその全てを自動的に検知することが難しいのに対し、取水点の濁度は一般的にモニタリングされており提案法の適用が比較的容易と考えられるためである。その上で、実際の河川水の水質データを用いたシミュレーションを実施し、本システムにより河川水高濁時の取水を抑制した場合の省コスト効果の検討として、凝集剤添加量および汚泥発生量の削減効果を評価した。

2. 取水制御システムの概要

2.1 取水制御のアルゴリズム

Fig.1 に本システムの構成と制御アルゴリズムのフローチャートを示す。本システムでは水質指標として濁度を用いて、河川水濁度が高い期間は取水を制限する。水質が回復した後はいったん取水量を増やし、配水池の水位が通常のレベルにまで回復したら取水量をもとに戻す。これにより、上水供給量としては過不足なく維持しつつ凝集剤添加量や汚泥発生量を削減できる。

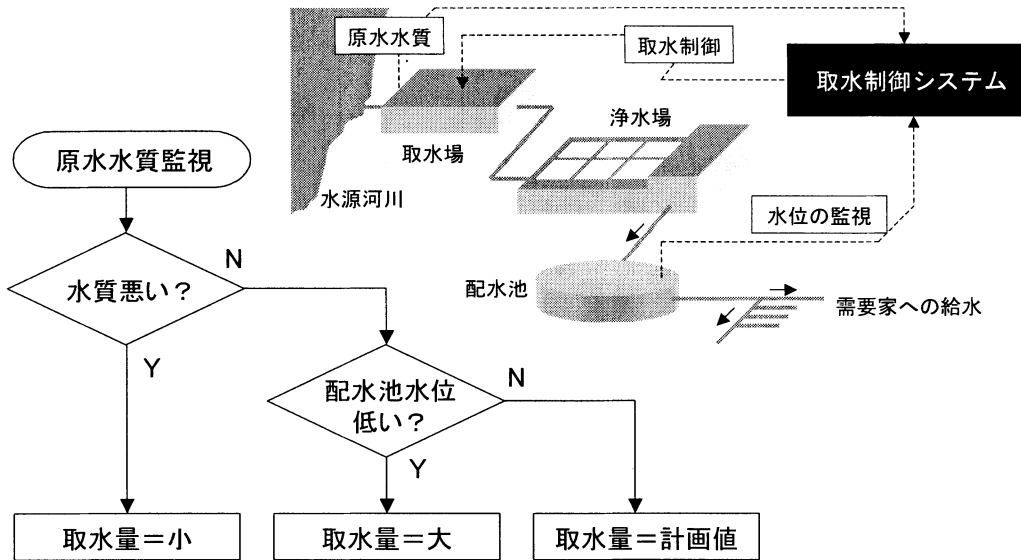


Fig.1 Outline of intake control system based on river water quality

ただし、取水制限により配水池水位が低下するので、これが下限に達することのないように常に監視しておく必要がある。配水量が小さい場合は、取水量が増加に転じた時点で配水池の水位が上がり始めるが、多い場合は取水量を増やしてからも水位が下がり続け、下限値を割ってしまう可能性がある。次式に示すように計画配水量と取水量とから常に数時間先の水位を推定しておき、これが下限値に達した場合には原水濁度が高くても取水量を増やす。

$$L(t_0 + T) = L(t_0) + \frac{1}{V} \left(Q_m^{MAX} \cdot T - \int_{t_0}^T Q_{out}(t) dt \right)$$

ここに、

$L(t_0)$: 現在時刻 t_0 での配水池水位、 $L(t_0 + T)$: T 時間先の配水池水位、 V : 配水池容量、 Q_m^{MAX} : 取水量最大値、 $Q_{out}(t)$: 時刻 t での計画配水量

3. 取水制御システムのシミュレーション

3.1 シミュレーション条件

取水量 5000m³/h (給水人口約 20,000 人) の浄水場を想定して、取水制御のシミュレーションを実施した。想定した条件を Table 1 に示す。取水点の原水濁度が 50 度を越えたら取水量を 2000m³/h に制限するとともに、その後、濁度が 50 度を下回るか配水池の貯留量が下限に達する可能性がでてきた時点で 7000m³/h に増量した。これらの想定条件は、実際の浄水場の運用をヒアリングした結果を参考にして定めたものである。

河川原水の濁度は、国土交通省の水文水質データベース¹⁰で公開されている淀川・枚方左岸観測所のデータを、降雨と河川水位については同じデータベースの枚方観測所のデータを使用した。なお、入手可能なデータ期間は 02 年 6 月から現在 (04 年 5 月末) までの 2 年間で、いずれも 1 時間ごとのデータであった。

Table 1 Simulation conditions for plant capacity

取水量	通常時：5000m ³ /h、取水制限時：2000m ³ /h、取水増量時 (時間最大取水量)：7000m ³ /h
配水池	貯留能力：時間最大取水量の 12 時間分 配水量：午前 8 時～午後 8 時が 7800m ³ /h、午後 8 時～午前 8 時が 2200m ³ /h。 (取水量一定の場合、午前 8 時の貯留量が満水時の 90%、午後 8 時の貯留量が 50%となる)

PAC 注入率は、Fig.2 に示すように濁度に応じて定めた。濁度 1 度を 1g-SS/m³ とし、除去濁度 1g-SS 対して脱水ケーキ 10g が発生するものとした。これらの想定条件下でシミュレーションを行い、高濁の発生パターンによる取水量や貯留量の変化を確認するとともに凝集剤添加量および汚泥発生量の削減効果を評価した。

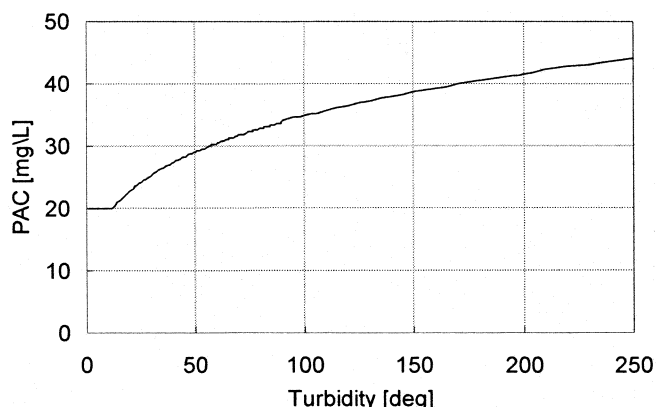


Fig2 Pac dosage rate on river water turbidity

3.2 結果および考察

(1) 濁度パターンによる取水量・貯留量の変化

ここでは、2 年分の濁度データの中から典型的な 2 種類のパターン、すなわち高濁の期間が比較的短いパターンと長いパターンを選び、これらに対する取水制御のシミュレーション結果を説明する。Fig.3 および Fig.4 にそれぞれの濁度パターンとそのときの降雨量および河川水位の変化を示す。前者は 02 年 12 月 21~22 日のデータ、後者は

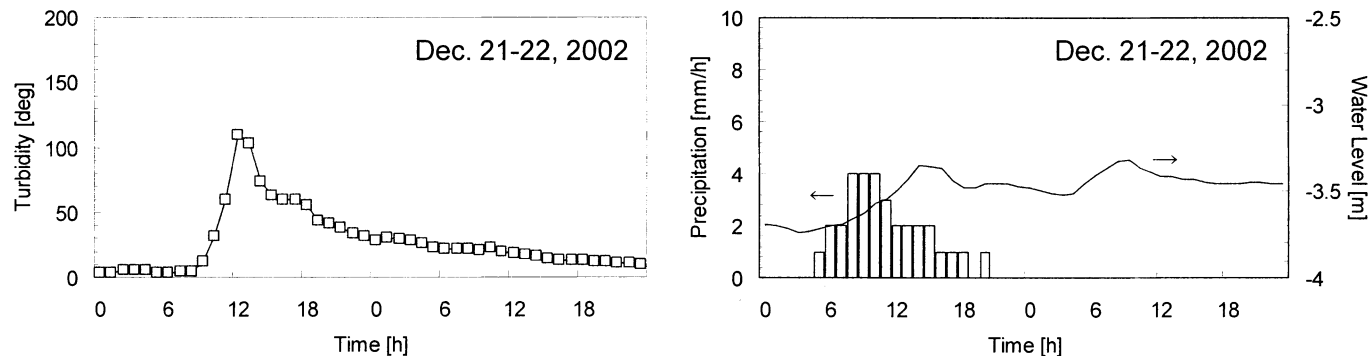


Fig.3 Turbidity, precipitation and river water level on December 21-22, 2002

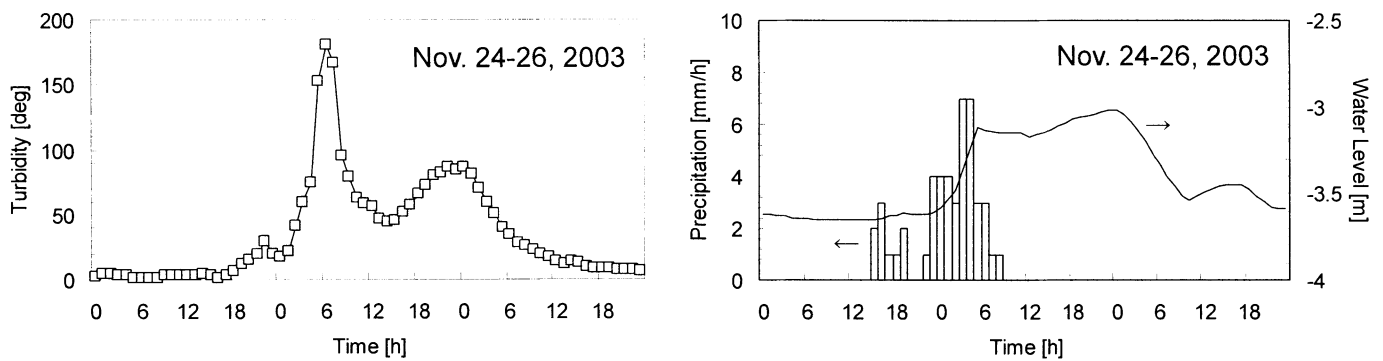


Fig.4 Turbidity, precipitation and river water level on November 24-26, 2003

03年11月24~26日のデータである。本来、降雨時の濁度条件は流域全体の降雨量と関連付けて考察する必要があるが、ここでは取水点近傍の降雨量のみを示している。Fig.3およびFig.4においては、降雨量と濁度上昇との間に相関のあることが示唆された。また濁度が高い間は、河川水位が上昇していることも認められた。

Fig.5に02年12月21~22日の高濁パターンに対するシミュレーション結果を示す。濁度が50度を超える期間の取水が制限された結果、配水池の貯留量は通常時のレベルを下回る期間が半日程度続いたが、下限を割り込むことはなかった。一方、PAC注入量ならびに脱水ケーキ量の削減量はそれぞれ150kg、10tと試算された。これは取水制御を行わない場合の2日間のPAC注入量もしくはケーキ発生量のそれぞれ2.6%、15.4%に相当する。ケーキ発生量の削減が特に顕著であったことは、ランニングコスト削減だけでなく廃棄物処分場の延命化、ひいては環境保全という観点からも意義があると言える。

Fig.6に03年11月24~26日の高濁パターンに対するシミュレーション結果を示す。25日18時の時点では、配

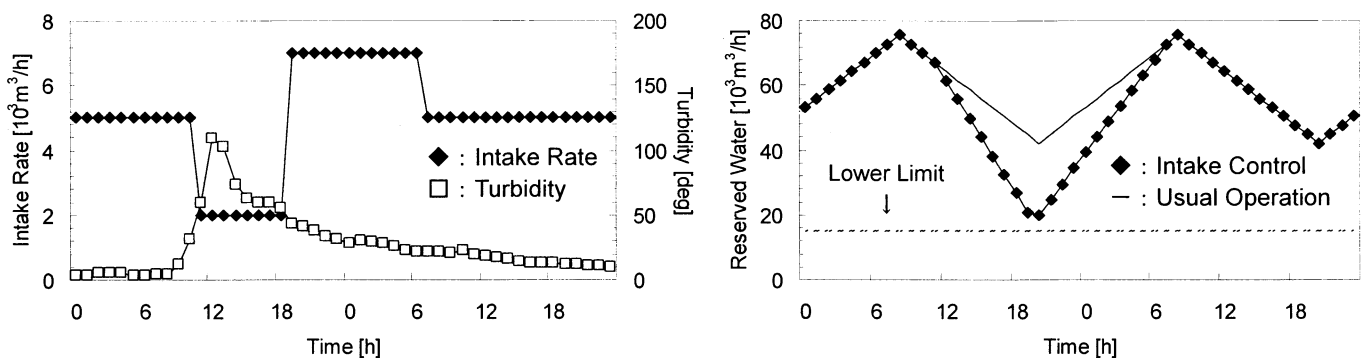


Fig.5 Simulated intake rate and reserved amount of water (1)

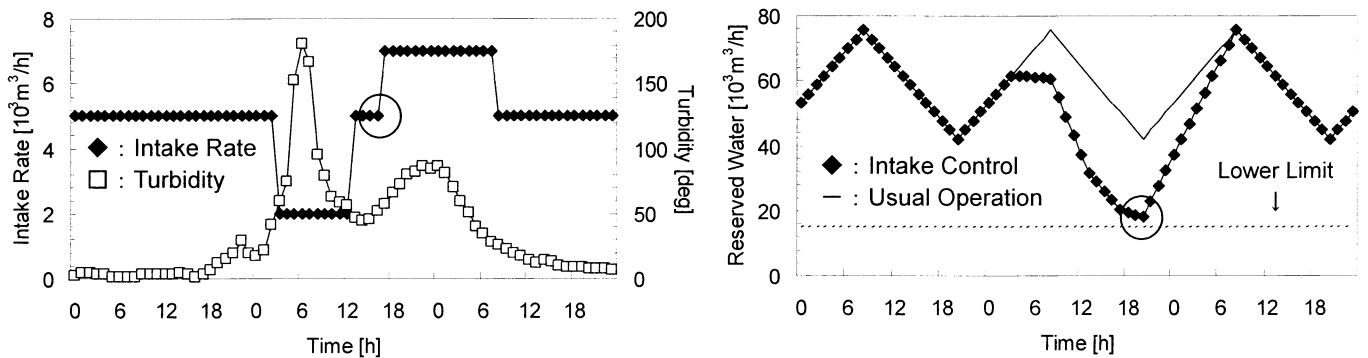


Fig.6 Simulated intake rate and reserved amount of water (2)

水池の貯留量は下限には達していないが、このままの取水量を維持するとこの先、具体的には 20 時に貯留量が下限値を下回ることが予想されたため、原水濁度が 50 度を超えているにも拘わらず取水量が増やされている（図中丸印）。その結果、PAC 削減量は 123.5kg、脱水ケーキ削減量は 11.5t と先のケースとほぼ同じレベルとなった。

原水高濁の継続が予想される場合は、事前貯留との組合せがより効果的と考えられる。すなわち、取水点濁度の上昇が予想される時刻よりも前に清澄な原水の取水量を増やしておくことにより、コスト削減効果の改善を狙うものである。03 年 11 月 24～26 日の高濁パターンに対して、3 時間、6 時間の事前貯留を行った場合のシミュレーション結果を Fig.7、Fig.8 にそれぞれ示す。ここでは、配水池の水位が下限を割らない限り 2 回目の高濁期間中も通常時の取水量（5000m³/h）を維持する、というアルゴリズムを与えた。Fig.7 に示すように、3 時間貯留の場合はまだ濁度の高い 20 時から取水量を増やさなければならず（図中丸印）、PAC 削減量は 155kg、脱水ケーキ削減量は 13.4t となった。一方、6 時間貯留の場合は（Fig.8）、2 回目の高濁が終了するまで取水増量を待つことができたため、PAC 削減量は 310kg、脱水ケーキ削減量は 22.3t と顕著に増加した。

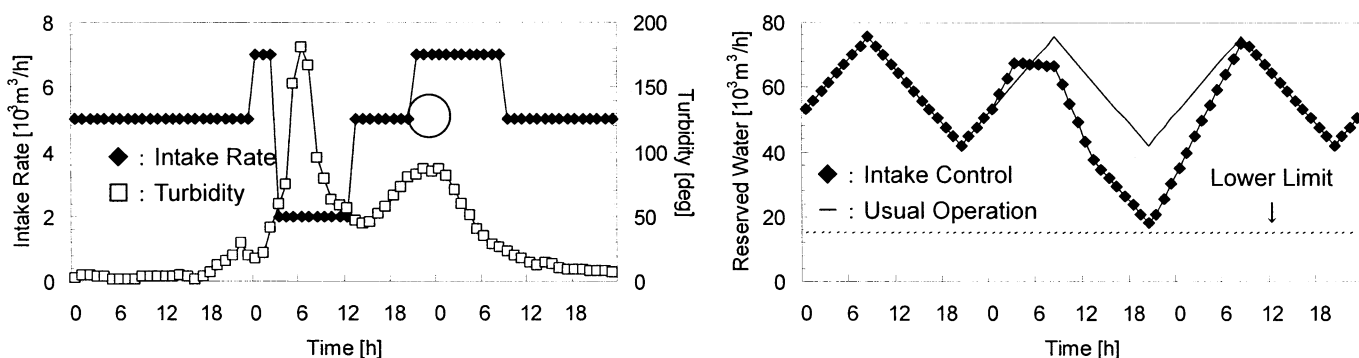


Fig.7 Simulation results in case of advance reservation (1)

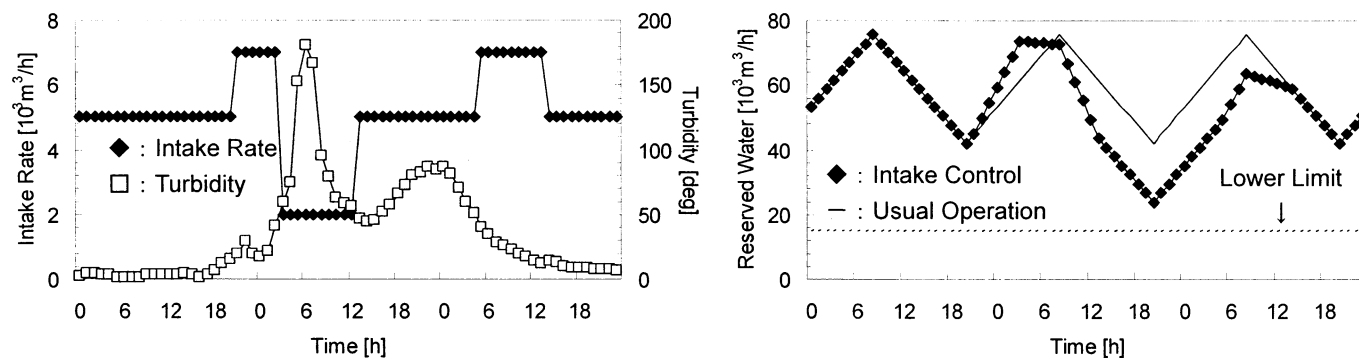


Fig.8 Simulation results in case of advance reservation (2)

事前貯留の方法としては、取水点の上流で河川水濁度を監視しておき、これがある閾値を超えた時点から取水量を増やす方法、あるいは天気予報と関連させて濁度上昇を予測する方法などが考えられる。前者は後者に比べ実用化が比較的容易であろう。この方法では、取水点から上流観測地点までの距離と高濁時（主には降雨時）の河川流量との関係で事前貯留時間が決まる。これが長い方がより大きなコスト削減に資するものと期待されるが、雨域によっては上流が高濁していなくても下流の取水点が高濁することもありえるので、予測精度の面では上流観測地点と取水点との距離は近い方がよい。両者のトレードオフ関係を、定量的な解析により評価する必要がある。

(2) 長期濁度データによる解析

Fig.9 に 2002 年 6 月から 2004 年 5 月までの河川濁度データを示す。50 度を超える高濁パターンが出現した回

数は、02年6月から03年5月までの1年間で24回、03年6月から04年5月までの1年間で27回であった。

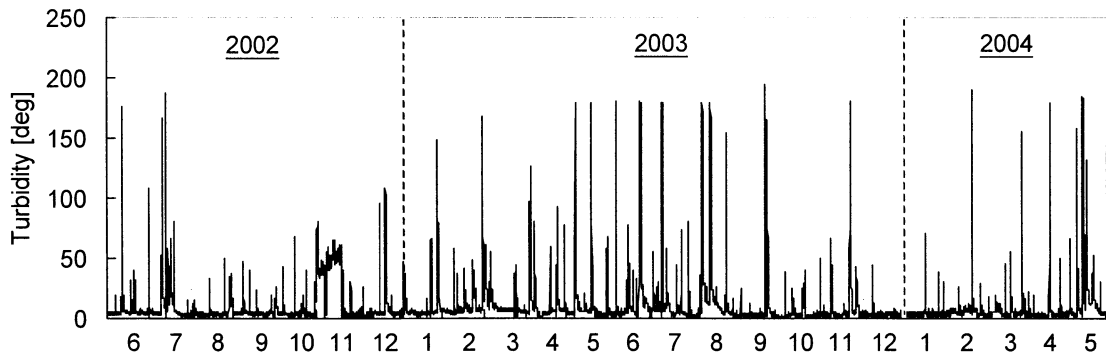


Fig.9 River water turbidity from June 2002 through May 2004

濁度のピークが複数個認められても 50 度を超す時間帯が継続している場合は、同じ高濁パターンとみなして1回に数えた。また02年10月から11月にかけて連続して50度を超える濁度データが記録されていたが、他の期間の濁度は通常10度以下であること、またこの時期にまとまった降雨はなかったことから、計測値異常と判断した。

Fig.10 は各高濁期間の濁度の積算値を横軸にとり、それぞれに対応する降雨量（高濁期間の降雨量に直前の24時間の降雨量も足したもの）をプロットしたグラフである。50度以上の高濁度が発生している期間もしくはその直前の24時間には、必ず取水点近傍で降雨があったことがわかる。また濁度の積算値と降雨量との間にはゆるやかな相関が認められ、相関係数 (r^2) は0.52となった。しかしFig.10とは逆に、まとまった降雨があった場合の濁度発生に注目した場合、例えば総降雨量が10mm以上であったにも拘わらず濁度が50度を超えない例が散見された。降雨データによる高濁予測を行うためには、このようなケースの判別を可能とする必要がある。さらには、降雨量のピークと濁度のピークの時間差についても再現もしくは予測できるようなシミュレーション技術の開発が望まれる。これらは今後の課題としたい。なお、濁度発生と河川水位との間には、Fig.10のような相関は認められなかった。これは、河川水位は降雨量だけでなく上流のダム放流量にも影響を受けるためと考えられる。

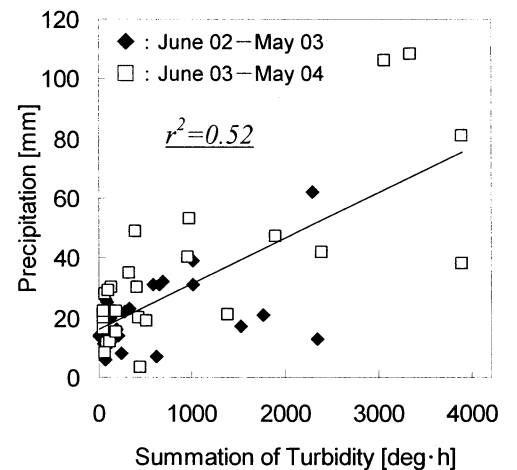


Fig.10 Relationship between turbidity and precipitation

Fig.9 の連続データを用いて取水制御のシミュレーションを実施した。事前貯留は行わないものとした。02年6月もしくは03年6月からの1年間について脱水ケーキの削減量を積算していったグラフを Fig.11 に示す。1年分の積算量は前の1年間で258t、次の1年間で321tとなった。これは取水制御を行わない場合の脱水ケーキ発生総量のそれぞれ5.8%、8.5%に相当する。後者の値が大きかったのは、主として8月の高濁発生が前年に比べて多かったことによる。また03年、04

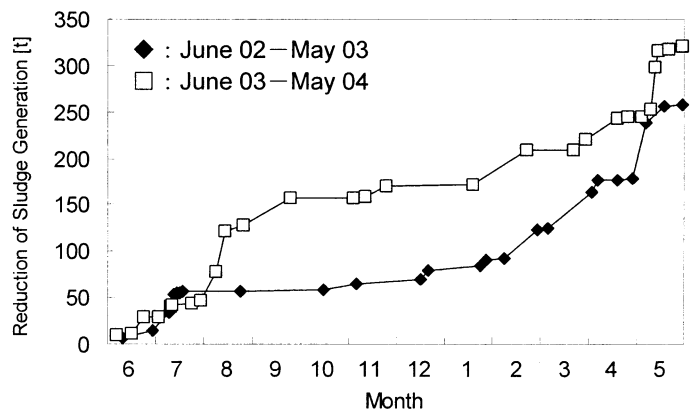


Fig.11 Reduction amount of sludge generation

年とも4月末から5月にかけての期間のケーキ発生量節減、すなわち高濁発生が顕著であったことも特徴的である。なおPAC節減量もFig.11と同様に推移した。今回のシミュレーションにおけるPAC注入量ならびに脱水ケーキ発生量の節減効果のまとめをTable 2に示す。

Table 2 Summary of simulation results

	Reduction of PAC Dosage		Reduction of Sludge Generation	
	Weight [t]	[%]	Weight [t]	[%]
June 02 - May 03	3.70	0.41	258	5.79
June 03 - May 04	3.71	0.40	321	8.47

4. 広域上水道システムとの関係と寄与

近年、より効率的に施設を運用・管理するために、上水道システムの広域化が進められている。広域化に対応する水運用では、各配水池での需要量に不足なく浄水を供給すること、ならびに浄水場出側の流量を極力平滑化することが求められている¹⁴⁾。これに対し、取水量をダイナミックに変化させることは、その後の浄・配水プロセスの広域的な運用最適化問題をより複雑にすることになるため、十分注意が必要である。すなわち取水制御システム側としては、広域上水道全体の貯留量や需要量を考慮しうる柔軟かつ高度なアルゴリズムの構築を目指す必要がある。

一方、取水制御システムの広域統合化による省コスト効果の拡大も期待される。Fig.12は同じ河川から取水する2つの浄水場の間で情報と浄水を融通するシステムのイメージ図である。上流側の浄水場からは取水点での濁度上昇を下流側の浄水場に伝える。これにより下流側では、取水点濁度が上昇する前の清澄な原水の量を予め貯留しておくこと(事前貯留)ができる。この浄水を上流側に融通すれば、上流側の高濁期間の取水量を制限することも可能である。このような統合的取水制御の効果についても、今後、定量的に評価したい。

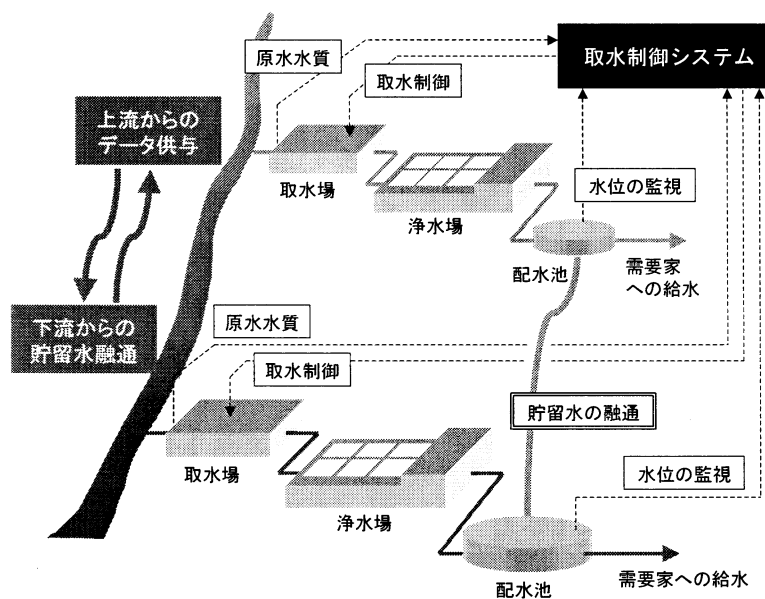


Fig.12 A wide-area integration of intake control systems

5. まとめ

水源水質が悪化している期間は取水を抑制する一方、水質回復後に取水量を増やすことにより上水供給量としては過不足なくこれを維持しつつ、本来汚濁度の高い原水を処理するのに必要であったコスト、具体的には凝集剤添加や汚泥処分にかかるコストの削減を目的とした取水制御システムを提案した。

本論文では水源水質の指標として特に濁度に注目し、取水量 5000m³/h の浄水場を想定して2年分の河川水濁度データを用いたシミュレーションを実施した。その結果、最初の1年間については5.8%の、次の1年間について8.5%の脱水ケーキ発生量がそれぞれ削減されると試算された。一方、PAC注入量の削減率はともに0.4%となった。

ケーキ発生量の削減が特に顕著であったことは、ランニングコスト節減だけでなく廃棄物処分場の延命化、ひいては環境保全という観点からも意義があると言える。

配水池の容量は年々大きくなる傾向にあり¹²⁾、提案法は配水池の有効利用法としても価値があるものとする。今回の検討では取水量の上下限や配水池水位の上下限といったおおまかな制約条件を考慮したが、実際の運用では、例えば、同時には使用できないポンプがあるといった運用上の制約、ポンプ能力などの設備上の制約、水利権(取水可能量)、契約電力量や夏季/冬季もしくは昼間/夜間の電力単価の差異などさらに詳細な制約条件や評価指標を考慮する必要がある。これらを含めたアルゴリズムの構築と評価を進めたい。また降雨時とは異なる融雪時の高濁パターンに対して本システムが有効かどうかについても検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 鈴木克徳, 磯村真一, 荻阪晴男, 西野二郎: 溶存酸素欠乏をもたらした水源水質事故の原因調査事例報告, 水道協会雑誌, Vol. 71, No. 1, 29-35 (2002)
- 2) 丹保憲仁, 小笠原紘一: 浄水の技術, 技報堂出版 (1985)
- 3) 増田直人, 土方健司, 上山智嗣, 古川誠司: 上水水源用油臭センサ応用システム, 三菱電機技報, Vol.76, No. 10, 23-28 (2002)
- 4) 古川誠司, 増田直人, 廣辻淳二, 坂口功: 水源水質悪化時の取水制御システム, 第54回全国水道研究発表会講演集, 112-113 (2003)
- 5) 古川誠司, 増田直人, 廣辻淳二, 坂口功: 水源水質悪化時の取水制御システム, 電気学会公共施設研究会資料, PPE-03-1, 1-4 (2003)
- 6) 上山智嗣, 土方健司, 廣辻淳二: 有機高分子検知膜を用いた水晶振動子式高感度油臭センサーの開発, EICA, Vol.5, No.7, 187-190 (2000)
- 7) 多田弘, 土屋泰則, 黒谷憲一: 河川流量予測を用いた取水運用方式, 第35回全国水道研究発表会講演集, 71-73 (1984)
- 8) 馬場一彦: 土砂検出器を用いた取水口自動制御方式の開発, 中部電力株式会社技術開発ニュース, No.104, 27-28 (2003)
- 9) 勝田栄: 取水施設の自動制御化について, 第42回農業土木学会中国四国支部講演会講演要旨, 154-156 (1987)
- 10) 国土交通省水文水質データベース: <http://www1.river.go.jp>
- 11) 横川勝也, 坂本義行, 八重樫淳, 川田行彦: 水道広域化に対応する水運用最適化システム, EICA, Vol.8, No.2, 37-41 (2003)
- 12) (社)日本水道協会ホームページ <http://www.jwwa.or.jp>

(受付 2004 . 4 . 28)

(受理 2004 . 7 . 2)