動的成本選択法による緊急時対応水運用計画

非会員 加藤 博 光 ((株)日立製作所)
正 員 栗 栖 宏 充 ((株)日立製作所)
正 員 瀬古沢 照 治 ((株)日立製作所)
非会員 舘 仁 平 ((株)日立製作所)

Water Supply Planning with Dynamic Cost Selection Method in the Emergency

Hiromitsu Kato, Non-member, Hiromitsu Kurisu, Member, Teruji Sekozawa, Member, Nihei Tachi, Non-member (Hitachi Ltd.)

In this paper, we propose a dynamic cost selection method in the minimum cost flow optimization for wide-area water supply networks. We formulate the water flow on the multi-layered networks, considering the storage of all the reservoirs. Piecewise linear cost functions are employed so that the cost function can represent open and closed pipelines flexibly. With this characteristic of the piecewise linear cost function, various kinds of networks can be represented without changing the original network model. The optimization is executed under the selected set of cost functions. The simulated plans under the real data in a certain city show the advantages of the proposed method, in terms of confirming the operating conditions and saving water, even in emergency as well as the normal situations.

キーワード：水道，水運用計画，最適化，最小費用流，緊急時，危機管理

1. まえがき

上水道は近年普及率が向上し、限りある水資源を有効に活用するために、広域化を図りつつシステム全体を安全かつ効率よく運転していくための運用制御技術が必要となっている。上水道における水の輸送ネットワークは、河川などから原水 (raw water) を取水し浄水場 (water purification plant) や配水池 (water reservoir) に配送する導・送水系統と、浄水場や配水池からポンプで圧力をかけて需要者のもとへ水をとどける配水系統からなる。本論文では上流側の導送水系における水運用について主に取り扱う。各系統はネットワークを構成して水を広域に輸送し、ポンプやバルブを用いることによって水の流れを制御している。ここで、ネットワークの末端における水需要量は、気温・天候や人々の生活リズムとともに時々刻々、日々変動している。一方、ネットワークの上流側では、取水ポンプや浄水場での浄化プロセスを安全に運転するために、毎時間一定量の浄水を生産・配送することが望まれる。この変動する需要量と、一定に供給される浄水量の間を調整する、いわばバッファの役割を果たしている施設が配水池である。配水池は時々刻々その水位を変動させることで需要量変動を吸収し、送配水を行

なっている。

きめ細かな水運用のためには、各配水地域における需要量に見合った水量を適切に配分するだけでなく、配水池水位の時間変化も考慮する必要がある。配水池貯水量は、地震災害などの事故発生時の水量確保の観点から、できるだけ多く保っておくことが望まれる⁽⁵⁾ ので、運用下限値が設定されている。さらに安全性のために、需要が急激に立ち上がる午前中に備えて、それ以前の時間帯 (早朝など) に配水池水位を満水位に近い目標水位まで回復しておくことも望まれる。

さらに、近年の地震災害発生や慢性的な水不足により、水道システムの危機管理が急務になっている。渇水時の取水制限や管路・配水池の被害に対して迅速に対応し、適

表 1 従来技術と課題

Table 1. Traditional techniques and problems

ID	従来技術	課題	解決策
1	1 浄水場から 1 配水池への送水計画 ⁽⁶⁾	複数配水池ネットワーク対応	ID-2 など
2	SA 法による複数配水池ネットワーク計画 ⁽⁷⁾	計算量大、小規模ネットワーク向き	ID-3 など
3	多段プライマル法による複数配水池ネットワーク計画 ⁽⁴⁾	平常時対応、緊急時未対応	動的成本選択法 (本提案手法)

切な形態に水系を変更しつつ水量配分を決定していかなければならない。

配水池貯留量の時間変化まで考慮した水運用計画問題に対する解法として、1 浄水場から 1 配水池への送水計画を最適化手法によって計画立案するアプローチがある⁽⁶⁾(表 1 の ID-1)。ところが実際の水道は、複数の浄水場、複数の配水池をネットワークで結合して水系を形成しているので、ローカルな 1 浄水場-1 配水池に注目するだけでなく、広域に水を運用することで渇水時や災害時にも柔軟に対応する必要がある。

複数の配水池があるネットワークにおいて配水池貯留量も考慮した手法として SA 法を応用したものがある⁽⁷⁾(表 1 の ID-2)。SA(Simulated Annealing) 法は、やきなまし過程という物理現象とのアナロジーとして表される確率的探索手法であり、温度をパラメタとして制御される⁽⁸⁾。ただし、小規模な水系でも計算時間を要する上に、温度をどのようなタイミングで減少させるか等、各種パラメタを試行錯誤的にチューニングする必要があり、大規模な水系に対して適用するには計算量やパラメタチューニングの手間という面で問題がある。

配水池貯留量変化も考慮して大規模なネットワークに対して高速に計画を立案する手法として、輸送問題を最小費用流問題に帰着して多段プライマル法を用いて解く手法がある⁽⁴⁾(表 1 の ID-3)。ところが目的関数を形成するコスト係数は平常時使用管路を前提として固定的に用意されているので、例えば取水制限によって平常時使用管路を閉じたり、緊急時連絡管路を開いたりして異なるネットワーク形態で運用しなければならないとき、平常時向けコストだけでは対応が困難であり、コストを変更するとしても試行錯誤的にコストを設定していかなければならないことが課題となる。

そこで本論文では、平常時だけでなく緊急事態も含めた水運用計画を立案することを目的として、区間線形コスト関数を状況に応じて切り替えて最小費用流問題として水運用計画問題を定式化する動的コスト選択法を提案する。区間線形コスト関数で水系接続状態を表現することにより、コスト関数の切り替えによって水系を動的に変更することが可能となる。保守・更新に伴う管路や配水池の一時使用停止や取水制限に対応した適切な水系をコスト関数の切替えのみで定式化することで、従来のような試行錯誤ではなく、緊急時対策指針を活用しながらコスト設定を行なうことができる。

動的コスト選択法では、区間線形コスト関数を用いて、管路が閉状態、または使用不能であるときは、流量 0 でコストが最小となるように設定することで管路が閉まっていることを表現できる。管路の開閉に対して、水系の基本モデルを変更することなく、上記のようにコスト関数を動的に切り替えることで対応できることを利用する。これにより、緊急時対応策としての水系変更ノウハウをコスト関数の形で保持しておくことができる。緊急時も

含めて水運用計画を最小費用流問題に帰着することにより、水系変更ノウハウを反映した緊急時計画立案を迅速に行ない、オペレータの負担を軽減する。

以下、第 2 章では水運用計画問題を最小費用流問題として定式化して解く従来手法について述べる。第 3 章では、区間線形コスト関数を用いて管路の開閉状態を表現できることを示し、これを利用した動的コスト選択法を提案し、緊急時における定式化について議論する。第 4 章では、実在する都市の導送水系ネットワークにおいて水運用計画を立案し、オペレータによる実績運用、従来手法による計画、提案手法による計画を相互に比較し提案手法の有効性を示す。

2. 最小費用流問題と多段プライマル法

まず水運用計画における基礎方程式である質量保存の関係を定式化する。まず導送水系を、浄水場や配水池及び分岐点をノード、管路をアーク、配水池貯留量を時間層をまたがるアークとして表現する多層ネットワーク⁽⁴⁾を用いてモデル化する。多層ネットワークにおける貯留点数を n_H 、貯留点以外のノード数を n_L 、管路数を n_K とする。ノードに対するインデックスを i 、管路に対するインデックスを j とすると質量保存の関係から次式が成り立つ。

$$v_i(t) - v_i(t-1) = \sum_{j \in N_i^{IN}} x_j(t) + \sum_{j \in N_i^{OUT}} x_j(t) - d_i(t) \quad (1)$$

ただし $v_i(t)$ は時刻 t におけるノード i の貯水量 (分岐点では $v_i(t)=0$)、 $x_j(t)$ は時刻 t における管路 j の流量、 N_i^{IN} はノード i へ流入する管路インデックスの集合、 N_i^{OUT} はノード i から流出する管路インデックスの集合、 $d_i(t)$ は時刻 t でのノード i における需要量を表す。計画は 1 時間単位で決めるので、時刻 t は整数のみを考慮する。一般に貯留点のあるネットワークでは、時刻 t のノード i と時刻 $t+1$ のノード i を結ぶアークの流量として貯留量 $v_i(t)$ を表す多層ネットワークモデルを用いるのが一般的なので、流量も貯留量もアーク流量 $x(t)$ として以後表現する。

このときアークインデックスを 1 から n_H までを貯留池に、 n_H+1 から $m = n_H + n_K$ までを管路に割り当て直し、式 (1) を式 (2) のように書き改める。

$$A_1 x(t-1) + A_2 x(t) = b(t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、

$$x(t) = (x_1(t), \dots, x_{n_H+n_K}(t))^T \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$b(t) = (-d_1(t), \dots, -d_{n_H+n_L}(t))^T \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$A_1 = \begin{pmatrix} -I & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} I & A_H \\ 0 & A_K \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (6)$$

である。ここに I は n_H 次元単位行列、 A_H は $n_H \times n_L$ 行列、 A_K は $n_K \times n_L$ 行列、 0 は零行列を表す。さらに式 (2) を時刻 1 から T まで積み重ねた時、

$$A = \begin{pmatrix} A_2 & & 0 \\ A_1 & A_2 & \\ & \dots & \dots \\ 0 & & A_1 & A_2 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

$$x = (x(1), x(2), \dots, x(T))^T \dots\dots\dots (8)$$

$$b = (b(1) + x(0), b(2), \dots, b(T))^T \dots\dots\dots (9)$$

とおくと、

$$Ax = b \dots\dots\dots (10)$$

のように簡潔に流量保存の関係を表現できる。

このとき、各アークの流量 $x_i(t)$ に対してコスト係数 c_i を設定することによって、水運用計画問題は最小費用流問題

$$\begin{aligned} z &= \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m c_i x_i(t) \rightarrow \min. \\ \text{s.t. } Ax &= b \\ 1 &\leq x \leq u \end{aligned} \dots\dots\dots (11)$$

として定式化できる。ただし、 1 は運用下限値ベクトル、 u は運用上限値ベクトルを表す。

式 (11) の形に定式化されている線形計画問題は、基底分解法⁽³⁾を利用することにより、計算量を大幅に削減して高速に最適解を得ることができる。さらに、需要量 b 、コスト係数 c 、運用上下限値 $1, u$ の各値を整数値に限定することにより、ほとんどの演算を和差算のみで行なえる多段プライマル法⁽⁴⁾を適用してさらに高速に解くことができる。

3. 動的成本選択法による緊急時対応定式化

(3・1) 緊急時への対応 前章のモデリングにより、ある定まった水系と適当な需要量条件を与えることにより、水運用計画案を得ることができる。しかしながら実際には、渇水時の取水制限や、事故や工事による配水池・管路の使用停止の場合には、通常とは異なった地点から水を融通し、サービスが停止しないような運用案を検討することが重要になる。よって、緊急事態に対応して前提とするモデルを変更することが必要になる。

緊急時への対応として、水道事業体は各々独自に緊急時対策を検討し、マニュアル化しているところが多い。緊急時対応マニュアルでは、

$$\left. \begin{array}{l} \text{水源 } X \text{ 異常の場合：} \\ \cdot \text{ 水源 } Y \text{ の水を配水区域 } P \text{ に応援} \\ \cdot \text{ 配水池 } Z \text{ から配水池 } Q \text{ へ水を融通} \end{array} \right\} \dots (12)$$

のような形で、主として水系変更に関する対応策が記述

図 1 コスト関数の例

Fig. 1. An Example of Cost Function

されている。よって、この水系変更情報をモデリングに取り入れることによって、緊急時にも平常時と同様に運用案作成を支援したい。

そこで、コスト係数の変更だけで水系モデルを変更するアプローチを提案する。

(3・2) コスト関数による管路状態表現 まず区間線形コスト関数を用いて閉管路を表現できることを説明する。流量軸を複数区間に分割し、各管路流量に対するコストを図 1 のように区間線形関数として表しても多段プライマル法は適用可能である。変数 x_j に対する運用上下限値を l_j, u_j として、この間を $(h-1)$ 区間に分けた k 番目の区間を $[a_j^k, a_j^{k+1}]$ として表している。 $a_j^1 = l_j, a_j^h = u_j$ となり、区間 k におけるコスト係数を c_j^k とする。 $x_j < a_j^1$ におけるコスト係数 c_j^0 に対して、十分大きな数 (例えば $M = 10^8$) を用いて $c_j^0 = -M, x_j > a_j^{h+1}$ におけるコスト係数 c_j^{h+1} に対して $c_j^{h+1} = +M$ を設定 (図 1 参照) することで、運用上下限の外側では大きなコストとなる関数とできる。これにより、上下限制約は極力満足されるべき目標に変換される。制約条件が非常に厳しく実行可能な解が存在しない場合でも、「解なし」として最適化が終了することなく、可能な限り多くの条件を満足した計画値が提示され、運用計画の指針とすることができる。

上記の設定の下で多段プライマル法を実行する場合、非基底変数 x_j が $x_j = a_j^k$ のときは図 1 の区間 $(k-1)$ と区間 (k) の両区間に対して演算を行なう。多段プライマル法がベースとしている基底分解法⁽³⁾では、相対費用係数ベクトル λ の計算は、基底変数 x_B と時刻 t に対応する非基底変数 $x_N(t)$ に限定した問題に対して、

$$\lambda(t) = c_N(t) - (\pi^{t-1} N_{t,t-1} + \pi^t N_{t,t}) \dots\dots\dots (13)$$

を $t = 1, \dots, T$ に対して繰り返し解くことになる⁽³⁾⁽⁴⁾。ただし π^t は時刻 t に対応するシンプレックス乗数、 $N_{t,t-1}$ 、 $N_{t,t}$ は非基底行列 N

$$N = \begin{pmatrix} N_{1,1} & & 0 \\ N_{2,1} & N_{2,2} & \\ & \dots & \dots \\ 0 & & N_{T,T-1} & N_{T,T} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (14)$$

図2 コスト関数変更によるネットワーク変更
Fig. 2. Network with switchable cost functions

の部分小行列である。区間 $(k-1)$ では $x_j(t)$ は上限値なので、最適化判定基準は

$$\lambda_j^{k-1}(t) < 0 \quad (15)$$

で、区間 (k) では $x_j(t)$ は下限値なので、最適化判定基準は

$$\lambda_j^k(t) > 0 \quad (16)$$

となる。すべての要素 j に対して式 (15) と (16) が満たされていれば、時刻 t については最適化終了となる。

最適でない場合には、上記の条件を満たさない j と区間について

$$|\lambda_w(t)| = \max_j |\lambda_j(t)| \quad (17)$$

なる非基底変数 w を選択し、解の更新を行なう。

上記のようなコスト関数を $h=1, l_j=u_j=0$ と設定すると流量 x_j が 0 であることが運用制約であることを意味し、閉管路を表現できる。

〈3・3〉動的コスト選択法 本論文では、上記のようなコスト関数を利用して管路の開閉を表現する。基本となるネットワークは単一のものだけ用意し、コスト係数を動的に選択することによってネットワーク接続状態変更を行なう動的コスト選択法 (Dynamic Cost Selection Method) を提案する。

動的コスト選択法の考え方を図 2 に示す。基本となる水系ネットワーク構造 (基本モデル) は単一に用意しておく。ここでは存在する管路をすべて表現しておく。このうち、使用しない管路には閉管路コスト関数を割り当てることにより、CASE1、CASE2、…のように異なるネットワーク接続状態を派生させることができる。

同様に、条件 (12) のような緊急時マニュアル記載の水系接続変更戦略を活用して、対応するネットワークをコスト関数を用いて派生させる。緊急事態では、対応するコスト関数を動的に選択することによって、緊急時に対応したネットワーク接続状態において平常時に用いている手法をそのまま利用しながら、水運用計画を立案する (図 3)。

4. 計画立案結果および考察

〈4・1〉前提条件 本論文での提案手法を実在するある都市の水道に適用した結果を報告する。ここでは図 4

図3 動的コスト選択法による緊急時定式化
Fig. 3. Formulation by Dynamic Cost Selection Method in Emergency

図4 水運用計画立案対象水系
Fig. 4. Water Supply Networks for Planning

の導送水系ネットワークにおいて、Transmission Main から取水した水を Distribution Main のネットワーク内で配分する計画問題を考える。取水点数は 4 (図中 A, B, C, D)、配水池などの貯留点数は 11、分岐点数は 33、管路数は 64 とモデル化される。分岐点から各配水地区に需要に応じた水が供給される。実際の運用計画立案は、天候、気温、曜日等に基づく予測需要データを入力として立案されるが、本研究では代わりに実績需要データを入力として用いて検証を行なった。緊急時としては、取水点における施設事故や、上流の水量・水質異常対応を想定した取水不能のケースを考えた。

〈4・2〉取水制限シミュレーション 図 5 は、取水分岐点の一つである D 分岐から取水不能となった緊急時における、平常時には D 分岐から直接受水している配水池の水位変動の計画値を示したものである。運用計画の立案範囲は実際の利用状況を想定して、早朝から 24 時間分としている。図 5 では横軸を時間 (hour)、縦軸を該当配水池の水位 (cm) としている。計画立案時は初期水位を 355cm として行なった。平常時コストを用いて立案した計画は、13 時間を過ぎると運用下限値 (200cm) を下回る水位になってしまう結果となった。これは、平常時コストのままでは他の取水点からの水が融通されず、D 分

図5 取水制限時の計画立案結果

Fig. 5. An Example of Planning Results in case of One Intake Malfunction

岐からも取水ができないために水量が不足してしまうためである。一方、動的成本選択法では、D 分岐が取水不能であるときには、B 分岐から水を融通するための緊急時使用管路を開状態にするように設定してあるコストを選択して利用するので、B 分岐から水を融通する計画を最適化により見出している。このため、図5のように運用上下限内で水位変動がおさまリ、しかも最低水位が260cm 以上の安全性の高い計画の立案に成功している。予測需要量に基づいたシミュレーションと、リアルタイムの需要量に対する実際の運用は単純には比較できないが、参考のために実際の運用事例を観察すると、初期水位310cm から始まって運用上下限幅全域を使って水位が変動している。この理由として、予測需要量の精度があまり高くない状況を想定して、配水池水位の増減をもとに、

- IF 配水池水位 = 下限値 THEN 流入水量増加
- IF 配水池水位 = 上限値 THEN 流入水量減少

のような局所的な判断に基づいて、安全性を最重視して運用を行なった結果と考えられる。提案手法を用いることにより、時間変化も考慮した広域ネットワークでの最適化を行なうことができ、安全で効率のよい水運用計画案を提示しオペレータを支援できる見通しを得た。

〈4・3〉 ロバスト性のチェック コストは想定事故毎に用意することになるが、同じ想定事故でも実際には需要量が異なり、需要形態に適応した運用計画を立案することが必要となる。そこで提案手法の有効性を示すために、同一のコストで複数の需要形態に対応できることを以下に示す。ロバスト性を示すために、典型的平日の他に極端な場合として盆休日と大晦日の需要量データを用いて検証を行なう。盆休日や大晦日は特殊日と考えられており、典型的な平日とは需要パターンが大きく異なる。これらの需要量データに対して、盆休日向けコスト、大晦日向けコストを用意せずに、平常時コストだけを用いて計画立案を行なった。

結果を図6 と図7 に示す。図6 は注目した配水池の水

図6 需要パターンの相異による配水池水位計画値の相異

Fig. 6. Planned Reservoir Level Differences by Different Demand Patterns

図7 需要パターンの相異による配水池流入流量計画値の相異

Fig. 7. Planned Inflow Rate Differences by Different Demand Patterns

位変化を表し、図7 は配水池への流入水量の時間変化を表す。両図とも横軸は初期時刻からの経過時間 (単位は hour) を表し、縦軸は図6 では配水池水位 (単位は cm)、図7 では単位時間当たりの流量 (単位は $m^3/hour$) である。初期時刻は午前0 時としてあるので、横軸はそのまま時刻とみなせる。配水池の運用上限水位は480cm、運用下限水位は300cm と設定している。実験により

- 配水池水位を運用上下限の範囲で運用を行なう
- 配水池水位を早朝に満水位に回復する
- 配水池流入水量の時間変動が極力少なく、一定に平滑化されるようにする (流量平滑化手法は文献⁽⁴⁾ 参照)

といった運用指針をどの場合も満足する結果を得た。配水池流入流量が、盆休日の場合で5 時～7 時まで、大晦日の場合で6 時に一定値から変動する結果となったが、この時間帯は水位が運用上限水位に近く、流入水量平滑化よりも水位上限制約の方が優先されているためである。以上の実験結果より、コストは需要パターン毎に細かく設定しなくても、水系接続関係を重視して用意しておくことで実運用上妥当な解を得ることができるとみなせる。

〈4・4〉 事故時の不足水量 次に、1 日でどれくらい水量が不足するか、4 つの取水点がそれぞれ100%制限 (24 時間取水量0) した場合と、4 つの内2 つが100%制限した場合の5 つのケースに関して実験を行なった。単一のコスト (平常時コスト) のみで対処した場合と緊急時対応

表 2 緊急事態における不足水量の比較

Table 2. Comparison about the amount of water shortage in the emergent cases

No Water from	By normal cost [m ³]	By selected cost [m ³]	Saving Ratio
A	7200	0	100%
C	21600	0	100%
D	6015	0	100%
B	144000	56247	60.9%
B & C	166622	58902	64.6%

策を反映したコストで対処した場合の不足水量の比較結果を表 2 にまとめた。本システムでは解なしを回避するために配水池貯留量が負となることを許している。これらは水が不足してやむを得ず仮想的な水を使用していることを意味しているので、この負の量を水系全体で総和をとることによって全体でどのくらい不足水量が発生したかを計算することができる。平常時コストのみの場合に比べて削減できた不足水量の割合 (Saving Ratio:SR) を、

$$SR = 1 - \frac{\text{事例コスト使用時の不足水量}}{\text{平常時コスト使用時の不足水量}} \cdot (18)$$

と定義して計画立案結果を比較した。

実験から、適切なコストを用いることにより 60% 以上不足水量を削減する結果を得た。このような大幅な改善となった理由としては、コストによって水系システム変更の情報に付加したことが第一に挙げられ、緊急時対策におけるシステム変更の重要性についても示唆している。ただし、具体的にどのような水量とするかはシステム変更策だけでは決定することはできず、この点に関して本システムでは与えられた境界条件の下で最適化計算することにより柔軟に状況対応していることが確認された。

5. むすび

本論文では、最小費用流問題におけるコストを区間線形関数として表し、コスト関数によって閉管路を表現できることを利用した。緊急時における水融通戦略に基づいた水系変更情報をコスト関数によって表現することにより、同一のネットワーク接続行列に対して、複数の水系接続状態を表現する動的コスト選択法を提案した。事故箇所に応じて動的にコストを選択・適用することにより、状況に応じた運用案を立案できる見通しを得た。また、需要パターンが多少変動しても接続状態が同じであれば、同一のコストで実用上十分妥当な運用計画を立案できるものと結論付けた。本手法は、日間需要量 30 万トン以上の都市で現在実際に利用されている。

(平成11年 1 月20日受付、同11年 4 月 8 日再受付)

文 献

(1) 加藤博光, 栗栖宏充, 瀬古沢照治, 舘仁平, 三井芳郎: 「事例ベース緊急時広域水運用計画立案手法の開発」, 学会誌「EICA」第 1 巻, 第 1

号, pp.94-97 (1996)
(2) 志水清孝: 「システム最適化理論」, pp.392-397, コロナ社 (1976)
(3) T. Nishiya and M. Funabashi: "Basis factorization method for multistage linear programming problem with an application to optimal energy plant operation", *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-32-10, pp.851-857(1987)
(4) 栗栖宏充, 西谷卓史, 舘仁平, 安達弘: 「数理計画法とヒューリスティック法を組み合わせた動的配分計画技法の上水道運用計画問題への適用」, 計測自動制御学会論文集, Vol.30, No.2, pp.198-307 (1994)
(5) 大島信夫, 小須田徹夫: 「カオス需要予測を用いた配水池運用」, 学会誌「EICA」第 1 巻, 第 1 号, pp.82-85 (1996)
(6) 難波栄作: 「浄水場における送水計画システム」, 第 48 回全国水道研究発表会, pp.306-307 (1997)
(7) 関田安宏: 「配水池容量を活用した水運用システムに関する一考察」, 第 47 回全国水道研究発表会, pp.290-291 (1996)
(8) 茨木俊秀: 「組合せ最適化とスケジューリング問題: 新解法とその動向」, 計測と制御, Vol.34, No.5, pp.340-346 (1995)

加 藤 博 光 (非会員) 1994 年米国 Stanford University にて

M.S.(in Aero/Astro) 取得。1995 年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年 (株) 日立製作所に入社。現在, 同社システム開発研究所において, 上下水道の運用計画システム, 制御システムなどの研究に従事。情報処理学会, 計測自動制御学会の会員。

栗 栖 宏 充 (正員) 1988 年京都大学大学院工学系研究科修士

課程修了。同年 (株) 日立製作所に入社。現在, 同社システム開発研究所において, 上下水道の運用計画システム, 制御システムなどの研究に従事。IEEE, 計測自動制御学会の会員。

瀬古沢 照 治 (正員) 1979 年東北大学大学院工学研究科修士課

程修了。同年 (株) 日立製作所に入社。現在, 同社システム開発研究所において, 自動車エンジン制御システム, 上下水道/河川運用管理制御システム, プラント制御システム, 医療分析システムの研究開発に従事 (工学博士)。同所主任研究員。1995 年計測自動制御学会技術賞受賞。

舘 仁 平 (非会員) 1975 年金沢大学工学部電気工学科卒業。

同年 (株) 日立製作所入社, 同社大みか工場配属。現在に至る, 制御用計算機を用いた上下水道監視制御システムなどの設計に従事。電子情報通信学会の会員。