

## &lt; 研究発表 &gt;

## 水道広域化に対応する水運用最適化システム

Water Operation Scheduling System for Water Supply of Wide Area

○横川勝也<sup>1</sup>, 坂本義行<sup>1</sup>, 八重樫淳<sup>2</sup>, 川田行彦<sup>3</sup><sup>1</sup>(株)東芝 電力・産業システム技術開発センター 社会システム開発部\*<sup>2</sup>(株)東芝 社会システム事業部 公共システム第一技術部<sup>3</sup>(株)東芝 東北支社 東北制御システム技術部○Katsuya Yokokawa<sup>1</sup>, Yoshiyuki Sakamoto<sup>1</sup>, Jun Yaegashi<sup>2</sup>, Yukihiro Kawata<sup>3</sup><sup>1</sup>Social Systems R&D Department, Power and Industrial Research and Development Center, Toshiba Corporation<sup>2</sup>Electrical & Control Systems Engineering Dept.1 Public Faci, Infrastructure Systems Div., Toshiba Corporation<sup>3</sup>Tohoku Regio, Electrical & Control Systems Engineering Dept., Infrastructure Systems Div., Toshiba Corporation

## Abstract

上水道分野では、施設管理の統合化(広域化)が行われており、運用・管理する施設が増加しつつある。本稿では、こうした場合にも、需要家の浄水需要量に不足なく、かつ、安定的に浄水を供給する水運用を行うための支援システムについて述べる。これまでの方法では、対象が広域になると最適化すべき問題規模が増大し、演算時間が指数関数的に増大してしまうといった問題があった。そこで本稿では、水道広域化に対応する最適化アルゴリズムを用い、その適用方法を検討した。さらに、その有用性をシミュレーションによって確認したので、ここで報告する。

Key Words : 水道広域化, 遺伝的アルゴリズム, 可変長遺伝子

## 1 はじめに

上水道においては、上水普及率が平成13年3月末に96.5%を越え、建設の時代から維持・管理の時代へとシフトしている。また、水道事業体の多くは厳しい財政事情を理由に、できるだけ効率的な事業経営が求められるようになってきている。こうした中、事業体の事業経営としては、上水道施設の効率的な運用・管理が重要となっている。

さらに近年では、より効率的に施設を運用・管理するために、事業の効率化などの観点から水道の広域化が進められている。水道の広域化とは、簡易水道をはじめとする中小規模の水道事業体を統合するといった動きをいう。上水道施設の運転管理では、浄水の安定供給や安全な水処理を考慮した運用を行う必要がある。広域化に対

応する水運用では、各受水池での浄水需要量に不足なく浄水を供給すること、および、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。

これまでの水運用は、熟練した運転員の経験や計算機システムにより提示された支援情報(水運用計画)に基づいて行われている。水運用計画を導出する技術として筆者らは、水運用最適化システムを開発してきた。本システムによって水運用計画を導出する場合、各受水池の運用水位の上下限範囲などを制約条件とし、各受水池の受水流量平滑化、および、浄水場出側の送水流量平滑化を考慮する目的関数を定義する。一般に、制約条件の範囲内で、目的関数が最小あるいは最大となるような解を導出する問題を最適化問題と呼ぶ。水運用の最適化問題の場合は、浄水場から各受水池へ送水すべき流量を単位で離散的に定義すると、さらに整数計画問題として記述できる。整数計画問題を解くにあたって、その解候補の組合せ数は、問題規模に依存して指数関数的に増大

\*〒183-8511 府中市東芝町1  
TEL:042-333-2563 FAX:042-340-8060  
E-mail:katsuya.yokokawa@toshiba.co.jp

することが知られている．つまり，多数の施設の水運用計画を演算する場合は，各受水池の受水流量計画を表現するための変数が，施設数分必要となる（問題規模が大きくなる）．

従来まで，筆者らは，こうした水運用の整数計画問題の解法として遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を適用してきた<sup>1)</sup>．しかし，従来の GA (従来 GA) では，計画すべき受水流量を固定長の遺伝子で表現するため，最適化を行う対象である施設数が増大すると，必然的に多数の遺伝子が必要となる．同時に，ある時刻からある時刻まで受水流量が一定である解候補に対しても，すべての時刻に対する遺伝子を必要とし，遺伝子表現が冗長となっていた．したがって，その演算時間も遺伝子数に関連して増大するため，従来 GA では，運転員へのオンラインの支援情報として有効な時間内に演算できなくなる恐れがある．

このことから筆者らは，遺伝子長を可変とすることによって，演算時間の短縮を図った．つまり，各受水池受水流量を変更する時刻とその流量に着目し，最適化に必要な変数のみを遺伝子とする GA (改良 GA) を開発した．

本稿では，制約条件や目的関数を定義し，広域化に対応する水運用最適化問題の定式化を行う．また，改良 GA を提案し，その有用性をシミュレーションによって確認したので，その結果を報告する．

## 2 対象とするプロセスおよびシステム構成

改良 GA は，浄水池から複数受水池へと浄水を送水するプロセスにおいて，各受水池入側の受水流量を計画するための最適化技術である．

Fig.1 では，「水運用最適化システム」および「監視制御システム」から構成されるシステムの一例を示している．本技術が適用されるのは，「水運用最適化システム」の中で実施する「最適計画」である．この機能は図で示すように，各受水池の需要実績に基づいた「需要予測」からの値を入力として，各受水池受水流量計画や各受水池計画水位をオペレータに支援情報として出力する．

## 3 広域化に対応する水運用最適化問題とは

前節で述べたように，水運用最適化システムの主な技術は需要予測と最適計画である．需要予測の機能は，日々蓄積される各受水池の需要実績を逐次学習し，季節的变化に追従可能な予測モデルを構築して，1 日分単位

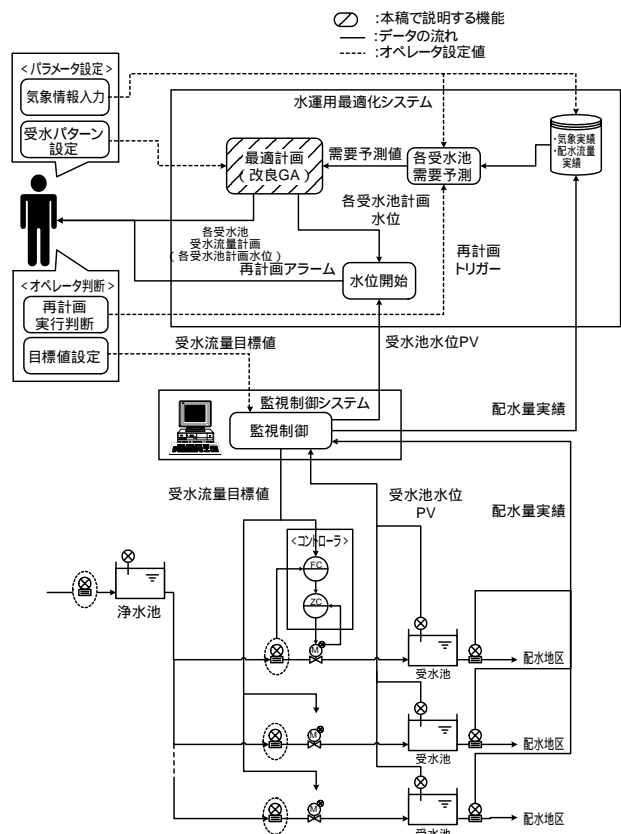
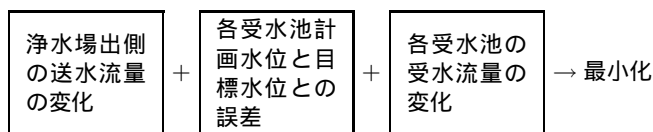


Fig.1 対象システム

の需要量の予測値を導出する．

最適計画の機能は，需要予測で得られた値に基づいて，水運用計画を導出する．水運用において，需要量に不足することなく浄水を安定供給するためには，浄水場から受水池への送水量を極力一定とすることが望まれる．特に広域化に対応する水運用の場合は，各受水池の受水流量平滑化や浄水場出側の送水流量平滑化，受水池容量（設備制約）などを考慮して，浄水供給を行うことが必要となる．例えば，各受水池の受水流量平滑化や浄水場出側の送水流量平滑化，各受水池計画水位と目標水位との誤差最小化を同時に考慮する場合，水運用計画最適化問題を次のように定義する．ここで目標水位とは，ある時刻における各受水池計画水位の目標値である．

### (1) 目的関数



(2) 制約条件

- 各受水池の運用水位上下限値を満たす
- 各受水池の受水流量変動が許容流量変動以下である

4 遺伝的アルゴリズム

4.1 コーディングについて

与えられた問題の特性を遺伝子に表現することをコーディングと呼ぶ。本稿で用いる可変長遺伝子の記号や名称を以下のように定義する。

遺伝子：受水流量計画値用遺伝子  $(T_{jt}, Q_{jt})$

$T_{jt}$ ：受水池  $j$  の流量を  $Q_{jt}$  に変更する時刻

$Q_{jt}$ ：時刻  $T_{jt}$  における受水池  $j$  の受水流量計画値

$t$ ：0, 1, ...,  $gl-1$   $gl$ ：遺伝子長

遺伝子列：ある1つの受水池  $j$  の受水流量計画

$(T_{j0}, Q_{j0}), (T_{j1}, Q_{j1}), \dots, (T_{jt}, Q_{jt})$

個体：N 受水池分の受水流量計画

初期設定流量：時刻0の受水流量

$$\left\{ \begin{array}{l} (T_{00}, Q_{00}), (T_{01}, Q_{01}), \dots, (T_{0t}, Q_{0t}) \\ \dots \\ (T_{N-10}, Q_{N-10}), (T_{N-11}, Q_{N-11}), \dots, (T_{N-1t}, Q_{N-1t}) \end{array} \right.$$

以上を図示すると Fig.2 のようになる。

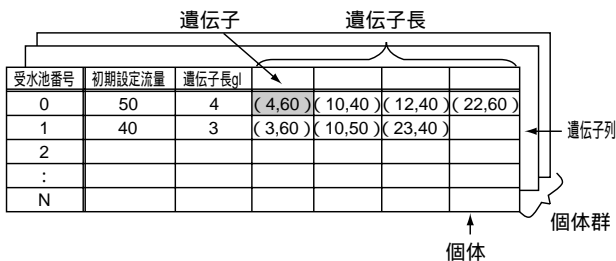


Fig.2 コーディング方法 (遺伝子型)

図中の1平面が個体を表し、その要素が1つの遺伝子を表す。例えば、Fig.2における受水池番号0の遺伝子列はFig.3の受水流量計画を表す。初期設定流量が50で

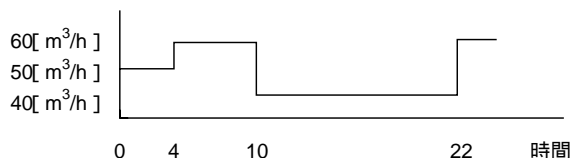


Fig.3 コーディング方法 (Fig.2の受水池番号0の例)

ある場合、時刻0から50 [m³/h] の計画で受水することを表し、遺伝子 (4,60) は、時刻4から60 [m³/h] の計画で受水することを示す。

4.2 遺伝的オペレーションについて

本稿で述べる改良GAは、淘汰、選択、交叉、突然変異といった4つの遺伝的オペレーションと、各個体の評価および、終了判定の繰り返しからなる。改良GAアルゴリズムフローをFig.4に示す。

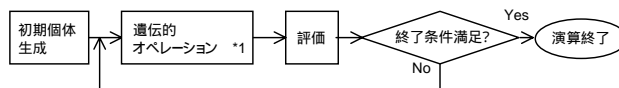


Fig.4 改良GAアルゴリズム

\*1：従来GAでは個体に対して遺伝的オペレーションを行うが、改良GAは遺伝子列に対して遺伝的オペレーションを行う。Fig.5に示す2次元配列が1個体であり、従来GAの1個体は1池の受水流量計画を表すが、改良GAの1個体はN池分の受水流量計画を表す。



Fig.5 改良GA(上)と従来GA(下)との比較

Fig.6に示すように、改良GAを適用することによって、浄水場出側の送水流量平滑化を考慮して、各受水池受水流量計画を演算することが可能となる。また、従来GAでは、1つの受水池のみの受水流量計画しか導出できないが、改良GAでは、対象とするすべての受水池受水流量計画を導出することができる。

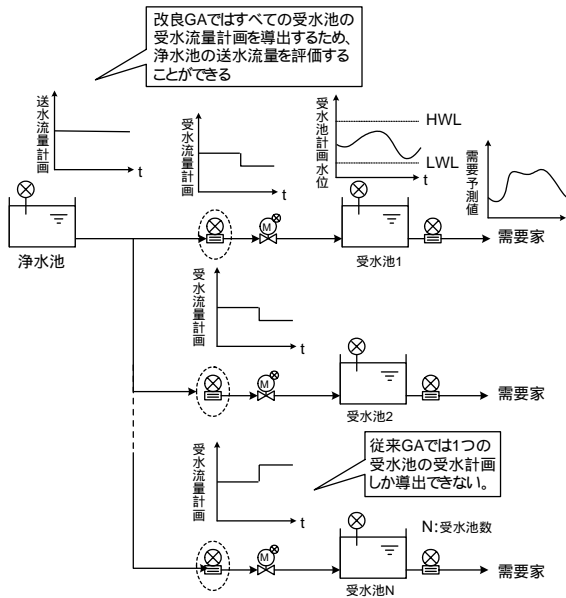


Fig.6 広域最適化の利点およびシミュレーション対象

### 5 シミュレーション

シミュレーションは、以下の2点を目的に行った。

1. 広域化に対応する水運用最適化問題の演算が、今回開発した改良GAを適用することによって、実行可能であることを確認する。
2. 広域化に対応する水運用最適化を考慮した目的関数を用いることによって、浄水池出側の送水流量平滑化といった水道広域化に対応する水運用最適化が可能となることを確認する。

なお、シミュレーションは、Fig.6に示す1浄水池から複数の受水池へ送水するプロセスを想定して行った。受水池数Nが13の場合のシミュレーションを行い、2日分の計画を導出する。浄水池と受水池1, 2, 3, 4の条件をTab.1に示す。

Tab.1 各受水池の容量

	浄水池	受水池			
		1	2	3	4
1日給水量 [m <sup>3</sup> /日]	32000	22320	800	560	560
池容量 [m <sup>3</sup> ]	8800	6000	920	1440	1440

なお、目標水位は、時刻24と時刻48の水位が初期水位と同じになるよう設定した。Fig.7~Fig.10に、浄水池および13の受水池を対象とした演算結果の内、浄水池および受水池1, 2, 3, 4の結果を示す。

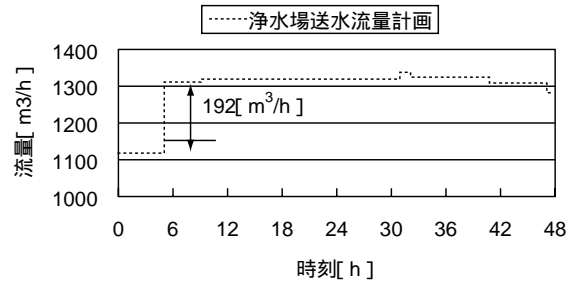


Fig.7 浄水池送水流量計画

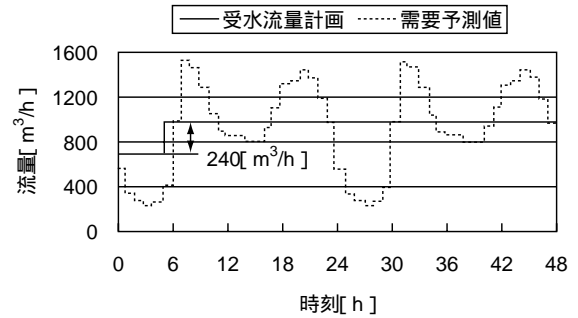


Fig.8 受水池1の受水流量計画

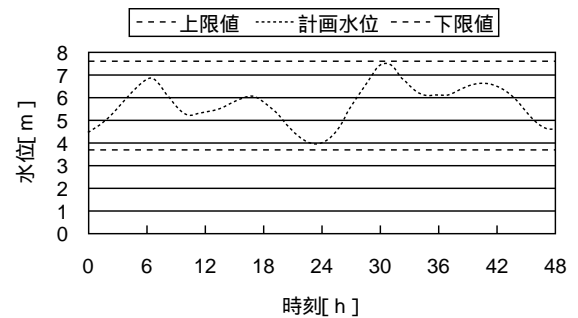


Fig.9 受水池1の受水池計画水位

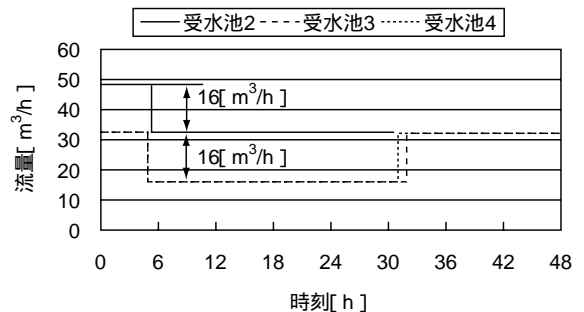


Fig.10 受水池(2, 3, 4)の受水流量計画

## 6 結果

今回開発した改良 GA は、演算対象受水池数が 13 の場合、2 分 58 秒 (CPU: PentiumIII500MHz) で実行することができた。また、本シミュレーションで設定した条件では、受水池 1 は他の受水池と比較して容量は大きい。1 日給水量も多い。そのため、Fig.9 からわかるように、受水池の運用上下限範囲最大に利用して、極力受水流量が平滑化するように計画をたてている。なお、受水池 1 の受水流量計画は Fig.8 に示すように、目標水位の影響から時刻 24 と時刻 48 に初期水位と同じ水位になるよう、時刻 5 に 720 [m<sup>3</sup>/h] から 960 [m<sup>3</sup>/h] へと 240 [m<sup>3</sup>/h] 増加する方向に変動している計画となっている。

また、他の受水池では、池の容量には余裕があるにもかかわらず、受水池 1 の 240 [m<sup>3</sup>/h] の流量変動が極力浄水池に影響しないように、同じ時刻に逆位相 (減少する方向) で受水流量を変動している。つまり、Fig.10 に示すように、受水池 2, 3, 4 の受水流量計画では、時刻 5 に受水流量を 16 [m<sup>3</sup>/h] 減少する計画となっている。それぞれ 16 [m<sup>3</sup>/h] 減少しているため、浄水池出側の送水流量変動は 192 [m<sup>3</sup>/h] となっている (Fig.7)。したがって、本稿で提案した改良 GA では、ある受水池の流量変動を緩和するよう考慮して、他の受水池の流量計画を導出できていることがわかる。

以上から、今回提案した改良 GA では、浄水池出側の

送水流量平滑化を考慮した各受水池の受水流量計画を、実時間内に導出可能であるといえる。なお、実時間とは、オペレータへのオンラインでの支援情報として十分な時間を示す。本稿では、監視制御システムからのデータ取得周期が 10 分であるシステムを想定しており、改良 GA の演算時間が 3 分以内であれば、オンライン情報として十分であると判断した。

## 7 まとめ

これまで取り上げてきたように、水道広域化に伴い、広域化に対応する水運用を考慮した浄水場の運用・管理が求められている。筆者らは、演算時間の短縮を目的に、可変長の遺伝子コーディングを組み込んだ GA を適用し、広域化に対応する水運用最適化システムを開発し、シミュレーションによって本技術の有用性を検討した。シミュレーションの結果、本技術は浄水池出側の送水流量平滑化を考慮した各受水池の受水流量計画を、実時間内で導出可能であることを確認した。

### [参考文献]

- 1) 坂本, 黒川, 他「GA による送水計画の近似的最適化手法」, 電気学会 D 部門論文誌, Vol.120-D, P.987-999, (2000)
- 2) 伊庭斉志, “遺伝的アルゴリズム”, 医学出版, (2002)