

合流式下水道における放流水質改善への対応

Improvement of Discharge Water Quality in Combined Sewer Systems

國見 正樹

KUNIMI Masaki

長岩 明弘

NAGAIWA Akihiro

松原 慎一郎

MATSUBARA Shinichiro

合流式下水道の放流水によると考えられる水環境の悪化が問題となっているなか、その有効な改善策である雨水貯留施設を的確かつ効率的に運用するためには、時々刻々と変化する降雨状況に応じて早期に計画を立てオペレータを支援するシステムが有効である。この貯留施設運用支援システムは、降雨情報、気象情報、及びそれらを活用した様々な予測技術を基にオペレータに支援情報を提供するものである。

Deterioration of the water environment has now become a problem, and it is thought that discharge water from combined sewer systems is a cause of this. The use of storage facilities is an effective solution to this problem. In such storage facilities, an operating system to schedule operations ahead of time according to the changing rainfall situation is highly effective. This operating system gives the operator support information based on rainfall information, other weather information, and some forecasting technologies.

1 まえがき

早い時期から下水道を普及させてきた都市では、生活排水や工場排水とともに雨水を同じ管渠(かんきょ)で流す合流式下水道が採用されてきた。この合流式下水道は現在まで、公衆衛生の向上と浸水防除の両面から社会に対し大きな役割を果たしてきたが、ここにきて、合流式下水道からの放流水の影響と思われる水環境の悪化が、社会的な問題としてクローズアップされてきた。これは、合流式下水道では雨水で薄められた汚水が公共水域に流出することにより、水環境が悪化する原因となっているものと考えられているからである。特に降雨の初期では、雨水により路上、屋根、管渠内などの堆積(たいせき)物が押し流され、それが雨水に混入し高汚濁負荷として流出する。

国土交通省でも、これらを最重要課題の一つととらえ、合流式下水道改善対策検討委員会を設置し、実態調査の結果を基に対策改善の目標や考え方の策定、及び対策案とそれに必要な技術開発などを推進している。

合流式雨水の放流水質改善には、分流化、遮集管渠の増加、雨水貯留施設の設置、夾雑物(きょうざつぶつ)除去施設の設置などの対策が存在する。このなかで雨水貯留施設の設置は、水質改善に対して非常に有効な方法であると考えられている。

また、これらのハードウェア的な対策と同時に、雨水貯留施設を降雨という不確定要素の多い自然現象に対し、的確かつ効率的に運用するための運用支援システムのような、ソ

フトウェア的な対策に対する期待も大きい。

2 合流式下水道の放流水質改善の考え方⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾

合流式下水道では、雨天時は汚水と雨水が混合し、管渠内を流れる。これらは下水処理場で高級処理されるか簡易処理され、その処理能力を越えるものに対しては未処理のまま河川に放流される。この未処理での放流分が水環境に悪影響をもたらす。

下水処理場に送られ簡易処理される分を遮集雨水という。また、遮集雨水に晴天時下水(生活排水+工場排水)を加えたものを遮集下水という。合流幹線の断面積は、この遮集下水に確率率に対応した雨水量を足し合わせた量の下水を流せる大きさとなっている。

雨天時、特に降雨時の初期では、高汚濁負荷が大量に流れ出る傾向がある。放流水質改善のためには、この初期の段階の遮集下水量を越えた分(越流水)は貯留施設に一時的に貯留して十分時間をおいた後、汚濁物質が沈殿したところで比較的きれいな上層部を河川に放流する方法が有効である。沈殿した汚濁物質は、返送水ポンプにより処理場に送られ処理される。

ここで、貯留施設は、時々刻々と変化する降雨状況に合わせて容量を十分に活用しながら、効率的に運用する必要がある。また、ゲートの動作時間は非常に長く、迅速な対応のためには、早めに運転を開始する必要がある。更に、貯留水の放流や返送も、沈殿が十分に進行した段階で処理場側の

状況を見ながら、計画的に行う必要がある。

そのためには、流入水量や流入水質、貯留水質に関する予測技術を活用した施設運用支援システムが有効である。

3 予測技術

3.1 予測技術の概要⁽⁷⁾

降雨予測によって雨域の接近が事前に把握できたり、流入量予測によって流入量の変化を把握できたりすることで、下水道施設運用における問題を軽減することができるようになるため、予測技術は、雨水貯留施設運用だけでなく、雨水対策を目的としたシステムでは極めて重要な技術と言える。予測技術は、これまでの技術的改良により精度の向上が図られており、これまでの支援情報から制御情報として適用できるレベルになりつつある。

予測は誤差を伴うものであるが、予測誤差が発生した場合の対応を事前に考慮しておけば、施設運用に対して有用な情報となる。これらの情報は既に導入における有効性が実証されつつあり、その次の段階として、その適用範囲をどのように広げるべきかを検討する時期になっている。

雨水貯留施設運用システムで必要となる予測技術を表1に示す。

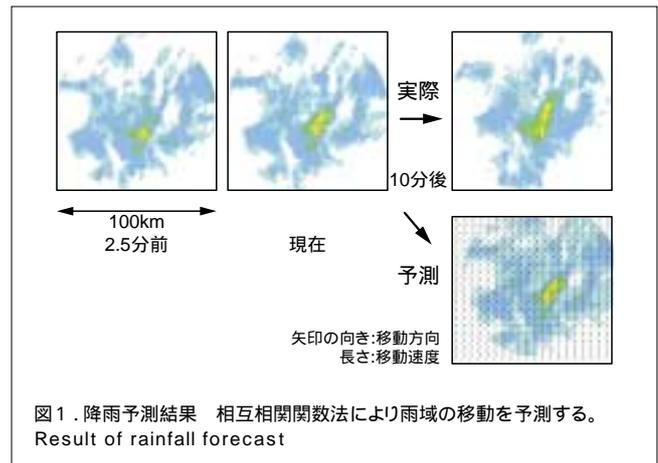
予測技術	概要	適用
降雨予測	レーダ雨量計(気象, 細密)による移動予測	浸水対策, 合流改善, 分流改善, ノンポイントソース対策
流入量予測	ポンプ場などへの雨水流入量予測	浸水対策, 合流改善, 分流改善, ノンポイントソース対策
流入水質予測	幹線における流入水質予測	合流改善, 分流改善, ノンポイントソース対策
貯留水質予測	貯留施設の水質変化予測	返送・河川排水計画

3.2 降雨予測⁽⁷⁾⁽⁸⁾

降雨予測の手法は、種々の手法が提案されている。下水道分野の雨水排水を目的としたリアルタイムの短時間予測が必要となるシステムに適している手法として、相互相関関数法、雨域追跡法、移流モデルを挙げることができる。降雨の変化は移動するだけでなく、雨域の大きさや強さも変化しているため、これらの要素や目標とする予測時間を考慮したうえで、上記の手法を適用していく必要がある。

ここでは、下水道施設運用への適用やレーダ雨量データの活用といった点を考慮して、相互相関関数法を用いてメッシュごとの移動ベクトルを算出して降雨予測をしている。

相互相関関数法による降雨予測結果例を図1に示す。



3.3 雨水流入量予測

流入量予測は、発生した降雨及び降雨予測に基づき、各施設に対する流入量を予測するものである。流入量予測では、リアルタイム性の確保と雨水流出過程の非線形性を考慮する必要があり、いくつかの手法の中から、解析対象となる流域の条件により拡張RRL(Road Research Laboratory)法とシステム同定法のいずれかを用いる。

- (1) 拡張RRL法⁽⁷⁾⁽⁹⁾ RRL法は、英国道路研究所が開発したもので、国土交通省土木研究所が日本向けに改良したものが修正RRL法である。修正RRL法は国土交通省土木研究所公認のモデルであり、日本で信用を得ているモデルである。拡張RRL法は、より詳細な降雨流出の解析を目的とし、一つの流域を複数の領域に分割した修正RRL法+流下モデルによる予測手法である。また、有効降雨(降った雨のうち、下水道管渠に流出する降雨の割合)を定める流出係数を降雨量積算値により変化させる流出係数モデルを導入することで、流入量予測の精度向上を図ることができる(図2)。

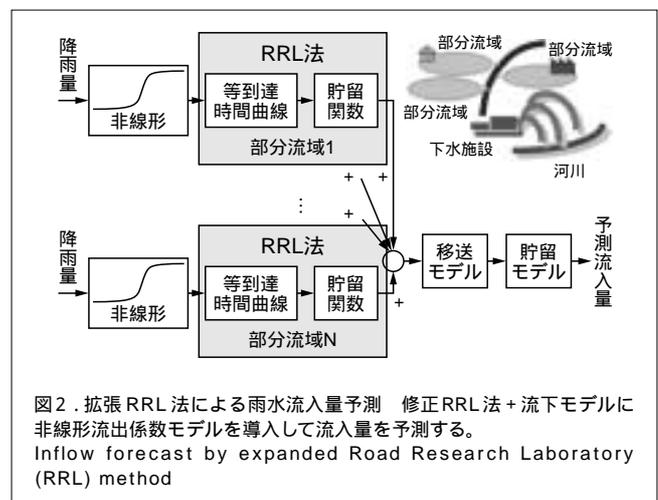
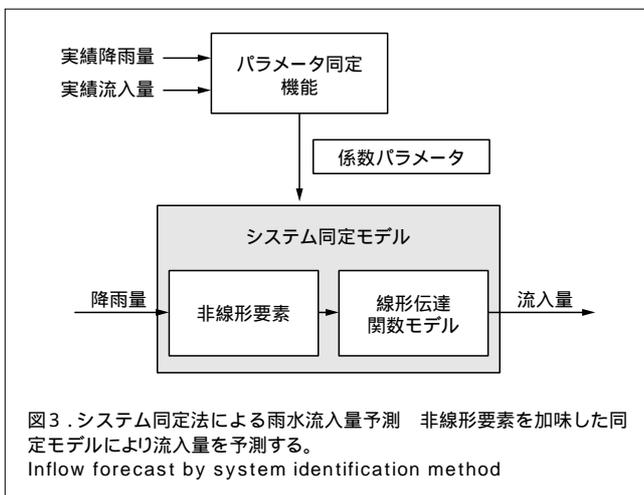


図2. 拡張RRL法による雨水流入量予測 修正RRL法+流下モデルに非線形流出係数モデルを導入して流入量を予測する。
Inflow forecast by expanded Road Research Laboratory (RRL) method

(2) システム同定モデル(非線形統計モデル)⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾

システム同定モデルでは、降雨が管渠へ流出した後、各施設へ流入するまで(又は、管渠へ流出するまで)の過程をブラックボックスとしてとらえる。そして、過去の降雨量データと流入量データを用いてモデルを構築し、構築したモデルに降雨量を入力することによって流入量予測を行うものである。システム同定モデルでは線形モデル(ARMAX: Auto Regressive Moving Average eXogenous, ARX: Auto Regressive eXogenous)が知られているが、拡張RRL法を用いた流入量予測システムの開発経験を生かして、有効降雨の非線形性に着目して非線形要素を加味した同定モデルを開発し、精度の向上を図ることができた。

システム同定モデルを用いた流入予測の概要を図3に示す。



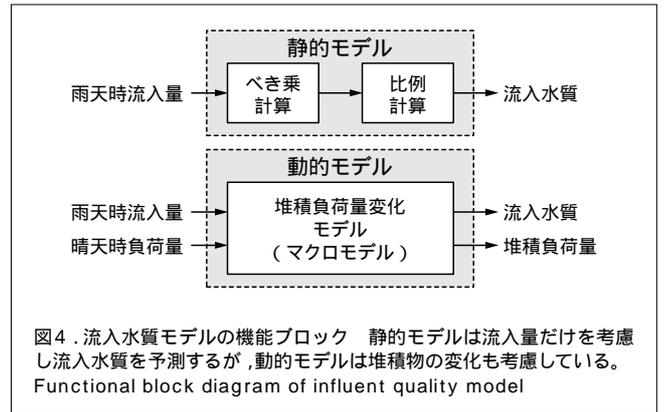
3.4 流入水質予測⁽⁶⁾⁽⁷⁾

合流式下水道の水質改善として、初期汚濁負荷(ファーストフラッシュ)の軽減が目目されている。

流入水質予測は、ポンプ場、雨水滞水池、雨水貯留管に流入する汚水中の水質を予測することにより、それらの施設の運転計画や制御に利用し、河川・海域などへの放流水や、処理場への返送水の水質向上に役だてることができる。

都市流出汚濁負荷、すなわち、雨水流入水質予測のモデルは、いくつかのモデルが提案されている。日本の都市では排水区域が小さいため、流域をマクロに取り扱う土木研究所モデルを適用する。また、流入水質予測では、堆積物の変化を考慮した動的モデルと、流入量だけの静的モデルがある。

流入水質モデルの機能ブロックを図4に示す。降雨時の貯留管への流入量と流入水質との相関を実データで解析し、静的・動的流入水質予測モデルを構築した。

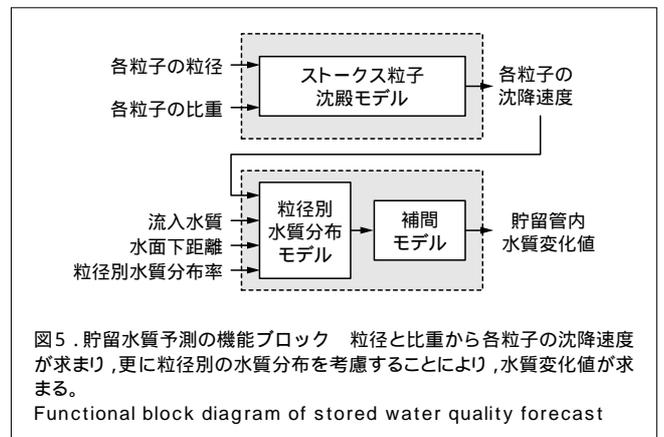


3.5 貯留水質予測⁽⁶⁾⁽⁷⁾

貯留水質予測では、貯留施設での沈殿による深さ方向の水質経時変化を予測し、河川排水及び処理場返送ポンプ運転計画のための情報を与える。

貯留施設内の貯留水は、静置状態であると想定して、ストークス粒子沈殿モデルを適用する。

貯留施設内の水質の変化は、図5に示す手順で求められる。まず貯留水に含まれる各粒子(汚濁物質)の沈降速度は、その粒径や比重からストークス粒子沈殿モデルにより得られる。これにより、流入汚濁物中の各粒子が粒径別に水質分布をもち、沈殿すると考えたモデルを用いる。



汚濁物質の沈降で濁度が低くなった上層部の水は河川へ放流し、沈降した汚濁物質は処理場へ返送して処理された後放流される。このシステムではモデルを用いてこの動きをシミュレーションできるので、計画的な河川放流や処理といった関連施設の運用ができる。

4 貯留施設運用システム⁽⁶⁾⁽⁷⁾

貯留施設としては、地上における建設用地の確保の困難さなどの制限から、地下に雨水の貯留管を埋設する方法が

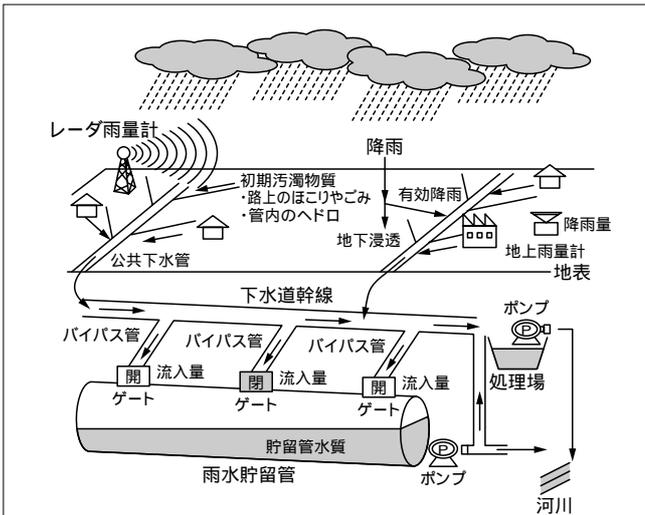


図6. 雨水貯留管施設の概要 地下に埋設された貯留管内に初期雨水を貯留し、汚濁物質を沈殿させる。
Outline of storage tunnel

増えてきている。雨水貯留施設の例として雨水貯留管施設の概要を図6に示す。

貯留施設の目的は、大雨時に流出雨水を貯留する量対策と、合流下水道の初期雨水を一時的に貯留して汚濁物質を沈殿させ、上層部の水は河川に放流し、沈殿物質は処理場に送って処理をする質対策とがある。

降雨開始時に合流式下水道幹線を流れてきた初期雨水のうち、処理場で高級処理及び簡易処理可能な雨水量(遮集下水)はそのまま幹線を流下し処理場に送られる。遮集下水量を越えた雨水(越流水)は通常、河川に放流されるが、この施設ではバイパス管とゲートを介して雨水貯留管に貯留される。貯留された雨水は一定時間経過し汚濁物質の沈殿が十分進行した後、沈殿物質はポンプで処理場に送り処理され、上層部の水はポンプで河川に放流される。

雨量情報や気象情報、並びに前述の各種予測技術を活用した貯留施設運用支援システムの機能概要を図7に示す。気象情報、レーダ雨量計情報、地上雨量計情報、管渠内水位計情報は、それぞれの情報管理機能により履歴として蓄積されるとともに各予測機能に入力される。予測機能により予測された雨水流入量、流入水質、貯留水質の各予測結果を基にして、処理場のポンプ井水位、流入渠水位、ポンプ運転状況を参照しながら、初期雨水発生時における貯留開始のためのゲート開閉計画や、貯留水放出時の放流ポンプ及び返流水ポンプの運転計画を支援情報として出力する。オペレーターにはこの支援情報のほか、施設の運転状況や各予測結果、水質シミュレーション結果、履歴データなどが提供される。

雨水貯留施設運用システムの全体構成例を図8に示す。

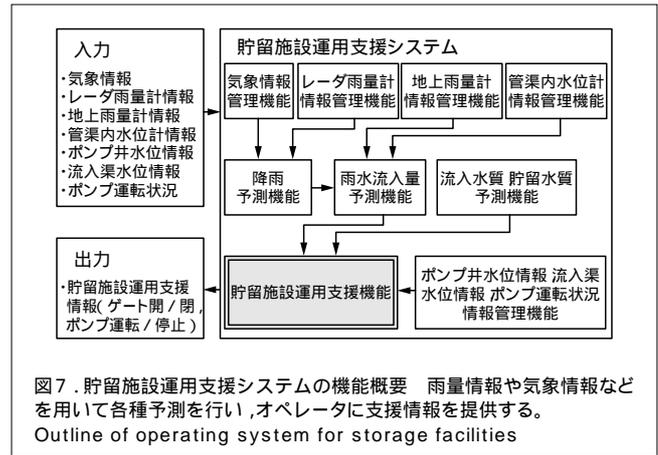


図7. 貯留施設運用支援システムの機能概要 雨量情報や気象情報などを用いて各種予測を行い、オペレータに支援情報を提供する。
Outline of operating system for storage facilities

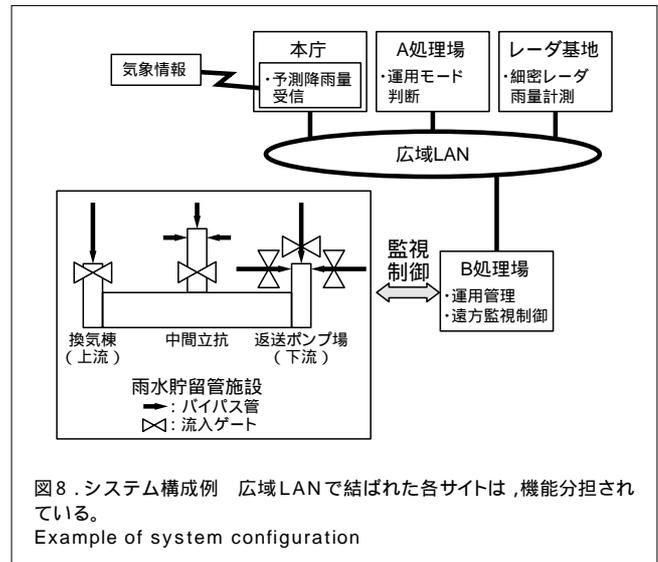


図8. システム構成例 広域LANで結ばれた各サイトは、機能分担されている。
Example of system configuration

このシステムでは各サイトに機能分担されている。ここで、A処理場では、初期雨水流入時に質対策+量対策を行うAモードと、大雨時に量対策だけ行うBモードの決定を判断する。また、B処理場では、雨水貯留施設の実際の運用管理や遠方監視を行う。このA及びB処理場をはじめとして、各サイトは広域LAN(光ネットワーク)で結ばれており、効率的な情報伝送がなされるとともに、将来の機能拡張に対しても十分対応できる構成となっている。

5 貯留施設運用支援システムによる合流改善

これまで述べたように合流式下水道の放流水質改善には、貯留施設により降雨初期段階の高汚濁負荷の越流水をいったん貯留し、汚濁物質を沈殿させてから沈殿部分を処理場に返送して処理し、上澄み部分を河川に放流する方法が有効である。しかし、通常では、降雨開始時にこれから合流幹線を通して流入してくる汚水の量と水質を把握することは極めて困難である。例えば、前述の貯留管を運用するオペレ

ータが、降雨開始時にゲートをいつどれだけ開け、どれだけ水を貯留すればよいかを即時に判断するには、非常に熟練した技術が必要である。また、今後降雨が継続しないと判断して、貯留水の沈殿状況を把握しながら適切な時期に貯留水を処理場に返送したり、又は河川に放流するのは同様に難しい判断を必要とする。更に、ゲートは開・閉動作時間が非常に長いため、早め早めの判断と操作が必要になる。

貯留施設運用支援システムでは、気象情報、レーダ雨量情報、地上雨量計情報、管渠内水位計情報を基にして降雨予測と雨水流入量予測を行っているが、更に流入水質の予測を行うことにより、降雨時の初期段階のもっとも高汚濁の負荷が流入する時期を予測し、ゲートの開・閉をオペレータに支援情報として提供することができる。また、同時に貯留水質の予測により、今後の降雨状況と処理場の運転状況を見ながら、適切な貯留水の処理場への返送、又は河川への放流のためのポンプ運転・停止をオペレータに支援情報として提供することができる。

貯留施設は、刻々と変化する降雨状況のなかで、初期の雨水の質と量を把握したうえでの適切な運用が必要となる。貯留施設運用支援システムは、降雨情報や各種の予測技術などの活用により、的確かつ効率的な施設運用を実現するオペレータ支援システムである。

6 あとがき

合流式下水道の放流水質改善を目的とした貯留施設において、これらを的確かつ効率的に運用するには、降雨、雨水流入量、水質などの予測技術の活用が有効である。

ここでは、降雨情報、気象情報や各種の予測技術などを基にして、貯留施設を実際に運用するオペレータをリアルタイムに支援するシステムについて述べた。ただし、このシステムはまだ開発途上であるとともに、合流改善の問題以外にも雨水対策に関してはいろいろと解決すべき問題がある。そのような問題に対し、これまでも様々な技術を提供し、同時に技術を蓄積してきたが、これからも更に顧客の声に耳を傾け、より有効なシステムを開発していく。

文 献

- (1) 国土交通省地域・整備局・合流式下水道改善対策検討委員会(第4回)資料3-2COD、窒素・磷削減効果.2002,p.1-3.
- (2) 国土交通省地域・整備局・合流式下水道改善対策検討委員会(第4回)資料3-3,モデル都市における改善対策シミュレーション.2002,p.1-11.
- (3) 国土交通省地域・整備局・合流式下水道改善対策検討委員会(第4回)資料3-2,合流式下水道の改善対策に関する基本的な考え方(案).2002,p.1-10.
- (4) 国土交通省地域・整備局・新たな下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)参考資料,合流式下水道改善対策に必要な技術開発.2002,p.1-5.
- (5) 小田川國男,ほか.“静置効果を考慮した雨水滞水池の運転手法について”.第28回下水道研究発表会講演集.2000,p.803-805.
- (6) 堤 正彦,ほか.雨水貯留施設の運用支援・制御技術の開発.環境システム計測制御学会(EICA).5,2,2000.p.13-18.
- (7) 長岩明弘,ほか.“雨水対策における監視・制御・支援システム”.第26回公共システム研究発表会講演集.2000,p.3-1-3-24.
- (8) 上西範久,ほか.細密レーダ雨量計による降雨移動予測技術.環境システム計測制御学会(EICA).1,1,1996,p.118-120.
- (9) 山田富美夫,ほか.降雨流出解析法下水道雨水ポンプ制御支援システムの実用化.電気学会論文誌D.119-D,2,1999,p.168-174.
- (10) 山中 理,ほか.Hammerstein型非線形モデルを用いたシステム同定手法による下水道雨水流入量予測.電気学会論文誌D.120-D,4,2000,p.566-573.



國見 正樹 KUNIMI Masaki

社会インフラシステム社 社会・産業システム事業部 公共システム技術第二部主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。

Public & Industrial Systems Div.



長岩 明弘 NAGAIWA Akihiro

電力システム社 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主務。公共システムの制御の研究・開発に従事。電気学会、計測自動制御学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



松原 慎一郎 MATSUBARA Shinichiro

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 応用ソフトウェア開発担当。公共システムの設計・開発に従事。

Fuchu Operations-Social Infrastructure Systems