

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009年度～2010年度

課題番号：21710190

研究課題名（和文） 目標による管理に基づく水道事業者の災害対応業務の確立

研究課題名（英文） Establishment of Emergency Response in Water Sector based on Management by Objectives

研究代表者

平山 修久 (HIRAYAMA NAGAHISA)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00399619

研究成果の概要（和文）：本申請研究では、地震発生直後の限られた情報しか得られない情報空白期に着目し、災害初動時における水道事業者の対応方針・目標を明確にした災害対応業務を確立することを目的としている。これらの目標を達成するため、水道管路被害件数予測モデル、応急復旧数値シミュレーション、目標に管理に基づく災害対応業務のモデル化を行った。その上で、目標による管理に基づく配水管網の応急復旧業務の具体的なプランニングプロセスならびに、求められる組織論的機能を示しえた。

研究成果の概要（英文）：In this study, a procedure for making water supply utilities' objective in emergency restoration was developed. As a result, it was shown that it is significant that water supply utilities would carry out disaster response including management by objective. In addition, it was indicated that emergency response of water supply utilities based on a management by objectives is required to ensure the public safety and security.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：ライフライン防災、上水道工学

1. 研究開始当初の背景

我が国の水道事業者においては、水道事業者の責務として、水道の需要者に対する情報の提供について定められている。しかしながら、現在水道事業者により進められている情報公開については、災害などの緊急時に備えてどんな対策をとっているのか、復旧するときにはどのような方策をとるのか、危機に対

してどんな訓練をしているかなど具体的な防災対策や復旧対策が欠けている、などの傾向や特徴がみられる。一方、災害時の水道事業者による情報提供には、正しい情報に基づいて、自己の置かれている状況を把握でき、かつ、自らの意志でリスクを選択することが可能となるような情報を提供していくことが重要であるとしている（平山ら、2006）。しかしながら、災害

時の水道事業者による情報提供には、施設の被害状況、断水世帯数、応急給水箇所、週単位での復旧見通し、あるいは復旧完了地区名を情報提供していることが多くみられる。2007年新潟県中越沖地震では、柏崎刈羽地域の通水復旧状況に関して、新潟県が地図情報を活用した通水エリア情報の提供がなされている（新潟県庁、2007）。

また、上水道工学分野においても、災害時の情報提供に関する検討はさまざまな研究者によってなされてきている（西本ら、2007）。しかしながら、これまでの研究においては施設被害状況や復旧状況に焦点を当てているものが多く、実際、被害状況や復旧状況のみで、対応方針や目標が欠如した情報提供のみでは、被災地の住民の適切な判断と行動を助け、水道施設の被災による地震リスクを低減する、あるいは、ライフラインとして住民に安全・安心を供与することは困難であるといえよう。これまでのところ、災害対応における水道事業者の対応方針や目標に焦点を当てている調査研究はほとんどなされておらず、實際上、新しい手法の開発が求められている。

以上の社会情勢と学術的背景を勘案したとき、情報空白期においても水道事業者の応急復旧目標が設定可能な手法の確立、ならびに目標による管理に基づく対応方針・目標を明確にした水道事業者の災害対応業務の構築が必要であるとの認識に至った。

2. 研究の目的

本申請研究では、地震発生直後の限られた情報しか得られない情報空白期に着目し、災害初動時における水道事業者の対応方針・目標を明確にした災害対応業務を確立することを目的とする。すなわち、発災直後の情報空白期においても、精度の高い、かつ実務的に使いやすい上水道の応急復旧目標の設定手法を導出し、そのうえで、1995年阪神・淡路大震災、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震やICS（Incident Command System）Protocolsにより災害対応を行っていたハリケーン・カトリーナ災害における水道事業者の災害初動時における災害対応業務分析より目標による管理に基づく水道事業者の災害対応について検討する。

3. 研究の方法

本申請研究は、水道施設に被害が生じた地震災害での水道事業者の水道施設被害データ、応急復旧日数、応急復旧作業に関するデ

ータを用いて、統計学的解析ならびに数値モデルによるシミュレーション解析を行い、災害発生直後の情報空白期における水道事業者の応急復旧目標設定手法を導出するものである。また、1995年阪神・淡路大震災、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震という水道施設に大きな被害が生じた地震災害、ならびにCOP（Common Operational Pictures）において対応方針・目標を示した災害対応がなされた（近藤ら、2006）ハリケーン・カトリーナ災害におけるニューオリンズ市上下水道局を対象として、目標という視点から水道事業者における災害対応に関するヒアリング調査を行い、目標からみた水道事業者の災害対応における課題を抽出する。これらの検討をふまえて、目標による管理に基づく水道事業者の災害対応業務について検討する。なお、本研究では、災害として地震災害を対象とし、また、災害対応の時間フェーズとして、災害発生直後の限られた情報しか入手できない情報空白期を対象とする。

4. 研究成果

(1) 東南海・南海地震時における水道管路被害件数予測

本研究では、あくまでも目標による管理による東南海・南海地震時の水道事業者の応急復旧対応に関する検討を目的としていることから、ここでは東南海・南海地震時の水道管路被害推定結果の精度向上について取り扱わない。したがって、災害初動時においても応急復旧目標を設定することが可能となる水道管路被害件数推定手法を用いる。水道施設として配水管路をとりあげ、水道事業者の給水区域を算定単位として、水道統計データ、簡易水道統計データの管種別管路延長と既往地震災害における管種別管路被害率とを用いて水道管路被害件数を推定するものとした。なお、管種として、水道統計データの施設の概要の管種別延長において区分されている、鋳鉄管(CIP)、耐震型継手を有するダクタイル鋳鉄管(DIP with mechanical joint)、ダクタイル鋳鉄管(DIP)、鋼管(SP)、石綿セメント管(ACP)、硬質塩化ビニル管(VP)を取り上げる。

ここでは、平成19年度水道統計データ、平成19年度簡易水道統計データより、事業者別に管種別延長を集計し、被害程度係数として東南海・南海地震の震度分布1)より、事業者の給水面積に占める震度6弱以上の面積割合を算出し、式(1)より東南海・南海地震時における水道管路被害件数を推定した。図-1に推定結果を示す。これより、東南海・南海地震時には、233事業者が被災し、被災地域全体での管路被害件数は15,001件～

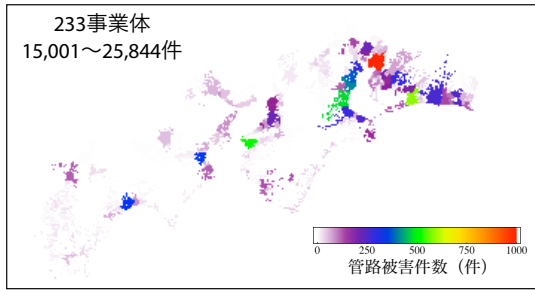


図-1 東南海・南海地震時の事業体別の水道管路被害件数

25,844件と推定された。
 (2) 東南海・南海地震時における応急復旧期間の推定

ここでは、応急復旧目標としての応急復旧期間を、水道管路被害件数、被災水道事業体職員数、目標外部復旧応援人数、応急復旧作業の歩掛りを用いて算出する。

その結果、外部応援なしでは、被災事業体の平均応急復旧目標期間は、208日～516日と推定された。

(3) スーパー広域災害時の水道事業体の応急復旧対応

本研究では、外部復旧応援に対するマネジメントの視点からスーパー広域災害時の水

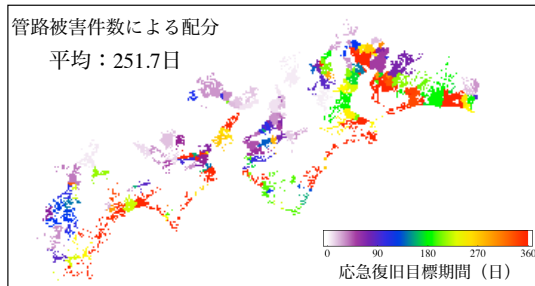
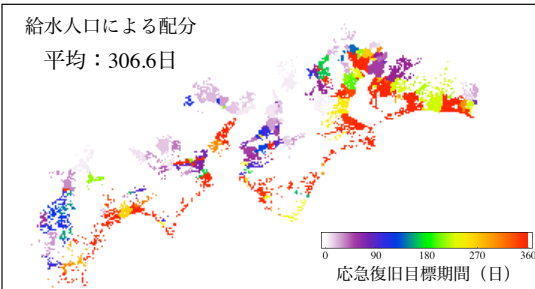
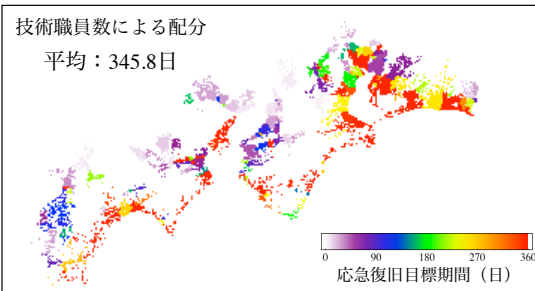


図-2 外部復旧応援マネジメントからみた応急復旧目標期間

道事業体の応急復旧対応のあり方について検討する。つまり、目標外部復旧応援に対するマネジメントを、(1)技術職員数、(2)給水人口、(3)管路被害件数、により被災事業体に配分するとし、外部復旧応援管理と応急復旧目標との関連について検討する。図-2に阪神・淡路大震災での外部復旧応援人数 1320人/日が確保できた場合の応急復旧目標期間を示す。また、図-3に阪神・淡路大震災の2倍の外部復旧応援人数が確保できた場合の応急復旧目標期間別の事業体数を示す。これより、管路被害件数という被害程度に基づく外部復旧応援マネジメントにより応急復旧目標期間を小さくすることができる。一方、30日以内の応急復旧目標期間の事業体の割合が小さくなっていることから、被害程度に基づく管理により応急復旧目標の事業体間格差を小さくしうるといえる。

図-4に断水人口の積分値として算出した機会損失(人・日)と応急復旧目標との散布図を示す。これより、東南海・南海地震時において、応急復旧期間4週間以内を達成するためには、被災事業体以外の全国の事業体の技術職員約21,500人を、管路被害件数等の被害規模に基づき業務管理することが必要といえよう。また、外部復旧応援人数を確保できるほど、応急復旧目標期間ならびに機会損失を低減することができるが、どの程度低減しうるのであるのかについては、外部復旧応援に対する業務管理に依存しており、東南海・南海

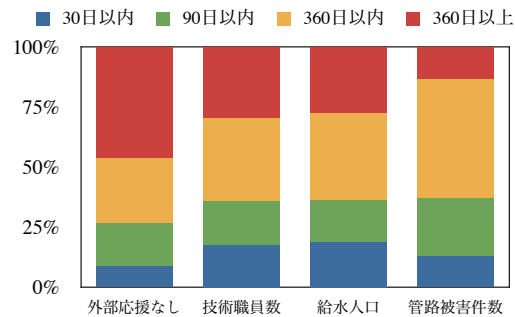


図-3 目標外部復旧応援2640名/日を確保した場合の応急復旧目標期間別の事業体割合

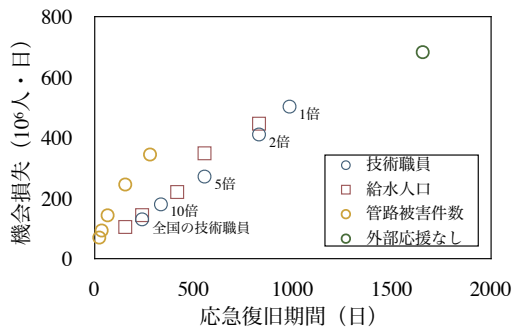


図-4 応急復旧目標期間と機会損失量

地震時の需要者の震災リスク低減に向けた外部復旧応援に対するマネジメントを構築することが重要であるといえよう。

(4) 地域メッシュ別の応急復旧目標の設定

これまでに目標による管理に基づく災害対応による応急復旧目標の設定手法に関する検討はなされてきている。ここでは、水道施設として配水管路をとりあげ、地域メッシュ別に東南海・南海地震時の応急復旧目標としての応急復旧期間を検討する。

まず、地域メッシュ別の管種別管路延長を、水道統計データ、国勢調査地域メッシュ統計を用いて推定する。水道統計データの現在給水人口、現在給水世帯数、現在給水面積、配水本管延長、配水支管延長に対して、配水本管延長と配水支管延長を合計した配水管延長を従属変数、現在給水人口、現在給水世帯数を独立変数とし、現在給水人口を現在給水面積で除した現在給水人口密度でのケース分けによる重回帰分析を行った。その結果、次式(1)に示す重回帰モデル ($R^2 = 0.951$) が得られた。

$$L = \begin{cases} 3.640 \text{ pop} - 2.778 \text{ household} & (Dp \geq 1400) \\ 11.969 \text{ pop} - 14.513 \text{ household} & (Dp < 1400) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 L は配水管延長 (m)、 pop は現在給水人口 (人)、 $household$ は現在給水世帯数 (世帯)、 Dp は現在給水人口密度 (人/km²) である。本モデルにより、平成 17 年国勢調査地域メッシュ統計の地域メッシュ別総人口、世帯数を用いて、地域メッシュ別の配水管延長を推定した。図-5 に推定した地域メッシュ別の配水管延長を示す。この配水管延長を市町村コードにより集計し、平成 20 年水道統計における配水管延長との相関係数を算出したところ、 $R = 0.733$ であった。

次に、平成 20 年度水道統計管種別延長より水道事業体別の管種別管路延長割合を算出し、給水区域内の地域メッシュにおいては管種別管路延長割合が一定とみなし、算出した地域メッシュ別配水管延長に管種別管路延長割合を乗じることで地域メッシュ別の管種別管路延長割合を算出した。

内閣府の中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」で示されている東南海・南海地震時の地域メッシュ別の推定計測震度を用いて、配水管路被害曲線より、標準管種別被害率を災害初動時における水道管路被害予測で用いられている管種別の配水管路被害率として、地域メッシュ別の配水管路被害件数をモンテカルロ法による数値解析により算出した。平成 20 年度水道統計管種別延長を用いて算出した東南海・南海地震時の配水管路被害は、354 水道事業体で 21,471.4 件 ($N = 1,000$) と算出され、図-6 に平成 20 年度水道統計を用いた東南海・南海地震による地域メッシュ別配水管路被害件数を示す。

推定した配水管路被害件数、水道事業体職員数、外部復旧応援人数、応急復旧歩掛りを用いて、地域メッシュ別に応急復旧目標を算出する。具体的には、水道事業体別の平均応急復旧目標が最小となりうる配水管被害件数により外部復旧応援を配分するものとして、モンテカルロ法での数値解析 ($N = 100$) により算定した。その結果、平成 20 年度水道統計を用いた最大外部復旧応援が阪神・淡路大震災の 5 倍程度となる 7,000 名のケースで、応急復旧目標は 80.1 日となり、その結果の一例として、図-7 に地域メッシュ別の目標応急復旧期間を示す。

(5) 地域メッシュ別の機会損失の推定
本研究では、応急給水タンク車、応急給水拠点による応急給水シミュレーションモデルを構築し、応急給水量を算出する。本稿では、応急給水タンク車による応急給水モデルでは、全国の水道事業体が保有しているタン

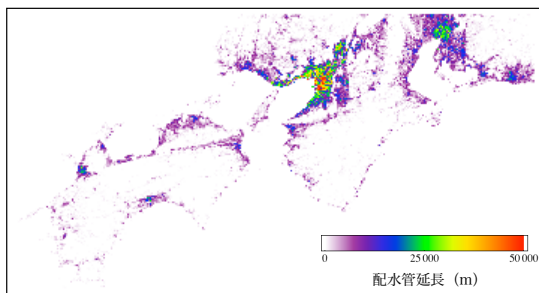


図-5 地域メッシュ別配水管延長推定結果

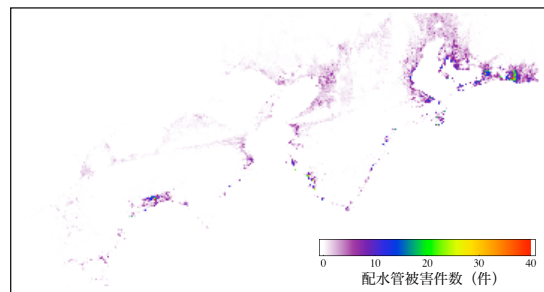


図-6 平成 20 年度水道統計による地域メッシュ別配水管路被害件数

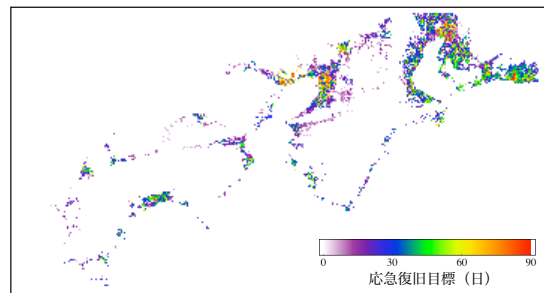


図-7 平成 20 年度水道統計による地域メッシュ目標応急復旧期間

ク車 984 台が、1 日 3 回、地域メッシュ別の通水率が 100%でない任意の未通水地域メッシュに対して応急給水を実施するものとした。また、応急給水拠点による応急給水は、2km 四方に 1 箇所、1km 四方に 1 箇所の 2 ケースで応急給水を実施するものとした。これにより、未通水地域における 1 日 1 人当たりの応急給水量を算出した。需要者が配水管路被害により被ることとなるリスクである機会損失量を、250L/(人・日) から応急給水量を減算することにより算出した。

(6) 震災対策によるリスク低減効果の評価
ここでは、管路耐震化として平成 13 年度、平成 20 年度における水道統計管種延長データ、応急給水拠点整備として応急給水拠点の整備状況による応急復旧目標ならびに機会損失量の推移について検討する。その結果、応急復旧目標においては、平成 13 年度水道統計では 84.7 日、平成 20 年度水道統計では 80.1 日と算出された。つまり、平成 13 年度から平成 20 年度での水道事業体における管路耐震化事業により、応急復旧目標が 4.6 日短縮することができているといえる。図-8 に機会損失量の推移を示す。これより、管路耐震化、応急給水拠点整備が、市民が応急復旧期間において配水管路被害により得ることができなかった水量である機会損失量を低減することができているといえた。

(7) 目標による管理に基づく水道事業体の災害対応

以上のことから、スーパー広域災害においては被災事業体の応急復旧目標や需要者の機会損失をどの程度低減するのかという目標や対応方針に基づいて、外部復旧応援という人的資源を管理していくことが不可欠である。このような体制を構築するためには、目標による管理に基づく災害対応等の状況認識の統一のためのシステムや人材育成を事前に構築しておくことが重要であるといえよう。

図-9 に配水管網の応急復旧に対する目標による管理に基づく水道事業体の災害対応を示す。また、このような災害対応を運用するためには、目標設定や対応計画の承認を行

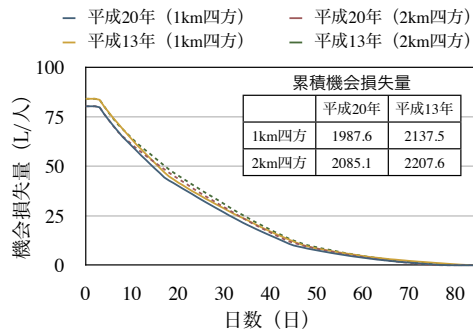


図-8 期間損失量の推移

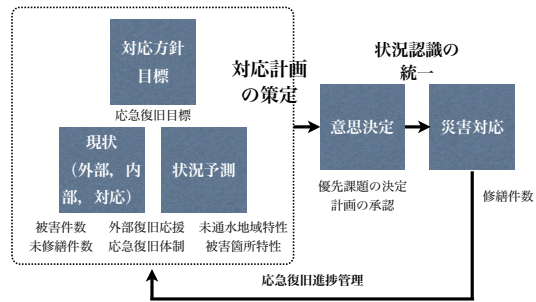


図-9 目標による管理に基づく応急復旧に係る災害対応

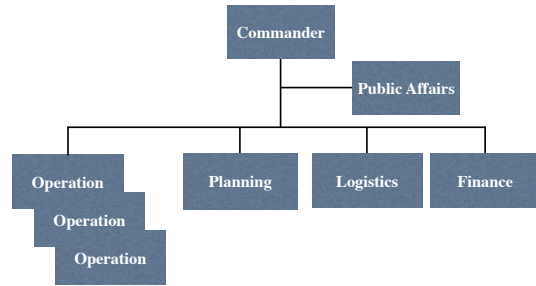


図-10 目標による管理に基づく災害対応に求められる組織体系

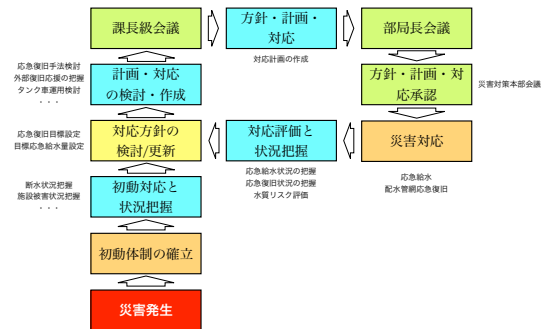


図-11 水道事業体における災害対応 (Plan P System)

う意思決定者 (本部長)、実際上の応急復旧作業を実施する作業部隊だけではなく、幕僚機能が必要となる。つまり、情報を収集し、現状分析や状況予測を行い、工学技術の観点から災害対応業務目標の作成を行う計画部門 (Planning)、人員、給水タンク車、復旧資材、工事車両、応急給水や応急復旧活動に必要な人、物資の運用や管理を行う資材部門 (Logistics)、災害対応に係る必要経費や災害査定など、経営的な管理から資金管理を行う経理部門 (Finance)、さらには、対応方針や目標、それらを達成するための対応、今後の状況予測、復旧状況などの進捗状況を市民に対して広報する広報部門 (Public Affairs) が効果的に機能するために組織体系が必要となる。図-10 に災害時の組織体系を示す。さらに、図-11 に示す災害対応サイクル (Plan P System) により、課長級会議、部局長会議、災害対策本部会議等の会議の運用を通して、

災害対応業務に係る人員の状況認識の統一を図るとともに、計画、実施、進捗管理、改善のサイクルを運用することが必要となる。これらにより、被害状況、対応状況や状況予測を考慮した上で、対応方針のひとつとしての応急復旧日数による応急復旧目標を設定し、その目標を達成するための応急復旧手法や外部応援要請等の対応計画を策定し、水道事業者での災害対策本部会議等の意思決定者により決定された優先課題に基づいて計画を承認、応急復旧作業を実施することができる。

(8) まとめ

本研究では、限られた被害情報しか入手することができない災害初動の情報空白期においても水道事業者の応急復旧目標を設定する手法を構築した。そのうえで、目標による管理に着目して、対応方針のひとつとしての応急復旧日数による目標に基づき外部応援を考慮した応急復旧体制を構築する等の災害対応が可能となることを示しえた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Nagahisa Hirayama, Sadahiko Itoh, and Hitomi Nakajima: Evaluation of Watershed Water Quality Risk Reduction after Earthquake Disasters, *Risk Analysis VII*, WIT Transactions on Information and Communication Technologies, Vol. 43, pp. 681-692, 2010. (査読あり)

2. Nagahisa Hirayama, Sadahiko Itoh and Yoshiaki Kawata: Effectiveness of Emergency Response in Water Sector Based on Management by Objectives, 1st International Conference on Water & Society, 2011 (in print). (査読あり)

[学会発表] (計 4 件)

1. Nagahisa Hirayama, Sadahiko Itoh, and Yoshiaki Kawata: Emergency Response for Water Supply Utilities Based on Management by Objectives after Earthquake Disaster, *Proceedings of IWA World Water Congress*, 2010.9.20, Montreal, CANADA, 2010.

2. 平山修久, 伊藤禎彦, 河田恵昭: スーパー広域災害時における水道事業者の応急復旧対応, 第 61 回全国水道研究発表会講演集, pp. 560-561, 2010.5.20, 新潟市, 2010.

3. Nagahisa Hirayama, Sadahiko Itoh,

Yoshiaki Kawata: Emergency Response for Water Supply Utilities Including Resource Management after Earthquakes, *1st Annual Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management (IDRiM 2010)*, Vienna, 1-4 September, p. 22, 2010.9.2, Vienna, 2010.

4. 平山修久, 伊藤禎彦, 河田恵昭: 目標による管理に基づく災害対応からみた地震対策のリスク低減効果, 第 62 回全国水道研究発表会, pp. 674-675, 2011.5.19, 大阪市, 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平山 修久 (HIRAYAMA NAGAHISA)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 00399619