

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 1 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282114

研究課題名(和文) 流域治水を実現する分散型市民多目的ダムの構築

研究課題名(英文) Developemnet of Distributed Multi-purpose civil Dam for Flood Control of the Basin

研究代表者

森山 聡之(Toshiyuki, MORIYAMA)

福岡工業大学・社会環境学部・教授

研究者番号：50136537

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：分散型多目的市民ダムをスマート化し、水資源確保と洪水制御を行う雨水グリッドとするために、(1)降雨量測定装置としての雨水タンクの検証を行い、雨量計としては利用可能なものの、雨水タンクが砕石充填方式の場合は圧力センサーを水位計として使用しない方が良いことを示した。(2)防災クラウドによる雨水の見える化として、センサーノードとゲートウェイの安定化を計った。(3)豪雨発生診断をSOMを用いて行ったが、予測精度はあまり高くないことが判明した。セキュリティ向上として、OpenVPNを用い暗号化となりすまし防止を行った。(4)無線回線の安定化を図るためにLoRaWANを検証、良好な結果を得た。

研究成果の概要(英文)：In order to make the distributed multipurpose civil dam smart and make it a rainwater grid for securing water resources and flood control as follows:

(1) the rainwater tank as the rainfall measuring device is verified and it can be used as a rain gauge but rainwater It was shown that it is better not to use pressure sensor as water level gauge when tank is crushed stuffing system. (2) As visualization of rainwater by the disaster prevention cloud, stabilization of sensor nodes and gateways were made. (3) The heavy rainfall diagnosis was performed using SOM, but the prediction accuracy was not so high. As a security improvement, we attempted a method such as using OpenVPN. (4) We verified LoRaWAN in order to stabilize the radio communication and got good results.

研究分野：防災情報学，社会水文学

キーワード：雨水タンク 分散型多目的市民ダム センサーネットワーク LoRaWAN 雨水グリッド 都市の水循環  
都市洪水の抑止 大規模震災時の水問題

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 短時間局所豪雨の脅威と水リスク：都市化の進展により、豪雨時にはピーク流出時間が10分程度に速くなり、その量も2～3倍に増えている。(図3)さらに地球温暖化により豪雨および渇水の発生リスクが上昇すると考えられている。渇水リスクについても、気象庁の地域気象モデルRCM20の予測の結果から冬季降水量の減少する地域が見られ、冬季や春先の融雪流出の減少等により、渇水リスクが高まることが予想される。さらに我が国は、地震の多い地域に位置しており、特に近年大規模な被害を発生させる地震が頻発している。しかし現在の我が国の水循環システムは、地震災害に起因する水リスクに対しても極めて脆弱である。これに対し、我が国政府あるいは地方公共団体の財政状況は逼迫しており、大規模なダムや雨水貯留施設を整備する事は年々困難になっている。これらに代わる技術は未だに開発されていないが、水資源確保および水循環復元の観点から、雨水タンクや雨水浸透施設が実用化されている。

(2) 高解像度レーダの問題点：2013年7月の筑後川水系花月川の豪雨及び2013年7月の豪雨における国土交通省河川局が配備したXバンドMPレーダ(以下XRRAIN)の観測で顕著な電波減衰が見られ、洪水や土砂災害予測に必要な定量性を確保していない場合が存在する。

(3) 流域治水の問題点：平成21年7月23日に樋井川流域で都市型水害が生じた。樋井川流域治水市民会議(以下、市民会議)を結成し、福岡市及び福岡県に対し流域治水を行う各種提言を行った。福岡県では樋井川を含む2級河川の管理に関する河川基本整備計画(マスタープラン、以下MP)を策定し、従来河道のみで処理してきた方式を改め、10%を流域でも貯留する事(流域治水)を決定した。また建築学会も住宅100㎡あたり6トンの水を貯留するよう推奨をはじめた。しかし雨水タンク等をMPの流域貯留に算入するためには確実に貯留できる事が必要である。流域住民に200リットルおよび1000リットル型タンク106基を洪水防止目的で無料配布したところ、事前放流を行う配布条件にも関わらず29%の住民しか豪雨前の事前放流を行っていないことが判明した。そこでMPの条件に対応する自動放流を行う技術開発が必要であり、そのため雨水グリッドの開発と検証を挑戦的萌芽研究で自動放流の検証実験を行った。

## 2. 研究の目的

あらゆる所に雨を蓄える流域治水を実現する分散型の市民多目的ダムを構築し、将来はスマートグリッドやスマートシティへの展開をはかるために研究代表者らが開発してきたスマート雨水タンクを用いて、雨水グリッドを都市河川である樋井川流域に実際に構築、以下の事項を実証する。

(1) 都市型水害を低減するため、豪雨の発生診断等各種予測により貯留雨水の事前放流を行う。

(2) 雨水タンクによる水資源の確保および水循環の回復とその見える化を行う。

(3) 雨水タンクの流入量から、降水量を高精度でかつ空間的に高解像度で測定し、都市における洪水予測への活用を行う。

## 3. 研究の方法

雨水グリッドによる市民多目的ダムを実証するために以下の事項を推進する。

(1) 流域に設置されている数トンクラスの雨水タンクをスマート化し、ゲートウェイを介してインターネット経由で防災クラウドへ接続可能とする。防災クラウドを構築し、センサーからの水位および流量情報等を受信蓄積し、スマートフォン(以下スマホ)、タブレット、スマートTVで貯留量と降水量を表示する見える化システムを構築する。

(2) 同ダムがリアルタイム雨量計として利用できないか検証する。

(3) 防災クラウド上に、気象庁GPVデータを用い豪雨の発生診断をおこなうとともに、豪雨が発生すると診断した場合は、スマート雨水タンクの事前放流をどの程度の割合で実行可能かシミュレーションを行う。また洪水テロを防止するためセキュリティの向上をはかる。

(4) 安定したデータの送受信を行うためLoRaWANを採用する。

## 4. 研究成果

(1) 降雨量測定装置としての雨水タンクの検証

雨水タンクの雨量計としてのデータ検証は、荻浦ガーデンサーブ(以下荻浦)に設置した110tタンクで行った。タンクへの流入雨量は圧力センサーを介したタンクの水位から求め、降水量は現地に設置した雨量計から算定した。その結果、通常の雨では流出率90%程度になったが、強い雨では大量の雨が流入した際に、雨水タンク内に碎石が充填されているため、空気の逃げ場がなくなり水圧が異常に上昇する現象が発生した(図1)。これにより、雨水タンクは雨量計として利用可能であるものの、

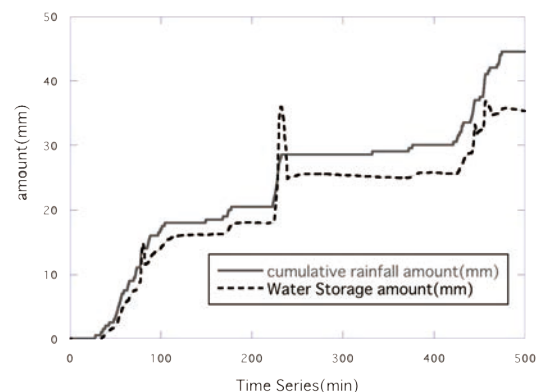


図1 荻浦における降雨の累加曲線と水位の関係

碎石充填型のタンクで圧力センサーを水位センサーとして利用した場合は問題が生じることが明らかになった（引用文献①）。

## (2) 防災クラウドによる雨水の見える化

①前述の荻浦では、センサーからデータを収集し、メッシュネットワークを介して送るセンサーノードとして Arduino Mega 2560 を用いていた。ゲートウェイからの一定時間の請求によりセンサーノードのデータを返す方式にしたため、センサーノードを休ませることが出来ずに将来センサーノードを商用電源のない位置に設置する場合に大掛かりなソーラパネルやバッテリーが必要となることが予想された。そこで、センサーノードには、リアルタイムクロックとディープスリープに対応した Arduino UNO R3 互換機である Seeeduino Stalker V3.0（図2）を採用した。この内蔵 RTC により、

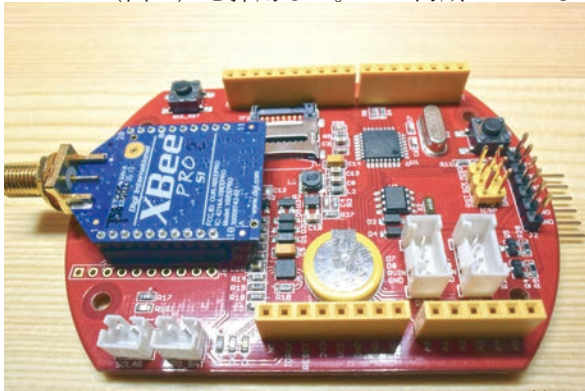


図2 Seeeduino Stalker V3.0 に XBee Pro を付設

一定時間ごとにディープスリープから起き上がってデータをゲートウェイに送信し、消費電力を提言することが可能になった。しかしメッシュネットワークを構成している場合は、無線モジュール XBee はスリープさせるとネットワークの再構築が発生するため XBee をスリープさせないと、消費電力はあまり削減されないこともわかった（引用文献②）。

②荻浦では 2.4GHz のメッシュネットワークを構築したが、結構頻繁に切断されることがわかり、また、メッシュネットワークを構築してもカバーエリアが思ったように伸びず、通常の庭で 25m 程度をカバーするのが精一杯であった。また、データ収集の時間間隔をあげると、接続時にネットワーク再構築の時間がかかることが判明した（引用文献③）。そこで、メッシュネットワークは必要最小限のプロードキャスト方式とし、データ専用の 3G/LTE 回線用の SORACOM Air SIM を用いて、インターネットにアクセスすることにした。荻浦ではゲートウェイに Android Tablet を用いていたが、今後はこの 3G/LTE SIM を 3G ドングルに挿入し、Android Tablet の代わりに RaspBerry Pi 2 Model B を用いて、インターネットにアクセスし、防災クラウドに接続するようになった（図3）。

これによりゲートウェイから 3G/LTE, WiFi 及び Ethernet で防災クラウドにアクセス可能となった、

③今度は Stalker V3 が不安定になり、福大のあまみず科学



図3 Raspberry Pi 2 Model B に UPS Pico と 3G ドングルを付設したゲートウェイ

センターに設置した Stalker では、RTC ではなく外部タイマーで 10 分ごとに起動している。これはその次に設置したためにわいせいセンターや森山邸ではワッチドッグタイマー (WDT) を用いて Stalker が停止した場合は強制的にリセットをかけることで対処している（図4）。

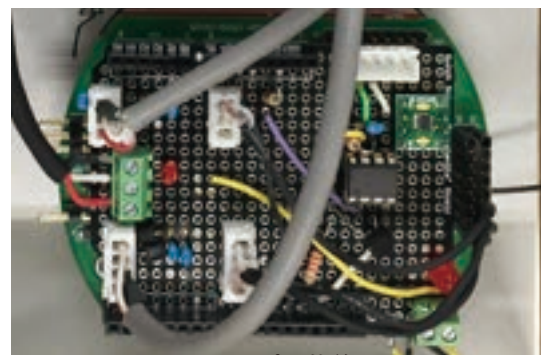


図4 WDT チップを装着した Stalker

④表示装置は当初、ゲートウェイと顕教する予定で SmartTV を採用する予定であったが、セキュリティが強固で使いづらい面があったため、別途 RaspBerry Pi を端末とし、HDMI ディスプレイを表示装置とした。もちろん PC だけでなく、iOS や Android 端末でも表示可能である。表示は当初は AWS 上の EC2 で CakePHP を動作させ、JavaScript で表示していた（図4）が、現在水位の時系列データは ElasticSearch と Kibana を用いて表示するようにしている（図5）。



図4 荻浦ゲートウェイの表示例



図5 Kibana によるあまみず科学センターのあまみずタンクの水位表示

(3) 豪雨発生診断とセキュリティー向上

①自己組織化マップを用いた豪雨診断は従来から開発していた。これはオンライン GPV データに含まれる高層気象の気圧と風向・風速のパターンと降雨量の関係をあらかじめ求めており、このデータをベースに豪雨診断を行っていた。この豪雨診断プログラムは FORTRAN 言語で記述されていた。これをクラウドで利用するために Java 言語に移植を行った。このプログラムを、クラウドの Amazon Lambda で、気象支援センターから ftp で GPV データが到着するたびに、豪雨の発生診断を行えるようにした。また 2014 年 8 月のデータを用いて、豪雨診断の検証を行った (図 6)。30mm/hour の雨が中北部九州で降る確率を算定し、それが 10% 以上であった場合の結果から、CSI 等を算定した。その結果、CSI=0.20, 見逃し率 36.8%, 空振り率 6.1% であった。これは一見精度が低いようであるが、実質 4 時間先の予測としてはそう悪くない結果である。(引用文献④)。

②セキュリティーに関しては、センサーノードからゲートウェイまでは通信経路を XBee の機能により暗号化している。ゲートウェイから防災クラウドまでの通信経路は Ethernet/WiFi/3G のいずれでも可能であるが、その上のレイヤーで OpenVPN で暗号化している。OpenVPN により、防災クラウド上の OpenVPN サーバもゲートウェイ上の OpenVPN クライアントもなりすまはしは不可能である。全体の構成図を図 7 に示す。

(4) LoRaWAN の採用

2.4GHz の無線回線の不安定さは定量的なデータはないが年々酷くなるばかりであり新たな IoT 用の仕組みが必要になっている。このため 最終段階で急遽 IoT 用のネットワー

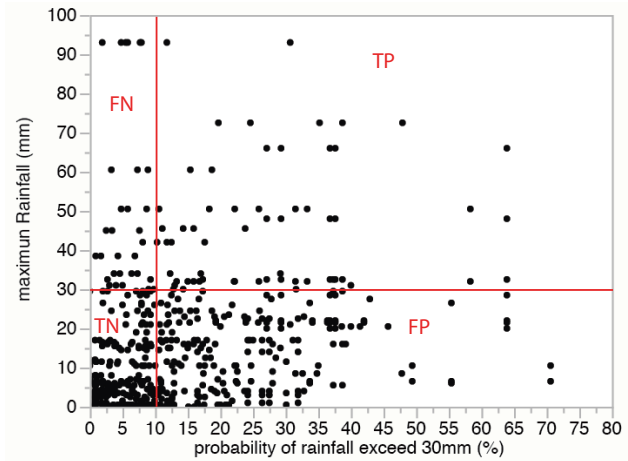


図 6 7 時間先に北部九州で 30mm を超える確率とその時の AMeDas による最大時間降雨量 (2014 年 8 月) <sup>3)</sup>  
 TP : 30mm を超えると予測して超えた場合  
 FP : 30mm を超えると予測して超えなかった場合  
 FN : 30mm を超えないと予測して超えた場合  
 TN : 30mm を超えないと予測して超えなかった場合

クである LoRaWAN を用いた検証実験を行い良好な結果を得ているため、このシステムに順次切り替えを行う。

<引用文献>

- ① OBSERVATION OF HEAVY RAINFALL USING SMART RAINWATER TANKS, TOSHYUKI MORIYAMA, SHINOBU IZUMI, KATSUHIRO MORISHITA, Proc. of 2015 Congress of IAHR, 2015
- ② 森山聡之、森下功啓、和泉信生、西山浩司、スマート雨水ハウスについて～ 雨水グリッドによる流出抑制 ～、信学技報、vol. 116, no. 22, 2016 pp. 63-67、査読無

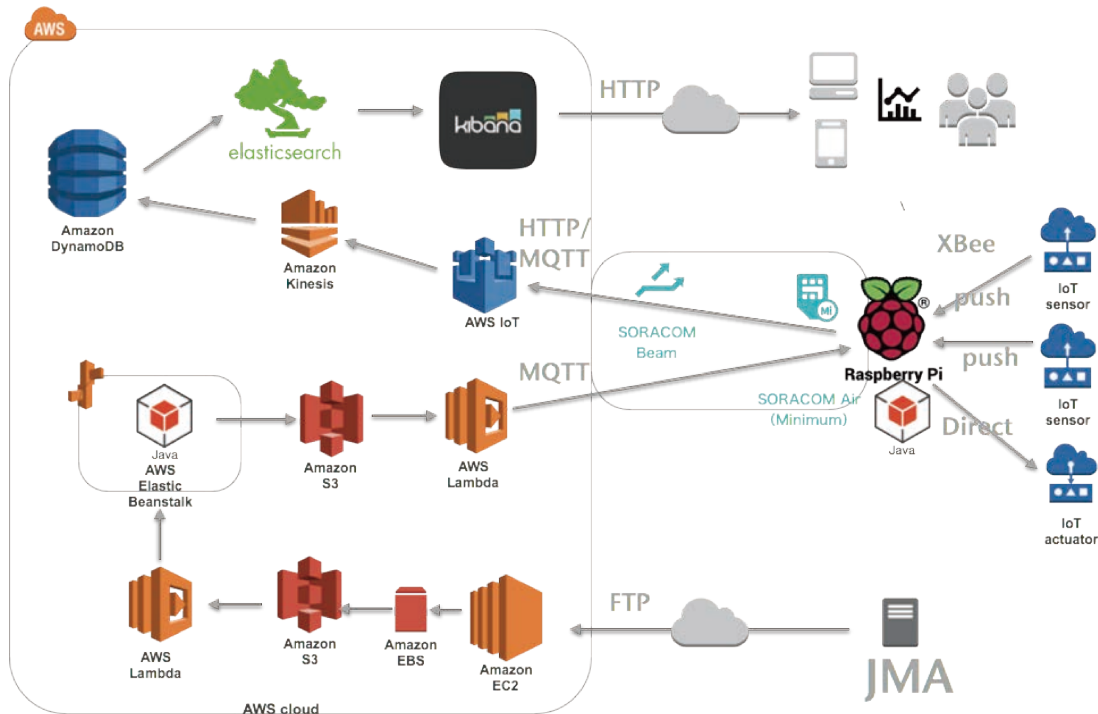


図 7 システム全体のブロックダイアグラム

- ③森山聡之、森下功啓、和泉信生、西山浩司、スマート雨水タンクの実装状況について、電子通信情報学会第6回安全・安心な生活のための情報通信システム研究会論文集、2014、pp31-35、査読無
- ④ Toshiyuki Moriyama, Katsuhiko Morishita, Shinobu Izumi, Koji Nishiyama, Shigeki Hirose、Development of Smart Rainwater Tank for Civil Dam, Proc. of HydroInformatic Conf. 2016, 2016, 電子版、査読無

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 16 件)

- ①森山聡之、和泉信生、森下功啓、西山浩司、震災時の断水にも有効な雨水グリッドの開発ースマート雨水タンクによる貯水量の見える化ー、信学技報 Vol 116 No 250, pp.23-24, 2016、査読無
- ②西山 浩司、森山 聡之、和泉 信生、森下功啓、自己組織化マップに基づく豪雨発生予測の雨水貯留制御への適用、信学技報、vol. 116, no. 22、2016、pp. 19-22、査読無
- ③森山聡之、森下功啓、和泉信生、西山浩司、スマート雨水ハウスについて～ 雨水グリッドによる流出抑制 ～、信学技報、vol. 116, no. 22, 2016 pp. 63-67、査読無
- ④森山聡之、和泉信生、森下功啓、渡辺亮一、西山浩司、分散型多目的市民ダムの現状と今後の開発予定、福岡工業大学環境科学研究所所報、第 10 巻、2016、査読無
- ⑤ Kawamura, A. and Merabtene, T.、“Evolutionary Computing : Genetic Algorithms as an Example”、Handbook of Applied Hydrology、Second Edition、2016、13-1-13.4、査読有
- ⑥大塚理人、高崎忠勝、河村 明、天口英雄、石原成幸、都市中小河川善福寺川の改修未完了区間における治水安全性の検討、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.73, No.4、2017、I\_1273-I\_1278、査読有
- ⑦ Koga, T., Kawamura, A., Amaguchi, H. and Tanouchi, H.、Assessing impervious area ratios of grid-based land-use classifications on the example of an urban watershed、 Hydrological Sciences Journal、Vol.61, Issue 9、2016、pp.1728-1739、査読有
- ⑧牛山素行、発生場所から見た平成 27 年 9 月関東・東北豪雨災害による犠牲者の特徴、河川技術論文集、Vol.22、2016、pp.309-314、査読有
- ⑨牛山素行・横幕早季・杉村晃一、平成 28 年熊本地震による人的被害の特徴、自然災害科学、Vol.35 No.3、2016、pp.203-215、査読有
- ⑩牛山素行、日本の風水害人的被害の経年変化に関する基礎的研究、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.73 No.4、2017、pp.I\_1369-I\_1374、査読有
- ⑪浜田 晃規、島谷 幸宏、渡辺 亮一、伊豫岡 宏樹、皆

川 朋子、山下 三平、森山 聡之、角銅 久美子、山下 輝和、流出抑制施設におけるコミュニティレベルでの治水効果の検証、第 44 回環境システム研究論文発表会講演集、第 44 巻、2016、査読有

- ⑫森山聡之・和泉信生・森下功啓、スマート雨水タンクを用いた降雨測定について、福岡工業大学環境科学研究所所報第 9 巻、2015、査読無
- ⑬森山聡之、和泉信生、森下功啓、西山浩司、渡辺亮一、島谷幸宏、河喜多勝、武蔵泰雄、スマート雨水タンクの実験的研究 一分散型多目的市民ダムを目指してー、信学技報 Vol 114 No 65, pp.51-52, 2014、査読無
- ⑭牛山素行：レベル化された気象警報に対する情報利用者の認識、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.70, No.4, pp. I\_1513-I\_1518, 2014. 査読有
- ⑮牛山素行：大雨特別警報に対する洪水浸水想定区域付近の住民の認識、自然災害科学、特別号、pp.75-86、2014、査読有
- ⑯森山聡之、森下功啓、和泉信生、西山浩司、スマート雨水タンクの実装状況について、電子通信情報学会第 6 回安全・安心な生活のための情報通信システム研究会論文集、2014、pp31-35、査読無

[学会発表] (計 13 件)

- ① Toshiyuki Moriyama, Katsuhiko Morishita, Shinobu Izumi, Koji Nishiyama、RAINWATER HARVESTING AND FLOOD CONTROL WITH RAINWATER GRID、WORLD ENVIRONMENTAL & WATER RESOURCES CONGRESS 2017、2017.5.21-24、Sacramento, USA
- ② Toshiyuki Moriyama, Katsuhiko Morishita, Shinobu Izumi, Koji Nishiyama、Making a Smart Water House、World Water Conference、2017.5.28-6.4、Cancun
- ③ Toshiyuki Moriyama, Katsuhiko Morishita, Shinobu Izumi, Koji Nishiyama, Shigeki Hirose、Development of Smart Rainwater Tank for Civil Dam, Proc. of HydroInformatic Conf. 2016, 2016, 電子版、査読無
- ④森山 聡之、森下 功啓、和泉 信生、西山 浩司、震災時の断水にも有効な雨水グリッドの開発について：スマート雨水タンクによる貯水量の見える化、ITC-SSL2016、2016.10.20、大阪大学、2016
- ⑤森山聡之、和泉信生、森下功啓、西山浩司、A pond be smart for flood control, ITC-CSCC-2016、2016.7.12、那覇市、2016
- ⑥森山聡之、西山浩司、和泉信生、森下功啓、広瀬茂樹、Smart Rainwater Tanks as a Rainuage Network and Dam for Flood Control、12th International Conference on Hydroinformatics、2016.8.25、ソウル市、2016
- ⑦戸野塚章宏、河村 明、米勢嘉智、天口英雄、1 分値地上

観測雨量データを用いた都市中小河川流域における豪雨イベントの時空間相関特性について、第24回土木学会地球環境シンポジウム、2016.8.21-9.2、首都大学東京、2016

- ⑧ 牛山素行・横幕早季・杉村晃一、平成28年熊本地震による人的被害の特徴(序報)、第35回日本自然災害学会学術講演会、2016年9月20日、静岡市、2016
- ⑨ 牛山素行、豪雨災害の減少傾向に対する認識について、日本災害情報学会第18回研究発表大会、2016年10月22日、世田谷区、2016
- ⑩ 牛山素行、2016年台風10号による人的被害の特徴(序報)、平成28年度東北地域災害科学研究集会、2016年12月24日、陸前高田市、2016
- ⑪ Toshiyuki Moriyama, Katsuhiko Morishita, Shinobu Izumi, Koji Nishiyama, Ryoichi Watanabe, Yasuo Musashi, Development of Distributed Multi-Purpose Rainwater Storage System, Proc. of IAHR-APD,2014, 電子版、査読有
- ⑫ 森山聡之、森下功啓、和泉信生、時枝真志、スマート雨水タンクの開発について、第69回土木学会年講、2014, 電子版、査読無
- ⑬ Shinichi MISUMI, Katsuhiko MORISHITA, Shinobu IZUMI, Toshiyuki MORIYAMA, Development of Sensor Network System for Smart Rainwater Tank Grid, Proc. of ITCC-SCC,2014, 電子版、査読有

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計1件)

名称：シミュレーションゲームによる避難支援見える化システム

発明者：鈴木康之・森山聡之

権利者：福岡工業大学

種類：特許

番号：第5737683号

取得年月日：2014年5月20日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

あまみず科学センターあまみずタンク水位表示

<http://bit.ly/amsc-1>

森山 聡之 (MORIYAMA, Toshiyuki)

福岡工業大学・社会環境学科・教授

研究者番号：50136537

(2) 研究分担者

武蔵 泰雄 (MUSASHI Yasuo)

熊本大学・情報基盤センター・准教授

研究者番号：10271131

西山 浩司 (NISHIYAMA Koji)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：20264070

渡辺 亮一 (WATANABE Ryoichi)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：50299541

和泉 信生 (IZUMI Shonobu)

崇城大学・情報学部・助教

研究者番号：60553584

山口 弘誠 (YAMAGUCHI Kosei)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：90551383

(3) 連携研究者

中北 英一 (NAKAKITA Eiichi)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：70183506

島谷 幸宏 (SHIMATANI Yukihiko)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：40380571

河村 明 (KAWAMURA Akira)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：10177735

牛山 素行 (USHIYAMA Motoyuki)

静岡大学・防災総合センター・教授

研究者番号：80324705

(4) 研究協力者

松尾 憲親 (MATSUO Norichika)

(株) 大建・代表取締役

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者