

戸建住宅用スマート雨水利用システムの開発*

笠井 利浩^{*1}, 堂森 新^{*2}

Development of Smart Rainwater Harvesting System for Detached House

Toshihiro KASAI^{*1} and Arata DOUMORI

^{*1} Department of Environmental and Food Sciences

In this study, we develop a smart rain water harvesting system for a detached house equipped two 2 m³ rainwater tanks. In this system, the rainwater stored in two rainwater storage tanks is used for sanitation, laundry and gardening. The computer controlled first flush remover was developed for the purpose of improving of the water quality in storage tanks and the collection efficiency of fresh rainwater. The performance of the device is discussed. It was found that the first flush could be removed efficiently and improved the collection efficiency of fresh rainwater.

Key Words : Rainwater Harvesting System, Detached House, First Flush

1. 緒 言

近年, 地球温暖化による極端な気象現象によって引き起こされる問題の1つとして, 都市部における渇水が挙げられる. 特に人口が多い首都圏等の都市部では, 今後は取水制限といった河川レベルでの渇水対策だけでは限界が生じることが容易に考えられる¹⁾. 河川や水道に依存しない新たな水源として, 雨水貯留槽による雨水利用は有効な水資源を確保する手段の1つである. 一般家庭で消費される生活用水(水道水)の主な用途別使用割合として, 風呂(40%), トイレ洗浄(22%), 炊事(17%), 洗濯(15%)等が挙げられる²⁾. これらの用途の内, 人が直接摂取する炊事等の用途を除く風呂, トイレ洗浄, 洗濯等の用途(約80%)を雨水で賄うことができれば, 大幅な節水効果が期待される. また, 雨水貯留槽で一時的に雨水を貯留する事によって, 豪雨時における下水道や河川へのピーク流量軽減に繋がり, 都市型洪水に対する緩和効果も期待できる. 以上のことから, 雨水貯留槽を用いた雨水利用は, 広く一般的に行われる事が理想である. しかしながら, 一般の戸建住宅における雨水の生活用水等への利用を考えた場合, 貯留雨水の水質と貯留水量の問題がある. 雨水貯留槽内の貯留雨水の水質維持には, 大気中の汚染物質等を含んだ初期雨水の除去が重要である. しかしながら, 市販の初期雨水除去装置には一長一短があり, 戸建住宅における水質, 取水効率の両面で求められる性能を完全に満たすものは無いのが現状である^{3,4)}. また, 一般の戸建住宅における雨水利用に関する実測データも殆ど報告されておらず, 現状ではシミュレーションに基づいた使用水量予測の研究が散見される程度である⁵⁻⁸⁾.

本研究では, 今後の社会で求められる戸建住宅用の本格的な雨水利用装置として, 貯留雨水の水質と集水効率の向上を両立させる事を目的とした, コンピュータ制御式の初期雨水除去装置を備えたスマート雨水利用システムの開発を行ったので報告する.

2. 戸建住宅用スマート雨水利用システムの概要

今回開発した戸建住宅用スマート雨水利用システムを, Fig. 1に示す.

* 原稿受付 2017年2月28日

^{*1} 環境情報学部 環境・食品科学科

^{*2} 工学部 経営情報学科

E-mail: kasai@fukui-ut.ac.jp

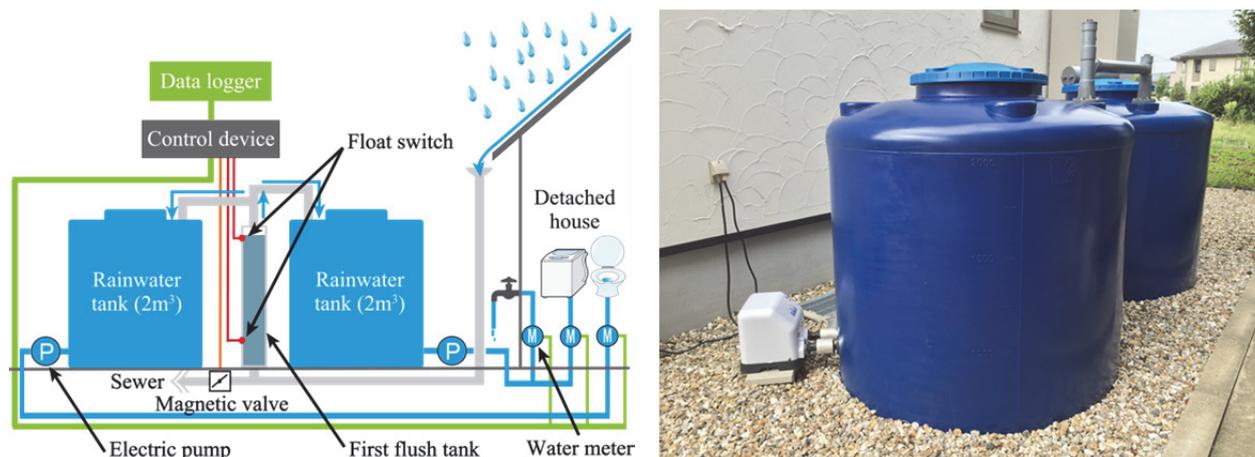


Fig. 1 Schematic diagram and photo of the smart rainwater harvesting system for a detached house.

本システムは、平成27年10月に福井県福井市内で竣工した新築戸建住宅に設置されたものであり、 2m^3 の雨水貯留槽2基、コンピュータ制御式初期雨水除去装置、配水用浅井戸ポンプ、各種水量計測用の遠隔式水量メータ等で構成されている。屋根面で集水された雨水は、地下配管（VP50塩ビパイプ）を通じて戸建住宅の裏側にある雨水貯留槽に集められ、雨水貯留槽手前で地下から初期雨水除去装置を構成する初期雨水タンク内を上昇後、雨水貯留槽内に流入する。雨水貯留槽内に貯留された雨水は、インバータ式浅井戸ポンプ（株川本製作所製、NF2-150S）を用いてトイレ洗浄、洗濯、屋外水栓（洗車、散水）用の配管に配水される。各用途向けの雨水は、宅内外の水栓から通常の水道水と同じような状態で利用することができるように配管されており、各配管には遠隔式水量メータ（愛知時計電機株、MG700M）が設置されており、水量計測できるようになっている。この遠隔式水量メータから得られる水量信号（10L単位）は、本システムの制御装置を通じて制御装置横に設置されたデータロガーに送られ、24時間何時何の用途にどれだけ雨水が使用されたかが記録できるようになっている。

初期雨水タンク内の上下2箇所にはフロート式水位センサ（以下、フロートスイッチ）が取り付けられており、このセンサから得られる情報は、初期雨水除去装置制御用コンピュータが、初期雨水タンク内の水位変化（初期排水状況および降雨状況）を感知するために用いられている。また、初期雨水除去装置の下部には、初期雨水排水用の電磁バルブ（株キッツ、EA100-TE）が設置されている。制御装置内のコンピュータがフロートスイッチのON/OFFを検知すると、それに応じて降雨が始まっているかどうかや、初期雨水タンクが満水になったかどうかを判断し、自動遠隔操作により電磁バルブの開閉制御を行なう。電磁バルブが開放されると、初期雨水タンク内の初期雨水を下水へ排水する。このようにして、一定量の初期雨水を電磁バルブにより排水する。

2.1 初期雨水除去装置

雨水貯留槽内の水質を維持するためには、大気中の塵埃や工場や自動車からの排ガス等で汚染されている初期雨水を除去するための装置が重要である。笠井ら（2014）³⁾は、各社から市販されている初期雨水除去装置の性能評価手法の開発および性能評価を行なっている。理想的な初期雨水除去装置には、初期雨水除去後の取水効率がが高く、本降りの清浄な雨水を100%取水できる性能が求められる。からくり仕掛け的な仕組みによってこの性能を目指した場合、装置の複雑化による目詰まりや低雨量時における取水効率の低下が問題となることを明らかにした。今回、新たな初期雨水除去装置として、これらの問題を解決するコンピュータ制御式の初期雨水除去装置を開発した。本装置は、電磁バルブによって適切なタイミングで初期雨水排水と取水を切替えるものであり、これによって初期雨水の確実な排除と低雨量時における100%取水を目指した。

初期雨水除去装置制御装置の回路図をFig. 2に、制御装置および記録用データロガー（グラフテック株、GL240）の写真をFig. 3に示す。初期雨水除去装置制御装置の回路は、Arduinoと呼ばれるマイクロコンピュータ（以下、マイコン）を用いた組み込みシステムの一つを応用したものである⁹⁾。直流5Vで動作し、回路内には電磁バルブ制御用リレースイッチの他、各種計測項目（電磁バルブ制御用リレー動作、電磁バルブの開閉状況、各水量メータ4項目）の確認用LEDが実装されている。また、液晶モニターモジュールにより、電磁バルブの開閉状況や現在の

運転モード（待機モード，通常モード，強制排水モード），各モード移行後の経過時間，リレースイッチの切り替わり回数が表示される．電磁バルブの開閉は，マイコンからの信号により1極双投型のリレースイッチを切替え，電磁バルブの電源であるAC100Vを操作して電磁バルブを動作させる．

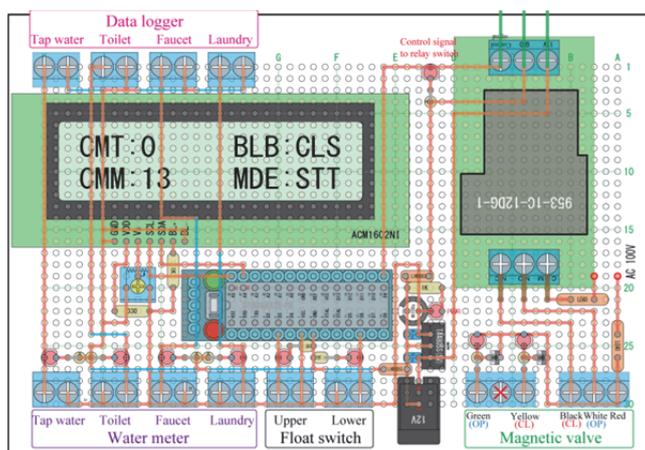


Fig. 2 Circuit diagram of the control device.

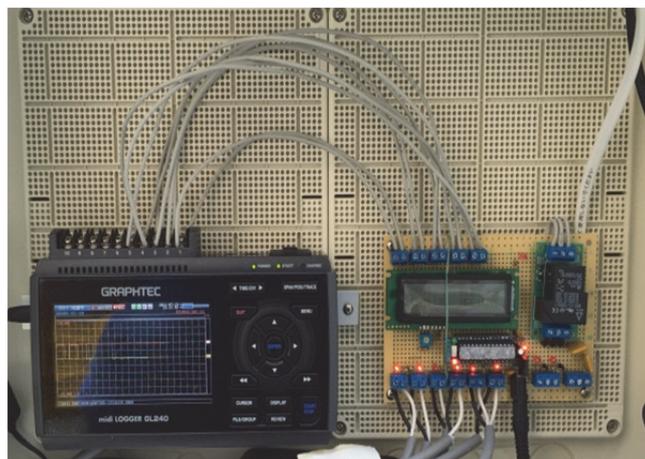


Fig. 3 Appearance of the control device and a data logger.

本装置に搭載されるマイコンによる電磁バルブ制御のフローチャートを，Fig. 4に示す．プログラムには，①待機モード，②通常排水モード および ③強制排水モードの3つの稼働モードがあり，無降雨期間の長さによって変化する大気中の汚染物質等の量に対応した適切な量の初期雨水を排水する．各モードの動作を以下に説明する．

- ①待機モード：無降雨状態時のモードであり，降雨の発生を待ちながら無降雨期間の長さを計測している．
- ②通常排水モード：降雨が始まり，初期雨水タンク内の下フロートスイッチがONになると，このモードに入る．このモードでは，プログラムの起動または前回降雨終了後からの無降雨期間の長さによって，初期雨水タンクの雨水を無降雨期間が24時間未満では0回（排水無し），24時間～48時間未満で1回，48時間以上で2回排水する．なお，排水後，下フロートスイッチがOFFになってから，1時間以内に上フロートスイッチがONにならない場合には無効雨状態と見なし，一度排水動作を行った後，待機モードに戻る．
- ③強制排水モード：強制排水モードは名称からイメージされる動作とは異なり，雨水貯留槽に本降りの清浄な雨水を取水するモードである．このモードでは，降雨の継続の有無を判断するため，12時間に一度強制的に初期雨水タンク内の雨水排水を行う．強制排水を行った後，1時間以内に上フロートスイッチがONになった場合には降雨継続状態と判断し，このモードをループして雨水取水を継続する．一方，1時間以内に上フロートスイッチがONにならない場合には，無降雨状態と見なし，一度排水動作を行った後，待機モードに戻る．

この初期雨水排水イベントによって排水される初期雨水量は、初期雨水タンク容積の 0.08m^3 を対象戸建住宅の屋根面積 87.3m^2 で降水量換算すると、 0.92mm ($=0.08/87.3 \times 1000$)となる。従って、無降雨期間が48時間以上の場合には排水回数が2回であり、降水量換算で約 1.8mm 分の初期雨水が排水される。一般的に、初期雨水量の量は降水量換算で $1 \sim 2\text{mm}$ ^{10,11)}とされ、このことから適当な初期雨水排除量であると考えられる。

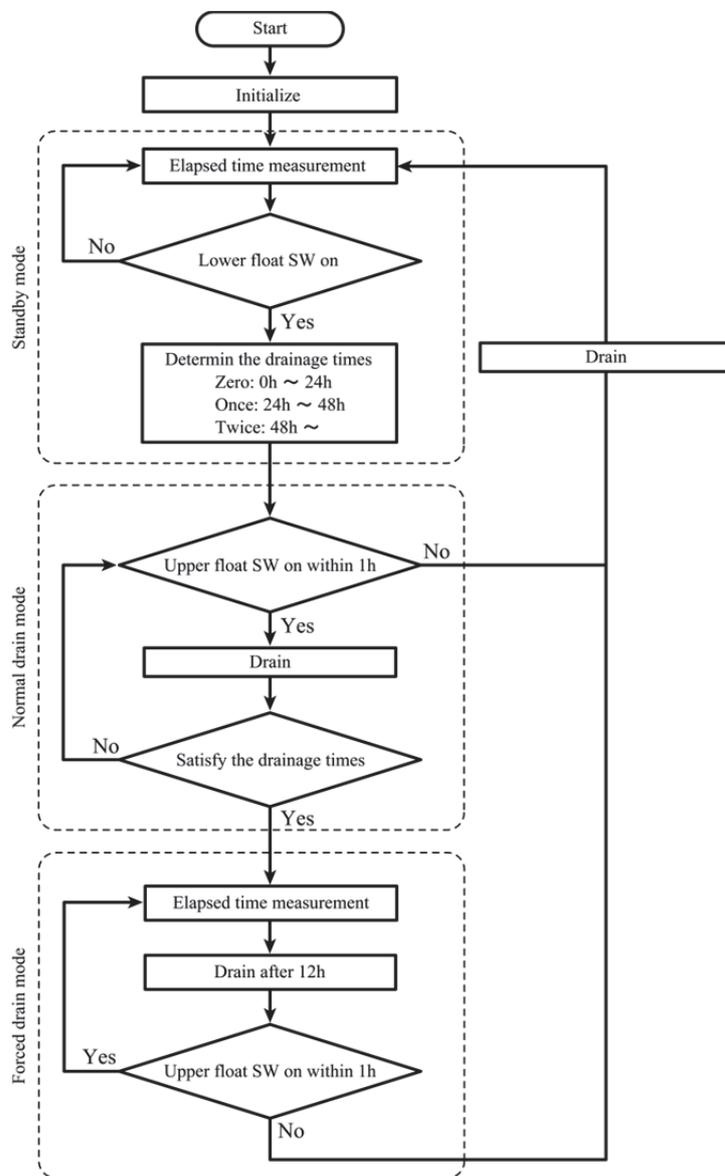


Fig. 4 Flowchart of the electromagnetic valve control program.

2.2 初期雨水除去装置の稼働記録

初期雨水除去装置の稼働記録用回路の構成図を、Fig. 5に示す。データロガーは、基本的に計測用の各端子に接続された箇所の電位を常時モニタリングしながら記録するものであるため、今回行った初期雨水除去装置の稼働状況記録等はマイコンから各回路に印加する5Vの制御信号の電圧変化を記録する方式で行った。実際には、回路中の状態表示用赤色LEDによる電圧降下分があるため、データロガーに記録されるデータは、約0Vまたは約3.7～3.8Vの値となっている。なお、データ容量等を考慮してサンプリング間隔は1秒とした。記録したデータは、データロガー内のSDカードにCSV形式で出力される。このデータロガーによる初期雨水除去装置の稼働記録は、装置設置完了後の2016年8月1日以降、継続的に実施している。

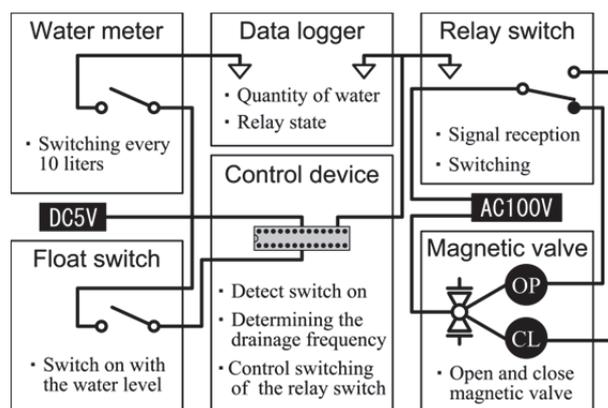


Fig. 5 Schematic diagram of the first flush contaminated rainwater removal device and water usage measurements.

3 結果および考察

降雨に伴う初期雨水除去装置の稼働例として、平成28年9月5日の12時40分～17時00分における降雨状況（地域気象観測システム（AMeDAS）、福井観測所10分値データ、0.5mm単位）およびデータロガーに記録されたリレースイッチ動作状況をグラフ化したものを、Fig. 6に示す。また、初期雨水排水バルブの開閉動作が起こった同日同時刻帯（平成28年9月5日の12時50分～13時10分）に、データロガーによって記録されたリレースイッチの動作状況を示す電圧変化記録データを、Table 1に示す。リレースイッチと電磁バルブ開閉状態の関係は、リレースイッチがOFFの時には電磁バルブが閉じており、リレースイッチがONの時には電磁バルブが開いた状態である。Fig. 6から、この期間中に電磁バルブによる初期雨水排水は、12時54分頃と12時59分頃の2回行われている事が分かる。一方、同時間帯の降水量は、12時50分～13時00分の間で1.5mm程度の降雨があったことが確認できる。また、16時40分～50分には0.5mmの低雨量の降水があり、この際にはリレースイッチの動作は起こらず、電磁バルブの開放による排水は行われていない。これは、同日13時頃の降雨から4時間程しか経過しておらず、排水回数が0回に決定されたためである（プログラムで、24時間以下で0回、24～48時間で1回、48時間以上で2回に設定）。排水回数が0回の場合は、降雨開始時から即座に取水が始まる。このことから、先行無降雨期間によって排水回数を可変させることで、初期雨水を有効に排除しつつ、低雨量時での取水効率が向上する事が分かる。記録データの中には、他の降水開始時にも同様の初期雨水排水バルブの開閉動作が記録されていた。このように、状況によって初期雨水の排水量を変化させているが、現状の排水回数の変動機能は、あくまでも無降雨期間の長さに対するものであり、実際の汚濁負荷の変動を測定しながらのものではない。従って、今後は無降雨期間の長さや汚濁負荷の関連性について調査し、適切な制御条件の検討が課題として挙げられる。

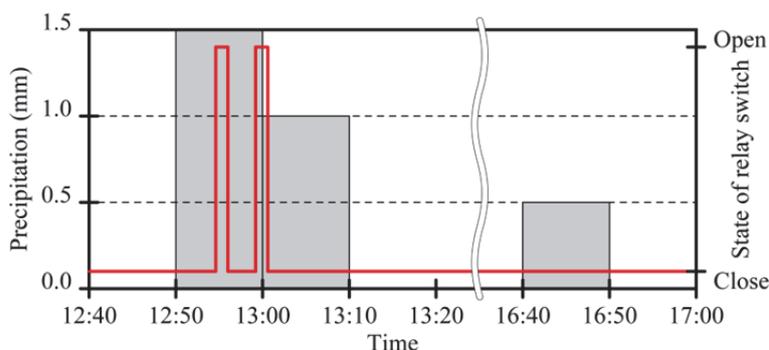


Fig. 6 Operation record of the electromagnetic valve control relay switch and precipitation.
(12:50-17:00 on September 5, 2017)

Table 1 Operation record of the electromagnetic valve control relay switch.

Date & Time	CHI (V)						
2016/09/05 12:50:00	0.00	2016/09/05 12:55:00	3.53	2016/09/05 13:00:00	3.58	2016/09/05 13:05:00	0.00
2016/09/05 12:50:10	0.00	2016/09/05 12:55:10	3.58	2016/09/05 13:00:10	3.58	2016/09/05 13:05:10	0.00
2016/09/05 12:50:20	0.00	2016/09/05 12:55:20	3.58	2016/09/05 13:00:20	3.58	2016/09/05 13:05:20	0.00
2016/09/05 12:50:30	0.00	2016/09/05 12:55:30	3.58	2016/09/05 13:00:30	3.58	2016/09/05 13:05:30	0.00
2016/09/05 12:50:40	0.00	2016/09/05 12:55:40	3.58	2016/09/05 13:00:40	0.00	2016/09/05 13:05:40	0.00
2016/09/05 12:50:50	0.00	2016/09/05 12:55:50	3.58	2016/09/05 13:00:50	0.00	2016/09/05 13:05:50	0.00
2016/09/05 12:51:00	0.00	2016/09/05 12:56:00	0.00	2016/09/05 13:01:00	0.00	2016/09/05 13:06:00	0.00
2016/09/05 12:51:10	0.00	2016/09/05 12:56:10	0.00	2016/09/05 13:01:10	0.00	2016/09/05 13:06:10	0.00
2016/09/05 12:51:20	0.00	2016/09/05 12:56:20	0.00	2016/09/05 13:01:20	0.00	2016/09/05 13:06:20	0.00
2016/09/05 12:51:30	0.00	2016/09/05 12:56:30	0.00	2016/09/05 13:01:30	0.00	2016/09/05 13:06:30	0.00
2016/09/05 12:51:40	0.00	2016/09/05 12:56:40	0.00	2016/09/05 13:01:40	0.00	2016/09/05 13:06:40	0.00
2016/09/05 12:51:50	0.00	2016/09/05 12:56:50	0.00	2016/09/05 13:01:50	0.00	2016/09/05 13:06:50	0.00
2016/09/05 12:52:00	0.00	2016/09/05 12:57:00	0.00	2016/09/05 13:02:00	0.00	2016/09/05 13:07:00	0.00
2016/09/05 12:52:10	0.00	2016/09/05 12:57:10	0.00	2016/09/05 13:02:10	0.00	2016/09/05 13:07:10	0.00
2016/09/05 12:52:20	0.00	2016/09/05 12:57:20	0.00	2016/09/05 13:02:20	0.00	2016/09/05 13:07:20	0.00
2016/09/05 12:52:30	0.00	2016/09/05 12:57:30	0.00	2016/09/05 13:02:30	0.00	2016/09/05 13:07:30	0.00
2016/09/05 12:52:40	0.00	2016/09/05 12:57:40	0.00	2016/09/05 13:02:40	0.00	2016/09/05 13:07:40	0.00
2016/09/05 12:52:50	0.00	2016/09/05 12:57:50	0.00	2016/09/05 13:02:50	0.00	2016/09/05 13:07:50	0.00
2016/09/05 12:53:00	0.00	2016/09/05 12:58:00	0.00	2016/09/05 13:03:00	0.00	2016/09/05 13:08:00	0.00
2016/09/05 12:53:10	0.00	2016/09/05 12:58:10	0.00	2016/09/05 13:03:10	0.00	2016/09/05 13:08:10	0.00
2016/09/05 12:53:20	0.00	2016/09/05 12:58:20	0.00	2016/09/05 13:03:20	0.00	2016/09/05 13:08:20	0.00
2016/09/05 12:53:30	0.00	2016/09/05 12:58:30	0.00	2016/09/05 13:03:30	0.00	2016/09/05 13:08:30	0.00
2016/09/05 12:53:40	0.00	2016/09/05 12:58:40	0.00	2016/09/05 13:03:40	0.00	2016/09/05 13:08:40	0.00
2016/09/05 12:53:50	0.00	2016/09/05 12:58:50	0.00	2016/09/05 13:03:50	0.00	2016/09/05 13:08:50	0.00
2016/09/05 12:54:00	0.00	2016/09/05 12:59:00	0.00	2016/09/05 13:04:00	0.00	2016/09/05 13:09:00	0.00
2016/09/05 12:54:10	0.00	2016/09/05 12:59:10	0.00	2016/09/05 13:04:10	0.00	2016/09/05 13:09:10	0.00
2016/09/05 12:54:20	0.00	2016/09/05 12:59:20	3.53	2016/09/05 13:04:20	0.00	2016/09/05 13:09:20	0.00
2016/09/05 12:54:30	0.00	2016/09/05 12:59:30	3.53	2016/09/05 13:04:30	0.00	2016/09/05 13:09:30	0.00
2016/09/05 12:54:40	3.53	2016/09/05 12:59:40	3.58	2016/09/05 13:04:40	0.00	2016/09/05 13:09:40	0.00
2016/09/05 12:54:50	3.53	2016/09/05 12:59:50	3.58	2016/09/05 13:04:50	0.00	2016/09/05 13:09:50	0.00

6. 結 言

本研究では、実用的な雨水利用装置を目指し、戸建住宅用雨水利用装置を開発した。その結果、新たに開発したコンピュータ制御の初期雨水除去装置によって、有効な初期雨水除去を行ないつつ、低雨量での取水率向上が実現していることが示された。今後は、さらなる効率化を目標として無降雨期間と汚物負荷の関係性について調査に取り組み、調査結果に基づいた排水回数決定のアルゴリズムを開発する事で、排水回数の最適化に繋げる必要があると考えられる。

今回、初期雨水除去システムの稼働状況モニタリングを数ヶ月間行った。降水パターンは季節によっても異なるため、基礎データの蓄積を年単位で継続実施して今後の改善に活かす必要がある。また、地域によっても降雨パターンが異なるため、他地域の降雨データも勘案して制御アルゴリズムの検討等を行う必要がある。

謝 辞

今回研究対象となったスマート雨水利用システムが設置された戸建住宅にお住まいの菅田優子様には、多くのご協力を頂きました。心から感謝申し上げます。

文 献

- (1) 国土交通省関東地方整備局, “平成 28 年度利根川水系の濁水に関する情報”,
<http://www.ktr.mlit.go.jp/river/bousai/index00000008.html>(参照日 2016 年 9 月 7 日).
- (2) 東京都水道局, くらしと水道,
<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/kurashi/shiyou/jouzu.html>(参照日 2016 年 9 月 13 日).
- (3) 笠井利浩, 大西和也, “初期雨水除去装置の評価手法の検討と性能評価”, 第 22 回日本雨水資源化システム学会大会研究発表会講演要旨集(2014), pp.94-96.
- (4) 大西和也, 笠井利浩, “初期雨水除去装置の機能と分類”, 第 22 回日本雨水資源化システム学会大会研究発表会講演要旨集(2014), pp.90-93.
- (5) 森田大, “沖縄における住宅の雨水利用実態とその評価”, 日本建築学会学術講演梗概集(1990), pp.1007-1008.
- (6) 小瀬博之, “浸透と貯留を考慮した住宅における雨水利用システムの検討”, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集(2005), pp.33-36.
- (7) 村川三郎, 坂上恭助, 越川康夫, 小川剛, “水使用行為分析に基づく集合住宅の使用水量予測に関する研究”, 日本建築学会計画系論文報告集(1990), pp.23-33.
- (8) 渡邊伸幸, 岡田誠之, 新田拓郎, “住宅の雨水利用の有効性に関する研究”, 日本建築学会学術講演梗概集(2007), pp.609-610.
- (9) Wikipedia, "Arduino", <https://ja.wikipedia.org/wiki/Arduino>(参照日 2016 年 9 月 16 日).
- (10) 酒井寛二, 小川幸正, 岩波洋, “雨水利用における初期雨水水質の検討”, 日本建築学会学術講演梗概集, 計画系 55 巻(1980), pp.363-364.
- (11) レインドロップス, “空と海と大地をつなぐ雨の事典” (2001), p.248.
- (12) 国土交通省関東地方整備局, “近年の濁水状況”,
<http://www.ktr.mlit.go.jp/tonedamu/tonedamu00077.html>(参照日 2016 年 9 月 15 日).

(平成 29 年 3 月 31 日受理)