

雨水利用装置を用いた環境教育用教材の提案

笠井 利浩*, 玉村 正人**

A Proposal of Teaching Material for Environmental Education with Rainwater Catchment System

Toshihiro KASAI and Masato TAMAMURA

Abstract: It was investigated how the rainwater catchment system could be effective as a teaching material for environmental education. The system consists of a rainwater storage tank, a pressurizing pump, a flow meter and a signboard to explain the system. The operating simulation and the life cycle inventory analysis of the system suggest that the storage tank and the pump have to be selected carefully from the viewpoint of environmental load. For the effective use of the system on environmental education, it is important that we should have periodical lectures on the reduction of environmental load.

Keywords: Rainwater Catchment System, Environmental Education, Life Cycle Assessment

1. はじめに

雨水利用装置の設置目的には、①渇水地域における水資源確保 ②水道料金の削減 ③都市型洪水の緩和 ④水道水代替による環境負荷低減などが挙げられる。①～③に関しては、これまで多くの研究が報告されているが（例えば、*Takeyama et al.*, 1991）^{[1]-[3]}，雨水利用装置による環境負荷低減効果について定量的に取り上げている報告は非常に少ない。渇水地域における水資源確保を目的とした場合は別として、温暖化をはじめとする環境問題を考えた場合、雨水利用装置による環境負荷低減効果についての議論は非常に重要である。笠井ら（2009）^[4]は、一戸建住宅規模の雨水利用装置設置に伴う環境負荷量と上水代替による環境負荷の回収についてライフサイクルアセスメント（以下、LCA）の観点から評価した。また、児童が環境負荷量を定量的に捉えることが出来るようにすることを目的として、身近な雨水をLCA的思考に基づいて取り上げた環境教育プログラムの提案を行った（笠井・玉村，2010）^[5]。

本報では、先の提案に従って実際に小学校に設置した環境教育用雨水利用施設について、施設の設置に伴う環境負荷量の算出と上水代替による環境負荷回収に関するシミュレーション結果を報告する。また、「環境問題に関心を持つ」から「本当に環境に良いのか？」または「どれぐらい環境負荷を減らすことが出来るのか？」に重点を置いた環境教育用教材としての雨水利用施設の可能

* 経営情報学科, **元 福井市立東安居小学校校長

性について検討した。

2. 方法

2.1. 雨水利用施設の概要

平成22年7月末に福井市内の小学校に設置した雨水利用施設をPhoto 1に示す。本施設における雨水の用途は、花壇と学級菜園からなる校舎中庭への散水である。雨水利用場所に近く、さらに大きな集水面（屋根面）が確保できることから、校舎中庭に面した体育館側壁に沿って本施設を設置した。



Photo 1 Rainwater catchment system installed in an elementary school

本施設は、貯水タンクを中心とした雨水利用装置部分と環境教育用の説明看板から構成される。雨水利用装置の設置に伴って発生するコストおよび環境負荷の多くは、貯水タンクに掛かっている。従って、本装置では経費と設置に伴う環境負荷量の削減を目的として、貯水タンクには工場で屋内利用されていたFRP製の中古タンクを用いた。貯水タンク内の雨水は、児童によるジョウロを用いた散水の他、スプリンクラーによる散水も行いうため、浅井戸ポンプ（以下、加圧ポンプ）による加圧を行っている。今回設置したような小規模装置の場合、貯水タンクに次いで設置時の負荷割合が大きな部材として加圧ポンプが挙げられる。貯水タンクの場合と同様に加圧ポンプについても中古品の使用が考えられるが、タンクと比較して複雑な構造を持つ部材のため、耐久性等の観点から中古品は利用しなかった。環境教育用の説明看板には、本施設の設置目的、設置からの積算雨水利用量（配管に設置された水量計から児童が転記）とCO₂環境負荷回収量（積算雨水利用量に水道水1m³あたりのCO₂環境負荷量を乗じて算出し、児童が記入）が記載されている。また、現在の貯水タンク内の雨水量に応じて雨水利用の可否を知らせる表示ランプを備え付けている。

2.2. 雨水利用装置の稼働シミュレーション

雨水利用装置の稼働シミュレーション条件をTable 1に示す。雨水利用装置の稼働状況は、集水面積、貯水タンク容量、降水パターン、雨水使用状

Table 1 Operating conditions of rainwater catchment system for the simulation

| | |
|--------------------|---|
| Roof area | 160m ² (Actual) 560m ² (Plan) |
| Tank capacity | 2m ³ |
| First Flush | 0.08m ³ (Actual, Initial discharge: 0.4L/min) |
| water diverter | 0.28m ³ (Plan, Initial discharge: 1.4L/min) |
| Precipitation data | AMeDAS 10min. interval data (57066 Fukui) |
| Simulation period | 2000-2009 (10years) |
| Sprinkling month | From March to May: Flower Bed (AM) June and July: Flower Bed (AM and PM) August: Flower Bed (AM and PM) Vegetable Garden (AM and PM) September: Flower Bed (AM and PM) October and November: Flower Bed (AM) From December to February: Nothing |
| Sprinkling hours | Flower Bed 8:00-8:30, 17:00-17:30 Vegetable Garden 8:30-9:00, 17:30-18:00 |
| Water amount | 0.50m ³ /Time |

況などによって大きく左右される．集水面積については，現状面積 160m^3 （工事の都合上，現在は体育館片屋根の一部の縦樋にしか連結されていない）と計画面積 560m^3 （体育館片屋根全部）の 2 通りで行った．今回設置した雨水利用装置には，集水面への沈積じん等で汚染されている初期雨水を排除するための初期雨水タンクが設置されている．初期雨水は，降り始めから 0.5mm の雨水の汚濁が特に大きい（社）空気調和・衛生工学会，1997）^{〔6〕}．従って，本装置の初期雨水タンク容量は，集水面積によって約 80L （現状）および 280L （計画集水面積時）とした．今回のシミュレーションで用いた降雨データには，過去 10 年間の AMeDAS 10 分値データ（57066 福井地域気象観測所）を用いた．過去 10 年間のデータとした理由は，近年各地でゲリラ豪雨が多発していることから分かるように，温暖化の影響などにより雨の降り方などの気象条件が大きく変化しており，現在から未来へのシミュレーションを行う場合にはあまり過去のデータを用いない方がよいと判断したためである．雨水使用量について

は，本装置における雨水の使用目的が校舎中庭への散水であるため，季節によって大きく変化する．また，雨水を草木への散水に用いるため，12 時間以内に 5mm 以上の降水量があった場合には，散水を行わないものとした．今回行った稼動シミュレーションにおける雨水のフロー概念図を Fig. 1 に示す．降水開始から所定量の初期雨水を除去した後，清浄な雨水のみを貯水タンク内に導き，貯水タンク容量をオーバーした部分についてはオーバーフローにより排出される．初期雨水タンクによる汚濁雨水流入防止効果は，初期雨水タンク内の雨水排出時間を短くするほど高くなる．しかしながら，貯水されずに排出される雨水量が増加することとなり，貯水量の減少を招くこととなる．以上の理由から両者のバランスを考え，初期雨水タンク内の雨水は降雨終了後約 12 時間かけて下部排出口から排出されるように設計した（Fig. 2）．初期雨水タンクの高さを 2m とした場合，初期雨水タンク内の雨水が約 12 時間で排出される初期排出速度（初期雨水タンク満水時の排出速度）は，初期雨水タンク容量が 80L および 280L の場合でそれぞれ， $0.4\text{L}/\text{min}$ および $1.4\text{L}/\text{min}$ である．従って，貯水タンクに雨水が導入されている間は，初期雨水排出速度に従った雨水が連続的に初期雨水タンク下部の排出口から排出されていることになる．

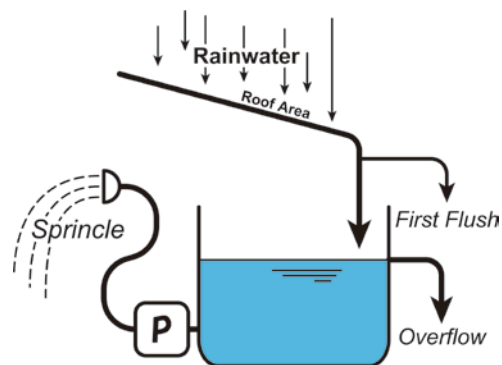


Fig. 1 Schematic diagram of rainwater flow in the rainwater catchment system

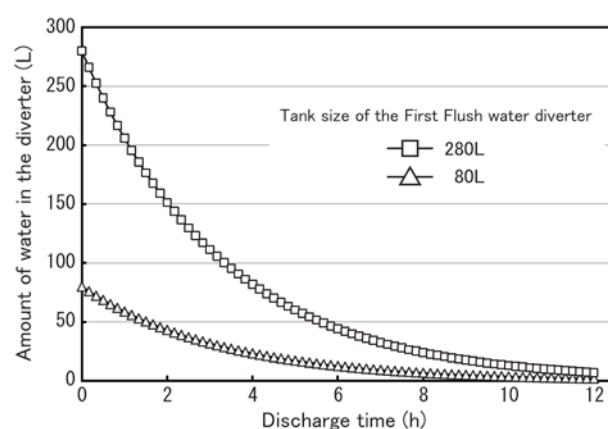


Fig. 2 Amount of First Flush rainwater in the tank of diverter various discharge time

2.3. 雨水利用装置と水道水のインベントリ分析

今回インベントリ分析（以下 LCI）の対象とする範囲は、装置の設置に伴って既存施設に追加される部分（縦樋～水栓）のみとした。水栓以降のホース類や児童への説明パネルについては、教育に関する部分として LCI の対象からは除外した。

雨水利用装置の設置に伴う環境負荷量の算出は、以下のようにして行った。産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）と付録（原単位データファイル 2000 年）^[7]から設置に伴って必要となった物品の品目ごとの CO₂ 排出原単位を求め（Table 2）、各物品価格（経済調査会「積算資料」または未掲載分についてはインターネットによる市場調査により求めた）とそれに応じた原単位を乗じて環境負荷量を求めた。

一方、水道水の造水に伴う環境負荷量については、本装置が福井市内に設置されていることから、福井市企業局水道事業における造水費用と生産者価格ベース上水道原単位（Table 2）から求めた。ここで造水費用とは、各水道事業体の営業費用（水道水を造るために必要となった全経費）を年間の給水量と分水量の合計値で除して求めた（式(1)）値の事である。

$$\text{造水費用 (円/m}^3\text{)} = \frac{\text{営業費用 (円)}}{\text{給水量 (m}^3\text{)} + \text{分水量 (m}^3\text{)}} \cdots (1)$$

3EID による環境負荷量の算出において、現状に即した環境負荷量を求めるためには物品の価格設定が非常に重要となる。水道料金について考えた場合、各水道事業体が提示している水道料金表から読み取った金額とするのが一般的である。しかしながら、殆どの水道事業体が提示する水道料金表では使用量によって単位水量当たりの料金に変化し、そのままの値を環境負荷量の計算に用いると使用量に伴って単位水量当たりの環境負荷量が変わることになり、現状と異なった結果となる。以上の理由から、本研究では環境負荷量の算出に前記式(1)で与えられる造水費用を用いた。

3. 結果および考察

3.1. 雨水利用装置の稼働シミュレーション

Table 2 CO₂ emission factor by 3EID^[7]

| Sector no. | Sector name | CO ₂ emission factor (t/million yen) |
|------------|--|---|
| 141 | Plastic products | 3.299 |
| 153 | Ready mixed concrete ^(*) | 22.34 |
| 188 | Metal products for architecture | 3.441 |
| 190 | Bolts, nuts, rivets and springs | 4.657 |
| 192 | Plumber's supplies, powder metallurgy products and tools | 3.440 |
| 199 | Pump and compressors | 2.732 |
| 296 | Water supply | 1.959 |
| --- | Electric power ^(**) | 0.351 (kg/kWh) |

(*)Producer price basis, the others are common buyer price basis

(**)Referred to 「Environmental Action Plan by the Japanese Electric Utility Industry 2010」 published by the federation of electric power companies of Japan^[8]

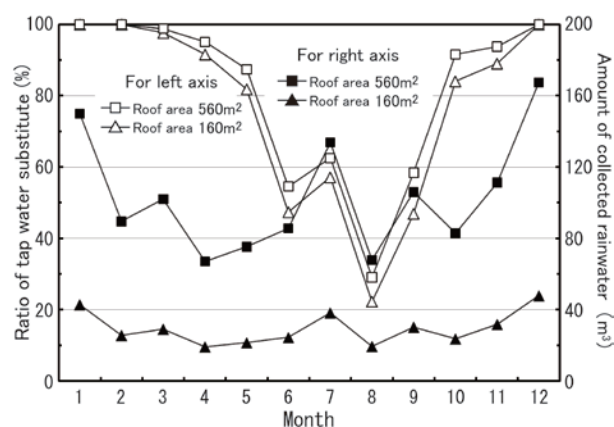


Fig. 3 Ratio of tap water substitute and amount of collected rainwater in respective months

集水面積が 560m^2 (計画) および 160m^2 (現状) の 2 つのケースの, 上水代替率と集水量の 2000 ~ 2009 年における 10 年間の月別平均値を Fig. 3 に示す. 集水量は集水面積に応じて増加し, 160m^2 の場合と比較して 560m^2 の場合には約 3.5 倍の値を示しているが, 上水代替率はほぼ同等の値となっている. これは, 今回の条件下では貯水タンク容量に対して集水面積が十分な大きさを持っていることによる. 以上のことは, 年間集水量に対する年間雨水利用量 (貯水タンクに貯水され, 実際に利用した雨水量) が約 $1/5 \sim 1/17$ と非常に少なく, またそれに伴って年間のオーバーフロー量が非常に多いことから分かる (Table 3).

上水代替率は, 月によって大きく変化している (Fig. 3). 1 月, 2 月および 12 月の値が 100% となる理由は, この期間の雨水利用量が 0m^3 となるためであり, 実質的には雨水利用装置は使用されていない状態にある. 一方, 8 月には上水代替率は約 20% にまで低下している. これは, 降水量が年間で最も少ない月である事と, 上水使用量が他の月と比較して 2 倍以上に増加することによる. 従って, 8 月には集水面積にかかわらず約 20 日間もの間, 貯水タンク内の水が空になっている日があることが分かる (Fig. 4).

3. 2. 雨水利用装置のインベントリ分析と雨水利用による環境負荷回収

雨水利用装置を構成する各部材がもたらす環境負荷量および経費の割合を, Fig. 5 および Fig. 6 に示す. 両図において円グラフの直径は各項目の合計値を表し, 各シナリオ間の環境負荷量 (Fig. 5) または経費 (Fig. 6) 間の数値の大小関係を表している. 雨水利用装置は, 主に貯水タンク, 加圧ポンプおよび配管類から構成される. 今回設置した装置では貯水タンクに中古品を用いたため,

Table 3 Annual precipitation in Fukui city and situations of annual rainwater usage (Ten yearly average)

| Precipitation(Fukui) | 2211(mm/Year) | |
|--|----------------------------|--------|
| | Roof area (m^2) | |
| Area of roof available to capture the rain | 160 | 560 |
| Captured rainwater (m^3) | 353.8 | 1238.2 |
| Utilized rainwater (m^3) | 65.4 | 73.3 |
| Overflowed rainwater (m^3) | 246.8 | 1020.0 |
| Utilization rate of rainwater (%) | 18.6 | 5.9 |
| Substitution rate of tap water (%) | 54.9 | 61.4 |

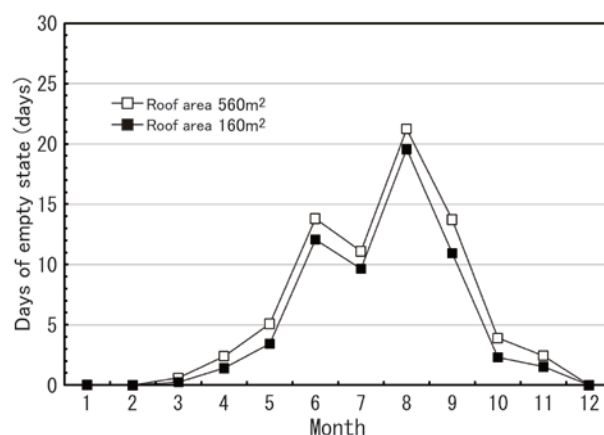


Fig. 4 Days of empty state of the rainwater storage tank in respective months

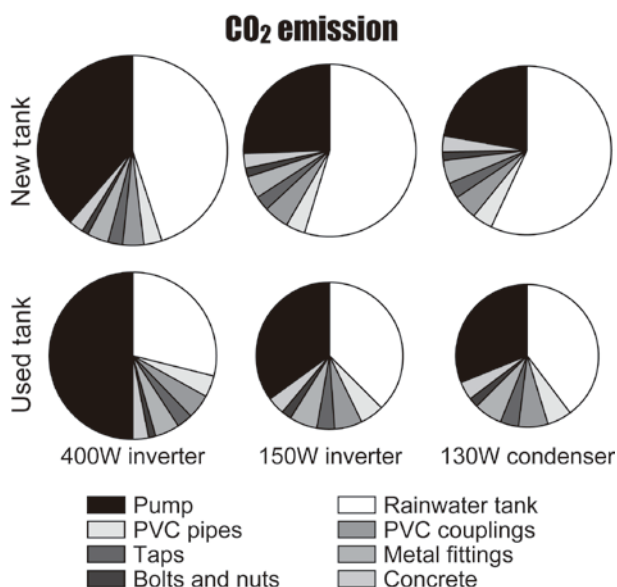


Fig. 5 CO₂ emission ratio of component parts of the rainwater catchment system

貯水タンクにかかる経費およびCO₂排出量を新品タンクの1/2とした。これは、今回用いたタンクのライフサイクルにおける負荷量を、これまで工場で利用していた期間で負担する負荷量と今回貯水タンクとして利用する期間で負担する負荷量で折半するという考えによるものである。その結果、全体からみた場合の加圧ポンプによる負荷割合が大きくなっている。また、加圧ポンプの種類による設置負荷量を比較すると、市場価格が10万円を超える400Wインバータポンプの占める負荷割合が大きい。

加圧ポンプの運転によって発生する電気料金とCO₂排出量を、Table 5に示す。ポンプメーカーの資料には、インバータモーターポンプの消費

電力は、コンデンサ誘導モーターポンプの消費電力と比較して2～5割低く、一般家庭では金額にして年間約8500円程度の電気料金が削減されると記載されている^[9]。しかしながら、今回設置したような小規模雨水利用装置では年間送水量自体が約70m³と少なく、運転に伴う経費（電気料金）や環境負荷についてはポンプの種類による差は少ないことが分かる。

雨水利用装置の設置に伴う経費および環境負荷量と其々の回収に必要な年数を、Table 5に示す。上段には、加圧ポンプの運転による電力消費に伴って発生する経費および環境負荷量を考慮した場合、下段には考慮しない場合の負荷量収支および負荷回収に必要な年数が記載されている。経費面から見た場合の回収年数は、電力消費を考慮した場合と考慮しない場合であまり大きな差は無く、ほぼ等しい。一方、環境負荷面から見た場合において電力消費を考慮した場合には3～5倍程

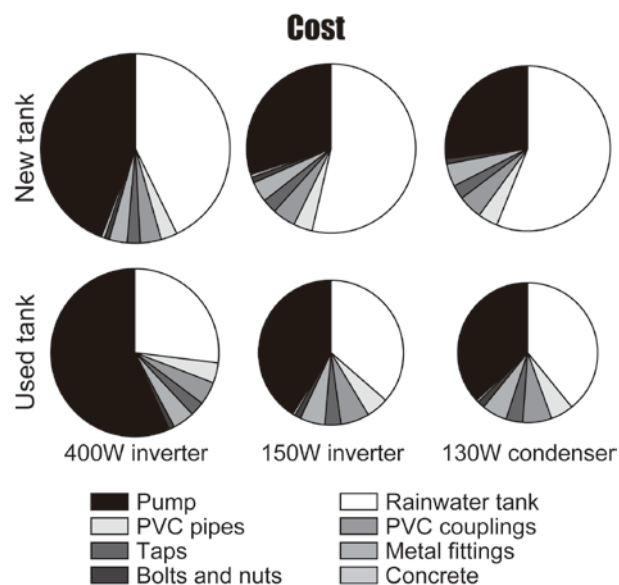


Fig. 6 Cost ratio of component parts of the rainwater catchment system

Table 5 Recovery period of CO₂ environmental load and cost with the installation of a water catchment system

| Consideration of Electric power | Pump type | Load with installation | | Annual load amount (Electric power) | | Annual recovery amount | | Recovery period (Year) | |
|---------------------------------|-----------|------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------|
| | | Cost (Yen) | CO ₂ (kg) | Cost (Yen) | CO ₂ (kg) | Cost (Yen) | CO ₂ (kg) | Cost | CO ₂ |
| Yes | 400W | 183,757 | 567.1 | 246(*) | 8.02(*) | | | 7.4 | 115.3 |
| | 150W | 136,457 | 437.8 | 253 | 8.25 | 25,342 | 12.9 | 5.4 | 93.3 |
| | 130W | 127,457 | 413.2 | 312 | 10.17 | | | 5.1 | 149.0 |
| No | 400W | 183,757 | 567.1 | | | | | 7.3 | 43.8 |
| | 150W | 136,457 | 437.8 | --- | --- | 25,342 | 12.9 | 5.4 | 33.8 |
| | 130W | 127,457 | 413.2 | | | | | 5.0 | 31.9 |

(*) Operating time of the pump is estimated half of the other pump, because the discharge rate of it is two times of the other.

度の差があり、その差は非常に大きい。これは、雨水利用によって節水される上水の環境負荷量に対して、その送水のために消費される電力による環境負荷量が非常に大きいためである。今回、雨水利用装置を設置した小学校では、上水は一旦校舍屋上に設置された受水槽までポンプアップした後、各水栓へと供給される。この点から考えた場合、雨水利用装置によって代替された上水分については、受水槽へのポンプアップ時に消費される電力が削減されていると考えることができる。従って、雨水利用装置に付随する加圧ポンプで消費される電力については、先の削減分と相殺する事とした。

以上のことから、経費および環境の両面で有利な装置を設計するためには、特に貯水タンクと加圧ポンプの選定を慎重に行う必要があることが分かる。さらなる負荷量低減を考えた場合、可能であれば貯水タンクを高所設置し、高低差を利用した加圧によって負荷量の大きい加圧ポンプ自体を無くす案も取り入れる必要があると考えられる。

3.3. 環境教育用教材としての可能性

今回設置した雨水利用施設の設置目的は、小学校児童が環境問題（負荷）を定量的に捉えることが出来るようにすることにある。そのための装置説明用看板には、水道水 1m^3 あたりの環境負荷量が記載されており、その値と現在の雨水利用量を乗じて、これまでに回収した環境負荷量（ CO_2 換算）を児童自らが算出するようになっている（Photo 2）。これによって、一見関係が無いように思われる水道水も環境負荷を発生させていることに気付かせ、さらにその量についても把握できるように工夫されている。

今回、雨水利用施設を設置した小学校の1年生を対象に、環境問題と雨水利用装置に関する授業を行った際の授業風景を Photo 3 に示す。写真の装置の使い方に関する実習前に、教室内で現在地球上で起こっている環境問題と雨水利用装置の関係について、写真等の画像を多用した授業を行った。対象が1年生であった事と画像を多用した授業であったため、児童は終始興味深く話を聞いていたのが印象的であった。今後も、年に数回程度は対象学年を変えるなどしながら出張授業を継続させ、節目において授業効果の検証を行い

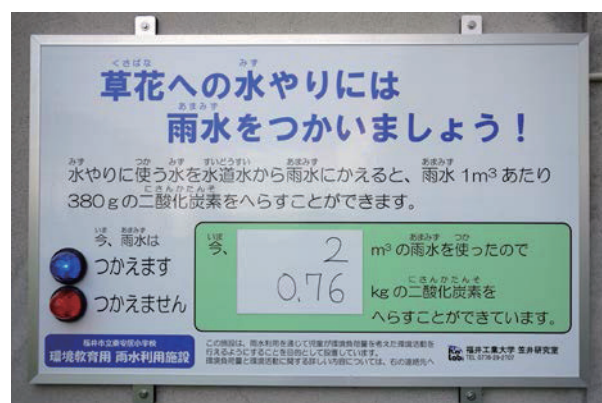


Photo 2 The signboard for explanation of the rainwater catchment system



Photo 3 Lecture scene about the rainwater catchment system

たい。高学年対象の授業では、本装置の設置時にも大きな環境負荷を発生させていることを説明する予定である。今回設置した雨水利用装置を例として、環境保全のために実施している様々な活動等も環境負荷を発生させており、全体として評価した上で実施するかどうかの判断をする力を養いたいと考えている。

4. まとめ

環境負荷を定量的に把握する力を養う事を目的として設置した雨水利用装置について、詳細な稼動シミュレーションとライフサイクルインベントリ分析を行った結果、以下の結論を得た。

雨水利用目的が草木への散水の場合、使用水量が季節によって大きく変化し、冬期などは実質的に装置は稼動していない。その結果として年間雨水利用量が減少するため、他用途への利用も考える必要がある。貯水タンクは、雨水利用装置の中でも大きな環境負荷をもたらす部材の一つである。従って、稼動シミュレーションによる最適タンク容量の推定後、シンプルで安価なタンクを選定する必要がある。また可能であれば中古品を検討することで、設置経費が安くなると共にタンクの製造から廃棄段階における環境負荷量が半減し、環境負荷回収の面からも非常に有利となる。加圧ポンプも貯水タンクと同様に、設置時の環境負荷量割合が大きい部材である。また、運転に伴う消費電力が発生する環境負荷量は、送水雨水によって節水される上水の環境負荷量と比較して 6～8 割の値を示し、電力による環境負荷量は無視できない。以上のことから、可能であれば貯水タンクの高所設置等により高低差を利用した加圧を行い、加圧ポンプを用いない装置についても検討する必要がある。

児童に環境問題を本質的に理解させるためには、常に定量的に環境負荷を考える習慣を養うことが重要である。第一に、環境を意識して行うどのような行動にも、常に環境負荷が伴うことを理解させなければならない。次に、その環境負荷量とその行為または物がもたらす環境負荷低減効果を比較した後、実施するかどうかを決定するトレーニングを行うきっかけとして本装置は有効と考える。

参考文献

- [1] Takeyama, K., Minami, I., Iwao, T., Shibusawa, S. and Im, G. (1991): A Study on Regional Potential of Rainwater Cistern Systems (I), Bull. Fac. Agr. Shimane Univ., 25, pp.81-88
- [2] 野村茂夫 (1999): 雨水利用施設の機能と経済性評価 (その 2), 雨水技術資料, 34, pp.107-111
- [3] 越川康夫・村川三郎・西田 勝 (1993): 雨水利用システムにおける雨水利用効率と都市型洪水防止効果の検討, 日本建築学会計画系論文報告集, 452, pp.37-45
- [4] 笠井利浩・眞鍋和弘・谷川洋希 (2009): 小規模雨水利用施設の環境負荷低減効果, 第 4 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.332-333
- [5] 笠井利浩・玉村正人 (2010): 雨水利用施設を用いた環境教育プログラムの提案, 第 5 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.398-399
- [6] (社)空気調和・衛生工学会 (1997): 雨水利用システム設計と実務, pp.25-26

- [7] 国立環境研究所（2002）：産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）
- [8] 電気事業連合会（2010）：電気事業における環境行動計画，p.4
- [9] 川本ポンプ（2010）：家庭用省エネポンプソフトカワエース NF2 形 カタログ，p.4

（平成 23 年 3 月 31 日受理）