

既存オフィスビルの Zero Water Building 評価と節水効果の検証

雨水・排水再利用水の導入効果と LEED Zero Water 評価

秋山 和也^{*1}・関根 賢太郎^{*1}・張本 和芳^{*1}

Keywords : zero water, LEED, water saving, rainwater utilization, reclaimed water

ゼロウォーター, LEED, 節水, 雨水利用, 排水再利用

1. はじめに

地球環境問題の対策の一環として、世界的に水資源の有効利用の関心が高まっている。その中で近年では、水資源の枯渇を防ぐため、建物において上水利用を削減するとともに、使用した水の循環利用や水源への還元を行う Zero Water Building(以下、ZWB)という概念が広まりつつある。特に米国で開発された建物の総合的な環境評価システムである LEED 認証では、ネットゼロ評価のための LEED ZERO Program Guide^{注1)}が提示され、水資源に対しては Zero Water 認証が開始された。

一方、我が国においては、ZWB の評価手法について検討がなされている段階¹⁾であり、研究施設²⁾や大学施設³⁾で LEED 等の定義をもとにした試算結果が報告されている。LEED 認証は、水資源の確保のみ考慮された定義であるが、我が国においては東日本大震災や能登半島地震でも課題となった災害時の水利用など、BCP の観点からも ZWB の普及が重要となる。ただし ZWB は、上下水の削減が期待できる一方で、水の循環利用に伴う排水処理にエネルギーが必要となるため、カーボンニュートラルとの両立に向けては CO₂ 排出量を把握することも重要である。

以上の背景から本研究は、ZWB の普及が期待できるオフィスビルを対象に LEED における Zero Water 評価を行うとともに、給水設計に資する原単位データや、運用時の CO₂ 排出量を把握することを目的とする。

本報では、雨水利用を行う既存オフィスビルの水利状況を調査し、LEED Zero Water の達成度を評価する。さらに給排水設備の改修により排水処理設備を導入し、その効果を検証するとともに、改修前後の単位給水量

や運用時の CO₂ 排出量の比較を行った結果を報告する。

2. 給排水設備改修前の水利用調査と ZWB 評価

2.1 調査概要

本報で対象とする建物概要を表-1 に示す。建物用途は事務所で、建物規模は延床面積が約 1280m²、地上 3 階建てである。本建物は、1 階が主に大会議室、2 階および 3 階が執務室で構成され、執務者の定員は 36 人である。年間稼働日数は約 245 日、定時執務時間は 8:45 ~17:30 である。なお、2019 年には PV や空調設備を対象とした改修工事が行われている。給排水設備については、図-1 に示すように雑用水利用を行っており、雨水を屋上に設置した雑用水槽(有効容量 4m³)に貯留後、1F および 2F のトイレ洗浄水に利用している。また、同図に示すように各系統にはパルス発信式水量計を設置しており、水量データは BEMS により収集・保存されている。そこで水利用調査は、BEMS に記録された水量データの積算値を用いて行う。調査期間は 2015/1/1 ~2022/12/31(PV および空調設備の改修工事期間は除く)とする。

表-1 建物概要(改修前)
Table 1 Outline of the building (Before renovation)

用途	事務所	利用者(定員)	執務室 36人 会議室 57人
所在地	神奈川県	雨水集水面積	約220m ² (屋上PVより集水)
延床面積	1277.32m ²	給水方式	上水：受水槽+加圧給水方式 雑用水：高置水槽方式
階数	地上3階	排水方式	汚水・雑排水合流式

* 1 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室

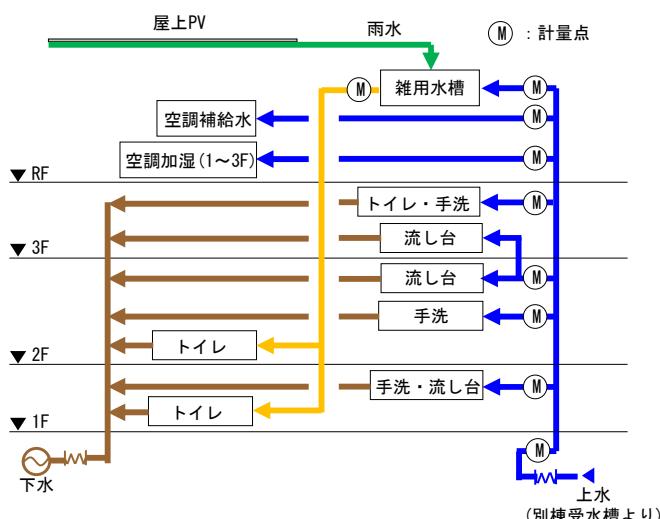


図-1 給排水系統図(改修前)

Fig.1 Water supply and drainage system diagram
(Before renovation)

2.2 ZWB の評価方法

ZWB の評価は、LEED ZERO Program Guide で提示された LEED Zero Water の定義を用いることとする。その評価式を式(1)に示す。LEED では年間の上水使用量に対して、代替水使用量と水源還元量の合計が同量以上であれば Zero Water と定義されている。Zero Water の達成率は、式(1)をもとにした式(2)により算出する。なお、対象建物に水源還元設備は未設置である。

$$\text{Water Balance} = \text{Total Potable Water Consumed} - (\text{Total Alternative Water Used} + \text{Water Returned to Original Source}) \quad (1)$$

$$\text{LEED Zero Water 達成率} = \frac{\text{Total Alternative Water Used} + \text{Water Returned to Original Source}}{\text{Total Potable Water Consumed}} \quad (2)$$

Total Potable Water Consumed : 上水使用量

Total Alternative Water Used : 代替水(雨水・排水再利用水)使用量

Water Returned to Original Source : 水源還元量

2.3 使用水量の調査結果と単位給水量の算出結果

図-2 に平日における時刻別給水量を示す。なお、雨水は上水補給水量を除いています。対象建物においては、勤務開始前の 7 時に給水量がピークとなり、上水と雨水の合計で約 110L となった。1 日の推移は勤務開始前後の 7~9 時にかけて給水量が多い傾向となった。これは、同時刻帯で雨水利用量が増えていることから、トイレ利用が多く、また上水使用量も多いことから流し台での電気ポット等への給水も多く行われていると推察する。

図-3 に稼働日の 8~18 時における各曜日の平均給水量と執務室の平均在所数を示す。これより、1 週間ににおける給水量は月曜日が最も多く、上水と雨水の合計で約 920L であった。なお、月曜日に上水使用量が多い主な要因は、流し台に設置している貯湯式給湯器の湯の入替えであった。雨水利用量は、月～金曜日はほぼ同様となり、約 145L であった。また、在所数は曜日による違いが見られず、13~15 人程度、平均で 13.6 人であった。在所数をもとに 1 人当たりの日給水量を算出すると、上水が約 44L/(日・人)、雨水が約 11L/(日・人)、合計で約 55 L/(日・人)となり、事務所の設計用単位給水量として用いられる 60~100 L/(日・人)よりも少ない結果となった。

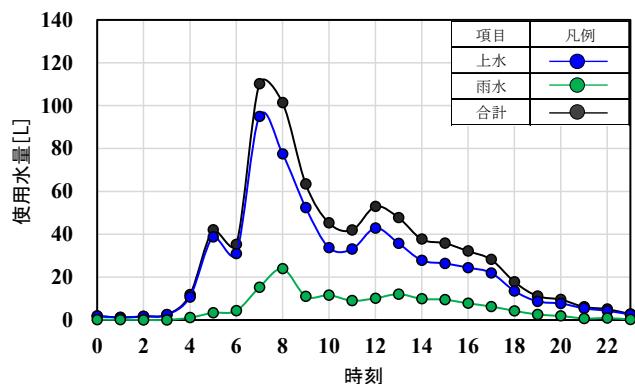
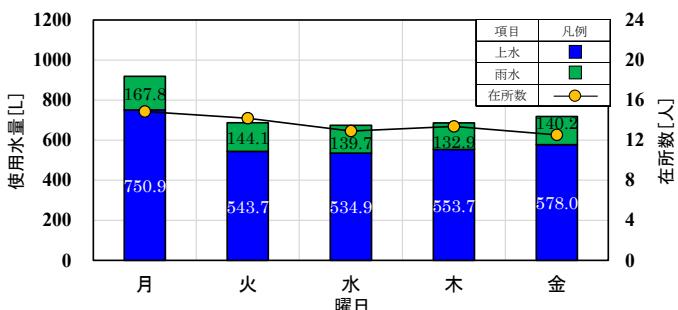


図-2 時刻別給水量(平日平均)

Fig.2 Water supply by time of day (Weekday average)



注)在所数は執務室内の人検知センサの総数に、人検知センサにより計測された 8~18 時における在所率を乗じ、平均した値とした。

図-3 曜日ごとの平均給水量
Fig.3 Average water supply for each day of the week

2.4 LEED Zero Water の達成率と達成に向けた試算

図-4 に系統別の年間給水量を示す。年間の合計は約 160~230m³ で平均約 200m³ 使用している。その内、雨水利用量は約 20% であった。上水使用量は系統別にみると、3F トイレ系統が約 26~51m³ 多いことから、雑用水を利用することで更なる節水化が期待できること

がわかった。また、経年により雑用水槽への上水の補給水も多くなっていることがわかった。空調補給水は、改修後の2021年以降、補給水がほぼ不要な空調システムとなつたため、2022年には1m³未満となつた。また、同図に式(2)から算出したLEED Zero Water達成率も示したが、最大でも2015年の37%と低く、達成率を上げるために更なる雑用水利用と排水再利用を行う必要があると考えられる。

ここで、対象建物の雑用水利用先の拡大として、3Fトイレ洗浄水の雑用水利用と緑地を設置し散水利用を想定した検討を行う。また、新たな水源として、流し台や手洗い等の雑排水を処理し、再利用するものとする。図-5に年間給水量について、改修前の平均値と雑用水利用先の拡大および雑排水再利用を行う給排水システムへ改修した場合の想定値と、式(1)から求めたLEED Zero Waterの試算結果を示す。ここで、3Fトイレ系の上水使用量は2Fと同等とした。また、流し台と手洗いの排水は全量再利用するものとし、雑用水槽への上水補給水量は図-4の2015年と同等とした。改修前の年間給水量の平均値をみると、上水が157.4m³に対し、雨水が36.7m³と上水使用量が上回るが、雑用水利用先の拡大と雑排水再利用を行うことで、上水と雨水・再利用水使用量が95.9m³と同量となり、LEED Zero Waterが達成できる見込みとなった。なお、上水の1人当たりの日給水量は、約30L/(日・人)となった。

2.5 給排水設備改修前のまとめ

本章では、対象建物の竣工後における水利用の調査を行い、LEED Zero Waterに対する評価検討を行つた。その結果、LEED Zero Water達成には、雑用水利用先の拡大と排水再利用が必要であることがわかった。

3. 給排水設備改修後の水利用調査とZWB評価

3.1 調査概要とZWBの評価方法

本章では、2章での検討結果をもとに、給排水設備の改修を行つた後のZWB評価を報告する。改修後の設備概要を表-2に示す。建物用途や年間稼働日数等は改修前と同様である。対象建物は、雨水利用に加えて、図-6に示すように新たに排水処理設備として浄化槽を導入し、排水再利用も行う。排水の原水は、給湯流しや手洗器等の雑排水のみとし、汚水は公共下水道へ放流とする。排水処理後の再利用水は、屋上に設置している雑用水槽(有効容量4m³)に雨水と合わせて貯留後、各階のトイレ洗浄水と緑地散水に利用する。水利用調査は、

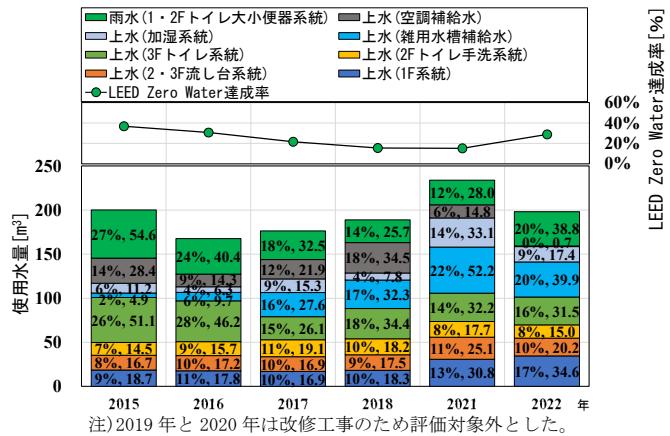


図-4 年間給水量とLEED Zero Water達成率
Fig.4 Annual water supply and LEED Zero Water achievement rate

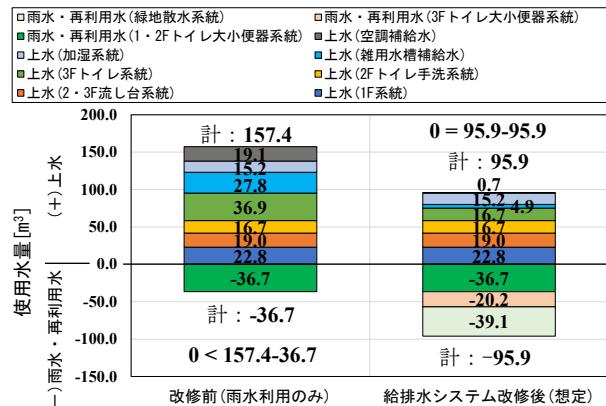


図-5 LEED Zero Water試算(年間給水量)
Fig.5 Estimate of LEED Zero Water(Annual water supply)

表-2 設備概要(改修後)
Table 2 Outline of equipment (After renovation)

項目	設備概要
給水方式	上水:受水槽+加圧給水方式 雑用水:高置水槽方式 雑用水原水:雨水・雑排水再生水
排水方式	汚水・雑排水分流式
排水処理方式	浄化槽(雑排水のみ処理)

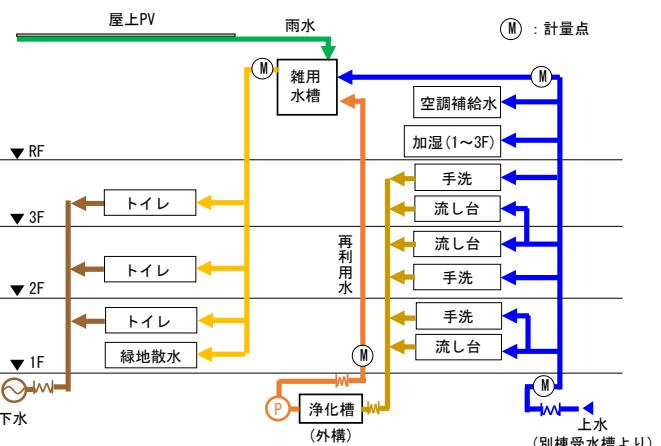


図-6 給排水系統図(改修後)
Fig.6 Water supply and drainage system diagram (After renovation)

BEMS に記録した水量データの積算値を用いて行う。評価期間は 2023/3/1～2024/2/29 の 1 年間とする。Zero Water の評価は、雨水と再利用水を代替水として LEED の定義である式(1)を用いる。なお、改修後も水源還元設備は未設置である。また、上水および下水インフラで発生するランニング CO₂ 排出量の検証も行う。

3.2 使用水量の調査結果と単位給水量の算出結果

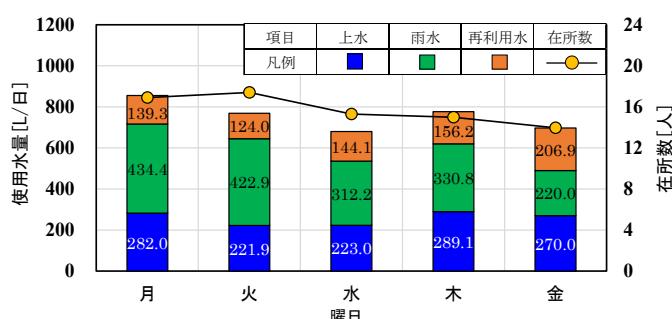
図-7 に平日の 8～18 時における平均給水量と執務室内の平均在所数を示す。原水別の使用水量は、上水が約 220～290L/日、雨水が約 220～430L/日、再利用水が約 120～210L/日となった。前章で示した雨水利用のみは、上水使用量が約 530～750L/日であったため、再利用水を導入することで上水を 50%以上削減できた。なお、在所数は、14～17 人であった。その在所数をもとに、1 人当たりの単位給水量を求めた結果を図-8 に示す。同図には、比較として前章の雨水利用のみの単位給水量も合わせて示した。雨水利用のみは、上水が約 41L/(人・日)、雑用水が約 19L/(人・日)であったが、再利用水導入後は、上水が約 17L/(人・日)、雑用水が約 33L/(人・日)となり、上水：雑用水比率は概ね 3:7 と

なった。これによって、同様の水使用機器で構成される事務所ビルにおいて、LEED Zero Water を達成するための指標のひとつを示すことができた。

3.3 LEED Zero Water の評価結果

図-9 に上水を + 軸、代替水を - 軸とした月間使用水量と式(1)の算出結果を ZWB 収支として示す。雨水利用のみの期間の使用水量は、上水が代替水を最大 10m³ 程度上回っていたが、再利用水導入後の評価期間中は、代替水が上水を概ね 5m³ 上回った。これは、再利用水を導入したこと、雑用水槽への上水補給量が低減されたことが主な要因である。なお、2024 年 1 月は降雨量が少なかったため、上水が代替水を大きく上回った。

図-10 に 1 年間の評価期間中における上水、雨水、再利用水の累積使用水量と ZWB 収支を示す。評価期間終了時の使用水量は、上水が約 75m³、雨水が約 79m³、再利用水が約 34m³ であった。これより、改修前後での上水使用量を比較すると、図-5 より改修前は約 157m³ であったため年間でも 50%以上の上水削減効果が得られた。ZWB 収支をみると、上水より代替水が約 40m³ 上回り、LEED Zero Water の認証基準を達成した。



注)在所数は執務室内の人検知センサの総数に、人検知センサにより計測された 8～18 時における在所率を乗じ、平均した値とした。

図-7 曜日ごとの平均給水量(改修後)

Fig.7 Average water supply for each day of the week
(After renovation)

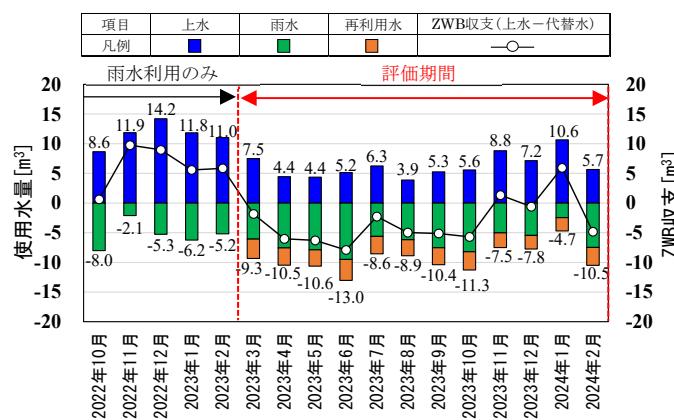
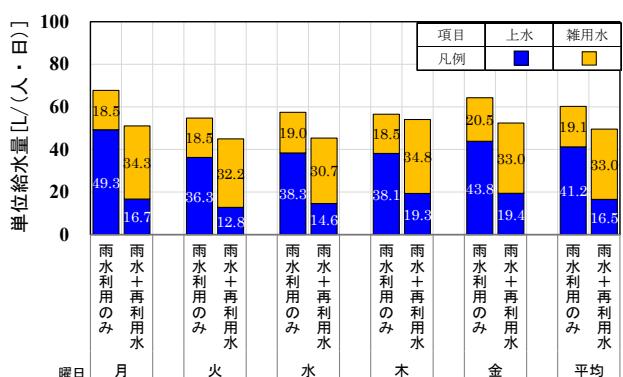


図-9 月間使用水量と ZWB 収支

Fig.9 Monthly water consumption and ZWB balance



注)雑用水は、雨水と再利用水の合計とした。

図-8 単位給水量の比較

Fig.8 Comparison of water supply units

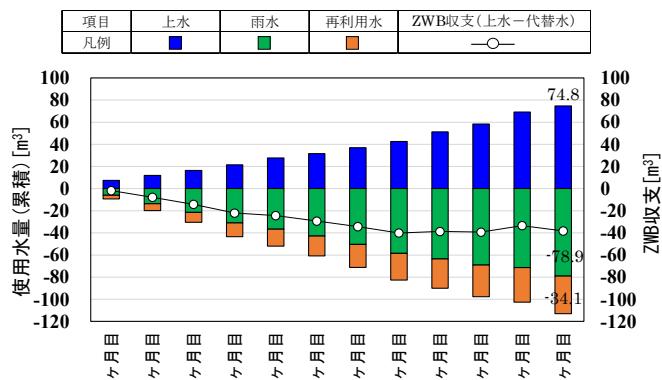
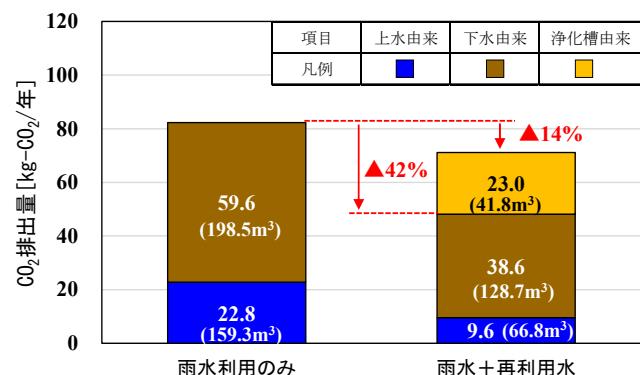


図-10 年間使用水量と ZWB 収支

Fig.10 Annual water consumption and ZWB balance

3.4 上水および下水由来のランニング CO₂ の比較

図-11に上水および下水由来の年間のランニング CO₂ 排出量の比較を示す。なお、CO₂ 排出係数は、2021年の横浜市の実績値⁴⁾⁵⁾を用いた。再利用水導入後のランニング CO₂ 排出量は、雨水利用のみに比べ、上水由来が約 13.2kg-CO₂/年削減、下水由来が約 21.0kg-CO₂/年削減となり、上下水合わせて約 42%の削減効果が得られた。なお、本対象建物は、太陽光パネルでの再エネとその蓄エネを行っているが、系統電源からの電力使用を想定し、再利用水導入後の浄化槽にかかる電力量から算出した CO₂ 排出量を加味しても、わずかではあるが約 14%の削減効果が得られた。今後、人口減少等による上下水由来の CO₂ 排出係数の増加が考えられることや、再エネ電源の普及による電力由来の CO₂ 排出係数の低減を踏まえると、さらにランニング CO₂ 排出量の削減効果が期待できると推察する。



注) 図中、()内は水量を示す。

CO₂ 排出係数は、上水 : 0.143kg-CO₂/m³、下水 : 0.300 kg-CO₂/m³、浄化槽 : 0.376 kg-CO₂/kWh(2022年東京電力)を用いた。

図-11 ランニング CO₂ 排出量の比較

Fig.11 Comparison of running CO₂ emissions

3.5 給排水設備改修後のまとめ

本章では、雨水利用に加え、雑排水処理および再利用を導入し、LEED Zero Water の評価や改修前後での単位給水量の比較を行った。その結果、年間使用水量は、上水に対し代替水が年間で約 40m³ 上回り、LEED Zero Water の認証基準を達成した。また、上水および雑用水の単位給水量の参考値を示すことができた。さらに、CO₂ 排出量については、ランニング時の削減効果を示すことができた。

4. 総括

既存オフィスビルにおける給排水設備の改修前後の水利用調査を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 雨水利用のみである改修前の LEED Zero Water 達成率は、最大でも 37%であったが、排水の再利用を導入することで LEED Zero Water を達成できる見込みを得た。
- 2) 排水の再利用を導入した改修後の年間使用水量は、上水が約 75m³、雨水と再利用水の合計が約 110m³となり、LEED Zero Water の認証基準を達成した。
- 3) 単位給水量について、改修前は上水が約 41L/(人・日)、雑用水が約 19L/(人・日)であったが、改修後は、上水が約 17L/(人・日)、雑用水が約 33L/(人・日)となり、事務所ビルにおける LEED Zero Water を達成するための指標が得られた。
- 4) 上下水由来のランニング CO₂ は、排水処理設備を導入した改修後でも、改修前と比較し約 14%の削減効果が得られた。

今後は、ZWB とカーボンニュートラルの両立に向けて、ランニング時の更なる CO₂ 排出量削減のため、排水処理にかかるエネルギーの省エネ化を検討する予定である。

注

- 注1) LEED ZERO Program Guide は、LEED 認証を取得したプロジェクトを対象に、「炭素(Carbon)」、「エネルギー(Energy)」、「水(Water)」、「廃棄物(Waste)」の 4 項目についてネットゼロ(正味ゼロ)達成の評価を目的として 2018 年に公開された。

参考文献

- 1) 小瀬 博之：日本における「ゼロウォーター」評価手法の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.1631-1634, 2020.
- 2) 青井 健史、大塚 雅之他：水処理技術を活用した研究所における水循環利用率の研究及び調査(その 1. ゼロウォータービルディング実現への可能性), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.1639-1642, 2020.
- 3) 安田 葵、西川 豊宏他：建築物におけるゼロウォーター評価に関する研究 その 2 ゼロウォータービル評価法の試案と考察、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.1719-1720, 2022.
- 4) 横浜市水道局：横浜の水道 2023, 2023 年 4 月.
- 5) 横浜市環境創造局：横浜市下水道脱炭素プラン 2022, 2023.