

第7章 資源循環システム（A9）

7.1 はじめに

7.1.1 研究目的

本研究は、環境負荷削減型住宅の計画・設計に寄与できる水・ごみ系の要素技術を、一般にいわゆる3R(Reduce, Reuse, Recycle)の観点から提案し、それらの技術的な有効性と評価方法の検討を行うことを目的としたものである。図7.1.1に戸建て住宅を対象とした水・ごみ系での負荷削減技術の研究に関する概念図を示す。研究対照した内容は、(1)節水型機器・生ごみ処理機器の負荷削減と経済効果の検討、(2)水資源を有効利用した屋上緑化に関する検討、(3)浄化槽利用による資源循環システムの開発検討、以上の3テーマとする。テーマごとにWGを発足させ研究を実施した。それらの検討概要を以下に述べる。

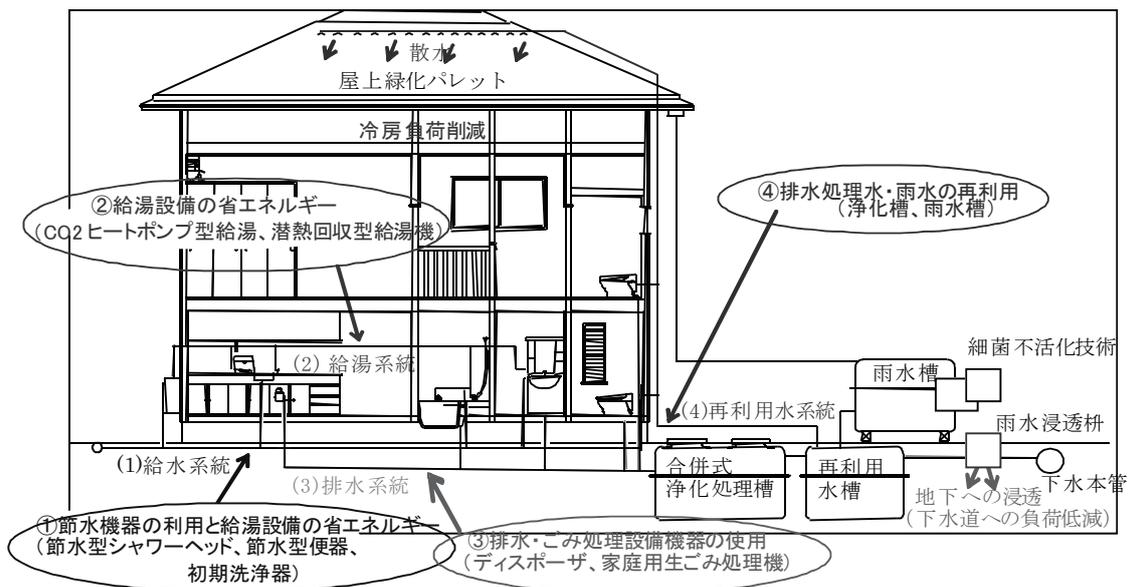


図7.1.1 水・ごみ資源循環システムの要素技術概念図

1) 研究テーマ別検討内容の概要

(1) 節水型機器・生ごみ処理機器の負荷削減と経済効果の検討

a 節水型機器

節水型機器の性能評価に関しては、2000年度を目安に一般に普及されていた水まわりの衛生機器をベースとし、2004年度

での最新型の節水・省エネルギー型機器の仕様に取り替えることによる環境負荷削減効果、経済効果について検討する。

そのためには、機器本体の水消費原単位、生活者の水使用行為と機器使用頻度、使用回数などのデータを収集する必要がある。

用回数などのデータを収集する必要がある。そこで過去に東京都水道局の実施した水使用調査の結果をベースに、空気調和衛生工学会、建築学会などの既往論文で報告されている数値データ、メーカー提供データなども加味し、水使用量、消費電力量、ガス使用量、CO₂、コストなどの削減効果を試算し定量的に把握する。対象家族の構成は、大人2名、子供2名の4人家族とした。実際に、検討した衛生機器は、トイレでは便器、温水洗浄便座、浴室ではシャワー、水栓、台所では食器洗浄機、ユーティリティーでは洗濯機などでの水消費に関する検討を行った。また、住宅での消費エネルギーの3~4割を占める給湯機器に関しては、その性能が大きく左右に影響するため従来型に加え、熱効率の高い潜熱回収型を採用した場合でも試算した。上記、調査を実施した中で、特に生活行為による影響を受けやすく、また、用途別水量使用の中でも占める割合も高い台所での水供用に注目し、食器洗いによる水消費を食器洗い乾燥機に替えた場合の節水効果を比較するために実在住戸での使用水量調査も実施した。

b 生ごみ処理機器

都心部で下水道整備がなされている地域に建つ住宅での家庭用ごみの処理方法には、図7.1.2のように①従来のごみ処理収集車による回収と、その後の焼却を行う従来のごみ処理方式(以下従来処理方式)を基準に、②コンポスト、③家庭用生ゴミ処理機、④ディスポーザ排水処理システムなその処理方式が考えられる。各処理方式でのコスト及びCO₂排出量を、既往研究より得られている原単位データを用い算出して結果を感度分析した。その結果、各方式の特徴や各方式の適用地域などについて検討をする。

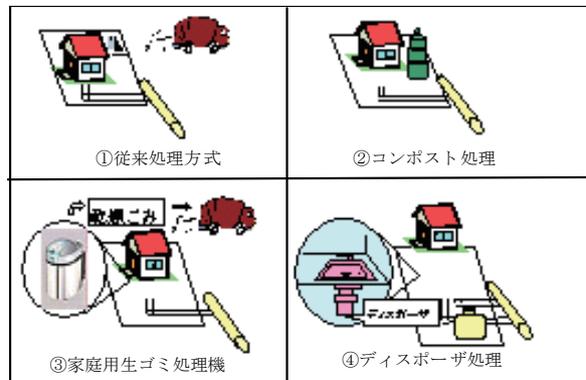


図7.1.2 家庭用生ごみの処理方法 (下水道整備地域)

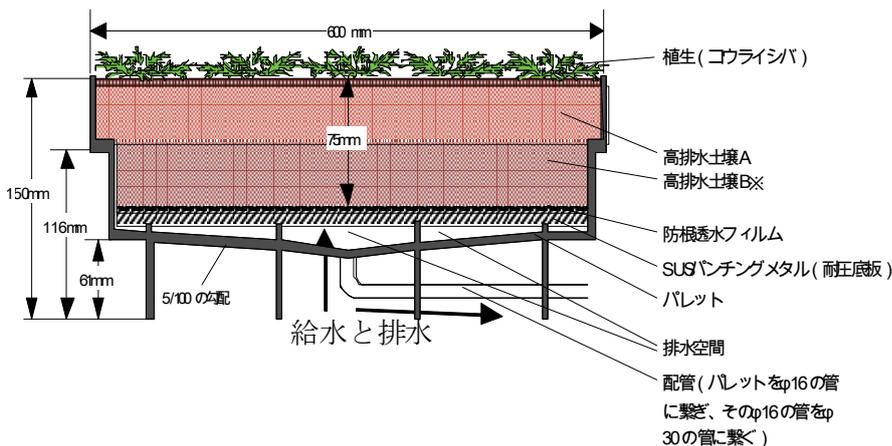


図7.1.3 底面灌水式緑化パレット断面

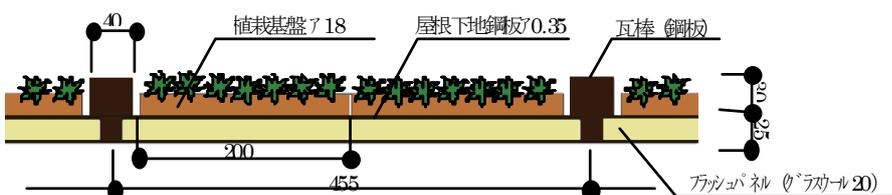


図7.1.4 平面パネル式緑化パレット断面

(2) 水資源を有効利用した屋上緑化に関する検討

雨水や浄化槽処理水などの住宅で取得できる水資源の他用途、リサイクル率は20%程度が限界と見なされる。ここでは、その知見を踏まえ、水資源を多用途にも使用しリサイクル率を高める検討を実施した。その一つに、屋上緑化への利用がある。

今回は、一例として図7.1.3、図7.1.4に

示す屋根緑化パレットを用い、それに雨水、浄化槽処理水の散水し、建物内の冷房負荷削減を行うこと、都市のヒートアイランド抑制を行うこと、膜処理浄化槽処理を併用することによる窒素・リン富栄養化問題の改善効果を確認することなどを目標として以下の内容について実施した。

a 屋上緑化利用水の安全性評価

雨水や再利用水を屋根に散水する上で問題になるのは水質の安全性で、それらの水質調査を行った。特に、一般細菌、大腸菌群、設備系の人工水(循環水)で増殖しやすいレジオネラ属菌、従属栄養細菌について、その発生要因と抑制手法について調査検討した。中でも給湯水や空調用冷却水での発生が危険視されているレジオネラ属菌について、緑化利用の中での増殖原因とその抑制方法について、塩素殺菌、紫外線照射、フィルター型の除菌装置を用いてその効果を検討した。



図7.1.5 除菌装置によるレジオネラ属菌の抑制

b 浄化槽処理水利用に関する水質・衛生学的評価

排水の衛生評価とその利用という観点から処理性能の高い膜処理浄化槽に注目し、ディスポーザ排水の膜利用浄化槽処理の可能性、処理水の屋上散水による水源確保とリサイクル率の向上、緑化植物への含栄養化問題の改善、細菌学的手法を用いた衛生評価、膜処理浄化槽と緑化システムの水

収支算定などの項目について検討した。

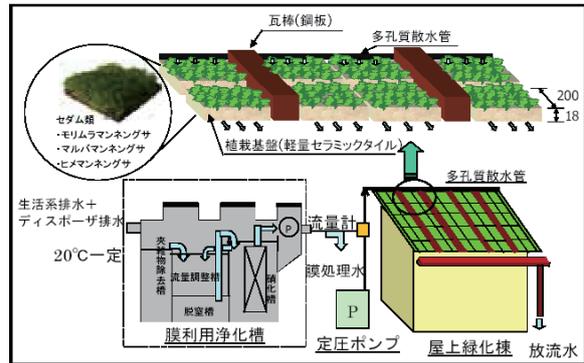


図7.1.6 浄化水処理水利用による緑化

c 屋上緑化における冷暖削減効果の検討評価

2種類の屋上緑化パレットについて、日射を受けた緑化材から蒸発潜熱の効果によってどれだけの水分蒸発が期待できるかが冷房時の負荷削減の大小を決定する要因となる。



図7.1.7 底面灌水式緑化パレット設置状況



図7.1.8 平面パネル式緑化パレット設置状況

本研究では、そのファクターの一つとして物質移動係数を定義し、それと日射量との

関係を明確にし、空調負荷計算用の気象データともリンクさせることができ、実際のモデル住宅を用いて熱負荷シミュレーションができるものとした。その結果を用い熱負荷削減量を試算した。

(3) 浄化槽利用による資源循環システム

以上、(1)～(2)の検討の結果に基づき、実際の住戸に浄化槽を利用した資源循環型システムを設置し、約6ヶ月間に渡る実測調査を行った。特に、ディスポーザ対応型浄化槽の水質、使用水量とリサイクル率、リサイクル水の水質、生ごみ発生量と汚泥(スカム)の処理(堆肥化まで)などに関して調べた。

(大塚 雅之)

参考文献

- 1) 山海敏弘他:資源循環型住宅システムの開発について—浄化槽地域の資源循環の可能性と評価(日本建築学会大会学術梗概集 p489～490、2002.8)
- 2) 梅原 他:同上一浄化槽地域の資源循環の可能性と評価(日本建築学会大会学術梗概集 p495～496(2003.9))
- 3) 例えば東京都水道局:一般家庭水使用目的別実態調査、1997
- 4) 節水等による水の有効利用、空気調和・衛生工学会シンポジウムテキスト、2001.1
- 5) 同上 4).P.Ⅱ-62～64
- 6) 宮道智嗣:パッシブクーリングに関する研究 屋上緑化の熱的検証と物質移動係数の算出、日本建築学会大会学術梗概集、2004.9
- 7) 岡田誠之:節水住宅の開発と節水型トイレの普及と課題、第18回全国トイレシンポジウム トイレ・水循環シンポジウム、2002.11
- 8) 豊貞佳奈子他、集合住宅用ディスポーザシステムの環境影響評価その1. LCCO₂,LCE 分析用原単位の設定、日本建築学会計画系論文集、第574号、2003
- 9) 中村伸也他:資源循環型住宅システムの開発研究 その6 雨水・再利用水の水質評価日本建築学会大会学術講演梗概集 2004.8 P.525～526

7.2 節水機器・生ごみ処理機の負荷削減効果に関する研究（節水WG）

7.2.1 水まわり、節水型機器の負荷削減、経済効果の検討

1) 整理解析法

節水、省エネ機器の環境負荷低減効果を算出するにあたっては、試算条件の設定が必要である。今回は日本全体に及ぼす効果を大枠で把握する為、メーカーの使っている試算条件をもとに、平均的な試算条件の設定に努めた。

試算条件の信頼性の確認については、東京都水道局調査をはじめ、関連する研究やガ

イドライン等をもとに検証を行った。

試算条件と検証結果については表 7.2.1、表 7.2.2 に示す。検証結果から、今回の試算条件設定の妥当性が確認できた。但しまだ湯水の使われ方で不明な部分が多く、試算条件をより確かなものにする為の調査が引き続き必要である。

表 7.2.1 試算条件と検証結果1

	従来品	節水品	試算条件	関連する研究やガイドライン等をもとにした検証結果
大器	<p>■洗浄水量 13L ~99の主な便器洗浄水量:T社データ</p> <p>HASS *4 20~12L 柳村他 *2 15L</p>	<p>■洗浄水量 大8L/小6L</p>	<p><用便回数> ■大1回/日 小3回/日 (外で3回とする)</p> <p>紀谷 *1 大1.1回/日、小4.9回/日 柳村 *2 大1.3回/日 小5.43回/日(男) 大+小6.49回/日(女) 夜~朝 大1.12/日 小2.97/日(男) 大+小4.14/日(女) 泌尿科データ:成人男性小便回数 Max6回/日</p>	<p>☆→MAX値 △→MIN値 ★→設定値 ●→その他</p> <p>■→設定値</p> <p><使用水量></p> <p>大便 ☆ 1.3回/日 ● 1.1回/日 ★△ 1.0回/日</p> <p>小便 ☆ 6.0回/日 外出先で3回とすると ● 5.43回/日 △ 4.9回/日</p> <p>★☆ 3回/日 ● 1.9回/日 ※WLの洗浄水量は、影響が小さいので考慮しない。</p>
シャワー	<p>一般シャワー</p>	<p>手元スイッチ付 節水シャワー サーモ水栓</p> <p><手元スイッチの効果> 節水率20%</p> <p><節水シャワーの効果> 節水率15%</p>	<p><シャワー回数> ■毎日1回</p> <p>紀谷 *1 夏:男5.1/5.7 女5.3/5.7 冬:男1.1/5.5 女1.2/5.5 (シャワーのみ/入浴回数)</p> <p>BL *10 入浴日数(シャワーのみ+風呂):7.5回/週</p> <p><シャワー時間> ■手元スイッチなし 5分/人・日 手元スイッチ付 4分/人・日(20%削減)</p> <p>BL *10、1/3の人がシャワーの出しっぱなし 近藤他 *5 22.2%~35.6%節水(手元スイッチの効果)</p> <p><シャワー流量> ■一般10L/min 節水8.5L/min(15%削減)</p> <p>近藤他 *5:節水8.2~9.2 一般10.7~11.9L/min 給湯設備の基礎知識 *8 8.5~8L/min</p> <p><シャワー使用湯量> (確認用)</p> <p>紀谷 *1 25L/日 柳村 *2 40L/回 HASS *4 20~60L/回 羽田野 *7 シャワ-53.3L/回 風呂有りの時39.8L/回 BL *10 47.3L/日 (シャワ-53.3L 風呂4.9L)</p> <p><湯温> ■42°C(オールシーズン) 夏 冬 HASS *4 37~40°C 39~42°C 給湯設備の基礎知識 *8 40.5°C</p>	<p><シャワー回数></p> <p>☆ 7.5回/週 ★ 7回/週 △ 5.7(夏)、5.5(冬)回/週 ←入浴回数=シャワー回数とした</p> <p><シャワー使用湯量> *シャワー時間×流量で算定</p> <p>従来★5分×10L/min=50L ↓ ×10.7~11.9=53.5~59.5L 節水★4分×8.5L/min=34L (3.89分~3.22分)×(8~9.2)=25.8~35.8L</p> <p>↓</p> <p>従来品 ☆ 59.5L/回 ● 53.5L/回 ★△ 50L/回</p> <p>節水品 ☆ 35.8L/回 ★ 34L/回 △ 25.8L/回</p> <p><湯温></p> <p>42°C HASS冬 40°C HASS夏 39°C ● 40.5°C ★☆ 42°C △ 37°C</p>

表7.2.2 試算条件と検証結果2

		■→設定値	☆→MAX値 △→MIN値 ★→設定値 ●→その他
従来品	節水品	試算条件	関連する研究やガイドライン等をもとにした検証結果
風呂 定量止水無し バス水栓	定量止水付 バス水栓 <定量止水の効果> 定量止水機能なし 捨て水4.5m ³ /年 (T社調べ) が削減される	<湯量> ■150L(満水200Lの80%弱と設定) 紀谷 *1 200L 柳村 *2 130L HASS *4 100L~160L BL *10 8分目までお湯はり→81% 半分くらいお湯はり→16% <お湯はり日数>■365日 紀谷 *1 夏:男5.7(0.6)/週 女:5.7(6.4)/週 冬:男5.5(4.4)/週 女5.5(4.3)/週 <湯温> ■42℃(オールシーズン) 夏 冬 HASS *4 39~41℃ 41~43℃ 給湯設備の基礎知識 *8 40.5℃ <お湯の取り替え頻度> (参考) BL *10 毎回50%、2回に1回33%、それ以下17%	<湯量> ● 200L ☆ 200L ● 130L ★ 150L ● 100L △ 100L HASS → <湯温> ● 41℃ ☆ 43℃ ● 41℃ ★ 42℃ ● 39℃ △ 39℃ HASS夏 → HASS冬 <お湯はり日数> ★ 365日/年 △ 292日/年 浴回数 平均5.6日/週より
キッチン 手洗い(食器洗い) 東京都水データ 200L/日 →66.67L/回 日本電気工業会 自主基準 ■66L/回 (4人、食器24点) 近藤 *12 33L(4人)	食器洗い乾燥機 ■10L/回 T社 EUD500	<使用条件> ■1日3回使用 <湯温> ■40℃ HASS *4:36~41℃	<使用水量> 手洗い ☆★ 66L/回 △ 33L/回 食洗機 △ ★ ☆ 10L/回 <湯温> ☆ 41℃ ★ 40℃ △ 36℃

2) 各種衛生機器での効果検討

効果の検討にあたっては一般家庭(4 人家族)をモデルに、水まわりの衛生機器や温水洗浄便座、水栓金具、洗濯機などを、2000 年度の一般的な水まわりの器具をベースとして、2004 年度の最新型の節水、省エネ型の器具に取り替え、更に食器洗い乾燥機を導入することで得られる環境負荷低減効果及び、経済効果について試算した。

試算値の信頼性を確認する為、関連するさまざまな研究報告などに基づく計算値の最大値、最小値と、今回の計算結果を表 7.2.3~表 7.2.7 に示した。結果、今回の計算値は他の研究報告などによる計算値とほぼ近似しており、信頼性は高いといえる。(用いた原単位は表 7.2.8 参照)

しかし、食器洗い乾燥機の節水・省エネについては、更に台所におけるさまざまな行為を

正確に分析しないと正確な数値は出すことが出来ない。今回の計算結果では、食器洗いに關する効果が CO₂削減効果において約 40% を占めており、水まわりトータルの環境負荷低減効果を考える為、更なる調査・分析が必要と考える。

(1) トイレ

便器の節水効果により、大幅な節水が可能。また、温水洗浄便座による節電効果により大幅な節電が可能。以上を合わせて年間 110kg-CO₂ の削減、15465 円のランニングコスト低減に寄与することがわかった。

(2) 浴室

シャワーを節水タイプにし、定量止水機能によりお湯はり時の無駄水を防ぐことで、節水だけでなく、給湯負荷の低減により大幅な省エネ

表7.2.3 効果検討結果(トイレ) (■MAX値、▲MIN値)

使用器具		年間削減量、削減金額				
従来型	節水器具	節水量(m ³)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m ³)	CO ₂ 削減量(kg-CO ₂)	削減金額(円)
便器 	洗浄水量13L/回 ※グラフの左側:BEFORE 右側:AFTER ※大小洗浄切替機能付	洗浄水量大..... 8L/回 小..... 6L/回	38m ³ 50%減 76m ³ 38m ³	232kwh 65%減 357kwh 125kwh	22kg 50%減 45kg 22kg	10059円
温水洗浄便座 	洗浄水量おしり0.4L/回 ビデ0.5L/回 消費電力0.978kwh/日	洗浄水量おしり、ビデ0.175L/回 消費電力0.343kwh/日 ※節水・節電機能	1m ³ 60%減 2m ³ 1m ³	232kwh 65%減 357kwh 125kwh	88kg 65%減 138kg 49kg	5406円

表7.2.4 効果検討結果(浴室) (■MAX値、▲MIN値)

使用器具		年間削減量、削減金額				
従来型	節水器具	節水量(m ³)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m ³)	CO ₂ 削減量(kg-CO ₂)	削減金額(円)
シャワー 	一般シャワー手元一時止水なし2/ハンドル水栓 ※グラフの左側:BEFORE 右側:AFTER	節水シャワー手元スイッチ付サーモスタット水栓 節水シャワーの効果節水率15% 手元スイッチ付シャワーの効果節水率20%	31m ³ 35%減 89m ³ 58m ³	107m ³ 35%減 307m ³ 200m ³	700kg 35%減 244kg 457kg	24021円
浴槽 	定量止水機能なし捨て水4.5m ³ /年 浴槽水 150L	定量止水機能付捨て水0 浴槽水 150L	5m ³ 8%減 59m ³ 55m ³	15m ³ 8%減 204m ³ 188m ³	35kg 8%減 464kg 429kg	3476円

表7.2.5 効果検討結果(食器洗い) (■MAX値、▲MIN値)

使用器具		年間削減量、削減金額				
従来型	節水器具	節水量(m ³)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m ³)	CO ₂ 削減量(kg-CO ₂)	削減金額(円)
食器洗い乾燥機 	洗浄水量(手洗い)103L/回	洗浄水量(食洗機)使用水量 10L/回 消費電力 0.22kwh/回	62m ³ 85%減 73m ³ 11m ³	241kwh 73%減 232m ³ 63m ³	170m ³ 57%減 533kg 230kg	36184円

表7.2.6 効果検討結果(洗濯)

使用器具		年間削減量、削減金額				
従来型	節水器具	節水量(m ³)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m ³)	CO ₂ 削減量(kg-CO ₂)	削減金額(円)
洗濯機 	水使用量206L/回 消費電力70kwh/年	水使用量80L/回 消費電力35kwh/年	46m ³ 61%減 75m ³ 29m ³	35kwh 50%減 70kwh 35kwh	40kg 57%減 71kg 30kg	12957円

表7.2.7 効果検討結果(合計) (■MAX値、▲MIN値)

年間削減量、削減金額				
節水量(m ³)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m ³)	CO ₂ 削減量(kg-CO ₂)	削減金額(円)
183m ³ 49%減 375m ³ 192m ³	26 kwh 6%減 427 kwh 401 kwh	292m ³ 39%減 743m ³ 451m ³	733kg 38%減 1949kg (902kg) (883kg) (45%減) 1216kg	92102円 (74465円)

表7.2.8 原単位一覧

<ul style="list-style-type: none"> ・料金の原単位：水道265円/m³(大阪は180円/m³) ガス148円/m³ 電気22円/kWh ・CO₂原単位：水0.59kg-CO₂/m³ ガス2.1084kg-CO₂/m³ 電気0.378kg-CO₂/kWh ・ガス給湯機は一般的な熱効率80%程度のタイプとした 潜熱回収給湯器の熱効率は95%とした

(ガスなどの燃焼の削減)になり、水とガスを合わせて年間 279 kg-CO₂ の削減、27497 円のランニングコスト低減に寄与することがわかった。

(3) 食器洗い

手洗いは多くの湯を使っていることが確認できた。食器洗い乾燥機を使えば、少ない水を循環させて効率的に食器を洗うため大幅な節水と省エネ(ガスなどの燃焼の削減)になり、水とガスを合わせて年間 303 kg-CO₂ の削減、36184 円のランニングコスト低減に寄与することがわかった。

(4) 洗濯

最新の洗濯機は、節電化も進んでおり、また、少ない水で効率的に洗うことができるので、節水が可能である。水と電気を合わせて年間 40 kg-CO₂ の削減、12957 円のランニングコスト低減に寄与することがわかった。

(5) 合計

以上の結果をトータルすると、家庭内の水まわり器具を節水型に替えるだけで、家1軒あたり年間使用水量を 183m³削減(49%削減)、給湯のためのガス消費を 292m³削減(39%削減)、CO₂排出量を 733kg- CO₂削減(水まわりから排出される CO₂を 38%削減)できることがわかる。また、同時に水道代、ガス代、電気代合わせて約 9 万 2 千円(東京)、約 7 万 4 千円(大阪)の節約になる。地域により節約金額が異なるのは、水道代の地域差によるものである。

節水器具に加えて、潜熱回収型の高効率給湯器を組み合わせることで、更なる省エネ効果が見込める(CO₂排出の削減効果が更に約 7 ポイント向上する)。

以上から、節水する事は水だけでなく給湯によるエネルギー消費についても同時に削減することができる為、大きな環境負荷の低減、ランニングコストの低減を実現することができるといえる。

3) まとめ

現在、最も問題視されている環境問題の 1 つに『地球温暖化』が挙げられる。地球温暖化の主な原因は、CO₂ の排出によるといわれている。水や湯を消費することで多くの CO₂ が排出されている。

一般的な4人家族の家庭についてみると、家庭から排出されるすべての CO₂ のうち水まわりの占める割合は実に約 40%になる。

現在日本全体で排出されているCO₂は年間 12.3 億tだが、その中で住宅からの排出は約 13%といわれている。つまり国内の CO₂ 排出量の約 5% (13%中の約 40%が水まわりより)が住宅の水まわりから排出されていることになる。

今回の試算結果から、家庭の水まわりにお

ける節水化は、ひとつひとつの力は小さくても、水まわりトータルで節水器具を組み合わせることで、更に、広く普及させることで、水需要の大幅な抑制を可能にするだけでなく、同時に地球温暖化の主な原因である CO₂ の排出も低減する、より広範囲な環境保全効果のあるエコロジ的な手段であることが確認できた。

今後、熱源の効率化にとどまらず、節水、省エネ機器の普及による環境負荷の低減に努めることで、大幅な CO₂ 排出低減の可能性があるといえる。

(山内 大助)

参考文献

- *1) ミニマム水量に関する検討と提案/紀谷文樹
- *2) 器具の時系列的な使用解析に基づく給水・給湯負荷計算方法の開発/村上三郎
- *3) 給水使用量の新しい計算方法の提案/柳村暁他
- *4) HASS206-2000
- *5) シャワーヘッド散水板の設計方法に関する研究/近藤武士他
- *6) 湯節約器具による省エネ効果の把握 進捗報告/近藤武士

- *7) 住宅用給湯設備の設計・評価方法に関する研究/羽多野由紀他
- *8) 給湯設備の基礎知識
- *9) 住宅の浴室からの廃熱利用に関する実態調査/菅原幸他
- *10) 住宅用給湯設備の設計・評価方法に関する研究 報告書 H13 年度版/ベターリビング
- *11) 住宅用給湯設備の設計・評価方法に関する研究 報告書 H14 年度版/ベターリビング
- *12) 食器洗いにおける省エネ効果把握実験/近藤武士

7.2.2 台所、流し周りでの節水効果（実住戸での使用水量調査）

1) 研究目的

近年、食器洗い乾燥機は住宅の高機能・多機能化のニーズに伴い、家事負担を軽減させる水まわり設備として普及が促進している。また、各食器洗い乾燥機メーカーもカタログ等において、食器洗い乾燥機の使用により、台所における水の使用量が大幅に削減されるとしてきた。しかし、これらは、手洗いのみの場合と、食器洗い乾燥機のみの場合の使用水量を比較したものであり、食器を食器洗い乾燥機にセットする前の段階での予備的な食器洗い(以下

「予洗」という。)も含めた評価を行っていない。また、一日に台所で食器洗いに使用する水量や、調理に使用する水量などの文献値は、その値の変動が大きく、定量に把握した知見は乏しい状態である。このため、本調査では、食器洗い乾燥機を有する家庭において、予洗が台所における水使用量全体に対して、どの程度の割合を占めるか把握すること、また、食器洗い乾燥機の使用回数について実測することを目的とした。

2) 文献調査

台所での一日使用水量や、食器洗いに関する既往研究の結果、及び各種メーカーによる食器洗い乾燥機の使用水量に関する文献調査をまとめ、それぞれ表 7.2.9～表 7.2.11 に示した。

表 7.2.9 より、台所全体での使用水量は文献値によりバラツキが見られるが、平均で 39.2[L/人・日]程度である。本研究では 4 人家

表 7.2.9 台所全体使用水量

文献No	使用水量[L/人・日]		
	平均	最小	最大
1	52	—	—
2	39.8	—	—
3	13	9	17
4	51.9	—	—

表 7.2.10 台所での食器洗いの使用水量

文献No	洗い条件	洗い方	使用水量[L/回]		
			平均	最小	最大
5	食器4人分(44点)	—	33.6	16.1	57.7
6	食器4人分(27点、箸含む)	—	22.4	—	—
	食器2人分(15点、箸含む)	—	16.9	—	—
7	食器35点	※1(流し洗い)	24.21	—	—
	食器40点		43.41	—	—
	食器35点	※2(溜め洗い)	20.34	—	—
	食器40点		22.53	—	—
8	食器4人分(44点)	—	33.6	—	—
		センサー止水	30.8	—	—
		足踏み止水	30.5	—	—
		シャワー吐水	20.2	—	—
		泡沫吐水	31.2	—	—
		冬季標準吐水	31.2	—	—
	食器6人分(66点)	—	47.6	—	—

- ・1.5 Lの湯に洗剤を入れ食器を洗った後、流水ですすいだ場合
- ・2.5 Lの湯に食器を3分間放置した後、湯を止めたまま洗い、流水ですすいだ場合

族を対象としたため、一日の台所での使用水量は 156.8[L/戸・日]が目安となる。

表 7.2.10 より、従来の人による食器洗いに使用する水量は、食器洗い回数によりバラツキが生じるが、平均値で 29.2[L/回]程度、最大で 57.7[L/回]、最小で 16.9[L/回]となった。

表 7.2.11 に示した食器洗い乾燥機の 1 回あたりの使用水量は、洗浄モードによって異なるが、メーカー値、文献値の平均値が概ね 12.3 [L/回]程度であることがわかる。よって、予洗いを考慮せず、食器洗い乾燥機のみで節水を考えた場合には平均値で 16.9[L]の削減になっていることがわかる。

しかし、実際には予洗いの水量が加算され

るため、本研究では以降で予洗いの使用水量について調査した。

表 7.2.11 食器洗い洗浄機の使用水量

機種 文献No.	食器洗いの条件	使用水量[L/回]	引用
	食器数[1回当たり]		
A社	55	11	各社カタログ
B社	50	12	
C社	52	10	
D社	60	10	
E社	60	11	
6	—	12.1	既往文献値
	—	12.9	
	40点	13.6	
7	35点	13.6	
	40点	16	
8	44点	12.5	
		11.6	
		12.0	
	66点	12.0	
		11.8	
		14.5	

3) 実測調査方法

(1) 調査住戸概要

調査住戸は 2 住戸とし、その概要と調査期間を表 7.2.12 に示す。

表 7.2.12 調査住戸概要及び調査期間

対象住戸	住戸タイプ	所在地	家族構成	調査期間
A住戸	集合住宅	横浜市	4人	2004.9.4~10.3 (30日間)
			大人2名 子供2名	
B住戸	戸建て住宅	鎌倉市	4人	2004.9.12~9.30 (19日間)
			大人4名	

(2) 測定項目及び測定方法

測定項目は以下の5点とし、図 7.2.1 に計測システム及び測定点を示す。また、設置状況を図 7.2.2 の 1)~6) に示した。

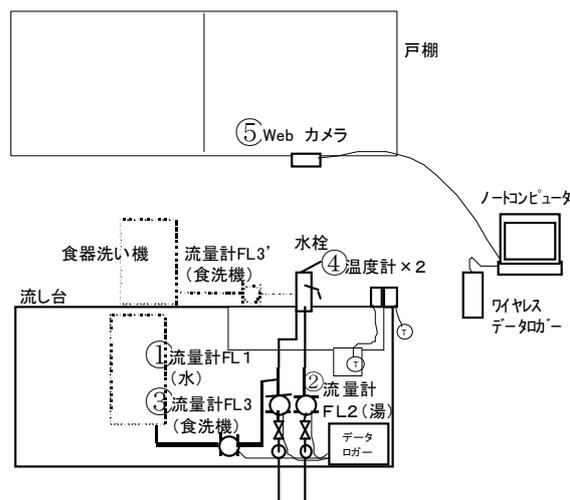
a 測定項目

- ①水使用水量: 流量計 FL-1 を設置し、台所流し(食器洗い乾燥機系統以外)における給水の使用水量を測定する。
- ②給湯使用量: 流量計 FL-2 を設置し、台所流し(食器洗い乾燥機系統以外)における使用給湯量を測定する
- ③食器洗い乾燥機の使用水量: 流量計 FL-3 を設置し、食器洗い乾燥機の使用水

量と、使用回数を算出する。

- ④温度: 流し台トラップ近傍に温度センサを設置し、排水温度の測定を行ない、給水・給湯の使用状況を把握する。また、外気温を測定するため、シンク外側にセンサを設置した。

- ⑤流し台における作業状況把握: USB カメラ設置を台所シンク上部に設置し、使用行為の判別及び使用時間などを確認する。



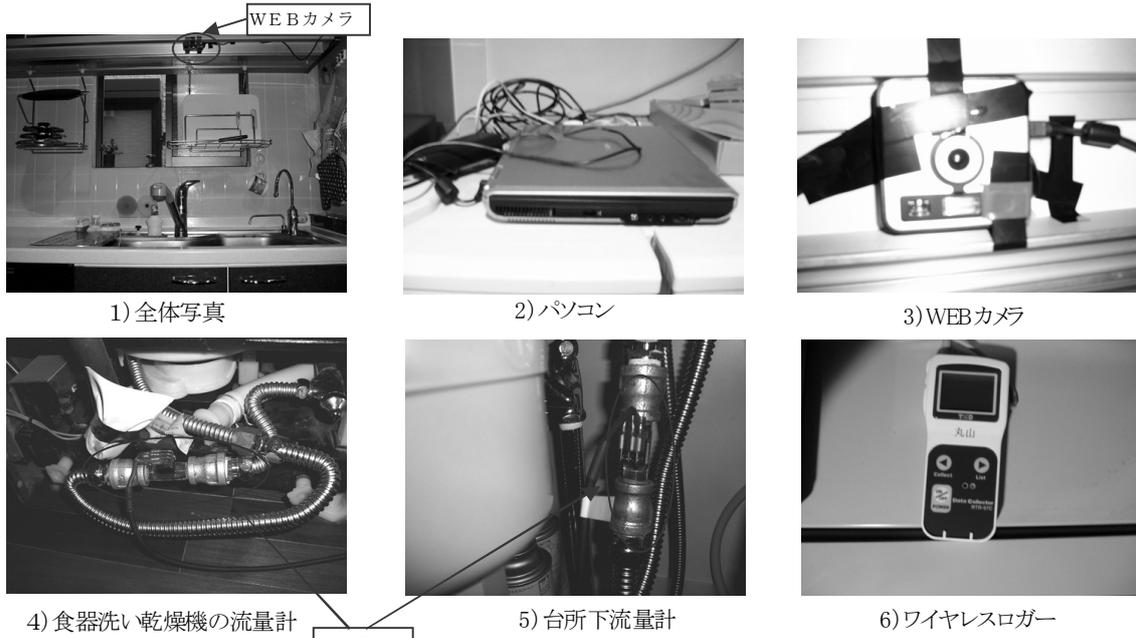


図7.2.2 実測実験の様子（B住戸）

4) 実験結果及び考察

(1) 台所流しにおける冷水使用量（食器洗い乾燥機系統以外）

図 7.2.3 に A 住戸における一日の給水(冷水)の使用変動を示した。また、B 住戸では、センサの故障により、データが検出出来なかった。同図より、一日の給水の使用パターンがわかり、ここでは朝、夜に集中して使用し、一日のトータル量は 32.1[L]となった。

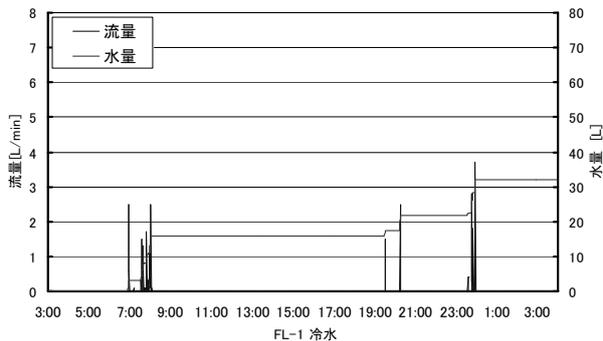


図7.2.3 冷水の使用変動例

次に、図 7.2.4 に測定期間中における一日の冷水使用量を示した。冷水を使用しない日を除いた平均では 38.8 [L/日] (n=21) を使用していることがわかる。但し、季節ごとの変動も影響すると思われるが、標準偏差が 17.6[L]程

度もあり、変動が大きいことも確認できた。

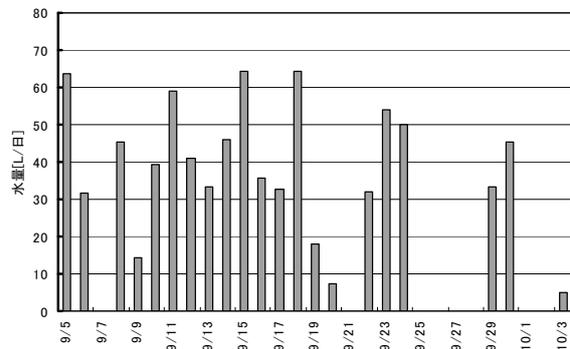


図7.2.4 冷水の一日使用量

(2) 台所流しにおける温水使用量（食器洗い乾燥機系統以外）

図 7.2.5 に A 住戸における一日の温水の使用変動を示した。同図より、測定実施日が夏季の為、一日の温水使用量も少なく、この時の一日の温水使用量は 2.8 [L]となった。

次に、図 7.2.6 に測定期間中での一日の温水使用量を示した。温水を使用しない日を除いた平均で 6.7[L/日] (n=18) となり、標準偏差は 6.28[L]程度となった。

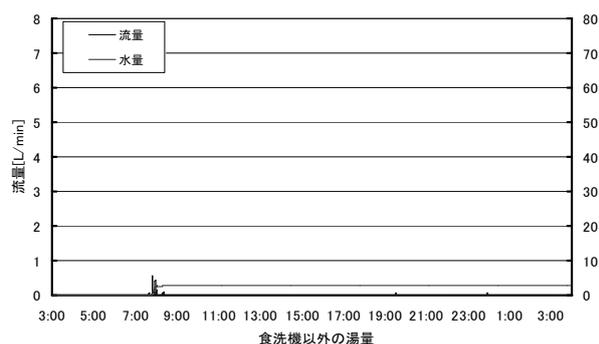


図7.2.5 温水の使用変動例

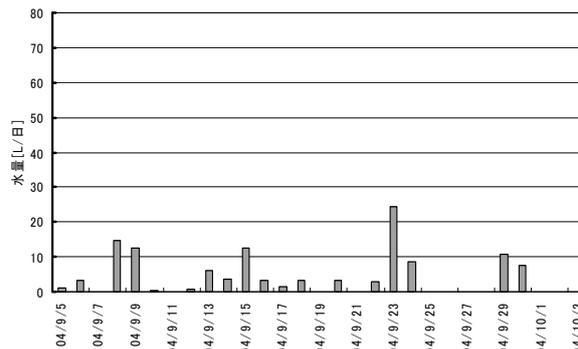


図7.2.6 温水の一日使用量

(3) 食器洗い乾燥機の使用水量及び使用回数

図7.2.7にA住戸における一日の食器洗い乾燥機の使用水量変動を示した。同図より、1回の使用であれば概ね12.9[L/回]であることがわかる。上記の表7.2.11よりメーカーカタログ値

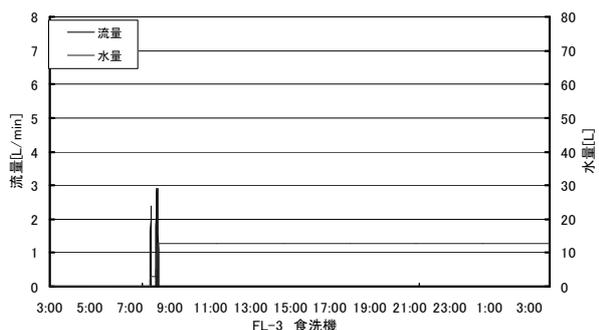


図7.2.7 食器洗い乾燥機使用変動例

等も10~13[L/回]程度を標準値としているため、実測値の妥当性が確認できる。

次に、図7.2.8に測定期間中での一日の食器洗い乾燥機の使用水量を示した。同図より、1日1回使用した日と2回使用した日がわかる。期間中の一日平均は、1.5[回/日](n=20)となった。

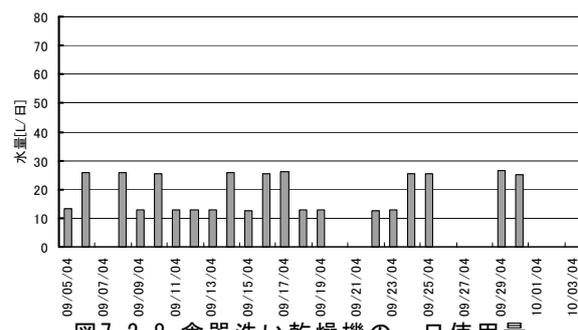


図7.2.8 食器洗い乾燥機の使用水量

5) 予洗い使用水量の算出

以上の1)~4)の結果より、食器洗いの予洗いに使用した水量を算出する。A住戸は、台所上部に設置したWebカメラから予洗いしている時間を読み取り、その時の水量を冷水及び温水の流量計のデータより算出した。

B住戸は、冷水のデータが取れていないため、カメラから予洗いに使用した時間を読み取り、使用した時間に給水流速6[L/min]を掛けて算出した。

(参考文献⁵⁾では、従来の台所での食器洗いの調査で、標準的な水栓を用いた場合の給水流速が6.4[L/min]と報告されているため、今回は6[L/min]とした)

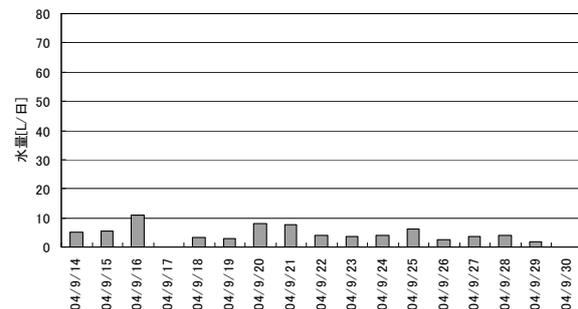


図7.2.9 予洗いの一日使用量

図7.2.9にB住戸における予洗いの一日使用水量を示した。同図より、予洗いをしなかった日を除く平均では4.9[L/日]、A住戸における予洗いの一日使用水量の平均(予洗いをしなかった日を除く)は8.6[L/日]となった。A、B

住戸の予洗い平均は 6.8[L/日]となり、表 7.2.9 に示した文献値の台所で1日に使用する総使用水量の 6%程度であることがわかった。

また、表 7.2.10 の従来の食器洗いの使用水

量と、実測における予洗い及び食器洗い乾燥機の使用水量の合計は、平均値で比較すれば後者の方が 9.5[L/回]程度節水されることがわかる。

6) まとめ

既往文献の調査より、従来の人による食器洗いの使用水量と、食器洗い乾燥機の使用水量を整理した。また、1住戸の結果ではあるが、実住戸での冷水、温水、食器洗い乾燥機の使用水量を把握し、1日の台所における冷水の使用水量は 38.8[L/戸・日]、温水は 6.7[L/戸・日]、食器洗い乾燥機は 12.9[L/回]、使用回数は平均で 1.5[回/日]となり、総使用水量は平均値で 64.9[L/戸・日]であることがわかった。

(関東学院大学 大塚研究室)

参考文献

- 1) 財団法人 日本建築設備・昇降機センター; 建築設備検査資格者講習テキスト 平成 16 年度版, p.p.571
- 2) 財団法人 ベターリビング; 平成 8 年度 節水型機器の評価手法に関する調査研究(その 2) 報告書, p.p.48, (1997.3)
- 3) 空気調和・衛生工学会編; 空気調和衛生工学便覧 III 給排水・衛生篇 改訂第九版, III-54
- 4) 空気調和・衛生工学会編; 給排水・衛生設備設計計画の実務の知識, p.p.34
- 5) 布野裕子, 近藤武士, 他; 節水・節湯器具の評価に関する研究その 2 手元止水機能付シャワーヘッドによる効果, p.p.469, 2003 年, D-1 分冊
- 6) 社団法人 空気調和・衛生工学会給排水衛生設備委員会資料調査小委員会; 節水等による水の有効利用, p.p.III20~28, (2003, 1)
- 7) 羽田野由起; 食器洗い乾燥機の現状～家事負担以外に利点はあるのか～, 給排水設備研究 V ol.20.No.2 技術レポート, p.p.46~50, (2003.7)
- 8) 自立循環型住宅開発委員会[A2]暖冷房・給湯システム小委員会 2004 年度報告書掲載

7.2.3 各種生ごみ削減方法における試算

1) 研究目的

人間が社会生活を営む過程で廃棄するごみの問題が顕在化しており、わが国では、平成 12 年度で 5,236 万 t/年の一般廃棄物が発生している。その中で、家庭から発生する生ごみは、家庭ごみ 1 kg 中に 330g 含まれており、生ごみに起因する悪臭や液だれなど衛生面の課題があることからその削減、減容化が急務になっ

ている。

そこで、一般的なごみ収集方法と今後普及する各種の生ごみ削減方法についてそれぞれの利点や課題を抽出し、生ごみ処理にかかる家庭負担費用と排出 CO₂ 量の試算・比較を行った。

2) 試算方法

試算方法は、補足-1 の設定原単位および文献値^{1)~10)}をもとに、都市型住宅(下水道地

域)と郊外型住宅(浄化槽地域)に区分して試算を行った。

3) 試算結果

都市型住宅(下水道地域)と郊外型住宅(浄化槽地域)それぞれについてごみ収集車による回収後、焼却する従来法を基準に3種類の生ごみ処理法の増減分を(図 7.2.10、図 7.2.11)に示した。

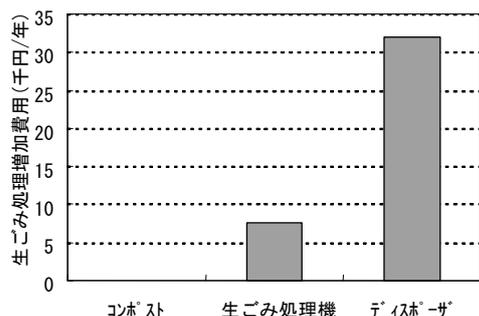


図 7.2.10 生ゴミ処理増加分金額 (下水道地域)

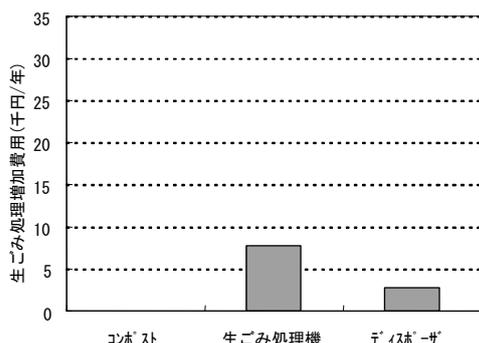


図 7.2.11 生ゴミ処理増加分金額 (浄化槽地域)

都市型住宅(下水道地域)では、従来法とコンポストでは、同等の費用のため新たな生活者負担はなかった。

コンポストでは、動力を必要としないため新たな費用負担はないもののしかし、生ごみ処理機では、電力を消費するためその費用負担が発生した。また、ディスポーザを設置するにあたっては、下水道地域でも専用の排水処理槽が必要となり、その動力や維持管理費、清掃費用が発生するため他の処理方法と比較して費用負担額が多くなっている。次に、郊外型住宅(浄化槽地域)では、生ごみ処理機は、都市型住宅と同一金額であり、ディスポーザは、電気料金、水道料金および汚泥引き抜き量の増加分で3千円/年程度であった。

各方法の CO₂ 量の算定結果を図 7.2.12、

図 7.2.13 に示す(図 7.2.12、図 7.2.13 のデータの幅は原単位のばらつきによる幅を示している)。

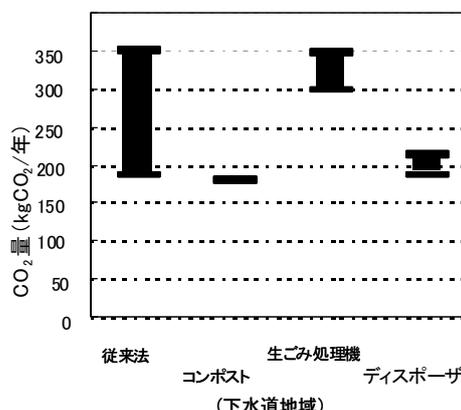


図 7.2.12 従来法との比較 (下水道地域)

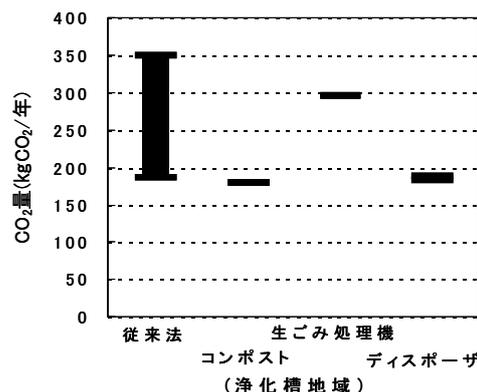


図 7.2.13 従来法との比較 (浄化槽地域)

ごみの回収、焼却から焼却灰埋立など発生 CO₂ 量の算定に必要な数値は、各種文献をもとに生ごみ処理によって発生する CO₂ 量を算定した。従来法では、187.6~350.4 kg CO₂/年と CO₂ 発生量に幅がある。コンポスト、生ごみ処理機、ディスポーザ(専用排水処理槽含む)の CO₂ 量を算定した結果は、どの方法とも従来法の感度分析範囲内に入っていた。3 種類の比較では動力を必要としないコンポストが最も CO₂ 発生量が少なく、ディスポーザ、生ごみ処理機と高くなっていた。このことは、生ごみ処理機は、乾燥加熱しており電力量の消費がその他の方法よりも多いことに起因している。

次に、郊外型住宅(下水道地域)でも同様な

傾向がある。特に、コンポストとディスプレイのCO₂発生量が低く、ディスプレイは、対応浄化槽の容量が合併処理場化槽とほぼ同一であるため新たな環境負荷が少ないことが判った。

4) 試算条件の設定と検証

生ごみの削減効果を明らかにする上での試算条件を表7.2.13に示す。

表7.2.13 前提条件

構成人員	4人家族
生ごみ発生量	250g/人・日

検討方法は、コンポスト、生ごみ処理機、ディスプレイの3種類の生ごみ処理方法を都市型住宅(下水道地域)と郊外型住宅(浄化槽地域)とに層別し、それぞれの方法について利点および課題を表7.2.14に示した。これに基づき生ごみを処理する過程で発生する費用と

CO₂量を算定した。なお、都市型住宅に生ごみ処理機を設置した場合、乾燥ごみは、ごみ収集車にて回収後、焼却処理を行うとし、郊外型住宅に生ごみ処理機を設置した場合は、敷地内で自家処理を行うとして算定を行った。また、ディスプレイ対応浄化槽を設置した場合、生ごみだけではなく、汚水や雑排水も同時に処理するが、合併処理浄化槽の容量増加分から汚泥量などを算定し生ごみに起因する費用および量として便宜上試算した。

5) まとめ

本報告は、ごみ収集車によって回収した後に焼却処分する従来法との比較を行った。しかし、生ごみ量などの原単位は、250g/人・日と原単位の変化は考慮していない。また、ディスプレイ対応浄化槽の処理水を再利用したときの家庭負担費用の削減等について検討・実験を行っていない。以上のことから今後の課題を下記に整理した。

- ①原単位変化による負担費用や発生CO₂量の変化の検討
- ②ディスプレイ対応浄化槽の処理水再利用効果の検証

生ごみを処理する3種類の方法を従来法の収集後に焼却する方法と比較を行った。その

結果、コスト面では、コンポストが従来法と同様に新たな費用発生は認められなかった。しかし、利便性や衛生性の観点から考えると都市型住宅(下水道地域)では、生ごみ処理機が効果的であり、郊外型住宅(浄化槽地域)では、ディスプレイ対応浄化槽が便益を得る上で有効であった。

更に、地球環境に影響を及ぼす発生CO₂量は、コンポスト、ディスプレイのエネルギー消費量が少ないため従来法の下限值と同等であった。一方で、生ごみ処理機は、熱源を多く使用することから電気量に起因するCO₂量が多いが、従来法の上限值以内に押さえられていた。

6) 課題

今回の試算は日本全体に及ぼす効果を大枠で把握することを目的としており、平均的な試算条件(シナリオ)を設定して試算を行った。このシナリオは、使用する人間や地域、その他

さまざまな条件により大きく異なることが考えられるため、地域差はどの程度考慮する必要がある。

ランニングコストの試算においては、今回は水道代は東京都のものを、また、電気代、ガス

代は一般的なものを用いて試算した。これらの原単位は地域によって大きく異なるものがあるので注意が必要である。

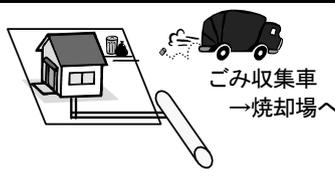
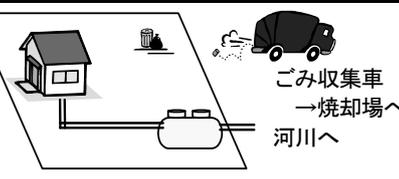
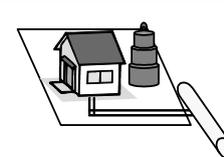
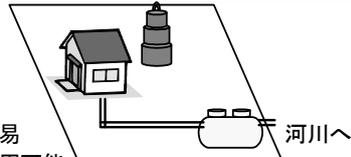
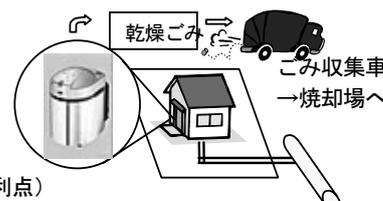
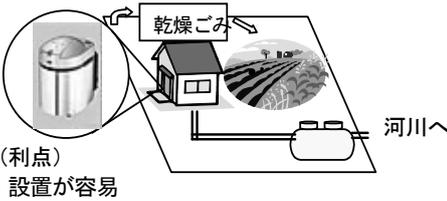
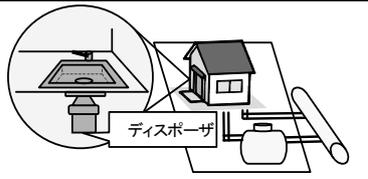
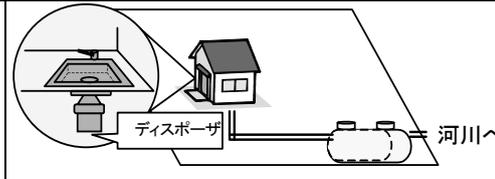
例：水道料金(20A、30m³)福岡市 334 円、大阪市166円

生ごみの削減方法における試算については、たとえば生ごみの収集、焼却、焼却灰運搬、埋立工程といった一連の工程で排出する CO₂量は、0.514~0.960 kg CO₂/kgなどの設定条件のばらつきにより結果に大きな影響が生じているため、試算条件は、精査して CO₂量の試算を検証するといった課題が残されている。

参考文献

- 1: 東京都水道局 平成 9 年度一般家庭水使用目的別実態調査、平成 12 年度生活用水実態調査 (http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/life/g_jouzu.htm)
- 2: 岩淵善美ら、一般廃棄物の広域化処理に関する環境負荷評価、空気調和・衛生工学会論文集、No.88、p13-23、2003
- 3: 松本亨ら：都市インフラ設備の LCA、クリーンエネルギー、p37-45、1998
- 4: 北海道大学大学院工学研究科 廃棄物資源工学講座廃棄物処理工学分野：都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究、1998
- 5: (社)空気調和・衛生工学会 地球環境委員会：建築設備と地球環境に関する研究、1999
- 6: 霧巻峰夫ら：LCA における多項目環境負荷の定量化に関する研究、環境システム研究、Vol.25、p 217-227、1997
- 7: 霧巻峰夫ら：LCA 手法を用いた排水処理の評価手法に関する研究、土木学会論文集、No.643/VII-14、p11-20、2000
- 8: 東京大学大学院工学系研究科：排水処理システムのライフサイクルアセスメント、第 15 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス公演論文集、1991
- 9: 豊貞佳奈子ら：集合住宅用ディスポーザシステムの環境影響評価、日本建築学会誌、第 574 号、p 43-50、2003
- 10: 松本亨ら：都市の有機物資源循環システムの評価指標の開発、環境システム研究論文集、Vol. 28、p21-32、2000

表7.2.14 都市型および郊外型住宅における生ごみ処理方法の利点と課題

住宅区分	都市型住宅	郊外型住宅
地域区分	都市部	地方部
排水処理区分	下水道地域	浄化槽地域 (非下水道地域)
<p><従来方法> ゴミ収集車による 回収、焼却</p>	 <p>下水道放流</p>	 <p>合併処理浄化槽放流</p>
<p><環境配慮方法> ① コンポスト</p>	 <p>(利点) ・設置が容易 (課題) ・設置場所が乏しい ・堆肥の処理が困難 ・屋外移動の煩わしさあり ・臭気や害虫の発生懸念 ・減容速度が遅いため移し換え必要</p>	 <p>(利点) ・設置が容易 ・堆肥の利用可能 (課題) ・比較的広い庭が必要 ・屋外移動の煩わしさあり ・臭気や害虫の発生懸念 ・減容速度が遅いため移し換え必要</p>
<p>② 生ごみ処理機</p>	 <p>(利点) ・設置が容易 ・減容速度が比較的速い (課題) ・乾燥ごみをごみ出し廃棄する必要あり ・臭気や害虫の発生懸念 (特にコンポストタイプ)</p>	 <p>(利点) ・設置が容易 ・減容速度が比較的速い (課題) ・再度の発酵(1次or2次)必要あり ・臭気や害虫の発生懸念 (特にコンポストタイプ)</p>
<p>③ ディスポーザ (対応浄化槽含む)</p>	 <p>専用排水処理槽</p> <p>(利点) ・台所の動線内で瞬時に処理が可能 ため利便性高い ・戸内の生ごみが瞬時になくなるため 衛生性高い (課題) ・設置住宅が限定される ・隣戸への騒音・臭気の問題が懸念される ・下水道への二重処理となりコスト負担大 ・処理槽の管理費、汚泥処分費必要 ・行政申請必要のため手続きが煩雑</p>	 <p>ディスポーザ対応浄化槽</p> <p>(利点) ・台所の動線内で瞬時に処理が可能 ため利便性高い ・戸内の生ごみが瞬時になくなるため 衛生性高い (課題) ・水の使用量の増加(計算上) ・浄化槽の設置スペース必要 ・浄化槽の管理費、汚泥処分費必要 ・行政申請必要のため手続きが煩雑</p>

(竹崎 義則)

補足-1 設定原単位の詳細

①使用人員	: 4人(大人:2名、子供:2名)	} 日本建築センター、 ディスポーザによる 生ごみリサイクルシ ステムの開発、1999 年
②生ごみ発生量	: 250g/人・日	
③台所排水量	: 30L/人・日	
④ディスポーザ排水量	: 5L/人・日	
⑤厨房+台所排水量	: 35L/人・日	
⑥台所排水濃度:	BOD: 600mg/L SS: 400mg/L n-Hex: 70mg/L	
⑦ディスポーザ排水濃度:	BOD:5,500mg/L SS:7,000mg/L n-Hex: 700mg/L	
⑧厨房+台所排水濃度:	BOD:1,300mg/L SS:1,340mg/L n-Hex: 160mg/L	
⑨生ごみの含水率	: 69.6%	
	(厚生省生活衛生局水道環境部、LCAに係る環境基本計画推進調査報告、1998)	
⑩金額換算原単位		
上下水道	:263円/m ³ (東京都、20A、30m ³)、	
上水道のみ	:150円/m ³ (東京都、20A、30m ³)	
下水道のみ	:113円/m ³ (東京都、20A、30m ³)	
電気	: 23円/kWh(家庭電気製品公正取引協議会の申し合わせ参考)	
ガス	:157円/m ³ (ガス機器工業会など)	
⑪CO ₂ 換算原単位		
上下水道	:0.59kgCO ₂ /m ³ (環境省)	
下水道のみ	:0.312kgCO ₂ / m ³ (豊貞佳奈子ら、日本建築学会誌、第574号、p43-50、2003)	
電気	:0.348kgCO ₂ / kWh(環境省)	
ガス	:1.9914kgCO ₂ /m ³ 環境省)	
生ごみ	:0.514~0.960kgCO ₂ /kg(収集、焼却(燃料含む)、焼却灰運搬、埋立工程含む) (豊貞佳奈子ら、日本建築学会誌、第574号、p43-50、2003)(岩淵善美 ら、空気調和・衛生工学会論文集、No.88、p13-23、2003)ほか2報 0.495kgCO ₂ /kg(バイオマス換算) (豊貞佳奈子ら、日本建築学会誌、第574号、p43-50、2003)	
乾燥ごみ	:0.019~0.465kgCO ₂ /kg (収集、焼却(バイオマス換算分除く)、焼却灰運搬、埋立工程含む)	
発生汚泥	:2.50~33.4kgCO ₂ /m ³ (収集、排水処理工程含む) (松本亮ら、環境システム研究論文集、Vol.28、p21-32、2000)(社団法人 空気調和・衛生工学会 地球環境委員会、委員会成果報告書、1999)ほか	
⑫合併処理浄化槽仕様(A社 カタログより)		
槽容量	:2.11 m ³ (汚泥引き抜き量:1.95 m ³)	
ブロワ定格	:0.075kW	
ブロワ稼働時間	:24hr	
⑬ディスポーザ単独排水処理槽仕様(B社 カタログより)		
槽容量	:0.844 m ³ (汚泥引き抜き量:0.844 m ³)	
ブロワ定格	:0.051kW	
ブロワ稼働時間	:24hr	
⑭ディスポーザ対応浄化槽仕様(構造基準標準:5人槽相当、今後の研究開発動向を考慮)		
槽容量	:2.8 m ³ (汚泥引き抜き量:2.1 m ³)	
ブロワ定格	:0.075 kW	
ブロワ稼働時間	:24hr	
⑮汚泥処分(一般廃棄物)(地域によってまちまちのため東京都の費用にて試算)		
処分費用	:10,000円/m ³	
⑯維持管理費(地域によってまちまちのため東京近郊都市の相場で試算)		
合併処理浄化槽、ディスポーザ対応浄化槽	:25,000円(薬品代含む、3回/年)	
ディスポーザ専用排水処理槽	:20,000円(薬品代含まず、3回/年)	
⑰ディスポーザ仕様(各種メーカー平均値)		
	:400W	

補足-2 区分別に基づく生ごみの環境配慮方法の比較

住宅区分		都市型住宅			郊外型住宅		
排水処理区分		下水道地域			浄化槽地域 (非下水道地域)		
地域区分		都市部			地方部		
		量(単位/年)	金額(円/年)	CO ₂ (kg CO ₂ /年)	量(単位/年)	金額(円/年)	CO ₂ (kg CO ₂ /年)
<従来方法> ゴミ収集車による回収、焼却 前提条件 ・生ごみ及び汚泥のCO ₂ 量は、運用段階のみ	水	-	-	-	-	-	-
	電気	-	-	-	-	-	-
	汚泥処分	-	-	-	-	-	-
	生ごみ	365 kg	-	187.6~350.4	365 kg	-	187.6~350.4
	合計	-	-	187.6~350.4	-	-	187.6~350.4
計算過程	<生ごみ> 250g/人・日×4人×365日			<生ごみ> 365 kg×(0.514~0.960)kg CO ₂ /kg	<生ごみ> 250g/人・日×4人×365日		<生ごみ> 365 kg×(0.514~0.960)kg CO ₂ /kg
<環境配慮方法 ①コンポスト 前提条件 ・生ごみは、最終的にCO ₂ まで分解すると仮定	水	-	-	-	-	-	-
	電気	-	-	-	-	-	-
	汚泥処分	-	-	-	-	-	-
	生ごみ	365 kg	-	180.7	365 kg	-	180.7
	全合計	-	-	180.7	-	-	180.7
計算過程	<生ごみ> 250g/人・日×4人×365日			<生ごみ> 365 kg×0.495 kg CO ₂ /kg	<生ごみ> 250g/人・日×4人×365日		<生ごみ> 365 kg×0.495 kg CO ₂ /kg
②生ごみ処理機 前提条件 ・生ごみのCO ₂ 量は、バイオマス換算 ・乾燥ごみのCO ₂ 量は、バイオマス換算を除く ・下水道地域の乾燥ごみは、ごみ収集車よっての処分と仮定 ・浄化槽地域の乾燥ごみは、敷地内での自家処理と仮定	水	-	-	-	-	-	-
	電気	334 kWh	7,682	116.3	334 kWh	7,682	116.3
	汚泥処分	-	-	-	-	-	-
	生ごみ	365 kg	-	180.7	365 kg	-	180.7
	乾燥ごみ	111 kg	-	2.11~51.6	111 kg	-	-
全合計	-	7,682	299.1~348.6	-	7,682	297.0	
計算過程	<電気> 700g/日→1 kg/日換算 234kWh/0.7 <生ごみ> 250g/人・日×4人×365日 <乾燥ごみ> 365 kg×(1-0.696)	<電気> 334kWh×23 円/kWh		<電気> 334kWh×0.348 kg CO ₂ /kWh <生ごみ> 365 kg×0.495 kg CO ₂ /kg <乾燥ごみ> 111 kg×(0.019~0.465)kg CO ₂ /kg	<電気> ・生ごみ処理機 700g/日→1 kg/日換算 234kWh/0.7 <生ごみ> 250g/人・日×4人×365日 <乾燥ごみ> 365 kg×(1-0.696)	<電気> 334kWh×23 円/kWh <電気> 334kWh×0.348 kg CO ₂ /kWh <生ごみ> 365 kg×0.495 kg CO ₂ /kg <乾燥ごみ> 自家処理であり、生ごみの中に含まれる	
③ディスプレイ (対応浄化槽含む) 前提条件 ・水はディスプレイによる増加分のみ ・都市型住宅の水費用は、上下水道料金で算定 ・郊外型住宅の水費用は、上下水道料金で算定 ・都市型住宅では、ディスプレイを設置するに当たり専用排水処理槽設置 ・郊外型住宅の汚泥処分は、合併処理浄化槽と比較した場合の増加容量から算定 ・郊外型住宅の場合の維持管理費は、合併処理浄化槽と同等と仮定し、費用増加分が無いため負担等	水(増加分)	7.3 m ³	1,920	4.31	7.3 m ³	1,095	2.03
	電気	451.6 kWh	10,369	157.2	4.9kWh	112	1.69
	汚泥処分	0.844 m ³	30,000	2.11~28.2	0.15m ³	1,500	0.38~5.01
	生ごみ	365 kg	-	180.7	365 kg	-	180.7
	全合計	-	42,289	344.3~370.1	-	2,707	184.8~189.
計算過程	<水> ・増加分 5L/人・日×4人×365日 <電気> ・ディスプレイ 0.4kw×2分/60分×365日 ・処理槽 0.051Kw×24h×365日 <汚泥処分> 槽内汚泥引き抜き量分 <生ごみ> 250g/人・日×4人×365日	<水> ・増加分 7.3m ³ ×263 円/m ³ <電気> 451.6kWh×23 円/kWh <汚泥処分> 1m ³ まで一律10,000円 ・維持管理費 20,000円/3回・年		<水> ・増加分 7.3m ³ ×0.59 kg CO ₂ /m ³ <電気> 451.6 kWh×0.348 kg CO ₂ /kWh <汚泥処分> 0.844 m ³ ×(2.50~33.4)kg CO ₂ /m ³ <生ごみ> 365 kg×0.495 kg CO ₂ /kg	<水> 5L/人・日×4人×365日 <電気> ・ディスプレイ 0.4kw×2分/60分×365日 <汚泥処分> 合併処理浄化槽と比較しての槽増加分を槽内汚泥引き抜き量分とした <生ごみ> 250g/人・日×4人×365日	<水> 7.3m ³ ×150円/m ³ <電気> 4.9kWh×23 円/kWh <汚泥処分> ・汚泥処分費 0.15m ³ ×10,000 円/m ³ <水> 7.3m ³ ×(0.59-0.312) kg CO ₂ /m ³ <電気> 661.9 kWh×0.348 kg CO ₂ /kWh <汚泥処分> 0.15m ³ ×(2.50~33.4)kg CO ₂ /m ³ <生ごみ> 365 kg×0.495 kg CO ₂ /kg	

7.3 水資源を有効利用した屋上緑化に関する研究(実験 WG)

7.3.1 緑化パレットのシステム概要

1) 試験パレットの設定

ヒートアイランド現象緩和を意図した水資源の有効活用の技術として屋上緑化パレットの検証を行なった。設定したシステムは以下の2種である。

- ①底面灌水式緑化パレット
- ②平面パネル式緑化パレット

2) 試験パレットの概要

試験パレットの概要を表 7.3.1、表 7.3.2 に示す。また、外観を図 7.3.1、図 7.3.2 に示す。

表 7.3.1 底面灌水式緑化パレットのシステムの概要

	底面灌水式緑化パレット
使用水	上水に加え雨水利用が主、中水も可。
給水方式	タンクよりポンプでパレット下部に所定時間給水し土壌の毛細管現象で灌水後、タンクへ戻す。雨水をパレット面で回収し、不足時は上水(中水)を補給する。
特長	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量土壌に用いた基盤で、耐圧性や景観性を有する。 ・芝生が最適の植生であり、維持管理に手間を必要とする。

表 7.3.2 平面パネル式緑化パレットのシステムの概要

	平面パネル式緑化パレット
使用水	中水利用が主、上水及び雨水も可。
給水方式	傾斜屋根に設置し、棟部の染み出しホースより灌水し、軒先まで浸透した余剰水は雨樋より回収する。
特長	<ul style="list-style-type: none"> ・セラミックを用いた基盤で、薄型軽量のため建築への負荷が少ない。 ・セダム類の植生であり、根くされ・雑草生育が殆ど無いなど、維持管理に手間がかからない。

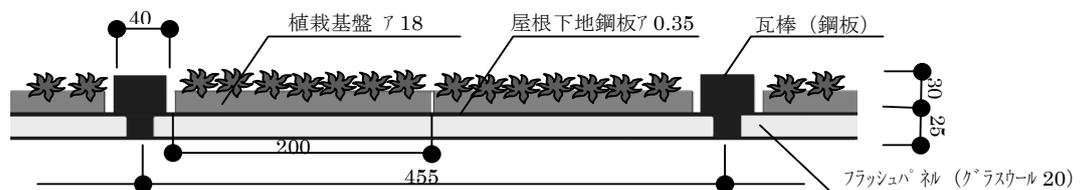


図 7.3.1 底面灌水式緑化パレットの外観



植栽基盤（軽量セラミックタイル）

植栽基盤	軽量セラミックタイル(200角)
緑化基盤厚さ	タイル17mm+植物10mm程度
植栽植物	セダム類
屋根下地	金属製瓦棒葺き屋根
灌水方法	しみ出しホースによる自動灌水
重量	30kg/m ² (湿潤時)

図 7.3.2 平面パネル式緑化パレットの外観

(中島 古史郎、小栗 健)

7.3.2 屋上緑化利用水の安全性評価

1) はじめに

都市環境問題の一つとして、ヒートアイランド現象がとり挙げられている。その対応策として、都市空間全体を冷却し、ヒートアイランド現象を緩和する屋上緑化システムが注目されている。しかし、緑化植物の維持に必須である水源まで含めたシステムの提案と、そのための技術開発は未だ不十分な状況にある。一方では、図に示すような浄化槽処理水や雨水などを再利用することを考慮した資源循環型社会の構築に基づき、未利用資源である雑用水の利用用途として、前述の屋上緑化システムへの散水などの二次利用が考えられる。¹⁾しかし、雑用水を利用する場合には、細菌感染症によるリスクなどを考慮したうえで慎重に進められるべきであり、衛生学的に安全な水質を供給するには、屋上緑化利用水（以下利用水とする）の水質管理の必要性が重要となってくる。

これら建築設備で利用する循環系人工水に増殖しやすい細菌としてはレジオネラ属菌が挙げられる。レジオネラ属菌感染症を予防するために必要な措置に関する技術指針が厚生労働省から平成15年7月に出され、開設者や管理者が行うべき具体的なレジオネラ症発生防止対策について、基本的な考え方や措置を明示している。本指針では、レジオネラ感染症は自然感染を除き、エアロゾルを発生しやすい施設での適切な衛生管理により防止できる感染

症であるとして、建築物所有者・管理者の役割としてレジオネラ症防止指針に沿った建築物とその維持管理が実現できるようそれぞれの役割を果たすことを求めている。本指針には法的な拘束力はないものの、公衆浴場法や旅館業法の対象となる施設の営業者については、法的な拘束力のある自治体が定める施行条例などで規制を受けることになる²⁾。

以上の背景から、本項ではまず屋上緑化システム利用水の実態調査を行い、利用水の水質劣化を確認した上で、その防止策として、①藻類の発生抑制対策、②システム内における除菌装置の付設、③利用水中におけるレジオネラ属菌の各種消毒方法を用いた不活化実験を試み、本システムに最適な消毒方法について検索した。



図7.3.3 生活排水・雨水再利用システム

2) 再利用水の水質基準

排水再利用水は、旧建設省と旧厚生省の通達より便所洗浄水以外は使用できなかったが、旧建設省の排水再利用マニュアル（排水再利用・雨水利用システム設計基準）で雨水利用が取り入れられてから、修景・散水用水や親水用水への適用も可能となり、適用領域は拡大されている。

しかし、汚水を含む原水を処理した水が、水質的には飲料水の基準を満たしていても、飲料水にまで適用するかどうかは技術的問題だけでなく、社会的、生物学的かつ医学的問題として見直しが必要である。また浄水目的として使用する場合に限らず、使用用途別によっても

水質基準が設けられており、浄化槽処理水・雨水等の再利用目的の水についても再利用できる可能性の枠が定められている。

表 7.3.3 に各利用用途別に定められ、指標とされた水質基準を示す。順に、①衛生面の安全性、②人間感覚への影響、③機器への影響、特に海水を利用する際には、塩素イオンによる機器類の腐食に配慮が必要とされている。

供給水質のレベルは、水の使用用途により決定されるが、水源の水質レベルに応じて、最も効率的処理方法を採用し、要求される水質にして供給することが合理的である。すなわち、水の使い分けが必要となる。使用用途と水質レベルの分類を表 7.3.4 に示す。この表より、原水の水質をみて安全性に配慮し、用途に応じた使用を行う必要がある。

表 7.3.3 用途別水質基準

指標となる水質基準	
水洗トイレ用水	① 大腸菌群数:10CFU/ml以下 残留塩素:中水(保持されていること) ② 臭気・外観:不快でないこと ③ BOD:20ml/l以下 濁度:施設の対応として、中水では砂ろ過程度の処理を行い、雨水利用では巻上防止をするよう施設の配慮が必要がある。
冷却塔補給水	① 大腸菌群数:10CFU/ml以下 ② 臭気・外観:不快でないこと
洗車用水 散水用水 消火用水 清掃用水	① 残留塩素:中水(保持されていること) 大腸菌群数:中水(検出されないこと) 雨水(10CFU/ml以下) ② 臭気・外観:不快でないこと ③ BOD:20ml/l以下 濁度:—
修景用水	① 大腸菌群数:中水(検出されないこと) 雨水(10CFU/ml以下) ② 臭気・外観:不快でないこと ③ BOD:20ml/l以下 濁度:10以下
風呂用水 掃除・洗濯用水 非常用飲料水	公衆浴場浴槽水の水質基準、遊泳用プールの水質基準を参考にする 水道水水質基準、機器への影響

表 7.3.4 使用用途水水質ランク

使用用途	水質レベル	留意点	上水	雨水	工業用水		排水再利用水	
					下水処理	河川水系	広域循環方式	地区・個別循環方式
飲用	AA	絶対安全	○	×	×	×	×	×
調理用水	AA	同上	○	×	×	×	×	×
厨房	A	同上	○	×	×	×	×	×
洗濯(洗水)	B	清澄	○	×	×	×	×	×
洗濯(すすぎ)	B	同上	○	×	×	×	×	×
洗面手洗	B	同上	○	×	×	×	×	×
プール	B	同上	○	×	×	×	×	×
風呂	B	同上	○	△	×	×	×	×
冷却塔	C	機能重視	○	○	△	○	△	△
親水用水	C	同上	○	○	△	○	△	△
修景用水	D	同上	○	○	○	○	○	○
散水用水	D	同上	○	○	○	○	○	○
便所用水	E	同上	○	○	○	○	○	○

3) 循環利用水の細菌によるリスク評価

本調査では、水の細菌汚染度を知るために、水道水の水質基準に設定されている一般細菌および大腸菌群または、設備系の人工水(循環水)に増殖しやすいといわれているレジオネラ属菌や、上水等の比較的有機物質が低濃度な環境下においても増殖可能な従属栄養細菌についても調査した。

一般細菌は、直接病原菌との関連性はないが、多数検出される水については糞便による病原菌に汚染されていることを疑わせる。地下水

では一般細菌数の急増は汚染を意味するが、表流水は水温の変化や降雨により著しく影響を受けるので、経時的に菌数が多い値を示したからといって必ずしも新たな糞便による汚染を示しているとはいえない。

一方、大腸菌群も(2003年より大腸菌が指標)1932年から水が糞便性の病原菌を含む汚水などによって汚染されている疑いを示す指標として利用されてきた。理想的な消化器系病原菌を示す指標として次の事項が挙げられる。

- ①病原菌が存在するときには必ず存在する。
- ②水界で顕著に増殖しない。
- ③病原菌よりも多数存在する。
- ④病原菌よりも消毒剤と水界に対して耐性である。
- ⑤比較的簡単な培地で容易に増殖し、菌群の同定が明確にできる反応を示す。
- ⑥検査すべき試料中にランダムに分布している。
- ⑦人工培地に接種したとき、他の細菌が存在しないことによって著しく増殖が抑制されない。

これらの条件に合致するため、大腸菌群は消化器系病原菌による汚染の指標菌として広く利用されている。

また、レジオネラ属菌は呼吸器系感染症の起原菌であり、自然界にも普通に生息している好気性グラム陰性桿菌である。本菌種は、水中で藻類や原生動物などと共生関係にあり、これらの代謝産物を栄養源に増殖するといわれている。特に冷却塔や冷却水中には偏在的多

数生息している。理由としては、循環冷却方式であるために冷却塔の補給量が少ないこと、空气中から塵埃等を取り込んで濃縮され、水質が悪化し、これに伴って細菌類、藻類および原生動物等の増殖を促していることが考えられる。多くの建築物の屋上に設置されている冷却塔からの飛沫が近くの飲料水用高置水槽を汚染する可能性が高いとされている。これまでの調査結果によると、空調用冷却塔の40～70%からレジオネラ属菌が検出されており、8400CFU/100mLが最高菌数との報告がある。

従属栄養細菌は、低有機栄養環境下で生息しているため、水道原水中においても一般細菌よりも著しく多く存在するため、浄水処理過程や消毒過程での細菌の不活化を評価するには優れている。また、保存水や配給水システム内における塩素の消失や滞留に伴い従属栄養細菌が増加するので、清浄な状態にあるか判断することができる。本研究では細菌汚染調査の試験項目に含めた。

4) 屋上緑化利用水の水質評価

(1) 水質試験項目および実験方法

水質試験は外観、臭気、pH、電気伝導率、TOC(DOC)、COD、T-N、SS、一般細菌、従属栄養細菌、大腸菌群、レジオネラ属菌の測定項目を上水試験法(日本水道協会)に基づいて行った。

a 底面灌水式緑化パネル散水実験

7.3 で示した底面灌水式緑化パネルに散水した試料を対象とした。

概要として、500Lの貯留水槽内に全体80%が水道水、20%の雨水を貯留し、設置してある植栽パレットに散水し、散水後の水は貯留水槽に返送される。すなわち循環系となっている。水質試験期間は、7/28～8/28(第1回～第3回)、さらに換水後の調査として8/28～9/29(第4回～第6回)について行った。

b 平面灌水式緑化パネル散水実験

7.3 で示した平面パネル式緑化パレットに水道水を散水する。散水後は屋根面を流れ、雨水槽貯留される。水の採取は貯留水槽から行った。

水質試験期間は、9/18の午前9時と午後4時、10/10の午前9時と午後4時の計4回、測定項目は細菌試験について行った。

(2) 結果および考察

a 底面灌水式緑化パネル散水実験

東京理科大学散水施設利用水について、7/28～8/28(第1回～第2回)の水質調査さらに換水後の調査として8/28～9/29(第4回～6回)について行った。水質試験結果を表7.3.5に示す。各測定項目について評価すると次のとおりである。

表7.3.5 底面灌水式緑化パレットの水質試験結果

水質試験項目	2003.07.28	2003.08.06	2003.08.18	2003.08.27	2003.09.08	2003.09.29
外観 (色)	微緑黄色	微緑黄色	弱緑黄色	無色透明	微黄色	微黄色
透視度 (度)	41.6	32.5	30.9	50以上	50以上	50以上
pH (-)	9.2	7.6	7.0	7.0	7.3	7.2
電気伝導率 ($\mu S/cm$)	196	146	93	155	163	123
臭気	弱藻臭	弱藻臭	弱藻臭	微土臭	微藻臭	微藻臭
TOC(DOC) (mg/l)	8.13	8.84	13.3	3.3	4.45	7.14
COD (mg/l)	9.69	9.38	11.4	5.2	7.59	12.22
T-N (mg/l)	0.64	0.91	0.62	1.96	1.11	0.81
SS (mg/l)	17.0	13.0	14.4	0.41	0.89	1.51
一般細菌 (CFU/ml)	1.2×10^3	-	-	1.6×10^3	2.3×10^3	2.3×10^3
大腸菌群 (CFU/ml)	不検出	5.0×10	5.8×10	2.8×10^2	1.8×10^2	6.6×10
レジオネラ (CFU/100ml)	3.5×10	7.0×10	2.7×10^2	4.4×10^2	6.0×10^2	23.2×10^2
従属栄養細菌 (CFU/ml)	-	-	-	3.2×10^4	1.5×10^5	2.7×10^4

①外観, 臭気

第1～3回における試料の外観は微緑黄色～弱黄色を呈し、水を交換する前では、日数が経過するにつれ、弱緑黄色に推移した。これは貯留槽に藻類が増殖したことによると考えられた。一方、第4～6回の試料は、無色透明から微黄色に推移した。

一般に外観とは水の呈している濁り、色調、浮遊物質、泡立ち等の状態をいい、外観を測定することにより、河川や湖沼などの汚濁や富栄養化の程度を知ることができる。同様に第1回～6回の試料の臭気は、藻の臭いがあり、藻類に起因するものであることが明瞭であった。

②透視度

透視度は比較的高濁度の試料を測定するのに有効な方法であり、透視度計(50cm)に試料を入れて、上方から水層を透視したとき、底部の標識板の二重十字がはじめて明らかに認められた水層の高さをいい、当然のことながら、数値の高い方が清澄な水質である。

第1回～3回の透視度は30.9～41.6度を示し、貯留槽換水後における透視度は50度以上を示した。

③pH値

pH値は水源の違いにより広い範囲の値

を示す。藻類が繁殖した場合、かなり強いアルカリ性を示すことがある。また特に夏季には水温が上昇し日光のある昼間に藻類の活動が盛んになるため、値の変動が大きくなる。

また、藻類では暗反応および明反応があり、夜(暗反応)ではCO₂を放出するためpH値が低下する。一方、昼(明反応)では水中のCO₂を消費するため値が上昇する。

以上より、本試料のpH値は第1回目が9.2、第2回目以降は7.0付近の中性を示した。これらの理由として、例えばサンプリング時が日光の少ない早朝であったり、天候が曇った時間帯に行き、藻類の光合成が活発でなかったためにpH値が上昇しなかったなどが考えられた。また、換水後(第4～6回)のpH値が中性を示した。理由は、藻類の増殖が小さいためであると考えられた。

pH値は、水源の違いにより広範囲の値を示す。藻類が大量に繁殖した場合、強いアルカリ性を示すことがある。また、特に夏季には水温が上昇し、日光のある昼間に藻類の活動が盛んになるため値の変動が大きくなる。藻類では、次に示すように炭酸ガスが消費されOH⁻イオンが生成されるのでpH値が上昇する。



④有機汚濁物質(DOC、COD)

第1～3回におけるDOC値は8.13～13.3mg/Lの範囲にあり、CODは9.38～11.4mg/Lを示した。両者とも試料中の有機汚濁物質の指標となる項目である。たとえば河川水等に照らし合わせてみると、COD値で10mg/L以下の水質であれば、比較的有機汚濁物質の近い状態にあり、10mg/L以上を示すような水質は有機汚濁の進行した河川水であると判断できるものである。

これらのことから、本試料は汚濁の進行した河川水程度の水質に近似しつつあることがわかる。

なお、DOCはろ過をして藻類を除去してから測定していることから、藻類を除いても有機汚濁物質は蓄積していることがわかる。次に第4～5回のTOCおよびDOCの値をみると、3.3～4.45mg/Lおよび5.2～7.6mg/Lと低い値になり、水交換による効果は顕著であった。

⑤浮遊物質(SS)

SSは試料に懸濁している不溶性物質であり、孔径1μmのろ過材上に残留する物質であり、第1～3回のSS値は、17～14.4mg/Lで藻類由来と考えられる。また、第4～6回では、0.41～1.51mg/Lと低い結果が示され、この時点における藻類の増殖は小さいことがわかる。

⑥一般細菌、大腸菌群、従属栄養細菌およびレジオネラ属菌

一般細菌は従属栄養細菌のうち、温血動物の体温前後で比較的短時間に集落(細菌のかたまり)を形成する細菌であり、一般細菌として検出される細菌の多くは直接病原菌の関連性はないが一般細菌が多数検

出される水は糞便による病原菌に汚染されることを疑わせる。

一般細菌は大腸菌群よりはるかに多く存在するため、塩素消毒の効果を確認するのに有効である。本試料中では、第1回の試料中からは1200個/mL検出された。しかし、2回目以降は水中に増殖している水カビ(真菌類)により、測定不能となった。

すなわち、細菌より真菌類の方の増殖が早くサイズも大きいため細菌のコロニー(集落)のカウントができなくなってしまうためである。なお、換水後(4～6回)の一般細菌数は 10^3 CFU/mLオーダで検出され、従属栄養細菌は 10^4 ～ 10^5 CFU/mLオーダを示した。また、大腸菌群は換水後においても検出され、50～280CFU/mLを示した。

また、レジオネラ属菌は100mL当り35～600CFU検出されている。レジオネラ属菌は感染症第4類に指定される肺炎などの症状を引き起こすレジオネラ症の原因菌であるため、レジオネラ属菌を含む水の飛散は防止しなければならないと考えられる。

b 平面灌水式緑化パネル散水実験

つくば建築研究所実験利用水の水質調査結果は次の傾向を示した。細菌試験結果は表7.3.6に示すとおりである。

試験水の細菌汚染については、以下の傾向がみられた。一般細菌が 10^2 CFU/mLオーダで検出され、従属栄養細菌は 10^3 ～ 10^4 CFU/mLを示した。大腸菌群は15～23CFU/mLの検出が確認された。さらにレジオネラ属菌は30～110CFU/100mLが検出され、試験水中のレジオネラ属菌の存在が確認された。

表 7.3.6 平面パネル式緑化パレットの水質結果

水質試験項目	2003.0918		2003.10.01	
	AM9時	PM4時	AM9時	PM4時
一般細菌(CFU/ml)	11.3×10^2	14.6×10^2	95×10^2	49×10^2
従属栄養細菌(CFU/ml)	99.6×10^3	55.3×10^4	27×10^4	31×10^4
大腸菌群(CFU/ml)	23	33	15	15
レジオネラ(CFU/100ml)	110	70	65	30

(3) まとめ

本調査では 2 種類の供試緑化材を用いて屋根散水設備水における貯留水槽内の水質試験を行った。得られた知見をまとめると次のとおりである。

1. 底面灌水式緑化パネル散水実験については 2003.7.28～9.29 の約 2 ヶ月間の調査を行った。夏期の調査であったため、貯留水槽内における藻類の増殖が顕著であった。藻類の影響については前述のとおり外観、臭気、透視度、pH を測定することで判断された。

水中の有機汚濁物質の指標としての COD および DOC から評価した。COD は藻類を除去せずに測定した結果、9.5 mg/L(中央値, n=6)を示し、DOC(藻類を除去)は 8.5 mg/L になった。

水中の細菌試験結果からは次の傾向が示された。換水前(7/28～8/18)の水中には真菌類の増殖があり、一般細菌および従属栄養細菌の検出が不能となった。本試料中におけるレジオネラ属菌は 35～270CFU/mL が検出された。

換水後(8/27～9/29)における細菌類は、

一般細菌数は 10^3 CFU/mL のオーダーで検出され、従属栄養細菌は 10^4 ～ 10^5 CFU/mL を示した。レジオネラ属菌は 440～6000CFU/100mL が検出された。また、調査期間における大腸菌群は 50～280CFU/mL 示した。

2. 平面パネル式緑化パレット実験においては、9/18 および 10/1 に調査を行った。水中の細菌試験結果より、次の傾向が示された。底面灌水式緑化パネルと比較して水の系統は循環型の形態をとっていないにも関わらず、一般細菌数は 10^2 CFU/mL オーダーで検出され、従属栄養細菌は 10^3 ～ 10^4 CFU/mL を示した。レジオネラ属菌については 30～110CFU/100mL 検出された。また、糞便性指標菌である大腸菌群は 15～33CFU/mL を示し、すべての細菌の検出が確認された。

3. 以上の水質調査結果より、表 7.3.3 および表 7.3.4 に示す用途別水質基準、使用用途水水質ランクに基づき、本試料のランクづけを行うとEランクに位置することが考えられ、修景用水としては使用可能ではあるが、屋上散水として利用することを考えた場合、レジオネラ等による飛沫感染に注意する必要があると考えられる。

5) 屋上緑化利用水の衛生学的安全性の評価

(1) 実験方法

a 貯留槽内における水質調査

本実験は、屋上緑化パレットに使用する貯留槽内利用水の水質調査を行った。緑化システムは図 7.3.4 に示す S 社製底面灌水式緑化パレット緑化材を用いた。水質項目は外観、臭気、pH、電気伝導率、TOC、COD、一般細菌、従属栄養細菌、レジオネラ属菌とし、測定方法は上水試験方法²⁾に基づいた。

各試験パレットの概要を表 7.3.7 に示す。

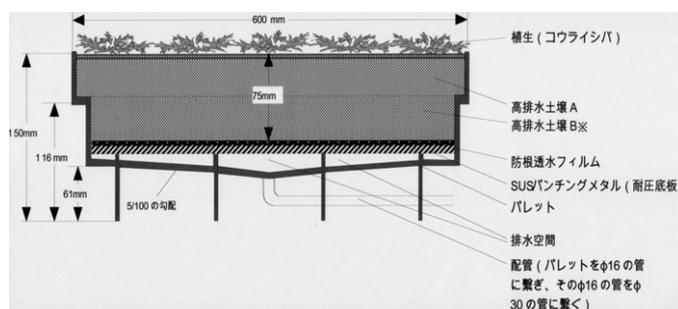


図 7.3.4 底面灌水式緑化パレットの断面

また、底面灌水式緑化システムの外観について図 7.3.5 に示す。まず、実験始動時に 300L の貯留槽に水道水を滞留させ、本緑化システムに散水する。貯留槽内に返送された滞留水を対象試料とした。なお、実験

表7.3.7 底面灌水式緑化パレットの概要

底面灌水式緑化パレット	
使用水	・上水に加え雨水利用が主。中水も使用可能。
給水方式	・タンクよりポンプでパレット下部に所定時間給水し、土壌の毛細管現象で灌水後、タンクへ返送する循環系となっている。雨水をパレット面で回収し、不足時は上水(中水)を補給する。一日朝夕2回、自動制御によりポンプを稼動し給水を行う。
特徴	・軽量土壌に用いた基盤で、耐圧性や景観性を有する。 ・芝生が最適の植生であり、維持管理に手間を必要とする。

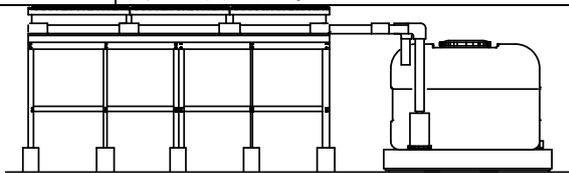


図7.3.5 底面灌水方式の外観

期間内に降雨した雨水も緑化パネルにより本貯留槽内に滞留する条件で行った。貯留槽は非遮光性の塩化ビニル材質であり、昨年の実験により、光による藻類の増殖および水質劣化が顕著であったことから遮光被覆による措置を施している(図 7.3.6、図 7.3.7)。

b 緑化システムの概要

屋上緑化システムを関東学院大学(以下本学とする)6号館屋上に図 7.3.8 に示すように配置し、2004.10/22~11/11の約3週間の期間で屋上緑化システムに散水し、貯留槽内へ返送された滞留水を対象試料として水質試験および細菌試験を行った。

c 貯留槽における滞留水の水質劣化試験概要

前述のとおり、レジオネラ症はエアロゾルを発生しやすい施設の適切な管理により防止できる感染症であるとされている。すなわち、レジオネラ属菌あるいは真菌類をできるだけ増殖させない環境下での利用水の設置方法について検討することが求められる。そこで、本実験では水質の劣化に直接的影響を与えると考えられる日射を遮光し、そのこと



図7.3.6 貯留槽の外観



図7.3.7 遮光措置後の貯留水槽

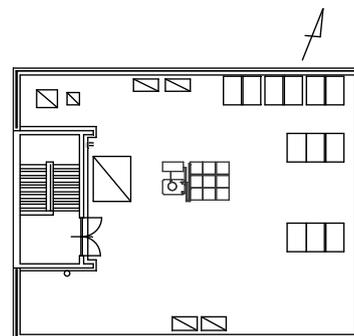


図7.3.8 底面灌水屋上緑化システムの配置図

が水質劣化への程度寄与するかについて検討した。すなわち、遮光の有無による水質劣化の差異について測定した。

d 遮光シートの有無による水質劣化試験

①水道水の水質変化(RUN1)

20Lポリタンク容器(一方に遮光シートを被覆)に水道水を貯留し密栓する。このポリタンクを本学設備工学研究所屋上に設置し、2004.7/30~9/24の約2ヶ月間を1週間毎にポリタンク内の試料を採取し、遮光有および遮光無の条件下で水質変化を追った。表 7.3.8 に実験の概要を示す。

表 7.3.8 遮光シート有無による水道水の水質劣化試験の概要

ポリタンク	No1	No2
期間	7/30～9/24	
開始試料	水道水	
条件	遮光有	遮光無
写真		

②. 利用水の水質変化 (RUN2)

水道水の水質変化実験と同様に屋上緑化に利用した水を 20L ポリタンク容器に密栓し、遮光の有無による水質の経時変化を追った。概要を表 7.3.9 に示す。

表 7.3.9 遮光シート有無による屋上緑化利用水の水質劣化試験の概要

ポリタンク	No1	No2
期間	10/18～11/22	
開始試料	屋上緑化利用水	
条件	遮光有	遮光無
写真		

e 雨水貯留槽除菌装置による検討

①装置概要

実験に使用した除菌装置は、Pm 社製であり、循環浴槽システムの除菌装置として塩素消毒法と併用して利用されている。浴場施設における仕様は、3m³ の浴槽容量に対し、90L/min の循環水量で使用されている。本装置の原理は、非溶出性有機化学物質複合剤を樹脂に混合し成形したフィルターに循環水を接触させる。この接触で細菌の細胞膜を破壊し、蛋白質や DNA の合成を阻害することによって除菌するというものである。本装置の断面図を図 7.3.9 に示し、屋上緑化システムに設置した外観を図 7.3.10 に示した。さらに除菌装置内部の様子を図 7.3.11 に示し、屋上緑化システムに設置した状況を図 7.3.12 に示す。

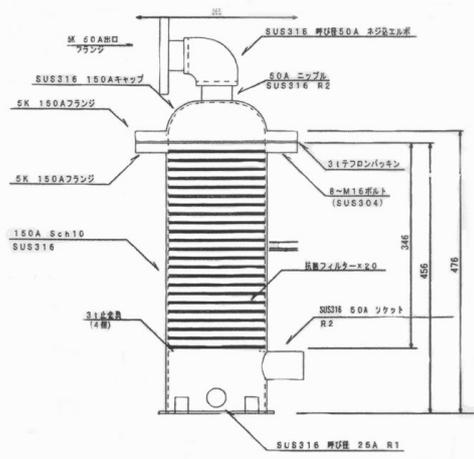


図 7.3.9 除菌装置断面図

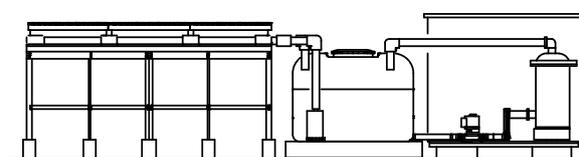


図 7.3.10 除菌装置敷設時の外観



図 7.3.11 除菌装置の内部



図 7.3.12 除菌装置設置後の緑化システム

②実験条件

屋上緑化システムに除菌装置を設置し、貯留槽内における水質について経時的に測定した。表 7.3.10 に除菌装置による実験条件を示す。なお、本実験は本学設備工学研究所屋上(2004.7/27～9/25)および本学

6号館屋上(2004.12/2~12/20)に設置した。

表7.3.10 屋上緑化利用水の除菌装置による処理方法の条件

条件	植栽パレットとの循環 (有・無)	除菌装置への流入水量 (L/min)
RUN1	○	20
RUN2	×	20
RUN3	×	10

本学設備工学研究所屋上に設置した屋上緑化システムの配置図を図7.3.13に示す。

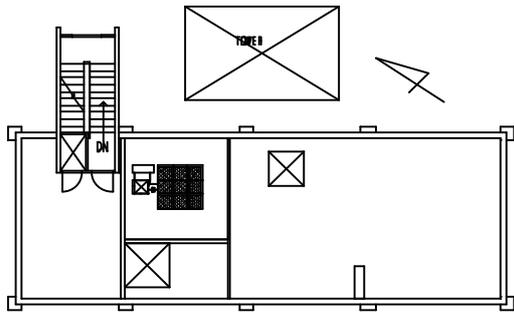


図7.3.13 設備工学研究所における平面屋上緑化システム配置図

f 塩素消毒による細菌類の不活化

①概要

塩素消毒は、我が国において水道水の消毒に、法的に義務付けられている唯一の方法である。排水の消毒は、特に塩素でなければならないと決められているわけではないが、塩素消毒が大半を占める。塩素消毒法の特徴を表7.3.11に示す。

本実験では、レジオネラ属菌が大量増殖した場合を想定し、利用水中のレジオネラ属菌を継代培養し、本菌を $10^5 \sim 10^6$ CFU/mLの高濃度で屋上緑化利用水中に添加し塩素消毒によるレジオネラ属菌の不活化について検討を行った。

表7.3.11 塩素消毒法の特徴

長所	短所
<ul style="list-style-type: none"> 消毒効果が、標的とすべき微生物の種類に対し、広範囲に期待できる。 多量の水に対する取り扱いと定量注入が容易。 消毒効果が、残留する。 存在の確認と濃度の定量が容易。 緊急時の使用に最適。 価格が安い。 維持が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> 副生成物の生成 刺激臭を有し、水の味を損なう。 特定の物質と反応し、臭気を強める。 アルカリ側で効果が急減する。 窒素化合物と反応すると効果が減じる。 クロラミンが目を刺激することがある。

②試験手順

【レジオネラ属菌の継代培養およびレジオネラ属菌調製液の作成】

1. 屋上緑化利用水 1000mL を孔径 $0.22 \mu m$ のろ紙でろ過滅菌し、試料中のレジオネラ属菌を捕集する。
2. 捕集したろ紙を直ちに滅菌精製水入り三角フラスコに入れ、試験管ミキサーを用いて約1分間激しく振盪する。
3. 2に0.2mol/L 塩酸・塩化カリウム溶液 5mL を加え、再び1分間激しく振盪したのち、室温で攪拌しながら15~20分間作用させる。
4. 3についてWYO α 寒天培地に0.1mLずつ採り、コンラージ棒を用いて塗布平板とする。これを $36 \pm 1^\circ C$ で5~7日間培養し、コロニー形成したレジオネラ属菌を継代培養する。
5. 継代培養したレジオネラ属菌のコロニー2白菌耳を滅菌精製水で10mLとし、これをレジオネラ属菌調製液とする。

【消毒方法】

1. 500mL 試料ビンに利用水 500mL を入れる。
2. 試料ビンにレジオネラ調製液 1mL を入れ、マグネティックスターラーで攪拌する。
3. 試料ビンに次亜塩素酸ナトリウムを遊離残留塩素濃度で0.5 mg/L程度になるように添加する。
4. 次亜塩素酸ナトリウムの接触時間は、60分間を15分間隔の計5回とし、各々の試料を採取した。

g 紫外線照射法によるレジオネラ属菌の不活化

①.概要

紫外線照射法は、主として 253.7nm の紫外線ランプを用いて消毒する方法であり、細菌およびウイルスに対して有効に作用するといわれている。この方法は主に空気、食品などの消毒、皮膚病治療など様々な分野において用いられている。紫外線照射法による消毒方法の特徴を表 7.3.12 に示す。

表 7.3.12 紫外線照射による消毒方法の特徴

長所	短所
<ul style="list-style-type: none"> ・簡単に適用が可能 ・維持管理が容易 ・物質を添加しない ・副生成物が存在しない ・短時間での消毒が可能 ・薬剤のような害はない 	<ul style="list-style-type: none"> ・Giardia Lambliaのような原虫シフトに対する不活化力が弱い ・SS、濁度、色度および溶存有機物濃度の高い水には不向き ・紫外線照射量を正確に求めることが難しい ・残留効果がない ・エネルギー消費が多く、ランニングコストに問題 ・光による再活化(光回復)

②.試験手順

【消毒方法】

1. 深皿シャーレに滅菌済精製水 500mL を入れる。
2. 深皿シャーレ内にレジオネラ属菌調製液 1mL を入れ、マグネティックスターラーで攪拌する。
3. 深皿シャーレ上部にハンディ型紫外線照射計 (UVP 社製 UVGL-58 型) を用いて紫外線ランプ強度 0.3~0.4mW/cm² となるように照射する。
4. 紫外線照射時間は、1 分間を 10 秒間隔の計 6 回とし、各試料を採取した。
5. 試料を孔径 0.22 μm のメンブランフィルターを用いてろ過操作し、レジオネラ属菌を捕集する。
6. 捕集したろ紙を直ちに滅菌精製水入り三角フラスコに入れ、試験管ミキサーを用いて約 1 分間激しく振盪する。これに 0.2mol/L 塩酸・塩化カリウム溶液 5mL を加え、再び 1 分

間激しく振盪する。

7. 室温で攪拌しながら 15~20 分間作用させ、これを検液とする。
8. 検液について WYO α 寒天培地に 0.1mL ずつ採り、コンラージ棒を用いて塗布平板とする。
9. 倒置して恒温器に収め、36±1℃で 5~7 日間培養する。培養後、平板上に形成された湿潤性の青白色集落をレジオネラ属菌と判定し、菌数を算出する。レジオネラ属菌の菌数の算定式(1)を以下に示す。
10. 得られた結果については紫外線照射時間と生残率の関係について次式より評価する。

$$N_t/N_0 = e^{-kt} \dots \dots \dots (1)$$

N_t: t 時間後の微生物濃度 (CFU/mL)
 N₀: 初期 (t=0) の微生物濃度 (CFU/mL)
 K: 速度定数 (1/S)、 t: 時間 (S)

(2) 結果および考察

a 貯留槽の水質調査評価

本調査は 2004.10/22~11/11 の間の約 3 週間に行った。得られた結果を表 7.3.13 に示す。

表 7.3.13 に示すとおり、電気伝導率は 94~134 μS/cm (中央値: 94.5 μS/cm, n=7) を示し、pH 値は 7.2~7.6 (中央値: 7.4, n=7) となり、TOC (有機炭素) は 3.48~3.86mg/L (中央値: 3.56mg/L, n=4) を示した。また細菌汚染の観点からレジオネラ属菌の増殖状況をみると 10~15CFU/100mL (中央値: 30CFU/100mL) が検出された。

表 7.3.13 貯留槽内の水質変化

月日	電気伝導率 (μS/cm)	PH (-)	TOC (mg/L)	レジオネラ属菌 (CFU/100mL)
10/22	134	7.4	3.86	ND
10/25	124.1	7.19	3.63	30
10/28	118.4	7.2	3.48	50
11/1	94.5	7.47	3.47	40
11/4	94.5	7.45	-	-
11/8	92.6	7.39	-	15
11/11	94.2	7.36	-	10

以上の結果より、貯留槽内に約 3 週間滞留し、緑化システムを循環する系における水質は有機汚濁物質の増加はみられなかった。

この理由として、調査期間が10月末から11月上旬であり、日射による藻類の増殖が夏期ほど高くはないことが考えられた。

一方、レジオネラ属菌は貯留水100mL当たり30 CFU(中央値)程度は検出されており、浴場施設における検出されないこと(1 CFU/100mL未滿)より上回る結果が示された。

b 光シート被覆の有無による水質劣化

①.水道水の水質変化

レジオネラ症はエアロゾルを発生しやすい施設の適切な衛生管理により防止できる感染症であるとされている。

すなわち、水質を劣化させないことがレジオネラ属菌あるいは真菌類の発生抑制になると考えられる。そこで本実験では遮光の有無における水質劣化試験を行った。

まず、図7.3.14に示す結果は密栓した水道水を屋上に設置し、遮光有および遮光無の条件下で水質変化を追った。

本実験は2004.7月～9月の夏期中に行った。結果をみると試料ビンを密栓したこともあり、両者に大きな差異は認められないものの、実験の後半になると従属栄養細菌の増殖に遮光有の方が数値に若干変動がみられた。表7.3.14に同条件における水質変化を示す。水質からみて特徴的な点としてpHの時間に伴う推移が挙げられる。たとえば遮光なしの条件では初期値が7.7を示し、1週間経過すると7.8となり時間の経過するにつれアルカリ性を示し、最終値は8.6になった。

一方、遮光を行った条件下においてもpH値は同様にアルカリ側に推移する傾向にあり、両者に大きな差異は認められなかった。

この理由として、本実験は夏期に行ったものであり、水質劣化する要因として水温の上昇も大きいと考えられ、遮光の有無のみでは両者を比較することはできなかった。すなわち、夏期の高温時の水質を遮光のみでは水質劣化を防止することはできないことがわかった。

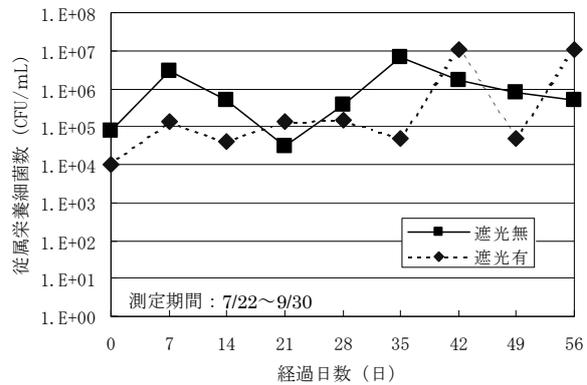


図7.3.14 遮光の有無による水質変化

①.利用水の水質変化

表7.3.15に遮光シート被覆の有無による利用水の水質変化を示す。本実験は6号館屋上に設置した緑化システムの植栽通過後の試料について行った。表に示すとおり、水温は12～22℃を示し両者に大きな相違はなかった。pH値をみると遮光を行った条件は7.0(初期値)～7.4(約1ヶ月)と時間に伴う大きな推移は認められなかった。

表7.3.14 遮光シート被覆有無による水道水の水質劣化試験

日付	遮光無					遮光有				
	レジオネラ属菌(CFU/100mL)	pH (-)	TOC (mg/L)	EC (μ S/m)	従属栄養細菌(CFU/mL)	レジオネラ属菌(CFU/100mL)	pH (-)	TOC (mg/L)	EC (μ S/m)	従属栄養細菌(CFU/mL)
7/30(0日)	ND	7.7	4.12	171.4	8×10 ⁴	ND	7.7	3.39	170.4	1×10 ⁴
8/6(7日)	ND	7.8	3.95	170.9	3×10 ⁶	ND	8.2	4.27	176.8	1.4×10 ⁵
8/13(14日)	14	7.9	4.29	170.5	5×10 ⁵	1	8.1	4.19	170.9	4×10 ⁴
8/20(21日)	17	8.1	3.84	173	3×10 ⁴	ND	7.9	3.94	171.6	1.3×10 ⁵
8/27(28日)	ND	8.4	3.86	169.6	-	ND	8.6	3.92	175.5	1.5×10 ⁵
9/3(35日)	ND	8.7	4	171	7×10 ⁶	ND	8.4	4.13	170.9	5×10 ⁴
9/10(42日)	ND	8.6	4.22	169.1	1.7×10 ⁶	ND	8.4	3.77	171.8	1.1×10 ⁷
9/17(49日)	ND	8.5	4.54	169.5	8×10 ⁵	ND	8.5	4.09	170.5	5×10 ⁴
9/24(56日)	ND	8.6	3.96	166.8	5×10 ⁵	2	8.5	3.53	168.6	1.1×10 ⁷

表7.3.15 遮光シート被覆有無による屋上緑化利用水の水質劣化試験

採取日	10月18日	10月25日	11月1日	11月8日	11月15日	11月22日
遮光有						
水温(°C)	17.5	19.8	12.7	22.5	13.3	16.5
pH	7.07	6.96	7.71	7.6	7.78	7.43
EC(μS/cm)	114.7	118.3	118	117	119	112.6
COD	5.24	5.63	3.46	—	3.64	4.86
TOC(mg/L)	3.83	3.03	3.25	—	—	—
レジオネラ属菌(CFU/100mL)	180	70	—	195	40	240
一般細菌(CFU/mL)	2000	4000	1000	—	—	—
遮光無						
水温(°C)	17.5	20.8	12	21.6	12.2	20.1
pH	7.07	7.74	9.08	9.96	10.4	10.7
EC(μS/cm)	114.7	121.3	118.2	119.5	136	132.4
COD	5.24	4.23	6.64	7.19	8.61	7.48
TOC(mg/L)	3.83	4	5.17	—	—	—
レジオネラ属菌(CFU/100mL)	180	—	—	325	120	86
一般細菌(CFU/mL)	2000	4000	9000	—	—	—

一方、遮光をしない条件下の pH 値は 7.0 から 10.7 と大きく変動し、アルカリ性を示す結果となった。pH 値が 9.0 を示したのは約 10 日後であった。

さらに有機物の増加傾向を COD 値からみると遮光しない条件では 5.2(初期値)から 7.5mg/L まで高くなる結果となり、遮光すると 5.2~4.9 と大きく変動することはなかった。

これら水質中における一般細菌の増殖挙動をみると、遮光しない条件下では、初期値(2000CFU/mL)は 2 週間経過すると約 5 倍量まで増殖する結果が示された。

以上の結果より、水温が約 20°C 前後の水質では日射を遮ることで、水質劣化を若干遅らせることは可能であると考えられた。

c 除菌装置による雨水の水質特性

①.RUN1(植栽パレット~貯留槽間循環+除菌装置流入水量 20L/min)

本実験は 2004.7/27~9/11 の期間に本学設備工学実験棟屋上で行った。

表 7.3.16 および図 7.3.15 に除菌装置取り付け後の屋上緑化利用水の経時変化について示す。また TOC の経時変化を図 7.3.16 に、レジオネラ属菌選択培地上におけるレジオネラ属菌および真菌類の培養写真を図 7.3.17 に示す。写真に示すとおりレジオネラ

属菌用選択培地には時間の経過に伴う真菌類の増殖が顕著となった。

表 7.3.16 除菌装置取り付け後の屋上緑化利用水の経時変化

経過日数(日)	0	3	6	9	12	15
	(7/27)	(7/30)	(8/2)	(8/5)	(8/8)	(8/11)
測定項目						
レジオネラ属菌(CFU/100mL)	1	27	81	16	23	73
真菌類(CFU/mL)	ND	12	3002	300	100	10 ² <
pH(-)	7.81	8.04	7.69	8.04	8.04	8.19
TOC(mg/L)	4.15	14.8	18.5	19	19.7	20.3
電気伝導率(μS/cm)	173	204	212	209	211	222

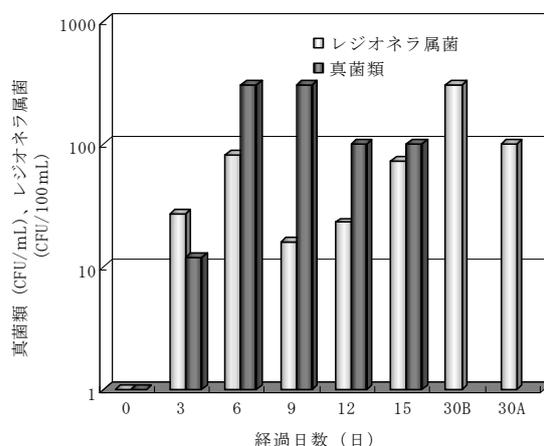


図 7.3.15 除菌装置設置後の各細菌数の経時変化

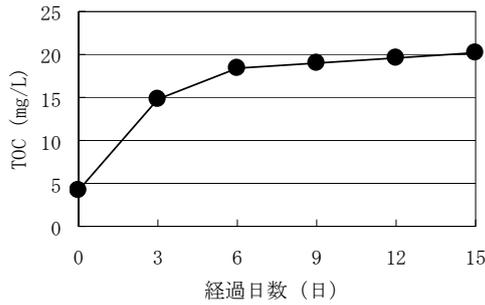


図7.3.16 TOCの経時変化

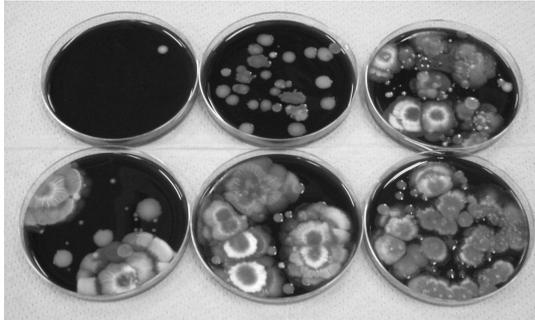


図7.3.17 レジオネラ属菌選択培地に増殖した真菌類 (左上から経過日数0日, 3日, 6日, 左下から9日, 12日, 15日)

②.RUN2(植栽パレット～貯留槽間循環停止+流入水量 20L/min)

2004.9.25 に本学設備工学研究所屋上において除菌装置に流入する前後の試料を比較し水質変化について考察した。実験結果を表7.3.17に示す。表よりレジオネラ属菌およびその他の項目において特に大きな変動は見られなかった。

表7.3.17 除菌装置通過前後の水質変化

期日	9月25日	9月25日
試料名	不活化装置通過前	不活化装置通過後
水温	25.5	25.3
pH	7.3	7.39
電気伝導率 (μS/cm)	273	279
TOC(mg/L)	—	—
レジオネラ属菌 (CFU/100mL)	3×10 ²	1×10 ²

以上の結果より、本除菌装置により、利用水中に増殖する細菌類を不活化することはできなかった。

d 塩素消毒によるレジオネラ属菌の不活化

塩素消毒におけるレジオネラ属菌の不活

化実験結果をレジオネラ属菌の生残率と接触時間についてまとめたものを図7.3.18に示す。図より、次亜塩素酸ナトリウムを遊離残留塩素として0.5mg/Lになるように添加し、15分間接触させると99.9999%の不活化率が認められた。

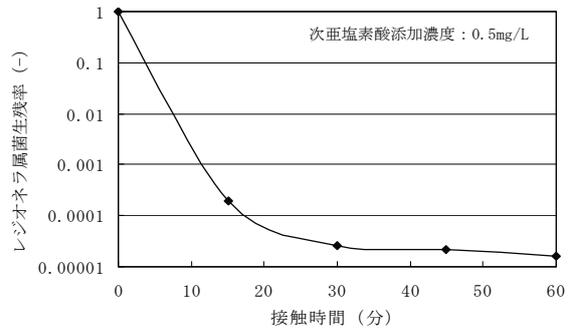


図7.3.18 レジオネラ属菌の生残率と塩素の接触時間の関係

e 外線照射によるレジオネラ属菌の不活化

平成15年度の利用水実態調査結果においてレジオネラ属菌が検出された。前述のとおり現状の利用水は、循環利用していることで、本菌の増殖しやすい環境がつけられる。そこで本項では塩素消毒実験と同様の観点から増殖したレジオネラ属菌に対する紫外線照射実験を行った。本実験条件としてはレジオネラ属菌を10⁴~10⁵CFU/mLになるように添加した。図7.3.19に紫外線照射法による不活化実験結果を示す。

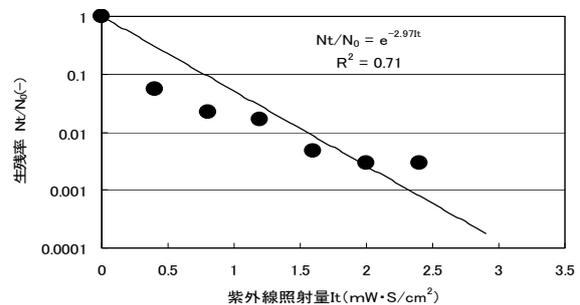


図7.3.19 紫外線照射による不活化

レジオネラ属菌を対象とした近似式 $N_t/N_0 = e^{-2.97It}$ よりレジオネラ属菌を90%不活化するための紫外線量を求めると $0.75 \text{ mW} \cdot \text{S}/\text{cm}^2$ となり、さらに99%不活化するには2倍量の $1.5 \text{ mW} \cdot \text{S}/\text{cm}^2$ の紫外線量が必要で

ある。なお、紫外線照射法による不活化方法は光回復現象(日射による細菌の再活化)があることから、貯留槽を屋上に設置する場合にはこの現象を考慮する必要がある。

(3) 総括

本研究では、屋上緑化システムに設置した貯留槽内の水質劣化防止策として、藻類の発生抑制およびレジオネラ属菌等の除菌・不活化実験を行い有効な消毒方法について検討した。実験の経緯および得られた知見をまとめると次のとおりである。

1. 実験期間は 2004.7/27～2004.12/20 の間とし、屋上緑化システムは本学建築設備工学研究所屋上(2004.7/27～9/11)および本学 6 号館屋上(2004.12/2～12/20)に設置した。
2. 貯留槽内に発生する藻類の増殖特性を知る目的から、①水道水を原水とした条件、②貯留槽水を原水として遮光の有無について検討した。①の条件は夏期に行ったことから、水温上昇の影響があり、遮光の有無による相違を明らかにすることはできなかった。なお、①、②とも 14 日間で従属栄養細菌は 10^4 CFU/mL まで増殖することが示された。②の条件は 2004.11 月に実施した。その結果、貯留槽水を遮光しないことで pH は 10.7 とアルカリ性を示し、藻類の発生が考えられた。さらに TOC(有機物)も時間の経過に伴い 8.61mg/L まで高くなり、水中における炭酸同化作用による TOC の増加が測定された。一方、遮光した条件下では、初期値は大きく変動することはなかった。以上のことから利用水の水質を劣化させないためには、高温にしないことや遮光することなどの重要性が示唆された。
3. 市販除菌装置による利用水中に増殖する細菌類の除菌効果について検討した。2004.7/27～12/20 日間の実験期間において明らかなレジオネラ属菌に対する除菌効果は得られなかった。なお、真菌類が増殖したこと

によりレジオネラ属菌用選択培地においてレジオネラ属菌を検出することはできなかった。

4. 利用水中におけるレジオネラ属菌の塩素消毒および紫外線照射法による不活化実験を行った結果、レジオネラ属菌の 99% 不活化するのに必要な Ct 値($\text{mg}\cdot\text{min}/\text{L}$)は $4 \text{ mg}\cdot\text{min}/\text{L}$ であり、紫外線照射法では、紫外線量 It 値は $1.6 \text{ mW}\cdot\text{S}/\text{cm}^2$ となった。

参考文献

- 1) 光岡俊成:レジオネラ症を予防するために必要な措置に関する技術上の指針(厚生労働大臣告示)の制定について、空気調和・衛生工学、78-2(2004),pp.63～69
- 2) 日本下水道協会(2001):上水試験方法
- 3) (財)ビル管理教育センター:新版レジオネラ症防止指針
- 4) 梅原敏正,山海敏弘 他:エネルギー・資源の自立循環型住宅・都市基盤整備支援システムの開発<自立循環型住宅開発委員会>平成 14 年度報告書
- 5) 山田賢次:建物内における上質水,pp.20,25
- 6) 山本大輔:暮らしの水・建築設備の水利用 pp.25
- 7) 金子光美:水の消毒(1997)
- 8) 椎野晃明,野知啓子,大塚雅之他 2 名:屋上緑化システムに利用可能な雑用水の水質調査,2003 年度日本建築学会関東支部研究報告集
- 9) 椎野晃明,中村伸也,野知啓子,大塚雅之:屋上緑化および利用可能な雑用水の水質調査,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,2004,pp.723
- 10) 大塚雅之,山海敏弘:資源循環型システムの開発研究 その 3 要素技術と性能評価の概要,日本建築学会学術講演梗概集,2004,pp.519
- 11) 中村伸也,野知啓子,大塚雅之他 5 名:資源循環型システムの開発研究 その 6 雨水・再利用水の水質評価,日本建築学会学術講演梗概集,2004,pp.525

(野知啓子,中村伸也,大塚雅之)

7.3.3 浄化槽処理水利用に関する水質・衛生学的評価

1) はじめに

近年、台所、トイレなどの水周りや居間などの生活空間の改善により住宅を取り巻く環境は、年々向上しているが、社会資本に影響を与えかねないごみ問題やヒートアイランド現象、水の有効利用など資源循環型社会を構築する上で、まだ、多くの課題が残されている。これらの課題は、自立循環型住宅の開発においても重要であり、個々の課題において解決するための手段も提案されている。

その一つが、台所から発生する野菜くずや残飯などの生ごみを処理するディスポーザである。ディスポーザは、生ごみの悪臭、害虫発生、ごみ袋からの液だれなどの問題を改善する方法として利便性向上、衛生面の改善、生ごみ削減効果向上、環境負荷低減などの利点であり、わが国では、ディスポーザ排水処理システムとして排水処理槽と一体で設置が認められている。

また、都市の住宅環境問題としてヒートアイランド現象がクローズアップされており、それを緩和する技術の一つとして屋上緑化システムが注目されている。しかし、緑化植物の維持に必要な水源確保の課題が残されている。

一方、一般家庭から発生する排水は、下水道地域では直接、下水暗渠へ放流し、また、浄化槽地域では、合併処理浄化槽で処理さ

れた後に側溝や河川に放流しているに過ぎず、一部、トイレ洗浄水として中水利用されているがその用途は限定的である。更に、排水の高度処理化の進展により窒素やリン低減技術が導入され、富栄養化問題は改善されてきているが更なる除去・低減の必要がある。

以上、ディスポーザ、屋上緑化システム及び中水再利用とも水・資源に関わる技術であるがこれらを統合した水資源効率化技術についての研究・開発の検討が必要である。

平成14年度までは、ディスポーザ対応合併処理浄化槽を用いて未利用資源(浄化槽処理水、雨水、浄化槽余剰汚泥)の利用技術について実証実験を実施した。

そこで平成15・16年度は、最も処理性能が高い膜利用浄化槽に着目し、①ディスポーザ排水の膜利用浄化槽処理可能性②膜利用浄化槽の処理水(以下膜処理水と呼ぶ)の屋上緑化散水による水源確保と水のリサイクル率の向上③膜処理水の屋上散水による緑化植物への含有栄養塩類供給による窒素・リン富栄養化問題の改善④膜処理水および屋上緑化放流水の細菌学的手法を用いた衛生学的評価と水理工学評価⑤膜利用浄化槽・緑化システムの水収支算定を目的とした。

2) 実験方法

(1) 実験装置概要

実験に使用した装置の概要を図7.3.20に、実験概要を表7.3.18に示す。

実証実験装置は、独立行政法人建築研究所内の20℃一定の恒温室に設置した5人用膜利用浄化槽と野外に設置した屋上緑化棟から構成されている。世帯4人(大人:2人、子

供:2人)を想定して生活系実排水と標準生ごみを粉碎したディスポーザ排水を流入させた5人槽膜利用浄化槽で浄化処理した後、膜処理水は、屋上緑化棟の屋根面に定圧ポンプと流量計を用いて一定流量で供給し、多孔質散水管から屋根面に滴下散水した。屋根面には、マンネングサ系のセダム類が植栽された平面パネル式屋上緑化パレットの植栽基盤(200 mm

角)120枚を敷設した。

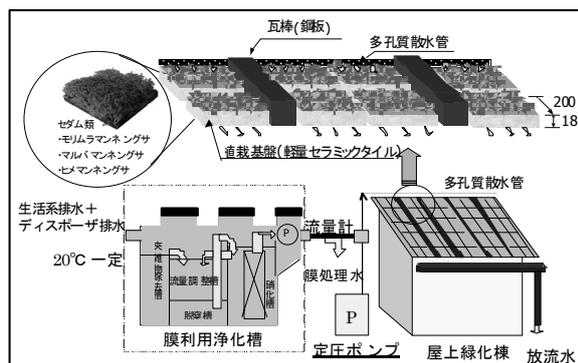


図 7.3.20 実験装置概要

表 7.3.18 実験概要

実験開始	H16.5.25～
標準生ごみ粉砕開始	H16.6.8～
使用人員(人)	4
5人用膜浄化槽容量(m³)	3.24
流入排水量(m³・日⁻¹)	0.8
標準生ごみ(kg・日⁻¹)	1.0
ディスポーザ排水量(m³・日⁻¹)	0.02
屋上緑化面積(m²)	4.8
緑化散水量(m³・日⁻¹)	0.12
植栽基盤寸法(縦mm×横mm)	200角
植栽基盤個数(枚)	120

実験に用いた標準生ごみは、表 7.3.19 の組成に基づき作成したものを使用した。また、生活系排水の流入は、浄化槽の性能評価試験で用いられている図 7.3.21 の流入パターンで実験を行い、生ごみは、排水が流入する時間帯に 4 人分をディスポーザで粉砕しながら 5L・人⁻¹・日⁻¹ の水道水で搬送した。

3) 結果および考察

(1) 膜利用浄化槽の処理性能評価

膜利用浄化槽へ流入する排水の平均性状を表 7.3.20 に示す。

生活系排水は、目標濃度を BOD:200 mg・L⁻¹、SS:200 mg・L⁻¹ としたが、実験期間中の平均で BOD:224 mg・L⁻¹、SS:244 mg・L⁻¹ と目標濃度よりやや高い水質であった。ディスポーザ排水は、標準生ごみを使用していることから文献値¹⁾の原単位を基準とした。その結果、生活系排水とディスポーザ排水を含む流入排水は、

表 7.3.19 標準生ごみ組成

組成		湿潤重量 (g・人⁻¹・日⁻¹)
野菜類	人参	45
	キャベツ	45
果物類	バナナの皮	25
	リンゴ	25
	グレープフルーツの皮	25
肉・魚介類	魚	25
	鳥骨	20
米飯		25
茶殻		10
卵殻		5
合計		250

実験期間は、H16.5.25 から H16.12.13 の約 6 ヶ月間行い、生活系排水、膜処理水、屋上緑化放流水の水質分析を行った。水質分析は、pH、BOD、COD、SS、T-N、T-P、一般細菌群数、大腸菌群数、MLSS、VSS を下水試験法に準拠して行い、レジオネラ属菌数は、上水試験法に基づいて行った。

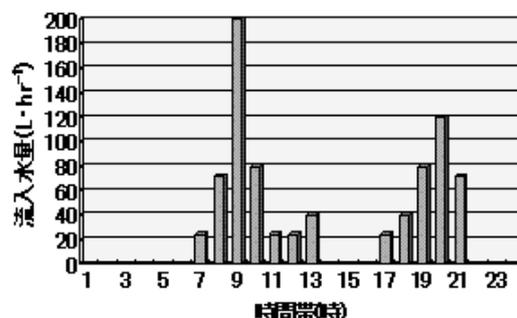


図 7.3.21 生活系排水の流入パターン

表 7.3.20 流入排水性状(6ヶ月平均)

	生活系排水	ディスポーザ排水 ¹⁾	流入排水
水量(m³・日⁻¹)	0.80	0.02	0.82
pH(-)	7.22	-	-
BOD(mg・L⁻¹)	224	5,500	352
COD(mg・L⁻¹)	122	5,000	241
SS(mg・L⁻¹)	244	7,000	409
T-N(mg・L⁻¹)	31.2	280	37.3
T-P(mg・L⁻¹)	3.04	50	4.19
一般細菌(cfu・ml⁻¹)	1.8×10 ⁶	-	-
大腸菌(cfu・ml⁻¹)	6.5×10 ⁴	-	-

BOD:352 mg・L⁻¹, SS:409 mg・L⁻¹, T-N:37.3 mg・L⁻¹, T-P:4.19mg・L⁻¹ であり、これを原水として膜利用浄化槽に供給した。なお、生活系排水の菌体は、一般細菌群数:1.8×10⁸cfu・ml⁻¹、大腸菌群数:6.5×10⁴ cfu・ml⁻¹ と多くの菌体数を検出した。

a 有機汚濁指標 (COD, BOD、SS)

膜処理水の COD,BOD,SS の各月平均を図 7.3.22 に示す。COD は、4~7 mg・L⁻¹ 程度と良好な水質で実験期間中推移していた。

一般に湖沼の場合、1~8 mg・L⁻¹ が環境基準値であることから良好な水質と判断できる。BOD は、実験期間中で 5 mg・L⁻¹ 以下であり安定した処理性能を有していた。また、SS は、膜によってろ過させていることから 1 mg・L⁻¹ 以下であった。このことから、ディスポーザ排水が流入することでの影響は確認させず、良好な処理性能を有していた。

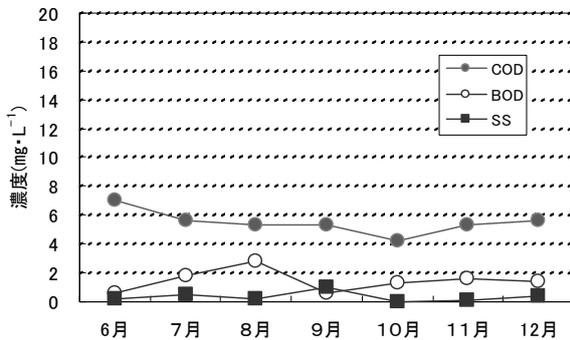


図 7.3.22 有機汚濁指標の推移

b 窒素、リン

膜処理水の T-N、NH₄-N、NO_x-N、T-P の各月平均を図 7.3.23 に示す。実験開始直後の 6 月の T-N は、8.5 mg・L⁻¹ と 5 mg・L⁻¹ を超えていた。これは、硝化反応は十分に進んでいるが脱窒反応が不十分であるためであった。しかし、2ヶ月目からは脱窒反応が進行し、各月とも 5 mg・L⁻¹ 以下であり、良好な窒素除去性能を有していた。生活系排水のみを処理する膜利用浄化槽は、使用開始から3ヶ月程度は窒素の除去性能が悪く、また、T-N:5 mg・L⁻¹ まで除去は難しいのが一

般的である。しかし、本実験では、ディスポーザ排水が流入することで脱窒槽への有機物量が多く、脱窒反応に寄与していることが要因と考えられる。

T-P は、平均流入排水濃度:4.19mg・L⁻¹ に対して 0.5~3mg・L⁻¹ 程度であり、微生物菌体内に取り込まれた分が消費させていると推測する。

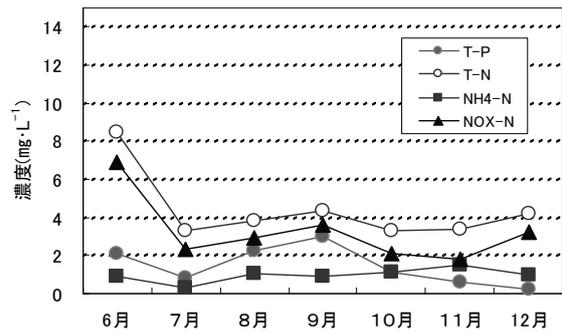


図 7.3.23 窒素、リンの推移

c 一般細菌群数、大腸菌群数、レジオネラ属菌数

膜処理水は、活性汚泥を有機膜によってろ過した処理水のため一般細菌群数は、月平均で 30cfu・ml⁻¹ 以下であった。一般細菌群数の測定では、不検出のときもあることから採水および分析時の外部汚染の影響と考えている。また、大腸菌群数は、実験期間中ほぼ不検出であり、検出されても 10cfu・ml⁻¹ 未満であった。また、レジオネラ属菌数に至っては、実験期間中すべて不検出であり衛生面の影響は皆無と考えられる(図 7.3.24)。

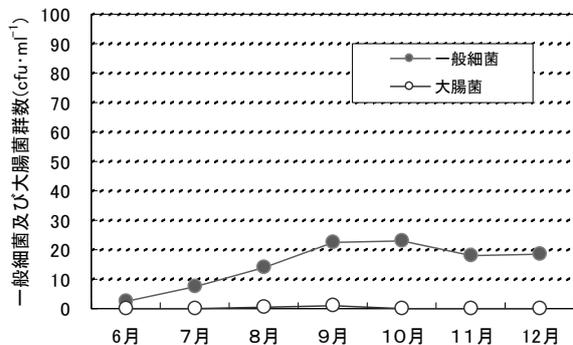


図 7.3.24 一般細菌、大腸菌群数の推移

d ランゲリア指数

ランゲリア指数は、金属などの腐食の度合いを表す指標であり、-1 よりも小さいと金属腐食が進む水と言われている。pH、カルシウム硬度、アルカリ度、水中の溶解成分濃度(蒸発残留物)に関係しており、(1)式、(2)式で求めることができる。

$$SI = pH - pH_s \dots \dots \dots (1)$$

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \dots (2)$$

SI:ランゲリア指数 A:蒸発残留物係数 B:温度係数
C:カルシウム硬度係数 D:アルカリ度係数

膜処理水のランゲリア指数を図 7.3.25 に示す。

1992 年の厚生省生活衛生局水道環境部の“水道水質に関する基準制定について”ランゲリア指数の目標値を「-1 程度以上とし、極力 0 に近づける」との通知が出ている。よって、実験期間中ランゲリア指数は-1 よりも大きく腐食性の少ない処理水であった。このことから屋上緑化に散水することで金属面を腐食させる可能性は少ないと考える。

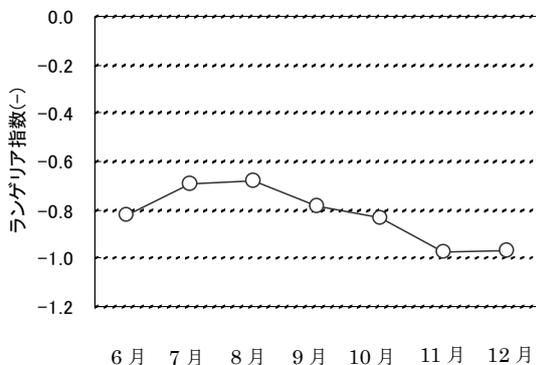


図7.3.25 ランゲリア指数の推移

e 槽内汚泥濃度

実験終了時に各槽内の汚泥量を調査し、その結果を表 7.3.21 に示す。

表7.3.21 膜利用浄化槽内の汚泥量(乾燥重量)

	性状	汚泥量(kg)
夾雑物除去槽	スカム	4.1
	汚泥	5.2
	沈殿物	7.5
脱窒槽	汚泥	9.6
硝化槽	汚泥	9.2
合計		35.5

夾雑物除去槽は、上部にスカムが堆積し、湿潤重量で 32.0 kg、乾燥重量で 4.1kgであった。内容物を目視観察するとトイレトーパー、バナナの皮や茶殻など比較的比重が軽い繊維質が多く含まれていた。また、底部に堆積している沈殿物を、流速 $2.4L \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$ の水で 15 分間洗浄し、組成調査した結果を表 7.3.22 に示す。実験期間中(実験開始から 204 日、生ごみ投入から 184 日)に投入した卵殻は、3.7 kg、鳥骨は、14.8 kgであった。夾雑物除去槽の卵殻、鳥骨、魚骨やその他(ご飯、繊維質、茶殻などの有機物)が沈殿しているが特に鳥骨が多く堆積し乾燥重量で全体の 68%を占めていた。

表7.3.22 夾雑物除去槽沈殿物の組成

	投入量 (湿潤kg)	沈殿物量(kg)		割合 (%)
		湿潤	乾燥	
卵殻	3.7	1.7	1.3	17
鳥骨	14.8	11.1	5.1	68
魚骨	-	1.9	0.8	11
その他	-	0.8	0.3	4
合計		15.5	7.5	100

また、投入量に対して卵殻、鳥骨とも減少が見られたが、微細化による後段槽へ移流や有機酸生成(夾雑物除去槽の底部pH:3~5で推移)によるカルシウム分の溶解によって減少したのではないかと推測した。スカムの発生や沈殿物の堆積による槽内閉塞は認められなかったことからディスポーザ排水を含む生活系排水を6ヶ月間処理する場合は問題がないと思われる。なお、夾雑物除去槽の沈殿物を除く全槽の汚泥量の BOD 汚泥転換率は、63%であった。なお、硝化槽の最終 MLSS, MLVSS は、それぞれ $17,500 mg \cdot L^{-1}$ 、 $14,500 mg \cdot L^{-1}$ であった。

(2) 屋上緑化の性能評価

屋上緑化実験は、植栽基盤を敷設した屋上緑化棟に多孔質散気管を用いて流量 $5L \cdot hr^{-1}$ で滴下散水を行った。植栽基盤を流れ落ちた放流水は、計量器で水量測定を行うとともに全量を取水し、水質分析を行った。なお、採水条件として降雨のない日が 3 日間連続した日

の最終日の朝10時に24時間全量集水したサンプルから採水した。

a 水量

屋上緑化棟への散水量および緑化放流水量を図 7.3.26 に示す。6月の散水量は、設定が上手くいかず設定水量 $5\text{L}\cdot\text{hr}^{-1}$ ($0.12\text{m}^3\cdot\text{日}^{-1}$)を下回ったが、7月以降は設定通りであった。

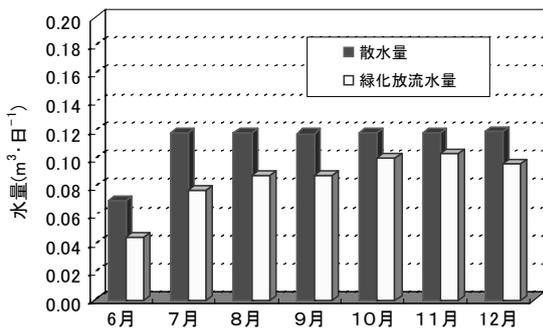


図 7.3.26 散水量と緑化放流水量の推移

b 緑化放流水量

緑化放流水量は、夏期において散水量の30~40%が蒸発により大気放散し減少するため $0.07\sim 0.09\text{m}^3\cdot\text{日}^{-1}$ であった。蒸発量分が蒸発潜熱として冷却に寄与している。しかし、気温の低下、日射量の減少とともに秋期から冬期にかけて蒸発量は低下していた。

c 有機汚濁指標 (COD, BOD, SS)

緑化放流水のCOD, BOD, SSの推移を図 7.3.27 に示す。6月は植栽基盤に付着していた土壌などの固形物が放流水に混入したことからSSが高くなり、そのためCODも高くなった。

しかし、BODはそれほど高くなっていないことから土壌の混入により一時的に高くなったものと考えられる。7月以降は、COD: $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下、SS: $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下であり、BODは、実験期間中 $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下と安定していた。このことから膜処理水を植栽基盤に散水することで有機汚濁指標が高くなるという問題はなかった。このことは、緑化放流水を更に

イレ洗浄水や雨水浸透ますによって地下源として再利用することも可能である。

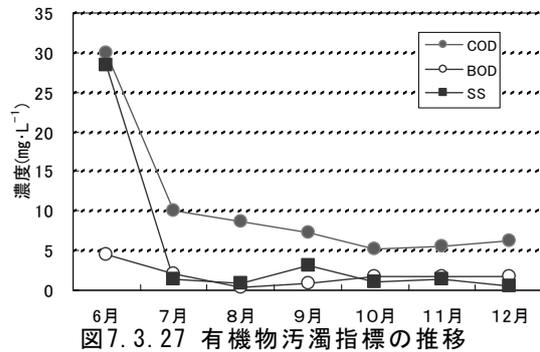


図 7.3.27 有機物汚濁指標の推移

d 窒素、リン

窒素およびリンは、植栽基盤の植物により栄養塩類として植物内に取り込まれると推測できることから量的な変化についてまとめた。

窒素量の推移を図 7.3.28 に、リン量の推移を図 7.3.29 に示す。

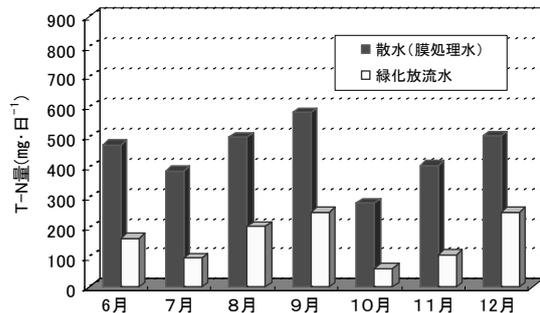


図 7.3.28 T-N量の推移

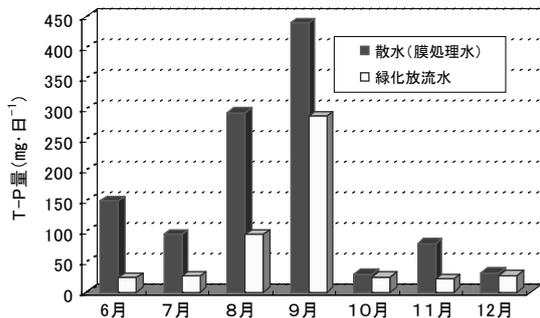


図 7.3.29 T-P量の推移

また、窒素、リンの一日における植栽基盤 1m^2 あたりの除去量と植栽基盤における除去率の推移を表 7.3.23 に示した。

窒素は、各月とも除去量で $44.9\sim 69.1\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{日}^{-1}$ (加重平均: $59.4\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{日}^{-1}$)で

表 7.3.23 T-N, T-Pの除去量、除去率

		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	加重平均
T-N	除去量($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{日}^{-1}$)	64.8	60.3	61.8	69.1	44.9	61.8	52.8	59.4
	除去率(%)	66	74	60	50	78	72	48	66
T-P	除去量($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{日}^{-1}$)	25.9	14.2	41.3	31.8	2.38	12.0	0.92	17.6
	除去率(%)	89	60	67	45	74	59	14	55

あり、また、除去率で 48~78%(加重平均: 66%)と安定した除去性能であった。なお、膜処理水中には、硝酸態窒素が含まれているが、硝酸態窒素による植物成長の阻害があると言われているが本実験の濃度ではその影響は無かった。リンの除去量は、0.92~41.3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{日}^{-1}$ (加重平均:17.6 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{日}^{-1}$)とばらつきが大きく、除去率も 14~89%(加重平均:55%)であった。このようにばらつきが大きい原因は、散水した膜処理水のリン量のばらつきが大きいことに起因している。リンも窒素と同様に植物の栄養塩類として必須であり、膜処理水を散水することで植物の成長を促していることが繁殖状況からも明らかである。

e pH

散水した膜処理水と緑化放流水のpHの推移を図 7.3.30 に示した。

膜処理水のpH は、7.4~7.7 付近であるのに対し、緑化放流水のpH は、8.0~8.6 とより高いアルカリ性を示した。これは、植物によって水中の炭酸ガスが消費され水酸化イオンが形成されたことが原因であると推測する。一般に雨水は、酸性を有しており、近年、酸性雨問題も懸念されているため緑化放流水のアルカリ化は酸性雨対策にも貢献すると考える。

f 一般細菌群数、大腸菌群数、レジオネラ属菌数

散水した膜処理水と緑化放流水の一般細菌群数、大腸菌群数をそれぞれ図 7.3.31、図 7.3.32 に示す。一般細菌群数は、膜処理水が $10^2\text{cfu}\cdot\text{ml}^{-1}$ 以下で推移しているのに対し緑化放流水は、 $10^3\sim 10^5\text{cfu}\cdot\text{ml}^{-1}$ と高い値であった。これは、植物が繁殖した植栽基盤

を流れでているため植物や植栽基盤中で生息した細菌類が混入していると思われる。

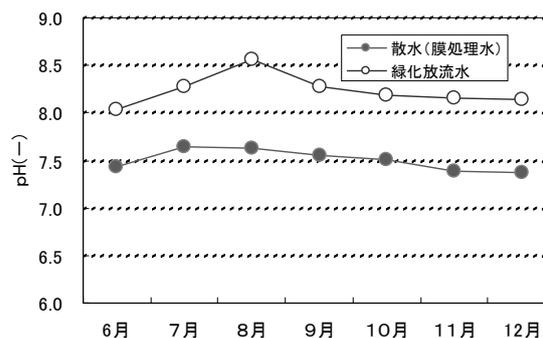


図 7.3.30 pHの推移

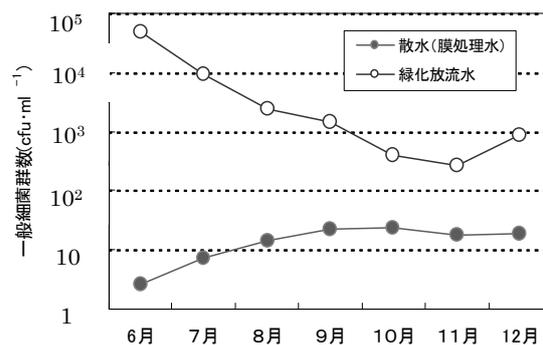


図 7.3.31 一般細菌群数の推移

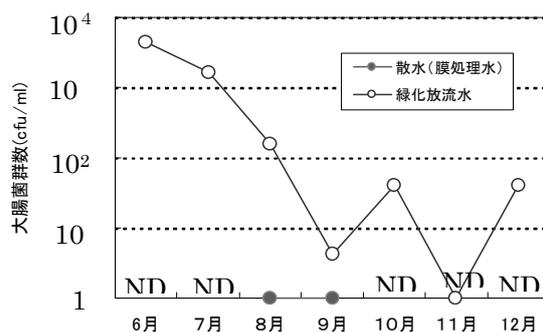


図 7.3.32 大腸菌群数の推移

また、大腸菌群数は、膜処理水ではほとんど不検出であったのに対し、6月の緑化放流水は、 $10^3\text{cfu}\cdot\text{ml}^{-1}$ 以上と高かった。しかし、本実験が進むにつれて緑化放流水中に生息する大腸菌群数は減少していた。これは、実験開始時、植栽基盤や植物の根等に付

着していた大腸菌が流出し、高い値を示したが、その後、緑化放流水のpHが高く、この影響によって大腸菌や一般細菌の繁殖を阻害するpH域となったことから次第に流出する菌数が減少したと推測した。

なお、レジオネラ属菌数は、実験期間中ほとんど不検出でありレジオネラ属菌対策の優先度は低いと考える。

g ランゲリア指数

膜処理水と緑化放流水のランゲリア指数の推移を図7.3.33に示す。緑化放流水のランゲリア指数は、 $-0.8 \sim -0.2$ であった。これは、膜処理水のランゲリア指数と比較すると高く、この要因は、緑化放流水のpHが膜処理水よりも高いアルカリ性を示していることに起因している。このことから膜処理水より更に金属腐食の度合いが低く、緑化放流水の更なる有効利用が期待できる。

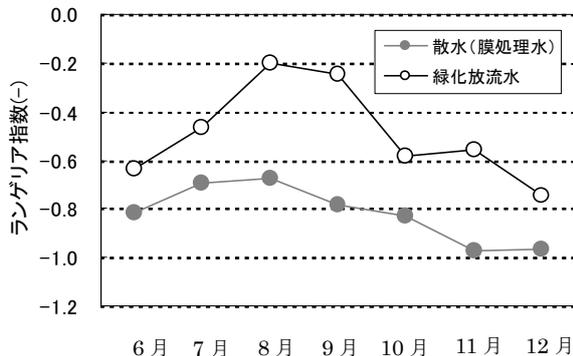


図7.3.33 ランゲリア指数の推移

h 植栽基盤のセダム類繁殖状況

植栽基盤の状況を樋側から撮影した定点観測を行い、植物の繁殖状況を目視観察した。撮影は2ヶ月置きに行い、それぞれ図7.3.34から図7.3.37に示す。

6月の時点では、まだ、多孔質散気管や鋼板製の瓦棒が確認できたが8月では、ほとんど確認できず、特に、多孔質散気管付近は、セダム類が盛り上がるように繁殖しており、セダム類の繁殖力は旺盛であった。一方、樋側に近い下流側では、繁殖に変化が見られず、植栽基盤の軽量セラミックタイルが剥き出しの状態であった。このことから多

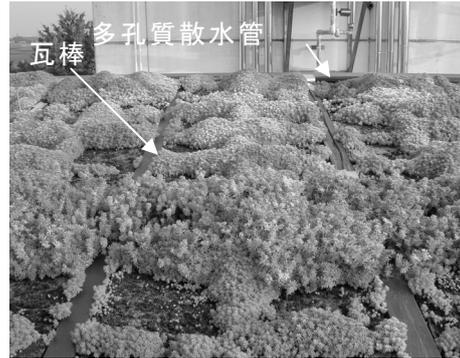


図7.3.34 H16.6.18撮影

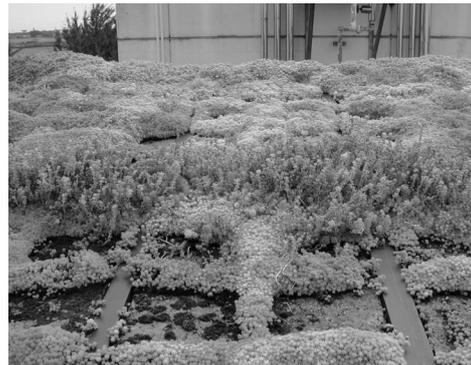


図7.3.35 H16.8.27撮影



図7.3.36 H16.10.18撮影



図7.3.37 H16.12.14撮影

孔質散気管のある上流側は、膜処理水に含まれる窒素やリンがセダム類の繁殖に寄与しているが、一方、下流側は、窒素やリン

が十分に行き届かずセダム類の繁殖にムラが生じていた。この結果から散水する場合は、屋根面の中間あたりに散水管を増設する必要がある。なお、12月には、気温低下により全体に褐色を示し始めた。

i 夏期終日調査

夏期の日射による蒸発や植物への水の吸収による水量変化、水質変化を把握するため8月10日AM6:00から11日AM6:00の24時間について緑化放流水を1時間ごとに全量取水し、放流量および緑化放流水の水質分析を行った。その時の膜処理水性状を表7.3.24に示す。散水した処理水量および緑化放流水の水量変化を図7.3.38に示す。日中は、太陽光照射により水の蒸発が盛んであり、13:00に散水量の2/3が蒸発していた。また、夜間でも10%程度の蒸発が確認された。

表7.3.24 膜処理水の性状

平均散水量(L・hr ⁻¹)	4.9
pH(-)	7.55
COD(mg・L ⁻¹)	5.5
BOD(mg・L ⁻¹)	1.3
SS(mg・L ⁻¹)	0.0
T-N(mg・L ⁻¹)	5.0
T-P(mg・L ⁻¹)	2.17

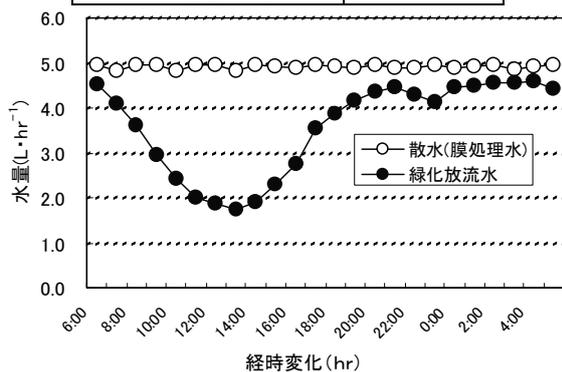


図7.3.38 散水および放流量の推移

次に、緑化放流水のpHの推移を図7.3.39に示す。散水した膜処理水のpHが、7.55に対して緑化放流水のpHは、日中の12:00~14:00でpH9.5まで高くなった。この原因は、日中光合成によって水中の炭酸ガスが消費され水酸化イオンが形成されたこと

に起因すると推測する。よって、日没後は、光合成の低下とともにpHが回復基調にあった。

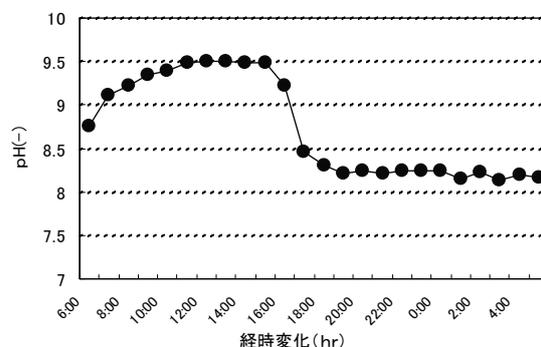


図7.3.39 緑化放流水pHの推移

次に緑化放流水の有機汚濁指標(COD,BOD,SS)の推移を図7.3.40に示す。

有機汚濁指標のうちCOD,BODは、夜間よりも日中の方が高く、水量の減少に伴い濃縮により増加したと思われる。ただ、それでもCODで10 mg・L⁻¹程度、BODでも4.0 mg・L⁻¹未満と問題の生じる水質ではなかった。更に、SSは、2 mg・L⁻¹を超える時間帯も見られたが大きな変化は認められず良好な水質であった。

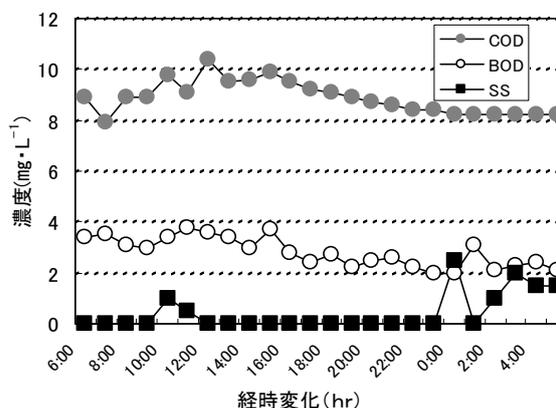


図7.3.40 緑化放流水の有機汚濁指標の推移

次に、緑化放流水のT-N量、T-P量の推移を図7.3.41、図7.3.42に示す。T-N、T-Pとも夜間に比べ日中の方が減少しており、この原因は植栽基盤の植物によって日中の光合成が盛んなときに栄養塩類として吸収されたことに起因する。特に、T-Nの挙動は、その傾向が顕著であった。なお、T-N量、T-P量の一日当りの除去率は、89%、63%であった。

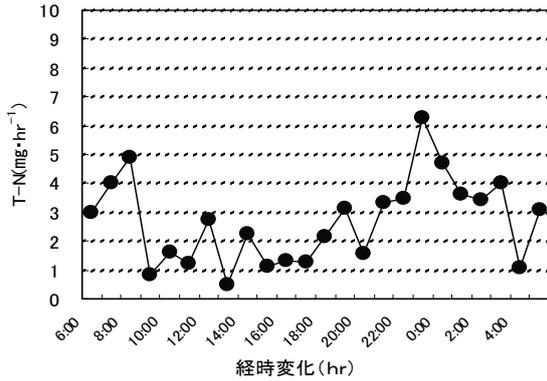


図 7.3.41 緑化放流水のT-N量の推移

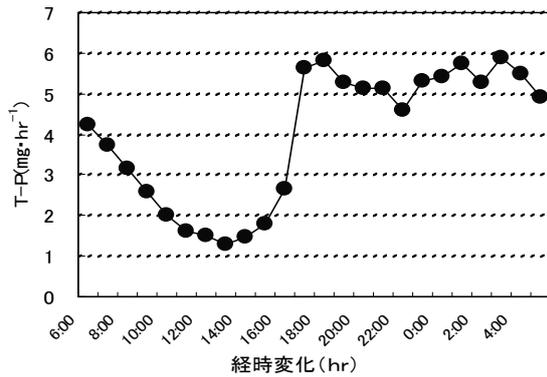


図 7.3.42 緑化放流水のT-P量の推移

(3) 膜利用浄化槽を用いた屋上緑化システム導入による水収支

膜処理水を屋上に設置した植栽基盤に散水する本緑化システムについて一戸建てモデル住宅を対象とし、水収支の算定を試みた。算定にあたり表 7.3.25 の前提条件で算定した。

表 7.3.25 水収支算定の前提条件 (共通)

使用人員(人)	4	
流入排水量(m ³ ・日 ⁻¹)	0.8	
標準生ごみ(kg・日 ⁻¹)	1.0	
ディスポーザ排水量(m ³ ・日 ⁻¹)	0.02	
植栽基盤寸法(縦mm×横mm)	200角	
1F平面寸法(mm×mm)	7,280×10,920	
2F平面寸法(mm×mm)	7,280×7,280	
トイレ洗浄水量(L・回 ⁻¹)	大	8
	小	6
トイレ使用回数(回・人 ⁻¹ ・日 ⁻¹)	大	1
	小	3

表 7.3.26 に示すように屋根面の半分を緑化し、24 時間常時散水するケース1と屋根面全面を緑化し、日中の 12 時間のみを散水するケース 2 に大別した。また、算定した結果を図 7.3.43、図 7.3.44 に示した。

表 7.3.26 算定条件

	ケース1	ケース2
植栽基盤設置場所	2F屋根半面	2F屋根全面
屋上緑化面積(m ²)	25.2	50.4
緑化散水量(m ³ ・m ⁻² ・日 ⁻¹)	0.025	0.025
植栽基盤個数(枚)	630	1260
散水方法	24時間一定流入	7:00~19:00のみ散水、その他の時間帯は停止

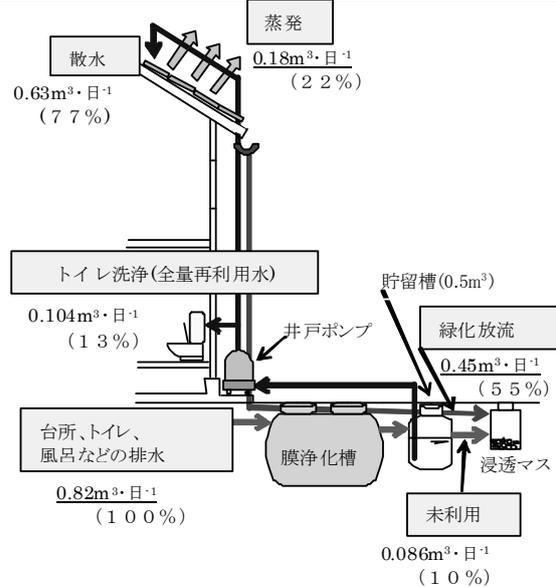


図 7.3.43 水収支算定結果 (ケース1)
(2F屋根半面に24時間一定散水)

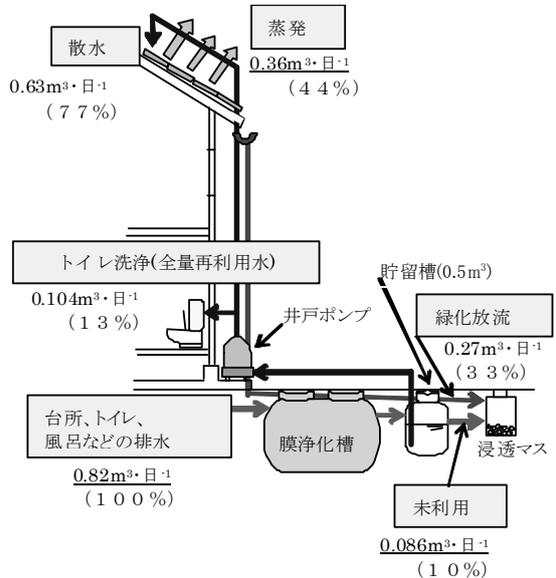


図 7.3.44 水収支算定結果 (ケース2)
(2F屋根全面に12時間散水)

ケース 1、ケース 2 とも屋根面に散水した水の蒸発率は、8 月 10 日~11 日に行った終日調査結果の 29%をもとに算定した。水収支は、

生ごみを含む台所、風呂、トイレなどの生活系排水:0.82m³・日⁻¹が膜利用浄化槽に流入した後、トイレ排水として 0.104m³・日⁻¹(13%)、屋上緑化の散水として 0.63m³・日⁻¹(77%)が再利用される。この時、ケース1では、屋根面の半分を屋上緑化として使用し、24 時間散水しているがケース2では、屋根全面を使用する代わりに夜間は散水を停止(19:00~7:00の12時間)することでケース1、ケース2とも散水量が同じであ

4) まとめ

本年度は、膜利用浄化槽に着目し、生ごみを粉碎したディスポーザ排水を含む生活系排水の処理を行うとともに、その膜処理水を植栽基盤に散水して膜処理水および緑化放流水の水理学的性能評価を行った。また、植栽基盤に植えられたセダムの繁殖状況を定点観測した。更に、これらの実証実験の結果をもとに膜利用浄化槽を用いた屋上緑化システムの水収支を検討した。

ディスポーザ排水を含む生活系排水を膜利用浄化槽で処理した後の膜処理水は、COD:10 mg・L⁻¹以下、BOD,SS:5 mg・L⁻¹以下と良好な処理性能を有していた。

窒素の除去性能はディスポーザ排水が流入水中の窒素濃度が実験開始後 1 ヶ月程度ですることから脱窒槽での有機物負荷が高くなり、脱窒菌による脱窒反応が進行し易く、膜放流 5 mg・L⁻¹以下で良好に安定した。

膜処理水は、一般細菌群数、大腸菌群数、レジオネラ属菌数ともわずかの検出か不検出であり微生物による汚染は無かった。

また、膜処理水のランゲリア指数は-1 よりも大きく金属腐食の影響は少ないことが判った。

以上の結果から使用人員4人の世帯で5人槽膜利用浄化槽を使用した場合、6 ヶ月間良好な処理性能を有することが明らかになった。

膜処理水を屋上植栽基盤に散水し、緑化放流水の水質分析を行った結果、有機汚濁指標(COD,BOD,SS)への影響はなく、膜処理

る。また、再利用で余った 0.086m³・日⁻¹ (10%)が未利用で放流される。次に、屋上緑化に散水した水は、ケース1では、全量の22%が、ケース2では、44%が蒸発して大気へ放出され、残りが緑化放流水として浸透マスへ放流される。以上のことから未利用分と緑化放流水分の合計 0.365 m³・日⁻¹(44%)~0.536 m³・日⁻¹ (65%)が、雨水マスにより地下浸透することが可能である。

水と変わらない水質であった。

窒素・リンは、植物によって栄養塩類として吸収され、除去量は、窒素で平均 31.8 mg・m⁻²・日⁻¹、リンで平均 17.5 mg・m⁻²・日⁻¹であった。一方、除去率は、窒素で66%、リンで55%と高い除去性能を有していた。

また、緑化放流水の一般細菌群数、大腸菌群数は、実験期間が経過するにつれて減少傾向にあり、半年後では一般細菌群数 1×10³cfu・ml⁻¹、大腸菌群 40cfu・ml⁻¹であった。なお、レジオネラ属菌数は、実験期間中ほとんど不検出であった。

更に、ランゲリア指数は、植物が膜処理水中の炭酸ガスを吸収することから緑化放流水中のpHが高くなり、その結果、ランゲリア指数も高くなった。このことは、緑化放流水の金属腐食度合いが低く、緑化放流水の更なる再利用が可能であることを示唆している。

セダムの繁殖状況を確認するため 2 ヶ月に一度定点観測を行った結果、繁殖は旺盛であり、膜処理水の窒素、リンなど栄養塩類の影響であることが示唆された。

緑化システム導入による水収支は、使用人員4人の家庭を対象に算定した結果、膜処理水の77%を屋上緑化の散水に、13%をトイレ洗浄水として再利用が可能であった。

(竹崎 義則)

参考文献

- 1) 山海ら、廃棄物学会誌、12(5),p312-321,2001

7.3.4 屋上緑化による熱的效果に関する検討と評価

1) 底面灌水式緑化パレットの熱的性能に関する検討

(1) 緑化パレットの性能評価

本項では、自然冷房の手法として、

1. 蒸発冷却
2. 放射冷却

の2点の手法を用いて、「緑化パレット」における熱貫流低減の効果と自然冷房の効果を実験による検討を行い、このシステムの室内温熱環境調整効果や、屋根面での放射性能などを明らかにし、夏季の室内温熱環境調整における有効性を検証していく。

(2) 実験装置概要

a 実験場所

東京理科大学野田キャンパス内実験棟

b 実測期間と内容

○給水あり

○給水なし

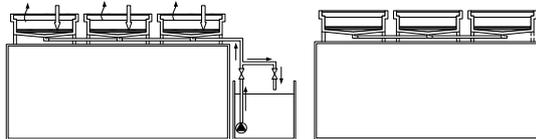
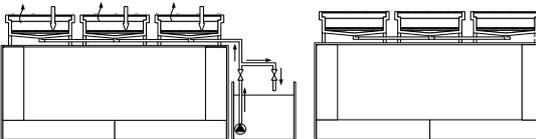


図 7.3.45 実測①

○給水あり

○給水なし



断熱材 100mm 厚

図 7.3.46 実測②

○パレットあり

○パレットなし

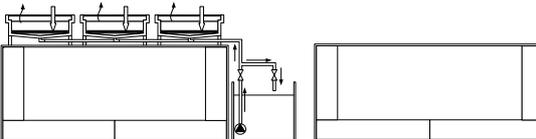


図 7.3.47 実測③

実測① 8月1日から8月4日まで(図 7.3.45)

実測②:8月7日から9月18日まで(図 7.3.46)

実測③:9月20日から9月30日まで(図 7.3.47)

(3) 実測点

a パレット各部温度

実測データから、給水ありとなしでは、どれだけの温度差が見られるのかを把握する。

b 熱流（貫流熱）

実測データから、給水することによって、最大どれだけの熱流を防いでいるのかを検討する。

c 日射量

蒸発量と日射量の相関関係、また、絶対湿度基準物質移動係数と日積算日射量の相関関係を調べる。

(4) 実測装置設置状況

a 放射熱収支量

計算により、大気放射量、実効放射量を求め、緑化パレットにおける表面熱流を求める。

b 外気温度・湿度

水蒸気圧、絶対湿度を計算により求める。また、パレット各部温度と当日の気温との比較をする。

c 風向風速

風が蒸発、各部温度低下に与える影響を考える。なお、今回の実測では、風速の値は小さく、その他のデータには考慮していない。

d 水位（蒸発量）

水位変動により、1日の蒸発量を求める。今回、絶対湿度基準物質移動係数を求めるために必要となるが、蒸発は絶対湿度差によるものと考え、1日の蒸発量から、1秒あたりの蒸発量を求めた。また、これにより、蒸発による潜熱変換量を求めることができる。

(5) 緑化パレット実測結果

各々の実測について、日射等の良好な条件を得られた連続3日間のデータについて、その結果を以下に記す。



図 7.3.48 緑化パレット



図 7.3.49 設置場所



図 7.3.50 緑化給水実測台と実測機器

表 7.3.27 実測内容

	実測と解析内容
実測①	散水有無による熱的性能比較(下部に空間なし)
実測②	散水有無による各点温度検証と空間温度比較(断熱材あり)
実測③	緑化が建物躯体に与える影響と空間温度比較(断熱材あり、給水なしパレット取り除く)

実測① 2003年8月2日～4日

実測台に給水ありの緑化パレットと、給水なしの緑化パレット(芝は枯れている)を乗せた。

実測台の下部に空間は設けず、断熱もしていない。これは、緑化パレットの熱的性能を検証するために行った。

表 7.3.28 測定チャンネル

ch番号	計測項目	センサー	測定点点数
1～3	給水あり-素材表面温度	CC熱電対	3
4～6	給水あり-素材裏面温度	〃	3
7～9	給水あり-パレット裏面温度	〃	3
10～12	給水あり-コンパネ裏面温度	〃	3
13～15	給水なし-素材表面温度	〃	3
16～18	給水なし-素材裏面温度	〃	3
19～21	給水なし-パレット裏面温度	〃	3
22～24	給水なし-コンパネ裏面温度	〃	3
25、26	外気温度	〃	2
27	放射収支計温度	〃	1
28、29	給水あり-空間温度	〃	2
30、31	給水なし-空間温度	〃	2
32	タンク水温	〃	
33-40	予備		
41	水平面日射量	日射計	1
43	水平面放射熱収支量	放射収支計	1
44	熱流(給水あり)	熱流計	1
45	熱流(給水なし)	〃	1
46、47	外気相対湿度	相対湿度計	2
48	風向	風向・風速計	1
49	風速	〃	1
50	水位	水位計	1
51-60	予備		

素材表面温度は給水あり、なしともに 50℃くらいまで達する。日射量に大きく影響されていることも分かる。また、各部温度比較であるが、パレット下部に空間がないためか、差は見られなかった。素材裏面温度において、日中、

数℃の差が見られる程度である。

各部温度では差が見られなかったが、熱流を比較すると、日中、給水なしの方が大きいことが分かる。よって、熱的な効果があるといえる。

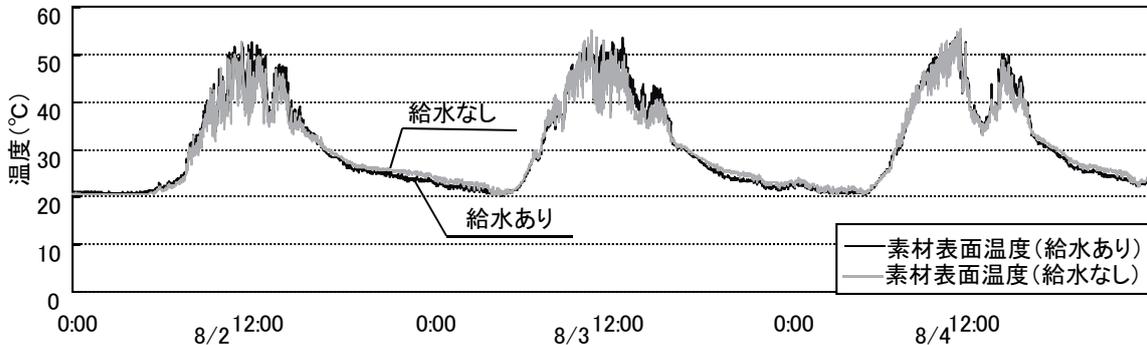


図 7.3.51 実測①素材表面温度比較

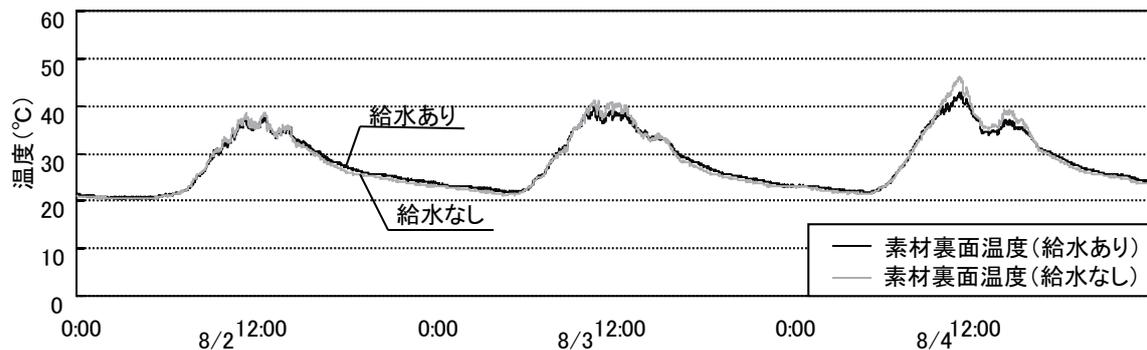


図 7.3.52 実測①素材裏面温度比較

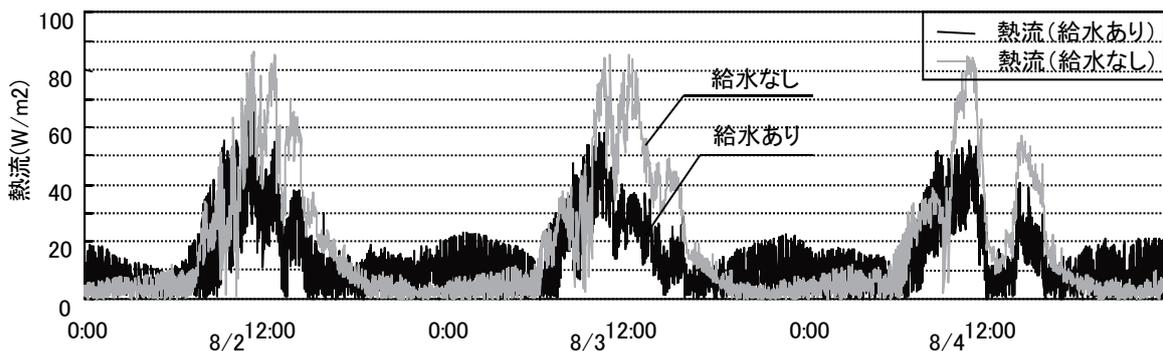


図 7.3.53 実測①熱流比較

実測② 2003年9月15日～17日

実測台の下部を 100mm 厚の断熱材で囲い、空間を作った。実測①と同じく、散水ありの緑化パレットと、給水なしの緑化パレット(芝は枯れている)を乗せた。これは、給水ありとなしの場合の各点温度差を検証するために行った。

素材表面温度は給水ありの最大 50℃程度

に比べ、給水なしの方は 60℃付近まで達している日もある。また、素材裏面においてははっきりとした差が表れ、10℃程度も差がみられる。空間温度差であるが、1℃程度の僅かな差が出るにとどまった。

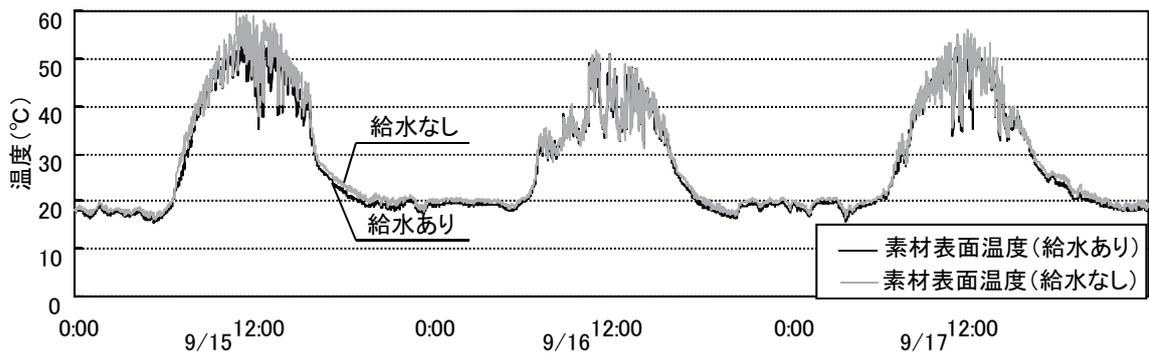


図 7.3.54 実測②素材表面温度比較

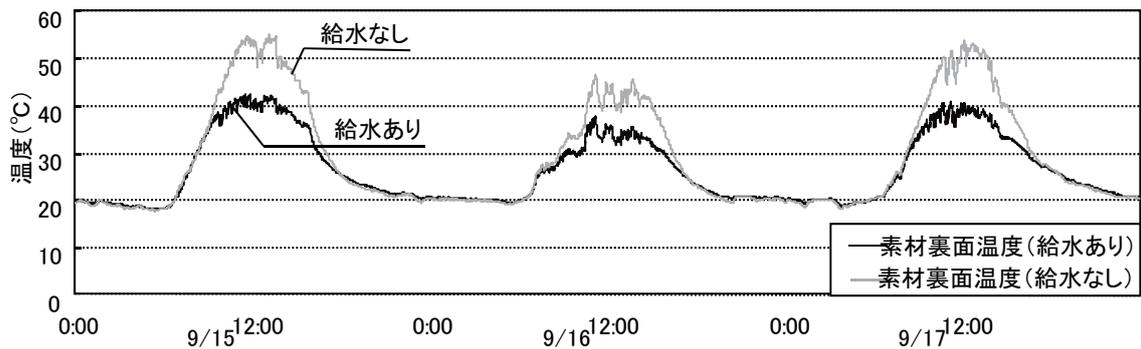


図 7.3.55 実測②素材裏面温度比較

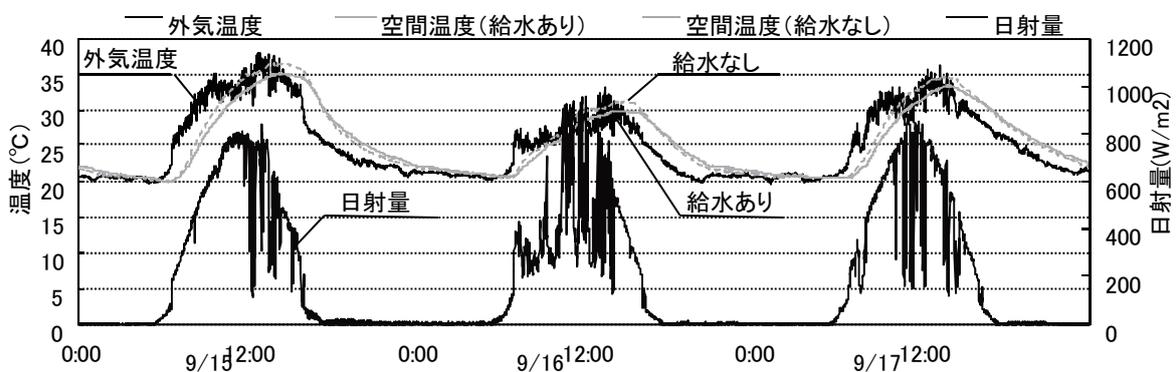


図 7.3.56 実測②熱流比較

実測③ 2003年9月28日～30日
給水ありのみ緑化パレットを実測台に乗せ、
100mm厚の断熱材で囲った実測台単体を建

物と仮定した。これは、緑化パレットが建物に
与える影響の検証するために行った。

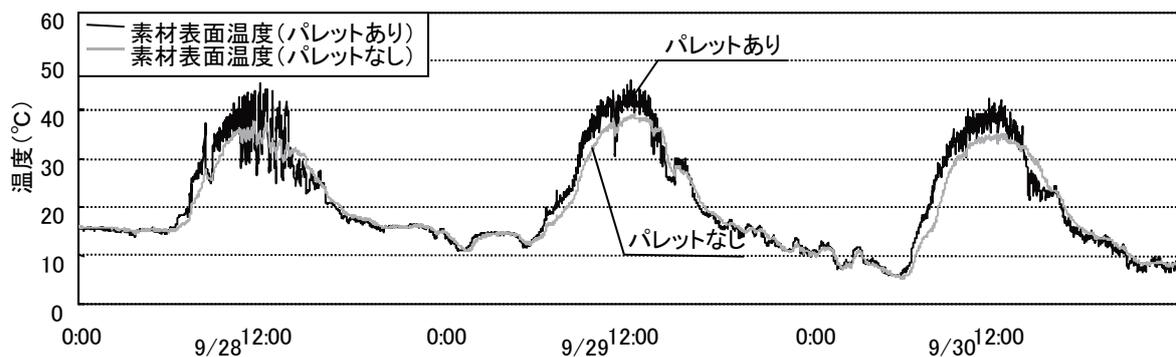


図 7.3.57 実測③素材表面温度比較

コンパネ裏面温度(空間内天井温度)を見ると、最大 15℃程度の差が見られた。これは、建物外皮にかかる熱負荷を軽減できるということ

である。また、空間温度においても、最大 12℃程度の差が見られた。緑化のあり、なしが空間温度に与える影響は大きく、冷房負荷軽減にも寄与するものと思われる。

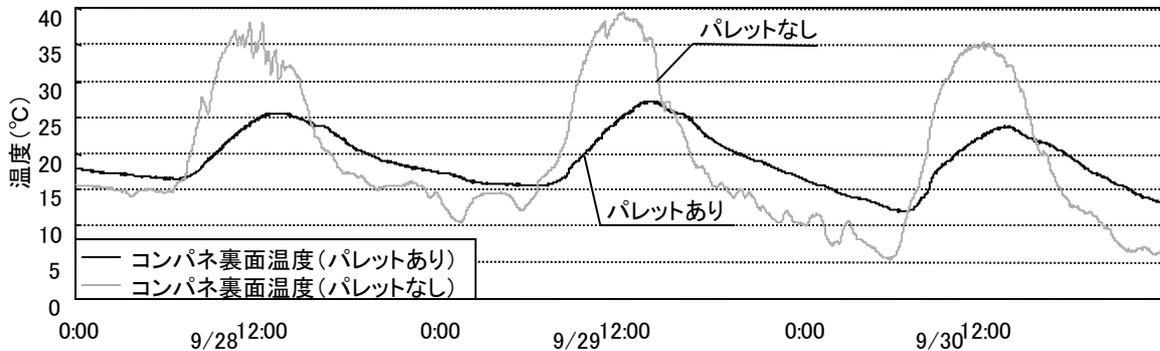


図 7.3.58 実測③コンパネ裏面温度比較

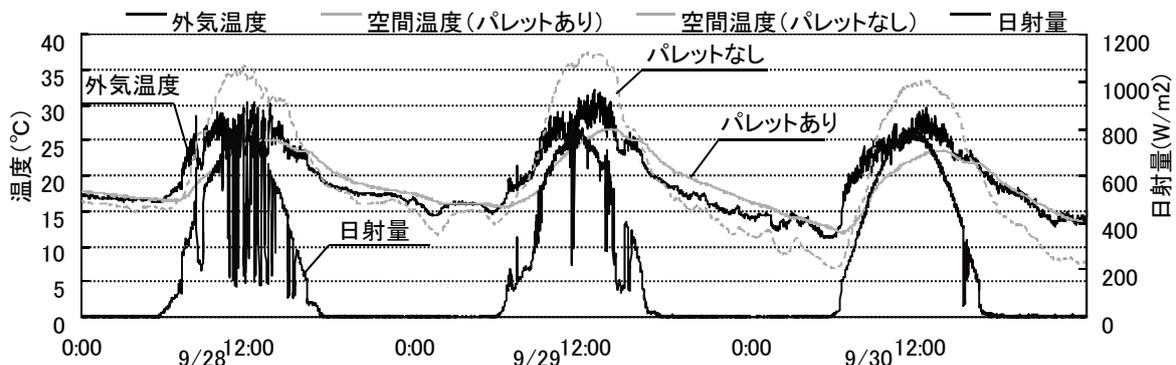


図 7.3.59 実測③外気温度、空間温度比較と日射量

(6) 蒸発潜熱と表面熱流

これまでのデータを用いて、蒸発潜熱を求め、グラフにしたものを図 7.3.60 に示す。これは、断熱(空間)ありの実測台で、給水あり、なしのパレットを比較した9月15日~17日のデータをもとにしている。グラフからも分かる通り、潜

熱変換量は $300\text{W}/\text{m}^2$ 程度見込めることが分かる。これを考慮した上で、熱平衡式より、給水ありと、給水なしの表面熱流を求め、比較すると、図 7.3.61 から、素材表面上で給水ありの方が、給水なしの場合に比べ、日中、約 $100\text{W}/\text{m}^2$ 程度侵入熱を軽減していることが分かる。

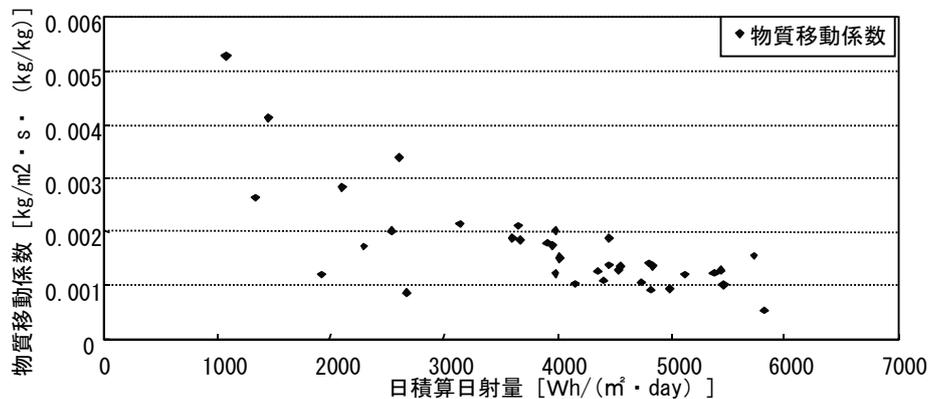


図 7.3.60 蒸発冷却(潜熱変換量)

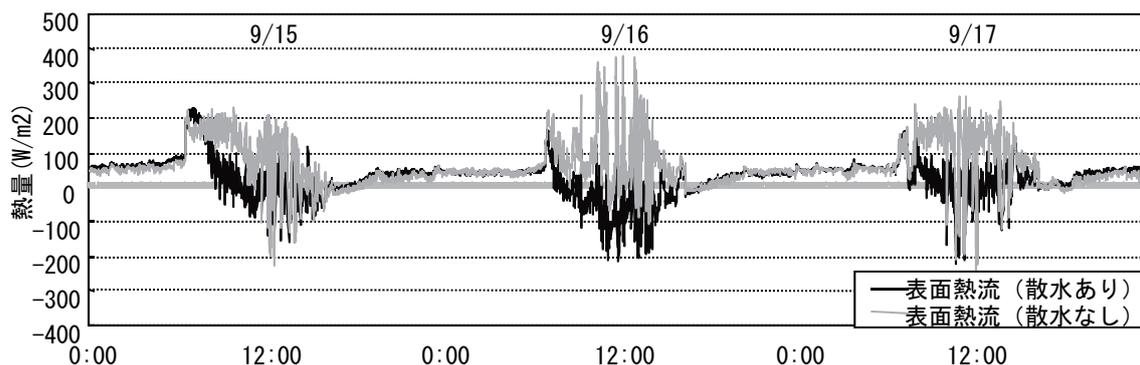


図 7.3.61 表面熱流比較

(7) まとめ

- ・実測①から、緑化パレットによる熱的効果が期待できる。熱流比較から日中の日射が強い時間帯に、断熱効果があることが分かる。しかし、各点温度比較においては、大きな差が表れなかった。これは、パレット単体であったため、上下から外部の影響を受けてしまったためと思われる。
- ・実測②では、素材裏面では大きな温度差が見られるが、その他各点、特に、空間温度は期待したほどではなかった。給水なしのパレット(芝は枯れている)も空気層が断熱材としての役割をしてしまったからであろう。しかし、「(6)蒸発潜熱と表面熱流」からも分かったとおり、蒸発による潜熱変換から、熱的な効果はでているものと思われる。
- ・実測③では、実建物に近い形で、緑化のあり、なしの比較を行った。この実測からは、パレットの存在が実建物の躯体に与える影響を軽減できることも分かった。躯体が保持する熱を減らすことで、居住空間も快適に保たれると考えられる。さらには、ヒートアイランド現象抑制にも寄与するものと思われる。また、空間温度を比較してもその結果が表れており、快適環境創造とともに、省エネルギー効果も期待できる。

本年度の実測を行った結果、次の問題点が明らかになった。

1 空気層の影響

パレット裏面-コンパネ(建物)間の空気層が断熱材として、働いているのではないかと。

その結果として、パレット裏面、コンパネ裏面の温度比較をすると、温度差が表れていない。パレットあり、なしでは大きな温度差が出るのは当然だが、両方パレットを置いた状態で、給水ありとなしの比較実験(実測②)から、給水の効果は期待できるものの、僅かにとどまった。より大きな効果を得るためには、緑化パレットと建物を密着して設置する方が望ましい。

2 パレット表面上での熱的効果と居住空間への影響

実測②における各部温度比較、潜熱変換量、表面熱流比較、また、実測結果からも、熱のやりとりが表面上だけで終わってしまっていると思われる。①でも述べたとおり、緑化面と居住空間の熱の流れから、構成や素材について再考の必要がある。

3 蒸発量

蒸発量は思っていたほど大きくはない。土壌の保水性等考えられる。このために、給水ありとなしのパレット各部温度にあまり差が見られなかったのではないかと推定される。冷却の効果をさらに得るためには、芝の含水率を保つなど更なる検討を要する。

2) 平面パネル式緑化パレットの熱的性能に関する検討

(1) 実験方法及び装置

実験は茨城県つくば市にある建築研究所 RC 造 2 階建て建築物の屋上にて行った。実験期間は 2003 年 9 月 17 日～2003 年 10 月 10 日である。

実験装置は、市販のユニットハウスの屋根に緑化屋根パネルシステムを組み入れ、単なる屋根の部材評価ではなく、空間として評価することとした。また、比較対照として同仕様のユニットハウスを隣設し、当該システムの熱的特性について把握することとした。実験風景を図 7.3.62、緑化棟を図 7.3.63、ユニットハウスの仕様を表 7.3.29 に示す。



図 7.3.62 実験風景



図 7.3.63 緑化棟

表 7.3.29 実験棟の仕様

基礎	コンクリートブロック 1 段積み	
壁	外装	硬質繊維板 厚 3.5 断熱材(グラスウール 厚 25)
	内装	プリント合板 厚 2.5
床	化粧フローリング 厚 12 断熱材(グラスウール 厚 50)	
天井	カラー合板 厚 2.5 断熱材(グラスウール 厚 20)	
屋根	瓦棒葺き (カラー鋼板)	
建具	窓：アルミサッシ ドア：フラッシュパネル	

植栽基盤材の熱的特性を把握するためには屋根部の熱流に着目する必要がある、

壁、窓、床からの熱流の影響を小さくしなければならない。そこで、既設断熱(表 7.3.29 参照)に加え、スタイロフォーム 50mm を用いて室内側から天井面以外を断熱処理した。さらに、窓についてはスラブからの熱放射を考慮して、反射フィルム(銀シート)を貼った。

以上の処理により、2 棟の位置の違いによる熱的な差がでないよう配慮した。なお、2 棟のユニットハウス間には熱的な差がないことを、予備実験により確認した。

表 7.3.30、図 7.3.64 に測定項目及び測定位置を示す。本年度実験では、源水として上水を使用し、33.3ml/m²・分に相当する 9l/h を終日に亘り給水して実施した。

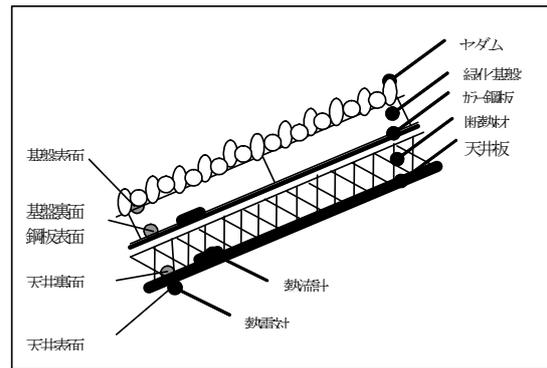


図 7.3.64 測定位置 (断面図)

(2) 実験結果

a 各部温度

日射等の良好な条件が得られた 2003.10.3～10.5 の連続 3 日間のデータを用いて、測定結果及び考察を以下に記す。

b 屋根及び室内温度

図 7.3.65 に屋根及び室内温度と日射量を示す。対照棟(無植栽)屋根の表面温度は 60℃程度に達しているが、緑化棟屋根の表面温度は 30℃程度と大きな差が生じている。また、対照棟天井の表面温度は 40℃程度、緑化棟天井の表面温度は 30℃程度である。従って、緑化棟では屋根面からの熱侵入が抑制されていることが分かる。一方、室

II. 自立循環型住宅のための要素技術開発[A]

表 7.3.30 測定項目一覧

測定項目	測定点	測定機器		
全天日射量	実験施設周辺 1点	全天日射計 (英弘製)		
温度	外部	外部気温 1点	熱電対 (T型)	
	緑化棟	屋根		植栽基盤表面温度 3点
				植栽基盤裏面温度 3点
				天井裏温度 3点
				天井表面温度 3点
		壁		外壁表面温度 南面、北面各 1点 (スラブ上 1.2m) 内壁表面温度 南面、北面各 1点 (床上 1m)
	床	表面温度 1点		
	室内	室温 (高さ 200,1000,1800mm) 各 1点		
	水	流入水温 1点 流出水温 1点		
	対照棟	屋根		カラー鋼板屋根表面温度 3点
				天井裏温度 3点
				天井表面温度 3点
		壁		外壁表面温度 南面、北面各 1点 (スラブ上 1.2m) 内壁表面温度 南面、北面各 1点 (床上 1m)
		室内		室温 (高さ 200,1000,1800mm) 各 1点
熱流量	緑化棟	植栽基盤裏面 1点 天井裏面 1点	熱流計 (英弘製)	
	対照棟	屋根表面 1点 天井裏面 1点		
外部湿度・風速	実験施設周辺 1点	ウェザーステーション (サファー社)		
蒸発量	流入水量 1点、流出水量 1点	パルス計		

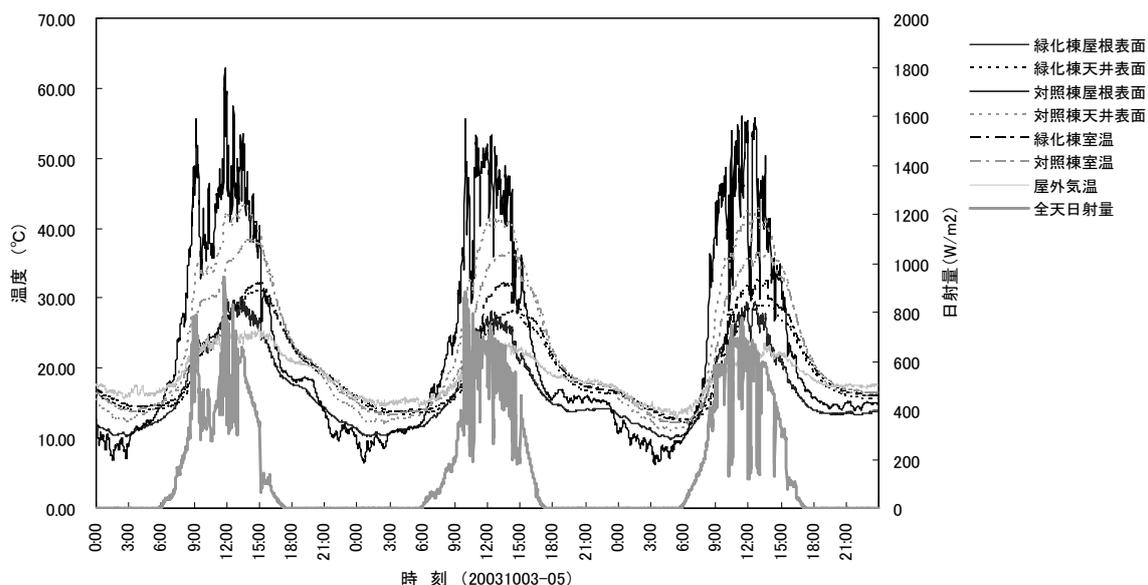


図 7.3.65 屋根及び室内温度と日射量

内温度は、対照棟が 37℃程度、緑化棟が 33℃程度であり、4℃程度の差となっている。緑化棟では天井表面温度より室内温度が高くなっており、屋根以外からの熱侵入の影響が大きいものと推察される。

c 壁部温度

図 7.3.66 に南面壁面温度と室内温度を示す。実験棟の設置状況から南面スラブの影響が大きく、主に壁からの熱侵入が考えられる。従って、南面壁温度に着目して評価し

た。対照棟、緑化棟ともに室温温度と内壁表面温度がほぼ等しく、外壁表面温度は内壁表面温度より10℃程度高くなっている。緑化棟では、内壁表面温度が天井表面温度より高く、壁からの熱侵入が認められる。直達日射に加え、スラブからの照り返しの影響が大きい。

断熱処理として、スタイロフォーム 50mm + ウレタンフォーム 25mm を行ったが、十分な断熱性能が得られなかったものと考えられる。

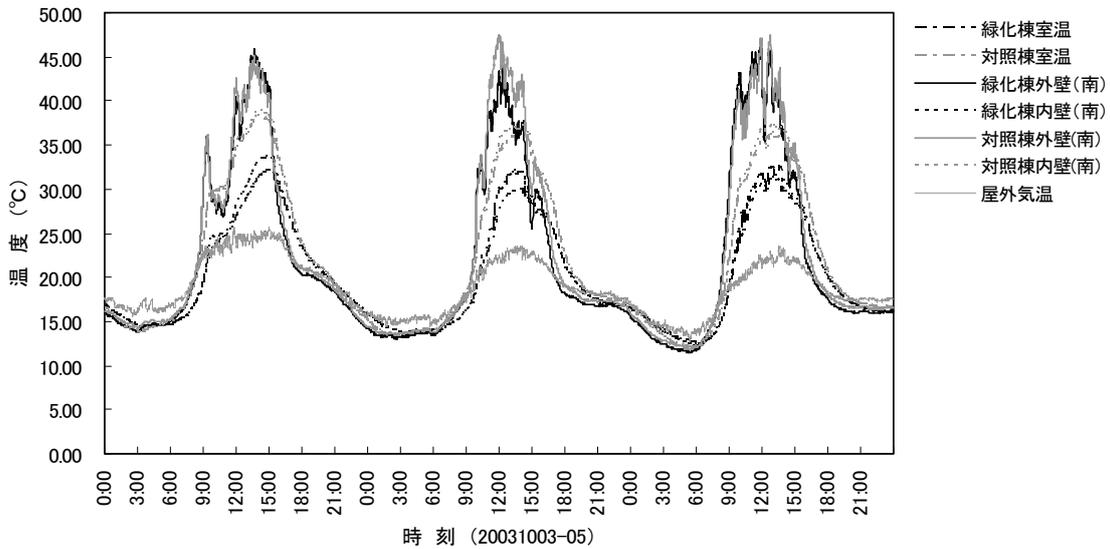


図 7.3.66 南面壁面温度と室内温度

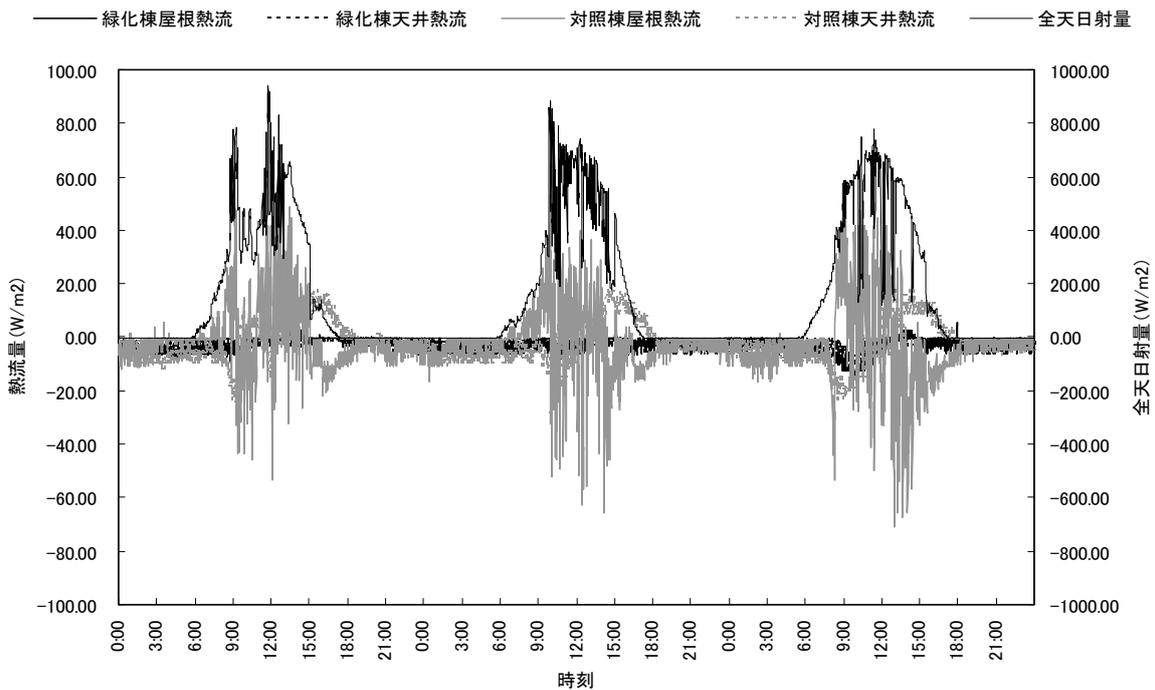


図 7.3.67 屋根部熱流量及び日射量

d 熱流

図 7.3.67 に屋根部熱流量及び日射量を示す。対照棟屋根面の熱流は $40\text{W}/\text{m}^2$ 程度、対照棟天井面で $20\text{W}/\text{m}^2$ 程度となっている。また、対照棟天井面の熱流ピークが15時程度と屋根面に比べて遅れていることが分かる。これは天井に断熱材(ウレタンフォーム 25mm)が入っているものの、時間の経過にともなって屋根から熱が侵入していることを示している。一方、緑化棟では屋根面及び天井面の熱流がほとんど無く、僅かながら放熱現象も見られることから、緑化屋根により最大 $20\text{W}/\text{m}^2$ 程度の熱負荷を低減していることが分かる。

しかし、熱流計が不安定で精度が十分でないことから、本結果を緑化屋根の特性として扱うには更なる検討を要する。

e 蒸発量

実測期間中において、雨天による影響がない10日間(2003.9.19、9.27~30、10.3~5、10.7、10.9)を解析対象とした。図 7.3.68 は流入出水量(パルス値)の相関である。ここで、流出水パルス値が0を示している場合が見られるが、これは給水量が少ないために流量計センサー部で一時的に目詰まりが生じた影響と思われる。ただし、これらのデータが1分あたりの流量に占める影響は非常に小さいため、排除しないものとした。

各日の蒸発量変化を図 7.3.69 に示す。

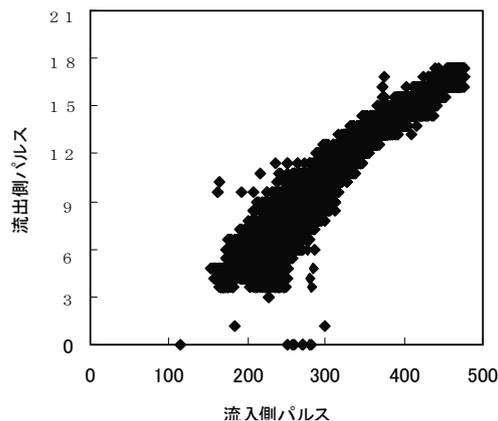


図 7.3.68 流入水量の相関

各日とも類似した変化を示しており、日中最大で $50\text{ml}/\text{分}$ 程度、夜間最小で $20\text{ml}/\text{分}$ 程度となっている。

ここで、直達日射による理論蒸発量は以下の通りとなる。

- ・東京の水平面日射量(秋季) = $600\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} (P=0.7) = 698\text{W}/\text{m}^2$
 - ・水の蒸発潜熱 = $669\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg} [\text{at}40^\circ\text{C}]$
 - ・蒸発効率 = 100%
- 理論蒸発量 = $698 / 669 = 1.04\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
 = $1040\text{ml}/\text{m}^2 \cdot \text{h} = 17\text{ml}/\text{m}^2 \cdot \text{分}$

緑化棟屋根面積は 4.96m^2 であることから、 $60\text{ml}/\text{分}$ は約 $10\text{ml}/\text{m}^2 \cdot \text{分}$ となる。同様に夜間は約 $4\text{ml}/\text{m}^2 \cdot \text{分}$ の蒸発が生じているが、日射のない夜間でこの程度の蒸発が生じる要因として、流入出水ともに気温より温度が高いこと等が考えられる。

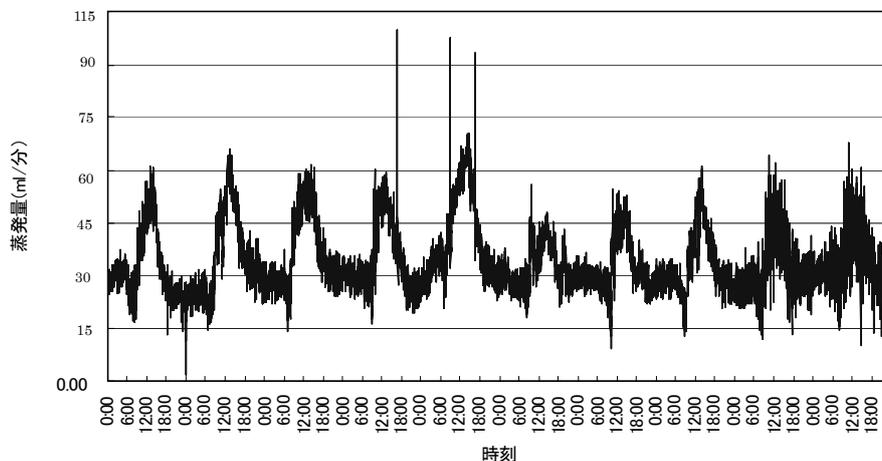


図 7.3.69 各日の蒸発量変化

(3) まとめ

緑化屋根による温熱環境改善効果の評価するため、市販のミニハウスを用いた検証実験を行った。得られた結果を以下に示す。

金属製瓦棒葺き屋根であるミニハウス(対照棟)の室内温熱環境と、同仕様の屋根に「緑化屋根パネルシステム」を適用したミニハウス(緑化棟)の室内温熱環境を実測した結果、金属屋根の表面温度 60℃に対し、緑化屋根で

は 30℃であった。従って、建築外部環境への熱的な影響(照り返し)を大幅に抑制する効果が確認できた。

屋根部における熱流実測、蒸発量実測による潜熱変換量を計算により求めた。これらの結果から、緑化屋根により室内側への熱侵入を抑制し、冷房負荷の低減に寄与する可能性が高いことを明らかにした。

3) 屋上緑化による省エネルギー効果の試算**(1) はじめに**

近年、地球温暖化、都市部におけるヒートアイランド現象などの熱的環境問題が深刻になってきており、これを解決する手段として、屋上緑化、屋根散水が注目されている。屋上緑化は国や地方自治体からの義務化、補助金制度の発足もあいまって、オフィスビルのみならず、戸建住宅にも普及しつつあるが、その冷房負荷削減効果、ヒートアイランド現象緩和効果についてはまだ解明されていない部分が多い。

そこで本研究では、戸建住宅を対象として、前項の緑化パレットに関する実験結果と多数室非定常熱負荷計算プログラム LESCOM を用いたシミュレーションを行い、屋上緑化、屋根散水が夏期の冷房負荷削減にどれほどの効果をもたらすのか、試算することとした。

(2) 基礎事項**a 絶対湿度基準物質移動係数**

絶対湿度基準物質移動係数(以下物質移動係数)とは緑化面表面の蒸発効率を示す指標である。物質移動量を、水蒸気の絶対湿度の差に比例するものとし、その比例係数として、水蒸気の絶対湿度基準の物質移動係数を用いて表すと、

$$M = k_x(x_s - x_a)$$

となる。ここで、

M : 物質移動量 [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]
 k_x : 絶対湿度基準物質移動係数 [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} (\text{kg}/\text{kg})$]
 x_s : 素材表面飽和絶対湿度 [kg/kg]
 x_a : 外気絶対湿度 [kg/kg]

b 蒸発冷却(潜熱変換量)

蒸発冷却による潜熱変換量は、

$$q_{\text{潜熱}} = rk_x(x_s - x_a)$$

で表される。

c 蒸発冷却・放射冷却を考慮した熱平衡式

以上の式から

$$q = \alpha_c(t_a - t_s) + aJ - \phi(\varepsilon\sigma T_s^4 - J_a) - rk_x(x_s - x_a)$$

を求めることができる。ここで、

q : 表面熱流 [W/m^2]
 α_c : 対流熱伝達率 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ 、 $\alpha_c = 17.4$]
 t_a : 外気温度 [C]
 t_s : 物体の表面温度 [C]
 a : 日射吸収率 [-、 $a = 0.7$]
 J : 面に当たる日射量 [W/m^2]
 ϕ : 形態係数 [-、水平面 $\phi = 1.0$]
 ε : 物体の放射率 [-、 $\varepsilon = 0.9$]
 σ : Stefan-Boltzmann定数 5.67×10^{-8} [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$]
 T_s : 物体の絶対温度 $273.15 + t_s$ [K]
 J_a : 大気放射量 [W/m^2]
 r : 蒸発潜熱 2501.1 [kJ/kg] = 694.8 [$\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$]

d 物質移動係数の算出

本研究では積水化学社(以下 S 社)緑化パレット、INAX 社(以下 I 社)緑化セラミック基盤の2種類を屋根面に設置したのとしてシミュレーションを行う。シミュレーションに用いる物質移動係数はそれぞれの実測データより算出した。

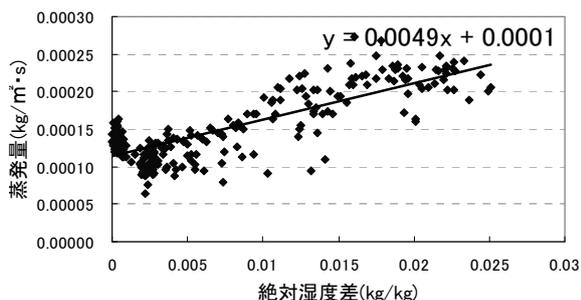


図7.3.70 物質移動係数 (9月19日)

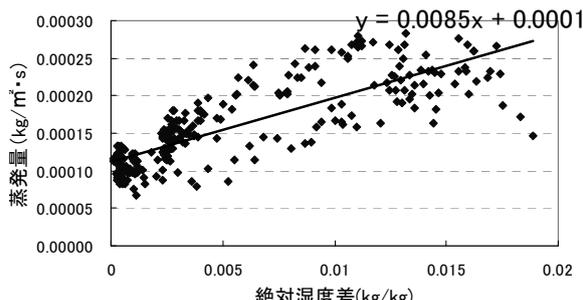


図7.3.71 物質移動係数 (9月27日)

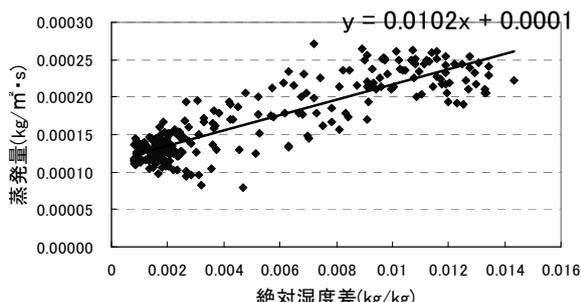


図7.3.72 物質移動係数 (9月28日)

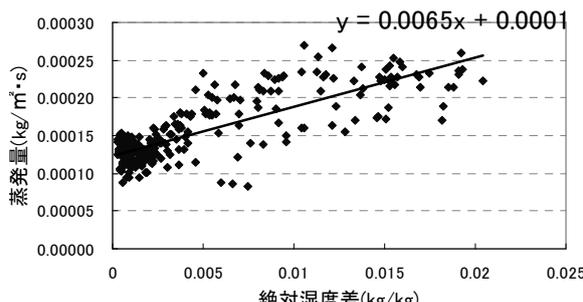


図7.3.73 物質移動係数 (9月29日)

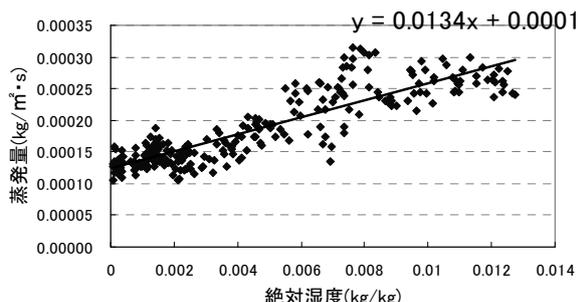


図7.3.74 物質移動係数 (9月30日)

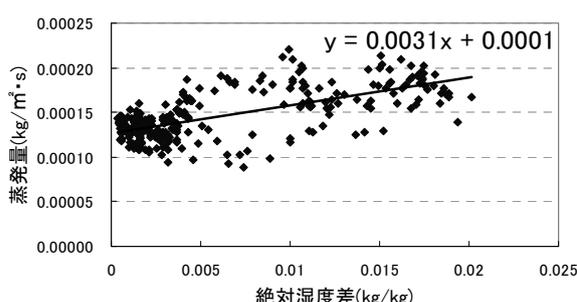


図7.3.75 物質移動係数 (10月3日)

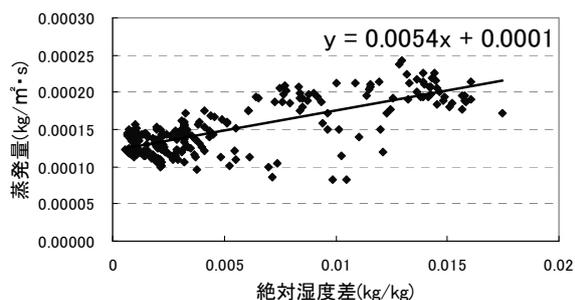


図7.3.76 物質移動係数 (10月4日)

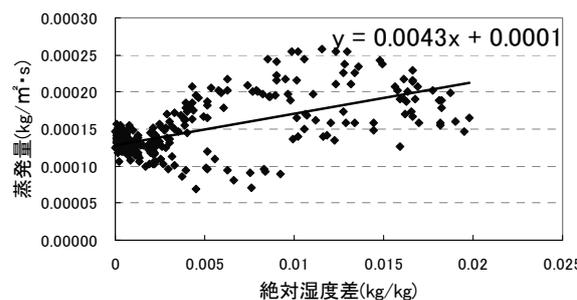


図7.3.77 物質移動係数 (10月5日)

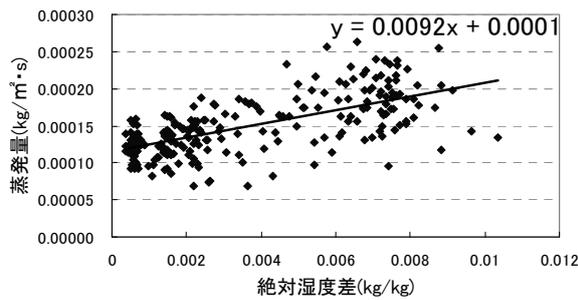


図7.3.78 物質移動係数 (10月7日)

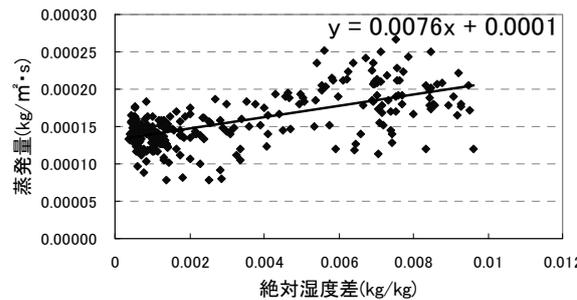


図7.3.79 物質移動係数 (10月9日)

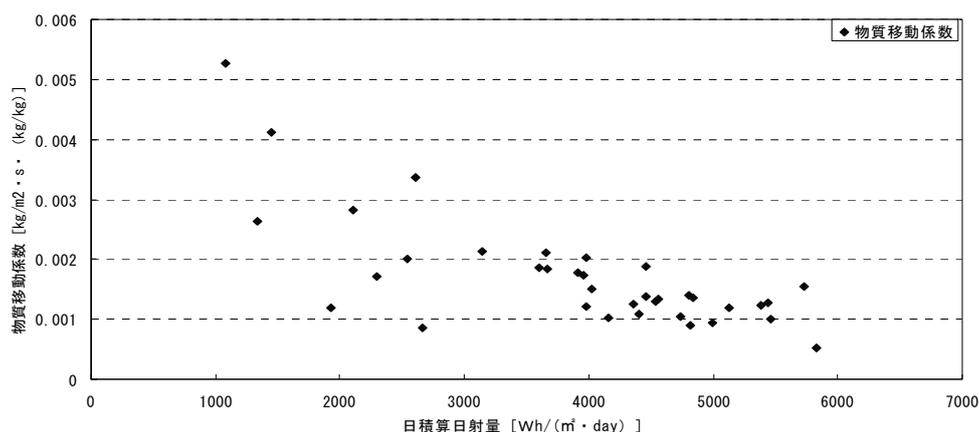


図7.3.80 S社緑化パレット物質移動係数

(3) S社緑化パレット

物質移動係数を正確に求めるためには、ある瞬間どれだけの水が蒸発したのかというデータが必要となる。今回のパレット給水は、1日に一度、タンクから水を送る方式のため、物質移動係数を求めることは、困難である。そのため、蒸発にかかると思われる絶対湿度差に着目し、その和に対する1分データの絶対湿度差をその日の蒸発量に乗じたものをその瞬間の蒸発量とした。

図7.3.80は2003年8月1日から9月18日までの物質移動係数を上記の方法で求め、日積算日射量との相関をグラフにしたものである。日積算日射量が大きくなるほど、数値に安定感が表れるが、今回は実測の中心期間である9月の東京近傍日積算日射量平均が4000Wh/(m²・day)程度となることと、グラフから見てもばらつきが収まる4000Wh/(m²・day)以上となるときの物質移動係数

の平均をとって、0.00122[kg/m²・s・(kg/kg)]とした。本来であれば、常に一定となることが望ましいが、これは外気に直接触れる部分が芝(植物)であることや、パレット内部の土壌の保水性、湿度・風速の影響、降雨による影響などの要因が考えられるため、難しいと思われる。

(4) I社緑化セラミック基盤

2003年9月19日、27～30日、10月3～5日、7日、9日の蒸発量、絶対湿度差を算出し、それぞれy軸、x軸にプロットした。すなわち、この近似直線の傾きが物質移動係数となる。(図7.3.70～図7.3.79)

このうち、比較的妥当である9月27日、28日、30日、10月7日、9日の5日間の値を採用した。5日間の平均値は0.00978[kg/m²・s・(kg/kg)]である。

4) 熱負荷シミュレーション

(1) 概要

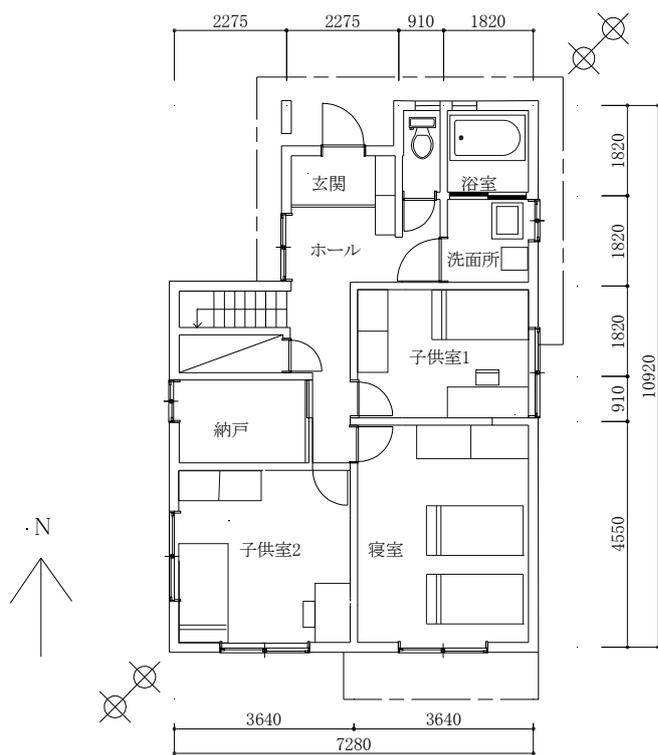
a シミュレーション対象建物

戸建住宅(家族構成:夫婦+子供2人)においてシミュレーションを行い、夏期の冷房負荷を算出する。平面図、立面図は以下のとおりである。(図7.3.81、図7.3.82、図7.3.83)

冷房期間は7月1日～9月30日、設定

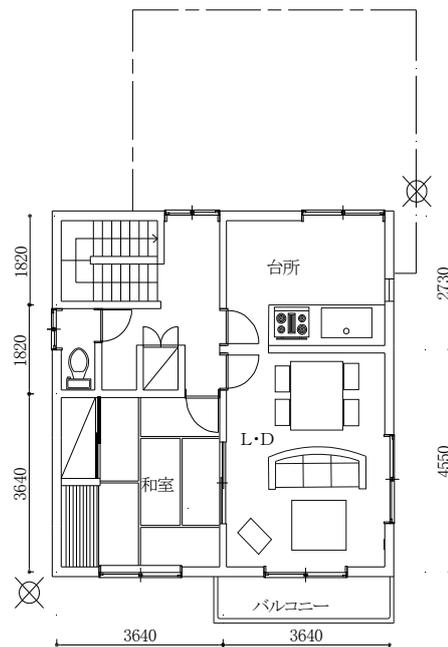
温湿度はそれぞれ26℃、50%とする。また、シミュレーションの際に行うスペース分けを表7.3.31、平日、週末の室内発熱、在室人数、冷房運転スケジュールを図7.3.84、図7.3.85に示す。

屋上緑化については、S社緑化パレット、I社緑化セラミック基盤の2種類を屋根面に設置するものとする。それぞれの物質移動係数は実測データより算出した。



■ 1階平面図

図7.3.81 対象建物1階平面図



■ 2階平面図

図7.3.82 対象建物2階平面図



図7.3.83 対象建物立面図

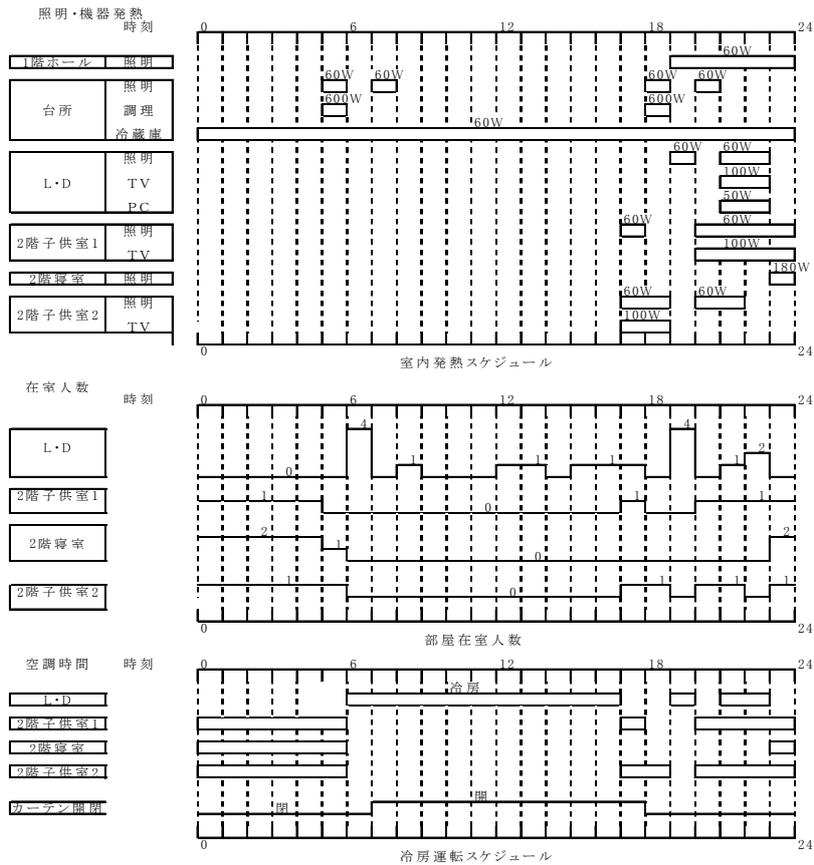


図7.3.84 平日スケジュール

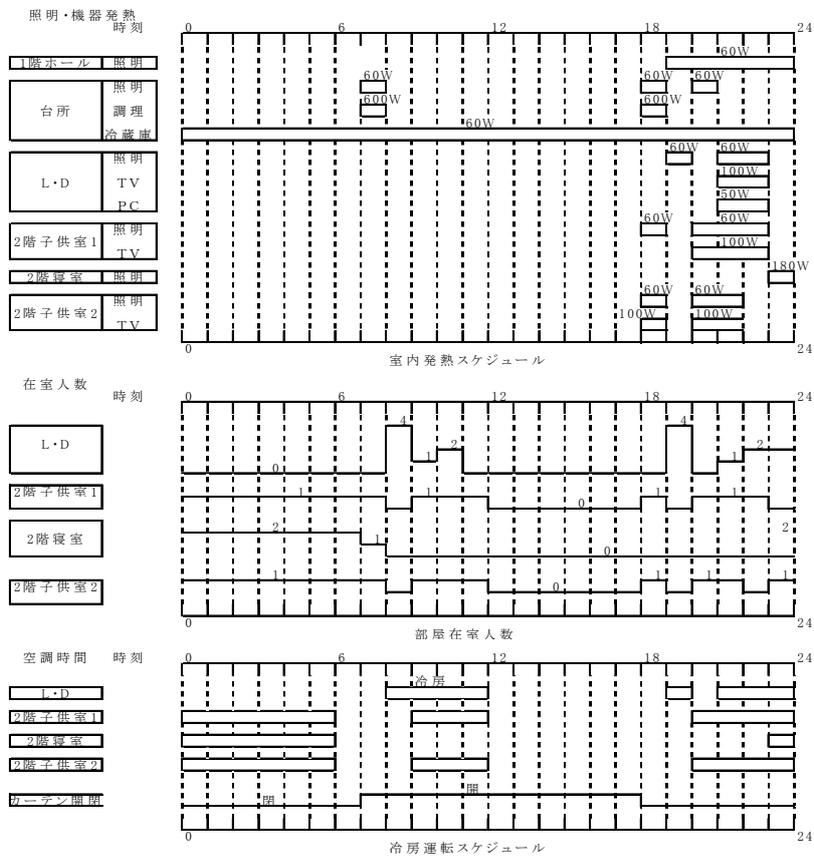


図7.3.85 週末スケジュール

それぞれの詳細を表 7.3.32、断面図を図 7.3.87、図 7.3.89 に示す。

表 7.3.31 スペース分け

スペース番号	スペース名	面積(m ²)	冷暖房の有無
1	1階ホール、浴室、洗面	24.422	無
2	2階台所	9.937	無
3	2階居室	13.25	無
4	2階・D	16.562	有
5	納戸	4.9682	無
6	1階子供室	9.937	有
7	1階居室	16.652	有
8	1階子供室	13.25	有
9	2階ホール、トイレ	13.241	無
10	1階末下	-----	-----
延床面積		122.13	
冷暖房延床面積		56.3(46.0%)	

表 7.3.32 緑化部分詳細

	緑化セラミック基盤(I社)	緑化パレット(S社)
散水システム	必要最小限の水を常時送水	1日に1回送水
素材(植物)	セダム	芝
高さ(厚さ)	3~4cm(緑化セラミック基盤)	15cm(高排水土壌+空気層)
物質移動係数	0.00978 [kg/m ² ・s・(kg/kg)]	0.00122 [kg/m ² ・s・(kg/kg)]
熱貫流率 (屋根部分を含む)	0.71889(W/m ² ・K)	0.64175(W/m ² ・K)



図 7.3.86 S社緑化パレット外観

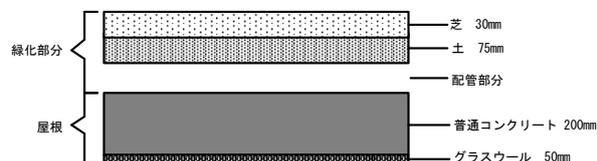


図 7.3.87 S社緑化パレット断面図

b シミュレーション対象地域

札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡、鹿児島、那覇の全国 8 都市において、気象庁より配布されている SDP データにより作成した標準気象データを用いてシミュレーション



図 7.3.88 I社緑化セラミック基盤外観

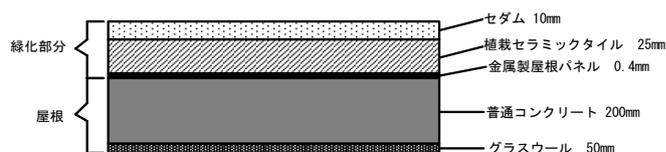


図 7.3.89 I社緑化セラミック基盤断面図

ンを行う。

気象庁では 1991 年以後、全国 157 気象官署で、主要気象要素は 1 日 24 回の定時観測を行うようになった。このうち日射の観測は 67 地点で行われている。これらの観測データをコンピュータファイル化したものを地上気象観測時日別値ファイル、SDP データ (Surface Daily Data Observation Point) と称している。

標準気象データとは、10 年程度の気象データから毎月の熱負荷が最も平均的な月になるように、毎時データを月毎に選定し、人為的に継ぎ合わせて作成した 1 年間分の毎時気象データをいう。

東京は 1990 年～1999 年、その他の地点は 1991 年～2000 年までの期間で標準気象データを作成した。

c シミュレーションケース

屋上緑化なし、S 社緑化パレット(散水あり・なし)、I 社緑化セラミック基盤(散水あり・なし)の 5 ケースでシミュレーションを行う。

なお、I 社緑化セラミック基盤の物質移動係数については実験によって得られた 0.00978 [kg/m²・s・(kg/kg)] と、0.000978 [kg/m²・s・(kg/kg)] の 2 種類を使用して計算を行った。

0.000978 [kg/m²・s・(kg/kg)] という値は、

三毛らが大阪において熱負荷計算プログラム HASP/ACLD/YH を用いて、屋上緑化による冷房負荷削減効果の検討を行った結果約 10%の効果がみられたという報告²⁾に基づき算出したものであり、今回の実験が一般の緑化と異なり、常時一定量の水を与え続けるという条件下で行ったものであることから、一般的な緑化を行った場合と推定できる値と対照することを意図したものである。

(2) 結果および考察

a 一戸全体での冷房負荷計算

図 7.3.90、図 7.3.91 は一戸全体での冷房負荷量をそれぞれ比較したものである。また、図 7.3.92、図 7.3.93 は冷房負荷の減少割合を比較したものである。ここでいう冷房負荷の減少割合とは屋上緑化を行わない場合と、各社でそれぞれの条件で行った場合とを比較して、冷房負荷がどの程度削減されたかを示す指標である。

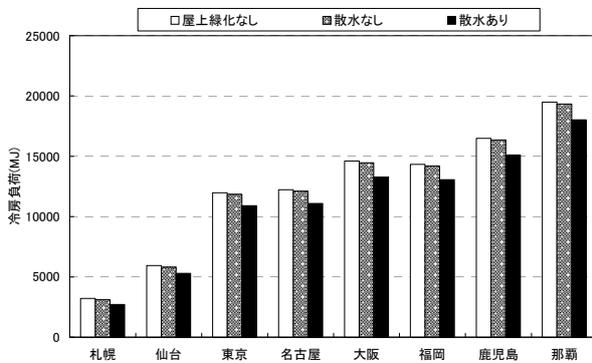


図 7.3.90 一戸全体冷房負荷 (S社)

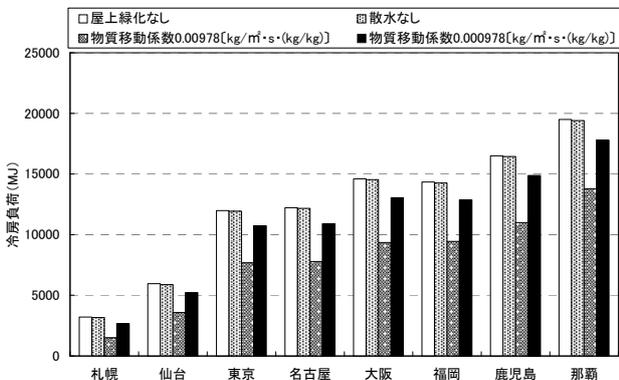


図 7.3.91 一戸全体冷房負荷 (I社)

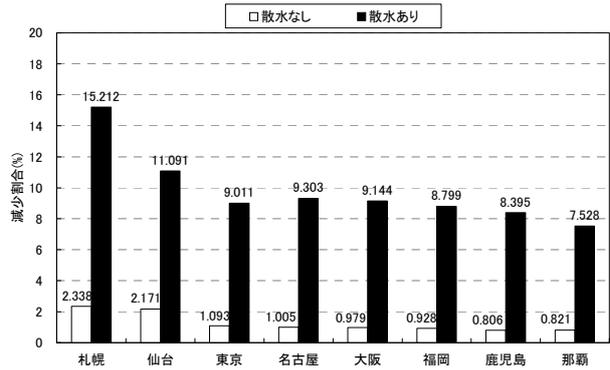


図 7.3.92 冷房負荷減少割合 (S社)

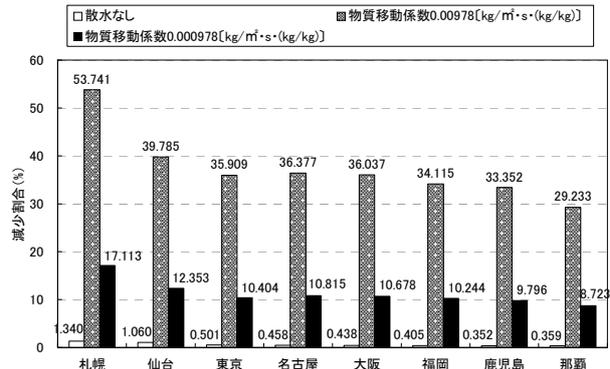


図 7.3.93 冷房負荷減少割合 (I社)

① 散水なし

S社緑化パレットは 0.8%~2.3%程度、I社緑化セラミック基盤は 0.3~1.3%程度の冷房負荷削減効果がみられた。S社緑化パレットは 15cm、I社緑化セラミック基盤は 3~4cmの厚さがあり、この日射遮蔽効果により冷房負荷が削減されたと考えられるが、効果は微々たるものである。(表 7.3.33)

表 7.3.33 一戸全体冷房負荷計算結果

	S社緑化パレット		I社緑化セラミック基盤		
	散水なし	散水あり	散水なし	散水あり	
物質移動係数[kg/m ² ・s・(kg/kg)]	0.00122	0.00122	0.00978	0.000978	
屋上緑化なしに対する減少割合(%)	札幌	2.3	15.2	1.3	53.7
	仙台	2.2	11.1	1.1	39.8
	東京	1.1	9.0	0.5	35.9
	名古屋	1.0	9.3	0.5	36.4
	大阪	1.0	9.1	0.4	36.0
	福岡	0.9	8.8	0.4	34.1
	鹿児島	0.8	8.4	0.4	33.4
	那覇	0.8	7.5	0.4	29.2

② 散水あり

S社緑化パレットは 7.5%~15.2%程度、I社緑化セラミック基盤は物質移動係数 0.00978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合、29.2~53.7%程度、物質移動係数 0.000978

[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合、8.7～17.1%程度の冷房負荷削減効果がみられた。

散水なしの場合と比較すると、S社緑化パレットは6.7%～12.9%程度(約6.5～9.2倍)、I社緑化セラミック基盤は物質移動係数0.00978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合、28.9～52.4%(約40.1倍～94.8倍)程度、物質移動係数0.000978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合、8.4～15.8%程度(約11.7倍～27.8倍)の効果の増大がみられた。散水を行うことにより、飛躍的に冷房負荷が削減されるということがわかる。(表7.3.33)

b 地点別

気候が比較的寒冷である札幌、仙台の2地点では効果が大きく、温暖である那覇では効果がやや小さいことが分かる。札幌、仙台では夏期でも冷房を必要としない日が何日もあり、冷房負荷は小さい。これに対して、ほぼ毎日冷房を必要とする那覇では、冷房負荷が非常に大きい。このため負荷の減少割合が全体に占める割合が大きくなってしまったと考えられる。(表7.3.33)

c スペース別冷房負荷計算

図7.3.94、図7.3.95は、東京において屋上緑化を行った場合におけるスペース別冷房負荷の減少割合である。

①.散水なし

1階においてS社緑化パレットは0.2～0.8%程度、I社緑化セラミック基盤は0.1～0.3%程度の冷暖房負荷削減効果がみられた。2階L・Dにおいては、S社緑化パレットは1.7%程度、I社緑化セラミック基盤は0.8%程度である。1階部分よりも緑化部分の直下にある2階部分の効果が大きい、両者の差はほとんどない。(表7.3.34)

②.散水あり

1階部分においてS社緑化パレットは1.8%～6.8%程度、I社緑化セラミック基盤は物質移動係数0.00978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場

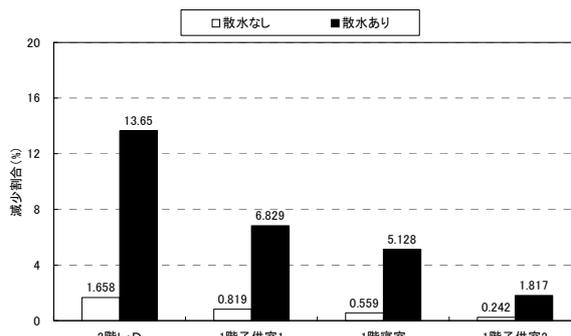


図7.3.94 スペース別減少割合 (S社)

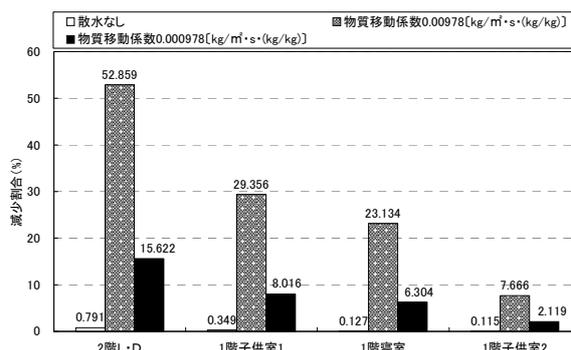


図7.3.95 スペース別減少割合 (I社)

表7.3.34 スペース別冷房負荷計算結果

		S社緑化パレット		I社緑化セラミック基盤	
		散水なし	散水あり	散水なし	散水あり
物質移動係数[kg/m ² ・s・(kg/kg)]		0.00122	0.00978	0.00978	0.000978
屋上緑化なしに対する減少割合(%)	2階L・D	1.7	13.7	0.8	52.9
	1階子供室1	0.8	6.8	0.3	29.4
	1階寝室	0.6	5.1	0.1	23.1
	1階子供室2	0.2	1.8	0.1	7.7

合、7.7～29.4%程度、物質移動係数0.000978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合、2.1～8.0%程度の冷房負荷削減効果がみられた。2階L・Dにおいては、S社緑化パレットは13.7%程度、I社緑化セラミック基盤は物質移動係数0.00978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合52.9%程度、物質移動係数0.000978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合、15.6%程度である。

散水なしの場合と比較すると、1階部分において、S社緑化パレットは1.6～6.0%程度(約7.5倍～9.2倍)、I社緑化セラミック基盤は物質移動係数0.00978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合、7.6～29.0%(約66.7倍～182.2倍)程度、物質移動係数0.000978[kg/m²・s・(kg/kg)]の場合、2.0～7.7%程度(約3.6倍～3.7倍)の効果の増大がみられた。2階L・Dにおいては、S社緑化パレットは12.0%程度(約8.2倍)、I社緑化セラミック

基盤は物質移動係数 $0.00978 [kg/m^2 \cdot s \cdot (kg/kg)]$ の場合 52.1%程度(66.8倍)、物質移動係数 $0.000978 [kg/m^2 \cdot s \cdot (kg/kg)]$ の場合、14.8%程度(約 19.7倍)である。散水を行うことにより、1、2階ともに飛躍的に冷房負荷が削減されている。(表 7.3.34)

d 屋根表面温度

図 7.3.97 はそれぞれ 8月1日～8月7日までの東京における S社緑化パレット、I社緑化セラミック基盤の屋根表面温度と蒸発量の比較である。

①.S社緑化パレット

日中において屋根面に当たる日射量は大きくなり、蒸発量が増加する。シミュレーション日の気象条件により多少の例外はあるものの、日中の蒸発量は、 $0.15 \sim 0.2 (kg/h)$

程度、早朝、夜間は $0.02 \sim 0.04 (kg/h)$ 程度であり、約 5～7倍である。

また、蒸発量が増加すると散水により冷却される温度は大きくなる。日中においての屋根表面温度は概ね $40 \sim 45^\circ C$ 程度、早朝、夜間においては $25 \sim 30^\circ C$ 程度であり、その差は約 $20^\circ C$ である。(表 7.3.35)

②.I社緑化セラミック基盤

物質移動係数 0.00978 の場合、日中においての蒸発量は $0.5 \sim 0.6 (kg/h)$ 程度、早朝、夜間では $0.1 \sim 0.15 (kg/h)$ 程度である。物質移動係数 0.000978 の場合、日中においては $0.15 \sim 0.2 (kg/h)$ 程度、早朝、夜間では約 $0.02 (kg/h)$ である。屋根表面温度に関しては両者の差は日中で $10 \sim 15^\circ C$ 程度、早朝、夜間で $2 \sim 3^\circ C$ 程度ある。(表 7.3.35)

表 7.3.35 屋根表面温度と蒸発量

物質移動係数 $[kg/m^2 \cdot s \cdot (kg/kg)]$	S社緑化パレット		I社緑化セラミック基盤			
	日中	早朝・夜間	日中	早朝・夜間	日中	早朝・夜間
0.00122						
0.00978						
0.000978						
屋根表面温度 $(^\circ C)$	40～45	25～30	30～35	約25	40～45	25～30
蒸発量 (kg/h)	0.15～0.2	0.02～0.04	0.5～0.6	0.1～0.15	0.15～0.2	約0.02
外気温 $(^\circ C)$	日中30～35 早朝・夜間25～30					

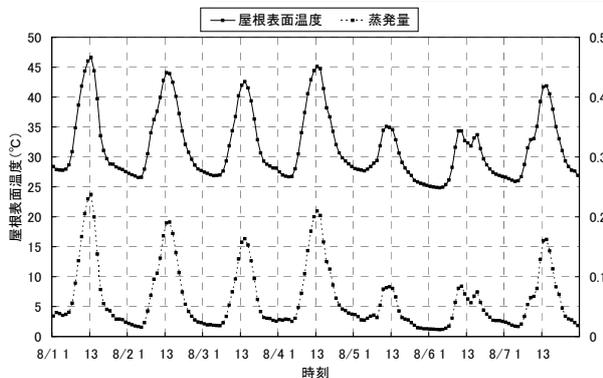


図 7.3.96 屋根表面温度と蒸発量 (S社)

(3) まとめ

戸建住宅において多数室非定常熱負荷計算プログラム LESCOM を用いた全国的なシミュレーションを行い、S社緑化パレット、I社緑化セラミック基盤を屋上緑化、屋根散水に用いた場合、夏期の冷房負荷削減にどれほどの効果をもたらすのかを検証した。

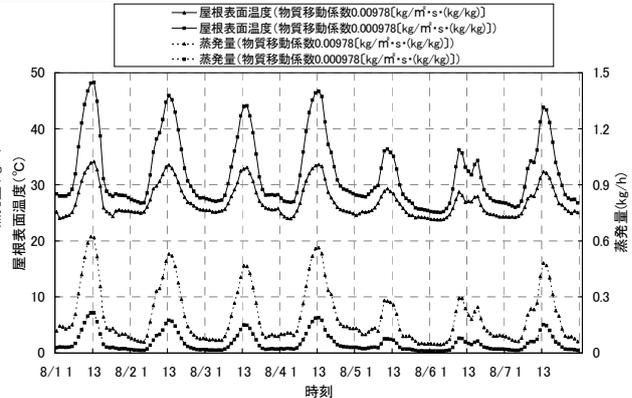


図 7.3.97 屋根表面温度と蒸発量 (I社)

a 一戸全体での冷房負荷計算

全国 8 地点において、7月1日～9月30日まで、一戸全体での冷房負荷計算を行った。

散水することにより、全国どの地点でも冷房負荷削減効果が得られることがわかる。また、散水を行わず緑化部材を設置しただけ状態では、ほとんど効果は得られない。

b スペース別冷房負荷計算

東京において、スペース別冷房負荷計算結果を行った。1 階部分に比べて、緑化部分の直下にある 2 階部分の効果が大きい。また散水を行うことにより、1、2 階とも飛躍的に効果が大きくなるのがわかる。

c 屋根表面温度

東京において、散水を行った場合の屋根表面温度、蒸発量を算出した。日中において屋根面に当たる日射量は大きくなり、蒸発量が増加し、散水により冷却される温度は大きくなる。夜間、早朝においては日射量が当たらないので、蒸発による冷却は期待できない。

本研究では、屋上緑化、屋根散水を行った場合の省エネ効果について試算を行ったが、実験に用いたような屋上緑化に夜場合、冷房負荷が削減され、地球温暖化、都市部のヒートアイランド現象の緩和に有効であるということが

示唆されたが屋上緑化の活用は、地点別、緑化部材別の冷暖房負荷削減効果を検討してから、実施するのが妥当である。

シミュレーションにより、屋上緑化の有効性に関して一定の評価が可能と考えられるが、シミュレーションと実測データと比較・検討が今後の課題である。

(東京理科大学工学部建築学科
武田研究室)

参考文献

- 1)宮道智嗣、武田仁、大塚雅之、山海敏弘:パッシブクーリングシステムに関する研究 屋上緑化の熱的検証と物質移動係数の算出、日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ、p347~348、2004
- 2)三毛正仁、西岡真稔、鍋島美奈子:実測による屋上緑化の熱物性の推定と熱負荷計算 日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ、p238~239、2004

7.4 浄化槽利用による資源循環システムの開発研究

7.4.1 はじめに

これまでの物質消費社会から物質循環社会への移行に伴い、未利用資源の活用が見直されてきた。ここでいう未利用資源とは下水の処理水、汚泥、土壌、地下水などのローテクノロジーを指し、本テーマはこれら未利用資源の処理・循環・再利用の要素技術と評価手法の確立を目的に自立循環型住宅開発プロジェクトの中で“資源循環システム”として取り上げられた。

ここでいう評価手法とは、例えば生ごみ処理の場合①従来は市町村による収集－焼却－埋め立てといった一連の処理が行われていたが、他方②ディスポーザによる生ごみ破碎－搬送－水処理－汚泥処理－焼却－埋め立て③ディスポーザによる生ごみ破碎－水処理－汚泥処理－焼却－埋め立て④ディスポーザによる生ごみ破碎－水処理－汚泥処理－堆肥化処理といった方式が考えられ、これらの方式を(1)環境負荷(2)経済コスト(イニシャル、ランニングコスト)(3)利便性などの指標で評価する方法である。

評価手法確立にあたって、要素技術確立のため、未利用資源の活用が大いに期待できる下水道地域外を想定し、生ごみをわずかな量の水とともに砕く生ごみ処理機(以下ディスポーザと称す)とこれに対応した高度処理浄化槽を組込んだ住宅で実証実験を開始した。

ここでの未利用資源とは①高度処理浄化槽処理水②雨水③高度処理浄化槽からの余剰汚泥を指し、本報告ではこれらの処理・循環・再利用について実証実験結果とともに今後の課題を明確にした。

7.4.2 実験方法

図 7.4.1 に示す実験設備を 2002 年 6 月に茨城県某氏宅(大人二人、子供一人計三人)に設置し、実験を開始した。本設備は①ディスポーザ②ディスポーザ対応浄化槽③余剰汚泥堆肥化装置④リサイクルシステムから構成されている。但し、①、②、③の設備については 2000 年 10 月に設置済である。

また、①ディスポーザ②ディスポーザ対応浄化槽は図 7.4.2 に示す。住居から排出されるディスポーザ排水を含む汚水は図に示すディスポーザ対応浄化槽で BOD,SS,T-N それぞれ 10mg/L 以下に処理された後、消毒筒に充填されたタブレット状の次亜塩素酸ナトリウムと接触、消毒槽に流入し、消毒され、図 7.4.1 に示す浄化槽処理水タンクに貯留され、浄化槽処理水ポンプにより混

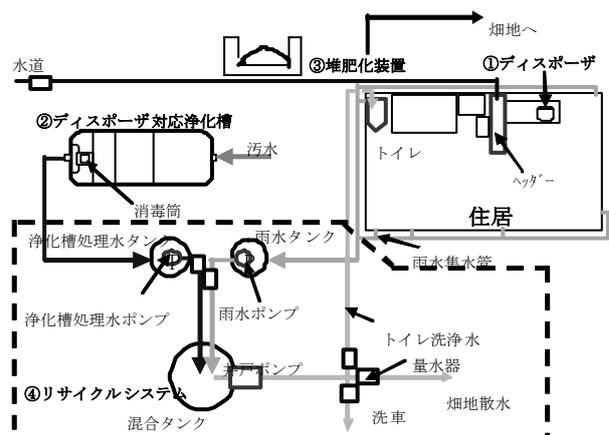


図 7.4.1 実験設備

合タンクに移送される。

尚、ディスポーザ対応浄化槽で発生する余剰汚泥は浄化槽の第一嫌気濾床槽の上部に浮上するスカムを取りだし、図 7.4.1 堆肥化装置で堆

肥化することにより処理される。尚、堆肥化装置底部には散気管が取り付けられている。

一方、住居の雨樋から集水管によって集められた雨水は雨水タンクに貯留され、雨水ポンプで混合タンクに移送される。この混合タンクに貯留された混合水は地上設置された井戸ポンプによりトイレ洗浄水、車洗浄、庭や畑地へ散水として再利用される。

それぞれの使用水量は量水器からパソコン、電話回線を通じ、建築研究所事務所に繋がり、自動算出される。さらに、図 7.4.2 に示すようにディスポーザはシステムキッチンのシンクに底部に取り付けられ、キッチン専用排水管を通じ、インバートマスからディスポーザ対応浄化槽に通じている。ディスポーザ、ディスポーザ対応浄化槽、堆肥化装置及びびりサイクルシステムの仕様をそれぞれ表 7.4.1、表 7.4.2、表 7.4.3 及び表 7.4.4 に示す。

ディスポーザの消費電力は 420W と高いが、使用時間は 10～25 秒、1 日の使用頻度は 2～4 回と消費電力量は 0.35kWh/月で微々たるものである。

ディスポーザ対応浄化槽は表 7.4.2 に示す各槽から構成され、第一嫌気濾床槽、第二嫌気濾床槽は汚水中の固形物の除去、特に第一嫌気濾床槽には二段エアリフトポンプが取り付けられ、流入量のピークをカットしている。また、処理水の第一嫌気濾床槽への循環により、窒素除去が行われている。

生物濾過槽は上段が反応部、下段が濾過部に区切られ、それぞれ、1mm 角の担体が充填され、上段底部には散気管が取り付けられ、常時ばっ気が行われ、担体に付着した微生物により酸化分解が行われ、下段では上段で剥離した SS を濾過している。また、濾過部底部には逆洗管が取り付けられ、1 日に数十分逆洗が行われ、逆洗水は第一嫌気濾床槽に戻される。

濾過された処理水は消毒筒を通過し、タブレット状の次亜塩素酸ナトリウムと接触しながら、消毒槽に流れ込み、消毒され、リサイクル水として再利用される。流入、流出水の仕様を表 7.4.5 に示す。

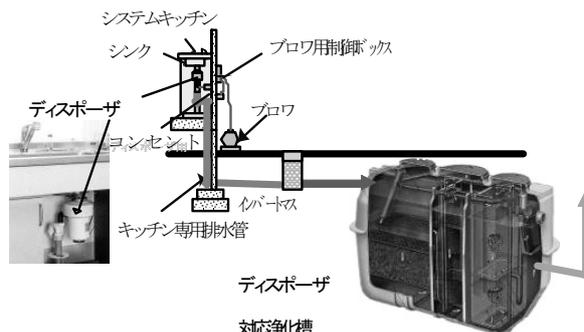


図 7.4.2 ディスポーザとディスポーザ対応浄化槽

表 7.4.1 ディスポーザ仕様

電源	AC 100V
消費電力量	420W
外形寸法	φ 220×420H
破砕室容量	1L(生ごみ約500g)

表 7.4.2 ディスポーザ対応浄化槽の仕様

第一嫌気濾床槽	1.703m ³
第二嫌気濾床槽	0.848m ³
生物濾過槽	0.522m ³
処理水槽	0.850m ³
消毒槽	0.026m ³
ブロウ2台	105L/分×105W

表 7.4.3 堆肥化装置仕様

寸法	1200W×1000L×500H
ブロウ	40mL×10W

表 7.4.4 リサイクルシステム

浄化槽処理水タンク	φ 500×400H, 50L
浄化槽処理水ポンプ	30L/分×50W
雨水タンク	φ 500×50L
雨水ポンプ	30L/分×50W
井戸ポンプ	18L/分-10m, 125W
量水器	20mm, 0.2～1.6m ³ /h

表 7.4.5 流入、流出水の仕様

項目	単位	流入水	流出水
水量	m ³ /日	1.25	1.25
pH	-	5.8～8.6	5.8～8.6
BOD	mg/L	250	10以下
T-N	mg/L	50	10以下
SS	mg/L	250	10以下

水質は月に1回、浄化槽処理水(消毒前後)、雨水、トイレ洗浄水をサンプリングし、pH、BOD、COD などの水質項目以外に大腸菌、一般細菌、及びリサイクルに当たりの必要項目であるカルシウム硬度、アルカリ度などを分析した。また、浄化槽消毒後からトイレ洗浄水として使用するまでの残留塩素、一般細菌、大腸菌を測定し、微生物の消長を調査した。一方、雨水については毎月のサンプリングによる分析以外に雨の降り始めか

ら降り終わりまでをサンプリングし、有機物及び微生物等の増減を調査した。汚泥については、まず生ごみの発生量を押さえるとともに、スカムの引き抜き量も測定した。余剰汚泥としては生ごみと、微生物により酸化分解され、発生した汚泥が第一嫌気濾床槽で貯留、分解され、スカムとして浮上する。図 7.4.3 に第一嫌気濾床槽に浮上しているスカムを示す。

このうち毎月 10kg をスカムとして取り出し、堆肥化装置に投入、混合し、堆肥化した。図 7.4.4 に取り出しスカムを示す。堆肥化装置は底部に

散気管が取り付けられ、常時 40mL/分の空気が送られている。

毎月処理されるスカムの10%が固形物、このうち 75%が有機物で、堆肥化反応の過程で、この有機物が微生物により分解されるとともに反応熱により、水分が蒸発し、減量する。図 7.4.5 に生成した堆肥を示す。

生成した堆肥は肥料分析及び施肥試験により、有害金属の確認と作物への影響を調査した。図 7.4.6 に実証実験施設の全景を示す。



図7.4.3 第一嫌気濾床槽スカム



図7.4.4 取り出しスカム



図7.4.5 生成堆肥



図7.4.6 実証実験施設全景

7.4.3 実験結果と考察

1) ディスポーザ対応浄化槽の水質

ディスポーザ対応浄化槽の水質を表 7.4.6 に示す。

表 7.4.6 に示すように、性能保証値 BOD,SS,T-N 10mg/L 以下についてはすべて達成し、リサイクル水の基準である中水基準はもちろん、一般細菌数を除いて水道水基準並の水である。従って、飲料水としての利用の可能性も考えられるが、日本人の心理からして、

原水にし尿が混入していることから、飲料水としての利用は難しいであろう。図 7.4.6 に水道水使用量、リサイクル率及び降水量を示す。また、表 7.4.7 に用途別の使用水量を示す。

水道水使用量は月当たり平均 40m³ から一人当たりの水使用量は 440L/日となり、一般的に言われている水使用量は 200~250L/人・日に対して、1.8~2.2 倍となっている。この原因は風

表 7.4.6 ディスポーザ対応浄化槽の水質 単位：大腸菌、一般細菌 (cfu/mL)

分析項目	中水基準 ¹⁾	水道水基準 ²⁾	雨水	性能	6月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
水温(℃)	—	—	—	10~35	24	24	24	22	19	18	17
pH(-)	5.8~8.6	5.8~8.6	5.7	5.88.6	7.5	7.4	7.5	7.5	7.5	7.4	7.3
COD(mg/L)	30以下	10以下	3.0	—	6.7	6.2	6.4	7.6	7.6	7.3	9.1
BOD(mg/L)	—	—	<1	10以下	3.1	2.7	<1	<1	3.5	3.9	4.5
SS(mg/L)	—	—	Tr	10以下	2.0	0.5	1.0	2.0	3.0	Tr	1.5
T-N(mg/L)	—	—	1.1	10以下	4.7	6.5	5.6	5.5	5.4	4.9	5.4
NH4-N(mg/L)	—	—	0.5	—	0.4	0.4	0.1	0.5	0.7	0.8	1.0
NO3-N(mg/L)	—	10以下(NO ₂ -N含)	0.3	—	4.0	5.6	4.6	3.5	4.3	4.0	3.8
TDS(mg/L)	—	500 以下	45	—	280	330	320	360	330	300	280
大腸菌	10以下	ND	7.0	3000以下	ND						
一般細菌	—	100以下	500	—	2.0	450	420	420	460	320	390

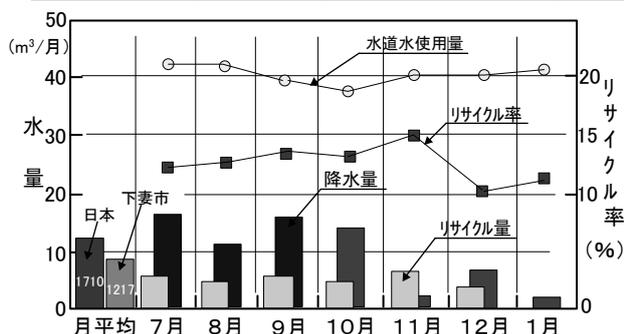


図 7.4.7 水道水使用量、リサイクル率及び降水量

表 7.4.7 用途別使用水量

用途先	一般(5人家族)	実測値(3人家族)
風呂	320	625
洗濯	220	475
トイレ	180	165
台所	230	110
その他	50	20
合計	1000	1395

風呂及び洗濯水使用量が一般家庭の約2倍になっているためである。また、リサイクル率は主な用途はトイレ洗浄水で10~15%であった。

2) タブレット状次亜塩素酸ソーダ消毒によるリサイクル水中微生物の消長

浄化槽の処理水はタブレット状の固形次亜塩素酸ソーダが充填され、下部に孔の開いた消毒筒を通過し、この次亜塩素酸ソーダと接触、溶解し、消毒槽で反応、消毒される。

リサイクル水はこの消毒後の浄化槽処理水と雨水とが混合し、トイレ洗浄水として使用され

る。このときの一般細菌と大腸菌の消長を表7.4.8に示す。

次亜塩素酸ソーダによる消毒は一般細菌、大腸菌に有効である。また、雨水中には土壌からの微生物混入があり、利用するには再度何らかの消毒が必要である。

表 7.4.8 タブレット状次亜塩素酸ソーダ消毒によるリサイクル水中微生物の消長

分析項目	サンプリング箇所	9月18日				11月14日			
		消毒前	消毒後	雨水	トイレ洗浄水	消毒前	消毒後	雨水	トイレ洗浄水
残留塩素(mg/L)		ゼロ	0.6	ゼロ	0.3	ゼロ	0.9	ゼロ	0.2
一般細菌(cfu/mL)		620	420	500	500	5600	460	1100	68000
大腸菌(cfu/mL)		22	ND	16	3	610	ND	1	ND

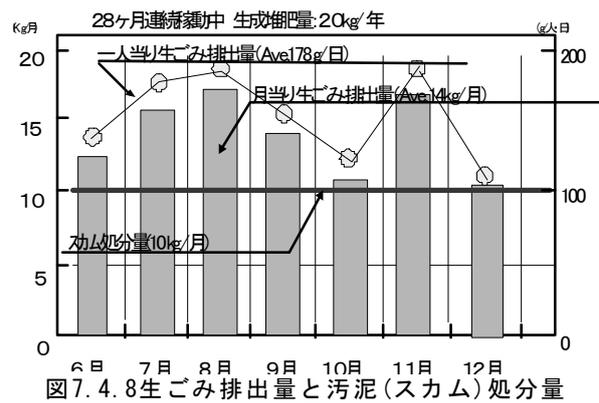
3) 生ごみ排出量と汚泥(スカム)処分量

生ごみはディスポーザで破碎され、水とともに浄化槽の第一嫌気濾床槽に流入する。また、生物濾過槽の濾過部で発生する汚泥も生物濾過槽の逆洗により第一嫌気濾床槽に毎日1回、移流し、貯留される。この第一嫌気濾床槽

ではこれら生ごみと汚泥は嫌気分解するとともに、ここでは窒素除去が行われ、それぞれメタンガス、窒素ガスが放出される。このため、貯留されている固形物はガスとともに浮上し、スカムとして槽上部に移動する。この固形物を取り出さ

ず、貯留しておくことと固形物が順次槽に移動し処理が悪化していく。従って、安定した処理を行うには定期的にこの固形物を取り出す必要がある。ここでは、スカムを毎月 10kg 取りだし、堆肥化装置で堆肥化を行っている。図 7.4.8 に生ごみ排出量と汚泥(スカム)処分量を示す。生ごみ排出量は一人当たり 1788g/日で文献値とほぼ近い値であった。⁴⁾

月当りのスカム処分量は生ごみ排出量の 70%でバランスされていた。



4) 余剰汚泥(スカム)の性状と生成堆肥の成分

第一嫌気濾床槽に浮上した余剰汚泥(スカム)の性状と余剰汚泥の 18ヶ月後、堆肥として生成した肥料の成分について表 7.4.9 に示す。

まず、有害金属である水銀、カドミウム、砒素

は規制値に対して十分満足していた。また、肥料の三大成分である窒素、りん、カリウムはそれぞれ 2.3、0.8、0.69%となり、汚泥中のカリウム成分からみても、カリウム成分は窒素、りん成分に比較すると少ないことが分かった⁵⁾。

表 7.4.9 余剰汚泥(スカム)の性状と生成堆肥の成分

分析項目	対象月	4月		9月	10月	11月	12月
		堆肥	汚泥	汚泥	汚泥	汚泥	汚泥
水分(%)		40	91	91	91	90	89
pH(-)		7.5	6.1	7.5	6.9	6.9	6.3
強熱減量(%)		82.3	75.2	77	73.8	74.4	75.7
T-N(%)		2.3	4.2	4.5	4.4	5.6	4
T-P(%)		0.8	1.3	1.1	1.1	1.7	1.3
K(%)		0.69	0.12	0.16	0.14	0.15	0.13
Hg(mg/kg)<2規制値		0.02	0.05	0.09	0.05	0.09	0.08
Cd(mg/kg)<5規制値		<0.1	<0.1	0.2	0.2	0.9	0.9
As(mg/kg)<50規制値		1.2	<0.1	2.5	3.3	3.4	3.4

5) 施肥試験結果

トウモロコシを対象に堆肥化を開始して 18ヶ月後の堆肥を使用し、施肥試験を実施した。

図 7.4.9 は施肥後のトウモロコシの成長の過程である。

表 7.4.10 に堆肥区、対照区に施肥した堆肥及び肥料の量、窒素、りん、カリウムの比を示す。

これに対して、収穫量と成分比較を表 7.4.11 及び表 7.4.12 に示す。

表 7.4.11 に示すように、堆肥区の方が対照区に比較して、収穫量が約 50%と低いが、表 7.4.12 の成分を比較すると逆に、全項目とも堆肥

区の方が高くなっている。

この理由は窒素、りに比較してカリウム含有量が堆肥の方が小さいが、食物はカリウムが含有しているところまでは必死に他の栄養分を吸収するためではないかと推定される。

来年は不足分のカリウムを添加して化成肥料との比較を実施する予定である。

II. 自立循環型住宅のための要素技術開発[A]



図7.4.9 トウモロコシの成長過程

表 7.4.10 堆肥区、対照区の施肥実績

	堆肥区	対照区堆
4/21	堆肥18kg	化成肥料500g 豚糞堆肥500g
5/5		化成肥料200g(10g/苗)
5/20		化成肥料200g(10g/苗)
総堆肥/肥料の施肥量(g)	窒素221 りん125 カリウム66	窒素118 りん83 カリウム115
N:P:K比	1.0:0.57:0.3	1.0:0.70:1.0

表 7.4.11 収穫量

肥区	対照区
4350g	9050g
174g/個	201g/個

表 7.4.12 成分比較

比較項目	単位	文献値 ⁶⁾	堆肥区	対照区
タンパク質	g/100g	3.6	4.1	3.5
炭水化物	g/100g	16.8	19.5	16.4
鉄	g/100g	0.8	0.6	0.5
食物繊維	g/100g	3	8.2	5.5

6) リサイクル水の水質

トイレ洗浄水にリサイクルしている水の水質(腐食、スケール傾向)を表 7.4.13 に示す。

ランゲリア飽和指数は(1)式、(2)式で求めることができる。

$$SI = pH - pH_s \quad (1)$$

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (2)$$

ここで、

- A: 蒸発残留物係数 B: 温度係数
C: カルシウム硬度係数 D: アルカリ係数

1992年に厚生省生活衛生局水道環境部より、次のような通知が出ている。水道水質に関する基準の制定についてランゲリア指数の目標値を「-1程度以上とし、極力0に近づける」従って、リサイクル水はトイレ洗浄水として全く問題はない。

また、便器への汚れについてトイレが1階と2階にあったため、1階はリサイクル水、2階は水道水を使用し、6ヶ月間観察した結果、有意差はなかった。

表 7.4.13 リサイクル水の水質

日時 サンプル名 分析項目	9/18			11/14			12/17			冷却水 ⁷⁾ 水質基準
	トイレ 洗浄水	雨水	水道水	トイレ 洗浄水	雨水	水道水	トイレ 洗浄水	雨水	水道水	
温度(°C)	21	20	22	19	14	15	11	10	13	—
pH(-)	7.5	4.5	7.4	7.7	6	7.8	7.4	6.9	7.6	6.5~8.2
TDS(mg/L)	290	320	190	320	180	180	200	31	200	—
カルシウム硬度(mg/L)	53	11	41	54	75	42	33	10	45	150以下
アルカリ度(mg/L)	100	<2.5	80	120	5.5	82	130	20	81	—
SI=ランゲリア飽和指数	-0.67	-5.6	-0.86	-0.45	-3.6	-0.45	-1.07	-2.81	-0.93	マイナス
腐食傾向 スケール傾向	すべて腐食傾向にある									

7) 雨水の水質

表 7.4.14 に毎月 1 回のサンプリング時における雨水の水質を示す。

表 7.4.14 に示すように、雨水水質は pH4.5～6.9 の酸性、COD は 2.9～7.1、アンモニア性窒素は 0.53～1.29、窒素 1.05～6.85 と若干有機物が混入し、一般細菌 $5 \times 10^2 \sim 10^5$ 、大腸菌 $1 \sim 2 \times 10^2$ となり、微生物は土壌からの由来と考えられ、混合タンク内で有機物を栄養源にさらに増殖していくため、無視できない値であった。

従って、雨水を利用する場合は何らかの消毒が必要であることが分かった。

また、表 7.4.15 に雨の降り始めから降り終わりまでの水質及び微生物量について示す。

降り始めの方がどの項目とも高い傾向にあり、この原因は雨樋に溜まった雨水が流出してくるものと推定される。また、水道水と比較するとカルシウム硬度、アルカリ度、TDS とも低いため、スケールになり難いことから、スケール除去洗浄水に利用できる。

表 7.4.14 雨水水質

分析項目	8/20	9/18	10/17	11/14	12/17	範囲
pH(-)	5.7	4.5	6.6	6	6.9	4.5～6.9
COD(mg/L)	3	2.9	4.4	7.1	4.1	2.9～7.1
BOD(mg/L)	<1	<1	<1	1.8	3.7	
SS(mg/L)	0	0	1	4	0	
NH ₄ -N(mg/L)	0.53	0.84	0.78	1.13	1.29	0.53～1.29
NO ₃ -N(mg/L)	0.28	1.53	0.61	4.72	0.61	
NO ₂ -N(mg/L)	0.02	0.05	0.04	0.54	0.16	
T-N(mg/L)	1.05	2.58	1.8	6.85	1.45	1.05～6.85
T-P(mg/L)	0.1	0.07	0.2	0.13	0.27	
Cl-(mg/L)	4.5	9	12.3	10.5	13.2	
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	10	20	5	5	6.4	
TDS(mg/L)	45	320	40	68	31	
一般細菌(cfu/mL)	500	500	1×10^5	1.1×10^3	3.4×10^3	500～105
大腸菌(cfu/mL)	7	3	200	1	160	1～200

表 7.4.15 雨の降り始めから降り終わりまでの水質及び微生物量 (02.11.25実施)

時刻	13:30 降り始め	14:00	15:00	16:00	18:00	20:00 降り終わり	水道水
分析項目							
pH(-)	6.7	6.8	6.9	6.9	6.7	6.8	7.5
COD(mg/L)	9.6	3.1	3	3.4	6.3	2.3	1.5
NH ₄ -N(mg/L)	1.2	0.34	0.39	0.43	0.45	0.23	0.03
NO ₃ -N(mg/L)	0.28	0.07	0.06	0.06	0.1	0.07	0.08
カルシウム硬度(mg/L)	13	<1	2.4	3.2	5	2.2	40
アルカリ度(mg/L)	7.5	11	11	11	10	9.5	80
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	9	2	2	2	2.9	1.1	8.5
TDS(mg/L)	74	24	26	24	31	21	190
一般細菌(cfu/mL)	7700	8600	5700	6600	33000	25000	ゼロ
大腸菌(cfu/mL)	670	250	200	730	650	460	ゼロ

7.4.4 結論

ディスポーザ対応浄化槽は長期間安定した性能を発揮し、処理水質は水道水基準並であった。また、住宅へのリサイクル率は10～15%であった。

住宅への水のリサイクルは浄化槽の処理水で十分であり、雨水をリサイクルする場合は再度、消毒処理が必要であることが分かった。

次亜塩素酸ソーダによる消毒は一般細菌、大腸菌に対して有効であることが分かった。

毎月の余剰汚泥(スカム)の取出しは生ごみ処分量の0.7倍程度が適切で堆肥化により安定した性能を得ることができた。

生成した堆肥は有害金属が規制値以下で肥料としてはカリウム含有量が少ないが、カリウム添加により、通常の化成肥料と同等の肥料効果を発揮するであろうと推測できた。

リサイクル水は腐食傾向にあり、ランゲリア飽和指数もゼロに近く、水質的には何ら問題がないことがわかった。

雨水は酸性側でCODが2.9～7.1mg/Lと高度処理された水と同等であるが、土壌由来の微生物が多く含まれるため、リサイクルするには何らかの消毒処理を施す必要がある。

(梅原 敏正)

参考文献

- 1)排水再利用の配管設備取り扱い、国土交通省、1981
- 2)水道水水質基準、厚生労働省、1999
- 3)降水量、気象庁、2002
- 4)ディスポーザによる生ごみリサイクルシステムの開発、建設省建築研究所、1999
- 5)し尿系汚泥のコンポスト化における安全性の評価、山本康次、1998
- 6)食品栄養学、江川とみ、1990
- 7)冷却水水質基準、日本冷凍空調工業会、1990

7.5 総括

本研究の結果、次の成果が得られた。

- (1) 節水型機器による負荷削減効果、経済効果
- (2) 台所、流し廻りでの節水効果
- (3) 各種生ごみ処理方法による負荷削減効果
- (4) 水資源を有効活用した屋上緑化による負荷削減効果
- (5) 浄化槽を利用した資源循環システムの有効性評価

これらの成果は、住宅を「自立循環型」のものとするために必要な技術であり、これらのうち一般的で普及型の技術については、自立巡検型住宅のガイドラインにも反映されている。

なお、住宅をより自立・循環型のものとするためには、次の技術についても検討が必要と考えたが、今回の研究においては、時間的、経済的制約から研究を進めることができなかった。

① 地下水の高度利用技術

・再生可能な熱源としての活用技術(井戸、鋼管杭等による地下水との熱交換、空冷熱源への散布による省エネ技術等)

・低品位な地下水の雑用水としての利用技術

・地下水・湧水の共同管理技術

② 浄化槽処理水の高度利用技術

・浄化槽処理水の熱源としての活用技術(空冷熱源への散布による省エネ技術、温熱源としての活用技術等)

③ 排水等の土壌処理・浸透技術

・低濃度生活排水の土壌による処理・浸透技術

④ 水の節水型制御技術

これら技術の多くは、現段階では技術的なハードルが高かったり、コスト的な収支が良くないため民間による研究開発も必ずしも活発ではない。

しかし、住宅・建築物における環境負荷(二酸化炭素、エネルギー、水、廃棄物)を低減し、併せて建築物の自立性を高め、都市の基盤的設備と単体建築物・建築物群との最良の組み合わせを実現し、都市・建築物における環境負荷を総合的に制御するためには、今後この種の環境に対する親和性の高い技術に関して優先的に取り組むとともに、様々な支援施策の可能性・有効性等についても併せて検討し、有効な行政施策を講ずる上で必要なデータの蓄積等も図る必要があると思われる。

