

創エネ・リサイクル型の 快適なまちづくりに関する調査

1. 調査の背景と目的

地球温暖化、ヒートアイランド現象、水資源やエネルギーの枯渇、廃棄物の処理処分など環境問題が深刻化する中、現在、都市活動・都市生活のあらゆる局面において、環境に対する可能な限りの寄与・貢献が求められている。

このような背景から、本調査は、「創エネ・リサイクル型の快適なまち」づくりを目指して、先ず「まち」をとりまく、ものの出入り・流れを捉え、現状と問題点を明らかにした上で、適用技術について調査した。

その中から、都市が内蔵する未利用エネルギーの活用、雨水利用や下水処理水の再利用、廃棄物のリサイクルなどの技術について、その適用方法、評価方法、関連制度等をまとめた。

本調査は、平成7・8年度の2ヶ年にわたり、本機構が住宅・都市整備公団（以下、公団とする）より受託し実施したものである。

なお、本調査で取り扱う技術を実際の開発計画に適用するための手引きを作成した。

2. 「まち」の排出物と消費エネルギー等の現状と問題点

2.1 「まち」をとりまく、ものの流れ

「まち」をとりまく、ものの流れを固体、液体、

気体、エネルギーといった観点から整理した。

なお、本調査における「まち」とは、公団が取扱う都市や居住区（数ha～数千ha）を対象としており、工業系は含まないものとする。

固体の排出形態は廃棄物としての形がほとんどである。通常可燃ごみは焼却後焼却灰として、また不燃ごみは破碎後有価物を回収した後、同様に、埋立処分され、資源ごみは回収業者により原材料として再利用される。

液体は、主に雨水、上水の形で「まち」に取り込まれ、下水として排出される。下水の一部は再生水として循環利用されるほか、下水処理場での熱利用や汚泥の有効利用が図られている。

気体は、固体、液体、エネルギーの変換過程で排出されることになる。

時代の要請は、これら排出される各物質を再利用したり、熱回収することにより、循環サイクルを確立して、地球あるいは地球環境保全を積極的に推進することにある。

2.2 「まち」をとりまく問題点

公団が開発する、「まち」を対象として、それをとりまく課題・問題点を、それぞれの立場（社会・行政、公団、入居者）と地域的広がり（地球全体、地域、住居）から整理し、固体（廃棄物等）、液体（下水、雨水等）、気体（エネルギー等）について整理した。

2.2.1 固体（廃棄物）についての課題・問題点

中高層住宅における廃棄物の排出及び収集で

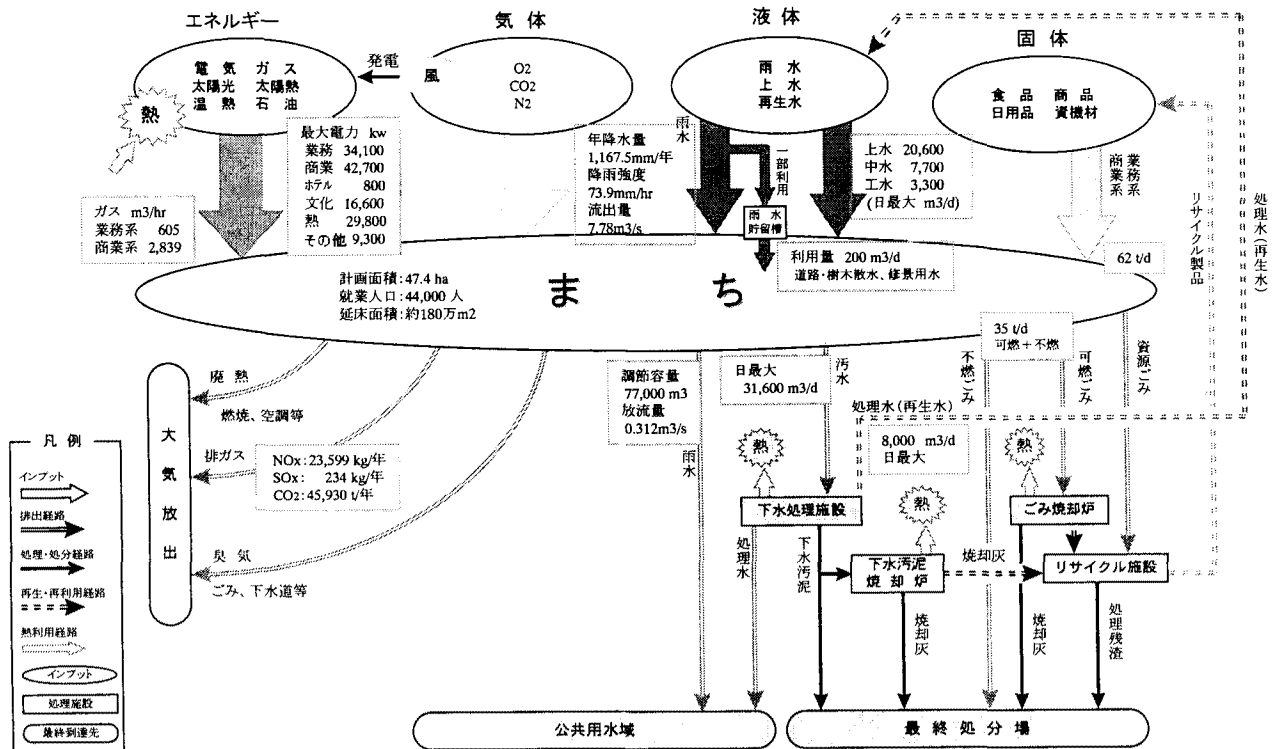


図-1 “まち”のエネルギー・物質の出入り概念図 (O地区)

は、臭気やエレベーター使用、リサイクルの推進に伴う分別種類の増加が問題となっている。管路輸送システムは、開発時点においては分別体系等が十分考慮されていないため、これらに適合させる事が大きな問題となってきている。最終処分場や焼却場等中間処理施設の建設地が確保しにくい状況にあり、廃棄物の受入拒否や、建設負担金等の問題が発生している。

2.2.2 液体についての課題・問題点

公団では、生活に必要な整備（上水道，下水道，雨水調整池等洪水対策）は実施済みであるが，現在はせせらぎ用水等の親水，水環境の保全・創出といったアメニティやエコロジーに関するもの等，ニーズが多様化してきている。

その一方で，これらの「快適な空間の創出」に要する費用と住宅価格の整合が問題となっている。

2.2.3 気体（エネルギー等）についての課題・問題点

気体（エネルギー等）に関しては，地球環境といった問題（温暖化，酸性雨，石油第一次エネルギー源の枯渇等）と，悪臭や騒音，振動，結露と

いった住居レベルでの問題に分けられる。

2.3 ケーススタディ

公団の典型的な4タイプについて，まちへ出入りするものを明らかにし，その量を概算した。

- ① 建築系都市居住タイプ（住宅・業務混在型）
- ② 特定再開発タイプ
- ③ 宅地系中規模タイプ（住居主体型）
- ④ 宅地系大規模開発タイプ（各種施設，用途包含型）

上記の4タイプのうち，②特定再開発タイプとして選定したO地区についての，ものの出入りの概念図を図-1に示す。

図中の数値は，既計画値やその値をもとに概略試算した値である。

3. 創エネ・リサイクル技術の現状

以上の「まち」をとりまく現状や問題点を踏まえ，創エネ・リサイクル技術の適用を検討する。現状で利用可能と想定される事業（技術）を表-1に示す。

表-1 事業メニュー

項目	利用目的	技術(例)	
団 体 (廃棄物)	資源有効利用	不燃物	ビン・缶自動選別機
		古紙	オフィス古紙リサイクル
		可燃ごみ	可燃ごみ油化技術
		ごみ一般	廃棄物燃料化・再資源化システム
		生ごみ	コンポスト化
利 便		排出	ディスプレイ
		ごみ一般	真空輸送システム
液 体	環境保全	雨水	地下水涵養(雨水浸透) 雨水利用システム せせらぎプラント
		再生水	下水膜処理システム 磁気分離処理システム
	資源有効利用	大気	土壌空気浄化システム
		河川水, 生活排水, 雨水等	低温廃熱利用地域冷暖房システム (ヒートポンプ技術) 多目的貯水槽, 熱源水路
エネルギー	環境保全 省エネルギー	焼却廃熱	焼却施設利用地域冷暖房システム 焼却熱利用リパワリングシステム コージェネ利用地域冷暖房システム
		生ごみ・下水汚泥等	メタン発酵 燃料電池システム
		太陽	太陽光発電, 太陽電池 太陽熱利用冷暖房・給湯システム
		風	風力発電
	効 率 化	冷・温熱	共同溝利用による熱搬送システム 氷水搬送システム

その他の事業補助制度としては、通産省所管の「未利用エネルギー活用地域熱供給システム事業補助金」等がある。

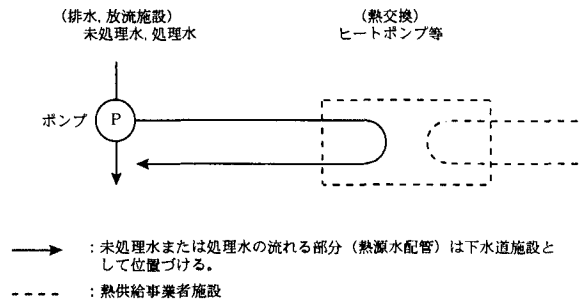


図-3 施設の管理区分¹⁾

4.1.2 検討手順

検討手順は図-4のように当該開発地区の熱需要量や取水可能な下水量等を把握し、経済性等から適応可能性を検討する。

4. 本調査で取り扱う技術

本調査では、公団が主体的に取り組むことが可能な技術として、“下水とごみ”に着目し、図-2の4つの技術について取り扱うこととした。

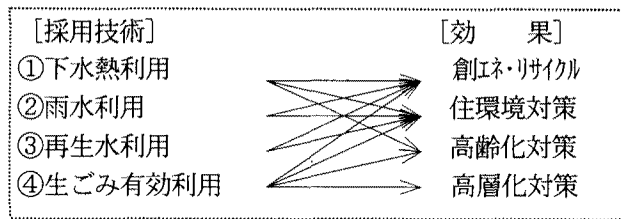


図-2 採用技術とその効果

4.1 下水熱利用

主に、地域冷暖房システム(ヒートポンプ技術)への下水熱活用を検討対象とした。

4.1.1 関連制度

下水熱を利用する場合、図-3に示すように未処理水・処理水の流れる施設(熱交換施設, 送水施設, ポンプ施設)およびその付帯施設(用地含む)は下水道施設として位置づけられ、熱利用下水道モデル事業(補助率50%)により実施することが可能である。

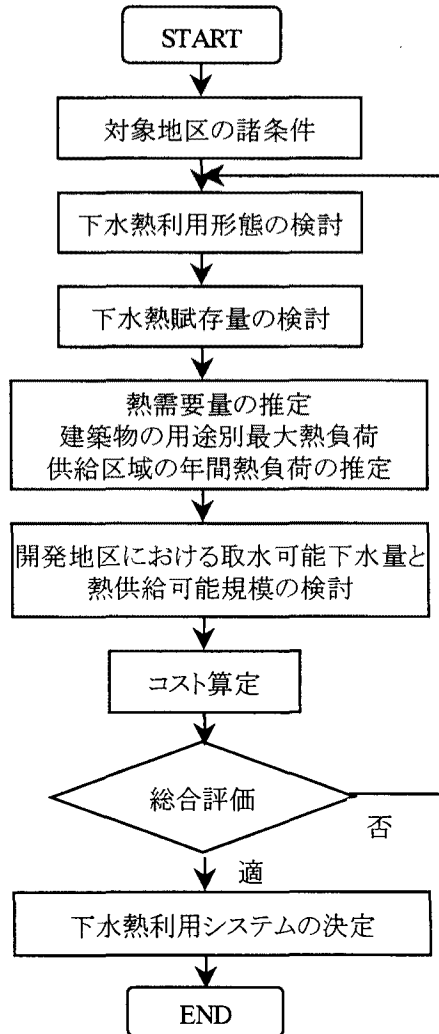


図-4 下水熱利用の適応性検討フロー

4.1.3 技術の適用方法

(1) 下水熱の利用形態

下水熱の利用形態には処理水あるいは未処理水の利用がある。処理水利用の場合は、比較的下水処理場近傍の地域への適用が前提となるが、未処理水利用の場合は熱供給区域の立地的な制約は受けにくい。(図-5)

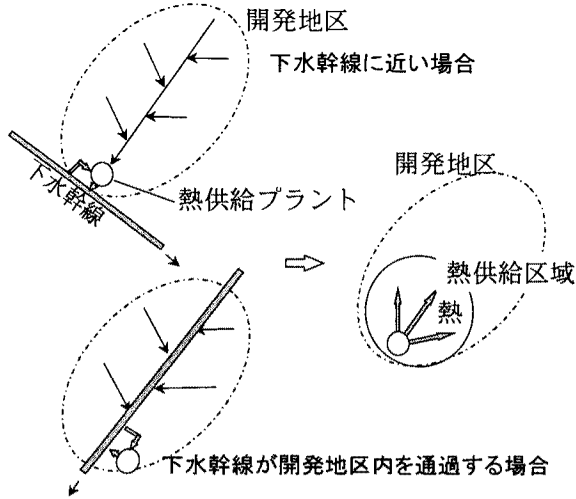


図-5 未処理水を利用する場合の利用形態の例

(2) 下水熱賦存量

下水熱の賦存量は次式で求められる。

$$Q = C \times V \times \Delta T \text{ (Mcal/日)}$$

ここに、C : 水の容積比熱 (1Mcal/m³・℃)

V : 日平均流量 (m³/日)

ΔT : 利用温度差 (一般的には5℃)

(3) 熱需要量の推定

熱需要量の推定にあたっては、供給区域の最大熱負荷、年間熱負荷等を求める。概略には建物の用途別熱負荷原単位を用いて推定可能である。

(4) 熱供給能力

対象地区で利用可能な下水量とヒートポンプの性能(COP)から熱供給能力(冷房能力, 暖房能力)を求める。COPとはヒートポンプの性能を示す係数で、ヒートポンプで得られる出力をヒートポンプに投入するエネルギーで除した値である。

$$\text{冷房能力 (Mcal/h)} = \text{下水量 (m}^3\text{/h)} \times \text{放熱温度差} 5^\circ\text{C} / \{ (\text{冷房COP} + 1) / \text{冷房COP} \}$$

$$\text{暖房能力 (Mcal/h)} = \text{下水量 (m}^3\text{/h)} \times \text{取水温度差} 5^\circ\text{C} / \{ (\text{暖房COP} - 1) / \text{暖房COP} \}$$

(5) 熱供給可能な面積

熱供給可能な用途別の延べ床面積は、熱供給能力を用いて次式より求められる。

$$\text{熱供給可能な用途別延べ床面積 (m}^2\text{)}$$

$$= \text{熱供給能力 (冷・暖房能力) (Mcal/h)}$$

$$/ \{ (\text{同時負荷率} \times \text{熱損失係数}) / \text{冷・暖房原単位 (kcal/m}^2\text{h)} \} \times 1000$$

同時負荷率：建築物の用途毎の負荷発生の時間的なずれを考慮するための係数 (0.7~0.9程度)

熱損失係数：一般考慮、地域配管からの熱損失を表す係数 (一般的に1.05程度)

下水量と熱供給可能面積の関係の一例を図-6に示す。

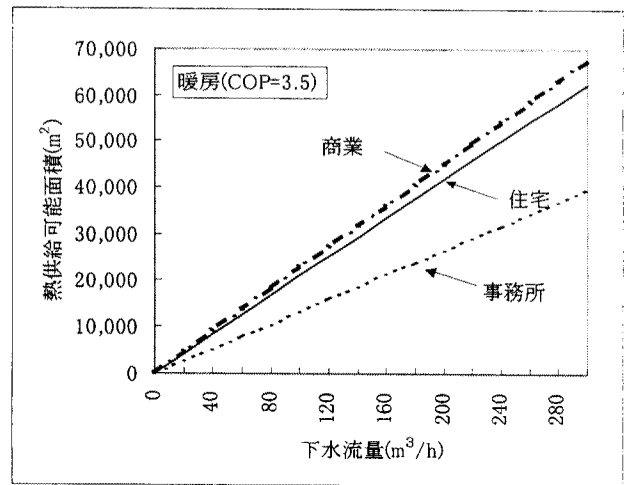
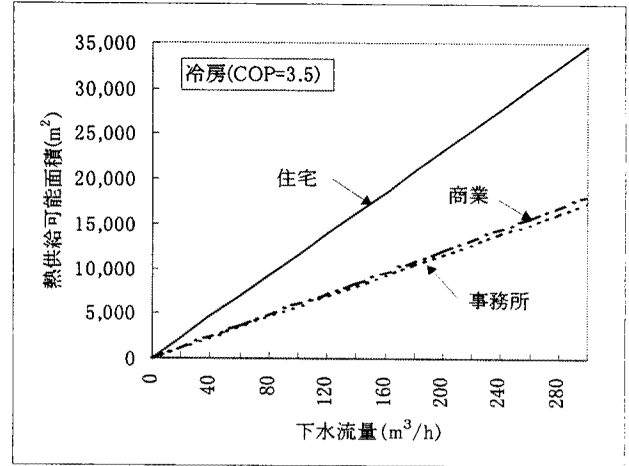


図-6 下水量と熱供給可能面積 (例)

4.1.4 技術の適用性の評価方法

適用性の評価は、以下の事項について、従来システム(空気熱源のヒートポンプシステム)と比較検討する。

(1) 経済性

経済性の評価例によれば、従来システムと比較して、変動費は安くなるが、熱源水配管が別途必要となるため固定費が高くなる傾向にある。また、初期投資が大きいことから金利負担も大きくなるため、各種の助成制度の活用も考慮すべきで

ある。

(2) 省エネルギー効果

省エネルギー効果は、従来システムより削減可能なエネルギー使用量から求める。省エネルギー効果の算出式は、次のとおりである。

$$\text{省エネルギー効果 (率)} = \frac{\text{従来システムより削減できる年間一次エネルギー使用量}}{\text{従来システムの年間一次エネルギー使用量}}$$

(3) 環境保全効果

環境保全効果は汚染物質排出量の削減可能性により評価する。

$$\text{環境保全効果 (率)} = \frac{\text{従来システムより削減できる年間汚染物質排出量 (CO}_2\text{, NO}_x\text{)}}{\text{従来システムの年間汚染物質排出量 (CO}_2\text{, NO}_x\text{)}}$$

4.2 雨水および再生水利用

4.2.1 検討手順

利用用途、雑用水需要量等を設定し、経済性等から適応の可能性を評価する。なお雨水利用については、雨水利用可能量や雨水利用状況を把握するために雨水利用シミュレーションを行う。

4.2.2 技術の適用方法

(1) 利用用途

雨水及び再生水は、雑用水や水辺空間を創出するための環境用水など幅広い用途への利用が可能である。また、再生水特有の利用用途に融雪用水がある。

(2) 雑用水等需要量の把握

利用用途別の使用水量原単位を用いて需要量を把握する。

(3) 雨水利用システム

雨水利用システムは、図-7のように、「集水-貯留-給水」の3つのサブシステムから構成されており、対象区域における制約条件の下でこれらの組み合わせの検討を行う。

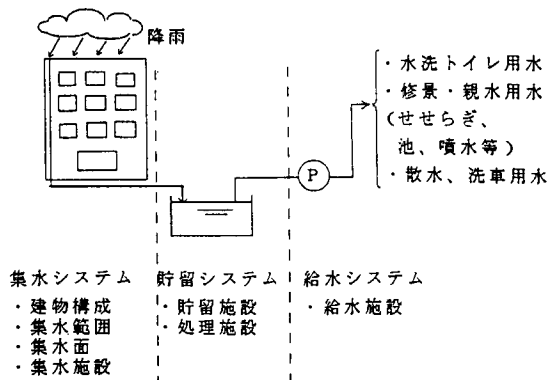


図-7 雨水利用システムの概略図

(a) 集水システムの設定

建物構成、集水範囲、集水面、集水施設の4項目の組み合わせにより異なった集水システムとなる。集水システムの構成要素の例を表-2に示す。

表-2 集水システムの構成要素(例)

項目	構成要素(例)
①建物構成	戸建て住宅、集合棟(住宅系、業務系等)
②集水範囲	・戸建て住宅又は集合棟の単位別に集水する場合(戸別、棟別) ・複数の戸建て住宅又は集合棟から集水する場合(集約)
③集水面	屋根、周辺地盤(歩道、車道、駐車場、緑地面等)
④集水施設	雨どい、宅内雨水排水設備、屋根排水専用集水管、下水道(雨水渠)

(b) 貯留システムの設定

① 貯留施設

貯留槽容量を大きくとれば雨水の集水量は増加するが、過大な施設は不経済であり現実的でない。したがって、適切な貯留施設の規模(貯留槽容量)を決定するためには、雨水利用シミュレーションによって、雨水利用可能量を把握するとともに、経済性等を検討する。

② 処理施設

処理水質は、利用用途によって決定するが、用途別の水質基準は、建設省等から出されている指針等²⁾を参考とする。

屋根面のみでなく周辺地盤からも集水する場合は、降雨初期に汚染された雨水が貯留槽に流入するため、初期降雨の排除施設を検討する。

(c) 給水システム

給水施設にはポンプや給水管の他に、修景施設や散水栓等の利用用途に応じた施設がある。特に雨水利用水の配管設備は誤飲、誤用防止のため、専用の雨水系給水管を設置する必要がある。

(d) 雨水利用シミュレーション

最適な貯留槽容量を決定する際には、通常、貯留槽容量を数ケース設定し、雨水利用量や雨水利用状況(雨水利用率、雨水代替率)をシミュレートする方法が採られている。

手引きでは、実際の日別降水量データを使用し、貯留槽における雨水の出し入れ計算を行う方法を示した。

雨水利用率，雨水代替率は次式により求められる指標である。

$$\text{雨水利用率 (\%)} = \text{雨水利用量} / \text{流入雨水量} \times 100$$

$$\text{雨水代替率 (\%)} = \text{雨水利用量} / \text{必要雑用水量} \times 100$$

また，上記の方法以外に，雨水利用率や雨水代替率を把握する手法として，雨水貯留槽容量計画線図（以下，線図とする）による簡便な方法がある。

図-8に示した線図（例）は，所定の条件（表-3）によって得られたシミュレーション結果であり，集水面積，雨水貯留槽容量，使用水量の3つのパラメーターの組み合わせに対する雨水利用率や雨水代替率を表したものである。

線図の見方は，例として前提条件に集水面積2,000m²，雨水貯留槽容量80m³，使用水量20m³/日という数値を与えた場合を考えると，以下より凡例0.01の線上で，横軸0.04における雨水利用率・雨水代替率の値を読みとればよいことになる。

凡例：使用水量／集水面積
 $= 20 \text{ [m}^3/\text{日]} / 2,000 \text{ [m}^2\text{]} = 0.01$

表-3 線図シミュレーション条件

対象年	1993
年間降水量	1,872.5mm
集水面	屋根面
流出率	0.9
水使用日	毎日(365日)
利用例	水洗トイレ
初期降雨排除	行わない

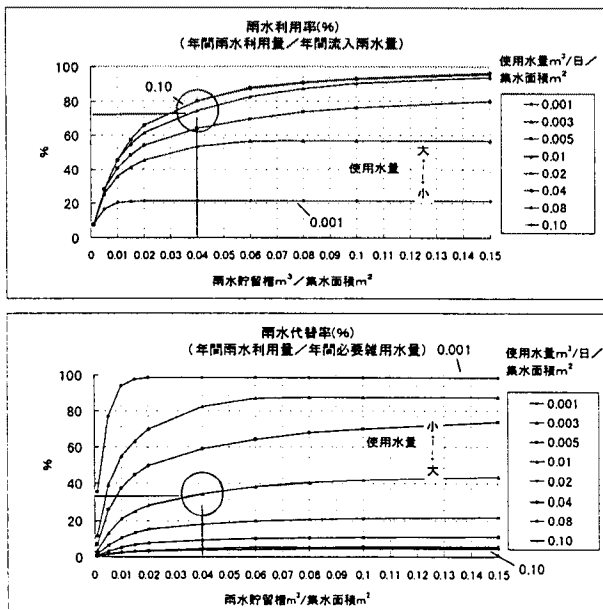


図-8 雨水貯留槽容量計画線図（例）

横軸：雨水貯留槽容量／集水面積

$$= 80 \text{ [m}^3\text{]} / 2,000 \text{ [m}^2\text{]} = 0.04$$

したがって，この場合，雨水利用率は74.1%，雨水代替率は34.2%となる。

また，雨水代替率より年間雨水利用量の算出が可能である。

年間雨水利用量

$$= \text{年間必要雑用水量 (使用水量} \times 365)$$

$$\times \text{雨水代替率} / 100$$

$$= 20 \text{ [m}^3/\text{日]} \times 365 \text{ [日]} \times 34.2 \text{ [\%]} / 100$$

$$= 2,497 \text{ [m}^3/\text{年]}$$

(4) 再生水利用システム

本調査では，下水処理場遠隔地での利用を前提に，コンパクトで高い処理機能を有する「せせらぎプラント」³⁾の適用を検討した。

4.2.3 技術の評価方法

(1) 経済性

(a) 雨水利用

雨水の利用水量1m³あたりの単価を造水コストとして求め，これと上水道料金をとを比較することによって経済性を評価する。

$$\text{造水コスト (円/m}^3\text{)} =$$

$$\{ \text{建設費の年間償却費} + \text{維持管理費} + \text{上水道補給料金} \} \text{ (円/年)}$$

$$/ \{ \text{雨水} + \text{上水道} \} \text{ 年間利用水量 (m}^3\text{)}$$

造水コストが最も安価となる貯留槽容量を探し出すためには，貯留槽容量等の諸条件を入れ替えたトライアル計算が必要である。

図-9の試算例によると，使用水量6m³/日の場合は貯留槽容量50m³のとき，使用水量30m³/日の場合は貯留槽容量200m³のときに，造水コストが最も安価となる。

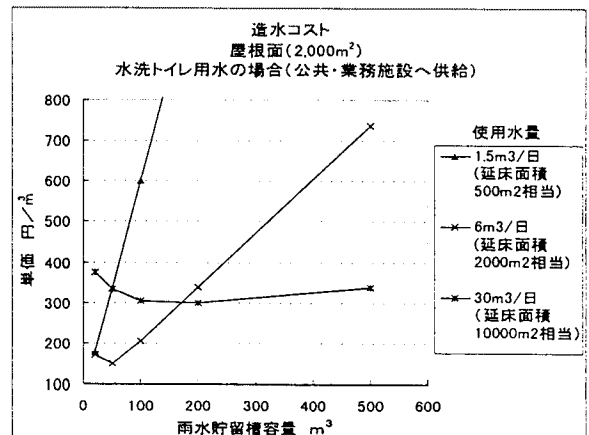


図-9 造水コストの試算例

(b) 再生水利用

施設の建設費と維持管理費から算出される処理コストによって経済性を評価する。

(2) その他の評価項目

雨水及び再生水利用は、地域自己水源の確保、都市の保水機能の向上等の環境保全効果や雨水利用の場合は特に流出抑制効果も期待できる。現在、これらの効果に対する評価も試みられているが、今後さらに評価項目として重視していく必要がある。

4.3 生ごみ有効利用

本調査では、生ごみの有効利用技術として、コンポスト化とメタン発酵を検討対象とした。

4.3.1 検討手順

生ごみ収集システムや生ごみ有効利用施設導入等の検討を行う。

4.3.2 技術の適用方法

(1) 生ごみ収集システム

生ごみ収集システムは、従来どおり住民が直接集積所へ持ち込む方法と、排水設備を利用して収集する方法がある。前者は、ごみの分別等の住民協力が欠かせない。一方、後者はデスポーザーを利用したもので、粉碎された厨芥を含んだ厨房排水を固液分離し、有効利用するものである。このとき公共下水道へは分離液のみが排出される。厨芥のみを排水設備により収集するためには、し尿等と分離するための厨房排水専用の排水系統が必要となる。

(2) 生ごみ有効利用施設

コンポスト化、メタン発酵のいずれの場合も、施設の運転条件に生ごみの性状を適合させるために、破碎等の前処理が必要となる。

デスポーザーを使用する場合は、デスポーザー排水中の厨芥を分離する方法(スクリーン等)の検討に加え、分離液の水質が下水道への受け入れ規制値を満足するように排水処理の検討も行う。

4.3.3 技術の評価方法

生ごみ有効利用システムの経済性に加えて、ゴミ

処理事業における負担緩和、デスポーザー使用による利便性向上等についても考慮し、総合的に評価する。

5. 今後の課題

本調査では、「まち」の排出物と消費エネルギー等の現状と問題点を明確にし、“下水とごみ”に関する4つの技術活用のための手法を示した。

今後の課題としては、以下の事項があげられる。

- (1) 本調査では、「まち」をとりまく課題・問題点に対する施策として4つの技術を取り上げた。今後は公団開発地区において個別技術の複合的な利用を推進するとともに、定量的な評価手法を確立する必要がある。
- (2) 雨水・再生水利用は実施事例も多く、比較的技術開発が進んでいる分野である。一方、下水熱利用・生ごみ有効利用は現在開発中の分野であり、実施事例も少ない状況であるため、低コスト化やメンテナンス技術等、より一層の技術開発が望まれる。雨水・再生水利用についても、過去の実績を活かし、雨水・再生水の併用利用はもとより、動力源への太陽光の利用や雨水利用と地下水浸透の組み合わせなど、多機能なシステムが望まれる。
- (3) 創エネ・リサイクル技術の導入に際しては、経済的なシステムの構築や助成等の優遇措置制度の確立が望まれる。

<参考文献>

- 1) 下水熱利用促進研究会編：「最新下水道 未利用エネルギー活用の手引き」, 山海堂
- 2) 建設省：「下水処理水循環利用技術指針(案)」, 昭和56年9月
建設省・高度処理会議：「下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル」, 平成2年3月
- 3) 財団法人下水道新技術推進機構：「せせらぎプラントの計画と設計(1993年版)」

● この調査に関する問い合わせは

研究第一部長

研究第一部主任研究員

研究第一研究員

山根 昭

関根 富明

平野 裕司